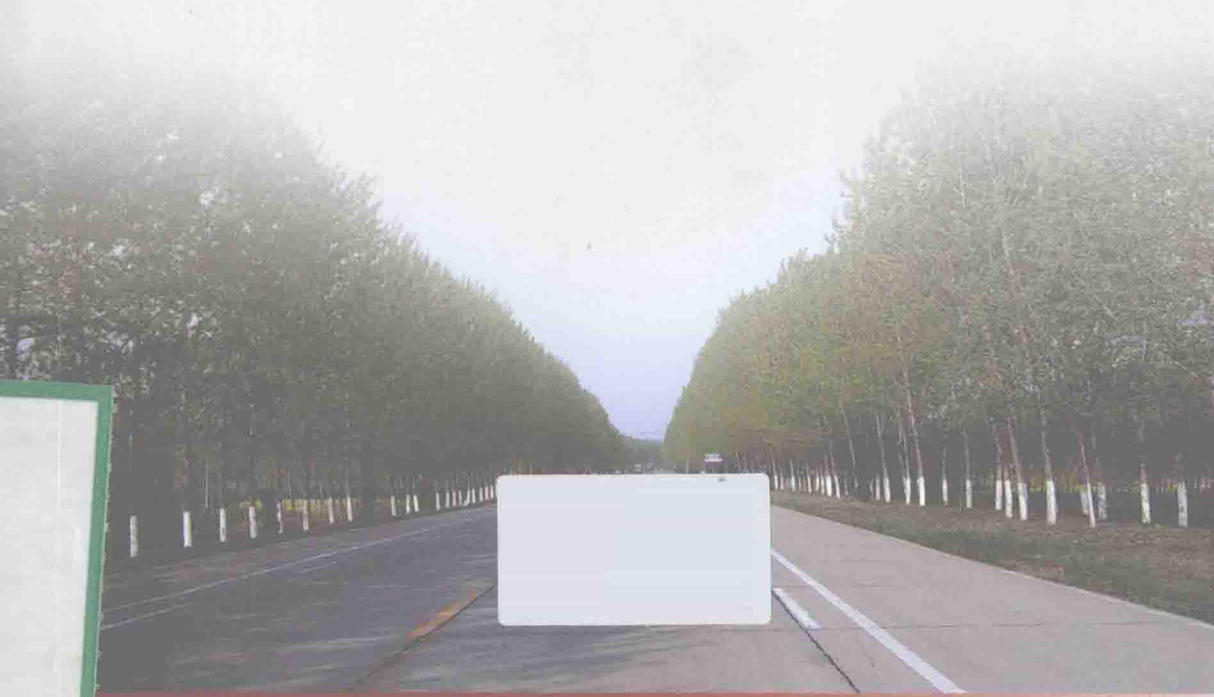


XIBU DIQU
SHUINI HUNNINGTU LUMIAN JIANSHE
GUANJIAN JISHU

西部地区 水泥混凝土路面建设关键技术

路学敏 汪海年 师延强 马 磊 编著



人民交通出版社
China Communications Press

西部地区水泥混凝土路面 建设关键技术

路学敏 汪海年 编著
师延强 马 磊

人民交通出版社

内 容 提 要

水泥混凝土路面的刚度大、荷载扩散能力强、水稳定性和温度稳定性好、使用寿命长,是重要的高级路面形式之一。本书从结构的角度提出了连续配筋水泥混凝土路面设计方法和施工工艺与质量控制措施;从材料的角度分别提出了路面水泥粉煤灰混凝土和路面嵌锁密实水泥混凝土材料要求和配合比设计方法;考虑路面表面功能,提出了露石混凝土配合比设计原则、原材料控制指标及施工技术;在施工和养护方面,提出了旧沥青路面上加铺水泥混凝土面层技术与水泥混凝土路面的三辊轴机组和小型机具铺筑法以及简便实用的养护技术。

本书可供从事道路工程科研、设计、施工和建设管理的技术人员参考,也可供高等院校、科学研究单位相关专业师生与研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

西部地区水泥混凝土路面建设关键技术/路学敏等

编著. —北京:人民交通出版社,2012.5

ISBN 978-7-114-09748-5

I. ①西… II. ①路… III. ①水泥混凝土路面—工程施工—西南地区②水泥混凝土路面—工程施工—西北地区
IV. ①U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 066184 号

书 名: 西部地区水泥混凝土路面建设关键技术
著 作 者: 路学敏 汪海年 师延强 马 磊
责任编辑: 丁润铎 李 喆
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)59757969, 59757973
总 经 销: 人民交通出版社发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 720×960 1/16
印 张: 15.5
字 数: 270 千
版 次: 2012 年 5 月 第 1 版
印 次: 2012 年 5 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-09748-5
定 价: 35.00 元
(有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)

前 言

近年来,我国公路交通运输事业发展迅猛,公路里程快速增加,公路运输“骨架”已经建立,“网络”在不断完善,为我国经济社会快速稳健发展提供了重要的支撑与保障。与此同时,我国路面工程技术也得到了快速发展。

水泥混凝土路面的刚度大、荷载扩散能力强、水稳定性和温度稳定性好、使用寿命长,是重要的高级路面形式之一。与沥青路面相比,水泥路面在材料资源、施工工艺、节能减排、环境适应性等方面具有明显优势。我国水泥资源丰富,水泥产量连续 30 年均居世界第一,水泥工业已成为西部地区经济的重要支柱产业,水泥价格相对基本稳定;而我国沥青资源相对匮乏,近年来沥青价格快速上涨,是水泥价格的 10~15 倍,且其价格仍将不断上涨。水泥路面施工方法多样,滑模摊铺机、轨道摊铺机、三辊轴机组或小型机具与人工结合施工等多种施工方法处于并存状态,适应性强且施工工序相对较少;而沥青路面施工方法目前仍然主要以机械化施工为主,对施工设备、技术水平的要求高,尤其在低等级公路应用受到限制。水泥路面施工不需要加热原材料和高温拌和,施工能耗低,节能减排效果显著。同时,水泥路面环境适应性好,在特殊气候与突发地质灾害条件下的应急保障能力强。

在欧美发达国家,水泥路面在高速公路网中占有较高的比例,一般为 $1/3 \sim 1/2$,承担了大部分的重载交通。近年来我国水泥路面得到了快速增长,截至 2010 年年底,水泥路面公路里程达到 137 万公里,约占我国有铺装路面公路里程的 72%,但主要集中在二级及其以下等级公路,高速公路和一级公路路面铺装中所占比例很低(不足 10%)。在我国西部地区,尤其是西北地区,水泥路面发展更加滞后。究其原因,主要在于水泥路面建设过程中尚面临一些技术难题,导致水泥路面舒适性较差,使用寿命不足,损坏后修复困难,制约了水泥路面的大面积应用。

西部地区水泥混凝土路面建设关键技术联合体自 20 世纪 90 年代起,立足西部、面向西北,紧密结合西部地区近 30 年来公路水泥路面的工程实际,对水泥混凝土路面开展系列联合攻关,经过持续 20 余年不间断的创新与实践,先后对旧沥青路面加铺水泥混凝土路面与超薄水泥混凝土路面技术开展了系统研究,建立了连续配筋混凝土路面荷载应力模型,提出了 CRCP 端部锚固力计算方

法,完善了连续配筋混凝土路面设计理论与方法,研究成果已经被纳入《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTGD40—2011);提出了水泥混凝土路面三辊轴机组和小型机具施工方法,“三振一拖滚二抹一拉毛”浇筑方法,解决了小型机具施工中平整度和抗滑性能难以控制的问题,出版了《三辊轴机组与小型机具铺筑水泥混凝土路面施工作业指南》,在全国范围内推广应用;创立了露石混凝土设计与施工中的试验方法与评价指标,评价了露石混凝土路面的抗滑性能、降噪特性、抗冻耐久性及防眩特性,其研究成果达到了国际先进水平;提出了路面嵌锁密实水泥混凝土的原理,构建了路面嵌锁密实水泥混凝土的组成模型,创建了嵌锁密实水泥混凝土配合比设计方法,丰富了现行水泥混凝土路面技术。

项目研究成果解决了制约西部地区水泥路面发展的路面耐久性不足、行车舒适性较差、表面功能衰减较快等技术难题,丰富与完善了水泥混凝土路面设计、施工与养护技术,推动了水泥路面修筑技术发展,提高了路面使用性能,延长了路面使用寿命。项目研究成果在陕西省的国省道、城市道路、农村公路535km进行应用验证,其中铜川境内150余公里历经20年交通荷载无大修,大大降低了水泥路面建设成本和维修费用,产生了显著社会效益。

水泥路面建设成本低、使用寿命长、节能减排效果好、环境适应性强,适宜于西北地区建设资金有限、水泥资源丰富、生态环境脆弱、自然灾害多发等条件下的公路路面,具有巨大的发展空间和良好的应用前景。系统总结并大规模推广项目研究成果,对于建设“资源节约型、环境友好型社会”,完善西部地区交通运输网络,提升公路服务水平,促进西部地区经济建设,实现我国交通可持续发展,必将具有重要的战略意义。

全书分为八章,第一章介绍了水泥混凝土路面修筑的趋势及其国内外研究现状;第二章建立了连续配筋混凝土路面应力分析计算模型和端部锚固力计算方法,提出了连续配筋混凝土路面设计方法;第三章提出了水泥粉煤灰混凝土配合比设计方法,进行水泥粉煤灰混凝土干缩、强度、耐磨和抗冻等试验研究,分析水泥粉煤灰混凝土路用性能;第四章提出水泥混凝土粗集料嵌锁骨架结构级配组成设计方法,分析了嵌锁密实水泥混凝土的坍落度和强度变化特性,建立了嵌锁密实水泥混凝土组成模型,提出了嵌锁密实水泥混凝土配合比设计方法;第五章提出了露石混凝土配合比设计原则,建立了露石混凝土的抗滑性能、降噪性能等路用性能相应的试验方法与试验指标,提出了露石混凝土路面施工控制技术;第六章提出了旧沥青路面上分别加铺普通水泥混凝土路面、超薄水泥混凝土路面设计方法;第七章针对二级以下水泥混凝土路面施工,提出水泥混凝土路面的三辊轴机组和小型机具铺筑法及质量控制方法;第八章提出水泥混凝土路面接

缝养护技术、排水系统养护技术、抗滑性能恢复技术和冬季养护技术。

本书在研究过程中得到长安大学、陕西省铜川公路管理局及其他合作单位的大力支持,给予了很多帮助与建议;衷心感谢本书的主审人王秉纲教授,对书稿提出的宝贵和重要意见。

全书由路学敏、汪海年、师延强、马磊统稿,王秉纲审核,毛雪松负责书稿延稿的编辑与校对工作。

由于作者水平有限,书中的疏漏和不足之处在所难免,诚请读者批评指正。

编写组

2011年10月

《西部地区水泥混凝土路面
建设关键技术》
编写委员会

主 任:路学敏

副主任:汪海年 师延强 马 磊

编 委:李成才 毛雪松 张东省 王海俐

李进成 郝培文 欧阳海霞 李 炜

葛胜利 司 伟 张海霞 韩 森

寇军平 赵卫东 王中生 王建民

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水泥路面发展趋势	1
1.2 国内外研究现状	5
1.3 本书内容.....	12
第 2 章 连续配筋水泥混凝土路面修筑技术	14
2.1 连续配筋水泥混凝土路面应力分析.....	14
2.2 连续配筋水泥混凝土端部锚固结构.....	30
2.3 连续配筋水泥混凝土路面设计方法.....	39
2.4 连续配筋水泥混凝土路面施工技术.....	46
2.5 连续配筋水泥混凝土路面试验路.....	49
第 3 章 水泥粉煤灰混凝土研究	54
3.1 水泥粉煤灰混凝土的水化机理.....	54
3.2 水泥粉煤灰混凝土配合比设计.....	60
3.3 水泥粉煤灰混凝土路用性能.....	68
3.4 水泥粉煤灰混凝土试验路.....	72
第 4 章 嵌锁密实水泥混凝土研究	75
4.1 粗集料嵌锁骨架结构.....	75
4.2 嵌锁密实水泥混凝土路用性能.....	89
4.3 嵌锁密实水泥混凝土配合比设计方法	105
4.4 嵌锁密实水泥混凝土试验路	110
第 5 章 露石水泥混凝土路面	112
5.1 露石水泥混凝土配合比设计	112
5.2 露石混凝土路面抗滑与降噪性能	122
5.3 露石混凝土路面施工工艺	134
5.4 露石混凝土试验路	142
第 6 章 旧沥青路面上水泥混凝土面层设计方法研究	148
6.1 旧沥青路面的评定与利用	148

6.2 普通水泥混凝土路面加铺层设计	151
6.3 超薄水泥混凝土路面加铺设计方法	155
6.4 超薄水泥混凝土试验路	174
第7章 水泥混凝土路面养护维修技术	179
7.1 水泥混凝土路面破损及成因	179
7.2 水泥混凝土路面养护技术	182
7.3 水泥混凝土路面维修技术	188
7.4 旧水泥混凝土路面加铺技术	200
第8章 水泥混凝土路面施工工艺与质量控制技术	216
8.1 水泥混凝土路面的施工工艺	216
8.2 水泥混凝土路面施工质量控制技术	228
参考文献	233

第 1 章 绪 论

1.1 水泥路面发展趋势

近 10 年来,我国公路交通运输事业发展迅猛。至 2010 年年底,我国公路总里程由 2000 年年底的 140 万 km 增长至 400 万 km,其中高速公路里程由 2000 年年底的 1.6 万 km 增长至 7.4 万 km,居世界第二位,农村公路里程达到 350 万 km,为我国经济社会快速稳健发展提供了重要的支撑与保障。我国公路运输的“骨架”与“脉络”已逐步建立并不断完善。

随着公路里程的不断增加,我国路面工程技术也得到了快速发展。截至 2010 年年底,全国有铺装路面公路里程 192 万 km,其中沥青混凝土路面 54 万 km,水泥混凝土路面 138 万 km。水泥混凝土路面的刚度大、荷载扩散能力强、水稳定性和温度稳定性好、使用寿命长,是重要的高级路面形式之一。我国在建国初期,由于资金、能源有限、水泥紧缺,修建水泥混凝土路面的公路里程较少。从 20 世纪 70 年代,我国开始发展水泥混凝土路面,尤其是原交通部 1989 年推广原国家科委技术委员会科技工作引导项目“我国水泥混凝土路面发展对策及修建技术研究”成果以来,水泥混凝土路面得到了迅猛发展。目前水泥路面公路里程约占我国有铺装路面公路里程的 72%,主要集中在二级及其以下等级公路,在高速公路和一级公路路面铺装中所占比例较低。

与沥青路面相比,水泥路面具有以下显著优势。

(1) 材料资源丰富,价格低廉

我国水泥资源丰富、分布广泛,全国水泥厂星罗棋布、布局合理,水泥产量连续 30 年的产量均居世界第一。近 10 年,我国水泥产量年平均增长率均在 11% 以上,2010 年全国水泥产量达 18.8 亿 t,同比增长 15.5%。

同时,随着水泥工业产业结构调整的不断深化,落后的水泥产能逐步被淘汰,低碳环保型水泥生产新型干法工艺得到了迅猛发展。2000 年全国新型干法生产线 135 条,年生产能力近 7 000 万 t,约占当年全国水泥熟料生产能力的 10%。2007 年水泥熟料产量中新型干法熟料比例超过 50%,2010 年达到 72%。

随着产业布局的不断优化调整,我国水泥行业的发展重点也逐渐由东部向

西部转移倾斜。东部地区经济相对发达,水泥工业已形成较大规模,随着土地、环保压力不断加大,水泥产能的增长能力有限。我国西部地区幅员辽阔,石灰石矿产资源、煤炭能源和人工劳动力等方面优势突出,从而为西部水泥产业发展提供了良好的平台环境。在 2010 年 2 亿多吨的水泥增长量中,中西部地区占 74%,同时还新增 2 亿多吨新型干法生产线。

西北地区水泥资源丰富,陕西“秦岭”、甘肃“祁连山”、新疆“天山”、宁夏“赛马”水泥年产量均超过 1 000 万 t,均成为当地经济的重要支柱产业,增长迅速。“秦岭”水泥、“祁连山”水泥连续多年入选中国水泥十大品牌。以陕西省为例,陕西水泥工业近 5 年高速发展,产量平均增速 22.4%,高出全国 12 个百分点以上。2007 年陕西省水泥产量突破 3 000 万 t,2008 年达到 3 600 万 t,2009 年为 4 400 万 t,2010 年为 5 400 万 t。西北地区丰富的水泥资源为水泥路面的发展提供了充裕的基础材料供应。同时,在我国水泥工业产业结构调整取得重大突破、产能保持高速增长的同时,水泥价格尽管有所上涨,但相对基本稳定,如 42.5 级普通硅酸盐水泥价格一直维持在 300~400 元/t。

另一方面,我国沥青资源相对匮乏,高速公路所使用的优质沥青主要依赖进口。2010 年,我国进口沥青总量达到 410 万 t,同比增长 23%,再创历史新高。西北地区生产的沥青主要集中在新疆的克拉玛依油田、甘肃的庆阳油田、玉门油田、陕西的长庆油田、延长油田等少数几个炼油企业,产量较小,年生产能力多在 60 万 t 以下,难以满足西北地区公路基础设施建设的需要。

沥青价格受国际原油价格的影响很大,近年来快速上涨,道路石油沥青价格目前已达到 4 000~5 000 元/t,是水泥价格的 10~15 倍,已远远超出了沥青与水泥价格比为 6 倍的投资平衡点。由于沥青资源的不可再生性及优质沥青资源的稀缺性,其价格仍将不断上涨。

同时,沥青路面对集料的洁净程度、级配组成、抗磨光、抗滑性、黏附性等要求很高。碎石主要使用玄武岩、辉绿岩等优质碱性集料,而这些矿料较为稀缺,尤其在西部地区玄武岩与辉绿岩的岩矿数量较少,常采用远运方式备料。而水泥混凝土路面对集料的要求明显低于沥青路面,卵石与碎石均可采用,集料分布广泛、易于获得,主要充分利用当地原材料,且也不需要价格昂贵、工艺复杂的矿粉,价格仅为沥青路面集料的 1/3 甚至更低。

由此可见,在广阔西部地区应大力发展水泥路面,紧密结合该地区经济基础较弱、水泥资源丰富特点,以实现西部地区资源节约型的可持续交通发展。

(2) 施工方法多样,普及性好

水泥路面施工方法多样,既有滑模摊铺、轨道摊铺等机械化施工方法,也有

三辊轴机组或小型机具与人工结合施工方法,多种施工方法处于并存状态,在不同工程条件和技术水平下均可以选择适宜方法完成路面施工,保证工程质量,普及程度高。而沥青路面施工方法比较单一,目前主要以混合料集中厂拌、摊铺机现场摊铺的机械化施工为主,对施工设备、技术水平的要求很高,普及程度受限。

另外,水泥路面施工工序相对较少,质量控制难度相对较小,所需施工机械设备更少,尤其是目前广泛应用的小型机具与人工结合的施工方法。而沥青路面施工工序较多,各环节质量控制要求更高,且需要大型拌和楼、专用摊铺机、轮胎和钢轮压路机等各种大型专用设备。

沥青路面的建造速度慢于水泥路面。高速公路沥青路面一般有三个面层、三层黏层油和一层透层油,全表面层共需7道工序方可完成,而水泥混凝土路面仅1个面层。以前1个水泥混凝土路面层代替沥青路面7个面层,如今,为提高半刚性基层表面的抗冲刷性,水泥路面增加了透层油和封层油,一个面层工序代替沥青路面的5个工序。沥青路面和水泥路面均可采用摊铺机施工,水泥混凝土路面的施工速度更快、工序更简洁,施工动用的机械更少,施工费用也更加节省。

西部地区公路网络建设前景发展广阔,公路建设标准需求多层次、多样化,高速公路、干线公路与农村公路均有待进一步发展。水泥路面的施工多样性可很好地满足不同等级公路路面建设的需要。对于干线公路与农村公路,可充分利用西部地区劳动力资源丰富、人工成本较低的优势,大力推行小型机具与人工相结合的水泥路面施工技术。

(3)节能减排,环境友好

水泥路面施工为冷态施工,只需要将材料按比例进行拌和,不需要加热材料,节省能源。而沥青路面施工对混合料温度要求很高,热拌沥青混合料施工时必须将集料与沥青加热至 150°C 以上进行高温拌和,高温拌和每吨沥青混合料需增加燃油能耗 $100\sim 150$ 元,并排放出 CO_2 约 38kg 。

水泥路面浇注施工时通常只需要利用振捣棒或平板振动器振捣密实并成型,而水泥路面施工振动小、噪声小、污染小,对周边环境影响小。沥青路面施工压实时需使用振动压路机和胶轮压路机,振动压实环节能耗比水泥路面高 $5\sim 8$ 倍。

同时,沥青路面施工拌和场需要较大的占地面积,拌和场所散发出的粉尘和烟尘对周边环境产生较大的污染,路面施工中振动压路机产生的振动和噪声对现场附近居民生活影响较大。沥青路面在使用过程中对公路周围的土地、地下水等也会造成一定污染,同时沥青类有机材料的自然分解与降解需要漫长的时

间,对自然环境产生一定影响。这也是国际上绿色环保组织反对大量建造沥青路面的重要原因之一。

西部地区经济基础薄弱、生态环境脆弱,在西部地区大力推广水泥路面,可充分发挥其节能减排与环境友好的优势,实现交通增长与生态保护的协调发展。

(4)使用寿命长、养护费用低、环境适应性强

水泥路面刚度大、承载能力高,在相同交通荷载条件下的使用寿命明显长于沥青路面,可以达到 30 年以上。同时,水泥路面无车辙、推移、壅包等病害,破损后的局部换板可使用三辊轴机组或小型机具施工,设备投入少,且再生利用率高,使用期内的养护维修费低,生命周期成本低。沥青路面使用寿命较短,目前情况一般为 5~10 年就需进行大修,养护周期短,局部修复或加铺时需要的机械设备多。另外,沥青路面使用期间受环境温度和交通荷载影响较大,车辙、低温开裂等病害出现几率高;而水泥路面对环境的适应能力强,适宜于重载交通,且在特殊气候与突发地质灾害条件下具有很强的应急保障能力。

美国在重交通的高速公路中,有 49%的州际道路和一级联邦资助道路采用水泥混凝土路面,许多已经运营 50 年的水泥路面的状况依然良好。德国是最早大量使用水泥混凝土路面的国家之一,绝大多数高速公路都是水泥混凝土路面,且使用性能很好。加拿大国家高速公路骨架干线 401、407 与 427 公路均采用水泥混凝土路面,在魁北克省水泥混凝土路面承担了 75%以上的交通量。澳大利亚 1925 年就开始修筑水泥混凝土路面,目前水泥路面约占高速公路网络总里程的 2/3。荷兰地势较低,河流分布广泛,公路地下水位较高,对路面工作环境与使用性能提出了更高要求,但水泥路面依然体现出良好的使用性能,实际使用寿命均达 40~50 年。英国对水泥混凝土路面也极为重视,水泥路面的形式也多样,包括素水泥混凝土路面、钢筋水泥混凝土路面、连续配筋水泥混凝土路面,在现有路网的 28.5 万 km 高速公路中,有 15 万 km 的水泥路面,约占总里程的 52%。西班牙修筑水泥路面的历史最早可追溯至 1915 年,目前水泥路面仍是该国重要的高速公路路面类型,占路网总里程的 1/3。

综上所述,水泥混凝土路面在材料资源、普及推广、节能减排等方面具有显著优势,已在欧美发达国家和我国公路路面中得到了广泛应用。但在我国西部地区,尤其是西北地区,水泥混凝土路面发展明显滞后于其他地区。

“十二五”期间,在我国公路里程规划,尤其是西北地区公路规划中,针对西部地区交通基础设施薄弱的现状,将有较大规模的增长。预计到 2015 年,西部地区高速公路里程将再增加一倍,总里程将达 3.6 万 km,占全国高速公路通车总里程的 1/3;到 2015 年我国将再新增农村公路 45 万 km,农村公路总里程达

390 万 km,其中西部地区的农村公路里程增长量占 2/3。同时,公路交通发展中重视交通领域节能减排和减灾防灾,尤其在 2011 年 5 月交通运输部颁布了《深入实施西部大开发战略公路水路交通运输发展规划纲要(2011—2020 年)》,提出针对西部地区生态脆弱、自然灾害频发的特点,强调了构建绿色交通运输体系和提高安全和应急保障能力,因地制宜的推进西部地区交通运输发展,确保交通运输可持续发展。

1.2 国内外研究现状

水泥混凝土路面修筑技术是国内外道路界长期开展的一项研究课题,国内外许多研究机构对此开展了相关研究,在路面结构、材料、表面功能、施工与养护等方面取得了许多研究成果。

1.2.1 连续配筋混凝土路面修筑技术

连续配筋混凝土路面(Continuously Reinforced Concrete Pavement,简称 CRCP),在纵向设置连续钢筋,不设横向胀、缩缝(施工缝及构造所需的胀缝除外)。

1921 年最早的连续配筋混凝土路面出现在美国华盛顿特区。从 20 世纪 60 年代开始,美国在修建高速公路时开始大量铺筑连续配筋混凝土,现已广泛应用于干线公路和机场道面。比利时、澳大利亚、英国、日本等国家也修筑了连续配筋混凝土路面。该类型路面在国外发展较快,很多国家都对连续配筋混凝土做了深入的科学研究,国外学者在许多方面做了研究,并结合试验对连续配筋混凝土路面的工程应用做了大量的调查和分析,主要针对连续配筋混凝土路面在荷载、材料、环境因素作用下的破坏机理、使用性能、开裂模式、端部位移及锚固、养护维修及在特殊环境下的应用等方面展开系列研究。

我国引入连续配筋混凝土路面较晚,且大部分为试验工程,大面积的实体工程很少。1989 年,江苏省盐城市东郊一级公路上修建了我国第一条长 500m、宽 7m、厚 20cm 的连续配筋混凝土路面试验路。连续配筋混凝土路面由于行车非常平稳与舒适,具有十分突出的强度和耐久性、使用寿命长,近二十多年来,连续配筋混凝土路面逐渐得到重视,从 2002 年开始,《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2011)提出在高速公路建设中可以采用连续配筋混凝土路面,规范提出的连续配筋混凝土路面设计方法主要参考国外的设计方法和试验路的成果。同时,由于人们对连续配筋混凝土路面的认识还不够(如连续配筋混凝土路面

有较多的细微裂缝),部分交通业内人士对采用连续配筋混凝土路面存在顾虑,加之造价较高,致使国内连续配筋混凝土路面的研究、推广应用远远滞后于国外。

1.2.2 水泥粉煤灰混凝土

粉煤灰应用于公路工程始于 20 世纪 30 年代,主要用作筑路材料。许多先进国家修筑高速公路、高等级公路以及乡村公路普遍使用粉煤灰作铺筑材料。如法国在公路基层、面层、渗水层、回填层等都掺用了粉煤灰。粉煤灰混凝土用于路面工程,已基本解决了混凝土材料性能和施工技术问题,并在公路工程中大量推广应用。通过混凝土配合比设计,适当发挥粉煤灰效应和功能,完全能够提高混凝土的抗折强度、耐久性和耐磨性,特别是能使混凝土的性能适应不同的路面施工技术。美国在混凝土路面施工中,通常掺 10%~20%粉煤灰,以提高混凝土的黏聚性,改善路面板摊铺质量,但对大掺量应用持谨慎态度。粉煤灰之所以能够在一些工业国家中得到广泛使用,是因为作为最有潜在价值的基本材料进入公路工业生产,它能为筑路的工业化带来有效利用资源,提高混凝土质量和降低成本的显著效益。与普通混凝土相比,粉煤灰可提高混凝土工作性、减小泌水、降低水化热,增加强度、抑制碱—集料反应、抵抗硫酸盐侵蚀、抵抗渗透,为生产路面用优质混凝土提供了重要的技术条件,并且每立方米混凝土实际能节约 1.3~2.6 美元。

我国在 20 世纪 50 年代始,用粉煤灰作掺和料进行过路面施工,因当时水泥强度等级低,粉煤灰也未经处理,质量差,因此情况不理想。20 世纪 70 年代,由于粉煤灰的处理技术不断发展,在路面的应用有所发展。到 20 世纪 80 年代后期,粉煤灰在碾压混凝土路面的应用,取得很大进展,优越性逐步得到体现,至此,各方面对混凝土路面使用粉煤灰表现出一定的积极性。

近年来,粉煤灰在公路工程中应用的范围不断扩大,不仅用于高速公路,还用于大桥、护坡、引道、机场跑道等工程。国家“八五”科技攻关项目“滑模摊铺水泥混凝土路面修筑成套技术研究”中,将粉煤灰在滑模机械施工的水泥混凝土路面中的应用作为生产高性能公路混凝土的重要手段之一,进行了广泛深入的研究和大规模推广。

归纳起来看,粉煤灰在公路中的应用主要体现在:路基填料、路面基层、低掺量粉煤灰(占水泥总量的 25%以下)水泥混凝土路面面层。在结构混凝土中掺用粉煤灰在我国的普及程度仍较低,即使掺用,其掺量一般也比大体积混凝土低得多。对于高掺量粉煤灰混凝土是正在发展的技术,高掺量粉煤灰混凝土水化机理及配合比设计目前尚需进一步完善。

1.2.3 嵌锁密实水泥混凝土

随着水泥混凝土技术的发展和工程对水泥混凝土要求的提高,我国现行水泥混凝土配合比设计方法应用中出现了一些与工程实际不相适宜的问题,影响着水泥混凝土的质量保证和施工成本,值得引起建设者的重视,其问题亟待解决。

现行水泥混凝土配合比设计中对粗集料的重视程度不足,尚未充分发挥粗集料在混凝土中的刚性骨架、阻挡裂缝等作用。混凝土是一种由硬化水泥石和粗、细集料构成的复合材料,集料占混凝土体积的60%~75%(质量的70%~80%)。最初人们出于减少水泥用量、降低混凝土成本的目的而在混凝土中使用粗集料,其作为分散相虽在混凝土中占据较大体积,但性质一般比较稳定,通常被视为惰性材料。混凝土配合比设计中主要侧重于利用水泥石、外加剂、矿物掺和料来提高混凝土强度,改善混凝土性能,而对粗集料的重视程度不足,对“粗集料最大粒径”是“按混凝土结构情况及施工方法选取”,缺少粗集料最大粒径和砂率的明确上限限制,主要考虑了水泥混凝土的水泥胶结强度,而对集料的嵌锁强度和混凝土材料的均匀性考虑得少或未顾及,使集料没有真正起到“骨架”作用,出现了水泥用量大(有时甚至多20%~30%)而强度低、耐久性差的现象。随着高强、高性能混凝土的发展,粗集料的作用逐渐引起重视。粗集料并不是完全惰性的,其对新拌及硬化混凝土的性能、配合比与经济性有显著影响。尤其是在水泥、掺和料、外加剂等的作用发挥至极致时,粗集料的作用愈加明显。粗集料在混凝土中所起的作用主要包括刚性骨架作用和裂缝诱发与阻挡作用。如果水泥混凝土中水泥砂浆较多,则水泥砂浆层较厚,混凝土在荷载作用下的破坏一般表征为水泥砂浆层破碎而丧失承载能力,而粗集料的强度和弹性模量均高于水泥砂浆,形成骨架结构的粗集料间的传递力可以使混凝土的强度提高;当水泥石和集料的强度高,且集料表面洁净利于黏结时,混凝土基体与集料界面间形成的结合带的强度较高,一定程度上也能提高混凝土强度。在提高混凝土强度的同时,粗集料还能改善混凝土的变形性能,使混凝土具有比纯水泥砂浆更好的体积稳定性与耐久性。混凝土破坏的实质是其收缩徐变引起的内部结构缺陷(尤其是微裂缝)在荷载作用下不断扩展的结果,而粗集料对混凝土收缩有约束作用,使混凝土的收缩值比水泥砂浆小好几倍。混凝土中的粗集料既能引发裂缝,也能阻挡裂缝发展。

水泥混凝土强度试验时发现,现行配合比设计方法确定的水泥混凝土破裂面大部分出现在砂浆或砂浆与集料结合部位,表明砂浆在混凝土强度构成中起

主要作用,尚未充分发挥集料作用,往往导致水泥用量偏高,造成施工成本明显提高,也不利于混凝土耐久性的保证。

为此,从水泥混凝土的强度构成原理出发,借鉴体积法设计思想,以充分发挥粗集料在混凝土中的作用为目标,试验研究砂浆和集料的组成比例、集料级配对混凝土工作性和强度的影响,提出集料嵌锁结构组成和嵌锁密实水泥混凝土;以技术合理、经济有效、可操作性强为原则,提出嵌锁密实水泥混凝土配合比设计方法。研究成果可直接指导水泥混凝土设计与施工,保证工程质量,节约工程成本,有效利用有限资源,具有重要的工程现实意义。

1.2.4 露石水泥混凝土路面

露石水泥混凝土路面(Exposed-Aggregate Cement Concrete Pavement,简称EACCP),是在面层水泥混凝土混合料铺筑完成后,喷洒露石剂并覆盖塑料膜养生,期间通过露石剂作用对水泥混凝土表面层进行化学处理,延缓表面一定厚度水泥砂浆的凝结,但不影响主体混凝土的正常凝结硬化,当主体混凝土达到一定强度后,刷洗其表面进行表面除浆,露出均匀分布的粗集料。这样所形成的水泥路面就是露石水泥混凝土路面(EACCP)。

20世纪90年代,出于对环境改善与提高道路安全性的需求,西方国家开始较大规模地研究应用低噪声路面,一些新建水泥混凝土路面也研究应用了露石水泥混凝土路面技术。英国南威尔士在道路大修项目中,对旧水泥路面实施连续配筋混凝土加铺层时,采用了露石水泥混凝土路面技术,预期比传统的拉毛混凝土路面降低噪声3dB。该道路中的连续配筋露石水泥混凝土路面设计,一方面使混凝土路面无缝,大大提高了水泥路面的平顺性,另一方面其露石水泥混凝土路面使沿线交通噪声降低,路面舒适性提高,而且连续配筋使路面承担繁重交通的能力获得很大提高。比利时在对原有旧水泥路面进行表面处理时,多采用纵向刻纹施工工艺,增加其抗滑性,提高路面纵向平整度,同时对交通噪声也有降低作用;但对新建水泥路面则都采用露石水泥混凝土路面。研究表明,露石水泥混凝土路面降噪效果显著。德国使用滑模摊铺机铺筑低噪声水泥路面,滑模摊铺机施工过后,喷洒超缓凝剂使表面混凝土缓凝,铺筑一定时间后,用刷洗机将表面砂浆刷掉,形成裸露均一集料的低噪声路面表面。

国外的研究应用资料仅反映出露石水泥混凝土路面的一些使用效果和施工工艺,没有详尽的研究,也没有路面材料组成方法及施工工艺的关键细节,而且由于各方面的条件与情况不同,难以将其技术应用到我国的工程实际中。

20世纪末,国内个别水泥路面施工中对露石水泥混凝土路面做了尝试性试