



HUANGTU DIQU TIELU KANCHA SHEJI YANJIU YU SHIJIAN

黄土地地区铁路勘察 设计研究与实践

陈则连 吕菲 许再良 著

中国铁道出版社有限公司
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE CO., LTD.

铁路科技图书出版基金资助出版

黄土地区铁路勘察设计研究与实践

陈则连 吕 菲 许再良 著

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

内 容 简 介

本书结合石太、太中银、大西、晋中南等黄土地区铁路勘察设计和系列科研课题研究成果,揭示了黄土常规物理学性质及湿陷、振陷、微结构、应力应变等工程特性;介绍现场大型原状黄土试坑试验、灰土垫层试坑浸水试验、野外大型人工降雨模拟试验的成果,揭示了降雨作用对黄土边坡稳定性的影响机制,提出了潜蚀易发段、潜蚀程度强的地段优化设计措施与地基处理技术;介绍不同条件下黄土边坡稳定性分析、黄土边坡与地基的防护加固技术的研究成果,提出了黄土高边坡加固防护措施的组合模式等。书中介绍典型工点实际观测案例,检验了黄土区相关工程措施的可靠性。

本书研究、试验成果丰富,可为同类地区铁路、公路等工程勘察设计人员提供参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

黄土地区铁路勘察设计研究与实践/陈则连,吕菲,许再良著. —北京:中国铁道出版社有限公司,2019.8
ISBN 978-7-113-25302-8

I. ①黄… II. ①陈… ②吕… ③许… III. ①黄土区-
铁路工程-工程地质勘察-研究 IV. ①U412.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 101903 号

书 名:黄土地区铁路勘察设计研究与实践
作 者:陈则连 吕 菲 许再良

策 划:江新锡 傅希刚

责任编辑:陈小刚

编辑部电话:010-51873193

封面设计:高博越

责任校对:孙 玫

责任印制:高春晓

出版发行:中国铁道出版社有限公司(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京柏力行彩印有限公司

版 次:2019年8月第1版 2019年8月第1次印刷

开 本:787 mm × 1 092 mm 1/16 印张:19.5 插页:1 字数:457 千

书 号:ISBN 978-7-113-25302-8

定 价:100.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前言

我国黄土分布广泛,西起甘肃祁连山脉的东端,东至山西、河南、河北交接处的太行山脉,南抵陕西秦岭,北到长城,跨越陕西、河南、山西、宁夏、甘肃、青海、内蒙古等多个省区,其中以西北地区的黄土地层最厚、最完整。黄土作为一种特殊的第四系松散堆积物,具有大孔隙、垂直节理、干燥时坚硬、遇水受侵蚀、湿陷性等特殊的工程特性。国家实施“西部大开发”战略以来,铁路作为关乎国计民生的重要基础设施需要在黄土地区大量建设,而黄土这种独特而复杂的工程特性对基础工程建设起着举足轻重的作用,也成为黄土地区铁路建设的难题。

铁路客运专线、重载货运铁路建设标准高,黄土地基的沉降控制与边坡的防护处理措施尤为重要。本书结合石太客运专线、太中银铁路、大西客运专线、晋中南铁路等黄土地区铁路勘察设计和系列科研课题研究成果,系统总结了湿陷性黄土的基本性质与动力学特征,并通过对边坡治理与防护、地基处理、黄土改良、排水系统设置等土建技术的研究与实践,形成了黄土地区铁路勘察设计与施工的成套技术,代表了我国铁路建设的先进水平。为了系统总结我国黄土地区铁路勘察设计技术,为科研、设计施工、教学运营管理等人员全面了解、学习提供参考,也为了与国内外同行交流,中国铁路设计集团有限公司组织多年从事黄土地区铁路勘察设计的专家及技术人员编著了《黄土地区铁路勘察设计研究与实践》。

本书从铁路勘察设计的角度,诠释了现代铁路在黄土地区修建面临的各种工程难题、技术要点、科研进展与工程实践,涵盖了黄土湿陷、潜蚀、微结构、动强度等关键工程特性,野外大型试坑试验、边坡人工模拟降雨试验等重要科研手段,边坡防护、地基处理、填料改良、防排水措施等典型工程措施,并附有较翔实的实际工程案例。

本书在编写中,引用了较多的参考文献,总结了中铁设多项黄土地区科研成果,在此向原作者单位和个人表示感谢。

铁路勘察设计综合技术发展日新月异,由于编写者视野和水平有限,书中难免存在疏漏和谬误,恳请读者指正。

作者
2019年3月

目 录

1 绪 论	1
1.1 黄土地区铁路工程勘察设计现状	1
1.2 黄土地区铁路勘察设计研究内容	5
2 研究区域自然地理环境与工程地质条件	7
2.1 自然地理环境	7
2.2 工程地质条件	8
3 黄土工程特性	16
3.1 黄土工程地质常见问题	16
3.2 黄土一般特性研究	17
3.3 黄土湿陷性研究	28
3.4 黄土微结构研究	38
3.5 黄土振陷试验研究	49
4 黄土湿陷性及现场浸水试验研究	70
4.1 现场试坑浸水试验设计	70
4.2 现场试坑浸水试验分析	80
4.3 浸水试验综合研究	98
4.4 黄土浸水湿陷机理总结	107
5 黄土地基变形与加固处理技术	108
5.1 黄土地基湿陷变形	108
5.2 湿陷性黄土地基处理方法、原理及其适用条件	108
5.3 沉降计算与预测方法	113
5.4 黄土地基加固处理典型工程实例	120
6 黄土边坡稳定性与防护加固技术	169
6.1 黄土边坡病害的类型和特征	169
6.2 边坡稳定性分析和评价方法	173

6.3	黄土边坡加固防护技术研究	239
6.4	黄土边坡防护典型工程实例	254
7	黄土路基填料试验与改良	262
7.1	重塑黄土物理力学特性及沉降变形特性试验	262
7.2	水泥改良黄土沉降变形特性试验	269
7.3	黄土改良水泥配比	289
8	黄土区防排水系统研究	291
8.1	路基排水系统设计原则	291
8.2	路基排水设计内容	292
8.3	路基排水研究总结	303
	参考文献	304

1 绪 论

一个半世纪以来,铁路运输作为一种最重要的运输方式得到了长足的发展。尤其是高速铁路客运列车的问世,因为环境污染少、速度快、运行准点、运营环境适应性强、安全可靠等优点,在很多国家得到了重视和发展。1964年日本东海道新干线建成,最高时速为210 km,标志着高速铁路技术进入实用化阶段。目前,时速200~250 km的高速铁路在欧、美、日已经是比较成熟的技术,取得了巨大的经济效益和社会效益。我国高速铁路虽然起步比较晚,但近年来发展很快,中国标准动车组“复兴号”奔驰在中国广袤的大地上,已实现了时速350 km的商业运营。2018年底,中国高速铁路运营里程已达到2.9万 km,占世界高速铁路运营总里程的三分之二;到2020年,我国铁路运营里程将达到15万 km左右,基本覆盖20万人口以上城市,覆盖80%以上的大城市。

我国地域广阔,地形、地貌、地质条件复杂多样,铁路建设过程中会遇到各种各样的不良地质灾害和特殊岩土问题,其中我国分布有黄土的区域面积达64万 km²,特别是在西北地区、黄河中游一带的黄土高原最为著名。由于黄土结构疏松、具大孔隙性,在水、列车振动及地震等外界因素作用下黄土的物理力学性质更是发生急剧的变化,可产生沉陷变形(包括黄土湿陷、振陷、液化和潜蚀等)和边坡失稳(崩塌、溜坍、错落以及滑坡)等一系列相互关联的灾害与病害,成为制约黄土地区铁路路堑边坡、黄土地基、路堤填料、路桥隧过渡段以及排水系统等工程顺利建设的关键性难题。而支撑我国西北地区客运、货运的主要干线,石太客运专线、大西客运专线、太中银铁路以及山西中南部铁路通道等均通过黄土地区。

本书从铁路勘察设计的角度,结合石太客运专线、大西客运专线、太中银铁路以及山西中南部铁路通道等项目的实践经验,诠释了现代铁路在黄土地区修建面临的各种工程难题、技术要点、科研进展与工程实践,涵盖了黄土湿陷、潜蚀、微结构、动强度等关键工程特性,野外大型试坑试验、边坡人工模拟降雨试验等重要科研手段,边坡防护、地基处理、填料改良、防排水等典型工程措施,并附有较翔实的实际工程案例,对黄土地区工程地质特性及工程对策进一步研究与创新实践具有重要意义。

1.1 黄土地区铁路工程勘察设计现状

1.1.1 黄土地区的范围与黄土特性

1. 黄土地区的范围

黄土高原(Loess Plateau)位于中国中部偏北部,为中国四大高原之一,也是地球上分布最集中且面积最大的黄土区,横跨中国青、甘、宁、内蒙古、陕、晋、豫七省区大部,东西长1 000余公里,南北宽750 km,包括中国太行山以西,青海省日月山以东,秦岭以北,长城以

南的广大地区,位于中国第二级阶梯之上,海拔高度 800 ~ 3 000 m。黄土高原主要由山西高原、陕甘晋高原、陇中高原、鄂尔多斯高原和河套平原组成,总面积约 64 万 km²。黄土高原属干旱大陆性季风气候区,大地构造单位主要包括陕北陇东地台、华力西褶皱带、太平洋式燕山褶皱带、陇西地块、中条山地块、吕梁山地块和汾渭下游沉带等,并以秦岭地轴和鄂尔多斯地台为南北二大界线。黄土高原也是世界上水土流失最严重和生态环境最脆弱的地区之一,地势由西北向东南倾斜,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。地貌起伏大,山地、丘陵、平原与宽阔谷地并存,四周为山系所环绕。

2. 黄土特性

国际上对于黄土的研究先后经历了地理学研究、工程地质学研究和多学科专项研究等发展阶段。国外以美国庞佩利(R. Pumpelly)、英国德比希尔(Edward Derbyshire)等为代表的学者,国内杨钟健、张伯生、张宗祜、刘东生、王永炎、孙广忠等学者对黄土的成因、沉积年代、沉积环境、工程地质性质等进行了系统研究,揭示了黄土这一特殊地质体的基本性质,其中,与工程建设相关的主要包括黄土的潜蚀、湿陷、振陷等特性。

(1) 黄土的潜蚀

黄土潜蚀是地表水、地下水对黄土的渗透、冲刷及溶蚀作用所产生的侵蚀。黄土潜蚀主要在黄土层地表以下进行,水流主要沿着黄土层中的孔洞、裂隙运移,进行渗透、冲刷和溶蚀。形成黄土碟、黄土陷穴、黄土柱和黄土桥等黄土潜蚀地貌。我国对黄土地区潜蚀问题的研究始于 20 世纪 50 年代,出发点是黄土高原水土流失和土壤侵蚀,一些土壤学家和地理学家曾在总结野外考察和群众经验的基础上进行了一些研究工作,他们针对黄土洞穴的侵蚀及成因分布方面提出了许多有意义的见解。按照成因可以分为地质作用黄土洞穴和生物作用成因洞穴,而地质作用成因黄土洞穴可细分为冲蚀成因的冲穴、潜蚀成因的暗穴以及湿陷作用下形成的碟形地,其中以潜蚀成因的暗穴为主。李喜安等通过野外现场调查,将黄土洞穴的形成模型概化为:冲蚀一贯通型模式、冲蚀—潜蚀一贯通型模式、湿陷—潜蚀一贯通型模式、冲蚀—潜蚀—湿陷—潜蚀一贯通型和复合型模式等五大类型;黄土洞穴的形成与地下水有着密切的关系,地下水的作用是黄土洞穴形成的决定性外因,在洞穴形成过程中,地下水的作用方式包括物理作用、化学作用和力学作用。李喜安、彭建兵等对黄土洞穴工程灾害问题进行了尝试性研究,得出很多切实可行的经验公式。

(2) 黄土的湿陷

黄土湿陷是黄土的一种特殊的工程地质性质。黄土具有在自重或外部荷重下,受水浸湿后结构迅速破坏,发生突然下沉的性质。我国对黄土的湿陷性研究也在 20 世纪 50 年代开展,孙广忠(1957)较早讨论了黄土的湿陷机理,认为水膜的加厚破坏了黄土的结构连接是造成湿陷的原因。孙建中(1957)研究了湿陷系数与压力和湿度的关系,认为湿陷的原因是黄土颗粒与水作用时形成水—胶连接,加强了黄土的压缩性的结果。郭见杨(1958)认为湿陷为内部连接的削弱和破坏,大孔隙的破坏是内部连接破坏的结果。随着试验仪器的发展,学者们开始利用显微镜或者扫描电镜对黄土的微观结构进行直接的观察、研究。1962 年,林崇义利用双目放大镜对黄土颗粒的连接特征和受力变形特征进行了研究。张宗祜(1964)通过显微观察划分了我国黄土的微结构类型。1972 年,高国瑞利用扫描电子显微镜

研究了兰州黄土的显微结构特征,提出黄土的架空结构对湿陷具有控制意义,并进行了一系列后续研究。其后,杨运来、雷祥义基于黄土微观结构特征对黄土湿陷机制进行了系统研究,此时,黄土湿陷机制的结构理论基本完善。

(3) 黄土的振陷

黄土由于其孔隙大、松散、遇水易变形的性质,在水和动荷载作用的条件下黄土的物理力学性质发生急剧的变化,往往产生振陷和液化现象,成为工程条件很差的土体。郁寿松、石兆吉等研究认为:影响振陷值大小的主要因素为动荷载幅值、作用次数、初始固结压力以及土的类型。何光等研究发现黄土在不浸水试验中,动应变随着振次的增加由基本的线性关系逐步达到黄土结构屈服,残余变形急剧增大的非线性关系;在浸水试验中,土样则存在一个较为明显的塑性变形阶段。石玉成、李兰等利用电镜扫描研究了 Q_3 振陷性黄土的微结构、形态等对振陷的影响,结果表明振陷对黄土的微结构有较大的影响,且振陷与动荷载的临界动应力关系密切。随着列车行车速度与牵引重量的增加,机车振动这一重要因素也势必对路基及周围的边坡产生影响。在铁路循环荷载的长期作用下,边坡会出现不同程度的疲劳损伤,局部土体会出现液化和变形,甚至会出现整体失稳,极大地危害着铁路的运营安全。

1.1.2 黄土地区铁路地基处理工程

黄土地区修建的郑西、石太等客运专线标准高,沉降控制严,黄土地基的沉降控制极为重要。对于黄土路段是否需要处理,采取何种处理工艺更经济有效,如何根据不同路段地基特点选择不同的处理工艺(例如垫层法、冲击碾压、重锤夯实、强夯以及挤密桩等),已成为工程设计与施工技术人员普遍关注的问题。所以,结合铁路建设,对湿陷性黄土路基处理技术进行应用比较和试验评价,从经济和社会意义来讲,都是十分必要的。

黄土的湿陷性是自然历史的产物。然而,人们对其真正的认识,却是从 20 世纪 30 年代开始的。在我国,特别是从建国到现在,结合国家基本建设,对湿陷性黄土的研究取得了不少成果。

从 20 世纪 50 年代到 60 年代,我国水电、铁路、冶金、机械、建工和地质等系统,结合当时的基础建设,对黄土的时代成因、基本性质及变形强度特性等在广度和深度上的变化规律,对黄土的湿陷变形特性、湿陷类型及评价标准等研究和实践都积累了相当丰富的经验。1966 年,我国首次颁发了《湿陷性黄土地区建筑规范》(BJG 20—66),系统地总结了我国在这方面的成果,建立起比较适合我国国情的一整套湿陷性黄土地区工程勘察、设计、施工和使用、维护等方面的原则,提出了黄土湿陷性评价的理论和方法。

从 20 世纪 60 年代到 70 年代,我国对湿陷性黄土的研究取得了显著的成果。对于黄土湿陷类型的划分,湿陷起始压力的判定,黄土地基承载力与变形和处理方法,如夯实、挤密及不同类型的桩箱基础的研究与实践,都取得了显著成果,解决了许多实际工程问题。特别是 1973 年~1976 年这段时间,配合当时规范的修订,我国广大生产和科研单位的黄土工作者开展了大量的调查研究和科学试验。工程实体调查的范围和数量,场地试验的规模和内容,现有资料的搜索和整理等都是前所未有的。

从 20 世纪 80 年代到 90 年代,黄土的微结构问题得到了深入的研究。研究表明,黄土

的骨架颗粒成分、形态、排列方式、孔隙特征、胶结物种类以及胶结程度等对黄土的工程地质性质有着重要影响,并从微结构特征阐明黄土的结构强度与湿陷性本质;黄土在动静载荷作用下的应力应变关系和本构模型,在不同湿度、密度条件下的振陷与动强度特性等方面的研究也取得了创新成果。

最近一个时期对黄土的研究又有了新的进展,如对非饱和土力学特性的理论和吸力测试技术的研究,湿陷性黄土增减湿度后湿陷性的变化和结构强度的研究,湿陷性黄土地基处理新技术等都取得了令人瞩目的成果。

1.1.3 黄土地区铁路边坡工程

1. 黄土高边坡变形破坏特征

西部地区铁路建设不可避免地遇到黄土边坡灾害,黄土边坡变形破坏特征、机理及稳定性研究分析是其预测预报的基础,虽然国内外对边坡变形破坏已进行了不少研究,也取得了很大的进步,但以边坡加固为目的的黄土高边坡变形破坏类型划分、黄土高边坡变形破坏模式和机理等仍没有一个成熟完善的研究成果。

在国外,20世纪80年代,国际工程地质协会滑坡委员会建议采用伐纳斯的滑坡分类方案作为国际标准,将边坡按运动方式划分为崩落(塌)、倾倒、滑动(落)、侧向扩离和流动等5种基本类型。

在国内,孙广忠将边坡破坏类型概括为圆弧滑动、沿层面滑动、块体滑动、追踪节理面破坏、倾倒变形、溃屈破坏、崩塌和水平滑动8类,并讨论了各种破坏类型的特点。金德濂根据水利工程特点将边坡变形分为6种类型,滑动变形、蠕动变形、张裂变形、崩塌变形、坍塌变形、剥落变形,并结合岩性、结构和变形机制划分了17种亚类,对各种变形边坡的工程地质特征、变形破坏机理、稳定性评价和治理原则进行了分析。汪益敏、陈辉根据滑动面的形态、数目、组合特征及边坡破坏的力学机理并参照霍克的分类方法,将岩体边坡破坏划分为平面滑动、楔状滑动、圆弧形滑动及倾倒破坏4类,前3类以剪切破坏为主,常表现为滑坡形式,第4类为拉断破坏,常以崩塌形式出现。

2. 黄土高边坡稳定性评价

在国外,关于黄土高边坡稳定性评价方法,工程上常用的是费伦纽斯(W. Fellenius)的简化条分法,其最大缺点为静不定问题,毕肖普(Bishop)对此虽作了改进,但计算较复杂。Janbu, Morgenstern, Price, Sarma等人提出的基于刚体极限平衡理论的一些边坡稳定性评价方法计算稍简单,但主要问题还是静不定问题。Dor Leshbinsky对Baker和Gathers的变分极限平衡法进行了修正,提出了一套可以考虑地震的拟静力法土坡稳定分析图,应用较为方便,同时也解决了土坡稳定分析的静不定问题。陈祖煜对Morgenstern-Price法、Sarma法和能量法进行改进,提出以积分形式表达的安全系数公式。

在国内,近年用于土质边坡稳定性计算理论的研究已较为深入,除传统的二维极限平衡条分法以外,Leshchinsky、陈祖煜及李同录提出三维极限平衡解法,李同录将二维极限平衡条分法改为积分法以便工程方便应用;以有限元为主的数值分析法更是广泛应用于边坡稳定性分析。尤其是连镇营、张鲁渝、关立军等在有限元计算中引入了强度折减法,可求得土坡的稳定系数,对土坡稳定性分析更具有实际意义;贾厚华利用模糊变量与可靠度分析相结

合,建立边坡稳定性计算方法;孙祥、王艳红及郭社锋将神经网络算法应用于黄土边坡稳定性分析;柴贺军将遗传算法用于土质边坡稳定性分析;李靖建立了黄土边坡稳定性图解法。

上述涉及刚体极限平衡、弹塑性理论、模糊数学理论及优化算法等各种方法,都希望通过对边坡稳定性分析提供更好的解答。但各种方法中,都需要提供土性参数,主要有重度 γ 、黏聚力 c 和内摩擦角 φ 。 c 、 φ 值对稳定性计算结果的敏感性很高,目前工程中对 c 、 φ 值的测试,多采用室内直剪试验。由于我国巨厚的黄土层实质上是黄土、古土壤和钙质结核互层,成因复杂,又是非饱和土,导致横、纵向强度极大的变异性,参数测试结果的离散性大,取值较为困难。导致各种确定性计算理论应用于黄土边坡与实际情况有一定差距。因此,单从稳定性计算理论和优化算法上不能完全解决黄土边坡稳定性评价问题,只有计算理论与具有丰富研究基础的黄土工程地质相结合,才能提出较合理可行的方法。

3. 黄土高边坡加固防护技术

国内边坡加固技术的发展自 20 世纪中叶开始就有了发展,经过半个多世纪的不断深化和探索,目前边坡加固技术已有了不少成就,其发展可归结为以下几个阶段:

20 世纪 50 年代以前,由于对高边坡作用因素、产生的条件、发生和运动机理以及它的危害性缺乏认识,基本上属于被动治理——“发生滑坡,想法治理”,常采用清方减重、填土反压、地表排水、抗滑挡墙等措施。由于滑坡推力大,抗滑挡墙体积庞大、胸坡缓,墙基必须置于滑面以下一定深度,施工开挖对滑体稳定影响大。因此,经验和实例都表明采用这些措施仅能使高边坡暂时处于稳定状态,难以根治。

20 世纪六七十年代,开始采用抗滑桩支挡。国外多采用直径小的钢筋混凝土钻孔桩和钢桩,以及群桩加承台共同受力的结构。国内采用矩形截面的钢筋混凝土挖孔桩,最大截面为 $3.5\text{ m} \times 7.0\text{ m}$,桩长达 50 m。抗滑桩所提供的抗力大,施工对滑体扰动小、安全、见效快,被广泛采用。

20 世纪 80 年代以后,随着岩土锚固技术的发展,预应力锚索在边坡加固中得到了广泛的应用。预应力锚索技术的应用在工程实践中演化出了各种各样的结构形式,主要包括:①预应力锚索墩或地梁;②预应力锚索抗滑挡墙;③预应力锚索抗滑桩;④预应力锚索抗滑桩墙;⑤预应力锚索框架。预应力锚索的应用大大地改善了抗滑结构的受力状态,降低了工程造价。

1.2 黄土地区铁路勘察设计研究内容

1.2.1 黄土工程特性

依托太中银铁路、大西客运专线与山西中南部铁路通道工程项目,沿线选取试验段,通过对黄土潜蚀地貌野外实地调查、取样,综合室内试验(颗粒、成分、含盐量、湿陷等级、湿陷量等试验)与现场试验(黄土崩解试验、湿陷坑试验、浸水试验)对黄土潜蚀机理进行定量研究,并就其影响因素(包括内因和外因)进行定性分析,以研究黄土潜蚀的分布、发育规律以及潜蚀强度,解决潜蚀易发段、潜蚀程度强的地段排水措施,以及排水系统的设置方案。

研究黄土地基在列车长时间、单方向、小振幅的作用下的振陷、下沉、液化以及滑移特

征,研究解决黄土松软及饱和地基加固处理的最优方法及组合措施。

研究黄土填料在动、静荷载下,不同密实度、不同含水率状态下的湿陷、振陷与液化特征;研究不同配比的改良黄土在动、静荷载下,不同含水率状态下的湿陷、振陷与液化特征,提出黄土新的改良措施与方法。

1.2.2 黄土地基变形特征与加固处理技术

依托石太客运专线与山西中南部铁路通道工程项目,沿线选取湿陷性黄土路基试验段,采用不同的加固处理措施开展试验。在路基设计施工前进行详细勘察,现场取土样,进行地基承载力测试,绘出各个断面的详细地质剖面图,通过室内土工试验,获取地基土层的物理力学及湿陷性质。地基处理施工结束后,再进行地基承载力原位测试,与处理前原位测试结果进行比较,研究各种处理措施的效果和质量控制方法;同时,随路基填土进行路基沉降观测和地基土含水率变化情况监测,建立以实测沉降曲线为基础数据的路基工后沉降预测模型,对路基的工后沉降量进行预测。最终确定湿陷性黄土地基上的客运专线地基处理合理方法,为客运专线建设服务。

1.2.3 黄土边坡稳定性与加固防护技术

依托大西客运专线与山西中南部铁路通道工程项目,选取铁路沿线多处典型黄土高边坡(包括自然边坡、人工边坡、深路堑边坡),综合室内试验(黄土基本物理、力学试验、动三轴试验)、现场试验(降雨试验)以及理论计算(极限平衡法、强度折减法、数值模拟计算法)等多种研究手段,研究黄土地区边坡、陡坡在天然工况(不同综合坡比)、不同降雨强度、列车振动条件下的边坡与陡坡稳定性问题,并对其稳定性进行分析与评价。在边坡稳定性评价的基础上,针对不稳定斜坡提出合理有效的工程防护措施,以解决黄土堑坡的防护与支护措施,陡坡地段桥梁基础深度与边坡防护措施,并研究新型、轻型的防护措施。

2 研究区域自然地理环境与工程地质条件

2.1 自然地理环境

2.1.1 研究区域项目概况

石太(石家庄—太原)客运专线,是中国开工最早的高速铁路,线路设计时速 250 km,起自石家庄北站,途经阳泉北站,止于太原站,线路全长 225 km。

大西(大同一西安)客运专线,线路设计时速 250 km,起自山西省大同市,自北向南贯穿山西省中部,止于西安,线路全长 859 km。

太中银[太原—中卫(银川)]铁路,线路设计时速 160 km,东起太原南站,西达包兰线中卫地区迎水桥编组站(支线至银川站),跨越山西省西南部、陕西省北部、宁夏回族自治区中北部地区,横穿 23 个县市区,三跨黄河,线路全长 944 km。

山西中南部铁路通道,设计为 30 t 轴重,开行万吨大列,西起山西省吕梁市兴县瓦塘镇,途经济宁、泰安、莱芜、淄博、临沂、日照 6 市 15 个县(市、区),线路全长 1 260 km。山西中南部铁路通道试验研究区集中在瓦塘—洪洞段。

2.1.2 气象、水文

1. 气象特征

石太、太中银、大西、晋中南铁路沿线所经地区属中温带亚干旱区和暖温带亚湿润区,两者以恒山分界,恒山以北为中温带亚干旱区,以南为暖温带亚湿润区,表现为显著的大陆型气候。春季干旱多风,蒸发量大;夏季盛行东南风,降水主要集中在 7~9 三个月;秋季降水减少,气温骤减;冬季雨雪稀少。由于降水在时间和空间分布上的不均匀性,使得洪灾和旱灾成为山西省最主要的自然灾害,干旱缺水和局部性暴雨洪水频繁发生。气温的分布与变化受地理纬度、太阳辐射和地形等条件的综合影响,呈由盆地向山区递减的规律。

沿线受极地大陆性冷空气团控制时间长,受海洋热带暖气团影响时间短,冬季长,热天短,日照富,温差大,降水少,风沙大。季风气候特征明显,四季干湿冷热分明,近年来,气候趋向转暖。

2. 水文特征

(1) 地表水

石太、太中银、大西、晋中南铁路沿线河流分属海河及黄河水系,其中桑干河、滹沱河流域属海河水系,汾河及其支流属黄河水系。河流水流量受季节影响变化大,河流均具有典型的雨洪特征,流量、水位与降水量成正比,动态极不稳定。除较大河流常年有水,流量较大外,山间沟谷多为深沟峡谷,呈树枝状,旱季流量很小甚至干涸,雨季流量大,甚至引起山洪

爆发。

(2) 地下水

地下水主要为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水、碳酸盐岩裂隙岩溶水。

① 第四系孔隙潜水

第四系孔隙潜水主要分布在盆地及其他河流河床、漫滩及阶地。含水层为粉土、砂类土、砂砾石、卵石、胶结的砾岩层及砂质黏土层等,地下水补给主要为大气降水,两岸基岩裂隙水及河水入渗,由于渗透性好,含水较丰富。当下伏基岩为灰岩时,潜水便渗入下部含水层,一般不具承压性质。当下伏基岩为砂岩夹泥岩、泥岩地层,地下水则在沟谷处沿着土石分界面渗出,水量不大。水量动态季节变化大,受大气降水制约。水质化验多数不具侵蚀性,局部地段具侵蚀性。

② 碳酸盐岩裂隙岩溶水

碳酸盐岩裂隙岩溶水主要分布在吕梁山区,主要受岩溶发育程度控制。沿线奥陶、寒武系地层中,石灰岩、白云质灰岩、角砾状灰岩、灰质白云岩以及白云岩中溶洞较发育,赋有较多岩溶水,尤其是断层带附近构造裂隙发育,岩石破碎,岩溶及裂隙岩溶水较发育。

③ 基岩裂隙水

混合花岗岩、砂岩、砂质页岩等赋水地层中含少量基岩裂隙水,受大气降水等补给。水量大小受裂隙发育程度控制,裂隙发育程度受构造发育程度控制,岩石表层风化裂隙中也有少量裂隙水。

2.2 工程地质条件

2.2.1 地形地貌

石太、太中银、大西、晋中南铁路试验研究区跨越山西、陕西两个行政区域。山西省内铁路沿线主要通过吕梁山脉中南段的黄土丘陵区及低山区,吕梁山西侧的黄土丘陵及低山区,在构造上属于吕梁山背斜的西翼,是吕梁山地向黄河峡谷的延伸部分,地势总体由东向西倾斜。上部覆盖厚层黄土,由于长期水流侵蚀和切割作用,形成黄土丘陵地貌。地形以黄土梁峁和深切冲沟为主,基岩以条带状或零星出露于沟谷底部及两侧。陕西省内铁路沿线地貌大致以黄土高原为主。黄土高原地势自西北向东南缓倾斜,沟壑纵横,地形破碎,海拔一般为 800 ~ 1 500 m,在东部黄河河谷区降至 620 m。沿线地貌为黄土高原。

按组成地貌的地层岩性、地质构造和组合形态特征,可将研究区工程沿线的主要黄土地貌划分为以下三类:

1. 黄土高原中低山丘陵地貌

吕梁山脉西侧主要为黄土高原低山丘陵地貌,在构造上属于吕梁山背斜的西翼,是吕梁山地向黄河峡谷的延伸部分,地势总体由东向西倾斜。上部覆盖厚层黄土,由于长期水流侵蚀和切割作用,形成黄土丘陵地貌。地形以黄土梁峁和深切冲沟为主。吕梁山脉中南段,为构造侵蚀、剥蚀基岩中山区地貌。其形成受中生代燕山期构造控制,以侵蚀作用为主,剥蚀作用次之,是构造运动上升区。分水岭呈北东向,山坡以中~缓坡为主,残坡积覆盖层一般

1 m 左右,植被发育。由于在构造运动中西侧吕梁山背斜隆起抬升,东侧太原盆地断块下降,致使吕梁山东西两坡极不对称。东坡断崖广布,山势陡峭。西坡大面积覆盖黄土,地势相对平缓。由于地处中山及低中山地区,植被茂密,植物以自然生长的灌木丛林为主。地貌上属侵蚀—剥蚀区,部分山脊和沟谷两侧有灰岩出露。

2. 黄土高原梁峁沟壑地貌

绥德与吴堡县呼家山以西以及横山、子洲、绥德县境内属黄土高原梁峁沟壑地貌。如图 2-1 所示。峁多梁窄,梁梁起伏,峁呈馒头状。梁峁间 V 形及 U 形冲沟十分发育,切割深度为 30 ~ 100 m 不等,多数切入基岩,两侧沟坡坡度一般为 $15^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。沟壑密度为 4 ~ 6 条/ km^2 。地形破碎,流水侵蚀活跃,水土流失严重,崩塌、滑坡发育。



图 2-1 绥德县义合镇黄土梁峁地貌

吴堡县呼家山以东至黄河沿岸地带为基岩裸露的黄土高原梁峁沟壑地貌。如图 2-2 所示。海拔为 627 ~ 1 065 m。土壤流失严重,梁峁顶部黄土甚薄,大量红土出露,基岩裸露,形成“石山戴土帽”。沟深坡陡,地形破碎,切割深度大于 200 m。



图 2-2 吴堡宋家川镇土石梁峁沟壑地貌

3. 河谷阶地地貌

研究区沿线河流分属海河、黄河水系。河谷深切,基岩裸露,岸边侧蚀冲刷严重,均发育阶地,河床及河漫滩宽 50~200 m 不等,一般较平坦,两侧有 I、II 和 III 级阶地分布(图 2-3、图 2-4)。



图 2-3 吴堡县宋家川镇黄河河谷地貌

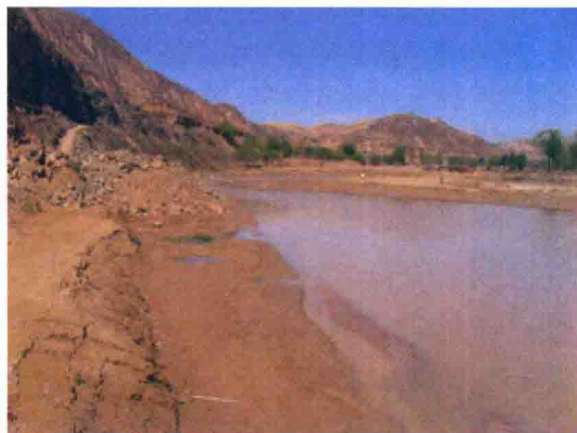


图 2-4 绥德县无定河河谷地貌

2.2.2 地层岩性

1. 地层岩性

研究区地层出露较齐全,太古界、元古界、古生界、中生界、新生界均有分布。现由新至老简述如下:

(1) 第四系(Q)

① 第四系全新统人工堆积层(Q_4^{ml})

填土:主要为填筑土和杂填土。

填筑土:褐黄色,主要成分为粉质黏土、粉土及碎石土等,主要分布于公路、铁路既有路堤,厚约 0~7 m。

杂填土主要分布于城市及村庄附近,厚约 0~5 m,成分复杂,多以建筑垃圾、生活垃圾为主,软硬不均。

② 第四系全新统冲积层(Q_4^al)

主要分布于黄河及其他河流漫滩。

粉土:黄褐色,稍湿~饱和,中密~密实,厚度 0~>15.0 m,夹粉质黏土薄层。

粉质黏土:黄褐色、灰褐色,硬塑~流塑,厚 0~>20.0 m,夹粉土薄层。

黏土:黄褐色、灰褐色,硬塑~软塑,厚 0~>6.1 m,夹粉土薄层。

淤泥质粉质黏土:灰褐色,流塑,含有有机质,厚 0~3.5 m。

粉砂:黄褐色,松散~密实,潮湿~饱和,夹黏性土,厚 0~>9.8 m。

细砂:黄褐色,松散~密实,潮湿~饱和,夹黏性土,厚 0~>24.7 m。

中砂:黄褐色,松散~中密,潮湿~饱和,夹黏性土,厚 0~>9.4 m。

细圆砾土:黄褐、棕红等色,潮湿~饱和,中密~密实,厚 0~25.0 m。