

基于表面特性的沥青混凝土桥面 防水黏结层力学性能研究

赵作富

(广州公路工程集团有限公司, 广东 广州 510075)

摘要: 桥面防水黏结层作为桥面整体化层与沥青结构层之间的过渡层,其力学性能是沥青桥面长久耐用的基础。为研究沥青混凝土桥面防水黏结层的力学性能,文中通过拉拔试验和斜剪试验,分析桥面湿度、粗糙度、混凝土基面强度等因素对桥面沥青混凝土防水抗剪强度和黏结强度的影响。结果表明,水泥基面表面含水率越低,抗剪强度越高,黏结性能越好;表面潮湿条件下,层间黏结效果较差;桥面混凝土拉毛后构造深度达到 0.9 mm 时,抗剪强度和黏结强度达到最大值;水泥混凝土基面强度达到 30 MPa 时,拉拔强度和剪切强度达到峰值,且受其变化影响较小。

关键词: 桥梁;桥面;防水黏结层;含水量;构造深度;基面强度

中图分类号: U443.33

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)06-0113-05

沥青混凝土桥面的主要早期病害为车辙、剥落和裂缝,其中桥面防水黏结层铺洒效果是决定剥落病害发生的主要原因,黏结力不足容易导致桥面铺装层发生水平方向相对位移导致剪切破坏,造成桥面沥青层产生推移、拥包病害,进而导致桥面出现松散、剥落现象。数值分析发现水泥混凝土桥面铺装层间纵向剪应力及水平荷载对层间合成剪应力影响较大,桥面板的表面纹理构造决定防水黏结层的疲劳性能。室内剪切试验结果显示,低温条件下沥青结构层间黏结效果较优,20℃时沥青层间剪切强度大于 60℃时强度,防水黏结层存在最佳使用量使其强度性能最高,增加沥青混凝土铺装层厚度和模量有利于减小铺装结构的最大剪应力,进而减少桥面剪切破坏。但已有研究主要停留在定性分析层面,很少进行定量分析。本文通过试验分析水泥混凝土桥面湿润状态和构造深度对防水黏结层性能的影响。

1 试验材料与方法

1.1 主要材料

防水黏结层采用改性乳化沥青+SBS 改性热沥青,喷洒厚度为 1.5 mm;沥青层采用厚度 5 cm 的中粒式改性沥青混合料;桥面整体化层采用厚度 5 cm C40 水泥混凝土。

1.2 试验方案

制作多组 40 cm×40 cm×10 cm 试件。试件

为双层结构,上层为 5 cm 厚中粒式改性沥青混合料模拟桥面沥青结构层,下层为 5 cm 厚 C40 水泥混凝土模拟桥面整体化层,两结构层之间喷涂改性乳化沥青,厚度 1.5 mm。通过车辙板试验成型试件,将试件切割为 10 cm 立方体试件进行拉拔试验和斜剪试验,分析结构间的黏结强度和抗剪强度。

完成水泥混凝土试件制备后,在不同湿度条件下喷涂防水黏结层及沥青结构层,分别进行拉拔试验和斜剪试验,分析基面潮湿程度对防水黏结层抗拉和抗剪强度的影响。

水泥混凝土初凝后,用毛刷对其进行拉毛处理,恒温养护后,在不同温度下分别进行拉拔试验和斜剪试验,分析基面粗糙度对防水黏结层抗拉和抗剪强度的影响。

在水泥混凝土不同表面硬度条件下加铺防水黏结层及沥青结构层,分别进行拉拔试验和斜剪试验,分析基面表面硬度对防水黏结层抗拉和抗剪强度的影响。

2 试验结果与分析

2.1 表面含水状况对防水黏结层黏结性能的影响

防水黏结层施工中,桥面应保持干燥。桥面潮湿,含水量过大,可能导致乳化沥青破乳后水分不能完全蒸发,在致密的混凝土基面与沥青层之间留存水膜,沥青与混凝土界面不能较好地浸润,使乳化沥青的黏结力失效,最终导致结构层间黏结力损失,沥

青层出现剥落现象。

目前常用的基面含水状况测定方法有:1) 目测判断有无明显的潮湿区域,若有,则不能施工。2) 在基面上放置纸张,固定使之不会飞起,放置4~5 h后,若纸张稍微变湿,则不能施工。3) 在边长为40 cm的正方形区域撒水泥粉,覆盖纸张并固定,3~4 h后拆除纸张,若水泥粉固化或部分固化为较粗的粒子,则不能施工;若稍微变湿,但仍为粉末状态,风吹时即飞扬,则可以施工。

根据上述方法,分别在潮湿、湿润和干燥条件下成型试件,室温养护后进行拉拔试验和剪切试验,测试结果见表1。

表1 表面含水状况与防水黏结层层间黏结效果的关系

表面含水状况	45°斜剪抗剪强度/MPa	层间黏结强度/MPa
潮湿	0.102	0.128
湿润	0.583	0.435
干燥	0.882	0.502

由表1可知:混凝土表面含水状况对防水黏结层层间黏结效果有重要影响。混凝土表面潮湿时,层间黏结强度较低;混凝土表面干燥时,层间黏结效果较好。在铺设防水黏结层前应判断混凝土表面含水状况,混凝土表面处于潮湿状态时不能进行铺设。

2.2 基面构造深度对防水黏结层黏结性能的影响

2.2.1 基面构造深度对防水黏结层抗剪强度的影响

试验温度为20℃和40℃时防水黏结层抗剪强度与构造深度的关系见表2、图1。

表2 不同试验温度下防水黏结层层间抗剪强度

构造深度/mm	不同温度(℃)下层间剪切强度/MPa	
	20	40
0.3	0.501	0.092
0.5	0.607	0.102
0.7	0.692	0.126
0.9	0.723	0.145
1.2	0.705	0.119

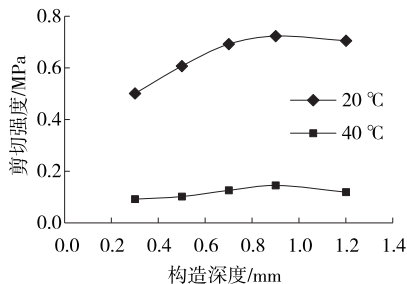


图1 防水黏结层层间抗剪强度与构造深度的关系

沥青层与混凝土基面间的剪切强度主要由材料间的机械咬合力和黏结材料的抗剪强度组成。根据黏结作用的机械咬合理论,沥青黏结剂在浸润混凝土基面的过程中会产生咬合力,混凝土基面的粗糙程度决定细微结构间的机械嵌挤、咬合力大小。黏结材料的抗剪强度由摩尔-库伦理论决定。由图1可知:1) 随基面构造深度增大,剪切强度呈先增加后下降的趋势,构造深度为0.9 mm时剪切强度达到峰值。粗糙程度决定机械咬合力大小,机械咬合力增加导致抗剪强度增加;同时构造深度增加导致浸润面积增大,黏聚力增大,结构抗剪强度增加。混凝土基面构造深度达到0.9 mm时,机械咬合力达到最大值,黏聚力也因为材料自身的抗剪强度局限而不再增加,继续增加桥面粗糙程度对提高结构抗剪强度影响不大。2) 试件温度由20℃升高至40℃时,剪切强度折减至原来的1/5左右。这主要是由天然沥青高温稳定性低的特性所致。高温导致沥青分子活跃,材料黏聚力降低,抗剪强度降低。高温条件下,外力导致黏结材料内部先发生剪切破坏,导致抗剪强度不足。

2.2.2 基面构造深度对防水黏结层黏结力的影响

通过拉拔试验研究水泥混凝土基面构造深度对防水黏结层黏结力的影响,拉拔速度为10 mm/min,试验温度分别为20℃和40℃,试验结果见表3、图2。

表3 不同试验温度下防水黏结层层间黏结强度

构造深度/mm	不同温度(℃)下层间黏结强度/MPa	
	20	40
0.3	0.505	0.100
0.5	0.553	0.138
0.7	0.620	0.148
0.9	0.649	0.163
1.2	0.631	0.158

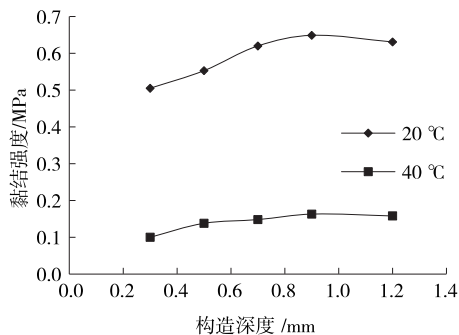


图2 防水黏结层层间黏结强度与构造深度的关系

根据吸附理论,黏结剂与固体表面接触浸润的过程中界面分子间距缩小,分子间产生范德华力和氢键。黏结力主要来源于分子间力,即黏结层沥青与水泥混凝土基面的润湿程度是影响黏结效果的主要因素。由图 2 可知:水泥混凝土基层表面构造深度与防水黏结层的黏结性能相关性较大。随基面构造深度增大,黏结强度呈抛物线变化,在基面构造深度为 0.9 mm 时达到峰值;黏结强度达到峰值后,随构造深度增加,黏结强度不增反降。水泥混凝土基面构造深度增加,层间接触面积增大,结构黏结强度增大;黏结强度达到峰值后,继续增构造深度,基面微型沟槽过于细密,深度大,改性沥青铺洒时,微型沟槽底部难以被浸润,存在气体空腔残留,因而浸润面积难以进一步增加,导致结构黏结力达到极大值后不能进一步增大。

综上,防水黏结层的抗剪强度和抗拉强度均随着基面构造深度的增加呈现先增加后减小的趋势,且不同温度下的变化趋势相同。构造深度为 0.9 mm 时,抗剪强度和黏结强度出现极大值。为保证施工效果,施工时,拉毛后构造深度应控制在 0.9 mm 左右。

2.3 现场原位试验结果与分析

依托广州白云机场第二高速公路沥青混凝土桥面铺装工程进行原位试验。试验方案:中面层摊铺后,在桥面进行钻芯取样,深度为达到水泥混凝土基面,钻孔直径 10 cm,芯样周围与沥青中面层脱离不取出(见图 3),芯样底面与桥面基层相连,将拉拔头固定在芯样顶面,现场进行拉拔试验(见图 4)。沥青摊铺前再采用铺砂法检测桥面构造深度,并在防撞栏上作标记,沥青摊铺后在标记处进行原位拉拔试验,记录各点构造深度、拉拔抗力和拉拔破坏界面位置。

2.3.1 首次试验结果与分析

首次试验在午后气温较高(桥面温度为 60 ℃)



图 3 原位试验钻芯

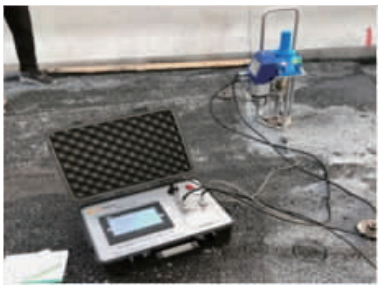


图 4 拉拔试验现场

时进行,各里程桩号标记点处的构造深度及拉拔力对应数据见表 4、图 5。

表 4 沥青中面层 60 ℃ 结构芯样拉拔抗力

桩号	构造深度/mm	层间拉拔力/kN	层间黏结强度/MPa	破坏界面位置
K3+659.5	1.51	0.214	0.027	水泥混凝土基面交界面处
K3+662.5	0.60	0.186	0.024	水泥混凝土基面交界面处
K3+667.0	0.88	0.342	0.044	沥青层内
K3+667.5	0.82	0.323	0.041	沥青层内
K3+668.0	0.74	0.232	0.030	沥青层内
K3+672.0	0.76	—	—	水泥混凝土基面交界面处

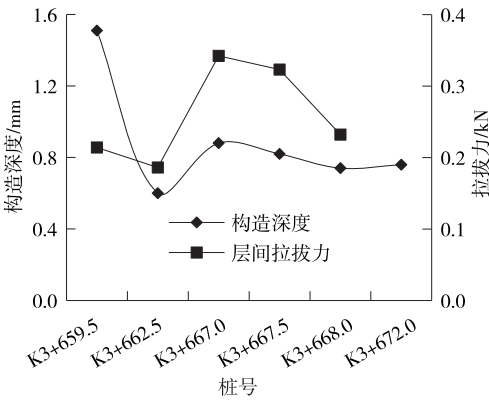


图 5 沥青中面层 60 ℃ 黏结力

从表 4、图 5 可以看出:层间拉拔力与构造深度呈正相关关系,构造深度增加,拉拔力增大;拉拔力变化曲线与构造深度变化曲线的形态重合,与室内试验结果相吻合。芯样拉拔破坏界面分别位于黏结层与水泥混凝土基面交界面处和沥青层内(见图 6、图 7)。

构造深度为 0.88 mm 时,层间黏结强度最大,为 0.044 MPa,芯样断裂发生在沥青层内;构造深度大于 1.2 mm 或小于 0.7 mm 时,芯样断裂位置位于

水泥混凝土基面交界面处。对比室内试验(40℃)和原位试验(60℃)的黏结强度应力数据,原位试验黏结强度应力值损失较严重,证明温度对防水黏结层影响较大,桥面防水黏结层施工工艺控制较重要。



图6 破坏面位于水泥混凝土基面交界面处



图7 破坏面位于沥青层内

2.3.2 第二次试验结果与分析

第二次试验在上午气温较低时进行,路面温度为15℃,各里程桩号标记点处构造深度及拉拔力对应数据见表5、图8。

表5 沥青中面层 15℃ 结构芯样拉拔抗力

桩号	构造深度/mm	层间拉拔力/kN	层间黏结强度/MPa	破坏界面位置
K6+615	0.80	2.941	0.375	水泥混凝土基面交界面处
K6+620	0.66	2.837	0.361	水泥混凝土基面交界面处
K6+625	0.76	2.939	0.374	水泥混凝土基面交界面处
K6+675	0.72	2.517	0.321	水泥混凝土基面交界面处
K6+680	0.80	4.366	0.556	水泥混凝土基面交界面处
K6+685	0.66	3.430	0.437	水泥混凝土基面交界面处
K6+775	0.80	4.287	0.546	水泥混凝土基面交界面处
K6+780	0.88	5.417	0.690	水泥混凝土基面交界面处
K6+785	0.80	4.877	0.621	水泥混凝土基面交界面处
K6+855	0.93	4.289	0.546	水泥混凝土基面交界面处
K6+860	1.04	4.598	0.586	水泥混凝土基面交界面处
K6+865	1.09	5.463	0.696	水泥混凝土基面交界面处
K6+945	1.10	5.536	0.705	水泥混凝土基面交界面处
K6+950	0.98	4.108	0.523	水泥混凝土基面交界面处
K6+955	0.98	4.618	0.588	水泥混凝土基面交界面处

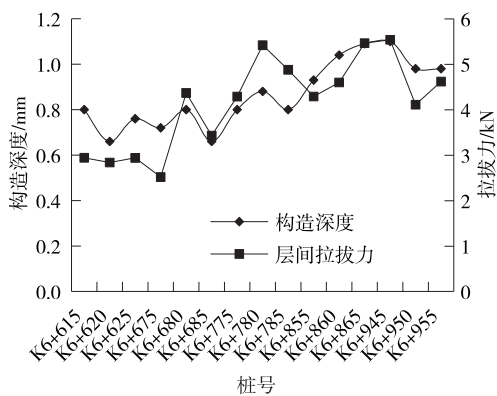


图8 沥青中面层 15℃ 黏结力

由表5、图8可知:拉拔力变化曲线与构造深度变化曲线的变化形态基本重合。层间拉拔强度应力值与室内试验黏结强度应力值基本相当。芯样断裂位置全部位于防水黏结层与水泥混凝土基面交界面

处,证明低温条件下沥青防水黏结层与沥青结构层间的黏结力大于其与水泥混凝土基面的黏结强度,层间破坏易发生在防水黏结层与水泥混凝土基面之间。

2.4 基面表面硬度对防水黏结层黏结性能的影响

已有研究表明,混凝土7d内的早期强度发展较快,其中低配筋率混凝土1d内的强度即可达到设计强度的96%,3d强度可达到设计强度的98%,7d后强度增长有限。为分析基面表面硬度对防水黏结层黏结性能的影响,成型试件,根据回弹值在不同表面硬度状况下加铺沥青结构层,分别进行拉拔试验和剪切试验,结果见图9、图10。

由图9、图10可知:防水黏结层的拉拔强度和抗剪强度随着回弹值的增加呈线性增长,但回弹值≥30MPa时拉拔强度和剪切强度增长速率明显下

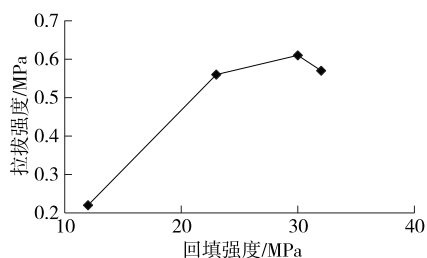


图9 表面硬度与拉拔强度的关系

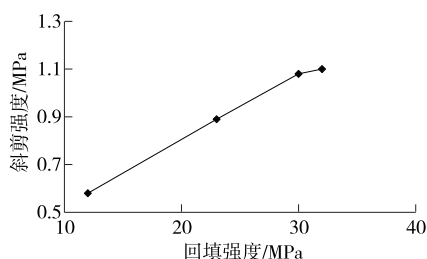


图10 表面硬度和45°斜剪强度的关系

降。水泥混凝土基面强度在 30 MPa 以下时,拉拔强度和剪切强度随着回弹值的增加而显著增长。这主要是因为水泥混凝土表面未完全水化形成一定的致密结构,立即加铺上部沥青结构层,混凝土表面微小空隙较多,加铺会造成空隙扩大形成较多微小裂缝,降低拉拔强度和抗剪强度;水泥混凝土基面强度达到 30 MPa 以上时,混凝土表面形成致密结构,加铺上部沥青结构层对表面的影响较小,对拉拔强度和剪切强度的影响较小。综上,上部沥青混凝土结构层摊铺前应确保水泥混凝土基面强度达到 30 MPa 以上。

3 结论

(1) 混凝土表面含水状况对防水黏结层层间黏结效果有重要影响,混凝土表面潮湿时层间黏结强度较低,混凝土表面干燥时层间黏结效果较好。在铺设防水黏结层前应判别混凝土表面含水状况,混凝土表面处于潮湿状态时不能进行铺设。

(2) 桥面防水黏结层的抗剪强度和抗拉强度均随着基面构造深度的增加呈先增加后减少的趋势,且 20 °C 和 40 °C 条件下的变化趋势相同,构造深度为 0.9 mm 时抗剪强度和黏结强度达到最大值。为保证施工效果,施工过程中拉毛后构造深度应控制在 0.9 mm 左右。

(3) 水泥混凝土基面强度小于 30 MPa 时,防水黏结层的拉拔强度和剪切强度随着回弹值的增加而显著增长;基面强度大于 30 MPa 时,防水黏结层的

拉拔强度和抗剪强度增长速率下降。沥青混凝土结构层摊铺前应确保水泥混凝土基面强度达到 30 MPa 以上。

参考文献:

- [1] 李明国.混凝土梁桥沥青铺装结构分析与材料优化研究[D].西安:长安大学,2011.
- [2] 宋国瑞,王笑风,杨博,等.水泥混凝土桥面铺装层间抗剪性能研究[J].安徽工业大学学报(自然科学版),2021,38(4):431-436.
- [3] 于静涛.沥青铺装与桥面板层间粘结改善技术研究[D].西安:长安大学,2006.
- [4] 严秋荣,孙瑞,孔令云,等.基于现场数据混凝土桥面粗糙度与层间粘结强度相关性分析[J].中外公路,2016,36(6):63-65.
- [5] 王磊,王树杰.层间粘结对沥青路面剪切强度及疲劳性能影响研究[J].石油沥青,2017,31(5):27-32.
- [6] 柏园.桥面铺装粘结层的研究[D].西安:长安大学,2005.
- [7] 王涓.水泥混凝土桥面沥青混凝土铺装防水粘结层的性能研究[D].南京:东南大学,2004.
- [8] 孔保林,蔡燕霞.水泥混凝土桥面构造对桥面防水层粘结性能的影响[J].公路工程,2012,37(4):207-209.
- [9] 姚美珍.固化时间与环境温度对环氧沥青粘结性能的影响[J].石油沥青,2016,30(3):24-27.
- [10] 韦潇树.环氧沥青钢桥面铺装结构层间粘结性能及影响试验研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [11] 张德文,李俊.养生方式对水泥混凝土强度发展时变规律的影响[J].交通标准化,2014,42(18):1-3+7.
- [12] 宋丽红,查支祥,张传敏.钢筋混凝土板早期承载力发展规律研究[J].隧道建设,2004(1):11-14.
- [13] 班游,蒋倩灵香,杨建军.水泥混凝土路面加铺沥青层结构应力分析[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2019,16(4):64-72.
- [14] 石宜清,李文凯,邵景干,等.降黏温拌沥青混合料路用性能研究[J].交通科学与工程,2022,38(3):11-18.
- [15] 张四恒,黄运军,邵景干,等.矿料级配与沥青对薄层罩面路用性能的影响[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2022,19(3):59-68.
- [16] 李盛,张豪,房硕,等.CT 扫描在路面加铺层结构中的应用研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2020,17(3):1-6.
- [17] 蒋倩灵香,黄旺.横观各向同性沥青路面加铺结构力学响应研究[J].公路与汽运,2022(2):84-88.
- [18] 马磊霞.双层橡胶碎石防水黏结层设计方法研究[J].公路与汽运,2021(6):141-144.