

沥青路面 施工技术指南

Liqing Lumian Shigong Jishu Zhinan

刘焕昆 陈才伟 主编



人民交通出版社
China Communications Press

沥青路面施工技术指南

Liqing Lumian Shigong Jishu Zhinan

刘焕昆 陈才伟 主编



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书介绍了沥青路面现场施工的主要技术及验收标准,内容包括概述、沥青混凝土路面材料组成与选择、沥青混合料配合比设计、沥青混凝土路面施工、沥青混凝土质量标准及验收、特殊路面施工简介、路面缺陷预防与维修共七部分。

本书主要作为道路工程技术人员施工作业的指导,也可供大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

沥青路面施工技术指南/刘焕昆,陈才伟主编.--

北京:人民交通出版社,2013.7

ISBN 978-7-114-10779-5

I. ①沥… II. ①刘… ②陈… III. ①沥青路面—道路施工—指南 IV. ①U416.217-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 161372 号

书 名:沥青路面施工技术指南

著 作 者:刘焕昆 陈才伟

责任编辑:李 喆 卢俊丽

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)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:14.25

字 数:240 千

版 次:2013 年 7 月 第 1 版

印 次:2013 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10779-5

定 价:35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

随着我国经济地快速发展,交通先行的意识随之增强。特别是近些年建设任务的加剧,如何进一步加强公路建设质量管理是摆在每一名交通人面前的现实问题,而路面施工又是这一问题的重中之重。

目前,在各种参考文献中专门针对路面施工中具体问题处理的著作较少。本书从沥青路面的原材料选用、配合比的设计、路面施工等几方面进行了详尽的分析,尤其对于摊铺、碾压以及接缝等方面结合经验进行了细致地阐述,对于实际施工工作有着一定的指导意义。

全书共分七章。第一章分析了目前沥青混凝土路面的现状及特点。第二章对路面主要材料进行了介绍。第三章对配合比的设计及验证进行了分析说明。第四章主要介绍了沥青混凝土路面施工中的拌和、运输、摊铺、碾压、接缝处理五个方面的内容。第五章对沥青混凝土路面质量标准与验收方法进行了说明。第六章对特殊路面的施工进行了阐述。第七章对路面缺陷预防和维修进行了分析说明。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有疏漏及错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

2013. 7

目 录

第一章 概述	1
第一节 沥青路面的研究现状及发展趋势	1
第二节 沥青混凝土路面的常见类型与特点	17
第二章 沥青混凝土路面材料组成与选择	25
第一节 沥青	25
第二节 沥青混合料	36
第三章 沥青混合料配合比设计	47
第一节 沥青混合料配合比设计基本步骤	47
第二节 普通沥青混凝土配合比设计	53
第三节 SMA 混合料配合比设计	73
第四章 沥青混凝土路面施工	82
第一节 沥青混凝土的拌和	84
第二节 沥青混凝土的运输	98
第三节 沥青混凝土的摊铺	99
第四节 沥青混凝土的碾压	128
第五节 沥青混合料路面接缝处理	156
第五章 沥青混凝土路面质量标准与验收	163
第一节 原材料与混合料的质量控制	163
第二节 施工质量过程控制	166
第三节 竣工检测与验收	169
第六章 特殊路面施工简介	179
第一节 SMA 沥青路面施工	179
第二节 OGFC 路面施工	183
第三节 彩色沥青混凝土路面施工	189
第四节 Superpave 路面施工技术	193

第七章 路面缺陷预防和维修.....	201
第一节 沥青路面施工中对缺陷的预防.....	201
第二节 沥青路面损坏现象和原因.....	203
第三节 裂缝的维修.....	207
第四节 局部松散、破损和坑洞的修补	210
第五节 沥青路面整体维护与修理.....	215
参考文献.....	218

第一章 概 述

第一节 沥青路面的研究现状及发展趋势

一、我国高速公路存在的问题及成因

随着我国经济的快速发展和社会对交通运输的需求大幅度增加,公路运输近些年飞速发展。公路基础设施建设,尤其是高速公路建设得到了迅猛的发展。

截至 2012 年年底,我国公路通车总里程已达到 423.75 万 km,比上年末增加 13.11 万 km,高速公路里程达到 9.62 万 km,比上年末增加 1.13 万 km,居世界第二位。

1. 我国高速公路存在的问题

虽然我国公路通车总里程已经居世界前列,并且进入一个高速公路大发展时期,但困扰我国公路建设质量的问题一直存在。沥青路面是一种无接缝连续路面,整体强度高、行车稳定性好、低噪声、振动小、维修方便,被世界各国广泛采用。但沥青路面的早期破坏现象严重,甚至出现了大量的“初期破坏”现象,损失十分惊人,路面的实际使用寿命普遍低于设计寿命,路面破坏问题的严重性,引起了社会各界的广泛关注。

2. 我国高速公路问题的成因及研究历程

分析路面破坏发生的原因可知,环境条件和重载车辆及其耦合作用是导致路面早期破坏的主要因素。针对高速公路沥青路面的早期破坏问题,我国道路科技工作者进行了深入研究,大体可分为三个阶段:

1996 年之前为第一阶段,主要研究防止半刚性基层引起的反射裂缝。

1997~2001 年为第二阶段,由于片面追求路面平整度而造成压实度不足,空隙率过大,“水损坏”问题成为研究的重点。

2002 年至今为第三阶段,为了减少“水损坏”而采用了密实型混合料,同时大大提高了路面的整体强度,车辙成为路面的主要问题。

实际上,我们在并未很好解决第一阶段的问题的同时就面临第二阶段问题迅

速出现,使得无暇顾及第一阶段问题,而解决第二阶段问题的措施又是第三阶段问题出现的原因之一。造成这一被动局面的原因在于长久以来路面研究和实践中“重经验、轻理论,重感觉、轻实证”,路面科学已经成为实践走在理论前面的科学,研究沥青路面早期破坏背后的科学事实和内在机理已经成为当前亟待解决的问题。

我国高速公路在经历了反射裂缝和水损坏等破坏类型之后,路面车辙成为目前沥青路面的主要损坏现象之一,直接影响路面的行车安全性和舒适性。分析路面车辙产生的原因,不外乎有以下四个方面:路面结构的后续压实、路表面的磨耗、基础的变形和路面材料的塑性流动。

随着路面结构的加强、施工技术的提高,尤其是半刚性基层的采用,上述前三方面原因已经非常微小,甚至可忽略不计,路面材料的塑性流动成为车辙产生的主要原因。

3. 国内高速公路的研究

近年来,我国高速公路普遍存在交通量大、重载车辆多、渠化严重的行车特点,重交通已经成为高速公路的主要特征。通过对路面温度场的研究发现,气温和太阳辐射是影响路面温度场的主要因素,其中太阳辐射对沥青路面温度升高的贡献更大,我国夏季路面高温现象并不局限于南方高温地区,太阳辐射强烈的北方地区同样存在。因此,高温和重交通的共同作用是路面车辙产生早、发展快的主要原因,研究温度和行车荷载共同作用下沥青路面热力耦合机理是解决路面车辙问题的关键技术,是今后沥青路面研究的主要方向之一。

沥青路面的温度分布是环境因素最直观的体现,也是目前各类设计方法中考虑最多的非荷载因素。在道路的温度场研究中,目前采用的方法主要为理论法和数理统计法。近几十年来,国内外研究人员对路面温度场的理论研究和试验研究做了大量的工作。

我国在“八五”期间提出了适合我国国情的试验方法和指标,推荐用冻融劈裂强度比和残留马歇尔稳定度来评价沥青混合料的抗水损害能力。

20 世纪 90 年代初,原交通部重庆公路研究所的贾渝较为详细地介绍了美国常用的 9 种沥青混合料水损害试验方法,并分析了各个试验方法的使用范围、优缺点及与沥青混合料实际使用性能的关联程度。经比较后认为 AASHTOT-283 和 SATMD4867 与路面现场性能有较好的相关联系,值得我国借鉴。

交通运输部公路科学研究院的沙庆林院士对半刚性基层沥青路面的早期水损害进行了较为系统的研究。在我国多条高速公路水损害调查的基础上,归纳了水损害现象,分析了半刚性路面产生水损害的内因和外因,并从设计和施工的角度提出了半刚性路面减少早期水损害的主要措施。

- (1) 沥青面层的各层都用空隙率不大于 5% 的密实沥青混凝土。
- (2) 提高沥青与矿料的黏结力。
- (3) 提高压实标准, 增加现场空气率指标。
- (4) 路面结构中设排水层或者防水层。

4. 国外对高速公路的研究

早在 19 世纪, 可以适用于路面设计的某些力学理论就已经得到了发展, 其中赫兹在 1884 年提出的液体支撑板模型, 布辛尼斯克在 1885 年提出的弹性半空间课题, 在 20 世纪 50 年代的路面设计中得到了广泛的应用。

关于路面温度场的理论研究, 最先是由 Barber 在 1957 年提出的。他将路面视为均质半无限体, 用正弦曲线模拟一天内气温的变化, 利用传热学的基本理论求解出路面结构的温度分布状况。在运用数理统计方法对路面温度场研究方面, 2007 年康海贵等根据大量的实测沥青路面温度数据研究了沥青路面温度场的分布规律, 并利用回归分析对沥青路面温度场与气温之间的相关关系进行了探讨。

在对沥青路面结构设计计算方法研究的同时, 沥青混合料的力学特性研究也一直得到国内外学者的重视。沥青混合料是一种热流变材料, 为了描述其热流变性质, 早在 20 世纪 60 年代, Monismith C. L. 就已应用流变理论对沥青混凝土的黏弹性特征进行了研究, 并且证实了 Burgers 模型可以用于分析沥青混合料的黏弹性特性。

5. 沥青路面研究存在的问题及未来发展方向

由于黏弹性体温度场和应力场耦合问题在理论计算上的复杂性, 以往的研究中大多数都是针对单一场对路面的作用, 只有在研究温度应力时考虑其相互作用, 但没有完整的温度场和应力场耦合理论, 而路面的温度场和应力场的耦合效应是客观存在的, 缺少对两者相互耦合效应的深入分析。

沥青混凝土材料是一种典型的热黏弹性材料, 其物理力学性能与温度和荷载作用时间密切相关。尽管国内外学者对其本构模型提出了各种不同的方程, 但可用于黏弹性热力耦合问题求解的成果较少, 这严重制约了温度和荷载共同作用下沥青路面力学行为的研究和预防早期破坏技术的发展。

温度对沥青路面力学行为的影响, 尽管引起了广大学者的重视, 并且作为试验室最容易控制的环境因素进行了大量的研究, 但当我们, 通过对材料的设计控制了高温下不产生过量的车辙时, 并没有考虑高温时路面结构的内力状况是否比标准状态下更危险。因此, 深入分析路面在不同温度和荷载条件下应力、应变分布规律, 考虑温度和荷载的耦合效应, 对于弄清路面的临界状态, 保证设计的安全合理是十分必要和重要的。

因此,基于试验研究结果,深入分析温度对沥青混凝土力学特性的影响机理,提出适合描述沥青路面热力耦合问题的热黏弹性本构模型,可为定量分析温度和交通共同作用下沥青路面的力学行为和车辙发展预估及防治提供理论依据。

开展温度和行车荷载共同作用下沥青路面的力学行为研究,是解决目前我国高速公路沥青路面普遍存在早期破坏问题的需要,是今后建设适合我国国情的高水平道路的理论基础。今后可就以下方面做深入研究:

(1)深入揭示沥青路面的早期破坏内在机理、完善沥青路面道路设计基础理论。

(2)开展温度和行车荷载共同作用下沥青路面的力学行为研究。

二、高速公路改性沥青面层

随着经济的快速发展,道路的交通量也在日益增大,许多大型车辆及重载超载车辆在交通量中所占比重不断加大,使高速公路路面质量面临着严峻考验。许多传统的沥青路面建成后不久就出现早期破坏现象,已经越来越不适应现代交通发展的要求。因此,迫切需要改性沥青材料来提高路面的使用寿命。性能良好的改性沥青,不仅能够延长沥青路面的使用寿命,同时可以降低道路的养护维修成本,保证道路的行驶安全。

1. 国内外改性沥青工程研究

国外对改性沥青的研究比较早,早在 19 世纪 30 年代发达国家就开始将废胶粉改性沥青用作接缝填缝料、补丁和薄膜,国外对硫磺沥青的研究始于 20 世纪 70 年代初。例如,美国于 1975 年铺设了许多硫磺沥青试验路;20 世纪 80 年代国外将硅藻土作为改性材料以改善沥青路面混合料的强度、黏性、热压缩致密性等。硫磺改性沥青(SEAM)技术自 2000 年开始在美国应用,美国内华达州将 SEAM 技术应用于多条重要干线和拉斯维加斯市政道路的大修工程,2002 年 SEAM 技术被应用于旧金山奥克兰港的集装箱码头。

国内在 20 世纪 70 年代末、80 年代初开始了废胶粉在沥青混凝土中的应用技术研究,并铺设了大量的试验路。国内对硫磺改性沥青研究比较少,自 2001 年壳牌公司发明的新型 SEAM 材料在中国推广后,国内学者才开始关注对硫磺改性沥青的研究。同年,天津市政工程设计研究院对 SEAM 改性技术进行了研究并且铺筑了试验路。在对 SEAM 改性沥青的研究中,最具有代表性的是宝鸡高速公路的大修试验段,通过几年的运营,发现其路面使用情况良好。国内对硅藻土改性材料的研究始于 20 世纪 90 年代后期,湖南省于 2003 年在临澧县境内国道 207 线大修改造工程中铺筑了 8km 长的硅藻土改性沥青试验路。

2. 改性沥青类型及特点

1) 改性沥青类型

在沥青的改性材料中主要分为以下两种类型。一是高分子聚合物改性材料, 其是目前应用最广泛和研究比较集中的一种。按照改性剂的不同聚合物, 改性沥青主要分为以下几种类型: ①热塑性橡胶类。热塑性橡胶类主要是嵌段共聚物, 主要有热塑性苯乙烯—丁二烯嵌段共聚物(SBS)、无规聚烯烃(APAO)、特立尼达湖沥青(TLA)、甲基丙烯酸丁酯(BMA)、热塑性异戊二烯—苯乙烯嵌段共聚物(SIS)等, 在道路工程应用中, SBS因其具有耐高低温性能、弹性恢复性能而得到广泛应用, 目前 APAO 和 TLA 应用也非常广泛; ②橡胶类。橡胶类分为天然橡胶、合成橡胶和再生橡胶 3 种类型, 其中合成橡胶在道路工程实际应用中比较多。其主要包括丁苯橡胶(SBR)、聚苯乙烯—异戊二烯(SIR)、氯丁橡胶(CR)、丙烯酸丁二烯共聚物(ABR)和乙丙橡胶(EPDM)等; ③树脂类。树脂类主要分为热塑性树脂和热固性树脂两大类型。热塑性树脂主要有聚乙烯(PE)、聚苯乙烯及乙烯—醋酸乙烯共聚物(EVA)等。道路工程中主要应用 PE 和 EVA, 热固性树脂在道路工程中很少使用。二是矿物填料类。矿物填料类主要是通过添加材料对沥青进行物理改性从而提高沥青的耐磨性、耐久性等性能, 常见的矿物填料主要有硅藻土、硫磺、石灰、水泥、木质素、炭黑、石棉和炭棉等。

2) 改性沥青特点

改性沥青主要有以下几个方面的特点。

(1) 改性沥青路面具有良好的路面承载能力, 能够降低路面因交通荷载造成的路面疲劳, 从而延长路面的使用寿命。

(2) 具有良好的高温稳定性、低温抗裂性及抗反射裂缝的性能。改性沥青扩大了路面发生损坏的温度范围, 提高了软化点, 从而具有良好的抗车辙能力。

(3) 具有较强的黏结能力和抗水损能力。改性沥青路面的抗拉能力明显改善, 极大地改善了沥青路面的水稳定性。

(4) 降低路面噪声和提高抗老化性能, 尤其是因紫外线导致的老化。

3. 改性沥青路面使用效果与综合选择

改性沥青路面具有的良好使用效果, 主要表现在以下几个方面。

(1) 改性后的沥青路面在温度差异比较大的地方具有良好的耐高低温性能。

(2) 具有很好的抗车辙能力。同时路面的抗疲劳能力也明显提高, 尤其是在重载、大纵坡路段具有良好的应变能力, 减少路面的永久变形。

(3) 沥青路面的水稳定性和抗滑性能得到明显改善。

(4) 提高了路面的承载能力、延缓了沥青老化现象。在选择高等级路面改性沥

青时,要注意以下 3 个方面:

①必须对改性沥青的各项功能进行分析,综合分析改性沥青对路面性能和使用寿命的影响,选取最佳的改性沥青。

②在选择改性沥青的同时,一定要结合当地的地理气候条件,充分考虑当地交通量的需求,正确选择改性沥青。

③在选择改性沥青的同时,还要适当考虑增加的成本,进行经济比较,选择经济与性能综合最优的改性沥青。

三、高速公路路面基层

1. 路面基层发展历程

随着国民经济的发展,公路交通量的增长和重载车辆的增加已成必然,为适应交通的快速发展,路面结构包括基层结构也在不断更新和完善。就我国而言,已经经历了如下 3 个阶段:

(1)适应中、低交通的泥结碎石及级配砾石路面,其基层主要采用手摆片石、碎石土、碎砖等材料。由于交通量小并且是白色透气路面,能承担当时一定的交通量。

(2)随着公路里程的快速增长,为改善路面行车质量,采用沥青表面处治路面,而原来的泥结碎石及级配砾石路面改作基层。在推广中,发现该路面含土多,泥结碎石及级配砾石基层塑性指数大,越来越明显地暴露出水稳性不好的缺点。针对这种现象,当时用掺灰的方法对基层进行了处理,收到了一定的效果。

(3)进入 20 世纪 80 年代以来,随着我国经济的迅速发展,高等级公路的路程不断增加,为适应高等级公路重交通、重载对道路的要求,一种以无机结合料稳定粒料(土)为基层、沥青混凝土为面层的所谓“半刚性路面”被大量应用于高等级公路。国家在“七五”科技攻关项目中专门立项进行研究,并取得大量成果。由于缺乏高速公路设计和施工经验,所以这一阶段的高速公路的设计主要参考国外的一些路面结构进行设计。

2. 半刚性基层

20 世纪 90 年代后,我国新建高等级公路的基层结构形式主要为半刚性基层。基层一般采用无机结合料稳定粒料,厚度为 15~25cm,底基层一般采用无机结合料稳定土,厚度为 15~40cm。采用半刚性基层,可以有效增加路面承载力,为面层提供稳定的支承,从而充分发挥沥青面层行车舒适的优点。这种用水硬性结合料处治基层的沥青路面,其力学性能明显不同于仅用粒料基层和底基层的沥青路面,其优点表现在:

(1)具有较高的强度和承载能力。一般来说,半刚性基层材料具有较高的抗压强度和抗压弹性模量($500\sim 3\,000\text{MPa}$),并具有一定的抗弯拉强度,且它们都具有随龄期而不断增长的特性,因此半刚性沥青路面通常具有较小的弯沉和较强的荷载分布能力。目前,国内大多数高速公路路面结构在使用期内不同时期的代表弯沉均在 0.01mm 以内。因此,半刚性沥青路面适用于重交通道路。

(2)半刚性基层刚度大,使得其上沥青面层弯拉应力值较小(一般应 $<0.17\text{MPa}$),从而提高了沥青面层抵抗行车疲劳破坏的能力,甚至可认为半刚性基层上的沥青面层不会产生行车疲劳破坏,这就鼓励人们去减薄面层。鉴于半刚性基层沥青路面强度、平整度及抗行车疲劳性能较好这一特点,它实际上已成为目前我国高等级公路路面结构的主要形式。

然而,随着半刚性基层沥青路面的大量使用,逐步发现其存在一些严重的问题,这种半刚性基层的材料、结构特性较易造成基层开裂,从而在沥青面层形成反射裂缝,进一步导致或加速路面的破坏。通过对国内已建高速公路使用调查表明,半刚性基层沥青路面裂缝问题日益突出,并成为该结构的主要缺陷。一般通车后一年,最迟第二年均出现大量裂缝。

造成半刚性基层沥青路面裂缝较严重的因素是复杂的。其中有沥青面层低温缩裂、行车疲劳裂缝(通常较少),但造成路面裂缝较多的最主要原因是来自半刚性基层的反射裂缝。半刚性基层材料在外界温度、湿度变化下产生干温缩裂。这种具有裂缝的基层在干温收缩应力进一步作用下,裂缝顶端产生较大拉应力并且集中,是造成基层裂缝沿面层底部向上反射直至贯通的主要原因。

显然,研究和解决半刚性基层沥青路面反射裂缝,对于进一步完善半刚性基层沥青路面的使用功能和延长其使用寿命具有重大意义及实用价值。

3. 沥青路面基层类型的新发展

针对半刚性基层的不足,在基层类型上出现了两种新的形式:级配碎石上基层和沥青稳定基层。

1) 级配碎石上基层

为了能较好地防治半刚性基层反射裂缝的产生,国内外学者做了大量的工作,并取得了一定的研究成果,其中有代表性的级配碎石上基层,它是采用具有一定厚度和严格级配要求的优质级配碎石作为上基层,而半刚性材料作为下卧基层,这种上柔下刚式组合基层称为倒装结构。研究表明它能在很大程度上防止和减少半刚性基层反射裂缝。

级配碎石层虽能较好地防止反射裂缝,但级配碎石层整体强度不足,抵抗变形能力差,在繁重交通荷载作用下,容易产生疲劳破坏,而且其抗车辙的能力也较差,因此没有大面积推广应用。

2) 沥青稳定基层

沥青稳定基层沥青路面是在国外级配碎石沥青路面基础上发展起来的,由于沥青稳定层材料具有良好的强度和抗疲劳性能,使得这种结构在国外应用较广。其中最具有代表性的是美国的全厚式沥青路面结构和英国长寿命道路。

由国外的沥青路面结构可看出,沥青层的总厚度较大,其路面结构相对于我国的半刚性路面来讲,更偏于柔性。国外的沥青路面结构有向进一步加厚沥青层的厚度并提高沥青稳定基层的强度特性方向发展。国内在这方面做了一些尝试性研究,并且对沥青稳定基层沥青路面设计的各个方面进行了大量的分析和试验,但由于这方面的研究工作在国内外刚刚起步,主要是室内试验和参照国外的一些研究成果,还有许多工作要做。需要通过实际道路的修筑,对沥青稳定基层沥青路面的长期路用性能进行观测,以获得大量数据,进行分析。

4. 沥青基复合基层

综合分析,新型基层应是一种复合基层,才能达到扬长避短的目的。思路是利用级配碎石应力吸收原理及水泥稳定类粒料强度高的特点,综合考虑路面强度和继而对防止反射裂缝之间的关系,采用一种新型的沥青路面结构,在该结构中不单独设置应力吸收中间层,而是针对级配碎石中间层抵抗变形能力不足的缺陷,在面层和原半刚性基层之间设置沥青基复合材料稳定级配碎石作为上基层,原半刚性基层改做下卧基层。

沥青基复合材料是指在开级配沥青碎石混合料大空隙中(20%~25%),灌入以水泥为主要成分的特殊胶浆形成的混合料,具有高于半刚性基层的柔性和高于沥青稳定基层的刚性。曾经有研究将其用于路面,称作半柔性路面。当这种材料用于面层时,自然对其提出了较高的要求,需要具备面层的基本性质,比如温度与水稳定性、形成路面的平整性、抗变形及抗滑性能,这就对混合料的设计与施工提出了非常高的要求。而这种材料在施工时,其水泥胶浆的灌入是个难点,目前的施工工艺很难保证水泥胶浆按照设计要求保质保量地灌入,自然也就难以达到预期效果,因此施工后的路面性能往往不尽人意,阻碍了这种半柔性路面的发展和应用。

而基层相对面层来说,无需面层那样有如此多的性能要求,其主要性能指标是强度、刚度及稳定性。对沥青稳定级配碎石来说,已经具备了一定的强度、刚度及稳定性,但是柔性有余刚性不足,灌入水泥胶浆的目的是增加刚性。在空隙中只要能灌入水泥胶浆,就会改变混合料性能,达到目的。因此,在设计时对水泥胶浆灌入量的要求范围较宽,自然施工要求也随之降低,施工后形成的上基层就能达到预期效果,这样大大增加了这种复合层应用的可行性和科学性。

四、沥青路面性能

19 世纪 60 年代, Garey 和 Irkk 首次提出了使用性能的概念, 并将路面使用性能定义为“路面服务能力的演变历程”, 按此定义提出了路面服务指数 PSI 这一使用性能指标。1987 年美国 SHRP 扩大了路面性能的含义, 包含了路面行驶质量、损坏状况、结构的力学响应、行驶安全性以及路面材料的疲劳、变形、开裂、老化特性等各方面的含义, 成为一个泛指路面和材料各种技术行为的术语。2005 年, 同济大学的孙立军将路面性能与其形成内因联合在一起定义为路面结构行为, 即“路面结构(和材料)的物理特征和力学特征在外界因素(荷载、环境)作用下的相互关系”, 包括路面破坏、路面变形、材料特性、力学特性 4 个方面。

1. 沥青路面结构性能

基于路面设计方法的路面性能研究的基本路线是从路面性能入手, 分析其成因, 然后返回到路面形成的源头——设计阶段去改进。AASHTO 法是一个具有重大影响的设计方法, 产生于 1958~1962 年间的 AASHTO 道路试验。AASHTO 道路试验是第一个现代意义上的道路足尺试验, 该试验建立了路面设计参数、荷载和累计轴载作用次数之间的统计关系, 全面提高了路面研究和实践的水平, 在世界范围内产生了深远的影响。AASHTO 设计方法第一次提出了路面服务性能指数 PSI 的概念, 它以使用年限末的路面服务能力指数作为设计控制标准, 使路面结构设计和路面使用期末的性能联系起来。SuperpaveTM (Superior Performing Asphalt Pavement)——高性能沥青路面设计和分析系统是美国 SHRP 的重要成果之一, 泛指基于性能的规范、试验方法、试验设备、试验规程和混合料设计系统等一系列成果。AASHTO 和 LTPP (Long Term Pavement Performance) 研究计划掀起了世界范围内研究沥青路面的高潮, 各个国家都在沥青路面设计方法上越来越多地考虑路面性能的影响因素。我国的设计方法是基于力学的, 对于不同路面结构使用性能的变化规律认识不够清楚, 忽视了环境因素对路面性能的影响, 致使路面使用中暴露出大量问题而无法用现行理论和规范来解释。

2. 基于材料的路面性能

材料与路面性能的关系, 主要在于材料对路面性能的影响, 包括材料种类、混合料结构组成等对路面性能的影响。目前国内外沥青路面采用的沥青混合料种类很多, 各种沥青混合料的技术发展也很迅速。Superpave 沥青混合料是 SHRP 历经 5 年推出的方法, 该方法由沥青混合料规范、沥青混合料设计与分析系统、计算机系统三部分组成, 其目标是设计一种高性能的骨架密实型沥青混合料。SMA 沥青玛蹄脂碎石是一种间断密级配沥青混合料, 它铺筑的路面具有优良的抗车辙性

能、抗缩裂性能、耐疲劳性能、水稳定性能、抗滑性能和低噪声性能等。我国已将 SMA 技术列入沥青路面施工技术规范中,但该项技术在全国不同地区的研究和应用程度差别很大。OGFC(Open Graded Friction Course)沥青混合料是一种间断开级配的透水性沥青混合料,其应用源于日本和美国,目前在国际上发展前景良好。OGFC 沥青混合料路面具有良好的抗滑能力,能减少溅水和喷雾,降低滚动噪声,我国已将 OGFC 排水式沥青磨耗层引入沥青路面施工技术规范中。Bailey 法级配沥青混合料由美国伊利诺伊州交通部的材料工程师 Robert Bailey 提出,我国山东省交通科学研究所已对此方法开展了大量的研究和应用。

3. 基于环境的路面性能

路面结构处于自然环境的影响中,经受着持续变化的各种环境因素的影响,这种作用的结果集中体现为路面温度场的复杂分布。而沥青材料是一种典型的温度敏感性材料,其力学特性和路用性能随温度的变化而显著地变化。疲劳开裂和车辙变形是沥青路面结构最常见的与温度有关的两种损坏形式,其产生机理和发展过程都与路面温度场的分布状况密切相关。反映路面结构抗疲劳和抗车辙性能的疲劳等效温度和车辙预估等效温度是评价路面结构行为特性的重要参数。20 世纪 70 年代,美国的 Kingham 进行了大量的室内疲劳试验,建立了包含温度参数的沥青材料疲劳方程,得出在双对数坐标系中疲劳寿命与路面温度成线性关系。1974 年,Edwards 运用 Miner 定理研究发现,通过对沥青材料在不同温度条件下荷载每次作用所造成的疲劳消耗取平均值,则可得到沥青材料在疲劳等效温度下每次荷载作用造成的等效疲劳消耗,等效疲劳寿命即为等效疲劳的倒数。Shami 于 1997 年提出的温度影响模型,可以通过参考试验条件下的 APA(Asphalt Pavement Analyser)车辙深度值预估车辙在不同试验温度下随荷载作用次数的变化模型。在我国,长安大学、同济大学、东南大学等高校也对路面疲劳损伤破坏展开了广泛研究,并建立了相应的预测模型。

4. 基于数字图像技术的路面性能研究

早在 SHRP 计划中,研究者就已经意识到微观结构对沥青结合料与沥青混合料性能的影响,然而当时仅限于对沥青混合料宏观性能评价,对于其内部结构间的微观作用机理研究并未涉及,也未提出测量与评价沥青混合料内部结构的详细方法。数字图像技术的介入为沥青路面性能的宏观表现和微观结构研究提供了一种新的手段。Zhang Q. Y. (1996 年,1997 年)利用 CCD 相机采集沥青混合料试件的内部结构状况,识别出粒径大于 2mm 的粗集料,开创性地运用数字图像处理技术(Digital Image Processing)定量研究了沥青混合料中粗集料的取向、形状与空间分布规律。随着无损技术的发展,X-ray CT 技术也被逐渐地运用到沥青混合料

试件内部结构的研究之中。1998年,美国联邦公路局与特纳公路研究中心(TF-HRC)联合开展了SIMAP(Simulation, Imaging and Mechanic of Asphalt Pavements)研究计划。准备运用数字图像、X-ray CT、光弹镜像技术对沥青混合料内部的集料取向、离析、接触状况、空隙分布、胶浆分布等进行识别,并对沥青混合料的内部组成状况进行重建,对其宏观力学与强度机理进行模拟。对于沥青混合料的级配离析问题,目前世界范围内仍然没有较好的检测手段与评价方法,混合料内部微细观结构的研究为这一问题提供了一个崭新且极具潜力的途径。我国同济大学的张倩娜、哈尔滨工业大学的李智等运用数字图像技术对沥青混合料的内部组成及特性进行了初步的识别与分析。

5. 沥青路面基本使用性能

路面基本使用性能,即路面完成其基本功能需具备的必要属性及其外部表现。通常采用路面平整度、抗滑能力、路面破损状况、噪声水平、反光特性等指标来表示路面基本性能。

1) 路面平整度

路面平整度是路面性能评价的一个重要指标,不仅影响驾驶员及乘客的舒适性,而且还与车辆振动、运行速度、轮胎摩擦及磨损和车辆运营费用等有关,是一个涉及人车路三方面的指标。1960年AASHTO道路试验研究表明大约95%的路面服务性能来源于道路表面平整度。路面高低不平或突起,不但产生振动加速度,对驾驶员心理、生理产生很大的影响,而且对驾驶员的视觉刺激和驾驶行为产生较大的影响,长时间行驶在振动加速度较大的路段,将严重影响驾驶员的健康,造成驾驶员疲劳和紧张,影响交通安全。

目前国内外对平整度的研究主要集中在三个领域:路面平整度测定方法的研究、路面平整度评价指标的研究和平整度在路面养护管理中的应用研究。目前路面平整度测定方法大体上可划分为三大类:断面类平整度测定、反应类平整度测定、主观评估法。断面类平整度测定方法可分为两类:静态纵断面测定(如3m直尺)与动态纵断面测定(如连续式平整度仪)。上述两种测量方法都是直接测量道路表面凹凸状况得到纵断面。还有很多巧妙的方法可间接得到路面纵断面,主要有惯性断面仪,在测试车车身上安置竖向加速度计得到惯性参考系来计算车身的高程,然后再通过接触式或非接触式设备量测车身同路表面之间的距离,两者相结合得到路面纵断面高程。主观评分法,即组织专家评分小组,根据乘车的体验或目测检查,对路面的行驶舒适性给予评分,依据小组平均评分的高低,评估路面的平整度。国内外常用的平整度评价指标主要有国际平整度指数IRI、直尺测定最大间隙 $h_{\max}$ 与平整度标准差 σ 、纵断面指数PI、功率谱密度PSD(Power Spectral Density)、平均评分等级MPR(Mean Panel Rating)、行驶质量数RN和竖向加速度均