

基于对比试验的辉绿岩环氧 沥青混合料路用性能分析

王 汇 钱振东 陈磊磊

东南大学, 智能运输系统研究中心, 南京 210096

摘 要: 为了研究辉绿岩集料在国产环氧沥青钢桥面铺装工程中的适用性, 本文对辉绿岩国产环氧沥青混合料的强度、高温稳定性、水稳定性和抗滑性能进行了系统的室内试验研究, 并与玄武岩混合料的性能进行对比。同时, 对比分析了两种环氧沥青混合料的初期建设费用, 评价了两种混合料的经济性。结果表明: 两种混合料的路用性能接近, 辉绿岩混合料在高温稳定性、抗滑性方面略优于玄武岩混合料, 且使用辉绿岩集料能减少近 25% 的初期投资。

关键词: 辉绿岩; 玄武岩; 国产环氧沥青; 路用性能; 经济性分析

中图分类号: U414.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2011)01-0114-06

Pavement Performance of Diabase Epoxy Asphalt Mixture Based on Comparative Experiments

WANG Hui QIAN Zhen-dong CHEN Lei-lei

Intelligent Transportation System Research Center,

Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: To research the applicability of the domestic epoxy asphalt concrete (DEAC) with diabase aggregates in steel deck pavement projects, the strength, high temperature stability, water stability and anti-slide performances of DEAC mixed with diabase were tested by systematic laboratory experiments and compared with the performance of basalt mixture. Meanwhile, economy of two epoxy asphalt mixtures was evaluated by calculating the initial construction costs of the mixtures. The results showed that the two mixtures had close properties, while the high temperature stability and anti-slide performance of

收稿日期: 2010-01-28.

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-08-0118) 和教育部博士点基金 (20090092110049)。

作者简介: 王 汇 (1987-), 男, 江苏南通人, 东南大学交通学院硕士研究生, 研究方向为道路与铁道工程。

the diabase mixture was a little superior to the basalt one. It was also concluded that using diabase aggregates could save approximately 25% of the initial investment.

Key words: Diabase, basalt, domestic epoxy asphalt, pavement performance, economic analysis

0 引 言

自南京第二长江大桥以来,我国引入了环氧沥青材料,用于大跨径正交异性钢桥面板的铺装^[1]。此后,东南大学桥面铺装课题组又自主研发了国产环氧沥青系列产品,并相继成功应用于武汉天兴洲公铁两用长江大桥、上海长江大桥等重大工程。在这些桥面铺装工程中,采用的集料均为玄武岩。由于各号料有严格的质量要求,且在生产的各环节都进行了实时监控,因而玄武岩集料的性能非常优异。但玄武岩集料加工的要求极高,且常需要远距离调运,使生产和运输各个环节的成本大大增加^[2]。

与玄武岩相似,辉绿岩也是一种上等的建筑石料和铸石原料。辉绿岩在我国境内分布较广,开采方便且价格低廉,在钢桥面环氧沥青混合料中使用辉绿岩集料不仅能够解决铺装层料源缺乏的现状,使集料的类型多样化,也有利于减少初期投入,降低工程成本。德国对辉绿岩的应用较多,其 ZTV 沥青规范^[3]就推荐使用辉绿岩作为沥青路面上面层的矿物集料。我国对辉绿岩的研究相对较少,在国内钢桥面环氧沥青铺装中,仅有极少数工程应用了辉绿岩集料。广东湛江海湾大桥^[4]采用美国 ChemCo Systems 公司的环氧沥青以及深圳产辉绿岩碎石进行铺装,生产出的混合料性能良好。欧阳杨^[5]在对美国环氧沥青和日本 TAF 环氧沥青进行对比研究

时亦采用了辉绿岩集料,且发现满足技术要求的不同集料对混合料力学性能指标的影响不大。

本文借鉴玄武岩集料在国产环氧沥青混合料中应用的成功经验,在原材料试验及混合料配合比设计的基础上,对辉绿岩及玄武岩环氧沥青混合料的路用性能进行对比试验研究,并简要分析两种混合料的经济性,以探究辉绿岩集料用于国产环氧沥青钢桥面铺装的可行性。

1 试验材料与准备

1.1 集料基本性能

辉绿岩与玄武岩同属于岩浆岩,主要由硅酸盐物质组成。辉绿岩大多是浅成层侵入岩,主要由普通辉石与基性斜长石组成,致密块状构造,全晶质细至中粒结构,耐久性好、韧性高,具有较高的耐酸性;玄武岩属基性喷出岩,成分以辉石和斜长石为主,细粒或斑状结构,硬度高、脆性大,抗风化性较强。两种石料中二氧化硅的含量均在 52%以下,属于基性岩。

钢桥面铺装对集料的要求较高,集料应采用洁净、干燥、坚硬、耐磨的非酸性矿料,表面 100%为破碎面,形状以立方体为主。本研究选用浙江湖州辉绿岩和江苏句容花山玄武岩进行对比试验,试验结果及技术标准如表 1 所示。

表 1 辉绿岩与玄武岩集料基本性能参数

Tab.1 Basic performance parameters of the diabase and basalt aggregates

技术指标	辉绿岩	玄武岩	技术要求	试验方法
洛杉矶磨耗率/(%)	13.2	11.5	≤22.0	JTG E42—2005 (T0317—2005)
压碎值/(%)	9.3	8.9	≤12	JTG E42—2005 (T0316—2005)
吸水率/(%)	0.66	1.08	≤1.5	JTG E42—2005 (T0304—2005)
粘附性/级	4	4	≥4	JTJ058—2000 (T0616—1993)
针片状含量/(%)	4.7	1.3	≥5	JTG E42—2005 (T0312—2005)
表观密度/ (g/cm ³)	1# 2.768 2# 2.767	2.924 2.983	≥2.65	JTG E42—2005 (T0304—2005)

考虑到钢桥面铺装的使用条件和要求比高速公路更为严格, 研究中对集料采用了更高的技术标准^[6]。由试验可知, 辉绿岩与玄武岩集料的洛杉矶磨耗率和压碎值相近且远小于要求值, 可见两种集料都具有较高的力学强度。此外, 两种集料结构致密、颗粒形状良好, 且都与沥青有较好的粘附性。同时, 辉绿岩的密度小于玄武岩, 在钢桥面上使用辉绿岩集料进行铺装有利于减轻桥梁的恒载。

1.2 国产环氧沥青的基本性能

本研究选用的钢桥面用国产环氧沥青由两组分组成: 组分 A (环氧树脂) 和组分 B (一种由石油沥青和固化剂组成的匀质合成物)。这两组分经过复杂的化学改性所得的混合物即为环氧沥青。国产环氧沥青的试验结果及技术标准如表 2 所示。

表 2 国产环氧沥青的基本性能参数

Tab. 2 Basic performance parameters of the domestic epoxy asphalt

技术指标	试验结果	技术要求	试验方法
质量比 (A:B)	100:290	100:290	—
拉伸强度 (23℃, MPa)	3.30	≥1.5	ASTM D 638
断裂时的延伸率 (23℃, %)	226.52	≥200	ASTM D 638
粘度增至 1000mPa·s 的时间 (120℃, min)	53.5	≥40	JTJ052-2000

1.3 国产环氧沥青混合料配合比设计

本研究结合我国技术规范及相关工程经验, 选用东南大学桥面铺装课题组提出的级配方案^[7]进行试验。两种国产环氧沥青混合料的级配设计如表 3 所示。

表 3 国产环氧沥青混合料级配设计

Tab. 3 Gradation design of the domestic epoxy asphalt mixture

参 数	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率/ (%)									
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
级配范围	100	95~100	65~85	50~70	39~55	28~40	21~32	14~23	7~14	
合成级配	辉绿岩	100	97.7	75.2	60.4	47.5	34.0	26.3	18.4	10.5
	玄武岩	100	97.4	74.5	59.6	46.8	33.7	26.1	18.8	10.4

采用马歇尔试验方法确定混合料的最佳沥青用量。以固化试件的试验结果初拟混合料的最佳油石比, 并用未固化试件进行验证, 最后确定辉绿岩环氧沥青混合料的最佳油石比为 6.8%, 玄武岩混合料的最佳油石比为 6.6%。

2 辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料性能对比研究

在本研究中, 采用了马歇尔试验、车辙试验、抗滑性试验等室内试验, 综合对比两种国产环氧沥青混合料的力学性能、高温稳定性、水稳定性以及抗滑稳定性, 研究两种混合料路用性能上的差异。

2.1 混合料强度性能

沥青混合料的强度指标主要采用马歇尔稳定度

进行评价。试验分两组进行, 一组在 25℃ 常温下静置 24h, 另一组在 120℃ 高温下固化 5h。在试件完成各自相应条件下的养护后进行马歇尔试验, 测定试件的马歇尔稳定度与流值, 结果如表 4 所示。

表 4 辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料马歇尔试验结果比较

Tab. 4 Comparison of Marshall test results between the diabase and basalt epoxy asphalt mixture

技术指标	技术要求	辉绿岩	玄武岩
油石比 (%)	—	6.8	6.6
毛体积密度 (g/cm ³)	—	2.439	2.569
空隙率 (%)	1.5~3.0	2.8	2.5
稳定度 (kN)	固化	≥40	47.25
	未固化	≥5	8.37
流值 (0.1mm)	固化	20~50	43.60
	未固化	20~50	26.10

试验结果表明,辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料在未固化及固化条件下的稳定度、流值均符合相应的技术要求。使用辉绿岩集料虽然使混合料的油石比增加了 0.2%,但在各自最佳油石比时,两种混合料的马歇尔稳定度十分接近,可见采用辉绿岩并未对国产环氧沥青混合料的强度性能产生明显影响。同时,辉绿岩混合料的毛体积密度比玄武岩混合料减小了约 5%,这有利于减轻混合料自重、降低桥梁的二期恒载。

2.2 混合料的高温稳定性

日本 Kenji Himeno 等学者对东京都市圈的 50 多座大跨径钢桥进行调查,发现车辙是大跨径钢桥桥面铺装破坏的主要类型之一^[8]。由于我国高等级公路、城市道路、桥面道路等分车道渠化交通,交通量大且重载、超载车辆多,车辙也已成为路面破坏的主要形式之一。对于钢桥面铺装,在夏季高温季节时,桥面钢板的最高温度更可达 70℃,为此,分别对两种国产环氧沥青混合料进行 60℃和 70℃条件下的车辙实验,以评价其高温性能。

车辙试验的试件为用轮碾法成型的标准车辙板,尺寸为 300mm×300mm×50mm。试验胶轮的接地压力为 0.7MPa,试验结果如表 5 所示。

目前,我国规范尚未对环氧沥青混合料的动稳定度提出明确的技术要求,参考我国的工程经验,分别选取 5000 次/mm (60℃) 和 3000 次/mm (70℃) 作为考察环氧沥青混合料高温稳定性的指标^[9]。由试验结果可以看出,辉绿岩环氧沥青混合料的动稳定度略

表 5 辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料车辙试验结果比较

Tab.5 Comparison of the rutting test results between the diabase and basalt epoxy asphalt mixtures

集料类型	60℃动稳定度/70℃动稳定度/平均值(次/mm)		60℃ 70℃	
	(次/mm)	(次/mm)		
辉绿岩	18 229	17 504		
	18 417	17 916	18 146	17 756
	17 793	17 849		
玄武岩	18 202	17 487		
	17 816	17 928	18 037	17 682
	18 094	17 630		

高于玄武岩混合料,在两种温度条件下的平均值均超过了 17000 次/mm,远高于其技术要求。从试验后的试件来看,经过轮压后的车辙板几乎没有车辙痕迹,可见这两种国产环氧沥青混合料在高温条件下的变形量十分微小,高温性能良好。

2.3 混合料的水稳定性

对于钢桥面铺装来说,当铺装层发生水损害后,水分向下渗透,会影响粘结层与钢板的粘结性能,也容易使钢板锈蚀,因而钢桥面铺装对混合料的防水性能要求更高。本研究采用浸水马歇尔试验评价混合料的水稳定性。

准备两组同时成型且完全固化的试件进行浸水马歇尔试验,一组直接测定其马歇尔试验指标,另一组在 60℃恒温水槽中保温 48h 后测定,试验结果如表 6 所示。

表 6 辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料浸水马歇尔试验结果比较

Tab.6 Comparison of the TSR between the diabase and basalt epoxy asphalt mixture

集料类型	试件编号	未浸泡稳定度/kN	空隙率/(%)	浸泡稳定度/kN	流值/(0.1mm)	残留稳定度/(%)	技术要求
辉绿岩	1#	72.49	2.7	69.63	42.30	96.1	≥85
	2#		2.8	70.45	39.50	97.2	
玄武岩	1#	75.03	2.4	73.51	40.70	97.9	
	2#		2.6	71.84	38.10	95.7	

由表 6 可以看出,两种混合料浸水 48h 后的残留稳定度相近,都接近于 100%,说明两种混合料浸水后强度的减少量很小,基本没有发生侵蚀现象。

2.4 混合料表面抗滑性能

对于普通沥青混凝土路面,高温下的车轮作用会使骨料间的沥青结合料上移到路面表面,填平骨料间

的空隙，使路面的宏观构造变小。而环氧沥青混凝土是一种热固性材料，高温下只会变软不会流动。在通车后，矿料颗粒的表面会逐渐裸露，加之粗骨料间的结合料和细料被车轮带走，路面的宏观构造会逐渐增大。研究中采用摆式摩擦仪在车辙板上测定两种混合料不同条件下的摩擦系数，结果如表7所示。

表7 辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料摩擦系数试验结果比较

Tab.7 Comparison of the friction coefficient test results of the diabase and basalt epoxy asphalt mixture

集料类型	打磨状态	干湿状态	摆式仪读数				平均
			1	2	3	4	
辉绿岩	未经打磨	干	65	60	63	62	63
	打磨	湿	55	53	56	51	54
	经过打磨	干	64	66	68	65	66
	打磨	湿	56	57	54	59	57
玄武岩	未经打磨	干	57	62	60	59	60
	打磨	湿	55	50	50	52	52
	经过打磨	干	67	61	62	64	64
	打磨	湿	57	52	57	53	55

工程实例表明，由于桥址地区气候的差异、交通量组成的不同，各座采用环氧沥青进行铺装的大桥对混合料的抗滑性能也提出了不同要求。根据经验，一般要求铺装层实测的摩擦系数应 ≥ 45 ，这与我国的规范要求也是一致的。由表7可以看出，辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料的摩擦系数均大于50，且辉绿岩混合料的摩擦系数更大、抗滑性更好。同时，在经过打磨工序后，两种混合料的干、湿摩擦系数都有了不同程度的增加，可见在通车后环氧沥青混合料的抗滑性会进一步提高。

3 辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料的经济性分析

一般地，公路的建设成本除了初期的投资外，还应包含养护费用、改建费用以及道路使用者费用^[10]。根据美国沥青混合料路面的寿命经济分析，初期投资一般占总现值的65%~85%，路面修复占10%~30%，

路面养护占3%~5%，残值占1%~2%^[11]。

由于初期建设投资费用占到投资的一半以上，且辉绿岩与玄武岩国产环氧沥青混合料的路用性能接近，其后期修复、养护费用相差不大，故研究中仅对两种混合料的初期投资进行经济性分析。

辉绿岩环氧沥青混合料与玄武岩混合料相比，初期费用的差别主要是：环氧沥青用量差异产生的费用、辉绿岩及玄武岩集料的材料费。

现以修筑一段宽7.5m、长1000m的试验路为例，分别采用3cm厚的辉绿岩及玄武岩国产环氧沥青混合料进行铺筑。其中，国产环氧沥青原材料的价格为3万元/t，辉绿岩及玄武岩集料价格按60元/t和600元/t计。两种混合料的表现密度、空隙率按马歇尔试件计，混合料的各项费用如表8所示。

表8 辉绿岩与玄武岩环氧沥青混合料费用

Tab.8 Costs of the diabase and basalt epoxy asphalt mixtures

集料类型	环氧沥青费用/万	集料费用/万	混合料总费用/万
辉绿岩	101.89	3.00	104.88
玄武岩	104.68	37.01	141.69

可以看出，两种混合料在国产环氧沥青上相差的费用很小，使用辉绿岩集料仅节约了2.7%的沥青费用。但由于辉绿岩集料低廉的价格，使混合料的总费用较玄武岩混合料减少了约25%，因而使用辉绿岩集料进行国产环氧沥青钢桥面铺装在经济上更具优势。

4 结 论

- (1) 辉绿岩集料与玄武岩集料的基本性能相近，均能满足钢桥面铺装的要求；
- (2) 在国产环氧沥青混合料中，采用辉绿岩集料时的最佳油石比为6.8%，玄武岩集料为6.6%；
- (3) 辉绿岩国产环氧沥青混合料表现出与玄武岩混合料十分接近的路用性能，在高温稳定性、抗滑性方面甚至优于玄武岩混合料；
- (4) 使用辉绿岩集料进行铺装，与玄武岩混合料

相比能减少约 25%的初期投资费用；

(5) 室内试验研究表明，将辉绿岩集料用于国产

环氧沥青混合料进行钢桥面铺装是可行的。

参考文献

- [1] 黄 卫, 钱振东, 程 刚, 杨 军. 大跨径钢桥面环氧沥青混凝土铺装研究[J]. 科学通报, 2002, 47 (24): 1894-1897.
- [2] 陈小周. 石灰岩在环氧沥青混凝土中应用的研究[D]. 南京: 东南大学交通学院, 2005.
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen-und Verkehrswesen Arbeitsgruppe: Asphalt Straßen. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt[S]. Köln: Bundesministerium für verkehr, 2001.
- [4] 张粤生. 环氧沥青混凝土在湛江海湾大桥钢桥面铺装中的应用[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2007.
- [5] 欧阳杨. 大跨径钢箱梁桥面铺装环氧沥青混合料性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
- [6] 黄卫. 大跨径桥梁钢桥面铺装设计理论与方法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [7] Qian Zhendong, Luo Sang, Wang Jianwei. Laboratory evaluation of epoxy resin modified asphalt mixtures[J]. Journal of Southeast University(English Edition), 2007, 23 (1): 117-121.
- [8] Kenji Himeno, Tatsuo Nishizawa. Longitudinal surface cracking in asphalt pavements on steel bridge decks related to dissipated energy[D]. Department of Civil Engineering, Chuo University, 2002.
- [9] 吉林, 李洪涛. 大跨径钢箱梁悬索桥环氧沥青混合料铺装技术[J]. 公路, 2005, (11): 74-76.
- [10] 李志刚, 邓学钧, 洪峰. 高速公路沥青路面使用性能评价模型的探讨[J]. 公路交通科技, 2000, (5): 42-47.
- [11] Mark Buncher. Life cycle cost analysis of engineered pavements understanding the true costs and saving with modified binders[C]. Kansas: AMAP Annual Meeting, 2005, (2)

(中文编辑: 刘娉婷)

上接第 106 页

- [3] Nishizawa T., et al. Fatigue analysis of asphalt pavements with thick asphalt mixture layer[C]. ISAP 8th Conferences. Seattle, U.S.A., 1997.
- [4] 李福普, 陈 景, 严二虎. 新型沥青路面结构在我国的应用研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23 (3): 10-14.
- [5] 冯治安, 王选仓, 李国胜等. 长寿命路面典型结构研究、设计与施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [6] 舒富民. 复合式基层长寿命沥青路面结构与材料研究[D]. 南京: 东南大学, 2007.
- [7] 张 阳. 基于半刚性材料的长寿命路面初步分析与试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学 2005.
- [8] 葛折圣, 黄晓明, 龚英安. 沥青稳定基层疲劳试验荷载控制模式选择[J]. 公路交通科技, 2002, 19 (5): 32-34.
- [9] 刘卫平, 曾雪芳, 邵显智. 厚层沥青混凝土路面弯沉修正系数研究[J]. 公路, 2005(8):247-249.
- [10] 胡春华, 孙立军. 沥青路面弯沉修正系数研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(9):66-69.
- [11] 聂忆华, 张起森. 全厚式沥青路面结构弯沉设计指针研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(2):5-10.
- [12] 任瑞波, 张英亮, 姜艳玲. 具有柔性基层(级配碎石)的半刚性沥青路面设计方法的研究[J]. 山东建筑工程学院学报, 2005, 20(2):27-30.
- [13] 平树江, 申爱琴, 李 鹏. 长寿命沥青混合料疲劳极限研究[J]. 中国公路学报, 2009, 22(1):34-38.
- [14] 舒 俊, 安景峰, 陈李峰等. 高速公路新型沥青路面造价分析[J]. 现代交通技术, 2005, 2(6):8-12.

(中文编辑: 吴继屏)