

南方多雨地区沥青路面防水抗裂层配合比设计*

刘超群¹, 刘福明^{2,3}, 董爱侠³

(1.江西省高速公路投资集团有限公司, 江西 南昌 330003; 2.南昌工程学院, 江西 南昌 330099;

3.重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074)

摘要: 为改善沥青路面层间结构, 增强其防水抗裂能力, 在上面层和中面层间铺筑一层空隙率小于 2% 的沥青混合料薄层。考虑江西省气候特点和交通状况, 采用适当的防水抗裂层原材料, 参照 AC-5 密级配沥青混合料的要求, 通过试验调整级配和配合比, 确定最佳合成级配; 通过马歇尔试验确定防水抗裂层的最佳沥青用量及最佳纤维掺量, 并通过高温车辙、低温抗裂及水稳定性等试验验证防水抗裂层的路用性能。

关键词: 公路; 防水抗裂层; 沥青路面; 配合比设计; 多雨地区

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0068-03

中国南方大多处于温带季风气候区, 潮湿多雨且日温差变化显著。公路沥青路面由于沥青混合料施工配合比控制不严格、拌和不均匀、路面排水不畅、摊铺不及时、碾压效果不佳、接缝处理不当等原因, 水损坏较常见, 有必要通过改善沥青路面层间结构增强其防水抗裂能力。该文考虑到江西省气候特点和交通状况, 参照公路沥青路面防水抗裂层设计施工技术要求, 在沥青路面上面层和中面层之间增加防水抗裂薄层。

1 原材料

沥青路面防水抗裂层采用空隙率小于 2% 的沥青混合料, 防止水进入中面层及以下路面结构。该混合料以玄武岩纤维及 SBS 改性沥青等为原材料。

(1) SBS 改性沥青。江西省属于夏季炎热地区, 采用普通沥青和低标准改性沥青不能提供足够的高温性能。SBS 改性沥青对高低温和疲劳性能都有较好的改善作用, 同时具有特别强的粘结能力, 可提高路面遇水后的抗拉强度, 显著改善沥青路面的水稳定性。因此, SBS 改性沥青是防水抗裂层混合料的最佳选择。根据 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》对 SBS 改性沥青进行针入度(25℃)、软化点、延度(5℃)三大指标试验, 试验结果见表 1。

(2) 矿料。沥青路面防水抗裂层所用矿料的性能指标见表 2。

表 1 SBS 改性沥青的性能指标

项目	试验结果
针入度/(0.1 mm)	58.7
软化点/℃	76.9
延度/cm	29.9
密度/(g·cm ⁻³)	1.037

表 2 矿料的性能指标

规格/mm	表观密度/(g·cm ⁻³)	表干密度/(g·cm ⁻³)	毛体积密度/(g·cm ⁻³)	吸水率
4.75~9.5	2.823	2.780	2.687	0.59
2.36~4.75	2.757	2.728	2.712	0.60
0~2.36	2.714	2.686	2.617	1.37
矿粉	2.699	2.680	2.660	0.00

(3) 玄武岩纤维。玄武岩纤维可防止和减少沥青路面裂缝的演变, 减少因温度应力引起路面变形, 减少高温车辙、弥补低温脆性的缺乏及降低路面水损坏程度。沥青混合料中加入纤维不仅可起到加筋作用, 还能加强沥青与矿料的粘附性, 改善沥青混合料的高温性能和低温性能。在一定条件下, 还可增强混合料的耐水损害性能。

(4) 级配。防水抗裂层位于沥青路面表面层的下部, 由集料、矿粉、SBS 改性沥青和玄武岩纤维组成。在路面结构中的特殊作用决定了其主要由石灰岩矿料和改性沥青组成, 其典型特征是采用粒径在

* 基金项目: 江西省交通科技项目(2015C0003); 江西省教育厅科技项目(GJJ151138)

5 mm 以下的集料、油石比大、空隙率小。在实际工程中,由于矿料的不均匀性导致矿料级配存在一定变化范围,规范推荐的使用范围并不是具体工程上的级配范围,需针对具体工程的原材料特点在推荐范围内进行试配。防水抗裂层设计空隙率在 2% 左右,沥青混合料所用集料粒径在 4.75 mm 以下,其配合比可按照 AC-5 密级配沥青混合料的要求进行设计(见表 3)。

表 3 防水抗裂层混合料的级配范围

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
9.50	100	0.600	20~40
4.75	90~100	0.300	12~28
2.36	55~75	0.150	7~18
1.18	35~55	0.075	5~10

2 马歇尔试验与分析

根据未掺纤维的沥青混合料的最佳油石比,以一定间隔将纤维作为外掺剂添加到沥青混合料中,同时以适当比例增加沥青用量。每一纤维掺量下,按标准击实法以一定间隔的沥青用量成型 5 组试件进行马歇尔试验,根据各纤维掺量下油石比与体积指标的关系确定不同纤维掺量沥青混合料的油石比,结果见表 4。

表 4 不同纤维掺量下沥青混合料的
最佳油石比 %

纤维掺 量/%	油石比			
	OAC _{min}	OAC	OAC _{max}	ZOAC
0.00	7.600	8.625	9.500	1.900
0.35	9.250	9.958	10.500	1.250
0.40	9.650	10.388	10.700	1.050
0.45	9.600	10.056	10.200	0.600

玄武岩纤维掺入沥青混合料后,纤维与沥青、纤维与纤维之间发生相互作用,纤维的不同掺量会影响其在改性沥青混合料中的分散程度、吸附沥青的有效比表面积等,也会对改性沥青混合料的马歇尔性能指标等产生不同的改善效果。

由表 4 可知:随着玄武岩纤维掺量的增加,改性沥青用量增加。这主要是因为增加玄武岩纤维掺量,将需要更多的沥青包裹在其表面,纤维掺量越多,其比表面越大,对沥青的吸附作用越强,沥青用

量增多。但当纤维掺量增加到一定数值时,随着纤维掺量的增加,其吸附的沥青不一定会增加。因为过量的玄武岩纤维较难分散均匀,甚至会聚集成束,使纤维总比表面积不再增大甚至减小,最终可能出现沥青用量不再增加甚至减少的现象。可见,玄武岩纤维有最佳掺量,不是掺加的玄武岩纤维越多越好。玄武岩纤维掺量小于 0.4% 时,沥青用量随着纤维掺量的增加呈增加趋势,掺量为 0.4% 时出现峰值;之后,随着纤维掺量的增加,沥青用量减小,其中 ZOAC 值下降显著,表明纤维掺量与其所需沥青之间并不满足简单的线性关系。玄武岩纤维的最佳掺量为 0.4% 左右。

3 防水抗裂层路用性能分析

3.1 高温性能

在 60 ℃ 条件下,按 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》分别对玄武岩纤维掺量 0、0.35%、0.40%、0.45% 的沥青混合料进行高温车辙试验,得到各沥青混合料的动稳定度(见表 5)。

表 5 纤维沥青混合料高温车辙试验结果

纤维掺量/%	最佳沥青用量/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
0.00	8.625	2 460
0.35	9.958	3 507
0.40	10.388	3 700
0.45	10.056	3 420

从表 5 可以看出:在一定纤维掺量下,混合料的动稳定度随着纤维掺量的增加而增大,纤维掺量为 0.4% 时出现峰值,然后随着纤维掺量的增加逐渐减少。说明在最佳掺量下纤维对沥青混合料高温性能的增强效果最佳,此时玄武岩纤维对沥青的稳定、分散作用和对混合料的加筋增强效果达到最佳状态。

3.2 低温性能

虽然江西省属于高温多雨地区,但降雨前后温度变化较大,这种不断的温度变化会使沥青混合料的弯拉应变和劲度模量减小、应力松弛性能降低,加上沥青由于老化其劲度提高,在这种情况下可能产生温度收缩应力的累积,导致路面开裂。因此,在温度高,但温差较大的地区需考虑混合料的低温抗裂性能。在-10 ℃ 条件下,采用 MTS 材料试验机,采用中央集中荷载的加载方式对不同油石比的沥青混合料进行小梁弯曲试验,试验结果见表 6。

表6 纤维沥青混合料小梁弯曲试验结果

纤维掺量/%	极限弯拉强度/MPa	破坏应变/ $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量/MPa
0.0	8.32	9 340	9 150
0.4	9.53	9 850	10 836

由表6可知:玄武岩纤维沥青混合料的抗弯拉强度、破坏应变及劲度模量均优于普通沥青混合料。随着纤维掺量的增加,最佳沥青用量增加,从而改善了沥青混合料的抗弯拉强度及应力松弛现象,并且高强度、高模量的玄武岩纤维与SBS改性沥青形成

的混合料具有很高的抗拉强度和韧性。玄武岩纤维的加筋作用使沥青混合料抵抗低温变形的能力增强,桥接作用使沥青混合料抵抗变形的能力加大、劲度模量增加、极限弯拉强度增大。玄武岩纤维可改善沥青混合料的低温抗裂性能。

3.3 水稳定性能

在浸水情况下沥青与矿料的粘结能力会降低,导致路面整体力学性能降低。依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》对不同掺量玄武岩纤维沥青混合料进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,试验结果见表7。

表7 纤维沥青混合料水稳定性试验结果

纤维掺量/%	浸水马歇尔试验结果			冻融劈裂试验结果		
	稳定度/kN	浸水后稳定度/kN	残留稳定度/%	未冻融劈裂强度/MPa	冻融劈裂强度/MPa	残留强度比/%
0.00	9.77	8.73	89.4	0.90	0.81	90.0
0.35	11.26	10.47	93.0	1.15	1.06	92.6
0.40	12.35	11.75	95.2	1.25	1.18	94.4
0.45	11.06	10.19	92.2	1.10	1.01	91.8

由表7可知:在沥青混合料中掺入玄武岩纤维后,沥青混合料的抗水损害性能增强,但超过最佳纤维掺量后,残留稳定度和残留强度比有所下降,但均满足规范要求($\geq 80\%$)。玄武岩纤维材质为玄武岩,其表面呈碱性,相当于在沥青中加入抗剥落材料增强了与沥青的粘附能力;纤维的比表面积较大,当沥青与纤维充分结合时,结构沥青用量大大提高;同时玄武岩纤维及沥青一起裹覆在集料表面,增加了集料的沥青膜厚度,有效稳住了沥青,从而阻止水分进入混合料和沥青—集料界面,杜绝了沥青与集料的脱落。

3.4 渗水系数

路面透水的危害很大,一方面,它会破坏沥青与集料之间的粘结作用,造成沥青剥离。另一方面,水可能通过面层进入面层和基层的界面,导致路面冲刷、唧泥、翻浆等病害,甚至还会造成面层和基层分离,削弱整个路面的强度。为保证沥青路面的耐久性,应尽量减小路面的透水性。按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》对不同纤维掺量沥青混合料进行渗水试验,试验结果见表8。

由表8可知:随着纤维掺量的增多,防水抗裂层的渗水系数增大,抗渗性能减弱,这是因为玄武岩纤

表8 纤维沥青混合料渗水试验结果

纤维掺量/%	最佳油石比/%	渗水系数
0.00	8.625	1.2
0.35	9.958	1.5
0.40	10.388	1.9
0.45	10.056	2.4

维使沥青混合料的空隙率增大。虽然纤维使沥青混合料的粘度增加,但与空隙率的增大对渗水能力的加大作用相比要小。

4 结论

(1) 防水抗裂层沥青混合料可按照AC-5密级配沥青混合料级配范围确定其合理级配和技术指标要求。

(2) 马歇尔试验和高温车辙试验表明,合成级配在某一点超过工程级配范围不会影响试验结果。

(3) 玄武岩纤维沥青混合料与普通沥青混合料相比,纤维掺量相当的沥青混合料的最佳沥青用量有一定增加。

(下转第129页)

3 结论

通过与无应力影响下新桥相关物理量的对比,得出桥梁拓宽中新旧桥的沉降差异:1)在桥梁拓宽中,新桥在旧桥地基状态下沉降量发生明显衰减,约为无应力影响下的27%,同时沉降过程更趋于平缓。主要原因是在旧桥地基状态下土体的应力水平更高,在新桥荷载作用下二次固结过程压缩余量减小,排水固结过程更慢。2)在桥梁拓宽中,新桥除沉降量发生一定衰减外,沉降达到一定程度的时间也相应增长。以武汉三环线竹叶海互通立交拓宽工程为例,新桥在无应力状态下的土体固结程度达到总固结度90%的时间是有应力状态下同等固结程度的87%,时间的缩减表示新桥在旧桥地基条件下在排水固结全过程的时间有一定程度增长,固结完成时间延后。工程实际中可根据新旧桥梁之间的沉降差异采取措施加以控制,减小上部结构可能产生的结构次内力。在实际桥梁拓宽中,预先对新桥的下部结构进行堆载预压是一个可行但还无系统理论支持的施工方案,在预压中预压荷载的确定是一个至关重要的控制因素,该文提供的理论方法可在一定程度上为堆载预压方案提供理论支持。

该文在研究方法及范围上还有一定不足。在旧桥地基性状模拟中,土体的性状变化是一个相当复杂的问题,新旧桥之间的相互影响也并非单向,而是

存在耦合作用,新桥的荷载对旧桥的地基土体同样有一定扰动,关于新旧结构之间的应力耦合状态还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 王忠瑾.考虑桩—土相对位移的桩基沉降计算及桩基时效性研究[D].杭州:浙江大学,2013.
- [2] Mesri G, Febres-condem E, Shields D R, Castro a shear stress-strain-time behavior of clays[J]. Geotechnique, 1981, 31(4).
- [3] 曾庆有,周健,屈俊童.考虑应力应变时间效应的桩基长期沉降计算方法[J].岩土力学,2005,26(8).
- [4] 贺武斌.静荷载下单桩沉降的时间效应研究[D].杭州:浙江大学,2003.
- [5] 陈晶.考虑固结的摩擦型单桩 ABAQUS 数值模拟[J].河南科学,2010,28(11).
- [6] 陈景星.高速公路梁桥加宽桩基础沉降差异控制技术[D].西安:长安大学,2013.
- [7] 王天雄,龙明,刘雄刚.新旧桥连接中桩基沉降时域分析[J].山西建筑,2016,42(34).
- [8] 周葆春,王靖涛,杨晓东.武汉粘土修正剑桥模型参数研究[J].武汉理工大学学报,2007,29(3).
- [9] 盛志强,石玉成,孙军杰,等.基于 ABAQUS 的竖向荷载下三维桩土沉降变形分析[J].岩土工程学报,2013,35(增刊1).

收稿日期:2018-01-09

(上接第70页)

(4) 每个纤维掺量对应一个最佳沥青用量,文中试验条件下最佳纤维掺量为0.4%,对应的最佳油石比为10.388%。

(5) 防水抗裂层是一种沥青混合料功能层,可起到防水与抗裂的作用。

参考文献:

- [1] 高丹盈,黄春水,汤寄予.纤维沥青混合料最佳纤维掺量试验研究[J].公路,2009(2).
- [2] 任旭.纤维沥青混合料性能室内试验研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [3] 陈晶宇.玄武岩纤维沥青混合料路用性能与应用研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [4] 曾志远.玄武岩纤维沥青混合料路用性能及结构分析[D].杭州:浙江大学,2013.
- [5] DB13/T 1506-2012,公路沥青路面防水抗裂层设计

施工技术规范[S].

- [6] 黄春水.纤维沥青混凝土力学性能及计算方法[D].郑州:郑州大学,2014.
- [7] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [8] 翟少华.多碎石沥青混合料的级配设计及水稳定性试验研究[D].郑州:郑州大学,2009.
- [9] 刘福军.玄武岩纤维沥青混合料路用性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [10] 仰建岗,刘燕,林天发.玄武岩纤维沥青混凝土路用性能研究[J].筑路机械与施工机械化,2015,32(1).
- [11] 曾俊标,孙长新.湿热地区矿物纤维沥青混合料中的掺量比选与性能评价[J].公路,2008(3).
- [12] 王安.玄武岩纤维 SMA-13 的路用性能研究与应用[D].长沙:长沙理工大学,2013.
- [13] JTG F40-2011,公路沥青路面施工技术规范[S].

收稿日期:2017-11-07