

WTR/APAO 复合改性沥青层间黏结性能研究

计红颜,颜可珍*,袁建,张轩宇

(湖南大学 土木工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要:为了研究WTR(废胶粉)/APAO(非晶态 α -烯烃共聚物)复合改性沥青作为水泥混凝土桥梁沥青铺装层中防水黏结层的黏结性能,通过直剪试验与拉拔试验,对比SBS改性沥青、WTR改性沥青和WTR/APAO复合改性沥青在不同用量、不同温度下的剪切强度与拉拔强度。试验结果表明:WTR/APAO复合改性沥青表现出最优的黏结性能;其次是WTR改性沥青;SBS改性沥青最差;综合3种沥青在不同温度下的剪切强度与拉拔强度,得到SBS改性沥青、WTR改性沥青、WTR/APAO复合改性沥青的最佳用量分别为 1.7 kg/m^2 、 1.2 kg/m^2 、 1.2 kg/m^2 ;随着温度升高,3种沥青的剪切强度与拉拔强度明显下降,表明温度对3种沥青的黏结性能影响显著;与其他两种沥青相比,WTR/APAO复合改性沥青在高温下展现出较高的剪切强度与拉拔强度,说明其高温下具有更好的黏结性能。

关键词:黏结性能;改性沥青;直剪试验;拉拔试验

中图分类号:U414

文献标志码:A

0 引言

近年来,随着交通量的迅速增长及重轴载车辆的不断增加,水泥混凝土桥面沥青铺装体系中由于层间黏结较差而产生的开裂、推移、车辙等病害逐渐增多,使得桥梁的安全性、舒适性以及耐久性均受到了影响。防水黏结层是混凝土桥面沥青铺装层的重要组成部分^[1-3],要求其一方面保持不透水性,另一方面与桥面和面层有良好的黏结力^[4],较好地黏结上下各层。国内外对防水黏结材料进行了大量试验研究^[5-8]。Zhang等^[9]发现改性沥青与混凝土板的黏结强度最高,普通沥青次之,乳化沥青最弱;Guo等^[10]发现与SBR改性乳化沥青和二阶反应型防水材料相比,SBS改性沥青有更好的抗渗性和抗剪性能,且随温度升高,剪切强度与拉拔强度急剧下降;张起森等^[11]结合力学分析,通过室内试验,发现防水黏结材料性能随温度升高而降低。

综合前人研究来看,SBS改性沥青与橡胶沥青作为两种常用的沥青类防水黏结材料,具有一定的剪切强度与拉拔强度,但高温下性能下降较多,且现

实中层间黏结失效导致的混凝土桥面铺装病害^[12-13]

问题并未得到有效解决。鉴于此,笔者通过掺入适量改性剂、胶粉等开发了一种环保高黏复合改性沥青(WTR/APAO复合改性沥青),通过温度扫描试验发现改性剂的加入使沥青复合模量增大,相位角减小,同时测得加入改性剂后沥青弹性恢复值明显增大,表明该沥青有着良好的高温抗变形性能和可恢复变形能力;通过离析试验测得APAO的加入降低了沥青的软化点差值,改性剂的加入有效提高了胶粉改性沥青的存储稳定性^[14]。本文通过直剪试验与拉拔试验,研究WTR/APAO复合改性沥青作为防水黏结层在不同温度及掺量下的剪切强度与拉拔强度,并与SBS改性沥青和WTR改性沥青对比。

1 试验原材料及试件制备

1.1 试验原材料

1.1.1 沥青防水黏结材料

防水黏结材料使用SBS改性沥青、WTR改性沥青(WTR掺量为70#基质沥青质量的15%)、WTR/APAO复合改性沥青^[15-16](WTR、APAO掺量分别为

收稿日期:2021-05-10(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51778224);湖南省交通科技计划项目(编号:201902)

作者简介:计红颜,男,硕士研究生.E-mail:jihongyan@hnu.edu.cn

*通信作者:颜可珍,男,博士,教授,博士生导师.E-mail:yankz2004@163.com

70#基质沥青质量的15%、4%)3种改性沥青。3种沥青的基本性能见表1。

表1 3种沥青的基本性能

沥青类型	针入度(25℃)/ (0.1 mm)	延度 (5℃)/cm	软化点/ ℃	布氏黏度/(Pa·s)		弹性恢 复/%
				135℃	180℃	
SBS改性沥青	55.3	28.3	70.0	2.37	0.36	90
WTR改性沥青	37.5	6.3	72.6	3.74	0.77	68
WTR/APAO复合改性沥青	33.3	8.1	76.5	13.98	2.13	87

1.1.2 石料、矿粉及水泥

沥青混凝土所用粗、细集料为石灰岩,矿粉为石灰石磨制,按照《公路工程集料试验规程》(JTGE42—2005)进行性能测试,具体结果见表2。水泥混凝土所用水为自来水;水泥为P.O42.5普通硅酸盐水泥;砂为洁净的中砂,细度模数2.5;石料为5~20 mm碎石,级配满足《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)要求。

表2 集料物理性能指标

集料类型	技术指标	单位	测试值	规范要求
粗集料	洛杉矶磨耗损失	%	16.9	≤30
	表观相对密度		2.708	≥2.60
	吸水率	%	0.6	≤2.0
	压碎值	%	20.3	≤28
	坚固性	%	3.6	≤12
	针片状含量	%	11.3	≤15
细集料	表观相对密度		2.663	≥2.50
	砂当量	%	77.5	≥60
	坚固性	%	4.2	≤12
	表观相对密度		2.70	≥2.50
矿粉	外观		无团粒结块	无团粒结块
	亲水系数		0.78	<1
	含水量	%	0.3	≤1
	塑性指数		2.8	<4

1.2 试件制备

试件采用40 mm水泥混凝土+沥青防水黏结层+40 mm沥青混凝土复合试件,钻芯后得到直径50 mm、高80 mm的圆柱形试件。水泥混凝土强度等级为C40,配合比见表3,28 d无侧限抗压强度为46.3 MPa;沥青混凝土矿料级配为细粒式粗型密级配AC-13,取中值,见表4;沥青为SBS改性沥青,最佳油石比为5%。

表3 水泥混凝土配合比

水灰比	密度/ (kg·m ⁻³)	用量/(kg·m ⁻³)			
		水	水泥	砂	石
0.44	2 450	195	443	634	1 178

表4 AC-13沥青混凝土矿料级配

筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
16	100.0	1.18	26.5
13.2	95.0	0.6	19.0
9.5	76.5	0.3	13.5
4.75	53.0	0.15	10.0
2.36	37.0	0.075	6.0

首先成型C40混凝土试件,试件尺寸为300 mm×300 mm×40 mm,养生28 d备用。待试件养生完成后,用钢刷刷除其表面浮浆,用高压水枪将表面冲洗干净并晾干。将处理好的水泥混凝土板与沥青放进烘箱加热,SBS改性沥青加热至175℃,WTR改性沥青与WTR/APAO复合改性沥青加热至190℃。用毛刷将SBS改性沥青、WTR改性沥青、WTR/APAO复合改性沥青3种沥青防水黏结材料均匀地涂抹在水泥混凝土表面,沥青防水黏结材料的用量分别为0.7 kg/m²、1.2 kg/m²、1.7 kg/m²、2.2 kg/m²。

将涂好沥青的水泥混凝土板装入车辙板模具中,模具尺寸为300 mm×300 mm×80 mm,用QCX-4型轻便组合式车辙试样成型机在其上方碾压40 mm沥青混凝土,形成总高度80 mm的复合试件板,1 d后拆模。拆模后用切割机切4根70 mm左右的条形试件放入钻芯机钻芯取样,钻孔孔径为50 mm,最后得到直径50 mm、高度80 mm的圆柱形复合试件,供直剪试验使用;用环氧树脂E44(6101)+低分子650聚酰胺固化剂粘上拉拔头固化1 d,供拉拔试验使用。

2 试验仪器及试验方法

2.1 构造深度试验

构造深度试验使用PATT-II路面抗滑纹理测试仪。将试件放置在合适的位置,打开软件设置扫描长度为250 mm、扫描宽度为250 mm、移动步长为25 mm,然后点击对准,对准后开始扫描,扫描完点击拼接保存,点击数据处理,打开保存的数据计算平均断面深度,软件自动计算得到平均构造深度。

2.2 直剪试验

直剪试验使用WXZJ-10智能路面层间直剪试验仪,试验模型见图1(a)。将制作好的试件分别在25℃、60℃下保温4 h后,拿出放入仪器底部的夹具夹紧,调整剪切装置的位置,转动仪器内部的手柄使其向下,下放到合适的深度,输入剪切速率10 mm/min,开始加载,直至试件破坏。仪器自动记录试验过程中试件破坏时的最大剪切力。

2.3 拉拔试验

拉拔试验使用WXLB-10智能路面层间黏结强度拉拔试验仪,试验模型见图1(b)。将粘有拉拔头的试件分别在25℃、60℃下保温4 h,拿出放入底部的夹具夹紧,按下降键下降拉伸夹具至合适高度,拧紧拉拔头,输入加载方式,位移加载,速率10 mm/min,启动测试,开始加载直至试件破坏。仪器自动记录试验过程中试件破坏时的最大拉力。最大拉拔强度即为试件破坏时的最大拉力与试件横截面面积的比值。

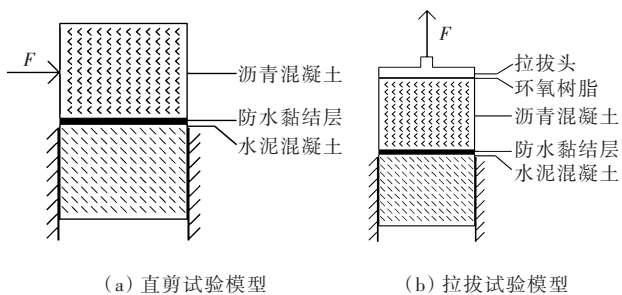


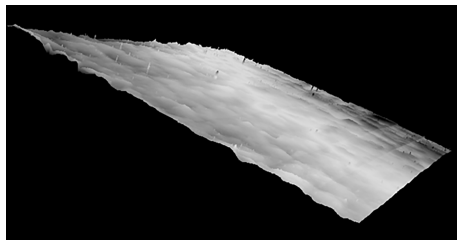
图1 试验模型

3 试验结果分析

3.1 构造深度

水泥混凝土表面钢刷处理前、后的三维模型如

图2所示,计算出其平均构造深度分别为0.291 mm、0.396 mm;从图2可以直观地看出钢刷刷毛前混凝土表面较为平滑,刷毛之后表面更为粗糙;在试件成型过程中发现,若混凝土表面不进行处理,在钻芯取件后沥青层会直接从水泥混凝土表面脱落,无法钻出成型的试件。说明用钢刷刷过之后的水泥混凝土表面,不仅能清除其表面强度较低的浮浆,同时可以增大平均构造深度,增加粗糙程度,有效增强沥青层与水泥混凝土层的黏结。



(a) 处理前



(b) 处理后

图2 水泥混凝土表面三维模型

3.2 直剪试验

3.2.1 常温下剪切强度

3种沥青常温(25℃)下的剪切强度见图3。

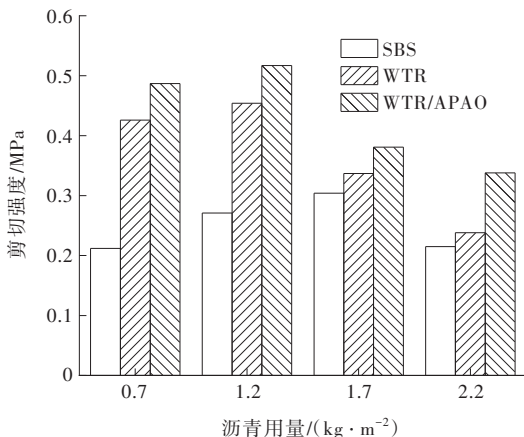


图3 25℃下不同材料的剪切强度

由图3可见:随着沥青用量的增加,3种沥青的剪切强度呈现出先增大后减小的趋势,这是因为当用

量较小时材料不能提供足够的黏结力,而用量过大时沥青在层间形成滑移层,导致剪切强度降低;SBS改性沥青用量为 1.7 kg/m^2 时剪切强度达到最大(0.304 MPa),WTR改性沥青与WTR/APAO复合改性沥青用量在 1.2 kg/m^2 时达到最大,分别为 0.454 MPa 和 0.517 MPa ,这可能是因为后两种沥青自身的黏度大于SBS改性沥青,不需要太多用量就可以提供足够黏结力;WTR/APAO复合改性沥青的剪切强度略大于WTR改性沥青,明显大于SBS改性沥青,其最大剪切强度分别为SBS改性沥青和WTR改性沥青的1.70倍和1.14倍。

3.2.2 高温下剪切强度

高温($60\text{ }^{\circ}\text{C}$)下沥青的剪切强度(图4)较常温降低显著,这是由于沥青对温度敏感,温度升高,沥青黏度降低,剪切强度下降。3种沥青高温下的剪切强度同样随着沥青用量的增大先增大后降低,峰值与常温下一致;高温下WTR/APAO复合改性沥青抗剪性能要优于SBS改性沥青和WTR改性沥青,且其差距比常温下更显著,其最大剪切强度分别为SBS改性沥青和WTR改性沥青的1.81倍和1.73倍。说明WTR/APAO复合改性沥青作为防水黏结层具有较好的高温性能。综合常温下的剪切强度,可以看出每种沥青的剪切强度达到峰值后,沥青用量再增加,其剪切强度下降明显,故在工程设计中一定要严格控制沥青防水黏结层的用量上限,避免出现用量过多在层间形成滑移层的现象,严重影响其抗剪性能。

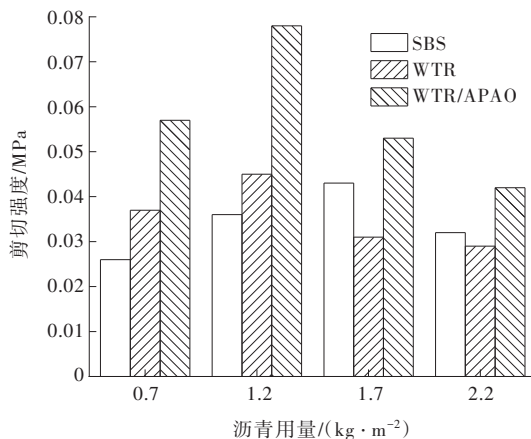


图4 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下不同材料的剪切强度

3.3 拉拔试验

3.3.1 常温下拉拔强度

常温下3种沥青的拉拔强度见图5。

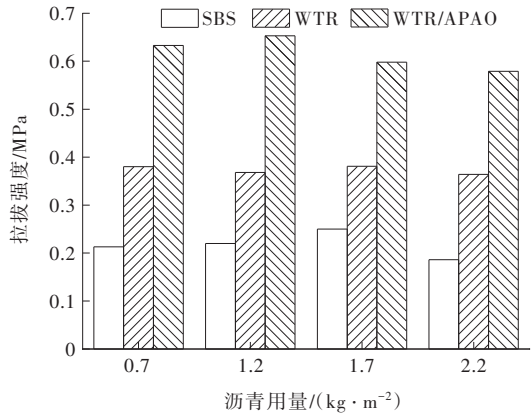


图5 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下不同材料的拉拔强度

由图5可见:沥青用量对3种沥青的拉拔强度影响不显著,拉拔强度随沥青用量变化很小;3种沥青的拉拔强度差异较大,WTR/APAO复合改性沥青拉拔强度明显大于其他两种沥青,其最大拉拔强度分别为SBS改性沥青和WTR改性沥青的2.61倍和1.71倍。说明常温下拉拔强度仅与材料本身性质有关,与沥青用量关系不大。

试验中发现,WTR/APAO复合改性沥青拉拔破坏多为沥青从水泥混凝土表面脱落,如图6所示。说明其黏结性能没有完全发挥出来,这可能是因为水泥混凝土表面粗糙度不够,沥青不能牢固地黏附在水泥混凝土表面,后续试验可以对水泥混凝土表面粗糙程度进行研究。



图6 沥青与水泥混凝土表面脱层

3.3.2 高温下拉拔强度

高温下3种沥青的拉拔强度(图7)明显低于常温下拉拔强度,这与剪切强度的规律相一致。3种沥青高温下的拉拔强度随沥青用量增大先增强后降低,SBS改性沥青、WTR改性沥青、WTR/APAO复合改性沥青拉拔强度峰值分别发生在沥青用量为 1.7 kg/m^2 、 1.2 kg/m^2 和 1.2 kg/m^2 处,同样WTR/APAO复合改性沥青表现出最高的拉拔强度;在峰值前,沥青用量较小时,高温下其拉拔强度比低温下明显降低,为了避免夏季高温时铺装层与桥面板之间的层间黏结失

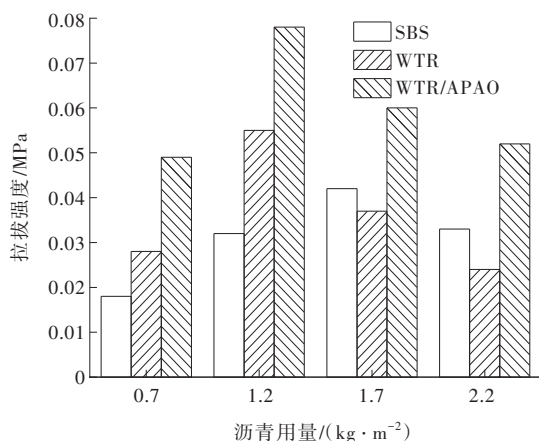


图 7 60 °C 下不同材料的拉拔强度

效,应控制好防水黏结层的最小用量。

4 结论

(1) 水泥混凝土表面浮浆会影响沥青与其表面的黏结,需要用钢刷清除,钢刷清除浮浆的同时增加了水泥混凝土表面的粗糙程度,有效增强了其表面与沥青的黏结。

(2) 不同沥青材料的剪切拉拔强度差异较大,WTR/APAO 复合改性沥青的剪切强度与拉拔强度明显高于其他两种沥青,WTR 改性沥青次之,SBS 改性沥青最差,这可能是因为前两种沥青自身拥有较高的黏度,故作为层间黏结材料时展现出更好的效果。

(3) 沥青用量对沥青的剪切强度与拉拔强度产生影响,沥青用量不宜过多,用量过多会在层间形成滑落层,降低层间抗剪性能及高温下的黏结性能,同时用量不宜过少,用量过少沥青无法提供足够的黏结力;综合考虑,SBS 改性沥青、WTR 改性沥青、WTR/APAO 复合改性沥青 3 种沥青的最佳用量分别为 1.7 kg/m^2 、 1.2 kg/m^2 、 1.2 kg/m^2 。

(4) 随着温度升高,3 种沥青的剪切强度与拉拔强度降低明显,这是因为沥青材料对温度敏感,温度升高,沥青自身黏度降低,在试验中表现为剪切强度与拉拔强度降低;WTR/APAO 复合改性沥青在高温下有着更高的剪切强度和拉拔强度,说明其在高温下拥有更好的黏结性能。

参考文献:

- [1] 关永胜,韩超,李明俊,等.水泥混凝土桥面改性环氧树脂防水黏结层性能[J].建筑材料学报,2013,16(5):894-897,902.
- [2] 季节,李昊隆,董阳,等.温度-荷载耦合作用下水泥混凝土桥面防水黏结层剪应力分析[J].中外公路,2021,41(2):102-107.
- [3] 孙建邦,陈辉强,方源仁,等.移动荷载下桥面防水黏结层剪应力有限元分析[J].中外公路,2019,39(1):126-130.
- [4] 裴建中,胡长顺,张占军.桥面防水材料路用性能[J].交通运输工程学报,2001,1(4):33-36.
- [5] 黎超尘,曾国东,黄红明.奇龙大桥钢桥面铺装质量控制与防水抗滑层的应用研究[J].中外公路,2019,39(1):145-149.
- [6] 习磊,黄维蓉.环氧树脂在桥面铺装防水层中的应用研究[J].中外公路,2016,36(6):292-295.
- [7] 易祥军.基于多目标加权的水泥混凝土桥面防水材料优选[J].中外公路,2020,40(3):298-302.
- [8] AI C F,RAHMAN A,WANG F Y,et al.Experimental study of a new modified waterproof asphalt concrete and its performance on bridge deck[J].Road Materials and Pavement Design,2017,18(S3):270-280.
- [9] ZHANG H,GAO P W,ZHANG Z X,et al.Experimental study of the performance of a stress-absorbing waterproof layer for use in asphalt pavements on bridge decks[J].Construction and Building Materials,2020,254:119290.
- [10] GUO M,TAN Y Q,WANG L B,et al.Study on water permeability,shear and pull-off performance of waterproof bonding layer for highway bridge[J].International Journal of Pavement Research and Technology,2018,11(4):396-400.
- [11] 张起森,李雪莲,查旭东.黄河二桥系杆拱桥桥面铺装结构力学性能研究[J].土木工程学报,2006,39(7):88-93,103.
- [12] 黄晓明.水泥混凝土桥面沥青铺装层技术研究现状综述[J].交通运输工程学报,2014,14(1):1-10.
- [13] 朱天同,姚鸿儒,史佳晨.混凝土桥面沥青铺装病害原因及对策研究[J].上海公路,2019(3):1-4,9,89.
- [14] 陈明.废胶粉/APAO 复合改性沥青性能研究[D].长沙:湖南大学,2017.
- [15] 颜可珍,陈明,胡玥.废胶粉/APAO 复合改性沥青性能[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(2):1-8.
- [16] 颜可珍,王绍全,田珊,等.基于 Overlay Test 评价应力吸收层抗反射裂缝性能[J].湖南大学学报(自然科学版),2020,47(1):108-115.