

青藏高原的水资源

主编○洛桑·灵智多杰

杨尚成 何金存
赵楚年 著

青藏高原环境与发展丛书

国家科学技术委员会
中国藏学研究中心
社会经济研究所

重点课题

DEVELOPMENT AND ENVIROMENT OF QINGHAI TIBET PLATEAU

封面设计：李健雄

责任编辑：李 烨

ISBN7-80057-602-7



9 787800 576027 >

ISBN7-80057-602-7/Z · 309

定价：13.50 元

青藏高原环境与发展系列丛书

青藏高原的水资源

汤奇成 何希吾 赵楚年 著

主编 洛桑·灵智多杰

中国藏学出版社

回责任编辑:李 烨 回封面设计:李建雄 回版式设计:天 朗

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原的水资源/汤奇成,何希吾,赵楚年著.

北京:中国藏学出版社,2002

(青藏高原的环境与发展丛书/洛桑·灵智多杰主编)

ISBN 7-80057-602-7

I. 青… II. ①汤…②何…③赵…

III. 青藏高原—水资源—研究 IV. TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 106374 号

青藏高原的水资源

汤奇成 何希吾 赵楚年 著

中国藏学出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:6.625 字数:155千 插图:2

2003年6月第1版第1次印 印数:2000册

ISBN 7-80057-602-7/Z·309

定价:13.50元

· 内容提要 ·

本书是一本全面阐述中国青藏高原水资源的著作。随着中国西部大开发的逐渐深入,作为西部的重要组成部分——青藏高原的资源与环境问题越来越引起人们广泛的关注,其中以水资源尤为突出。本书在汇集已有资料的基础上,对青藏高原的地表水和地下水资源作了全面的分析和评价,并在此基础上对开发利用的前景以及水资源与社会经济可持续发展的关系作了较深入的阐述。

本书属科普读物,可供从事地理、水文水资源、环境等领域的科研、生产与管理人员参考,也可供大专院校有关专业的师生和广大中学师生阅读。

目 录

前 言	1
第一章 自然概况	3
第一节 地形地貌	3
第二节 气候	9
第三节 土壤	15
第四节 植被	18
第二章 水资源的重要性	24
第一节 “中华水塔”——亚洲巨川的发源地	24
第二节 保护生命之源	32
第三节 水资源与可持续发展	34
第三章 河流、湖泊与冰川分布	39
第一节 河流的分布	39
第二节 湖泊的分布	48
第三节 冰川分布	53
第四节 沼泽的分布	60

第四章 地表水资源	63
第一节 河川径流水文特征及其变化	63
第二节 湖泊水文特征及其变化	74
第三节 冰川水文特征及其变化	80
第五章 地下水资源	87
第一节 水文地质条件分析	87
第二节 地下水资源特征	93
第三节 地下水资源	100
第六章 水质	109
第一节 河川径流地质	109
第二节 湖泊水质	113
第三节 地下水水质	120
第四节 冰川水质	122
第七章 水力资源	126
第一节 河流水力资源	126
第二节 水力资源特点	128
第三节 水力资源开发利用	136
第四节 加速水力资源开发利用的途径与措施	142
第八章 水资源分区	146
第一节 水资源总量及其分布	146
第二节 分区的原则	148
第三节 各地区水资源概况	156

第九章 水资源开发利用	166
第一节 开发利用现状	166
第二节 水资源开发利用前景	173
第三节 水资源开发利用对策	176
第十章 水资源与社会经济可持续发展	181
第一节 水资源在社会经济发展和生态环境中的作用	181
第二节 水资源的可持续利用	185
第三节 水资源与社会经济可持续发展	190
参考文献	200

前 言

青藏高原是祖国的一块宝地,素有“世界第三极”之称。它西起帕米尔,东迄横断山脉,北界祁连山,南抵喜马拉雅山,是全球海拔最高的巨型构造地貌单元,也是我国独特的地理区域,为我国西部地区重要的组成部分。

随着西部大开发的逐步深入,不仅要求对青藏高原形成、演化等理论性问题进行深入研究,而且要求对青藏高原的资源、环境等问题从定性到定量有一定的分析研究。

作为自然资源重要组成部分的水资源,一直被人们所瞩目。但是迄今为止,对青藏高原的水资源,还没有较确切的数量和质量的分析 and 计算成果。

为此,我们在汇集已有研究成果的基础上,对青藏高原地区地表水、地下水、水质、水能资源等有关水资源的各个方面进行了较全面的分析和计算,以期在现有条件下对其得出较科学的认识。

由于水平有限,时间仓促,有些问题研究得不够深透,难免有错误和不足之处,敬请广大读者不吝指教。

本书共有 10 章,第一、二、三、五、六、八、九章由汤奇成执笔,第四章由赵楚年执笔,第七、十章由何希吾执笔,全书由汤奇成统稿、定稿。

第一章 自然概况

青藏高原的范围,包括西藏自治区和青海省的全部,以及云南的西北部、四川西部、甘肃西南部和新疆维吾尔自治区南部,共6个省(自治区)的38个地区(市、自治州),共211个县(市、自治县)的全部或部分。青藏高原的总面积约为850万平方公里,约占中国陆地总面积的四分之一。

第一节 地形地貌

青藏高原平均海拔在4000米以上,号称“世界屋脊”,许多科学家称之为与北极、南极并列的地球的第三极。

按照板块学说,青藏高原的隆起是由于冈瓦纳古陆、欧亚板块与太平洋板块的挤压碰撞而造成的。第三纪以来,它在北纬 27° — 40° 的中纬度地区拔地而起,在喜马拉雅地壳运动中不但形成了喜马拉雅山脉,而且导致了青藏高原的强烈隆起。据研究,青藏高原强烈隆起的时代开始于1000万年前上新世,那时的青藏高原地区,海拔约1000米左右,在距今约200—300万年的时间内,

原始的青藏高原才大面积地被抬升到现在的高度。喜马拉雅山与青藏高原自第四纪以来已累计上升了 3500—4000 米,每年平均上升约 2 毫米。其中晚更新世以来的 15 万年中,上升了约 1500 米,年平均上升量可达 10 毫米。近年的测量表明,青藏高原的东南部仍在迅速上升,上升量达到每年 3.7—12.7 毫米。

青藏高原是我国最高的一级的地形阶梯,海拔平均为 4000—5000 米。高原上耸立着一系列近东西走向或北西走向的山脉,它们的海拔都在 5000—6000 米,许多高峰超过 7000 米。高原的北侧有昆仑山、巴颜喀拉山、唐古拉山、冈底斯山、念青唐古拉山等山脉。雄踞高原南侧的是世界上最高的山脉——喜马拉雅山,其海拔平均在 6000 米以上,珠穆朗玛峰是世界第一高峰,海拔 8848.13 米。在高原的东侧,山脉的走向纷纷转为南北或近南北走向,形成了闻名于世的横断山高山峡谷带。在高原内部的巨大山脉间,地势宽阔而平缓,湖盆星罗棋布,许多亚洲大河都从这里发源,然后切穿高原边缘的高山峻岭,往东、往南奔流。

一、阿尔金山—祁连山

阿尔金山与祁连山位于青藏高原的北缘,以当金山口分界,当金山口以西称阿尔金山,以东称祁连山。

阿尔金山全长约 500 公里,西宽东窄,介于 18—50 公里间,山顶海拔 3500—4000 米,最高峰龙苏巴勒山,海拔 6295 米。阿尔金山气候干旱,雪线海拔约 5000 米,终年积雪较少。

祁连山全长约 1000 公里,宽 200—300 公里,山峰海拔在 4000 米以上,最高峰团结峰位于疏勒南山,海拔 5827 米。祁连山的气候属于半湿润,雪线海拔 4460—5100 米,共有冰川面积 1973 平方公里。祁连山北坡的高山冰雪融水对甘肃省河西走廊的灌溉农业有一定的意义。祁连山北侧山地陡峻,相对高差约 2000 米,

而南侧山峦起伏,相对高差仅 500—1000 米,祁连山西段的党河南山地貌的垂直变化是干燥剥蚀山区的典型。祁连山东段山区有古冰川遗迹、河流的侵蚀阶地和冲积小块平原及山间盆地。祁连山东端是我国青藏高原、黄土高原和干旱地区三大地理单元的交汇点。祁连山有林带的分布。黄河及湟水河谷,气候相对湿润温暖,是青海省最重要的农业区。

二、昆仑山

昆仑山西起帕米尔高原,东至四川省的西北部,长约 2500 公里,西昆仑山宽 150 公里,平均海拔约 6000 米。它的北侧相对高出塔里木盆地 4000—5000 米,南侧是一系列的山前洼地、湖盆和宽谷,以及海拔约 5000 米的藏北高原。整个昆仑山脉有冰川面积 12538 平方公里,约占青藏高原冰川总面积的 24.7%。其中汉克雅山口至甜水海一段的冰川面积就达 3000 平方公里以上,是昆仑山系最大的冰川群,著名的玉龙冰川长 25 公里。西昆仑山的高山冰雪融水是塔里木盆地南缘河流的重要补给来源。

东昆仑山在北纬 32° — 36° 、东经 87° — 102° 的区间内共分为 3 支。

(1)南支为可可西里山—巴颜喀拉山。可可西里山平均海拔 5600 米,最高峰木孜塔格峰 7723 米,附近有冰川发育,最大冰川面积达 1000 平方公里,冰舌上发育有冰塔林。可可西里山区跨越青藏两省区,为青藏高原最北面的湖群区,也是长江上游通天河的支流楚玛尔河的发源地。

巴颜喀拉山平均海拔 5000 米左右,最高峰 5267 米,山脊终年积雪,有少量冰川分布。北坡平缓,南坡深切多峡谷,是长江与黄河的分水岭,在河源区有水网沼泽湖群分布。

(2)中支为阿尔格山—博卡雷克塔格—布尔汉布达山—阿尼

玛卿山(也称积石山),全长 1300 公里,平均海拔 5000 米以上。阿尔格山最高峰布喀达坂峰海拔 6860 米,阿尼玛卿山最高峰玛卿岗日峰 6282 米,都有冰川积雪分布。东支地势自西向东逐渐降低,其中博卡雷克塔格—布尔汉布达山段,发源青海柴达木盆地绿洲的水源,盆地自西向东的楚拉克阿拉干河、格尔木河、诺木洪河这些柴达木盆地最重要的河流都发源于此。这一段昆仑山支脉与格尔木市的最近距离仅 20 公里,但高度相差 2800 米左右。在昆仑山东段的阿尼玛卿山四周,则完全是一派高山峡谷的环境。白色的高峰周围分布着 17 座独立的山峰,32 条大河和无数的溪沟。这里能够看到明显的植物垂直带的分布,还栖息着许多野生动物。

(3)北支为祁漫塔格山。它位于阿尔金山、阿尔格山之间,呈西北—东南向横在新疆的东南隅和青海柴达木盆地之间,海拔 4000 米以上的山体长约 360 公里,宽 15—75 公里,平均海拔 4500 米。气候干燥,降水稀少,高山几乎没有积雪覆盖,山体的中部有宽谷,一些不大的河流从山上流向戈壁,迅速潜入地下。

三、喀喇昆仑山—唐古拉山

喀喇昆仑山主体在新疆与克什米尔的交界线上,山体比较完整,降水充沛,是全国冰川分布的中心之一,冰川作用十分发育。在我国境内的冰川面积约有 6295 平方公里,山体中高峰林立,在海拔 8000 米以上的高峰就有 4 座,其中乔戈里峰海拔 8611 米,是世界第二高峰。青藏高原上的喀喇昆仑山主要是主体山脉的东延部分,长约 500 公里,平均海拔 6000 米以上,冰川不太发育。从东经 82° 左右再向东延伸,则山体变得零散,海拔高度下降,不像一座高山了。

唐古拉山长约 6000 公里,山体最宽处在 150 公里以上,平均海拔 5500 米,其中海拔在 6000 米以上的山峰就有 10 余座,在长

江源头就有 6 座。最高峰格拉丹冬雪山,海拔 6621 米,其附近有冰川 40 余条,面积 600 多平方公里,是长江的源头。唐古拉山脉也是长江与怒江上游的分水岭。

四、冈底斯山—念青唐古拉山

冈底斯山—念青唐古拉山系西起狮泉河,东抵横断山脉的伯舒拉岭,是绵延连续的东西向的弧形山系,全长约 1600 公里,宽 40—200 公里,平均海拔 5800—6000 米。这个山系的地势,中间稍低,南翼陡峭,北翼平缓,它是藏北与藏东南的界山,也是西藏地区内、外流水系的主要分水岭。

冈底斯山脉从东经 80° 向东南方向延伸至 85° 附近,然后转为东西走向,直到东经 90° ,全长约 1100 公里,平均海拔 5800 米,冰川总面积约 2188 平方公里。在东经 85° 以西的冈底斯山两侧气候干燥,植被覆盖率很低,只是在湍急河流的岸边河滩地有小块牧草分布。东经 85° 以东的冈底斯山北麓地势起伏不大,成为内流湖群区。湖区的南面是雅鲁藏布江较宽的河谷,气候逐渐湿润,是高原主要的农牧区之一。在拉孜—日喀则一带,海拔 4000 米以下为麦类的集中产区,每亩产量可高达 500 斤,是我国麦类种植高度最高的地区。

念青唐古拉山全长约 600 公里,平均海拔 5000 米,西段高大雄伟,东段山体较低,但山体陡峻,阻挡了沿雅鲁藏布江河谷北上的暖湿气流,所以在山区形成了巨大的冰川群,整个山系冰川面积达 5898 平方公里,占青藏高原冰川总面积的 11.7%,其东段是我国海洋性冰川发育最典型的区域,仅易贡湖北岸的勒曲藏布就有海洋性冰川面积超过 800 平方公里,其中最大的卡钦冰川长达 35 公里,总面积 172 平方公里,是青藏地区最大的冰川。波密南山的阿扎冰川长度近 20 公里,冰舌末端的海拔高度约为 2400 米,已经

达到当地茶叶种植的上限,是青藏高原下伸至海拔最低的一条冰川,从河谷至山地的植被垂直带分布非常显著和规律,其中有森林分布,是青藏高原重要的林区,也是雅鲁藏布江流域中段农作物种植面积最大、总产量最多的地区。

五、喜马拉雅山

喜马拉雅山全长 2400 公里左右,宽约 200—300 公里,是青藏高原上最南缘最雄伟的一条东西走向的弧形山系。其主体部分位于我国与尼泊尔、印度等国的国界线上。喜马拉雅山一般可分为三段:东段指南迦巴瓦峰至绰莫拉利峰之间,中段为绰莫拉利峰向西至纳木那尼峰,西段是纳木那尼峰至喀喇昆仑山的东端。中段的喜马拉雅山高峰林立,海拔在 7000 米以上的山峰就有 40 余座,海拔超过 8000 米以上的超高峰有 9 座,其中 4 座位于我国的边境。世界最高峰珠穆朗玛峰,海拔 8884.13 米,位于中尼的国界线上。整个喜马拉雅山脉冰川在我国境内的面积达 11055 平方公里,占青藏高原冰川总面积的 21.8%。

喜马拉雅山的南部地势非常陡峻,从山岭到恒河平原以大约 6000 米的急剧落差形成异常雄伟的景观。由于雨量充沛,流水侵蚀力量极强,河流形成许多深切的峡谷或障谷。而下切力量较弱的小河谷大多被发育成悬在半空的悬谷,落差可达几十米,形成壮观的瀑布或跌水。喜马拉雅山北坡的地形比较平缓,与高原湖盆的相对高差仅 1500 米左右,而且这里降水稀少,河流的切蚀能力弱,形成了河谷地形宽坦,堆积地貌发育的地方。

喜马拉雅山脉被源出于北坡的河流切割开,造成深邃的大峡谷,其中最著名的雅鲁藏布江大拐弯峡谷,经过实地研究,现已确认为世界第一大峡谷。另外,还有在印度河上游的朗钦藏布(象泉河)、森格藏布(狮泉河)的大峡谷等的也很有名。喜马拉雅山脉还

有许多水流切割成的深谷,虽然没有贯通山系的南北两侧,但如亚东的康布曲、樟木的波曲河、吉隆的吉隆藏布等都是深入山体几十公里的恒河上游的支流,这些深谷与两岸的高大山体相对高差达4000米以上,成了河水南流、水汽北上的“通道”。这些“通道”在国境线附近的海拔下降至2000米左右,使得喜马拉雅山南坡的暖湿气流沿山隙深谷向山区伸进几十公里,犹同“湿舌”。这些深谷的气候温暖湿润,森林繁茂,完全是亚热带的景观。

总之,青藏高原多山地。第一,许多的山体发育了冰川,特别是我国独特的大面积的海洋性冰川,使得高山冰雪融水成为河川径流的主要补给来源之一。第二,喜马拉雅山的暖湿气流的通道,形成了强大的河川径流,使雅鲁藏布江成为我国水量仅次于长江、珠江和黑龙江的第四大河。

第二节 气候

青藏高原的气候非常独特,这对高原的水资源有很大的影响。18世纪俄国学者伏耶依柯夫曾经有一句名言:河流是气候的产物,现在看来,这句话应该修正为“河流是气候与其他自然地理要素相互作用及人类活动的产物”。尽管如此,气候因素对水资源的形成仍然起着重要的作用。在讨论气候情况前,让我们先回顾一下青藏高原气候的变迁。

一、青藏高原气候变迁

研究表明,当青藏高原还未形成时,青藏地区的冬季并不寒冷,而夏季干热,当高原上升到海拔约1000米时,气候变得比较温暖湿润。

对青藏高原第四纪(距今约 350 万年)的气候研究表明,四次冰期及三次间冰期期间的气候变化大致是,冰期气温比现今低 $4-6^{\circ}\text{C}$,三个间冰期气温高于现今 $2-10^{\circ}\text{C}$,而降水比现代多,年降水量最多可达 1000 毫米左右。

从树木年轮方法研究的结果表明,从公元初期以来近 2000 年的青藏高原气候变化趋势,大体上与我国东部地区一致。根据拉萨站的资料,最近 20 多年来气温有所上升,气候呈明显的变暖趋势。同样,自 19 世纪末至 20 世纪初,一般年降水量在 1000 毫米以上,个别年份可达 1500 毫米,但本世纪 40 年代后期至 50 年代初平均年降水量只有 700 毫米,变旱的趋势是明显的。

这种变暖变旱的趋势在冰川和湖泊得到了反映。青藏高原山区的冰川遗迹表明,历史上冰川曾经发生过多次较大的消和长。但是最近几十年,无论是珠穆朗玛峰的绒布寺冰川、祁连山区的冰川,消融都大于积累,退缩非常明显。这种现象不仅在青藏高原,包括天山山地和整个中亚的冰川都处于明显的退缩状态,这一点正说明了气候在变为干暖。

湖泊的情况也大致类似。青藏高原多致湖泊呈退缩现象,水位下降,湖面积缩小,湖水矿化增高,有的从过去常年有水,现在变成季节性湖泊,有些内流湖正在逐渐干涸。内流湖的兴衰,表明了气候的变化,因为它们主要依靠雨水和融水的补给。

研究表明,中更新世以来,高原上有过 8—10 次较重的干旱过程,使多数湖泊出现 8—10 次大退缩。青藏高原的湖泊第四纪时远比今日大,有的比目前水面大几倍。青海湖是我国最大的湖泊,面积 4458 平方公里,湖面高程 3195 米。目前的青海湖与 1 万多年前相比,湖水在东西方向上至少退缩 20 公里以上,水位区下降急剧,整个湖水面积减少三分之一。现今,总的变化趋势依然是湖水持续退缩。西藏的羊卓雍湖从 1980 年起水位连续下降,不到

10 年,水位下降了 2.85 米。

湖泊的变化也说明了青藏高原的气候正在向暖旱的方向发展,并且还在继续。

二、降水

降水是水资源最根本的来源,青藏高原的年降水量地域变化很大。被划为我国极旱区域之一的柴达木盆地的冷湖地区,年降水量仅 17.6 毫米。而 1931—1960 年,雅鲁藏布江下游的巴昔卡平均年降水量达到 4495.0 毫米,是我国大陆上年降水量最多的地方。年降水量总的趋势是从藏东南的 4000 毫米以上,逐渐向西北减少,到柴达木盆地的腹地不足 20 毫米。从雅鲁藏布江下游到怒江下游的流域以西,是青藏高原年平均降水量最多的地区,一般在 600—800 毫米。另一个多雨区是松潘地区,年平均降水量在 700 毫米左右,祁连山南部的门源及湟中,年平均降水量在 500 毫米左右。喜马拉雅山北麓与雅鲁藏布江之间有一条狭小的少雨区,被称之为“雨影区”。东念青唐古拉山以北地区,多为 400—600 毫米。那曲、丁青、类乌齐地区受地形及天气系统影响,成为藏北的多雨中心。金沙江、澜沧江、怒江三江流域,相对比周围地区的降水偏少,约在 400 毫米以下,怒江河谷是我国著名的干热河谷,降水量明显减少(图 1—1)。降水量的年内变化,可用 1、4、7、10 四个月份的情况来代表春、夏、秋、冬四个季节。

1 月份,除藏东南地区有 10—50 毫米的降水量外,广大的高原降水量极为稀少,绝大部分地区降水量少于 5 毫米,其中藏北高原和柴达木盆地,三江河谷的降水量在 0.5 毫米以下。

4 月份,藏东南地区因西南暖湿气流入侵,雨季来临早,降水量猛增到 200 毫米以上。青藏东部降水量在 25 毫米左右,其他大部分地区为 10 毫米,藏北高原少于 5 毫米。

7 月份,雨季自东南向西扩展,大部分地区降水量超过 50 毫米,但柴达木盆地、阿里地区的降水量仍在 20 毫米以下。

10 月份,雨季自西向东逐渐结束,大部分地区降水量在 50 毫米以下。柴达木盆地、阿里地区在 2 毫米以下,成为高原的干旱中心。三江河谷降水量在 25 毫米以下,明显较周围地区偏少。总之,青藏高原的降水主要集中在下半年,雨季和干季分明。只有喜马拉雅山南麓和雅鲁藏布江下游河谷地区呈双峰型,即在春季也有一个降水高峰,有时甚至超过了夏季的雨量。青藏高原其他地区都是单峰型。

青藏高原年降水的变率不大,其中除柴达木盆地和藏西北高原的 20%—30% 外,其他地区均在 20% 以下,特别在祁连山南麓,年降水量的平均变率只有 10% 左右。

但是,在最近的 20 多年,黄河河源地区的年降水量普遍减少,造成了 1990 年以来黄河河源区多次断流,当然这里还有气温上升和人类活动影响的问题。

青藏高原降水的一个重要特性是与海拔高度的关系,即垂直变化。降水量在一定高度的范围内随着高度的增高而增大。到达一定高度后,随着海拔的增高而减少,这就是最高降水带(最大降水高度),这种现象已为许多学者所证实。但是在高山冰川区,降水随高度的变化比较复杂,珠穆朗玛峰的海拔虽然最高,却并不是年降水量最多的地方。现在一般认为,在高山冰川的下限与雪线间可能存在着第二个最高降水带。由于最高降水带的存在,使得传统的大比例尺的青藏高原年降水量图必须重新研究,不能仅仅因为海拔高度的增加而增加年降水量。叶笃正等曾经绘制成青藏高原的最高降水带的高度分布图,并指出,其规律是从高原外围向内部逐渐增高的。几个主要水汽来向的迎风坡面,包括喜马拉雅山西段及东段南麓、川西山地等均在 2 公里以下,高原内部估计在

5 公里以上。说明荒漠化程度越高,年最高降水带的高度也越高。

暴雨是地表径流形成的一个重要因素。历史上曾经出现过暴雨的区域只出现在青藏高原的最南部,即喜马拉雅山南坡和雅鲁藏布江下游;另一个区域是青藏高原的东北部,即祁连山脉南坡和横断山脉的东北部,但范围不大。喜马拉雅山南坡的聂拉木地区,1978 年 10 月 6 日曾出现了 102.3 毫米的暴雨,但范围不大。

青藏高原降水的另一特点,是降水大多为强度不大的阵性降水。除藏南地区外,尤其是高原中部一年四季几乎都为阵性降水,这在高原以外地区是很少出现的。阵性降水与高原大地形所形成的热力对流和局地地形所造成的气流垂直运动有直接关系。

青藏高原降水量的日变化一直受到人们的关注,其特点是多夜雨,这主要与地形有关。傍晚,地面温度开始下降,山坡上的地面空气冷却后,密度增大,沿山坡下滑到河谷,使河谷原来的暖湿空气受到冲击而上升,使水汽逐渐凝结成云,产生降雨。云顶又由于强烈辐射而冷却,以后又会沿山坡下滑,这样就形成了一个垂直环流。天亮后,山坡的增温较快,空气停止下滑,降雨也就停止。

三、气温

气温高低除了直接影响到蒸发量的多少外,由于青藏高原拥有大量的冰川和积雪,气温的高低还影响到高山冰雪融水的多寡。因此必须给予特别的关注。

青藏高原的年平均气温比我国东部地区要低,这也是高原气候的重要特征之一。其空间分布很复杂,基本上随着海拔高度的增高而降低。据现有的测站记录,最冷的地方在青海南部和藏北地区,其中五道梁年平均气温为 -5.6°C ,青海的果洛和玉树地区也是低温中心,其中清水河为 -4.9°C 。总之,年平均气温低于 0°C 的面积,大约要占整个青藏高原的一半。相对暖和的地方是柴

达木盆地、青海东部的黄河、湟水谷地、西藏东南部雅鲁藏布江与三江谷地。其中柴达木盆地年平均气温 $3-5^{\circ}\text{C}$ ；青海东部黄、湟谷地海拔仅 2000 米左右，为 $5-8^{\circ}\text{C}$ ；西藏东南部三江河谷及雅鲁藏布江下游海拔更低，并主要受西南季风控制，年平均气温可达 $5-11^{\circ}\text{C}$ ，是高原上最暖和的地方。

7 月是高原上的最热月，也是冰雪融化的盛期。但青南和藏北的温度仍为最低，如五道梁（海拔 4612 米）7 月平均气温只有 5.4°C ，是全国同期温度最低的地区。高原上最暖中心在柴达木盆地，如察尔汗为 19.1°C 。

高原上气温最低是 1 月份，大部分地区低于 -10°C ，其中青海南部、西藏北部和西部、祁连山西部 1 月份平均气温都低于 -14°C 。这对河流的冰情及冻土的发育有着密切的关系。

青藏高原气温年较差比我国同纬度地区要小 $4-6^{\circ}\text{C}$ ，如拉萨年较差为 17.9°C ，而九江则为 26.6°C ；门源年较差为 24.9°C ，而绥德则为 30.9°C 等。高原年较差小的主要原因是海拔高，造成夏季温度低，而冬季的温度相对说不算太低。特别是在西藏南部，冬季干燥，太阳辐射强，局部地区的增温比较明显。

青藏高原气候的其他特征，将结合水资源情况较详细地讨论。

第三节 土壤

作为地表径流形成的下垫面因素的土壤，在青藏高原有着其特殊性。

近期迅速隆起的年青地质历史和高寒生物气候环境，使得本来位于中低纬度的青藏高原发育着世界上面积最广、类型最多而且理化性质非常独特的高山土壤。青藏高原生长着耐寒的草本植

被,主要是针茅属或嵩草属。在强烈的冻融作用条件下,腐殖质积累非常缓慢,腐殖化的程度低,矿物分解与淋溶作用弱,常有一定钙积(部分为石膏)作用等的成土作用。在辽阔的高原面上,随着湿度从东南向西北递减,土壤出现了冷毡土→寒钙土、冷钙土→寒雏漠土、寒漠土、冷漠土的水平地带性分布规律。而在这些土壤带内的山地土壤垂直带谱的结构就比较简单。例如在藏北的南部,以改则为中心的周围地区,气候寒冷干燥,年平均气温低于 -0.2°C ,最暖月均气温 $6-12^{\circ}\text{C}$,一年中约有7个月的月平均气温在 0°C 以下,年降水量约300毫米左右,这里已无乔木生长,只能生长一些低矮而耐寒的草本植物和少数灌木。与上述自然条件相应的土壤结构也较为简单,主要土壤类型有:高山草原土,为藏北高原分布最广的土类,分布上限4900米,北部地区可高于5000米;高山草甸土,主要分布在南部冈底斯山周围的高山草原土带以上的高山地区,其上限最高达5200米;高山寒漠土,分布于5200米—5600米的高山地区,尤以冈底斯山脉最为集中。

高原的周围山地,因高差起伏大,土壤垂直地带性分明,带谱的结构也较复杂,而且随着地理环境的差异而有不同的表现。青藏高原东南部的喜马拉雅山脉东南侧与横断山地的纬度低,受季风的影响明显,热带、亚热带及温带的各种森林土壤占了优势,土壤的垂直带谱繁杂,从冷毡土带向下,大致依次分布着灰棕壤、棕壤、红棕壤、黄棕壤、黄壤、红壤、赤红壤和砖红壤,而且在怒江、澜沧江、金沙江及岷江等干热河谷内还有灰褐土、褐土、黄褐土和红褐土等干性森林土壤,在海拔2600米以下还有水稻土,是中国境内乃至世界上山地土壤垂直带谱内容最为丰富、最为完整的区域。例如察隅地区位于青藏高原的东南部、雅鲁藏布江下游的支流地区,这里气候温暖湿润,森林有广泛的分布,所以拥有我国从南方亚热带直至北方寒温带水平地带的所有森林土壤类型,是我国最

完整的土壤垂直带谱结构。

在海拔小于 2600 米的云南松林下,发育着黄壤,在阴湿常绿阔叶林下则为腐殖质黄壤,部分铁杉林下是淋溶灰黄棕壤,海拔 2700—3600 米的高山松或阳坡高山栎树林下为棕壤。海拔 3100—4100 米的云杉、冷杉林下为暗棕壤与漂灰土。海拔 4100—4500 米发育着杜鹃灌丛下的亚高山灌丛草甸土。海拔 4500—4800 米则为生长嵩草与苔草等草甸植被下的高山草甸土。4800 米直至雪线,在雪莲花、垂头菊等冰缘植被下是高山寒漠土等高山土壤类型。

在青藏高原东北部祁连山地及青海湖一带,由于纬度高,土壤的垂直带多由黑钙土、栗钙土、寒毡土或栗钙土、寒雏漠土、寒钙土等构成。在高原的西北边缘的干旱山地,则垂直带谱由冻岩礓土、寒漠土、寒雏漠土或冷钙土、棕钙土、棕漠土等构成。

总之,青藏高原因其独特多样的成土环境而拥有众多特殊的土壤类型,并且在空间分布上呈现水平地带性与垂直地带性相结合的特殊分布规律。

青藏高原土壤的另一个特征是冻土普遍发育,这对地表径流及地下水的形成影响很大。冻土是指含有水分的土壤因为温度下降到 0℃ 或 0℃ 以下时呈冻结的状态。土壤冬季冻结、夏季全部融化的土层,称为季节冻土;冻结状态持续 3 年以上的土层称为多年冻土。

世界上多年冻土的面积约占全球大陆总面积的四分之一,中国多年冻土面积约占全国陆地总面积的五分之一。其中青藏高原多年冻土面积约为 163 万平方公里,占全国多年冻土总面积的 75%。青藏高原多年冻土为大片连续分布,是中国也是全世界中低纬度地带分布最广、厚度最大的多年冻土区域。

经过勘测发现,高原多年冻土区的冻土深度,许多地方达几十

米、几百米,甚至 200 米以下仍然是冻土。其分布规律一般是海拔低处冻土深度浅,如在海拔 4500 米左右的青海南部,藏北羌塘高原的多年冻土区,最大冻土深度超过 300 厘米;海拔 3500 米以下和雅鲁藏布江河谷等地为季节冻土区,最大冻土深度在 100 厘米左右,其中察隅地区最大冻土深度在 8 厘米左右,而且持续时间很短,并不是每年发生,只是在几年中偶尔出现。

根据研究,平均气温 -3°C 为多年冻土存在的气温指标。青藏高原上多年冻土分布于昆仑山及其以南、唐古拉山南麓的安多以北,巴颜喀拉山及其以西的广大地区,呈东西走向的连续带状分布。

土壤温度随深度的变化主要发生在 10 米以上的土层内,且随着土层深度的增加,地温变化幅度大大减少,至 15 米左右土壤温度的变化基本消失。至于多年冻土内深层冻土的形成,是由于常年低温所提供的冷储,为多年冻土的发育创造了良好的条件,也是目前青藏高原多年冻土能够保留下来的根本原因。

由于高原上大面积多年冻土的存在,地表下一定深度内好像存在着一个不透水层,这对高原水资源的形成和地表水与地下水间的转化等产生较大的影响。另外,随着冻土地带土中水分的冻结与融化,还会产生许多独特的现象,例如冻胀丘、融冻滑塌、冰椎、寒冻石流等,会破坏公路甚至造成一些地质灾害。

第四节 植被

虽然青藏高原形成的地质历史很短,但它所处的中、低纬度的地理位置和大气环流形势,使得高原的自然环境复杂多样,并拥有比较丰富的生物区系。在高原植被区系及其地理分布特征方面,

分属于起源和生态上差别很大的两个系统。高原的腹地应该划归泛北极区的青藏高原植物亚区,而东南部则属于中国—喜马拉雅森林植被亚区。这说明历史古老的喜暖湿植物成分占据了高原的东南部,而历史较年轻的耐寒旱植物种类分布在高原的内部。喜马拉雅高山带对于森林植物的北移呈明显的屏障作用。

青藏高原的气候和地形的特点对高原植被的自然分布规律起着主导作用,植被分布的主要特点是:

1. 植被的水平分布极不均匀

由于青藏高原的主要气候特点之一是从地势较低、气候比较温暖湿润的东南部逐渐向地势较高、气候干冷的西北方向过渡,其中的水分为主导因素的经向地带性规律明显。由东南向西北出现明显的森林—草甸—草原—荒漠的植被带状更替。

柴达木盆地受西伯利亚—蒙古大气弱辐射场干燥风及封闭盆地特殊效应的影响,发育着超旱生型的荒漠植被。

以热量为主导因素的纬向地带性规律不明显。由于青藏高原特殊的地形重新分配了热量条件,现有的植被几乎不能反映高原所处纬度的地带性植被特征。在高原南部,热带的植物群落受季风和局部地形的影响,分布范围向北推移了6度。中国东部广泛分布的亚热带地带性植被,即常绿阔叶林,在青藏高原东南部只有2500米以下河谷山坡上才出现,其余都被大面积的亚高山针叶林所代替。在高原西部,同纬度地区应该出现的森林已经消失,代替它的是草原和荒漠。但在高原东北部,有小面积的温带落叶阔叶林出现。高原西部和北部地区的草原和荒漠,主要受经向地带性因素的影响,既不属于亚热带的草原和荒漠类型,也不同于温带的草原和荒漠。

2. 垂直地带性规律非常显著

青藏高原从东南边缘至高原内部,垂直地带的结构由繁杂到

简单,分带的数目由多变少,差异非常显著。例如,在东喜马拉雅山南坡,山地的基带为热带常绿雨林、半常绿雨林,向上依次为山地常绿阔叶林带、山地暗针叶林带、杜鹃矮林带、高山灌丛草甸带、高山寒冻风化带,直至 4800 米雪线以上的高山冰雪带。而在内部的阿里西南山地,由山地荒漠带向上,依次出现荒漠草原带、高山草原带、高山寒冻风化带、高山冰雪带。

由于各山体所处位置的不同,水热条件的变化也不相同,导致了植被类型分布的不同格局。

青藏高原除东部地区外,受到人类活动的干扰较少,特别是高原的腹地。因此保存了较原始的植被形态。

3. 森林与草原的基本情况

青藏高原的南缘和东南部,即喜马拉雅山脉、念青唐古拉山脉东段和横断山脉地区,深受夏季风的影响,降水量较多,森林有广泛的分布。在高原北缘的祁连山东段和昆仑山西北段北坡山地,也有少量森林零星分布。

由阔叶树种构成的阔叶林主要分布在高原东南部。类型较多,热带常绿雨林和半常绿雨林组成的种类复杂,大型藤本和附生植物较多,常绿阔叶林由壳斗科、藜科、樟科、木兰科等常绿乔木组成,硬叶常绿阔叶林由硬叶栎类组成,落叶阔叶林则多为冬季落叶的阴性树种组成。

针叶林中常绿针叶林有松林、铁杉林、云杉林、冷杉林、圆柏林、柏木林等,落叶针叶林有落叶松林。

青藏高原森林面积虽然只占全部土地面积的 5% 左右,但实有森林面积要占全国森林总面积的 7.66%,其中青海省森林面积占全国森林总面积的 2.53%,西藏森林面积占全国森林总面积的 5.13%。

青藏高原是我国巨大的草场基地,中国五大牧区中,青藏就占

其二。天然草地面积约 1.5 亿公顷,主要类型有高山草甸草地、高山灌丛草甸草地、高山草原草地、山地草原草地、高山(山地)荒漠草地、高山沼泽草甸草地和高山稀疏及垫状草地等类型。

高山草甸草地分布于海拔 4000 米以上,是青藏高原分布最广,面积最大的草地类型,约占草地总面积的 30%,草地植被由多年生、耐寒的草本植物组成。其中以莎草科蒿草属为主,具有生长期短、植株低矮、地下部分发达等特征,草层一般在 5 厘米以下,为线型小叶片,生长密集,覆盖度高,是牦牛和藏羚羊的夏秋牧场。

高山灌丛草甸草地主要分布在海拔 4000—4800 米的山坡、沟谷地,约占高原草地总面积的 10%。草地植被由耐寒的中生灌木和草本植物组成,主要灌木为常绿革质小叶型杜鹃、高山柳、金露梅、锦鸡儿和绣线菊等。草本层以蒿草属和杂类草为主,如小蒿草、苔草、圆穗蓼等。常作为夏秋季放牧场。

高山草原草地主要分布在半干旱的腹地,如海拔 4500—4800 米的羌塘高原,约占高原草地总面积的 30%,草地植被以强度耐寒旱的多年生草本植物为主。其中以紫花针茅分布最为广泛,适宜于藏绵羊利用,但只有在暖季可放牧。

山地草原草地主要分布于藏南及青海东部山地,位于半干旱气候环境下,草地植被主要的有蒿草和禾草,冻原白蒿、藏籽蒿、藏南蒿、针茅、圆沙草和白草、三角草等组成。

高山(山地)荒漠草地主要分布在高原的西北和北部,植被组成单纯,有驼绒藜、台草、盐爪爪及垫状驼绒藜和青藏台草,主要用于山羊和骆驼放牧。

湖泊湖滩低地草甸草地约占高原草地的 7%,草地植被以藏北蒿草,西藏蒿草和藏西蒿草为主组成,可统称为大蒿草草甸,它们呈密丛型,这是对地面过湿、土壤通气不良的适应,这类草地因有季节性积水,比较适宜作牦牛的四季牧场。

高山稀疏及垫状草地分布在冰雪带以下的岩屑坡和冰碛台地上,通常海拔为 4800—5600 米,常见植物种类有凤毛菊、红景天、葶苈、高原芥等,下部还有少量的羊茅、早熟禾、苔草和高草,一般作为夏季的辅助牧场利用。

综上所述,如将青藏高原的自然情况综合起来,可按温度条件、水分状况和地形将地表自然界加以划分。温度是影响植物生长和分布的重要因素,人为的措施不容易大规模或长时间地改变它。在一定温度条件下,以年降水量为辅助指标,再划分出湿润、半湿润、半干旱和干旱等地域类别。地形也是属于人力难以改变或不能大规模改变的,是地域划分的重要因素。若将青藏高原的自然地域系统采用两个等级,即温度带与自然地带,则可划分为以下系统(表 1—1,图 1—2)。

表 1—1 青藏高原自然地域系统

地带名	代码	地 区	地 带 名
I. 高原亚寒带	IB ₁	果洛、那曲	高寒灌木草甸地带
	IC ₁	青南	高寒草甸草原地带
	IC ₂	羌塘	高寒草原地带
	ID ₁	昆仑	高寒荒漠地带
II. 高原温带	IIAB ₁	川西藏东	山地针叶林地带
	IIC ₂	藏南	山地灌丛草原地带
	IIC ₂	青东祁连	山地草原地带
	IID ₁	阿里	山地半荒漠、荒漠地带
	IID ₁	柴达木	山地荒漠地带
	IID ₃	昆仑山北麓	山地荒漠地带
O 亚热带山地	OA ₁	东喜马拉雅南麓	山地常绿阔叶林地带

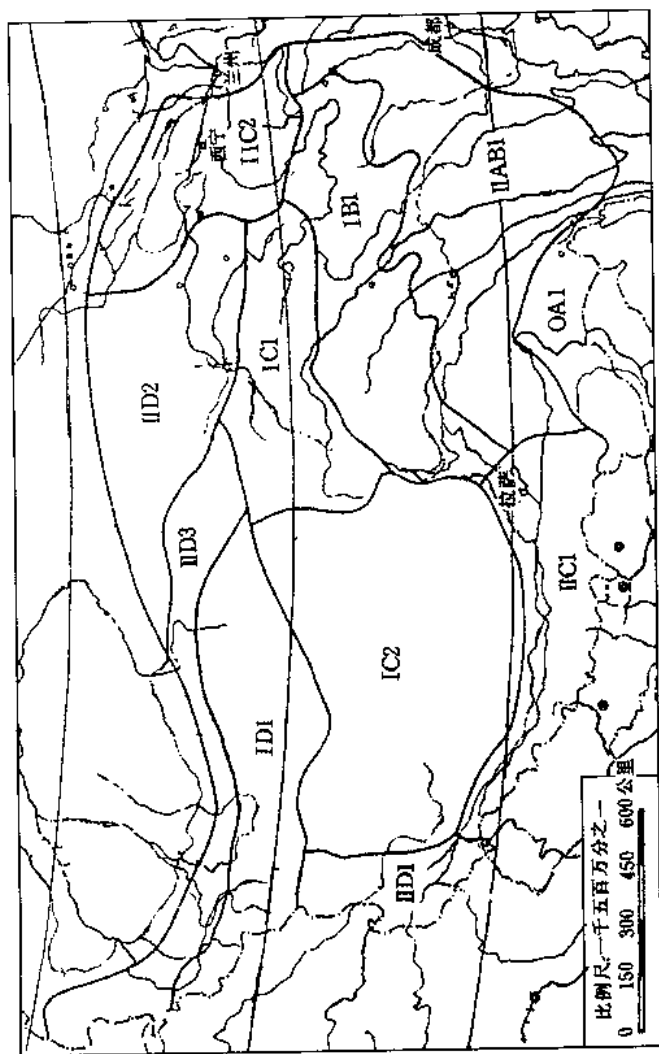


图 1—2 青藏高原自然地域系统示意图

第二章 水资源的重要性

青藏高原除了东南部分外,大部分地区是干旱地区,因此对水资源的需求非常殷切。但同时,高原又是亚洲乃至世界一些巨川的发源地。所以,高原水资源的多寡及其动态,不仅直接影响到青藏高原地区的水资源利用与可持续发展,同时还将对亚洲乃至世界产生影响。

第一节 “中华水塔”——亚洲巨川的发源地

青藏高原由于其特殊高亢的地势,自然地成了众多河流的发源地。

一、中国两条最大河流的发源地

发源于青藏高原的众多巨川中,首先要提到的是长江和黄河。它们是我国的“母亲河”。

长江

长江发源于青藏高原青海省境内的唐古拉山脉主峰格拉丹东雪山的西南侧,全长约 6300 公里,干流流经青海、西藏、四川、云南、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海等 10 个省、自治区、直辖市,注入东海。

关于长江的河源问题,一直是有争议的话题。在河源地区,较大的河流有楚玛尔河、沱沱河、尕尔曲、布曲和当曲 5 条。其中无论是集水面积还是年径流量,都是当曲最大,但沱沱河长,而且它的走向自西向东,大体上与干流的走向一致。根据“河源唯远”的原则,所以确定沱沱河为长江的正源,而当曲为南源,楚玛尔河为北源。

沱沱河的最上源又有东西两支,东支发源于格拉丹东雪山群的西南侧,这里的姜根迪如岗日雪山下有南北两条冰川。西支源于尕恰迪如岗雪山的西侧,由冰川融水成为长江最初的水源。东西两支汇合后称纳欣曲,下行 24 公里与右岸的切苏美曲汇合后才称沱沱河。沱沱河由南向北流,切穿祖尔肯乌拉山,至葫芦湖的南侧,接纳江塔曲后急转向东流。尕尔曲发源于格拉丹东东侧,布曲发源于唐古拉山的冬索山,两河汇合后东流汇入当曲。当曲发源于唐古拉山东段霞舍日阿因山东麓,在囊极巴拢汇入沱沱河,水量大增,自此以下称通天河。楚玛尔河源于可可西里山黑脊山南麓,流经多尔改错(叶鲁苏湖),在曲麻莱县色吾曲以西约 70 公里处汇入通天河。

长江干流在青藏高原境内大致可分为两段,一为河源区,是指楚玛尔河与通天河汇口以上的地区,流域面积 105127 平方公里。此段位于青藏高原的腹部,平均海拔 4500—5000 米,属高原亚寒带半湿润、半干旱地区。年平均气温在 0℃ 以下,年降水量 200—400 毫米,但固体降水占有很大比重。河川径流以高山冰雪融水和地下水补给为主,分别占年径流量的 45% 和 40%,而雨水仅

占 15%。冬季严寒,每年 11 月至翌年 4 月河流封冻。根据通天河下段直门达站的资料,直门达以上流域面积 142777 平方公里,多年平均年径流量 124 亿立方米,年平均输沙量 971 万吨。

另一段流经青藏高原的河段是金沙江段。它处于川西滇北的横断山脉区。受地质构造控制,河流呈北北西—南南东方向排列,两岸峭壁对峙,河谷深切,谷深一般 1000 米,最深可达 2000 米以上,而水面宽仅 150—200 米,著名的虎跳峡仅 50 米,水能资源丰富。屏山站是金沙江段的出口控制站,大致可反映长江干流在青藏高原总的水文情况。屏山站流域面积 485099 平方公里,多年平均年径流量 1443 亿立方米,占长江下游大通站年径流量的 16%。水量比较稳定,年与年间的变化不大。也就是说,从高原产生的径流量占长江总水量的约六分之一。

长江是中国的第一大河,无论是以长度或以年径流量论,都位居世界第三。长江流域是经济高度发达的地区,现有耕地占全国耕地总面积的四分之一,农业总产值约占全国的 34%,工业总产值占全国的 49% 左右,又有可通航里程 7 万多公里,约占全国通航里程的 65%。长江流域地区在全国经济格局中有举足轻重的地位,在这些成就中,就有高原的贡献。

黄河

黄河是我国的第二长河,是中国的“母亲河”,也是中华民族的摇篮,古老文明的象征。几千年来它哺育了生活在这里的人民,孕育了灿烂的文化。

黄河在兰州以上流经青藏高原,平均海拔在 3560 米以上,有一系列的西北—东南向的山脉,最高的阿尼玛卿山主峰玛卿岗日,海拔 6282 米。南端是巴颜喀拉山,与长江水系分野。在龙羊峡以上虽然年降水量不丰,但地势高寒,水分损耗小,是黄河产水量的高值区。龙羊峡以下至兰州段,多为峡谷和盆地相间,其中有松巴

峡、李家峡、公伯峡、积日峡、寺沟峡、刘家峡、牛鼻子峡、朱喇嘛峡、盐锅峡等许多峡谷。

• 黄河的河源，迄今有以下几种不同的看法：

其一，黄河应为多源。如果把黄河上游黄河沿以上称为河源区，则自上而下有4条主要河流，即勒纳曲、多曲、卡日曲和玛曲。除勒纳曲外，其余3条河流在河长、径流量等方面各有所长。因此主张黄河应为多源，即玛曲称为西源，卡日曲为中源，多曲为南源。

其二，卡日曲为河源。理由是根据“河源唯远”的原则，3条河中卡日曲最长（190.1公里，玛曲171.5公里，多曲171.2公里），面推算的年平均流量为5.9立方米/秒，与玛曲的7.1立方米/秒相差不大，故应以卡日曲为正源。

其三，玛曲为正源，玛曲又称约古宗列曲，位于4条河的正中，河谷宽坦顺直，上下段自然延续。以玛曲为黄河河源，迄今已200多年，当地藏胞也一直把玛曲看成是黄河的河源，按照历史习惯，应仍以玛曲为黄河的正源。

约古宗列曲发源于巴颜喀拉山脉中部的雅拉达泽山主峰（海拔5200米）以东的约古宗列盆地，盆地南缘众多的泉水逐渐汇成股股细流，并串联了盆地中星罗棋布的湖泊，形成一条宽2-3米的小河，小河缓缓流动在约古宗列大草滩上，这就是黄河之源——约古宗列曲。

黄河在兰州站的流域面积222551平方公里，多年平均年径流量340亿立方米，约占全流域年径流量的54.8%，也就是说，黄河水量的一半以上来自青藏高原。

黄河是我国含沙量最大的河流，也是世界上泥沙最多的大河。但是黄河干流在兰州以上输沙量较少，水土流失较轻微。虽然黄河水量大半来自兰州以上，但输沙量仅占整个流域的7%左右。其多年平均输沙量约1亿吨。贵德以上，植被较好，暴雨少，河流

含沙量较低。青海唐乃亥站年平均含沙量仅为 0.55 公斤/立方米,平均年输沙量为 0.11 亿吨,贵德站含沙量增至 1.11 公斤/立方米,平均年输沙量为 0.24 亿吨。贵德站以下泥沙逐渐增多,循化站平均年输沙量为 0.41 亿吨。从循化至上途以及从上途至兰州,由于大夏河、洮河及湟水的汇入,使得兰州站的输沙量增加到 1 亿吨左右。

总之,青藏高原为黄河提供了一半以上的水量,而只带入黄河约 7% 的泥沙。

二、亚洲主要国际河流的发源地

青藏高原地势高耸,除了是长江和黄河的发源地外,也是亚洲主要国际河流的发源地。

据研究,中国共有国际河流(湖泊)40 多条,其中主要的有 15 条,在这 15 条中发源于青藏高原的就占 8 条。另外,还有一个界湖——班公湖。

从青藏高原发源的国际河流中,许多是亚洲乃至世界的巨川,如澜沧江—湄公河,雅鲁藏布江—布拉马普特拉河,森格藏布—印度河,怒江—萨尔温江,伊洛瓦底江,巴吉拉提河—恒河等。流经的国家有缅甸、泰国、老挝、柬埔寨、越南、不丹、印度、锡金、尼泊尔、孟加拉、巴基斯坦、阿富汗等 12 个国家。分别属于太平洋水系和印度洋水系。现仅就几条主要的国际河流简述如下:

澜沧江—湄公河

澜沧江—湄公河是世界著名的大河,其长度位居世界第 6,河口多年平均年径流量位居第 10。它发源于青藏高原唐古拉山的北麓,自北向南流经我国的青海、西藏和云南三省(区)及缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南 5 国,最后在越南的胡志明市西部入海,是东南亚地区唯一一条穿越 6 国的重要国际河流。从河源到河口,

干流全长 4880 公里,流域面积 81 万平方公里,总落差 5167 米,平均比降 1.04‰,多年平均年径流量 4750 亿立方米。

澜沧江—湄公河在中国的源头有东西两支,在昌都两大支流汇合后始称澜沧江。澜沧江在云南的西双版纳州孟腊县的南阿河口出境后称湄公河。澜沧江在中国干流长 2130 公里,以下在老挝境内干流长 777.4 公里,柬埔寨境内长 501.7 公里,越南境内长 229.8 公里,老缅界河长 234 公里,老泰界河长 976.5 公里,其他约有 30 公里。

澜沧江—湄公河在中国境内面积 16.7 万平方公里,年出境水量 765 亿立方米,分别占全流域面积的 20.7% 与年径流量的 16%。

澜沧江—湄公河在青藏高原境内流过了寒带、寒温带、温带、暖温带、亚热带、热带和干冷、干热和湿热等多种气候带,穿越了冰川、草甸、高原、高山峡谷、冲积平原等多种地理单元。

伊洛瓦底江

伊洛瓦底江也是世界著名的大河,干流全长 2150 公里,流域面积 43.1 万平方公里,入海河口年径流量 429 亿立方米,按水量计,排名世界第 12 位。

伊洛瓦底江上游有两源,左源迈立开江,发源于喜马拉雅山中缅交界处缅甸一侧的奈嘎县,右源恩梅开江是正源,发源于中国西藏察隅县伯舒拉岭来亚拉山东麓,山峰海拔 5298 米。该江流经西藏的日东县,称日东河,入云南境内称克劳洛河,下行到斯育纳麻必洛河后称独龙江,在贡山县入缅甸,在纳狄不勒后称恩梅开江。正源在缅甸密支那以北 50 公里的圭道与迈立开江汇合后称伊洛瓦底江。

独龙江段在中国境内长 178.6 公里。流域 4327 平方公里。独龙江上、中游段位于青藏高原东南部,江面海拔 3300 米以上,河

谷宽浅开阔；下游段行进在狭谷中，河道蜿蜒曲折，谷坡陡峻，岭谷高差达 2000—2500 米；中缅交界段，山川紧连，两岸多陡壁、滑坡。

独龙江流域由于地理位置偏僻，交通闭塞，世居的独龙族同胞保留着浓郁的民族文化特色。该地区是研究青藏高原的隆起、横断山地形成、亚热带高山地区生物、气候分布演化、环境演变的关键地区。

雅鲁藏布江—布拉马普特拉河

雅鲁藏布江—布拉马普特拉河是世界著名的大河和国际河流，干流全长 3350 公里，面积 66.6 万平方公里，多年平均年径流量 6253 亿立方米，按水量计算，仅次于亚马逊河、刚果河和长江，位居世界第 4 位。

雅鲁藏布江—布拉马普特拉河在中国境内称雅鲁藏布江，流域平均高度 4500 米，河长 2229 公里，流域面积约 24 万平方公里，是世界最高的大河。雅鲁藏布江在切穿喜马拉雅山东端后流入印度的阿萨姆地区，称布拉马普特拉河，进入孟加拉国又称贾木河，在印度的果阿隆多与恒河相汇后称帕德马河，最后注入印度洋的孟加拉湾。由以上三大河流组成了一个巨大的水系，即恒河—雅鲁藏布江—布拉马普特拉河水系，总流域面积 164 万平方公里，年径流量 14000 亿立方米，是世界上仅次于亚马逊河的第二大河。

雅鲁藏布江的源头在哪里？从 19 世纪末开始就有人研究，但结论不尽相同。1995 年，中科院青藏考察队进入河源区进行深入研究，确定杰马央宗曲为正源，源头海拔 5590 米。河源区由杰马央宗和库比藏布两河组成，在两河源头有杰马央宗冰川、夏布嘎冰川、昂若冰川、阿色甲果冰川等。经测量，从流域面积、河长和径流量衡量，杰马央宗曲应为正源，这也符合当地藏族同胞的习惯。

雅鲁藏布江以杰马央宗冰川至里孜为上游段，河长 268 公里，流域面积 26570 平方公里，水流平缓，江心洲和汊流发育。从里孜

到派区为中游段,河长 1293 公里,流域面积 163951 平方公里,平均坡降 1.18‰,中游河谷呈宽窄相间的串珠状。从派区到巴昔卡附近为下游段,河长 4962 公里,流域面积 4995 平方公里,平均坡降 5.5‰。河流从米林县里龙附近开始逐渐向东北流,经派区转为北东向流,经巴昔卡流入印度。在大拐弯顶部南侧有海拔 7151 米和 7756 米的加拉白垒峰和南迦巴瓦峰,形成了世界第一大峡谷。雅鲁藏布江多年平均年出境径流量为 1654 亿立方米。

怒江—萨尔温江

怒江—萨尔温江也是世界上著名的国际河流,它发源于唐古拉山南坡海拔 6000 米的巴萨通木拉山南麓,自西北流向东南,经加玉桥至门工附近折向南流,穿越横断山的狭谷区,抵曼辛河口出境,入缅甸后称萨尔温江,注入印度洋的安达曼海。河流全长 3200 公里,流域面积 32.5 万平方公里,河口年径流量 2523 亿立方米,位居世界第 19 位。怒江全长 1958 公里,流域面积 13.6 万平方公里,占怒江—萨尔温江总流域面积的 49.6%,年径流量 689 亿立方米,占全江径流总量的 27.3%。

怒江穿行于唐古拉山—怒山与念青唐古拉山—高黎贡山之间,上游流行在青藏高原上,一般海拔 4000—4500 米,山地高达 5500—6000 米以上。怒江至那曲附近作“W”形弯曲,然后折向东流,河谷宽 500—1000 米,汊流发育。索曲河口以下宽狭河谷相同,谷深 500—800 米,呈“V”形峡谷。加玉桥至泸水为中游段,两岸高山夹峙,山峰海拔 4000—5500 米,最高峰梅里雪山 6470 米,河道平均比降 8‰,是怒江河道最陡的一段,河水汹涌澎湃,与河名“怒江”名副其实。泸水以下为下游,然后出境入缅甸。

总之,无论是长江、黄河,还是我国西南众多的国际河流,都发源于青藏高原。以水量计,长江、黄河、西南国际河流,加上祁连山 72 亿立方米、柴达木盆地 44 亿立方米、昆仑山北坡新疆境内 205

亿立方米,初步估算总计约 6000 多亿立方米,约占全国地表水总量的 26%。所以将青藏高原称为“中华水塔”,是名副其实,毫不夸张。

第二节 保护生命之源

水是生命之源。人类的生命及一切的社会经济活动都离不开水。如果说 20 世纪是石油的世纪,则 21 世纪将是水的世纪。

青藏高原是中国及亚洲巨川的发源地,高原的地表水一旦出现问题,对全国乃至亚洲将带来灾难性的后果。水资源也是青藏高原最重要的自然资源,不仅工、农、牧业需水殷切,而且水能资源现在和未来都在青藏高原的能源中占有举足轻重的地位。因此,保护水资源即保护生命之源,刻不容缓。但是,除了自然的作用外,由于人类活动的干扰和破坏,高原的水资源有逐渐退化的趋势。

随着人口的日益增多,人类活动的更加频繁和生产力水平的不断提高,人类在不断塑造新的地表形态的同时,也违背了大自然的基本法则。由于不合理的垦殖和过牧,森林与草原遭到严重破坏,大部分水源日益减少,大部分湿地退化或消失,许多耕地丧失种植能力。目前,长江、黄河河源地区的情况是:雪线在上升,冰川在退缩,湖泊在干涸,草原在沙化。

黄河源头从 1990 年以来曾多次出现断流。1996 年和 1998 年 6 月,黄河在源头玛多县境内出现两次断流。1999 年 5 月 2 日至 6 月 3 日,扎陵湖与鄂陵湖二湖之间河道出现断流,河道干涸长达 8 公里。1998 年从鄂陵湖以下至黄河沿 60 公里出现断流。70 年代以来,黄河河源区气候变干,降水变少,生态严重恶化。玛多

县原来有 4077 个湖泊,现在 1000 多个已经干涸,草原有 70% 退化,而且鼠害猖獗。

据青海省气象局的资料,90 年代与 60 年代相比较,青藏高原的年平均气温上升了 $0.8 - 0.9^{\circ}\text{C}$,扎陵湖与鄂陵湖的水位 1990 年以来下降了 2-3 米。1990-1996 年黄河上游平均年径流量比此前 34 年的平均值少了 23.2%,是造成下游断流时间提前、持续日数不断延长的原因之一。

青藏高原的生态环境遭到破坏是人类的悲剧。高原上的一草一木对人类的价值远远超过其作为资源要素参与经济效益形成过程中所发挥的价值。长期以来,人们在错误的观念影响下,大面积毁林开荒,使原始森林和草原面积日趋缩减。

畜牧业生产一直是维系着青藏高原经济的支柱产业。但长期以来,特别是在扩大畜牧业发展规模过程中,单纯追求各类牲畜的存栏率。由于过度放牧和草原超载,西藏已有三分之一的草地退化,其中重度退化的约占 50%,10% 的草地已明显沙化。例如,那曲地区高寒草甸与高寒草原的平均产草量,已从 50 年代的每公顷 2760 公斤和每公顷 1175 公斤,分别减少到 90 年代的每公顷 1107 公斤和 511 公斤,即减少了 50-60%。青海省草地退化和沙化面积达到总草地面积的 19%,其中约有 20% 左右为重度退化草地。草地的沙漠化加剧了青藏高原气候的干旱和风沙的侵袭,也同时改变了自然环境本底的结构。

青藏高原不仅是长江、黄河的发源地,也是许多亚洲巨川的发源地。维护高原良好的生态环境,保护好水源,不仅符合本地区居民的利益,而且亦将造福于全中国、亚洲乃至全世界。因此,要保护生命之源——水,必须治理青藏高原的生态环境。

(1)坚决制止砍伐青藏高原的森林,切实维护好高原的一草一木。要在减少和避免高原生态系统遭受人为伤害的同时,在有条

件的地方,尽力提倡种草种树。有计划地发展畜牧业生产,提高牲畜质量,严格控制数量,特别要注意畜种的结构,严禁在海拔 3000 米以上的高原上养殖山羊等对高原生态危害严重的畜种。

(2)在河流的上游地区,严禁盲目开垦荒地和开发土地。垦“荒”种粮,毁林毁草种粮,极易导致水土流失,土地沙化,土壤肥力下降,结果是产量很低,质量不好。不能只是为了解决青藏高原约 1022 万人口的粮食自给问题,而毁了 12 亿人甚至更多人的生命之源——水。

(3)包括青藏高原在内的我国西部地区的开发,必须坚持以保护生态环境为前提这个原则。要制订青藏高原生态环境治理的法律和法规,真正做到有法可依,依法办事,否则高原生态环境恶化的趋势就很难制止。

总之,保护水资源,保护生命之源已迫在眉睫,应该大力宣传青藏高原生态环境的重要性,引导人们处理好生态环境与生存发展的辩证关系。

第三节 水资源与可持续发展

除了水源的保护外,水资源的合理利用也是一个重要问题。所谓合理利用就是力求永续利用,不能竭泽而渔。

青藏高原周边地区是与干旱地区相连的,发源于高原的河流直接为这些干旱地区带来了生命和活力。

进入新疆的发源于喀喇昆仑山和昆仑山的河流,多年平均年径流量在 10 亿立方米以上的,有叶尔羌河、玉龙喀什河、喀拉喀什河 3 条,占全疆年径流总量的 17%。年径流量达 64.6 亿立方米的叶尔羌河,孕育出包括新疆第一大县莎车以及泽普、麦盖提、巴

楚等绿洲,并每年为塔里木河提供约 2% 的水量。叶尔羌河也是新疆唯一的常年有水穿越塔克拉玛干大沙漠的河流。据研究,干旱地区河川年径流量的多少直接决定了绿洲面积的大小。和田河的两大支流玉龙喀什河与喀拉喀什河,总计年径流量超过 44 亿立方米,除了孕育出和田、墨玉、洛甫等绿洲外,每年汛期还穿越塔克拉玛干大沙漠汇入塔里木河,其径流量要占塔里木河年径流量的 23.8% (1957 - 1993 年),是除了阿克苏河外塔里木河最主要的水源。

除了上述 3 条大河外,还有克里雅河、提兹那甫河、尼雅河、卡墙河等,它们分别形成了且末、若羌、于田、策勒、皮山等绿洲,这些地方自古以来就是丝绸之路的一部分。

初步估算,从青藏高原发源的河流,进入新疆境内的年径流量约 205 亿立方米,占全疆地表水资源的约四分之一。它养育了几百万各族人民,世代在这里生息繁衍。因此开发、合理利用和保护好这些水源,将是新疆可持续发展的重大问题,其中首要的是做到经济效益、社会效益和生态环境效益三者的真正统一。

发源于祁连山的河流,在其北坡流入了甘肃省的河西地区。现在的河西地区已成为甘肃省乃至全国重要的粮食和瓜果生产基地。在我国三大干旱地区,即新疆、河西及柴达木盆地中,河西地区的水资源利用率最高,其中石羊河流域已经达到 70% 左右,黑河流域居中,疏勒河流域则较低,但发展潜力大。

但是河西地区在提高地表水利用率(渠系利用系数、引水率等)的同时,也存在其它方面的问题。如石羊河和黑河下游的民勤绿洲与额济纳绿洲出现了地表水严重匮乏,由于无限制地超采地下水,使地下水位急剧下降,造成植被枯死和衰败,风沙又起。民勤县在腾格里沙漠边缘的湖区已弃耕 40 万亩。额济纳旗因水源缺乏,致使额济纳东、西两湖干涸,大片胡杨林和梭梭枯死,成为我

国当前干旱地区生态环境恶化的典型之一,也是沙尘暴主要沙源地之一。

高原内部的柴达木盆地,除了海拔较高外,其河川径流及水资源特性与干旱地区基本一致。据 1999 年对柴达木盆地水资源承载力的研究,柴达木盆地的山区是地下水补给了地表水,而山前平原则是地表水补给了地下水,地表水通过多种形式补给地下水的量约占 80%。因此在水资源利用时,必须考虑到这种地表水与地下水的转换关系,如在平原上段部分过多地利用地表水,则必然导致下段(包括盐湖)的水量日益减少。

总之,包括柴达木盆地在内的干旱地区水资源利用的总的规律是:在平原地区即需水最殷切的地段,上、下段间用水的矛盾日益突出,直接影响到生态环境的变化,甚至人民生存的基本条件。为此,必须建立人工绿洲生态经济系统,才能真正做到可持续发展。

人工绿洲生态经济系统是一个大系统,是在原有绿洲的基础上,考虑到生态效益,也同时考虑到经济效益,重新安排国民经济各部门的用水,其中主要是农田灌溉用水。使国民经济能够协调而又可持续地发展。还要预测近期和远景的人口增长、国民经济各部门对水资源的需求,考虑节水的各种措施、开源的可能性及生态环境需水量的变化等。并在此基础上求得最大的经济效益、社会效益和生态环境效益的真正结合。

从青藏高原发源的河流,多数是国际河流。国际河流在中国境内流经的地区,大多地广人稀,有丰富的资源,其生物和文化的多样性资源也很突出,因此这些河流的开发利用对我国西部的可持续发展有重要的作用。许多较大的国际河流,既可发电、灌溉、航运,又有旅游、生态等多方面的功能,需要进行多方面的开发和协调管理。

高原国际河流流经地区的特点是:地势高寒,山高谷深,流域呈南北向,其自然系统和人地系统的构成、分布、作用机制、演变过程等,都具有复杂性、特殊性、多样性和脆弱性,而且虽然资源丰富,但特别贫困。要在这个地区实行可持续发展战略,存在以下问题。

(1)本底还不够清楚,研究基础薄弱,迄今为止还未进行过统一的系统研究,如对水资源、社会、经济和环境整体上的情况还不够清楚。这种状况很不适应沿边对外开放、睦邻友好和区域国际合作。

(2)主权界定问题仍较突出。特别是西藏高原的国际河流域,争端较大。另一方面,在中国境内的一些国际河流,尽管边界早有规定,但因水土流失、河流改道、河岸崩塌等原因,使国土有所流失。

(3)过去对国际河流的研究很少,很多人对其认识不足。迄今国内仍将国际河流当作内河来开发和管理。尤其是对国际河流法、国际水道的有关法律条约规则等研究更少,目前仅停留在外文的翻译和整理阶段。

(4)发源于青藏高原的国际河流有些已经成为国际合作开发的热点,但是我们尚缺乏统一的整体行动计划和管理。这种状况不利于在维护国家主权与民族利益方面协调一致,也不利于当发生国际利害冲突时问题的解决。

(5)水资源是流动性的资源,特别是河川径流资源,其公平合理的利用,涉及资源的数量分配和合作开发项目的投资利益分配等问题。这些问题有相应的国际法和可借鉴的实例,但我们对这方面的研究较少。

影响青藏高原未来可持续发展的因素很多。但其中有三个因素是最关键的:第一,是稳定的周边环境;第二是正确的政策;第

三,是可持续利用的淡水资源。

发源于青藏高原的国际河流有两个经济合作区,一是东南亚经济合作区,以澜沧江—湄公河区域经济合作为纽带,它涉及中国、缅甸、老挝、泰国、柬埔寨、越南等6个国家的经济发展。除中国外,其它都是东盟国家,因此这个地区的经济合作成为中国与东盟国家间经济合作关系的组成部分。

另外一个经济合作区是南亚经济合作区,以恒河和雅鲁藏布江—布拉马普特拉河流域为主体。这个合作区包括中国、印度、孟加拉、不丹、锡金等国。它涉及中、印这两个世界上人口最多的国家之间的经济合作、边界问题的解决等。南亚经济合作区域的建立和发展将对整个亚洲乃至全世界产生重要影响。而经济合作与可持续发展是以水资源的合理开发利用为首选的项目。

水资源的短缺是影响我国未来可持续发展最为关键的问题,已越来越成为人们的共识。而从青藏高原发源的每年6000多亿立方米的河川径流量是我国的宝贵资源。这部分水资源集中在耕地和人口相对分散的山区,如何合理开发利用对我国西部地区的开发与发展关系重大。

我国西部地区面积约占全国总面积的71.7%,是我国资源最富集、开发潜力巨大、社会经济发展层次较低和贫困人口最集中的地区。近年来正在加大西部地区的开发和缩小与东部地区的差距,而西部广大地区都在国际河流的流域范围内,因此,这部分国际河流区的可持续发展,也将影响到整个西部地区的发展战略。

综上所述,水资源的合理开发利用与青藏高原社会经济的可持续发展有着密切的关系,也将对我国与周边邻国的合作与发展产生重大影响。

第三章 河流、湖泊与冰川分布

青藏高原上发育着众多的河流、湖泊、冰川与沼泽,是我国地表水系的重要组成部分。它不仅是许多世界级大河的发源地,被称为“中华水塔”,而且其类型和时空分布规律也是复杂多样。

第一节 河流的分布

一、河网密度

一个地区河流密度是水系分布特征的综合性指标,它与区域自然发育状况有着密切的关系。根据最新的研究,青藏高原内部的河网密度(喜马拉雅山南坡、柴达木盆地及高原外围的绿洲除外)为0.06—0.73公里/平方公里,属于我国河网密度中等、稀疏和极稀疏的地区。青藏高原的河网密度明显受到气候的影响,具有由东南向西北随着年降水量的减少而稀疏的趋势,另外还明显受到地貌结构和地势高度(即有无冰雪覆盖)的影响,在东西向的山脉和南北向的横断山脉过渡的弧形地带,以及有冰雪覆盖的山地及其附近,均有较大的河网密度。在冈底斯山、喀喇昆仑山和祁

连山等半干旱与昆仑山干旱地区,高山的河网密度具有明显的垂直变化规律。青藏高原的河网密度总的分布规律大致是:东部及南部边缘山地、高山区和高原上,东西向山脉与南北向山脉的过渡带的河网密度最大;高原东部及西部的高大山脉次之;高原中部居中,高原西部及干旱与半干旱地区山麓河谷地与内陆盆地最低,阿尔金山及柴达木盆地的西北部几乎没有水流。

二、内流区与外流区

青藏高原的河流可以分为内流区和外流区两大部分。外流水系主要有属于太平洋水系的长江、黄河与澜沧江的上游部分,以及属于印度洋水系的印度河、雅鲁藏布江—布拉马普特拉河、怒江与伊洛瓦底江的上游。外流水系的河流多为常年有水的河流,其河道在青藏高原内一般可分为三段:

第一是河流起始段。河流多弯曲和分汊,河谷内湖泊、沼泽、湿地有较广泛的分布。

第二是流域高原边缘地段。河流多为峡谷段,水流湍急。

第三是上述两段之间的地段。河流的谷形一般为宽狭相间,宽谷段河道明显分汊,窄谷段为峡谷,水流湍急。

外流水系主要河流的流向明显受地质构造所控制,干流走向与区域构造线吻合。

内流水系的河流多为时令河,若以分水岭为界,按各流域的自然条件及水系特征的异同,可以分为7个区域:

(1)河西走廊及塔里木盆地区。包括昆仑山、阿尔金山和祁连山的北坡流入河西走廊及塔里木盆地的各内流水系。区内气候干旱,地形复杂,水系的垂直分带性明显。

(2)青海湖—哈拉湖地区。主要包括青海湖与哈拉湖两个内流流域。地区内气候相对较湿润,形成向心式的密度较大的水系。

(3)柴达木盆地区。盆地内气候干旱,不产生径流而只消耗径流,是径流散失区。在盆地中心盐沼和盐湖有广泛的分布。河流均从昆仑山和祁连山由高山冰雪融水和雨水发源进入盆地,河流集中在盆地的东南部。盆地西北端为我国极端干旱的地区之一,地面无河流分布。

(4)昆仑山南侧区。包括昆仑山最高分水岭以南及喀喇昆仑山—唐古拉山最高分水岭以北各流域。这个区域内气候寒冷干燥,发源于南北两侧的河流均以湖泊为归宿,而这些湖泊受到昆仑山东西向大断裂强烈控制,多呈东西向条状排列。

(5)羌塘高原北部区域。包括昆仑山南侧区以南,黑阿公路地带以北的区域。本区属半干旱气候,地面呈波状起伏,湖泊星罗棋布,河流水系以湖泊为归宿,河网密度相差较悬殊。

(6)羌塘高原南部区。系指冈底斯山脉内外流区域的分水岭以北,羌塘高原北部区域以南的区域,属半干旱偏湿润气候。大部分地区水系较稠密,分布着青藏高原较大的湖泊和河流,它们受冈底斯山脉北翼各组断裂构造强烈控制,而组成格状的骨架。

(7)藏南内流区。指喜马拉雅山北侧雨影地带的一些独立的内陆盆地,镶嵌在雅鲁藏布江的外流流域内,较大的有4块,自西向东为吉隆内流区、亚东以北的内流区、金龙内流区和羊卓雍内流区。这些小盆地气候干旱,河网稀少,以湖泊为中心的水系,与雅鲁藏布江的水系发育明显不同(图3—1)。

表3-1 西藏、青海地区内、外流域水系面积

地 区	外流面积 (平方公里)	占全区总面积 (%)	内流面积 (平方公里)	占全区总面积 (%)	全区水系面积 (平方公里)
青海	348634	48.24	374034	51.76	722668
西藏	588758	49.02	612212	50.98	1200970
青藏地区	937392	48.73	986246	51.27	1923638

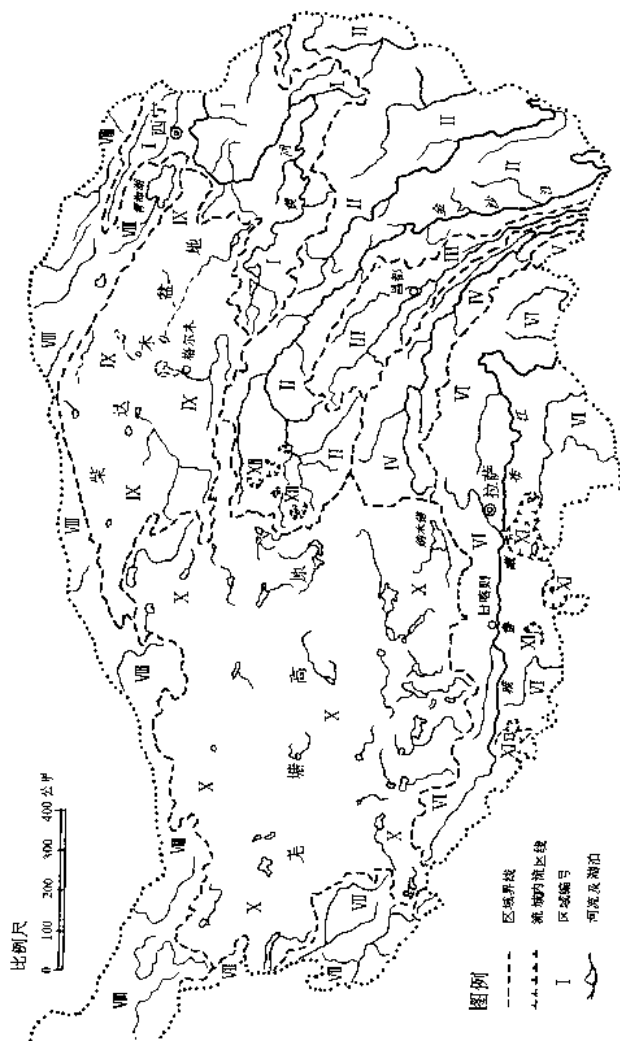


图 3—1 青藏高原水系流域示意图(据青藏高原地图集)

外流区:太平洋流域

I. 黄河流域 II. 长江流域 III. 澜沧江—湄公河流域

印度洋流域

IV. 怒江—萨尔温江流域 V. 独龙江—恩梅开江—伊洛瓦底江流域

VI. 恒河流域 VII. 印度河流域

内流区:VIII. 昆仑山—阿尔金山—祁连山水系区 IX. 柴达木盆地水系区

X. 羌塘高原水系区 XI. 藏南内流区

XII. 长江上游流域内流区

从图 3—1 可以看出,青藏高原的内流和外流的面积大致相当,内流面积略多。青藏高原的主体西藏自治区和青海省的内、外流域的面积见表 3—1。

主要外流河的情况见表 3—2。

表 3—2 主要外流河的长度与面积

水系	河名	河长(公里)	流域面积(平方公里)
长江	金沙江(热水塘河口以上)	2315.96	337669.12
	藏曲	218.86	4645.68
	水落河	283.12	13915.03
	赠曲	215.86	5490.80
	雅鲁江	1348.96	102607.84
	通天河	774.06	118642.64
	楚玛尔河	505.82	21273.04
	当曲	322.93	31138.84
	北麓河	198.69	8027.38
	沱沱河	340.24	17689.19
	岷江	316.11	97386.62
	大渡河	779.37	7434.74
	黑水河	200.36	7217.00
	白龙江(北裕河口以上)	302.23	25709.73
	白水河(文县以上)	221.70	7318.97

水系	河名	河长(公里)	流域面积(平方公里)
森格藏布	森格藏布(至国界)	419.09	47569.12
	郎钦藏布	369.09	22698.38
黄河	黄河(银沟河口以上)	2007.90	209068.43
	约古宗列曲	102.71	3819.12
	卡日曲	119.63	3115.68
	泽曲	190.27	4803.63
	隆务河	143.62	4963.63
	大夏河	189.18	7136.72
黄河	洮河(至冶木河)	527.41	17369.10(不包括冶木河)
	黑河	380.72	7677.83
	白河	264.54	5509.90
	湟水(永靖县红古乡以上)	335.52	32914.60
	大通河	535.87	15196.05
澜沧江	澜沧江(花坪河口以上)	1313.61	89456.18
	昂曲	516.01	16825.54
	色曲	304.51	7502.18
	子曲	281.50	12867.31
雅鲁藏布江	雅鲁藏布江(亚木乃河口以上)	2505.98	239173.31
	多雄藏布	326.86	19845.19
	年楚河	195.78	1103.54
	拉萨河	530.11	32588.08
	尼洋曲	309.22	17679.06
	帕隆河布	269.80	16159.76
	易贡藏布	272.48	13524.03
	锡约尔河	201.53	5479.99
	察隅曲(库帕阿日河口以上)	237.87	30760.22
	西巴德曲(至国界)	353.92	25906.68
	鲍罗里河(至国界)	209.47	10162.70
	扎波曲(至国界)	388.81	25983.76
	朋曲	259.95	8962.23
	怒江(阿尼菩帕河口以上)	1717.58	106462.46
怒江水系	下秋曲	321.57	8487.22
	索曲	270.93	13918.12
	伟曲	431.24	8159.73
	独龙江(至国界)	178.6	43217.0
伊洛瓦底江	大盈江	204	5832.6
	瑞丽江	约200	8470.0

从上表可以看出,青藏高原主要的外流河是长江、黄河的上游,雅鲁藏布江、怒江、西巴霞曲、朋曲、察隅曲、郎钦藏布(象泉河)和森格藏布(狮泉河)等。其中以雅鲁藏布江的长度最长,达 2500 多公里。而长江和黄河在高原境内的长度,分别占长江总长度的 36% 和黄河总长度的 38%,也即长江、黄河的五分之一以上的河段是流行在高原上。

按流域面积计算,长江近 44 万平方公里。其次是雅鲁藏布江流域的 24 万 平方公里,而黄河只有 21 万平方公里,在其他的国际河流中,以怒江的流域面积最大,达 10.6 万 平方公里,其余均在 10 万 平方公里以下。

内流河的基本情况见表 3—3。

表 3—3 青藏高原主要内流河的长度与流域面积

地区	河名	河长(公里)	流域面积(平方公里)
青海湖及柴达木地区	布哈河	214.48	14362.92
	索林格勒河	214.57	4334.34
	柴达木河	345.87	15049.48
	诺木洪河	223.80	4283.61
	格尔木河	446.32	23104.53
	舒尔干河	303.50	10923.86
	昆仑河	192.99	8559.89
	那棱格勒河	485.44	29781.00
	洪水河	281.92	10253.83
	楚拉克阿拉干河	139.81	9925.55
	鱼卡河	172.16	3986.07
	塔塔梭河	202.54	5141.24
	大哈尔腾河	207.36	6243.37
	巴音郭勒河	268.40	9157.81

地区	河名	河长(公里)	流域面积(平方公里)
藏北地区	江爱藏布	186.48	4372.76
	波仓藏布	250.06	8318.21
	扎加藏布	455.41	16591.07
	永珠藏布	202.78	4177.17
	格勒藏布	242.61	9948.15
	达果藏布	210.05	584.79
	毕多藏布	176.35	5186.48
	阿毛藏布	185.46	7077.37
	隆察曲	248.98	7932.46
河西走廊地区	疏勒河(玉门市大堤以上)	361.41	14058.03
	党河(肃北以上)	268.71	14395.97
	黑河(张掖上龙王以上)	303.80	8945.77
	北大河	218.41	6960.60
塔里木盆地	叶尔羌河(莎车阿热塔什以上)	503.72	49179.86
	喀拉喀什河(墨玉普吉牙以上)	577.40	34941.67
	玉龙喀什河(和田通古孜鲁克以上)	355.66	14801.48
	克里雅河(于田县羊场以上)	234.25	-
	阿雅里克河	304.50	24504.36
	托格拉萨伊河	219.71	14134.29
	阿特阿特坎河	177.58	5226.64
	喀沙力克河	340.31	15205.10

从上表可以看出,青藏高原内流河无论从长度或流域面积来看,都比外流河要小得多。河流长度超过 500 公里以上的只有两条,它们都流向塔里木盆地,是喀拉喀什河与叶尔羌河(在青藏高原部分),其次是柴达木盆地的格尔木河与那棱格勒河。在藏北的内流区中,最长的扎加藏布长 455 公里。若按流域面积计算,仍然是叶尔羌河与喀拉喀什河最大,前者接近 5 万平方公里,后者也有

3.5 万平方公里。其次是柴达木盆地的那棱格勒河与格尔木河以及发源于昆仑山的阿雅里克河,它们的流域面积均超过 2 万平方公里。在藏北高原的内流河中,流域面积最大的仍然是扎加藏布,但也仅 1.7 万平方公里。

以上河流及水系的长度和流域面积都是现在的规模,在地质时代,河流、湖泊及其组成的水系是另外一番景象。近年来的研究表明,大约 2000 万年前青藏高原尚未大规模隆起,现在的长江、黄河、怒江和澜沧江的河源地区为广布的内流湖泊,其中有石膏等盐类的沉积,表明当时这里并没有大河存在。

随着高原的隆起,高原地区逐渐变为湿润。在距今约 100—200 万年的中新世晚期和上新世期间,除柴达木盆地在上新世晚期出现盐湖外,河流与湖泊基本上都是淡水。从地貌上也可以看到,这些湖泊都有出口,与目前高原上广泛分布的内流湖截然不同,它们大多数是外流湖泊。青藏地区当时地面起伏平缓,宽谷与盆地贯通,形成了湖泊与河流相连贯的串珠状水系。当时的水系是与南亚的水系相通的,这一点从喜马拉雅山北坡盆地的上新世沉积中有恒河螺化石可以说明。

第四纪青藏高原强烈隆起,河流的坡度相应增大,下切侵蚀能力亦随之加强,侵蚀裂点不断由高原的边缘向内地推进,高原边缘的河流从宽缓河谷变为深切峡谷,湖泊因而疏干并下切,原来的湖底变成了高台地,黄河的龙羊峡就是在青海共和古湖疏干后下切形成的,而在黄河的两岸形成了多级阶地。青藏高原周边的河流大峡谷大都是这样形成的。不少学者认为雅鲁藏布江的大峡谷也是先成河,即河流的年代早于山地上升的年代。但各峡谷形成的年代有早有晚,如象泉河峡谷形成的年代约在 100—200 万年前,而龙羊峡仅在 10 多万年前。

根据一些资料分析,有人认为有些湖与湖、湖与河曾经是相通

的。如班公湖曾经是印度河水系的一部分,而纳木错湖水曾经流到色林错,而色林错与怒江水系曾经贯通。

近 10 万年气候变干后,高原边缘高山的崛起对湿润气候的屏障作用空前加强,河流水系就明显衰退,一直发展到现近的情况。

第二节 湖泊的分布

青藏高原内流区的面积要占高原总面积的 50% 左右,在内流区,河水一部分潜入地下,一部分损耗于蒸发,大部分注入洼地和凹陷盆地,形成数以千计的大小湖泊。据统计,全国天然湖泊面积在 1 平方公里以上的有 2800 多个,总面积 8 万平方公里以上。青藏高原面积在 1 平方公里以上的湖泊有 1126 个,总面积 39206.8 平方公里,分别占全国湖泊个数的近 40%,面积占 49%,是全国湖泊数量最多、面积最大的地区,高原湖泊的分区分级统计见表 3—4。

表 3—4 青藏高原湖泊分区分级统计

单位:平方公里(湖泊个数)

分 省 区 地 区	≥1000	≥500-1000	≥100-500	≥50-100	≥1-50	≥0.5-1	合 计
新疆	0(0)	537.6(1)	781.0(3)	0(0)	282.1(41)	13.3(19)	1614.0(64)
青海	4458.2(1)	2309.6(4)	3653.2(18)	963.4(14)	1517.3(15)	105.1(167)	13006.8(419)
甘肃	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	28.8(9)	2.7(4)	31.5(13)
四川	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	56.3(30)	33.1(54)	89.4(84)
云南	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	52.4(3)	0(0)	52.4(3)
藏北北部	0(0)	0(0)	3234.7(15)	2349.8(32)	3556.5(3)	94.4(146)	9235.4(617)
藏北南部	3589.4(2)	2344.6(3)	4029.0(18)	1495.3(22)	10(424)20.9(40)	77.6(125)	12556.8(310)
藏东南	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	198.3(45)	44.2(67)	240.7(112)
藏南	0(0)	638.1(1)	1369.5(5)	249.5(4)	491.3(35)	40.0(62)	2788.4(148)
总计	8047.6(3)	5829.9(4)	13667.4(59)	5058.0(72)	7203.9(983)	408.6(644)	39615.4(1770)

全国湖泊面积超过 500 平方公里的共有 27 个,其中就有 12 个分布在青藏高原上。

表 3—5 青藏高原 12 个大湖的情况

序号	湖名	面积(平方公里)	湖面海拔(米)	地理位置		矿化类型	水系特征	注
				北纬	东经			
1	青海湖	4458.2	3195	36°54′	100°11′	咸	内流	全国最大湖泊
2	纳木错	1961.5	4018	30°45′	90°40′	咸	内流	西藏最大湖泊
3	色林错	1627.9	4530	31°46′	88°47′	咸	内流	
4	扎日南木错	996.8	4613	30°55′	85°37′	咸	内流	
5	当日雍错	835.1	4535	31°31′	86°36′	咸	内流	
6	羊卓雍错	638.1	4441	28°54′	90°43′	咸	内流	
7	鄂陵湖	619.0	4200	34°56′	97°43′	淡	外流	高原最大淡水湖
8	喀拉湖	601.7	4075	38°19′	97°36′	咸	内流	
9	乌拉乌拉湖	544.5	4854	36°59′	88°27′	咸	内流	
10	扎陵湖	544.4	4200	34°55′	97°15′	淡	外流	
11	阿雅克库木湖	537.6	-	37°33′	89°21′	咸	内流	
12	昂拉仁错	512.7	4689	31°34′	89°06′	咸	内流	

从表 3—5 可以看出,高原上 12 个大湖泊的特点是:(1)除了黄河的鄂陵湖、扎陵湖外,全部是内流湖,而且都是咸湖;(2)12 个大湖的总面积为 13877.5 平方公里,占青藏高原湖泊面积(≥ 1 平方公里)的 35.4%,其中青海湖是全国最大的湖泊,也是最大的咸水湖;鄂陵湖是高原上最大的淡水湖,也是最大的外流湖。高原上面积大于 1000 平方公里的湖泊有 3 个,大于 500 平方公里的湖泊有 12 个,大于 100 平方公里的湖泊有 71 个,大于 50 平方公里的湖泊有 143 个,大于 1 平方公里的湖泊有 1126 个,大于 0.5 平方公里的湖泊有 1770 个。由以上可得出:湖泊数量最多的是 1—50 平方公里的湖泊,约占湖泊总数的 55.5%;(3)海拔高程特别高。

湖面海拔在 3195—5386 米(森里错,北纬 30°25′,东经 84°04′)间,除青海湖外,大多数湖泊海拔在 4000 米以上,可以称为真正的“天池”大聚合,是世界上高海拔湖泊最多的地区。

根据多年的考察和研究,青藏高原湖泊有以下几个特点:

1. 近年来湖泊普遍在退缩

其实从地质历史看,青藏高原的湖泊与现在的湖泊已经有很大的不同。据研究,在第四纪早期,高原湖泊广布,湖泊面积较大,而第四纪晚期出现普遍退缩的趋势,若干个原来外流的湖泊变成内流封闭的湖泊,这个结论可以由湖泊周围古湖岸地貌与河湖沉积物的分析结果证实。人们发现,现代湖泊周围保存有几乎是同心圈状的湖岸线,记录了古代湖泊湖面波动的情况。色林错、龙木错古湖面高出现代湖面达 100 米甚至更多。阿里地区的结则茶卡古湖面与现在湖面相差最多,高达 280 米。但有的古湖面仅高出现代湖面数十米甚至更少,说明各个湖泊之间的情况是不同的。沟通相邻湖盆的宽谷垭口,有的低于最高的古湖面,有的虽然没有古湖面高,但在垭口处的堆积物是以后的洪积和冲积物。从这一情况来推论,这些古湖曾经与外流的水系相通。根据这些分析,可以发现羌塘高原上的纳木错水曾经流到色林错,而色林错曾与怒江水系相贯通。日前封闭的高原西部的班公错曾经是印度河水系的一部分。这些湖泊从外流变成内流当然与高原内部在晚更新世以来的气候变得干旱有关。近 10 万年来高原气候变干,逐渐形成了现今在古湖泊的基础上大大萎缩了的湖泊。

藏北高原是湖泊退缩较典型的地区。退缩的主要痕迹表现为为数众多的古湖岸砂堤,其次是有泻湖、砂嘴、残留湖、古湖岸阶地、浪蚀崖、浪蚀洞及干涸湖泊和沼泽地等。

古湖岸砂堤是古湖泊的湖浪冲刷湖岸堆积而成。根据最高古湖岸砂堤的高度,可以推测古湖泊曾经到达过的范围。这些古湖

岸砂堤大都分布在东南部,如色林错、扎布耶茶卡等。湖泊不断退缩形成多级同心弧状的古湖岸砂堤。

西藏高原的湖泊,绝大多数有明显的退缩。一般古湖泊比现代湖泊要大2—5倍,退缩深度为几米到几百米。湖泊退缩的主要原因,是第四纪以来青藏高原急剧隆起、气候变干和冰川不断退缩。湖泊退缩也有区域差异,这与湖泊所处的地理环境与地质构造环境有关,特别是同新构造运动有着密切的关系。

青海湖是我国第一大湖,青海湖的水位下降引起气象水文学家以及生态环境学家的普遍关注。

据青海湖沙陀寺水位站实测资料,近30年来湖水水位总的趋势是在波动变化中下降,由1959年的3196.55米,降至1988年的3193.59米,累计下降了2.96米,平均每年下降10.2厘米。在1959—1988年的30年中,水位持平和上升的年分只有8年,占27.6%,而水位下降年数是21年,占总年数的72.4%。从湖泊水量平衡角度对水位下降的原因进行分析研究,结论是总支出(包括流域蒸发)大于总收入(湖面降水、地表径流的注入、地下径流的注入)。并且预测,如果将来青海湖地区还维持过去近30年的平均情况,则青海湖水面的面积缩减至3641.6平方公里时,收支水量可能达到平衡,水位不再下降,这时的水位应该是3187.6米,比1988年的水位(3193.59米)还要下降5.99米。如果按近30年平均每年下降10.2厘米计算,则水位要持续下降到2045年时,才可能达到平衡。

2. 成群分布,自成系统

与我国其他的湖区不同,青藏高原的湖泊成群分布,而且以湖泊为归宿的水路网非常发育,特别在藏北地区,构成了成片的相互独立的水系网络,为世界所罕见。而在相对低的柴达木盆地,则与我国其他的干旱地区一样,湖泊成了河流向心式水系和地下水的

最终归宿。

3. 湖泊水化学性质复杂,类型多样

由于青藏高原地域辽阔,气候及下垫面特点各地不一,致使湖水化学成分较为复杂,而且类型多样,几乎包括了我国所有湖泊的化学类型。关于这方面的情况将在下文中作较详细的讨论。

4. 湖泊的湖水较深

与我国东部平原、蒙新高原和云贵高原大部分湖泊相比,青藏高原的湖泊较深,如青海湖平均水深 21 米,最大水深 23.5 米;羊卓雍错平均水深 22 米;色林错深 23 米,纳木错深 24 米,班公错深 18—20 米,玛旁雍错深 16—20 米,哈拉湖最大水深 65 米。而我国东部的太湖最大水深 4.8 米,洪泽湖最大水深 5.5 米。蒙新湖泊如乌伦古湖平均水深 3—5 米,博斯腾湖平均深 10 米,与扎陵湖 8—9 米和鄂陵湖 17.6 米相比要浅一些。当然在柴达木盆地的有些湖泊很浅,有些已经成了干湖,如察尔汗盐湖等。

高原湖泊水深较深的原因,是大部分湖盆是由地质构造、冰川侵蚀等形成的。

由于湖泊的深度较大,所以湖泊的储水量也比全国其他湖区为多。但是高原上大部分是咸水湖和盐湖,因此湖泊淡水储量的比重有所下降,但仍为全国 5 大湖区的首位(表 3—6)。

表 3—6 中国 5 大湖区湖泊的储水量

湖区	湖泊面积 (平方公里)	占全国湖泊 面积的(%)	湖泊储水量 (亿立方米)	其中淡水储量 (亿立方米)	占湖泊淡水总 储量(%)
青藏湖区	39615	48.7	5182	1035	45.8
东部平原	22161	27.5	711	711	31.5
蒙新高原	13845	17.2	6197	23.5	1.4
东北平原及山地	3722	4.6	190	188.5	8.3
云贵高原	1188	1.5	288	288	12.7
其他	372	0.5	20	15	0.7
合计	80903	100	7088	226	100

青藏高原的湖泊贮热量大,这主要由于湖泊水深,贮水量多,热容量大以及动力混合强烈等因素,还因为高原上的辐射强烈,湖水透明度大,使湖体能充分吸热,所以高原湖泊虽然所处的海拔高,水温低,但湖体贮热量仍可高于平原地区许多大型浅水湖。

表 3—7 我国东、西部部分湖泊贮热量估算

湖名	东部浅水湖			西部深水湖			
	太湖	洪泽湖	洞庭湖	玛旁雍错	班公错	羊卓雍错	纳木错
湖面面积(平方公里)	2400	1960	2820	412	413	638	1962
夏季平均贮热量(10 ⁶ 卡)	17.7	8.8	67.0	18.4	16.8	19.5	7125
降温期日平均释放热量(10 ¹⁴ 卡)	8.1	4.2	37.0	13.7	12.8	15.6	94.0

湖泊的贮热量大,水温愈趋稳定。因此高原湖泊对湖滨地区气候的调节作用,要比平原湖泊显著得多。

第三节 冰川分布

据统计,全球冰川总储量约为 2400 万立方公里,主要分布在南极洲,其次是北极、格陵兰,占全球淡水总量的 68.7%。中国是世界上中低纬度山岳冰川最多的国家之一,初步查明冰川面积为 58651 平方公里,其中青藏高原的冰川面积约为 50672 平方公里,占全国总面积的 86.4%(表 3—8)。

青藏高原中昆仑山的冰川面积最大,其次为喜马拉雅山和喀喇昆仑山。这三个地区的冰川面积占冰川总面积的 63.6%。

昆仑山是绵延于高原北部的亚洲最长的山脉,从帕米尔东部塔什库尔干河谷开始东延,北支为阿尔金山,南支沿柴达木盆地南

部边缘延伸分成阿尼玛卿山和巴颜喀拉山。在这个范围内又分为西、中、东三段。昆仑山西段,沿其主脊自西向东的山峰高度大都在海拔 6000—6500 米,主峰昆仑峰海拔 7167 米,是整个昆仑山系的最高峰,西昆仑山的冰川面积为 8818.78 平方公里,占昆仑山冰川面积的 70%,玉龙冰川最长,中峰冰川面积最大,为 239.5 平方公里。

表 3—8 青藏高原冰川面积

地区	冰川面积(平方公里)	占青藏高原冰川面积 (%)	雪线高度(米)
喜马拉雅山	11055	21.8	4300—6200
冈底斯山	2188	4.3	5800—6000
念青唐古拉山	5898	11.7	4200—5700
岗日嘎布	1638	3.2	4300—5000
横断山脉	1456	2.9	4600—5600
唐古拉山	2082	4.1	5400—5700
羌塘高原	3188	6.3	5600—6000
昆仑山	12538	24.7	4700—5800
祁连山	1973	3.9	4500—5250
喀喇昆仑山	6295	12.4	5100—5400
帕米尔高原	2361	4.7	5500—5700
总计	50672	100	

昆仑山中段主要包括西自阿克塔格山、东至唐格乌拉山、北抵阿尔金山、南达可可西里山之间的广大山地,共有冰川 2324 条,冰川面积 3572.07 平方公里。

昆仑山东段主要由布尔汗布达山、鄂拉山、布吾山、阿尼玛卿山和巴颜喀拉山组成,除了阿尼玛卿山主峰玛卿岗日峰海拔 6282 米外,其余山峰均不超过海拔 5500 米,是昆仑山系总体地势最低的地段。昆仑山东段的冰川只有 115 条,冰川面积 148.51 平方公里,仅占昆仑山冰川总面积的 1.2%,

我国境内喜马拉雅山冰川面积 11055 平方公里,最大的是北坡的绒布冰川,长度为 22.2 公里,面积 86.9 平方公里。由于地形破碎,坡度太陡,因而缺乏大的山谷冰川,一般冰川长度 15—20 公里,最长的热母冰川和干戈冰川分别为 29 及 26 公里。

喀喇昆仑山有 4 座高峰海拔超过 8000 米,超过 7000 米的高峰有 15 座。喀喇昆仑山的冰川面积达 6295.19 平方公里,其中音苏盖提冰川长 42 公里,冰川面积 379.97 平方公里,由 4 条大山谷冰川和 10 条规模不等的山谷冰川汇流而成,其雪线(海拔 5420 米)以下的冰舌长度达 36 公里,占冰川总长度的七分之六,冰川前端伸至谷地海拔 4000 米处。

一、大陆型冰川与海洋型冰川

冰川的分类有很多种,我国普遍采用的是将冰川分为大陆型冰川与海洋型冰川。根据多年的考察和研究表明,我国藏东东南部存在着海洋型冰川,而其他地区的冰川可统称为大陆型冰川,大陆型冰川又可再分为极大陆型和亚大陆型等等。那么,大陆型冰川与海洋型冰川在各个方面有什么不同呢?

(1)气候。大陆型冰川的气候是属于高原季风与大陆性气候,而海洋型冰川属于印度洋季风亚热带山地气候。

(2)雪线的年平均温度。大陆型冰川为 -6°C 以下,而海洋性冰川则高于 -6°C 。雪线地区的年降水量也有很大的不同,前者小于 1000 毫米,而且全部为固态降水,其中夏季降水量要占年总量

的 80—90%；而后者年降水量为 1200—3000 毫米，夏季有 30% 左右为液体降水，夏季降水量占年降水总量的 50%—60%。

(3)雪线高度。大陆型冰川为 5000—6000 米，而海洋型冰川仅 4500—5400 米。

(4)冰舌末端高度。大陆型冰川一般高于 4500 米，位于森林带上限以上，雪线与林带二者相差 1000 米以上，其间是高山苔原或高山灌丛。而海洋型冰川冰舌末端最低可达 2400 米，较大的山谷冰川一般可伸入森林。雪线与林带高度一般相差 400—600 米，有时非常接近，二者间有以杜鹃为主的高山常绿灌丛。

(5)运动速度。大陆型冰川年平均运动距离为 30—100 米，主要靠夏季融水发生在底部的滑动作用。而海洋型冰川则年平均运动距离在 100 米左右，最高可达 300—400 米，夏季只比冬季快 10—15%。

(6)融水情况。大陆型冰川的冰源河流只在 5 月下旬至 10 月有水，最大流量出现在 6 月，其他时间断流，冰舌年消融一般 1—2 米。海洋型冰川消融时间长，冬季冰源河流不断流。冰舌的下端年消融可达 10 米或更多。

除上述主要差别外，在冰层温度、成冰作用、融水的热量来源等方面，二者也有很大的差别。

在西藏，海洋型冰川与大陆型冰川分布的界线是，北起丁青与索县之间的唐古拉山东段的主峰布加岗日峰（海拔 6328 米），向西南经嘉黎、工布江达抵格美。此线以东为海洋型冰川的分布区，并东延至川西、滇北，包括贡嘎山、雀儿山以及梅里雪山、玉龙雪山等。另外，在喜马拉雅山南坡的许多冰川，受印度洋季风的强大影响，也属于海洋型冰川。但因为年降水季节变化不同，喜马拉雅山南坡的海洋型冰川与其他海洋型冰川也有区别。

二、冰川储量及高山冰雪(冰川)融水对河流的补给作用

冰川作为固体的淡水资源,在青藏高原,其融水量对河流的补给作用十分明显。

经过多年的考察和研究,得出青藏高原的冰川储量大约为 4 万亿立方米。按流域统计,则喀喇昆仑山与昆仑山的储量最大,最新统计为 22292 亿立方米,约占青藏高原冰川储量的 56%。其中昆仑山就有 12987 亿立方米,占了总储量的 32.5%,喀喇昆仑山也有 7261 亿立方米,帕米尔为 2044 亿立方米,分别占总储量的 18.2% 和 5.1%。

冰川储量较少的是祁连山,据对河西走廊的石羊河、黑河和疏勒河流域的统计,冰川储量仅为 801 亿立方米,占青藏高原总储量的 2.0%。所以说,青藏高原冰川储量的分布很不均匀,大体上与冰川面积的大小有着密切的关系。

冰川融水称为高山冰雪融水。因为我国的冰川全都分布在山地,而且是高山。冰川在融化过程中还伴有永久积雪和新雪,所以在融水中很难分清哪些是冰川融化的,哪些是雪融化的。但也不能笼统地称为冰雪融水,因为冰的融水还包括了河冰,而雪的融化还包括季节性积雪的融化。

关于高山冰雪融水对冰川径流的补给作用,将在下文结合河川径流水文特征作详细的讨论。这里仅指出,虽然不同学者对高山冰雪融水在河川年径流量中的比重提法各有不同,但总的趋势是一致的。

昆仑山北坡的高山冰雪融水对流入塔里木盆地的河川径流占年径流量的比重最大。喀喇昆仑山—昆仑山冰川融水资源在各地理单元的分布见表 3—9。

表 3—9 喀喇昆仑山—昆仑山冰川融水分布

水系名称	冰川条数	冰川面积 (平方公里)	冰川储量 (亿立方米)	冰川融水径流量 (亿立方米)	占冰川融水总 量%
塔里木内陆水系	9263	15502	16247	83.2	76.6
柴达木内陆水系	1040	1283	966	6.21	5.9
青藏高原内陆水系	2025	4230	4944	6.2	14.5
长江黄河外流水系	117	180	135	15.3	1.0
总计	12445	21195	22292	108.8	100

表 3—10 喀喇昆仑山—昆仑山高山冰雪融水补给量占
河川年径流量 20% 以上的河流

河流	水文站	流域面积 (平方公里)	冰川面积 (平方公里)	河川径流量 (亿立方米)	冰川融水径 流量 (亿立方米)	冰川融水占 年径流量 (%)
盖孜河	克勒克	9753	1440	9.78	7.612	77.8
库山河	沙曼	2169	304	6.37	1.603	25.2
叶尔羌河	卡群	50880	5574	64.5	41.44	64.2
提兹那甫河	玉孜门勒克	5389	308	7.79	1.88	24.2
桑格河	桑株	935	119	2.53	0.645	25.0
喀拉喀什河	乌鲁瓦提	19983	2163	2.19	10.0	45.7
玉龙喀什河	同古孜洛克	14575	2958	23.1	13.69	59.3
策勒河	策勒	2032	107	1.27	0.779	61.3
克里雅河	努尔买买提兰干	7358	683	7.04	3.94	47.4
东尔臣河	且末	26822	579	5.44	2.29	42.1
那棱格勒河	那棱格勒	20790	776	10.35	3.08	29.8
格尔木河	格尔木	18648	271	7.47	1.56	20.8

根据喀喇昆仑山—昆仑山地区有水文站的一些较大河流的水文统计资料可以看出,冰川融水补给占河川径流量 20% 以上的河流,都分布在塔里木盆地的南缘和柴达木盆地(表 3—10)。除了部分的融水汇入藏北高原的一些湖盆和河流外,将近 80% 的高山冰雪融水为两个盆地南部河川径流的主要补给来源之一。这对于处在干旱地区的两个盆地南缘的绿洲经济建设是极为重要的。

与上述的情况不同,祁连山北坡诸河的高山冰雪融水占年径流量的比重,在东部的石羊河流域仅占 4%,而中部的黑河水系为 8%,到西部的疏勒河水系则增加到 32%。

外流河水系的高山冰雪融水占年径流量的百分比,由西藏东南部雅鲁藏布江、澜沧江、怒江、察隅曲的不足 10%,到西部印度河水系的森格藏布、朋曲等增加到 40—50%。总之,青藏高原的高山冰雪融水补给占河川年径流量的百分比,总的趋势是由高原外围到内部,即随着气候干旱程度的增加而增加,平均年融水量约 440 多亿立方米。

三、冰川的进退问题

一般来说,冰川主要是气候的产物,它的生成、变化主要受气候条件的控制。青藏高原都是山岳冰川,它比大陆冰盖对气候的波动有更大的敏感性。每当增温少雨的年分,冰川雪线升高,消融大于积累,冰川处于物质负平衡状态;反之,雪线降低,冰雪物质积累大于消融,冰川处于物质正平衡状态。如果连续若干年处于干热气候,则会造成冰川变薄,面积缩小,冰舌末端后退;反之,冰川增厚,面积扩大,冰川前进。冰川的前进或后退,对于高山冰雪融水补给占河川径流量较大比重的青藏高原来说,一直是人们所瞩目的事情。

本世纪初以来,青藏高原的冰川总的趋势是以退缩为主,但其

间许多冰川也曾明显地出现过两次短暂的前进或冰舌末端相对稳定的阶段,根据对喀喇昆仑山冰川变化的动态分析,可以分为:

(1)20 世纪初至 20—30 年代,许多冰川末端出现相对稳定或者前进状态。

(2)20 世纪 30—60 年代,冰川普遍处于退缩状态。

(3)20 世纪 70—80 年代,许多冰川末端又一次出现相对稳定或前进状态。

(4)20 世纪 80 年代以来,冰川又普遍处于退缩状态。

近年来,由于冰川的退缩,消融量的增加,一些高山冰雪融水补给年径流量比重较大的河流,出现了年径流量增加的趋势。有的科学家认为,应该抓住这个难得的有利时机,在水资源短缺的地区大力发展经济,同时增加生态环境用水量,为中国西部地区特别是青藏高原的经济腾飞作出贡献。

第四节 沼泽的分布

沼泽也是地表水体的组成部分。沼泽是地表过湿或有薄层积水,主要生长着沼生植物,并有泥炭积累或有机物质开始泥炭化的地段。初步统计,我国有沼泽近 1000 万公顷,分布在全国各地,但又集中分布在东北地区与青藏高原。因此,青藏高原是我国第二大沼泽集中分布区。

青藏高原沼泽主要分布在高原的东部和藏南谷地。虽然面积大,但沼泽类型较少,均属富营养沼泽,其中分布面积最大的是嵩草、苔草沼泽,是青藏高原特有的沼泽类型。

高原上冰川众多而且有冻土发育,在安多以南为岛状冻土和季节性冻土区。由于年降水量集中于暖季,加上大量的高山冰雪

融水和冻土的存在,使平坦低洼地区的地表低温过湿或有积水,削弱了生物化学作用,微生物分解植物残体的能力极为微弱,有利于沼泽的形成和发展。

青藏高原有不少较大的山原盆地和谷地,如长江和黄河的河源区,川西北高原的若尔盖宽谷区以及那曲山原宽谷区等。这些地区地势起伏不大,谷地宽阔,河道迂回,河曲发育,湖泊也有较多的分布。藏南谷地,山前洪积冲积扇缘的潜水溢出带,地下水补给丰富,遇到平坦的冰蚀洼地,宽阔的河谷和湖滨滩地也很容易形成沼泽。

青藏高原的沼泽,以若尔盖山原的面积最大,约 30 万公顷。西部的羌塘高原和东北的柴达木盆地,不利于沼泽的形成,仅在班公湖滩有小面积的沼泽分布。

在长江、黄河、怒江、雅鲁藏布江等江河源区,有大面积的沼泽分布。其中以长江、黄河源区的沼泽分布面积最大。长江源区有大片积水沼泽,其中当曲流域的莫云一带最为集中。黄河源区在扎陵湖和鄂陵湖滩地及卡日曲河滩也有大片沼泽分布。

青藏高原沼泽区有藏嵩草、苔草沼泽,大嵩草、苔草、华扁穗草沼泽,木里苔草沼泽,发草、苔草沼泽等 7 种沼泽带,它们都属于富营养沼泽。

青藏高原沼泽的形成原因主要是草甸或草原的沼泽化,其次为湖泊沼泽化。从若尔盖山原大面积分布的藏嵩草、木里苔草沼泽和藏南谷地的大嵩草、苔草、华扁穗草沼泽中的下层低产植物残体组成来看,主要由嵩草残体组成,而嵩草是高山草甸植物,显然这是草甸沼泽化过程的特征。

部分沼泽是由湖泊沼泽化形成的,如若尔盖的江错湖和夏曼大海子、星宿海湖盆中的沼泽等。

近年来,由于自然和人为的因素,青藏高原上的沼泽面积有逐

步缩小的趋势。由于气候变暖和人为的开垦以及过度的放牧,许多沼泽如若尔盖沼泽的许多地方已经变干,对生态环境有一定的影响,对黄河流域上游的支流水资源的动态变化也有一定的影响。

第四章 地表水资源

第一节 河川径流水文特征及其变化

青藏高原河流由雨水、冰雪融水、地下水等形式补给。降水量的多少主要受水汽来源及输送距离的控制。本区受东南、西南气流影响,其中东南气流向西延伸到河西走廊一带;而西南气流分两支进入本区,一支从孟加拉湾沿澜沧江、金沙江河谷入长江、黄河上游区,另一支沿雅鲁藏布江下游河谷进入本区,影响到羌塘高原东部及柴达木盆地。气流带来的大量水汽沿着这些通道进入本区,形成降水。

一、河流径流深度的地区分布

我们以多年平均径流深度(以毫米计)来反映河水量在地区上的分布特点。从图 4-1 中可以看到,青藏高原东南部年径流深最高,雅鲁藏布江下游大拐弯地区可达 2000 毫米以上,国境线一带更高,达 3000 毫米以上,成为我国主要丰水区之一。雅鲁藏布江

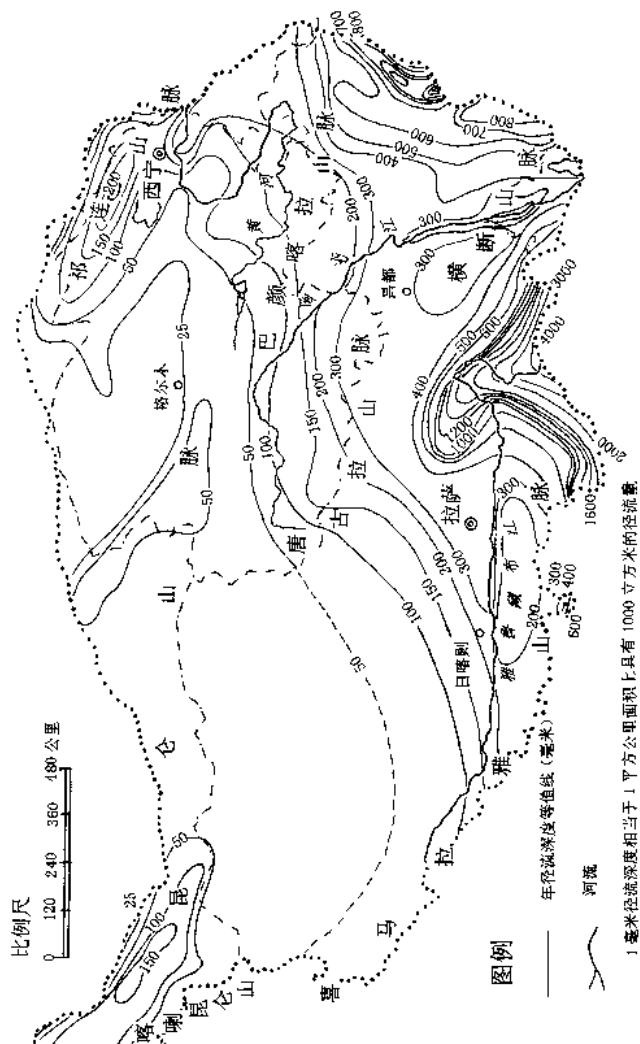


图 4-1 青藏高原年径流深度等值线

的主要支流帕隆藏布中下游同样接受了丰沛的水汽,降水充沛,年径流深也高达 1500—2000 毫米。在帕隆藏布和易贡藏布之间有一个大于 2000 毫米的丰水区,使该支流成为雅鲁藏布江水量最多的支流。向西和西北年径流深急剧减少,雅鲁藏布江中游区年径流深降至 200—800 毫米,上游区又减到 100 毫米以下。再向西和西北,广大藏北内流区年径流深一般在 50 毫米以下,其中羌塘高原一些地区年径流深几乎为零,成为干涸区。青藏高原东部的澜沧江、怒江及长江上游的高山峡谷区,年径流深由 400 毫米向北逐渐减到 150 毫米以下,而这些大河河源区,年径流深在 150—50 毫米。深居内陆的内流河水系年径流深低,柴达木盆地河流的年径流深,沿盆地四周向盆地中心减少,年径流在 10—50 毫米,属少水区。盆地中心气候极度干旱,年降水量稀少,蒸发十分强烈,年径流深在 10 毫米以下。青海湖区年径流深在 50—300 毫米。综上所述,青藏高原多年平均径流深出现了丰水区、多水区、少水区、干涸区,这种多类型的集合,在我国其它区域很难见到。全区年径流深由东南向西北减少的趋势十分明显。

二、径流量年内分配和年际变化

本区河流不论是外流河或内流河,径流量年内分配与我国其它地区河流一样,受地理位置、地形条件、气候因素等影响,是不均匀的(见表 4—1)。

处在本区西北部的多数内流河补给类型多样,河流不长,径流的年内分配相对外流河均匀。以地下水补给为主的格尔木河、诺木洪河等,径流年内变化最小,夏季的径流只占 30—35%,冬季也能占到 15—22%。以雨水—地下水、雨水—融水或融水补给为主的河流年内径流量变化较大,夏季径流可占到全年的 40—60%,冬季都在 10% 以下,春季由于随气温上升冰雪消融,径流量占全

年的 20% 左右,但低于秋季。只有以融水补给为主的河流,如那棱格勒河,冬春季径流比较少,而夏季大量融水补给,径流量高度集中。总的来讲内流河径流年内分配比较均匀,最大水月和最小水月差值不大。而大多数外流河比较长,全河基本上是以雨水补给为主,也有的河段上游支流补给水源多样,是雨水—融水、雨水—地下水补给。在一年中以夏季径流量占全年比重最高,一般在 50% 以上;其次是秋季,25—30%;春季只有 10% 左右,冬季最少不到 10%。

表 4—1 主要河流径流年内变化特征

	河 名	站 名	集水面积 平方公里	年平均流量 立方米/秒	年内分配%				最大月/ 最小月	统计 年份
					春	夏	秋	冬		
内 流 河 流 域	香日德	香日德	12339	13.4	23.5	42.8	23.6	10.1	6.6	1958—82
	布哈河	布哈河口	14337	25.4	6.6	62.8	28.1	2.5	15.2	1959—82
	格尔木	格尔木	18648	24.2	23.6	35.3	25.3	15.8	2.7	1959—82
	诺木洪	诺木洪	3713	4.8	23.0	30.1	24.8	21.9	1.5	1957—82
	那棱格勒	那棱格勒	21898	33.8	14.1	60.0	20.3	5.6	17.7	1960—63
外 流 河 流 域	黄河	黄河沿	2093.0	19.6	14.2	26.7	42.7	16.4	3.7	1956—67 76—81
	长江	沱沱河	15924	26.1	6.8	66.5	26.1	10.6	32.5	1960—81
	怒江	嘉玉桥	69384	258	11.3	47.7	35.6	5.4	16.4	1951—82
	澜沧江	昌都	53800	482	11.5	50.3	30.3	7.9	9.28	1—51—82
	金沙江	巴塘	187507	217	10.5	50.8	31.6	7.1	9.72	1—51—82
	雅鲁藏布江	羊村	153191	889	7.5	51.3	33.9	6.1	15.1	1956—98
	拉萨河	拉萨	26225	241	6.9	58.0	29.7	4.3	21.9	1956—98

从表 4—1 中还可见到,黄河上游和长江上游分别以地下水—融水和融水补给为主。前者秋季水量往往大于夏季,这是由于秋季融水不减而地下水补给加大。后者如长江沱沱河只有较丰富的

融水补给,出现了夏季径流占全年总量 60% 以上的很不均匀的分配。

本区一年中丰水期多出现在 6—9 月,也有出现在 7—10 月,径流占全年径流总量的 60% 以上,少数河流可达 70% 以上,以地下水—融水补给的径流不到 50%。最大水月多出现在 7 月或 8 月,也可出现在 9 月,月水量一般可占到全年径流总量的 15—28%。以地下水补给为主和以雨水—融水补给为主的河流,最枯水期多出现在 12—4 月,水量占全年总径流量的 13% 左右,最小水月多出现在 2 月。内流河枯水月 1—3 月都有可能出现,月水量只占到全年径流总量的 2%,以地下水补给为主的河流月水量可占到 2% 以上。

从多年观测资料分析中可以看出,年径流量在时序上有丰水段和枯水段的交替出现。位于柴达木盆地的内流河枯水段和丰水段不但交替发生,而且有很好的同步性。1961—1966 年为连续 6 年的枯水或偏枯水段,其中诺木洪河 1956—1966 年为长达 10 年的枯水段。多数河流 1967—1972 年连续 6 年为丰水段。外流河的雅鲁藏布江干流 1962—1964 年出现连续 3 年丰水段,澜沧江 1962—1966 年也是连续丰水段,金沙江 1982—1983 年出现丰水段。雅鲁藏布江 1956—1959 年、1971—1972、1982—1983 年分别出现 2—4 年枯水段,澜沧江 1967—1969 年、1972—1975 年出现连续枯水段,怒江在 1961—1966 年连续出现枯水段,长江、黄河上源及各主要支流同样也发生过连续 2—3 年和 5 年的丰水和枯水段。

三、河流的泥沙

河流的含沙量和输沙量的多少,反映了地表、河道遭受剥蚀和冲刷的程度与河道的输沙能力。它的大小主要取决于流域的土壤

及覆盖、地面坡度、降水强度和河流水量大小。多数外流河上游发育在海拔 4000 米以上、地势起伏不大的高原，河床宽浅，湿地发育，气温低，降水量也小，在这种自然条件下河流泥沙来源主要为冰冻风化物，侵蚀较弱。而在以内陆河为主的柴达木盆地，气候干燥，山区石质裸露，风化作用强，泥沙来源相对丰富。河水是泥沙的载体，流水又是侵蚀并导致泥沙被带入河中的动力，因此河流输沙的多少与河流水量大小成正比。总体来讲，本区河流的含沙量和输沙量与国内其它地区的河流相比，具有含沙量小、输沙量不大的特点(见表 4-2)。

表 4-2 主要河流泥沙特征表

河 流	站 名	集水面积 平方公里	多年平均 含沙量	最大月		最小月		多年平均输沙量 万吨
				全量	月份	含沙量	月份	
香日德	香日德	13339	2.53	6.58	7	0.11	1	948
格尔木	格尔木	18648	3.40	9.91	7	0.21	1	362
诺木洪	诺木洪	3773	3.06	13.6	7	0.15	12	474
通天河	直门达	137704	0.77	1.48	7	0.035	2-3	934
金沙江	巴塘	181507	0.517	0.937	8	0.009	1	1572
怒江	道街坝	118760	0.384	0.631	8	0.009	1	3830
雅鲁藏布江	羊村	153191	0.465	0.807	8	0.259	1	1210
拉萨	拉萨	26225	0.098	0.161	7	0.005	1	98.3

内流河河流含沙量一般在 2.5—3.5 公斤/平方米之间，河流水量不大，输沙量也不大，多年平均输沙模数在 100—200 吨/平方公里·年之间，最大水月含沙量可高达 6 公斤/平方米，诺木洪河在诺木洪站含沙量则高达 13.6 公斤/平方米。最小水月含沙量为 0.1—0.2 公斤/平方米。外流河多年平均含沙量多在 1 公斤/平方米以下，最小水月(1 月或 2 月)多年平均含沙量为 0.1—0.2 公斤/平方米。多年平均输沙模数也多在 100 吨/平方公里·年以

下。但由于河流水量比较丰沛,多年平均输沙量较大,通天河在直门达站多年平均输沙量为 934 万吨,雅鲁藏布江羊村站为 1210 万吨,怒江道街坝站高达 3930 万吨,远远大于各内流河的输沙量。

河流含沙量和输沙量的年内变化过程与径流基本一致,但由于高含沙量期主要发生在夏季洪水期,泥沙集中程度远高于径流,年内变化很不均匀。河流泥沙年际变化也大于径流年际变化。

全国含沙量最大的黄河,在上游黄河沿站多年平均含沙量只有 0.12 公斤/平方米,流经海南台地后河流侵蚀加剧,在玛曲—唐乃亥区间,河水多年平均含沙量增加到 1.32 公斤/平方米,到芒拉河口以下有湟水注入并进入黄土高原区,河流含沙量进一步增加,在贵德—循化区间河流含沙量 1.14 公斤/平方米,年输沙量增加到 1490 万吨。应当说,黄河在上游上段是一条比较清澈的大河。

处于东南的几条大河,含沙量沿程减少,而输沙量随着水量的增加而增加。如雅鲁藏布江上游控制站奴各沙站多年平均含沙量为 0.737 公斤/平方米,中游羊村站为 0.465 公斤/立方米,到下游控制站奴下站已降到 0.284 公斤/立方米。而河流输沙量由上游的 1450 万吨向下游逐渐增加到 1900 万吨。此外在河流的高山峡谷段,构造发育,岩石较破碎,地震活动频繁,在雨季和冰雪消融期导致滑坡和泥石流,大量石块跌入河道产生推移质。雅鲁藏布江下游河滩上,有不少有一定磨圆度的巨大砾石为河床推移质。

四、河流的水温与冰情

河流的水温和冰情是河水重要的物理性质。

1. 河流的水温

河流的水温是河水热状况的综合反映。随着水资源的开发利用,河流水温的高低、分布及变化越来越受到人们重视。水温对灌溉、养殖和城市工业用水都具有重要意义。青藏高原河流的水温

受多种自然因素和人为因素的影响。而气温是影响河水温度的主要因素。此外,河流所处纬度、海拔高程、水源补给、水量大小、湖泊以及地形等都与水温有关;人为因素包括水库与水工建筑物的修建、跨流域调水航运及工矿、城市排放污水等,这些都影响到部分河段水温的变化。水温的高低及其变化在时序上反映出周期变化与非周期变化,在空间上出现有规律的地带性与非地带性变化。水温的变化表现出年内、年际和沿河流程变化的特点。

河流水温低是青藏高原河流的又一特点。本区河流多年平均水温在 10°C 以下。深居内陆的内流河纬度高,气温低,多冰川融水补给,年平均水温只有 $3-5^{\circ}\text{C}$,是我国河流年平均水温最低的地区之一。外流河年平均水温 7.0°C ,上游年平均水温 3.5°C ,处在本区东南部的河流年平均水温 $5-10^{\circ}\text{C}$ 。水温年内变化比较大,冬季受西伯利亚冷空气的影响,气温多在 0°C 以下,1月平均水温除东南部外流河水温在 $0-4^{\circ}\text{C}$ 之间外,其它地区河流水温在 0°C 左右,进入结冰期。春季随着气温上升冰雪消融,水温也逐渐上升,4月多数河流水温在 $2-6^{\circ}\text{C}$,东南部外流河可达 $6-10^{\circ}\text{C}$ 。夏季气温高,7月西北部的多数内流河水温可达 $6-12^{\circ}\text{C}$,但仍是我国夏季水温最低的地区之一,而东南部的的外流河可高达 $10-14^{\circ}\text{C}$ 。柴达木盆地的河流,在流经盆地时水温已高达 $14-20^{\circ}\text{C}$ 。秋季随着气温降低,水温也缓慢下降,减低的程度由东南向西北增大,大部分地区河流 10 月水温只有 $1-8^{\circ}\text{C}$,比夏季水温低 10°C 以上,又成为全国秋季水温减低最多的地区。

本区气温与河流水温呈线性关系(见图 4-2),相关系数高达 0.96,由于水体热容量大,河流水温变化要落后于气温的变化。在气温上升的春秋两季,水温一般低于气温,而在气温下降的秋冬两季水温高于气温。水温与气温随着海拔高程的增加而降低,这是由于地势高气温低,导致水温的降低,因此对一条河流而言,水温

一般随着海拔高程的降低而升高。但是由于河流流经的纬度、补给水源、支流汇入多少等自然、人为因素的影响,水温出现各自的变化特点。黄河上游段水温沿流程上升,澜沧江水温也是沿流程增加,而雅鲁藏布江中游由于帕隆藏布等支流在夏季有大量冰雪融水的补给,水温低,在下游奴下站 7 月水温比上游羊村站下降 3—4℃。柴达木盆地的诸河流量不大,河流水温从海拔高山区向盆地迅速增高。本区河流水温的年际变化不大,远小于气温和年径流的变化,经计算年水温变差系数只有 0.027—0.068,东南一些长大的河流变差系数更小,一般在 0.045 以下。

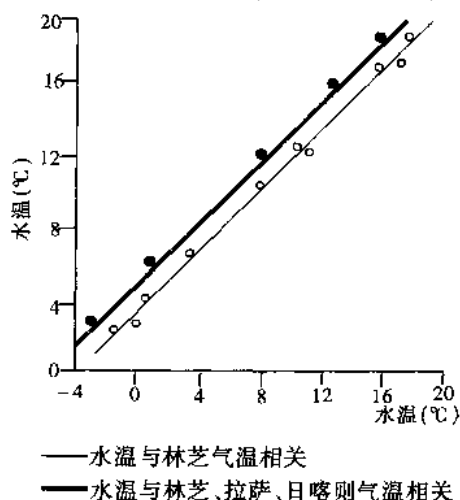


图 4—2 雅鲁藏布江奴下水文站月平均气温与月平均水温
 相关图(1961 年平水年)

2. 河流的冰情

河流冰情是河水热量变化的反映,它的发生和消长主要受太阳辐射、气温、海拔高程、河流流经纬度、水源补给、水量、水深及水质众多因素的影响,其中气温影响是主导的。青藏高原地势高、气

温低,但由于有高山盆地、峡谷的复杂地形,加上多样的补给,在冰情由东南向西北加剧的总趋势下,也有一些非地带性变化。青藏高原多数河流均出现不同程度的冰情,具有自身的变化特点。下面就河流的初冰、终冰、结冰期、封冻期及冰厚作简要介绍。

本区大部分河流多年平均初冰日发生在9月下旬到11月上旬,总体上有东南向西北提前的趋势。广大内流区初冰日由盆地四周山地向盆地推迟,柴达木盆地周边山地初冰日在每年10月初,向盆地推迟到10月中旬,相差20天左右。靠东边的青海湖区也是如此。黄河、长江的初冰日由下游的10月20日向上游提前到10月初,长江河源区可提前到9月初。澜沧江、怒江等河流下流初冰出现时间晚到11月中旬。西藏高原的西北内流区初冰日在10月中旬,森格藏布及雅鲁藏布江河源区在10月下旬出现冰情。雅鲁藏布江干流的奴各沙站、羊村站和奴下站初冰日分别是11月中旬、12月上旬和12月下旬,由上游向下游推进。本区东部的多数河流如察隅河、帕隆藏布、尼样河、雅鲁藏布江下游下段及澜沧江、怒江等河流纬度偏南,河流水量大,流速快,基本上不发生冰情。初冰日出现晚的河流终冰日就早。本区西北部内流河在5月初,向西到柴达木盆地四周山区在4月中旬,盆地区提前到4月初。而长江、黄河由下游向上游推迟,即由4月中旬向上游推迟到5月下旬,通天河源区终冰日要到初夏的6月初。西藏高原西北部河流终冰日在4月下旬,森格藏布在4月中旬,雅鲁藏布江河源区、上游、中游和下游终冰日分别是4月上旬、3月中旬、2月上旬和1月下旬,总体是由上游向下游终冰日提前。

本区大多数河流结冰期为5—6个月,长江和黄河上游区可分别达到250天左右,即8个月以上,西藏北部一些河流也有类似情况。雅鲁藏布江干流的终冰日,据实测资料统计分析,在三个干流控制站中,奴各沙站结冰期最长,为122天,下游奴下站最短,只有

几天至十几天,中游羊村站为2个月。大多数中小河流在不同时段和不同程度出现全河流分段封冻。西北的内陆河多年平均开始封冻日为每年12月中上旬,黄河和长江上游提前到11月初。封冻天数前者为58—150天,后者为135—175天。青藏高原西南部的森格藏布在噶尔一带每年12月至次年2月出现封冻。雅鲁藏布江干流基本上不封冻,只在上源马泉河一带每年12月至次年2月河流封冻。冰厚指多年平均最大河心冰厚。西北多数内流河冰厚在1米左右,黄河干流各段变化在0.21—0.75米,而长江上游段的沱沱河冰厚可达1.47米,森格藏布及雅鲁藏布江上源马泉河冰厚可达1米左右。因河流流经地区条件差异,一些中小河流出现分段封冻或封冻到河底。在这里要特别指出,由于冬季寒潮入侵时间早晚及强弱的差异,各河初冰、终冰日都会有很大变化,导致冰期、河流封冻日及冰厚出现变化。

对雅鲁藏布江河冰的深入研究发现,河流冰情有两个变化特点:第一,日平均气温恒定在 0°C 下时,河流才出现岸冰、流冰花、封冻。而冰期终止并非只有在日平均气温恒定在大于 0°C 以后,这是因初春日温差大,河水热容量大,较短时段的低温不能使河岸再度形成岸冰。第二,冰情出现明显的周期变化。在雅鲁藏布江中游支流拉萨河观测到,由于气温日较差大,形成每日6时到11时河冰发育(见表4—3),11时以后河冰开始消融,河水畅流,到零时前后又出现冰情,河水开始又一个日周期变化。

当河水出现冰情后,流凌对航运和水工建筑物会产生影响。冰塞壅坝可使水位急骤上升,威胁两岸的防洪工程和农田,严重的可造成水患。因此进一步做好冰情预防工作十分重要。

表 4—3 拉萨河唐加站与拉萨站典型时段冰情

项目	唐加站(1992年1月15日)								拉萨站(1992年1月15日)						
时间(h)	8	9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	
气温(℃)	-8.6	-8.6	-3.0	-1.4	2.0	9.8	11.6	10	-13.8	-9.8	-7.0	-4.3	-2.4	-0.7	
水温(℃)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5		
主要冰情	11'	11'	11'	11'	11'	11'	11	1*	1*	11*	11*	11*	11'	11'	无

说明:1 微冰;11 岸冰;* 全断面流冰花、稀流冰花;° 稀流流冰。

第二节 湖泊水文特征及其变化

青藏高原是我国湖泊最集中的地区,湖泊的水文基本特征及水量平衡影响到高原河流发育及生态作用。

一、湖水的物理性质

青藏高原多内陆湖,少数与河相通的吞吐湖多分布在高原东南部。

1. 湖水温度

湖水温度是影响湖水各种理化过程和动力现象的重要因素,也是湖泊生态系统的基本环境条件。湖水温度升高和降低主要受太阳辐射影响,与气温有密切关系,故水温也有日内变化和年内变化。

一天内,一般表层最高水温常出现在 18—20 时,最低水温出现在 8—10 时,相对我国其它地区滞后 4 个小时。这是因为青藏高原夏季日出晚、日落也晚的原故。水的热容量大于空气,水温的日变幅比气温小,而且最高和最低水温比气温滞后 1—3 小时,水深的湖比水浅的湖变化还小。在一年中随着气温的变化,水温有相应的变化。最高水温出现在每年的 7—8 月,最低水温出现在

1—2月。青藏高原湖泊水温年内变化小,最大年内变幅也只有 20°C 左右,是全国湖泊年内变幅最小的地区。而气温的年内变幅是湖水年内变幅的2倍。我国第一大微咸水湖青海湖夏季表层水温最高可达 18.9°C ,最低只有 6.0°C ;秋季水温属同温层分布,冬季受封冻影响,表层水温呈逆温分布,相差 $3-4^{\circ}\text{C}$;春季随着气温上升,湖水又过渡到正温分布。西藏南部的纳木错是世界上海拔最高的大湖,口表层最高水温为 $18-20^{\circ}\text{C}$,最低水温 10°C 左右,出现时间分别是17—18时和7—8时,水温呈正温分布。当日气温变化在 $6-16^{\circ}\text{C}$ 时,水温日变化为 $10.5-14.3^{\circ}\text{C}$ 。羊卓雍湖多年平均水温 7°C ,8月最高水温为 13.2°C ,2月最低水温只有 0.6°C ,实测最高水温 18.8°C (1978年7月13日),水温沿垂直深度全正温层分布。位于西藏东南的易贡湖,是由泥石流堵河而形成的。在入湖处测得年平均水温约 8°C ,7—8月最高水温 10.4°C ,12月至翌年1月最低水温 1.7°C 。年平均水温低于年平均气温 3.5°C 。此湖主要由大量冰川融水补给,因此水温很低。

2. 冰情

高原上几乎所有的湖泊都不同程度结冰。湖面温度达 -1.2°C 时,首先在湖岸边形成冰。当湖水表层温度达到 10°C 以上时,冰层开始融化。决定湖泊冰情的主要条件是气候条件,尤其是气温。高原湖泊具有结冰时间早,终冰时间晚的特点。从表4—4可知,青海湖每年11月进入封冻期,12月上旬形成稳定冰盖,封冻期100—129天。最大冰厚0.8米。鄂陵湖面在11月下旬开始封冻,年平均封冻期157天,最长达193天,最大冰厚1.43米,当地人称“立冬结冰,端午开冻”。西藏高原的纳木错,每年冬季结冰,4月开冻,冰厚一般30—40厘米。在冰封期,近岸一带人畜可踏冰而行。羊卓雍湖是在11月到第二年3月为结冰期,冰厚达0.6米。易贡湖因属外流淡水湖,基本上无冰期。

表 4—4 典型湖泊基本冰情

湖 名	N	结冰期	结冰天数/天	最大冰厚/厘米
羊卓雍湖	29°00′	11 月中旬至 5 月上旬	180	50
青海湖	36°54′	12 月中旬至 3 月下旬	120	84
鄂陵湖	34°55′	11 月下旬至 6 月上旬	150	100

3. 透明度和水色

透明度通常用萨氏盘在湖中的能见深度来表示。青藏高原湖泊主要由高山融水、地下水补给,水深且含盐量高,湖中悬浮物很少,因此湖水透明度居全国之冠。如青海湖透明度 1.5—9.5 米,最大 10 米,鄂陵湖湖水透明度 2.0—50 米,玛旁雍错的透明度 7.0—14.0 米。多数湖泊水色呈青绿色或浅蓝色。其中以玛旁雍错水色最清,为碧蓝色,青海湖呈浅蓝色,鄂陵湖、扎陵湖呈青绿色,纳木错为深蓝色。湖水水色指位于透明度 1/2 处,在白色盘上所显示的湖水颜色。一般用福来尔水色针,1—21 棕色来表示。水色号愈低,透明度愈大,反之则透明度愈小。水色主要取决于水对光线的选择吸收和散射的状况,是湖水重要的物理特性。青藏高原上散布着的众多蓝或绿色的湖泊,就像一颗颗耀眼的宝石,无比绚丽。

二、湖泊的水位

湖泊水面会在风、气压变化等因素影响下处于多动的状态,同时入湖和出湖之间水量变化也会引起变化。相对河流而言,由于湖泊水体的调节能力低,水位变化小且变幅小,但仍具有年内年际的变化。内陆湖泊水位多不受出流影响,以融水补给注入湖泊,在春汛和夏汛出现两次高水位,以夏季水位最高,而在枯水年最高水位

多出现在春季,水位年内变化远小于外流湖。青海湖每年5月水位开始上升,8月达到最高值,然后下降,到12月出现全年最低水位,水位年内变幅0.2—0.5米,最大0.66米(1967年),最小0.23米(1966年)。据30年资料统计分析(1959—1988),水位上升年份只有7年(见图4—3),30年水位共下降了2.96米,平均每年下降0.1米。

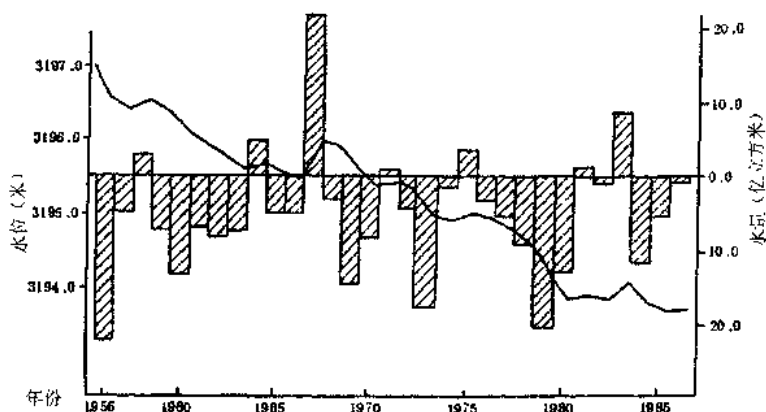


图4—3 青海湖水量平衡及水位变化

造成水位持续下降的主要原因是年降水量的减少和湖区人类活动的影响。羊卓雍湖在每年8月初水位开始上升,9—10月出现最高值,11月后缓慢下降,到第二年5—6月出现最低值。水位年变幅为1.5米。易贡湖水位在4月底或5月初开始上升,7月进入汛期,水位上升至最高值,8月以后水位下降,11月至第二年4月为低水位期。年内水位变化幅度2.33—2.73米,水位日变幅10.0—15.0厘米。经计算,羊卓雍湖100年来水位变化在4—5米,并且落水位段和涨水位段交替出现。自有实测资料以来,湖水位呈下降趋

势,主要与青藏高原气温升高和降水量减少有关。多数内陆湖泊由于补给水量小于其蒸发量,湖泊水位在持续下降。

三、湖泊水量平衡

湖泊所蓄的水量由于入流和出流在总量上的差异而发生变化,这一变化过程一般用水量平衡方程式来表示,即:

$$V_x + V_B = V_c + V_E + V_q + V$$

式中 V_x 为计算时段内湖面降水量, V_B 为入湖流量, V_c 为出湖流量, V_E 为蒸发量, V_q 为工农业用水量, V 为始末的蓄水量变量。

青藏高原湖泊入湖水量都比较少。众多的内陆湖泊主要以融水和地下水、雨水补给,许多小湖由一些短小的河流、时令河或泉水补给。分布在西藏高原东南的外流湖入湖水量很多。1958—1986年,青海湖年平均降雨量407.2毫米(18.09亿立方米),年平均蒸发量954.5毫米(42.44亿立方米);地表径流入湖量16.0亿立方米,地下径流量为4.56亿立方米;环湖区灌溉及人畜用水0.88亿立方米。经过水量平衡计算:青海湖多年平均耗损量是4.67亿立方米。气候干旱导致巨大的蒸发损失是众多内陆湖水位下降的主要因素。羊卓雍湖有6条中小河流流入,每年入湖水量约6.34亿立方米,冰川融水补给量0.767亿立方米,湖面降水量2.30亿立方米,总入湖水量8.54亿立方米,入出水量基本平衡。鄂陵湖是一个典型的吞吐湖,多年平均入湖水量12.57亿立方米,出湖水量为6.36亿立方米,蒸发量8.07亿立方米,出入湖水量基本平衡。典型湖泊水量平衡详见表4—5。

表 4—5 典型湖泊水量平衡表

湖 名	收入项(亿立方米)				支出项(亿立方米)			
	入湖径流量	湖面降水量	蓄水变量	合计	出湖径流量	湖面蒸发量	蓄水变量	合计
青海湖	21.67	14.61	5.31	41.59		41.59		41.59
鄂陵湖	12.57	1.86		14.43	6.36	8.07		14.43
扎陵湖	11.84	1.60		13.44	6.95	6.49		13.44
羊卓雍湖	6.34	2.20		8.54		8.54		8.54
泸沽湖	0.62	0.48		1.10	0.51	0.59		1.10

内陆湖泊补给系数是在大多数湖泊无实测水文资料的情况下,反映湖泊流域大致的干燥或湿润情况。补给系数越大,说明径流系数越小,反之径流系数大。补给系数可用 $F_{集}/F_{湖}$ 来计算。式中 $F_{集}$ 代表湖泊流域面积, $F_{湖}$ 表示湖泊水的面积。经计算西藏内陆湖泊补给系数有一定地区分布(见表 4—6)。除大湖泊因有较大河水补给外,湖泊补给系数有从藏南向藏北明显增大的趋势。说明藏东南气候相对比较湿润,湖泊补给比较充沛,而藏北和藏西北则因蒸发量大,补给量小。

表 4—6 西藏主要内陆流域的湖泊补给系数

湖 区	流域名称	主要湖泊个数	总集水面积 *(平方公里) $F_{集}$	总湖泊面积 (平方公里) $F_{湖}$	总湖泊面积 $F_{集}/F_{湖}$	湖泊补给系数 数平均值
藏 南	玛旁雍错—拉昂错	2	6699.5	680.5	9.84	7.65
	佩枯错	1	2520	300	8.40	
	羊卓雍错—空姆错	2	5422	678	8.00	
	普莫雍错	1	1239	284	4.36	
藏 北 南 部	昂拉仁错	2	12183	327	19.43	13.17
	昂孜错	1	6784	406	16.71	
	塔若错	1	7440	520	14.31	
	扎日南木错—齐格错	3	15283	1147	13.82	
	色林错—格仁错	8	42268	3262	12.96	
	当惹雍湖	1	9155	835	10.96	

湖区	流域名称	主要湖泊个数	总集水面积 * (平方公里) $F_{集}$	总湖泊面积 (平方公里) $F_{湖}$	总湖泊面积 $F_{集}/F_{湖}$	湖泊补给系数平均值
藏北北部	纳木错	1	8690	1920	4.53	32.98
	依布茶卡	1	7500	100	75.00	
	错尼	2	4212	88	47.86	
	达则错—它日错	3	10823	307	35.25	
	班公错	1	16446	604	27.23	
	多格错仁	1	7616	394	19.33	
	多格错仁强错	1	5451	189	28.84	
	鲁玛江冬错	1	6398	322	19.87	
	郭扎错	1	2546	244	10.43	

* 不包括流域内的湖泊面积(下同)。

第三节 冰川水文特征及其变化

冰川水文是指地球表面冰川积雪的水文现象、过程及其基本规律。青藏高原冰川积雪资源丰富。它们的分布、变化对本区生态环境、河流水资源,尤其对我国河流及上游的径流组成具有十分重要的作用。

一、冰川径流的基本特征

1. 冰川融水径流的形成

冰川径流指冰川融水径流。每年当春季来临,气候稳定上升到 0°C 以上时,高山上的冰雪开始消融。夏季6—8月温度上升,冰雪开始强烈消融,冰舌上的积雪逐渐消尽,冰面径流形成。融水顺着冰面呈深层漫流形式出现,逐渐形成条带状、树枝状水流,沿冰面河槽下泄,注入河流,以冰雪融水补给河流。海洋型冰川的消

融期比大陆型冰川长 2 个月左右,为 5—9 个月,如在横断山地区冰川的消融期为 4 月至 10 月。海洋型冰川径流包括:

(1)冰川消融区纯冰川融水。主要指冰面、冰内和冰下融水。

(2)冰川消融区(粒雪线以下)的冬春季积融水(包括雪崩补给);

(3)冰川粒雪融水;

(4)冰川消融区(4—10 月)的固态和液态降水;

(5)裸露山坡的降水径流;

(6)冰川作用区深层地下水。

2. 冰川径流的变化

冰川消融主要由气温和太阳辐射平衡所决定,因此冰川径流具有日变化、年内变化与年际变化的规律。

(1)日变化

由于气温和辐射平衡有明显的日变化过程,冰川融水也表现出明显的日变化,不管在雨天或非雨天,每天的早上,随着气温逐渐上升,冰雪消融,水位上升,流量加大;在午后达到最高气温,消融加剧,使融水径流达到最高值;下午气温逐渐下降,水位也下降,融水减少;夜间到凌晨气温降到 0℃ 以下,冰雪停止消融,融水径流最小,甚至断流。大陆型冰川融水形成的径流量以冰面径流为主,受气温变化影响十分明显,产流和排泄迅速,水位流量过程陡涨陡落。西藏拉萨以南羊卓雍湖附近的枪勇冰川(见图 4—4)融水水位流量关系中,洪峰流量出现在每日 15 时左右,最小流量出现在上午 9 时,洪峰流量是最小流量的 8 倍。基流小而稳定。而海洋型冰川内冰下水道发育,汇流时间除冰面汇流外,还有垂直方向与水平方向的融水,冰内的调整作用使水位的变化过程比大陆型冰川均匀,融水量也大。

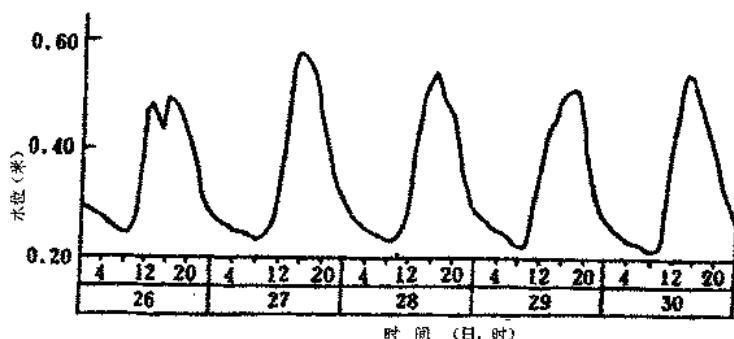


图 4—4 西藏东南部枪勇冰川无雨日水位过程线(1976 年 6 月)

可见无论是大陆型冰川还是海洋型冰川,其融水径流均出现一峰一谷的日变化周期,其变化过程因气温、降水和冰川大小而异。

(2)年内年际变化

冰川融水径流年内变化与冰川消融期长短和冰川类型有关。西北大陆型冰川消融期一般是每年的 5—9 月,东南高山区海洋型冰川消融期为每年 3—11 月,前者在 4—5 月与 9—10 月为弱消融期,6—8 月为强烈消融期,11 月至次年 4 月为冰冻期;而后者几个消融期分别是在每年的 3—5 月、10—11 月、6—9 月和 12 月至次年 2 月(见表 4—7)。

年内分配不均匀在高纬度大陆型冰川表现突出,每年 6—8 月融水径流可占到全年总融水径流量的 82—85%,最大水月占 33—46%。而海洋型冰川消融期长,在冰内调节作用下,融水径流年内分配比较均匀。6—8 月经流量只占全年径流量的 50%,最大水月也只占 17%。经贡巴冰川冰面径流场观测资料分析,冰川径流占冰川区总径流量的 60%,冰川径流模数为 110l/秒·平方公里,消

融期为 6—8 月,可达到 144l/秒·平方公里。西藏珠西沟冰川径流模数为 136l/秒·平方公里,而消融期达 263l/秒·平方公里,这主要是受印度洋的影响,充沛的降水为冰川提供了优越条件,径流模数一般为大陆型冰川的 2—3 倍,有明显差别。

冰川消融受气温、降水以及冰川类型等的影响,融水径流年际间的总量是不同的。我们用径流变差系数 C_v 来表示年径流的年际变化, C_v 值愈大年际间融水量变化愈大,反之 C_v 值小,融水年径流变化小。上述海洋型冰川在消融区的 4—10 月年径流变差系数 C_v 值只有 0.036,还小于年温度和年降水的变化。但是对一些大陆型冰川融水,外界因素的影响明显,气温和降水年际变化大,其 C_v 值较高。如祁连山的冰川 C_v 值可高达 0.32。

3. 冰川融水径流深的地区分布

冰川融水径流深指区内高山冰川分布区单位面积冰川的多年平均产水量。融水径流深度分布及地区差异主要取决于气温高低和降水量的多少。随着纬度升高,大陆性气候愈强,冰川融水径流深明显减少。分布趋势是呈西藏东南部的海洋型冰川向西和西北的大陆型冰川径流深递减。西藏东南部高山区海洋型冰川,多年平均消融深度可达 3000—6000 米,如古乡冰川约 8000 毫米,贡嘎山吉巴冰川在 2000 米以上,向西至喜马拉雅山中段的珠峰北坡绒布冰川消融深减至 600 毫米左右。祁连山西段冰川径流深只有 650 毫米,是我国冰川消融深度低值区之一,中段增加至 900 毫米左右,到东段的冷龙岭地区又再上升到 1200 毫米。西昆仑主脉是我国已知冰川中冰川消融值最低的地区,只有近 200 毫米。

二、影响冰川消融的主要因素

冰川消融的主要热源是太阳辐射热,其次是湍流交换将热输送给冰川的感热。前者占总热量的 60.5—92.1%,后者只占

6.6—35%，其变化大小随干旱程度增大而增加。冰川地区地面性质也会影响到冰川消融，如冰面反射率、冰舌海拔的高度等等。根据贡嘎山贡巴冰川的观测资料(见图4—5)，太阳辐射与冰川融水量有明显的对应性。当太阳辐射平衡值(卡/平方厘米)大于0时，雪和冰川开始消融，随着辐射加强融水量上升，到12—13时太阳辐射和径流都达到最大值。以后的时段，径流随着太阳辐射减弱也减少，到22时太阳辐射降到0点，冰雪也停止了消融。经分析，珠穆朗玛峰绒布冰川区比大陆型的祁连山东部冰川消融时间提前1小时，断流时间推后2小时。

由于青藏高原冰川辐射的观测资料缺乏，用气温来反映辐射平衡是一项有效的综合指标。冰面消融与气温有良好的相关关系(见图4—5)，但在相同热量条件下，由于反射率和天气条件不同，冰面和雪面消融有很大差量。

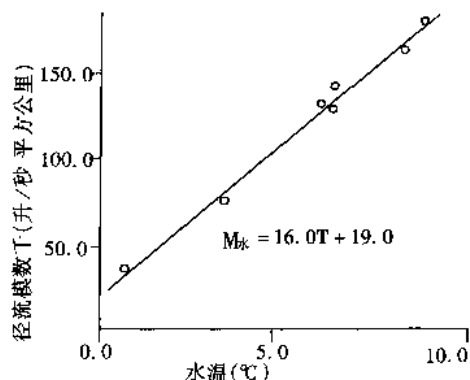


图4—5 贡巴冰川径流模数与气温的关系

降水是冰川的补给源。降水和气温对海洋性冰川消融的影响比大陆型冰川复杂。大陆型冰川径流与气温的变化同步，与降水

不同步。而海洋型冰川融水径流并非如此,在出现连续降水的情况下,径流量的变化基本上与降水变化同步,但出现的机会极少。在降水不持续的情况下,径流量的变化与气温同步,与降水不同步。可见冰川消融是一个十分复杂的水文过程,是多种因素综合作用的结果。

三、冰川融水对河流的补给作用

青藏高原是亚洲主要大河、我国主要大河的发源地,而冰川融水是这些河流上源主要的补给水源。冰川融水补给的百分率是从青藏高原四周向高原内部增加。西部山区内流河水系的冰川融水补给比重占 23% 左右,东祁连山甘肃河西地区河流冰川融水补给比重为 14%,向西至疏勒河水系达到 32%。外流河水系冰川融水补给比率从西藏东南向雅鲁藏布江下游减少,怒江等河流补给比重不到 10%,向西随着降水减少,积雪增加,印度河水系的狮泉河、象泉河等河流冰川融水比重增加到 40—50%。青藏高原河流冰川融水补给情况见表 4—7。

表4—7 内流河水系和外流河水系冰川融水径流及其补给比重

内流河水系	冰川面积 (平方公里)	占该水系冰川 总面积(%)	河川径流量 (亿立方米)	冰川融水 径流量(亿立方米)	冰川融水 补给比重(%)
甘肃河西走廊	1334.72	3.74	72.4	9.99	13.8
柴达木盆地	1761.11	4.94	44.1	5.96	13.5
青海湖	13.29	0.04	19.3	0.07	0.4
哈拉湖	89.27	0.25	3.2	0.35	10.8
藏北内陆	7389.75	20.72	246.0	37.30	15.2
小计	35661.07	100	1053.5	236.48	23.0
外流河水系	冰川面积 (平方公里)	占该水系冰川 总面积(%)	河川径流量 (亿立方米)	冰川融水 径流量(亿立方米)	冰川融水 补给比重(%)
长江河源	1926.36	8.38	177.0	33.25	18.8
黄河河源	238.00	1.03	209.0	3.94	1.9
雅鲁藏布江	8760.50	38.10	1654.0	148.66	9.0
澜沧江上游区	257.46	1.12	109.0	5.83	5.4
怒江上游区	1530.78	6.66	409.0	31.83	7.8
察隅河	919.92	4.00	328.0	24.53	7.5
苏班西里河、 卡门河	2362.53	10.28	1071.0	46.50	4.3
朋曲河	4583.35	19.94	48.1	20.22	42.0
狮泉河、象 泉河	2121.83	9.23	17.2	8.56	49.8
小计	22990.03	100	4122.3	326.94	807.9

第五章 地下水资源

青藏高原平均海拔 4000 米以上,是高寒地区。除了藏南的外流河流域外,大部分地区的年降水量稀少,对地下水的形成、运移和赋存不利。又因为青藏高原山地占有很大的比重,山区的地下水与地表水间有着密切的联系。而在盆地地区,如柴达木盆地,山前平原的地下水与地表水之间相互转换十分频繁。加之目前对高原地区地下水资源的研究程度较低,迄今为止,还没有一个较权威的整个高原的地下水资源量的数字。因此,我们只能在现有资料的基础上,尽可能地进行比较分析,从而求得粗略的比较合理的数字。

第一节 水文地质条件分析

青藏高原的水文地质条件,除了气候因素外,主要受三个因素的影响:即地质构造和含水层的岩性,冻土及其分布及大地貌单元的影响,其他地带性规律如植被等所起的作用相对较小。

一、地质构造对地下水的影响

青藏高原的地质构造非常复杂,既有板块构造运动和 5 个缝合带,又有大量的断裂带的分布,地区间差异很大。

青藏高原上的各类断裂和褶皱,按其形成的先后,可划分为以下几种类型:

(1)径向构造体系。发生时间最早,在地域上集中分布在高原的东部地区,其他地区出现比较分散。自东向西可以划分出川滇构造带、滇缅构造带、东经 90° 构造带、珠穆朗玛南北带等。

(2)纬向构造体系。它组成了青藏高原基本构造的格架,其规模巨大,形态复杂。尤其是横贯我国中部、绵延 3000 余公里的秦岭—昆仑纬向构造体系,不但是控制中国南北方晚古生代至中生代各地质时期的海陆分布,对青藏高原的地下水形成也有影响。此外,自北而南的还有崇吾农山东西构造带、藏北区东西构造带、藏中区东西构造带及喜马拉雅构造带等。

(3)“歹”字型构造体系又称“S”型构造体系。它是组成高原构造格架的主要成分,可分为青藏川滇歹字型和帕米尔—喜马拉雅歹字型两个巨大的构造体系。它们分别由头部、中部和尾部组成。其中头部由一系列曲度较大的弧形褶皱带及断裂带组成,中部构造由北北西向和南北向的褶皱带组成,尾部则是由一系列弯曲的弧形褶皱带组成。

青藏滇缅印尼歹字型构造体系在青藏高原范围内只发育了构造体系的头部,头部主体构造发育在昆仑山以南的阿尼玛卿山、巴颜喀喇山、可可西里山以及横断山地区。

帕米尔—喜马拉雅歹字型构造,其头部构造展现在帕米尔高原,中部发育在青藏高原的西北及西部地区,尾部构造则由冈底斯山—念青唐古拉褶皱带、喜马拉雅褶皱带以及夹持在各褶皱带之

间的拗陷共同组成。

(4)西域系构造。主要分布于青藏高原的东北部地区,这类构造主要有祁连山构造带。

(5)河西系构造。主要有德令哈—香日德拗陷带、酒泉—共和拗陷带、民乐—循化拗陷带以及由拗陷带相辅的隆起带组成。

现在就青海南部至藏北高原,由格尔木至那曲的构造体系对地下水的控制为例,作一简要的分析。

首先是构造体系对基岩裂隙水的控制。由格尔木至昆仑山垭口公路沿线,受秦昆系控制的富水地段较多,其中以秀口沟水泥厂附近地段、昆仑河纳赤台地段及西大滩北侧山麓地段比较典型,这些都是纬向构造带对地下水的控制。基岩裂隙水大都以泉水的形式出露。

青藏系控制的富水构造,包括不冻泉的富水构造、雁石坪的富水构造、扎加藏布曲峡谷的富水构造,这些都是“歹”字型构造体系对地下水控制的典型。

东西构造带控制的富水构造,包括安多北山山前断裂带的富水构造、错那湖东岸的富水构造等。

总之,地质构造对青藏高原地下水的形成和控制作用是明显的。这方面的研究尚未普遍展开,还需进一步加强。

二、冻土及其分布对地下水的影响

青藏高原是我国冻土最集中分布的地区。冻土特性及其分布规律是受自然地理地带性因素制约的。通常用年平均气温表示冻土层的发育和存在的热能条件。 -2.5°C 年等温线是岛状多年冻土区的下界; -3.6°C 年等温线表示大片多年冻土区的下界; -5.6°C 等温线表示连续多年冻土区的下界。

1. 多年冻土区

青藏高原多年冻土主要分布在藏北和祁连山地,约占高原总面积的一半。在藏北,北起昆仑山北坡,南至唐古拉山南麓,广泛分布在雪线以下约 1000 米处,并且由北向南逐渐升高。多年冻土区的地下水通常可划分为冻结层上水、冻结层间水和冻结层下水 3 种,但从青藏高原多年冻土的具体情况分析,由于冻土的厚度不大,不具备大面积水平分布的冻结层间水的形成条件。

冻结层上水一般分布在地形相对低洼的部位及山前带,常呈泉群出露,主要接受降水或冰雪融水补给,多为淡水,但水量通常较小,而且只是在融冻季节才呈现液态水。

由于冻土层酷似一个不透水层,使得冻结层下水大都具有承压性,常常出现径流变缓、水温降低和水质变坏等变化。层下水除了制约于冻土层外,还常受到地质构造的控制,如在某些断陷或拗陷谷地与盆地中,经常有松散堆积冻结层下水的分布。它的特点是水量较多,但水质好的较少。因此基岩冻土层下水就成了高原多年冻土区的主要找水目标,它包括下列三个亚类:

(1)基岩褶皱构造冻结层下水,赋存于某些褶皱构造的向斜轴部和单斜中,其中以石灰岩夹砂页岩为最好,一般水质好且水量也大。

(2)基岩断裂构造冻结层下水,在高原多年冻土区常可遇到。

(3)基岩断裂构造带融水区。地下水通过断流泄出形成的温泉融区、河流融区及湖塘融区。

此外,在高原多年冻土区有丰富的卤水和热矿水资源。

2. 非多年冻土区

非多年冻土区地下水可划分以下几种类型:

(1)内陆干旱荒漠盆地水文地质类型。其特点是第四纪的沉积巨厚,在山前地带常形成良好的自流斜地式的储水构造,地下水

资源较丰富,呈现自山麓至盆地中心的环状分带规律,如柴达木盆地等。

(2)半干旱山间盆地与谷地水文地质类型。主要是指青海省东北部的中小型山间盆地和谷地,具有各自的集水中心,集水面积一般较大,是地下水形成的有利因素。但是,除了青海湖、门源、贵德、共和盆地外,第四系沉积的厚度一般不大,并且由于近期构造的强烈上升,使许多盆地与谷地不再完全封闭,而有不同程度的开放性,这是地下水形成的不利因素,本类型的地下水在第四系中的水质较好。

(3)切割高原水文地质类型。即江河上游的高山、河谷地区。本类型的主要特点是第四系沉积层分布有限,由于地表水文网非常发育,使得本来赋存不多的地下水大都排泄进入河流,但地下水的水质较好,矿化度低。

(4)巨型山间谷地水文地质类型。本类型所处的位置是降水充沛的地区,对地下水的形成较为有利。降水入渗是地下水的主要补给来源,但是这些地区的第四系岩层的厚度很薄,通常不超过20米,所以赋存的条件较差,地下水以强烈地排泄于河流为主要特征,如雅鲁藏布江谷地等。

(5)湿热山地水文地质类型。位于喜马拉雅山东段南坡地带,这里不仅气温高,而且降水充沛,对地下水的形成极为有利,但这方面的资料非常缺乏。

三、地质岩性对地下水的影响

整个青藏高原地域辽阔,基岩的分布各地区间有很大的差异,而不同的岩性对地下水的形成、赋存与运移有着很大的影响。

前震旦系的古老结晶岩基底主要分布于喜马拉雅主脊线一带,但在念青唐古拉山主峰地区也可能有类似的岩石存在。

前寒武或震旦—寒武系的浅变质基底岩石的分布较广,但各地区在变质的程度上和岩石类型有所不同。

从下古生界起,在青藏高原的范围内出现了明显的分异。南部为稳定的浅海相,主要由碳酸盐岩、泥质灰岩、页岩夹砂岩组成;北部为活动型的深海沉积,以祁连山最为典型。

三叠系是高原分布最广泛的地层之一,大致可分为中部和北部两个区。中部以碎屑岩复理石为主,向两侧逐步过渡到碳酸盐、碎屑岩沉积;北部是以巴颜喀喇山为中心的沉积区,以碎屑物质的沉积复理石为主。

侏罗系地层在藏北羌塘为山间盆地性质的含煤碎屑岩系。在雅鲁藏布江以南,主要为浅变质的砂岩、板岩互层,在喜马拉雅山北坡是石灰岩、页岩和砂岩。

白垩系,羌塘及其以北地区都是陆相红色砂岩与砾岩。在拉萨地块北部,白垩系大都为红色砾岩与砂岩,向上逐步过渡到石灰岩。在雅鲁藏布江蛇绿岩带的南缘,有一条混杂的沉积带。

海相的第三系地层主要分布在雅鲁藏布江以南地区。

第四系沉积类型较多,但分布零星。

岩浆岩的杂岩带大体有以下几条:(1)中部的祁连岩浆杂岩带,(2)北昆仑岩浆杂岩带,(3)雀儿山—海子山岩浆杂岩带,(4)金沙江岩浆杂岩带,(5)冈底斯岩浆带,(6)喜马拉雅岩浆带。

结合以上各个不同地质时代的岩石分布,可归纳为以下几个含水岩组。

(1)松散岩类含水岩组。主要是砂及砂砾石的孔隙潜水,主要分布在柴达木盆地、青海湖南部的湖积冲积台地、西藏色林错及其以南的各湖泊的周围等。

(2)碎屑岩类含水岩组。包括孔隙、裂隙含水岩组及碎屑岩夹碳酸盐岩类裂隙含水岩组两种,主要分布在青藏高原的东部广大

地区以及藏南地区,是各种含水岩组中分布最广的,其面积约占整个高原的 40%。

(3)碳酸盐类含水组。主要是夹碎屑岩类裂隙含水岩组,主要分布在藏北地区。变质岩类及岩浆岩类含水层组,分布比较零星,主要分布在藏东南地区以及祁连山和昆仑山地。

综上所述,孔隙水只出现在松散岩类及碎屑岩类,其它均为裂隙水。

受纬度地带性的控制,具体说,主是受气候带的控制,地下水也呈现出相应的水平或环状的分带性,这在几个大盆地表现得最为突出。例如柴达木盆地,从山地到盆地中心,分别经过了变质岩类的含水组、岩浆岩类的含水组、碳酸盐岩类的含水组、直到碎屑岩类含水组和松散岩类含水组。

此外,在西藏,地下水的地区分布一般与年降水量的地区分布一致,地下水补给模数的高值区在雅鲁藏布江下游及附近的藏南诸河,低值区则在藏西诸河流域及藏北羌塘高原的内流水系,藏东和中部为过渡区。

第二节 地下水资源特征

青藏高原的地下水与其他自然地理区的地下水资源相比,有许多特殊性,归纳起来,有如下几点。

一、山区的地下水主要补给了河流,成为河川径流中基流的组成部分

1. 西藏地区

藏东南地区主要包括雅鲁藏布江下游干支流,西巴霞曲中下

游和察隅曲、丹龙曲、吉太曲等流域,地下水补给量约占河川年径流量的 21%。藏东北地区主要指怒江、澜沧江、金沙江和拉萨河流域,本区的冬春季节,河川径流基本上由地下水补给,而夏季,河水补给潜本。怒江、澜沧江、金沙江地区地下水补给占河川年径流量的 35%,拉萨河流域地下水补给也占 23%。藏中、南地区指喜马拉雅山脉以北、冈底斯山脉以南的广大的内流、外流地区。该地区北部的雅鲁藏布江中游地带的一些河流,冬季主要靠地下水补给,地下水占河川年径流量的 35% 左右。藏西北地区主要指羌塘高原和仲巴以西的地区。这个地区海拔高,降水量少,气温低,湖泊有广泛的分布,形成以湖泊为中心的水系网。在雨季,河水依靠地下水和雨水、融水补给,旱季则全靠地下水补给。藏西北地区的桑格藏布、朗钦藏布、马甲藏布和当却藏布等河流,河川径流大都以地下水补给为主,补给量占年径流总量的 50% 以上,其中森格藏布更高达 65%。

西藏地下水补给模数的高值区在雅鲁藏布江下游及附近的藏南诸河,高达 53 万立方米/平方公里·年,低值区在藏西诸河及藏北羌塘的内流水系,如森格藏布的补给模数仅为 1.4 万立方米/平方公里·年,藏东和中部为过渡地区。地下水补给模数的分布特点通常表现为在同一流域内上游小下游大;年降水量和河川年径流量的低值区小而高值区大;植被差的小,植被好的大;含水层岩性坚硬致密的小,松散易风化的大;地质构造不发育的小,发育的大。

总之,西藏的外流河水系的浅层地下本绝大部分均流出地表补给了河流,河川径流的基流量近似等于地下水资源量。内流水系由于地势平缓,不少河流上游有来水,流至山前地带或湖湾平坦地区,河水渗入松散地层,以地下水方式补给湖泊,因此地下水的矿化度较高,但是由于降水稀少,地下水的数量不大。

2. 青海地区

山丘区地下水主要是基岩裂隙水和碎屑岩类的孔隙水。山丘区地下水天然资源量等于山丘区多年平均河川径流量中的基流量与河床潜流量及山丘区地下水向平原区的侧向排泄量之和,但由于河床潜流量和基岩裂隙水向平原区的侧向排泄量已计入山前平原地区的地下水资源量内,所以山丘区河川径流的基流量,实际上就接近或等于山丘区地下水的天然资源量。

平原区地下水主要是松散岩类的孔隙潜水和承压水。地下水的分布,受赋存条件制约,主要分布在山前平原和河谷平原地带。在干旱的盆地,山前平原的地下水主要是由地表水通过各种途径的渗漏所补给,而在山丘区则是地下水补给了河流。

据初步研究,青海省河川径流中地下水所占比重差异很大。黄河、长江和澜沧江三江源区,从黄河沿、玉树和香达三个站的估算平均达到 50% 左右;在柴达木盆地,以地下水补给为主的河流,如乌图美仁河可达到 95.2%,诺木洪河也达 71.2%。各河的地下水补给量占河川年径流量的比重见表 5—1。

表 5—1 青海省河川年径流中地下水补给的比重

河 名	站 名	集水面积 (平方公里)	年平均流量 (立方米/秒)	地下水补给占年径流量的比重 (%)
黄河	黄河沿	20930	19.6	57.2
扎曲	香达	17909	12.3	41.2
巴塘河	玉树	2298	27.4	50.6
西科河	甘德	1605	—	29.5
曲什安河	曲什安	5786	25.9	32.6
大河坝河	黄湾	3152	9.36	41.3
隆务河	隆务河口	4959	20.6	32.6

河 名	站 名	集水面积 (平方公里)	年平均流量 (立方米/秒)	地下水补给占年径流量的比重 (%)
湟水	民和	13342	65.6	45.5
大通河	享堂	15126	90.6	28.6
布曲	雁石坪	4578	24.7	25.8
楚玛尔河	楚玛尔河	9388	7.55	15.1
沱沱河	沱沱河	15924	26.1	7.7
布哈河	布哈河口	14337	25.4	15.2
伊克乌兰河	刚察	1442	7.22	15.3
大通河	尕大滩	4893	49.8	20.6
察汗乌苏河	察汗乌苏	4434	4.55	26.3
香日德	香日德	12339	13.4	40.7
巴音河	泽林沟	5544	9.19	38.6
格尔木河	格尔木	18648	24.2	66.4
诺木洪河	诺木洪	3773	4.80	21.2
沙柳河	查查香干	1965	1.92	60.9
沙珠玉河	沙珠玉	4535	1.78	67.0
乌图美仁河	乌图美仁	6218	2.67	95.2
塔塔梭河	小柴旦	4771	46.3	12.2
鱼卡河	鱼卡	2029	49.2	28.3
哈尔腾河	花海子	5967	45.8	12.7
那棱格勒河	那棱格勒	21898	33.8	29.1
阿达滩河	阿达滩	5020	3.53	22.2
黑河	扎马什克	4589	22.5	48.1

3. 其它地区

除了西藏、青海两省(区)外,还有发源于祁连山北麓和昆仑山、喀喇昆仑山的河流,这些地区山区的地下水也大多补给了河流,成为河川径流的基流。现将流入甘肃河西走廊及新疆塔里木

盆地的代表性河流的地下水补给情况列表 5—2。

从以上的阐述中可以得出:(1)在青藏高原内,各地都有以地下水补给为主的河流,如祁连山地的踏实河、党河;西藏的森格藏布,朗钦藏布、青海的乌图美仁河、沙珠玉河等,说明非地带性因素在河川径流补给中所起的作用是很大的;(2)无论在哪个地区,枯水季河川径流量都由地下水补给,因此青藏高原上的一些季节性的河流(时令河),就是在枯水季节没有得到地下水补给而干涸的。

表 5—2 祁连山北麓、喀喇昆仑山和昆仑山地
河流的地下水补给量

河 名	站 名	地下径流占年径流量百分数(%)
西营河	四沟咀	21.5
东大河	沙沟寺	35.7
大诸马河	瓦房城	12.3
黑河	莺落峡	30.7
梨园河	梨园堡	14.5
洪水坝河	新地	5.5
讨赖河	冰沟	62.1
昌马河	昌马堡	35.0
踏实河	蘑菇台	86.6
党河	沙枣园	64.5
叶尔羌河	卡群	41.5
玉龙喀什河	同占孜洛克	22.5

二、山前平原的地下水主要由地表水渗漏所补给

青藏高原多山地,但也有不少盆地,如柴达木盆地、沙珠玉盆地等。柴达木盆地是我国四大盆地之一,海拔高而且极为干旱,平原地区的年降水量仅 100 毫米以下,基本上不能产生径流,是径流的散失区。其水文情势与我国其他干旱地区完全一致。如格尔木年降水量仅 39.3 毫米,乌图美仁 25.3 毫米,盆地中心的察尔汗仅 23.6 毫米,盆地西北的冷湖地区在 20 毫米以下,是我国有记录的 4 个极旱荒漠之一。如此稀少的降水对地下水的补给为量甚微,除了侧向补给外,平原地区的地下水几乎全部依赖河流出口后通过河道渗漏、渠系渗漏、农田渗漏等的水量补给。据研究,柴达本盆地山前平原地下水,由地表水通过各种渗漏补给的约占 80%,茶卡—沙珠玉盆地约为 90%。这种情况与我国西北广大干旱地区的情况是一致的。

三、温泉有广泛的分布

青藏高原的地质环境独特,经过多次的地壳抬升,特别是喜马拉雅山的强烈抬升活动,使高原地区急骤隆起,岩层褶皱剧烈,断层发育,大小构造线分布较广。因此,在一些紧密褶皱的向斜、单斜以及构造断裂带中,常有承压水的分布。在一些大的断裂带中,埋藏有丰富的脉状水。另外,青藏高原大部分地区气候寒冷而干燥,自然带的物理风化作用强烈,岩石的裂隙发育,导致基岩的裂隙水也较发育。在喜马拉雅山麓的陈塘、亚东和雅鲁藏布江大拐弯等地,常常可以见到泉水的出露,有的还是温泉。

青藏高原孕育着强烈的地热活动。在塔里木盆地以南的昆仑山,以及横断山脉南端的腾冲一带,屹立着我国最年轻的火山群。

高原内部的水热活动非常强烈,尤以西藏南部的地热带为最盛,形成了著名的温泉带。

地热区是指上地壳内水热活动在地表所形成的显示区。凡是有统一的热源,处于统一的集水盆地,或具有某种其他统一的地质地理特征,则不论其泉眼的数量和出露的面积,均可以按一个水热区对待。水热区可以分为几种类型,即水热爆炸区、高温间歇泉区、沸泉区、热泉区、温泉区、低温温泉区、古水热区和无实测资料区。我们通常将这8种类型总称为温泉。这8种类型的划分标准及其分布情况如下:

(1)凡出口水的温度低于 35°C 、而高于当地多年平均气温 5°C 的可称为低温温泉。低温温泉在青藏高原分布最为广泛。青藏高原已收集到的水热区共1270个,大体要占全国的一半,而低温温泉区在1270个中约占25%,主要分布在高原的东南部,尤其是横断山脉地区,并且延伸到云南和四川省的部分地区。西北部仅分布在祁连山地区。

(2)出口水温达到 35°C 至 45°C 者称为温泉。高原的温泉区主要与低温温泉区相伴而生,同样集中在东南部。

(3)出口水温达 45°C 以上至低于当地高程的水沸点温度者为热泉。热泉的分布除与上述两种类型的温泉在高原东南部相伴生外,在西藏那曲的东北部也有较集中的分布。

(4)出口水温等于或略高于当地高程的水沸点温度者为沸泉。沸泉由于达到水的饱和温度,因此出现汽、水两相的显示。如其他的地质条件具备,沸泉往往具有动力应用的潜力。沸泉主要出露在青藏高原的南部及云南的西部,特别是雅鲁藏布江干流的北岸有较多的分布。

(5)水热爆炸区 and 高温间歇喷泉都是沸泉在特定地质环境下的变种。凡是出现过以爆炸形式于瞬间猛烈地喷出汽水与泥沙岩

块活动的沸泉区即为水热爆炸区。凡是间断地喷出汽水柱的沸水区,不论其间歇期长短,均可称为高温间歇泉区。迄今为止,青藏高原已发现了 14 个水热爆炸区和 4 个高温间歇泉区。它们都分布在西藏南部。

(6)古热水区是指由于某些原因,目前已无热水溢出到地表,但地表常遗留有泉华或其它水热活动遗迹的地区。如怒江上游卡马多附近就有分布。

(7)无实测资料区,系指来源于经过访问或者来源于某些图件的无实测温度的水热区。主要分布在藏北和藏西地区,需要进一步实地考察和研究。

总之,作为地下水出露地表的泉水,特别是温泉,在青藏高原有广泛的分布。其中有些水热区已构成有经济价值的低热田,如羊八井的涌水量约 1000 升/秒,热田已建成 7000 千瓦的地热电站,目前在拉萨市的电网中发挥了重要作用。但绝大部分水热区的能源价值尚待进一步评价,或者由于地处偏远,近期尚无利用的可能。但它们的出现及地理分布特征,作为分析地下水的成因,特别是地下水与上地壳热状态的关系,有着重大的科学意义。

第三节 地下水资源

由于迄今为止尚未对青藏高原地下水资源作出过全面的数量上的评价,因此我们只能根据已收集的资料,进行整理分析、综合研究,以期求得比较合理的结果,并首次提出整个青藏高原的地下水资源量。当然,由于研究程度的不够,此次估算只是初步的,有待于今后的补充、修改和更新。

一、山区的地下水基本上都进入了河流,成为河川径流中的基流部分

虽然青藏高原的年降水量,除藏东南地区外,大都较为稀少,但地质构造极为发育,特别是喜马拉雅运动的强烈抬升,使高原地区急剧隆起,岩层褶皱的向斜、背斜以及各种构造裂隙中,常有承压水分布,一些大的断裂带里,也有脉状水。此外,青藏高原的干旱,使得物理风化作用十分强烈,洪积物冲积物到处可见。加之在古代冰川和现代冰川的作用下,有许多冰碛物,它由大小不等的岩块碎屑及泥沙组成,有些厚度可在百米以上,这些物质颗粒粗,使得雨水和融水较易渗入,形成地下水。

前已述及,在高原的东部,即江河上游的高山、河谷地区,第四系沉积层分布不多,而地表水的水文网则非常发育。据研究,这些地区的河网密度每平方公里可以达到0.50—0.70公里,特别是在藏东南地区,达到0.80公里以上,这在全国来说也属于河网密度的中上水平。高原的河网密度明显受到气候的影响,由东南向西北随降水量的减少而减少;另外,还明显受到地形高度及是否有冰雪覆盖的影响。在各个东西向的山脉向南北向的横断山脉过渡的弧形地带,以及有冰雪覆盖的山地及其附近,均有较大的河网密度。

在河网密度较大的地区,地下水大都排入河流,成为河川径流的组成部分。所以在补给山地的地下水量时,其量虽然不少,但绝大部分都与平原及地表水重复,不能单独计入地下水资源量中,这一点与我国其他干旱地区是一致的。

总之,在有关的比较权威的水资源计算中,如《中国水资源评价》一书中,将全国分为77个流域,其中属于青藏高原的有雅鲁藏布江、藏南、藏西、羌塘等流域,它们的地下水资源与地表水资源的情况见表5—3。

表 5—3 有关青藏高原各流域的地表水资源与地下水资源

单位:亿立方米

流域片	流域名称	平原年 降水量	地表水平均 年资源量	地下水平均 年资源量	重复计算量	平原年水 资源总量
西南诸河片	雅鲁藏布江	2283	1654.0	342.5	342.5	1654.0
	藏南诸河	2631	1952.0	459.4	459.4	1952.0
	藏西诸河	74.0	20.1	10.0	10.0	20.1
	怒江	1254	680.9	206.7	206.7	680.9
	澜沧江	1619	740.0	282.7	282.7	740.0
内流河片	青海内流河	441	72.4	55.1	51.2	76.3
	羌塘内流河	1226	246.0	121.3	120.8	246.5

从表 5—3 可以看出,在青藏高原,所有的外流河流域,地下水资源量全部与地表水资源量重复计算,也即地下水全部汇入河流内,成为基流的一部分。从表中 5 个流域计算,基流量为年总径流量的 20.7—49.7%,平均为 32.8%,大致与全国的平均值相当。其中藏西诸河平均达到 49.7%,这与那里的森格藏布河的地下水补给量达到 65% 的结论是一致的。

如果再仔细研究一下各省(区)的情况,以青海省为例,各个山丘区的地下水资源及重复量见表 5—4。

从表 5—3、5—4 分析可知,在山丘区,地下水几乎全部补给了河流。目前由于资料的限制,暂时作为 0 处理;事实上,还有少量的与地表水的不重复量,这将有待于今后的研究。

但是在一些山间盆地和内陆高原,如柴达木盆地、茶卡—沙珠玉盆地、青海湖盆地等,有部分地下水资源与地表水是不重复的。这些地区作为平原地区,其地下水资源将在下文讨论。

表 5—4 青海省各流域山丘区地下水资源量及重复量

区域	流域	山丘区地下水 (亿立方米)	与地表水重复量 (亿立方米)	不重复地下水资源量 (亿立方米)
外流区	黄河	90.38	90.38	0
	黄河干流	66.07	66.07	0
	湟水	10.10	10.10	0
	大通河	12.64	12.64	0
	洮河	1.02	1.02	0
	大夏河	0.55	0.55	0
	长江流域	65.82	65.82	0
	通天河	54.04	54.04	0
	雅鲁江	5.41	5.41	0
	大渡河	6.37	6.37	0
	澜沧江流域	38.96	38.96	0
内流区	哈拉湖	1.36	1.36	0
	祁连山	13.67	13.67	0
	可可西里	9.57	9.57	0

二、平原地区地下水资源主要来自地表水通过不同途径的渗漏

平原地区的地下水,包括山间盆地在内,计有 7 项补给来源。下文将结合青藏高原的情况逐一进行分析。

(1)降水入渗。通常认为一次降水量小于 10 毫米为无效降水量,不计其入渗量。青藏高原的平原地区主要分布在柴达木盆地、青海湖盆地等,这些地区的年降水量较少,一般在 200 毫米以下,

仅青海湖盆地可达 200—300 毫米,对地下水有一定的补给量。

(2)山前侧渗漏补给。包括山前裂隙水补给和河床潜流补给。裂隙水的补给,主要取决于山前的地质构造和岩性。这对高原上有些盆地如青海湖盆地的地下水有一定的补给量。河床潜流对有些地区,如新疆、河西走廊等地的补给量不大,有时甚至可以忽略不计,但在柴达木盆地还是重要的补给来源之一。

以上两项是地下水的天然补给量。

(3)山区暴雨洪流入渗补给量。在山丘区有许多干沟,平时干涸,在汛期遇到暴雨时,能产生一些临时性的洪流。这些洪流无法利用,就在山前消耗于渗漏与蒸发,补给了地下水。当前在估算一个地区地表水资源时有两种方法:一种是按逐条河流统计,另一种更普遍的是按年径流深度图进行计算。如果属于后者,则暴雨洪流入渗补给量已经计算在地表水资源中,入渗补给量是重复计算,不应计入地下水资源量中。

(4)河道渗漏补给量。与河流的年径流量、河道沿线的水文地质条件、潜水位埋深等有关。如按河川径流计算,中等河流占 20—50%,大型河流占 5—25%。

(5)水库(塘坝)入渗量。平原水库的渗漏量包括坝基及绕坝渗漏、库床渗漏及坝体渗漏等。青藏高原水库数量不多,入渗量不大。

(6)渠系渗漏补给量。决定于渠系有效利用系数。高原内主要渠系分布在柴达木盆地,那里的渠系渗漏有一定的补给量。

(7)田间入渗量。只在具有农田灌溉的地区才有这种入渗量的补给。

现以柴达木盆地为例,对上述各项补给进行具体分析计算。

据 1998 年中科院地理所对柴达木盆地水资源的研究,地下水的资源量可达 38.97 亿立方米,但与地表水的重复量高达 31.11

亿立方米,只有降水入渗、山前侧渗和河床潜流三项是与地表水不重复的。柴达木盆地各流域分区的地下水资源量见表 5—5。

表 5—5 柴达木盆地地下水资源量计算表

流域分区	面积(平方公里)	平原地下水资源量							加上山丘区地下水资源量(亿立方米)	地下水与地表水重复量(亿立方米)	地下水资源量(亿立方米)
		降水入渗(亿立方米)	河床渗漏(亿立方米)	山前侧渗(亿立方米)	河道入渗(亿立方米)	渠系入渗(亿立方米)	田间入渗(亿立方米)	平原地下水资源量(亿立方米)			
茫崖、冷湖荒漠区	15466	0.042	0.780	0.453	4.293	—	—	5.568	5.568	4.293	1.275
鱼卡河、大小柴旦区	2139	0.088	0.337	0.216	1.953	0.048	0.008	2.650	2.650	2.009	0.641
巴音河、德令哈地区	4260	0.186	0.045	0.028	1.811	0.621	0.215	2.906	3.393	3.134	0.259
都兰河、希赛地区	909	0.061	0.099	0.089	0.518	0.284	0.004	1.055	1.055	0.806	0.249
那棱格勒河、乌图美仁地区	9879	—	0.565	0.664	7.213	—	—	8.442	8.442	7.213	1.229
格尔木地区	4457	—	0.992	0.431	5.239	0.348	0.045	7.055	8.377	6.954	1.423
柴达木河、都兰地区	12339	0.304	2.100	0.381	5.829	0.770	0.097	9.481	9.481	6.696	1.785
柴达木盆地	49449	0.681	4.918	2.262	26.86	2.071	0.369	37.16	38.97	31.11	7.860

从表 5—5 可以看出:

(1)柴达木盆地山丘区的地下水资源量基本上与平原区的地下水资源量相重复,在各流域地区中,只有巴音河德令哈地区和格

尔木地区不全部重复,但其量不大,分别为 0.487 亿立方米和 1.322 亿立方米,分别占这两个地区地下水资源量的 14.5% 和 15.8%。

(2)在山丘区与平原区的地下水资源量中,重复的项目是河床渗漏和山前侧渗二项,而不重复的项目山丘区是河川基流,平原区则是降水入渗。平原区与地表水资源量相重复的有河道入渗、渠系入渗及田间入渗三项。

(3)地下水与地表水资源量的重复率很高,约为 80%,这与新疆及河西走廊的情况和数字是一致的。但与新疆不同的是,在重复量中渠系入渗及田间入渗所占比重很小,二者相加不及河道入渗的 3%,而新疆仅渠系入渗一项就超过了河道渗漏量,充分说明柴达木盆地的农田灌溉很不发达。

既然地表水与地下水资源可以相互转化,就给我们在平原地区利用水资源提供了有利的条件。这就是重复引(提)用率。简单地说,就是在河流的上游引(提)用河(井)水进行灌溉后,所下渗的水量在其下游仍然可以引(提)用。关于这方面的问题,将在第九章讨论。

三、青藏高原地下水资源量

根据以上分析,我们可以初步估算青藏高原的地下水资源量。

1. 山丘区的地下水资源量

在不计入与平原地区和地表水的重复量之后,青藏高原山丘区的地下水资源量见表 5—6。

表 5—6 青藏高原山丘区地下水资源量

山丘区名	地下水资源量(亿立方米)
羌塘内流河	0.50
青海格尔木地区	1.322
青海巴音河德令哈地区	0.487
青海湖地区	0.291
小计	2.60

从表 5—6 可以得出,青藏高原山丘区的地下水资源量为 2.60 亿立方米/年,这个数字可能偏小,有待于今后进一步研究更新。

2. 平原地区地下水资源量

在不计入地表水资源及山丘区的地下水的重复量后,事实上平原地区的地下水只集中在几个盆地中,其中最主要的是青海柴达木盆地、青海湖盆地及茶卡—沙珠玉盆地,见表 5—7。

表 5—7 青藏高原平原地区地下水资源量

流域地区	地下水资源量(亿立方米)
青海柴达木盆地	7.861
茫崖冷湖荒漠区	1.275
鱼卡大小柴旦区	6.641
巴音河德令哈地区	0.259
都兰河希赛地区	0.249
那棱格勒乌图美仁区	1.229
格尔木地区	1.423
柴达木河都兰地区	2.785
青海湖盆地	1.789
茶卡—沙珠玉盆地	0.150

从表 5—7 可以看出,青藏高原平原地区的地下水资源量为 9.80 亿立方米/年。

包括平原和山区的地下水资源量(不与地表水资源的重复量)为 12.4 亿立方米/年。

3. 地下水资源与地表水资源的重复水量

在计算不重复的地下水资源量的基础上,我们也应该了解包括山丘区和平原区的天然地下水资源量,尽管它们是与地表水重复的,但其数量还是很大的。根据已有资料,在西藏地下水的重复量高达 1301.3 亿立方米。在青海可达 266.7 亿立方米。其中黄河流域 90.38 亿立方米、长江流域 65.88 亿立方米,内流河流域 66.96 亿立方米。总计在青藏高原有 1568 亿立方米的天然地下水资源量。这些水量虽然是重复量,但在水资源利用方面仍然有着重要的意义。

第六章 水 质

与所有的资源一样,水资源也包括数量和质量两个方面。特别是近年来,由于社会经济的发展和人口的增加,水污染的问题日益严重。解决水污染的问题是保护生态环境的重要组成部分。水质包括了河川径流水质、湖泊的水质、地下水水质和冰川的水质等。

第一节 河川径流水质

一、河流水化学特征

河流水化学是河流水文水资源的特征之一。为合理利用水资源,必须了解河流水体在自然界循环过程中所形成的水化学特征及时间与空间的变化。

天然水是一种复杂的溶液,含有多多种化学元素,考虑到水中的钙、镁、钠、钾、氯化物、硫酸根、重碳酸和碳酸等主要离子的含量已占天然水中所含离子总量的 98% 左右,所以上述 8 大离子的总和

就可以代表水中的矿化度。所谓矿化度是指溶解于水中的离子之和,以克/升或毫克/升来表示。人类的生活和工农业的生产一般都要求使用矿化度低水质的水。

河流水化学特征主要受河水补给来源和环境条件所制约,是流域内各种自然条件综合作用的结果。决定河流水化学特征的主要过程是降水对大气和地表组成物质的淋溶过程、干支流径流的混合过程、悬浮物质的吸附与解析的过程、地表水与地下水交换的过程、由于蒸发浓缩导致的变质过程等等,使河水不同程度地富集了各种离子。

青藏高原河水的矿化度有从东南部的湿润、半湿润地区向西北内陆干旱地区递增的趋势。将河水矿化度按小于 100 毫克/升定为弱矿化水,100—200 为微中矿化水,200—300 为中矿化水,300—500 为微强矿化水,500—1000 毫克/升为强矿化水,大于 1000 毫克/升为高矿化水。按照上述划分标准,藏东南山地主要为弱矿化水,青藏高原的北部和西北部主要为微强和强矿化水,甚至有高矿化水的分布。

由于河流沿程有不同的自然条件和河水补给条件,因此河水的矿化度有明显沿程变化。外流河水的矿化度在源头地区低,中游地区高,下游地区亦低;内流河则愈往下游河水矿化度就愈高。

除了矿化度以外,评价河水水质的另外几个指标分别是水的硬度、pH 值和水的类型。

天然水中的钙、镁是以碳酸盐、硫酸盐、氯化物或硝酸盐的形式存在的,所以水的硬度可分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度,总硬度就是二者的总和,通常以钙、镁离子总量计,单位是毫克/升。水的硬度与工农业生产及生活用水有密切的关系,不同用水目标对矿化度和总硬度都有不同的限制值。

水化学类型反映河水水质的化学组成,是研究河流水化学特

征及地区分布规律的综合指标。划分河流水化学类型,通常是根据河水中主要离子的当量浓度。首先按阴离子 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 将天然水划分为三类,即重碳酸盐类、硫酸盐类、氯化物类。其次以大多数的阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ + Na^+ 分为三组,分别用钙、镁、钠的符号表示,称之为钙类水、镁类水和钠类水。

二、青藏高原的河流水化学分带

(1)弱及微中矿化湿润区水化学带。主要分布在藏东南山地及川西高原东部,其中藏东南山地河水矿化度大多数在 100 毫克/升以下,河水总硬度小于 1.0 毫克当量/升, pH 值呈中性或弱酸性,河水多属重碳酸盐类钙组水。川西高原东部地区河水矿化度为 100—200 毫克/升,河水总硬度 1—2 毫克当量/升,河水也属于重碳酸盐类钙组水。

(2)微中矿化半湿润区水化学带。主要分布于青藏高原的东部,本带河水矿化度多在 300—500 毫克/升,河水总硬度为 2—3 毫克当量/升, pH 值呈中性,河水化学类型多数属于重碳酸盐类钙组水。

(3)微强矿化半干旱区水化学带。主要分布带呈东北—西南走向,包括从西宁到日喀则的广大地区,本带河水矿化度多在 300—500 毫克/升,河水总硬度为 4—6 毫克当量/升,河水 pH 值呈弱碱性,河水主要为重碳酸盐钙组水。其中冈底斯山以南地区,由于喜马拉雅山的冰川覆盖面积较大,而河流则因地形坡度陡峭而且地表切割破碎而短小,但流域内原生植被覆盖度较高,使得河水矿化度低,大多数为 100—200 毫克/升。在喜马拉雅山冰缘附近则小子 100 毫克/升,雅鲁藏布江干流为 200—300 毫克/升,河水总硬度为 3—6 毫克当量/升,河水的 pH 值多数在 8.0 左右,呈弱碱性,河水主要为重碳酸盐类钙组或钠组型水。

(4)强矿化干旱区水化学带。主要分布在青藏高原的北部和内部盆地。如向北流往塔里木盆地的喀喇昆仑山—昆仑山北坡的河流以及祁连山北坡的河流,还包括流向柴达木盆地的河流等。这些河流除河源地区矿化度较小外,越向下游河水矿化度越高,一般都在 500 毫克/升以上,有的甚至超过 1000 毫克/升。河水总硬度通常在 6.0 毫克当量/升以上,pH 值多在 8.0 以上,为碱性或弱碱性水。河水的化学类型比较复杂,重碳酸盐、硫酸盐、氯化物 3 种盐类均有分布。

在平原范围内,其中阿里地区系印度河上源地区,河水多为由融水下渗后的地下水所补给,所以其矿化度低于上述的内流河区,但仍比雅鲁藏布江上游地区要高。

三、河水化学类型及矿化度、硬度等与河水补流来源的关系

(1)以高山冰雪融水补给为主的地区。主要分布在昆仑山西段的南坡、喀喇昆仑山西段南北两侧、喜马拉雅山中段北坡以及念青唐古拉山南麓和察隅县境内的部分地区。比较典型的河段或河流有雅鲁藏布江源头段的杰马央宗曲,中下游的支流尼洋曲、帕隆藏布,朋曲的支流绒布曲、沙嘎曲以及察隅曲的上游等。由于冰雪中含盐量少,融水补给时也不及雨水补给的淋溶作用强烈,因此以融水补给为主的河流,河水矿化度很低,一般在 100 毫克/升以下,有的低于 50 毫克/升。这类河水的总硬度也多不高,一般在 0.5—1.2 毫克当量/升。

(2)雨水补给为主的地区。主要分布在藏中南。比较典型的河流有雅鲁藏布江干流中段及其支流多雄藏布、拉萨河等。由于雨水的侵蚀作用较强,一般来说,河水的矿化度比融水补给为主的河流分布地区要高,其矿化度在 100—250 毫克/升。随着流程的增加,矿化度也有所增加。河水矿化度年际变化幅度不明显,比较

稳定,年内变化也很稳定,如对雅鲁藏布江羊村站 1961 年 2—9 月及 12 月的分析结果表明,河水矿化度变幅为 120—190 毫克/升,只是在枯水季节稍高。河水的总硬度一般在 1.5—3.5 毫克当量/升,属于软水到中等硬水。

(3)以地下水补给为主的地区。这类地区在藏北、藏东、藏西和藏中南均有分布,比较典型的河流有年楚河、森格藏布和藏北、藏南大部分的内流河。这些河流的河水矿化度通常在 300 毫克/升以上,有的可达 1000 毫克/升甚至 1000 毫克/升以上。

整个青藏高原河川径流的年际变化较小,因此河水矿化度的年际变化不大,但河水矿化度的年内变化较大,除个别河流外,外流河河水矿化度年内变幅为 1.5—2.5 倍。

第二节 湖泊水质

在湖泊水化学研究中,与河水相同,湖水中的 8 大离子要占全部湖水离子总量的 98% 以上,因此我们只要用主要离子便能对湖水化学类型进行划分。

青藏高原的湖泊多为内陆湖,其面积约占湖泊总面积的 98%。由于高原地域辽阔,气候复杂多样,下垫面的情况各地又有很大的差异,使得湖泊水化学性质比较复杂,类型多样,几乎包括了我国所有湖泊的水化学类型。

根据青藏高原湖泊水化学的具体情况,我们将湖泊按化学成分划分为两大类:一类是普通湖泊,是高原湖泊的大多数,约占总湖泊数的 73.3%;另一类是盐湖,占高原湖泊总数的 26.7%。

一、湖泊的水化学

按照一般湖泊的划分标准,可将青藏高原的湖泊分为淡水湖(矿化度小于 1 克/升)、咸水湖(矿化度 1—35 克/升)和盐水湖(矿化度大于 35 克/升)。这三类湖泊,按占多数的阴离子(当量),可分为重碳酸及碳酸水、硫酸水及氯化物水三类,每一类又按占多数的阴离子细分为三个组,即钙质、镁质和钠质,第一个组又可细分为由毫克当量的对比关系所决定的三个型。第一型是 $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 第二型是 $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$; 第三型是 $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 。例如 $\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ 就表示重碳酸类钙组第二型; $\text{S}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ 表示硫酸类钠组第三型; $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ 表示氯化物类钠组第三型。

中国科学院南京地理与湖泊研究所在青藏高原范围内选择了 96 个具有代表性的湖泊水化学资料,编绘了青藏高原湖泊水化学成分图。

淡水湖泊共 22 个,占总数的 23%。主要分布在高原的南部与东部,它们都属于外流区。所有的淡水湖的水化学组成都为重碳酸钙组 I 型或 II 型。其中包括了黄河源头区的扎陵湖与鄂陵湖。这些淡水湖是高原淡水资源的重要组成部分。

咸水湖共 37 个,占 38.5%,主要分布在藏北地区,其中包括了我国最大的湖泊——青海湖以及著名的羊卓雍错、班公错、色林错、纳木错等,有一部分湖属于微咸湖。如羊卓雍错矿化度 1.78 克/升,纳木错 1.72 克/升,玛日错 2.56 克/升等。这些咸水湖泊水的化学成分较为复杂,有的以重碳酸盐水为主,如纳木错等;有些矿化度较高的则以硫酸盐为主,如色林错等。在阳离子中以钠质或钠+钾为主。

盐湖共 37 个,占总数的 38.5%。主要分布在藏北高原以及

柴达木盆地,关于盐湖的情况下文将作详细讨论。

根据实测资料,我们列出青藏高原主要湖泊的湖水矿化度与pH值(表6—1)。

表6—1 青藏高原主要湖泊湖水的矿化度及pH值

序号	湖泊名	湖水 pH 值	湖水的矿化度(克/升)
1	青海湖	9.4	13.13
2	纳木错	9.3	1.715
3	色林错	9.7	18.27
4	扎日南木错	9.6	13.90
5	当日雍错	9.5	18.49
6	羊卓雍错	9.3	1.781
7	鄂陵湖	8.4	0.367
8	达布逊湖	—	321.67
9	班公错	9.5	19.61
10	扎陵湖	8.5	0.481

我们再详细分析一下作为高原湖泊主体的西藏的湖泊水化学情况。

影响西藏湖泊水化学性质的有地带性因素与非地带性因素,其中地带性因素起着主导作用。首先,西藏气候具有明显的地带性规律,例如,年降水量在藏东南地区一般超过 800 毫米,藏南也多在 300 毫米以上,藏北南部为 200—300 毫米,而藏北北部一般在 200 毫米以下,许多地方甚至不足 100 毫米。当然,湿润地区的湖水矿化度要低,干旱地区的湖水矿化度则较高。而在西藏的湖泊中约有 98% 的湖泊属于内流湖,这些湖泊来水量全部消耗于蒸

发,入湖的径流(包括地表径流和地下径流)所携带的盐类在湖中的积累有增无减。气候愈干燥,湖水浓缩的强度愈大,湖水的矿化度也就愈高。这与西藏的气候从藏东南向西北,由藏南向藏北逐渐干燥的总趋势是相吻合的。

但是,在很多情况下,地质、地形等非地带性因素,又加剧或破坏了地带性因素的变化规律。例如,藏东南的湖泊都是淡水湖,由于湖泊是外流水系的组成部分,所以湖水的化学成分与汇入河流的河水差别很小,各湖间的湖水矿化度和化学成分也有差异。又如,藏北有众多的盐湖和咸水湖的存在,不仅由于藏北气候的干旱,而且还与那里广泛分布有海相地层以及封闭的地形条件密切相关。由于海相地层中含有丰富的可溶性盐类,加上封闭的条件,使湖水中的盐类物质不断积累,加速了盐湖的形成和发展过程。

也有一些湖泊虽然处于同一气候条件下,但由于水文动态的差异,水化学性质很不相同。例如色林错流域周围几乎都是咸水湖或盐湖,但流域中串通有一系列的过水型湖泊。这类湖泊由于湖水不断交换的结果,都成为矿化度很低的淡水湖。如错鄂矿化度为 516 毫克/升,关如错为 413 毫克/升,怡规错 369 毫克/升,格仁错 261 毫克/升等。又如藏北北部的昂达尔错是一个湖底结有盐晶的卤水盐湖,但其东侧仅一堤相隔有一个小湖,湖面较昂达尔错高 1.5 米,湖水不断向昂达尔错排泄,从而大大限制了小湖的盐类积累,矿化度仅为 2.25 克/升,湖中鱼鸟成群,生机盎然。

西藏湖泊形状主要受制于地质构造,湖泊形状的不同,也会使水质有很大的差别。如狭长的班公错,湖体中有两处浅湾段,阻碍着湖内东西水体的充分交换,而湖水的主要补给来源是东侧,致使东段的湖水矿化度仅 0.7 克/升,属淡水,而西段则为 19.1 克/升,属咸水。

西藏湖区可分为藏东南外流湖区、藏南外流—内流湖区和藏

北内流湖区三大部分。

藏东南外流湖区的较大湖泊都是淡水湖。据 6 个有资料的湖泊统计,湖水矿化度的平均值为 132 毫克/升,其中最高的然乌错 320 毫克/升,最低的有冲错只有 57 毫克/升。

藏南外流—内流湖区主要是淡水湖和咸水湖,也有个别是盐湖。咸水湖的湖水矿化度大多不高,一般在 6 克/升以内。由于个别盐湖的存在,如错戳龙的矿化度高达 154.1 克/升,才使本区 16 个湖泊矿化度的平均值增大到 11.27 克/升。

藏北内流湖区湖泊的矿化度远远高于上述两个区,但在区内的南北间仍有较大的差别。南部湖泊中咸水湖所占比重很大,如著名的纳木错、色林错、扎日南木错、当惹雍错、昂拉仁错等大型湖泊都是咸水湖,但这些湖泊的矿化度比藏南区的咸水湖矿化度要高,一般都在 10 克/升以上。除咸水湖外,盐湖的数量较少,较大的有班戈错、仓木错、扎布耶茶卡等。此外,还有少量的过水型的淡水湖泊,如色林错流域内的格仁错、关如错、错鄂等。北部是西藏境内最干旱的地区,也是湖水矿化度最高的地区。就 25 个湖泊的资料统计,湖水矿化度的平均值高达 132.5 克/升,其中 70% 以上是盐湖,其它是咸水湖,盐湖的湖水矿化度有的可以超过 302 克/升,例如昂达尔错、马尔盖茶卡、明彦错、雅根童错、玛尔果茶卡等,湖底一般都有很厚的化学沉淀。

总之,西藏湖泊湖水矿化度按高低排列次序为:藏北内流湖区北部>藏北湖区南部>藏南外流—内流湖区>藏东南外流湖区。即藏东南是淡水湖,藏南是淡水湖和矿化度较低的咸水湖,藏北南部多数是咸水湖,少数是盐湖或淡水湖,藏北北部多数是盐湖,少数是咸水湖。

二、盐湖

盐湖的标准与一般湖泊有所不同,凡湖水矿化度大于 50 克/升的湖泊称为盐湖。青藏高原上的盐湖星罗棋布,是高原自然景观的重要特色之一。据初步统计,高原有盐湖 300 多个,成盐面积 50000 多平方公里,是世界上海拔最高、数量最多、资源最丰富的盐湖区之一。盐湖主要分布在冈底斯山—念青唐古拉山以北的羌塘高原和昆仑山—唐古拉山以北的柴达木盆地。迄今为止,已发现 40 多种盐类矿物,其中主要有石盐、芒硝、水菱镁矿、钾盐和硼酸盐矿物等,这些都是具有工业开采价值的盐类矿产资源。

根据重碳酸钠假定盐含量,按库尔纳科夫变态系数进行的成因类型水化学分区,盐湖的分布有着明显的带性规律。水化学分带总的趋势是:藏北高原南部为碳酸盐型的盐湖分布区,往北是硫酸钠亚型的盐湖分布区,再往北侧是硫酸镁亚型盐湖分布区。这种水化学类型的分布特点,反映了盐湖卤水演化的一般规律,也与青藏高原由南向北逐渐变干旱的气候是一致的。

据研究,青藏高原盐湖的成盐期主要有两个:第一个成盐期是在上新世—早更新世(距今约 200 万年至 70 万年前),这次成盐期仅限于柴达木盆地;第二个成盐期在晚更新世—全新世(距今约 12 万年至 1 万年前)。这次成盐期遍及柴达木盆地和藏北高原,也是盐湖中钾、硼、锂等元素的重要成矿期。

柴达木盆地共有 41 个湖泊,其中盐湖就有 27 个,干盐湖 6 个。干盐湖(干涸的盐湖)在盆地内极为发育,其盐类沉积面积已达 3 万多平方公里,约占盆地总面积的 25%。盐类沉积厚度有 50—60 米,盐类晶体的孔隙中赋存着极为丰富的晶间卤水,其化学类型以硫酸盐型和硫酸镁亚型为主,其次是氯化物型盐湖,而硫酸钠亚型的盐湖很少,没有碳酸型盐湖。

察尔汗钾镁盐湖,属现代内陆盐湖矿床。其边缘分布有达布逊、南霍布逊、北霍布逊、涩聂湖和近年新生成的盐湖——西达布逊湖等 11 个盐湖。它是一个固液相并存的钾镁盐—石盐矿床。达布逊湖现代光卤石沉积是世界内陆现代盐湖成钾的典型。距今 2.5 万至 8 万年前左右,察尔汗地区气候干燥而且严寒,其间有时有相对温和及湿润的气候,距今约 2.5 万年时开始沉积大量的石盐和石膏,距今约 2 千至 1.5 万年间沉积石盐和含有盐粉的砂粘土层,石盐层成盐的结束时间大约在距今 9000 年时。

茶卡石盐湖是固液相并存的石盐矿床。石盐矿体呈层状,产于第四系全新统的上部,直接出露地表。矿体长 15.8 公里,宽 9.2 公里,面积 105 平方公里。湖上部的石盐质纯,向下则含有石膏、芒硝、淤泥等杂质。矿层平均厚约 4.9 米。据西宁府志记载,自清乾隆二十八年时,茶卡盐地已经产盐,迄今已有 300 多年的历史。

在藏北盐湖中,班戈错是久负盛名、举世皆知的硼酸盐盐湖。早在 6 世纪就已开始利用硼砂,直到 1562 年才从西藏传到欧洲,成为世界上最早开发和利用硼砂的著名产地。上世纪 50 年代曾建有化工厂,大规模地开采硼砂,产品为精制硼砂,销往国内外。

班戈错地处色林错盆地的边缘,由三个湖组成:一个湖为卤水湖;一个湖是干盐湖,局部已被风沙覆盖,变成沙下湖;一个是半干涸盐湖,其西部已形成大面积的芒硝沉积。在班戈错盐湖矿床中,除硼砂外,还有芒硝沉积,有芒硝和菱镁矿,都具有工业利用价值。晶间卤水中还富含锂、镁、钾等,可供综合利用。

扎仓茶卡锂盐湖是以锂、硼为主的综合性盐湖矿床,它也由三个湖组成,自东向西可分别取名为 I、II、III 湖,其中 I 湖和 III 湖表面卤水很少,经常处于半干涸状态,II 湖有湖表卤水,水深约 1.2 米左右。

第三节 地下水水质

上文已述及,青藏高原地下水受地质构造、冻土及地貌单元的影响,地下水包括出露的泉水(也包括温泉),水质差异很大。

总的来说,高原的裂隙水的矿化度较低,一般小于 200 毫克/升。冲积、洪积层潜水的矿化度较高,一般在 300—500 毫克/升,个别也可超过 1000 毫克/升。温泉水的矿化度最高,通常在 1000 毫克/升以上。

外流区的地下水的水质较好,矿化度通常在 200 毫克/升以下。

内流区的山地部分,水质仍然较好。例如从青海南部山地至藏北高原西大滩一线,地下水的矿化度除个别测点外,均小于 800 毫克/升,且绝大多数小于 400 毫克/升。矿化度变化也有一定的规律性,大致以西大滩为中心向南向北递增。西大滩谷地的矿化度为 200 毫克/升左右,向南矿化度多为 600 毫克/升,个别测点的矿化度可达 1042 毫克/升、2653 毫克/升。向北矿化度递增为 400—700 毫克/升。地下水的矿化度向南向北递增的原因是:西大滩向南为青藏高原多年冻土区,地下水补给条件差,地下径流滞缓引起离子聚积而成,而且与地层的含盐有关。西大滩向北矿化度增高,是因为地下水从补给区(西大滩)出发,在向北运移过程中化学成分不断聚集所致。由西大滩向北地下水的矿化度虽然有所增高,但地下水仍属低矿化的化学类型。这充分反映了东昆仑山区由于地形高差大,切割强烈,地下水循环快的特点。

地下水矿化度的增高主要取决于氯离子、硫酸根离子的增加。凡是矿化度增加的地段,地下水中氯离子、钠离子含量的比例增

高,相反,重碳酸离子、钙离子的比例下降。

格尔木至西大滩范围内,基岩构造裂隙水的化学成分与地层岩性、地形以及地下水的径流条件有关。分布于昆仑河沿岸的灰岩、大理岩裂隙水的化学类型为重碳酸氯化物钙镁钠型水,西大滩的西北侧是花岗岩分布区,所以在泉水的化学成分中,钾、钠离子的含量相对增加,但在水泥厂附近泉水的化学类型为氯化物重碳酸钠镁水,矿化度达到 700 毫克/升,可能与隐伏的火成岩体有关。

总之,在内流的山地地带,以格尔木至西大滩为例,地下水包括泉水在内的水化学的情况是:矿化度分于 200—500 毫克/升,化学类型多数为重碳酸盐钙、钠、镁水,部分为重碳酸盐氯化物水,在阳离子中仍以钠、镁、钙为主。从水质上看都符合生活和农田作物用水的标准。

在藏西的部分流域,迄今还没有地下水水质的资料,但是地表的河流如森格藏布、郎钦藏布、马甲藏布和喀尔藏布等河流,大都以地下水作为径流的主要补给来源,其补给量要占年总径流量的 50% 以上。因此,河流的水化学情况实际上也大体是地下水的化学情况。根据已有资料,藏西内流河如昂卖曲,矿化度可达 683 毫克/升。藏北的内流区中,如扎和藏布也可达到 613 毫克/升。显然比以融水补给和雨水补给为主的河流矿化度为高。

青海省绝大部分地区的地下水水质良好,pH 值在 9.0—8.5 之间,矿化度小于 1000 毫克/升,适宜于饮用、灌溉及工业用水。地下水的水质具有明显的地带性规律。在山丘和山前洪积冲积扇地带,地下水在径流过程中以溶滤作用为主,水质一般较好。但随着高程的降低,进入细土平原后,地下水的埋深向盆地的汇水中心逐步变小,盐化作用加强,水质也随之恶化,矿化度急剧升高,到盆地中心带则形成盐水或卤水。这种变化的典型地区就是柴达木盆地。在外流区的河谷平原地带,由于河水与地下水相互转化,地下

水水质主要受河水水质的影响。在河水受工业和城镇生活废污水污染的河段,则近河段的地下水水源较差,甚至不能饮用,如湟水西宁至民和段以及大通县桥头以下的北川河段。此外,因受地层岩性等因素的影响,局部地区地下水矿化度较高或含有有害元素,水质很差,不宜饮用,如湟水西川的马坊和北川的川口等地有含高氟的地下水,贵德曲乃亥和祁连峨堡有含汞的地下水,天峻苏里有含砷的地下水等。

第四节 冰川水质

关于冰川的水质,一般人们都认为是所有水体中最纯洁的水,不少厂家的所谓纯净水或矿泉水还用冰川的招牌。实际上我国的冰川都位于高山地区,直接以冰川的融水作为纯净水或矿泉水的可能性不大。

事实上,冰川的天然水质也受环境的影响,但是实测的资料比较少,这里主要以喀喇昆仑山—昆仑山为主作一简要的阐述。

喀喇昆仑山—昆仑山的冰川水的 pH 值在 6.56—8.20 间,多属于碱性介质,比其他冰川区水的 pH 值要高些。例如,新疆的阿尔泰山喀纳斯冰川 pH 值仅为 6.6—6.74。这反映了本区干旱的半荒漠和荒漠地带的环境对冰川水质的影响。

然而,喀喇昆仑山—昆仑山各类地表水体中,通常湖水 pH 值大于河水,河水大于冰川水,冰川水大于粒雪。如昆仑山南坡的郭扎冰川流域,郭扎错湖水 pH 值为 8.94—9.18,甜水河 pH7.8—8.49,郭扎冰川 pH7.01—7.11,粒雪 pH6.6—7.0。

喜马拉雅山的野博康加勒冰川的 pH 值为 7.82—8.68,而南迦巴瓦冰川则要低得多,只有 5.83—6.26。横断山脉的玉龙冰川

pH 值也较高,为 6.15—7.93,而贡嘎冰川为 6.63—7.71,祁连山的敦德冰川也仅 7.7 左右。

冰川水的矿化度是评价冰川水质最重要的指标。同 pH 值一样,与我国其他冰川区相比,青藏高原冰川的矿化度也比其他冰川区要高。喀喇昆仑山—昆仑山冰川水的矿化度变化在 24.18—402.19 毫克/升之间,其中郭扎冰川水取样于接近于雪线处的冰川水,矿化度最低,只有 24.18—35.17 毫克/升,而特拉木坎力冰川水最高,为 393.95—402.15 毫克/升,该水样采集于冰舌末端冰床处的冰川水。本区其他冰川水的矿化度介于上述二者之间。由此可见,冰川水矿化度的大小是与冰样所在部位有关,同时也与冰样地区的环境有关。喀喇昆仑山—昆仑山地区深居亚洲大陆腹部,属于半荒漠和荒漠地区,这一特殊的环境使得冰川水的矿化度要比其他冰川区为高。例如喜马拉雅山脉绒布冰川矿化度只有 81.98—155.30 毫克/升;南迦巴瓦冰川区低,仅 21.70—39.36 毫克/升。若与青藏高原以外的如天山、阿尔泰山相比,更显得矿化度偏高。例如,阿尔泰山的哈纳斯冰川为 9.49—12.59 毫克/升;天山乌鲁木齐 1 号冰川也只有 14.44—23.13 毫克/升。

喀喇昆仑山—昆仑山冰川水的化学类型比较多样。喀喇昆仑山的新雪和昆仑山的新雪、粒雪的水化学元素类型为碳酸钙型,而喀喇昆仑山主脊北坡的粒雪则为硫酸钠型。冰川冰的水化学类型为碳酸钙型和重碳酸(硫酸)钙(镁)型。整个喀喇昆仑山—昆仑山冰川水体的水化学的分布规律是:

(1)随海拔高程的变化而变化。冰川各类水体的 pH 值、矿化度和各离子含量存在着随海拔高度的降低有增大的趋势。这是因为冰川发育形成后,在冰的塑性和重力的作用下,沿着山坡凹处缓慢向下流动。在此过程中不仅接受了来自大气降水及周围岩石风化的元素,还逐渐地接受了沿途大气及冰内和冰床上的大量元素。

因此,随着海拔高度的降低,冰川水中所含化学元素自然会有增大的趋势。

(2)各流域之间存在着一定的差异。由于喀喇昆仑山—昆仑山各地区所在的位置、海拔高度、干旱程度、岩石组成以及冰川规模等的不同,所形成的环境也有一定的差异,因此在各流域冰川水的 pH 值、矿化度和化学类型也都有一定的差异。

(3)冰川各类水体的水化学在地区分布上的特点:pH 值、矿化度以及离子含量由南向北,由东向西,由边缘向青藏高原内部增大的趋势,这与环境的干旱程度的变化是一致的。

最后,还要讨论冰雪水中的微量重金属元素。喀喇昆仑山—昆仑山冰川水中除了钾、钠、钙、镁等常见的金属元素外,铜、锌、锰、铝等也是常见的微量重金属元素。

众所周知,像钠、铜、锌、硒、钒、铝、锰、碘、氟等是人体所必需的元素,但如果过剩,则对新陈代谢产生复杂的抑制作用。此外,汞、铅、砷、镍等元素则对人体的健康不利。

喀喇昆仑山—昆仑山冰川取样中,像量重金属元素在各个流域实测的结果是:铜 0.07—0.06 毫克/升,锌 0.005—0.06 毫克/升,锰 0.003—0.015 毫克/升,铁 0.01—0.1 毫克/升,铬 0.009—0.012 毫克/升,镍为 0.001—0.019 毫克/升,钒在 0.014—0.02 毫克/升之间变化。其中铅和砷均远低于国家规定的标准(0.005 毫克/升以下),结论是属于优质的固体淡水,是不受城市和农村污染影响的最好的生活饮用水。与阿尔泰山的冰川水和祁连山的敦德冰川水一样,同属对人类健康有益的优质水源。而且喀喇昆仑山—昆仑山冰川比祁连山敦德冰川的水还纯净,更有益于人体的健康。

青藏高原人称世界“第三极”,人烟稀少,无论是地表水(包括河流、湖泊、冰川等),还是地下水的水质受人类活动影响都很少,

因此各种水体受污染而不能利用的情况极为少见。从总体上看,除盐湖和咸水湖外,青藏高原自然水体的绝大部分是洁净的,水质适宜于饮用和各种用途。

第七章 水力资源

第一节 河流水力资源

一、河流的能量

以位能(或称势能)和动能等形式存在于水体中的能量资源称为水力资源。水力资源是一种可再生资源。在自然状态下的河流水力资源的能量消耗于克服水流阻力、冲刷河床、输送推移质与悬移质泥沙或其他漂浮物等。河流流动水体中的几种能量是可以转化的。采取一定工程技术措施后,水能可转变为机械能或电能,为人类生产、生活提供动力或电能。

二、河流水力资源理论蕴藏量计算方法

一条河流构成水力资源要素,一是河水流量(每秒时间内通过某一河床断面的河水数量,单位为立方米/秒),一是河流落差(即河床高度差)。河流的流量大小与其流域面积和流域内降水大小以及其他自然条件有关,而河流的落差与地质、地形状况有关。一

个地区水力资源理论蕴藏量包括大中小河流的河道能量,但不包括坡面水流和细小水流能量。

不论是大中小河流的水力资源蕴藏量,都一律采用分段列表计算方法。可根据河流大小和支流分布情况,将河流分成若干河段,分段进行计算,尔后把各段计算结果进行相加,求出全河流的水力资源量。

河段水力资源潜在的蕴藏量的基本计算公式:

$$N = 9.81 \frac{Q_1 + Q_2}{2} H$$

式中, N ——计算河段水力资源量,单位为千瓦;

Q_1 ——计算河段上断面的多年平均流量,单位为立方米/秒;

Q_2 ——计算河段下断面的多年平均流量,单位为立方米/秒;

H ——计算河段的落差,单位为米;

9.81——为综合系数。

在河源段,一般 N 取:

$$\frac{1}{2} \times 9.81 \frac{Q_1 + Q_2}{2} H$$

河流的平均流量可用水文站实测流量,如缺乏实测资料,可用有关水文计算方法求得。河流落差数据可用不同比例尺地形图求得,比例尺越大,则计算精度越高,反之亦然。

三、可开发水力资源

河流水力资源可开发量与河流的地形条件、水文条件、工程地质条件、技术经济条件有密切关系。它是根据通过水力资源实际勘测提出的可供开发利用水力地址,根据技术、经济条件可供利用

的水位落差和河水流量而计算出水力资源量。对一般河流来说,水力资源可开发量要比其蕴藏量小,但也有的河流相反,其水力资源可开发量比水力资源蕴藏量大。这主要取决于河流上可供开发水力地址的地形、地质条件。

第二节 水力资源特点

青藏高原平均海拔高程 4000 米以上,面积达 250 万平方公里,是世界上最高最大的高原。青藏高原构成我国三阶地形的第一阶。它不仅成为我国大江大河如长江、黄河的发源地,也是亚洲众多国际河流如澜沧江(湄公河)、怒江(伊洛瓦底江)、雅鲁藏布江(布拉马普特拉河)、恒河以及其他河流的发源地。由于这些河流从高原流向四周海拔较低的地区,因此,河流坡度陡、落差大,加上河流流域面积大,高原边缘地区降水丰沛,河水流量不仅为我国提供了丰富的水力资源,也蕴藏着丰富的水力资源(表 7—1)。青藏高原地区水力资源具有明显特点。

表 7—1 青藏高原地区主要河流的特征值

河 名	青藏高原边缘 河道出口地点	流域面积 (平方公里)	河道长 (公里)	落差 (米)	河道平均 比降(%)	出口处平均流量 (立方米/秒)	出口处多年平均水 资源量(亿 m ³)
金沙江	洪门口	235926	2366	4001	1.69	1710	526.27
雅鲁江	锦屏(II)	9670	1341	3522	2.63	1240	319.05
岷江	灌县	22950	340	3009	8.85	502	158.31
大渡河	石棉	65900	796	3325	4.18	1230	387.89
青衣江	雅安	8777	146	2256	15.45	393	133.94
黄河	积石峡	146708	1940	2900	1.49	672	211.92
澜沧江	托巴	84300	1178	3420	2.90	821	258.91
怒江	布西	105430	1499	4061	2.71	1487	468.94
雅鲁藏布江	巴昔卡	240480	2057	5435	2.64	4425	1395.47

注:按青藏高原地区范围根据全国第三次水力资源普查资料整理。

一、水力资源蕴藏量大

根据全国 1977—1980 年水力资源蕴藏量第三次普查资料和中国科学院地理研究所编制的《中国青藏高原自然地理图集》，据不完全统计，青藏高原地区具有 1 万千瓦以上水力资源蕴藏量的河流有 797 条，占全国的 52%，水力资源蕴藏总量达 33146.88 万千瓦，占全国 51%，可开发水力资源量 14833.88 万千瓦，占全国的 39%，发电量达 8110.81 亿千瓦时，占全国的 42%。可以看出该地区水力资源在全国占据非常重要的地位。

从河流流域看，雅鲁藏布江水力资源蕴藏量最大，为 11347.73 万千瓦，长江其次，为 9339.88 万千瓦，分别占高原地区水力资源蕴藏量的 34% 和 28%。澜沧江、黄河分别为 1566.66 万千瓦和 1565.39 万千瓦，各占高原地区的 5%，西藏其他各国际河流为 4602 万千瓦，占高原地区的 14%，内陆河流域为 1587.5 万千瓦，约占 5%。但可开发水力资源长江流域则最多，为 6875.35 万千瓦，其次是雅鲁藏布江为 4737.53 万千瓦，分别占高原地区可开发水力资源的 46% 和 32%，黄河、澜沧江分别为 1499.33 万千瓦和 722.63 万千瓦，分别占高原地区的 10% 和 5%（见表 7—2）。

从各省区看，西藏自治区水力资源蕴藏量最大，为 20055.93 万千瓦，其次是四川省，为 6996.11 万千瓦，分别占高原地区水力资源蕴藏量的 61% 和 21%。云南省、青海省、新疆维吾尔自治区和甘肃省分别为 2166.9 万千瓦、2153.66 万千瓦、1190.49 万千瓦和 583.79 万千瓦，分别占高原地区的 6%、6%、4% 和 2%。可开发水力资源中，西藏自治区和四川省分别为 5659.27 万千瓦和 4571.76 万千瓦，分别占高原地区的 38% 和 31%。云南、青海、新疆和甘肃分别为 2285.99 万千瓦、1799.08 万千瓦、262.69 万千瓦和 255.09 万千瓦，分别占高原地区的 15%、12% 和 2%（见表 7—3）。

表 7-2 青藏高原地区大于 1 万千瓦河流水力资源(按河流水系分)

单位:万千瓦,亿千瓦时

河流水系	干流				支流				合计	
	河流水力资源		可能开发水力资源		河流水力资源		可能开发水力资源		可能开发水力资源	
	条数	蕴藏量	电站座数	装机容量	发电量	条数	蕴藏量	电站座数	装机容量	发电量
长江	1	2261.88	19	2611.26	1267.81	230	7078.0	292	4264.09	2490.30
黄河	1	1167.120	19+1/2	1425.22	572.93	52	398.19	65+1/2	74.11	37.30
澜沧江	1	1185.37	15	668.41	361.79	60	381.29	16	54.22	27.94
怒江	1	2376.97	1	300.0	175.0	40	702.05			
伊洛瓦底江	1					2	58.70			
雅鲁藏布江	1	7911.60	12	4638.6	2765.04	134	3436.13	44	98.83	50.24
西藏其他 国际河流						119	4602.0	11+1/2	288.70	149.05
内陆河						155	1387.50	141	410.30	212.98
合计	14902.84	66+1/2	9643.49	5142.57		792	18243.86	569+2/2	5190.39	2968.24
全国										
占全国比例 (%)										
									51	
									39	42

注:根据全国第三次水力资源普查资料整理。

表 7-3 青藏高原地区大于 1 万千瓦河流水力资源 (按省区分)

单位:万千瓦,亿千瓦时

河流水系	干 流				支 流				合 计		
	河流水力资源 条数	蕴藏量	可能开发水力资源 装机容量	发电量	河流水力资源 条数	蕴藏量	可能开发水力资源 装机容量	发电量	河流水力资源 条数	蕴藏量	可能开发水力资源 装机容量
	条数	蕴藏量	装机容量	发电量	条数	蕴藏量	装机容量	发电量	条数	蕴藏量	装机容量
青海	3	1474.03	35+4/2	1617.27	678.24	3039.74	17.99	41.76	1102.60	32	222.42
西藏	4	10863.97	14+5/2	5253.60	461.86	250.0	1102.60	32	222.42	32	222.42
甘肃	1	82.30	1/2	41.76	17.99	41.76	17.99	41.76	17.99	41.76	17.99
四川	1	538.24	8/2	461.86	250.0	1102.60	32	222.42	32	222.42	32
云南	3	1944.48	8+1/2	2269.0	1102.60	32	222.42	32	222.42	32	222.42
新疆											
合计	12		57+19/2	9643.49	5142.57	792	18243.86	6568+4/2	5190.39	2968.24	804
全国											
占全国比例 (%)											

注:根据全国第三次水力资源普查资料整理

二、水力资源在地区上分布不平衡

青藏高原由于受地形和大气环流影响,其降水由东南向西北递减,高原的广大腹地降水稀少,而且地形较平坦,河流不发育,形成很多内陆河、时令河,缺乏水力资源形成条件。而高原边缘地区地形高差大,降水丰沛,河流发育,河流水量大,河床坡度陡,落差大,水力资源蕴藏量极其丰富。因此造成水力资源蕴藏量在地区上分布极不均匀。

水力资源地区分布基本格局是东部、南部和东南部地区丰富,而西部、北部、东北部地区贫乏。青藏高原外流区河流流域面积约110万平方公里,水力资源量达31289.38万千瓦,每平方公里的水力资源蕴藏量约387千瓦,而西藏、青海内陆河地区面积达98.61万平方公里,水力资源蕴藏量仅189.23万千瓦,平均每平方公里不到2千瓦。此外,就是在同一个河流流域,水力资源分布也不均匀,一般在高原边缘河段,河床切割深,河床坡度陡,河流水量大,水力资源最为丰富;而上游河段多发源于高原地形较平坦地区,且降水量较少,所以水力资源蕴藏量也较小。

三、水力资源开发条件好

青藏高原地区不仅蕴藏有极其丰富的水力资源,而且具有优越的开发利用条件。

1. 河川径流变化小

发源于青藏高原地区的河流,其径流由冰雪融水、地下水和雨水补给,河川径流年际年内变化较小(详见第四章),均小于我国东部地区河流。比较稳定的河川径流补给,有利于水力发电站运行,它在无需得到很大发电水库调节能力的情况下,可以获得较大的保证出力和稳定发电量,提高了水电站的经济效益。也可以使电

网中减少火电的配套装机容量,改善了电网运行特性。

2. 地形条件优越

青藏高原地区河流在高原面上多形成宽窄相间的河道,而在流经高原边缘地区时,河流切割深,河道坡度大,河谷狭窄,多形成“U”型河谷,而且河流落差比较集中。这些地形条件,可提供大量优越水力发电坝址,有利于水力资源开发。

(1) 可开发大、中型水力发电坝址多,小型电站地址星罗棋布

青藏高原地区河流具有大量可供开发的大中型水力发电坝址。据全国水力资源普查结果,该地区大型水力发电(>25万千瓦)坝址有73个,可装机12098万千瓦,年发电量6843亿千瓦时,其中大于200万千瓦的特大型电站10个,可装机6890万千瓦,年发电量3999亿千瓦时。虽然可开发大型电站数仅占该地区可开发总数的11%,但其可装机容量和年发电量却分别占总量的82%和84%。青藏高原地区可开发的大型电站数在全国占有重要地位。可开发大型电站数量、装机容量和年发电量,分别占全国可开发大型电站的37%、43%和47%(详见表7—4)。

表 7—4 青藏高原地区大于 25 万千瓦的可能开发水电站

河流水系	水电站数量(个)	装机容量(万千瓦)	发电量(亿千瓦时)
长江	41	5454.35	3001.91
黄河	12	1239.48	486.27
澜沧江	6	602.0	330.8
怒江	1	300.0	175
雅鲁藏布江	9	4611.8	2748.9
西藏其他国际河流	4	191.0	100.10
合计	73	12098.36	6842.98
全国	194+1/2	28175.14	1453.67
占全国比例(%)	37	43	47

(2) 河流落差集中,有利进行梯级开发

青藏高原河流在流经高原边缘地区时,河流落差大,而且有的河段落差集中,形成很多可开发水力坝址。一般河流落差多在2000—5000米之间,河道平均比降多在1.5—5‰之间,青衣江高达15.45‰,岷江灌县以上河段达8.85‰。又如大渡河,河长仅796公里,落差达3325米,平均比降达4.18‰,可开发大型水电站12座,总装机容量达1440万千瓦,年发电量780.2亿千瓦时。黄河上游门堂—公伯峡河段,可开发大型水电站12座,装机容量1239万千瓦,年发电量486亿千瓦时。雅砻江的仁青岭—锦屏二级,可开发大型电站10座,装机容量1490万千瓦,年发电量867亿千瓦时。金沙江的德曲口—洪门口河段,可开发大型电站11座,总装机容量2199万千瓦,年发电量1216亿千瓦时,均超过或接近我国最大的三峡水电站装机容量。

这些河流进行梯级电站开发,将可建成巨大的水力发电基地,为我国西电东送提供强大的电能。

(3) 有利于大型引水式电站建设

青藏高原地区有的河流,在流经高原边缘地区时,由于受到地质构造和地形的影响,多形成大拐弯河段,在不太长的河段内形成了巨大的集中落差,为引水式电站建设提供了良好条件。如雅鲁藏布下游大拐弯河段,从派至墨脱,河道长仅280公里左右,落差达2190米。若在派至峡谷进口处之间建坝,壅水高70米,正常蓄水量位为2950米,可获有效库容75亿立方米,进口处多年平均流量1890立方米/秒,经水库调节后,最大引用流量2170立方米/秒。采取截弯取直,在坝上游打一隧洞长38公里,引水至下游墨脱建厂发电,电站可装机3800万千瓦,年发电量2285亿千瓦时,保证出力1678万千瓦,这是世界上独一无二的超大型电站。

在雅砻江的洼里(锦屏 I 级理塘河汇入口)至巴折间,形成了大拐弯河段,河道长仅 150 公里,截弯取直洞长 18 公里,获天然落差达 310—320 米,坝址控制流域面积 96700 平方公里,多年平均流量 1240 立方米/秒。可在洼里建锦屏 I 级坝后式电站,坝高 300 米,正常蓄水位 1900 米,总库容 100 亿立方米,装机容量 300 万千瓦,年发电量 182—206 亿千瓦时。而后开挖两条隧洞,引水至锦屏 II 级电站,装机容量也是 300 万千瓦,年发电量 206—232 亿千瓦时。

在金沙江上有一个大拐弯河段,即在金沙江的石鼓至五郎河汇口处,号称“长江第一弯”,著名的虎跳峡就处其中,在 17 公里长峡区内,集中了 210 多米落差,是金沙江干流落差最集中的河段。在峡区有良好的坝址和库址,可建高坝大库,调节径流。该电站有多个开发比选方案,有上峡口高坝截弯取直引水发电方案,有高坝沿江引水混合开发方案。若按后一种开发方案,正常蓄水位 1950 米,总库容 176 亿立方米,兴利库容 106 亿立方米,装机容量 528 万千瓦,保证出力 276 万千瓦,年发电量 304 亿千瓦时。虎跳峡高坝开发方案所形成的巨大水库,对其下游梯级电站将会起到很好的调节作用,增加了大量的保证出力。

四、水电站的水库淹没土地少

青藏高原地区地广人稀,耕地也不多,因此河流水力资源开发所带来的淹没损失少,也造成移民搬迁等的社会问题少,耕地损失少。据第三次水力资源普查资料,装机容量大于 25 万千瓦以上的 9 座水电站中,其平均万千瓦装机容量仅淹没耕地 103 亩,迁移人口 40.6 人,每亿立方米库容仅淹没耕地 319 亩,移民 125 人。远比我国其他地区损失为低。据福建、浙江两省已建和规划的 53 座水库资料统计,每亿立方米库容要淹没耕地 2350 亩,称民 2404

人,几乎分别是青藏高原地区的 7.4 倍和 19.2 倍。

青藏高原地区水力资源开发利用虽然具有不少优越条件,但因河谷深切,不少河谷地形狭窄,施工场地狭小,高山峡谷地区交通不便,给施工带来很大困难。青藏高原边缘地区多为地震强震区,地质构造复杂,工程地质条件也是水力资源开发中引起普遍关注的问题。该地区虽然水力资源丰富,但远离负荷中心,输电距离远,工程难度大,增加了水力资源开发投资。随着我国经济发展和科学技术进步,上述这些不利因素将会逐步得到克服。

第三节 水力资源开发利用

一、水力资源开发利用的意义与作用

水力资源是一种洁净的可再生能源,具有一次性投资大,但生产成本低,经济效益高,运行安全性能好,调度容易,可担负电网调峰、调频任务等多种特点。青藏高原地区水力资源的开发利用不仅会对当地及对全国的社会经济可持续发展产生巨大作用,对改善当地乃至我国东部地区生态环境状况也将带来积极影响。

1. 改善我国电力布局及电力生产与消费结构

我国能源资源(包括煤炭、石油、天然气和水力等资源)的地理分布与生产布局存在严重错位现象。各种能源资源蕴藏量间比例也极不协调。我国中东部地区人口多,经济发达,经济总量占全国比重大,但能源资源蕴藏少,尤其是煤炭资源、水力资源和油气资源蕴藏少,这些资源多蕴藏在包括青藏高原在内的西部广大地区。中东部就成为能源严重短缺地区。在能源生产和消费中,煤炭占很大比重。1998 年全国能源生产总量中,煤炭占了 72.0%,原油占 18.5%,天然气仅占 2.4%,水电也只占 7.1%。相应能源消

费总量中,煤炭占 71.6%,原油占 19.8%,水电与天然气分别仅占 6.5%和 2.1%。由此可以看出,为了保证我国本世纪经济可持续发展,除继续实施西气东送、西油东送、北煤南运外,应加大力度开发包括青藏高原在内的西部丰富的水力资源,实现西电东送的宏伟目标,为中东部地区提供强大电力,为改善我国电力生产布局及电力生产与消费结构作出贡献。

2. 促进地方社会经济的发展

水力资源特别是中小水力资源的开发,对地方,尤其是少数民族地区社会经济发展起到驱动作用。青藏高原具有地广人稀或山高谷深交通闭塞的特点,当地多缺乏煤炭、石油等矿物能源。煤炭等运输成本极高,价格昂贵。水力资源是当地最具优势的能源资源之一。水力资源的开发利用可为当地提供充足的动力来源,有了电力就能发展地方小型工业,如农产品加工、小矿产资源开发,甚至电讯、电视、广播都可得到发展。而且有了电力照明,可以改善当地居民的文化教育条件,提高生活质量。总之,电力能使当地居民从原始生活状态中解放出来,面向现代文明社会,对社会进步将起重大推动作用。

3. 有利于改善生态环境

青藏高原地区由于严重缺少生产、生活用的矿物能源,所以长期以来就严重依赖生物质能源,人们的炊事、照明等消耗了大量的木材、作物秸秆和畜粪。如西藏,仅一江两河广大农村地区(包括雅鲁藏布江中游、拉萨河、年楚河流域),年消耗生物质能 50 万吨左右,可折合标准煤 30 多万吨,占能源总消耗量的 97%,而油、电等能源消耗仅占 3%。在昌都地区,每年民用炊事、取暖消耗木材近 90 万立方米,占每年木材消耗总量的 63%,相当每年砍伐掉 9 万亩的成熟森林。木材、薪材、畜粪等生物能的大量消耗,导致有机肥料减少,耕地地力下降,植物破坏,水土流失,给生态环境带来

巨大压力。因此大力开发当地水力资源,不但可以为生产提供电力,而且可以发展“以电代柴”,解决居民的炊事、取暖所需能源问题,减少或停止对生态环境的破坏。

表 7-5 青藏高原地区解放前建设的小型水电站

省 区	电站名称	建设地点	所在河系	装机 (千瓦)	机组 (千瓦)	开发方式	设计水头 (米)	开工日期	第一台机组 发电日期	竣工日期	备 注
四川省	隆西河	雅安县	隆西河	150	1×50 1×100	引水式	10.0	1942	1946		1944年损坏,解放后修复
	康定	康定县	瓦斯沟	500	1×500	引水式	108	1943冬	1944.12	1947年底	
西藏	夺底	拉萨市	夺底沟	92	1×92	坝后式		1927	1928	1928	1960年据除改建
青海	北山寺	西宁市	北川河	198	1×38 1×160	引水式		1944.6	1945.12	1948.10	

资料来源:《1949—1983 中国水力发电年鉴》,水力发电杂志社,1984,朱成章:《旧中国的水电建设》。

二、解放前水力资源的开发利用

青藏高原地区虽然蕴藏着极其丰富的水力资源,但由于各种原因,水力资源开发利用程度很低。

新中国建立以前,当地水力资源利用处于极原始状态,主要是直接用于水力磨米、榨油、车水等,仅在西藏、青海和四川西部地区建有 4 座小型水电站(见表 7—5)。据朱成章介绍,西藏拉萨市郊的夺底沟水电站,是我国兴建较早的一个水电站,比我国 1912 年建成的第一座水电站晚 16 年。1913 年十三世达赖派人去英国学习发电技术,1923 年在印度订购一台 125 马力的水轮机,运回西藏,1928 年建成发电。由于设备质量差,管理不善,1944 年停止发电。解放前几十的时间里,由于高原地区社会经济极端落后,水力资源开发利用也处于停滞不前的状况。

三、解放后五十年水力资源开发利用成就

新中国成立后,随着高原地区社会经济的发展,促进了水力资源不断得到开发利用。除当地对小型水力资源开发外,我国把黄河上游河段水力资源作为能源基地进行重点开发,先后建成龙羊峡(150 万千瓦)、李家峡(150 万千瓦)和拉西瓦(300 万千瓦)大型水电站,加上高原以外河段最先建成的刘家峡、盐锅峡、八盘峡等水电站,构成了西北地区最大的水力发电基地,为西北地区提供了大量的电力,保证了西北地区经济发展对电力的需求。

此外,在四川西部的青藏高原地区,也先后在岷江上游的青衣江建成了映秀水电站(装机 13.5 万千瓦,年发电量 7 亿千瓦时)、渔子溪 I 级(装机 16 万千瓦,年发电量 9.6 亿千瓦时)、渔子溪 II 级(装机 16 万千瓦,年发电量 8.9 亿千瓦时),以及雅砻江上磨房沟 II 级水电站(装机容量 3.75 万千瓦,年发电量 2.3 亿千瓦时)。西藏自治区 90 年代已在羊卓雍湖建成抽水蓄能电站(装机 9 万千瓦),对缓解拉萨市电力供求矛盾起到关键作用。

50 年来国家对青藏高原广大地区的小型微型水电建设也给予了高度重视和大力支持。据不完全统计,到 1995 年底,西藏自治区地(市)县级已建小型水电站(装机容量 >500 千瓦)71 座,总装机容量达 206190 千瓦。四川省的雅安市和阿坝、甘孜藏族自治州,已建装机容量大于 500 千瓦的小型水电站 75 座,总装机容量达 204650 千瓦。至 1999 年,西藏、青海、四川、云南等青藏高原地区乡村小水电有 1073 座,总装机容量达 175349 千瓦。其中西藏、青海两省乡村小水电年发电量分别达到 3155 万千瓦时和 4521 万千瓦时(表 7—6)。

表 7—6 青藏高原地区乡村小水电站发展现状(1999)

地区	小型水电站 座数(个)	装机容量 (千瓦)	发电量 (万千瓦时)	农村用电量 (万千瓦时)	备注
西藏	222	14000	2024	3155	中国农业年鉴 (2000)
青海	49	13000	4521	21400	中国农业年鉴 (2000)
四川	693	109178		38800	四川统计年鉴 (2000)
云南	109	39171	8072		云南统计年鉴 (1990)
合计	1073	175349			

注:四川省包括雅安市、阿坝、甘孜自治州;

云南省包括丽江、迪庆自治州,为 1998 年数字。

四、水力资源开发利用存在的问题

1. 开发利用程度低

青藏高原虽然蕴藏有极为丰富的水力资源,但由于地处边远地区,受交通等条件约束,现阶段开发利用难度大,已得到开发利用的水力资源数量有限,开发程度很低。可能开发的大型水电站数量很多,但目前只有黄河上游的龙羊峡、李家峡和拉西瓦水电站得到开发利用。已开发的大型水电站仅占可开发水电站总个数的 4%,其装机容量(600 万千瓦)仅占可开发大型水电站总装机容量的 6%。已开发的小型水电站总装机容量仅占可开发小型水电资源的 1% 左右,开发利用程度更低。至 1998 年,西藏、青海的水电装机容量分别为 24.85 万千瓦和 265.85 万千瓦,年发电量分别为 5.64 亿千瓦时和 67.25 亿千瓦时。其水电装机容量分别占可开

发水力资源总量的 0.4% 和 1.5%, 远低于全国 14.8% 开发程度的水平。

2. 电力供求矛盾突出

随着社会经济的发展, 青藏高原地区电力需求量日益增长, 但大中型水力资源开发具有一次性投资大、工程工期长等特点。而小水电多为引水式电站, 缺乏调节性能, 出力极不稳定。水力资源开发往往跟不上用电发展的需求, 很多地区出现电力供不应求的状况, 严重影响当地工业、农业的发展, 也影响居民生活用电供应。尤其在矿物燃料严重缺乏的西藏地区尤为突出。拉萨市是西藏政治、经济、文化中心, 因当地缺乏石油和煤炭, 燃油火电厂 1.6 万千瓦装机容量用油是通过青藏长距离输油管输送, 年用油量达 4500 吨, 发电机组利用小时仅 700 小时左右, 发电成本高达 0.63 元/千瓦时, 高于其它大电厂发电成本数倍。水电站在河流枯季时, 水量锐减, 发电量减少。一些工矿企业因缺电不能维持正常生产, 城镇居民和农村用电也受到很大影响。西藏昌都地区现在仅有两座水电站, 装机 11200 千瓦(昌都电站 8000 千瓦, 沙贡电站 3200 千瓦), 而 1999 年最大负荷达 20396 千瓦, 昌都电网内电力缺口达 1.12 万千瓦。因严重缺电, 制约了当地社会经济发展。至 1999 年, 西藏自治区乡、村两级的通电率为 32.31% 和 20.63%, 户通电率为 31%, 分别仅及全国平均值的 32.9%、21.1% 和 31.8%。人均电力装机容量、人均用电量和人均生活用电量仅及全国平均值的 54.9% 和 12.4% 和 8.6%, 处于全国最低水平。

3. 水力资源开发前期工作薄弱

青藏高原地区由于地域辽阔, 地形地质条件复杂, 资金不足, 水力资源开发前期工作基础非常薄弱。主要表现在: (1) 河流水文测站稀少, 缺乏水电站规划设计所需可靠水文资料; (2) 大部分中小河流缺少必要的规划工作, 导致一些河流水电站布局的不合理,

带来建设资金的浪费;(3)工程地质勘探工作差,对水电站开发地址前期论证工作十分薄弱。

4. 地质灾害和其他灾害多,水电站损坏严重

青藏高原地区是地质灾害多发区,有不少水电站因雨季塌方等造成引水渠道破坏,甚至电站被毁,有的是引水渠道被大量泥沙淤积,无法引水,导致水电站停止运行,在冬季因气温低,引水渠结冰,也严重影响水电站正常运行。

5. 缺乏人才,管理不善

青藏高原地区技术人才严重短缺,有的水电站甚至缺少经过系统技术培训的工程技术人员,职工文化素质不高,水电站管理经验不足,维修能力差,致使电站运行寿命短,发电质量差,成本高,加剧了电力供求矛盾。

第四节 加速水力资源开发利用的途径与措施

国家正实施西部大开发和西电东送战略,为青藏高原地区水力资源开发带来了大好的发展机遇。为此,必须探讨相应的水力资源开发的策略、途径,制定措施。

一、水力资源开发总体布局

青藏高原地区水力资源开发不仅对促进当地社会经济发展,繁荣民族地区经济具有重要意义,而且对全国经济可持续发展具有更重要的作用。高原地区水力资源开发,一是满足当地经济发展对电力的需求,二是通过实施西电东送战略向我国中东部地区输送大量电力,以确保我国本世纪经济发展对电力的需求,三是改

善生态环境压力。水力资源开发利用的以上三个方面成为制定青藏地区水力资源开发规划的总体目标。黄河上游金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江等干流上、中游河段大型水力资源开发,将分别建成重要电力基地,担负西电东送的主要任务。而广大高原地区的中小河水力资源开发将为当地经济发展提供丰富的电力,满足当地电力需求。雅鲁藏布江干流虽然有丰富的水力资源,但因西藏在今后一段时期内经济发展规模有限,对大型水电开发尚不可能提出迫切要求,今后主要是加大其各主要支流水力资源开发利用,以满足经济发展对电力的需求。

二、积极进行河流干流水力资源的梯级开发

青藏高原地区大江大河的干流具有大量优越的大型水力资源开发地址,对进行水力资源的梯级开发十分有利。梯级开发具有施工效率高、投资省、资金容易筹措、输变电工程量小、电站调节性能好、投资效益高、便于实行梯级电站滚动开发等特点。为了促进河流梯级开发,目前已经组建了黄河上游水电开发有限责任公司、澜沧江水电开发有限责任公司、三峡电力集团公司、二滩电力公司等,分别负责金沙江、雅砻江梯级水电开发。

有些中小河流实施梯级开发后,已取得巨大的经济效益。如四川省的岷江支流青衣江上的宝兴河,已实施河流梯级滚动综合开发。宝兴河流域面积仅 321 平方公里,河长 144 公里,但天然落差达 3605 米,平均比降 21.5‰。多年平均流量 390 立方米/秒,水力资源蕴藏量 155.5 万千瓦,可利用落差为 1407 米。在此规划了 8 个电站,总装机容量达 100 万千瓦,年发电量 47 亿千瓦时,总动态投资为 76.64 亿元,静态投资 47 亿元,平均每千瓦装机动态投资为 7664 元,静态投资 4700 元。每个电站施工期 3—5 年。现已建成铜头和雨城电站,其它电站将陆续兴建。进行梯级电站滚

动建设,减少了资金投入,加快了开发进程,为地方经济发展提供了越来越多的电力,经济效益十分显著。

三、加强水力资源开发的前期工作

国家对发源于青藏高原地区的大江大河如黄河、金沙江、雅砻江、大渡河、岷江以及澜沧江、怒江和雅鲁藏布江的水力资源进行过不同程度的普查勘查工作,但由于上述这些河流的上游河段多处在青藏高原腹地和高原边缘地区,绝大多数水力开发地址前期工作基础薄弱。目前除黄河龙羊峡至公伯峡河段、金沙江的虎跳峡至洪门口河段、雅砻江的锦屏Ⅰ级至锦屏Ⅱ级河段,以及大渡河、岷江部分河段内一些水力地址进行过不同程度的前期工作外,绝大多数水力开发地址前期工作基础很差。

前期工作包括水力资源开发地址的水文气象条件观测,工程地质条件勘查,坝址的比较选择,地震等地质灾害的调查,坝区淹没损失的调查评估等。任何一个水力地址的前期工作都具有共同的特点:一是费时长,二是花钱多。因此,必须根据总体布局 and 规划,按轻重缓急,超前做好各前期工作,为水力资源适时开发创造有利条件。

四、加大改革开放力度,拓展资金来源渠道

开发青藏高原地区丰富的水力资源,需要投入巨大资金。为了解决资金问题,应制定相对积极政策,加大改革开放力度,拓展资金来源渠道。一是积极开展国际合作,引进国外资金和技术,可以独资或合资形式进行开发,在我国得到各种效益的同时,也让外资有利可图。水力资源是可更新资源,在不损害国家利益和主权情况下,其开发利用比那些耗竭能源性的合资开发具有更有利的条件。二是积极引进东部地区资金,包括引进民间资金,进行独资

或合资开发,所得利润进行合理分配。此外,对小型水电站建设可执行“谁投资、谁管理、谁受益”的政策,积极鼓励当地和外地的集体或个人投资,采取多种投资形式进行开发建设。只有积极拓展资金来源渠道,才能不断扩大资金投入,加建水力资源的开发利用。

五、加快科技人才培养

水力资源的勘察规划、设计、施工、运行管理需要大批专业技术人才。为了满足今后水力资源的大规模开发利用,必须有计划、有步骤地进行科技人才的培养工作,并制定行之有效的激励机制和各种优惠政策,吸收大量技术人才到生活环境艰苦的地区去创业。

第八章 水资源分区

在分别阐述和估算了青藏高原的地表水和地下水后,我们按区域来评述水资源量及其分布。

第一节 水资源总量及其分布

水资源总量是指降水形成的地表和地下水的产水量,不包括过境水量。水资源总量等于地表水资源量和地下水资源量之和减去二者之间的重复量,实际上等于地表水资源量加上山前侧渗补给量、降水对平原地区地下水的补给量和河床潜流量之和。

青藏高原是以地表水资源为主的地区,因此地表水资源的分布,基本上就代表了青藏高原大部分地区总水资源量的分布。而在柴达本盆地和青海湖内流流域,总水资源中还包含有部分地下水资源。

为了表达更为清楚,我们采用了产水模数的概念,即在一定的区域范围内,每平方公里能够得到多少水资源量,这个水资源量当然包括了地表水和地下水在内(不包括重复量)。并根据《中国水

资源评价》中将全国分为 77 个流域,来考察在青藏高原地区的产水模数(表 8—1)。

表 8—1 有关青藏高原地区的产水模数

流 域	面积 (平方公里)	平均年水资源总量 (亿立方米)	平均年产水模数 (万立方米/平方公里)
雅鲁藏布江	240480	1654.0	68.78
藏南诸河	155778	1952.0	125.31
藏西诸河	57340	20.1	3.51
怒江	135984	689.0	50.67
澜沧江	164376	770.0	45.02
青海内流河	319286	76.3	2.39
羌塘内流河	721182	246.5	3.42

从表 8—1 可以看出:

(1)产水模数与年降水量相同,都有自南向北减少的趋势。同样,由东而西模数值也逐渐减少。

(2)尽管限于资料,流域的划分比较粗略,而且并不完全与高原的范围一致,但大数可以估算出在每个流域范围内,平均每平方公里能够获得多少水资源量,这可为当地的水资源合理利用提供依据。

(3)与全国其它地区相比,藏南诸河的产水模数值,与粤东沿海诸河、台湾诸河一起,同属中国湿润地区的产水模数,并位居全国第三。就是干旱的青海内流河流域(包括柴达木盆地和青海湖内陆流域),产水模数也有 2.39,羌塘高原的产水模数 3.42,在全国干旱地区中,比内蒙古内流河流域的 1.54,河西内流河流域的

1.64,和宁夏的产水模数 1.92 为高。

总之,青藏高原的总水资源的地区分布,从南到北,具有显著的地带性规律,从湿润到干旱的环境,水资源的数量有很大的不同。

第二节 分区的原则

在讨论水资源的分区前,首先应该确定分区的原则,在确定原则前,有必要先研究已有的各类分区的情况。

一、水文区划

由于青藏高原水资源的总量中主要是地表水资源,因此水文区划应该是水资源分区的重要参考。根据高原的具体情况,可归纳为:

(1)依照河流的最后归宿,可将青藏高原的河流分为外流和内流两种水系。前者都是一些源远流长的巨川大河,水量丰富,每年都将大量的径流及泥沙和盐分携带入海洋,而后者都是一些短小的河流,水量也少,河水中的泥沙及盐分都残留在流域内。

(2)按径流深度来进行区划。青藏高原面积辽阔,各地的气候差异是高原水文特性差异的主要原因。高原上地表径流的分布非常复杂,除了内外流地区的差异十分不同外,垂直地带性的规律也非常显著。在高原南部的喜马拉雅山南侧的外流区内,年径流深度最高可达 3000 毫米以上,而在高原北部柴达木盆地内流区的边缘,年径流深度则仅在 10 毫米以下,盆地中央甚至为无流区,分布地带性规律十分明显。根据高原各地的径流分布特点并结合自然条件,青藏高原大体可分为 5 个径流地带。这些地带大致与高原

上的各个自然地带相符,每个地带都有其独特的植被和农作物。自南向北为:

丰水带:年径流深大于 900 毫米,大致相当于亚热带及热带北缘山地森林地带,农作物可一年二熟至三熟,可种植水稻、玉米等以及部分亚热带的经济作物。

多水带:年径流深 200—900 毫米,大致相当于山地针叶林地带,河谷地区以种植青稞、小麦为主,可发展温带果树和木本油料。

过渡带:年径流深 50—200 毫米,大致相当于山地灌丛草原地带、高寒灌丛草甸地带,部分地区可种植青稞、小麦、油菜等作物,大部分地区为牧场。

少水带:年径流深 10—50 毫米,大致相当于高寒草原地带、高寒半荒漠与荒漠地带,部分地区为牧场。

缺水带:年径流深在 10 毫米以下,大致相当于荒漠地带。

上文已述及,青藏高原河川径流的补给来自雨水、冰雪融水(包括高山冰雪融水和季节积雪融水)和地下水,由于三者在各地河川径流补给中所占比重的不同,因而河川径流的年内变化也出现了较大的地区差异。

藏东川西、黄河上游、祁连山东部的河流,径流以雨水补给为主,春季水量占年水量的 10—20%,夏季径流占 70—80%,冬季占 1—10%。径流年内分配不均匀系数为 0.15—0.35,最大水月的水量占年水量的 15—20%,最小水月的水量占年水量的 2—3%。

雅鲁藏布江及其支流、长江源段、昆仑山西段的河流,冰雪融水补给的比重较上述地区多,夏秋季径流量更为集中,一般占年水量的 80—90%;春季水量较少,只占 5—10%;冬季更少,只占 0.5—0.8%。最大水月的水量占年径流量的 25—35%,最小水月的水量占年水量的 0.1—2.5%,年径流不均匀系数高达 0.35—0.55。

昆仑山东段北侧、阿尔金山西段、祁连山西端的一些地下水补给比重较大的河流,径流的年内分配较上述各个地区的河流为均匀。夏秋季的径流集中程度差,一般只占年水量的 50—60%,春季水量增多,可达 20—35%,冬季水量也不少,占 10—20%。最大水月的水量占 10—20%,最小水月的水量占 1.5—5.0%,不均匀系数很小,只有 0.02—0.20。

青藏高原的水文区划主要是根据河流的水量及其水文特征的地区差异,并参照湖泊、沼泽等水体,以及降水、地貌和植被等自然地理因素来进行的。青藏高原可划分为 7 个水文地区(一级)和 17 个水文区(二级)。

地区划分的主要指标是水量(用径流深度表示)。为了对各地的干湿状况表现得更充分,还采用了水量平衡要素的对比关系,即径流量与蒸发量的比值作为参考指标。另外,在确定区界时,还考虑了内外水系的完整性。

对于用水部门来说,除水量外,供水的时间也很重要,因此采用了径流的年内分配为主要指标来划分水文区。包括径流的四季分配,连续最大四个月、最大水月、最小水月出现的时间及各自的水量占年总水量的百分数,径流年内分配不均匀数等。在缺乏河流水文资料的地区,则主要根据湖泊分布及其水文特性的地区性差异,或根据降水的年内分配来确定。

根据上述原则,青藏高原水文区划的系列如下:

I. 藏东南丰水地区

I₁. 察隅曲水文区

I₂. 雅鲁藏布江下游水文区

II. 川西藏东多水地区

II₁ 大渡河—岷江上游水文区

II₂ 三江纵谷水文区

III. 青南、川西北、藏东平水地区

III₁黄河上游水文区

III₂三江上游水文区

III₃通天河水文区

IV. 藏南平水地区

IV₁中喜马拉雅山北麓水文区

IV₂雅鲁藏布江中游水文区

IV₃西喜马拉雅山北麓水文区

V. 祁连山—阿尔金山—昆仑山平水地区

V₁北祁连水文区

V₂南祁连水文区

V₃东昆仑水文区

V₄西祁连—阿尔金山水文区

V₅西昆仑水文区

VI. 羌塘高原少水地区

VI₁南羌塘水文区

VI₂北羌塘水文区

VII. 柴达木盆地缺水地区

二、综合自然区划

水资源主要是气候及其他自然要素综合作用的结果。因此，在研究水资源分区时，必须考虑综合自然区划。

综合自然区划的制定，采用比较各项自然地理要素分布特征的地理相关法，并着重考虑气候、生物、土壤的相互关系及其在农业上的意义。

青藏高原的综合自然区划共分两级。第一级称自然区，自然区的划分主要考虑热量和水分条件，划在同一个自然区的条件是：

(1)具有受大地势和大气环流影响形成的、大致相同的温度和水分条件的组合类型;

(2)具有相同的水平地带性植被和土壤;

(3)具有相同性质的垂直自然带谱。

热量及水分的具体指标见表 8—2 和表 8—3。

表 8—2 青藏高原划分自然区的温度指标

类别	最暖月均温 (℃)	日均温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的 天数(天)	极端最低气温多年 平均值(℃)	自然特征
寒冻	<6	<50	—	暖季融冻作用普遍, 无农作
寒冷	6—10	50—120	—	无天然森林,局地可 农耕
温凉温暖	10—18	120—150	< -23 > -23	小麦可以越冬,农作 一年一熟
暖热	>18	>250	—	牛长热带,亚地带山 地森林,农作可二熟 至三熟,可播水稻

表 8—3 青藏高原划分自然区的水分指标

类别	干燥度	年降水量 (毫米)	年平均相对湿度 (%)	自然特征
湿润	<1.0	>800	>65	湿润森林,土壤中性反应
亚湿润	1.0—1.5	800—401	65—51	半湿润森林,中性灌丛草甸,土 壤中酸性反应
半干旱	1.6—6.0	400—201	50—41	草原为主,土壤中碱性反应,部 分盐渍化,无灌溉,收成不稳
干旱	6.1—20.0	200—50	40—30%	荒漠草原与荒 漠,土壤碱性 反应
极干旱	>20.0	<50		荒漠,土壤碱 性反应

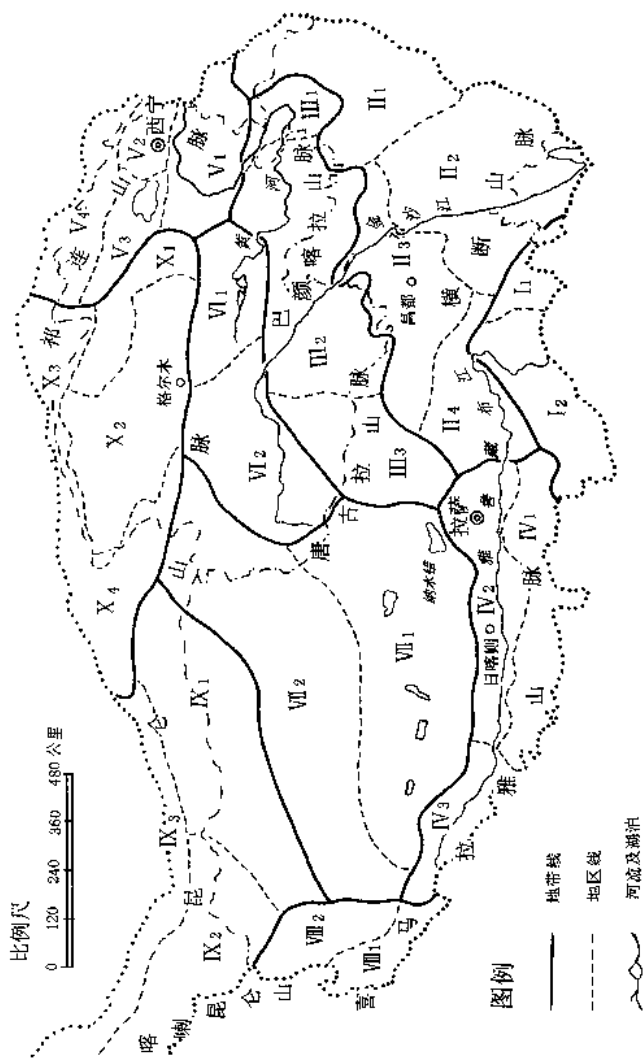


图 8—1 青藏高原综合自然区划示意图(据青藏高原地图集)

第二级称为自然亚区。其划分的主要依据是地理位置、地形及其引起的生物气候差异特征。

根据以上的原则,一共划出 10 个自然区(一级)和 27 个自然亚区(图 8—1),其系列如下:

I. 东喜马拉雅南翼山地常绿阔叶林地带(湿润)

I₁ 察隅曲河谷地区

I₂ 雅鲁藏布江下游高山峡谷区

II. 川西藏东山地针叶林地带(湿润—亚湿润)

II₁ 岷山邛崃山区;

II₂ 横断山中部纵谷区;

II₃ 横断山北部区;

II₄ 东念青唐古拉南翼区。

III. 阿坝那曲高寒灌丛草甸地带(湿润—亚湿润)

III₁ 若尔盖丘状高原区;

III₂ 果洛玉树高原宽谷区;

III₃ 当曲、那曲河源宽谷区。

IV. 藏南山地灌丛草原地带(半干旱)

IV₁ 中喜马拉雅北翼高原湖盆区;

IV₂ 雅鲁藏布江中游宽谷区;

IV₃ 雅鲁藏布江上游宽谷区

V. 青东山地草原地带(半干旱)

V₁ 黄南山地区;

V₂ 湟水谷地区;

V₃ 青海湖盆区;

V₄ 东祁连山区。

VI. 青南高寒草原地带(半干旱)

VI₁ 黄河源宽谷湖盆区;

- VI₂长江源宽谷区。
- VII. 羌塘高寒草原地带(半干旱)
 - VII₁南羌塘高原大湖;
 - VII₂北羌塘高原区。
- VIII. 阿里山地半荒漠、荒漠地带(干旱)
 - VIII₁朗钦藏布谷地区;
 - VIII₂噶尔—班公宽谷湖盆区。
- IX. 昆仑高寒半荒漠、荒漠地带(干旱)
 - IX₁昆仑南翼高原区;
 - IX₂西昆仑高山湖盆区;
 - IX₃昆仑北翼山地区。
- X. 柴达木荒漠地带(干旱、极干旱)
 - X₁柴达木东缘山地区;
 - X₂柴达木盆地区;
 - X₃西祁连山区;
 - X₄阿尔金—祁曼塔格山区。

三、水资源分区原则

青藏高原的水资源分区既不能等同于水文区划,也不能等同于自然区划。总的原则应该是:

(1)与目前的全国水资源分区相衔接,以便使分区成为全国水资源分区的一个组成部分。

在全国分区中,包括内外流在内,与青藏高原有关的内流区有:IX₄羌塘高原内陆河流域;IX₅柴达木盆地;IX₆青海湖环湖区等3个二级区域。在外流河流域,有VIII₂,澜沧江;VIII₃,怒江;VIII₄,伊洛瓦底江;VIII₅,雅鲁藏布江;以及黄河流域的IV₁龙羊峡至兰州;长江流域的V₁金沙江水系;V₂泯沱江水系;V₃嘉陵

江水系等9个二级区。

(2)着重于水资源的利用与自然条件、经济条件以及国民经济各部门的发展与布局在青藏高原范围内的地区差异,为比较确切地反映各河流域的水资源利用现状和合理分析供需关系提供依据。

根据以上原则,决定以内外流作为一级分区的标准,而以流域水系作为水资源二级分区的标准。分区的系列如下:

I. 外流区

- I₁. 雅鲁藏布江流域地区
- I₂. 长江流域地区
- I₃. 黄河流域地区
- I₄. 怒江—澜沧江流域地区
- I₅. 印度河流域地区

II. 内流流域

- II₁. 昆仑山—阿尔金山—祁连山水系地区
- II₂. 柴达木盆地水系地区
- II₃. 羌塘高原水系地区

第三节 各地区水资源概况

一、雅鲁藏布江流域地区

雅鲁藏布江是中国西南的第一大河,也是西藏最大的河流,又是著名的国际河流,在流入印度境内后称布拉马普特拉河,按年径流量,是世界上第四大河。

雅鲁藏布江的主要支流有多雄藏布,年楚河、拉萨河、尼洋曲、帕隆藏布等。雅鲁藏布江从源头到巴昔卡流出国境,其水资源量

变化很大,这主要是降水量在流域内各地差异很大造成的。在河源处年降水量不及 300 毫米,而在流出国境外,则达到了 5000 毫米,成为我国大陆上年降水量最多的地方。在喜马拉雅山与雅鲁藏布江之间,有一条狭长的少雨区,年降水量少于 300 毫米,被称为“雨影区”。雨季时,季风携带了大量的暖湿水汽沿雅鲁藏布江峡谷向北推进,经众多的高山峡谷层层阻挡,年降水量由 4000 毫米减至中上游河谷 1000 毫米以下,在河源区的桑木桑一带,更不足 200 毫米。

由于年降水量分布的巨大地区差异,造成地表水资源分布的地区不均匀性。雅鲁藏布江上中游地区,年径流深一般在 100—200 毫米之间,河源区不足 100 毫米。而在下游特别是在大拐弯以下,年径流深猛增至 2000—4000 毫米,最多的超过 4000 毫米,成为中国大陆年径流深最高的中心。

河川径流资源的另一特点是年内变化剧烈,夏季的径流量要占全年的一半以上,秋季约占 30% 左右,而冬春两季仅占 6—8%。径流的年际变化较小,对利用有利。但近年来年降水量有明显减少的趋势,年径流量也相应有所下降。

本地区的地下水都汇入河流中,成为基流的组成部分,其资源量全部与地表水资源量重复。

二、长江流域地区

青藏高原范围内的长江流域包括了长江的江源地区。所谓江源地区是指楚玛尔河口以上的通天河上游源流地区,面积 10 多万平方公里,平均海拔 5500—6200 米。在宽约 400 公里的广阔地带内,自西向东倾斜,构成长江江源高原,其间横亘一系列北西西向的山地,如可可西里山、冬布理山等,相对高度 500—600 米,有雪山、冰川和众多的湖泊。

河源区的径流以融水和地下水补给为主,分别占年径流量的45%和40%,而雨水仅占15%。径流年内分配和变化随降水多少和气温高低而变。每年11月至次年4月,河流封冻,最小流量出现在大地冻结的12月至1月,有的河流出现连底冻。5月积雪开始融化,但河流水量仍不大。6—7月河水上涨,至8月达最大值。6—9月为连续最大4个月,径流量占年量的70—85%。以季节而论,夏季径流量最多,占67—75%,秋季占15—25%,春季占5—8%,冬季仅占0.5—0.6%。

长江上游金沙江河段处于川西滇北的横断山脉区,受地质构造控制,河流呈北北西—南南东方向排列。两岸峭壁对峙,河谷深切,成为高山峡谷区,谷深一般1000米,最深可达2000米以上,而水面宽仅150—200米。虎跳峡为最狭处,仅30米,河段平均比降为14.3‰,水流湍急,水能资源十分丰富。

金沙江在青藏高原范围内的年径流量可以石鼓站为代表,石鼓站的集水面积237651平方公里,多年平均年径流量为406亿立方米。如果加上长江流域的雅砻江、大渡河、岷江等支流在高原范围的年径流量,则以屏山站大致可以代表长江流域在高原范围内的地表水资源情况。长江屏山站的集水面积48.5万平方公里,多年平均年径流量1430亿立方米。

长江流域的地下水资源,基本上都汇集到河流中,成为河川径流的基流部分,因此与地表资源重复而不另行计算。

三、黄河流域地区

黄河流域在青藏高原的部分主要是上游部分的中上游,受山地的阻挡,黄河在这里形成了“S”形的大拐弯,这就是著名的“黄河第一曲”。在龙羊峡以上,黄河流域虽然海拔高达3000—4000米,而且年降水量不大,但是水分损耗极小,是黄河产本量的高值

区。龙羊峡以下至兰州间多为峡谷和盆地相间分布,有许多著名的峡谷,平均每 100 公里高度下降 140 多米,蕴藏着丰富的水能资源。

黄河流域的年降水量在本地区的范围内大约为 300—500 毫米,局部地区还更大。降水集中在 7—9 月 3 个月,占年降水量的 60—70%。年径流量的分布特点,基本上是由年降水量分布特点所决定。在青藏高原的范围内,由于地势高、气温低、年总蒸发量较小的原因,年径流深一般在 50—350 毫米之间。在径流的年际变化方面,黄河兰州站的年径流变差系数仅 0.22,说明年际间变化不大。但在历史上黄河上游曾出现过 1922—1932 年连续 11 年的枯水段。近年来实测的结果表明,黄河上游由于年降水量的偏少,年径流量也有减少的趋势。

黄河上游干流的水分年内分配的情况是:冬季是径流量最枯的季节,一般只占年径流量的 6—8%;春季受融雪(冰)水的影响,其径流量可占年径流量的 15%,夏季受季风影响,其径流量可占年径流量的 40—60%,而秋季通常为 25—35%,因此形成夏秋连汛、秋季径流量远大于春季的特点。

黄河虽然是我国含沙量最大的河流,也是世界上罕见的多沙河流。然而黄河干流在青藏高原地区输沙量较少,水土流失轻微。虽然黄河的径流量大半来自兰州以上,但输沙量却仅占 7% 左右。兰州站多年平均输沙量约 1 亿吨左右。贵德以上地面植被较好,暴雨少,河流含沙量较少,唐乃亥站年平均含沙量只有 0.55 公斤/立方米,平均年输沙量 0.11 亿吨。贵德站平均含沙量已增至 1.11 公斤/立方米,平均年输沙量 0.24 亿吨。贵德以下泥沙逐渐增多,到循化平均年输沙已增加到 0.41 亿吨。总之,在青藏高原范围内黄河的泥沙是很少的。

黄河流域在青藏高原的地表水资源若按兰州站计算为 340 亿

立方米,约占黄河全流域总量的 54.8%,而地下水资源全部汇入河流,成为河川径流的基流部分,所以不再重复计算。

四、怒江、澜沧江流域地区

怒江和澜沧江是我国两条重要的国际河流,它们分别属于太平洋流域和印度洋流域。本流域地区包括了澜沧江、怒江、伊洛瓦底江等诸河,是我国西南典型的横断山脉的河流。这些河流几乎平行地由西北流向东南,最后以近乎南北向地流出国境。

澜沧江的源头有东西二支,其中扎阿曲为正源,在昌都两大支流汇合后始称澜沧江。从源头至昌都,干流长 564 公里,河谷宽阔,下切作用微弱,沿程多有江心岛、漫滩、汊流发育,水流平缓而散乱。在接近昌都段,两岸山地海拔 5000—5500 米,形成深切 500—1000 米的“V”字型峡谷,平均比降 4.0—4.5%,最大达 10—15%,是全流域河道比降最大的河段。

昌都以下至功果桥,河流进入横断山脉起伏极大的高山区,由于新构造运动的不断抬升,河流下切强烈。他念他翁山—云岭和永隆里南山—怒山夹峙,是世界上典型的南北走向的“V”型谷。这里的分水岭之间一般只有 30—40 公里,最窄处仅 20—25 公里,是全流域地区最狭窄的地段。

澜沧江的地表水资源,平均年出境径流量 765 亿立方米,在青藏高原范围内,大致可以戛旧站来估算,其平均年径流量达 399.2 立方米。而地下水资源在高原范围内全部汇入河流,与地表水资源重复,不再另行估算。

怒江,因流域在山区,河流上中游纵比降大,多急流险滩,江水在河道内奔腾澎湃,咆哮如怒吼,怒江之名由此而来。怒江在中国境内长 2013 公里,河源穿流在错那湖、黑河盆地的湖泊、沼泽之间,河谷开阔平坦,水流缓慢,河床高程在 4300 米以上,流域周围

是 5500—6000 米的高山,有冰川发育。西南的伯舒拉岭是怒江与雅鲁藏布江的分水岭,东北隔他念他翁山与澜沧江并行而流,主流行进在相对高差 2000—3000 米的深切河谷中。河道纵比降大,每公里下降约 4.5 米,高山深谷,水面宽仅 100 米。怒江进入滇西横断山区后,流向正南,流域西面耸立着高黎贡山,是与伊洛瓦底江的分水岭,东西有怒山—碧罗山与澜沧江相邻。高山紧迫河岸,谷底至山顶高差一般为 1000—2000 米,河道平均比降为 3‰。本段是怒江流域最窄的地段,东西宽仅 21 公里。经量算,由金沙江向西通过澜沧江、怒江至伊洛瓦底江,穿过 4 条大河,其水平距离仅 185 公里。

怒江在高原境内的年径流量,大致可以道街坝站为准。其流域面积 113817 平方公里,平均年径流量为 524 亿立方米。关于地下水资源量,同样是与地表水资源量全部重复而不另行计算。

除了澜沧江、怒江外,本流域地区还包括了伊洛瓦底江流域,它在中国境内称独龙江,左源恩梅开江是伊洛瓦底江的正源,发源于西藏自治区察隅县伯舒拉岭来亚拉山东麓,河源山峰海拔 5298 米,在西藏境内叫日东河,至云南省贡山县迪布里附近入云南省,称克劳洛河,下行到斯涌纳麻必洛河后始称独龙江。

独龙江在中国境内长 178.6 公里,流域面积 4327 平方公里。河东岸高黎贡山海拔高于 4000 米,为独龙江与怒江分水岭。河西岸担当力卡山海拔 3600—4000 米,是中缅两国的界山。由于新构造运动的不断抬升,江水强烈下切,呈深切狭谷,两侧山体高大,逼近河床,沿岸支流较多,源近流短,干支流构成树枝状水系。

在高原范围内,独龙江的年径流量估算约 53 亿立方米。

五、印度河流域地区

印度河流域地区主要的水资源是森格藏布(狮泉河)和朗钦藏

布(象泉河)。森格藏布发源于冈底斯山主峰冈仁波齐峰以东的切日阿弄拉,河源海拔 5336 米,河长 419 公里,流域面积 4956 平方公里。森格藏布狮泉河站的年径流量 8 年平均为 2.695 亿立方米。流域的地貌以高山宽谷为主,西南为喜马拉雅山脉的阿伊拉日居山环绕,冈底斯山由西北向东南与流域大体同一方向横跨流域全境,北部是以斯潘古尔—班公错水系为主的高原湖盆区。

朗钦藏布(象泉河)位于森格藏布西南侧,是印度河最大支流萨牧累季河的上游,也是西藏主要河流之一。河长 309 公里,流域面积 23170 平方公里,流域平均年降水量 170 毫米。

朗钦藏布发源于喜马拉雅山西段各则拉附近,河源海拔 6123 米。河道在中游段流经湖相地层,经流水长期切割,形成独特的酷似黄土高原的地貌。中游段也是朗钦藏布流域农牧业最发达的地区。位于扎达县城北的托林寺和城西的泽布兰黄土山的古格王朝遗址更是藏民族的文化瑰宝。

朗钦藏布的年径流量约为 1.7 亿立方米。

此外,本流域地区还包括了斯潘古尔—班公错内陆水系。斯潘古尔错偏南,流域面积为 7175 平方公里。班公错湖体呈约东西向狭长形,长约 110 公里,在我国境内集水面积和湖面面积分别是 22085 平方公里和 443 平方公里。

流域地区内 5 个地区都是青藏高原的外流区,只有班公错是内流流域。

六、昆仑山—阿尔金山—祁连山水系地区

本地区是一条东西向狭长的山地,自西向东发育了众多的河流。主要流向新疆的塔里木盆地和甘肃的河西走廊,其中包括了许多著名的内陆大河,如叶尔羌河、喀拉喀什河、玉龙喀什河、克里雅河、黑河、疏勒河等。是塔里木盆地南部及河西走廊的生命之

源。依靠这些水源,形成了大小不等的许多绿洲。

这一地区的水资源情况是:由于地下水资源在山区全部补给给了河流,因此河川径流资源基本上是全部的水资源量。其中塔里木盆地南部的河川径流量最为丰富,总计为 152.53 亿立方米(表 8—4)。进入河西走廊的河川径流量包括疏勒河、黑河、石羊河三大流域,总计约为 72 亿立方米。

表 8—4 昆仑山、阿尔金山主要河流年径流量

河名	多年平均年径流量 (亿立方米)	河名	多年平均年径流量 (亿立方米)
叶尔羌河	64.1	克里雅河	7.01
玉龙喀什河	23.1	尼雅河	1.99
喀拉喀什河	21.9	米兰河	1.16
库山河	6.36	卡墙河	5.44
提兹那甫河	7.71	喀拉米兰河	2.48
桑株河	2.54	木勒切河	2.50
皮山河	3.35	小计	152.53
策勒河	1.21		

青海湖内陆流域也包括在本流域地区的范围内。青海湖内陆流域的河川径流资源约为 24.8 亿立方米。此外,还有 1.8 亿立方米的不与地表水重复的平原地下水资源和 0.3 亿立方米的山区地下水资源量,总计为 26.9 亿立方米。

由此,本流域地区的总水资源量为:进入新疆塔里木盆地的地表水资源量加上进入河西走廊和青海湖内陆流域的地表水和地下水资源量,总计为 303.9 亿立方米。

七、柴达木盆地水系地区

柴达木盆地是青藏高原的一个山间盆地,也是中国四大盆地之一。盆地四周山地高度在 4000—5000 米,盆地底部海拔 2700—3200 米,地貌类型复杂多样。盆地多年平均降水量 115.9 毫米,属于干旱地带,东南部年降水量多在 100—300 毫米,西北部年降水量仅 25 毫米,其中冷湖附近还不足 20 毫米,是中国 4 个极旱荒漠地之一。除了海拔高度以外,盆地的水资源特征完全与我国其它干旱区相同。这些特征包括:(1)在总水资源量中,也以地表水为主,据最新估算,柴达木盆地的地表水资源为 44 亿立方米,而地下水资源量包括平原和山地不与地表水重复的资源量仅 9.9 亿立方米。(2)地表水与地下水资源量的重复率很高,约为 80%,这与新疆及河西走廊的情况是一致的。这为在平原地区重复引(提)水资源提供了有利条件;(3)由于河川径流补给的多样化,使得河川径流的年际变化较小,这对利用水资源较为有利。但是年内变化大,特别是春季缺水,也与其他干旱地区一致。(4)水资源的垂直地带性规律十分显著。山区是径流的形成地带,而平原则是径流的散失地带。在山区,基本上是地下水补给了河川径流,而平原则是地表水通过不同的渗漏途径补给了地下水。

八、羌塘高原水系地区

藏北羌塘高原面积辽阔,大致可以分为南北两部分。北部地区,包括昆仑山南侧以南,黑阿公路以北的区域,在气候上属半干旱,地面波状起伏,湖泊星罗棋布。南部地区属半干旱偏向半湿润的气候,水系要比北部地区稠密,分布有西藏较大的湖泊。

据《中国水资源评价》,羌塘内陆河流域面积 72000 平方公里,平均年降水量 170 毫米,地表水平均年资源量为 246 亿立方米,折

合年径流深 34 毫米。地下水年资源量扣除其与地表水的重复计算量为 0.5 亿立方米,因此羌塘高原内流地区的水资源总量为 246.5 亿立方米。

第九章 水资源开发利用

青藏高原水资源虽然比较丰富,但由于历史的和自然条件等种种原因,开发利用可以说是刚刚开始。随着中国西部的大开发和高原经济的发展,水资源的开发利用必然会进入一个崭新的阶段。关于青藏高原丰富的水能资源的利用问题,已在第七章进行了详细的讨论,这里不再赘述。

第一节 开发利用现状

一、青海省的水资源开发利用

青海省水资源的开发利用,有历史记载的最早可追溯到公元前 61 年,西汉后将军赵充国率兵到湟水流域平定羌变,屯田河湟地区,整修沟渠引水灌溉。其后历代都在河湟地区屯垦,但直至民国时期,才开始建设较大的灌溉渠道,并开始在柴达木盆地的都兰地区垦荒灌溉。截止到 1949 年,共有大小灌溉渠道 570 多条,灌溉农田 74.82 万亩,其中保灌面积 50.19 万亩,占 67%。较长的

渠道有 9 条。水资源可供水量约 8 亿立方米,水资源的开发利用
率仅 1.27%。总的来说,水资源的开发利用还处于原始状态。

新中国成立后,国家十分重视水利建设。截止到 1990 年,水
利投资累计已达 10 多亿元(还不包括中央兴修的大型水电站的投
资),新建、改建和扩建了一大批水利工程,水资源利用程度迅速提
高,为国民经济建设和城乡人民生活的改善提供了保障。

1. 水利工程建设现状

全省共建成水库 136 座,总库容 2.01 亿立方米。其中,中型
水库(总库容 1 亿至 1000 万立方米)5 座,总库容 8282 万立方米;
小(一)型水库(总库容 1000—100 万立方米)32 座,总库容 9500
万立方米;小(二)型水库(总库容 100—10 万立方米)99 座,总库
容 1.339 万立方米。此外,还建成涝地(蓄水量少于 10 万立方米)
630 座,总蓄水量 1127.08 万立方米。

全省共建有农田灌溉干支渠 3020 条,总长 10697 公里,在草
原上建成灌溉干支渠 449 条,总长 1797 公里;供水管道 1248 条,
总长 6144.3 公里。

已建有抽水机站 944 座,1286 台;水轮泵站 21 座,43 台;喷灌
169 处,340 台。

共建有机电井 1303 眼,已配套完好的水电井 1263 眼。

全省农田有效灌溉面积已达到 325.7 万亩,其中:自流引水灌
溉 215.7 万亩,水库灌溉 59.4 万亩,涝池灌溉 4.2 万亩,抽水机站
灌溉 35.3 万亩,水轮泵站灌溉 3.6 万亩,井灌 5.7 万亩,喷灌
1.77 万亩。同时,治理水土流失面积 4177.6 平方公里,沿河造田
18.1 万亩,改良盐碱地 14.3 万亩,并解决了 156.88 万人和
654.95 万头(只)牲畜的饮水困难。

2. 供水量现状

全省现总供水量为 28 亿立方米,其中引水工程供水量 16.6

亿立方米,占 59.4%;蓄水工程供水量 3.6 亿立方米,占 12.8%;提水工程供水量 2.9 亿立方米,占 10.5%;机井工程供水量 2.98 亿立方米,占 10.6%;其他供水量 1.87 亿立方米,占 6.7%。

在总供水量中,农田灌溉 18.6 亿立方米,占 66.5%;牧业灌溉 3.6 亿立方米,占 13.0%;林业灌溉 0.6 亿立方米,占 2.2%;工业用水 2.8 亿立方米,占 9.9%;城镇生活用水 0.59 亿立方米,占 2.1%;农牧区人畜生活用水 1.8 亿立方米,占 6.3%。

目前,国民经济各部门的总需水量为 32.17 亿立方米。其中:农牧业灌溉需水量 27.05 亿立方米;工业需水量 2.76 亿立方米;城镇生活需水量 0.59 亿立方米;农牧区人畜生活需水量 1.77 亿立方米。

从上述可以看出,由于总需水量大于总供水量,不能达到水资源的供需平衡,平均每年缺水量为 4.17 亿立方米。缺水的部门主要是农牧业灌溉,致使有效灌溉面积的保灌率仅 62%。缺水的主要原因有二:一是现有水利工程供水不足,尤其是调蓄供水能力差,不能保证枯水期的灌溉用水;二是水源不足,为保证城镇生活和工业用水,而影响到灌溉用水,特别是枯水期的灌溉用水。缺水的地区主要是湟水流域、黄河谷地以及柴达木盆地和茶卡—沙珠玉盆地,尤其是湟水流域缺水严重,缺水量达 2.53 亿立方米,占全省缺水总量的 60.76%。

3. 水资源开发利用现状评价

青海省水资源的开发利用率现在约为 4.46%,是 1949 年的 3.5 倍,为全省的经济和社会发展做出了很大的贡献,但仍存在不少问题:

(1) 水资源开发利用水平仍然较低。远远低于 1980 年的全国平均水平,就是与西北地区的新疆相比,还有较大的差距;

(2) 地区间极不平衡。由于自然条件的差异和社会经济发展

的不平衡,地区间水资源开发利用程度也极不平衡。在外流区,长江、澜沧江流域,水资源开发利用率分别仅为 0.15% 和 0.20%,而黄河流域已达到 8.24%,其中又主要集中在龙羊峡以下的地区,特别是湟水流域的水资源开发利用率已高达 48.33%,是全省开发利用最高的地区。

在内流区,可可西里盆地和哈拉湖盆地,水资源仍处于原始状态而未被开发利用;祁连山地区也仅开发利用 0.32%;青海湖盆地为 7.90%;开发利用程度较高的是柴达木盆地和茶卡—珠玉盆地,分别达到 15.38% 和 47.56%。

(3) 仍然以传统的农业用水供水为主。目前农业用水包括农牧、林业的灌溉用水和农牧区人畜生活用水在内,占 88.03%,而工业用水仅占 9.86%,城镇生活用水占 2.11%。由此可见,用水结构仍然停留在传统的以农牧业用水为主的结构类型,说明工业很不发达,经济发展还处于比较初级的阶段。

(4) 调蓄供水能力低,水资源供需矛盾突出。目前全省水库和涝地的总库容量为 2.125 亿立方米,只占全省河川年径流量的 0.39%,年调蓄供水量 3.58 亿立方米,分别只占全省河川径流总量和年洪水总量的 0.58% 和 12.79%。由此可见,当前的供水设施对河川径流的调蓄供水能力很低,远远低于全国的平均水平。另外,在供水量中,90% 是地表水,地下水(机井)仅占 10.6% 左右。在地表水目前调节能力和保证程度很低的情况下,每当枯水年分和枯水季节,在在出现旱情,水资源供需矛盾在一些地区非常突出。

(5) 用水效益差。当前全省农业灌溉的渠系有效利用系数平均为 0.4 左右,灌溉的毛定额平均为 760 立方米/亩。工业方面的万元产值的用水量约为 500 立方米,这些都大大高于全国的平均水平。其主要原因是:大多数工程项目都建于 70 年代以前,设计

标准低,配套不完善,长期在低标准状况下运行。其次,目标单一,综合利用程度低,工程的效益没有得到充分的发挥。再就是用水技术落后,如灌溉方式大多数是大水漫灌,工业用水多数为直流式供水,重复利用率很低。加上管理工作薄弱,又没有纳入法制轨道,存在着管理混乱,多重复建设,效益低下。

二、西藏自治区水资源的开发利用

西藏近代的水资源利用始于 1928 年修建的拉萨夺底电站,其它几乎没有像样的工程。新中国成立后,水利事业有了很大的发展。由原始的挖沟自然引水到蓄、引、提工程都有,水利化的程度有了很大的提高。到 1990 年底,在 333.8 万亩耕地中,有水浇地 185 万亩,草场灌溉面积 228.6 万亩。

1. 水利工程现状

西藏已建成的水利工程,主要集中在“一江两河”地区。所谓“一江两河”是指雅鲁藏布江中部、拉萨河及年楚河地区。这也是目前及今后水资源开发的重点地区。这个地区拥有西藏 50% 的耕地,生产 90% 的粮食。

西藏已建成小(一)型库容以上的水库共 13 座,加上天然水库及小水库(塘)共有各类库(塘)5217 座,共蓄水 6.47 亿立方米,有效灌溉耕地近 30 万亩。已建各种水渠 13636 条,有效灌溉农田和草场约 80 万亩。根据其中 24 条万亩以上灌区的渠道统计,渠道总长 500 余公里,设计引水能力 140 立方米/秒,有效灌溉农田 32.2 万亩。

已建电力提灌站 62 处,农用灌溉机井 195 眼,有效灌溉农田和草场面积近 25 万亩。其中山南和日喀则地区共建提灌站 21 处,装机容量 0.52 万千瓦,打机井 172 眼,有效灌溉面积 10.82 万亩,分别占全西藏总数的 38.7%,78.8%,88.0%和 86.9%。

表 9—1 西藏水利工程建设情况(截止 1990 年)

地区名称	水库(塘)		灌溉渠道		电力提灌站		用机井(眼)
	座数	总库容(立方米)	条数	引水能力(立方米/秒)	处数	装机(千瓦)	
拉萨市	408	2716.8	647	207	8	490	23
林芝地区	39	2.8	531	—	3	170	—
昌都地区	564	23.0	2467	—	27	840	—
山南地区	1584	488.1	2335	110	11	3142	138
日喀则地区	3562	61240.5	5256	—	13	2089	34
那曲地区	—	—	—	—	—	—	—
阿里地区	60	—	1400	—	—	—	—
合计	5217	64732.27	13636	—	62	6631	195

2. 需水量

按现有水利工程计算,西藏的可供水量仅占全区水资源量的 0.3%,一方面说明西藏水资源利用率很低,但同时也说明其潜力巨大。

(1)灌溉需水量,西藏的农田和草场的灌溉,大部分地区仍然采用传统的大水漫灌的方式,所以灌水定额较高,一般为 100—200 立方米/亩以上。

农作物和牧草的灌溉亩次数,由于雨季到来的日期不一,各地的自然条件不同,大致可分为:东北、西南和西北三个不同的区域。东北区年灌水 2—4 次;西南区年灌水 4—6 次;西北区年灌水 6 次以上。全西藏有数灌面积 195 万亩,按毛灌定额每亩 950 立方来计算,需水量估计约 8.3 亿立方米,草场灌溉面积 228 万亩,需水量 9.12 亿立方米。以上合计需水量为 17.42 亿立方米。

(2)城乡人畜需水。至 1992 年,西藏的农业人口已达 199.44 万,非农业人口 30.83 万;市镇人口为 37.01 万;乡村人口为 188.26 万。现有大牲畜 598.7 万头,小牲畜 1797.27 万只。据分

析,市镇人口需水量为 90 升/日,乡村人口为 40 升/日,大牲畜每日需水 40 升,小牲畜每日需水 6 升。按上述定额计算,市镇人口需水 0.12 亿立方米/年,乡村人口需水量 0.27 亿立方米/年;大牲畜需水 0.87 亿立方米/年,小牲畜需水 0.39 亿立方米/年。全自治区人畜每年需水量共计 1.65 亿立方米。

(3)工业需水。西藏工业用水的重复利用率很低,万元产值耗水量约为 400 立方米,按 1990 年工业产值 29500 万元估算,工业需水量约为 940 万立方米/年。

从上述分析可得出,西藏总的年需水量仅 19.2 亿立方米。而且农牧业灌溉需水量占全部需水总量的 91%,说明工业和城市化的水平很低,而且这种情况近期还难以改变。

按照西藏的水资源总量计,人均占有水量约 20.55 万立方米,约为全国人均水量的 78 倍,亩均占有量 13.4 万立方米,为全国耕地亩均占有水量的 74 倍。现有草地和耕地的灌溉面积不足 500 万亩,即值按 500 万亩计,全部用每亩 450 立方米灌溉定额计算,也仅需水 22.5 亿立方米/年,仅占总水资源的 0.5% 左右,说明水资源只被利用了一小部分。

但是西藏目前的水利工程,包括蓄、引、提水利工程,一年可提供水量仅 13.58 亿立方米,其余差额只能依靠雨水、融水直接浸润土地补充。春灌期间有少量的降水,通过截流、临时性地表径流等灌浇耕地,但与需水量相比,仍然不足以达到平衡。每遇枯水年则供水矛盾更加突出。

西藏水资源十分丰富,总计 4482 亿立方米,但被利用的很少,绝大部分处于天然状态,尚待开发。由于降水、径流的时空分布不均,不少地区季节仍然缺水。在农田最为集中的雅鲁藏布江中游地区,年降水量只有 200—500 毫米,且年内分配不均,远远不能满足灌溉的用水需求。1990 年全自治区耕地面积 333.8 万亩(统计

表),其中旱涝保收面积不足 50%,可见供需矛盾之大。

三、其它地区水资源的开发利用

除青海、西藏两个省区外,其它省(区)水资源利用大都是为山前平原服务的工程项目,而这些地区已不属于青藏高原的范围。如新疆在昆仑山喀拉喀什河出山口处兴建的乌鲁瓦提水利枢纽、甘肃河西走廊石羊河诸支流上游修建的一系列中小型水库,都是为下游的农田灌溉的水源,规模不大。

云南、四川等省位于青藏高原周围地区的水资源利用,大都以开发水电为主,如雅砻江的二滩电站、澜沧江的漫湾电站等。

在高原的边缘地带,岷江上有古代的李冰父子建成的都江堰水利枢纽,至今不仅保留了原来的功能,经过改造,还扩大了灌溉面积,加强防洪,继续为成都平原农田造福。

第二节 水资源开发利用前景

目前青藏高原水资源开发利用程度虽然很低,但是随着西部开发和青藏高原经济的发展,人民生活水平的提高,对水资源的需求量将日益增加,水资源开发的力度必然要加大。

一、青海省水资源的供需前景

预计,全省需水量将按 3.05% 的年递增率增加,到 2010 年,将达到 55.3 亿立方米。按照有关规划拟定的水资源开发利用计划,按年递增率 3.34% 计,预计到 2010 年,年供水量将达到 53.94 亿立方米。即使这样,仍然有 1.4 亿立方米左右的缺水量。由于空间分布的问题,实际缺水量还要大得多。主要缺水地区仍然是

湟水流域、柴达木盆地和茶卡—沙珠玉盆地。

随着西部大开发的深入持久的发展和人口的增加,预计到2030年,全省国民经济各部门的需水量将达到88.0亿立方米,是2000年供水量的2.26倍,再加上生态环境用水量,则需水量更大。2000年以后,全省的可供水量必须以大于2.76%的年递增率增长,即在30年内水资源开发利用率要从2000年的6.02%提高到14.02%,才能满足国民经济和维护生态环境的需要。由于开发利用的难度越来越大,除了通过挖潜、配套、节水、采用先进技术不断提高用水效益外,还必须兴建一批水资源利用工程,尤其是大型骨干调蓄供水和跨流域调水工程,才能保证目标的实现。

二、西藏自治区水资源的供需前景

西藏的供水工程主要面向占全区各业用水量约95%左右的农牧业的灌溉。到2000年,西藏耕地的灌溉需水量为21.3亿立方米,灌溉林草地需水量13.0亿立方米。

工业用水按万元产值(可比价)推算,2000年需水量6.19亿立方米,城乡人口生活用水的需水量1.48亿立方米,牲畜饮水需水量5.26亿立方米,总计国民经济各部门需水量41.2亿立方米,只占水资源总量的0.9%。

西藏虽然水资源总量很大,利用率还不及1%,但降水及河川径流的年内分配严重不均。每年6—9月降水集中,供水充分,农牧业灌溉需水量不大,供需矛盾不突出。但每年3—5月降水量稀少,此段时间的降水量仅占年降水量的10%,而此时正值农田、草场灌溉用水的高峰期,供需矛盾突出,水资源短缺现象在一些地区时有发生。

西藏农田的85%分布在大江大河的1—2级支流和支沟的两岸,水源一般不成问题。其中分布在尼洋曲、帕隆藏布等河流两岸

的农田,由于水资源丰富,农田数量不多,即使将来农牧业有较大的发展导致用水量的增加,河流的枯水量也能够满足供水的需求。拉萨河及多雄藏布等河流两岸的农田较多,虽然现在水的供需矛盾不很突出,但由于河流的枯水期流量较小,随着农牧业的发展,必然会出现供水不足的矛盾。年楚河流域,随着国民经济的不断发展,城乡人民生活水平的提高,部分地区将可能出现或加深水资源供需及不平衡的矛盾。

西藏的幅员广阔,水资源开发利用条件各地不尽相同。东部三江流域地区耕地面积约 80 万亩,这些耕地大多数分布在宽谷型河段处的河漫滩和各级阶地上,各级阶地距河水面高度为 5—50 米或更高,可以采用引、提结合的水利工程获得所需要的灌溉用水。雅鲁藏布江中游段及拉萨河、年楚河,也包括日喀则、山南、拉萨、那曲、林芝的大部分或部分县市,是西藏的产粮基地,有耕地约 250 万亩,其中分布在大江大河两岸的农田仅占 10% 左右,在灌溉最需水的时段,即每年 3、4 月份,降水量不足年降水量的 5%,常出现旱情。但总的来说,由于河川径流量较多,可以通过以引为主、蓄引结合的方式得以解决。

西藏广大的内流区,只能充分利用天然内流湖泊和内流河作为水源,主要通过引水和提水方式来获得供水。部分地区的湖水和河水的水质较差,不宜于利用,只能通过打井等方式汲取地下水等方式加以解决。

总之,西藏的河川径流的年际和年内变化都很大,造成水资源不足的现象时有发生。例如拉萨河在 1956—1991 年的 36 年中,出现了连续 2—5 年的枯水期,其中最枯水年(1973 年)的年径流量不及最丰水年(1962 年)的一半。年楚河流域在冲巴雍错水利枢纽建成前,农牧业最需水时期经常出现断流。针对这种情况,必须有一些供水任务较重的地区兴建一定数量的水利骨干工程,用

以提供动力和蓄水。

三、其它地区水资源的供需前景

除青海省和西藏自治区外的青藏高原地区,基本上都属于山区,当前水的供需矛盾不突出。高原北部和西部边缘地区,是我国西北干旱地区主要的绿洲所在地,其中包括新疆的塔里木盆地和甘肃河西走廊绿洲。现在除了新疆和田河流域的喀拉喀什河的乌鲁瓦提水利枢纽外,还没有较大型的水利工程。由于绿洲地区河川径流的年际年内变化剧烈,农田经常受到干旱和风沙的威胁,尤其是春季,时有沙尘暴出现危害农田。而在喀喇昆仑山和昆仑山发源的一些大河,如叶尔羌河、玉龙喀什河、克里雅河等,其径流的年内集中度在全国也是很高的。因此,亟须在于旱区著名的大河上修建较大型的山谷水库,来进行调节和防洪,只有这样才能较充分地利用水资源。

第三节 水资源开发利用对策

一、青海省水资源的开发利用对策

青海省地处江河之源,但水资源的时间分布和地区分布极不平衡。开发利用水资源不仅是发展经济的基础,而且密切关系到对江河源头的水资源与生态环境的保护,对中下游地区也有重要的影响,所以应当有一个统一的规划,来协调局部和整体、近期与远期、经济效益和生态环境效益。现在国家已确定在三河源头建立自然保护区,它将与可可西里自然保护区、阿尔金山自然保护区等连成一片,面积巨大。可见国家对西部大开发中首先要保护生

态环境的重视。

1. 做好规划工作

以流域为单元,搞好重点地区水资源综合利用统一规划。重点流域的主要河流有湟水、大通河、黑河、格尔木河、香日德河、巴音河、那棱格勒河等。重点地区是柴达木盆地、茶卡—沙珠玉盆地、青海湖环湖地区和龙羊峡以下的黄河河谷区。

由于我国西北地区只有黄河一条大河,许多缺水地区都想从黄河及其支流引水,其中大通河被引用最多,主要的工程有“引大入秦”,即引大通河水向金昌市供水的工程。计划中还有“引大济黑”等。青海省将成为西北主要的水资源输出省。

在柴达木盆地,由于地表水与地下水频繁转换,所以可以重复引(提)用多次。即上游用水后的渗漏水量,在下游还可加以利用。在这种情况下,必须加强最下游地区的防渗透工程。因为这些地区如再渗漏,水资源不能最后利用,而将消耗于蒸发。其次,凡下游与盐湖直接有水文联系的河流,必须要减少渗漏,避免因对盐湖的补给而造成的损失。

柴达木盆地中,那棱格勒河天然径流量达 10.34 亿立方米,是盆地中水资源最充沛的河流。但迄今为止,该河并没有得到很好的开发利用。

青海省近期要兴建一批骨干蓄水工程,增强调蓄供水能力。如在湟水流域,要兴建黑泉水库及其它支沟的蓄水工程等,充分调节控制河川径流量,缓解枯水期供需矛盾。

青海省内的跨流域调水工程,计划中有“引大济湟”工程,即引大通河水补充湟水,以满足湟水流域的需水要求。远景要兴建“引大济湖”工程,引大通河水来弥补青海湖水的不足,以延缓湖泊的退缩和咸化,保护湖泊资源和重建湖区的生态平衡。

2. 提高用水效益

湟水流域、柴达木盆地、茶卡—沙珠玉盆地等地区,水资源的供需矛盾非常突出,但另一方面,却是用水效益低下,浪费大。这种反差非常强烈。针对这种情况,首先要对现有的水资源利用工程进行全面的更新或改造、配套、挖潜,使之能够正常运行和充分发挥应有的效益。现在许多工程已经老化,年久失修,有些工程不配套,应有的潜力很难发挥。这是一个投资较少,收益较快,增加水资源可供水量的重要途径。其次,逐步杜绝浪费,增加水资源利用的科学和综合性,充分发挥水资源的多功能和综合效益。

第二,采取节水措施。随着水资源开发利用难度的加大,节水的效益愈加显露,尤其在缺水地区,节水的措施不是权宜之计,而将一直贯彻下去。城镇要研究节水的器具和回水复用的可能性。目前青海省工业的万元产值耗水量大,而重复利用率很低,需要借鉴我国先进地区的经验,逐步改进。另一方面,开发建设时,也要在布局上考虑到水资源的情况,使布局合理。

农牧业方面的节水措施更为广泛,潜力也最大。目前和将来青海省农牧业的灌溉用水仍然是主要用水大户。而且目前的渠系利用系数低,灌溉技术落后,这些都需要有较大的改进。我们主张首先学习当地的实用的先进技术,而不盲目地重复引进国外的技术,因为国外的技术是否符合当地的情况还要经过检验和实践来证实。

另一方面,也要选用抗旱省水的作物和品种,改善作物结构,合理布局,发展旱作农业等。

3. 加强水资源管理与保护

要加强宣传教育,增强全社会对水资源的忧虑意识。目前青海省的“三江之源”周围的生态环境正在恶化,扎陵湖与鄂陵湖之间的水道也曾断流,所以保护水源已刻不容缓。

此外,要建立和加强对水资源的管理制度,例如编制长期供水计划及计划用水和节约用水的规划。还要将水资源的合理开发利用逐步纳入法制的轨道,用法律手段来规范一切水事行为,保障水资源开发利用长期稳定和健康发展。

二、西藏自治区水资源的开发利用对策

上述青海省的许多措施同样也适用于西藏。以下仅就西藏的具体情况作一简要的阐述。

西藏的用水地区主要集中在“一江两河”地区,主要的问题并非单纯的水资源量不足,而是河川径流量的年内和年际变化大,有些地区就会出现供需不平衡的现象。随着经济的发展、人口的增加和生活水平的提高,需水量将愈来愈大,矛盾将不断加深。

因此,首先要逐步兴建一批大中型的骨干水利工程,蓄水调节径流。而且要在已经出现缺水的地区,针对不同情况作出规划,逐步建设。此外,还要摸清一些可以开发的天然湖泊的情况,充分加以利用。

第二,要修建自流引水渠,或从潜水埋藏较浅的洪积扇中拦截浅层地下水,来灌溉耕地、草场,满足生产和生活用水的需要。

第三,要加强提水灌溉工程的建设。“三江流域”河谷深切,而大部分的农田分布在山坡或阶地上,需要依靠抽取河水灌溉。但由于抽水的扬程太高,单级提水当前还不太可能,多级提水又由于动力的缺乏而较难实施。目前西藏的提水量不大,提灌面积仅占农田总面积的 3.5%,占水浇地面积的 4.8%。机灌仍然限于河谷下切不太深的地区,多采用低扬程提水进行农田或草场灌溉,而在河谷平原内则采用打井提水灌溉。

由于西藏的幅员辽阔,各地情况差异极大,以下就当前各地区(市)的水资源的短缺情况,简述如下:

(1)拉萨市。达孜县和曲水县的水资源量分别为 3.43 和 3.57 亿立方米,在河谷地带及拉萨河注入雅鲁藏布江的河口一带水资源相对短缺。

(2)山南地区。只有措美县北部的哲古错流域比较干旱,西南部的洛扎县水量较丰。

(3)林芝地区。朗县的水资源量 20.9 亿立方米,雅鲁藏布江河谷降水较少,是林芝地区水资源较少的地区。

(4)昌都地区。察雅县 23.6 亿立方米,澜沧江的谷地较干旱。

(5)那曲地区。申扎县水资源量 69.0 亿立方米。只有格仁错、当惹雄错等地区属于干旱带。

(6)阿里地区。噶尔县水资源量 6.88 亿立方米,狮泉河中游水资源较短缺。

(7)日喀则地区。白朗县水资源量 3.48 亿立方米,丹雄曲下游和年楚河谷为径流深的低值区。岗巴县水资源量 5.60 亿立方米,如布藏布上游地区西北角为错姆折林支沟,水资源较短缺。

第十章 水资源与社会经济 可持续发展

第一节 水资源在社会经济发展和 生态环境中的作用

水资源是一种可更新资源,由于它具有特殊物理和化学性质,又是一种不可替代的资源,是人类和一切生物赖以生存的物质基础,也是人类社会一切生产活动不可短缺的最重要资源,因此,水资源在人类社会经济发展过程中具有重要作用,而且与自然界的生态环境有着密切的相互关系和影响。

我们所居住的这个地球上,一切生存着的生物体内的物质组成绝大部分是水。没有了水,所有生物都不可能发生与发展。水除了用于人类生存生活以外,还大量被用于工农业生产、内河航运、水力利用、水产养殖,以及建造优美环境和休憩、娱乐场所,给人类带来极大的恩惠。但是,水也造成各种自然灾害,如风暴潮、泥石流、山崩滑坡、洪涝灾害和水土流失、盐碱化等,以及带来与水有关的各种疾病,给人类的生命财产造成巨大的损失。据统计,目

前全世界各类自然灾害所造成的损失中,仅洪涝灾害的损失就占损失总量的 40%。因此,我们对于水在人类社会经济发展中的作用必须要全面了解和认识,正确处理好水在人类社会可持续发展中的作用。

早在 20 世纪 30 年代,毛泽东就提出“水利是农业的命脉”的科学论断。我国是农业大国,由于降水年内、年际变化大,农业生产需要靠灌溉或补充灌溉才能维持。全国平均每生产 1 斤粮食要补充灌溉 1 立方米的水。为了解决全国人口增长和工业生产对粮食的需求,自新中国成立后至 1997 年,全国灌溉面积由 23175 万亩增加到 78450 万亩,增长了 3.38 倍;粮食总产量由 1132 亿公斤增加到 5046 亿公斤,增长了 4.46 倍;相应农业灌溉用水量也由 1001 亿立方米增加到 3920 亿立方米,增长了 3.92 倍,平均每亩灌溉用水达到 500 立方米。全国有效灌溉耕地面积仅占耕地总面积 55%,但却生产了全国四分之三的粮食、80% 的经济作物和 90% 的蔬菜。尤其是在广大的西北干旱半干旱地区,没有灌溉就没有农业生产。西北内陆地区的绿洲,没有了水就不能生存,水真正是绿洲的生命线。

据统计,西藏和青海两省(区)1998 年耕地灌溉也分别发展到 225 万亩和 280.5 万亩,分别占耕地面积的 68% 和 32%。经过近半个世纪的努力,西藏自治区已改变了长期严重缺粮的局面,初步实现了粮食基本自给,青海省也大大缓解了粮食供求矛盾的状况。此外,西藏自治区已发展草场灌溉面积 1083 万亩,占草地总面积 70531 万亩的 1.5%。青海省发展草场灌溉面积 5000 万亩,占全省总草地面积的 9.1%。通过草场灌溉,不仅可使其产草量增加 4—6 倍,而且极大地遏制了草地沙化、退化的发展趋势,改善了草地的生态环境,促进了当地畜牧业的发展。

一切工业生产活动同样也离不开水。工业生产过程中的冷

却、锅炉、空调、工艺洗涤等需要大量的水,水成为产品生产过程中热量和废物排放的载体。有的工业产品中,如各种饮料中含有大量的水,水构成产品的不可缺少的部分。此外,生产百米棉布需3.8立方米水,生产1吨钢材需9立方米水,生产1000度火电需6.85立方米水,而生产1吨啤酒更需11立方米水。在城市洗一次车,要用6—8升水。随着我国工业的发展,工业用水已成为全国重要的用水部门。

改革开放20多年来,我国工业处于高速发展时期,随着工业生产规模的不断扩大,工业用水量也急骤增加。1980年全国工业总用水量为523亿立方米,1999年则达到1159亿立方米,增加了2.2倍多。工业用水占全国总用水量的比重,由1980年的11%,上升到1999年的20.73%,水资源的大量开发利用确保了工业生产的顺利发展。

由于人口的增长、城市数量与城镇居民的增加以及人民生活的改善,水资源的供应量也在不断增加,这对提高生活质量,稳定社会生活起着重要作用。全国农村生活用水量,由1980年的137亿立方米增加到1999年的238亿立方米,增长了1.74倍;人均生活日用水量,从25—40升左右增加到89升;农村生活用水量占全国总用水量的比重,从1980年的2.9%上升到4.6%。全国城市生活用水量,从1980年的49亿立方米增加到1999年237亿立方米,增长了4.84倍,是各用水部门中增长最快的部门。其用水量在全国总用水量中的比重,也由1980年的1%上升到4.5%。人均日生活用水量,从1980年的117升增加到1999年的227升。

50年来,我国共修建了8万多座大中小型蓄水工程,以及大量规模不等的引水工程和数以百万计的机电井等水源工程。1999年全国总供水量达到5613亿立方米,其中地表水源供水量为4514亿立方米,地下水供水量1075亿立方米,分别占总供水量的

80.5%和19.1%,其它水源仅占0.4%。正是由于在水资源开发利用上取得了显著的成就,才基本保证了农业、工业和农村、城镇居民生活对水的巨大消费需求,确保了我国社会经济的稳定、快速和持续发展。

水资源不仅对城镇、农村的居民生活以及工农业生产有重要的不可替代的作用,而且与生态环境建设也是密不可分的。生态环境用水现在已构成社会发展的重要用水部门。

生态环境用水大致可包括天然生态环境系统和人工生态环境系统的用水。天然生态系统有森林草地需水,河道内水生生物与输沙、输盐用水,和必要的入海水量,以及保护湿地生态系统和保持特定水体水位需水等;人工生态环境系统有人工绿洲、人工绿地、各种生态环境保护林地、水上休闲场所等的需水。

过去在一些水资源短缺地区,为了保证人们生活 and 工农业用水需求,往往挤占了生态环境正常需水量,生态环境用水得不到保证,结果破坏了生态环境,导致了生态环境的恶化。这种情况在内陆地区的塔里木河流域和河西走廊的石羊河流域以及华北地区最为突出。塔里木河流域由于上中游无节制引水,人工绿洲面积扩大,造成塔里木河下游干枯,河流两侧地区地下水得不到补充,地下水位急剧下降,致使大片胡杨林死亡,沙漠随之扩张。石羊河流域上中游由于过度用水,其下游民勤地区得不到水源补给,导致民勤县土地失去了生产能力,植被死亡,成为荒漠地区。华北地区由于近30年来长期缺水,地表水和地下水长期过量使用,造成大量河流干枯,成为季节性河流。地下水过量超采,形成大面积地下漏斗,地下水水质恶化,地面下降,沿海地下海水入侵,破坏了生态环境,使水环境不断恶化,严重影响了工农业生产和居民生活。

第二节 水资源的可持续利用

在人类居住的地球上,已被人类认识和利用的资源中,基本可分为不可再生(耗竭性资源)和可再生性资源两大类,前者如各种矿产资源,后者如土地资源、森林资源、草地资源和水资源。水资源虽然具有可再生性(可更新)特点,但在不同地区其数量却是有限的,而且在时间分配上存在年内和年际变化明显,地区分布差异性也很大的特点。因此,它往往和人类生产活动和生活需求有很多不相适应。

人类社会历史,包含着人类对水的认识和利用、抗争的历史。在人类生活的早期,缺乏科学知识,也缺少利用和抗御各种水旱灾害的能力,只能逐水而牧、随水而居,可以说是处于水支配着人类的时代。随着人类文明的发展,人类逐渐掌握了一定科学技术,通过生产实践对水产生了一定的认识,开始了对水的开发利用,并能在一定程度和范围内抗御各种水的灾害,这时人类社会逐渐进入在一定程度上可以支配水的时代。随着人类社会文明的巨大进步,社会经济得到史无前例的大发展,对水的需求量与日俱增,在许多地区不仅自然界的水不能满足社会经济发展的需求,出现了水资源严重短缺的现象,而且往往由于对水的不合理开发利用,导致产生危害人类社会本身的各种生态环境问题,进而制约人类社会经济的发展。此时,人类就逐渐进入学会了既要合理开发利用水资源,又要保护水资源,与自然界水资源相互协调,即进入水资源可持续利用的历史时期。

水资源可持续利用的内涵是,水作为一种资源,既要满足当代人生存发展对水的数量和质量的需要,又要不损害后代人生存发

展对水的数量与质量的需求,也就是对人类代际进行合理的、公平的分配。水资源可持续利用主要应满足四个方面的基本条件与要求,即:(1)当代社会经济发展对水的需求得到合理满足;(2)水资源在数量上不能被耗竭;(3)水资源质量上应满足不同用水户对水质的要求;(4)保持水资源可再生的能力。这也是检验水资源是否实现可持续利用的主要标准。

我国青藏高原地域辽阔,水资源总量十分丰富。仅青藏高原主体部分的西藏和青海两省区水资源总量就达 5108 亿立方米,加上四川、云南、甘肃、新疆等省区的青藏高原四部分地区的水资源,总量超过 6000 亿立方米,约占全国水资源总量的五分之一以上。该地区由于地广人稀,社会经济发展水平低,国民经济各种用水量很少。因此,从总体上看,青藏高原地区水资源开发利用程度还很低,水质状况尚好,未受到严重污染。除个别地区,如青海省的湟水河外,水资源开发利用还处于初始阶段。

表 10—1 中国 2000 年已建水库统计表

单位:座、亿立方米

地区	总数		大型		中型		小型		水库总库容占总径流量比例(%)
	座数	库容	座数	库容	座数	库容	座数	库容	
全国	85120	5183.57	420	384.21	2704	746.39	81996	594.37	18.89
西藏	47	10.2426	2	8.21	2	1.62	43	0.4126	6
青海	147	297.9257	3	295.03	7	1.4212	137	1.4745	

据 2000 年统计资料,全国已建水库 85120 座,总库容达 5184 亿立方米,而西藏、青海只建 194 座水库,总库容为 308 亿立方米,仅分别占全国总数的 5.9% 和 0.03%。水库总库容量仅为两省区地表水资源总量 5108 亿立方米的 6%,不及全国平均值 (18.87%) 的三分之一(见表 10—1)。而其中西藏各种水库的总

库容仅 10.24 亿立方米,不及其水资源总量 4482 亿立方米的 0.23%,只有全国平均值的 1.2%。

表 10—2 2000 年全国与西藏、青海用水量

单位:亿立方米

地区	农业	工业	生活	总用水量
全国	3783.54	1139.13	574.92	5497.50
西藏	24.72	0.71	1.79	27.22
青海	21.23	3.81	2.83	27.87

2000 年西藏、青海两省区的用水量为 55.09 亿立方米,仅占全国总用水量的 1%。其中农业用水量 45.49 亿立方米,占总用水的 83.4%。高出全国农业用水比重 68.8%的 14.6 个百分点。工业用水量 4.52 亿立方米,占总用水量的 8.2%,比全国工业用水比重(20.7%)低 12.5 个百分点。农业生产用水占主导地位。西藏、青海两省(区)2000 年的总用水量仅占其水资源总量的 1.1%,比全国水资源利用程度(20%)低 19 个百分点(见表 10—2)。从上述可以看出,青藏高原地区的水资源开发利用程度是极低的。但是,青藏高原各地区的水资源分布状况和社会经济发展程度也不平衡,如青海省的东北部地区,包括西宁市在内的值水河流域、柴达木盆地,以及西藏自治区的雅鲁藏布江中游和拉萨河、年楚河的“一江两河”地区,人口密度大,农业发达,工业也有一定规模,因此,各部门用水量相对也大,是青藏高原用水量相对较集中的地区。湟水河流域已出现水资源供求矛盾,今后当地水资源可能难以满足未来经济发展对水资源的需求,目前正规划从大通河调水,以解决将来本地水资源短缺的问题。西藏一江两河地区,将来除进一步开发当地水资源外,还要通过节水和调整农业种植结构来缓解水资源的供需矛盾。在柴达木盆地,主要是控制宜农

荒地的开垦,提高农田灌溉用水效率,抑制农业用水过量增长。青藏高原东部横断山地区,虽然河流水量丰沛,但因工程地质地形条件较差,且多暴雨,水资源开发难度较大,影响了水资源的利用。今后主要应提高水利工程标准,因地制宜地修建小型工程为主,提高水的利用效率,满足社会经济发展对水的需求。

由于青藏高原地区城镇人口总量很少,工业处于初始发展阶段,工业规模小,城镇生活污水和工业废水排放总量也少。1998年西藏、青海两省区生活污水排放量仅1.32亿立方米,工业废水排放量仅0.65亿立方米,污径比不及万分之一,水质总体很好。但是,重点城镇地区河流水质污染较为严重,一些有毒有害物质也出现超标,如西宁、格尔木、拉萨市等地区。还有大量城镇至今缺乏完善的排水系统,其生活污水到处排放,城镇附近河道也成了各种垃圾的堆放地,既影响了环境,也污染了水质,应引起足够的关注。

近50年来,随着自然环境变化和人类活动的加剧,青藏高原生态环境也发生了一些明显的变化,对该地区水资源可持续利用带来了重要影响。

从自然环境变化趋势看,青藏高原趋于变暖变干,高原地区很多天然湖萎缩、咸化甚至变成了盐湖。据研究,青海湖水位每年下降约10厘米,最主要原因是自然条件造成的,人为因素占10%左右。人湖河水被引用于农业灌溉,是人为影响因素的主要方面。黄河上游的鄂陵湖和扎陵湖,近年来由于气候变干,降水量减少,致使两湖水位下降。

高原地区牲畜数量剧增,严重过牧超载,滥挖乱采中草药和矿产资源,以及森林资源过量采伐,也严重破坏了植被,造成土地荒漠化和水土流失,降低了水源涵养能力,影响了水资源的可持续利用。

据统计,西藏的雅鲁藏布江中游地区(拉孜—加查河段)以及拉萨河、年楚河流域,水土流失面积达 70431 平方公里,占流域总面积的 70% 左右。藏东地区的怒江、澜沧江、金沙江流域,水土流失面积达 32711 平方公里,占流域面积的 20% 左右。青海省河湟谷地水土流失面积达 150 公顷,占流域面积的 86%,每年表土流失 1240 立方米,损失的氮、磷、钾相当于 20 万吨化肥,土壤有机质减少 0.1—1.0%。严重的水土流失导致土壤肥力下降,破坏土壤结构,降低土壤含水量和土地生产能力,影响作物产量。水土流失还增加了河水含泥量,河湟谷地每年输入黄河泥沙高达 700 万吨。西藏“一江两河”地区,60% 的塘(库)修建 10—15 年就被淤满,很多输水渠道也常被泥沙淤积而失去输水功能,严重影响水利工程效益的发挥。

西藏、青海是我国重要牧区,草地面积分别达 70531 万亩和 48542 万亩,约占全国草地总面积的 30%。由于长期超载过牧,青海省中度退化草地面积达 10900 万亩,占全省草地总面积的 22%,其中沙化型草地面积约 4000 万亩,每年以增加沙化面积 100 万亩的速度发展。毒草型退化面积近 2000 万亩,主要分布在环青海湖地区。西藏已有近三分之一的草地退化,其中重度退化约占一半左右。即使在水草丰美的四川若尔盖地区,由于草地利用不当,流沙面积也达到 9 万亩。

长期以来,人们在重采伐轻保育思想的影响下,盲目砍伐森林、樵采灌丛,造成森林覆被率大幅度下降,破坏了生态环境,导致水土流失,加剧了洪涝灾害。西藏城镇地区人口相对稠密,又严重缺乏燃料,居民大量砍伐冷季草场灌木作薪柴,由此而导致的土壤侵蚀面积高达 4350 万亩。西藏全区历年来采伐森林面积已达 120 万亩,加上森林火灾和火烧迹地面积,累计有 154.5 万亩的森林面积需要恢复。仅昌都地区每年消耗的森林资源达 60 万立方

米,主要用于居民生活。云南迪庆自治州每年消耗林木 130 万立方米,而生产量只有 110 万立方米,每年森林出现赤字达 20 万立方米。岷江上游的理县、松潘、黑水、汶川和茂县 5 个县的森林覆盖率,从元朝的 50%,解放初的 30%,已降至 70 年代末的 18.8%。四川西部一些林业局已无森林可采。

从上述可以看出,影响青藏高原地区水资源可持续利用的关键因素,最主要是人类活动破坏了该地区生态环境,不仅导致水资源可再生性的降低,而且也直接影响了水资源的可利用性。水资源开发程度不高以及水的利用效率低,也是影响水资源可持续利用的重要因素。因此,为了提高青藏高原地区水资源可持续利用能力,必须加强生态环境保护与建设,重视重点地区的水质保护,根据社会经济发展对水资源的需求,提高当地水资源开发利用程度和用水的效率,提高水利工程安全性,确保水资源的有放和持续的利用。

第三节 水资源与社会经济可持续发展

素有中国和亚洲“水塔”之称的青藏高原地区,发源有中国乃至亚洲的诸多大江大河,如长江、黄河、恒河、雅鲁藏布江—布拉马普特拉河、澜沧江—湄公河、怒江—萨尔温江、印度河等。青藏高原地区水资源不仅对高原地区本身的社会经济可持续发展有重要影响,同时也对高原周边地区,尤其是对我国的甘肃河西走廊、新疆塔里木盆地南部地区、四川盆地、黄河河套地区,乃至我国中东部地区,以及东南亚和南亚次大陆地区都有着深刻的影响。青藏高原地区水资源对社会经济发展的影响和作用大致可划分为三种地域类型。即青藏高原核心地区、青藏高原周边地区和延伸地区

(见表 10—3), 现分述如下。

表 10—3 青藏高原地区水资源的影响范围

受影响区域	国内	国外
核心地区	西藏自治区、青海省、四川省甘孜、阿坝州、云南省迪庆州、甘肃省甘南州	尼泊尔 不丹 锡金 克什米尔地区 阿富汗东北部地区
周边地区	四川省西部地区的攀枝花市、凉山州、温江市、成都市、绵阳市、广元市、乐山市 甘肃省的河西走廊地区 新疆自治区的喀什、和田地区、若羌、且末县 甘肃省临夏州、 云南省丽江地区 西藏自治区印占区部分	印度阿萨姆、恒河流域 孟加拉 巴基斯坦 印度河上游地区
延伸地区	甘肃省兰州市 宁夏自治区 内蒙古河套平原 长江、黄河中下游地区 云南省澜沧江、怒江中游地区	巴基斯坦 印度河中下游地区 澜沧江下游的泰国、老挝、柬埔寨、越南等国 怒江下游的缅甸

一、青藏高原核心地区

青藏高原核心地区包括西藏自治区和青海省全部、四川省的甘孜、阿坝藏族自治州、云南的迪庆藏族自治州、甘肃省甘南藏族自治州。该地区水资源对社会经济发展起着重要的支撑作用。据有关资料统计,该地区有人口 1045.33 万,国内生产总值 464 亿元(当年价),粮食总产量达 224 万吨,牲畜总头数 5536 万头(见表 10—4)。该地区人口稀少,耕地也不多,工业基础差,城镇数量少,

且规模都不大,因此需水量很少,从总体上看,水资源完全有能力支撑社会经济的可持续发展。但在社会经济发展的重点地区,在充分开发利用现有水资源条件下,也应十分重视水资源的合理利用,努力提高水的利用效率和加强对水质的保护,使水资源与社会经济、生态环境协调发展。

表 10—4 青藏高原地区主要社会经济资料(2000 年)

项目	单位	西藏	青海	四川省甘孜、阿坝州	云南省迪庆州	甘肃省甘南州	合计	注
人口	万人	259.83	516.50	171.80	33.20	47.0	1045.330	
耕地面积	万亩	346.305	1003.74	240.6405	54.9	102.3105	1821.156	
有效灌溉面积	万亩	235.5450	317.130	54.7725	20.340	10.3350	638.1225	
国内生产总值(GDP)	亿元	117.46	263.59	59.9655	9.2305	13.730	463.976	当年价格
工业生产总值	亿元	18.3036	233.799	15.9426	1.2651	4.6855	273.9767	
农业生产总值	亿元	51.2185	56.9850	23.9448	4.6401	8.2956	145.0840	
粮食总产量	万吨	96.2234	82.70	40.0	13.6453	11.4452	224.0139	
牲畜总头数	万头	2266.0	2187.04	277.67	28.7971	276.960	5536.4671	

资料来源:根据“中国统计年鉴 2001”,四川、云南、甘肃等省 2001 年统计年鉴整理。

核心地区除国内部分外,还包括有国外的尼泊尔、不丹、锡金等国家,以及克什米尔地区 and 阿富汗东北部地区。这些地处高原的内陆国家和地区,人口稀少,经济欠发达,目前对水的需求量不大,水资源开发利用程度很低。

二、青藏高原周边地区

青藏高原周边地区包括甘肃省的河西走廊地区,新疆自治区的喀什、和田两地区以及巴音郭楞蒙古自治州的若羌县与且末县,四川省的凉山彝族自治州、攀枝花市、川西平原和四川盆地西部的

丘陵地区,以及云南省丽江地区。

甘肃省的河西走廊地区地处内陆,干旱少雨。发源于祁连山脉的石羊河、黑河、疏勒河等流域,水资源主要受祁连山脉雨水和融水补给。该地区包括嘉峪关市、金昌市、酒泉、张掖、武威等地区,是通往新疆的要冲,总人口 253.5952 万,有耕地 952.56 万亩,有效灌溉面积 762.72 万亩,耕地灌溉率为 80%。没有灌溉就没有农业。河西走廊是甘肃省商品粮和其它农产品的重要基地,农业生产在该省占有重要地位。此外,金昌市是我国重要有色金属生产基地,青藏高原地区水资源对河西走廊的社会经济可持续发展起着决定性作用。河西走廊地区社会经济主要指标见表 10—5。

表 10—5 甘肃省河西地区社会经济主要指标

	单位	嘉峪关市	金昌市	酒泉地区	张掖地区	武威地区	合计
人口	万人	15.97	45.25	98.11	125.76	191.10	476.19
耕地面积	万亩	4.26	6980	168.04	320.96	389.50	952.56
有效灌溉面积	万亩	4.245	63.435	167.655	232.710	294.675	762.720
国内生产总值	万元	179311	350746	728737	640889	636269	2535952
工业生产总产值	万元	399865	560339	215152	169595	244151	1589102
农业生产总产值	万元	10544.69	82637.67	273764.85	399499.89	355071.87	1121518.97
粮食总产量	吨	10472	194828	398753	914047	829334	2347434
牲畜总头数 (不包括猪)	万头	3.31	49.67	156.52	196.25	193.26	599.01

资料来源:甘肃省统计年鉴 2001

河西地区水资源总量为 81.83 亿立方米,其黑河、疏勒河、石羊河分别为 41.59 亿立方米、22.78 亿立方米和 17.46 亿立方米。1995 年总供水量达 71.32 亿立方米,其中地表水和地下水供水量分别为 55.18 亿立方米和 16.14 亿立方米。供水对象中,农业 66.92 亿立方米,占总量的 93.83%,农村人畜供水量为 0.84 亿立方米;工业为 3.25 亿立方米,仅占供水总量的 4.56%。城镇供水 0.32 亿立方米。本地区农业用水占绝对地位。

河西地区水资源开发利用程度已达 87.16%,供水量已接近

水资源总量。其中石羊河流域水资源开发利用程度高达146.36% (包括重复利用量), 黑河和疏勒河分别达80.1%和53.86%, 除疏勒河尚有部分开发潜力外, 黑河与石羊河已没有潜力。

该地区社会经济可持续发展必须建立在水资源可持续利用基础上。为此, 首先要加强对全地区各流域的统一管理, 各河流上中下游地区的用水合理分配, 尤其要确保下游地区的分配数量, 使下游地区生态环境不进一步恶化。其次, 应率先在河西地区建立节水型社会。要根据当地水资源条件调整农业结构, 全面开展农业节水工作, 在疏勒河流域应严格控制移民数量, 实行“量水开荒”原则, 不能盲目开垦。第三, 除现有已实施的“引大济西”和“引大入秦”引水工程外, 通过与青海省协商, 可适量扩大引大通河水源, 增加河西地区可供水量, 确保该地区未来社会经济发展和生态环境建设用水。

表 10—6 2000 年新疆喀什、和田等地区社会经济主要指标

	单位	喀什地区	和田地区	若羌县	且末县	合计
人口	万人	360.6342	168.1526	2.8639	5.5540	537.2047
耕地面积	万亩	611.565	259290	3.660	14.145	888.660
有效灌溉面积	万元	581.205	241.185	3.360	14.145	839.895
国内生产总值	万元	754366	271280	23429	19773	1068848
工业生产总值	万元	162245	56934	11615	3086	233880
农业生产总值	万元	623668	316862	5324	16859	962713
粮食总产量	吨	1537181	807091	7503	2589	2354364
牲畜总头数 (包括猪)	万头	652.40	380.45	11.81	32.54	1077.20

资料来源: 新疆自治区国民经济统计年鉴, 2001 年

南疆的喀什、和田地区、若羌和且末县有人口 537.2047 万, 耕

地 888.66 万亩,灌溉面积 839.895 万亩,耕地灌溉率为 94.5%。该地区为内陆极干旱少雨地区,主要为灌溉农业。该区有发源于喀喇昆仑山脉和阿尔金山脉的克孜河、叶尔羌河、和田河、克里雅河、若羌河、米兰河和卡墙河。这些河流发源于喀喇昆仑山系和阿尔金山系的冰川,流往山前地带而消失于塔里木盆地南部浩瀚的沙漠中。就是这些雪山融水浇灌着良田,养育各族儿女,对社会经济发展起到支撑作用。该地区社会发展主要指标见表 10—6。

水资源是当地极宝贵的自然资源,但目前利用的不太合理,存在着浪费现象。为了确保本地区的社会可持续发展,确保水资源的可持续利用和生态环境建设,必须加强水资源管理,大力推广农业节水工程,使有限的水资源得到充分合理利用。

青藏高原东部的周边地区包括四川省的广元市、绵阳市、德阳市、凉山州、雅安市、乐山市、成都市和攀枝花市等 8 个市、州,总土地面积为 150904 平方公里,约占四川省国土面积的 31%。发源于青藏高原而流经该地区的主要河流有雅砻江、大渡河、岷江、嘉陵江和涪江,流入该地区水资源总量约 1500 亿立方米。这一周边地区总人口 3214.7 万,有耕地面积 2570.16 万亩,分别占四川省的 38% 和 39% 左右。该地区是四川省的经济最发达的地区。全区 2000 年国内生产总值为 2456.28 亿元,约占四川全省的 61%,工农业生产总值分别达 1419.6 亿元和 645.55 亿元,分别占四川全省的 68.35% 和 43.51%,粮食总产量 1320.3 万吨,占全省的 37%,可以看出这个地区在四川社会经济发展中占有重要的地位(见表 10—7)。

表 10—7 2000 年四川省西部地区社会经济主要指标 *

	单位	成都市	攀枝花市	绵阳市	绵阳市	广元	乐山	雅安市	凉山州	合计	全省	占全省比重(%)
人口	万人	1013.3	103.0	379.3	518.4	302.6	345.9	149.8	402.4	3214.7	8407.5	38.24
耕地面积	万亩	636.885	47.670	308.190	475.545	256.095	266.475	129.975	449.325	2570.16	6519.165	39.42
有效灌溉面积	万亩	552.30	35.25	246.60	318.75	120.90	148.05	63.45	178.95	1664.25	3679.50	45.32
国内生产总值	亿元	1312.99	114.52	260.08	317.89	86.29	146.02	73.94	144.55	2456.28	4028.5	60.97
工业生产总产值	亿元	645.896	156.434	172.153	241.007	24.2414	114.3763	25.8370	39.6560	1419.6032	2076.9611	68.35
农业生产总产值	亿元	197.74	12.61	102.11	109.26	54.39	55.56	29.75	84.13	645.55	1483.52	43.51
粮食总产量	万吨	363.71	22.85	195.30	238.76	138.87	121.01	69.28	170.52	1320.3	3568.51	37.0
牲畜总头数	万头	68.08	50.20	31.79	93.68	94.65	75.29	69.24	591.25	1074.18	2649.83	40.54

资料来源:四川省统计年鉴,2001

* 不包括甘孜、阿坝藏族自治州。

素以“天府之国”著称的四川川西平原,农业发达且经久不衰,就是得益于发源于青藏高原而流经该区的河流,为这里的肥沃土地提供了丰富的水源。早在两千多年前的汉代,李冰父子就在灌县的岷江上建造了世界著名的引水工程都江堰,灌溉了大片的沃土,养育了这里的人民。解放后,都江堰工程经过修复扩大,灌溉面积从 288 万亩扩大到 1068 万亩,为四川省和我国的农业生产做出了巨大的贡献,今后还要发展到 1400 万亩。灌区由平原发展到丘陵区,粮食亩产由解放前 250 公斤增加到现在的 650 公斤以上。经过近数十年的改扩建,该工程也由单一灌溉的水利工程发展到现在的灌溉、工业、城市生活用水、防洪、发电、漂木、旅游、航运等综合性水利工程。此外,该地区为了开发利用丰沛的水资源,还修建了大量水利水电工程,不但为社会经济发展提供了充足的电力,也提供了丰富的供水水源。至 2000 年底,全区农田灌溉面积已达 1664.25 万亩,占四川全省的 45.32%,已成为四川省各种农产品生产的重要基地。为了解决四川盆地丘陵地区水资源的不足,还

计划从青藏高原边缘地区河流如岷江、青衣江、涪江等引水,扩大灌溉面积,发展农业生产和增加工业、城市供水量。

从上述可以看出,青藏高原地区的水资源对于其东部的周边地区的社会经济可持续发展具有十分重要的作用。随着该区今后的社会经济的不断发展,丰富的水资源将得到进一步的开发和利用。

受益于青藏高原地区水资源的还有位于青藏高原西部的周边地区,主要是处于雅鲁藏布江—布拉马普特拉河下游的印度阿萨姆地区和孟加拉国,以及印度的恒河流域和印度河上游的巴基斯坦北部地区。由青藏高原地区流入上述地区的水资源高达 2619 多亿立方米。为这些地区提供了巨大且比较稳定的水资源量。

三、受影响的延伸区

发源于青藏高原的大江大河,源远流长,影响地区范围广大。在国内的受影响延伸地区有甘肃省兰州市、宁夏回族自治区和内蒙古河套地区,长江、黄河中下游地区以及云南省的澜沧江、怒江的中游地区。俗话说“黄河百害,一利河套”,说的是宁夏、内蒙古河套地区数千年来得益于黄河水的灌溉。该地区干旱少雨,没有灌溉就没有农业。黄河河套地区土地平坦,日照充足,只要有水灌溉,农业就有好的收成。河套地区每年从黄河引水近百亿立方米用于灌溉,是宁、蒙两省区的重要商品粮基地。黄河水也为该地区的煤炭和电力工业发展提供了大量水源。甘肃沿黄贫困地区和宁夏南部山区,都是靠提黄河水发展灌溉和人畜饮水而摆脱贫困。黄河和长江都由西向东入海,贯穿大半个中国,成为我国经济发展的重心地区。长江流域和黄河流域面积分别为 180.85 万平方公里和 79.472 万平方公里,分别占全国陆地国土总面积的 18.84% 和 8.28%,水资源总量分别占全国的 36.8% 和 2.18%。尤其是黄河

流域有三分之二的水资源来自青藏高原地区,对黄河流域有着重要影响。人口分别为 4.2 亿和 1.05 亿,分别占全国的 34.37% 和 39%。1997 年两流域内的国内生产总值分别占全国的 33.11% 和 6.69%。2000 年,长江、黄河总供水量为 1735.48 亿立方米和 393.62 亿立方米,占全国总供水量(5530.73 亿立方米)的 31.38% 和 7.12%。两流域的用水量分别占全国总用水量(5497.59 亿立方米)的 31.38% 和 7.12%。可见长江和黄河流域在中国的社会经济发展中具有举足轻重的战略地位。但是,20 世纪 70 年代以来,由于黄河流域各地区、各部门用水量剧增,各部门总用水量加上 200 亿立方米输沙用水量达到 591.38 亿立方米,已占总水资源的 79.49%,导致黄河流域水环境严重恶化,1997 年黄河下游断流天数达 226 天。1999 年以后经过加强全流域水资源统一调度,黄河断流天数明显减少。

为了缓解黄河流域水资源短缺局面,国家正规划从长江流域的上游通天河以及雅砻江和大渡河向黄河调水(即西线南水北调工程),规划调水量达 200 亿立方米,但由于工程浩大,自然条件复杂,近期难以实施。为解决华北平原水资源供求矛盾,准各实难南北水调东线和中线调水工程,重点解决该地区工业和城镇居民生活用水问题。该调水的工程实施可缓解黄河流域用水紧张状态。

澜沧江—湄公河是发源于青藏高原另一条重要的国际河流,河长 4880 公里,流域总面积 795000 平方公里,水资源量 4750 亿立方米,青藏高原境内河长 1178 公里,流域面积 84300 平方公里,水资源量为 259 亿立方米。中国境内河道长 2153.1 公里,流域面积 164376 平方公里,水资源量 739.4 亿立方米,分别占全流域的 41.12%、20.68% 和 15.57%。澜沧江—湄公河流域的综合开发,已成为中国和东南亚各国共同关注的热点问题,也备受联合国有关机构的重视,已成立了澜沧江—湄公河流域开发机构,协调流域

有关国家的统一行动。该河流开发以防洪、灌溉、航运、发电、渔业、旅游等为主要目标。通过流域内各国的真诚合作,将会有力促进东南亚地区社会经济持续发展和区域稳定。澜沧江—湄公河流域将为加强该地区各国人民友好关系起到桥梁和纽带的作用。

参考文献

1. 叶笃正、高由禧等:《青藏高原气象学》,科学出版社,1979。
2. 林振耀等:《青藏高原气候纵横谈》,科学出版社,1987。
3. 中国科学院青藏高原综合考察队:《喀喇昆仑山—昆仑山地区冰川与环境》,科学出版社,1998。
4. 中国科学院青藏高原综合科学考察队:《喀喇昆仑山—昆仑山地区自然地理》,科学出版社,1999。
5. 戴加洗等:《青藏高原气候》,气象出版社,1990。
6. 孙鸿烈主编:《世界屋脊之谜——青藏高原形成演化环境变迁与生态系统的研究》,湖南科学技术出版社,1996。
7. 杨针娘:《中国冰川水资源》,甘肃科学技术出版社,1991。
8. 熊怡等:《中国的河流》,人民教育出版社,1989。
9. 黄秉维等:《现代自然地理》,科学出版社,1999。
10. 汤奇成、曲耀光、周聿超:《中国干旱区水文及水资源利用》,科学出版社,1992。
11. 汤奇成、熊怡等:《中国河流水文》,科学出版社,1998。
12. 毛德华主编:《塔里木河流域水资源、环境与管理》,中国环境科学出版社,1998。
13. 水利电力部水文局:《中国水资源评价》,水利电力出版社,1987。
14. 程鸿、何希吾主编:《中国自然资源手册》,科学出版社,

1990。

15. 何大明等:《中国国际河流可持续发展研究》,地理学报增刊号,1999。
16. 中国科学院青藏高原综合科学考察队:《西藏河流与湖泊》,科学出版社,1984。
17. 中国科学院地理研究所主编:《青藏高原地图集》,科学出版社,1990。
18. 申元村、向理平:《青海省自然地理》,海洋出版社,1991。
19. 李吉均、郑本兴、杨锡金等:《西藏冰川》,科学出版社,1986。
20. 中国科学院西部地区南水北调综合考察队:《川西滇北地区水文地理》,科学出版社,1985。
21. 孙鸿烈主编:《青藏高原的形成和演化》,上海科学技术出版社,1996。
22. 张彭熹等:《柴达木盆地盐湖》,科学出版社,1987。
23. 中国科学院青藏高原综合考察队:《青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题》,科学出版社,1991。
24. 中国科学院中国自然地理编委会:《中国自然地理、地表水》,科学出版社,1981。
25. 中国科学院兰州分院:《青海湖近代环境的演化与预测》,科学出版社,1994。
26. 郎惠卿等:《中国沼泽》,山东科技出版社,1983。
27. 刘天仇等:《青藏高原国际河流区水资源特征及开发利用前景》,地理学报增刊号,1999。
28. 何大明、汤奇成等:《中国国际河流》,科学出版社,2000。
29. 中国自然资源丛书编委会:《中国自然资源丛书,青海卷》,中国环境出版社,1996。

30. 中国自然资源丛书编委会:《中国自然资源丛书, 西藏卷》, 中国环境出版社, 1995。
31. 地质矿产部青藏高原地质文集编委会:《青藏高原地质文集》卷五, 地质出版社, 1982。
32. 洛桑·灵智多杰:《黄河断流与青藏高原的环境》, 1998。
33. 张家桢等:《青海水文》, 测绘出版社, 1990。
34. 水利电力部水利水电规划设计院:《中国水资源利用》, 水利电力出版社, 1989。
35. 中国科学院新疆资源开发综合考察队:《新疆水资源合理利用与供需平衡》, 科学出版社, 1989。
36. 中国科学院地理所:《柴达木盆地经济发展与水资源合理配置研究》, 1998。
37. 中国科学院国家经济地图集编委会:《中华人民共和国国家经济地图集》, 地图出版社, 1994。
38. 施雅风:《可预见的青藏高原环境大变化》, 科学时报, 2000年5月8日。
39. 熊怡、张家桢等:《中国水文区划》, 1995。
40. 王苏民等主编:《中国湖泊志》, 科学出版社, 1998。
41. 秦伯强、施雅风:《青海湖水文特征及水位下降原因分析》, 地理学报, 47(3), 1992。
42. 范云崎:《西藏内陆湖泊补给系数的初步探讨》, 海洋与湖泊, 14(2), 1983。
43. 秦伯强、王洪道:《青海湖水位下降与水量平衡》, 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第七集, 1990。
44. 曹真堂:《贡嘎山贡巴冰川的水文特征》, 冰川冻土, 10(11), 1988。
45. 施雅风主编:《中国冰川与环境》, 科学出版社, 1999。

46. 刘昌明、何希吾:《中国 21 世纪水问题方略》,科学出版社,1996。
47. 西藏自治区国土规划编制委员会、西藏自治区计划经济委员会:《西藏自治区国土专题规划》,1990—2020
48. 洛桑·灵智多杰:《青藏高原环境与发展概论》,中国藏学出版社,1996。
49. 杨芳、颜红波:《草地植被与青海省东部水土流失》,青海草业,2001. 3, 39(10):43—44。
50. 长江流域规划办公室:《中华人民共和国水力资源普查成果 长江流域上册》,1980。
51. 国家统计局:《中国统计年鉴》,中国统计出版社,2001。
52. 西藏自治区统计局:《西藏自治区统计年鉴》,中国统计出版社,2001。
53. 青海省统计局:《青海省统计年鉴》,中国统计出版社,2001。
54. 四川省统计局:《四川省统计年鉴》,中国统计出版社,2001。
55. 云南省统计局:《云南省统计年鉴》,中国统计出版社,2001。
56. 新疆自治区统计局:《新疆自治区统计年鉴》,中国统计出版社,2001。
57. 中华人民共和国:《中国水资源公报》,1999。
58. 中华人民共和国:《中国水资源公报》,2000。