

长安大学研究生学术论文集

2015年卷

张骞文 刘来君 贺炳彦 主编



陕西科学技术出版社



长安大学研究生学术论文集

2015 年卷

主 编 张骞文 刘来君 贺炳彦

副主编 姬国斌 柳有权 胡锦涛 刘 扬

陕西新华出版传媒集团

陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

长安大学研究生学术论文集. 2015 年卷/张骞文,
刘来君,贺炳彦主编. —西安: 陕西科学技术出版社,
2016. 6

ISBN 978 - 7 - 5369 - 6716 - 8

I. ①长… II. ①张… ②刘… ③贺… III. ①自然科
学 - 文集②社会科学 - 文集 IV. ①Z427.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016) 第 102889 号

学术论文编辑委员会

主 编: 张骞文 刘来君 贺炳彦

副主编: 姬国斌 柳有权 胡锦玉 刘 扬

委 员: 石涌泉 张可可 王思琪 万一品 黄 莹

李继东 曹世江 许晓秦 王 超 李秋菊

周慧芳 阮文倩 董 佼 李 萌 高景莉

王 清 刘 静

长安大学研究生学术论文集(2015 年卷)

出 版 者 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社

西安北大街 147 号 邮编 710003

电话(029) 87211894 传真(029) 87218236

<http://www.snstp.com>

发 行 者 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社

电话(029) 87212206 87260001

印 刷 长安大学雁塔印刷厂

规 格 880 mm × 1230 mm 16 开本

印 张 38.75

字 数 1051 千字

版 次 2016 年 6 月第 1 版

2016 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5369 - 6716 - 8

定 价 70.00 元

版权所有 翻印必究

目 录

聚合物 SRX 稳定级配碎石养生条件与温缩性能研究	李小东,常艳婷,朱凤杰(1)
高粘结透层油施工质量控制研究	杜本发,李洪珍(5)
高反射保水阻热多孔水泥路面	周 博,霍永富,高健强(10)
新型抗滑融雪涂层路用性能的试验研究	张国靖(16)
钢纤维再生粗骨料混凝土的力学性能试验研究	张相凯,王 冰,李占峰(21)
干线公路信号交叉口合理间距研究	刘 斌,周海宇(26)
列车过程单元的节能优化及其算法实现	崔 宇,黄晓梦,冯 彬(32)
基于 ADAMS 的挖掘机构仿真与优化设计	宋 柱,赵 佳,张 伟(36)
大客车静态强度分析	张可可,焦 彬(40)
基于 VISSIM 的连续交叉口信号协调研究	李广军,徐雪峰,冯 彬(44)
涡轮增压器的结构设计与 ANSYS 分析	张 伟,杨尉平,王 翌(47)
使用声场外推法分离相干声源	杨燕雨,韩 毅(53)
发动机悬置的动刚度与阻尼特性研究	凌子红,张一西,张星月(57)
PERT 和 CPM 方法在生产计划优化问题中的应用	马 海(63)
信号交叉口机非冲突特性研究	占隽均,王华健,彭 钊(67)
基于本质安全的城市道路交叉口安全评价研究	孔 静,杨海兰,桑 晨(72)
陕汽通汇物流仓库集中翻包区仿真优化设计	杨海兰,桑 晨,孔 静(77)
基于 GIS 应用技术的物流配送系统选址-路径问题研究	谢 超,乔 睿,陈 翔(82)
高速铁路在广肇运输通道上的市场竞争力分析	李 平,赵文静(87)
公共自行车系统静态调度问题研究	乔 睿,谢 超,陈 翔(92)
交通拥堵对机动车排放的影响	许晓秦,赵瑞妮,罗亚萍(98)
关于汽车尾气余热回收利用的研究综述	周文财,宋建华,魏 琼(103)
基于路网节点的空车调度优化模型	姚树森,郭宏玉,魏 琼(107)
煤基加氢柴油车用性能的试验研究	邱 坤,史本伟,陈 斌(112)
通勤出行链影响因素研究	张祎祎,杜学沛,田双双(119)

基于 UG 的轻型货车悬架设计及三维建模	许渝峰,凡 庆,任 肖(124)
基于 CATIA 和 ANSYSWorkbench 的方程式赛车车架轻量化设计	赵伟伟,吴学勤(128)
基于 ANSYS 的 FSAE 赛车车架有限元分析	李 凯,黄 帅,马相飞(134)
插电式混合动力汽车能源管理策略研究	杨尉平,张可可,陈秋谨(140)
基于车车协同下的汽车运行状态估计	王 鹏,唐自强(148)
城市纯电动客车性能分析及评价	陈秋谨,李俊睿,杨尉平(153)
基于 CRUISE 的 EQ3092 自卸车动力传动系统匹配分析	严慈磊,范起飞,王栋梁(160)
驾驶员危险预测能力仿真训练软件设计	刘新雨,魏 琼,王甜甜(167)
增程式电动商用车并联制动控制策略研究	许世维,王栋梁,鹿 静(172)
生物柴油和石化柴油喷雾特性对比	陈 斌,吴金峰,邱 坤(177)
CNG 单燃料发动机凸轮设计	孙宇婷,程清波(184)
抗氧化剂作用下生物柴油的排放特性研究	陈 妮,刘 丹,李 萌(192)
基于层级选址的城市公共自行车租赁点布局优化研究	段澄莹,陈 翔,杜学沛(198)
基于公交服务模式的公交频率分配模型	田双双,杜学沛(203)
基于不同时间段的出租车合乘路径选择与费率优化	杜学沛,田双双,段澄莹(209)
基于图像熵的公交车内乘客拥挤状态检测	黄 颖,陈 刚,赵 涛(214)
拉杆螺栓连接状态监测系统设计	王 超(220)
液压挖掘机姿态参数化建模系统	吴玉文,李 欣,盛亚君(228)
除雪车液压系统建模及仿真	汪程浩,赵建成,雷 元(232)
基于 AMESim 的高压水射流液压系统的仿真分析	卓卫国,李恪轩,胡 媛(238)
基于 PLC 的摊铺机振捣频率控制系统设计	赵 松,刘 丹,王 平(242)
基于遗传算法的高空作业平台的变幅铰点优化	李中豪,王思琪,马 媛(247)
沥青路面红外加热的有限元仿真与试验	张 琿,岳 珂,张吉星(251)
蒸汽室的散热分析及其仿真	李钢剑,商文翔(256)
沙土压实特性及其压实机械的研究探讨	邱 涛,贺兴亮,郑庆川(261)
齿轮钢晶粒静态长大规律研究	朱 英,王 进,马军星(265)
基于离散单元法的振动筛分效率分析方法研究	赵月玲,贺朝霞,宋绪丁(269)
电动车辆光伏充电站的 G-base MPPT 优化算法研究	宋阿华,王姣姣(275)

一种高功率因数校正的 Boost 型 AC-DC 电源系统·····	张 豪,柴 红(281)
一种超级电容电压均衡方案的研究 ·····	张银成,韩 宁(285)
设施农业区多路水分数据采集系统的设计与实现 ·····	姚盈盈,石浩然,刘卜华,闫茂德(289)
一种基于 WIFI 与 ZigBee 的 LED 智能照明系统 ·····	吴凯凯,柴 红,张 豪(294)
基于 ZigBee 技术的工业 CO 气体检测系统设计 ·····	李志强,孙永擘(299)
基于 PLC 的烧结配料恒流量控制系统 ·····	苏礼城,崔梦丹(306)
高速公路隧道群交通组织及控制策略 ·····	牟 璇,姜丹丹(311)
高速公路隧道群控制区段及控制单元划分 ·····	何运来,曹清源(315)
基于 Android 手机的公交查询系统设计与实现 ·····	谢乾坤,王爱民(319)
高速公路隧道机电系统综合数据平台分析与设计·····	邵远航,罗 建,洪 盛(327)
关于现代建筑应急照明设计的探讨·····	牟方园,王爱民,贺美杰(332)
浅谈现代建筑中的电气节能措施·····	贺美杰,王爱民,牟方园(336)
基于 V 模式的两轮自平衡车控制器开发 ·····	马丹萍,黑文洁,岳靖斐(340)
基于 TDR 的山体滑坡滑移量的时域反射计算模型 ·····	张保威,王 刚,杨可标(345)
时频特征提取方法在发电机组松动故障诊断中的应用·····	李 婷,祁 霞,刘 晨(350)
线结构光视觉三维测量关键技术·····	姚乃夫,王晓蒙,艾雪雯(355)
基于 ARM 的汽车 ECU 防湿预警系统设计 ·····	李 强,王姣姣,徐 江(361)
iPhone 个人授权版新浪微博 ·····	纪 宇,刘云飞,袁 超(365)
基于 BVH 人体骨骼运动数据的编辑与生成研究 ·····	樊璐,薛瑞,张廷磊(374)
关于川滇区域速度场和自由空气重力异常变化特征一致性的研究 ·····	赵莲莲,田 婕(379)
最小平方法多波 AVO 反演 ·····	程彬彬(383)
铜川下石节煤矿瓦斯地质规律研究·····	张旭阳(388)
新疆土根曼苏铜矿床的成因矿物学特征研究·····	周赛芳,刘云华,韩一筱(392)
大别山榴辉岩中石榴子石的拉曼谱峰特征·····	陈治伟(397)
东昆仑东段南坡下三叠统洪水川组第二段砾石特征及其构造意义·····	王 兴(402)
柴北缘花岗伟晶岩地质特征及成矿分析·····	王朝景,王 琪,庞国涛(409)
达肯大坂岩群的变质特征·····	庞国涛,王朝景,王 琪(414)
陕南西乡生物群中的软舌螺化石研究·····	王 琪,庞国涛,王朝景(419)

天津市滨海新区工业用地效率研究	董 佼(423)
西安市高新区土地集约度评价	李 娇(427)
补充耕地按等级折算应用研究	周 颖(431)
陕北地区城镇化建设与生态环境保护分析	苗丁丁(435)
基于多元回归模型的西安市建设用地变化驱动机制分析	王茸茸,王晓峰(439)
基于中国能源结构现状分析电动汽车的三效益	麦 克,易 秀(444)
带式固液分离装置性能研究	李德溢,马运睿,王翔宇,闫铎(449)
改性凹凸棒土/PVA 复合吸附剂的制备及吸附性能	李 荣(453)
基于 MODFLOW 的某选矿厂对地下水环境的影响分析	强怡星,王 钰,宋现龙(458)
PTFE-PPS 铝基超疏水表面在空气源热泵除霜领域的应用与数值模拟	
.....	狄 浩,李红梅,屈长杰,侯 博,丁 帅(464)
基于 XFEM 的黄土内裂纹扩展	白贝贝,王新鹏(468)
全过程视角下咨询企业造价控制效果评价	房 伟,李建峰,李秋菊,赵剑锋(473)
基于系统动力学的陕西省绿色建筑发展研究	王 宁,卫 婧,冯新宇(477)
西安地铁对商品住宅定价的影响分析	陈 坤,张 锦(483)
城乡统筹视角下提升乡镇规划品质策略探析	
——以甘肃省陇南—天水地区为例	张珈彬(488)
基于轨道交通换乘的公共自行车租赁点实证研究	
——以西安地铁 2 号线小寨站为例	杨燕如,周文芳,米庆志(492)
济南市城乡空间一体化的动力机制研究	景文丽(497)
基于人居生态单元的汉中地区乡村聚落空间分类研究	杨汝慧(501)
叶尔羌河流域景观格局与水质多变量协同研究	陈治金(506)
关于耕地流失问题研究	
——以陕西省为例	刘 静(510)
新公共管理“顾客导向”对我国行政改革的适应性研究	高景莉(514)
农村公路养护资金管理问题研究	常 阳(518)
浅析农民工社会保障问题	王 清(522)
政府监管视域下的食品安全探究	王佳娜(526)

从《野山》看巴赞电影美学的影响·····	王琛琛(530)
以《春光乍泄》为例探究港人身份认同·····	姜冬生(533)
A Discourse Analysis of Native English Teachers' Interaction Talk in Classroom	
——Focusing on Questioning Behavior of Teachers ·····	郝崇伶(536)
On the Acquisition of English Relative Clauses by Chinese Senior High School EFL Learners	
·····	刘淑琴(545)
隐性衔接在英语专业学生 TEM-8 写作中的应用 ·····	郑文川(552)
实物期权法在技术类知识产权资产评估中的应用研究 ·····	宋芳丽,冀小伟(557)
运用收益法评估公路经营权的不确定性分析·····	张 璇(561)
我国房产税税基评估研究	
——《不动产登记暂行条例》发布视角 ·····	杨 皎,杨 林(564)
利用股票市场信息对 CAPM 模型中市场风险溢价的测算研究·····	熊冰洁,代晶晶(568)
基于表外融资的租赁问题的相关研究 ·····	张 瑜,张 楠(572)
“营改增”对电信企业涉税影响及会计处理变化思考 ·····	冀小伟,霍爱霞(576)
营改增对交通运输企业的财务影响及对策研究·····	李丹凤(581)
特定功能类央企内部资金管理研究 ·····	张 楠,张 瑜(585)
会计收入与应税收入差异浅析	
——以企业所得税视同销售业务为例 ·····	张 星,王小花(588)
西凤酒在陕市场策略改进研究 ·····	李 静,周慧芳(592)
供应链风险传导研究综述 ·····	安大翔,张 强(596)
过程方法在物流服务质量管理中的应用 ·····	修冰倩,陈寒璐(600)
电子商务环境下的物流发展研究 ·····	周慧芳,李 静(603)
汽车理想等强度钢板弹簧拆分设计方法·····	姚如洋,尹冠生,袁晓磊(607)

聚合物 SRX 稳定级配碎石养生条件与温缩性能研究

李小东,常艳婷,朱凤杰

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘要:采用振动成型法对聚合物 SRX 稳定级配碎石养生条件进行研究,并且采用静压成型法对其温缩性能进行研究,得出聚合物 SRX 稳定级配碎石室内试验养生条件为养生温度 $100\pm 2^{\circ}\text{C}$,养生时间 $16\pm 1\text{h}$ 。通过研究温缩应变的变化规律,发现其温缩系数受温度变化影响较大,受 SRX 掺量变化影响较小,且其温缩系数绝对值很小,仅为水泥稳定碎石的 13%,说明其温缩性能很好。结果表明:聚合物 SRX 稳定级配碎石在规定的养生条件下能够极大地缩短养生时间,同时具有良好的温缩性能,因此具有很好的应用前景。

关键词:道路工程;聚合物 SRX 稳定级配碎石;温缩性能;养生条件

Abstract: Research on the curing condition for graded broken stone of polymer SRX based on vibration molding and its Temperature Shrinkage Performance based on pressure shaping were launched to determine the standard maintaining method of indoor test, which contained maintaining temperature which was $100\pm 2^{\circ}\text{C}$ and maintaining duration which was $16\pm 1\text{h}$. Variation law of temperature shrinkage strain was researched, which find out that temperature shrinkage coefficient was influenced by temperature on a larger extent and was less influenced by SRX content, and that a small absolute value of temperature shrinkage coefficient about 13% of cement stabilized macadam indicated good temperature shrinkage performance. The results indicates that the graded broken stone of polymer SRX greatly shortens the conditioned time and has good temperature shrinkage performance under the standard curing condition, which illuminates a better application.

Key words: road engineering; graded broken stone of polymer SRX; temperature shrinkage performance; curing condition

1 前言

过去 20 年是我国公路发展的黄金时期,基于国情,我国公路建设一直遵循“强基薄面”的指导思想,在高速公路基层与底基层中大量应用半刚性材料^[1]。虽然半刚性基层具有整体强度高、板体性好等优点,可有效提高沥青路面的承载能力,但其也有自身不可克服的缺点,特别是温缩,极易产生裂缝,导致沥青面层形成反射裂缝^[2],在行车荷载、水和温度梯度的综合作用下,使得路面结构产生唧浆、松散、坑槽,甚至车辙等,最终导致路面结构被破坏。聚合物 SRX 稳定级配碎石基层属于高韧性柔性基层,该基层对上层传递来的荷载只起分散作用,使用寿命长^[3],同时其基层具有干缩、温缩小的特点,可以有效防止反射裂缝的产生。聚合物 SRX 材料在国内的研究较少,还没有形成完善的体系。

为推动聚合物 SRX 材料在我国的应用,国内很多科研单位与高校都在积极开展对聚合物 SRX 的研究,如北京建筑工程学院杜洪新在其硕士论文中进行了聚合物 SRX 稳定材料与无机结合料稳定材料技术性能对比分析与评价工作,得出聚合物 SRX 稳定基层具有很高的强度,很好的抗疲劳性能等^[4];长安大学徐晓兵在其硕士论文中进行了振动法 SRX 稳定碎石级配与力学特性研究,提出了聚合物 SRX 稳定碎石的强度测试方法^[5]。但是他们对其养生条件都没有进行详尽准确的研究,同时也没有对类似半刚性基层至关重要的温缩性能进行研究,没能体现出聚合物 SRX 稳定级配碎石基层相对于半刚性基层的优越性。我们鉴于此,在以往研究的基础上进行了聚合物 SRX 稳定级配碎石养生条件和温缩性能研究,得出聚合物 SRX 稳定级配碎石在规定的养生条件下具有很好的温缩性能的

作者简介: 李小东(1989—),男,长安大学公路学院硕士研究生,交通运输工程专业。

常艳婷(1989—),女,长安大学公路学院博士研究生,交通运输工程专业。

朱凤杰(1990—),男,长安大学公路学院硕士研究生,交通运输工程专业。

结论。

2 原材料与混合料组成性质

2.1 原材料性质

(1)集料:试验所用集料是陕西渭南宫里镇凤西村料场生产的石灰岩,经检验,集料的技术指标均符合《公路工程集料试验规程》要求。

(2)聚合物 SRX:聚合物 SRX 材料是一种高分子树脂聚合物路用稳定剂,其主要成分为聚甲

基丙烯酸乙酯。聚合物 SRX 材料是一种通过采用多种特殊树脂及多种有机添加剂混合而成的共聚物溶液,可溶于水并以水为传导媒介均匀分散到土石等稳定材料表面。

2.2 混合料的配合比

试验所用混合料级配采用强嵌挤骨架密实结构^[6],其基准级配见表 1,SRX 掺量为 0.5%^[5]。

表 1 基准级配

筛孔/mm	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过率/%	100	64	47	36	28	17.5	7.5

3 SRX 稳定级配碎石的养生条件

《路用水基聚合物(SRX-VR 系列)稳定公路基层施工技术规范》中给出的 SRX 稳定碎石养生方法为:50℃烘箱烘烤 2d 后在阳光下自然照射 7d 或 30℃烘箱中烘烤 10d。这种养生方法的缺点是养生时间过长,在试验量稍大时,实验室的烘箱会成为试验的制约因素,严重影响试验的进度。由于 SRX 稳定级配碎石强度是通过压实和水分挥发 3 个必要条件形成的,压实通过压实度控制,需满足《公路沥青路面设计规范》要求;而水分挥发过程则取决于养生温度和养生时间 2 个因素,因此可提出研究思路:在一定范围内,提高养生温度,可以增大试件的失水速度,加快强度的形成,缩短养生时间,且不会影响试件最终强度的大小。

3.1 试验方法

采用上述确定的混合料配合比,按 98% 压实度在最大干密度、最佳含水率条件下振动成型 $\Phi 15\text{cm} \times h 15\text{cm}$ 的圆柱体试件,烘箱采用中兴 101,研究养生温度和养生时间对 SRX 稳定级配碎石无侧限抗压强度的影响规律,以此确定出最合适的养生温度和养生时间。

3.2 试验结果

试验采用烘箱的养生温度分别为 30℃、50℃、65℃、80℃、90℃、95℃、100℃、105℃、110℃。各养生温度时试件烘干所需要时间和烘干后对应的无侧限抗压强度试验结果见表 2。养生温度 100℃ 条件下,试件的含水率与养生时间的关系,见图 1。

表 2 在各养生温度下试件烘干所需时间和烘干试件的无侧限抗压强度

养生温度/℃	烘干时间	无侧限抗压强度/MPa
30	10d	6.4
50	6d	6.5
65	4d	6.4
80	3d	6.5
90	1.5d	6.5
95	20h	6.7
100	16h	6.6
105	13h	6.5
110	12h	6.4
自然养生	45d	6.6

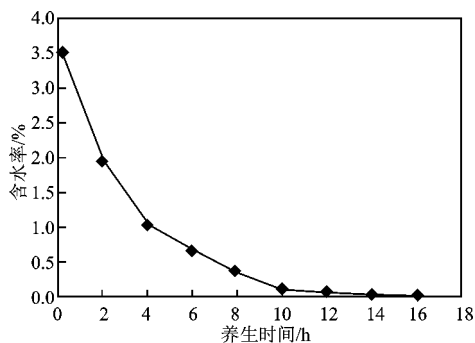


图 1 100℃ 养生条件下试件含水率与养生时间的关系曲线

3.3 数据分析

由表 2 可以看出,随着养生温度的升高,试件失水速度加快,试件达到干燥状态所需时间逐渐缩短,养生温度从 30℃ 提高到了 110℃,试件达到干燥状态的时间从 10d 缩短到了 12h。同时试件在不同养生温度条件下烘干后,其所能够达到的无侧限抗压强度基本一致,说明在 30~110℃ 的温度区间内养生温度对 SRX 稳定级配碎石最终强度的形成基本没有影响,因此养生温度的提高并没有影响 SRX 稳定级

配碎石所能达到的最终强度。在 105°C 时无侧限抗压强度出现了一定的下滑现象,由于 SRX 材料为高分子有机聚合物,过高的养生温度会对材料造成一定的老化,最终使试件的无侧限抗压强度降低,为了减少由于养生温度过高对其造成的老化,保证试验结果的准确性、可靠性,试验养生温度不宜太高。因此选定的养生温度为 100°C 。

由图 1 知,试件在 100°C 的养生条件下,养生前 10h 试件的失水速度很快,失水达到 97%,在养生 16h 时试件达到完全干燥状态。因此确定养生温度为 $(100 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,养生时间为 $(16 \pm 1)\text{h}$,即为 SRX 稳定级配碎石的标准养生方法。在标准养生条件下,试验所需养生时间得到极大地缩短,更有利于试验的进行,同时也可以提高试验设备的利用率,节约试验的成本。

4 温缩性能

半刚性基层由于温缩、干缩极易产生裂缝,并最终会导致沥青面层形成反射裂缝^[2]。当 SRX 稳定级配碎石用作高等级公路沥青路面基层时,与半刚性基层在路面中的层位相似,由于施工结束后上面有沥青面层覆盖,其含水率基本维持不变,同时材料本身干缩系数也很小^[7],因此要着重研究其温缩性能。

4.1 试验方法

借鉴有关半刚性基层材料的温度收缩资料来研究聚合物 SRX 稳定级配碎石的温度收缩性能,温缩特性的温度区间取 $-20 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。试验采用路面材料收缩变形测试仪进行材料的温缩试验。

4.2 试验结果

采用基准级配,SRX 掺量为 0.25%、0.5%、0.75%、1% 4 种掺量,在最大干密度和最佳含水率条件下采用静压法成型 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 40\text{cm}$ 的中梁试件,每组试件测定 6 个温度级别,分别为 $-20 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 、 $-10 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 、 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 、 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 、 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 、 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$,试验环境箱中的温度变化速率设置为 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$,每个温度区间恒温 6h,数据采集时间间隔为 5min/次,整个试验持续时间 42h。

不同掺量 SRX 稳定级配碎石温缩系数随温

度变化规律的试验结果见图 2,其温缩系数的最大值见图 3。

4.3 数据分析

由图 2 可知,在同一温度区间内,随着 SRX 掺量的增加,温缩系数逐渐增大,但是其增大的幅度很小,这说明 SRX 掺量对温缩性能的影响不是很大;在不同的温度区间时,当温度在 $-10 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 时,此时温缩系数达到最大值,温度在 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 时温缩系数最小,两者相差较大;可以看出温度变化对温缩系数的影响要远远大于掺量变化带来的影响。总体来说,SRX 稳定级配碎石的温缩系数同其他路用材料一样受温度影响比较明显,在不同的温度区间温缩系数差异较大。

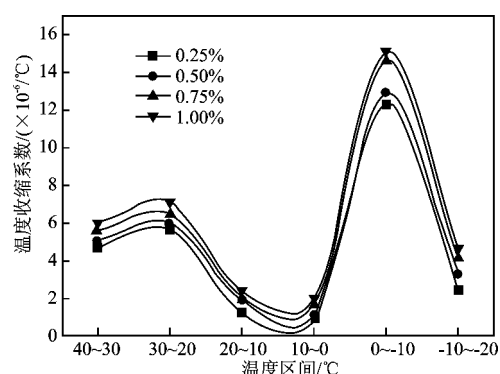


图 2 不同掺量的 SRX 稳定级配碎石温缩系数随温度的变化规律

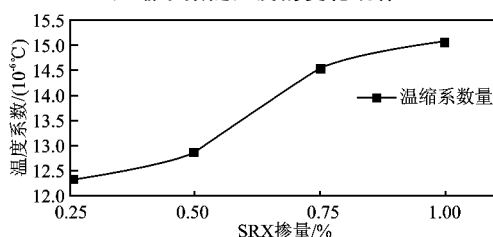


图 3 不同掺量的 SRX 稳定级配碎石温缩系数的最大值

由图 3 可知,SRX 稳定级配碎石的最大温缩系数在 $12.34 \sim 15.08 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 区间,绝对数值较小,表现出良好的温缩性能。为了更好地分析其温缩性能,表 3 给出了 SRX 稳定级配碎石和其他路用材料的温缩系数的平均值,更直观地反映了其温缩性能。

表 3 不同路用材料的温缩系数平均值

类型	0.5%SRX 稳定级配碎石	水泥混凝土	石灰稳定材料	二灰稳定材料	水泥稳定材料
温缩系数平均值/ ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	5.03	9.67	156	56.6	37.5

由表 3 可知,聚合物 SRX 稳定级配碎石的温缩系数要远远低于其他路用材料的温缩系数,与同样作为基层材料的水泥稳定碎石相比,仅为水泥稳定碎石的 13%,良好的温缩性能可以有效地减少基层开裂,进而减少沥青面层的反射裂缝,最终起到延长沥青路面使用寿命的作用。

5 结语

(1)通过试验分析得知,随着水分的挥发,SRX 材料会在集料表面形成一层有机黏膜,使集

料紧密地黏结为一个整体。养生温度的提高,只是加快了强度形成的进程,缩短了强度形成的时间,使其更快达到最终强度,并没有降低 SRX 稳定级配碎石的最终强度,最终确定 SRX 稳定级配碎石养生温度为 $100\pm 2^{\circ}\text{C}$,养生时间为 $16\pm 1\text{h}$ 。

(2)通过路面材料收缩变形仪评价 SRX 稳定级配碎石的温缩性能,研究表明,其温缩系数要远远低于其它路用材料的温缩系数,仅为水泥稳定碎石的 13%,良好的温缩性能可以有效地减少沥青面层的反射裂缝。

参考文献

- [1] 邓学钧,张登良.路基路面工程(第三版)[M].北京:人民交通出版社,2008.
- [2] 沙爱民.半刚性路面材料结构与性能[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [3] 《Design Criteria for Soilfix application to Roads》.Romix International Ltd.公司.
- [4] 杜洪新. SOILFIX 高分子聚合物稳定柔性基层试验研究[D].北京:北京建筑工程学院,2012.
- [5] 徐晓兵.振动压实 SRX 稳定碎石矿料级配与力学特性研究[D].西安:长安大学,2013.
- [6] 李頔.基于振动法的级配碎石设计标准与设计方法研究[D].西安:长安大学,2010.
- [7] 李立寒.道路建筑材料(第四版)[M].北京:人民交通出版社,2007.

高粘结透层油施工质量控制研究

杜本发¹,李洪珍²

(1. 长安大学 教育部特殊地区公路工程重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 连云港市东海县交通局, 江苏 连云港 222300)

摘要:为保证半刚性基层与沥青面层的有效结合,研制生产了高粘结透层油。通过在试验路段的洒布并结合室内试验,研究制定了透层油的生产工艺、施工工艺和质量控制技术,确定了高粘结透层油的最佳洒布量为 $1.5\text{L}/\text{m}^2$,最佳洒布时机为基层碾压结束后20 h以上,洒布时的环境温度要在 10°C 以上,这对于保证沥青路面基层间结合提供了有效地技术指导。最后,分析了高粘结透层油的成本,认为高粘结透层油在技术、经济方面均具有明显的优势,具有很好的推广应用前景。

关键词:高粘结透层油;乳化沥青;施工工艺;质量控制技术

Abstract: In order to improve the bonding of the cement stabilized macadam base and asphalt layer, the prime coat with good cohesiveness and penetrability is developed. Production technology, construction technology and quality control techniques of the prime coat are formulated through the pavement test of spraying high cohesiveness prime coat and laboratory tests. The results show that the best spray volume of the high cohesiveness prime coat is $1.5\text{ L}/\text{m}^2$, the best spray times is more than 20 hours after the grassroots end, and the environment temperature when spraying is above 10°C . This is of guiding significance to the road paving. At last, the paper analyzes the cost of high cohesiveness prime coat. It shows that the high cohesiveness prime coat has a good advantage in aspects of technical and cost, also has a good application prospects.

Key words: high cohesiveness prime coat; emulsified asphalt; construction technology; quality control

1 引言

我国《公路沥青路面施工技术规范 JTG F40—2004》关于透层的要求是沥青路面各类基层都必须喷洒透层油,渗透深度不小于 5mm ^[1],沥青层必须在透层油完全渗透入基层后方可铺筑。作为沥青路面结构中不可缺少的一部分,透层的施工应该得到施工单位的重视。Kucharek, AS^[2]等在不同的含水量和压实条件下,用不同矿物的改性砂渗透试验来评价透层油的渗透深度和渗透时间,认为即时渗透和过一段时间的渗透效果都非常好。各国对透层油洒布时间的规定也基本上是一致的,英国规范规定^[3],对于水泥稳定类基层,透层油应在基层碾压成型1 h后尽快进行。包龙生^[4]等研究了高渗透乳化沥青在半刚性基层上的渗透性能,确定了其最佳洒布时间和洒布量;西安公路研究所张斌^[5]等通过室内对比试验,结合神府高速公路工程实际,总结了 HTC—08 型透层油在水泥稳定碎石基层上的施工工艺,认为基层成型1 d内洒布效果最好。无论是生产和施工时的工艺流程和质量控制,还是生产和洒布透层油

的机械设备,都必须经过严格控制,使透层真正意义上发挥作用。

为了提高乳化沥青的使用质量,本文在开发的高粘结改性乳化沥青的基础上结合室内生产经验,制定了一套适用于高粘结透层油的生产工艺,并结合实际工程试验段的铺筑,制订了高粘结透层油的施工工艺和质量控制技术。

2 高粘结透层油的研制

用于水泥稳定碎石基层的透层油要同时满足良好的渗透性与粘结性,以保证基层间的有效结合,为此,需要开发一种具有良好粘结性能的透层油。

本文通过室内渗透试验,首先开发出了具有良好渗透性能的乳化沥青,在此基础上,通过添加增粘剂,研制出高粘结性乳化沥青透层油,使之具有良好的渗透性和粘结性。通过与普通乳化沥青和煤油稀释沥青的渗透试验、层间剪切试验和抗冲刷试验对比,发现所研制的高粘结性乳化沥青透层油具有良好的层间结合性能,能够有效地实现透层油的作用。具体试验结果见表1。

作者简介: 杜本发(1990—),男,江苏徐州人,长安大学公路学院研究生,交通运输工程专业。

李洪珍(1988—),男,山东枣庄人,现就职于江苏连云港市东海县交通局。

表 1 不同透层油材料的路用性能对比

		煤油稀 释沥青	普通乳 化沥青	高粘结乳 化沥青
渗透性能		中	差	优
层间结合	粘结性能	差	良	优
性能	抗冲刷性能	中	差	优

3 高粘结透层油的生产工艺研究

结合室内生产经验,采用先改性后乳化的方式,制定一套适用于工厂使用的生产工艺,为现场施工提供相应的依据。

3.1 生产工艺

3.1.1 改性沥青生产工艺

将基质沥青储存罐的温度设定为 160°C ,开动改性机器,机器运转正常后,开动沥青储存罐的阀门,将沥青按计量泵入改性机器,然后向机器中添加改性剂(尽量使改性剂能够均匀分散于沥青中),改性 $30\sim 45\text{min}$ (改性期间控制沥青的温度小于 180°C ,以防止沥青老化,影响改性沥青的使用性能)。

3.1.2 乳化沥青生产工艺

① 按配比方案进行相关材料的准备。

② 配置乳化沥青皂液:将乳化剂和稳定剂按配比与水混合,搅拌均匀,使乳化剂和各种添加剂充分溶解。皂液温度控制在 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间,同时调节 pH 值(酸碱度),使皂液 pH 值大于 12。配置出的皂液接近透明状。

③ 配置沥青—溶剂溶液:将改性沥青加热到 $140\sim 160^{\circ}\text{C}$,按生产配比向其中加入溶剂,充分搅拌均匀。

④ 生产过程:皂液(入口温度 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$)入口阀门打开,开动胶体磨,待机器运转正常后,再将沥青(入口温度 $140\sim 160^{\circ}\text{C}$)按计量泵入,检测出口乳化沥青含量。

4 高粘结透层油施工工艺研究

4.1 高粘结透层油的施工工序

(1) 生产透层油

在基层铺筑的同时,准备生产透层油的材料,检查透层油生产设备是否正常,防止某一环节出现问题,影响施工进度。严格按照室内试验验证的生产工艺生产乳化沥青,尤其要控制好水和基质沥青的温度,以及乳化剂水溶液的 pH 值。

(2) 洒布高粘结透层油

在确保基层表面稍干但尚未硬化,天气温度为 20°C 左右时,将基层碾压成型 24 h 后便可洒布透层油,洒布前先封闭交通,对基层表面的杂物进行清扫。

透层油生产完成就直接通过管道输入洒布车,先确保洒布车的喷洒管道是否疏通,洒布前检查基层表面是否存在离析、松散等,若有则予以清除。

高粘结透层油在洒布时温度应控制在 40°C 以上,同时,洒布温度不宜过高,避免高温导致破乳速度过快从而影响其渗透效果。

透层油的洒布量通过层间剪切试验和拉拔试验确定,并在试验段面层施工后钻芯取样,进行层间剪切和拉拔试验,与室内试验进行对比验证。

(3) 面层铺筑时间

根据透层油用乳化沥青的破乳时间,封闭交通,选择最佳面层铺筑时间。

4.2 高粘结透层油施工质量控制技术

4.2.1 最佳洒布量的确定

根据室内层间剪切和拉拔试验,确定高粘结透层油的最佳使用剂量。

选择 5 个不同的洒布量进行试验,分别为 0.7 L/m^2 、 1.1 L/m^2 、 1.5 L/m^2 、 1.8 L/m^2 、 2.1 L/m^2 。不同洒布量下洒布高粘结乳化沥青的层间断面如图 1。

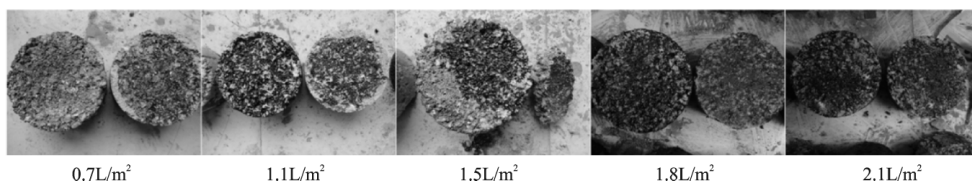


图 1 不同洒布量下洒布高粘结改性乳化沥青的层间断面

高粘结乳化沥青的剪切断面为基层表面,并且能够渗透,在面层底面粘有基层材料,基层试件也能够均匀渗透。

高粘结乳化沥青在 25°C 下层间剪切试验数据和拉拔试验数据如表 2、表 3 所示。

表 2 不同洒布量下高粘结改性乳化沥青的抗剪强度

透层油 材料	洒布量 (L/m ²)	最大剪力 (N)	剪切强度 (10 ⁻³ MPa)
高粘结改性 乳化沥青	0.7	910	51.5
	1.1	1940	109.8
	1.5	2650	150.0
	1.8	1470	83.2
	2.1	1390	78.7

表 3 不同洒布量下不同透层油材料的抗拉强度

透层油 材料	洒布量 (L/m ²)	最大剪力 (N)	剪切强度 (10 ⁻³ MPa)
高粘结改性 乳化沥青	0.7	2450	138.7
	1.1	3845	217.7
	1.5	4900	277.4
	1.8	3920	221.9
	2.1	2975	168.4

由表 2 和表 3 的剪切试验数据和拉拔试验数据知,高粘结改性乳化沥青在洒布量为 1.5 L/m² 时,试件的剪切强度和拉拔强度都达到了最大值,即 1.5 L/m² 为高粘结透层油的最佳洒布量。

将层间剪切试验后的基层试件通过劈裂试验打开,观察不同洒布量下的渗透效果,并测量其渗透深度,见图 2。

通过图 2 可以看出,在 5 个不同洒布量下的平均渗透深度分别为 0.5 cm、0.8 cm、1.2 cm、1.3 cm、1.2cm。高粘结透层油在洒布量大于 1.5

L/m² 时,渗透深度不再有明显的变化,即在 1.5 L/m² 时达到渗透完全,表明在 1.5 L/m² 时具有最佳的渗透效果。

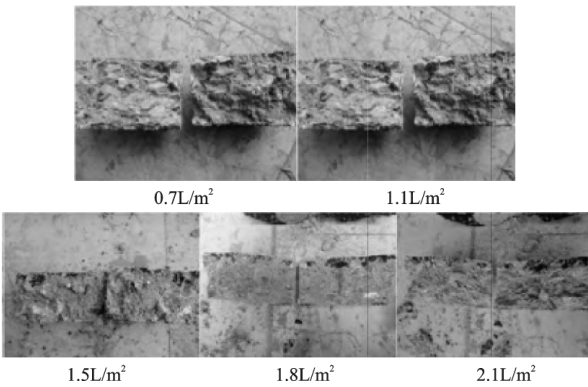


图 2 不同洒布量下高粘结改性乳化沥青的渗透效果

在现场施工时,按照室内试验确定的最佳洒布量进行洒布,此外,按照洒布量 1.1 L/m² 和 1.8 L/m² 分别洒布试验路段,待沥青路面铺筑 7 d 后,钻心取样,进行层间剪切试验和拉拔试验,得出试验段的最佳洒布量,即高粘结透层油的施工最佳洒布量。

4.2.2 洒布时机的确定

通过室内水泥稳定碎石基层试件后,在相同养生条件下,分 3 个不同时机洒布透层油:基层试件成型后当场洒布;成型后养生至表面稍干但尚未硬化时洒布;成型后养生至 7 d 洒布,如图 3 为水泥稳定碎石试件的表面和渗透效果。

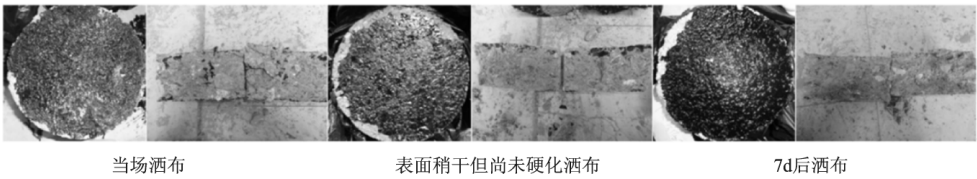


图 3 不同洒布时机下高粘结改性乳化沥青的渗透现象

通过不同洒布时机的渗透试验得出:当场洒布的渗透深度为 0~1cm,渗透均匀性比较差,试件中的水分尚未被水泥吸收,填充微孔隙又阻碍了乳化沥青的下渗,所以其有一定的渗透效果,但比较差。

表面稍干洒布的渗透深度为 1~1.8cm,渗透均匀性较好,此时试件中的水泥结晶尚未形成,但水分已经被水泥和石料吸收,此时最有利于乳化沥青的渗透。

7 d 后洒布的渗透深度基本为 0 cm,并且试件表面的沥青产生油亮现象,说明乳化沥青破乳

后已经无法渗入形成水泥晶体结构的内部。由此确定了透层油的最佳洒布时机为基层表面稍干但尚未硬化时。

结合室内试验结果,试验路段铺筑时,高粘结改性乳化沥青分为 310 国道 K250+890~K251+180 和 K251+180~K251+460 2 段进行,其中 K250+890~K251+180 为基层碾压终了 20 h 后洒布,K251+180~K251+460 为基层碾压终了 8 h 后洒布,图 4 显示出 2 个不同洒布时机下的渗透现象。

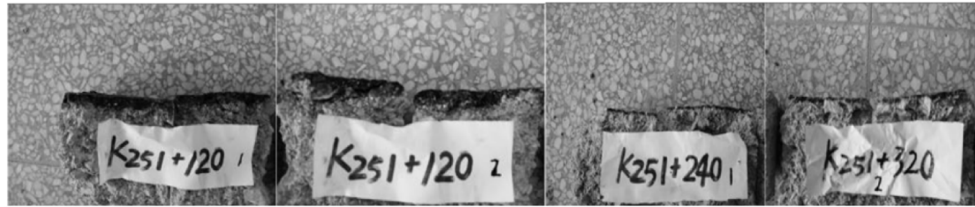


图4 不同洒布时机下高粘结改性乳化沥青的钻芯取样的渗透效果

通过图4明显可以看出,8 h后洒布的渗透效果比20 h后洒布差,经测量得出8 h后洒布的渗透深度为5mm,20 h后洒布的渗透深度为10mm,表明洒布时机不同对渗透深度有重要影响,所以在气温为20℃左右时,高粘结改性乳化沥青的洒布时机至少应在基层碾压终了20 h后。

4.2.3 施工环境温度的确定

洒布时的环境温度太低,一方面会使乳化沥

青流动性差,不利于渗透;另一方面会使乳化沥青的水分蒸发缓慢,蒸发后沥青的低温粘结性能降低,故不宜进行透层施工。本文进行了0℃、10℃、20℃的环境温度下洒布高粘结改性乳化沥青并观察其渗透现象,如图5。

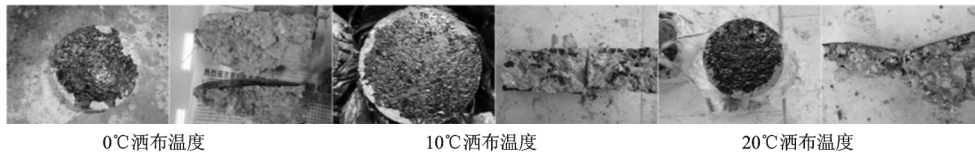


图5 不同洒布温度下高粘结乳化沥青的渗透效果

通过对比可以发现,按照表面稍干但尚未硬化的洒布时机洒布透层,在0℃环境温度下,试件断面渗透的地方少,均匀性差,渗透深度为0.5cm,说明温度太低不利于乳化沥青的破乳,也会影响乳化沥青的渗透效果;在10℃和20℃的中高温环境下,试件断面的渗透地方多,均匀性好,而且渗透深度为1~2cm。

由此确定洒布时机应按照水泥稳定碎石试件表面稍干但尚未硬化的时机洒布,洒布温度应不低于10℃的环境温度进行。在试验路段洒布透层油时,应测试当地气温,若低于10℃,则不适于洒布透层油。

5 高粘结透层油的成本分析

经济合理性是一项工程新技术大面积推广应用的前提,所以要对开发的高粘结透层油材料进行成本分析。

除了基质沥青和水,高粘结透层油的添加剂还有主乳化剂、辅乳化剂、无机稳定剂、有机稳定剂、渗透剂、溶剂、改性剂;普通乳化沥青的组成材料为主乳化剂、基质沥青和水;煤油稀释沥青的组成材料为煤油和基质沥青;除了材料,还需计算生产每种透层油的能耗,根据化工市场各材料的价格,计算总成本,如表4,为每1吨透层油所用各

材料的价格和总成本。

表4 每吨透层油所用各材料的价格和总成本

透层油材料	基质沥青	水	添加剂	总成本 (元/t)
高粘结透层油	2080	1.5	2024	4105.5
普通乳化沥青	2600	1.5	56	2675.5
煤油稀释沥青	3640	0	3090	6730

由表4可知,1吨高粘结透层油的价格为4105.5元/t,普通乳化沥青的价格为2675.5元/t,煤油稀释沥青的价格为6730元/t,高粘结透层油在成本上明显优于煤油稀释沥青,比煤油稀释沥青节约2624.5元/t;高粘结透层油虽然价格高于普通乳化沥青,但普通乳化沥青的渗透性能和层间结合性能都不如高粘结透层油。由此可知高粘结透层油经济合理,具有很好的推广应用前景。

6 结 语

结合试验路段洒布高粘结透层油,对工厂生产高粘结透层油的生产和施工工艺进行系统研究,并对生产和施工过程中的质量控制技术进行分析,具体结论如下:

(1)根据室内高粘结透层油的生产工艺和经验,制定了适用于高粘结透层油的工厂生产工艺。

(2)结合室内试验研究以及试验路段的效果验证,制定了高粘结透层油的施工工艺以及质量控制的关键要素:最佳洒布量为 1.5 L/m^2 、最佳洒布时机为基层碾压终了后 20 h 以上,气温为 20°C ;洒布时的环境温度为 10°C 以上。另外,级

配设计不合理的水稳基层会影响高粘结透层油的渗透效果,所以首先应确保水稳基层级配设计的合理。

(3)高粘结透层油具有良好的路用性能,成本合理,能够大面积的推广应用。

参考文献

- [1] JTG F40-2-004,公路沥青路面施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] Kucharek, As; Davidson, Jk; Kennedy, M. Development of a Solvent-Free Asphalt Emulsion for Prime Coats and Granular Sealing. Source: Proceedings of the Fifty-Third Annual Conference of the Canadian Technical Asphalt Association (CTAA); Saskatoon, Saskatchewan, November, 2008.
- [3] The Asphalt Institute. The Basic Asphalt Emulsion Manual, Lexington; KY40512, 1998.
- [4] 包龙生,徐磊. 高渗透乳化沥青渗透性能研究[J]. 沈阳建筑大学学报, 2011, 27(4): 642-645.
- [5] 张斌,韩瑞民. HTC-08 型透层油路用性能室内试验研究[J]. 石油沥青, 2008, 22(5): 15-19.