

ANALYSIS THEORY AND PRACTICE
OF MODERN ASPHALT PAVEMENT STRUCTURE

现代沥青路面结构分析 理论与实践



黄晓明 汪双杰 著



科学出版社

013044975

U416.217

14

现代沥青路面结构分析 理论与实践

黄晓明 汪双杰 著



科学出版社

北京



北航

C1653192

U416.217

14

内 容 简 介

本书立足于中国公路沥青路面建设现状以及新的设计理念发展,分析了沥青路面结构对设计参数的敏感性以及路面结构对地基的适应性,基于弹性损伤力学、疲劳损伤力学、有限元及离散元理论建立了沥青路面的高温车辙变形预警模型及疲劳损伤模型,构建了与地基适应性更强的抗车辙、抗疲劳损伤沥青路面设计体系,并编写沪宁、京港澳、阿尔及利亚等多条高速公路的新建、改扩建实体工程的路面结构设计实例。

本书内容包括沥青路面结构对设计参数敏感性分析,不同结构组合对地基的适应性分析,基于弹性损伤力学的沥青路面车辙分析及简单性能试验评价,基于离散元的路面结构疲劳性能分析,基于 ABAQUS 有限元的沥青路面结构疲劳损伤分析,沥青路面工程实践等。

本书可供从事道路工程及铁路、土建工程的科研、设计、施工(新建及养护)与建设管理技术人员参考,亦适合高等院校、科研机构相关专业技术人员、教师、研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代沥青路面结构分析理论与实践/黄晓明,汪双杰著. —北京:科学出版社,2013.4

ISBN 978-7-03-037259-8

I. ①现… II. ①黄…②汪… III. ①沥青路面-结构分析
IV. ①U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 066283 号

责任编辑:顾 艳 陈岭啸 王晓丽 / 责任校对:张小霞

责任印制:赵德静 / 封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年4月第一次印刷 印张:24 1/2 插页:4

字数:570 000

定价:89.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

截至 2011 年底,中国公路通车里程达 410.64 万千米,其中 59.13 万千米铺筑了沥青面层。严格意义上讲,这些沥青路面的设计只包括了基层和面层的设计,往往忽略了以地基为基础、以路基路面结构承载进行综合控制的系统路面结构设计,从而引起了路基失稳、强度不足等车辙功能性病害和结构性病害。尽管道路新材料、新工艺、新设备、新结构大量涌现使得现代沥青路面结构组合、材料选择、设计及施工更加多样化,但同时也导致了现代沥青路面在高温性能、疲劳损伤、安全耐久性方面产生了独特问题。尤其目前重载交通日趋严重,自然环境更加苛刻,很有必要在综合考虑设计因素敏感性以及路面与地基适应性的前提下,基于弹性损伤力学、疲劳损伤力学、有限元和离散元理论,提出以抗车辙、耐疲劳为准则的现代沥青路面结构的分析理论,并与沥青路面的新建、改扩建、养护工程紧密结合,构建现代沥青路面结构分析理论体系,为沥青路面的设计、施工和养护提供更加可靠的技术基础和理论依据。

本书由黄晓明、汪双杰统稿和审核。全书分七章,第一章概述,第二章不同路面结构组合对地基的适应性分析,第三章高速公路沥青路面车辙分析,第四章沥青混凝土抗车辙性能评价新方法,第五章沥青路面结构疲劳分析的离散元方法,第六章沥青路面结构的疲劳损伤模型,第七章沥青路面的工程实践。在编写过程中参考了杨庆刚博士、张久鹏博士、陈俊博士、张军辉博士、孙志林博士及多位硕士的研究成果。

同时要感谢赵永国、陈团结、陈建兵、张娟、张久鹏、许涛、马涛、张军辉、孙志林、岳学军、陈俊、王真等为本书所作的贡献。在本书编写中得到诸多研究人员和单位的大力支持和帮助,并得到江苏省优势学科建设经费和东南大学出版基金资助,在此一并表示感谢。

著 者

2012 年 10 月于南京

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 沥青路面结构组合要求	1
一、沥青路面结构受力分区与典型结构分析	1
二、沥青路面结构使用要求分析	5
第二节 沥青路面车辙的分析与评价	14
一、沥青混合料永久变形试验方法	15
二、沥青混合料永久变形的本构模型	15
第三节 基于微细观结构的沥青混合料力学分析	20
一、沥青混合料的数字化图像技术	20
二、沥青混合料的细观力学模型	22
第四节 沥青路面疲劳性能研究	26
一、现象学模型	26
二、能耗模型	29
三、沥青路面疲劳损伤分析与计算	30
第二章 不同路面结构组合对地基的适应性分析	32
第一节 基本理论和 ABAQUS 程序	32
一、沉降计算理论	32
二、不同路面结构的沉降特性分析的计算参数	36
第二节 不同路面结构组合的沉降特性分析	39
一、均匀成层地基不均匀沉降分析	39
二、横断面软弱不均地基沉降分析	42
三、纵断面软弱不均地基沉降分析	44
第三节 不同路面结构组合的附加应力分析	45
一、简化计算模型的建立	45
二、位移荷载的施加	46
三、上夹层结构和半刚性基层结构沥青路面附加应力的对比分析	47
四、下夹层结构和半刚性基层结构沥青路面附加应力的对比分析	50
五、两种夹层结构与半刚性基层路面结构附加应力对比汇总	53

第四节 软土地基上路面结构沉降指标与标准研究	53
一、软土地基上高速公路的功能性要求	53
二、软土地基上高速公路的结构性要求	55
三、不同路面结构的铺筑时间	59
第五节 路基拼接工后沉降特性	60
一、计算参数	60
二、路面结构施工前后路基顶面的沉降计算	61
第三章 高速公路沥青路面车辙分析	64
第一节 宁宿徐高速公路沥青路面现场测试	64
一、宁宿徐高速公路沥青路面车辙测试	64
二、沥青路面芯样体积参数试验分析	67
三、宁宿徐高速公路温度场测试与分析	73
第二节 沥青混合料永久变形的室内重复荷载试验研究	75
一、沥青混合料永久变形的试验方法分析	75
二、沥青混合料级配选择与试件制备	82
三、室内永久变形试验结果与分析	86
第三节 沥青混合料的黏弹性损伤力学模型及分析	90
一、黏弹性和损伤力学的一般理论	90
二、基于 ABAQUS 平台的材料子程序开发	96
三、静态荷载下基于应变硬化理论的损伤蠕变模型	107
四、重复荷载作用下永久变形的力学模型及验证	111
第四节 稳态温度场下沥青路面车辙有限元模拟与分析	123
一、沥青路面结构选择及温度场分析	124
二、标准轴载下半刚性基层沥青路面车辙分析	135
三、沥青面层不同结构层的车辙分析	143
四、路面车辙与沥青层厚度的关系	145
五、重载交通下半刚性基层沥青路面车辙分析	146
第五节 沥青路面连续变温车辙分析与高温车辙预警	150
一、连续变温下沥青路面车辙分析	150
二、沥青路面车辙外部影响因素显著性分析	156
三、考虑温度的日车辙预估模型及车辙预警	159
第四章 沥青混凝土抗车辙性能评价新方法	163
第一节 沥青路面不同深度的围压计算	163

第二节 局部加载蠕变试验新方法	164
一、局部加载试验的提出	164
二、局部加载试验条件的有限元分析	168
三、局部加载蠕变试验条件分析	170
四、局部加载蠕变试验条件合理性分析与验证	172
第三节 沥青混合料抗车辙性能评价指标研究	179
一、沥青混合料蠕变评价模型及评价指标	179
二、试验评价指标敏感性分析	185
三、试验评价指标有效性分析	191
四、抗车辙性能试验方法优选	207
第五章 沥青路面结构疲劳分析的离散元方法	209
第一节 沥青混合料的数字试件	209
一、二维数字试件的获取技术	209
二、沥青混合料二维数字试件级配的确定	211
三、沥青混合料二维数字试件的生成	216
四、沥青混合料三维数字试件的生成	221
第二节 沥青混合料微观参数的确定	228
一、离散单元接触本构模型简介	229
二、沥青混合料离散元模型的微观力学参数	231
三、沥青混合料微观参数的确定	246
第三节 沥青混合料的虚拟疲劳断裂试验	251
一、沥青混合料二维与三维结构数值模拟的比较分析	251
二、沥青混合料小梁的虚拟断裂试验	260
三、沥青混合料的虚拟疲劳试验	266
四、沥青混合料虚拟疲劳试验的验证	273
第四节 沥青混合料细观结构对疲劳性能的影响分析	277
一、集料宏观特征对沥青混合料疲劳性能的影响	277
二、集料细观结构对疲劳性能的影响	283
三、空隙细观结构对疲劳性能的影响	293
第六章 沥青路面结构的疲劳损伤模型	298
第一节 沥青路面结构的疲劳损伤基础理论	298
一、疲劳损伤模型理论	298
二、矩形截面梁疲劳损伤解析解推导	300

三、疲劳损伤模型的应用	303
第二节 ABAQUS 含损伤材料子程序二次开发	307
第三节 沥青路面车辆荷载疲劳损伤分析	308
一、路面结构数值计算模型	308
二、路面结构线性疲劳损伤分析	310
三、路面结构非线性疲劳损伤分析	326
四、车辆荷载下两种损伤模型分析结果对比分析	342
第四节 抗疲劳层设计参数试验研究	344
一、抗疲劳层沥青混合料抗压参数试验	345
二、抗疲劳层沥青混合料疲劳寿命预估方程	346
第七章 沥青路面的工程实践	351
第一节 新建高速公路试验路结构	351
一、江苏淮盐高速公路(S18 线)工程	351
二、江苏沿江高速公路(S38 线)	352
三、京沪高速公路(G2 线)山东段长寿命沥青路面试验路	352
四、陕蒙高速公路(G65 线)沥青路面试验路	353
第二节 高速公路路基拼接及路面加宽试验路结构	354
一、沪宁高速公路(G42 线)试验路	354
二、合肥—南京高速公路(G42 线)加宽路基拼接及路面试验路	356
三、京港澳高速公路(G4 线)石家庄至磁县(冀豫界)段	356
四、京港澳高速公路(G4 线)郑州至漯河段	357
第三节 高速公路实体工程设计	358
一、阿尔及利亚东西高速公路西段 W7 合同段路面设计	358
二、江苏盐通高速公路(G15 线)排水路面设计	366
三、江西昌九高速公路(G70 线)技改工程	371
参考文献	374
图版	

第一章 概 述

现代沥青路面经过 20 多年发展,无论结构设计还是混合料设计均有了很大的改进。同时沥青路面结构的使用环境也发生了很多改变,高温重载的影响更加显著、路面结构的耐久性要求更高。因此,如何进行合理的结构组合设计、深入的沥青路面高温性能评价和路面疲劳耐久性设计,是目前仍然值得关注的课题,本书汇集了作者近年有关沥青路面结构组合设计、沥青路面抗车辙分析与评价、沥青路面疲劳分析与设计等方面的内容。

第一节 沥青路面结构组合要求

沥青路面结构组合是沥青路面结构设计的关键,它涉及沥青路面结构设计整体目标及思路,因此,如何结合当地交通材料、地质地理、气候环境、施工管理等要素,合理进行沥青路面结构组合设计,是路面结构设计的关键。只有明确沥青路面结构设计目标,才能提出符合实际的路面结构组合,才能控制路面结构的施工过程,才能保证沥青路面的使用性能和耐久性。

沥青路面结构组合设计的目标是保证沥青路面满足规定的使用要求,实现目标的基本途径是明确沥青路面的基本使用要求,主要包括沥青路面应该满足具有一定的强度和刚度,保证沥青路面的整体性和耐久性;具有良好的稳定性,能够满足高稳定性、低温抗裂性、水稳定性;具有良好的耐久性,满足抗疲劳和耐老化要求;具有良好的表面平整性,保证沥青路面的行驶舒适性和不产生过大的动荷载而影响路面结构耐久性;具有良好的抗滑性,满足行车安全性要求;具有良好的环保生态特性,满足可再生、低噪声等要求。由于沥青路面的这些性能有的具有排他性,只有很好地理解实地的交通与材料、气候与环境、地质与土质、路基与路面、施工与管理等相互关系,通过平衡设计,才能真正设计出满足路面结构使用要求的结构组合及厚度分布。

一、沥青路面结构受力分区与典型结构分析

(一) 沥青路面结构受力分区

沥青路面结构在荷载作用下的受力特点如图 1-1 所示。

如果各层之间属于完全连续结构,那么表面及向下 10~15cm 属于高压应力区,结构层最下面 7~10cm 属于高拉应力区,中间有一部分属于拉压过渡区。

表层抗滑功能区:由于表面主要承受行车荷载的作用,表层不仅要提供良好的抵抗行车荷载而产生的车辙的功能,更要提供良好的行车功能,如抗滑、低噪声等。因此,从抗滑的角度,利用高黏度沥青做成的抗滑沥青磨耗层(OGFC)和排水性沥青混凝土(PAC)是一种良好的选择。由于 OGFC 和 PAC 的设计空隙率接近 20%,同时采用高黏度沥青,

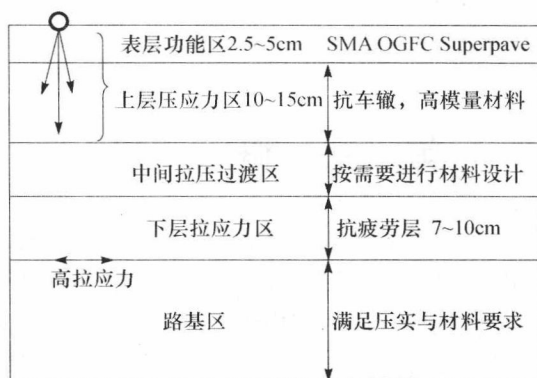


图 1-1 沥青路面结构在荷载作用下的受力分区图

其不仅具有良好的排水性能,还具有很好的抗车辙能力。由于 OGFC 属于大空隙的抗滑表层,设计厚度一般为 25~30mm;PAC 则需要通过结构层排水,设计厚度一般采用 45~50mm。从抗车辙的角度,SMA 和 Superpave 沥青混凝土是良好的选择,设计厚度一般采用 40~50mm。

上层高压力区:主要包括表层抗滑功能区、中间连接层(中面层和下面层)。表层抗滑功能区不仅要具有良好的抗滑功能,还要具有良好的抗车辙能力。中间连接层同样应该具有良好的抗车辙能力。研究表明,中面层不但受到高压应力,而且温度也处于最高点,因此中面层需要有更好的抗车辙能力,改性沥青和抗车辙设计是中面层沥青混合料设计的重要内容。下面层虽然温度场有所下降、荷载压应力也有所下降,但是下面层的抗车辙能力也十分重要,必须重视抗车辙性能评价,低标号的高黏度沥青是一个良好的选择。

中间过渡区:如果路面结构各层状态完全连续,那么中间将出现一定厚度的拉应力与压应力的过渡区。虽然过渡区从受力特性上讲不是十分重要,但是由于结构层间状态的变化、路面结构疲劳状态的发展、结构层刚度的变化产生的反射裂缝的影响均与这一层有关,故中间过渡层对半刚性基层沥青路面而言,希望是模量较小、抗反射裂缝能力强的整体性材料,山东省公路局和东南大学联合科研设计的大粒径透水性沥青混合料(LSPM)就是基于这一思路。级配碎石虽然有良好的抗反射裂缝的能力,但是它属于一种无黏结材料,使得级配碎石的上层路面结构层底处于受拉状态,沥青路面结构整体受力发生了根本性变化,沥青层的厚度及受力分析也应该与此对应。

下层拉应力区:下层拉应力区主要承受拉应力,因此,结构层设计必须采用抗疲劳拉应力好的材料。国外沥青路面结构设计经验表明:其沥青路面具有很好的耐久性,使用寿命可以达到 30~50 年,主要在于其结构层整体受力与材料设计紧密相关,且沥青路面下层拉应力区采用抗疲劳性能好的富油沥青疲劳层。

因此,根据沥青路面整体受力分析可以明确,沥青路面结构的受力状态与结构层的连续状态有关,受拉区必须采用抗疲劳性能好的材料,抗压区必须采用抗车辙性能好的材料。基于这一点,我国目前基于压应力(图 1-2)的上层一般采用高性能材料(沥青混凝土等)、下层一般采用低性能材料(二灰土、石灰土)的结构组合设计理念需要改进(图 1-3)。

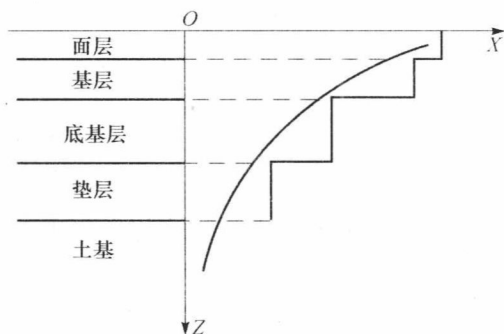


图 1-2 沥青路面基于压应力的结构组合

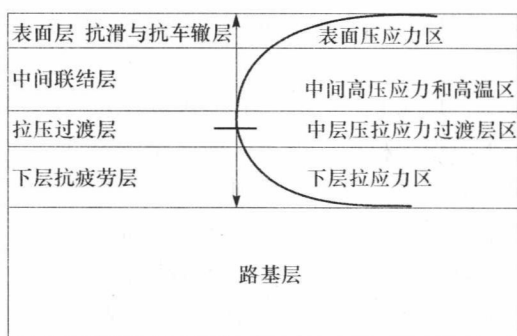


图 1-3 沥青路面基于压应力和拉应力的结构组合

(二) 沥青路面典型结构分析

到 2011 年底,我国公路总里程达到了 410 多万千米,其中 8.5 万千米为高速公路。我国高速公路沥青路面结构主要有三种典型结构(图 1-4),即以江苏为代表的进行充分软土地基处理(如果有软土地基)的半刚性基层沥青路面、以山东为代表的半刚性基层上有沥青混凝土连接层的沥青路面结构、以福建为代表的半刚性基层上有级配碎石过渡层的沥青路面结构。

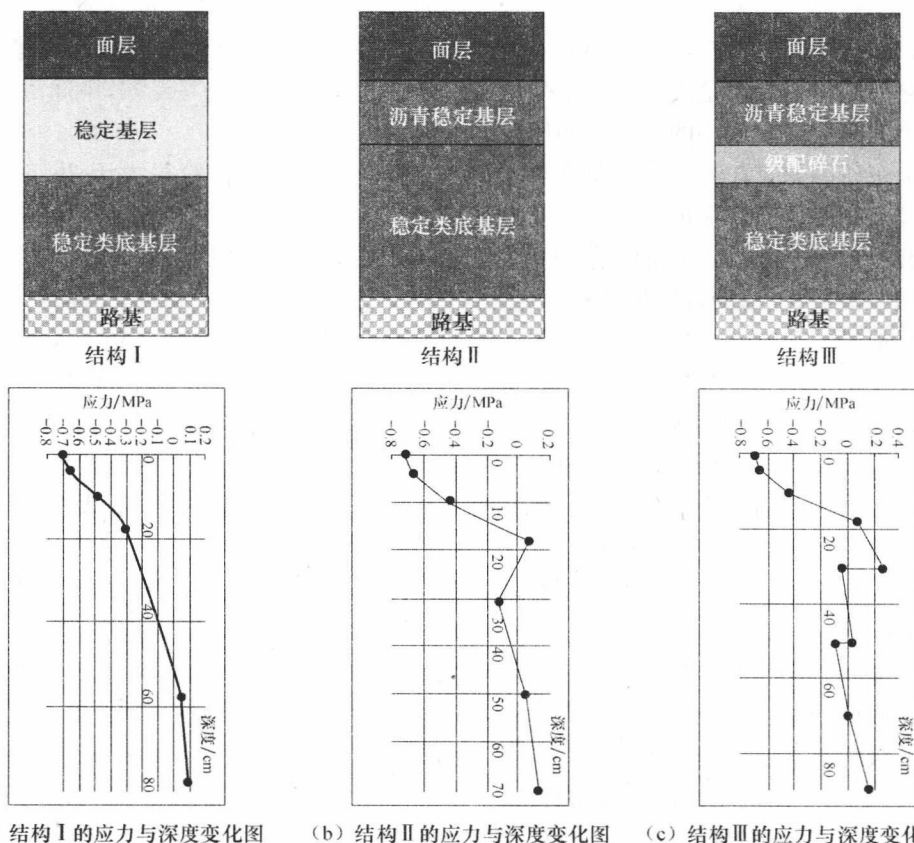


图 1-4 沥青路面的三种典型结构及应力与深度变化图

路面结构Ⅰ是目前我国沥青路面的最主要的典型结构,沥青层厚度一般为16~20cm,多采用18cm(4cmAC-13或SMA-13+6cmAC-20+8cmAC-25)。这种结构半刚性基层一般采用36~40cm的水泥稳定粒料,底基层一般采用20~40cm的稳定土类或低剂量水泥稳定粒料。由于这种路面结构的受力是表面主要受压、底基层(部分基层)主要受拉,目前的结构组合设计原则是基于结构层压应力与深度的变化关系(图1-2),而不是上部受压下部受拉(图1-3)的受力状态,底基层材料处于最不利的拉应力(或应变)的疲劳状态。因此,底基层材料选择与受力状态不相符合,路面结构组合设计理念需要改进。同时如果路基产生不均匀沉降,路面结构的附加应力将主要集中在底基层和基层,容易导致底基层和基层出现开裂。对有软土地基且不均匀沉降严重的道路,结构Ⅰ将产生过大的附加应力,结构组合设计选择时必须注意这一点。江苏高速公路建设则十分重视软土地基的处理,尤其是采用以水泥为主要处理材料的化学固结或复合地基技术,软土地基的工后沉降和工后不均匀沉降很小,路面结构目前的使用状态良好。实际工程调查表明,一些省份由于软土地基处理不完全到位,不均匀沉降严重,路面出现了不同程度的结构性病害。

路面结构Ⅱ是山东等省的典型路面结构,沥青层主要有两种形式,山东主要采用18cm左右(4cmAC-13或SMA-13+6cmAC-20+8cmAC-25)与10~12cm的透水性大粒径沥青混合料(LSPM)组合;还有其他一些省份通过研究在部分高速公路采用18~22cm(4cmAC-13或SMA-13+6cmAC-20+8~12cmAC-25或ATB-25)的沥青层,基层采用36~40cm的水泥稳定粒料,底基层采用20cm左右的稳定土类或低剂量水泥稳定粒料。这种路面结构的受力是表面主要是受压、底基层(部分基层)主要是受拉,中间由于含有模量较小的夹层而出现小的拉应力和压应力变化。

山东研制的大粒径透水性沥青混合料(LSPM)的最大公称粒径大于26.5mm,采用黏度较高的改性沥青保证沥青膜厚度,形成的混合料是“单粒径骨架连通空隙结构”,空隙率一般为13%~18%。该混合料具有良好的透水性、抗车辙和抗反射裂缝能力以及较好的抗疲劳性能,上部沥青层虽然有一定的拉应力,但由于其拉应力很小,不是应力控制层,仍具有很好的耐久性。如果沥青层的下层采用密级配沥青稳定碎石(ATB),那么结构层受力有一定的差别,主要是ATB也可能整体处于受压状态。同时由于ATB虽是整体性材料,具有良好的抗疲劳性能和抗裂性能,但其抗反射裂缝能力较沥青混凝土好,同时沥青厚度也大于20cm,基层裂缝一般不能导致ATB出现开裂,因此这种结构 also 具有良好的耐久性。由于路面结构Ⅱ整体疲劳控制层还是半刚性基层或底基层,路基不均匀沉降和重载导致的路基疲劳问题仍应重视。

路面结构Ⅲ是福建等省的典型路面结构,沥青层厚度取决于结构层的疲劳寿命,采用18~30cm(4cmAC-13或SMA-13+6cmAC-20+8~20cmATB-25)结构层,中间夹层采用15~20cm的级配碎石,基层采用20~40cm的水泥稳定粒料,底基层采用20cm左右的稳定土类或低剂量水泥稳定粒料。根据受力分析,由于这种路面结构中间含有级配碎石,沥青层与级配碎石层之间只能看成完全光滑,沥青层上部处于受压状态、下部处于受拉状态,上面层应采用抗车辙性能好的材料,下部应采用抗疲劳好的材料。随着沥青混凝土油石比的增加,沥青混凝土的抗疲劳性能也得到改善,靠近级配碎石的沥青层建议采用4~6cm的富油沥青混凝土疲劳层;如果采用ATB层,那么其油石比不宜偏少,应保证其具

有良好的抗疲劳性能。由于半刚性基层的整体性(虽然半刚性层可能出现开裂)和级配碎石的排水和过渡作用,这种路面结构不但具有良好的整体性能,而且具有整体的软土地基适应性。结构Ⅲ的半刚性基层强度刚度大、整体性好,虽然容易出现干缩开裂、温缩开裂和地基不均匀沉降引起的开裂,但由于级配碎石的缓解作用,下基层的开裂不易反射到上面的沥青层,路面结构具有良好的使用性能,是我国半刚性基层和国外级配碎石基层的良好组合。

以上三种典型结构分析表明,结构组合研究与分析仍是当前值得研究的课题,尤其是含有级配碎石层的半刚性基层结构的整体适应性和耐久性。

二、沥青路面结构使用要求分析

沥青路面应该具有一定的强度和刚度、具有良好的稳定性、具有良好的耐久性、具有良好的表面平整性、具有良好的抗滑性、具有良好的环保生态特性。

(一) 一定的强度和刚度

强度是结构层材料抵抗断裂破坏的能力,如果路面结构所受的极限荷载产生的弯拉应力超过结构层的弯曲抗拉强度,那么结构层将出现断裂;同样,如果路面结构所受的疲劳荷载产生的弯拉应力超过结构层的疲劳强度,那么结构层将出现疲劳断裂。

刚度是结构层材料抵抗变形的能力,刚度的常规表征是模量。因此,如果模量越大,材料的抗变形能力就越大,但这种材料也将越脆,抵抗疲劳破坏的能力也越差。同时后面的分析也表明,在相同的荷载作用下,结构层层底的拉应力随着结构层模量的增加而增加。因此,高模量材料在受拉区并不是一个好选择,受拉区的材料必须是抗疲劳性能好的韧性材料,这也就是国外采用富油沥青混凝土作为沥青路面受拉区的材料的原因。

我国主要采用半刚性基层沥青路面结构,基层一般处于受拉区域,因此,基层刚度的选择、基层材料的设计不仅与强度有关,还与材料模量有关。尤其是水泥稳定粒料,由于很多地方片面要求提高强度,随着水泥稳定粒料强度的增加,其模量也增加,相同荷载作用下的弯拉应力增加,出现反射裂缝的概率也增加了,于是加快了疲劳破坏(图 1-5)。所以处理好强度与刚度的关系,对提高沥青路面使用性能、延长沥青路面使用寿命有重要的意义。

图 1-6 可以看出,半刚性基层在温度和荷载的综合作用下,出现了整体性破坏。这种

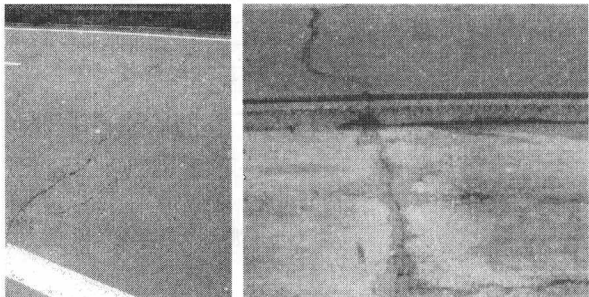


图 1-5 沥青路面的反射裂缝和基层破坏



图 1-6 沥青路面的基层破坏

破坏不仅影响路面的整体承载能力,也导致沥青路面很难进行修复,必须进行整体性重建,挖除旧基层重新修筑新基层。这种路面结构势必导致路面维修成本很高,产生很多废料。

(二) 良好的稳定性

沥青路面的稳定性主要包括高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和结构稳定性。

1. 沥青路面的高温稳定性

沥青路面的高温稳定性是沥青路面高温时抵抗永久变形的能力,这种永久变形主要包括高温车辙(图 1-7)、推挤与拥包等。随着重载交通的增加、路面结构层温度的升高,沥青路面的高温车辙成为一些地方的主要路面病害。沥青路面的高温车辙具有累积性和瞬时性,路面温度在一定范围内时,在荷载作用下,沥青路面的车辙随荷载作用次数的增加而增加。分析也表明,动稳定度与温度的关系曲线(图 1-8)基本可看成由三个直线段连接而成,三个直线段的斜率经历了由小变大、再由大变小的过程,斜率变化最大的温度区间刚好处在各自沥青结合料软化温度附近 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 的范围内。这一温度范围是沥青混合料抗车辙性能对温度变化最敏感的区间。因此,沥青路面的高温车辙主要发生在中午高温时段,尤其是路面温度接近或超过沥青的软化点时,路面更容易出现车辙,几天乃至一天沥青路面就出现很大车辙,也就是沥青路面车辙的瞬时性。因此,在高温时节,通过高温车辙预警,采取一定的管理措施,能够有效减少沥青路面车辙。

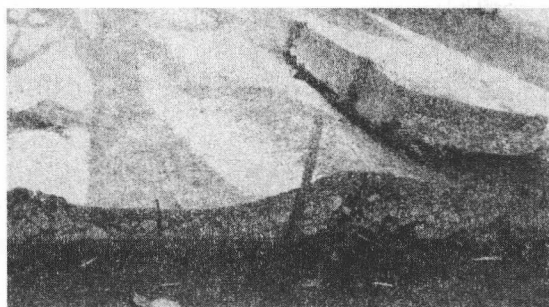


图 1-7 沥青路面的车辙

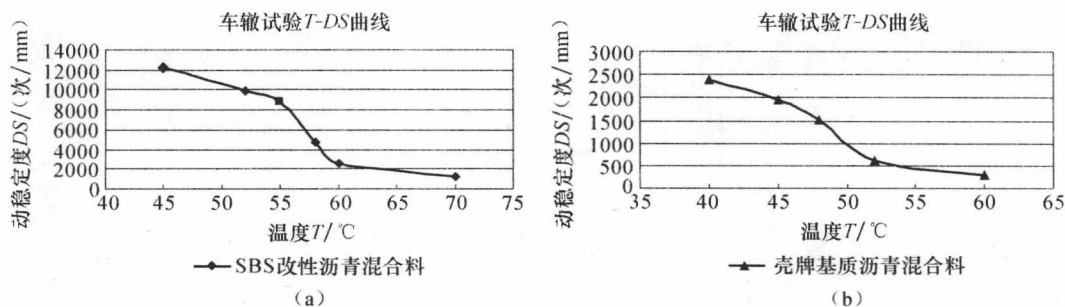


图 1-8 沥青混凝土的动稳定度与温度的关系

2. 沥青路面的低温抗裂性

沥青结合料的低温抗裂(图 1-9)性能指标主要集中在沥青低温针入度、劲度、针入度指数 PI、低温延度、低温黏度、弗拉斯脆点、当量脆点等。现有的沥青混合料低温性能试验方法可以分为直接拉伸试验、间接拉伸试验、弯曲梁试验、约束试件温度应力试验等类型。然而,将这些试验方法测得的沥青混合料的力学性能指标用于温度收缩问题分析时,除约束试件温度应力试验可以模拟沥青路面实际工作条件,其他几种试验方法的试验环境均与工程实际之间存在较大的差距。其主要原因是实际路面的温度收缩开裂过程是一个温度变化十分缓慢、时间历程较长的过程,并伴随着明显的应力松弛现象;而常规的直接拉伸、间接拉伸和弯曲梁试验都在较短的时间内完成。

由于沥青路面的低温抗裂性主要与沥青材料的温度敏感性、低温松弛特性、降温速率等因素有关,目前主要通过材料选择、沥青混合料低温性能的评价改善沥青路面的低温抗裂性能。

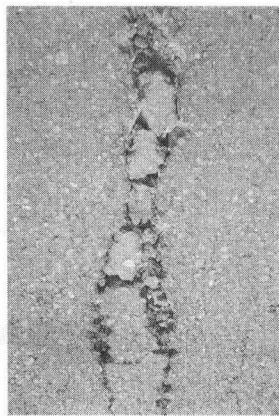


图 1-9 沥青路面的低温开裂



图 1-10 沥青路面的坑洞

3. 沥青路面的水稳定性

沥青路面的水稳定性主要涉及沥青路面施工过程中出现的沥青混合料离析、沥青路面现场空隙率的变异和雨天车辆荷载出现的动水压力等(图 1-10、图 1-11、图 1-12)。

沥青路面施工过程中沥青混合料的离析主要与沥青混合料的类型、沥青混合料的级配设计、沥青路面施工过程中控制等有关。如果沥青混合料的类型选择加上对应的沥青混合料级配组成设计不合理,就会导致沥青混合料施工过程中容易离析。施工过程中沥青混合料的装载过程、沥青混合料卸载过程、沥青路面的摊铺过程及螺旋布

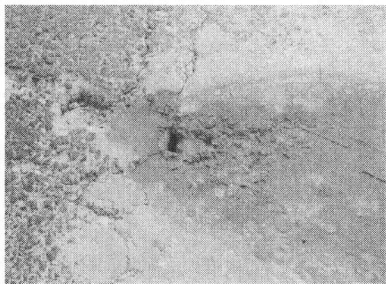


图 1-11 沥青路面的水损害

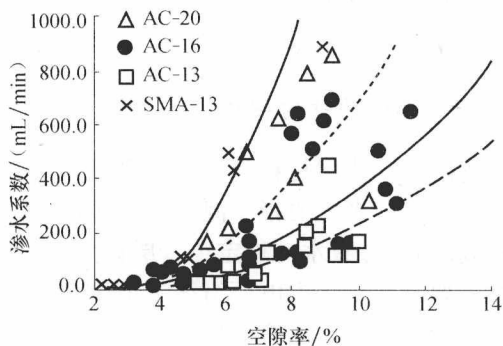


图 1-12 沥青路面渗水与空隙率关系

料器的运送过程均可能出现离析。沥青路面的施工离析是导致路面水损害的重要原因,图 1-12 可以看出沥青路面现场渗水增加的主要原因是材料离析和温度离析导致的现场空隙率变异等。施工过程中要求装载采用 3 次卸料法或 5 次卸料法(图 1-13);沥青路面摊铺宽度应控制在 3~5m,最大不超过 6m。沥青混合料卸料车与摊铺机应紧密配合,保证卸料过程中尽量减少离析。摊铺机手应尽量控制摊铺机的笼料次数,有时可以采用最后摊铺结束时一次笼料的方法,减少笼料导致的离析(图 1-14)。应保证螺旋布料器输送的均匀,减少端部出现的离析。

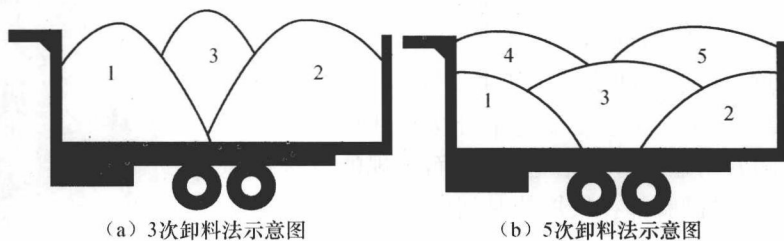


图 1-13 沥青混合料装载示意图

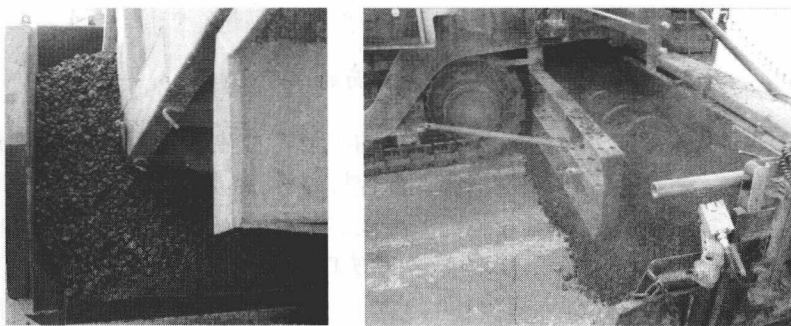


图 1-14 沥青混合料卸料和螺旋布料器的离析

沥青路面施工过程中除了材料离析,温度离析(图 1-15)也是导致施工现场不均匀而出现压实不均匀,进而导致沥青路面出现水损害的又一重要原因。沥青路面施工温度离析是由工程中沥青混合料的温度不均匀、碾压过程中压路机喷水不均匀等引起的。对于沥青混合料的温度不均匀,目前主要的措施是采用沥青混合料转运车(material transfer vehicle, MTV)(图 1-16)。

4. 沥青路面的结构层材料稳定性

沥青路面结构层材料稳定性主要包括水泥稳定粒料基层温度稳定性和含粉煤灰基层材料稳定性。前者主要指水泥稳定粒料强度对环境温度的敏感性,如现场施工控制不严、强度过高时,将导致水泥稳定类基层在夏季出现拱胀现象。含粉煤灰的基层材料材料稳定性主要是由于火力发电厂纷纷采取烟气脱硫技术以削减 SO_2 排放。由石灰或石灰石作为脱硫吸收剂的干法脱硫技术更环保、更经济,使用十分普遍,但导致现有的粉煤灰中含有超量的亚硫酸盐等硫化物。粉煤灰中含有超量的硫化物,导致施工的石灰粉煤灰稳定碎石和石灰粉煤灰稳定土等粉煤灰类稳定基层在施工使用一段时间后出现基层(底基

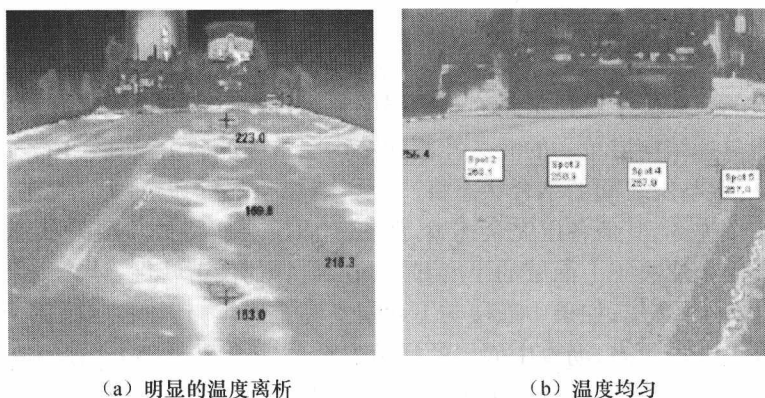


图 1-15 沥青摊铺过程温度红外线摄像图



图 1-16 沥青摊铺过程车辆图(装载车、材料转运车、摊铺机)

层)整体膨胀,影响路面结构的整体稳定性(图 1-17)。虽然GB/T1596—2005《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》中明确规定用于水泥和混凝土中的粉煤灰的 SO_3 含量不得大于 3%,但由于检测方法的差异性导致粉煤灰的 SO_3 含量检测不准确。由于此类脱硫灰渣已不属于粉煤灰范畴,也不能把它当做普通粉煤灰使用。但若仍采用GB/T176—1996《水泥化学分析方法》中的基准法测定其中的硫含量,存在亚硫酸钙中的硫大部分不能测出,以致会把 SO_3 含量大于 3% 的脱硫灰渣误当做合格的粉煤灰用于水泥混凝土拌和。

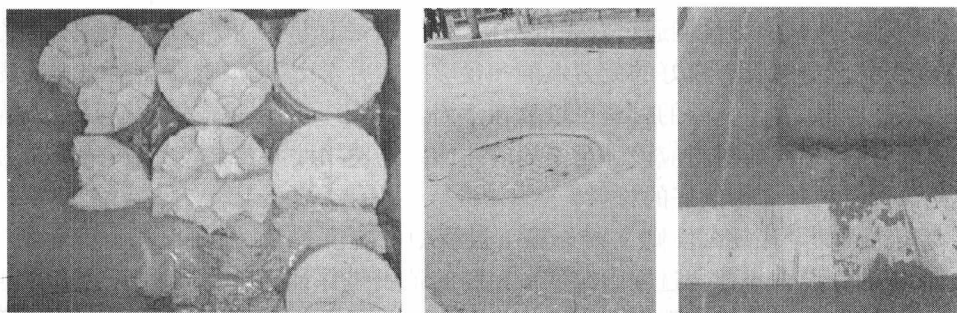


图 1-17 基层粉煤灰膨胀导致路面整体变形