

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.08.075

半刚性基层沥青路面裂缝处治技术研究

周怀恩

(中国城市建设研究院有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘 要: 针对半刚性基层沥青路面裂缝类型分布特征及成因进行分析, 采用不同比列的聚氨酯 PU 和环氧丙烯酸酯 VE 调配值得聚合物改性裂缝修复材料, 对不同编号(0.1PU+0.4VE、0.2PU+0.3VE、0.3PU+0.2VE、0.4PU+0.1VE)的聚合物改性修复材料进行粘结强度和拉伸强度的测试分析。在此基础上, 分别将不同比例的聚合物修复材料用于马歇尔试样和低温小梁试样的裂缝修补中, 并针对低温劈裂、低温弯拉和水稳定性进行综合分析。试验表明 0.3PU+0.2VE 的聚合物改性材料具备较好的劈裂强度、抗弯拉强度和水稳定性, 将其应用于实际裂缝修补工作中亦获得较好的应用效果。

关键词: 裂缝修复; 聚氨酯; 环氧丙烯酸酯; 黏结强度; 力学性能

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)08-0291-05

0 引 言

半刚性基础沥青路面具有强度稳定、行车舒适性好等优点被广泛应用于高等级公路中, 据不完全统计, 约 92% 以上的高速公路采用了半刚性基础沥青路面结构^[1]。但伴随着高速公路交通量和轴载的增长, 现有半刚性基础沥青路面也出现了相关的路面病害。其中, 路表反射裂缝较为常见。相关公路病害调研表明: 高速公路在建成开通后的第二年起均会出现一定程度的裂缝病害。钻芯取样观察表明, 路面裂缝大都是由基层开裂而反射作用到道路面层^[2-4]。因此, 研究半刚性基层沥青路面裂缝处治技术就显得尤为重要。半刚性基层材料主要包括水泥稳定类、水泥粉煤灰稳定类、石灰粉煤灰稳定类等, 均是采用水硬化材料, 通过水化反应增强材料的强度等级^[5]。因此, 半刚性基层材料受温度、湿度的变化会产生一定的收缩变形, 进而导致局部应力集中和裂缝开展^[6]。刘芳^[7]通过将乙烯基酯树脂、聚氨酯、交联剂与稳定剂进行混合调配制成裂缝填补材料, 实际裂缝处治效果较好; 刘澜波^[8]采用双组份高分子合成材料进行反射裂缝填补, 材料密实性和强度较好; 王超杰^[9]采用水灰比、粉煤灰、聚合物进行裂缝填补材料研制, 优选了各组成材料的具体掺配范围。李阿雷^[10]以地聚合物为试验材料进行浅层裂缝注浆修补加固的试

验研究, 对抑制裂缝开展起到一定作用。基于此, 现结合现有半刚性基层沥青路面裂缝处治技术, 分别采用不同配比的环氧改性聚氨酯材料进行带裂缝沥青混合料试件的修复试验, 旨在进一步提升沥青路面反射裂缝的处治技术水平。

1 沥青路面裂缝成因分析

该项研究对河南省半刚性基层沥青路面病害进行调研分析, 典型病害主要包括横向裂缝、纵向裂缝、网状裂缝和龟裂, 如图 1 所示。

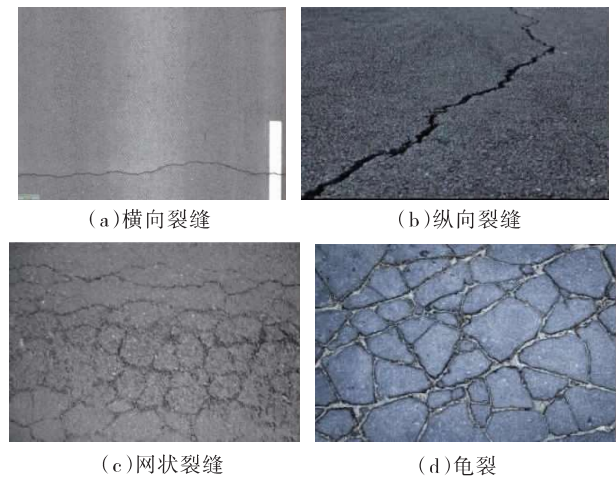


图 1 半刚性基层沥青路面典型病害之图示

据不完全统计, 半刚性基础沥青路面中裂缝类病害占到典型病害的 34% 左右。其中, 横向裂缝和纵向裂缝数量较为明显。半刚性基层中, 水泥、骨料在水化反应后达到一定强度等级, 受温度和干燥收缩影响, 碎石材料间易产生一定的变形, 表层微裂缝随应力集

收稿日期: 2021-01-04
作者简介: 周怀恩(1978—), 男, 本科, 高级工程师, 从事道路工程设计工作。

中进行扩展延伸,直至形成宏观裂缝。在长期的荷载作用下,沥青路面会产生疲劳损伤,基层裂缝会产生反射作用,裂缝会随碎石基层材料间隙往上蔓延,直至造成面层裂缝损伤。随着车辆荷载的往复作用,面层裂缝会逐渐扩展,直至形成网状裂缝或龟裂。对于此类病害问题,需进行裂缝修补处治。在必要条件下,要对基层裂缝进行灌胶/灌浆修复。

2 沥青路面裂缝修补技术

沥青路面裂缝的修补可以延缓裂缝开展速率,降低雨水灌入对内部水稳碎石的侵蚀。沥青路面裂缝的修补一般在低温少雨季节,有利于沥青路面及基层裂缝的有效扩展,填充料能够尽可能充实裂缝,实现裂缝的有效弥合封闭。裂缝修补应避免雨季,雨水的灌入冲刷会使得裂缝内部松散易脱落,降低修补胶体结构的强度。目前的路面裂缝修补技术主要有三类:开槽灌缝、传统灌缝和压力注浆修补。

2.1 开槽灌缝

开槽灌缝是技术人员通过专门的机械化设备进行裂缝附近开槽,采用吹风设备对内部裂缝孔隙进行清灰处理,将调配好的胶体或浆液沿开槽口灌入修补。该方法适用于裂缝宽度小、裂缝分布不规则的裂缝病害,路面开槽可以拓宽裂缝灌入,方便填补材料的填充。开槽灌缝需要技术人员根据裂缝分布的情况合理规划好开槽的具体位置和尺寸大小。开槽宽度为12~20 mm,深度为20 mm左右,灌浆材料注入后需将槽口进行封闭和整平,根据灌缝材料的强度情况适时开放交通。

2.2 传统灌缝法

传统灌缝法是不通过外力扩展,直接将路面裂缝修补材料沿裂缝进行灌入修补,具体可以分为热补和冷补两类。热补材料主要为石油沥青等热熔性材料,具体施工工艺为除尘、热沥青、填补、抹平、冷却、开放交通。采用热补法修补裂缝问题时,要注意天气温度范围,温度过高会造成路面泛油;温度过低,会导致材料变得硬而脆。冷补法一般采用乳化沥青,具体施工流程和热补法相似,冷补材料具备较好的渗透性,可较好地填充内部裂缝,但高温稳定性较差。

2.3 压力注浆修补

当路面出现连续大面积结构性破坏损伤时,可采用压力注浆修补,可有效实现半刚性基层中的内部反射裂缝修补,通过外部压力调控将浆体材料沿

孔隙走向注入到道路基层深处,可实现道路内部空洞密实和强度提升。压力注浆的技术难度较大,成本相对较高,但对半刚性基层反射裂缝的修复效果最为明显。需要注浆材料具备较好的流动性、密实性、渗透性和黏结性。

3 裂缝修补材料性能试验研究

该项研究采用聚氨酯和环氧丙烯酸酯为主要材料,添加一定比例的交联剂和稳定剂制备聚合物改性修复材料,并将其应用到带裂缝工作的沥青混合料试件中,进行力学性能试验,优选出修复效果较好的聚合物改性材料。

3.1 聚氨酯

聚氨酯(polyurethane)是一种有机高分子材料,简称为PU,具有较好耐磨性、黏结性和耐久性,被广泛应用于工业产品中。将其应用于道路修复中可实现裂缝的封闭。

3.2 环氧丙烯酸酯

环氧丙烯酸酯(Xinyl Ester Resins)是环氧树脂中的一类,也成为乙烯基酯树脂,简称为VE,具有较好的耐腐蚀效果。除此之外,其黏结性、耐热性和韧性均较好,将其与聚氨酯进行调和,可制备得到密实性和渗透性较好的化学高分子材料。

3.3 交联剂和稳定剂

为有效地促进聚氨酯和环氧丙烯酸酯的均匀调和,在拌合过程中掺入交联剂和稳定剂。掺入比例分别为聚氨酯和环氧丙烯酸酯材料总质量的5%和8%。

3.4 聚合物改性修复材料的制备

为深入研究不同聚氨酯和环氧丙烯酸酯掺量对改性材料性能的综合影响,分别采用不同掺量的聚氨酯和环氧丙烯酸酯进行正交试验对比。具体配比为:0.1PU+0.4VE、0.2PU+0.3VE、0.3PU+0.2VE、0.4PU+0.1VE。将聚氨酯和环氧丙烯酸酯材料经特定温度融化后进行混合,采用高速剪切拌合设备搅拌10 min,逐次加入固定掺量的交联剂和稳定剂并进行搅拌,静置20 min中进行稳定反应。对上述4类不同聚合物改性修复材料进行黏结强度和拉伸强度测试,试验结果如表1和表2所列。

将上述不同的黏结强度和拉伸强度试验结果绘制成图予以分析,如图2所示。

由表1、表2和图2可知,随着聚氨酯(PU)比例的增加,聚合物的黏结强度提升。这是因为聚氨酯材

表 1 聚合物改性修复材料粘结强度一览表

序号	编号	粘结强度 /MPa
I	0.1PU+0.4VE	2.05
II	0.2PU+0.3VE	2.12
III	0.3PU+0.2VE	2.35
IV	0.4PU+0.1VE	2.47

表 2 聚合物改性修复材料拉伸强度一览表

序号	编号	粘结强度 /MPa
I	0.1PU+0.4VE	33.52
II	0.2PU+0.3VE	30.15
III	0.3PU+0.2VE	27.15
IV	0.4PU+0.1VE	25.36

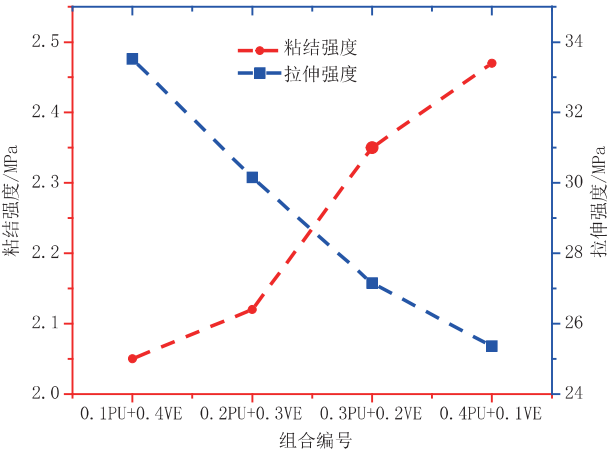


图 2 不同组合方案下聚合物材料粘结强度和拉伸强度曲线图

料本身的黏聚性较好,高温融化后材料的黏度大,流动性弱。能够有效裹附环氧丙烯酸酯材料。而环氧丙烯酸酯(VE)比例减小后,聚合物的拉伸强度减弱,其主要原因是环氧丙烯酸酯材料本身具备一定的耐久性和韧性,组分的增加能够增强材料的抗拉收缩变形。因此,需要进一步结合对沥青混合料裂缝修复效果进行试验对比,确定最佳的聚合物改性材料配比。

4 聚合物改性材料对沥青混合料修复试验研究

4.1 试验方案

研究分成采用马歇尔试验和低温小梁试验进行聚合物改性材料的裂缝修复效果。根据试验方案,将马歇尔试样和低温小梁试样分别用劈裂夹具和万能试验机进行中点加载,获得两片对称的受外力破坏的试样,如图 3、图 4 所示。

将不同配比的聚合物改性修复材料涂抹在对称破坏的试样截面,经过特定的固化养生后分别进行低温劈裂、低温弯曲、水稳性能试验,并和普通原试样测试结果进行对比,分析聚合物改性材料的裂缝



图 3 对称破坏马歇尔试样

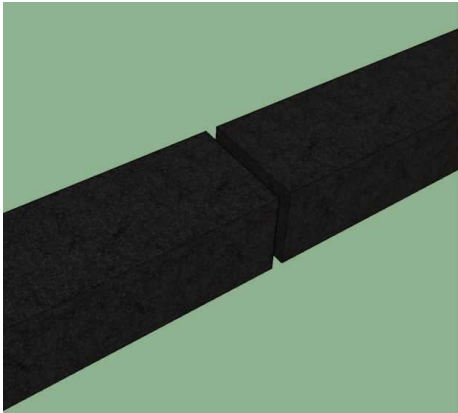


图 4 对称破坏低温小梁试样

修复效果。

4.2 低温劈裂试验

低温劈裂试验采用低温小梁在 -10℃ 环境下进行 1 mm/min 的加载破坏,记录试验在劈裂破坏过程中的抗拉强度,试验结果如表 3 所列。

表 3 低温劈裂试验结果一览表

序号	编号	劈裂抗拉强度 /MPa	恢复率 /%
I	0.1PU+0.4VE	3.14	67.97
II	0.2PU+0.3VE	3.58	77.49
III	0.3PU+0.2VE	3.87	83.77
IV	0.4PU+0.1VE	4.05	87.66
V	普通对比组	4.62	100.00

将上述结果绘制成图予以分析,如图 5 所示。

由表 3、图 5 可知,随着聚氨酯组分的不断增加,裂缝修补后试样的劈裂抗拉强度逐渐增加,0.1PU+0.4VE 时,劈裂抗拉强度修复效果仅为 67.97%,0.4PU+0.1VE 时,劈裂抗拉强度修复效果为 87.66%。随着聚氨酯掺量的逐步增加,裂缝修补抗拉强度的提升速率减缓,说明劈裂强度的恢复率逐渐趋于稳定。聚氨酯材料中具有较强的黏度组分,可以有效地实现裂缝间粗糙截面的黏合,实现裂缝的有

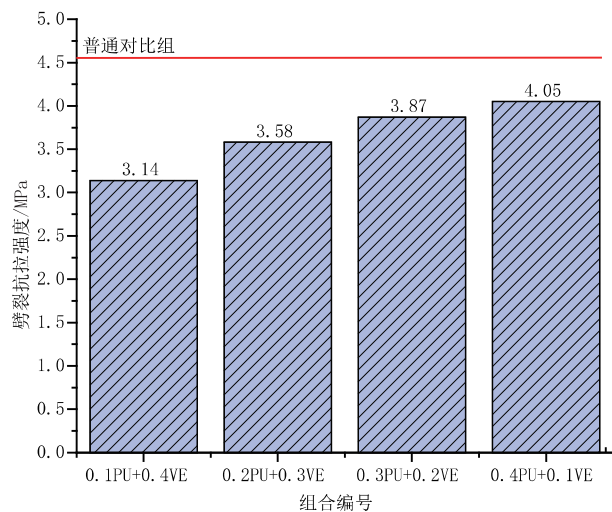


图5 劈裂抗拉强度试验结果柱状图

效填充和闭合。

4.3 低温弯曲试验

低温弯曲试验是将小梁在标准试验环境下进行跨中的单点加载,记录破坏作用时对应的抗弯拉强度,试验结果如表4所列。

表4 低温弯曲试验结果一览表

序号	编号	抗弯拉强度 /MPa	恢复率 /%
I	0.1PU+0.4VE	5.65	71.97
II	0.2PU+0.3VE	6.14	78.22
III	0.3PU+0.2VE	6.45	82.17
IV	0.4PU+0.1VE	6.52	83.06
V	普通对比组	7.85	100.00

将上述结果绘制成图分析,如图6所示。

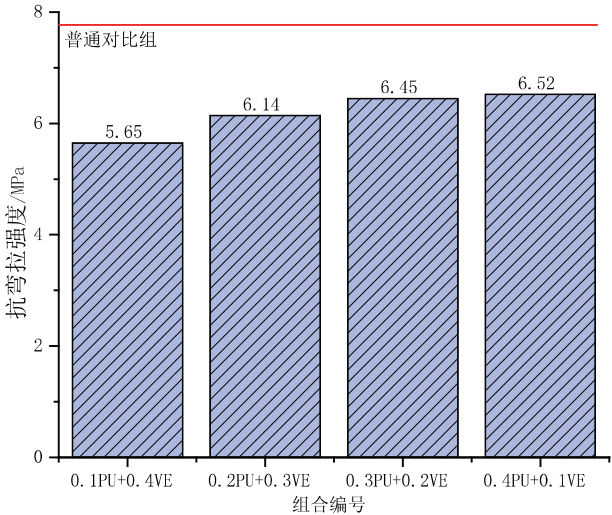


图6 抗弯拉强度试验结果柱状图

由表4、图6可知,抗弯拉强度试验结果与劈裂抗拉强度呈现出较好的相关性,4种不同组合比例下,聚合物改性材料修复后试件的抗弯拉强度恢复率分别为71.97%、78.22%、82.17%和83.06%,聚氨酯材料掺量的增加对于混合料裂缝修复是有显著效

果的,但掺量过多亦会造成内部组分比例的不协调。

4.4 水稳定性

研究采用完好和裂缝修复两类马歇尔试件,分别进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,试验结果如表5所列。

表5 水稳定性试验结果一览表

序号	编号	残留稳定度 /%	冻融劈裂强度比 /%
I	0.1PU+0.4VE	75.2	78.6
II	0.2PU+0.3VE	83.8	81.6
III	0.3PU+0.2VE	88.3	85.3
IV	0.4PU+0.1VE	85.5	83.7
V	普通对比组	92.2	89

将上述结果绘制成图分析,如图7和图8所示。

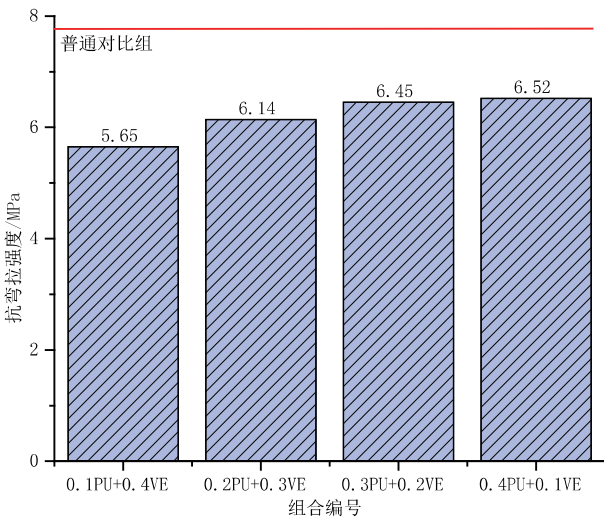


图7 残留稳定的试验结果曲线图

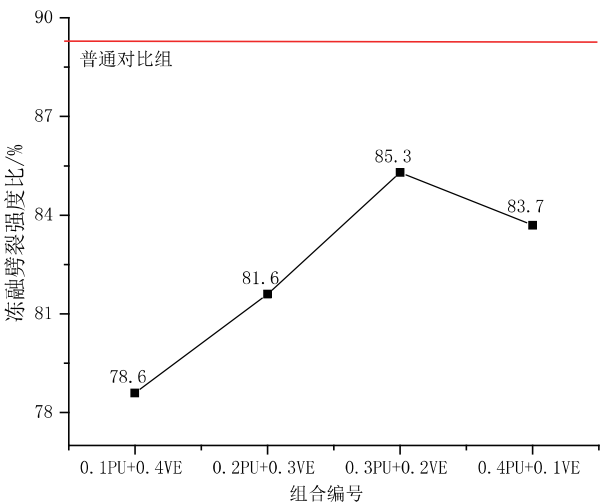


图8 冻融劈裂强度比试验结果曲线图

由表5及图7、图8可知,采用不同组合比例的聚合物改性修复材料对混合料进行裂缝修复,并进行残留稳定和冻融劈裂强度比值的测试分析,随着聚氨酯比例的增加,裂缝修复后的试件性能得到恢复;但聚氨酯组分过多时,会导致残留稳定性和冻融

劈裂强度比数值在一定程度上下降,造成水稳定性的不稳定。其主要原因是聚氨酯中的黏度组分可以提升材料的黏结强度,环氧丙烯酸酯可提升材料的韧性,但混合料的界面损伤修复需要的是破坏界面有机协调,比例的失稳易造成裂缝修复后耐久性降低。

5 工程应用

研究表明,0.3PU+0.2VE 调配比例下的聚合物改性修复材料能够显著促使混合料破坏界面修补粘合,二次试验表明修复材料对混合料的劈裂抗拉、抗弯拉、水稳定性具有一定性能恢复,恢复率在 80%以上。在河南某一级公路裂缝处治工程中,采用了该配比聚合物改性修复材料进行压力注胶裂缝修复,并对部分路段进行钻芯取样试验分析,试验结果如表 6 所列。

表 6 劈裂抗拉强度、抗弯拉强度试验结果一览表

钻芯测点	1	2	3	4	5
劈裂抗拉强度 /MPa	3.85	4.02	3.95	3.94	4.05
抗弯拉强度 /MPa	6.54	6.32	6.52	6.48	6.57

相关钻芯测点试验表明,采用聚氨酯和环氧丙烯酸酯进行比例调配可生产聚合物改性裂缝修复材料,对于路面裂缝处治具有重要应用价值。

6 结 语

通过对半刚性基层沥青路面裂缝产生表象及成

因进行分析,采用聚氨酯和环氧丙烯酸酯按不同比例制备聚合物改性修复材料,分别对聚合物改性材料性能及其对带裂缝混合料试样的修复效果进行对比研究,优选出 0.3PU+0.2VE 的制备比例应用于实际路面裂缝修复中,并取得较好的裂缝修复效果。

参考文献:

[1] 张廷才.普通公路沥青路面裂缝开裂原因及修复试验研究[J].城市道桥与防洪,2020(10):62-64+12-13.

[2] 王峰.半刚性基层沥青路面裂缝成因分析及处治措施[J].城市道桥与防洪,2018(1):112-114+129+16.

[3] 王曦光.半刚性基层反射裂缝的成因及典型处置方法[J].北方交通,2019(12):44-46.

[4] 陈天峰.甘肃省高速公路沥青路面裂缝类病害不同养护方案效果分析[J].城市道桥与防洪,2019(11):35-37+9.

[5] 马建国,刘国鑫,张楠.内蒙古重载交通半刚性基层沥青路面预防性养护时机研究[J].内蒙古工业大学学报(自然科学版),2019,38(5):384-389.

[6] 王复明,李文辉,郭成超,方宏远,崔璨.基于高聚物渗透注浆的半刚性基层路面承载性能恢复研究[J].北京交通大学学报,2019,43(3):1-7.

[7] 刘芳.半刚性基层沥青路面裂缝处治技术研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2019.

[8] 刘澜波,霍光芒,蔡文才,田朋飞.浅析半刚性基层沥青路面反射裂缝处治新技术—以安徽合六叶高速为例[J].黑龙江交通科技,2019,42(11):27-28.

[9] 王超杰.半刚性基层裂缝快速识别与修补技术的研究 [D].兰州:兰州理工大学,2018.

[10] 李阿雷.高速公路半刚性基层沥青路面浅层注浆补强加固技术研究[D].西安:长安大学,2014.

(上接第 285 页)

(5)对于管道沟槽基坑等狭长型基坑,在计算坑底抗隆起稳定性安全系数时,可考虑基坑宽度的影响,适当减小围护墙的插入比,提高经济性。

参考文献:

[1] 汪炳鉴,夏明耀.地下连续墙的墙体内力及入土深度问题[J].岩土工程学报,1983,5(3):103-114.

[2] 陈孝湘,赵金飞,唐自强,等.基于强度折减法的狭长基坑坑底抗隆起稳定研究[J].地下空间与工程学报,2015,11(1):59-64.

[3] 张飞,李镜培,孙长安,等.软土狭长深基坑抗隆起破坏模式试验研究[J].岩土力学,2016,37(10):2825-2832.

[4] 王洪新.对基坑抗隆起稳定安全系数的改进[J].岩土力学,2014,35(2):30-36.