

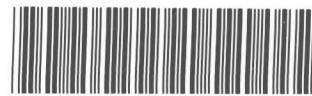
水泥混凝土路面 沥青加铺层设计与施工

Design and Construction of Asphalt Overlay
on Cement Concrete Pavement

陈拴发 杨 斌 著
马庆雷 章征春
王秉纲 主审



人民交通出版社
China Communications Press



湖南大学图书馆ZS0816462

水泥混凝土路面沥青加铺层 设计与施工

陈拴发 杨 斌 马庆雷 章征春 著

王秉纲 主审



U416.216
15

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了水泥混凝土路面沥青加铺层设计与施工方面的相关理论、设计方法与施工技术,包括水泥混凝土路面使用状况评定方法、水泥混凝土路面板断裂破坏分析、水泥混凝土路面沥青加铺层结构分析、破裂稳固水泥混凝土路面沥青加铺层结构分析、沥青加铺层反射裂缝的产生与扩展模拟试验、水泥混凝土路面沥青加铺层结构设计方法、水泥混凝土路面沥青加铺层施工技术等。

本书体系新颖、论述简明,可供公路、机场等交通土建方面从事水泥混凝土加铺改造方面的设计、施工与养护管理等工程技术人员以及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泥混凝土路面沥青加铺层设计与施工/陈拴发等

著. — 北京:人民交通出版社,2011.5

ISBN 978-7-114-09004-2

I. ①水… II. ①陈… III. ①水泥混凝土路面—加铺层—技术 IV. ①U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 057835 号

书 名:水泥混凝土路面沥青加铺层设计与施工

著 作 者:陈拴发 杨 斌 马庆雷 章征春

责任编辑:沈鸿雁 丁润铎 贾秀珍

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:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:14

字 数:332千

版 次:2011年9月 第1版

印 次:2011年9月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09004-2

定 价:35.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

在水泥混凝土路面上加铺沥青混凝土面层,不仅能大幅度地改善道路结构状况及使用性能,而且可以充分利用旧水泥混凝土路面的残余寿命、减少挖除旧水泥路面造成的建筑污染,缩短旧水泥混凝土路面的改造周期,体现出良好的经济及社会效益。

但是,旧水泥混凝土路面加铺沥青层的设计区别于新建沥青路面,具有其独特的技术难点及复杂程度,且加铺改造后沥青面层发生病害的可能性远大于新建路面。尽管国公路经历了二十多年的高速发展期,但就水泥混凝土路面加铺改造而言,仍处于边实施边摸索的阶段,业界对改造过程中的关键技术问题认识还不透彻,对所取得的研究成果仍缺乏广泛的共识,至今仍没有一个效果令人满意且施工工艺可行并具有明显社会效益的防治措施和成熟的理论、设计方法。由于这一问题的复杂性和各地交通、气候、材料及施工技术的差异,在所取得的研究成果之间缺乏共识,给设计和施工部门的具体操作带来了极大的困难。特别是水泥混凝土路面加铺沥青层是一种特殊的路面结构,其应力应变特性与一般的弹性层状体系有较大的差别,接缝(裂缝)的存在与气温周期性变化的影响,使沥青加铺层极易产生反射裂缝,而反射裂缝的存在往往加剧了路面结构的破坏进程。因此,在水泥混凝土路面沥青加铺层结构设计中,抗反射裂缝措施的合理选择与设置是其最为关键的技术之一。

作者在十多年之前就积极开展旧水泥混凝土路面改造技术研究,曾先后承担了“水泥混凝土路面改造技术”、“水泥混凝土路面加铺层结构与材料研究”等十余项省部级科研项目,并在陕西、山东、湖北、浙江、河北、河南、广西等省铺筑了二十余种加铺层结构试验路段,积累了大量的第一手资料,取得了许多创新性的研究成果,先后获省部级奖7项。本书系统总结了作者十多年来在水泥混凝土路面加铺改造方面潜心研究成果,包括基于有限元方法对水泥混凝土路面板断裂破坏分析、沥青加铺层反射裂缝的产生与扩展机理、沥青加铺层结构大尺寸试件模拟试验、不同路况下沥青加铺层结构类型的合理选取、水泥混凝土路面沥青加铺层结构设计方法等;同时针对新的路面结构与材料提出了相应的水泥混凝土路面沥青加铺层施工技术。本书形成的水泥混凝土路面加铺沥青层改造措施与施工技术,对于推动我国水泥混凝土路面沥青层加铺改造的设计与施工水平具有重要的借鉴和指导意义。

本书所述的成果研究时间跨度较大,参与人员众多。特别一提的是,本书中的部分研究是在已故长安大学胡长顺教授相关成果的基础上进行的;另外,众多合作单位特别是山东省交通运输厅公路局、湖北省公路局、唐山市交通局等单位的同行、专家在研究中也付出了大量的心血;长安大学王秉纲教授更是在作者从事相关研究的过程中给予了很多帮助与指点,

在本书的编写过程中也提出了许多宝贵的意见。可以说,本书是众多学者、专家集体智慧的结晶,在此向所有关心、支持本书编写与出版的师友们表示衷心的感谢;同时对人民交通出版社的朋友们的辛勤劳动致以诚挚的谢意。

水泥混凝土路面改造技术还处于发展阶段,而我们的研究成果也具有一定的局限性,更限于作者的认识水平和分析能力,书中内容若有不确切和不足之处,敬请批评、指正。

作 者

2011 年 8 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 旧水泥混凝土路面加铺改造技术	2
第二节 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构	2
第三节 旧水泥混凝土路面沥青加铺结构层防反射裂缝措施	5
第四节 旧水泥混凝土路面水泥混凝土加铺层结构	9
第五节 旧水泥混凝土路面破裂稳固与碎石化加铺层结构	13
第二章 水泥混凝土路面使用状况评定与加铺改造	15
第一节 水泥混凝土路面病害类型及分级	15
第二节 水泥混凝土路面状况调查和评定方法	17
第三节 水泥混凝土路面加铺层结构设计参数调查与确定	23
第四节 旧水泥混凝土路面加铺改造方法选择	34
第三章 水泥混凝土路面板断裂破坏分析	39
第一节 水泥混凝土路面断裂破坏类型	39
第二节 水泥混凝土路面断裂破坏力学分析	45
第三节 水泥混凝土路面板使用寿命分析	53
第四章 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构力学分析	57
第一节 旧水泥混凝土路面沥青加铺层反射裂缝形成机理	57
第二节 旧水泥混凝土路面沥青加铺层荷载应力分析	63
第三节 旧水泥混凝土路面沥青加铺层温度应力分析	74
第四节 旧水泥混凝土路面沥青加铺层荷载与温度耦合应力分析	83
第五章 旧水泥混凝土路面破裂稳固沥青加铺层结构分析	88
第一节 结构计算模型与参数	89
第二节 旧水泥混凝土路面破裂稳固沥青加铺层荷载应力分析	90
第三节 旧水泥混凝土路面破裂稳固沥青加铺层温度应力分析	100
第四节 旧水泥混凝土路面破裂稳固沥青加铺层荷载与温度耦合应力分析	105
第六章 沥青加铺层反射裂缝的产生与扩展模拟试验	110
第一节 国内外沥青加铺层反射裂缝试验方法综述	110
第二节 大尺寸沥青加铺层结构疲劳开裂模拟试验	114
第三节 小尺寸沥青加铺层结构疲劳开裂模拟试验	122

第七章 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构设计方法	128
第一节 国外沥青加铺层设计方法综述	128
第二节 我国现行沥青加铺层结构设计方法	136
第三节 旧水泥混凝土路面直接加铺沥青层结构设计方法	142
第四节 旧水泥混凝土路面破裂稳固沥青加铺层结构设计方法	145
第五节 设置反射裂缝缓解层的旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构设计方法	149
第八章 旧水泥混凝土路面沥青加铺层施工技术	151
第一节 旧水泥混凝土路面直接加铺沥青层前的病害处治	151
第二节 旧水泥混凝土路面破裂稳固施工	158
第三节 旧水泥混凝土路面碎石化施工	163
第四节 土工合成材料防裂夹层施工	171
第五节 级配碎石缓解层施工	174
第六节 开级配大粒径沥青碎石中间层施工	177
第七节 改性沥青混合料应力吸收层施工	190
第八节 纤维沥青混凝土加铺层施工	205
参考文献	216

第一章 绪 论

水泥混凝土路面是高等级公路路面结构的主要类型之一。自 20 世纪 90 年代以来,随着我国经济的迅速发展,公路交通量和轴载迅速增加,车速不断提高,对路面服务性能的要求随之相应提高。为了适应交通运输事业的发展,我国建造了大量的水泥混凝土路面,特别是原交通部 1989 年推广国家科委科技工作引导性项目“我国水泥混凝土路面发展对策及修筑技术研究”成果以来,我国水泥混凝土路面修筑里程明显增长。水泥混凝土路面的修建,推动了沿线经济及公路交通运输事业的发展,特别是对合理利用水泥资源,缓解沥青供应不足的矛盾,增加高等级路面铺筑里程、提高运输能力、加快经济发展等都起到了巨大的推动作用。

水泥混凝土路面是一种刚度大(称为刚性路面)、荷载扩散能力强、稳定性好的路面结构。世界各国对水泥混凝土路面的修筑技术一直在进行研究和总结,使得其技术上日臻完善,造价上具有明显优势。水泥混凝土路面工程与其他混凝土结构工程不同,它在承受车辆动荷载反复冲击作用的同时,还承受着温度、冰冻、湿度及腐蚀等环境因素的破坏作用。在这种使用条件下,水泥混凝土路面需要严格的质量控制和良好的支撑条件。

近年来,我国现有的水泥混凝土路面中有相当一部分已接近或超过设计年限,有的虽未达到设计年限,但由于交通量剧增、汽车轴载日益重型化,或设计、施工等方面的原因,路面出现损坏、使用品质下降等情况,影响了道路的使用功能,面临着修复与进一步改造的工作。

长期以来,水泥混凝土路面的加铺改造一直是各国道路工作者关注的热点,也是道路界所面临的重大技术难题之一。虽然各方对加铺层的研究已有几十年的时间,但进展缓慢,至今仍未有公认合理可行的设计方法,也鲜有技术上、经济上都令人满意的加铺结构。国内外对旧水泥混凝土路面加铺改造技术,特别是在抗反射裂缝方面仍处于探索与试验阶段。由于这一问题的复杂性,加之各地交通、气候及筑路条件的差异,在所取得的研究成果之间缺乏共同的认识,给设计及施工部门的具体操作带来了极大的困难。

与沥青路面相比,水泥混凝土路面的修复比较困难,可采用的大修措施主要为加铺沥青混凝土面层、加铺新水泥混凝土面层和破碎处理。由于沥青加铺层能有效地改善旧水泥混凝土路面的使用性能,同时充分利用旧水泥混凝土路面造价低、施工方便,且对交通、环境影响小的优势,因此,在国内外旧水泥混凝土路面改造工程中应用最多。然而,沥青加铺层普遍存在的反射裂缝往往缩短了加铺层的使用寿命。如何控制反射裂缝产生的时间和扩展速度至今仍是一个难题。目前,我国很多水泥混凝土路面正处于维修、待修状态,旧水泥混凝土路面行车舒适性差、车速难以提高的状况是目前急需解决的问题。

第一节 旧水泥混凝土路面加铺改造技术

水泥混凝土路面在发达国家已有较长的历史,他们对混凝土路面的养护维修经验也较为成熟,特别是一些国家早在 20 世纪 60 年代便开始对水泥混凝土路面的维修养护技术进行了较为广泛的研究,并取得了大量的研究成果。但随着交通量的增长及交通组成的不断变化,路面结构也不断得到完善,故对旧水泥混凝土路面评价与结构维修技术的研究持续至今。以美国为例,1985 年,联邦公路管理局出版了路面修复手册,1988 年又对该手册进行了修订;1995 年在总结全美研究成果的基础上,又分别出版了 AC/PCC 修复与评价指南。而日、英、法等国在不同时期也有类似的研究报告。

从目前的应用来看,国内外常用的水泥混凝土路面加铺改造修复措施主要有三种方案。

方案一:在旧水泥混凝土路面上加铺新的普通水泥混凝土路面或连续配筋混凝土路面,简称“白+白”。

方案二:在旧水泥混凝土路面上或补强后直接加铺沥青混凝土面层,简称“白+黑”或者“白+补强层+黑”。

方案三:将旧水泥混凝土路面碎石化后加铺沥青混凝土或水泥混凝土面层,简称“碎石化+沥青混凝土路面”或者“碎石化+水泥混凝土路面”。

这三种方案中,因沥青加铺层能有效地改善旧水泥混凝土路面的使用性能,提高车辆行驶的舒适性,且施工方便、对交通及环境影响小,因此,在国内外旧水泥混凝土路面改造工程中应用最多。但该结构致命的弱点就是沥青加铺层在旧水泥混凝土路面接缝处极易产生反射裂缝,导致加铺层使用寿命大大缩短。因此,如何控制反射裂缝的产生和发展,至今仍是道路工程界所面临的一大技术难题。而加铺水泥混凝土面层方式目前多采用素混凝土进行加铺,接缝一般要与旧板接缝对齐,否则新板同样易产生对应旧板接缝的裂缝,且新板使用一段时间后,同样会产生渗水、错台、脱空及断裂等病害,影响行车舒适性,同时新水泥混凝土加铺层同样也面临着二次修补的问题。碎石化(Rubblization)是指针对旧水泥混凝土路面大面积破坏并已丧失了整体承载能力,通过局部的挖除、压浆等处治方式已不能恢复其使用功能,且如果采用加铺方式可能会引起反射裂缝问题或已不能达到结构强度要求的情况下,对旧水泥混凝土板块采用的一种处理方法。其通常是利用特殊的施工机械,对破坏严重的部位进行处治后,将水泥混凝土板块破碎成较小的粒径(小于 30cm,甚至更小)后进行碾压,并加铺新的路面结构层,通常可以加铺水泥路面或沥青路面,使用较多的是加铺沥青混凝土面层。

第二节 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构

在旧水泥混凝土路面上加铺沥青混凝土在国内外已经得到了广泛使用,这往往也是旧水泥混凝土路面加铺改造的首选方案。自 20 世纪 70 年代起,国内外道路工程界对沥青加铺层结构的研究一直十分活跃,而防止沥青加铺层反射裂缝的材料与技术的研究则为其重

点与难点部分。这些研究工作主要包括五个方面的内容。

一、沥青加铺层反射裂缝的产生和发展机理

对于反射裂缝产生的原因,目前各国道路工程界基本形成了共识,认为沥青加铺层反射裂缝的扩展模式主要有两种:剪切型反射裂缝及张开型反射裂缝。交通荷载及温度作用是引起反射裂缝的两大因素。交通荷载主要引起加铺层的剪切型反射裂缝,在车轮偏荷载的作用下,接缝两侧的弯沉差过大而引起沥青加铺层的剪切破坏。温度变化主要引起加铺层张开型反射裂缝。温度变化使得路面结构产生两种变形,一种是由于温度下降使得沥青加铺层及水泥混凝土路面板产生温缩而引起接缝处张开变形;另一种是由于昼夜温差导致温度在各结构层中的不均匀分布,且由于不同材料具有不同的热膨胀系数,造成水泥混凝土板及沥青加铺层的收缩、翘曲而导致接缝处沥青加铺层张开变形而产生反射裂缝。

二、防止及减缓反射裂缝的措施

目前,国内外道路工作者针对反射裂缝产生机理进行了大量的研究工作,取得了一定的成果并部分用于工程实际。美国联邦公路局(FHWA)于1970年提出了一个减少沥青加铺层反射裂缝的庞大研究计划——NEEP-10,该研究计划包括以下几个方面的研究内容:加铺层厚度、沥青的稠度、沥青混合料中的外掺剂、罩面前对原路面的处理及应力消解层等。1988年,美国沥青协会对减少反射裂缝行之有效的三种方法进行了总结:在罩面前对水泥混凝土路面板进行破碎及稳定、对沥青混凝土加铺层进行锯缝和填缝及外掺橡胶粉。国内长安大学、同济大学、东南大学等高校及一些科研单位从20世纪80、90年代开始也相继开展了这方面的研究,并结合实体工程铺筑了大量的加铺层试验段,主要方法有:①增加沥青加铺层的厚度;②选用优质沥青并掺入阻裂材料;③设置土工合成材料、钢丝网或橡胶沥青夹层;④对半刚性补强层进行预切缝并加铺土工织物处理;⑤对旧水泥混凝土板进行破碎稳定处理;⑥设置抗反射裂缝中间层等。

三、评价抗反射裂缝效果的试验方法

抗反射裂缝试验的目的是评价不同沥青加铺层结构或材料的防裂效果,获取相关的计算参数并验证理论计算结果。国内外学者通过大量研究,提出了许多试验方法,主要分为以下几类。

1. 直接拉伸试验

加拿大渥太华学者 A. Shalaby 采用重复液压加荷机对现场浇制的尺寸为 $45\text{cm} \times 15\text{cm} \times 7\text{cm}$ 的沥青混凝土试件(分有缺口及无缺口两种)进行重复拉伸疲劳试验。荷兰 H. V. Duijn 在小块混凝土板上铺筑了纯沥青混凝土及无纺聚丙烯格栅 PP、聚酯格栅 PET 和玻璃纤维毡 Glasphalt 等几种沥青加铺层结构,并进行直接拉伸试验,对比各种结构的抗拉伸能力。

2. 间接拉伸试验

奥地利维也纳大学 E. K. Tschegg 等人采用劈裂试验来评定层间黏结强度 σ_{ns} 和单位断裂能 G_{f} 。

3. 弯曲—拉伸疲劳试验

意大利 Bologna 大学的 G. Dondi 采用无加筋沥青混凝土、无纺土工布、聚丙烯土工格栅

和土工织网等几种材料的沥青加铺层进行3点弯曲疲劳试验,对不同夹层的防裂效果进行评价。法国 Limoges 土木工程实验室进行了带跨中槽口试件的3点弯曲试验,获取了计算应力强度因子 K 及 Paris 规律的系数 C 、 P 值,从而利用 $d_a/d_N = C(\Delta K)^P$ 计算疲劳破坏寿命。同济大学的孙立军采用无切口有加筋层试件,在温度为 -3°C 、 15°C 和 60°C 条件下进行了静载试验,加铺层结构分别为含聚乙烯网层、无纺土工布、特种钢丝格栅夹层的试件和普通沥青混凝土。

4. 剪切疲劳试验

华南建设学院的叶国铮采用自制的剪切装置模拟了Ⅱ型裂缝的剪切疲劳破坏;葡萄牙 J. B. Sousa 采用了 Cox&Sons 公司生产的反射裂缝仪(CS7000 和 CS7200 系统)对试件进行了剪切和拉裂重复加载试验,模拟了Ⅰ型及Ⅱ型裂缝的联合作用。

5. 试板疲劳试验

日本 NAGATO. ABC 及英国诺丁汉大学均进行了试板轮迹疲劳试验,采用滚动的轮子模拟接缝两侧的偏荷载及中荷载作用对加铺层所产生的疲劳作用。

6. 大尺寸疲劳试验

基于沥青加铺层反射裂缝的扩展模式,胡长顺、陈拴发等人利用两块尺寸均为 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ 的混凝土板块,将其中一块板固定,另一块板沿水平方向作往复移动,两板间的缝隙用来模拟水泥混凝土路面的缩缝,以此模拟水泥混凝土板因温度变化而产生的伸缩变形;另外,采用两块尺寸均为 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ 的混凝土板块,其中一块板固定,另一块板在动荷载作用下竖向移动,利用其竖向位移的变化模拟水泥混凝土板在汽车荷载作用下接缝两端引起的剪切变形导致加铺层反射裂缝的产生。试验时,两种方法均以加铺层出现最早裂缝的次数作为评价指标。

四、反射裂缝的力学分析

目前对沥青加铺层反射裂缝有许多力学分析方法,主要可分为以下三类。

1. 静力学分析法

静力学分析法的基础是弹性理论,其代表为 ARE 法(Austin Research Engineers)。ARE 法采用弹性理论分析反射裂缝产生的机理,考虑张开和剪切两种破坏形式。由于这种方法采用了若干假设,一些实际的边界条件无法考虑,影响了计算结果的精确性;但这种方法易于掌握,很容易形成设计方法。

2. 有限元分析方法

有限元分析法可考虑各种实际的边界条件和荷载情况,能较好地模拟实际状况,易求出各点的应力、位移等,是分析反射裂缝行之有效的方法。美国 ILLINOIS 大学的 Diyar Bozkurt (1997 年)、Texas A&M 大学的 Ahmed Abdelazim Eltahan (1996 年)及 Yoon-Ho Cho (1998 年)采用有限元法对沥青加铺层进行了力学分析。国内长安大学的陈拴发、广西大学的杨斌、交通部公路科学研究院的曹东伟以及同济大学的李淑明、东南大学的符冠华等人均采用有限元法对加铺层反射裂缝进行了分析。Coetzee 和 Monismith 利用有限元方法分析了有无橡胶沥青膜(SAMI)的加铺层中裂缝附近的应力状况。

3. 断裂力学法

断裂力学能够研究带裂纹的结构或部件在外部及内部因素作用下,裂纹再萌生、扩展直至断裂的条件和规律,并研究部件材料抗裂纹扩展、抗断裂的能力,对部件进行寿命预估。目前,国外一些学者,如 Majidzadeh 提出了通过线弹性断裂力学对沥青路面的疲劳损伤过程进行描述;国内长沙理工大学的郑健龙、周志刚等人已把断裂力学应用于路面裂缝的计算。按照断裂力学及疲劳断裂力学的观点,可以认为沥青加铺层的破坏是由于旧水泥混凝土路面裂缝或接缝这种原始缺陷的存在,引起沥青加铺层的应力集中与内部损伤,当这种应力集中与损伤累积超过材料与结构抵抗破坏的容许值时,就造成了沥青加铺层裂缝的发展,并导致路面结构的破坏。

五、旧水泥混凝土路面沥青加铺层设计方法

目前,各国道路工程界对沥青加铺层设计方法尚未形成共识,国外对旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构的研究较早,并在大量铺筑试验路的基础上提出了相应的设计方法,通常应用经验法确定厚度,如美国沥青协会(AI)的弯沉法、美国陆军工程师部队(COE)的补足厚度缺额法、Ta法、ARE法等。这些设计方法大多为经验法,即以现场试验及室内试验结果为依据,结合试验路及对加铺层实际使用状况调查结果为基础的设计方法。其结合本地区的具体条件制订参数,确定经验公式或设计曲线。经验法来源于实际工程和试验路多年的观测资料与数据,因此,经验法是一种比较切合实际的设计方法。但由于国外的气候、水文、材料及交通组成与我国不同,且国外的路面设计理论与我国路面设计中传统的理论相差较大,无法照搬套用,只能在理论分析的基础上参考借鉴。就目前我国实际情况,不可能耗费大量的资金进行长期的试验路观测及各种数据采集,因此,可采用理论方法结合试验路的铺筑情况提出符合我国国情的旧水泥混凝土路面加铺层设计方法。我国现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)对于旧水泥混凝土路面上加铺沥青层作了指导性的厚度规定,即“沥青加铺层的厚度按减缓反射裂缝的要求确定。高速公路和一级公路的最小厚度宜为100mm,其他等级公路的最小厚度宜为70mm”。规范中附录D“有沥青上面层的混凝土板应力分析”对沥青加铺层厚度的确定方法是以控制加铺层下水泥混凝土路面的荷载应力及温度应力的综合疲劳作用不超过水泥混凝土弯拉强度为标准的,并未考虑反射裂缝对沥青加铺层的影响。

第三节 旧水泥混凝土路面沥青加铺结构层防反射裂缝措施

反射裂缝是沥青加铺层最主要的病害之一,控制反射裂缝已成为旧水泥混凝土路面加铺层设计的关键。目前,国内外许多学者及工程技术人员针对反射裂缝的产生机理进行了大量的研究工作,取得了一定的成果并已用于工程实际。除增加沥青加铺层的厚度并选用优质沥青和配置抗裂性能好的沥青面层混合料外,常用的措施还包括采用能吸收和消散裂缝尖端应力的夹层及中间层,如在加铺层和旧水泥混凝土路面之间设置土工合成材料织物、钢丝网,或铺一层弹性模量小、抗拉性能好的橡胶沥青应力吸收层等。

一、土工合成材料夹层

土工合成材料夹层一般设置在沥青加铺层及旧水泥混凝土路面板之间,常用的有土工布、玻纤格栅和塑料格栅等。土工合成材料的厚度较薄,一般在 $0.5 \sim 5\text{mm}$ 之间;土工织物的拉伸强度为 $20 \sim 50\text{kN/m}$,土工格栅的拉伸强度为 $30 \sim 100\text{kN/m}$ 。它们的特点是变形能力较强,在水平方向上可承受较大的拉应力,而在垂直方向上则刚度较小,抗弯拉及抗剪切能力低,其力学性质与薄膜类似。

土工合成材料用于防止反射裂缝主要起到以下作用。

(1) 隔离阻断作用。土工合成材料将旧水泥混凝土路面接缝或裂缝与沥青加铺层隔离,降低了混凝土板接缝或裂缝尖端的拉应力集中,使应力强度因子减小,从而减小反射裂缝扩展的速度。

(2) 加筋作用。土工合成材料夹层具有一定的强度,可承受一定的裂缝拉应力,减少裂缝张开变形量。

(3) 传递荷载作用。铺筑于接缝上的土工合成材料可提高接缝处的传荷能力。当荷载作用在接缝一侧时,能将部分荷载传递至另一侧,减小接缝的弯沉差,降低裂缝尖端的剪应力集中。

土工合成材料强度较低,厚度薄,对减少由车辆荷载引起的剪应力作用不大,其作用主要体现在减小由温度作用引起的水平应力。理论分析可知,土工合成材料的拉伸强度越大,其减小各种应力的作用就越明显。因此,在理论上,土工格栅(拉伸强度较大)防止反射裂缝的能力要好于土工布(拉伸强度较小)。图 1-1 为某高速公路试验路土工布的铺设情况。

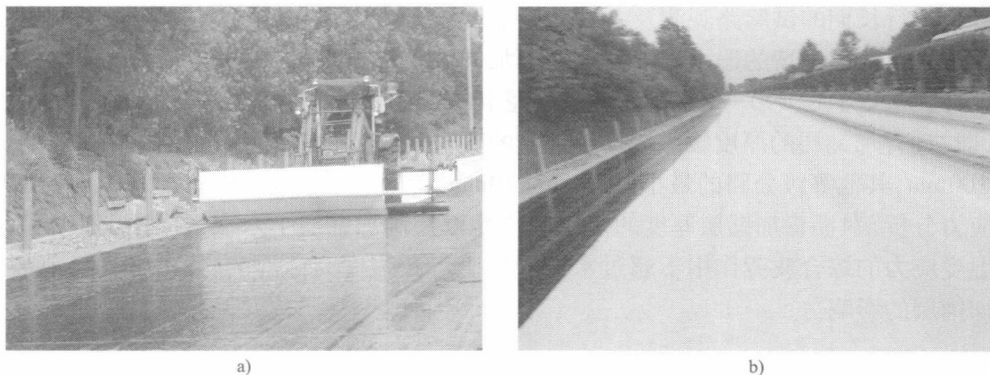


图 1-1 某高速公路试验路土工布铺设

二、应力吸收层

在旧水泥混凝土板及沥青加铺层之间设置一层橡胶沥青、改性沥青砂或柔软沥青混凝土这类应力吸收中间层(SAMI),来防止反射裂缝具有一定的效果,特别是改性沥青混合料应力吸收层使用效果明显,在技术上已经比较成熟。改性沥青混合料应力吸收层是一种采用特殊聚合物改性的沥青混合料,沥青含量高,混合料中细矿料比例大,具有高弹性、不透水、黏附性强及抗裂性能好等优点,因此,其具有更优良的抗裂性能。某高速公路设置应力

吸收层的加铺结构形式如图 1-2 所示。试验路应力吸收层的摊铺及碾压施工见图 1-3。

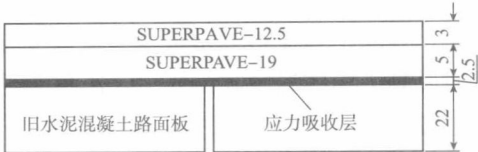


图 1-2 设置应力吸收层的加铺层结构(尺寸单位:cm)



a)



b)

图 1-3 某高速公路试验段应力吸收层摊铺及碾压施工

三、级配碎石中间层

级配碎石多用于半刚性基层沥青路面防止反射裂缝,在加拿大、南非等国家及我国的部分省市的试验路已得到了应用。实践表明,其防止反射裂缝的效果良好。某级配碎石中间层加铺层结构见图 1-4。试验路施工情况见图 1-5。

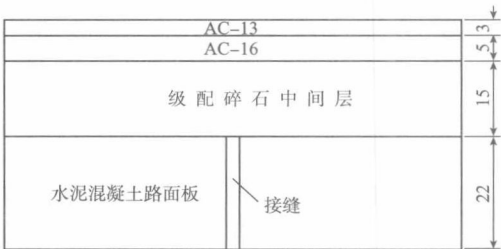


图 1-4 设置级配碎石中间层的加铺层结构(尺寸单位:cm)



图 1-5 某试验路级配碎石中间层

级配碎石中间层之所以能够有效防止和减缓旧水泥混凝土路面沥青加铺层反射裂缝,分析其原因主要有以下几点。

(1)级配碎石作为散粒结构具有不传递拉应力、拉应变的能力,水泥混凝土板接缝尖端的拉应力不会在碎石层面形成应力集中,因而碎石层吸收了接缝所释放的应变能,从而达到阻裂效果。此外,级配碎石散粒结构具有较大的塑性变形能力,这种能力能充分吸收接缝释放的应变能,从而减缓了由温度引起的 I 型反射裂缝和由交通荷载引起的 II 型反射裂缝向

上延伸扩展的速度。

(2)级配碎石的隔离作用大大改善了旧水泥混凝土路面的温度状况。由于碎石过渡层较厚,一般为 10 ~ 15cm,级配碎石的加入使得旧水泥混凝土板遭受的温度变化、温度变化速率及温度梯度大大降低,水泥混凝土板的温度收缩应力及温度翘曲应力都大大减少,因而可减少旧水泥混凝土板对沥青加铺层的影响。

(3)从理论上讲,可以认为级配碎石收缩系数极小,几乎为零,加上其本身并不传递拉应力和拉应变,因此它能消散、吸收单纯由环境因素变化,尤其是温度骤降情况下裂缝尖端的应力及应变。

四、大粒径沥青碎石混合料中间层

通常所说的大粒径沥青混合料(Large-Stone Asphalt Mixes,简称 LSAM)是指含有矿料的最大粒径为 25 ~ 53mm 的热拌热铺沥青混合料。一般用于防止沥青层反射裂缝的开级配大粒径沥青混合料的空隙率在 15% 以上。美国沥青协会建议采用 AM-75、AM-63 及 AM-50 特粗粒径沥青碎石铺筑于旧水泥混凝土路面与沥青加铺层之间,可作为缓解裂缝产生的中间层。针入度为 40 ~ 50(0.1mm)的沥青含量为 1.5% ~ 3.0%,混合料含有 15% ~ 25% 的连通空隙,阻碍裂缝尖端的扩展,因而可起到缓解裂缝扩展的作用,并且该结构层具有一定的厚度,可降低温度对水泥混凝土板的影响,减少水泥混凝土板接缝张开量和翘曲量,并且减少接缝处的弯沉及弯沉差,从而减少反射裂缝产生的可能性。

研究表明,大粒径沥青混合料中间层(图 1-6)能够防止和减缓旧水泥混凝土路面沥青加铺层反射裂缝的原因主要有三点。

(1)大粒径沥青混合料中大粒径矿料多,沥青含量少,空隙率大。这种多空隙结构可有效地阻断裂缝尖端的扩展路径,削弱拉应力、拉应变的传递能力,并且能消散、吸收由交通荷载及温度变化所产生的荷载应力和温度应力。此外,大粒径沥青碎石混合料收缩系数较小,其大粒径、多空隙结构具有较大的塑性变形能力,可充分吸收接缝释放的应变能,减小接缝处加铺层的应力集中,从而延缓反射裂缝向上扩展的速度。

(2)温度应力是引起沥青加铺层反射裂缝的主要原因之一。由于大粒径沥青混合料中间层的厚度一般为 8 ~ 12cm,该结构的隔离作用大大改善了旧水泥混凝土路面的温度状况,减少了降温及温度梯度对水泥混凝土路面及加铺层的影响程度,使水泥混凝土路面板的翘曲变形及接缝的张开位移量均有大幅度降低,因而可使沥青加铺层在温度作用下的受力状况得以改善。

(3)设置大粒径沥青混合料中间层后,加铺层路面结构的整体强度有所提高,可有效地减小沥青加铺层的荷载应力及接缝两侧的弯沉与弯沉差,延缓沥青加铺层荷载型反射裂缝的产生与扩展。



图 1-6 某试验路设置的大粒径沥青碎石中间层加铺层结构(尺寸单位:cm)

五、半刚性补强层预切缝 + 土工合成材料

由于一些旧水泥混凝土路面的整体强度过低,必须先在其上铺筑一层补强半刚性基层,然后再加铺沥青面层。但从实际工程来看,这种不采用其他防裂措施直接加铺的方法并不好,由于温度应力及基层干缩应力的影响,在旧水泥混凝土板接缝处的半刚性基层及沥青面层仍不可避免的会出现反射裂缝,因此可以采用在半刚性补强基层顶面进行预切缝再加铺条状土工合成材料的综合处治方法进行处理。具体方法是在铺筑沥青加铺层之前将旧水泥混凝土路面上的半刚性基层按一定间距(7~15m)设置预切深5~8cm的缝,并在接缝上铺约1m宽的土工合成材料,以减少加铺层的反射裂缝。

其防裂机理主要是通过锯缝释放半刚性基层因温度下降及水分散发收缩受阻而产生的拉应力,提供预定的不连续的断面位置,从而控制随意裂缝的出现。同时,利用切缝上的土工合成材料在一定程度上缓解裂缝处沥青加铺层应力集中,消除加铺层反射裂缝的产生。

第四节 旧水泥混凝土路面水泥混凝土加铺层结构

一、普通水泥混凝土加铺层

按加铺层与旧水泥混凝土面层之间接合方式的不同,水泥混凝土加铺层可分为分离式、部分接合式(直接式)和接合式三种结构形式,见图1-7;也有的在加铺分离式水泥板补强后,再加铺一薄沥青混凝土面层,以改善行车性能和使用性能。

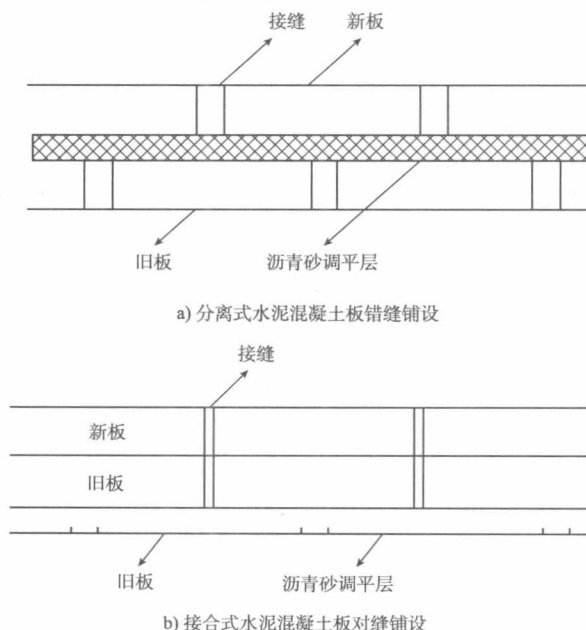


图1-7 铺设水泥混凝土板示意图

1. 接合式

当旧混凝土路面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为优良,面层板的平面尺寸及接缝布置合理,路拱横坡符合要求时,可采用接合式混凝土加铺层。

首先,清除接缝中失效的填缝料和杂物,并重新封缝。然后采用冷磨,喷射高压气、高压水、钢珠或者酸蚀等方法刨松和清理原路面表面,并在清理后的表面涂水泥浆、乳胶或者环氧等黏结剂后,铺筑混凝土加铺层。加铺层与旧路面相黏结为一个整体,共同发挥结构的整体强度作用。可用等刚度法按接合式进行应力计算与厚度设计,接合式加铺层厚度不小于10cm。

由于加铺层与旧面层接合成整体,旧面层的接缝和发展性裂缝都有可能反射到加铺层上。因此,加铺层的接缝形式和位置必须与原路面层的完全对应。同时,旧面层板存在进展性裂缝或者接缝或裂缝错台时,必须待这些损坏进行修复后,才能采用接合式加铺层。其加铺层内可不设拉杆或传力杆。

接合式加铺层与旧面层黏结成整体面层板,绕整体的中轴面弯曲。因而,其层厚较薄,疲劳弯拉应力受旧面层混凝土的弯拉强度控制。为保证实现新旧层的黏结,施工技术和质量要求均较严格。分离式加铺层由于设置了隔离层,可独立承受荷载和温度的弯曲作用,其设计厚度受加铺层混凝土的弯拉强度控制,要求层厚较大。部分接合式的设计厚度也受加铺层混凝土的弯拉强度控制,其要求层厚处于上述两种类型之间。

2. 分离式

当旧混凝土路面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为中或次,或者新旧混凝土板的平面尺寸不同、接缝形式或位置不对应或路拱横坡不一致时,应采用分离式(非黏结)混凝土加铺层。加铺层铺筑前应更换破碎板,修补裂缝,磨平错台,压浆填封板底脱空,清除夹缝中失效的填缝料和杂物,并重新封缝。

分离式加铺层与其他加铺结构形式相比,它在加铺层施工前对现有路面的处治工作量较小,只需对板下空隙较大处及活动的混凝土面板等进行修复。通过这些处治,可使加铺层及隔离层的厚度减薄,从而使工程总体较经济。实践证明,分离式混凝土路面加铺层在路面性能退化前的较长时期内,性能和费用都优于沥青加铺层。

分离式混凝土加铺层可避免因路面重建而带来的费用大、工期长、对正常交通秩序干扰大等一系列问题。它可以在现有路面上直接施工,而不需要挖除全部现有的混凝土路面再对基层进行处治。加铺层混凝土的铺筑方法同新铺筑混凝土路面施工基本一样,可做成接缝设传力杆或不设传力杆的素混凝土路面,也可做成钢筋混凝土或连续式钢筋混凝土路面,施工便利。与挖除重建相比,虽然个别路段可能会遇到调坡或抬高桥面问题,但其费用常大大低于重建的费用。

由于加铺层与旧面层之间设置了隔离层,旧面层的接缝和裂缝一般不会影响加铺层而使之产生反射裂缝。因而,分离式加铺层用于损坏(开裂)较严重的混凝土路面,但旧面层有板底脱空引起的唧泥、错台损坏时,应先进行处理(板底灌浆填封或将板破碎和固定)后,再铺设隔离层。隔离层主要起防止加铺层与旧面层黏结的作用,同时,需要时也可起整平层和调节横坡或高程的作用。仅用于防止黏结时,沥青混合料隔离层的厚度约为2.5cm。