

自制环氧沥青混合料及粘结剂性能研究

刘 攀^{1,2} 李 璐¹ 郝增恒^{1,3} 盛兴跃¹

(1.重庆市智翔铺道技术工程有限公司,重庆 401336;2.重庆交通大学,重庆 400074;
3.招商局重庆交通科研设计院有限公司,重庆 400067)

摘 要 研发了一种新型钢桥面铺装用热拌类环氧沥青混合料及相匹配的环氧树脂粘结剂。对研制的环氧沥青混合料及相匹配的环氧树脂粘结剂的性能进行测试分析,并同步对比了当前应用较多的热拌类日本 TAF 环氧沥青混合料和 TAF 环氧黏层油。研究表明,自制环氧沥青混合料和环氧树脂粘结剂具有良好的综合性能,制得的环氧树脂粘结剂Ⅱ的拉伸强度为 5.6MPa,断裂伸长率达到 136.0%,在 25℃ 条件下,环氧树脂粘结剂Ⅱ与钢板的粘结强度为 6.30MPa,铺装层与钢板的粘结强度为 3.41MPa,铺装组合结构层间粘结强度为 3.33MPa,其粘结性能甚至优于日本 TAF 环氧黏层油,能很好与自制环氧沥青混合料铺装体系相匹配。

关键词 钢桥面铺装,环氧沥青混合料,环氧树脂粘结剂,性能

Research on performance of self-made epoxy asphalt mixture and its adhesive

Liu Pan^{1,2} Li Lu¹ Hao Zengheng^{1,3} Sheng Xingyue¹

(1.Chongqing Zhixiang Paving Technology Engineering Co.,Ltd.,Chongqing 401336;
2.Chongqing Jiaotong University,Chongqing 400074;3.China Merchants Chongqing
Communications Research & Design Institute Co.,Ltd.,Chongqing 400067)

Abstract Anovel epoxy asphalt mixtures and the matching epoxy resin adhesives were prepared. The performance of self-made epoxy asphalt mixtures and its adhesives were analyzed comparatively with those of Japan TAF epoxy asphalt mixtures and its adhesives.The test results showed that self-made mixtures and adhesives had good comprehensive performance for steel bridge deck pavement.The tensile strength and elongation at break of epoxy resin adhesive Ⅱ was 5.6MPa and 136.0%.At 25℃,the bonding strength between epoxy resin adhesive Ⅱ and steel plate, between paving layer and steel plate,and interlayer of pavement composite structure was 6.30MPa,3.41MPa and 3.33MPa,respectively.The bonding performance of adhesive Ⅱ was even better than those of Japanese TAF adhesive, which could match well with self-made epoxy asphalt mixture pavement system.

Key words steel bridge deck pavement,epoxy asphalt mixture,epoxy resin adhesive,performance

我国大跨径钢桥梁建设发展快速,但钢桥面铺装技术一直是世界性难题。钢桥面铺装材料种类较多,其中环氧沥青是一种性能优良的铺装材料,具有优良的物理力学性能,特别是高温抗车辙能力尤为突出,被广泛应用于钢桥面铺装^[1-5]。我国应用较多的环氧沥青包括以美国 Chem Co System 公司为代表的温拌类环氧沥青(拌和温度 110~130℃)和以日本 TAF 为代表的热拌类环氧沥青(拌和温度

160~180℃)^[6-8]。温拌类环氧沥青在施工过程中容易残留水分,导致铺装层易出现鼓包等病害,而热拌类环氧沥青有效克服这一缺陷^[4]。然而,无论是美国 Chem Co System 公司的环氧沥青还是日本 TAF 的环氧沥青,其价格都非常高,一定程度上限制了环氧沥青的推广应用,为此研发自主知识产权的热拌类环氧沥青材料迫在眉睫。

粘结层对整个钢桥面铺装结构具有重大意义,

基金项目: 国家自然科学基金(51702282);重庆市杰出青年基金(cstc2014jcyj30002);重庆市科技创新领军人才支持计划(CSTCCXLJRC201720)

作者简介: 刘攀(1990-),男,硕士,工程师,主要从事道路材料及桥面铺装等方面的研究。

能有效将沥青混凝土铺装层与钢桥面板粘结成整体,共同承受行车荷载和环境条件的综合作用。然而工程实践和相关研究表明,粘结层失效是造成钢桥面铺装层破坏的主要原因之一,因此选择性能优良且与铺装层混合料相匹配的粘结剂是关键^[9-10]。其中,美国 Chem Co System 公司和日本大有建设株式会社分别生产与其环氧沥青相适应的粘结剂,即 Chem Co 环氧粘结剂和 TAF 环氧黏层油^[11]。开发与热拌类环氧沥青混合料相匹配的粘结剂同样具有十分重要的意义。

重庆市智翔铺道技术工程有限公司在日本 TAF 环氧沥青混合料和 TAF 环氧黏层油的基础上,自主研发出一种新型热拌类环氧沥青和环氧树脂粘结剂。本研究对其综合性能进行研究评价,并同步对比日本 TAF 产品的性能,以期为环氧沥青混合料及粘结剂的研究提供一定的理论依据。

1 实验部分

1.1 材料

环氧树脂 I、环氧树脂 II、高温固化剂体系、改性剂、SK70[#] 基质沥青、固化剂体系,重庆市智翔铺道技术工程有限公司;集料(坚硬、洁净、耐磨的玄武岩)、矿粉(磨细石灰岩),重庆某石料厂。

1.2 仪器

恒温水浴箱(HWY-501A 型)、马歇尔电动击实仪(SYD-0702A-1 型)、自动混合料拌和机(SYD-F02-20 型),上海昌吉地质仪器有限公司;轻便组合式车辙试样成型机(QCX-4 型),北京今谷神箭测控

技术研究所;电热恒温鼓风干燥箱(HTF313C 型)、高低温试验箱 HL1303C 型),重庆市威尔试验仪器有限公司;沥青混合料车辙试验仪(TDCZ-2 型),沧州恒胜伟业公路仪器有限公司;微机控制电子万能试验机(WDW3100 型),中国科学院长春科新公司;微机控制电子拉伸试验机(WDW-100E 型),上海轶星检测设备有限公司。

1.3 环氧沥青混合料的制备

选择环氧树脂 I 和环氧树脂 II,拟定 SK70[#] 基质沥青与环氧树脂的用量配合比分别为 5:5 和 6:4。环氧沥青混合料 A(以下简称混合料 A),采用环氧沥青 I,SK70[#] 基质沥青与环氧树脂的用量配合比为 5:5。环氧沥青混合料 B(以下简称混合料 B),采用环氧沥青 I,用量配合比为 6:4。环氧沥青混合料 C(以下简称混合料 C),采用环氧沥青 II,用量配合比为 5:5。环氧沥青混合料 D(以下简称混合料 D),采用环氧沥青 II,用量配合比为 6:4。

将环氧树脂 I 或环氧树脂 II(包括高温固化剂及改性剂等)与 SK70[#] 基质沥青采用电热恒温鼓风干燥箱(HTF313C 型,重庆市威尔试验仪器有限公司)分别在 60℃ 和 135℃ 温度加热,人工搅拌将其混合均匀,制得环氧沥青胶结料。按照最佳油石配合比将其与烘干的集料,采用自动混合料拌和机(SYD-F02-20 型,上海昌吉地质仪器有限公司)170℃,3min 拌制环氧沥青混合料,其集料级配见表 1。需要注意的是,制备工艺须严格控制温度和拌合顺序。样品成型后,采用电热恒温鼓风干燥箱(HTF313C 型,重庆市威尔试验仪器有限公司)60℃ 养护 4d,常温养护 1d 后即可测试其性能。

表 1 环氧沥青混合料级配组成设计

筛孔尺寸/ mm	通过率/%								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
设计范围	100	95~100	65~85	50~70	39~55	28~40	21~32	14~23	7~14
设计值	100.0	100.0	75.0	60.0	47.5	34.0	25.0	18.5	10.5

1.4 样品的测试

采用微机控制电子万能试验机(WDW3100 型,中国科学院长春科新公司)在相同条件下,对样品进行马歇尔、低温弯曲及冻融劈裂测试。采用沥青混合料车辙试验仪(TDCZ-2 型,沧州恒胜伟业公路仪器有限公司)对样品进行高温车辙测试,并同步对比热拌类日本 TAF 环氧沥青混合料的相关性能。

选择环氧树脂粘结剂 I 和环氧树脂粘结剂 II,采用微机控制电子万能试验机(WDW3100 型,中国科学院长春科新公司)、微机控制电子拉伸试验机(WDW-100E 型,上海轶星检测设备有限公司)在相同条件下,按照规范要求对样品进行拉伸及拉拔(试件为粘结层与钢板、铺装层与钢板、铺装组合结构层,将养护后的试件在不同测试温度条件下放置 4h

以上)测试等,并同步对比日本 TAF 环氧粘层油的相关性能。

高温测试。将环氧粘结剂涂刷于水泥板上,固化完全后放置于 180°C 条件下 2h,观察表面有无粘手、起泡和流淌等现象。

低温测试。将环氧粘结剂制成 $25\text{mm}\times 25\text{mm}\times 120\text{mm}$ 的试件,固化完全后放置于 -10°C 条件下 2h,并将试件用金属棒弯曲至 180° ,观察有无裂纹现象。

2 结果与讨论

2.1 环氧沥青混合料性能研究

2.1.1 马歇尔性能分析

环氧沥青混合料的马歇尔稳定度图见图 1。从图可以看出,混合料 A 和混合料 B 的马歇尔稳定度均超过了 100kN,均高于 TAF 混合料的 85kN,而混合料 C 和混合料 D 的马歇尔稳定度分别达到了 65kN、60kN,满足钢桥面铺装规范的技术要求 ($>40\text{kN}$)。

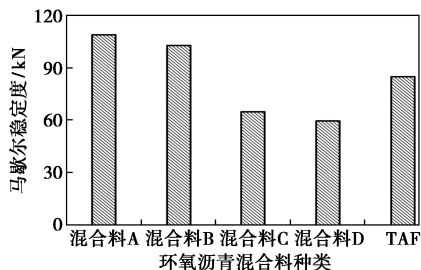


图 1 环氧沥青混合料的马歇尔稳定度图

环氧沥青混合料的流值图见图 2。从图可以看出,5 种环氧沥青混合料的流值差异较小,均在 3.0mm 左右,混合料 D 的流值为 3.1mm。上述研究结果表明,制得的环氧沥青混合料具有较高的马歇尔稳定性和强度。

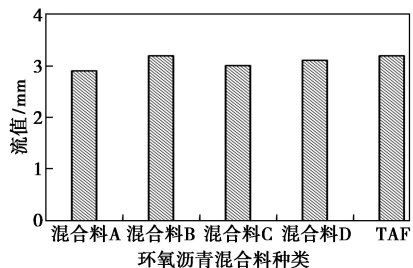


图 2 环氧沥青混合料的流值图

2.1.2 高温性能分析

环氧沥青混合料是热固性材料,其动稳定度远大于普通沥青混合料,具有十分优异的高温稳定性,

能满足铺装层对高温性能提出的苛刻要求(极限温度高达 70°C),这也是该材料非常突出的优势所在。环氧沥青混合料的 60°C 动稳定度图见图 3。从图可以看出,环氧沥青混合料的 60°C 动稳定度大小顺序为混合料 A>混合料 B>混合料 C=TAF 混合料>混合料 D>30000 次/mm,混合料 D 的 60°C 动稳定度达到 31500 次/mm。采用环氧树脂 I 制备的混合料具有更为优异的高温性能,采用环氧树脂 II 制备的混合料高温性能和 TAF 混合料接近。

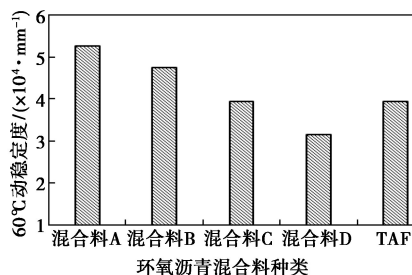


图 3 环氧沥青混合料的 60°C 动稳定度图

2.1.3 低温性能分析

环氧沥青混合料的 -10°C 低温小梁试验结果见表 2。从表 2 可知,针对环氧沥青混合料的抗弯拉强度而言,混合料 A>混合料 B>混合料 C>TAF 混合料>混合料 D;弯拉应变,混合料 C>混合料 D>TAF 混合料>混合料 A>混合料 B;劲度模量,混合料 A>混合料 B>TAF 混合料>混合料 C>混合料 D,混合料 D 的抗弯拉强度为 25.02MPa ,弯拉应变为 $5043.08\mu\epsilon$,劲度模量为 4960.60MPa 。钢桥面铺装用环氧沥青材料要求具有较高的弯拉应变和较低的模量。采用环氧树脂 II 制备的混合料具有比 TAF 混合料更为优异的低温柔韧性,可以承受更高的极限应变,而采用环氧树脂 I 制备的混合料低温性能较差。

表 2 环氧沥青混合料的 -10°C 低温小梁试验结果

种类	混合料 A	混合料 B	混合料 C	混合料 D	TAF
抗弯拉强度/MPa	32.59	29.13	26.98	25.02	26.81
弯拉应变/ $\mu\epsilon$	3581.55	3306.23	5316.14	5043.08	4919.38
劲度模量/MPa	9099.68	8811.56	5074.30	4960.60	5887.56

2.1.4 水稳定性能分析

环氧沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度图见图 4。从图可以看出,5 种混合料的残留稳定度均大于 90%,冻融劈裂强度比均大于 85%,且值较为接近,说明不同配方条件下制得的环氧沥青混合

料均具有优异的水稳定性能,能有效抵抗水的侵蚀破坏,完全能达到 TAF 环氧沥青混合料的技术标准,混合料 D 的残留稳定度为 93.7%,冻融劈裂强度比为 87.9%。

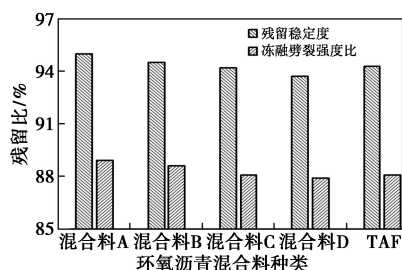


图 4 环氧沥青混合料的残留稳定度和冻融劈裂强度图

综上所述,研究发现,混合料 A 和混合料 C 的性能分别优于混合料 B 和混合料 D,这表明环氧树脂用量较高条件下,混合料具有更优的路用性能。混合料 C 和混合料 D 的低温性能分别优于混合料 A 和混合料 B,而马歇尔性能和高温性能则反之。另一方面,在环氧树脂用量为 40% (wt, 质量分数,下同),混合料的各项性能也均满足要求,考虑到经济成本等因素,推荐混合料 D 配方或混合料 B 配方,即基质沥青与环氧树脂 II (或环氧树脂 I) 的质量配合比为 6:4。

2.2 环氧树脂粘结剂性能研究

2.2.1 拉伸性能分析

环氧树脂粘结剂的拉伸性能见表 3。从表 3 可知,自制环氧树脂粘结剂的拉伸性能均满足要求,其中环氧树脂粘结剂 I 拉伸强度更高达到 10.5 MPa,环氧树脂粘结剂 II 的拉伸强度为 5.6 MPa;环氧树脂粘结剂 II 断裂伸长率更大达到 136.0%,环氧树脂粘结剂 I 的断裂伸长率为 32.0%。总体而言,环氧树脂粘结剂 II 的拉伸性能接近于 TAF 环氧黏层油。

表 3 环氧树脂粘结剂的拉伸性能

环氧树脂粘结剂种类	拉伸强度(23℃)/MPa	断裂伸长率(23℃)/%
环氧树脂粘结剂 I	10.5	32.0
环氧树脂粘结剂 II	5.6	136.0
TAF 环氧黏层油	2.2	230.0

2.2.2 高温耐热性分析

环氧树脂粘结剂的高温耐热性见表 4。从表 4 可知,环氧树脂粘结剂 II 略粘手,TAF 环氧黏层油为粘手、略流淌,自制环氧树脂粘结剂具有比 TAF 环

氧黏层油更佳的高温耐热性。

表 4 环氧树脂粘结剂的高温耐热性

环氧树脂粘结剂种类	高温耐热性(180℃, 2h)
环氧树脂粘结剂 I	无粘手、起泡、流淌
环氧树脂粘结剂 II	略粘手
TAF 环氧黏层油	粘手、略流淌

2.2.3 低温柔韧性分析

环氧树脂粘结剂的低温柔韧性见表 5。从表 5 可知,环氧树脂粘结剂 II 的低温柔韧性有一定柔度,弯曲时有微小裂纹,优于环氧树脂粘结剂 I,基本达到 TAF 环氧黏层油的技术标准。

表 5 环氧树脂粘结剂的低温柔韧性

环氧树脂粘结剂种类	低温柔韧性(-10℃, 2h)
环氧树脂粘结剂 I	有相应柔度,弯曲时脆裂
环氧树脂粘结剂 II	有一定柔度,弯曲时有微小裂纹
TAF 环氧黏层油	弯曲保持完好

2.2.4 粘结性能分析

粘结层是加强铺装层与钢桥面板及铺装上面层与铺装下面层粘结的关键^[11],因此其必须具有优良的粘结性能。

(1)与钢板间粘结强度。环氧树脂粘结剂与钢板的粘结强度见表 6。从表 6 可知,同一试验温度条件下,环氧树脂粘结剂 II 与钢板的粘结强度>环氧树脂粘结剂 I>TAF 环氧黏层油;在 25℃ 条件下,环氧树脂粘结剂 II 粘结剂与钢板的粘结强度为 6.30 MPa,而且 3 种粘结剂与钢板的粘结强度均大于 5.0 MPa,均满足规范要求。随着温度升高,3 种环氧粘结剂的粘结强度都逐渐降低,且温度越高,粘结强度越接近,表明 3 种环氧粘结剂的粘结性能受温度的影响是基本一致的。

表 6 环氧树脂粘结剂与钢板的粘结强度

环氧树脂 粘结剂种类	粘结强度/MPa		
	25℃	40℃	60℃
环氧树脂粘结剂 I	6.14	4.56	3.43
环氧树脂粘结剂 II	6.30	4.60	3.52
TAF 环氧黏层油	5.79	3.71	2.26

(2)铺装层和钢板间粘结强度。环氧沥青混凝土与钢板的粘结强度见表 7。从表 7 可知,同一温度条件下,环氧沥青混合料 II 与钢板的粘结强度高

于环氧沥青混合料 I 和 TAF 环氧沥青混合料,在 25℃ 条件下,环氧沥青混合料 II 铺装层与钢板的粘结强度为 3.41MPa,而且不同铺装体系与钢板的粘结强度均大于 3.0MPa,远远超过规范要求 ($>1.5\text{MPa}$);在温度升至 60℃ 条件下,3 种环氧沥青混合料与钢板的整体粘结强度接近,且均高于 1.0MPa。

表 7 环氧沥青混凝土与钢板的粘结强度

环氧树脂 粘结剂种类	粘结强度/MPa		
	25℃	40℃	60℃
环氧树脂粘结剂 I	3.19	1.97	1.20
环氧树脂粘结剂 II	3.41	2.16	1.23
TAF 环氧黏层油	3.08	1.86	1.15

(3)铺装组合结构层间粘结强度。双层环氧沥青混凝土层间的粘结强度见表 8。从表 8 可知,在同一温度条件下,双层环氧沥青混合料 II 的层间粘结强度最大,双层环氧沥青混合料 I 和双层 TAF 环氧沥青混合料的层间粘结强度基本相同,在 25℃ 条件下,环氧沥青混合料 II 的铺装组合结构层间粘结强度为 3.33MPa。

表 8 双层环氧沥青混凝土层间的粘结强度

环氧树脂 粘结剂种类	粘结强度/MPa		
	25℃	40℃	60℃
环氧树脂粘结剂 I	3.19	1.63	1.08
环氧树脂粘结剂 II	3.33	1.71	1.10
TAF 环氧黏层油	3.12	1.58	1.07

综合考虑粘结层及铺装层的整体粘结强度,3 种环氧粘结剂均具有较高的粘结强度。研制的环氧树脂粘结剂的粘结性能良好,可满足工程需要。

3 结论

(1)成功研发了新型钢桥面铺装用热拌类环氧沥青混合料及相匹配的环氧树脂粘结剂。混合料 A 具有最优的马歇尔性能和高温性能,混合料 C 则具有最佳的低温性能,不同配方的环氧沥青混合料的水稳定性差异不大,能有效抵抗水的侵蚀破坏。

考虑到经济成本,建议选择配方 D 或配方 B。研制的环氧沥青混合料具有与日本 TAF 环氧沥青混合料同样优异的路用性能,可满足工程需要。

(2)制得的环氧树脂粘结剂具有优异的综合性能。制得的环氧树脂粘结剂 II 的拉伸强度为 5.6MPa,断裂伸长率达到 136.0%,在 25℃ 条件下,环氧树脂粘结剂 II 与钢板的粘结强度为 6.30MPa,铺装层与钢板的粘结强度为 3.41MPa,铺装组合结构层间粘结强度为 3.33MPa,其粘结性能甚至优于日本 TAF 环氧黏层油,能很好与自制环氧沥青混合料铺装体系相匹配。

参考文献

- [1] Ai C, Rahman A, Wang F, et al. Experimental study of a new modified waterproof asphalt concrete and its performance on bridge deck[J]. Road Materials & Pavement Design, 2017, 18(2): 270-280.
- [2] 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 & Building Materials, 2016, 114: 851-863.
- [3] 晏永, 郭大进, 封基良, 等. 钢桥铺装用环氧沥青的研究现状及展望[J]. 公路交通科技, 2016, 33(9): 69-77.
- [4] 郝增恒, 李璐, 盛兴跃, 等. 基于高温固化的环氧沥青开发及性能表征[J]. 化工新型材料, 2017, 45(10): 208-210, 214.
- [5] 王建伟, 于力, 罗桑. 南京长江第二大桥环氧沥青混凝土铺装服役 13 年回顾[J]. 公路, 2015(8): 37-40.
- [6] 黄明. 环氧沥青混合料的疲劳行为研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2016, 35(1): 46-50.
- [7] 王中文, 曾利文. TAF 环氧沥青混合料的施工控制[J]. 公路交通科技, 2013, 30(1): 12-16.
- [8] 刘晓文, 张肖宁. 日本 TAF 环氧沥青混凝土在桥面铺装中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2010, 27(1): 69-71.
- [9] 任艳, 刘细军. 不同钢桥面铺装黏结层材料性能研究[J]. 石油沥青, 2014, 28(4): 25-28.
- [10] 孟令国, 江瑞龄, 祝争艳. 桥面防水粘结材料的性能对比研究[J]. 森林工程, 2016, 32(3): 73-75.
- [11] 徐伟, 黄红明, 周源, 等. 新型环氧沥青混合料(N-EA)和粘结剂性能试验评价研究[J]. 公路工程, 2014, 39(1): 50-53.

收稿日期: 2018-05-23

修稿日期: 2019-08-28