

港珠澳大桥钢桥面铺装方案比选及浇注式沥青混合料(GMA)标准化施工工艺控制

朱定, 李书亮

(港珠澳大桥管理局, 广东 珠海 519060)

摘要:港珠澳大桥钢桥面铺装工程规模巨大、施工环境复杂、质量要求高,为了保证钢桥面铺装质量和长寿命耐久性,选择适合该项目的钢桥面铺装方案和制定标准化施工工艺控制非常重要。对该项目的钢桥面铺装方案进行了深入调查和比选研究,优化了设计铺装体系,系统开展了材料检测、沥青混合料生产工艺试验,研发了一系列自动化机具,实施了多次试验段和首件制工程,实现了精细化施工过程质量控制。

关键词:港珠澳大桥; 钢桥面铺装; 方案比选; GMA; 标准化; 施工工艺

1 项目概况

港珠澳大桥跨越珠江口伶仃洋海域,东连香港、西接珠海、澳门,是世界级跨海交通工程,也是中国交通

运输史上里程最长、投资最多、技术最复杂、建设要求及标准最高、施工难度最大的集桥、岛、隧为一体的超大型交通集群工程。港珠澳大桥主体工程全长 29.6 km,其中钢桥面铺装长度为 15.8 km,铺装面积达到 50万 m²,是目前世界上最大规模的单体钢桥面铺装

应力构形迭代求解施工控制张拉力,该求解过程简单明确,且便于实现程序化自动调索计算,能够较好地满足设计及施工控制计算分析。

(2) 分析结果表明:该文方法分析出的施工控制张拉力计算成桥状态与设计成桥状态基本一致,其中成桥索力之间的误差均控制在 5%以内,该方法能够较好地计算出满足设计成桥状态的施工控制张拉力。

参考文献:

- [1] 淡丹辉,杨通.基于影响矩阵及粒子群算法的斜拉桥自动调索[J].同济大学学报:自然科学版,2013(3).
- [2] 贾丽君,肖汝诚,孙斌,等.确定斜拉桥施工张拉力的影响矩阵法[J].苏州城建环保学院学报,2000(4).
- [3] 冯仲仁,苗永慧,王雄江.确定斜拉桥施工索力的影响矩阵法[J].武汉理工大学学报,2012(2).
- [4] 叶梅新,韩衍群,张敏.基于 ANSYS 平台的斜拉桥调索方法研究[J].铁道学报,2006(4).
- [5] 杨炳成,孙明.斜拉桥索力的非线性优化倒拆分析[J].中国公路学报,1998(3).
- [6] 陈常松.超大跨度斜拉桥施工全过程几何非线性精细分

析理论及应用研究[D].中南大学博士学位论文,2007.

- [7] 颜东煌,陈常松,董道福,等.大跨度钢主梁斜拉桥的自适应无应力构形控制[J].中国公路学报,2012(1).
- [8] O'Brien T, Francis AJ. Cable Movements under Two-dimensional Loads [J]. Journal of Structural Division, ASCE, 1964, 90(ST3): 89-123.
- [9] O'Brien T. General Solution of Suspended Cable Problems [J]. Journal of Structural Division, ASCE, 1967, 93(ST1): 1-26.
- [10] Peyrot AH, Goulois AM. Analysis of Cable Structures [J]. Computers and Structures, 1979, 10: 805-813.
- [11] Jayaraman HB, Knudson WC. A Curved Element for the Analysis of Cable Structures [J]. Computers and Structures, 1981, 14(3/4): 325-333.
- [12] 梁鹏. 超大跨度斜拉桥几何非线性及随机模拟分析[D]. 同济大学博士学位论文, 2004.
- [13] 颜东煌,刘光栋.确定斜拉桥合理施工状态的正装迭代法[J].中国公路学报,1999(2).
- [14] 康春霞,杜仕朝,邬晓光.斜拉桥合理施工状态计算方法对比分析研究[J].铁道科学与工程学报,2017(1).

收稿日期:2018-08-10

作者简介:朱定,男,大学本科,高级工程师,E-mail:2688012@qq.com

工程项目。

2 钢桥面铺装方案比选

港珠澳大桥地处伶仃洋,桥区气候复杂多变,高温多雨,台风频发。钢桥面铺装方案的选择既要考虑当地环境气候影响、施工可控性,同时也需符合耐久性和后期运营维护的相关要求。笔者对中国主要钢桥面铺装方案的技术特点和使用状况进行了系统的调查分

析,参考桥区周边类似工程钢桥面铺装的实施经验,结合该项目的技术要求和特点,对钢桥面铺装方案进行了系统的分析和对比研究。

2.1 钢桥面铺装方案对比

目前中国运用较广的钢桥面铺装材料体系及其应用情况如表 1 所示。

从气候环境、抗干扰能力、大规模施工组织可行性、工期可靠系数、维修养护等方面分析典型钢桥面铺装的综合性能和适用性,进行综合评估。

表 1 中国主要钢桥面铺装方案的对比分析

铺装体系	典型组合结构	技术来源	技术特点	应用案例
环氧沥青 铺装体系 EA	双层 5.5~6 cm	美国温拌环氧	拌和温度 110~130 ℃	南京长江二桥、润扬长江大桥、苏通大桥等 黄冈长江大桥、上海长江大桥等 宁波大榭二桥、虎门二桥(在建)等
		中国温拌环氧		
		日本热拌环氧	拌和温度 170~180℃	
浇注式铺 装体系 GA/MA	GA+SMA	德国引进, 开发和完善	GA 拌和温度 210~240 ℃,SMA	重庆朝天门长江大桥、安徽马鞍山长江大桥、厦漳跨海大桥等
	6.5~7.5 cm		采用高弹性改性沥青	
	GA+EA 6~6.5 cm	中国自主开发	综合 GA 和 EA 的各自特点和优势,EA 采用日本热拌环氧	泰州长江大桥等
	MA,单层 4.5 cm	英国	MA 采用两阶段拌和,湖沥青掺量高,混合料稳定性好	香港青马大桥、江阴长江大桥等

环氧类沥青混合料具有较好的高温稳定性,在高温、重载交通下优势尤为凸显。但是该项目因场地限制,只能在珠澳口岸人工岛设置沥青混合料搅拌站,钢桥面最远运输距离达到 23 km,且施工区域位于外海,气象多变,环氧类沥青混合料抗气候干扰能力和大规模施工组织可行性的缺点明显,加之施工质量可靠度、工期要求和后期维养因素,认为环氧类铺装方案在该项目“技术可行,但施工实施不可执行”。

浇注式属于悬浮密实结构,具有“三高”的特性,分别是沥青用量高、矿粉及细集料含量高、拌和温度高。施工窗口期可达 2.5~3 h,面对外海复杂气候条件的适用性及应对能力远强于环氧类,施工中流动成型,无需碾压,通过专用浇注式摊铺机摊铺整平即可。浇注式的空隙率小于 1%,在高温、高湿、高盐的环境下对

桥面钢板有很好的保护作用,其抗疲劳能力强,但高温稳定性弱于环氧类。

香港青马大桥、昂船洲大桥和深圳湾大桥均采用浇注式铺装体系,至今使用状况较好,其中青马大桥已运营 21 年,仍然表现优良。而港珠澳大桥的地理位置与前述 3 座大桥位于同一区域,气候条件及开通后交通流量(中等交通)均基本一致,技术方案的可靠性和大规模施工过程的可控性是确定铺装方案的关键考量因素。因此借鉴已取得的成功经验,使得方案选择的风险性大大降低。

2.2 GMA 铺装体系研究

浇注式沥青混合料根据生产工艺可以分为 Guss Asphalt(GA)和 Mastic Asphalt(MA)两种,其主要特点及区别如表 2 所示。

表 2 浇注式沥青混合料特点及其在不同地区使用差异对比分析

混合料 种类	拌和摊铺 温度/℃	结合料种类	油石比/ %	拌和生产工艺	主要应用地区
GA	200~250	PMB、TLA+硬质沥青等	7.5~9.0	一阶段拌和	欧洲、日本、中国等
MA	210~240	TLA+AH	11~13	二阶段拌和:先将细集料、矿粉和 沥青拌和,再加入粗集料拌和	英国、香港

GA 起源于德国,在欧洲、日本及中国运用较多,MA 起源于英国,在香港运用较多。MA 具有天然湖沥青含量高、细集料级配分档严格、路用性能稳定等特点,生产工艺是先拌和沥青、矿粉和细集料生成沥青胶砂(ME),再掺加粗集料在 Cooker 车内进行二次拌和,拌和时间较长(5~7 h),施工效率低,不能满足该项目钢桥面铺装规模巨大、工期紧的要求。而以德国、日本为代表的 GA 浇注式沥青混合料,采用沥青拌和站对构成沥青混合料的所有原材料进行集中拌和生产,连续施工,施工效率高,但是配合比设计时,湖沥青用量较少,细集料级配要求较宽松,其质量稳定性不及 MA 浇注式沥青混合料。因此,需考虑充分发挥 MA 的性能稳定优势和 GA 的工效优势,通过大量试验研究验证,采用 GA 工艺生产 MA 浇注式沥青混合料的方法解决了上述难题,该项目称该创新沥青混合料产品为 GMA。GMA 工艺和英国传统 MA 工艺的差别仅在于拌和,但是集料级配、混合料运输、摊铺工艺均是一致的。

3 GMA 施工工艺及控制

GMA 沥青混合料钢桥面铺装采用全新的施工工艺,在中国首次实施,尚无成功施工经验可借鉴,因此通过大量前期科研、工艺试验及试验段、首件制来科学有效确定 GMA 标准化施工工艺,是确保该项目铺装成品质量优良和耐久性的关键要素。

3.1 GMA 拌和生产

GMA 沥青混合料采用林泰阁 CSM4000G 型拌和站生产,沥青、矿粉、石料加热温度及混合料出厂温度严格按表 3 执行。

表 3 GMA 生产温度控制

拌和控制要素	控制原因	控制范围
温度	集料、沥青、矿粉的温度将影响出料温度,温度控制不稳定会导致 GMA 过于老化、流动性不佳、拌和不均匀的现象	集料温度:280~300 ℃ 沥青温度:基质沥青 140 ℃,TLA 湖沥青 170~180 ℃,混合沥青 170~180 ℃ 矿粉温度:100~120 ℃ 出料温度:210~230 ℃

将加热后的集料称量并加入矿粉,干拌 20 s,拌和均匀后再加入混合沥青(10 s),湿拌 95 s,放料时间 8

s,总拌和时间控制为 140~150 s。需要对各拌和流程时间进行精确控制。

3.2 GMA 二次搅拌和运输

从拌和站生产出来的 GMA 浇注式沥青混合料还需在专用设备(Cooker 车)中进行二次保温搅拌,施工前根据施工运距及拌和站的拌和能力合理确定 Cooker 车数量,以保证施工的连续性。

(1) 先将 Cooker 预热至约 160 ℃,每台 Cooker 装入 GMA 混合料约 12 t 后不停进行搅拌保温,温度应稳定控制在 220~230 ℃之间,同时压力表稳定在 10~20 MPa 之间,Cooker 搅拌速度设定至 6 r/min。

(2) 每台 Cooker 车均设有编号,拌和站管理人员将 GMA 出料温度、出料时间、重量等相关信息详细记录在点检表上供施工现场人员查验。

(3) 根据大量试验研究,随着拌和时间延长,GMA 混合料冲击韧性指标逐渐降低,车辙动稳定度指标逐渐升高,如图 1 所示。满足性能要求的 GMA 在 Cooker 车中的二次搅拌时间为 2.5~4 h,因此当 Cooker 车到达铺装现场后,管理人员应认真核对随车点检表,确保在时间窗口范围内卸料摊铺。

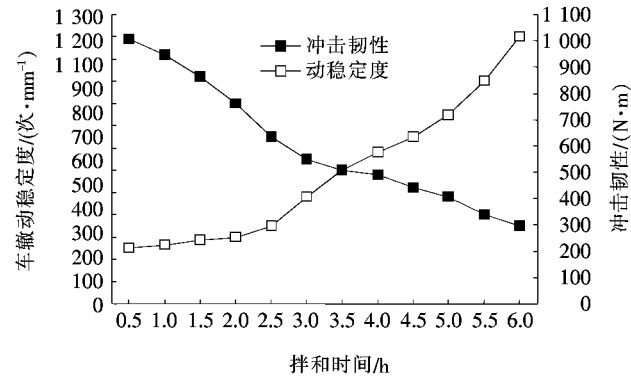


图 1 GMA 冲击韧性、车辙动稳定度与拌和时间的关系

(4) 在施工现场设置车辆清洁区,Cooker 车进入摊铺现场前安排专人清除车轮上的尘土、泥砂等杂物,Cooker 车底部设置隔离布以防止油水泄漏。严禁 Cooker 车在防水层上调头或急刹车,避免破坏防水黏结层。

3.3 GMA 摊铺施工

(1) 分幅摊铺方案

考虑到钢桥面的受力特点及行车道轮迹带影响,以及 GMA 铺装纵向接缝尽量错开钢箱梁主梁顶面及纵向加劲肋顶面原则,主线分两幅先后摊铺,每幅铺装宽度分别为 6.75、6.8 m,两边各留 0.65、0.9 m 宽度作为边带施工,主幅铺装层之间以及主幅与边带铺装之

间均设置纵向接缝,接缝采用热熔沥青贴缝条进行黏结,如图 2 所示。

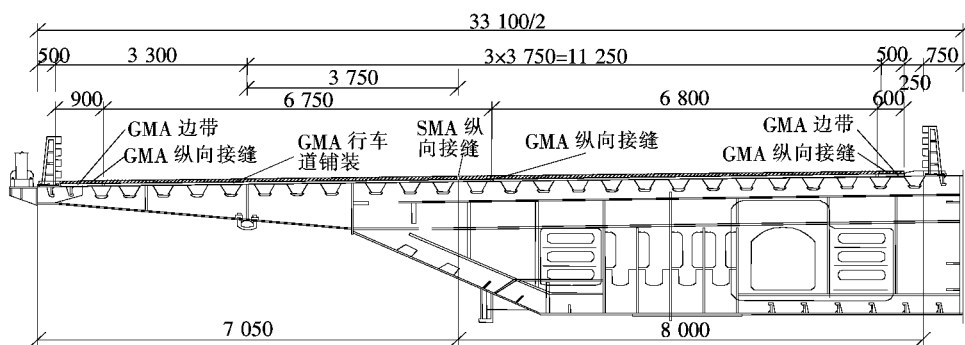


图 2 GMA 分幅摊铺布置示意图(单位:cm)

(2) 摊铺工艺流程

摊铺前对作业面进行清洁处理,确保工作面保持干净及干燥状态。针对浇注式沥青摊铺机的自身构造特点,铺装层厚度主要依靠摊铺机的行走基面来控制。因此在摊铺施工中,除了要对模板高程进行控制以外,还应对摊铺机行走轨道的调平精度有较高的要求,采用 2.5 cm 高、约 3 cm 宽的钢制模板进行边侧限制并用强力磁铁固定。为保护防水黏结层免受摊铺机履带擦伤,采用 3 cm 厚木板铺设,通过高程测量找平作为摊铺机履带行走轨道。待 GMA 在 Cooker 车内升温搅拌达到施工窗口时间后,现场检测 GMA 温度满足摊铺温度(210~230 ℃)和流动度小于 20 s 要求,方允许卸料摊铺作业,此过程中应确保 Cooker 车卸料与摊铺速率及功效匹配。摊铺机行驶速度控制为 1.2~1.5 m/min,通过插针法实时检测摊铺厚度。对摊铺中出现的个别气泡或鼓包等缺陷点,应及时用细尖头工具刺穿并人工抹平。为保证 GMA 新铺幅与旧幅之间接缝的饱满、密实,采用贴封条进行密封处理,设专人用高温烤枪将旧幅边部表面软化,再配合人工搓揉抹平,保证新旧 GMA 融为一体,接缝平顺、密实。

3.4 碎石撒布及碾压

利用拌和站将 10~15 mm 规格碎石与改性沥青(含量 0.4%~0.45%)搅拌混合,再运至铺装现场。浇注式沥青摊铺机本身自带碎石撒布功能,摊铺过程中,人工将袋装预拌碎石装入摊铺机上方碎石槽,摊铺机均匀撒布,碎石撒布量控制为 8~10 kg/m²。根据试验段分析研究,摊铺后 GMA 温度降至 120~130 ℃ 时,采用小型压路机进行碾压。

4 结语

通过深入调查和对比研究以及大量的室内试验和现场试拌试铺,结合桥区气候条件、施工可控性及项目特点和相关技术要求,创新研发了 GMA 浇注式沥青混合料铺装方案。施工过程中,采用了机械化、自动化、标准化管理理念,制定了各道工序的标准化施工工艺控制,科学合理匹配人、机、物、法、环等环节,实现了精细化施工过程质量控制,有效提高了生产效率,显著提升了施工质量。港珠澳大桥钢桥面铺装工程的成功实施为中国乃至世界范围内钢桥面铺装积累了宝贵经验,将进一步推动钢桥面铺装技术的创新与发展。

参考文献:

- [1] 罗桑,钱振东.钢桥面铺装用浇注式沥青结合料的制备与试验研究[J].石油沥青,2011(1).
- [2] 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.
- [3] Mastic Asphalt (Limestone Fine Aggregate) for Roads, Footways and Pavings in Buildings[S].British Standards Institution, London.
- [4] 吴文军,张华,钱觉时.浇注式沥青混合料应用现状综述[J].公路交通技术,2009(6).
- [5] 招商局重庆交通科研设计院.基于复杂应力状态下的钢桥面铺装关键技术研究[R],2013.
- [6] 村上宪同,山岸一彦.本州四国联络桥钢桥面铺装基准(草案)[M].日本道路协,1984.