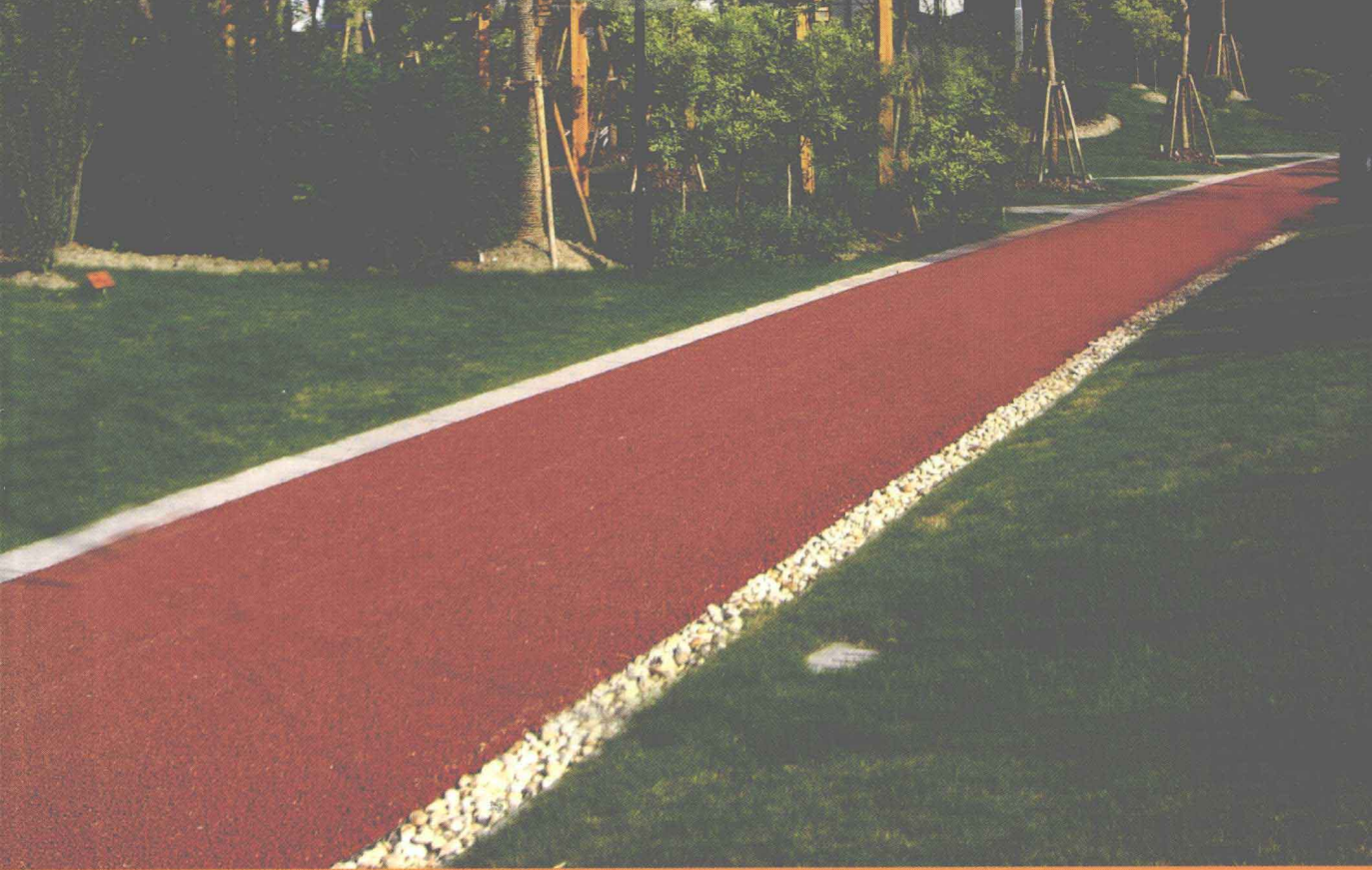




porous asphalts

The theory and practice of

排水性

沥青路面理论与实践

■ 徐 斌◎编著



人民交通出版社
China Communications Press

The theory and practice of porous asphalts

排水性沥青路面理论与实践

徐 斌 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书阐述了目前世界上关于排水性沥青路面(或称 OGFC, 多空隙沥青路面等)结构与功能设计的最新理论, 包括了排水性沥青路面的效益及其机理, 缺陷及其对策, 以及结构学、水力学与水文学、声学、热学、光学等方面的设计思想、设计理论与设计方法。同时, 本书还从原材料的选择、配比的设计、生产施工工艺、养护技术以及工程实例五方面着手, 对排水性沥青路面的具体实现过程进行了详细的讨论。

本书可作为科研院校的参考用书, 也可提供有志于了解、实施或管理排水性沥青路面的机构与个人作为指南性资料。

图书在版编目(CIP)数据

排水性沥青路面理论与实践/徐斌编著. —北京:
人民交通出版社, 2011.5
ISBN 978-7-114-09006-6

I. ①排… II. ①徐… III. ①排水性路面: 沥青路面
—道路工程 IV. ①U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 058701 号

书 名: 排水性沥青路面理论与实践

著 作 者: 徐 斌

责任编辑: 刘永芬

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) 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: 787×1092 1/16

印 张: 25.25

字 数: 596 千

版 次: 2011 年 6 月 第 1 版

印 次: 2011 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09006-6

定 价: 60.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



序

随着日本对排水性沥青路面的普及,美国新一代 OGFC 的推广,以及欧洲寻求低噪声路面的不懈努力,近十几年来,多空隙沥青路面技术得到了飞速的发展与应用,尤其是在高黏度改性沥青、排水机能恢复设备以及排水路面效益的挖掘和病害的分析与对策研究方面。同时,以多空隙沥青路面为核心的双层排水性沥青路面、保水性路面、透水性路面、半柔性路面等新型路面的研究也取得了长足的进展。因此,总结排水性沥青路面技术,推广排水性沥青路面经验,引导排水性沥青路面发展,徐斌博士此书出版正适其时。

随着道路建设的逐渐深入与城市建设的逐渐完善,道路面积占城市面积的比例越来越高,在城市自身问题越来越突出的背景下,道路越来越多地承载了人们对于改善城市环境的期望。徐斌博士以排水性沥青路面为着眼点,叙述了道路在增强车辆或市民出行安全性、降低交通噪声、缓解城市热岛效应、营造城市景观,乃至消纳城市废弃物,实现可持续发展的可行性与实现途径,具有很强的现实意义与指导意义。

徐斌博士与他的技术团队一起,从 2001 年开始接触排水性沥青路面,并在这方面学习了大量的国内外技术,同时修建了大量的实体工程,还实现了直投式高黏度改性剂、排水机能恢复设备等的自主生产,尤其是 2009 年在上海中环线东段与机场北通道 31km 世博配套工程和世博园区内排水性沥青路面的成功应用,使得本书的编写有着丰富的技术基础和实践背景,对今后排水性沥青路面进一步的研究和应用,有着非常实际的借鉴作用。

徐斌博士是从 2009 年开始编写本书的,在繁重的经营工作的同时,利用每一天的点滴时间,查阅文献,总结经验,独立写出 13 章几十万字的书稿,殊为不易,体现了作者本人对于排水性沥青路面技术的浓厚兴趣,所具有的包括道路工程、材料科学、水力学、声学、热学、光学等方面全面的知识基础,以及作为青年科技工作者一种强烈的社会责任感与使命感。

本人乐于为本书作序,也借此机会呼吁此类沥青路面的进一步推广!



前言

2010年上海世界博览会已圆满结束,但世博会的主题“城市,让生活更美好”却已深入人心。随着近10年来大规模的城市基础设施建设,道路已经成为了城市极其重要的组成部分。据相关数据介绍,道路面积占了发达城市总面积三分之一到二分之一的比例,道路所带来的拥堵、噪声、事故、酷热,乃至低洼路段积水无法排除时的城市局部泛洪,都已成为现代城市发展之中的隐痛。寻求相关的技术解决方案,已经成为国际有识人士的共识。在这方面,欧洲将排水路面以及以排水路面为基础的双层排水路面、多孔弹性路面等作为降低交通噪声的备选方案,美国多年以来一直用OGFC作为高速公路的抗滑安全表层,日本更是推出保水性铺装、透水性铺装、遮热性铺装,道路一向非黑即白的单调正逐渐被打破,世界道路开始从结构性时代进入到功能性时代!

浦东尽管位于我国改革开放的前沿,但道路技术的起步却相当晚。1999年,笔者有幸聆听了沈金安老师、李舜范总工等关于SMA路面的理论知识与施工技术,并于同年参与了上海浦东路桥建设股份有限公司在上海浦东南干线(外环线南段与迎宾大道)23.7km的SMA路面铺设,当时号称全国一次性施工最长的SMA路面,大规模采用了当时还比较少见的SBS现场改性沥青,既使浦东的道路技术迈上了一个新台阶,同时也使本人对道路新技术充满了浓厚的兴趣与求知欲望。

2001年,很有幸,笔者结识了日本大有建设株式会社中央研究所的中西弘光所长,了解了排水性沥青路面在日本使用的普及性。同时在浦东建设董事长葛培健先生与浦东新区公路管理署总工程师王国培先生的支持下,于2002年10月在浦东北路修建了据称是中国第一条采用高黏度改性沥青的、空隙率在20%以上的排水性沥青路面,本人与浦东建设再一次拥抱了道路界最前沿的技术。

2004年,浦东建设与上海交通大学合作的直投式高黏度沥青改性剂研制完成,并在浦东冬融路首次成功应用;2006年,浦东建设在浦东豆香园首次铺设彩色排水性沥青路面;2009年,浦东建设在浦东新区世博配套工程的中环线、机场北通道上一次性铺设全长31km的排水路面,也是迄今为止国内单体工程一次性铺设距离最长的;2010年,浦东建设又完成了上海世博园区排水性沥青路面的铺设,为当年上海世博会的顺利召开铺平了道路。这期间,笔者不止一次地有想整理多年以来学习排水性沥青路面技术心得的念头,但直到2011年,才最终完成书稿写作。

作为一本学术性的书,笔者努力提供给读者经过实践检验或公开发表的相关成



果,而不带企业的感情色彩,笔者希望最终实现了这一目标。同时,有感于排水性沥青路面突出的表面功能,笔者也希望全国同行能以宽容的心态积极予以推广,任何路面都有瑕疵,决不可因噎废食!在笔者推广排水路面的过程中,许多业主都提出了对排水路面堵塞的担心,我想读者读完本书后,应能有一个恰当的判断。

另外,笔者也希望全国的同行,能紧跟国际研究的步伐,在以排水性沥青路面技术为基础的双层排水性沥青路面、保水性沥青路面、透水性路面、多孔弹性路面、半柔性路面等新型铺装技术上取得技术突破与实体应用,为建设安全、美丽的生活环境贡献道路工作者的智慧!

在笔者写作本书的过程中,得到了同济大学吕伟民教授的全面指导,得到了意大利专家 Ranieri 教授的默默支持,还有浦东建设的朱良镭、刘钢、闫国杰、连萍、赫振华,上海交大的王仕峰,同济大学的任惠清,浦东新区公路管理署的黄律群等人在各方面给予了支持与帮助,在此一并表示感谢!

限于笔者的知识与水平,书中难免有不尽之处,望读者不吝指正。

作 者

2011 年 5 月

目 录

第一章 概述	1
1.1 排水性沥青路面的应用概况	1
1.1.1 简要历史	1
1.1.2 应用现状与未来发展	2
1.1.3 我国使用排水性沥青路面的情况	4
1.1.4 讨论	5
1.2 概念解析	6
1.2.1 最大空隙率与最小空隙率	6
1.2.2 有效空隙率与侧向排水	7
1.2.3 排水性沥青基层	8
1.3 排水性沥青路面的效益与缺陷	8
1.3.1 效益	8
1.3.2 缺陷	9
第二章 排水性沥青路面的使用效益及机理分析	11
2.1 讨论背景	11
2.2 安全效益	14
2.2.1 水漂	14
2.2.2 滑动阻力	16
2.2.3 水花与水雾	19
2.2.4 眩光	20
2.2.5 小结	22
2.3 环境效益	23
2.3.1 轮胎—路面噪声	23
2.3.2 热岛效应、全球变暖与凉爽路面	28
2.3.3 路面雨水径流	30
2.3.4 滚动阻力、燃油效率与大气污染	33
2.3.5 小结	35
2.4 经济效益	37
第三章 排水性沥青路面的问题与对策	38
3.1 讨论背景	38
3.2 早期破坏	39



3.2.1 飞散	39
3.2.2 压密	44
3.2.3 初始抗滑	45
3.3 功能耐久性	47
3.3.1 堵塞	47
3.3.2 老化与剥落	52
3.4 冬季养护	53
3.4.1 背景	53
3.4.2 冬季问题	54
3.4.3 策略	55
3.5 额外的设计关注	58
3.5.1 失判型超速	58
3.5.2 结构贡献	58
第四章 排水性沥青路面的结构设计	59
4.1 特殊应用场合	59
4.1.1 存在显著水平作用力的场合	59
4.1.2 下承层存在局部下凹区域	59
4.1.3 气候寒冷地区	59
4.1.4 易污染地区	60
4.1.5 桥面铺装	61
4.1.6 隧道铺装	61
4.2 结构行为	62
4.2.1 标准结构及功能	62
4.2.2 厚度设计及其结构贡献	62
4.2.3 排水层自身可能出现的结构病害	63
4.2.4 特殊的结构组合	63
4.3 封水系统	66
4.3.1 SBR 改性乳化沥青与 SBS 改性乳化沥青	66
4.3.2 稀浆封层	69
4.3.3 橡胶沥青	70
4.4 排水系统	70
4.4.1 自由出流	70
4.4.2 孔槽接流	73
4.4.3 管沟引流	76
4.4.4 设计实例	78
4.4.5 桥面排水	81
第五章 排水性沥青路面的水文学与水力学设计	83
5.1 产流机制与控制目标	83



5.1.1 降雨模式·····	83
5.1.2 超渗产流与饱和产流·····	87
5.1.3 水膜厚度与水漂速度·····	88
5.1.4 径流系数·····	91
5.2 表面以及面层材料的水力学性质及其测试方法·····	92
5.2.1 表面水力学性质及其测试方法·····	92
5.2.2 材料水力学性质及其测试方法·····	94
5.3 排水模型·····	111
5.3.1 稳定补充的蓄水层流动模型·····	111
5.3.2 坡面浅层流动与表面下排水的组合模型·····	118
5.3.3 驻留时间、汇流时间与退水时间·····	121
5.3.4 设计案例·····	122
5.4 小结与讨论·····	125
第六章 排水性沥青路面的声学设计·····	127
6.1 基础知识·····	127
6.1.1 声学常识·····	127
6.1.2 交通噪声的来源与危害·····	129
6.1.3 轮胎-路面噪声机理回顾·····	132
6.1.4 降低交通噪声的典型措施·····	135
6.2 设计程序·····	136
6.2.1 噪声控制标准·····	136
6.2.2 噪声测试方法·····	139
6.2.3 道路表面噪声设计及对排水性沥青路面的考虑·····	141
6.3 排水性沥青混合料的内在声学性质及其相关物理性质·····	152
6.3.1 内在声学性质·····	152
6.3.2 与声学行为相关的特殊物理性质·····	159
6.3.3 与声学行为相关的一般物理性质·····	161
6.4 轮胎-路面界面噪声的数理模型及在排水性沥青路面中的应用·····	165
6.4.1 接触模型·····	165
6.4.2 相互作用模型·····	171
6.4.3 传播模型·····	176
6.4.4 DEUFRAKO 模型·····	183
6.5 小结与讨论·····	188
第七章 排水性沥青路面的热学设计·····	190
7.1 热学设计的背景与控制目标·····	190
7.1.1 路面对城市热岛效应的贡献·····	190
7.1.2 热效应·····	191
7.1.3 热源与受照表面的特点·····	193



7.1.4 排水性沥青路面热学设计的控制目标	195
7.2 排水性沥青铺装表面的干燥温度	197
7.2.1 排水性沥青路面的热辐射特点	198
7.2.2 排水性沥青路面的热对流特点	200
7.2.3 排水性沥青路面的热传导特点	203
7.3 排水性沥青铺装的中面层温度	207
7.3.1 理论计算模型	207
7.3.2 案例分析	209
7.4 排水性沥青铺装的蒸发降温	211
7.4.1 多孔介质蒸发原理和干燥过程	211
7.4.2 多孔介质蒸发模型	214
7.4.3 实验模拟	218
7.5 小结与讨论	220
第八章 排水性沥青路面的光学设计	222
8.1 排水性沥青路面的光反射特性	222
8.1.1 光学基础知识	222
8.1.2 排水性沥青路面的反光性质	225
8.1.3 道路的亮度设计	226
8.2 紫外线对排水性沥青路面的影响	228
8.2.1 基础知识	228
8.2.2 排水性沥青路面的紫外线效应	229
8.3 可见光对排水性沥青路面的影响	232
8.3.1 彩色路面的基础知识	232
8.3.2 彩色排水沥青路面	235
8.4 红外线对排水性沥青路面的影响	235
第九章 排水性沥青混合料的原材料选择	237
9.1 矿料的选择	237
9.1.1 粗集料的选择	237
9.1.2 细集料的选择	251
9.1.3 填料/抗剥落剂的选择	252
9.2 结合料的选择	256
9.2.1 排水性沥青混合料的破坏机理及结合料性质的影响	258
9.2.2 SBS 改性沥青及高黏度改性沥青	263
9.2.3 直投式高黏度沥青改性剂	276
9.2.4 橡胶沥青及其在排水性沥青混合料中的应用	278
9.2.5 环氧沥青及耐久性排水性沥青混合料	282
9.3 纤维的选择	283
9.3.1 纤维的应用概况与作用机理	284



9.3.2 排水性沥青混合料中可用的纤维	286
9.4 小结与讨论	291
第十章 排水性沥青混合料的配合比设计	292
10.1 设计目标的选择	292
10.1.1 概述	292
10.1.2 设计目标	292
10.2 级配的确定	307
10.2.1 实现设计空隙率的基本方法	307
10.2.2 石石嵌挤的实现与判断	308
10.2.3 世界各地排水性沥青混合料级配的情况	309
10.2.4 紧堆法 (Packing Method) 在排水性沥青混合料级配选择中的应用	312
10.2.5 贝雷法 (Bailey Method) 在排水性沥青混合料级配选择中的应用	316
10.3 结合料用量的确定	324
10.3.1 初试结合料用量的选择	324
10.3.2 最佳结合料用量的选择	326
10.4 小结与讨论	329
第十一章 排水性沥青混合料的生产施工	331
11.1 排水性沥青混合料的生产	331
11.1.1 原材料的堆放与输送	331
11.1.2 混合料的生产	335
11.2 排水性沥青混合料的装车、运输与卸料	340
11.2.1 装车	340
11.2.2 运输控制	341
11.2.3 卸料	341
11.3 排水性沥青混合料的摊铺	341
11.3.1 天气限制	341
11.3.2 摊铺面的准备	342
11.3.3 摊铺机的运行	343
11.3.4 手工作业	345
11.3.5 特殊地段的摊铺	345
11.4 排水性沥青混合料的碾压	346
11.4.1 压路机的基本要求	346
11.4.2 碾压的基本控制	348
11.4.3 压实温度	348
11.4.4 压实程序	349
11.5 其他附属设施的施工	351
11.5.1 标志标线	351
11.5.2 隔离设施	352



11.6 小结与讨论	352
第十二章 排水性沥青路面的养护	353
12.1 功能性养护	353
12.1.1 表面清洗机械	353
12.1.2 清洗时机与清洗频率	359
12.2 预防性养护	361
12.2.1 针对飞散的预防性养护	361
12.2.2 针对老化的预防	362
12.2.3 排水性沥青路面的再生工艺	363
12.3 矫正性养护	365
12.3.1 坑洞修补	365
12.3.2 裂缝修补	366
12.4 修复性养护	366
12.5 小结与讨论	367
第十三章 排水性沥青路面的工程实例	368
13.1 2002 年浦东北路工程	368
13.1.1 工程背景	368
13.1.2 结构设计	368
13.1.3 配合比设计	369
13.1.4 生产施工	371
13.1.5 路用性能指标检测	373
13.1.6 路面回访情况	373
13.2 2006 年桃林公园工程	374
13.2.1 工程背景	374
13.2.2 设计与实施	374
13.2.3 路面回访情况	375
13.3 2009 年上海中环线与机场北通道工程	376
13.3.1 工程背景	376
13.3.2 路面实施	376
13.3.3 路用性能指标检测	377
13.4 2010 年世博园区工程	378
13.4.1 工程背景	378
13.4.2 清洗情况介绍	378
13.5 工程总体评价	379
参考文献	381



第一章 概 述

1.1 排水性沥青路面的应用概况

1.1.1 简要历史

排水性沥青路面,就是水能在其中自由流动,并从侧向排出的沥青表层。有文字记载的符合这一特征的最早的排水性沥青路面产生于1930年美国的俄勒岗州,它是在场拌封层(plant mix seal coat)的基础上发展起来的。到了20世纪40年代,许多西部州也应用了相似类型的磨耗层。50年代的美国与60年代早期的英国都在军用机场的跑道上采用了多空隙磨耗层,其目的是一样的,都是为了减小甚至消除飞机高速滑行时产生的水漂(hydroplaning)现象。到70年代,美国的联邦公路管理局(FHWA)发起了一项计划,旨在改善国内道路的抗滑性能。由于场拌封层能有效提高滑动阻力,从而受到普遍欢迎。1974年,FHWA发布了OGFC(Open Graded Friction Course,开级配磨耗层)的一套混合料设计方法,包括集料级配的要求,粗集料的表面能力(surface capacity),细集料用量的确定,最佳拌和温度的确定以及所设计混合料的抗水损能力等。1990年12月,FHWA正式制定了“OGFC混合料设计方法”。

英国是在1967年施工第一条多空隙沥青路面试验段的。试验段使用了15年,并发现了其吸声性能的存在。此后(1970年,1975年,1983年),为优化集料级配以及和结合料的组合,英国又铺设了其他试验段,1984年起,更是在Burton辅道上首次展开大规模试验,修建了22条试验段,旨在评价不同结合料与结合料用量的效果。1991年,又选择了若干欧洲国家(英国、比利时、荷兰与瑞典)常用的级配修建了另外7条试验段,提出了一些实用性建议。除了这些大的研究工作以外,英国的多空隙沥青路面从未真正流行过,因为热碾压沥青路面被首选使用。

不过,英国不是20世纪70年代末~80年代早期实验多空隙沥青路面的唯一国家。法国(1976年)、瑞士(1979年)、比利时(1979年)、荷兰(1979年)、德国(1978年)、西班牙(1980年)、意大利(1984年)也都进行了类似的试验。那时,这些国家(还有许多其他国家)开展研究的目的是为了评价这些“新”路面的有效性,以及优化混合料。

作为这些早期试验的结果,许多国家多空隙沥青路面得到了广泛使用。法国、比利时、意大利、荷兰就是这种情形,它们开始大范围地采用这些磨耗层。在荷兰,从1990年起到2010年内,国内所有的高速公路网络都铺装了多空隙沥青面层。其他国家,如德国、瑞士、英国、奥地利,在最初的兴趣之后,这些路面的使用从来没有放弃过,目前它们的使用主要限于需要利用其降噪性质的地方。这些国家多空隙沥青路面推广差的原因主要是因为环境状况(主要是冬季养护问题),以及传统上其他具有竞争力的铺面沥青混凝土(例如,SMA和热碾压沥青)的



存在。

欧美国家对于排水性沥青路面的开发引起了日本的高度重视。1980年前后,日本先后组团赴德国考察,开始引进欧洲的技术。1987年,在东京都环道7号公路第一次采用排水性沥青混合料进行铺装。但对欧洲技术的简单引进造成了严重的后果,许多排水性沥青路面施工后不久即出现空隙堵塞及交通荷载引发的石料飞散,并且车辙变形问题相当严重。经过日本专家大量的实践与研究,他们认为欧洲的技术并不适合日本的气候条件和交通条件,由此提出了“高黏度改性沥青”的概念,以此为核心,日本道路协会于1996年11月发布了《排水性铺装技术指针(案)》,作为排水性沥青混合料的设计施工指南。同年,日本道路公团作出所有高速公路必须采用排水性沥青路面铺装的决定,排水性沥青路面的铺装面积大幅度增长。在一般公路、城市道路的交叉口,有减噪与安全要求的城市街道,排水路面也被较多采用。

1.1.2 应用现状与未来发展

20世纪90年代末期,21世纪初期,排水性沥青路面在世界各地呈现出了燎原之势。

首先是欧洲。在深刻了解了噪声的危害以及欧洲的噪声现状之后,1996年,欧盟发表绿皮书《未来的噪声保护策略》,确认轮胎—道路噪声为急需降低的交通噪声组成。2002年,欧盟再次通过一项重要的噪声指令,要求成员国制定“噪声地图”,运用统一的噪声预测方法,采取各项措施来降低包括道路交通噪声在内的环境噪声。在这样的大背景下,与飞机、道路、铁路等相关的交通噪声其产生与传播机制、评价体系以及相应控制措施的研究如大浪奔涌,全面铺开。

2002年开始,2005年结束的“用于控制交通噪声的可持续道路表面”(SILVIA)项目,确认多空沥青面层、薄层铺装和露骨混凝土为主要的低噪声表面,并在优化这些路面的降噪性能方面展开了大量卓有成效的研究。而在多空沥青面层方面,认为单层多空沥青路面为第一代多空表面,双层多空沥青路面为第二代,有关第三代多空沥青路面不同国家有不同的说法,荷兰指的是多孔弹性路面(poroelastic)或其他新型路面,法国指空隙率在30%左右的超大空隙沥青路面,如Jean Lefebvre公司生产的Accrophone PE,意大利为“Micro Drain”,是顶层为4mm粒径的双层多空沥青路面。

荷兰于1996年发起了未来道路(Roads to the Future, RTF)计划,研究智能型道路表面和移动型道路表面,已经公布的新型表面如很安静声模块(Very Silent Sound Module),可卷起道路(Rollable),Modieslab, Rollpave,安静运输(Silent Transport),无声路面(No Sound Pavement)等。Rollable和Rollpave都是卷材式道路,前者基础为带Helmholtz共鸣腔的模块化的水泥混凝土系统,上面是带声阻的两条薄层可卷起多空沥青混凝土顶层;后者的基础是胶黏式耐地压支承层,上面是可卷起的多空沥青混凝土。很安静声模块自下而上是带Helmholtz共鸣腔的模块化的水泥混凝土系统和很薄的安静沥青顶层,Modieslab实际上是预制的双层多空水泥混凝土。而安静运输是在两层多空沥青之间夹了一层吸声膜,无声路面则是一种复合的多层结构,包括混凝土、纤维和多空沥青混凝土薄层。可以看出,一方面,把道路做成模块和卷材是为了实现道路的工业化生产,加强对质量的控制,减少对天气的依赖。另一方面,几乎所有的创新都是以多空沥青(或多空水泥混凝土)为重要组件的。

意大利按照SIRUUS(城市和特大城市使用的安静道路)项目的部署,也研制并测试了两



类以双层多空隙沥青为核心的低噪声路面:悦耳(Euphonic)路面与生态科技(Ecotechnic)路面。前者将双层多空隙沥青通过颈部连接到 Helmholtz 共鸣腔系统层, Helmholtz 共鸣腔系统层是由包含在连续配筋混凝土板内的嵌入式吸声驻波管孔洞实现的(图 1-1);后者的双层多空隙沥青连接到的 Helmholtz 共鸣腔系统层是由包含在扩散式微观多孔水泥胶浆层的吸声驻波管孔洞实现的,其下为金属隔断层作为过渡层(图 1-2)。

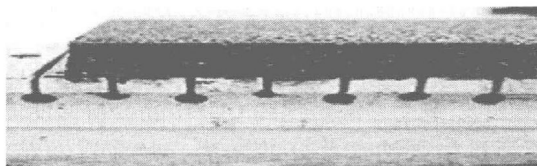


图 1-1 悦耳路面断面

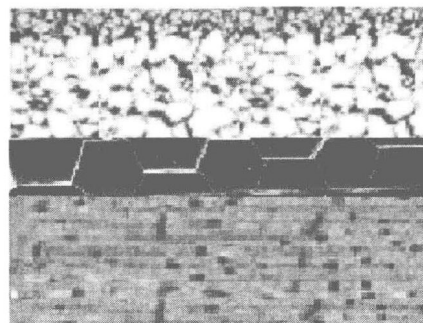


图 1-2 生态科技路面断面

与欧洲从降噪角度对多空隙沥青路面进行优化、改造、组装等不同,尽管日本也宣传多空隙沥青路面的降噪效能,但他们显然把更多的重点放在了充分发挥多空隙沥青路面的生态功能上。如图 1-3b)所示,将水分保持在面层中不从侧向排出,而是在温度高时通过垂直蒸发排走,由于蒸发需要吸收热量,从而降低了路表温度。日本把这种路面称为保水性铺装,认为它对减弱城市热岛效应有积极的作用。它的基础仍是排水性沥青路面,只是其中加入了保水性材料,据说它只损失原有排水性沥青路面透水功能的 10%,却使得水不再侧向流通,而是得以保持在路面中。保水性材料多为专利产品,如无机粉末(SiO_2 、 CaCO_3 等)、高炉矿渣等的混合物,又如微小矿物粉末、树脂、水泥等的混合物。

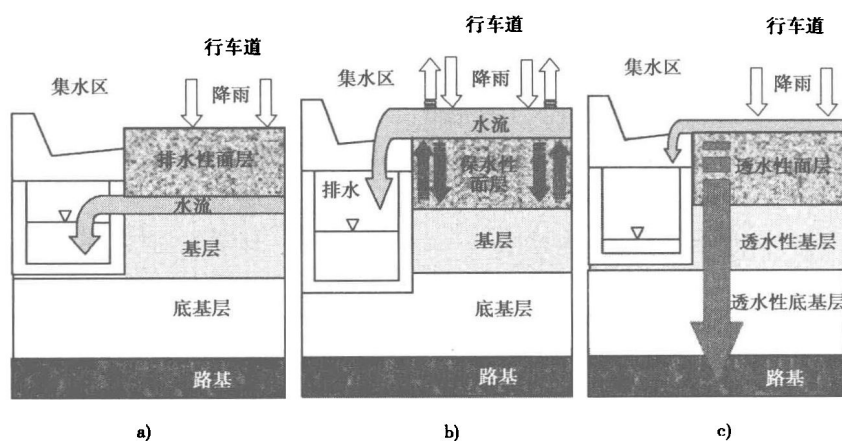


图 1-3 三种多空隙型沥青路面结构示意图

a)排水性沥青路面;b)保水性沥青路面;c)透水性沥青路面

图 1-3c)所示的透水性铺装,水分也不是从侧向排出,而是垂直下渗,接入地下水系统。这种路面除了拥有排水性铺装与保水性铺装的一定功能以外,还能补充日益稀缺的地下水资



源,大暴雨来临时,更有溢洪的作用,防止城市局部漫水。日本道路协会于2007年发布了《透水性铺装指南》,就透水性路面的规划、设计、材料、施工、性能与维护提出了指导性意见。

相比于欧洲和日本,尽管美国是排水性沥青路面应用最早的国家,但由于长期以来,它仅是将排水性沥青路面作为高速公路或州际道路的磨耗层处理,其官方名称也反映了这样的应用取向(OGFC,开级配磨耗层),因此,OGFC一般只有2cm厚,结合料多不改性,空隙率在15%~17%左右,在20世纪80年代初的一阵OGFC应用高潮之后,复归平静,只有少数几个州坚持了下来。1998年,美国国家沥青技术中心(NCAT)的P. S. Kandhal领导了一次调查,发表了著名的《开级配磨耗层:技术现状》,意欲搞清楚美国的州交通局为什么有些地方用OGFC,而有些地方不用,它们混合料设计和施工的做法,OGFC的性能历史以及所遇到的问题等。调查得出的一个重要结论是:“看来良好的设计和施工方法是提高OGFC混合料性能的关键。需要一套改进的混合料设计程序来帮助交通机构采纳这些好的做法。”响应这一结论,2000年,NCAT就发布了《新一代开级配磨耗层的设计、施工与性能》,使OGFC正式向美国人所称的PEM(Porous European Mixes,多空隙欧洲混合料)靠拢,空隙率提高到了18%以上,压实后厚度提高到4~5cm,同时结合料全面改性,可能情况下混合料中加入了矿物纤维,这一切拉开了美国人对OGFC重起热潮的大幕。

美国有几个州的做法特别值得一提,俄勒岗州长期使用最大公称粒径19mm,压实厚度50mm的OGFC路面,对于这种混合料,它们给了一个特别的名称,F混合料。加利福尼亚州与亚利桑那州专注于OGFC的降噪性能,它们的OGFC多采用AR(Asphalt Rubber,沥青橡胶)作为结合料,有时在降噪性能究竟是沥青橡胶的作用还是开级配的作用上争论不休,瑞典的Ulf Sandberg认为是开级配的作用,而橡胶沥青对降噪贡献很小。得克萨斯交通局采用的是它们自己的OGFC形式,它们称之为“透水性磨耗层”(Permeable Friction Course, PFC)。

除了欧洲、日本、美国以外,加拿大、澳大利亚、新西兰、南非以及东亚和东南亚的一些国家和地区也都逐渐加大对排水性沥青路面的使用。为便于文献检索,作者将各种类型的排水性沥青路面在各国的部分简称汇总如下。

ABD	Dränerande Asfaltbetong	瑞典
BBDr	Bétons Bitumineux Drainant	法国
DA	Drainage Asphalt(Draining Asphalt)	意大利
DRA	Drainasphalt	瑞士
OGA	Open Graded Asphalt	加拿大、澳大利亚、南非
OGFC	Open Graded Friction Course	美国
OGPA	Open Graded Porous Asphalt	新西兰
OPA	Open Pore Asphalt	德国
PA(PAC)	Porous Asphalt(Concrete)	欧洲大部分国家
PFC	Permeable Friction Course	美国(得克萨斯)
ZOAB	Zeer Open Asfalt Beton	荷兰

1.1.3 我国使用排水性沥青路面的情况

我国的沥青路面基本上以国外引进为主,排水路面并无二致。但是,无论是1997年杭州



到金华所铺的 1000m 的 OGFC,还是吕伟民教授等几乎同时研究的低噪声沥青路面,学习的不是美国的技术,就是欧洲的技术。许多试验段研究的味道很浓,推广应用的味道很淡,做完后,或者出现了飞散,或者被压密,有些甚至根本无人问津。因此,尽管期刊上屡有 OGFC 的文章发表,但实际工程中却鲜有应用。

2001 年,一个偶然的机会,使上海浦东路桥建设股份有限公司接触到了日本的同行,同时接触的还有“有日本特色的排水性沥青路面”与高黏度改性沥青的概念。2002 年,在上海浦东北路应用日本技术铺筑了 1.4km 的排水性沥青路面,揭开了以高黏度改性沥青为结合料的排水性沥青路面技术在中国全面推广的序幕。2003 年 17km 的西安咸阳机场高速,2005 年 17km 的盐通高速,2008 年 21km 的宁杭高速,2009 年 21km 的西安机场专用线,2009 年浦东 31km 的中环线、机场北通道,以及在此期间杭州市区环西湖地区大量排水性沥青路面的铺设,日本的技术迅速在中国得到认可。

应该说,在这个推广过程中,日本的 TPS 高黏度改性剂起了非常关键的作用。但随着排水性沥青路面应用的深入,出现了两种变化。一种变化是成品高黏度改性沥青的悄悄进入,与直投式的高黏度改性剂展开了市场竞争。另一变化是国产改性剂开始出现,如浦东路桥的 RST,深圳海川的 SinoTPS 等。

1.1.4 讨论

排水性沥青路面技术在全世界发展的不均衡,从一个角度诠释了近代科技的发展。欧洲人严谨,善于想象,并且由于文化相近,相互协作的合力巨大。他们为建立一个适合居住与生活的欧洲,把降低噪声尤其是交通噪声放在了一个绝对的高度上。为了降低交通噪声,他们开发低噪声发动机,生产低噪声轮胎,研究道路隔音屏障,而低噪声道路尤其是多空隙沥青路面作为源头降噪的一项相对低廉的措施,赢得了大多数欧洲国家的认可。我们看到,在多空隙沥青路面降噪效果的研究上,欧洲人的严谨得到了充分的体现。瑞典人 Ulf Sandberg 等写就的一本《轮胎—道路噪声参考书》,是这一精神的最好注脚。而欧洲人的想象,从他们为着 35 年后的新型道路而研究的项目 NR2C(New Road Construction Concept,新的道路建设理念),从荷兰工业化生产道路的设想,都可窥见一斑。同时,各个国家相互交错的研究项目,则把一个统一的欧洲的潜力,充分地挖掘了出来。罗马有着世界上现存最古老的道路之一,而今天的法国有着世界上最完备的道路养护技术,今天的德国,有着世界上最先进的道路设备,今天的荷兰,有着世界上对未来道路最大胆的想象……道路技术的巅峰,无疑在欧洲!美国 FHWA(联邦公路管理局)1991 年访问欧洲,从欧洲带回了 SMA,2004 年访问欧洲,则从欧洲带回了以多空隙沥青路面为代表的安静路面,2007 年,又把温拌沥青最前端的技术学习了回去。总之,排水性沥青路面是因为安全原因被欧洲人搬上现实舞台的,却因为降噪功能的挖掘而使得她生机勃勃,魅力无限!

日本人的学习并再创造能力是让全世界瞠目的。排水性沥青路面也一样。20 世纪 80 年代末的时候,与很多技术一样,也是向国外学习,这一次学习的是欧洲,把欧洲的排水路面技术原原本本地移植到了日本。不幸的是,道路有地域性,欧洲温和的气候不同于日本冬寒夏暑的气候,照搬照抄的技术使试验路面飞散严重。正像日本学习中国的文字而创造了日语,学习中国的围棋而创造了现代围棋一样,日本没有对排水路面简单否定,而是创造出了“高黏度改性