

doi: 10.3969/j.issn.1672-4348.2017.01.004

厦门 BRT 路面养护施工方案研究

许旺土¹, 黄乙纯^{1,2}, 吴晚霞², 程棋锋²

(1. 厦门大学 建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005; 2. 合诚工程咨询集团股份有限公司, 福建 厦门 361009)

摘要: 以厦门 BRT 路面施工养护为例, 分析研究传统 BRT 路面养护施工方案的不足之处, 进而从设计、施工等方面对传统的 BRT 路面养护施工方案进行优化处理, 提出新的 BRT 路面养护施工方案, 并在试验段进行应用。分析优化后的 BRT 路面养护施工方案在试验段的应用效果, 将该施工方案推荐到整个 BRT 路面施工养护工程中。最后, 以厦门 BRT 路面工程为例, 得出 BRT 路面的病害防治应综合考虑设计与施工, 严格控制施工质量的结论。

关键词: 交通工程; BRT 路面; 养护施工; 病害防治

中图分类号: U491.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2017)01-0015-06

Study on construction scheme of BRT pavement maintenance in Xiamen

Xu Wangtu¹, Huang Yichun^{1,2}, Wu Wanxia², Cheng Qifeng²

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Holsin Engineering Consulting Co., Ltd., Xiamen 361009, China)

Abstract: Taking the construction maintenance of Xiamen BRT road as an example, the deficiencies in the traditional BRT pavement construction schemes were analysed. Then the BRT pavement construction schemes were optimized from the aspects of the design and construction. Moreover, a new BRT pavement construction scheme was proposed, which was applied in a test section of a pavement maintenance project. After analysing the optimized effect of the BRT pavement maintenance scheme in the test section, the construction scheme was extended to the whole BRT pavement maintenance project. The results confirm that the design and construction of the pavement should be considered integrally to ensure the disease prevention and control of the BRT road surface and to guarantee a strict control of the construction quality.

Keywords: traffic engineering; BRT road surface; maintenance construction; deficiency prevention

快速公交系统(bus rapid transit, BRT)是一种介于快速轨道交通(rapid rail transit, RRT)与常规巴士公交(normal bus transit, NBT)之间的中型客运量公共交互系统。它利用传统巴士公交技术配合智能交通和运营管理, 开辟专用车道和新式停靠车站, 实现便捷优化的运营服务, 达到有轨电车

服务水准的一种独特的城市客运系统^[1]。

自 2000 年以来, BRT 系统作为城市骨干公交在全国 20 多个城市被引进^[2]。15 年后, 由于缺少恰当的运营管理经验和养护操作水平, 拥有 BRT 的城市在养护管理上面临专项资金不足和材料性能不好等问题。当前, 国际上对 BRT 的研

收稿日期: 2016-12-08

基金项目: 厦门市科技局项目(3502Z20153001)

通讯作者: 许旺土(1981-), 男, 福建漳州人, 博士, 副教授, 研究方向: 交通工程设施监测与维护。

究大多局限于规划设计、土地利用、经营业务管理和客流分析模型设计等方面^[2]。有关 BRT 设施设备养护研究还相对较少。

作为中国 BRT 的典型代表,厦门市 BRT 是全国唯一全程高架的 BRT 系统,目前承担运送乘客繁重任务(日客流达到 30 万人次),高峰期列车化现象严重。厦门快速公交 2008 年 9 月 1 日开通,随着客流量、运营车辆班次的增加,专用车道路面承载着巨大的压力,全线已出现多处的病害,且呈逐渐增长之势,对车辆运行的效率造成严重影响,带来极大的安全隐患^[3]。本文以厦门 BRT 路面的施工及养护为例,分析传统施工养护方案的不足及路面产生病害的原因,提出新的 BRT 路面施工养护方案,并在试验段进行应用,通过 BRT 试验段运营养护的试验数据,提出新型高效的 BRT 系统路面养护施工方案和材料使用配比方案。

1 BRT 路面传统养护施工方案及不足之处

1.1 原设计情况

厦门市 BRT 原设计采用沥青混凝土结构。区间段路面采用抗滑性能较好的 OGFC 材料(沥青玛蹄脂混合物);车站段采用抗疲劳、抗磨损性能较好的 SMA(沥青玛蹄脂碎石混合物)^[4]。厦门 BRT 不同主体结构部位的材料原设计方案如下所述:

区间段 1:桥面铺装结构 I-1(适合钢箱梁)使用 4 cm 的 OGFC-13(SBS 改性沥青,添加矿物纤维)、改性乳化沥青黏层油加入 4 cm 的 AC-16C 以及 DPS(深渗透结晶型防水材料)防水层;

区间段 2:桥面铺装结构 I-2(适合混凝土箱梁)使用 4 cm 的 OGFC-13(SBS 改性沥青,添加矿物纤维)加上改性乳化沥青黏层油和 6 cm 的 AC-16C 和 DPS 防水层;

车站段:使用 4 cm 的 SMA13(SBS 改性沥青,添加矿物纤维)加入 6 cm 的 AC-16C(SBS 改性沥青,添加矿物纤维)以及 DPS 防水层

集美大桥段:使用 4 cm 的 SMA-13;中面层使用 6 cm 的 AC-20 沥青混凝土,下面层使用 3 cm 的找平层,以及 AC-10 细粒沥青混凝土和一层防水剂。

1.2 传统养护施工方案及不足之处

传统方案是铣刨损坏区域上面层,清除废料后直接摊铺新的沥青混合料^[5-8]。

1) 对原水泥钢筋混凝土桥面进行铣刨拉毛或机械凿毛(1 cm 深);

2) 工作面清扫、空压机吹尘(确保干净、干燥);

3) 喷洒黏结层(材料为 SBR 丁苯橡胶改性乳化沥青,洒布量为 1.5 kg/m²);

4) 机械施工底层沥青钢筋混凝土(材料为 6 cm 改性 SMA-16 并掺入 0.5% 抗车辙剂);

5) 喷洒黏结层(材料为 SBR 改性乳化沥青,洒布量为 1.2 kg/m²);

6) 机械施工上层沥青混凝土(材料为 4 cm 的 SMA-13 掺 0.5% 抗车辙剂)。

这种养护施工步骤和材料使用方案的缺陷是:原沥青损坏区域下面层已经破坏,难以承受车轮荷载;上面层重新翻铺后,表面修复,下面层承载力不足,导致对病害的控制治标不治本,往往刚铺不久就出现各类病害。

原翻修路面除上面层铣刨处理外,其余也有部分全厚度铣刨。但这部分原施工方案中并未分层摊铺,而是全厚度采用 SMA-13 整层摊铺。原沥青层厚度为 10~13 cm,材料 SMA-13 的结构层适宜压实厚度 3.5~6 cm。这种做法必然导致沥青压实度不足。以致后续出现波浪、开裂、推移等各类病害。

2 BRT 路面养护施工方案的改善及优化

2.1 结构层设计

由于 BRT 路面的面层直接承受车轮荷载反复作用和自然因素影响,要有足够的承载力承担设计期内累计轴载次数,并能够限定车辙发展深度。因此要合理选用技术参数,在原设计的基础上,对 BRT 路面材料结构设计进行优化。厦门市 BRT 养护过程中采用的试验段上的具体养护材料方案设计如下:

集美大桥段:结构方案为防水黏接层,以及 9 cm AC-25(0.3% AR-I 沥青抗剥落剂+0.3% 抗车辙剂)并加入改性乳化沥青黏层油,及 4 cm 的 SMA-13(SBS 改性沥青,同时使用 0.3% 的 AR-I 沥青抗剥落剂和 0.3% 抗车辙剂),并进行相关室

内试验。

车站段: 上面层采用的材料为 SMA, 下面层采用的主要材料为 AC-16。养护材料方案为 4 cm 的 SMA-13(0.3% AR-I 沥青抗剥落剂, 加入 0.3% 抗车辙剂) 和改性乳化沥青黏层油, 同时掺入 6 cm 的 AC-16(SBS 改性沥青, 0.3% AR-I 沥青抗剥落剂 + 0.3% 抗车辙剂) 和 SBS 防水黏接层。

2.2 施工控制

除了在结构设计方面进行优化外, 为确保施工养护质量, 需要对施工工艺进行严格控制, 分层摊铺, 分层碾压, 保证压实度。层与层中间设黏层, 每道工序完整到位, 并且组织严密。施工工艺流程如下:

对原水泥混凝土桥面进行铣刨拉毛或机械凿毛→工作面清扫、空压机吹尘→喷洒黏结层(快裂撒布型乳化沥青) →施工底层沥青混凝土→喷洒黏结层→施工上层沥青混凝土等每道工序的合理安排及时间控制。

3 优化后养护施工方案试验段应用

3.1 沥青混合料配合比

3.1.1 集美大桥段沥青混合料配合比

AC-25C 试验段采用的目标配合比:

集料比例为: 1#(19~28 mm)、2#(15~19 mm)、3#(10~15 mm)、4#(5~10 mm)、5#(0~5 mm), 以及矿粉之间的配合比例为: 17: 18: 15: 15: 33: 2;

经各项指标检测调整后, 下面层 AC-25C 沥青混凝土生产配合比:

热仓矿料比例为: 1#热仓料(120~26.5 mm)、2#热仓料(15~20 mm)、3#热仓料(10~15 mm)、4#热仓料(5~10 mm)、5#热仓料(0~5 mm), 以及矿粉之间的配合比例为: 17: 18: 13: 15: 33: 4; 最佳沥青用量为 4.02, 即最佳油石比为 4.2%。

马歇尔试验依据规范《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20-2011^[9] 结果见表 1。

表 1 AC-25C 沥青混凝土马歇尔试验结果

Tab.1 Michael test result of AC-25C asphalt concrete

试验项目	试验结果	标准值	试验项目	试验结果	标准值
毛体积相对密度	2.354	—	稳定度/kN	12.33	≥8.0
空隙率/%	5.2	3~6	流值/mm	3.2	1.5~4.0
矿料间隙率/%	19.8	≥12.0	飞散试验/%	—	—
饱和度/%	73.3	65~75	析漏试验/%	—	—

SMA-13 试验段采用的目标配合比:

以 5.9%(油石比 6.3%) 作为目标配合比最佳沥青用量; 1#(10~15 mm) 混合料、2#(5~10 mm) 混合料、3#(0~5 mm) 以及矿粉之间的配合比例为 45: 35: 10: 10; 各项指标检测调整后, 下面层 SMA-13 沥青混凝土生产配合比:

热仓矿料比例为: 1#热仓料(10~15 mm)、2#热仓料(5~10 mm)、3#热仓料(0~5 mm)、矿粉之间的配合比例为 30: 48: 12: 10; 最佳沥青用量为 5.9, 即最佳油石比为 6.3%。马歇尔试验依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20-2011^[9], 试验结果见表 2。

表 2 SMA-13 沥青混凝土马歇尔试验结果

Tab.2 Michael test result of SMA-13 asphalt concrete

试验项目	试验结果	标准值	试验项目	试验结果	标准值
毛体积相对密度	2.478	—	稳定度/kN	11.95	≥5.0
空隙率/%	4.2	3~5	流值/mm	3.23	2.0~5.0
矿料间隙率/%	17.5	≥17.0	飞散试验/%	—	—
饱和度/%	76.0	65~85	析漏试验/%	—	—

3.1.2 车站段沥青混合料配合比

SMA-13 试验段采用的目标配合比:

集料比例为 1#(10~15 mm) 集料、2#(5~10 mm) 集料、3#(0~5 mm): 以及矿粉之间的配合比例依次为 45:35:10:10

各项指标检测调整后,下面层 SMA-13 沥青混凝土生产配合比:

热仓矿料比例为:1#热仓料(10~15 mm)、2#热仓料(5~10 mm)、3#热仓料(0~5 mm) 以及矿粉为 30:48:12:10; 最佳沥青用量为 5.9, 即最佳油石比为 6.3%。马歇尔试验依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20-2011^[9], 结果见表 3。

表 3 SMA-13 沥青混凝土马歇尔试验结果

Tab.3 Michael test result of SMA-13 asphalt concrete

试验项目	试验结果	标准值	试验项目	试验结果	标准值
毛体积相对密度	2.486	—	稳定度/kN	11.62	≥5.0
空隙率/%	4.2	3~5	流值/mm	3.18	2.0~5.0
矿料间隙率/%	17.2	≥17.0	飞散试验/%	—	—
饱和度/%	75.7	65~85	析漏试验/%	—	—

AC-16C 试验段采用的目标配合比:

集料比例为 1#(10~15 mm) 集料、2#(5~10 mm) 集料、3#(0~5 mm) 集料, 以及矿粉为 48:20:29:3。

各项指标检测调整后,下面层 AC-16C 沥青混凝土生产配合比为:

1#热仓料(10~15 mm)、2#热仓料(5~10 mm)、3#热仓料(0~5 mm) 以及矿粉之间的配合比例依次为 40:20:35:5; 最佳沥青用量 3.9, 即最佳油石比为 4.7%。马歇尔试验依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20-2011^[8] 结果见表 4。

表 4 AC-16C 沥青混凝土马歇尔试验结果

Tab.4 Michael test result of AC-16C asphalt concrete

试验项目	试验结果	标准值	试验项目	试验结果	标准值
毛体积相对密度	2.342	—	稳定度/kN	11.57	≥8.0
空隙率/%	4.9	3~6	流值/mm	3.11	2.0~4.0
矿料间隙率/%	16.1	≥14.5	飞散试验/%	—	—
饱和度/%	69.3	65~75	析漏试验/%	—	—

3.2 试验段路面应用结果

试验段路面的应用结果以路面的平整度、渗水系数及抗滑性能作为评价依据。3 种性能的测试以《公路路基路面现场测试规程》JTG E60-

2008^[10] 为依据,以《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1-2004^[11] 为评定标准。

3.2.1 路面平整度

试验段路面平整度结果如表 5。

表 5 试验段沥青混凝土路面平整度

Tab.5 The smoothness of pavement road surface of a test section

路段	车道	实测最大间隙 平均值/mm	车道	实测最大间隙 平均值/mm	规范要求平整度 最大间隙/mm
集美大桥段	上行车道 1	1.9	下行车道 1	1.8	5
	上行车道 2	1.4	下行车道 2	1.1	
车站段	上行车道 1	1.8	下行车道 1	1.6	
	上行车道 2	1.3	下行车道 2	1.0	

从表 5 可知,试验段路面实测最大间隙平均值最大为 1.9 mm,最小为 1.0 mm,满足规范《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1-2004^[11]的

要求。

3.2.2 路面渗水系数

试验段路面渗水系数结果如表 6。

表 6 试验段沥青混凝土路面渗透系数

Tab.6 The infiltration coefficient of a test section of pavement maintenance

路段	车道	渗透系数/ (mL · min ⁻¹)	车道	渗透系数/ (mL · min ⁻¹)	规范要求渗透系数/ (mL · min ⁻¹)
集美大桥段	上行车道 1	50	下行车道 1	56	200
	上行车道 2	47.3	下行车道 2	27.3	
车站段	上行车道 1	56.7	下行车道 1	43.3	
	上行车道 2	26.7	下行车道 2	53.3	

由表 6 可知,试验段沥青混凝土路面的渗透系数均小于《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1-2004^[11]规定的要求,优化后的养护施工方

案在试验段应用效果良好。

3.2.3 路面抗滑性能

试验段路面抗滑性能试验结果如表 7。

表 7 试验段沥青混凝土路面抗滑性能

Tab.7 Anti-slipping property of pavement road surface of a test section

路段	车道	摩擦系数/ (mL · min ⁻¹)	构造深度/ mm	规范要求	
				摩擦系数/ (mL · min ⁻¹)	构造深度/mm
集美大桥段	上行车道 1	49	0.77	≥45	≥0.55
	上行车道 2	53	0.92		
	下行车道 1	49	0.82		
	下行车道 2	59	0.88		
车站段	上行车道 1	49	0.78	≥45	≥0.55
	上行车道 2	52	0.76		
	下行车道 1	54	0.80		
	下行车道 2	45	0.76		

由表 7 可知,试验段沥青混凝土路面的抗滑性能均满足《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1-2004^[11]规定的要求,优化后的养护施工方案在试验段应用效果良好。

综合分析可知,优化后的 BRT 路面养护施工方案在试验段应用后,BRT 路面的平整度、渗透系数、抗滑性能均满足规范规定的要求。试验段通车运营后,路面并未出现车辙、拥包、裂缝等病害现象,优化后的 BRT 路面养护施工方案可推广应用到整个 BRT 路面的养护施工中。

4 结论

基于研究的成果,提出如下可行的 BRT 路面病害防治措施:

- 1) BRT 养护材料需要进行合理的抗车辙设计;
- 2) 严格控制沥青混合料的级配;
- 3) 在沥青混合料中掺入优质的外加剂(抗剥落剂、抗车辙剂)增强沥青与集料(酸性石料)之间的黏附力及抗水损害的强度,延长路面的使用寿命;
- 4) 严格按设计设置排水纵横坡,有利于减轻

路面积水对 BRT 沥青路面造成的损害,最大程度减小病害的发生;

5) 为确保路面铺筑质量达到设计要求,在铺筑过程中应加强施工控制,严格控制施工工艺流程,分层摊铺、分层碾压,保证压实度;

6) 对车站整体结构优化设计及相配套的施工和材料配比方案进行深入分析,以保证整个 BRT 系统养护的低成本和高效率。

厦门作为全国最早建设 BRT 的城市之一,其独特的高架桥形式在全国属于首创,因此它的养护施工方案的研究对于全国各城市的 BRT 路面养护具有较高的借鉴意义与指导作用,具有广阔的应用前景。作者希望所提出的方案和施工流程可以为我国城市 BRT 养护成本节省和养护施工效率提高作出有意义的指导和示范。

参考文献:

- [1] 施有志,饶健辉. BRT 枢纽站屋顶停车场铺面病害及处治方案[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2010, 25(5): 95-99.
- [2] Wang Y, Ma X, Joyce M J. Reducing sensor complexity for monitoring wind turbine performance using principal component analysis[J]. Renewable Energy, 2016, 97: 444-456.
- [3] Deng T, Ma M, Wang J. Evaluation of bus rapid transit implementation in China: Current performance and progress[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2013, 139: 226-234.
- [4] 罗章华. 厦门 BRT 桥梁检查及病害探讨[J]. 福建建材, 2016(7): 36-37, 72.
- [5] 罗章华, 鲁耀刚, 许睦晖, 等. 基于统计易损性的厦门 BRT 桥梁抗震性能评估[J]. 福建交通科技, 2016(5): 57-59, 63.
- [6] 许银行, 黄又清. 武汉市雄楚大街快速公交 BRT 专用道路路面结构设计[J]. 中国市政工程, 2015(6): 4-6, 88.
- [7] 肖春. BRT 车站段桥面铺装病害的解决方案浅析[J]. 中国市政工程, 2015(5): 4-7, 93.
- [8] 梁小光. 防水黏结体系和弹性混凝土在 BRT 停泊位修复工程中的应用[J]. 公路, 2015(8): 235-9.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTGE. E 20—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [10] 交通部公路科学研究院. 公路路基路面现场测试规程: JTGE. E 60—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [11] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程质量检验评定标准: JTGF. 80/1—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

(责任编辑: 陈雯)