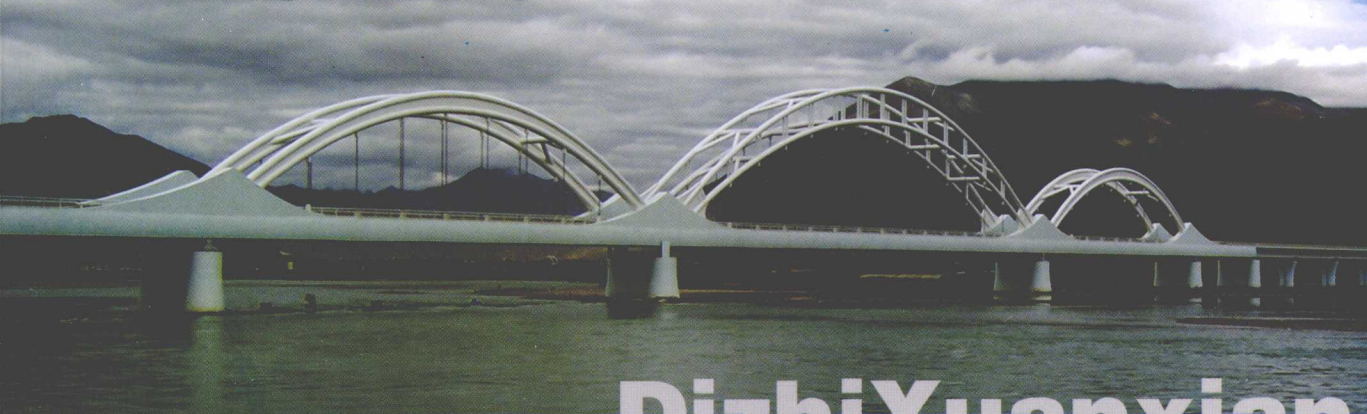


“青藏铁路工程”荣获国家科技进步特等奖

# 主 青 藏 铁 路 工 程 地 质 选 线

## Qingzang Tielu Gongcheng



# Dizhi Xuanxian

- ◆ 主编 李金城
- ◆ 兰州大学出版社

“青藏铁路工程”荣获国家科技进步特等奖

主 编 李金城  
副主编 谌文武 刘争平

# 青 藏 铁 路 工 程 地 质 选 线

Qingzang Tiélu Gongcheng  
Dizhi Xuanxian



◆ 兰州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

青藏铁路工程地质选线/李金城主编. —兰州:兰州大学出版社,2009.3

ISBN 978-7-311-03202-9

I. 青… II. 李… III. ①青藏高原—铁路工程—工程地质 ②青藏高原—铁路选线 IV. U212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 033218 号

策划编辑 高士荣  
责任编辑 张微伟 高士荣  
封面设计 张友乾

---

书 名 青藏铁路工程地质选线  
作 者 李金城 主编  
出版发行 兰州大学出版社 (地址:兰州市天水南路 222 号 730000)  
电 话 0931-8912613(总编办公室) 0931-8617156(营销中心)  
0931-8914298(读者服务部)  
网 址 <http://www.onbook.com.cn>  
电子信箱 [press@onbook.com.cn](mailto:press@onbook.com.cn)  
印 刷 兰州残联福利印刷厂  
开 本 787×1092 1/16  
印 张 13.75  
字 数 315 千  
版 次 2009 年 3 月第 1 版  
印 次 2009 年 3 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-311-03202-9  
定 价 26.00 元

---

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

编 委：（按姓氏音序排序）

程 佳 韩 琳 霍张丽 康 超 李伟奇  
林兰生 刘思文 马向贤 满 君 任军辉  
钱耀锋 孙光吉 王多青 王秋明 解 静  
袁炳祥 周文俊

---

## 前 言

001

建设青藏铁路,是党中央、国务院做出的重大战略决策,是西部大开发的一个标志性工程。青藏铁路建设是西藏自治区和青海省各族人民多年的企盼,是新中国老一辈领导人和几代铁路建设者的夙愿。

青藏铁路起点为青海省省会西宁市,终点为西藏自治区首府拉萨市,全长1 956 km。青藏铁路一期工程,西宁市至青海省西部重镇格尔木市,全长814 km,于1979年建成,1984年交付运营。青藏铁路二期工程,格尔木至拉萨段(简称格拉段),全长1 142 km,最高点为海拔5 072 m的唐古拉山垭口,途经海拔4 000 m以上地段约960 km,经过连续多年冻土地段约550 km,是世界上海拔最高、里程最长的高原冻土铁路。

青藏铁路二期工程建设总工期5年,于2001年6月29日开工,2006年7月1日正式开通运营,设计输送能力为客车8对,年货运量500万吨。其后方连接亚欧大陆桥通道和北京—兰州通道,是我国铁路网中的一条重要干线。

青藏铁路格拉段(以下简称青藏铁路)沿线高寒缺氧,多年冻土条件复杂,自然环境脆弱,线路长,工程任务十分艰巨。回顾青藏铁路勘察设计期间不同类型地质条件下线路方案的选择和优化过程,感触颇深。通过近两年的时间,我们总结了青藏铁路沿线各主要地质选线过程,分析了沿线的工程地质条件对线路的影响,并列举了大量的工程实例,终于完成了本书的创作。

我们在本书的阐述中,结合青藏铁路的复杂地质条件,从多年冻土、地震与活动断裂、斜坡地质灾害、环境保护、地热、风沙及风吹雪等几个方面,突出了青藏铁路的选线特色。

全书共分七章。

第一章是绪论。本章概述了青藏铁路的主要地质问题及其影响,以及各种地质条件下铁路选线的基本原则。

第二章是青藏铁路地质环境。本章分析了青藏铁路的工程地质环境,包括青藏高原独特的地理位置、地形地貌、地层岩性、水文地质条件、多年冻土分布情况以及其他各种不良地质及特殊地质,并介绍了气候特征和生态环境。

第三章是多年冻土区地质选线。本章对多年冻土进行了详细介绍,包括多年冻土分类和工程地质特性。多年冻土对铁路工程危害极大,可能引起的主要灾害有:路基冻胀融沉及冻融翻浆,路堑边坡融塌和泥石流,桥基冻胀融沉、变形开裂及桥跳,涵洞基础冻融变形、洞口融塌破坏,隧道衬砌冻胀开裂、洞内结冰。本章论述了多年冻土区的选线原则,并列举了青藏铁路沿线多年冻土区的主要工程地质选线实例。

第四章是活动断裂带与强震区地质选线。本章阐述了昆仑山地震构造带、崩措地震构造带、谷露—桑雄地震构造带和羊八井—当雄地震构造带的空间分布,断裂的活动速率,以及各地震构造带所发生过的重大地震。活动断裂带不仅对当地生产生活造成影响,而且对铁路工程造成极大的危害。主要灾害有活动断裂带引起的滑坡、泥石流、构造裂缝带和沿活动断裂带的地下水引起的热融滑塌、融冻泥流、热融湖塘、冻胀丘、冰锥、冰丘、冰幔、冻土沼泽等地质灾害。地震对铁路工程也有极大的威胁,本章主要介绍了羊八井 Ms8.0 地震、崩措 Ms8.0 地震、九子纳 Ms7.5 地震和昆仑山 Ms8.1 地震造成的破坏。因此,在活动断裂带和强震区修建铁路,必须进行认真勘察,找出铁路沿线的活动断裂并进行地震烈度区划,制定通过活动断裂带和强震区的选线原则和工程防护措施,才能建设既经济又合理的铁路干线。本章最后列举了在高地震烈度区和活动断层发育区进行地质选线的工程实例。

第五章是斜坡地质灾害区铁路选线。本章阐述了斜坡的分类及其分布规律,分析了危岩、落石、崩塌和岩堆、泥石流、热融滑塌、斜坡湿地对铁路工程的影响,制定了斜坡地质灾害区选线原则及各种防护措施,并具体介绍了昆仑山北坡乱石沟长、短隧道方案比选,羊八井峡谷长、短隧道方案比选,当雄—拉萨线路方案比选。

第六章是自然保护区铁路选线。本章介绍了自然保护区概况,详细叙述了自然保护区与铁路的位置关系,制定了自然保护区选线优化原则,并重点介绍了三江源保护区和可可西里保护区铁路选线,指出了铁路对保护区生态环境

的影响及采取的应对措施。

第七章是地热、风沙及风吹雪地区地质选线。本章共分三节。第一节是地热地区的地质选线,介绍了我国地热区的分布和分类以及工程特性,分析了地热对铁路工程的影响,制定了地热区的选线原则。第二节是风沙地区的地质选线,阐述了青藏高原风沙形成的原因和运动规律,分析了风沙对铁路工程的影响,制定了风沙地区的选线原则及防护措施。第三节是风吹雪地区的地质选线,阐述了青藏高原风吹雪灾害形成的原因和运动规律,分析了风吹雪、雪崩对铁路工程的影响,制定了风吹雪地区的选线原则及防护措施。

由于青藏高原具有特殊的气候环境、复杂的多年冻土地质条件、地震烈度高、活动断裂带多,又具有特殊的原始、脆弱、敏感的自然生态环境,所以自青藏铁路勘察起,我们就一直关注铁路选线问题。通过广大勘察人员和科技人员的不懈努力,掌握了沿线的主要工程地质问题,特别是查明了多年冻土的分布特点和发育规律,为最终确定线路方案提供了有力的保障,将铁路投资成本降到了最低限度。

003

铁路选线是一个综合的过程,往往需要综合考虑各种外在因素,单从地质条件的影响方面来谈青藏铁路选线,是本书的一个特色。本书在每一章的最后,都有对在该章涉及的主要地质条件下进行铁路选线的思索和体会,为读者提供了探讨和思考的空间。

本书是在大量收集和总结青藏铁路所有勘察设计报告、总结资料、设计文件和已经发表的文章的基础上完成的。书中所涉及的工程实例是以我为主,在实际勘察设计工作中和线路专业、路基专业、地质专业、桥隧专业和环保专业等许多专业的人员一起研究和分析后,最终确定的线路方案,充分体现了选线过程中各专业人员的集体智慧。

本书由我主编和统稿,兰州大学土木工程学院十余位教师和研究生以及铁一院许多专业人员参与了本书的编写工作。我们在坚实的研究基础上,广泛吸收已有科研成果,站在时代的高度,以科学发展观为指导,最终完成了本书的编写工作。因此,本书是集体智慧的结晶,是团队精诚合作的成果。兰州大学土木工程学院谌文武教授对本书的框架结构提出了宝贵意见,铁一院地质高级工程师刘争平同志对本书进行了全面校核,并提供了宝贵的资料,在此表示

衷心的感谢！同时，参加写作和制图的人员还有袁炳祥、林兰生、李伟奇、任军辉、周文俊、钱耀锋、王多青、刘思文、王秋明、程佳、解静、满君、韩琳、孙光吉、康超、霍张丽、马向贤等同志，在此一并表示深深的谢意！

另外，为了符合工程地质惯用术语，本书采用了一些非标准单位，如公里、亩、mb 等等。

全书在编写过程中参考了多种相关的专著、报刊发表的论文及调查报告，并引用了相关资料，乃至理论、观点和方法及照片。因篇幅关系，仅在书后列出参考文献，而未对出处一一注释，在此向原作者表示歉意，并表达衷心谢意。

由于我们水平有限，书中难免存在错误和不足，敬请广大读者批评指正。

李金城

2008年12月18日 西安



## 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	001
第一节 青藏铁路沿线主要地质问题综述 .....	001
第二节 不同地质条件下铁路选线原则综述 .....	003
<b>第二章 青藏铁路地质环境</b> .....	007
第一节 自然地理 .....	007
第二节 地形地貌 .....	018
第三节 地层岩性 .....	021
第四节 地质构造 .....	026
第五节 水文地质 .....	029
第六节 地震与活动断裂 .....	033
第七节 沿线多年冻土分布概况 .....	034
第八节 沿线主要不良地质及特殊地质 .....	044
第九节 小结 .....	045
<b>第三章 多年冻土区地质选线</b> .....	046
第一节 多年冻土的分类及分区 .....	046
第二节 多年冻土区工程地质特性 .....	052
第三节 多年冻土对铁路工程的影响 .....	064
第四节 多年冻土区地质选线原则 .....	068
第五节 多年冻土区主要线路方案比选 .....	070
第六节 小结 .....	078
<b>第四章 活动断裂带与强震区地质选线</b> .....	079
第一节 活动断裂带的空间分布 .....	079
第二节 地震带时空分布 .....	093
第三节 活动断裂带与强震区对铁路工程的影响 .....	102
第四节 活动断裂带与强震区选线原则及工程设置 .....	106
第五节 活动断裂带与强震区主要方案比选 .....	115
第六节 小结 .....	121

<b>第五章 斜坡地质灾害区铁路选线</b> .....	122
第一节 斜坡地质灾害的分布规律 .....	122
第二节 斜坡地质灾害对铁路工程的影响 .....	129
第三节 斜坡地质灾害区铁路选线原则及防治措施 .....	136
第四节 斜坡地段主要方案比选 .....	143
第五节 小结 .....	145
<b>第六章 自然保护区铁路选线</b> .....	147
第一节 沿线自然保护区概况 .....	147
第二节 自然保护区与铁路的位置关系 .....	153
第三节 自然保护区铁路选线原则 .....	155
第四节 自然保护区主要铁路选线 .....	156
第五节 青藏铁路选线时采取的应对措施 .....	167
第六节 小结 .....	172
<b>第七章 地热、风沙及风吹雪地区地质选线</b> .....	174
第一节 地热地区地质选线 .....	174
第二节 风沙地区地质选线 .....	180
第三节 风吹雪地区地质选线 .....	198
<b>参考文献</b> .....	207
一、著作 .....	207
二、论文 .....	209

# 第一章

## 绪论

青藏高原是世界上面积最大、海拔最高的高原,地理位置独特,自然环境恶劣,地质条件复杂,具有海拔高、气温低、干旱、风大等特点,发育各种各样的不良地质现象,包括多年冻土、地震、斜坡地区地质灾害、地热、风沙、风吹雪等等。青藏铁路选线时,必须考虑各种不良地质现象对铁路工程的影响。

### 第一节 青藏铁路沿线主要地质问题综述

#### 一、多年冻土区地质问题

青藏铁路冻土区,其北界位于昆仑山北麓西大滩断陷盆地内,铁路里程为 DK957+640,海拔为 4 350 m;南界位于唐古拉山南麓安多谷地内,铁路里程为 DK1513+770,海拔为 4 780 m。全长 546.43 km,其中融区 101.68 km,冻土段 444.75 km。

冻土对温度极为敏感,在外部荷载(如路基填土)作用下,由于土体中水分在冻结过程中的重分布伴随着压力产生,使土粒结构、密度发生变化形成冻胀;当冻土融化时,在自重和外荷载作用下产生排水固结,土层压缩变形造成沉降。随着气候冷暖变化及人为因素的影响,多年冻土区的活动层中每年都发生着季节性融化和冻结,使路基及地基土产生周期性冻、融变形,并伴生各种冻土不良地质现象。由此,产生了多年冻土区筑路的一系列特殊工程地质问题,对铁路的修建及工程的稳定产生很大的影响。

从本质上讲,修建铁路改变了冻土的天然水热状况,破坏了冻土的水热平衡条件,以致冻土力学稳定性降低,造成路基冻胀融沉,路堑边坡融塌、泥石流,桥梁、涵洞基础冻胀融沉、变形开裂,隧道冻胀开裂、洞内结冰等严重影响铁路工程建设的问题。

#### 二、活动断裂带地质问题

青藏高原是我国大陆现今地壳构造运动最强烈的地区,属于地震高风险区,工程抗震问题十分突出。青藏铁路望昆至唐古拉山段经过青藏高原“歹”字形构造体系的头部,该区大部分为剧烈抬升的地槽,线性断裂成束出现。该区地层自震旦亚界以来,经历了多次褶

皱和断裂,且新的构造(主要指断裂)对已形成的老的构造具有明显的承袭性和再造作用,其主干断裂多为走向断裂。就其生成而言,各期构造运动都生成一定的断裂系统。

线路通过的主要褶皱有可可西里复式向斜、风火山向斜、开心岭背斜、唐古拉山复式向斜;主要断裂有西大滩隐伏压性断裂、昆仑山垭口压扭性断裂、风火山北麓压性断裂、乌丽断裂带、雁石坪地区压扭性断裂带和唐古拉山断裂带等。

一般来说,断层两侧岩体质量较差,经常有断层崖和断层三角面等,形成凌空面,容易形成滑坡和泥石流等地质灾害。强烈地震能够产生显著的地表破裂,导致路面严重变形、路基断开、桥梁破坏与地面塌陷等,并诱发沙土液化、崩塌和滑坡等不良地质现象,加剧地震的灾害效应。在青藏高原北部常年冻土区,断裂活动不仅导致路基变形、路面破裂和工程破坏,而且诱发不均匀冻胀、构造裂缝和移动冰丘等地质灾害。

002

### 三、斜坡地区地质问题

斜坡是自然山坡(含河、沟、水库岸坡)和人工边坡的总称,在斜坡上往往会发生各种地质病害。青藏铁路沿线斜坡地段主要地质灾害有危岩、落石、崩塌、岩堆、泥石流等,以及多年冻土斜坡地区的融冻泥流、热融滑塌、斜坡湿地等。青藏铁路危岩、落石主要分布于堆龙曲峡谷区的阶地前缘卵石土地层及斜坡岩层地段。在纳赤台附近、昆仑河南岸、羊八井隧道群局部地段也有危岩、落石分布。岩堆主要分布于昆仑山乱石沟东西两侧及堆龙曲两侧的山坡坡脚。对线路有影响的泥石流主要分布于干沟至昆仑山隧道进口段,以及堆龙曲峡谷区两岸支沟。融冻泥流、热融滑塌主要分布于昆仑山、风火山地区,斜坡湿地主要分布于唐古拉山地区。

### 四、地热、风沙、风吹雪地区地质问题

青藏铁路沿线地区有丰富的地热、风力资源等,同时也发育了地热、风沙、风吹雪等特殊不良地质现象,对青藏铁路的修建和维护产生了各种不利影响。

据统计,羊八井—那曲等构造带分布着数十处温度在90℃以上的沸泉、喷泉,200余处热泉、温泉。地热开发与天然条件下的地热活动都可能改变地质环境,诱发各类地质灾害,包括改变地质体结构特征诱发崩塌、滑坡,疏干含水层引起地面沉降,地热流体浸流造成土壤盐碱化等。由于地热活动的存在,引起地质环境条件的改变,导致地面物质运动速度的加快、减缓或固结等,表现为滑坡灾害的发生和热液对沉积物的胶结及土壤盐碱化的发生。

青藏高原风沙灾害是与其潜在的自然因素为基础,自然过程与人为过程相互作用而形成的。首先,风大、沙多导致内在风沙灾害危险性较高,而近期气候的干暖化又引起青藏高原风沙活动范围与强度的扩大和增强;同时,快速增长的人、畜数量及其活动强度导致对区内土地资源的过度开发利用,人为造成了广大地区风沙活动及其强度的增强。

青藏高原风吹雪出现频繁且危害严重的地带,主要分布在东北部和东南部(包括横断山脉和川西高原)及四周山地;南部和西部山区海拔5000m以上的地带有较强的常年风吹雪。高原内部分地区气候干燥寒冷,降水量少,风吹雪的发育受到影响。

青藏铁路沿线的雪害主要是风吹雪,以里程长度计算,约占全部雪害的90%左右,而雪崩出现在昆仑山、唐古拉山和念青唐古拉山的局部地区,其数量和规模都远不及风吹雪。据青藏公路上的统计,雪害主要分布在昆仑山口—那曲之间,其中尤以唐古拉山口—那曲段最为严重。

## 第二节 不同地质条件下铁路选线原则综述

### 一、多年冻土区选线原则

多年冻土区选线在遵守铁路选线一般原则的基础上,应注意以下几点:(1)线路尽量少通过多年冻土不稳定地区及年平均地温高于 $-0.5^{\circ}\text{C}$ 的高温冻土地区。(2)线路尽量采用路堤,少用路堑,并注意减少零断面及高度小于1.0 m的低填方地段,以避免破坏冻土,影响路基稳定。(3)线路通过丘陵地区时,宜选择在缓坡上部。线路穿越山岭采用隧道方案时(如在风火山、昆仑山),当地层条件相近,产生短隧道群方案和单一长隧道方案时,宜采用长隧道方案或将短隧道尽量合并;同时,尽量避免将隧道位置放在地下水发育的地层和厚层地下冰中,还要尽量避免将洞口段放在冻土不良地质现象发育地带。(4)线路通过河谷地段时,最好选择河流融区或高阶地稳定多年冻土地段。当线路跨越大河需设置大、中桥时,应选择在单一地层地段,如融区地段或基底均为少冰冻土的河段,避免将一座桥设在融区和冻土两种不同的地基上。(5)线路通过厚层地下冰、热融滑塌、热融湖塘、冰锥、冻胀丘、冻土沼泽等冻土不良地质现象发育地段时,应尽量绕避。尽量把线路选择在地表比较干燥的地带和岩石、碎石、粗沙土等少冰冻土地带。(6)对于高温区含土冰层埋藏较浅、厚度较大的地段,高温区的高含冰量冻土地段,及地层粗细颗粒交错,路基难以保证均匀变形的地段,实施以桥代路设计原则。青藏铁路多年冻土段采取以桥代路达130 km,提高了线路的可靠性,并保护了自然环境。(7)选线时要注意取土条件,设置集中取土场,规定运土路线,严禁在线路两侧取土和随意开辟运土便道,以避免形成热融湖塘。(8)当线路与青藏公路并行时,既要考虑对冻土的干扰,又要给公路留有充分的改扩建余地(一般地段为100 m以外),并尽量靠近公路,以避免对生态环境的再次切割和对野生动物的再次侵扰。(9)在条件允许的情况下,尽量选用较大的曲线半径,提高列车行车速度,缩短旅客在高原的通过时间。

### 二、活动断裂带地区选线原则

按七度及以上地震区工程地质选线原则,线路宜避开活动断裂带,难以绕避时,应在活动断裂带较窄处以简易工程大角度通过,不宜在活动断裂带内设置大中桥、高桥、隧道等高填深挖、难以修复的大型建筑物。

青藏高原新构造运动的特点决定了沿线活动断裂带的走向绝大部分与线路垂直或大角度相交。对沿线分布的大部分断层,线路都是难以绕避的。在唐北地区各阶段的勘察、设计工作中,对涉及活动断裂的地质选线和工程设置,我们进行了认真的断层勘察、线路方

案比选和工程设置研究,在最终的施工图设计中,通过主要活动断裂时,满足了以简易工程大角度通过的选线原则和尽量避免设置大中桥、高桥、隧道等高填深挖、难以修复的大型建筑物的原则;通过一般活动断裂时,采取尽量避免设置高桥、压缩孔跨缩短桥长、桥改涵等工程设置原则;对个别影响线路方案和工程设置的工点,进行了加深地质工作,以保证采取最优的线路方案和合理的工程措施通过断层。

### 三、斜坡地区选线原则

斜坡地段的主要特点是地形、地质条件复杂,高程变化大,常常影响或限制线路坡度、最小曲线半径以及线路走向、线路标准等的确定。

在查明斜坡地段工程地质条件、掌握斜坡地质灾害的前提下,青藏铁路斜坡地质灾害区地质选线主要遵循以下原则:(1)对区域性地质构造、岩堆、崩塌、危岩、落石、滑坡及斜坡不良冻土现象发育地段,尽量采取绕避措施。(2)线路高程设计时,既要保证线路高程高出规定洪水频率的设计水位,又要避免线路高悬于斜坡之上,造成工程量增大。要充分利用既有地形条件,并结合地质灾害发育情况,统筹考虑。如紧坡地段根据线路坡度,尽量利用旁沟侧谷和其他有利地形、地质条件适当展线。一般要尽早展线,使线路高程尽早降低至河谷低台地上,以减少路基、桥梁高程量。又如自由坡度地段可结合地形、水文及高程需要,使线路适当起伏。(3)地质灾害轻微的斜坡地段,应该进行绕行和取直线路的方案比选。首先比选斜坡地质灾害处理的工程费用,然后进行线路绕行和取直的比选。两种方案的优缺点如下:①绕行方案,沿斜坡地段绕行,由于线路展长,在紧坡地段有利于争取线路高度,但是易受不良地质的危害,或河流冲刷的威胁,线路安全性较差。②取直方案,可以采用路堑、隧道,或外移线路远离斜坡地质灾害区设置桥梁通过,线路短而顺直,安全条件好,但是工程费用较高,工期较长。一般当取直方案和绕行方案在工程数量、经济比较相当时,采用取直方案。(4)地质灾害严重的斜坡地段,以路基通过不能保证线路安全时,应考虑内移建隧道方案,如昆仑山地区、羊八井地区的线路选择多以长隧道方案为主。在陡坡地段,斜坡地质灾害危害性大,隧道埋藏厚度不足时,线路内移建隧道有困难,此时可考虑外移设桥梁通过。如昆仑山隧道出口的斜坡地段,热融滑塌、融冻泥流、岩堆现象发育的地段,选择桥梁通过。

### 四、地热地区选线原则

地热区选线原则如下:(1)尽可能远离地表温泉出露地带。(2)对于由地热活动引起滑坡的地段,首先应避开大量滑坡地段和大型古老滑坡体;对难以避开者,在摸清其性质和稳定状态的基础上采取相应的处理措施。(3)地表发育的温泉是一种重要的旅游资源,隧道施工若形成较大的降位漏斗,导致温泉消失或流量减小,会影响温泉资源的开发利用。对此需要进行深入的分析:第一,隧道施工肯定会对地下水系统产生影响,因此,要减小这种影响,主要方法是控制开挖温度,采用合理衬砌,设置隔热保温层,铺设防水层。第二,是否会产生区域性地下水位下降,取决于地层和构造条件。

## 五、风沙地区选线原则

风沙地区选线原则如下:(1)合理绕避严重流沙地段。在风沙地区进行线路方案比选时,不能只考虑工期和初期工程投资,而要从施工、养护、运营等多方面进行综合研究。在线路绕长不太多、工程费用增加有限的情况下,尽量选择绕避严重流沙。这对整个施工、运营来说还是合算的。但是,也要防止不分具体情况,遇到流沙就绕避的倾向。(2)必须穿过风沙地段时,要充分利用各种有利地形,将线路尽量选择在沙害较轻的湖滩地、河谷阶地、古河床及扇缘等地带。(3)线路必须穿过流动沙丘时,要由流沙最窄地段通过,并将线路布设在沙丘的逆风侧吹蚀部位;利用沙丘中的低矮处穿越,尽可能利用较开阔的丘间低地等。(4)尽量使线路方向与主导风向平行或小角度相交,以减少路基的风蚀和沙埋。(5)结合地形、风向选择合理的平曲线及纵断面。如果必须设置平曲线,宜设在路堤地段,并将平曲线的凸面朝主导风向。线路的纵断面不应一味追求平顺,在符合线路技术指标的前提下,应顺应自然地形起伏敷设线路,尽量避免切割地形。一般以包线(堤式)设计为宜,路堤高度除满足纵坡的需要外,不宜过高。

## 六、风吹雪地区选线原则

青藏铁路沿线雪灾的类型主要是风吹雪。风吹雪对道路的危害除与气候、高程等因素有关外,还与线路所在区域的地形、地貌、地物、纵断面形式、路基横断面形式关系密切。一般情况下,不能为了赶工期或者节省投资强行穿越一些雪灾极严重的地段,而应该绕避。不可绕避时,尽量以隧道或棚洞方式通过。在不过分偏离总走向的前提下,在线路绕长不多、工程费用增加有限时,尽量照顾到以下几点:

(1)线路走向。线路走向应与风雪流盛行风向平行(隧道除外)或夹角尽量小,特别是傍山线路更应注意这一点。一般来说,在雪源条件相似的情况下,线路与风雪流盛行风向夹角越小,雪灾越轻。

(2)线路位置。线路海拔高度低,则积雪晚、融雪早,受雪灾影响时间相对比高海拔处短,故一般越岭线路以低海拔通过为宜。阳坡日照时间较阴坡长,太阳辐射强,雪融快,所以线路一般应设在阳坡。若阳坡地形过于破碎,修路费工很大或阴坡有茂密森林,则走阴坡。要充分利用局部地形,如开阔谷地比狭窄谷地好,谷地内地形变化起伏小的又比大的优越。走山腰线不如走山脊线。一般不要穿行两山夹峙的隘道地带,尤其应该避免陡峻山坡下的傍山线。背风坡雪灾一般较迎风坡严重,应力求多在迎风坡设线,尽量减少在背风坡盘绕。由于回头弯一般积雪都比较严重,特别是背风坡傍山弯道,所以在雪源丰富地区,应少设回头弯,或者尽量修成路堤形式。

(3)路基设计:

①在雪源丰富地区,不论线路走向与盛行风向夹角如何,都会发生较严重的雪灾,尤其是浅路堑、长路堑,其雪灾防治费用较其他路基断面形式要高。故在进行路基设计时,应尽量少设路堑,多采用路堤形式。若路堑难以避免,则应根据当地移雪量的大小,在上风一侧加宽、加深边沟,抬高路基,使路堑中的路面以路堤形式出现,或在上风一侧设置储雪场、集雪沟或放缓边坡并修成使上风面堑顶高于下风面堑顶的敞开式路堑。

②半填半挖的背风路段、迎风路段可视具体情况,适当增加一些挖方。如在背风路段的上风面、迎风路段的下风面,通过设计储雪场、加大取土坑、增宽边沟来容纳大量积雪,或放缓边坡将线路外移等,预防雪灾。

③回头弯容易积雪,宜设计成大半径并挖掉回头弯路基中间所留的突出体,削去傍山弯道内侧部分山体,或设计完全敞开式的回头弯,借此消除由于垂直和水平两种涡旋所造成的积雪。

④对线路不长但雪灾极严重的高山垭口等路段可采用隧道、明洞或棚洞等构造物。上述构造物造价虽高,但防雪效果好。

(4)排水设计。在雪源丰富地区,融雪季节到来后,融雪径流大,因此应注意排水设计,有明显沟谷处,要见沟设涵,使融水及时排除,以保证路基稳定。

## 七、自然保护区选线原则

青藏铁路沿线有国家级、省级自然保护区 24 个,其中青海省有 5 个国家级和 4 个省级自然保护区,西藏自治区有 9 个国家级和 6 个省级自然保护区。在两省区的保护区中,与已建铁路线联系密切的有 11 个,包括可可西里自然保护区、三江源自然保护区、一江两河自然保护区以及羌塘自然保护区、纳木措自然保护区、当雄羊八井—格达温泉蛇自然保护区、拉萨古柏树林自然保护区、林周澎波黑颈鹤自然保护区、达孜叶巴喀斯特地貌自然保护区、堆龙德庆马乡不整合接触自然保护区、西藏拉鲁湿地自然保护区。因此,在铁路的选线中必须贯彻“开发与保护并重”的原则,高度重视对铁路沿线自然保护区及其野生动物的保护,把铁路的影响降到最低限度。为此,我们要树立高度的环保意识,采取以下措施:(1)坚持绕避原则。线路尽量绕避自然保护区。线路无法避让时,要避免过多穿行于已划定的自然保护区内的缓冲区;同时尽可能地绕避动物栖息地及兼有水源涵养和保护生物多样性、高原生态系统完整性功能的敏感地带(如湿地、源头水源地等)。线路必须穿越湿地的要保证不切割地表水和地下水的流向,以保证湿地的连通性,因此以多设桥为宜。(2)设置野生动物通道。具体措施如下:①留有足够的动物迁徙和种群之间交流的通道,以满足其繁衍和迁徙的需要。②对动物通道的设置要有长远打算。如野生动物受到保护后种群会不断扩大,因此各种形式的通道不应留得过于狭窄,桥梁下方的通道净空也不能留得很低。③依据对环境的最终影响评价所确定的野生动物通道,科学合理地设置动物通道。通过的方式主要有:桥梁下部通过、隧道上部通过及路基缓坡平交通过。④修建铁路对野生动物通道与栖息环境产生较大影响的地段,适当采取生态工程补偿的形式减弱其影响。⑤从长远出发,充分考虑青藏铁路具有旅游铁路的性质,较好地发挥其观光功能,加强生态再造工程。

由于青藏高原特有的原始、脆弱、敏感的地理生态环境,自青藏铁路修建起,我们就一直关注铁路对环境的不利影响,并努力使之降到最低限度。



## 第二章

# 青藏铁路地质环境

青藏铁路自然环境恶劣,高寒缺氧,地质条件复杂,发育连续多年冻土,此外,还发育有滑坡、泥石流、地震、风沙、风吹雪等地质灾害,工程地质条件极其复杂。沿线生态环境脆弱、敏感,一旦破坏,极难恢复。“多年冻土、高寒缺氧、生态脆弱”是青藏铁路建设面临的三大难题。

## 第一节 自然地理

### 一、地理位置

青藏高原是世界上面积最大、海拔最高的高原,位于亚洲中部,素有“世界屋脊”、“地球第三极”之称。青藏高原的边界,东部是横断山脉,南部和西部是喜马拉雅山脉,北部是昆仑山脉,其范围包括中国西藏自治区、青海省全部和新疆维吾尔自治区、甘肃省、云南省、四川省的一部分,以及不丹、尼泊尔、印度、巴基斯坦、阿富汗、塔吉克斯坦的部分或全部,总面积约 250 万  $\text{km}^2$ 。青藏高原在我国的部分西起帕米尔高原,向东延伸到川西、滇北的横断山脉,北起昆仑山脉,南至喜马拉雅山脉,方圆约 200 万  $\text{km}^2$ ,南北跨越近 10 个纬度,平均海拔在 4 500 m 以上,构成我国地势上最高的一级台阶。

青藏铁路穿越青藏高原腹地,跨越青海、西藏两省区,地处北纬  $29^{\circ}30' \sim 36^{\circ}25'$ 、东经  $90^{\circ}30' \sim 94^{\circ}55'$  之间。线路北起青海省格尔木市,基本沿青藏公路南行,途经纳赤台、昆仑山口、五道梁、沱沱河沿、雁石坪,然后翻越唐古拉山,经安多、那曲、当雄、羊八井至西藏自治区首府拉萨市,全长 1 142 km(见图 2-1)。

线路经过地区海拔高,全线平均海拔约 4 380 m,海拔高于 4 000 m 地段长度约 960 km,穿越连续多年冻土区长度约 550 km,线路最高点海拔为 5 072 m,是世界上海拔最高、线路最长的高原冻土铁路。线路穿越的自然保护区有可可西里自然保护区、三江源自然保护区、羌塘自然保护区等。

青藏铁路格拉段平纵断面示意图见图 2-2。