

辉绿岩用于钢桥面铺装 SMA 适用性分析

欧阳男^{1,2}, 杨群², 程志强²

(1.贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550014; 2.同济大学 道路与铁道工程教育部重点实验室)

摘要: 结合毕都高速公路北盘江大桥钢桥面铺装工程,探讨了贵州地区钢桥面铺装应用辉绿岩的技术方案。文中分别研究集料的物理力学性质,物相分析,集料应用于 SMA 混合料后在体积特性、路用性能等方面的室内试验结果。试验结果表明:辉绿岩可以作为钢桥面铺装用 SMA 集料,其温度稳定性优良,同时用于 SMA 混合料可以得到较为理想的体积设计参数。

关键词: 钢桥面铺装; 辉绿岩; SMA; 适用性

毕都高速公路北盘江大桥钢桥面铺装工程采用沥青玛蹄脂碎石(SMA)作为铺装磨耗层。SMA 因其优异的高温稳定性、低温抗裂性、耐久性及抗滑性而广泛应用于钢桥面铺装磨耗层。沥青混合料中集料占其比重的 90% 以上,因此集料的选择对沥青混合料的体积参数以及路用性能有非常重要的影响。而相比普通路面,钢桥面铺装层对所用的集料要求较高,需针对钢桥面铺装的特殊性,结合本地的具体工程应用经验,对钢桥面铺装用集料的物理力学性能进行重点考察。

钢桥面铺装对集料的特殊要求表现之一是要求粗集料受高温后仍保持抗荷载压碎的能力。钢桥面铺装的设计要求决定了粗集料在生产施工过程中需要在持续高温的条件下承受施工设备反复揉压的复杂力学作用。因此在高温条件下保持足够的抗压碎能力是评价钢桥面铺装用粗集料的重要技术指标。

另外,钢桥面铺装对 SMA 的体积设计要求宜趋严格。这是因为,为了确保钢桥面铺装与钢板之间的协调变形,确保铺装层沥青混合料的抗裂性能,在设计铺装层混合料时一般选用偏上限的油石比。因此可能提高 SMA 泛油的风险,为了降低这一风险,需要更加严格的体积设计控制标准。这就需要在集料选型时注意集料级配与其物理性质的匹配,从而确保目标配合比的体积参数更加合理。

根据贵州地区的路面工程应用经验,北盘江大桥设计文件采用玄武岩作为 SMA 粗集料,但由于辉绿

岩材料离建设项目距离较近,本着原材料就地取材,节约工程费用的考虑,项目建设方特委托项目组开展钢桥面铺装工程应用辉绿岩集料的适用性分析与研究。

基于上述因素,该文选择罗甸辉绿岩料场集料与清镇产玄武岩集料,通过物相分析、原材料物理力学分析、混合料配合比设计与性能评价等技术措施对辉绿岩用于钢桥面铺装 SMA 进行适用性评价,以及对采用辉绿岩粗集料与玄武岩粗集料的两种 SMA 混合料性能进行对比,部分结论将为该地区与类似地区的钢桥面铺装原材料(集料)选型提供一定参考依据。

1 集料试验

钢桥面铺装表层受行车荷载与自然环境因素的长期共同作用,要求具有良好的结构性能,以及良好的长期抗滑性能。而集料的物理化学性质对铺装层抗变形、耐久性和抗滑性等使用性能有非常重要的影响。

首先采用辉绿岩与玄武岩进行坚固性、压碎值、磨耗值和磨光值等反映粗集料潜在抗滑耐磨耗性能的目标进行对比试验。结果如表 1、2 所示。

表 1 两种集料的压碎值、磨耗值试验结果

项目	常温压碎值/%	高温压碎值/%	磨耗值/%
玄武岩	10.3	13.9	16.5
辉绿岩	9.6	12.9	18.8
技术要求	≤26	≤26	<28

收稿日期:2018-05-15

基金项目:贵州省交通运输厅科技项目(编号:2013-122-003)

作者简介:欧阳男,男,博士研究生,高级工程师,E-mail:ouyangnan1982@163.com

表 2 两种集料的磨光值试验结果

集料类型	试件 数/个	磨光值 PSV		标准差	变异 系数
		变化范围	平均值		
玄武岩	6	39~44	42	1.9	4.6
辉绿岩	6	44~58	46	1.4	2.8
技术要求		≥42			

2 物相分析

由于特殊的施工与运营条件,用于钢桥面铺装的集料技术指标普遍高于其他工程。其中一个重要属性表现为集料在经高温加热后能够保证强度不明显下降的特性,在集料力学指标中可以采用高温压碎值表征。通过对进热料仓前后辉绿岩的冷、热料进行物相分析,可以对比集料受短时极端高温条件后的组成成分变化情况,有助于深入认识辉绿岩集料的耐高温性能。通过 X 射线粉末衍射试验(XRD),对比冷、热料 XRD 谱的变化状态,可以找出辉绿岩中受热不稳定成分。

试验前,将辉绿岩集料研磨成细粉,筛取粒径小于 325 目细粉进行 XRD 试验。XRD 试验采用连续扫描,扫描角度 3°~90°,扫描速度 2°/min~4°/min,步长 0.02°。

图 1、2 为辉绿岩热料与冷料分别进行 XRD 试验及物相分析结果。由图可见:图谱在 12°与 28°左右发现明显峰值,其中 28°的峰值属于钠长石的峰值之一,而 12°左右的峰值可能为斜绿泥石及与铁蛇纹石峰值之一的叠加。此外,诸多局部谱图峰值也与斜绿泥石及铁蛇纹石的峰值较为吻合。因此初步分析表明,此次试验采用的辉绿岩样品主要含有钠长石、斜绿泥石以及铁蛇纹石。

通过对比进热料仓前后集料物相组成的变化可知,冷、热料的组成成分除在局部峰值略有改变外,基本峰值并未发生显著改变。这说明集料在加热前后,成分没有明显变化,说明辉绿岩集料受热后仍然较为

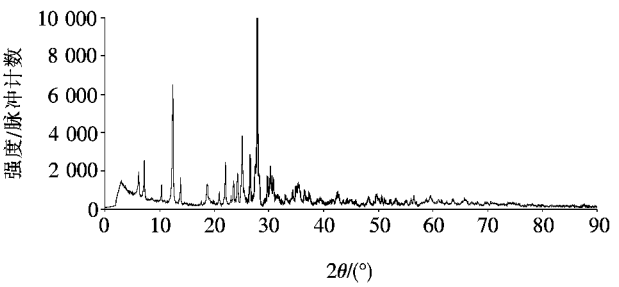


图 1 辉绿岩(热料)XRD 谱图

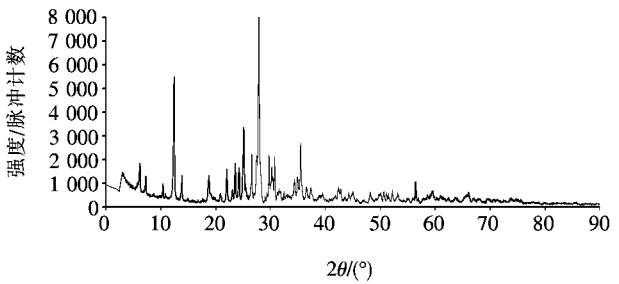


图 2 辉绿岩(冷料)XRD 谱图

稳定,没有其他物质的产生。

3 集料物理力学特性分析

表 3、4 为辉绿岩细、粗集料试验测试结果。同时为了评价集料质量的稳定性,将其他采用同种辉绿岩集料作为粗集料的历史测试值进行对比。分析表明:采用辉绿岩集料质量稳定。同时为了评价其高温条件下的物理力学性能,测试了石料高温压碎值。高温压碎值是在 200℃温度下,保温 4 h 后采用常规压碎值试验相同的方法试验。表 3 数据表明:辉绿岩粗集料具有良好的高温稳定性能,这与集料物相分析的结论相一致。

表 3 辉绿岩细集料测试结果

项目	表观相 对密度	坚固性 (≥0.3 mm)/%	砂当量/ %	棱角性/ s
技术要求	≥2.5	≤12	≥60	≥30
测试值	2.964	—	72.0	32.7

表 4 辉绿岩粗集料测试结果

项目	石料压碎 值/%	石料高温 压碎值/%	洛杉矶磨 耗损失/%	石料磨光 值 PSV	表观相 对密度	吸水率/ %	坚固性/ %
技术要求	≤26	≤26	≤28	≥42	≥2.60	≤2.0	≤12
测试值	9.6	12.9	18.8	46.0	3.02	0.829	0.33
历史测试值	9.3	12.0	11.8	50.2	3.01	0.54	0.35

注:历史测试值为该地区其他应用辉绿岩作为集料的工程中所提供的数据。

4 辉绿岩集料对 SMA 配比设计与性能的影响

4.1 原材料

(1) 沥青。SMA 胶结料采用高弹改性沥青,主要技术指标见表 5。

表 5 高弹改性沥青主要技术指标检测结果

试验项目	单位	检测结果	指标要求
针入度(25℃)	0.1 mm	96	70~100
延度(5℃)	cm	64	≥60
软化点	℃	83.5	≥80
弹性恢复率(25℃)	%	97	≥90
闪点	℃	280	≥250
质量变化	%	-0.147	≤±0.5
RTFOT 针入度比(25℃)	%	83	≥65
延度(5℃)	cm	34	≥30

(2) 集料与矿粉。试验采用的集料主要为辉绿岩和石灰岩集料,不同粒径集料以及矿粉的密度测试结果见表 6。

表 6 集料和矿粉密度的测试结果

集料规格/ mm	毛体积相 对密度	表观相 对密度	吸水率/ %
5~10(辉绿岩)	2.974	3.040	0.728
3~5(辉绿岩)	2.892	3.027	1.540
3~5(石灰岩)	2.662	2.724	0.856
0~3(辉绿岩)	2.969	3.017	0.013
0~3(石灰岩)	2.619	2.718	0.014
矿粉	2.695	2.695	

(3) 级配。在进行高弹改性沥青 SMA-10 混合料配合比设计时,马歇尔试件采用双面各击实 75 次的方法成型,试件尺寸高度误差的允许范围为(63.5±1.3) mm。SMA-10 混合料配合比设计以 5~10 mm 辉绿岩、3~5 mm 石灰岩、0~3 mm 石灰岩作为控制组(SH)进行配合比设计;以 3~5 mm 辉绿岩、0~3 mm 辉绿岩细集料取代控制组中的两档集料进行对照组(HL)的配合比设计,然后分析对比两种混合料的路用性能。作为对比的 SMA-10 混合料的合成级配曲线见图 3。

4.2 控制组最佳油石比的确定

根据马歇尔试验结果,得到的毛体积密度、空隙率

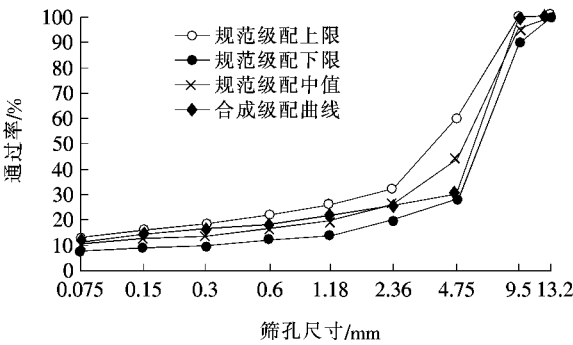


图 3 SMA-10 合成级配曲线

(VV)、矿料间隙率(VMA)、沥青饱和度(VFA)以及稳定度(MS)与油石比的关系曲线,如图 4 所示。按油石比为 5.8%确定的空隙率为 3.6%,作为控制级配。

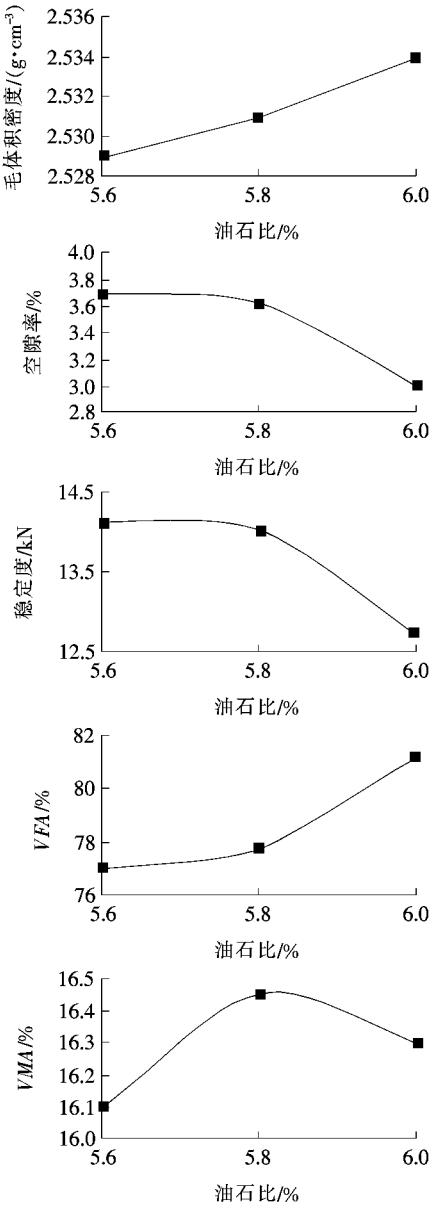


图 4 控制组油石比与马歇尔试验各项技术指标的关系

4.3 辉绿岩细集料对 SMA 性能参数的影响

采用相同的合成级配,配制的对照组(全为辉绿岩)和控制组合成级配,取 3.6%空隙率时的最佳油石

比为 6.5%。控制组与对照组混合料的性能验证结果如表 7 所示。

表 7 SMA-10 混合料性能验证结果

项目	试件体积参数				性能试验				
	设计油石比/%	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	冻融劈裂强度比/%	析漏损失/%	飞散损失/%
控制组(石灰岩+辉绿岩)	5.8	3.6	16.50	77.9	14.01	4 714	93.85	0.06	1.541
对照组(全部辉绿岩)	6.5	3.6	18.39	80.4	11.56	3 415	95.03	0.10	1.026
技术要求	—	3.0~4.0	≥16.5	75~85	≥6.0	≥3 000	≥85	≤0.1	≤15

通过表 7 对比两组 SMA-10 的体积参数与性能指标做如下讨论:

(1) 采用辉绿岩代替石灰岩作为 SMA 细集料后, SMA 的最佳油石比增加(约 0.7%),矿料间隙率增加(约 1.95%),沥青饱和度增加(约 2.5%)。这可能是由于辉绿岩细集料总体相对于石灰岩吸水率较高(表 6),在沥青混合料拌和过程中吸收了更多的沥青,致使油石比增加。

(2) VMA 是 SMA 设计中的重要指标之一,根据笔者工程经验,石灰岩粗集料+石灰岩细集料或辉绿岩粗集料+石灰岩细集料一般不容易达到 VMA 大于 17%的要求,因此为了达到要求,工程上需要适当地降低 VMA 的下限至 16.5%。而通过此次试验可知,全部采用辉绿岩粗、细集料的 SMA-10 不但可以满足 17%的要求,还仍有富余。说明全部采用辉绿岩粗、细集料的 SMA 方案相比辉绿岩粗集料+石灰岩细集料的组合在体积参数方面亦是合理可行的。VMA 大于 17%的要求实际上是中国在学习引入 SMA 时直接引入的。在欧美等使用 SMA 的国家并无采用石灰岩作为细集料的工程习惯,因此该指标可以较为容易达到。而中国普遍习惯采用石灰岩作为细集料,粗集料则普遍采用比重较大的玄武岩或辉绿岩,因此在计算 SMA 的矿料间隙率时,不易达到 VMA 的要求。因此根据中国的实际工程用料情况,VMA 指标宜做适当调整。

(3) 由于对照组所采用的沥青含量高于控制组,因此在相同级配情况下,其马歇尔稳定度略有降低、动稳定度降低 27.6%、析漏损失增加。但同时其水稳定性(冻融劈裂强度比)提高,飞散损失降低。

总的来说,采用辉绿岩粗、细集料的组合用于 SMA 是可行的。在选择集料组合方案应针对钢桥面

具体的情况进行讨论。一方面,全辉绿岩集料 SMA 方案提高了沥青用量,并降低了高温性能,但同时对抗水损害、抗疲劳、抗变形能力方面具有显著提升,因此在设计时需要综合考虑各方面性能后作出选择。

根据毕都高速北盘江大桥钢桥面的情况,以及前期对于贵州地区钢桥面铺装使用状况的调研,发现 SMA 磨损层的主要病害为 3 类:① 层间滑移;② 由于层间滑移开裂引发的沥青混合料水破坏;③ 车辙。同类型钢桥面铺装并无出现疲劳裂缝类病害。因此从混合料设计角度来看,建议在桥面 SMA 设计中以降低车辙风险为主。由于采用辉绿岩细集料会造成 SMA 的抗车辙性能一定程度下降,因此根据专家讨论与建议,最终采用辉绿岩粗集料+石灰岩细集料的方案。

5 结论

结合毕都高速公路北盘江大桥钢桥面铺装工程对辉绿岩用于钢桥面铺装的可行性进行了讨论,主要结论如下:

(1) 辉绿岩高温压碎值为 12.9%,高温抗压性能优于玄武岩,洛杉矶磨耗值为 18.8%,磨光值为 46,能满足作为抗滑表层集料的技术要求。

(2) 物相分析表明:贵州地区出产辉绿岩组成成分具有良好的高温稳定性以及高温处理后保持强度不显著下降的特性,是作为钢桥面铺装集料的理想选择。

(3) 选用全辉绿岩粗、细集料的 SMA 混合料相比辉绿岩粗集料+石灰岩细集料更容易达到体积参数要求。

(4) 辉绿岩细集料用于桥面铺装 SMA 是可行的,但需要考虑辉绿岩细集料对 SMA 路用性能带来的影

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.04.033

悬索桥主缆柔性缠包带防护体系计算

孙秀贵^{1,2}, 李瑜¹, 崔剑峰¹

(1.湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410000; 2.湖南大学)

摘要: 岳阳洞庭湖大桥主缆防腐采用新型防护体系——柔性缠包带防护体系。主缆直径在恒载、活载、温度、温差等作用下会发生变形,为确保缠包带防护体系对主缆钢丝的防护,要求缠包带及钢丝圈应具有一定的初始张力,在使用过程中不与主缆脱离。针对这一新型防护体系,基于缠包带与主缆的变形协调条件,系统性提出柔性缠包带防护体系设计验算方法。

关键词: 悬索桥; 缠包带防护; 验算方法; 密封性试验

1 引言

主缆是悬索桥的主要受力构件,是悬索桥的“生命线”,传统的主缆防护通常采用以下方法:①主缆腻子钢丝缠绕涂层法;②合成护套防护法;③主缆内部干燥空气除湿法;④主缆锚(鞍)室防护;⑤其他方法,主要有主缆半开放式、封闭钢丝绳主缆直接涂装、主缆应用PE护套、沥青复合材料包裹主缆等方法,其他方法主要在一些较小悬索桥主缆应用。常用的主缆防护保护系统在使用过程中往往10年内就发生应力开裂、老化等现象,从而导致缆索锈蚀问题,危及桥梁安全。

基于传统防护体系的缺陷,美国布朗公司开发出了柔性缠包带主缆防护系统(BROWN BELT),即将预制的弹性体布朗带缠绕在主缆表面,以代替传统的腻子涂料系统,并逐段采用热熔连接,使缠绕物收缩,紧箍在主缆上。主缆被密封在封闭的空间内,从而实现对主缆的防护。目前该技术在中国多座大型桥梁中得到应用,如株洲枫溪大桥(主跨300 m自锚式悬索桥)、贵瓮高速清水河大桥(主跨1 130 m悬索桥)、岳阳洞庭湖大桥(主跨1 480 m悬索桥)、湘潭昭华湘江大桥(主跨228 m独塔自锚式悬索桥)。防护体系主要施工工序如图1所示。

缠包带防护体系与主缆除湿分别作为主缆防腐的

响。在低温多雨地区,采用全辉绿岩粗、细集料的SMA混合料是比较理想的选择。

(5) 根据室内试验结果与同类型桥面铺装使用效果,建议采用辉绿岩粗集料+石灰岩细集料的方案,该文的结论对于低温多雨地区的钢桥面铺装结构选型具有一定参考意义。

参考文献:

- [1] 王金生.钢桥面浇注式沥青混合料铺装病害分析及对策[D].东南大学硕士学位论文,2005.
- [2] 关永胜,迟占华,宗海.大跨径钢桥桥面铺装早期病害分析及对策[J].中外公路,2005(6).
- [3] 重庆交通科研设计院.公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南[M].北京:人民交通出版社,2006.

- [4] JTG E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [5] Xiaoyang Jia, Baoshan Huang, Benjamin Bowers, et al. Investigation of Tack Coat Failure in Orthotropic Steel Bridge Deck Overlay: Survey, Analysis, and Evaluation [J]. Journal of the Transportation Research Record, 2014, 2 444: 28-37.
- [6] Xiaoyang Jia, Baoshan Huang, Shangjiang Chen, et al. Comparative Investigation into Field Performance of Steel Bridge Deck Asphalt Overlay Systems [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2016, 20(7): 2 755-2 764.
- [7] 山宏宇,李倩,秘林源,等.浇筑式钢桥面铺装层推挤变形病害机理分析[J].土木建筑与环境工程,2016(3).
- [8] 徐勋倩,王建波,朱建民,等.基于轮胎与桥面耦合作用的钢桥面铺装早期病害机理研究[J].中外公路,2013(4).

收稿日期:2018-11-28

基金项目:交通运输部建设科技项目(编号:2013318798320);湖南省交通科技项目(编号:201219)

作者简介:孙秀贵,男,博士研究生.E-mail:402950468@qq.com