

超高性能砼桥面铺装足尺试验研究

陈尤¹, 高明¹, 叶鑫², 卜靖²

(1.海工结构新材料及维护加固技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430040;

2.中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040)

摘要: 通过超高性能砼(UHPC)桥面铺装足尺试验,设计指导桥面现场 UHPC 浇筑的施工方案;通过验证 UHPC 桥面铺装材料、搅拌工艺、运输方式及施工工艺,确定足尺试验所采用的方案合理、可行,可为桥面现场 UHPC 浇筑施工及类似施工提供有力支撑。

关键词: 桥梁;超高性能砼(UHPC);桥面铺装;足尺试验;施工工艺

中图分类号:U446.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)05-0141-03

超高性能砼(UHPC)不同于传统普通砼和高性能砼,其为抗压强度大于 100 MPa、抗拉强度大于 5 MPa、韧性和强度高、耐久性和体积稳定性好的新型砼。将 UHPC 砼应用于钢桥面铺装可延长其使用寿命并彻底解决钢桥面铺装易损难题。

援马尔代夫中马友谊大桥跨越马累岛和机场岛之间的 Gaadhoo Koa 海峡,总长 1 390 m。该桥钢箱梁部分的桥面采用 UHPC—钢轻型组合结构+SMA13 面层的形式,UHPC 铺筑在钢箱梁顶板上,厚度为 6 cm。UHPC 铺筑层中包含涂刷在顶板面上的防腐涂装层、焊接在顶板面上的栓钉、布置在铺筑层中的钢筋网。UHPC—钢轻型组合结构共分为 3 段,长度分别为 50、50、22 m。为指导现场 UHPC 浇筑施工,验证 UHPC 桥面铺装材料、搅拌工艺、运输方式及施工工艺,保证 UHPC 桥面铺装施工质量,施工前进行足尺试验。

1 试验方法

1.1 试验场地

足尺试验场地分为 UHPC 试验区、设备组装区、设备停放区、UHPC 拌和区、材料堆放与加工区、蒸汽养护区。为便于施工,设备组装区、UHPC 试验区及设备停放区依次相接,设置于钢筋加工场龙门吊下,方便龙门吊协助试验材料及设备的转运;UHPC 拌和区距 UHPC 试验区约 200 m;材料堆放区与加工区紧贴设备组装区一侧,设有防风雨棚。

1.2 试验材料与设备

(1) UHPC 干混料。UHPC 由水泥、硅灰、石英砂、石英粉、钢纤维、减水剂和水组成。先配制组成部分中除水以外的干混料,再将干混料和水进行

拌和。根据设计和施工要求,拟定初始配合比,再进行试配,最后确定设计配合比。试配的 UHPC 的主要施工性能指标见表 1。

表 1 试配的 UHPC 的主要施工性能指标

技术指标		性能要求
坍落度/mm		200~250
凝结时间/h	初凝	18
	终凝	20
抗压强度(热养护 72 h)/MPa		135.2
抗折强度(热养护 72 h)/MPa		25.2
弹性模量(热养护 72 h)/GPa		48

(2) UHPC 搅拌机。根据 UHPC 实际用量及现场实际情况,UHPC 搅拌采用额定容量为 1.5 m³ 的 JS1500 型强制式砼搅拌机。

(3) 摊铺设备。摊铺设备包括自动布料机、振动整平梁、工作台车等,这些设备在轨道上运行,轨道布置在浇筑面两侧。为控制摊铺厚度,轨道线形随梁面线形变化。

(4) 蒸养系统。UHPC 蒸养系统由蒸养架、保温层、蒸汽供应体系、供水体系、自动控制系统、辅助系统组成,采用燃油锅炉作为蒸汽供应设备,并配备相应自动控制系统。以防雨帆布、塑料薄膜、PVC 保温被或棉被保温材料作为保温层。

2 试验过程

2.1 试验模型铺设

试验模型按桥面实际单边铺装宽度 7.5 m、长度 4 m、厚度 6 cm 进行设置。采用满足设计规范要求的 Q345qD 钢板进行试验,钢板尺寸为 7.5 m×

4.0 m×16 mm。钢板上现场焊接相同间距的 $\phi 12$ 钢筋头作为栓钉,栓钉长 3.5 cm,并铺设钢筋网。钢板设置在 20 cm 厚的 C30 砼垫层上。模板周边焊接[14 槽钢作为侧模板,以防 UHPC 拌和物流出。为验证 UHPC 拌和物性能对桥梁实际横坡和纵坡的适应性,将试验条件设置为与实际施工条件一致。试验模型见图 1。

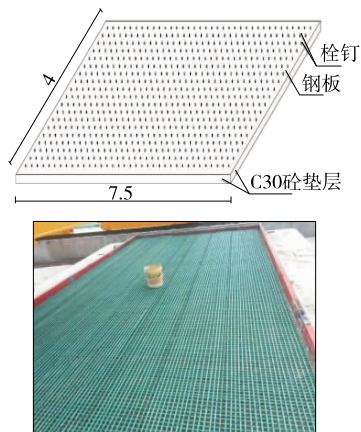


图 1 试验模型(单位:m)

2.2 UHPC 拌和

采用 12 t 叉车将袋装 UHPC 干混料送入料斗上方,人工用刀片划破包装袋底部,使干混料流入料斗内。提升料斗将干混料卸入搅拌机内,加水进行搅拌,搅拌 2 min 待 UHPC 拌和物出状态后均匀加入钢纤维继续搅拌 8 min。设计配合比为干混料 2 006 kg、水 176 kg、钢纤维 250 kg。

2.3 UHPC 输送

UHPC 拌和物由砼泵送车送得天泵布料机料斗内,采用天泵输送到布料机。为保证出料与浇筑之间时间间隔和桥面浇筑实际施工中一致,将时间控制在 1 h 左右。

2.4 UHPC 浇筑

(1) 摊铺面洒水。摊铺前采用喷雾设备对摊铺表面进行洒水润湿,但不能有积水。

(2) 布料。采用自动摊铺机布料,保证布料均匀、合理,确保 UHPC 振动效果、平整度及作业效率

达到要求。UHPC 的坍落度控制在 200~250 mm,扩展度为 610 mm。

(3) 振动和整平。采用振动整平梁对 UHPC 进行振捣和整平,UHPC 层的厚度通过调整振动整平梁的上下位置进行设定和控制。对于局部需调整平面标高的位置,通过人工补料或减料,并通过平板振捣器和手执振动器进行振动及人工抹平实现标高调整。局部调整位置的厚度通过布设厚度标志杆进行控制。

(4) 保湿养护。通过保湿养护促进 UHPC 早期水化,并完成其部分收缩变形,减少其后期收缩变形,为实现 UHPC 致密性、高强度、高韧性创造条件。养护方式为喷洒洒水、覆盖节水保湿养护膜。养护过程中保证砼表面充分湿润但不积水。

2.5 UHPC 高温蒸汽养护

UHPC 摊铺后 48 h,揭除节水保湿膜,搭设蒸汽养护保温棚。由燃油锅炉提供蒸汽来源,蒸汽通过蒸汽管道进入保温棚。保温棚内的管道均匀布置在 UHPC 面上,保证供汽均匀。蒸养过程中,通过设置于保温棚内的温度和湿度传感器测量温度、湿度,根据测量数据进行蒸汽量调控,保证蒸养温度和湿度满足蒸养要求。

3 效果验证

如图 2 所示,浇筑完成后 UHPC 表面平整、色泽均匀,表面无任何裂纹且侧面填充密实。



(a) 砼表面无任何裂纹

(b) 侧面填充密实

图 2 浇筑完成后的 UHPC

为验证试验效果,对钢筋网加工和铺设、UHPC 浇筑及养护质量进行检测,结果见表 2。

表 2 模型试验检测结果

检测项目	检测内容	检测结果
钢筋网加工、 铺设	钢筋加工工艺及工效 钢筋网绑扎、铺设工效	钢筋采用机械加工,工艺及功效都满足施工需求 人工绑扎铺设,满足要求
UHPC 浇筑	UHPC 材料性能 及搅拌工艺 设备、投料方式 用水量 搅拌时间	采用叉车配合人工,满足工效 水胶比为 0.17,搅拌时间为 10 min,拌和物流动性良好, 各项性能指标符合要求

续表 2			
检测项目	检测内容		检测结果
UHPC 浇筑	UHPC 拌和物输送	输送设备	采用砼罐车配合天泵输送
		输送效果	UHPC 坍落度及扩展度变化较小,各项性能指标符合要求
	UHPC 工作性能与坡度适应性	工作性	工作性能良好
		摊铺施工难易程度	摊铺施工进展顺利
		坡度施工流淌	流淌程度不影响施工
	UHPC 摊铺工艺	布料工艺	操作简易,性能良好,适应工况
		整平工艺	振动整平梁功率适宜,振捣后铺装密实、平整
		施工工作性能	人工操控移动布料机布料过程流畅
		局部人工修整	部分凹凸不平进行人工修整可行
	UHPC 保湿养护工艺	表面喷雾	保湿效果较好
		养护膜铺设	操作简单易行
		养护膜加固	采用钢条固定,操作简单易行
UHPC 蒸汽养护	UHPC 蒸汽养护	蒸汽管道铺设	按纵向 1 m/根布置,效果良好
		蒸汽保温措施	采用搭设保温棚方式,保温效果良好
		蒸汽升温制度	通过锅炉蒸汽阀门控制恒温温度、升温速度、降温速度,方法可行
		养护时间	按升温时间 6~8 h、恒温时间 72 h、降温时间 8 h 控制,效果良好
		降温速度	降温速度控制为 10 ℃/h

为验证 UHPC 的力学性能,分别对 UHPC 常温养护 1 和 5 d、蒸汽养护 5 d 下的强度进行测试,每种方式测试 4 次,结果见表 3。

4 结论

根据浇筑完成后 UHPC 质量检测和力学性能

表 3 不同养护方式下 UHPC 的力学性能

养护方式	养护时间/d	抗压强度/MPa	抗折强度/MPa
常温养护	1	66.6;5.8;57.0;58.8	—
常温养护	5	97.2;92.1;93.5;96.1	17.2;16.2;16.8;16.5
蒸汽养护	5	123.2;125.1;126.2;125.7	24.3;23.9;24.5;24.8

测试结果,采用上述试验方案取得了预期施工效果。UHPC 拌和物的工作性能满足施工要求,其各项强度指标均满足设计要求;UHPC 拌和、输送、摊铺设备及蒸养设备可操作性强,工效和适用性满足施工要求。试验方案可行,可用于指导现场 UHPC 浇筑施工。

参考文献:

[1] 阎培渝.超高性能混凝土(UHPC)的发展与现状[J].混凝土世界,2010(9).
[2] 陈宝春,季韬,黄卿维,等.超高性能混凝土研究综述[J].建筑科学与工程学报,2014,31(3).
[3] 徐海滨,邓宗才.超高性能混凝土在桥梁工程中的应用[J].世界桥梁,2012,40(3).
[4] 肖锐,邓宗才,申臣良.超高性能混凝土(UHPC)材料

与构件设计[J].特种结构,2013,30(2).
[5] 曹君辉.钢—薄层超高性能混凝土轻型组合桥面结构基本性能研究[D].长沙:湖南大学,2016.
[6] 单瑾,宜欣,李保平.高强高性能混凝土施工质量管理[J].建筑与预算,2016(8).
[7] 丁沙,张国志,游新鹏,等.现浇超高性能混凝土在桥梁工程中的应用[J].施工技术,2016,45(17).
[8] 陈宝春,黄卿维,王远洋,等.中国第一座超高性能混凝土(UHPC)拱桥的设计与施工[J].中外公路,2016,36(1).
[9] 胡功球.不同养护条件下超高性能混凝土(UHPC)的收缩性能研究[D].长沙:湖南大学,2015.