

# 开普封层层间黏结性能及其影响因素研究

李艳<sup>1</sup>,张成雪<sup>2</sup>,邱业绩<sup>1</sup>,张海军<sup>3</sup>

(1.西安公路研究院,陕西 西安 710065;2.西安科技大学,陕西 西安 710064;

3.陕西国琳公路养护工程有限公司,陕西 西安 710065)

**摘要:**针对开普封层由于黏结力不足导致路面发生推移拥包等问题,研究开普封层层间黏结性能的影响因素,利用路面层间剪切拉拔测试仪对开普封层进行力学试验研究。通过层间拉拔、直剪、扭剪等试验方法,得到层间破坏时的最大抗拉力、最大剪切力及最大扭矩等指标的试验结果,分别从碎石覆盖率、上、下层组合等方面,对开普封层的层间黏结性能进行研究。试验结果表明:碎石覆盖率为80%~90%,且开普封层上下层组合方式为MS-Ⅲ微表处和4.75~9.5 mm单粒径碎石封层时,开普封层整体结构与下承层之间的黏结效果较优。

**关键词:**路面;开普封层;黏结性;碎石覆盖率;组合方式

**中图分类号:**U416.2

**文献标志码:**A

## 0 引言

开普封层是碎石封层与微表处的结合,其中下层碎石封层起到抑制旧路面反射裂缝的作用,上层的微表处则起改善路面表面功能,减少碎石脱落的作用<sup>[1-3]</sup>。作为沥青路面预防性养护技术之一,开普封层既有良好的抗滑性能,又有良好的平整度<sup>[4-6]</sup>。张俊等<sup>[7]</sup>针对开普封层的路用性能进行了系统的室内研究,发现开普封层的性能容易受沥青用量的影响,发生泛油和推移病害;区仕权<sup>[8]</sup>提出了高性能预防性养护措施,采用加速加载设备进行橡胶沥青开普封层配合比的研究优化;姜锋等<sup>[9]</sup>对不同粒径的单层橡胶沥青开普封层的路用性能进行了室内试验,同时提出了一种通过车辙试验确定不同粒径碎石撒布量和橡胶沥青用量的设计方法,并依托试验路进行验证。

调研发现,开普封层病害多为推移及拥包,主要原因是由于黏结力不足,在行车荷载的反复作用下,开普封层与下承层或者开普封层内部结构之间发生了层间剪切破坏<sup>[8-10]</sup>。开普封层层间黏结效果的影响

因素复杂,包括下层碎石覆盖率和上、下层组合方式等。为了评价开普封层层间的黏结性能,需要以统一的评价指标对开普封层层间黏结性能进行分析。本文主要针对开普封层,采用路面层间剪切拉拔测试仪,选取不同碎石撒布量及不同上、下层组合方式对层间抗拉强度、剪切强度及扭矩进行分析,以研究开普封层层间黏结性能。

## 1 试件材料及成型方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 下层碎石封层

采用车辙板试模,成型水泥混凝土垫板,尺寸为300 mm×300 mm×50 mm。再准备300 mm×300 mm×70 mm的车辙板,将养生好的水泥板移至70 mm车辙板试模中,透层油采用乳化沥青以1.0 kg/m<sup>2</sup>洒布,碎石封层黏结料采用A-90基质沥青,以1.2 kg/m<sup>2</sup>洒布,集料采用4.75~9.5 mm闪长岩。

#### 1.1.2 上层微表处

试验所用微表处混合料为MS-Ⅱ和MS-Ⅲ,其混合料级配曲线如图1、2所示。

收稿日期:2021-10-10(修改稿)

基金项目:陕西交通科技项目(编号:17-32T)

作者简介:李艳,女,硕士,工程师.E-mail:964200108@qq.com

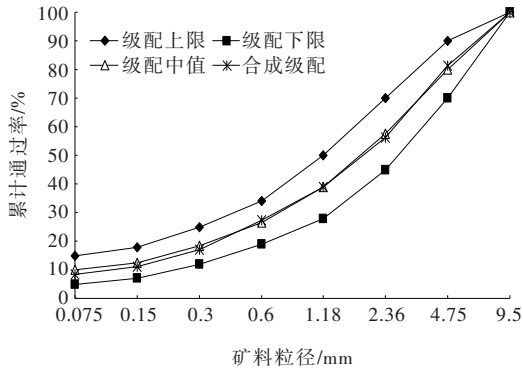


图1 MS-Ⅱ级配曲线

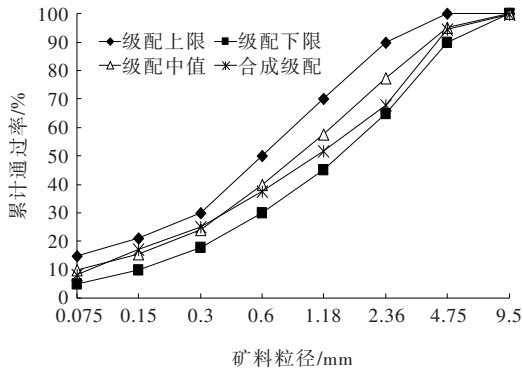


图2 MS-Ⅲ级配曲线

MS-Ⅲ混合料所用改性乳化沥青蒸发残留物含量为64.0%,MS-Ⅲ微表处混合料最终确定级配为:(4.75~9.5 mm 矿料):(2.36~4.75 mm 矿料):(0~2.36 mm 矿料)=20:10:70,水泥用量为1.5%,油石比为6.1%。MS-Ⅱ所用改性乳化沥青蒸发残留物含量为64.0%,MS-Ⅱ微表处混合料最终确定级配为:(4.75~9.5 mm 矿料):(2.36~4.75 mm 矿料):(0~2.36 mm 矿料)=15:10:75,水泥用量为1.5%,油石比为6.3%。

## 1.2 开普封层试件成型

开普封层为碎石封层+稀浆封层/微表处结构,

室内试验为尽可能模拟开普封层路面结构,采用5 cm 水泥混凝土垫板作为下承层,加铺2 cm 左右开普封层的试件成型,并参照稀浆封层试件养生方法,提出了如下高温养生方法:将开普封层试件在120℃烘箱中烘至恒重,且试件在烘箱内放置时间不小于5 h。再对开普封层车辙板试件进行钻芯,对所取芯样进行剪切拉拔试验。

## 1.3 试验方法

通过对开普封层试件进行拉拔、直剪、扭剪等不同类型的力学试验,得到层间破坏时的最大拉拔力、最大剪切力及最大扭矩,换算成强度指标,对开普封层层间黏结性能进行分析与评价。试验时,首先调整仪器底座、固定开普封层试件,保证试件的层间黏结缝置于固定夹具与活动套环之间,然后通过操作界面调节上升、下降使得套环与试件贴合。试验过程中,该系统具备实时数据采集系统和加载速率调节功能。通过力与时间的关系曲线图读取破坏峰值。3种试验示意图如图3所示。

试样在拉断时承受的最大荷载 $F(N)$ 与试样横截面积 $S(mm^2)$ 的比值为抗拉强度 $P(MPa)$ ,表示材料在拉力作用下抵抗破坏的最大能力。

## 2 碎石覆盖率对层间黏结性能的影响

### 2.1 试验条件

碎石覆盖率为碎石封层表面碎石撒布面积与沥青洒布面积之比。将碎石均匀紧凑摆放于涂刷沥青后的车辙板试件上,直至碎石紧密相连且完全覆盖涂刷于车辙板表面的沥青,此时整个试件质量为 $m_2$ ,涂刷沥青后的车辙板质量为 $m_1$ , $m_2-m_1$ 即为完全覆

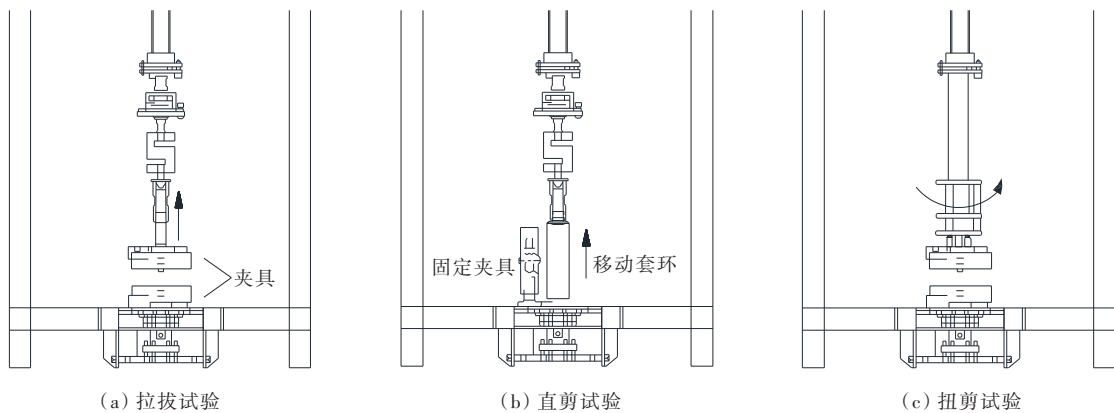


图3 试验示意图

盖沥青所需的碎石质量,此时碎石覆盖率为100%。

按照所述方法,分别制作碎石覆盖率为70%、80%、90%、100%的开普封层试件,微表处为MS-Ⅲ型,具体试验条件见表1。

表1 碎石封层试验条件

碎石撒布量/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	碎石覆 盖率/%	碎石撒布温 度/ $^{\circ}\text{C}$	沥青洒布量/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	沥青洒布温 度/ $^{\circ}\text{C}$
13.7	100	50	1.2	150
12.3	90			
10.9	80			
9.6	70			

## 2.2 试验结果及分析

在高温养生方式下,不同碎石覆盖率下的开普封层试件的拉拔、直剪、扭剪等层间黏结性能试验结果见表2。

表2 不同碎石覆盖率下的层间黏结试验结果

碎石覆盖率/%	抗拉强度/MPa	剪切强度/MPa	扭矩/( $\text{N} \cdot \text{m}$ )
70	0.209	0.156	95.7
80	0.298	0.188	99.4
90	0.357	0.196	100.7
100	0.298	0.163	96.4

由表2可知:

(1) 随碎石覆盖率增加,抗拉强度、剪切强度和最大扭矩的整体变化趋势一致,均在90%碎石覆盖率下达到最大值,分别为0.357 MPa、0.196 MPa和100.7  $\text{N} \cdot \text{m}$ ,说明在90%碎石覆盖率下,材料黏结性能较好,能对石料形成有效裹附。

(2) 90%碎石覆盖率下的试件抗拉强度、剪切强度、扭矩分别比70%覆盖率状态下提高了70.8%、25.6%、5.2%。说明碎石覆盖率过小,微表处混合料悬浮于碎石之上,主要依靠与碎石封层胶结料的粘连维持层间黏结性能,导致黏结性能不佳。

(3) 碎石覆盖率为90%~100%时,抗拉强度、剪切强度和最大扭矩值迅速下降。说明碎石覆盖率过高时,碎石与沥青没有形成有效裹覆,微表处混合料嵌挤于未裹覆沥青的碎石之间时,黏结性降低。

(4) 碎石覆盖率对层间黏结效果有直接的影响,碎石覆盖率过大,导致微表处混合料与碎石接触及咬合面积变小,黏结性能变差;碎石覆盖率过小,微

表处混合料悬浮于碎石上,达不到稳定的嵌挤结构,主要依靠与碎石封层胶结料的粘连维持黏结性,效果亦不佳。图4为70%碎石覆盖率下个别开普封层试件在拉拔试验时发生从微表处与碎石封层层间界面断裂开的情况。故综合层间黏结性试验结果可以得到,碎石覆盖率为80%~90%时,开普封层整体结构与下承层之间的黏结效果较优。



图4 碎石封层与微表处发生层间断裂

## 3 上、下层组合方式对层间黏结性能的影响

### 3.1 试验条件及材料分析

采用路面层间黏结性能测试仪对不同组合方式的开普封层试件进行拉拔、直剪和扭剪试验。试验采用4.75~9.5 mm和9.5~13.2 mm作为碎石封层的石料粒径,分别与MS-Ⅱ、MS-Ⅲ型微表处进行结构组合,分析不同碎石粒径与不同微表处类型之间的黏结性能。试验条件如表3所示。

表3 试验条件

碎石 粒径/ mm	微表处 类型	碎石封层				
		碎石撒布 量/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	碎石 覆盖 率/%	碎石撒 布温 度/ $^{\circ}\text{C}$	沥青洒 布量/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	沥青洒 布温 度/ $^{\circ}\text{C}$
4.75~9.5	MS-Ⅲ	12.3	90	150	1.2	150
9.5~13.2						
4.75~9.5	MS-Ⅱ	12.3	90	150	1.2	150
9.5~13.2						

### 3.2 试验结果及分析

在高温养生方式下,不同组合方式的开普封层试件的拉拔、直剪、扭剪等层间黏结性试验结果见表4。

由表4可知:

(1) 采用同一类型微表处时,开普封层下层碎石

表 4 不同组合方式的开普封层试件层间黏结试验结果

微表处类型	碎石粒径/ mm	抗拉强度/ MPa	剪切强度/ MPa	扭矩/ (N·m)
MS-II	4.75~9.5	0.307	0.168	97.3
	9.5~13.2	0.297	0.140	96.6
MS-III	4.75~9.5	0.358	0.182	100.2
	9.5~13.2	0.347	0.175	97.7

封层的碎石撒布粒径为 4.75~9.5 mm 时,相比 9.5~13.2 mm 的碎石封层,层间拉拔力、直剪力和扭矩均较大,说明采用 4.75~9.5 mm 的碎石封层更易与上层微表处紧密嵌合,路面结构整体层间黏结性较好。

(2) 采用同一类型碎石封层时,开普封层上层采用 MS-III 型微表处的各项层间黏结力指标均大于 MS-II 型微表处,说明级配较粗的微表处结构易与下层碎石封层具有更好的黏结性,混合料不仅充分填充碎石之间的空隙,较粗的集料还与碎石封层搭成骨架结构,更为稳定。

(3) 开普封层组合方式为 MS-III 微表处+4.75~9.5 mm 单粒径碎石封层时,各项层间黏结力指标均达到最大值,开普封层层间黏结效果最优。

(4) 综合试验结果可知,碎石封层的碎石粒径过大,或稀浆混合料过细,均会使混合料悬浮于碎石之中,相互嵌锁作用减弱,咬合面积变小,达不到稳定的嵌挤结构,导致黏结性较差。因此,碎石封层的碎石粒径与微表处混合料之间应具备一定的组合度,增加骨料之间相互咬合及搭接作用,从而增加开普封层结构的层间黏结性能。

4 结论

通过层间拉拔、直剪、扭剪等试验方法,对碎石覆盖率及上下层组合方式等对开普封层层间黏结性进行研究,得到的主要结论如下:

(1) 碎石覆盖率是影响开普封层层间黏结性能的主要因素之一。层间黏结性试验结果表明,碎石

覆盖率为 80%~90% 时,开普封层试件整体的抗拉性能、抗剪性能和抗扭性能较优。

(2) 下层碎石封层与上层微表处之间的组合方式不同,致使开普封层的层间黏结性存在差异。层间黏结性试验结果表明,组合方式为 MS-III 微表处+4.75~9.5 mm 单粒径碎石封层形成的开普封层结构稳定性较佳。

参考文献:

[1] 白茹雪,吕晨炜.开普封层技术在国省干线公路预防性养护工程中的应用[J].公路,2019,64(11):252-258.

[2] 宋挺,成猛,张厚记,等.开普封层技术在武黄高速公路养护工程中的应用研究[J].建材世界,2018,39(6):69-72.

[3] 姚志杰,门光誉,冀卫东.浅谈开普封层在沥青路面预防性养护中的应用[C]//中国公路学会养护与管理分会.中国公路学会养护与管理分会第十届学术年会论文集,2020:179-184.

[4] 朱家剑,刘科,杨海涛,等.多层式开普结构在陇东改建国道沥青路面中的应用[J].公路,2019,64(10):14-18.

[5] 张琛,党伟.SBS 改性沥青开普封层低温抗裂性能影响因素研究[J].公路,2019,64(1):252-257.

[6] 陈谦,王朝辉,傅豪,等.基于性能演变的水性环氧沥青开普封层施工方法优化[J].中国公路学报,2021,34(7):236-245.

[7] 张俊,武泽锋,朱浮声.CAPE 封层技术及国内外应用情况[J].中外公路,2010,30(3):234-240.

[8] 区仕权.高性能沥青路面预防性养护措施评价与优化研究[D].广州:华南理工大学,2011.

[9] 姜锋,姚爱玲,徐旺,等.橡胶沥青 CAPE 封层结构的路用性能研究[J].公路,2018,63(5):281-286.

[10] JACK Van Kirk,舒玫.废胎橡胶沥青开普封层技术的运用[C]//中国公路养护技术大会论文集,2012:59-65.

[11] 靳庆霞,彭斌,田亚磊,等.SBR 改性乳化沥青对路面层间粘结效果的影响[J].河北工业大学学报,2019,48(5):55-58.

[12] 惠冰,周博闻,王洲.刻槽参数对刚柔复合式路面层间粘结强度的影响[J].公路工程,2018,43(2):79-83.

[13] 徐世法,朱大志,王中一,等.重交通沥青路面层间黏结状态对开裂的影响分析[J].公路,2019,64(8):1-7.

[14] 马强.“白改黑”路面层间抗剪切性能影响因素试验研究[J].中外公路,2016,36(4):86-90.