

西南铁路地质灾害与勘察防治技术成就

朱颖, 蒋良文, 屈科, 李光辉, 曹化平

(中国中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

[摘要] 我国西南地区处于青藏高原周边地带, 位于印度板块与欧亚板块碰撞带东侧附近, 地质构造十分复杂, 地质灾害严重。结合宝成、贵昆、成昆、襄渝、南昆、内昆、渝怀等西南复杂地质艰险山区重要干线铁路的勘察设计、施工和运营, 总结概括了西南铁路地质灾害的基本情况, 并较系统地介绍了几种主要地质灾害的铁路地质勘察和工程防治技术经验。

[关键词] 西南地区; 铁路; 地质灾害; 勘察; 防治技术

[中图分类号] P642 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)04-0029-09

1 前言

半个世纪以来, 伴随着共和国前进的步伐, 中国中铁二院先后勘察设计建成了包括新中国第一条铁路成(成都)渝(重庆)铁路、荣获国家科技进步奖特等奖的成(成都)昆(昆明)铁路、荣获国家科技进步奖一等奖的南(南宁)昆(昆明)铁路等在内的西南复杂地质艰险山区铁路重要干线、支线数十条, 在各种地质灾害勘察和防治技术方面积累了较为丰富的经验, 并有所发展和创新^[1]。

2 西南铁路路网状况与规划布局

我国西南地区包括云南、贵州、四川、重庆、西藏以及广西等, 总面积约 $2.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, 其中山区占 75.1%, 丘陵占 20.24%, 平原和盆地及大谷地只占 4.66%。地形地质的复杂和交通的不便是制约该地区经济发展的重要因素。

2002 年底, 西南铁路营业里程 10 880 km, 占全国铁路营业里程的 14.9%, 路网密度 $41.7 \text{ km}/10^4 \text{ km}^2$, 远低于全国平均路网密度 $76.04 \text{ km}/10^4 \text{ km}^2$ ^[2]。西南地区东部铁路网骨架已形成, 线路大多为单线, 绝大部分由中铁二院勘察设计。西南地区西部包括西藏自治区和四川、云南两省的西部绝大部分地区, 铁路仍为空白(见图 1)。

西南及邻区已建成的主要铁路通道有:

- 四川通道—成渝线、宝成线、达成线、达万线;
- 重庆通道—襄渝线、阳安线、川黔线、渝怀线、遂渝线;
- 贵州通道—黔桂线、湘黔线、贵昆线、水柏线;
- 云南通道—昆河线、成昆线、南昆线、内昆线、广大线;
- 广西通道—湘桂线、黎湛线、南防线、钦北线。

铁路建设“十一五”期间以“扩大路网规模, 完善路网结构, 提高路网质量”为主攻方向, 确定路网建设的新思路, 西南及邻区铁路步入快速发展的黄金机遇期(“十一五”铁路路网规划见图 2), 2020 年之前拟新建的铁路主要有沪汉蓉快速客运通道、南广线、贵广线、成绵峨城际轨道交通、柳南城际轨道交通、大瑞线、大理—丽江—香格里拉线、玉溪磨憨线、昆河线、南昆复线、昆沾六复线等。

3 区域地质环境概况

我国西南地区处于青藏高原的周边地带, 位于印度板块与欧亚板块相互碰撞汇聚接触带的东侧附近(见图 3), 在大地构造上位于青藏断块的东部边缘地带, 属环球特提斯构造域, 地处阿尔卑斯—喜马拉雅造山带东段弧形转折部位, 并受两大板块边

[收稿日期] 2007-03-16

[作者简介] 朱颖(1963-), 男, 贵州凯里市人, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 铁路、公路、地下铁道及轻轨工程勘察、设计

缘不断裂离又相互拼接镶嵌所控制,形成了不同性质和规模的陆块相间拼合的构造格局。

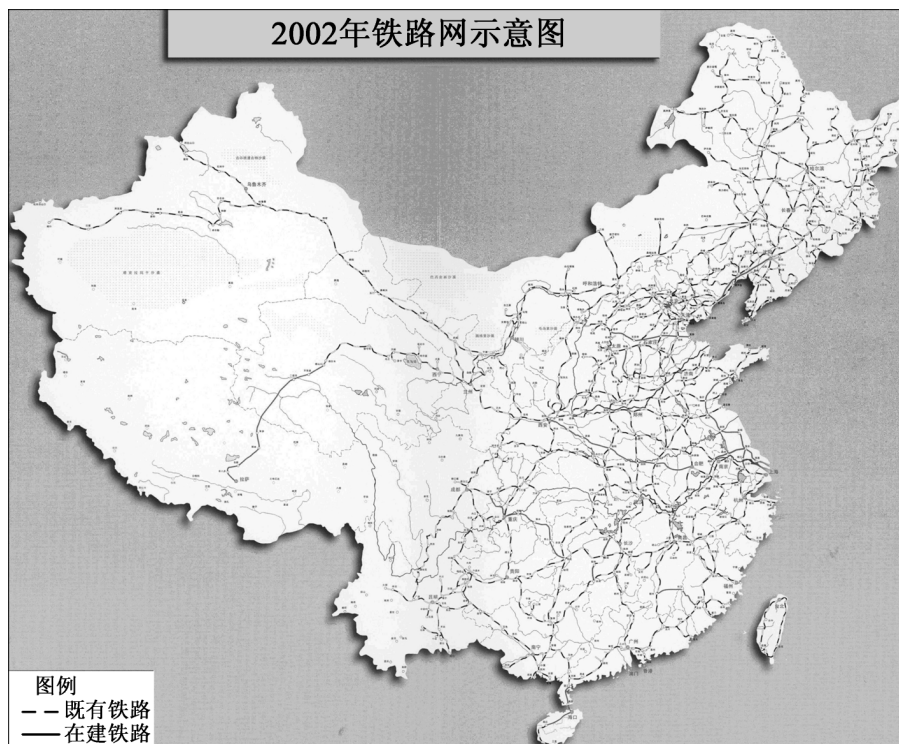


图1 全国铁路路网布局示意图(2002年)

Fig. 1 Overall arrangement schematic of national railway network (2002)



图2 “十一五”铁路路网规划示意图

Fig. 2 Overall arrangement schematic of national railway network in “11th - five plan”



图3 印度板块与欧亚板块碰撞与板内运动状态示意图

Fig. 3 State schematic of collision zone of india plate with eurasian plate and movement in plates

我国西南地区全区岩性复杂,地层出露齐全,新生界、中生界、古生界、元古界、太古界的地层均有出露,其间多期岩浆活动强烈,岩浆岩分布广泛,规模巨大,既有岩浆侵入又有岩浆喷出和爆发,演化历史漫长。变质岩也广泛分布,变质作用类型齐全,变质程度各异。

由于印度板块向欧亚板块的强烈推挤,致使在青藏高原急剧抬升的同时,岩石圈物质向东及东南方向侧向挤出,导致本区地质构造复杂,新构造活动强烈,活动断裂发育,现今构造—地震活动十分强烈,地震频繁、震级大,地壳升降幅度大,河谷如怒江、澜沧江、金沙江、雅砻江、大渡河等强烈快速下切,山高谷深,斜坡岩体破碎,山地生态环境非常脆弱,加之降雨量丰富,是崩塌、滑坡、泥石流等地质灾

害频发地区,我国重大、特大地质灾害主要发育分布于西南地区的青藏高原东缘、横断山高山峡谷区、川东鄂西地区、湘西和云贵高原区,对铁路工程施工、运营危害极大。

4 西南铁路地质灾害的基本情况

4.1 滑坡、崩塌、危岩落石灾害

西南地区受崩塌、滑坡危害严重的主要干线有宝成、成昆、川黔、湘黔等线,尤以成昆线最为严重(线路经过大型滑坡183处,危岩500多处,崩塌、落石300多处)(见表1);20世纪90年代以来建成的达成、达万、广大、南昆、内昆、水柏、渝怀、株六及宝成复线与在建的大丽、沾昆、玉蒙、黄织及黔桂、达成、湘渝复线等山区铁路,也有不同程度的滑坡、危

岩崩塌及落石灾害。

表1 西南几条山区铁路滑坡统计
Table 1 Landslide statistics on railway
lines in southwest area

线别	线路长度/km	滑坡个数
成昆	1085	183
宝成	669	102
川黔	463	91
湘黔	953	80
湘渝	850	46
黔桂	607	32
昆河	469	24
贵昆	631	21
成渝	504	21
南昆	890	20

滑坡灾害事例:

1959年1月及1981年7月,分别发生在宝成线K122、K216附近的滑坡,分别将 $3 \times 10^5 \text{ m}^3$ 和 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的土体推入嘉陵江中或掩埋轨道,中断行车20天以上。

1980年成昆线牛日河左岸谷坡上的铁西车站附近的大滑坡,将铁路线路严重摧毁。

1992年宝成线马蹄湾附近曾发生三次大崩塌,前后中断运行30多天,给铁路运输造成重大经济损失,后被迫改线。

危岩崩塌、落石灾害事例:

1956年6月发生在宝成线罗妙真大崩塌,塌体达60 000多 m^3 ,将38 m长的钢筋混凝土拱盖板棚洞推出路基外50 m多,只得以便线维持通车,直到1968年重建65 m棚洞恢复正线。

1981年宝成线军师庙车站,在200 m山坡上一块体积为 1.85 m^3 的落石,正巧砸到停在车站上的164次旅客快车上,落石穿透车厢,砸死1人、伤21人。

1999年6月贵昆线茨冲隧道进口外K 214附近陡崖危岩崩塌、落石2 000 m^3 多,最大石块体积达120 m^3 ,造成中断行车事故。

2003年雨季,内昆线北段水富至昭通200 km多线路,共发生危岩崩塌、落石38次,路基坍方26次,中断行车236 h。

4.2 泥石流灾害

根据全国铁路泥石流沟普查建档资料统计(1996年),中国32 000多km的山区铁路沿线,在324个区间内分布有泥石流沟1 386条。其中西南地区1 101条,占全国铁路线上泥石流沟总数的79.4%。在324个区间中活动严重的有67个区

间,中等的59个区间,属于轻微的有93个区间,受威胁区间的总计长度为2 955 km。

泥石流发生的外动力主要是暴雨,每年泥石流发生时间与各地灾害性暴雨同步,5~10月是西南地区降雨最集中的时期,也是泥石流的主要发生期。

泥石流灾害事例:

1981年7月9日特大暴雨之后,大渡河支流狮子依达沟爆发特大泥石流,造成成昆铁路桥毁车翻震惊国内外的铁路大灾难。

1981年8月川北陕南因连续暴雨,宝成线120条泥石流沟发生泥石流,有百余km的铁路两次受到洪水和泥石流、坍方、滑坡多种灾害的同时袭击,造成百余处工点受灾,该段运输全面瘫痪,损失惨重。

1988年川西南灾害性暴雨较多,成昆线32条泥石流沟发生54起泥石流、断道5次、淤埋车站2个。

4.3 岩溶与岩溶涌水突泥灾害

岩溶灾害是西南铁路建设中的主要地质灾害之一。岩溶对铁路工程的影响和危害主要表现在以下方面:一是隐伏岩溶地面塌陷威胁建筑物安全;二是岩溶洞穴及其充填物对建筑物基础稳定性的影响;三是岩溶涌水突泥对地下工程造成危害;四是岩溶洼地积水浸泡或淹没路基和其他地面工程。此外,地面开裂也是岩溶地区的一种地质灾害。

1)岩溶地面塌陷灾害。西南铁路沿线是岩溶地面塌陷的重灾区,成昆、贵昆、盘西、川黔、黔桂、湘黔、湘桂、黎湛、南昆、内昆、水柏等铁路线上都有不同程度的岩溶塌陷灾害问题,其中以贵昆线、南昆线最为严重^[3]。

岩溶塌陷灾害事例:

1976年7月7日,贵昆线K 606+475浅堑路基,大雨后形成直径8 m的岩溶塌陷坑,造成中断铁道62 h 40 min。

1979年9月1日及1985年7月6日,贵昆线分别在K 534+076及格以头村附近发生路基岩溶塌陷,导致货物列车尾部三节脱轨颠覆。

自通车以来贵昆线六枝站11~12道5次发生塌陷,高峰车站发生16次塌陷,乌速龙车站K 113+600~+900发生6次塌陷等。

贵昆线电气化改造中新建树舍牵引变电所,1985年和1986年两年的雨季中,先后发生两次岩溶塌陷产生10个陷坑,使房屋墙基悬空,并诱发场地边坡坍塌,工程施工无法正常进行。补充物探、钻探后,变更设计

采用 100 多根挖孔桩基础,增加投资较大。

近年建成通车的南昆线,经过可溶岩地段的路基长约 300 km,施工后期试运营期间就发生岩溶地面塌陷 50 余处。

岩溶地面塌陷都不同程度地威胁着铁路运营安全,铁路部门均采取了各种措施进行综合整治,耗资巨大。

2) 岩溶洞穴及其堆积物灾害。西南岩溶地区铁路建设中,岩溶洞穴及其堆积物对工程的危害几乎遍及各线的路基、桥梁、隧道、房屋建筑等工程,技术处理难度较大。通常情况下,在岩溶洞穴发育地区的桥梁和房建工程大多采用较长的桩基础;路基工程常采用夯填、网格板垫层、支顶、嵌补、跨越、注浆加固等措施处理;隧道遇到大溶洞及其堆积物时,一般采用清除换填、压浆、旋喷桩或钢筋混凝土桩加固隧道基底或设桥跨越通过。

灾害事例:

株六复线大竹林隧道进口段洞身约 1 000 m 处,遇到高、宽 30 ~ 60 多 m 的岩溶大厅及暗河,作了一孔 32 m 的钢筋混凝土拱桥跨越。虽然在技术上都可克服,但增加工程投资较多和延误工期较长。

3) 岩溶隧道涌水突泥灾害。隧道涌水突泥是岩溶地区常见的地质灾害。西南铁路长大隧道工程中,岩溶隧道几乎都发生过突发性的涌水突泥灾害。与此同时,隧道施工发生涌水突泥现象,也常造成地表水或地下水渗漏,影响当地人民生活、生活用水等生态环境问题。

隧道岩溶涌水突泥灾害事例:

20 世纪 70 年代前建成的成昆线沙木拉打隧道,襄渝线中梁山、大巴山隧道,川黔线的凉风垭、娄山关隧道,贵昆线的梅花山、梅子关、保纳隧道,盘西线的胜境关隧道;

襄渝铁路中梁山隧道施工期间多次发生涌水突泥引起地面塌陷坑 70 多个,导致地表地下水严重渗漏,井泉干枯 48 个,造成当地农田灌溉受到影响面积 5.45 km²,8 千多居民及 4 千多头牲畜饮水困难。

4) 岩溶区地表积、洪水灾害。岩溶区地表积洪水灾害主要表现在岩溶洼地、谷地中的积水问题。由于排水不畅,洪水时冲刷、淹没桥涵及路基,或洼地积水、冒水浸泡路堤,引起路堤下沉或坍塌等。

灾害事例:

贵昆线平坝两所屯羊昌河一带,1960 年铁路建成后,雨季岩溶洼地大量积水、冒水,铁路路基及大量农田被淹没,不得不炸毁路堤,排除洪涝,造成严

重损失。事后增设了 4 处中、小桥,基本解除了洪涝隐患,教训十分深刻。

20 世纪 90 年代株六复线建设时,对本段线路又进行了双绕改建,并将线路标高抬高了 2 ~ 3 m,才彻底根治了岩溶水害。因此,应加强岩溶地区水文工作,准确确定历史最高洪水位及线路标高,并做好排洪设施,防治岩溶水害。

4.4 有害气体

西南地区及其邻近各省、区,均有古生界石炭系、二叠系、三叠系及中生界侏罗系砂页岩含煤地层分布,尤其是我国重要的煤炭基地之一的贵州省,煤炭资源极为丰富,地下矿井及隧道工程建设中瓦斯地质灾害尤为突出。西南铁路建设中已有多座隧道遇到高瓦斯突出危险问题。

灾害事例:

20 世纪 50 年代末修建位于贵州境内的贵昆线岩脚寨隧道(全长 2 734 m),横贯普郎煤田大煤山褶皱西南翼,穿过三叠系煤系地层和石灰岩,其中贵阳端进口段长约 950 m 的乐平组煤系地层中夹有多层高瓦斯煤层,瓦斯逸出量达 150 m³/h。1959 年施工过程中曾发生 6 次瓦斯爆炸和燃烧,造成隧道塌方堵洞、支撑烧毁、伤亡 99 人(死 34 伤 65)的特大事故。

20 世纪 90 年代建设的达成线炮台山隧道,在施工通过侏罗系砂岩夹泥岩地层的背斜核部附近时,也发生了严重的瓦斯(天然气)爆炸,造成多人伤亡事故,主要原因是埋藏于深部 1 000 多 m 的天然气沿岩层中的构造裂隙渗透上逸,聚集于背斜核部所致。

20 世纪 90 年代修建的南昆线家竹箐隧道(4 990 m),通过上二叠系煤系地层,瓦斯逸出量达 633.6 m³/h,瓦斯含量达 20.17 m³/t,瓦斯压力达 1.58 MPa,属高瓦斯、有煤与瓦斯突出危险地质灾害的隧道。

在该隧道的设计与施工中,认真总结了贵昆线岩脚寨隧道及其他隧道瓦斯地质灾害的经验教训,采取了强有力的瓦斯防治措施,保证了隧道施工安全。

4.5 采空区及塌陷灾害

在西南铁路建设中,近年修建的南昆、内昆、水柏、遂渝等线都不同程度地遇到了小煤窑采空发生地表塌陷或开裂灾害问题。

灾害事例:

内昆线二道桥因人工在桥跨间乱挖采煤巷道,

引起桥梁严重下沉倾斜事故,危及行车安全。

水柏线夹沟车站施工中发生小煤窑采空塌陷,引起路堤滑坡。

水柏线柏果附近泥那都一段路堤经由多条网状高 1.5~2.5 m,宽 2~3 m 的小煤窑采空巷道。

4.6 硬岩隧道岩爆和软岩隧道大变形灾害

西南铁路建设中,遇到过高地应力条件下的软岩隧道的大变形和硬岩隧道的岩爆灾害问题。

隧道软岩的大变形灾害事例:

南昆铁路家竹箐隧道(4 990 m),通过二叠系煤系地层软岩中部埋深最大的长 390 m 地段,实测洞内垂直地应力为 8.57 MPa,水平地应力为 16.09 MPa,而煤系地层的综合抗压强度仅为 1.7 MPa,垂直于洞轴方向的围岩强度比 $= R_c/\sigma_{\max} = 1.7/12.33 = 0.14$,属极高地应力水平,因而在隧道施工中发生了严重的挤压变形,拱顶最大下沉 240 cm,侧壁内移 160 cm,底板上鼓 80~100 cm,造成支撑钢架严重挠曲变形,喷层开裂,并与钢架脱离等灾害^[4]。

硬岩隧道的岩爆灾害事例:

成昆铁路关村坝隧道(6 187 m),穿过震旦系厚层石灰岩地层,石质坚硬、完整,层理接近水平,最大埋深 1 650 m,1965 年施工中多次发生岩爆(一般在爆破后 2~3 h 内发生,大多出现在导坑顶部和扩大的拐角处),爆落弹出最大岩块达 $(0.5 \times 0.4 \times 0.1) \text{ m}^3$,造成多次伤人事故,威胁施工安全^[5]。

5 铁路工程地质灾害勘察与防治技术成就

西南山区地形艰险、地质复杂,中铁二院先后勘察设计建成了铁路重要干线、支线数十条。通过 50 多年的积累与总结,在西南山区铁路建设中常见多发的危及施工和运营安全的滑坡、泥石流、岩溶、煤层瓦斯等地质灾害的勘察防治技术与方法方面积累了较为丰富的经验,并有所发展和创新。

5.1 地质灾害区选线原则与技术成就

经过几十年的西南铁路长大干线勘察设计和建设的实践与积累,特别是从历经的宝成、贵昆、成昆、襄渝、南昆、内昆、渝怀等地质极其复杂的长大铁路干线勘察设计与建设全过程的经验和教训中,探索、总结出一套适用于复杂地质艰险山区不同地形地貌和地质灾害地区的工程地质选线原则与技术,其主要包括“越岭地区的工程地质选线”、“山区河谷工程地质选线”、“岩溶工程地质选线”、“滑坡工程地

质选线”、“泥石流工程地质选线”、“膨胀岩土工程地质选线”和“煤层瓦斯隧道工程地质选线”等。这些选线原则与技术,或已纳入由我院主编、参编的现行铁路有关勘察规范、规程中,或已编入有关铁路建设总结中。

5.2 滑坡勘察与防治技术成就

滑坡是西南山区最为常见的铁路地质灾害。通过宝成、成昆、川黔、贵昆、湘黔、南昆、内昆、渝怀、株六、水柏等西南山区铁路建设中长期的大量大(巨)型滑坡勘察、整治设计与治理实践;特别是 20 世纪 70 年代襄渝铁路的赵家塘滑坡、70 年代末 80 年代初成昆铁路的铁西滑坡与狮子山滑坡和 90 年代末南昆铁路的八渡滑坡群等的勘察设计与整治工作,和以宝成铁路 343 km 处滑坡、陇海铁路卧龙寺滑坡等预报为例的“滑坡时间预报及监测报警技术”的研究;促使了中铁二院滑坡研究的开展,深入探讨与研究了各类滑坡发生发展的机理、滑坡监测与预报技术与方法、滑坡稳定性评价理论和滑坡整治措施,使滑坡研究及治理工程技术有了长足的发展。同时,随着近十几年滑坡综合地质勘探技术的采用,仪器设备和工艺技术的更新、发展、大大提高了滑坡勘察的精度,使防治设计更为准确可靠,逐渐形成了成熟的具有中铁二院特色的滑坡勘察防治技术。

1) 滑坡勘察特色如下:

a. 重视滑坡本身岩土体及其周围环境地质条件,分析滑坡发育和控制条件,用地质力学理论确定滑坡的边界条件和定量数值,并以勘探手段证实动力条件和边界条件。

b. 关于滑带土抗剪强度的选择,按滑坡的不同发育阶段、特点确定。对于土质滑坡,以实际滑坡反算值为主,综合分析对比确定。

c. 采用多种方法与工程地质比拟法进行对比分析,评价与预测滑坡稳定性。

2) 滑坡综合地质勘察成套技术如下:

a. 卫星、航空遥感和近地低空航拍及摄影图象处理与解释技术;并已在路内外滑坡勘探中推广和使用。

b. 滑坡勘探中指在提高钻探质量和滑带土原状样采取的风压干钻、无泵反循环钻进、双层单动岩心管钻进等钻探工艺成套技术与设备配套技术。

c. 贫水或无水的滑坡勘探中不同深度与部位的弱渗透性测定技术。

d. 滑坡不同状态、不同结构特征滑带土力学指

标的室内测试不同方法的筛选与模式组合技术和制样与测试过程控制技术。

e. 滑带土现场的探井、探槽中大面积原位试验方法与测试过程控制技术。

f. 对滑坡稳定性的常规地面监测网控测技术与孔中深部变形观测技术。

3) 滑坡防治技术成就如下:

a. 铁路选线时,尽量绕避规模巨大、整治困难、费用昂贵、稳定性差的大(巨)型滑坡,避免造成工程损失。对于难以绕避滑坡,应视工程需要进行整治。

b. 整治滑坡,应采用综合措施,因地制宜。地下水作用形成的滑坡,可修建渗水隧洞排水,辅以地表排水及边坡渗沟、支撑渗沟、截水渗沟等截、排、疏水等工程措施。坡脚失去支撑产生的滑坡,可采用支挡建筑物,如有抗滑挡墙、抗滑桩、锚索桩等,并辅以排水疏干工程措施。堆载为主引起的的滑坡,可采用清方减载,辅以地表排水及支挡防护措施。

c. 中铁二院在山区铁路的滑坡整治中大量地应用了抗滑桩,使抗滑桩的结构有了很大发展,除了单排桩、多排桩,还有承台式抗滑桩、排架式抗滑桩、刚架桩、拉杆抗滑桩和预应力锚索抗滑桩等,发展了桩与挡墙相结合的支挡结构,如桩板墙、桩间土钉墙等。

在著名的南昆铁路八渡车站巨型滑坡(滑体 420万 m^3)整治中,采用大量超长超孔径预应力锚索(锚索最大长度 75 m , 12 束 $\varphi 15.2\text{ mm}$ 钢绞线孔径 168 mm)、锚索桩(最大桩长 55 m 、桩截面 $2.5\text{ m}\times 4\text{ m}$)、抗滑桩支挡(锚)及地下泄水洞、降水井、水平泄水孔、地面网状排水沟等为主,辅以清方减载及地表位移桩与深井位移监测等手段,综合治理复杂地质条件下的巨型滑坡取得成功,堪称路内之最。

5.3 崩塌与落石勘察与防治技术成就

通过成昆、川黔、贵昆、南昆、内昆、渝怀、水柏等山区铁路建设中大量的崩塌与落石勘察防治实践与探索以来,中铁二院形成了以下较为成熟的崩塌与落石勘察防治技术措施。

对大型崩塌是灾害性的,破坏力强,难以处理,原则上线路应绕避或以隧道通过。

对小型崩塌可采取清除、支顶、锚索、锚杆、嵌补、拦石墙或设置落石平台等工程措施,还应做好地面排水或勾缝、护面。

对崩塌、落石较严重地段,若不能清除或根治时,可修筑明洞、棚洞等遮挡建筑物处理。

崩塌与落石主动防护与被动防护有机结合。

20世纪90年代以来,开发了“SNS柔性防护系统”,可用于覆盖式主动防护,亦可用于拦截被动防护,且成功应用于宝成复线、株六复线、内昆线、水柏线等铁路工程崩塌与落石防治中,效果很好。

5.4 泥石流勘察与防治技术成就

泥石流也是西南山区的一种最为多发地质灾害。通过20世纪在以成昆铁路和云南东川铁路为代表的泥石流异常发育的干、支线铁路勘察设计与整治工作,中铁二院在泥石流勘察和防治方面获得较为宝贵的经验,取得了一定成就。

对泥石流勘察应着重加强其形成基本条件、流态性质、冲淤特征的调查研究,总结形成了泥石流勘察工作技术要点。

建立了泥石流地区铁路选线原则,确定了路内泥石流分类、分期标准。

1990年代以来,在泥石流的勘察研究中普遍应用遥感技术,特别是利用不同时期航片进行泥石流动态判释,取得了极好效果。

在对泥石流成因分析的基础上提出多项影响因素及量级评价、统计分析和量化处理方法,提出了泥石流的综合评判法则;在南昆铁路泥石流勘察研究中,还采用了多项测试试验新技术,对泥石流沉积石英砂表面结构特征进行统计分析,并研究其搬运距离、流体性质和沉积环境;运用不同放射性同位素泥石流沉积年代,确定泥石流流域区内土壤侵蚀速率、估算侵蚀模量等^[4]。

近年来开展了“泥石流沟判别、警报、防治机理(1991年结题),泥石流灾害预测(1993年结题),泥石流灾害与防灾对策(1999年结题),泥石流危险区和危险度划分指标(2000年结题)”等研究。在对泥石流流域系统的信息熵和超熵研究的基础上,运用非线性理论,对西南山区暴雨泥石流建立综合判据进行评判,并基于泥石流成因的灰色性和人为活动影响,提出泥石流发展趋势预测模式(详见1999年出版的蒋忠信等人合著的《铁路泥石流非线性研究与防治新技术》)。这些研究成果均获国家、省(部)级科技成果奖。

泥石流的预报,在吸收国外经验的基础上研制了多探头流位报警器、地面震动报警器等多种报警装置,并提出了中短期区域性泥石流预测预报方法。

泥石流的防治,建立了“绕、拦、排”的综合防治原则和“避重就轻、宁宽勿窄、按沟设桥、隧道绕避、生物防治”等工程措施。

5.5 岩溶勘察与防治技术成就

岩溶地质灾害是西南铁路建设中的又一最为主要地质灾害。我国碳酸盐岩分布广泛,几乎遍及全国,在 $960 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的国土上有 $124 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的裸露型及埋深小于500 m的覆盖、埋藏型碳酸盐岩,主要分布在南方,尤以西南地区较为集中。仅就滇、黔、桂三省而言,其出露的面积即占三省总面积的一半左右;加之西南境内气候湿润,雨水充沛,故岩溶极为发育,其类型之多,堪称世界之冠。

西南地区滇、黔、桂、川境内的铁路沿线地区,无论是高山、丘陵或平原,都有大面积的岩溶分布,而且十分发育,只不过发育阶段和发育程度不同而已。各种岩溶地貌齐全,岩溶盆地、谷地、洼地、漏斗、落水洞、峡谷、峰林、峰丛、峰林平原、岩溶干谷等均有发育。通过以贵昆、川黔、襄渝、南昆、内昆、渝怀等铁路为代表的岩溶强烈发育的干、支线铁路勘察设计与建设工作,中铁二院在岩溶勘察和隧道岩溶涌水突泥与地面塌陷防治方面获得宝贵的经验与教训,取得了突出的成就。

在西南岩溶强烈发育的铁路建设中,特别是20世纪70年代中铁二院成立岩溶组以来,从岩溶发育条件出发开展了岩溶专题研究,先后进行了“岩溶地区铁路工程地质选线与工程处理(1978年结题)、岩溶洞穴顶板安全厚度(1986年结题)、铁路沿线岩溶地面塌陷及防治(1992年结题)”等研究,并开创性地进行了隐伏岩溶地面塌陷机理模型试验和现场长期观测研究。在此基础上总结出出版了《岩溶工程地质》(1983年)、《岩溶地面塌陷的成因与防治》(1994年)等。

南昆铁路碳酸盐岩分布长度几乎占全线总长的一半,岩溶对铁路工程影响极其严重。20世纪80年代,该线勘察伊始,中铁二院及时提出并开展岩溶专项地质勘察,该项勘察一直持续到施工期间。20世纪90年代配合南昆线岩溶勘察与铁路建设,又立项开展了“隐伏岩溶地面塌陷综合勘探技术的应用研究、提高物探探测地下洞穴应用效果研究、高原溶洞的地质地貌预测方法与应用研究”等。

通过南昆铁路岩溶专项地质勘察与科研的工作,基本查明了南昆铁路岩溶的发育规律,并形成和广泛推广了岩溶地质综合勘探技术,总结了一套行之有效的岩溶勘察的基本工作方法,特别是其中的岩溶地面塌陷勘察的工作方法,即对岩溶地面塌陷开展专门性勘察,一般以物探为主,辅以钻探,

钻探、物探相互验证,可以提高勘探效果,并在对勘察成果综合分析的基础上进行塌陷分区预测和预整治设计与施工,这在国内铁路建设中尚属首次。这一工作方法,目前已在路内涉及岩溶的铁路建设项目中推广应用。

近年来,在一些深埋岩溶长大隧道勘察中,采用岩溶水文地质专题调查与论证、同位素示踪、以可控源音频大地电磁法为主深部综合物探、深孔钻探验证等长隧道综合地质勘察,探测分析深部岩溶及岩溶水发育分布情况,亦取得较好效果。

路基岩溶塌陷的防治主要采取地表防渗、地下加固(恢复地下水位、强夯、钻孔充气、明挖回填、支顶、钻孔压浆)、结构物跨越三大类措施,对桥梁地基的岩溶塌陷多采用桩基、跨越或注浆加固等措施处理。

在深埋长大岩溶隧道施工中为准确预测隧道施工中可能发生的地质灾害,采用地质测绘和TSP202(203)等各种物探手段,利用平导先施工和掌子面超前水平钻孔,对岩溶洞穴、涌水突泥、围岩失稳、断层等的位置、规模和性质作进一步探测验证和近距离地质超前预报,也取得了较好的效果,并对隧道施工的防灾减灾起到了积极的作用。

2000~2004年修建的渝怀线歌乐山隧道等,采取“排堵结合,以堵为主,限量排放”的治水原则,实施了强大的帷幕注浆堵水措施及抗水压钢纤维混凝土衬砌,有效地控制了地表地下水的严重渗漏,成为中国铁路建设史上保护生态环境的典范工程,推动了长大岩溶隧道堵排水技术的发展。

5.6 煤层瓦斯和小煤窑采空区勘察与防治技术成就

通过西南地区穿越石炭系、二叠系、三叠系及侏罗系等煤系地层多座铁路与公路隧道的勘察设计与建设,中铁二院在煤层瓦斯和小煤窑采空区勘察与预测方面积累了一定的经验。

5.6.1 煤层瓦斯勘察与防治

20世纪80年代后期,在成渝高速公路中梁山隧道地质勘察中与煤炭专业单位合作,提出了煤系地层隧道设计所需的主要瓦斯参数,并首次确定了隧道瓦斯设防段落划分标准。

20世纪90年代初,在南昆铁路家竹箐隧道勘察中,再度与煤炭专业单位合作,在路内率先参照煤田勘探方法,运用瓦斯地质理论,开展了隧道煤层瓦斯综合地质勘察。后又在内昆、达万等多座瓦斯隧

道开展了这一工作。

通过上述工作中的探索,总结了一套铁路瓦斯隧道地质勘察基本工作方法,即通过充分收集既有井田和邻近矿井资料,安排大面积地质调绘和控制性钻孔,经计算分析,提出主要煤层的空间分布,测试各煤层主要瓦斯参数,进行煤与瓦斯突出危险性评价,并详细说明各主要煤层特征,对比标志及顶、底板特征,预测和划分施工揭煤、瓦斯和突出的设防段落等。

5.6.2 小煤窑采空区勘察与防治

采空区特点与勘察难度。小煤窑采空一般都为无序开采,更无文献记载和图表资料。地质勘察中难以完全查清,即使用较大的物探、钻探工作量也只能查明采空范围和深度。

选线原则。除铁路线路方案选择时应尽量绕避小煤窑采空区、万不得已时应从小煤窑采空最窄处通过、并设置铁路线下保安煤柱、禁止在限定范围内开采。

防治原则。对路堤基底下的小煤窑采空巷道,采取人工回填片石或砂卵石与钻孔灌砂并注水泥浆相结合的办法加固地基;才能确保铁路运营安全。如遂渝线松林堡隧道斜穿小煤窑采空范围内,采取加强隧道基础及上部结构刚度与采空巷道回填及钻

孔灌注水泥砂浆等措施处理。

6 结语

西南地区因受板块运动影响,地震频繁、震级大,新构造活动强烈,地壳升降幅度大,山高谷深,斜坡岩体破碎,降雨量丰富,山地生态环境非常脆弱,是我国易发生崩塌与滑坡、泥石流、岩溶(喀斯特)与地面塌陷、采空区、高地应力等地质灾害地区,地质灾害的预测和防治仍是铁路地质工作的主题,必须在开展工程地质工作中强调重视前期区域性宏观地质选线,大力推行综合地质勘探,促进地质灾害勘察与防治技术进步。西南铁路工程地质工作任务重道远,更突出的成就有待新一代的地质工作者去创造,

参考文献

- [1] 铁道第二勘察设计院. 创立五十年(1952-2002)[M]. 成都:西南交通大学出版社,2002
- [2] 铁道部档案史志中心. 中国铁道年鉴[Z]. 2004
- [3] 卿三惠. 西南铁路工程地质特征及成就[J]. 铁道工程学报, 2005,12(增刊):123-139
- [4] 成昆铁路技术总结委员会. 成昆铁路(1-4册)[M]. 北京:人民铁道出版社,1981
- [5] 铁道第二勘察设计院. 复杂地质艰险山区修建大能力南昆铁路干线成套技术[M]. 成都:电子科技大学出版社,2002

Geologic Hazard in Southwest Railways and Achievement of Survey and Control Technique on Geologic Hazard

Zhu Ying, Jiang Liangwen, Qu Ke, Li Guanghui, Cao Huaping
(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu 610031, China)

[Abstract] China southwest area locates at the edge of Qinghai-Tibet plateau and is close to east side of collision zone between India plate and Eurasian plate where the geologic structure is quite complicated with serious geologic hazard. Combined with the survey and design, construction and operation of such important trunk railway lines as Bao-Cheng railway, Gui-Kun railway, Cheng-Kun railway, Xiang-Yu railway, Nan-Kun railway, Nei-Kun railway and Yu-Huai railway, etc., in complicated southwest mountainous region, the general condition of geologic hazard of southwest railway is summarized and the railway geologic survey and engineering control technique experience for several kinds of main geologic hazard are systematically presented.

[Key words] southwest area; railway; geologic hazard; survey; control technique