

双层橡胶碎石防水黏结层设计方法研究

马磊霞

(河北省交通规划设计院, 河北 石家庄 050000)

摘要: 根据桥面复合铺装特点和橡胶沥青的性质, 提出采用双层橡胶碎石封层作为桥面铺装的防水黏结方案, 确定橡胶沥青碎石封层材料组成, 在传统计算方法的基础上, 提出一种新的计算碎石封层中碎石撒布量和沥青洒布量的方法, 确定橡胶沥青碎石封层材料用量; 通过对水泥砼表面处治工艺及防水黏结层黏结特性的对比, 确定拉毛工艺具有更大的剪切强度, 在 25 ℃ 条件下橡胶沥青复合封层的黏结性较好, 能满足层间剪应力要求。

关键词: 桥梁; 橡胶碎石; 防水黏结层; 桥面复合铺装

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)06-0141-04

桥面铺装通常采用沥青铺装层, 使用中容易出现推移、松散、拥包等病害, 同时水会侵蚀桥梁结构, 使用性能因此受到影响。在铺装层和桥面板之间通常设置防水黏结层将桥面板与沥青铺装层黏结成一个整体, 能防止水分下渗到水泥砼桥面板, 它与铺装层共同承受行车荷载和外部环境变化, 吸收铺装层之间应力, 改善桥梁受力状况, 延长桥梁的使用寿命。研究显示, 位移速率、温度等因素会对防水黏结层性能产生影响。防水膜最佳厚度为 0.7~1.0 mm 时, 桥面板与细级配沥青砼的黏结效果优于粗级配, 桥面防水黏结层材料的黏结强度随着温度的升高显著降低。室内试验结果显示, 橡胶沥青和 SBS 改性沥青的防水黏结层黏结性能良好, 满足防水黏结要求。除位移速率、温度等因素外, 防水黏结材料也对防水黏结层的层间黏结性能有影响。橡胶沥青碎石封层在延缓反射裂缝、加强层间结合、抗水损能力方面具有显著优势, 是一种优良的桥面防水黏结层。橡胶沥青碎石封层作为防水黏结层通常采用抗剪指标评价其黏结效果, 当橡胶沥青洒布量为 2~2.4 kg/m²、碎石撒布量为 12~16 kg/m² 时, 橡胶沥青碎石封层的抗剪强度最大。基于已有橡胶沥青碎石封层的应用成果, 该文以双层碎石封层作为超薄抗滑沥青砼铺装的防水黏结层, 通过该方案与常规方案的对比优选防水黏结层材料。

1 结构与材料

1.1 结构组合

双层橡胶沥青碎石结构由骨架下层和嵌挤上层组成, 该结构中 2 层单粒径碎石与橡胶沥青通过黏

结、嵌挤等作用形成一个整体, 提高整体抵抗拉应力的能力, 延缓反射裂缝的发生, 同时防止水分下渗到水泥砼桥面板, 提高桥梁的耐久性。双层橡胶碎石结构见图 1。

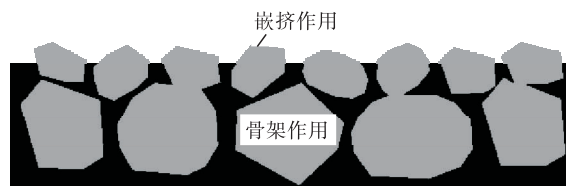


图 1 双层橡胶碎石结构示意图

1.2 原材料及黏结性能评价方法

1.2.1 集料

选取的石料为玄武岩碎石, 粒径为 5~10、10~15 mm, 石料的技术性能检测结果见表 1。

表 1 粗集料的技术要求及检测结果

试验项目	检测结果	技术要求
石料压碎值/%	10.1	≤26
洛杉矶磨耗/%	13.2	≤28
表观相对密度	2.936	≥2.6
吸水率/%	0.32	≤2.0
对沥青的黏附性/级	5.0	≥5
坚固性/%	1.8	≤12
针片状颗粒含量/%	3.3	≤18
<0.075 mm 颗粒含量(水洗法)/%	0.1	≤1
软石含量/%	2.1	≤3
上面层石料磨光值/BPN	47.0	≥42

1.2.2 橡胶沥青

橡胶沥青的质量直接影响沥青和集料的黏结力, 足够的黏结力才能保证碎石封层结构的稳定性。

基质沥青选用 70# 道路石油沥青,其技术性能检测结果见表 2。橡胶粉颗粒筛分结果见表 3。

表 2 70# 道路石油沥青的技术性能检测结果

检验项目	检测结果	技术要求
针入度(25℃,100 g,5 s)/ (0.1 mm)	64.0	60~80
针入度指数	-1.02	-1.3~+1.0
延度(5 cm/min,15℃)/cm	>150	≥100
软化点(环球法)/℃	47.5	≥46
60℃动力黏度/(Pa·s)	203.0	≥180
闪点(COC)/℃	310.0	≥260
溶解度(三氯乙烯)/%	99.99	≥99.5
含蜡量(蒸馏法)/%	1.90	≤2.0
薄膜加热试验 (163℃,5 h)	质量损失/%	±0.6
	针入度比/%	≥61
	15℃延度/cm	≥15
密度/(g·cm ⁻³)	1.03	≥1.01

表 3 橡胶粉筛分结果

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
2.360	100	0.300	0~45
1.180	65~100	0.075	0~5
0.600	20~100		

橡胶沥青由 70# 基质沥青通过掺加 40 目 18% 橡胶粉改性而成,其性能检测结果见表 4,满足《橡胶沥青路面技术规范》的要求。

表 4 橡胶沥青的性能检测结果

检测项目	检测结果	技术要求
黏度(177℃)/(Pa·s)	2.35	2.0~3.0
针入度(25℃,100 g,5 s)/ (0.1 mm)	57.5	≥25
软化点/℃	65.5	≥54
弹性恢复(25℃)/%	64.0	≥60

1.2.3 试验方法

以抗剪强度为指标,对桥面铺装体系进行室内试验,通过直剪试验测试桥面铺装体系中防水黏结材料的抗剪强度和黏结强度,评价防水黏结层的性能。采用万能试验机及自行研制开发的夹具对复合结构层间黏结强度进行评价,优选桥面复合铺装层间处治技术和材料等。

2 橡胶沥青复合封层组成设计方法

确定合理的材料用量是保证封层质量的关键。目前确定材料用量的方法主要有理论计算法和经验配比法,碎石封层理论计算方法中 McLeod 法应用

较广泛,其计算结果较准确,但实际施工过程中仅初步预估了材料用量,还需通过室内试验进一步确定集料和沥青用量,以保证碎石封层的路用性能。下面探讨一种新的计算碎石封层中碎石撒布量和沥青洒布量的方法,并通过室内试验检验其合理性。

2.1 碎石撒布量计算方法

将碎石封层中碎石看成球体(选取碎石粒径的中值作为球体的直径 d),根据碎石密度 ρ ,可近似计算出单个碎石的质量 m 。在单位面积的平面上铺满碎石,根据其最大横截面积 S' ,可得到铺满 1 m² 所需球体的总个数 N 。由于实际工程中碎石之间存在一定间隙,对单个碎石质量 m 和铺满 1 m² 所需球体总个数 N 进行修正,修正系数取 $K_1 = 0.78$ 、 $K_2 = 0.91$ 。

假设摊铺面积 $S = 1$ m²,碎石半径为 r ,覆盖 1 m² 平面所需球体个数为 N' ,则每个球体的半径 $r = 1/2N$,面积 $S = \pi/4N^2$,所需球体个数 $n = 4N^2/\pi$ 。取影响值 $K = N^2/n = 0.785$, N' 为铺满单位面积所需碎石球体个数,实际所需碎石球体个数为:

$$N'' = K K_2 N' = \frac{(7.85 \times 10^3) K_2}{\pi r^2} \quad (1)$$

单位面积的碎石质量为:

$$M = m N'' = 10.5 K_1 K_2 \rho r \quad (2)$$

集料的粒径取 5~10、10~15 mm,集料密度 $\rho = 2.9$ g/cm³,根据上述公式计算出碎石用量分别为 8.04、14.18 kg/m²。

2.2 沥青洒布量计算方法

将碎石近似看成球体时,由沥青填充碎石和碎石之间的空隙,沥青用量为碎石高度的 $2d/3$ 时效果最佳,但碎石之间存在相互嵌挤作用,实际上碎石之间的空隙相较于球体较小,计算时需考虑修正系数 K_3 , $K_3 = \pi/6 \approx 0.5$ 。

假设摊铺面积 $S = 1$ m²,碎石半径为 r ,则摊铺单位面积使用的沥青质量 M 为:

$$M = V \rho = K_3 V_1 \rho \quad (3)$$

式中: V 为沥青填充体积(cm³); ρ 为沥青的密度(g/cm³); V_1 为沥青填充高度达到 $2d/3$ 时所占体积(cm³)。

按式(3)计算出采用粒径为 10~15、5~10 mm 的碎石所需沥青用量分别为 2.0、1.2 kg/m²。

2.3 试验验证及用量确定

采用上述方法计算出的各材料用量的准确性需通过室内试验来验证。以泛油程度为控制指标,通

过室内撒布试验、改进的车辙试验分别确定碎石和沥青用量。

2.3.1 室内撒布试验确定碎石用量

室内试验方法:在 30 cm×30 cm 车辙板上撒布碎石,碎石的覆盖面积接近 90%。重复进行 5 次试验,称取碎石质量,求出平均值,并与计算的理论值进行对比,验证计算公式的可行性。试验结果见表 5、表 6。

表 5 10~15 mm 玄武岩碎石用量室内试验结果

组号	覆盖面积/ m ²	碎石用 量/kg	碎石用量 均值/kg	单位面积用量/ (kg·m ⁻²)
1	0.09	1.278		
2	0.09	1.309		
3	0.09	1.321	1.31	14.5
4	0.09	1.298		
5	0.09	1.316		

表 7 5~10 mm 单层碎石封层车辙试验结果

组号	碎石用量/g	沥青改变量/%	沥青用量/g	碎石脱落情况	泛油情况
1	721.8	-10	95.58	无明显碎石脱落	不泛油
2	721.8	-5	100.89	无明显碎石脱落	不泛油
3	721.8	0	106.20	无明显碎石脱落	轻微露黑
4	721.8	5	111.51	无明显碎石脱落	泛油
5	721.8	10	116.82	无明显碎石脱落	泛油

2.3.3 公式合理性分析及材料用量确定

根据表 5 和表 6,按公式计算出的碎石用量基本满足要求。而表 7 所示车辙试验结果表明,沥青用量减少 5%~10%时,碎石无明显脱落,且表面不产生泛油;沥青用量不变时,仅产生轻微露黑,也没有明显的泛油现象。可见,上述计算碎石封层中碎石和沥青用量的公式基本合理。

对于 5~10 mm 单层橡胶沥青碎石封层,碎石用量为 8 kg/m²,沥青用量为 1.1 kg/m²。对于双层橡胶沥青碎石封层,第一层碎石粒径为 10~15 mm,碎石用量为 15 kg/m²,橡胶沥青用量为 1.8 kg/m²;第二层碎石粒径为 5~10 mm,碎石用量为 8 kg/m²,沥青用量为 1.1 kg/m²。

3 橡胶沥青复合封层的性能试验

3.1 剪切强度试验

通过剪切试验评价不同层间处治工艺及黏结层材料的抗剪能力。在成型水泥砼板上铺设橡胶沥青复合封层和 AC-13 沥青砼,取芯得到剪切试验试件。分别在 0、25、55 ℃温度下进行剪切试验,3 种

表 6 5~10 mm 玄武岩碎石用量室内试验结果

组号	覆盖面积/ m ²	碎石用 量/kg	碎石用量 均值/kg	单位面积用量/ (kg·m ⁻²)
1	0.09	0.671		
2	0.09	0.774		
3	0.09	0.752	0.73	8.06
4	0.09	0.697		
5	0.09	0.733		

2.3.2 改进车辙试验确定沥青用量

为提高试验的准确性,将车辙板试件切割成 10 cm×10 cm 正方形小块。在计算沥青用量的基础上,分别变化±5%、±10%制作橡胶沥青碎石封层试件。将试件用环氧树脂粘贴在车辙板行车带方向上,待胶体凝固后进行车辙试验。根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》完成车辙试验后,取下正方形小块,观察其上沥青泛油情况和集料的脱落情况,结果见表 7。

温度分别模拟低温、常温和高温的大气条件时实际路面黏结层的温度。同时将试件放在 160 ℃高温下养护 60 min,再放在 25 ℃室温环境下冷却,冷却后检查试件是否有脆化现象。然后在 25 ℃温度下进行剪切试验,将试验结果与 25 ℃剪切试验结果相比得出高温前后强度比,作为评价各种黏结层高温稳定性能的指标,反映实际施工摊铺高温沥青混合料对黏结层抗剪强度的影响。试验结果见表 8。

表 8 不同表面处理方式下的剪切强度

试验温度/℃	剪切强度/MPa		
	光滑	拉毛	刻槽
0	3.37	3.56	3.66
25	0.41	0.65	0.52
55	0.14	0.22	0.21
高温养护后	0.35	0.55	0.45
高温前后强度比/%	85.3	84.6	86.5

由表 8 可知:1) 随着温度的升高,水泥砼和沥青砼层间黏结强度显著降低。2) 水泥砼板经过拉毛和刻槽处理后,黏结层间的抗剪强度大于表面光滑的层间,需对水泥砼桥面板进行适当的粗糙化处

治以提高复合结构层间的剪切强度。因拉毛工艺具有更大的剪切强度,在后续研究中对水泥砼板进行拉毛处治。3) 试件经历高温后,其剪切强度均有所下降,但下降幅度不大,表明橡胶沥青复合封层具有较好的耐高温性能。

3.2 不同防水黏结层材料性能研究

为评价不同防水黏结层材料的层间黏结性能,成型复合车辙板(水泥板+防水黏结层+沥青砼),模拟水泥砼桥面,选用计算出的防水黏结材料最佳用量,测试橡胶沥青复合封层、SBS改性沥青、乳化SBS改性沥青和 FYT 防水材料的剪切强度,试验温度为 20℃。不同防水黏结层的强度见表 9。

表 9 不同防水黏结层的黏结强度

试验类型	黏结强度/MPa			
	橡胶沥青复合封层	SBS 改性沥青	改性乳化沥青	FYT 防水材料
剪切试验	0.67	0.62	0.34	0.52
拉拔试验	0.55	0.58	0.32	0.56

由表 9 可知:橡胶沥青复合封层的黏结性能比 SBS 改性沥青的好,采用改性乳化沥青和 FYT 防水材料时复合结构层间黏结强度稍弱。

4 结语

(1) 采用双层橡胶沥青碎石封层材料设计方法,5~10 mm 单层橡胶沥青碎石封层中,碎石用量为 8 kg/m²,沥青用量为 1.1 kg/m²;双层橡胶沥青碎石封层中,第一层碎石的粒径为 10~15 mm,碎石用量为 15 kg/m²,橡胶沥青用量为 1.8 kg/m²;第二层碎石的粒径为 5~10 mm,碎石用量为 8 kg/m²,沥青用量为 1.1 kg/m²。

(2) 需对水泥砼桥面板进行适当的粗糙化处治以提高复合结构的层间剪切强度,相比而言,拉毛工艺具有更大的剪切强度。以橡胶沥青复合封层作为防水黏结层时,在 25℃条件下,水泥砼与沥青砼间

的剪切强度达 0.67 MPa,满足层间剪应力要求。

(3) 橡胶沥青复合封层的黏结性较好,SBS 改性沥青次之,以改性乳化沥青和 FYT 防水材料作为黏结层时复合结构层间黏结强度稍弱。

参考文献:

- [1] 马兰.高渗透桥面防水粘结层材料性能研究[J].新型建筑材料,2020,47(10):164-168.
- [2] HAILESILASSIE B W, HEAN S, PARTL M N. Testing of blister propagation and peeling of orthotropic bituminous waterproofing membranes[J]. Materials & Structures, 2015, 48(4): 1095-1108.
- [3] 蔡平波.沥青铺装与混凝土桥面层间抗剪切性能试验研究[J].黑龙江交通科技,2019(10):19-21+23.
- [4] 刘云,于新,戴忧华,等.混凝土箱梁桥铺装防水粘结层力学性能[J].同济大学学报(自然科学版),2012,40(1):57-61+67.
- [5] 李政.高速公路橡胶沥青碎石封层施工技术分析[J].西部交通科技,2020(12):60-63.
- [6] 赵志平.橡胶沥青碎石封层结构优化设计研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020(4):66-68.
- [7] 马翔,杭晨,王炯月,等.一种计算碎石封层中碎石用量的方法[P].CN108875110A,2018-11-23.
- [8] MA X, LI Q, CUI Y C, et al. Performance of porous asphalt mixture with various additives[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2018, 19(3-4): 355-361.
- [9] 周苗苗,朱其涛,邱业绩.双层碎石封层中沥青与集料粘附性影响因素研究[J].石油沥青,2020,34(3):63-68.
- [10] 崔小攀.沥青路面铺装结构粘结层材料性能研究[D].西安:长安大学,2015.
- [11] 王选仓,孙耀宁,王文强,等.粘层材料剪切疲劳特性及层间设计方法研究[J].材料导报,2018,32(16): 2750-2756+2767.

收稿日期:2021-02-06

(上接第 140 页)

性影响研究[D].兰州:兰州交通大学,2014.

[4] 赵川.重载交通对高速公路桥梁的疲劳影响研究[D].天津:河北工业大学,2015.

[5] 梁玉坤.超载作用下的混凝土桥安全形势及对策分析[D].成都:西南交通大学,2013.

[6] 张澜.超载作用下混凝土桥梁的性能分析与损伤评估方法研究[D].成都:西南交通大学,2016.

[7] 贺玲玲.车辆超载对公路桥梁的影响[J].山西交通科技,2020(4):151-153.

[8] 王姝莉.公路桥梁治超管理研究[D].西安:长安大学,2017.

[9] 武彤.车辆超载对桥梁结构与使用寿命的影响分析[D].石家庄:石家庄铁道大学,2019.

收稿日期:2021-02-21