

铁道工程地质

何 宁 编
刘统畏 审

中国铁道出版社
1996年·北京



(京)新登字 063 号

内 容 提 要

本书对铁道工程地质问题进行了全面系统的总结,从实际情况出发,论述了铁路地质工作在铁路建设中的地位作用,从战略高度提出加强地质工作的重要性,对选线、路基、隧道、桥梁等的工程地质问题,结合工程实例进行了进一步的探讨,对施工地质和运营地质提出了强化措施。书中收集整理了大量工程实况资料,既总结了经验,又有一定的理论深度,特别重视新技术、新工艺和新方法的评介。

本书适合于铁路广大地质工作者、工程技术人员、管理人员和大专院校师生参考使用。

铁 道 工 程 地 质

何 宁 编

刘统畏 审

*

中国铁道出版社出版

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑:李云国 版面设计:赵敬宇

铁道部第一工程局印刷厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/32 印张:16.75 字数:359 千

1996 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN7-113-02327-4/TU · 501 定价 21.00 元

前 言

地质工作在铁路建设中具有重要作用。凡是重视地质工作的工程,施工中出现的问题就少,工程质量就好;凡是不重视地质工作的工程施工中就可能出现这样那样的问题,不仅工程质量没有保证,而且交付运营后病害严重,影响行车安全。地质工作贯穿于勘测设计、施工和运营的全过程,每一个阶段都不应该忽视。

越来越多的事例表明,由于铁路工程点多、线长、面广,分布于全国各地,遇到的工程地质问题极其复杂,许多情况下,地质条件起控制和制约作用。因此,在铁道工程建设中,应把地质工作提高到战略决策的高度,增加必要的投入,认真做好勘测设计、施工和运营各个阶段的地质工作。最近一二十年,随着铁路建设的大发展,在一些国家重点工程如大秦线、衡广复线、京九线、宝中线、侯月线、南昆线等的建设中,遇到了各种各样重大的地质问题。有的工程地质出现问题,损失惨重。如太焦线 10km 多的滑坡群、衡广复线南岭隧道岩溶突泥、大瑶山隧道断层涌水、大秦线军都山隧道塌陷、宝成和宝天既有线的泥石流灾害等,教训深刻。一些重大工程地质问题的发生,往往是事后遇到,被迫整治。当然有其地质复杂、一时难以查清的原因,但更主要的是对地质工作认识不足、重视不够、措施不力所致。

工程地质,或称铁道工程地质,是一门应用科学。它在铁路建设中的重要性、以及铁道工程地质工作在铁路建设中的地位和作用,应提高到战略的高度来认识。在安排基建计划时,要同时安排地质工作,提前调查研究和论证预测一些主要工程地质问题,为后期地质勘察有重点、有针对性地开展深入工作,创造条件,能在勘测设计阶段就把一些重大工程地质问题搞清楚,避免设计决策的失误。这样就可以在施工中不致因为工程上马急、地质情况没有搞清楚而出现大问题,使投资失控、工期延长、不能按期交付使用。

国家计委颁发的工程勘察技术政策要点规定:工程勘察必须遵守国家的有关经济建设方针政策,坚持先勘察后设计再施工的基建程序,紧密配合地质研究、工程设计、施工与运营全过程,不断提高勘察质量,讲求经济、社会、环境三大效益。工程地质问题之所以重要,正是因为它在工程建设的全过程中,对工程方案和措施在一定程度上起决定作用,直接关系到经济效益、社会效益和环境效益问题。特别是一些地质复杂的重点工程,尤其应加强工程地质研究。

本着这个目的,本书探讨了有关铁路工程地质的各种问题。全书共分9章,前两章探讨了铁路建设中地质工作的意义、作用和重要性,以及地质勘测工作存在的一些问题和改进意见。第3至第6章,对线路、路基、隧道、桥梁工程中常见的一些重大地质问题,结合工程实况研究了其工作的内容、深度、程序、方法和经验教训,特别指出铁道工程这些专业开展地质工作的任务、要求、新技术和今后的发展方向。第7、第8章研究施工地质和运营地质问题。第9章,分析研究了比较突出的几种铁路地质灾害和防灾措施。本书比较全面系统地研

究铁路工程地质问题。它的特点是,紧密结合工程实际,探讨对铁道工程各种地质问题的认识和工程对策,有一定的理论深度和实用价值。书中收集和整理了大量的工程实况资料,十分珍贵,具有重大参考价值。

实践证明,在铁路建设中,勘测设计阶段的地质工作最重要,工作量也最大。设计是灵魂,而地质勘测,又是设计的基础。只有把勘测工作做深做细,把各种地质情况搞清楚,才有可能做出优化设计,正确指导施工,创建优质工程。否则,在施工与运营期间虽然可以“亡羊补牢”,但往往使人措手不及,造成严重损失。书中有大量的事例说明这一点。关于施工地质和运营地质的问题,虽然在实践中也有一定的成效,有许多好的做法和经验,但相对来说在工作组织、人力、财力和设备等 方面都存在着一定问题,组织机构不够健全,人员、费用不落实,管理不善,有待进一步改进。书中比较深入地研究了这方面的问题,提出的建议意见,可供有关部门决策参考。

本书在编写过程中,主要采用了部属各单位以前提供的工程总结和路史资料,并参考近年来大量工程实况,内容翔实,并注意了科学性、知识性和实用性。在此对提供过资料的各单位和个人表示感谢。

何 宁

1996. 6

3.6	沙漠和大风区选线	155
3.7	既有线改造选线	159
4	路基地质	167
4.1	工程概况	167
4.2	粉细砂路基	171
4.3	软土路基	178
4.4	红土和黄土路基	187
4.5	裂土和冻土路基	192
4.6	浸水路堤	201
4.7	路基支挡建筑物	211
5	隧道地质	214
5.1	关角隧道的启示	214
5.2	围岩与开挖支护	224
5.3	断裂与破碎带	232
5.4	防塌与治水	240
5.5	岩溶隧道	254
5.6	隧道防冻	258
5.7	明洞与棚洞	264
6	桥梁地质	270
6.1	任务与实况	270
6.2	锚定板桥台	280
6.3	岩溶地区的桥基	286
6.4	沉井与沉箱基础	294
6.5	不良地质桥基	304
6.6	冻结法挖基	310
6.7	桥梁抢修的地质工作	316

7 施工地质	325
7.1 内涵概说	325
7.2 隧道地质预报	339
7.3 涌水与塌陷	352
7.4 滑塌与错落	360
7.5 路基施工	374
7.6 桥基施工	389
7.7 “三边”工程	397
8 运营地质	402
8.1 认识与实践	402
8.2 地质与路基管理	406
8.3 路基病害整治	414
8.4 路基冲刷防护与改河	425
8.5 危岩与落石治理	429
8.6 桥梁修护	437
8.7 隧道治害	447
9 地质灾害及防治	453
9.1 泥石流	453
9.2 滑坡	474
9.3 风沙灾害	487
9.4 岩溶塌陷	500
9.5 冻害	512
9.6 人为地质灾害	521

1 铁路与地质概论

铁路是现代发达的交通运输工具之一。不仅是在我国,在世界各国中,铁路运输均占有重要地位。在现代的工农业体系和社会生活中,乃至军事和国防上,铁路都有举足轻重的作用。铁路建设在国民经济体系的投资中,占有很大比重;而铁路建设中的地质工作,又对铁路建设的投资及其运营效果有重大影响,甚至起决定作用。因此,铁路与地质工作息息相关,研究和解决铁路建设中的地质问题,就成为铁路建设事业发展的重要课题。

1.1 铁路建设与地质工作

1.1.1 铁路建设与路网布局

我国从1876年修建第一条营业铁路(上海吴淞铁路)起,至1994年底,全国共有营业铁路59 030km,其中国家路网铁路53 992km,地方铁路5 083km。在国家铁路路网中,复线铁路有15 475km,复线率为28.7%;电气化铁路8 966km,电化率为16.6%。在我国铁路发展118年的历史中,旧中国(1949年前)铁路发展缓慢,中华人民共和国成立时的铁路营业里程只有21 800km(不包括台湾省)。中华人民共和国成立后40

多年来,铁路建设得到了真正的大发展,共修建铁路 37 230km,其中国家路网铁路 32 920km,是旧中国 70 多年修建铁路的一倍半。目前我国铁路网的布局有了很大的改善,铁路装备和技术水平也有很大提高。旧中国铁路绝大部分集中在东北地区及京广线以东地区,占当时全国铁路营业里程的 80%以上。其中东北地区占 40%,华北地区占 21%,而京广线以西的广大地区只占 19%。我国西北地区的甘肃、宁夏、新疆、青海,西南地区的贵州省,华东地区的福建省等,基本上没有铁路,交通闭塞,经济十分落后。中华人民共和国成立后国家十分重视铁路建设,大力改善路网布局,使铁路运输在国民经济建设中发挥重大作用。

根据各个时期经济发展总体战略布局的需要,我国铁路建设逐步向西部广大地区扩展。至 80 年代中期,新建了 29 794km 铁路,西南、西北地区有 11 650km,约占建国后新建铁路里程 40%。现在京广线以西地区的铁路营业里程已占全国营业里程的 45%以上。

1.1.2 勘测设计与地质工作

随着铁路建设和向西部地区的推移,铁路的勘测设计和地质工作也越来越艰巨、复杂。铁路建设的程序一般是,从项目可行性研究(含预可行性研究)开始,提出立项计划,进行初步设计和技术设计,组织施工,竣工验收,交付运营,最后对铁路建设的投资效果进行考核。在铁路建设的全过程中,地质工作几乎贯穿于始终。特别突出的是在勘测设计阶段,勘测设计人员对地质工作必须高度重视,其工作深度和质量,直接关系到铁路建设的投资和运营效果。

新中国成立以后,铁路勘测设计队伍逐步成长和发展,已形成了一个具有配套能力的4万多人的勘测设计系统。广大勘测设计人员走遍了祖国山河大地,进行了大量的工作,完成的实物工作量,共计草测近20万km,初测18万km,定测15万km。铁路勘测包括各大枢纽及大桥、长隧等项目,进行了航空勘测,完成航空摄影达35万km²,制成各种比例尺的航测图15万km²。这些工作为既有线技术改造和新建线路顺利进行提供了保障。

我国疆域辽阔,山川纵横,山岳地区约占全国面积的三分之二,无论是山区或平原修建铁路,都要通过各种地质岩层,或穿越崇山峻岭、湖海河流,或克服地面高差,进行盘山展线,或克服不良地质,绕治结合,大面积选线。这里极其重要的决策因素就是地质条件。选择一条经济合理的线路是铁路建设的首要任务。这里除了考虑政治、经济等因素外,还有就是地形地貌和地质条件。因此,我们要认真深入细致地做好地质工作。下面通过一些实例加以说明。

解放初期处于经济恢复阶段,成渝铁路的勘测设计,基本上是按解放前的一套旧办法进行,为了节省国家投资,尽量利用解放前已成的工程,设计受到一定限制,但设计人员在施工期间仍精心研究,认真进行地质勘探,改善了一些线路方案。如成都至乱石滩一段线路,因地质较好,改用622m柏树坳长隧道取直方案,缩短了线路23.3km,节省了工程投资和运营费用。第一个5年计划期间修建的宝成铁路,全长668.2km,有80%的地段经过山岳地区,地形陡峻,地质复杂。经过多方案比选,线路离宝鸡过渭河后沿清姜河以三个马蹄形、一个螺旋形的迂回展线上升,线路重叠三层,克服了在直线距离仅

25km内需要升高817m的越岭高程。接着以2364.6m的长隧道穿过秦岭,16次跨嘉陵江流域的险滩急流,至会龙场穿越剑门山区而至成都。地质勘探和设计工作,总的说质量是好的,但是由于当时技术力量和技术水平的限制,对沿线工程地质和水文地质的调查勘探工作做得不够,在山区缺乏水文记载的条件下,对河流的冲刷及其危害认识不足,设计中为了节省投资,过多地采用深路堑、高边坡。从1952年开工到1956年接轨后,不断发生坍方、滑坡、河岸冲刷等病害,经过整治全线于1958年1月1日才开始正式运营。从整治病害中,勘测设计人员深深认识,要修好铁路,提高设计质量,必须做好地质工作,摸清地质情况。在选线和工点处理上,积累了许多可贵的经验,如“越岭线路不要怕用长隧道”、“逢山开洞,早进晚出”、“遇水搭桥、宁宽勿窄”,“在地质、水文复杂的山区修路应尽量避免高填深挖,不可避免时,宁做桥、隧”,“沿河绕线地段,宁做长隧道,避免隧道群”等等。这些经验集中应用于成昆线路的选线 and 设计中,取得了显著的效果。

成昆铁路全长1100km,由海拔500m左右的川西平原,逆大渡河、牛日河而上,穿越海拔2280多m的小相岭余脉沙木拉打垭口后,沿孙水河、安宁河、雅砻江,下至海拔1000m左右的金沙江河谷,再溯龙川江上行至海拔1900m左右的滇中高原。沿线山高谷深,坡陡流急,大渡河、金沙江两岸分布着数百米高的陡岩峭壁,牛日河、孙水河、龙川江河谷最陡地段的河床坡度,分别达25%、42%、20%。全线有500多km位于烈度7~9度地震区,其中8~9度的有200km左右。全线计有较大的滑坡183处,危岩落石近500处,崩塌约100处、岩堆200多处、泥石流沟249条。此外还有河岸冲刷、山体错

落、岩溶、岩爆等。因此有“地质博物馆”之称。沿金沙江一段有的外国专家曾认为是修路的“禁区”。为了选好线路位置，共进行了大面积地质测绘约1500km²、地质钻探21.2万m余，挖探1.3万m、物理勘探500多处、各种室内和野外工程地质试验一万多组，经过11000多km的比较线勘测，大小300多个方案比选，最后选定出修建的线路。线路以6379m长隧道穿越沙木拉打分水岭，以6107m的官村坝隧道在大渡河湾地段截湾取直，沿金沙江一段分别以2726m、4273m、4603m长隧道通过，避开了严重不良地质；以144m、176m、192m大跨钢梁桥跨过大渡河、雅砻江和金沙江，以112m栓焊钢梁跨过迎水河深谷。为克服地势起伏的巨大高差，在乃托、栾武、韩都路、两河口、六渡河、巴格勒、法拉等地作了七处盘山展线。为避开严重不良地质选择较好的位置通过，线路13次跨牛日河，8次跨安宁河，49次跨龙川江及其支流楚雄河、广通河，并采取桥、隧、挡等有力的工程措施，以保证线路的稳定。在设计和施工中，有目的地采用各种新技术、新设备、新工艺、新结构、新材料和新的施工方法。通过成昆铁路的修建，把我国铁路建设技术提高到了一个新的水平。此项目获得国家科学技术进步特等奖。

工程地质和水文地质的深入研究在桥梁建设中发挥重要作用。

“一五”期间设计并建成的武汉长江大桥，根据对长江水城的地质勘探资料，创造了以大型管柱钻孔法替代传统的气压沉箱法，解决了深水基础的施工难题，使天堑变通途。“二五”期间修建的南京长江大桥，规模更为宏大，工程更为艰巨，设计人员根据地质、水文的具体情况，采用了四种不同类型的

深水基础,最深的基础至施工水位以下达 77m,在深水基础的设计中是一个重大突破;在桥梁设计中,首次采用我国自行生产的 16 锰低合金钢,并首次采用 160m 的大跨度梁。全桥(于 1963 年全面建成)为公铁两用,铁路部分全长 6 772m,公路部分 4 588m,是具有世界水平的大型工程,获得了国家科学技术进步特等奖。

在站场设计中,需要进行大面积的地质工作,如丰台西、苏家屯等机械化驼峰编组站设计,地质工作均满足运营要求,工厂设计从修理工厂设计发展到制造工厂设计,从蒸汽机车厂设计发展到内燃、电力机车厂设计等,对大型工业厂房的地质工作,积累了丰富的经验。在工厂设计中,由于对厂区地质工作做得好,采取的工程措施也很得力,为装备新工艺、新技术、新结构打下了基础。如资阳内燃机车厂的重型铸造厂房,大面积空调厂房和齿轮加工中心的设计,在全路是最先进的。另外在西南地区中小型车间的设计中采用榀体系轻型屋盖,在坚实的地基上打好基础,彻底改变了以往“肥梁、胖柱、深基、重盖”的陈旧做法。

以上地质复杂工程的建成,既是铁道工程技术的进步,也是勘测技术特别是地质勘测技术的进步。铁路地质勘测,是铁路建设的基础。

1.1.3 山区铁路的地质条件

在山区修建铁路,其地质工作显得尤其重要。如西南地区,铁路勘测设计中的地质工作内容极其复杂。对每修一条铁路,都要踏勘其地形、地质、气候和水文情况,要进行过细的地质勘探,为设计提供足够的依据。

西南地区的铁路勘测设计工作,主要由铁道部第二勘测设计院(简称“铁二院”)负责。西南地区铁路有干线 10 条,共长 5 157km,支线有 20 条共长 894km。它们遍布四川、云南、贵州、广西、湖南西部等省区,其中以山区铁路为数较多,约占全部新建铁路长度的 74%。这些铁路通过地区的自然条件,多数是地形陡峻,山峦重叠,气候多变,川流纵横,坡陡谷深,人烟稀少,交通困难。铁路穿过的主要山系有秦岭、大巴山、大娄山、乌蒙山、苗岭、小相岭、大凉山等山脉。跨越或多次跨越的主要水系有沱江、涪江、泯江、嘉陵江、乌江、大渡河、雅龙江、金沙江、长江、汉水、南盘江、北盘江等河流。

铁路线通过的地层十分复杂,除各类新老岩层和第四系碎石土外,还有含煤地层、含盐地层以及膨胀土、龙街粉砂、元谋组、昔格达地层等。常见的不良地质现象有滑坡、泥石流、崩塌、软土、岩溶等。曾经遇到的有害气体有瓦斯、氡气、二氧化碳等。

铁路沿线及其附近地区的气候,概括说来属于亚热带和温带范围。特点是冬暖、春旱、夏热、无霜期长;湿度大、云雾多、日照少;年降雨量约在 1 000mm 左右;沿金沙江、汉水两岸,夏季绝对最高气温达 40℃ 以上,最低气温则仍在 8℃ 左右。在高山区或海拔高的越岭区,冬季有霜冻,有积雪,日温差与年温差变化巨大,江河水位多猛涨猛落,大多是山陡峻、水湍湍,道路崎岖人烟少。在低山区,丘陵起伏或间有平地,年温差变化较小,气候温和。气候条件对地质的风化作用影响很大,在设计中应予考虑。

西南地区一些主要线路的地理、地质情况及建设造价等,列于表 1 和表 2 中。

表1 一些山区线路的地理地质情况

线路名称	通过主要山系	通过主要水系	年平均降雨量(mm)	膨胀土(km)	岩溶(km)	滑坡(处)	泥石流(条)
成渝线	龙泉山、华蓥山	沱江、长江	800~1 000	5	10	56	/
宝成线南段	秦岭	涪江、嘉陵江	800~1 200	2	20	102	69
川黔线	大娄山、武陵山	乌江、长江	900~1 500		300	91	/
贵昆线	乌蒙山、梅花山	乌江、南盘江、北盘江、金沙江	800~1 200	20	410	51	/
湘黔线西段	苗岭、佛顶山	清水江、沅水	900~1 500		150	80	4
成昆线	小相岭、大凉山	岷江、大渡河、雅龙江、金沙江	600~1 600	155	50	103	251
襄渝线西段	武当山、大巴山、华蓥山	汉水、渠江、嘉陵江	750~1 200	40	60	64	16
鹰厦线	武夷山、戴云山	闽江、九龙江	1 200~2 200		/	56	4
昆河线	哀牢山	南盘江、元江	1 000~2 000		200	62	/
东川支线	梁王山、拱王山	小江	600~1 000		10	12	66
广罗支线	米仓山	嘉陵江、渠江	800~1 000		/	8	/
内宜线	玉莲峰	沱江、岷江、金沙江	800~1 000		/	1	/
都贵线	苗岭	清水江	900~1 100		50	2	/
黎湛线	六万山、云开大山	郁江、九洲江	1 200~1 600		30	/	/

表 2 一些山区铁路建设情况

线路名称	建筑里程 (km)	建设年月		每公里造价 (万元)
		开 工	运 营	
成渝线	505	1950.6	1952.7	37.6
宝成南段	455	1952.7	1958.1	37.9
川黔线	415	1956.4	1965.7	96.4
贵昆线	643	1958.7	1966.7	143.0
湘黔西段	276	1970.10	1974.11	239.9
成昆线	1083	1958.7	1971.7	283.5
襄渝西段	688	1968.9	1978.6	458.0
鹰厦线	698	1955.2	1958.1	54.2
昆河线	465.5	解放前建成		
东川支线	96.9	1957	1965	
广罗支线	55.9	1959.12	1966	
内宜线	123	1956.1	1958.11	48.8
都贵线	132	1956	1959.3	75.8
黎淇线	316	1954.9	1956.1	41.1

1.1.4 铁路建设与地质工作的关系

从以上简要分析可以看出,铁路建设与地质工作有极其密切的关系。一般来说,应注意以下几点:

——工程地质条件,是铁路建设的重要因素,在铁路建设的过程中应高度重视。尤其是铁路线路及其附属设施遍布于