

UHPC 面板在临时钢栈桥中的应用与分析

李俊成, 李宇展, 马进, 吕光智

(中交一航局第五工程有限公司)

摘要: 厦门第三东通道工程采用钢栈桥作为施工便道, 因项目工期较长, 且为海域高腐蚀环境, 钢面板防腐效果及耐久性较差, 通过引入 UHPC 高性能面板代替普通花纹钢板, 解决了长时间投入、耐久性、周转维护、绿色环保等问题。同时, UHPC 面板可以重复使用, 进一步降低了施工成本。通过应用实践, 可为类似项目提供参考。

关键词: UHPC; 钢栈桥; 桥面板; 桥面铺装; 面板承载力

0 引言

UHPC(超高性能混凝土)是一种具有超高强、高韧性、优异耐久性、抗压强度在 120 MPa 以上的超高强度水泥基复合材料; 适当配筋的 UHPC 力学性能接近钢结构, 同时 UHPC 具有优良的耐磨、抗爆性能。UHPC 桥面板是一款利用 UHPC 设计制作高强耐腐的栈桥面板^[1]。通过合理的配筋, 并且在桥面板的四周采用镀锌槽钢进行全方位包边, 防止巨大的外力对桥面板边角处的损伤, 内置 4 个预埋套筒吊点, 2 个护栏安装孔, 满足桥面板吊装和护栏安装要求的同时, 保证了桥面板的完整性^[2]。桥面板的常规规格为 8 m×2 m、6 m×2 m。UHPC 材料抗压强度近乎为普通混凝土的 3 倍, 在相同力学性能下 UHPC 构件的结构尺寸可以近乎与钢材的尺寸相同, 因此 UHPC 材料的性能特性弥补了普通钢材的不耐腐蚀性和普通混凝土自重大、强度不足的问题。本文依托厦门第三东通道工程, 结合桥面板生产、应用, 为 UHPC 面板在临时钢栈桥中应用提供参考。

1 工程概况

厦门第三东通道工程起自厦门市思明区环岛路, 止于大嶝岛翔安新机场, 全长 20.615 km, 全线设置香山、观音山、欧厝、大嶝 4 处互通立交。欧厝互通匝道桥共设置 A、B、C、D 匝道,

采用对称 T 形互通形式; 由于欧厝互通处水深较浅, 潮差约 7 m, 桩基、下构结构、现浇箱梁等均通过水上搭设临时钢栈桥进行施工。

钢栈桥设计安全等级为二级, 采用双向车道, 主栈桥整幅断面全宽 9.5 m(8.0 m 桥面+1.0 m 人行道+0.5 m 管线支架); 支栈桥整幅断面全宽 8.0 m; 施工平台断面全宽 15 m。栈桥的设计使用年限为 5 a, 平台设计使用年限为 2 a, 贝雷片最大间距为 0.9 m。

钢栈桥初始设计为分配梁+花纹钢板结构, 经优化后采用 UHPC 面板, 用 U 形卡将 UHPC 面板与贝雷片进行固定, 每片 UHPC 面板用 6 个 U 形卡固定。桥跨布置: 钢栈桥 12 m/跨, 5 跨设置 1 个制动墩, 横桥向布置 321 型贝雷梁 11 片, 桥面采用 10 cm 厚 UHPC 桥面板。

2 UHPC 面板相关参数

以长 2.0 m、宽 8.0 m、厚 0.1 m 面板为例进行分析, 混凝土强度等级为 C100, 采用高强度钢丝平直短切型纤维。横向钢筋布置为 $\phi 6@100$ mm, 顶面和底面相同; 纵向钢筋布置边缘部位(200 mm 范围内)为 $\phi 10@40$ mm+6 mm 厚钢板; 过渡部位(200 mm 范围内)为 $\phi 10@50$ mm; 中间部位(1.2 m)为 $\phi 10@80$ mm。混凝土板横截面钢筋布置如图 1 所示。

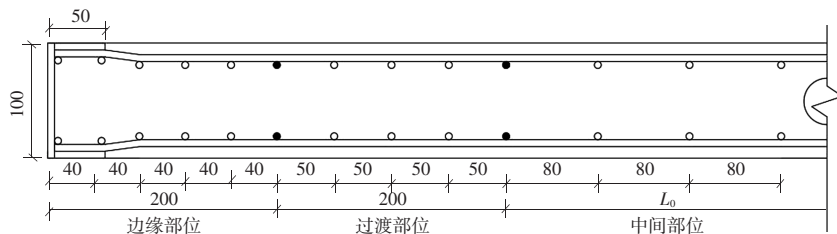


图 1 混凝土板横截面配筋图(mm)

3 UHPC 板性能分析

UHPC 面板采用 C100 钢纤维混凝土, 钢筋参数依照相关规范取值, 钢纤维混凝土参数由试验确定。其配筋图如图 1 所示, 边缘部位加强采用 10 号槽钢。配筋分析截面取 0.2 m 宽, 参照每延米计算^[3]。

UHPC 面板抗压强度设计值 $f_{ic}=44.6$ MPa; 抗拉强度设计值 $f_{ti}=4.52$ MPa。混凝土板按每延米折算受力钢筋截面面积: 边缘部位 $A_{s1}=1\ 962.5$ mm²; 过渡部位 $A_{s2}=1\ 570$ mm²; 中间部位 $A_{s3}=981$ mm²。

3.1 正截面承载力

1) 边缘部位加强段截面纵筋布置为 $\phi 10@50$ mm, 10 号槽钢加强侧边, 分布钢筋和纵筋与槽钢进行焊接。

根据 GB 50367—2013《混凝土结构加固设计规范》, 边缘部位加强段弯矩 $M_{边}$ 计算公式为:

$$M_{边}=M_{钢板}+M_f$$

$$M_{钢板}=f_y \times A_s \times (h-t)$$

$$M_f=f_y \times A_s \times (h_0-\frac{x}{2})+f_{tu} \times b \times X_1 \times (h-\frac{x}{2}-\frac{x_1}{2})$$

式中: $M_{钢板}$ 为钢板提供的弯矩设计值, kN·m; M_f 为加固后构件的正截面受弯承载力设计值(即截面能抵抗的弯矩), kN·m; f_y 为原构件内部纵向受力钢筋的抗拉强度设计值, N/mm²; A_s 为原构件受拉区纵向受力钢筋的截面面积, mm²; b 为矩形截面的宽度, mm; t 为钢板的厚度, mm。 h_0 为原构件截面的有效高度(受拉钢筋合力点至截面受压边缘的距离), mm; x 为加固后构件截面的混凝土等效受压区高度, mm; f_{tu} 为加固材料(如纤维复合材、钢板等)的抗拉强度设计值, N/mm²; X_1 为加固材料在截面上的等效受拉高度或有效粘贴高度, mm; h 为截面的总高度, mm; x_1 为与加固材料受力特性相关的参数, 加固材料达到设计强度时的应变换算高度。

取 0.2 m 宽截面设计弯矩为:

$$M_{边}=M_{钢板}+M_f=68.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

2) 过渡部位纵筋布置为 $\phi 10@50$ mm, 混

土边缘到分布钢筋外侧边缘距离为 10 mm。

过度段截面抗弯抵抗矩 M_f 计算公式为:

$$M_f=f_y \times A_s \times (h_0-\frac{x}{2})+f_{tu} \times b \times X_1 \times (h-\frac{x}{2}-\frac{x_1}{2})$$

取 0.2 m 宽截面设计弯矩为:

$$M_f=56.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

3) 中部部位纵筋布置为 $\phi 10@80$ mm, 混凝土边缘到分布钢筋外侧边缘距离为 10 mm。

截面中部弯矩 M_f 计算公式为:

$$M_f=f_y \times A_s \times (h_0-\frac{x}{2})+f_{tu} \times b \times X_1 \times (h-\frac{x}{2}-\frac{x_1}{2})$$

取 0.2 m 宽截面设计弯矩为:

$$M_f=43.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

3.2 斜截面承载力

JGJ/T 465—2019《钢纤维混凝土结构设计标准》中规定: 对于单向板类钢纤维混凝土受弯构件可按如下公式计算:

$$V_{ic} \leq 0.7\beta_{hi} \times f_t \times b \times h_0 \times (1+\beta_v \times \lambda_f)$$

式中: V_{ic} 为配置箍筋的钢纤维混凝土构件斜截面受剪承载力设计值, kN; β_{hi} 为截面高度影响系数; f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值, MPa; b 为矩形截面的宽度, mm; h_0 为截面的有效高度, mm; β_v 为钢纤维对构件抗剪承载力的影响系数; λ_f 为钢纤维含量特征参数。

按每延米斜截面承载力计算:

$$h=79 \text{ mm} < 800 \text{ mm}; \text{取 } \beta_{hi}=1.0.$$

$$V_{ic} \leq 0.7\beta_{hi} \times f_t \times b \times h_0 \times (1+\beta_v \times \lambda_f)=250 \text{ kN}$$

3.3 弯矩效应及校核

主栈桥按公路 III 级计算, 车辆限速 10 km/h, 荷载参照 55 t 重载汽车。根据栈桥使用工况采用 MIDAS 进行荷载计算, 最大截面弯矩为 36.8 kN·m < 截面中部弯矩设计值 43.8 kN·m; 最大荷载 95.6 kN < 斜截面承载力设计值。

通过对 UHPC 面板的正截面承载力和斜截面承载力分析, 均满足规范要求。

4 施工工艺

4.1 施工工艺流程

UHPC 面板施工工艺流程如图 2 所示。

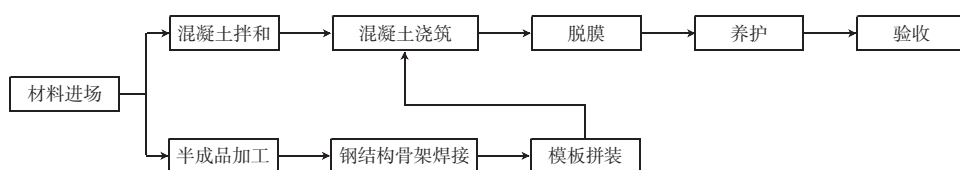


图 2 UHPC 面板施工工艺流程

4.2 关键施工工艺

4.2.1 材料进场

原材料供应商必须在合格供应商名录中,所有原材料应由供应商提供出厂检验合格证,并按有关检验项目、批次规定,严格实施进场检验。现场存放钢筋要做到上铺下垫^[4]。

4.2.2 钢筋加工

钢筋在加工弯制前必须调直,钢筋表面的油渍、漆污、水泥浆和用锤敲击能剥落的浮皮、铁锈等均应清除干净。钢筋应平直,无局部曲折,通过钢筋调直机调直后不得有死弯,加工后的钢筋表面不应有削弱钢筋截面的伤痕。

钢结构骨架焊接采用闪光对焊,焊接工艺符合 JGJ 18—2012《钢筋焊接及验收规程》。验收完毕后的钢筋应待完全冷却后才能运往室外。

4.2.3 模板拼装

模板拼装前通过水准仪测量标高,确保台座模板水平放置,底模上清理多余杂物,连接固定好底模与侧模,确保模板拼装严实,避免漏浆现象^[5]。

4.2.4 混凝土拌和

UHPC 混凝土搅拌采用强制式搅拌机,搅拌应保证活性粉末混凝土拌合物质量均匀,同一盘混凝土的匀质性应符合 GB50164—2011《混凝土质量控制标准》的规定。

4.2.5 混凝土浇筑

UHPC 分层浇筑,选择平板振捣器或模外振捣器振捣成型。浇筑和成型过程中应保证混凝土密实、纤维分布均匀以及构件的整体性,避免出现拌合物离析、分层以及钢纤维露出构件表面。

4.2.6 脱模

混凝土浇筑完成后覆盖土工布,防止混凝土水化反应时热量快速散失,导致预制件表面失水过多而产生裂缝,待强度上升至 40 MPa 后脱模。

4.2.7 养护

UHPC 养护要达到温度要求,养护期间不能在太阳下暴晒、不能在温差较大的环境中。养护期间环境温差不超过 20 ℃并保持其表面湿润。

5 应用效果

5.1 工艺优势

1) 绿色环保:UHPC 桥面板装配式施工无焊接污染,拆装零损耗。

2) 耐久性:装配式桥面板采用高性能混凝土构件具有较强的抗折、抗压、抗震等性能,能够长期承受施工需求^[6]。

3) 美观性:UHPC 桥面板可根据客户需求定制表面花纹及图案,外观整洁大气,提高了栈桥整体美观性。

4) 操作便捷性:UHPC 桥面板采用工程标准化生产线预制,现场组装快捷方便,缩短了安装施工周期,节省施工成本^[7]。

5) 周转维护:UHPC 桥面板的表面平整,维护清洁方便,可以多次周转无需过程维护。

5.2 效益分析

1) 工效对比

UHPC 桥面板与传统桥面板工效对比见表 1。

表 1 UHPC 桥面板与传统桥面板工效对比表

材料类型	设备	工种	时间/h	人员/人	面积/m ²
UHPC 桥面板	25 t 汽车吊	普工	1	2	96
钢桥面板		普工	2	2	48
		焊工	2	2	

采用 UHPC 桥面板与钢桥面板施工对比,UHPC 桥面板施工可节省 75% 工时及机械效率,且无特殊工种。

2) 周转性对比

UHPC 桥面板与传统桥面板使用周转对比如表 2 所示。

表 2 UHPC 桥面板与传统桥面板使用周转对比表

项目	UHPC 桥面板	传统桥面板	
		混凝土桥面板	钢桥面板
维护	0, 耐磨且无腐蚀, 免维护费	维护 1 次/a	至少维护 1~2 次/a
运输	1 车运输 8 块	1 车运输 4 块	1 车运输 10 块
损耗	0	每年 1% 的损耗(缺边掉角)	每年 3~5% 的损耗
周转次数	5 个工地或 10 a	2 个工地或 4 a	2 个工地或 4 a
再利用	可再利用为路基板	可再利用为路基板	不可再利用
腐蚀率	0 腐蚀	0 腐蚀	每年 3%~5% 逐年腐蚀
残值	按 20%~40% 予以回收周转使用	一般无法回收	钢桥面板按废料回收, 不可再次利用
文明施工	整体美观, 使用过程中不产生噪音	面板表面易损坏	桥面表面不平整

综上对比,选择UHPC桥面板比采用钢桥面板节约成本,且钢桥面板使用过程中易出现变形及开焊等情况需维修,整体使用效果上UHPC桥面板更加美观、耐用。

3) 面板使用多功能性

不再周转使用的UHPC桥面板作为路基板使用时,经压实地基、铺设碎石层后,即可密铺形成硬质施工通道,安装方便快捷,是现浇混凝土施工^[9]周期的28.57%。且传统混凝土路面在施工过程中存在扬尘污染,UHPC路基板能快速铺装并投入使用,减少环境影响。预制便道配置花纹设计,美观的同时增强防滑性和抗变形能力。

6 结语

在厦门第三东通道工程钢栈桥施工中成功应用了UHPC面板,显著提高了施工进度和质量。本项目采用8 m×2 m的标准桥面板,相比传统混凝土桥面板,运输效率提升了1倍,使用寿命可

达8~10 a。UHPC面板特别适合于大跨径桥梁和薄壁结构以及高腐蚀环境。UHPC面板的成功应用,不仅为类似工程提供了宝贵的经验,也为UHPC面板工艺的改进和优化奠定了基础。

参考文献:

- [1] 罗超,谭赣湘. UHPC在悬索桥桥面板中的应用[J]. 交通建设, 2021(22):249-251.
- [2] 何志刚,蔺鹏臻. UHPC组合桥面铺装层对铁路钢桥面板影响分析[J]. 桥梁建设,2022,52(4):103-109.
- [3] 李志全. 超高性能混凝土(UHPC)在钢桥面铺装的应用与分析[J]. 四川水泥,2019(1):73.
- [4] 唐亮,乔浩玥,屈建,等. 高性能混凝土在钢桥面铺装中的应用研究进展[J]. 混凝土,2024(4):83-88,133.
- [5] 刘福林. 超性功能混凝土(UHPC)解决快速铺装桥面板问题的研究[J]. 江西建材,2017(20):178,180.
- [6] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准第一册土建工程[S].
- [7] JTG/T 3650—2020,公路桥涵施工技术规范[S].