



THE PAVING TECHNOLOGY OF
**DURABLE CEMENT
CONCRETE PAVEMENT**
IN THE HOT AREA

湿热地区 耐久性水泥混凝土路面 铺筑技术

熊剑平 邓家喜 等 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

湿热地区耐久性水泥混凝土 路面铺筑技术

The Paving Technology of Durable Cement
Concrete Pavement in Hot Wet Area

熊剑平 邓家喜 等 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书在总结大量湿热地区水泥路面铺筑关键技术多年应用的基础上,分析了普通水泥路面技术在湿热地区可持续性发展中面临的挑战、机遇和发展方向,并通过对大量工程实体检测和长期观测结果的研究分析,对相关技术成果进行了改良、提升和实体工程实践完善,提出了较为系统的湿热地区耐久性水泥混凝土路面铺筑技术。

本书内容丰富,系统全面,可供从事道路工程研究、设计、施工人员及大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

湿热地区耐久性水泥混凝土路面铺筑技术 / 熊剑平等著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016.4
ISBN 978-7-114-13066-3

I. ①湿… II. ①熊… III. ①湿热区—耐用性—水泥混凝土路面—路面施工 IV. ①U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 121606 号

书 名: 湿热地区耐久性水泥混凝土路面铺筑技术

著 作 者: 熊剑平 邓家喜 等

责任编辑: 丁润铎 钱 堃

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 18

字 数: 317 千

版 次: 2016 年 4 月 第 1 版

印 次: 2016 年 4 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13066-3

定 价: 55.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

广西壮族自治区(以下简称广西)作为典型的湿热地区之一,是我国在高等级公路建设中水泥路面里程最多的省份。本书在总结广西等湿热地区水泥路面铺筑关键技术多年应用的基础上,分析了普通水泥路面技术(设接缝有传力杆或无传力杆的无配筋普通水泥混凝土路面)在湿热地区可持续性发展中面临的挑战、机遇和发展方向,并通过对大量工程实体检测和长期观测结果的研究分析,对相关技术成果进行了改良、提升,依托实体工程予以完善,提出了较为系统的湿热地区水泥路面耐久性提升技术。

在经典的水泥路面建模设计中,通常假定路面板置于连续、完好、完整的基础上,面层与基层、路面结构与路基之间均为连续紧密接触状态,路面各结构层内部均匀、各向同性且无缺陷,并同时在标准荷载作用下运营。但水泥路面的实际工作状态与理想建模工作状态相差较大,主要表现在以下方面:

1. 路基的工后差异沉降导致路面结构和路基之间出现显著脱空

湿热地区由于气候炎热多雨,部分路段因填料来源限制而使用各种不良土质填筑路基,填方路基的基底、边部与中部间、填挖交接处、路基与结构物交接处等部位会出现明显的工后差异沉降量,从而导致路面结构与路基之间出现显著的脱空。

2. 层间水的冲刷和溶蚀、温度变形差等作用导致基层和路面板之间出现显著脱空

雨水会从普通水泥路面的接缝或裂缝处下渗至路面板与基层层间,并在车辆动荷载的反复压力作用下形成高速运动的层间水,产生冲刷和溶蚀作用,导致路面板和基层之间出现显著的冲刷溶蚀类脱空;当基层刚度较高和外界温度明显降低时,整体性的基层和路面板之间由于温度变形差异,会存

在较为显著的温度翘曲类脱空。

3. 施工条件变化导致路面混凝土内部存在显著的施工变异性

由于现场施工条件(环境气候条件,路面混凝土的原材料质量、搅拌和运输及摊铺条件、摊铺密实与成型工艺等)与试验室试件制备的标准条件不同,导致路面混凝土的施工性能与设计目标之间存在较大的变异性,形成外分层和内分层质量变异现象,同时平整度和抗滑等表面功能也无法满足设计要求。

4. 重载和超载导致路面板的损坏速度远远高于标准荷载条件

超载和重载车辆在我国公路运营车辆中已占有一定比率,会导致路面板的疲劳开裂寿命成倍降低,特别是当路面板和基层、路面结构与路基之间出现脱空时,路面板极易出现断裂、断角或错台等严重病害。

本书对上述四种影响因素进行了系统的分析研究,相应提出了针对缓解路基差异沉降变形影响采用的路床稳定性技术和粒料变形协调层技术,针对减小基层与路面板之间的冲刷溶蚀脱空和温度翘曲脱空影响程度所采取的基层与功能层组合技术,针对抵御重载和多雨环境影响的面层结构尺寸设计与接缝设计技术和路面综合排水技术,针对降低路面混凝土施工变异性的水泥路面施工变异性控制技术。上述技术被集成再创新并融合为“哑铃式”路面结构设置与施工技术,并已在多个实体工程中得到不同程度的应用,表现出了较传统水泥路面铺筑技术更为优越的使用性能和经济社会效益。此外,本书针对如何缓解或克服传统水泥路面存在的缺陷和不足,介绍了几种水泥路面养护和性能提升技术。

本书是编写组成员多年研究和工程实践的总结,也是对近年来湿热地区水泥路面技术应用经验和教训的回顾和反思,集成了包括国家西部交通建设科技项目“水泥混凝土路面施工变异性及控制技术研究”(项目编号:2007 318 22301-5)、“道路水泥混凝土组成设计研究”(项目编号:2005 318 812 02)、“水泥混凝土路面基层长期性能研究”(项目编号:2006 318 000 05)和广西交通科技项目“耐久性路面实用技术”(项目编号:桂交综合发[2008]75

号)等多个省部级交通科技项目成果。“哑铃式”路面技术通过在多个实体工程中不同程度的应用实践和不断完善下,已成为较为系统的指导湿热地区水泥路面建设的实用性技术体系,相关技术成果获得了2014年广西科技进步二等奖。

本书是在广西道路结构与材料重点实验室的支持资助下编写的,主要人员编写分工如下:第1章、第3章、第5章、第7章、第8章由熊剑平、邓家喜、王浩、李平编写;第2章、第4章、第6章、第9章由梁军林、熊剑平、王浩、张红波、谭华、岳爱军、李平编写;全书由熊剑平负责规划和统稿,邓家喜、王浩进行审稿和校正。本书在编写过程中得到了交通运输部公路科学研究院田波研究员的指导和帮助,中国公路学会原副理事长顾敏浩教授在本书编写过程中给予了很多意见和建议,在此一并感谢。书中不足之处在所难免,请广大专家和读者提出宝贵意见。

作 者

2016年4月

目 录

第1章 国外水泥路面技术的发展与现状	1
1.1 水泥路面的使用状况	1
1.2 路面结构设置	3
1.3 路面铺筑材料	11
1.4 施工工艺与检测设备	14
1.5 欧美技术的可借鉴之处	18
第2章 湿热地区水泥路面的特点及路面技术的发展	23
2.1 水泥路面的典型损坏模式	23
2.2 湿热地区使用环境对水泥路面的影响	30
2.3 典型湿热地区水泥路面技术的发展与现状	40
2.4 湿热地区水泥路面技术面临的挑战、优势与发展方向预测	50
第3章 稳定基础——路基稳定性技术和粒料层技术	59
3.1 路基稳定性技术	59
3.2 粒料层技术	84
第4章 减少脱空——基层和功能层实用技术	101
4.1 湿热地区主要使用的基层和功能层种类	101
4.2 基层和功能层应用工程实例调研	102
4.3 国外使用经验	133
4.4 对基层和功能层组合的设计与施工建议	137
第5章 提高承载——路面板的结构与构造设置技术	140
5.1 面层的结构与构造设计技术要点	140
5.2 面层厚度对水泥路面使用性能的影响	141

5.3 面层构造对路面使用性能的影响	151
第6章 减少变异——大厚度面层施工变异性控制技术	163
6.1 大厚度面层的施工变异性	163
6.2 原材料技术性能的变异性控制	166
6.3 混凝土组成设计的变异性控制	178
6.4 拌和及运输过程中的变异性控制	185
6.5 摊铺过程中的变异性控制	194
6.6 “湿接湿”双层摊铺技术	204
第7章 加强排水——路面排水技术	206
7.1 表面排水	206
7.2 路面内部排水	207
7.3 中央分隔带排水	209
第8章 实践与体会——实体工程的铺筑	210
8.1 筋竹至岑溪高速公路实体工程	210
8.2 隆林至百色高速公路实体工程	219
8.3 低塑性混凝土的施工实践	222
8.4 实体工程所用技术的效益分析	231
第9章 改良与提升——水泥路面养护和性能提升技术的发展 与应用	236
9.1 水泥路面病害防治与养护技术的发展	236
9.2 新旧水泥路面加铺沥青罩面技术的发展	252
9.3 内养护混凝土技术的发展	266
附表	271
参考文献	274

第 1 章 国外水泥路面技术的发展与现状

1.1 水泥路面的使用状况

西方国家倾向于在交通量繁重的路段修建水泥路面,水泥路面在高速公路网中占有一定比率。美国和德国多使用无配筋带传力杆的普通水泥混凝土路面(以下简称 JPCP),荷兰、比利时和法国则有采用连续配筋路面(以下简称 CRCP)的传统。在欧洲,水泥路面被视为长寿命路面,设计寿命一般为 25 ~ 30 年,实际使用寿命一般会 longer,如图 1-1 和图 1-2 所示比利时两条寿命超过 50 年的道路,其中图 1-1 为比利时 1925 年铺筑的第一条水泥路面道路——洛林大道,使用至 2003 年才进行罩面。



图 1-1 比利时第一条水泥路面——洛林大道

注:图片为未罩面前影像。

欧洲在 20 世纪后半期已完成了大规模的基础性建设,近年来在水泥路面建设方面主要是加铺改造,大多数是在旧水泥路面上采用沥青罩面,也有部分采用普通水泥混凝土或者配筋混凝土罩面,如图 1-3 和图 1-4 所示。



图 1-2 比利时第一条水泥混凝土罩面路面
注:图片拍摄于 2006 年,此时该路面已服务 45 年。

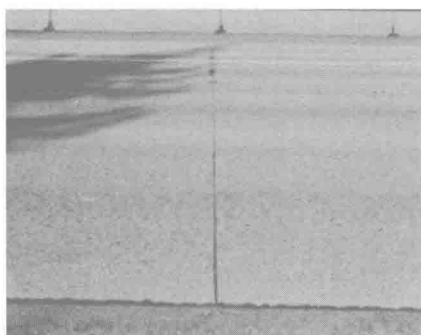


图 1-3 英格兰采用薄层沥青罩面加铺旧水泥路面



图 1-4 比利时在 E40/A10 公路旧水泥路面上加铺连续配筋混凝土罩面

水泥路面在美国同样被认为能够有效承受重载作用,因此在城市附近的州际公路中铺筑了更多的水泥路面,且使用寿命大多可超过设计期限,如图 1-5 所示。1991 年 FHWA 调查发现,很多路面实际承载了相当于设计两倍的交通量。



a) 华盛顿的I-5公路



b) 加利福尼亚的I-10公路

图 1-5 美国两条长寿命水泥路面

注:图片拍摄时两条公路已分别使用 33 年和 51 年。

1.2 路面结构设置

1.2.1 典型结构

美国在 20 世纪 50 ~ 70 年代的交通大发展时期修筑的公路水泥路面典型结构形式如表 1-1 所示。

美国交通大发展时期的公路水泥路面典型结构

表 1-1

修筑时期	垫层类型/厚度	基层类型/厚度	面板类型/厚度
1970 年	粒料垫层(碎石和砂砾为主)/(20 ~ 40cm)	CTB/(10 ~ 15cm)	变横缝间距(3 ~ 4.5m)普通混凝土面板/(22 ~ 28cm)
1960 年	部分未设;部分采用砂砾垫层/(30cm 以上)	CTB/(10 ~ 15cm); 碎石/(15cm 以上)	等(变)横缝间距(3.5 ~ 6m)普通混凝土面板/(22 ~ 30cm)
1950 年 及以前	砂砾或碎卵石垫层/(30 ~ 60cm)	CTB/(7.5 ~ 15cm)	等(变)横缝间距(3 ~ 5m)普通混凝土面板/(20 ~ 25cm)

注:CTB:水泥稳定基层。

在 20 世纪 70 年代后,鉴于欧洲的轴载较美国更重,但水泥路面的使用性能更为良好,由 FHWA、美国各州公路与交通运输协会(AASHTO)、美国国家高速公路研究合作计划(NCHRP)三方合作,以吸收各国先进实践经验提高美国水泥

路面铺筑技术水平为目的,从 1990 年开始先后派出了 70 个参观队伍,对欧洲、南非和加拿大的水泥路面设计与施工技术进行了详细考察,相关研究报告提供了欧洲使用最广泛的两类重载水泥路面——带传力杆普通混凝土路面(JPCP)和连续配筋混凝土路面(CRCP)的结构形式,如表 1-2 所示。

西方部分国家重载水泥路面典型结构

表 1-2

国家	面板类型(厚度)	面板长度	基层(厚度)	垫层(厚度)
法国	CRCP(17~25cm)	—	LCB/CTB(12~22cm)	未明确
	JPCP(22~28cm)	4~5.5m	LCB(12~22cm)	未明确
奥地利	JPCP(25cm)	5.5~6m	5cm 厚 AC 功能层+20cm	按所需的最小承受力设置
德国	JPCP(26~30cm)	5m	CTB/LCB(15~25cm)	粒料层(30~60cm)
	JPCP(26~30cm)	4~5m	10cm 沥青稳定基层	粒料层(30~60cm)
	JPCP(30cm)	4~5m	30cm 碎石基层	粒料层(30~60cm)
荷兰	CRCP(26~28cm)	—	20cm LCB	40cm 厚砂垫层
比利时	CRCP(23cm)	—	6cm AC+20cm LCB	粒料层(>20cm)
	JPCP(25cm)	5~6m	6cm AC+20cm LCB	粒料层(>20cm)
加拿大	JPCP(25~32cm)	4~6m	15cm 粒料基层	考虑抗冻厚度
	CRCP(27~29cm)	—		
南非	JPCP(23cm)	4.5m	CTB(150mm)	天然砂砾(2×150mm, G10/1 200mm)
日本	JPCP(25cm)	4.5m	6cm AC+CTB(150mm)	天然砂砾(2×150mm, G10/1 200mm)

注:LCB:贫混凝土基层;CTB:水稳基层;AC:沥青基层。

美国在学习欧洲经验之后,由 FHWA 和密歇根州交通局(MDOT)合作,于 1993 年在克莱斯勒高速公路(NB I-75)底特律段铺筑了 1mile^①的德国路面结构试验段,并在相邻处采用密歇根州传统路面结构铺筑了对比路段(图 1-6)。如表 1-3 所示,并通过长期观测以探求欧洲路面设计经验是否对美国有所帮助。

欧洲路面设计和密歇根州传统路面设计

表 1-3

类别	德国试验段路面结构	密歇根传统路面结构试验路
路基	移除旧路面结构后确保路基达到 95% 的压实度	旧路路基
垫层	40.6cm 的碎石垫层,采用良好级配(低渗透性)并压实到最大重度的 100%	利用旧路的 30.5cm 砂垫层

① 1 mile = 1 609.344m。

续上表

类别	德国试验段路面结构	密歇根传统路面结构试验路
基层	15cm 的贫混凝土基层,板长 4.5m,横缝位置与路面对齐	10.2cm 厚 6% 水泥稳定排水基层
面层	19cm + 6.4cm 厚双层式路面,顶层为露石表面(图 1-6),横缝间距为 4.75m	28cm 钢筋网增强路面,横缝间距为 12m
成本	为密歇根传统路面结构的两倍	—

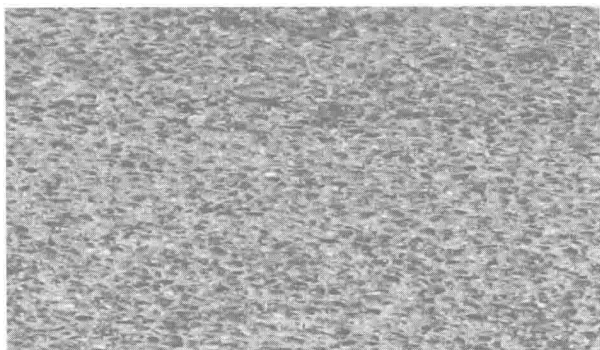


图 1-6 密歇根州修筑的露石表面试验段

2007 年,两个部门在试验路运营 15 年后联合进行了检测,结果是两者的路面破损率都不高,均表现出良好的性能,但密歇根州传统钢筋混凝土路面结构的使用性能更为优异,养护工作量更少。露石表面则因为施工工艺不熟,导致表面集料间距太大,露石表面未充分达到抗滑、降噪效果,剥落开裂的情况较严重。

在不断地对比验证之后,美国借鉴了欧洲的大厚度粒料垫层与沥青混凝土功能层设计理念,并沿用了美国长期以来使用效果良好的柔性基层和排水基层设计,将其充实到本国的水泥路面设计之中,如美国伊利诺伊州 2008 年铺筑的一条高速公路的结构为:330mm 厚度的设传力杆的普通混凝土路面板 + 40mm 厚的 AC-16 沥青混合料上基层 + 250mm 厚的级配碎石中基层 + 260mm 厚的级配砂砾下基层。普通公路从造价等方面考虑,更多地采用了半刚性基层,如美国加利福尼亚州采用的典型水泥路面结构形式为:25cm 厚路面板 + 15cm 厚贫混凝土基层 + 15 ~ 20cm 厚的级配碎石垫层。美国纽约州规定设计寿命为 50 年的水泥路面典型结构为:225 ~ 325mm 厚的路面板 + 100mm 厚水泥稳定排水基层 + 300mm 厚粒料底基层,在外侧车道加宽 0.6m。

1.2.2 路基

国外对路基施工质量非常重视,尤其是路床的压实控制和路床填料的质量,常直接采用山砂、碎石、砂砾或者旧水泥路面再生料等粒料类填料填筑路床。对路基承载力和模量的要求则大同小异,如对路基的密实度(压实度)国外大多规定不应低于95%,在最上层的30~50cm厚度内不得低于98%~100%。德国要求路基的最低承载模量为45MPa;日本规定面板下地基反力模量不得小于35MPa;比利时要求路基的CBR值不得低于100%~300%。一般如果规定的压实度和路基模量难以达到,相关规范会建议通过换填粒料或其他方法对路基补强。

欧洲国家从路基施工开始便注重排水,如德国和奥地利等国的路床表层坡度为4%,以加快排除从中央分隔带进入主车道的水;重交通车道下路床表面的坡度通常会增至4.5%,以确保排水更快。

为了保证路面实际工作状态符合层状体系结构计算理论,国外对路基提出了较高的平整度要求,如美国要求高速公路路基、基层和路面平整度指标都低于3mm。相比之下,我国要求面层的平整度为3mm,路基的平整度要求则放宽至10mm,基层的平整度要求为5mm,导致了路基与路面施工交接的问题。

路基的差异沉降是水泥路面开裂错台的根源之一,国外对此常采取如掺各类结合料稳定路基、辅助强夯或冲击压实、使用粒料垫层等措施以缓解,但如果路基填筑高度较高或土质不好时,这些措施有时难以达到预期效果。对此国外常采用分期修建的方法,允许在铺筑路面前路基有一定的沉降,如奥地利在山区快速干道中先铺筑约14cm的临时沥青面层,在观测的基础上经过4~8年的使用沉降期,确认路堤沉降中止后再加铺22cm的连续配筋混凝土面层。美国在部分山区高速公路也有类似的要求。

1.2.3 粒料层

国外对粒料层的设计与施工非常重视,如欧洲不少国家虽然在规范中要求粒料层的厚度设计只需满足抗冻性要求,但倾向于采用较抗冻要求更厚(如30cm或以上)的粒料层。粒料层中的细料很少,如德国不允许NO.100号筛(0.015mm)的通过率超过15%。美国的高速公路和机场道面施工时会控制粒料层的级配,限制0.5mm以下细料的含量,如机场规范要求将0.075mm的通过率控制在3%~5%。

南非对路基填筑质量格外重视,除了对不良路基填料会采用水泥或石灰处治外,典型路面结构都会采用粒料层,如高速公路会在未处治基层下设置15~



30cm 的粒料或稳定粒料层。南非数十年来还在底基层下使用厚度超过 1m 的碎石粒料层(以下简称 G1),该粒料层由最大粒径为 37.5mm 的密级配、破碎、未风化坚硬的碎石组成,要求所有的碎石包括细集料都必须从同一类母岩得到,G1 层的压实度接近改进 AASHTO 压实密度的 105% ~ 108%。后期的检测表明,使用多年后的 G1 层的外貌接近水稳结构层,没有松散的征兆。

国外较少使用压实度检验粒料层的压实质量,许多国家包括德国、奥地利和美国的一些州使用承载板来检测路基和粒料层的施工质量;奥地利等国还使用智能压实控制设备,利用压路机的自动反馈功能检验压实质量;南非发明了一种叫加载模拟器(HVS)的设备用于在现场模拟加速测试路面的施工质量。

近年来,从环保角度考虑,各国在粒料层中采用了多类回收材料,包括废旧沥青混合料、混凝土破碎料和其他建筑废料等。

1.2.4 基层

欧洲国家多使用半刚性基层和刚性基层,美国倾向于使用柔性基层,包括各类排水基层。

20 世纪 20 年代的学者一般认为,基础强度的大小对路面板在车轮荷载作用下所产生的内部应力影响不大,因此对路面板下是否设置基层并不予以重视,甚至将面板直接铺筑在土基上。但 20 世纪 40 年代中期后,各国普遍认识到水泥路面大多由于土基不稳定而导致开裂破坏,出于防冻或其他目的,许多国家开始重视基层的设置,并一般采用 20 ~ 25cm 厚的天然砂砾、水泥石、石灰土以及水泥或石灰加固砂砾基层。

20 世纪 50 年代后很多国家对基层进行了大量调查研究。意大利的调查表明坚硬基层上的水泥路面经 40 年的使用后仍良好,而铺在土基上的仅十余年即破坏;匈牙利的调查表明碎石基层上的路面有 98.3% 处于良好状态,1.2% 和 0.5% 处于中等和恶劣状态,而直接铺筑在土基上的处于良好状态的面板为 85.6%,处于中等和恶劣状态的分别达到 9.1% 和 5.3%;比利时的试验路表明,25cm 厚砂、15cm 厚碎石和 15cm 厚水泥石三种基层上的路面在使用 4 年后,三者的路面板破坏率分别是 23.4%、21% 和 0%;联邦德国认为在 20cm 厚的水泥石基层上的路面板板底弯拉应力比直接设在土基上的要减小到 1/7 以下。

20 世纪 60 年代后各国推广使用强度高、稳定性和平整度好的水泥稳定基层和贫混凝土基层。欧美各国在干线公路中多采用水泥稳定基层和贫混凝土基层,也有部分国家和地区采用沥青稳定碎石或砂砾基层,个别国家采用粉煤灰、石灰或粉煤灰和石灰混掺的稳定基层。

使用透水基层(包括路肩下部的排水管道)是美国重交通路面防止水破坏和唧泥的重要技术措施,目的是迅速排除进入路面内部的水分。透水基层有三种,第一种是无砂大孔贫混凝土基层,水泥用量为 $100 \sim 180 \text{ kg/m}^3$;第二种是沥青稳定类多孔基层;第三种是非稳定类的碎石粒料基层。三种透水基层都是开级配,非稳定碎石粒料的最小渗透系数为 $150 \sim 6\,000 \text{ m/d}$,透水性贫混凝土、水泥或沥青稳定粒料的渗透系数为 $300 \sim 6\,100 \text{ m/d}$ 。加拿大和日本也倾向在重交通公路中采用沥青稳定开级配排水层。

厚度与强度是基层两个最重要的设计与施工指标,美国国家高速公路和交通运输协会(AASHTO)的试验路说明,不论何种基层,当厚度在 $8 \sim 23 \text{ cm}$ 范围内,其上的路面板的破坏率是相同的,但如将一设有 15 cm 厚基层的面板和一无基层的面板相比,前者的使用年限较后者要长 $1/3$,因此水泥路面虽然要求设置基层,但厚度不必过大, $15 \sim 30 \text{ cm}$ 已足够。这与经典结构设计理论中认为荷载主要由面板承受,基层不是主要的受力结构层,因此不必太厚太强的理念相通。从表 1-3 中可以看出,国外的水稳基层和贫混凝土基层的厚度一般都不会超过 20 cm ,如德国新建或改建路面主要使用 15 cm 的贫混凝土或水稳基层;奥地利多使用 20 cm 左右的贫混凝土基层;美国的水稳基层或贫混凝土基层厚度大多在 $15 \sim 20 \text{ cm}$ 之间,柔性的沥青稳定基层的厚度大都在 $15 \sim 30 \text{ cm}$ 之间,粒料基层由于承载力差,结构设置厚度要大一些,有时候会超过 40 cm 。

美国的实测表明:当轴载 10 t 、轮载 5 t 时,基层上仅承受 0.03 MPa 的应力,因此基层的强度不必要求很高,最重要的是均匀性和稳定性要好。FHWA 在 1993 年组织的调查中发现,许多 20 世纪 50、60 年代或之前修建的路面未设基层和垫层,仅控制路基的压实度,但由于上路床使用了粒料且压实质量较好,路面的使用情况尚好,错台不大,绝大多数水泥路面设置基层的目的与其认为是提供支撑不如认为是防止唧泥。相关观测也表明,提供了均匀支撑的低强度基层比支撑不均匀的高强度基层的使用性能要好,高强度基层反而因为温度应力过大,导致面板出现温度开裂现象。因此,一些国家对基层的强度进行了限制,如德国水泥稳定基层的 28d 设计抗压强度为 6 MPa ,贫混凝土基层的 28d 设计抗压强度为 12 MPa ;美国机场道面规范规定水稳基层的 7d 抗压强度不超过 5.2 MPa ,压实层厚限制在 20 cm 。限定贫混凝土基层的 7d 最低强度为 5.2 MPa ,28d 最高强度为 8.3 MPa ;日本倾向于使用排水性的水稳基层或沥青基层,贫混凝土基层的 28d 无侧限最高抗压强度为 12 MPa 。当然这里需要说明的是,国外普遍使用圆柱体抗压强度,同等强度下的测试值大约等同于我国所使用的立方体抗压强的 80%。



1.2.5 功能层

功能层又称中间层、分隔层、封层等,是设置在面板和基层之间的厚度较薄、一般起功能辅助而非结构承载目的的结构层次。以往功能层被认为是基层的附属物,但随着现代路面技术对路面结构层间作用的愈发重视,功能层逐渐演变为一个单独的结构层次并发挥其作用和功能。

有学者认为当路面板和(半)刚性基层达到有效黏结时,路面受到车辆荷载后,路面板和基层整体受力,此时主要依靠基层底部受拉,面板以受压为主,面板破坏趋势减小。但也有学者认为,基层相较面层更不受拉,受拉时易开裂,无法给面板提供有效支撑,反而因自身破坏而导致面板过早出现病害。因此,面板和基层之间黏结抑或分离两种模式哪种对路面受力更为有利仍在争论中,不过近年来工程界更倾向于层间分离模式。

早期为了便于面板的伸缩滑动和降低面板内部的温度应力,大多数国家会在面板与碎(砾)石基层之间铺筑2~5cm厚的砂质整平层。但在应用中发现,砂垫层不易压实,施工期间又易被运料车扰动,浇筑混凝土时砂垫层又会吸水而影响混凝土的品质,导致面板与基层之间形成软弱夹层,在面板接缝处引起唧浆等病害。因此20世纪60年代后各国趋向于取消砂垫层,改为铺设塑料薄膜、1~2cm厚的沥青砂以及5~10cm厚的沥青砂砾(碎石)混合料,部分国家还采用了薄层沥青混凝土。

20世纪70年代后,奥地利、法国、比利时和澳大利亚等国多采用4~6cm厚的沥青混凝土作为水稳或贫混凝土基层与路面板之间的功能层,如比利时在1977年前倾向在20cm厚的CRCP和20cm厚的贫混凝土基层之间设置6cm厚的沥青混凝土功能层;在1977~1991年间为了节省造价取消了功能层,但随后便发现了贫混凝土基层的溶蚀破坏和纵缝唧浆等问题;1992年研究发现了CRCP设计的几个问题后,相关标准设计重新引入了6cm厚的沥青混凝土功能层。

德国早期追求路面板和水稳基层或贫混凝土基层之间的黏结,为了提高黏结效果还会在基层顶面拉毛,同时在基层对应于面板横缝的位置切缝。20世纪70年代后,德国更多地采用在水稳基层上铺筑5mm厚的土工布、无纺聚乙烯或聚丙烯织物功能层的做法,德国认为混凝土浇筑时砂浆会浸润土工布,使其具备足够的刚度,可作为有效的分隔层和排水层,但此时面板厚度需较黏结状态增加1cm。

美国在20世纪90年代前不太重视功能层,部分项目不采用功能层,也有直接采用水稳基层养护用的塑料薄膜或土工布作为功能层。20世纪90年代美国