



交通土建高职高专统编教材

Teshu
Diqu Gonglu
特殊地区公路

王海春 张世海 底国民 主编
章金钊 [中交第一公路勘察设计研究院] 主审

青藏公路(格尔木至拉萨段)——何如摄影



人民交通出版社
China Communications Press

交通土建高职高专统编教材

特殊地区公路

王海春 张世海 底国民 主编
章金钊[中交第一公路勘察设计研究院] 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为交通土建高职高专统编教材。全书共分五章,包括绪论、多年冻土地区公路、湿陷性黄土地区公路、盐渍土地区公路、沙漠地区公路。本书汇集了特殊地区公路设计、施工、养护的基本知识,较详尽地介绍了特殊岩土的物理力学性质和工程特点及主要病害,并附有学习要点和复习思考题。

本教材可作为高职高专道路桥梁工程技术专业、高等级公路养护与管理专业等交通土建类专业教材,亦可供从事公路与桥梁专业设计、施工和养护的有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

特殊地区公路/王海春,张世海,底国民主编. —北京:人民交通出版社, 2006.8
ISBN 7-114-06020-3

I.特... II.①王...②张...③底... III.道路工程-高等学校:技术学校-教材 IV.U419

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 051826 号

书 名: 交通土建高职高专统编教材
特殊地区公路

著 作 者: 王海春 张世海 底国民

责任编辑: 卢仲贤 师 云

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11.75

字 数: 283 千

版 次: 2006 年 6 月 第 1 版

印 次: 2006 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-06020-3

印 数: 0001~3000 册

定 价: 23.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版
交通土建高职高专统编教材编审委员会

主任委员 张洪滨(吉林交通职业技术学院)

副主任委员 (按姓氏笔画为序)

田 平(河北交通职业技术学院)	刘建明(青海交通职业技术学院)
张润虎(贵州交通职业技术学院)	李全文(四川交通职业技术学院)
陆春其(南京交通职业技术学院)	俞高明(安徽交通职业技术学院)
钟建民(山西交通职业技术学院)	郭发忠(浙江交通职业技术学院)
彭富强(湖南交通职业技术学院)	程兴新(陕西交通职业技术学院)
谢远光(重庆交通职业技术学院)	

委 员 (按姓氏笔画为序)

王 彤(辽宁交通高等专科学校)	王 亮(云南交通职业技术学院)
王连威(吉林交通职业技术学院)	王海春(青海交通职业技术学院)
王常才(安徽交通职业技术学院)	王穗平(河南交通职业技术学院)
白淑毅(广东交通职业技术学院)	吴继锋(江西交通职业技术学院)
张世海(甘肃交通职业技术学院)	孙元桃(宁夏交通职业技术学院)
张郃生(河北交通职业技术学院)	张保成(内蒙古大学职业技术学院)
李仕东(鲁东大学交通学院)	张美珍(山西交通职业技术学院)
李加林(广东交通职业技术学院)	李中秋(河北交通职业技术学院)
沈建康(徐州建筑职业技术学院)	李绪梅(新疆交通职业技术学院)
赵树青(山东交通职业技术学院)	杨晓丰(黑龙江工程学院)
黄万才(四川交通职业技术学院)	陈方晔(湖北交通职业技术学院)
周志坚(福建交通职业技术学院)	周传林(南京交通职业技术学院)
姚 丽(辽宁交通高等专科学校)	金 桃(贵州交通职业技术学院)
赵永平(黑龙江工程学院)	金仲秋(浙江交通职业技术学院)
曹雪梅(四川交通职业技术学院)	夏连学(河南交通职业技术学院)
薛安顺(陕西交通职业技术学院)	梁金江(广西交通职业技术学院)

秘 书 长 卢仲贤(人民交通出版社)

总 序

针对高职高专教材建设与发展问题,教育部在《关于加强高职高专教材建设的若干意见》中明确指出:先用2至3年时间,解决好高职高专教材的有无问题。再用2至3年时间,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材,形成一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

2001年7月,由人民交通出版社发起组织,15所交通高职院校的路桥系主任和骨干教师相聚昆明,研讨交通土建高职高专教材的建设规划,提出了28种高职高专教材的编写与出版计划。后在交通部科教司路桥工程学科委员会的具体指导下,在人民交通出版社精心安排、精心组织下,于2002年7月前完成了28种路桥专业高职高专教材出版工作。

这套教材的出版发行首先解决了交通高职教育教材的有无问题,有力支持了路桥专业高职教育的顺利发展,也受到了全国各高职院校的普遍欢迎。

随着高职教育教学改革的深入发展、高职教学经验的丰富与积累,以及本行业有关技术标准规范的更新,本套教材在使用了2至3轮的基础上,对教材适时进行修订是十分必要的,时机也是成熟的。

2004年8月,人民交通出版社在新疆乌鲁木齐召开了有19所交通高职院校领导、系主任、骨干教师共41人参加的教材修订研讨会。会议商定了本套教材修订的基本原则、方法和具体要求。会议决定本套教材更名为“交通土建高职高专统编教材”,并成立了以吉林交通职业技术学院张洪滨为主任委员的“交通土建高职高专统编教材编审委员会”,全面负责本套教材的修订与后续补充教材的建设工作。

经修订后,本套高职高专教材具有以下特色:

——顺应交通高职院校人才培养模式和教学内容体系改革的要求,按照专业培养目标,进一步加强教材内容的针对性和实用性,适应学制转变,合理精简和完善内容,调整教材体系,贴近模块式教学的要求;

——实施开放式的教材编审模式,聘请高等院校知名教授和生产一线专家直接介入教材的编审工作,更加有利于对教材基本理论的严格把关,有利于反映科研生产一线的最新技术,也使得技能培训与实际密切结合;

——全面反映2003年以来的公路工程行业已颁布实施的新标准规范;

——服务于师生、服务于教学,重点突出,逐章均配有思考题或习题,并给出本教材的参考教学大纲;

——注重学生基本素质、基本能力的培养,教材从内容上、形式上力求更加贴近实际。

本套教材的出版与修订再版始终得到了交通部科教司路桥工程学科委员会和全国交通职教路桥专业委员会的指导与支持,凝聚了交通行业专家、教师群体的智慧和辛勤劳动。

愿我们共同向精品教材的目标持续努力。

向所有关心、支持本套教材编写出版的各级领导、专家、教师、同学和朋友们致以敬意和谢意。

交通土建高职高专统编教材编审委员会

人民交通出版社

2005年5月

前言

QIANYAN



本教材是根据全国交通土建高职高专统编教材编审委员会 2004 年 8 月新疆会议精神编写的。教材编写过程中作者在认真学习和领会交通部最新颁布的《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)、《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)等基础之上编写了本教材,并以“理论上够用为度,注重实践”为原则编写。

本书的特点主要体现在“新和实”上。“新”表现在采用了最新的技术规范和标准,并介绍了新技术和新工艺;同时,本教材汇集了特殊地区公路设计、施工、养护的要点“实”表现在注重实践,本书较详尽地介绍了特殊岩土的物理力学性质和工程特点以及主要病害;同时,用典型、成熟的工程实例介绍了特殊地区公路设计、施工养护的具体处理措施,并且每章都有学习要点和复习思考题,供学生学习和练习。本教材可作为高职高专高等等级公路维护与管理专业、道路桥梁工程技术专业等交通土建类专业教材,亦可供从事公路与桥梁专业设计、施工和养护的有关技术人员参考。

本书共五章。第一章为绪论,介绍特殊地区分布、气候水文、地质地貌特征等概况及特殊地区公路的概况、发展趋势和本书的学习方法。第二章为多年冻土地区公路,介绍多年冻土的定义、冻胀机理、物理力学性质及地区特征,多年冻土地区公路设计、施工和养护的基本知识,雪害地段和涎流冰地段路基病害及防治措施,小桥涵基础入土深度及涵洞形式的选择。第三章为湿陷性黄土地区公路,介绍黄土的工程特性、水理特性及其对工程带来的影响,湿陷性黄土地区地基处理及公路路基的养护方法,湿陷性黄土地区公路路基设计及施工的要点和方法。第四章为盐渍土地区公路,介绍盐渍土地区选线原则与勘测要点,盐渍土地区路基设计原则和路基边坡、路肩的处理,盐渍土地区路基施工方法和施工要点,盐湖地区路基特点、路基设计和路基施工,盐渍土地区公路常见病害及防治措施,盐渍土地区公路日常养护。第五章为沙漠地区公路,介绍了沙漠地貌及风沙运动规律,风沙对公路的危害,沙漠地区公路勘测与设计,沙漠地区公路施工,沙漠地区公路养护。

本书由王海春张世海、底国民主编,具体分工情况如下:第一章、第二章由青海交通职业技术学院王海春编写,第三章由甘肃交通职业技术学院张世海编写,第四章由青海交通职业技术学院段国胜编写,第五章由宁夏大学底国民编写。

交通土建高职高专统编教材编审委员会特邀中交第一公路勘察设计研究院的章金钊(教授级高工)担任本教材主审。

2006 年 4 月 21 日至 25 日在贵阳召开了本教材审稿会,参加审稿会的有:浙江交通职业技术学院郭发忠、陕西交通技术学院程兴新、新疆交通职业技术学院李轮、青海交通职业技术学院王海春、贵州交通职业技术学院罗筠。

本教材在编写过程中，得到了人民交通出版社卢仲贤编审的指导和兄弟院校的帮助，另外，参加审稿的代表们对书稿提出了宝贵意见，在此一并致以诚挚的谢意！

由于编者水平有限，编写时间也较紧迫，书中的不妥和谬误之处，敬请读者批评指正，在此表示衷心感谢。

编 者
2006 年 6 月

目录

MULU

— 目 录 —

第一章 绪论	1
第一节 特殊地区概述	1
第二节 特殊地区公路概况及发展趋势	8
第三节 《西部地区公路建设主要技术政策建议》	10
第四节 本课程的特点和学习方法	12
复习思考题	12
第二章 多年冻土地区公路	13
第一节 多年冻土地区概述	13
第二节 冻土的性质及冻土上限的确定	25
第三节 路线设计的原则及要点	37
第四节 路基设计	39
第五节 小桥涵基础入土深度及涵洞结构形式的选择	49
第六节 多年冻土地区公路施工	54
第七节 冻土地区公路养护	65
复习思考题	75
第三章 湿陷性黄土地区公路	76
第一节 湿陷性黄土的分布及其工程特性	76
第二节 湿陷性黄土的物理力学性质	80
第三节 湿陷性黄土的地基评价	87
第四节 湿陷性黄土地基处理	95
第五节 黄土陷穴的治理	102
第六节 黄土地区的公路勘测要点	104
第七节 黄土地区的路基设计	108
第八节 黄土地区的路基施工	114
第九节 黄土地区的公路路基养护	116
复习思考题	124
第四章 盐渍土地区公路	126
第一节 盐渍土地区概述	126
第二节 路线设计	134
第三节 路基设计	135
第四节 路基施工	138
第五节 盐湖地区路基	141

第六节 盐渍土地区公路养护	143
复习思考题	146
第五章 沙漠地区公路	148
第一节 概述	148
第二节 沙漠地区公路设计	152
第三节 沙漠地区公路施工	156
第四节 沙漠地区公路养护	159
复习思考题	168
参考文献	170

第一章

绪 论

[本章学习要点]

了解特殊地区的概念,国家对西部特殊地区公路建设的主要技术政策,特殊地区公路的地形、地质与地貌、气候与水文,特殊地区公路的发展趋势,本课程的特点和学习方法。

第一节 特殊地区概述

我国地域辽阔,地理、地质、地貌和自然环境等情况特别复杂,全国各省、市、自治区都有特殊的地形、气候、水文与水文地质、地质条件和植物覆盖。从岩土工程的角度讲,湿陷性黄土、风砂土(沙漠)、多年冻土、软土、盐渍土及膨胀土等都是属于特殊的土。在特殊岩土地区修筑公路,许多特殊问题需要认真研究解决。尤其是我国西部分布着大面积湿陷性黄土、多年冻土、盐渍土和沙漠区,因此了解多年冻土地区、湿陷性黄土地区、风砂土(沙漠)地区、盐渍土地区的分布、气候与水文、地质与地貌特征和主要影响因素有着十分重要的意义。

一、多年冻土地区

1. 分布

中国冻土可分为季节冻土和多年冻土。季节冻土占中国领土面积一半以上,其南界西从云南章凤,向东经昆明、贵阳,绕四川盆地北缘,到长沙、安庆、杭州一带。季节冻结深度在黑龙江省南部、内蒙古东北部、吉林省西北部可超过 3m,往南随纬度降低而减小。多年冻土分布在东北大、小兴安岭,西部阿尔泰山、天山、祁连山及青藏高原等地,总面积约为全国领土面积的 1/5。

2. 气候水文

冻土地区在全国分布较广,主要有东部冻土大区、西北冻土大区、西南(青藏高原)冻土大区。东部冻土大区,年平均气温 $26.8 \sim -14.0^{\circ}\text{C}$,年降水量 $140 \sim 3000\text{mm}$,最大冻土深度 $0.02 \sim 4\text{m}$,年平均地温 $0 \sim -4.2^{\circ}\text{C}$;西北冻土大区,年平均气温 $13.9 \sim -10^{\circ}\text{C}$,年降水量 $40 \sim 1000\text{mm}$,最大冻土深度 $0.6 \sim 5\text{m}$,年平均地温 $0 \sim -20^{\circ}\text{C}$;中国西南(青藏高原)冻土大区,年平

均气温 $17 \sim -10^{\circ}\text{C}$, 年降水量 $29 \sim 1667\text{mm}$, 最大冻土深度 $0.08 \sim 2.81\text{m}$, 年平均地温 $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 。

3. 地质与地貌特征

在冻土地区由地表冻融作用形成的地貌, 常具有形态小、类型多的特点, 有些形态十分奇特, 主要有石海、石河、冻胀丘、热融沉陷、融冻泥流、构造土等。

(1) 石海, 是在平缓的山顶或山坡, 基岩经寒冻风化在原地形成的大片碎石或角砾的堆积地貌, 多发育在富有节理的花岗岩、玄武岩等岩性坚硬的地区;

(2) 石河, 指集中在山坡沟槽中的冻融风化岩屑堆积体, 在冻融和重力作用下, 碎石可徐徐向下蠕移;

(3) 冻胀丘, 指由冻胀作用形成的地面局部隆起地形, 由于不均匀的地下聚冰作用, 地下常常形成冰透镜体, 并使地面隆起, 其长可达数米至数十米, 高几十厘米至几十米, 多见于水分和细粒物质较多的平原地区;

(4) 热融沉陷, 是由气候转暖或人为因素引起冻土中的冰体融化, 造成地面的局部沉陷, 可形成热融洼地;

(5) 融冻泥流, 指坡地上较细的物质, 在下层冻结而表层融化的情况下, 融化层被水浸湿, 由于重力作用沿坡向下蠕流, 在斜坡上可形成许多舌状的台阶和坡坎;

(6) 构造土, 指由冻裂作用和冻融分选作用形成的网格状地面, 包括多边形土、石环、石带等。

在长期的冻融作用下, 还可形成高夷平台地和大面积的冻融剥夷地形。

中国多年冻土又可分为高纬度多年冻土和高海拔多年冻土, 前者分布在东北地区, 后者分布在西部高山高原及东部一些较高山地(如大兴安岭南端的黄岗梁山地、长白山、五台山、太白山)。

(1) 东北冻土区为欧亚大陆冻土区的南部地带, 冻土分布自北而南具有明显的纬度地带性规律, 分布的面积减少。本区有宽阔的岛状冻土区(南北宽 $200 \sim 400\text{km}$), 其热状态很不稳定, 对外界环境因素改变极为敏感。东北冻土区的自然地理南界变化在北纬 $46^{\circ}36' \sim 49^{\circ}24'$, 是以年均温 0°C 等值线为轴线摆动于 0°C 和 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 等值线之间的一条线。

(2) 在西部高山高原和东部一些山地, 一定的海拔高度以上(即多年冻土分布下界)方有多年冻土出现。冻土分布具有垂直分带规律, 如祁连山热水地区海拔 3480m 出现岛状冻土带, 3780m 以上出现连续冻土带; 而在青藏公路途经的昆仑山上, 岛状冻土带分布于海拔 4200m 左右, 连续冻土带分布于 4350m 左右。青藏高原冻土区是世界中、低纬度地带海拔最高(平均 4000m 以上)、面积最大(超过 100 万平方公里)的冻土区, 其分布范围北起昆仑山, 南至喜马拉雅山, 西抵国界, 东缘至横断山脉西部、巴颜喀拉山和阿尼马卿山东南部。在上述范围内有大片连续的多年冻土和岛状多年冻土。在青藏高原地势西北高、东南低, 年均温和降水分布西北低、东南高的总格局影响下, 冻土分布面积由北和西北向南和东南方向减小。高原冻土最发育的地区在昆仑山至唐古拉山南区间, 本区除大河湖融区和构造地热融区外, 多年冻土基本呈连续分布。往南到喜马拉雅山为岛状冻土区, 仅藏南谷地出现季节冻土区。

中国高海拔多年冻土分布也表现出一定的纬向和经向的变化规律。冻土分布下界值随纬度降低而升高, 二者呈直线关系。冻土分布下界值中国境内南北最大相差达 3000m , 除阿尔泰山和天山西部积雪很厚的地区外, 下界处年均温由北而南逐渐降低(为 $-3 \sim -2^{\circ}\text{C}$)。西部冻

土下界比雪线低 1000~1100m,其差值随纬度降低而减小。东部山地冻土下界比同纬度的西部高山一般低 1150~1300m。

4. 影响冻土分布的区域性因素

影响冻土分布的区域性因素很多。青藏高原沿活动断裂常形成融区(道),这些融区将连续冻土切割成片状。坡向和坡度的差别,往往使山地冻土具有明显的非对称性,如在西部高山高原,南北坡冻土下界相差 200~400m。

温度与厚度。中国多年冻土属于温度较高、厚度不大的多年冻土。东北地区多年冻土的年均温度(指地温年变化层底部的温度)大多在 $-1.5\sim 0^{\circ}\text{C}$,最低 -4.2°C ;纬度降低 1° ,年均地温升高 0.5°C 左右;地温年变化深度 12~16m。冻土厚度亦随纬度降低而减小,最厚达 100m,大多在 50m 以下。低洼处冻土比高处温度低、厚度大,有别于一般随地势增高冻土温度降低和厚度增大的特点,这是东北冻土的典型特征。在西部高山、高原冻土区,海拔每升高 100m,冻土温度降低 $0.6\sim 1.0^{\circ}\text{C}$,厚度增加 10~30m 不等;地温的纬向变化与东北大致相同;年均温度最低 $-5\sim -4^{\circ}\text{C}$,厚度达 100~200m;地温年变化深度由 6~17m 不等;南北坡年均地温差 2°C 左右,冻土厚度 50~80m,细颗粒冻土层温度比粗颗粒土低,在高原上要差 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。

季节冻结与融化。按年均地温分类,中国多年冻土区的季节冻结和融化应属过渡、半过渡及长期稳定类型,对于东北区以前两者为主,对于西部冻土区以后两者为主。

季节融化层大多与多年冻土层相衔接,在多年冻土南界和下界附近及冻结层上水冻不透的地段会出现不衔接。最大季节融化深度在细颗粒土中为 0.5~2.5m,东北和西部冻土区相差无几,但在基岩裸露的山坡和山顶,东北达 8~10m,西北高原上只有 3~4m。季节冻结层主要分布在融区内,最大冻结深度 2~8m 不等。季节冻结和融化层与冻结层上水之间有密切的、特殊的动力联系,是冻土区各种冻土现象的发育、工程建筑物冻害及北方许多农田春涝产生的直接原因。

5. 地下冰

中国多年冻土层中地下冰分布广泛。其分布也呈现一定的地带性规律,随年均地温降低,土的含冰量和地下冰厚度有增加的趋势。但其地域分异规律却受地形、岩性和含水量等区域因素制约。在植被茂密、地表潮湿的缓阴坡(青藏公路沿线坡度小于 10°)和山间洼地,含水量很大的湖相沉积和坡积(包括泥流堆积)粉、粘粒为主的细颗粒土或泥炭层中,常发育有厚度几十厘米至 6、7m 的厚冰层,顶面大多平行地面,埋深与最大季节融化深度几乎一致(几十厘米至 1、2m)。水平厚冰层主要发育在地温年变化层之内,往下迅速变薄。成因类型有分凝冰、胶结-分凝冰,前者发育在后生型冰土层中,后者形成于后生、共生兼有的复式冻土层中。在冻胀丘中发育有侵入冰和分凝冰。在砂卵砾石层及碎屑层中,地下冰多为胶结或胶结-分凝类型,常构成砾岩状构造冻土,间有层状、网状、包裹状构造冻土。在天山冰碛层中发育有厚达百米、含冰量很大且垂向分布均匀的共生冻土层。此外,天山的冰碛层里发现有埋藏冰,大兴安岭古石海中在苔藓层下即见块石间有地下冰。在基岩中地下冰常沿裂隙呈脉状分布,大兴安岭冰脉宽达 15~20cm,延伸至地下 50 余米。中国冻土区至今尚未发现如西伯利亚和北美所见到的大型冰楔和冰脉。

多年冻土形成时代,中国多年冻土在晚更新世冰期时分布广泛,且规模较现代大。但对晚更新世以来的冻土形成存在不同意见。对于青藏高原,一种意见认为晚更新世冻土在全新世

高温期已消融殆尽,现代冻土形成于新冰川期(距今 3000 年);另一意见认为在高温期仅上部有过消融,新冰川期时冻土又有新的增长。对于东北区冻土,目前认识较倾向于高温期时上部冻土局部有过消融,局部地方可能融透,小冰期时又有增长。新老冻土叠加的冻土层与单一新冻土层(距今 3000 年以来形成的)的界线,大致与现今大片连续冻土区南界相当。

二、湿陷性黄土地区

1. 分布

我国黄土分布面积达 60 万平方公里,其中有湿陷性的约为 43 万平方公里,主要分布在黄河中游的甘肃、陕西、山西、宁夏、河南、青海等省、自治区。地理位置属于干旱与半干旱气候地带。其物质主要来源于沙漠与戈壁,主要集中在黄土高原。高原由西北向东南倾斜,海拔多在 1000~2000m。除许多石质山地外,大部分为厚层黄土覆盖,经流水长期强烈侵蚀,逐渐形成千沟万壑、地形支离破碎的特殊自然景观。黄土高原面积广阔,土层深厚,地貌复杂,水土流失严重,均为世所罕见。

2. 气候与水文

黄土高原属暖温带半湿润至半干旱气候,主要特征是冬季寒冷干燥,夏季温暖湿润;雨量稀少,变率大;日光充足,日照时数多,热量条件较优越。高原从西北向东南,年均温变化在 8~14℃,全区日均温 10℃以上,活动积温为 2000~3000℃,无霜期 120~200d。气温日较差平均在 10~16℃。降水年际变化大,季节分配不均,东南多于西北。年降水量 200~700mm,其中 65%以上集中于 7、8、9 月。降水强度大,多暴雨和冰雹,往往一次暴雨即占全年降水量的 30%甚至更多,最大降雨强度每分钟可达 2.4mm,是产生水土流失的重要原因。

区域水系以黄河为骨干,发源于黄土高原的河流较多,约有 200 条,较大的有洮河、祖厉河、清水河、皇甫川、窟野河、无定河、北洛河、渭河、沁河、汾河等。河川径流不丰,不包括黄河干流,年径流总量 185 亿立方米。大多数河流汛期受暴雨影响,洪峰急涨猛落,汛期水量占全年水量的 70%以上。含沙量很高,往往一次洪水含沙量占全年 70%~80%以上。高原浅层地下水补给主要来源于大气降水。大部分地区地下水贫乏,埋藏很深,多在 50~60m 以下,有的达 100~200m。

黄土地区公路建设中,冲沟、陷穴及黄土的湿陷性使路基、桥涵及支挡工程等的基础稳定性受到严重威胁,是黄土地区公路的主要病害。

3. 地质与地貌特征

黄土高原位于中国地台的西部和祁连山地槽的东部。古地形的基本轮廓是在白垩纪燕山运动以后形成的。黄土地貌主要分高原沟间地和沟谷地貌两大类,但它们迥然有别。沟间地地貌主要类型是塬、梁、峁,沟谷除河流的干支河谷外,还有为数众多的大小沟谷。

(1)沟间地地貌。塬是黄土堆积受流水侵蚀残留的高原面,如泾河上游的董志塬、洛河的洛川塬等,地表平坦,坡度 1°~3°。塬面被沟谷强烈侵蚀后称为破碎塬。在大的地堑断陷谷地里,断裂往往呈复式阶梯状。覆盖其上的黄土塬称为黄土台塬。黄土台塬通常保存较完整,如汾渭断陷谷地里的黄土台塬。梁在平面上呈长条形,顶部宽度不大,多数仅长几十米到数百米至数公里,面积约 2km²。梁的横剖面略呈穹状,坡度多在 1°~5°,梁顶以下有明显的坡折。峁是孤立的黄土丘,平面上呈椭圆或圆形,峁坡多呈凸形坡,坡度可达 20°左右,面积约 0.25km²。

黄土梁峁区亦称黄土丘陵沟壑区。

(2)沟谷地貌。黄土高原沟谷发育,沟道密度达 $2.35 \sim 10.9 \text{ km/km}^2$,一般塬面及四周切割密度小于 3 km/km^2 ,广大丘陵沟壑区切割密度达 $4 \sim 8 \text{ km/km}^2$,切割最严重的黄河峡谷的河曲黄道沟一带达 10.9 km/km^2 。黄土高原主干沟谷切割深度一般都在 $200 \sim 300 \text{ m}$ 。黄土覆盖的流域面积和沟谷面积之比均已超过 25% ,最严重者可达 56.7% ,即被沟谷蚕蚀的面积已达黄土覆盖面积的 $1/2$ 。

沟谷地貌按其大小、形态特征和发育过程,可分为细沟、浅沟、切沟、冲沟和河沟等。细沟是坡面水流在片状侵蚀的基础上最先出现的一种沟形,横断面宽约 $10 \sim 15 \text{ cm}$,深仅几厘米,沟形能被普通耕犁所消除。浅沟多出现在坡长较大的坡地上,随径流汇集成较大的股流,因冲刷能力增大而产生,横断面似宽三角形,深约 $0.5 \sim 1 \text{ m}$ 。坡面水流进一步汇集,流水侵蚀增大,当沟身切入黄土达 $1 \sim 2 \text{ m}$ 以上,开始形成明显沟头时,称为切沟。它具有明显的沟缘线,沟深可达 10 m 以上,长达几十米。故细沟、浅沟和切沟均是发育在坡面上的侵蚀沟。冲沟多由坡面侵蚀沟发展而成。按其发展阶段分为早期、中期和晚期 3 个阶段。河沟是大型的侵蚀沟,河床大多切穿黄土层发育在基岩上,横断面呈梯形,底宽数十米以上。沟床平缓曲折,有常流水,并发育曲流阶地。

(3)黄土微地貌。黄土微地貌是地表水沿着黄土中的裂隙下渗,机械侵蚀和化学溶蚀的结果,破坏了黄土结构,形成洞穴,并引起地面沉陷,造成黄土特有的潜蚀地貌。常见者有黄土碟、陷穴、黄土桥和黄土柱等。黄土碟分布在平缓地面,形似碟状凹地,一般深 $2 \sim 3 \text{ m}$,直径 $10 \sim 20 \text{ m}$,深与直径之比约 $1:10$ 。由于地表水下渗,溶解了黄土中可溶矿物,并把粘土微粒带到土层下部,破坏了土层结构,在重力作用下,土层围绕中心缓慢下沉压实。陷穴是一种较深的圆形或椭圆形洼地,当地表水汇集到节理裂隙中,由潜蚀作用形成洞穴,称陷穴,按其形态可分为竖井状、漏斗状和串珠状。黄土桥是溶蚀和侵蚀形成的地下洞穴受重力作用发生崩塌,残留的洞顶形如拱桥,故称之。黄土柱是地表水沿着黄土垂直节理溶蚀和侵蚀,残留柱状或塔状的黄土土体,一般高数米或十余米。

三、盐渍土地区

1. 分布

按地理分布区域,我国盐渍土可分为两个大区、三个亚区。它们各有其特点。

(1)沿海盐渍土区。包括辽宁、河北、山东、江苏等省沿海地区,主要是由于受海水浸渍或海岸退移形成。主要是氯盐渍土,一般含盐量在 5% 以下。该区气候比较湿润,地下水位较高,水对这些地区的盐渍土的稳定性影响最大。因此,在修筑路基中要特别关注水的影响。

(2)内陆盐渍区:

①半干旱与干旱盐渍土亚区。包括新疆、青海、甘肃、内蒙、宁夏、陕西、河北、河南、山东、辽宁、吉林、黑龙江等省(自治区)荒漠、半荒漠地区和部分草原、森林草原地区,其界限大致为 $0.05 < \text{湿润系数 } K < 0.75$ 。盐渍土常出现于某些河道附近与平原低洼地带,以及一些灌渠附近。这一亚区面积最大,盐渍化类型多种多样,盐渍化程度相差悬殊,气候、地质条件也各不相同,因此,水对这一亚区盐渍土稳定性的影响也有很大的差别。因此,在修筑路基中要特别关注水对路基稳定性的不同影响。

②过干盐渍土亚区。包括新疆、青海、甘肃、内蒙等省(自治区)中最干旱的一些荒漠地区,主要有塔里木盆地、柴达木盆地、阿拉善荒漠等。界限大致确定为:年降水量小于 1‰ ,湿润系数 K 小于 0.5 。盐类以氯化物为主,但亦有各种碳酸盐和硫酸盐及其他地区少见的硝酸盐和硼酸盐。因气候非常干燥,水对盐渍土的稳定性影响最小。故在一定条件下,可利用盐渍土和岩盐修筑路基或铺筑低、中级路面。

由于含有易溶盐,土的路用性能变化较大,引发许多路基病害,主要有:溶蚀、盐胀、冻胀、翻浆等。因此对于盐渍土地区的公路需要研究的问题有:选线技术、路基填料含盐量及压实技术标准、路基合理高度、隔断层设计、防排水措施、溶蚀防治技术、合理断面形式及路面修筑技术等。

2. 气候与水文

海滨盐渍土地区气候比较湿润,降水量大,蒸发强烈。内陆盐渍土区域的气候多为干旱或半干旱气候,年平均气温 $4\sim 12^{\circ}\text{C}$,年均降雨量 $10\sim 330\text{mm}$,年均蒸发量 $1500\sim 3500\text{mm}$ 。

滨海盐渍土地区地下水位较高,流速大,地下水矿化度较高。内陆盐渍土地下水距地表约 $0.5\sim 6\text{m}$,局部地带地表有积水,地下水矿化度根据分布区域的不同有高有低。

3. 地质与地貌特征

盐渍土地区地质情况,由于盐渍土地区分布较广,盐渍化类型多种多样,盐化程度相差悬殊,地质情况也各不相同,主要有地层为洪积的砾石土或卵石土、砂类土等条件良好的地质,也有地层为粉土和粘性土、粘性土、亚粘土、粘土等条件较差的地质。

盐渍土所处地形多为低平地、内陆盆地、局部洼地以及沿海低地,这是由于盐分随地面、地下径流而由高处向低处汇集,使洼地成为水盐汇集中心。但从小地形看,积盐中心则是在积水区的边缘或局部高处,这是由于高处蒸发较快,盐分随毛管水由低处往高处迁移,使高处积盐较重。

四、沙漠地区

包括戈壁及半干旱地区的沙地在内的中国的沙漠总面积达 130.8 万平方公里,约占全国土地总面积的 13.6% 。其中沙质荒漠占 45.3% ,沙地占 11.2% ,戈壁占 43.5% 。在沙质荒漠及沙地面积中,流动沙丘占 62.4% ,半固定、固定沙丘占 33.6% ,风蚀地占 4% 。在戈壁中,以剥蚀作用为主的戈壁占戈壁总面积的 32% ,其余为以洪积及洪积冲积作用为主的戈壁。

1. 分布

我国是世界上沙漠分布最多的国家。沙漠广袤千里,呈一条弧形沙漠带绵亘于我国的西北、华北北部和东北西部。这一弧形沙漠带,南北宽 600km ,东西长 4000km ,面积有 71 万多平方公里。我国沙漠面积仅次于澳大利亚和沙特阿拉伯,列世界第三,大部深居中国内陆。在沙漠面积中,干旱地区的沙质荒漠约 60 万平方公里,占 84.5% ,主要分布在新疆、甘肃、青海、宁夏和内蒙古西部;半干旱地区(干草原)的沙地为 11 万多平方公里,占 15.5% ,主要分布在内蒙古东部、陕北北部,以及在辽宁、吉林和黑龙江三省的西部地区。

2. 气候与水文

中国沙漠分布区气候干旱,降水稀少,年降水量自东向西递减。东部沙区年降水量可达 $250\sim 500\text{mm}$,内蒙古中部及宁夏一带沙区在 $150\sim 250\text{mm}$,阿拉善地区及新疆的沙区均在

150mm 以下,其中塔克拉玛干沙漠东部及中部更不及 25mm。沙漠地区全年日照时间一般为 2500~3000h,无霜期一般为 120~130d,10℃ 以上活动积温,除内蒙古东部一些沙区外一般多在 3000~5000℃。气温变化很大,年均温差为 30~50℃,日较差变化更为显著。风沙频繁是沙区的显著特点,风季风速可达 5~6 级,风沙日数也在 20~100d,个别地区可占全年的 1/3。除若干过境河流和以高山冰雪补给为主的河流注入,几乎无由当地的地表径流所形成的河流,多属内流区水系。

3. 沙漠地貌

沙丘是沙漠地表最基本的形态,它是干旱气候条件下风和沙质地表相互作用,并受地面起伏、沙源物质供应情况和水分植被条件等因素影响的产物。这些因素因地制宜,形成各种沙丘形态及各种复杂沙丘形态的复合体。如塔克拉玛干沙漠和巴丹吉林沙漠中广泛分布具有层层叠置次一级新月形沙丘、沙丘链的复合型沙丘链等。

根据沙丘移动速度,中国沙漠地区可以划分为 3 个类型:

①慢速类型。年前移值不到 5m/年,包括塔克拉玛干沙漠、巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠的大部分、乌兰布和沙漠的南部等。

②中速类型。年前移值在 5~10m/年,包括塔克拉玛干沙漠的西、南、东南边缘,毛乌素沙地的东南与腾格里沙漠的边缘等。

③快速类型。年前移值在 10m/年以上,包括塔克拉玛干沙漠南部绿洲边缘、河西走廊的绿洲边缘等。除塔克拉玛干沙漠东部、北部和河西走廊西部的沙丘自东北向西南移动外,其他各地区包括塔克拉玛干沙漠西部、阿拉善、鄂尔多斯及内蒙古东部等地,沙丘都是由西北趋向东南或由西北向东南方向移动。

4. 地质与地貌特征

①东北地区西部与内蒙古东部的沙地。包括呼伦贝尔、科尔沁、浑善达克及松嫩地区的零星沙丘等。年降水量 200~400mm,甚至可达 500 余毫米;植物生长良好,除灌木外,还有乔木生长(如樟子松、榆、桦等),绝大部分为固定、半固定沙丘。流沙仅作小面积的斑点状分布,其形成绝大部分是由于脆弱的半干旱生态系统受到过度放牧、农垦及樵柴等人为活动、破坏植被所造成。只要合理利用土地资源、采取封育和植物固沙措施,能在 3~5 年时间内使片状分布的流沙逐步得到治理。

②鄂尔多斯沙地。分布在河套以南,长城以北,包括库布齐及毛乌素两沙地。宁夏河东沙地也在本区范围内。区内流动沙丘与固定、半固定沙丘相互交错分布。其间分布有不少下湿滩地、河谷和柳湾林地。历史上长期不合理的土地利用是造成流沙发展的主要原因。其治理应以合理利用土地资源,发展林牧业和采取丘间营造片林、丘表栽植固沙植物相结合的措施。

③阿拉善地区的沙漠。分布在河西走廊以北,中、蒙国境线以南,新疆以东,贺兰山以西的广大地区。自然景观呈现裸露流沙沙丘与戈壁低山相间分布的特征,但仍有局部差异。弱水以西以戈壁及剥蚀山地残丘为主;弱水与雅布赖山之间为巴丹吉林沙漠。沙丘高大,一般为 200~300m,是中国沙丘最高大的沙漠,其东南部还有不少湖盆分布其间。雅布赖山与石羊河下游以东、贺兰山以西的广大地区为腾格里沙漠,呈现流动沙丘与湖盆相间分布的特色。狼山与黄河之间为乌兰布和沙漠。河西走廊的沙漠大部分为零星分布在一些绿洲附近的沙丘。

④柴达木盆地的沙漠。位于青海西北,是中国沙丘分布地势最高的地区,一般在海拔

2000~2400m,沙丘分布较为零散,并与戈壁、盐湖、盐土平原相交错。主要的风成地貌系风蚀地,为风蚀凹地与风蚀土丘所组成,占风成地貌面积的67%。

⑤新疆东部的沙漠与戈壁。是中国极端干旱地区之一,年降雨量10~30mm,以剥蚀残丘、低山、戈壁与风蚀地沙丘、盐土平原相互交错分布为景观特色。

⑥准噶尔盆地的沙漠。除盆地中央为古尔班通古特沙漠外,还有一些沙漠零星分布在额尔齐斯河下游及艾比湖以西一带。沙漠边缘为洪积、冲积戈壁,西北部则以剥蚀戈壁为主。在古尔班通古特沙漠中则以主要生长梭梭的固定、半固定沙垄为主。

第二节 特殊地区公路概况及发展趋势

1. 冻土区公路

修建于20世纪50年代的青藏公路是我国冻土区公路的代表。青藏公路由南至北穿越冻土区750km,经常发生冻土破坏现象。在铺砌了黑色路面之后,由于吸热量增多,导致路基地下冰融化,加剧了路面的破损。另外,由于全球气候转暖,冰河后退,以及受人为活动的影响,青藏高原多年冻土层已发生明显的退化。青藏公路虽经一期二期整治,但病害仍难以根治,路基主要病害有融沉、冻胀、波浪、纵裂、扭曲、反拱等,高路堤引起的次生病害及交通安全问题也不容忽视。路面主要病害有各种类型的裂缝(尤其是反射裂缝)、变形、坑槽、松散等。

目前,我国大量工程技术人员在重点冻土病害地段开展新技术、新工艺、新材料方面的课题研究;在路基、路面、桥涵等大项目工程方面进行试验研究,总结不同冻土地带的特性和工程设计原则,广泛借鉴和吸收国内外成功经验,采用通风路堤、热棒、隔热层等新技术、新材料、新工艺,有效解决了高海拔寒冷地带多年冻土公路的路基稳定问题。

多年冻土地地区筑路需深入研究的问题有:路基路面结构温度场;路基变形机理及合理高度;路基路面综合设计;路基路面施工技术及质量控制;大温差、强辐射条件下路面材料组成设计方法;多年冻土地地区筑路中的生态环境保护;冻胀力与冻结力对公路构造物的影响及工程措施等。为此,交通部西部交通建设科技项目管理中心,在2002年7月将“多年冻土地地区公路修筑成套技术研究”列为重点项目,牵头单位为中交第一公路勘察设计研究院,主要参加单位有:中交第一公路勘察设计研究院、长安大学、青海省公路勘察设计院、吉林省公路勘察设计院、黑龙江公路交通科研所、交通部科学院和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所等。2002年在214国道多年冻土区沿线用路基保温材料、碎石护坡、硅藻土护坡、遮阳板、纵向通风等方法,铺筑了试验路段,目前尚在观察阶段。

2. 沙漠公路

1984年我国第一条沙漠公路在腾格里沙漠腹地开通,大大缩短穿越腾格里沙漠里程。1995年10月4日,我国在流动沙漠中修筑的第一条等级公路——塔里木沙漠公路全线正式通车,这条全长522km的沙漠公路南北贯穿塔克拉玛干大沙漠,北与油田公路及314国道相接,南与315国道相连,其中沙漠段长446km。这条沙漠公路的建成,开创了我国及世界上在流动沙漠中修建长距离等级公路的先河。我国沙漠(沙地)面积广阔,通过沙区的公路干线和支线众多,尽管在治理上做了大量工作,公路沙埋的危害仍程度不同地存在着,有的地区还很严重。如内蒙古早期乌(达)吉(兰太)公路75~105km路段经过乌兰布和沙漠的西南部,由于沙丘前