

集料强度对环氧沥青混合料疲劳性能的影响

李黎明¹, 黄红明^{2,3}, 曾国东², 徐伟⁴(1.佛山市建盈发展有限公司, 广东 佛山 528041; 2.佛山市交通科技有限公司, 广东 佛山 528041;
3.佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041; 4.华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510641)

摘要:为减少钢桥面铺装环氧沥青混凝土的疲劳开裂,延长钢桥面铺装的使用寿命,文中通过小梁弯曲试验,分析环氧沥青混合料、SBS 改性沥青混合料和 A-70[#] 基质沥青混合料的抗弯拉强度、抗弯拉应变和冲击韧性,同时利用体视显微镜观察环氧沥青混合料小梁断裂截面的微观形态;通过三点弯曲试验分析辉绿岩、花岗岩和石灰岩 3 种不同岩性集料的抗弯拉强度特性,揭示不同类型集料对环氧沥青混合料力学性能的影响。结果表明,小梁弯曲试验中集料断裂为环氧沥青混合料特有的一种破坏现象;集料强度显著影响环氧沥青混合料的抗弯拉性能及变形特性;采用断裂强度较高的辉绿岩可增强环氧沥青混合料的抗弯拉强度,进而提高环氧沥青混合料的疲劳性能。

关键词:桥梁;钢桥面;环氧沥青混合料;疲劳性能;集料强度

中图分类号:U443.33

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)06-0118-04

疲劳开裂是环氧沥青混合料钢桥面铺装常见病害,分析环氧沥青混合料疲劳性能影响因素,研究如何提高其抗疲劳性能对环氧沥青钢桥面铺装设计、施工和养护均具有重要指导意义。文献[6-7]的研究表明环氧沥青混合料的疲劳性能与冲击韧性存在线性关系,采用冲击韧性指标可有效评价环氧沥青混合料的疲劳性能;集料性质、沥青用量及空隙率均影响环氧沥青混合料的疲劳性能,其中集料的影响尤为显著。目前关于集料对环氧沥青混合料疲劳性能影响的研究主要集中在集料级配及集料颗粒表观物理性质差异两方面,针对集料强度的研究较少。为此,本文基于小梁断裂试件的微观形态,分析辉绿岩、花岗岩和石灰岩的抗弯拉强度特性,研究集料强度对环氧沥青混合料疲劳性能的影响,为钢桥面环氧沥青混合料铺装材料设计提供依据。

1 沥青混合料小梁弯曲试验

分别进行环氧沥青混合料、SBS 改性沥青混合料和 A-70[#] 基质沥青混合料小梁弯曲对比试验,

采用细级配,矿料组成见表 1,最佳油石比为 6.5%,试验温度 15 ℃,加载速率 50 mm/min,试验结果见表 2。采用体视显微镜(Leica DVM6)观察小梁断裂截面,观察到的 3 种沥青混合料表面形貌特征见图 1~4。

由图 1 可知:在环氧沥青混合料小梁断面上可观察到明显的集料断裂现象,且该现象所占比例较大。这主要是因为环氧沥青胶浆黏结性能强,能与集料颗粒稳固结合,具有较强的抗弯拉性能,集料通常更易断裂。

由图 2 可知:在放大的环氧沥青混合料断面微观形貌中可清晰地观察到细集料颗粒部分裸露,表

表 1 沥青混合料矿料组成

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
13.200	100.0	0.600	35.7
9.500	100.0	0.300	22.1
4.750	80.3	0.150	17.5
2.360	60.8	0.075	13.9
1.180	44.3		

表 2 不同类型沥青混合料小梁弯曲试验结果

混合料类型	油石比/%	空隙率/%	抗弯拉强度/MPa	抗弯拉应变/ 10^{-6}	冲击韧性/(N·mm)
环氧沥青混合料	6.5	2.0	23.5	11 986	3 866.8
A-70 [#] 基质沥青混合料	6.5	1.8	8.3	16 743	2 728.4
SBS 改性沥青混合料	6.5	1.6	8.2	20 694	3 197.7

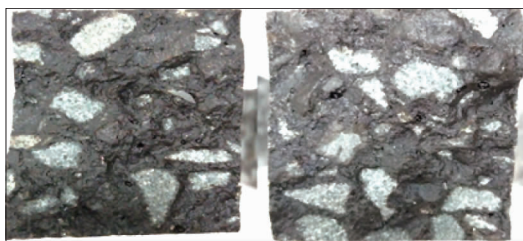


图 1 环氧沥青混合料小梁试件断面

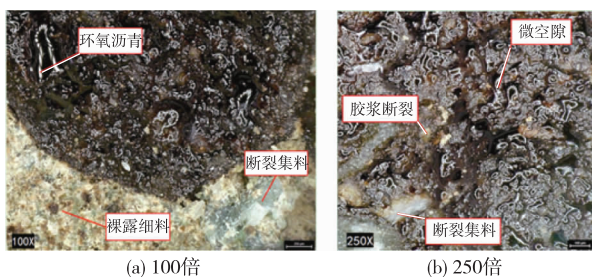


图 2 放大的环氧沥青混合料断面微观形貌

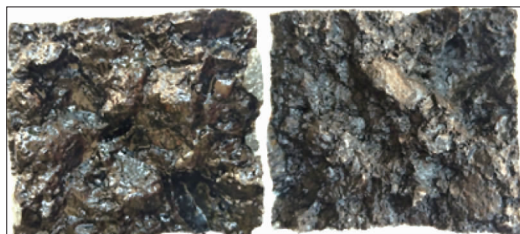


图 3 SBS 改性沥青混合料小梁试件断面

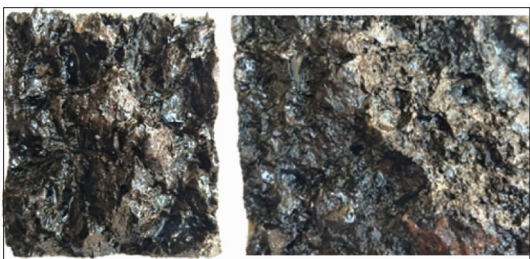


图 4 A-70# 基质沥青混合料小梁试件断面

现为集料颗粒与环氧沥青胶浆黏附破坏,但该现象所占比例不大,在颗粒表面仍裹附较多环氧沥青。这部分环氧沥青为结构环氧沥青,结构环氧沥青能提供填料颗粒间良好的黏附力,过少的结构环氧沥青或过多自由沥青均会阻碍颗粒间的黏附作用。由于环氧沥青的黏附性高于普通沥青,集料颗粒与环氧沥青胶浆黏附破坏更多表现为集料颗粒表面结构沥青以外的自由沥青脱落。

由图 3、图 4 可知:在 SBS 改性沥青和 A-70# 基质沥青混合料小梁断面中均未发现集料断裂现象,试件断裂主要为沥青胶浆断裂。这主要是因为,在相同条件下,在弯拉应力作用下 SBS 改性沥青及

普通沥青混合料内部沥青胶浆作为薄弱处率先断裂。综上,环氧沥青混合料中集料强度显著影响其力学性能。

2 石料小梁弯曲试验研究

为研究不同类型集料的抗弯拉强度特性,选取辉绿岩、花岗岩、石灰岩,将其切割为 $250\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 35\text{ mm}$ 棱柱体小梁试件(见图 5)进行三点弯曲试验,试验温度 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$,加载速率 50 mm/min 。试验结果见图 6、图 7。

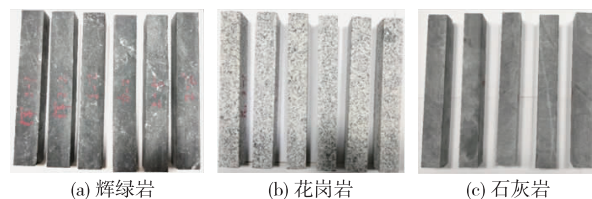


图 5 不同石料小梁试件

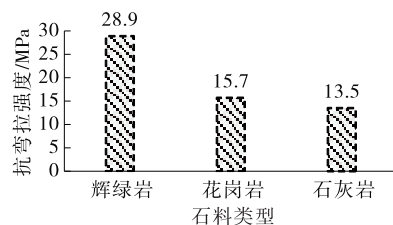


图 6 不同石料小梁抗弯拉强度

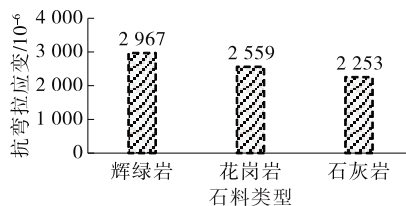


图 7 不同石料小梁抗弯拉应变

辉绿岩、花岗岩、石灰岩为常见的坚硬岩石,其饱和单轴抗压强度 $>60\text{ MPa}$,但其抗弯拉强度差异很大。由图 6、图 7 可知:辉绿岩的抗弯拉强度最高,花岗岩次之,石灰岩最低,仅为 13.5 MPa ;抗弯拉应变表现出同样的规律。就抗弯拉性能而言,辉绿岩的力学性能最优。

3 不同集料对环氧沥青混合料疲劳性能的影响

为进一步探究不同类型集料对环氧沥青混合料力学性能的影响,进行辉绿岩、花岗岩、石灰岩环氧沥青混合料马歇尔试验、 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 小梁弯曲试验。试验采用相同的细级配,最佳油石比为 6.5% ,填料为

石灰岩矿粉。试验结果见表3和图8~10。

表3 3种集料环氧沥青混合料马歇尔试验结果

集料类型	油石比/%	空隙率/%	稳定度/kN	流值/(0.1 mm)
辉绿岩	6.5	2.6	71.3	41.5
花岗岩	6.5	2.8	73.2	40.4
石灰岩	6.5	2.5	72.4	43.2

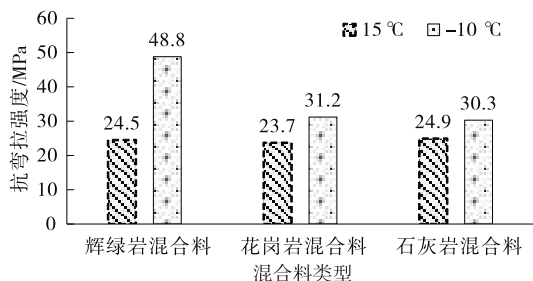


图8 不同集料环氧沥青混合料小梁抗弯拉强度

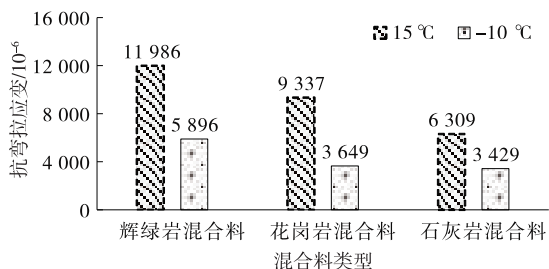


图9 不同集料环氧沥青混合料小梁抗弯拉应变

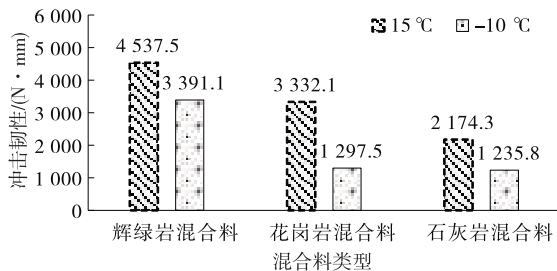


图10 不同集料环氧沥青混合料小梁冲击韧性

由表3可知:不同集料环氧沥青混合料的马歇尔稳定度与流值基本一致,考虑试验误差,可认为集料类型对马歇尔稳定度与流值无明显影响。

由图8~10可知:在15℃环境下,3种集料环氧沥青混合料的抗弯拉强度基本一致,抗弯拉应变与冲击韧性大小为辉绿岩混合料>花岗岩混合料>石灰岩混合料,辉绿岩的抗弯拉应变与冲击韧性约为石灰岩混合料的2倍。在-10℃低温环境下,3种集料混合料的抗弯拉强度、抗弯拉应变与冲击韧性大小为辉绿岩混合料>花岗岩混合料>石灰岩混合料,辉绿岩混合料的冲击韧性约为石灰岩混合料

的2.7倍。

结合3种石料小梁抗弯拉强度大小关系(辉绿岩>花岗岩>石灰岩),环氧沥青混合料强度与集料类型有关,集料强度越大,环氧沥青混合料的抗弯拉性能越好,该特征在低温环境下尤为显著。

图11、图12为环氧沥青混合料15℃与-10℃小梁弯曲断面微观结构。对比图11、图12可知:15℃、-10℃环境下,各集料混合料的小梁断面均存在集料颗粒断裂现象,且在-10℃低温环境下集料颗粒断裂更显著。在15℃环境下,辉绿岩混合料小梁断面仅存在少量集料颗粒断裂,断面破坏主要表现为沥青胶浆破坏;花岗岩与石灰岩中存在较多集料颗粒断裂。这主要是因为辉绿岩集料抗弯拉强度高,在荷载作用下混合料内部沥青胶浆更易断裂。在-10℃环境下,3种集料混合料小梁断面均存在明显的集料颗粒断裂现象,其中强度较高的辉绿岩集料断裂最少,石灰岩最多。结合图8~10,-10℃环境下3种混合料的抗弯拉强度均很高,但弯拉应变与冲击韧性低于15℃时的测试值,这主要是由材料的低温脆性引起的。

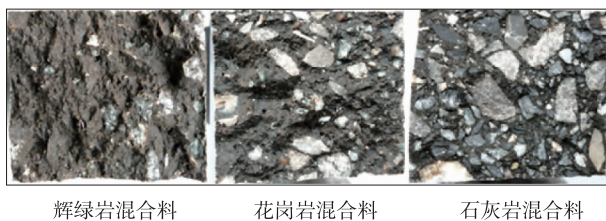


图11 不同集料环氧沥青混合料小梁断面(15℃)

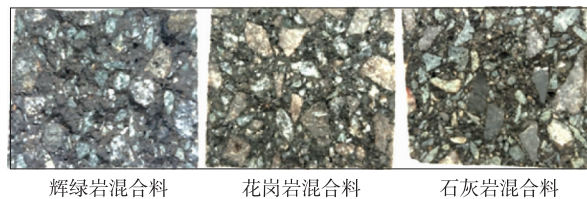


图12 不同集料环氧沥青混合料小梁断面(-10℃)

大部分材料都会表现出低温脆性特性,不同于普通沥青混合料,环氧沥青胶浆由于胶结力强度较高,常温环境下受力弯曲时胶浆与集料不容易发生黏附破坏,因而环氧沥青混合料强度高、抗疲劳性能优异。在低温环境下,由于低温脆性特性,环氧沥青混合料同样易发生脆断,但集料强度较高时,环氧沥青混合料的整体抗弯拉性能较强。微观断裂结构照片表明,提高集料强度,可减少环氧沥青混合料受力时集料断裂,改善环氧沥青混合料的抗弯拉性能,进

而增强混合料的疲劳耐久性,延长其疲劳寿命。

目前环氧沥青混合料路用碎石集料的选用大都基于普通沥青混合料集料指标,如压碎值、抗压强度及针片状含量等。但环氧沥青相对于普通沥青具有更好的力学性能,钢桥面用环氧沥青铺装层的受力环境及情况相对于普通高等级沥青路面更复杂,在进行环氧沥青混合料材料设计时,应考虑采用更优质的碎石集料,尤其应考虑集料自身的断裂强度,以提高混合料的力学性能,延长混合料的使用寿命。

4 结论

本文通过不同沥青混合料、不同岩性集料及不同集料类型环氧沥青混合料小梁弯曲试验,研究集料强度对环氧沥青混合料疲劳性能的影响。主要结论如下:

(1) 环氧沥青混合料、SBS 改性沥青与 70# 基质沥青混合料小梁弯曲对比试验显示,仅环氧沥青混合料受力时存在集料断裂现象。

(2) 根据不同岩性集料小梁弯曲试验结果,3 种石料的抗弯拉强度大小为辉绿岩>花岗岩>石灰岩,辉绿岩小梁抗弯拉强度高达 28.9 MPa,约为石灰岩的 2.1 倍。

(3) 集料强度显著影响环氧沥青混合料的抗弯拉性能及变形特性。在-10℃低温环境下,辉绿岩混合料的冲击韧性约为石灰岩混合料的 2.7 倍,具有优良的力学性能。提高集料强度,可减少环氧沥青混合料受力时集料断裂,显著提高环氧沥青混合料的抗弯拉强度,进而增强其疲劳耐久性,延长其使用寿命。

(4) 钢桥面用环氧沥青铺装层材料设计时,对集料的选用除应考虑压碎值、抗压强度及针片状含量等外,还应重点考虑集料自身的断裂强度。

参考文献:

- [1] 孟凡超,苏权科,徐伟,等.长寿命钢桥面铺装关键技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [2] ZHU C.Japan TAF epoxy asphalt concrete design and steel bridge deck pavement construction technology[J].Applied Mechanics and Materials,2013,330:905—910.
- [3] QIAN Z D,LIU Y,LIU C B,et al.Design and skid resistance evaluation of skeleton-dense epoxy asphalt mixture for steel bridge deck pavement[J].Construction and Building Materials,2016,114:851—863.
- [4] 张顺先.基于使用性能的钢桥面铺装环氧沥青混合料设计研究与疲劳寿命预测[D].广州:华南理工大学,2013.
- [5] 曾国东.钢桥面铺装力学行为与疲劳性能影响因素评价研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [6] 王朝辉,傅一,陈谦,等.环氧沥青混凝土桥面铺装材料研究与应用进展[J].材料导报,2018,32(17):2992—3009.
- [7] ZENG G D,XU W,HUANG H M,et al.Study on the microstructure and properties of hot-mix epoxy asphalt[J].International Journal of Pavement Research and Technology,2019,12(2):147—153.
- [8] 王占飞,程浩波,程志彬,等.桥面铺装对正交异性钢桥面板疲劳性能的影响[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2018,34(2):257—266.
- [9] WANG X H,WANG K J,TAYLOR P,et al.Assessing particle packing based self-consolidating concrete mix design method[J].Construction and Building Materials,2014,70:439—452.
- [10] 徐日辉,曾国东,黄红明.平胜大桥大宽度环氧沥青铺装整幅维修方案研究[J].中外公路,2020,40(6):62—66.

收稿日期:2022-04-06

关于假冒杂志网站和邮箱的声明

目前互联网上出现以《公路与汽运》杂志名义建立的官方网站和投稿邮箱,它们盗用“公路与汽运”的名称,非法向外征稿并收取审稿费、版面费,严重损害了本刊的权益和声誉。为避免广大作者和读者上当受骗,本刊郑重声明:

1 本刊的网址为 <http://glyqy.csust.edu.cn>。互联网上以“公路与汽运”名义建立的其他网站都是假冒的,此类网站上发布的信息及由此造成的一切后果均与本刊无关。

2 本刊唯一的投稿邮箱是 gongluyuqiyun@163.com,除此之外的任何以本刊名义设立的邮箱都是假冒的。本刊目前没有收取审稿费。

3 本刊强烈谴责这种假冒《公路与汽运》杂志名义、损害本刊和作者、读者权益的违法行为,并保留依法追究其法律责任的权利。

特此声明。

《公路与汽运》编辑部