

QINGZANG TIELU SHIJIU BIAODUAN  
SHIGONG JISHU YU YANJIU

# 青藏铁路19标段

## 施工技术与研究

周志东 周春清 主编



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

# 青藏铁路19标段

## 施工技术与研究

ISBN 978-7-5643-0467-6

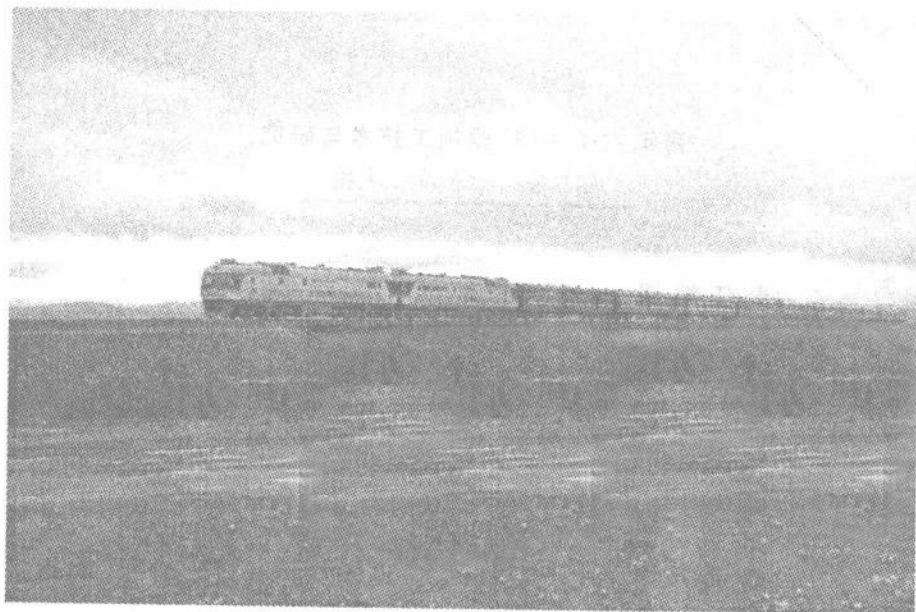


9 787564 304676 >

定价:28.00 元

# 青藏铁路 19 标段施工技

周志东 周春清 主编



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---

图书在版编目 (CIP) 数据

青藏铁路 19 标段施工技术与研究 / 周志东, 周春清  
主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.10  
ISBN 978-7-5643-0467-6

I. ①青… II. ①周… ②周… III. ①青藏高原—铁路工程—工程施工—文集 IV. ①U215-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 181857 号

---

青藏铁路 19 标段施工技术与研究

周志东 周春清 主编

|       |                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------|
| 责任编辑  | 刘娉婷                                                               |
| 封面设计  | 本格设计                                                              |
| 出版发行  | 西南交通大学出版社<br>(成都二环路北一段 111 号)                                     |
| 发行部电话 | 028-87600564 87600533                                             |
| 邮 编   | 610031                                                            |
| 网 址   | <a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a> |
| 印 刷   | 成都蜀通印务有限责任公司                                                      |
| 成品尺寸  | 170 mm × 230 mm                                                   |
| 印 张   | 10.5                                                              |
| 插 页   | 4                                                                 |
| 字 数   | 189 千字                                                            |
| 版 次   | 2009 年 10 月第 1 版                                                  |
| 印 次   | 2009 年 10 月第 1 次                                                  |
| 书 号   | ISBN 978-7-5643-0467-6                                            |
| 定 价   | 28.00 元                                                           |

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 《青藏铁路 19 标段施工技术与研究》

编 委 会

周志东 周春清 廖万雍 贺宝桥 李晶瑜

杨华斌 李浩浩 冯义刚 邓 婷 杨钦鸿

等创作

# 前 言

青藏铁路格拉段的建设是党中央、国务院作出的重大战略决策，是几代中央领导关心和全体中国人民共同努力的结晶，是西部开发的标志性工程。该铁路的建设举世瞩目、意义重大。青藏铁路全线建成后，将填补我部西部铁路网的大空白，形成北京—兰州—西宁—拉萨的运输大通道。这对促进西藏、青海两省区的经济发展、资源开发，加强两省区与其他省区的交流与联系内起到十分重要的作用；同时，对增进民族团结、维护社会稳定、巩固我国边陲，也具有极其重要的意义。

作为唯一一支参加青藏铁路建设的部队，武警水电部队于 2002 年中标青藏铁路二期土建工程第 19 标段。该标段位于青藏铁路翻越唐古拉山口后的唐古拉山南坡的安多县境内，起点桩号为 DK1451+600，终点桩号为 DK1477+400，全长 25.8 km。起点路基为唐古拉山山前倾斜平原，然后进入扎加藏布宽阔阶地，三跨扎加藏布河，经过扎加藏布河谷段后，止于比较开阔的安多山间谷地，全线海拔为 4 843.03~4 890.88 m。施工区为藏北无人区，属于世界屋脊的屋脊。本工程具有如下特点：一是气候恶劣，多变，四季不明，冻结期长，融区冻结深度大，有效施工期只有 5~6 个月；二是本区有诸多不良地质体存在，特别是高含冰冻土、沼泽化湿地、热融湖塘等，致使施工难度大；三是路基填多挖少，借方多达 112 多万  $m^3$ ，运距多在 3~7 km，运输量大；四是桥梁涵洞较多，工期紧，需投入大量机械设备；五是环境保护不易恢复；六是环境对结构物的要求高。

施工区属于青藏铁路多年冻土区的最南端，区内气候恶劣，昼夜温差大，最大可达 30℃ 以上，降水量远小于蒸发量，干湿交替快，最大风力达 8 级以上，主要以西风和西北风为主，集中在 11 月至次年 3 月，风沙大，气候干燥，紫外线辐射强，植被不发育，品种少，生长期短，生物链简单。位于青藏铁路多年冻土的最南端，线路 83.4% 经过多年冻土区，其中高温不稳定冻土和高温极不稳定冻土占大多数。

因此，高寒缺氧、多年冻土、环境保护，是我们部队在青藏铁路 19 标段施工面临的三大难题。部队于 2002 年 9 月进点，2003 年 4 月正式开工，2006 年 6 月铁路试运营（提前一年），2007 年 6 月正式竣工验收，在历经的 4 年时间里，武警水电官兵发扬“海拔高斗志更高，缺氧不缺精神，风雪大决心更大”的精神，克服生活和工作上的困难，与死神搏斗，与生命极限抗争，谱写了一个又一个奇迹，解决了施工中遇到的许多技术问题和难题，特别是在多年冻土区的

路基施工技术、桥涵施工技术、环境保护等方面积累了一定的施工技术与经验，适当地开展了相关课题的研究，取得了一定的成果。工程质量整体优良，9项工程被青藏铁路总指挥部评为优质样板工程，多人多次获得铁道部“火车头奖”或建设先进个人，项目部被授予“火车头奖杯”获先进项目部等称号。

截至今日，19标段已经完成了3年，为了总结我们的施工技术和研究成果，建设者们早想出一本书，但是受到多方面因素的制约，以至于现在才出书，不免是一件憾事，亡羊补牢，今日出书，也算是19标段全体技术人员的心愿了结。在此，感谢关心过我们的铁道部、青藏铁路总指挥部、铁道部第一设计院、铁道部第一设计院乌鲁木齐监理站、铁道部科学研究院和友邻单位等的领导、专家和同志，他们很多人在我们的施工过程中提供了技术指导和支持，同时也感谢上级领导和组织的支持和关心。

本书的主要作者有：周志东、周春清、廖万雍、贺宝桥、杨华斌、李晶瑜、李浩浩、冯义刚、杨钦鸿、邓婷、邹伟、苏志军、胡志国、王斐等。本书是我们在施工过程中的施工技术与研究，也是对青藏高原多年冻土区相关技术问题的探讨，是一个工程技术研究历史片段的记录，如有不对或不足之处，敬请读者指正。

**编 者**

2009年6月于成都

# 目 录

|                                             |             |     |
|---------------------------------------------|-------------|-----|
| 青藏铁路多年冻土工程稳定性综合分类及工程意义初探                    | 周志东 周春清 曾小东 | 1   |
| 青藏铁路 19 标段施工测量                              | 李晶瑜 冯义刚     | 6   |
| 高原地区影响测量的几个因素——气压、温度、气象改正值                  | 李晶瑜 冯义刚     | 13  |
| 青藏铁路第 19 标段冻土路基设计原则及施工保障措施                  | 杨华斌 袁 晶     | 18  |
| 青藏铁路多年冻土区路基施工加强措施及施工中需注意的问题                 | 李浩浩 杨华斌     | 24  |
| 热棒保护多年冻土机理分析及热棒施工技术                         | 杨华斌         | 30  |
| DK1466+606 大桥钻孔灌注桩施工工艺                      | 贺宝桥 张凡斌     | 35  |
| 多年冻土区桥梁桩基施工技术研究                             | 邓 婷 周志东     | 39  |
| 青藏铁路 19 标段涵洞工程施工技术                          | 杨华斌 周志东     | 65  |
| 青藏铁路 19 标段快速施工技术                            | 廖万雍 周志东 龚富斌 | 74  |
| 浅谈含气量对青藏铁路耐久性混凝土的影响                         | 杨钦鸿 张国庆     | 77  |
| 低温耐久混凝土研究                                   | 廖万雍 周志东     | 82  |
| 青藏铁路(格拉段)19 标段沿线环境特征及施工期环境保护                | 胡志国 苏志军     | 113 |
| 建立高效精干工程指挥部,规范项目管理<br>——青藏铁路 19 标段工程管理模式的探讨 | 周春清 尹建勋 周志东 | 117 |

|                           |             |     |
|---------------------------|-------------|-----|
| 气温变化对青藏铁路多年冻土的影响初探        | 周志东 周春清 廖万雍 | 129 |
| 浅谈青藏铁路 19 标段质检段落划分        | 邹 伟 王 斐     | 134 |
| 青藏铁路多年冻土区季节性冻土回冻深度变化的混沌特征 | 周志东 张 磊     | 139 |
| 青藏铁路 19 标段三大难题攻关情况        | 周志东 杨华斌     | 143 |

# 青藏铁路多年冻土工程稳定性综合分类及工程意义初探

周志东 周春清 曾小东

【摘 要】 目前, 青藏铁路的多年冻土工程分类基本以单一指标分类为主, 但单一指标分类往往不能全面反映冻土的工程稳定性。本文从全面的观点出发, 运用多元有序数据最优分割法, 初步探讨了青藏高原某标段多年冻土工程稳定性综合分类, 同时对分类的工程意义进行了简单分析。

【关键词】 青藏铁路; 多年冻土; 分类; 工程意义

## 1 青藏铁路多年冻土分类概况

多年冻土是指冻结状态维持 2 年或 2 年以上的冻土。青藏铁路新建格拉段全长 1 120 km, 铁路所经多年冻土区长度约 546 km。多年冻土主要分布于青海西大滩到安多谷地, 分布在海拔 4 500 m 以上, 属于高原冻土, 是一类特殊的地质体, 是“感温易变体”。它之所以特殊, 主要在于其物理性质、化学性质及工程特性与温度有极其密切的关系。多年冻土的核心问题是控制冻土的变形, 这首先是控制差异变形, 其次是控制总量变形, 而冻土的工程稳定性是青藏铁路变形研究的基础。

目前, 多年冻土的工程分类主要以单因素分类为主, 其中常见的分类为两类, 即以多年冻土的地温和多年冻土的含水率进行分类, 分别如表 1、表 2 所示。

表 1 按多年地温进行的多年冻土分类

| 多年冻土<br>地温分区            | I. 高温极不<br>稳定区                                              | II. 高温不稳定区                                                   | III. 低温基本<br>稳定区                                               | IV. 低温稳定区                                                      |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 多年冻土年<br>平均地温/ $T_{cp}$ | $0^{\circ}\text{C} > T_{cp}$<br>$\geq -0.5^{\circ}\text{C}$ | $-0.5^{\circ}\text{C} > T_{cp}$<br>$\geq -1^{\circ}\text{C}$ | $-1.0^{\circ}\text{C} > T_{cp}$<br>$\geq -2.0^{\circ}\text{C}$ | $-2.0^{\circ}\text{C} > T_{cp}$<br>$\geq -3.0^{\circ}\text{C}$ |

表 2 以含水量为主要指标的多年冻土工程分类

| 多年冻土工程分类      |                 | I              | II                         | III                        | IV                          | V                  |
|---------------|-----------------|----------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 冻土总含水率 $W/\%$ |                 | $W < W_p + 2$  | $W_p + 2 \leq W < W_p + 5$ | $W_p + 5 \leq W < W_p + 9$ | $W_p + 9 \leq W < W_p + 15$ | $W > W_p + 15$     |
| 冻土类别          |                 | 少冰冻土           | 多冰冻土                       | 富冰冻土                       | 饱冰冻土                        | 含土冰层               |
| 构造类别          |                 | 整体状            | 微层、网状                      | 层状                         | 斑状                          | 基底状                |
| 融沉评价          | 等级              | 不融沉            | 弱融沉                        | 中融沉                        | 强融沉                         | 融沉                 |
|               | 融沉系数 $\delta_0$ | $\delta_0 < 1$ | $1 \leq \delta_0 < 3$      | $3 \leq \delta_0 < 10$     | $10 \leq \delta_0 < 25$     | $\delta_0 \geq 25$ |
| 冻胀评价          | 等级              | 不冻胀            | 弱冻胀                        | 中冻胀                        | 强冻胀                         | 特强冻胀               |
|               | 冻胀系数 $\eta$     | $\eta < 1$     | $1 \leq \eta < 3.5$        | $3.5 \leq \eta < 6$        | $6 \leq \eta < 12$          | $\eta \geq 12$     |
| 强度评价          | 等级              | 中              | 高                          | 高                          | 中低                          | 低                  |
|               | 相对强度值           | 0.8 ~ 1.0      | 1.0                        | 1.0                        | 0.8 ~ 0.4                   | < 0.4              |

## 2 多年冻土工程综合分类方法

类是性质、特征相近物体或事件的一个集合。本次我们采用多元有序数据最优分割法,对多年冻土进行分类。它是一种不确定性分类法,对表征冻土工程特征的变量按一定顺序排列(即有序特征量),运用多元有序数据最优分割法,使每一类内部样品之间的差异性最小,而使异类之间的差异最大,从而得到冻土的工程综合分类。

其数学原理如下:有  $n$  个有序样品,每个样品有  $m$  个变量,从而构成了一个  $n \times m$  的原始数据矩阵,其元素记为  $y_{il}$  ( $i=1, 2, \dots, n; l=1, 2, \dots, m$ )。对原始数据作正规化处理,变换为:

$$z_{il} = \frac{y_{il} - \min_{1 \leq i \leq n} \{y_{il}\}}{\max_{1 \leq i \leq n} \{y_{il}\} - \min_{1 \leq i \leq n} \{y_{il}\}}$$

样品段  $\{i, \dots, j\}$  内变量的内差平方和为:

$$d_{ij} = \sum_{\alpha=i}^j \sum_{\beta=1}^m [z_{\alpha\beta} - \bar{z}_{\beta}(i, j)]^2$$

式中

$$\bar{z}_{\beta}(i, j) = \frac{1}{j-i+1} \sum_{\alpha=1}^1 z_{\alpha\beta} \quad (1 \leq i \leq j \leq n, \beta = 1, 2, \dots, m)$$

若  $n$  个有序样品分成  $K$  类，每类中有  $nk$  个样品，按照最优分割原则，其类中离差平方和必须满足下式：

$$\begin{aligned} W_n(k, a_1, a_2, a_3, \dots, a_{k-1}) &= d_1(i, j) + d_2(i, j) + \dots + d_k(i, j) \\ &= \sum_{k=1}^K \sum_{\alpha=1}^{nk} \sum_{\beta=1}^m [z_{k\alpha\beta}(i, j)]^2 \end{aligned}$$

在实际中，将最优分类分成 2 类、3 类... $K$  类，在类中离差平方和  $W$  与分类数  $K$  的曲线上拐点对应的  $K$  值即为最优分类。

由此可见，最优分类方法不需人为设定类数，体现了分类的动态特征。

### 3 综合分类特征因素的选择

本次对多年冻土进行综合工程分类，采用的综合因素主要涵盖三方面的内容：冻土本身的性质（内因）、冻土的结构、冻土的赋存环境等。

#### 3.1 多年冻土本身的性质

冻土本身的性质主要包括冻土的物理性质、化学性质与工程特性等。物理性质主要包括冻土的年平均地温、热容等；化学性质主要包括化学成分、酸碱性等；工程特性主要包括强度、融沉性、冻胀性等。

#### 3.2 多年冻土的结构与含冰量

冻土的结构主要是指冻土土体本身的结构与其赋存冰的结构。土体的结构主要包括土的颗粒大小、级配和颗粒的排列状态。冰的结构主要是指冰以何种形式排列或充填于土体中，包括零星充填、网络或微层状、层状、斑状、整体状等。冻土的含冰量是指冻土中冰所占的百分比，它是多年冻土的重要指标。

#### 3.3 赋存环境

影响多年冻土稳定性的主要环境因素为：太阳辐射强度、环境的气温、地表径流、地质构造与人类工程活动（工程结构物的类型、人为热源等）、地形地貌、地表植被等。

根据对上述因素的分析，主要选择土体本身的性质、含冰量、融沉性、冻胀性、多年平均地温、环境影响指数作为样品的赋存环境变量。

#### 4 多年冻土各特征因素的取值

多年冻土各特征因素的取值见表 3。

表 3 多年冻土各特征因素取值表

| 特征因素     | 取 值                                                                                                                                                                                                          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 土体本身性质系数 | 石质冻土取 1.0, 卵碎(漂、块)石土取 0.9~1.0, 圆砾(角砾)土取 0.8~0.9, 砂土取 0.6~0.8, 粉质土取 0.5~0.6, 黏土取 0.4~0.6, 含土冰层取 0.2~0.4                                                                                                       |
| 含冰量      | 按照实测的含冰量取值                                                                                                                                                                                                   |
| 冻胀系数     | 按照实测取值                                                                                                                                                                                                       |
| 融沉系数     | 按照实测取值                                                                                                                                                                                                       |
| 冻土平均年地温  | 按照实测取值, 从负温 $-0^{\circ}\text{C}$ 。                                                                                                                                                                           |
| 环境指数     | 1.构造不活动、无河流等地表流水、植被覆盖率大于 90%, 位于阴坡, 取 1.0;<br>2.构造活动弱, 间断的地表小径流, 植被覆盖率 60%~90%, 位于阴坡, 取 0.8~1.0;<br>3.构造活动较强, 有间断的地表径流, 植被覆盖率 30%~60%, 位于平地, 取 0.6~0.8;<br>4.构造活动强, 有地表径流或常年流水, 植被覆盖率小于 30%, 位于阳坡, 取 0.4~0.6 |

#### 5 实例计算结果及其意义

本次对某标段的部分冻土进行了综合分类初步计算, 得出了样品的  $K$ 、 $W$  值, 并绘制了  $W-K$  曲线, 见图 1。

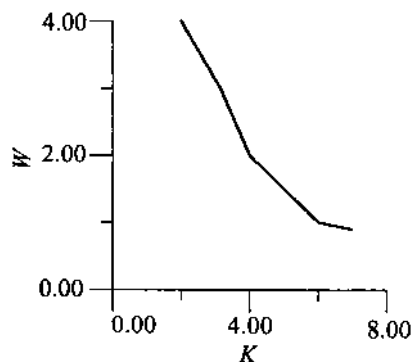


图 1  $W-K$  曲线

从图 1 可以确定最佳分类点为 4，即综合分类将多年冻土最佳分成 4 类，具体为：① 稳定类，稳定性好，不易破坏而引起变形；② 基本稳定类，稳定性好，较为稳定而变形小；③ 基本不稳定类，稳定性不太好，较容易破坏而引起一定变形；④ 不稳定冻土，稳定性不好，易破坏而引起大的变形。

由此可见，综合分类全面考虑了冻土的特征，是对多年冻土稳定性的全面评价，有利于对症下药，根据不同类型冻土采取不同的措施，更有利于设计与施工。

## 6 结束语

本次综合分类是一次初步尝试，尚有很多不成熟之处，只是本着从全面的角度考虑冻土的工程稳定性，为今后的进一步研究提供一种思路。

### 参考文献

- [1] 刘宝兴主编. 路基工程新技术使用全书[M]. 北京：海潮出版社，2001.
- [2] 张鲁新编著. 青藏铁路建设冻土专业技术和施工基础[Z]. 2003.
- [3] 钱家欢等合编. 土工原理与计算[M]. 北京：水利电力出版社，1994.

# 青藏铁路 19 标段施工测量

李晶瑜 冯义刚

**【摘要】** 青藏铁路经由地区的地理、地貌、气候、建设环境等的条件都十分特殊。它高寒缺氧、气候多变、多年冻土、不良地质比较发育、强光照、常年大风、冻融变化频繁、环保要求高等，这些特殊条件决定了测量工作的特殊性。

**【关键词】** 青藏铁路；施工测量；特殊气候；测量参数；测量精度；路基；桥梁

## 1 测区概况

青藏高原 19 标段位于唐古拉山南侧，寒冷干旱，空气稀薄，气压较低，一年内的冻结期长达 9 个月，蒸发量远大于降水量。青藏铁路经由地区高寒缺氧、气候多变、多年冻土、不良地质比较发育、强光照、常年大风、冻融变化频繁、环保要求高等。这些不同于其他省内一般铁路经由地区的地理、地貌、气候、建设环境等的特殊条件，决定了测量的特殊性。

## 2 仪器配置

配置性能较好的新仪器并根据青藏高原气候总结影响测量精度的因素，确定较精确的参数。

测量的前期工作是进行交接桩工作，并对交接的线路控制桩及水准点进行复测。本测区共复测线路控制点 62 个、水准点 10 个（线路全长 25.8 km），并对完成线路的复测情况编写报告。

在复测的过程中发现所测的距离与所交接的距离有一定的误差，这个误差虽然在限差之内，但还是决定分析影响测量精度的因素并减小测量误差。

### 2.1 仪器和人为的影响

仪器选定了精度较高且抗风耐寒的徕卡全站仪。操作时选定不同的人员，通过现场测试发现这些对误差影响不大，就排除了仪器和人为因素的影响。

### 2.2 温度、距离、大气压的影响

(1) 当温度、大气压一定时，误差是否随距离的变化而变化。为此选定了

3 个测量中常用的距离：400 m、600 m、800 m，实验后发现误差虽然随距离的增大相对误差变小，但误差的绝对值变化很小。

(2) 确定当大气压、距离一定时，误差是否随温度的变化而变化。为此我们选定了不同时段：上午 9：00、中午 1：30、下午 5：30 对 400 m、600 m、800 m 进行实验，发现温度对距离的影响也非常小。

(3) 确定当温度、距离一定时，误差是否随大气压的变化而变化。我们仍然选定了不同时段：上午 9：00、中午 1：30、下午 5：30 对 400 m、600 m、800 m 进行实验，发现大气压对距离的变化影响较大。由此推测影响测量误差最大的一个因素是大气压，也就是说输入的参数——大气压的数据不准确，需要重新确定大气压的数值。

通过实验和查找资料发现：海拔越高，大气压和氧分压越低。一般海拔每升高 100 m，大气压下降 0.99 kPa，也就是说，海拔每升高 100 m，大气压就降低 1。本工程所处地平均海拔为 4 876.728 m，平均气压为 56.5 kPa，确定参数后，通过现场测试，发现误差很小。

### 3 通过对交接的中桩点和水准点进行复测发现有些点的误差超限

#### 3.1 影响中桩点误差的地质原因和气候原因

由于所处地段为冻融区，而中桩控制点又有几年时间，经过几年的冻胀，可能有偏差。另发现有误差的点所处的位置地势变化较大且地势较低，而偏差的方向刚好偏向地势较低的地方，由此推测误差是由冻融和融化的雨雪水冲刷引起的，校核时应该偏向地势较高的方向。

#### 3.2 影响水准点的误差

主要是风大而引起的水准尺竖立不直  $i$  角误差引起的。避免风大而引起水准尺竖立不直的手段是选用适用于高原风大的（减振）水准仪和选择最佳观测时间；避免  $i$  角误差是减小前后视距差，为此在测量时用钢卷尺拉前后视距，然后用上下丝读数，当前后视距差较大时重新立尺。

复测完成后，对在复测中存在的问题（点）与设计院进行沟通处理，完成了前期工作中最重要阶段的工作。通过此阶段的测量工作，熟悉了整个线路的地形地貌，摸索出了高原测量的特点和规律，掌握了高原影响测量工作的几个因素并找到了相应的解决办法。

## 4 必须建立覆盖整个测区的永久导线控制网，以提高测量精度和永久观测

由于青藏铁路所处地理环境特殊，交桩时只交了中桩控制桩，而这些桩施工后将被破坏掉，所以在施工之前必须建立包括中桩在内的导线控制网。

### 4.1 建立独立坐标系

为了施工测量方便和把中桩控制点与导线点融为一体，在导线网建立的同时，必须建立独立的坐标系，计算出每个中桩控制点的坐标和施工需要的所有点的坐标。

### 4.2 导线点选择

由于测区地质地形复杂，我们采用在实地边勘察、边选择导线测量路线和确定点位。为了使以后的导线测量计算工作不过于复杂和繁重，选择导线的路线时，敷设成单一的直伸附合导线，为了便于测角和量边，导线点尽量选择在平坦而开阔的路线，这减小了测角的通视和旁折光的影响。为减免因望远镜调焦而带来的误差，选择的导线边大致相等，当有些点不可避免时，就设法与中桩控制点联测。

### 4.3 导线点的埋设

导线点位置选好后，在地面上标定下来，一般方法是打一木桩，并在桩顶中心钉一小铁钉。对于需要长期保存的导线点，则应埋入石柱或混凝土桩，桩顶刻凿十字或铸入具有十字的钢筋。

但由于青藏铁路属高原多年冻土区，冻融层较厚，导线点的埋设采用钻机钻孔，孔深一般8~10 m（2倍于多年冻土上限深度），达到多年冻土层以下，孔内先安装直径110 mm的护筒，护筒内再安装直径50 mm的小钢管，护筒与钢管间用细石混凝土填塞，上口部分用沥青封住，最后用水泥钉在小钢管上打点。

如果按一般方法埋点，将满足不了施工需要的测量精度，因为冻融层随着季节气候的变化，将发生融化和冻结，从而使桩发生非常大的沉降变化。采用钻孔方法埋设，孔桩不会发生位移和沉降变化，因为孔深达到多年冻土层上限以下，多年冻土层不随着季节气候的变化而发生融化和冻结，用护筒的主要作用是保护内部小钢管不随着冻融层的变化产生位移变形，因为冻融层融化冻结而产生的膨胀力，作用在护筒上，同时也不会发生塌孔现象。上口用沥青封住，因为上口部分受季节影响最大，如改用混凝土封住，混凝土是刚性的，不能很

好地抵制因为冻融层融化冻结而产生的膨胀力，而沥青是柔性的，能很好地适应护筒和钢管的变形，因为护筒发生位移变化时，传递给沥青，沥青能承受一定的挤压，对小钢管的影响不会很大，从而使点能被很好地保护而满足测量精度。

#### 4.4 测角、测距及精度的评定

在导线测量工作之前，应对仪器、毡标和对中器等进行检查和检验，在观测中也应随时检查。角度观测时单角用测回法观测，多个角用方向观测法。

##### 4.4.1 误差来源及消除或减少影响的方法（见表1）

表1 误差来源与消除方法

| 误差来源     | 公式                                                                            | 消除或减少影响的方法    | 备注                      |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|
| 视准轴误差    | $\chi = \text{cseca}$                                                         | 正倒镜观测取平均值     | 方向误差                    |
| 望远镜旋转轴误差 | $\varepsilon = i \tan \alpha$                                                 | 正倒镜观测取平均值     | 方向误差                    |
| 仪器旋转轴误差  | $\varepsilon = \delta \sin \beta \tan \alpha$                                 | 观测时严格整平仪器     | 方向误差 $\beta = 90^\circ$ |
| 对中误差     | $\delta_1 + \delta_2 = \sin \frac{\theta}{d} + \sin \frac{\beta - \theta}{d}$ | 仔细对中          | 角度误差                    |
| 目标偏心差    | $\chi = h \sin \frac{r\rho}{d}$                                               | 棱镜气泡居中，尽量瞄准底部 | 方向误差                    |
| 瞄准误差     | $M_v = 60''/\nu$                                                              | 消除误差，仔细瞄准     | 方向误差                    |
| 读数误差     | $m_{\text{读}} = \frac{\pm \sqrt{3}\sqrt{2}}{2}$                               | 仔细重合，认真读数     | 方向误差                    |
| 外界条件影响   |                                                                               | 选择适宜的时间观测     |                         |

##### 4.4.2 精度的评定

在外业观测工作结束后，必须将外业成果进行仔细的检查，尤其要注意手簿的记录和计算是否合乎规范要求，其精度是否在规定的限差以内。测角精度评定公式如下：

$$m_{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\frac{N}{f_{\beta} f_{\beta}}}} \sqrt{\frac{f_{\beta} f_{\beta}}{n+1}}$$

式中： $m_{\beta}$ ——导线测角中误差；  
 $f_{\beta}$ ——附和导线或闭合环的角度闭合差；  
 $n+1$ ——计算 $f_{\beta}$ 时的角度个数；  
 $N$ ——角度闭合差的个数。

#### 4.4.3 导线测量及改正

用全站仪直接测量导线，导线边长进行往返观测各一测回，读数取位至毫米，距离一测回应读数两次，两次读数间较差符合规范表 2 的规定时取平均值，平均值中应加入气象改正值，其改正值按式（1）或式（2）或式（3）计算，边长应采用往测平距，返测值仅供校核。

表 2 读数间较差与规范表

| 仪器精度等级 | 测距中误差 | 同一测回各次读数互差 | 测回间读数较差 | 往返测平距较差                           |
|--------|-------|------------|---------|-----------------------------------|
| I      | <5    | 5          | 7       | $2\sqrt{2} \times m_D / \sqrt{N}$ |
| II     | 5~10  | 10         | 15      |                                   |
| III    | 11~20 | 20         | 30      |                                   |

注： $m_D$ 为标称精度， $N$ 为单向测回数。

气象改正值的计算有以下三种：

① 作业时气象条件的实际群折射率计算公式：

$$n = 1 + \frac{(n_g - 1) \cdot P}{(1 + \alpha t) \times 101325} - \frac{(5.5 \times 10^{-8}) \cdot e}{1 + \alpha t} \quad (1)$$

式中： $\alpha$ ——空气膨胀系数， $\alpha = 1/273.16 = 0.00366086$ ；

$P$ ——大气压力；

$e$ ——水蒸气压力，可忽略不计；

$t$ ——作业时温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

② 仪器基准折射率 $n_0$ ，是以仪器设计时采用的某一气象条件（ $P_0$ 、 $t_0$ ）计算的大气折射率，其计算式如下：

$$n_0 = 1 + \frac{(n_g - 1) \cdot P_0}{(1 + \alpha t_0) \times 101325} \quad (2)$$

③ 气象改正值计算式：

$$\Delta_D = (n_0 - n) \cdot D \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中： $D$ ——测距边长，m。

在这阶段工作中完成了 56 个永久控制点的埋设选点工作；完成了 58 个孔桩点及中线控制桩的施测工作，控制点控制线路长 25.9 km，并进行了相应的内业计算工作；完成了第三阶段导线控制测量工作及高程控制系统的建立，满足了今年及明后年铁路施工控制点的需要和施工放样的精度。通过此阶段的工作，更熟悉高原控制测量选点埋设的特殊性及施测时的特点，明白了高原测量技术的难度和困难性：它不仅需要测量人员克服高原恶劣的气候，克服缺氧的体力消耗，更需要测量人员准确把握高原特殊气候对测量工作的影响，不断地提高测量精度，满足工程施工的需要。

## 5 路基施工放线

为了确保路基质量，放样路基边线时加宽了 50 cm，放样厚度时控制为 30 cm，当宽度与厚度控制好时，就能确保压实度；削坡时，边线放宽 30 cm，这样虽然坡度不能一次到位，但最终能确保边坡到位；为控制填筑厚度，找平时分段找平；路堑开挖时，为防止有设计变更，先开挖实验断面，冻土路堑采用分层分段开挖。

## 6 桥梁施工测量

桥梁施工前应进行复测，包括水文测量、地形测量、断面测量。

### 6.1 直线桥梁

当桥梁位于直线时，在该直线的所有定测转点上设置仪器测量右角，根据转点间距离和右角计算出转点相对于桥轴线的横距，调整桥跨内的转点位置。

### 6.2 曲线桥梁

当桥梁位于曲线时，应对整个曲线进行复测。复测转向角与定测转向角不符时，应采用复测转向角重新计算曲线要素。当复测转向角与定测转向角差值较大且转向角较小时，使线路恢复到原定测转向角值，以免位移过大。

### 6.3 墩台定位测量

桥跨短、跨数多的曲线桥采用偏角法测设曲线和确定墩台。测设时先测出各墩台的线路中心，从线路中心向曲线外侧量出偏心距  $E$  值定墩位中心。桥跨长、跨数少的曲线采用导线法确定墩位。用测距法测设时采用长弦偏角法；用交会法设置桥梁墩台中心时，要选择至少三个方向进行交会。

## 6.4 桥梁水准测量

一般特大桥、大桥施工水准点测设精度不应低于四等水准测量要求。桥两岸各应设置不少于 2 个水准点。中桥、小桥和涵洞水准点设置符合五等水准测量，有时可增设辅助水准点，但精度应符合五等水准测量要求。

本测区内共完成桥梁施工放样 33 座。

## 7 沉降观测

沉降观测是一项高精度的测量工作，是一项系统性工作，是一项时间性很强的、工作量很大、需要认真仔细分析的工作。

对线长 25.8 km，每百断面布设 6 个沉降基点及观测点，观测时间长，工程竣工后，连续施测 4 年，每年每月测一次，基于此要求，布设观测点时必须按永久性点布设，采用预制混凝土桩埋设并同时编号，做好点之记。埋设完毕后需过一段时间后（待其自身稳定后）才能开始测量。施测时必须严格按等级水准测量规范要求执行，必须记录好每次的原始数据和施测时间。数据整理收集好后，根据断面填筑高度、地质因素、填筑材料及观测时间间隔段开始进行分析，得出每月每段平均的下沉量。

## 8 结束语

高原特殊的气候、地质和地貌，对测量工作提出了更高的要求，因此在高原测量过程中必须采用与其他省区不同的测量方式和方法，最大限度减小高原对测量精度的影响。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部，国家技术监督局. 工程测量规范（GB50026-93）[S]. 1993.
- [2] 同济大学编. 工程测量[M]. 上海：同济大学出版社，1991.
- [3] 周小安等编. 公路测量[M]. 北京：人民交通出版社，2000.
- [4] 张鲁新等编. 青藏铁路建设冻土专业知识和施工基础[R]. 中铁西北科学研究院，2003.

# 高原地区影响测量的几个因素

——气压、温度、气象改正值

李晶瑜 冯义刚

【摘要】青藏铁路经由测区的地理、地貌、气候的特殊性,决定了测量的特殊性,所以,测试影响测量精度的因素很有必要。

【关键词】高原测量;测量精度;气压;温度;气象改正值

## 1 测区气候概况

青藏铁路高原测区气候属于亚干旱气候区,具有很强的特殊性,与内陆地区气候有着明显的不同。本测区平均海拔 4 000 m 以上,寒冷、缺氧严重;气压低,平均 565 hPa 左右,只是标准大气压的 56%,气压变化频繁,变化幅度大,7~8 月份较正常,变化较小,其余月份变化明显;气候多变,四季不明,年冻结期长达 9 个月(每年 9 月至次年 5 月),风向以西北风为主,大风(八级)多集中于 10 月至次年 4 月,蒸发量大于降水量,冻土区多年温度平均为  $-2^{\circ}\text{C} \sim -6.9^{\circ}\text{C}$ ,7 月气温最高,平均  $6.5^{\circ}\text{C} \sim 8.1^{\circ}\text{C}$ ;1 月气温最低(有时 12 月份)平均为  $-14.5^{\circ}\text{C} \sim -17.4^{\circ}\text{C}$ ;年平均气温差  $15^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ ,极端温差不得超过  $50^{\circ}\text{C}$ ,年内平均较差  $10^{\circ}\text{C} \sim 19^{\circ}\text{C}$ ,极端日较差  $35^{\circ}\text{C}$ ;大气透明良好,云量少,太阳辐射强,总辐射量大,日照时间较长,一般为 2 600~3 000 h/年。

## 2 气压对测量精度的影响

通过对现场采取同一观测时段、对同一温度设定、同一距离,观测得到表 1 所示数据。气压值取 565 hPa,温度取  $10^{\circ}\text{C}$ ,距离取标准值 400 m。

表 1 气压对精度的影响

| 项目 \ 气压(hPa)            | 960     | 900     | 800     | 700     | 600     | 565 | 400     | 300     | 289.9   |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|---------|---------|---------|
| 观测值/m                   | 399.955 | 399.962 | 399.973 | 399.985 | 399.995 | 400 | 400.018 | 400.029 | 400.031 |
| $\Delta$ = 观测值 - 标准值/mm | -45     | -38     | -27     | -15     | -5      | 0   | +18     | +29     | +31     |
| 精度降低幅度/%                | -11.25  | -9.5    | -6.75   | -3.75   | -1.25   | 0   | +4.5    | +7.25   | 7.75    |

从表 1 可知, 气压对距离的影响规律为气压设定值离气压实际值越远, 对测量距离影响越大, 精度越低。当气压设定值比气压实际值大时, 观测值比标准值小; 当气压设定值比气压实际值小时, 观测值比标准值大。气压对距离的影响变化幅度大致呈线性变化, 每升高 100 hPa  $\Delta$ 值呈厘米级变化, 影响非常明显。

### 3 温度对测量精度的影响

通过现场采取同一观测时段、同一气压设定, 对同一距离观测实验得到表 2 所示数据分析(当时气压实际值 565hPa, 温度为 10 °C, 距离标准值为 400 m)。

表 2 温度对测量精度的影响

| 温度/°C<br>项目/°C          | 30      | 25      | 20      | 15      | 11  | 10  | 8       | 6       | 4       | 0       |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|-----|-----|---------|---------|---------|---------|
| 观测值/m                   | 400.004 | 400.003 | 400.001 | 400.001 | 400 | 400 | 399.999 | 399.998 | 399.998 | 399.997 |
| $\Delta$ = 观测值 - 标准值/mm | +4      | +3      | +1      | +1      | 0   | 0   | -1      | -2      | -2      | -3      |

从表 2 中可看出温度对测距影响有着规律性变化, 设定温度离实际温度值越远, 影响越大, 精度越低。当温度设定值大于实际值时, 观测值比标准值大(刚好与气压影响相反); 当温度设定值小于温度实际值时, 观测值比标准值小。影响变化幅度不是呈线性变化, 且影响不是很明显, 每升高或降低 1 °C 时呈毫米变化。

### 4 温度、气压、距离对测量精度影响数据分析

通过现场对不同温度、气压、距离观测时段进行测量(仪器设定值 6 °C、960 hPa), 得表 3 数据。

表 3 温度、气压、距离对测量影响数据分析

| 早上 9: 30 |         |                         |        | 中午 1: 30 |                         |         | 下午 5: 30 |                         |         |
|----------|---------|-------------------------|--------|----------|-------------------------|---------|----------|-------------------------|---------|
| 距离标准值/m  | 观测值/m   | $\Delta$ = 观测值 - 标准值/mm | 相对精度   | 观测值/m    | $\Delta$ = 观测值 - 标准值/mm | 相对精度    | 观测值/m    | $\Delta$ = 观测值 - 标准值/mm | 相对精度    |
| 200      | 199.979 | - 21                    | 1/9523 | 199.980  | - 20                    | 1/10000 | 199.980  | - 20                    | 1/10000 |
| 400      | 399.954 | - 46                    | 1/8695 | 399.956  | - 44                    | 1/9090  | 399.956  | - 44                    | 1/9090  |
| 600      | 599.934 | - 66                    | 1/9090 | 599.929  | - 71                    | 1/8450  | 599.933  | - 67                    | 1/8955  |
| 800      | 799.907 | - 93                    | 1/8602 | 799.904  | - 96                    | 1/8333  | 799.907  | - 93                    | 1/8602  |
| 1000     | 999.886 | - 114                   | 1/8771 | 999.884  | - 116                   | 1/8620  | 999.887  | - 113                   | 1/8847  |

从表 3 可以看出：温度、气压、距离同时发生变化时，绝对偏差 $\Delta$ 值随着距离的增大而不断增大；观测值均比标准值小，相对精度随着距离的增大而降低，但增大到 1 km 时相对精度有缓慢提高的趋势；同一距离内绝对偏差 $\Delta$ 及对精度随观测时段的变化不是很明显。

## 5 气象对测量精度的影响

气象改正公式计算有：

(1) 标准大气压下的群折射率为：

$$n_g = 1 + \frac{287.604 + 3 \times 1.628 \frac{8}{\lambda^2} + \frac{5 \times 0.0136}{\lambda^4}}{\lambda^4} \times 10^{-6}$$

式中， $\lambda$ 为真空中的有效波长， $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$ 。

(2) 作业时气象条件下的实际群折射率如下：

$$n = 1 + \frac{(n_g - 1) \cdot P}{(1 + \alpha t) \times 101325} - \frac{(5.5 \times 10^{-8}) \cdot e}{1 + \alpha t}$$

式中： $\alpha$ ——空气膨胀系数， $\alpha = 1/273.16 = 0.00366086$ ；

$P$ ——大气压力；

$e$ ——水蒸气压力，可忽略不计；

$t$ ——作业时的温度。

(3) 仪器基准折射率  $n_0$ ，是以仪器设计时采用的某气象条件 ( $P_0$ 、 $t_0$ ) 计算的大气折射率。其值应按式计算：

$$n_0 = \frac{1 + (n_g - 1) \cdot P_0}{(1 + \alpha t_0) \times 101325}$$

(4) 气象改正值应按式计算：

$$\Delta_D = (n_0 - n) \cdot D \times 10^{-6}$$

式中： $D$ ——测距边长，m。

根据以上公式，当气压值  $P = 565 \text{ hPa}$ 、 $t = 10^\circ\text{C}$ 、距离  $D = 400 \text{ m}$  时，改正值应为：

① 标准大气压条件下的群折射率：

$$n_g = 1 + \frac{287.604 + 3 \times 1.628 \frac{8}{\lambda^2} + \frac{5 \times 0.0136}{\lambda^4}}{\lambda^4} \times 10^{-6}$$

$$= 1 + \frac{287.604 + 3 \times 1.6288}{0.85^2 + \frac{5 \times 0.0136}{0.85^4}} \times 10^{-6}$$

$$= 1 + 2.9449745 \times 10^{-4}$$

② 作业时气象条件的实际群折射率:

$$\begin{aligned} n &= 1 + \frac{(n_g - 1) \cdot P}{(1 + a \cdot t) \times 101325} - \frac{(5.5 \times 10^{-8}) \cdot e}{1 + a \cdot t} \\ &= 1 + \frac{2.944974 \times 10^{-4} \times 56500}{1 + 0.00366086 \times 10} \times 101325 \\ &= 1.000158416 \end{aligned}$$

式中:  $a$ ——空气膨胀系数,  $a = 1/273.16 = 0.00366086$ ;

$P$ ——大气压力;

$e$ ——水蒸气压力, 可忽略不计;

$t$ ——作业时的温度。

③ 仪器基准折射率  $n_0$  是以仪器设计时采用的某一气象条件 ( $P_0$ 、 $t_0$ ) 计算的大气折射率。其值应按下式计算:

$$\begin{aligned} n_0 &= \frac{1 + (n_g - 1) \cdot P_0}{(1 + a \cdot t_0)} \times 101325 \\ &= \frac{1 + 2.9449745 \times 10^{-4}}{1 + 0.00366086 \times 25} \\ &= 1.0002698045343 \end{aligned}$$

(4) 气象改正值为:

$$\begin{aligned} \Delta_D &= (n_0 - n) \cdot D \times 10^{-6} \\ &= (1.0002698045343 - 1.000158416) \times 400 \times 10^3 \times 10^{-6} \\ &= 4.46 \times 10^{-5} (\text{mm}) \end{aligned}$$

假定以气压值 960hPa,  $t_m = 60^\circ\text{C}$ 、距离  $D = 1000\text{m}$  计算, 可得:  $n_g = 1 + 2.9449745 \times 10^{-4}$ ,  $n = 1.000273024$ ,  $n_0 = 1.0002698045343$ , 则

$$\begin{aligned} \Delta_D &= (1.000269804543 - 1.000273024) \times 1000 \times 10^3 \times 10^{-6} \\ &= -3.21952457 \times 10^{-6} (\text{mm}) \end{aligned}$$

从以上可以看出, 气象改正值太小, 计算时可以忽略不计。

## 6 结束语

通过以上几个因素的实验观测分析, 根据高原气候特点知气压、温度是影

响测量的主要因素，尤其是气压。因此在观测时必须用气压仪及时测定当时的气压，用温度计测定当时的温度，从而保证仪器设定参数接近实际实测时的气压温度，减小气压、温度对测量精度的影响。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部，国家技术监督局. 工程测量规范. (GB50026-93) [S]. 1993.
- [2] 同济大学编. 工程测量. 上海：同济大学出版社，1991.
- [3] 周小安等编. 公路测量. 北京：人民交通出版社，1979.
- [4] 张鲁新等编. 青藏铁路建设冻土专业知识和施工基础[R]. 中铁西北科学研究院，2003.
- [5] 李东庆，马巍，李述训. 修筑铁路路基对冻土条件变化的影响分析[A]. 青藏铁路学术研讨会论文集[C]. 兰州：兰州大学出版社，2001.

# 青藏铁路第 19 标段冻土路基设计原则 及施工保障措施

杨华斌 袁 晶

【摘 要】针对青藏高原冻土地区不同的路基设计原则,采取不同的路基冻土施工保障措施,如片石通风路堤、热棒等,确保青藏铁路格拉段建成后发生尽可能少的病害。

【关键词】保护冻土原则;控制融化原则;破坏冻土原则;片石通风路堤;热棒

## 1 概 述

青藏铁路二期土建工程第 19 标段位于青藏线格拉段藏北无人区,海拔为 4 800~4 950 m,主要由河谷、山前洪积扇、低山丘陵组成,地形起伏较大,植被稀疏。19 标段土体多为多年冻土,冻结状态维持在两年以上,因纬度相对较低,年平均气温高,位于青藏高原多年冻土的南部边缘,所以岛状多年冻土发育,且多年冻土层厚度变小,一般为 10~40 m。

青藏铁路沿线多年冻土区对铁路工程有直接影响的不良地质现象包括:冰锥、冻胀丘、地下冰、高含冰量冻土、溶冻泥流、热融滑塌、热融湖塘、热融洼地、冻土沼泽、寒冻泥流。在诸多不良冻土地质现象中,对温度变化最为敏感且对铁路路基的修筑影响最大而且不容易绕避的主要是厚层地下冰。铁路通过的多年冻土厚层地下冰地区,多年冻土上限以下 0.5~1.0 m 范围内是地下冰富集部位,由于接近地表而易受自然因素影响(如气温)和人为因素影响(铁路修建),所以也是铁路建设的重点研究对象。其次是高含冰量冻土(多年冻土分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土及含土冰层,其中富冰冻土、饱冰冻土及含土冰层称为高含冰量冻土),它也是铁路建设至关重要的研究对象。它们在气温变暖的趋势下,势必对铁路建设与运营产生巨大影响。高含冰量是形成热融滑塌、热融沉陷、热融湖塘等不良地质现象的主要因素,也是造成路基下沉、桥涵基础不均匀沉降、房屋变形开裂、隧道初砌破裂等工程建筑破坏的主要原因。尤其在年平均地温分区属高温极不稳定亚区内,高含冰量冻土的发育对铁路工程十分不利。热融湖塘是由自然或人为因素引起季节融化深度加大,导致地下冰或多年冻土层发生局部融化,地表土层随之沉陷,积水后形成的湖塘,这种

不良冻土现象在一定的自然和人为条件下都可能活化、再生，从而对工程建筑物产生危害。冻土沼泽是在多年冻土区适宜的水热环境下形成的，它的发育又促进了冻土层的形成和发育。高原冻土区主要为低水位草炭-泥炭沼泽。

在青藏铁路二期土建工程第 19 标段铁路施工中，主要存在厚层地下冰、高含冰量冻土、热融湖塘、冻土湿地这几种不良冻土现象。

针对青藏铁路多年冻土的特点，铁路路基施工主要根据不同的冻土地段采用保护冻土原则、控制融化原则、破坏冻土原则三种设计原则，并根据不同的设计原则采取不同的施工保障措施。

## 2 冻土施工设计原则及保障措施

### 2.1 保护冻土原则及施工保障措施

对于路基而言，保护冻土原则是指应用该原则设计的路基在规定的使用年限内，能保持其热稳定性。即人为上限始终控制在指定的深度范围内，保持其下伏多年冻土的冻结状态。在低温基本稳定和低温稳定多年冻土地段，采用保护多年冻土的设计原则，以使地基始终保持稳定甚至上升。按该原则设计的路堤，其填土的设计高度应不小于当地路堤最小临界高度，并预留安全量；低路堤、零端面和路垫当无法绕避时，则应以热力相似原理为基础，通过热力计算和工程比拟，进行换填、保温隔热；对于边坡防护则应以柔性支挡结构为主要防护形式，也可以局部融化排水稳定原理为基础，设置挡护结构。

按保护冻土原则修筑路基时，为了减少换填厚度，或为调节路基高度，或为增加冷储减少蓄热以保持路基的稳定，采用一些结构性措施构成复合保护结构，尽可能地减少对基底多年冻土的热扰动。

这些措施分为两类：一类是外因性措施，即改变路基的上边界条件或外部环境，通过降低太阳辐射对路基地温场的影响以减少路基热量积累，降低基地的底温。如采用白色材料或反光材料喷涂或涂抹边坡、基底的上表面，在路基面以上设置遮阳棚或用板件覆盖边坡等。在 19 标段工程施工中，对施工中的冻土保护所采取的外因性措施较少，主要是在基底换填时，进行临时隔热防护，采用搭设遮阳棚和其他保温材料覆盖进行防护，防止基坑中高含冰量多年冻土的融化，给施工造成困难；高含冰量冻土路垫开挖时，为减少太阳热辐射，防止冻土融化，采用临时遮盖措施。

二类是内因性措施，即改变路基本体结构，组织新的复合保温层。通过增加路基本体的热阻率减少基底土层的热量积累。如通风管路堤、通风管式复合

路堤、土工聚合材料（土工布、格栅）铺设或包裹技术等。在 19 标段，采用内因性措施以保护多年冻土的施工措施应用较多，其中主要为片石通风路堤、土工格栅等。

### 2.1.1 片石通风路堤施工

片石通风路堤，是指片石倾填的路堤，由于加强了对流换热及片石层的热开关效应，可减少传入地基多年冻土的热量，从而提高路堤的稳定性。在 19 标段，片石通风路堤有 19 处，计长 4.13 km。标段内通风片石路堤采用装载机装车，大型自卸汽车运输，人工辅助推土机整平，重型振动压路机碾压密实。标段内片石路堤的片石应选用符合规范要求的硬质岩块，最大粒径不超过 30 cm，最小粒径不小于 10 cm。片石通风路堤施工流程图见图 1。

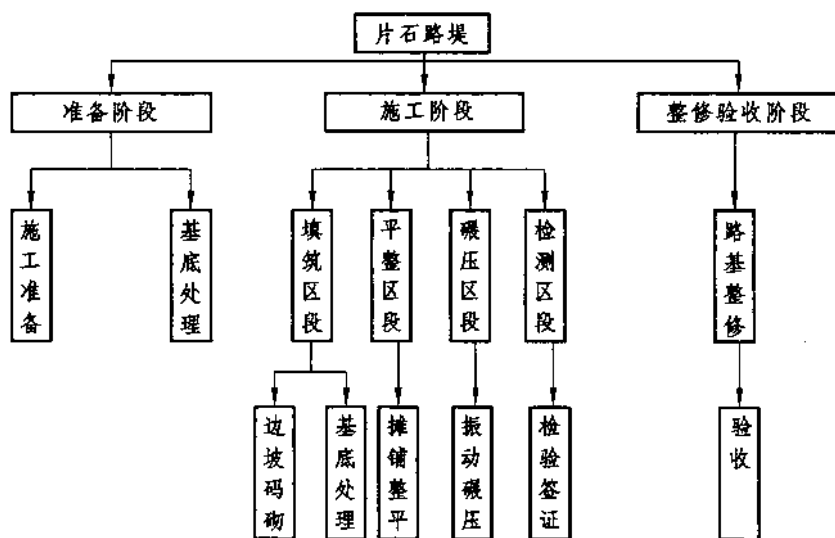


图 1 片石通风路堤施工流程图

施工方法如下：

#### (1) 划分区段

在验收合格的地基上划分作业区段，各区段依次循环作业，达到要求标准后方可进行下一步作业。

#### (2) 边坡码砌

片石路堤倾填前，路堤边坡坡脚两侧人工用粒径大于 30 cm 的硬质片石按直角梯形分层码砌，码砌厚度不小于 30 cm 且不小于设计要求，高度随填筑高

度而升高，最终与设计高度一致。片石应大面朝下摆放稳固，层与层之间应有错缝，错缝宽度不小于 5 cm，严禁形成通缝。

### (3) 片石倾填

片石倾填厚度为 1~1.2 m，填筑时，应安排好石料运输路线，专人指挥卸渣，按水平分层，先低后高、先两侧后中央卸式投料，用推土机推平，个别不平处配合人工用小石块找平。填料要一次倒够，尽量一次达到设计高度。投料时不得损坏坡脚码砌的石料，损坏了要及时修复。

### (4) 振动碾压

采用振动压路机分层碾压，直至压实层顶面稳定，无下沉，石块紧密，表面平整为止。碾压时应先两侧后中央平行作业，行与行之间要重叠 0.4~0.5 m，前后相邻地区要重叠 2 m 以上，以保证各区段碾压密实。

### (5) 填碎石或砂加卵石层

片石填筑完成后，按设计在其上填筑不小于 30 cm 的碎石或砂加卵石垫层，而后进行上部路堤的填筑，其施工工艺同一般路堤。

注意事项：

① 施工填筑，边坡采用干砌、码砌。

② 施工时要注意两侧排水，施工前要做好排水系统，如挡水埝等。

③ 进行上层填土施工时要用彩条布等物遮住片石路堤，防止土、石屑等堵塞片石孔隙。

## 2.2.2 土工格栅施工

在 19 标段，铺设土工格栅的加筋路堤共有 19 处，长 4.45 km。土工格栅铺设施工工艺流程见图 2。

当路堤填筑至第一层土工格栅铺设高程时，将路基整平压实，并检测其压实度。

当路堤填料为细颗粒土时，土工格栅可直接铺设在细颗粒土层上。土工格栅铺设时，强度高的方向与其受力方向一致，受力方向的连接必须牢固，连接强度不低于材料受力容许抗拉强度；另一方向应密贴排放。土工格栅铺设时必须铺平、拉直，不容许有褶皱，幅与幅之间的连接采用土工绳绑扎，采用 U 形卡固定。土工格栅铺设完成并经质量检验合格后应及时进行路堤填筑。第

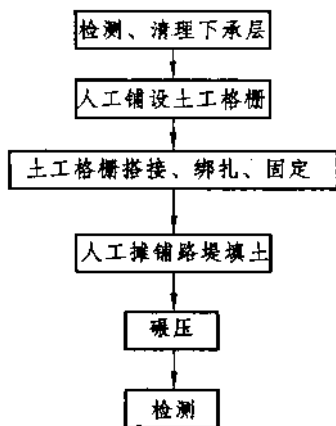


图 2 土工格栅铺设施工工艺流程图

一层填土摊铺宜采用轻型推土机或前置式装载机, 严禁装料车和碾压机械在已铺设、固定好的土工格栅上直接碾压。土工格栅保护层以上的填土按路堤本体或基床填筑施工工艺和质量标准执行。

## 2.2 控制融化原则及施工保障措施

对于路基而言, 控制融化原则是指在设计使用年限内允许所设计的路基基底(或边坡)多年冻土逐渐完全融化或产生局部融化, 而且经融化下沉变形量计算, 可以将融化速率和深度控制在路基稳定性所允许的变形范围之内。采用此类原则设计的路基, 一般应在土质和水文地质条件较好的地段。如: 多年冻土年平均地温为 $-0.5^{\circ}\text{C}\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 的场地; 在极大融化深度范围内, 地基土为不融沉或弱融沉性土; 持力层范围内的冻结地基上属于高含冰量冻土, 且处于塑性状态。

采用逐渐融化或延缓冻土融化速率状态设计时, 应采用下列技术措施之一来减少地基的变形: 填土通风管基础、热棒、碎石通风基础、抛石护坡、保温隔热板等。在 19 标段, 主要采用了热棒技术、保温板及碎石护坡等措施, 这里主要谈一下热棒施工。

热棒是一种液汽两种转换循环的热棒传输系统, 由一根密封的钢管和散热器组成。地基中埋有热棒, 形成复合地基, 利用热棒的高效热传输能力将地基中的热量传送、释放到大气中, 从而降低多年冻土温度, 提高地基基础的稳定性。

19 标段采用钻孔插入法安装热棒, 安装好的热棒应排列整齐, 高低一致, 沿线路方向间距为 3 m, 两侧对称布置。热棒设于横向距路肩 1.0 m 处, 热棒与竖直线成  $13^{\circ}$ , 插入路基长度为 8 m, 上部散热段长度为 4 m。

① 钻孔插入法适合安装直线型和折线型热棒。

② 在确定安装热棒的位置处, 用钻孔钻垂直孔或斜孔。钻孔直径应较热棒管壳直径大 5~8 cm。钻进方法原则上采用干钻, 视地层情况亦可加入少量冷水, 采用小循环钻进。钻孔深度应比设计深度大 10~20 cm。

③ 钻孔完成后, 进行孔径和孔深的检查, 并将钻孔中的泥浆清除干净。

④ 钻孔符合要求后, 将热棒吊起插入钻孔中定位, 经垂直度检查合格后固定。

⑤ 回填钻孔间隙采用水中沉砂法, 即先将冷水灌满钻孔, 尔后将中粗砂徐徐灌入热棒与孔壁之间的空隙中, 灌砂数量应与计算数量相符。多余的水则自钻孔中流出。

⑥ 固定热棒的支撑应在热棒周围的填砂冻结后方可拆除,填砂回冻时间与多年冻土的温度有关,一般为5~7天。

## 2.3 破坏冻土原则及施工保障措施

对于路基而言,破坏冻土原则是指在设计文件中规定在施工过程中将基底(或边坡)多年冻土融化或清除,并将融化后的水分疏干。此设计原则用于以下情况:多年冻土年平均地温高于 $-0.5^{\circ}\text{C}$ 以上的场地;持力层范围内地基土处于塑性冻结状态;地基土为不融沉或弱融沉性土;在最大融化深度范围内,存在变形量为不允许的高融沉性土及其夹层的地基。

当按破坏冻土原则设计时,预融范围内地基的变形量超过建筑允许值情况下,应采取一些技术措施,如:用粗颗粒土置换细颗粒土或预压加密;加大基础埋深;必要时采取结构措施,适应变形要求。在19标段,对于破坏冻土设计所采取的措施主要是地基土的换填。

## 3 结束语

(1) 青藏铁路高原冻地区的路基设计原则,重视了线路通过地区的气候条件和冻土条件,按勘察要求充分收集了有关资料和数据,结合地形地貌、不良地质现象、气温等因素,进行气候与筑路条件的分区。设计原则确定了不同区段(气候、筑路条件)路基断面形式与防护结构类型的主要依据。

(2) 依据高原冻土区路基设计的三大原则,采取切实可行的冻土施工保障措施,达到了保护青藏铁路冻土,稳定铁路路基的目的,尽可能减少了铁路建成后发生的病害。

## 参考文献

- [1] 刘端等编.多年冻土路基工程(含环保)施工技术细则[R].青藏铁路总指挥部,2003.
- [2] 青藏铁路总指挥部编.多年冻土路基工程质量检验评定及验收标准[S].青藏铁路总指挥部,2003.
- [3] 铁道部第一、第三设计院编.铁路路基设计规范[M].北京:中国铁道出版社,1998.
- [4] 铁道部第一工程局主编.铁路工程施工技术手册路基[M].北京:中国铁道出版社,2000.

# 青藏铁路多年冻土区路基施工加强措施 及施工中需注意的问题

李浩浩 杨华斌

【摘 要】 在特殊的多年冻土施工环境中必须采取一些特殊的措施。在青藏铁路路基工程施工中的特殊加强措施主要有：片石通风路堤、土工格栅加筋土路堤、热棒路基等，本文就上述三类特殊路基施工技术做了论述，并阐述了施工过程中需要注意的一些问题。

【关键词】 多年冻土；路基工程；加强措施；注意问题

青藏铁路是国家重点工程之一，是全国铁路网的重要组成部分。新建格尔木至拉萨段全长 1 110 km，全线海拔高程大于 4 000 m 的地段有 960 km，经过连续多年冻土区的地段有 546 km，是世界上海拔最高及连续多年冻土区里程最长的铁路。

青藏高原以浩莽雄浑、气象万千、多姿多彩而令人神往，又以高寒缺氧、气候多变、环境恶劣而使人畏惧。青藏铁路是世界上最高的铁路，也是世界上高原最长的铁路，在建设过程中面临前所未有的三大难题，即“高原缺氧、多年冻土、环境保护”。我部承担的青藏铁路二期土建工程第 19 标段在施工过程中也是经历了一些挫折、困难后才逐渐对高原特殊的多年冻土施工有了较深认识。本标段工程处于青藏高原冻土地区，进行大规模的施工活动必然会给生态与自然环境带来影响，在路基施工中为了保护多年冻土，增强路基的工程稳定性，我们在路基施工中主要采取了片石通风路堤、铺设土工格栅加筋土路堤以及热棒等措施。现将我们在路基施工中的一些做法作一具体介绍，重点是介绍路基施工中针对多年冻土环境而采取的一些特殊加强措施及其在施工中需要注意的问题。

## 1 片石通风路堤填筑

对于多年冻土区高含冰量地段，为了增加基底的冷储量，防止多年冻土天然上限下降，减少对多年冻土的热扰动，采取路堤下填筑 1~1.2 m 厚的通风片石的措施。根据青藏铁路开工以来的实践看，通风片石路堤对于增强路基的稳定性，保护多年冻土有良好的效果，是一种主动保护措施。

通风片石路堤采用装载机装车,大型自卸汽车运输,人工辅助推土机整平,重型振动压路机碾压密实。通风片石路堤的片石强度不小于 30 MPa,最大粒径不超过 30 cm,最小粒径不小于 10 cm。

其施工步骤如下:

### (1) 基底处理

自路基中心向外设 2% 的排水横坡(可根据地形设单面横坡),坡脚处填层厚度不小于 30 cm,其密实度按基床以下填料要求控制,其平整度按路基要求控制。

### (2) 边坡码砌

片石路堤倾填前,路堤边坡坡脚两侧人工用粒径大于 30 cm 的硬质片石按直角梯形分层码砌,码砌厚度不小于 30 cm,高度随填筑高度而升高,最终与设计高度一致。片石应大面朝下摆放稳固,层与层之间应有错缝,错缝宽度不小于 5 cm,严禁形成通缝。

### (3) 倾填片石

片石倾填填筑时,应安排好石料运输路线,专人指挥卸渣,按水平分层,先低后高、先两侧后中央,后卸式投料,用推土机推平,个别不平处配合人工用小石块找平。一次性倾填片石层至设计高度,投料时不得损坏坡脚码砌的石料,损坏了要及时修复。

### (4) 振动碾压

采用重型振动压路机碾压倾填片石 6~8 遍,直至压实层顶面稳定,无下沉、石块紧密、表面平整为止。碾压时应先两侧后中央平行作业,纵向行与行之间要重叠 0.4~0.5 m,前后相邻地区要重叠 2 m 以上,以保证各区段碾压密实。随后用 0.1~0.2 m 粒径的小石在填石全宽范围找平片石表层。

### (5) 填碎砾石和中粗砂反滤层

片石填筑完成后,在其上依次填筑 20 cm 的碎砾石和 20 cm 厚的中粗砂反滤层。碎砾石填筑按照石质路堤要求控制密实度和路基面平整度;中粗砂反滤层按照中密要求控制密实度,按土质路基面控制其平整度。严格控制碎砾石和中粗砂的级配,防止碎砾石和中粗砂漏入片石中,影响通风效果。

施工应注意以下事项:

① 片石通风路堤所用材料应洁净、无级配,强度不低于 30 MPa,粒径范围内 10~30 cm。不符合要求的粒料不得进入施工现场。

② 施工填筑时,边坡采用干砌、码砌。

③ 施工时要注意两侧排水,施工前要做好排水系统,如挡水埝等。

④ 进行上层填土施工时要用彩条布等物遮住片石路堤，防止土、石屑等堵塞片石孔隙，影响通风效果。

## 2 土工格栅加筋土路堤施工

对于高含冰量地段以及冻土湿地地基处理地段，我们采取在路基面下 2.2~4m 范围内铺设双向塑料土工格栅的措施，以加强土体的抗剪强度，增强路基的稳定性。

(1) 用于路堤加筋的土工格栅必须符合设计要求。所购土工格栅每批均须查验生产厂家的产品合格证书和材料性能报告单，并抽样进行检验。其检测项目包括：单位面积质量、厚度、孔径、条带拉伸等。

(2) 土工格栅必须用黑色包皮包装、运输、储存和堆放，必须避免阳光照射，并保持通风、干燥和远离高温源，以保证其性能不受影响。路堤中土工格栅材料的铺设位置、铺设层数、各层铺设间距都应符合设计要求。土工格栅铺设施工工艺流程见图 1。

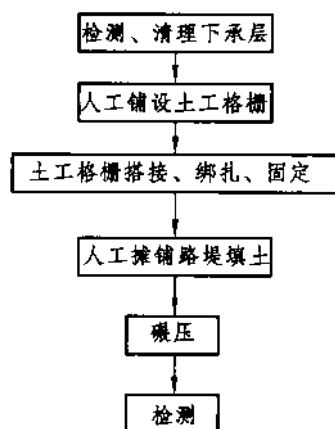


图 1 土工格栅铺设施工工艺流程图

(3) 当路堤填筑至第一层土工格栅铺设高程时，将路基面整平压实，并检测其压实度。当路堤填料为细颗粒土时，土工格栅可直接铺设在细颗粒土层上。土工格栅铺设时，强度高的方向与其受力方向一致，受力方向的连接必须牢固，连接强度不低于材料受力容许抗拉强度。另一方向应密贴排放。

(4) 土工格栅铺设完成后应对其施工进行质量检测，检测项目包括：下承层平整和拱度、搭接缝错开距离、筋材铺设长度、筋材铺设层数、筋材铺设层距、筋材连接处强度等。

施工中的注意事项:

① 土工格栅铺设时必须铺平、拉直,不容许有褶皱,幅与幅之间的连接采用土工绳绑扎,固定采用 U 卡。

② 土工格栅铺设完成并经质量检验合格后应及时进行路堤填筑,第一层填土摊铺宜采用轻型推土机或前置式装载机,严禁装料车和碾压机械在已铺设、固定好的土工格栅上直接碾压。

③ 土工格栅边缘至边坡的保护层厚度满足设计要求。

### 3 热棒路基

在高温极不稳定的多年冻土区(Tcp- I)地段,我们采取在路基两侧设置热棒的措施,以加强基底热交换,增加基底冷储量,提高多年冻土天然上限,保护多年冻土,增强路基的工程稳定性。

(1) 施工准备。热棒路基工程施工前应充分了解设计施工前的准备工作,施工准备工作包括以下内容:

① 选择热棒堆放场地。堆放场地应紧靠施工现场,尽量减少热棒的搬运距离。

② 选择合适的热棒起吊设备,制作合适的起吊辅助工具。搬运、起吊安装不得损坏散热器及防腐涂层。

③ 选择合适的钻孔机械。

④ 备好回填材料。

(2) 施工方法。热棒可采用钻孔插入法或开挖基坑法进行安装,安装好的热棒应排列整齐,高低一致,沿线路方向间距为 3 m,两侧对称布置。

热棒设于横向距路肩 1.0 m 处,热棒与竖直线成  $13^{\circ}$  角,插入路基长度 8 米,上部散热段长度为 4 m。

#### 3.1 钻孔插入法安装热棒

① 钻孔插入法适合安装直线型和折线型热棒。

② 在确定安装热棒的位置处,用钻机钻垂直孔或斜孔。钻孔直径应较热棒管壳直径大 5~8 cm。钻进方法原则上采用干钻,视地层情况亦可加入少量冷水,采用小循环钻进。钻孔深度应比设计深度大 10~20 cm。

③ 钻孔完成后,进行孔径和孔深的检查,并将钻孔中的泥浆清除干净。

④ 钻孔符合要求后,将热棒吊起插入钻孔中定位,经垂直度检查合格后固定。

⑤ 回填钻孔间隙采用水中沉砂法,即先将冷水灌满钻孔,尔后将中粗砂徐

徐灌入热棒与孔壁之间的空隙中，灌砂数量应与计算数量相符。多余的水则自钻孔中流出。

⑥ 固定热棒的支撑物应在热棒周围的填砂冻结后方可拆除，填砂回冻时间与多年冻土的温度有关，一般为5~7天。

### 3.2 开挖基坑法安装热棒

开挖基坑法安装热棒适合于路堑基床换填和零断面、低路堤基底换填开挖时采用。开挖基坑法安装热棒的程序如下：

① 在确定安装热棒的位置上，将安放热棒的基槽挖至设计深度，基槽宽度应较热棒直径稍大一些。

② 将热棒放入基槽定位，经垂直度检查合格后，将热棒固定。

③ 用饱水的中粗砂或混凝土、砂浆回填基槽并压实。

④ 按设计要求进行基底或基床换填作业。

⑤ 路基完成后，将固定热棒的支撑物拆除，热棒即安装完毕。

施工中需注意的事项：

① 因热棒制作工艺比较复杂，壳体容器的密封要求十分严格，稍有渗漏热棒将不能工作，所以在搬运和安装过程中，应特别小心，防止碰撞，以保护防腐反射涂层，保护热棒的密封真空度。

② 安装好热棒后，路基的施工作业将受到一定限制。施工机械作业时，应有现场人员指挥，防止损坏热棒。

③ 热棒防腐反射涂层在施工过程中如有损坏，在竣工验收前应予以补涂。

## 4 结束语

本文讲述在多年冻土环境的路基施工中的一些保护多年冻土、增强路基工程稳定性的做法，主要讲解主动保护措施，还有一些被动保护措施，如铺设保温板、复合土工膜防渗层、土工格室填渗水土以及铺设骨架护坡、修排水沟、对边坡进行挂网喷锚防护等在此不作介绍。因为施工经验有限，一些见解尚有很多不成熟之处，只是本着共同学习、讨论、提高的目的，希望能为今后进一步研究出更好的施工方法起一个抛砖引玉的作用。

### 参考文献

- [1] 铁道部第一工程局主编. 铁路工程施工技术手册路基[M]. 北京：中国铁道出版社，2000.

- [2] 张鲁新编著. 青藏铁路建设冻土专业技术和施工基础[R]. 兰州交通大学, 2003.
- [3] 青藏铁路总指挥部编. 青藏铁路高原多年冻土区路基工程(含环保)施工技术细则[R]. 青藏铁路总指挥部, 2002.

# 热棒保护多年冻土机理分析及热棒施工技术

杨华斌

【摘 要】热棒是一种制冷装置,它在多年冻土区特别是高含冰量富冰冻土区中的应用,有效地控制和延缓了这些区段路基多年冻土融化速率,减小了冻胀对铁路路基产生的破坏程度,达到了稳定多年冻土区铁路路基的目的。

【关键词】热棒;高含冰量富冰冻土;有效传热半径;冻结指数;冻结半径;青藏铁路二期土建工程

## 1 工程简况

青藏铁路二期土建工程第 19 标段热棒施工共有以下四个区段:DK1451+600~DK1451+640、DK1466+340~DK1466+430、DK1466+770~DK1466+800、DK1472+870~DK1472+890。这些区段均为高含冰量冻土路基处理工程,且工点范围内 3.6m 以下均为富冰冻土,厚度大于 8m,融后具融沉性,属于高温极不稳定多年冻土区(Tcp-I)。热棒的应用控制和延缓了这些区段路基多年冻土融化速率,可防治冻胀对铁路路基产生的破坏,达到稳定铁路路基的目的。

现根据青藏铁路二期土建工程第 19 标段热棒工程施工实践,对热棒制冷和保护多年冻土机理作简要分析。

## 2 热棒保护多年冻土的机理及热棒施工技术

### 2.1 热棒的定义及物理构造

所谓热棒,是一种汽液两相转换循环的热传输系统,由一密封钢管和散热器(又称冷凝器)组成,管中充以工质。

热棒整体为密封试管状,上端为冷凝器的叶片或螺旋管,插入土中的下端为冷却管,管中充灌不冻的液体。在青藏铁路二期土建工程第 19 标段使用的热棒产品的技术要求为:热棒直径为 $\phi=89\text{ mm}$ ,冷凝段散热器长度为 3.5 m;冷凝段散热面积不小于  $6.9\text{ m}^2$ ;翅片厚度不小于 1.9 mm,冷凝器采用高频电阻焊螺旋翅片,翅片外圆表面平整,无开口;热棒外表面应严格处理,使其具有良

好的反射、辐射及防腐蚀性能；热棒力学强度、屈服强度 $\sigma_s > 290 \text{ N/mm}^2$ ，抗拉强度 $\sigma_b > 480 \text{ N/mm}^2$ ，伸长率 $\delta_5 > 23\%$ ，抗弯截面模量大于  $30\,441 \text{ mm}^3$ 。采用的热棒型号应经过现场不少于一个冻融循环试验检验，证明热工特性稳定，有效传热半径不少于  $1.5 \text{ m}$ 。

热棒构造原理如图 1 所示。

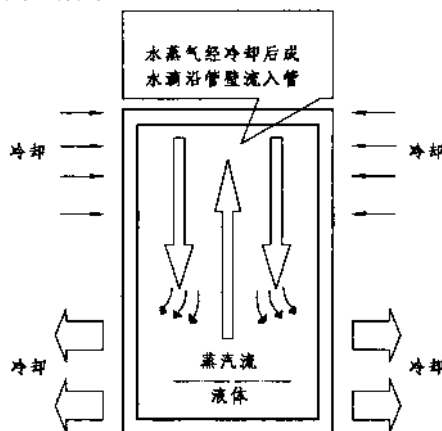


图 1 热棒构造原理图

## 2.2 热棒的工作原理及保护多年冻土的机理

如图 2 所示，管的上部为散热段；管的下部埋入多年冻土中，为蒸发段；中间由绝热段连接。当气温低于低温（特别是在冬季，空气温度低于多年冻土温度）时，管的蒸发段内的液体工质（如氨、氟利昂及其代用品）吸收多年冻土中的热量，蒸发成气态工质，在压力差的作用下，蒸汽上升至冷凝段，与冷凝段管壁接触，放出汽化潜热；同时气态工质遇冷冷凝成液体，在重力的作用下沿内管壁流回蒸发段，再吸收热量蒸发。如此往复循环，不断将地基多年冻土中的热量源源不断地传送、释放到大气中。热棒冷冻地基，改变了土中的热流方向，从而改变了冰晶的析出方向，使作用于基础的切向冻胀力减小，从而防治了冻胀，提高了地基基础的稳定性，这便是热棒制冷原理和保护多年冻土的机理。

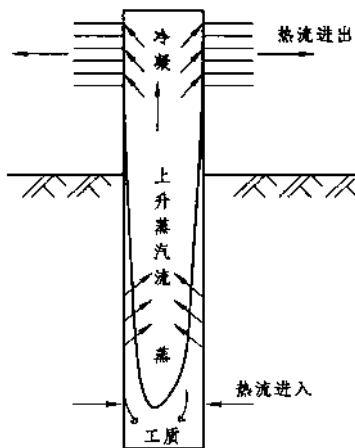


图 2 热棒工作示意图

热棒在工程应用中，需首要考虑其制冷功效，因此热棒的布置间距选取显得尤为重要。布置间距过小，虽能达到较好的制冷效果，但投资太大，不经济；布置间距过大，投资少，但达不到制冷的效果。经济合理的布置间距取决于热棒的冻结半径。热棒的冻结半径除与热棒本身的传热特性有关外，还与土体的含水量、密度及冻结指数有密切关系。热棒的冻结半径  $r$  的计算公式为（参见《冻土地区建筑地基基础设计规范》（JGJ118—1998）附录 J 超越方程）：

$$\sum T_f = \frac{L}{24} \times \frac{\pi Z R_f (r^2 - r_0^2) + r^2}{4\lambda_s \frac{\ln r^2}{r_0^2 - 1} + \frac{r_0^2}{4\lambda_s}} \quad (1)$$

式中： $\sum T_f$ ——计算地点的冻结系数，（ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ）；

$L$ ——融土的体积潜热；

$r_0$ ——热棒的蒸发段外半径；

$\lambda$ ——土体的导热系数；

$R_f$ ——冷凝器的散热面积，由试验确定。无试验条件时，可按下列式计算：

$$R_f = \frac{1}{Aeh} \quad (2)$$

其中： $A$ ——冷凝器的散热面积；

$e$ ——冷凝器的放热系数；

$h$ ——冷凝器叶片的有效率。

根据以下的冻结指数  $\sum T_f$  与冻结半径  $r$  的关系曲线（见图 3），由已知的冻结指数  $\sum T_f$  可以查出对应的冻结半径  $r$  的值。由图可见，青藏铁路二期土建工程第 19 标段的冻结指数为 3 400~3 700，热棒的冻结半径约 1.5 m，由此得热棒的布置间距为 3 m。

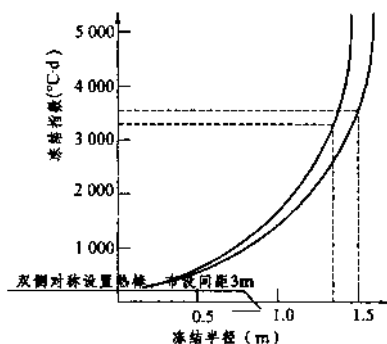


图 3 冻结半径与冻结指数的关系曲线

## 2.3 热棒施工

青藏铁路二期土建工程第 19 标段采用钻孔插入法安装热棒。安装好的热棒应排列整齐, 高低一致, 沿线路方向间距为 3 m, 两侧对称布置。热棒设于横向距路肩 1.0 m 处, 热棒与竖直线成  $13^\circ$ , 插入路基长度 8 m, 上部散热段长度为 4 m。

图 4 为青藏铁路二期土建工程第 19 标段 DK1 466+785.05 路基横断面热棒施工布置图。

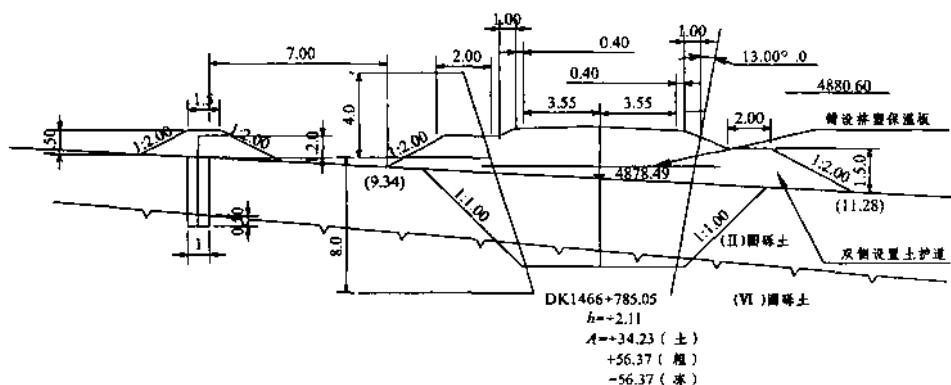


图 4 DK1466+785.05 路基横断面热棒施工布置图

钻孔插入法安装热棒的具体步骤为:

- ① 钻孔插入法适合安装直线型和折线型热棒。
- ② 在确定安装热棒的位置处, 用钻机钻垂直空或斜孔。钻孔直径应较热棒管壳直径大 5~8 cm。钻进方法原则上采用干钻, 视地层情况亦可加入少量冷水, 采用小循环钻进。钻孔深度应比设计深度大 10~20 cm。
- ③ 钻孔完成后, 进行孔径和孔深的检查, 并将钻孔中的泥浆清除干净。
- ④ 钻孔符合要求后, 将热棒吊起插入钻孔中定位, 经垂直度检查合格后固定。
- ⑤ 回填钻孔间隙采用水中沉砂法, 即先将冷水灌满钻孔, 尔后将中粗砂徐徐灌入热棒与孔壁之间的空隙中, 灌砂数量应与计算数量相符。多余的水则自钻孔中流出。
- ⑥ 固定热棒的支撑物应在热棒周围的填砂冻结后方可拆除, 填砂回冻时间与多年冻土的温度有关, 一般在 5~7 天。

## 3 结束语

实践证明热棒制冷装置有着许多优点, 例如, 其结构简单, 安装方便; 无

需外加动力，靠温差驱动；无运动部件，运行时无噪音，对环境无污染；无需日常维修养护；无需管理操作人员；单向传热，暖季自动停止工作，能防止热量流入地基中；前热传输，热传输效率极高。正因为如此，热棒的应用非常广泛，阿拉斯加用以输油管道的热棒基础，构成热管棒基础，日本用热棒装置做人工冷藏库、人工滑雪道，我国在青藏铁路建设中用热棒地基控制和延缓多年冻土融化速率，从而达到防治冻胀、稳定铁路路基的目的。相信随着人们对热棒技术研究的进一步深入，热棒技术将会最大限度地造福于社会。

### 参考文献

- [1] 中铁西北科学研究院. 青藏铁路高原多年冻土路基工程(含环保)施工技术细则[R]. 兰州: 青藏铁路有限公司, 2002.
- [2] 刘兴宝. 路基工程新技术实用全书[M]. 北京: 海潮出版社, 2001.

# DK1466+606 大桥钻孔灌注桩施工工艺

贺宝桥 张凡斌

【摘要】本文介绍了青藏铁路 19 标段 DK1466+606 大桥钻孔灌注桩的施工方法和措施，以及预防工程质量事故的措施。

【关键词】DK1466+606 大桥；钻孔灌注桩；施工

## 1 概 况

DK1466+606 大桥是青藏铁路 19 标段上一座 1 孔 24 m+5 孔 32 m 先后张法预应力混凝土梁桥，桥位中心桩号位于 DK1 466+606，全长 203.15 m，基础采用钻孔灌注桩，拉（拉萨方向）台、格（格尔木方向）台基础均为 6 根桩，1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>墩基础均为 4 根桩，钻孔灌注桩直径为 120 m，共计 32 根，总长 670 m；钢筋混凝土方量 819.7 m<sup>3</sup>，耗用钢材 43.46 t，水泥 344.27 t。

## 2 施工方法和措施

### 2.1 施工方案

本桥位于扎加藏布江左岸，跨一冲沟而设，冲沟平时干枯无水，雨季形成小溪。桥梁所经地段多年冻土地温属于 TCP-I 区，按融化与冻结两种状态设计，桥墩台基础均采用钻孔灌注桩，桥址地层为第四系圆砾土。格台、5<sup>#</sup>墩、拉台位于富冰冻土区，1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>墩位于多冰冻土区，3<sup>#</sup>墩位于少冰冻土区。为了减少对冻土的热扰动，保证混凝土及成桩后的质量，故采用旋挖钻机钻孔，混凝土拌和站集中拌和，罐车运输，利用导管将混凝土进行灌注。为了保证工程按计划顺利进行，配备了 2 台施挖钻机同时进行钻孔施工。

### 2.2 施工方法

#### 2.2.1 准备工作

首先做好各项施工前准备工作，包括人、机、料、技术方案、环境保护措施等。

### 2.2.2 桩位的测量放样

按照铁路第一勘察设计院提供的 DK1466+606 1 孔 24 m+5 孔 32 m 先后张法预应力混凝土梁全桥总布置图, 根据导线点和三角控制点 (导线点和控制点全部采用外径为 $\phi 100\text{mm}$ , 内径为 $\phi 80\text{mm}$ 的钢管埋入天然上限以下至少 0.5 m 的深处), 利用莱卡 TC1102 全站仪测定墩台桩位置, 严格控制测量精度。

### 2.2.3 护筒埋设

根据设计图纸, 本桥桩基础直径为 120 cm, 采取钢护筒埋设。根据实际情况, 设计要求护筒埋设深度为 5 m (在多年冻土地区护筒埋设冻土上限以上不少于 0.5 m), 其内径为 135 cm, 采用 5 mm 厚的钢板卷制。桩基施工完成后, 护筒不取出, 以减少桩基回冻等膨胀力对桩基产生的不良影响。

### 2.2.4 钻孔

钻孔设备为北京经纬巨力公司生产的 ZY-140 型和意大利生产的 R622HD 型旋挖钻机, 钻机工作中要求工作平台密实平整, 以防钻机在工作中失稳, 影响钻杆的垂直度。在钻进过程中, 根据地质情况选用不同的钻头和速度, 每班要注意检查钻头直径, 使钻头直径不小于设计孔径。注重环境保护, 及时清理孔口周围积土, 用自卸汽车及时装运挖出的土渣至指定弃土场集中处理。

### 2.2.5 清孔

用旋挖钻机螺旋钻头清除孔底虚土很方便, 当钻至设计孔底标高后, 要及时清孔, 不得用加深孔深来代替清孔。

### 2.2.6 钢筋骨架

钢筋笼在桥位的钢筋加工场制作, 骨架长度为 1 815.5~2 115.5 cm。为便于加工, 每根桩钢筋骨架分 2 节, 采用 2 台电焊机同时对称焊接。为增强骨架刚度, 每隔 2~2.5 m 设 $\phi 16$  钢筋作为加强箍筋。施工中要注意主钢筋接头位置错开, 在同一截面内接头总数不得多于主筋总数的 50%, 在成型的钢筋笼骨架上, 每隔 2 m 左右在同一横截面上对称布置四个钢筋耳环 (直径 8 mm, 高度 7 cm), 两端焊接在主筋上, 耳环形钢筋起保护作用。

### 2.2.7 导管

下料导管采用壁厚 4 mm、直径 25 cm 的钢管。施工前, 对使用的导管自下而上进行编号, 并经压水试验, 这样有利于控制混凝土的包管长度及防止漏气。导管长度视桩长而定, 一般安放后底端距孔底面 0.3~0.5 m, 安放时要注意垂直居中。

## 2.2.8 灌注混凝土

钻孔桩混凝土为低温早强耐久性混凝土,设计强度为 C25。灌注混凝土时,应严格控制其灌注温度在  $2^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,以减少对多年冻土的热扰动,每根桩灌注时间控制在 8h 以内,以防止顶层混凝土失去流动性,使提升导管困难,增加事故的可能性,灌注过程中注意及时测量孔内混凝土高度,正确及时指导导管的提升和拆除。导管在混凝土内的埋置深度一般控制  $2\sim 4\text{ m}$ ,拆除导管要快,拆除下来的管节要立即清洗干净(为防污染环境,清洗时应在沉淀池清洗),在两端丝口处抹润滑油,按编号顺序堆放整齐。为确保桩顶质量,在设计桩顶标高的基础上加灌  $0.5\sim 1.0\text{ m}$ 。根据西藏气候特点,采用草垫或麻袋装珍珠岩及时养护。关于混凝土其他灌注情况,包括每盘搅拌时间、灌注时间、混凝土含气量、坍塌度、泌水率、混凝土面的深度、导管埋深、导管拆除以及发生异常现象等,指定专人负责记录。

## 3 工程质量事故的预防措施

### 3.1 防止塌孔

没有充分做好湿孔施工的准备,在施工到 3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>墩时,钻至地下分别在 8 m、10 m 处遇到了流沙(3<sup>#</sup>墩设计桩长为 19 m),采取了全护筒跟进法。其做法是根据地质情况,采用钢护筒穿过流砂层的办法,有效地防止了塌孔现象的出现;对于干孔,严禁在护筒四周堆放重物,防止机械振动而引起塌孔。

### 3.2 防止导管进水

导管使用前进行压水试验,其压力大小等于孔底静水压力的 1.5 倍,防止焊缝裂缝,接头漏水;漏斗和储料斗需要足够的容量(即混凝土的初存量),保证首批混凝土灌注后,使导管埋入混凝土的深度不小于 1.0 m。经计算:初存量定为  $2.8\text{ m}^3$ ;导管缓慢提升,控制导管提升高度,随时检测混凝土面高度,保持导管埋深在  $2\sim 4\text{ m}$  内。

### 3.3 防止卡管

严格控制混凝土原材料的规格,防止超粒碎石混入导管内;严格按混凝土配合比施工,控制混凝土拌和时间,使拌和均匀,保持良好的和易性,坍塌度严格控制在  $18\sim 22\text{ cm}$ ;控制混凝土运输、灌注时间,避免混凝土在导管中停留时间过长。

### 3.4 防止钢筋骨架上浮

为防止钢筋笼被混凝土顶托上升，在灌注下段混凝土时尽量加快，当孔内混凝土面接近钢筋笼时，保持较深的埋管，放慢灌注速度，当混凝土面升入钢筋笼 1~2 m 后，减少导管理深；同时采取将钢筋骨架顶部与导管固定架（固定架上为漏斗）固定，防止骨架上浮。

## 4 结束语

该桥位于青藏铁路多年冻土区，施工方法与其他省区有不同之处，采用快速施工、机械施工为主的方法进行。另外，施工中，我们对容易出现的工程事故，采取了有效的措施，防止了施工事故的发生。

### 参考文献

- [1] 铁道部第一勘察设计院. 青藏铁路设计图纸[R]. 兰州: 铁道部第一勘察设计院, 2003.
- [2] 铁道部大桥局编. 桥涵施工规范[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.

# 多年冻土区桥梁桩基施工技术研究

邓 婷 周志东

【摘 要】多年冻土区的桥梁桩基施工必须根据多年冻土的强度、桩基的其他地质特征等确定多年冻土区桩基的地质类型，合理地选择施工技术。本文以青藏铁路 19 标段为例，系统地阐述了多年冻土的地质分类、施工技术选取、施工流程、桩基灌注及施工质量、安全，工人的职业健康，环保和效益等。

【关键词】多年冻土；桥梁桩基；施工技术

## 1 前 言

### 1.1 青藏铁路工程简介

西藏自治区和青海省是我国藏族同胞的主要聚居地。解放 50 年、改革开放 20 年来，占全国国土面积八分之一的西藏自治区尚无铁路，西藏各族人民殷切盼望将铁路修到拉萨。修建进藏铁路也是党中央、国务院和全国人民十分关注的问题。

青藏铁路格拉段自北向南，纵贯青、藏两省区，跨越青藏高原。“唐蕃古道”，十几个世纪以来就是其他省区进出藏的主要通道，是沟通西藏与其他省区联系的重要交通要道，因此不失时机地修建青藏铁路，对完善综合运输体系、强化进藏通道具有极其重要的政治、军事、经济及路网意义。

建设青藏铁路是新中国成立以来中国铁路建设的重要事情，也是三代领导人一直十分关注的工程。新中国成立不久，党和国家就开始研究青藏铁路建设的相关事宜。在毛主席、周总理、邓小平等老一辈无产阶级革命者和领导人的亲切关怀下，青藏铁路一期工程西格段（西宁—格尔木）于 1958 年开始动工兴建。历经周折，1979 年该段铺通建成，1984 年正式交付使用。然而，由于当时的多年冻土等筑路技术难题尚未解决，同时，限于当时经济实力等原因，格尔木至拉萨段被迫停工，但是，对青藏铁路的工程试验和修建努力一直没有停止。

1994 年 7 月，江泽民同志在中央第三次援藏工作座谈会上就明确要求做好青藏铁路建设的相关研究工作。铁道部在大面积的选线和多方案的论证比较基础上，补充做了大量的技术工作。多次提出了建设青藏铁路格尔木至拉萨的建

议。2000 年 11 月，江泽民主席做出了重要批示，指出修建青藏铁路格尔木至拉萨是十分必要的，应该下决心尽快修建。

2001 年 2 月，国务院批准青藏铁路格拉段立项建设。2001 年 6 月 20 日，总理办公会议审查批准了青藏铁路格拉段的可行性研究报告，同意开工建设。2001 年 6 月 29 日，青藏铁路在格尔木和拉萨举行了盛大的开工典礼，标志着青藏铁路格拉段正式进入了实质性建设阶段。

青藏铁路作为党中央、国务院的重大战略决策，是西部大开发的标志性工程，举世瞩目。全线建成后，将填补我国西部铁路网的大空白，形成北京—兰州—西宁—拉萨的运输大通道。这对促进西藏、青海两省区的经济发展、资源开发，加强两省区与其他省区的联系，特别是西藏与其他省区的联系起到重要作用；同时，对增进民族团结，维护社会稳定，巩固我国边陲，也具有极其重要的意义。

## 1.2 青藏铁路建设标准

青藏铁路设计为 I、II 级混合标准单线铁路，输送能力为客车 8 对，货流密度 500 万 t。计划建设工期 6 年，总投资 330 亿元。

### 1.2.1 设计年度和运量

#### (1) 设计年度

近期：2010 年；远期：2015 年。

#### (2) 预测运量

近期 2010 年：客车 3 对，区段货流密度上行 120 万 t，下行 210 万 t；

远期 2015 年：客车 4 对，区段货流密度上行 180 万 t，下行 280 万 t；

#### (3) 设计单线最大输送能力

客车 8 对，货流密度 500 万 t。

### 1.2.2 沿线自然特征

#### (1) 地形地貌

青藏线格拉段线路通过地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。青藏高原西起帕米尔高原，向东延伸到川西、滇北的横断山，北起昆仑山，南至喜马拉雅山，方圆约 200 万  $\text{km}^2$ ，南北跨越近 10 个纬度，平均海拔高程 4 500 米以上，构成我国地势上最高的一级台阶，被称为“世界屋脊”“地球第三极”。

线路通过地区除北端南山口至昆仑山，南端羊八岭至拉萨属坡降较大的河

谷区,中间地段除风火山、开心岭、九子纳越岭段坡降较大外,其余地段宏观上均属高平原地貌,地形平坦开阔。

沿线经过的主要山系均呈东西走向,自北向南主要有昆仑山、可可西里山、风火山、乌丽山、开心岭、唐古拉山、头二九山、念青唐古拉山系的桑雄岭、九子纳、羊八岭。其中昆仑山是柴达木内陆河水系与长江水系的分水岭;唐古拉山是长江水系与扎加藏布内河水系的分水岭;头二九山是扎加藏布内河水系与怒江水系的分水岭。其间的其他山脉是各源头较大支流的次一级分水岭。这些山系中,昆仑山北坡及羊八井峡谷地势较险峻,相对高差大于 700~1 000 m;其余山系多呈穹形起伏,相对高差一般小于 300 m,宏观地形相当开阔,山岭浑圆而坡度平缓,山体窄,而沟谷宽,呈现“远看是山近看平川”的高原景色。

线路自北向南通过的较大河流有柴达木内陆河水系的格尔木河、昆仑河;长江水系的楚玛尔河、沱沱河、通天河、布曲河;扎加藏布河水系的扎加藏布、日阿纳藏布;怒江水系的拉日曲、北桑曲、联通河、那曲、母各曲;雅鲁藏布江水系的桑曲、堆龙曲、拉萨河。这些河流主要由冰川融水和大气降水补给,水温较低,流量随季节变化较大。

由此,高原上自北向南的山系和河流交替出现形成了青藏线格拉段河谷线和越岭线交织的线路状况,一般两个分水岭间夹一段长 50~200 km 的高平原,分水岭地区地势低缓线路通过长度短,河谷地区线路通过段落长。

## (2) 气候条件

青藏高原具有独特的冰缘干寒气候,寒冷干旱,气候多变,四季不明,有“一日四季”的气候特征。年冰冻结期长达 9 个月(每年 9 月至次年 5 月);风向以西北风为主,大风(八级)多集中于十月至次年四月;蒸发量大于降水量;冻土区多年平均气温为  $-2^{\circ}\text{C} \sim -6.9^{\circ}\text{C}$ ,七月气温最高,平均为  $6.5^{\circ}\text{C} \sim 8.1^{\circ}\text{C}$ ,一月气温最低(有时为十二月份),平均为  $-14.5^{\circ}\text{C} \sim -17.4^{\circ}\text{C}$ ;年平均气温差  $15 \sim 26^{\circ}\text{C}$ ,极端温差不超过  $50^{\circ}\text{C}$ ,年内平均较差  $10 \sim 19^{\circ}\text{C}$ ,极端日较差  $35^{\circ}\text{C}$ ;大气透明良好,云量少,太阳辐射强,总辐射量大;日照时间较长,一般为 2 600~3 000 小时/年。青藏铁路 19 标段工程施工区的高海拔,导致施工区内高寒缺氧,对施工人员与施工机械的影响非常巨大。

## 1.2.3 主要技术标准和主要设计原则

主要技术标准:

- (1) 铁路等级: I 级铁路。
- (2) 正线数目: 单线。

(3) 路段旅客列车行车速度与最小曲线半径: 旅客列车行车速度 100 km/h, 困难地段最小曲线半径 600 m; 根据路段不同情况, 尽量采用较大的曲线半径。

(4) 最大坡度: 20‰。

(5) 牵引种类: 内燃, 预留电气化条件。

(6) 机车类型: 近期 DF8B 型, 远期双 6 轴 10 000 HP 内燃机车。

(7) 牵引质量: 近期 2 000 t, 远期 3 000 T;

(8) 到发线有效长度: 650 m, 另加 70 m, 预留 850 m。

(9) 闭塞方式: 自动站间闭塞。

(10) 机车交路: 客货机车交路均采用格尔木、拉萨两机务段机车套跑的特长交路, 格尔木至那曲的区段列车采用格尔木至那曲立即折返的特长交路。

### 1.3 研究思路和技术路线

总的思路是: 以青藏铁路 19 标段为例, 在前面大量资料的基础上, 对不同地质类型的多年冻土进行分析和研究, 找出多年冻土的地质和工程特征。针对不同的多年冻土, 在施工过程中选择不同的开挖施工工艺, 研究桩基灌注施工技术, 并且加强过程监控和事后检测, 确保桩基的成桩质量和桥梁工程的施工进度及质量, 保证今后铁路的运行安全和运行可靠性。

具体的技术路线如图 1 所示。

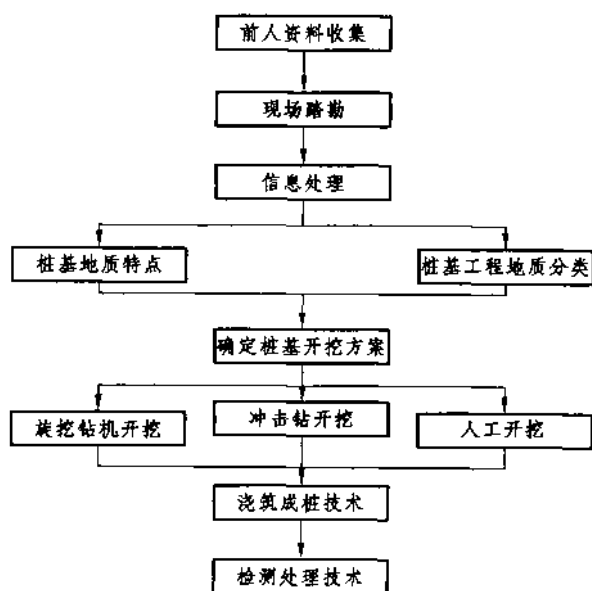


图 1 研究技术路线图

## 2 19 标段桩基的地质分类

### 2.1 19 标段桥梁工程特点

由武警水电部队承建的 19 标段,位于青藏高原腹地无人区,地处唐古拉山南麓平原的扎加藏布河谷与安多谷地内,是青藏高原多年冻土的最南端。它三跨扎加藏布河,全长 25.8 km。线路所经地段 83% 为多年冻土区,17% 的地段为冻融区。根据多年冻土的温度分区,19 标段多年冻土主要为高温极不稳定多年冻土、高温不稳定多年冻土,少数为低温基本稳定多年冻土和低温稳定冻土。按照含水量划分,19 标段多年冻土有:少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土及含土冰层。

19 标段包含大小桥梁累计 35 座,最长为 DK1 458+320 大桥,全长 492 m;最短的桥只有 8 m。累计有桩基 736 根,桩径 1.0 ~1.2 m。

所有桥梁的基本情况如表 1 所示。

表 1 19 标段桥梁基本情况表

| 序号 | 中心桩号         | 长度(m)  | 跨数 | 桩基地质情况           |
|----|--------------|--------|----|------------------|
| 1  | K1438+061.81 | 25.92  | 1  | 圆砾土、泥岩           |
| 2  | K1438+944.81 | 43.9   | 1  | 粉、细砂、圆砾土         |
| 3  | K1439+349.81 | 110    | 4  | 中、粗、砂砾,圆砾土       |
| 4  | K1439+785.81 | 17.52  | 1  | 中、粗、砂砾,圆砾土       |
| 5  | K1440+013.81 | 241.1  | 7  | 粉细砂,圆砾土,石灰岩      |
| 6  | K1440+618.81 | 502.33 | 15 | 中、粗、砂砾           |
| 7  | K1441+106.81 | 307.38 | 9  | 中、粗、砂砾           |
| 8  | K1441+606.81 | 78.48  | 2  | 中、粗、砂砾           |
| 9  | K1441+841.81 | 35.9   | 1  | 卵石土、圆砾土          |
| 10 | K1442+143.81 | 174.7  | 5  | 卵石土              |
| 11 | K1442+461.81 | 109.93 | 3  | 卵石土、多年冻土层        |
| 12 | K1442+710.81 | 111.26 | 3  | 卵石土、多年冻土层        |
| 13 | K1443+246.81 | 184.22 | 7  | 粉细砂,砾岩,泥灰岩       |
| 14 | K1444+061.81 | 60.58  | 3  | 粉细砂,卵石土,泥灰岩      |
| 15 | K1444+941.81 | 57.04  | 3  | 粉细砂,卵石土          |
| 16 | K1446+450.81 | 111.8  | 3  | 粉细砂,卵石土,石灰岩,富冻土层 |

续表 1

| 序号 | 中心桩号         | 长度(m)  | 跨数 | 桩基地质情况                              |
|----|--------------|--------|----|-------------------------------------|
| 17 | K1446+786.81 | 36.68  | 1  | 中粗砂砾, 石灰岩, 活断层 FDS-2                |
| 18 | K1447+165.81 | 404.31 | 12 | 粉细砂, 卵石土, 石灰岩, 富冻土饱冰冻土和含土冰层         |
| 19 | K1448+309.81 | 25.92  | 1  | 粉细砂, 多年冻土层                          |
| 20 | K1449+491.81 | 20.52  | 1  | 圆砾土, 粉细砂, 多年冻土层                     |
| 21 | K1449+567.81 | 20.52  | 1  | 圆砾土, 多年冻土层                          |
| 22 | K1450+051.81 | 37.92  | 1  | 多年冻土层, 粉质黏土                         |
| 23 | K1450+430.81 | 36.68  | 1  | 卵石土, 多年富冰冻土层                        |
| 24 | K1451+067.81 | 203.15 | 6  | 细砂、砾砂、圆砾土, 融陷, 富冰冻土                 |
| 25 | K1451+366.81 | 48.96  | 1  | 圆砾土, 多年冻土层, 富冰冻土                    |
| 26 | K1451+870.81 | 273.77 | 8  | 粉质黏土, 含土冰层, 页岩                      |
| 27 | K1453+512.81 | 162.63 | 6  | 多年冻土层, 细砂, 砂岩                       |
| 28 | K1453+781.81 | 61.95  | 2  | 多年冻土层, 圆砾土, 页岩, 砂岩                  |
| 29 | K1455+045.7  | 258.56 | 10 | 圆砾土, 页岩, 多年冻土层                      |
| 30 | K1456+865.81 | 149.51 | 4  | 圆砾土, 页岩, 多年冻土层                      |
| 31 | K1457+381.81 | 19.52  | 1  | 圆砾土, 页岩, 石灰岩, 多年冻土以下: 全风化层          |
| 32 | K1458+473.81 | 24.28  | 1  | 圆砾土, 泥灰岩, 富冰冻土, 多年冻土上限以下: 全风化, 强风化层 |
| 33 | K1458+733.81 | 21.78  | 1  | 圆砾土, 泥灰岩, 多年冻土层                     |
| 34 | K1459+657.81 | 21.78  | 1  | 细砂, 圆砾土, 冻土层                        |
| 35 | K1461+738.81 | 25.92  | 1  | 圆砾土, 富冰多年冻土层                        |

## 2.2 多年冻土区桥梁桩基开挖地质分类

根据多年冻土的强度、桩基的其他地质特征等, 确定多年冻土区桩基的地质类型。整体来说, 多年冻土区可分为石方开挖和土方开挖两大类表, 见表 2。

表 2 多年冻土区开挖地质情况分类表

| 大 类  | 小 类                                            |
|------|------------------------------------------------|
| 石方开挖 | 强风化岩体开挖, 弱风化岩体开挖, 微风化岩体开挖, 新鲜岩体开挖 (包括多年冻土区和融区) |
| 土方开挖 | 季节性冻融层土体开挖, 多年冻土土体开挖, 不冻夹层开挖                   |

其中,石方主要为石灰岩开挖;土方开挖包含了少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层的开挖。各类冻土的主要指标见表3。

表3 以含水量为主要指标的多年冻土工程分类

| 多年冻土工程分类      |                 | I              | II                         | III                        | IV                          | V                  |
|---------------|-----------------|----------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 冻土总含水量 $W/\%$ |                 | $W < W_p + 2$  | $W_p + 2 \leq W < W_p + 5$ | $W_p + 5 \leq W < W_p + 9$ | $W_p + 9 \leq W < W_p + 15$ | $W > W_p + 15$     |
| 冻土类别          |                 | 少冰冻土           | 多冰冻土                       | 富冰冻土                       | 饱冰冻土                        | 含土冰层               |
| 构造类别          |                 | 整体状            | 微层、网状                      | 层状                         | 斑状                          | 基底状                |
| 融沉            | 等 级             | 不融沉            | 弱融沉                        | 中融沉                        | 强融沉                         | 融沉                 |
| 评价            | 融沉系数 $\delta_0$ | $\delta_0 < 1$ | $1 \leq \delta_0 < 3$      | $3 \leq \delta_0 < 10$     | $10 \leq \delta_0 < 25$     | $\delta_0 \geq 25$ |
| 冻胀            | 等 级             | 不冻胀            | wq 弱冻胀                     | 中冻胀                        | 强冻胀                         | 特强冻胀               |
| 评价            | 冻胀系数 $\eta$     | $\eta < 1$     | $1 \leq \eta < 3.5$        | $3.5 \leq \eta < 6$        | $6 \leq \eta < 12$          | $\eta \geq 12$     |
| 强度            | 等 级             | 中              | 高                          | 高                          | 中低                          | 低                  |
| 评价            | 相对强度值           | 0.8~1.0        | 1.0                        | 1.0                        | 0.8~0.4                     | <0.4               |

### 3 桩基开挖施工技术

#### 3.1 开挖方法选择的依据和特点

开挖施工应遵循以下依据和特点:

- (1) 应针对不同多年冻土,采用不同的施工技术和方法,针对性较强。
- (2) 应用了先进的设备与人工结合的技术。
- (3) 施工快速,对工期提供有力的保证。
- (4) 环保,对环境影响小。
- (5) 应有利于多年冻土的保护。在多年冻土区,减少对多年冻土的扰动和影响,特别是降低其暴露时间,防止热量进入多年冻土层。

#### 3.2 工艺原理

主要按照“分类处理,逐步开挖,快速进行”的施工思路进行。

- (1) 对于强度小于 500 kPa 的多年冻土,且旋挖钻机有施工平台的地方,最好选用旋挖钻机进行开挖施工。对于岩石强度大于 500 kPa,或者旋挖钻机不容易有施工平台的地方,可以选用人工挖孔。

(2) 对于易塌孔或其他情况,可以少量的采取冲击钻开挖成孔的方式进行开挖。冲击钻孔主要适用于碳酸盐岩石区的地下溶洞或小暗河等的开挖,采用片石或黏土回填再进行冲击钻孔。

### 3.3 施工工艺流程及操作要点

由于冲击钻钻机的施工工艺流程与其他省区的施工方法没有多大区别,在此不重点介绍。结合青藏高原开挖成孔施工的实际情况,主要介绍人工成孔与旋挖钻机开挖成孔施工工艺。

#### 3.3.1 选挖钻机开挖

##### 3.3.1.1 工艺流程

旋挖钻机钻孔施工流程如图 2 所示。

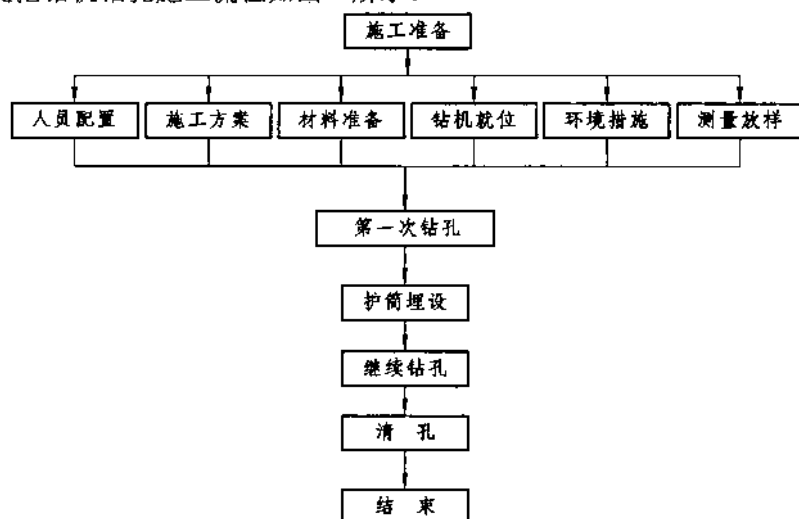


图 2 选挖钻机施工工艺流程图

##### 3.3.1.2 操作要点

###### (1) 准备工作

首先做好各项施工前的准备工作,包括人、机、料、技术方案、环境保护措施的准备工作等。准备一定要充分。

###### (2) 桩位的测量放样

根据导线点和三角控制点(导线点和控制点全部采用外径为 $\phi 100\text{ mm}$ ,内径为 $\phi 80\text{ mm}$ 的钢管埋入天然上限以下至少 $0.5\text{ m}$ 的深处),利用徕卡 TC1102 全站仪测定墩台桩位置,严格控制测量精度。

### (3) 护筒埋设

根据设计图纸,对于不同桩基础直径,采取不同桩径的钢护筒制埋。根据实际情况,设计要求护筒埋设深度为冻土上限以下不少于 0.5 m,采用 5 mm 厚的钢板卷制。桩基施工完成后,护筒不取出,以减少桩基回冻等膨胀力对桩基产生的不良影响。

### (4) 钻 孔

钻孔设备可以选用北京经纬巨力公司生产的 ZY-140 型和意大利生产的 R622HD 型等旋挖钻机钻孔,钻机工作中要求工作平台密实平整,以防钻机在工作中失稳,影响钻杆的垂直度。在钻进过程中,根据地质情况选用不同的钻头和速度,每班要注意检查钻头直径,使钻头直径不小于设计孔径。注重环境保护,及时清理孔口周围积土,用自卸汽车及时装运挖出的土渣至指定弃土场集中处理。

### (5) 清 孔

用旋挖钻机螺旋钻头清除孔底虚土很方便,当钻至设计孔底标高后,要及时清孔,不得用加深孔深来代替清孔。施工示意图如图 3 所示。

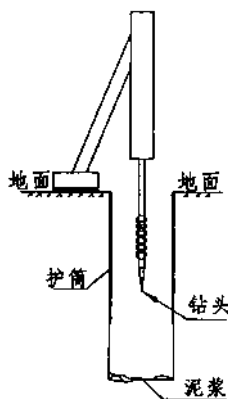


图 3 旋挖钻机施工示意图

## 3.3.2 冲击钻开挖成孔施工

### 3.3.2.1 冲击钻成孔流程 (如图 4 所示)

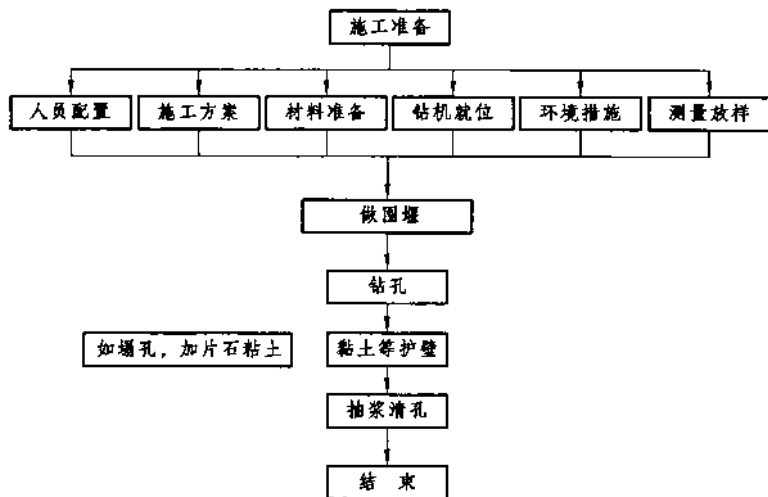


图 4 冲击钻机施工工艺流程图

### 3.3.2.2 操作要点

#### (1) 准备工作

首先做好各项施工前准备工作,包括人、机、料、技术方案、环境保护措施的准备工作等,准备一定要充分。特别是融区和石灰岩地区要准备一定的黏土和片石。

#### (2) 桩位的测量放样

根据导线点和三角控制点(导线点和控制点全部采用外径为 $\phi 100\text{ mm}$ 、内径为 $\phi 80\text{ mm}$ 的钢管埋入天然上限以下至少 $0.5\text{ m}$ 的深处),利用徕卡 TC1 102 全站仪测定墩台桩位置,严格控制测量精度。

#### (3) 作围堰与护筒埋设

根据设计图纸,对于不同桩基础直径,采取不同桩径的钢护筒制埋,采用 $5\text{ mm}$ 厚的钢板卷制。同时做一到两道围堰,防止泥浆的污染。桩基施工完成后,护筒不取出,以减少桩基回冻等膨胀力对桩产生的不良影响。

#### (4) 钻孔

钻孔设备可用普通的冲击钻即可,钻机工作中要求工作平台密实平整,以防钻机在工作中失稳。在钻进过程中,根据地质情况选用不同的钻头和速度,每班要注意检查钻头直径,使钻头直径不小于设计孔径。注重环境保护,及时清理孔口泥浆。如遇到石灰岩溶区有地下暗河或者通道时,多加黏土或者片石封堵,重新钻孔即可。

#### (5) 清孔

当钻至设计孔底标高后,要及时量测,采用泥浆泵清理孔内的泥浆,并将泥浆运送至指定的弃渣场。冲击钻成孔示意图如图 5 所示。

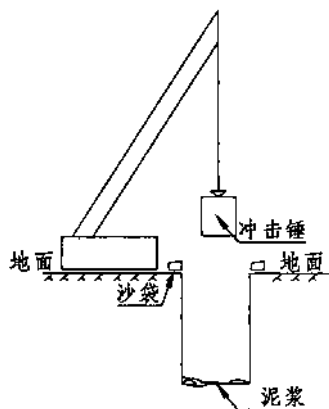


图 5 冲击钻成孔示意图

### 3.3.3 人工开挖工艺流程

#### 3.3.3.1 人工开挖工艺流程(见图 6 所示)

#### 3.3.3.2 施工准备

由于高原多年冻土区的海拔在 $4\,000\text{ m}$ 以上,空气稀薄,人工挖孔准备必须十分充分,特别是在职业健康与安全方面,必须有足够的氧气瓶或者氧气袋,防止人员在桩基内缺氧。另外要准备部分急救药品和设备。人员选用年轻的、身体好、技术好的熟练工,小型机具和材料的准备与其他省区无差别,主要是空压机、

手风钻、风管、轱辘、柴油机和钻爆器材等。有地下水时，备用抽水设备。

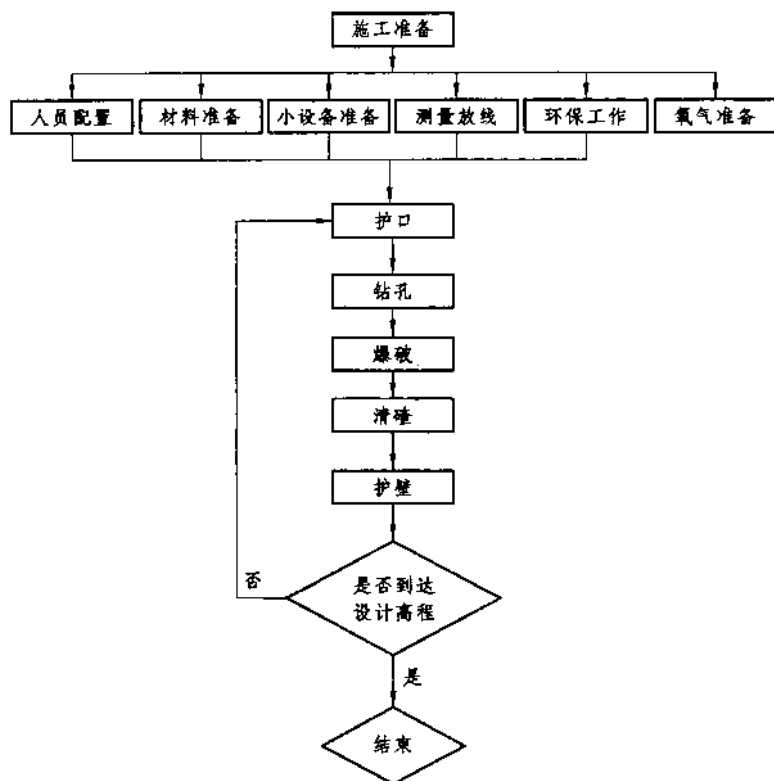


图6 人工开挖施工流程图

### (1) 测量放样

根据导线点和三角控制点（导线点和控制点全部采用外径为 $\phi 100\text{ mm}$ ，内径为 $\phi 80\text{ mm}$ 的钢管埋入天然上限以下至少 $0.5\text{ m}$ 的深处），选择先进测量设备，因为在海拔 $4\,900\text{ m}$ 的地区，给设备的运行提出了很多更加苛刻的要求。例如国产的某些电脑品牌在海拔 $3\,000\text{ m}$ 以上就运行不起来，所以设备的选型很重要，我们选择徕卡 TC1 102 全站仪测定墩台桩位置，严格控制测量精度，满足施工技术要求。

### (2) 护口施工

在孔口做厚度不小于 $20\text{ cm}$ 、高度不低于 $20\text{ cm}$ 、强度不低于 C15 的混凝土护口，防止在开挖工程中物体坠入桩基内，打伤施工人员。孔口周围不能有杂物，对石渣必须经常清理。

### (3) 钻 孔

土质桩基直接采用人工开挖或风镐开挖，风化严重或较严重的岩石一般采用风镐开挖，弱风化至新鲜岩石采用手风钻钻孔，钻孔间距、孔深等根据岩石质量级别设计。

### (4) 爆 破

钻孔完成后，装药连线爆破。

### (5) 清 渣

采用人工清渣、施工时，提升机具要牢固可靠，防止提升时掉渣。

### (6) 护 壁

每开挖 1.5 m 的深度用 C20 混凝土进行护壁支护。岩体质量差时，打锚杆或钢护筒进行支护。

### (7) 循环开挖与护壁

循环开挖与护壁至桩基设计高程，彻底清孔。人工挖孔示意图如图 7 所示。

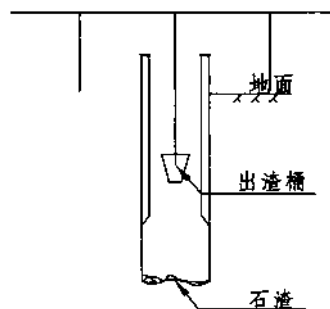


图 7 人工挖孔示意图

## 3.4 资源配置

### 3.4.1 旋挖钻机开挖资源配置

旋挖钻机开挖资源配置如表 4 所示。

表 4 旋挖钻机开挖每个工作面资源配置

| 资源 | 机 具                                                 | 人 员                                                         | 材 料                     | 备 注         |
|----|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------|
| 细目 | 徕卡 TC1102 全站仪 1 台，旋挖钻机 1 台，电焊机 1 台，发电机 1 台，其他小型工具若干 | 电焊工 1~2 人，钻机操作手 2 人，测量人员 4~5 人，安全员 1~2 人，环保员 1~2 人，普工 3~4 人 | 钢材若干，柴油若干，枕木 4~6 根，焊条若干 | 材料数量按照设计方案定 |

### 3.4.2 人工开挖资源配置

旋挖钻机开挖资源配置如表 5 所示。

表 5 人工开挖每个工作面资源配置

| 爆破 | 机 具                                             | 人 员                                                           | 材 料                                          | 备 注         |
|----|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------|
| 细目 | 徕卡 TC1102 全站仪 1 台, 空压机 1 台, 手风钻 4-5 台, 其他小型工具若干 | 爆破工 1~2 人, 钻工 3 人, 测量人员 4~5 人, 安全员 1~2 人, 环保员 1~2 人, 普工 3~4 人 | 钢材若干, 柴油若干, 砂石骨料若干, 爆破器材若干, 水泥若干, 氧气袋或者氧气瓶若干 | 材料数量按照设计方案定 |

### 3.4.3 冲击钻开挖资源配置

冲击钻开挖资源配置如表 6 所示。

表 6 冲击钻开挖每个工作面资源配置

| 资源 | 机 具                                                     | 人 员                                                   | 材 料                        | 备 注         |
|----|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|-------------|
| 细目 | 徕卡 TC1102 全站仪 1 台, 冲击钻机 1 台, 电焊机 1 台, 发电机 1 台, 其他小型工具若干 | 钻机操作手 2 人, 测量人员 4~5 人, 安全员 1~2 人, 环保员 1~2 人, 普工 3~4 人 | 黏土若干, 片石若干, 枕木 4~6 根, 焊条若干 | 材料数量按照设计方案定 |

## 4 桩基灌注施工技术

### 4.1 施工准备工作

由于海拔 4 900 m 左右昼夜温差大, 白天正温, 晚上往往是负温, 混凝土灌注前的准备工作十分重要, 它是保证混凝土施工正常进行和混凝土施工质量的重要措施。具体要做以下方面的准备工作:

(1) 技术准备是混凝土灌注准备重要的基础性工作, 是整个混凝土灌注能否成功实施的关键性因素之一。包括混凝土浇筑时段的选择, 混凝土分层、分块的计算和选择, 混凝土热工计算、混凝土保温措施的选择和经济性比较, 砂石骨料的储备量计算, 原材料, 特别是混凝土热工计算, 确保不要破坏多年冻土。另外, 唐古拉山地区必须使用低温耐久性混凝土, 所以, 对混凝土的控制指标, 除常规的几项指标外, 我们采用了特殊的 8 项指标进行控制, 因此, 试验准备工作十分重要。

(2) 生产准备必须按技术准备阶段所提出的技术要求和措施逐一落实, 包

括混凝土仓面保温材料的准备、混凝土拌和设备的保温、砂石料的储备、热水拌和设备的准备、水源的保温措施落实等。

## 4.2 混凝土灌注温控措施

混凝土灌注温度的控制措施主要是水源选择及水管保温措施。在施工组织阶段应结合工程总体施工进度安排,确定合理的施工水源、取水方式及水管的布设方式。经试验,扎加藏布河河水可以满足施工用水的技术指标,但是洪水时要经过两级沉淀池沉淀处理,并且每月要做水质检测分析。由于混凝土拌和站均选择在扎加藏布河边,取水管线距离短,采用明管的布置方式利于维修。对拌和系统和仓面附近的明管要进行保温,以保证混凝土施工用水温度得到控制。唐古拉山昼夜温差大,保温材料易损坏,对取水管线保温一般要进行两层包裹,如晚上施工暂停,就放空水管,特别是6、7、8月份以外的月份,严防水管冻裂。

## 4.3 拌和站的保温

19标段设置两个拌和站,根据施工计算,每个站的拌和能力为 $40\text{ m}^3/\text{h}$ ,选型以体积小、操作灵活、效率高为原则进行设备配置,但一般拌和系统自身没有保温设施。为了使混凝土在拌和站的温度不致损失过大,并考虑给施工人员创造较好的施工环境,对拌和楼采取了一定的保温措施。具体方法是,将拌和楼置于半永久性的房屋中,然后在皮带机架上焊接钢骨架,使输料皮带布置在搭设的防护棚中。此外,拌和楼房内适当设置了电热器,以提高房内温度。也尝试了用竹胶版和篷布以及钢管搭设防护棚,加固牢靠用来挡风。

## 4.4 料场、料仓的保温

根据混凝土热工计算,除冬季施工外,一般可不考虑加热骨料,但需对骨料输送系统进行封闭。在输料皮带机架上,焊接骨架,间隔装 $1\ 000\text{ kW}$ 的碘钨灯,在骨料输送中起到一定的保温和预热作用。唐古拉山一般风沙较大,采用篷布对骨料仓进行覆盖后,既可以起到一定的保温效果,又可以有效地防止粉尘等对骨料的二次污染,同时及时清除了表面的积雪。平时要加强使用管理,防止积雪和水进入料仓(堆内),如卸料时将篷布掀开,不用时将篷布盖上。

## 4.5 混凝土运输设备的保温

混凝土运输尽可能采用封闭式运输车辆,外裹保温被进行保温。保温被所

用材料是黑心棉棉被,保温被覆盖在混凝土罐车上后固定,保温效果较好。

针对唐古拉山地区气温过低的特点,对低温季节混凝土的运输提出了以下措施:①尽量减少混凝土的倒运次数。②混凝土在浇注时按照规范规定时间尽量缩短。③混凝土入仓前的时间不能过长。同时,也不宜过快,加长多年冻土的回冻时间。④开仓装运混凝土前应用热水冲洗运输设备,对设备起到一定的预热作用。

#### 4.6 混凝土仓面保温

低温季节施工时,仓面保温建议采用暖棚法。暖棚法结构设计除考虑正常的荷载外需进行风荷载验算。搭设暖棚用的保温材料,其中保温层用帆布和棉帐篷,用苫布做隔层,防止稻草受潮和稻草散落仓内。活动下料口采用麻袋片包稻草,在棚内安设电热器进行采暖。采用现场绑扎式暖棚,暖棚的支柱采用钢管架,层高4~5 m,顶盖采用杉杆或杂木杆,用铅丝绑扎。

#### 4.7 拌和用水的加热措施

唐古拉山地区常年处于低温状态,拌和水一般情况下需要加温,一般采用煤热锅炉,这主要是唐古拉山地区属于藏北无人区,没有网电等,但煤可以从格尔木运输至工地。

混凝土拌和用水水温和煤锅炉的出水量需经热工计算和混凝土施工强度确定。以1号拌和站为例,在拌和站处设一台煤热锅炉每天可提供60℃热水40 t左右,可满足桥梁混凝土施工用水的需要量。低温季节电热锅炉一直保证提供蒸气,水在保温桶和热水池中加热(水温不宜超过65℃)。热水通过高温型管道由增压泵直接送入拌和楼内,热水管道采用石棉包裹进行保温。在气温为0℃时,拌和水温60℃,拌和楼出机口处的混凝土温度可达7.38℃。根据现场有关资料提供的结果,拌和过程中可使混凝土温度增加5℃左右。

#### 4.8 水泥的防护保温

低温季节将水泥库房窗密封好,门上挂棉帘,使水泥的温度高于室外气温(不低于5℃)。螺旋提升机应用石棉布包裹保温。

#### 4.9 混凝土在出机口和运输过程中的温度控制

混凝土的出机口温度,应满足规范规定的最低浇筑温度和混凝土运输、浇

筑过程中温度损失之和,并应尽量保持温度的均匀。方法是通过改变拌合用水的温度来控制,温度高将增加不必要造价;温度低使入仓温度不能满足规范的要求,保证不了混凝土的浇筑质量。根据羊湖地区的施工经验,提出以下具体温度要求:① 运输距离远且施工仓号未采取保温加热措施的几座桥梁混凝土浇筑施工,混凝土出机温度控制在  $7^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ;② 混凝土因洞外运输距离较短且温度一般稳定在  $8^{\circ}\text{C}$  左右,混凝土运输后,温度会有一定损失,混凝土入仓温度控制在  $0\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.10 混凝土配合比的选择

根据多年冻土区桩基的地质特征与高原的气候特点,为了使混凝土结构物与高原特殊环境相适应,确保混凝土功能满足环境和使用年限的要求,本次低温耐久性混凝土的控制指标一共是 8 个,即抗冻融循环性能、抗渗性,耐腐蚀性、抗  $\text{Cl}^{-}$  渗透性、护筋性、抗碱骨料反应、抗裂性、抗氯离子腐蚀。

##### 4.10.1 混凝土的抗冻融性能

提出混凝土的抗冻融循环次数(快冻)应达 300 次以上的依据为:普通铁路桥涵、轨枕混凝土的抗冻融循环次数要求达到 200 次,俄罗斯要求多年冻土地区混凝土的抗冻融循环次数为 300~500 次。青藏铁路 19 标段沿线多年冻土地区环境条件比普通线路恶劣得多,在沿线特殊的环境条件下,要想混凝土结构的使用寿命达到普通地区混凝土的水平,混凝土的抗冻融循环次数至少应达到 300 次以上。因此,19 标段沿线主体结构物不同混凝土的抗冻融循环次数须达到 300 次及以上。

##### 4.10.2 混凝土的抗渗性

青藏铁路 19 标段查曲河中存有一定数量的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$  等的侵蚀,根据《铁路混凝土与砌体工程施工规范》(TB10 210—2 001),混凝土必须具备一定的抗渗能力,混凝土的抗渗等级应不小于 S12。

##### 4.10.3 混凝土的耐腐蚀性

19 标段部分地段的地表水或岩土中不同程度的存在有害离子侵蚀时,为防止侵蚀性离子对混凝土等结构物与构筑物的破坏,混凝土受有害离子侵蚀的浓度允许值应符合表 7 的规定。

表 7 不同使用环境中混凝土受有害离子侵蚀的浓度允许值

| 侵蚀类型                        | 使用环境中有害离子浓度/<br>(mg/L) | 侵蚀程度 | 浓度允许值/(mg/L) |
|-----------------------------|------------------------|------|--------------|
| 硫酸盐侵蚀<br>$\text{SO}_4^{2-}$ | 1 000 ~ 2 000          | 弱侵蚀  | 2 000        |
|                             | 2 001 ~ 4 000          | 中侵蚀  | 4 000        |
|                             | >4 000                 | 强侵蚀  | 10 000       |
| 镁盐侵蚀<br>$\text{Mg}^{2+}$    | 1 000 ~ 3 000          | 弱侵蚀  | 3 000        |
|                             | 3 001 ~ 7 500          | 中侵蚀  | 7 500        |
|                             | >7 500                 | 强侵蚀  | 15 000       |

4.10.4 混凝土的抗  $\text{Cl}^-$  渗透性能

由于查曲河等河流中不同程度的存在  $\text{Cl}^-$  的侵蚀, 根据 ASTM C1 202—94 对混凝土抗氯离子渗透能力的等级划分 (见表 8), 当混凝土的氯离子渗透值小于 1 000 C 时, 其抗氯离子的渗透性能较好。为了保证铁路混凝土中钢筋不至锈蚀, 混凝土的氯离子的渗透值应达到比较低的水平。因此, 19 标段沿线用混凝土的氯离子渗透值不得大于 1 000 C。

表 8 混凝土抗氯离子渗透能力的等级划分

| 通过电量 $Q/C$    | 氯离子渗透的能力 |
|---------------|----------|
| >4 000        | 渗透能力强    |
| 2 000 ~ 4 000 | 渗透能力中等   |
| 1 000 ~ 2 000 | 渗透能力低    |
| 100 ~ 1 000   | 渗透能力很低   |
| <100          | 不渗透      |

## 4.10.5 混凝土的碱-骨料反应性能

19 标段沿线河流中的砂石具有较强的碱活性, 为了保证混凝土不致发生碱-骨料反应膨胀破坏, 应对骨料的砂浆棒膨胀率提出最大限值要求。根据国内外多年科研成果和工程实践经验, 19 标段混凝土工程骨料的砂浆棒膨胀率 (按 TB/T 2 922.5—2002 检验) 不得大于 0.20%。

#### 4.10.6 混凝土的抗风蚀性能

一般来说,混凝土的表面属于相对薄弱的环节。青藏高原地区的最大风速为 30m/s,大风引起的风沙将对混凝土表面造成严重磨蚀。为了保证混凝土表面的完整性及其美观,应对暴露于大气中的混凝土表面的耐风蚀性能予以加强。参照道路水泥耐磨性的平均要求,19 标段沿线用混凝土砂浆的磨耗率不得大于  $0.5 \text{ kg/m}^2$ 。

#### 4.10.7 混凝土的护筋性能

保证混凝土砂浆中的钢筋不得锈蚀,保持钢筋的完好性能,提高钢筋混凝土的结构稳定性。

#### 4.10.8 混凝土的抗裂性能

由于唐古拉山南麓干湿交替快,温差大,混凝土表面容易产生裂纹,混凝土的表面非受力裂缝平均宽度不得大于 0.20 mm。

根据上述指标和混凝土的常规三项指标,选择合格的水泥、骨料和外加剂,确定和优化配合比。

### 4.11 灌注过程的特殊要求

钻孔桩混凝土为低温早强耐久性混凝土,设计强度为 C25,灌注混凝土时,应严格控制其灌注温度在  $2^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$  之内,以减少混凝土散热对多年冻土的热扰动,每根桩灌注时间控制在 8 h 以内,以防止顶层混凝土失去流动性,使提升导管困难,增加事故的可能性,灌注过程中注意及时测量孔内混凝土高度,正确及时指导导管的提升和拆除,导管在混凝土内的埋置深度一般控制为 2~4 m,拆除导管要快,拆除下来的管节要立即清洗干净(为防污染环境,清洗时应在沉淀池清洗),在两端丝口处抹润滑油,按编号顺序堆放整齐。为确保桩顶质量,在设计桩顶标高的基础上加灌 0.5~1.0 m。根据唐古拉山气候特点,采用草垫或麻袋装珍珠岩及时养护。关于混凝土其他灌注情况,包括每盘搅拌时间、灌注时间、混凝土含气量、坍塌度、泌水率、混凝土面的深度、导管理深、导管拆除以及发生异常现象等,指定专人负责记录。

## 5 质量控制

对于桥梁桩基施工质量,质量控制主要是桩位、孔倾斜度以及控制孔底虚渣的厚度,具体允许偏差见表 9。

表 9 孔桩允许偏差

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
|----|------|----------|---------|
| 1  | 桩位   | 50       | 用测量设备检查 |
| 2  | 孔倾斜度 | 1%       | 开挖后检测   |
| 3  | 虚渣厚度 | 不大于图纸规定值 | 开挖后清孔检查 |

对于混凝土的质量，按照 8 项耐久性指标和三项常规检测指标，从原材料严格控制，优化配合比，加强施工拌和、运输、浇筑、养护等的过程管控，确保桩基混凝土浇筑质量。

## 6 施工安全技术与管理

① 认真落实《安全生产法》、国家和地方的相关规定及条例、行业的安全管理规定。健全安全组织机构，落实责任制，明确各级人员的职责，落实问责制，确保安全生产。

② 采取切实有效的措施，夯实安全生产的基础。影响安全生产的因素包括人、机、物、环境等诸多方面，但最关键的还是人。

③ 加强爆破器材管理和爆破作业安全管理，严格按照《工程爆破器械管理规定》和国家爆破安全法规进行爆破器材管理，加强现场的静态和动态管控，派有责任心的专职干部和战士全程进行监控，确保爆破器材万无一失。针对高原雷电多的特点，爆破器材库四周安装避雷针和相关消防设施，避雷针数量一般为其他省区的 2 倍。

④ 防止物体打击和机械伤人。设置安全员，在人工挖孔过程中，一定要加强防护，井口设置高度不低于地面 30 cm 高、厚度不小于 20 cm 的混凝土护口，并设置相关的维护网，防止石渣掉落打击孔下人员，提升设备安全的可靠性，经常检查。旋挖钻机等设备施工时，在机械旋转区域内设定禁止人进入的区域，防止机械伤人。

⑤ 临时用电要符合《施工现场临时用电安全技术规范》，供电设备与用电设备、供电线路按照国家相关规定执行，常检查、常维护。

⑥ 氧气瓶与乙炔瓶严格存放，严格确保氧气瓶不沾任何油污，乙炔瓶有回火安全保护装置，不卧放。

⑦ 及时检查、控制危险源，排除各类安全隐患。

⑧ 加强高原病的防治，保证施工人员的职业健康。

## 7 施工环保技术

高原多年冻土区一般植物品种少,生长期短,一旦植被破坏,极难恢复;动物种类不多,生物链相对简单,动物的食物来源单一,一旦破坏食物链,动物生存受到危险,甚至绝灭。施工期间主要有以下环保措施:

① 制定环保方针,坚持“预防为主,保护优先,开发与保护并重”的原则。针对施工现场的环境特征以及施工特点,制定了相应的环保措施,主要控制施工过程,以及施工人员和施工机械的行为规范。最大限度地减小影响区域,减小破坏程度,控制水土流失等。设立环卫科或环保部专职负责环保工作,并在施工现场设专职环保员,对施工现场不符合环保要求的施工行为给予纠正。

② 在施工现场对施工便道进行优化,结合工程结构位置,以及植被生长情况,尽量减少便道数量,把便道取短。

③ 设置醒目的标示牌,严格控制运输车辆行驶路线以及施工人员的活动范围,以免破坏自然环境。加强对施工人员的关于“爱护环境,保护动物”的宣传,并限制施工人员在施工现场以外的活动范围,禁止接近、哄赶、捕杀野生施工区域内的野生动物以及破坏植被。

④ 对生活垃圾和建筑垃圾等固体弃物、生活和施工污水集中收集、集中处理,不得随意抛撒、排放。

⑤ 合理安排施工时间,制订施工措施,最大限度地减小对冻土环境的热融侵蚀破坏。

⑥ 对冲击钻成孔时,在孔周围用沙袋等进行围护,防止泥浆溅溢。

⑦ 灌注时,合理选择灌注时间和水化热低的水泥,防止对多年冻土的回冻产生不利影响。

## 8 桩基施工高原保健与职业健康

### 8.1 高海拔地区自然环境对人体的影响

唐古拉山地区的自然条件有如下特点:

① 海拔在 4 800~5 000 m,气压低,氧分压低,海平面氧分压为 21 kPa,而唐古拉山只有 11 kPa,降低近一半。

② 寒冷、温差大,由于该地区空气稀薄,大气温度易于散失,而且受不到海洋季风的影响,故气温偏低。根据通常的测试,海拔升高 100 m,气温下降 0.6℃,所以唐古拉山地区日平均在 0℃ 以下的时间长达 320 天左右,最低气温为 -41℃,大地吸热快,散热也快,一天之内的昼夜温差可达 15~30℃。

③ 多风干燥，该地区常常午后起大风，强风不仅进一步降低了气温，而且也加速了地表和物体水分的蒸发。本来降雨量少，空气中所含水蒸气相对很少，年平均相对湿度只有其他省区的 50% 左右，空气很干燥。

④ 日光辐射强、紫外线强，空气稀薄，透明度大，太阳辐射和紫外线很容易达到地面。一般海拔升高 100 m，紫外线辐射强度就增加 1.3%，唐古拉山地区紫外线为海平面辐射强度的 2~3 倍。

⑤ 多雷暴：青藏高原地区往往是雨季均有雷暴伴随，雷暴出现常伴有冰雹，一般集中在每年 4~9 月份。雷暴大多沿山移动，多为梳状雷暴，唐古拉山地区尤为突出。

## 8.2 高海拔地区自然环境对人体的影响

### 8.2.1 缺氧对人体的影响

氧是人体新陈代谢的基本元素，空气中的氧气经过肺进入血液，与红细胞中的血红蛋白结合，再经过血液循环把氧输送到全身的各个器官。在高海拔地区，由于氧分压的减低，人呼吸进入肺的氧气减少，以至于不能满足人体的需要，造成器官缺氧，导致肌体代谢增强。严重缺氧时，可能对人体的敏感器官造成损害，出现头晕、头痛、气促、心慌、记忆力减退、全身乏力、心神烦躁等。另外，缺氧导致血粘稠度增高，微血管通透性变差。

### 8.2.2 寒冷对身体的影响

在高寒的环境下，一方面可引起皮肤血管收缩，影响血液循环，造成营养障碍形成冻伤。另一方面，寒冷会促使心跳加速，血压升高，加重心脏负担。同时，容易导致感冒，高原上感冒是导致高原肺水肿的重要诱因。

### 8.2.3 高原强紫外线对人的影响

唐古拉山空气清新，透明度高，长期积雪反射紫外线，紫外线容易被人体皮肤吸收，造成光照性皮炎，产生脱皮和水泡等，也可以使眼角上皮损伤而导致雪盲或者视力下降。

### 8.2.4 高原干燥对人体的影响

干燥导致人体水分排出增加，出现嘴唇干裂、鼻出血等。失水严重时，还可以使血液变稠，诱发血栓形成。

## 8.3 施工人员的高原医疗保健

首先是进入高原的人年龄宜 45 岁以下，身体健康，要学习高原卫生知识，了

解高原气候,高原反应、高原病的类型、症状以及预防措施,认真进行身体检查。

其次,在格尔木或者西宁等 2 000 多 m 的地区进行有效的习服 1 周,充分作好进入唐古拉山的心理和身体准备。

再次,进入唐古拉山地区的路途上,要备足水和氧气,注意着装,防止感冒,行进速度不宜太快、有严重高原反应者下送,轻度高原反应者可以吸氧或服药,不能硬撑。

最后,初进唐古拉山施工区时避免剧烈运动,防止感冒,注意营养和足够的休息,医务人员要加强巡诊。施工过程中,严格按照规章制度操作,防止加班,一般每天工作 6 h。注意穿衣、保暖、戴防护镜;注意饭菜的多样性,保证营养和热量;患病及时医治,不带病工作;不喝烈性白酒;作好夜间的查铺查哨,并作好登记。

另外,特别施工期间要作好肺水肿和脑水肿的防止,唐古拉山属于高原鼠疫区,严禁扑杀和食用野生动物,防止鼠疫。

## 9 效益分析

### 9.1 开挖方法效益分析

三种施工方法各有自身的适应范围,在施工速度、施工成本、施工优点和缺陷方面各有不同,如表 10 所示。

表 10 三种施工方法施工技术参数

| 施工法 | 平均施工速度/<br>(m/d) | 施工成本<br>(元 / m) | 施工优点                                     | 施工缺陷                        |
|-----|------------------|-----------------|------------------------------------------|-----------------------------|
| 旋挖钻 | 50~60            | 1 000~1 200     | 钻孔速度快,机械化程度高,劳动效率高,适合硬度小于 350 kPa 的岩性地质体 | 设备移动不方便,成本稍偏高               |
| 冲击钻 | 3~4              | 900             | 机械化程度较高,适合于硬质岩体或地下水丰富易塌孔的地层              | 速度较慢,使用的泥浆容易污染环境            |
| 人 工 | 2~3              | 550             | 适合于硬质岩体且地下水不丰富的岩体,成本低                    | 速度慢,不太安全,孔深度大于 17m,缺氧大,需要供氧 |

上述三种方法各有优缺点,在 19 标段的施工中,土质为多年冻土区,一般情况下,土体的强度小于 500 kPa,优先采用旋挖钻机进行施工;但是,对于强度大于 500 kPa 的岩体,旋挖钻机的进尺速度仅为 2~3 m/d,不宜采用旋挖

钻机进行施工。冲击钻适应于融区和地下水丰富的硬质岩体的施工。对于地下水不丰富的硬质岩体,我们可以采用人工挖孔加快速度。在 19 标段,83% 的桥梁桩基为土质多年冻土,适合用旋挖钻机进行施工,部分岩质多年冻土或融区可以采用人工挖孔或冲击钻进行施工。

从经济效应来说,三种方法结合使用产生一定的效应,盈利在 9% 左右。

## 9.2 质量、安全、职业健康、环保效益

从质量控制来说,桩位、清孔、垂直度均符合施工要求,经青藏铁路总指挥部委派的铁道部科学研究院(第三方)采用声波进行的无损检测,我部桩基的 I 类桩约有 96.5%,没有 III 类桩出现。6 座大桥被青藏铁路总指挥部评为优质样板工程,占桥梁总数的 17%。

从环境保护来看,没有发生环保事故,植被保护、动物保护、冻土保护等状况良好。

从职业健康与安全来看,没有发生安全事故,有 2 人得了肺水肿,但是得到了有效的救治,没有发生高原病亡人事故。

## 10 施工技术应用效果

青藏铁路穿越青藏高原,新建的格尔木至拉萨段全长 1 120 km,其中 546 km 穿越多年冻土区。青藏铁路多年冻土是一种特殊的地质体,其物理特征、化学特征和工程特征与一般地质体有本质的区别,特别是多年冻土是一个感温易变体,当温度发生变化时,其工程特征变化显著。同时,多年冻土是一种冰质胶结体,因此在施工过程中,施工技术有着特殊的要求。

由于多年冻土的存在,给施工带来一些困难,特别是多年冻土的开挖施工,必须在技术上和施工组织上进行必要的研究。在青藏高原多年冻土区内,为了确保多年稳定性,避免冻土暴露时间过长,减少施工对多年冻土的扰动,如何快速进行桩基的开挖,采用有效的开挖方式是必要的。

青藏铁路 19 标段有大小桥梁 35 座,桩基的开挖过程中,我们因地制宜、采用不同方法对多年冻土区的桥梁桩基进行了开挖,其中旋挖钻机成孔 586 个、冲击钻成孔 112、人工挖孔 40 个。

从施工开挖进度来看,正是由于三种方法的相互配合,优势互补,我部在有效的 6 个时间内(2003 年 7~9 月,2004 年 4~6 月)完成 738 根桥梁桩基的开挖,累计 15 365 m。提前合同工期 2 个月完成节点工期,创造了较好的经济效益与社会效益。

从质量安全管理来看,没有发生任何安全事故和质量事故。从环保角度看,没有发生环保事故,青藏铁路被评价为重大工程环保示范性工程。没有发生高原职业健康事故,桩基施工仅发生了两人次肺水肿,并得到了有效控制。可以说,桩基施工系列技术在青藏铁路施工过程中是比较成功的,对类似工程具有参考价值和借鉴意义。

## 11 结 论

(1) 青藏铁路二期工程 19 标段位于唐古拉山南路,是青藏高原多年冻土的最南端,“多年冻土、高寒缺氧、环境保护”为施工的三大难题。标段大小桥梁 35 座,桩基开挖为施工的重点和难点。

(2) 针对不同的地质条件,采取合理有效的施工手段是施工成败的关键之一。在施工过程中,按照“分类处理,逐步开挖,快速进行”的原则,对于强度小于 500 kPa 的多年冻土,且旋挖钻机有施工平台的地方,最好选用旋挖钻机进行开挖施工。对于岩石强度大于 500 kPa,或者旋挖钻机不容易有施工平台的地方,可以选用人工挖孔。对于易塌孔或其他情况,可以少量的采取冲击钻开挖成孔的方式进行开挖。冲击钻孔主要适用于碳酸盐岩石区的地下溶洞或小暗河等的开挖,采用片石或黏土回填再进行冲击钻孔。

(3) 旋挖钻机成孔的技术主要是:搭好钻机平台,根据地质情况选用不同的钻头和速度,每班要注意检查钻头直径,使钻头直径不小于设计孔径。做好护筒,保护好多年冻土,保证钻孔的垂直度,到底之后彻底清理虚渣。

(4) 冲击钻机主要做好环境保护,如遇地下暗河或者塌孔,可以多加黏土或者片石护壁。人工成孔的技术要点主要是做好护壁,注意施工爆破与出渣安全,携带供养设备,防止缺氧。

(5) 根据施工需要做好资源配置,是保证制度的基础。旋挖钻机、冲击钻和人工挖孔的资源配置有所不同,力争最优配置。

(6) 桩基混凝土灌注质量必须从混凝土配合比抓起,紧扣拌和楼建设,抓好施工过程技术措施的落实,做好低温温控防裂。

(7) 质量是工程的生命线,19 标段桩基质量以 ISO9 000 为基础,做到了:准备到位、工序到位、检测到位、资料到位,确保了桩基施工质量,没有发生缩桩或者断桩现象,全部桩基质量在Ⅱ类桩以上,96.5%为Ⅰ类桩。

(8) 安全和职业健康是 19 标段的难题,根据 19 标段的实际,在施工过程

中,重点抓好了高原病的防治,落实相关高原职业健康的制度和规定,落实高原施工安全注意事项,保证了 19 标段桥梁桩基施工的安全,没有发生职业健康与安全事故。

(9) 不同的桩基施工效益有不同的确定方法,三种开挖方法相互配合,为 19 标段创造了一定的经济效益和社会效益,桩基施工盈利在 9% 的,桥梁桩基施工队伍被青藏铁路总指挥部评为先进施工队。

(10) 由于采用有效的桩基施工技术,桩基施工提前 6 个月完成施工任务,确保了青藏铁路提前 1 年试运营,创造了施工史上的奇迹。

### 参考文献

- [1] 黄弟福. 青藏铁路建设和冻土技术问题[J]. 冰川冻土, 2005, 27(1): 41-45.
- [2] 李忠. 青藏高原清水河多年冻土区铁路路基沉降变形特征研究[J]. 铁道标准设计, 2005(10): 17-20.
- [3] 李祝龙. 冻土路基稳定性主要影响因素探讨[J]. 公路, 2000, (2): 17-20.
- [4] 窦明健. 青藏公路多年冻土段路基病害分布规律[J]. 冰川冻土, 2002, (6): 780-784.
- [5] 汪双杰. 青藏公路多年冻土路基病害[J]. 公路, 2004, (5): 22-26.
- [6] 张鲁新. 青藏铁路高原冻土区地温变化规律及其对路基稳定性影响[J]. 中国铁道科学, 2000, (1): 37-47.
- [7] 王绍令. 青藏高原冻土对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 1996, 18(增刊): 7-16.
- [8] 郭法生. 高原多年冻土地区铁路工程施工技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [9] 章金钊. 多年冻土地地区公路路基稳定性技术问题与对策[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008
- [10] 牛富俊. 青藏铁路管道通风试验路基地温变化及热状况分析[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 614-620.
- [11] 孙斌祥. 青藏铁路片石气冷路基工程试验研究[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 686-692.
- [12] Ellison, R.D. Load-deformation for bored piles[A]. J.S.M.F.D.ASCE[C], 1971, 1(97): 661-678.
- [13] Goodman R E, Taylor R.L., & Brekke T.L. A Model for the Mechanics of

- Jointed Rock[J]. J. of soil Mech. & Found. Div.ASCE, 1968, 94 (No.SM3): 3-44 .
- [14] 吴珍汉. 青藏铁路沿线活动断裂与地质灾害图集(精)[M]. 北京: 地震出版社, 2005.
- [15] 赵占利, 李永, 等. 青藏高原多年冻土地区路基及桥梁桩基施工技术[J]. 施工技术, 2008, (10): 73-75.

# 青藏铁路 19 标段涵洞工程施工技术

杨华斌 周志东

【摘要】 青藏铁路 19 标段的涵洞施工技术与其他省区有一定的区别, 19 标段涵洞有两种类型, 即矩形涵和盖板涵。矩形涵洞 22 座, 施工主要以快速施工技术为主要原则, 矩形涵洞的施工方法为集中预制, 快速拼装; 盖板涵 1 座, 采用现浇技术, 基础快速开挖, 快速处理。另外, 其沉降缝、防水层和台背回填技术在本文也做了介绍。

【关键词】 青藏铁路 19 标; 涵洞工程; 矩形涵; 盖板涵; 快速施工技术

## 1 工程概况

青藏铁路第 19 标段起点桩号为 DK1451+600, 终点桩号为 DK1477+400, 位于唐古拉山以南, 大部分位于多年冻土区, 共有涵洞 23 座, 总长 426.61 横延长米, 其中现浇盖板涵 1 座, 计 15.15 横延长米; 预制涵 22 座, 411.46 横延长米。涵节及涵身基础预制地点为我部设置安多县城的第五项目部, 涵节预制方量为 608.5 圬工方 ( $\text{m}^3$ ), 涵身基础预制方量为 1 653.5 圬工方 ( $\text{m}^3$ ), 预制施工于 2003 年 5 月开工, 2004 年 7 月完工。工地现场涵洞施工于 2004 年 5 月开工, 2004 年 8 月完工, 涵节间勾缝及现浇涵混凝土外观质量良好, 顺利通过了铁科院的质量检测。

## 2 施工技术原则

总体的施工原则是: 精心组织, 超前谋划, 集中力量, 快速施工, 施工质量安全、进度、多年冻土保护并举。

为了减少对多年冻土的扰动, 较好地保护多年冻土, 涵洞施工主要以快速施工技术为主要原则, 矩形涵洞的施工方法为集中预制, 预制完成后运送至工地, 快速拼装; 盖板涵采用现浇技术, 基础快速开挖, 快速处理。

## 3 矩形预制拼装涵施工技术

19 标段共有 22 座矩形箱涵, 计 411.46 横延米, 其桩号及跨径分别为: DK1452+027, 1~2.0 m; DK1452+262, 1~1.5 m; DK1452+370,

1~1.5 m; DK1453+107, 1~1.5; DK1459+000, 1~1.5 m; DK1460+924, 1~1.5 m; DK1461+813, 1~2.0 m; DK1462+962, 1~1.5 m; DK1463+345, 1~2.0 m; DK1463+553, 1~2.0 m; DK1463+632, 1~2.0 m; DK1463+978, 1~3.0 m; DK1464+292, 1~1.5 m; DK1464+496, 1~2.0 m; DK1466+308, 1~2.0 m; DK1467+120, 1~1.5 m; DK1467+844, 1~1.5 m; DK1471+245, 1~2.0 m; DK1471+709, 1~1.5 m; DK1471+850, 1~1.5 m; DK1473+843, 1~2.0 m; DK1475+966, 1~1.5 m。

主要施工工程量为:

C<sub>30</sub> 混凝土 (预制): 575.95 m<sup>3</sup>;

C<sub>20</sub> 混凝土 (现浇): 1 612.7 m<sup>3</sup>;

Ⅱ级钢筋 $\phi 10 \geq 10$ : 92 263 kg;

I级钢筋 $\phi 10 \geq 10$ : 3 891 kg;

沥青麻绳: 80.8 m<sup>3</sup>;

挖基 (冻) 土: 11 135.4 m<sup>3</sup>;

C<sub>20</sub> 混凝土 (预制): 3 062.2 m<sup>3</sup>;

M<sub>20</sub> 水泥砂浆: 1 024.4 m<sup>3</sup>;

I级钢筋 $\phi 10 < 10$ : 25 597 kg;

沥青油渣涂层: 2 790.8 m<sup>2</sup>;

沥青木板: 856.6 m<sup>2</sup>;

碎石垫层: 165.7 m<sup>3</sup>;

### 3.1 矩形涵洞施工整体方案

22座涵洞全部为拼装式的矩形涵,基础开挖工作量较大的涵洞施工尽可能安排在寒季爆破开挖,快速施工。涵洞基础可采用明挖基础,尽量缩短基坑开挖时间及暴露时间,减少对多年冻土的扰动和破坏。用人工配合机械挖基,加固工程及维持护坡,用人工砌筑,涵区填土用人工,夯实用打夯机。

### 3.2 施工准备

在施工开始前,组织测量放样,复测中线、高程,准确放出基础位置,根据设计图纸,结合各涵洞施工场地的实际地形、地质情况,对其位置、方向、长度、出入口高程进行复核。为保证施工的安全和质量,根据涵位冻土特性与施工环境温度状况,视需要在基坑开挖前搭设遮阳棚、防雨棚,并做好地表防排水工作。准备好施工所需的材料和机具,确保涵洞实现快速施工。

### 3.3 矩形涵施工工艺流程

施工工艺流程如图1所示。

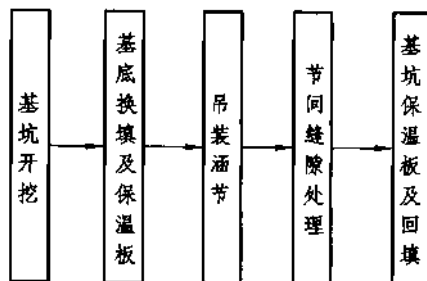


图1 预制钢筋混凝土矩形涵施工工艺流程

### 3.4 基础开挖施工

采用人工配合挖掘机械开挖的方法，基础以下 30 cm 用人工清底，根据土质、基础埋深、地下水位及岩石类别决定开挖放坡坡度，以防坍塌。开挖时，基坑基底尺寸比设计宽出 50 cm 以利施工。基坑开挖至设计高程后，及时对基底平面位置、尺寸高程以及承载力等进行检验签证。基坑开挖前在基坑四周设置必要的汇水沟、集水井等，严禁地表水流入基坑；基坑内若有冻土融化水则用抽水机及时排出。排水不能污染环境或扰动冻土热平衡。若多年冻土基底发生融化，白天必须做好遮挡防护，利用夜间的冷空气回冻基底，只有基底完全回冻后方可进行基础施工。和下面的一段很相似，有必要吗

(1) 基坑开挖前应备齐施工所需的各种材料及工地防洪和周围临时排水措施。

(2) 基坑开挖时，弃土堆离基坑边缘至少 1 m 以上，以防止压垮坑壁或侵占场地，堵塞进出道路，干扰施工。

(3) 施工期间，应采取有效措施，避免基坑内积水。

(4) 基坑开挖后，如果发现基础全部或部分设在高含冰量冻土或含土冰层上，应立即报请变更设计，使涵洞基础放在允许的持力层中。

(5) 多年冻土地区按保持冻结原则设计的基坑不得在高温季节施工，厚层地下冰、地表沼泽化、径流大的地段应在寒季施工；其他地段可在暖、寒季交替期施工。必要时加设遮阳防雨棚，采用爆破配合机械快速开挖方式，爆破作业采用松动爆破或预裂爆破，药量应按冻土爆破设计原则控制。开挖边坡可采用 1:0.1~1:0.2 的坡度，预留 0.3 m 的工作面，并及时砌筑基础。

### 3.5 基底处理

基坑开挖成型后，根据设计核对多年冻土地质资料，如与设计资料不符时，及时通知监理、设计单位进行设计变更。如设计与现场地质资料相符，则按设计要求进行基底处理。基底处理完成后及时进行基底检验，拼装前核对基底的平面位置和标高，检查基底的处理情况，检验合格后立即进行基础拼装。

(1) 按保持冻结原则设计的高温冻土地基基础，基底下应按设计要求加设隔热保温层，防止引起基底冻土融化。

(2) 按允许融化原则设计的基础和设计要求进行基底换填的按设计进行，设计未要求时，宜铺设小于 30 cm 的碎石垫层。

(3) 基础施工前必须先对地基土进行检查验收。当地基承载力符合密实度要求时,方可进行基础施工。

(4) 粗砂砾石垫层施工前必须清除基底腐殖土,垫层材料应有一定级配,并夯捣密实,密实度应满足设计要求。

(5) 基础圬工施工应在坑底无水情况下进行。

(6) 基础圬工完成后,应先处理基础部分的沉降缝,然后对基础两侧进行对称分层填土夯实。在沉降缝处各宽 30 cm,襟边以下 20 cm 范围内暂不填土,等待做完接头防水后处理。

(7) 及时恢复基础周围的地貌,做好排水。严禁在基坑周围取土。

### 3.6 矩形涵安装及回填

所有矩形涵均在安多县城设立预制点,集中预制。预制场设龙门吊,采用低温耐久性混凝土,组合模板 10 套,锅炉蒸汽养护,特别注意蒸汽管的保温。预制好后,汽车运输,用吊车吊装。拼装混凝土块及其所用材料在基坑开挖前准备完成,安装前在混凝土块上标注中心线,基础拼装在基坑底无水情况下进行,拼装过程中随时注意控制拼装构建的平面位置及标高。预制构件(基础、涵节)安装时必须对位准确,安放平稳。若位置不准确,应吊起重放,不得用撬棍拨移。吊装就位应及时用设计要求的填料回填封闭基坑,如不能及时回填,应对基坑进行覆盖,防止热量侵入,并做好基坑的防、排水工作,防止地表水流入基坑。

构件达到设计强度并经检查质量和尺寸大小符合要求才能搬运,运输过程中应注意运输安全。

安装之前应再检查构件尺寸、涵台尺寸和涵台间距离,并核对其高程,调整构件大小位置使其与沉降缝重合;砌块安装时应对准位置,安装平稳,若位置不准确,应吊起重放,不得用撬棍拨移。

(1) 当涵洞主体圬工强度达到设计强度 70% 以上,涵身沉降缝防水层施工完成后,经检查合格方可回填相邻的路基缺口土方。

(2) 回填路基缺口时,为使填料能与已成路堤良好结合,可先将已成路堤挖成 0.5 m 高 1 m 宽的平台。

(3) 回填土方时,应从涵身两侧宽度不少于孔径二倍的范围内同时分层填筑夯实,严禁单侧回填并达到设计要求。不得使用大型机械压实,以防损及新修涵身。

### 3.7. 防水层

(1) 沉降缝与防水层所用的麻布、麻丝和石棉粉等原料均应符合《铁路桥涵施工规范》(TBJ203—1996)中的有关要求,沥青采用具有防冻性能的。

(2) 沉降缝施工时,沿涵身方向均分节施工,清除沉降缝内杂物。节与节之间的沉降缝应贯通涵身边墙及基础。

① 各种涂料和玻璃丝布不得露天存放。各种涂料在储存和施工过程中取用后,应将桶盖拧紧,以防溶剂蒸发。如在冬季,水乳型涂料应防止受冻。

② 各种涂料在涂刷前应充分搅拌均匀。水乳型涂料再生橡胶乳液和皂液乳化沥青混合时,搅拌时间不宜小于 10 min,并应随配随用,当天用完。

③ 在涂层未干燥前,不得脚踏、擦碰,并防止雨淋。

④ 涂层如有皱折,应将皱折部分用刀划开,用涂料搭接贴牢。脱空气泡处,应割开放气,再用涂料和玻璃丝布贴牢。

⑤ 在降雨或刮五级以上大风时,不得施工。施工时,对昼夜最低气温不得低于对  $-15^{\circ}\text{C}$ 。

⑥ 禁止在刮风和下雨天气进行防水层作业,也尽量避免在寒冷季节施工。必须进行时应增加特殊烘烤设备。

⑦ 沉降缝、防水层施工完毕后,应由主管技术人员填写检查证,按《铁路桥涵施工规范》(TBJ203-1996)中的有关要求办理。在进行自检后,通知驻段监理工程师检查签证,不得回填土方。

### 3.8 翼板浆砌片石施工

采用机拌砂浆挤浆法施工,在洞身成型后即开始施工,施工时进行弹线挂线、吊锤球法控制等技术标准,水平砌筑,对光面片石进行粗加工,增加涵洞的美观。

### 3.9 路涵过渡段施工工艺流程

路涵过渡段施工前,根据工点实际情况,对涵洞两侧采取防排水措施。涵洞过渡段填土和相连的路堤按一体同时施工。填筑长度自上而下按设计坡率逐步过渡,填筑高度按设计断面进行,并与两侧边坡土和路堤同步施工,填料选择优质渗水土,两侧填土分层对称填筑,采用冲击夯实,分层厚度和压实遍数通过试验满足要求,其工艺流程如图 2 所示。

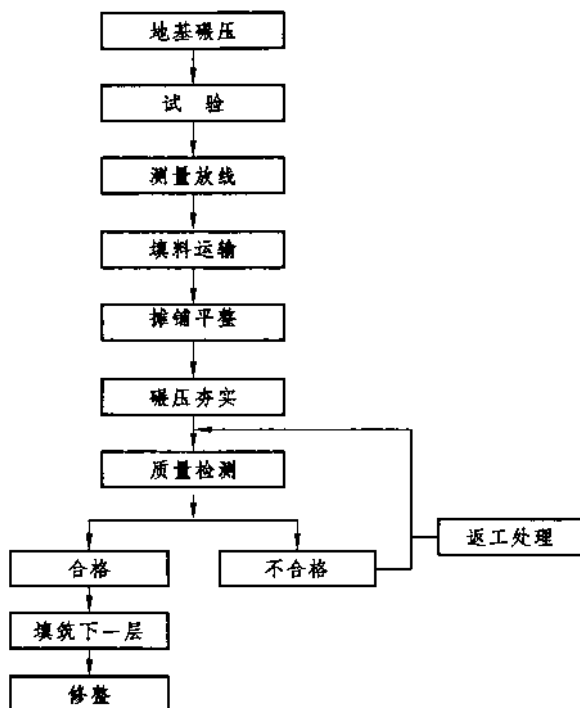


图 2 路涵过渡段施工工艺流程

#### 4 现浇盖板涵施工技术

本标段共有 1 座现浇盖板涵，其桩号为：DK1468+426。该涵长度 15.15 横延米，本涵为排地表水兼大临立交而设。

主要工程量为：

C<sub>20</sub> 混凝土：1 435.1 m<sup>3</sup>；

I 级钢筋： $\phi < 10$ ：1 061 kg、 $\phi \geq 10$ ：4 561 kg；

II 级钢筋： $\phi < 10$ ：14 243 kg，

M<sub>20</sub> 水泥砂浆：3.0 m<sup>3</sup>、M<sub>10</sub> 浆砌片石：4.6 m<sup>3</sup>；

碎石垫层：14.8 m<sup>3</sup>。

##### 4.1 施工准备

在施工开始前，组织测量放样，复测中线、高程，准确放出基础位置，根据设计图纸，结合盖板涵施工场地的实际地形、地质情况，对其位置、方向、长度、出入口高程进行复核。为保证施工的安全和质量，根据涵位多年冻土特

性与施工环境温度状况，在基坑开挖前搭设遮阳棚、防雨棚，并做好地表防排水工作，主要是截水沟和排水沟、集水井的布设。准备好施工所需的混凝土材料、各类钢材、防水、保温等材料，准备好开挖、焊接、混凝土施工等所需的机具，确保涵洞基础实现快速施工。

## 4.2 基坑开挖施工

基坑开挖采用爆破法施工，基坑开挖后必须尽快施工，防止雨水浸泡及阳光照射，必要时设防水防晒措施。开挖时基坑基底尺寸比设计宽出 50 cm 以利施工。基坑开挖至设计高程后，及时对基底平面位置、尺寸高程以及承载力等进行检验签证。基坑开挖前在基坑四周设置必要的汇水沟、集水井等，严禁地表水流入基坑；基坑内若有冻土融化水则用抽水机及时排出。排水不能污染环境或扰动冻土热平衡。

(1) 基坑开挖前应备齐施工所需的各种材料及工地防洪和周围临时排水措施。

(2) 基坑开挖时，弃土堆离基坑边缘至少 1 m 以上，以防止压垮坑壁或侵占场地，堵塞进出道路，干扰施工。

(3) 施工期间，应采取有效措施，避免基坑内积水。

(4) 基坑开挖后，如果发现基础全部或部分设在高含冰量冻土或含土冰层上，应立即报请变更设计，使涵洞基础放在允许的持力层中。

(5) 多年冻土地区按保持冻结原则设计的基坑不得在高温季节施工，厚层地下冰、地表沼泽化、径流大的地段应在寒季施工；其他地段可在暖、寒季交替期施工；必要时加设遮阳防雨棚，采用爆破配合机械快速开挖方式，爆破作业采用松动爆破或预裂爆破，药量应按冻土爆破设计原则控制。开挖边坡可采用 1:0.1~1:0.2 的坡度，预留 0.3 m 的工作面，并及时砌筑基础。

(6) 有局部超挖时，不能用原土填补，应用粗砾砂石夯填找平。

## 4.3 基底处理

基坑开挖成形后，设计与现场地质资料基本相符，按设计要求进行基底处理。基底处理完成后及时进行基底检验，拼装前核对基底的平面位置和标高，检查基底的处理情况，检验合格后立即进行基础拼装。

(1) 按保持冻结原则设计的高温冻土地基基础，基底下应按设计要求加设隔热保温层，防止引起基底冻土融化。

(2) 基础施工前必须先对地基土进行检查验收。当地基承载力符合密实度要求时，方可进行基础施工。

(3) 粗砂砾石垫层施工前必须清除基底腐殖土, 垫层材料应有一定级配, 并夯捣密实, 密实度应满足设计要求。

(4) 基础圬工施工应在坑底无水情况下进行。

(5) 基础圬工完成后, 应先处理基础部分的沉降缝, 然后对基础两侧进行对称分层填土夯实。在沉降缝处各宽 30 cm, 襟边以下 20 cm 范围内暂不填土, 等待做完接头防水后处理。

(6) 及时恢复基础周围的地貌, 做好排水。严禁在基坑周围取土。

#### 4.4 混凝土浇筑

本工点现浇混凝土采用低温、早强、耐久混凝土添加剂“WQDZ”; 由于地下水对圬工具有硫酸盐弱侵蚀, 圬工应采用防腐混凝土添加剂。模板采用竹胶板, 支架采用脚手架。混凝土集中拌和, 混凝土运输罐车运输, 吊车吊料斗入模。混凝土的搅拌、运输、入模温度控制、养生、拆模参照耐久混凝土执行。

#### 4.5 沉降缝与防水层处理技术

(1) 沉降缝与防水层所用的麻布、麻丝和石棉粉等原料均应符合《铁路桥涵施工规范》(TBJ203—1996) 中的有关要求, 沥青采用具有防冻性能的。

(2) 沉降缝施工沉降缝施工作业: 沿涵身方向均分节施工, 清除沉降缝内杂物。节与节之间的沉降缝应贯通涵身边墙及基础。

① 各种涂料和玻璃丝布不得露天存放。各种涂料在储存和施工过程中取用后, 应将桶盖拧紧, 以防溶剂蒸发。在冬季, 水乳型涂料应防止受冻。

② 各种涂料在涂刷前应充分搅拌均匀。水乳型涂料再生橡胶乳液和皂液乳化沥青混合时, 搅拌时间不宜小于 10 min, 并应随配随用, 当天用完。

③ 在涂层未干燥前, 不得脚踏、擦碰、并防止雨淋。

④ 涂层如有皱折, 应将皱折部分用刀划开, 用涂料搭接贴牢。脱空气泡处, 应割开放气, 再用涂料和玻璃丝布贴牢。

⑤ 在降雨或刮五级以上大风时, 不得施工。施工时, 昼夜溶剂型再生橡胶沥青防水涂料最低气温不得低于  $-15^{\circ}\text{C}$ 。

⑥ 禁止在刮风和下雨天气进行防水层作业, 也尽量避免在寒冷季节施工。必须进行时应增加特殊烘烤设备。

⑦ 沉降缝、防水层施工完毕后, 应由主管技术人员填写检查证, 按《铁路桥涵施工规范》中的有关要求办理, 在进行自检后, 通知驻段监理工程师检查签证, 不得回填土方。

## 4.6 涵洞缺口填土

(1) 当涵洞主体圬工强度达到设计强度 70% 以上, 涵身沉降缝防水层施工完成后, 经检查合格方可回填相邻的路基缺口土方。

(2) 回填路基缺口时, 为使填料能与已成路堤良好结合, 可先将已成路堤挖成 1 m 宽 0.5 m 高的平台。

(3) 回填土方时, 应从涵身两侧宽度不少于孔径二倍的范围内同时分层填筑夯实, 严禁单侧回填并达到设计要求。不得使用大型机械压实, 以防损及新修涵身。

## 4.7 路涵过渡段施工工艺流程

路涵过渡段施工前, 根据工点实际情况, 对涵洞两侧采取防排水措施。涵洞过渡段填土和相连的路堤按一体同时施工。填筑长度自上而下按设计坡率逐步过渡, 填筑高度按设计断面进行, 并与两侧边坡土和路堤同步施工, 填料选择优质渗水土, 两侧填土分层对称填筑, 采用冲击夯实, 分层厚度和压实遍数通过试验满足要求, 其工艺流程与矩形涵洞施工技术基本相同。

总之, 在青藏铁路多年冻土区进行涵洞施工, 一定要注意快速施工, 减少扰动, 采用集中预制, 快速拼装, 注重细节, 确保质量和环保。

## 参考文献

- [1] 陈祖鹤. 青藏高原多年冻土[J]. 西藏科技, 1998, 82: 10-14.
- [2] 侯惠茹. 铁路工程施工组织设计[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [3] 赵君鑫. 铁路工程施工组织设计[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2004.
- [4] 赵占利, 李永, 等. 青藏高原多年冻土地区路基及桥梁桩基施工技术[J]. 施工技术, 2008, (10): 73-75.
- [5] 曲祥民, 张滨. 季节冻土区水工建筑物抗冻技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

# 青藏铁路 19 标段快速施工技术

廖万雍 周志东 龚富斌

【摘 要】 青藏铁路 19 标段位于唐古拉山南段的越岭地带,工程区属于多年冻土区。为了保护多年冻土,减少对多年冻土的热扰动,必须坚持“快速施工”的原则,本文就快速施工的相关技术进行研究与探讨。

【关键词】 多年冻土;天然上限;热扰动;快速施工

## 1 19 标段工程简介

新建青藏铁路格拉段第二期土建工程第 19 标段,位于青藏铁路翻越唐古拉山口后的唐古拉山南坡。标段起点位于山前倾斜平原,然后进入扎加藏布宽阔阶地,经过扎加藏布峡谷后进入较平缓的山间谷地。地表植被不发育,植被覆盖率 5%~30%。沿线共有特大桥 1 座、大桥 13 座、中桥 16 座、小桥 3 座、涵洞 26 座。线路先后三次跨越扎加藏布曲,线内有一会让站——扎加藏布站,全长 25.8 km。线路海拔高度在 4 890~4 843 m,由北向南逐渐降低。

## 2 桥梁桩基快速施工技术

在桥梁桩基施工中,施工方法很多,常用的有:冲击钻钻孔灌注桩法、人工开挖灌注桩法、旋挖钻灌注桩法等。施工特点不同,施工速度也不一样,对于多年冻土区,在青藏铁路 19 标段施工准备过程中,我们进行三种方法的实验,具体施工参数如表 1 所示。

表 1 三种施工方法施工技术参数

| 施工法 | 平均施工速度/(m/d) | 施工成本/(元/m)  | 施工优点                                      | 施工缺陷                         |
|-----|--------------|-------------|-------------------------------------------|------------------------------|
| 旋挖钻 | 50~60        | 1 000~1 200 | 钻孔速度快,机械化程度高,劳动效率高,适合于硬度小于 350 kPa 的岩性地质体 | 设备移动不方便,成本稍偏高                |
| 冲击钻 | 3~4          | 900         | 机械化程度较高,适合于硬质岩体或地下水丰富易塌孔的地层               | 速度较慢,使用的泥浆容易污染环境             |
| 人 工 | 2~3          | 550         | 适合于硬质岩体且地下水不丰富的岩体,成本低                     | 速度慢,不太安全,孔深度大于 17 m 缺氧大,需要供氧 |

上述三种方法各有优缺点,在 19 标段的施工中,土质为多年冻土区,一般情况下,土体的强度小于 500 kPa,优先采用旋挖钻机进行施工;但是,对于硬度大于 500 kPa 的岩体,旋挖钻机的进尺速度仅为 2~3 m/d,不宜采用旋挖钻机进行施工。冲击钻适应于融区和地下水丰富的硬质岩体的施工。对于地下水不丰富的硬质岩体,我们可以采用人工挖孔加快速度。在 19 标段,83% 的桥梁桩基为土质多年冻土,适合用旋挖钻机进行施工,部分岩质多年冻土或融区可以采用人工挖孔或冲击钻进行施工。

钻孔完成后,快速进行混凝土灌注,减少多年冻土的暴露时间。我们采取汽车吊吊装钢筋笼——混凝土集中拌和——混凝土罐车运送——混凝土导管灌注的施工方法,整个工序需 6~8 h (20 m 长的桩)

## 2 路堑快速施工技术

19 标段路堑施工共有 4 处,其中两处为石质路堑,两处为土质路堑,对于土质路堑,必须采用快速施工技术。由于路堑位于多年冻土区,为减少对多年冻土的热扰动,主要采用了以下施工技术:

裂土器配合反铲开挖,浅孔爆破、反铲配合施工,冲击锤配合反铲施工等。在施工准备期间,我们就上述三种方法进行了实验,在不同的开挖断面适合不同的施工方法。一般情况下表皮土层平均深度 80~100 cm,由于冻结程度低,采用裂土器配合反铲开挖,自卸车配合运料,施工速度较快;平均深度 100 cm——天然上限的冻土层,由于冻土位于天然上限范围内,冻结程度较高,采用冲击锤冲击破碎、反铲配合,自卸车运料,施工速度较快;位于天然上限以下的冻土,由于冻结程度高,浅孔爆破、冲击锤冲击破碎、反铲配合施工速度比较理想,为减少对多年冻土的热扰动,通过在 19 标段施工实验,我们采取了流水性作业,即对浅层表土、天然上限以上的冻土、天然上限以下的深层冻土采用三种施工方法流水作业。开挖形成后及时进行下道工序,通过这些措施极大地减少了对多年冻土的热扰动,保证了工程质量。

## 3 冻结层上水路基的换填处理

冻结层上水丰富的地段,有的采用换填技术,在换填的过程中要求快速开挖及时回填,减少热振动,并且开挖安排在寒季进行。在施工过程中,我们采用了裂土器配合反铲开挖表层,对较为坚硬的岩石或季节性冻土,我们采用浅孔爆破,冲击锤配合反铲开挖的施工方法。开挖一般采用分层开挖、边开挖边防护的施工措施,开挖之后,立即进行防护,如采用白色材料或反光材料喷涂或涂抹边

坡、基底的上表面,防止热量大量进入多年冻土等。总之,开挖快速,防护迅速,保证了多年冻土的稳定性,快速施工是一种保护多年冻土的有力措施之一。

#### 4 涵洞基础快速施工技术

本标段有涵洞工程 26 座,位于多年冻土层之上。涵洞身及翼墙基础均采用钢筋砼预制构件拼装,其施工工艺流程如图 1 所示。

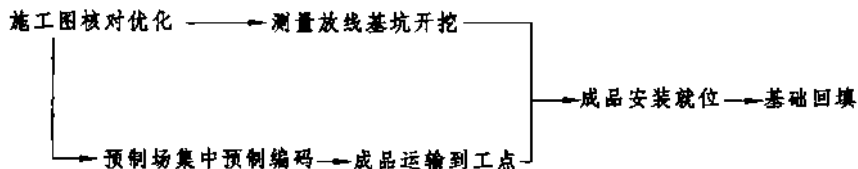


图 1 涵洞施工工艺流程图

在整个工艺过程中,施工图核对优化完成后,预制场按施工图结合《青藏铁路高原多年冻土区桥涵施工技术规则》、《青藏铁路高原多年冻土区桥涵工程质量检验评定及验收标准》分块预制,提前完成预制构件成品的预制工作,达到养护龄期。在整个工艺过程中,涵洞基坑开挖及预制构件成品安装是关键。

基坑开挖:采用反铲开挖为主,爆破法和冲击锤配合的施工方法。爆破作业采用松动爆破或预装爆破,药量按冻土爆破设计原则控制,开挖边坡采用 1:0.1—1:0.2 的坡度并预留 30 cm 的工作面,基坑开挖完成后及时组织对地基土进行检查验收,地基承载力和密实度符合设计要求时,即可立即吊装预制块基础,完成基础施工工作。这种方法较为快速,相对唐古拉山北段的现浇涵施工实践来看,冻土暴露的时间减少 3/4,减少了太阳等热量的进入时段。

#### 5 结束语

本文对 19 标段的主要快速施工方法进行了初步的介绍。快速施工是保护多年冻土的有效措施之一,特别是在桥涵基础、路堑等开挖作业过程中,可有效减少冻土的暴露时间,从而有效控制热量进入多年冻土,确保了多年冻土的稳定。

#### 参考文献

- [1] 葛建军编著. 青藏铁路设计与施工[R], 2003.
- [2] 王珊主编. 地基处理新技术及其工程实例[M]. 黑龙江: 黑龙江人民出版社, 2002.

# 浅谈含气量对青藏铁路耐久性混凝土的影响

杨钦鸿 张国庆

【摘要】混凝土掺入引气剂后，大大改善了其抗冻、抗渗性能，同时，也对混凝土的其他性能存在不同程度的改善作用，本文就此进行了研究。

【关键词】青藏铁路；含气量；耐久性；抗冻融；抗渗

## 1 前言

近年来，建筑物对混凝土的耐久性，尤其是抗冻性能和抗渗性能要求越来越高。青藏铁路混凝土抗冻要求就达到 D300，抗渗达到 S12，普通混凝土若仅靠降低水灰比是很难达到这么高要求的，而且也很不经济，高水泥用量引起的水化温升更令人难以接受。引气剂的应用是混凝土工程性能发问和保证混凝土耐久性的最有效手段。混凝土掺入引气剂后，大大改善了其抗冻、抗渗性能，同时，也对混凝土的其他性能产生不同影响。

## 2 环境气候

青藏铁路二期土建工程第 19 标段，距安多县城约 70 km。该地区属于亚干旱气候区，区内高寒缺氧，气候多变，四季不明，年冻结期长达 9 个月（每年 9 月至次年 5 月）。冻土区多年平均气温为  $-2^{\circ}\text{C} \sim 6.9^{\circ}\text{C}$ ，极端日较差  $35^{\circ}\text{C}$ 。以西风—西北风为主，风力达 8~9 级，11 月到次年 4 月风沙大，自然条件非常恶劣，因此对混凝土耐久性提出了很高的要求。

## 3 含气量对混凝土耐久性的影响机理

### 3.1 含气量对混凝土抗冻融性能的影响机理

当混凝土表面处于冰点以下时，靠近表面的孔隙中的非结晶水和渗进的自由水会冻结，产生一定的体积膨胀，造成膨胀压。此压力对混凝土薄弱环节造成微小裂缝；产生的膨胀压又使没有冻结的自由水不得不迁移，当迁移受约束时就形成静水压，此压力也对混凝土薄弱环节造成影响。青藏铁路环境恶劣，温差大，如此反复循环，裂缝发展的最后结果就是造成破坏。当引入大量微细

气泡，这些气泡均匀分布在混凝土体内，当冻结的水体积膨胀，这些气泡可以压缩留出一定的体积减缓膨胀压，并且可以容纳自由水的迁移，大大缓和了静水压力，可显著提高混凝土的抗冻融能力。

### 3.2 含气量对混凝土抗渗性能的影响机理

混凝土集中有许多孔隙及毛细孔，若这些孔隙和毛细管连成通道，环境水就可由这些微小通道中通过，导致混凝土渗透。加入引气剂引入大量微小气泡，均匀分布在混凝土内部，使混凝土中毛细孔减少，这样混凝土中水分迁移的主要通道减少，即混凝土中最薄弱和易受破坏的部分减少，同时引入的大量气泡占据了混凝土中的自由空间，破坏了毛细孔的连续性，有效阻止了混凝土体内连通通道的形成几率，这就使混凝土抗渗性得到改善。

### 3.3 含气量对混凝土和易性的影响机理

由于混凝土引入了大量微小且独立的气泡，这些球状气泡的滚动作用和浮托作用使混凝土和易性与稳定性得到大大的改善和提高。

## 4 影响含气量的因素

### 4.1 引气剂的种类与掺量

不同种类的引气剂对混凝土引气量的影响不一样，但都在一定范围内随着掺量的增加而增大，图1表示了不同水灰比情况下，引气量与引气剂掺量的关系。

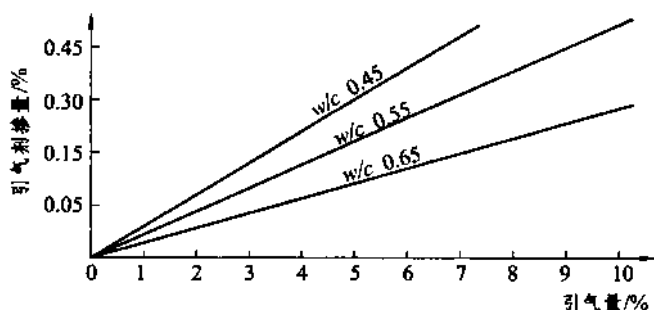


图1 引气量与掺量的关系

### 4.2 混凝土的组成材料

(1) 水泥细度大，含气量减少。换句话说，要达到一定的含气量，需增加引气剂剂量。

## (2) 骨料种类

卵石混凝土的含气量一般大于碎石混凝土的含气量，采用人工砂要达到所需含气量比天然砂需多一倍的引气剂。

## (3) 骨料最大粒径

粗骨料最大粒径越大在相同掺量下含气量越小（如图 2 所示），因此随着粗骨料最大粒径的变化要选择相适宜的引气量。

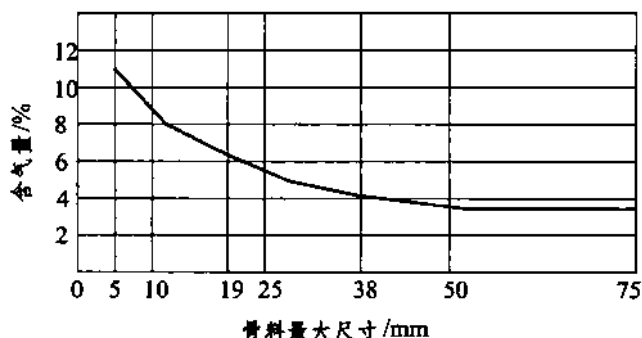


图 2 粗集料最大粒径与含气量关系

## (4) 拌和水

在同等引气剂掺量下，混凝土拌和水量增大含气量增加。

## (5) 砂率

同条件下，砂率减小则含气量也越小。

## (6) 坍落度

图 3 表示不同坍落度下，引气剂掺量与含气量关系。由此可以看出，为了引入所需的含气量，坍落度越大，则引气剂掺量越小。

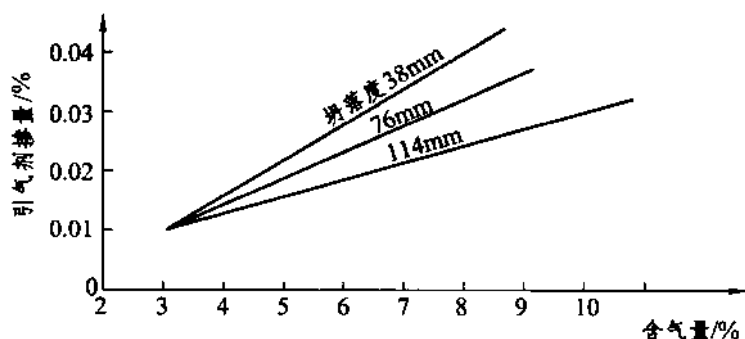


图 3 引气量与掺量的关系

### 4.3 拌和条件

#### (1) 拌和时间

超过一定拌和时间,拌和时间越长,含气量越小。如表 1 所示,含气量在 12min 时最大,延长后含气量减小。

表 1 拌和时间与含气量的变化关系

| 拌和时间/min | 6  | 12  | 30 | 90 |
|----------|----|-----|----|----|
| 含气量变化率/% | 94 | 100 | 86 | 58 |

注:数据青藏铁路 19 标段工地试验室测试。

#### (2) 拌和温度

一般情况下,拌和温度越高则含气量越小。

### 4.4 运输条件

在青藏铁路 19 标段施工过程中,我们测得经 2 km 运距含气量下降 1% 左右。

### 4.5 气压海拔

同等条件下,海拔越高,含气量越小。

## 5 含气量的控制

混凝土的含气量受诸多因素的影响,主要如下:

(1) 制备混凝土材料的性质,配合比及拌和、运输、浇注等各方面都要尽可能保持稳定,使含气量波动尽量小;

(2) 施工中需要有规律地间隔时间进行现场测定,控制含气量,并且以浇筑时检测的结果为准,这样避免了运输、装卸等过程中含气量损失产生的测量误差;

(3) 施工中应保持不同部位振捣时间均匀,且要求试验室与现场实测含气量的振捣方法和时间一致。

适当增加混凝土含气量会提高混凝土抗冻性、抗渗性能,但一味追求混凝土高含气量使其超出规定范围却会降低混凝土强度。因此我们要严格将含气量控制在规定范围内。

综上所述,施工过程中要注重对混凝土含气量的控制和对混凝土含气量的研究,更好地控制耐久混凝土质量,为青藏铁路施工把好质量关。

### 参考文献

- [1] 青藏铁路中心试验室编. 青藏铁路低温耐久混凝土检验标准[R], 2002.
- [2] 中华人民共和国铁道部编. 桥涵施工规范[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.

# 低温耐久混凝土研究

廖万雍 周志东

**【摘要】** 本文结合青藏铁路多年冻土地区低温耐久混凝土的施工实践,从施工理念与8项控制指标,原材料、外加剂的筛选和控制,以及施工技术的研究,对照部分指标的结果进行分析、评定,为低温耐久混凝土的施工技术在其他高寒地区混凝土工程施工提供参考和施工经验。

**【关键词】** 青藏铁路;多年冻土;低温耐久;混凝土

## 1 绪论

### 1.1 耐久混凝土的发展

纵观国际和国内土木建筑工程中,用来作为承重的主体结构——混凝土的用量越来越大。20世纪90年代以来,我国每年用量约10亿 $\text{m}^3$ ,全世界每年混凝土的消费量已近40亿 $\text{m}^3$ 。然而,随着量的增大,其结构的安全性、经济性,以及建筑业的可持续发展对混凝土耐久性问题提出越来越严格的要求。

在20世纪30年代,当混凝土施工蓬勃兴起之时,人们普遍认为,专门设计40~50年的混凝土建筑物,其实际使用寿命几乎没有采取什么维护保养措施情况下也会更长。70年代以前,混凝土早期锐变(即钢筋的腐蚀、霜冻作用,碱骨料反应以及硫酸盐侵蚀等原因造成的损坏)均被当作例外情况处理,但在1987年美国“全国材料咨询委员会”发表了一份年度报告,称大约有253000座混凝土桥面板都发生了不同程度的锐变,其中一些桥梁还不足20年,这一数据每年净增35000。最近根据“全美合作公路研究项目”的调查结果,有100000多座混凝土桥面在龄期不足一个月时,每隔1~3m就发生了全深度横向裂纹。而我国在严寒地区有不少建筑物不到10年就需要大修。如黑龙江境内的一条高等级公路在经历一个冬天后就因冻融作用而大面积发生破坏,还有青藏公路格尔木至拉萨段几乎每隔一段时间就要大修,甚至重建。

因此,世界各地对混凝土的耐久性问题已引起高度重视。首先,主要由于经济方面的因素,混凝土耐久性问题现在比任何以往时候都受到更大程度的重视。据统计,对现有混凝土基础设施的维护和修复工程费用要达到几十、上百亿美元之巨。其次,从节约资源、能源和保护生态环境,维持可持续发展的角

度考虑,研究、推广使用耐久混凝土也是大势所趋。混凝土生产需原料水泥、粗细骨料等资源,以及煤炭和电力等能源,据计算,每生产 1 t 水泥熟料从原料中将放出 0.55 t  $\text{CO}_2$ ,燃料燃烧约放出 0.4 t  $\text{CO}_2$ ,二者共约计 0.95 t  $\text{CO}_2$ 。同时,随着工业的发展,环境污染、气候的恶化、“酸雨”的形成、气温升高等都对混凝土的耐久性要求提出了严峻的挑战。

我国自实施西部大开发以来,西部大力发展交通、能源等重大项目建设,如青藏铁路、西部大型水利水电工程,这些工程对混凝土的耐久性要求又更深了一步,在高寒、气候恶劣的低温条件下如何保证混凝土结构物的安全性、功能性、耐久性又是一个新的课题研究。

所以本文拟在青藏铁路所处的高寒、多年冻土地段——唐古拉山地区对低温耐久混凝土的施工技术进行回顾、分析、研究。

## 1.2 课题来源

青藏铁路建设是国家实施西部大开发的重点项目之一。青藏铁路是世界上海拔最高、线路最长的高原铁路,青藏铁路格拉段全长 1 142 km,其中通过多年冻土地带的路段约 550 km,穿越海拔 4 000 m 以上地段 960 多 km,最高点为海拔 5 072 m 的唐古拉山口。

青藏高原自然环境恶劣,沿线平均气温为  $-2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温为  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,一年内冻结期长达 8 个月,此外,沿线气候干燥,干湿交替频繁,年日正负温之数高达 180 天左右,沿线河流中不同程度存在  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$  等有害离子的侵蚀。因此,在青藏铁路面临“多年冻土、高寒缺氧、生态脆弱”三大世界性难题下,为确保混凝土能在严酷自然环境条件下保持优良的使用状态,由铁道部组织了低温耐久混凝土的应用试验研究,而作为施工的具体组织、实施者,对其施工技术的研究总结也是本课题研究的出发点之一。

武警水电部队于 2002 年中标青藏铁路二期土建工程第 19 标段,该标段位于青藏铁路翻越唐古拉山口后的唐古拉山南坡的安多县境内。起点桩号为:DK1 451+600,终点桩号为:DK1 477+400,全长 25.8 km。起点路基为唐古拉山山前倾斜平原,然后进入扎加藏布宽阔阶地,三跨扎加藏布河,经过扎加藏布河谷段后,止于比较开阔的安多山间谷地,全线海拔为 4 890.88 ~ 4 843.03 m。施工区为藏北无人区,属于世界屋脊的屋脊。本标段有五座大桥,共计 884.2 延桥米;一座中桥,61.95 延桥米;十六座小桥,共计 421.34 延桥米,矩形涵 29 座累计 935 m。

施工区内属于青藏铁路多年冻土区的最南端,区内高寒缺氧,气候多变,

四季不明,年冻结期长达9个月(每年9月至次年5月)。风向以西北风、西风为主,风沙大,大风(8级)多集中于10月至次年4月间。蒸发量远大于降水量,冻土区多年平均气温为 $-2^{\circ}\text{C}\sim-6.9^{\circ}\text{C}$ ,七月气温最高,平均 $6.5\sim8.1^{\circ}\text{C}$ ,1月气温最低(有时是12月份),平均为 $-14.5\sim-17.4^{\circ}\text{C}$ ,年平均气温差 $15\sim26^{\circ}\text{C}$ ,极端温差不超过 $50^{\circ}\text{C}$ ,年内平均较差 $10\sim19^{\circ}\text{C}$ ,极端日较差 $35^{\circ}\text{C}$ 。沿线大气透明良好,云量少,太阳辐射强,总辐射量大,日照时间较长,一般为 $2\,600\sim3\,100$ 小时/年。

本段工程地层岩性质及主要地层从老到新有:侏罗系石灰岩、页岩、砂岩,第三系泥岩、砂岩、砾岩,表层第四系全新统冲积、冰水沉积的粉质黏土、砂土、角砾土、圆砾土、碎石土、卵石土等。

本段主要河流为扎加藏布,其支流有休冬曲及香杂尔曲。扎加藏布在土门公路至日阿拉藏布河漳蜿蜒前行,下切及侧蚀河岸严重,水流急,水深 $1\sim3$ 米,河面宽度 $50\sim100\text{m}$ 。地表水主要为扎加藏布及其支流的河水。河内长年有水,冬季结冰。地下水主要为孔隙潜水。河水及地下水水质良好,通过有关指标检测,可做施工和生活有水等。冻土区地表水主要为冻土区湿地坑洼处的积水、冲沟中的季节性流水;地下水主要为冻土层上水,冻土取水量较小,水质较差,且随季节变化较大,寒季为冻冰。但个别河流河水腐蚀性强,恶劣的环境要求混凝土的结构和性能不同于普通混凝土。

面对如此恶劣的环境,根据青藏公路的施工和运营经验,其他省区使用寿命为 $30\sim50$ 年的普通混凝土,在青藏高原使用寿命只有10年左右甚至不到10年;而其他省区使用寿命100年的耐久混凝土,在青藏高原使用寿命也只能达到50年。根据设计要求,青藏铁路的混凝土主体结构物使用年限为50年,因此,主体结构物等必须使用低温耐久混凝土,这对我们的施工提出了更高的要求。

低温耐久混凝土施工是我们面临的施工难题之一,其施工研究是我们必须进行的一项全新的课题,特别是在混凝土的结构与性能上,必须满足环境和使用年限的要求,因此,低温耐久混凝土在施工原材料的选择、施工工艺的选择等方面都需有特殊的技术措施。选择低温耐久混凝土施工技术这一课题进行研究,对于高原施工有着重要的意义。

### 1.3 研究技术路线

在遵循“研究服务施工”原则指导下,我们的研究技术路线主要是“围绕施工搞研究,搞好研究保施工”,确立施工与研究的辩证关系。研究的技术路线如下:

首先,从研究混凝土的机理入手,研究混凝土的性能、结构与环境的关系。特别是在外界环境作用下,混凝土的破坏机理研究。

其次,在施工过程中对原材料进行研究,找出符合低温耐久混凝土技术要求的原材料,特别注意水泥的含碱性、水化热等指标,骨料的碱活性、含泥量、压碎值、针片状等。另外,选择好外加剂,然后反复试验,优化配合比。

再次,对混凝土的施工过程进行研究,注重研究混凝土的拌和时间、拌和速度、运输过程中混凝土的相关变化、浇筑过程的施工工艺、养生工艺等。

最后,对混凝土的外观质量等进行观察,对内在质量进行评价,以便进一步改进工作,做到持续改进的目的。

具体的研究技术路线见图 1。

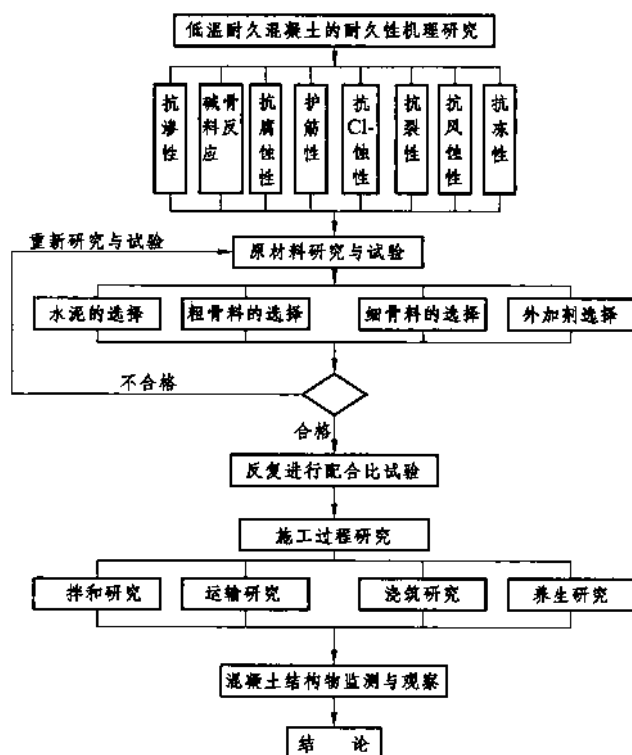


图 1 高喷灌浆施工工艺流程

## 1.4 本文的主要结论

本文结合青藏铁路第 19 标段桥涵混凝土结构中的低温耐久混凝土的施工实践,在本次施工混凝土的研究过程中,得出如下结论:

(1) 混凝土的结构和性质决定其功能, 功能适应环境, 结构和性质、功能、环境是一个相互联系的三角关系。

(2) 19 标段中混凝土拌和站的建设与其他省区是有区别的, 注意保温和运距是必须考虑的重要因素, 一般不易运距不宜超过 6 km。原材料的预处理也是有特殊要求的, 特别是在温度较低的情况下, 骨料及拌和用水必须经过加热处理。

(3) 低温耐久混凝土的耐久性主要取决于: 原材料和配合比是基础、施工措施是关键、养生是保证。

(5) 在混凝土的施工过程中, 注重了对含气量的研究, 拌和时间以 2.5 min 为宜, 运输距离不宜超过 6 km, 拌和温度控制在 20 °C 以下为佳。入仓温度最佳控制在 0~5 °C, 根据实际情况不宜超过 10 °C。

(5) 低温耐久混凝土是一种新型材料, 本次研究取得了一定的施工技术资料与经验的积累。从目前来看, 质量控制成效明显, 但是, 混凝土的耐久性仍需要时间来进一步检验。高原混凝土的耐久性研究是一门博大精深的学问, 值得我们进一步研究和探索。

## 2 低温耐久混凝土的施工理念与控制指标

### 2.1 施工理念

混凝土施工过程是一个较为系统的过程, 在西藏主要注意青藏高原(特别是多年冻土区)特殊的施工环境与混凝土之间存在的关系, 梳理出与其他省区不一样的施工理念。

结构性质、功能和环境是一个相互作用的系统, 结构决定功能, 功能适应环境, 环境改变结构, 功能反作用结构, 总之, 三者构成了一个相互联系的三角关系, 见图 2。在青藏铁路 19 标段这样的多年冻土区, 为了使混凝土适应环境和延长使用年限, 要求混凝土有特殊的结构和功能。

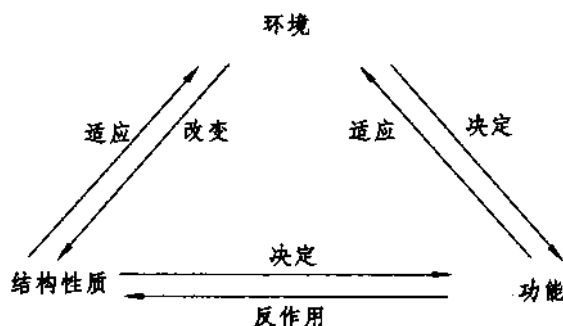


图 2 环境、结构、功能三者关系图

低温耐久混凝土主要是改变普通混凝土的结构、性质,增强普通混凝土的功能,以适应环境的需要。结构主要是细颗粒(水泥)与骨料的结合关系,孔隙、通道的状况等。混凝土的性质主要是指混凝土的成分,它决定了护筋、强度、耐腐蚀、抗碱骨料反应、抗氯离子、抗硫酸根离子腐蚀、抗裂等性能。

针对青藏铁路 19 标段的实际施工环境,混凝土材料除了应具有良好的低温、负温早强性能外,还必须具有优越的抗冻融破坏、抗碱-骨料反应破坏、耐硫酸盐和镁盐腐蚀破坏、抗氯离子侵蚀以及抗风蚀破坏能力。

所以,在混凝土的施工过程中,树立正确的施工理念,就是要协调混凝土结构物与高原特殊环境的适应性,树立混凝土功能满足环境和使用年限的理念。

## 2.2 施工控制的耐久性指标

本次低温耐久性混凝土的控制指标一共是 8 个,即抗冻融循环性能、抗渗性能、耐腐蚀性能、抗  $\text{Cl}^-$  渗透性能、抗碱骨料反应性能、抗风蚀性能、护筋性能、抗裂性能等。

### 2.2.1 混凝土的抗冻融性能

混凝土在大气中遭受冻融破坏的机理一般认为主要是因为是在某一冻结温度下存在结冰的水和过冷的水,结冰的水产生体积膨胀(水变成冰产生 9%~11% 的体积膨胀)及过冷的水发生迁移,引起各种压力的结果(主要是冻胀力)。或者说混凝土孔隙水在结冰过程中会产生内部应力,当环境温度升高冰融化成水时应力得到缓解,如此反复作用,最终使得混凝土发生疲劳损伤,导致剥蚀等破坏。本标段提出混凝土的抗冻融循环次数(快冻)应达 300 次以上的依据为:普通铁路桥涵、轨枕混凝土的抗冻融循环次数要求达到 200 次,俄罗斯要求多年冻土地区混凝土的抗冻融循环次数为 300~500 次。青藏铁路 19 标段沿线多年冻土地区环境条件比普通线路恶劣得多,在沿线特殊的环境条件下,要想混凝土结构的使用寿命达到普通地区混凝土的水平,混凝土的抗冻融循环次数至少应达到 300 次以上。因此,19 标段沿线主体结构物不同混凝土的抗冻融循环次数须达到 300 次及以上。

### 2.2.2 混凝土的抗渗性

混凝土的抗渗性是指混凝土材料抵抗压力水渗透作用的能力。青藏铁路 19 标段扎加藏布河中有一定数量的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$  等的侵蚀,根据《铁路混凝土与砌体工程施工规范》(TB10210—2001),混凝土必须具备较强的抗渗能力。选择的混凝土的抗渗等级应不小于 S12。

### 2.2.3 混凝土的耐腐蚀性

固态化学物质基本上不侵蚀混凝土，而一些化学溶液在浓度高于一定值时对混凝土的性能有显著的不良影响。常见的侵蚀性介质有硫酸盐、海水和酸。青藏铁路 19 标段的部分地段的地表水（如香尔河水就存在硫酸根离子腐蚀性）或岩土中不同程度地存在有害离子侵蚀，为防止侵蚀性离子对混凝土等结构物与构筑物的破坏，混凝土受有害离子侵蚀的浓度允许值应符合表 1 的规定。

表 1 不同使用环境中混凝土受有害离子侵蚀的浓度允许值

| 侵蚀类型                        | 使用环境中有害离子浓度/<br>(mg/L) | 侵蚀程度 | 浓度允许值/(mg/L) |
|-----------------------------|------------------------|------|--------------|
| 硫酸盐侵蚀<br>$\text{SO}_4^{2-}$ | 1 000 ~ 2 000          | 弱侵蚀  | 2 000        |
|                             | 2 001 ~ 4 000          | 中侵蚀  | 4 000        |
|                             | >4 000                 | 强侵蚀  | 10 000       |
| 镁盐侵蚀<br>$\text{Mg}^{2+}$    | 1 000 ~ 3 000          | 弱侵蚀  | 3 000        |
|                             | 3 001 ~ 7 500          | 中侵蚀  | 7 500        |
|                             | >7 500                 | 强侵蚀  | 15 000       |

### 2.2.4 混凝土的抗 $\text{Cl}^-$ 渗透性能

由于扎加藏布河等河流中不同程度地存在  $\text{Cl}^-$  的侵蚀。根据 ASTM C1202—94 对混凝土抗氯离子渗透能力的等级划分（见表 2），当混凝土的氯离子渗透值小于 1 000C 时，其抗氯离子的渗透性能较好。为了保证铁路混凝土中钢筋不至锈蚀，混凝土的氯离子的渗透值应达到比较低的水平。因此，19 标段沿线用混凝土的氯离子渗透值不得大于 1 000C。

表 2 混凝土抗氯离子渗透能力的等级划分

| 通过电量 $Q/C$    | 氯离子渗透的能力 |
|---------------|----------|
| >4000         | 渗透能力强    |
| 2 000 ~ 4 000 | 渗透能力中等   |
| 1 000 ~ 2 000 | 渗透能力低    |
| 100 ~ 1 000   | 渗透能力很低   |
| <100          | 不渗透      |

### 2.2.5 混凝土的碱-骨料反应性能

碱-骨料反应是指水泥或混凝土中其他成分中的碱与某些活性骨料发生化学反应,引起混凝土膨胀开裂,甚至破坏。青藏铁路 19 标段沿线河流中的砂石具有较强的碱活性,为了保证混凝土不至发生碱-骨料反应膨胀破坏,应对骨料的砂浆棒膨胀率提出最大值要求。根据国内外多年科研成果和工程实践经验,19 标段混凝土工程骨料的砂浆棒膨胀率(按 TB/T2 922.5—2002 检验)不得大于 0.20%。

### 2.2.6 混凝土的抗风蚀性能

混凝土的抗风蚀性能归属于混凝土的耐磨性能。这种耐磨性能是指混凝土的表面抵抗磨损的能力,该项指标是受含沙水流冲刷的水工结构和受气蚀作用的构筑物结构寿命的重要因素。一般来说,混凝土的表面属于其相对薄弱的环节,青藏高原地区的最大风速为 30 m/s,19 标段一般下午都有大的风沙,大风引起的风沙将对混凝土表面造成严重磨蚀,为了保证混凝土表面的完整性及其美观,应对暴露于大气中的混凝土的表面耐风蚀性能予以加强。参照道路水泥耐磨性的平均要求,青藏铁路 19 标段沿线用混凝土砂浆的磨耗率不得大于  $0.5 \text{ kg/m}^2$ 。

### 2.2.7 混凝土的护筋性能

电化学腐蚀是混凝土中钢筋腐蚀的根本原因。混凝土中的钢筋腐蚀是一电化学过程,由于钢筋局部组成或结构的不均匀性,在水和氧存在时,钢筋个别部位发生氧化反应生成铁的氧化物或氢氧化物,同时有的部位发生还原反应产生  $\text{OH}^-$  离子,这样便在钢筋中建立起一些微电池,如此电极反应持续进行,钢筋将逐渐被腐蚀掉,生成的铁的化合物由于体积增大而使混凝土产生沿钢筋的开裂。

混凝土的护筋性能指标控制就是要保证混凝土砂浆中的钢筋不得锈蚀,保持钢筋的完好性能,提高钢筋混凝土的结构稳定性。

### 2.2.8 混凝土的抗裂性能

目前混凝土建筑中裂缝已成了流行病。受环境的影响,混凝土出现裂纹,使用过程中随着渗透的出现,混凝土难免要经历初步或更严重的质变。总体而言,0.1~1 mm 的裂缝主要起因于包括霜冻作用、湿度梯度在内的温度梯度、结构超荷载,以及一些化学因素。早期裂缝一般是由于冷却或干燥引发的缩变造成的,大多数裂缝是热收缩和干燥收缩共同作用形成的。

由于唐古拉山南麓干湿交替快,温差大,混凝土表面容易产生裂纹,混凝土的表面非受力裂缝平均宽度不得大于 0.20 mm。

### 2.2.9 混凝土的外观质量

混凝土应振捣密实，表面光滑平整，不得有蜂窝、麻面和露筋，保护层符合要求。混凝土表面不得受冻，边角不得脱落，施工缝不得有夹渣缝和受冻痕迹。

## 3 原材料施工技术研究

原材料的质量是混凝土质量的基础，原材料关是施工的首要关口。作为施工单位，主要的研究任务是，对原材料进行实验，通过比较选用符合低温耐久混凝土要求的原材料组合。

### 3.1 细骨料研究

细骨料选用要求含泥量小、质地坚硬、级配良好、非碱活性的河沙。

在试验过程中，我们进行了多方面的调查研究，主要调查了安多河沙、休冬曲河沙和扎加藏布河沙。其中安多河沙与休冬曲河沙符合配料要求，而扎加藏布河沙的碱活性指标超出了施工规范的3倍以上，因此，虽然扎加藏布河沙在施工区内，运距短，也只有弃用。

所以，根据试验结果（见表3），我们选取的是安多河沙与休冬曲河沙作为混凝土细骨料。

表3 细骨料试验报告(西藏安多河砂)

| 试验项目                                 | 标准规定值      |            |            | 试验结果   | 试验项目                                   | 标准规定值      |            |            | 试验结果 |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|--------|----------------------------------------|------------|------------|------------|------|
|                                      | <C30       | C30        | C50        |        |                                        | <C30       | C30        | C50        |      |
| 表观密度 $\rho / (\text{kg}/\text{m}^3)$ | >2 500     | >2 500     | >2 500     | —      | 堆积密度 $\rho_1 / (\text{kg}/\text{m}^3)$ | >1 400     | >1 400     | >1 400     | —    |
| 含泥量 $\omega_c / \%$                  | $\leq 3.0$ | $\leq 3.0$ | $\leq 2.0$ | 2.51.6 | 紧密密度 $\rho_0 / (\text{kg}/\text{m}^3)$ | >1 400     | >1 400     | >1 400     | —    |
| 含泥块量 $\omega_{c1} / \%$              | <1.0       | <1.0       | <0.5       | 0.60.2 | 氯化物含量 $\omega_{cl} / \%$               | <0.06      | <0.06      | <0.02      | —    |
| 云母含量 $\omega_m / \%$                 | $\leq 1.0$ | $\leq 1.0$ | $\leq 1.0$ | —      | 有机物含量                                  | 合格         | 合格         | 合格         | 合格   |
| 坚固性 $\delta_j / \%$                  | <8         | <8         | <5         | —      | 硫化物含量 $\omega$                         | <1.0       | <1.0       | <0.5       | —    |
| 空隙率 $v / \%$                         | <45        | <45        | <45        | —      | 轻物质含量 $\omega / \%$                    | $\leq 1.0$ | $\leq 1.0$ | $\leq 1.0$ | —    |
| 含水率 $\omega_{wc} / \%$               | —          | —          | —          | —      | 碱活性 $/ \%$                             | $\leq 0.1$ | $\leq 0.1$ | $\leq 0.1$ | —    |
| 吸水率 $\omega / \%$                    | —          | —          | —          | —      | 压碎指标 $/ \%$                            | —          | —          | —          | —    |

续表 3

| 颗粒分析       |        |        |        |          |      |                 |      |                  |
|------------|--------|--------|--------|----------|------|-----------------|------|------------------|
| 项目         | 标准规定值  |        |        | 试验结果     |      |                 |      |                  |
| 筛孔尺寸/mm    | I 区    | II 区   | III 区  | 累计筛余 / % | 级配区属 | 细度模数 $u_f$      | 粗细程度 | 10.0 mm 颗粒含量 / % |
| 5.00 (圆孔)  | 10~0   | 10~0   | 10~0   | 6        | II   | 2.6, 3.0<br>3.0 | 中    | 0                |
| 2.5 (圆孔)   | 35~5   | 25~0   | 15~0   | 25       |      |                 |      |                  |
| 1.25 (方孔)  | 65~35  | 50~10  | 25~0   | 38       |      |                 |      |                  |
| 0.63 (方孔)  | 85~71  | 70~41  | 40~16  | 46       |      |                 |      |                  |
| 0.315 (方孔) | 95~80  | 92~72  | 85~55  | 70       |      |                 |      |                  |
| 0.160 (方孔) | 100~90 | 100~90 | 100~90 | 92       |      |                 |      |                  |

### 3.2 粗骨料研究

粗骨料选用要求含泥量小, 针片状颗粒含量少, 压碎指标值小, 坚固性优良, 非碱活性, 连续级配, 坚硬耐久的碎石、卵石或两者的混合物, 其中不得含有冰、雪等冻结物及易冻裂的矿物质。

粗骨料主要研究碎石、卵石, 碎石为中铁十八局五处开山生产的唐古拉山碎石 (主要为新鲜的花岗岩碎石)、安多河卵石或休冬曲卵石。

在原材料试验阶段, 在其他指标满足施工要求的情况下, 设计指定的安多河卵石针片状颗粒含量超过标准值, 标准值应小于 10%, 而实际测定的含量为 13.2%、13.2%、13.8%。针对此情况, 我们采用卵石加碎石的方法解决这一问题, 经过试验和优化配合, 采用了卵石: 碎石为 3: 7 的方案。

试验结果如表 4, 符合施工要求。

表 4 粗骨料试验结果

| 试验项目                                   | 标准规定值      |            |         | 试验结果 |
|----------------------------------------|------------|------------|---------|------|
|                                        | $\geq C50$ | $\geq C30$ | $< C30$ |      |
| 堆积密度 $\rho_1 / (\text{kg}/\text{m}^3)$ | —          | —          | —       | —    |
| 紧密密度 $\rho_0 / (\text{kg}/\text{m}^3)$ | —          | —          | —       | —    |
| 表观密度 $\rho / (\text{kg}/\text{m}^3)$   | —          | —          | —       | —    |
| 空隙率 $v / \%$                           | —          | —          | —       | —    |

续表 4

| 试验项目                   | 标准规定值       |             |             | 试验结果               |      |         |      |       |      |       |        |     |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|------|---------|------|-------|------|-------|--------|-----|
|                        | $\geq C50$  | $\geq C30$  | $< C30$     |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 含泥量 $\omega_c/\%$      | $\leq 0.5$  | $\leq 1.0$  | $\leq 1.0$  | 没有大于 1.0 者, 平均 0.4 |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 含泥块量 $\omega_{c1}/\%$  | $\leq 0.1$  | $\leq 0.25$ | $\leq 0.25$ | 最大 0.21, 平均 0.11   |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 针、片状颗粒含量/ $\%$         | $\leq 8$    | $\leq 10$   | $\leq 10$   | 6.9 7.8 8.3        |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 坚固性 $\delta_j/\%$      | $\leq 5$    | $\leq 8$    | $\leq 8$    |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 含水率 $\omega_{wc}/\%$   |             |             |             |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 吸水率 $\omega/\%$        |             |             |             |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 三氧化硫含量 $\omega_{SO_3}$ | $\leq 1.0$  | $\leq 1.0$  | $\leq 1.0$  | —                  |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 有机物含量/ $\%$            | 合格          | 合格          | 合格          | 合格                 |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 岩石强度 $f/(\text{MPa})$  | $\geq 60$   | $\geq 60$   | $\geq 60$   |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 压碎指标 $\delta_s/\%$     | $\leq 12$   | $\leq 12$   | $\leq 16$   | 合格, 平均 7.8         |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 碱活性/ $\%$              | $\leq 0.1$  | $\leq 0.1$  | $\leq 0.1$  |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 氯化物含量 $\omega_{cl}/\%$ | $\leq 0.03$ | $\leq 0.03$ | $\leq 0.03$ |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 颗粒级配                   |             |             |             |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |
| 筛孔尺寸/mm                | 100         | 80.0        | 63.0        | 50.0               | 40.0 | 31.5    | 25.0 | 20.0  | 16.0 | 10.00 | 5.0    | 2.5 |
| 标准规定累计筛余/ $\%$         |             |             |             | 0                  | 0~5  |         |      | 30~60 |      | 75~90 | 95~100 |     |
| 实际累计筛余/ $\%$           |             |             |             | 0                  | 4    | 20      | 41   | 59    | 73   | 90    | 99     | 100 |
| 检验结果                   | 连续粒级 5~40   |             |             |                    |      | 最大粒径/mm |      |       | 40   |       |        |     |
| 备注:                    |             |             |             |                    |      |         |      |       |      |       |        |     |

### 3.3 水泥的选择

(1) 水泥应选用普通硅酸盐系列产品, 其性能应符合 GB175—1999 的规定。必要时, 水泥也可采用快硬硅酸盐系列产品, 但不宜选用复合硅酸盐系列产品。由于青藏铁路沿线砂石料场绝大多数骨料碱活性较强, 因此我标段采用普通硅酸盐低碱水泥。

(2) 水泥的强度等级根据所配制混凝土的强度等级选定。对于 C50 以下的混凝土, 宜选用 32.5 级的水泥; 对于 C50 及以上的混凝土, 应选用 42.5 级及以上的水泥。

(3) 运抵工地或预制厂的水泥,按批(每 200 t 为一批)对同厂家、同批号、同品种、同强度等级、同出厂日期的水泥进行强度、细度、安定性和凝结时间试验,试验结果合格的水泥才能使用。出厂日期超过 3 个月(快硬硅酸盐水泥逾 1 个月)或对水泥质量有怀疑时,按上述规定进行复检。储存期间因受潮结块的水泥不得使用。

在考虑上述情况后,在试验的基础上,综合考虑砂石骨料的情况,选择了祁连山牌低碱水泥和大通河牌低碱水泥。低碱水泥不但自身含碱量低,同时,对于单位体积的混凝土总体含碱量起到良好的控制作用,有利于控制混凝土的膨胀破坏。

### 3.4 外加剂的选择

根据低温、早强、耐久、防腐、高性能混凝土的特点,外加剂选用具有早强、碱水、防冻、引气,能细化孔结构的复合型产品。

不同种类的引气剂对混凝土引气量影响不一样,但都在一定范围内,随着掺量的增加而增大。图 3 表示了不同水灰比情况下,引气量与引气剂掺量的关系。

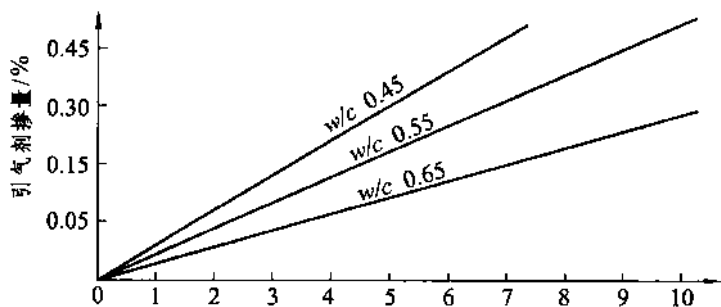


图 3 引气量与掺量的关系

结合青藏铁路 19 标段实际情况,根据试验,我们选择了铁道部科学研究所专门为青藏线设计并生产的 DZ 系列复合外加剂。DZ-0、DZ-1、DZ-2 均能满足低温早强耐久防腐高性能技术指标的要求。考虑施工环境温度的变化,DZ-0 用于气温  $0^{\circ}\text{C}$  以上的环境,DZ-1 用于气温  $0\sim-5^{\circ}\text{C}$  时的环境,DZ-2 用于气温  $-5^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$  时的环境。

### 3.5 配合比的优化

(1) 根据不同冻土地段、不同环境条件、不同温度范围以及不同地质条件

的具体要求进行混凝土配合比设计，并经过试验验证。

(2) 在按设计强度和耐久性要求计算出不同条件下混凝土的理论配合比后，不同混凝土的施工配合比还应满足规定。

(3) 正常施工期间，每班搅拌混凝土之前，应根据当班测定的骨料含水率随时调整混凝土的施工配合比。骨料含水率测定频率可视天气情况酌情增减。

(4) 当混凝土骨料具有碱活性时，混凝土的最大碱含量应符合表 5 的规定。

表 5 混凝土最大碱含量

| 骨料类型   |      | 骨料具有碱-硅酸反应活性 |     |     | 骨料具有碱-碳酸反应活性 |    |    |
|--------|------|--------------|-----|-----|--------------|----|----|
| 工程结构类型 |      | 一般           | 重要  | 特殊  | 一般           | 重要 | 特殊 |
| 环境条件   | 干燥环境 | 不限制          | 3.5 | 3.0 | 不限制          | *  | *  |
|        | 潮湿环境 | 3.5          | 3.0 | 2.1 | *            | *  | *  |
|        | 含碱环境 | 3.0          | *   | *   | *            | *  | *  |

注：①带\*号项的混凝土必须用非碱活性骨料。②处于含碱环境中的一般工程结构，在限制混凝土碱含量的同时，应对混凝土表面作防水、防碱涂层处理。否则应换用非碱活性骨料。③混凝土的总碱含量包括水泥、外加剂、骨料、水及掺合料的碱含量之和。④一般工程是指普通的混凝土结构；重要工程是指大中型混凝土结构及其重要预制构件，如桥梁、隧道、涵洞、轨枕、电杆等；特殊工程是指不允许发生开裂破坏的混凝土结构。⑤干燥环境是指不直接接触水、空气相对湿度长期小于 80% 的环境；潮湿环境是指直接接触水的环境、干湿交替变化的环境、水下或与潮湿土壤接触的环境；青藏铁路干湿交替较快，空气湿度变化大，对施工影响很大。含碱环境是指直接与碱性岩土、水、盐等接触的环境；干燥环境或潮湿环境与含碱环境交替变化时，均按含碱环境对待，青藏铁路 19 标段情况就是这样。

表 6 为不同混凝土的最大水胶比与最小胶凝材料用量限值。

表 6 不同混凝土的最大水胶比与最小胶凝材料用量限值

| 工程结构部位                          |         | 水泥品种            | 最大水胶比 | 最小胶凝材料用量 / (kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|---------|-----------------|-------|---------------------------------|
| (1) 水位变动区                       | 矿化水冻融区段 | 32.5 级、42.5 级普硅 | 0.35  | 450                             |
| (2) 受冰凌撞击或受水流冲刷                 | 淡水冻融区段  | 32.5 级普硅        | 0.38  | 420                             |
| (3) 离开水位变动区，但经常为水湿润部分           | 矿化水冻融区段 | 32.5 级、42.5 级普硅 | 0.40  | 420                             |
|                                 | 淡水冻融区段  | 32.5 级普硅        | 0.40  | 360                             |
| (4) 不属于 (1)(2)(3)，暴露于大气中的桥涵基础部分 |         | 32.5 级普硅        | 0.40  | 330                             |

续表 6

| 工程结构部位                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 水泥品种     | 最大水胶比 | 最小胶凝材料用量 / kg/m <sup>3</sup> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------|------------------------------|
| (5) 不属于(1)(2)(3)三种情况, 长期埋于冻土内部                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |       | 360                          |
| (6) 钢筋混凝土结构                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 42.5 级普硅 | 0.40  | 420                          |
| (7) 预应力混凝土结构                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |          | 0.35  | 450                          |
| (8) 填充混凝土部分                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 32.5 级普硅 | 0.40  | 330                          |
| 说明:<br>① 水位变动区系指枯水位变动区的冬季结冰面上下各 1.0 m 的范围。<br>② 矿化水是指可溶性矿物质总含量为 1 000 mg/L 及以上的水质, 淡水是指可溶性矿物质总含量低于 1 000 mg/L 的水质。<br>③ 位于矿化水冻融区段的工程结构部位, 水泥亦可采用 42.5 级及以上等级的硅酸盐水泥。<br>④ (1)(2)(3) 类工程结构受冻融频繁交替作用的部位, 应采用引气混凝土。引气混凝土的含气量宜控制在 3%~5%。<br>⑤ (4)(5) 类工程结构经常受冻融频繁交替作用的部位, 建议采用引气混凝土, 引气混凝土的含气量宜控制在 3%~4%。<br>⑥ (6)(7) 类工程结构, 若采用蒸汽养护, 建议采用具有多功能复合型混凝土外加剂并控制混凝土的含气量在 3% 以内。<br>⑦ 当环境水中含有 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Cl <sup>-</sup> 等腐蚀性介质时, 混凝土的设计强度等级不得小于 C35, 水胶比不宜大于 0.4, 水泥用量不得小于 360 kg/m <sup>3</sup> 。<br>⑧ 强度等级为 C50 及以下的混凝土, 混凝土的最大胶凝材料用量不宜超过 500 kg/m <sup>3</sup> 。 |          |       |                              |

根据实验和一段时间的试用, 最终优化后的配合比基本满足了施工技术要求, 达到了较为经济的目的, 如表 7 所示。

表 7 过渡配合比与优化后配合比

| 混凝土类别    | 材料名称 | 产地、规格、型号            | 用量/(kg/m <sup>3</sup> ) |      |
|----------|------|---------------------|-------------------------|------|
|          |      |                     | 过渡配比                    | 优化配比 |
| 灌注桩耐久混凝土 | 水泥   | 大通河(祁连山), P.O 32.5R | 420                     | 414  |
|          | 外加剂  | 铁科院, DZ-1           | 46.6                    | 46   |
|          | 细骨料  | 安多金, 中砂             | 703                     | 766  |
|          | 粗骨料  | 安多河卵石(5~40 mm, 70%) | 768                     | 738  |

续表 7

| 混凝土类别       | 材料名称 | 产地、规格、型号               | 用量 / (km/m <sup>3</sup> ) |      |
|-------------|------|------------------------|---------------------------|------|
|             |      |                        | 过渡配比                      | 优化配比 |
| 灌注桩耐久混凝土    | 粗骨料  | 十八局五处碎石 (5~40 mm, 30%) | 330                       | 317  |
|             | 拌和用水 | 饮用水                    | 177                       | 175  |
| 承台、墩身耐久混凝土  | 水泥   | 大通河 (祁连山), P.O 32.5R   | 390                       | 378  |
|             | 外加剂  | 铁科院, DZ-1              | 43.3                      | 42   |
|             | 细骨料  | 安多盒, 中砂                | 704                       | 693  |
|             | 粗骨料  | 安多河卵石 (5~40 mm, 70%)   | 803                       | 832  |
|             |      | 十八局五处碎石 (5~40 mm, 30%) | 345                       | 356  |
|             | 拌和用水 | 饮用水                    | 165                       | 151  |
| 预制矩形涵洞耐久混凝土 | 水泥   | 大通河, P.O 32.5R         | 355                       | 355  |
|             | 外加剂  | 铁科院, DZ-1              | 39.4                      | 39.4 |
|             | 细骨料  | 安多盒, 中砂                | 690                       | 690  |
|             | 粗骨料  | 安多河卵石 (5~40 mm, 70%)   | 858                       | 858  |
|             |      | 十八局五处碎石 (5~40 mm, 30%) | 368                       | 368  |
|             | 拌和用水 | 饮用水                    | 136                       | 136  |

## 4 低温耐久混凝土施工技术

### 4.1 拌和站的建设

#### 4.1.1 拌和站的结构

在青藏铁路 19 标段, 由于海拔高、温度低、寒冷, 拌和站的建设与其他省区是有区别的, 主要是要加强保温措施, 保证有一个相对封闭的环境, 防止混凝土热量的散失快而造成温度下降过快, 满足不了混凝土入仓的要求。

拌和站采用保温篷的形式进行建设, 采用大型的专制篷布进行外围包裹, 内部采用煤炉进行加热和蓄热。棚内要有一定的空间, 能容下拌和机, 拌和机

一侧能存放一定水量的水泥和外加剂，一侧能摆放加热水箱。

#### 4.1.2 温度损失对拌和站地址选定的影响

根据温度损失测试结果（见表 8），冬季温度损失最大，平均达  $2.6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

表 8 温度损失测试表

| 月份   | 出口口温度 | 目的地温度 | 水平运距 | 单位损失/ $(^{\circ}\text{C}/\text{km})$ |
|------|-------|-------|------|--------------------------------------|
| 5 月  | 12.5  | 5.3   | 5    | 1.44                                 |
| 7 月  | 13.3  | 8.4   | 6    | 0.81                                 |
| 10 月 | 12.2  | 5.5   | 3.2  | 2.13                                 |

根据表 8 所提供的实验数据，冬季的混凝土运输热量散失快，温度下降快，为了满足入仓温度的要求，必须控制运距，运距不宜超过 6 km，再根据桥梁分布以及含气量的损失情况，25.8 km 的战线上修建三个拌和站即可以满足施工要求。

## 4.2 设备选购

青藏铁路 19 标段的交通运输极为不便，路况也极差。考虑设备的运输、使用中零配件的购置、工程的规模、工程量、混凝土运输和入仓设备的容量、混凝土浇筑强度、混凝土的配合比等因素，选购了结构和布置较简单的搅拌设备。

### 4.2.1 选购设备时应注意几点

（1）控制系统尽可能采用单片机结构微机来控制。因为单片机系统可全自动控制，局部出现故障时，也可用手动操作控制。而且较之使用 PC 机及相应的软件控制有易掌握操作技术和系统稳定的特性。一般单片机均采用装架式机箱，微型面板式打印机、控制微机、电气控制台浑然一体，整机结构水平较高。并可根据用户要求，不配打印机或配用其他型号打印机。另外单片机一般采用开放式 STD 总线标准，使系统实现了模块化结构，可根据用户需要选配模块板，拓宽了系统的扩展性。

但是，在选购时要特别注意单片机的工作条件，如在高寒地区使用就需在订货时向厂家提出要求是高原型产品。因为，微机是经 I/O 板发出开关命令，通过中间继电器控制外部电气设备，而温度及海拔高低对中间继电器的性能影响较大。

（2）采用双螺旋机结构装置。其一，水泥及矿物掺合料可同时输送，提高

机械使用率。其二，配料不需矿物掺合料时以备用输送水泥，可弥补螺旋机出现机械故障后在短时间内难以恢复影响施工的不足。

(3) 所有驱动配置尽可能采用电动设备，也可配置部分气动设备，但最好避免以燃油为驱动源的设备。因为高原地势海拔高、氧气稀薄、大气压低、气候环境变化异常，燃油设备的使用功率、性能折扣较大，再加之很多物理变化很难达到设计所需求的性能指标。另外，此类设备在高寒缺氧区使用时故障较频繁，考虑交通不便，配件难以购置，维修困难等因素，也应尽可能的不使用燃油驱动设备。例如，搅拌站配套供水装置及空压机不易使用柴油机而用电动机。

(4) 搅拌站是一个较为复杂的机电一体化系统设备，所以在购买时一定要注意配套件中电气元件的选择是高原型的，例如电动空压机、空气开关、接触器、变压器、继电器、电磁阀、管道泵等。电气设备如果质量不合格或使用条件不合适，易产生误动作、损坏等情况。如普通接触器、继电器在高寒缺氧地区使用，因环境温度低空气稀薄易跳闸不吸合，或烧触点。

#### 4.2.2 水路系统维护

因为高原温差大、气温低，水路系统维护不到位，会引起水路结冰，进一步会冻裂管路及管道泵、水循环泵、外加剂循环泵、蝶阀等设备，导致设备无法正常运行，影响工程的施工。

(1) 一般所采用的保温材料裹包管路的保暖方式，在西藏高寒地区达不到保温的目的。

(2) 改进管路设计，尽量在设备不运转时使管路中不留余水。搅拌站水路设计一般分垂直和水平两种走向，为了适合高寒地区的使用，在设备安装时要对每条水平走向的管道进行加工改装，使其具有一定的倾斜度，并在管路的最低处增设放水阀门。冬季施工时只要设备停运行半小时以上，就要放空余水并确保阀门处于常开的状态，以防管道或阀门冻裂。

(3) 局部地方采用碘钨灯保暖。管道中所连接的电气设备如水泵、送水管道泵、投水管道泵、投水蝶阀等余水很难放尽，必须要采取保暖措施。在本工程中采用的是碘钨灯保暖，具有保温到位、措施简单、易维修的特点，但具有一定的用电安全隐患，实施当中需加强检查和安全措施制度。

#### 4.2.3 气动系统维护

(1) 气动系统是搅拌站动作的执行机构。在搅拌站中完成以下动作：开关骨料仓门、开关水泥称量斗门、开关水和外加剂称量斗门。因压缩空气中含有

水份，气路中的各种接头及电磁气阀处易结冰堵塞气路。因此在这些部位也要采取保暖措施，采用碘钨灯保暖也具有保温到位、措施简单、易维修的特点，但特别要注意碘钨灯对气管的损坏。

(2) 气源处理器排除部分压缩空气中的杂质和水份，将润滑油雾化，润滑气缸等执行元件。冬季施工时润滑油杯中应加-10号机械油，并及时手动排除滤水杯中的滤水。以免润滑油因气温过低而变的粘稠或凝固，无法油雾化从而导致因气动执行元件没有充进润滑油而损坏。

#### 4.2.4 机械传动部件的维护

机械传动部件均有润滑装置，但是选油和保温是两个关键环节。

(1) 润滑油宜采用低标号型。因润滑油温度低时虽不易冻结凝固，但会变的粘稠不易流动，使润滑道堵塞。转动部位若没有油膜的保护，将造成设备磨损。选用低标号润滑油及适当的保暖措施效果相对较好。

(2) 主机变速箱一般采用的是循环油润滑和降温。循环油箱必须要有得力的保暖措施，否则很易造成循环油泵因负荷过大而烧毁的后果。

### 4.3 原材料的预处理

#### 4.3.1 骨料的保温

青藏铁路 19 标段日温差最大可达 30℃，年平均气温低，特别是夜间，保温是很关键的，所以，夜间一般采用篷布覆盖进行保温处理。气温低于-5℃时或发现骨料有冻块时，必须通过加热处理，在 19 标段，细骨料采用炒的办法，粗骨料可以用蒸汽加热法处理。

#### 4.3.2 骨料的保净、保湿

青藏铁路 19 标段，风沙大、尘土多，骨料极容易污染，一般情况下，主要利用篷布覆盖进行保净和保湿处理。温度在 0℃ 以上进行骨料储备、使用时保持一定的含水率。

#### 4.3.3 拌和水的预处理

经过化验，扎加藏布河水除大肠杆菌指标超标外，其他指标均达到饮用水的标准，可以作为拌和用水。但是在 6~8 月期间属洪水季节，该河水含沙量较大，须在拌和站旁修建蓄水池和沉淀池。非洪水季节河水清澈，可以直接使用。

由于 19 标段气温低，大部分时间里，水需要加热，一般最高加热到 60℃ 即可，根据气温需要视情况而定。水不得直接在拌和系统中加热。

#### 4.3.4 混凝土运输设备的预处理

对于水平运输设备，一定要有保温措施，在6~8月份，罐车储罐用篷布包裹即可，但是其他月份施工，罐必须用棉被进行包裹。否则，混凝土热量散失快，保证不了混凝土的入仓温度。

另外，对于地面上露天混凝土浇筑，使用溜槽作为垂直运输手段的，一般用竹胶板进行封闭。

#### 4.3.5 模板的加工

青藏铁路对混凝土的外观质量要求很高，对桥梁的墩台帽和预制矩形拼装涵洞，采用有一定厚度、刚度较好、不易变形的大型组合钢模板，其他部位可以因地制宜。

### 4.4 拌和工艺优化

拌和对混凝土的一些微观特征具有重要的作用，拌和的水温控制、进料的工艺、拌和设备、拌和时间等对混凝土的某些性质是有影响的。本次主要研究了拌和速度对含气量的影响，并实测出了结果，如表9所示。

表9 拌和时间与含气量变化关系

| 拌和时间/min  |     | 1   | 2   | 2.5 | 3   | 4   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 含气量<br>/% | 第一次 | 2.8 | 3.1 | 3.8 | 3.5 | 3.3 |
|           | 第二次 | 2.9 | 3.4 | 4.2 | 3.7 | 3.2 |
|           | 第三次 | 2.5 | 3.6 | 3.9 | 3.8 | 3.4 |
| 平均        |     | 2.7 | 3.3 | 3.9 | 3.6 | 3.3 |

拌和时间对含气量也有一定的影响，拌和时间与含气量的关系图见图4。

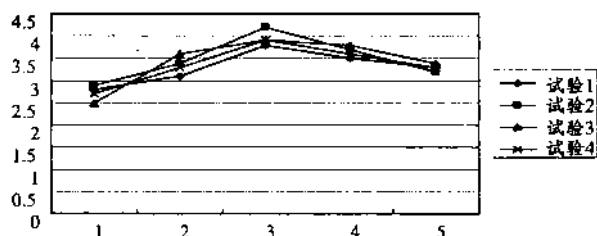


图4 拌和时间与含气量关系

从图3可知，在青藏铁路19标段，根据拌和设备的类型和运行特点，拌和

2.5 min 后混凝土拌制均匀,混凝土的含气量最高,也是我们确定的最佳拌和时间。

拌和温度对含气量也是有影响的,温度越高,含气量相应减少(见表 10)。考虑运距对温度的影响,一般拌和温度选在 12℃~15℃。

表 10 温度对混凝土含气量的影响

| 温度/℃  | 20  | 15  | 10  | 7   | 5   | 4   | 3   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 含气量/% | 3.1 | 3.2 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 3.6 | 3.7 |

通过试验,我们对拌和的部分参数进行了优化,得出了较优拌和时间与拌和温度。

#### 4.5 混凝土的运输

混凝土一般采用罐车运输,运输过程中施工道路力求平整,罐车转速控制在 2~4 r/min,卸料前以常速进行再次搅拌。

在青藏铁路 19 标段施工过程中,我们测得经 3 km 运距含气量下降 0.5% 左右,运距 6 km 含气量下降 1%,实测结果如表 11、图 5 所示。

表 11 运距与含气量关系表

| 运距/km |     | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 含气量/% | 第一次 | 3.8 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | 2.9 | 2.8 |
|       | 第二次 | 4.2 | 4.2 | 4.0 | 3.8 | 3.6 | 3.4 | 3.3 |
|       | 第三次 | 3.9 | 3.8 | 3.6 | 3.5 | 3.5 | 3.2 | 3.0 |
| 平均    |     | 3.9 | 3.7 | 3.6 | 3.4 | 3.3 | 3.2 | 3.1 |

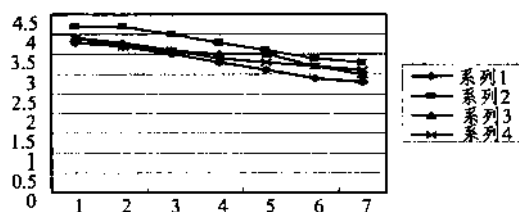


图 5 运距与含气量关系

所以,考虑运距对含气量的影响,运距不宜超过 6 km。

#### 4.6 施工过程中含气量对混凝土耐久性的影响研究与分析

##### 4.6.1 含气量对混凝土抗冻融性能的影响机理

当混凝土表面处于冰点以下时,靠近表面的孔隙中的非结晶水和渗进的自

由水会冻结，产生一定的体积膨胀，造成膨胀压。此压力对混凝土薄弱环节造成微小裂缝；产生的膨胀压又使没有冻结的自由水不得不迁移，当迁移受约束时就形成静水压，此压力也对混凝土薄弱环节造成影响。青藏铁路环境恶劣，温差大，如此反复循环，裂缝发展最后结果就是造成破坏。当引入大量微细气泡，这些气泡均匀分布在混凝土体内，当冻结的水体积膨胀，这些气泡可以压缩留出一定的体积减缓膨胀压，并且可以容纳自由水的迁移，大大缓和了静水压力，因此显著提高了混凝土抗冻融的能力。

#### 4.6.2 含气量对混凝土抗渗性能的影响机理

混凝土集中有许多孔隙及毛细孔，若这些孔隙和毛细管连成通道，则环境水就可由这些微小通道中通过，导致混凝土渗透。加入引气剂引入大量微小气泡，均匀分布在混凝土内部，使混凝土在毛细孔减少，这样混凝土中水分迁移的主要通道减少，即混凝土中最薄弱和易受外界破坏的部分减少，同时引入的大量气泡占据了混凝土中的自由空间，破坏了毛细孔的连续性，有效阻止了混凝土体内连通通道的形成几率，这就使混凝土抗渗性得到改善。

#### 4.6.3 含气量对混凝土和易性的影响机理

由于混凝土引入了大量微小且独立的气泡，这些球状气泡的滚动作用和浮托作用使混凝土和易性与稳定性得到大大地改善和提高。

#### 4.6.4 影响含气量的因素

##### (1) 引气剂的种类与掺量。

不同种类的引气剂对混凝土引气量的影响不一样，但都在一定范围内，随着掺量的增加而增大，图 6 表示了不同水灰比情况下，引气量与引气剂掺量的关系。

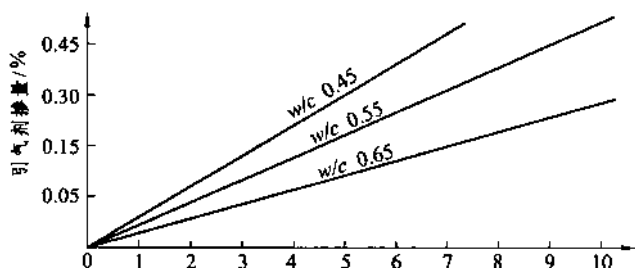


图 6 引气量与掺量的关系

## (2) 混凝土的组成材料

① 水泥细度大，含气量减少。换言之，要达到一定的含气量，需增加引气剂剂量。

② 骨料种类。卵石混凝土的含气量一般大于碎石混凝土的含气量，采用人工砂比天然砂达到所需含气量需多一倍的引气剂。

③ 骨料最大粒径。粗骨料最大粒径越大在相同掺量下含气量越小（如图 7 所示）。因此随着粗骨料最大粒径的变化要选择相适宜的引气量。

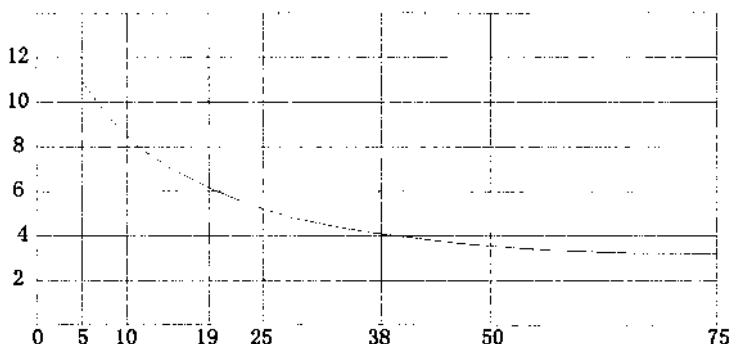


图 7 粗集料最大粒径与含气量关系

④ 拌和水。在同等引气剂掺量下，混凝土拌和水量增大含气量增加。

⑤ 砂率。同条件下，砂率减小则含气量也越小。

⑥ 坍落度。如图 8 表示不同坍落度下引气剂掺量与含气量关系，由此可以看出，为了引入所需的含气量，坍落度越大，则引气剂掺量越小。

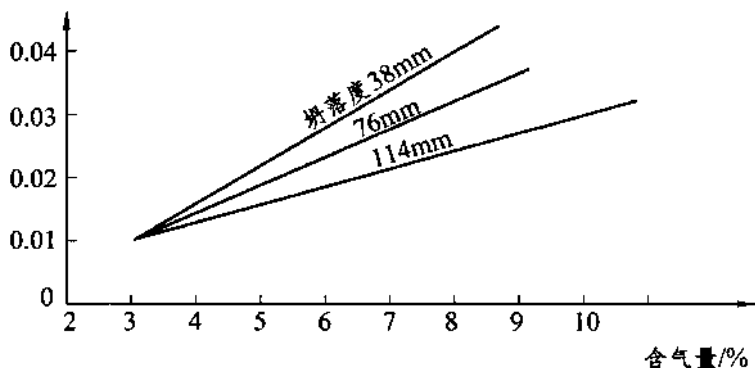


图 8 引气量与掺量的关系

### (3) 拌和条件

一般情况下,拌和温度越高则含气量减小。因此有针对性的措施控制混凝土的含气量至关重要。首先,加强耐久混凝土施工技术、作业人员的培训;其次,加大原材料的控制力度;第三,准确测定混凝土的含气量;第四,提高配合比设计的保证系数;第五,加大过程控制。

## 4.7 浇筑工艺优化组合

混凝土的水平运输采用混凝土罐车进行,运输距离控制在 6 km 范围内,垂直运输:对于桩基混凝土采用导管导入;对于低桩承台混凝土采用溜槽或反铲入仓;对于高桩承台混凝土或者桥墩等,则采用混凝土输送泵、吊车吊罐入仓的方式进行,要因地制宜、因时制宜,确保混凝土快速入仓、保持混凝土的温度与含气量等。

## 4.8 养护工艺

养护是混凝土拌和物经密实成型后,保证水泥能正常完成早期水化反应,演变成水泥石结构,以便获得预定的物理力学性能和耐久性能所采取的工艺控制措施。它是获得优质混凝土的关键工艺之一。

在高原地区,蓄热和防止水分过分蒸发是养护工作的首要问题。

在唐古拉山,6月至8月可以定义为混凝土施工的暖季,施工时,最低气温不会低于 $-3^{\circ}\text{C}$ ,其余季节可以定义为寒季施工。

### 4.8.1 暖季的保养

青藏铁路 19 标段地处风口,早晚风大,我们发明了“三层网络包裹”养生工艺。具体做法为:采用了带模养护不少于 5 天,然后再进行三层包裹养护。从内到外,即第一层为塑料薄膜包裹(起保湿作用)、第二层为棉被或其他保温材料包裹(起保温作用)、第三层为彩条布包裹(起保护作用)。由于工地风大,包裹一定要严实,确保包裹纵向到边,横向到底,在气温为零上时,可以适当从墩、台、帽开始,我们采用了尼龙弹性防护网与铁丝捆绑的形式。

### 4.8.2 寒季的施工保养

在混凝土浇注过程中,必须采用一定的保温方法,如管棚法或者太阳能蓄热法等进行施工。根据不同的结构物类型待混凝土强度达到 50%、75% 或者 100% 以上,拆除管棚或太阳能装置,然后进行网络包裹法施工。

#### 4.8.2.1 管棚法保养施工

##### (1) 施工工艺

立模（保温模板）—搭暖棚—棚内供热—清理基岩或老混凝土面—混凝土浇筑—供热养护混凝土达到允许受冻强度—拆棚、覆盖保温材料保护（或继续上升）。

##### (2) 暖棚结构

暖棚四周及顶棚结构以钢管脚手架搭设支撑骨架，用 2 cm 厚木板间隔 1~2 m 固定在支撑骨架上，在木板外铺保温材料，在保温材料外满铺普通竹胶板，以防止大风将保温材料吹散。或者搭设钢管架，外面用篷布包裹。

##### (3) 暖棚温度控制

暖棚根据浇筑单元进行分隔，主要通过煤火炉供热，并通过煤火炉的数量控制仓内温度，确保仓内温度不低于 5 °C。

#### 4.8.2.2 太阳能蓄热法保养施工初步研究

##### (1) 太阳能热转换理论日趋成熟

太阳能热利用原理比较简单，是指透过集热器透明盖板后照射到集热板上的太阳辐射能大部分被集热板吸收转化为热能，并通过集热板的翅片将此热能传递给流体（一般为气体或液体）管道，再由管道传递给流体成为有用能量。这样，从集热器底部进入集热器的冷流体在流经集热器时被太阳能所加热，再带着有用热能从集热器的出口离开集热器。如此循环往复，通过热交换的方式实现着太阳能的热转换。

在太阳能的低温热利用中，平板集热器斜面上的太阳辐射总量主要由直射、散射和反射三部分组成。其中直接辐射主要与太阳入射角、大气系数和当地地理纬度等有关；散射辐射主要与集热板斜面倾角、地表平面的太阳辐射强度等有关；而反射辐射则主要与地面对斜面的视角系数、地面反射率、地表水平面太阳辐射强度等有关。由此可建立集热板斜面能量平衡方程：

$$Q_{\text{igd}} = Q_{\text{hbd}} B_{\text{tbl}} + Q_{\text{hdd}} D_{\text{tdl}} + Q_{\text{hgd}} R_{\text{cn}} R_{\text{tl}}$$

式中： $Q_{\text{igd}}$ 、 $Q_{\text{hbd}}$ 、 $Q_{\text{hdd}}$ 、 $Q_{\text{hgd}}$ ——集热器斜面上的太阳辐射总量、直射分量、散射分量和地表水平面上太阳辐射总量；

$B_{\text{tbl}}$ 、 $D_{\text{tdl}}$ 、 $R_{\text{tl}}$ ——集热器斜面上直射、散射和反射倾角系数；

$R_{\text{cn}}$ ——环境对太阳辐射的反射率。

与此同时，由于集热板表面温度升高，集热板将通过透明盖板和外壳向外界散失热量，从而构成集热器的各种热损失。太阳投射到集热器采光面上的辐

射总能量减去各种热损失后的能量，称为有用能量。该有用能量与太阳辐射总能量之比值即为集热器的热效率，可由下式计算：

$$\eta_c = F_R(\tau\alpha)_c - F_R U_L \frac{T_G - T_a}{I_{tg}}$$

式中： $\eta_c$ 、 $F_R$ 、 $U_L$ ——集热器热效率、热转移因子和总热损失系数；

$I_{tg}$ ——集热器斜面单位面积上太阳辐射总量；

$T_c$ 、 $T_a$ ——集热器流体入口温度和周围环境温度。

另外，根据国标《平板型太阳集热器技术条件》（GB/T6424—1997）规定，上式中：①集热器热转移因子与透过吸收率乘积  $F_R(\tau\alpha)_c$  取 0.68；②盖板透过率  $\tau \geq 0.75 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，其中玻璃盖板为 0.87；③总热损失系数  $F_R U_L = 6.0 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 。

可见，只要掌握了太阳能集热器的有关生产、安装参数和安装地区的气象、环境资料，就可很方便地计算出太阳能热转换的各项技术经济指标。

## （2）太阳能设备制造技术已具备全天候、超大容量供热能力

近年来，为向新兴的太阳能工业提供迫切需要的技术，人们在不断寻找降低太阳能集热器制造成本、提高运行效率和可靠性、简化设计与安装方法等方面做了许多工作，并取得了显著进展。据资料介绍，平板集热器经过不断改进，框架全都采用了质地较轻的特殊铝挤压件，不但大大简化了制造工艺，而且为装配透明盖板和集热板提供了良好的支架；在密封技术方面，采用人造橡胶和特制垫圈，解决了盖板漏水和玻璃因为热应力的作用而破裂的问题；管道连接和安装配件设计了专用标准件，便于快速安装和维修更换；在隔热结构设计上，大多采用了压制成型的硬泡沫塑料板，不仅质轻，而且在热性能和耐久性方面都有了明显的改善；在集热板表面涂层技术上，一种光学性能好、阳光吸收率高、红外辐射率低、几乎接近于理想光学性能的选择性吸收涂层材料已由实验室成果发展为市场商品，并在平板集热器上作为标准特性而普遍使用，其热效率已得到大大提高。另外，采用热水或岩石床将白天的太阳辐射能量储至夜间使用的蓄热方式，不仅成本低廉、结构简单可靠，而且储热效果较为理想。正因为以上各方面的不断改进，目前的太阳能低温热利用设备在蓄热时间和供热容量方面都有了很大的提高。

据市场了解，目前国内的平板集热器设备（含安装）价格大约在 1000 元/m<sup>2</sup> 左右，设备使用年限大多为 8~15 年，在其他省区即可日产 60℃~80℃ 热水 100 kg/m<sup>2</sup> 以上，而且可 24 小时蓄热、供热。若以西藏地区的太阳辐射强度、

日照时数和能流密度等考虑,其经济及性能指标必然更为优越,这为西藏地区冬季混凝土施工所需全天候、超大容量热源问题提供了一个很好的解决途径。

### (3) 太阳能开发利用方式满足冬季混凝土施工供热要求

在太阳能现有各种开发利用方式中,最实用也是目前和将来一段时间内最常用的是太阳能的低温热利用,它主要通过平板集热器收集太阳辐射的各个分量转化为热能进行供热,其结构和制造工艺简单,不要求跟踪太阳且几乎不需要维修,是太阳能利用设备中最简单实用、价格最低廉的。但是由于太阳辐射能流密度较低,所以平板集热器只能提供低温热量,供热温度通常为 $40\sim 80^{\circ}\text{C}$ ,一般不会超过 $100^{\circ}\text{C}$ ,这与冬季混凝土施工的要求基本相近。另外,太阳能低温热利用中的太阳房和温室暖棚等也是冬季混凝土施工中常用的保温、蓄热措施之一。可见太阳能在现有的热能开发利用方式上已能满足冬季混凝土施工技术要求。

由上可知,太阳能用于冬季混凝土施工供热的几项关键技术:①热转换技术,②热贮存技术,③太阳能的开发利用方式等。这些方面目前都已发展成熟,这为西藏地区冬季混凝土施工中利用太阳能供热创造了有利条件。

### (4) 太阳能为冬季混凝土施工供热方法初探

太阳能热水装置为冬季混凝土施工供热方式有以下几种:

#### ① 生产直接用于混凝土拌和用的热水

为保证高寒地区冬季混凝土施工的拌制温度,通常采取对混凝土拌和用水进行加热的方法。根据规范规定,混凝土拌和用热水水温最高不应超过 $80^{\circ}\text{C}$ ,一般应在 $60^{\circ}\text{C}$ 以内,对部分特别寒冷地区,水温可提高到 $100^{\circ}\text{C}$ ,但水泥不得与 $80^{\circ}\text{C}$ 以上的水直接接触。目前,普通太阳能热水器就能很容易地达到上述温度条件,即太阳能热水装置可为冬季混凝土施工生产直接拌和用热水。

#### ② 生产骨料预热或养护供暖所需热水、水蒸气

高寒地区冬季混凝土施工中,砂石骨料的预热通常采用向骨料堆中埋设的盘曲管或排管通水蒸气或热水进行烘热;而混凝土养护中除了向结构内预埋管道通热水、水蒸气直接烘热外,还有通过向保温棚内的暖气片通热水、水蒸气间接加热以保证棚内混凝土正温养护环境等方法。在这些方法中所需热水和水蒸气均可由太阳能热水装置直接生产。

### (5) 太阳房为冬季混凝土施工供热方式

冬季混凝土施工利用太阳房的方式大致可分为两类,即太阳能骨料仓和太阳房暖棚。

太阳能骨料仓是为冬季混凝土施工修建的骨料预热仓，可直接利用太阳能为冬季混凝土骨料进行加热、保温。料仓顶部和四周铺盖太阳光透过率高、隔热效果好的透明玻璃或阳光板等作顶棚，斜面倾向同平板集热器安装原理，仓内砂石骨料既充当良好的岩石床蓄热体，同时又是供热对象。根据热平衡原理，阳光板和墙体等围护结构白天主要用于吸收太阳能辐射热，升高仓内气温，仓内砂石骨料随着仓内气温的上升不断吸收热量，一部分用于加热提高自身温度，一部分通过热传递的形式将热量传递给下一层骨料；而夜间则随着环境气温的下降而逐渐向外部散失热量，仓内气温下降，骨料层间随着热量的传递损失温度逐渐降低。如此反复，仓内不断地由一个热平衡到另一个热平衡不停地在发生着变化。但根据对类似太阳房的热平衡计算分析，只要选用阳光板得当，墙体等围护结构修建合理，夜间仓内热量损失被控制在一定范围内是可以做到的。也就是说，即使夜间发生了一部分热量损失也能满足冬季混凝土施工需要。

太阳房暖棚工作原理同太阳能骨料仓，是指可通过其围护结构和屋顶吸收利用太阳能的房屋，主要可用于冬季施工混凝土的养护，以吸收的太阳热辐射作为热源加热空气，使混凝土获得正温养护条件。

因此，在成熟的冬季混凝土施工技术基础上结合太阳能供热的基本方法和途径，实现太阳能为冬季混凝土施工供热是完全可能的。

#### 4.8.2.3 蒸汽法养护初探

在严寒季节需要赶工期时，对于个别工程可以使用蒸汽法，一般采用蒸汽锅炉和保温管等配套设备进行。虽然可以加快进度，但是由于施工成本增加约5%~10%，一般情况下不使用，本次我们主要对预制矩形涵洞的预制件预制过程采用此养护法，主要防止歇工时蒸汽管的冻结与破坏。

### 4.9 低温耐久混凝土的质量控制

根据铁道部科学研究所开展的低温耐久混凝土试验性能指标，以及相关的规程、规范和青藏铁路建设总指挥部有关耐久混凝土施工的暂行规定和通知要求，其质量控制总体要点如下。

#### 4.9.1 质量控制要点

##### (1) 原材料要求

水泥选用 32.5R 级以上的低碱普通硅酸盐水泥，不宜选用复合硅酸盐水泥；粗、细骨料应尽量采用低碱活性并符合《铁路混凝土与砌体工程施工规范》中

相关要求的骨料；拌和用水中有害离子如  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  等不得超标，并定期做水质分析报告；外加剂选用具有早强、减水、防冻、引气、能细化孔结构并且具有抑制碱活性的复合型产品。

### (2) 拌制要求

拌和机械应选用强制式搅拌机，其搅拌能力应满足浇注速度要求。计量采用电子秤自动计量。拌和计量设备需经有资质的计量部门标定并在有效期内，计量允许偏差应满足下列要求：粗、细骨料为  $\pm 2\%$ ，水泥、水、外加剂为  $\pm 1\%$ 。拌和站必须配有经耐久混凝土培训班培训过的负责人及试验负责人，并持证上岗，从事混凝土拌和和质量的管理、检测工作。

### (3) 施工过程控制

远距离运输应使用混凝土搅拌运输罐车，应匀速搅拌并采取一定的保温措施。浇筑对冻土层有直接影响的混凝土结构时，入模温度宜控制在  $2^\circ\text{C} \sim 5^\circ\text{C}$ ，浇筑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时，入模温度宜控制在  $5^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ 。在混凝土浇筑过程中，应严格控制坍落度。

## 4.9.2 混凝土质量评定

对混凝土强度及长期耐久性能进行试验，发现强度等级为 C20，强度实测值为  $33.5 \sim 39.7 \text{ MPa}$ ，对钢筋无锈蚀作用，冻融 300 次强度损失率为  $2.0\% \sim 4.1\%$ 、质量损失率为  $1.2\% \sim 3.2\%$ ，抗渗标号大于 16，均满足要求。

## 4.9.3 试验结论

低温早强耐久防腐高性能混凝土应优选 32.5R 级（低碱）以上硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。选择优质高效的复合外加剂能有效地提高长期耐久性，必须注重材料的选择、各项参数控制和施工质量控制的各个环节。

# 5 部分指标结果与分析

通过研究，并在实践中对部分指标的控制进行了检验。

## 5.1 三项常规指标控制情况

不同等级的混凝土，其强度、坍落度、泌水率均在可控制范围内，由于八项耐久性对水灰比要求严格，其强度一般高于设计强度的  $30\% \sim 40\%$ 。

## 5.2 八项耐久性指标控制情况

根据青藏铁路施工技术规范要求，对 19 标段的八项指标一共进行了 15 组

实验。实验结果满足技术要求，如表 12 所示。

表 12 八项指标试验结果

| 指 标          | 规定允许值                     | 试验值                         | 结 果      |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|----------|
| 抗冻性          | 快冻 300 次以上                | 最大 376 次，最小 323 次，平均 349 次  | 符合施工技术要求 |
| 抗渗性          | $\geq S12$                | 均 $\geq S12$                | 符合施工技术要求 |
| 抗腐蚀性         | 不同环境有不同的规定                |                             | 符合施工技术要求 |
| 抗 $Cl^-$ 渗透性 | 小于 1 000 C                | 最大 675C，最小 233C             | 符合施工技术要求 |
| 抗风蚀性         | $\leq 0.5 \text{ kg/m}^2$ | 均 $\leq 0.5 \text{ kg/m}^2$ | 符合施工技术要求 |
| 护筋性          | 钢筋在砂浆中不得锈蚀                | 不锈蚀                         | 符合施工技术要求 |
| 抗碱-骨料反应      | 骨料的砂浆棒膨胀率 $\leq 0.2\%$    | 均 $\leq 0.2\%$              | 符合施工技术要求 |
| 抗裂性          | 裂缝宽度小于 0.20 mm            | 裂缝宽度小于 0.20 mm              | 符合施工技术要求 |

### 5.3 外观质量控制情况

外观质量主要是混凝土的平整度、光洁度、表面缺陷的多少、裂纹与裂缝的发育情况等。根据现场实地测试与观察，由于模板控制较好，普遍采用大型组合钢模板，混凝土的圆顺度、平整度较好。表面缺陷很少，单位平米的裂纹短、少，当然也存在裂纹，特别是阳面裂纹较多。但是，基本满足了外美的要求。

## 6 值得进一步研究的问题

(1) 青藏高原是一个与人类几乎同龄的高原，抬升快，砂石骨料的形成与发育有其自身的规律，我们对原材料的空间分布、形成规律等研究力较欠缺，从而在一定程度上制约混凝土原材料的研究。

(2) 青藏铁路 19 标段在勘测、设计与施工过程中对环境进行了一定的研究，但是，研究深度不够，导致施工的针对性不强。例如部分路段环境不存在对混凝土的腐蚀性，而我们的混凝土等均采用了抗腐蚀性的外加剂，造成了一定的浪费。

(3) 混凝土在干湿交替很快的青藏高原，抗裂性能值得进一步研究。如

施工后出现了不同程度的微裂纹或裂纹等,无法达到其他省区混凝土外观质量水平要求。

(4) 虽然在实验室里试验达标,但是混凝土抗冻性能有待实践进一步的检验。

(5) 本次添加的外加剂比较昂贵,今后对外加剂的选择和研发值得加强,这有利于降低成本。另外,外加剂的性能也值得进一步改进。

## 7 结论与展望

### 7.1 结论

在本次施工混凝土的研究,我们得出如下结论:

(1) 混凝土的结构和性质决定其功能,功能适应环境,结构和性质、功能、环境是一个相互联系的三角关系。

(2) 青藏铁路 19 标段,混凝土拌和站的建设与其他省区是有区别的,保温和运距是必须考虑的重要因素,一般不易运距不宜超过 6 km。原材料的预处理也有特殊要求,特别是在温度较低的情况下,骨料及拌和用水必须经过加热处理。

(3) 低温耐久混凝土的耐久性特点:原材料和配合比是基础,施工措施是关键,养生是保证。在青藏铁路 19 标段,对于混凝土原材料,我们主要控制砂石骨料的碱活性、含泥量、针片状含量等指标。水泥最好采用低碱水泥,同时严格控制骨料的碱活性,使原材料的碱活性处于较低水平,以防止原材料的碱骨料反应而产生膨胀破坏。在拌和过程中,主要控制拌和时间与含气量的关系,根据拌和机的运行速度,确定了最大含气量拌和时间为 2.5 min。在养生过程中,暖季采用了三层网络包裹养生法,寒季采用管棚蓄热法进行保养,同时太阳能蓄热养生法值得研究和推广,但是在青藏铁路尚未正式使用,处于研究阶段。蒸汽法养生在赶工期时,可以适当使用,由于青藏铁路施工过程中,进度满足合同要求,为避免成本的增加,没有普遍使用,仅在预制场集中生产预制件时采用。

(4) 在混凝土的施工过程中,注重了对含气量的研究,拌和时间以 2.5 min 为宜,运输距离不宜超过 6 km,拌和温度控制在 20 °C 以下为佳。入仓温度最好控制在 0~5 °C,根据实际情况不宜超过 10 °C。

(5) 低温耐久性混凝土是一种新型材料,本次研究取得了一定的施工技术资料与经验的积累。从目前来看,质量控制成效明显,但是,混凝土的耐久性仍需要时间来进一步检验。高原混凝土的耐久性研究是一门博大精深的学问,值得我们进一步研究和探索。

## 7.2 展 望

低温耐久混凝土施工技术在青藏铁路应用以来,通过两年多铁路运营情况表明,其耐久性效果显著,目前经复测、评估,可说是达到了内实外美的总体目标。该施工技术在内蒙、东北等寒冷地区铁路建设中已推广采用,在青藏公路沿线的桥涵建设中已普遍使用。

但在西部高寒地区的水利水电工程、房屋建筑工程中,尤其是水工建筑物混凝土结构中应用还待进一步规范。此举尚待从水工建筑物操作规程上予以改进,进一步明确混凝土的耐久性与其强度标准的孰重孰轻?明确混凝土的耐久性与坚固、永久性有关,而不是与强度有关。

当前世界各国的研究表明,混凝土的耐久性问题应以预防为主,尤其在低温特定环境下,更应引起高度重视,一旦混凝土破坏发生后再进行补救,因环境的恶劣性等因素,势必将付出多倍的投入和代价。因此修订完善建筑类标准规范,从制度上做好就显得尤为重要。

应该指出,低温耐久混凝土施工技术、性能,其作用机理都还是一个十分复杂又非常重要的课题,有待更深层次的研究分析。

### 参考文献

- [1] 铁道部科技司. 青藏高原冻土区混凝土耐久性技术条件[Z]. 2002.
- [2] 铁道科学研究院主编. 铁路混凝土工程施工技术指南(TZ210—2005)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [3] 铁建设[2005]157号. 铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [4] 徐有邻, 程志军主编. 混凝土结构工程施工质量验收规范应用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [5] 王雨群主编. 混凝土工程施工与质量验收实用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [6] 程云虹, 刘斌. 混凝土结构耐久性研究现状及趋势[J]. 东北大学学报, 2003, (6).
- [7] 钱立军. 青藏铁路高原冻土地区耐久混凝土施工工艺[J]. 山西建筑, 2004, (1).
- [8] 谢永江等. 青藏铁路建设中混凝土的碱-骨料反应问题[J]. 铁道科学与工程学报, 2004, (9).
- [9] 常彦博, 李勉正. 关于混凝土耐久性问题的探讨. 西部探矿工程, 1999(5).
- [10] 赵宇虹 译. 混凝土的耐久性——未来混凝土的关键问题[J]. 吉林建筑工程学院学报, 1998, 9(3).

# 青藏铁路（格拉段）19 标段沿线环境特征 及施工期环境保护

胡志国 苏志军

**【摘要】** 青藏铁路（格拉段）第 19 标段位于西藏安多县境内，它基本上处于无污染地带。但由于气候、地理位置的影响，自然环境十分脆弱，受到破坏后极难恢复。为贯彻落实朱镕基同志“十分爱护青海、西藏的生态环境，十分爱护青海、西藏的一草一木”的批示精神，真正促进西藏经济、社会的可持续发展，我们积极考查沿线环境特征，制订、落实施工期的环境保护措施，将施工建设对生态环境带来的不利影响控制到最小。

**【关键词】** 青藏铁路 19 标段；环境特征；环境保护

## 1 前言

青藏高原素有“世界屋脊”、“地球第三极”之称。而西藏又拥有独特的地理、自然环境，有着丰富的生物群落和多种多样的生态系统类型，也是世界上仅有的生态环境系统和世界上山地生物物种重要的起源和分布中心，其原始生态环境在全球占有特殊的位置。

## 2 施工沿线环境特殊

我部承担的青藏铁路第 19 标段位于西藏安多县境内，起于唐古拉山山前平原，经扎加藏布，止于安多，平均海拔 4 850 m。其生态系统主要为高寒草厚系统（由耐寒的多年旱生草本植物或小半灌木所形成的高寒植被为基础，包括高寒草原生态群落、生存环境条件及其相关生态过程所构成的生态系统类型）为主，部分施工段为沼泽湿地生态系统。

从种类组成、群落盖度来看，植物种类主要以草本科为主，如紫花针茅、扇穗茅、莎草科，而青藏青苔、菊科所占比重最大。

常见的野生动物有狼、高原鼠兔、棕头鸥、赤麻鸭等。地形上以高原谷地为主要类型，宏观地形开阔，山岭浑圆，坡度平缓，山体深，沟谷宽，相对高程小于 200 m。土壤质地粗糙疏松、结构性差，以砂砾质、粗砾质、沙壤质为主。

### 3 工程建设对环境的影响

因施工沿线气温低、降水量少,年平均大风(风速 40 m/s)持续时间为 5 个月左右,自然生态环境十分脆弱,在高寒、干旱、缺氧、微生物群落低的情况下,对生活垃圾、建筑垃圾等废物自然分解的能力低,环境自我恢复能力也随之降低;另外,生物链关系简单,任何一个环节遭到破坏,都有可能导致整个生物圈,甚至整个生态系统的崩溃,使生态平衡受到不可逆转的破坏。

施工对环境的影响主要有以下几点:

① 改变地表结构原状,造成植被破坏或激活沙地,进而影响相应生物种类及数量,使局部区域物流、能流、物种流动受到干扰或阻滞。② 对野生动物产生影响,如施工场地的占用可能使野生动物失去一部分栖息地,或在野生动物活动、迁移范围内的场所对其生息、迁移产生不利影响。③ 改变多年冻土热稳定状态,引起热融沉陷,高含水量多年冻土陡坡地段,甚至发生热融滑塌或融冻泥流,以及对环境的污染(如固体废物、噪声、污水)等。施工对环境的影响如图 1 所示。

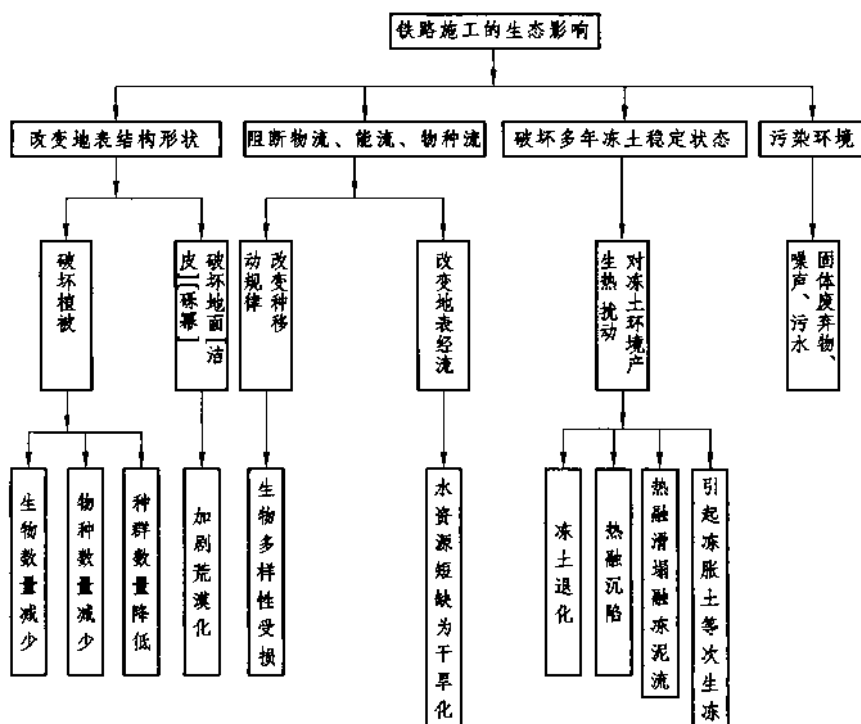


图 1 施工对环境的影响流程图

## 4 施工期环境保护

① 制定环保方针,坚持“预防为主,保护优先,开发与保护并重”的原则。针对施工现场的环境特征以及施工特点,制定了相应的环保措施,主要以控制施工过程、施工人员和施工机械的行为规范为主。最大限度地减小影响区域,减小破坏程度,控制水土流失等。设立环卫科、环保部专职负责环保工作,并在施工现场设专职环保员,对施工现场不符合环保要求的施工行为给予纠正。

② 取料场取料之前,将原地面草皮移植,以便在恢复料场时再将草皮回植;并对取料场合理规划取土,避免浪费土地资源。由于料场在河道旁边,所以沿河道修筑简易的临时堤坝,保证河岸边坡稳定,保护河道生态环境以及生态系统。

③ 在施工现场对施工便道进行优化,结合工程结构位置,以及植被生长情况,尽量减少便道数量,把便道取短。且能利用路基则利用路基。

④ 设置醒目的标示牌,严格控制运输车辆行驶路线以及施工人员的活动范围,以免破坏自然环境。加强对施工人员的关于“爱护环境,保护动物”的宣传,并限制施工人员在施工现场以外的活动范围,禁止接近、哄赶、捕杀野生动物以及破坏植被。

⑤ 限制车速,在保证行车安全的同时,减少运土时的漏撒,并定期对扬尘严重的地点洒水,从而减少扬尘污染。对生活垃圾、建筑垃圾等固体废弃物,生活和施工污水集中收集,集中处理,不得随意抛撒、排放。

⑥ 合理安排施工时间,制订施工措施,最大限度地减小对冻土环境的热融侵蚀破坏。修筑路基时,不铲除地表植被,保存地表植被以起到保温的作用,以保护冻土环境;做好临时排水系统,防止在线路两侧附近诱发新的“冻胀丘”。路基开挖地段施工,首先做好临时排水,采取有效的保温隔热措施;换填路基的施工,开挖一段,回填一段。

## 5 结束语

为了满足西藏人民的需要而又不涸泽牧鱼,既实现经济发展的目标,又实现人赖以生存的自然资源与环境相和谐,使子孙后代能够安居乐业,得以永续的发展,我们将青藏高原生态环境的保护作为施工环节中的重中之重。

### 参考文献

- [1] 杨健武.路基—铁路工程施工技术手册[M].北京:中国铁道出版社,2004.

- [2] 王进. 铁路工程施工[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [3] 赵君鑫. 铁路工程施工组织设计[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2004.
- [4] 青藏铁路总指挥部编. 青藏铁路制度汇编[Z], 2003.

# 建立高效精干工程指挥部，规范项目管理

## ——青藏铁路 19 标段工程管理模式的探讨

周春清 尹建勋 周志东

【摘要】本文对青藏铁路 19 标段的工程管理模式进行了探讨，在项目管理工程中，我们坚持强化内部管理，特别以班子素质的提高为重点，建立高效精干的工程指挥部，进行全面、全过程、全员管理，对项目组织、技术方案、质量、安全、环保、效益、劳务管理等方面作了一些工作和探讨，取得了一定的成效，为今后类似项目管理提供借鉴。

【关键词】精干高效；项目管理；青藏铁路 19 标段；模式

社会主义市场经济的发展，把我们水电部队推向了建筑市场，面对竞争越来越激烈的建筑市场，如何适应环境，强化管理，挖掘内部潜力，适应新的形势需要，确保部队健康发展是摆在每个管理者面前无法回避的问题。项目管理作为施工部队管理的核心，是体现部队管理水平的晴雨表，推进项目管理健康、稳定、持续发展，是各级施工管理者必须认真思考的问题。作为我军唯一的一支修建青藏铁路的部队，中国安能建设公司是一个具有水利水电施工特级总承包资质单位。但是，2002 年以前，我部尚未独立承担过铁路施工，对铁路施工管理不太熟悉，可以说，我们担任青藏铁路 19 标段项目施工，对我们的项目管理，既是机遇，又是挑战。在三年的施工过程中，我们从项目组织、施工技术、质量安全管理、物资设备管理、计划财务管理、外部劳务管理几个层面对项目进行了全面管控，在管理过程中对管理理念和管理方法进行了初步的探讨，圆满地完成了施工生产任务，取得了较好的经济和社会效益。

### 1 工程简介

新建青藏铁路二期工程格拉段，北起青海省格尔木市，经西大滩、昆仑山、五道梁、风火山、沱沱河，开心岭，翻越海拔 5 072 m 的唐古拉山口，再经西藏自治区的安多、那曲、当雄、羊八井，南至西藏自治区的首府拉萨市，新建线路全长 1 120 km，总投资约 340 亿元。我部承建的 19 标位于青藏高原唐古拉山南坡，起点位于唐古拉山前倾斜平原，桩号为 DK1 451+600，途经扎加藏布谷地，终点位于休马，桩号为 DK1477+400，全长 25.8 km。全线海拔 4 850~

4 950 m, 地处被称为“地球第三极”唐古拉山“无人区”, 线路远离青藏公路(109 国道), 连接青藏公路的便道长达 60~70 km, 运输进场物资相当困难。标段内环境恶劣, 气候变法无常, 可以说, 一年四季不明, 一天四季分明。紫外线强烈, 高寒缺氧, 空气中的含氧量仅为其他省区的 50% 左右。主要工程量为: 路基土石方约 167 万  $\text{m}^3$ , 桥梁 35 座, 涵洞 23 座。由于高原缺氧, 施工人员极易疲劳, 人员工作效率仅为其他省区的 60%, 施工人员极易患上脑水肿、肺水肿等高原病, 设备工作效率也只有其他省区的 60%~70%。

青藏铁路国务院批复的开工时间为 2001 年 6 月 29 日, 建设工期为 6 年, 我标段线下部分实际开工时间为 2003 年 7 月 1 日, 竣工时间为 2005 年 9 月 30 日, 总投资约 3.4 亿元。

## 2 精干高效, 组建适应青藏铁路建设的项目组织机构

强化项目管理、推进管理创新是项目管理的第一要务, 其中队伍管理、成本管理、质量安全管理、环保管理是施工项目的核心。

根据青藏线施工的特点, 结合部队的有关规定, 19 标段成立了武警水电部队青藏铁路工程指挥部, 指挥部下设五科一室, 即工程技术科、质量安全科、合同财务科、物质运输科、环卫科及办公室, 其中工程技术科下辖测量队, 质量安全科下辖中心试验室, 办公室下辖中心医院, 共计 43 人, 形成了高效精干的组织机构。

指挥部下辖五个项目部, 即第一项目部(主要负责路基施工)、第二项目部(主要负责桥梁施工)、第三项目部(主要负责路基施工)、第四项目部(主要负责碎石与片石生产)、第五项目部(主要负责涵洞预制件的预制)。

根据各项目部的职能设置不同的专业施工队, 一共有 27 个专业施工队。为保证指挥部的管理能触及标段的每一个角落, 指挥部在每个项目部都有 2~3 名代表, 主要协调各项目部的施工人员及机具调配, 负责各项目部的工程进度、质量、环保、安全及民工管理等, 保证指挥部的指令迅速贯彻到项目部及施工队, 项目部或施工队不能解决的困难也能迅速反馈至指挥部, 确保指挥部的决策意图得到充分实现。

## 3 尊重科学, 努力打造高素质的决策层与管理层

人是生产力中最革命和最活跃的因素, 要真正建好一个优质项目工程, 就必须有一支高素质的决策层和经营管理队伍作保证。随着社会进步, 从一些施工企业项目发展不平衡的情况分析, 项目决策层与管理层的素质问题决定了项

目发展的方向，切实解决好这个问题对于遏制效益滑坡，保证项目良性发展非常迫切。就目前而言，要造就一支高素质决策层和经营管理队伍，尤其需要强化五种意识：①一是中心意识，必须坚持以生产为中心不动摇，只有围绕中心，完成任务，才能保证其他目标的实现。②二是强化效益意识，要牢固树立“生存靠效益”的观念，确保施工效益最大化。③三是强化责任意识，最终衡量项目管理层政绩的标准有三条：一是看为企业创造多少效益，上交款能否及时足额上交；二是看为广大官兵谋多少福利，工资能否按时发放；三是看社会信誉和工程质量如何。部队把完成中心任务的责任托付给项目部，各级管理人员就必须有强烈的责任意识，在其位，谋其职，尽其责，建其功，把心操到家，把责任尽到位，切实提高管理水平。④四是强化团结协作意识。团队精神是指挥部必须具备的，项目管理上最大的事就是让不同的人和施工队形成合力，意见上暂时有分歧，步调上暂时不统一，这都是正常的。但绝不能把过多的感情问题带到工作中来，搬弄是非，影响工作，主要是求同存异，拧成一股绳，形成整体合力，减少内耗，把任务和效益搞上去。⑤五是强化创新意识。工程指挥部（工程项目部）是部队的基层指挥部，要打好效益翻身仗，应摆脱老经验、老套套的束缚。根据不断变化的实际创造性地开展工作，要形成新思想，拿出新举措，打开新局面，干出新成果。我们的做法是：

（1）以一流素质的班子领导人。工程指挥部领导班子是项目管理的主体，也是施工生产任务的组织和实施者。高素质的决策层是打造一流项目管理的关键。我们提出了项目管理“施工队伍向管理层看齐，管理层向决策层看齐，决策层向主管看齐”的口号。以高素质的项目决策层来带动管理层管理水平的全面提升。一是狠抓班子学习，提高综合素质。施工开始前，我们班子在成都和格尔木，针对青藏铁路多年冻土、生态脆弱、高原缺氧等三大难题，组织学习了相关的管理文件和技术知识。通过学习，项目决策层（临时党委班子）开始成了执行政策的带头人和懂施工技术、善于管理的行家。二是落实民主集中制，增强班子团结，临时党委成员做到小事及时沟通，大事集体决策，做到既协调合作又各司其职。三是强化作风建设，起好表率作用，以身教赢得广大官兵的信任和支持。

（2）以先进的文化感染人。我们通过各种形式宣扬部队的“羊湖精神”和“老西藏精神”，引导和激发广大官兵的团队精神和集体荣誉感，使大家“比奉献、比干劲、比管理水平”蔚然成风，虽然工地条件艰苦，但人心齐，人气旺。

（3）以多种教配形式培养人。我们坚持施工人员和管理人员先培训后上岗，在施工之前，我们培训达320多人次。坚持结合生产实际，上专业课、现场技

术交流、参观相邻标段较好施工点等多种形式对管理层进行专业培训和技术交底。激发管理层浓厚的学习兴趣和爱岗敬业的精神。施工过程中管理人员提出合理化的建议及减少管理成本的做法，指挥部及时采纳并予以表扬及奖励，以激励管理层的创造热情。

## 4 以人为本，努力搞好劳务队伍管理

自青藏 19 标开工上场以来，我指挥部认真落实国家、铁道部、青藏铁路总指挥部及部队上级有关劳务用工规定要求，从加强劳务用工管理入手，始终将农民工管理列为工作重点之一，努力做到管理组织机构健全，制度明确，措施具体。为管好、用好、充分发挥农民工队伍起到了关键作用。

### 4.1 一是健康保障

坚持“以人为本”，对所有上山人员严格进行体检把关，要求上场农民工年龄不得大于 45 岁，身体好时，可适当放宽到 50 岁。明令所有上场人员在格尔木习服后进行体检，发现不适应高原作业者严禁上山。关爱全体参建人员的身心健康，制定出五条行之有效的医疗保障措施，诸如完善医疗机构，工地建立医疗所，购足医疗器械药品，工地设立高压氧仓；定期发放抗高原缺氧药品，如红景天、高原安等；工地人员驻地平均每 4 人安置一个医用氧气瓶，保证每人每天吸氧时间不少于 30 min；坚持夜间查铺查哨制度；坚持工地巡诊制度。中心医院对每位参建人员建立医疗档案，所有参建人员体检报告交中心医院备案，一旦发生高原病，便于医疗所对症治疗，切实保障每位人员的身体健康。施工区位于青藏高原喜马拉雅鼠疫区，施工伊始，指挥部和各项目部（施工队）对民工进行三不三报教育，切实防止鼠疫的发生。

### 4.2 二是安全保障

指挥部在开工伊始就出台了《外部劳务队伍安全管理规定》和《工地文明施工管理规定》，详细规定了各类人员职责、安全工作基本要求、基本做法和有关奖惩措施，并明令各施工队负责人与其所属人员签订《劳务用工合同》，明确了双方责任权利及所应承担的责任，进一步确保劳务工的合法权益。

#### 4.2.1 通过多种形式加强对农民工的安全教育

- ① 对新上场的农民工做到岗前教育，组织学习国家有关安全生产的方针、政策和规定，介绍工程的不安全因素（如高空作业）和危险场所、应注意事项；
- ② 特殊工种的安全教育，如要求钢筋工、电焊工、架子工、机械操作手必须持

证上岗；③ 经常性的安全教育。以发放安全手册或指挥部派人到各项目部进行集中讲课等形式开展宣传教育。

#### 4.2.2 定期安全检查和不定期安全检查相结合

指挥部设专职安全工程师一名，各外协队设专职工地安全员。成立各级安全领导小组，建立健全安全生产责任体系，定期分析、研究和检查安全生产情况，不断完善各项安全管理制度。把安全工作列入施工生产议事日程，坚持开展经常性安全教育，不断提高全体作业人员防事故的能力，增强全员的责任意识。

### 4.3 三是生活保障

为确保上场农民工在工地身体健康，工资能够按时发放，避免一些不必要的纠纷发生，针对农民工省吃俭用的特点，为农民工保证在高原缺氧的情况下对营养有足够的摄取量和良好的居住条件，我们采取了以下措施：① 购置生活保障车，定期统一供应主副食品，切实保障农民工每天有肉、新鲜蔬菜吃，并确保每人每天不少于 10 元的伙食费标准；② 为营造良好的农民工居住环境，指挥部统一购买保温帐篷，全部使用采暖炉供暖，统一采购发放棉被、床单，让每一位农民工都能住上温暖的“家”。③ 为保证农民工工资按时足额发放，指挥部要求月底外协队负责人造工资表，必要时指挥部财务代为发放，这不仅减少了劳务纠纷，稳定了施工队伍，而且有助于加快施工进度。

## 5 强化成本管理，努力降低施工成本

千方百计加强成本管理，从方方面面开源节流、深挖潜力是项目管理常抓不懈的任务。实践证明，推行责任成本核算是保证项目实现最大收益非常有效的方法。为了适应市场，我们建立了预算成本、计划成本和考核成本等一套成本管理体系，确定成本目标是一条符合项目管理实际的硬道理，不容丝毫动摇。项目管理的好坏是决定部队生存与发展的关键。如何加强工程成本管理，提高项目赢利水平是我们部队面临的一种新挑战。我指挥部在承建青藏 19 标段施工中，始终坚持以提高项目赢利水平为中心，不断强化项目成本管理的事前预测、事中控制和事后分析制度，积极探索成本管理的新思路，不断积累挖潜降耗的新经验，在保质保量完成施工任务的同时，取得了较好的经济效益。

### 5.1 要严把关口，挖潜增效

严格控制人工费、材料费、机械使用费和间接费四项费用，大力压缩非生产性开支。具体做法：① 根据工地点多线长，施工队多，距离格尔木、拉萨距

离远,各种施工材料采购极端困难的特点,指挥部对主材、周转性材料,物质装备科凭工程技术科开具的材料领用单限额发放;二、三材料由外协队或项目部提供用料计划,采取集中招标采购,统一代销供应,这样可降低二、三项材料成本 10% 左右,减轻了外协队伍的经济负担,还避免了诸如外协队伍负责人经常外出购料耽误施工、材料商因害怕外协队拖欠材料款而不外赊材料等不必要的麻烦;② 对各项机械零星台班数量包干使用,节约归己,超额自负,提高机械利用率,减少机械出工不出力现象;③ 加大废物利用和回收,鉴于施工期间钢材大幅涨价,把一些废弃护筒回收再利用,减少成本开支约 15 万元。

## 5.2 强化财务管理制度

注重会计人员业务培训,提高财务人员的整体素质,强化指挥部会计对各施工队经济状况的监管力度,同时吃透用足国家及青海、西藏两省区税收优惠政策,合理避税 100 多万元。

## 5.3 牢牢掌握成本控制主动权,因地制宜,全面覆盖,不留死角

指挥部做到人人算细账,层层抓落实,环环扣成本,营造出“从算中挖潜,从算中降耗,从算中创收,从算中增效”的浓厚氛围。逐步形成对劳务队“依靠而不依赖,主动而不被动,合作而不合流”的成本控制局面,加大监督力度。指挥部上场伊始就对外部队伍实行招标,公开竞争,择优选用,签订施工劳务合同,按工序签订劳务单价,避免施工过程中扯皮现象发生。

## 5.4 认真作好变更与索赔工作

变更索赔是我部取得经济效益非常重要的部分,越是地质复杂、灾害频繁的工程,变更索赔的项目就越多。针对我标段气候恶劣、标段内地质情况复杂,多年冻土、水灾频繁,且青藏铁路总指挥部要求工期紧,在熟悉建筑法规和工程合同的前提下,我们积极收集了现场第一手资料,为变更索赔提供了事实依据和政策法律依据。

# 6 运用科技攻克高原铁路三大难题

青藏铁路是世界上海拔最高、线路最长的高原铁路,海拔 4 000 m 以上的路段有 960 km。我标段平均海拔 4 900 m,高寒缺氧、多年冻土、环境保护是建设中需要面对的前所未有的世界难题,施工难度举世瞩目。尤其耐久性混凝

土施工、多年冻土路基施工尚没有形成一套成熟的施工工艺,加上青藏线地质情况复杂,地表季节性冻土、热融塘湖、地下暗河、流沙、富水层等不良地质随处可见,给施工带来了极大困难。为此,我们专门成立了“耐久性混凝土”和高原施工技术两个科研项目,通过试验与科研,在较短的时间内掌握了高原冻土的施工特点,采取控制水温,降低砂石料的含泥量,调整外加剂的掺加量和延长混凝土的搅拌时间、加快混凝土灌注速度等措施,使混凝土的入模温度、坍落度、含气量、泌水率等各项技术指标逐步得到控制,满足耐久性混凝土技术要求;另外根据不同地质采取了长护筒或双护筒跟进、泥浆护壁等措施,攻克了冻土融化、坍孔、地下涌水、流沙等技术难题。在钻孔施工中,为了确保冻土结构不遭受破坏,我们在桩孔上部搭起遮阳雨篷。桩孔成型后我们迅速用棉被覆盖孔口,隔绝热空气流通,并尽快下钢筋笼浇筑混凝土,避免桩孔冻土遇热溶化造成塌孔。采用抛填片石等方式解决沼泽化湿地的施工。

由于特殊的地理环境和气候,混凝土龟裂纹成为青藏线的通病,为了克服这项顽症,指挥部明令严格执行技术规范,确保大体积耐久性混凝土的质量和外形美观,技术人员从控制入模温度做起,修建大型混凝土拌和站暖房,逐次称重配料,保证混凝土抗冻性、抗渗性、抗裂性、胶沙耐磨性等八项指标满足设计要求,在施工现场严格控制泌水率、坍落度和含气量三项重要指标,保证混凝土入模温度在  $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,承台模板外加三道围带、五道竖带,避免了传统立模造成的穿孔和烧钢筋头的现象。同时在混凝土施工过程中加强保温措施,使混凝土内外温差降至规范允许范围内,保证混凝土表面光洁平整。拆模时,通过热工计算选择内外温差最小的时间进行,并快速包扎塑料布、毡布等三层保温保湿防护层,采用“网络包裹法”,并同时喷洒温水和养护液,使混凝土表面迅速形成保护层,避免内部水分蒸发。使混凝土的养生期达到 60 天以上,最后将承台下部地土剥空,形成间距 30 cm 的悬空承台,避免下部冻土膨胀顶撑承台。随着这些技术难题的解决,桩基础施工合格率达到 100%,为优质快速高效地完成各项工程指标和工程全面创优计划奠定了坚实的基础。

## 7 铸造精品,严把工程质量关

以 ISO9 001 质量管理体系为标准,建立并保持质量管理体系的有效运行为基础,按行规干,做到“四个到位”为重点,用好一个“有效的激励机制”这个辅助手段,确保质量管理工作的有序开展,即“一四一”质量工作思路和做法。

## 7.1 坚持“建立并保持质量管理体系的有效运行”为基础， 按行规干

### 7.1.1 坚持“建立并保持质量管理体系的有效运行”为基础

为了积极适应建筑市场的需要，我们必须实施 ISO 9000 系列质量管理体系标准，形成了一整套“符合部队特色、满足顾客要求”的质量管理体系文件。按照相应的要求并结合项目实际建立整合型管理体系，从项目组织机构、人员职责、资源配置、内部程序、施工过程控制等进行了全面的策划，以管理体系的正常有效运行确保了各项工作规范化、标准化、管理经常化，以工作质量确保工程质量。

每年年终，组织一次全员全面的学习，让管理体系标准和管理体系文件的思想深入人心，使人人懂标准，人人会标准，用标准和体系文件的程序来规范自己的质量管理行为，促进各项质量管理活动正常、全面、有效地开展，保证工程质量得到有效控制。坚持 ISO 9001 质量管理体系标准，主要是要坚持它的八大质量管理原则；坚持它的 PDCA 循环；坚持它的相关质量管理基本程序，关注顾客、满足顾客要求，达到顾客与企业共赢的局面。

### 7.1.2 按行规干

中国安能建设公司是一个具有水利水电施工特级总承包的资质单位，但是，也承担铁路、交通、航运等工程的施工，因此，学习各个行业的行规是十分必要的。

通过学习，我们的主要施工技术与管理人員逐步熟悉了铁路行业的施工技术与知识，掌握了铁路工程施工的一般规律，为落实按行规干打下了基础，为后来的施工起了非常好的指导作用。

## 7.2 做到“四个到位”

“四个到位”是我们抓质量的途径和具体做法，也是 ISO9000 质量管理体系标准和按行规干在质量工作中的具体体现和实现形式。

### 7.2.1 准备到位

工程施工的准备过程是落实质量计划的第一步，要全面从资源配置和技术准备等方面切实做到位。资源配置包括人员的质量与数量、机械设备的质量与数量、材料的质量与数量是否与工程进展匹配和合理，是否满足工程要求，在施工中不断对资源进行优化。

在技术准备方面，每项工作开工前在技术培训、技术方案、技术交底等方面进行充分的准备和酝酿，同时做好图纸核对优化工作。另外，作业人员、技术人员和管理人员配备充分合理，保证各层次的人员满足施工需要。

严格把好开工准备关，真正做到了施工准备到位，打有准备之战，是杜绝盲目开工和由于开工准备不足而影响质量现象出现的基石。准备到位是抓好质量的前提和基础，充分的准备是成功的一半；反之，工程质量就成了无源之水、无本之木。

### 7.2.2 工序到位

工序到位包含两层含义，就是在施工过程中，一方面每一个工序都不能省略，都必须做；另一方面就是每一个工序均要按照技术要求做好，做到位。工序是我们现实实体质量的单位步骤，工序到位是抓好质量的重点，是保证实体质量的关键所在。

### 7.2.3 检测到位

检测到位就是严格按照质量检测的程序、阶段，对实体质量进行检查或检测。对于检测或检查符合要求的工序、原材料、单元工程、分部工程、单位工程等实行放行，对于检查或检测不符合施工技术规范，不予以放行，坚决实行返工或其他处理，直至检查或检测符合要求为止。

检测到位要分层次进行，特别注意单元工程和重要工序、原材料和关键部位的检测。对于单元工程，保证项目和基本项目必须 100% 合格，允许偏差项目必须保证 70% 以上的合格率。只有满足上述检测要求的工程，才能进入下一步施工。

检测到位是防止质量盲区发生的必由之路，是验证质量是否合格的重要手段，是质量控制的依据。

### 7.2.4 资料到位

资料到位就是要对工程质量的记录严格要求，各种资料必须齐全、真实、可信，具有良好的保存性。青藏铁路 19 标段工程，从开工前的开工申请手续资料、施工组织设计、技术交底、施工过程的质量记录、检测记录，质量验收资料、施工后的监测记录等基本做到了到位。

施工过程中，内业资料的到位为今后竣工资料的整理、完善和移交打下良好的基础。资料事关质量行为，是抓质量成果的最终体现，也是工程竣工后档案的基础。

### 7.3 激励机制

激励机制主要包括精神激励与物质激励两种方式。根据部队施工的实际情况，我们把二者两者有机地结合起来，基本形成了一个良好的激励机制，充分调动广大施工人员的质量意识，确保了质量工作的顺利进行。

对施工质量实行每周和每月公布制度，对于质量控制好的单位和个人进行书面表扬，进行物质奖励，对于质量控制较差的单位和个人进行书面批评，并酌情进行经济处罚，切实做到了鼓励先进，鞭策落后，调动积极性，搞好质量工作。

总之，按照 ISO 9000 系列质量管理体系标准建立并保持质量管理体系的有效运行为基础，按照施工行规，坚持“施工准备到位、工序到位、检测到位和资料到位”重点，用一个有效的激励机制，辅助质量工作得到了稳步开展。

## 8 安全第一，责任重于泰山

“青藏铁路无小事，事事讲政治。”自 2003 年 3 月份上场以来，我们认真落实“安全第一，预防为主”的方针，始终把安全工作当作整个标段工程的头等大事，针对青藏铁路施工中地质结构复杂，气候极为恶劣，道路崎岖，通讯不畅等实际，强化安全，严格管理，求真务实，依靠全员力量抓好安全工作并做到“三到位”，实现安全生产无伤亡事故，受到了青藏总指和质检总站及青藏两省区各级领导的高度赞扬。

### 8.1 认识到位，是安全生产的前提条件

“安全是企业永恒的主题，安全责任重于泰山，抓好安全生产，是企业发 展先进生产力和先进文化的必然要求，也是企业维护和实现广大职工群众根本利益的必然要求”，这是全体项目官兵的共识。因此，在施工过程中，指挥部组织全体参建者开展多种形式的安全教育，召开安全生产动员大会，进行思想政治教育、安全管理教育、安全常识教育等，从而增强全员安全生产和自我保护意识，增强全员安全文化素质，全面提高全员安全生产工作的整体水平。

### 8.2 措施到位，是安全生产的重要手段

根据工程特点，制定了一系列切实有效的安全管理措施：① 制定了全员安全管理规定、安全生产目标，实现了项目部、队、班组三级安全承包责任制，具有“安全一票否决权”；② 制定安全交接班制度。当班人对安全工作负责到底，对施工现场、机械部位、易燃易爆物品等全面进行监督检查，排除事故隐

患。建立激励约束机制，坚持宣传鼓动到现场、检查指导到现场、奖罚到现场、服务慰问到现场，各项管理规章制度成为全体官兵的行为准则。

### 8.3 落实到位，是安全生产的根本保证

指挥部在施工生产中制定了许多安全管理规章制度，如果不能落实兑现，一切制度都等于零。为此，指挥部不仅从抓安全教育、建章建制入手，而且更重要的是，在制度落实上狠下功夫，把各项制度内容量化、细化到班组职工，做到人人职责明确，事事落实到位。其具体做法是：① 在施工生产全过程中坚持按章办事，重奖重罚决不手软；② 坚持制度面前人人平等，从严管理不留情；③ 坚持经常性考核，落实制度不走样；④ 坚持做到“四不放过”。同时，深入开展“安全生产月”、“百日安全无事故”、“安全生产大检查”等活动，这些举措在参建者中引起了强烈反响，极大地激发了他们的积极性和创新精神。

## 9 树环保理念，筑绿色工程

作为世界“第三极”和“亚洲水塔”之称的青藏高原，高寒、干旱、缺氧，自然生态独特，保护环境是青藏铁路建设成败的关键。在施工过程中严格执行国家和青藏铁路总指挥部的各项规定，保护好高原多年冻土环境，保护好野生动植物，保护好草原，控制施工污染，合理处置废液、废气，减少空气粉尘及噪音污染，控制水土流失及水的污染，保护生态环境，切实抓好青藏铁路施工期间的环境与生态保护工作。我们将“视保护生态与环境如同保护人类自身”，贯彻“预防为主，保护优先，开发与保护并重”的原则，在搞好工程建设的同时，下决心把环境和生态保护工作抓好，爱护青藏高原的一草一木，对人类负责，对历史负责。青藏铁路的环境保护更是铁路史上前所未有的，我们上场伊始，就深入贯彻“百年大计，环保第一”的思想，强化广大参建者的环保意识，在环保工作方面取得了有目共睹的成绩。① 建立健全环保组织领导机构。指挥部首先成立了以指挥长为组长的环保领导小组，指挥部环保负责人主抓环保工作，各施工队设专职环保员，负责施工期的环保工作和环保监督。其次是建立健全岗位负责制。结合施工组织设计，制定实施性的环保措施，从各方面入手，形成严格的控制局面，确保环境保护工作落实到位。② 制定环境目标和指标。指挥部结合管段内的实际情况，制定了“文明施工，环保第一”的目标，坚持环保至上的原则，坚持“预防为主，环保优先，开发与环保并重”的方针。各项目部与施工队细化目标，严格按照环保要求，规范操作，爱护青藏高原的一草一木，爱护野生动植物，争创绿色工程。③ 健全环境保护保证体系，强化环

保管理。指挥部坚持定期和不定期的召开环保会议,研究环保工作中的措施和方法,解决施工过程中存在的环保问题,协调进度、环保与生产之间的矛盾,布置下一步工作的环保计划,使环保工作常抓不懈。④制定施工环保、生态环境保护规章制度。我们先后制定了“保护野生动植物的规章制度”,“生态环境保护制度”,“临时工程及生活区的环境保护制度”,“冻土环境保护制度”等八项制度,我们还与各项目部、施工队签订了“环保包保责任状”,使我们的制度、承诺不再是一句空话。⑤抓好施工过程中的措施落实。我们对于环境负责人要求做到“三勤”,即“勤检查、勤落实、勤监督”,环保负责人每日必须到施工现场,在施工现场发现问题及时纠正,对施工人员要求做到“三不、一严”,即“不破坏草皮,不碾压草皮,不捕杀野生动物,严格施工规范要求”。

## 10 结束语

青藏铁路 19 标段,位于唐古拉山南麓的藏北无人区内,气候恶劣、生态脆弱、高寒缺氧,多年冻土施工技术复杂,我们坚持强化内部管理,特别以班子素质的提高为重点,进行全面、全过程、全员管理,在项目组织、技术方案、质量安全、环保、效益、劳务管理等方面作了一些工作,取得一些成绩。但是,也存在一些值得进一步加强的地方,如对市场经济规律的掌握,对法律法规的学习,对高原施工技术的把握等,仍是我们的薄弱环节,需要我们今后进一步努力。

### 参考文献

- [1] 中国建筑业协会工程项目管理专业委员会主编.建设工程项目管理规范[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] 李青年主编.建设工程合同管理与合同示范文本应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [3] 中国建筑业协会主编.现行建筑行业管理规章制度全书[M].北京:中国物价出版社,2002.

# 气温变化对青藏铁路多年冻土的影响初探

周志东 周春清 廖万雍

【摘 要】 青藏铁路是世界瞩目的高原铁路(平均海拔高程 4 500 m),其中 546 km 经过多年冻土区。在多年冻土区上修筑高原铁路是一个世界的难题,特别是多年冻土为“感温易变体”,其热稳定性的研究是世界级的难题。尤其是气温变化对多年冻土的影响,是一个各界广泛关注的问题,本文就此进行了初步的探讨。

【关键词】 气温;多年冻土;平均地温;影响;青藏铁路

## 1 青藏铁路高原多年冻土概况

青藏铁路二期土建工程格尔木至拉萨段全长 1 120 km,其中 546 km 穿越高原多年冻土区。多年冻土主要分布于青海西大滩到西藏安多谷地,海拔在 4 500 m 以上,有成片连续分布的片状多年冻土,也有不连续分布的岛状多年冻土,属于高原多年冻土。高原多年冻土是一种特殊的地质体,它之所以特殊,主要在于其物理性质、化学性质及工程特性与温度有极其密切的关系,是“感温易变体”。因此,其热稳定性的研究是世界级的难题,尤其是气温变化对青藏铁路冻土的影响,一直是人们广泛关注的问题。下面就气温对冻土的影响进行探讨。

## 2 气温与多年冻土的关系研究

### 2.1 气温与多年冻土平均地温的有关数据收集

本次对我国的部分多年冻土的平均气温与平均地温资料进行了收集与整理,主要收集了大兴安岭与青藏铁路的部分资料,表 1 所示。

表 1 多年冻土地温与气温数据表

| 地 点   | 海拔/m | 所在地年<br>平均气温/°C | 多年冻土年<br>平均地温/°C | 备 注    |
|-------|------|-----------------|------------------|--------|
| 西 林 吉 | 670  | -5              | -1.3             | 据文献[1] |
| 霍拉河盆地 | 514  | -4.8            | -1               | 据文献[1] |

续表 1

| 地 点                 | 海拔/m  | 所在地年<br>平均气温/°C | 多年冻土年<br>平均地温/°C | 备 注    |
|---------------------|-------|-----------------|------------------|--------|
| 朝晖                  | 726   | -5.4            | -1.1             | 据文献[1] |
| 阿木尔(劲涛)             | 747   | -5.4            | -1.7             | 据文献[1] |
| 塔丰                  | 560   | -2.8            | -0.3             | 据文献[1] |
| 满归                  | 880   | -4.8            | -1.2             | 据文献[1] |
| 满归以北 25km 白<br>马坎   |       | -4.8            | -1.4             | 据文献[1] |
| 翠岭 2#隧道             | 1072  | -4.6            | -1.3             | 据文献[1] |
| 得尔布尔                | 616.5 | -5.4            | -1.1             | 据文献[1] |
| 莫尔道嘎被 2km           |       | -5.2            | -1.3             | 据文献[1] |
| 加格达奇                | 1123  | -1.4            | -0.1             | 据文献[1] |
| 牙克石                 | 667   | -2.9            | -0.2             | 据文献[1] |
| 乌尔其汗                | 700   | -3              | -0.45            | 据文献[1] |
| 藏北无人区南坡             | 4840  | -4.0            | -0.6             | 据文献[6] |
| 唐古拉山区               | 4940  | -6.0            | -2.5             | 据文献[6] |
| 安多无人区<br>DK1466+606 | 4865  | -5.3            | -1.5             | 据铁一院   |
| 布曲河谷                | 4700  | -4.6            | -0.5             | 据文献[6] |
| 沱沱河断陷盆地             | 4560  | -4.35           | -0.35            | 据铁一院   |
| 乌丽盆地                | 4590  | -4.5            | -0.5             | 据文献[6] |
| 北麓河断陷盆地             | 4560  | -4.75           | -0.75            | 据文献[6] |
| 风火山                 | 4891  | -5.95           | -2.25            | 据铁一院   |
| 可可西里                | 4580  | -5.75           | -1.63            | 据铁一院   |
| 昆仑山区                | 4723  | -5.8            | -2.05            | 据铁一院   |
| 西大滩断陷谷地             | 4528  | -4.1            | -0.35            | 据文献[6] |
| 岛状多年冻土              |       | -3.0            | -0.2             | 据文献[6] |

注：部分人类活动影响较大的地区数据没有收集与整理。

## 2.2 数据分析

### 2.2.1 气温与地温分区分析

首先对数据作散点图(见图1)。从图1可知:一般情况下,气温在 $-2^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 时,多年冻土在温度分区上属于Tp-I(高温极不稳定多年冻土区);气温在 $-4\sim -5^{\circ}\text{C}$ 时,多年冻土在温度分区上属于Tp-II(高温不稳定多年冻土);气温小于 $-5^{\circ}\text{C}$ 时,多为低温基本稳定冻土或低温稳定冻土。

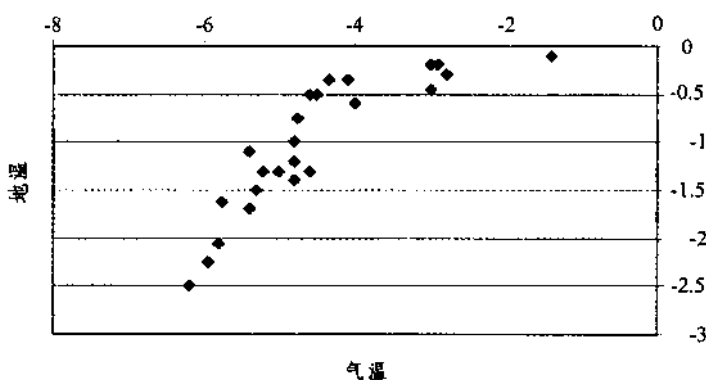


图1 气温与地温散点分布图

### 2.2.2 相关分析

根据所收集的数据,对气温与多年冻土平均低温进行了相关分析,如图2所示。

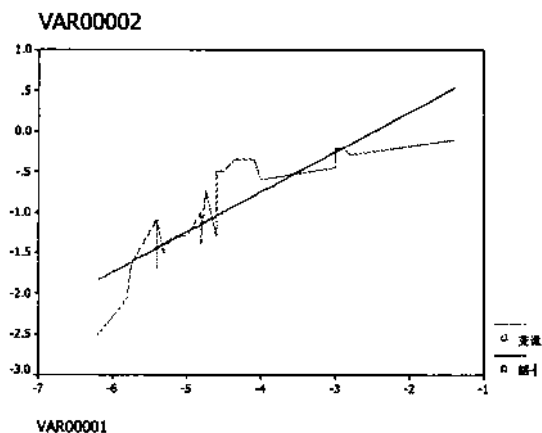


图2 回归分析图 (VAR00001 为气温, VAR00002 为地温)

采用直线进行拟合,得到了下式:

$$Y=0.49462X+1.22631R=0.720669 \quad (1)$$

式中:  $Y$ ——多年冻土多年平均地温;

$X$ ——与冻土区相对应的气温。

从式(1)可知:气温与地温存在线性相关,其相关系数为 0.720 669,当多年平均气温大于  $-2.48^{\circ}\text{C}$ ,多年冻土的多年平均地温为 0,多年冻土可能消融;多年平均气温每上升  $1^{\circ}\text{C}$ ,多年冻土的平均地温上升  $0.5^{\circ}\text{C}$  左右。

### 3 中国西部气温变化对青藏铁路多年冻土影响分析

根据青藏铁路总指挥部 2003 年的有关通知,中国科学研究气候研究所的研究预测:中国西部在 2020 年以前,气温不会有大的变化,但是 2020—2050 年期间,中国西部的气温平均上升  $2.2\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ 。如果说上升  $2.2^{\circ}\text{C}$ ,青藏铁路多年平均地温可能上升  $1.088^{\circ}\text{C}$ ,这意味着高温极不稳定冻土 ( $0\sim -0.5^{\circ}\text{C}$ ) 与高温不稳定冻土 ( $-0.5^{\circ}\text{C}\sim -1.0^{\circ}\text{C}$ ) 会消融,少量低温基本稳定冻土消融;如果上升  $2.6^{\circ}\text{C}$ ,多年冻土平均地温将上升  $1.286^{\circ}\text{C}$ ,这意味着少部分的低温基本稳定冻土将消融。在青藏铁路所经的 546 km 冻土区内,其中 197.43 km 为高温极不稳定冻土 (占总量的 35.7%), 87.118 km 为高温不稳定冻土 (占总量的 15.7%), 温升后,线路所经的这些地段,大部分多年冻土消亡,对于高含冰量的多年冻土,其融沉系数大,该路基和其他建筑物、构筑物的地基产生较大的沉降变形,在一定条件下,这种变形可能导致路基、构筑物或建筑物的破坏,给线路的运营造成不可估量的损失。

目前,从铁道部第一设计院对青藏铁路的设计看,对高温极不稳定冻土和高温不稳定冻土采取的设计原则为:控制或延缓冻土融化原则,基本上考虑了气候变化的影响。然而,在高原冻土上修筑铁路是人类的首次伟大壮举,许多问题没有成熟的经验和理论,气温上升导致冻土融化对铁路安全运营的影响不易预测,仍值得进一步研究,切不可麻痹大意。

### 4 结束语

本次气温对青藏铁路多年冻土的影响研究是初步,其中资料的收集不够全面,但是可能代表性的得出初步结论:

(1) 平均气温与多年冻土的平均地温存在线性相关关系,其相关系数为 0.720 669,可以说,对于多年冻土这样一个感温易变体来说,气温是影响多年

冻土平均年地温的主导因素。

(2) 如果 2020—2050 年期间, 中国西部的气温上升  $2.2\sim 2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 那么, 青藏铁路多年冻土的平均地温将上升  $1.088\sim 1.286\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 这样可能导致所用的高级不稳定冻土、高温不稳定冻土和少量低温基本稳定冻土消融, 所经线路的路基、构筑物或建筑物造成破坏, 给铁路运营造成不可估量的影响; 铁道部第一设计研究院虽然采取了措施, 但是仍值得深究。

(3) 本文只是一次初步的探讨, 在此提出此问题, 意在引起广大参建工作者或同行的重视, 以期关注和讨论气温对多年冻土的影响。

### 参考文献

- [1] 铁道部第三勘测设计研究院编著. 冻土工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [2] 铁道部第一勘测设计研究院. 青藏铁路有关设计文件[R]. 兰州: 铁道部第一勘测设计研究院, 2001.
- [3] 郑杰主编. 交通工程施工新技术[M]. 北京: 时代传播音像出版社, 2003.
- [4] 张鲁新编著. 青藏铁路建设冻土专业技术和施工基础[R]. 2003.
- [5] 黄小铭著. 青藏铁路高原多年冻土区施工技术基础[R]. 2002.

# 浅谈青藏铁路 19 标段质检段落划分

邹 伟 王 斐

【摘 要】 本文结合青藏铁路 19 标段工程实际, 浅谈质量段落的划分, 为质量管理进行量化, 以进一步提高质量管理的层次。

【关键词】 青藏铁路; 质量; 分段; 路基; 高含冰量冻土; 少冰、多冰冻土; 融区; 路堤; 路堑

## 1 工程简介

我部承建的 19 标段为新建青藏铁路格拉段第二期土建工程之一, 位于青藏铁路翻越唐古拉山口后的唐古拉山南坡, 属于多年冻土区。起点桩号为 DK1451+600, 终点桩号为 DK1477+400, 全长 25.8 km。标段范围内主要为路基工程、桥涵工程与站场工程。

青藏铁路是国家重点工程, 是全国铁路网的重要组成部分, 因此, 在具体施工中把好质量关尤其重要。而把好质量关不外乎体现在现场质量跟踪、检查控制和质量的报检报验上。由于青藏铁路的特殊性, 它的质检段落的划分与其他省区铁路及公路的划分存在较大的差异, 在一些地段上质检段落的划分还存在不区分性。根据施工设计图, 我标段施工区域工程地质较复杂, 仅特殊路基就有 36 段, 共长 8.385 km, 且长短不一, 夹在普通路基之间; 另外, 还有 33 座大小不一的桥、25 座涵洞及一座站场。由于 19 标段属于无人区, 地质勘探程度不高, 一些区域的地质情况还不很明确, 这就给质量管理及报检报验带来一定的困难。如何划分好质检段落, 成为质量控制的关键之一。

## 2 质检段落划分原则及方法

为了使质量管理落到实处并带来明显的效果, 我们结合相关规范及文件对 19 标段进行了质检段落划分, 现将划分依据阐述如下:

### 2.1 在划分质检段落前必须熟悉相关内容

必须熟悉相关技术图纸、相关规范文件以及工程指挥部工程科下发的施工组织设计和技术交底等。

## 2.2 根据相关文件可将 19 标段划分为路基、桥涵及站场三个大段

在桥涵大段中，每一座桥梁或每一座涵洞因其可以发挥独立功能，所以分为子段。因站场只有一座，故为一段。

## 2.3 路基段落的划分必须根据的几点

(1) 根据图纸先明确自己施工区域内各段地质条件及地基处理情况：

① 依据《施工技术细则》条文说明 4.2.1、6.3.2 知：少冰、多冰冻土分布地段路基按一般地区路基设计，所以施工图《路基一般设计横断面图》中所涉及的桩号地段地质条件可认可为少冰、多冰冻土地段；② 依据《路基个别设计图中》可查找出：高含冰量冻土路基处理工程段地质条件为富（饱）冰冻土，融后具有融沉性；冻结层上水處理及冻土湿地地基处理工程段地质条件为多冰冻土，在分段中可统一划分为少冰、多冰冻土地段，剩下属于融区。

(2) 通过明确概念，在分段过程中施工区域可分为：高含冰量冻土地段路堤，少冰、多冰冻土地段路堤，多年冻土融区地段路堤；少冰、多冰冻土地段路堑，多年冻土融区地段路堑；高含冰量冻土地段路堤与桥梁过渡段，少冰、多冰冻土地段路堤与桥梁过渡段，多年冻土融区地段路堤与桥梁过渡段，高寒冰量冻土与少冰、多冰冻土过渡段。多年冻土区与融区过渡段。

(3) 在分段过程中，取分桩号地段采用以下方法：① 依据过渡段不少于 20 m 的规定，与桥梁相接的路堤在划分分部中如果少于 50 m，则过渡段取整个分部地段作为分段；如果大于 50 m，则过渡段取整个分部地段靠近桥梁一侧 20 m 作为分段。② 依据《施工技术细则》、技术交底及《验收标准》3.54 和 3.55，高含冰量冻土与少冰、多冰冻土过渡段在少冰、多冰冻土地段靠近高含冰量冻土地段一侧取 20 m 作为一个分段，多年冻土区与融区过渡段在融区地段靠近多年冻土区一侧取 20 m 作为一个分段。③ 其余地段依据地质条件（高含冰量冻土，少冰、多冰冻土，融区）划分为路堤和路堑分段。

(4) 对有些里程过长的分段，为了在基床以下进行找平，通过现场勘察，将其划分为更小的子分段。

## 3 划分结果

通过划分，在报检时将路基、桥涵与站场分为三个单位工程，其中路基单位工程再分段为分部工程，桥涵单位工程的再分段为子单位工程。以 DK1466+493—DK1477+400 为例，具体分段如表 1、表 2 所示。

表 1 地质情况统计表

| 桩号                              | 段落                           | 结构 | 地质<br>温区                | 地基处理情况                 | 备 注                           |
|---------------------------------|------------------------------|----|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| DK1466 +<br>493~DK1469 +<br>137 | DK1466 +<br>493~DK1466 + 719 | 桥  |                         |                        |                               |
|                                 | DK1466 +<br>719~DK1466 + 800 | 路基 | 属于<br>T <sub>CP-1</sub> | 高含冰量冻土路基处理<br>工程       | 该段 3.6 m 以下均为富冰<br>冻土, 融后具融沉性 |
|                                 | DK1466 +<br>800~DK1466 + 850 | 路基 |                         |                        |                               |
|                                 | DK1466 +<br>850~DK1466 + 891 | 路基 | 属于<br>T <sub>CP-1</sub> | 冻土湿地地基处理及路<br>堤坡面防护工程  | 多年冻土上限以下多冰<br>冻土              |
|                                 | DK1466 +<br>891~DK1466 + 929 | 桥  |                         |                        |                               |
|                                 | DK1466 +<br>929~DK1467 + 180 | 路基 |                         |                        |                               |
|                                 | DK1467 +<br>180~DK1467 + 264 | 路基 | 属于<br>T <sub>CP-1</sub> | 冻结层上水处理及冻土<br>湿地地基处理工程 | 多年冻土上限以下多冰<br>冻土              |
|                                 | DK1467 +<br>264~DK1467 + 555 | 桥  |                         |                        |                               |
|                                 | DK1467 +<br>555~DK1467 + 710 | 路基 |                         |                        |                               |
|                                 | DK1467 +<br>710~DK1467 + 850 | 路基 | 属于<br>T <sub>CP-1</sub> | 高含冰量冻土路基处理<br>工程       | 属饱冰冻土、具强融沉性                   |
|                                 | DK1467 +<br>850~DK1468 + 100 | 路基 |                         |                        |                               |
|                                 | DK1468 +<br>100~DK1468 + 360 | 路基 | 属于<br>T <sub>CP-1</sub> | 冻结层上水处理及冻土<br>湿地地基处理工程 | 多年冻土上限以下多冰冻<br>土              |
|                                 | DK1468 +<br>360~DK1468 + 700 | 路基 |                         |                        |                               |
|                                 | DK1468 +<br>700~DK1468 + 957 | 路基 | 属于扎<br>加藏布<br>融区        | 浸水路堤及路堤坡面防<br>护工程      |                               |
|                                 | DK1468 +<br>957~DK1469 + 137 | 桥  |                         |                        |                               |

表2 划分结果统计表

| 桩号                           | 分段(部)桩号                      | 子分段(部)桩号                     | 名称                      |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| DK1466 +<br>493~DK1469 + 137 | DK1466 +<br>493~DK1466 + 719 | 桥                            |                         |
|                              | DK1466 +<br>719~DK1466 + 739 | DK1466 +<br>719~DK1466 + 739 | (高含冰量冻土)路堤与桥梁过渡段        |
|                              | DK1466 +<br>739~DK1466 + 800 | DK1466 +<br>739~DK1466 + 800 | 高含冰量冻土地段路堤              |
|                              | DK1466 +<br>800~DK1466 + 820 | DK1466 +<br>800~DK1466 + 820 | 高含冰量与少冰冻土过渡段            |
|                              | DK1466 +<br>820~DK1466 + 850 | DK1466 +<br>820~DK1466 + 850 | 少冰、多冰冻土地段路堤             |
|                              | DK1466 +<br>850~DK1466 + 891 | DK1466 +<br>850~DK1466 + 891 | 路堤与桥梁过渡段                |
|                              | DK1466 +<br>891~DK1466 + 929 | 桥                            |                         |
|                              | DK1466 +<br>929~DK1466 + 949 | DK1466 +<br>929~DK1466 + 949 | 路堤与桥梁过渡段                |
|                              | DK1466 +<br>949~DK1467 + 230 | DK1466 +<br>949~DK1467 + 230 | 少冰、多冰冻土地段路堤             |
|                              | DK1467 +<br>230~DK1467 + 264 | DK1467 +<br>230~DK1467 + 264 | (少冰、多冰冻土地段)路堤与<br>桥梁过渡段 |
|                              | DK1467 +<br>264~DK1467 + 555 | 桥                            |                         |
|                              | DK1467 +<br>555~DK1467 + 575 | DK1467 +<br>555~DK1467 + 575 | (少冰、多冰冻土地段)路堤与<br>桥梁过渡段 |
|                              | DK1467 +<br>575~DK1467 + 690 | DK1467 +<br>575~DK1467 + 690 | 少冰、多冰冻土地段路堤             |
|                              | DK1467 +<br>690~DK1467 + 710 | DK1467 +<br>690~DK1467 + 710 | 高含冰量与少冰冻土过渡段            |
|                              | DK1467 +<br>710~DK1467 + 850 | DK1467 +<br>710~DK1467 + 850 | 高含冰量冻土地段路堤              |
|                              | DK1467 +<br>850~DK1467 + 870 | DK1467 +<br>850~DK1467 + 870 | 高含冰量与少冰冻土过渡段            |
|                              |                              | DK1467 +<br>870~DK1467 + 950 | 少冰、多冰冻土地段路堤             |

续表 2

| 桩 号                          | 分段 (部) 桩号                    | 子分段 (部) 桩号                   | 名 称             |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| DK1466 +<br>493~DK1469 + 137 | DK1467 +<br>870~DK1468 + 700 | DK1467 +<br>950~DK1468 + 100 |                 |
|                              |                              | DK1468 +<br>100~DK1468 + 360 |                 |
|                              |                              | DK1468 +<br>360~DK1468 + 460 | 大临便道预留过渡段       |
|                              |                              | DK1468 +<br>460~DK1468 + 700 | 少冰、多冰冻土地段路堤     |
|                              | DK1468 +<br>700~DK1468 + 720 | DK1468 +<br>700~DK1468 + 720 | 多年冻土区与融区地段路堤过渡段 |
|                              | DK1468 +<br>720~DK1468 + 937 | DK1468 +<br>720~DK1468 + 937 | 多年冻土融区地段路堤      |
|                              | DK1468 +<br>937~DK1468 + 957 | DK1468 +<br>937~DK1468 + 957 | (融区地段) 路堤与桥梁过渡段 |
|                              | DK1468 +<br>957~DK1469 + 137 | 桥                            |                 |

#### 4 结束语

通过查找相关规范与文件,并与监理现场实地勘察及反复论证,较好地解决了 19 标段质检段落划分的一些重点、难点及不区分性。根据我们对青藏铁路 19 标段所划分的质检段落,将 19 标段分割为较理想的段落,在质量管理上实行了量化,既能使施工队较好地掌握施工地段和预留过渡地段,做到从容施工,也能使质检人员更好地进行控制质量,上报的质检资料也更真实、准确地反映现场的质量情况。

#### 参考文献

- [1] 青藏铁路公司编. 青藏铁路高原多年冻土区路基工程施工技术细则[R]. 2002.
- [2] 青藏铁路公司编. 青藏铁路高原多年冻土区路基工程质量检验评定及验收标准[S]. 2001.

# 青藏铁路多年冻土区季节性冻土 回冻深度变化的混沌特征

周志东 张 磊

【摘 要】 多年冻土区季节性冻土是指冬季冻结、夏季融化的冻土，其回冻深度是不断变化的。在各种因素的作用下，季节性冻土回冻是如何变化？本文认为它既不是完全确定的，也不是完全随机的，它的变化发展过程具有确定性—随机性特征，即混沌特征，本文就此进行了初步研究。

【关键词】 青藏铁路；多年冻土；季节性冻土；混沌特征

## 1 青藏铁路多年冻土简介

青藏铁路二期土建工程格拉段，起点位于青海格尔木市，终点位于拉萨市，全长 1142 km（新建 1120 km），其中多年冻土区约 546 km。青藏高原冻土是一种高海拔多年冻土，不同于西伯利亚等地区的高纬度冻土，人们对它的研究始于 20 世纪 50 年代，但是，对它的认识仍然不够成熟，许多认识尚不够清楚。对多年冻土区季节性冻土的回冻认识也是如此，回冻的变化是完全确定的，还是完全随机的？本文就此进行探讨。

## 2 多年冻土区季节性冻土的位移曲线

季节性冻土的回冻位移曲线为 S 形（见图 1），一般在十月底至十一月初季节性冻土开始回冻，到二月回冻至多年冻土上限，四月底季节性冻土开始融化。

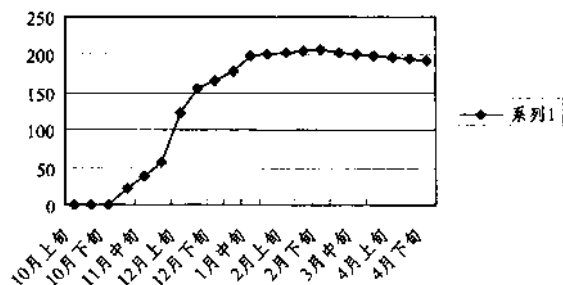


图 1 季节性冻土一般回冻深度位移曲线

### 3 分叉与混沌

根据回冻深度位移  $S$  曲线可以用 Verhust 模型对季节性冻土回冻深度进行描述, 其模型为:

$$\frac{dh}{dt} = ph - qdh^2 \quad (1)$$

式中:  $h$ ——回冻深度位移值;

$T$ ——时间;

$p, q$  为常数。

将式 (1) 改写成为差分的形式, 且取  $dt=1$ , 则有:

$$h_{n+1} = (p+1) \left( 1 - \frac{q}{p+1} h_n \right) h_n \quad (2)$$

式中,  $n=1, 2, \dots$

设  $\lambda = p+1$ ,  $x_n = \frac{q}{p+1} h_n$ , 那么式 (2) 为:

$$x_{n+1} = \lambda x_n (1 - \lambda) x_n \quad (3)$$

当  $\lambda \in [0, 4]$  时,  $x \in [0, 1]$ , 此时, 式 (3) 为一复杂的动力学方程, 系统表现为复杂的动力学行为, 即季节性冻土的回冻表现为复杂的动力学行为。

用计算机进行迭代计算, 当参数  $\lambda$  取不同值时, 系统表现为不同的动力学行为。

(1) 当  $0 \leq \lambda \leq 1$  时, 系统有一个稳定平衡, 即  $x=0$ 。也就是对区间  $[0, 1]$  内的任何初值  $x_0$ , 当  $n \rightarrow \infty$  时,  $x_n \rightarrow 0$ 。

(2) 当  $0 < \lambda \leq 3$ , 系统出现另一个平衡,  $x = 1 - \frac{1}{\lambda}$ 。

(3) 当  $3 < \lambda \leq 1 + \sqrt{6}$  时系统出现分叉, 对任何初值  $x$  (除平衡态  $0, 1 - \frac{1}{\lambda}$  外), 对于时间序列式 3 无限趋于  $x_1, x_2, x_1, x_2, \dots$ , 即  $x_1 \Leftrightarrow x_2$ 。

$$x_1, x_2 = \frac{1 + \lambda \pm \sqrt{(1 + \lambda)(\lambda - 3)}}{2\lambda} \quad (4)$$

式 (4) 是式 (3) 周期为 2 的解, 即  $x_{n+2} = x_n$ , 或  $x = f(f(x))$ 。

总之, 当  $\lambda$  递增到 3 时, 系统的周期由 1 变为 2, 这也就是系统的周期倍化, 即分叉。

(4) 当 $\lambda$ 继续增加, 越过  $1 + \sqrt{6}$  时, 系统又一次出现了周期倍化, 由周期 2 变为周期 4。

(5) 随 $\lambda$ 的继续增大, 出现了表 1 所列的多个分叉点 $\lambda_m$ 及相应的周期倍化情况 (见图 2)。当 $\lambda \geq \lambda_\infty = 3.569\ 945\ 672$  时, 系统具有  $2^\infty$  个解, 系统处于无限不循环状态, 对初值具有极强的敏感性, 系统具有随机性, 处于混沌状态, 表现为混沌特征。

即回冻过程既不是完全随机的, 也不是完全确定的。

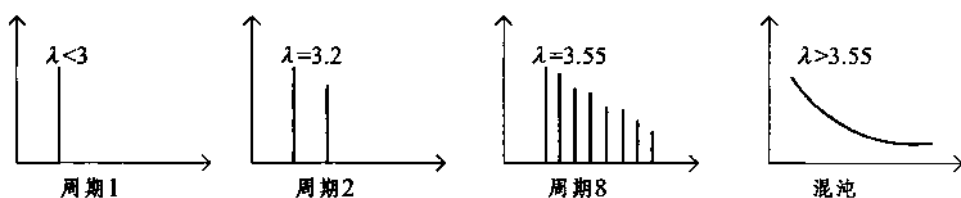


图 2 分叉走向混沌图解

#### 4 季节性冻土回冻的混沌特征意义

季节性冻土在 10 月以前基本不回冻, 回冻深度为 0; 随着气温的缓慢下降, 10 月下旬, 季节性冻土表层吸热与放热处于平衡状态, 回冻深度仍为 0; 10 月中旬至 11 月上旬, 开始了缓慢不稳定回冻, 11 月份为缓慢稳定发展期, 12 月上旬至次年 3 月上旬为迅速发展期, 3 月中旬至 4 月中旬为动态平衡期, 4 月下旬至 9 月中旬为消失期。

如果回冻系统的演化服从 Verhulst 模型, 则季节性冻土的回冻通向混沌的道路是通过倍周期分叉实现的, 即回冻与融化是复杂动力学行为。

从混沌特征来分析, 不会回冻, 即回冻深度为 0,  $\lambda \leq 3$ , 即负积温与正积温之比小于 3 时下式成立:

$$a = \frac{-\sum t\tau}{+\sum t\tau} \geq 3 \quad (5)$$

式中:  $a$ ——积温;

$t$ ——温度。

一般来说,  $a \geq 3.57$  时, 就能判断季节性冻土的回冻规律具有混沌态。

#### 5 回冻深度的可预报性

青藏高原温差大, 季节性冻土的回冻系统是一个复杂的开放和动力系统,

回冻与融化往往是交替进行的。回冻深度的预测与季节性冻土是否具有混沌特征有关,根据回冻前有序程度增大( $\alpha$ 减小)原则,判断系统的非稳定程度。只有负积温与正积温之比大于3时,才有季节性冻土可能回冻,当大于3.57时,回冻进入混沌状态。因此,积温成为了预测季节性冻土能否回冻的关键。根据中科院对中国西部气象的预测,2025年以前,西部气温不会有明显的变化,2025—2050年,西部气温平均会上升 $2.2\sim 2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这对青藏高原的年负积温与正积温或日负积温与日正积温的比值产生巨大的变化,导致季节性冻土的回冻而产生对多年冻土的保护作用下降,多年冻土的破坏加剧,对铁路等工程建筑物或构筑物的稳定性产生负面影响。

## 6 结 论

多年冻土区季节性冻土的回冻是一个复杂的非线性动力学行为。回冻系统为开放系统,决定季节性冻土回冻的关键是负积温与正积温之比。只有负积温与正积温之比大于3时,才有季节性冻土可能回冻;当大于3.57时,回冻进入混沌状态。回冻深度具有确定性—随机性特征,是可预测的,主要根据气温观测数据进行必要的判断。气温是控制多年区季节性冻土的主导因素,但是,地形地貌、水文、地质构造等对季节性冻土也具有次要的影响。

### 参考文献

- [1] 尼科里斯,普利高津著.探索复杂性[M].成都:四川教育出版社,1994;
- [2] 郑杰主编.交通工程施工新技术[M].北京:时代传播音像出版社,2003;
- [3] 张鲁新编著.青藏铁路建设冻土专业技术和施工基础[R].2003.

# 青藏铁路 19 标段三大难题攻关情况

周志东 杨华斌

**【摘要】** 青藏铁路 19 标段的施工过程也是一个“多年冻土，高寒缺氧，环境保护”三大难题的攻关过程。在实践中，不断优化施工方案和施工组织，解决了一些技术问题，本文就此做一简要的论述。

**【关键词】** 青藏铁路 19 标段；三大难题；攻关

## 1 多年冻土攻关

### 1.1 青藏铁路冻土概述

青藏高原多年冻土指冻结状态持续两年或两年以上的土(层)，是一种特殊的土类，属于高海拔的多年冻土，与高纬度的多年冻土存在一定的区别，它的物理性质、化学性质和工程特性都与温度密切相关。常规土类的性质主要受其颗粒的矿物成分、密实和含水量控制，其性质多表现为静态特性。青藏高原多年冻土除了上述因素外，还与土中含冰量和结构有关，而含冰量又直接与温度相关，随温度升高而减少。铁路建设的深度范围一般在 20 m 左右，在此深度范围内，由于气候的季节变化引起冻土温度的变化，而冻土的性质随温度呈现动态变化，多年冻土是一种对温度十分敏感而且性质不稳定的土体，是感温易变体。

多年冻土的工程分类：根据平面分布特征分为片状多年冻土(含局部融区)和岛状多年冻土；根据剖面特点分为衔接的和不衔接的多年冻土；根据总含水率分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层。一般把少冰和多冰冻土称为低含冰量冻土，把富冰、饱冰和含土冰层称为高含冰量冻土；根据易溶盐含量或泥炭化程度分为盐渍化冻土和泥炭化冻土；根据体积压缩系数和总含水率分为坚硬冻土、塑性冻土和泥炭化冻土；根据年平均地温分为高温冻土( $T_{cp} \geq -1.0^{\circ}\text{C}$ )和低温冻土( $T_{cp} < -1.0^{\circ}\text{C}$ )。

“融沉”和“冻胀”是高原多年冻土区工程建筑物破坏的主要原因，也是青藏铁路建成后影响其他安全运营的首要问题，对多年冻土进行工程分类后，对不同地温分区、不同工程分类和多年冻土有针对性的采取不同工程措施，使冻

土的“冻胀”和“融沉”控制在一定范围之内，保证铁路的正常运行。因此在青藏铁路多年冻土区工程的设计和施工中贯彻的技术路线是“冷却地基土体，减少传入地基土体的热量，增加地基土体冷储量”，基本实现冷热的准二极管工作原理，从而逐步实现保护多年冻土“指导思想从静态到动态的转变，保护冻土原则从被动到主动的转变，工程措施从单一到综合的转变”。

19 标段处于多年冻土区，其基本特征为：除河流、沟渠部分处于融区外，大部分为大片连续多年冻土，其上限一般为 3.5~5.5 m，富含冰量冻土和高含冰量冻土占全标段总长的 60% 左右。

## 1.2 综合分类，试验先行

19 标段属于二期工程，由于开工较晚，因此施工时可以借鉴先开工的兄弟单位在多年冻土区施工的经验及教训，避免很多不必要的浪费。在正式开工前，我们详细查阅了前人的资料，对施工区域内的多年冻土进行了仔细的探勘、研究和分析，对多年冻土的工程稳定性进行综合分类。在基底处理、路堤填筑、通风片石路堤倾填、土工材料的铺设方面先做试验段，摸索经济、快速、机械配套、试验检测、质量控制等方面的施工方法，工艺参劣并经监理工程师批准后才可全面展开施工。凡没有试验记录、试验总结的工程均不批准正式开工，从而使所有施工均处于有准备和受控状态。在一些控制到位，做法规范的段落组织观摩，从填料选择，含水量监控，摊铺厚度，碾压机械，碾压遍数，击实度检测等环节层层把关，严格标准，从而使试验成果广泛推广，全标段均衡施工，统筹安排，有序进行。

## 1.3 精心部署，联合攻关

遵照青藏总指的统一部署，本标段对路基沉降量进行长期的监测，对耐久性混凝土掺和外加剂的效果进行系列测试，对通风片石路基地段地温的变化进行长期观测，事实证明，效果均达到预期目的，也验证了设计理论。至 2007 年路基整体稳定，没有变形，混凝土没有开裂、受损，裂纹较少。

## 1.4 自主创新，提高技术水平

本标段在有关科研工作者的冻土理论和青藏总指的指令文件指导下，除严格遵循相关设计路线和施工《细则》要求外，也有一些自主创新的工艺，如在桥涵缺口填筑中掺加水泥粉并夯实，使密度等合格；对高含冰量冻土路堑的开挖采用大功率(250 kW)推土机钩松推聚，再用挖掘机装车清运的方法，提高了

工效,也避免了对冻土的较大扰动。

在施工中吸取兄弟单位的先行施工经验和做法,结合以前在平原地区的施工模式和冻土条件下的注意事项,融汇各种思路,从而扎扎实实展开施工技术攻关,质量始终处于可控状态。

创造了一套快速施工的办法,在桥梁施工中,采用旋挖钻机、冲击钻、人工挖孔相结合的施工技术,在涵洞施工过程中,摸索了“集中预制,快速拼装,注重细节,确保质量和环保”的施工技术。在混凝土施工过程中,注意优化配比,注重施工过程中混凝土的性能控制、完工后的保养等施工技术。

### 1.5 优化设计,持续改进

在开工之初,按照总指文件要求,对设计文件进行核对优化,使之符合地质条件,满足功能使用要求,并提出需优化和改进之处。

在施工中,对一些设计不完善的地方,及时提出申请,参加四方现场核对,形成(建设、设计、监理、施工单位)四方纪要。不断改进因设计忽略的技术环节,特别针对多年冻土的特征和地质情况,优化点达32个。

在每年四月份复工之初,进行一次全面的冬季工程病害调查,特别注重对冰锥、冰慢、路基冻胀、桥涵冻融等问题的研究,制定对策,持续改进设计和施工中忽略的地方。

在每年九、十月份两季过后,再进行一次工程质量的全面梳理和检查,不断改进实践的设计和施工问题,确保缺陷的消除。

### 1.6 规范施工,创新工艺

本标段在施工之初和施工过程中,先后下达了《多年冻土区路基施工作业指导书》、《多年冻土区桥梁桩基施工作业指导书》、《耐久混凝土质量控制要求》、《耐久混凝土圬工养生技术要点》、《高含冰量冻土路堑施工要点》、《挡水埝施工技术要求》、《路基过渡段施工质量控制要点》等规范性的指导资料。全标段统一做法,规范行为,各施工队在具体实施中又根据自身的实际,如机械配置情况、工人操作熟练程度等自主创新工艺,既灵活运用,又确保工程质量。

### 1.7 青藏铁路冻土攻坚取得突破进展

青藏铁路19标段多年冻土区的施工,在冻土理论指导下,严格设计路线和施工原则,按设计文件认真施工,在保护多年冻土的总原则下,一丝不苟,循规蹈矩,真实地践行着对多年冻土的目前认识水平的理论成果,基本上是成功

的。2004 年 10 月份竣工到目前的观察看,没有出现大的变化,路基沉降量为 10~15 mm,混凝土圬工没有大的裂纹和受水体腐蚀,说明 19 标段的冻土攻坚全面有突破性进展。

## 2 环境保护

### 2.1 环境概况

19 标段位于唐古拉山南侧越岭地带、藏北无人区南部边缘,全线海拔为 4 890.88~4 843.03 m,由北向南逐渐降低,地形起伏不大,地表植被不发育,高寒、缺氧,风雷雨雪变化无常,四季不明,冰冻期长,植被生长期短,品种较为单一,生态链简单,生态环境极其脆弱。施工区地表松软,多沼泽湿地和热熔湖塘,且远离青藏公路,交通极为困难。标段内不良地质现象主要有高含冰冻土、沼泽化湿地和热融湖塘三种,其中高含冰冻土 23 处,总长 4 502 m;沼泽化湿地 6 处,共计 795 m;热融湖塘 1 处,68 m,不良地质段占线路总长度的 20.8%。另外,标段总长虽然只有 25.8 km,但设计桥梁达 35 座、涵洞 23 座,线路三次跨越扎加藏布河,也给环境保护工作增加了难度。

由于青藏高原海拔高,空气稀薄,气候寒冷、干旱,动植物种类少、生长期短、生物量低、食物链简单,生态系统中物质循环和能量转换过程缓慢,致使本区生态环境十分脆弱。

### 2.2 青藏铁路建设中环境保护工作的目标、方针和意义

(1) 总体目标:遵照党中央、国务院加强青藏高原生态环境保护的总体要求,认真贯彻执行国家和地方有关环境保护的方针和法律法规,坚持生态环境保护与工程建设并重的方针,以“保护为先、预防为主、防治结合、强化管理”和“谁污染谁治理、谁破坏谁恢复”的原则,加强领导、精心组织、文明施工。把环境保护工作落实到每一个环节,突出做好沿线地表植被、野生动物、自然保护区、湿地、高原冻土、自然景观和河流水质的保护。努力做好少破坏多保护、少干扰多防护、少污染多防治,把工程建设成为高原环保铁路,努力实现青藏铁路建设与高原生态环境保护“双赢”。

(2) 具体目标:青藏铁路建设中,以保护地表植被,防止生态功能退化为重点,并采取措施保护生态环境和野生动物的生存、迁徙环境。避免路基建筑物对地表径流的切割影响,保证地表径流对湿地水资源的补充以防止湿地萎缩,对取土场、砂石料场等进行合理选址以防止水土流失;保持冻土环境稳定及对沿线原生自然景观的保护,不留下垃圾,将垃圾集中装运至垃圾场处理。

## 2.3 青藏铁路建设中环境保护工作的主要做法

武警水电部队负责承建 19 标段,面对特殊的生态环境和气候条件,以及不良地质区段多、水中桥梁多等实际困难,如何搞好施工期的环境保护工作成为指挥部领导班子一个十分关注的焦点。2002 年底,党委“一班人”经过研究后认为,青藏铁路的环保要求之高相比我部以往承建的工程是前所未有的,本单位作为唯一一支参建青藏铁的军队单位,除了下定决心、知难而进、勇争第一以外,没有任何退路,必须坚决打赢这场环境保护的攻坚战。

“凡兵,制必先定”,抓好工作的前提是建章立制。因此,我们首先从机制建设入手,全面规范管理制度,从而确保了环保工作得以高标准、规范化开展。

### 2.3.1 建立科学的环境管理体系和高效的组织机构

我单位于 2002 年通过了 ISO14001 环境体系认证,环境保护已有一定的制度基础和思想基础。上场伊始,指挥部就按照上级单位的《质量、环境、职业健康安全体系程序文件》建立和完善了环境管理体系,确立了“恪守法律、预防污染、保护资源、协调发展”的环境管理方针,在施工中积极开展全面质量管理活动,瞄准工程质量、环保创“双优”。指挥部建立了层层负责的环保岗位责任制,成立了由指挥长和政委挂帅、成员达 20 余人的环保领导小组。常务副指挥长及总工程师具体分管,办公室设立了环保工作组,配备了多名环保专职干部和环保协管员,施工班组均配备了兼职环保监督员。指挥长、政委、专业环保工程师、各项目部主任以及施工队队长直到班组负责人,都按照相应职责、权限逐级签订了《环保责任书》,各项目部、施工队主要负责人均为环保工作第一责任人,并明确要求抓施工必须抓环保,确保了环保控制得到层层落实。指挥部党委在进场后不久即召开了环保专题工作会议,对如何做好施工期的环保工作进行了专题研究布置,提出了一系列具体指示要求,并把环保执行情况列为每周综合大检查和施工生产例会的固定内容,进行经常性的通报讲评,奖优罚劣,不断改进工作。

### 2.3.2 制定完善制度措施,使环保工作有法可依

在队伍正式进场之前,指挥长周春清就亲自带领有关人员实地踏勘,走遍了 19 标段的每一个角落,编制了《青藏铁路第 19 标段环境保护策划》,分别对沿线桥梁、涵洞、路基、取(弃)土场及各类临时设施等 68 个作业点提出了具体的环保要求,涉及环保工作原则及目标、临时场地设置、采石场和取土场规划、垃圾和污水处理、粉尘及噪声污染防治、野生动植物保护等广泛内容,并

绘制了效果图。我们根据青藏总指挥及西藏自治区各级环保部门的有关要求，制定了《环境保护制度》、《环境保护奖惩规定》、《环保日常管理措施》、《环保目标考核实施细则》等一系列配套的管理制度，并针对不同时期的突出问题多次进行了修改补充。通过管理制度的建立完善，使环保工作做到了有“法”可依、有据可查、有评判标准，形成了“按规矩办事、按规范施工、按标准考核”的条件和氛围，确保了环保工作走上规范有序的良性运转轨道。

### 2.3.3 明确标准，跟踪问效，严格落实环保绩效评价

开工以来，我们一直坚持实行施工生产与环境保护“同时布置、同时检查、同时考核”的原则，真正做到“施工前有目标措施，施工中有检查监督和施工后主体工程、环保行为全面达标”。我们还依据相关制度规范，制定出台了环保职能部门绩效考核标准，进行环保每日报，使专职环保干部、环保协管员和环保监督员明白该干什么工作、干到什么程度以及干好干坏有何奖惩，从而增强了他们抓工作的目的性、积极性和主动性。我们还把环保工作纳入安全质量同一序列严格考核，在每月和年度责任目标考核中，环保工作作为重要考核内容实行一票否决，直接与经济奖惩和劳动竞赛、创优挂钩。针对个别施工队对环保工作消极敷衍、施工中不能达到环保标准、因环保问题损害企业形象等问题，采取了指挥部统一购置价拨环保设备、预扣环保保证金、不予验工计价等行之有效的措施，较好地实现了干一项工程、营造一方净土、树一座环保丰碑的目的。

### 2.3.4 落实规范，注重细节，狠抓施工过程中的环境管理

进入全面施工阶段，我们要求各级管理人员特别是主要领导对施工进行全过程、全方位控制，环保职能部门加强检查督导，将“强化环境管理意识、重视环保行为、落实行业规范要求、争创质量环保双优”的思想始终贯穿于施工过程的每一个环节，坚持做到提高质量不与环境保护相矛盾，追求效益不以牺牲环境为代价，确保安全不以弱化环境为成本，抢工期不与生态保护相冲突，从而使施工期环境管理得到全程受控。

#### (1) 严格执行环境管理程序，确保环保工作科学周密

我们严格落实武警总部“按行规干”的要求，凡是新开的工程，均由指挥部工程技术部负责编制环保组织设计，同时认真优化施工方案，尽量减少对环境的影响。单位工程开工前必须进行环境计划报审，项目部拟定的开工报告必须有切实可行的环保措施内容，经指挥部总工程师审核批准后方可组织实施，并层层进行环保技术交底。此外还请工程监理工程师、专业环保工程师到现场

指导，严把环保质量关。各项目部和施工队严格按照批准的《环保组织设计》、《环保技术交底书》进行施工。在施工过程中，指挥部专职环保干部、专业环保工程师做到每天到各施工点进行巡查，及时发现问题并予以纠正，认真落实了我部环境保护“三工”制度（即工前交待环保注意事项，工中检查环保执行情况，工后讲评环保工作成效）。截至目前，已完工程均达到环保设计要求，缓坡路基、桥梁动物通道等专项环保工程质量均为优良，环境恢复工作也在按计划有序进行。

### （2）全面落实施工期环保措施，现场环保形象良好

在施工中，我们坚持高起点保护环境、高标准防止污染、高质量保持水土的方针，坚持“依法文明施工，预防为主、保护优先”的原则，坚决做到严格限制人员机具的活动范围，不随意损坏植被，不随意开辟施工便道，不随意取弃土和搞临建工程，不采摘珍贵药材，不捕猎野生动物，呵护高原的一草一木，节约用水，珍惜土地，追求铁路建设与青藏高原自然环境的高度和谐。在施工过程中，我们尽可能减少路基、站场、桥梁工程开挖、弃渣、取土等造成的水土流失，所有的弃渣场地都设在取土坑中，弃渣完毕后及时对场地进行平整；对所有的生活及施工废水均经过两级沉淀处理后散排，对含油废水均采取了隔油措施；对桥梁施工过程中产生的泥浆废渣经沉淀固化后再进行清运；对拌和站搅拌系统实行全封闭作业，水泥袋也实行密闭存放，最大限度减少了扬尘污染；使用噪声检测仪对各种大型施工机械不定期进行噪声监测，严格落实有关建筑施工场界噪声限值的要求。通过这些措施，最大限度地爱护了施工区域的生态环境，使各项环保要求得到了全面落实。

### （3）抓住重点，把握关键，着力解决环境管理的突出问题

在全方位抓好环保工作的同时，我们也注意把握关键环节，突出阶段性工作重点，始终抓住主要矛盾不放松。根据施工进度，在上场之初，我们着力抓了营地、拌和站、施工便道等临建工程的方案优化，力求选择环保效益最佳的方案，从而最大限度地避免了“先天不足”。例如：我标段设计指定取土场有5个，但经检测发现，第二取土场料质较差，同时距离路基较近，对铁路周边景观影响较大，于是我们提出了放弃使用这个取土场，而在料质较好、距离路基较远的第一取（弃）土场适当增加取土量的方案，得到了自治区环保局和青藏总指挥的批准。此外，我们还将3个预制场全部设在取土场内，从而避免了增加新的环境破坏。在工程整体推进阶段，突出了冻土湿地功能保护、水中桥梁的水土保持、生活营地污染治理等重点内容。在穿越湿地时，按照设计要求采取了填筑片石通风路堤和渗水土、设置涵洞或以桥代路等保护措施，设置施工

便道时通过采取铺设涵管、填筑碎石和渗水土等办法保证地表水流通畅,尽可能不对湿地功能造成不良影响。在水中桥施工过程中,我们一直坚持采用塑料彩条布和编织袋防护加固施工围堰、减少水流冲刷影响等水土保持措施。所有生活营地均建立了两级污水沉淀池、封闭式垃圾池、分类垃圾箱,设立了隔离网,绝大部分伙食单位采用了液化气和电能等清洁能源。目前我标段主体工程已经完工,环保工作的重心已全面转移到自然生态恢复上来。为防止出现因施工队施工力量不足、工作态度不积极、质量标准掌握不好等问题影响恢复工作效果,我们决定采取工程结算时从各作业队直接扣除部分环保保证金的办法,由指挥部组织专门力量负责全标段的环保恢复,以确保环保恢复工作的进度和质量。

#### (4) 不断加大环保投入,保障各项环保设施配置完善

我标段对环保工作的高度重视,也体现在人、财、物投入力度上的不断加大。至2002年下半年上场以来,指挥部为环保部配备了完备的硬件设施,包括配备警灯警报的环保巡查越野车、台式液晶电脑、激光彩色打印机、摄像机、数码照相机、对讲机等,总价值18万余元;投入6万余元,沿大临便道布设了“环境管理方针”、“环境保护纪律”等13块环保公益宣传牌;印制发放《环保宣传信》1500余张,制作金属环保岗亭2个,在标段沿线和生活营地配备了120个分类环保桶;购买彩旗5600面、三角串旗86000米、围护网3500张,购买用于水土保持的编织袋22500条、彩条布86卷;环保日常维护投入人工约4200个工日,使用重型机械、运输车辆约2120个台班。此外,全标段所有拌和站和生活营地均按要求统一建立了两级污水沉淀池、封闭式垃圾池和分类垃圾箱,所有生活营地和施工现场均设置了隔离网、彩旗和三角串旗,对人员机具的活动范围进行严格限制。指挥部在2003和2004年度预算中,计划投入环保资金总计80万元,截止2004年底,实际投入已达102.2万余元。

#### 2.3.5 管教结合,注重养成,不断提高员工的环保素质

解决问题的关键因素在人。在实践中我们感到,要真正做好环境保护工作,光靠决策层、管理层少数人的积极性是远远不够的,必须坚持走群众路线,依靠基层官兵职工这个主体。只有充分发挥群众的积极性和创造性,通过严格管理和教育培训,强化日常养成,不断提高他们关注和参与环境保护的素质,才能从根本上保证环境保护工作走上和谐发展的路子。

##### (1) 抓好环保宣传教育,增强员工的环保意识和工作能力

为提高广大官兵职工的环保意识和素质,我们主要采取了三步走的办法:

一是在正式进场前，由指挥部在成都和格尔木专门办班，组织全体决策层、管理层干部和项目部负责人进行环保知识培训，请来了环保专家和其他工程局环保技术人员讲课，有效地解决了一些干部对环保工作思想认识不到位、在具体工作上不懂不会的问题。二是组织对各项目部和施工队的环保骨干人员进行业务培训，采取了集中授课、座谈讨论以及到兄弟单位观摩学习等多种形式，使其业务能力得到了明显提高。三是在全标段掀起环保知识学习的宣传高潮，由各项目部牵头，指挥部、项目部两级专职环保工程师讲课，对全体官兵职工普遍进行青藏铁路施工期环境保护知识的培训教育，并规定考试不合格的一律不准上岗，同时把环保知识培训作为每年上场后的例行工作坚持下来。此外，我们还向施工队购置发放了《环境保护培训教材》和《环境保护工作手册》共 300 余册，自行编制下发《环境保护知识手册》900 余册，做到每个班组都有环保方面的资料。为加强环保宣传，指挥部沿大临便道布设了“环境管理方针”、“环境保护纪律”等环保公益广告牌，在施工现场树立环保责任牌，在营区张贴环保宣传画，并向过往车辆发放《环保宣传信》，通过这些做法，使环境保护意识切实深入到了每一名官兵职工心中。

## （2）抓好经常性的检查督导，实行严格的环保监管

环保日常监督检查工作对维护我标段良好的环保形象具有重要作用。指挥部建立了每日干部带队巡查制度，主要检查各项目部和施工队环保制度的执行情况，及时对违反环保规定的行为进行制止和纠正，情节严重的一律下达“巡查情况通知书”和“内部整改通知书”。指挥部每周组织一次环保、安全和劳资管理综合大检查，对各项检查指标进行分解量化，根据检查情况和评分结果下发“综合大检查情况通报”，对前两名和最后两名的单位实施经济奖惩。为加大监管力度，指挥部经过研究决定，从 2003 年开始在标段的起点和终点设立了环保岗亭，安排环保哨兵进行昼夜值勤，对过往车辆和行人进行监督，并发放“环保宣传信”，并成立了由 10 名战士组成的环保纠察队，在施工沿线纠察破坏环境保护的不良行为，环保哨兵和环保纠察队认真负责的工作精神和规范文明的警容警姿已成为我标段一道亮丽的风景线，曾多次受到路地各级领导的赞扬和好评。认真贯彻“三铁”精神，坚持环境保护“重奖重罚”的原则，并制定了具体的奖罚标准，进场近 3 年以来，指挥部及各项目部共奖励工作突出的单位和个人总计约 31.7 万余元，处罚问题严重的队伍和个人总计 8.2 万余元。

## （3）充分发动和依靠群众，形成人人参与的良好氛围

上场后，指挥部把全标段沿大临便道划分为七个环保责任区域，明确了各项目部和施工队所担负的便道维护、垃圾清理等责任义务，定期讲评各单位任

务完成情况。指挥部环保领导小组通过问卷调查的形式向基层单位收集对环保工作的意见和建议，经过梳理，共收集采纳了多项合理化意见和建议，对环保工作起到了积极的推动促进作用。各项目部和施工队普遍成立了各种形式的党员义务环保队、团员青年环保队、藏族民兵连环保维护班等群众性组织，利用工余时间在所属环保责任区域清理垃圾、修整便道、恢复地表地貌以及对隔离网、彩旗等环保设施进行维护。通过这些形式，既保持了施工区良好的环保形象，又使广大官兵职工在参与环保维护的同时受到了教育。另外，我们还充分利用军队基层管理中“三互”小组（即互帮、互学、互管）、“双四一”（即四个知道一个跟上、四个报告一个依靠）等管理教育的有效载体和工作手段，构建基层环保工作骨干网络，充分发挥广大员工互相监督、互相管理的积极性和主动性，形成了“人人参与管理”、“人人都有责任”的群众性环保工作的良好氛围，收到了较好的效果，使随地乱扔垃圾、随意下道踩踏、下河捕鱼等基本得到了杜绝。

### 2.3.6 加强环保科研力度，突破环保工作难题

积极与西北科学院取得联系，多次请他们指导我单位的环境保护工作，对环保科研项目进行可行性论证，为我单位更好地完成环保工作提供了很大的帮助。

### 2.3.7 青藏铁路建设环保工作评价

自参加青藏铁路施工以来，我标段对施工环境保护工作高度重视，通过加强环保机制建设，狠抓施工过程控制，注重员工行为养成，扎扎实实地把各项环保法规制度和作业规范落到实处，较好地保护了标段内的自然生态环境。在历次青藏铁路建设总公司、青藏铁路环保监理站以及安多县、那曲地区环保职能部门的检查中，都对我单位工地现场整齐有序及环境保护措施到位提出了表扬和肯定。在国家环保总局、西藏自治区环保局、及支铁办、青藏总指等上级部门的检查时，都对我公司环境保护工作所作的成绩进行了赞誉和好评。

## 3 医疗卫生保障

我部承建的青藏铁路第 19 标段，地处青藏高原唐古拉山南麓，平均海拔 4 900 m，生存环境极端恶劣。其自然环境中的低气压、缺氧、高寒、干燥、多风、强辐射以及鼠疫等自然疫源地，给参建职工身体健康造成了很大的威胁。2003 年 3 月份上场以来，我们就始终坚持“以人为本”的指导思想，建立了强有力的医疗保障体系，严格落实《青藏铁路卫生保障若干规定》和《青藏铁路

卫生保障措施》，在三年的辛勤工作中，重点做好了“四防”工作，初步实现了“四无”目标，有力地保证了全线参建人员的身体健康。现就开工三年以来卫生保障工作总结如下。

### 3.1 卫生保障工作的基本概况

充分认识青藏铁路卫生保障的重要性，青藏铁路地处高原，低气压、低氧、低温、干燥、风大、强日光辐射和自然疫源等严酷的自然环境，对人体健康和劳动能力带来较大影响。青藏铁路卫生保障直接关系到工作人员的生命安全，对生产建设的顺利进行和队伍的稳定有着至关重要的作用。对此，指挥部领导非常重视，成立了以指挥长周春清同志为组长的卫生保障领导小组，并将医疗卫生与铁路施工视为同等重要。加大投入，常抓不懈，以高度负责的精神，认真落实好卫生保障的各项措施，保护工作人员的身体健

### 3.2 积极完善一、二级医疗机构，形成及时有效的医疗保障网络

三年多施工时间里，我们积极完善医疗机构体系的建设，加强一、二级医疗机构薄弱环节的改进，更新医疗设备；合理地规划了医疗救治网络，级级分工，责任到人，形成有效的医疗救治体系。

#### 3.2.1 医疗机构

指挥部下设 4 个项目部，均设一级医疗机构（保健站）。每个保健站配备医务人员 1 名、病床 2 张，医务人员均经过高原卫生知识培训，医疗设备按青藏总指要求配置。由于管段较短，各项目部距中心医院较近，一级医疗机构主要承担医疗保健工作，具体任务为：① 开展健康教育；② 卫生防病和卫生监督；③ 常见病、多发病的诊断和治疗；④ 急症、外伤的早期抢救和转运；⑤ 工地巡诊医疗；⑥ 对“四防”工作的预防、监控，且能够完成初步应诊急诊急救及转诊任务。

#### 3.2.2 医疗机构

二级医疗机构设中心医院，建在工地项目指挥部，占地面积 257 m<sup>2</sup>，总投资 200 多万元，配备高压氧舱、制氧设备、X 光机、B 超机、全自动血球计数仪、全自动生化分析仪、尿分析仪、心电图机、呼吸机、多参数监护仪、内外科急救箱、依维柯救护车等医疗设备。配备医务人员 6 人，其中专业防疫医师 1 名，病床 7 张，设有诊断室、治疗室、手术室、抢救室、高压氧室、贮气室、

制氧车间、药房、库房、观察室、隔离室、心电 B 超室、化验室、放射室。能够满足危重病人抢救并可完成小型手术，能够保证管区范围内伤病员在半小时内得到有效救治。

指挥部中心医院还与那曲三级医疗救治站、西藏军区总医院、武警拉萨总医院建立了合作关系，对危重病人可进行转诊治疗。

### 3.3 医疗卫生保障工作的基本内容

#### 3.3.1 严格落实工前体检制度

根据我标段海拔较高的特点，对进入我部所有参建人员严格进行工前体检，严格掌握高原准入标准，筛选不适应高原环境的人员，根据禁忌范围筛选合格人员，坚决杜绝体检不合格者上山。对未工前体检而进入高原的人员，中心医院进行重点跟踪监测，针对高原反应程度，对不适应高原环境的人员及时医治并安排回平原工作。

#### 3.3.2 积极开展高原卫生宣传教育

抓好高原健康教育，是预防“高原病”、地方性传染病的有效方法。针对部分施工人员初次上高原，对高原环境的危害不了解和容易产生恐惧心理，将单位自行编印的《青藏高原卫生防病教育手册》和青藏铁路建设总指挥部印发的《青藏铁路健康教育手册》一起下发给参建人员，做到人手一册。同时，结合讲课、黑板报、传单、宣传画等形式在施工现场开展广泛教育，使广大参建人员对高原病和以鼠疫为代表的自然疫源性病症有一个较明确的认识。从上场至今，共开展健康教育 84 次，计 168 学时，受教育总数为 5000 人左右。并有针对性的对各项目部班组长以上的人员进行了公共卫生及“四防”知识为期 7 天的学习，经考试平均分数为 94.7 分，通过教育使广大官兵和协作队伍职工提高了自我卫生防病意识，增强了战胜高原、战胜疾病的信心，确保了人员的思想稳定和工作效率。

#### 3.3.3 坚持夜间查铺制度

各项目部、施工队都全面实行了夜间查铺制度，早、晚各一次，对所管辖的人员进行夜间观察，主要是针对高原反应情况。对有无异常情况进行观察，经查铺发现因身体健康不适应，均立即做相应的处理，使病情得到及时有效的控制。

#### 3.3.4 实行免费医疗，保障氧气供应

干部、职工、协议民工在医疗、生活、工作方面同等对待，对参建人员一

律全部实行免费医疗,保证他们能够有病及时就医。中心医院利用制氧设备,克服高寒对压氧机的影响,确保每日氧气供应,做到每个帐篷有氧气瓶,每人每天保证1~2小时吸氧。定时发放保健药品,减轻高原缺氧对人体的损害,避免慢性高原病发生。

### 3.3.5 坚持巡诊医疗,做好随行保障

针对标段民工人员较多,就诊意识较差,许多都存在“有病就能慢慢拖好”的思想,医院加大了基层巡诊力度,发现有高原疾病倾向,及时服药预防或转医院治疗,有效控制了高原病的发作。无论营区,还是施工现场,坚决作好卫生随行保障工作,坚持做到了解情况到一线,检查督促到一线,服务保障到一线。三年间,共到一线巡诊送药132次,卫生检查督促91次(主要检查环境卫生、内务卫生、食品卫生、保健站医疗卫生),为基层解决了基本问题,保障了基层职工、民工的身心健康。

### 3.3.6 积极开展门诊收治工作

三年间,医院积极开展高原病门诊收治工作,认真履行好高原病的医疗、预防、保健任务。加强了卫生技术骨干队伍建设和医德医风建设,从践行“三个代表”重要思想的高度,牢固树立为基层服务、为全体参建者服务。承担高原医疗保障的医务人员均具备良好的身体素质,高度的事业心和责任感,一专多能,一职多用,刻苦钻研业务,努力提高业务技能,遵守职业道德规范,贯彻执行卫生法规和工作制度,忠于职守,出色地完成了高原病收治与危重病病人的抢救工作,确保了我部无高原病亡人事故。

### 3.3.7 做好工中、工后体检,不断总结防治经验

三年间,我们严格按总指要求对全线职工进行了工中工后体检,通过抽样调查统计,发现我部高原病以高原血压异常(占16.4%)、高原心脏病(占8.3%)、高原红细胞增多症(占18.7%)为主。但也发现具有消化性溃疡临床症状及体征的病例较常见,目前缺乏电子胃镜检查来确诊。针对以上病例,我们主要采取了以下措施加强预防:①防止不利的心理因素影响,保持平衡的心理状态,以达到节氧和降低氧耗。②避免体力负荷过重,以减轻心脏负荷,降低各组织器官氧耗,这一点在初入高原适应期尤为重要。③服用抗缺氧药及保健药品。如:红景天口服液(胶囊)、西洋参含片、高原圣宝、诺迪康、利舒康、党参片、丹参片、地奥心血康等,通过以上药物干扰,对高原抗缺氧、抗疲劳,减轻高原低氧分压对身体的危害有一定的疗效。④保证氧气供应。要求每人每天必须

吸氧 1~2 h, 有力地预防和减少高原病的发生。⑤ 高压氧舱的应用。高压氧能有效提高血氧分压和血氧饱和度, 增加氧在组织中的有效弥散半径及深度, 对组织缺血缺氧性疾病有显著疗效, 我们对停留高原 2 个月以上的人员不定期进行高压氧康复治疗, 能有效提高血氧分压, 从源头上降低高原对身体的危害, 预防和减少了高原病的发生。⑥ 定期组织职工到低海拔地区轮休习服。

### 3.4 高原病救治和鼠疫防治工作

上场的医务人员全部参加了高原病防治方面的专业培训班, 一、二级医疗机构的负责人和防疫人员还参加了鼠疫等地方性传染病防治培训班。此外, 我们还利用回其他省区休整期间, 选派了部分医务人员到四川省人民医院、总队医院进修、培训, 有力地提高了诊疗水平。同时, 中心医院每月 10 日、20 日组织两次高原病、鼠疫及急救技术讲座, 还不时地邀请总队医院专家来我院授课、指导。针对高原信息落后不易获取新的医学知识, 医院就订阅了《武警医学杂志》、《高原医学杂志》、《中华内科学杂志》、《中华航海医学杂志》等资料, 丰富了医务人员的生活, 获取更多新的医学知识。通过以上途径有力地提高了我公司在高原病救治和传染病防治方面的医疗水平。

我部承建的整个标段, 属鼠疫频繁活动的地区, 也是鼠疫高发地区, 为了确保我部在施工期间不发生鼠疫, 确保施工生产的顺利进行, 确保施工人员的安全与健康, 我们主要采取了以下措施:

(1) 成立鼠防领导小组、鼠防督查队, 制定了鼠防应急预案, 对全标段的鼠防工作进行督促检查。

(2) 开展鼠防健康教育, 每月学习两次鼠疫病的防治知识, 有条件的项目部在生活区设置鼠疫病知识宣传栏, 定期宣传、定期更换, 强化了官兵与协作队伍的防护意识, 消除麻痹思想。特别是加强“三不”、“三报”的学习教育, 并下发“鼠疫”宣传画和“三不”、“三报”宣传单, 做到人人参与到防“鼠疫”的活动中来。同时, 利用环保巡查车加大宣传力度, 对出入本标段的外来人员下发“三不”、“三报”宣传单, 有力地加强了外来人员的鼠防教育, 提高了他们的防护意识, 使受教育面向外扩展。

(3) 落实疫情报告制度, 发现鼠疫病人或疑似鼠疫病人及时向上报告, 中心医院设 24 小时专职鼠疫防治人员, 设鼠疫疫情 24 小时值班电话。

(4) 在不破坏环保的情况下, 各项目部居住区周围均架设了防鼠网, 挖防鼠沟, 专职鼠防员每天检测居住环境的鼠疫情况及监测鼠类的活动情况, 发现问题, 及时处理和报告。

(5) 大力开展灭鼠、灭獭、灭蚤活动。多次进行灭鼠灭獭，堵鼠、獭洞多个，主要以临时居住区和施工区沿线为中心 1 500 m 内灭鼠、堵洞，营区采用来苏儿、菊酯消毒灭蚤。在施工沿线 DK1460-DK1462 段发现鼠獭频繁活动区，范围为 2 000 m×2 000 m，立即隔离圈定，列为重点灭鼠灭獭区，在圈定两端靠大便道设“鼠獭高发区域，严禁人员进入”警示牌，鼠防专职员每天监测巡视，定期灭鼠、灭獭、灭蚤、堵洞。

(6) 单位在方便治疗、便于消毒并可隔离管理的地方设置鼠疫隔离病房，贮备足够的药品、器械、隔离服及消毒药水，足以满足我单位 10 天急需用量来确保部队安全稳定。同时成立鼠疫疫情应急领导小组，制定了鼠疫疫情应急预案，一旦发现疫情，立即启动。

### 3.5 卫生防疫与爱国卫生工作

为防止传染病的发生和流行，保障职工健康和铁路建设，单位在进驻工地前，就派专职防疫人员对现场进行卫生学勘察。收集本标段的气象水文环境资料，掌握自然疫源性疾病、传染病、地方病的流行分布等情况，提出预防疾病、净化水质等切实可行的对策和卫生学预评价。针对对策方案，指挥部成立了卫生防疫组织机构，切实加强了卫生防病工作的领导。专职防疫人员承担日常食品卫生、饮水卫生、环境卫生、劳动卫生和传染病、地方病的管理和监测监督工作，落实好了各项防治措施，重点加强了“非典”和“鼠疫”的防治，确保了“非典”和“鼠疫”零感染。

为了加强指挥部营营环境卫生综合治理和春夏季卫生防病工作，进一步深化创建“文明卫生警营”活动，指挥部多次开展了以“加强卫生治理，共创雪域警营”为主题的爱国卫生活动。成立了爱国卫生领导小组，部署爱国卫生运动工作，结合青藏高原实际，制定了“青藏铁路鼠防措施”、“加强传染病预防控制措施”、“高原饮食卫生安全管理”和“高原营区卫生管理办法”。不断加强爱国卫生教育，强化了各项目部和施工队的爱国卫生意识。利用开展爱国卫生活动时，有针对性地在各项目部、施工队营区进行生活设施改建，组织职工彻底清理营区垃圾、杂物，不留死角，搞好收容和无害化处理。舍周围挖防鼠沟、布防鼠网，定期消毒并投放毒饵灭鼠。保持驻地环境整洁，减少对环境植被的破坏。严禁随地丢弃生活垃圾，生活垃圾有封闭容器收集，可降解废弃物在距离食堂、宿舍较远处掩埋，可降解废弃物如塑料袋等集中收集，到指定垃圾处理地点统一处理。营区内务整齐清洁，物品摆放井然有序，进入室内使人有清爽、舒适感。经常开窗换气，保持室内空气新鲜。门窗，营具经常擦洗，

室内要经常清扫，保持清洁卫生。厕所经常清扫，保持干净，保持无蛆，粪便做到无害化处理，并定期清除粪便。坚持综合环境整治，有效提高了营区卫生水平，保障了职工身体健康。

### 3.6 劳动保护和后勤保障工作

指挥部很重视职工的劳动保护，要求在高原工作时间不超过 6 h。同时，定时组织职工进行高压氧康复治疗，有效预防高原职业病对身体的影响。保障取暖供应，生活用房采用暖气片集中供暖，确保室内温度达到 16℃ 以上，同时给零散施工点配置烤火炉、电暖器等取暖设备。配备劳动防护、防寒防雨用品，如：防寒帽、防寒服、雨衣、防寒手套、防冻膏、防寒鞋、雨靴等；防紫外线用品，如：防晒油、遮阳帽、护目镜等，有效提高了劳动保护。各项目部的生活用品实行集中统一采购，定期发放到职工手中，提高生活标准，使每位职工有一个健康的身体和旺盛的精力投入到工作中去。

我部自上场以来就狠抓后勤保障工作，本着“先生活、后工作”，以人为本的根本措施。首先，加强了食品卫生安全管理。结合武警总部、总队关于《加强食品卫生管理》的通知精神，迅速成立了食品卫生安全管理领导小组及食品卫生安全督查队，分别对各项目部及民工队伍食品卫生安全进行抽查与整改。合并大小食堂 13 个，要求集中、统一、定点就餐。各食堂配齐冰柜、消毒柜，并做到主副食分开存放，摆放整齐，标识明确，及时清除烂菜及腐烂变质食物，地面保持干净、整洁、无蝇、无鼠、无害虫等。食品定点采购，采购人员均由具备丰富的食品卫生知识的部队司务长轮流负责。食品的采购，特别是水产品与肉类，均保证新鲜，禁止采购腐烂变质的食物。食品运输实行专人、专车、专用。专车具有防冻及保鲜功能，运输工具保持清洁，并定期清洗消毒。生菜与熟菜运输时分别包装，食品运输禁止搭载药品、毒物及汽油、煤油及其他化学药品等强烈气味的物品，有效防止食品的污染。食堂每日进行消毒，餐具每周三次高压蒸汽灭菌消毒，同时采用消毒柜消毒。上场的炊事员均进行过卫生知识培训，均严格进行了体检，并建立了炊管人员健康档案，持证（健康证）上岗，无证人员禁止上岗，确保了无一例食物中毒发生。

### 3.7 建立公共卫生安全长效防范机制

根据青藏铁路可能随时出现的公共卫生事件，指挥部及时成立了公共卫生领导小组。结合标段实际，制订了切实可行的《突发公共卫生事件应急预案》，建立了两级急救网络，加强医务人员处理公共卫生事件技术培训，启动隔

离室,做好各项防护器材及消毒药品准备,设置疫情两级报告网络,储备备齐应急公共卫生物资装备,形成公共卫生安全长效防范机制。

### 3.8 加强施工一线职业病的防治

为了控制、预防职业病的发生,保护官兵和其他参建人员的健康安全,结合高原施工实际,指挥部成立了职业病防治领导小组,负责整个标段职业健康监护和管理。制定了《青藏铁路 19 标段职业健康安全管理办法》,结合 ISO14001—18001 系列贯标要求,对施工场所职业危害因素进行定期监测,评价和控制,标本兼治。同时加强施工人员岗前培训,学习掌握劳动保护、职业病防治常识和方法,对确诊有职业病的官兵及时安排治疗和休养,配合有关职能部门做好伤病残人员的善后工作总之,在青藏铁路建设中,尤其在海拔 4 800~4 900 m 的无人区,医疗卫生保障工作极为重要,各级领导重视,组织落实,制度健全,措施得力是基础;医务人员的思想素质、业务水平是保证;正确认识高原,按客观规律办事是前提;解决缺氧问题是关键。从进场至今三年时间里,全体医务人员团结一致,齐心协力,努力把医疗卫生工作做得更好、更细,确保了全体参建员工身体健康。医疗卫生保障成效显著:一是降低了高原病发病率;二是有效预防了高原对身体的影响;三是确保了无高原病亡人事故;四是确保了无“非典”疫情输入;五是确保了无鼠疫感染;六是确保无食物中毒发生。切实为青藏铁路建设提供了强有力的医疗卫生保障。

青藏铁路的“多年冻土、高寒缺氧、环境保护”是世界级的难题,在 19 标段的施工过程中,我部坚持科学发展,用严谨的态度,努力攻关,解决了一些问题,取得了一定的成绩,但是难题的解决不是一朝一夕的事情,有待以后进一步探索和研究。

### 参考文献

- [1] 青藏铁路公司编.青藏铁路高原多年冻土区路基工程施工技术细则[R]. 2002.
- [2] 程云虹,刘斌.混凝土结构耐久性研究现状及趋势[J].东北大学学报, 2003, 24(6)
- [3] 张鲁新编著.青藏铁路建设冻土专业技术和施工基础[R]. 2003.
- [4] 郑杰主编.交通工程施工新技术[M].北京:时代传播音像出版社, 2003.
- [5] 青藏铁路总指挥部谢永江等编.青藏铁路高原地区耐久性混凝土目标管理措施[R]. 2003.

- [6] 青藏铁路总指挥部刘端等. 青藏铁路高原多年冻土区桥涵工程施工技术细则[R]. 2002.
- [7] 青藏铁路总指挥部谢永江等. 青藏铁路耐久混凝土外加剂品质控制管理暂行办法[R]. 2003.
- [8] 青藏铁路公司编. 青藏铁路管理办法[R]. 2003.
- [9] 谢永江等. 青藏铁路建设中混凝土的碱-骨料反应问题. 铁道科学与工程学报, 2004, 1(2).