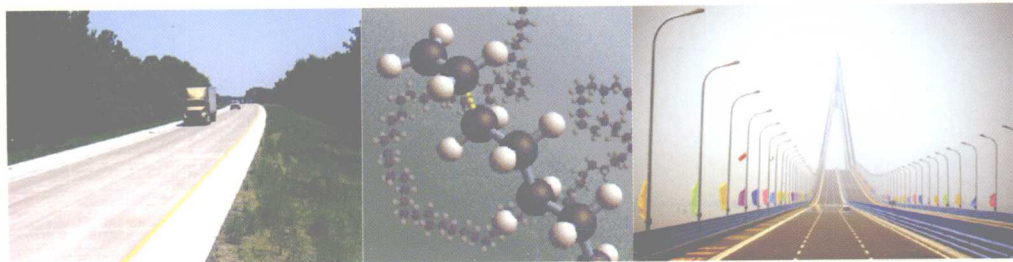


改性水泥与 现代水泥混凝土路面

Modified Cement and Modern
Concrete Pavements

申爱琴 著



人民交通出版社
China Communications Press

改性水泥与现代混凝土路面

申爱琴 著



人民交通出版社

(附赠光盘)

内 容 提 要

本书以作者近年来的科研成果为基础,详细地阐述了水泥基材料的改性机理,介绍了不同类型改性水泥基裂缝修补材料的性能及其施工工艺,对聚合物改性水泥混凝土进行了宏观和微观水平上的深入研究,探讨了改性水泥混凝土复合式路面的设计方法,同时对纤维混凝土和高性能路面混凝土的结构性能也进行了细致分析,并介绍了透水性混凝土路面、低噪声混凝土路面、彩色混凝土路面等多种新型路面结构。

本书内容丰富,全面系统,可作为高等学校道路工程及材料专业的研究生和高年级本科生的学习参考书,也可供公路工程路面材料研究、路面设计及施工人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

改性水泥与现代混凝土路面/申爱琴著. —北京:人民交通出版社, 2008.11

ISBN 978-7-114-07306-9

I. 改… II. 申… III. ①改性—水泥②水泥混凝土路面—道路工程 IV.TQ172 U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 118540 号

书 名: 改性水泥与现代混凝土路面

著 者: 申爱琴

责任编辑: 丁润铎

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: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×960 1/16

印 张: 20.75

字 数: 369 千

版 次: 2008 年 11 月第 1 版

印 次: 2008 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07306-9

定 价: 48.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

21 世纪是我国经济和社会建设的重要阶段,也是全面推进交通事业新的跨越式发展的关键时期。世纪之初,交通运输部提出了我国交通发展的宏伟蓝图,即 2010 年前东部地区基本形成高速公路网,国省干线公路等级全面提高,农村公路交通条件得到明显改善,再经过 15 年的努力,全国基本形成国家高速公路网。进入“十一五”以来,我国的公路交通事业依然保持了较快的发展势头,2006 年召开的全国交通工作会议明确提出了建设便捷、通畅、高效、安全的公路交通运输体系的要求,以促进经济社会全面、协调、可持续发展。

按照“十一五”期间公路发展的具体目标,五年内我国公路总里程将增加 38 万公里,高速公路里程达到 6.5 万公里,新改建农村公路 120 万公里。由此可见,我国的公路建设任务依然繁重。目前,国内路面的主要结构形式为沥青路面和水泥路面,其中水泥路面占有相当大的比重。据交通运输部统计,截至 2007 年年底,全国有铺装路面中沥青混凝土路面为 401 600km,水泥混凝土路面为 848 800km。在一定时期内,水泥混凝土路面仍将是我国路面结构的主体。从具体国情来看,我国是一个石油消费大国,但在道路沥青生产能力方面却与国外存在较大差距,而且生产的道路沥青质量较差。相比之下,我国水泥产量连年位居世界前列,而且石料资源丰富,铺筑水泥混凝土路面对发展国民经济大有裨益。更为重要的是,在遭遇自然灾害和资源短缺的特殊时期,水泥混凝土路面的优点更加明显。以 20 世纪 90 年代我国发生的特大洪涝灾害为例,在沥青路面多数被冲断的情况下,水泥混凝土路面依然维持着抗洪物资的运输,体现了其特有的坚固性。此外,在世界道路会议

上,大多数专家一致认为:在经济危机的持续以及石油产品价格的重大调整时期,应修筑水泥混凝土路面,可见其重要性非同一般。

虽然水泥混凝土路面具有诸多优点,但是在发展过程中也遇到了一些棘手问题,其中最为突出的当属混凝土材料的耐久性问题。随着水泥路面的不断建设,路面病害及维修问题愈加突出。就我国水泥混凝土路面整体现状而言,存在着设计强度低、面板薄、施工质量差等弊端,加之维修不及时,路面损坏现象随处可见,而且日益严重。在水泥混凝土路面的破坏形式中,裂缝类、变形类、接缝损坏类以及表面损坏类破坏最为普遍,这些病害严重影响了路面的使用性能。多年来,国内许多设计、施工、管理养护单位以及大专院校、科研院所都对水泥混凝土路面常见病害和防治对策进行了研究,但最终未能彻底根治。仔细探究新建水泥混凝土路面产生损坏的原因,除设计、施工等方面的因素外,材料性能差也是不容忽视的。研究发现,当前广泛应用于各级路面的普通水泥混凝土材料由于早期干缩和温缩作用,硬化后材料内部将产生许多微裂缝,造成混凝土材料过早破坏,再加上混凝土材料柔韧性不足,存在抗压强度高、抗折强度低以及耐磨性差等缺点,致使路面表面性能可能会过早丧失。鉴于水泥混凝土材料对路面整体性能的巨大影响,无论是在科研领域还是工程实践中,对水泥混凝土进行改性以提高其主要路用性能指标已经迫在眉睫。

长期以来,对水泥混凝土材料性能进行改进的课题,国内外学术和工程界已进行了深入的探讨和研究。早在20世纪60~70年代,一些学者就已经开始使用聚合物对水泥混凝土进行改性。掺入聚合物后,水泥混凝土的工作性、强度、耐久性以及抗疲劳与耐冲击性能均有显著提高,水泥混凝土的柔性上升而脆性下降,逐渐向柔性材料转化。此外,美国、前苏联、英国、德国和日本等国家还先后制订了相关规范,例如日本制订了JIS系列聚合物乳液型水泥改性剂和改性砂浆工业标准,德国制订了聚合物改性水泥砂浆(混凝土)DIN 18555-2标准等。在水泥混凝土路面裂缝以及路表损坏修补方面,聚合物改性水泥基材料的应用

也十分广泛,而且效果明显,具有良好的发展前景。20世纪80年代末,“高性能混凝土”的概念应运而生,人们广泛地在水泥混凝土中掺入高效减水剂和矿物细掺料,水泥混凝土的强度和耐久性得到很大改善。自此,水泥混凝土材料进入了高强高性能的发展时代。时至今日,国内外已经开发出了数种不同类型的改性水泥混凝土材料,各种材料均具有其独特的技术性能和施工方法,又分别适用于某一场合和环境。同时,聚合物改性水泥混凝土路面、纤维混凝土路面等一系列新型路面结构也层出不穷。工程实践证明,改性水泥基材料具有良好的工程经济效益,纵观其未来,具有广阔的应用空间。

近几年来,围绕着水泥混凝土路面建设中出现的许多热点和难点问题,特别是水泥基材料改性问题,笔者先后与广东省惠州公路局、广西壮族自治区高速公路管理局、吉林省交通科研所、新疆交通科研所等多家单位合作,研究开发了新型改性水泥基材料,用以水泥路面裂缝修补和公路小型构造物的防腐蚀,并铺筑了聚合物改性水泥混凝土复合式路面、纤维混凝土路面、高性能混凝土路面等多种新型路面试验段,研究成果获得多项省部级科技奖励。作者主持的交通部西部项目“道路混凝土组成设计”提出了一套真正基于路用性能的全新的多指标组成设计方法,该项目即将鉴定。多年的科研实践为改性水泥基材料的大规模应用以及本书的撰写提供了坚实的理论基础,同时积累了丰富的素材和宝贵的经验。

《改性水泥与现代混凝土路面》以作者近年来的科研成果为基础,详细阐述了水泥基材料的改性机理,介绍了不同类型改性水泥基裂缝修补材料的性能及其施工工艺,对聚合物改性水泥混凝土进行了宏观和微观水平上的深入研究,探讨了改性水泥混凝土复合式路面的设计方法,同时对纤维混凝土和高性能路面混凝土的结构性能也进行了细致分析。作者在本书中引用了国内外最新研究资料,介绍了透水性混凝土路面、低噪声混凝土路面、彩色混凝土路面等多种新型路面结构,阐述了我国水泥混凝土路面发展机遇及广阔前景,在依托实体工程

的基础上,力求为广大同行读者呈献一本全面、系统地介绍水泥混凝土材料新发展、新技术的著作,以期为我国公路交通事业的发展,特别是水泥混凝土路面的可持续发展尽一点微薄之力。

课题研究过程中,得到了广西壮族自治区高速公路管理局、广西交通科研所、吉林省交通科研所、广东省惠州市公路管理局、新疆交通科研所等多家合作单位的鼎力支持,每一项研究成果的取得都凝聚着许多课题参与者的智慧与心血。在资料收集及书稿整理过程中,研究生肖葳做了大量的工作。本书能够顺利与读者见面,作者要深深地感谢相关科研合作单位及课题研究参与者。

由于混凝土材料新技术发展非常迅速,加上作者掌握的技术资料不全和水平有限,书中不足之处在所难免,敬请专家和读者提出宝贵意见。

本书的编写及出版得到了国家西部交通科技项目的经费资助。

申爱琴

2008年5月于西安

目 录

第一篇 绪 论

第一章 水泥混凝土路面综述	3
第一节 水泥混凝土路面发展概况	3
第二节 水泥混凝土路面养护与维修现状	9
第三节 水泥混凝土路面的技术特点	18
第四节 水泥混凝土路面面临的新形势	19
参考文献	25
第二章 改性水泥基材料发展综述	27
第一节 改性水泥基材料发展沿革	27
第二节 改性水泥基材料的研究与应用概况	31
参考文献	45
第三章 水泥混凝土路面病害与防治	48
第一节 水泥混凝土路面常见病害类型	48
第二节 水泥混凝土路面裂缝及防治	50
第三节 水泥混凝土路面变形类损坏及防治	53
第四节 水泥混凝土路面接缝及表面损坏	54
参考文献	55

第二篇 改性水泥基路面裂缝修补材料

第四章 改性水泥基质材料	59
第一节 水泥基材料	59
第二节 高分子聚合物材料	73
第三节 聚合物结构与性能特点	90
第四节 矿物质超细粉	94

参考文献	99
第五章 聚合物乳液改性水泥基裂缝修补材料	103
第一节 改性水泥的流变性与工作性	103
第二节 水化及力学特性	108
第三节 收缩性能	115
第四节 界面黏结性能	116
第五节 耐久性	122
参考文献	126
第六章 矿物质超细粉改性水泥基裂缝修补材料	129
第一节 工作性能	130
第二节 收缩性能	134
第三节 力学及变形性能	137
第四节 界面黏结性能	139
第五节 耐久性能	142
参考文献	144
第七章 聚合物乳液改性机理	147
第一节 聚合物改性水泥的物相测试技术	147
第二节 聚合物改性水泥的孔结构	161
第三节 聚合物在水泥石中的结构形成过程	169
参考文献	173
第八章 水泥混凝土路面裂缝修补施工工艺	175
第一节 直接注浆法	175
第二节 压力注浆法	176
第三节 条带罩面法	177
第四节 表面覆盖法	178
第五节 扩缝注浆法	179
参考文献	179

第三篇 新型水泥混凝土路面

第九章 掺矿物质超细粉的高性能混凝土路面	183
第一节 高性能路面混凝土的定义及实现途径	186
第二节 高性能路面混凝土的组成材料	188
第三节 高性能路面混凝土配合比设计	193

第四节 高性能路面混凝土的技术性能	197
第五节 试验路面工程及施工工艺	208
参考文献	210
第十章 纤维混凝土路面	214
第一节 引言	214
第二节 原材料	216
第三节 纤维混凝土配合比设计	222
第四节 纤维混凝土的性能	227
第五节 纤维混凝土路面设计	239
第六节 纤维混凝土路面施工技术	243
参考文献	245
第十一章 聚合物改性混凝土复合式路面	249
第一节 复合式路面的类型	250
第二节 聚合物改性混凝土复合式路面面层材料设计	252
第三节 聚合物改性混凝土复合式路面结构设计	260
第四节 聚合物改性混凝土复合式路面的施工工艺	282
参考文献	284
第十二章 透水性混凝土路面	287
第一节 透水性混凝土发展概况	288
第二节 透水性混凝土的定义及分类	291
第三节 透水性混凝土的技术特点	293
第四节 透水性路面混凝土的组成材料	294
第五节 透水性路面混凝土的配合比设计	297
第六节 透水性混凝土路面的结构	300
第七节 透水性路面混凝土的性能测试方法	301
第八节 透水性路面混凝土的施工工艺	304
参考文献	306
第十三章 其他新型混凝土路面	308
第一节 低噪声水泥混凝土路面	308
第二节 彩色水泥混凝土路面	316
参考文献	320

第一篇

绪 论

第一章 水泥混凝土路面综述

第一节 水泥混凝土路面发展概况

一、水泥混凝土路面发展历史

水泥混凝土路面的发展历史已相当悠久,最早可追溯到很古老的年代^[1,2]。公元前1世纪,罗马人就利用具有胶凝性质的火山灰修筑了一些道路和广场工程,这从近代进行的考古发掘中可得到证明。由历史记载可知,我国混凝土路面和地坪的最早使用始于秦汉时期,在一些考古发掘中见到的“混凝土”就是以熟糯米浆和石灰作为胶凝材料,以砂和河卵石作为充填料,其粒料级配组成与现代水泥混凝土很接近,唯独胶凝材料不是水泥。

在水泥混凝土路面出现之前,英国工匠约瑟夫·阿斯普丁(J. Aspdin)于1824年取得了波特兰水泥的发明专利,这为水泥混凝土的出现及大规模生产应用提供了先决条件,从此近现代意义上的水泥混凝土路面开始发展起来。

1865年,英国在因佛内斯修建了全世界第一条水泥混凝土路面。

1913年,美国在阿肯色州的派因·布拉夫附近修筑了第一条水泥混凝土公路,该公路采用了24mile(1mile=1609.344m)长、9ft(1ft=0.3048m)宽、5in(1in=0.0254m)厚的条状混凝土路面。截至1914年年末,美国共使用波特兰水泥混凝土铺筑了2348mile的公路。

1914年,德国工程师弗里德里希·托德(Friedrich Todt)博士在柏林修筑了水泥混凝土路面汽车专用城市道路。

1924年,法国公路总部工程师Daniel Boutet在法国43号公路上开始进行连续板块式混凝土路面试验,随后铺筑了长度大约100km的水泥混凝土公路,当时采用的路面厚度为18cm。在此期间,比利时矿区道路也开始使用水泥混凝土路面。

1932年,德国试建了从科隆到波恩的双向四车道汽车专用公路,这是远程公路中技术标准最高的一类公路,路上车流连续高速行驶,取名Autobahn,英译

为 freeway 或 motorway,它是世界上第一条高速公路,全部采用水泥混凝土路面^[3]。德国于 1936 ~ 1939 年间建成的 Autobahn 公路如图 1-1 所示。

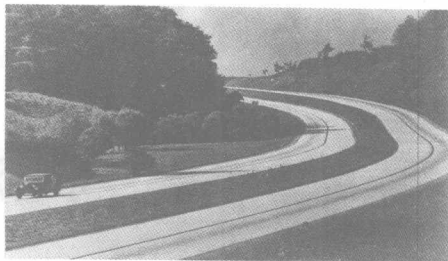


图 1-1 德国早期的 Autobahn 高速公路

第二次世界大战爆发之前,德国修建了上千公里高速公路,在战争期间,其里程数又增加了 561km,截至二战结束时,德国的高速公路总里程达到 2 128km。但是,战争给德国高速公路发展带来了沉重打击,在战后数年间,其建设进度几乎趋于停滞。与此同时,由于受战争影响较小,美国在道路设计与修筑技术上取得了很大突破,道路技术的进步使得混凝土路面铺筑更为迅速,成本更加低廉,耐久性不断提高。

进入 20 世纪 50 年代,各国经济逐渐恢复并出现了强劲的发展势头,西方主要发达国家纷纷出台了支持公路建设的政策和法案。最具代表性的为美国于 1956 年颁布的《联邦资助公路法案》(Federal Highway Act),该法案授权修建贯穿美国全境的公路网,确立了美国公路的发展框架。在这一时期,世界范围内的水泥混凝土公路建设飞速发展。20 世纪 70 年代,石油危机导致了世界性的经济危机,由于石油减产,日益蓬勃发展的沥青路面遭遇了严重挫折,世界各国的道路建设者再次将目光聚集到了水泥混凝土路面上。1983 年在澳大利亚悉尼召开的第十七届世界道路会议上,与会专家一致认为:在经济危机的持续以及石油产品价格的重大调整时期,水泥混凝土路面的重要性已很明显地被认识到。

20 世纪 90 年代末期,一些主要发达国家的水泥混凝土路面里程已经达到了一个很高的水平,以美国为例,其国内水泥混凝土路面已达 20 多万公里。由此可以看出,世界水泥混凝土路面的发展还是相当迅速的。总的来说,经过数十年的探索与研究,各种类型的水泥混凝土路面相关设计理论与方法已经日臻完善,与之相对应的施工技术在规范化方面也取得了实质性的进展。

二、国外水泥混凝土路面发展概况

国际上水泥混凝土路面的发展经历了两大时期,第一个时期在 20 世纪 30 ~ 40 年代,汽车工业的发展、战争物质和军队的调运,客观上对路面的质量提出了更高要求。当时几乎所有的发达国家,如美国、英国、法国、德国、比利时、日本等都竞相发展水泥混凝土路面,有的甚至将水泥混凝土路面技术扩散



图 1-2 美国宾夕法尼亚州的收费公路

到其殖民地、半殖民地国家。在这段时期内,水泥混凝土路面的施工方式主要依靠小规模人工操作并辅以少量小型机具。在公路建设蓬勃发展的同时,这个时期的公路投资方式也出现了一些新的变化:公路投资不再全部依靠政府,收费公路开始出现。20 世纪 30 年代中期,美国修建了全美第一条重要城市间的收费快速公路——宾夕法尼亚收费公路(Pennsylvania Turnpike),如图 1-2 所示。该公路是美国第一条实行收费的水泥混凝土公路。

第二个发展时期在 20 世纪 60~70 年代,世界性的石油能源危机使美国、法国、联邦德国等主要使用沥青建造高速公路网的国家认识到:必须尽量降低高速公路建设对石油沥青的依赖程度,以节约沥青资源和能源。在此期间,针对水泥混凝土路面的技术研究不断深入,发展了适用于多种地质条件的水泥混凝土新型路面结构,例如法国发展了预应力混凝土路面,闻名于世的巴黎奥利(Orly)机场跑道就采用了这种路面结构;美国则率先使用了连续配筋混凝土路面,取得了良好的工程效果。目前,美国大量高速公路和机场道面都采用了连续配筋混凝土路面,据统计,这种路面的总里程已超过 32 000km,经过二十多年的使用实践,绝大部分仍完好无损。

近年来,世界范围内的水泥混凝土路面仍保持了较好的发展势头,滑模摊铺等一系列施工技术得以普遍推广,低噪声混凝土路面、透水性混凝土路面等诸多新型路面结构被提倡使用。尽管人们对沥青路面的需求持续增加,但据相关资料统计^[4],在国外已建成的不同等级道路中,水泥混凝土路面仍占有很大的比重。在美国,经历了交通量与轴重大幅增长之后,使用年限能够超出设计寿命(20 年)的道路多数为水泥混凝土路面,美国的水泥混凝土路面占高级路面的比例达到 48.5%;在英国的新建干线道路中,水泥混凝土路面占到 55%;德国是大量使用水泥混凝土路面最早的国家,1960 年以前建成的高速公路几乎都是水泥混凝土路面,近年来新建的高速公路大部分也采用水泥混凝土路面;法国高速公路中有 30% 为水泥混凝土路面;比利时目前有 50% 的高速公路是水泥混凝土路面,并且规定新建高速公路全部采用水泥混凝土路面。

三、国内水泥混凝土路面发展概况

(一) 我国水泥混凝土路面发展现状

我国水泥混凝土路面已有 70 余年的发展历史,目前已经成为高等级路面的主要结构形式之一。水泥混凝土路面凭借其具有强度高、稳定性好、耐久性优良、日常养护工作量少、施工机械简单、抗水害能力强、材料来源广泛以及便于夜间行车等优点,在全国各级公路中被广泛采用。在我国高速公路以及城市道路中,水泥混凝土路面占有相当大的比重。

1924 年,浙江奉化溪口镇铺筑了我国第一条波特兰水泥混凝土路面^[5],当时的路面材料采用了由日本进口的水泥。后来,天津、沈阳等地也修筑了一些水泥混凝土路面,板厚大约 20cm。新中国成立后,原交通部对水泥混凝土路面给予了高度重视,水泥路面在城市道路中得到了大规模应用,但在公路上使用并不多。随着我国经济持续发展以及改革开放的不断深入,进入 20 世纪 90 年代,我国迎来了高速交通体系的大发展。在此期间,我国第一条水泥混凝土高速公路——安徽合宁高速公路(图 1-3)于 1991 年 10 月 4 日建成通车。合宁高速公路是安徽省第一条高速公路,也是安徽通往东部沿海地区的快速通道。值得一提的是,在 1991 年夏季的特大洪涝灾害中,肆虐的洪水淹没了大片城市和公路,唯有建成试通车的合宁高速公路成为安徽省与外界陆上联系的“诺亚方舟”。在这场特大灾害中,合宁路的水泥混凝土路面经受住了严峻自然条件的考验,显示出了优越的性能。因此,合宁路被原交通部评选为改革开放以来“全国十大公路工程”(第三名),国内外媒体也称其为“救命路”、“华东第一路”,合宁路成为水泥混凝土路面在高等级道路中成功应用的典范。

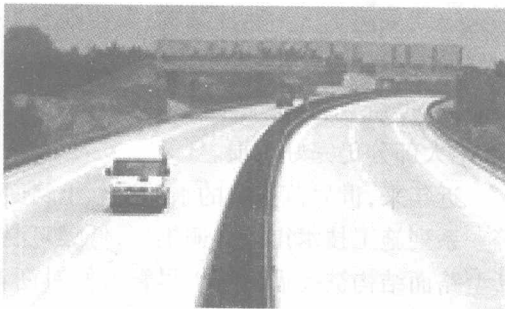


图 1-3 我国第一条水泥混凝土高速公路

进入 21 世纪,我国延续了加大基础设施投资的战略决策,国家对公路交通基础设施的投资逐年递增,公路建设呈现出一片欣欣向荣的景象。事实证明,大力发展交通基础设施的战略决策极大地拉动了内需,为我国经济的持续、健康、快速发展作出了不可磨灭的贡献。经过“九五”、“十五”两个时期的建设,全国公路总里程、全国高速公路总里程均实现了较大幅度的跨越。截至 2007 年年底,我国公路总里程已达 358.37 万公里,其中高速公路总里程达到

5.39 万公里。在全国有铺装路面中,水泥混凝土路面总里程达到 84.88 万公里,在我国现有路面结构中继续占据主导地位。从 1990 年到 2007 年的 17 年间,我国水泥混凝土路面里程共增长 837 427km,年平均增长率达 30.48%,实现了建国以来最辉煌的飞跃。我国水泥混凝土路面建设里程增长情况见表 1-1^[6]。

我国水泥混凝土路面建设里程

表 1-1

年 份	1990	1996	1997	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
里程(km)	11 373	56 625	68 740	118 576	140 745	167 517	199 000	257 125	306 622	646 400	848 800
在高级、次高级路面中的比例(%)	4.4	13.3	14.7	46.2	52.1	58.0	58.0	58.2	57.6	64.9	67.89

注:以上数据摘自交通运输部年度统计公报。

(二)我国水泥混凝土路面的发展历程

我国水泥混凝土路面的发展历程,大致可分为四个阶段。

第一阶段为探索学习阶段。建国初期,我国借鉴原苏联的建设经验和研究成果,制订了我国的《水泥混凝土路面设计规范》。后来受到“文革”的严重影响,国内针对水泥混凝土路面的研究工作被迫中断。这一阶段,由于我国的水泥工业落后以及汽车保有量少,全国水泥混凝土路面总里程在 1 000km 以内。

第二阶段为技术准备阶段。“文革”结束后,国家设立了水泥混凝土路面技术的重大攻关项目,原交通部组织了国内众多高校和科研院所展开联合研究,并取得了重大进展,编制了我国第一部以自身研究成果为基础的《水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 12—84)。这些研究成果和规范对我国水泥混凝土路面技术的发展起到了巨大的推动作用。经过此阶段的发展,我国水泥混凝土路面里程达到数千公里。

第三阶段为快速发展阶段。随着我国经济实力不断增强,发展与经济水平相适应的交通体系已迫在眉睫,特别是亚洲金融危机之后,国家加大了对以公路为代表的基础设施的投资力度。在这种形势下,我国水泥混凝土路面总里程由数千公里快速跃升至数万公里,年建成水泥混凝土路面达 10 000 ~ 20 000km。由于路面里程不断增加,水泥混凝土路面设计、计算理论也进一步深化,在许多方面达到或接近了国际先进水平。

第四阶段为稳步增长阶段。进入新世纪,党和政府将更多精力投入到“三