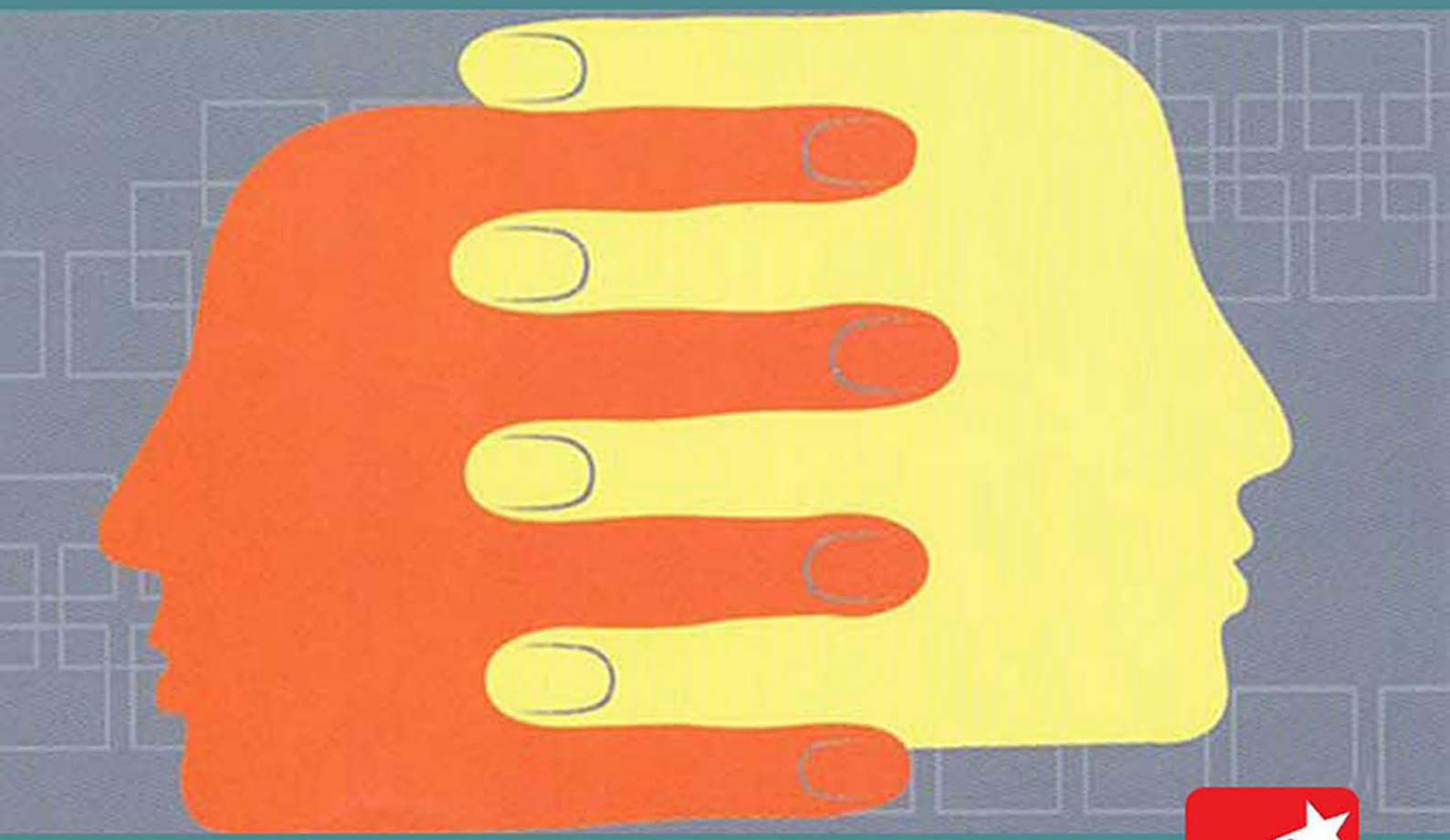
长安大学研究生学术论文集2014年卷

主编：张骞文、刘来君



陕西科学技术出版社

长安大学研究生学术论文集

(2014 年卷)

主　编　张骞文　刘来君

副主编　刘艳艳　张小民　郭军杰

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. 2014 年卷/张骞文，刘来君主编. —西安: 陕西科学技术出版社，2015. 6
ISBN 978 - 7 - 5369 - 6469 - 3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 121125 号

学术论文编辑委员会

主　编: 张骞文　刘来君

副主编: 刘艳艳　张小民　郭军杰

委　员: 王　飞　石涌泉　杨鑫晶　张可可
张安安　王思琪　冀小伟　李中豪
宋芳丽　毛　萌　董　梅　何　浏
焦　彬　姜丹丹　胡　壹

长安大学研究生学术论文集(2014 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　996 千字
版　　次　2015 年 6 月第 1 版
2015 年 6 月第 1 次印刷
书　　号　ISBN 978 - 7 - 5369 - 6469 - 3
定　　价　70. 00 元

版权所有　翻印必究

目　录

一、公路与桥梁

基于直剪试验的复配纤维组成设计及其混合料经济性能研究 …… 张海伟，张　强(1)

蛭石在热阻路面中的应用研究 …… 杨凤雷，夏　爽(7)

冲击载荷下沥青路面响应特征 …… 唐姚宏(12)

水泥混凝土路面施工新工艺 …… 谭永庆，周　鑫，张　洁(16)

关中环线阳郭段某滑坡成因分析与防治对策 …… 廖艳鹤，尹　超，梁建铺(21)

松散堆积体边坡处置技术研究…… 张慧军，王铁权(25)

粗集料含泥量对沥青混合料水稳定性的影响…… 王　涛，卜鑫德(30)

橡胶热再生沥青混合料路用性能研究 …… 王清华，高俊锋，欧阳煜(34)

SHRP 气候分区方法的修正及应用 …… 张竞雄，梁增洁，鲍梦捷(39)

基于 MEPDG 方法的柔性路面交通参数敏感性分析 …… 张　然，姚晓光，张　琛(44)

护坡道抑制季冻区路基冻胀效果分析…… 王铁权，张慧军(50)

基于非集计模型的居民慢行出行方式选择研究 …… 潘应久，李　运，刘劲宏(56)

陕西省干线公路筹融资模式研究 …… 刘　洋，杨　俊，弋紫阁(61)

地铁交叉换乘站饱和状态优化研究 …… 李雨潇，朱谊彪，郭启航(65)

右行置左转渠化在近距离交叉口中的应用研究 …… 曹旭东(72)

干道信号协调系统交通安全特性与车头时距关系分析 …… 李高峰，刘　洋，李　瑞(78)

常规公交首末站规划设计研究…… 杨　俊，李高峰(83)

Comparative Study of Conditions of Contract for Construction in FIDIC and NEC

…… 李保瑞，袁风斌，吕世昌(88)

长沙市汽车产业集群发展研究…… 李水富，周　璇(94)

火灾下管片爆裂温度及考虑爆裂的温度场模拟 …… 韩兴博，刘　霖，唐　佳(99)

矮塔斜拉加固法在 T 型刚构桥中的应用研究 …… 李世振，高　青(105)

基于 OpenSees 的双肢薄壁墩－群桩体系倒塌理论研究 …… 安风明，周　敉，樊卫江(112)

环境侵蚀与荷载耦合作用下钢材力学性能探讨…… 樊卫江，周　敉，安风明(118)

桥梁发展概述及展望 …… 崔凤坤,虎洁琼(124)

二、工程机械与汽车

基于 ADAMS 的汽车操纵稳定性的仿真 …… 童　梅,宋攀琨,李天然(127)

ASR 基本原理及控制策略浅析 …… 朱永振,张　凯,施　雯(135)

车辆驱动桥壳试验模态分析 …… 张笑楠,李　宗(138)

乘用车齿轮齿条式液压助力转向系统的匹配研究 …… 杨　励,贺志瑛(143)

基于 MATLAB 整体式转向梯形优化设计…… 严慈磊(149)

FSC 赛车悬架摇臂系统的设计分析 …… 张可可,杨涎林,焦　彬(154)

两挡 AMT 电动汽车制动能量最优化回收…… 唐自强,王　鹏,马丹萍(159)

汽车清洁代用燃料二甲醚的研究与分析…… 张译芳,汪　熙,滕凯凯(164)

基于 89C51 的电喷发动机涡轮增压控制系统设计 …… 李中豪,王文璇,曹兢哲(169)

基于霍夫变换的喷雾锥角检测…… 张亚运,王　瑶,汪　熙(173)

基于改进节约算法的汽车零部件循环取货路线研究…… 魏　宇,陈希琼,张琳琳(179)

渭水校区自行车道规划与设置分析 …… 方仲权,温　娜(185)

基于中小城市的公交网络多目标优化模型研究…… 陈　刚,黄　颖,赵　娆(191)

基于排队论的地铁换乘枢纽检票机配置仿真 …… 石涌泉,施　雯(195)

基于轨道交通的社会稳定风险评估研究

——以合肥市为例…… 焦　彬,胡敏达,孙　倩(199)

山区高速公路平曲线指标对交通安全的影响…… 冯红晶,陈　琳,谢学飞(203)

智能交通摄像机工作热稳定性改善技术方案…… 王　扬,高　博,李跟宝(208)

基于 VISSIM 对安康市典型十字交叉口渠化的仿真评价 …… 王文璇,史本伟,李中豪(212)

基于灰色系统理论的西安市公共交通客运需求量预测…… 蒋雨波(219)

浅析我国电动汽车市场环境及发展趋势…… 刘　通,朱守胜,李　莹(225)

汽车零部件循环取货路线模型及求解方法研究…… 陈　翔,段澄莹,乔　睿(229)

汽车物流运输方式及线路的优化设计…… 乔　睿,张天昊,陈　翔(234)

基于 Adams/View 的 FSAE 赛车双横臂独立悬架导向机构优化分析 …… 杨涎林,张可可(241)

基于 ADAMS 的液压挖掘机工作装置的运动仿真分析 …… 陈　伟,喻昆仑,张　勇(247)

多挡位液力平地机自动换挡控制方法…… 李申申,姚　阳,贾　莉(252)

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

多功能教学演示台设计…… 关称心(258)

基于 ANSYS 的耳片连接变形分析…… 陈　炜,庄顺胥,郭　磊(265)

2m 铣刨机关键控制算法设计 …… 姚　阳,李申申,贾　莉(271)

0.4t 叉车液压系统设计 …… 何　浏,肖　頔,杨　彬(276)

三、经管与数理

论弹性特许期对我国高速公路发展的借鉴意义…… 周　甜(279)

基于 DEA 的东西部高速公路上市公司绩效对比研究 …… 王萌菲,张诗青(283)

文化创意企业无形资产的评估方法研究…… 张诗青,王萌菲,刘　静(288)

基于 AHP 和模糊综合评价法的快递企业顾客满意度评价研究 …… 毛　萌,张　祎(293)

递延所得税明细表的建立…… 章兹英(296)

对长期股权投资成本法转换为权益法时追溯调整的探讨 …… 张　祎,毛　萌(299)

同一控制下处置子公司的相关会计处理探析 …… 宋芳丽,霍爱霞(303)

国际租赁准则变化对承租人的财务影响研究 …… 冀小伟,严永焕(307)

“西三角”川陕渝经济圈税收合作研究 …… 钱　丰,戴宙松(312)

领导风格和非正式群体对工作场所偏离行为影响的研究

——以快餐企业为例…… 柳晓菲(316)

JDB 集团加多宝凉茶营销管理策略分析…… 梁文馨(321)

长期股权投资顺流逆流交易会计处理之我见 …… 霍爱霞,宋芳丽(325)

四、电控与信息

十字路口交通控制软件设计…… 祝日星,侯晓青,朱　熹(329)

连续公路隧道照明系统设计 …… 姜丹丹,张可可(333)

公路隧道机电设备运行参数监测系统的设计与实现…… 朱　熹,侯晓青,祝日星(338)

收费政策影响下高速公路需求价格弹性分析 …… 张　翔,宋明强(344)

基于 DIALux 的隧道多光源照明仿真研究 …… 陈艳超,陈　丹,顾永鑫(348)

基于 ARM11 的住宅视频监控系统的设计 …… 赵　慧,宋　蒙(351)

基于模型设计的 PMSM 空间矢量控制系统的研究与实现 …… 马丹萍,王　杨,唐自强(356)

灭火机械臂传动控制系统设计 …… 沈大德,王　飞(362)

基于模糊控制算法的智能车转向系统研究 …… 李　威,马旭攀(368)

一种高稳定性 SAW 振荡器的研究与实现 …… 党双欢,靳雪莹(373)

基于 MSP430 的车联网信息服务监控与管理平台的设计 …… 袁　野,吴凯凯,周小强(377)

半导体制冷技术在车载冰箱中的应用 …… 卢星星,胡　平(381)

火灾自动报警及消防联动系统信息原理虚拟实验系统 …… 宋　蒙,赵　慧(385)

智能管理环境信息原理及方法 …… 董飞翔,张　军(390)

基于 TCPN 的交叉口信号控制模型与仿真 …… 雷　甜,赵金剑,周　洁(394)

基于驾驶员动态视野图像的道路面积提取研究…… 李甜甜,王　雪,杨　楠(399)

基于稀疏表示的面部表情识别新算法…… 王菽裕(407)

基于嵌入式的智能仪表设计方案…… 杨加玉(412)

基于 MATLAB 与 VC＋＋混合编程的路面构造深度检测的研究与实现 …… 刘　祝(416)

五、国土资源与建筑

环县电厂黄土高边坡的可靠度分析 …… 张亚卿,包　健(421)

曲线简化的各种计算方法及比较分析 …… 杨红雷,陈　杰(425)

GOCE 重力卫星在汾渭盆地地形监测方面的应用 …… 赵莲莲,张　勤(429)

锤击震源超浅层地震勘探在黄土区确定隐伏断层的应用 …… 罗新刚,臧　楠(434)

甘肃柳园三个井镁铁－超镁铁岩体矿物学研究…… 陈宏骏(437)

陕西旬阳小河金矿成矿期次和成矿规律研究…… 葛家昆(445)

新疆西准白杨河火山机构及源区性质讨论 …… 徐　倩,晁文迪(452)

西安市残疾人旅游市场分析…… 李梦阳(460)

半无限域中人工边界条件的选取 …… 尹尚之,李仁鑫(464)

土地市场法评估中可比实例选择研究…… 张　旭,李炎琪,张诗青(468)

基于低影响开发(LID)的循环城镇化雨水系统 …… 陈美玲,薛文婕(472)

房地产企业跨区域投资的城市遴选模型研究…… 李炎琪,刘　静,张　旭(477)

建筑企业安全投入加权关联度及动态优化研究…… 刘　静,李炎琪,张诗青(481)

基于多指标体系的 SIP 建筑综合效益评价 …… 陈一秀,张诗青,殷超越(486)

冻融作用对土体力学性质的影响试验研究…… 贾松敏,闫晓雪,卢玉东(490)

青海省门源盆地降雨型滑坡稳定性分析…… 鲁素芬,杨　珍,卢玉东(494)

基于模糊综合评价法的污泥制陶粒工艺的优化…… 田　娜,常　成,姚文红(500)

冰浆蓄冷技术的应用简介及冰浆制备方法分析…… 赵润青(505)

蒸发桶中水温变化规律及其影响因素…… 张　蕾,王文科,王周锋(511)

土壤不同浓度 CO_2 对豌豆脯氨酸含量的影响 …… 王　蓉,王文科,韩　枫(516)

新型城镇化视角下的新城发展初探

——以西咸新区空港新城为例…… 冯　婷(520)

探讨适合中国的养老模式 …… 李驷佳,郑　鑫(524)

六、人文与社科

从个人到社会的角度看《论语》里的孔子…… 黄婕妤(532)

长征精神的科学内涵及其当代启示…… 巩晶骐(537)

浅议五四运动前马克思主义在中国的传播…… 桑　晨(541)

试论政府对文化产业的监管…… 刘　姗(545)

基于文化创意视角对陕西旅游产业发展的研究分析…… 赵彩玲(549)

农产品流通渠道对农户收入的影响分析

——以陕西省苹果产业为例…… 康　霏(552)

北京市社区卫生服务的现状与对策研究…… 张永凤(556)

可持续发展下矿业城镇产业结构调整的必要性分析

——以山西省某城镇为例…… 王彦娜,杨鑫晶,靳宏宇(560)

利益相关者视角下自媒体传播的社会成本…… 崔　博(564)

《树王》中的道家美学刍议…… 徐　辉(568)

Moving mesh method for solving convection diffusion problems by Crank-Nicolson scheme ……

…… 魏伟平,颜克清,孙丽芹(571)

我国商业银行操作风险度量的实证研究 …… 刘权芳,高　蒙(577)

A Study on Frame Structure and Pragmatic Presupposition in Movie Titles …… 杨宇飞(581)

Preposition Stranding and Pied—Piping of Chinese Learners of English in Second Language

Acquisition …… 赵冰清(588)

A Comparative Study on Performance Refusals of Chinese English Learners

——Based on the Postgraduates at Chang'an University …… 闫利芳(595)

A Study on the Avoidance of Phrasal Verbs by EFL Chinese College Students …… 王　曼(603)

基于直剪试验的复配纤维组成设计及其混合料经济性能研究

张海伟，张　强
（长安大学 公路学院，陕西 西安　710064）

摘　要：按照正交—重复试验设计方法将不同比例的木质素纤维、聚酯纤维、玄武岩纤维复配，组成复配纤维，应用直剪设备对复配纤维改性沥青进行剪切试验，以抗剪强度为指标，优选了复配纤维的掺量及各组分最佳掺配比例；进一步对复配纤维改性沥青混合料进行车辙实验、冻融劈裂试验和小梁弯曲试验并引入价值系数概念，研究了混合料的路用性能和经济性。结果表明：复配纤维掺量为3‰，组成成分木质素纤维、聚酯纤维、玄武岩纤维掺配比例为1∶2∶2时，其改性沥青的抗剪性能最好；相比各单纤维沥青混合料和SBS改性沥青混合料，复配纤维改性沥青混合料能够充分发挥各单纤维的改性优势并具有更高的价值系数。

关键词：复配纤维；直剪试验；掺量及掺配比例；路用性能；价值系数

Abstract：Based on the method of repeated orthogonal experimental design, composite fiber which consists of different proportions of cellulose fiber, polyester fiber, basalt fiber is put into the matrix asphalt to manufacture composite fiber modified asphalt. The index of shear strength obtained through direct shear test is used to determine the optimum dosage and proportion of composite fiber. Then the pavement performance of composite fiber asphalt mixture is tested and the economical efficiency is studied using value coefficient . The results show that the optimum dosage of composite fiber is 3‰ ,and the optimum proportion of cellulose fiber, polyester fiber, basalt fiber is 1∶2∶2. Composite fiber asphalt mixture has better pavement performance than matrix asphalt mixture and higher value coefficient than SBS modified asphalt mixture.

Key words：composite fiber; direct shear test; fiber content and proportion ; pavement performance; value coefficien

1　引言

纤维作为一种沥青混合料添加剂，具有改善混合料路用性能、延长道路使用寿命、施工简单等优点[1]。近年来，很多学者开始对复配纤维进行研究，发现复配纤维相比单纤维，其各种组分能起到优劣互补的作用，对沥青混合料性能提升作用更明显，性能改善也更加均衡[2-5]。但是在复配纤维的推广应用过程中，其掺量及各组分比例确定始终是配合比设计中的一个难点，另外国内较少有针对复配纤维经济性的相关研究，这些问题都制约了复配纤维这项改性技术的发展。本文以一种复配纤维为例，成分包括木质素纤维、聚酯纤维、玄武岩纤维，提出一种简单可行的复配纤维混合料组成设计方法，即采用正交—重复试验设计方法开展纤维改性沥青直剪试验，根据抗剪强度指标优选复配纤维的最优掺量及各组分最佳掺配比例，然后进行马歇尔试验确定混合料最佳沥青用量，进一步比较复配纤维沥青混合料与基质沥青混合料、单纤维沥青混合料和SBS沥青混合料的路用性能，并提出价值系数概念说明复配纤维沥青混合料的经济性，为复配纤维改性技术的推广提供了依据。

2　复配纤维组成设计

2.1　复配纤维组成成分

复配纤维的组成成分包括木质素纤维、聚酯纤维和玄武岩纤维，各单纤维在改善沥青混合料性能方面各有优势：木质素纤维具有吸附沥青、提高沥青混合料耐久性的功能[6]；聚酯纤维在改善混合料低温性能方面作用突出[7]；玄武岩纤维能提高沥青混合料高温抗车辙能力，且能兼顾改善混合料低温性能[8]。参考《沥青路面用木质素纤维》(JT－T 533－2004)、《沥青路面用聚合物纤维》(JT－T 534－2004)对三种单纤维的各项技术性能进行测试，试验结果如表1所示。

作者简介：张海伟(1989－)，男，长安大学公路学院博士研究生，道路与铁道工程专业。

表 1 纤维技术性能测试结果

检测项目	木质素纤维	聚酯纤维	玄武岩纤维
颜色	灰色	白色	金褐色
形状	絮状	细丝状	规则集束状
直径(μm)	42	20	15
长度(mm)	5	6	6
密度(g/cm³)	1.32	1.46	2.43
比表面积(m²/g)	0.73	0.15	0.10
抗拉强度(MPa)	＜300	517	3000～4840
断裂伸长率(%)	18	33	31
灰分含量(%)	16	—	—
pH	7.2	—	—
含水率(%)	4.2	—	—
吸油率(%)	608	388	88
耐热性(210℃,2h)质量损失率(%)	8.6	2.9	1.1

2.2 试验设计

3 种纤维在单独应用于沥青混凝土时,考虑性能改善作用及经济性的最佳掺量一般在 2.5‰～3.5‰(纤维占沥青混合料的质量比)[9-11],本文选择 2.5‰、3.0‰、3.5‰三个掺量作为复配纤维掺量的优选范围,复配纤维中各单纤维可取 1 份、2 份、3 份三种比例。复配纤维改性沥青在沥青混合料的整个体系中所占的比例相对较小,但它在沥青混合料中起着非常重要的作用,是影响混合料力学特性的根本因素。对复配纤维改性沥青进行性能试验,可以反映其混合料的相关力学性能,所以考虑通过对纤维改性沥青进行研究来优选复配纤维掺量及组成比例。

长安大学发明的沥青直剪仪可以用来测试沥青抗剪强度,抗剪强度值越大表明沥青在荷载下抵抗变形能力越强。复配纤维组成不同、掺量不同,则对沥青的改性作用也不同,当纤维加筋效果越好时,所测得改性沥青抗剪强度就越高。沥青直剪仪由加力部分、剪切部分(包括水槽)和测力部分组成,其中加力部分采取曲柄手轮匀速缓慢地转动来达到加力效果;剪切部分通过处于水槽中的上下模具在加力装置推动下产生错动,从而达到剪切效果;测力部分借助于应力环对沥青抗剪能力进行量化反映。匀速转动曲柄手轮施加荷载,在荷载作用下,模具带动沥青试件向前移动,上模具受到应力环阻挡,下模具继续前行,在上下模具间产生剪切面,剪切面处沥青试件所受剪切力由应力环反映。具体设备见图 1。

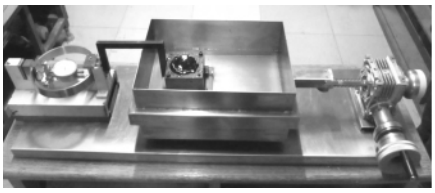


图 1 直剪设备图

对复配纤维改性沥青进行直剪试验,影响改性沥青抗剪强度因素较多,考虑采用正交试验设计,在正交设计中该问题属 4 因素 3 水平试验,同时为了便于对结果进行方差分析,采用正交—重复试验设计方法,具体的正交设计试验方案如表 2。

表 2 正交试验方案设计

试验号	可变因素			
	木质素纤维掺配/份	聚酯纤维掺配/份	玄武岩纤维掺配/份	复配纤维掺量/‰
1	1	1	1	2.5
2	1	2	2	3
3	1	3	3	3.5
4	2	1	2	3.5
5	2	2	3	2.5
6	2	3	1	3
7	3	1	3	3
8	3	2	1	3.5
9	3	3	2	2.5

按照表 2 中各种纤维的掺配比例均匀混合 9 种复配纤维,按不同掺量分别加入到基质沥青中,匀速搅拌 30～45 min,制备不同的复配纤维改性沥青。制备好的复配纤维改性沥青在 150～160 ℃的温度条件下倒入直径为 60 mm,高度为 70 mm 的试模中,冷却 2～4 h 至室温备用。试验前将装有纤维改性沥青的试验模子放入水浴箱中在 20 ℃下保温不少于 2 h,确保试样内部温度达到 20 ℃。试验时以位移控制模式加载,5 s 旋转一周的速度(0.12 mm/s)匀速缓慢地转动曲柄,加载 100 次时上下模具相对位移达到沥青试件直径,停止试验。试验过程中观察实验现象,并每隔 5 s 记录百分表读数。

2.3 直剪试验结果分析

试验过程中记录了仪器每旋转一周时的沥青试件的剪切强度值,本文选择 2＃、4＃、5＃试验数据绘制了沥青剪切强度—周次曲线图,具体如图 2 所示。

从图 2 中可以看出,复配纤维沥青试件在上下模具发生相对位移时产生剪切破坏,剪切破坏的过程基本可以分为两个阶段。第一阶段为上升期,发生在在加力初期,剪切强度随位移呈直线上

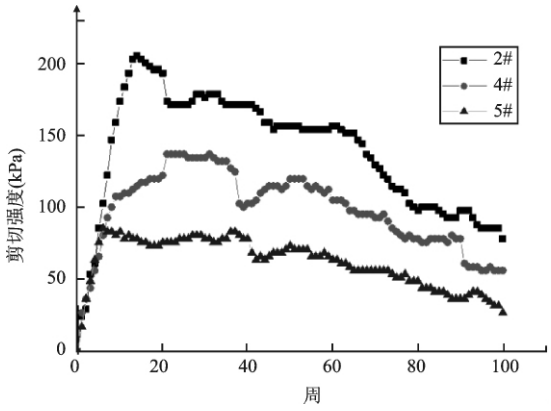


图 2　复配纤维沥青剪切强度变化曲线

升，表现了沥青试件的弹性特性，抗剪能力越强的试件该阶段持续时间越长；第二阶段为下降期，这一阶段曲线的主要特征是沥青试件已达到抗剪强度，沥青试件发生剪切破坏，但是曲线并没有呈现立刻下降趋势，而是保持着一段稳定过渡或缓慢下降，这主要是因为纤维的加筋作用和沥青的黏性特性保证了沥青试件不至于快速失效。另外，从实验数据中还发现曲线在下降阶段存在部分点发生突变的现象，这主要是因为复配纤维沥青试件在成型时，难以保证复配纤维能够完全均匀分散其中，但是这种突变并不影响曲线变化的整体趋势。

以抗剪强度为评价指标，对实验结果进行方差分析，分析结果见表 3、表 4。

表 3　剪切试验结果

实验号	A 木质素纤维掺配/份	B 聚酯纤维掺配/份	C 玄武岩纤维掺配/份	D 复配纤维掺量/‰	抗剪强度 1/kPa	抗剪强度 2/kPa
1	1	1	1	2.5	98	105
2	1	2	2	3	206	216
3	1	3	3	3.5	176	172
4	2	1	2	3.5	137	123
5	2	2	3	2.5	78	83
6	2	3	1	3	140	130
7	3	1	3	3	110	115
8	3	2	1	3.5	135	123
9	3	3	2	2.5	91	108
$k1$	324	229	243	188		
$k2$	230	280	293	305		
$k3$	227	272	245	288		

表 4　方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.01}(2,9)$	显著水平
A	9127	2	4563.5	87.016	8.02	**
B	2257	2	1128.5	21.518		**
C	2451	2	1225.5	23.368		**
D	12207	2	6103.5	116.380		**
误差	472	9	52.444			
总和	26514	17				

方差分析结果表明 4 种因素的作用高度显著，即各单纤维的比例和复配纤维的掺量均会显著影响试验结果。各因素的影响排序为复配纤维掺量＞木质素掺配比例＞玄武岩掺配比例＞聚酯纤维掺配比例，且玄武岩掺配比例与聚酯纤维掺配比例影响程度相差不大。表 4 中的 k 值代表各因素在一定水平条件下的试验值，因素 A 的 3 个水平所对应的试验值 $k1$、$k2$、$k3$ 分别为 324、230 和 227，因素 A 水平 1 所对应的试验值 324 kPa（抗剪强度值）最大，所以取因素 A 的第 1 水平，也就是说木质素纤维的掺配比例取 1 份时得到的抗剪强度值较好。同理可以确定其他三个因素的最佳水平，进而确定抗剪强度最大值的水平组合为 $A_1B_2C_2D_2$，即复合纤维掺量为混合料质量的 3‰，组成比例为木质素纤维∶聚酯纤维∶玄武岩纤维＝1∶2∶2 时，其改性沥青抗剪效果最好。

3　复配纤维混合料路用性能试验

制备基质沥青混合料（JZ）、各单纤维沥青混合料（M、J、X）、复配纤维沥青混合料（F）和 SBS

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

沥青混合料(S)试件进行路用性能比较。基质沥青选用直剪试验所用的国产A级70#沥青,SBS改性沥青选用陕西国创生产I-C型,粗集料为石灰岩碎石,细集料为石灰岩机制砂,矿粉由石灰岩磨制而成,原材料各项指标均满足规范要求。复配纤维掺量为混合料质量的3‰,组成比例为木质素纤维:聚酯纤维:玄武岩纤维=1:2:2。各单纤维掺量均为混合料质量的3‰。

各混合料矿料级配均采用AC-13C型,级配曲线见图3。

参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)要求,以4%空隙率作为目标空隙率,按马歇尔法确定基质沥青混合料(JZ)、各单纤维沥青混合料(M、J、X)、复配纤维沥青混合料(F)和SBS沥青混合料(S)的最佳沥青用量,并在最佳沥青用量下,对各混合料进行车辙试验,-10℃小梁弯曲试验和冻融劈裂试验比较6种沥青混合料高温性能、低温性能和水稳性能。具体试验结果见表5。

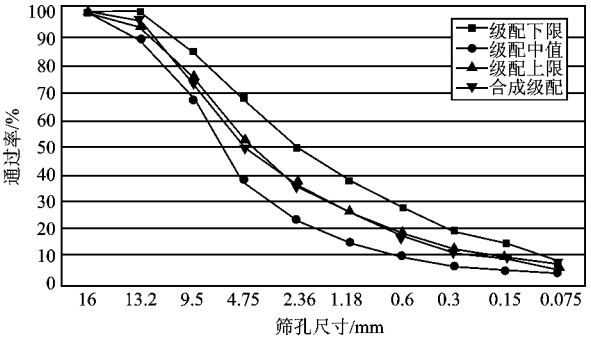


图3 矿料级配曲线图

表5 沥青混合料路用性能试验结果

混合料类型	变形/mm		动稳定度/(次·mm^{-1})	抗弯拉强度/MPa	破坏应变/με	弯曲劲度模量/MPa	RT_1/MPa	RT_2/MPa	TSR/%
	45 min	60 min							
JZ	3.852	4.525	936	9.5	2150	4424	0.85	0.72	84.4
M	2.728	3.158	1465	9.8	2567	3817	0.91	0.79	86.8
J	2.218	2.474	2461	11.4	3172	3594	0.94	0.81	86.2
X	2.097	2.300	3100	10.3	2654	3881	0.98	0.85	86.7
F	2.155	2.366	2986	10.8	3074	3525	1.03	0.91	88.7
S	1.831	1.953	5160	13.7	3678	3745	1.12	1.00	89.3

以动稳定度、破坏应变和冻融残留强度比TSR作为混合料路用性能评价指标,可以得出:复配纤维沥青混合料与SBS沥青混合料相比,其路用性能尚有一定差距,但相比于各单纤维沥青混合料,复配纤维对混合料的改性作用更加均衡。各纤维沥青混合料高温性能排序为玄武岩纤维>复配纤维>聚酯纤维>木质素纤维,低温性能排序为聚酯纤维>复配纤维>玄武岩纤维>木质素纤维,水稳性能排序为复配纤维>玄武岩纤维>聚酯纤维>木质素纤维。复配纤维相比玄武岩纤维,其改善沥青混合料高温性能的能力与玄武岩纤维十分接近,且其在改善混合料的低温性能和水稳性能方面更具有优势;复配纤维相比聚酯纤维,改善混合料低温性能稍差,但是其对混合料高温性能和水稳性能的改善效果要更好;复配纤维相比木质素纤维,虽然价格要远高于木质素纤维,但是其对混合料各项路用性能的改善作用均远好于木质素纤维。所以综合上表可以看出复配纤维充分发挥了各单纤维的优势,对混合料的路用性能具有综合改善作用,各单纤维的复掺对混合料路用性能改善产生了叠加效应。

4 复配纤维沥青混合料经济性评价

为进一步比较复配纤维与各单纤维及SBS改性沥青的经济效益,引用工程经济领域中的价值工程原理[12]来加以量化。计算价值系数采用的公式为:

$$V = \frac{F}{C}$$

其中:F代表混合料性能提升系数;

C代表混合料费用增长系数;

V代表价值系数,其大小可以表征以增加一定的费用来换取性能的提升是否合算。

4.1 混合料性能提升系数计算

混合料性能提升系数是对所研究混合料相比于基质沥青混合料性能提升的一种量化表示,定义其计算方法如下:

$$F = \sum_i F_i W_i$$

F_i代表各分项路用性能提升系数,W_i代表各分项路用性能提升权重系数。

以SBS路用性能提升作为基准值,纤维沥青

混合料各分项路用性能提升系数 F_i 计算公式如下：

$$F_i = \frac{\text{复合纤维沥青混合料性能值} - \text{基质沥青混合料性能值}}{\text{SBS改性沥青混合料性能值} - \text{基质沥青混合料性能值}}$$

各分项路用性能提升权重系数 W_i 按地区气候对沥青路面性能的要求程度进行计算。首先确定混合料所使用地区的沥青沥青路面气候分区，对于不同的分区给予不同的分数，见下表6。然后按照下式计算 W_i：

$$W_i = \frac{\text{第 } i \text{ 项性能所得分数}}{\text{各项性能所得分数之和}}$$

表6　分区打分

分数	1	2	3
高温分区	夏凉	夏热	夏炎热
低温分区	冬冷、冬温	冬寒	冬严寒
降雨分区	半干、干旱	湿润	潮湿

以西安地区为例，按沥青路面性能分区属于夏炎热、冬冷、湿润区，各纤维沥青混合料和SBS沥青混合料性能提升系数计算过程见表7。

4.2　混合料费用增长系数计算

针对沥青混合料施工中材料主要费用内容，各改性沥青混合料相对于基质沥青混合料，费用增长主要包括沥青材料增加费、纤维材料增加费和燃油增加费。以1 t沥青混合料作为1个计算单位，对增长费用进行计算。参照市场报价，基质沥青的价格为4600元/t，SBS改性沥青的价格为5800元/t；木质素纤维的价格为3000元/t，聚酯纤维的价格为10000元/t，玄武岩纤维的价格为12000元/t。基质沥青混合料、纤维沥青混合料和SBS沥青混合料生产过程中能耗不同，工程中3类沥青混合料常用拌合温度分别为160 ℃、170 ℃和180 ℃。参照文献[13]可知，拌合温度为160 ℃时燃料油消耗为6.58 L/t，拌合温度为170 ℃时燃料油消耗为7.08 L/t，拌合温度为180 ℃燃料油消耗为7.58 L/t，燃料油价格为4900元/t。费用增长计算过程及结果见下表8。

表7　性能提升系数计算

气候分区	高温	低温	水稳
分区打分	3	1	2
权重系数 W_i	0.5	0.17	0.33
M分项性能提升系数 F_i	0.125	0.273	0.490
J分项性能提升系数 F_i	0.361	0.669	0.367
X分项性能提升系数 F_i	0.512	0.330	0.469
F分项性能提升系数 F_i	0.485	0.605	0.877
S分项性能提升系数 F_i	1	1	1
M性能提升系数 F		0.256	
J性能提升系数 F		0.404	
X性能提升系数 F		0.453	
F能提升系数 F		0.608	
S性能提升系数 F		1	

表8　沥青混合料费用增长计算

混合料类型	沥青用量/kg	沥青单价/元/kg	沥青费用/元	纤维用量/kg	纤维单价/元/kg	纤维费用/元	燃料消耗/L	燃料费用/元	费用增长/百元
JZ	44.8	4.6	206.1	0	0	0	6.58	32.2	—
M	46.7	4.6	214.8	3	3	9	7.08	34.7	0.20
J	45.8	4.6	210.7	3	10	30	7.08	34.7	0.37
X	45.8	4.6	210.7	3	12	36	7.08	34.7	0.43
F	45.8	4.6	210.7	3	9.4	28.2	7.08	37.1	0.38
S	47.6	5.8	276.1	0	0	0	7.58	37.1	0.75

4.3　混合料价值系数计算

将各混合料性能提升系数和费用增长系数代入价值系数计算公式中，可得到各混合料的价值系数，该系数表示通过对基质沥青混合料进行改性，增加投入100元时混合料性能提升的相对程度。各混合料的价值系数具体排序如下：复配纤维改性(1.60)＞SBS改性(1.33)＞木质素纤维改性(1.28)＞聚酯纤维改性(1.09)＞玄武岩纤维改性(1.05)。从以上排序结果可以看出复配纤维相比各单纤维其经济效果更好，尤其值得注意的是复配纤维改性的经济性超越了SBS改性，说明复配纤维是一种很“值”的手段，在路用性能达到使用要求的情况下，可以替代SBS改性沥青混合料。

5　结　论

(1)直剪试验结果表明，由木质素纤维、聚酯纤维、玄武岩纤维组成的复配纤维各组分最佳掺配比例为1∶2∶2，最佳掺量为3‰；基于直剪试验进行的复配纤维沥青混合料组成设计，方法简单，切实可行，为复配纤维混合料组成设计提供了一种新思路。

(2)混合料路用性能试验表明,复配纤维沥青混合料路用性能更加均衡,充分发挥了各单纤维的改性优势,单纤维的复掺对混合料改性具有叠加效应;混合料经济性能分析表明,复配纤维的经济效益高于各单纤维。

(3)复配纤维沥青混合料路用性能虽然不如SBS改性沥青混合料,但是其经济性好于SBS改性沥青混合料,在路面材料领域提供了一种新的选择,在实体工程中是一种值得推广的改性沥青混合料。

参考文献

[1] 熊锐,陈栓发,关博文,等. MiberI型矿物复配纤维沥青混合料路用性能研究[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(7):24-31.

[2] 王发洲,张运华,刘小星. 混杂纤维增强沥青混合料的性能研究[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版,2008,23 (2):71-74.

[3] 张喜艳. 基于混合料性能的级配设计方法及复配纤维改性沥青混合料技术性能研究[D]. 西安:长安大学,2012.

[4] 高慧婷,张颖,张亮. 混杂纤维沥青混合料低温抗裂性的研究[J]. 吉林建筑工程学院学报 2011,28(3):37-39.

[5] Wu Shao-peng, Yue Hong-bo, Ye Qun-shan. Performances research of hybrid fiber reinforced asphalt concrete[J]. Materials Science Forum, 2009, 614: 283-288.

[6] 黄彭. 木质素纤维在沥青混合料中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2005,37(1):104-107.

[7] 郭乃胜,赵颖华,李刚. 聚酯纤维沥青混凝土的低温抗裂性能分析[J]. 沈阳建筑工程学院学报:自然科学版,2004,20(1):1-3.

[8] 许婷婷,顾兴宇,倪富健. 玄武岩纤维增强沥青混凝土试验与性能研究[J]. 交通运输工程与信息学报,2011,9(2):115-121.

[9] Gao-Danying Huang-Chunshui. The Experimental Research on The Influence of Cellulose Fiber to Different Types of asphalt mixture[J]. 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering, ICETCE 2011 - Proceedings, 2011: 2741-2744.

[10] Zhao Gui-Juan. Test on Evaluation Index of Deformation Performance for Polyester Fiber Reinforced Asphalt Concrete[J]. Proceedings-2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, ISDEA 2010, 2: 561-564.

[11] 曹海波,李涛. 玄武岩纤维在沥青混合料中的应用研究[J]. 公路,2013,6:194-197.

[12] 黄有亮,徐向阳,谈飞,等. 工程经济学[M]. 2版. 南京:东南大学出版社,2010.

[13] http://www.sc-zz.com/plus/list.php? tid=131.

蛭石在热阻路面中的应用研究

杨凤雷，夏　爽
（长安大学 公路学院，陕西 西安　710064）

摘　要：研究表明沥青混凝土路面车辙主要由中面层高温变形引起的，本文将阻热材料——蛭石加入沥青路面表面层中，以阻止温度下传到中面层，从而解决沥青路面车辙问题。对加入蛭石的沥青玛蹄脂碎石混合料（SMA－13）试件进行路用性能试验及热阻性能试验，得知蛭石确实能作为热阻材料应用于沥青混凝土路面，并且本文给出了沥青玛蹄脂碎石混合料中蛭石的最佳掺配比例。

关键词：蛭石；热阻；车辙；沥青玛蹄脂碎石混合料

Abstract：Research shows that the rutting of asphalt pavement is mainly the deformation of the middle layer caused by high temperature this paper adding the heat resistant material－vermiculite to the asphalt pavement surface layer to prevent the heat reaching the middle layer so as to solve the problem of rutting of asphalt pavement . By testing the road performance and heat resistance performance of Stone Mastic Asphalt(SMA－13) which joined in vermiculite, it is shown that the vermiculite can be applied in the asphalt pavement as resistance materials and the paper also gives the best blend ration of the vermiculite stone mastic asphalt mixture.

Key words：vermiculite；thermal resistance；rutting；stone mastic asphalt

1　前　言

随着沥青路面在我国的大量应用，其各种病害产生原因及其防治已成为行业工作者的研究重点，其中车辙病害使沥青路面使用的行车安全性、舒适性及耐久性大大下降。

研究表明，半刚性基层沥青混凝土路面车辙病害主要是由沥青混凝土高温变形引起的，沥青混凝土面层各层对车辙的影响不同，其中中面层是车辙产生的主要层次，表面层次之，下面层最差[1]。传统解决高温车辙病害的方法是使用高性能沥青、改性沥青、优质集料或是骨架密实型沥青混合料，显然，这些被动的防治方法虽然起到了一定作用，但并未从根本上解决沥青路面高温车辙问题，还会增加工程造价[2]。因此，热阻路面这种变被动为主动的防治高温车辙的路面结构受到越来越多的道路工作者的青睐，冯德成等[3]将热阻材料陶粒、硅藻土应用到超薄磨耗层中和粘封层中，来解决沥青混凝土路面高温车辙问题，本文在借鉴前人研究的基础上，将热阻材料——蛭石应用到沥青玛蹄脂碎石混合料表面层中，来控制沥青路面温度的升高，从而有效缓解车辙问题。

2　原材料

2.1　蛭石

蛭石是一种层状结构的含镁的水铝硅酸盐次生变质矿物，其外形类似云母，往往在一定的花岗岩水合时产生。蛭石被加热到 300℃时，它会膨胀 20 倍并发生弯曲，形成内部空隙率很大的轻质材料，具有很强的保温隔热性能。此外，蛭石还有防火及减轻载体负荷等作用。

本文所使用蛭石，粒径为 0～5mm，堆积密度 200kg/m^3，经筛分其中大部分为 0.3～0.6 mm、0.6～1.18 mm、1.18～2.36 mm 三个粒径范围，本研究拟将此三个粒径范围内的蛭石作为试验材料，蛭石筛分结果如表 1 所示。

表 1　蛭石筛分结果

筛孔(mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过百分率(%)	98.8	92.2	62.4	23.1	4.8	3.9	1.2

2.2　沥青

本试验所用沥青为茂名中石化 SBS 改性沥青，改性沥青所用基质沥青为 70 号沥青，SBS 改性沥青按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20－2011)试验，其各项技术指标如表

作者简介：杨凤雷(1988－)，男，长安大学公路学院硕士研究生，道路与铁道工程专业。
夏　爽(1993－)，男，长安大学公路学院硕士研究生，道路与铁道工程专业。

2 所示。

表 2 沥青试验指标

试验项目	试验结果	规范要求
针入度 25℃,100 g,5g(0.1 mm)	48.2	40～60
软化点(℃)	63.8	≥60
延度(cm)	24.8	≥20
25℃相对密度	1.021	—

2.3 集料

粗集料采用玄武岩,机制砂,矿粉采用石灰岩,按照《公路工程集料试验规程》(JTG E20－2005)试验,其各项技术指标均满足规范要求,如表 3、表 4、表 5 所示。

表 3 粗集料试验指标

试验项目	试验结果	规范要求
石料压碎值(%)	10.8	≤ 26
洛杉矶磨耗值(%)	9.6	≤ 28
与沥青的粘附性(级)	5	≥ 4

表 4 机制砂料试验指标

试验项目	试验结果	规范要求
砂当量(%)	71.0	≥ 60
棱角性(S)	32	≥ 30

表 5 矿粉料试验指标

试验项目		试验结果	规范要求
粒度范围(%)	<0.6mm	100	100
	<0.15mm	86.3	90～100
	<0.075mm	75.8	75～100
亲水系数		0.76	<1
塑性指数		1.7	<4

2.4 纤维素

本试验配制沥青玛蹄脂碎石混合料所用木质纤维素密度为 1.1g/cm^3。

3 沥青玛蹄脂碎石混合料

3.1 沥青混合料 SMA－13 的设计

本试验采用沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA－13 作为沥青路面表面层,其中粗集料用玄武岩,机制砂,矿粉为石灰岩。按照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40－2004)附录 C 进行 SMA－13 配合比设计。采用级配及规范要求范围见表 6,选定油石比 6.2%,木质纤维素掺量为沥青混合料质量的 0.3%。

表 6 SMA－13 级配范围

级配	通过筛孔(方孔筛)百分率(%)									
筛孔(mm)	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
规范上限	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12
规范下限	100	90	50	20	15	14	12	10	9	8
合成级配	100	94.2	64.0	30.2	19.7	17.2	15.3	14.4	13.2	10.2

3.2 蛭石的加入

所购买蛭石粒径为 0～5mm,经筛分其中大部分为 0.3～0.6 mm、0.6～1.18 mm、1.18～2.36 mm 三个粒径范围。本文拟将筛分出来的三个粒径范围内的蛭石作为试验材料,以等体积的蛭石置换集料混合料中同粒径范围的集料,为此本文做了蛭石与细集料等体积置换的质量对应关系,如表 7 所示。

表 7 等体积蛭石与集料质量关系

材料	体积(cm^3)	质量(g)		
		1.18～2.36	0.6～1.18	0.3～0.6
细集料	392	335.8	333.9	325.9
蛭石	392	56.9	66.3	69

用蛭石分别替换集料混合料中 0.3～0.6 mm、0.6～1.18 mm、1.18～2.36 mm 三个粒径范围内的细集料,并采用不同百分率替换作对比,用蛭石分别替换 0%、25%、50%、75%、100%的集料混合料中相应粒径范围的细集料。

3.3 马歇尔试验

分别以集料混合料中 0.3～0.6 mm、0.6～1.18 mm、1.18～2.36 mm 三个粒径范围内集料被替换量为 0%、25%、50%、75%、100%的沥青混合料进行标准马歇尔试验,试验结果如表 8 所示。

表 8 马歇尔试验数据

试验指标	下列掺量(%)蛭石试验结果				
	0	25	50	75	100
毛体积密度(g/cm^3)	2.477	2.431	2.422	2.397	2.382
空隙率(%)	4.02	4.13	4.17	4.87	5.11
矿料间隙率(%)	16.58	16.67	16.71	17.3	17.45
沥青饱和度(%)	75.77	75.25	75.04	71.83	70.69
稳定度(kN)	8.04	8.91	9.15	9.36	9.37
流值(0.1mm)	23.9	12.1	12.4	13.2	9.7

分析表 8 数据可知:

(1)随着蛭石掺量的增加,沥青玛蹄脂碎石混

合料的毛体积密度、沥青饱和度逐渐减小，空隙率、矿料间隙率增大，当蛭石掺量达到75%时，空隙率和沥青饱和度已超出规范要求范围。

(2)随着蛭石掺量的增加，沥青玛蹄脂碎石混合料稳定度先增大后趋于稳定，其流值则减小，但无规则。可见，掺入蛭石能够提高沥青玛蹄脂碎石混合料的马歇尔稳定度，同时导致流值下降。

(3)综上得出结论，蛭石的加入使沥青玛蹄脂碎石混合料的各项技术指标发生改变，但只要严格控制其掺量，则沥青玛蹄脂碎石混合料的使用性能不受影响。

4　沥青玛蹄脂碎石混合料表面层热阻性能试验

沥青路面产生车辙的直接原因就是沥青混合料路面高温变形，因此，解决沥青路面车辙问题最有效的方法是控制路面温度。沥青混凝土是由集料、沥青及空气组成的多相复合材料，根据文献[4]，热量在复合物体内传递时，热流要选择热阻最小的通道传递，据此，在沥青混合料中加入导热系数小于石料导热系数的蛭石，就相当于减小了热流的传递通道，以至限制热流在沥青混合料中的传递，不仅能控制表面层内部混合料温度，还能隔离大气温度传向中面层，从而控制沥青路面结构升温。

4.1　热阻试验设计

本试验目的在于对比掺加不同量蛭石后沥青混合料的热阻性能，按上述马歇尔试验配合比及蛭石掺量分别成型车辙板，并按蛭石掺量从小到大依次编号1～5。

试验设备包括自制保温箱、温度传感器、数据采集仪及碘钨灯等。将碘钨灯用作热辐射光源，碘钨灯投射的热量在车辙板上表面累计，使车辙板上表面升温，模拟沥青路面在太阳光辐射下路面表面升温的过程。

由于碘钨灯辐射强度为恒定值，与太阳光照时变化的强度差别较大，本文对碘钨灯辐射时间进行了确定。采用等效辐射热原理的方法，控制碘钨灯光照时间，在所用碘钨灯辐射强度下，试件表面累积热量与室外太阳光照下沥青路面达到热平衡时的热量相等，则试件得到的温度可近似为室外的热平衡温度，本文经过标定，采用碘钨灯照射沥青混凝土车辙试件5 h。

在车辙板上下表面分别布设4个温度传感器采集温度，上下表面温度传感器位置重叠，再将车辙板放入自制保温箱，如图4－1所示，用碘钨灯照射试件，并用数据采集仪连续采集5小时内试件上下表面的温度值。

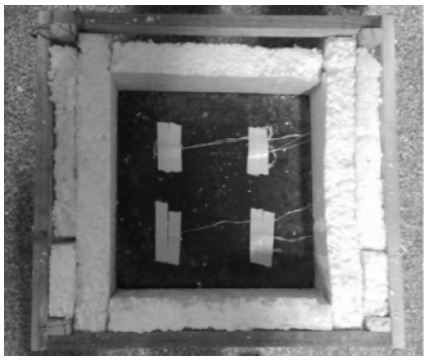


图4－1　粘贴传感器的车辙板放入保温箱

4.2　试验结果分析

按上述试验，分别测试5块车辙板上下表面温度，计算上下表面温度差，并绘制各试件上下表面温度差随时间变化的折线图，如图4－2所示。

(1)由图4－2可知，在试验开始后1.5 h内，各试件上下表面温度差都急剧增大，在第1.5到3.5 h期间试件上下表面温差缓慢平稳上升，3.5 h以后各试件上下表面温差有下降趋势，并趋于稳定；1～5号试件上下表面温度差依次增大，即随着蛭石掺量的增加，试件上下表面温度差增大，当蛭石掺量为100%时，试件上下表面温度差比不加蛭石试件温度差大5.4 ℃。这说明加入蛭石的沥青玛蹄脂碎石混合料路面确实有热阻能力。

(2)根据文献[5]，沥青混合料的动稳定度随其内部温度变化成幂函数变化，温度下降，沥青混合料的动稳定度会明显增大。掺入热阻材料蛭石，沥青玛蹄脂碎石混合料内部温度及其下承层——中面层温度得到控制，也就增加了路面结构动稳定度，从而有效缓解沥青路面车辙问题。

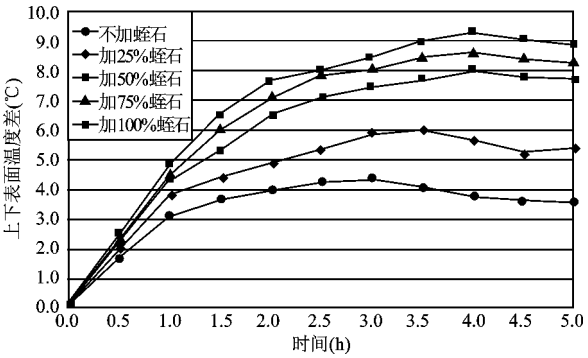


图4－2　各车辙板上下表面温度差折线图

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com