青藏铁路运营管理及相关技术研讨会论文集

中国铁道学会
铁道部青藏办 编

中国科学技术出版社

青藏铁路运营管理及相关技术研讨会论文集

中国铁道学会
铁道部青藏办 编

中国科学技术出版社
·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

青藏铁路运营管理及相关技术研讨会论文集/中国铁道学会，铁道部青藏办编 .—北京：中国科学技术出版社，2005.6
ISBN 7-5046-4086-7

Ⅰ.青… Ⅱ.①中… ②铁… Ⅲ.青藏高原-铁路-运输-管理-学术会议-文集 Ⅳ.F532.87-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 064344 号

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号　邮政编码：100081
电话：010-62103210　传真：010-62183872
http://www.kjpbooks.com
科学普及出版社发行部发行
北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本：787 毫米×1092 毫米　1/16　印张：17.75 字数：450 千字
2005 年 6 月第 1 版　2005 年 6 月第 1 次印刷
定价：40.00 元

前　言

举国关注、举世瞩目的伟大工程——青藏铁路即将贯通。铁道部党组明确提出建设一流高原铁路的“三项具体要求”，即全线旅客列车旅行时间压缩到最短；全线设备实现“免维修”；沿线基本实现“无人化”管理。部领导还要求统筹协调、超前谋划，把青藏铁路的运营管理工作提上重要议事日程，提前介入，早做准备，使工程建设和运营管理紧密衔接。要着眼于长远发展，搞好制度创新、管理创新，科学合理地大力开发沿线丰富的旅游资源，建好、管好、用好青藏铁路。

中国铁道学会与铁道部青藏铁路建设领导小组办公室共同举办了“青藏铁路运营管理及相关技术研讨会”。参会专家和会议代表就以下6个方面的问题进行了学术交流：

（1）青藏铁路客货运输组织、经营方案和管理模式；

（2）青藏铁路线、桥、隧等基础设施和机车、车辆等运输装备的养护维修；

（3）青藏铁路站后工程建设和电力、信号、通信等设备的适应性；

（4）青藏铁路冻土监测技术设备和冻土变化对铁路工程稳定性的影响；

（5）青藏铁路的信息系统；

（6）青藏铁路环境保护和医疗保健体系。

本论文集收录了“青藏铁路运营管理及相关技术研讨会”上发表的论文53篇，相信它将对于研究和关心青藏铁路和西部开发的各方面人士起到一定的参考作用。

中国铁道学会
铁道部青藏办
2005年6月

责任编辑 杨　艳
封面设计 赵一东
责任校对 林　华
责任印制 安利平

目　录

关于建设青藏铁路“环境-健康-安全-运输一体化管理系统”的若干思考

杨浩　韩学雷

北京交通大学

摘　要：论文分析青藏铁路建设和运营环境的特殊性以及生产力布局的特殊性，论述建立青藏铁路“环境-健康-安全-运输一体化管理系统”的必要性、建设目标和指导思想。全面系统地阐析研究环境因素与灾害规律，完善铁路行车安全标准和规范，建立环境监测与灾害预警系统，加强铁路职工劳动保护与职业病防治，优化运输组织管理等五大主题。

关键词：青藏铁路　运输管理　环境-健康-安全-运输一体化管理系统

青藏铁路揭开了我国铁路建设和管理的新篇章。2001年开工以来，在攻克多年冻土、高寒缺氧和生态保护三大世界性工程难题中，创立了质量-健康-环境一体化管理的新模式，这一管理创新进一步启迪我们研究和探索青藏铁路未来的运营管理模式。由于高寒缺氧、多年冻土、气候恶劣和灾害频繁对运输安全、稳定、效能和质量的影响和制约特别突出，青藏铁路的运营管理必须以科学发展观为指导，借鉴先进的一体化运输管理理念，围绕人员健康、运输安全、环境保护和运输组织四个方面，研究建设青藏铁路环境-健康-安全-运输一体化管理系统（以下简称“一体化管理系统”）。

1　建设一体化管理系统的必要性

1.1　环境的特殊性要求一体化管理

青藏铁路格尔木—拉萨段（简称格拉段）全长1142km，线路通过多年冻土区长达550km。与其他国家冻土铁路相比，我国青藏高原多年冻土具有热稳定性差、高含冰冻土比重大、对气候变暖反映敏感、太阳辐射强烈等特点。冻土路基由于气温的周期性变化，交替产生融沉和冻胀，引起路基病害，增大铁路施工和养护难度，导致列车限速和减重，甚至危及行车安全。据有关资料，国外冻土铁路路基病害率一般为30%，对运输安全、运输能力和运输效率的影响相当显著。

青藏格拉段有960km在海拔4000m以上，沿线气压低（大气压和氧分压只有海平面的50%～60%）、寒冷（大部分路段年平均气温在0℃，最低气温为-41℃，昼夜温差可达15～30℃）、干燥（年平均湿度仅为0.5左右）、风速大（沱沱河地区8级以上大风日年均高达178天）、紫外线辐射强烈（强度为海平面的1.5～2.5倍），且处于鼠疫自然疫源地，不少地段可饮用水缺乏，是无人居住的“生命禁区”。高寒缺氧对人体健康和劳动能力的影响、对运输劳动组织和人力资源配置的制约，都是管理者必须考虑的首要问题。

青藏铁路沿线是气候恶劣、灾害频繁的地区。主要灾害有风沙灾害、雪害、雷暴、冰雹、泥石流以及地震灾害等。自然灾害不仅具有多发性(灾害多、频率大),而且具有复合性(在某些季节几个灾害同时发生),因此成为运输管理必须经常应对的影响和干扰。

青藏高原是世界上最年轻、海拔最高、对生态环境影响最大的高原,是中国和南亚地区的"江河源"、"生态源",也是世界上仅有的独特生态环境系统和山地生物物种一个重要的起源和分化中心,具有高原生态独特、珍稀物种丰富、自然景观多样、生态环境脆弱、一旦破坏很难恢复的特点。不仅在建设期间需要切实搞好沿线的环境保护,而且在长期的运营期间,更要高度关注铁路运输活动及其污染物排放对沿线生态的影响。

总之,由于青藏铁路沿线环境的特殊性,环境、健康、安全和运输之间呈现出超常的强关联性和耦合性,必须综合考虑多年冻土、高寒缺氧、气候恶劣灾害频繁、生态保护对铁路运输的影响和制约,实行一体化管理。

1.2 生产力布局的特殊性要求一体化管理

为适应沿线的环境特点,青藏铁路建设体现了新的生产力布局特点:大量采用现代高新技术和信息技术,沿线34个新建车站中,无人值守车站达23个,沿线少用人,设备高可靠、少维修。实行运营管理和设备维修的集中化。因此,管理制度建设必须充分考虑人员、设备布局的特点。要建立新的高原运营管理人员卫生保障制度,保证青藏铁路运营职工队伍的稳定性、高素质和战斗力;要建立新的高原运营管理人员劳动组织管理制度,制定适合高原工作特点的劳动时间定额标准、劳动组织形式和作息制度;实行一专多能的技能培训和岗位设置制度等。要建立"快速通过高原"的列车运行组织制度,优化列车质量、速度和密度的组配和优化牵引动力配置和乘务工作组织,尽量缩短旅客列车在高寒无人区的旅行时间;防止乘务人员超劳作业。

此外,还要建立灾害预警、应急救援、处置突发事件、环境保护、治安保卫、路地联防等一系列管理制度,所有这些管理制度的建设,都要将环境、健康、安全和运输纳入统一的体系,实行一体化管理。

1.3 树立和落实科学发展观要求一体化管理

为树立和落实科学发展观,在青藏铁路,必须将环境、健康、安全和运输四大要素紧密结合起来,坚持保护生态环境作为实现长远、持续运营的基础,坚持卫生健康保障以体现人文关怀的时代精神,坚持安全生产作为实现运输效率和效能的前提和条件,而将铁路运输作为促进地区发展和社会进步的重要环节。

2 一体化管理系统的目标和指导思想

一体化管理系统的目标是:通过建设"环境-健康-安全-运输一体化管理系统",实现环境影响可测、可知,铁路职工身体健康,运输安全可靠、可控,努力提高对环境灾害的预警、防范和治理能力,充分适应生产力布局要求,切实保证运营活动的安全、优质、高效、有序,为实现运输与社会经济和生态系统的持续协调发展,建设和管理世界一流的高原铁路而努力。

一体化管理系统的指导思想是:以全面、协调和可持续的科学发展观为指导,尊重自然规律、经济规律和社会规律;深刻认识和把握青藏铁路自然生态环境和人文社会环境的特殊性;深化研究青藏铁路运营管理模式和运输组织特殊性;继续弘扬青藏铁路建设质量、环境、职业

健康安全一体化管理的创新精神，以现代高新技术和先进信息技术为支撑，建设世界一流的“环境－健康－安全－运输一体化管理系统”。

3 一体化管理系统的工作主题

3.1 研究制定青藏铁路的行车安全标准与规范

全面考虑地温、含冰量、岩土性质、地形、气候、水文以及大气升温和人为活动对冻土的影响，在长期的运营条件下，通过对冻土病害影响及其工程防治措施的跟踪观测，进一步研究在列车动力作用下，季节性融沉冻涨的变化规律。深入研究沿线自然灾害发生的规律，研究灾害对运输活动的危害和制约，是确定运营管理模式和组织运输生产的基本依据。

在上述研究基础上，确定相应的行车安全标准和规范。例如，确定冻土地段的限速和限重条件；确定风灾时曲线地段的临界翻车风速和不同风速条件下的列车限速条件；确定降雨量与泥石流沟的流速和流位的动态变化关系，规定列车过桥安全措施；根据地震烈度规定相应的列车禁行措施和办法等等。

3.2 加强沿线地区生态环境保护

青藏铁路投入运营以后，沿线环境将面临比建设期间更为长期的运营活动的影响。为此，必须继续全面贯彻落实环境保护的有关法律法规，确保江河源水质不受运输污染，多年冻土环境基本不因运输改变，野生动物生存环境继续得到保护，有效防止草地、湿地退化，铁路两侧景观不受破坏，努力建设和维护具有高原特色的生态环保型铁路。要对所有旅客列车采用密闭车体，粪便、垃圾集中处理。要在运输活动集中站点建设污水处理工厂。要继续跟踪监测铁路建设工程对沿线生态环境影响，同时高度关注铁路运输过程的污染物排放对沿线生态环境的影响，定期进行环境影响分析，采取有效的环境保护措施，综合治理。

3.3 建设环境监测与灾害预警系统

环境监测与灾害预警系统包括：冻土病害监测和预警；自然灾害（风灾、雪灾、泥石流灾害、地震灾害、雷暴、冰雹等）的监测和预警；铁路建设工程对沿线生态环境影响的跟踪监测与预警；铁路运营活动及其污染物排放对沿线生态环境影响的监测与预警。

环境监测应统筹规划、合理布局，选择采用先进检测设备和检测技术，实现环境信息采集、传输和处理的科学化、网络化。监测机构实行专职人员和项目委托形式的兼职队伍相结合，监测方法采取人工测试与自动测试相结合，建立自动数据测试站点，铁路监测站点与地方气象、地震台站联网测试，利用资源卫星照片判识，或人工定期取样测试等多种方式，进行环境管理数据库和环境管理信息系统的建设。

3.4 加强铁路职工劳动保护与职业病防治

（1）加强劳动保护，定期进行职工健康检查

对运营人员普遍进行高原疾病防治教育和采取阶梯式适应措施。进一步使职工健康检测和体能水平分析工作科学化、制度化、规范化。要注重普及供氧设施，配备包括大型制氧站、高压氧舱在内的配套医疗设备和医务人员，使运输一线职工普遍受惠。

（2）加强职业病综合防治，注重铁路沿线地区卫生与防疫

积极组织路内外医学专家开展防治高原疾病和鼠疫以及高原劳动保护科研攻关，强化对医务人员的业务检查指导，组织开展经验交流活动，提高预防高原病和各种疫病的整体水平。

(3)认真研究和制定适合高原工作特点的劳动组织形式、工时标准和作息制度

完善与机车长交路运用制度相结合的“随乘制”乘务制度；考虑与“少用人”、“少维修”，淡季无人区封站措施相结合，实行压缩工时、按时轮换、集中休整、定期疗养的制度；立足于高新技术保证安全、提高效率、压缩定员，实行一专多能的技能培训和岗位设置；大力培养本地人员，争取早日实现工作人员本地化等等。

此外，还要关心职工生活，提高饮食标准，改善住宿条件。

3.5 优化铁路运输组织，创建世界一流的高原铁路运输管理水平

优化铁路运输组织，是青藏铁路投入运营后的工作重心，应合理确定经营管理方针目标，精心设计运输产品，提高运输质量和效率，创建世界一流的高原铁路运输服务和运输管理水平。

(1)基于客流特点的客运产品和服务设计

根据青藏铁路基础性和公益性的基本定位，考虑青藏地区客运需求总量规模小、增长快、季节波动大、以外来旅客为主体的旅游客流比重大等显著特点，开行拉萨至首都北京、上海等内地大城市的高等级旅客列车，加强与祖国内地的经济、文化联系；精心设计实行淡、旺季节差别的客车开行方案；方便旅行和换乘，提高站、车服务水平，满足最广大群众的旅行需求。

(2)基于地区物流特点和公路集疏条件的货运组织

根据青藏铁路在国土和资源开发、宏观经济调控和增强国防建设的国家功能定位，考虑青藏铁路货运需求具有上下行运量不均衡性强、季节波动显著、沿线货运量比较集中等具体特点，货运组织应保证国家重点物资和援藏建设物资运输；充分考虑军事运输需求特点，建立和完善军事运输能力后备和运输后勤保障体系；加强货运站的装卸和仓储能力，在沿线主要城镇统一规划和建设以铁路货运枢纽为依托的大型物流中心，大力发展铁路和公路的联合运输。

(3)基于“快速通过高原”的列车运行组织

主要包括：优化列车质量、速度和密度的组配，在列车密度不大，环境高寒的具体条件下，尽量缩短旅客列车在高寒无人区的旅行时间；优化牵引动力配置和乘务工作组织，实行机车长交路和随乘制；优化列车运行图编制，在运输淡、旺季实行季节差别运行图；运用现代信息技术和管理决策技术，优化编制日常运输计划，灵活机动地组织的日常运输生产，减少摘挂列车停站次数和停站时间，提高货物列车旅行速度。

(4)基于“少用人”和“少维修”的运输组织管理

应立足于采用先进的移动自动闭塞技术、DMIS 系统和 CTC 系统，实现列车运行控制信息化和中间站行车作业自动化；认真研究“无人化”车站的旅客服务和车站管理问题，研究采用高可靠性的固定设备，采用先进的设备检测、监控技术和信息化系统，尽量减少设备日常检修和维护工作量；建立综合维修基地，改革设备修制、修程，减少维修工点和维修人员。

4 充分发挥公益性铁路的社会效益

加强政府宏观调控作用。在青藏地区商品经济落后、市场发育水平低，自我发展能力弱的现实环境下，铁路应更重视服务社会、服务大众，更多地为可持续发展政策和政府的宏观调控功能服务。密切配合沿线区域和城镇发展规划。促进产业布局向铁路沿线靠拢，促进地区和

城镇物流中心建设，进一步密切城乡联系，加快人口向沿线城镇的流动、中转和积聚，加快沿线城镇化进程。充分发挥铁路的骨干和主导作用。在西部地区综合交通运输体系中，注重铁路与其他运输方式发展的协同，规划的协调，运输的协作。开发整合青藏沿线旅游资源。铁路要抓住发展机遇，发展配套的服务设施和后勤保障，满足“吃、住、行、游、购、娱”全方位需求，把青藏铁路建设成世界顶级旅游带。这是青藏铁路打造运输服务特色品牌，塑造企业形象、寻求经济增长点的重要途径。

对青藏铁路经营方案和管理模式的探讨

张 奋

北京铁路局

摘 要:根据青藏铁路运输环境和运输设施的基本特点,根据铁道部领导对青藏铁路运输组织的具体要求,青藏铁路的经营方案和管理模式拟采用网运分管、综合维修、安全监控、多元发展的形式。

关键词:铁路运输组织 高原铁路 网运分管 综合维修

青藏铁路是党中央国务院决策建设的一项举世瞩目的伟大工程,也是西部大开发的标志性工程,它是世界上海拔最高、线路最长的一条高原冻土铁路。在这一举世瞩目的伟大工程即将贯通之际,笔者欲通过对该铁路运输环境及运输设施的简略分析,结合铁道部领导对该铁路运输组织的具体要求,探讨对该铁路经营方案和管理模式的思路。

1 青藏铁路运输环境和运输设施的基本特点

青藏铁路由青海省省会西宁至西藏自治区首府拉萨,全长1963km. 其中西宁至格尔木,简称西格段,长845 km(含格尔木至南山口),已于1979年建成,1984年交付临管运营。格尔木至拉萨,简称格拉段,长1138km(新建1118 km),于2001年正式开工建设,今年内即将贯通,本文所探讨的有关问题均为新建的格拉段铁路。

该段线路位于青藏高原腹地,它与目前国内外既有的铁路相比,无论从建设环境还是运输设施都有相当大的差异,其基本特点是:

1.1 高寒缺氧,环境恶劣

青藏铁路格拉段线路经过地区均为高海拔地带,海拔高程大于4000m地段930 km,占全线的85%左右,最高为唐古拉山垭口达5072m;沿线广泛分布高原多年冻土,连续多年冻土北起昆仑山北麓西大滩(海拔高程4350~4560m),南至安多县城北(海拔4780m左右),线路经过连续多年冻土地区550km;线路经过地区空气稀薄,气压低,年平均气压为580~720mb;气候寒冷干旱,年平均气温8~-6℃,极端最低气温-16~-45℃,年平均降水量40~470mm;高原地区风大,年平均大风日20~160天。

1.2 地域辽阔,人烟稀少

青藏铁路格拉段因绝大部分地段处于青藏高原腹地,长年大部分时间处于气温0℃以下,空气含氧量平均只有内地的50%~60%,加之风沙肆虐,紫外线强,自然疫源多,对人体健康和生命安全构成严重威胁,被称为常人生存极限的“禁区”。因此,该段线路除几个乡镇所在地外,沿线地域辽阔,人烟稀少。

1.3 运量较小,意义重大

根据铁道第一勘察设计院的运量调查,青藏铁路格拉段的客货运量都比较小,但它是沟通西藏与内地联系的一条具有重要的政治、经济、国防意义的战略铁路干线,要抓紧修好、用好。

(1)客运量:据预测,2010 年进、出藏客运量均为 180 万人。根据近远期进出藏客流量和流向预测,本段设计旅客列车对数近期为 4 对/日(其中特快 0.5,快速 2.5),考虑旅游季节、民工潮等客流集中的特点,高峰期可开行旅客列车 5 对/日(其中特快 1,快速 3);远期旅客列车 6 对/日(其中特快 2,快速 3)。

(2)货运量:本段上行方向最大区段货流密度为格尔木至南山口间,近期货流密度 80 万吨,远期货流密度 120 万吨;下行方向最大货流密度区段为南山口至不冻泉间,近期货流密度 210 万吨,远期货流密度 280 万吨。格拉段各相邻站间的双方向货流密度随着往拉萨方向延伸逐渐减少。设计年度内本段没有通过货流,均为地方运量。

(3)政治意义:它对加强北京及内地与西藏自治区的联系,促进藏族与各兄弟民族之间的交流往来,维护祖国统一,增进民族团结等方面均极为重要。

(4)国防意义:在军事上、国防上它是保卫西南边防,稳定西藏,增进民族团结的重要保障。

(5)经济意义:它对西藏地区沿线资源的开发和利用具有重要的促进作用,它能产生巨大的宏观经济效益,对西藏的经济建设及实现西部大开发战略都将产生巨大的推动作用。

(6)路网作用:它将为最终形成由北疆铁路、南疆铁路和规划中的青新铁路、喀什至若羌铁路组成的西部腹地路网骨架奠定基础。

1.4 强本简末,设施先进

由于青藏铁路格拉段运量较小,人烟稀少,决定了该段线路的运输设施强本简末;又由于其地域辽阔,意义重大,又决定了该段线路运输设施的无比先进。从铁道第一勘察设计院的初步设计来看:

(1)主要技术标准适中

线路等级:Ⅰ级

正线数目:单线

最小曲线半径:800m,困难地段 600m

最大坡度:20‰

牵引种类:内燃,预留电气化条件

机车类型:近期 DF8 型

牵引质量:2000t

到发线有效长度:650m(另加 70m),预留 850m

闭塞类型:自动站间闭塞

(2)行车调度指挥系统先进

运输调度指挥管理信息系统(DMIS):可实现列车自动跟踪和无线车次自动校核,实现区段和区间“两个透明”,调度命令、日班计划通过网络自动下达,列车运行自动采点,行车日志自动生成,列车实际运行图自动生成,列车运行方案实时调整和网络下达,分界口透明显示和统计,列车早晚点自动计量与部分运输指标自动统计,站场实际状况和列车实际运行状况历史

再现。

调度集中系统(CTC):可实现列车运行实时管理,列车进路人工控制、储存控制和程序控制,列车运行和信号设备运行状态的采集、处理和显示,列车运行自动跟踪,列车车次号管理,电务设备运行在线监测等。

(3)联锁闭塞制式先进

联锁采用车站计算机联锁,执行器件优先选用无触点的电子执行模块;闭塞采用计轴器检查区间空闲,利用光缆传输站间闭塞信息,构成自动站间闭塞。

(4)列车监视系统先进

长大区间采用卫星定位技术,组成长大区间列车监视系统,完成区间列车动态跟踪,以利于统一调度指挥、紧急救援和保证运输安全。

2 铁道部领导对青藏铁路运输组织的具体要求

各条铁路的运输组织都是由该段铁路的客货运量、运输环境和运输设施所决定的。从分析以上青藏铁路的基本特点出发,铁道部领导对青藏铁路的运输组织提出了"三项具体要求",这是我们探讨青藏铁路经营方案和管理模式的基本纲要。

2.1 把客车通过高原的运行时间压缩到最短

按部领导的要求,就是在冻土区铁路行车速度要达到100km/h,在非冻土区铁路行车速度要达到120km/h,使旅客列车以最短的时间通过高原缺氧地区。

2.2 把日常运输设施的维修压缩到最少

按部领导的要求,就是要采用国际"先进、成熟、经济、适用、可靠"的技术装备,做到高可靠、少维修,甚至实现"免维修"。

2.3 把沿线运营管理的人员压缩到最低

按部领导的要求,就是在全线建立调度集中系统后,在没有客货运输作业的车站要实行无人值守,沿线要基本实现无人化管理。

3 对青藏铁路经营方案和管理模式的粗浅探讨

根据青藏铁路运输环境和运输设施的基本特点,根据铁道部领导对青藏铁路运输组织的具体要求,青藏铁路的经营方案和管理模式拟采用网运分管、综合维修、安全监控、多元发展的形式。

3.1 网运分管

由于青藏铁路地处特殊的高原地区,又运量较小,投资很大,建成后运营成本较高,根据初步的经济评估结果表明,青藏铁路尽管国民经济效益好,但铁路企业自身的财务状况差,运营期间将长期处于亏损状态,投资无法收回,是典型的国家公益性、国防性铁路。为了充分调动青藏铁路公司自身的积极性,最大限度地减少企业亏损,使国家的补贴公开透明,笔者建议在青藏铁路内部实行网运分管的形式,即在青藏铁路公司内部实行特殊的两级管理办法,撤销所有的段,在总公司下设路网分公司、运输分公司和多元经济分公司,使路网和运输分开管理。

其主要思路为:

(1)路网分公司

负责工务、电务、水电、房建、机车、车辆路产和设备维修改造。路网分公司下设格尔木、五道梁、沱沱河、安多、那曲、当雄、拉萨、格尔木地区、拉萨地区9个综合管理维修中心,负责各自管辖范围内的工务、电务、水电、房建、机车、车辆的维修、大修及检测工作。路网分公司独立核算,除按规定收取运输分公司的服务费用外,每年需由国家提供一定的财政补贴,以维持铁路运输设施的正常使用。

(2)运输分公司

负责日常的行车调度指挥、机车车辆运用、客货运输计划、客货运输组织和中心站的管理。运输分公司下设格尔木、五道梁、沱沱河、安多、那曲、当雄、拉萨7个中心站,格尔木、拉萨2个直属站,调度指挥、机辆调配运用、信息管理和旅客列车管理4个中心。中心站和直属站负责该地区各中间站和该直属站的客货运输及运转业务;调度指挥中心负责全线的列车运行图编制、调度指挥和客货运输计划;机辆调配运用中心,负责机车车辆的调配和运用管理;信息管理中心负责日常运输生产中的信息化管理;旅客列车管理中心负责旅客列车输送任务和公安、治安管理工作。运输分公司可申请国家给予特殊的运价政策,以维持自身的正常运营,并争取更好的经济效益。

(3)多元经济分公司

负责利用铁路带来的效应发展多元经济和公司内部的后勤保障服务等工作。多元经济分公司可申请地方政府给予长期的免税政策,以维持自身的发展。

3.2 综合维修

按照部领导把客车通过高原的运行时间压缩到最短的要求,就必须在高原上减少布点、减少人员的劳动强度,实行综合管理;按照部领导把日常运输设施维修压缩到最少和把沿线运输管理人员压缩到最低的要求,就必须采用高可靠、少维修、技术成熟的先进设备和减少管理层次,解脱原有管理模式的束缚,实行综合维修。其主要思路为:

(1)精简机构

青藏铁路的所有运输设施由路网分公司统一管理,路网分公司下设综合管理维修中心,中心可根据其管理范围和管理设施的多少设置工务、电务、水电、房建、机车、车辆等若干工队、班组或综合维修组,对管辖内的各种运输设施进行综合维修、大修及日常检测工作。养护维修可采用线路综合检测车、大型机械养路,辅以小型机械养护。对高可靠、技术成熟的设备可实行无人值守。

(2)压缩人员

班制拟采用“四班两上岗”制,分别在拉萨、格尔木(或西宁)设生活基地,以大轮班形式轮休。

(3)委外培训

可对当地人员和藏族同胞进行技术培训,因当地职工对高海拔较为适应。培训后,综合管理维修中心可只保持一定数量的技术骨干,需要维修时雇用当地经过培训的临时工。

3.3 安全监控

青藏铁路是世界海拔最高的铁路,也是世界上最长的高原铁路,尽管已经有了比较好的施

工建设和比较先进可行的运输设施，但在青藏高原多年冻土地区的运输组织毕竟是全新的领域，为了在这举世瞩目的高原铁路上创出“一流”的运输组织和管理模式来，安全生产极为重要，所以一定要全天候、全方位做好安全监控工作。其主要思路为：

(1)跟踪监控

总公司下设安全监控中心，制定安全监控实施细则和各级安全包保责任制，并通过调度指挥中心利用卫星定位技术、红外线技术等对列车动态随时跟踪监控。

(2)强化救援

安全监控中心在拉萨、格尔木和那曲设特等救援设备和救援列车，由监控中心直接管理和指挥。

(3)全线防备

安全监控中心在各中心站应配置液压起复设备、扶正设备、手动起复机具、车辆移翻机具、液压牵引设备等救援器具，委托路网分公司综合管理维修中心管理和使用，以全方位地满足高原救援作业的要求。

3.4 多元发展

青藏铁路由于地处高原、环境特殊，造成了运营成本高，铁路企业效益差的客观状况，为了创造“一流”的经营水平，就必须跳出既有模式的束缚，利用其特殊的环境，大力发展多元经济，创造出较好的经济效益来。其主要思路为：

(1)大力发展旅游业

西藏有其独具高原特色的自然风光和极富民族特色的人文景观等旅游资源，极大地吸引着国内外游客到雪域高原进行探险、猎奇、登山、科学考察和观光朝拜及宗教活动。铁路运输的方便、快捷、安全、舒适、价廉等特点将会吸引更多的中外游客来藏旅游。因此，总公司应因势利导，开发好旅游业，全程服务，开拓好铁路主业之外的各种旅游业市场。

(2)充分利用土地增值效益

青藏铁路的建成运营，必将使沿线主要车站附近的地价提高，土地增值是铁路建设的间接效益。总公司应积极争取地方政府的优惠政策，充分利用，使这一间接效益转变为铁路多元经济的直接效益。

(3)全力开办好商贸经营

青藏铁路沿线环境恶劣，生活艰苦，为了调动沿线职工的积极性，总公司可利用开行生活供应车，设置生活供应站，开办食堂，浴室、活动室等商贸网点，在满足职工生活需要的同时，开办好商贸经营活动，利用铁路的优势，做大做好，使其成为多元经济的一个支柱产业。

青藏高寒铁路客运组织

魏玉光　杨浩　韩学雷

北京交通大学交通运输学院

摘　要:论文分析了青藏铁路客运需求的特殊性和旅客运输面临的主要问题,探讨了旅客列车换乘的必要性,研究了确定换乘列车的合理接续时间方法,制定了青藏铁路季节差别的列车开行方案。

关键词:青藏铁路　客运组织　换乘

铁道第一勘测设计院及本人参加的北京交通大学课题组分别对格拉段客货运需求进行了预测。预测的结果表明,青藏线客运量将从2007年的65万人,增加到2020年的144.9万人。客流特征主要表现为:旅游者客流占有较高的比例;客流季节波动较大;区内运输的零散性。青藏铁路客运需求、客运设备和自然环境特殊,其客运组织也不应不同于常规铁路,因此,研究青藏铁路的客运组织很有意义。

1　青藏高寒铁路旅客运输面临的主要问题

(1)客运需求量季节波动较大

由于高原客运需求季节波动很大,淡季和旺季输送能力的需求差别较大,因而不同季节应采用不同的客车开行方案。

(2)自然环境恶劣,需要特殊的客车车辆

青藏高寒铁路需要采用特殊的客车车辆,价格比目前一般的空调车辆(如25k型)要高得多。为了减少特殊装备和设施的保有量,就应该考虑采取在高原边缘低海拔城市换乘的运输组织措施。

(3)特殊的政治意义

即使是客运淡季,考虑政治因素,像拉萨—北京,拉萨—上海的列车都应开行。但为了节约运营成本,应采用相应的客车开行方案和经营策略。

(4)旅客购票和旅行服务的特殊要求

青藏高原是以藏民族为主体的多民族居住区,客运服务应该适应高原环境,体现民族特色。

2　青藏高寒旅客列车换乘问题

2.1　旅客列车换乘方案

可供比选的青藏高寒铁路客车开行方案如下:

一是全部采用带供氧、集便和防冻装置的特殊类型车底,在其运行区段内全程开行(简称通跑方案);二是仅在青藏高原高海拔地区采用特殊车底,旅客全部在高原边缘低海拔城市换

乘(全换乘方案);三是全部采用特殊车底,但只有部分列车在运行区段内全程运行,其他列车的旅客考虑在西宁换乘(部分换乘方案)。

从保证旅客安全角度出发,青藏线应采用特殊类型车底,但该类型车底尚未研制成功,有关部门初步估计其价格大约是普通车底的 2 ~ 3 倍,全程采用该类型车底将造成很大的浪费。除少量因政治原因必须保证的车底外,不宜全程开行。可采取旅客全程购票,但在西宁换乘的组织方式,这种换乘不需旅客出站,只是到站台的另一侧换乘接续的旅客列车,只要运输组织上保证合理的换乘时间,旅客应该还是可以接受的。

按青藏线旅客列车开行方案确定的不同列车运行时间见表 1,不同换乘方案需要的车底数见表 2,不同方案需要的车辆数见表 3。

表 1　列车运行时间

到站 / 发站	格尔木	西宁	兰州	成都	北京西	上海
拉萨	11.5h	25.75h	29.51h	53.11h	50.3h	58.33h
格尔木		14.25h	18.05h	41.62h	38.8h	46.85h
西宁	14.25h		3.8h	26.71h	25.25h	33.33h

表 2　需要开行的车底数

	拉萨—兰州	拉萨—成都	拉萨—北京	西拉萨—上海	合计	车底编组辆数说明
全换乘方案	1/3	3/3	3/3	4/3	11/12	20 辆/16 辆
部分换乘方案	0/3	3/3	3/3	4/3	10/12	20 辆/16 辆
通跑方案	0/3	0/5	0/5	0/6	0/19	20 辆/20 辆

分子和分母分别为:普通车底数/专用车底数;普通车底编组辆数/专用车底编组辆数。

部分换乘方案:拉萨—兰州不换乘,其他去向都在西宁换乘。

因此,建议采用部分换乘方案。换乘方案中应考虑换乘列车到发时刻要合适,车票铺号、座号应全程统一(或者在同一张票上注明要换乘列车的铺号、座号),换乘的列车在同一站台,换乘时间要合适等因素。

表 3　不同方案需要的车辆数　　(单位:辆)

	换乘方案	部分换乘方案	通跑方案
普通车辆数	286	260	
专用车辆数	249	249	494
总计	535	509	494
换算成普通车辆数	784	758	988

一辆专用客车相当于两辆普通客车;车辆备用系数取 1.3。

2.2　列车换乘接续时间的确定

旅客换乘工作的难点在于列车接续时间的合理确定。季节差别的客车开行方案和季节差

别的客车晚点给换乘组织带来了一些困难。

一般在编制高寒铁路列车运行图时，为保证换乘列车能够正常接续，都要安排一个合适的接续时间，这个时间一般有如下两个因素构成：

$$t_{接} = t_j + t_w \tag{1}$$

式中，$t_{接}$——换乘列车接续时间；t_j——客车在换乘站技术作业时间；t_w——考虑客车晚点而在换乘站增加的接续时间。

高寒铁路季节性的自然灾害，严重地干扰了列车运行秩序，加上大站距列车运行调整的困难，旅客列车晚点是不可避免的。列车实际运行时间与图定时间有一定的偏差，这种偏离具有随机性的。因此可以用一个随机变量来描述列车的实际运行时间。通过对高寒铁路不同季节的列车实际运行时间的调查，掌握其变化率，运用数理统计理论，就可以对旅客列车到达晚点时间进行估计与可靠性分析，可以确定接续列车一定始发正点率的情况下的换乘接续时间。

(1)β分布函数

β分布是一个含有两个参数的概率分布，当改变其参数时，可以得到多种分布形式，如钟形、对称或不对称曲线等，β分布具有丰富的分布图形，对一般随机变量有较强的描述能力，β分布的一般概率密度为：

$$p_\beta(x) = \begin{cases} \dfrac{x^{p-1}(1-x)^{q-1}}{\beta(p,q)} & 0 < x < 1 \\ 0 & x \leqslant 0 \quad 或\ x \geqslant 1 \end{cases} \tag{2}$$

$$\beta(p,q) = \frac{\Gamma(p)\Gamma(q)}{\Gamma(p+q)}$$

式中，p、q——β函数的参数；x——随机变量；$\Gamma(p+q)$、$\Gamma(p)$、$\Gamma(q)$——伽玛函数。其中：

$\Gamma(p) = \int_0^\infty e^{-x}x^{p-1}\mathrm{d}x, \Gamma(q) = \int_0^\infty e^{-x}x^{q-1}\mathrm{d}x$

$\Gamma(p+q) = \int_0^\infty e^{-x}x^{p+q-1}\mathrm{d}x$

p、q取不同的值，$p_\beta(x)$的分布图形特征不同。当$p \neq q$且二者都大于1时，分布图形呈非对称偏态单峰状，$p > q$为右偏，$p < q$为左偏，$p = q$为对称分布，β分布的这种特征能较好地描述列车实际运行时间的波动变化状态。当$p = q$时也可以用两边截取的正态分布来描述。

β分布的数学特征是：

$$\bar{x} = \frac{p}{p+q}$$

$$\sigma^2 = \frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)}$$

式中，$\bar{x}$——X的数学期望；σ^2——X的方差。

由上式可得到：

$$p = \frac{(1-x)x^2}{\sigma^2} - x$$

$$q = \frac{(1-x)x^2}{\sigma^2 x} - \frac{(1-x)x^2}{\sigma^2} + x - 1$$

(2)旅客列车全程旅行时间的分布函数

用随机变量t表示旅客列车全程实际旅行时间，t的取值范围为$[t_a, t_b]$，令$x = \dfrac{t - t_a}{t_a - t_b}$，$0 < t_a < t < t_b$，则有$0 < x < 1$，且$x$也是一个随机变量。假设$t$服从$\beta$分布，则$x$也服从$\beta$分布，且

$$p_\beta(x) = \frac{x^{p-1}(1-x)^{q-1}}{\beta(p,q)} \tag{3}$$

按以下方法可掌握 t 的分布规律。

①根据不同季节的高寒铁路旅客列车的实际开行情况，分别随机抽取样本$(t_1,t_2,\cdots,t_n)$。根据 x^2 检验法要求，n 应充分大，一般要求 $n \geqslant 50$。

②根据 $x = \frac{t-t_a}{t_a-t_b}$，取 $a = \min(t_1,t_2,\cdots,t_n) - 0.01$，取 $b = \max(t_1,t_2,\cdots,t_n) + 0.01$，求得随机变量 x 的一个样本空间$(x_1,x_2,\cdots,x_n)$；

③求得 x 的样本均值与方差$(\bar{x}\sigma^2)$，并求得参数 p、q；

④假定 x 的概率密度是 β 分布，用 x^2 检验法检验假设，若假设为真，则得到 x 的概率分布函数，由 $x = \frac{t-t_a}{t_a-t_b}$，则得到 t 的分布函数。

(3)旅客列车全程时间的评估

旅客列车全程旅行时间的评估包含两个方面，本质是一样的：给定一个预期时间值，分析其可实现的概率；根据一定的可靠性，求出旅客列车全程旅行时间的预计值。

根据所得到的 β 分布函数和预期的旅客列车全程旅行时间，按 $x = \frac{t-t_a}{t_a-t_b}$，求得 x 值；由 $p_\beta(x) = \int_0^\infty p_\beta(x)\mathrm{d}x$，则可求得预期值的可实现概率。反过来，根据给定的旅客列车的到达正点率为 z，设 $p_\beta(x) = z$，由 $p_\beta(x) = \int_0^\infty p_\beta(x)\mathrm{d}x$ 反求出 x^*，由 x^* 求出 t^*，则：

$$t_w = t^* - t_d \tag{4}$$

式中，t_d 为旅客列车图定运行时间。

(4)接续时间的确定

由 $t_w = t^* - t_d$ 求出换乘列车图定接续时间。必须指出的是：不同季节，线路的自然灾害不同，施工季节不同，t 的分布图形有较大的差异。因此，高寒铁路必须制定季节差别的旅客列车换乘接续时间。

3 季节差别的客车开行方案

季节差别最主要的问题在于运量的波动，特别是客运量的波动很大，不能沿用常规铁路的组织方法。

由于青藏铁路客运量季节差异相当显著，全年波动较大：5～10 月是旺季，且旺季之中 7～9 月是客运旅游的高峰月份，而 11 月至次年 4 月是淡季，其中 1～2 月又是淡季中民工输送的高峰月份。显然，近期全年均采用旺季开行 5 对旅客列车的组织方法是不合理的。本论文设想了按全年旺季和淡季制定基本方案，而在旺季及淡季中再根据高峰月和低谷月进行适当调整(如加开临客)的原则思路。

为全面、准确的确定客车开行方案，旺季和淡季分别考虑，在旺季计算高峰月份和把旺季作为一个整体两方面考虑问题；在淡季，计算高峰月份和把淡季作为一个整体两方面考虑问题。在研究过程中淡季和旺季的开行方案分开考虑，并以生成的淡、旺季方案为基础，考虑淡季高峰和旺季高峰需要加开列车的情况。

列车开行方案计算的主要依据：

初步确定旺季开行6个去向：拉萨—北京西、拉萨—上海、拉萨—成都、拉萨—广州、拉萨—西宁、拉萨—兰州，高峰月加开拉萨—西宁的旅游列车一对。

其中拉萨—北京西、拉萨—上海、拉萨—成都、拉萨—广州、拉萨—兰州列车编组为：Yw7、Yz3、Rw2、Ca1、xl1、kd1、Uz1 计16辆。

拉萨—西宁的列车编组为Yw7、Yz5、Rw1、Ca1、Xl1、Kd1 计16辆。

拉萨—格尔木的混合列车承担沿线通勤职工的接送，不宜承担旅客的输送作业，不计入旅客开行方案的计算过程。

青藏铁路格拉段客流量月度波动很大，淡、旺季平均上座率应分别为60%和80%以上。考虑到青藏铁路格拉段沿线运输组织工作难度大、运营成本高的特殊性，应适当提高格拉段客车的旺季上座率和降低淡季上座率。

按照以上思路，根据运量预测资料初步确定了近、远期季节差别的客车开行方案，见表4。

表4　2010年格拉段客运列车开行方案

		旺季（5～10月）			淡季（11～4月）			
		其他月	高峰月（8月）		平均情况		高峰月（1、2月）	
日发送人数		3208	4099		1165		2093	
方案	方案	4+1+0=5	方案	4+1+1=5	方案	1+1+0=2	方案	1+1+1=3
	满员率	81.2%	满员率	84.2%	满员率	68.2%	满员率	79.7%

说明：表格中列车开行方案用加式表示的第一个数字为正常开行的编组为（Yw7、Yz3、Rw2、Ca1、xl1、kd1、Uz1）的列车对数；第二个数字为正常开行编组为（Yw7、Yz5、Rw1、Ca1、Xl1、Kd1）的列车对数；第三个数字是需要临时加开的编组为（Yw7、Yz5、Rw1、Ca1、Xl1、Kd1）的列车对数。

上述初步研究表明：

2010年，旺季开行5对，高峰月加开旅游列车1对；淡季开行2对，高峰月加开1对，可以满足需求。

淡季停开列车时的客流组织问题需要认真研究，可以采用隔日开行，或者几个去向的客流合并开行，到西宁后，再组织与西宁始发的同向列车接续。

而列车运行图涉及客货列车运行方案，以及运输和设备维修养护的统筹安排问题。因要考虑旅客换乘，青藏线运行图必须与西宁站旅客列车运行图综合考虑，协调配合。旅客列车时间安排应以旅客需要为第一位要素，开行时间上尽量要做到夕发朝至、一日到达或朝发夕归，但青藏线条件特殊，出现矛盾和冲突时应考虑以青藏线为主进行安排。高原夜间气候恶劣，旅客列车尽量选择白天通过高海拔地区。淡季减少旅客列车开行对数后，合并直通列车开行时间要尽量保持与西宁站开往内地的旅客列车之间的衔接关系。

青藏铁路特殊运价政策研究

韩宝明　颜颖　魏玉光

北京交通大学交通运输学院

摘　要:青藏铁路格拉段的修建对于西藏社会与经济具有巨大的战略意义,分析预测了格拉段的客货运量与运营成本,提出了加强管理和扩大营销等提高效益的手段。对实行特殊客货运价进行了可行性分析,从而提出了具体的实施方案,并讨论了西格段的运价形式。通过盈亏分析确定合理的特殊客货运价幅度,对青藏铁路运营初期的优惠和补贴政策给出了建议。

关键词:运营成本　运价　优惠政策　补贴

举世瞩目的青藏铁路是进入新世纪党中央、国务院做出的重大战略决策,是实施西部大开发战略的标志性工程,更是青藏两省区各族人民的夙愿。青藏铁路格拉段计划于2007年正式开始运营,届时将成为全国铁路网的重要组成部分。据青藏二期设计文件对铁路财务和国民经济评价结果显示,项目的财务内部收益率为-12.97%,经济内部收益率为11.54%,说明财务盈利能力较弱,但国民经济和社会效益显著。为充分发挥公益性铁路项目对区域经济的促进作用,通过确定合理的运价实施方案,提出努力压缩成本、积极争取国家优惠政策的方法,是保持青藏铁路良好运营的重要手段。

1　青藏铁路概述

随着国家经济建设战略重点逐步西移,对西部的大开发,西藏自治区的资源和经济开发急需交通基础设施的改变。青藏铁路格拉段的修建,可加强西藏与内地的经济联系,对加速我国的西部建设、缩小东西差距具有重要的经济意义。青藏铁路将极大地改善西藏的交通落后面貌,改善进藏的交通条件和投资环境,从而加速地方经济的发展步伐,促进沿线工农业基本建设项目的建设和发展,为西藏人民的脱贫和现代化建设奠定物质基础,并为西藏经济的稳定发展提供最可靠的安全保障。

青藏铁路运营初期,青藏铁路的客流主要由旅游者客流、商务客流、新老兵客流和铁路通勤职工客流构成,其具有旅游者客流占有较高比例、客流具有明显的时间分布特征和客流量规模小,但将高速增长的特点;入藏货物以工业产成品、生活物资为主,出藏物资则以矿石和地方的农产品为主,具有下行货运量大于上行货运量、存在季节性波动、进藏物资结构变化不大,出藏物资中矿产品比重将不断增加和货物集中在主要几个车站到发四个特点。

2　青藏铁路格拉段运营成本分析

2.1　格拉段运营成本的特殊性

先期开通运营的青藏铁路西格段由于特殊的自然条件其运营成本是全路平均水平的2倍以上,通过同类地区、同类项目和同属成本形态对比的方法分析格拉段的成本特点:其运营成本的特殊性反映在如下四个方面:

(1)基础设施的维修与养护：冻土地段是影响青藏铁路安全畅通运营的最重要影响因素。随着运营年限的积累，冻土地区线路的病害问题逐渐显现出来，届时综合整治成本可能上升；格拉段采用了 GSM-R 综合无线通信系统、CTC 调度集中控制等较为先进的通信信号设备，日常维护的工作量较小，但维护费用将高于普通铁路。

(2)机车车辆的运用与检修：目前对于机车在高原运用过程中迅速排除故障的技术尚不成熟，运营初期，相关的维护检修费用较高；高海拔地区采用内燃机车牵引存在功率折减的问题，完成单位客货运周转量所需油耗大，燃料成本高；格拉段采用带供氧、集便和防冻装置的特殊客车车底，购置和维修成本高于普通车底；由于各季节拟采用不同的列车开行方案，部分列车在淡季将停开，车底资源闲置，造成了客车运用成本的增大。

(3)劳动工资标准与职工健康保障：格拉段沿线生产与生活条件艰苦，人员在高海拔地区体能下降，易产生多种高原病症。为保证职工身心健康，减轻劳动强度，应制定特殊的定员与劳动工资标准，职工享受的工资待遇、假期和社会保险等均与普通铁路岗位有所不同；需要建立起完善的疾病预防和医疗网络体系，后勤保障投入高。

(4)运输组织与调度：格拉段沿线自然条件恶劣，站间区间长，由于天气原因造成的缓行或中断运输情况可能不定期出现，一旦出现应急情况采取救援抢险工作的耗费大，给正常运输带来的损失也将是巨大的；格拉段通车后每日的货物列车数量较少，易出现“大点车”和“大点站”现象，货车运用效率低，增大了运用车的保有量，车辆使用费高。

2.2 压缩成本、提高效益的途径

(1)精简人员编制，提高管理水平：建成后的青藏铁路格拉段设备将达到免维修、无人值守的目标，这将极大地提高运营的可靠性。由于格拉段人员的工资福利标准远远高于普通铁路，因此大量压缩定员，对压缩运营成本中劳动工资部分效果十分明显。

(2)扩大营销，提高效益：青藏高原具有丰富的旅游资源，旺季时将会产生大量的客运需求。除了开行图定客车外，还可以根据客流的情况加开面向较高层次客流的旅游列车，提高运价率增加收入；货运方面，加强出藏货源的营销工作，利用回空车尽量组织货流。西藏蕴藏着丰富的自然资源，需求的潜力是巨大的。

3 青藏铁路特殊运价方案

铁路的运价形式可分为全路统一运价、特殊运价和特殊加价，其中特殊加价又包括新路新价、分流运价、铁路建设基金、电气化附加费和地方铁路附加费等。青藏铁路运营成本高，适当提高运价来增加运营收入是提高效益的重要途径。

3.1 实行特殊运价的可行性

铁路旅客运输具有速度快、运量大、成本低等特点，尤其在青藏高原交通条件十分恶劣的情况下，铁路的优势得到了充分的体现。目前进出西藏的民航运价为 0.97 元/人公里，公路运价为 0.18 元/人公里，而铁路的平均客运运价率为 0.16 元/人公里，竞争优势非常明显，但由于铁路的公益性和地区经济不发达的现状必须提倡较低的运价水平。目前公路和航空运输的价格均较高，因此适当在现有水平上提高铁路运价，从旅客和地区经济承受能力上来说也是完全可以接受的。

目前进出西藏的物资运输主要通过公路和管道完成，公路货运的实际市场价格为 0.37

元/吨公里,管道为0.39元/吨公里。青藏铁路通车后,货物通过铁路运输进出西藏,将大大提高货物的运送速度,货运能力将有大幅度的提高,且运输安全得到可靠保障,0.08元/吨公里的全路统一货运运价平均水平体现出铁路运输巨大的优势。另一方面,铁路运价水平之所以保持低水平很大程度上是由铁路的公益性决定的。铁路担负了很多关系到国计民生的重点物资的运输,如煤炭、矿石、粮食等。较低的运价带来的是较低的物价,因此,铁路的低运价水平对保持全国物价水平起到了重要的作用。交通的不畅导致了西藏物价远远高于内地的局面,铁路通车后,低廉的运价将极大程度降低西藏的物价,缩短与西宁、格尔木物价的差距。考虑到铁路运价只有公路运价的不到1/4,实行特殊的货运运价尚有一定的空间。

3.2 特殊客货运价方案

(1)按照需求的季节性波动实行浮动运价:根据对客流的预测,青藏铁路的旅客运输受气候影响将呈现出很强的季节性变化,主要可分为旅游旺季、春运和淡季,不同季节的供需将表现出极大的差异。仿照目前全路部分实行折扣票价的旅客列车的票价方案,将夏季旅游旺季或春运的票价作为基准运价,淡季实行不同幅度的下调。由于符合现行的客票浮动政策,票价结构分明简单,可操作性强,而只采用下浮的形式旅客的可接受性更大。

(2)旅游列车实施特殊票价标准:青藏铁路格拉段的旅游列车无论从速度、硬件设施还是服务水平上都优于普通旅客列车,这部分客流将以民航的转移客流为主,承受能力较高,因此,旅游列车因单独定价,根据旅游旺季的票价水平再赋予其一定的上浮空间。

(3)根据货流方向实施不同运价方案:由于进藏和出藏货流不平衡,格拉段上行方向将产生一定数量的空车。根据原国家计委、铁道部于1998年3月发布的《关于调整铁路货运价格规范铁路收费秩序的通知》中对货运回空方向运输或与高速公路平行形成竞争路段的客货运输,允许铁路根据市场情况的变化实行下浮运价的规定,可以考虑采用回空方向下调运价以吸引更多货流,加大对空车的利用率。

(4)出藏物资实行协议运价:若货物运价较高,作为承担主体的西藏财政将承受很大的负担。为不影响中央对西藏的经济政策,1989年哈格段实行特殊运价后,曾采取向西藏自治区政府返还加收运费差价的措施。若实行较高的特殊运价,由西藏自治区财政承担部分的货物运输可实行单独定价,既减轻了自治区财政的负担,促进了地方经济发展,又明确了运输对象,避免了先加收运费再返还的繁琐过程。

通过对格拉段运营成本的测算,以折旧费用为主的固定成本在其中占的比例相当大,利用全部成本与运输收入进行盈亏分析得出的平衡点运价非常高,实际可操作性较差,因此引入边际贡献的概念,采用变动成本进行盈亏平衡分析。分析建议实行特殊客运运价时,标值可定为0.20元/人公里左右;实行特殊货运运价时,标值范围定为0.12~0.16元/吨公里。

3.3 西格段运价调整

目前,西格段实行全路统一的运价政策对稳定西格段的货源数量,促进青海省的资源开发和工业发展起到了重要作用。西格段的货源主要位于青海省内的格尔木、察尔汗等地的盐场和工业企业,西格段运价的高低对于青海省的工业产品出口竞争力有着重要影响。从不增加地方企业负担的角度出发,西格段应维持现行的全路统一运价水平。而格拉段主要的服务对象是西藏自治区,从对西藏经济与社会现状特别是价格水平可以看出,青海省与西藏自治区有着较大不同,服务对象的差异性决定了西格段和格拉段定价考虑因素的差异性。因此,推荐西

格段沿用目前全路统一的运价方案，实行西格段和格拉段分段计费的运价政策，即西格段实行全路统一运价，格拉段实行特殊运价。

4 青藏铁路运营优惠政策

根据2001年西藏自治区财政状况，其财政收入仅为支出的6.93%，财政收支差额高达71.2亿元，国家的财政补贴对西藏社会的稳定和发展起到了极其重要的作用。青藏铁路通车后，进出西藏物资的运费大幅度下降使西藏的物价大幅下降，流通成本大幅节省。据测算，每年青藏铁路给西藏自治区创造的国民经济效益将达到13亿元。而青藏铁路格拉段的运营成本和运输收入相差甚大，虽然实行特殊运价可以增加收入，但其幅度有限，盈亏缺口依然较大。为了维持公司正常的运营，仅仅依靠铁路的内部经营达到盈亏平衡是非常困难的，必须给予一定数额的补贴。

4.1 运营期优惠政策

对于公益性事业，为了减少亏损，政府部门一般都会给予相应的优惠政策。铁路运输企业应向国家和地方缴纳税金及附加，包括营业税、城市维护建设税和教育附加费等。免除营业税后可减少对铁路的财政补贴数额，建议国家免征营业税及附加费用。

青藏铁路沿线条件恶劣，劳动人员生产生活环境较差，其后勤保障工作量将高于普通铁路。铁路专门设置医疗、公安等部门，则会进一步加重青藏铁路公司的负担，对运输主业工作产生不利的影响，若西藏自治区政府的相关职能部门能够协助完成后勤保障工作，则对于铁路的减亏有着明显的作用。因此自治区建议政府出台政策，在医疗、公安、房建等部门专门抽调力量，协助维持铁路运输工作的顺利进行。

4.2 国家财政补贴

根据对青藏铁路格拉段产生的经济和社会效益分析，铁路建成后虽然自身的运营将出现亏损，但对西藏的快速发展将起到非常重要的作用，公益性质非常突出。根据国家对一般性公益事业的政策，可采用国家直接补贴的方式。青藏铁路的开通减少了每年国家对西藏的财政补贴，所以对于青藏铁路的补贴，可以看成是国家对西藏自治区政府财政补贴的转移。由于国家对铁路的补贴额度小于因国家对西藏自治区财政补贴的节省额度，经济效益明显，故具有可行性。

4.3 铁道部内部补贴

根据铁道部目前对全路成本较高区段铁路的财政补贴方式，将原实行区段特殊运价的方案转变成在全路货运周转量均摊成本，即将青藏铁路格拉段的特殊运价根据周转量在全路进行均摊，在清算过程中将均摊的收入返还青藏铁路公司。将特殊运价的承担者扩展到全路的货物运输上，在格拉段提供一个比较低的运价水平，使西藏自治区政府和青藏铁路公司都可以从中受益。青藏铁路若实行均摊，由于其运量较小，故特殊运价经全路均摊后引起的运价上涨幅度很小。按照2003年全路周转量16475.58亿吨公里和预测格拉段货物周转量289706万吨公里，实行全路均摊后的运价上涨幅度为0.05分。

铁路的这种做法是在传统计划经济体制下产生的，随着铁路市场化改革的深化这种方式的弊端逐渐显露出来。但在目前铁路运价和清算体系改革方案还没有完全确定的情况下，实行全路均摊的运价不失为符合铁路实际情况的过渡性方案。

青藏铁路大风天气运输组织方法

魏玉光　杨浩　韩学雷

北京交通大学交通运输学院

摘　要：国内外对大风地区铁路运输组织研究的比较充分，但是不同海拔地区空气密度是不一样的，因此，高原大风天气的运输组织也是不同于低海拔地区的。本文利用车辆动力学原理研究了高寒铁路不同海拔地区和冻土地区的临界翻车风速，并制定了青藏铁路大风天气的运输组织办法。

关键词：青藏铁路　大风　运输组织

大风给铁路运输安全、生命财产造成严重的威胁和重大的经济损失。我国兰新铁路长期受大风影响，中断行车现象时有发生。由于空气密度随海拔上升而减少，青藏高原大风对铁路运输安全的影响与低海拔地区差异较大。因此，研究青藏高原大风天气的运输组织方法，有重要的理论和实践意义。

1　高原大风

青藏高原大风天气多，8 级以上大风年均 100 ~ 160 天。特别是每年的 2 ~ 4 月份，午后和傍晚多出现大风天气，风速常在 30 ~ 40 m/s。沙石、尘土飞扬，形成沙暴。青藏铁路沿线各主要地点的大风资料见表 1。

表 1　青藏铁路沿线大风资料　　（单位：m/s）

地点	年平均风速	春季风速	夏季风速	秋季风速	冬季风速	年大于 8 级风日数	最大定时风速	最大瞬间风速
格尔木	2.3W	3.1W	2.9W	2.2W,SW	2.2W	9.8	24W	46W
五道梁	4.1W	4.8W	3.5E	3.4W,NE	5.1W	130.1	31W	40W
沱沱河	3.9W	4.8W	3.5NE,E	3.1W	4.3W	178	30W,SW	40W
安多	4.3N,NE	5.8W,SW	3.6NE	3.9N,NE	5.3W	147.1	35W,SW	38W
那曲	4.1SW	4.3W,SW	2.8S,SW	2.6W	3.5W	106	37.0SW	40.0W
当雄	2.4SW	3.0SW	2.3NE	1.9SW	2.4SW	57.1	25W,SW	——
拉萨	2.0E,SE	1.7E	2.4E,SE	1.8E,SE	1.6E,SE	26	16.3N,NE	32.3SW,W

W－西风；SW－西南风；N－北风；NE－东北风；E－东风；SE－东南风。

2 车辆受力分析和临界翻车风速的计算

2.1 车辆受力分析

临界翻车风速是指车辆在风力作用下达到的颠覆临界状态，即车辆一侧的轮轨之间压力减载为零的状态。此时的来流风速就是临界翻车速度，用 V_L 表示。

如图 1 所示，车辆处于单车临界倾覆状态时，在风力 F_f、重力 W、离心力 F_L 和横向振动力 F_H 的共同作用下，可对内侧轮轨支点建立平衡方程，其中重力、离心力和横向振动力对颠覆的作用均以当量超高的形式表示。临界翻车风速 V_L 推导如下：

根据力矩平衡原理：

$$W \cdot \frac{s}{2}\cos\partial + W \cdot \sin\partial \cdot H_G = F_L \cdot H_G + F_H \cdot H_G + M_z \tag{1}$$

$$\because \cos\partial \approx 1 \qquad \sin\partial \approx \frac{h}{s}$$

$$\therefore M_z = W \cdot \frac{s}{2}\cos\partial + W \cdot \sin\partial \cdot H_G - F_L \cdot H_G - F_H \cdot H_G$$

$$M_z = W \cdot \frac{s}{2} + \frac{h}{s}W \cdot H_G - (F_L + F_H) \cdot H_G$$

$$M_z = \frac{H_G W}{s}\left(\frac{s^2}{2H_G} + h\right) - \frac{H_G W}{s}\left(F_L \frac{s}{W} + F_H \frac{s}{W}\right)$$

$$\because F_L \cdot \frac{s}{W} = W \cdot \alpha_1 \cdot \frac{s}{W} = \alpha_1 s = h_L$$

$$F_H \cdot \frac{s}{W} = W \cdot \alpha_H \cdot \frac{s}{W} = \alpha_H \cdot s = h_h$$

$$h_z = \frac{s^2}{2H_G}$$

$$\therefore M_z = \frac{H_G W}{s}(h_z + h - h_L - h_h)$$

又因为 $M_z = C_{MZ} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_F^2 \cdot S_x \cdot L_x$

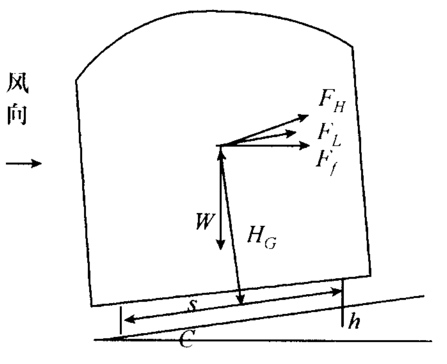


图 1 车辆受力分析

$$\therefore V_L = \sqrt{\frac{W \cdot H_G \cdot h_F}{0.5\rho \cdot C_{MZ} \cdot S_x \cdot L_x \cdot S}} \tag{2}$$

$$h_F = h_z + h - h_H - h_L \tag{3}$$

当图 1 的风向变化 180°时，式(3)中有关项会出现正负号的变化，转变为 $h_F = h_z - h + h_H + h_L$。

式中：W——车辆总重(kN)；H_G——车辆重心高(m)；S——轨距(m)；C_{MZ}——车辆倾覆力矩系数；V_F——风速(m/s)；ρ——空气密度(kg/m^3)；S_x——车辆迎风面积(m^2)；L_x——车体长度(m)；h_F——允许风力当量超高(mm)；h_L——车辆重力倾覆当量超高(mm)；h——曲线实设最大超高(mm)；h_H——车辆横向振动力倾覆当量超高(mm)；h_L——车辆离心力倾覆当量超高(mm)。

2.2 临界翻车风速计算公式中参数的确定

由上面的分析可以看出，临界翻车风速（V_L）是车辆倾覆力矩系数（C_{MZ}）的函数。在车辆状态确定和其他参数给定时，临界翻车风速（V_L）是车辆倾覆力矩系数（C_{MZ}）的一元函数。

车辆倾覆力矩系数一般可由风洞实验和现场试验获得。实验中，应根据列车构造的不同，选取主要的几种车型进行气动特性研究。根据我国铁路现场翻车记录，被大风吹翻的车辆绝大多数是空棚车，可见棚车的倾覆稳定性是最差的。所以棚车是参与比选的车型之一；客车和货车在车体构造上有很大差异，这也要求客车和货车必须分别处理，客车也是比选车型。

借鉴兰新铁路现场实验的结果：车辆倾覆力矩系数与车速之间存在线性关系。其中，棚车的 C_{MZ} 与车速 V（$20\text{km/h} < V < 70\text{km/h}$）之间满足下面的函数关系：

$$C_{MZ} = 1.08 + 0.0046V \tag{4}$$

式（4）表明 C_{MZ} 基本在 1.2 ~ 1.4 间波动，取定以上各参数值，通过叠代方法，计算得到棚车的临界翻车风速为：海拔 3000m 时，临界翻车风速 $V_L = 42\text{m/s}$；海拔 4000m 时，临界翻车风速 $V_L = 45\text{m/s}$。

2.3 危险翻车风速

危险翻车风速又称允许最大侧向风速，以 V_w 表示。由于车辆倾覆系数 D 的危险极限应该小于 0.8，即 $D < 0.8$。所以在计算 V_w 时，以 0.8h 代替式（2）的 h_z，风力当量超高表示为：

$$h_F = 0.8h_z + h - h_H - h_L \tag{5}$$

代入参数计算得到棚车危险翻车风速为：海拔 3000m 时，危险翻车风速 $V_w = 36\text{m/s}$；海拔 4000m 时，危险翻车风速 $V_w = 38.5\text{m/s}$。

2.4 在给定风速条件下车辆限制速度的计算

利用公式（3）、（4）、（5），通过迭代的方法，直到带入（3）式的 C_{MZ}，和求出的限制速度 $V_{限}$ 带入（4）式得出的 C_{MZ} 相近时为止，此时求出的 $V_{限}$ 就是一定风速下的限制速度。如海拔 4000m 时，非冻土病害地区，风速 $V_F = 25.5\text{m/s}$ 时，棚车限速为 55.4km/h。

3 大风天气下运输组织措施

（1）调度部门应及时抄收天气预报，接到大风天气报告时，应采取一系列的防风措施，并传达到有关部门。风害严重的车站应该配备测风仪，出现风害时应通知调度部门和通过车站的机车乘务人员，无人车站应自动将相关信息传输给有关部门和人员。

（2）减速运行是大风季节保证安全的有效措施

大风条件下，只要空气能见度、信号显示、机车功率满足要求，应尽量避免停运，采用减速运行。这样一方面能够保证列车安全，同时也减少因停运造成的经济损失。

车辆风载所造成的倾覆力矩 M_Z 大于车辆自身的稳定力矩将发生车辆倾覆。所以，采取措施降低倾覆力矩 M_Z，是防止大风带来倾覆事故的根本途径。为此，分析 M_Z 的组成，找出降低倾覆力矩的方法是解决问题的关键。

上面的公式说明，对于给定的车辆，在风速确定的情况下，M_Z 是 C_{MZ} 的正比例函数。所以降低 M_Z 的方法在于降低 C_{MZ}；公式（4）说明了 C_{MZ} 与列车行车速度之间的线性关系。所以，降

低 M_Z 的出路在于适当降低行车速度,限速运行。也就是说,避免大风灾害带来车辆倾覆事故的有效措施是限速运行,对于棚车而言,具体限速数值可根据公式(5)计算得到。

与上述研究思路一致,其他车型的限制速度也可通过类似的实验和公式求得。

(3)增加载重可以有效地提高临界翻车速度

我国大风翻车事故统计表明,被大风吹翻的绝大部分是空棚车。通过式(2)分析表明,增加载重 P,相当于增加车辆的总重 W,可以明显提高临界翻车风速(见表2)。

表2 海拔4000m处不同载重条件下的列车临界翻车风速

P(t)	0	10	20	30	40	50	60
V_L(m/s)	45	53	61	67	73	80	85

(4)提高列车编组水平

利用各种车辆抗风稳定性的不同,采用最佳的编组方式,从而提高整个列车的抗风能力。

①从车辆编挂角度。把轻车放在列车前部,把重车放在列车后部。因为位于列车前部的车辆车钩力较大,充分利用车钩力把空重车连在一起,从而提高了临界翻车风速和列车的整体抗风能力。但必须说明的是,这种方法只能降低车辆翻车的概率,因为列车运行过程中车钩力可以降为0。

②从车型角度。我国曾经对棚车、客车、罐车、运载集装箱的平车等不同车型进行风洞实验,以车辆倾覆力矩系数 C_{MZ}的大小衡量车辆稳定性。实验表明,棚车稳定性最差,其次是敞车、平板车、罐车、集装箱车、客车最好。

根据上述分析,货车编组应将稳定性最差的车型编在列车的前部,把稳定性好的车辆编在列车的尾部。

(5)提高司机列车纵向平稳操作水平

纵向平稳操作可以减少纵向冲击力,避免出现"单车"状态,充分利用列车的整体抗风能力,提高临界翻车风速。列车在下坡行驶时,出现车钩力减少,抗风能力下降的现象,此时更需平稳操作。

(6)改善棚车顶部外形

棚车是稳定性最差的一种车型,棚车稳定性差的原因主要是外型所致,棚车的三角形顶面设计不合理,如改成类似客车的圆弧顶面,车辆的稳定性将会大大提高。从长远观点看,改进棚车的车型是必要的。

(7)加强货运检查工作

货检部门要加强对苫盖蓬布的车辆、空棚车、平车装载集装箱车辆的检查,确保车辆安全运行和货物的完整无损。遇大风天气,应该对苫盖蓬布的车辆加盖防风网。

(8)注意车辆防溜和风沙地区的线路检查

由于青藏高寒铁路区间不设轨道电路,车辆防溜工作就显得特别重要。车站停留车辆不仅要安放防溜铁鞋,而且要拧紧手闸;要保证施工部门的机械、小车不溜逸、不侵限;工务部门应搭乘机车或巡道车巡道,重点检查沙害、塌方、落石、线路状态等情况。

(9)不同风速和海拔地区的安全行车大风标准

参考国际上英、日等国大风标准,结合青藏高原的特点,根据危险翻车风速和临界翻车风速,初步提出青藏高寒铁路海拔4000m地区安全行车标准如下(其他海拔地区安全行车标准

可以作适当调整)。

风速达30m/s,注意运行;风速达38.5m/s,减速运行;风速达45m/s,停止运行。

由于冻土地区线路在出现病害时,轨道几何尺寸发生较大变化,列车在大风作用下更容易倾覆,所以其安全行车标准要作季节性调整。根据西格段路基变形资料,可知其纵向变形值$h_d \leq 100mm$,我们取格拉段冻土路基变形超高为50mm,$h_F = h_Z + h - h_H - h_L - h_d$,分别求得海拔4000m地区$V_L = 35.1m/s$,$V_W = 30.2m/s$,根据冻土地区危险翻车风速和临界翻车风速,初步提出青藏高寒铁路海拔4000m冻土地区线路出现病害情况下的安全行车标准如下(其他海拔地区安全行车标准可以作适当调整)。

风速达20m/s,注意运行;风速达25m/s,减速运行;风速达30m/s,停止运行。

参照我国兰新铁路客货车辆在风区的特定运行条件和上面提及的公式;确定青藏高寒铁路客货车辆在风区的特定运行条件(见表3);在冻土病害时期风区的特定运行条件见表4。

表3 青藏高寒铁路客货车辆在风区的特定运行条件一览表

风力(级)	8	9	10	11	12级以上
风速(m/s)	$17.2 < V < 20.7$	$20.8 < V < 24.4$	$24.5 < V < 28.4$	$28.5 < V < 32.6$	$V > 32.6$
严禁进入风区的列车车辆	不限	1. 未苫盖防风网的篷布车辆 2. 使用平板车装运空集装箱的车辆	3. 蜜蜂车 4. 牲畜车	5. 空棚车 6. 苫盖防风网的篷布车 7. 行包专列空车回送、空中混编列车(棚车车体)	8. 客运列车

表4 青藏高寒铁路冻土病害时期客货车辆在风区的特定运行条件一览表

风力(级)	8	9	10	11	12级以上
风速(m/s)	$17.2 < V < 20.7$	$20.8 < V < 24.4$	$24.5 < V < 28.4$	$28.5 < V < 32.6$	$V > 32.6$
严禁进入风区的列车车辆	不限	1. 使用平板车装运空集装箱的车辆 2. 未苫盖防风网的篷布车辆	3. 蜜蜂车 4. 牲畜车 5. 空棚车 6. 苫盖防风网的篷布车 7. 行包专列空车回送、空中混编列车(棚车车体)	8. 客运列车	9. 其他列车

青藏铁路弹性运输能力理论

魏玉光　杨浩　韩学雷

北京交通大学交通运输学院

摘　要：论文研究了青藏铁路各种自然灾害的年度时间分布，提出了青藏铁路弹性运输能力概念，研究了青藏铁路弹性运输能力的季节和年度的变化规律，分析了青藏铁路供需矛盾的特征，为青藏铁路运能配置和运输组织奠定了理论基础。

关键词：青藏铁路　弹性能力　运输需求

铁路通过能力是反映铁路固定设施、设备技术水平的一项重要指标。影响和决定铁路通过能力的因素很多，如铁路线路固定设施设备的技术水平、机车车辆类型、行车组织方式、施工"天窗"的类型及大小、列车运行图的类型等。但是青藏高寒铁路的通过能力受沿线环境条件影响，难以稳定保持设计能力水平，呈显著弹性变化的通过能力，具有与常规铁路显著不同的特点。

1　青藏高寒铁路自然灾害的时间分布

1.1　各种气候的时间分布

青藏铁路沿线各种特殊气候发生的时间分布见图1。

从图1可以看出，青藏铁路沿线的气候存在着明显的季节变化，其中6~8月份是雷暴、和冰雹集中的时间段，10月至次年5月是地面大风和雪灾交接的时间段，只有7~10月份特殊气候的干扰较少。

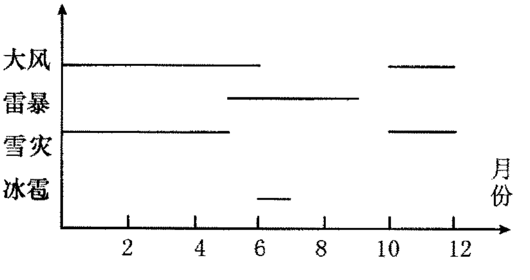


图1　各种特殊气候发生时间段

1.2　冻土路基变形的时间分布

由于季节融化层和多年冻土的存在，随着气温的周期变化，冻土路基的变形具有一些特殊的规律。根据路基变形特点，路基变形可以分为4个阶段，如表1和图2所示。

表1　青藏铁路路基变形的4个阶段

冻融性质	稳定冻结期	不稳定融化期	稳定冻融化期	不稳定冻结期
时　间	10底~3月底	3月底~5月底	6月初~9月下旬	9月下旬~10月中旬
变形性质	相对稳定	融沉变形	融沉变形	冻胀变形

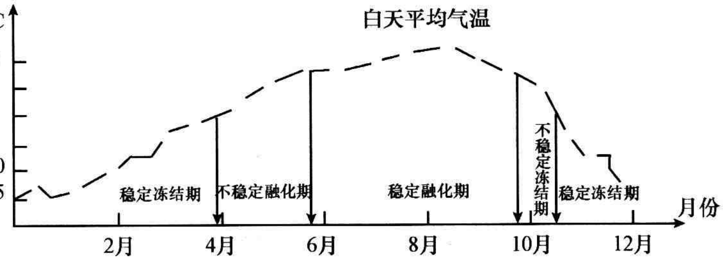


图 2　青藏铁路沱沱河地段年气温变化及冻土融化、冻结期

2　恶劣自然条件下弹性运输能力研究

2.1　弹性运输能力定义

由于地震、泥石流、雪害、大风、冻土地区线路冻胀和融沉,极易造成列车运行中断或者相当时间内列车限速、减重运行,从而降低了铁路的设计运输能力。如图 3 所示。

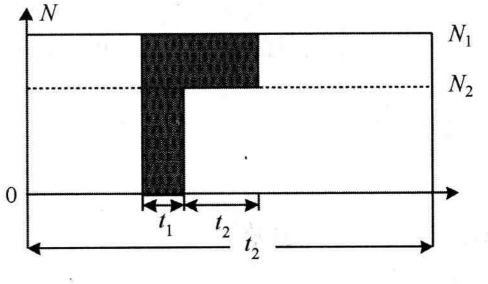


图 3　高寒铁路能力状态图

其中,t_1为灾害造成中断行车时间,称为列车中断期;t_2为对铁路线路、运输设施进行维修,恢复通车后限速、限重的时间,称为列车恢复期;t_3为考核时间段,称为考核期;N_1为正常状况下的通过能力;N_2为降低后的通过能力。由图 3 可见,在整个考核期 t_3期间,线路的通过能力值经历从 $N_1 \to 0 \to N_2 \to N_1$ 波动变化的过程,称为弹性通过能力。

国内外铁路运营经验表明:地震、泥石流、雪崩、特大风容易造成行车临时中断,泥石流和雪崩造成中断时间 t_1较大,最长可以达到十几天;低烈度地震一般不会对线路造成多大破坏,t_2值可能很小;大风天气中断行车一般不会超过几天,大多数情况是造成列车减速运行。

冻土地区线路出现病害后,一般不中断行车,而是通过减速、减重的办法来保证列车安全。但是由于冻土的融沉和冻胀时间长(半年以上),病害持续的时间相应较长,从而造成多年冻土地区线路的某些地段长时间限速运行。因而多年冻土地区的 t_2值是较长的。

2.2　青藏高寒铁路弹性能力分析

青藏高寒铁路弹性通过能力与列车中断时间紧密相关,首先应该对列车运行中断时间进行分析和计算。

(1)计算列车运行中断时间

在图 4 中,阴影所示面积 S_1,表示了列车在 t_1和 t_2时间内行车量损失,其大小为:

$$S_1 = N_1 t_1 + (N_1 - N_2) t_2 \tag{1}$$

设面积 $S_2 = N_1 T_\partial$　(2)

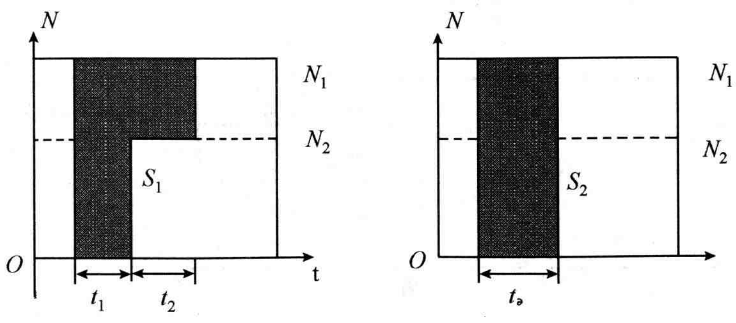


图 4　列车折算运行中断时间

且 S_2 与 S_1 等量，即 $S_1 = S_2$，则有 $N_1t_1 + (N_1 - N_2)t_2 = N_1t_\partial$

由此得出折算列车运行中断时间

$$t_\partial = t_1 + \frac{N_1 - N_2}{N_1}t_2 \tag{3}$$

(2)铁路区段弹性通过能力计算

由上述分析可见，受环境影响，青藏高寒铁路通过能力已经不是一个通常意义的固定值，而具有随季节和各种灾害变化的特征。不同季节里中断行车和减重、减速的次数和持续时间是不同的。随着总的 t_∂ 的变化，其平均的折算的通过能力是不同的。设某一自然灾害频发时间段为 t_3，总的折算列车中断运行时间为 t_∂，折算后的通过能力为 N_∂。则：

$$(t_3 - t_\partial)N_1 = t_3N_\partial$$

$$N_\partial = (1 - \frac{t_\partial}{t_3})N_1 \tag{4}$$

$$k = (1 - \frac{t_\partial}{t_3}) \tag{5}$$

把 k 定义为能力折减系数。由此可见，N_∂ 是一个随灾害频发时间段 t_3 内折算列车运行中断时间 t_∂ 而变化的线性函数。在一年内，灾害频发时间段 t_3 不同，危害程度不同，产生的能力折减也不同，所以线路通过能力呈现某种不确定性的变化，我们将这种有别于常规铁路的通过能力，称为弹性通过能力。弹性通过能力的定量计算值，是考核期内考虑运输中断时间影响产生能力损失后，通过能力的平均期望。

2.3　青藏高原主要灾害条件下的弹性通过能力

(1)土地区铁路运输能力年度变化图

根据图 2 所揭示的冻土季节变化特征，可以绘制出青藏铁路不同时间段冻土地区折算的通过能力(图 5)。冻土地区病害主要是冻胀和融沉，其中融沉又是最严重的病害。病害易发时期主要是不稳定融沉期和不稳定冻结期。在这期间，列车必须通过减重、减速的办法来保证安全，从而使线路的通过能力出现较大折减。折算能力最小的时间段是 4 月初～5 月底以及 9 月底～10 月中旬。

(2)大风和雪害地区铁路通过能力年度变化图

大风和雪害时期，为了保证列车安全，必须采取列车减速或者封锁区间的办法。根据图 1，可以绘制出青藏铁路大风和雪害地区不同时间段在一年内折算的通过能力(图 6)。图 6

中，$N_{\partial 1}$、$N_{\partial 2}$分别是雪害和大风的折算通过能力。

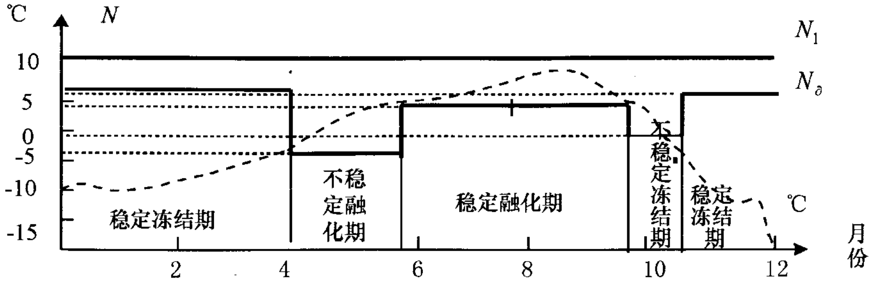


图5　冻土地　不同时段折算能力

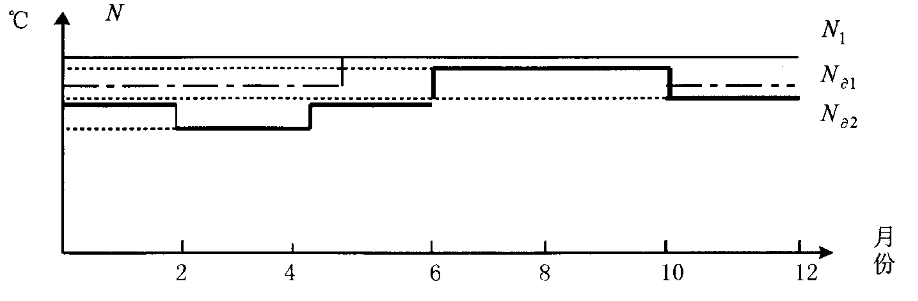


图6　大风和雪害地区不同时段折算能力

(3)青藏铁路的弹性通过能力的特点

综合冻土、大风、雪害因素可获得青藏铁路年度弹性通过能力示意图(图7)。从图7可以发现，青藏铁路通过能力可以用以时间为变量的阶跃函数来描述：

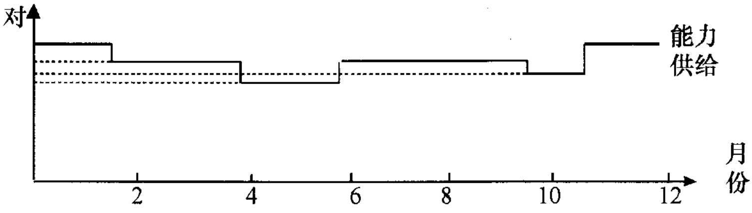


图7　青藏铁路弹性通过能力

$$N_\partial(t) = \begin{cases} n_1 & T_1 \leqslant t < T_2 \\ n_2 & T_2 \leqslant t < T_3 \\ \vdots & \\ n_k & T_{k-1} \leqslant t < T_k \end{cases} \tag{6}$$

其中，t 为年度的某一时间段($1 \leqslant T_1 < T_2 \cdots < T_{k-1} < T_k \leqslant 365$)。

青藏铁路通过能力在一年内随着季度的变化，表现出阶跃函数的特征；而在一定时期内，不同年度的通过能力的季节变化特征又基本相同，表现出周期函数的特征。

不同季节和灾害条件下，全线中通过能力最小的区间即：限制区间可能是不同的，出现明显的限制区间转移的现象。限制区间往往向线路病害或者灾害最严重的区间转移。由于病害和灾害的发生及严重程度具有某种随机性，限制区间的转移也具有不确定性。

2.4 冻土地区弹性通过能力和限制区间转移案例分析

冻土地段线路的冻胀与融沉，是格拉段线路的主要病害。多年冻土地区的线路故障主要表现为暖季融沉和寒季的冻胀，造成路基、桥涵的变形与破坏，对线路平顺性和线路允许速度造成影响；危及列车安全运行，影响线路的通过能力。

由于季节气候变化，冻土地段线路会出现路基融冻变形病害，从而造成线路限速地段多，为减少对冻土变形的影响以及保证行车安全，货物列车需减重及慢行通过限速冻土地段。货物列车降低牵引定数，会造成行车密度增大，加剧线路能力利用紧张状况。相应地段慢行，将延长区间运行图周期，也可能造成区段内限制区间的转移，降低线路通过能力和输送能力。下面以青藏铁路为案例分析其通过能力的变化。

在拟定全线开站34个（含格尔木、南山口）的条件下，通过牵引计算发现，限制区间可能在望昆—不冻泉（该段穿过昆仑山）、或秀水河—江克栋（该段穿过风火山）、或沱沱河—通天河、达琼果—羊八井间（该段穿过羊八岭）。达琼果—羊八井间货流密度比较小，这个区间实际产生制约该区段通过能力的可能性较小，且不在多年冻土区。根据第二章冻土地区工程区划可知，最可能成为限制区间的是其他3个区间：望昆—不冻泉间处于多年冻土退化的北边缘，处于不稳定冻土区；沱沱河—通天河、秀水河—江克栋处于低山丘陵区，工程地质条件差。这些地区线路出现冻土病害的可能性较大，造成列车在该区间限速运行，从而增大运行图周期，这些区间有可能由于冻土病害实行列车慢行而变为实际的限制区间。

由于冻土地段区间一般长达40km左右，列车在整个区间全部限速运行的情况并不多，根据西格段和前苏联贝阿干线的运营经验，可假设列车的区间平均病害率为30%（病害地段占全区间的百分比），病害地段限速45km/h，进行限速对通过能力的影响研究。限速前后能力对比见表2和表3，这一比较研究表明：

表2 冻土病害可能影响区间情况（限速前）

区间	区间距离（km）	下行		上行		行图周期	平图能力
		走行时间（min）	平均速度（km/h）	走行时间（min）	平均速度（km/h）		
望昆—不冻泉	36.37	48.8	44.7	39.5	55.3	100.3	12.8
秀水河—江克栋	35.919	47.8	45.1	41.1	52.4	100.99	12.7
沱沱河—通天河	41.464	43.5	57.2	39.6	62.8	95.1	13.4
不冻泉—楚玛尔河	47.2	35.3	80.2	35.5	79.8	82.8	15.5

表3 冻土病害的区间通过能力影响分析（限速45km/h后）

区间	区间距离（km）	下行运行时间（min）	上行运行时间（min）	运行图周期（min）	通过能力（对）
望昆—不冻泉	36.37	51.1	46.7	108.9	11.8
秀水河—江克栋	35.919	52.6	47.9	112.5	11.4
沱沱河—通天河	41.464	55.3	55.3	122.6	10.5
不冻泉—楚玛尔河	47.2	56.2	56.3	124.5	10.3

(1)全线通过能力下降了。平图能力由限速前的12.5对,下降到限速后的10.1对,能力下降了19%。

(2)限制区间发生了转移。从表3可以看出,限速前可能的限制区间望昆—不冻泉、秀水河—江克栋间由于分别有坡道(风火山、开心岭),原来的区间平均速度就较低,发生冻土病害限速运行对其影响很小。而沱沱河—通天河、不冻泉—楚玛尔河限速前速度较高,限速后运行图周期增加很多。限制区间从原来的秀水河—江克栋间,转移到不冻泉—楚玛尔河间。

如果工程措施不到位,工程地质条件较好、平均坡度较小的长大区间出现病害后,其运行图周期可能有很大增加,如不冻泉—楚玛尔河间。不冻泉—楚玛尔河、通天河—雁石坪、布强格—唐古拉、唐古拉—扎加藏布等区间,原来并不是限制区间,但由于其区间运行速度较高,发生冻土病害限速运行后,区间运行时分显著增加,造成的影响反而较大,极有可能成为病害限速后的限制区间,发生限制区间的转移现象。但需注意的是,这种限制区间的转移变化只是发生冻土病害期间,其影响只是阶段性的。

上述研究表明,一方面必须十分重视冻土病害对运输能力的影响,根据冻土路基变形的规律,提前采取有效防治措施,尽量减少冻土病害的影响范围和影响程度。另一方面,根据病害发生的规律及其对通过能力影响,有预见地确定运输计划,留有余地,保证运输畅通。

3 青藏铁路运能供需矛盾分析

青藏铁路的运量具有明显的季节性特征,这是它特殊的自然环境和人文社会环境决定的。如果按设计规范取值,计算铁路输送能力显然是不合适的。以青藏铁路为例,分析高寒铁路客货运量波动系数,见表4和表5。

表4 青藏铁路预测客运量月度波动状况(下行) (单位:万人)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	2.62	6.75	2.93	3.57	7.68	9.57	11.47	12.73	12.10	7.04	3.25	4.12
2015	3.65	10.82	4.38	4.54	10.93	12.55	14.98	15.79	14.98	10.13	4.46	5.15
2020	6.01	17.11	6.01	7.01	14.03	16.04	17.04	18.04	17.04	14.03	6.01	6.05

2010、2015、2020的区段客运波动系数分别为1.822、1.76、1.56

2010、2015、2020月度运量样本均值分别为6.98、9.33、12.08

2010、2015、2020月度运量样本方差分别为3.76、4.67、5.35

表5 青藏铁路预测货运量月度波动状况(下行) (单位:万吨)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	10.55	10.84	12.31	19.64	23.13	19.05	19.06	21.08	21.13	17.05	11.39	10.52
2015	16.80	17.24	19.44	29.93	32.66	29.54	30.57	31.59	30.66	20.54	19.56	18.75
2020	22.88	23.49	38.50	39.17	42.18	42.01	41.04	41.08	40.18	32.01	26.67	22.82

2010、2015、2020的货运波动系数分别为1.42、1.34、1.28

2010、2015、2020月度运量样本均值分别为16.30、24.44、33.5

2010、2015、2020月度运量样本方差分别为4.82、6.45、7.93

分析青藏铁路上行客货运量的波动情况，可以得到的相近波动系数值。拉萨站客运量波动系数值和格拉段上行客运量波动系数值基本相等，因为格拉段基本是直通客流，管内客流很少，拉萨站发送的客流基本上是格尔木及其以远的。从表4、表5可以看出，青藏铁路客货运量的波动系数大于设计规范中给定的值，因而按设计规范规定的波动系数去配置铁路运输能力是偏小的。

图8给出了青藏铁路由于运量波动造成的能力严重空费状况，能力供需出现矛盾特征，暖季运输需求大，能力供给小；寒季则相反。这种现象必须引起高度重视。

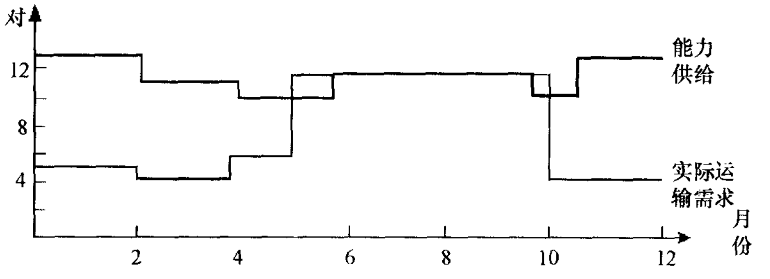


图8 青藏铁路近期能力空费状况

浅谈青藏铁路客货运输情况

刘志宏

南车四方机车车辆股份有限公司技术中心信息管理部

摘　要：青藏铁路是世界上海拔最高、线路最长的高原冻土铁路，线路开通后从根本上改变了西藏交通运输滞后的状况。本文从客货运输组织、经营方案和管理模式等几个方面介绍了青藏铁路开通后的客货运输情况，说明了客货运输业的发展给西藏经济腾飞产生的巨大推动力。

关键词：青藏铁路　客货运输　组织方案　经营方案　管理模式

交通运输是国民经济发展的基础，是社会生产、流通、分配、消费各环节正常运转和协调发展的先决条件，对保障国民经济持续快速健康发展、人民生活改善和促进国防现代化建设具有十分重要的作用。西藏自治区地处祖国西南边陲的青藏高原，面积120多万平方公里，平均海拔4000米以上，交通运输设施的落后，曾一度制约了这一地区经济社会的发展。交通不便，导致了西藏的经济落后，经济落后反过来又制约了交通的发展。科学改变着生活，改变着人类的命运。低成本、大运能、全天候不间断运输的铁路挺进高原，为西藏带来的是现代科学文明之光。可以这样说，青藏铁路的修建，改革开放为封闭的西藏注入了旺盛的新的活力，它的经济发展，它的生产结构，它的旅游事业将产生一次质的飞跃。人流、物流、信息流，随着火车开进西藏，加快流动，有越来越多的藏族同胞从自然形态的游牧生活中摆脱出来。对于生活在高原的250万人民，这将是影响深远的大变革。一个新的现代化的高原必将崛起！

青藏铁路从青海格尔木到西藏拉萨，全长1118公里。途经青海省的望昆，翻越唐古拉山，进入西藏自治区，经安多、那曲、当雄，到达自治区首府拉萨市。铁路建成后，在货运方面，将为西藏交通增加经济、快速、运能大、全天候的运输通道；在客运方面，将适应旅游业快速增长的需要，为广大游客提供更加方便、安全、舒适、廉价的运输方式，大大提高这一地区的客货综合运输能力。

下面分几方面谈谈青藏铁路开通后的客货运输情况。

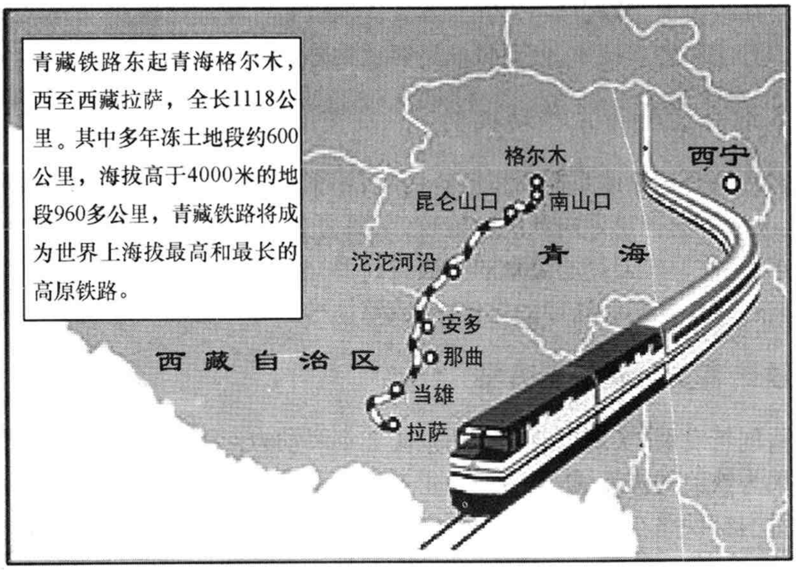
1　青藏铁路客货运输组织方案

1.1　规划组织

青藏铁路运输业的发展越来越受到企业、特别是社会广大民众的关注，人们越来越关心环境。因此，运输系统需要付出的社会成本明显增加，到处可见。当今评价一个运输系统，不仅仅着眼于传统的经济条目，还要考虑可持续发展的各个方面，如运输系统如何影响环境和生态平衡，以及社会整体等。因此青藏铁路运输系统规划机构脱离部门所属，走社会化之路。

1.2　协调好土地占用、地区发展和环境的关系

青藏铁路运输系统的建设受土地、区域发展和环境等的制约越来越严重，必须协调好各种



青藏铁路示意图

关系。在机构调整中,不再将运输部作为独立部门,而与国土管理、地区管理、城市住房或环境管理等部门合并成为综合部门。

1.3 做好单一运输方式管理下运输规划的有效协调

当前,青藏铁路运输业的政府管理仍旧采取单一运输方式管理模式。1998 年以来,国家连续实施扩大内需的政策,各种运输方式都得以迅速发展,成就卓著。单一方式为基础的发展模式,其积极性和创新性会更高,更有效率。

1.4 实施"科教兴交"战略,实现观念、技术、组织和管理的全面创新

当今,世界各国运输业都面临着运输能力不足的共同问题,运输需求势头强劲。而与此同时,运输业的发展又面对日益苛刻的限制和阻力,如土地资源、能源的不足、环境污染和生态破坏对人类生活的威胁、交通事故对人们生命财产安全的损害等等。充分利用高新技术成果,以全新的理念,开发全新的技术和产品,从运输方式、运输工具、运输能源、运输组织等方面寻找新的发展空间,是现代运输业发展的总趋势。各级政府、企业和科学研究机构要认真研究青藏铁路运输需求,确定适合青藏铁路客货运输情况的运输技术和产品的发展方向,推动青藏铁路客货综合运输体系的发展。

1.5 加快客货运输企业信息化进程

运输企业是一体化运输的直接执行者,运输企业的整体技术实力是其竞争力的重要标志。信息化程度低是我国运输企业存在的共同问题。必须采取积极有效措施,加快青藏铁路客货运输企业的信息化建设步伐。企业信息化是一个不断积累、不断提高、不断发展的进程,即计算机和网络硬件、软件的开发建设,也涉及到企业管理的革新、制度的重建和职员知识和技能的提高。作为企业的经理和决策层,在其信息化建设过程中,要重视信息化发展战略,解决如何发展和发展目标问题;做好规划,确保信息化融于企业生产、经营和决策之中;建立科学严密的管理制度,保证信息化处于高效、健康发展之中;不断提高职员整体素质,有效实现资源共

享。各级政府要在政策上予以引导和激励，发展青藏铁路客货的运输业，在企业的发展中学习发达国家的组织方法和管理技术，使青藏铁路客货运输企业信息化达到所需要的水平和标准。

1.6 建立综合运输体系推动机制

青藏铁路客货综合运输体系需要积极地构建，不懈地努力和持续不断地完善。既要有运见卓识的学者、政治家的理论导向和决策施政，又要有众多有责任心的科学家、管理者的不断创新和顽强变革，还需要亿万热心公众的坚决支持和热烈拥护。这样的大事业需要严密的组织、有效的管理、运行的规则和法律的保护，形成整体推进综合运输发展的运行机制。

2 青藏铁路客货运输经营方案

技术是铁路创新发展、实现产业升级的基础和不竭动力。改革开放以来，铁路科技工作所取得的丰硕成果为铁路的提速、扩能、重载、生产建设和安全运输提供了有力保障。青藏铁路客货运输应紧紧围绕铁路在市场营销、运输服务质量、运输安全保障等方面提出的科技进步与创新需求，突出抓好具有战略性、全局性、关键性的技术创新项目，力争在铁路科技发展的重点领域实现新的突破和跨越。

2.1 加快信息技术开发应用，全力推进铁路运输信息化

充分利用现代通信技术、计算机网络技术、控制技术等高新技术成果，建成高度信息化的铁路生产、经营、管理网络，建立科学有效的管理机制，制定相应的管理、维护办法，以科技手段保证行车安全；抓好客运、货运方面保障安全的技术及装备攻关研究，从系统、综合角度出发，注重检查、监测、防范，研究先进可行的技术和装备，为客、货运输的安全提供有力的科学保障手段。

2.2 加强高速技术的自主创新，全面实施提速战略

速度是铁路现代化程度的重要标志。高速铁路是高新技术的集成，通过高速铁路技术的研究开发应用，可以全面带动铁路各专业领域的技术升级，带动铁路运输服务质量和运输组织管理的进步。对于这样重大的科技发展项目，必须在学习借鉴国外先进技术的同时，加强自主创新，形成有中国特点的高速化运输发展模式。加快建立青藏铁路快捷客货运输体系。首先在客货共线运行的繁忙干线上，大力提高产成品及集装箱货物运输速度，为此，要开展青藏铁路快运货车配套技术的研究，争取在动力学性能、制动性能及整车技术指标和技术水平方面跃上一个新台阶；对通用货车提速后关键部件的安全性、可靠性、寿命等基础性工作进行研究。

2.3 建设列车安全监控网络，形成安全技术保障体系

在中国铁路这样复杂的运营条件和高强度的运输负荷下，保障运输安全的任务十分艰巨，必须更加注重采用先进技术装备和现代化管理手段，提高安全管理的技术水平。根据青藏铁路运输繁忙程度的具体情况，开展安全保障体系和示范线的研究，各铁路局积极发挥市场主体的作用，提出研究任务，抓好组织落实。

2.4 抓好工程科研试验，进一步提高铁路建设技术水平

青藏铁路建设任务繁重，铁路科技要针对铁路建设的各种技术问题，坚持不懈的实施科技

攻关。进一步提高在艰险山区修建铁路的技术水平，围绕新建铁路，特别是复杂地质条件的高原铁路，进行科研攻关，组织科研队伍对复杂地质、地形进行深入勘探，提出相应对策；对可能产生的地质灾害进行研究，并建立预报预警系统。依靠科技创新将青藏铁路建设成高起点、高质量和高标准的世界一流高原铁路。

2.5 积极开展青藏铁路病害整治和养护维修技术的研究

(1)确保青藏铁路安全运营的冻土病害整治技术；
(2)确保青藏铁路安全运营的养护维修技术；
(3)确保青藏铁路冻土病害的长期监测预报技术。

2.6 注重软科学和技术基础研究

铁路软科学是以研究铁路改革、发展和管理为主要内容的一门综合学科，加强软科学研究对促进铁路决策科学化具有重要意义。青藏铁路改革和发展任务十分艰巨，组建客货运输公司的工作将进一步深化，管理体制有待探索；客货运输公司经过几年的发展，有待进一步完善；干线和支线体制分离的政策需要研究；拓展青藏铁路建设资金的来源渠道、预测未来铁路运输人力资源结构与需求、深化财务体制改革等问题也都需要通过研究来提出对策。

3 青藏铁路客货运输管理模式

3.1 深化改革，建立比较完善的铁路运输市场体系

“政企分开”是建立铁路运输市场体制的基础。进一步加大客货运输建设体制改革，实现建设体制的市场化。要鼓励运输市场的合理竞争，保持适度的市场竞争规模，合理划分适度竞争与低水平重复建设的界限，通过市场规律淘汰经营效益低下的运输企业。

3.2 积极推进铁路客货运输建设投融资体制改革

实行铁路客货运输建设投融资分类管理，逐步建立完善客货运输项目建设的市场管理机制。实行客货运输建设项目投资主体、项目法人以及项目设计、评估、施工建设全过程的招投标。要建立必要的制度，强化建设项目管理，对项目建设全过程进行监督，确保工程质量。

3.3 深化客货运输价格改革，建立符合运输市场体制的运价形成机制

客货运输价格的改革，要按照以市场形成价格为主与政府指导价格相结合的原则，由政府价格部门发布指导运价和最高限价，具体价格水平由企业根据市场确定。客货运输企业要充分利用市场机制，建立多种价格形式组成的价格结构。在客运价格方面，可以实行多种形式的浮动价、折扣价。

3.4 切实加强客货运输经营管理，提高运输经营效益

(1)努力实现客货运输收入的大幅度增长。各铁路局要在确保重点物资运输的前提下，继续加强市场营销，不断开辟新的经济增长点。进一步发挥第五次大面积提速调图的效应，完善客运产品，增加旅客运量特别是直通旅客运量。

(2)不断提高客货服务质量。客运方面，要实现客票系统升级，对“绿皮车”和部分客运站

的服务设施进行改造，加强直达特快等品牌列车的服务工作，提高客车正点率，深入开展“树标塑形”活动，为旅客提供更好的服务。货运方面，以提供便捷服务为重点，改革货运承运方式，实行统一受理计划、统一安排运力、统一组织装车、统一收取费用、统一提供售后查询服务。加大对客货服务质量的监督力度，强化对客货服务工作的规范与约束。

(3)落实新的财务管理和经营业绩考核办法。今年铁道部对财务管理体制进行了改革，调整了收入清算办法，使铁路局的经营成果显性化；调整了成本管理办法，对铁路局实行成本预算管理。各铁路局、专业客货运输公司要适应新变化、新要求，改进和加强经营管理。

(4)加强成本控制和资金管理。客货运输企业要深入推行全面预算管理，完善企业内控机制，实行资金集中管理，充分挖掘内部资金潜力，提高资金使用效益和效率。加强资金安全管理，防范资金风险。强化资产管理，加大资产损失责任追究力度，确保资产安全。加大审计工作力度，及时发现和纠正违反财经纪律的问题。

3.5 依靠科技进步，推进铁路运输现代化

铁路运输技术进步，既要采用国内外先进实用技术，也要立足更高起点，追踪当代最新技术。推进铁路技术装备现代化，加快铁路信息化建设步伐。要努力提高基础设施和装备的现代化水平，强化铁路信息化基础建设和管理工作，推进管理信息化，提高铁路客货运输企业经营管理现代化水平。

4 结束语

青藏铁路是一条高原铁路，海拔高于4000 米的地段960 多公里，其中多年冻土地段约600公里。作为世界一流的高原铁路，青藏铁路少病害、免维修，无人值守、快速通过，保持全天候通车。全线还使用红外线监控系统，在高原地段做到无人值守。在铁路外观上，由于青藏铁路非常注重环保，在路基两侧移植和培植了上千万平方米草皮，这条线开通后便成为穿越青藏高原的绿色长廊。同样，由于车站的站名、建筑和部分隧道充分尊重藏民族的风俗习惯，铁路与沿线优美的自然与人文环境融为一体，成为了一道亮丽的风景。总之，青藏铁路的修建和客货运输体制的完善，必将进一步改善青藏高原的交通条件和投资环境，促进西藏资源开发和经济的快速发展，对加强内地与西藏的联系，促进藏族与各民族的经济、文化交流，增进民族团结，造福沿线人民发挥着越来越重要的作用。

青藏铁路格尔木至拉萨段运营管理模式建议方案

李顺平

青藏铁跙公司营运部

摘　要:本文从青藏线格拉段特殊的地理环境和自然条件给建成后的运营管理和运输组织工作提出特殊要求的角度,提出运营管理方案建议。

关键词:格拉段　运营　方案　建议

青藏线格拉段特殊的地理环境和自然条件给建成后的运营管理和运输组织工作提出了特殊的要求。根据铁道部机构改革的总体思路,参考其他铁路线运营管理模式,对运营管理方案提出以下建议:

1　运营管理模式

1.1　公司及办事处设置

西宁设青藏铁路公司,拉萨设青藏铁路公司拉萨办事处。青藏铁路公司管辖范围由海石湾(含)至拉萨。青藏线格拉段不设决算站段,沿线各车站、领工区等由西宁或格尔木既有决算站段管理。

1.2 车站设置

格拉段全线34个车站,其中27个无人值守站(甘隆、纳赤台、小南川、玉珠峰、望昆、不冻泉、楚玛尔河、五道梁、秀水河、江克栋、日阿尺曲、沱沱河、通天河、雁石坪、布强格、唐古拉、扎加藏布、托居、措那湖、底吾玛、岗秀、妥如、古露、乌玛塘、达琼果、羊八井、马乡),7个有人值守站(格尔木、南山口、安多、那曲、当雄、拉萨西、拉萨)。

1.3　修制修程

①机车修程为:季度修、半年修、年修、大修。

②工务修程为:线桥设备大修、综合维修、临时补修。

③电务修程为:信号设备的维护:ITCS系统控制的车站信号设备和全线道岔融雪设备,采用故障修和大修的维护方式;计算机联锁车站的信号设备,采用维修和大修相结合的维护方式。信号设备的维修:采取日常养护和集中检修。

④车辆修程为:客车按A1、A2、A3、A4修程(A1、A2、A3修程在西宁);货车按厂修、段修、辅修三级修程(段修及以下在格尔木)。

⑤水电设备修程为:重点检查、综合维修、事故抢修和大修。

⑥房建修程为:补强性大修、状态性维修、紧急性抢修。

2 列车工作方案

2.1 旅客列车开行方案

(1)开行对数

开行拉萨至北京西(特快)、上海/广州(特快隔日)、成都(快速)、西宁(快速)方向的4对旅客列车,按旅游需求适时开行旅游列车1对,合计5对客车。

(2)运行图铺画原则

①采用客车密集到发、追踪运行的铺画方式,保证列车在青藏线格拉段昼间集中运行。

②在铺画过程中采取最有利的会车方式,尽可能减少会让站停时间,压缩旅行时间。

③在确保列车运行安全的前提下,充分考虑旅客早上出行、白天观光和夜间休息的基本要求,安排列车在昼间适宜时刻通过沿线各主要旅游景点。

该客车开行方案中的跨局直通旅客列车(TL1/2[拉萨—北京西]、TL3/4[拉萨—上海/广州]、KL1/2[拉萨—成都]),建议铁道部在组织调整运行图时,与各相临铁路局分界口接点过程中优先安排接口铺画,在详细铺画旅客列车运行线过程中,可对客车方案图中的运行线在30分钟内适当推后开行,保证各次旅客列车在拉萨站6:30~10:30时间范围内集中始发、18:00~23:30时间范围内集中到达,以满足旅客早上出行、白天观光和夜间休息的基本要求。

(3)标尺

经牵引计算确定格尔木—拉萨间运行时分标准为:

追踪列车间隔时间I=10分钟(铁道部第一勘探设计院提供)

标尺1(按线路设计速度冻土区100km/h、600m曲线半径地段80km/h、其他地段120km/h)

车次	旅行时间(时.分)	旅行速度(km/h)	技术速度(km/h)
TL2/1 (拉萨—北京西)	11.52/12.20	95.58/92.02	96.39/94.70
TL4/3 (拉萨—上海/广州)	12.34/12.13	90.26/92.84	94.78/94.39
YL2/1 (拉萨—西宁)	14.13/15.03	79.79/75.38	92.77/90.62
KL2/1 (拉萨—成都)	12.36/13.33	90.04/83.73	93.23/91.35
NL4/3 (拉萨—西宁)	12.35/13.48	90.19/82.21	93.23/91.13

标尺2(按新线开通速度80km/h)

车次	旅行时间(时.分)	旅行速度(km/h)	技术速度(km/h)
TL2/1(拉萨—北京西)	16.00/15.48	70.91/71.81	71.94/72.26
TL4/3(拉萨—上海/广州)	16.14/16.08	69.90/70.34	71.94/71.67
YL2/1(拉萨—西宁)	17.24/17.54	65.20/63.38	70.78/70.47
KL2/1(拉萨—成都)	17.54/17.35	63.38/64.54	69.18/70.47
NL4/3(拉萨—西宁)	16.36/17.38	68.35/64.35	70.78/70.78

若按标尺2铺图,格拉段客车最短旅行时间15小时48分,将无法满足西宁到拉萨间24小时的运行时间要求。

(4)客车配属:旅游列车、拉萨至西宁的车体配属青藏铁路公司。拉萨—北京西、上海/广州、成都的车体配属由部定。

(5)存在问题:拉萨—成都按运行里程和时分计算,需5组车体,较部初步确定的4组车体多一组车体,建议增加1组车体。

2.2 货物列车开行方案

根据运量预测,格拉段下行为重车方向,近期进藏年运量为210万吨,日均为5754吨,需开行3对货物列车(格尔木—拉萨西区段2对、摘挂1对),货物列车牵引定数3000吨,计长55.0。另格尔木—沱沱河、沱沱河—那曲、那曲—拉萨间,每天开行0.5对机械化巡检车。

经牵引计算确定格尔木—拉萨西间运行时分标准为:

标尺1(按线路设计速度冻土区100km/h、600m曲线半径80 km/h、其他地段120km/h)

车次	旅行时间(时.分)	旅行速度(km/h)	技术速度(km/h)
30002/1(区段)	24.28/26.01	45.90/43.17	58.59/57.19
30004/3(区段)	24.54/25.34	45.11/43.93	59.28/57.90
40002/1(摘挂)	27.77/27.92	40.45/40.23	58.96/56.33

标尺2(按新线开通速度80km/h)

车次	旅行时间(时.分)	旅行速度(km/h)	技术速度(km/h)
30002/1(区段)	24.28/26.01	45.90/43.17	59.43/62.82
30004/3(区段)	26.25/27.43	42.52/40.52	60.00/57.40
40002/1(摘挂)	28.08/27.30	39.93/40.85	59.37/57.60

3 货运工作方案

3.1 货运站分布

根据运量调查结果,除格尔木、南山口外,青藏线格拉段设安多、那曲、当雄、拉萨西4个货运营业站。预留不冻泉、沱沱河、羊八井3站。

3.2 货物运输组织办法

(1)格尔木营业办理限制不变,拉萨西仅办理整车、20英尺集装箱运输业务,其他车站仅办理整车运输业务。

(2)格尔木、拉萨西站为货运检查站。

(3)由于格拉线大风期(≥8级)长达180天以上,且沿途各站多为无人值守站,格拉线不办理苫盖蓬布货车到发。

4 客运工作方案

4.1 客运站分布

青藏线格拉段设格尔木、安多、那曲、当雄、拉萨5个车站办理客运业务(设置计算机联网售票系统),预留沱沱河、羊八井车站。上水站为格尔木、那曲、拉萨。

4.2 客车停车站设置

特快列车停车站:那曲。

快速列车停车站：沱沱河、安多、那曲、当雄、羊八井。

旅游列车停车站：玉珠峰、楚玛尔河、沱沱河、唐古拉、措那湖、那曲、羊八井。

5 机务工作方案

5.1 机车运用

(1)机型

美国 GE 公司制造 C38 - AChe 型。

(2)标尺测算

标尺 1(按线路设计速度冻土区 100km/h、600m 曲线半径地段 80km/h、其他地段 120km/h)

旅客列车上行 690 分(11 小时 30 分),下行 699 分(11 小时 39 分);货物列车上行 1111 分(18 小时 31 分),下行 1150 分(19 小时 10 分)。

标尺 2(按新线开通速度 80km/h)

旅客列车上行、下行均为 926 分(15 小时 26 分);货物列车上行 1111 分(18 小时 31 分)、下行 1150 分(19 小时 10 分)。

(3)机车交路及乘务方式

①机车交路

客运机车交路：西宁至拉萨采用肩回式机车交路。西宁至格尔木间双机牵引，格尔木至拉萨间三机牵引，上、下行分别在格尔木甩、挂一台机车。货运机车交路：采用格尔木至拉萨肩回式机车交路。格尔木至拉萨采用客货混交的机车交路。

②乘务方式

格拉段采用长交路轮乘制的随乘方式，西格段采用长交路轮乘制。旅客列车：三机牵引，安排 2 名机车司机担当全区段列车牵引任务。货物列车：三机牵引，安排 3 名机车司机担当全区段列车牵引任务。

(4)机车配备

标尺 1(按线路设计速度冻土区 100km/h、600m 曲线半径地段 80km/h、其他地段 120km/h)

需配备机车

按照列车运行图(5 客 3 货),客货列车均三机牵引，根据机车周转图测算需机车 67 台，按部配属 78 台机车计算，检备率为 16%。

另加专用调车机车 2 台(其中备 1 台),共需机车 80 台。

标尺 2(按新线开通速度 80km/h)

需配备机车

按照列车运行图(5 客 3 货),客货列车均按三机牵引考虑，根据机车周转图需机车 70 台，按部配属机车 78 台计算，检备率为 11%。

另加专用调车机车 2 台(其中备 1 台),共需机车 80 台。

5.2 机车维修保养整备

(1)西宁机务段：建成为青藏线机车检修基地，承担进口机车年修及以下修程，并按照形成进口机车配套检修能力的方案进行改扩建，形成较为完备的机车大部件大修能力。

(2)格尔木运用整备车间：承担 C38 - Ache 型进口内燃机车的日常检查、维护、保养和机

车整备及季修(利用机车交路间隙进行)合一模式的机车维护保养任务。

(3)拉萨机车、车辆整备所:承担机车、车辆技术状态的检查、维护、保养、整备及救援列车和水电管理工作。

6 救援能力配置

(1)在格尔木机务段设救援基地,增配高原适应型160吨铁路轨道起重机一台。

(2)在拉萨机车、车辆整备所设特等救援设备,配高原适应型160吨铁路轨道起重机一台等救援设施。

7 水电管理

(1)水电设备运行维护、水电费管理由西宁水电段负责。

(2)电力设备巡视、维护、故障抢修实行委外方式。

8 工务工作方案

8.1 维修管理体制

(1)青藏线格拉段线路维修实行检查、养修分开的模式

(2)线路维修实行“天窗”修的作业制度,大机维修“天窗”每次应安排不少于3小时,临时补修机械作业每次应安排不少于2小时。

8.2 检测方式(公司检测中心负责)

(1)线路动态检查:轨道检查车每月检查两遍。

(2)钢轨探伤检查:钢轨探伤每月检查一遍。

(3)机车车载式轨道动态检测装置检查:每天监控检查线路一遍。

(4)设备巡检:线路、桥隧、路基巡检工作由专业巡检车进行,巡检车运行纳入运行图,在相邻地之间每天开行一次。到发线每月检查两遍,春、秋检时对所有桥隧设备进行全面检查。

(5)监控设备:有人看守地段、高桥、无人区地段,设置监控、断轨报警设备。多年冻土区线、桥、隧、涵、路基等建筑物区段,纳入到青藏线长期监测系统,利用无线传输方式将现场采集到的气温、地温、变形等信息通过信息通道进行传递。

8.3 管理模式

采用全委外方式。受委托单位按照与公司签订的协议,保证行车安全,保质保量完成任务,保证列车以规定的速度安全平稳不间断的运行。公司负责管理、检测工作,监督设备质量。

9 电务工作方案

9.1 信号系统

(1)运营管理模式和维护方式

青藏铁路格拉段各站信号设备由西宁电务段负责维护管理。

(2)设备故障的处理预案

沿线无人站车站信号设备发生故障时,在信号维护人员未到达现场的情况下,由机车乘务人员摇动道岔准备进路。电务人员到达现场后,一部分人员组织行车,一部分人员组织设备故障处理。

(3)电务维护机构设置

①成立青藏铁路公司电务试验室(与现 TDCS 维护中心合一)。

②成立拉萨电务综合领工区,下设拉萨、安多、那曲 3 个电务值班工区,1 个拉萨电务集中修工区和 1 个拉萨机车信号综合工区。

③成立沱沱河电务值班工区,由现有格尔木信号领工区管理。

9.2 通信系统

按格拉段通信设备的产权归青藏铁路公司,设备维护采取招标方式确定通信商维护。

(3)信息系统

格拉段信息系统的维护管理由公司电算中心负责。设备维护采用故障修和状态修的维护方式。

(4)建议将当雄、羊八井改为计算机联锁车站。

10 车辆工作方案

①青藏客车配属西宁车辆段。

②拉萨到发旅客列车的检修整备由拉萨机车、车辆整备基地负责。

③拉萨西列检所负责拉萨西到发货物列车的检修和拉萨西地区故障车的临修。

④格尔木检修基地负责格拉段货车段修以下修程的检修。

⑤格拉段红外线轴温探测设备,由西宁车辆段负责维护管理,检修模式采用远程故障诊断,月检和红外线综合检测车巡检方式,实行状态修和故障修。

⑥故障车辆的应急处理,唐古拉山以北的故障车由格尔木列检负责处理,唐古拉山以南的故障车由拉萨西列检负责处理。

11 房建工作方案

(1)管理方案

由格尔木房建生活段承担格拉段房建设备的维修养护和拉萨地区的集中供暖及物业管理工作。

由西宁房建生活段承担西宁地区新增的格拉段配套建设项目的房建设备大维修和冬季供暖任务。

(2)格拉段生活供应

格拉段沿线有人站日常的生活必需品供应，由格尔木房建生活段负责采购供应。拉萨地区的其他生活服务需求依托地方社会化服务或市场解决。

12 青藏铁路优惠政策的建议方案

(1)建议方案一

为使青藏铁路的经营结果显性化，建议公司管内既有线与格拉线均执行全路统一客货运价、现行财务政策及税收政策。按此方案，预计青藏铁路格拉段开通运营后，青藏铁路公司的经营亏损为28.1亿元，由国家给予补贴。

(2)建议方案二

建议国家给予青藏铁路公司免征各项税费、铁路建设基金由公司留用、线路固定资产免提折旧以及执行特殊运价的优惠政策。同时，铁道部给予免缴营业外单位支出附加、排空车付费、机车客车贷款利息，以及继续保留现行全路均摊4毫/吨公里的政策支持。按此方案，预计青藏铁路格拉段开通运营后，青藏铁路公司的经营亏损9.2亿元，由国家给予补贴。

青藏铁路焊接无缝线路的关键技术

高文会[1]　李力[1]　丁韦[1]　杜天民[2]

1　铁道科学研究院金属及化学研究所

2　中铁一局

摘　要:本文从钢轨焊接方案、施工条件、施工过程角度,阐述了青藏线焊接无缝线路钢轨应该控制的关键技术,并提出了确保无缝线路正常运营需要提前做好的焊接技术储备。

关键词:青藏铁路　焊接　无缝线路

青藏铁路是世界上第一条高原铁路,青藏高原自然条件艰苦,青藏铁路的养护维修能力较弱,铺设无缝线路可以大量减少养护维修的工作量,因此,在青藏线推广无缝线路具有重要意义。2004~2005年,铁道部在格尔木—望昆区间铺设了23.85 km无缝线路试验段。

焊接长钢轨是铺设无缝线路的基础工作,保证钢轨焊接质量是成功铺设无缝线路的关键。制订合理的钢轨焊接方案,因地制宜地选择施工条件,控制焊接施工过程是青藏铁路焊接无缝线路的关键技术。

提前做好相关的焊接技术储备、提前做好接头失效处理的应急预案,对保证青藏铁路无缝线路长期稳定地正常运营,具有重要意义。

1　钢轨焊接方案

1.1　首选焊接方案

在焊轨基地采用固定式闪光焊接方法将25m钢轨焊接成300~500m的长钢轨、在线路上采用移动式气压焊焊接长钢轨的联合接头,是青藏铁路焊接无缝线路的首选方案。

(1)固定式闪光焊适合在青藏线特殊环境下施工,焊接接头质量优于其他焊接方法

固定式闪光焊在焊轨基地内完成焊接作业,生产条件稳定,焊接质量受自然条件的影响很小;青藏线可以进行无缝线路施工的时间短,固定式闪光焊生产效率高,能够保证工期。

固定式闪光焊采用电网供电,电压稳定,焊接质量稳定;采用固定式闪光焊,可以方便地进行钢轨的选配和焊前矫直;可以采用中频感应加热方式实现焊接接头的热处理;可以采用四向调直机对焊接接头进行矫直;可以采用精磨机对焊接接头进行外型精整,这些优点是其他现场焊接方法难以做到的。

(2)移动式气压焊是青藏线无缝线路现场焊接联合接头的最佳方法

气压焊属于塑性压力焊,其接头是锻造组织,强度高。气压焊工艺已经成熟,能够满足质量要求;气压焊施工期间焊接设备可以下道避车,不会影响线路上工程车或其他车辆的正常运营;气压焊成本低,可以组建多个作业组同时施工,能够满足工期要求;目前的气压焊设备具备保压推凸功能,超长轨压接机可以完成无缝线路的锁定焊接。

1.2 应谨慎采用其他焊接方案

若使用移动式闪光焊直接在线路上焊接25m钢轨，青藏高原环境条件的经常变化将对焊接质量产生不利的影响；移动式闪光焊无法下道避车，将影响线路的正常运营；已铺设普轨地段的有孔钢轨需要提前处理或更换；根据内陆地区条件最好的情况下，使用移动式闪光焊直接在线路上焊接25m钢轨的经验，平均日进度为20头/日，在青藏线艰苦的自然条件下，使用移动式闪光焊直接在线路上焊接25m钢轨难以满足工期要求。

若使用移动式闪光焊在现场焊接联合接头，方法可行，但由于联合接头的数量很有限，这种方案将大大增加联合接头的焊接成本。

若使用铝热焊在现场焊接联合接头，方法可行，但因为铝热焊接头是铸造组织，强度低于闪光焊和气压焊，内陆地区铝热焊接头的折损率为0.5%，若联合接头全部采用铝热焊，将增加无缝线路养护维修的工作量，因此对于铝热焊接头应该实行总量控制，只在特殊情况下使用。

2 焊接施工条件

自然条件不能改变，但施工条件可以选择。选择合适的施工条件，可以实现稳定的焊接质量。

2.1 选择焊轨基地

固定式闪光焊接基地应该设在海拔高度相对较低，自然条件相对较好，距离城市较近的地区，同时也应兼顾到长钢轨运输和施工的方便以及利用现成的铺轨基地以节约成本。从试验段焊接情况看，北坡焊轨基地设在南山口，钢轨固定式闪光焊接的质量与内陆地区没有差异。南坡焊轨基地可以选择在安多或拉萨附近，需要综合各方面因素后确定。

气压焊接需要解决好氧气、乙炔等耗材的储运和供给，以及机具设备的看守和搬迁、人员的后勤保障等问题。设置临时的中转站有利于组织施工。

2.2 选择施工时间

如果基地条件好，固定式闪光焊同内陆地区一样，施工时间基本不受限制，只是在寒冷的季节需要在焊接前对钢轨适当加温，设备需要采取防冻措施。

气压焊施工的自然条件，风力应不大于5级，气温应不低于0℃。雨雪天气不宜施工，特殊情况下应采取遮挡措施。每年5~10月的大部分时间能够满足气压焊的施工条件。个别区段气候多变，需要提前作好充分准备，在良好的天气抓紧时间施工。

3 控制焊接施工过程

3.1 闪光焊接应把握的关键

（1）设备性能应能够适应高原的自然条件

青藏高原的钢轨温度在早、午、晚相差较大，钢轨闪光对焊设备应该能够适应这种钢轨温差的变化，在早、午、晚采用同一套焊接工艺参数时，应不至于使焊接质量产生波动。

焊接接头正火设备宜采用中频感应加热方式，有利于钢轨全断面晶粒均匀细化，改善接头

组织的强韧性。

南山口地区年降雨量很少,钢轨固定式闪光焊接生产线可以不采用全长封闭式的焊轨车间,但焊接、正火、焊后矫直和外型精整工序应设在封闭的车间内,各工序之间的生产线可以采用安装防雨罩的办法以应对突发的天气变化。生产线各工序的布局与内陆地区相同。

如果需要在10月份至下年度的5月份之间焊接钢轨,车间内应安装取暖设施,作好设备防冻工作。

(2)做好型式试验和控制生产过程

对青藏线的钢轨焊接接头应特别注意控制两个方面:一是控制焊接缺陷,二是控制接头组织。

认真做好焊接型式试验,通过连续落锤试验及参数优化,建立最佳的焊接参数,可以有效地控制焊接缺陷;除焊接参数因素以外,工艺因素也同样重要,比如,控制钢轨端面斜度,焊前测量轨温,轨温低于0℃时,应在焊前烘烤预热钢轨端部,等等。焊前检查钢轨几何尺寸和轨端平直度、焊后作好接头矫直和外型精整,严格控制焊接接头的平直度,有利于改善接头的使用条件,提高接头寿命。

认真控制好正火工艺,特别是正火加热的起始温度和终了温度,细化晶粒有助于改善接头的低温性能。

3.2 气压焊接应把握的关键

(1)采用先进的气压焊接设备

采用具有数控功能的钢轨气压焊接设备,可以实现稳定的加热过程,获得稳定的焊接质量。

(2)根据条件变化调节焊接工艺参数,增加生产检验的频度

按照TB/T 1632-1991,每焊接500个接头应该进行周期性生产检验,但在青藏高原进行钢轨气压焊接,随作业地点海拔高度的变化,大气压力发生改变,冷却系统和液压系统的效率、火焰的性质都会随之改变,需要根据具体的条件适当调整焊接参数,参数变化较大时,应加大生产检验的频度而不能局限于500个接头。

4 为保证无缝线路的正常运营,需要提前做好的技术储备

毕竟焊接是对钢轨进行的二次加工,焊接接头无法达到与钢轨母材相等的强度,尽管可以通过技术、管理等手段,控制无缝线路钢轨焊接接头的折损率,但不能完全消除接头折损现象。为保证青藏铁路无缝线路的正常运营,提前准备好接头折损修复预案是十分必要的。

气压焊或移动闪光焊不能实现原位焊接,采用气压焊或移动闪光焊修复断轨,需要插焊短轨,并且要预留顶锻量以使线路达到设计锁定轨温。冬季是接头折损的高发期,高原的气候条件给气压焊或移动闪光焊施工带来困难,甚至无法施工。因此应该提前准备好接头折损修复预案。

铝热焊或电弧焊是接头折损修复的最佳方法,可以实现原位焊接而无须插入短轨,并且容易使修复后的线路达到设计锁定轨温。但是,因为高原气压很低,根据气压焊的经验,加热器火孔及气体流量不同于内地,内陆地区成熟的焊接工艺参数不适用于高原条件。铝热焊或电弧焊也存在焊前采用气体预热的问题,需要提前进行相关焊接工艺试验;铝热焊或电弧焊都是有填充金属的焊接方法,填充金属的低温性能如何需要试验研究,以确定合适的焊接材料。

青藏铁路格拉段U71Mn钢轨低温性能试验研究

张银花　周清跃　陈朝阳　刘丰收　周镇国

铁道科学研究院金属及化学研究所

摘　要:对包钢产U71Mn成分钢种进行低温系列冲击试验、低温拉伸试验、低温断裂韧性试验,分析讨论了冲击值与低温韧脆转变温度的关系,成分、温度对强度与塑性以及对断裂韧性值的影响。试验结果表明,青藏铁路使用中下限成分的U71Mn钢轨,可提高钢轨安全使用性能,满足青藏铁路格拉段低温环境的需要。

关键词:青藏铁路　钢轨　低温性能

青藏铁路格拉段位于青藏高原腹地,北起青海省西部重镇格尔木市,基本沿青藏公路南行,途径纳赤台、五道梁、沱沱河沿、雁石坪,翻越唐古拉山进入西藏自治区境内后,经安多、那曲、当雄、羊八井至西藏自治区首府拉萨市,全长1139km,新线建设长度为1107km。

青藏铁路格拉段除格尔木至南山口位于柴达木盆地南缘,其余地段均处于青藏高原。青藏高原南北跨越近10个纬度,平均海拔4500m以上,被称为"世界屋脊"。铁路经过地区海拔高度大于4000m地段958km,最高唐古拉山垭口5072m。

青藏高原海拔高、空气稀薄、气压低、气候寒冷,年最低平均气温零下5.2℃,历史上最低气温为零下45.2℃。

2001年3月国务院正式批准修建青藏铁路格拉段。2001年6月正式开工,2002年6月开始铺轨。计划2006年完成线下工程建设,2007年全线通车。

青藏铁路近期年运量小于300万吨,远期(2015年以后)不足1000万吨。据此,按新线设计规定,原设计一般地段采用50kg/m U71Mn25m标准长度热轧新轨,半径小于或等于600m曲线地段和长度大于或等于1000m的隧道内采用50kg/m PD3热处理钢轨。

为了满足青藏铁路特殊地理环境、气候环境对钢轨的特殊要求,也为了能够实现青藏铁路免维修、少维修的愿望,对U71Mn钢轨低温性能进行试验研究。

1　试验材料和试验方法

试验材料取自包钢生产的50kg/m U71Mn钢轨,具体化学成分见表1。表1中熔炼成分由包钢提供,成品成分为复验成分(在轨头、轨腰、轨底部位分别钻孔取屑,按GB223规定的化学分析法进行化学成分复验)。

冲击试验在摆锤半自动冲击试验机上进行。试样取自钢轨全断面,取样位置见图1。试样为10mm×10mm×55mm的U型缺口梅氏标准样,缺口开在侧面。试验温度分别为20℃、0℃、-20℃、-40℃、-60℃。

拉伸试验在WAW-Y500拉伸试验机上进行。试样取自轨头上圆角处。试验采用$d_0 = 10mm, l_0 = 5d_0$比例试样,试验温度的选择同冲击试验。

表 1　试验用钢化学成分($w\%$)

编号	炉号	部位	*C*	*Si*	*Mn*	*S*	*P*	备注
1	14345	熔炼成分	0.75	0.25	1.21	0.005	0.023	包钢检验
		头部	0.76	0.24	1.22	0.004	0.023	铁科院
		腰部	0.72	0.24	1.21	0.004	0.021	复检
		底部	0.76	0.24	1.23	0.004	0.024	
3	25382	熔炼成分	0.69	0.22	1.23	0.008	0.016	包钢检验
		头部	0.71	0.23	1.24	0.008	0.016	铁科院
		腰部	0.68	0.23	1.24	0.006	0.017	复检
		底部	0.68	0.23	1.24	0.007	0.017	
4	35531	熔炼成分	0.67	0.20	1.17	0.016	0.008	包钢检验
		头部	0.70	0.20	1.16	0.010	0.014	铁科院
		腰部	0.68	0.19	1.16	0.009	0.015	复检
		底部	0.69	0.18	1.18	0.009	0.015	

断裂韧性 K_{IC}试验采用标准三点弯曲试样，按照 GB4161－84 金属材料平面应变断裂韧度 K_{IC}试验方法进行。试样取自轨头，取样位置见图 2。试样尺寸 $B=18\text{mm}$，$W=36\text{mm}$。试验温度的选择同冲击试验。

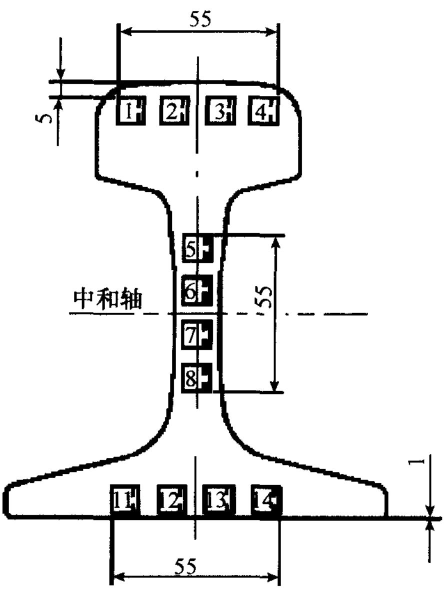


图 1　冲击试验取样部位

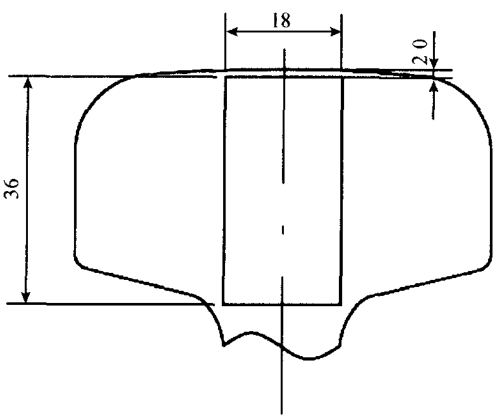


图 2　断裂韧性试样取样位置

2 试验结果

2.1 系列冲击试验

不同温度下不同成分 U71Mn 钢轨冲击试验结果见表 2。由试验数据绘制成温度与冲击功的关系曲线见图 3。

表 2 U71Mn 钢轨系列冲击试验结果

炉罐号	部位	试样	编号 U 型缺口冲击功(J)				
			常温(20℃)	0℃	-20℃	-40℃	-60℃
成分 1 (轨头 C:0.76 Si:0.24 Mn:1.22 轨腰 C:0.72 Si:0.24 Mn:1.21 轨底 C:0.76 Si:0.24 Mn:1.23)	轨头	1	9.5	5.2	4.2	5.5	3.5
		2	5.5	4.0	5.0	4.5	4.5
		3	5.5	4.0	4.5	4.2	4.0
		4	11.0	5.0	5.0	3.6	5.0
	轨腰	5	5.5	5.0	4.7	4.2	5.0
		6	12.0	4.8	4.7	3.5	3.0
		7	8.5	5.0	5.0	4.9	4.0
		8	7.5	5.0	4.0	4.8	3.5
	轨底	11	9.0	10.5	6.0	4.8	4.0
		12	5.0	4.5	4.5	3.8	3.0
		13	11.0	7.0	4.0	7.0	5.0
		14	7.5	5.2	6.0	6.0	4.0
	轨头平均		7.9	4.6	4.7	4.5	4.3
	轨腰平均		8.4	5.0	4.6	4.4	4.9
	轨底平均		8.1	6.8	5.1	5.4	4.0
	全断面平均		8.1	5.5	4.8	4.8	4.4
成分 3	轨头平均		13.4	11.4	7.5	6.7	6.0
	轨腰平均		7.4	6.3	5.3	4.5	4.1
	轨底平均		13.3	11.7	8.9	6.9	4.9
	全断面平均		11.4	9.8	7.2	6.0	5.0
成分 4	轨头平均		16.8	10.8	11.9	6.9	5.5
	轨腰平均		10.6	6.6	6.3	5.2	3.6
	轨底平均		14.6	14.4	11.1	7.8	7.0
	全断面平均		14.0	10.6	9.8	6.6	5.4

注:成分 3(轨头 C:0.71Si:0.23Mn:1.24 轨腰 C:0.68Si:0.23Mn:1.24 轨底 C:0.68Si:0.23Mn:1.24)

成分 4(轨头 C:0.70Si:0.20Mn:1.16 轨腰 C:0.68Si:0.19Mn:1.16 轨底 C:0.69Si:0.18Mn:1.18)

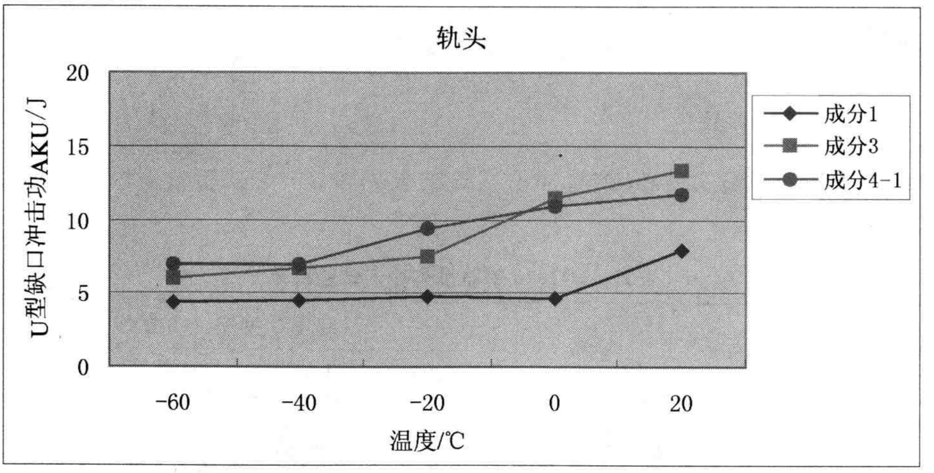


图 3a　轨头部位冲击功(A_K) - 温度(t)关系曲线

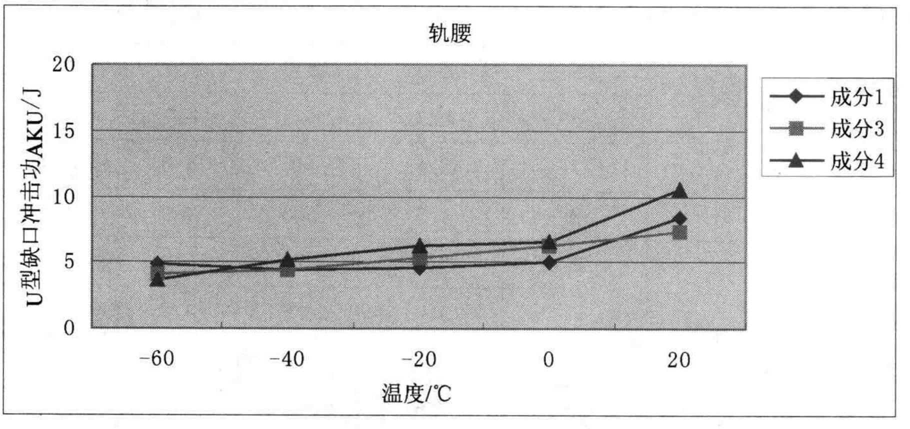


图 3b　轨腰部位冲击功(A_K) - 温度(t)关系曲线

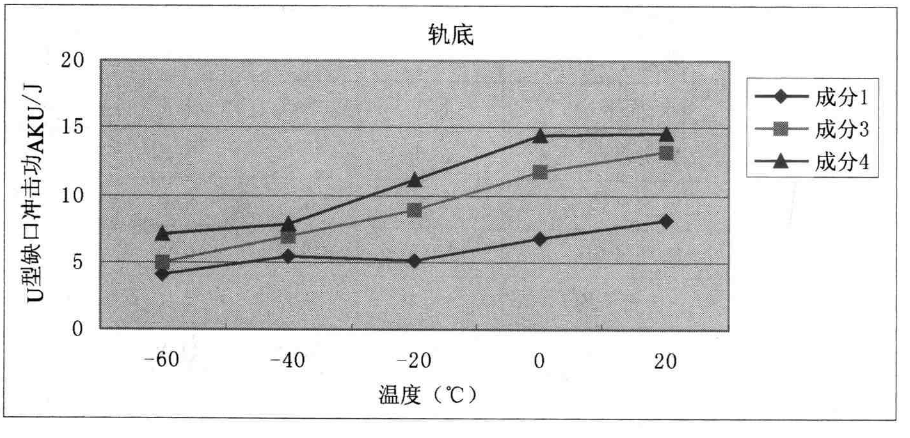


图 3c　轨底部位冲击功(A_K) - 温度(t)关系曲线

由上述试验结果可知，含碳量上限(0.76%)的成分1钢轨，无论是轨头还是轨底，其冲击韧性均比其他成分(含碳量为0.68%～0.71%)的钢轨低；对成分1的钢轨(含碳量为0.76%)，当试验温度低于0℃以后，冲击韧性随温度变化不明显；对含碳量为0.68%～0.71%的成分3、成分4钢轨，当温度高于-40℃时，温度对冲击韧性的影响比较明显；对连铸钢轨，由于轨腰为最后凝固部位，夹杂物、偏析等在该部位较为集中，冲击韧性均较低，此时，含碳量对冲击韧性的影响表现的不明显，见图3b。

通过对比发现，含碳量为中下限(0.68%～0.71%)的U71Mn钢轨的轨头、轨底部位的冲击韧性比含碳量上限(0.76%)的钢轨冲击韧性高许多，常温下轨头和轨底部位的平均值分别提高70%～160%和60%～80%；0℃下分别提高140%～150%和70%～110%；-20℃下分别提高140%～150%和60%～150%；-40℃下分别提高50%和30%～50%；-60℃下分别提高30%～40%和20%～80%，详见表3。

表3　不同含碳量U71Mn钢轨冲击试验结果比较

炉罐号	试验部位	U型缺口冲击功 A_K(J)				
		常温(20℃)	0℃	-20℃	-40℃	-60℃
成分1(头C:0.76 底C:0.76)	轨头	5.5～11.0/7.9	4.0～5.2/4.6	4.2～5.0/4.7	3.6～5.5/4.5	3.5～5.0/4.3
	轨底	5.0～11.0/8.1	4.5～10.5/6.8	4.0～6.0/4.8	3.8～7.0/5.4	3.0～5.0/4.0
成分3(头C:0.71 底C:0.68)	轨头	9.0～17.0/13.4	9.0～13.5/11.4	4.1～11.0/7.5	5.0～8.5/6.7	4.5～7.5/6.0
	轨底	8.5～16.5/13.3	10.0～13.0/11.7	5.0～12.0/8.9	5.2～8.2/6.9	3.5～7.2/4.9
成分4(头C:0.70 底C:0.69)	轨头	14.0～22.5/16.8	8.0～13.5/10.8	5.5～15.5/11.9	4.2～9.0/6.9	5.0～6.0/5.5
	轨底	10.5～19.0/14.6	8.5～20.0/14.4	8.5～15.0/11.1	6.5～9.0/7.8	5.5～9.0/7.0
成分3比成分1	轨头单个最低	1.6	2.3	1.0	1.4	1.3
	轨头平均	1.7	2.5	1.6	1.5	1.4
	轨底单个最低	1.7	2.2	1.3	1.2	1.2
	轨底平均	1.6	1.7	1.9	1.3	1.2
成分4比成分1	轨头单个最低	2.6	2.0	1.3	1.2	1.4
	轨头平均	2.1	2.4	2.5	1.5	1.3
	轨底单个最低	2.1	1.9	2.1	1.7	1.8
	轨底平均	1.8	2.1	2.3	1.4	1.8

2.2 拉伸试验

系列拉伸试验结果见表4及图4。

表4 不同温度下拉伸试验结果

炉罐号	试验温度 t/℃	试样编号	抗拉强度 Rm/MPa	屈服强度 $Rp_{0.2}$/MPa	断后伸长率 A/%	断面收缩率 Z/%	备注
0314345 成分1 （轨头 C:0.76 Si:0.24 Mn:1.22）	20	1-1	970	485	12.5	21.0	
		1-2	975	490	13.5	24.0	
		平均值	972.5	487.5	13.0	22.5	
	0	1-3	1000	490	11.5	21.5	
		1-4	995	490	14.5	23.5	
		平均值	997.5	490	13.0	22.5	
	-20	1-5	1020	505	12.5	24.0	
		1-6	1020	505	12.5	20.0	
		平均值	1020	505	12.5	22.0	
	-40	1-7-1	1030	515	13.0	19.5	
		1-8-1	1030	520	12.5	19.5	
		平均值	1030	517.5	12.75	19.5	
	-60	1-9	1070	545	8.0	10.0	
		1-10	1070	555	13.0	22.0	
		平均值	1070	550	10.5	16.0	
成分3 （轨头 C:0.71 Si:0.23 Mn:1.24）	20	平均值	922.5	455	15.0	27.0	
	0	平均值	950	467.5	10.55	14.25	
	-20	平均值	965	477.5	13.5	24.5	
	-40	平均值	982.5	475	14.0	24.0	
	-60	平均值	1015	497.5	15.0	23.5	
成分4 （轨头 C:0.70 Si:0.20 Mn:1.16）	20	平均值	915	430	14.25	25.5	
	0	平均值	937.5	427.5	14.5	25.25	
	-20	平均值	955	432.5	14.0	25.0	
	-40	平均值	990	460	13.75	22.75	
	-60	平均值	1015	482.5	11.25	16.25	

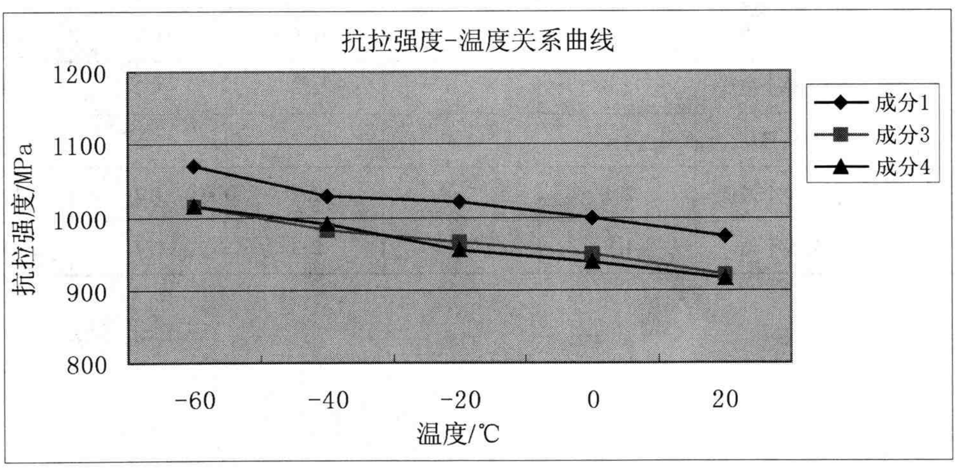


图4a 不同成分钢轨抗拉强度-温度关系曲线

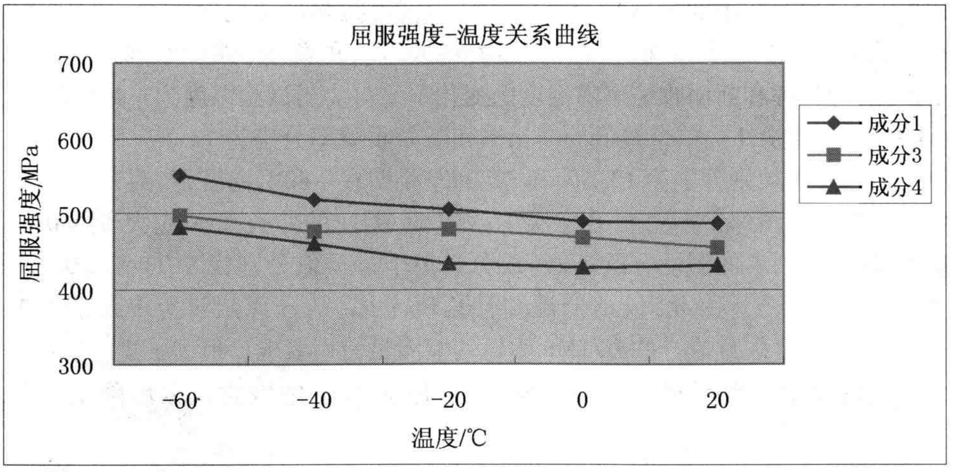


图 4b　不同成分钢轨屈服强度 – 温度关系曲线

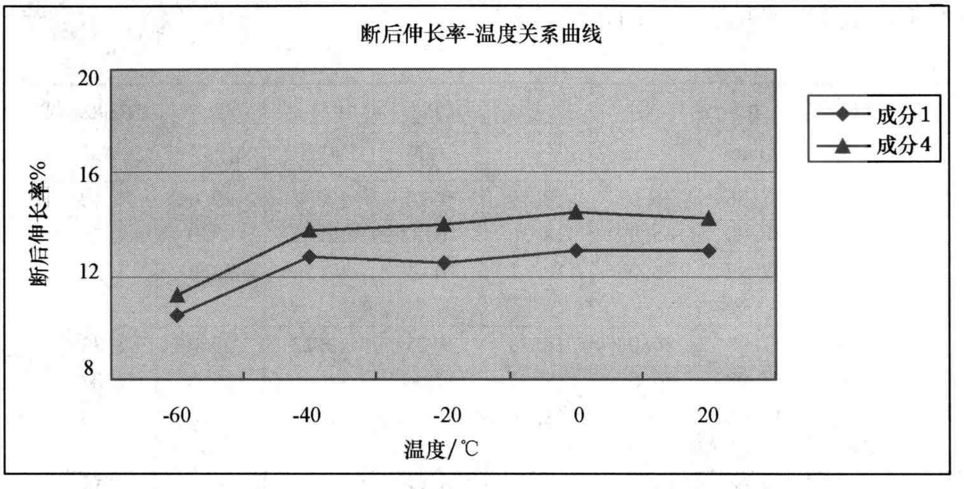


图 4c　不同成分钢轨断后伸长率 – 温度关系曲线

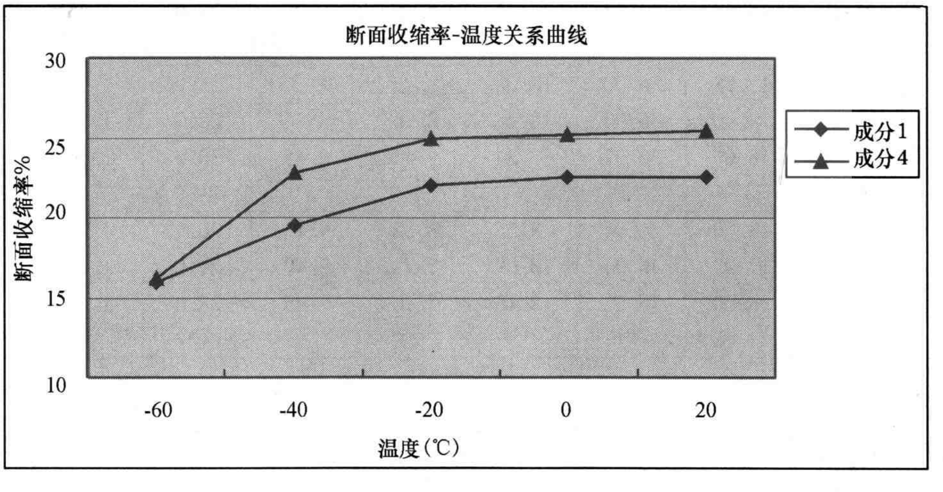


图 4d　不同成分钢轨断面收缩率 – 温度关系曲线

由试验结果可知,钢中的含碳量愈高,强度(包括抗拉强度和屈服强度)愈高,而塑性(伸长率及断面收缩率)愈低;同一成分的钢,随着试验温度的降低,强度增加,塑性下降,在-40℃温度以上,伸长率和断面收缩率随温度的变化不显著。当试验温度为-40℃时,上限含碳量的U71Mn钢轨(成分1),单个最低的伸长率和断面收缩率分别为12.5%和19.5%;而中下限含碳量的成分4钢轨则分别为13.5%和21.0%,说明在-40℃温度下,两者的塑性均较好,均大于常温下的规定值(标准规定,在常温下,U71Mn钢轨的伸长率A应大于9.0%)。而在-60℃试验温度时,两者的塑性有所降低(成分1单个最低值分别为8.0%和10.0%;成分4分别为9.0%和9.5%)。因此,仅从低温塑性角度考虑,结合青藏线历史最低气温为零下45℃左右,上、中、下含碳量成分的U71Mn钢轨均能满足使用要求。但为了进一步提高U71Mn钢轨在青藏线格拉段低温环境下使用的安全性,将U71Mn的碳含量上限降至0.72%是有利的。

2.3 断裂韧性 K_{IC} 试验

断裂韧性试验结果见表5及图5。

表5 不同温度下断裂韧性 K_{IC}

试验温度	试样编号	B /mm	W /mm	a /mm	P_Q /kN	Pmax /kN	K_Q /MPam$^{1/2}$	Pmax/P_Q	K_{IC} /MPam$^{1/2}$
20℃	1-1	17.96	36.02	18.19	9.25	12.91	29.0	1.40	29.0
	1-2	18.00	35.99	18.36	10.33	12.55	33.0	1.21	33.0
	1-3	17.97	36.05	18.42	10.24	12.70	33.0	1.24	33.0
	平均								31.7
0℃	1-4	17.98	36.02	18.28	9.25	12.22	29.0	1.32	29.0
	1-5	17.98	36.00	18.03	11.17	11.66	35.0	1.04	35.0
	1-6	18.00	36.02	18.32	9.15	11.84	29.0	1.29	29.0
	平均								31.0
-20℃	1-7	18.00	36.01	18.25	9.15	10.59	29.0	1.16	29.0
	1-8	18.01	36.01	18.34	9.15	10.70	29.0	1.17	29.0
	1-9	18.00	36.04	18.41	8.76	11.81	28.0	1.35	28.0
	平均								28.7
-40℃	1-10	17.98	36.00	18.08	8.27	10.33	26.0	1.25	26.0
	1-11	18.00	36.00	18.22	8.56	10.33	27.0	1.21	27.0
	1-12	18.00	36.02	18.34	9.45	9.45	30.0	1.00	30.0
	平均								27.7
-60℃	1-13	18.00	36.04	18.35	8.02	9.15	26.0	1.14	26.0
	1-14	17.99	36.04	18.09	7.78	9.40	24.0	1.21	24.0
	1-15	18.00	36.02	18.18	8.76	9.45	28.0	1.08	28.0
	平均								26.0
20	4平均								35.0
0	4平均								33.7
-20	4平均								33.3
-40	4平均								34.0
-60	4平均								29.0

注:成分1轨头C:0.76Si:0.24Mn:1.22,成分4轨头C:0.70Si:0.20Mn:1.16

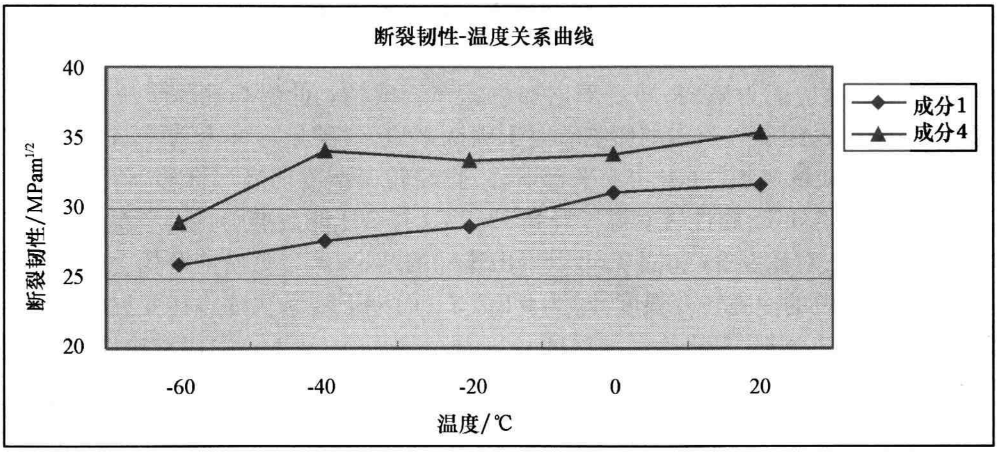


图 5　两种成分钢轨断裂韧度 - 温度关系曲线

由试验结果可知，含碳量中下限的成分 4 钢轨的断裂韧度明显高于含碳量上限的成分 1 钢轨，都达到了 TB/T2344 - 2003 标准规定的要求。由图 5 可以看出，上限成分（成分 1）钢轨断裂韧度随温度降低而降低，中下限成分（成分 4）钢轨，当温度高于 - 40℃ 时，断裂韧度随温度的变化不显著，温度为 - 60℃ 时，断裂韧度有所降低，但其断裂韧度仍高于成分 1 钢轨的。断裂韧度随温度的变化趋势同断后伸长率和断面收缩率的变化趋势大致相同。本次试验结果表明，在试验温度 - 20℃ 下，断裂韧度可满足 EN260、EN260Mn 钢种的要求，单个最小值大于 $26MPam^{1/2}$，平均值大于 $29MPam^{1/2}$，但达不到 EN200、EN220 钢种单个最小值大于 $30MPam^{1/2}$，平均值大于 $35MPam^{1/2}$ 的要求。

3　分析和讨论

3.1　低温韧脆转变温度及其影响因素

温度对金属材料屈服强度 σ_s 和断裂强度 σ_c 的影响以及缺口约束对 σ_s 的影响示于图 6 中，σ_s 与 σ_c 相交，交点对应的温度为脆性转变温度 Tk，当 $T < Tk$ 时，$\sigma_c < \sigma_s$ 为脆性断裂，$T > Tk$ 时，$\sigma_c > \sigma_s$ 为韧性断裂，说明光滑试样在 Tk 发生脆性转变。缺口试样的脆性转变温度为 Tk'。这种随温度降低金属材料由韧性断裂转变为脆性断裂的现象称为低温脆性。发生脆性转变的温度称为脆性转变温度。

评定材料低温脆性的最简便的试验方法是系列温度冲击试验。该试验采用标准夏比冲击试样，在从高温到低温的一系列温度下进行冲击试验，测定材料冲击功随温度的变化规律，揭示材料的低温脆性倾向。典型的试验结果如图 7 所示。在温度较高时，冲击功较高，存在一个上平台，称高阶能，在这一区间表现为韧性断裂。在低温范围，冲击功很低，表现脆性的解理断裂，冲击功的下平台称为低阶能；在高阶能和低阶能之间，存在一很陡的过渡区，该区的冲击功变化较大，数据较分散，可见随着温度降低，冲击功由高阶能转变为低阶能，材料由韧性断裂过渡为脆性断裂，相应地，断口形式也由纤维状断口经过混合断口过渡为结晶状断口，断裂性质由微孔聚集型断裂过渡为解理断裂。

材料的脆性倾向本质上是其塑性变形能力对低温和高加载速率的适应性反映。在可用滑移系统足够多，阻碍滑移的因素不因变形条件而加剧的情况下，材料将保持足够的变形能力而

不表现出脆性断裂。例如,面心立方金属。而体心立方金属,在温度较高时,变形能力尚好,但在低温条件下,间隙杂质原子与位错和晶界相互作用强度增加,阻碍位错运动、封锁滑移的作用加剧,对变形的适应能力减弱,即表现出加载速率敏感性。低温脆性除了决定于晶格类型外,还受材料的成分、组织等因素的影响。对于碳钢来说,含碳量对冲击功 - 温度曲线的影响如图 8 所示,随含碳量增加,冲击功上平台下移,脆性转变温度向高温推移,转变温度区间变宽。含碳量每增加 0.1% ,脆性转变温度升高 13.9℃(按 20J 能量准则)。

根据上述理论,对比图 3a 和图 7,可以得出这样的结论,若以低阶能开始上升的温度定义 tk',上限成分 1 钢轨的冷脆转变温度 tk'为 0℃左右,而中下限钢轨冷脆转变温度明显低于含碳量为上限的成分 1 钢轨,其冷脆转变温度 tk'低于 -40 ~ -60℃。可以推论,对含碳量为下限(C0.65% ~0.68%)的 U71Mn 钢轨将具有更好的低温韧性。

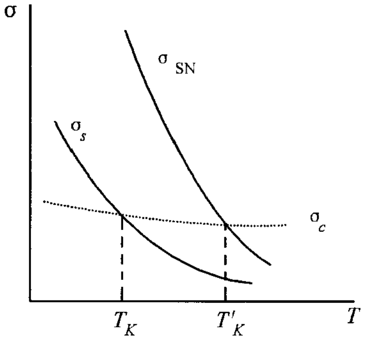


图 6　σsσc 随温度变化示意图

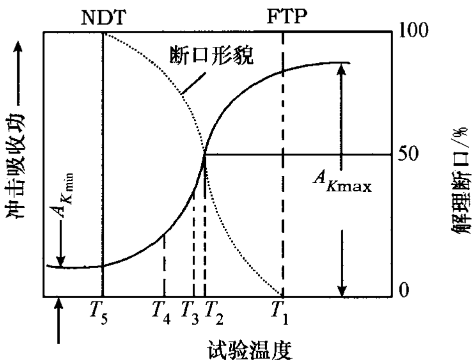


图 7　低温脆性金属材料的系列冲击试验结果

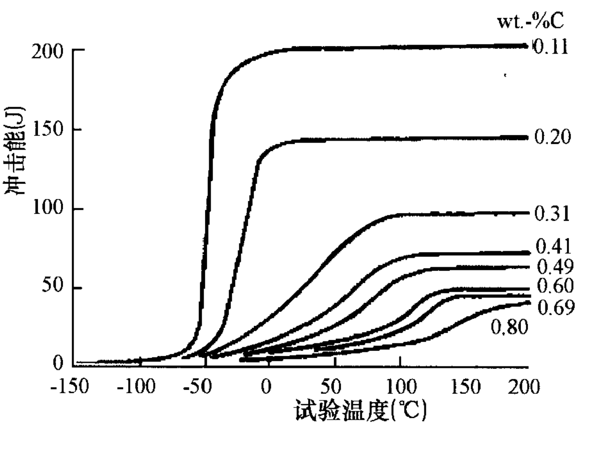


图 8　含碳量对韧脆转变温度的影响

3.2　化学成分、温度对强度与塑性的影响

金属材料的屈服是位错增值和运动的结果,各种内在、外界因素是通过影响位错运动而影响屈服强度。

在纯金属中加入溶质原子形成固溶合金,将显著提高屈服强度。在固溶合金中,由于溶质原子和溶剂原子直径不同,在溶质周围形成了晶格畸变应力场,该应力场和位错应力场产生交

互作用使位错运动受阻,固溶原子不仅提高了位错在晶格中运动的摩擦阻力,而且增强了对位错的钉扎作用,从而使屈服强度提高。在钢轨钢中,碳为固溶强化元素,碳含量的高低直接影响钢轨钢的强度。

温度对强度的影响是通过温度对位错运动的影响来实现的。位错运动包括滑移、攀移和介于两者之间的混合型移动,由于位错的攀移需要通过扩散来实现,低温时位错攀移比较困难,而在较高温度下位错攀移就较易实现,表现出随着温度的降低强度增加。本次试验结果验证了上述理论,见图4。

3.3 化学成分、温度对断裂韧度的影响

断裂韧度受材质化学成分、组织、晶粒度等内部因素及温度、加载速率等外部因素的影响。一般来说,化学成分对 K_{IC}的影响规律,基本上和对 AKV 的影响相似,其大致规律是:细化晶粒的合金元素因提高强度和塑性,可使 K_{IC}提高,强烈固溶强化的合金元素因降低塑性而使 K_{IC}降低,并且随合金元素浓度的提高,K_{IC}降低愈多。形成金属化合物呈第二相析出的合金元素,因降低塑性有利于裂纹的扩展也使 K_{IC}降低。

温度对断裂韧度的影响与对冲击功的影响相似,如图9所示。随着温度的降低,断裂韧度也有一个急剧降低的温度范围,低于此温度范围,断裂韧度保持在一个稳定的水平(下平台)。大多数结构钢的断裂韧度随温度降低而下降。但是,不同强度等级的钢,在温度降低时 K_{IC}的变化趋势不同。中、低强度钢一般都有明显的韧脆转变现象。在韧脆转变温度以上,材料主要是微孔聚集型的韧性断裂,K_{IC}较高,而在脆性转变温度以下,材料主要是解理型脆性断裂,K_{IC}很低。随着材料强度增加,K_{IC}随温度的变化逐渐趋于缓和,其断裂机理不再发生变化。

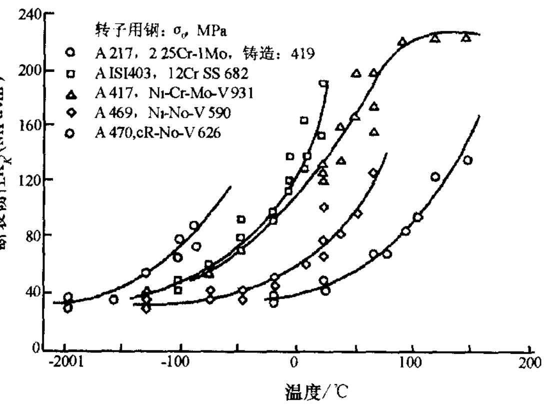


图9 断裂韧性 K_{IC}与温度的关系

3.4 断裂韧度和冲击韧性之间的关系

金属材料的韧性是表征在外力作用下,从变形到断裂全过程吸收能量的能力。若吸收能量越大,则韧性越高,材料断裂越困难。在断裂韧性中,G_{IC}、J_{IC}是以能量表示的,而缺口冲击韧性(aku、akv)也是以能量表示的,两者有能量韧性的共性。但彼此又有所不同。因此,裂纹断裂韧性和缺口冲击韧性各有各自的变化规律,并不一定是同步相随的,很难建立他们之间的普遍关系。但是,由于 V 型缺口冲击试样的缺口尖锐程度较 U 型缺口的大,比较接近裂纹试样的情况,所以,仍可大致建立冲击功 AKV 和断裂韧性 G_{IC}、J_{IC}之间的经验关系。由于 G_{IC}、J_{IC}可

与 K_{IC} 相互换算，因此，这种经验关系也可用 K_{IC} 与 AKV 之间的关系来表示。由于裂纹和缺口不同，所以 K_{IC} 和 AKV 的温度变化曲线不一样。见图 10。

K_{IC} 与 AKV 之间存在下列经验公式：

$$K_{IC} = 0.79[\sigma_{0.2}(AKV - 0.01\sigma_{0.2})]^{1/2}\mathrm{MPa \cdot m^{1/2}}$$

若知道这类钢材常规力学性能 $\sigma_{0.2}$ 和 AKV，就可大体上估算出 K_{IC} 值。

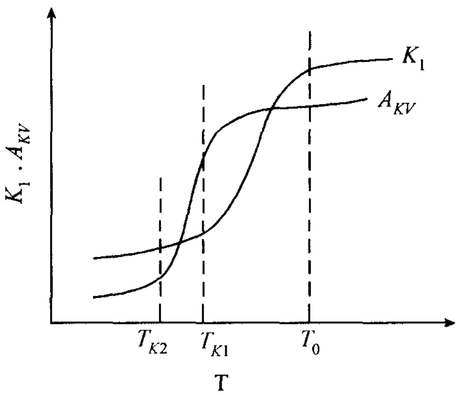


图 10　K_{IC} 和 AKV 随温度变化曲线示意图

4　结论及建议

(1)含碳量为中、下限的 U71Mn 钢轨的冲击韧性明显高于含碳量为上限的，室温冲击功 Aku 提高 160% ~170%，-60℃时仍可提高 30% ~40%，并具有更低的冷脆敏感性。

(2)含碳量为中、下限的 U71Mn 钢轨即使在 -60℃ 的温度下（此时平均抗拉强度为 1015MPa)，仍保持较高的塑性，其断后伸长率平均值达到 11%。

(3)含碳量为中、下限的 U71Mn 钢轨的断裂韧度 K1C 明显高于含碳量为上限的，并且均高于 TB/T2344 -2003 的规定值，同时表现出对温度的变化不很敏感。

(4)建议青藏铁路格拉段使用中下限成分 U71Mn 钢轨，可进一步提高钢轨安全使用性能，满足青藏铁路格拉段低温环境的需要。

参 考 文 献

[1]　倪平、孙士云．五十年梦想成真—铁一院青藏铁路(格拉段)勘测设计始末[J]．铁道知识，2003(3)：2 ~8

[2]　铁道部．世纪大决策[M]．北京：中国铁道出版社，2003．2 ~18

[3]　TB/T2344 -2003："43kg/m ~75kg/m 热轧钢轨订货技术条件"

[4]　王从曾．材料性能学[M]．北京：北京工业出版社．2001

[5]　欧洲钢轨标准 prEN13674 -1：2002(E) 46kg/m 及以上 T 型钢轨

[6]　周清跃，张银花，陈朝阳，周镇国．国产 PD3 钢轨与进口钢轨材质性能的对比研究[J]，中国铁道科学，2003，24(6)：99 ~104

青藏铁路拉萨河特大桥养护维修设计

王祯　王召祜　周四思　李凤芹

铁道第三勘察设计院桥梁处

摘　要：拉萨河特大桥是青藏铁路标志性工程，主桥采用(36 + 72 + 108 + 72 + 36)m 五跨三拱连续梁钢管拱组合结构体系。着重介绍养护维修方面的设计考虑。

关键词：青藏线　拉萨河桥　养护维修　设计

拉萨河特大桥是青藏铁路标志性工程，距青藏铁路终点拉萨车站约 2km，距拉萨市中心约 5km。桥址以北为念青唐古拉山，沿山有哲蚌寺、色拉寺等古建筑，以南靠近造耳峰等山岭，以西为堆龙德庆县城和拉萨市经济技术开发区，以东为拉萨市区，布达拉宫古建筑群与大桥遥遥相对。该地是著名的旅游风景区，山河壮丽，民族风格浓郁，工程建筑需与周围景观协调。

设计时综合考虑了桥址区地形、地貌、水文、地质、抗震、民族建筑等建设条件，对梁式桥、斜拉桥、拱桥等多种桥型进行方案比选，经过多次专家论证与审查，最终主桥桥型为五跨三拱连续梁钢管拱组合结构体系。本桥施工时尚无法使用架桥机架梁，需要现场浇注，为了与主桥协调，实现流畅的顺接，引桥采用预应力混凝土连续箱梁。

本桥设计范围总长 940.85m，其中桥梁长度 928.85 m。跨径组合为：

主桥(36 + 72 + 108 + 72 + 36)m 五跨三拱连续梁钢管拱组合结构体系，长 324.0m；主桥立面示意图见图 1。

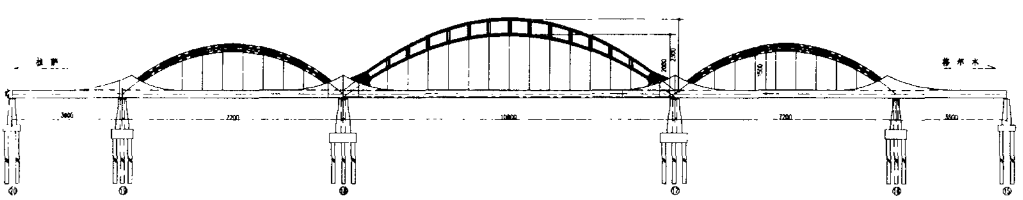


图 1　主桥立面示意图(单位：cm)

拉萨方引桥 1 联 3 × 32.7m 预应力混凝土连续箱梁，长 106.1m(含桥台长度)；

格尔木方引桥 5 联 3 × 32.7m 预应力混凝土连续箱梁，长 499.75m(含桥台长度)。

针对高原铁路的特殊性要求，为了尽可能减少使用期的养护维修工作，设计经过仔细分析研究，从结构构造措施、钢结构涂装、检查设备等方面进行了优化和创新。

1　减少和易于维护的结构构造措施

1.1　主桥实体主纵梁

主桥上部为连续梁钢管混凝土拱组合体系，设计时对设于拱肋下的预应力混凝土主纵梁

采用矩形实体双主纵梁和单箱双室整体箱形两种形式进行计算比较分析，比选结果两种截面形式从结构受力角度均能满足要求。考虑到主纵梁截面较小，采用箱形截面一方面由于箱体小施工不便，另一方面箱体内在运营期的养护维修上存在空间不足的缺陷，人为的加大截面会造成工程的不经济。综合以上，设计最终采用了易于施工，免养护的实体矩形截面主纵梁，主纵梁梁底宽 1. 2m，跨中梁高 2. 4m，高跨比 1/45，中支点梁高 7. 17m，高跨比 1/15. 1。梁部采用 C50 混凝土。主梁标准截面示意面见图 2。

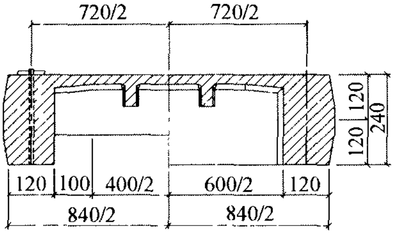


图 2　主梁标准截面示意图（单位：cm）

1.2　吊杆锚箱构造

中孔拱每片拱肋设置 13 根吊杆，边孔拱每片拱肋设置 8 根吊杆，全桥共设有 58 根吊杆。吊杆间距均采用 6. 6m。每根吊杆钢索由 73 根 Φ7mm 镀锌低松弛预应力钢丝组成，钢丝的标准强度为 Ry = 1670MPa，吊杆钢索均采用 PE 双护层防护，为防止高原地区的强紫外线侵害，PE 护层外设不锈钢护套。吊杆上下端均采用冷铸镦头锚进行锚固。

为了更好的保证桥梁的整体建筑效果，便于运营期间吊杆锚箱的检查和吊索的更换，本桥吊杆锚固体系未采取传统的将吊索分别穿过拱肋和梁部锚固于拱肋顶及梁部下端的方式，而采用在拱肋和主纵梁上预埋钢锚箱，吊索锚具与钢锚箱连接的方式。由于预埋钢锚箱构造复杂，设计中对相关预埋连接件均进行了详细的检算。同时针对这种锚固体系在铁路桥梁上首次使用，开展了吊杆锚固体系静动载试验，试验结果满足设计要求。

吊杆锚箱用钢材采用 Q345qD。吊杆上、下端锚固体系示意图见图 3。

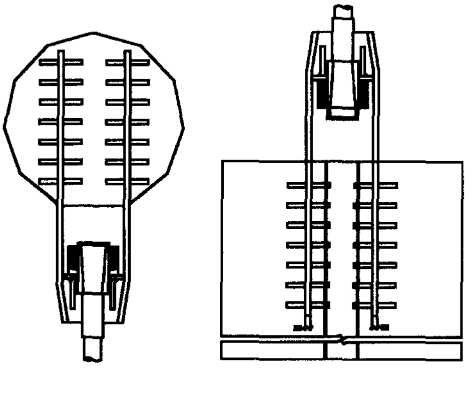


图 3　吊杆上、下端锚固体系示意图

1.3 引桥箱梁检查孔设置

引桥采用6联3×32.7m预应力混凝土连续箱梁，与主桥相邻的两联位于线路直线段，其余四联位于线路R=800 m的圆曲线和缓和曲线上，箱梁按曲线线形布置。为保证各联连续梁能同时施工，预应力连续梁采用了A型、B型两种梁型，A型梁必须先施工，同时为给后施工的B型梁留出千斤顶张拉空间，A型梁端横隔板混凝土在B型梁张拉完毕后再浇注。箱梁的横截面形式采用单箱单室，直腹板，梁高2.4m，高跨比为1/13.6。

为方便运营期间养护人员进入到梁体内部进行检查，设计分别在容易到达的格方和拉方桥台处、格尔木侧引桥与主桥相接处、格尔木侧既有河堤和规划河堤附近的箱梁底板各设置进人孔1处，全桥共5处。

2 新型支座的开发应用

由于主桥中支承的大t位和边支承的大位移要求，目前尚没有定型支座可供套用。另外青藏线少维修圆柱面支座最大t位(3000kN)也不满足引桥连续梁中支座的承载力要求。综合考虑本桥所处的特殊地理气候条件及抗震要求(8度震区)，按照少维修和便于维修的设计理念，在克服传统辊轴钢支座运营病害较多的经验教训基础上，参考国内外钢支座最新成果设计中开展了新型铰轴式支座设计研究。

该种支座的主要优点是：

(1)结构紧凑，传力途径明确，主要传力部件之间采用面接触，接触应力较小且均匀，从根本上解决了由于接触应力大、材料强度及硬度不足而引起的运营病害，从而达到少维护的目的；

(2)在构造上增设可更换摩擦幅，使摩擦幅抽换方便，达到便于维护的目的；

(3)具有良好的滑动和转动性能，对梁部的变形约束小；

(4)材料用量较传统辊轴钢支座少，制造、运输、安装、养护和维修方便。

图4 铰轴滑板钢支座效果图

本桥固定支座采用铰轴式钢支座，活动支座采用铰轴滑板钢支座(图4)。在有限元分析设计计算的基础上，由天津大学力学系完成了竖向承载力为3000kN的纵向活动支座的实体模型试验测试，两者结果相符，进一步证明各项性能指标满足设计要求，可以良好地工作。

3 长效涂装体系应用

主桥钢管拱跨度中孔和边孔分别为108m和72m，拱肋拱轴线均采用二次抛物线。为减小拱肋的厚重感，中孔拱肋采用双层叠拱，即由上下两个不同矢跨比的拱圈共同组成。双层叠拱不但使上部结构轻盈，也增加了虚实对比，同时也使体型宏大的桥体显得更加变化和流畅。边孔拱肋采用变高度的哑铃型截面。拱肋用钢材采用Q345qD。

中孔上拱设1道一字型横撑和4道K型横撑，下拱设3道一字型横撑和2道K型横撑。边孔拱肋设1道一字型横撑和2道K型横撑。横向联接系用钢材采用Q235qD。

根据本桥特殊的地理环境条件和景观要求，钢管拱、中孔拱间联杆、横撑、斜撑以及吊杆锚箱的外表面涂装为白色，在涂装材料的选用上需考虑桥梁所处地强紫外线辐射的特点以及高原缺氧地区养护维修作业困难的现实，设计中进行了热喷铝、IC531、氟炭材料等多种涂装体系比选，最终选定经铁科院金化所试验验证的旭氟龙氟碳涂装配套体系，该涂装体系底层为环氧富锌防锈漆（2道，40μm/道），中间层为灰云铁环氧中间漆（2道，30μm/道），面层为旭氟龙氟碳涂料面漆（2道，30μm/道）。涂装质量检验按《铁路钢梁保护涂装》（TB/T1527－1995）规定办理，要求防腐年限在25年以上。

4 活动检查车设置

长期以来，铁路圬工桥梁缺少性能完善的检修作业设备，桥梁养护手段落后，很多病害不能及时发现和整治，使病害扩延，梁体寿命缩短，更换提前，不但造成浪费，而且圬工梁的病害隐患也威胁着运输安全。本桥设计中考虑全桥设置一台检查车，检查车横向与主桥主梁等宽，检查车走行轨道主桥范围吊于横梁及桥面板上，引桥范围吊于箱梁底板上。通过将检查车旋转90°并提升的操作，检查车能从桥墩两支座间顺桥向穿过，实现全桥范围的检查作业。检查车不使用时，可以停放在一侧桥台处。

5 结语

在本桥的设计过程中，为了实现铁道部党组提出的建设一流高原铁路的要求，设计者们群策群力、集中攻关，开展科研试验，在满足桥梁功能性要求的同时，从服务运营维护的角度做了一些有益的创新，希望能为今后同类型桥梁设计提供参考，推进铁路桥梁的科技水平向前发展。

青藏线铁路桥梁碳化寿命预测

王春芬

兰州交通大学土木工程学院

摘　要:在对混凝土碳化的主要影响因素分析的基础上,建立了预测桥梁保护层混凝土碳化深度的随机模型和碳化寿命准则。结合长龄期铁路桥梁的检测结果,提出了青藏线桥梁混凝土的设计强度和保护层厚度的最低要求。

关键词:保护层混凝土　碳化　寿命预测

1　保护层混凝土碳化影响因素

保护层混凝土的碳化现象常见于一些早期修建的低标号中、小跨度桥梁。混凝土碳化是环境中的二氧化碳向混凝土内部扩散,并与混凝土中的碱性物质发生化学反应从而导致混凝土碱度降低现象。由于碳化后的混凝土导致钢筋脱钝,诱发钢筋锈蚀,因此,碳化深度和保护层厚度是影响桥梁耐久性的重要因素。苏联学者阿列克谢耶夫等人基于 Fick 第一扩散定律给出的如下形式的混凝土碳化深度预测数学模型[1]。

$$x = \sqrt{2D_c C_0/M_0}\sqrt{t} \tag{1}$$

从混凝土碳化机理来看,混凝土的碳化速度主要取决于二氧化碳的扩散速度和混凝土本身的密实性。国内外的大量碳化试验与碳化调查结果均表明,混凝土的碳化深度 x 与碳化时间 t 的平方根成正比,即

$$x = k\sqrt{t} \tag{2}$$

式中,k 为碳化系数,是反映碳化速度的综合参数。

1.1　大气环境因素的影响

桥梁混凝土的碳化反应是一种缓慢的化学反应过程,因野外大气环境下 CO_2气体浓度变化不大,混凝土碳化主要受到环境温度、相对湿度等环境条件的影响。在碳化过程中,气体的扩散速度和碳化反应速度一般随环境温度的升高而加快。清华大学在建立混凝土碳化数据库时,给出了环境温度对碳化的影响公式为[2]

$$\frac{k_{T1}}{k_{T2}} = \sqrt[4]{T_1/T_2} \tag{3}$$

式中,k_{T_1}、k_{T_2}分别为 T_1、T_2两种环境温度下的混凝土碳化系数。

环境相对湿度的变化决定着混凝土孔隙水饱和度的大小,湿度变化对碳化速度影响也较为明显。清华大学在建立混凝土碳化数据库时,给出了环境相对湿度对碳化的影响公式为[2]

$$\frac{k_{RH1}}{k_{RH2}} = \frac{(1-RH_1)^{1.1}}{(1-RH_2)^{1.1}} \tag{4}$$

式中,k_{RH_1}、k_{RH_2}分别为 RH_1、RH_2两种环境相对湿度下的碳化速度系数。

由于环境温度、相对湿度有较强的相关性，综合考虑环境温度与相对湿度对碳化速度的影响，将环境温度影响系数与相对湿度影响系数综合为环境因子 k_c，由下式计算。

$$k_e = 2.56 \cdot \sqrt[4]{T} \cdot (1 - RH) \cdot RH \tag{5}$$

式中，T 为环境的年平均温度（℃）；RH 为环境的年平均相对湿度（%）。

一般大气环境下混凝土碳化速度受气体扩散控制，桥上活载的长期反复作用和暴露环境为水和 CO_2气体的加速扩散创造了条件。试验室应力状态下混凝土试件的加速碳化试验发现，随着压应力的增加，试件碳化深度可减少到无应力状态 0.78 倍；随着拉应力的增加，混凝土碳化深度可增加到无应力状态的 1.07 倍[3]。在环境大气风压作用下，保护层混凝土有加速碳化的趋势。在对川黔线铁路桥梁碳化调查时发现，受风压影响的混凝土的碳化系数均值是其他部位的 1.15 倍左右[4]。综合考虑桥梁承受动力反复作用的特点和环境风压的影响，暂取考虑风压和应力影响的碳化系数为 $k_{ws} = 1.2$。

1.2 混凝土材料性能的影响

混凝土抗压强度是反映混凝土性能的综合指标，一般情况下，强度高的混凝土抗碳化能力强。文献[5]收集了国内外长期暴露试验与实际工程调查的碳化数据 64 组（数据均是由酚酞酒精溶液测出的碳化深度平均值），通过回归分析，提出了大气环境下混凝土抗压强度与碳化速度系数的关系表达式，即

$$k_f = \frac{57.94}{f_{cuk}} - 0.76 \tag{6}$$

式中，f_{cuk}—混凝土立方体抗压强度标准值（MPa）；k_f—混凝土强度控制的碳化速度系数（$mm/\sqrt{\mathrm{a}}$）

2 混凝土碳化深度随机模型

试验和现场检测发现，混凝土碳化深度的离散性较大，其主要原因来自保护层混凝土本身的变异性和环境变化特征。根据影响混凝土碳化的主要因素分析，提出碳化深度预测的多系数随机模式，即

$$x(t) = t_{mc} \cdot k_{ws} \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sqrt{t} \tag{7}$$

式中，k_{ws}为风压和工作应力影响系数；k_e 为环境因子随机变量，主要考虑环境温度与相对湿度对碳化的影响；k_f 为混凝土质量影响系数，主要考虑混凝土强度的影响；k_{mc}为计算模式不定性随机变量，主要反映模型计算结果与实际测试结果之间的差异，同时，也包含计算模型中未能考虑的随机因素影响[5]。

结合上述分析结果，混凝土碳化系数的随机模型可以表示为

$$k = 2.56 \cdot k_{mc} \cdot k_{ws} \cdot \sqrt[4]{T} \cdot (1 - RH) \cdot RH \cdot \left(\frac{57.94}{f_{cu}} m_c - 0.76\right) \tag{8}$$

式中，f_{cu}为混凝土立方体抗压强度（MPa），是随机变量；m_c为混凝土立方体抗压强度平均值与标准值之比值。

混凝土碳化深度不仅具有随机性，而且还具有随机过程性。根据混凝土碳化深度随时间增大的特征，宜用非平稳随机过程进行描述。碳化深度的一维概率密度函数可以表示为

$$f_x(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x(t)} \exp\left\{ -\frac{[x - \mu_x(t)]^2}{2[\sigma_x(t)]^2} \right\} \tag{9}$$

式中，$\mu_x(t)$和$\sigma_x(t)$分别为混凝土碳化深度的平均值函数与标准差函数，分别为

$$\mu_x(t)=\mu_k\cdot\sqrt{t} \tag{10}$$

$$\sigma_x(t)=\sigma_k\cdot\sqrt{t} \tag{11}$$

式中，μ_k为碳化系数均值，σ_k为碳化系数标准差，t为桥梁服役时间。

利用误差传递公式可求得为

$$\mu k=2.56\cdot\mu_{K_{mc}}\cdot k_{ws}\cdot\sqrt[4]{T}\cdot(1-RH)\cdot RH\cdot(\frac{57.94}{f_{cuk}}-0.76) \tag{12}$$

$$\sigma_k=\sqrt{(\frac{\partial k}{\partial k_{mc}})_m^2\cdot\sigma k_{mc}{}^2+(\frac{\partial k}{\partial f_{cu}})_m^2\cdot\sigma_{f_{cu}}{}^2} \tag{13}$$

式中，$\mu_{k_{mc}}$和$\sigma_{k_{mc}}$分别为碳化深度计算模式不定性系数的平均值和标准差；σ_{fcu}为混凝土抗压强度的标准差，式(13)的偏导数在碳化系数平均值处取值。

3 保护层混凝土碳化寿命准则

实测结果表明，混凝土保护层厚度c较好的服从正态分布，概率密度函数为[6]

$$p(c)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_c}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)^2\right] \tag{14}$$

式中，μ_c和σ_c分别为混凝土保护层厚度的平均值和标准差。

混凝土碳化对结构耐久性的主要不利影响是诱发钢筋锈蚀，考虑到混凝土本身的质量、混凝土保护层厚度、混凝土碳化深度及建筑物所处环境等因素都具有一定的随机性，为保证桥梁的长久性能，避免后期使用过程中因材料性能劣化造成交通中断和高昂的维修投入，建议将碳化锋面到达钢筋表面作为结构混凝土碳化寿命终结。混凝土碳化寿命准则可以表示为

$$\Omega_c=\{c-x(t)\geq 0\} \tag{15}$$

式中，c为混凝土保护层厚度，是随机变量；$x(t)$为混凝土碳化深度，是一个随机过程；Ω_c为混凝土碳化寿命准则，是随机过程。

与结构可靠度的定义类似，混凝土碳化耐久性失效概率可以表示为

$$P_{pc}(t)=P\{c-k\sqrt{t}<0\} \tag{16}$$

相应的可靠指标可以表示为

$$\beta_c=-\Phi^{-1}(P_{fc}) \tag{17}$$

根据《建筑结构可靠度设计统一标准》的要求，结构构件正常使用极限状态的可靠指标，可根据其可逆程度确定，但不宜小于0~1.5。桥梁保护层混凝土碳化目标可靠指标的设定，不仅要考虑桥梁的技术状况，还需要考虑桥梁的社会、经济因素等影响，对于普通钢筋混凝土梁体，目标碳化可靠指标可取0.0。

4 实例

例1. 某跨度54m的钢筋混凝土拱桥建于20世纪50年代，主拱拱肋混凝土设计标号为300号，检测时已使用47年。根据当地气象资料和现场采样分析，大气CO_2体积浓度0.03%，桥址处年均温度9.1oC，年均相对湿度59%。对拱肋腹板进行的现场测试结果表明，混凝土强度服从正态分布N(32.206MPa，2.454 MPa)，推定强度28 MPa。拱肋腹板箍筋保护层厚度和碳化深度均服从正态分布，其中，保护层厚度服从N(18.125mm，4.172mm)；碳化深度服从N

(12.29mm,4.34mm)。利用公式(10)、(11)计算得到检测时刻的碳化深度均值为11.56mm,标准差4.42mm,与检测结果基本相符。如取保护层混凝土碳化目标可靠指标为0.0,由(17)式可得剩余碳化寿命为68年,原混凝土设计可以满足使用寿命的百年要求。

例2. 青藏线上某跨度6.7m铁路钢筋混凝土简支Π梁,建于20世纪60年代,检测时已投入使用43年。桥址处年均温度5.7oC,年均相对湿度58%。现场测试结果表明,混凝土强度服从正态分布N(23.5MPa,2.365MPa),推定强度19.6MPa;梁体箍筋保护层厚度服从正态分布N(16.625mm,3.526mm);碳化深度服从正态分布N(14.28mm,3.10mm)。利用公式(10)、(11)计算得到检测时刻的碳化深度均值为16.19mm,标准差6.34mm。现场梁体钻孔检查发现,干燥部位的箍筋表面已出现浮锈;受泄水孔排水影响的部位,由于长期干湿交替作用影响,保护层出现锈胀开裂,梁底保护层部分脱落,钢筋锈蚀严重。

从实例分析来看,碳化深度预测模型与长龄期桥梁实测结果基本相符,在缺少实际检测数据的情况下,可用来预测钢筋混凝土桥梁保护层混凝土的碳化深度。部分桥梁的检测表明,按照施工质量要求建造的钢筋混凝土桥梁,钢筋的保护层厚度基本满足设计要求;混凝土设计强度低于C28(原300号)的桥梁,碳化速度较快,在露天干湿交替环境的影响下,钢筋锈蚀严重,影响了桥梁的长期耐久性,而且过早的维修也增加了运营成本。考虑保护层混凝土和内部混凝土的构造差异,混凝土碳化速度的离散性较大的特点以及桥梁材料劣化后修复困难且费用昂贵,今后在混凝土保护层厚度的取值上应留有一定的耐久性安全储备,北方干燥地区的桥梁混凝土的设计强度建议应在C30以上,箍筋保护层混凝土的厚度应不小于18mm。

5 结论

在混凝土碳化的主要影响因素分析的基础上,结合国内外资料,考虑现场耐久性检测较易获取的数据特点(如混凝土强度、保护层厚度、碳化深度、环境气候特点等)和检测数据的离散性,提出了适于高原地区预测桥梁混凝土碳化深度的随机模型和碳化寿命准则。工程检测实例分析表明,该模型能基本反映保护层混凝土的碳化规律,模型所需数据易于采集,简便实用。在综合考虑混凝土碳化特点的基础上,结合长龄期桥梁的检测结果,提出了混凝土的设计强度和保护层混凝土厚度的最低要求。

参考文献

[1] 阿列克谢耶夫著,黄可信,吴兴祖等译. 钢筋混凝土结构中钢筋腐蚀与保护[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1983

[2] 蒋清野,王洪深,路新瀛. 混凝土碳化数据库与混凝土碳化分析. 攀登计划-钢筋锈蚀与混凝土冻融破坏的预测模型1997年度研究报告,1997,12

[3] 涂永明. 吕志涛. 应力状态下混凝土的碳化试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版),2003,33(5):573~576

[4] 屈文俊既有混凝土桥梁的耐久性评估及寿命预测[D],西南交通大学博士学位论文,1995

[5] 牛荻涛. 混凝土结构耐久性与寿命预测[M]. 北京:科学出版社,2003,2

[6] 和泉意登志. コンクリート構造物の耐久性上の問題点とその対策[J]. コンクリート工學, 1994, 32(2)72~83

青藏铁路风火山隧道冻融圈地温变化分析

黄双林　苏新民

铁道第一勘察设计院

摘　要：冻融圈的大小及变化规律是研究多年冻土隧道的一个重要内容，也是分析隧道建成后结构稳定性的重要参数。文章通过对隧道施工期间及贯通后的洞内温度、围岩地温测试资料的分析，结合隔热保温技术在隧道中的应用，初步分析了风火山隧道冻融圈的变化规律。

关键词：风火山隧道　冻融圈　温度场　地温　隔热保温

1　前言

多年冻土隧道在开挖后，由于施工热扰动及洞内外环境温度的影响，隧道周边围岩会形成一定范围的融化，并在暖季和寒季的交替中进行冻融的反复循环，通常称之为冻融圈。冻融圈的存在使衬砌结构处在冻胀力往复作用的不利环境中，往往造成衬砌严重开裂甚至破坏。因此，对冻融圈的大小及变化规律的分析是研究多年冻土隧道的一个重要内容，也是分析隧道建成后结构稳定性的重要参数。目前国内外这方面的试验研究较少，尤其是现场测试资料缺乏，难以对冻融圈的大小及变化规律进行准确的分析。笔者结合青藏铁路风火山隧道的设计、施工及现场测温资料，对风火山隧道冻融圈地温变化情况进行了分析研究。

2　隧道概况

2.1　自然地理概况

风火山属于低高山区，地形起伏较大，地表冲沟较发育，隧道通过部位山顶最高海拔4996m，进口轨面高程4905m，全长1338m。风火山隧道为高原多年冻土区隧道，隧道最大埋深约100m，山体为单斜山，构造不甚发育，岩层相对较完整。

2.2　气象特征

风火山隧道所在地区气候属于青藏高原冰雪型气候区，气候干燥，变化无常，气温气压低，春秋季节短暂，冻结期9月至次年4月份。根据五道梁气象站以及20世纪70年代风火山临时气象站观测资料，年平均气温－6.11℃，极端最高气温23.2℃，极端最低气温－37.7℃，年平均降雨量290.9mm，年平均蒸发量1316.19 mm，相对湿度平均57%，最大风速31m/s，主导风向西，平均雷暴日数年最多36.7天。

2.3　地质及多年冻土特征

风火山隧道主要地层为第四系全新统洪积、坡积粉质粘土，下伏下第三系砂岩、泥岩。砂

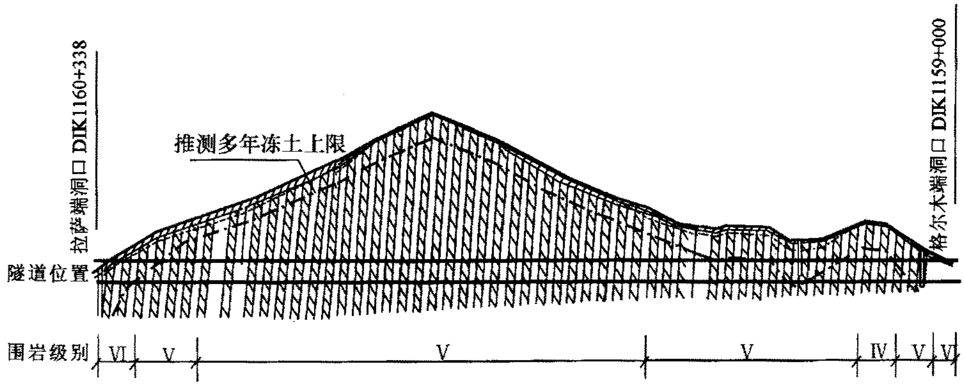


图1 风火山隧道纵断面图

岩、泥岩为隧道通过主要岩层,基本以砂岩为主,夹泥岩层,节理裂隙较发育。隧道洞身全部位于多年冻土之中,进出口端含土冰层、饱冰、富冰冻土发育。进口端多年冻土上限1.2~1.5m,在粉质粘土层以及土岩接触面发育富冰及饱冰冻土,局部有厚层地下冰分布,厚度2.1~4.0m,以下基岩风化层中多分布有富冰冻土,厚度1~2.5m。出口端多年冻土上限1.45~1.8m,在基岩风化层发育富冰、饱冰冻土,厚度1.75~4m。洞身通过基岩地段,多为少冰、多冰冻土,基岩风化层厚度一般8~10m,局部基岩风化层中发育1~2.5m厚的富冰、饱冰冻土。

2.3 风火山隧道设计及施工简介

为避免隧道冻融圈的往复作用造成衬砌结构破坏,设计遵循“保护冻土”的原则,采用隔热保温技术以减少洞内气温与围岩间的热交换,从而减小冻融圈的范围。风火山隧道结合其支护形式,在支护与模筑衬砌之间敷设聚氨酯泡沫型材作为隔热保温层。隧道采用曲墙带仰拱模筑钢筋混凝土二次衬砌,以适应多年冻土地区衬砌的受力特点。考虑多年冻土区施工环境温度较低,喷混凝土支护在施工工艺上及其与围岩的粘结强度方面都需要进一步试验研究,因此,风火山隧道采用模筑混凝土支护,并为敷设隔热保温层提供圆顺基面。隧道防排水结合隔热保温措施,采取“防、排、截、堵,多道防线,综合治理”的原则,洞内设双侧保温水沟,衬砌背后环向、纵向设排水盲沟,隔热保温层两侧设防水板,施工缝设橡胶止水条,变形缝设橡胶止水带。

风火山隧道于2001年10月开工,2002年10月19日贯通,2003年8月完成全部衬砌,并于11月完成铺轨。

3 施工期间洞内温度场对隧道冻融圈的影响分析

在隧道开挖后,围岩全部暴露在空气中,由于洞内空气温度高于围岩温度,所以热量将从洞内向围岩传递,使得围岩温度升高,冻土融化。在施作初期支护的过程中,除了洞内环境温度影响之外,混凝土放出的水化热是影响周围地温场变化的主要因素。即施作初期支护的过程中热源主要包括两个方面:洞内较高的空气温度及混凝土的水化热。

施工期间冻土大范围的融化会导致围岩坍塌、掉块,危及施工安全,同时,施工完成后冻土的恢复也需要较长的时间。因此,施工中应控制作业面温度,缩短各工序间隔,以减少围岩融化深度。青藏铁路冻土试验工程相关课题研究中,结合洞内温度及围岩地温的测试,对施工期

间的洞内温度场及围岩冻融圈进行了数值模拟分析,研究结果表明:

(1)冻土隧道施工中,洞内温度是影响冻土围岩融化圈深度的主要指标,当洞内气温分别为2.37℃、4.32℃、和10℃时,毛洞状态30d后围岩融化圈深度分别为1.42m、1.99m和3.0m。几种温度情况下毛洞阶段围岩融化圈范围如图2所示。

(2)洞内环境温度为2.37℃,围岩原始地温为-2℃时,隧道开挖后冻土围岩的暴露时间越长,对围岩融化圈深度的影响越大,如表1所示。当围岩暴露时间分别为1d和30d时,其融化圈深度分别为0.12m和1.42m,其原始地温影响圈深度分别为1.5m和7.0m。

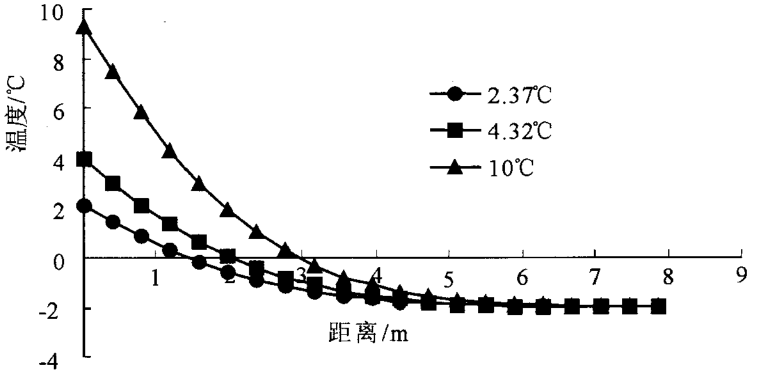


图2 洞内不同气温下30d后毛洞围岩温度-深度曲线

表1 不同施工阶段对围岩原始地温场影响情况

毛洞阶段			初衬后阶段				二衬后阶段(施作二衬30d后)	
围岩暴露时间(d)	围岩融化圈深度(m)	地温影响圈深度(m)	围岩融化圈深度(m) 30d后	围岩融化圈深度(m) 90d后	地温影响圈深度(m) 30d后	地温影响圈深度(m) 90d后	围岩融化圈深度(m)	地温影响圈深度(m)
1	0.12	1.5	3.11	3.53	9.1	12.0		
3	0.35	2.4	3.19	3.56	10.3	13.6		
7	0.59	4.0	3.29	3.61	11.8	13.6	4.42	10.5
30	1.42	7.0	3.88	4.79	13.4	15.31	4.51	13.2
60							4.62	13.2
90							5.22	15.5

(3)冻土隧道初衬和二衬之间设置了5cm厚聚氨酯泡沫保温层,在二衬混凝土施作后5d保温层内外侧温度分别为38.66℃和8.93℃,达到了约30℃的最大温差,起到了良好的隔热作用。

(4)由于隔热保温层的作用,二次衬砌混凝土施工对冻土围岩地温场的扰动相对较小,但二衬施作的迟早也将影响围岩融化圈的深度,同时更受衬砌前、后对围岩原始地温场扰动程度的影响。在围岩暴露7d后初衬的扰动地温场下,初衬后7d、30d及90d再施作二衬,二衬后30d围岩的融化圈深度分别为4.42m、4.51m和5.22m。

上述分析说明,在冻土隧道施工中,为减小施工期间围岩的融化范围,首先应控制好洞内

环境温度，施工中应尽可能缩短围岩暴露时间，及早施作初衬、保温层和二次衬砌。图3为风火山隧道实测的隔热层内外侧温度随时间变化规律。

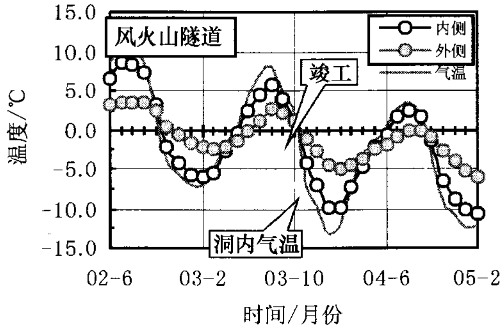


图3 隔热层内外侧湿度随时间的变化曲线

通过图3可以看出，施工期间隔热保温层内外侧温度持续正温的时间较长，这是因为施工对冻土的热扰动使得围岩产生一定范围的融化，但随着施工影响的结束，被扰动的围岩开始逐渐回冻。从隧道贯通后一年多的测温资料可以看出，施工期间围岩的融化是暂时的，冻土的回冻是明显的。

4 隧道贯通后洞内温度场对隧道冻融圈的影响分析

隧道贯通以后，随着施工对冻土影响的减弱，洞内、外气温便成为影响冻融圈的主导因素。由于衬砌背后隔热保温层的设置，寒季围岩的回冻及暖季围岩的融化均得到抑制，但总体上看，一年当中围岩对冷量的积蓄远远大于对热量的吸收，因而周边围岩的回冻便成为一个必然的趋势。下面结合青藏铁路冻土试验工程相关课题的现场测试及分析研究，通过洞内温度、隔热层内外侧温度和周边围岩地温的分布及变化情况来分析隧道贯通后冻融圈地温变化规律。

4.1 洞内气温的分布

测温资料反映，2004年风火山隧道洞内年平均气温为-4.31℃，与2003年相比较下降了2.56℃。图4为风火山隧道2003、2004年洞内平均气温沿隧道纵向的分布情况，可以看出，2003年施工结束后，2004年洞内平均气温大幅下降，沿隧道纵向起伏不大。

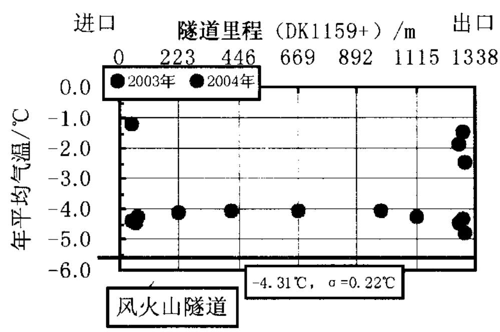


图4 风火山隧道洞内年平均气温沿隧道纵向的分布

4.2 隔热层内外侧温度的分布

测温资料显示，2004年隧道各断面隔热层内外侧年平均温度均为负温，与2003年相比，

2004年隧道隔热层内外侧年平均温度均明显下降，隔热层背后温度平均降低 -1.6℃左右。在2004年最热月，隔热层靠近衬砌侧的平均温度为2.42℃，而靠近围岩的月平均温度为 -0.03℃，温差约2.5℃，表明隔热层的设置阻止了洞内热量向围岩传递，隔热保温层发挥了良好的保温效果。图5为风火山隧道2004年隔热层内外侧年平均温度沿隧道纵向的分布情况。

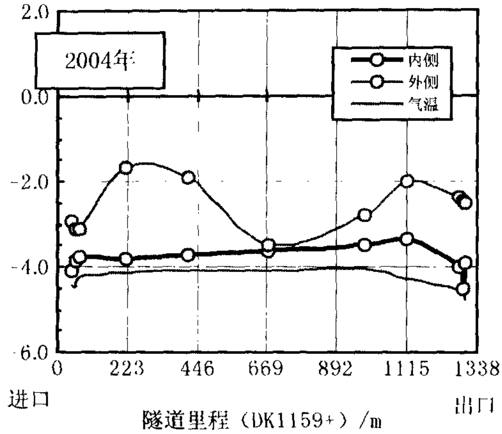


图5　风火山隧道隔热层内外侧年平均温度沿隧道纵向的分布

统计显示，风火山隧道隔热层内外侧温度的年变化幅度，2004年全隧内侧平均为12.66℃，外侧平均为5.02℃。可以看出，由于隔热层的隔温作用，使两隧道隔热层外侧温度的年变化幅度明显低于内侧。

隔热层内外侧温差明显随洞内气温变化，隧道建成后则具有明显的季节变化趋势，即暖季为正温差、寒季为负温差。表明暖季隔热层外侧温度低于内侧，寒季则高于内侧温度。隧道建成后各断面中隔热层内外侧月均温度差的最高、最低值为4.44℃（2004年7月）、寒季 -9.04℃（2004年1月）。

4.3　衬砌背后围岩地温的分布

隧道贯通以后，由于洞内、外气温的影响，施工期间因为热扰动而地温升高（部分范围产生融化）的围岩逐渐降温，图6为风火山隧道2004年不同深度围岩年平均地温沿隧道纵向的分布情况，可以看出，2004年隧道衬砌背后的围岩整体上处于负温状态。图7风火山隧道2003和2004年衬砌背后1m、5m深度围岩年最高地温沿隧道纵向的分布情况，数据显示，2004年隧道各断面围岩年最高、最低地温较2003年明显下降，其中年最高地温下降更为明显。从沿隧道分布情况看，2004年隧道围岩1m深度处年最高地温仅中部有两个断面为正温外其余断面均降为负温。5m深度处年最高地温基本为负温。

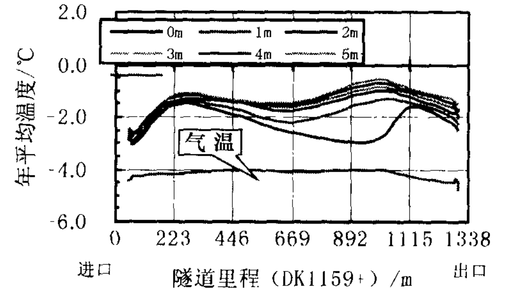


图6　风火山隧道不同深度围岩年平均地温沿隧道纵向的分布

统计资料显示，从施工期间到隧道建成后，围岩地温随洞内气温而变化，但地温的变化幅度显著衰减，变化周期也随深度增加呈不同程度的滞后现象。在2004年的地温变化周期中，孔口

地温的正温期只有 2 ~ 3 个月，其月均温度最高为 9 月，最低为 2、3 月；而 5m 深度处月均地温最高月在隧道纵向不同地段上出现的时间有所不同，进、出口段为 11 月、中间段则为 9、10 月份，而月均地温最低月主要为 6、7 月份。可以看出，洞内 5m 深度处地温的最热月可滞后于洞内气温 3 个月，最冷月可滞后 5 ~ 6 个月。

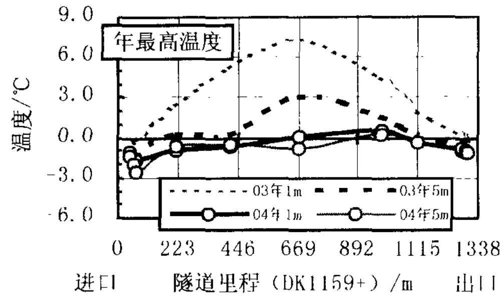


图 7　风火山隧道衬砌背后 1m、5m 深度围岩年最高地温沿隧道纵向的分布

通过以上分析及对风火山隧道地温测试资料的研究，可以认为：

（1）施工热扰动导致了隧道周围冻土的融化，既影响施工期间围岩的稳定，又延长了冻土恢复的时间，给隧道结构带来不利影响，因此，施工中控制洞内温度、缩短工序间隔、尽早敷设隔热层以减小冻土融化是必要的。

（2）由于风火山隧道在一年当中的负温积远远大于正温积，隧道贯通后周边围岩地温逐渐下降，并呈现良好的回冻趋势，由此可见，隧道施工对冻土产生的不利影响是可以恢复的。

（3）风火山隧道在 2004 年度除中间局部段落的围岩在暖季产生 1m 左右的融化外，大部分段落的围岩在寒暖两季均处于冻结状态，且与 2002、2003 年的地温相比有明显的下降，而产生融化的段落均为 2002、2003 年地温较高、施工热扰动产生融化范围较大的地段。由此可见，目前风火山隧道大部分段落的冻融圈已经控制在隔热保温层以内的范围，这为隧道结构的稳定创造了良好的条件。

（4）根据以往经验，多年冻土隧道贯通后的冻融圈范围接近该地区的冻土上限，而风火山隧道在敷设隔热保温层后现场测试的冻融圈范围表明，隔热保温层阻止了暖季洞内热量向围岩的传递，因此，目前隔热保温技术在风火山隧道的应用是成功的。

（5）隧道周边围岩逐渐回冻和冻融圈范围有效控制的事实证明，风火山隧道采用“保护冻土”的设计原则是完全正确的。

5　结语

风火山隧道处于年平均气温 -6.11℃ 的负温环境中，设计中采用了“保护冻土”的原则，应用了隔热保温技术，根据测温资料反映，目前隧道大部分段落的冻融圈得到了有效控制。但由于隧道贯通时间不长，施工对冻融圈的热影响尚未完全消失，冻融圈的监测还需要一个较长的时间，我们会根据更丰富的测温资料，对隧道冻融圈的范围及变化规律作进一步研究，为风火山隧道的维修养护及安全运营提供科学依据。

青藏铁路耐久混凝土结构维修措施探讨

李鹏辉

中铁十七局集团有限公司

摘　要：对青藏铁路耐久混凝土目标管理措施进行了阐述，提出了耐久混凝土病害整治的一些措施，供同行参考。

关键词：耐久混凝土　维修养护　探讨

在青藏铁路特殊的环境条件下，混凝土结构除了满足以强度为基础的对荷载作用下的安全性和适用性的力学性能外，更要研究结构在长期使用过程中由于恶劣的环境影响引起材料性能恶化、结构受损甚至破坏的问题。青藏线混凝土面临的耐久性问题是当前我国工程界面临的最大难题，若这个问题解决的不好，快则二三年，慢则十年，混凝土结构将不可避免地出现耐久性灾难。

为此，笔者从青藏铁路耐久混凝土受损破坏的机理入手，提出一些耐久混凝土结构的维修养护措施，以供探讨。

1　青藏铁路耐久混凝土目标管理措施

目标管理措施的原则是用规范的施工工艺及检测控制制度保证耐久混凝土施工过程的规范化，实现以耐久混凝土目标管理措施控制耐久混凝土质量的目的。规定了八项指标：抗冻性、抗渗性、抗裂性、护筋性、耐腐蚀性、抗氯离子渗透性，抗碱－骨料反应性能，耐风蚀性能。

具体要求为：水泥使用普通硅酸盐水泥，性能符合 GB175－1999 的规定，不得使用高铝水泥或复合硅酸盐水泥；骨料的品质除满足 TB10210－2001 的规定外，砂的含泥量不超过 3%，石子的含泥量不超过 1%，石子的针片状颗粒总含量不超过 10%，优先选用含泥量小、针片状颗粒含量少、压碎指标值小坚固性优良的非碱活性连续级配砂石，条件所限不得不使用碱活性骨料时，骨料的砂浆棒膨胀率不大于 0.20%，且混凝土的总碱含量满足 TB/T3054－2002 的规定，即最大不超过 3.5 kg/m^3；拌合水满足 TB10210－2001 的规定，且 SO_4^{2-}、Mg^{2+}、Cl^- 含量不得超标；外加剂应具有早强、减水、防冻、引气，能细化孔结构等复合功能，且要经铁道部鉴定或评审通过，质量符合 GB8076－1997、JC475－92 及混凝土耐久性指标要求，掺量和使用环境符合产品要求；掺合料主要以粉煤灰或硅灰为主，其掺量一般为 10%～15%，粉煤灰品质应符合 GB1596－91 规定的 I 级灰要求，硅灰的比表面积宜大于 20000m^2/kg，SiO_2的有效含量宜大于 90%；混凝土配合比根据不同冻土地段、不同环境条件、不同温度范围及不同地质条件的具体要求进行设计，并实验验证，但应满足几个指标限制：最大水灰比 0.39，外加剂掺量（水泥用量的）11.1%左右，掺合料用量 10%～15%，砂率 36%左右，C50 及以下的混凝土、最大胶凝材料用量（水泥、外加剂、掺合料的组合）不超过 500 kg/m^3，含气量 3%～6%。混凝土搅拌用自动计量的强制式搅拌机为宜，搅拌时间 $5min > t \geq 2min$。混凝土入模温度控制：与冻土层有直接影响的混凝土结构控制在 2～5℃；在低温或负温下养护且不与冻土层直接接触的混凝土结构

控制在5~10℃。为此由热工计算倒推原材料应加热或预热的温度，水泥、外加剂和掺合料不得直接加热，优先采用加热水的预热方法，但水温不宜超过80℃，也可将骨料均匀加热，其加热温度不应高于60℃。混凝土结构的养护，混凝土浇筑后，应立即覆盖，实施保温保湿养生，直至混凝土获得临界抗冻强度。混凝土拆模前，应定期测定混凝土表面和内部的温差，不宜大于15℃，否则临时保温。混凝土拆模后，混凝土与环境的温差不宜大于15℃，否则应迅速对混凝土采取有效保温措施，即包裹或覆盖，使混凝土在潮湿环境中养生，直至强度达到设计要求。当新浇筑的混凝土与流动的地表水或地下水相接触时，应临时保温养护，直至混凝土达到强度的50%以上；当环境水有侵蚀作用时，临时保温养护应延续至混凝土达到强度的75%以上且龄期28d以上。采用加热养护的混凝土，当环境温度低于0℃以下时，养护完毕后，应使混凝土冷却至5℃以下才可拆模，拆模后继续保温保湿养生14d以上。混凝土在施工过程中的抽检指标有：坍落度、含气量、0.5h静态泌水率，不合要求的混凝土不得入模。

2 混凝土受损破坏的机理及改善措施

2.1 强度衰减

在正常情况下，混凝土的强度随时间延长而增长，且这种增长可持续十几年，但在下列非正常情况下，混凝土强度反而随时间而衰减。

- 干燥、脱水时，混凝土内部水分脱失，强度降低、衰减。
- 掺过多膨胀剂时，混凝土内部膨胀成分水化反应，产生更大的内应力，混凝土原结构破坏、强度衰减。
- 早期养护温度过高(蒸养)，也可能使混凝土强度衰减。蒸汽养护的混凝土比正常养护的混凝土28d强度低10%~20%。
- 超高强混凝土(C80)以上，或特大水泥用量(550kg/m^3)的混凝土，也可能造成强度衰减。
- 碱-骨料反应，会使混凝土内部结构破坏，强度衰减。(不均匀变形，造成内应力)
- 腐蚀介质存在，也会使混凝土随时间延长，内部结构破坏，强度衰减。
- 过量减水剂的使用，会使混凝土凝结时间大大延长，甚至不能凝结，早期强度上不来，造成工程事故。
- 早期受冻，混凝土中的水分大部分结冰，水泥颗粒与冰不会发生反应，混凝土强度停止增长。

2.2 混凝土冻坏

由于水结冰体积膨胀约9%，如果混凝土内孔隙中水的体积超过临界值(91.7%)时，水结冰就会对孔壁产生很大的压力，使混凝土产生微裂缝，从而发生破坏。可见要提高混凝土的抗冻性，就要减少混凝土内部连通的毛细管(孔隙)数量。因为连通的毛细管多，水就容易进入并充满，当结冰时，就产生膨胀。连通毛细管的形成是由于混凝土泌水、和拌合水用量过大。防治措施为：

- 在混凝土中添加引气剂，就会降低泌水、增加混凝土内部封闭的细小孔隙。引气剂在混凝土中产生足量的小气泡，对冻融破坏有“卸压作用”。有封闭的细小孔隙，水不易渗入，即使渗入，也不易充满，即使充满部分封闭孔隙，但很难充满全部，这样水结

冰产生的膨胀压力就可在气泡处卸压。因此提高了混凝土的抗冻性。

- 提高混凝土的密实度　混凝土非常密实，水不能渗入，就不存在水结冰问题，抗冻性就好。一是加强振捣，减少拌和用水，即不超过最大水灰比。二是掺入高效减水剂，减少混凝土泌水性，多余水分不留在混凝土中，就能提高密实度。

2.3　混凝土受腐蚀破坏

混凝土腐蚀有物理腐蚀和化学腐蚀。物理腐蚀如结晶膨胀，可溶性物质（$CaCl_2$、$CaSO_4$、Na_2SO_4）渗入混凝土内部，由于气候干燥，水分蒸发，可溶性盐随水迁移而富集，最后在孔隙中结晶膨胀，产生内应力，使混凝土开裂破坏。化学腐蚀指混凝土中的铝酸盐与介质中的石膏反应生成水泥杆菌，产生膨胀，造成内应力，从而使混凝土开裂、破坏。

■　硫酸盐腐蚀，生成水泥杆菌：

$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 14H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O + Ca(OH)_2$

■　镁盐腐蚀：

$MgSO_4 + Ca(OH)_2 + H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + Mg(OH)_2$ 强度高的 $Ca(OH)_2$ 转化为 $Mg(OH)_2$，同时又发生硫酸盐腐蚀。

■　提高混凝土耐腐蚀措施。合理选用水泥品种（抗硫酸盐腐蚀、硅酸盐掺矿物性混合材料）；提高混凝土密实度（掺减水剂、加强振捣）；改善混凝土孔隙特征（掺引气剂、减少混凝土泌水）。

2.4　混凝土碱－骨料反应

当混凝土中的水泥含有较多的碱性氧化物（如 K_2O、Na_2O），同时又使用了含有活性氧化硅的粗骨料，结果就能在骨料表面生成硅酸凝胶体，吸水膨胀，而把包裹在骨料周围的水泥石胀裂，对混凝土耐久性十分有害。碱－骨料反应发生的必要条件一是水泥中有碱性物质（$Na_2O > 0.6\%$），二是粗骨料中有活性物质（非结晶 SiO_2）；三是有水存在，三者缺一都不会发生碱－骨料反应。抑制措施：掺入高活性混合材料（如粉煤灰），吸收水泥中的碱成分，使混凝土碱度降低；控制粗骨料中活性物质含量；不与水接触。

2.5　提高混凝土抗渗能力

混凝土抵抗水渗透的能力。水只有渗入混凝土内部才能发生破坏，才会冻胀，才会碱骨料反应，才会腐蚀。因此提高混凝土抗渗能力是反映耐久性的一个重要指标。

2.6　混凝土中的钢筋腐蚀

混凝土中的钢筋不锈蚀的原因主要是水泥水化的高碱性（$pH > 12.6$）使其表面产生一层致密的钝化膜来保护钢筋。但当环境中有氯盐和硫酸盐存在时，Cl^- 或 SO_{42-} 进入混凝土并到达钢筋表面，使 PH 值迅速降低到 4 以下，局部酸化形成“腐蚀电池”，破坏钝化膜，使钢筋表面露出铁基体，水或潮气使其生锈。锈蚀产物膨胀（2～6 倍）使混凝土顺筋开裂，加速钢筋腐蚀，破坏粘结力，钢筋断面损失，结构性能下降直至局部或整体破坏。有资料显示，Cl^- 渗入混凝土内的钢筋表面，只有达到一定浓度才会锈蚀，该浓度约为 $0.3 \sim 0.6 kg/m^3$。降低 Cl^- 浓度是提高钢筋防腐能力的重要措施。

■　提高混凝土密实度，掺加活性复合材料使混凝土致密，减缓 Cl^- 的扩散速度。

- 增加混凝土保护层厚度。Cl^- 在混凝土中的浓度随混凝土深度增加而减小。
- 尽可能防止混凝土裂纹。裂纹会加快 Cl^- 进入混凝土的速度。
- 采用环氧涂层钢筋，镀锌钢筋，钢筋阻锈剂等。
- 混凝土表面防护。渗透型憎水涂层；(如烷基烷氧基硅烷等)聚合物改性水泥砂浆覆层；表面涂层(如沥青，油漆，防水涂料，树脂等)；隔离层(如玻璃钢粘铺层，玻璃磷片覆层等)。

3 青藏铁路耐久混凝土病害监测

病害监测主要借助现场各种检测设备和凭观察判断。监测内容：

(1)检查圬工(墩台身、涵节、基础等)在冰水交界处的冻融剥蚀情况。有些冰水交界处的墩身及涵身腐蚀深度已达 5mm 之巨。

(2)多年冻土区高桩承台的防冻拔措施实施情况。只要高承台悬空 30～50cm，目前尚无冻冰触及台底。

(3)裂纹。尺量裂纹长度，刻度放大镜测裂纹宽度，超声波测裂纹深度。

(4)混凝土强度比照。无损检测有超声波法，回弹法和两者组合。破损检测为取芯。

(5)钢筋锈蚀。目测混凝土沿筋纵裂情况，凿除松动混凝土察看钢筋锈蚀情况。

(6)混凝土中性化测试。检测碳化深度常用酚酞酒精溶液显色试验。

(7)混凝土保护层测试。采用钢筋定位仪。

(8)劣化混凝土岩相分析及化学分析。岩相分析可观察混凝土内部裂隙情况、骨料岩相结构，判断是否有碱－骨料反应。化学分析可画出沿混凝土深度方向的 Cl^- 及 SO_4^{2-} 分布曲线和 K_2O、Na_2O 分布曲线。

(9)混凝土表面渗透性。GWT 测试仪用于评价混凝土表面渗水特征。

4 青藏铁路耐久混凝土维修措施建议

(1)与含有腐蚀介质的流动水接触的耐久混凝土。可进行混凝土表面防护，如渗透型涂层，聚合物改性水泥砂浆覆盖，表面涂层，隔离层等。还可对水中混凝土“穿裤子”，如用厚层耐腐有机材料包裹、焊接(再生橡胶、聚苯乙烯材料等)，高性能防腐砂浆砌筑片石围裹等。

(2)裂缝修补。表面处理法，注入法，充填法等。修补材料主要有树脂类和胶凝类。

(3)钢筋锈蚀。传统方法是凿除保护层除锈涂防锈材料再覆抹水泥砂浆。国外有一种新的修复技术，是在结构表面或凿开的钢筋基面上涂一层迁移型有机阻锈剂，可通过混凝土迁移到钢筋表面，使钢筋重新钝化。

5 体会

青藏铁路耐久混凝土的维修和养护是个综合性问题，需要真实有效的科研成果的支撑指导和实践经验的积累验证。从青藏公路混凝土圬工的一些病害整治实例看，以上措施还是可行的。

青藏铁路结合梁钢梁低温疲劳试验研究

张玉玲　刘晓光　潘际炎　陶晓燕 王冒明

铁道科学研究院

摘　要:针对青藏铁路结合梁用钢材和焊接,进行了低温和室温环境下的性能对比试验,包括:疲劳裂纹扩展速率试验、疲劳试验和强度力学性能试验。文章详细分析了试验结果,指出桥梁焊接钢结构材料的疲劳强度在低温下有提高。对结构则由于焊接残余应力的影响,以及韧性下降,抗疲劳裂纹扩展能力降低。结合相关资料综合分析,提出青藏铁路高寒地区结合梁钢梁疲劳设计的规定。

关键词:青藏铁路　结合梁　裂纹扩展速率　低温疲劳

1　前言

青藏铁路地处我国高寒地区,常年低温。低温将使钢材和焊接接头韧性降低,结构变脆,导致抗裂性能下降,影响结构、尤其是对受动荷载作用很大的铁路桥梁的安全水平,现有针对常温环境制定的结合梁设计参数,对低温没有规定。本研究针对青藏铁路结合梁用桥梁钢材和焊接进行了低温和室温环境下的性能对比试验,包括:疲劳裂纹扩展速率试验、疲劳试验和强度力学性能试验。结合相关资料综合分析,提出青藏铁路高寒地区结合梁钢梁疲劳设计的相关规定。

2　试验准备

2.1　试件的准备

本次试验依据设计院提供的资料[1]决定采用24mm板厚的14MnNbq钢作试件。试件由中铁山桥集团有限公司加工制造。钢材的化学成分和力学性能见表1。

表1　试件钢材性能

化学成分(%)	C	Si	Mn	P	S	Nb
	0.14	0.38	1.43	0.012	0.006	0.021
机械性能	σ_s(MPa)	σ_b(MPa)	δ_5(%)	冲击韧性	$-40℃\ A_{kv}$(J)	
	390	535	32	155	126	116

焊接采用埋弧自动对接焊,火焰预热温度大于5℃,焊接道间温度60~250℃。双面焊,分4道焊接,焊接电流700~720A,电压32~33V,焊速22~24m/h。焊接材料采用直径φ5的H08Mn2E焊丝、SJ101q焊剂。

主要进行了疲劳裂纹扩展速率试验、疲劳试验和力学性能拉伸试验。其中疲劳裂纹扩展速率试验和疲劳试验采用标准的三点弯曲加载试样,为使试验数据有较好的可比性,每根试件

的跨中受拉部位预先用 0.2mm 钼丝切割出 1mm 深的缺口。力学性能试验采用标准拉棒试样。两种试件的设计图纸见图 1 和图 2。

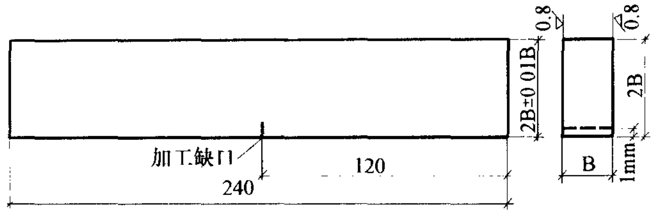


图 1　三点弯曲疲劳试样图

说明:①B 为试样厚度。采用钢板原始厚度,不能由其他厚加工成所需厚度。

②加工缺口应垂直于试样表面,偏差在 ±2 以内。

③取样标准见 JB/T4291 - 1999。

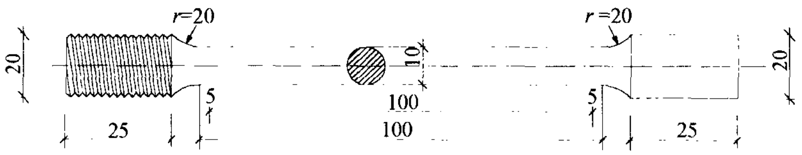


图 2　拉棒试样图

2.2　试验设备及工作情况

试验在清华大学工程力学系国家一级重点强度试验室进行。疲劳裂纹扩展试验在由英国生产的 INSTRON1343 疲劳试验机(±250kN)上进行;疲劳试验在 INSTRON1603 高频疲劳试验机(100kN)上进行;拉伸试验在长春试验机研究所生产的 CSS2220 万能机(200kN)上进行。由于试验时试件需处于低温环境,专门配制了低温环境箱(长春试验机研究所制造)。为了能直接、准确地读取裂纹数据,本研究采用了医学用内窥镜探测法进行裂纹的观测。

3　青藏铁路用桥梁钢材及焊接低温与常温对比试验

3.1　疲劳裂纹扩展速率试验

(1)试验参数

考虑试件疲劳裂纹开裂速度(保证读数时间)、一根疲劳试件试验的时间、试件应力状态以及试验机工作状态等因素,确定本次疲劳裂纹扩展试验的加载为:平均荷载 Pm ＝26.7kN、荷载幅值 ΔP＝24.25kN,加载频率为 10Hz,试验低温环境温度为 －50℃。

(2)试验内容

分别对 24mm 板厚 14MnNbq 钢母材、焊缝、熔合线进行了室温(20℃)和低温(－50℃)环境的疲劳裂纹扩展试验。此外,还进行了改变平均载荷试验,以寻找平均荷载变化与裂纹扩展速率的关系。共试验试件 22 根,有效试件 20 根。

(3)试验结果及数据整理分析

试验过程中观察并记录疲劳循环次数 Ni 和裂纹开裂长度 ai,同时记录随裂纹扩展试验机载荷相应变化的读数 Pi。母材、焊缝和熔合线试件在室温和低温环境下裂纹开裂长度 a 与疲劳循环次数 N 的关系,以及疲劳裂纹扩展速率$\frac{da}{dN}$与强度因子范围 ΔK 的关系见图 3 ~ 图 5。

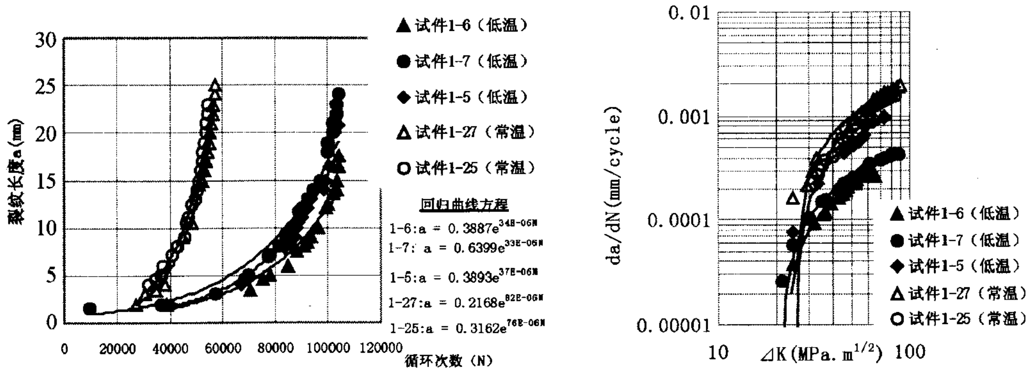


图3　低温和室温下母材疲劳裂纹扩展性质对比

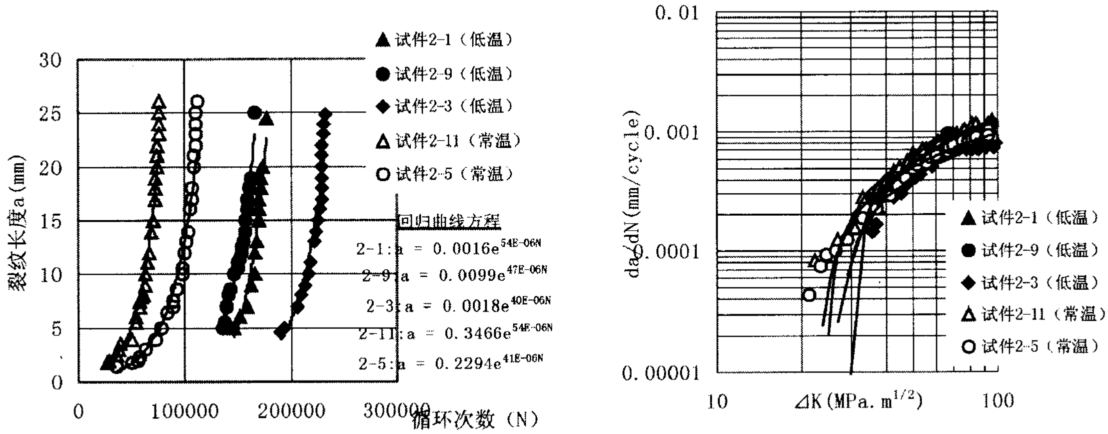


图4　低温和室温下焊缝疲劳裂纹扩展性质对比

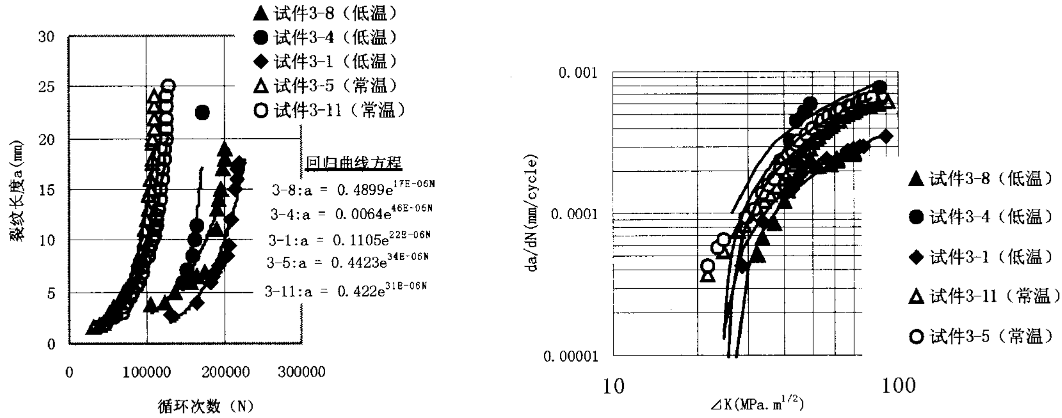


图5　低温和室温下熔合线疲劳裂纹扩展性质对比

分析图 3 ~ 图 5 发现，在相同裂纹扩展长度情况下，母材、焊缝和熔合线试样低温时的疲劳循环次数比常温要长。母材试验数据在低温和常温的分布都比较集中，焊缝和熔合线试验数据离散很大，但各试样回归的曲线与实测数据很吻合。对应于裂纹扩展速率 $\frac{da}{dN} = 0.00003$ 时的，母材试样的 ΔK 为 23 ~ 29MPa $\sqrt{m}$，焊缝试样为 25 ~ 30MPa $\sqrt{m}$，熔合线试样为 = 23 ~ 29MPa $\sqrt{m}$，三种试样 ΔK 的平均值为 26.2 MPa $\sqrt{m}$，ΔK 值在低温和常温下的变化不大。从以上分析可知，以裂纹扩展速率 $\frac{da}{dN} = 0.00003$ 为前提，温度降到 −50℃时，对试样是否为母材、焊缝或熔合线，其 ΔK 值差异不大。

为全面进行对比分析，将上述试验数据分成六类：母材低温、母材常温、焊缝低温、焊缝常温、熔合线低温、熔合线常温，分别将相同试样类型在相同温度下的试件的回归曲线取平均值，共得到 6 根 a − N 回归曲线，又用这 6 根回归曲线进一步计算 $\frac{da}{dN}$ 和相应强度因子范围 ΔK，得 $\frac{da}{dN} - \Delta K$ 曲线见图 6。

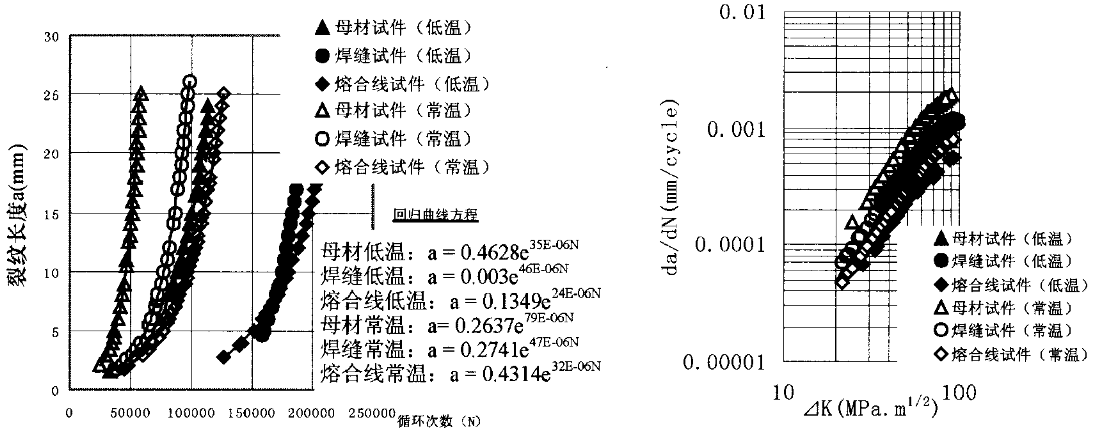


图 6　数据归类汇总回归线

分析图 6 可以看出，低温环境下的疲劳循环次数高于常温；在相同裂纹扩展长度情况下，无论是常温还是低温，母材循环次数最少，其次是焊缝，循环次数最多的是熔合线。母材循环次数从常温到低温增长的幅度小于焊缝和熔合线增长的幅度。扩展速率从慢到快的顺序依次是低温熔合线、常温熔合线、低温母材、低温焊缝、常温焊缝、常温母材。同样，低温时三种试样的裂纹扩展速率均低于相应试样的常温值，母材在常、低温变化最大，其次是熔合线，而焊缝次之。六类试样的裂纹扩展速率曲线基本平行，说明随着应力强度因子的提高，母材、焊缝、熔合线的裂纹扩展速率以相同的比例增长，表明裂纹发生在母材、焊缝或熔合线部位三种试件材料中的扩展速率发展是相同的。

3.2　疲劳试验

(1)疲劳 S − N 曲线方程

在疲劳裂纹扩展试验基础上，选定了离散性小的母材试样进行疲劳试验，以了解低温和常温下疲劳 S − N 曲线方程性质和状态的差别。共完成 10 根试件的疲劳曲线试验，所有试件平

均载荷均采用 $P_m = 75kN$, $\sigma_m = 195MPa$,疲劳寿命取裂纹长度达到相同值(约为试件高度的1/2)时的次数,5 根在 -50℃低温下进行,加载频率 150Hz,5 根在常温下进行,加载频率 180Hz(加载频率有试验机自行调整)。试验结果见图 7。

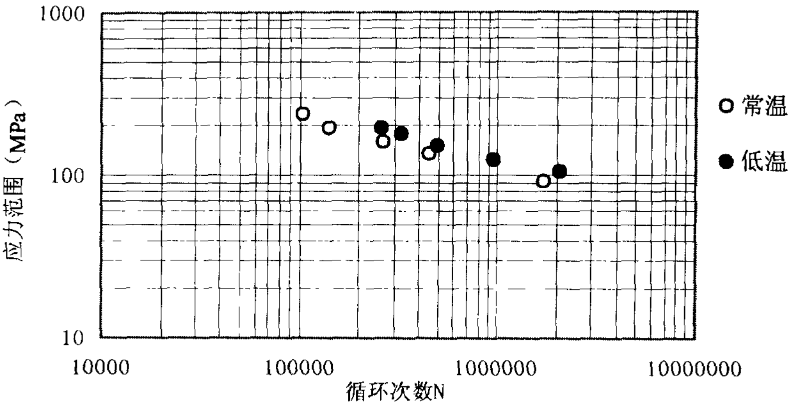


图 7 母材试件常温和低温疲劳曲线试验结果

常温下母材试件试验回归曲线为:

$$LgN = 12.0392 - 2.9823Lg\sigma \tag{1}$$

相关系数 $\gamma = -0.9926$

低温下母材试件试验回归曲线为:

$$LgN = 13.0414 - 3.3420Lg\sigma \tag{2}$$

相关系数 $\gamma = -0.9907$

分析上述疲劳曲线数据可以看出:

①低温下 S - N 曲线方程斜率 m 略大于常温下 m,亦即曲线略缓于常温。

②低温时 S - N 曲线方程的常数项大,因此整个曲线较常温上提。

③将常温、低温两条回归曲线延伸推算,当 $\sigma = 611MPa$ 时,两条曲线相交。对应 200 万次,常温应力范围为 84MPa,低温应力范围为 104MPa,即 24mm 板厚的标准三点弯曲试样在承受 195MPa 平均应力时,-50℃低温比常温的疲劳强度提高 24%。

(2)平均应力的影响

改变加载平均应力进行常温和 -50℃下疲劳试验[2]结果表明:当平均应力从 121MPa 提高 195MPa(提高 61%),常温下疲劳应力范围从 176MPa(平均值)降低到 165MPa(降低 6%);低温下疲劳应力范围从 177MPa 降低到 156MPa(降低 12%)。可见,当平均应力提高时,疲劳强度会降低。低温时下降的幅度大于常温时下降的幅度,下降百分数约为常温的 2 倍。

(3)温度变化对疲劳寿命的影响

为了了解温度变化过程中疲劳性能的变化状态,对母材分别进行了常温、-10℃、-30℃、-50℃、-65℃和 -75℃的疲劳试验。为便于比较,采用相同的平均应力 $\sigma_m = 119MPa$,取应力范围 $\Delta\sigma = 175 \sim 180MPa$ 范围的数据,按温度变化绘出疲劳寿命与温度关系曲线见图 8。

从图 8 可以看出,从疲劳循环次数看,降温在 -75℃以上时,疲劳循环次数状态变化平稳,没有明显突兀变化,表现为平缓上升趋势。

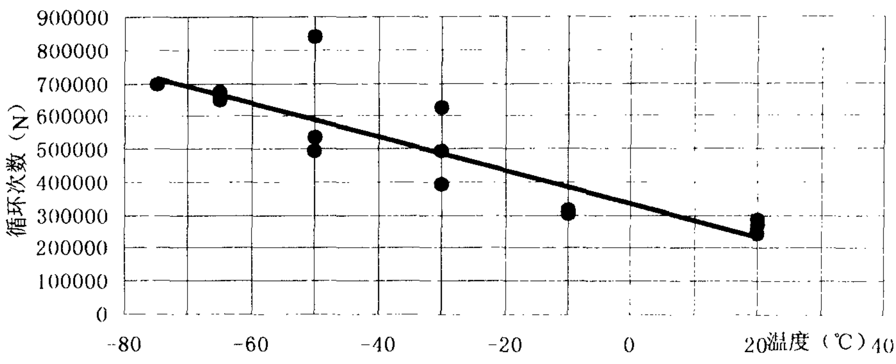


图 8　疲劳寿命与温度变化关系图

3.3　拉伸试验

试验研究中发现，不论是裂纹扩展速率，还是疲劳循环次数，低温时数据都好于常温。初步分析是由于低温下材料屈服强度提高的缘故。为探求其中的关系，以便对制定设计规定有更可靠的依据，对 14MnNbq 钢母材进行了常温和低温下力学性能的对比测试。共完成了 15 根试样的拉伸试验。具体结果见图 9。分析表明，随着温度的降低，14MnNbq 钢材的屈服强度和极限强度分别都有提高，常温到 -50℃ 的平均屈服强度和极限强度分别提高 4.4% 和 7.6%，极限强度提高快些。屈强比略有降低，但无特别明显的规律。

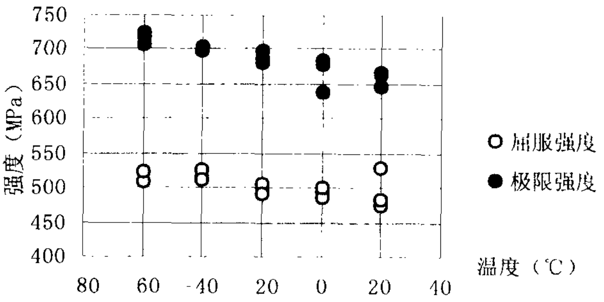


图 9　拉伸试验结果

4　分析讨论

研究青藏铁路结合梁钢梁的低温疲劳问题，表现为受多因素的综合影响。制定其疲劳设计规定，必须综合这些因素的影响和程度，全盘考虑耐久性和安全性。

从本次对实桥用材料疲劳试验数据看，低温使母材、焊缝、熔合线的强度提高、疲劳次数延长、裂纹扩展速率降低、S－N 曲线升高，对存在残余应力的焊接钢梁，应力水平总是处于最高的状态，低温将引起疲劳应力下降，抵消 S－N 曲线的提高。分析低温使母材疲劳寿命提高的原因，是由于低温使材料变硬，提高材料的屈服强度和极限强度的直接结果。但由于低温带来的其他因素的影响，如：断裂韧性降低、结构刚度的变化等，则对疲劳破坏极限裂纹长度起很大影响，引起结构疲劳安全储备下降。

根据断裂力学理论采用裂纹尖端应力强度因子和疲劳裂纹扩展速率的关系描述裂纹状态，表明疲劳破坏与临界裂纹长度、应力状态和细节构造相关。低温将减小临界裂纹长度，导致疲劳破坏提前到来。这个分析过程表明，对低温疲劳这种较为复杂的受多因素影响的问题，单纯取疲劳试验结果解释现象，所得出的结论会有片面性，有导致不安全决定的可能。所以，本次研究在进行疲劳设计方法及参数的制定过程中，本着以科学试验数据为依据的原则，强调掌握分析的大环境，把握研究结论的正确性和可靠性。

5 青藏铁路结合梁钢梁疲劳设计

根据本次对 24mm 板厚 14MnNbq 钢疲劳裂纹扩展速率、疲劳曲线方程和平均应力影响在常温和 -50℃低温环境下的对比试验结果，以及对试验现象观察后的体会，认为青藏铁路结合梁钢梁的疲劳设计公式可以采用现有桥梁钢结构规范，但其中疲劳设计容许应力应该折减。因试验条件的限制，采用对可实现的试验结果进行推算的办法，综合考虑由于低温使材料变脆，造成疲劳破坏裂纹极限长度减短，以及冻融（定性分析）等因素的影响，规定青藏铁路桥梁钢结构设计疲劳容许应力较常温折减 80%。此外，有如下建议：

①在青藏铁路桥梁设计中，只要满足局部失稳条件，应尽量选用薄钢板。

②不宜采用高强度钢种。因为通常强度高的材料对低温脆断更加敏感。

③用本规定进行疲劳检算不通过时。应考虑用改变结构或连接型式去解决。

④尽可能采用多路径断裂破坏结构（如结合梁），少采用或不采用单路径断裂破坏结构型式（如格构）。

6 结论

（1）裂纹扩展速率试验表明，从疲劳循环次数看，加载一定时，低温环境下的 14MnNbq 钢材及其焊接的疲劳循环次数比常温下多。从裂纹扩展速率看，低温时的疲劳裂纹扩展速率比常温下略慢。

（2）疲劳试验表明，常温疲劳 S-N 曲线与低温疲劳曲线在双对数坐标上的关系是呈斜八字形，低温曲线在上侧，略缓。

（3）低温环境下加载平均应力对疲劳的影响比常温更加敏感，应力水平高，疲劳强度降低越严重。

（4）疲劳循环次数随着温度的下降至 -75℃时，性质变化平稳，为平缓上升趋势。

（5）分析认为，焊接桥梁因存在残余应力使构件内部总处于高应力水平，在低温环境下对疲劳不利。

（6）随着温度的降低，14MnNbq 钢材的屈服强度和极限强度都有提高，极限强度提高快些。

（7）青藏铁路钢梁疲劳容许应力较常规需折减 80%。

参 考 文 献

[1] 新建青藏铁路冻土区常用跨度梁设计意见书，铁道专业设计院、铁道第一勘察设计院，2001 年 8 月

[2] 青藏铁路钢-混结合梁钢梁低温疲劳试验及设计方法研究，TY 字第 1661 号，铁道科学研究院，2002 年 11 月

[3] 李少甫，王元清．研究生试用讲义——钢结构的断裂与疲劳分析，清华大学土木工程系，1999 年 6 月

[4] John W. Fisher and William J. Wright: High performance Steel Enhances the Fatigue and Fracture Resistance of Steel Bridge Structures, International Journal of STEEL STRUCTURES, Volume 1, Number 1, June 2001

[5] 段梦兰，温厚微，张兴钧，焦小妹，方华灿．海洋石油结构钢低温疲劳试验系统的研究，石油矿场机械，第 24 卷第 1 期，1995 年

[6] 贾星兰．海洋工程构件的低温 da/dN 曲线，OIL FIELD EQUIPMENT，Vol. 28 No4，1999

[7] 赵少汴、王忠保．抗疲劳设计——方法与数据，北京：机械工业出版社，1997 年 3 月

[8] GB6398-86：金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法，国家标准局 1986-05-17 发布，1987-05-01 实施

[9] GB9447-88：焊接接头疲劳裂纹扩展速率试验方法，国家标准局 1988-06-25 批准，1989-03-01 实施

[10] 孙志雄编：焊接断裂力学，西北工业大学出版社

环境及设计因素对铁路桥梁耐久性的影响

王春芬[1]　海生花[2]

1　兰州交通大学土木工程学院

2　青藏铁路公司西宁工务段

摘　要：结合青藏铁路钢筋混凝土桥梁病害调查，从环境因素和设计构造两方面分析了造成结构材料劣化和钢筋锈蚀的原因。检测和载荷试验表明，混凝土强度等级低的桥梁病害较多，环境综合作用造成的桥梁局部耐久性损伤对梁体目前承载能力影响较小。针对影响桥梁耐久性的主要控制因素，提出了今后桥梁耐久性研究中应解决的关键问题。

关键词：铁路桥梁　环境侵蚀　耐久性

桥梁是铁路行车设施的重要组成部分，作为交通网络和生命线工程的枢纽工程，造价较高而且修复困难。桥梁性能的劣化不仅要带来直接的经济损失，严重时还会导致交通停滞和中断。建国初期，受当时设计施工技术水平限制和经济短缺影响，过分重视初始投资成本而忽视工程的长期性能，造成许多重大土木工程材料提前出现老化、性能劣化现象，并影响到结构的使用功能。混凝土桥梁结构一旦出现钢筋腐蚀，修复起来相当困难而且效果也不理想，因此，通过对造成耐久性降低的主要因素分析，有助于客观地评估桥梁的实际工作状态，并为将来桥梁的耐久性设计、结构评估和桥梁维护提供参考。

钢筋混凝土材料的桥梁占我国铁路桥梁的90%以上，中小跨度的钢筋混凝土梁基本采用统一的标准设计，桥梁设计思想和施工养护方式对桥梁的可靠性有着深远的影响。除因行车速度提高造成的桥梁存在的刚度不足的情况外，目前绝大多数桥梁大修投入都是由于材料的耐久性不足造成的。本文结合青藏铁路钢筋混凝土桥梁病害调查，从环境因素和设计构造方面分析了造成结构材料劣化和钢筋锈蚀的原因，针对影响桥梁耐久性的主要控制因素，提出了今后桥梁耐久性研究应解决的关键问题。

1　桥梁病害的主要环境影响因素

青藏铁路是我国第一条高原铁路，也是世界上迄今为止海拔最高的铁路。西宁至格尔木段（简称西—格段）始建于1960年，全长845.772km，前后分五次建成，其中，桥梁416座（735孔，11044m）。目前，部分区段已运营40余年。西—格段的建成和投入运营，在国家路网建设和国民经济发展以及国防建设中已经发挥了非常重要的作用。

西—格段沿途经过高原峡谷、草地、盐湖、戈壁、盐渍土、沙漠等地段，地质条件复杂多变，气候干旱少雨（年均相对湿度23%～60%）。大部分地区气温日差大，蒸发强烈，材料风蚀、风化现象严重。

西—格段中小跨度的钢筋混凝土桥梁多为现场浇注或在附近桥梁厂预制，设计强度等级总体偏低。随着服役时间的增加，受气候环境和混凝土质量的影响，材料抗环境侵蚀的性能基本呈下降的趋势。

1.1 大气环境桥梁混凝土的碳化

大气环境下,弱酸性的 CO_2 气体通过扩散方式进入混凝土保护层,造成混凝土碱度降低。碳化后的混凝土将失去对钢筋的保护作用,因此,混凝土碳化对钢筋混凝土桥梁的耐久性有重要影响。高原地区施工的桥梁,受干燥气候强烈蒸发作用和养护时间的影响,保护层混凝土质量一般较内部混凝土低,冬季施工的桥梁更为明显。混凝土强度等级较低时,CO_2在混凝土中的扩散速度加快。桥上现存的未更换的混凝土步行板,因强度较低,保护层大多全部碳化,钢筋锈蚀严重,混凝土已开始酥裂。某些检测强度较低的混凝土梁、墩台(C15 ~ C18),40 多年的碳化深度为 15 ~27mm。戈壁地区 2 座使用 30 年的 6.7m 的钢筋混凝土梁,混凝土设计强度等级 C15,检测时的平均碳化深度已达 32mm。在高原环境强烈的温差变化和风效应影响下,碳化后混凝土的收缩和脆性的增加,造成混凝土表面出现网状裂纹。当混凝土的 PH 低于 11.5 时,混凝土中钢筋的钝化膜已不能稳定生成。保护层混凝土碳化不仅加速了材料本身风化,也给钢筋锈蚀提供了条件。

1.2 氯盐侵蚀

在高寒地区混凝土施工过程中,为了保证早期强度,某些重力式桥梁墩、台及部分梁体曾掺入 1% ~2% 的 $CaCl_2$作为早强剂。检测发现,氯盐对素混凝土桥墩台的强度影响较小,干燥环境下氯盐的存在也不会诱发梁体混凝土中钢筋腐蚀。但当桥梁受到环境水的局部干湿交替影响时,因钢筋电化学反应的水、氧供应充足和自由氯离子的局部酸化作用,即便钢筋表面处的混凝土尚未碳化(检测处酚酞试剂呈现红色),氯离子也会破坏钢筋的钝化膜,并加速钢筋锈蚀,见图 1。

受青藏高原长期风沙作用影响,盐湖、盐渍土地区的梁体道碴槽内有大量盐土沉积,挡碴墙、梁端缝、梁体混凝土表面伴随降水也有盐晶附着。由于氯盐具有较强的吸湿性,因此干燥环境下钢筋锈蚀的相对湿度条件可以进一步降低。当梁体表面有水存在时,随着混凝土胶接材料的性能退化,盐分通过混凝土强烈的毛细吸收和水分蒸发逐渐向混凝土内部扩散,造成钢筋提前脱钝锈蚀。

1.3 梁体、桥墩台硫酸盐腐蚀

盐湖附近、盐渍土地区的土及地下水中,SO_4^{2-}、M_g^{2+} 等离子含量较高,在原桥梁设计、施工时,结合环境地质条件大多采取了防护措施,并经常检查维护。目前,经过预处理的结构,除地面附近某些防护材料出现老化外,基体混凝土基本未受影响。但未经防护处理的桥墩台,基底腐蚀较严重,并出现掉块现象,一些涵洞也存在严重的裂损和腐蚀露筋。如梁端附近排水效果不好,受混凝土毛细吸收现象的影响,梁端与水接触部位及其附近区域,干湿交替造成的盐类腐蚀和结晶膨胀破坏了保护层混凝土的密实性,造成混凝土崩溃和钢筋锈蚀发展较快,见图 2。盐湖地区常年浸水的桥墩,水面附近及以下部分受盐类侵蚀腐蚀严重,并影响到结构安全。

1.4 干湿交替现象

高原地区气候干燥,大部分钢筋混凝土结构的钢筋锈蚀问题不像潮湿地区明显。但对于野外暴露环境条件下的桥梁,受大气降水影响的干湿交替变化对材料腐蚀也很明显。在用的铁路钢筋混凝土梁多为分片式,长期风沙作用导致各种矿物粉土在道碴槽内沉积,常常造成道

床板结，并导致泄水孔处于堵塞或半堵塞状态，桥上积水难以短期排除，沿梁体表面漫流，使内外挡碴墙、梁腹板、梁底混凝土经常受到水浸渍。$Ca(OH)_2$在混凝土中溶出后，在梁体表面出现“白华”，导致混凝土材料的粘聚性逐渐降低，混凝土强度下降，保护层碳化速度加快，而且充足的水、氧供应也为钢筋加速锈蚀提供了条件。因此，干湿交替变化具有双重的破坏作用，常造成结构局部混凝土开裂、脱落，钢筋锈蚀，见图3。干湿交替影响未清除时，采用环氧材料修补的方法，仍不能阻止裂缝的进一步发展。

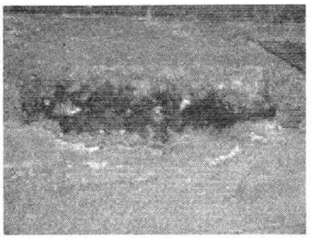


图1　掺氯盐梁体钢筋锈蚀

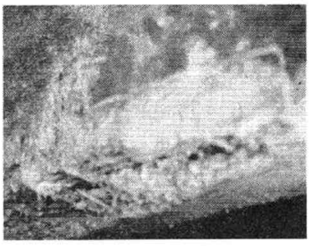


图2　梁端混凝土腐蚀

1.5　桥涵冻害

桥梁所处海拔高的地段，气候寒冷，温差较大。检查发现，当梁体、涵洞和桥台混凝土的设计强度较低或未作抗冻设计时，在秋冬和冬春季节冻融循环作用下，梁体表层混凝土受冻害影响出现起皮和层状脱离现象。桥台后出现积水时，冻害现象也较严重，甚至导致边墙混凝土冻裂，见图5。混凝土冻融损伤不仅造成表层混凝土劣化，而且加速了混凝土碳化和钢筋锈蚀，也为其它侵蚀性介质的进入提供了通道。

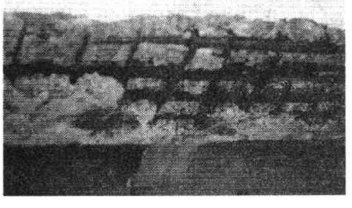


图3　干湿交替处钢筋锈蚀

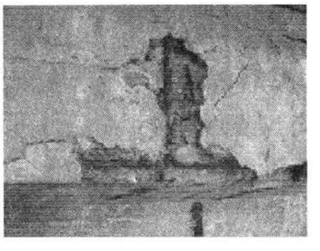


图4　桥台冻害

2　早期桥梁设计及构造中存在的问题

2.1　混凝土材料性能的影响

受建造背景、气候环境等历史条件制约，跨度8.0m以下的梁体设计标号仅为170级（相当于C15），现场检测推定强度在18～21MPa。跨度超过12.0m的梁体设计标号较高，检测推定强度一般均在C30以上。检测强度低的桥梁，碳化深度一般较大而且测试数据离散性较大；检测强度高的桥梁，碳化深度较小，甚至极少碳化，混凝土强度指标基本反映了保护层混凝土的综合性能。图5根据部分实测梁体混凝土强度和碳化深度均值数据，用碳化速度系数k反映了混凝土强度对碳化的影响。随着混凝土强度的提高，保护层混凝土碳化系数明显下降，基本符合抛物线规律，C35以上的混凝土碳化深度很小。

检测发现，施工养护时间较短以及冬季施工的桥梁，混凝土碳化深度一般较大。而施工中

掺加塑化剂的桥梁，保护层混凝土密实度高，40 多年的碳化深度仅 0.1 ~ 1mm。

2.2 钢筋布置和保护层厚度

混凝土强度等级较低时，箍筋保护层厚度如小于 15mm，钢筋常提前锈蚀，并导致劣化进一步发展。对于早期建造的钢筋混凝土 Π 梁，由于梁肋底部几何尺寸较小，钢筋布置较密，施工振捣不利，在环境因素作用下，过早出现的钢筋锈蚀常导致保护层成片剥落，修补起来也较为困难，见图 6。钢筋成束布置时，保护层混凝土和钢筋之间存在界面裂缝，常造成构造上的薄弱环节。为保证混凝土和钢筋的有效粘接，设计时，钢筋不应布置过密；施工时，钢筋之间的间距应满足规范要求。

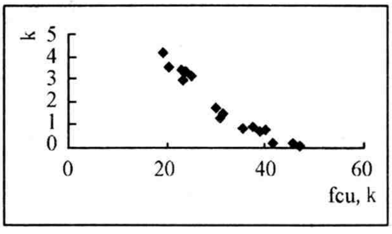


图 5　碳化系数 k 与混凝土强度 $f_{cu,k}$ 的关系曲线

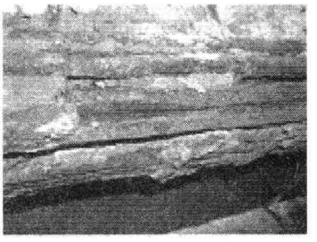


图 6　底部钢筋过密

2.3 桥梁排水设计

在高原地区，决定桥梁材料劣化的主要因素是环境水的影响，桥梁的排水设计与结构耐久性关系密切。排水效果好，桥梁的病害少；排水效果差，梁体劣化严重，而且修复困难。目前铁路桥梁受道碴槽构造影响，当泄水管不能及时疏通时，桥上的积水会从梁端缝、梁体表面、梁间缝漫流，部分从泄水管处排出。由于槽内积水蒸发较慢，导致部分断面及泄水管局部区域润湿时间长，容易诱发钢筋锈蚀，见图 7 和图 8。

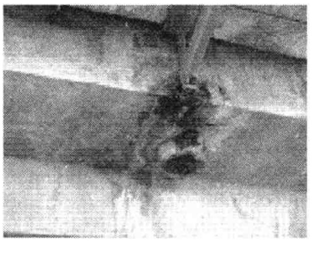


图 7　泄水孔处病害

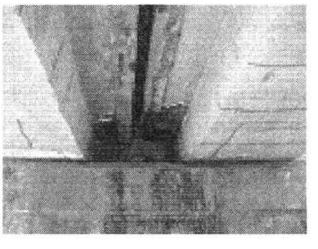


图 8　梁缝间排水病害

2.4 支座病害

早期建成的跨度 5m 以下的钢筋混凝土梁，一般不设钢支座，仅在梁端铺设油毡或高强石棉板，由于受高原地区强紫外线和风化作用影响，这些材料大多风化破碎，失去了隔水作用。当存在环境水侵蚀时，梁体与墩台接触处，混凝土吸收梁墩台间由路基或梁上排出的积水，造成梁端混凝土崩裂、纵裂、腐蚀、掉块等病害，甚至造成锚固区破坏，直接危及结构安全。设置钢支座的桥梁，此类梁端病害相对较少。

3 综合因素作用对桥梁耐久性的影响

由于钢筋混凝土保护层与内部混凝土相比构造薄弱、孔隙率较高，环境因素和设计构造缺陷带来的直接后果是保护层混凝土材料的提前劣化和钢筋锈蚀。在对桥梁耐久性进行评估时，采用混凝土强度和有效保护层厚度作为评定指标较为合理。C30 以上的混凝土在气候干燥地区的碳化速度明显减缓，氯离子扩散速度也较慢，抗冻融和盐类侵蚀能力较强。病害调查发现，主筋出现锈蚀时，箍筋锈蚀一般已非常严重，个别甚至已经锈断，因此，桥梁耐久性设计中保护层厚度应以箍筋为准，桥梁箍筋的混凝土净保护层厚度不应小于 15mm。

环境水是铁路桥梁病害的最主要影响因素，梁上排水构造不合理常导致混凝土出现干湿交替的不利情况，在寒冷地区，还会因冻融循环作用和盐类侵蚀加速混凝土损伤和钢筋锈蚀。因此，为保证桥梁耐久性，应从设计角度改进排水装置，并在施工和养护过程中给予足够的重视。

桥梁结构投入使用后，不仅要承受桥上列车的反复动力作用，而且还要受到环境因素的综合影响。近年来，人们虽然在混凝土碳化、钢筋锈蚀、混凝土冻融破坏、氯离子及硫酸盐侵蚀等单一因素的耐久性损伤机理与劣化模型方面开展了大量的研究，并取得了很多有价值的成果[1]，但由于桥梁所处环境变化较大，在钢筋的脱钝过程、钢筋锈蚀的临界氯离子浓度、混凝土表层性质对氯离子传输与气体扩散的影响、冻融循环对碳化速度影响以及干湿交替对钢筋锈蚀的影响等方面的研究尚欠深入，今后应针对环境条件与结构修复困难的特点，考虑各类因素综合作用影响，通过控制材料组分(水胶比、强度和掺合料)、保护层厚度和施工工艺等方法，提出各类环境下混凝土结构耐久性设计的原则，来保证结构使用寿命和免维护性能。

早期铁路钢筋混凝土桥梁设计采取的是容许应力法，结构在承载能力上有较大的安全储备，西南交通大学的破坏性试验也验证了这一点[2]。桥梁刚度是反应桥梁整体性能的重要指标，通过底排钢筋出现锈蚀的梁体现场动载试验发现，存在局部损伤的钢筋混凝土梁的力学性能仍满足原设计和检定规范的要求[3]，见表 1。

表 1　梁体跨中挠度测试部分结果(mm)

跨　度	4.5m 板梁	6.7mΠ 梁	8.0mΠ 梁
测试挠度(换算到中-活载)	1.57	1.12	1.94
挠度容许值	2.368	1.675	2.000

因此，对存在钢筋锈蚀、保护层剥落等局部病害的钢筋混凝土桥梁，应根据其侵蚀性环境特点，重点从使用性能的角度研究结构的耐久性极限状态、耐久性终结标准、对策及结构使用寿命预测方法。为保证桥梁的长期使用性能和避免将来的昂贵加固费用，应结合混凝土劣化和钢筋电化学腐蚀特点，加强耐久性评估与修复技术研究，并提前做好桥梁的防护和维修处理。

4 结论

青藏线早期中小跨度铁路桥梁的设计标准偏低、施工中掺加氯盐、支座设置和排水构造处理欠完善是造成桥梁病害的内在因素；大气环境下混凝土的碳化、有害盐类侵蚀、冻融循环及干湿交替现象是导致材料劣化的外因，其中，桥上防排水措施是否完善是关系桥梁耐久性的关

键,应从设计角度加以改进。检测和抽检结果表明,从既有线桥梁病害现状来看,混凝土施工中使用减水剂和强度等级高时,结构病害相对较少。目前存在局部病害的桥梁,其使用性能虽然可暂时满足运营要求,但应尽快采取防护措施,避免环境侵蚀的进一步发展影响到结构的承载能力。为保证桥梁的长期使用性能,避免后期因耐久性不足而花费大量的人力、物力、财力进行加固,应针对不同侵蚀环境提出混凝土桥梁耐久性设计的原则,并结合区域气候环境特点加强结构耐久性终结标准、耐久性对策和使用寿命预测方法等方面的研究。

参 考 文 献

[1] 张誉. 混凝土结构耐久性概论[M]. 上海:上海科学技术出版社,2003
[2] 钱永久. 既有钢筋混凝土桥梁的评估与诊断[D]. 西南交通大学博士学位论文,1992
[3] 中华人民共和国铁道部. 铁路桥梁检定规范[M]. 北京:中国铁道出版社,2003

青藏铁路片石通风路基地温及变形分析

刘争平[1,2]

1　铁道第一勘察设计院

2　北京交通大学

摘　要：在青藏铁路多年冻土地区，主要采用了片石通风路基的形式通过，本文通过对青藏铁路楚玛尔河地区的片石通风路基长期监测断面 DK1045 +000 的地温及变形数据分析，对片石通风路基这一新型结构的工程稳定性进行了评价，认为片石通风路基在多年冻土地区的应用其工程稳定性是可靠的。

关键词：青藏铁路　片石通风路基　多年冻土　工程稳定性

青藏铁路格尔木至拉萨段全长 1142km，其中穿越连续多年冻土地区长约 550km，处于青藏高原腹地，平均海拔 4500m 以上。在多年冻土区修建青藏铁路，路基处理措施主要采取了片石通风路基的形式通过。

为了监测片石通风路基的工程稳定性，2003 年 5 月份在青藏铁路楚玛尔河地区选择了部分片石通风路段，布置了路基监测断面，进行地温观测和变形观测，截止到 2005 年 5 月份，获取了大量的测试数据。DK1045 +000 断面是其中的一个，本段路基在 2002 年施工完成，其路基结构具有多年冻土区片石通风路基的一般特征，经过近两年来的现场不间断观测，其地温变化和变形也具有普遍性和代表性。本文对 DK1045 +000 路基监测断面的地温及变形数据分析，对片石通风路基这一新型结构的工程稳定性进行了评价，认为片石通风路基在多年冻土地区的应用是成功的，其工程稳定性是可靠的。

1　片石通风路基的设计原理

片石通风路基是青藏铁路多年冻土区所采用的主要路基形式，在楚玛尔河地区大量采用了这一新型结构。

其一般的路基设计为：在路基填筑前先填筑 30cm 厚的砾砂垫层，并沿路基中心向两侧方向填筑成 4% 的坡度。其上填筑厚度为1.2 ~1.5m的片石层，片石的块径为20 ~40cm，在片石层顶部铺筑一层圆砾石垫层，厚度为 30cm，垫层上铺设一层防渗土工布。路基本体用粗颗粒土填筑。路基两侧增加片石护道，两侧护道各宽 2m，厚度与片石层厚度相同（其主要结构详见图 1 所示）。

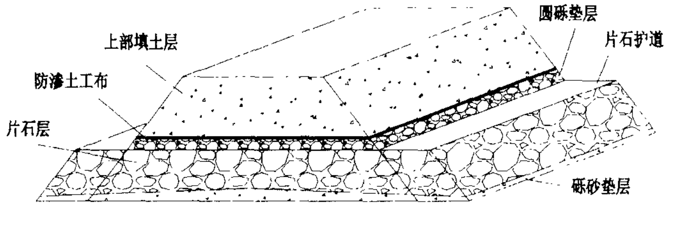


图 1　片石通风路基结构示意图

片石通风路基是利用青藏高原冻土区负积温远大于正积温的气候特征，通过改变路堤结构而改变传热方式，使路堤坡面传入堤中的热量，不仅只通过土颗粒接触的导热传热，还通过人为地制造堤中介质间的空隙而形成以对流传热为主的传热机制，改变堤中的温度场，使冷量不断地传入到路基中，达到降低基底温度，保护多年冻土的目的。

2 路基监测断面的布置和测试

DK1045 +000 路基断面的基本参数见表 1。

表 1 DK1045 +000 路基断面基本参数一览表

片石层厚度	1.5m	两侧护道宽度	2.0m	多年冻土上限	2.4m(从地面计起)
路基高度	5.2m	两侧护道厚度	1.5m	冻土年平均地温分区	Tcp - Ⅱ
路基顶宽	8.3m	圆砾垫层厚度	30cm	基底地层情况	砂类土、粉质粘土
路基底宽	27.7m	砾砂垫层厚度	30cm	基底地层冻土类型	富冰、饱冰冻土

测试内容主要为地温观测和路基变形观测，观测同时进行，每个月观测两次。观测点具体布置如下：

(1)地温观测：每个断面共布置 4 个测温孔，路基两侧路肩处各 1 个，两侧坡脚处各 1 个，测温孔深度 16m。地温测试采用热敏电阻配合高精度万用表进行。地温测试绳长 16m，每根布置 27 个测点，5m 以上每 0.5m 布置一个测点，5 ~ 10m 每 1m 布置一个测点，10m 以下每 0.5m 布置一个测点，地温测试精度为 0.01℃。

(2)变形观测：每个断面共布置 4 个变形观测点，路基两侧路肩处各 1 个，两侧坡脚处各 1 个。测量等级要求不低于四等，并满足《工程测量规范》GB50026 - 93 以及《建筑变形测量规程》JGJ/T 8 - 97 的要求。测试精度为 1mm。

3 地温分析

经过近两年来的不间断观测，获得了大量的测试地温数据，经过分析，地温变化主要体现在以下几个方面：

3.1 最大融化深度

多年冻土天然上限是指在自然情况下，多年统计的地层最大融化深度，是多年冻土层的顶面埋藏深度；由于人为影响的最大融化深度即为人为上限。根据地温测试数据，可以测出路基基底下每年的最大融化深度(见表 2)。

表 2 DK1045 +000 路基断面路基中 2003 年、2004 年最大融化深度对比

	实测值	测试时间	备注
2003 年最大融化深度	7.9m	2003 年 11 月 5 日	所有深度值均从路基面计起。
2004 年最大融化深度	4.5m	2004 年 10 月 26 日	
冻土天然上限	7.6m	施工前	

从表 2 可以看出，最大融化深度逐年在减小，说明路基结构有效减小了气温对地基的影响。另外，2003 年最大融化深度大于冻土天然上限，而在 2004 年小于天然上限，说明在施工

完成后，由于施工扰动对冻土层产生了一定的影响，部分冻土融化，人为上限加深；而在2004年，最大融化深度较2003年减小了3.4m，亦即：人为上限上升了3.4m，路基结构有效地冷却了地基，抬升了冻土人为上限，保护了多年冻土层。

3.2 积温计算

积温是指地层中某一深度某次测量的温度值和测量时间间隔的乘积的累加和，它反映了地基某一深度储存热量（冷量）的多少，如果积温为负值表示地层冷却状态，如果为正值表示地层处于融化状态。用公式表示如下：

$$A=\Sigma T_i\cdot\Delta t_i$$

式中：A——积温（℃·天）；T_i——实测某一深度第 i 次的地温值（℃）；Δt_i——第 i 次和第 $i-1$ 次的测试时间间隔（天）。

根据实测数据，分别对路基片石层顶面、路基基底（原始地面）以及天然上限处进行积温计算，时间从2003年5月份至2005年5月份，计算两个冻融循环，其值见表3。

表3　DK1045+000路基断面积温计算统计表（℃·天）

计算位置	第一冻融循环	第二冻融循环	观测期间总积温
	2003年5月~2004年5月	2004年5月~2005年5月	
片石层顶面	-48.98	-201.06	-250.04
路基基底（原始地面）	-107.21	-212.84	-320.04
冻土天然上限	-193.23	-244.57	-437.79

从表3可看出，其积温值均为负值，且第二冻融循环较第一冻融循环的积温值明显小，亦即负积温越来越大，说明整个地温在变低，也说明路基结构有效地冷却了地基。

3.3 热通量计算

热通量是指地层中某一深度某两次测量的温度差和测量时间间隔的乘积的累加和，它反映了地基某一深度通过热量（冷量）的增量，反映了地层的吸热状态，如果热通量为负值表示地层处于吸冷状态，如果为正值表示地层处于吸热状态。与积温值相比较，它还反映了地层的热稳定状况。

用公式表示如下：

$$\Phi_t=\Sigma\Delta T_i\cdot\Delta t_i$$

式中：Φ_t——热通量（℃·天）；ΔT_i——实测某一深度第 i 次和第 $i-1$ 次的地温差值（℃）；Δt_i——第 i 次和第 $i-1$ 次的测试时间间隔（天）。

根据实测数据，分别对路基片石层顶面、路基基底（原始地面）以及天然上限处进行热通量计算，时间从2003年5月份至2005年5月份，计算两个冻融循环，其值见表4。

从表4可看出以下几点：

（1）各个计算位置处热通量值均为负值，地层地温在变低，地层处于吸冷状态。

（2）第二冻融循环较第一冻融循环的热通量值明显大，亦即负积温越来越小，说明整个地温在变低，但地层吸冷量越来越少，逐渐趋于稳定状况。

表4　DK1045 +000 路基断面热通量计算统计表(℃·天)

计算位置	第一冻融循环	第二冻融循环	观测期间总热通量
	2003年5月~2004年5月	2004年5月~2005年5月	
片石层顶面	-202.38	-44.74	-247.13
路基基底(原始地面)	-47.07	-18.24	-65.31
冻土天然上限	-3.37	-2.76	-6.13

(3)从上向下,热通量负值在减小,说明下部地层的吸冷越来越少,下部地层首先趋于稳定。

(4)对于天然上限位置,在观测期间总的热通量为负值,说明天然上限处也处于吸冷状态,地温在变低,人为上限上升;同时,也说明地层处于吸冷状态,其冷量完全来自于上部,没有消耗上限处的地层自身冷量。因此,可以说明路基结构冷却地基的效果是非常明显的,地基处于吸冷状态,并逐渐趋于热稳定状态。

4　变形分析

4.1　总沉降变形

根据2003年7月至2005年5月的变形数据,绘制路基路肩的时间－变形曲线(见图2),从图2可以看出,左右路肩的总沉降量分别为52mm和47mm,其中第一冻融循环(2003年7月至2004年7月)沉降量分别为:30mm和26mm,第二冻融循环(2004年7月至2005年5月)沉降量分别为22mm和21mm,逐渐在减小;同时可以看出,路基的大部分沉降在2004年10月份以前完成,2004年10月以后左右路肩沉降总变形量约10mm,逐渐趋于缓和,路基变形逐渐趋于稳定。

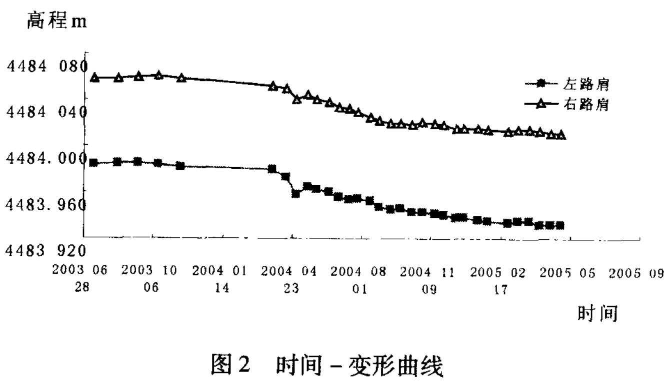


图2　时间－变形曲线

4.2　沉降变形差

沉降变形差是指每两次变形的差值,即路基沉降的增量,根据其变化情况可以看出路基沉降的幅度,和沉降变化趋势。根据2003年7月至2005年5月的变形数据,绘制路基路肩和坡脚时间－沉降变形差曲线(见图3)。

从图3可以看出,路肩的变形幅度逐渐小于坡脚的变形幅度,而且逐渐在减小、坡脚(相当于自然地表)冻胀融沉造成的地面变形幅度要大于路基变形,从而说明路基结构对于克服自然的冻胀融沉变形是有利的。

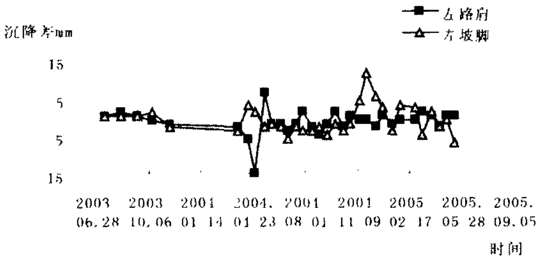


图 3　路肩与坡脚的时间 - 沉降变形差曲线对比

5　结论

(1)片石通风路基这一新型路基结构在青藏铁路多年冻土区的使用是成功的,有效的。路基结构对地基的冷却效果是明显的。

(2)片石通风路基结构的使用对于冷却路基基底,保护多年冻土,是有利的,经过地温数据分析,片石通风路基的基底地层处于吸冷状态,而且地层的热稳定状态逐渐趋于稳定。

(3)片石通风路基下的人为上限在上升,地温在变低;地层吸收的冷量完全来自于上部,没有消耗上限处的地层自身冷量。

(4)路基的大部分沉降在 2004 年 10 月份以前完成,2004 年 10 月以后左右路肩沉降总变形量约 10mm,逐渐趋于缓和,路基变形逐渐趋于稳定。同时,路基变形幅度小于坡脚天然地面的变形幅度,路基结构对于克服自然的冻胀融沉变形是有利的。

参 考 文 献

[1]　铁道第一勘察设计院. 青藏铁路楚玛尔河地区路基监测断面测试数据. 2005 年 5 月格尔木.

[2]　周幼武等. 中国冻土. 北京:科学出版社. 2000 年.

[3]　黑龙江省寒地建筑科学研究院.《冻土地区建筑地基基础设计规范》. JGJ118 - 98,1998. 北京

[4]　郭东信等译. 普通冻土学. 北京:科学出版社. 1988

青藏线格拉段风蚀区路基风蚀防治措施效益研究[①]

刘世海　许兆义　杨成永

北京交通大学土木建筑工程学院交通环境工程研究所

摘　要：青藏线格拉段是连接青海与西藏的大动脉，对我国西南地区的交通和青海、西藏两省的经济发展具有十分重要的作用。做好工程沿线的环境保护对铁路安全运行具有重要的现实意义。本文通过对铁路沿线风蚀区的路基及其邻近区域的风蚀防治措施的防治效益的研究，结果表明：石方格沙障；石方格沙障、高立式沙障及碎石压沙措施相结合使用对于防治风蚀具有十分显著的效果，此对保护铁路沿线的工程免遭风沙危害具有非常重要的作用。

青藏线格拉段新建线全长 1136.85 km，其中线路所经的轻度以上风蚀区长度约 260 km，风蚀区主要分布在沿线的格尔木水泥厂附近、纳赤台至昆仑山口沿线、沱沱河沿附近、通天河沿周围及其至雁石坪沿线、三河汇流处至温泉沿线、安多 DK1553 ~ DK1563、那曲 DK1687 ~ DK1688、堆龙德庆 DK2002 ~ DK2003 等地段，在上述分布区中，尤以安多段的风蚀最为强烈，其强度以上风力侵蚀段地长约 8 km。

青藏线的风（治）沙工程中包括了防治风沙流危害和防治沙丘前移压埋所造成的危害。风（治）沙工程措施计有一二十种，按其用途可分为：封（闭）、固（定）、阻（拦）、改（向）和消（散）六类；其力学作用原理则是隔断、抑制、增加、减阻和消形等六个方面[1]。青藏线格拉段主要的风（治）沙工程类型有固沙工程、阻沙工程和输导沙工程，主要的措施有石方格沙障、碎石压沙、高立式沙障和羽毛排工程等。

1　研究区概况及研究方法

1.1　研究区概况

本研究以安多 DK1562 处为主要研究区域，同时对 DK886 附近的石方格沙障的防风蚀效益进行了观测。

安多 DK1562 位于错那湖附近，处于亚热地带，极端最高气温 23℃，最低气温 -36.7℃，年均降雨量 428.4 mm，主导风向为 NNE。土壤系新积土，质地粗，黏性甚低，土壤养分欠缺乏，尤其缺磷，土壤碱解氮，全氮含量低。植被主要为高寒草甸，零星分布，主要以禾本科草类为主此外还有苔草和圆穗蓼等。

在该处的风（沙）工程有高立式混凝土预制沙障、碎石压沙、石方格沙障等三种措施，三种措施中，最外缘系高立式沙障，高立式沙障布设了三道，碎石压沙与石方格沙障相间分布。

---

① 北京交通大学科技基金（2003RC039）和青藏线水土流失监测项目资助。

DK886位于昆仑桥隧道大里程方向处,此处线路以低填方通过山间洼地,线路两侧为荒地,线路左低右高,地形变化大,为半固定沙地,地表为松散细沙,厚度大约4~6 m。防风固沙工程为石方格沙障,石方格沙障规格为1 m×2m,工程面积约为14 hm^2。

1.2 研究方法

石方格沙障用集沙仪进行风沙流的输沙量的测定,以相邻裸露沙地作为对照,比较石方格沙障治沙措施的防风沙效益。

高立式沙障用集沙仪测定输沙量的同时,测定了不同沙障之间不同高度的风速,与此同时刻测定邻近裸露沙地区的风速作为对照风速。

随机调查石方格沙障内的集(积)沙量。

2 结果分析

2.1 DK886石方格沙障的防风蚀效益分析

石方格属固沙工程,其固沙原理是在流沙表面设置了一切断层或隔断层,改变了下垫面的性质,增加了地面糙度,增大了对风的阻力,使近地面的风速大大降低,因而也就减少了沙子被吹杨的数量,削弱了风沙活动的强度,可有效地阻止风沙流的运动。

2004的年12月对DK886附近的石方格沙障进行了调查,调查中随机抽去了2013个石方格,获得石方格中的拦沙(积沙)量。在调查中将石方格中的拦沙量以0.02 m^3(按总体积的5%)为单位,把石方格的拦沙体积分为了20个等级,并依此统计了石方格的拦沙量,统计结果见表1。

表1 风蚀防治工程石方格固沙统计表

拦沙体积分级(%)	石方格数量(个)	拦沙体积分级(%)	石方格数量(个)	拦沙体积分级(%)	石方格数量(个)
0~5	720	35~40	14	70~75	1
5~10	645	40~45	10	75~80	0
10~15	341	45~50	2	80~85	0
15~20	113	50~55	10	85~90	0
20~25	76	55~60	3	90~95	0
25~30	47	60~65	2	95~100	0
30~35	18	65~70	1	合计	2013

从表中可以看出,在调查的2013个石方格中,调查的石方格总拦沙量约为74 m^3,拦沙体积大于等于0.2 m^3(石方格拦沙体积大于等于50%)的石方格数量为19个,也就是说这些石方格的拦沙体积已占石方格体积的一半,由此可见此地的风蚀严重程度,同时也体现了石方格在防风固沙中发生的作用。在调查中还发现,在防护区内,凡是有灌木存在的地方,其周围均形成了一个小小的沙丘,并且沙丘的表面已有硬结皮形成,由此更见高原植被之作用及保护生态环境的重要性[2]。

2.2 DK1562 附近防风固沙工程防风蚀效益分析

DK1562 处防风固沙工程有高立式沙障、石方格和碎石压沙三种措施。并且石方格沙障和高立式沙障及碎石压沙措施配合使用，最外缘为高立式沙障，设有三道高立式沙障，沙障为混凝土预制件构成，属透风式沙障，高度为2m；高立式沙障后是石方格沙障与碎石压沙措施相间分布，在靠近铁路路基的基部又设立了 1 道高立式沙障（其结构与最外缘的高立式沙障相同），工程单宽为 200～300 m，长度 1500 m。

（1）石方格沙障防风蚀效益分析

该防护区的石方格的长、宽分别为 1.5m，石方格的高度为 0.2m。随机抽去了其中 404 个石方格，以获取石方格中拦沙（积沙）状况。在调查中将石方格中的拦沙量以拦沙率进行分级，以 5% 为单位把石方格的拦沙体积分为了 20 个等级，并依此统计了石方格的拦沙量，统计结果见表 2。

表 2 DK1562 风蚀防治工程石方格固沙统计表

拦沙体积分级（%）	石方格数量（个）	拦沙体积分级（%）	石方格数量（个）	拦沙体积分级（%）	石方格数量（个）
0～5	10	35～40	0	70～75	0
5～10	94	40～45	0	75～80	0
10～15	107	45～50	0	80～85	0
15～20	108	50～55	0	85～90	0
20～25	79	55～60	0	90～95	0
25～30	6	60～65	0	95～100	0
30～35	0	65～70	0	合计	404

在调查的 404 个石方格中，石方格总拦沙量约为 27m^3，这些石方格工程在 2004 年 6 月份布设，从表中可以看出，拦沙率虽然均小于 30%，但它们的布设时间短，防护工程发挥作用半年以来，所调查的 404 个石方格中，拦沙率小于 5% 的石方格仅 10 个，此表明防护区域的风蚀非常严重，同时也体现了石方格在防风固沙中发生的作用。

（2）石方格沙障输沙率特征

在石方格防护区和对照区（裸露沙地）布设了自制阶式集沙仪，集沙仪由若干个单独的集沙盒组成，使用时可将若干个集沙盒接合在一起使用。集沙盒的进沙口尺寸为 2cm × 3cm，与地面呈 30°倾角，由铝合金材料制成（下同）。

2004 年 12 月分别在石方格沙障内和裸露沙地布设了集沙仪进行测定，经对测定的结果进行对比分析，不同测次之间石方格和裸露沙地的集沙仪的测定结果相似，现以 12 月 22 日的测定数据为例进行对比分析，在裸露沙地布设了三个集沙仪，分别编为对照 1 号、对照 2 号和对照 3 号，对照 1 号的测定时段长为 14 分钟，平均风速为 13.15m/s；对照 2 号的测定时段长为 12 分钟，平均风速为 12.51m/s；对照 3 号的测定时段长为 40 分钟，平均风速为 12.98m/s；石方格沙障区的集沙仪测定时段长为 21 分钟，平均风速为 13.09m/a。对照

将对照区各集沙仪与石方格内集沙仪在单位时间内的集沙量作图（如图 1 所示）可以看出，在风速大于起沙风速（据野外测定，该区域内的起沙风速约为 9.5m/s）的时段内，集沙仪的

集沙量与风速呈正相关，且对照区的集沙仪的单个集沙盒的集沙量随着高度的增加，集沙量呈降低趋势，但这种趋势在石方格沙障中的集沙仪中不明显，这是因为石方格沙障的存在，阻止了近地表气流与沙层的接触，并且增大了近地表的粗糙度，增大了对风的阻力，降低近了近地面的风速，阻滞了风流的运动，从测定的数据来看，石方格区域内的集沙仪的集沙量较小，在0.001～0.0001 g/(cm^2m)，比对照区的集沙量小数十倍至数千倍。

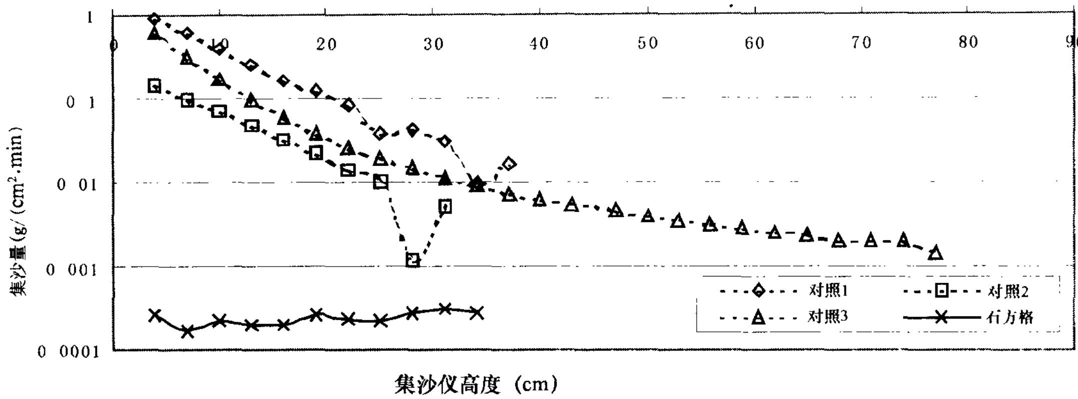


图 1 DK1562 石方格集沙仪与对照区(裸露沙地)集沙量对比

(3)高立式沙障降低风速效益分析

高立式沙障系阻沙工程，它的力学作用原理是增大风沙流的运动阻力，阻滞消能，令其减速和促使沙土颗粒的沉积。

通过对高立式沙障区域内不同高度和不同距离的风速的测定，可以得出高立式沙障对风速的影响状况，以 2004 年 12 月 26 号的观测数据为例进行分析说明，分别在第 1 道和第 2 道沙障后的 2m、5m、8m 和 12m 和第 3 道沙障之后的 2m、5m、8m、12m 和 22m 处分别布设风速测点，每个测点测定 3 个高度(分别是 3m、2m 和 1m)的风速，并同时刻测定裸露沙地的相同高度的风速作为对照。

将各沙障之间不同测点及不同高度的风速与同时刻相同高度的对照区的风速的比值(即相应高度的风速值占对照区风速值的百分数)进行比较，结果如表 3 所示。从表中可以看出，第 1 沙障后的风速与对照区风速相比较，不同高度的风速小于同时刻对照区对应高度的风速。在 3m 高度风速，随着距离第 1 沙障距离的增加，风速呈降低的趋势，沙障区风速与对照区风速的比值从 2m 处的 85.37% 减少到 12m 处的 42.50%。高度 2m 处的风速与对照区的风速相比，减少的幅度比 3m 高度的要大，仅占对照区风速的 17.12%～32.97%，且距第 1 沙障较近的两个测点的风速较大，距第 1 沙障较远的两个测点的风速较小。1m 高度的风速降幅也较大，仅是对照区风速的 14.68%～30.52%，且距第 1 沙障较近的两个测点的风速较大，距第 1 沙障较远的两个测点的风速较小。

表 3　不同高立式沙障防护区不同距离及不同高度风速与对照区风速比较

距沙障距离(m)	测量高度(m)	沙障区风速/对照区风速(%)		
		第 1 沙障之后	第 2 沙障之后	第 3 沙障之后
2	3	85.37	58.03	63.18
	2	17.12	27.70	41.54
	1	29.75	2.09	12.60
5	3	66.44	43.37	68.61
	2	18.36	40.68	77.20
	1	30.52	6.14	14.54
8	3	48.64	40.47	109.3
	2	23.06	25.78	74.42
	1	13.85	6.62	22.49
12	3	42.50	40.29	46.73
	2	32.97	36.39	35.33
	1	14.68	20.03	19.25
22	3			52.42
	2			55.42
	1			40.75

第 2 沙障之后的风速与对照区的比较结果可以看出,3m 高度处的风速在经过第 2 沙障后进一步的降低,且在每个测点与第 1 沙障后的各测点相比均呈降低趋势。高度 2m 处的风速与对照区的风速相比,减少幅度比 3m 高度的要大,仅占对照区风速的 27.70% ~40.68%,且与第 1 沙障后 2m 高处各测点相比,其值呈增大趋势。1m 高度处的风速降幅依然很大,且变幅较大。

第 3 沙障后各测点的资料表明,沙障后各测点所对应不同高度的风速都与对照区相比仍有一定程度的降幅,但在距沙障 8m 测点处 3m 高处风速大于对照区的风速,其余测点和对照区的风速相比,沙障后的风速减幅依然较大,由此可见,高立式沙障可有效地降低风速。

(4)高立式沙障防护区输沙率分析

高立式沙障防护区集沙仪的集沙量与对照区集沙仪的集沙量进行比较如图 2 所示,对照 1 在测定时段内的平均风速为 12.15m/s,对照 2 在测定时段内的平均风速为 13.02m/s,由图中仍可以看出,在其他条件相同的情况下(沙粒的含水量,沙粒的机械组成等特性)风速(大于等于临界起沙风速以上)越大,集沙仪收集的沙量越多。

第 1,2 沙障之中的集沙仪的平均集沙量在 0.01 ~1g/(cm^2m)之间,在测定对应时段内对照区的平均风速为 12.85m/s,集沙仪高度小于 50cm 的范围内其集沙量小于对照 1,2 的集沙量,但在高度大于 50cm 后,其集沙量大于对照 1 的集沙量,这可能是由于其在集沙时段内的风速比对应的对照区的风速较大(两者风速分别为 12.85m/s 和 12.15m/s),集沙仪离沙障已有一定的距离,沙障的防风的效益已被这种因风速增大而引起输沙量增加的效益所掩盖,故致使风沙流在经过第 1 沙障仍有较大的输沙率。从图中还可以看出,在经过第 1 沙障后集沙仪的

集沙量和对照区的集沙量相比,其减小和幅度也较小,仅在数十倍而已,远大于在其后的石方格沙障区的集沙量。

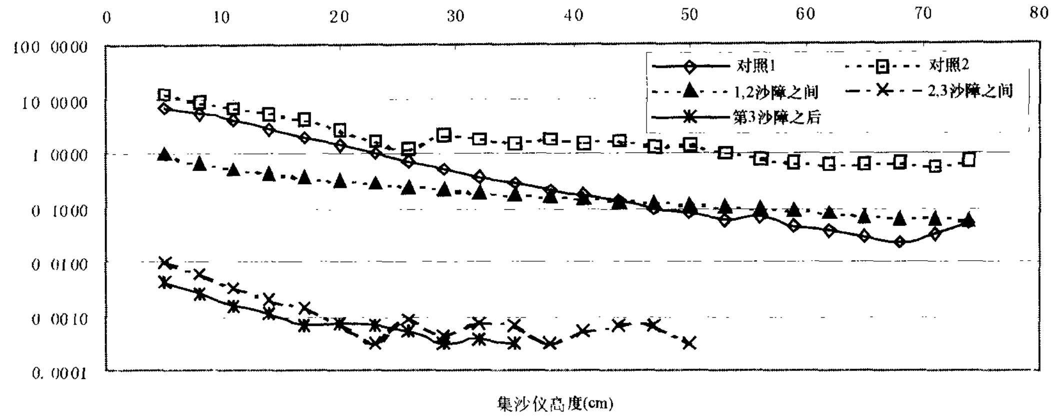


图2　DK1562 高立式沙障与对照区(裸露沙地)集沙仪的集沙量对比

第2,3沙障之中的集沙仪和第3沙障后的集沙仪的集沙量接近,其范围在0.001~0.01 g/(cm^2m)之间,远小于对照区1,2和第1,2沙障后集沙仪的集沙量,此表明在风沙流危害严重的地区多重高立式沙障具有明显的防护效益。和第3沙障后的石方格防护区的集沙量相比,它们的单位集沙量仍然比石方格的单位集沙量(在风速、地表沙粒含水量接近的情况下)大,石方格的单位集沙量在0.0001~0.001 g/(cm^2m)之间。由此可以看出,高立式沙障、石方格沙障及碎石压沙措施相结合使用后,对风沙流的运动起到了非常明显的抑制作用,经自制的盒式集沙仪的测定结果来看,可使气流的输沙能力降低数十倍至数千倍。

3　小结

石方格沙障增加了地表粗糙度有效地阻隔了风沙流与地表的沙粒的接触,同时降低了风沙流运动的能量,可有效地防治沙害的发生发展。

高立式沙障、石方格沙障和碎石压沙措施相结合使用对于风蚀严重的区域具有非常显著的防治效益。高立式沙障可显著地降低风速,距沙障不同距离和不同高度测点的资料均表明其可使通过沙障区的风速明显的降低,降低幅度从百分之几到百分之几十甚至更大,但这种作用会随着距沙障后距离的增加其作用力开始减弱。集沙仪的观测资料表明,对照区集沙仪的集沙量在其他条件相似(沙粒的机械组成及其含水量等条件)的情况下,集沙仪的集沙量与大于起沙风速的风速成正相关。各沙障后集沙仪的集沙量随着风沙流经过的沙障数的增加其量呈明显的降低趋势,并且在其后的石方格沙障后的集沙量最小,此一方面表明高立式沙障的防风效益,另一方面也表明防风固沙措施相结合使用可有效的防治风沙之危害。

参考文献

[1]　吴正等著. 风沙地貌与治沙工程学. 北京:科学出版社,2003. p316

[2]　许兆义,刘世海,杨成永. 青藏线格拉段水土流失监测,2004年7月~2004年12月阶段报告. 北京交通大学, 2005年1月

高原寒冷地区洗罐所设计的工艺特点

贠虎　李浚元

铁道第一勘察设计院

摘　要:介绍了青藏线等寒冷地区洗罐所设计的工艺特点。

关键词:青藏线　寒冷　洗罐所　工艺　特点

1　寒冷地区洗罐作业的特点

对黏油类罐车的特洗工艺过程一般为;排出罐内残油(利用底阀),用40kPa压力的蒸汽.通人罐内蒸洗罐体,安装自动洗罐器对罐体内、部进行冲洗(压力为01~0.12MPa水温,80℃),冲洗水经底阀排入股道中心的下水道,冲洗完毕,向罐内通风降温,工人穿戴防护服下罐扫底擦干。轻油罐车的特洗工艺一般为;如有残油则先用真空管吸出,然后向罐内通风排除有害气体,通人蒸汽进行蒸洗。然后,向罐内通风降温,工人穿戴防护服下罐,用真空管吸出残留的油水并用抹布擦净罐体内部。

罐车经过蒸洗及通风冷却后,罐内的温度一般降至50℃左右,工人下罐进行擦洗,而对于冬季环境温度为-20℃左右的洗罐站来说,两者温差达70℃,在这么大的温差下工作,极易得感冒、风湿性关节炎等疾病。因此,如何减少罐内外作业温差是洗罐设施设计时,应给以足够重视的问题。

2　寒冷地区洗罐设施概况

兰州颖川堡洗罐站是我国在20世纪50~60年代自行设计的第一座机械化洗罐站,由于受当时的经济技术条件所限,原设计为10台位露天洗罐台,现已在洗罐台上加装了围护结构,使作业人员出症后能在台上休息,待身体适应室外环境后再下台更衣。原北京东方红洗罐站(现为燕山石化洗罐站)、及哈尔滨铁路局三间房洗罐站是70年代设计建造的,均设计成洗罐库,但由于库内无有效的通风装置,有害气体及蒸汽不能及时排出库外,致使洗罐库门窗不得不完全敞开,失去了建库的意义。在此以后相当长的时期内,建造洗罐库始终存在有下列问题:

(1)劳动条件改善不明显。因为有了库后,若没有与之配套的通风装置,必然造成蒸汽及易燃气体不能及时排出车库,影响作业或危及工人的安全。

(2)通风及电气设备的防爆性能达不到要求。

(3)建筑费用大。

哈密铁路车辆段洗罐所建有4台位特洗库,该库内设有使用效果良好的机械通风设备,其带回转器的局部鼓排风系统发挥了作用,调节了库内温度。存在的主要问题是噪音较大,机械通风及房屋建筑费用较高,运营成本也较高。

乌鲁木齐洗罐站在库前设有蒸洗通风设施,采用二阶段作业的洗罐工艺,即在库前台位进

行蒸洗及通风净气作业，在库内进行人工下罐擦拭扫底等作业；既避免了蒸汽及有害气体对库内的危害、省去了繁杂的机械通风设备，又使库内温度及卫生条件得到保证。但其缺点是洗罐作业在两个工位上分别进行，延长了洗罐作业时间及增加了调车作业工作量，各台位间也有一定的相互干扰。

综上所述；为保证洗罐工人的健康及洗罐质量，减小人工下罐作业时罐内外的温差，现场工人及设计人员作了不懈的努力，所采用的方法各具特色。在《铁路车辆设备设计规范》(TB10005－98)中由我院起草的洗罐所章节对此也作了相应的描述："洗罐所应设洗罐线及洗罐棚，位于冬季采暖地区应设洗罐库或封闭式洗罐台"。

3　寒冷地区洗罐设施典型实例

针对以上经验教训，严寒地区洗罐设施有待改进，结合我们最近设计的几处洗罐设施的设计实践，推荐下列三种典型方案：

(1)设置洗罐库；库内两侧配备上下两排全面通风系统，用于常规通风及事故通风；罐车通风净气用的机械通风设备，集中设在库外的封闭房屋内，以减少库内噪声并便于维护管理；库内采暖采用热风系统及热风幕；洗罐台上设带有回转器的局部鼓排风装置及各种洗罐管路的操纵装置，整体道床的道心设有排水明沟。该种布置适合任务量和场地较小的场所。我院设计的独山子洗罐站及哈密洗罐所采用的是此种方案(见图1)。

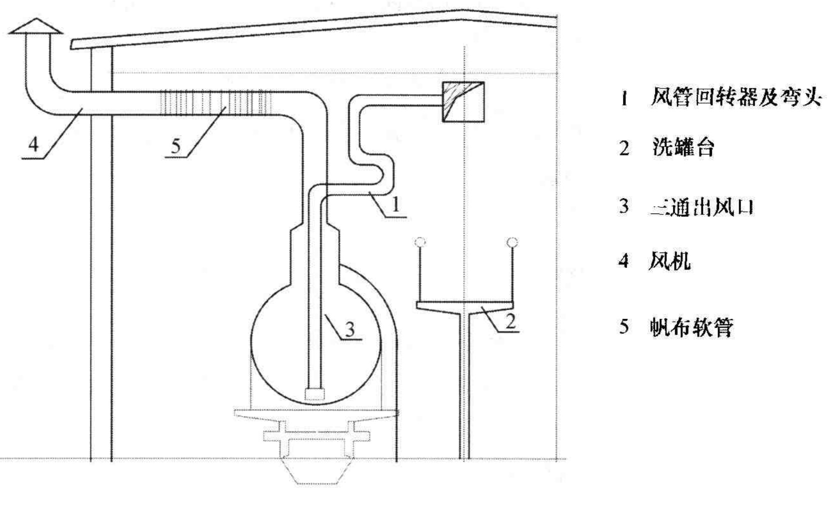


图1

(2)设置洗罐库，在库前设计蒸洗、罐体通风净气台位，库内洗罐台位仅作为人工下罐作业之用，洗罐线尾部配备牵车机。该种布置适合洗田任务量少且场地长度较富裕的场所(见图2)。

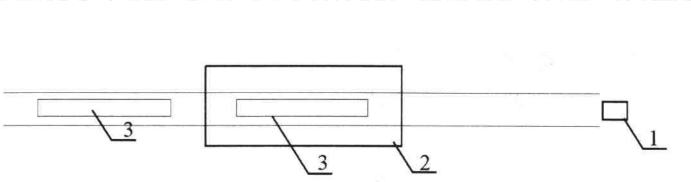
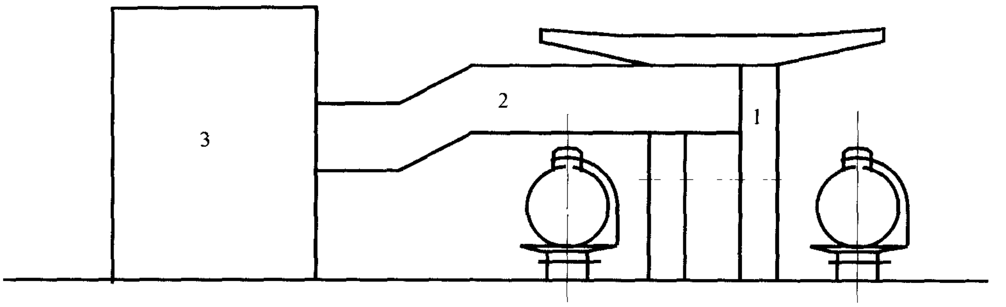


图2

(3)设置洗罐棚,将洗罐台设计成封闭走廊,并将走廊与棚外的更衣休息楼连通,走廊内配备采暖设施及洗罐用的各种管路操纵装置;罐体通风净气用的机械通风设备,设在洗罐台下的封闭结构内。由我院设计且已运营多年的颖川堡车辆段洗罐所就是该种布置,此种方案建投资少,运营费用低,工人劳动条件好,适合洗罐工作量大、风沙一般的地区值得优先考虑采纳(见图3)。



1 封闭式洗罐台　　2 连接走廊　　3 休息楼

图3

4 青藏线格尔木车辆段洗罐所工艺方案的选择

(1)格尔木地区主要气候条件

最热月平均17.8℃,最高气温35.5℃,最冷月平均-8.9℃,最低气温-33.6℃。

(2)既有格尔木车辆段洗罐设施概况

格尔木车辆段检修车辆的60%为油罐车,段内设有简易的露天洗罐线一条,无洗罐作业台,洗罐线无下水,洗罐线旁架设有临时蒸汽和上下水管,作业环境恶劣,洗罐设施简陋。

(3)设计规模的确定

格尔木车辆段油罐车检修工作量为9辆/日,需设洗罐所。根据设计规范洗罐台位数量可按日平均检修车数量的1/2设置,即每日每台位洗车2辆;经现场调查,繁忙时每日每台位可洗车4辆,为有效利用设备,节约工程投资,综合考虑按每日每台位洗车3辆确定洗罐台位数量。

(4)洗罐工艺的选择

根据格尔木车辆段油罐车检修洗工作量小,场地狭小不规整,而且风砂较大的特点,设计中选择了洗罐库方案。

(5)工艺设计特点

洗罐线选择从车辆段东端北侧既有生活段煤场卸煤线出岔,与卸煤线平行铺设。设一线3台位洗罐库(42m X gin)一处,洗罐库内设单侧作业平台。洗罐库旁设辅助生产办公房屋(50.4m X 6.6m),按检修洗的标准配备真空泵、热水泵和抹布洗涤设备,真空泵选型充分考虑高原效率降低的影响,配置真空、蒸汽和冷热水管线。

青藏线冻土地区输电线路杆塔基础设计特点

李晋　万一农

铁道第一勘测设计院电化处

摘　要：通过分析多年冻土对电力杆塔基础的受力特点，并经过理论计算及对非冻土地区和冻土地区电力杆塔基础设置的比较，论述青藏高原多年冻土地区电力输电线路杆塔基础设计的特殊性和必要性，为冻土地区输电线路杆塔基础设置提供新的技术和方法。

关键词：多年冻土上限　切向冻胀力　钻孔插入管桩　钻孔灌注桩

1　概述

青藏高原冻土地区电力杆塔基础，采取预应力防腐蚀混凝土管桩和灌注桩穿透冻土上限的技术措施，解决负温下钢筋混凝土强度和季节冻土产生“冻胀”和“融沉”引起的杆塔稳定性问题，采用机械化（钻孔插入）施工方法，在钢筋混凝土管桩顶设置法兰盘与电力杆塔采用螺栓连接，无人工大面积开挖对冻土的扰动，对环境无污染可满足青藏高原特殊的环保要求。管桩采用防腐蚀混凝土，使得管桩在常年腐蚀性水、固态介质侵蚀下混凝土不至于剥落。这项技术在昆仑山到不冻泉多年冻土使用后，效果很明显。

电力杆塔基础分混凝土电杆（以后简称电杆）基础和铁塔基础两类，其荷载相对桥墩基础房屋基础均较小（电杆荷载45kN，铁塔荷载130kN），一般地区电杆基础采取直埋式基础（埋深2.5m），铁塔基础采取台阶式现浇混凝土基础（深度3m左右），均可满足电力线路杆塔荷载的强度要求，而青藏高原多年冻土地区的上限（冻结深度）大都达到3m左右，电力杆塔基础，必须穿透上限且达到能抵抗上限冻土产生的切向冻拔力的深度（切向冻拔力约210kN），也就是说在多年冻土地区，电力杆塔基础要解决的不仅是承载力（荷载），而主要是上限冻土产生的切向冻胀力对杆塔基础的稳定问题，穿透冻土上限只有桩基础是最理想的基础形式，铁塔基础比电杆基础受力大的多，我们应区别对待，铁塔基础采取钻孔灌注桩，而电杆基础采取预应力混凝土管桩，电杆基础采取管桩还有一个原因是，经计算电杆基础直径0.5m足可满足基础强度要求，0.5m的钻孔灌注桩现场施工很难控制质量，何况电杆每120m一处现场灌注混凝土更难控制，而采用管桩基础只需将预制好管桩插入钻孔内回填土即可，在钢筋混凝土管桩顶设置法兰盘与电杆采用螺栓连接，施工方便，无人工大面积开挖对冻土的扰动，对环境无污染可满足青藏高原特殊的环保要求，效果很明显。

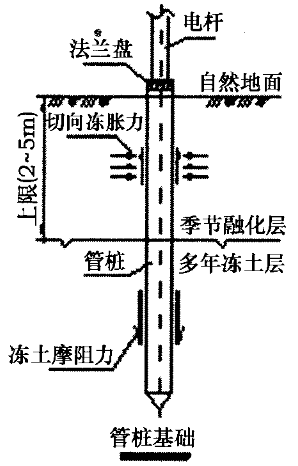
2　技术特点

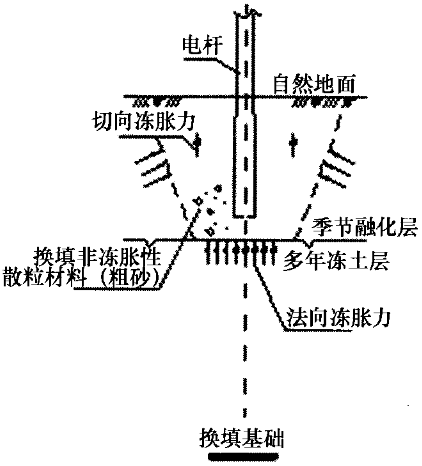
目前国内高原冻土地区，电力杆塔基础均采用大开挖换填直埋式技术，这类基础一直没有解决冻胀力对杆塔的上拔作用，杆塔经过几个冻融循环后，大都被拔起倾斜或倒覆，尤其进行大开挖后破坏原冻土的热工平衡，填土无法回复原状，导致水分迁移，冻土上限人为加大，并且大开挖对周围环境和植被破坏较大，加剧高原冻土退化。而采用我院设计的桩基础技术作为电力杆塔基础时，钻孔直径仅为0.8～1m孔深约6～8m，成孔后立即将管桩插入或灌注混凝

土，不影响冻土的热工平衡，对环境和植被损坏很小，最主要的管桩伸入多年冻土（持力层），按设计计算要求，让多年冻土的冻结力大于冻土上限的切向冻胀力（上拔力），使得电力杆塔不受冻融循环的影响，解决了杆塔基础被拔起倾斜的问题。

2.1　高原冻土地区管桩基础与常规直埋式换填基础的比较

（1）管桩基础，是将预制好的预应力混凝土管桩，通过机械钻孔后，插入冻土中，根据冻土的土质和季节融化层深度（上限）值，计算确定季节融化层的切向冻胀力，再计算多年（永）冻土对管桩的摩阻力，按摩阻力大于切向冻胀力的要求，计算确定管桩的插入深度，合适的插入深度可使得管桩基础不受季节融化层的影响，从而保证了电力杆塔的稳定。为了减小季节冻土的切向冻胀对管桩侧面的作用力，可在管桩的上部（上限范围内）涂碴油或工业凡士林，这项涂油措施可降低管桩的深度，我们经计算和现场试验已经有了具体数据。



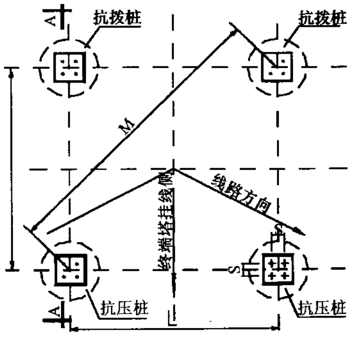


（2）换填基础，是通过大开挖将季节融化层的土质，全部挖去换成非冻胀性粗颗粒土，这种技术在季节融化层（上限）小的地区还可以，对季节融化层较大的冻土地区（如青藏高原地区），要将季节融化层全部换掉是很困难的，何况由于大开挖扰动了冻土，冻土上限可能加大，就很难将季节融化层全部换掉，由此也就无法克服法向冻胀力作用，而法向冻胀力是切向冻胀力的几十倍，这也是导致大部分换填基础电力杆塔倾斜倒覆的原因。

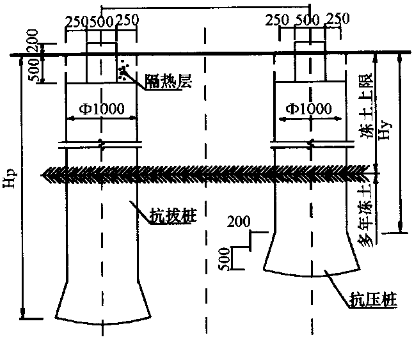
由此可见以前电力杆塔采用换填直埋式基础，无法根本上解决冻土的“冻胀”和“融沉”问题，只有采取我院设计的管桩基础，才能从根本上解决冻土的“冻胀”和“融沉”，保证电力杆塔在高原冻土地区安全可靠。

（3）钻孔灌注桩，电力铁塔基础根据其受力其受力特点，采用灌注桩基础，钻孔灌注桩图样如下（转角铁塔灌注桩）。

多年冻土地区采用旋挖钻机成孔，旋挖钻机钻孔速度快（2～3 小时可成孔），并及时放置钢筋浇筑混凝土，一处灌注桩基础可在 24 小时完工（符合冻土地区的施工暂规），从而减少了多年冻土冷能的释放，同时本设计的钻孔灌注桩基础在距地面 0.5 米以下缩小了基础截面积（60%），减少了夏季热量通过灌注桩向下传递，防止多年冻土发生融化，保证了地基的稳定性。另外也缩小了基础侧面积（62%），降低了冬季冻胀对灌注桩产生的冻拔力。



铁塔基础布置图



A-A

2.2 高原冻土地区一些特征词及管桩主要技术指标

①预应力防腐蚀混凝土管桩的配筋、规格（长度和直径）、配合比、内外法兰、减缓冻胀力接触面；

②冻土上限：冬季冻结；夏季融化的冻土影响深度；

③切向冻胀力：季节冻土产生冻胀后对基础侧面的作用；

④地基稳定性计算：$\xi \cdot \tau t \cdot Fs \leq \lambda \pi d \Sigma f_\iota L_\iota + 0.9(Gs + No)$

式中，ξ—管桩上半部涂油修正系数，涂油取 0.5（不涂油取 1.0）；τt—切向冻胀力（kN/m^2）；Fs—桩在季节融冻层中的侧表面积；λ—抗拔容许摩阻力系数 0.4 ~0.7（多年冻土中 =1.0）；d—桩的直径（m）；f_ι—桩周第 ι 层土的冻结抗剪强度（多年冻土中）（kN/m^2）；L_ι—桩周第 ι 层土的厚度（m）；Gs—桩身自重力（kN）；No—桩顶轴向静载（kN）。

⑤桩身强度：$\tau t \cdot Fs \leq A_g \cdot R_g + No$

式中，A_g—受拉钢筋的截面积（cm）；R_g—受拉钢筋的设计强度（N/m^2）。

⑥水分迁移的机理：是土中水向冻结前缘的流动，由于水分迁移，在冻结面聚冰，形成冰夹层与冰透镜体，水在形成冰的相变过程中，体积膨胀，冻结面上的冰层面积越多，冻胀力越大。

⑦腐蚀性水、固态介质对管桩表面混凝土的腐蚀等级，混凝土保护层厚度及裂缝控制等级确定。

⑧钻孔插入桩：钻孔机先钻比桩径稍大的孔（孔隙 100mm），然后将桩插入孔中，周围灌以配合比良好泥砂浆。

3 结束语

总之，在青藏高原多年冻土地区，解决输电线路杆塔基础稳定性（倾斜）的问题，还是一个长期研究和经验总结的过程，目前我院设计的插入管桩和钻孔灌注柱基础，可从根本上解决冻土的“冻胀”和“融沉”对电力杆塔基础的稳定性问题，达到了电力杆塔在高原冻土地区安全可靠无维修的目的，只是施工费用偏高。

一种适用于青藏铁路运行的七轴内燃机车

杨小军

戚墅堰机车车辆厂

摘　要：青藏线的运用及维护保养关键在于怎样解决机车与线路的轮轨动力学问题。本文提出一种新的机车方案，从各个方面解决了轴重、粘重、簧下重量以及机车减重等方面的问题，将轮轨作用力对线路的破坏力尽可能的减小，从而达到维护保养青藏线的目的。

关键词：内燃机车、青藏线

1　概述

青藏线格拉段铁路是我国乃至世界海拔最高的铁路，青藏线格拉段铁路东起青海格尔木，途径唐古拉山和昆仑山脉，西至拉萨。全程1100km，最高海拔5072m，20‰的坡道占全程的1/3。怎样提高该区间的运输能力，怎样使用和维护保养该区段的线路将成为今后10年乃至未来永恒的课题。笔者在此推出一种还未出世的新品种内燃机车——七轴架悬式内燃机车，一种有可能成为青藏线格拉段专用的内燃机车，我们将分别从线路和机车两个方面进行分析。

2　青藏线格拉段的特殊条件

青藏线格拉段铁路东起青海格尔木市，途径唐古拉山和昆仑山脉，西至拉萨。全程1100km，最高海拔5072m，20‰的坡道占全程的1/3，2/3的路程建立在海拔4500～5072m的高度上。筑路是坚难的，付出的代价是昂贵的。由于整个线路都是用25m长的短钢轨铺设，轨与轨之间存在接缝。1/3铁路建立在常年冻土带，必须采用特殊的工艺进行保护，因此该线路实际上也是非常脆弱的。对在这样高的地区的线路的维修保养之困难和代价之昂贵也是难以预料的。在选用什么样的机车，进行何种方式的牵引将直接关系到线路的寿命和运用的效率。

3　机车方面

作为牵引动力的内燃机车，面临的问题是：

（1）由于高原地区的空气稀薄而导致柴油机功率的下降，为保证机车在高海拔地区的发挥，必须选用大功率的柴油机装车，其必然导致机车重量的上升。

（2）面对1100km的路程，中途没有加油站的情况，机车必须携带全程的燃油，其也必然导致机车重量的上升。

（3）为保证机车在1100km的运行中安全可靠，不出故障或少出故障，机车必须具备一个强大的承载车体。车体还应合理加重。

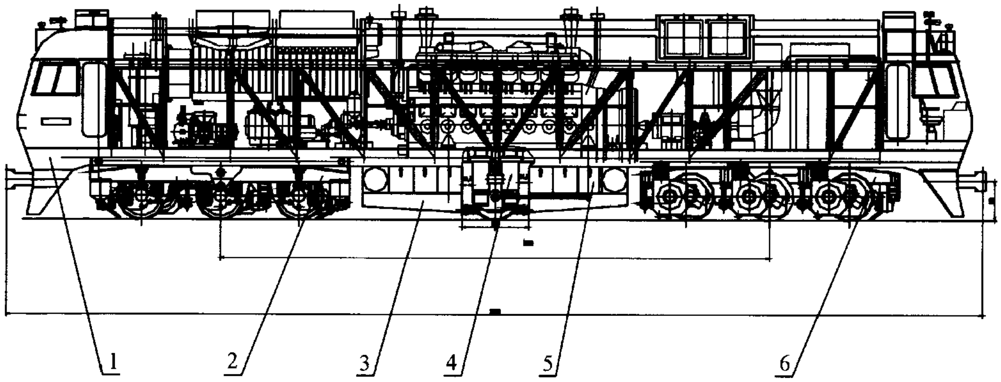
（4）为把机车运行时的轮轨作用力降到最低，把机车运行时对线路的损坏程度尽最大努力降低，机车运行速度尽可能的提高，该机车应该采用走行部牵引电机全悬挂结构，将簧下重

量最大限度的降低。

以上诸条都预示着机车必须加重。戚墅堰机车厂研制的东风8B9001～9002号高原货运试验样车较成功的解决了上述部分的问题，但由于轴重的限制而未能采用走行部牵引电机全悬挂结构。如果采用该结构，机车必须再减重4t，而这已经是非常困难的了。采用七轴内燃机车可以较为完美的解决上述的不足。

4 轴内燃机车简介

设想中的七轴内燃机车是建立在戚墅堰机车车辆厂研制的东风8B青藏线高原货运试验样车的基础之上(见图1)，有关机车功率的参数与东风8B青藏高原高原货运试验样车相同，固此省略，这里主要讨论与轮轨有关的问题。其主要主要技术参数如下：



1.车体　2.后转向架　3.后燃油箱　4.中间转向架　5.前燃油箱　6.前转向架

图1

轴式为　CO－1－CO

最大轴重为23t

平均轴重21t

采用东风11的牵引电机全悬挂结构，簧下重量为2.475t

机车总重147t

选取上述参数的理由如下：

(1)牵引轴最大轴重为23t：为满足机车在20‰的坡道上牵引轴所能利用的最大黏着重量，也是青藏线所允许的最大轴重。

(2)平均轴重21t：为使机车在青藏高原上能以最轻的轴重、最小的轮轨作用力，以线路允许的最快的速度缩短全程的旅行时间。

(3)采用牵引电机全悬挂结构，可以使轮轨作用力最大幅度的减少，从最大程度上保护线路不受损坏，延长线路的使用寿命，提高运行速度。

(4)机车总重147t：由于架悬式结构的应用，机车轴重将增加4t，燃油的增加、以及沿途撒沙的用量增加都将使得机车总重量增加，而这1100km没有人烟的特长交路上，保证机车安全可靠的运行，在这种情况下对车体进行减重是不妥的，不仅要保证车体的强度和刚度，还要保证车体具有足够的质量密度以抗衡车体上各运动部件所产生的强迫振动，以保证各个线接头、管接头、连接螺栓等不因振动过大而失效，导致机破发生。因为一旦发生机破，等待救援的最长时间有可能达到10小时以上，这对于乘客或乘务员都是难以接受的。

5 怎样实现牵引轴重23t和平均轴重21t的转换以及转换条件

本机车共设3个转向架,分别设在机车的前后和中间。该结构教科书中已有范例,现实中也已存在,如6K机车和SS7D型准高速客运电力机车。本机车与之不同在于:

(1)本机车前后转向架为3轴转向架,每轴均设有牵引装置;中间转向架仅设一轴,且不设牵引装置(见图2)。

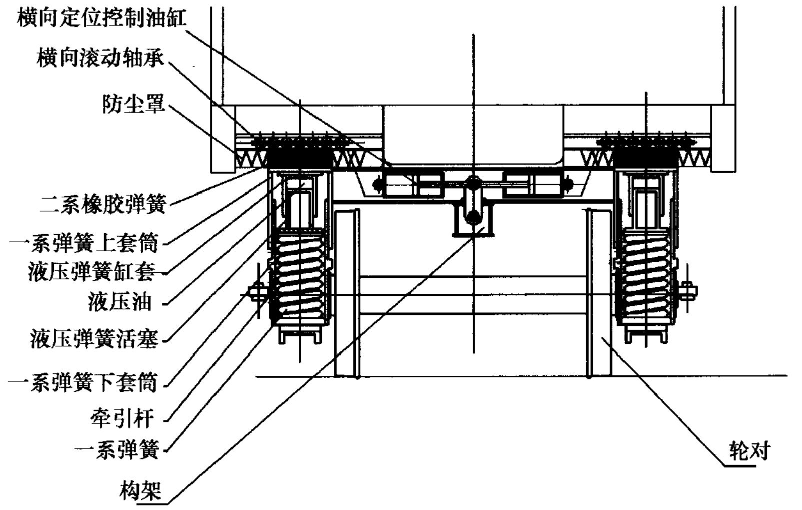


图2

(2)本机车中间转向架的二系支撑弹簧为可调整支撑力结构。其支撑载荷可以因支撑力的改变而改变。设中间转向架自重为4t,二系弹簧的支撑力为17t时,中间轴重达到21t,根据杠杆等距离分配的原理,其他轴重也将达到21t,此时即所谓平均轴重状态,适合于高速运行。当中间转向架的支撑弹簧的支撑力下降到5t时,车体将会下沉,两端转向架的负荷将增加,轴重也将逐步上升到23t。此时即所谓最大牵引轴重状态,适合于低速牵引工况和制动工况。

采用本机车和东风8B高原货运试验样车对线路的作用力能产生多少改变呢?根据日本铁路的长期运用经验公式,以道砟下沉量作为衡量机车对线路损伤的程度,可按下式进行估算。

$h = CP^{0.7}M^{0.3}V^{1.3}$(对良好路基)

$h = CP^{2}M^{0.4}V^{1.8}$(对不良路基)

式中,h——道砟下沉量;

C——常数;

P——轴重;

M——簧下质量;

V——机车运行速度。

由于青藏线处于高原地区,1/3线路建立在常年冻土带,且都用25米短钢轨铺设,因此按照不良路基来分析比较恰当。比较两种机车在同一种速度运行下路基的下沉量之比为k:

$$k = h_1/h_2$$
$$= CP_1{}^2M_1{}^{0.4}V^{1.8}/CP_2{}^2M_2{}^{0.4}V^{1.8}$$

式中,h_1——七轴机车在某一特定速度运行下路基的下沉量;

$P_1 = 21t$——七轴机车在平均轴重工况时的轴重；

$M_1 = 2.475t$——七轴机车簧下质量；

h_2——东风 8B 青藏线试验样车在同一速度运行下路基的下沉量；

$P_2 = 23t$——青藏线试验样车的轴重；

$M_2 = 4.424t$——青藏线试验样车的簧下质量。

带入计算后得

$$k = h_1/h_2$$
$$= 0.66$$

即七轴机车对线路的下沉量仅为东风 8B 青藏线试验样车的 66%。

6 结论

通过在传统的六轴机车上增加一中间轴的方案，引入轴重调整功能，从而实现了降低轴重、降低簧下质量、提高黏着、提高机车的整体刚度和各运动部件的可靠性，提高了运行可靠性和安全性。对线路的损坏仅为东风 8B 高原货运试验样车的 66%，这对于青藏线铁路的使用、维护和保养或提高机车运行速度都有着非常积极的实际意义。

青藏铁路客车增压增氧方案的分析

欧阳仲志

四方车辆研究所

摘　要：为了在青藏铁路客车内创造一个含氧量达到或好于拉萨海拔高度的条件，除了用制氧机供氧外，还提出了在客车内增压增氧的方案，本文通过计算车辆的气密性与空气泄漏量的关系，对客车内制氧机供氧、制氧机供氧结合增压增氧、完全增压增氧三种方案进行可行性分析。

1　前言

青藏铁路是世界上海拔最高的铁路，其中：海拔最高的唐古拉山垭口5072m，海拔4800m以上有两段，第一段是风火山隧道前后约20km，第二段是布强格至唐古拉山垭口、托居，前后约127km，小计为147km；海拔4700m以上有三段，第一段是昆仑山口前后约20km，第二段是可可西里至风火山、江克栋前后约58km，第三段是雁石坪至布强格、唐古拉山垭口、托居、安多，前后约243km，小计为321km；海拔4500m以上线路为望昆至古露全程801.6km；海拔4000m以上的为玉珠峰至羊八井全程约958km。常年冻土带为望昆至安多全程546km。

在海拔这样高的特殊条件下运行的铁路客车，高原缺氧问题十分突出，这是青藏线高原缺氧、低温、冻土三大难题之一。

为了解决高原缺氧问题，有人提出了在客车内增压增氧的方案，即采用密封性能很好的客车，用增压风机对车内进行增压，同时采用制氧机制氧向车内供氧，使车内氧浓度达到23%，通过增压增氧使海拔4800m处的车内含氧量达到拉萨的水平，在海拔4500m的大部分路段，使车内含氧量好于拉萨的水平。

青藏铁路客车的密封指标：车内压力从4kPa降至1kPa的时间≥50s，车内保持正压水平为高于车外5kPa。

下面分析增压增氧方式所能达到的车内含氧量水平、所需的增压风机功率、新风量、新风预热功率等参数。

2　空气中的含氧量

高原缺氧是由于海拔高度升高，大气压力下降、氧分压下降引起的，大气是由各种互相不起化学作用的气体组成的混合气体，这种混合气体所产生的压力是各种气体压力的总和，称为“气体总压”，而混合气体各组成气体所产生的各自压力，即称为“气体分压”。

道尔顿（Dalton）定律：当温度不变时，混合气体的总压等于各组成气体的分压之和。即：

$$P = P_1 + P_2 + \cdots + P_n \tag{1}$$

式中：P——混合气体压力，kPa；P_1、P_2、P_n——各组成气体的分压，kPa。

对于理想气体，有理想气体状态方程（也称克拉贝隆方程式）为：

$$PV = mRT \tag{2}$$

式中：V——气体的容积，m^3；m——气体的质量，kg；R——气体常数，$R=287 J/kg \cdot K$；

T——气体的绝对温度，K。

大气环境中氧气所占体积为 20.95%，由式(2)可求得单位体积空气中的含氧量，青藏线主要站点的海拔高度、大气压力、空气密度、氧分压和大气含氧量见表 1。

表 1

地区	海平面	西宁	格尔木	望昆	唐古拉山	安多	拉萨
海拔高度(m)	0	2261	2808	4484	5072	4800	3649
大气压力(kPa)	101.3	77.5	72.5	58.8	54.4	57.4	65.2
空气密度(g/m^3)	1205	921.9	862.4	699.4	647.1	682.8	775.6
氧分压(kPa)	21.22	16.23	15.19	12.32	11.4	12.02	13.66
大气含氧(g/m^3)	278.8	213.3	199.5	161.8	149.7	158.0	179.5

注：表中参数在空气温度 20℃ 条件下计算。

由表 1 可见，随着海拔高度的升高，大气压力下降，氧分压下降，大气中的含氧量下降。

人们在高原的不良反应，是由于大气中的氧分压下降、含氧量下降引起的缺氧反应。因此，青藏客车的供氧问题可以归结为如何使车内的氧分压维持在一定的水平范围，保证乘客的生理需求。

3 车内氧分压、氧浓度与增压值的关系

提高车内空气的氧分压，可以通过增压和供氧二种方式实现，下面分析在不同海拔地区，要使车内空气达到一定氧分压，所对应的车内空气氧浓度和车内所需的增压值。

3.1 车内空气达到格尔木地区的含氧量标准

若使车内空气达到相当于格尔木地区的含氧量标准（氧分压为 15.19kPa 含氧量 199.5g/m^3 空气），所对应的车内空气氧浓度（体积比）和车内所需的增压值见表 2。

表 2

拉萨	车内外压差(Pa)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
	车内空气氧浓度(%)	23.4	23.0	22.7	22.3	22.0	21.7	21.4
安多	车内外压差(Pa)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
	车内空气氧浓度(%)	26.5	26.1	25.6	25.2	24.8	24.4	24.0
唐古拉山	车内外压差(Pa)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
	车内空气氧浓度(%)	28.0	27.5	27.0	26.5	26.1	25.6	25.2

3.2 车内空气达到拉萨地区的含氧量标准

若使车内空气含氧量达到相当于拉萨地区的含氧量标准（氧分压为 13.66kPa 含氧量 179.5g/m^3空气），所对应的车内空气氧浓度和车内所需的增压值见表 3。

表3

望昆	车内外压差(Pa)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
	车内空气氧浓度(%)	23.3	22.9	22.5	22.2	21.8	21.5	21.2
安多	车内外压差(Pa)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
	车内空气氧浓度(%)	23.9	23.5	23.1	22.7	22.3	21.9	21.6
唐古拉山	车内外压差(Pa)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
	车内空气氧浓度(%)	25.2	24.7	24.3	23.8	23.5	23.1	22.7

注:GB3863－1995 中 7.2 规定:“氧气在室内聚集,其体积分数超过 23% 时,有发生火灾的危险”。因此,车内氧浓度以 23% 为限。

由表2、表3 可以看到,在车内增压 6kPa 以下,车内空气氧浓度≤23% 条件下,不可能通过供氧使海拔 5000m 以上(如唐古拉山)地区的车内含氧量达到相当于格尔木地区的大气含氧量水平。

若使海拔 5000m 以上(如唐古拉山)地区的车内含氧量达到格尔木地区的大气含氧量水平,需要的条件为:①车内增压 11.8kPa;②车内空气氧浓度达到 23%。

4 车辆的气密性与空气泄漏量的关系

车辆的气密性能是实现车内增压的必要条件,是青藏客车必须解决的关键技术之一,现根据车辆气密性能达到车内压力从 4kPa 降到 1kPa 的时间≥50s 进行分析计算。

设车辆为一刚性容器,在一定的压差作用下车内空气通过各种缝隙产生泄漏,泄漏量可由式(3)计算。

$$m_1 = \rho KA\sqrt{p - p_0} \tag{3}$$

式中:m_1——泄漏空气的重量,kg;ρ——空气密度,kg/m^3;K——泄漏系数;A——泄漏面积,m^2;p——车内压力,Pa;p_0——车外压力,Pa。

设车内容积 $V = 180$ m^3,车内空气温度 $t = 20$℃,设车内增压时,车体的体积变化量很小,对式(2)的时间求导数,并整理得:

$$\frac{\mathrm{d}p}{\sqrt{p - p_0}} = -\frac{RT\cdot\rho KA}{V}\mathrm{d}t$$

对上式积分并整理得:

$$KA = \frac{V}{RT\cdot\rho\Delta t}2(\sqrt{P_2} - \sqrt{P_1})$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{V}{RT\cdot\rho KA}\cdot 2(\sqrt{P_2} - \sqrt{P_1})$$

在拉萨海拔高度 3649m,空气温度 20℃时,空气密度 $\rho = 0.775$kg/m^3,当车内压力从 4kPa 降到 1kPa 的时间 $\Delta t = 50$s 时:

$$KA = \frac{V}{RT\cdot\rho\cdot\Delta t}2(\sqrt{P_2} - \sqrt{P_1}) = 0.0035$$

由式(3)可以求得:在保证车辆气密性条件下,车内不同增压值时,车体的漏气量 V_1,计算结果见表4。

表4

增压值(kPa)	1	2	3	4	5	6
车体的漏气量(m^3/h)	398	563	690	797	891	976

由表4可见,应配备的增压风机通风量为>891 m^3/h,风机静压>5kPa,才能满足车内增压5kPa的要求。

5 车内增压增氧的供氧方案比较

在青藏铁路特殊的环境条件下,如采取供氧和增压方式提高车内空气中的含氧量,对客车车体密封性、制氧、空调通风系统提出了许多新的要求。青藏铁路客车车体密封性、制氧、空调通风系统的主要技术要求:

(1)车内增压增氧的前提,是要有密封性能良好的客车车体,车体钢结构、车门、车窗等承压设备要有足够的强度,车内增压后能保持车体的变形量很小。

(2)车内供氧,提高车内空气含氧量是青藏客车的特殊要求,而在单纯供氧不能达到一定的含氧量时,可以进行车内增压。这样,必须有相应的空调通风系统与之配套,才能实现增压的要求。

(3)合理确定新风量,在考虑保证车内空气品质、车内增压要求的同时,应考虑在寒冷条件下新风预热所需功率和合理减少新风量等。

(4)在减少新风条件下,应维持车内空气品质满足一定的要求,不致引起乘客的不舒适感。

(5)如果只供氧不增压,应在车内设有足够的吸氧接口,供旅客用氧气面罩呼吸浓度较高的富氧空气。

5.1 增压增氧对车内含氧量的贡献

对车内增压,提高车内的大气压力,以增加车内空气的密度,提高氧分压,最终提高车内空气的含氧量。

现计算出海拔5072m的唐古拉山地区和海拔4800m的安多地区增压增氧后车内空气的氧分压和含氧量,设富氧空气的流量为70m^3/h,浓度35%,计算结果见表5。

表5

增压值(kPa)	新风量(m^3/h)	无供氧时车内氧浓度(%)	无供氧时车内含氧量(g/m^3)	车内空气氧分压(kPa)	供氧后车内氧浓度(%)	供氧后车内含氧量(g/m^3)	供氧后车内空气氧分压(kPa)
0	383	21	149.7	11.4	23.16	165.12	12.57
1	398	21	152.9	11.61	23.09	168.1	12.77
5	891	21	163.48	12.44	22.02	171.4	13.04
10	1260	21	177.24	13.49	21.74	183.5	13.96
15	1543	21	191.0	14.54	21.61	196.5	14.96
16	1594	21	193.76	14.75	21.59	199.2	15.16

注:以上计算在空气温度20℃条件下进行。

由表5可见：

(1)在车内不增压而仅供氧的条件下，通过提高车内空气的含氧浓度，同样可以提高空气中的含氧量和氧分压。

(2)当车内增压到5 kPa，同时向车内供氧，唐古拉山地区的车内含氧量与氧分压接近拉萨的含氧量水平；安多地区的车内含氧量与氧分压达到好于拉萨的含氧量水平。

(3)当车内增压到11kPa，而不供氧时，车内的含氧量与氧分压已达到好于拉萨的含氧量水平，供氧在此所起的作用已经变小。

(4)随着增压值的提高，供氧的作用越来越小，当增压到16kPa，不供氧时车内的含氧量水平已经达到南山口的水平。

由此提出了三个供氧方案：第一个是只用制氧机供氧的方案；第二个是制氧机供氧结合增压增氧的方案；第三个是完全车内增压增氧的方案(像飞机一样的增压增氧方式)，下面分别讨论。

5.2 只用制氧机供氧的方案

用制氧机供氧，在海拔5072m的唐古拉山，如果车内空气中的氧浓度达到23%，或更高时，车内空气的含氧量、氧分压见表6。

表6

增压值(kPa)	新风量(m^3/h)	无供氧时车内氧浓度(%)	无供氧时车内含氧量(g/m^3)	车内空气氧分(kPa)	供氧后车内氧浓度(%)	供氧后车内含氧量(g/m^3)	供氧后车内空气氧分压(kPa)
0	500+70	21	149.7	11.4	22.72	162.0	12.33
0	414+70	21	149.7	11.4	23.02	164.1	12.50
0	330+70	21	149.7	11.4	23.45	167.2	12.73
0	270+70	21	149.7	11.4	23.88	170.2	12.96
0	225+70	21	149.7	11.4	24.32	173.4	13.20
0	180+70	21	149.7	11.4	24.92	177.6	13.53

注：表中参数在空气温度20℃条件下计算。

如果在唐古拉山可将车内氧浓度提高到25%，其含氧量已接近拉萨地区大气含氧量179.5g/m^3的水平。但是，我国目前还没有相应的法规、标准、文件规定，允许在高海拔地区空气中氧浓度高于23%。因此，还有待做进一步的调查、研究和证明工作。

在没有得到允许车内空气氧浓度提高到25%的明确规定前，我们可以采用弥散式与分布式相结合的供氧方式：即弥散式供氧可使车厢内保持23%的氧浓度，分布式供氧通过吸氧面罩接口，使每一个旅客都能呼吸到浓度35%左右的富氧空气(该富氧空气的氧分压为30kPa左右，高于平原地区的氧分压21kPa约9kPa)，在海拔4500m以上地区，旅客可以通过呼吸富氧，防止高原反应。

5.3 制氧机供氧结合增压增氧的方案

用制氧机供氧，同时采用增压风机对车内增压，在海拔5072m的唐古拉山，如果车内增压

到最高 6kPa，车内空气的含氧量、氧分压见表 7。

表 7

增压值（kPa）	新风量（m^3/h）	无供氧时车内氧浓度（%）	无供氧时车内含氧量（g/m^3）	车内空气氧分压（kPa）	供氧后车内氧浓度（%）	供氧后车内含氧量（g/m^3）	供氧后车内空气氧分压（kPa）
0	500 +70	21	149.7	11.4	22.72	161.96	12.33
1	398 +70	21	152.9	11.61	23.09	168.15	12.77
1.5	488 +70	21	153.85	11.71	22.76	166.72	12.69
2	563 +70	21	155.22	11.82	22.55	166.66	12.69
3	690 +70	21	157.97	12.03	22.29	167.67	12.77
4	797 +70	21	160.62	12.23	22.13	169.27	12.89
5	891 +70	21	163.48	12.44	22.02	171.42	13.04
6	976 +70	21	166.23	12.65	21.94	173.65	13.21

注：表中参数在空气温度 20℃ 条件下计算。

由表 7 可见，当车内增压 6kPa，同时向车内供氧时，车内空气的含氧量达到 173.65g/m^3，还达不到拉萨大气含氧量 179.5g/m^3的水平。但是，要在车内增压 6kPa，车体钢结构、通过台、车门和车窗强度、车体和各连接处的密封性一定要保证。否则，难以建立起如此高的车内外压差。

5.4 完全车内增压的方案

如果青藏客车能制造成像飞机一样的密封和耐压，可以只采取车内增压增氧的方式增氧，车内增压 10kPa 时，空气的含氧量可接近拉萨地区的水平，车内增压 16kPa 时空气的含氧量可接近格尔木的水平。车内增压 10kPa 以上所达到的空气含氧量、氧分压、增压风机功率和新风预热功率见表 8。

表 8

增压值（kPa）	新风量（m^3/h）	车内氧浓度（%）	车内空气含氧量（g/m^3）	车内空气氧分压（kPa）	增压风机功率（kW）	新风预热功率（kW）
10	1260	21	177.24	13.49	7.00	21.1
11	1321	21	180.00	13.70	8.07	22.1
12	1380	21	182.75	13.91	9.20	23.1
13	1437	21	185.50	14.12	10.38	24.0
14	1491	21	188.25	14.33	11.60	24.9
15	1543	21	191.00	14.54	12.83	25.8
16	1594	21	193.76	14.75	14.17	26.7

注：表中参数在外气温度 -40℃ 条件下计算。

由以上计算知，如果车体的气密性、车体、车窗、车门等的强度能达到飞机的水平，车内增压 10kPa 所达到的车内空气氧分压与第一种方案：供氧使车内氧浓度达到 25% 时相当；与第

二种方案：车内增压6kPa加增氧浓度到21.94%时所得结果相当。

当车内增压到16kPa时，车内空气的含氧量与南山口地区的含氧量水平相当。增压风机加新风预热功率约为42kW。

6 对增压增氧方案的分析

从以上三种方案对比中可以看到：

第一方案只要求把青藏线客车的气密性能做得比目前25T型客车好（要求车内压从4000Pa降到1000Pa的时间大于45s），不必要求对车内增压。用制氧机制氧使车内空气的氧浓度达到23%，在海拔4300m处可达到拉萨地区的含氧量水平，在海拔4500m以上地区，旅客可通过吸氧面罩呼吸浓度较高的富氧（浓度35%～40%，氧分压30kPa左右），防止高原反应。

第二方案要求增压与制氧机供氧相结合，车内增压6kPa，并开动制氧机向车内供氧，在唐古拉山地区可使车内空气含氧量接近拉萨的水平。如果有人在拉萨就有高原反应，在此同样也会有，因此还是要有吸氧面罩。该方案要求车体密封，可承压6kPa以上，增压风机、新风预热和制氧机一起工作，设备较多，制造和使用难度比第一方案增加很多。

第三个方案是完全增压的方案，车内增压10kPa，唐古拉山地区所达到的车内氧分压、车内空气含氧量与拉萨地区相当；当车内增压16kPa时，车内空气的含氧量与南山口地区的含氧量水平相当。

第三方案的特点是车体要像飞机一样密封、耐压，不能搞大玻璃窗，制造难度最大，实用性较差，特别不适合青藏线旅游观光的要求。

第二方案对车体的密封要求也很高，增压值也达到6kPa，而且还需要制氧机供氧，运用的耗功率最大，制造难度和制造成本都较大。

第一方案只要求车体有一定的气密性，配备制氧机即可，客车可以制作成大玻璃窗，适合旅游观光。如果车上为每位旅客设有一个吸氧面罩接口，旅客需要时即接上氧气面罩呼吸浓度较高的富氧，也可满足旅行的要求。车辆的制造成本、运用成本都较低。

7 结论与建议

（1）高原缺氧是指由于海拔高度升高引起大气中的氧分压下降，空气中氧分压的变化取决于大气压力和氧（体积）浓度，由于大气中的氧（体积）浓度基本不变，空气的氧分压仅随大气压力变化。

（2）在海拔高度4000～5000m范围内，仅通过供氧（无增压）使车内空气氧浓度增加2%，可使车内空气的氧分压达到相当于降低海拔高度700m地区的大气氧分压水平。

（3）如果只用制氧机供氧，不采用增压方式增氧，建议在车内按定员或超过定员10%设置分布式吸氧面罩接口，旅客可使用吸氧面罩直接呼吸浓度为35%左右的富氧空气，以解决在海拔4500m以上旅客的吸氧需求。

（4）车内空气中氧浓度在安全范围<23%以内，同时车内增压5kPa，可使海拔5000m的唐古拉山地区车内含氧量达到海拔3800m的水平，海拔4800m处的车内含氧量达到拉萨地区的水平，海拔4500m处的车内含氧量达到海拔3300m地区的含氧量水平。

（5）车内增压10kPa，车内空气所达到的氧分压、空气含氧量与拉萨地区相当；当车内增压16 kPa时，车内空气含氧量与南山口地区相当。但是，车辆的气密性、强度和增压值必须得到保证，这对车辆的密封性提出了极大的挑战。

上述车辆气密性指标是国外高速车所能达到的要求，我国自行制造的铁路客车还没有达到过这一指标。车辆的耐压强度也是从来没有做过这么高的。因此，如采用这一方案，客车制造部门应把实现这一指标作为主攻难题来攻关。

（6）从目前我国的车辆制造工艺、现有客车的密封性能、客车的制造成本、运用管理、客车维护与检修等方面考虑，采用第一方案是比较可行的。第二和第三方案不仅对车辆的气密性能要求很高，对车辆的承压能力也要求很高。第二方案的气密性能和增压要求相当于制造300km/h以上的高速车；第三方案要求客车像飞机一样承受16kPa的压力，国外的铁路客车还没有制造先例，其制造成本目前难以估计。

（7）建议尽快试制出一辆气密性能良好，采用制氧机制氧，以弥散式和分布式供氧的试验车，2005年在青藏线进行线路运行试验，以取得实际运用经验。

青藏铁路高原巡检车的研究

柴雪松[1]　朱锦堂[2]　马辉[2]

1 铁道科学研究院铁道建筑研究所
2 青藏铁路公司

摘　要：青藏铁路自然条件恶劣，无法由人工步行巡道来检查线路故障。因此，研制自动化的巡道设备成为解决问题的出路所在。本文在介绍了国外的线路巡检设备后，提出了利用高速图像处理和激光扫描等成熟技术自主研制高原巡检车的方案。

关键词：青藏铁路　线路故障　自动巡道　图像处理　激光扫描

铁路运营的安全需要铁路养护维修工作的保障。目前，在常规线路上对线路几何状态，轨道平顺性的检查主要由轨道检查车来完成，而线路故障、轨道部件状态的检查仍依赖于大量有经验的巡道工的目视检查。然而，青藏铁路格拉段沿途自然环境恶劣，表现为海拔高、气温低，空气稀薄，平均氧气含量仅为海平面的60%，紫外线强、气候多变、温差大、风大等。这些给线路的巡视检查工作带来了巨大困难，使得在青藏线上人工巡道方式难以实现。

在巡道工难以完成巡检任务的情况下，如果没有合理的取代方式，不能及时发现线路故障和轨道设备的异常状态，铁路行车安全就无法得以保障。因此，迫切需要研制自动巡道设备——“高原巡检车”来代替巡道工检查线路故障，并有效提高巡道工作的质量。

1　国内外巡检车研制概况

近些年，随着模式识别、图像处理、激光检测等技术的发展，研制“车载线路巡视检测系统”，代替巡道工的视觉检查工作成为了可能。国外在这方面已有不少成功的先例。

日本于20世纪90年代中期试验开发了一些检测设备，采用图像处理等技术，来实现自动识别钢轨的裂纹、锈蚀等状态，以及检查扣件状态，检测道床形状尺寸等功能。这些检测设备和方法为后续的研究奠定了基础。

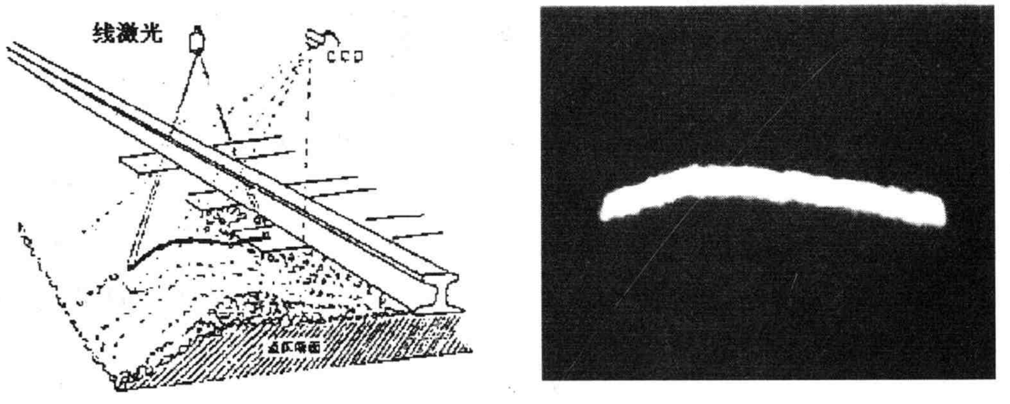
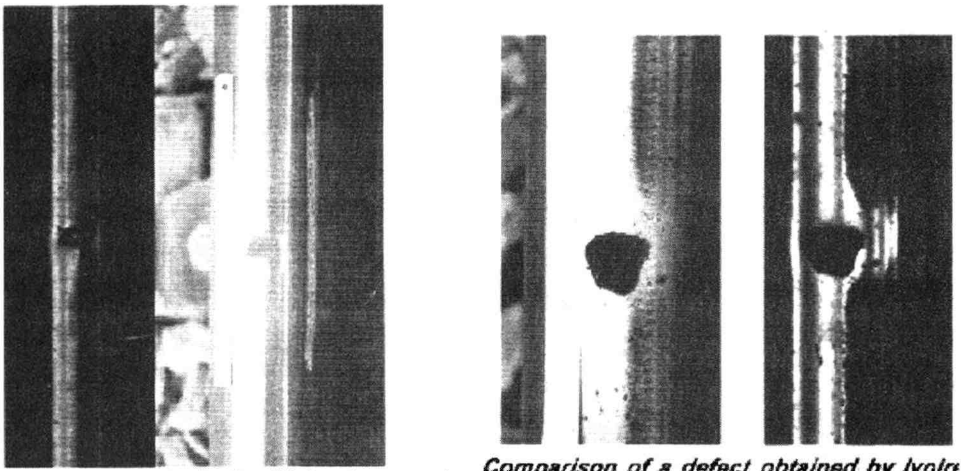


图1　日本道床形状测量系统概况

美国ENSCO公司在20世纪90年代末研究开发了轨道视觉检查系统(TVIS),来代替巡道工自动检查轨道状态。开发TVIS系统主要有两个目标:其一,代替传统巡道工,检查轨道有无影响行车安全的异常情况;其二,使用图像分析的技术来检查轨道设备状态的变化。

德国的BENNTEC公司为德国联邦铁路DB先后开发了RailScan系统和RailCheck系统,用于轨道的巡检工作。RailScan系统采取对线路进行录像,返回后人工回放录像进行故障判断的方式。最近开发的RailCheck系统则采用先进的图像处理技术,实现了自动检测轨道结构的可见异常,实时检测钢轨表面和轨枕的缺陷,以及扣件的丢失、道床断面的异常。

法国研制开发了多项巡查线路设备状态的自动检查系统,功能包括钢轨头部表面缺陷检测,检测有无扣件、扣件方向有无移位、螺栓丢失检测,轨枕破损检测,轨枕间道床高度的检测。



Left=acquisition at 300 km/h - Right=photograph

Comparison of a defect obtained by Ivoire and the photo on the way

图2　自动检测的钢轨缺陷图像及实景图

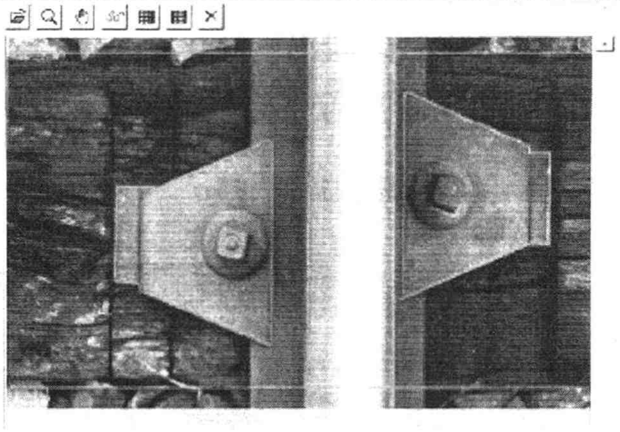


图3　扣件识别示意

从上面的介绍来看,国外已研制开发出基本可代替人工巡道的自动化巡检车系统。其总的特点是高度自动化,自动检测钢轨缺陷、轨枕扣件丢失与否、自动得到道床的断面轮廓尺寸,并且检测信息与里程信息相联系,能够有针对性地指导养护维修工作。

国内,铁科院铁建所一直关注着巡检车的研究发展,并积极开展了技术方案的研究。近年来,通过相关产品的开发,已经基本掌握告诉图像处理和激光二维扫描等相关技术,具备了自主开发巡检车的能力。

2 原巡检车功能

根据线路巡检的工作内容和青藏铁路的实际情况，充分发挥现有技术能力，研制的巡检车可以具有以下基本功能。

2.1 钢轨缺陷检测

根据《铁路线路维修规则》的规定，钢轨伤损分为轻伤、重伤和折断三类。系统应能检测出如下所示的重伤和折断的钢轨。

(1)钢轨折断：钢轨全截面断成两部分；钢轨裂纹贯通了整个轨头截面；钢轨顶面存在长大于50mm的掉块。

(2)钢轨重伤：钢轨有裂纹；钢轨顶面或端部存在长大于30mm的掉块。

2.2 接头状态检测

(1)系统应能检测出接头轨缝的大小，并判断轨缝是否满足要求；

(2)检测钢轨接头内侧有无大于3mm的钢轨错牙；

(3)检测接头夹板零部件是否完整。

2.3 扣件检测

在扣件没有被冰雪覆盖时，系统应能检测出扣件是否丢失、完整、有无显著移位。

2.4 道床检测

系统应能检测道床断面轮廓，检测道床顶面高度、宽度是否正常，有无异常沉陷。检测精度应优于50mm。

2.5 路基检测

系统应能检测路肩轮廓，判断有无异常，检测精度应优于50mm。

2.6 较大轨道不平顺及线路异常的检测

系统应检测发现线路上是否存在需要紧急补修的较大轨道不平顺、冻害变形、胀轨跑道等严重线路异常。

2.7 异物侵入建筑限界的检测

系统应能检测并报警侵入线路两侧建筑限界、有可能危及行车安全的较大障碍物体。

2.8 场景录像

巡检车应对线路周围的场景进行录像，以辅助确认线路异常（有无较严重的路基变形、翻浆冒泥、雪、沙、水害等）。

系统应能存储连续采集的场景录像，并提供回放、定位、检索等功能。

2.9 线路里程测量

上述所有检测数据及场景录像都应该与线路里程建立对应关系。

3　高原巡检车技术方案

以高速图像处理和激光扫描技术为主，结合其他成熟手段，实现巡检工作中最重要的功能，可以基本满足代替人工巡道的要求。

3.1　图像处理系统

建立图像处理系统，主要工作包括硬件和软件两部分内容：合理选择硬件，搭建满足采集要求的系统；研究图像处理算法，实现相关检测功能。

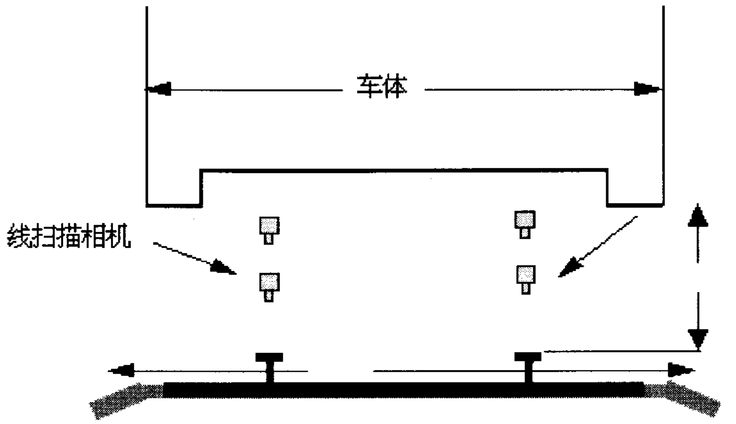


图4　图像采集系统示意

系统主要硬件构成：

(1)线扫描相机，具有动态范围大，图像畸变小、高速图像采集不易拖尾等优点。因此，采用线扫描相机，连续拍摄钢轨及扣件的图像。

(2)图像采集卡。图像采集卡实现将相机拍摄的图像信息采样、传输到计算机内。图像采集卡应根据其前端相机的性能来选择。

(3)图像处理卡。对于巡检车这样数据量和采样速率都很大的系统，图像处理性能成为决定系统性能的关键。采用图像处理卡，有助于提高图像处理速度，减少系统的处理时间。

(4)光电旋转编码器。为了保证钢轨及扣件检测的准确性和精度，需要按距离进行采样。这就由光电旋转编码器装置提供等距离的触发信号，来控制线扫描相机成像。

(5)图像处理软件。在硬件构成确定以后，图像处理算法成为决定整个图像处理系统性能的关键。为了保证检测功能的速度和精度，针对巡检车的具体检测内容，需要研究开发专用的图像处理算法。

图像处理软件应实现下述功能：

(1)实时采集钢轨、扣件和接头的灰度图像；

(2)自动检测各种钢轨折断、轨缝大小和扣件、接头的完整性；

(3)存储有问题钢轨、扣件和接头的图像；

(4)报警，并显示有问题钢轨、扣件或接头的检测结果及图片。

3.2　轨道轮廓及线路净空检测

激光测量技术抗干扰能力强、精度高、不受光照影响，因此在实际测量工作中得到了广泛

应用。二维激光扫描技术采用激光发射、漫反射接受原理来测距。发射接收设备在内部高速旋转以等角度测量，从而得到不同角度上反射点的距离值。因此，采用二维激光扫描技术，来获得轨道结构及线路附属物的轮廓尺寸。

由于及线路净空由不规则的折线组成，只有采用多个传感器组合测量，并合理确定其位置，才能以较高的精度来检测轨道结构轮廓和线路净空。

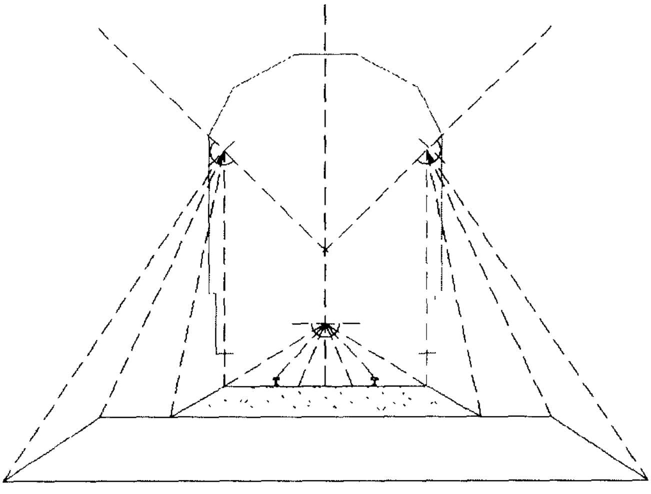


图5　激光传感器布置图

系统主要硬件构成：

(1)中心扫描器。中心扫描器安装在线路中心线上方，扫描面冲下，其扫描区域主要为两根钢轨及其之间的道床表面，检测钢轨的相对位置及道床高度是否正常。

(2)装于车体两侧上部斜向下扫描的激光传感器，其扫描区域主要为道床断面、路肩、路基上部断面以及线路周围空间等。通过对扫描数据的处理，判断轨道轮廓是否存在异常，并分析线路附近是否存在侵入限界、影响行车安全的较大异物。

(3)数据采集卡。扫描器测量得到的大量数据需要通过专用的高速数据采集卡才能完整地传送到计算机内，以保证扫描断面的完整和足够的扫描频率。

(4)处理软件。处理软件应实现下述功能：

①扫描得到道床的轮廓尺寸，判断道床的高度和宽度等是否正常，断面是否完整；

②扫描得到路肩宽度尺寸，判断其是否正常；

③根据扫描得到的钢轨、道床及路基轮廓尺寸，判断轨道轮廓有无显著的异常变化。

④分析判断线路净空内是否存在侵入限界的异物。

3.3　较大轨道不平顺的测量

线路的冻胀变形、热融坍塌、胀轨跑道等异常会使线路形成较大的轨道不平顺，危及行车安全。因此检测发现线路上的较大轨道不平顺，是巡检工作必不可少的重要内容之一。

(1)水平不平顺和轨距不平顺检测

水平不平顺和轨距不平顺反映的是同一断面上两根钢轨之间的相互位置关系。因此，利用中心激光扫描器扫描得到的两根钢轨的轮廓数据，来分析比较就可以得到该断面处的水平不平顺和轨距不平顺。

(2)高低不平顺和方向不平顺检测

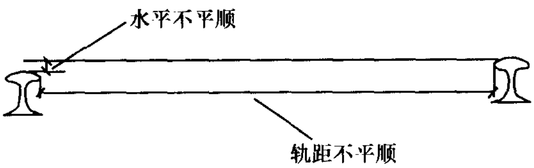


图 6　不平顺示意

高低不平顺和方向不平顺是指在一定长度内钢轨垂向和横向位置的变化，反映的是不同扫描断面上钢轨的相互位置关系情况。然而巡检车在检测过程中，车体是动态前进的。为此需要建立相对基准坐标系。解决此问题，一般有两种方法，建立惯性基准或采用弦测法。

根据巡检车运行速度不高，甚至有可能停车处理简单故障等情况，综合考虑技术及经济因素，建议采用 3 点弦弦测法来测量较大的轨道不平顺。在车体上，沿车辆长度方向布置 3 台激光扫描器。获得同一时刻 3 台激光传感器的测量数据后，根据传递函数特性，就可以得到轨道不平顺的波形。

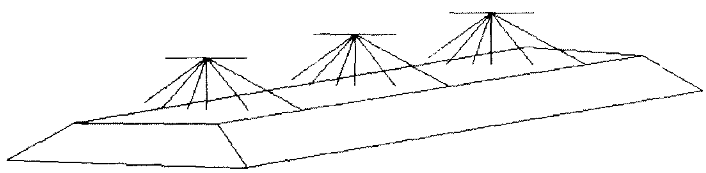


图 7　弦测法示意

3.4　场景录像系统

为了对系统检测出的结果加以核实、确认，并了解问题地段的线路及场景情况，来辅助养护维修的决策和方案的确定，需要建立场景录像系统。场景录像系统由广角镜头、图像采集卡、工业控制计算机、专用软件等组成一个全数字记录系统。广角镜头有助于摄入较大视野的图像，以涵盖尽可能多的场景信息。

巡检车场景录像系统的特殊性体现在要求软件以线路里程为索引，提供查询、定位等功能，以便于对所关注特定地点的场景情况进行回放。因此，需要开发专用的应用软件。

3.5　线路里程测量系统

巡检车检测目的在于发现线路上可能的故障，并指导养护维修作业。为了方便施工作业，所有检测结果都应该以线路里程为参考坐标。因此，巡检车上需要线路里程测量系统。

线路里程测量，主要通过光电旋转编码器来实现。当车轮滚动时，带动旋转编码器转动，计算旋转编码器滚动过的间隔数，即可换算为车轮滚动过的圈数。在车轮周长已知的情况下，走行距离（里程）就可以得到了。

采用旋转编码器测量里程时，其测量误差是随着车轮滚动圈数的增加而累加的。为了消除 TAC 技术的累计误差，需要引入测量绝对位置的技术来进行修正。这可采用列车控制系统中的 GPS 系统或地面位置查询应答器技术来实现对列车运行位置的准确定位。

3.6　配套系统

（1）自动温控装置

青藏高原的气候环境恶劣，极限低温达到 -45℃。对于绝大多数电子设备而言，在这样的温度下都是无法正常工作的。因此，车厢外的线扫描相机等传感器需配备自动温控设备，根据需要给传感器实行加温。

(2)空压鼓风系统

青藏高原由于常年低温，经常有大雪纷飞。如果雪花进入检测区域，就会影响到对钢轨和扣件的检测工作。为此需要配备空压鼓风装置。

鼓风装置一方面使得外界的杂物不会进入相机、光源所在的遮蔽箱内，另一方面如果箱内的气流能吹去钢轨及扣件上的浮雪，可以提高检测的准确率。

(3)数据管理系统

巡检车检测得到的数据是丰富多样的，有轮廓数据、有图像信息、有线路里程等等。将各项检测信息纳入数据库中，运用数据库管理技术，开发相应软件提供数据检索、查询、统计分析等功能，可以大大提高对检测数据的分析能力，辅助决策者做出科学的决定。

完善的巡检车系统还需要建立计算机局域网系统，配置无线通信装置、稳定可靠的电源系统等。

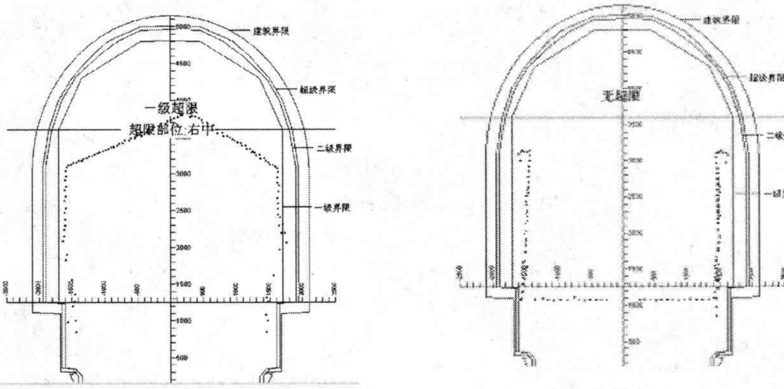
4 已进行的工作

研制巡检车的主要技术关键在于高速图像采集、图像处理和二维激光扫描等检测技术以及系统集成。

4.1 现有基础

铁科院铁建所通过开发“铁路货运安全门”等系统，已成功掌握了采用二维激光扫描方法检测物体轮廓尺寸和采用图像处理方法进行模式识别的技术。

安全门系统采用多个激光传感器扫描车辆及货物的轮廓尺寸。经过对多个传感器扫描数据的整合，得到车辆的全轮廓尺寸图，图 8 为几种典型的车辆轮廓图。从图中可看出，不同车辆的轮廓特征明显，断面形状清晰完整。



(a) 有篷布的敞车　　(b) 空敞车

图 8　不同类型车辆的轮廓扫描图

4.2 已开展的工作

我们搭建了一个可以检测钢轨和扣件缺陷的移动样机系统。该系统由线阵相机、图像采

集卡、旋转编码器等组成，将其移植到轨道车上即成为巡检车的样车。在室内试验和环形线进行了多次试验，系统基本具备了检测钢轨缺陷和扣件的能力。

5 展望

“科技是第一生产力”，研制高原巡检车来代替人工巡道，已成为青藏铁路线路养护维修工作中必不可少的一个环节。充分利用现有的成熟技术，自主研制出符合青藏铁路特殊条件的高原巡检车是充分可行的。

现有的成熟巡检系统，都是在常规线路上运行的。对于青藏铁路高海拔、低气温、低气压的特殊应用环境，无论是引进国外技术还是自主开发都还有许多工作需要进行。时间紧、任务重，尽早开展样车的研制工作才能保障高原巡检车的顺利投入使用。

结合进口机车先进技术，扩展国产机车车载信息平台，加强青藏线机车状态监测、智能诊断与维护支持

丁子全　张国兴　陈辉

铁道第一勘察设计院

摘　要：青藏线引进的美国GE公司内燃机车，具有较先进的机车车载检测和诊断系统，结合青藏线GSM－R无线网络技术及计算机技术，构筑车地无线网络，实现对进口机车设备的远程访问，以便对机车进行监测、诊断和维护，对现有国产机车进行局部升级改造，扩展国产机车车载信息平台，通过采集机车各类车载设备的数据信息，综合诊断分析车载设备的历史数据和在线检测数据，实现对机车设备状态信息的集中监测，对机车设备故障进行预警。并提供机车运行状态和检修维护决策支持，提高机车的可靠性、耐用性和可维修性，保障青藏线机车长交路安全运行、少维修、少布点。

关键词：青藏线　机车　监测　诊断　维修

1　青藏线进口机车与国产机车维修概述

国产机车主要是“以预防为主”指导思想，以磨损理论为基础的“计划预防维修制度”，具体实施概括为“定期检查”，“按时保养”，“计划维修”。

进口机车主要是“以可靠性为中心”的维修指导思想，以故障理论为基础的预防维修制度。其维修规程为：检查（检测）→诊断→修理→验证→总结。

检查（检测）：进口机车通过自动分析无线数据（事件，故障和数据趋势），每年约100次，提高频率，增加事件数据记录和发展趋势，提高机车可靠性。国产机车则更多进行计划预防修，或根据司机的报告，进行事后维修，人工分析数据很少，每年至多10次。

诊断：进口机车用专家工具分析所有数据，由GE专家系统产生修理程序，包括GE设计思想和诊断工具，可以改善修理故障的质量和提高机车性能。国产机车更多是人工处理数据，整理手册和记录。

修理：进口机车修理按照专家的修理程序进行，并整理成车间维修文档，机车修理具有一致性，彻底性，维修车间人员的效率和知识通过GE的指导和支持得到提高。国产机车则依赖技术人员的经验和实际工作。

验证：进口机车持续监控每一个修理步骤并通过监控得到验证，获取反馈信息。回顾和监控使零部件、系统和修理问题及时得到修正。国产机车维修则很少反馈确认。

总结：每周有GE专家分析，每天对新设置和新知识做更新，每台机车的每个修理都要做到好“闭合环路”。国产机车则缺少整体系统分析，总结周期也较长。

2　青藏线机车状态监测和智能诊断系统车载设备

青藏线进口机车由生产商集成了机车控制、司机操作、牵引控制、制动控制、柴油机控制、

柴油机燃油、柴油机冷却润滑、辅助电源控制、设备通风控制等机车复杂故障模式,包含250多个数据包,3500多个事件编码,并能存储大量故障前后详细信息记录,具有机车状态监测、诊断和故障记忆处理功能,有SDIS智能控制与显示系统,CIO集成输入/输出接口,通讯总线及协议转换单元等。同时利用青藏线GSM-R无线网络传输,可对机车实行远程在线监控和诊断服务。

目前国产模拟控制机车(如SS1、SS3、SS4、SS4G、DF4B等)上可以取到的车载信息主要来自监控装置和轴温检测、弓网、轨道状态检测装置等。如需增加信息采集则可以采取以下方式:增加传感器以及数字量、模拟量采集模块以及相应的车载信息系统、车地数据传输系统及信息显示器。国产微控制机车如SS4B、SS7D、SS7E、SS8、SS9、DF8B、DF11、DF4D等。该类型机车各车载设备的信息(包括微机控制柜、LCU、TAX等的参数及故障信息)均可以采集到,但是由于各设备之间未联网,要采集所有设备的数据信息则对每个车载设备都必须修改或增加相应的通信接口同时增加车载信息系统及车地数据传输系统。

针对目前青藏线现有DF4型内燃机车,机车信息采集处理考虑扩展机车柴油机状态监测诊断部分,采用基于瞬时转速原理的内燃机车柴油机状态监测和诊断系统,其系统工作原理示意图如下:

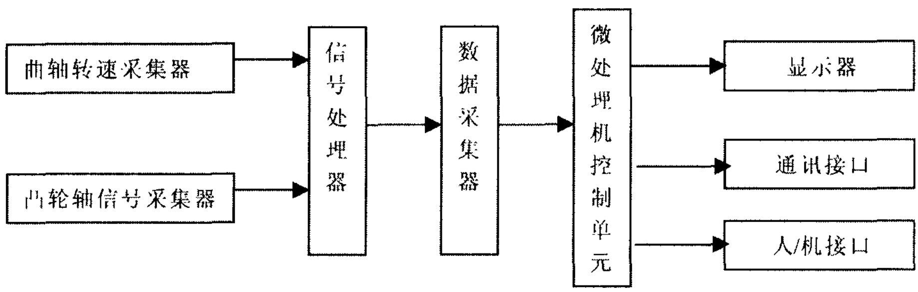


图1 柴油机状态监测和诊断工作原理图

采用冗余方式构筑机车信息采集、车载信息处理主机和无线通信模块车载平台框架。其基本结构框如图2所示。

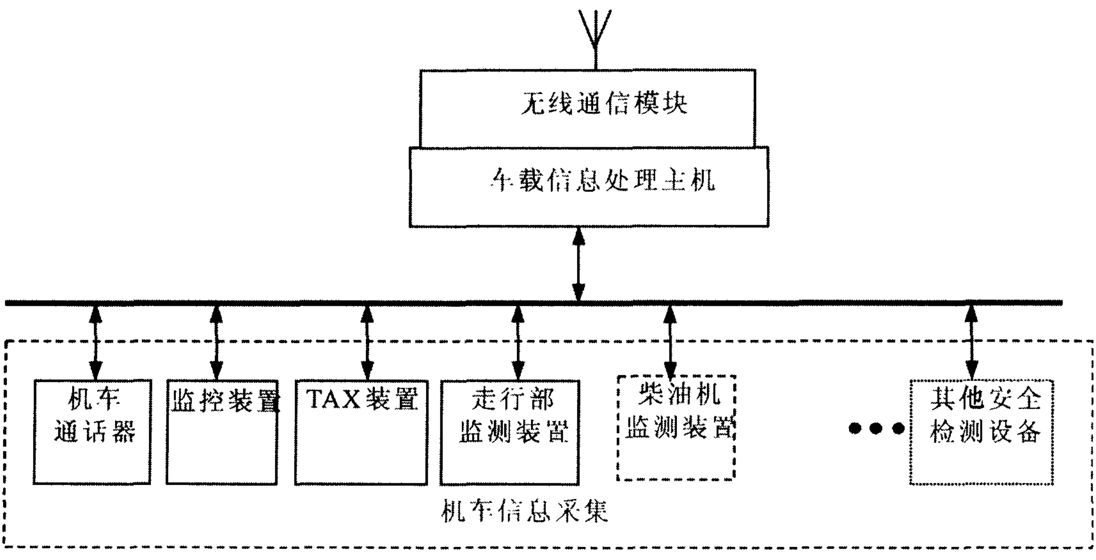


图2 车载信息平台基本结构框图

机车信息采集主要完成与机车安全运行相关的各种状态信息的采集。需要采集的信息源点如表1所示：

表1

序号	信息源点	采集内容
1	列车运行安全监控记录装置	列车运行状况信息
2	机车运行安全综合监测装置（TAX箱）	箱内插件记录的自检和故障报警、预警信息
3	机车走行部监测设备	机车轴温和走行部状态信息
4	机车柴油机检测设备	机车柴油机状态信息
5	机车信号记录仪	机车信号工作状态信息
6	其他新增检测设备	

车载信息处理主机主要完成对采集的各种机车信息进行加工处理，整合成标准数据格式，控制无线通信模块向地面发送数据。同时接收无线通信模块送来的地面指导信息，通过屏幕显示方式向机车执乘司机转达。

无线通信模块由无线数据传输和无线通话两大功能模块组成，分别完成机车与地面的双向数据传输和机车与地面的点对点应急通话。车－地无线传输网络由机车在途运行和机车入段整备两部分网络组成。

机车运行途中的实时信息传输在西格段未建成GSM－R铁路移动专网的区段依托电信GSM/GPRS和Internet互联网完成。在格拉段已建成GSM－R铁路移动专网的区段由GSM－R铁路移动专网完成。机车入段后，各种车载设备的全程记录数据文档集中转储到机务段数据服务器。

3 青藏线机车状态监测、智能诊断和维护支持地面设备

根据青藏线机务设备生产力布局优化调整，西宁机务段为青藏公司机车检修运用基地，格尔木机务段承担进口、国产机车的整备运用及小辅修作业，新建拉萨机务车辆整备基地（机务部分），承担机车整备折返任务。青藏线机车状态监测、智能诊断和维护支持地面设备在西宁机务段、格尔木机务段建立机车状态检测间，具体设备包括：

3.1 地面应答器

地面应答器是一种可以发送数据报文的高速数据传输设备；地面应答器应能提供上行数据链路，实现地对车的数据传输；特殊情况下，可对列车实施紧急制动，应急指挥，实现地面行车调度与机车执乘司机点对点的应急通话，为车－地协同处理机车运行突发情况，缩短故障延时和应付自然灾害等提供通信保障。

3.2 数据转储及处理设备

在线机车车载信息系统将大量实时记录信息，通过无线网络经发送到机务段数据应用服务器。数据应用服务器对信息进行处理分类后保存，供相关管理部门使用。另外，作为辅助手段，可通过高速介质转储所有车载数据到机务段数据应用服务器。

机车入段后利用车载设备的全程检测记录文档进行自动下载转储到机务段数据应用服务

器，进行分析处理，为设备检修、质量管理、统计分析等生产管理过程网络化提供信息支持。

3.3 地面辅助检测设备

地面辅助检测设备是在机车入库后对机车状态进行进一步检测确认，主要采用便携式检测设备，具体包括有：

变速箱状态检测仪，主要用于内燃机车前后变速箱的故障检测。

气阀状态检测仪，根据车载设备记录的柴油机的状态信息和诊断结果，对相应的出现异常现象的气缸的气阀状态进行检测和诊断。

燃油压力波诊断仪，运用该设备检测燃油高压油管压力波，对高压油泵及喷油器的工作状态进行定量分析。

活塞、缸套配合状态诊断仪，根据车载设备记录的柴油机的状态信息和诊断结果，对相应的出现异常现象的气缸的活塞、气缸套磨损状态进行检测分析。

主轴瓦工作状态诊断仪，监测柴油机主轴瓦工作状态，对碾瓦状态进行报警，以及用于发生主轴瓦碾瓦处理后的轴瓦状态监测跟踪。

电线路状态检测仪，对入段机车的主电路、辅助电路、控制电路进行绝缘状态检测。

便携式机车轴温检测报警装置测试仪。

3.4 地面有线传输网络

地面有线传输依托铁道部、青藏公司、基层站段三级铁路远程广域网和地区局域网组成，采用铁路统一传输平台（IBM MQ），构筑信息应用的分层树形结构通信平台，完成铁道部、青藏公司、基层站段之间机车安全运行保障体系的各种信息的交流与互通。

3.5 基于机车状态数据库的地面专家智能诊断及维护支持系统

基于机车状态数据库的地面专家智能诊断及维护支持系统由无线通信服务器、内网通信服务器、数据应用服务器及数据库等设备组成。其结构如图3所示。

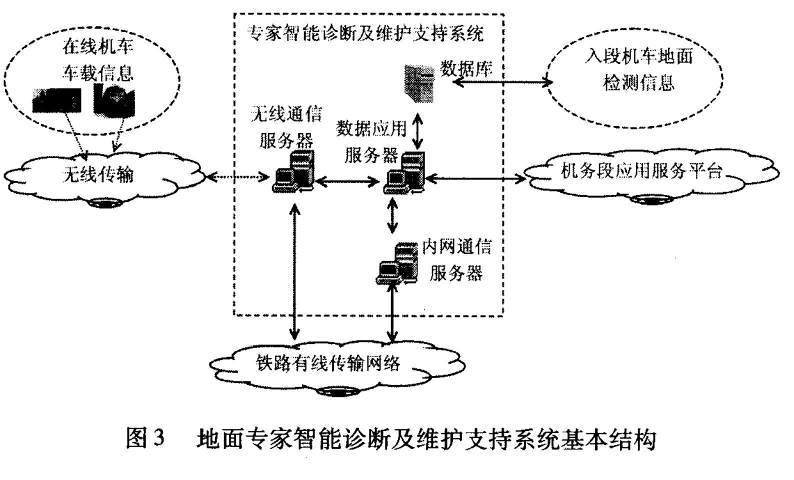


图3 地面专家智能诊断及维护支持系统基本结构

3.6 地面机车状态信息显示与查询设备

LCD大屏幕及触摸屏：可以全面集中反映在途运行机车的各种实时信息和机车运行故报

警、预警信息。

机车运行状态调度查询信息包括:列车车次、担当机务段机车型号、编号、执乘司机姓名、列车运行速度、当前限制速度、列车所在位置、机车信号显示、机车运行工况、列车制动主管压力、状态发生时间等。

以电子地图方式显示铁路线,用带有鲜明颜色的闪动的小圆点图标表示列车运行位置,在圆点的旁边标明了该列车的车次。在圆点图标附近可以显示该列车的运行基本状况,包括:机车编号、列车车次、列车运行速度、机车位置 km 标和信号显示状态等。

在机车运行安全监测信息管理中心,可以通过大屏幕显示设备进行调度查询显示、调车监控、机车运行安全监测信息的集中监控、预警。

4 目标结论

构建青藏线机车状态监测、智能诊断与维护支持系统框架如图 4 所示。

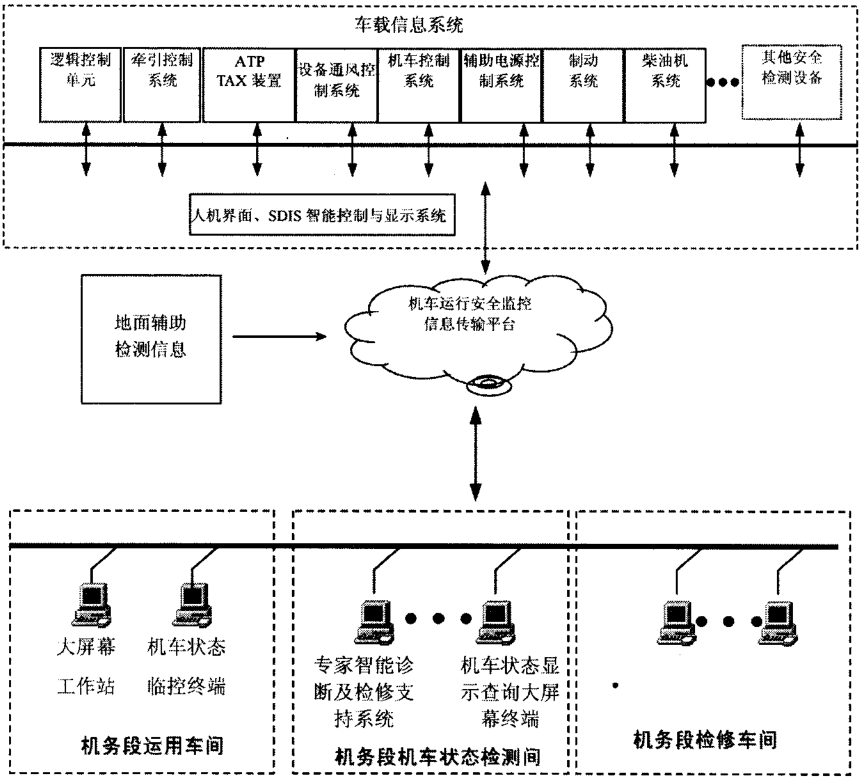


图 4　机车状态监测、智能诊断与维护支持系统框图

通过青藏铁路信息化建设,构建车 - 地无线传输网络及有线网络,形成"地对车、车对地、地对地"安全监控体系信息传输网络的基础平台,完成铁道部、青藏公司、基层站段三级网络范围内机车检测诊断的数据信息传递。

实现对进口机车设备的远程访问，以便对机车进行监测、诊断和维护，对现有国产机车进行局部升级改造，扩展国产机车车载信息平台，通过采集机车各类车载设备的数据信息，综合诊断分析车载设备的历史数据和在线检测数据，实现对机车设备状态信息的集中监测，对机车设备故障进行预警。并提供机车设备运行状态和检修维护决策支持，提高机车的可靠性、耐用性和可维修性，保障青藏线机车长交路安全运行、少维修、少布点，达到安全、质量、效益最优的目标。

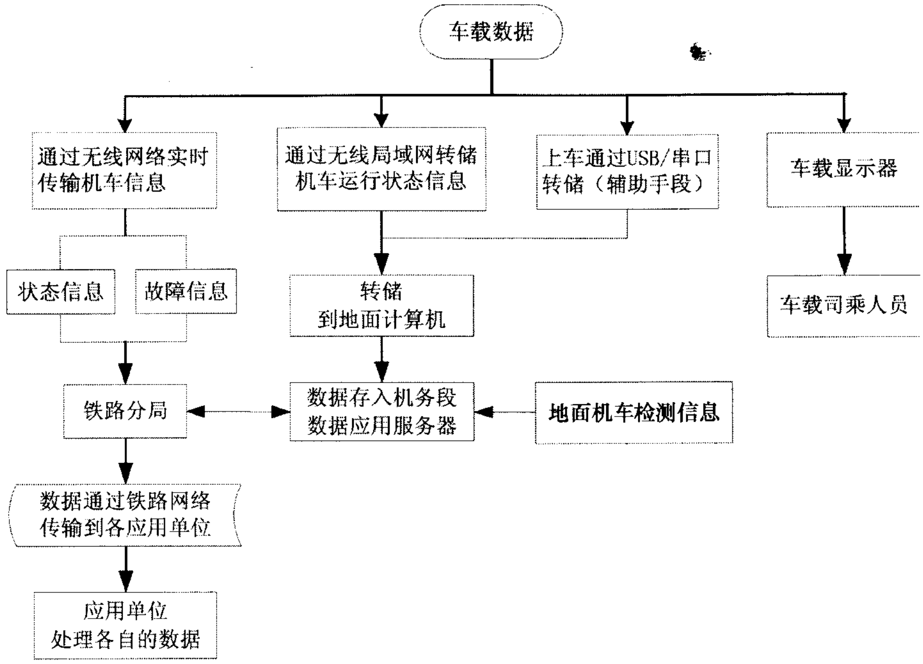


图5　机车状态监测信息传输流程图

高原铁路电力安全保障技术

徐志强　刘明光

北京交通大学电气工程学院

摘　要：高原铁路特殊的地形、气候特点，对电力安全提出了更高的要求。为保证行车安全、畅通，本文依据故障分段处理思想，运用小波分析与模糊分析技术，进一步提高了故障自动处理装置的故障诊断能力，对高原铁路电力安全具有较高的参考价值。

关键词：故障　故障处理器　技术保障

青藏铁路由青海省西宁市至西藏自治区拉萨市，全长1956km，翻越唐古拉山的最高点海拔5072m，经过海拔4000m以上的地段960km，连续多年冻土区550km以上，是迄今为止线路最长、海拔最高、穿越冻土里程最长的高原铁路。因此，在这种多年冻土、高寒缺氧、荒芜人烟的恶劣条件下，保证对沿途车站等用电设备的供电可靠性是一个十分重要的现实问题。

在线路如此之长、自然条件如此之恶劣的铁路线上，如果发生由于雪崩、低温结冰等恶劣自然条件所造成的供电线路接地、断线、短路故障时，依靠传统的人工查找法查找故障点，不仅十分困难，而且也难以快速恢复行车供电。因此，研究铁路电力线路各种故障信息，研制快速、准确切除故障，快速恢复行车信号设施供电的技术与自动化装备，对保证青藏铁路的供电安全，十分必要。

1　现有技术状况

电力系统中线路的故障测距等装置，只能用于无分段、无分支的整体线路，而且也没有故障处理能力；变电站的继电保护装置动作将切除整条线路，这样的方法不能满足铁路沿线非故障区段的行车信号设备迅速恢复供电的要求。

铁路电力线路故障现有处理方法：

(1)人工寻找方法

当线路发生故障之后，派人沿线寻找，通常是多次拉开分区亭的分段开关进行试送电，以确定故障发生的大概位置，然后，反复拉分段开关、试送电，逐步缩小故障范围。这种办法对拉开分段开关的次数与经验、运气有关，需要耗费达大量时间，因此对于青藏铁路这种自然条件特殊的线路完全不实用；

(2)远动监控法

在沿线的分区亭设置RTU(遥控终端单元)，利用配电所内的自动装置进行遥测遥控。采用这种方法需要沿线设置专用信号通道；对RTU需要提供专用电源；对系统装置及软硬件维护要求的技术水平高。这些造成的结果是除了工程造价和维护费用高，而且，当线路发生故障时，由于铁路沿线没有其他备用电源，不能提供RTU的工作电源，使得远动监控系统不能发挥作用。

针对上述情形，文献[1]提出了将铁路电力线路按区间分成若干段，故障处理时不需要精

确测出故障点位置，只要能够迅速判断故障区段，自动断开故障区段两端的开关，并锁住这两个分段开关，就能够立即恢复非故障段供电。按该思路研制的故障自动处理装置特点已经在西南地区的铁路上运行三年多，性能稳定可靠，多次快速处理故障，满足现场运营要求，并获2004 年贵州省科技进步二等奖。该技术对青藏铁路供电具有较大参考价值。

2 高原铁路供电技术要求

铁路供电最重要的是保障沿途车站及信号设施的供电。青藏铁路海拔高、线路长、站间距离大、荒芜人烟，电力线路一旦发生故障，查找和处理都非常困难，因此，电力线路需要装备能够自动监测故障、自动切除故障、快速恢复沿途所有车站供电的设备，才能够保障电力安全。这样的装置需要实现以下功能：

（1）对铁路电力线各种故障信息及干扰信息的快速、准确分析，提高故障诊断的可靠性。因为供电臂长，故障信息传输过程中不可避免的发生信号衰减，混入干扰信号，如中性点不接地的贯通线，发生单相接地故障时的故障电流就是如此[2]，这种故障电流不仅数值很小而且叠加在较大的负荷电流之上，使得现有的电流互感器很难准确地检出。此外，现场的各种电磁干扰相对很大，加上零序回路对高次谐波及各种暂态量的放大作用，使得检出的故障成分信噪比非常低。因此，针对高原铁路的接地故障诊断装置应该具有很强的适应性。

（2）高原地区风害、暴雪、冰雹天气频繁，极易造成电气设备载流部分的绝缘损坏，引起短路、断线故障。短路故障具有严重的破坏性，它引起的电弧以及很大的短路电流发热，可使电气设备过热烧坏。同时，很大的短路电流通过导体时，要引起导体间很大的机械应力，这可能造成导体和其支架的破坏。同样，对于断线故障也是如此，它也可能对用电设备造成不同程度的损坏。因此，快速的故障切除自动装置，是有效地熄灭电弧、大电流，消除故障，恢复绝缘的重要途径。

此外，高海拔也是一个不容忽视的问题，因为在这种恶劣的气候条件下，昼夜温差大，极易造成部件的冻结，因此如何确保设备的防冻，保证装置的正常动作，也应值得重视。

3 设计方案

3.1 故障处理原理

青藏铁路线路长，为保证故障快速查找与切除，电力线路采用按区间分段的结构更为合理。线路构成如图 1 所示。

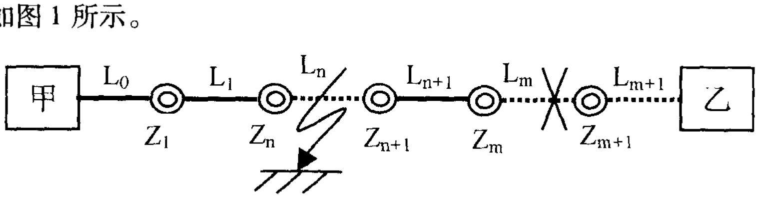


图 1　线路故障处理结构图

这里甲为主供配电所，乙为备供配电所，L_m 表示第 m 段分段线路，Z_m 为分段点。每个分段点处设置一台专用传感器、一台自动开关、一台故障自动处理器，同时在配电所设一台故障位置指示器，这样就构成了一个线路故障自动处理系统。例如：在分段点 Z_m 与分段点 Z_{m+1} 之间发生断线故障，Z_m 分段点首先检测到断线故障信息，在故障处理器控制下 Z_m 分段点的自动

开关分闸且闭锁,切除断线故障。这时 Z_m 右侧线路失电,乙配电所失压保护启动,向线路供电。从而保证沿途所有车站都有完好的三相电源,避免了车站及行车信号设备停电。线路上发生接地或短路故障,处理过程基本类似。配电所的故障位置指示器为检修提供依据,可以加快故障的人工修复。

3.2 故障处理器构成

故障处理器主要实现短路、接地、断线故障的诊断以及故障的切除。它主要包括信号采样单元、信号识别单元、专家系统、接力通信单元、大功率储能模块等几大部分构成,基本结构框图如图2所示。

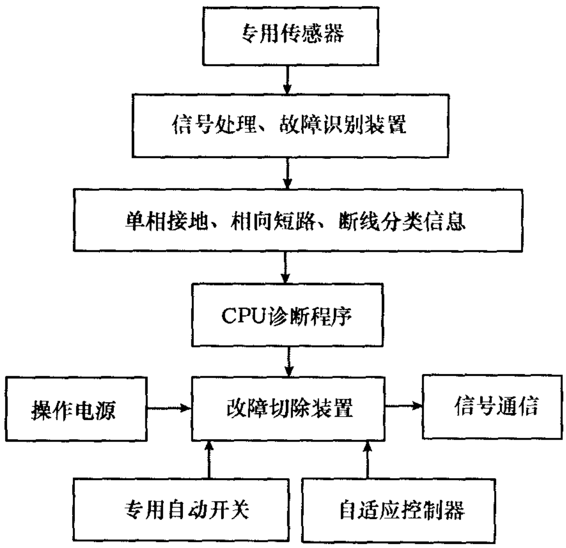


图2 故障处理器系统框图

故障处理器最重要的功能就是要准确区分各种故障,因为牵引供电网故障情况多数为单相接地故障,单相接地故障的处理同短路、断线故障相比,保护装置的动作快慢可以有所差异[4]。而接地故障中80%又为瞬时性故障,我们知道都自动重合闸装置是保证安全供电的有力保障,在变电所馈线断路器跳闸后,一般经过2s左右的延时就要进行一次自动重合闸操作。但这个断路器重合具有盲目性,不论线路是瞬时性故障还是永久性故障,都要进行一次重合。若为瞬时性故障,则一次重合成功,可以恢复线路供电;但若为永久性故障,则继电保护加速启动再次跳闸,重合失败。这种永久性故障时的重合将使短路电流再一次冲击供电设备,造成损坏程度加大,增大了供电设备发生故障的几率。因此,故障处理器应具有对瞬时性故障和永久性故障的判别能力,这样在发生永久性故障的情况下,不再会进行重合,避免了误动作,从而具有自适应重合闸能力。

4 关键技术

应用于高原铁路的故障处理装置,如何提高信号识别、分析能力是实现“无人化”管理的关键所在。对具有突变性,且变化不稳定的信号,如果采用傅立叶变换的数学方法进行分析,势必会影响分析的准确性与可靠性。因为傅立叶分析将时域中连续变化的信号转化为频域下的信号,这种转化完全丢失了信号时域下的信息,因此,它适合于对稳定变化的信号进行分析。

而对于电力线故障信息这种多频率分量、尖锐变化的信号,采用小波变换的方法进行分析更为适合。小波变换通过对信号的伸缩和平移,能够分析信号的局部特性,具有时频局域化性能,因此,它是分析具有突变性质、非平稳变化信号的一个理想工具,在电力、供电系统故障分析中,将具有广阔的应用前景[5]。应用小波分析对暂态故障信息进行处理的手段,为故障状态下线路参量信息的分析提供了可靠的理论基础,保障了对电力线故障(相间短路、单相接地、断线)信息的全方位处理。

故障情况下如何保证自动开关的快速、准确动作,避免误动作,也是一个十分关键的问题。因为这时可能存在多个故障处理装置同时检测到故障信息的情况,因此,只有合理设置动作条件才能保证自动开关正确投切。由于采用分段式结构,所以,各处理装置探测到的故障信息必定存在时间、幅值及波形等信息量的差异。采用模糊分析技术对这多个信息量进行分析,从而判定出各故障处理装置是否满足距离故障位置最近的要求。极大地缩短了自动开关的动作时间。

5 结语

针对高原铁路电力安全的实际情况,采用分段式结构思想,运用小波分析与模糊分析技术加强故障处理装置对信号的分析、处理能力,以其提高线路装备的自动监测故障、自动切除故障、快速恢复沿途车站供电的能力,为高原铁路变电所故障自动指示,“无人化”管理的实现,提供技术支持。

参考文献

[1] 刘明光等. 铁路电力线路故障自动处理方法研究[J]. 铁道学报,2003,25(6):49-51.

[2] Deaton R J. Limitations of ground-fault protection schemes on industrial electrical distribution systems[C]. IEEE IAS-1984 Annual meeting:351-354.

[3] 贾清泉,杨奇逊等. 基于故障测度概念与证据理论的配电网单相接地故障多判据融合[J]. 中国电机工程学报,2003,23(12):6-11.

[4] 中华人民共和国铁道部. 铁路电力管理规则[S]. 北京:中国铁道出版社,2000. 34-36.

[5] 任震. 小波分析及其在电力系统中的应用[M]. 北京:中国电力出版社,2003.

青藏线电力远动运营管理

卢占宁[1]　李增利[2]　许军[2]　许红[2]

1 青藏铁路建设总指挥部

2 中铁电气化局集团一公司

摘　要：综述青藏线电力远动系统，根据青藏线电力工程无人管理的特点，探讨电力远动的运营维护管理。

关键词：系统说明　运营维护管理

青藏铁路地处高原，低气压、低氧、低温、干燥多风，强日光辐射和自然疫情等恶劣环境，给维修运管带来很大困难。为了保证远动设备良好运行，减少远动设备故障时间，充分发挥远动设备在电力生产中的作用

1　系统说明

青藏线格拉段电力远动主要由电力调度中心、35KV 变配电所的微机自动化系统、车站变电所监控装置、通信基站供电监控装置、通信接口设备等组成，系统采用计算机型装置，集中监控与当地监控相结合的形式。在格尔木和拉萨设立两个电力调度中心，分别对格尔木至安多和拉萨至安多区间进行监控，远动通道采用点对点方式，RTU 分别设在沿线车站。

电力调度中心主要包括供电投影仪、调度员操作工作站、通信处理机、视频操作工作站、维护工作站、主机和 UPS 电源系统。

系统采用新一代的分层、分布式、开放式的监控系统，1∶N 集中监控形式。系统为模块化结构、冗余配置、技术成熟、功能完善、性能先进、运行经验丰富，除了能完成全线供电设施的集中监控和调度管理外，还具有高度的可靠性、柔软的扩展性、完备的自检性及良好的可维护性。充分考虑到电力监控系统的高可靠性及高实时响应的特点，系统控制中心的重要设备均采用冗余配置方式，各冗余计算机间通过跳线检测对方的工作状态，一旦发现有计算机应用软件失效，则立即替换失效模块工作。内部采用成熟、可靠、实用性强的开放式以太网，双网互备结构，内部采用成熟、可靠、实用性强的开放式双以太网进行通信，具有高可靠性及容错功能的双冗余结构。

通讯处理机作为远动中心与 RTU 间的通信联络层，担负上、下行信息的接收、发送、预处理、通道状态的监视等任务，完成对所有 RTU 的数据采集，并通过网络与主机进行数据交换。

系统维护工作站由维护工程师使用，主要用于完成整个系统数据的建立及修改、画面建立及修改、报表生成、历史数据库的管理、系统运行参数的定义、修改及系统程序的维护和开发。

调动员工作站是调度中心的人机界面，通过调度员工作站可以下发各种控制命令，并对被控站上传的信号进行实时监控，

视频监视工作站提交如录像类型、开始时间、结束时间、通道号等查询信息给变配电所。由变配电所将数据发送给视频监视工作站，视频监视工作站接收视频信号以后进行数据的回

放。数据回放在主界面播放。方便调度人员监视变配电所内的设备的运行情况。

远动通道点对点方式,采用数字信道,通信单元提供两个 RS422 接口,分别与车站通讯机械室内的两个数字通道的接口相连接,当一路通道发生故障时,通信单元能从与其相连的 RS422 口判别出通道故障,并自动把与调度中心进行信息交换的通道由故障通道切换到另一条通道上。

变配电所微机自动化系统设在沿线各个配电所内,车站变电所监控装置设在沿线车站,通信基站监控装置设在沿线。变配电所采用全所自动化,并设有视频监视系统,主要用于监视变配电所内的高压室、控制室等设备的运行情况。通信基站供电采用从贯通线负荷开关高压引入基站旁的箱式变压器,对负荷开关进行监控。

为保证信息传输的准确性和无延时性,同时在调度中心和各 RTU 分别加设 GPS 全球卫星对钟系统。系统在控制中心及配电所综合自动化系统中配置 GPS 时钟子系统,并以控制中心的 GPS 作为系统的主时钟。

2 运营维护管理

根据青藏线的实际情况,青藏铁路地处高原,低气压、低氧、低温、干燥多风、多风沙多雨雪、强日光辐射和自然疫情等恶劣环境,给维修运管带来很大困难。为了保证远动设备良好运行,减少远动设备故障时间,充分发挥远动设备在电力生产中的作用。

2.1 设备运行

(1)调度中心设备应保证 24 小时不间断工作;维护员工作站计算机平常处于关闭状态,只有维护工程师才拥有使用权;调度员工作站计算机显示器至少有一台处于工作状态,两台显示器交替使用;视频操作工作站显示器必须处于工作状态。

(2)未与实时系统联机的配电所和区间站的开关状态,应按开关的实际状态在微机上手动置位,并根据变化情况随时刷新。

(3)变配电所和车站变电所的“当地/远方”选择开关,应置于“远方”位。

(4)“有人值班”变配电所“当地/远方”选择开关要置于“当地”位,“无人值班”变电所“当地/远方”选择开关要置于“远方”位。

2.2 职责

(1)车站变电所和通信基站供电监控装置电力工区负责使用、巡视及保养,正常巡检每月两次,与贯通设备巡检同时进行,并填写巡检记录本。

(2)变配电所远动设备由配电值班员巡视、保养,并填写巡检记录本。

(3)调度中心远动设备由调度员使用、巡视及保养。

(4)通信电缆以分接盒为界,外侧电缆由铁通公司负责维修,内侧电缆由修试工区负责维修。

(5)远动维护工程师负责管内远动设备的总的管理(包括远动设备的检修、故障处理、人员的培训、远动设备的更新和改造等),不定期组织人员对远动设备的维修保养工作进行抽查,并负责主站软件的维护。

(6)各工区应加强管内远动设备的维护保养,做好设备的防盗、防雷措施并密切配合修试工区的工作,发现问题及时处理。远动设备经检验合格后,确认没有问题方可投入运行;在进

行设备检修工作时，必须遵守有关规定，确保人身、设备安全以及设备的检修质量。

(7)调度员对远动开关设备进行的所有操作都必须录音，并记录在案。

2.3 调度员远动操作规程

(1)在系统“查看”栏，打开“分页窗口”，在“分页窗口”上单击“系统登录”，然后单击操作者的姓名，键入密码，然后单击“登录”键，完成系统登录。

(2)打开系统后的第一次操作必须先单击“单控”。

(3)选择所要操作的变配电所。

(4)选择需要操作的断路器或隔离开关，将光标移至待操作的断路器或隔离开关上，单击鼠标。

(5)在“动作方式选择”对话框，根据要求对其进行“分闸”、“合闸”操作。

(6)选择成功后，系统出现“执行”对话框，确认无误后进行操作。

(7)若继续操作其他断路器或隔离开关，则重复上述操作程序即可。

2.4 使用远动设备作业

(1)调度员应根据《停电作业工作票》填写调度远动操作记录。操作记录由副班调度填写，主班调度确认，每一行只能填写一个操作任务，远动操作必须先填写后操作。

(2)远动操作必须由两人进行，一人(副班)操作，一人(主班)确认，远动操作要有录音记录。

(3)远动操作由副班调度进行登录，且只允许使用自己的密码进行登录，远动操作完毕及时注销。

(4)远动操作要先在变配电所实验对象上进行操作，确认远动设备处于正常状态后才可以操作开关设备，停电操作必须按照断路器、隔离开关的顺序操作，送电操作的顺序则相反。

(5)在使用远动设备开口的电力线路施工作业时，要先向调度发出线路停电申请；在接到调度已停电通知后，要先在电力线路验明无电，并自设安全措施，办理许可开工手续后，方可在电力线路进行作业；作业完毕后要先确认全部人员撤离、拆除接地封线、办理工作终结手续后，方可通知调度进行远动送电。

(6)在发生人身触电、设备紧急故障时，值班调度可立即断开有关断路器和隔离开关，并电话通知相关部门做好有关措施，此项操作可不记入操作记录内，但应记录在值班日志内。

2.5 建立远动设备巡视及检修制度

远动设备的维修保养纳入段记名维修及保养制度，严格按照“三定”(定设备、定人、定班组)，“四化”(作业制度化、质量标准化、检修工艺化、检测手段现代化)，把设备检修的岗位责任制落实到人，力求精检细修，保证质量。

(1)调度中心设备

①调度员负责调度中心远动设备的日常巡视与保养，系统软件的维护由远动维护工程师负责，定期检查调度中心计算机设备、UPS 设备、投影仪设备是否工作正常。

②定期 UPS 进行一次活化放电，即关闭 UPS 进线电源，让 UPS 单独给计算机供电，每次不少于 30 分钟。

③随时检查系统通讯状态是否正常，监视系统遥测数据是否在实时更新，查看“细目窗

口”和“故判窗口”,确认线路设备和远动设备处于正常状态。

④一旦出现报警,立刻检查“故判窗口”和“细目窗口”,事故信息既出现在“故判窗口”又出现在“细目窗口”,而预告信息只出现在“细目窗口”,值班调度要根据信息情况,进行分析,组织处理。然后进行登录,并在“细目窗口”将事故信息和预告信息确认,消除音响和灯光信号。

⑤经常操作系统实验对象,保持系统运行良好。

⑥远动维护工程师要保持软件系统运行良好,定期对系统进行杀毒检查,定期对系统数据库进行数据维护。

(2)变配电所和区间站

电力工区负责其管内变配电所和通信基站供电远动设备的例行巡检,每月不少于2次,并在巡检记录薄上签巡检人名字,注明设备状态。修试工区每半年对管内远动设备进行一次特别巡视,每年进行一次检修,检修计划要纳入年度生产计划。检修时要将变配电所和通信基站供电设备停电,并根据停电工作票在现场自设安全措施。巡检内容与方法如下:

①在当地操作断路器和隔离开关,并进行现场检测。

②在发、收两端较核遥控的正确性,若遥控误动或拒动,应查明原因并处理。

③在发、收两端较核遥信的正确性,若遥信不正确,应查明原因并处理。

④检查遥测的精确度,如不能满足要求应查明原因并处理。

⑤检查、记录远动装置接收电平,发现问题及时处理。

⑥检查远动通道的误码率是否在规定范围之内。

⑦检查高压设备和二次设备是否工作正常,并对高压设备进行预防性试验。

⑧检查交直流屏的两路电源是否能正常切换,检查直流电压是否满足分合闸要求,对直流电压继电器进行整定,对电池进行活化放电。

⑨检查 GPS 天线是否运行正常。

⑩检查周围环境是否危及设备正常运行,并保持室内整洁,清扫远动设备。

⑪修试工区进行调试时要自设安全措施,并悬挂标示牌。

远动设备经检验合格后,确认没有问题方可投入运行;在进行设备检修工作时,必须遵守有关规定,确保人身、设备安全以及设备的检修质量。

2.6 故障处理

各管理所应加强管内远动设备的维护、保养和巡视,做好设备的防盗、防雷措施,发现问题及时处理,不能处理的向段值班调度汇报,由调度通知相关人员处理,远动设备故障要记录在远动设备故障记录本。故障处理按以下流程:

巡视人员发现问题,向值班调度汇报,由调度通知修试工区处理,修试工区不能处理,向值班调度汇报,由调度通知远动维护工程师联系处理,各电力工区要积极配合修试工区对远动设备故障进行处理。

(1)电力线路故障

①远动设备发出电力线路设备故障告警时,当班调度要及时查看故判窗口,查看故障区间设备情况,相临区间变配电所设备情况,并对遥测数据、遥信信号进行分析,确认确实发生电力线路设备故障,确定电力线路设备故障发生范围后,方可使用远动设备对电力线路进行停电操作。

②调度员在使用远动设备成功切除故障点，恢复正常设备的供电后，方可通知电力工区赶赴故障现场，排除故障。

③电力工区进行排除故障的作业前，要验明无电，并自设安全措施后，方可进行作业。

④有人值班的配电所发生设备故障后，当班调度可以使用远动系统对故障情况进行分析，指挥配电所值班员操作开关，及时排除故障，调度员不对配电所设备进行远动操作。

(2)远动设备故障

远动设备失效时，电力工区根据调度命令，将变配电所内的“当地/远方”选择开关全部置于“当地”位，必须首先使用“当地电动操作规程”，电动操作失效时才允许使用“当地手动操作规程”，对远动设备的各种功能板进行检查处理，如不能处理，由调度通知远动维护工程师进行处理。当维修人员离开变配电所时，必须将“当地/远方”选择开关置于“远方”位。

铁路电力远动设备是铁路电力系统的重要组成部分，它对于提高铁路电力系统可靠性，提高劳动生产率，设备运行质量，改善运行人员的劳动条件，在供电故障情况下迅速查明故障发生的地点、原因、性质，迅速处理事故，恢复铁路信号供电，都有着十分重要的意义。

调度人员要利用远动系统的管理功能对铁路供电进行运行分析，科学管理。

浅析青藏铁路格拉段35kV贯通线路在今后运行维护中存在的难点及应对措施

卢占宁　李道新

青藏铁路建设总指挥部

中铁十二局集团电气化工程有限公司

摘　要:介绍针对青藏高原特殊环境,分析青藏铁路35kV贯通线路在今后运行维护中的几个难点。

关键词:35kV线路　多年冻土　高寒　雷电　覆冰　过电压　盗窃　运行维护

青藏铁路格拉段位于青藏高原腹地,跨越青海、西藏两省区,线路北起青海省西部重镇格尔木市,基本沿青藏公路南行,途经纳赤台、五道梁、沱沱河、雁石坪,翻越唐古拉进入西藏自治区境内后,经安多、那曲、当雄至西藏自治区首府拉萨市,全长约1140km。其中从唐古拉北的望昆开始,至唐古拉南的安多县止,均位于多年冻土地区,全长约546km,占青藏铁路全长的48%;海拔4000m以上线路长约958km,占青藏铁路全长的84%。

1　青藏铁路35kV贯通线路的设计情况

新建青藏铁路格拉段35kV电力贯通线路全线架设1回35kV电力贯通线路,新建纳赤台、五道梁、沱沱河、安多、那曲、当雄、羊八井和拉萨地区35kV变配电所,与既有格尔木35kV变配电所向35kV电力线路供电,纳赤台、那曲、当雄和羊八井35kV变配电所接引两路外部电源,五道梁、沱沱河、安多35kV配电所接引一路外部电源。本线路设计安全系数在4.5以上,为终身免维护线路。青藏铁路格拉段供电系统见示意图1。

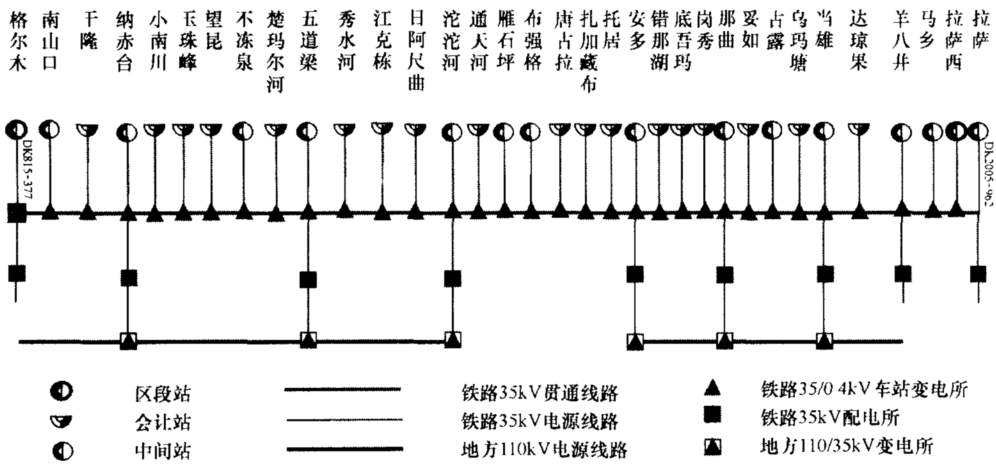


图1　青藏铁路格拉段供电系统示意图

本线路在季节性冻土地区采用混凝土双杆架设，在多年冻土地区及不良湿地地段转角及耐张采用桩基础式铁塔，直线段主要采用混凝土双杆，电杆基础采用 φ500 预制管桩基础，在多年冻土最大冻融 3m 时采用 6m 管桩，4m 时采用 8m 管桩，4m 以上采用 10m 管桩。为最大程度地减小对多年冻土的热扰动，施工中采用旋挖钻机快速成孔的施工方案。

青藏铁路 35kV 贯通线路采用长距离供电：贯通线供电臂平均长度 145km，最长供电臂长度为 291km，在越区供电时更长。在正常情况下，35kV 线路的供电距离小于 50km。35kV 长距离电力线路在无补偿的情况下，末端电压波动在 10% 以上，通过在线路中间和末端增加并联电抗器、并联电容器和串联电容器的补偿措施，可以起到稳定电压的作用，目前正在试验之中。

2　青藏铁路 35kV 贯通线路运行维护的重点及难点

2.1　青藏高原恶劣的自然环境

青藏铁路海拔 4000m 以上线路占全线路的 90% 以上，最高海拔达 5072m，还要穿越 500 多公里无人区，车站与车站之间距离远，最远车站间距离达青藏高原气候受特殊的地理环境影响，具有低气压与低气压分氧、低沸点、低气温、低湿度、强太阳辐射和电离辐射、多风沙高风速和气候多变等七大特点，这些人力不可抗拒的因素对线路运行维护人员的医疗条件、后勤保障、机械设备投入及发现并处理故障的及时性带来极大的影响。

2.2　多年冻土地段的困扰

多年冻土指含冰土或含土冰层，在上限以上为季节性融化层，上限以下为常年永冻层，多年冻土上限一般在 1.9～4.8m 左右。多年冻土按照含冰量大体分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层 5 种类型。本线路多年冻土地区直线杆塔主要采用 ZM 型混凝土双杆，电杆基础根据多年冻土上限分布情况采用 φ500－6～10m 预制管桩穿透冻土层上限 2～2.5 倍以保证电杆基础的稳定；转角及耐张铁塔根据冻土上限分布情况采用 5～15m 的现浇桩基础。

在多年冻土地段，基础下冻土由于温度变化引起冻土土体体积变化，导致基础寒季冻胀，暖季融沉，对电杆管桩及铁塔基础产生的沉降及冻胀上拔造成双杆沉降不均，横担产生偏斜，导线对电杆绝缘距离不够；铁塔基础沉降产生铁塔偏斜等病害是本线路的难点，现目前属于试验阶段，并没有彻底解决冻土问题。

2.3　雷电影响

青藏高原雷云面积小，雷云放电频繁，雷电时间主要集中在 5～9 月份。根据青藏高原气象资料显示，格尔木—望昆段年雷暴日数为 3.3 天，望昆—唐古拉北段为 36.7 天，塘南段普遍比唐北段雷暴日偏高，其中那曲地区为 80.3 天。青藏高原连续多年冻土地段土壤电阻率高，其冬季土壤电阻率普遍在 2000～5500Ω·m，个别地段达 7000Ω·m，青藏高原电力线路防雷电冲击具有一定的特殊性，目前在青藏高原尚无建筑物、构筑物、电力设施的防雷经验。青藏铁路格拉段 35kV 电力贯通线路在进出车站两端各 1km 处设置架空避雷线，但由于本贯通线路电压等级高，且区间线路较长，沿线路中间均未设计架空避雷线，线路在运行的过程中遭受雷击的可能性较大的，容易产生雷击绝缘子闪络及断线现象。

2.4 供电系统不稳定

青藏铁路35kV贯通线路青海境内由青海格尔木～沱沱河110kV电源线路进行供电，西藏境内由西藏羊八井—安多110kV电源线路进行供电。由于青海省及西藏自治区属于电网系统比较落后地区，尤其是青海省格尔木市由龙羊峡1回330kV线路及格尔木地方小水电站形成的电网系统，供电系统比较单一，增加了铁路电力的不稳定性，给铁路35kV线路运行带来了一定的难题。

2.5 人为盗窃线路现象严重

青藏铁路格拉段青海境内均属无人区，西藏境内羊八井至拉萨段为人口密集区，其他分段人员集居。一旦盗窃分子在无人区产生破坏，将会是肆无忌惮的行为。根据青藏铁路站前施工情况表明，沿线偷盗现象比较严重，青藏铁路电力线路主要为架空线路，虽然铁塔加装了防盗装置，但电力线路被偷盗的主要对象是导线，且短时间内无法发现，在盗窃过程中将会对转角及终端铁塔造成永久变形，给35kV贯通线路的运行造成重大损失。

3 线路故障易发点

3.1 电缆中间头及终端头

青藏铁路35kV贯通线路设计以架空线路为主，通过部分河道、隧道等无立杆条件时采用电缆沿桥梁或隧道附设，沿线通信基站供电采用电缆进箱式变压器敷设，电力线路进出变配电所采用电缆直埋敷设。35kV电力电缆敷设在100km以上，约占全线路的10%。因本线路供电臂较长，越区供电频繁，且全线负荷根据季节性变动较大，线路电压波动较大，电缆线路中间接头及终端头多，电缆线路故障发生率，对线路运行维护将产生一定的困难。

3.2 线路中间通信基站及其他供电点变压器

青藏高原因其特殊的地理条件，高海拔、高寒、低温、缺氧，沿线通信基站及其他供电点较多，且高原变压器处于试验阶段，在试验段及其他临时供电变压器运行时故障发生率较为频繁，在今后的线路运行中故障可能时有发生，一旦线路上带电变压器发生故障，将会造成该段供电臂全部停电，给线路运行造成一定的影响。

3.3 导线覆冰对线路的影响

因青藏高原特殊的地理环境，气温极低，全年均存在不同程度的降雪，部分地段导线覆冰厚度将远远超出设计覆冰厚度，尤其在山区地段，气温低，导线档距较大，全年经常性发生大的降雪，一旦导线覆冰荷载达到一定程度将可能产生断线现象。

4 青藏铁路35kV贯通线路运行维护的应对措施

本着青藏铁路电力系统设计为免维护线路的特点，并针对青藏高原的特殊地理位置，线路长、供电点多，目前尚无高原无人区线路运行维护管理的经验可以借鉴，并根据以上分析35kV贯通线路在运行维护中可能存在的几点难点，采取以下应对措施（图2）：

（1）全线路增设线路巡视人员，医疗及后勤保障依托在沿线路各35kV配电所内，分段对

线路进行定期或不定期的巡视,发现问题及时汇报,对于线路中出现的一些较小的问题进行及时处理,对故障重点段进行定期观测,并根据工作需要实施对站段及区间线路进行一定程度的倒闸操作工作。在一定程度上有效防止了导线被盗现象,并加强了线路故障抢修的及时性。

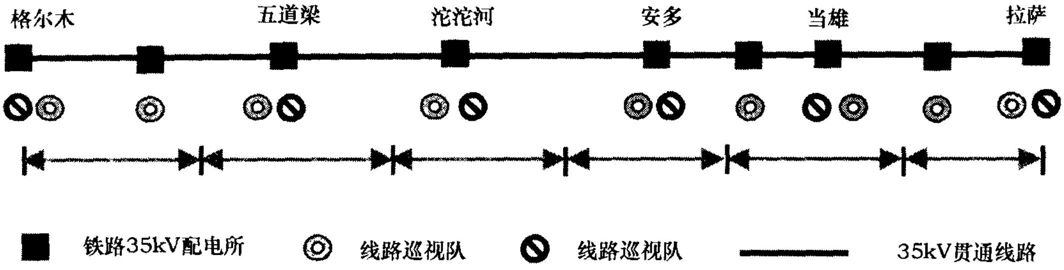


图2 青藏铁路35kV贯通线路抢修队建议分布示意图

(2)全线路设立线路抢修队,医疗及后勤保障依托在沿线路各35kV配电所内,定期对线路进行维护检修,包括杆塔基础沉降的调整,下沉土台的回填,防风拉线的调整,绝缘子污秽的搽拭等工作;对线路突然发生的故障进行抢修工作,包括断线、倒杆塔、绝缘子闪络、电缆中间头及终端头故障等工作,保证线路出现故障后在青藏铁路通信信号设备允许停电时间内及时抢修完成。

(3)线路运行维护的其他保障措施:

①通信保障:保证全线路各巡视及抢修点的通信畅通,能与格尔木电力调度中心及各站段值班人员随时联系。

②机械设备保障:因青藏铁路35kV贯通线路距离长,且高原地区高寒缺氧,人力施工效率极低,抢修工作主要应采用机械化作业,在各抢修电影配器必要的抢修车辆及施工机具。

③医疗及后勤工作保障:应主要依托沿线各35kV配电所及各站段医疗保障及后勤保障设施进行保障,并根据实际需要进行增补部分必要设施。

5 总结

青藏铁路35kV电路贯通线路虽然设计施工为免维护线路,但由于青藏高原的特殊地理环境,目前尚无多年冻土地区及高原无人区线路运行维护管理的经验借鉴,线路在今后的运行中可能还将会发生以上所未提及的故障及问题,让我们在今后线路的运行的同时,积累经验并逐步改进。

高海拔地区的短空气间隙雷电冲击50%放电电压研究

李 晋

铁道第一勘察设计院

摘 要:本文根据在多功能人工气候室内气压对正棒－板短空气间隙雷电冲击放电特性影响的正棒－板试验研究结果,系统地分析了气压对200mm、300 mm和450 mm三种短间隙雷电放电特性的影响,提出了高海拔地区的短空气间隙雷电放电电压的校正公式。

关键词:雷电 放电特性 海拔校正 短间隙 正棒－板 低气压

正在建设中的青藏铁路长1118 km,其中900 km处于4000 m以上的高海拔地区。因此,高海拔地区电气绝缘间隙的选择成为青藏铁路建设的一大难题。现有的相关标准对海拔4000 m以下空气电气绝缘间隙选择提供了建议[4],但对海拔4000 m以上地区外绝缘选择国内外目前没有相应的可参考标准。因此,合理选择空气电气绝缘间隙对青藏铁路的建设具有巨大的经济价值和社会意义。

在建的青藏铁路沿线大多处于多雷区,年平均雷电日个数在75以上,作者已经进行了短空气间隙的交流放电特性的研究,为比较海拔4000 m以上地区电压类型对空气间隙放电电压的影响,本文针对青藏铁路电气化工程的27.5 kV系统,对高海拔地区的低气压条件下的200 mm、300 mm和450 mm三种正棒－板短空气间隙的雷电放电特性和放电校正公式进行研究,为青藏铁路海拔4000m以上地区及其他工程海拔2000 m以上地区的电气绝缘距离选择提供参考和技术依据。

1 试验布置及方法

试验是在长3.8m、直径2.0m的人工气候室内完成的。人工气候室可模拟海拔7000m以下地区的气压、温度和湿度;冲击电压由2400kV冲击发生器产生,产生的雷电冲击和操作冲击波形均在GB/T16927.1规定的误差范围内。试验原理及接线如图1所示。

由于负棒－板间隙的放电电压高于正棒－板间隙,本文只进行了正棒－板空气间隙的试验。棒为Φ16 mm的圆钢,棒的端头呈30的锥形,其放电顶端为Φ2.0 mm的尖顶,如图2所示。从棒电极到人工气候室壁之间的最小距离为1.0 m。

T:变压器;R_0、R_m:保护电阻;D:硅堆;C_1、C_2:充电电容;G:放电球隙;H:穿墙套管;K:人工气候室;d:试验间隙;F:分压器(R_1、R_2分压电阻);R_q:充电电阻 Y:示波器。

重庆地区空气湿度一般超过75%。为控制试验在湿度低于75%的条件下进行,采用除湿机对人工气候室去湿。试验时湿度控制在40%~60%。

试验选择的正棒 - 板短间隙的距离为 200 mm、300 mm 和 450 mm。海拔高度选择为 232 m①、4000 m、4500 m、5000 m 和 5500 m。试验室时以模拟其气压来模拟海拔高度。参照文献[3]、[6]并根据青藏铁路沿线各主要气象站 30 年的气象资料,得到海拔高度与其相应高度下的气压之间关系可表示为

$$P = P_0 \times \left[1 - \frac{H}{45.1}\right]^{5.36} \tag{1}$$

式中,P 为海拔高度 H(km)处的气压(kPa);P_0为参考标准大气条件②下的气压(kPa)。由式(1)可得试验时应选择的气压为 98.6kPa、61.6kPa、57.7kPa、54.0 kPa 和 50.4 kPa。

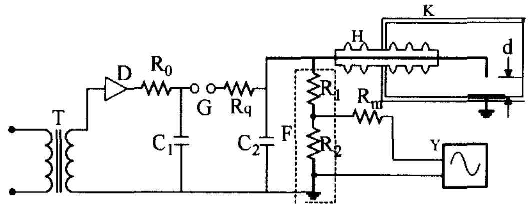


图 1　试验原理示意图

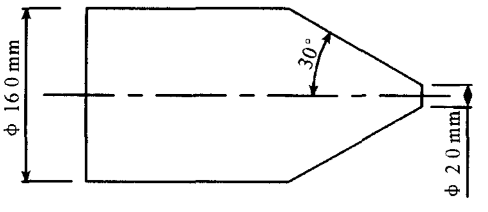


图 2　棒头结构示意图

雷电冲击电压波波形的波前/波尾时间为 1.17/47μs。加压则采用升降压法。参照 GB/T775.2-87 试验方法的要求,并对于每一个数据点进行的重复试验次数为 40 次,每次试验均测量人工气候室内的、湿度及温度。放电电压通过分压器由示波器和冲击电压峰值表进行测量。

2　试验结果及分析

2.1　高海拔地区大气参量表征的特征量

含有水汽的空气称为湿空气,它仍属于理想气体。以何种参量来表示高海拔地区湿空气对放电电压的影响一直是研究者们探讨的焦点之一。表征大气状态的参量有空气密度、温度、湿度和气压,他们彼此之间互相影响和制约。湿空气的压强由二部分组成:一是干空气中气体分子产生的压强,二是水汽分子产生的压强。设 P 为湿空气总气压(Pa),e 表示湿空气中水汽部分的压强(Pa),则由气体状态方程可得湿空气中干空气和水汽密度及绝对湿度分别为

$$\rho_d = \frac{P - e}{R_d T} \tag{2}$$

$$\rho_w = h \times 10^{-3} = \frac{e}{R_w T} \tag{3}$$

式中,ρ_d、ρ_w 分别为湿空气中干空气和水汽密度(kg/m³);h 为绝对湿度(g/m³);R_d为干空气的比气体常数,其值为 287.06(J/kg/K);R_w 为水汽的比气体常数,其值为 461.50 (J/kg/K)。

设 ρ 为湿空气的总密度(kg/m³),则

$$\rho = \rho_d + \rho_w \tag{4}$$

---

① 试验室所在位置的海拔高度为 232 m。

② 本文选择的标准参考大气条件为:气压 P_0 = 101.3kPa,温度 t_0 = 20℃,绝对湿度 h_0 = 11 g/cm³;空气密度 ρ_0 = 1.197711 kg/m³。

将式(2)、(3)代入式(4)可得

$$\rho = \frac{P - e}{R_d T} + \frac{e}{R_w T} \tag{5}$$

由式(5)解出 P,则得

$$\begin{aligned} P &= R_d T\rho + (R_w - R_d)Th \\ &= (273 + t) \times (R_d\rho + (R_w - R_d)h) \\ &= (273 + t) \times [R_d\rho_0 + \rho/\rho_0 + (R_w - R_d)h] \\ &= 343.8122 \times (273 + t) \times (\delta + 5.0737 \times 10^{-4} \times h) \end{aligned} \tag{6}$$

式中 t 为温度(℃)。由式(6)得气压比 P/P_0 为

$$P/P_0 = 3.394 \times 10^{-3} \times (273 + t) \times (\delta + 5.0737 \times 10^{-4} \times h) \tag{7}$$

式中 δ 为湿空气的相对密度。由式(4)得

$$\delta = \delta_d + h/\rho_0 \tag{8}$$

式中 δ、δ_d 分别为湿空气和干空气的相对密度。将式(8)分别代入式(6)和式(7)可得

$$P = 343.8122 \times (273 + t) \times (\delta_d + 1.3395 \times 10^{-3} \times h) \tag{9}$$

$$P/P_0 = 3.394 \times 10^{-3} \times (273 + t) \times (\delta_d + 1.3395 \times 10^{-3} \times h) \tag{10}$$

由式(6)、(7)和式(9)、(10)可知:气压 P 和气压比 P/P_0 是温度 t、空气相对密度 δ、δ_d 和绝对湿度 h 的函数。三个基本大气参数的任何变化都会引起气压的变化,气压是大气三个基本参量的综合反映,因此,气压 P 和气压比 P/P_0 可以作为表征大气条件各参量对放电电压影响的特征量。

由式(10)易得:

$$\delta_{0,d} = 0.99085 \tag{11}$$

式中 $\delta_{0,d}$ 为参考标准大气条件下干空气的相对密度。由式(11)可知,在参考标准大气条件下,空气密度占 99.085%,而水汽密度则只占 0.915%。

2.2 试验结果及分析

根据以上分析,试验中选择气压作为模拟海拔高度的参变量。为模拟实际大气中海拔升高、空气密度降低的同时温度和湿度的变化情况,对于每一试验间隙,气压从 98.6 kPa 降低到 50.4 kPa 的整个试验过程中,人工气候室的密封门一直关闭。因此,人工气候室内没有湿气源,除电弧产生的热量外,也没有其他热源,而电弧产生的热量并不足以明显改变人工气候室

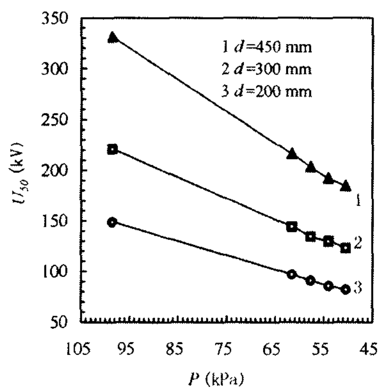


图3 正-棒-板间隙雷电冲击 U_{50} 与气压 P 的关系

内的温度。200 mm、300 mm 和 450 mm 正棒－板短空气间隙在不同气压(或海拔高度)下的雷电冲击 50% 放电试验结果如表 1 和图 3 所示。从表 1 可知:气压降低,人工气候室内的温度和湿度也随之降低。温度降低导致放电电压升高,而湿度降低则使放电电压降低,但总的来看,随着气压的降低,在三种试验间隙下,雷电冲击 50% 放电电压随着气压的降低而降低,如图 2 所示。

表 1　正棒－板空气间隙雷电冲击 U_{50} 与间隙距离和气压关系试验结果

间隙 d(mm)	H(m)	232	4000	4500	5000	5500
	P(kPa)	98.6	61.6	57.7	54.0	50.4
200	U_{50}(kV)	149.0	97.0	91.0	86.2	81.9
	σ%	3.2	4.5	2.5	2.1	2.8
	t (℃)	12.3	10.0	9.5	9.5	9.0
	Rh (%)	45.3	46.0	41.0	38.0	37.0
300	U_{50}(kV)	221.1	144.2	134.5	130.0	123.3
	σ%	3.2	4.5	2.5	2.1	2.8
	t(℃)	12.8	11.5	10.5	10.0	9.5
	Rh(%)	55.3	56.0	51.0	44.0	43.0
450	U_{50}(kV)	331.1	216.0	203.2	192.0	184.2
	σ%	4.2	4.5	5.5	2.1	2.8
	t (℃)	13.5	12.6	11.8	11.5	11.0
	Rh(%)	58.9	56.0	51.0	48.0	47.0

不同气压下,正棒－板间隙的 50% 雷电冲击放电电压与间隙距离的关系的试验结果如图 4 所示。由图 4 可知:在 5 种气压下,U_{50} 与间隙距离均基本呈线性关系,气压越低,放电电压随间隙距离增长的速度也越慢。三种试验间隙距离在 5 种气压下得到的单位长度放电电压如表 2 所示。由表 2 可以看出:由不同间隙长度得到的试验结果差别不明显。在 98.6 kPa、61.6 kPa、57.7 kPa、54.0 kPa 和 50.4 kPa 五个气压下,对应的海拔高度分别为 232 m、4000 m、4500 m、5000 m 和 5500 m,其正棒－板短空气间隙单位长度雷电冲击 50% 放电电压的平均值分别为 7.39 kV/cm、4.82 kV/cm、4.52 kV/cm、4.27kV/cm 和 4.09 kV/cm。

表 2　正棒－板短间隙的单位长度雷电冲击 50% 放电电压(kV/cm)与气压 P 的关系

P(kPa) / d(mm)	98.6	61.6	57.7	54.0	50.4
200	7.45	4.85	4.55	4.31	4.10
300	7.37	4.81	4.48	4.33	4.11
450	7.36	4.80	4.52	4.27	4.09
平均值(kV/cm)	7.39	4.82	4.52	4.30	4.103

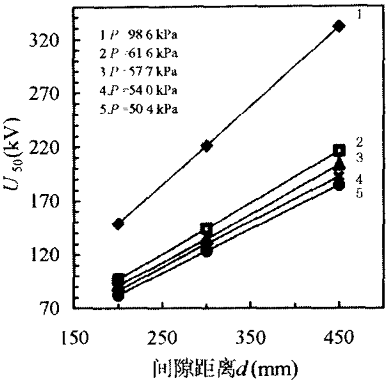


图 4　正棒－板间隙雷电冲击 U_{50}与间隙 d 的关系

3　海拔高度对放电电压影响的校正

3.1　U_{50}与气压 P 的关系

将图 3 的参变量从 P 改变为 P/P_0可得图 5。对图 5 试验结果进行拟合和回归分析，U_{50}与 P/P_0之间的最佳拟合方式为幂指数函数，即

$$U_{50} = U_{0,50}\left[\frac{P}{P_0}\right]^n \tag{12}$$

式中 $U_{0,50}$为拟合函数回归分析得到的零海拔的 50% 电电压（kV）；n 为气压因素影响特征指数。由图 5 试验结果拟合和进行回归分析得到的气压因素影响特征指数 n、拟合相关系数的平方 R^2及由拟合和回归得到的零海拔的放电电压 $U_{0,50}$如表 3 所示。由表 3 可知，正棒－板短间隙的雷电冲击 50% 放电电压的气压因素影响的特征指数 $n=0.885\sim0.903$，平均值为 0.893，本文取其平均值约为 0.9。

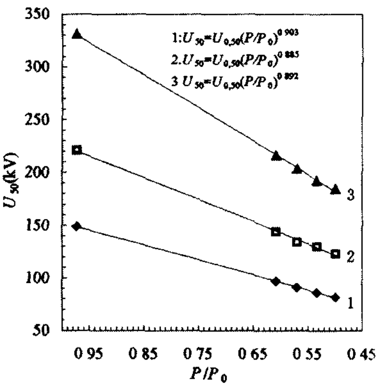


图 5　U_{50}与气压比 $P/P0$ 的关系

表 3　不同间隙雷电放电电压与气压比关系的拟合幂指数 n、相关系数 R^2 与 $U_{0,50}$

式(1)的参数	放电间隙 d(mm)		
	200	300	450
$U_{0,50}$	152.4	225.4	338.1
n	0.903	0.885	0.892
R^2	0.988	0.977	0.987

3.2　放电电压比与海拔高度的关系

式(12)与海拔的关系并不直观，将式(1)代入式(12)，并设 $k=U_{50}/U_{0,50}$，则可得

$$k = \frac{U_{50}}{U_{0,50}} = \left[1-\frac{H}{45.1}\right]^{5.36n} \tag{13}$$

式中 k 为正棒－板短间隙雷电冲击 50% 放电电压海拔高度修正系数。对于 $n=0.9$ 时，将式

(13)按泰勒级数展开,略去二次及以上高阶项,并进行修正可得

$$
\begin{aligned}
k &= 1 - 0.0968nH \\
&\approx 1 - 0.0872H
\end{aligned}
\tag{14}
$$

式中 H 为海拔高度(km)。在 $H \leq 5600$m 时,式(14)计算的结果与式(13)的误差小于3%。由式(14)可知,对于正棒-板短空气间隙,雷电冲击50%放电电压在海拔每升高1km时,放电电压约下降8.7%。

4 结论

(1)海拔升高,气压降低,相应的空气密度、温度和湿度均降低。气压是空气密度、温度和湿度三个基本大气参数的综合反映。三个基本参数的改变都会反映在气压的变化上。气压可以作为表征大气参数变化对放电电压影响的特征量。

(2)海拔越高、气压越低,正棒-板短空气间隙的雷电冲击50%放电电压也将降低。U_{50}是气压比 P/P_0的幂指数函数,特征指数表明其下降程度。对于本文所研究的200mm、300 mm 和450 mm 三种短间隙,其特征指数 $n=0.885 \sim 0.903$ 之间。对于更长的间隙,仍有待于进一步研究。

(3)正棒-板短间隙的单位长度的雷电冲击50%放电电压随气压的降低、海拔的升高而降低,在海拔232 m、4000 m、4500 m、5000 m 和5500 m 时的放电电压分别为7.39 kV/cm、4.82 kV/cm、4.52 kV/cm、4.30 kV/cm 和4.10 kV/cm。

(4)正棒-板短间隙雷电冲击50%放电电压的海拔修正系数可以表示为 $k=1-0.09686nH$,如果 n 取本文三种间隙试验结果的平均值0.9,则有海拔每升高1km,其 U_{50}下降8.7%。

参考文献

[1] GB/T 16927.1-1997,高电压试验技术—第一部分:一般试验要求,中华人民共和国国家标准,1998-07-01实施.

[2] TC28,IEC60071-1994,Insulation Co-ordination Application Guide,1994.2.

[3] TC42,IEC60060-1:1989,High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements.

[4] TB 1849-87,隧道内接触网绝缘间隙,中华人民共和国铁道部标准,1988-07-01 实施.

[5] 电机工程手册(第二版)—基础卷,机械工业出版社,电机工程手册、机械工程手册编委会,1996年.

[6] 孙才新,司马文霞,大气环境与电气外绝缘,中国电力出版社,2002.7.

[7] DL/T562-95:高海拔污秽地区悬式绝缘子串片数选用导则,1995-10-01 实施.

高原光缆接续技术研究

潘荣玉　罗广斌

中铁四局集团电气化公司

摘　要：深入研究了环境对光纤熔接机及接续工艺的影响，并在施工现场进行操作试验，我们找出了解决高原特殊条件下光缆接续的关键技术及方法。

关键词：高原　接续　高原环境下的接续技术

青藏线长途光缆作为GSM-R无线综合移动通信系统的传输通道，是整个系统的基础。光缆的接头损耗是传输的重要指标，会减小光纤中继放大传输距离、降低光纤链路的衰减裕量，接续质量直接影响整个系统的性能。

高原光缆接续国内目前没有成熟的施工技术可以借鉴，为提高高原光缆接续的质量，满足设计要求，非常有必要研究高原光缆接续施工技术。

1　调查现状

青藏线T2标段，长途光缆线路87正线公里，共28个接头。采用HYTA53型60芯光缆，其中12芯为G.655单模光纤；48芯为G.652单模光纤。设计接头损耗为小于每处0.08dB。光纤熔接机采用的是滕仓FSM-40S，其适应气压：海拔小于3500m，操作温度：-10~50℃。

本标段属于典型的高原荒漠气候，高寒缺氧、气压低、风沙大。海拔3600m，平均气压7×104Pa；年平均气温3.3℃，最高气温35.5℃，最低气温-40.6℃；主导风向为西风，最大风速40m/s。

与平原地区接续比较，高原接续存在海拔高、气压低、含氧量低、环境温度低、风沙大、温差变化大等不利因素，直接影响光缆接续质量，影响系统的稳定性。

2　设定目标值

目前没有对高原环境的高度、温度进行补偿的熔接机，通过与国内外施工的工程实例进行比较和理论分析，找出解决高原特殊条件下光缆接续的施工方案。主要解决：

（1）如何使熔接机在海拔超过3500m时能正常工作；

（2）如何使熔接机在施工环境温度低于-10℃能正常工作。

3　实施阶段

3.1　分析原因

光纤接续损耗是由于接续点不完善而产生的损耗，影响接续点不完善的因素很多，归纳起来有两大类，即内因和外因。

内因是指光纤本身的不完善，不能通过改善接续工艺来减少损耗，它包括芯径失配、折射

率分布失配、光纤同心度不良、模场直径失配等。

外部因素是指非光纤本身不完善，而是接续工艺不良和设备性能达不到环境条件所造成。

我们主要研究外因引起的损耗，外因主要有4种情况：

(1)纤芯位置横向、纵向、光纤轴向角的偏差，是由于熔接机电极位置不合适、熔接机聚焦不好等情况所造成的；

(2)电极老化、光纤端面平整度差或被污染，是由于在接续过程中熔接机维护不及时、操作不当等人为因素造成的；

(3)操作环境发生了很大的变化，例如青藏线在高海拔、超低温的条件下熔接机不适应造成的接续损耗过大，有时甚至出现熔接机不工作的情况；

(4)盘纤工艺，盘纤要有一定的冗余量，要大于一定的半径，一般不小于4cm。

在高原特殊环境下，接续损耗主要是由于操作环境发生了很大变化造成的。在高海拔、超低温的条件下熔接机不适应，造成的接续损耗过大，甚至出现熔接机不工作的情况。

其次是盘纤工艺造成的。盘纤要有一定的冗余量，即收容圈要大于一定的半径，否则光纤过度弯曲会增大损耗，甚至由于拉伸造成断纤。

3.2 制定对策

(1)针对内因：在光缆配盘时尽量选用同一厂家同一批出厂的光缆，这样的光缆采用的是同一裸纤。光缆按要求是连续生产的，在每盘光缆上按顺序编号并分清A、B端。在敷设光缆时，必须按编号沿确定的径路顺序布放，并保证前一盘光缆的B端和后一盘光缆的A端相连。这样可使模场直径对光纤熔接损耗的影响降到最低程度，从而保证接续时能在裸纤的断开点熔接，使熔接损耗值达到最小。

(2)针对外因：首先应提高接续操作人员的素质，必须经过铁道部光纤接续培训基地的培训，考试合格后持证上岗。接续过程中，严格按照操作规范和操作规程进行接续，及时更换电极，按时进行维护、清洁。其次是研究、摸索出一套适合高原特殊环境的接续技术，在高寒缺氧、低气压、风沙大的恶劣条件下能正常工作，并经过一年的温差变化，使光纤的断纤概率最低。

3.3 实施对策

根据青藏高原海拔、气压、温度、气候等方面的准确数据，深入研究了环境对光纤熔接机及接续工艺的影响，并在施工现场进行操作试验，我们找出了解决高原特殊条件下光缆接续的关键技术及方法：

(1)主要通过调整放电参数，保证光纤接续损耗小于每处0.08dB。根据高原高寒、低压条件，设置熔接机放电时间、放电强度、推进量，不同色散的光纤使用不同的参数进行接续，使光纤接续损耗控制在最低。

(2)另外，通过改进盘纤工艺，经过一年的温差周期使光纤的断纤概率尽量达到最低。根据青藏高原昼夜温差变化大的气候特点，经过高低温的盘纤试验，加强热熔管的固定保护和增大盘纤的冗余量，尽量减小温差变化、光纤接头盒热胀冷缩作用下，对光纤损耗的影响，避免断纤。

4 检查阶段

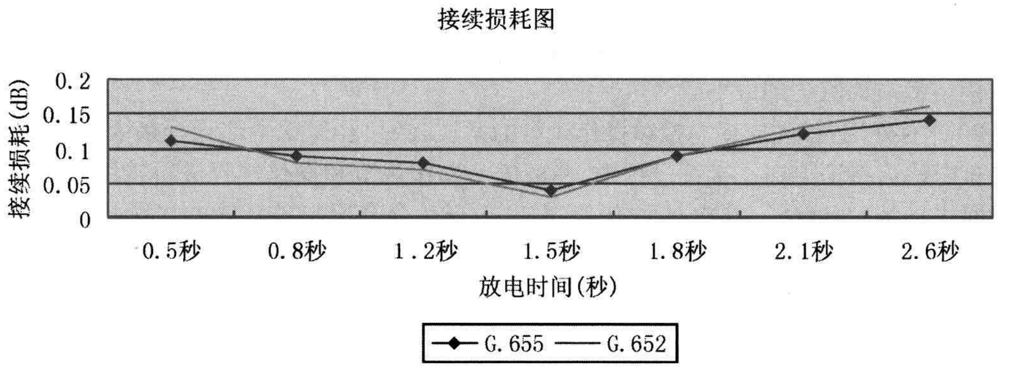
4.1 检查效果

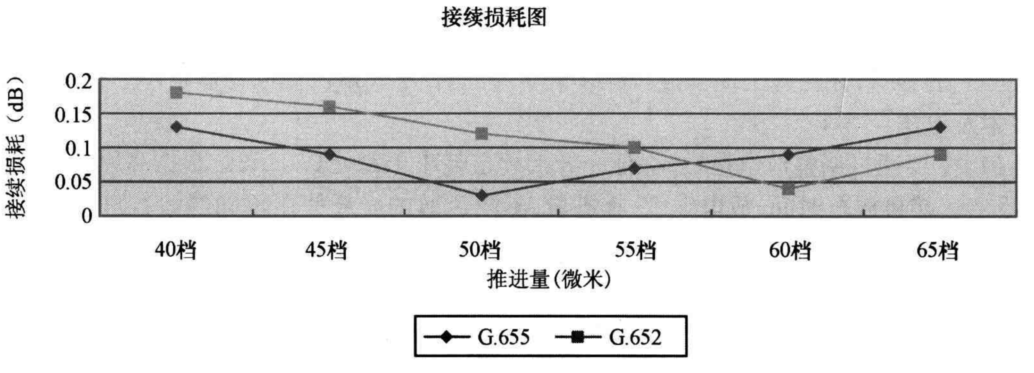
高原光纤接续是在熔接机标明的工作环境达不到的情况下进行的,必须采用特殊的方法,并且要对熔接机参数进行适当调整,来达到减小接续损耗的目的。此时 OTDR 因为与气压、含氧量无关,测试是准确的。

以本次工程使用的日本滕仓自动熔接机 FSM－40S 为例,当地海拔 3600m,平均温度为－12℃。

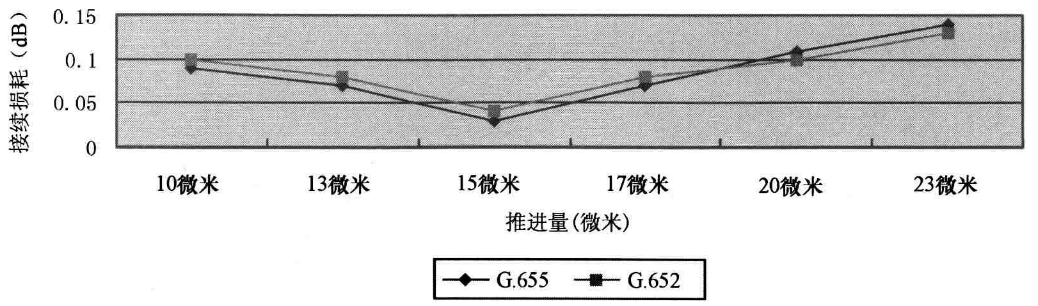
在开始接续前,先在接续帐篷内适量充氧,然后进行放电实验 3～5 次,来调整合适的电极位置,使熔接机适应作业现场环境。接下来对熔接机进行维护菜单的各项维护检测,如驱动复原程序维护,调整熔接机的聚焦状态;灰尘检查维护,对熔接机的镜头、电极等灰尘易污染部位进行清洁;进入放电参数菜单,调整放电电流值,直到连续 3～5 次“放电电流适中”。最后进行模场试验。因为是同一厂家同一批生产的光缆,主要进行了各种接续模式的试验,选择适合接续被接光纤的模式及各种参数。

现场利用单盘测试时开剥好的光纤,将两盘顺序号相连的光缆进行接续。经过现场每组各测试 100 根光纤,G. 655 和 G. 652 光纤接续放电时间、放电强度、推进量与接续损耗的关系经统计分析后如下图所示:





接续损耗图



经过对接头接续损耗的测试及分析，选用经过调整的模式 3 和模式 4 时接续损耗最小。

模式 3 放电条件：放电时间 1.5s、推进量 15μm、预放电时间 0.1s、放电强度 51 档、光纤间隔 10μm，比较适合接续 G.655 光纤。选用该参数后，再接续 10 根 G.655 光纤进行测试，OTDR(日本安立 MW9076B)双向测试值(1550nm 窗口)如下表：

光纤序号	1	2	3	4	5
A 端测试值(dB)	0.04	0.02	0.04	0.04	0.02
B 端测试值(dB)	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02
双向平均值(dB)	0.04	0.03	0.04	0.05	0.02
光纤序号	6	7	8	9	10
A 端测试值(dB)	0.02	0.04	0.02	0.03	0.04
B 端测试值(dB)	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03
双向平均值(dB)	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04
总平均值(dB)	0.0305				

模式 4 放电条件：放电时间 1.5s、推进量 15μm、预放电时间 0.1s、放电强度 60 档、光纤间隔 10μm，比较适合接续 G.652 光纤。选用该参数后，再接续 10 根 G.652 光纤进行测试，OTDR(日本安立 MW9076B)双向测试值(1550nm 窗口)如下表：

光纤序号	1	2	3	4	5
A 端测试值(dB)	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03
B 端测试值(dB)	0.04	0.00	0.04	0.02	0.03
双向平均值(dB)	0.04	0.01	0.04	0.03	0.03
光纤序号	6	7	8	9	10
A 端测试值(dB)	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
B 端测试值(dB)	0.03	0.03	0.01	0.05	0.03
双向平均值(dB)	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04
总平均值(dB)	0.032				

测试结果表明，采用此模式进行接续后，接续损耗小于设计要求值每处0.08dB，达到目标值小于每处0.04dB。

5 处置阶段

5.1 工艺改进

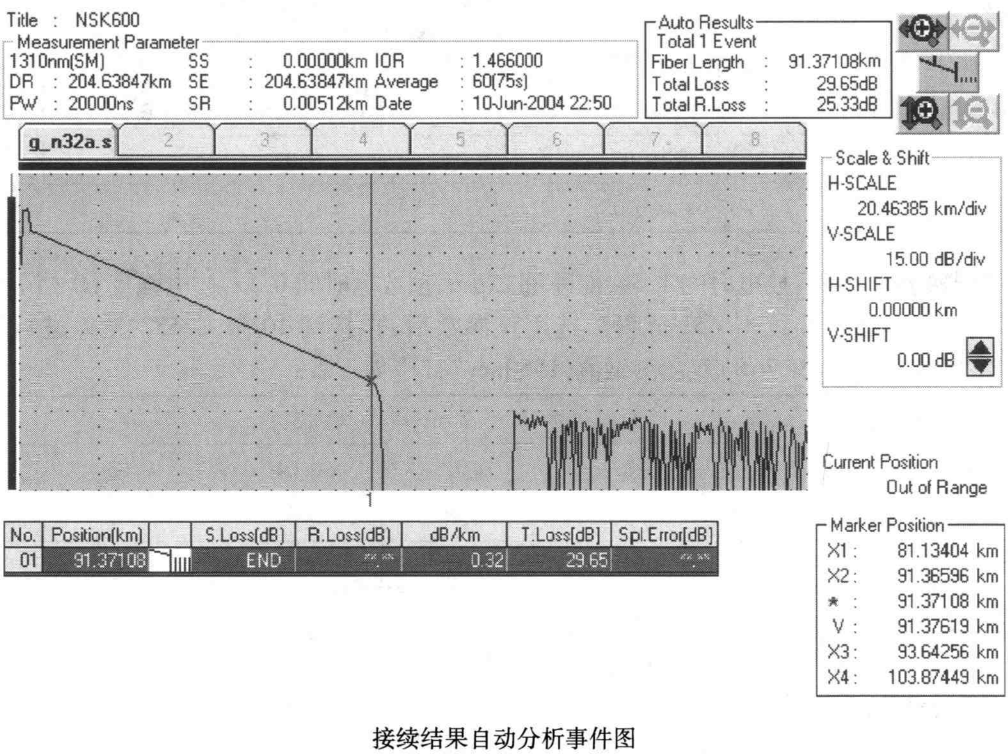
采用工程类比法与国内外施工的工程实例进行比较和理论分析，深入研究环境对光纤熔接机及接续工艺的影响，找到了解决高原特殊条件下施工的方案。

(1)在高海拔地区接续前，在接续帐篷内适量地充氧，增加气压和含氧量。然后进行放电试验，以适应周围环境。

(2)通过调整熔接机的放电参数，设置适合高原环境的放电时间、放电电流、推进量。对G.655光纤与G.652光纤的不同情况，分别选择合适的接续模式及参数。

(3)在多年冻土区接续后，盘纤必须要留有冗余量，还要在收容盘内注入甘油或油膏，将裸纤保护起来。

光纤接续技术改进后，效果良好。用日本安立MW9076B型OTDR测试格尔木至纳赤台区段的光纤曲线：在1310nm的窗口下，选择第32根光纤，测试方向从A端→B端，脉冲选择20000ns，自动分析事件门限值选择0.04dB，结果只显示出有1个损耗点(即光纤终点)，说明该根光纤在光纤中继段格尔木—纳赤台的区段中没有1个接续损耗大于0.04dB的点。如下图所示：

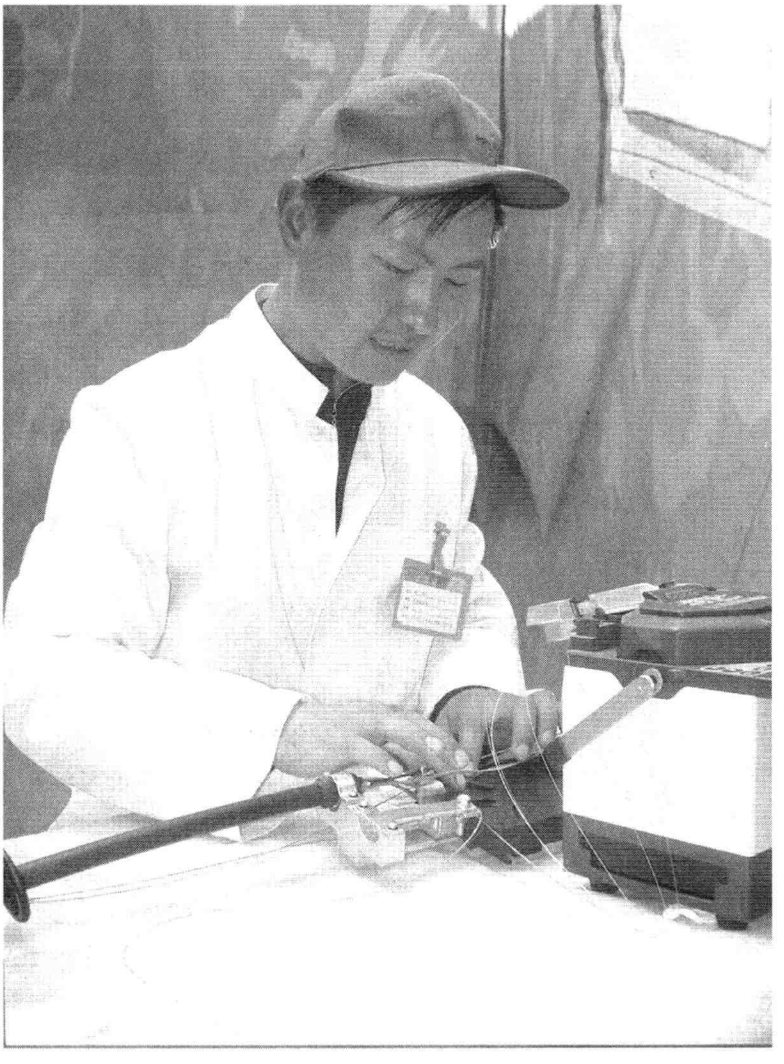


接续结果自动分析事件图

5.2 巩固措施

通过对高原环境下光纤熔接技术的研究，使得传统光纤接续施工工艺得到改进，提高了接

续人员的操作技术水平。按照高原光纤接续工艺的操作步骤，进行放电实验、维护程序检测、清洁熔接机中电极、设置熔接参数、接续、热熔热缩管、盘纤、监控、固定接头盒，提高了工作效率；降低了光纤接续损耗，由原来的每处0.08dB提高到每处0.04dB；提高了光纤的接续质量，降低了经过一年的温差变化产生断纤的概率。



5.3 推广前景

通过对高原光缆接续的研究，掌握了在高海拔、低气压、低温等参数条件下G.655和G.652光纤的接续技术，达到了设计要求指标，形成了高原光缆接续工艺标准。

高原光纤接续的质量控制，降低了光纤接续损耗，由原来的每处0.08dB提高到每处0.04dB；降低了经过一年的温差变化产生断纤的概率；同时提高了工作效率，降低了施工成本。

本次研究是在海拔2500～3600m区段，气压70000～66000Pa左右，温度－20～35℃的条件下试验的，得出的数据不一定适合海拔更高或温度更低的区段，可以作为一种施工方案提供借鉴。

青藏铁路的冻土工程建设

王晓刚

铁道科学研究院科学技术信息研究所

摘　要：随着经济建设和资源的开发，世界各国在冻土区域开展了大量的工程建设，并对冻土的工程性质进行了长期的研究。我国的青藏铁路的建设处于大面积的高原冻土区域，本文通过分析冻土对工程建设的病害，针对青藏铁路总结出一些工程防范措施，并对青藏铁路建设对当地经济的影响加以分析。

关键词：青藏铁路　冻土工程　冻土特性　经济影响

一般来讲，具有零摄氏度及以下温度并含有冰的土类和岩石都称为冻土。按冻结状态持续时间，冻土可分为季节冻土和多年冻土。

在多年冻土区，地壳表层由于每年夏季融化，冬季冻结，产生了季节融化层。季节融化层底板的埋藏深度，叫多年冻土上限。多年冻土的底部叫多年冻土下限，下限处的地温值为零摄氏度，下限以下是融土。上限和下限之间的距离叫多年冻土的厚度。多年冻土厚度是多年冻土的重要标志之一，它反映了冻土的发育程度。

一定深度内的冻土温度，是随外界气温的变化而变化的。某一深度处地温在一年中变化幅度的一半称为地温年较差。随着深度的增加，地温年较差减小至零，这个深度称为地温年变化深度。这个深度的地温称多年冻土的年平均地温，并且用它来评价多年冻土的稳定性。年平均地温越低，多年冻土愈厚，多年冻土蓄冷量越大，表明冻土愈稳定，受到扰动后不易融化；相反则蓄冷量小，稳定性差，受到各种因素影响后，多年冻土反应敏感，容易发生融化。

在青藏铁路的勘察设计工作中，把550km的多年冻土划分为融区、高温极不稳定多年冻土、高温不稳定多年冻土、低温基本稳定多年冻土、低温稳定多年冻土五种类型。

1　世界冻土的分布

全球多年冻土的面积约占陆地面积的20% ~25%，主要分布在极地和极地附近的区域以及低纬度高山区，此外，在北美、中亚等地的山区也有零星分布。前苏联、加拿大、中国和美国是多年冻土分布最广的国家，前苏联多年冻土分布面积1000万km^2，约占国土面积的48%，是多年冻土分布最大的国家。其次为加拿大，多年冻土分布面积490万km^2，占国土面积的50%。

我国多年冻土的面积约250万km^2，居世界第三，主要分布于西部的青藏高原和东北的大小兴安岭等地。青藏高原多年冻土区是世界中低纬度地带海拔最高、面积最大的多年冻土区，它的面积占我国多年冻土区域面积的70%。

2　国内外的冻土工程

随着多年冻土区的经济建设和资源开发，多年冻土区铁路、公路和油气管道建设迅速发

展,国内外针对冻土工程建设的技术问题开展了长期系统的研究,取得了大量的成果。

多年冻土区土建工程有着长期的发展历史,在各国的工程实践中,通过不断发展和完善,目前已取得了大量的科研成果和丰富成熟的实践经验,除中国以外,俄罗斯、加拿大、美国和南美一些国家也在多年冻土或高原地区修建了铁路、公路及其他土建工程。

前苏联在19世纪末就在多年冻土地区开展了铁路工程和永久性城市建设,在20世纪60年代至70年代达到高潮。目前,俄罗斯在多年冻土区修筑了7条铁路干线,通过多年冻土地段7000km。其中穿越西伯利亚多年冻土区、全长7416km的西伯利亚大铁路,1892年开始动工,1902年竣工通车,跨越多年冻土区2200km。

加拿大有3条铁路干线,即埃德蒙顿—大奴湖、里贾纳—彻奇尔和塞提尔—谢弗维尔,由南向北穿越多年冻土地段,共长2000km左右,运营至今没有出现大的工程问题。美国在阿拉斯加南部的索乌德至中部的费尔班克斯也修筑了通过多年冻土区750km的阿拉斯加铁路。

我国多年冻土区修筑的现有运营的铁路主要在大小兴安岭,主要有牙林线和嫩林线,通过冻土地段约800km左右。西北地区的青海海西热水专用线和南疆铁路穿越天山地段通过岛状冻土区,属高山冻土下限最不稳定的冻土带,已经安全运营多年。

3 青藏铁路的冻土工程

青藏铁路是目前全球穿越多年冻土区最长的高原铁路,青藏铁路要经过连续多年冻土地段550km。其穿越的青南藏北地区正是多年冻土最发育的地区,基本上呈连续或大片分布,温度低,地下冰层厚。由此向周边地区。随地面海拔降低,地温逐渐升高,过渡为岛状多年冻土。

3.1 冻土路基病害

虽然现在许多国家都在建设冻土工程,但是对于加拿大、俄罗斯等国家来说,其冻土属于高纬度冻土,相对比较稳定。而我国的青藏铁路所经区域纬度低,与我国湖北省在同一纬度上,并且海拔高、日照强,太阳辐射对冻土有着非同寻常的影响。加上高原地质年轻,构造运动频繁,且这里的多年冻土具有地温高、厚度薄、热融发育,因此对气温变化反应更为敏感。温度低的时候,它硬得像钢铁,还会冻胀;温度高的时候,它又像稀泥,形成融沉。冻土的活动层反复冻结和融化在路基中交替出现,整个轨道线路呈现高低不平,这对列车的安全平稳地行驶影响很大。

路基融沉一般具有以下特点:

①突然的大量下沉;

②周期性的持续下沉;

③下沉多发生在低路堤地段(路堑地段很少);

④严重的下沉地段多发生在多年冻土的沼泽地带。

路基冻胀的特点是分布广,严重地段比较集中。路基冻胀按变形情况可分为冻凸、冻凹、交错冻起、单侧冻起、冻胀裂缝等。

3.2 冻土病害的防治

冻土问题是目前世界性的难题,中国在冻土研究方面起步较晚,在20世纪80年代中期以前,中国的冻土研究基本上继承了前苏联在多年冻土研究方面的经验和理论。青藏铁路修建的关键问题是高温、高含冰量多年冻土地区路基稳定性问题。青藏铁路穿越高温冻土区

210km左右，高含冰量多年冻土路段约为300km，高温、高含冰量多年冻土重叠路段约为160km。我国在青藏铁路的路基建设过程中，主要贯彻的思想和技术路线是：冷却地基土，减少传入地基多年冻土的热量，保持多年冻土的稳定性，从而保证工程建筑物的稳定。

为保证多年冻土区铁路工程的安全稳定，减少冻土病害的发生，青藏铁路主要采取了针对性的保护措施。

（1）合理的路基设计高度

保持路基基底多年冻土处于冻结状态的最小填筑高度即为路堤的下临界高度。下临界高度实际上就是与原来季节融化层等效的保温厚度。路堤的合理填筑高度要根据不同地温区段及与其相应的气温正负温差所决定的下临界高度来确定。

《青藏铁路高原冻土区工程设计暂行规定》中规定，用粘性土填筑的路堤最小高度标准为：低温稳定区1.5m，低温基本稳定区1.9m，高温不稳定区2.3m，高温极不稳定区2.5m。

（2）铺设隔热保温层的路基结构

铺设隔热保温层的路基结构是指在路基的底部或路基表面以下某一深度铺设隔热保温层，增大热阻，以减小大气和人为热源的热量进入到冻土层内，防止多年冻土地下冰融化和上限下降。常用的隔热保温材料有聚苯乙烯（EPS）、聚氨酯（PU）和挤压聚苯乙烯（XPS）等。

隔热保温层的作用有正负效应两个方面，正效应达到隔热，防止冻土地基升温，减少冻土的冷量损失，负效应则阻隔了冬季期间冻土地基冷储量增加的可能性。对于低温冻土区，应用在低路堤、路堑的保温隔热能起到积极的效果，因冻土地基有足够的冷储量保持冻土上限或使上限上升。对于高温冻土区，冻土地基的冷储量有限，缺乏冬季的冷能补给，不利于冻土上限的保持，铺设隔热层的路基结构必须合理地选择施工季节和施工时段，这对于最大限度地减少热量的传入至关重要。

（3）热棒路基

热棒由一根密封的金属管组成，管内充装液体介质，管的上部为暴露在空气中起散热作用的冷凝器，下部为埋入冻土层内的蒸发器。当冷凝器与蒸发器之间存在一定温差时，蒸发器中的液体介质吸收热量而发生蒸发，在压差作用下蒸汽上升至冷凝器，在冷凝器中蒸汽放出热量并冷凝成液体，在重力作用下沿管壁流回蒸发器，如此往复循环使得冻土层冷却降温。

热棒路基结构是一种积极的保护冻土结构的措施，即冷却冻土结构的措施之一。其特点在于充分利用自然能源，增加冻土本身的冷储量，提高冻土热稳定性，从而保证路基的稳定性。

（4）片石通风路堤

片石通风路堤的作用包括以下两个方面：一是寒季冷空气密度较大，在自重和风的作用下将片石层中的热空气挤走，冷空气更容易进入路基基底；二是暖季热空气密度较小，难以进入路基基底，类似热开关作用。同时由于下伏地表水的蒸发、片石间隙空气的流动，带走一些热量，因此抛填片石路基在暖季可以减少热量的流入，具有热屏蔽作用，而在寒季能够显著提高冷量的传入，对多年冻土起到保护作用。设置片石通风护道的原理与此类似。目前在青藏铁路建设中大量采用片石通风路堤结构和片石护道结构。

（5）通风管路堤

通风管路堤即在堤身或路堤底部以上某高度横向铺设一定孔径的通风管，与路堤填筑材料组成复合式通风路堤。一方面，通风管中空气的导热性比土层小，可以起到隔热作用，减小传入基底的热量。另一方面，通风管中空气流动，以对流的方式使堤身散热，冬季冷空气在孔内流动，有效地降低基底的地温，增加基底的冷储量，保护基底多年冻土，提高其热稳定性能，

保证路基稳定。

(6)以桥代路

以桥代路是指在冻土区非河流地段,由于冻土的温度和高含冰量冻土地段的原因,为保证冻土的热稳定性和路基稳定性,采取合适的桩基类型的桥梁通过该类地段。青藏铁路清水河高温冻土区高含冰量地段有20多公里以桥代路的桥梁。其特点一般是桥梁墩台较低,基础大多为混凝土灌注桩,施工多采用对冻土扰动较小的旋挖钻机和干钻工艺。

(7)拼装式涵洞基础

涵洞基础的选择主要考虑混凝土施工中水泥水化热对涵洞基底多年冻土的热扰动和恢复时间的长期性,大量地采用拼装式涵洞基础,并在施工中采取措施最快的开挖基坑和吊装基础,最大限度地减少对冻土的热扰动。

(8)结构物排水畅通

在多年冻土区,排水不良时造成路基冻涨病害的主要原因,加强结构物的排水时减少冻土病害的有效措施。路基的修建可能改变地下水流的径向,引发冻胀丘、冰锥等不良冻土现象,在设计过程中必须采取必要的拦截或疏排措施。一般采用挡水埝疏排地表水和冻土层上的水流。

4 青藏铁路的建设对当地经济的影响

正在建设中的青藏铁路二期工程,起于青海省格尔木市,至西藏自治区首府拉萨市,全长1142km,是国家西部大开发的标志性工程,于2001年6月29日开工。其中青藏铁路穿过西藏自治区境内约700km,西藏段建设的投资约160亿元。

青藏铁路的建设加速了我国东西部地区的物资流通。目前青藏公路每年进出藏物资有100万吨,按这一货运量计算,青藏铁路通车后,每年可节省运费2.2亿元,若达到远期每年500万吨的设计运量,效益将更加可观。

这条铁路线的建设对当地经济发展的影响很大,根据铁路建设投资效益分析,铁路建设给地方带来的直接经济收入就有16亿元。如,2003年青藏铁路建设给西藏直接增加经济收入达5亿元,其中修建过程中劳务输出就给当地农民工带来劳务收入1亿多元。

同时,在施工和运营期间,还为西藏人民创造了大量直接和间接的就业岗位。在施工期间,创造的直接、间接就业岗位有10万个左右,仅今年当地的劳务投入就达6000人左右。正式投入运营后,可直接就业千人以上,而随着旅游业和相关产业的快速发展,还将吸收大量就业人员,提高当地人民的生活水平,并加速与内地科技、文化信息交流,提高当地人民的素质。

青藏铁路修建后将改变西藏人民的生活状况和消费结构,减轻由于居民不合理的消费结构而导致的生态破坏,广大的西藏人民是当然的最大受益者。

浅谈青藏高原多年冻土的监测技术

丁愿文

中铁十七局集团青藏铁路指挥部

摘　要：本文结合现场测试的实践经验，介绍了监测青藏高原多年冻土地基含水量、地基热稳定状态及其冻胀和融沉的技术。

关键词：多年冻土　监测技术

青藏铁路的建设，因其跨越560km的多年冻土区而受世人瞩目。冻土是一种特殊的土类，它是由固体矿物颗粒或有机矿物颗粒、粘塑性冰、未冻水和气体组成的四项体系，这些成分决定了冻土的结构构造特性、物理力学性质和热物理性质，以及冻结和融化特性。“冻胀”和“融沉”是青藏铁路建成后影响其安全运营的主要问题，冻胀与融沉的实质就是冻土结构中冰—未冻水的相互转化，进而影响到多年冻土的强度和上限变化，它对温度十分敏感。所以监测多年冻土的变化及其对铁路的影响，就要监测其构成中未冻水、地温的变化及其冻胀和融沉情况。

1　工程概况

中铁十七局集团公司承建的青藏铁路第17标段（布强格—唐古拉），线路起止里程为DK1380+650～DK1419+300，全长38.571km。工程范围为布强格（不含）—唐古拉之间的站前工程。线路起点至第一次横跨布曲河之间属唐古拉山北麓的温泉断陷盆地，之后进入唐古拉山北麓无人区，线路所经地层除河流、河床内为融区和岛状多年冻土外，其余为大片连续多年冻土。多年冻土上限以上的季节融化层为第四系全新统冲积、冰水沉积粉质粘土、细砂、角砾土、卵石土、碎石土。多年冻土上限以下为少冰、多冰冻土和高含冰量冻土及含土冰层。岩性为粉质粘土、角砾土、卵石土、侏罗系泥岩、泥灰岩、石灰岩。冻结层上水发育，水位不稳定。针对不良地质情况，路基设计中采取了带有试验研究性质的片石通风路基、片石护道、碎石护坡、土工格栅加筋路基等措施，为总结并调整唐古拉越岭地段冻土路基的施工参数，为今后运营维护提供经验，我单位选取片石通风路基+碎石护坡、片石通风路基+土工格栅加筋路基+碎石护坡、土工格栅加筋路基+片石护道+碎石护坡路基三个典型处理措施的路基断面，进行现场地基含水量、地基热稳定状态、冻账和融沉观测。

2　实施青藏高原多年冻土监测的必要性

在青藏高原多年冻土区修建铁路工程活动的实质，是在改变着多年冻土的生存环境，我们改造冻土和利用冻土的最终结果是要这种生存环境的改变向着有利于冻土生存、有利于铁路建筑物稳定的方向发展。青藏铁路的建设是我们认识冻土改造冻土的实践场所，作为施工建设者，我们不应该单纯的把所承担的建设任务看作是单纯劳动的重复，而必须在施工中不断探索、总结经验，指导下一步施工及运营维护，要做到这一点，就要求我们不但要掌握一些冻土施

工技术知识，更要监测铁路建设对冻土的影响。

3　多年冻土监测技术的实施

3.1　地基含水量监测

（1）监测设备

我们测试中使用的是 WJB－2 湿度巡检仪表，其主要技术指标为：

①精度等级：测量范围　0～100%RH，精度＋／－2%。

②分辨率：0.1%RH。

③仪表外型及组成：主表机身外型尺寸 380mm×240mm×140mm，副表机身外型尺寸 220mm×180mm×110mm，整套仪器表由主表、副表及传感器三件套组成。

④电源电压：可充电电池。

⑤响应时间：升湿 1 秒，脱湿 10 秒～2 分钟。

⑥显示方式：三位 LED 显示。

（2）传感器（水分探头）安装

①确定监测水分的位置在路堤基底的深度（设在冻土上限附近），根据“待测深度＋20cm”的长度准备 50～80mm 的铁管（一头带管盖），并依据现场地质选用小型钻机。

②钻孔，根据待测深度将铁管下到待测深度，铁管露出地面 20cm 左右。

③将探头保护管连同传感器放在铁管盖边上，用二合一胶完全密封保护管盖与铁管盖边（以防外面空气进入影响测试精度）。

④探头保护管与铁管密封好后，将电缆引出，用铁管盖将顶部全部密封严实，使铁管内的湿度与待测部位湿度一致，传感器测出的即是待测部位的湿度；为以后与测试仪表连接方便，在引出电缆上标注上编号。

⑤用低温早强混凝土砌筑一个保护墩，以防铁管被破坏。

⑥引出电缆线部位用多层塑料袋密封，以防电缆渗水短路，并设保护箱，以免遭受人为破坏。

（3）测试的实施

①连接主仪表与温湿度巡检副表。仪器中配备有四根专用连接线，将四个副表与其相对应的主仪表插孔连接在一起。

②将传感器引出电缆连接到对应标注编号的副表上。

③打开主仪表电源，实施测试。主表机箱面板上 1、2、3、4 切换按钮分别对应四套副表的工作切换按钮；副表测试线路分上下排，切换开关向下，可依次选择副表上排线路，切换开关向上，可依次选择副表下排线路。如果想观测副表 1 第 6 路的工作情况，应先将主表切换到按钮 1，在切换到副表 1 的第 6 路，记录下对应的湿度和温度显示值，其他同此。

④为节约电源，在每次转移测试地点时应关闭主仪表电源。

（4）绝对湿度值（水分含量）的计算方法

①在仪表生产厂商所提供的温、湿度对应附表中，查出对应温度值（主仪表温度显示值）对应的饱和水汽密度值 G（g/m^3）。

②用饱和水气密度值 G 乘以仪表湿度显示值 U(%RH),所得数值即为绝对湿度值。

③示例:测量仪表显示湿度值 U=40%,温度显示值为25℃,查温、湿度对应附表25℃时对应饱和水汽密度 $G=23.01(g/m^3)$,则绝对湿度为:$23.01\times40\%=9.204(g/m^3)$。

3.2 地基热稳定状态监测

(1)监测设施

地温测试采用的主要设施是热敏电阻温度计和数字电压表,我们采用的热敏电阻是由中铁西北科学院根据我单位提供的热敏电阻间距加工标定的(配备测点切换开关),数字万用表是由美国生产的 FLUK 牌万用表。

(2)热敏电阻的安装

①为监测铁路施工后对多年冻土地热稳定状态的影响、检验路基设计措施的有效性,在路基断面的中心、左右路堤与护道交接处、左右坡脚处、原地面处各设置一个测温孔。

②钻孔,将 50mm 的钢管下到位(下底封口),中心孔上口在路基面下 20cm,其余孔钢管露出地面 50cm 左右。

③安放热敏探头。将加工好的热敏电阻传输电线下端系上重物,将热敏电阻吊入钢管内,待电线下到底后,将上端传输电线系在钢管上口。

④埋设过程中应注意:为热敏电阻套上保护管(PVC 管),标识清楚,将路基中心的热敏电阻引线开槽埋入地下引到坡脚测孔处,以便测试。

⑤在钢管顶端安装保护箱,将引线及测头全部纳入盒中,以免破坏。

(3)测试

①通过凸凹接口,将热敏电阻与切换开关连接,再将数字万用表与切换开关、热敏电阻传输公用线连接,使万用表与热敏电阻形成回路。

②将数字万用表拧到欧姆档。

③拧转切换开关,将可读出不同深度处的热敏电阻值,并记录下来。

(4)地温数据获取

将记录下的电阻值输入热敏电阻加工单位提供的数据转换电子表格中,即可获得转换后的地温值。

3.3 冻胀和融沉的监测

(1)监测设施

我们使用的是 ZCX-3 型连续断面沉降仪,由测头和读数仪两部分组成,其主要技术性能指标为:

①测头指标

测量范围:0~+/-53°;灵敏度:0.01mm;测头长度:660mm;测头外径:34mm;测头重量:2.5kg;导轮间距:500mm;抗渗:850kPa(水压压强)

②读数仪指标

数字显示:4 位,液晶显示;内部电源:-6V;充电:AC220V;外型尺寸:280mm×210mm×100mm;重量:2kg

③工作原理

测头以其导轮沿着测试导管的导槽再配合拉绳前后移动。测试原理是基于测头加速度计测量重力矢量 g 在测头轴线垂直面上的分量大小,确定测头轴线相对水平面的倾斜角的原理。

加速度计敏感轴在水平面时,矢量 g 在敏感轴上的投影为零,加速度计输出为零。当加速度计敏感轴与水平面存在一倾斜角 θ 时加速度计输出一个电压信号为:

$$U_{out} = K_1 g\sin\theta + K_0 \tag{1}$$

式中:U_{out}——读数仪指示值;K_0——加速度计偏值;K_1——加速度计电压因数;g——重力加速度。

则该点的位移为:

$$U_{位移} = 2U_{out} \tag{2}$$

在一般相对测量中,因为 K_0 是一个常数,不会对测量产生误差,所以可不予理会。

从测试原理可以得出:

$$\sin\theta = \triangle_i / L \tag{3}$$

式中:$\triangle_i$——水平 i 点上的垂直位移;L——导轮间距;θ——倾斜角。

由(1)、(2)和(3)式得出:

$$\triangle_i = L(U_{out} - K_0)/K_1 g$$

用测头连续在任一深度 i 点上测试的总位移为:$\delta = \Sigma\ \triangle_i$。

(2)测试导管的埋设

①测试导管又称测斜管,内壁开有导槽,每节长 4m,加长时用专用接头;测斜管由仪器供应商一并提供。

②确定测试断面位置,开槽机开槽后,将测试导管埋设在路基横向内部,导槽方向对准测试方向,即导槽方向与地面垂直。测试导管应伸出路基本体两侧各 50cm。

③在导管内穿入拉绳,并系于导管两端,以便测试时拉测头。

(3)测试

①拧下测头保护帽,根据沉降仪电缆插头对应的测头及读书仪的插孔,连接测头与读数仪。

②打开读数仪开关,使测头相对于地面有几个不同的角度,看读数情况,检查沉降仪是否正常工作。

③将拉绳系在测头拉环上。

④将测头导轮对准测试导管导槽推入导管中,拉动拉绳,每移动 0.5m,读出该点稳定后的显示值,并做相应记录,直到测试管的另一端点。注意,每次测读时都应将电缆对准标志并拉紧,以防读数不稳。

⑤每次测试完毕,卸下测头电缆前,仔细擦去电缆上的泥水,卸下电缆后,将保护帽拧到测头上,不允许有泥沙进入插头座。

(4)沉降量数据的整理分析

①建立数据总表,由于测试的目的是监视路基土体变形而导致导管的变化,因而必须将数据列入测试数据总表中,以连续监视这种变化。数据总表应包括"长度"、"初测值"、"变化值"、"垂直位移值"等项目。

②在数据总表中，测孔第一次测读的值为“初测值”，它是未来垂直沉降度的基准，以后测试值与“初测值”的差数确定垂直的变化为“变化值”，观测垂直位移是从导管的一端开始，将变化值作代数和，累加到导管的另一端。其计算结果即为管的一个端点相对于管的任一点的垂直位移。

4 结束语

青藏铁路因冻土而增加了设计、施工难度，也会应冻土而给今后的安全运营带来难题，只有对冻土区铁路工程进行长期、全面、系统监测，才能及时预测、预报冻土病害，从而为冻土区铁路安全运营提供科学技术保障。作者根据现场监测的实践，提出了粗浅的冻土监测技术，供同行借鉴。

青藏铁路运营期冻土斜坡段路基稳定性分析及长期监测方案

王连俊　许兆义　魏庆朝　沈宇鹏

北京交通大学土建学院

摘　要：在全球的气温是逐年升高条件下，青藏高原多年冻土路基的稳定性将直接威胁青藏铁路的运营安全。本文对青藏铁路的斜坡路基的温度场和水分场进行分析，评价斜坡路基的稳定性。分析结果表明，为了保证线路的正常的运营，应对越岭带的斜坡路基内的温度、水分及变形进行长期监测，以预测斜坡路基的稳定性的状态，指导线路的养护和维修，保证运营安全。

关键词：青藏铁路　斜坡路基稳定性　长期监测

1　引言

青藏铁路的建设是当今冻土界的划时代的工程，给冻土工作者带来了不少实践的机会。冻土工程的主要特点是冻土体内有在温度场的变化，由于温度场的改变从而影响了冻土内的应力场从而影响工程的变形。而对于铁路路基来说，这样的变形轻则影响了线路的平顺度，重则出现列车倾覆的危险。

通常的冻土斜坡破坏，其主要形式有崩塌型、蠕变型、泥流阶地型、表土植被蠕滑型及热融滑坍型等[1,2]。在斜坡稳定性计算中，通常有四种方法来计算表层破坏[3]。对于铁路过岭段的斜坡路基，出现冻土斜坡的问题不仅是路基土表层的问题，还涉及到与路堤体组合的破坏问题。分析斜坡路基的主要是坡坏面的选取及计算参数的选取。

本文在总结铁道部2001QZ－57 项目两年监测数据成果基础上，结合国内外对斜坡路基的研究方法进行分析，提出斜坡路基破坏的机理，并分析冻土内的强度组成，得出计算的方法。最后提出运营期间的危险斜坡路基段的长期监测方案。

2　冻土斜坡路基稳定性分析

2.1　规范中的边坡计算

《冻土地区建筑地基基础设计规范》（JGJ118－98）中对于边坡计算，先用经验公式计算出上限存在的位置，滑体的滑动推力计算符合《建筑地基基础设计规范》GBJ7 规定（图 1），并说明了 C 和 φ 的取值处理。但在规范中，对于破坏面的取值没有明显的规定，同时，没有考虑冻土的蠕变特性。对于铁路规范中（铁路路基设计规范 TBJ 1－85），也只是涉及到路堤的斜坡稳定，对于路基的稳定，也只是采用通常的滑面。而在多年冻土的过岭段，用常规方法来进行设计计算，肯定无法满足斜坡安全性要求。在路基设计中，只是对路堤坡面进行校核，没有根据不同的斜坡破坏面进行验算。

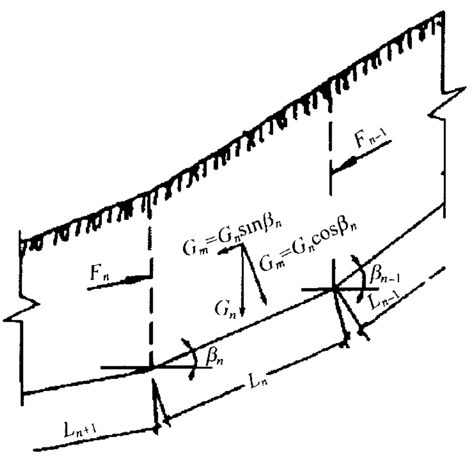


图 1　规范中的滑坡推力计算示图

2.2　冻土斜坡路基的破坏机理

首先对冻土斜坡可能出现的机理进行分析。路基出现的破坏的原因有以下几个：

①冻土上限范围内，融土的强度大大降低，在上限附近出现了剪切薄弱带，从而影响斜坡整体强度；

②融化时产生大量的水，产生了渗透力，同时自由水的存在，对斜坡起了润滑作用，从而降低了斜坡的抗剪强度[4]；

③在几个冻融周期热稳定后，改变了铁路路基内的人为上限形状（通常拱形或驼峰形），便得薄弱面的倾角增大，从而影响铁路路基稳定；

④全球气温的升高，使得路基上限下降，增大了可能滑体的重量，但抗滑力的增加量小于下滑力增加量，从而影响斜坡的稳定。

2.3　冻土斜坡内的强度组成

在普通土斜坡中，抗剪强度由两部分组成，既内聚力和内摩擦角。而在冻土中，计算的强度组成部分与普通土相同，但是冻土的粘聚力和内摩擦角是温度的函数[5]。同时，以上两项值受到时间的影响，摩擦角变化不大，但内聚力的松弛过程与冻土抗压强度的松弛一样，可以用以下公式描述[5]：

$$C=\beta/Ln\left(\frac{t}{t_0}\right)$$

式中，β 为试验参数；t_0 为一给定时间。

强度损失主要起因于水分的积聚，包括来自冰晶体的融化和土体在冻结过程中发生的结构变化

从抗剪试验来看，冻土强度在出现峰值后，应力随着应变的增加，而是逐渐降低的，最后趋附一个稳定值，即冻土的残余强度。而在实际中，存在着比冻土残余强度稍大的冻土的长期强度，可用经验公式求得[5]。为满足实际情况，应采用冻土的长期强度。

为了正确求得上限附近的强度，在设计剪切试验时，对剪切盒上进行改进，把冻融交界面设在直剪试验的剪切面上。

为了验证破坏面的可靠性,可用数值计算方法来验证。其主要过程是,在有限元计算出结果后,给定一个破坏准则(屈服准则),计算出最大可能的破坏面(屈服面)。

2.4 在确定斜坡路基的剪切面的确定

考虑各种影响因素,对冻土斜坡进行分析,可以参考普通斜坡的分析方法。搜索各种可能的破坏面,包括上限附近(形状的变化);斜坡的底部(整体滑动);沿路基体内破坏等。同时,要考虑边坡失稳的时间因素,一般出现在夏秋夏和冬初。可以根据活动层随季节变化的研究成果[6],将冻土边坡破坏机理也分四个不同时期:夏季融化(ST);秋季冻结(AF);春冬季整体型(TWT)。在各个时间段上采用不同的剪切面。

2.5 计算斜坡路基的稳定性

对于破坏机理的各种情形,同时结合各种可能的滑面,进行稳定性计算分析。对于全球气温升高的因素,可先用有限元进行计算运营期内的温度值,得出相应的抗剪强度。在稳定性计算中,计算方法可采用条分法。

3 监测方案

对于稳定性系数小于1.5的过岭段路基段面,进行长期时时监测。监测方案内应包括路基体内的温度、水分及变形和大位移变形预警装置。

温度监测设计方案在路肩、坡角两侧设置测温孔,并在上限附近加密(参考附近的已进行的试验项目);水分监测方案是在路肩两侧及坡角侧设置水分测量孔;变形监测方案是在路肩、坡角两侧及距路基各10m处设置水平位移孔。以上采用的都应是自动采集系统。

大变形预警是设置GPS监测特征点的位移,数据及时传送到附近车站,配合以后的列车运营。

4 结论

通过对冻土斜坡破坏的机理进行分析,同时,通过试验求出滑面中的C、φ值,搜索斜坡内的可能滑动面,同时进行稳定性分析。对于稳定性系数较小的斜坡,设置长期监测,同时,设置大位移预报装置。

参考文献

[1] 牛富俊,张鲁新等.青藏高原多年冻土区斜坡类型及典型斜坡稳定性研究[J].冰川冻土,2002,24(5):608~613

[2] 牛富俊,程国栋等.青藏高原多年冻土区热融滑塌型斜坡失稳研究[J],岩土工程学报,2004,26(3):402~406

[3] Shen Yupeng et. al. Approach for solifluction stability in thawing slope, Progress in Safety Science and Technology Volume 4: 2797 - 2802

[4] 吴玮江.季节性冻结滞水促滑效应—滑坡发育的一种新因素[J].冰川冻土,1997,19(4):359 - 365

[5] 吴紫汪,马巍,冻土强度与蠕变[M].兰州:兰州大学出版社,1994

[6] 赵林,程国栋等.青藏高原五道梁附近多年冻土活动层冻结和融化过程[J].科学通报,2000,45(11):1205 - 1211

青藏铁路信息系统总体结构的研究

张全寿　张鹤年　岳　莹

铁道部信息技术中心

摘　要：青藏铁路信息系统是实现建成世界一流高原铁路极为重要的技术手段，对保证行车安全，实现远程监控，实现现代化管理，最大限度的节省人力、物力具有非常重要的意义。本文结合青藏铁路的特点，系统的论述了青藏铁路信息系统的建设原则、应用系统的组成，以及为实现青藏铁路信息系统建设的总体目标所采用的集中式总体结构。

关键词：青藏铁路　信息系统　总体结构　集中式

青藏铁路由青海省省会西宁至西藏自治区首府拉萨，全长 1956 km，其中，西宁至格尔木段（含格尔木至南山口）长 845 km，已建成使用。青藏铁路公司的管理范围还包括兰西线青海省境内海石湾至西宁的 110 km。

由于生态条件恶劣，必须最大限度减少人员配备，也就必须采用先进的技术设备，实现“免维护，基本无人化管理，全线运行时间最短”的先进的运营管理模式，建成世界一流的高原铁路。

要建成世界一流的高原铁路，信息系统是极为重要的技术手段，对保证行车安全，实现远程监控，实现现代化管理，最大限度地节省基层站段和管理部门的人力、物力具有非常重要的意义。

1　青藏铁路的特点

青藏铁路公司所管辖的青藏铁路具有其他铁路所没有的鲜明特点，正因为这些特点的存在，青藏铁路公司信息系统必须满足这些特点所带来的需求。

青藏铁路的特点：

(1) 青藏铁路具有重要的政治、经济和军事意义。在政治上沟通了边远省份西藏、青海与内地的联系，形成了一条加强民族团结，开展政治、文化交流的大通道；在经济上大大改善了青藏高原交通条件和投资环境，将对促进西藏、青海经济发展起到重要作用；在军事上将对巩固西南边境国防和边防部队现代化发挥重要作用。

(2) 青藏铁路是修建在世界屋脊的高原铁路，其中西格段运行在平均海拔 3000m 以上，格拉段在平均海拔 4500m 左右，带来了建筑工程上的冻土、高寒缺氧和生态脆弱三大难题，这三大难题也为今后运营管理带来许多新课题和新难题。

(3) 站后工程大量采用新技术、新设备。这些新技术、新设备将使青藏线成为世界一流的高原铁路，这些新技术、新设备的使用和维护是今后运营管理中的重要课题。

(4) 由于生态条件恶劣，技术人员缺乏，必须采用先进的运营管理模式。要实现“免维护，基本无人化管理，全线运行时间最短”的目标，是一个全新的课题，需要不断实践、总结和完善。

(5)青藏铁路具有良好的发展前景。根据未来路网的发展,格尔木将是沟通青海、新疆、西藏和内地的大铁路枢纽,拉萨将成为连接西藏主要城市的铁路枢纽,所以青藏线将成为国家铁路网中的重要干道。

由于青藏铁路具有以上特点,对青藏铁路信息系统产生了以下特殊需求:

(1)信息系统要为实现青藏铁路自动控制、远程控制服务。

青藏铁路由于恶劣的自然环境采用了大量新技术、新设备,用于实现自动控制和远程控制,应具有完善的、多种传输方式(有线、无线、卫星)的、可靠的立体信息传输网络,实时传输远程动态信息和控制信息,应具有完善的实时信息处理系统。

(2)信息系统要为恶劣自然环境下的行车安全服务。

青藏铁路为了保障在恶劣自然环境下的行车安全,必须对气候、冻土、路基、桥梁、隧道、无人车站及列车、机车、车辆等进行监测,信息系统必须及时可靠地传输这些监测信息,送到监测中心和有关部门及时处理,处理结果及时送调度指挥及有关业务单位,以便及时发现问题并加以处置,以保证行车安全。

(3)信息系统要为最大限度减少作业人员服务。

由于恶劣的自然环境,青藏铁路沿线尽量减少作业人员,信息系统应尽最大可能为作业人员提供各种手段,方便与简化作业操作,形成多工种集中操作,以最大限度减少沿线各站作业人员。

(4)信息系统本身在结构设计和设备配备方面要实现免维修,沿线不应配备维修人员。

(5)信息系统所配设备必须适应高寒地区气候环境,能可靠地工作,信息系统本身也应具有远程检测和监控手段。

2 现有信息系统及存在的问题

2.1 青藏铁路公司现有信息系统概况

青藏铁路公司所属西格段,原来由兰州铁路局西宁分局管辖,在全路信息系统建设中,西宁分局已做了大量工作,基本上完成了 TMIS、客票等系统的建设。

TMIS 系统中包括现车系统、确报系统、货票系统、货运管理、集装箱系统、大节点追踪系统等。

此外,车号识别系统、调度指挥系统、货运安全管理系统、18 点统计系统、财会信息系统、人力资源管理信息系统、保价运输管理信息系统、工务管理信息系统、机务信息系统、车辆信息系统、铁路物资管理信息系统、办公信息系统等都不同程度的开展了应用。

信息系统有多个独立的网络:TMIS 网、DMIS 网、客票网、财务网、公安网、清算网等等,各信息系统独占专用网络资源。公司总部和主要站段有局域网。

2.2 青藏铁路公司现有信息系统存在的主要问题

青藏铁路公司现有信息系统是原西宁铁路分局在全路信息系统建设中陆续建立起来的,在运输生产和行政工作的组织管理中发挥了重要作用。由于全路性的多方面原因,存在一些问题,最重要的有以下几点:

(1)公司刚脱离兰州局独立建制,精密统计和客票中心仍由兰州局代管,必须尽快建立公司的统计工厂和客票中心。

(2)各系统独立存在,信息资源、硬件资源不能共享,有的系统内部各子系统之间也无法实现信息资源共享。

(3)网络资源缺乏统筹规划,许多系统独立成网,资源浪费很大。

(4)现有计算机网络通道不稳定,特别是64K通道存在问题较多。除DMIS外,各系统没有网络迂回通道。站段局域网没有实施标准化综合布线,而是临时拉线沟通,可靠性差。

(5)各系统普遍存在硬件老化,应用软件不完善等问题。

(6)信息中心人力非常紧张,各系统普遍存在维修力量薄弱,信息系统的维修、维护体制不健全。

3 青藏铁路信息系统建设的目标及原则

3.1 系统建设的目标

青藏铁路是在政治上、经济上、国防上极其重要的高原铁路,铁路的西格段基本上是在海拔3000m左右的高原上运行,格拉段则是在海拔4500m左右的世界屋脊上运行,恶劣的自然环境带来了冻土、高寒缺氧、生态脆弱的难题,必须采取先进技术手段,来实现“免维护、基本无人化管理、全线运行时间最短”的管理模式,信息系统是极为重要的技术手段之一,对保证行车安全,实现远程监控,最大限度地节省基层站段和管理部门的人力、物力具有非常重要的意义。该系统建设的目标如下:

以青藏铁路公司现有铁路和新建格尔木—拉萨段作为一个整体为设计范围,以运输组织、客货营销、经营管理为重点,实现调度指挥智能化,客货营销社会化,经营管理现代化,以大系统互联互通信息共享为准绳,加强基础建设,整合既有资源,建成技术先进、结构合理、功能完善、管理科学、经济适用、安全可靠的信息系统,以提高运输指挥效率,扩大运输能力,保障运输安全,提高服务质量,提升管理水平,谱写世界一流高原铁路的新篇章。

3.2 系统建设的原则

(1)系统建设必须服务于安全生产,保证可靠运行。

(2)系统建设必须从高原铁路的特点出发,服务于“免维护、基本无人化管理、全线运行时间最短”的管理模式,最大限度地节省人力、物力。

(3)信息系统建设采用先进性与成熟技术相结合的原则。

(4)系统建设遵循信息化大系统的建设原则,使各个信息系统实现互联互通,资源共享。

(5)系统建设必须遵循统一规划,分步实现的原则。

4 青藏铁路应用系统的组成

青藏铁路公司信息系统作为全路信息系统的组成部分,应用系统遵照铁路信息化总体规划,从铁路智能运输信息系统的组成部分的角度规划设计应用系统。

由于青藏铁路沿线生态环境恶劣,为保证行车安全,对沿线的冻土、主要桥梁、隧道以及机车、车辆的技术状态和沿线客货运输情况、无人站的状况必须进行监控,而青藏铁路公司作为综合管理机构,涉及到铁路各工种、各管理部门,形成了包括运输组织、客货营销以及经营管理系统在内的完整的应用系统(见图1)。

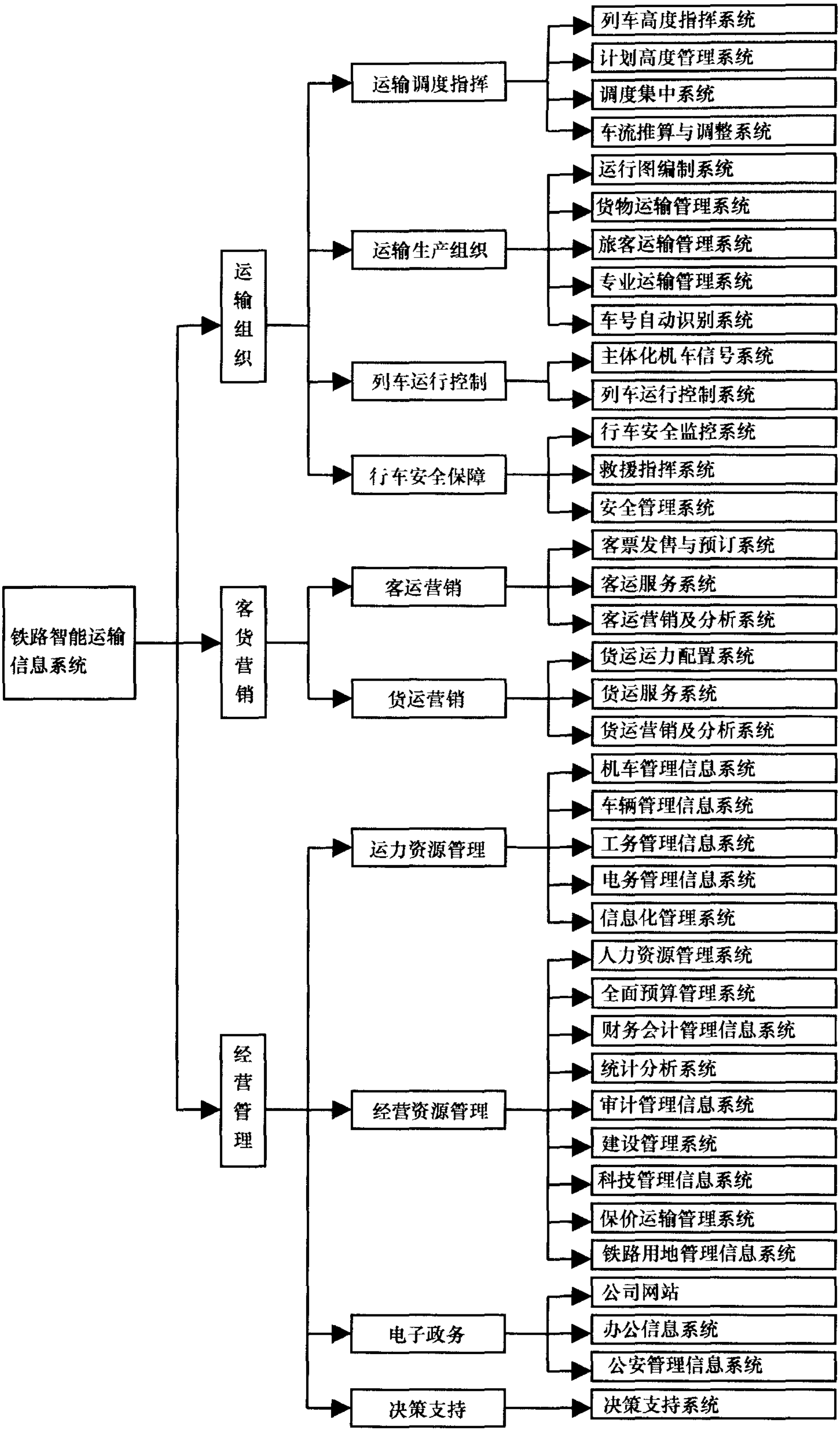


图 1　青藏铁路信息系统的组成

4.1 运输组织信息系统

运输组织包括运输调度指挥、运输生产组织、列车运行控制和行车安全保障四个部分内容。

(1)运输调度指挥

青藏铁路公司的调度管理信息系统主要包括行车调度指挥系统和计划调度管理信息系统。青藏铁路公司的行车调度指挥系统采用 CTC 模式;计划调度管理信息系统包括计划调度、机车调度、货运调度、客运调度等子系统。

(2)运输生产组织

运输生产组织包括运行图编制、货物运输管理信息系统、旅客运输管理信息系统、专业运输管理信息系统和车号自动识别系统。

(3)列车运行控制

青藏铁路采用美国 GE 公司的增强型列车控制系统(ITCS),是一种基于通信的列车控制系统(CBTC)。

(4)行车安全保障

行车安全监控系统通过处理和分析动态监测数据,发现当前或近期影响行车安全的各种问题和隐患,及时向相关人员通告报警/预警信息,收集现场检查和处理情况及其它反馈信息,以实施全面、全程的综合安全监控。

4.2 客货营销信息系统

客运营销包括客票发售与预定系统、客运综合服务系统、客运营销分析系统和客运管理信息系统。

青藏铁路公司的货运营销生产管理系统采用集中管理方式,货运计划和技术计划均由公司运输或营销部门统一管理,货运营销综合分析系统的信息来源于营销计划、货票、精密统计、集装箱等多个系统。

4.3 经营管理信息系统

(1)运力资源管理

青藏铁路公司工务管理信息系统采用集中式结构,在青藏铁路公司总部设置服务器,运行工务管理信息系统的全套软件,在西宁、湟源、柯柯、格尔木工务段、支线公司和大型养路机械段只设置终端。

按铁道部机务管理信息系统(LMIS)建设总体规划的要求,逐步建立各应用系统,把青藏公司机务信息系统建成一个统一的、高标准的管理信息系统。

青藏铁路公司总部车辆处局域网是青藏公司总部办公网的组成部分,车辆段内建立局域网,各列检所、站修所(远离车辆段)建立局域网络。由领导决策、调度管理、技术管理、安全管理、质量和验收管理等分系统组成车辆段(厂)的管理级,应用系统由各车辆段(工厂)的列检、站修、段修、厂修、轮轴、修配等子系统组成车间级应用子系统。

青藏铁路公司电务综合管理信息系统分为公司级和电务段级,联网运行。电务综合管理信息系统采用 GIS 技术直观地将信号设备显示在电子地图上管理。

电力调度中心由远动系统、设备在线检测系统、安全监控系统(防盗、防火、视频监控)、电

力地理信息系统、调度员模拟系统组成。

青藏公司的房建管理信息系统根据房屋建筑维护管理工作的任务和要求，在房屋建筑设施资源管理、设备安全生产、管理维护流程、技术资料及图物相符管理等方面实现信息化，其中部分功能应达到智能化的程度。

(2)经营资源管理

青藏铁路公司经营管理系统包括人力资源信息系统、财务会计管理信息系统、统计分析系统、货运保价及事故处理系统等。

(3)电子政务

青藏铁路公司办公信息系统，实现公司到站段的办公管理。青藏铁路公安信息系统要在金盾工程和铁道部公安信息系统的整体规划下，开发和推广各种实际应用。青藏铁路公司的医保系统在公司总部设医保管理机构(医保中心)，在西宁、格尔木设经办机构。医保管理机构面对的是医保服务机构，包括定点医疗机构和定点零售药店。

按照分阶段实施的要求，第一阶段(2006年7月前)实施的项目包括：

列车调度，计划调度，运行图编制，列车运行控制，行车安全监控，救援指挥，货物运输管理，旅客运输管理，客票发售与预订，货运营销，客运服务，货运服务，财会，统计和机车、车辆、工务、电务管理等系统，信息网络与网络安全，数据中心。

5 青藏铁路信息系统总体结构

5.1 系统建设的总体思路

(1)从铁路智能化运输的角度出发，对所有可能纳入总体方案的有关信息系统按类别纳入设计。

(2)信息的收集、传输、存贮和共享方式，采用数据中心模式

将建成统一的数据网，承担信息的收集与传输，在西宁建立数据中心，存储各类信息。

数据中心包括：基础信息数据库、各专业原始信息数据库、各专业当前信息和历史信息数据库、共享数据库。

各系统对数据中心的访问必须有认证系统保证安全，各个专业数据库都设有访问权限，获得访问权限的系统对所访问本系统以外的数据库只有“读”的权限，没有“写”的权限，只对本系统的数据库才有“读写”权限。

(3)信息处理原则上采取集中处理模式

青藏公司地处边远地区，沿线生态条件恶劣，特别是格拉段，许多地方为无人区，因此必须采取集中处理模式。

集中处理模式在西宁建立处理中心与数据中心，处理中心设计算机群，处理各信息系统业务。沿途站段原则上不设服务器，只设处理终端或PC终端。无法在中型机或小型机上实现业务处理的系统，可将PC服务器放在处理中心，作业点设终端或PC终端。

沿线不用设系统维护技术人员，沿线站段的终端和PC终端采取备份方式，出现故障就插上备份终端，有故障终端送西宁信息中心进行修理，这样解决了不能现场维护问题。

(4)在运量增加大到一定程度的情况下，可在拉萨建备用中心，作为远期项目考虑。近期的信息安全可靠性除采取双机热备外，还可进行存储备份，异地存放方式。

5.2 青藏铁路信息系统总体结构

在青藏铁路公司总部(西宁)信息中心设处理中心计算机群和数据中心计算机,处理中心可能有多台服务器,服务器运行运输组织、客货营销、经营管理等方面的应用软件,数据中心为双机数据库处理器,运行数据管理软件,信息处理中心设备与数据中心设备通过高速专用通道相连。

机关各管理部门的 PC 机通过机关局域网与处理中心计算机相连。

基层站段终端或 PC 机通过机关局域网和广域网进入公司总部(西宁)局域网与处理中心计算机相连。

采用这种集中式结构,在西宁的调度中心和信息中心通过大屏幕就可以对沿线列车运行状况、运输组织管理状况、沿线冻土、主要桥梁、主要隧道的技术状况、机车、车辆的技术状况全部一目了然,在西宁青藏铁路公司总部就可以对整个青藏线实现运输组织指挥和设备维护的集中管理。系统的体系结构如图 2 所示。

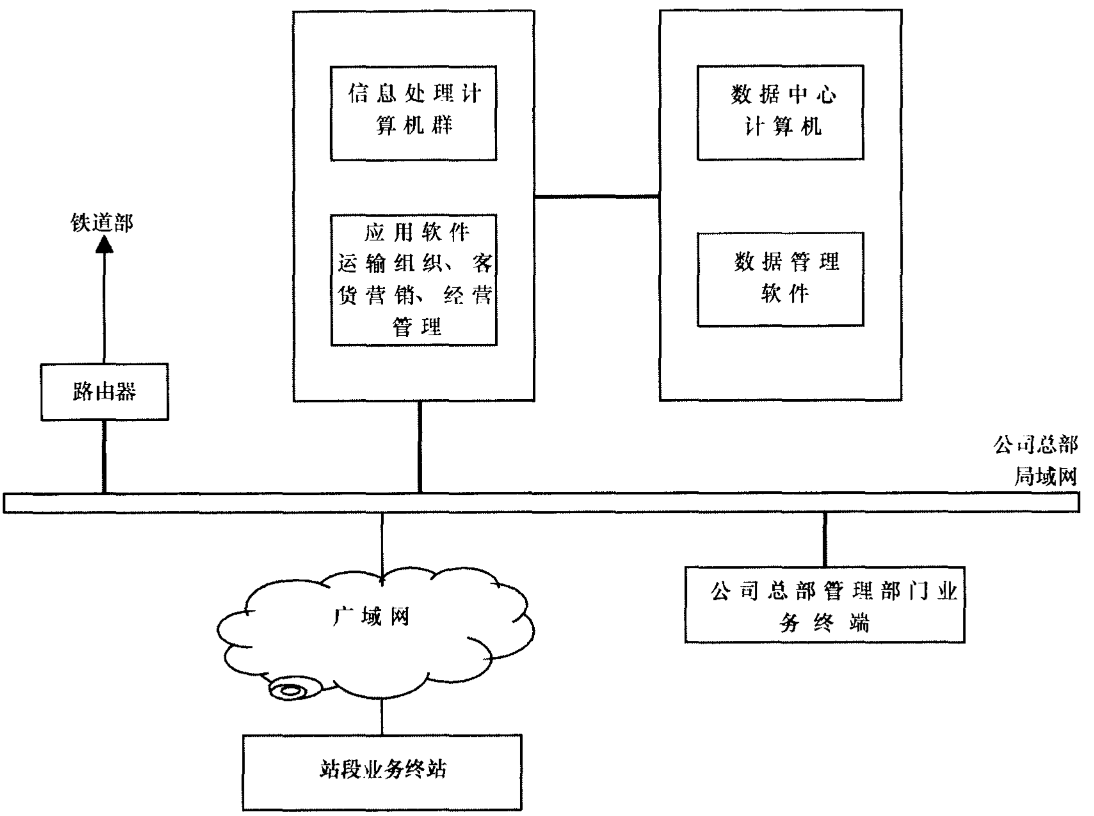


图 2　青藏铁路公司信息系统总体结构示意图

在公司总部局域网结构设计中,以骨干交换机为核心来构造安全生产网、内部服务网和外部服务网区域。以防火墙作为边界控制的基点,实施网络的流量控制、质量保证服务。防火墙配合路由器实现传输优先级控制。在局域网网络骨干系统中所有设备采用冗余配置,以共享负载、互备方式运行,没有单点故障的问题。

站段局域网主要由交换机、各信息系统使用的终端/工作站组成,以 100M 交换为主干、10/100M 交换到桌面,不同的业务信息系统网络使用同一物理网络和通信链路。在同一局域

网中,可以通过在交换机上设置 VLAN,隔离不同信息系统。不同的业务局域网(如客票系统),也可以单独组网联接到路由器上,通过路由器接入广域网中,路由器具有防火墙的基本功能,可以安全隔离重要的信息系统。交换机连接到路由器上,再通过 2M 专线联接到公司总部,实现信息的上传下达。

根据青藏铁路公司的特点和信息系统的需求,站段上联公司基层网路由器的连网方式在设计时采用汇接星型联接的方式,既满足当前应用的需求,又符合将来发展的需要。当增加或关闭一个车站时,网络节点的接入或拆除较为方便。

6 集中式结构的分析

集中式结构是在公司信息中心建设处理中心和数据中心,所谓处理中心是对几十个应用系统而言,几十个应用系统都集中到处理中心的计算机进行信息处理,站段都不设服务器,在处理中心对每一个应用系统而言可以是一级系统,也可以是二级系统。以 TMIS 系统为例,除设置一整套车站综合处理软件,处理沿线各站的信息外,还有一套以追踪管理为核心的公司级系统,当然也可以将这两级系统融合成一级系统。每个应用系统在处理中心应尽量与其他应用系统共享同一处理设备,但也可能某个应用系统独享一台或多台处理设备,这些都决定于各个应用系统的软件结构、处理量和开发水平。

所谓数据中心是几十个应用系统共享一个大容量存储设备,用一个统一的管理软件进行管理。

6.1 集中式结构的优缺点

集中式结构的优缺点分析如下:

(1)优点

①便于软、硬件的日常维护和更新升级,站段基本实现免维护。这对青藏铁路是至关重要的;

②减少数据重复存放,节省数据存储空间,易于保持数据库的完整性和数据一致性;

③便于信息充分共享;

④受体制变化的影响小,有利于体制改革;

⑤节省设备,减少投资;

(2)缺点

①对计算机网络的传输能力和可靠性要求较高。根据青藏线的通信条件和运输业务量,传输能力可以满足要求;

②对处理设备的处理能力、存储设备的容量以及它们的可靠性要求更高。系统的可靠性影响全局,要求系统一旦故障后能迅速恢复。

6.2 技术难点及解决方案

(1)技术难点

①各应用软件按集中处理进行二次开发,尽量按一级系统开发,尽量做到多个系统共享处理设备,以减少处理中心处理服务器配置数量,提高处理器档次;

②处理中心的计算机群的结构设计问题;

③数据中心的数据组织、数据安全、数据完整、数据共享问题;

④网络的安全可靠如何适应集中模式的要求。

(2)解决方案

①应用系统二次开发可分步实施,若不能一步改造成集中式系统的,软件不变,可将服务器移至西宁信息中心集中管理,解决集中维护的问题;

②在公司信息中心配置高可靠的信息化服务器机群和具有完善数据管理、数据共享能力的存域网(SAN)存储系统,实现数据、服务器的冗余,提供不间断服务,在公司信息中心配置磁带库,制定备份策略,定期备份信息化的数据,以便于在出现问题时及时恢复;

③对格拉段车站的PC机、网络设备、打印机都配备成双机冷备方式,一旦PC机产生故障只需简单更换即可;

④青藏铁路公司的网络与Internet设置外部防火墙进行安全隔离,公司网站机器连接外部防火墙的DMZ区,与公司内部网和Internet都实施隔离,在外部防火墙上实施安全访问控制策略。

7 设备的配备方案

7.1 设备配置的原则

(1)先进:所配置的设备结构先进合理,适应不断变化的用户需求。

(2)适用:结合客户的具体情况,做有针对性的设计和配置。

(3)可靠:尽量选择国际知名的IT产品,适应青藏线要求免维护的特点。

(4)经济:配置既要先进,也要考虑投资,根据IT行业特点只考虑3~5年的发展需求。

7.2 设备配置方案

按照前面所述的全集中方式,拟采用如下图所示的硬件结构,克服目前信息系统存在的种种弊端。也就是在青藏公司总部根据需要设置处理机群(由若干台中、高档小型机和PC服务器组成)和存域网(SAN),在处理机群上运行青藏公司的所有应用系统软件(必须独立的除外),并共享存域网。各应用系统严格设置访问权限,对需保密的数据可将数据库加密。基层站段只设终端,通过公共计算机网络与公司总部的处理机群相连。对传输过程需保密的数据,在传输过程中可进行加密/解密(可使用硬件或软件)。

8 结束语

青藏铁路信息化是一项复杂的系统工程,它涉及运输生产和日常管理的各个部门、各个工种,涉及控制、管理、决策的全过程,它的建成将成为世界一流高原铁路的重要组成部分,也将成为全路最先进的信息系统。

青藏铁路公司信息系统的“总体方案”是由铁道部信息中心主持,铁道科学研究院、铁道第一设计院、北京交通大学、青藏铁路公司等单位参加共同完成的,本文撰写过程中参考和引用了“总体方案”的内容。文中错误难免,敬请批评指正。

青藏铁路事故救援指挥系统研究

王英杰　周慧娟　卢文龙

铁道科学研究院电子计算技术研究所

摘　要：通过对青藏铁路特点及运营维护模式的分析，本文提出了构建青藏铁路事故救援指挥系统的重要性。结合青藏铁路信息化总体规划，提出在充分利用青藏铁路各信息系统及通讯网络基础上，利用GIS技术和无线通讯技术，建设具有C^3I功能的青藏铁路事故救援指挥系统。提出了系统应达到的目标功能，结合青藏铁路生产作业实际情况提出了系统实现的体系结构、信息流程，并开发了具体的应用系统。系统可将青藏铁路多源信息整合并结合GIS技术以直观的电子地图、图像等方式展示出来，实现了救援预案管理和智能化查询、匹配；并通过应急无线通讯设备实现事故现场视频、图像实时播放及指挥调度与事故现场间的语音双向通讯，同时可建立事故数据库，为统计报告和事故分析服务。

关键词：青藏铁路　救援指挥　GIS　应急通讯

铁路行车事故和各类影响行车的自然灾害（风、雨、雪、洪水、地震等）一旦发生，将有可能造成重大人员伤亡、设备损坏、经济损失、影响正常行车或危及行车安全。铁路事故救援对于尽快消除事故对铁路运输的影响，尽可能的减少经济损失，保证线路畅通、列车正点运行均至关重要。事故救援是一项综合性业务工作，事故分析、救援、指挥、抢修等工作需要车、机、工、电、辆、安监等部门的协助解决，根据事故发生地点的实际情况并参考各种线路工务设备、电务设备、机务设备、车辆设备以及事故救援设备等状况，进行事故分析和抢修[1]，尤其是在发生特大、重大、大事故的情况下，更需要各个业务部门的配合和应急救援指挥部的正确指挥。因此沿线出现各种事故后，如何快速反应、科学地做出应急处理方案和正确高效指挥成为应急救援指挥部、安监、调度中心以及机务、工务、电务、车务、车辆等现场救援部门关心的重点。

青藏铁路地处高原气候、地质恶劣地区，海拔高、气压低、含氧少、冻土长、气温低、地震烈度高，夏季还经常发生雷暴、冰雹降雪等，且穿越无人区。这种地理环境条件一方面增加了发生行车事故和影响行车的自然灾害的可能性和频度[2]，另一方面，也决定了铁路沿线维护人员较少、救援队、救援列车只能驻扎在格尔木和拉萨，一旦发生特大、重大事故，救援工作的难度可想而知。因此，有必要借助先进的信息技术，设计和开发事故救援指挥系统，为青藏铁路事故救援指挥提供技术先进、反应迅捷、执行高效的手段。

1　青藏铁路事故救援工作特点

根据《青藏公司特别重大和重大行车事故应急救援预案》文件的规定，当青藏公司接到特别重大、重大行车事故时，公司成立应急救援指挥部和应急救援办公室，全面组织实施应急救援工作。青藏铁路全长1956公里，格尔木—拉萨1100多公里的区段内有多个无人职守车站，其间地层和地质构造复杂，途径冻土区内易发生融沉、冻胀、滑坍等地质问题，也存在风沙、泥

石流、落石、崩塌、风吹雪、地震等众多自然灾害安全隐患。救援队、救援列车只驻扎在格尔木和拉萨两端，一旦有事故发生，救援人员不可能快速到达事故发生点了解事故现场的具体地形地貌和设备情况，救援指挥部无法迅速及时做出科学合理的救援方案，只能等到到达事故现场后再做出决策，这样往往贻误最佳抢修时机，延长了恢复铁路正常运营所需的时间。同时，因为缺乏有效的通讯手段，在组织救援工作时，救援指挥部无法了解事故现场救援工作进行的实时状态，无法根据救援工作的实际情况调整救援策略和方案。

为解决上述问题，笔者提出应用GIS(地理信息系统)技术及无线通讯技术，构建具有现代化的指挥、控制、通信及情报(信息)管理分析技术手段的青藏铁路事故救援指挥系统，即具有C^3I(Command、Control、Communication、Intelligence)功能的青藏铁路事故救援指挥系统，以实现迅速了解事故发生地点的相关信息及事故现场的实时状况，并据此及时动态调整救援方案、处理救援工作中的紧急和突发事件，尽快恢复通车，减少事故带来的影响。

2 系统设计目标和功能

2.1 系统目标

保障青藏公司各相关部门如调度中心、安监委在行车事故的处理过程中，能快速、及时、准确地收集到相关信息，通过多种方式进行高效地沟通、为领导提供科学的辅助决策信息；能通过多种通信方式(网络、语音、视频)进行高效地沟通，高效组织救援工作；为事后的调查、处理，统计、分析以及各类报告的生成提供支持手段，即为青藏铁路的事故救援指挥工作提供一个具有各种信息综合查询、通信、指挥调度等C^3I功能的工具。

2.2 系统功能

救援指挥系统功能可以按事故发生、救援、处理的时间逻辑分为三个阶段，即事故发生时、救援指挥和事后处理，具体功能主要有以下几个方面。

(1)事故发生时

事故录入：一旦有事故发生，列车调度员接到事故报告后，必须立即填写“行车事故概况表”。系统应实现对“行车事故概况表”的快速半自动生成，使列车调度员可以增加、修改和维护该报表。

事故地点定位与报警：系统应提供事故自动报警和定位的功能，当系统接到事故报告时，在电子地图(如管界途、线路平面图)上自动高亮显示事故发生地点和事故类型，以声音等方式进行自动报警，提醒各业务部值班人员注意。

地理信息查询：提供地理信息的查询、设备的查询、现场图像及视频的查询、三维景观的查询和救援资源信息(主要包括救援列车、救援队、电话号码等)的查询，这些信息的可以了解事发地点、机车车辆及设备等相关情况，为救援决策提供支持。

预案及规定查询：系统应提供救援预案及规定的查询、匹配、显示功能。

(2)救援指挥

视频指挥调度：当发生特大、重大、大事故时，青藏公司成立事故应急救援指挥部，该指挥部驻守在调度大厅，调度大厅即成为一个指挥中心，指挥中心通过无线移动视频传输系统对事故现场进行可视指挥调度。在指挥调度时，被指挥者通过与指挥者对讲进行救援抢修工作，指挥者可以有选择地看被指挥终端的画面。

即时图片通信:可通过无线网络将事故现场的图片即时传输到指挥中心,指挥者通过高清晰的数字图片实时了解到事故现场的状况,更好地对现场情况进行判断分析,以做出正确的决策。

监控与对讲功能:各种终端的监控权限可根据上下级关系或业务关系进行设定。监控主要表现为两方面:一是可对青藏线事故多发、易发和重点地段的实时视频监控;二是利用应急指挥通讯对事故现场进行实时视频监控,获取信息。指挥中心值班员可通过此功能监控事故现场工作人员工作状态,监控救援进展情况,若需要双方可进行对讲。

(3)事故处理

专题图编辑与管理:提供专题图的编辑与管理。主要包括在事故处理工作中事故信息的编辑、查询和分析等,还包括事故相关专题图的编辑和管理,辅助生成事故处理报告。

事故记录存档:将所有发生的事故存入数据库,以便生成报表的随时按需查询。

报表管理:包括各种报表的输入、输出和管理。

(4)系统维护

系统安全权限的维护。

基础信息维护管理功能,基础信息是指由救援指挥系统来维护的一些字典表,如:救援列车、救援队、与救援有关的电话。

救援预案及规定:提供救援预案及规定的输入、编辑、修改、存储与管理。

3 系统结构

由于青藏铁路的全集中管理运营模式[3],青藏铁路事故救援指挥系统设计和实施采用全线全集中的方式,其网络结构如下图1所示。

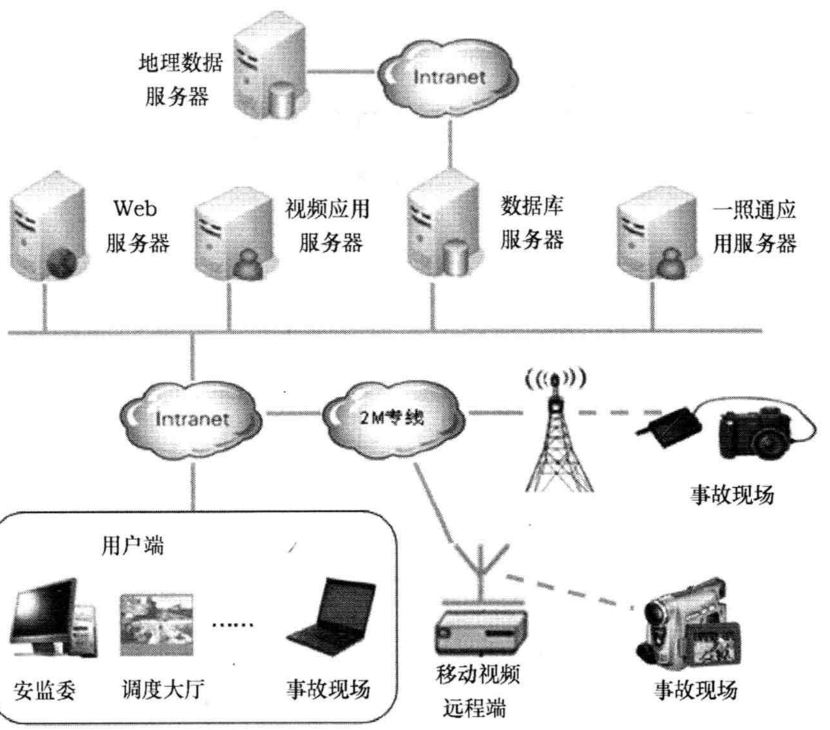


图1 青藏铁路事故救援指挥系统结构

救援指挥系统的地理数据从地理数据库服务器中获取，在数据中心存放 Web 服务器、数据库服务器、视频应用服务器。调度大厅、安监委、各业务部、各业务段、事故现场等用户端通过局域网的方式访问服务器，事故现场的视频和照片分别通过移动视频远程端和电信网络进入 2M 专线，进而传入局域网中。

4　信息流程

目前国内事故救援的处理工作主要由技术人员和领导干部依靠自身的技术和经验进行综合分析，并参考各种线路工务设备、电务设备、机务设备、车辆设备以及事故救援设备等信息，进行事故分析和抢修。因此，青藏线事故救援指挥系统必须能充分利用青藏铁路信息系统[4]援指挥工作相关的各种信息，结合事故指挥系统自身的信息，为使用者服务。

救援指挥系统自身的信息源主要包括列车调度员的事故概括表和各种指令信息、事故现场的视频、照片和语音信息，外部信息源主要是从数据中心数据库中获取的铁路沿线基础空间数据、工务、机务、车辆、电务等专业部门的数据，这部分数据与数据中心数据更新保持同步，当有事故发生时，需要从安全监控系统和气象系统中获取相应的信息。以上数据信息经救援指挥系统分析、处理后再提供给安监委、各业务管理部门、各专业基层站段和事故救援现场负责人员。信息流程如图 2 所示。

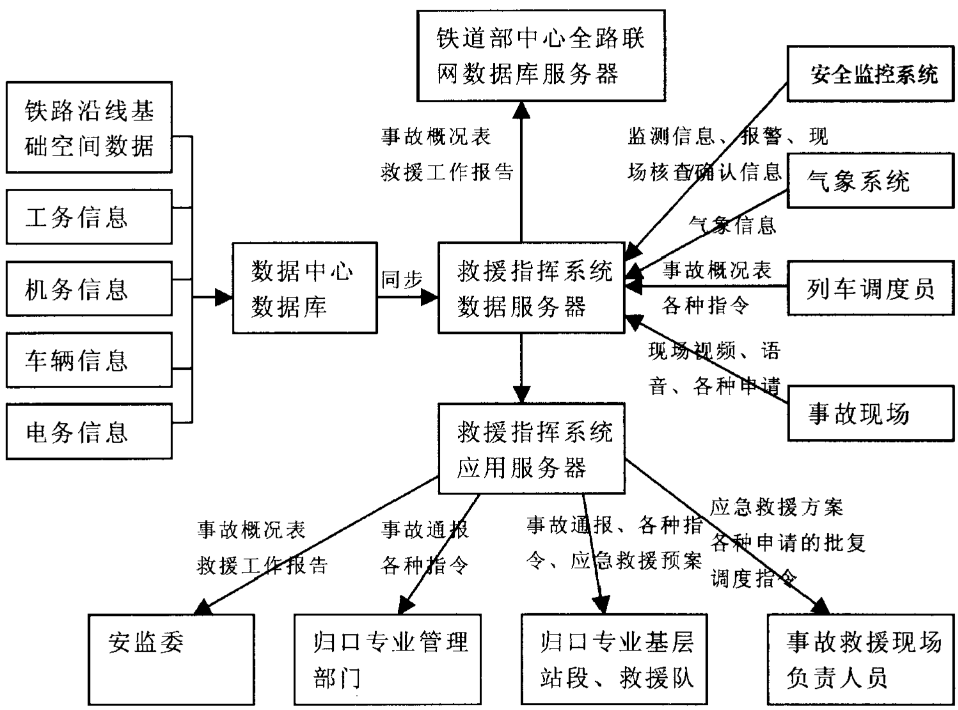


图 2　救援指挥系统信息流程

5　系统实现

地理信息系统(GIS)技术在铁路上已有很多成功应用[5]，应急无线通讯技术也广泛应用在军队、公安、交通等指挥中。根据系统的设计思想，应用 GIS 技术和应急无线通讯技术，结合生产实际情况，现已开发原型系统。系统实现了以下功能：

信息整合展示：铁路事故救援是一项综合性业务工作，事故分析、救援、指挥、抢修等工作

需要车、机、工、电、辆、安监等部门的协助解决，需要参考铁路相关不同业务系统的信息，本系统可将多源信息整合并结合 GIS 技术以直观的电子地图、图形、图像等方式展示出来；

救援预案管理和智能化查询、匹配；

应急通讯与系统的集成：通过应急通讯设备实现事故现场视频、图像实时播放及指挥调度与事故现场间的语音双向通讯技术，并将其集成到系统中。

历史事故管理：建立事故数据库，为统计报告和事故分析服务。

该系统的主界面如图 3 所示。

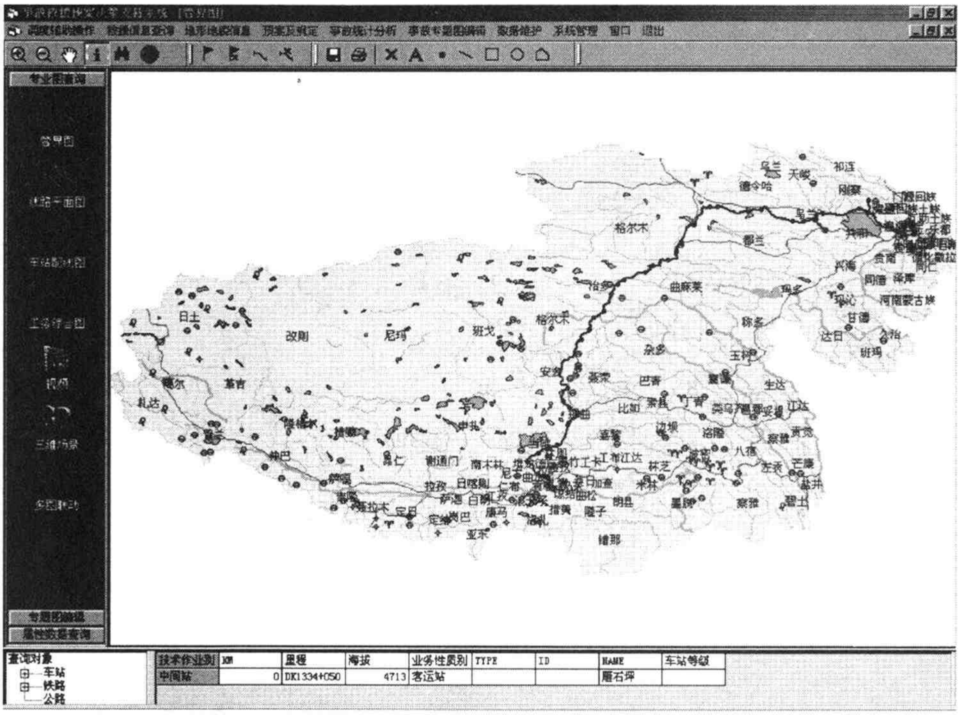


图 3　系统主界面

6　结论

通过对青藏铁路事故救援现有工作条件和工作方式的分析，本文提出构建具有 C^3I 功能的青藏铁路事故救援指挥系统，提出了系统应达到的目标功能，并结合青藏铁路运营管理维护模式及青藏铁路信息化总体设计，提出了系统实现的体系结构和信息流程，并开发实际系统。该系统采用先进的信息技术、GIS 技术，并将其与应急通讯设备等进行完整的系统集成，实行统一指挥和调度，可实现跨部门、跨地区以及不同事故类型之间的统一指挥、协调一致。通过 GIS 技术整合铁路相关专业的业务数据，为救援指挥人员提供丰富直观的决策信息支持；结合无线应急通讯设备实现事故现场视频、图像实时播放及指挥调度与事故现场间的语音双向沟通；应用数据库技术，实现对事故的管理和存储，以便为深层次的事故分析服务。系统可以提高应急救援指挥的效率，提高对重大突发事件的快速反应能力和科学决策水平。

参 考 文 献

[1] 王启峰,强化铁路事故救援组织工作的实践与思考[J],铁道运输与经济,2001,23(8) pp. 34 - 36

[2] 肖贵平,聂磊,禹志阳,青藏铁路行车安全保障信息系统研究[J],中国安全科学学报,2002 年 6 月,12(3)pp. 46 - 50

[3] 青藏铁路公司信息系统建设总体方案研究项目组,青藏铁路公司信息系统建设项目总体方案[R],2005 年 1 月

[4] 黄庆贵,王鹏,青藏铁路管理信息系统的规划与创建,冰川冻土[J],2003 年 8 月,25(suppl 1)pp. 162 - 168

[5] 王英杰,贾利民,秦勇,王东锐,地理信息系统在铁路上的应用[J],中国铁道科学,2002 年 10 月,23(15) pp. 23 - 28

基于工作流的青藏铁路建设管理调度系统

周春月　刘　云　安长智

北京交通大学电子信息工程学院

摘　要：本文在 WfMC 的工作流参考模型的基础上，以业务和工作流分层的思想为设计思路，实现了基于关系型数据库的青藏铁路建设管理调度工作流系统，并详细描述了工作流中相关的组织、过程模型、工作流引擎和相关的工作流接口。基于工作流的青藏铁路建设管理调度系统能够很好地适应目前青藏线的管理模式和业务环境，实现了动态管理，提高了工作的协同性，规范业务操作，很大程度上提高了指挥部的工作效率。

关键词：工作流　Petri 网　青藏铁路　过程建模

1　引言

青藏铁路建设工程由于受到高原特定地理、地质环境的制约，不论从技术上和管理上都存在很大的难度，需要研究和解决的各专业领域问题也不可避免地成为国内外广泛关注的一个热点。由于青藏铁路深远的政治、军事和经济意义，使得青藏线必须从工程建设管理、调度指挥到整条铁路的运营、控制等方面实现全面的信息化，而准确地分析和认知客观环境和管理运输特点对于实现这一目标十分重要。

相比于内地其他的铁路线路，青藏铁路需要管理的领域多，总指挥部不仅要负责管理铁路的建设，同时还要关注地理测试数据，环境测试信息，人员医疗保障等多类型事务。青藏铁路建设涉及二十多个建设单位，十多个工程监理单位和多个科研和设计单位，且人员流动性和变化性都比较大，相比于内地铁路分层次固定化的行政模式，加大了管理难度。在铁路建设过程中，总指挥部负责的业务变化较频繁，在建设的不同阶段各有不同的业务范畴和重点工程，并且各个工程局之间交互的资料纷繁复杂。同时，青藏铁路在修建过程中不断引进一些新的管理理念和施工工艺，从管理的角度来讲，许多地方需要进行实时的管理和协调。恶劣的自然条件给施工和管理都带来了全新的挑战，业务变化快、人员流动快、技术资料更新快等实际管理活动特点决定了采用常规的管理手段和方法已经很难满足工程建设的需要，因此亟待开发高效率的建设管理调度系统，借助于现代化的通讯、网络和管理手段来保证青藏铁路工程建设管理的规范化和科学化。

工作流技术是进入 20 世纪 90 年代以后信息技术应用领域的一个新的研究热点，它是一种过程建模和过程管理的核心技术，目的是在正确的时间能够将正确的信息传递给正确的人，从而完成正确的业务流程，达到提高办事效率、降低生产成本、提高企业生产经营管理水平和企业竞争力的目标。所以，建设基于工作流的青藏铁路建设管理调度系统是符合青藏铁路建设实际需求的，而且也是可行的。本文将从工作流的基本概念出发，分析青藏铁路建设管理实际，设计基于工作流的建设管理调度系统。

2 工作流技术概述

工作流管理系统是一项快速发展的技术,工作流的概念起源于生产组织和办公自动化领域。工作流管理联盟将工作流定义为:企业业务流程的全部或部分自动化。因此,工作流技术的主要特点是过程的自动化处理,这些过程包含由人与以机器为基础的活动相结合,特别是对那些与 IT 应用程序、工具交互的过程,进行自动化处理。

为了能够更好的支持企业经营管理过程建模、分析和实施,适应市场多元化的趋势,实现工作流技术的标准化和开放性,从而支持异构工作流管理系统与产品之间的互操作,1994 年 11 月,“国际工作流管理联盟”(WfMC)发布了工作流管理系统的参考模型(如图 1),该模型定义了一个基本的工作流管理系统所需要的 6 个基本组件,并制定了各组件之间的应用管理工具和编程接口,为不同的工作流管理系统间交互操作提供了快速有效的集成解决方案。这与青藏铁路的部门间交叉业务多,系统间数据访问频繁等特点相符,因此,设计和实现基于工作流的青藏铁路建设管理调度系统必须以标准的参考模型为基础。

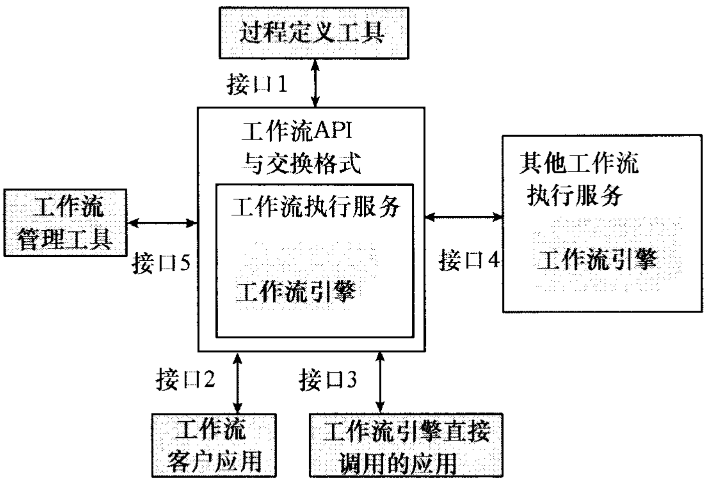


图 1　工作流管理系统参考模型

该模型以工作流执行服务组件为核心,它借助于一个或多个工作流引擎(工作流机),激活并解释过程定义的全部或部分,并同外部的应用程序进行交互,完成工作流过程实例的创建、执行与管理,为工作流程的运行提供一个环境。因此,工作流引擎的设计就成为实现基于工作流的青藏铁路建设管理调度系统的关键。

3 系统设计思想

结合青藏铁路的实际建设情况,我们来分析开发基于工作流的建设管理调度系统的特点。首先,从青藏铁路管理调度的业务来看,无论是新旧业务,都是基于工作流的,也就是说可以根据实际业务事先设定一个工作流模型,让计算机按照这个模型来进行工作流程的导航。这样在由于引入新的管理方法或管理侧重点转移导致原有业务流程发生变化时,只要更改这个工作流模型或者创建新的工作流模型就可以满足实际业务。其次,工作流模型定义了工作流程,通过工作流引擎自动地将工作导航给相对应的工作人员,这样就对一般的工作人员屏蔽了业务规则,从而减少了人员流动对管理系统的影响。最后,工作流管理技术可以与其他应用系统有效地结合,生成符合企业需求的各种业务管理系统,如办公自动化系统、项目管理系统、客户

关系系统、供应链管理系统等，并且在业务发生变化时快速进行重组来满足实际需求。

下面将详细介绍青藏铁路管理调度系统的分层体系结构、工作流引擎和建模方法。

3.1 青藏铁路建设管理调度系统的分层体系结构

基于工作流的青藏铁路建设管理调度系统的核心问题是搭建一个以工作流技术为核心的管理调度平台。在这个系统中，工作流技术是整个系统的支撑基础。在 WfMC 给出的工作流系统模型中，工作流引擎和业务是融和在一起的，通过工作流相关数据和定义业务应用的接口来实现对关键业务的集成。因此，在 WfMC 模型中工作流引擎部分是占主导地位的，业务应用系统是工作流的一个可用资源，处于被动地位。但是这与青藏铁路建设管理调度系统需要频繁增加新业务系统的特点存在矛盾。为了解决这个问题，在参考 WfMC 模型的基础上，我们采用了下面的思路来实现整个系统：将业务应用从工作流模型中剥离出来，形成单独的业务层。这样，将原来的模型分为两层，工作流层和业务层，工作流层是 WfMC 模型中剥离工作流相关数据和应用调用后剩下的部分，负责工作流模型的定义和工作流引擎的实现等功能，同时给出业务系统调用的接口；业务的具体实现放在业务层中，通过调用工作流层给出的接口将业务模型和工作流程嵌入到业务系统中，实现对具体业务的自动导航。在新模型中，业务层是整个系统的支撑系统之一，但它只是提供工作流程的导航；工作流不再是主动的调用业务系统，而是业务系统集成工作流系统，可以说，在新模型中业务系统是占主动地位的。图 2 给出了青藏铁路管理调度系统的体系结构图，层之间的箭头代表接口调用。

根据计算体系结构的发展，在系统软件实现上，我们采用三层结构来实现系统功能，即数据层、业务逻辑层和表现层。数据层为后台数据库，存储工作流模型的相关数据和业务系统的数据；业务逻辑层负责整个业务系统的具体实现和工作流系统中的逻辑控制，是系统的核心部分；表示层为应用的客户端部分，它负责与用户进行交互。图 2 中外层的虚线框包含了各层所含有的模块。

3.2 青藏铁路建设管理调度系统的工作流引擎

目前工作流引擎的设计有两种不同的理念，一种是工作流系统中对不同的应用（包括应用数据）进行统一的表示，但是利用这种所谓灵活的工作流系统开发出来的应用在实际运作过程中反而表现不灵活。另外一种相反趋势是，应用的逻辑仍旧由专用的应用开发工具去完成，工作流引擎只管理工作流相关的控制数据，对应用数据只提供必要的关联手段将其与控制数据联结在一起。青藏铁路管理调度系统工作流引擎的设计采用后一种思路，实现基于关系型的工作流引擎。

从技术角度来说，工作流系统中的数据模型、与引擎相关的各种控制数据都可以存储在关系数据库系统中，并且可以利用触发器和各种 DML 语句灵活监控状态流变化和操纵数据，通过数据库复制、机群等解决系统的安全性。使用关系结构来表达工作流引擎中的数据模型可以降低工作流引擎开发过程中的技术难度和工作量。

从开发应用系统的角度来看，将青藏铁路建设管理调度关键业务的信息存储在数据库系统中，在同一数据库环境下为开发和应用提供一个基于关系结构的工作流引擎，而且这个工作流引擎所提供的功能可以方便地嵌入到应用的开发环境中，则可以降低开发应用的难度。

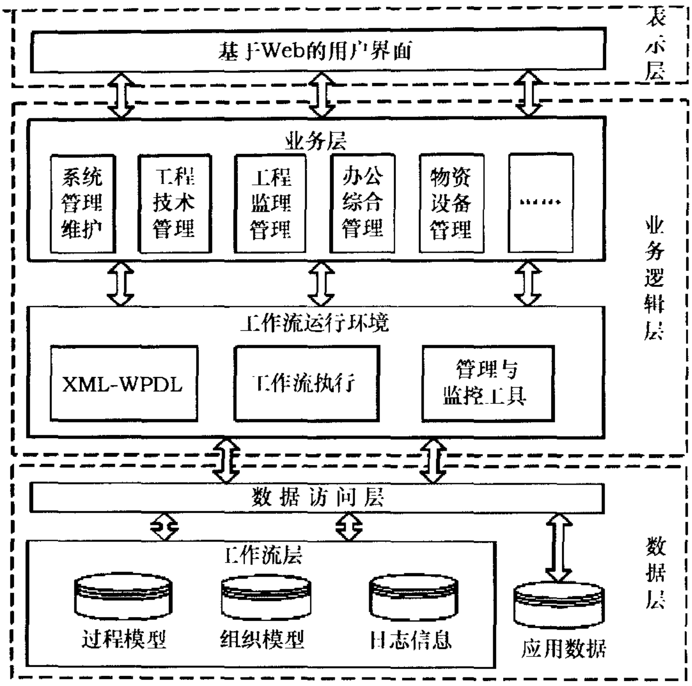


图2　系统体系结构图

3.3　青藏铁路建设管理调度系统的工作流建模

工作流建模是工作流技术中很重要的组成部分,通过一系列的过程定义,利用操作、事件、触发条件等过程因素,构造工作流模型,从而实现对现实流程的关系抽象。因此说,工作流模型是整个工作流系统的灵魂。目前工作流建模的方法有很多种,如数据流程图(DFD)、角色流程图(RAD)、IDEF 系列、时间流程链(EPC)、Petri 网等。这些过程建模方法又分为基于事件和基于状态两种。

Petri 网是一种基于状态的建模方法,通过严格的语义和图形语言明确定义模型元素的状态,而且它的演进过程也是基于状态驱动的。使用基于状态的建模方法进行工作流过程定义在许多方面要优于基于事件的过程定义,对于青藏铁路管理调度系统来说,最主要的优势在于基于状态的过程定义具有更多的柔性特征,适合于青藏线业务不断变化快,部门及人员变化频繁,系统间交互数据量较大等特点。比如能够动态地修改流程实例、可以实现与其他工作流系统的互操作性、对异常情况作出响应等。而且,由于系统采用了数据库来实现工作流引擎,组成模型的元素数量将不再是影响系统的问题,在青藏铁路管理调度工作流系统中,我们将业务数据与工作流系统剥离,这样就可以用 Petri 网更专注于工作流模型的设计了。

4　工作流引擎的具体实现

工作流执行任务中的工作流引擎是整个工作流管理系统的核心,工作流引擎包括数据模型和控制模型,数据模型又分为组织模型和过程模型两部分。控制模型是引擎的控制中心,工作流接口给出业务系统调用的接口。

4.1 工作流引擎组织模型

组织模型描述的是企业或者部门的组织机构关系。青藏铁路建设管理调度工作流系统中，组织模型由五种实体组成，分别是“人员”、“部门”、“职务”、“角色”和“工作组”。在数据库中的主要表有 Person、OrgUnit、Unit、Duty、Role 和 Group。Person 表中 OrgUnit、Duty、Roles 和 Group 是指向相应表的外键，从这些外键的关联可以得到个人所属单位、角色等信息。Roles、Group 进一步扩展了组织模型的建模能力，在进行任务指派时，可以通过角色、工作组等不同的方式进行。各组织模型实体间的关联如图 3。

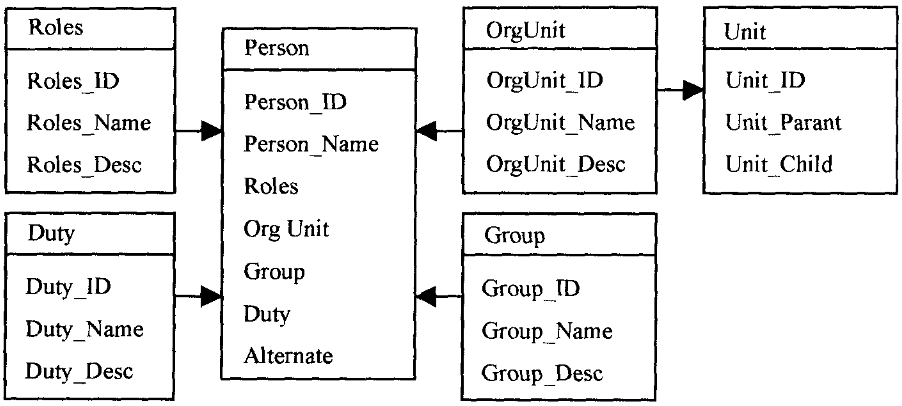


图 3 组织模型

4.2 工作流引擎过程模型

过程模型定义工作流引擎中所用到的各种控制数据。过程模型的形式化描述由静态说明和动态说明两部分构成，静态说明给出工作流的组成元素和组成元素间的相互关系，动态说明给出该模型的运行规则和瞬时状态。

下图给出了数据库中活动的表示方式，由于篇幅有限，这里只解释表的涵义，省略表字段的内容。过程属性表(PROCESS)存放活动基本信息；活动基本属性表(ACTIVITY)存放活动的属性信息；活动类型表(ACT_KIND)描述了活动的类型和参加此活动的人员；转移限制表(TRAN_RES)描述后续工作流的工作逻辑；任务指派规则表(ASSGN_RULE)指派活动的执行人员；任务队列表(DOING_TASK)记录那些已经创建但尚未完成的任务；过程列表(DOING_PROCESS)记录已经创建但尚未完成的过程实例。每个业务过程(Process)由若干业务活动(Activity)组成。不同的业务活动通过各不相同的 ACT_ID 来唯一标识，ACT_KIND 则指明相应活动的类型，同一个业务活动在工作流运行时可能具有多个实例(instance)。由过程模型图 4 中可以看出，ACTIVITY 与其他表之间存在的联系。

4.3 工作流引擎控制模型

控制模型是工作流引擎的控制中心，控制模型将组织模型和过程模型有机地结合在一起，根据过程模型定义的业务规则对过程中的各项活动的流转以及任务指派等工作进行控制和协调，推动业务流程的演进。工作流控制模型的核心是调度中心，按照作用不同，调度中心又可分为过程管理、活动管理、依赖检查、任务指派、路由转发和委托检查六个部分。

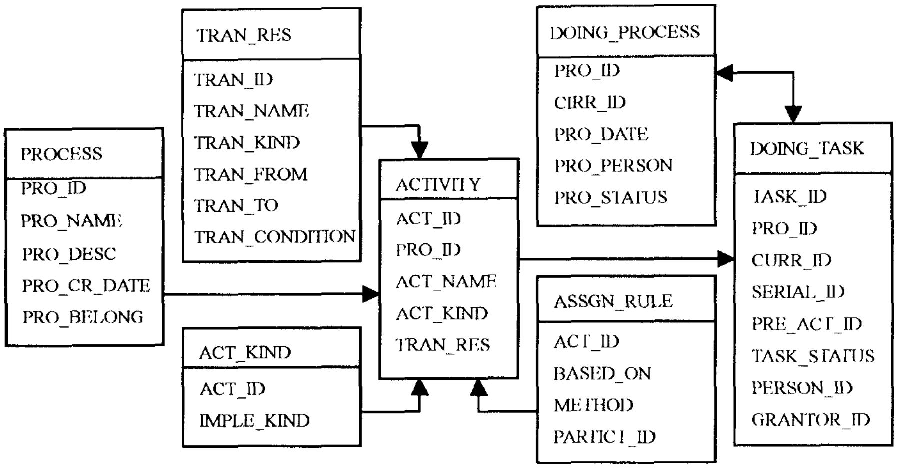


图4 过程模型

工作流引擎的数据模型是基于数据库的表和视图来描述的，而控制模型则是基于数据库的存储过程、包和触发器等内部控制技术来实现。调度中心接受从外部接口发送过来有关流程控制的请求，然后根据不同的请求类型调用相应的处理模块来完成与本次请求相关的操作并将结果返回。在青藏铁路建设管理调度系统中，采用 Oracle 作为工作流系统数据库，使用 SQL 语言在数据库内部定义存储过程、包和触发器等函数来实现工作流的控制模型。

4.4 工作流引擎接口

工作流引擎在数据库内部完成了工作流模型的定义和逻辑控制，实现了工作流程的导航。对于业务系统、过程建模工具等数据库外部应用程序和系统来讲，这些实现是透明的，所以，工作流引擎必须提供丰富的接口，使建模工具能够将过程模型导入到数据库中，并在需要修改模型时能访问数据库；对于系统管理和监控部分则要提供管理所有内部数据的能力；对于业务系统，提供接口将业务系统结合到自己的业务系统中，并且完成对业务系统的工作流导航。

青藏铁路建设管理调度系统工作流引擎的接口部分分为过程定义输入输出接口、客户端函数接口和系统管理接口，采用存储过程、函数和包来实现，对于需要返回值的接口采用函数实现，对不需要返回值的接口采用存储过程，然后按照接口功能的分类，将这些存储过程和函数以及要用到的变量用包进行封装。青藏铁路建设管理调度系统工作流引擎接口是用数据库自身的编程语言定义在数据库中，所以对使用这些接口的程序语言没有特殊的要求，应用系统可以根据实际情况选择调用这些接口的方法。例如可以使用 ODBC、JDBC 连接数据库，使用 JAVA、C 语言或 SQL 来调用接口。

5 结束语

本文以 WfMC 的工作流系统为参考，设计和实现了基于关系型数据库的青藏铁路建设管理调度工作流系统，并详细描述了工作流中相关的组织模型、过程模型、工作流引擎和相关的工作流接口。在业务建模方面，突出了一种形式化的 Petri 网模型构建方法和一种便于计算机实现的表示方法。业务系统通过对工作流接口的调用，实现了基于工作流的青藏铁路建设管理调度系统，应用工作流技术能够很好地适应目前青藏线的管理模式和业务环境。该系统作为铁路建设系统中第一个以工作流技术为核心的信息管理调度系统，具有重要的实践和探索

意义，该系统的应用使青藏总指挥部实现了动态管理，提高了工作的协同性，规范业务操作，很大程度上提高了指挥部的工作效率。

参考文献

[1]Workflow Management Coalition:The Workflow Reference Model. WfMC - TC00 - 1003, Technical Report, http://www.wfmc.org,1995.

[2]Workflow Management Coalition Interface 1:process definition interchange and process model, WFMC - TC - 1016 - P, http://www.wfmc.org, 1999.

[3]范玉顺. 工作流管理技术基础. 北京:清华大学出版社. 2001.

[4]李伟平，范玉顺. 工作流技术在 ERP 系统中的应用. 高技术通讯, 2004 年 8 期.

[5]陈传波，刘黎志. 一个基于 Web 的工作流引擎及其实现. 计算机工程与科学, 2004 年 11 期.

[6]汪冬，韩玉民，张红福. 基于 Petri 网的工作流管理系统的设计与实现. 广州航海高等专科学校学报, 2004 年 2 期.

青藏铁路综合信息利用平台的设计

孟嗣仪　刘云

北京交通大学电子信息工程学院

摘　要:本文分析了青藏铁路建设的特点,从青藏铁路信息系统共享需要出发,提出一个基于浏览器服务器模式的综合信息共享交换管理平台的建设方案,并对方案的实现方法进行了分析。方案的建设与实现可对青藏铁路信息系统中的各种数据进行统一管理和共享,使青藏铁路信息资源、设备资源的各项功能得到有效的利用,对未来的运营安全、运营指挥、运营效率提供可靠的支撑。

关键词:青藏铁路　共享　交换

1　青藏铁路建设管理的特点和遇到的问题

青藏铁路是一项超大型基本建设工程,青藏铁路的成功实施在中国乃至世界铁路铺设历史上都是一个划时代的里程碑。但是由于青藏铁路建在高原冻土区,青藏铁路建设与运营有以下几个与其他铁路建设运营不同的特点:

(1)通讯、交通条件恶劣,信息交流困难。由于青藏铁路的特殊地理环境,使得各级工程管理部门之间的通讯和交通非常困难,平时建设管理中所常用的报表、报盘、现场视察等管理方式将难以广泛使用。使得青藏总指与各个工程局之间的信息传递非常困难。

(2)参与人员多,流动性大,管理复杂。由于青藏铁路任务的艰巨性,参与青藏铁路建设的单位包括青藏办、工程设计单位、施工单位等。工作人员都是从各个单位抽调过来的,不可避免的存在人员流动大的问题,这种现象影响了管理工作的执行。

由此可见,在青藏铁路的建设中,采用常规的管理手段和方法很难满足工程建设管理的需要,因此急需使用现代化的建设管理信息系统,借助通讯、网络和管理手段来保证工程管理的规范化和科学化。

2　建设青藏铁路综合信息利用平台的必要性

2002 年,我们在对青藏铁路总指挥部进行调研的基础上。组织开发了青藏铁路建设管理与调度指挥系统。目前各个系统和子系统都已经开发完毕并安装在青藏铁路指挥部使用,系统运行正常,在一定程度上提高了青藏铁路建设管理的现代化水平,加快了办事速度,加强了工程施工单位和指挥部的实时联系,对工程顺利进行起到了巨大的推动作用。

但由于青藏铁路相关人员流动性过大,没有固定的系统维护人员和使用人员,导致部分系统没有得到充分使用。同时,由于施工单位多,各信息系统不可避免的会出现信息重合情况。在信息系统没有共享管理的情况下,重复录入给各施工单位、使用单位带来了巨大的工作量。例如:人力资源管理系统中设置了人员管理模块,存储人员的详细信息,但是在档案管理系统、财务管理系统、办公自动化管理系统中同样需要人员信息,因此,在所有系统中都要设置人员

管理功能，录入人员信息，这种情况不仅造成了功能和数据的冗余，数据一致性也无法保证。为了使现有的系统在青藏铁路的建设和使用中发挥更大的作用。开发一个基于浏览器服务器模式的综合信息共享交换管理平台，对系统中的各种数据进行统一管理协调就显得十分重要。

建设综合信息共享交换管理平台，能够以类似 FTP 定位的方式搜索各个系统的数据，并定位到数据所在系统，显示相关信息；支持站后各个管理系统的信息综合利用，为领导决策支持服务。目前青藏铁路各部门已根据需要建立了相应的信息系统，办公自动化系统也在筹集之中，具备了构筑基础信息平台的硬件条件和一定的软件基础条件。因此，研究青藏铁路综合信息利用平台是可行的和必要的。平台的建立将为今后青藏公司的运营维护信息系统的开发提供规范的标准和接口。同时将青藏铁路建设中的相关计算机管理系统推广到其他线路应用，实现“数字化铁路”的伟大目标。

3 青藏铁路综合信息利用平台基本功能与框架

青藏铁路综合信息共享交换管理平台的基本功能是：能够整合青藏铁路各信息系统现有几种不同的数据库，进行异构数据交换；并可根据用户需要定制数据交换方式，甚至批量交换数据，实现原始数据的多次复用。

实现综合信息共享与交换有三种方法，其一是采用数据库复制技术来实现。主要是在数据交换平台的服务器上设计一种结构的数据库，将来自青藏铁路建设管理及其他各信息系统数据库中的车票信息、客流信息、车辆监控信息、行车信息、轨道信号信息、车站监控信息、温度湿度信息、线路监测信息、控制信息等基础数据信息复制到这个数据库中，并且开发青藏铁路信息搜索引擎和智能数据交换引擎，搜索相关数据并送至需要的地方。

该数据交换平台的数据库设计可采用 Oracle 数据库，数据库配置完成后，首先将需要在数据交换平台上使用的青藏铁路各信息系统数据库的数据复制到此数据库中，之后再使用数据库的作业管理机制，自动地、定期地从主表更新数据。结构如图 1 所示：

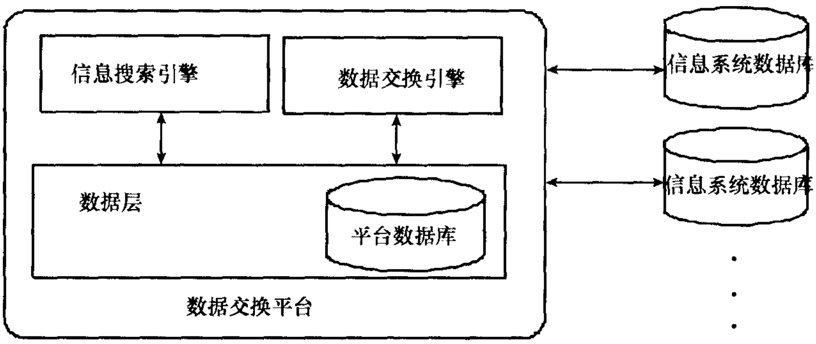


图 1　采用数据库复制技术实现数据交换

数据库复制技术实现数据交换主要包括变化捕捉和变化分发两个关键环节。变化捕捉需要定义一系列查询，主要包括以下步骤：

①建立复制环境，确定哪些主表将被复制到数据交换平台上的数据库；

②在数据交换平台的数据库中，建立复制用户和复制的数据库链路；

③在被复制的数据库中建立所有主表的更新日志，更新日志是支持快速更新的关键；

④在数据交换平台的数据库中，使用数据库链路建立快照；

⑤在数据交换平台的数据库中，建立快照的更新组，定义更新时间和更新间隔，将需同时更新的快照加入一个更新组中；

⑥授予需使用快照的用户对快照的查询权限。

变化分发是以上过程的一个反向的过程，当用户将数据交换平台的数据库中信息交换修改后，数据库会自动将修改结果发回原被复制的数据库，更新数据。

其二是采用规范化统一接口实现信息系统数据交换，即制定接口规范，在此基础上对青藏铁路建设管理及其他各信息系统中各数据源的数据库进行相应接口的开发，使青藏铁路建设管理中的各系统可在数据交换平台的底层进行安全保密通信。数据库传来的数据由于其结构的多样性，在格式上必然也存在多样性。规范化统一接口技术实现信息交换要将不同信息系统数据库的数据转换成统一格式的数据，再进行交换，并且可以将交换后的数据转换成相应数据库的数据格式，传回给数据库。

此种设计的数据交换接口分为两层：格式转换层和数据控制层。格式转换层通过服务器的请求来识别数据库类型，然后调用相应的格式转换器，将请求的数据库数据转换为相应的统一数据格式，然后返回给服务器。在格式转换层中将外来数据的表现形式卸下，将需要进入交换系统的数据转为统一数据格式文件，传给数据控制层。交换完毕，从服务器传来统一数据格式文件，传入数据控制层，从数据控制层传出的数据，在格式转换层中根据其相应数据库的特性加上特定的表现形式，然后通过传给数据库。整个结构如图 2 所示：

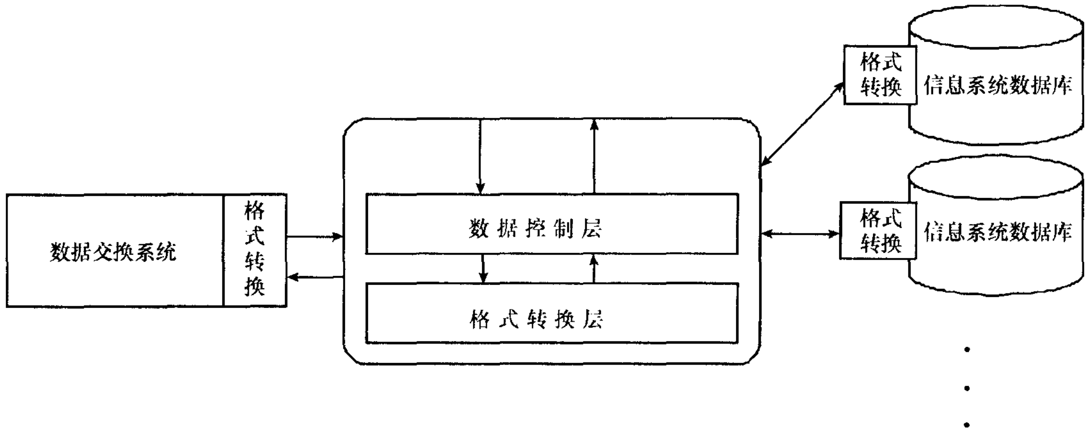


图 2　采用规范化统一接口实现信息系统数据交换

第三种方法是采用 XML 技术和 J2EE 开发数据框架和交换引擎实现信息系统数据交换。这种方法需要根据调研得到的数据类型、层次的相关信息等，构建 XML 动态数据结构，并开发相应的数据结构管理工具和基于此结构的交换引擎。同时，针对青藏铁路建设管理及其他各信息系统中的各数据源系统开发相应接口，使各系统可进行异构数据的交换，如图 3 所示。

此种设计思想下，该数据交换平台主要分两个部分：客户端与服务器端两部分。客户端安装在多台主机上，服务器端程序部署在专有的应用服务器上，并且建立一个本地数据库，存储必要的数据。客户端与服务器端连接，通过 Https 和 XML 传递数据，服务器端与现有各信息系统数据库连接，并可直接访问，而客户端与各信息系统数据库并不直接相连。该数据交换平台基于 J2EE 标准构建，采用 XML 作为数据传输标准，并通过 JCA 与各种资源、数据源连接以实现方便灵活的数据转换和资源整合。帮助用户建立统一的数据传输和数据交换规范，实现异

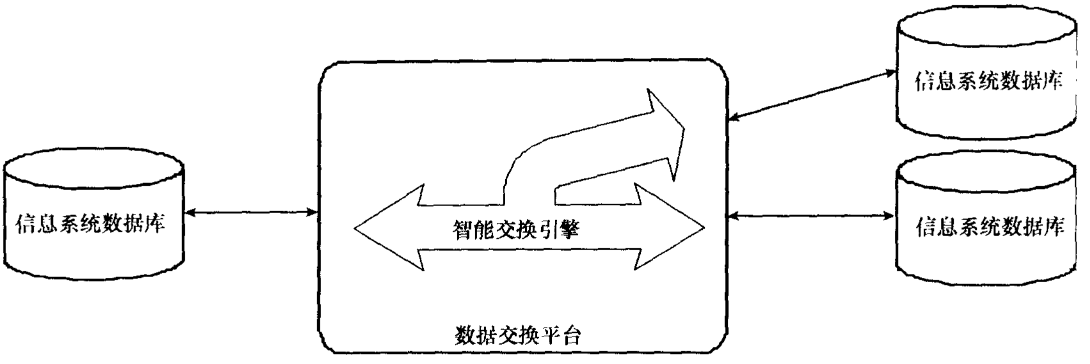


图 3 采用 XML 技术和 J2EE 开发数据框架和交换引擎实现信息系统数据交换

构信息的高度共享和综合利用。该数据交换平台是一个基于标准的,具有良好扩展性的开放平台。系统主要具有以下几个特性:

①支持多层架构,将表示层、业务层、数据层分开;

②支持各种类型的数据库,可以实现多数据库交换;

③支持端到端的数据交换功能;

④提供分布式、事务性数据信息处理功能;

⑤提供可视化工具实现源数据与目标数据的交换功能。

开发综合信息共享与交换平台可以把分布于多个控制系统、信号系统、建设系统、车载系统和行车线路中的行车安全数据集中存储和处理,有助于及时了解行车过程中的安全问题和安全隐患。一旦发生问题,通过统一的平台系统可以迅速的获得现场数据,根据系统以往数据和信息提炼有效的措施和方案,及时组织各方力量抢险和救灾,最大限度的降低损失。

4 结束语

对青藏铁路建设规划中已经建设的基础层、业务层、应用层和决策层的管理信息系统的多元数据的整和,提高了已有数据的利用率,提高企业自身管理水平和对外服务质量,有助于企业制定策略和实施成本控制等。它的建设与实现,可使青藏铁路信息资源、设备资源的各项功能得到有效的利用,对未来的运营安全、运营指挥、运营效率提供可靠的支撑,使运营经济能够持续、稳定、飞速地发展。

青藏铁路给排水集中监控系统简介

张文斌

铁道第一勘察设计院环境设备处

摘　要：青藏线运营管理的特点是运营维护定员少、维护管理区域大、环境恶劣，因此，集中监控信息化系统非常适合于维护管理工作的要求。

关键字：给排水　信息化　集中监控　无人化

青藏铁路是修建在世界屋脊的高原铁路，其中格拉段在平均海拔4500米左右，由此带来了建筑工程上的冻土、高寒缺氧和生态脆弱三大难题，这三大难题为今后运营管理带来许多新课题和新难题。由于生态条件恶劣，技术人员缺乏，必须采用先进的运营管理模式。为了实现铁道部党组明确提出建设一流高原铁路的“三项具体要求”，即全线旅客列车时间压缩到最短、全线设备实现“免维修”、沿线基本实现“无人化”管理的要求，给排水工程在设计中大量采用新技术、新设备。这些新技术、新设备的使用将使青藏铁路成为世界一流的高原铁路。

1　给排水集中监控系统简介

青藏铁路沿线有人值守的车站均设有给排水设施，为了实现铁道部党组提出的沿线基本实现“无人化”管理的要求，各车站均设给排水集中监控系统，根据给水排水维护管理工作的任务和要求，给排水管理信息系统应在给排水设施设备资源管理、设备安全生产、管理维护流程、技术资料及图物一致管理等方面实现信息化，其中部分功能应达到智能化的程度。对于不同的维护管理人员，系统所提供的用户平台、输出结果应具备先进性、可用性和简便性。

该系统由三个子系统组成，即中控子系统、通讯子系统和现场监控子系统（包括：水源井现场监控子系统；给水所现场监控子系统；污水处理站现场监控子系统等）。各现场监控子系统通过无线通讯方式和工业现场总线与中控子系统构成星型网络结构，系统结构遵循“集中管理，分散监控”的集散系统原则。本系统的关键设备采用双机热备的方式，以适应青藏铁路高寒、高海拔及无人值守的运行环境。

2　中控子系统

中控室子系统设在给水所。可通过中控机图形界面，实时监控各现场监控子系统的工作情况，完成打印报表等。中控子系统中控机采用双机热备份，工作中主中控机，无论因为何种原因，只要其停止工作，则热备份中控机即自动感知并自动开始运行以代替主中控机的所有功能。

具体描述如下：

（1）工控机硬件系统

①采用质量可靠、功能足够的主流机型。

②采用在线式1000W智能UPS不间断电源，在机房突然停电时可临时供电以保存数据。

(2)工控机软件系统

采用监控系统软件(双机热备份版)实现以下功能:

①软件界面和运行方式。软件采用电子地图的形式将系统的各个工艺环节全部按不同的地理位置显示在地图上。各工艺环节的所有设备参数和工艺参数均通过该环节的现场实景图的形式显示出来,电压、电流、压力等在实际工作中,可表盘显示的参数均可在软件中的模拟表盘上如实动态显示,水位信号也可通过在软件中的模拟实际构筑物,如水井、水池,并以观察液面动态改变的形式直接得到。

②实时监控功能。在软件的各个界面,以图形、表盘指针等动态指示的形式或数据报表汇总的形式将系统各个环节所测量的设备参数和工艺参数显示出来。当需要手动开停泵时,可通过鼠标点击相应水泵的开停按纽,即可实现,与此同时系统将自动打印开停泵的时间、泵的位置及当时的设备参数,并显示手动操作。

(3)报警及自动处理

系统软件对现场的异常情况报警,及自动采取必要的处理措施。

(4)历史数据查询

系统软件可将所有采集到的数据自动存盘保留,并供查询。

(5)实时数据曲线

系统软件可实时跟踪各种参数的变化曲线,以便比较。

(6)管理报表

系统软件可根据采集到的各工艺环节的扬水量、电量、泵开时间等参数,自动进行汇总并生成日报和月报。

(7)系统安全

操作人员上岗前必须首先进行用户登录,经系统核实密码并认证通过后才能进行开、停泵等重要操作,同时系统屏幕上将显示操作人员的姓名。

(8)数据上传

可与上一级信息管理系统进行数据交换。

(9)双机热备份

双机热备份软件实时监测主监控计算机运行状态,无论何种原因,只要工作机失效,备份机即自动运行,全面接替其工作,并声光报警。

2 通讯子系统

(1)无线通讯

无线通讯基站安装于中控室内,用于中控子系统与水源井现场监控子系统进行数据交换。无线通讯自控设备均应设防雷装置。

(2)工业现场总线通讯

通过工业现场总线将中控室附近的给水所现场监控子系统和污水处理站现场监控子系统所采集的所有设备参数、工艺参数传给中控机,并将控制命令传给现场监控子系统。

(3)通讯接口

可与上一级信息管理系统进行数据交换。

3 现场监控子系统

各站给排水工程设有水源井现场监控子系统;给水所现场监控子系统;污水处理站现场监控子系统。

3.1 子系统的构成

现场监控子系统由测控终端(RTU)、仪表和电气执行机构组成,分述如下:

(1)测控终端(RTU)

采用可编程逻辑控制器(PLC)为控制核心。

测控终端(RTU)应可同时支持现场总线通讯、无线通讯和电话线通讯方式,亦即RTU应支持通讯热备份技术。

测控终端(RTU)应具备本地监控功能,即RTU不需中控子系统干预即可完成安装现场的监测、保护、逻辑控制和闭环控制等功能。

中控子系统可远程设定所有测控终端的报警、保护整定值等设备管理参数,而无须到各个RTU安装现场设定。

RTU采用模块化结构。

RTU应具备严格的防雷保护功能达到20kA。

RTU应具备温控保温功能。

RTU通过数字线路直接接受温度传感器数字信号。

(2)仪表

包括:压力变送器、水位计、电磁流量计、温度传感器、电流变送器、电压变送器、防盗巡检装置等。

在满足高寒、高海拔的环境要求下,可将电流、电压、压力、液位、温度等物理量转换为4~20mA信号,并达到监控系统的精度要求。

(3)电气执行机构

包括电机软起停控制柜、变频控制柜、电控阀门、消毒设备等。其与测控终端和仪表一起,满足给排水工艺要求。

3.2 各子系统的功能

(1)水源井现场监控子系统

主要采用无线通讯方式监控深井潜水泵,实现下列功能:

- 采集水泵的三相电压、三相电流、电量、泵状态、累计开泵时间。
- 深水井水位。
- 潜水泵扬水管的压力、流量。
- 对潜水泵泵进行五重保护:过(电)压保护;过(电)流保护;缺相保护;三相不平衡保护;空抽保护。

(2)给水所现场监控子系统

采用工业现场总线通讯方式监控变频供水设备;二氧化氯消毒设备的运行;实现下列功能。

- 采集各水泵、阀门的三相电压、三相电流、电流频率、电量、泵状态、累计开泵时间。

- 设定供水压力值。
- 采集给水所扬水管的压力、流量。
- 对各泵进行五重保护：过（电）压保护；过（电）流保护；缺相保护；三相不平衡保护；空抽保护。
- 对给水系统二氧化氯消毒设备的运行过程进行全面监控。

（3）污水处理站现场监控子系统

采用有线通讯方式对污水处理站的污水处理设备运行过程进行全面监控，实现下列功能：

- 采集污水处理设备各水泵的三相电压、三相电流、电量、泵状态、累计开泵时间。
- 对污水处理设备各泵进行五重保护：过（电）压保护；过（电）流保护；缺相保护；三相不平衡保护；空抽保护。
- 监控曝气、滗水器和搅拌装置运行。
- 控制反应池两格交替进水切换，自动完成进水、反应、沉淀、出水和待机等 5 个基本过程。
- 监测 pH 值、水温、水位、流量、溶解氧、COD 等。

基于 GSM-R 的青藏铁路移动信息化建设

周　琦[1]　曲　博[1]　蒋文怡[1]　刘启钢[2]

1　北京交通大学现代通信研究所

2　北京交通大学交通运输学院

摘　要：青藏铁路作为亚洲第一条完全基于 GSM-R 的试验铁路，解决了传统模拟移动通信系统在铁路数据通信中的不足，为铁路移动信息化建设提供了良好平台。笔者通过参与青藏铁路试验段 GSM-R 及 GPRS 网络测试工作，总结了青藏铁路 GSM-R 网络建设的成功经验，介绍了铁路移动信息化建设的构架，重点对移动信息化建设内容和功能等方面进行了探讨，以便对青藏线和中国铁路信息化建设提供有益的参考，加快铁路移动信息化进程。

关键词：GSM-R　青藏线　移动信息化建设

1　背景

GSM-R（铁路移动通信全球系统）是专门为满足铁路应用而开发的数字式无线通信系统。由于传统的通信技术系统没有解决好列车与地面之间数据传输的影响，铁路的移动信息化建设一直没有突破性进展。随着 GSM-R 在青藏线建设和测试工作的完成，标志着 GSM-R 在铁路信息化建设中取得了成功的应用。与此同时，其他铁路线（如大秦线）的 GSM-R 网络建设也在如火如荼的开展。

青藏铁路 GSM-R 试验网工程是我国在铁路信息化领域迈出的重要一步。青藏线 GSM-R、GPRS 移动通信网络不仅是移动信息化建设的基础，而且是青藏铁路移动信息化的重要特色。青藏铁路 GSM-R 网络的成功建设，彻底解决车地数据传输通道的问题。在车地之间架设了一条实时的、永远在线的数据传输通道，使得车地之间能够及时、准确地进行信息的交互和处理，提高了铁路行车的安全性。由于青藏线恶劣的自然环境，需要把沿线车站及区间的信息通过无线网络传输到指挥中心的各服务器系统。下面就青藏线的移动信息化建设总体构架进行介绍，并对建设具体内容和功能进行探讨。

2　总体构架

青藏铁路移动信息化以 GSM-R 网络及相应服务器为核心搭建。图 1 为移动信息化建设总体构架，包括列车、车站及区间信息系统、传输系统和地面服务器系统。

2.1　列车、车站及区间信息系统

通过各种传感器、检测设备等实时采集列车、车站及区间的有用信息，并执行地面服务器系统传来的操作指令等。

2.2　传输系统

通过无线方式对采集的信息进行传输。GSM-R 终端通过无线网络将采集到的信息传到

GSM-R/GPRS 网络,最终通过应用网关服务器传到地面服务器系统。传输系统是移动信息化建设的关键,主要包括移动终端到地面服务器的信息传输和地面服务器到移动终端的信息传输。

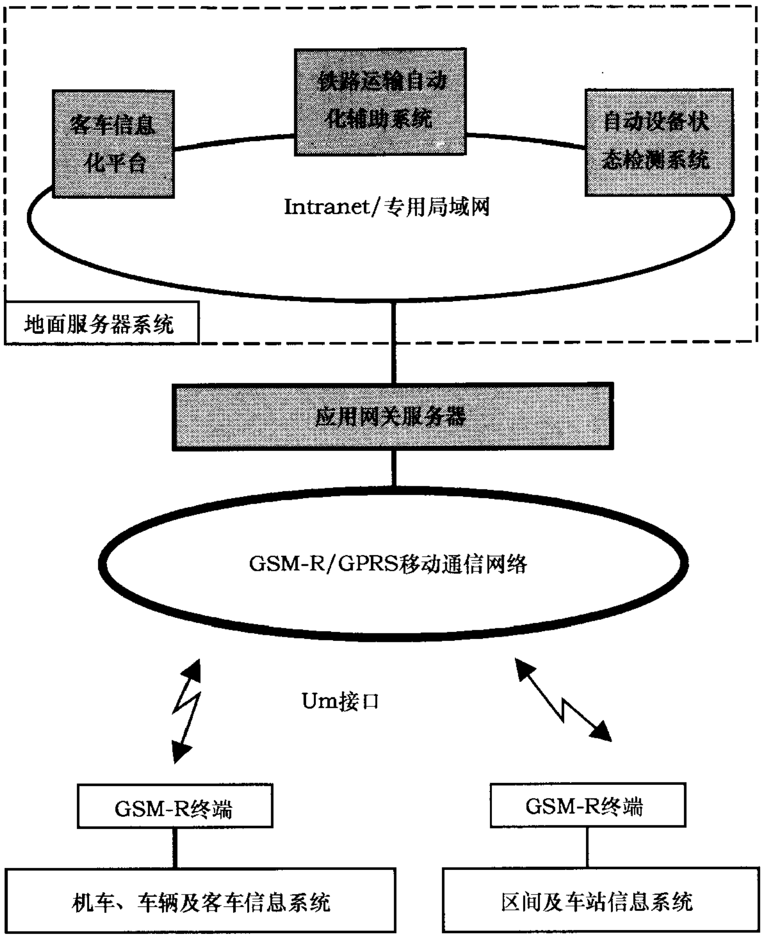


图 1 移动信息化建设总体构架

(1)移动终端到地面服务器的信息传输

通过车载通信设备或相应的移动终端收集各自的应用数据包,按照规定的格式封装,传到地面的应用网关服务器。应用网关服务器根据数据包的应用类型转发到相应的应用中心。

(2)地面服务器到移动终端的信息传输

通过应用中心将要发送的数据包加上目的地信息(车次号、机车号或其他特定于具体应用的方式),然后发送到应用网关服务器,由其转发到相应的移动端,再由移动端根据数据包的应用类型转发到各自的应用端来实现。

2.3 地面服务器系统

地面服务器系统通过专用局域网相连。各服务器具有显示信息、存储信息、产生日志文件、如遇到紧急问题产生告警信息、可以对列车、区间及车站信息系统进行管理、指挥和远程操作的功能。

3 移动信息化建设的内容

根据青藏铁路高海拔、自然条件恶劣的现实情况，要想将青藏铁路建设成世界一流高原铁路，信息化建设必须要实现以下功能：提高铁路运输生产效率、提高客运安全、设备维护自动化、信息资源共享、数据分析自动化、监测告警智能化和为旅客提供人性化服务等。

随着青藏线 GSM-R 网络的建设，数据传输通道的问题已经彻底解决，下一步要解决的问题是开发上层应用服务系统。

下面对青藏线移动信息化建设上层应用服务系统通过三个方面展开讨论，并进行可行性分析。随着青藏线信息化建设的逐步完善，上层应用也必将日趋完善。

3.1 自动设备状态检测系统

通过系统状态检测设备开发可以有效地对青藏线各系统的运行状态进行监测、检测，提高设备维护生产效率，减少人员维护，提高系统的安全性和可靠性。根据青藏线实际情况可以在以 GSM-R 为核心的信息平台上进行以下系统的开发研究。

(1) GSM-R 场强覆盖、无线电磁环境远程监测系统

无线环境是一个开放的环境，而且中国的 GSM-R 频段又是铁道部与中国移动通信公司共用的频段。为了保证 ITCS 的运行，在青藏铁路上必须对 GSM-R 无线场强覆盖、无线电磁环境进行不间断的监测，力争及时、尽早的发现问题。

每一台机车综合通信设备能够实时采集覆盖电平信息和 GSM-R 网络参数信息，并传送给场强覆盖、电磁环境远程检测中心；在沿线每一个车站设置一台 GSM-R 信号监视终端，实时采集覆盖电平信息；中心服务器就可以实时监视沿铁路线的场强覆盖分布、通过对比车站及列车两个方面的信息，就可以实时监视 GSM-R 网络是否受到干扰。如果出现弱场强区段或被干扰区段，则自动告警，自动生成报告。

(2) ITCS 通信监测系统

ITCS 是青藏铁路列车控制的核心系统，对保证青藏线生产运输安全起着极其重要的作用。对 ITCS 传输系统各接口的监测在生产实际中有着重要意义，可以实现故障快速的诊断以及责任认定。

通信监测系统可以通过连续不断地检测 ITCS 与 GSM-R 交换机之间的接口，实现在地面集中监视 ITCS 与 GSM-R 网络互联互通的情况。及时反映设备的工作状态，为事故的事后分析提供第一手材料。车载通信监测设备独立于 ITCS 设备，对 ITCS 车载设备与 GSM-R 网络的空中接口进行监视，监视结果通过机车综合通信设备传递给服务器，以便地面分析和生成报告。

(3) GSM-R 机车综合通信设备出入库检测系统

每一台机车综合通信设备在开机出库和入库关机之前，能够自动检测自身的工作状态，将检测结果传送给机车综合通信设备出入库检测系统。出入库检测系统记录每一台设备的出入库状态，自动生成报告。

(4) 桥梁、隧道监护系统

青藏线桥梁隧道众多，同时青藏线地质条件复杂，路基等受冻土影响严重。为保证铁路安全运行有必要对桥梁、隧道状况进行检测。通过压力、形变传感器对桥梁隧道进行实时监测，通过 GSM-R 网络将检测信息传给网管中心，确保桥梁隧道使用状况良好。

(5)铁路供电状态监视系统

青藏线电力供应状况直接影响青藏线运行。可以通过各输变线路的监测系统对供电系统各项指标进行监测，通过移动终端检测信息传送给供电状态监视系统，可以保证及时发现故障隐患，缩短抢修时间，同时也将减少人员维护提高生产效率。

3.2 铁路运输自动化辅助系统

GSM-R 系统的引入必将对铁路运输的模式产生深刻的影响。同时也将为铁路运输自动化建设提供有力的支持。根据铁路运输实际情况的需要，对铁路运输自动化辅助系统进行开发。主要有以下几方面内容：

(1)DTCS(调度命令、无线车次号、列车停稳信息)

DTCS 发出的调度命令通过应用服务器、GSM-R 网络、机车综合通信设备，传送给每一机车；相反地，无线车次号信息和列车停稳信息通过机车综合通信设备、GSM-R 网络和西宁或拉萨地面应用服务器传送给 DTCS。

(2)道口防护系统

道口防护系统确保无人道口看护。通过既有无线平台进行监视信息及控制命令的传输。其核心作用是确保沿铁路线的施工、轨道养护、平交道口与车辆、车站等人员及设备的安全，减少事故。

(3)列车无线防护报警系统

机车、车辆、集装箱等实时动态跟踪信息传输的需要，实时网上信息查询和各种管理信息系统提供移动传输通道。满足以移动列车为主体的安全信息分发与预告警系统的需要，调车编组作业。

3.3 客车信息化系统

青藏铁路海拔高、自然条件恶劣、人烟稀少、沿线基础设施建设不完善，为铁路客运提出了新的挑战。本着以人为本的思想，为乘客提供人性化服务是青藏铁路客运生产必须要解决的问题。通过无线 GSM-R 平台，可以有效地解决车地信息通信，为旅客提供更优良的服务。

(1)客车运行安全监测系统(TCDS)信息传送

TCDS 信息通过客车综合通信设备传送到西宁或拉萨，由地面通信服务器转送给 TCDS 地面中心。

(2)移动票务和旅客服务信息传送

这些信息通过客车综合通信设备传送到西宁或拉萨，由地面通信服务器转送给客票系统和旅客信息服务系统，形成固定与移动统一的信息服务系统。

(3)电台广播节目转发

青藏格拉段有很长一段处于无人区，为了方便旅客收听电台广播，并接收娱乐节目，在西宁设置电台广播和旅客娱乐转播中心，在每一列客车上，安装一台与车内广播系统相连的 GSM-R 接收机，每列车通过 GSM-R 系统就能收听广播节目和娱乐服务。从而实现一流高原铁路的一流服务。

(4)与紧急救助部门实现互联

由于在高原缺氧的环境下，如果列车上有乘客生病，病情很容易恶化，通过机车可以将此方面的情况及时地传到救助中心，联网诊断，如果能及时得到治疗，既减轻病人的痛苦，又可以

不延误病情。如果列车上无医药设备，可以通过网络将信息传输到下一个车站，准备相关的药物及医疗设备。

4 结束语

笔者参加了青藏线试验段 GSM-R 网络测试的现场工作，总结了青藏线移动信息化建设的成功经验与面临的实际问题。本文结合青藏线铁路系统的实际情况，研究了铁路移动信息化建设的构架，探讨了青藏线移动信息化建设的上层应用服务系统的具体内容和功能。

随着铁路建设的迅速发展，对铁路信息化水平要求不断提升，新技术的发展和应用也将为 GSM-R 带来更广阔的发展空间，中国铁路 GSM-R 及相关技术的发展必将推动全世界铁路通信的发展，让我们拭目以待。

参考文献

[1] 钟章队，李旭，蒋文怡等．铁路综合数字移动通信系统（GSM-R）[M]．北京：中国铁道出版社．2003 年．

[2] 李凯，张晓东．青藏铁路信号信息化系统建设方案初探[J]．中国铁路，2003 年 05 期．

[3] 徐龙．移动信息化：开启未来信息社会之门[J]．信息化建设，2002 年 07 期．

青藏铁路 GSM-R 通信系统场强测试及处理方法的探讨

陈　乐　王朋乐

北京交通大学电子信息工程学院

摘　要:论述了青藏铁路 GSM-R 场强测试的要求,讨论了场强覆盖测试中的关键问题,并介绍了几种测试和处理方案。

关键词:GSM-R　场强测试　覆盖测试

与公共 GSM 通信网相比,GSM-R 网络必须具有很高的可靠性,从而才能保证铁路运输的安全运行。在 GSM-R 的各个关键指标中,场强覆盖率直接影响到网络的通信概率是否能达到要求,从而在很大程度上影响了系统的可靠性。因此,场强覆盖测试在 GSM-R 系统中占有比在公网中更加重要的地位。

但是,如何对 GSM-R 网络的覆盖情况进行测试与评估,国内没有这方面的先例;公共 GSM 网中对场强测试的实践是很好的参考,然而 GSM-R 在场强测试方面和公网有很大的不同;EIRENE(欧洲铁路无线通讯增强集成网)对 GSM-R 场强提出了 95% 的覆盖概率要求,却没有详细的方案说明如何测试评估;欧洲在 GSM-R 建设中有很多方案和经验可以汲取,不过并不一定完全适用于青藏线的建设。这就需要我们研究 GSM-R 网络原理及相关知识,借鉴公网 GSM 场强测试方法和 GSM-R 场强覆盖测试在欧洲的实施方式,结合青藏铁路实际情况,找到行之有效的测试方案。

本文从场强覆盖测试要求、GSM-R 频段的电波传播特性出发,讨论了场强覆盖测试中的关键问题,并介绍了几种测试方案。

1　场强覆盖及其测试要求

为了说明的方便,下面把 EIRENE 和铁道部对场强覆盖的要求摘录部分。

EIRENE 针对不同的业务对 GSM-R 场强覆盖提出了不同的要求:

对于语音和非安全数据,规定门限电平为 -98dBm,要求场强达到 95% 的覆盖概率;

在 ETCS 2/3 级的铁路线上行驶速度小于或等于 220km/h 的情况下,规定门限电平为 -98dBm,要求场强达到 95% 的覆盖概率;

在 ETCS 2/3 级的铁路线上,行驶速度大于 280km/h,建议门限电平 -92dBm,建议覆盖电平达到 95% 的覆盖概率;

在 ETCS 2/3 级的铁路线上,行驶速度大于 220km/h 且小于或等于 280km/h,建议门限电平在 -95dBm ~ -92dBm 之间,建议场强达到 95% 的覆盖概率。

铁道部对青藏铁路场强覆盖概率的要求为门限电平 -92dBm,覆盖概率 95%。

可见,在场强覆盖要求中,有两个参数,一个是最小场强值(在本论文里我们称之门限

值)；另一个是最小覆盖概率，要求场强值大于门限值的概率不小于最小覆盖概率。在对测试数据进行统计后，得到的是覆盖百分比，当数据量足够大时，认为覆盖百分比近似等于覆盖概率。

如何对已有网络进行场强覆盖测试和统计，从而得到覆盖百分比，要考虑几个方面的问题。

首先，隔多远的距离采样一次。采样过稀，所得结果置信度不高，无法很好地反应客观情况；取样点过密，会造成人力物力的浪费。

其次，用多长距离内的数据来统计覆盖百分比，即统计窗口取多长。如果统计窗口过长，则会掩盖统计窗口内较长的弱场区，从而使评价结果好于实际情况。如果统计窗口过短，对于那些包含很短距离弱场区(距离很短所以不会影响正常通信)的统计窗口，会认为其不合格，从而使评价结果劣于实际情况。所以，选择合适长度的统计窗口在很大程度上决定了对网络覆盖情况的评价是否客观。在 EIRENE 对 GSM-R 场强覆盖的规范中，建议统计窗口为 100m。

上述两个问题第一个属于采集数据的问题，第二个属于数据处理的问题。下面从 GSM-R 频段电波传播的特点出发，先讨论数据采集中的关键问题，然后介绍数据处理方案。

2 电波传播特点

众所周知，青藏铁路 GSM-R 占用的频段为 930MHz ~ 934MHz(下行)和 885MHz ~ 889MHz(上行)。在覆盖测试中，我们只关心下行频段。该频段无线电波在传播过程中存在快衰落和慢衰落现象。

电波在传播过程中，除了直射波和地面反射波之外，还有传播路径中各种物体所引起的散射波。所以电波按多径传播，接收机接收到的信号是多条路径信号的矢量叠加。由于受多径影响，接收信号会在短时间里快速抖动，在短距离上出现大幅度降低。信号幅度变化符合瑞利分布，又称“瑞利衰落”或“快衰落”。快衰落严重衰落深度达到 20 ~ 40dB；虽然信号变化急剧，但是其中值场强的变化是很平稳的，称为“慢衰落”。慢衰落服从对数正态分布(即信号电平取对数后的值服从正态分布)。受到两种衰落的影响，GSM-R 频段信号在空间传播的典型包络如图 1 所示。其中的快衰落相邻谷点之间的距离可以近似认为是半个波长，对于 900MHz 频带，它约为 17cm。

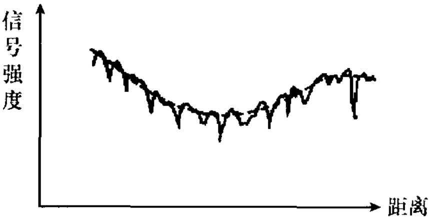


图 1 GSM-R 频段信号典型包络

根据信号传播特性，我们可以得知，为了反映场强覆盖的真实情况，需要充分考虑信号快衰落的影响，这就要求在进行测试时要保证所测数据能反应信号在快衰落低谷处的场强值，于是两个采样点之间的距离不能过大，否则会漏掉中间出现的快衰落值。由于快衰落的周期大体在 1/2 个波长左右随机变化，所以波长是选择合适采样间隔的重要借鉴。

3 数据采集方案中的关键问题

在确定数据采集方案时,最核心也是最困难的部分是确定采样间隔的问题;其次是如何实现所需采样间隔。本文将对以上两方面进行讨论。

3.1 采样间隔

在各种场强测试方案中,最根本的问题是确定采样距离间隔,即每隔多长的距离对场强采样一次。比如在 CW 测试(连续波测试)中,就按照李氏定律的要求进行测试。在欧洲的某些 GSM-R 网络场强覆盖测试中,采用了 6cm 的采样间隔。在我国 450MHz 无线列调系统中,使用 4cm 的采样间隔标准。

(1)李氏定律要求的采样间隔

William Lee 博士 1985 年发表了关于场强采样的著名论文,通过严格的数学推导给出场强采样的方案:在 40 个波长内采样 36 ~ 50 个点。处理时在 40 个波长的距离内将这些样本点做算术平均,得到的值作为局部平均值。这一标准在业界得到广泛应用,业界称为Lee's Criteria(李氏定律)。经过与 UIC(国际铁路联盟)GSM-R 项目组的沟通,我们得知在欧洲 GSM-R 网络的建设和维护中,场强测试的采样速率的最小值依据李氏定律制定,即要求在 40 个波长内,至少采样 36 ~ 50 个点。

对于 GSM-R 信号,取有代表性的频率 900MHz 为参考,其波长为:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.0 \times 10^8 \mathrm{m/s}}{900 \times 10^6 \mathrm{Hz}} = 0.33\mathrm{m}$$

根据李氏定律,采样间隔最大为:

$$d = 40\lambda/36 \approx 37(\mathrm{cm})$$

采样间隔最小为:

$$d = 40\lambda/50 \approx 26(\mathrm{cm})$$

所以,按照李氏定律的要求,对某频点的测试采样间隔要求在 26 ~ 37cm 之间。

一般认为,采样越密集越能反应真实情况,但是根据李氏定律,采样间隔不能低于 26cm,二者似乎有些矛盾。笔者认为,李氏定律之所以对采样点数做出如此严格的规定,是为了使 40 个波长内的样本值做算术平均以后的结果能准确地代表场强的本地均值。例如,在 CW 测试中,很关心本地均值,所以需要严格满足其要求,不能多也不能少。但是在场强覆盖测试中,我们并不一定非要知道场强的本地均值不可,而且我们关心场强的快衰落影响,因此采样间隔完全可以比李氏定律规定的小。另外,如前所述,快衰落的周期一般在半个波长左右变化,对于 GSM-R 的场强情况,该周期典型值为 17cm,26 ~ 37cm 的采样间隔采集到的数据可能存在对快衰落反映不充分的缺点。

(2)其他采样间隔

在欧洲 GSM-R 场强覆盖测试的实践中,有采用 6cm 间隔采样的方案。该值是在大量实测的基础上经过统计分析确定的经验结果,该结果是和当地的铁路环境密切相关的,是否能应用到青藏铁路场强测试上来,需要进一步研究。另外,我国在 450MHz 无线列调系统场强检测中,曾规定过采用 4cm 的采样间隔。该采样间隔对青藏铁路 GSM-R 场强覆盖测试也有很好的借鉴作用,但是 4cm 的采样间隔是否合适 GSM-R 系统,也有待深入的探讨。

3.2 触发方式

无论哪种测试方案,都存在选择时间触发方式或距离触发方式的问题。时间触发是指每隔一定时间(如几毫秒)让测试仪器对场强采样一次,这种方法得到的场强样本在时间间隔上是均匀的,但是样本本身不包含距离信息,因此适合对某一固定地点场强的长时间观测;距离触发的方式是让仪器每隔一定距离(例如,几十厘米)对场强采样一次,这种方法得到的场强样本在距离间隔上是均匀的,每个样本自身就代表了一段固定距离,能准确地反应场强随距离的变化情况。

对于 GSM-R 场强覆盖测试,需要考察的是场强随铁路沿线的分布情况,因此适宜选择距离触发的方式。但是,由于距离触发方式需要外接距离传感器,在某些测试车上又不具备此条件,从而只能采用时间触发的方式。在这种情况下,为了得到距离信息,可以让测试车尽量匀速行驶,从而使时间间隔均匀的数据在距离上也接近均匀。但是测试车在行驶过程中很难做到大致匀速,这会导致最后结果的误差过大。另外一种更好的解决方法是,在测试过程中也同时采集 GPS 信息,通过 GPS 信息定位场强数据的地理位置,从而较好地反映网络的场强覆盖情况。

3.3 测试工具

对 GSM-R 网络进行场强测试有两种测试设备可供选择:测试手机和专用场强测试仪。在 GSM 公网中通常用测试手机进行场强测试,但是,在 GSM-R 中是否也能利用测试手机进行场强测试,我们需要从测试手机的采样速度上来考虑。

手机对无线信号的测量是在 1 个 SACCH 复帧内完成的,1 个 SACCH 复帧由 104 个 TDMA 业务帧(480ms)或 102 个 TDMA 随路控制帧(470.8ms)构成。由于测试手机必须符合 GSM-R 的接口规范,所以其对信号场强的测试时间间隔为 480ms(专用模式)或 470.8ms(空闲模式),我们将以空闲模式为例来考察测试手机。另一方面,通过前面对距离采样间隔的讨论可知,距离间隔最大要求为 37cm。为保证 37cm 的采样间隔,必须要求测试车在 470.8ms 的时间内行驶距离不大于 37cm,因此测试车行驶的最大速度为:

$v = d/t = 0.37\text{m}/0.4708\text{s} = 0.786\text{m/s}(2.83\text{km/h})$

以如此低的行驶速度对铁路全线进行场强测试显然效率极低,实际中是不可能这么做的。因此需要采用专用的场强测试仪,以达到快速采集场强的目的。

另外,在其他设备中,必须考虑测试车距离传感器的精度,它直接决定了测试数据距离信息的精度。如果采用时间触发的方式,则要考虑 GPS 接收机的精度及其数据更新速率。

在青藏铁路试验段的场强测试中,采用了快速场强扫描仪及配套中文软件。不考虑距离传感器精度的情况下,在同时测试两个频点时,能达到 5cm 采样间隔的要求,在只测试一个频点时,能达到 3cm 采样间隔的要求,而车速最高允许到 100km/h 左右。

4 数据处理方案

采集到数据后,需要用合适的统计处理方案提取所需信息,从而达到对网络覆盖的正确评估。不同的数据处理方案得到的结果会不一样,甚至产生很大的差别。在实际的数据处理中,有多种处理方案可以借鉴。

首先,需要说明的是按照李氏定律对数据进行李氏平均的方法。即将被测全线按照 40 个

波长的距离等分成若干区间,对每个区间内的所有样本(36~50个)做算术平均处理,得到的平均值作为该区间的代表值。这种处理方法在传播模型的校正中被广泛采用,但是由于其处理结果是场强的本地均值,去掉了快衰落的信息,所以不能直接用来与要求的门限值做比较,统计合格率。需要采用别的统计方法来处理所测数据。

另外一种可以借鉴的方案是将100m的间隔作为一个统计区间,将测试得到的原始数据与规范中的门限电平做比较,并统计大于等于门限的百分比。若百分比达到要求值以上,则认为该区间合格;若百分比小于要求值,则需要再次处理,此时按照10m间隔将本统计区间划分为10个更小的区间,逐一统计10m区间内合格电平的百分比,若只有1个10m区间不合格,则说明在100m内只有10m的弱覆盖区,于是可以认为这100m的是合格的。否则认为这个100m区间不合格,需要对网络进行优化。

实际中还有其他许多种统计方法。笔者认为,无论哪种方法,其最重要的问题在于两方面,一是统计窗口的确定,二是如何适当地考虑快衰落影响。如前所述,遵循李氏定律的统计方法由于把快衰落的信息去除得很彻底,所以不适用于对场强覆盖进行评估。其他方法对此的处理也都各有可借鉴的地方。

5 总结

本文从场强覆盖测试要求、GSM-R频段的电波传播特性出发,讨论了场强覆盖测试中的若干关键技术问题,并介绍了几种测试方案,讨论了其中部分方案是否适用于青藏铁路GSM-R场强覆盖的测试。

GSM-R场强覆盖测试和评估由于在国内没有先例,有很多问题需要深入探讨和研究。我们希望本文能抛砖引玉,并期待对这方面的探讨更深入地展开。

青藏线光纤直放站网管系统及维护的探讨

陈晓宇　何　蓉　朱　刚

北京交通大学现代通信研究所

摘　要:铁路隧道内的 GSM-R 网络覆盖中,为了保证通信的可靠性,通常采用光纤直放站作为隧道的信号引入源。对于青藏铁路而言,沿线自然条件十分恶劣,所以对隧道直放站的远程监测和控制就显得尤为重要。本文将介绍青藏线试验段光纤直放站网络管理系统,重点讨论其网络结构和实现的功能。

关键词:GSM-R　光纤直放站　网管系统

1　GSM-R 无线系统概述

GSM-R 是 GSM for Railway 的缩写,代表铁路通信专用数字移动通信系统,是中国铁路移动通信的发展方向,该系统基于 GSM 的基础结构及其提供的电信业务,提供了铁路特有的基础业务,并以此作为一个信息化的平台,使得用户可以在这个信息平台上开发各种各样的铁路应用。GSM-R 在 GSM 蜂窝系统上增加了调度通信功能和适合高速环境下使用的铁路应用功能,能满足国际铁路联盟提出的铁路专用调动通信的要求。GSM-R 可以实现跨区域的高速和一般列车之间的通信,将现有的铁路通信应用融合到单一网络平台中。GSM-R 的优良特性已经在欧洲 MORANE 项目中得到测试和验证。我国青藏铁路将首次采用 GSM-R 通信系统,目前已开通了试验段,正在进行 GSM-R 系统测试与应用研究,GSM 新技术如 GPRS 也将在青藏线中使用。

2　GSM-R 试验段隧道覆盖系统概况

青藏铁路 GSM-R 试验段从格尔木至不冻泉,全长约 186km,为单线铁路,有三座隧道,分别为干沟隧道(234m)、昆仑桥隧道(417m)和昆仑山隧道(1680m),海拔高度为 3078 ~ 4800m。这三条隧道周边的地形较为复杂,电波传播环境较差,属于 GSM-R 系统的弱场区甚至盲区。由于 GSM-R 无线系统对网络性能的要求十分严格,为了解决隧道内的场强覆盖问题,采用光纤直放站作为信号引入源,隧道内采用泄漏电缆进行场强覆盖。测试表明,该方案可以很好的解决隧道内和路堑地区的场强覆盖问题。

3　直放站网管系统简介

光纤直放站原理如图 1 所示,主要由光近端机、光纤、光远端机(覆盖单元)几个部分组成。

光近端机和光远端机都包括射频单元(RF 单元)和光单元。无线信号从基站中耦合出来后,进入光近端机,通过电光转换,电信号转变为光信号,从光近端机输入至光纤,经过光纤传输到光远端机,光远端机把光信号转为电信号,进入 RF 单元进行放大,信号经过放大后送入发射天线,覆盖目标区域。上行链路的工作原理一样,手机发射的信号通过接收天线至光远端

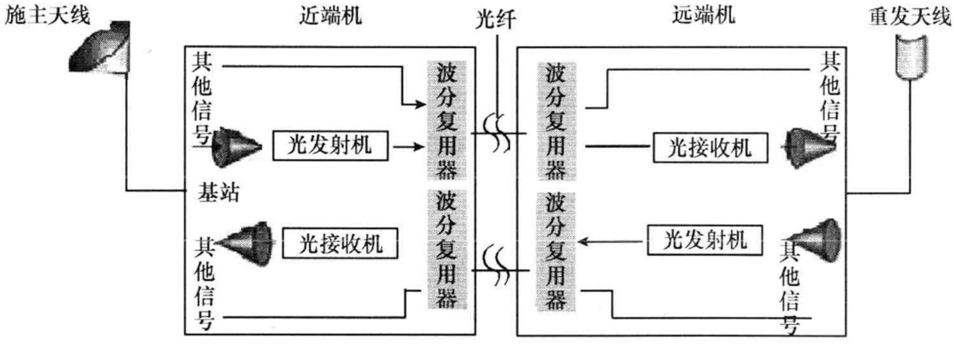


图1　光纤直放站原理图

机,再到近端机,回到基站。

青藏铁路网管监控系统,是以 GSM-R 系统为信息传输通道,以计算机网络技术、嵌入式系统开发、基于 PC 的 GUI 软件开发等技术为基础的一套专用、独立系统。

铁路隧道的直放站网管监控系统,对铁路通讯中所使用的近端光纤直放站和远端光纤直放站的工作状态进行监控,并在直放站出现故障时,自动发出告警信息,以便相关操作人员对直放站进行监测和维护。

光线直放站的本地监控主要通过 RS－232 接口与现场的便携式终端相连,完成对直放站设备的现场维护管理。

光线直放站的远程监控可以采用光纤数据传输方式、Internet 传输方式和 SMS/GPRS 方式。考虑到网络建设成本和可靠性,在 GSM-R 网络青藏线试验段中先后采用 GSM-R 短信(SMS)方式及 GPRS 网络传输平台方式。

网管软件采用以铁路实际线路电子地图为基础的图形化设计,能够实现告警和监视、查询和配置、故障管理以及遥控等功能,且具有良好的人机对话界面,方便管理,操作方式直观易用。

4　直放站网管系统网络结构

4.1　网络组成

根据青藏线项目建设方案的规划,试验段的直放站网管系统设备主要由两大部分组成:西宁网管中心设备、格尔木网管中心设备。网管服务器设置在西宁网管中心,同时格尔木和西宁的网管中心也各设一个网管终端,两个网管终端之间通过有线方式连接。

如前所述,青藏线试验段直放站的远程监控采用了短信 SMS 和 GPRS 的传输方式,如图 2 所示。

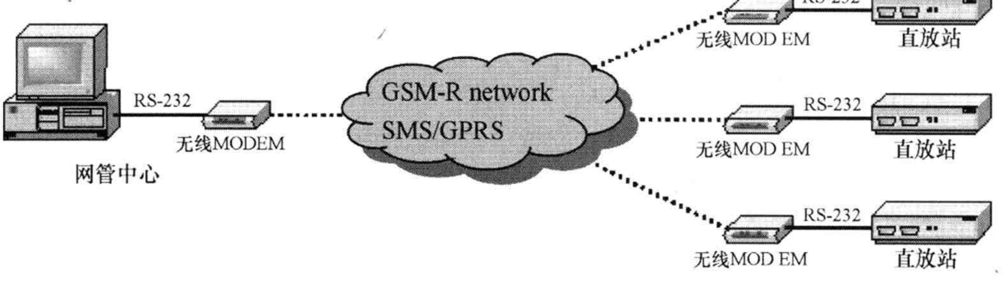


图2　短信平台或 GPRS 方式

4.2 采用SMS短信方式进行时的网络结构

采用短信方式时，在光纤直放站近端机内加装GSM-R通信模块（由于远端机的监测数据可以通过光纤传至近端机，所以远端机可以不设无线通道），网管信息通过该模块以短消息的方式发送至西宁的短消息中心，然后传送至无线交换中心（MSC），MSC和短消息中心以有线方式连接。

网管系统采用GPRS方式进行远程监控时，在直放站设备中安装支持GPRS数据传输的无线MODEM，而对于网管中心的数据收发有两种方法。一种是利用无线MODEM进行无线方式的数据传输，在网管服务器上连接无线MODEM就可以建立服务器与直放站之间的通信，采用无线Modem方式，需要为网管服务器上的无线Modem中所使用的SIM卡以及直放站一侧绑定一个IP，以便服务器与直放站之间建立GPRS的网络连接。

另一种是网管服务器采用以太网方式连接到GPRS网络中，同样需要给服务器分配一个固定IP。显然采用以太网的方式比采用无线连接的方式具有更高的可靠性，但是不够灵活，受空间限制较大。由于GPRS采用了分组传输技术，其数据传输速率高于电路承载的短信方式，所以其可靠性和实时性都优于短信方式。

在试验段测试中发现，采用发送短消息的方式查询、配置远端直放站时，延时较长，因为，网管信息先由直放站通过GSM-R网络发送至西宁的网管中心，再由网管中心发送至格尔木。由于短消息采用的是信令信道进行数据传输，而GPRS有专门的信道用来传送数据。因此相比较而言，采用GPRS方式进行远程监控不仅具有较高的可靠性和实时性，数据传输速率也较短信方式高。

青藏线全线投入使用后的直放站网管系统将综合考虑可靠性、稳定性、实时性和建设成本等多方面的因素，保证能够及时准确的将光纤直放站的报警和故障信息反馈到网管中心，并且能够通过该系统对全线的直放站进行遥控，除此之外还能够实现直放站的添加删除等管理、用户的管理、系统安全管理等功能，而这些功能的最终实现都要通过设在网管中心直放站网管软件来实现。

5 网络管理软件功能

直放站远程监控管理软件，在整个隧道覆盖系统中具有重要作用。它是完成远程监测、维护、管理光纤直放站的重要手段。由于特殊的地理条件，在青藏线正式运营后，对光纤直放站的远程监测、远程控制将主要通过对网络管理软件的观测和操作来完成。具体主要完成以下功能：

（1）告警和监视功能

主要包括门禁告警、电源指示、过功率告警灯和信道是否锁定指示等。通过该功能，操作维护人员可以对青藏线全线光纤直放站的设备状态、工作情况进行实时的监测。一旦发现告警，应马上采取相关措施。

（2）查询和配置管理功能

查询配置管理功能主要完成直放站配置信息和运行状态的查询，以及对直放站进行控制。配置参数主要分为三种：安装信息、只读配置信息与可修改配置信息。其中安装信息是关于直放站的一些手工录入静态属性数据；只读配置信息是网管系统从直放站端得到的信息，只供查询，不能修改；可修改配置信息是可以进行修改的配置参数，如：频率、增益等，通过修改达到控

制直放站的目的。

(3)遥控功能

该功能是实现远程控制和维护直放站的重要手段。通过该功能,可以直接对直放站的各种参数进行设置、更改,例如功放开关、调整输出功率、调整增益、调整信道频率等。

(4)直放站管理功能

包括添加、删除、更改直放站、在地图上拖动直放站(主要是根据实际情况调整直放站的地理位置)。

青藏线全线 GSM-R 网络建成运营后,可直接在目前试验段已有直放站的基础上,添加直放站,并对其参数进行设置。也可以根据情况对直放站进行删除、更改地理位置等的修改,这样可以灵活的应对全线直放站的安置情况,从而方便对全线的直放站其进行管理。

(5)故障管理功能

故障指示包括以下几个方面:直放站功率过载、前向输出故障、电源故障、电池故障、PLL(锁相环)故障、HPA(高功放)告警、ALC(自动电平控制)告警、关机状态、开门告警、关门告警、管理通信问题等。用户可以自定义故障级别,并在主界面上以不同颜色进行实时显示。同时可以对故障进行定位,对故障信息进行存储、统计、查询。

(6)用户管理

包括用户身份验证,用户的增加、删除、修改以及用户权限的分配。

(7)系统安全管理功能

包括操作权限管理、操作记录管理和故障记录管理。

通过网管软件可以很好的监测到远端直放站的工作状态并且能够修改、调整相关参数以达到良好的场强覆盖,但是如果设备出现故障导致隧道等弱场区网络覆盖恶化,通过网管软件无法调整的话,就必须由现场维护人员到现场进行勘查,必要时要由厂家来进行维护。

6 结束语

青藏铁路将经过多个隧道,铁路沿线自然环境恶劣,所以,对直放站的远程监控就显得十分重要。如何在保证网管系统高度可靠的前提下,合理、经济的设计网管系统就显得尤为重要。青藏铁路全线贯通后,网管系统采用何种网络结构,很大程度上取决于试验段测试结果。本文对试验阶段所采用的两种网管方式及其网络结构进行了初步的分析和探讨。除此之外,还可以采用全有线通信方式的网络管理系统,该方式也值得进行深入的分析和研究。

青藏铁路 GSM-R 无线网络维护

高杰复　刘　潜

北京交通大学现代通信研究所

摘　要: 网络维护是保证网络正常工作,更好地为用户服务的必要手段,它包括基础维护和网络优化两部分。本文阐述了应用在青藏铁路上的 GSM-R 网络维护的重要性和必要性、基础维护的手段以及网络优化的流程。

关键词: GSM-R　网络维护　网络优化

举世瞩目的青藏铁路将在今年全线贯通。它的建成对发展西部经济、促进西部大开发都具有划时代意义。为了保障全线的顺利通车,安全可靠的通信系统必不可少。

青藏铁路通信网是亚洲第一条采用 GSM-R 来传输用于列车控制安全数据的试验网,它采用双网覆盖的解决方案来增强系统的可靠性,而无需传统的模拟系统作为后备支持。GSM-R 是一种基于目前世界最成熟的、最通用的公共无线通信系统 GSM 平台上的,专门为满足铁路应用而开发的数字移动通信系统,具有针对铁路通信列车调度、列车控制、支持高速列车等特点,是为铁路运营提供定制的附加功能的一种安全高效的综合无线通信系统。

铁路通信系统的基本要求是保障列车安全可靠的运行,因此系统对 GSM-R 网络的稳定可靠性要求比普通 GSM 网络要高得多。为此青藏铁路采用了双网覆盖的方式,在主网出现故障的时候可以马上切换到备用网上工作,但是在青藏铁路建成投入运行后,为了保证网络正常为铁路服务,对其进行维护和优化工作仍然是不可缺省的。

按照工作性质不同,可将无线网络维护划分为两部分,即基础维护和网络优化。

1　网络基础维护

基础维护是指按照无线网络维护规程,周期性地对无线网主设备及其配套设备所进行的日常维护和巡视检查,及时发现隐患,抢修设备的过程,包括清理设备及机房环境卫生以及设备的抢修和应急等工作,主要目的是通过日常维护及早发现设备问题,排除故障,确保设备完好。

1.1　基础维护是无线网络维护工作的根基,是取得良好的网络服务质量的前提和保障

任何设备从开通的第一天起,就受到各种各样环境因素的影响。网络基础维护工作不仅需要排除已发故障,还要排除潜在的隐患。对于青藏铁路,它处于高海拔地区,外界环境相当复杂,气温低,在坨坨河最低达到 -45℃,还有些地方常年积雪,地震、高原雷电、雪崩等都会出现,这些对通信设备都会造成影响甚至损坏,可见,基础维护是维护工作的重中之重。因此,一定要做好故障的预防工作,即俗话说的“防患于未然”。

只有加强基础维护,才能及时发现问题,缩短故障时间,避免重大的通信事故发生,有效地

保持设备完好,保障铁路运输安全正常进行。

1.2 基础维护的工作

对于网络的基础维护工作青藏铁路公式应该制定有关的规章制度,组成维护班组,定期对维护班组进行考核,以更好地调动大家的工作积极性和工作热情,搞好网络维护。

①各工作班组每天对重大告警进行观察和处理,及时解决网上出现的重大问题;

②每天取全网、BSC、BTS性能统计,如果全网或部分BSC性能出现明显恶化时要及时上报,并进行力所能及的分析;

③每天观察基站性能,对性能异常(如掉话、拥塞等突然上升),并对网络有较大影响的基站要及时处理;

④对网络的各项性能指标进行连续观察,总结所发生和已解决的问题,按时完成周报。对于每周的工作,应有一定的计划和整体安排,确定本周需要解决的重点问题,对于上周遗留的问题进行跟踪和落实;

⑤定期对网上的数据(主要指无线数据)做定期的核查,以保证网上数据和规划数据的一致性和完整性;

⑥在一定范围内进行有目的的技术实验,如新版本新功能实验、无线参数设置调整实验等,对实验的结果与可能出现的后果做充分的估计,做好异常情况下的应对策略;尽量选择有典型意义的站进行实验,并写出实验报告;

⑦对于统计数据、规划数据要做好保存、归档工作,加强对规划数据库、优化数据库的维护;

⑧对国际GSM-R网研究和发展的新技术进行跟踪和分析,保持先进的技术储备。

2 网络优化

无线网络优化是对正式投入运行的网络进行参数采集和数据分析,找出影响网络质量的原因,并且通过调整参数和采取某些技术手段,使网络达到最佳运行状态,同时争取最大限度地利用网络资源,在满足用户需求和保证列车安全可靠运行的前提下尽可能的降低运营成本。

普通的GSM网络,由于用户的增加致使话务量增加或者由于环境改变导致现有网络的容量不能满足要求,例如在城市兴建楼房等改变原有的无线电波传播环境而导致网络出现盲区等,需要对原有网络进行优化。而对于铁路GSM-R这种专用网络短期话务量的增加是十分有限的,所以对网络的维护不存在扩容的问题,铁路沿线的环境主要是由于季节的变化或者地形环境的变化导致的,例如青藏铁路沿线积雪和植被的覆盖面积变化导致无线电波的传播环境发生变化。

2.1 网络优化的重要性

基础维护做的好,可确保设备完好率;但是要提高网络质量,必须依靠优化网络。只有搞好网络优化才能使基础维护的成效得以充分体现,实际上网络优化是高层次的维护工作,是通过采用新技术手段以及优化工具对网络参数合理调整,从而提高网络质量的维护工作,因此网络优化是提高网络服务质量的关键。

2.2 网络优化的流程

网络优化工作具体来说就是通过采集网络的信息和数据，分析网络存在的问题，对网络进行合理调整，改善网络的性能。网络优化的流程如图 1 所示。

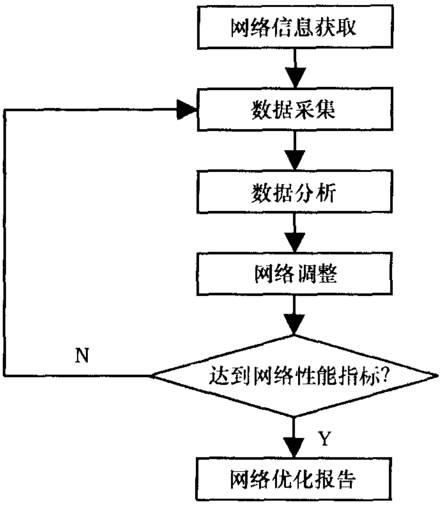


图 1 网络优化的流程

网络信息获取：对实际安装的工程参数和网络参数的确认，对当地无线环境和话务热点地区的考察，充分了解客户的具体需求等。

数据采集：OMC-R 话务统计数据和告警数据、路测收集数据、用户的反馈。路测可以用 RNT 等软件采集数据。该测试软件已在青藏线试验段建网后期的 GSM-R 无线网络测评中试用，并可作为运营期间的网络测量维护的路测工具。它具有测试功能、参数采集、干扰测试、地理导航、数据记录、数据回放等功能，可以进行无线环境评估和业务功能评估。

数据分析：网络性能和参数分析、OMC-R 的话务统计分析、借助网络优化工具分析。

网络调整：对网络工程参数和网络功能参数进行调整。

网络优化报告：包括优化的措施、网络达到的性能指标和对网络发展提出的建议。

由于网络优化工作的技术层次较高，要求优化人员不仅具备网络优化的基本知识，还要对网络本身有深入的了解，并借助于测试仪器和分析软件，如 TEK、RNT 等，对网络进行综合分析，寻找提高网络质量的最佳方法。

网络优化是一项持续性的工作，因为影响网络质量的因素不是一成不变的，网络优化应随着网络参数和环境的变化而不断进行。各地区的地物、地貌是不断变化，工程建设会严重改变网络参数，尽管工程规划力求做的尽善尽美，但规划人员也很难将参数调整到最佳状态，无线网软、硬件版本的升级如果改变 BSC 数据库中的参数，也需要调整参数设置，这些都需要网络优化来解决。

3 小结

网络维护非一朝一夕，而是一项长期、持久、艰巨的工作。简单地说，只要网络运营一天，就需要对网络进行维护。基础维护和网络优化是无线网络维护工作中相辅相成、密切关联的两个重要组成部分，前者是保障，后者是升华。对于即将投入运营的青藏铁路的 GSM-R 无线通信系统，我们应该早做准备，尽快把维护管理工作提上日程，做好 GSM-R 无线网络的维护管理工作，使 GSM-R 更好地为青藏铁路服务。

参考文献

[1] 华为技术有限公司. GSM 无线网络规划与优化. 北京：人民邮电出版社，2004.6
[2] 钟章队，李旭，蒋文怡. 铁路综合数字移动通信系统. 北京：中国铁道出版社，2003.10

青藏铁路信息共享平台建设方案研究

董宝田

北京交通大学交通运输学院

摘　要:本文介绍了青藏铁路的特点与运营要求,论述了在青藏铁路信息化建设建立信息共享平台的必要性,提出了信息共享平台建设中所需的组织与管理措施,并在分析各类需要共享信息的基础上,分别给出了不同的技术路线。

关键词:青藏铁路　信息化　信息共享

举世瞩目的青藏铁路将于2006年7月通车试运行。这将是全国人民政治经济生活中的大事,是必载入中国铁路史的大事。建设青藏铁路是党中央、国务院做出的重大战略决策,是西部大开发的一项重要标志性工程,对促进青海、西藏两省区经济社会发展,加强民族团结,具有十分重要的意义。在完成站前建设后面临的重要任务就是如何搞好站后的运营管理,这是青藏铁路建设的又一重大课题。

1　青藏铁路的特点与运营要求

青藏铁路格拉(格尔木—拉萨)段全长1142km,途经连续多年冻土地段550多公里,海拔4000m以上地段960多公里,翻越唐古拉山的铁路最高点5072m,是世界上海拔最高、线路最长的高原铁路。

该段铁路由于高原地势形成一系列独特的环境条件,主要是:海拔高(海拔在4000m以上地段有965 km)、气压低(唐古拉山垭口气压544mb,比海平面低45.5%)、含氧少(海拔5000m地区为海平面的60%)、冻土长(连续多年冻土地段有547 km),气温低(最低气温零下45℃,冻结期长达8个月)、风速大(8级以上大风年均100~160天)、地震烈度高(地壳活动活跃地区易发地震灾害,8度以上地段399 km)。此外,夏季还经常发生雷暴、冰雹降雪等。

针对青藏铁路所处的特殊外部环境,在设计中采用了"快速通过高原,减少布点,减少定员,减少劳动强度"的总体思路。一是根据地形条件,合理加大曲线半径,适当提高轨道标准,充分发挥牵引动力的作用,提高列车在高原上的运行速度,使旅客和货物尽可能快地通过高原。二是在满足输送能力要求的前提下,合理布设车站,最大限度地减少高原地区的车站数量,采用超长机车交路,减少高原上的机车、车辆作业环节,从而减少高原地区的作业人员。三是选用可行度高、维修量少的运营设备,大力推行自动化、机械化作业,减少用工数量,降低劳动强度。四是充分运用最新科研成果,选用适合青藏高原环境的结构工程和路基支挡、加固措施。五是建立适合高原特点的管理体制及用工制度。

上述总体思路就要求在线路建设及运营管理中必须大力采用先进技术,以先进的技术手段保障设备的可靠运行,以先进的技术手段保障各方面协调工作,使线路始终保持高效运作、安全畅通的状态。因此,青藏铁路实现信息化的管理与运营是非常必要的,信息系统的建设成功与否对站后运营管理是非常重要和关键的。

2 青藏铁路信息共享平台建设的必要性

由于铁路业务的联动性，铁路内部存在众多紧密相关的信息系统。从纵向看，现有各业务信息系统基本上自成体系，均能较好地满足铁路生产经营的需要。从横向看，各信息系统间存在着大量的信息交换及共享需求，如运输管理信息系统与调度指挥系统间的数据交换、财务信息系统与运输管理、统计系统间的数据交换，各业务信息系统与铁路办公信息系统间的数据交换，以及工务、电务、调度等地理信息系统之间的空间数据共享等等。

在过去的铁路信息化建设中，由于注意力主要放在各业务系统功能的实现上，没能制定一个信息共享总体方案，因此，各信息系统的建设过程基本上是相互独立，各自为战，结果是大量的信息被重复采集、加工处理，不但浪费了人力、物力，而且造成了信息资源的不一致性，给运输生产带来不便；各系统信息不开放，形成信息孤岛，使信息资源不能为更多的人有效利用。

青藏铁路信息化建设应接受铁路信息化已有的经验与教训，避免落入以前系统建设巢臼，尽力补上信息共享这一课。已通过论证的《青藏铁路公司信息系统建设项目总体方案》系统目标中也强调了要“以大系统互联互通信息共享为准绳，加强基础建设，整合既有资源，建成技术先进、结构合理、功能完善、管理科学、经济适用、安全可靠的信息系统”。

注重系统建设中的信息共享，必将提高信息系统的整体效率，使其中的各系统有机集成、协同运行，使各信息系统产生的信息能为各级生产、管理人员使用，产生更大的作用与效益。

3 息共享平台建设的组织与管理

由于信息共享平台涉及多个业务系统，其用户跨越各个业务部门，其管理和组织有着相当大的难度。这也是目前各系统在信息共享方面欠缺的重要原因。一般信息共享平台建设的阻力来自如下几个方面：

①有的业务部门认为自己部门的数据重要，都需要保密，不愿意将数据拿出来与其他部门共享；

②有的业务部门出于系统安全及运行性能的考虑，不愿意别的系统接入或与别的系统连接；

③系统开发部门和个别业务部门出于种种考虑，不提供数据库结构等有关技术文件。

④信息共享的需求呈不定期与不确定性，用户只能知道需共享信息的范围，很难确定自己需要共享的具体信息。

基于以上情况，青藏铁路信息共享平台的建设首先是组织、管理的问题，其次才是技术问题。在组织管理上，首先将信息共享作为一项重要任务来抓，要求业务部门、系统开发部门高度重视，积极配合，不能以任何理由拒绝参加信息共享建设，将自己的系统封闭起来。其次在系统建设上，要求各系统开发部门必须将信息共享单独成章成节进行设计，将本系统业务部门可提供其他部门共享的信息列出来，本系统业务部门希望共享其他部门的信息也写出来，而后由信息共享主管部门与开发部门共同研究确定最终共享的信息。

由于用户大多数情况下共享的是信息，而现实系统中存放的是数据，将数据上升为信息，需要根据数据间的逻辑关系进行必要的处理与运算，才能成为所需信息，这种处理与运算的逻辑有时是非常复杂的，如果将所有这些复杂的处理交给信息共享开发人员重新学习然后进行开发，将会延长开发工期且是人力资源上的极大浪费。所以这就要求各系统的开发方不但要提供信息共享所需要的数据，还应提供相关数据处理的调用或称服务。这些都必须作为信息

共享的组织措施明确提出方能达到。

只有这样,才能动员各方力量积极参与信息共享建设,解决组织和需求上的问题,因为只有先贡献自己的信息,才能后共享别人的信息。

在解决了共享信息的来源后,还需设计信息共享的安全层次,依此来确定哪些人可以共享哪些信息,不同的安全角色对应不同的安全层次,从而共享不同层次的信息。这部分工作应由信息主管部门和信息共享开发部门共同负责。

4 信息共享平台的技术路线

从信息的属性上分,青藏铁路需共享的信息可分为公用基础信息、地理信息和业务应用系统信息。

公用基础信息是指铁路运输生产过程中基础公用信息的集合。铁路运输基础信息是铁路运输生产正常运转的基础。

地理信息是指各种空载、星载、车载和地面测地遥感技术所获取的我国铁路系统各物质要素存在的空间分布和时序变化及其相互作用的地理信息的总体。具体包括运输系统内的各组织部门、固定设备(包括线路、桥梁、隧道、车站、信号)和移动设备(包括机车、车辆)等的时-空分布及相互联系的地理信息。

业务应用系统信息是指由各业务管理部门的信息处理系统产生的各种铁路业务信息。铁路运输业是一个由车、机、工、辆、电等部门构成的有机整体,业务管理信息系统涉及到了铁路运输的各个方面。铁路的各类业务数据经过各个业务信息处理系统加工后形成了业务应用系统信息。

从业务应用系统信息的变化频率上分,又可分为静态共享信息和动态共享信息。

静态共享信息指各生产和管理领域每日、旬、月、季、年的生产管理计划、实际完成情况等各种业务的统计汇总信息,这类信息产生后是不可更改的。

动态共享信息指每天24小时都可能在变化,需按实际情况动态刷新的信息。如客票预发售动态信息、列车运行调度信息等。

由于需要共享的信息不同,服务对象也不同,所以应采用不同的技术路线分别实现。

4.1 公用基础信息的共享

对公用基础信息因其包含的主要是基础字典类信息,如站名字典、车种字典货物品类字典等,这些信息的使用对象主要是各业务系统,应采用集中维护、统一自动分发的方式,将公用基础信息发送给各业务系统,由各业务系统完成最新基础信息的加载。在铁道部公用基础信息库未建立前,由青藏公司本地集中维护,在铁道部公用基础信息库建立后,该部分直接与铁道部公用基础信息库连接,自动接受基础数据更新,本地不再维护。

4.2 地理信息的共享

对于地理信息的共享,由于涉及到工务、电务、水电等业务管理系统,必须建设地理信息共享平台,并与这些系统紧密集成。该平台维护的数据包括国家基础地理要素数据和铁路路网基础地理要素数据。同时该平台存放从工务、电务、水电等业务管理系统中抽取的需共享的专业地理信息。

工务、电务等各专业部门通过数据分发获得铁路基础地理信息,包括国家基础地理要素数

据和铁路路网基础地理要素数据。同样也通过数据分发与地理信息共享平台进行数据同步，发送本系统贡献的地理信息共享数据和获得其他部门管理和维护的地理信息共享数据。

通过该地理信息平台可为青藏铁路公司车、机、工、电、辆各管理部门提供共享地理信息的支持。提高工作效率，降低数据维护成本。

4.3 业务应用系统的信息共享

业务应用系统的信息共享是信息共享平台另一重要任务。由于涉及的系统多，而有些系统是实时系统，根本不可能允许外部系统的查询请求接入。所以也必须建立一共享平台，将各系统需共享的数据动态地导入共享平台。导入技术可根据所选数据库管理系统确定。动态数据的导入间隔可短一些，而静态数据的导入间隔可拉长一些。对导入信息共享平台的数据即可为各业务部门提供信息共享服务，因此时信息共享平台已起到了对关键业务系统的隔离作用。

该平台的建立也可有几种技术选择，如 J2EE 和 Web Service 技术。J2EE 具有跨平台性，可扩充性和较好的安全性，但与原有系统紧密耦合，工作量较大。基于 Web Service 技术的 SOA 结构与原系统松散耦合，工作量较小，符合未来发展方向，但该技术目前仍在发展中，安全性有待进一步提高。

有些业务系统可能有关于其他业务系统的数据要求，或有些特定应用希望对共享的数据进行再处理，这可以考虑使用 XML 技术来完成异构数据库的相互导出与导入。

如果考虑对静态数据的更多层面的展示与利用，可运用数据仓库技术对静态数据进行多视角的展示。

对信息共享平台中的信息共享接入可通过跨越各部门的办公信息系统来完成，不必再单独组网接入。

5 结论

信息共享平台建设是青藏铁路信息化建设中非常重要的部分，它关系到青藏铁路信息系统的整体效率与效益。本文分析了青藏铁路建设信息共享平台的必要性，提出了信息共享平台建设中所需的组织管理措施，并在分析各类共享信息的基础上，分别给出了不同的技术路线。希望本文对青藏铁路信息平台建设有所帮助。

论青藏铁路建设中的环境保护问题

朱宇峰

中铁十七局青藏铁路指挥部

摘　要:根据青藏高原生态环境的敏感性和特殊性,提出了在青藏高原修建青藏铁路应不同于其他地区,环境保护是重中之重。指出青藏铁路在设计、施工、运营方面应处处以环境保护为出发点,并切合实际地提出了青藏高原环境保护应注意的几个方面。另从长远分析了青藏铁路的修建,不但不会破坏环境,反而会对青藏高原大环境的保护具有积极的促进作用。

关键词:青藏铁路　环境保护　高原环境　影响和作用

1　引言

素有“世界屋脊”之称的青藏高原是地球的“第三极”,它是我国和东南亚地区的“江河源”、“生态源”,中国乃至东半球气候的“启动器”和“调节区”,也是世界山地生物物种一个重要的起源和分化中心。其自然生态环境既独特原始又脆弱敏感,被世界自然基金会列为“全球生物多样性保护”最优先地区。在青藏高原海拔5000米的唐古拉,地上的草只有一寸高,40年前挖掉草皮的地方,至今都没有长出一根草,因此青藏高原的生态环境非常脆弱。

即将建成的青藏铁路途经可可西里、三江源(长江、黄河、澜沧江)、羌塘等自然保护区,这片土地是我国和南亚地区的“江河源”、“生态源”,是世界山地生物物种的重要起源和分化中心,同时也是世界上有限的几块净土之一。鉴于青藏高原生态环境的敏感性和特殊性,青藏铁路建设的环境保护具有不同于一般地区铁路的突出地位,因此,在青藏高原,不仅要克服环境恶劣、技术难度大的问题,生态环境的保护问题也成为一个难点需要来克服,在工程设计、建设、运营中要充分重视环境保护和生态建设工作,确保青藏铁路对青藏高原环境的影响得到有效控制。现就从青藏铁路设计、施工及运营等几个方面来探讨青藏铁路的环境保护问题及对高原环境所产生的影响。

2　青藏高原环境保护应注意的几个方面

2.1　关于高原植被的保护与恢复

青藏高原是地球上隆起较晚、海拔最高的高原,受严酷的气候条件影响,植被生长非常缓慢。青藏铁路沿线多为高原草甸地区,施工中因取、弃土,路基占压不可避免地要破坏部分高原植被,所以,将对植被难以生长的地段,采用分段施工、逐段移植的方法,将每段路基划分为若干个施工段,将本段取土坑及路基基底草皮铲下后,及时移植到已先期施工完毕的路段。对昆仑山以南,自然条件稍好的地段,进行人工培植草皮的试验,精选适合高原生长的草种,辅以喷播、复膜等技术,恢复地表植被,将铁路沿线建成绿色长廊。

2.2 关于冻土环境和沿线自然景观的保护

多年冻土,特别是高含冰量冻土对地表的扰动十分敏感。地表一些不大的改变都可能引起多年冻土不可逆的变化,引发热融滑塌。因此在冻土地区筑路要特别注意保护环境。从工程的角度看,保护环境对保护冻土、保护路基稳定也是十分必要的。为了保持冻土环境稳定和避免对沿线原生的自然景观产生影响,此次设计中工程采取了路基填方集中设置取土场,取弃土场尽量远离铁路设置并做好表面植被恢复;对挖方地段,在路基基底铺设特殊保温材料并换填非冻胀土,避免影响冻土上限和产生路基病害,以确保路基两侧区域冻土层的稳定。除规定了专门的取、弃土地点外,还详细设计、指定了施工便道及从公路通往工地的道口等,人员和车辆行走路线都被纳入设计规划,车辆不允许在高原上随意乱跑,要求各施工单位必须严格遵守。同时,在施工当中要严格执行设计程序,严禁破坏冻土的热平衡。

2.3 对高原湖泊、湿地生态系统的保护

工程尽量绕避湿地,无法绕避时,对通过湖泊、湿地进行桥路方案比选,并尽量选择以桥代路方案。为了避免路基建筑对地表径流的切割影响,相应路段加大了涵洞设置数量,以保证地表径流对湿地水资源的补充,防止湿地萎缩。

2.4 自然保护区和珍稀濒危野生动物生物多样性资源的保护

为了保护青藏铁路沿线的自然保护区和野生动物生活环境,将工程活动尽量局限在线路两侧一定范围内,以减少对环境的干扰。青藏铁路进入西藏自治区后的线路方案,绕避了黑颈鹤保护区。根据沿线野生动物的习性、迁徙规律,通过调查研究,工程在相应路段设置了野生动物通道和畜牧、行人通道。青藏线从可可西里和江源的交界穿越,为了使青藏铁路建设尽量小的影响野生动物,保证这些动物安全穿越铁路,在修建青藏铁路的同时,修建野生动物迁徙的专用通道。这些野生动物通道主要分布在格尔木野牛沟、望昆、不冻泉、索南达杰自然保护站、楚玛尔河、秀水河等地附近。这些地方是岩羊、野牦牛、野驴、黄羊、藏原羚、盘羊、藏羚羊、白唇鹿等珍稀野生动物饮水、迁徙的重要通道。这些通道宽度将根据活动动物量的多少确定,窄的500米,宽的将达1000米,这些通道将主要用两种方式修建,一种是在青藏铁路野生动物出没点架设桥梁,桥下自然形成动物通道。另一种是在铁路上空架设专门供野生动物出入的“立交桥”。大约共13个野生动物专用通道。

2.5 供电设计

考虑到青藏铁路沿线脆弱的生态环境,在铁路沿线的供电设计中,还将打破以往主要依靠柴油机供电的常规。运用柴油机供电,在海拔4000多米的青藏高原上不仅工效降低,不能保证青藏铁路的安全运行和沿线工作、生活用电,而且存在燃油运输困难、设备消耗大、费用高、不利于环境保护等一系列问题。为此确定了架设电力贯通线的设计方案:在西藏境内架设35千伏、在青海境内架设长距离110千伏的电力贯通线。这个方案不但具有安全和实用性,投资省,见效快,同时还符合环境保护的长远要求。

2.6 车站及运营建设

(1)沿线车站将采取太阳能、电能、风能等环保型能源。

(2)青藏铁路投入运营后,严格控制车站和列车的废物排放。为了严格控制在铁路沿线排放废弃物,客车将采用封闭式车体,适当加压加氧,车上垃圾定点排放,集中处理。

(3)为了防止污水、垃圾、粪便污染沿线和车站周围生态环境,车站和列车要有污水处理设施,生活污水经处理达标排放,尽量采用零排放,污水处理后要循环使用。建立垃圾处理场,对垃圾进行分类管理、集中处理。

(4)利用高科技,采用噪音小、排污少的环保型机车和不排污、全封闭的绿色机车。

(5)尽量减少车站的设置,来减少车站排放物为止环境的影响。并把一些车站设计成无人化自动控制车站,减少了因人为造成的环境损害。

(6)铁路运营中机车鸣笛对周围环境产生了严重噪声污染。因此铁路车站包括编组站、调车场,在指挥作业时应适当控制高音喇叭音量,并逐渐改为低音广播系统,或改为无线通话联系作业。出入市区城镇车站的机车技术联系,也应逐步实现无线通讯信号代替鸣笛信号。

2.7 提高环保意识、实现主客参与管理

在修筑铁路时,制定关于环保的规章制度。在施工及运营中对职工进行野生动植物保护的法制教育,严禁捕杀;施工中,工人应在指定的便道中进出。一段路基铺设完毕,职工都要清理现场,尽可能恢复地表黏结层,避免造成沙漠化;不允许油污随意排放,用容器收集,指定地点处理。注意生活垃圾的处理,可降解废弃物指定地点掩埋;不可降解垃圾如塑料袋等,则指定地点收集,在适当时候送至专门垃圾场。

环境保护作为一项系统工程,需要政府部门,管理部门,当地居民和旅游者的全体参与。因此,加强环保宣传教育等手段来提高全体人员的环境保护意识,对于青藏高原的长期的环境保护有着十分重要的意义。

3 青藏铁路对青藏高原环境的影响

3.1 青藏铁路的修建对当地环境造成的影响

首先应明确“环境”的概念。从大环境来说,青藏高原面积122万km^2,而修建铁路所影响的范围最多仅在线路两侧各500m内,青藏铁路全线也不过1000km^2,而且呈线状分布,可以说修建青藏铁路不会对整个青藏高原的大环境产生影响;从小环境来说,修建这样的大型工程,肯定会在工地范围内,对当地局部环境造成一定程度的影响。铁一院从一开始设计青藏铁路,就已经把维护生态和环境保护作为一条必须遵循的重要原则。因此,青藏铁路大部分是沿青藏公路走行,基本上没有新开辟通道,而且设计方案中还采取了一系列专门的环境保护措施,这就把对高原生态的扰动降到了最低程度。从长远看,青藏铁路的修建,不但不会破坏环境,反而对青藏高原大环境的保护具有积极的促进作用。

其次,西藏缺乏煤炭资源,人均产煤量只有6kg,通过青藏公路运进区内的煤炭成本非常高,每吨达600多元,而在西宁,这一价格仅为160~200元。昂贵的煤价,造成了能源结构的极度不合理。目前农、牧区的主要生活能源为木材和畜粪,在线路所经的藏北地区,居民主要靠砍伐坡地生长的爬地松作燃料,而低矮的爬地松往往需要几十年的生长期,这对当地脆弱的生态环境产生了不可低估的破坏作用。铁路的建设,可以将西北地区丰富的煤炭、石油资源通过经济、便捷的通道运进西藏,满足西藏对能源的需求,从而为西藏改变能源结构、制止盲目砍伐森林草场、保护生态环境做出积极贡献,具有极其深远的意义。

同时，青藏铁路投入运营后，必然会成为旅游及进出藏物资运输的主要方式，分流目前青藏公路庞大的运输车队，并可吸引游客改乘铁路旅游线路从而起到减少汽车尾气排放，进一步改善青藏高原大气质量的积极作用。

另一方面，铁路的修建将直接拉动青藏两省区经济的发展，加速城镇化和产业化的步伐，促进产业结构的进一步调整，这将使很大一部分牧民转变为工业、建筑业和其他行业人群，从而大大降低了草原和植被的负荷，既保护了生态，又实现了可持续发展，可以说是一举两得。

3.2 青藏铁路对自然保护区的影响

青藏铁路将要经过可可西里、三江源（长江、黄河、澜沧江）等自然保护区，但线路通过地区是两大保护区的边缘交界地带，并没有从其中任何一个区内穿越，同时，在铁路施工设计中还专门预留了供野生动物迁徙的专用通道，因此对保护区的生态和野生动物基本上没有影响。

4 结束语

生态环境保护与经济发展相辅相成，互为因果，经济发展离不开良好的生态环境，优美的生态环境能促进经济的发展；恶劣的生态环境下，不但经济难以发展，即使发展，也难以为继。而加强青藏铁路的环境保护和生态治理问题更是重中之重，环境保护问题是青藏铁路的建设的中心。综合的考虑青藏铁路各阶段的环境保护问题，从加强环境保护意识做起，把环境保护贯穿在青藏铁路建设和运营中去，是建成高标准、高水平、高质量的青藏铁路的关键所在。

青藏铁路沿线旅游景观保护

赖文宏

铁道第一勘察设计院

摘　要：本文简要介绍青藏铁路沿线旅游资源特点，并根据青藏铁路沿线的自然景观多样性和独特性，对其科学研究价值、美学价值、文化价值进行总结，分析了青藏铁路对沿线景观产生影响主要工程类别：路基工程、取弃土场、砂石料点、施工便道、施工营地、施工场地等，提出青藏铁路修建对西藏旅游景观产生的影响及为减小和缓解铁路工程对沿线景观的影响，需采取预防措施和恢复措施，所提各项措施符合青藏线的特点，有可操作性。

关键词：青藏铁路　旅游景观　评价　保护措施

青藏高原得天独厚的自然、地理等条件，形成了许多独特的旅游资源，有色彩斑斓的地貌，丰富独特的野生动植物，有古老的文化、淳朴的民俗风情等，但是交通的不方便及高昂的交通费用在很大程度上制约了当地旅游业的发展。沿线依次穿越高原山地、高寒荒漠、高寒草原、高寒草甸及河谷盆地等自然生态景观和农业区、半农半牧区、牧区等人文景观，是一条完整的生态旅游线路。国家旅游局确定“青藏铁路沿线旅游”为“十一五”期间中国旅游行业九大重点旅游区域之一。

由于青藏铁路的建设将不可避免地对旅游景观造成影响：施工期主要对植被、地貌及野生动物栖息环境造成影响；运营期主要是运营设施对景观和谐性的影响以及运营排污对景观的影响。

1　青藏高原旅游资源的基本特点

旅游资源主要由自然旅游资源和人文旅游资源两大类型组成，青藏高原旅游资源的基本特点可以归纳如下几项：

1.1　以地球第三极和在人类生存极限环境下产生的高原文化为特色

青藏高原是世界上一个十分独特的地理单元，其平均海拔在4500m以上，高耸的山脉、棋布的湖盆、众多的内外流水系等大的地貌单元在辽阔高原面上排列组合。

对于人类来说青藏高原生态环境属于一种极限生存环境，在世界众多民族中，几乎只有藏民族，在长期与高原环境的斗争中生存下来，成为唯一能在高原高寒缺氧环境下长期生存的民族。特殊而恶劣的自然环境，不仅导致了这一区域文化表性的鲜明个性，也导致了其自身文化运作机制及其流程上的区域特征。青藏高原的人文旅游资源，就是在这种环境下产生的充满了喇嘛教宗教色彩和地域特色的神奇文化。

1.2　极品旅游资源高度富集

青藏高原的拉萨是世界上展示独特的藏民族文化的代表城市，这一在强大自然威慑力下

形成的以藏传佛教为载体的雪域文化,可谓文化旅游资源中的极品。矗立在拉萨红山之上雄伟的布达拉宫是具有国际意义的著名民族文化遗产,它与拉萨的大昭寺、哲蚌寺、色拉寺和日喀则的扎什仑布寺共同体现藏传佛教的虔诚信仰,同时通过粗犷奔放的音乐、舞蹈、色彩丰富的服饰、多彩的节庆形成一种令世界游客神往的无可替代的极品文化旅游资源。

1.3 旅游资源的多样性异常丰富

青藏高原是由辽阔的高原面和周边高耸山地两大地貌单元组成。前者河谷宽广、湖泊棋布,表现出未受流水严重侵蚀的高原平面为主体的地貌特征;后者则雪峰林立、河谷深切、地势差异高达数千米,含有丰富的构造、河流、冰川和冰缘等地貌类型。

复杂环境因子作用下形成丰富多样的自然生态系统,从藏东南向藏西北依次排布着森林-灌丛-草甸-草原-荒漠生态系统,区内还发育有许多隐域性生态系统,如沙地、河流、湖泊、沼泽生态系统等。在生物物种方面,青藏高原同样表现出极其丰富的多样性。

1.4 旅游资源极具自然性

青藏高原为我国人口密度最小的省(区)。以农牧业为主的经济形式基本没有改变。其农牧产品的商品率不足15%,所以封闭的自给自足的自然经济仍居主导地位。

青藏高原大面积的草地基本维持自然状态,仅在局部地区建有很少的人工草场。在西藏西北部的羌塘高原至今还有近20万km^2的无人地区,成为世界上罕见的天然野生动物园,保持着世界上少有的尚未受到人类干扰的高寒草原、荒漠生态系统的原始面貌。

青藏高原是我国乃至世界空气最清新的陆地之一。整个青藏高原天空湛蓝、草原碧绿、森林葱郁、河流湖泊水质清洌、农村田舍质朴清幽、村习民俗古风尤存、宗教文化神秘浓烈,无论是自然还是文化景观,都体现出一种少有人工雕凿、天人合一的自然风韵。

1.5 自然生态系统与藏族社区文化的弹性系数小,易受破坏

青藏高原绝大多数地区处于高寒地带,生态环境恶劣,生物生产力低下,高寒灌丛、草原及荒漠破坏后恢复困难;青藏高原高原的野生动物亦因生态环境恶劣,生殖率低和易受雪灾等自然灾害的影响,种群受人类活动影响衰落之后,恢复缓慢。自然生态系统抵御人为和自然破坏压力的弹性系数较小,容易受到损害。[1]

2 铁路沿线旅游景观评价

青藏铁路沿线的自然景观呈现多样性和独特性。既有高寒灌丛、高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠组成的水平高寒生态景观,又有高寒草甸、高寒草原、冰雪带等组成的垂直高寒生态景观;既有可可西里和三江源地区有蹄类野生动物的栖息和迁徙环境,又有青藏高原境内广布的沼泽湿地和鸟类的栖息环境。

2.1 科学研究价值

青藏高原,素有"世界屋脊"之称。这里独特而复杂的地理环境和丰富的自然资源,成为我国乃至世界上颇为特殊而又神秘的地方,早已为国内外专家学者所瞩目。青藏高原大部分地区原是一个古老的陆块。在晚古生代以前,青藏高原陆块一直被海水淹没,是古特提斯海盆的一部分。三叠纪以后,这一府海盆在海西运动,印支运动和燕山运动中缓慢抬升。独特的生

态环境造就青藏高原独特的气候，并影响全球气候。铁路沿线有国家一、二级保护动物野牦牛、藏羚羊、藏野驴、黄羊、岩羊和盘羊黑颈鹤、藏雪鸡、白天鹅和黄鸭等。丰富的生物多样性，构成了我国重要的物种基因库。因此，铁路沿线不仅是天然的地质博物馆，也是气候学、生态学、动物学、植物学、遗传学科研的基地。

2.2 美学价值

青藏高原号称地球的第三极。它那高耸入云的地势，年轻而庞大的高原块体，多姿多态的地形、高寒而又特殊的气候、独具特色的生态环境，使它成为地理上独特的单元。新建铁路唐拉段沿线平均海拔在4500m以上。在这块高海拔的地方，景观奇特、风光旖旎、雪岭横空、高峰林立、大河奔涌、蓝湖静谧，片片白云尤如旗帜一般挂在峰顶，形态各异，令人陶醉。群群牛羊移动于牧场，金色青稞飘香于河谷，更有那辉煌古寺，纯朴歌舞，令人心醉神迷。多样的景观、巧妙的组合、原始的风貌，具有较高的美学价值和观赏价值，是人们揽胜探险的绝妙之处，更是摄影家的乐园。

2.3 文化价值

西藏的文化艺术源远流长，具有浓郁的民族和地域特色，藏传佛教是我国佛教的发源地，也是西藏文化艺术的主体。西藏文化艺术的发生、发展至今已有五千年之久。西藏的寺院集建筑、绘画和雕塑于一体，整个布局按佛教的世界模式修建，主体建筑则在藏式建筑的风格上融合了印度和唐朝中原之风，形成具有独特民族文化特色的文化体系。布达拉宫完美体现了雕塑、绘画和建筑领域中的巨大成就。宫殿、城堡和寺院建筑形式被有机地融为一体，光影、线条、色彩及时空的构架完美无缺，使建筑形式和内容天然浑成，表现出精湛的建筑技巧和独特的文化寓韵。西藏文学欣欣向荣，出现了《未拉日巴道歌》、《萨迦格言》等名噪一时的文学经典作品，著名长篇英雄史诗《格萨尔王传》一直作为口头说唱艺术流传民间。藏医藏药在国际上也颇有影响。西藏文化是中华民族文化艺术宝库中一颗璀璨夺目的明珠[2]。

3 铁路工程对旅游景观的影响

青藏高原一直被人们称作是世界上最后一块“净土”，它的美丽、圣洁、神奇，令人神往。青藏铁路的开通将会拉近我们与这块神秘之地的距离。这将是历史上一次伟大的工程，同时也将成为世界上海拔最高、线路最长的高原冻土铁路。线路完工后将会从根本上改变西藏交通运输滞后的状况，到那时人们就可以乘坐新型的封闭空调充氧列车，朝发夕至饱览青藏铁路沿线迷人的雪域风光。[3]但是，在青藏高原修铁路，不但工程艰巨、技术复杂，更重要的是生态环境保护与恢复的难度非常大。

青藏铁路对沿线景观产生影响主要工程类别有路基工程、取弃土场、砂石料点、施工便道、施工营地、施工场地等。青藏高原景观极为敏感和脆弱，即使受到轻微干扰，也会对景观造成较大冲击。铁路工程会切割景观，造成景观的断景、使景观的破碎度增加。在施工期不合理的设置取弃土场、砂石料点、施工营地和场地将会扩大植被的破坏面积，增加恢复的难度。施工完毕后，如果这些场地的恢复措施不得力，将会和周边环境呈现明显的不协调，给人一种“疮疤”的感觉，长久性的影响景观的美感与和谐，造成视觉污染。

铁路工程活动对景观的影响分析

铁路工程	影响方式	影响分析
铁路路基工程、站场、施工便道	对景观格局的影响	切割原有景观,使大面积自然景观消失,景观破碎度增加,拼块边缘几何形状趋于简单
取(弃)土场、砂石料点、施工营地	对景观视觉的冲击	不合理的取(弃)土场、砂石料点、施工营地将会和周边环境呈现明显的不协调,长久性的影响景观的美感与和谐,造成视觉污染

由于施工期铁路附属工程数量较大,在局部地段对沿线景观有一定影响;合理设计取弃土场、砂石料场、施工便道、施工营地和场地,并在工程结束时采取工程或生物恢复措施,可以将工程对景观的影响降低到最低限度[4]。

青藏铁路通车后,为游客提供了更加方便、安全、舒适、价廉的运输方式,这无疑会使赴藏的旅游者大增,为西藏发展旅游业奠定了基础,对西藏的经济发展起着积极的作用。同时,由于大量游客的进入,人类活动的增加,使铁路沿线和旅游景区废弃物增加,并且人为活动的增加将加剧植被的退化,污染铁路沿线和旅游景区的生态环境,引起视觉污染。青藏铁路的建设运营,也给一些不法商人掠夺高原珍稀动、植物资源提供了方便的条件,对高原地区动植物资源的保护带来了新的威胁。西藏独特的风景处处令人向往,随着铁路的修建,通往各景区的道路将随着人们的旅游要求而增加,这虽给旅客提供很多方便,也对西藏的经济发展非常有利,但会进一步破坏草原生态环境,使原始景观进一步破碎。

同时青藏铁路沿线的车站、桥梁、隧道等,将成为独具风格和浓郁民族特色的标志性建筑景观,青藏铁路沿线独具魅力的高原风光和人文景观,将因为青藏铁路建设而显现生机。

青藏铁路全线建成后,无疑为青海、西藏两省区的旅游业发展提供了便利条件。特别是随着高原病防治技术和卫生保障条件的提高,减轻了游客心理负担,青藏高原风光将吸引越来越多的游客前来旅游观光、登山探险、科学考察和度假休闲。

4 旅游资源保护及缓解措施

青藏铁路沿线的自然和人文景观体现了青藏高原特有的风光,为减小和缓解铁路工程对沿线景观的影响,采取预防措施和恢复措施进行景观保护。

4.1 预防措施

加强对管理人员和施工人员的教育,认真学习《青藏铁路施工期管理人员环保手册》和《青藏铁路施工期施工人员环保手册》,提高其环保意识。注意保护高原植被,禁止砍伐灌木、随意割草、采药等活动,不得偷猎、伤害、恐吓、袭击野生动物,限制其活动自由;施工人员和机械不得在规定区域范围外随意活动和行驶;生活垃圾和建筑垃圾集中收集、集中处理,不得随意抛撒。为不妨碍野生动物的迁徙,不影响它们合理利用铁路两侧的食物资源,铁路沿线设置多处野生动物通道。

取弃土场、砂石料场的设置应避开一级景观保护区,在近景带的陡坡取弃土要设置于背面坡,河滩地取土、取料不得改变河道、河岸原貌;取土、取料、弃土、弃碴要严格在规定区域内取弃,禁止乱取乱弃。

施工场地和营地设计应合理、有序,避开特殊景观区域,如雪山前景区,冻胀丘、碑背景区

等，不应面积过大，减少影响范围。已设置的要严格执行使用后的景观恢复，效果不得低于使用前。施工便道的设置应避开一级景观保护区，为避免断景可绕行或加长道路。

车站、桥梁等建筑物的设计应注意与周边环境和民族风格的协调，避免突兀的感觉。

在运营期，严禁列车垃圾中途下车，沿途抛撒，应集中收集送至垃圾处理场集中处理；站场地区及附近人员较集中的地方，生活垃圾及废水应该分别收集，集中处理。

4.2 恢复措施

取弃土场、砂石料场、施工便道、施工营地和场地等的恢复原则以达到和周边自然环境的协调、和谐为基本，以减小或消除对景观的视觉污染为依据。

取弃土场、砂石料场在使用结束时应马上进行平整，并根据周边环境决定采取工程或生物措施。在荒漠、半荒漠区以工程防护和“砾幕”覆盖为主；在高寒草原、草甸区以生物措施或自然恢复为主，进行植被恢复采用当地相应的草种或草皮；在河滩地要将不稳定边坡进行加固，及时疏通洪水通道，防止河道改线造成水力侵蚀等。

在施工期结束后，除了铁路维护必需的施工便道，对那些造成断景或废弃的便道采取恢复措施，特别是在植被覆盖区要进行植被恢复，进行换填土壤，种植草种或草皮结合自然恢复，减小对景观的影响。施工营地和场地使用结束后，应对场地进行及时清理，清除油渍和垃圾，平整地面，尽量恢复原有地貌和植被。

综上所述，以青藏铁路建设为契机，通过能源结构的改变、产业结构的调整、旅游业的发展，从而促进当地经济的发展。处理好铁路建设与环境保护的关系，将工程建设对环境的影响减少到最小限度，建设一条高原环保旅游线。

参考文献

[1] 古格其美多吉．西藏旅游．拉萨：西藏人民出版社，2000 年 5 月．401－455

[2] 赤列曲扎．西藏风土志．西藏人民出版社，1982 年 10 月．140－144

[3] 寒农．青藏铁路未来的旅游热线．铁道知识，2003(1)：49

[4] 冉理．青藏铁路与环境保护．中国铁路，2002，12 期：47

青藏铁路格拉段旅客列车垃圾处理的探讨

刘　丹　李启彬　查　坤

西南交通大学环境科学与工程学院

摘　要：通过对青藏铁路格拉段运营后旅客列车垃圾产生特征的分析，提出了在安多设置旅客列车垃圾投放站、建设旅客列车垃圾填埋场的方案，基于现场试验取得的成果建议该填埋场按准好氧方式运行，最后对该填埋场的初步设计提出了建议措施。

关键词：列车垃圾　处理　准好氧填埋场　青藏铁路

青藏铁路建成后，拟按照“快速运行，免维修，无人化管理”的目标运行和管理。在其投入运营后，全线 1190km 只开设 15 个车站，站间距离从 30～158km 不等。除格尔木和拉萨站外，沿途其他车站定员均不多，加之全线自然地理环境条件非常恶劣，在沿途车站建设铁路职工家属区的可能性较小，故各车站垃圾产量均不大（根据职工人数，各车站每天只产生几公斤到数十公斤垃圾），处理起来相对容易。因此，本文仅对青藏铁路格拉段旅客列车垃圾的处理处置方案进行探讨，以期对青藏铁路运营后垃圾的处理和管理方案提供参考和借鉴，进而加强青藏铁路运营后的环境保护工作，实现“生态铁路”的建设和管理目标。

1　青藏铁路格拉段旅客列车垃圾的产生分析

根据设计，青藏铁路投入运营后，近期（2010 年）计划开行 5 对旅客列车，年预计运送旅客 150 万人次，远期（2015 年）计划开行 6 对旅客列车，年预计运送旅客 180 万人次。根据与我国其他铁路旅客列车垃圾产生量进行的类比分析，青藏铁路格拉段旅客列车垃圾产生量按 0.04kg/（h·人）计算，则近期格拉段全线每年将产生旅客列车垃圾 720 吨（全线铁路旅行时间按 12h 考虑），远期每年将产生旅客列车垃圾 864 吨，总量仍相当惊人。

预计青藏铁路格拉段旅客列车垃圾组成与国内其他铁路旅客列车垃圾组成基本一致，即垃圾成分较为单一，主要是食物残渣和废瓶罐及各种塑料及纸质包装物，其中又以食物残渣类垃圾占首位，整体而言，可生物降解特性较好。

2　青藏铁路格拉段旅客列车垃圾处置方案选择

2.1　旅客列车垃圾投放点设置的讨论

根据以上列车旅客垃圾产生量数据的分析，在青藏线格拉段全程行驶后，每列旅客列车平均将产生垃圾约 200kg，考虑客流分布的不均匀性，高峰期时单列客车全程产生的垃圾量将大大高于该数字，若超员率按 100% 考虑，则该列车全程将产生垃圾 400kg。若青藏线格拉段全线不设旅客列车垃圾投放站，最多时一列客车将有 400kg 的垃圾堆放在车上，不仅将占据宝贵的旅客列车空间，同时在最长达 12 小时的堆放过程中，不可避免地会发生垃圾的分解并随之带来一系列污染问题，影响列车环境和卫生。为此，可考虑在格尔木到拉萨之间设置一到两个

旅客列车垃圾投放点。

由于青藏铁路穿越了可可西里(国家级)、三江源(省级)和一江两河(省级,规划中)自然保护区,毗邻羌塘、林周澎波黑颈鹤、拉鲁湿地、纳木错、羊八井2格达温泉蛇(规划中)、拉萨古柏树林(规划中)、达孜叶巴喀斯特地貌(规划中)和堆龙德庆县马乡不整合接触(规划中)等自然保护区[1],根据我国相关规范和标准的要求,在上述自然保护区内均不能建设填埋场、堆肥场或焚烧厂等垃圾处理设施。故在选择青藏铁路格拉段旅客列车垃圾投放点时,必须避开上述自然保护区。

根据青藏铁路格拉段上述自然保护区的分布情况,青藏铁路格拉段青海段(长605.9km)全部位于可可西里和三江源自然保护区内,因而旅客列车垃圾投放点只能选择在青藏线唐古拉山以南段。据此,青藏铁路格拉段旅客列车垃圾投放只能选择单个垃圾投放站方案。

根据青藏铁路唐古拉山以南段自然保护区和车站的分布情况,可将安多车站定为青藏铁路格拉段的唯一垃圾投放站。除不在自然保护区范围内外,指定安多站为青藏铁路垃圾投放站还具有以下理由:

(1)安多站距格尔木698km,距拉萨444km,所处位置相对适中,是青藏铁路唐古拉山以南段距格尔木最近的中间车站。

(2)安多站正好位于岛状冻土和深季冻土区域外,冻土对待建垃圾处理设施热稳定性的影响相对较小。

(3)安多站依托那曲地区安多县城,物质和技术支持条件相对较好。

(4)在青藏铁路安多段有现成的较大型取土场可供填埋场选址利用,填埋场建设对周围生态环境的影响相对较小。

2.2 垃圾处理方式的选择

目前,我国铁路垃圾的处理处置主要有以下方式:

(1)距城市较近,且城市垃圾处理设施较完善的铁路站段,将其集中收集的垃圾(包括车站垃圾、列车垃圾和站段生活垃圾)统一纳入城市垃圾处理系统进行处理,垃圾被定时收集清运,基本得到了妥善处置;由于我国大多数中小城市尚不具备完善的垃圾清运和处理系统,因而这种方式主要是被位于大城市附近的较大铁路站段所采用。

(2)采用简易焚化炉将垃圾焚烧减量后进行简易堆填;这主要是被一些经济条件较好,所在地用地紧张,难以选择填埋场址的站段所采用。由于受经济和技术因素的制约,采用这种方式的铁路站段较少;且由于采用简易焚化炉焚烧垃圾,势必造成严重的二次空气污染。

(3)就近选择天然或人工低洼地形如沟谷、取土坑等,将收集的垃圾由站段集中进行简易填埋处理或直接堆填。该处置方式因操作简单,经济易行,被大多数的中小铁路站段所采用,如敦煌站和乌鲁木齐西站。然而这种堆放或简易填埋的处理方式,没有考虑防渗、气液导排、渗滤液处理、防飞散等环保措施,常常引起严重的二次污染。

(4)部分站段特别是位于偏远地区的部分中小站段将其产生和收集的垃圾以一定的费用承包给当地群众,由其进行收集和处理。受技术和经济条件限制,承包人将铁路站段垃圾收集后,并不能对其进行无害化处理处置,只能将其运离铁路站段后,选择河边或低洼地带倾倒了事,或选择无人地带直接焚烧处理。如此,铁路垃圾的污染危害并没有得到有效控制,仅仅是污染空间位置得到转移。

由于青藏铁路所处的特殊地理位置和环境特征,上述用于一般铁路车站垃圾的处理方式

均无法应用于青藏铁路旅客列车垃圾的处理处置。选择青藏铁路旅客列车垃圾的处理方案时必须遵循以下原则:

①可行性原则。用于青藏铁路垃圾处理处置的方案应技术上可行,适合青藏高原特殊的环境条件。

②经济性原则。用于青藏铁路垃圾处理处置的方案应符合建设和运行费用最低的原则。

③环境保护原则。用于青藏铁路垃圾处理处置的方案必须符合国家和地方政府相关法律法规要求,符合环境保护的原则。一方面确保处理处置技术的无害化,同时处理处置场地对周围环境的影响最小。

此外,适用于青藏铁路格拉段旅客列车垃圾处理处置的方式还应满足:处理规模在每天仅1吨左右的情况下,其处理技术仍然实用且经济;在垃圾日产生量波动较大的情况下能稳定运行,且安全可靠、操作简便;对垃圾组分如塑料含量等无过高要求;二次污染风险小;能适用于青藏铁路沿途非常恶劣的自然气候条件。

由于垃圾卫生填埋具有对垃圾分类收集无过高要求;投资省、运行费用低;技术上简便易行;能对垃圾进行最终处置等优点,因而与堆肥和焚烧相比,卫生填埋处置是最适合青藏铁路格拉段旅客列车垃圾处理的具体方案。

传统的垃圾卫生填埋场仍具有填埋垃圾降解和稳定速率慢、渗滤液难处理且处理费用高等不足,在此基础上人们开始了对生物反应器填埋场的研究[2]。按照运行方式的不同,生物反应器填埋场可分为厌氧型、好氧型和准好氧型三类。厌氧型生物反应器填埋场采取了渗滤液回灌等措施,具有加速填埋垃圾稳定、降低渗滤液污染强度、可回收利用甲烷气体等优点,但其渗滤液氨氮浓度长期偏高、后期COD浓度衰减缓慢[3,4];好氧型生物反应器填埋场通过强制通风手段来保持填埋垃圾的好氧降解状态,稳定速率快,渗滤液污染浓度衰减快[5],但需配套通风设备并消耗较多的能源,不太适合我国国情;准好氧型生物反应器填埋场是通过自然通风手段保持填埋场的局部好氧状态,比厌氧型稳定速率快,渗滤液氨氮浓度低,同时不需通风设备和消耗能源[6]。其中,厌氧型和准好氧型都是比较适合我国国情的选择。

针对青藏铁路旅客列车垃圾填埋场的实际情况,建议安多旅客列车垃圾填埋场按准好氧方式运行。有关准好氧型运行方式对青藏铁路沿线特殊的地理环境和气候条件的适用性问题已通过现场单元试验得到检验,通过一年多的运行,现场试验单元的渗滤液COD和氨氮浓度分别由填埋时的3307mg/L和164.3mg/L下降到249mg/L和5.0mg/L,同时应蒸发量远大于降水量,还避免了渗滤液的排放问题。

3 青藏铁路格拉段旅客列车垃圾填埋场的设计初步考虑

对拟建在安多站的青藏铁路旅客列车垃圾填埋场,因平均每天进场垃圾约1吨左右,该填埋场按15年使用年限考虑,共计需填埋垃圾约6500吨,因旅客列车垃圾中塑料袋等包装物较多,故压实密度不会太大,按$600kg/m^3$考虑,则该填埋场有效容积应为$10800m^3$。垃圾和覆土的比例按4:1考虑,则该填埋场总容积为13500 m^3,同时需外借覆土2700 m^3。填埋场高度按5m考虑,则填埋场填埋区占地面积为$2700m^2$。

该填埋单元需配套防渗系统、渗滤液收集系统、渗滤液回灌系统、气体导排系统等设施。由于青藏铁路沿线土壤难以满足渗透系数$\leqslant 10^{-7}cm/s$的要求,加之填埋场面积不大,故采用土工膜作防渗系统;渗滤液收集系统由渗滤液收集管、渗滤液收集(调节)池组成;渗滤液回灌系统包括回灌池、回灌泵及泵房、回灌管网和回灌布水器等;气体导排系统担负填埋场内垃圾

降解产生气体向场外逸出的功能，通过气体导排竖管还向周围垃圾扩散好氧降解所需的氧气。

根据该填埋场的规模和所在地区的具体情况分析，建设该填埋场预计需投入 90 万元。因需进行每日填埋垃圾的覆盖和渗滤液回灌等操作，填埋场可考虑定员 1 人，包括人员工资在内，该填埋场每年的运行费用约为 3.5 万元。

4 建议

(1)由于青藏铁路沿线蒸发量远大于降水量，为避免填埋场长期运行后垃圾含水率无法满足微生物活动需要，应定期补充水分。可将安多站部分生活污水注入填埋垃圾内，一方面调整了填埋垃圾的含水率，同时也减少了需要处理的污水量。

(2)可将污水处理系统产生的污泥纳入填埋单元进行填埋，以避免污泥的额外处置。

(3)若铁路车站附近还有其他单位，可将其他单位产生的垃圾纳入该填埋场一并进行处置，以取得更大的社会效益和环境效益。

参 考 文 献

[1] 孙士云. 青藏铁路沿线的生态环境特点及保护对策[J]. 铁路劳动安全卫生与环保, 2002, 29(3): 121 - 124

[2] U. S. EPA. Alternative Liner Performance, Leachate Recirculation, and Bioreactor Landfills: Request for Information and Data[Z]. Federal Register, 2000, 65(67): 18014 ~ 18018.

[3] Pohland F G. Landfill Bioreactors: Historical Perspective, Fundamental Principle, and New Horizons in Design and Operations[A]. In: Seminar Publication: Landfill Bioreactor Design and Operation[C], Wilmington DE, 1995, Washington: US Environmental Protection Agency, 1995:9 ~ 24.

[4] Chugh S, Clarke W. Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation [J]. Waste Management and Research, 1998, 16(6): 564 ~ 573.

[5] Adam D R. Aerobic landfill test cells and their implications for sustainable waste disposal[J]. The Geographical Journal, 2001, 167(9): 235 ~ 241.

[6] Nobutoshi T. Quantity and Quality Issues on Landfill Leachate and the Function of Semi - Aerobic Landfill[J]. Waste Management Research, 1993, 4(1): 41 ~ 46.

青藏线错那湖活动沙丘的形成机制及治理措施

段青龙

铁道第一勘察设计院新疆分院

摘　要：本文通过对青藏线错那湖活动沙丘分布特征及形成机制的剖析，提出了合理的工程地质选线原则及工程治理措施，以使风沙活动对铁路工程及铁路运营的危害程度尽可能地减小。

关键词：活动沙丘　形成机制　治理措施

青藏线错那湖活动沙丘位于西藏自治区安多县错那湖东岸，呈扇形分布，面积约 $2km^2$。安多县地处藏北高原，平均海拔高程在4500m以上，气候寒冷、空气稀薄、人烟稀少，地表草皮较发育、无木本植物生长，自然条件较差。新建青藏铁路格尔木至拉萨段 CK1560 + 805 ~ CK1562 +660 以 NNE 向通过活动沙丘，线路距错那湖边 1 ~2km。

1　地质概况

1.1　地形地貌

本段线路位于错那湖东岸洪积平原上（见图1），海拔高程为4587 ~4592m，线路高出错那湖面4 ~9m，地势东高西低，地形有起伏，地表无植被，新月形沙丘较发育。

线路东侧500m以外为低山区，基岩裸露，植被稀少，沟谷发育，主要河流为巴索曲河。

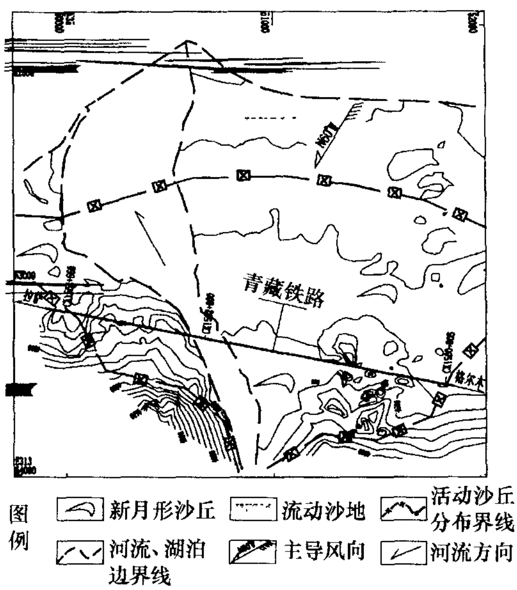


图1　线路平面位置图

线路在 CK1562 + 000 处跨过巴索曲河，该河为常年流水性河流，雨季水量较大，冬季河水冻结，其延伸方向为近 EW 向，河流出口位于错那湖东岸，从活动沙丘中通过；河床两岸新月形沙丘呈不连续状分布。

1.2 地层岩性

错那湖东岸洪积平原地表为第四系全新统风积细砂，厚 1 ~ 5m，松散，表层 0.2m 稍湿，以下潮湿；下伏洪积中砂或卵、砾石土。

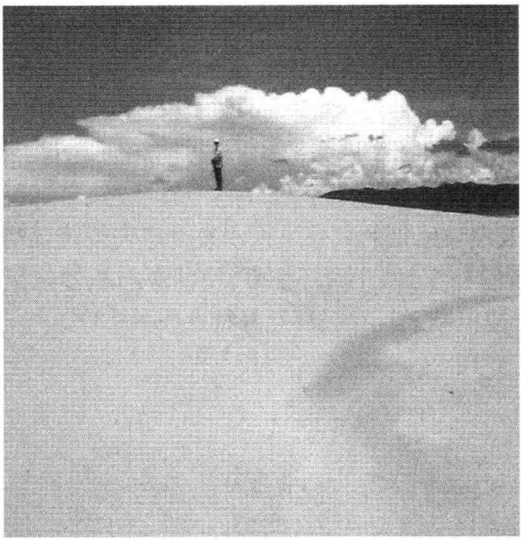
低山区坡面出露上古生界花岗片麻岩，表层风化极严重-严重，岩体呈角砾状，风化层厚 3 ~ 5m。

1.3 水文地质概况

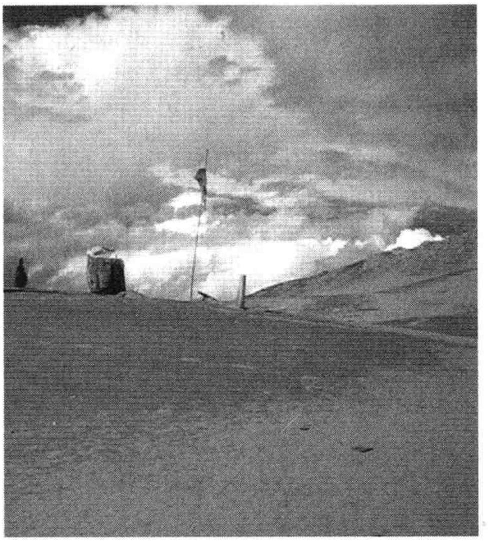
沙丘分布地段地下水位埋深 1 ~ 5m，水量丰富，水质较好，其补给来源为巴索曲河水及低山区基岩裂隙水。

1.4 气象特征

本地区属于高原亚干旱气候区。据安多县气象站观测资料，年平均气温 -2.9℃，最冷月平均气温 -14.7℃，最热月平均气温 7.5℃，极端最高气温 23.3℃，极端最低气温 -36.7℃；年平均降水量 428.4mm，年平均蒸发量 1782.9mm，年最大降水量 604.6mm，年最大蒸发量 1941.1mm；年平均大风日数（≥8 级）147.1，定时最大风速 35.0m/s、风向 WSW，瞬时最大风速 38.0m/s、风向 W；最大季节冻土深度 350cm。



照片 1　新月形沙丘



照片 2　导线桩 C2056 露出地表

2 沙丘分布及特征

2.1 沙丘分布范围

在错那湖东岸洪积平原、低山区西侧坡面及巴索曲河谷均有不同程度的积沙现象。其中距错那湖东岸 1.5km 范围内主要为流动沙地，分布面积约 $3km^2$；错那湖东岸 1.5km 以外至低

山区坡脚范围内及巴索曲河床两岸风积沙主要为新月形沙丘,分布面积约 $2km^2$。

2.2 沙丘特征

本段活动沙丘系以单一主导风向作用下新月形沙丘为主(见照片1)。沙丘轴向以 N60°W 为主,长度 10~30m,宽 5~20m,高度 1~5m,间距 10~50m;迎风侧凸而缓,坡度 8°~15°;背风侧凹而陡,背风坡度 30°~40°。沙丘表面无植被生长。

2.3 沙丘的物质组成

风积沙物质组成主要为松散状细砂,表层 0.2m 稍湿,以下潮湿,从地表至 2m 深度范围内天然含水量为 4.3%~6.8%。风积沙砂质较纯净,颗粒较均匀,矿物成分为石英、长石等,一般粒径为 0.1~0.25mm,大于 0.1mm 的颗粒超过全重的 95%,粉、粘粒含量很少。

3 沙丘的形成机制

3.1 主导风向及最大风速

据安多县气象资料,本地区主导风向为 WSW(见图2),最大风速为 38m/s,大风季节为每年 10、11、12 月及次年 1、2、3 月。而在本段由于线路东侧山体对来风具阻挡作用、巴索曲河谷对风向具有疏导作用,使主导风向在此产生变化。通过现场观察和量测,本段主导风向为 WNW,与本段活动的新月形沙丘的轴向一致。

3.2 活动沙丘的形成机制

本段新月形沙丘的形成是与其周围的地形地貌及地质条件密贴相关的。线路东侧山坡出露上古生界花岗片麻岩,表层风化极严重而多呈土状,风化物中的细颗粒被地表水搬运沉积到巴索曲河谷中,然后经河水搬运沉积至错那湖东岸,形成风积沙沙源;大风季节,在地区性大风作用下将湖边细砂向 S60°E 方向搬运,由于线路东侧山体的阻挡和巴索曲的疏导,使风向发生变化、风速减小,风力搬运能力降低,空气中携带的细砂便在山前平原、巴索曲河谷及缓坡地带沉积而形成新月形沙丘及流动沙地。而位于巴索曲河谷及缓坡地带的部分风积沙又由地表径流及河水冲刷、搬运,再沉积到错那湖东岸,使沙源得到不断的补充,如此循环往复,使沙源与积沙区呈现一种递增的互补关系。因此,本段新月形沙丘在形成机制上具有循环互补特点(见图3)。

图2 风速风向玫瑰图

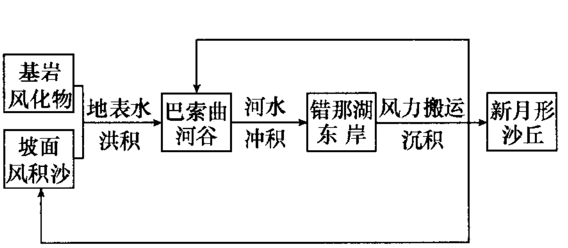


图3 沙丘形成机制示意图

4 沙丘的活动特点及危害

调查发现本段活动沙丘运移速度在 2m/年以上。沙丘的危害性主要表现为风蚀、风积(沙

埋)及两者的共同作用。

4.1 风蚀作用

由于本区蒸发量远大于降雨量,在蒸发作用下,沙丘表层0.2m厚细砂呈干燥或稍湿状态,在一年多达近5个月的大风作用下,风力对沙丘表层细砂的剥蚀搬运作用强烈。由于蒸发作用的不间断性,使沙丘表层始终存在0.2m厚的干燥状态细砂。因此,除活动沙丘表层细砂运移频繁,大风造成的风沙流也表现了较强的风蚀能力。在本次初测过程中,位于沙丘中的导线桩在约50天之后出现露头或悬空现象(见照片2),标志桩字迹因风蚀打磨而模糊不清就是证明!

4.2 风积作用

风力作用将地表细砂随风沙流由西向东搬运并沉积,风力大小决定搬运距离,鉴于起沙风速大小、频率及风力衰退时间随地形地貌的不同而变化,而导致在一定的范围内产生不同的程度的积沙现象。由于线路东侧山体的阻挡,使风速减小、风向旋回,风力搬运能力骤降,而导致从沙源到坡脚积沙现象越来越严重的结果,在巴索曲河谷、河床两岸及十几公里以外的青藏公路左侧,形成不连续状分布的新月形沙丘。

每年10、11、12月份及来年1、2、3月份为大风季节,也为枯水季节,风力将细砂搬运、沉积到巴索曲河谷而掩埋部分河床。在洪水季节,河水对河床中的风积沙进行冲刷、搬运,使河床及两岸出现3~5m高的陡坎。

由于沙埋作用,使巴索曲河床在错那湖东岸产生摆动现象。据1978年勘测资料,当时线路在CK1561+680处跨越巴索曲河床,而本次勘测资料表明,线路在CK1562+000处跨越河床,由此证明巴索曲河床在20多年间由北向南摆动了320m。

综上所述,说明本段风积作用较强,沙埋现象较严重。

5 工程地质选线

5.1 风沙对铁路工程的影响

根据风沙地区铁路建设的工作经验,如南疆线、包兰线等,风沙对铁路工程的影响主要表现为对路肩的风蚀破坏和对桥孔、路基侧沟、道床、轨枕的沙埋现象,风沙对路堑工程的危害比较对路堤工程的危害性大。结合本段沙丘的活动性特点,从导线桩出现露头、积沙掩埋河床等现象,可以预测风沙对未来的路基工程具有较大的危害性,将会使路肩和迎风侧路堤等突出部位遭受风蚀破坏,并在桥孔、道床、侧沟、及路基两侧低洼地带出现严重积沙现象。

风沙对路基工程的危害程度与线路走向和主导风向的关系有关,线路走向与主导风向夹角越大,路基工程对风速、风向的影响就越大,积沙和风蚀现象就越严重,线路走向与主导风向垂直,风沙对路基工程的危害最大,线路走向平行主导风向,风沙对路基工程的危害最小。

5.2 工程地质选线

本段活动性新月形沙丘为控制线路方案的不良地质现象。由于受本地区地形条件的限制,错那湖东岸成为青藏铁路的必经之地,除了钻山出长大隧道工程,线路无法避绕本段沙丘,也无法使线路沿主导风向走行。因此,在本段进行合理的工程地质选线尤显重要。为此确定

本段工程地质选线原则如下:

(1)应尽量向沙源靠近

因为从错那湖边到线路东侧低山区坡脚积沙现象越来越严重,所以只有将线路尽可能的向湖边(沙源方向)移靠,才能将风沙对工程的危害程度降低到最小。但线路向湖边移靠的距离受错那湖波浪侵袭高度的限制,错那湖百年设计水位为4583.09m,波浪侵袭高度为4.57m、线路向湖边移靠距离太大,将会位于错那湖波浪侵袭区。因此,应在保证路肩不受波浪侵袭的前提下,尽可能的将线路向湖边移靠。

(2)不宜以路堑通过低山区坡面

由于低山区坡面较陡,积沙现象不太明显,但在其坡角坡积、风积现象较为严重,细砂堆积高度大于5m。若在坡面修筑路基,因受路肩设计标高的控制,必然以路堑通过,这样就使路堑成为截沙沟或挡沙平台,结果会导致沙埋路基现象。因此,线路不宜以路堑通过低山区坡面。

(3)应以路堤通过沙丘分布地段

因为风积沙对路堑的危害程度比对路堤的危害程度更大,所以线路在本段活动沙丘中应以路堤通过,且路肩设计高度应大于沙丘的最大高度。

(4)应选择合理的桥位及孔跨式样跨越巴索曲

由于巴索曲河床摆动不定且沙埋现象较严重,线路跨越该河床设计桥位及孔跨式样应考虑河床摆动幅度及积沙情况,而不只单纯从流量出发,以防排洪不利和沙埋堵塞桥孔而造成路基水害现象。

6 沙害治理措施

6.1 沙害治理

本段线路走向与主导风向夹角近70°,风沙对铁路路基工程危害较大,若不采取合理的治理措施,将会导致风沙掩埋道床、轨枕的恶果,严重威胁铁路的正常运营及安全。只有采取合理的治理措施,才能减小其对工程的危害性。因地制宜,充分利用当地资源及材料,以减少工程投资,是沙害治理的主导思想。以下对几种常用治理措施进行探讨和评价。

(1)植物固沙

植物固沙是防治铁路沙害的根本措施,可以达到长久固沙的目的,在有地下水的地区通常被采用。本段沙丘虽然地下水较发育,水质较好,但因为本地区自然条件很差,木本植物很难存活,所以本段沙丘治理不宜采取植树固沙措施;虽然本地区地表草皮普遍发育,但由于本段沙丘表层为干燥状态细砂,砂质较纯净,粉、粘粒含量很少,不利于草皮生长,且大量地移植草皮有悖于环境保护,根据青藏公路的教训,在草皮被破坏的地方,25年后仍寸草不生,即本段沙丘治理不宜采用移植本地区草皮来进行固沙的措施。因此,植物固沙措施对本段沙丘治理近期不适用。

当然,如果针对青藏高原植物生长的特点进行专题研究,能研制出适合于高原气候的植物种类或草种,那么植物固沙作为最有效的固沙措施,远期治理仍不可放弃。

(2)化学固沙

由于本段沙丘分布范围较大,风力作用强劲,对沙丘表面喷洒化学试剂或粘土泥浆,不但成本较高,而且很难达到有效的固沙目的。因此,化学固沙措施对本段沙丘治理也不宜广泛使用。

(3)机械固沙

片石压沙是机械固沙较常用、较有效的措施。根据本段沙丘实际情况，在线路东侧山体出露的花岗片麻岩是片石的丰富来源，且其搬运距离较短，因此用片石压沙是本段沙害治理的最好措施。片石压沙措施应在线路西侧（约 500m）活动沙丘分布范围内采用，片石平铺厚度为 10 ~ 20cm。

在线路西侧 500m 以外，风积沙以流动沙地为主，积砂厚度较小，下伏卵石土，因此应在该范围内挖取卵石设置带状或网状沙障，沙障埂高 20 ~ 30cm，底宽 40 ~ 50cm。

通过以上的分析和探讨，对本段活动沙丘采取片石压沙与设置沙障相结合的综合固沙措施，在近期可能会达到较满意的治理目的。

6.2 路基本体的防护措施

针对本段风沙对路基本体的所产生的风蚀、风积（沙埋）及松软地基三个方面的影响，提出以下防护措施。

(1)防风蚀措施

为了防治风沙对路堤边坡及路肩的风蚀作用，应在路堤、路肩表面铺设 30cm 厚的碎片石。

(2)防风积（沙埋）措施

用芦苇或其他材料在线路两侧适当距离（20 ~ 30m），设置一排高立式沙障，借助于沙障本身及所形成的沙堤，以阻挡外来沙源。沙障高约 2m，将 1/3 埋入沙中。

(3)松软地基处理措施

为了防止路堤基底风积沙产生震动液化现象，应铲除路堤基底风积细砂，选填粗颗粒土作填料。

7 结语

由于青藏线错那湖活动沙丘在地质条件、形成机制及所处环境等方面的特殊性，使对其治理工作有一定的难度，只有选择合理的治理措施，才能够达到投资少、效果佳的治理目的。本人通过对活动沙丘的地质条件、形成机制及活动性特点的分析，在治理措施上提出了自己的一些看法和观点，以供本段铁路工程设计参考。

参 考 文 献

[1] 铁道部第一勘测设计院．铁路工程地质手册．北京：中国铁道出版社，1999

青藏铁路运营的次生环境影响与对策

夏先芳

铁道第一勘察设计院

摘　要：分析了青藏铁路运营后，在促进经济发展、居民生活水平提高的同时，可能在环境污染、生态破坏、传统文化消失等方面产生的负面次生环境影响，并提出了预防或减免次生影响的对策措施。

关键词：青藏铁路　次生环境　影响　对策

1　青藏铁路运量分析

青藏铁路运营后，为内燃机车牵引，牵引质量2000t，其近(2010年)、远(2015年)期客货列车对数详见表1。

表1　客货列车对数表　　(单位:对/日)

区段	设计年度	客车				货车				合计
		特快	快速	普客	小计	区段货物列车	重点摘挂列车	摘挂列车	小计	
格尔木—那曲	近期	1	3	1	5	3	1	1	5	10
	远期	2	3	1	6	3	1	1	5	11
那曲—拉萨	近期	1	3	1	5	2	1	1	4	9
	远期	2	3	1	6	2	1	1	4	10

从上表分析，2010年后通过青藏铁路进出西藏的人员每天约1万人次，货物每天约2万吨。

2　次生环境影响分析

次生环境影响是指原生环境影响因素与环境中其他成分相互作用而产生的新的环境影响。青藏铁路经过连续多年冻土区约550km，穿越高寒荒漠、高寒草原、高寒草甸、沼泽湿地、高寒灌丛等不同的高寒生态系统，跨越长江源主要河流和临近错那湖，自然生态环境具有原始、独特、敏感、脆弱的特点，破坏后不易恢复。因工程建设和运营可能产生的直接环境影响，已引起建设部门、环保部门等足够重视，并采取了多种减免或恢复措施。铁路运营后的次生环境影响若不能及时预测，尽早采取防范措施，其危害性将远大于工程建设的直接环境影响。

2.1　对环境污染的影响

铁路大运量、快捷、经济的特点，会轻易将沿线工业发展所需的原材料及其产品运进运出，

刺激经济快速发展，工业的发展无疑会使各经济据点的大气污染物排放量、工业污水排放量、工业固体废弃物产生量显著增加，加大环境压力。同时交通的便捷及工业的发展，会吸引周边牧民弃牧务工到城镇定居，加速城市化进程，增加生活污水产生量。大量污染物的直接排放会污染环境，使环境质量下降。

2.2 对生态环境的破坏

交通的便捷，运输能力的增加，使沿线地区矿产的大量开发成为可能。无论哪种矿产的开发、开采均会破坏所在地的地表植被、地形地貌，加剧水土流失和荒漠化。

随着工业的发展、人口的集中，城镇居民的消费水平的提高，对畜牧产品的产量需求也会不断增加，刺激牧民增加牧场面积和养殖规模，一旦超过草场的载畜能力，则草场会遭到破坏，使生态环境恶化。

青藏铁路运营后，游客人数将急剧增加。若组织不当将对将对景点及其周围生态环境产生不力影响。

2.3 对野生动植物的影响

青藏铁路运营后，迁徙性野生动物不得不在人工设定的通道范围内通过，这将给盗猎等不法分子提供可乘之机，迁徙中野生动物遭到猎杀的危险性加大。

交通的便利，也给盗猎野生动物、盗采野生植物(特别是药用野生植物)的不法分子，提供了便利，若管理不当会使野生动植物遭到破坏。

2.4 对原始的民族文化影响

人员交流的便利，将使外界文化进入藏区，对原始的藏传文化造成巨大冲击，甚至使一些独特的文化形式消失。

3 对策措施

3.1 编制或完善发展规划，进行规划环评

沿线各级政府部门应结合青藏铁路的开通运营，尽早编制或修订工业、农牧业、旅游业等发展规划。依照《中华人民共和国环境影响评价法》的相应规定编制规划环评，对规划可能产生的环境影响进行预测分析和评价，提出避免和减少环境影响的对策措施。

编制城镇发展规划，合理布局，控制人口过快增长，加快污水处理设施等环保设施的建设，减少污染物的排放量。

3.2 控制进藏物资类别，限制高污染工业的建设

沿线政府和环保部门应禁止高硫分和灰分的煤炭通过铁路进藏，提倡和推广清洁能源的使用，跟踪监测大宗煤炭、焦炭及石油接受地区及其用户的污染物排放量，监督减少污染物排放措施的实施。

3.3 其他

积极发展生态旅游，藏医藏药及高原绿色食品、饮品，促进高原经济稳定持续发展，使旅

游、医药及食品资源永续利用。

文化部门应加强藏文化的挖掘、研究、整理及编印出版工作，最大限度地保留原始的藏文化遗产。

铁路公安部门及运输部门，应加强管理与巡视，坚决打击盗猎、盗采的不法分子，最大限度地保护野生动植物资源。

地方相关部门与铁路部门连手对进藏人员进行环境保护和野生动植物保护的宣传教育，提高人们的环保意识，使保护青藏高原的优美环境成为人们的自觉行动。

4 结语

青藏铁路的运营，将极大地促进沿线经济的发展和居民生活水平的提高，这是毋庸置疑的。其运营后带来的不利次生环境影响也是漫长和复杂的，只要政府部门足够重视，超前研究，提出切实可行的防范措施，避免或最大限度地减少不利次生环境影响，促进沿线地区人与环境和谐发展是完全可以做到的。

生物法处理低温生活污水试验研究

侯世全[1] 水春雨[1] 程学友[2]

1 中国铁道科学研究院环控劳卫研究所

2 青藏铁路建设总指挥部工程部

摘　要：进行了生物法(SBR、MBR)处理低温生活污水的试验研究，结果表明：在常温条件下培养的污泥随着水温的降低，微生物的种属经过自然的筛选和淘汰，能够逐步适应低温的自然环境，MBR 处理低温污水的效果可接近正常温度的水平，SBR 低温运行由于泥水分离效果变差导致有机物去除率大幅降低。

关键词：SBR　MBR　低温生活污水

目前，寒冷地区低温污水处理一直是水处理中的难点。在我国一些寒冷地区，一年中的大部分时间处于低温环境，排水温度一般在 10℃以下，青藏铁路站区污水水温最低可达 5℃，而生物处理一般要求水温在 13℃以上，为保证微生物的正常生长，水温应为 10～35℃(20～35℃最佳)，水温 10℃以下即属低温，污水温度低于 10℃时，污泥活性降低[1]，有资料表明，当温度低于 10℃时，污水中的中温微生物已不能代谢外源物质，这就给污水生物处理带来很大困难[2]。但在实际工程中发现，水温低于 10℃时，活性污泥仍有一定去除有机物的能力[3][4]。一般认为，生物处理在低温时的效果不理想，低温运行时，应对处理设施采取加温或保温措施，以维持生物反应池有较高处理效率。关于生物处理低温运行的实际效果如何；水温低于多少度时，生物处理会失去其工程意义；水温低于 10℃时，是否必须通过加温或保温措施来保持正常运行的效果；采用哪种生物处理工艺低温运行效果较好；有必要做进一步的试验研究。

本研究的目的主要是探讨污水水温低于 10℃时，采用生物法、选择适宜的生物处理工艺处理生活污水达污水综合排放一级标准的可行性，为青藏铁路站区进行生活污水处理提供技术参考。

1　试验采用工艺流程

生物处理是生活污水处理中最常用的方法，其主要优点是有机物去除率高，运行成本低，生物处理也是城市污水处理和可生物降解的工业废水处理的主导工艺。在以生物处理为基础发展起来的各种水处理技术中，膜生物反应器(Membrane Bioreactor，MBR)是用膜组件代替传统二沉池进行固液分离的一种新型水处理技术，在污水处理与回用中有良好的应用前景。与传统活性污泥法相比，膜生物反应器具有固液分离效率高、出水水质好污泥产量低、抗冲击负荷能力强、易于自动控制等优点[5]。序批式活性污泥处理系统(Sequencing Batch Reactor，SBR)是近年来日益受到重视并得到较广泛应用的一种污水处理技术，具有工艺系统组织简单、勿需设污泥回流装置、不设二次沉淀池、曝气池容积小于连续式等特点[6]。

SBR 和 MBR 工艺均属于生物处理，微生物的活性、去除有机物的效能与水温有关。

综合考虑青藏铁路设备运行条件、污水排放要求达到 GB8978－1996《污水综合排放标

准》(一级)等因素,采用 SBR 和 MBR 工艺进行试验。

2 试验装置与方法

试验在格尔木进行,以格尔木铁路泰康小区生活污水为原水。

2.1 试验装置

SBR 反应器为小试装置,集储水、曝气和沉淀于一体,间歇进水,间歇排水,设计处理水量 1L/h;一体式 MBR 反应器连续进水,间歇出水(出水 8min、停止出水 2min),设计处理水量 5t/d。

2.2 试验方法

试验所用接种污泥为兰州市雁儿湾污水处理厂二沉池回流污泥,该污泥性能良好,镜检发现大量活跃钟虫和少量线虫,污泥上清液清澈透明,将接种污泥加入池中,并加入部分生活污水在低温(5 ~ 7℃)下闷曝 24 小时,逐步加大进水负荷,间歇进水,间歇排水,逐步培养驯化活性污泥,至生物相逐步恢复正常,污泥性能稳定,经 20 天后,污泥浓度达 5g/L。待污泥培养驯化完成后,正式进行设备运行试验,考察在不同的技术参数下试验装置低温运行污水处理效率。

3 结果与分析

3.1 试验结果

SBR 反应器和 MBR 反应器两个试验装置在低温(5 ~ 7℃)下运行对生活污水中 COD 的去除特性如表 1 所示。

表 1 SBR 和 MBR 低温运行对生活污水中 COD 的去除特性

类型	HRT/h	有机负荷 kgCOD/kgMLSS · d	进水 COD(mg/L)	出水 COD(mg/L)	COD 去除率(%)
MBR	4	0.03	255	64	
	8		255	48	
	12		255	46	
	6	0.06	258	52	
		0.02	258	38	
SBR	4	0.03	255	128	49.8
	8		255	118	53.7
	12		255	112	56.1

从表 1 中可见,在试验条件下,采用 MBR 工艺,COD 的去除率为 74.9% ~83.3%,出水 COD 浓度低于一级排放标准限值 100mg/L;采用 SBR 工艺,COD 的去除率为 49.8% ~

56.1%，出水 COD 浓度高于一级排放标准限值 100mg/L。

3.2 分析与讨论

(1)从试验结果可以看出，MBR 反应器低温(5～7℃)下运行对污水中有机物去除效率较常温情况有所降低，但仍能保持较高的去除率，出水水质可以达到一级排放标准。分析原因，在常温条件下培养的污泥随着水温的降低，微生物的种属经过了自然的筛选和淘汰，逐步适应了低温的自然环境，建立了新的生物平衡关系，当温度在 5℃时，运转过程中未发生质的变化，在镜检中并未见到新的生物种属，未见到微生物的数量有明显减少和减弱，只要长时间保持较稳定的低温运转，经过一段时间，污水温度与微生物建立稳定的平衡关系后，MBR 处理效果可接近正常温度的水平。

(2)MBR 反应器处理低温生活污水，在相同温度、相同进水 COD 浓度下，在最初的 4 小时内表现出较高的 COD 去除效率，随着水力停留时间的增长，去除效率增加不多，到 8 小时后基本保持稳定。分析其原因，认为可能是因为低温条件下活性污泥的活性大部分来自冷适应微生物(耐冷菌、嗜冷菌)，这类耐冷菌、嗜冷菌能降解的有机物种类有限，不能降解生活污水中的全部有机物。根据试验结果，用 MBR 处理低温生活污水，当生活污水浓度低于 300mg/L，水力停留时间控制在 4～8h 是适宜的。

(3)考虑到低温情况下生物活性降低，试验采用了较低的污泥有机负荷，污泥有机负荷范围控制在 0.02～0.06kgCOD/kgMLSS·d，试验结果表明，有机负荷较低时，污染物去除率较高，但差距不大。

(4)SBR 反应器低温(5～7℃)下运行对污水中有机物去除效率较常温情况降低，SBR 反应器去除效率比 MBR 反应器下降的幅度要大的多，出水不能达到一级排放标准要求，分析原因，是由于低温运行的条件下，污泥沉降性能不好，活性污泥比较细碎，不易形成大块絮凝体，沉降后的上清液仍有细小的悬浮颗粒随水流出，且低温环境下，水的粘滞性增加，固体颗粒沉降阻力加大，降低了泥水分离效果，而膜生物反应器有效地克服了与污泥沉降性能有关的限制条件。

4 结论

(1)可以推断，在低温条件下，活性污泥含有冷适应微生物嗜冷菌和耐冷菌的存在，低温条件下活性污泥的活性大部分来自冷适应微生物。

(2)采用 MBR 反应器处理低温生活污水，污染物去除率较常温情况低，但出水水质可以达到 GB8978－1996《污水综合排放标准》一级标准要求。推荐污泥有机负荷 0.02kgCOD/kgMLSS·d；水力停留时间 HRT6h。

(3)采用 SBR 反应器处理低温生活污水，由于污泥沉降性能不好，污染物去除率较常温情况下降较多，出水水质不能达到 GB8978－1996《污水综合排放标准》一级标准要求。建议在 SBR 反应器后增加过滤单元，以解决污泥沉降性能较差的问题，确保满足污水综合排放一级标准要求。

参考文献

[1] 孟雪征等．利用耐冷菌处理低温污水的研究．山东建筑工程学院学报[J]，2001，16(2)

[2] 桑义敏等．CASS 工艺在处理低温生活污水中的应用研究．环境工程[J]，2002，20(2)

[3] 裴保安等. 接触氧化低温运行研究. 河南科学[J],1997,15(3)
[4] 李长胜等. 低温生物膜技术处理营区生活污水及再利用项目研究. 辽宁化工[J],2004,33(1)
[5] 顾国维等. 膜生物反应器在污水处理中的研究和应用. 北京:化学工业出版社,2002
[6] 雷乐成等. 水处理新技术及工程设计. 北京:化学工业出版社,2001

富氧室在高原军事医学中的应用研究

张西洲　崔建华　王　伟　马　勇
哈振德　张　芳　邢国祥

解放军第18医院

摘　要：高原是一个特殊环境，对人类生命安全威胁最大的是低氧，对部队在高原从事军事活动威胁最大的也是低氧。低氧引起急、慢性高原性疾病，使人们的认知、思维、操作困难，作业效率降低。对此，我们在喀喇昆仑山利用现有房屋和40升高压钢瓶氧气进行了富氧室改善部队缺氧，提高脑—体作业效率的应用性研究。研究内容主要有：富氧室制作；CO_2清除器的研制及应用；高原富氧改善官兵的体力和脑力作业效率；富氧改善夜间睡眠呼吸紊乱及血氧饱和度；富氧对运动后血液流变学和血流动力学、心肌酶活性和肌肉代谢产物、自由基代谢和一氧化氮及其合酶的影响；高原富氧的动物模型实验等。研究结果表明，在海拔3700m和5380m将室内氧浓度提高3%和6%是安全的，经过12小时的富氧，对改善机体缺氧，提高作业效率至少可持续到脱离富氧环境后4小时。在高原，指挥所设在富氧室内，可使指挥员保持清醒的头脑，避免决策失误；战斗小分队执行任务前或完成任务后在富氧室睡眠一宿，对提高战斗力，恢复因极度缺氧造成机体代偿功能的不足是非常有益的。同时，富氧室也可用来防治高原性疾病。富氧室和CO_2清除器制作简单，经济简便，很容易在高原基层部队和战时指挥机关推广应用。

关键词：高原　富氧室　CO_2清除器　作业效率　睡眠呼吸紊乱　SaO_2　血气张力　肺通气　血液流变学　血流动力学　心肌酶　自由基代谢

高原是一个特殊环境，对人类生命安全威胁最大的是低氧，对部队在高原从事军事活动威胁最大的也是低氧。低氧引起急、慢性高原性疾病，使人们的认知、思维、操作困难，作业效率降低。如何提高部队在高原的作业效率，增强战斗力是目前国内学者较为关注的研究课题之一。近年来国外有学者研究认为，在高原给室内充氧，可提高室内氧浓度及受试者的血氧饱和度(SaO_2)，改善眼—手协调功能和夜间睡眠呼吸紊乱等。据此，我们在喀喇昆仑山海拔3700m和5380m进行了富氧室改善士兵缺氧，提高脑—体作业效率的应用性研究。

1　一般资料

(1)研究对象

研究对象19～21岁，系自平原(海拔1400m)进驻海拔3700m和5380m 4～6个月已习服的50名汉族男性士兵。

(2)富氧室制作

选择一间门窗密闭的制式房间，容积为40～50m^3，测定室内氧(O_2)浓度为21%，二氧化碳(CO_2)浓度为0%。4只氧气瓶在室内充O_2，以流量表控制O_2流量。海拔3700m室内O_2浓

度维持在24% ~25%,海拔5380m的O_2浓度维持在27% ~28%。富氧室内每批进入5~6人,休息睡眠12h。采用2只自制CO_2清除器[制作一只长45cm,宽24cm,高25cm的木箱,木箱两端切面代之以铁质纱网,其中一端与一只静音排风扇紧密连接,木箱内装满医用钠石灰颗粒(约10kg)。电力驱动排风扇,使室内蓄积的CO_2气体通过钠石灰被吸收]消除室内人体排出的CO_2。工作人员每30min监测一次富氧室内的O_2和CO_2浓度,并调节O_2流量。海拔3700m使O_2和CO_2保持在(24.38 ±0.25)%和(0.11 ±0.02)%,海拔5380m使O_2和CO_2保持在(27.30 ±0.23)%和(0.15 ±0.07)%。

2 高原富氧改善体力作业效率的研究

(1)海拔3700m,10名受试者在富氧室休息睡眠12h,检测富氧前、富氧2h、11h及富氧后2h静息状态下和运动中的脉搏氧饱和度(SaO_2)和心率。结果:入富氧室2h和11hSaO_2增高,心率降低($P<0.01$)。脱离富氧环境后2h,SaO_2已接近富氧前水平。富氧后踏车运动中平均SaO_2较富氧前增高,平均心率降低($P<0.01$)。研究认为,高原富氧12h对改善缺氧和机体能量储备有一定作用。

(2)用功率自行车在海拔3700m对富氧12h的10名受试者检测富氧前和脱离富氧环境2~4h的通气无氧阈值、PWC_{170}、氧耗量和心肺功能等。结果表明:富氧前和富氧后,在功率分别达到75W和100W时肺通气量(VE)、氧耗量(VO_2)、二氧化碳产生量(VCO_2)明显增加($P<0.01$),呼吸商(RQ)出现"转折点",氧通气当量(VE/VO_2)由下降转向平稳。富氧后PWC_{170}较富氧前增高,负荷功率90W时的运动心率(HR90W)降低($P<0.001$)。对10名青年富氧前后运动中的氧耗量(VO_2)和氧脉搏的观察表明,富氧后较富氧前心脏作功效率提高15%。心功能指数富氧后较富氧前增高($P<0.01$);肺通气量在运动功率达到225W时,富氧后较富氧前降低($P<0.01$)。研究认为,海拔3700m高原,经过12h的富氧(氧浓度提高3%),在脱离富氧环境2~4小时,仍能使运动中的心肺功能得到明显改善并提高作功效率。

(3)海拔3700m已习服的12名青年士兵,富氧前和脱离富氧环境2~4h进行踏阶实验,采用心力监护仪记录心动周期和心力信息,以完成定量运动后的第一心音(SI)幅值与安静时SI幅值的增加倍数评估心肌收缩力储备指数(CCRI);以舒张期和收缩期时限相关数据计算舒张期与收缩期的比值(DIS)。结果:运动后较安静时HR、DIS、SI幅值均增高($P<0.01$);富氧后运动较未富氧运动时CCRI、DIS、SI幅值增高($P<0.05$)。研究认为,高原低氧环境下的心脏储备主要是心肌收缩能力的储备,富氧对增强心力储备有重要意义。

(4)在海拔5380m,观察了青年官兵富氧前和脱离富氧环境2~4小时的PWC_{170}等指标的变化。结果表明,富氧后较富氧前PWC_{170}和台阶指数均增高,差异有显著性意义($P<0.01$和$P<0.05$)。研究认为,在海拔5380m将室内氧浓度提高6%,经过12h富氧,在脱离富氧环境后对纠正机体缺氧和提高作业效率可持续至少4h。

3 高原富氧改善脑力作业效率的研究

(1)海拔3700m,采用心理生理测试仪对20名受试者,在富氧前和脱离富氧环境2~4小时进行光信号记忆和右手左脚及左手右脚交叉动作频率测验以及视听觉反应时测验。结果:富氧后较富氧前右手左脚及左手右脚交叉动作频率总次数和正确次数显著增多,错误次数显著减少($P<0.01$和$P<0.05$);视觉记忆和听觉反应时错误次数减少($P<0.01$),最快反应时间与最慢反应时间均缩短($P<0.01$或$P<0.05$)。研究认为,高原富氧能有效改善官兵的脑-

体协调能力，提高视听反应的敏捷度。

(2)海拔5380m，采用心理生理测试仪对20名官兵进行富氧前和脱离富氧环境2～4小时的视觉记忆、缺失记忆和左右手交叉敲击动作频率测验。结果：富氧后较富氧前缺失记忆和视觉记忆在相同操作时限内错误次数显著减少($P<0.05$)，左右手交叉敲击频率的总次数和正确次数显著增多($P<0.05$)。研究认为，海拔5380m富氧12h能提高官兵的脑-体协调能力和记忆功能。

4 高原富氧对夜间睡眠呼吸暂停及SaO_2的影响

5名受试者在海拔5380m夜间睡眠，监测常氧和富氧(氧浓度为27%～28%)条件下的呼吸、脉搏、SaO_2和呼吸暂停次数及暂停时间。结果：常氧下较富氧下SaO_2降低($P<0.001$)。常氧下4人出现呼吸暂停，呼吸暂停次数依次为2、34、20、39($\cdot 30min^{-1}$)，呼吸暂停时间，最短5.0秒，最长17.7秒，平均8.7秒，而富氧条件下未出现呼吸暂停现象。研究认为，高原富氧下睡眠可显著改善周期性呼吸及呼吸暂停，使SaO_2显著增高。

5 高原富氧对运动后血气和肺通气功能的影响

海拔3700m，10名青年富氧前后分别进行功率自行车递增负荷实验，然后进行血气分析和肺通气测验。结果：富氧后较富氧前pH值、PCO_2、PO_2、SaO_2均增高，运动后即刻心率和肺泡—动脉氧分压($A-aDO_2$)降低($P<0.01$)。海拔5380m又作踏阶运动实验。结果：富氧后较富氧前PCO_2、PO_2、SaO_2均增高，$A-aDO_2$和5min恢复心率降低($P<0.01$)。海拔3700m肺通气测验，富氧后较富氧前用力肺活量(FVC)、用力呼气中期流速(FEF 25%～75%)、1秒钟用力呼气量(FEF_1)、最大呼气流量(PEF)、FEF_1/FVC、最大通气量(MVV)均增加($P<0.05$或$P<0.01$)。研究认为，高原富氧能改善肺通气功能，提高气体交换率和氧合功能，增强心脏作功。

6 高原富氧对运动后血液流变学和血流动力学的影响

(1)海拔3700m，对10名青年检测未富氧静息状态、未富氧力竭运动后、富氧及力竭运动后的血液流变学。未富氧力竭运动后红细胞压积(HCT)和血液黏度(ηb)、还原黏度(ηr)、血细胞聚集系数(VAI)较未富氧静息状态增高($P<0.01$或$P<0.05$)，富氧及力竭运动后较未富氧力竭运动后ηb、ηr、血浆黏度(ηp)降低($P<0.05$)。海拔5380m，对10名青年在富氧和脱离富氧环境2～4h分别进行踏阶实验，然后检测血液流变学。结果：富氧后较富氧前ηb、ηp、ηr、红细胞变形系数(TK)、红细胞刚性指数(IR)降低($P<0.01$或$P<0.05$)。研究认为，高原富氧可明显改善因缺氧及力竭运动所引起的血液黏度的变化。

(2)海拔3700m，对10名青年在富氧前和脱离富氧环境2～4小时采用安徽产XG－Ⅲ型血液循环功能测试仪检测血流动力学。结果：富氧后较富氧前脉率(P)、总周围阻力(TPR)、微循环半更新时间(ALT)、全血黏度(η)、肺动脉楔压(PAWP)、冠状动脉灌注压(CCP)降低($P<0.05$或$P<0.01$)，每搏量(S)、平均动脉压(mAP)、主动脉排空系数(BK)、有效血容量(BV)增高($P<0.05$或$P<0.01$)。研究认为，高原富氧对人体血流动力学有改善。

7 高原富氧对运动后心肌酶活性和肌肉代谢产物的影响

(1)海拔3700m，检测10名青年未富氧静息状态、未富氧力竭运动后和富氧及力竭运动后

血中的天冬氨酸氨基转移酶(AST)、乳酸脱氢酶(LDH)、α-羟丁酸脱氢酶(α-HBDH)、肌酸肌酶(CK)及其同工酶(CK-MB)。结果:富氧及力竭运后较未富氧力竭运动后 AST 和 CK-MB 降低($P<0.05$ 和 $P<0.01$)。海拔 5380m 检测结果显示,富氧运动后较未富氧运动后 AST、LDH、CK-MB 降低($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。研究认为,高原富氧能降低运动后血中的心肌酶活性,对预防高原性疾病有意义。

(2)海拔 3700m,对 10 名青年在富氧前和脱离富氧环境 2~4h 进行功率自行车递增负荷运动,检测运动后即刻的血乳酸、血氨和肌红蛋白。结果:富氧后较富氧前血乳酸、血氨和肌红蛋白均降低($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。海拔 5380m 检测显示,富氧及运动后较未富氧运动后血乳酸、血氨、肌红蛋白均降低($P<0.01$ 或 $P<0.05$)。研究认为,高原富氧能增强机体能量代谢,减轻疲劳。

8 高原富氧对运动后自由基代谢和一氧化氮及其合酶的影响

(1)海拔 3700m,12 名青年富氧前和脱离富氧环境 4h,检测血中活性氧(ROS)、总抗氧化活力(T-AOC)、超氧化物岐化酶(SOD)和丙二醛(MDA)。结果:富氧后较富氧前 SOD、T-ACO 增高,MDA、ROS 降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。海拔 5380m,对 10 名青年在富氧前和脱离富氧环境 2~4h 进行踏阶实验,然后检测血中的 SOD、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和 MDA。结果富氧后较富氧前 SOD、GSH-Px 增高,MDA 降低($P0.05$ 或 $P<0.01$)。研究认为,高原富氧对自由基损伤有抑制作用。

(2)海拔 3700m,10 名青年在富氧前和脱离富氧环境 2~4 小时分别进行功率自行车递增运动,然后检测血中的一氧化氮(NO)和一氧化氮合酶(NOS)。结果:富氧后较富氧前 NO 和 NOS 均增高($P<0.01$)。海拔 5380m,富氧后运动较富氧前运动血中 NO 和 NOS 均增高($P<0.01$)。研究认为,高原富氧能增强机体 NOS 的表达,提高内源性 NO 的含量。

9 高原富氧的动物模型实验

(1)富氧对低氧大鼠学习记忆及运动能力的影响

3 月龄 Wistar 大鼠 56 只,随机分为平原组(A)、低氧 1 组(B)、富氧 1 组(C)、低氧 2 组(D)、富氧 2 组(E)。低氧组在模拟海拔 5400m 低压舱内 24h,富氧组在模拟海拔 5400m 低压舱内 12h,然后富氧(27%的氧混合气)12h。A、B、C 组进行 Morris 水迷宫实验以测定大鼠的学习记忆能力,D、E 组进行力竭性负重游泳实验。结果:与低氧组比较,富氧组寻找平台潜伏期的时间缩短,力竭负重游泳时间延长($P<0.01$)。低氧组运动水迷宫游泳呈周边型,富氧组呈向平台型。研究认为,富氧能改善缺氧大鼠的学习记忆,提高低氧环境下的运动能力。

(2)富氧对纠正低氧大鼠学习记忆持续时间的实验研究

3 月龄 Wistar 大鼠 22 只随机分为低氧组($n=12$)和富氧组($n=10$),低氧组在模拟海拔 5400m 低压舱内 24h,富氧组在模拟海拔 5400m 低压舱内 12h,然后富氧(27% 的氧混合气)12h。脱离富氧环境即刻、2h、4h、6h 分别进行 Morris 水迷宫试验测定大鼠的学习记忆功能。结果:与低氧组比较,富氧组寻找平台潜伏期的时间缩短。低氧组运动水迷宫游泳呈周边型,富氧组呈向平台型。脱离富氧环境 4h,富氧组学习记忆功能仍明显高于低氧组。

(3)富氧对缺氧大鼠心肌琥珀酸脱氢酶及超微结构的影响

雄性 Wistar 大鼠 32 只随机分为平原对照组、低氧组、富氧组,低氧组在模拟海拔 5400m 低压舱内 24h,富氧组在模拟 5400m 低压舱内 12h,然后富氧(27%的氧混合气)12h,观察心肌

琥珀酸脱氢酶(SDH)及超微结构的改变。结果:低氧组心肌细胞有灶性变性坏死和肌丝溶解凝固,间质有水肿液和纤维素样渗出。富氧组心肌无明显病变,仅滑面内质网轻度扩张。富氧组 SDH 活性明显高于低氧组。研究认为,高原富氧对大鼠心肌细胞有保护作用。

10 几个问题的说明

(1)富氧室的安全问题

根据美国国家火警委员会的规定,在海拔 4000m 和 5000m,室内 O_2浓度的最大安全值为 29% 和 31.5%。因此,我们在海拔 3700m 和 5380m 将室内 O_2浓度提高到 24% ~25% 和 27% ~28% 是安全的,不会因此而发生火灾。因为在高原即使升高了氧浓度,但空气中的绝对氧含量仍低于平原。

(2)富氧室内 CO_2的清除问题

CO_2是机体的代谢产物,不断地排出体外,人体每小时大约呼出 CO_2 15L 以上。只要环境是密闭的,将会集少成多,逐渐积累增量而引起过 CO_2症。贾司光研究认为,长期在 CO_2浓度为 1.5% 的环境中,将会引起生理性的改变,当 CO_2浓度超过 3% 时,将会发生病理性改变。本实验中室内 CO_2浓度最高为$(0.15 \pm 0.07)\%$,因此不会对人体造成伤害。而未使用 CO_2清除器时,富氧室内的 CO_2浓度为$(1.57 \pm 0.65)\%$,且室内空气异常龌龊。所以,我们认为自制 CO_2清除器基本解决了富氧室内 CO_2积蓄污染的问题。

(3)富氧室在高原的应用价值

上述实验中,受试者于上午 9 时 30 分离开富氧室,14 时实验结束,结果显示,富氧后的体力作业效率、脑力作业效率和各项生化检测指标均较富氧前同一时间显著改善。说明在海拔 3700m 和 5380m 将室内氧浓度提高 3% 和 6%,经过 12h 的富氧,对改善机体缺氧、提高作业效率至少可持续 4h。

在高原,如果指挥所设在富氧室内,可使指挥员保持清醒的头脑,避免决策失误。战斗小分队执行任务前或完成任务后在富氧室睡眠一宿,对提高战斗力,恢复因极度缺氧造成机体代偿功能的不足是非常有益的。同时,富氧室也可用来防治高原性疾病。富氧室和 CO_2清除器制做简单,经济简便,很容易在高原基层部队和战时指挥机关推广应用。

高原汽车兵急性重复缺氧的生理适应与心理变化

张西洲　马勇　王伟　崔建华　哈振德

解放军第18医院

摘　要:本项目用于提高高原汽车部队的作业效率和健康水平。对某汽车部队88名驾驶员在海拔1400~5400m半年内8次执行军事运输任务期间的急性重复缺氧的生理适应和心理变化的调查研究。研究表明,重复低氧应激停止后体内脂质过氧化反映增强;返回平原15天血流动力学仍保持着高原的特性;脂类代谢紊乱并影响免疫功能;上臂肌围和体脂量显著低于上高原前;心理特征主要表现为内倾和抑郁,对脑功能的影响较持续性缺氧要轻,72.6%的人员技术水平不如平原;肿瘤细胞坏死因子-α和白细胞介素-6参与了低氧应激和高原适应。该研究成果对高原汽车部队军事运输计划制定、饮食结构调整、高原疾病防治和心理调控等方面有重要的参考价值。

关键词:高原　汽车兵　急性重复缺氧　自由基代谢　血流动力学　营养　脂代谢　细胞因子　脑功能　心理特征

国内外高原低氧环境下有关人体生理变化的文献资料较多,而急性重复缺氧的研究仅限于实验室的文献资料,未见到有关高原现场的研究报告。以军委新时期战略方针为指导,着眼于打赢可能在高原发生的高技术局部战争,从高原战区的实际需求出发,以提高高原汽车部队的整体健康水平和后勤保障能力,我们立项并完成了《高原汽车兵急性重复缺氧的生理适应与心理变化》。该项目由已发表的11篇论文组成,研究方法、结果和结论概述如下。

1　急性重复缺氧对机体氧自由基代谢的影响

(1)对担负军事运输的某汽车部队随机挑选16名驾驶员,在开运前10天(海拔1400m)、完成4次高原(海拔1400~5400m)运输任务中途(海拔3700m)及运输任务结束(完成8次高原运输任务)后1个月(海拔1400m),分别进行3次血中抗氧化酶、抗氧化物和脂质过氧化物的检测。结果:运输前较运输中途血红蛋白(Hb)、脂质过氧化物(LPO)、丙二醛(MDA)低,相差非常显著($P<0.01$);红细胞超氧化物歧化酶(RBC-SOD)和VitE高,相差显著($P<0.05$);运输前较运输后RBC-SOD和VitE高,LPO和MDA低,均相差非常显著($P<0.01$)。运输中途较运输结束Hb和RBC-SOD增高($P<0.01$和$P<0.05$)。结论:低氧应激状态下和重复应激作用停止后的一定时间内,体内脂质过氧化活动显著增强,且持续时间较长。

(2)对担负喀喇昆仑山军事运输任务的某部24名驾驶员,在高原完成全年运输任务的前、中、后进行Hb、血清总(T-SOD)、铜锌(CuZn-SOD)、红细胞(RBC-SOD)和尿液(U-SOD)含量的检测。结果:运输中较运输前Hb增加($P<0.01$),RBC-SOD、CuZn-SOD和T-SOD、U-SOD的活性降低($P<0.05$和$P<0.01$)。运输结束后较运输中Hb降低($P<0.01$),T-SOD、U-SOD和RBC-SOD的活性逐渐降低($P<0.01$和$P<0.05$)。运输结束后较运输前的RBC-SOD、T-SOD、CuZn-SOD、U-SOD活性降低($P<0.01$)。结论:急性重复缺氧是

影响体内 Hb 和 SOD 含量变化及造成自由基对机体损伤的主要原因。

2 急性重复缺氧对高原汽车兵血流动力学的影响

随机选择担负喀喇昆仑山运输任务的某汽车部队 60 名驾驶员，在完成全年运输任务的前、中、后用无创性血液功能测试仪进行有关血流动力学的检测。结果：上高原前与在高原时比较，脉率（P）、总周围阻力（TPR）、全血黏度（η）、微循环半更新时间（ALT）、肺动脉楔压（PAWP）增高，有效血容量（BV）、每搏心搏量（SV）、平均动脉压（mAP）降低（$P<0.01$）；在高原时与返回平原后比较，BV 增高（$P<0.05$），P、ALT、SV、mAP、TPR、η、PAWP 增高非常显著（$P<0.01$）；返回平原后与上高原前比较，P、BV、SV、mAP、PAWP 降低，TPR、ALT、η 增高（$P<0.01$）。结论：高原汽车兵经过 8 次急性重复缺氧锻炼，返回平原 15 天内仍保持着高原血流动力学的某些特性。提示在返回平原半个月内，机体仍保留着对高原低氧环境习服适应的机制。

3 高原汽车兵有关营养状况的随访调查

对担负喀喇昆仑山军事运输任务的 88 名驾驶员在上高原前，全年运输任务完成一半时（海拔 3700m）及完成全年运输任务返回平原后进行 3 次皮褶厚度（三头肌部、肩胛下部、髂部）、臂肌围（上臂围）、和体脂的检测。结果：上臂肌围及体脂量在完成全年高原运输任务 1 半时及完成全年运输任务后均明显低于上高原前（$P<0.01$）。结论：急性重复高原缺氧和不稳定的生活环境对高原汽车兵的营养状况影响较大，其影响程度较海拔 5400m 居住 1 年的士兵严重。

4 急性重复缺氧与脂代谢和相关细胞因子的变化

（1）对担负高原运输任务的 28 名驾驶员，在完成全年运输任务前、全年任务一半时（海拔 3700m 处）和全年运输任务结束后一个月（海拔 1400m），检测其血清胆固醇（Ch）、甘油三酯（TG）、高密度脂蛋白（HDL－C）、低密度脂蛋白（LDL－C）、载脂蛋白 A－1 和载脂蛋白 B（APOA－1 和 APOB）、免疫球蛋白（IgA、IgG、IgM）、补体（C_3、C_4）和 C 反应蛋白（CRP）的浓度。结果：高原运输中途较前和后 Ch、TG、APOA－1、IgG、IgM、C_3、C_4、CRP 增高（$P<0.05$ 和 $P<0.01$），LDL－C 在运输中途较运输前降低（$P<0.05$）。结论：高原低氧引起脂类代谢紊乱，影响免疫功能，并激活补体，造成免疫损伤，急性重复缺氧停止后，脂类代谢和免疫反应相对得到恢复。

（2）随机抽选某汽车部队 16 名驾驶员，在开运前 10 天（海拔 1400m）、完成 4 次高原（海拔 1400～5400m）运输任务中途（海拔 3700m）及运输任务结束（完成 8 次高原运输任务）后一个月（海拔 1400m），分别检测血中肿瘤细胞坏死因子－α（TNF－α）和白细胞介素－6（IL－6）。结果：运输前及运输后较运输中途 TNF－α 和 IL－6 降低（$P<0.01$）。结论：急性重复缺氧机体产生了间歇性的低氧适应，TNF－α 和 IL－6 作为多功能细胞因子参与了低氧应激和适应过程，并对机体起到保护作用。

5 急性重复缺氧对脑功能的影响

（1）选择执行高原运输任务的某部 50 名驾驶员及驻守海拔 3700m（16 名）和 5380m（24 名）1 年的青年士兵，采用韦氏成人智力量表和记忆量表进行现场测验，并设置平原对照组（22 名）。结果：经历急性重复缺氧的汽车兵较平原对照组和居住高原 1 年的两组青年语言、操作

和智商均无显著性差异($P < >0.05$);急性重复缺氧组的记忆功能较平原对照组降低($P < 0.01$),与3700m居住1年的青年比较,1-100、再认、触摸分降低($P<0.01$),再生、理解、记忆商数得分增高($P<0.01$ 和 $P<0.05$);急性重复缺氧组与5380m居住1年组比较,1-100、再认、触摸分降低($P<0.01$),100-1、理解、背数、记忆商数得分增高($P<0.01$ 和 $P<0.05$)。结论:急性重复缺氧机体产生间歇性的低氧适应,脑功能较持续性缺氧损害轻,但记忆功能仍低于平原。

(2)对担负高原军事运输任务的50名驾驶员,在高原运输前(海拔1400m)、完成年度任务中途(海拔3700m)和完成年度任务后(海拔1400m)进行3次智力、记忆及多项心理测验。结果:任务中途和任务后智力低于上高原前($P<0.05$),记忆商数较上高原前显著降低($P < 0.01$),视听简单反应时、交叉动作反应时减慢,用时增多($P<0.01$ 和 $P<0.05$),视觉反应和瞬态记忆、视觉品质注意分配测验和错误均较上高原前增多。结论:急性重复高原低氧和不稳定的生活环境对智力、瞬态和短时记忆、数字顺序及操作功能均有影响。

6 高原汽车兵个性心理特征和心理状态的变化

(1)随机选择某高原汽车部队54名驾驶员采用艾森克个性问卷(EPQ),在开运前,高原运输中途和全年运输任务结束后作3次调查。结果:开运前E量表分高于运输中途($P < 0.05$),运输结束后P分低于运输前($P<0.05$);高原运输中途较运输前和运输结束后个性内向和倾向内向者增多($P<0.01$);运输结束后较运输前个性居中者增多,个性外向和倾向外向者减少($P\leqslant0.05$),情绪稳定和倾向稳定者增多($P<0.05$)。结论:高原低氧环境下行车,驾驶员的个性心理特征主要表现为内倾和抑郁。

(2)用症状自评量表(SCL-90)对某高原汽车部队54名驾驶员作3次追踪调查。高原运输中途躯体化较运输任务结束后显著增加($P<0.05$),人际关系敏感较运输前和任务结束后均减少($P<0.05$)。被调查者阳性症状均分或1项以上因子分≥3分者,72.6%的人员完成任务和技术发挥不如平原。结论:急性重复高原缺氧引起的心理状态变化对完成高原运输任务有影响。

7 推广应用前景及将采取的措施

通过该项目的研究,我们认为高原汽车部队是在急性重复缺氧过程中执行军事运输任务的,对于体内自由基代谢的紊乱,除了药物防治外,应在食品中加入抗氧化成分,如β-胡萝卜素、维生素E和富含维生素C的物质,返回平原后上述抗氧化剂的供应仍不可中断。高原汽车部队蛋白质和脂肪的供应标准应高于平原。研究提示,返回平原半个月体仍保留着对高原低氧环境的习服适应机制,这在高原军事医学中有非常重要的应用价值。高原汽车兵返回平原1个月,记忆功能、反应速度、操作敏捷度未能恢复到上高原前的水平,应引起部队首长和机关的重视。根据调查研究结果,建议上级有关部门除了重视严格入伍体检和复查工作,加强身体素质和军事素质训练,进行有关高原军事地理和气象学以及高原疾病防治宣传教育,使官兵对高原有一个正确的认识,还应开展心理咨询和心理治疗,通过训练培养坚定的信念和良好的个性,增强军人对低氧恶劣环境的心理应激承受能力。

以人为本　治防结合　保障健康

耿希有　董维亚

中铁十七局中心医院

摘　要：目的：探讨高原施工卫生保障工作中如何防止和减少高原病发生，如何促进和加速对高原环境的适应能力，如何改善高原劳动能力的有益措施。

方法：根据三年来在高原卫生保障工作中的现场实践体会，探索对高原病的预测和防治方法。

结论：只要领导重视，制度健全，管理到位，措施得力，医务人员具备良好的责任心、事业心，高原病防治工作就一定能做好。

关键词：以人为本　治防结合　措施得力

中铁十七局承建的青藏铁路第十七标段，地处海拔5000米以上的唐古拉山无人区，地理环境复杂，气候恶劣，高寒、缺氧、低气压、强紫外线等对人体损害较大，高原病及自然疫源性疾病给人体的健康和劳动能力带来了很大的影响。为保障参建人员的身体健康，减少高原病的发生，于2002年3月我集团公司成立了青藏铁路中心医院，同年7月被确定为青藏铁路唐古拉山三级医疗救治站，主要承担本标段以北地区的三级医疗救治任务。我们的宗旨是“以人为本”、“生命重于施工”；我们的目标是实现高原病零死亡，不发生重大疫情；我们的职责是保障青藏铁路每一名参建人员的身体健康和生命安全，确保施工生产任务的顺利完成。现将我们上场三年来的具体做法总结如下。

1　重视卫生保障工作，健全各项规章制度

指挥部成立伊始，集团公司和指挥部领导就把职工医疗保障工作放在了重中之重的位置，成立了以指挥长、项目经理为组长的医疗保障领导小组，对上青藏线的医务人员进行了系统的高原知识培训，提高对高原病的认识水平，同时加大医疗投入，中心医院共配置医疗设备167台件，价值近500万元，其中有大型制氧站、西门子彩超、高压氧舱、300mAX光机、心脏起搏除颤仪、心电监护仪、全自动心电图机、救护车三台，配置治疗药品近300种，保健药品5种，为医疗工作提供了强有力的物质保障。局指中心医院根据铁道部、卫生部《青藏铁路卫生保障若干规定》和铁道部《青藏铁路卫生保障措施》结合本标段的实际情况，制定并下发了《医疗保障实施细则》、《巡诊及夜间查铺制度》、《体检制度》、《危重病人后送制度》以及各工作科室工作细则，使医务工作者职责明确。

2　建立完善的医疗体系，提高医疗质量

全线以各项目部驻地为重点，成立了四个卫生所，每个卫生所配置医务人员3名，同时按规定和需要配备了内外科急救箱、心电图机、呼吸机以及常用、急救药品。重点加强三级医疗站的建设。中心医院选择具有良好的身体素质、专业素质，同时具备高度的责任心、事业心，且

具备一专所能，一职多用的各类医务人员16名，分批送他们参加各类高原病知识培训班，购买高原病知识相关书籍30余册，以使他们迅速、熟练掌握高原病的发病机理、诊断方法、急救措施和治疗方案。局指医院根据需要设置了门诊、抢救室、观察室、治疗处置室、手术室、检验室、X光室、彩超、药房、高压氧舱室、制氧站等科室，设立病床10张，从而提高三级医疗站的收治范围和收治能力。

3 抓好制度落实，保障措施得力，以达到防病为主，早发现，早治疗，治防结合的目的

3.1 严格掌握准入标准

对所有上场人员进行工前体检，筛选出不合格的人员，严禁有高原禁忌者上山，建立准入卡，防止高原病易感人员进入高原。工中体检目的是尽早发现慢性高原病患者及职业有害因素出现的早期损害征象，以便及时采取预防和治疗措施。工后体检的目的及早发现高原病患者，以便加强跟踪随访，必要时调离高原工作。建立健全健康档案和准入卡，实行全程健康监护。这样可以降低高原发病率，减少非生产性减员和经济开支。

3.2 坚持习服和预防服药，能够减少高原病的发生

人从平原进入驻高原后，精神及神经系统有一定时期的代偿调节和适应过程，合理科学的高原习服可使人的身心机能保持在最佳平衡状态。同时，预防性服药可提高缺氧耐力，抗疲劳及减少或减轻急性高原病的发生，可人为的加快习服过程[1]。因此我们坚持让上场人员在进驻高原前至少在格尔木习服一周，同时按时服高原保健药品，如诺迪康、利舒康、复方党参片、红景天及金维他等。指挥部领导小组不定期组织监督和检查，对落实不力的单位给予处罚。

3.3 加强巡诊和查铺制度

巡诊和查铺对早期发现高原病特别是高原肺水肿和脑水肿具有非常重要的意义和价值。局指中心医院每天派救护车和医务人员进行定点巡诊，为基层卫生所解决医疗工作中的问题和困难，并对基层卫生人员进行培训和指导。各公司卫生所医务人员也能坚持每天到施工现场和民工帐篷进行巡诊和夜间查铺，以便及时发现病人，对高原病做到了早发现、早治疗，及时后送。为了对所有参建人员实行24小时健康监控，我们在每个工点和外协队中选出一名文化水平较高、各方面素质较好的卫生员，对他进行高原病和卫生常识的短期培训，并配备部分常用药品，在待遇上也给予适当的补助。他们在各工点起到了“哨兵”的作用。在局指医院和项目部卫生所人中不定期的巡诊和查铺的情况下，卫生员和工友们一起吃住，对他们的健康状况实行24小时监护，并将每天的人员健康状况做好登记，发现情况及时上报项目部卫生所，卫生所根据各工点上报情况进行重点巡诊和查铺。各工点卫生员的配备，对早期发现高原病和其它疾病起到了事倍功半的作用。

降低了职（民）工发病率。并按要求对每次巡诊和查铺情况做详细记录，以备检查。

3.4 加强健康教育，提高宣传力度

医务人员利用巡诊和查铺时间对职工和民工进行高原卫生常识和健康教育，组织职工和民工学习高原病基本知识和下发的《健康教育手册》，使职（民）工能正确认识高原环境对人体的影响及高原病的发病特点和预防措施，减少恐惧或麻痹心理，提高在高原环境下劳动和生活

中的自我保健意识。

3.5 严格后送制度，杜绝送下山人员再次上场

各公司卫生所对严重高原反应，特别是肺水肿和脑水肿，治疗有困难的病人及时送到局指中心医院，局指中心医院实行24小时值班制，对各公司送来的病人能及时明确诊断，并积极救治，做好各项登记及记录，待病情平稳后低转后送，原则上必须由医务人员护送，保证患者途中生命安全。

3.6 加强劳动保护，预防职业病发生

高原病是一种物理因素所致的职业病。人在高原，受低氧环境的影响，脑力、体力劳动能力均受到很大限制。海拔愈高，生理负荷愈重，劳动能力愈下降。有人测试：在高原人的劳动能力和能承担的劳动强度通常比平原低1个等级。[2] 加之寒冷造成的冻伤和耗氧量增加，强紫外线对眼睛和皮肤的刺激等物理因素对人体造成的损害。因此我们必须认真贯彻《职业病防治法》，落实劳动保护措施，合理安排好施工季节、劳动时间、劳动强度，及时按规定配发防寒、护目、防晒、防冻保健物品及药物。可避免非生产性减员和减少经济开支，同时能增强体力和免疫力，改善高原劳动能力和工作效率。

3.7 认真做好鼠防工作，确保人身安全

教育大家认真执行三报和三不制度，特别是对新上场的职工和民工进行鼠防知识培训，做到人人皆知。同时，积极协助地方鼠防部门做好疫情的监测和灭鼠灭獭工作。

3.8 保证食品及饮用水卫生安全，按高寒区工作人员的要求，合理调节高热量、高蛋白、高维生素的膳食

各单位严格按《食品卫生法》要求执行，对食堂和工作人员均办理了卫生许可证和健康证，对炊管人员进行食品制作进行了培训，定期检查食堂卫生，食品实行专人专车定期到格尔木采购，由局指统一配送，保证了采购食品的质量。同时各施工单位饮用水源均经局指统一送检合格的水源，对认定不宜作为饮用的水源坚决不准使用，并采取了相应的措施，防止了因饮用不合格水而发生意外，并定期对生活饮用水进行检测和消毒，保证了生活饮用水的安全，防止食物中毒的发生。

上场三年来，我们健康体检8199人次，门诊接诊病人56258人次，留观病人1621人次，抢救危重病人375人次，抢救成功率100%。其中肺水肿68例，脑水肿33例，肺水肿合并脑水肿83例，后送病人327人次，无一例发生死亡。三年来我们参加总公司科研项目2次，与格尔木市人民医院合作承担青海省科研项目1项，医务人员撰写论文十余篇。局指医院也先后荣获了“青海省爱卫会爱国卫生先进单位”、“山西省集体一等功”，有2名医务人员分别获得“山西省五一劳动奖章”、“集团公司劳模”的称号。局指医院先后被《中国铁道建筑报》、《健康报》、中央电台《中国新闻》栏目等多家媒体报道。

因此，对于高原施工的卫生保障工作，只要领导重视，制度健全，管理到位，措施得力，医务人员具备良好的责任心和事业心，高原病的防治工作就一定能做好，青藏铁路建设中高原病零死亡的目标就一定能实现。

参考文献

[1] 张雪峰等. 人到高原. 西宁：青海人民出版社，2001.5.1，P33

高原铁路运营机车乘务人员生理选拔指标研究

施红生

铁道科学研究院环控劳卫研究所

摘　要:为了研究高原铁路机车乘务员生理选拔指标,确定生理指标鉴定标准值,选择西宁铁路分局西格段机车司机500人进行指标体系鉴定试验。结果西格段机车司机总体合格率为31.6%,年龄、行车线路高度差对合格率有较大影响。研究确认红细胞压积、白细胞计数、血小板计数、血氧饱和度、血糖、谷草转氨酶、总胆红素、直接胆红素、尿蛋白和尿红细胞为较敏感的高原低氧生理代偿指标,可作为生理适应性筛检指标。预期不能适应高原行车需求体检不合格的生理指标顺位为心功能>肝功能>血氧饱和度>肺功能>血压>血糖>握力>尿常规>血常规>肾功能。提出选拔青藏铁路机车乘务员应采用基础体检、高原适应性体检二级结构模型,制订了高原机车乘务员体检鉴定医学标准、测试方法、合格判定标准。

关键词:青藏铁路　运营管理　机车乘务员　体检鉴定　生理指标

高原行车安全是青藏铁路面临的重要问题,青藏铁路恶劣的自然气侯条件,要保证行车安全,必然要求机车乘务员具备优于平原的生理素质。高原低氧环境对人体生理机能的影响涉及到机体的各个系统,而对一些重要的呼吸、循环、、血液、消化、泌尿、神经系统影响更甚,表现为一类适应低氧环境的代偿性改变和另一类不适应的失代偿性改变。经研究分析,可以初步得出高原环境对机车乘务员生理机能的影响作用主要为心血管、中枢神经、呼吸系统、血液系统、感官功能、营养代谢、微循环。体能的影响主要为力量、耐力、反应时。重点疾病影响主要为职业性高原病、高原常见病、噪声性耳聋等。因此,研究高原环境人的因素对行车安全的影响,尤其是高原机车乘务员必备生理素质特征,是确保青藏铁路行车安全的一个重要课题。

1　高原机车乘务人员生理指标鉴定试验

为了确定高原机车乘务人员生理选拔指标,检验指标体系的实用性水平,确定指标的鉴定标准值。2003年调查检验了西宁铁路分局西格段机车乘务人员身体状况,为选拔格拉段司乘人员做准备。

1.1　试验对象及范围

西宁铁路分局西宁机务段、格尔木机务段长期从事行车工作的机车正职司机约500人作为试验对象,按行车线路分为西宁—兰州的西宁东线组,西宁—哈尔盖的西宁西线组,格尔木—柯柯的格尔木组,柯柯—哈尔盖的柯柯组。

1.2　试验内容和方法

试验内容为病史采集,症状调查,体格检查,化验和辅助检查,体能测验。检查侧重于心血

管、血液、呼吸、神经系统，体能指标。印制《高原机车乘务人员体检鉴定表》，制定《高原铁路机车乘务人员体检鉴定》标准，于西宁铁路医院、格尔木铁路医院成立由主管医疗院长为组长的体检组，选定一名有临床经验的内科副主任医师作为主检医师，各专科及物理、化验检查结果由查验医师给出正常与否判定意见，最后由主检医师根据各科检查结果，综合分析写出体检结论。

2 试验数据的处理与统计分析

2.1 体检数据的初步处理

试验体检登记人数西宁机务段258名，格尔木机务段254名，总计为512名。实际体检人数498名，收回体检表465份，剔除不规范体检表64份，实际进入数据统计的为401人。体检结果分系统数据录入，进行数理统计预处理，主要为年龄、工龄频数分布，年龄、工龄相关性分析，按西宁东、西宁西、格尔木、柯柯4个试验组进行指标均数统计，各指标值频数分布分析，按4个处理组进行各生理指标方差分析，根据方差分析结果，结合本次试验设计方案，确定不合格判定原则，决定进一步数据分析方向。

2.2 生理指标不合格判定原则

根据《高原铁路机车乘务人员医学标准》、《高原铁路机车乘务人员体检鉴定》初稿，结合本次体检数据初步方差分析结果（表1）确定主要分析的生理指标及不合格水平初筛标准如下：

表1 机车乘务员体检主要生理指标判定

类别	指标	不合格判定
心功能	心率、心电图、超声心动图	按鉴定标准判定，任一项异常
肺功能	FVC、FEV_1、FEV_1%	FVC < 3570ml、FEV_1 < 3060ml、FEV_1% < 80%，两项以上异常
肝功能	HBsAg、ALT、AST、TBIL、DBIL	按正常值标准，同时具备两项以上异常
肾功能	BUN、CREA	按正常值标准，两项同时异常
血压	收缩压、舒张压	收缩压 > 140mmHg、舒张压 > 90mmHg，任一项异常
血氧	SaO%	西宁机务段 < 93%、格尔木机务段 < 90%
握力	左手握力、右手握力	左手握力 < 34kg、右手握力 < 36kg，任一项异常
血糖	GLU	GLU > 6.1mmol/L
血常规	RBC、HGB、HCT、WBC	RBC > 6×10^{12}/L、Hb > 180g/L、HCT > 55%、同时具备两项以上异常，或 WBC < 3.5×10^{9}/L
尿常规	PRO、GLU、ERY	PRO > 15mg/dl、GLU > 100mg/dl、ERY > 50，任一项异常

高原反应的确认必须满足两个以上系统出现症状，且有3个以上症状的统计为有高原反应，但不作为体检是否合格的判定标准。

2.3 指标体系效度检验

按上述标准对两个机务段司机体检结果进行生理指标初筛判定，确定合格水平，结果如表2。

表2　西宁、格尔木机务段司机高原体检鉴定合格率(%)

组别	合格数	不合格数	合计	合格率
西宁东	33	80	113	25.23
西宁西	27	80	107	29.20
格尔木	52	87	139	37.41
柯柯	15	27	42	35.71
合计	127	274	401	31.67

统计表明，两机务段司机体检总体合格率达到31.67%，经卡方检验，$X^2=4.800$，$P=0.187>0.05$，显示西宁机务段和格尔木机务段四组司机体检合格率无显著性差异。对274名不合格者导致淘汰的生理指标进行分析，不合格指标频次顺位，依次为肺功能、心功能、肝功能、血压、血氧、血糖、尿常规、握力、血常规、常见病。肾功能没有检出不合格者。如图1所示。

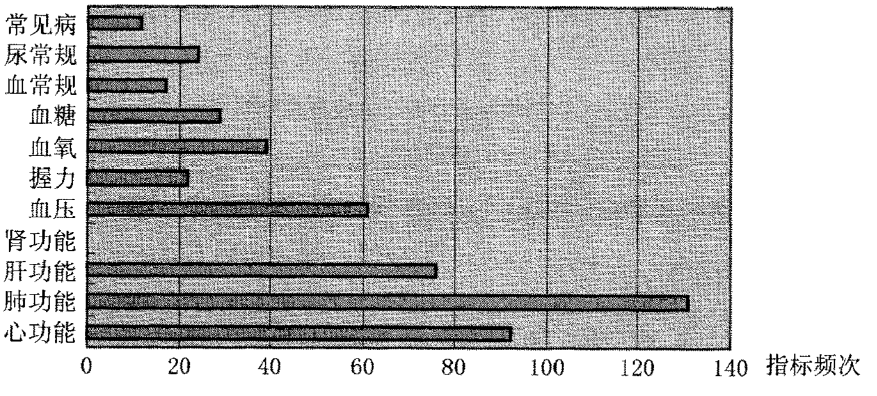


图1　高原司机体检不合格生理指标频次

从各组体检不合格指标出现频率来看，西宁机务段和格尔木机务段两地导致淘汰的主要生理指标有较大差别，西宁地区突出表现的是肺功能指标，为27%～34%，其次为心功能和血压为14%～18%，而格尔木地区有肝功能、心功能、肺功能、血氧饱和度4个指标处于同一较为突出的水平，达到20%～21%，提示随着海拔高度的上升，缺氧作用主要引起心脏、肝脏、血氧量的异常变化，其余各项指标两地均低于10%频率。如图2所示。

2.4 生理指标异常的可能影响因素

(1)年龄

从体检的两个机务段四组机车乘务员年龄构成来看，存在较大的差异，西宁机务段二个组，西宁东为40.42±5.25，西宁西为39.98±5.34；而格尔木机务段二个组，格尔木为33.70±4.93，柯柯为33.20±4.21。两机务段四组年龄经方差分析有极显著性差异，F=56.576，$P<$

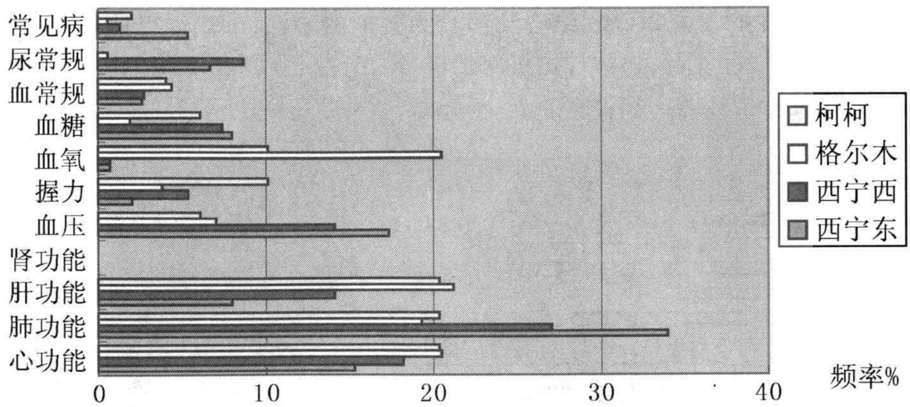


图 2　高原司机体检不合格生理指标频率

0.001。可以看出，西宁机务段司机年龄较格尔木机务段平均大 7 岁左右。年龄与工龄相关分析表明年龄与工龄相关性密切，r = 0.836，因此主要应用年龄指标来分析有关影响。同时，以年龄与所测生理指标进行相关分析，发现年龄与诸多生理指标存在相关性，经相关性检验有极显著性差异，$P < 0.01$，但 r 值不是很高，相关性较为密切的如肺功能、血压、握力、血氧饱和度，r = 0.2 ~ 0.3，主要表现为年龄对肺功能、握力等体能指标，以及血压、血氧含量的影响作用。

本次体检机车司机年龄范围为 25 ~ 54 岁，频数分布按 10 岁为一个年龄段划分，25 ~ 34 岁占 36.3%，35 ~ 44 岁占 47.0%，45 ~ 54 岁占 16.7%，按这三个年龄段进行分组，对其合格水平进行统计，体检合格率 25 ~ 34 岁为 38.6%，35 ~ 44 岁占 31.9%，45 ~ 54 岁占 14.9%，随年龄的增大，合格率逐渐下降，尤其 45 ~ 54 岁年龄段下降更为明显，经统计学检验，$X^2 = 11.953$，$P = 0.003 < 0.01$，有极显著性差异，表明年龄对高原体检合格率有很大影响，见表 3。

表 3　高原机车司机体检合格率年龄比较

年龄	合格	不合格	合计	合格率(%)
25 ~	56	89	145	38.6
35 ~	60	128	188	31.9
45 ~	10	57	67	14.9
合计	126	274	400	

另外将这三个年龄段高原反应率也进行了统计，表明随年龄的增加，高原反应率显著升高，$X^2 = 19.487$，$P = 0.000 < 0.001$，如表 4 所示。

表 4　高原机车司机体检高原反应率年龄比较

年龄	无高原反应	有高原反应	合计	反应率(%)
25 ~	112	33	145	22.8
35 ~	108	80	188	42.6
45 ~	34	33	67	49.2
合计	254	146	400	

从两机务段司机年龄频数分布来看，西宁机务段司机年龄 > 40 岁的占 42.7%，格尔木机

务段司机年龄 >40 岁的仅占 2.2% ,结合当前较为普遍的看法,即高原作业年龄以 40 岁以下为宜,格尔木机务段似已实行,将体检司机年龄进行二分法,分成≤40 组、>40 组,以消除年龄因素对两机务段统计指标的影响,图 3。

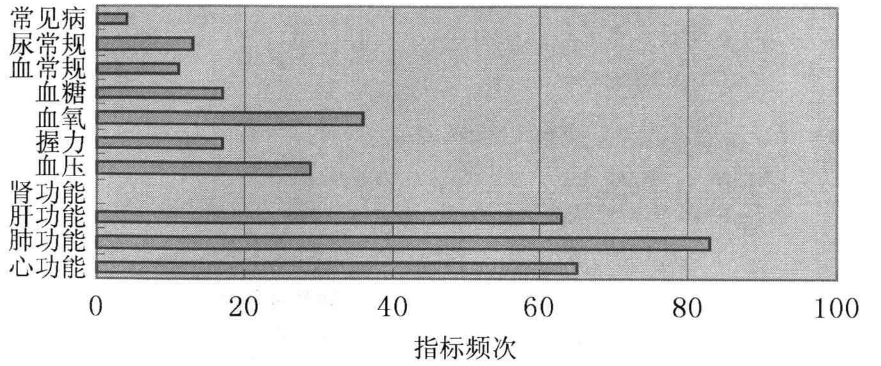


图 3　高原司机 40 岁以下组不合格生理指标频次

图 3 数据显示,40 岁以下组不合格生理指标顺位为肺功能、心功能、肝功能、血氧、血压、血糖、握力、尿常规、血常规、常见病、肾功能,与图 2 数据进行比较,前三个顺位没有变化,血氧由第 4 位升到第 3 位,血压降为第 4 位;握力由第 7 位升为第 6 位,血糖降为第 6 位。但从各组不合格生理指标频次来看,有较大变化,与未排除年龄因素的总体组相比,主要表现为西宁机务段司机肺功能指标频次由 91 降至 46,心功能由 50 降至 24,血压由 47 降至 17,血糖由 23 降至 12,尿常规由 23 降至 12,基本下降 1 倍多。而格尔木机务段肺功能指标频次由 40 降至 37,心功能由 42 降至 41,肝功能由 43 降至 42,血氧由 37 降至 35,几乎没有发生什么变化。如图 4 所示,40 岁以下组指标频次处于第一阶梯的是格尔木的肝功能

心功能、血氧饱和度,处于第二阶梯的是格尔木组和西宁两组的肺功能,以及血压。由此可以得出结论,海拔高度导致的缺氧作用,对司机生理指标的失代偿影响主要反映在心功能、肝功能、血氧饱和度。肺功能主要反映的是体能指标,图中也显示海拔高度对其并无多少作用。

(4)海拔高度

本次试验的两个机务段司机,按行车的 4 条线路分成 4 个组进行数据的统计分析,海拔高度西宁东线组为 1500 ~ 2200m,西宁西线组为 2200 ~ 3200m,格尔木组为 2800 ~ 3000m,柯柯组为 3000 ~ 3700m。四组海拔高度逐渐上升,但西宁机务段线路海拔高差为 1700m,格尔木机务段线路海拔高差为 900m,前者较后者高约 1 倍,且西宁机务段司机线路混跑现象较为突出,主要原因是一些不适应西线工作的司机调整去跑东线,或者根据线路的运量机务段临时做出的安排。

表 5　西宁、格尔木机务段≤40 岁年龄司机高原体检鉴定合格率(%)

组别	合格数	不合格数	合计	合格率
西宁东	20	43	63	31.75
西宁西	19	44	63	30.16
格尔木	51	83	134	38.06
柯柯	14	26	40	35.00
合计	104	196	300	34.67

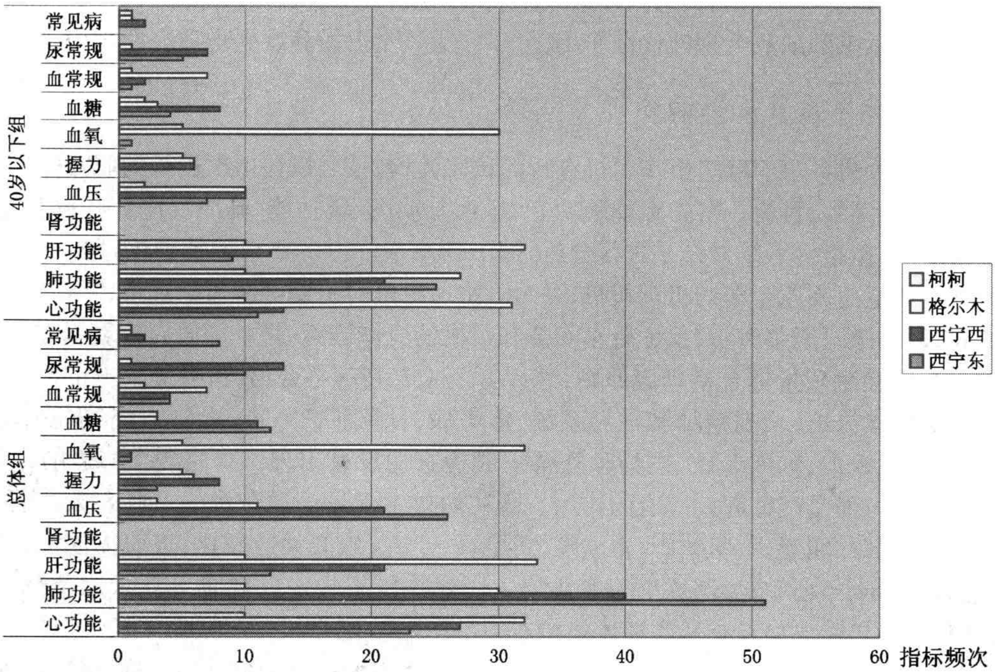


图4　高原司机体检不合格生理指标年龄影响比较

表5数据排除了高年龄因素影响，较之全体司机体检结果，四组合格率更加趋于一致，$X^2=1.486$，$P=0.686>0.05$，体检结果四组合格率无显著性差异。但高原反应指标四组有所不同，西宁机务段高原反应率为52.38%~55.56%，柯柯为30%，格尔木为14.18%，高原反应率有极显著性差异，$X^2=46.830$，$P<0.001$，显示西宁机务段高原反应发生率明显高于格尔木机务段，认为由于整个试验对象行车线路海拔高度均低于3800m，总体不是很高，因而对于高原反应发生率起决定性作用的是行车线路的高度差，如表6所示。

表6　西宁、格尔木机务段≤40岁年龄司机体检高原反应率(%)

组别	无反应数	有反应数	合计	反应率	线路高差(m)
西宁东	30	33	63	52.38	700
西宁西	28	35	63	55.56	1000
格尔木	115	19	134	14.18	200
柯柯	28	12	40	30.00	700
合计	201	99	300	33.33	

海拔高度对四组机车司机体检主要生理指标的影响，经方差分析四组生理指标差别具有统计学意义的是红细胞计数、红细胞压积、白细胞计数、血小板计数、血氧饱和度、左手握力、右手握力、收缩压、肺功能FVC、FEV_1%、血糖、谷草转氨酶、总胆红素、直接胆红素、尿蛋白、尿红细胞等17项指标。剔出主要反映体能大小的肺功能和握力指标，剔除经年龄校正后方差分析没有显著性的血压指标，对其余有显著性的指标进行两两 t 检验分析，发现西宁机务段的两组分别与格尔木机务段的两组一般均有显著性差异，而西宁、格尔木机务段内部两组一般没有统计学显著性差异，由此可以得出结论，. 红细胞计数、. 红细胞压积、白细胞计数、血小板计数、

血氧饱和度、血糖、谷草转氨酶、总胆红素、直接胆红素9项生理指标及尿蛋白和尿红细胞2项指标具有较为敏感的缺氧生理性代偿作用,可以作为一定海拔高度生理适应性筛检指标。

2.5 指标体系鉴定剖面分析

本次对两个机务段500名机车司机进行的试验体检,较之以往历次进行的职业体格检查,指标全面,复杂细致,且有一些指标如肺功能、超声心动图、肾功能、高原反应症状调查是以往体检中没有的,按指标系统对结果进行分析,筛出高原条件行车要求的特异生理指标,以求最大限度地选拔适应高原行车的机车司机,并对合格司机进行定期健康监护观察,早期发现身体机能变化,以利随时调整淘汰,保证行车安全和司机的身体健康,是本项研究的重要方面。

按本次体检生理指标合格判定原则,总计有274人判为不合格,占有效数据的68.3%,对不合格指标因素分析,发现精神和神经系统、传染病、骨骼肌肉系统、血管系统、皮肤、耳鼻咽喉、口腔、听力、视力、胸部X线、内科和外科一般检查均没有出现不合格现象,表明原有的体检标准在这些方面是能够起到应有的作用。既往病史中常见病遭淘汰的只有8人,病种主要是白内障,青光眼、胆囊炎、胆结石、胃溃疡、角膜炎、甲亢、眼底动脉硬化、玻璃体混浊、糖尿病等。铁道部1984年公布实行《铁路行车主要人员体格检查规定》,要求凡新录用及现职职工在定职时,必须接受体格检查和定期体格检查,现职司机、副司机、司炉、调车长、连结员、制动员、运转车长每两年体检一次。经调查上述两机务段机车司机每两年体检一次,其次在改职升职时随时体检,本次参加体检的司机均为以往体检身体合格司机,表明适用于平原机车司机体检标准与高原体检标准(草案)尚有较大差距,主要表现为循环系统的心功能、血压,呼吸系统的肺功能,消化系统的肝功能,内分泌系统的糖代谢,血液系统的红细胞增多症,以及白细胞、血小板减少,肾功能系统的尿蛋白和尿红细胞增多,眼疾患,体能下降等方面的差距。表明这些指标均受到高原低氧环境不同程度的影响。因而进一步深入分析这些指标在高原机车司机体检系统中的贡献和作用具有重要意义。

(1)循环系统

高原缺氧对循环系统有较大影响,主要是机体对缺氧的生理代偿作用导致全身和各脏器循环血量大大增加,血压升高,红细胞增多形成血液黏滞性增大,这些因素大大加重心脏负荷。如心脏不能适应这一代偿作用,将严重损坏心脏正常生理功能,从而产生一系列相应症状和体征,如心脏增大,心功能降低,也是慢性职业性高原病的主要病种。本次体检心功能淘汰率占18.29%,血压淘汰率占12.13%,两者相加为30.42%,占有很高比重,列于第一位。在心脏的内科检查和X线检查中没有发现不合格现象,不合格主要出现于心电图和超声心动图检查。此外,格尔木机务段有一定数量司机由于心率低于55次/分而判为不合格,其原因尚待解释。对于心率低于标准值的今后可加做阿托品试验,如反应不正常可以确定。

①心脏:从试验的效果来看,高原机车司机体检鉴定中规定的心脏检查方法以及合格判定原则是适宜的,需要注意的是心脏的内科检查、X线检查可以淘汰已经出现明显临床体征的心脏器质性病变,但很难预测心脏病发病和隐性心脏病。在基础体检中最好能拍X线胸片以便今后对比,内科检查记录还要更详细些。心电图检查应注意多源性室性早搏、并行心律、心房颤动或扑动、室性心动过速、窦房传导阻滞、频发性窦性静止、Ⅱ、Ⅲ度房室传导阻滞等。心电图检查每3~6个月做一次是必要的。基础体检时应做较为全面的超声心动图检查,然后每半年复检一次,复检时尤其注意右心功能变化,单项指标超过标准值时应做低海拔休息观察,半年内不能恢复的应予以淘汰,这也是从保护司机个人免得职业病角度考虑。

②血压：高原缺氧可导致血压的代偿性升高，加之年龄对血压升高的影响，给预测其今后是否发生高原高血压病带来困难，试验中也发现主要是海拔高差对收缩压的影响。因此，血压的测量可以试行增加立位高血压反应试验，即坐位血压测完后，站立10分钟测立位血压，立位血压升高20mmHg定义为有高血压反应，对于预测高原反应性高血压敏感者可能会有一定作用。由于血压受个人情绪影响较大，血压测量不符标准的应允许在7日内测量连续3天的血压，持续升高的判为不合格。另一方面，进行海拔3000m基地适应一个月测量血压和心率的适应程度也是十分重要的步骤。

(2)呼吸系统

体检中内、外科检查均未发现异常，但肺功能淘汰率较高，占26.04%，以往的职业体检中没有做过肺功能指标，因而没有像其他生理指标那样在历次职业体检中筛检过。高原人群的肺通气量和肺容量较平原人群增加，因此肺功能测试对于确认肺通气贮备能力，哮喘、肺气肿、慢性支气管炎、胸廓疾病、创伤等影响肺通气功能的鉴定有较大意义。同时，肺功能指标也是体能测试的一项重要生理指标，对于鉴定体力和耐力具有重要作用。但肺功能检查结果受主观因素影响较大，做前简单的练习是必要的，正式检查最好做3次，取其做得最好的一次记录。高原机车司机体检中，肺功能指标应设为常规项目，其标准值还有待进一步探讨，目前可暂按国人正常标准水平控制，重点检查FVC、FEV_1、$FEV_1\%$三项指标，其标准值试行FVC≥3570ml，FEV_1≥3060ml、$FEV_1\%$≥80%。

(3)消化系统

一般来讲是一些常见病的控制，如胃溃疡、胆囊炎、胆结石、胰腺炎、疝气、肝硬化，这些也是平原机车司机的禁忌证，本次体检中由上述疾病遭淘汰的比例非常低，与以往体检的筛选有很大关系。肝功能不合格指标为15.12%，比例也不算低，如还加上单项指标不合格的就更高了，但HBsAg阳性者仅有20人，占4.9%，且有16人是西宁机务段的，而谷丙转氨酶异常101人，谷草转氨酶异常34人，总胆红素异常78人，直接胆红素异常38人，与HBsAg阳性人数不相一致，说明肝功能的异常并非由于乙肝所致，而且谷草转氨酶、总胆红素、直接胆红素测定值4个组之间方差分析有极显著性差异，其值随海拔高度的升高而升高，表明缺氧对肝脏还是有一定损伤作用，这与高原铁路施工体检中肝功能异常改变也相一致。这三项指标除与肝脏代谢功能相关外，谷草转氨酶在心脏含量较高，与心肌代谢功能关系密切，胆红素与血红蛋白代谢作用，以及红细胞生成也有较大关系，这些均可受缺氧作用的影响。因而认为这几项指标从预防医学的角度作为预示肝脏低氧受损早期功能性指标具有重要意义。体检每半年测定一次是必要的，单项指标异常时可结合其他相关生化指标做出综合判断，确定其合格与否。

(4)血液系统

血液系统的变化是高原低氧生理代谢功能最敏感的反应，体检结果表明，红细胞、血红蛋白、红细胞压积较之平原地区正常值有较大上升，而血氧饱和度、血小板、白细胞则下降。体检结果按平原地区正常值标准衡量，血红蛋白异常率最高，达67.3%，其余依次为红细胞压积32.7%、血氧饱和度29.0%，血小板24.6%、红细胞18.3%、白细胞5.2%。见表7。

表7数据显示，随着地域海拔高度的升高，红细胞、血红蛋白、白细胞、血小板、血氧饱和度异常率升高。血红蛋白异常率4组均有较强的升高，组间差异不明显，X^2检验无显著性差异，血小板情况与其类似。其余各项指标组间异常率均有极显著性差异，X^2检验$P<0.001$，表现为对低氧环境的敏感反应。另一方面，还可看出红细胞压积异常率海拔较低的西宁机务段要高于格尔木机务段2倍，而红细胞异常率又低于格尔木机务段2倍这一倒置现象，再根据4组

血红蛋白均有较大幅度升高，而血红蛋白是红细胞内部的大分子物质，可以推论西宁机务段机车司机红细胞压积升高起主导作用的可能是红细胞体积增大，或高原气候干燥导致血液浓缩造成，这一点可进一步实验计算红细胞体积观察确认。

表7 血液指标异常率统计(%)

组别	RBC > 5.5×10^{12}/L	Hct > 50%	Hb > 160g/L	WBC < 4×10^{9}/L	PLT < 10×10^{10}/L	SaO < 93%
西宁东	7.1	40.7	63.7	0.9	16.8	0.00
西宁西	17.3	43.3	62.5	1.9	24.0	0.97
格尔木	27.1	21.0	72.2	10.5	29.3	61.1
柯柯	25.0	18.8	75.0	9.4	34.4	67.5
总计	18.3	32.7	67.3	5.2	24.6	29.0

在高原低氧环境下，血液指标有其正常生理代偿性变化，对于监视机体缺氧反应程度有其重要意义，但如何确定代偿反应的度，划分生理失代偿作用界限，是本项研究需要解决的问题。国家《职业性高原病诊断标准》中，高原红细胞增多症血液学参数为 RBC≥6.5×10^{12}/L，Hb≥200g/L，Hct≥65%，本次体检中各单项指标达到上述限值的有6人，没有三项指标同时达到限值的人，三项指标同时达到已成为慢性高原病患者，显然不能以此标准作为机车司机高原适应性选拔参数。据此我们认为应把血液学参数作为高原阶梯适应性水平指标来看待，可以分成两个层次来进行，第一层次为在海拔2000m以下地区进行基础选拔体检中，应执行平原正常值标准，重点淘汰贫血、白细胞减少症、血小板减少性紫癜、白血病等一系列血液病，进入3000m以上习服一个月后，应复查血象，重点监测高原低氧作用对血液系统的影响，剔除高红血症者，并预测可能高红血症发病者，选拔能适应高原作业的机车司机，推荐判断高原不适应血液学参数为 RBC > 6.0×10^{12}/L、Hb > 180g/L、Hct > 55%，三项指标任两项同时异常，或 WBC < 3.5×10^{9}/L、SaO < 90% 任一项异常，可判为不合格。本次体检中，RBC > 6.0×10^{12}/L 有11人，Hb > 180g/L 有37人，Hct > 55% 有14人，WBC < 3.5×10^{9}/L 有3人、SaO < 90% 有36人。体检中发现血小板减少的人不少，有105人，这是由于红细胞增多，血液粘稠度增加，血流速度减慢，导致毛细血管内血液淤积、停滞，增加凝血过程，血小板易凝集而减少，但目前尚不好确定高原生理代偿的限值，本次体检没有将其列入不合格判定序列。血液指标以3~6个月测定一次为宜。

(5)泌尿系统

主要是对急、慢性肾病的监控，按本次体检判定标准，肾功能指标没有出现不合格现象，主要是血肌酐仅2例异常，但尿素氮还是有一定异常情况，总计有48人异常。其他尿常规指标，尿蛋白异常8人，尿糖异常7人，尿红细胞异常22人。血尿素氮是评定机能状态的重要指标，能量代谢运动加强时，蛋白质分解代谢加强，可导致尿素氮生成增多。文献报道，在高原低氧状态下血尿素氮持续超过8.3mmol/L，认为运动量过大，应做一定调整。高原应激状态下，机体能量代谢失衡将导致蛋白质分解代谢增强，以致血尿素氮水平升高。因此血尿素氮可作为一项敏感的高原体检体能消耗早期监测指标，作为高原适应性体检和肾功能预测指标应纳入常规体检项目中，作为适应期体检指标之一。

尿蛋白一般在初始高原应激反应中有所升高，但如持续性升高，则反映了缺氧对肾脏肾小

球和肾小管的损伤作用,结合红细胞水平的上升可以作出判断。本次体检对于尿蛋白2+,尿红细胞3+判为不合格,可暂按此试行。

(6)代谢、内分泌系统

本系统的重点在于机体糖代谢和脂质代谢功能的检查和预测,糖尿病和过度肥胖均为高原作业职业禁忌证,因为脂质代谢异常的高血脂症可使心血管疾病的危险度大大增加,青藏铁路施工人员大部没有进行血脂检查,对施工人员的影响程度不清,但从其他文献来看,高原缺氧对血脂还是有影响的,可能由于缺氧导致肝的脂质代谢功能下降,从而导致血脂升高。因此认为血脂作为易患因素预测心血管发病可能性有一定意义,尤其是脂蛋白胆固醇的比值LDL/HDL,对预测冠心病的发病有重要作用,文献报道敏感性达87%,特异性达96%,LDL/HDL < 6.0可以满足合格要求。血脂可半年至一年测定一次。

糖代谢方面,糖尿病患者,其高原应激能力降低。本次体检有29人血糖升高超过正常值,有10人血糖超过7.0mmol/L达到糖尿病诊断标准值,但前面的分析表明,血糖含量随海拔高度的上升呈现下降趋势,似反映了高原低氧能量消耗的增加。因此血糖正常值标准按平原正常值标准3.9~6.1mmol/L执行是适宜的,血糖可每年测定一次。

(7)体能体格状态

体能检查的选拔意义在于预示机体有良好的抵抗应激的能力,具备高原医学适应和长期服务。相关体检方法研究表明,体能测验可以评定当前健康状况,且体育运动中的协调能力和训练成功相关,体能测验可以评定当前健康和适应能力,较为常用的有仰卧起坐,引体向上,300m、2000m跑,100次单脚跳,最大耗氧量试验。同时认为肺功能试验是一项重要的体能测验指标,这在本次试验中已有所显示,应给予一定重视。我们推荐的体能测试项目如下:

①肺功能试验:FVC、FEV_1、$FEV_1\%$,可以计算体能指数,推荐采用FVC实测值/预期值。

②体育活动习惯:自己填写。

③3000m跑步:自选速度,能跑下来的记时间,跑不下来的记距离与时间。参考标准3000m跑达到锻炼标准及格水平。

④体能测验:登梯试验,每分钟96拍,共4分钟,运动完后5分钟测心率应 < 105次/分。

体格测量主要是身高、体重,以及由身高体重计算的肥胖指数,肥胖指数 > 30不合格。

(8)高原反应问题

参加试验的机车司机一般已行车多年,出现严重急性高原反应者或急性高原病的已遭淘汰,本次试验中的高原反应均为慢性高原反应,由于植物神经衰弱紊乱症状与慢性高原反应的症状有类同之处,给慢性高原反应的确认带来一定困难,本次试验体检没有把高原反应作为评判合格标准的指标。数据统计时,我们将症状按植物神经系统、心血管系统、呼吸系统、消化系统进行分类,必须满足两个以上系统出现症状,且有出现3个以上症状的统计为有高原反应。高原反应症状作为一个表象指标,是人体受高原低氧作用产生的综合生理反应,应与其他体征检查、物理生化检查相结合来分析判断,反应严重的应给予低海拔休息疗养,进行机能调节,并根据反应程度检查相关指标确认是否存在器质性变化,对照高原习服标准,长期持续严重高原反应的应予淘汰。

3 指标体系的结构系统分析

青藏铁路85%路段处于海拔4000m以上高海拔地区,根据青藏铁路运营工作需求,青藏铁路施工卫生保障经验,结合本次试验结果,提出青藏铁路机车乘务员体检鉴定可以分成两级

来进行的基本思路，第一级为基础选拔体检系统，目的主要为淘汰高原禁忌证，机车司机职业禁忌证，明显预示不能适应4000m以上高原行车作业的功能性指征。第二级为适应性选拔体检系统，目的是通过海拔4000m以上高原习服训练，进一步选拔适应4000m以上高原环境人员。

适用范围为青藏铁路公司定向培养的高原铁路机车乘务专业学员，入学前均应按基础选拔体检标准进行体格检查，不合格者一律不得录取该专业。凡新录用高原机车乘务员，必须接受基础选拔体检和高原适应性选拔体检。

（1）基础选拔体检指标系统

标准：《高原铁路机车乘务人员医学标准》

方法：《高原铁路机车乘务人员体检鉴定》、《高原机车乘务人员体检鉴定表》。

（2）高原适应性选拔体检指标系统（表8）

表8　高原适应性选拔体检项目标准

测定指标	标准
心功能	心率55～90次/分，心电图正常。
血压	收缩压 < 140mmHg，< 90mmHg
呼吸率	16～20次/分
红细胞	$<6.0\times10^{12}/L$
血红蛋白	< 180g/L
红细胞压积	< 55%
白细胞	$>3.5\times10^{9}/L$
血氧饱和度	> 90%
血小板	$>1.0\times10^{11}/L$
急性高原反应	轻度以下，或总积分 < 10，高原适应指数 > 60%
肺功能	FVC > 3500ml，FEV_1 > 3000ml，FEV_1% > 80%
肾功能	BUN < 8.0mmol/L，CREA < 140umol/L，尿蛋白 < 15mg/dl，尿红细胞、尿糖阴性
肝功能	ALT < 50u/L，AST < 50u/L，TBIL < 20umol，DBIL < 8umol/L
血糖	< 6.1mmol/L
体能	左手握力 > 34kg，右手握力 > 36kg，3000m跑成绩及格

3.3　适应性培训

适应性培训应作为高原机车司机技能培训的一项重要内容，在基础选拔体检完成后应进驻3000m以上高原习服适应基地进行为期一个月的高原适应性培训，内容为：①高原生理—心理健康教育；②海拔4000m高原生理适应性训练。培训一个月进行高原适应性体检鉴定。适应性训练推荐采用以下走跑交替方法：

常速—快步—常速—跑步—常速；或常速—快步—跑步—常速。

4 结论

(1)指标系统采用基础选拔指标体系和适应性选拔指标体系二级结构模型

①基础体检包括一般条件,精神科,神经系统,循环系统,呼吸系统,消化系统,传染病,代谢、免疫及内分泌系统,血液系统,泌尿生殖系统,妊娠,骨骼、肌肉系统,血管系统,皮肤及其附属器,耳、鼻、咽、喉及口腔,听力,眼及其附属器,视力等 18 个系统共计 120 个检查项目。

②基础体检合格者经 1 个月高原基地适应性培训后进行适应性选拔体检。适应性选拔体检包括心功能,血压,呼吸率,红细胞,血红蛋白,红细胞压积,白细胞,血小板,血氧饱和度,高原反应,高原适应指数,肺功能,肝功能,肾功能,尿常规,血糖,体能等 16 项共计 30 个指标。

指标体系标准值、测试方法、合格判定原则见《高原机车乘务员体检鉴定技术规范》。

(2)年龄升高,高原反应率上升,多项生理机能下降,心理反应时下降,导致不合格率上升

分析认为高原机车乘务员一般条件应为:最佳年龄 30 ~ 40 岁,最低不应小于 25 岁,最高不应超过 45 岁,中专文化程度,身体健康,婚姻稳定。

(3)预期不能适应高原行车需求,从而导致体检不合格的生理指标顺位为心功能 > 肝功能 > 血氧饱和度 > 肺功能 > 血压 > 血糖 > 握力 > 尿常规 > 血常规 > 肾功能。

(4)经综合分析提出新的判断机车乘务员高原不适应生理指标

血液学参数 $RBC > 6.0 \times 10^{12}/L$、$Hb > 180g/L$、$Hct > 55\%$,三项指标任两项同时异常,或 $WBC < 3.5 \times 10^{9}/L$、$SaO < 90\%$ 任一项异常。

肺功能参数 $FVC < 3500ml$,$FEV_1 < 3000ml$,$FEV_1\% < 80\%$ 三项指标任两项同时异常。

心率 < 55 次/分,或 > 90 次/分。

呼吸率 <16 次/分,或 > 20 次/分。

急性高原反应中度以上,或总积分 > 10,高原适应指数 < 60%。

BUN > 8.0mmol/L,尿蛋白 >15mg/dl,尿红细胞 + + +,尿糖 +。

体能参数左手握力 < 34kg,右手握力 < 36kg,3000m 跑成绩不及格。

(5)体检频度模式

①基础选拔体检:新录用高原机车司机前,新招收的高原行车专业学生入学前。

②适应性选拔体检:新录用高原机车司机,经高原基地 1 个月适应性培训,正式上岗前。

③健康监护体检:在岗的高原机车司机履行职务期间,根据不同生理指标的监护要求,每 3 ~ 6 个月进行一次的单项指标检查。

④定期体检:即为年度体检,体检项目与基础体检同。

青藏铁路运营期卫生保障体系设计及相关技术研究

梁渤洲

铁道部劳卫司医政处

摘　要：从高原气候环境对人体健康的影响，青藏高原自然疫源性疾病流行特点，饮用水资源供给状况，青藏铁路运营管理模式四个方面，研究了青藏铁路运营期卫生保障工作面临的主要问题，提出卫生保障工作要达到急性高原病零死亡的目标，必须贯彻以人为本，管理为中心，机为基础，环境为条件的总体思路，设计了卫生保障体系的层次结构，阐述了层次结构中各因子的相互依存关系和在体系中的地位和作用。对保证卫生保障体系得以顺利实现的高原行车人员体检鉴定模式、高原客车增压供氧及新风量交换方案、青藏铁路卫生保障信息传输系统及突发事故医疗救援预案等关键技术进行了探讨，提出了建议。

关键词：青藏铁路　运营管理　卫生保障　高原病　青藏铁路相关技术

青藏铁路是世界上海拔最高，线路最长的高原铁路，建设中的格尔木至拉萨段，全长1142km，海拔高度4000m以上地段有965km，约占全线的84%，最高点海拔5072m。2001年开工以来，我们高度重视青藏铁路卫生保障工作，参建人员克服了低气压、低氧、低温、强紫外线辐射，鼠疫等严酷的自然环境对人体健康和劳动能力带来的恶劣影响，工程进展顺利，铺轨任务和大部分站后工程预计年底完工，2006年7月计划试运行。运营以后的卫生保障已经提到议事日程。因此，针对青藏铁路运营特点，研究运营期的卫生保障体系及其相关技术，防控急、慢性高原病的发生，减轻高原环境对身体健康的影响，保证铁路行车人员、工务人员，旅客的身体健康和行车安全，具有现实的和深远的意义。

1　青藏铁路运营期卫生保障体系面临的主要问题

1.1　高原气候环境对人体健康的影响

高原地区由于海拔增高，大气压下降，氧分压随之下降，形成低氧环境，肺泡气氧分压和动脉血氧饱和度也随之下降。随着海拔增高，气温也呈递减性下降，形成气候寒冷的高寒地带。根据对青藏铁路沿线气象环境实测结果，海拔4000m以上的青藏铁路，较之海拔2800m的格尔木市，冬季气温可下降16～17℃，氧分压平均下降25.5%。与平原相比，气温可下降26～32℃，氧分压平均下降达44%，紫外线相对强度增加1～1.5倍。由此可见，高原自然环境最重要的特点是低气压低氧，其次为寒冷和强紫外线。

（1）生理机能影响

综合文献资料和青藏铁路施工现场工人两年体检资料，高原低氧环境对人体生理机能的影响涉及到机体的各个系统，而对一些重要的呼吸、循环、、血液、消化、泌尿、神经等系统影响

更甚，表现为一类适应低氧环境的代偿性改变和另一类不适应的失代偿性改变，表1。

表1　2002年青藏铁路施工人员工后体检生理指标改变情况

生理改变项目	体检人数	检出例数	检出率(%)
心电图	11890	2180	18.38
血常规	8361	5264	63.00
尿常规	11462	1543	13.46
肝功能	10847	820	7.56
肾功能	1951	59	3.02
血脂	56	28	50.90
B超	4240	312	7.36
血压	7036	1230	17.36
X线	3641	34	0.93

（2）心理机能影响

应用SCL－90自评量表对海拔4600m青藏铁路施工人群心理健康状况调查，结果主要表现为躯体化症状、强迫症状及抑郁症状。结合文献资料，心理健康影响主要表现为对记忆、注意、情绪、行为、个性以及反应时的影响，见表2。

表2　海拔4600m青藏铁路施工人群心理健康状况调查

9项因子	均分范围				合计
	2－2.999	3－3.999	4－4.999	5	
躯体化症状	31	20	11	4	66
强迫症状	31	13	8	3	55
人际关系紧张	19	5	6	5	35
抑郁	23	13	7	3	46
焦虑	27	11	8	2	48
敌对	19	7	3	6	35
恐怖	13	9	3	7	32
偏执	13	5	5	3	26
精神病症状	21	4	5	4	34

（3）体能及高原相关疾病影响

研究表明，海拔每上升1000m，劳动强度增加一个强度等级。2002年对青藏铁路建设38个重点岗位的劳动强度进行测定，劳动强度指数用高原体力劳动强度校正系数进行了校正，并于内地平原铁路建设相应岗位劳动强度进行比较，发现青藏高原相对劳动强度较之平原呈上升趋势，如图1所示。

血氧饱和度是反映机体供氧程度的重要指标，体力劳动时，需氧量显著增加，劳动强度越大需氧量越多。资料显示，在高原低氧环境从事劳动，可增加机体的缺氧程度和生理负荷强

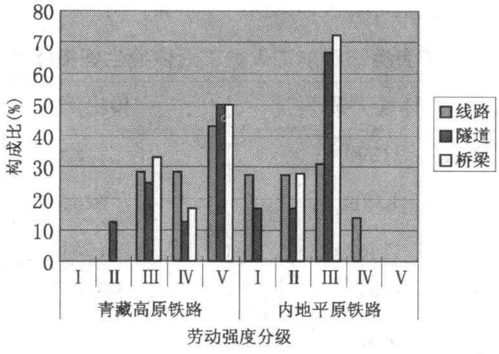


图1 高原铁路与平原铁路施工劳动强度构成比较

度，如表3、4所示。如在海拔4100m进行轻度体力劳动时，动脉血氧饱和度下降到82.7%，比平原相同状态多下降14.5%，进行重度体力劳动时动脉血氧饱和度下降到71.8%，比平原多下降23.0%。因此，在高原从事重度体力劳动可加重机体缺氧程度，诱发重症高原反应，导致肺水肿和脑昏迷。心肌对缺氧反应很敏感，除心率增加外，心电图也出现缺氧的表现和右心负荷加重方面的改变，在海拔2800～4500m地区居留劳动3～6个月，心电轴右偏和右室肥厚检出率增加。因此，在高海拔地区长期从事重度体力劳动，极易导致高原心脏病的发生。

表3 负荷前后不同海拔高度动脉血氧饱和度变化(%)

海拔高度(m)	静息状态	负荷50W	负荷100W	负荷150W
450	97.9	97.2	96.1	94.8
2260	94.1	92.2	90.3	86.6
3000	92.0	89.2	88.1	81.3
3450	90.4	87.4	84.8	77.9
4100	86.4	82.7	80.1	71.8

表4 高原体力劳动心电图指标的变化

组别 海拔高度(m)	心电轴		右室肥厚检出率(%)
	右偏检出率(%)	左偏检出率(%)	
80 平原对照	2.9	2.9	4.3
2800 轻劳动	16.9	6.2	3.3
2800 重劳动	18.5	7.4	5.5
4500 轻劳动	42.5	4.6	11.4
4500 重劳动	44.2	9.3	26.7

1.2 自然疫源性疾病流行特点

根据青海省疫情统计资料，青藏铁路格拉段沿线大部分地区为鼠疫的自然疫源地，二道沟、五道梁、沱沱河、当雄等地区几乎每年都流行动物间鼠疫，青海省在规划的铁路区域内共检出疫点达23处。鼠疫感染后大多是肺型或混合型，传染性强，病死率高。

1.3 饮用水供给困难

青藏铁路格拉段线路很大部分位于海拔4000m以上的无人区，虽然沿线分布有大大小小的热融湖塘、河流、高山泉和地下水资源，但其径流量随季节变化明显，水质变化大，丰水期pH、浊度较大，硬度、细菌量、碱度等相对较低，枯水期则相反，并随着水温的增高水中有机物含量迅速增高。由于水质受流经区域的影响很大，因而无法就近为车站生活区提供稳定的饮用水供应，某些劣质水源长期饮用可能损害工人身体健康，甚至引起急性中毒。

1.4 青藏铁路运营管理特点

青藏铁路格拉段采用中心站综合管理模式，沿线不设车务段、工务段、电务段、水电段等管理部门，全段设置7个中心站管理沿线各小站，小站无人值守，线上沱沱河、安多、那曲中心站设值守人员4~6人，负责管辖范围内车站的运转、客货运作业，电务、信息设备的监护管理，达到列车旅行时间最短，设备免维修，基本实现无人化管理的目标。

采用特长机车交路，轮乘制。减少了高原上机务布点和机车出入段作业环节。但一个班次时间较长，客车一个单程约需18小时，货车约需26小时，在车上休息不如在地面休息安静安心，可能会导致机车乘务员疲劳程度增加，

2 青藏铁路运营卫生保障体系的主要内容

2.1 总体思路

青藏铁路运营期卫生保障工作要达到确保职工、旅客在工作和旅行过程中急性高原病零死亡的目标，为实现这个目标，针对青藏铁路运营期的特点和关键问题，卫生保障系统应遵循以人为本，管理为中心、机为基础、环境为条件组成的总体性思路，以保障青藏铁路运营司乘人员、客运人员、工务人员、旅客健康安全为目标的人—机—环境系统。在该系统中，“管理”要渗透到每一个环节，对促使各个要素成为一个整体起着中心性作用；“人”既是管理的主体，又是管理的对象，在系统中起主导作用；“机”是卫生保障不可缺少的物质基础，它只有在管理要素的作用下，与人、环境有机结合后，才可发生重要作用；“环境”是对卫生保障有重大影响的要素群，以潜在的和突发的形式影响健康安全。青藏铁路运营卫生保障体系层次结构如图2所示。

2.2 加强人群高原病及相关疾病防控

建立适应青藏铁路运营特点的高原病医疗急救体系，坚持以地方、部队医疗机构为主，铁路现有卫生资源为辅的原则，采取委托、签订医疗合同方式，在西宁、格尔木、拉萨建立高原病医疗救治基地医院，解决高原病及其相关疾病的长期治疗问题。在安多、那曲和沱沱河中心站，可协助当地政府配置高压氧仓等急性高原病救治设备，解决重症急性高原病、意外伤害事故的紧急救治和转送，解决高原相关疾病的日常诊疗问题。旅客列车设置增压供氧设施，急性高原病救治室，并与基地医院形成网络，解决旅途急性高原病的预防和抢救问题。

建立青藏铁路高原病预防监控体系，按司乘人员、客运人员、工务人员不同特点和要求进行选拔体检、定期体检、高原生理适应性指导、劳动强度监测、职业健康监护、高原作业健康教育、营养配餐培训等项工作。针对旅客进行高原旅行环境防病知识、急救知识宣传。

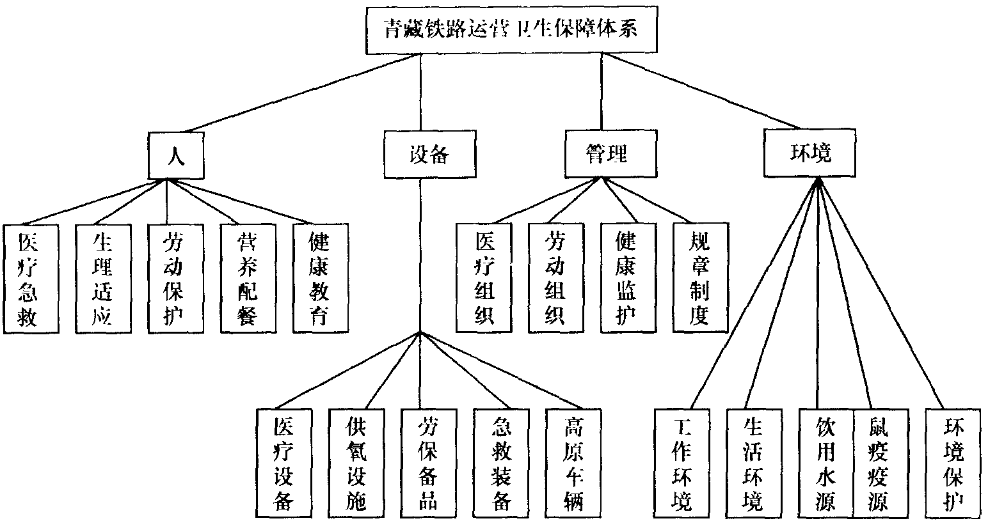


图2 青藏铁路运营卫生保障体系层次结构

2.3 设备保障体系

选择的医疗救治单位,要具备保证急性高原病急救、外伤急救、增压供氧、病人转送工作正常进行的基本医疗药械、制氧设施和交通车辆。

采用适应高原功率损耗的机车,设置供氧设备和急救装备。客车应具有良好的舒适性,严禁超载,具备向旅客供氧和提供新风量的条件,在遇到突发事件,造成列车长时间停车时,旅客列车能够启用防灾自救系统。

采用先进的信号联动系统,实现调度集中联锁;采用全机械化作业养路系统,实现维修、养护、巡道的全部机械化。从而达到减少定员,消灭手工作业,降低劳动强度的目的。为职工配置必须的防寒、防风、防紫外线辐射等劳保用品,个体供氧、洁水装置,提供营养丰富的饮食和良好的居住设施,保证好的工作和生活条件,以提高职工身体素质,增强防病能力和工作能力。

2.4 管理保障体系

(1)医疗组织管理:建立健全的青藏铁路职工医疗、工伤保险机制,保证医疗资金来源,解除职工后顾之忧,解决高原病的诊断、治疗、休养、康复全程服务问题。体检系统的核心是保证司乘人员、客运人员、工务人员高原适应,不得高原病,保证高原行车安全和效率,能够健康的长期服务。这些必须与高原铁路整个运营系统有机的联系起来才能发挥有效作用,如医务、机务、运营组织等。建议成立青藏铁路机车乘务员体检鉴定领导机构,负责制定有关管理文件和程序,对体检合格证的申请、审核、颁发和体检鉴定实施监督管理。青藏铁路公司及相关部门负责医学资料的审核、保管,体检合格证的颁发,负责组织实施体检鉴定工作。

(2)劳动组织管理

青藏铁路劳动组织安排要充分体现降低劳动强度,利于预防重症急性高原病和慢性高原病,年度累计海拔4000m以上高原作业时间不超过6个月的原则。把握好进驻高原,高原适应习服,生理失代偿监控,防止慢性高原病发生这四个卫生保障关节点,搞好工时轮岗制度。同时要重视在高原长期工作人员工余时间的生活安排,丰富文化生活,缓解高原心理紧张压力,预防精神心理障碍。

(3)健康监护信息管理

青藏铁路高原环境职业健康监护由劳动环境监测系统、职业性疾病监测系统和健康监护信息管理系统三部分构成。建立青藏铁路职工健康监护系统，进行系统地、连续地、有规则地监察高原病及其工作相关疾病的发生和变动趋势、适时采取控制措施，降低高原病、职业病和工作相关疾病的发生率，保障工人身体健康，确保青藏铁路安全运营具有重要意义。图3。

系统的组织构成，分成三个层次，以机务段、车务段、客运段、车辆段、工务段、电务段作为群体划分的基本单元，形成监护系统的第一层，建立劳动卫生档案和职工健康档案。由青藏铁路公司组建健康监护信息管理网络形成监护系统的第二层，实施医学检查，个体健康评定和群体健康评定，监测数据和医学检查资料计算机录入，劳动环境评定和群体健康评定，提出健康监护报告。由铁路卫生技术中心、路内外相关领域专家组成青藏铁路职工健康监护技术指导组，形成监护系统的最高层，指导督促全线健康监护实施，提出建立全线健康监护信息管理系统方案，进行年度全线健康监护评定，进行职业性高原病鉴定，根据健康监护评定报告结论，提出干预措施建议，进行干预措施效果评价。

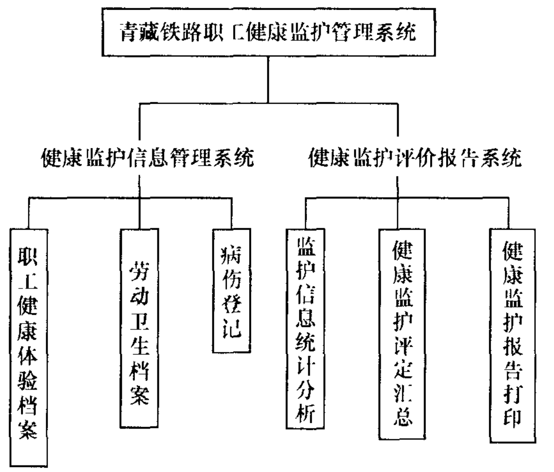


图3　青藏铁路职工健康监护信息管理系统总体结构

(4)规章制度管理体系

目前的规章制度不能满足青藏铁路的特殊需要，在借鉴国内外高原医学研究成果，尤其是青藏铁路建设时期的成功经验，结合青藏铁路试运行制定出一系列青藏铁路运营卫生规章制度，做到卫生保障工作有章可循，方向明确，规范有序，力度到位。目前需要制定的规章、规范和标准主要为

①规章：《青藏铁路运营期卫生保障管理规定》，为青藏铁路公司出台的指导青藏铁路运营期卫生保障工作的行政规章文件，提出卫生保障工作的原则、要求和规定。

②规范：《高原机车乘务员体检鉴定技术规范》、《青藏铁路职工健康监护技术规定》、《青藏铁路行车人员工种劳动强度分级工时轮岗规定》、《青藏铁路运营卫生技术规范》、《青藏铁路运营突发事故医疗救援预案》，为根据《青藏铁路运营期卫生保障管理规定》提出的原则和要求制定的实施细则和技术规程。

③标准：《高原铁路职工高原习服体检标准》、《高原铁路机车乘务人员医学标准》、《高原铁路体力劳动强度分级标准》、《高原铁路机车乘务员容许连续作业时间》、《高原工作居住微小环境供氧技术规定》、《高原铁路劳动防护用品供货技术备件》、《高原铁路机车微小环境卫

生标准》、《高原客车空气卫生标准》、《高原运营隧道空气中机车废气容许浓度》。提出青藏铁路运营期间应当执行的卫生标准。

(4)环境卫生保障体系

工作生活环境:制定工作、生活区基本卫生要求,房屋设计规范,争取利用太阳能和电能供暖,禁止直接燃煤取暖。工作、生活场所微小环境的重点是建立一个适宜人员居留的富氧环境,根据线路海拔高程和季节性变化做出明确的规定和标准,作为房屋、机车、客车设计的重要安全参数。

饮用水源:青藏铁路的唐古拉山至拉萨区段,由于地理环境因素,水源点密布,水质好,世居人员较多,铁路职工饮水问题较易解决。青海境内的格尔木—唐古拉区段,大部分是无人区,环境条件十分恶劣,只有纳赤台、开心岭、不冻泉有少量的优质泉水资源,铁路沿线地表水径流量随季节变化明显,水质变化大,丰水期 pH、浊度较大,硬度、细菌量、碱度等相对较低,枯水期则相反,并随着水温的增高水中有机物含量迅速增高,大多属微咸水,不能直接饮用,个别指标超标严重,不能作为合格的饮用水源。因此,要高度重视唐古拉山以北段有人职守中心站的饮水卫生问题,统一规划建立有效的饮水洁净体系,保证职工饮水卫生。

鼠疫监控:按照国家传染病防治法、交通检疫条例、鼠疫控制应急预案等项规定做好运营期间的鼠疫防疫工作,防疫知识应作为对职工进行健康教育的一项重要内容。同时还要对旅客列车加强监控和宣传,做出预案,严防发生疫情时鼠疫借列车向外扩散。

环境保护:青藏高原是众多著名河流的发源地,称其为“江河源”,为保护青藏高原的生态环境,沿线已建立了可可西里、三江源和羌塘自然保护区。青藏高原自然生态环境十分脆弱,稍有人为破坏都可能打破生态平衡,导致自然环境恶化。因此,保护青藏铁路沿线生态环境就是保护青藏铁路和职工的身体健康。研究站车环境污染物治理控制措施,实用技术装备,垃圾、粪便处理实施方案。车站和列车要有污水处理设施,污水处理后要循环使用。建立垃圾处理场,对垃圾进行分类管理,集中处理。采用噪音小、排污少的环保型机车和不排污、全封闭的绿色客车。

3 相关技术研究

3.1 高原行车人员体检鉴定模式

体检系统的核心是保证行车人员高原适应,不得高原病,保证高原行车安全和效率,能够健康的长期服务。这些要求仅靠一份医学标准是难以达到的,必须与高原铁路整个运营系统有机的联系起来才能发挥有效作用,如医务、机务、运营组织等。根据青藏铁路运营工作需求,青藏铁路建设期卫生保障经验,结合有关研究结论,提出青藏铁路机车乘务员体检鉴定可以分成两级来进行的基本思路,第一级为基础选拔体检系统,目的主要为淘汰高原禁忌证,机车司机职业禁忌证,明显预示不能适应 4000m 以上高原行车作业的功能性指征。第二级为适应性选拔体检系统,目的是通过海拔 4000m 以上高原习服训练,进一步选拔适应 4000m 以上高原环境人员。

适应性培训应作为高原行车人员技能培训的一项重要内容,在基础选拔体检完成后应进驻 3000m 以上高原习服适应基地进行为期 1 个月的高原适应性培训,内容为高原生理-心理健康教育;海拔 4000m 高原生理适应性训练。培训 1 个月进行高原适应性体检鉴定。

(1)体检系统二级结构模型指标

①基础体检包括一般条件，精神科，神经系统，循环系统，呼吸系统，消化系统，传染病，代谢、免疫及内分泌系统，血液系统，泌尿生殖系统，妊娠，骨骼、肌肉系统，血管系统，皮肤及其附属器，耳、鼻、咽、喉及口腔，听力，眼及其附属器，视力等18个系统共计120个检查项目。

②基础体检合格者经1个月高原基地适应性培训后进行适应性选拔体检。适应性选拔体检包括心功能，血压，呼吸率，红细胞，血红蛋白，红细胞压积，白细胞，血小板，血氧饱和度，高原反应，高原适应指数，肺功能，肝功能，肾功能，尿常规，血糖，体能等16项共计30个指标。

(2)体检频度模式

①基础选拔体检：新录用高原行车人员，新招收的高原行车专业学生入学前。

②适应性选拔体检：新录用高原行车人员，经高原基地1个月适应性培训，正式上岗前。

③健康监护体检：在岗的高原机车司机履行职务期间，根据不同生理指标的监护要求，每3~6个月进行一次的单项指标检查。

④定期体检：即为年度体检，体检项目与基础体检同。

3.2 高原客车增压供氧及新风量交换方案

(1)客车小环境富氧标准

高原地区由于海拔增高，大气压下降，氧分压随之下降，形成低氧环境，动脉血氧饱和度也随之下降，表5所示。

表5 海拔高度与氧分压及血氧饱和度关系

海拔高度(m)	大气压(kPa)	大气氧分压(kPa)	动脉血氧饱和度(kPa)
0	101.3	21.2	0.96
1000	90.7	18.7	0.94
2000	80.0	16.5	0.92
3000	70.7	15.5	0.90
4000	61.3	13.1	0.85
5000	54.0	11.3	0.75
6000	47.3	9.86	0.66
7000	41.3	8.66	0.60

医学上的高原是指海拔3000m以上地区，在这个高度以下正常人一般不会出现严重高原反应。高原客车富氧环境，就是要采用必要的技术措施使微小环境中氧的含量达到相当于海拔3000m时空气中氧的含量，根据研究测算，海拔3000~4000m高度，空气氧浓度每增加1%，相当于海拔高度下降250m。海拔4000~5000m高度，氧浓度每增加1%，相当于海拔高度下降320m。因此，海拔4000m时必须使空气中氧浓度达到25%，海拔5000m时空气中氧浓度须达到28%，才能使空气中的氧含量相当于海拔3000m时的水平。目前客车制造部门对增压风机及密封式车厢供氧、变压吸附制氧机供氧和富氧膜分离制氧机供氧3种方式进行了论证，倾向于采用富氧膜分离制氧机供氧技术，可使客车空气中氧浓度提高3%，在海拔4000m左右高度能够达到富氧标准，但海拔5000m左右高度时则较难达到富氧标准。

(2)客车供氧模式

根据上述分析，青藏铁路客车供氧可采取三级供氧模式。

①大面积供氧以富氧膜分离制氧方式为宜，将膜制出的氧气与空调送风混合后送到车厢内，浓度达到富氧标准，乘客和司乘人员可自由地呼吸到需要的氧气。

②在旅客座位上方设置氧气面罩或吸氧管，富氧膜分离制氧方法制出的氧气浓度为30% ~50%，符合人们直接吸用的要求，在旅客感到不适时可直接吸用。

③客车上设置密封性能好的增压包厢，解决车厢内达不到富氧标准时，部分不适应旅客的供氧和急性高原病的抢救问题。

青藏铁路客车车厢内的气压基本上等于铁路沿线的环境气压，气压降低人体的通气量会增加。据报导，在海拔高度为3000m时，肺换气量约增加5% ~10%，5000m高度时，肺换气量约增加20% ~25%，见表6。

表6　呼吸与海拔高度的关系

海拔高度(m)	0	3658	5486	6706
通气量(L/min)	8.85	9.71	11.06	15.31

低气压造成的肺通气量增加，客车为保证供氧效率采取的密封措施，均增加了车厢内CO_2的蓄积可能性。根据血液氧解离曲线原理，在同一氧分压下，血液中的CO_2分压对血氧饱和度有明显的影响，CO_2分压越高，血氧饱和度越低。空气中二氧化碳浓度的增加会使乘客感到气闷、疲劳，诱发高原反应，。因此，高原客车通风系统新风量的供应，较之平原客车显得尤为重要，对于保证车内必要的卫生条件，提高车箱的舒适度，预防高原反应起到不可替代的作用。

(3)高原客车新风方案影响因素

低气压的影响：当车厢内温度不变时，空气密度随着海拔高度的增加，大气压力的降低而减小，新风量要随着海拔的升高而增加，据测算每上升1000m，新风量应增加10%才能满足标准。

乘客活动状态的影响：青藏铁路客车行驶在高海拔线路上时，大部分乘客将是坐着休息或躺着睡觉的。当其它条件不变时，睡眠时的二氧化碳排出率约为休息时的1/3，因此列车在夜间运行时，仅考虑这一因素，新风量可以相应减少以达到节能的目的。

车厢外气温的影响：青藏铁路沿线属典型的大陆性气候，昼夜温差高达15 ~30℃，空气密度随气温的变化幅度较大。在同一海拔高度，若车内的气温维持在20℃，而车外的气温从-30℃升高至0℃时，空气密度将减小约11.0%。

因此，设计高原客车新风量方案应重点考虑车厢内CO_2浓度、低气压、高温差、乘客活动状态等影响因素。

3.3　青藏铁路卫生保障信息传输系统及突发事故医疗救援预案

将卫生保障信息管理系统纳入青藏铁路运输信息传输系统的整体框架中，重点解决职工健康监护的信息传递，重症高原病远程专家会诊，行车突发事故医疗救援专家咨询库等问题。建立可靠、有效、实用的高原病早期预警系统，早期发现、预防、控制群体突发急性高原病事故。

研究高原行车突发事故医疗救援组织构成，急救措施和装备，应急救援方案，快速检测分析、识别诊断处理技术，事故健康风险评价技术。

ISBN 7-5046-4086-7

ISBN 7—5046—4086—7
U·46 定价：40.00 元