

铁路工程地质实例

(西北及相邻地区分册)

铁道第一勘察设计院 编

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 2 年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是由铁道第一勘察设计院在西北及相邻地区数十年来铁路工程建设实践的基础上编写而成的。书中列举了从实践资料中提取的百余实例,对每一实例都有详细介绍,也有一定深度的总结。其中既有勘测与地质难题处理的技术经验,也有勘测中创造与采用的新技术、新方法。

本书可供各部门工程地质人员参考,亦可作为本专业学生和新毕业学生及中青年技术人员培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路工程地质实例.西北及相邻地区分册/铁道第一勘察设计院编.
北京:中国铁道出版社,2002.4
ISBN 7-113-04392-5

.铁... .铁... .铁路工程-工程地质-西北地区 .U 212.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 076353 号

书 名:铁路工程地质实例(西北及相邻地区分册)
作 者:铁道第一勘察设计院 编
出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑:王俊法 张苍松
封面设计:李艳阳
印 刷:北京燕山印刷厂
开 本:787×1092 1/16 印张:40.25 字数:1021千
版 本:2002年4月第1版 2002年4月第1次印刷
印 数:1~1000册
书 号:ISBN 7-113-04392-5 T U ·678
定 价:80.00元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

1953年1月铁道第一勘察设计院(以下简称铁一院)成立以来,全院职工艰苦创业,开拓进取,踏遍祖国西北戈壁高原、内陆盆地和黄河上下的山山水水,先后进行了70多条铁路干线、300多条铁路支线、专用线的勘测设计,完成线路初、定测累计8.7万km,钻探 103×10^4 m,新建铁路通车里程达8800多公里,改变了西北地区的铁路交通面貌。1978年以后,在邓小平理论的指引下,在改革开放的大潮中,铁一院坚持科技和人才兴院,立足铁路,面向社会,立足西北,面向全国,在继续抓好铁路勘测设计的同时,还开拓了路外的工程勘察设计、工程咨询、工程承包、工程监理及岩土工程等项目,进入了一个新的历史发展时期。

西北地区地处欧亚大陆腹部,在漫长的地质时代,经历了多次构造运动,形成了特有的地貌格局,其主要特征是高原、高山与盆地相间分布,山脉大多呈EW、NW与NW向展布。长江和黄河都发源于西北地区;贺兰山、乌鞘岭以西为内陆河流域。由于地貌差异大、地质构造复杂,加之大陆性气候的影响,形成了诸如滑坡、错落、崩塌、落石、泥石流、风沙、小煤窑采空、掏沙洞、岩溶等大量不良地质现象,以及黄土、盐渍土(岩盐)、膨胀土、高原多年冻土等分布广泛的特殊土问题。40多年来,广大铁路工程地质工作者,在西北地区的铁路建设中,对上述工程地质问题进行了认真的研究和探索,积累了丰富经验。如,为做好地质复杂越岭地段的线路方案选择,在初测前安排大面积加深地质工作;为做好沙漠、盐渍土、风害和多年冻土地段的线路选择和设计,超前建立观测站、施工试验工程,进行长期观测研究,以提供可靠的选线依据和设计参数等。经过铁一院几代人的努力,成功地修建了新中国的第一条沙漠铁路、第一条盐湖铁路、第一条高原铁路,为我国铁路建设作出了贡献。但也有因地质条件复杂、隐蔽,或当时勘察手段的限制及其它因素的影响而出现工作失误的。为了总结和借鉴几十年来积累的这些经验和教训,防止和避免错误的重现,促进工程地质勘测水平的提高,铁一院在中国铁道出版社的支持下,组织编写了这本《铁路工程地质实例(西北及相邻地区分册)》。

本书收入实例百余篇,分7章:第一章为区域地质综述,第二章为地质选线,第三至第六章分别为路基、桥涵、隧道、工业与民用建筑地质实例,第七章为技术总结及其它。本实例的资料多来源于以往的勘察设计成果及有关技术总结。为简化,本次只列出实例的编写者,而对承担原勘察、设计、科研及总结的同志则不再一一列出,在此,对这些同志表示歉意和感谢。

由于这本实例涉及的单位和人员比较多,1998年铁一院成立了以徐英珏副院

长为组长的领导小组,专门负责本实例编写过程中的领导和协调工作。本书主审李法昶,副主审龚重远;主编楚涌池,副主编钱伟平;参加编审的还有盛殿魁、刘德基、陈品文、王笃实、楼文虎等。

本书插图由雷华描绘。

编者

目 录

第一章 区域工程地质综述	1
一、自然地理	1
二、区域地层岩性	6
三、区域地质构造	9
四、区域水文地质特征	15
五、不良地质	19
六、特殊岩土	25
七、结 束 语	30
第二章 地质选线	32
一、西康线秦岭地段的地质选线	32
二、宝成线秦岭段工程地质选线	44
三、青藏线关角隧道地质选线	50
四、南疆线奎先达坂越岭方案地质选线	56
五、侯月线中条山越岭隧道方案工程地质选线	63
六、阳安线青羊驿断层带选线	69
七、镜铁山支线 K38 ~ K55 不良地质地段选线	75
八、阳涉线平定至宁艾段小煤窑采空区选线及工程处理原则	81
九、宝中线峡口不良地质地区选线	88
十、西康线岭南河谷区工程地质选线	92
十一、包兰线沙坡头沙漠与选线	100
十二、吉兰泰专用线沙漠地区选线	108
十三、南疆线焉耆盐渍土地区选线	114
十四、南疆线轮台地段工程地质问题与选线	119
十五、宝中线黄河特大桥桥位选线	126
十六、陇海铁路天兰段增建二线大营梁越岭地区的杂色土特征与选线	138
十七、宝成铁路马蹄湾(K190)崩塌地段改线	144
十八、结 束 语	150
第三章 路基地质	151
一、宝成铁路丁家河滑坡勘测与整治	151
二、宝成铁路 K343 滑坡特征与整治	158
三、宝成铁路 K345 滑坡特征与整治	167
四、陇海铁路宝天段胡店不良地质区工程地质勘察	175
五、陇海铁路宝天段 K115 错落的形成与处理	181

六、陇海铁路宝天段 K1342 滑坡特征	187
七、宝中线火烧寨滑坡特征	196
八、侯月线郑庄滑坡及整治	201
九、包西线西安至延安段史家湾滑坡特征与处理	205
十、阳安铁路徐家坝车站滑坡特征与整治工程	207
十一、梅七线 K57 滑坡勘测与整治	213
十二、宝成铁路观音山车站高边坡岩体开裂及其整治	217
十三、宝成铁路青石崖车站危岩落石与整治	224
十四、兰新铁路 K232 跌落崖崩塌整治工程	229
十五、陇海铁路宝天段 K1384 崩塌与整治	236
十六、兰州枢纽大洪沟泥流及整治	240
十七、青藏线扎麻隆峡谷区的泥石流防治	245
十八、包兰线沙坡头沙漠路基设计	252
十九、干武线沙漠路基勘测与设计	263
二十、兰新铁路大风地区路基的风蚀现象及其防治措施	272
二十一、兰新铁路大风地区的挡风墙工程	279
二十二、京沪铁路泰安岩溶地区路基塌陷与整治	285
二十三、孝柳线石庄小煤窑采空区工程地质勘察及处理	297
二十四、包西线西安至延安段秦家川车站和马四川黄土路堑高边坡稳定性	303
二十五、陇海铁路天兰段大河岔黄土路堤病害整治	305
二十六、青藏线察尔汗盐湖路基	309
二十七、青藏线察尔汗盐湖南缘盐渍土路基	315
二十八、兰新线达坂城沼泽(软土)路基工程	322
二十九、阳安铁路的膨胀土路基病害及整治	331
三十、柴达尔煤矿专用线冻土特征与路基设计	339
三十一、结 束 语	344
 第四章 桥涵地质	 347
一、灵武支线黄河特大桥桥基勘测	347
二、侯西线汾河特大桥地震液化及承载力问题	350
三、侯月线河口特大桥 3 号至 6 号墩下沉的处理	356
四、兰州七里河黄河公路大桥桥基风化砂岩的承载力	362
五、侯月线海子沟高桥黄土地基工程地质特征	364
六、宝中线颍河 6 号大桥跨越隐伏断层	367
七、南疆线布谷孜河大桥特殊条件下的地基勘察及处理	370
八、三峡工程对外交通公路下涝溪大桥宜昌台岸坡稳定性分析及加固处理	376
九、侯月线小东沟大桥 5 号、6 号墩基础偏移下沉处理	380
十、宝中线三岔沟 2 号大桥中卫台施工	383
十一、侯月线芦苇河 3 号桥 3 号墩地基变化所引起的孔跨变更	384
十二、宝中线上清水沟 2 号栈桥变更设计	386
十三、侯月线桃坪沟滑坡引起桥台位移及其处理	388

十四、兰新复线五华山中桥打入桩基础施工问题及处理	392
十五、宝中线大峡口中桥沉井施工问题的处理	395
十六、陇海铁路 K1387 + 780.5 立交桥工程地质勘测	397
十七、兰新复线既有五道沟中桥基础下沉的注浆加固	399
十八、结 束 语	404
第五章 隧道地质	406
一、宝中线堡子梁隧道滑坡影响段的病害整治	406
二、包西线西安至延安段田庄隧道滑坡勘测及整治	413
三、阳安铁路新渔坝隧道古错落影响段的病害整治	417
四、梅七线崔家沟隧道膨胀岩病害整治	424
五、包西线西安至延安段九燕山隧道病害勘测及整治	428
六、侯月线桃坪隧道施工坍塌及环境地质问题	430
七、西康线秦岭特长隧道 线平导施工的地质灾害与整治措施	437
八、神朔线梁家山隧道因古沟槽变更设计	442
九、包西线西安至延安段韩家河隧道工程地质勘测与设计	447
十、孝柳铁路麻子山隧道煤窑采空段的病害与整治	453
十一、兰新铁路乌鞘岭隧道渗漏水整治	460
十二、西康线秦岭隧道涌水量预测	464
十三、西康线秦岭南部石灰岩隧道岩溶特征及工程处理	470
十四、西康线秦岭特长隧道地应力测试方法及其应用	477
十五、宝中线冯家山隧道地下水的防治	484
十六、结 束 语	487
第六章 工民建基础地质	490
一、甘肃省新闻出版中心高层楼地基勘察	490
二、西安市国安大酒店地基勘察	495
三、铁一院兰州高层住宅楼地基勘测	500
四、陇海铁路宝兰段天水车站站房扩建地基勘测	502
五、宝鸡市焦化厂改、扩建工程地质勘察	504
六、高压旋喷桩在黄土地基处理中的应用	508
七、兰州市新银金融贸易大厦岩土工程勘察	513
八、结 束 语	519
第七章 技术总结及其他	520
一、青藏高原多年冻土	520
二、滑坡的形成与识别	525
三、西北各铁路线上的滑坡整治概况	531
四、崩塌落石的形成与选线处理	542
五、宝中线安口滑坡的形成、发展及演变	547
六、西北黄土的形成时代、成因与分布探讨	552

七、西北地区新构造运动与泥石流的分布和发展 562

八、侯月线水平岩层隧道围岩坍塌浅析 568

九、宝成线宝略段 1981 年水害工程地质工作总结 572

十、西安南京线秦岭地区初测前的加深地质工作 581

十一、兰青线锥探探查掏砂洞的经验 590

十二、洛门铁路疗养院地下热水水源勘察 594

十三、兰州地区铁路新水源勘察 600

十四、南疆线乌斯特车站水源勘察 606

十五、包兰铁路临河车站新建水源勘察与工程试验 610

十六、西康线秦岭隧道平行导坑施工地质综合测试图的
计算机成图软件介绍 625

十七、《铁路工程地质勘察平面、纵断面设计成图系统》软件简介及应用 629

十八、结 束 语 635

第一章 区域工程地质综述

刘德基 陈品文

一、自然地理

西北地区位于亚欧大陆腹部,包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆五个省区(面积为 298 万 km^2),与其邻近的西藏、内蒙古、山西、河南部分地区共同组成了一个特殊的自然地理单元。它地域辽阔,高差悬殊,有高程 3 500 ~ 6 000 m“世界屋脊”之称的青藏高原,也有低于海平面以下 154 m,有“火洲”之称的吐鲁番盆地;既有长江、黄河发源的山地,也有塔里木、柴达木等宽坦的盆地;既有沟壑林立的黄土高原,也有空旷无垠的戈壁沙漠。高耸的山地与宽广的盆地相间,雪山林带与戈壁绿洲毗连,山顶白雪皑皑,平原绿草成茵。西域古城,多镶嵌于各绿洲间,田连阡陌,瓜果飘香,在今日的城乡发展中,更加灿烂辉煌;丝绸之路,在今日铁路、公路网络四通八达的情况下,更加繁荣昌盛。

(一)地形地貌

西北地貌自西南向东北,其地形高度呈阶梯状下降,青藏高原西南边缘有喜马拉雅山、喀喇昆仑山,北界为阿尔金山、祁连山,是最高一级的夷平面,海拔 3 500 m 以上。塔里木、准噶尔盆地,阿拉善、黄土高原与贺兰山、六盘山、吕梁山等山系组成次一级夷平面,海拔 1 000 ~ 2 500 m。

天山至阴山、昆仑山至秦岭,其高度亦是自西向东逐渐递减。青藏高原是长江、黄河的发源地,秦岭山脉是长江、黄河的分水岭,亦是我国自然气候、人文景观的南北分界线。

1. 山地

山地以褶皱断块山为主,高差大,坡度陡,松散堆积物多,各种不良物理地质现象普遍分布。

(1)东西向山地

由北向南分别有天山、昆仑山、秦岭和喜马拉雅山等。

a. 天山

天山是亚洲巨大山系之一,基本呈纬向延伸,全长 2 500 km,西段在邻国,东段在我国,为东天山,长 1 700 余 km。

东天山由南、北两列山脉组成。北天山长约 1300 km,以吐鲁番至乌鲁木齐的兰新铁路为界,又分东西两段,西段走向 N W W,最高峰海拔 5 289 m;东段走向 N W W—E W—S E E,最高的博格达峰,海拔 5 445 m。南天山长 1 100 km,主峰托木尔峰,海拔 7 435 m,是天山的最高峰。从汗腾格里山向东山势有所降低,平均海拔 4 000 m,逐步下降至 2 000 ~ 1 000 m。

天山地区多间歇性内陆河流,主要由 3 800 m 以上的积雪和冰川融化水补给,形成许多山间湖泊,如天池(瑶池)、巴里坤湖、赛里木湖等,为游览避暑胜地。

兰新铁路穿越北天山东西两段之间的地势较低、起伏较小地段,工程不大。南疆铁路吐鲁番至库尔勒段,翻越南天山奎先达坂垭口,海拔 3 476 m,垭口两侧阿拉沟及乌拉斯台沟,沟床纵坡 20‰ ~ 30‰,地形较陡,沟床狭窄,展线困难,以长 6.2 km 隧道通过。库尔勒至喀什段,

铁路在南天山南麓山前平原上通过,地形平坦,工程较小。

b. 昆仑山

昆仑山以喀喇昆仑山口为界,分东西两段,西段起自帕米尔高原,东段延伸至青海果洛及川北阿坝,东西长约 2 500 km,平均海拔 5 500 ~ 6 000 m,山脊长年积雪,有现代冰川覆盖。青藏线格尔木至拉萨段线路,是从其东段沿格尔木河而上,在其北坡西大滩展线,越乱石沟,经高程 4 772 m 的昆仑山最低垭口通往拉萨。

c. 秦岭

秦岭是横亘中国中部的一条东西向山脉,大致以嘉陵江为界,分东西两段,西至岷山,东至伏牛山、大别山,东西长 1 500 km,为中国南北自然景观分界线,也是长江与黄河两大水系的分水岭,海拔多在 2 000 ~ 3 000 m 之间,最高峰太白山 3 767 m,山势自西向东逐渐变窄变低,山坡北陡南缓。宝成铁路在秦岭北坡杨家湾至秦岭顶,航距 6 km,30‰限坡,展线长达 27 km,秦岭隧道长 2 353.3 m。西安至安康线,秦岭隧道长达 18.5 km,工程艰巨。

d. 喜马拉雅山

喜马拉雅山位于青藏高原南侧,东西长 2 400 km,平均海拔 6 000 m 以上,世界第一高峰——珠穆朗玛峰,海拔 8 848.13 m。1960 年勘测的川藏线林芝至拉萨段,沿其北坡,顺雅鲁藏布江河谷而上,新构造运动及地震活动强烈,大规模崩塌、泥石流普遍分布,工程艰巨。

(2) 南北向山地

西北地区南北向山地主要有贺兰山和六盘山,山体狭窄,宽 20 ~ 40 km,长约 270 km,它是中国东西山脉的分界带,最高峰海拔 3 600 m。包兰铁路石嘴山至中卫段,沿贺兰山东麓山前平原通过;宝中铁路沿六盘山东麓行进。

(3) 北西向山地

北西向山地主要有阿尔泰山、阿尔金山、祁连山等。

a. 阿尔泰山

阿尔泰山高程一般为 3 200 ~ 3 500 m,主峰为中蒙边界的友谊峰,海拔高 4 374 m,山势自西北向东南降低、变窄,海拔 2 400 m 以上现代冰川分布广泛。

b. 阿尔金山和祁连山

阿尔金山和祁连山位于青藏高原北缘,以当金山口分界,西为阿尔金山,东为祁连山。

阿尔金山向西延至车尔臣河,长 500 km,宽 20 ~ 50 km,海拔多在 4 000 m 以上,西高东低,北坡高差大,勘测中的青新线在北坡迂回展线通过。

祁连山长 1 200 km,宽 250 ~ 400 km,海拔多在 4 000 m 以上,现代冰川广泛分布。祁连山北面的合黎山与龙首山,一般高程 1 800 ~ 2 600 m,主峰高程 3 616 m,因位于河西走廊以北,亦称北山,与祁连山呈平行分布。兰新线在这两山之间的河西走廊通过。

2. 盆地

盆地均位于前述各大山之间,多为断陷盆地,受断裂构造控制,地势低洼,地形平坦,松散堆积物较厚,土层盐渍化,风沙活动地段较多。

(1) 塔里木盆地

塔里木盆地位于昆仑山和天山之间,东西长 1 500 km,南北宽 600 km,呈菱形,面积约 53 万 km²,是中国最大的内陆盆地,大部分海拔 1 200 ~ 1 400 m,东部罗布泊一带海拔 800 m。由于盆地与周围大山高差悬殊,盆地边缘洪积扇、裙十分发育,形成广阔的山前平原,现已通车的南疆线库尔勒至喀什段,即沿盆地北缘通过。

盆地中部为塔克拉玛干大沙漠,现为我国新油田开发区。盆地东部为库姆塔格大沙漠,青

新线若羌至库尔勒段,即从这两大沙漠之间穿越。

(2)准噶尔盆地

准噶尔盆地,位于天山与阿尔泰山之间,其轮廓呈三角形,东南高,西北低,较低处海拔 500 m 左右,最低的艾比湖海拔 190 m,盆地边缘为洪积扇群连成的平原,盆地中有库尔班通古特沙漠,约 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。克拉玛依铁路支线通过沙漠区,多为固定沙丘。

(3)柴达木盆地

柴达木盆地,位于昆仑山与阿尔金山、祁连山之间,东西长约 850 km,南北宽约 250 km,面积约 22 万 km^2 ,是我国盐湖面积最大、分布最多的盆地,海拔 2 600 ~ 3 000 m,从盆地边缘向中心,依次为戈壁、丘陵、平原。平原中较低部分,形成许多盐湖和盐沼,其中察尔汗盐湖,有“盐都”之称,青藏铁路锡铁山至格尔木段,横穿盐湖。

(4)吐托—鄯哈盆地

吐托—鄯哈盆地,是南北天山之间的一个较大断陷盆地,吐托盆地在西部,鄯哈盆地在东部,吐托盆地的艾丁湖水面,因低于海平面以下 154 m 而闻名于世。由于地势低洼,气候炎热,吐鲁番的葡萄,哈密的瓜,享誉中外。吐鲁番县城西面第三系含盐碱、石膏出露的山,称盐山;城东第三系红层出露的山,称为“火焰山”。兰新及南疆铁路均沿盆地边缘通过。

3. 高原

西北地区有青藏高原、黄土高原、阿拉善高原。青藏高原是世界上隆升最剧烈的高原,黄土高原是切割最强烈的高原,阿拉善高原是最稳定的高原。

(1)青藏高原

青藏高原素有“世界屋脊”之称,是世界上最高,新生代以来隆起速度最快,地壳最厚,引起世界地学界最关注的高原。它东西长 2 500 km,南北宽 1 400 km,面积约 250 万 km^2 ,海拔一般 3 500 ~ 5 000 m,较高山峰 6 000 ~ 7 000 m 以上,为现代冰川分布区,大部地区为多年冻土所覆盖。

高原面起伏不大,多较完整,其间湖泊星罗棋布,著名的有纳木错、色林错、鄂陵湖、扎陵湖、青海湖等。其东南部受河流深切,形成一些高山峡谷及横断山。黄河、长江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等均发源于该区,所以青藏高原又有“江河源”之称。

(2)黄土高原

青藏高原以东,太行山以西,长城以南,秦岭、伏牛山以北,为黄土所覆盖的地区。从地貌结构上分三种类型,一是基岩裸露为主的山地,部分被黄土所覆盖,如六盘山、中条山、吕梁山等;二是上部为深厚黄土层所覆盖,基底为基岩,此种类型分布最广,黄土厚度最大,深切沟壑纵横,最能显示黄土地貌、地层特征的地区;三是断陷盆地、谷地分布的深厚黄土层及黄土质土层。

(3)阿拉善高原

河西走廊北山以北,贺兰山以西,弱水、西河、居延海以东,蒙古以南,海拔 1 000 ~ 1 500 m,由南向北倾斜,有不少起伏残丘与山地,在高原中形成许多内陆盆地,其间有盐湖、盐渍土、巴丹吉林沙漠及腾格里沙漠。

4. 内陆湖泊

内陆湖泊较大的有青海湖、纳木错、艾丁湖、罗布泊、玛纳斯湖、博斯腾湖、艾比湖、乌伦古湖及居延海等,其中以青海湖面积最大,长 105 km,宽 60 km,面积 4 427 km^2 ,海拔 3 197 m,平均水深 25 m,最大水深 38 m,是我国最大的咸水湖。湖中有 4 个小岛,最大者为海心岛,岛上山顶高出水面 77 m,为旅游胜地。青藏铁路克土至天峻段,从其北缘通过。

艾丁湖位于吐鲁番盆地中心,面积 35 km^2 ,水深 50 m ,突出的特点是水位低于海平面以下 154 m 。

居延海是阿拉善高原上的一个湖泊,据记载,古居延海面积达 $2\ 600\text{ km}^2$,而现仅剩 300 km^2 。

纳木错位于青藏高原,面积 $1\ 940\text{ km}^2$,海拔 $4\ 718\text{ m}$,是世界上最高的咸水湖。

西北地区的内陆湖,目前普遍汇水减少,湖面萎缩,有的趋于干涸状态。

5. 内流河

西北地区内流河水系面积约占全国陆地总面积的 32.6% ,较大内陆河流有塔里木河、和田河、车尔臣河、喀什噶尔河、伊犁河、黑河、北大河、格尔木河等,其中塔里木河流域面积最大,流程最长,从源头至台特马湖长达 $2\ 179\text{ km}$,是中国最长的内陆河流。内陆河由积雪、冰川融化水补给,流量小,季节变化大。河床形态多是上游深切纵坡陡,流速快,携带泥砂量大;沟口至下游纵坡变缓,流速慢,大量泥砂停积沟口外,形成洪积扇淤积,抬高河槽,造成宽河漫流,股流交错如网,水系难以区分,给铁路选线、桥位设置造成困难。

6. 外流河

外流河与内流河以昆仑山系中的霍霍西里山、布尔汉布达山、日月山,祁连山系中的乌鞘岭和贺兰山为界,其西北部为内流河,东南部为外流河。外流河主要流入澜沧江、长江及黄河。

黄河为地区内最大河流,流经青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东八个省、区。在西北地区汇入的支流有湟水、大通河、洮河、渭河、清水河、无定河、洛河和泾河等,其中渭河长 787 km ,水量季节性变化大,洪水季节携带大量泥砂,为下游泥砂含量的主要来源地。

西北地区流入长江的水系有通天河、沱沱河、西汉水、白龙江、嘉陵江及汉江等。其中白龙江长 535 km ,水量大,水流急,勘测过的兰渝线宕昌至武都段,滑坡、泥石流经常堵塞河床,为最不稳定的河谷地段。

准噶尔盆地内的额尔齐斯河,是中国唯一流入北冰洋的河流,在中国境内长 442 km ,流域面积约 4.4 万 km^2 。

(二) 气候特征

西北地区深居内陆,远离海洋,四周为山脉所围绕,多封闭型内陆盆地。形成温差大,降水量小,蒸发量大,湿度小,干燥度大,气温变化大,冻结时间长,春季多风暴,夏季暴雨集中,云量少,日照长等较典型的大陆性气候特征。

1. 降水量小、蒸发量大

降水量小、蒸发量大是西北地区气候特征之一。区内秦巴山区,长江流域的河谷及汾渭盆地,年降水量为 $500\sim 900\text{ mm}$,而年蒸发量为 $1\ 000\sim 1\ 800\text{ mm}$,是降水量的一倍左右,属于半湿润气候。除此而外,其它大部分地区的年降水量为 $100\sim 500\text{ mm}$,而年蒸发量为 $2\ 000\sim 3\ 000\text{ mm}$,是降水量的数倍至数十倍,属于亚干旱至干旱气候区。柴达木、塔里木盆地,年降水量不足 53.4 mm ,而年蒸发量达 $3\ 250\text{ mm}$;吐鲁番盆地,年降水量为 12.6 mm ,年蒸发量达 $3\ 500\text{ mm}$;罗布泊地区,年降水量仅 5 mm ,而年蒸发量竟达 $3\ 500\text{ mm}$ 以上,这些地区属于极干旱区。

在干旱与亚干旱的山区,降水量有随着海拔高度变化的垂直分带,海拔越高,降水量越大。如阿尔泰山地区,海拔 $1\ 000\text{ m}$ 以下时,年降水量为 250 mm ;海拔 $1\ 000\sim 1\ 500\text{ m}$ 为 $250\sim$

350 mm, 1 500 ~ 3 000 m 为 350 ~ 500 mm。天山地区, 在海拔 1 500 m 以下, 年降水量为 100 mm, 海拔 1 500 ~ 2 000 m, 年降水量约为 200 mm。青藏高原各大山区, 这种垂直分带更明显, 山顶终年白雪皑皑, 中部为绿色林带, 下部为广阔草原及戈壁沙滩, 盆地中部绿洲成茵。由于蒸发强烈, 许多土层盐渍化, 有的形成岩盐层。

2. 气温变化大

气温变化剧烈, 夏季酷热, 冬季严寒, 是西北地区另一气候特性。由于高山与大型封闭盆地相间分布, 地势高差悬殊, 气温差异较大。

秦岭南坡, 汉中盆地, 位于秦巴山脉之间, 地势低洼, 海拔 800 ~ 1 500 m, 年平均气温为 14.3 , 最冷月平均气温为 2.1 , 最热月平均气温为 25.9 , 极端最高气温为 38 , 极端最低气温为 - 10.1 , 是西北地区最湿润温暖的北亚热带气候区。

陕、甘黄土高原, 海拔 860 ~ 1 540 m, 山地可达 3 000 m, 最冷月平均气温为 - 5 ~ - 10 , 最热月平均气温为 19 ~ 24 , 极端最低气温为 - 20 ~ - 30 , 极端最高气温为 42 。

最寒冷的阿尔泰地区, 海拔 3 000 m 以上, 最冷月平均气温为 - 23 ~ - 30 , 极端最低气温达 - 49.8 , 春秋季节气温升降急剧, 温差达 30 , 最热月平均气温 18 上下, 极端最高气温为 37.6 。

青藏高原, 海拔多在 4 000 ~ 6 000 m, 年平均气温在 0 以下, 最冷月平均气温在 - 19 以下, 极端最低气温为 - 37.5 , 一年中只有三个月在 0 以上, 最热月平均气温也只有 7.9 。所以在天山、祁连山及青藏高原海拔较高的地方形成多年冻土及现代冰川, 长年处于冰冻状态。

吐鲁番盆地, 地势低洼, 地面辐射热量不易散失, 夏季酷热, 年平均气温为 14 , 最热月平均气温为 29 ~ 33 , 最高气温达 48.9 。盆地中心气温超出 35 , 每年达 100 天以上。

罗布泊四周为沙漠所围绕, 地势亦较低, 夏季绝对最高气温竟达 50 , 气温更高于“火洲”之称的吐鲁番盆地。

西北地区气温年较差多在 35 以上, 越向西北部温差越大, 如准噶尔盆地年温差为 55 , 吐鲁番盆地年温差可达 60 ~ 70 。各地区的平均日温差均在 11 以上, 南疆及河西走廊日温差为 16 ~ 20 , 新疆东部戈壁滩上日温差可达 35 , 敦煌地区一昼夜温差接近 40 。

西北地区因为年温差和日温差均较大, 造成区内岩石机械风化作用十分强烈。

3. 云量少、日照长、空气干燥

整个西北地区的云量与日照成反比, 即云量越少, 日照越多, 形成空气干燥。据云量统计: 汉中 7.1、西安 6.0、银川 4.4、西宁 5.5、安西 3.9、库车 3.8、乌鲁木齐 5.0。

西北地区日照是全国之最, 各地年日照时间: 西安 1 955 h, 兰州 2 210 h, 西宁 2 603 h, 渭北高原 2 200 ~ 2 500 h, 青藏高原 2 200 ~ 3 600 h, 哈密、敦煌、安西、玉门等地日照时间 3 000 h 以上, 柴达木、塔里木、吐鲁番盆地日照时间 3 500 ~ 3 620 h, 是干旱炎热中心。日照时间长, 利于太阳能开发。

4. 大风

西北北部与西伯利亚毗邻, 西伯利亚上空常有高压冷气团存在, 春秋季节冷热交替, 高压冷重气流南移, 形成强大风流, 进入中国新疆准噶尔盆地, 受天山阻挡, 垭口成为气流通道, 气流集中, 气流气压梯度提高, 增强南侵风速, 加之天山地势由北向南倾斜, 气流下沉加速, 形成的风力更加猛烈。

兰新铁路通过天山垭口的安西、哈密、七角井、达坂城等风口。从沙尔站至红旗坎站长 137.6 km, 称为“百里风区”, 头道河站至后沟站长 33 km, 称“三十里风区”, 南疆铁路铁泉站至

布尔加依站(布尔碱)为 72 km 大风区。各风区大于八级风,每年达 68 ~ 183 d。达坂城瞬时最大风速达 50 m/s。

此外北疆铁路阿拉山口地区大于八级风,每年达 165 d,藏北高原八级以上大风达 150 ~ 200 d。

大风可以刮起粒径 15 mm 的砾石,使地面砂砾移动,形成风沙流,造成路堑积沙,列车脱轨,吹蚀路堤、边坡、桥涵墩台、翼墙、帽石、电杆,破坏门窗、屋面,刮断电线,刮倒行人,甚至吹翻列车,形成大风灾害。

5. 集中暴雨

西北各地的降雨,多集中在 7、8 月,占年降雨量的 41.7 % ~ 59.2 %。往往在短时间内降雨达数十毫米至 100 多 mm,降雨密度大而集中,多形成严重灾害。

1981 年 8 月 11 日至 22 日嘉陵江上游,连续降雨超过 300 mm,占年降雨量 40 %,其中 21 日 12 h 内降雨 100 ~ 110 mm,引发山洪,泥石流俱下,宝成铁路宝略段出现水害工点 200 余处,其中严重的达 50 处,主要为冲毁防护工程及路基,使轨排悬空;桥台被淘刷倾倒;桥墩被剪断而梁坠落;山坡泥石流漫道、堵塞桥涵;水漫轨道,车站受浸泡等病害。

1978 年 7 月 12 日晚甘肃省天水县伯阳至社棠间的渭河峡谷区,2 h 降雨达 105 mm,沿宝天铁路长 12 km 范围遭受泥石流灾害,路面、桥涵、站房被埋没,中断行车达 360 h。

1975 年 8 月 5 日贺兰山大岭,12 h 降雨达 211.5 mm,包兰铁路 3 处被冲,冲毁农田达万亩,房舍 500 余间,冲毁公路桥梁 14 座,造成引水干渠 86 处决口。

1958 年 7 月 7 日下午 6 时,在青藏线西宁以西的扎麻隆峡谷,40 min 降雨达 120 mm,大量泥石流涌压西川河,响声震天,居民躲避不及,被冲走 17 人,公路、邮电中断,冲毁树木 5 600 株,房屋 127 间,牲畜家禽 600 多只,正在施工的铁路桥涵、路基均被堵塞或冲垮。

近几年,暴雨也造成了兰新铁路、南疆铁路多处水害,1998 年 8 月 12 日南疆铁路库尔勒—阿克苏间,因下暴雨,洪水冲坏桥梁 15 座、涵洞 59 个、路基 12 处,被迫中断行车。

这种集中暴雨,时间短,强度大,受区域地形、季节、水汽、环流影响,在高原边缘,横断山脉,深切河谷中暴发山洪泥石流,对工农业建设威胁较大。

二、区域地层岩性

西北地区的地貌与地层、岩性、构造密切相关:断褶形成的高大山区,多为太古、元古、下古生界的结晶岩类,由于变质较深,岩质坚硬,多形成崇山峻岭;断块凹陷盆地,多为新生界的疏松堆积层形成的平原及洼地;介于断褶带与断块之间,多为上古生界及中生界碎屑岩类,岩石软硬不均,形成丘陵及河床谷地。

(一) 太古界及下元古界

主要分布于新疆库鲁克山、祁连山北部、兰州白塔山、贺兰山、山西宁武、静乐、渭北麟游、永寿和秦岭北部等山区,及一些断裂挤压带中零星出露,变质普遍较深,以眼球状花岗片麻岩、石英岩、大理岩、石榴子石片岩、云母绿泥片岩、板岩、千枚岩为主,多混合岩化或糜棱岩化,普遍挤压破碎,风化深度较大。如 1953 年宝成铁路秦岭北坡方案比选中,北线方案有 8 km 地段走在该界混合花岗片麻岩中,经钻探风化层深达 200 m,岩芯均呈砂状,路堑边坡不稳定,隧道开挖困难;加之该岩层分布的主峰区“垮石山”大崩塌,处理困难,故放弃了该方案。

(二) 上元古界—震旦系

主要分布于天山地区的库鲁克塔格、柯坪塔格、马鬃山、额济纳旗、贺兰山、同心县青龙山山脊、禹门口和秦岭南部等地。以块状结晶石灰岩、石英岩、片麻岩、大理岩、板岩、千枚岩、硅质石灰岩夹燧石结核等为主。岩层普遍绢云母化,绿泥石化,受褶皱、断裂揉皱挤压较剧烈,岩石破碎,凡该地层分布地带,普遍发生边坡崩塌、错落、滑坡。宝天、天兰铁路通过的渭河峡谷区有多处崩塌、错落,宝成铁路阳平关前后的滑坡,阳安铁路徐家坝大滑坡,均发生在该地层中。

(三) 古生界

古生界地层,在西北地区多有分布,且多在各断褶带中出露,以浅海相及海相沉积为主,下古生界普遍变质,上古生界部分变质。

1. 下古生界

(1) 寒武系:以薄层石灰岩、片岩、页岩、硅质岩、凝灰质砂岩、白云岩及鲕状、竹叶状石灰岩等为主。在天山、贺兰山、渭北等地有分布。

(2) 奥陶系:以厚层石灰岩、白云岩、泥质灰岩、板岩、千枚岩、火山岩等为主。在天山、贺兰山、祁连山、六盘山、渭北等地分布。

(3) 志留系:以层状石灰岩、粉砂岩、大理岩、片岩、千枚岩、凝灰岩、安山岩等为主。天山地区分布广泛,祁连山和西秦岭局部有出露。

2. 上古生界

(1) 泥盆系:以硅质岩、板岩、千枚岩、砂岩、砂质页岩、石灰岩夹页岩等浅海陆缘沉积为主。在秦岭地区分布普遍,沉积厚度较大,在祁连山、天山、马鬃山、阿尔金山等地也有出露。

(2) 石炭系:以浅海相火山碎屑岩、石灰岩、千枚岩、砂页岩为主,陕北、宁夏、山西砂页岩中夹有煤层,西秦岭有略阳、黄龙马平灰岩。天山地区出露齐全,厚度较大,昆仑山、阿尔金山、祁连山、贺兰山和渭北亦有分布。

(3) 二叠系:陆地面积增大,陆相沉积物增多,以碎屑岩、砂岩、页岩、灰岩、砾岩、煤层等为主,西秦岭有茅口、大关灰岩。天山、祁连山、贺兰山、昆仑山等地也有分布。

古生界地层,多软硬不均,片理发育,风化层较厚。宝成线堆积层滑坡,多发生在该系列地层中;侯月铁路中条山越岭方案比选中关门岭方案越岭隧道及部分路堑,位于石炭系铝土质页岩夹煤层及石灰岩中,地下水发育,滑坡较多,因而将该方案放弃。

(四) 中生界

在各大盆地、拗陷带、丘陵低山及青藏高原区多有分布。大致以秦岭—昆仑山为界,南部以海相沉积为主,北部以陆相沉积为主。

1. 三叠系:以内陆盆地型沉积为主,下、中统多为红色碎屑沉积,局部夹海相地层及喷出岩系;上统以砂页岩为主。在天山山间断陷盆地中,局部有出露;河西走廊、祁连山、柴达木盆地东部和秦岭西南部有分布。青藏高原唐古拉山、羌塘和拉萨一带,以海相、海陆交互碎屑岩及碳酸盐岩类为主。

2. 侏罗系:以河湖相沉积为主,多为砂岩、泥岩、泥灰岩、砾岩及煤层。在天山南北山麓拗陷带和山间盆地中分布广泛,且厚度较大;阿尔金山、昆仑山、河西走廊、祁连山、阿拉善和秦岭

等地区也有分布。青藏高原上唐古拉、喀喇昆仑和拉萨一带,以浅海相碎屑岩及石灰岩为主。

3. 白垩系:以河湖相紫红色砂岩、砾岩、粉砂岩、页岩、泥灰岩、石灰岩及石膏等为主。在天山、阿尔金山、塔里木、柴达木、祁连山和秦岭等山间断陷盆地中,局部有出露。青藏高原有海相石灰岩夹石膏或安山岩分布。

中生界地层,由于岩性变化大,软硬不均,多形成滑坡、崩塌。梅七线许多滑坡,多发生在侏罗系延安组的花斑泥岩中;兰新铁路大砂沟滑坡群,发生在白垩系河口群页岩层中;兰青铁路虎头崖大崩塌,发生在河口群砂岩夹页岩层中。但在宝天铁路宝鸡峡的白垩系东河砾岩中,开挖的路堑边坡及隧道,多年未防护、衬砌,仍能保持稳定,安全运行。

(五) 新生界

广泛分布于各大小内陆盆地、高原、山前平原及河谷阶地,以碎屑堆积为主。

1. 第三系地层,以河、湖相、山麓相红色碎屑沉积为主,岩性有砾岩、砂岩、砂质页岩、泥灰岩、黏土页岩及黏土岩等。局部含油页岩、盐、石膏等有机质矿产沉积。上第三系多夹红色黏土岩及杂色黏土岩。塔里木盆地西南缘,有下第三系海相、泻湖相巨厚石膏层。西藏雅鲁藏布江以南有海相碳酸盐岩沉积。

第三系底部砾岩、泥灰岩,胶结较好,岩性坚硬;位于底砾岩之上各层砂砾岩,多胶结疏松,稳定条件较差;最不稳定的是一些黏土页岩及黏土岩。西宁、兰州、天水等各盆地周围沟谷中的滑坡群,多由该黏土岩组成滑面及滑坡基床。

2. 第四系地层在各大、中型盆地及高原区沉积巨厚,且多具明显的时代、成因特征。

主要地层类型有:塔里木、柴达木、准噶尔、河西走廊及阿拉善的戈壁砾石和风沙堆积;青藏高原的冰川、冰水沉积;陕、甘、宁、晋黄土高原区的黄土沉积;山前平原、山间盆地和河谷阶地区的冲积、洪积及湖相沉积;各山区的坡积、残积、冲积、洪积及重力堆积层;以及特殊环境下形成的高原多年冻土,内陆盆地型的盐渍土、岩盐、石膏等。就其中比较特殊,且对工程稳定性影响较大的几种土层,简述如下:

(1) 砾石层:下更新统,广泛分布于青藏高原外围山麓、盆地和河谷,砾石成分为砂岩、石英岩、石灰岩、花岗岩及片麻岩等,多钙质胶结,呈悬崖陡壁出露,在包兰铁路白银西(狄家台)至后长川一带,在上新统红层上形成“顶盖”,呈蘑菇状。兰新铁路兰州西站西闸口外的崔家崖,由该层形成的陡直自然边坡,长期处于稳定状态;据马滩水源钻探了解,其砾石层厚度达380 m以上。兰州地区的五泉砾岩,河西地区的玉门砾岩层,天山地区的西域砾岩,青藏高原的贡巴砾岩均属该系地层。它是第四系地层中的底砾岩,也是最坚硬、最稳定的地层。

(2) 杂色黏土层:分布于定西、天水、西和等各盆地中,呈白、灰、黄、紫色,过去有人称它为“桑园子杂色土层”,持水性强,透水性差,雨季普遍滑动,自然边坡多坍到 $7^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 。天兰铁路大营梁隧道出口段遇到该层,形成道床变软,翻浆冒泥,长期减速慢行。后对原隧道进行了防水、排水、加固等工程措施,才使这段线路安全通行。该杂色黏性土层,属区域最不稳定土层。

(3) 石膏层:中更新统,多称“石膏漠”,因其多与戈壁砾石和灰棕色荒漠土共生,缺水,无植物生长。主要分布于新疆东部、内蒙古西部、河西走廊和柴达木盆地一带,是干旱地区内陆盆地的特有地质现象。兰新铁路玉哈段,南疆铁路吐鲁番至鱼儿沟段有大面积分布,化学组成:Ca占32.5%, SO_4 占46.6%, H_2O 占20.9%,纯净者为白色,含杂质者有各种颜色,呈纤维状、蜂窝状、雪花状、片状、土状等,是由含石膏的水溶液,经蒸发,化学沉淀,在一定温度下形成的特殊结晶,一般厚1.0~1.5 m,最厚者2 m左右,人行其上可下陷1~3 cm,手指轻捏即碎,室

内试验其极限抗压强度很低,一般为 25 ~ 50 kPa,最大达 100 kPa,故路基多采用夯填,桥涵基底多采用换填。

(4)盐湖中的岩盐层,又称“干盐湖”,是西北第四系地层中的特殊产物,分布于各大盆地中,以青藏铁路泉吉至格尔木通过的柴达木盆地中最为典型,岩盐层直接出露于地表,层位稳定,产状水平,结构致密,岩盐中含泥砂 5 % 至 40 % 不等,岩盐晶体间孔隙被盐卤水充填,卤水面埋于盐壳以下 0.5 m 左右,岩盐层一般厚 14 ~ 20 m,最厚达 26 m,下部为砂层。线路横穿盐湖长 32 km,以 0.5 ~ 1.0 m 低路堤,取当地岩盐作填料,必要时浇洒些卤水,使路堤填筑岩盐胶结坚实,1979 年通车以来,路基状况良好。

(5)重型砂黏土:宝成铁路嘉陵江沿岸二、三级阶地底部,多分布着中、上更新统棕红色重型砂黏土,其塑性指数一般为 14 ~ 16,干时坚硬,呈块状,遇水多呈软塑状,有滑感,多构成该区堆积层滑坡基底。如西坡、丁家河、徽县(原谈家庄)、高家坪、白水江、横现河等大型滑坡,均与该层有关。

(6)其它如黄土、膨胀土、多年冻土、盐渍土等,均与西北地区第四纪以来的特殊环境密切关联。在“特殊岩土”一节中叙述。

三、区域地质构造

以往多运用“槽”“台”学说的地质史法评述区域稳定性;运用“地质力学”法划分构造体系,分析构造受力变化。而我们认为运用地质力学分析与历史分析相结合的原则确立的块断学说进行构造单元划分,则更为合理。

(一)各级构造单元划分

1. 一、二级构造单元的划分

块断学说划分的一级构造单元,西北及邻近地区属大陆型地壳构造域,在一级构造单元中,以岩石圈断裂控制分出三个二级构造单元,即形态比较规则,构造活动相对微弱者,称为断块区;多呈条带状,构造活动相对强烈者称为断褶系;介于二者之间的,称为块褶区。

2. 三、四级构造单元的划分

断块区虽是相对稳定区,但由于各地段构造变形和发展演化不均一,并且被地壳、基底和盖层断裂分割,又与相邻地区构造活动时期和特点不同者,可作为三级构造单元,称为断块。如中朝断块区的阿拉善断块和晋陕断块。

断块又因受基底断裂活动影响,有的地段长期隆起,缺少沉积,有的地段沉降深,沉积厚度大。据此划分四级构造单元,前者称块隆,后者称块陷。

断褶系各地段无论横向或纵向,其拉开时间和沉积、岩浆建造类型,以及挤压、闭合均有所不同。据此将形成时期不同,特点各异的地段,作为三级构造单元,称为断褶带。如昆祁秦断褶系,可划出昆仑山、祁连山、秦岭—大别山断褶带等三级构造单元。

断褶带在拉开阶段,有的地带处于岩石圈断裂位置,拉开的深度和宽度较大,出现洋壳物质,有的地带处于断裂之间,相对隆起,沉降幅度小。据此划分出四级构造单元,将拉开较深地带称为褶陷,相对隆起地带称为褶隆。

比照断块区、断褶系划分三级构造单元的原则,相应的将块褶区划分为断块、断褶带和块褶带三个三级构造单元。

3. 各级构造单元的名称

西北及其邻近地区各级构造单元的名称,见表 1 - 1。