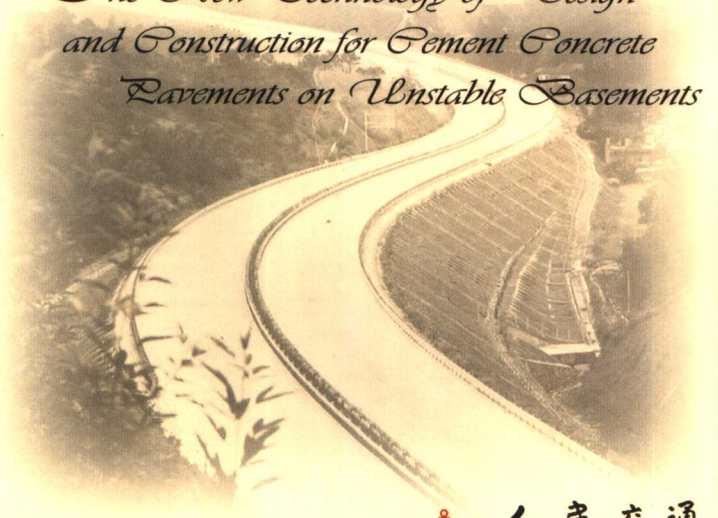




非稳固路基上水泥混凝土路面 设计施工新技术

傅 智 等著

*The New Technology of Design
and Construction for Cement Concrete
Pavements on Unstable Basements*



人民交通出版社

China Communications Press



非稳固路基上水泥混凝土路面 设计施工新技术

傅 智 等著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书以一种全新的视角和理念对非稳固路基上的水泥混凝土路面新材料、新技术、新结构进行了研究。全书共 10 章,主要内容为:路基非稳固黄土地区水泥混凝土路面使用现状及病害调研,非稳固路基上水泥混凝土路面应力分析,高弯拉强度、纤维混凝土路面试验研究及动载性能试验研究,农村公路低造价路面研究,水泥混凝土路面填缝料耐老化性能研究,以及对非稳固路基上水泥混凝土路面的展望等。

本书可供公路与市政水泥路面、机场混凝土场道等工程技术人员,高等院校相关专业的教授、研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

非稳固路基上水泥混凝土路面设计施工新技术/傅智 等著. —北京:人民交通出版社,2007.7

ISBN 978-7-114-06666-5

I. 非… II. 傅… III. ①水泥混凝土路面—设计—新技术②水泥混凝土路面—施工—新技术 IV. U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 099708 号

交通科技丛书

书 名:非稳固路基上水泥混凝土路面设计施工新技术

著 者:傅 智 等

责任编辑: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.ccpres.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:787×960 1/16

印 张:17

字 数:320 千

版 次:2007 年 7 月 第 1 版

印 次:2007 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-06666-5

印 数:0001~2500 册

定 价:38.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

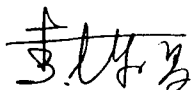
水泥混凝土路面在我国高等级路面形式中占有重要地位,据交通部2005年年底的统计公报,我国已经建成水泥混凝土路面30.6622万公里,占水泥和沥青两种高等级路面的58%。

对于水泥混凝土这一刚性路面结构而言,路基的稳固性十分重要。相关规范对水泥混凝土路面的路基都有严格要求,但路基的非稳固问题仍然严重影响着刚性路面的使用性能和寿命。路基的非稳固问题往往引发于工期限制以及复杂地形地质和特殊土质条件。例如黄土路基,即使施工时路基做得足够稳固或已经多年沉降稳定了,但路基两侧或单侧积水后,黄土地基仍会发生湿陷,从而拉沉路基,并随即拉裂路面结构层。那么,在这种客观存在的路基非稳固现实情况下,水泥混凝土路面怎么办?如何才能够实现在这种路基非稳固条件下,建好并避免水泥混凝土路面的早期破损?

傅智研究员结合黄土这种典型非稳固路基水泥混凝土路面的研究撰写的《非稳固路基上水泥混凝土路面设计施工新技术》专著,结合典型非稳固的黄土路基,在交通部西部建设项目“黄土地地区路面设计与施工技术研究”的支持下,对我国非稳固路基上建造水泥混凝土刚性路面展开深入探索,进行了钢筋混凝土补强路面、纤维混凝土路面、高弯拉强度混凝土路面及其接缝新材料等一系列新技术的开拓研究,并将其推广到全国各地的各种非稳固路基上建造的水泥混凝土路面。

本书对于非稳固路基上修建水泥混凝土刚性路面具有前瞻性和方向性指导意义,是一部学术水准及工程实用价值兼备的专业参考书。特为其作序。

交通部公路科学研究院院长



2007. 3. 28

前言

在目前我国各级公路水泥混凝土路面建造和运营当中,破损最快、最多、最担忧的问题,也是影响最大的因素是路基欠稳固及其逐渐丧失承载能力。我国2005年前建成的30.6622万公里水泥混凝土路面中,这个问题一直是困扰水泥混凝土路面施工质量及其运营路况的重大难题,它是对现有刚性路面路基承载力、弹性模量不变设计理论和施工技术的巨大挑战。

地基、路基是“活的”,是变化的,其承载能力在道路的运营过程中是一个逐步衰减的过程。而我们所设计的刚性路面结构层是“死的”和相对固定的。这种水泥路面支承能力的活度或衰减变异性主要源自路基与地基,但同时受上部水分渗入和重车冲击、振动、疲劳荷载的重大影响。

根据作者16年来进行的水泥路面破损与新建混凝土路面研究,可将水泥混凝土路面的破损分为如下四种形态或破损阶段。

1. 局部软地基、路基工后差异沉降、垂直脱空、破碎阶段

这一阶段视路基土质的不同,大致需要1~4年。局部软地基出现破损最早,时间为1~2年;粗粒土地基沉降稳定时间较短,一般为2~3年;高黏性细粒土,排水固结稳定时间较长,水泥混凝土路面破碎一般在通车运营3~4年出现。

2. 半刚性基层表面冲刷、振动脱空、水破坏碎板阶段

其成因是接缝或断板缝漏水进入路面结构层间,并随着行车道超重车辆传递的振动,使路面结构层特别是路床表面产生振动附加沉降,致使横向排水条件恶化,路表面漏水、下部渗透水及毛细管上升水没有出路。一方面,这些聚集水导致了水泥稳定基层和水泥混凝土路面的溶蚀加速破坏;另一方面,在重车荷载作用下,产生了基层与路基表面的严重水冲刷脱空破坏,其典型特征是在碎板前半年左右,在行车重荷载作用下,水泥混凝土路面产生了大量冒水与唧泥现象。这个阶段一般出现在路面建成、通车运营5年以后。

3. 路基承载力突变阶段

如一般路基塌陷,地基采空区冒顶,沙土淘空,黄土地基遇水湿陷及其

陷穴;粉土路基的冰胀及融沉等,都会导致地基或路基承载能力发生突然变化,造成了局部快速破损。这种局部破坏条件具备时,破损随时可以发生,但一般需要超重车冲击、振动,加速路基、地基塌陷的形成和变形,一般需5~6年积累。

4. 路基泥化、完全丧失承载力阶段

在路面结构横向“两黑一白”即硬路肩为薄层沥青路面,行车道为水泥混凝土路面的蓄水槽路段、两侧浸水或地下(泉)水充裕的潮湿路段,8~10年,路基渗透进水,长期浸泡,完全泥化,彻底丧失承载能力和水泥路面设计应有的最低临界当量弹性模量值。在我国大量“白加黑”,“白加白”的加铺改建公路老水泥混凝土路面上,通过钻芯发现这种现象在局部潮湿路段相当严重,在加铺之前,必须先处理泥化路基,使其具有足够的承载能力。

本书针对上述四个阶段的四种水泥混凝土路面破坏形态进行了较充分的理论分析研究,并提出了相应的水泥路面结构优化及混凝土材料强化技术措施。解决上述四种水泥路面破损,实质上最主要应通过路基加固与处理技术进行,但这已经超出了本书的研究范畴。非稳固路基、地基加固处理技术正在进行专门研究。同时,有些破损,例如填挖交界路段的差异沉降、黄土地基的湿陷、路基地基的冻胀和融沉等,是我们预见不到的;有些加固处理,例如深厚上覆盖层下的采空区、黄土陷穴等,造价相当高昂,工程经济上从投入产出比来看,是不经济的。但是这些破损问题在运营当中具备发生条件时,会逐步在水泥路面上显露出来。因此,我们在研究新建和修复水泥混凝土路面时,应采取的改善、加强、加固水泥路面结构层与面板的技术措施和方法。与此同时,也必须开展水泥路面养护当中的修复新技术的研究。对此,著者将出版另外的专著。在本书中,重点研究新建时水泥混凝土路面遭遇非稳固路基和地基时新的计算分析、设计方法和路面施工强化新材料、新工艺和新技术。

本书是西部交通建设科技项目——黄土地区路面设计施工技术(编号2001 318 223 70)的一部分:黄土地区水泥混凝土路面设计施工技术研究报告的基础上编著而成。实质上,该技术不失一般性,除了湿陷性黄土地区外,它是对全国所有路基欠稳固地区或非稳定路段的水泥混凝土路面均适用的新技术。

本书以一种全新的视角和理念对非稳固路基上的水泥混凝土路面新材料、新技术、新结构进行了研究。第一章(执笔人罗翥、傅智)针对黄土地区

路基湿陷沉降、陷穴等造成的水泥混凝土路面典型病害及成因进行了分析研究。湿陷与季冻区及永冻区路基的冰冻融沉相类似,黄土陷穴与采空区、沙土淘空塌陷基本一致。第二章(执笔人罗翥、赵尚传)进行了路基弹模变化对水泥混凝土面板应力影响、水泥混凝土路面板角脱空应力分析、水泥混凝土路面板底陷穴应力分析、超重轴载作用下水泥混凝土路面应力分析。第三章(执笔人赵尚传、韩建国)为高弯拉强度路面混凝土试验研究。第四章(执笔人傅智、马刚)进行了层布钢纤维、拌和钢纤维、耐碱玻璃纤维、腈纶纤维混凝土材料与路面试验研究。第五章(执笔人邓宗才、傅智)进行了路用纤维混凝土及高弯拉强度混凝土疲劳、冲击等动载性能试验研究。第六章(执笔人罗翥)进行了强化的配筋混凝土路面设计计算。第七章(执笔人傅智、赵尚传)研究了小块、抛石、砂石统料混凝土三种农村公路使用的低造价水泥混凝土路面。第八章(执笔人寿崇琦)研究了水泥混凝土路面填缝料耐老化性能及其改进技术。第九章(执笔人傅智、王爱红、赵晓明、杜天玲)是上述新材料、新技术、新路面结构的试验路段。第十章(执笔人傅智)是本书的研究结论汇总。傅智负责全书编写和统稿,北京建筑工程学院李红进行了全书的修改及文字润色。

本书可供公路与市政水泥路面、机场混凝土场道等工程技术人员,高等院校相关专业的教授与研究生学习参考。不妥之处,敬请批评指正!

著 者
2007 年 5 月

目 录

1 路基非稳固黄土地区水泥混凝土路面使用现状 及病害调研	1
1.1 黄土地区概况	1
1.2 路基非稳固黄土地区水泥混凝土路面 发展概况	5
1.3 路基非稳固黄土地区水泥混凝土路面 病害调查及成因分析	13
1.4 本章小结	30
附录 1 宣大高速公路路基非稳固黄土地区 水泥混凝土路面断裂严重段 高程检测统计表	33
附录 2 路基非稳固黄土地区宣大高速公路 水泥混凝土路面病害 调研报告雷达图	34
2 非稳固路基上水泥混凝土路面应力分析	37
2.1 路基弹性模量变化对水泥混凝土面板 应力影响分析	37
2.2 水泥混凝土面板板角脱空应力分析	41
2.3 陷穴与采空区上水泥混凝土 路面板应力分析	49
2.4 超重轴载作用下水泥混凝土 路面应力分析	55
2.5 本章小结	57
3 高弯拉强度路面混凝土试验研究	58
3.1 力学性能试验研究	58
3.2 早期变形性能试验研究	69
3.3 抗开裂性能及开裂敏感性试验研究	73

3.4	耐磨性能试验研究	77
3.5	本章小结	79
4	纤维混凝土路面试验研究及其接缝传荷能力分析	82
4.1	层布钢纤维混凝土路面试验研究	83
4.2	拌和钢纤维混凝土试验研究	90
4.3	耐碱玻璃纤维混凝土试验研究	93
4.4	腈纶纤维混凝土试验研究	97
4.5	钢纤维混凝土路面接缝传荷能力分析	101
4.6	本章小结	110
5	纤维混凝土及高弯拉强度混凝土	
	动载性能试验研究	112
5.1	纤维混凝土的抗冲击韧性	112
5.2	纤维混凝土的弯拉疲劳性能	119
5.3	本章小结	128
6	非稳固路基上间断配筋混凝土路面设计	130
6.1	脱空与陷穴部位配筋混凝土路面设计	130
6.2	双层配筋混凝土路面分析对比	133
6.3	低配筋混凝土路面	138
6.4	本章小结	138
7	农村公路低造价水泥混凝土路面研究	140
7.1	抛石混凝土路面力学性能及施工工艺	141
7.2	砂石统料卵石混凝土路面集料级配	144
7.3	小块水泥混凝土路面应力分析	153
7.4	本章小结	157
8	水泥混凝土路面填缝料耐老化性能研究	158
8.1	前言	158
8.2	国内外水泥混凝土路面填缝材料 研究应用现状	161
8.3	国内部分地区水泥混凝土路面填缝材料 实际使用情况调查	164
8.4	填缝材料的老化机理研究	174
8.5	有机硅改性聚氨酯填缝材料 合成及性能研究	179
8.6	沥青填缝料的防老化研究	210
8.7	水泥混凝土路面胀缝材料研究	213

8.8 本章小结	216
9 路基非稳固黄土地区水泥混凝土路面试验路段	218
9.1 试验路段主要技术内容	218
9.2 增强路面试验路段	219
9.3 低造价水泥混凝土路面试验路段	242
9.4 本章小结	249
10 路基非稳固地区水泥混凝土路面研究结论与展望.....	250
10.1 研究结论	250
10.2 发展与展望	253
主要参考文献.....	255

1

路基非稳固黄土地区水泥 混凝土路面使用现状及病害调研

本书以一种分布面积最广、最典型的非稳固地基之一——黄土地区的水泥混凝土路面病害为研究对象。其他采空区、淘空、塌陷、软基、融沉等欠稳固路基上水泥混凝土路面的病害与黄土地区相类似,可以参照路基非稳固黄土地区的病害调查、分析及其设计、施工处理办法及养护技术措施来进行。

1.1 黄土地区概况

1.1.1 我国黄土分布

黄土是一种以粉性颗粒为主的第四纪沉积土。在我国,黄土及黄土状土的总分布面积约为 64 万平方公里,占国土面积的 6.3%;其中对公路工程地基路基影响较大的湿陷性黄土面积达 27 万平方公里,占国土面积的 2.8%。我国湿陷性黄土主要分布在黄河中游地区,该区域大致位于北纬 $34^{\circ}\sim 41^{\circ}$,东经 $102^{\circ}\sim 114^{\circ}$ 之间,西起乌鞘岭,东至太行山,北起长城附近,南达秦岭。湿陷性黄土深度在几米到几十米。湿陷性黄土导致了对黄土地区地基路基在时间上的严重不稳定,黄土的塬、梁、峁、峁峁、陡砭、冲沟、阶地等黄土地貌特征带来的公路这种带状结构物路基填土高度的剧烈变化,导致黄土路基在空间分布上的严重不稳定,大大增加了黄土地区建造稳定路基的难度。湿陷性黄土及其地貌单元的复杂多变,对公路路面、边坡工程质量的危害和影响最大,是本项目该地区路面设计与施工研究和防范的重点。

1.1.2 黄土地层分类

黄土对公路工程危害最大的是湿陷特性,研究黄土地层的目的是了解哪种地层的黄土具有湿陷性,哪种地层黄土不具备湿陷性。

我国黄土形成于地质年代的第四纪。按形成的年代可分为老黄土和新黄土。老黄土有午城黄土和离石黄土,新黄土有马兰黄土和新堆积黄土。马兰黄土和新堆积黄土(Q_4)特别是次生黄土为严重湿陷性黄土。

晚更新世(Q_3)马兰黄土构成黄土层的上部,为典型黄土。其质地疏松,无层理,大孔结构发育,有垂直节理裂隙,有较强的湿陷性或自重湿陷性。如处理不当会发生较大的湿陷事故,威胁结构物安全。

中更新世(Q_2)离石黄土为马兰黄土下面的埋藏黄土层,其间夹有多层古土壤层和钙质结核厚度较大,构成黄土塬主体。其质地较密实,仅在高压下仍具有一定的湿陷性。

早更新世(Q_1)午城黄土为老黄土的下部,颜色呈淡红色,含有棕色红色的埋藏古土壤层。其质地密实、强度大、压缩性小、厚度较薄,几乎不透水,无湿陷性。

各层黄土形成年代、成因及其湿陷特性见表 1-1 所示。

黄土地层划分和特性

表 1-1

年 代		黄 土 名 称			成 因		备 注
全新世 Q_4	近期	马兰黄土	新黄土	最近堆积	次生黄土	水成为主	杂乱无章,具不均匀性、高压缩性、强湿陷性
	早期			一般湿陷性黄土	原生黄土	风成为主	浅黄,一般具湿陷性
	晚更新世 Q_3						
中更新世 Q_2		离石黄土	老黄土	非湿陷性黄土			褐红,一般不具湿陷性或在高压下,具轻微湿陷性
早更新世 Q_1		午城黄土					

1.1.3 黄土组成特性

黄土组成决定了黄土地区公路工程的地基、路基的性能。黄土具有如下组成特性:

- (1)颜色以黄色、褐黄色为主,有时呈灰黄色;
- (2)颗粒组成以粉粒(0.05~0.002mm)为主,含量一般在 60%以上;
- (3)有肉眼可见大孔隙,较大孔隙可达 5~10mm,一般为 1~2mm;
- (4)富含碳酸盐类,在黄土中,碳酸盐常以胶结物、矿物颗粒、钙质结核三种方式存在,钙质结核和钙质胶结层中碳酸盐含量可高达 40%~55%;
- (5)富积易溶盐离子,西北黄土中易溶盐离子及其含量有以下排序:

阳离子: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$;

阴离子: $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$;

易溶盐对黄土颗粒具有一定胶结作用;

(6)含有机质和腐殖酸,含量一般介于1%~6%之间;腐殖酸盐是一种胶体,它具有很高的黏性及亲水性;

(7)垂直节理、劈理发育,多形成于亚黏土和黏土类黄土中;

(8)视密度较小,一般在 $1.3 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 之间。

1.1.4 黄土微结构特征

黄土的现存结构状态,是它整个历史形成过程中的综合产物。光学显微镜下的观察表明:黄土有其特殊的显微结构。它由结构单元(单颗粒、集粒和凝块)、胶结物(黏粒、有机质、 CaCO_3)和空隙(大孔隙、架空孔隙和粒间空隙等)三部分组成。黄土中较大砂颗粒($>0.05\text{mm}$)含量较少,以粗粉粒($0.05 \sim 0.01\text{mm}$)为主体,构成黄土的骨架,黏土和腐殖质等通过胶结物吸附在集粒表面,胶凝物聚集在大颗粒的接触点,它们与易溶盐溶液与沉积在该处的碳酸钙和硫酸钙一起形成了胶结性的连接,构成黄土的微结构特征。黄土的湿陷性特征是粉质土的低含水量、高孔隙度和高碳酸盐含量的综合反映,所以遇水有崩解湿陷的特性。

黄土的地层、组成及微结构特征,是构成黄土地貌与工程特性的物质形态基础,是内因,内因通过外因气候等条件起作用,他们共同构成了黄土地区沟壑纵横,冲沟陡峻的地貌以及频繁出现的滑坡、泥石流等自然灾害。同时,也是公路工程地基、路基病害和灾害频繁出现的主要原因,给公路建设带来了巨大的困难。

1.1.5 黄土地区气候特征与区划特征

由于黄土区在地理、气候、构造和地貌上的独特性,因此,在公路自然区划中,将其划为独立的一级自然区划——黄土高原干湿过渡区(III区)。其主要区划特征是:1月平均温度 $<0^\circ\text{C}$;平均最大冻深为 $200 \sim 1400\text{mm}$;潮湿系数 $K=0.25 \sim 1.00$ 。在一级区划的基础上,根据分区内潮湿系数、冻深与年(月)平均温度的差异及地形特点,黄土区又分为若干二级区划(包括副区)。

(1)山西山地、盆地中冻区(III₁区),该区主要自然病害是春季公路翻浆,山区有山洪、泥石流等病害,河谷盆地有次生黄土分布,边坡稳定不如典型黄土。

(2)雁北张宣重冻副区(III_{1a}区),该区主要自然病害是翻浆、泥石流、水毁,冬季有冻胀,春季翻浆相当严重。

(3)陕北典型黄土高原中冻区(III₂区),该区的典型病害是冲沟、湿陷、

黄土溶洞,有典型的塬、梁、峁地貌,并具有直立不坠的黄土特性,一般路基强度较高,但遇水易造成路基冲蚀和湿陷。

(4)榆林副区(III_{2a}区),该区冲沟、湿陷、风沙、翻浆等病害典型,风沙侵袭对公路修建营运有影响,春季翻浆亦较严重。该黄土分布区,边坡不能直立。

(5)甘东黄土山地区(III₃区),该区典型病害为冲沟、湿陷、滑坡、泥石流、地震。该区黄土砂性较重,且处于强震区,滑坡、泥石流等影响较大,边坡稳定性差。

(6)黄渭间山地、盆地轻冻区(III₄区),该区常见病害为冲沟、湿陷、局部有泥石流。该区次生黄土分布广,多分布于黄土梁间。在盆地处地下水位高,路基强度较低。

1.1.6 黄土地区因气候导致的主要病害差别

黄土地区的气温和降雨等气候差异造成湿陷性、冻害与翻浆差别很大。

(1)降雨量不同导致湿陷性差异巨大

黄土地区属于干旱、半干旱气候类型,年均降雨量在 250~600mm 之间,潮湿系数 $K=0.25\sim 1.00$,其降雨分布具有明显的地带性特点。黄土的颗粒具有碳酸盐弱胶结,而碳酸盐是易溶于水的胶结物。在西北地区(兰州附近)降雨量较少,气候相对干燥的条件下,黄土颗粒表面或集粒中的碳酸盐保存良好,集粒具有刚性,此地黄土具有强烈的湿陷性或自重湿陷性。而黄土地区的东南部(洛阳)降雨量大,气候潮湿,集粒中的碳酸盐被雨水淋失,集粒变软,此地黄土具有轻微湿陷性或不湿陷。

(2)黄土中冻区路面春融翻浆严重

黄土地区的纬度位于北纬 $34^{\circ}\sim 41^{\circ}$,跨度达到 7° 。陕北和兰州附近属中冻害地区,山西雁北张宣副区属寒冷地区。整个黄土地区的北部,冻土深度在 1m 左右,虽然冻胀、冻裂现象并不严重,但春季路面的翻浆很严重。原因是黄土具有 60% 以上的粉土颗粒,粉土中毛细孔非常发育,可以将地下 10~20m 的水分输送到冻结线处的冰晶上,很容易在冰冻线附近形成冰透晶体。冰透晶体的春融大大降低了路基的承载能力,是导致路面翻浆的根源。2004 年春季课题组对青海、甘肃、陕西、山西的国省二级以下公路进行调查,发现较多薄沥青路面甚至少量水泥混凝土路面均产生了翻浆破坏。

(3)冻土深度不同导致冻害差异显著

黄土属于粉土类型,是毛细管最发育的土质,冬季路基路面最容易产生冻胀、冻裂;春季则产生融沉,导致路基湿度大增、承载能力严重下降。山西雁北张宣副区属寒冷地区,路面实测冬季极限低温可达 -40°C ,冻土深度 1.5m 左右。春融翻浆并不严重,但存在严重的路基、基层和路面全部冻裂

和局部冻胀现象,尤以水泥混凝土路面、水稳基层和黄土路基的整体冻裂导致路面断板最为严重。1998年冬季山京大高速公路已经完成了2/3里程的水泥混凝土路面滑模施工,路面尚未通车,发生了一些断板破坏。从硬路肩部位的开挖探查表明其冻土深度已经超过1.6m,1.5m以上的黄土路基、两层水稳基层和水泥混凝土路面横向冻断整体拉开。同时,京大高速公路上凡是路基潮湿地段设置了粒料防水垫层的,尽管路基也发生了横向冻裂,但通过粒料防水垫层的调整,两层水稳基层和水泥混凝土路面并未冻裂。表明冻土深度超过路面结构层较多(超过500mm以上)的黄土地区高等级公路,客观上需要按《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTGD40—2002)的要求设置足够厚的防冻垫层。在黄土地区路面结构厚度相对较薄,未做粒料垫层的二、三级公路上,路基的局部冻胀、融沉乃至翻浆现象比比皆是。

1.2 路基非稳固黄土地区水泥混凝土路面发展概况

1.2.1 概述

建国以来,我国路基非稳固黄土地区水泥混凝土高级路面即高等级公路建设里程经历了由少到多的发展过程,特别是改革开放及西部大开发战略的实施以来,给黄土地区高等级公路的高级路面建设带来了前所未有的发展机遇。以1989年建成的陕西省西安—三原一级公路和1990年陕西省西安—临潼高速公路为标志,拉开了路基非稳固黄土地区高等级公路大规模、高质量建设的序幕。此后,路基非稳固黄土地区各省陆续建成了许多高速公路、一级公路和二级公路。截至2003年年底,占路基非稳固黄土地区主体的陕、甘、宁、晋四省区,高速公路通车里程已达2923km。建成一级公路1264km;建成具有高级路面的二级公路20916km。其中水泥混凝土路面:高速公路230km;一级公路670km;二级公路2400余公里。

路基非稳固黄土地区由于黄土地基和路基稳定性先天不足,而水泥混凝土刚性路面对于地基路基欠稳定的敏感性很强,易于破损,因此,较多地采用对黄土地基和路基稳定性相对更加适应的沥青柔性路面。但是,山京大等三条高速公路、河北宣大高速公路、甘肃兰州一级公路以及陕北、山西、河南众多二级国道公路上水泥混凝土路面的设计、施工和养护实践表明:在路基非稳固黄土地区,地基和路基处理到足够稳定的条件下,完全可以建造优质耐久的高等级公路水泥混凝土路面。

本书所进行的非稳固路基上水泥混凝土路面研究工作,一方面在于认真总结和归纳路基非稳固黄土地区已建高等级公路水泥混凝土路面的经

验;另一方面,研究和提出了在黄土地地区路基不甚稳定情况下,在特重、重交通量高等级公路上加强水泥混凝土路面结构设计、材料施工等技术措施。为大量建造在路基非稳固黄土地地区三、四级公路上低造价水泥混凝土路面提出设计施工建议,并为我国其他地区欠稳定路基上的水泥混凝土路面建造提供技术参考。

黄土地地区已建成的高等级公路,极大地推进了黄土地地区各省区的社会、经济、建设和公路交通的快速发展,为落实西部大开发战略打下了坚实的基础。

同时,应该认识到,黄土地地区与东、南沿海及中部地区相比,公路建设起点较低,技术力量与技术储备较弱。在路基非稳固黄土地地区高等级公路建设的快速发展中,不少路段在使用初期就发生了较为严重的早期破损,某些路段在运营过程中遭遇暴雨或超载,高级路面亦产生了不少病害和破损。分析这些破损与病害产生的原因,可分为以下两大类。

第一类是黄土地基、路基不稳引发的水泥路面破损和病害,例如,由于明流水、渗透水或长期浸水,造成黄土地基或路基发生陷穴、淘空、湿陷、错台、路基失稳与滑塌、边坡淘刷及冲刷。在一般情况下,也会造成路面纵向开裂、不均匀沉降,导致水泥混凝土路面断板等破损现象。这一类因黄土地基路基导致的路面破损是本书研究与防范的重点。

第二类是由于超载或重载造成的水泥混凝土路面本身的早期或运营中期破损,如表面磨损露骨、缺边掉角、接缝材料丧失密封、板长划分不正确导致的断板等。本书重点对填缝材料的耐老化、防水密封性能进行介绍研究,其他破损将通过提高水泥混凝土路面工程的施工质量来减缓或解决。

本书最关注的是黄土地基与路基经过一定措施处理后,其沉降变形量、承载能力、匀质性等能否满足建造水泥混凝土路面或维持其正常运营少破损的要求。为此,我们对路基非稳固黄土地地区晋、甘、陕、青、宁、冀、豫在不同时期修建的水泥混凝土路面设计、施工及运营破损情况进行了资料搜集和现场调查。调查的结果是当黄土地基与路基采取了一定的处理措施后,路面由于地基与路基大量的垂直沉降与水平位移带来路面破损会大幅度减少。但在某些大湿陷量的较高路基段,需要在路床、垫层、基层和路面上再采取必要的加强、稳固、防水及防冻等技术措施。对路基非稳固黄土地地区水泥混凝土路面设计与施工各环节进行改进,期望在黄土地基路基处置基本稳定的条件下,最大限度地提高路基非稳固黄土地地区水泥混凝土路面的工程质量和运营完好性,减少路面破损和养护费用,延长其耐用年限。

1.2.2 路基非稳固黄土地地区水泥混凝土路面设计施工概况

早期路基非稳固黄土地地区水泥混凝土路面设计的设计人员并未认识到

由黄土地基路基不稳定性带来的路面设计的独特性,基本上采取与其他地区水泥混凝土路面一样的设计。

20 世纪 90 年代,我国一般国省道二级公路水泥混凝土路面绝大多数采用一层基层。考虑到造价,路基非稳固黄土地区各省区黄土易得,而砂砾料与碎石缺乏,多采用石灰(黄)土单一基层。基层厚度一般在 160~200mm 之间,水泥混凝土路面设计厚度一般为 180~220mm。也有在一级公路上采用两层石灰(黄)土基层的,基层总厚度在 320~400mm 之间,一级公路水泥混凝土路面设计厚度一般为 220~240mm。水泥混凝土路面结构单一,仅有素混凝土一种路面。

路基非稳固黄土地区的水泥混凝土路面,已经建成的山西省大同—北京高速公路(简称京大)、河北省宣化—大同高速公路(简称宣大)、山西大同—新光武高速公路(简称大新),均采用滑模摊铺机摊铺施工。其他一级、二级公路的施工多采用三辊轴机组与小型机具建成。

1.2.3 山京大高速公路与河北宣大高速公路设计施工

(1)京大、宣大高速公路地理位置与气候情况

京大、宣大高速公路位于北纬 $40^{\circ}\sim 40.5^{\circ}$,东经 $113^{\circ}\sim 115^{\circ}$ 之间,地处 III₁ 中冻区,属黄土地区大陆性暖温带半干旱气候区,干旱多风,气温变化剧烈。年平均气温 7.3°C ,一月平均气温 -11.6°C ,极端最低气温 -36.7°C ;七月平均气温 22.6°C ,极端最高气温 35.4°C 。年降雨量 250~540mm,年平均降水量 359.8mm,且集中于七、八月份。干冷湿热交替分明。无霜期 125~140d,最冷月平均气温 -11.3°C ;极端最低气温 $-30^{\circ}\text{C}\sim -40^{\circ}\text{C}$;最热月平均气温 21.8°C ;极端最高气温 $36^{\circ}\text{C}\sim 39^{\circ}\text{C}$ 。主导风向西南。常有冰雹灾害天气,阳原境内九条雹线,平均年降雹量三次,最多五次。年日照 2880h,早霜期始于 9 月中旬,晚霜期终于 5 月上旬,无霜期约 125d。最大冻土深度 1.44~1.55m。年温差大,达到 $66^{\circ}\text{C}\sim 79^{\circ}\text{C}$,温度应力较高;冻土深度大,防冻要求高。

(2)京大、宣大高速公路黄土地基与路基情况

京大、宣大两段高速公路水泥混凝土路面段处在阳原与大同黄土盆地,勘探资料表明:该两段高速公路黄土属于第四纪上更新世冲洪积层 Q_3 亚黏土及第四纪全更新世冲洪积层 Q_4 马兰黄土或堆积黄土,局部夹杂砂黄土。黄土的颗粒组成以粉粒为主,粒径 $0.074\sim 0.002\text{mm}$ 颗粒占 71%~85%,大于 0.25mm 的仅为 0~3%。小于 0.002mm 的黏粒含量占 10%~34%。京大、宣大高速公路地基黄土的性能见表 1-2。地勘部门按表 1-2 数据将此区域黄土定为 I—II 级非自重湿陷性黄土。