

风荷载作用下复杂雨棚结构UHPC人行天桥 关键节点分析

丁伟亮,李 萌

(广东省建筑设计研究院有限公司,广东 广州 510010)

摘 要: 因景观造型的需求,天桥雨棚常设计为复杂的异型结构,在风荷载作用下,会对板厚较薄的 UHPC 主梁结构受力产生较大影响。以广州某道路快速化改造工程中一座 UHPC 箱梁人行天桥为研究对象,对风荷载作用下复杂雨棚结构 UHPC 人行天桥关键节点进行了分析研究,包括装配式超高混凝土桥梁的抗扭计算,扭矩较大的预制箱梁节段接缝处理,雨棚主杆件在箱梁锚固点处处理方式,超宽运输宽度的天桥梯道牛腿及横隔板的后浇处理方式等。

关键词: 复杂雨棚结构;UHPC 主梁;风荷载;关键节点

中图分类号: U448.11

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)11-0129-03

0 引 言

随着经济的快速发展,城市交通提质改造也越来越引起人们重视,人行天桥也逐渐成为城市公共建筑的重要组成部分,不仅需要满足人们的过街需求,同时也需要满足越来越高的景观需求。而雨棚作为人行天桥的重要组成部分,常需要根据景观造型的要求,而设计为复杂的异型构件。

超高性能混凝土(UHPC)材料具有优良的力学性能,在城市人行天桥工程中的使用案例越来越多^[1-3]。UHPC 天桥主梁结构各板厚常设计成较薄,而复杂的异型雨棚结构在风荷载作用下,会对主梁结构受力产生较大的影响。

本文以广州某道路快速化改造工程中一座 UHPC 箱梁人行天桥为研究对象,对风荷载作用下复杂雨棚结构 UHPC 人行天桥关键节点进行了分析研究,可为以后类似工程提供参考。

1 工程概况

本天桥属于广州某市政道路快速化改造的一部分,主桥采用两跨简支预制梁,跨径组合为 31.05 m+35.55 m,采用吊装施工。

因景观需求,该工程天桥雨棚设计为异型空间结构,雨棚立柱在中间墩位置附近设置在主梁两侧(固定于天桥桥面),从中间墩往边墩方向,雨棚斜跨主梁,立柱只设置在主梁一侧,雨棚主杆件固定于天桥主梁腹板,在边墩附近,雨棚下穿主梁,雨棚主杆件固定于天桥主梁底板。桥型布置如图 1 所示。

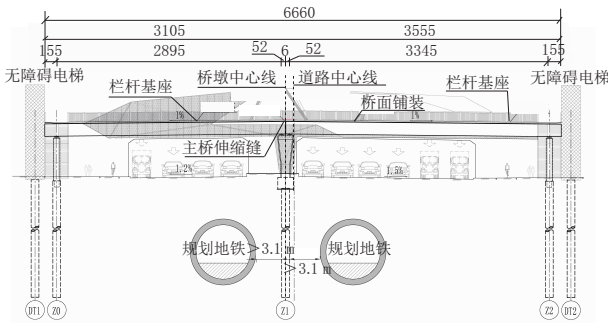


图 1 桥梁立面示意图(单位:cm)

2 结构设计

桥梁上部结构采用两跨超高性能预应力混凝土 UHPC 箱梁,箱梁顶宽 5.5 m,底宽 4.5 m,中心高 1.6 m,顶底板厚 0.12 m,边腹板厚 0.22 m,中腹板厚 0.20 m,腹板斜率 1:2.9,横断面如图 2 所示。

UHPC 箱梁采用分段预制、整孔吊装的方法进行施工,东西两跨均分为 3 段预制,西侧跨径为 11 m+9.02 m+11 m=31.02 m,东侧跨径为 11 m+13.52 m+11 m=35.52 m。预制节段间采用湿接缝,梁端通过在节段端部沿箱梁腹板和底板外侧设置一层长度为

收稿日期: 2023-11-28

作者简介: 丁伟亮(1983—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁与隧道工程设计工作。

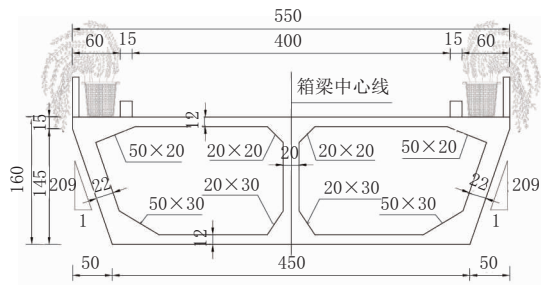


图2 桥梁结构横断面示意图(单位:cm)

1 m,厚度为 14 mm 的钢板对湿接缝进行加强。

3 有限元计算分析

3.1 UHPC 材料参数

本项目 UHPC 材料,规格为 UC140,其力学指标依据广东省地方标准《装配式超高性能混凝土市政桥梁技术规程》(DBJ/T 15-244—2022) 进行取值,纤维采用镀铜钢纤维,抗拉强度 $\geq 2\,000\text{ MPa}$,规格为 $0.2\text{ mm}\times 20\text{ mm}$,体积掺量取 2%。具体参数见表 1^[4]。

表 1 UHPC 材料参数表

材料	线胀系数 / $^{\circ}\text{C}^{-1}$	弹性模量 /MPa	容重 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	泊松比
UHPC	1.1×10^{-5}	4.2×10^4	26.0	0.2

3.2 风荷载取值

3.2.1 主梁风荷载计算

主梁风荷载依据《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01—2018) 进行计算,W1 风荷载按照重现期 10 a 计算,W2 风荷载按照重现期 100 a 计算^[5],具体数值见表 2。

表 2 主梁风荷载计算表 单位: kN/m^2

风荷载类型	横桥向等效静阵风荷载	顺桥向等效静阵风荷载
W1	6.4	1.6
W2	8.53	2.13

3.2.2 雨棚风荷载计算

雨棚风荷载依据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)进行计算,W1 风荷载按照重现期 10 a 计算,W2 风荷载按照重现期 100 a 计算^[6],具体数值见表 3。

表 3 雨棚风荷载计算表 单位: kN/m^2

风荷载类型	雨棚传递至主梁的雨棚竖向风荷载
W1	-2.22
W2	-2.89

3.3 计算模型

计算采用 MIDAS Civil 2023 进行空间杆系分

析,上部结构箱梁采用梁单元,雨棚铝板采用板单元。模型共划分 432 个板单元,690 个梁单元,924 个节点。桥梁模型如图 3 所示。

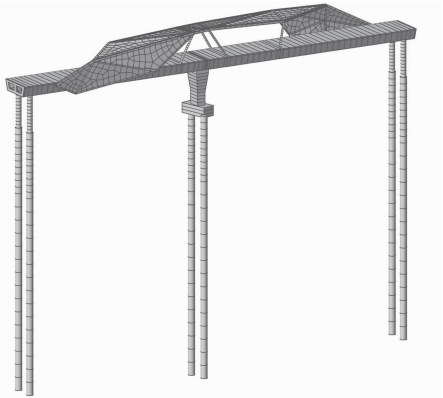


图3 主桥计算模型示意图

4 关键节点分析结果及处理措施

因为主桥为两跨简支梁,雨棚结构在中间桥墩处断开,也为两跨简支结构,故以下仅取 35.55 m 跨进行分析。

4.1 箱梁节段接缝处理

计算考虑基本组合最不利组合如下。

组合 1: 1.2 恒载 +1.4 人群 +1.0 收缩徐变 +1.1 风荷载 +0.5 沉降。

组合 2: 1.2 恒载 +1.4 风荷载 +1.05 温度 +1.05 人群 +0.5 沉降 +1.0 收缩徐变。

最不利组合为:包络(组合 1+ 组合 2)。

最不利基本组合下主梁弯矩如图 4 所示,基本组合下主梁最大弯矩为 $19\,631.5\text{ kN}\cdot\text{m}$,对应的抗力值为 $31\,825\text{ kN}\cdot\text{m}$,满足规范要求。

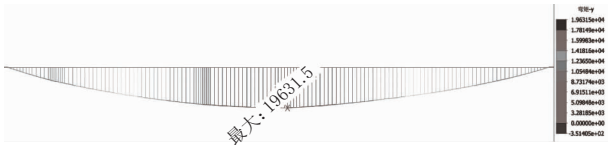


图4 基本组合下主梁弯矩包络图(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}$)

最不利基本组合下主梁剪力如图 5 所示,选取近支点的截面突变处进行斜截面抗剪承载力验算,基本组合下截面剪力 S 为 $2\,824.4\text{ kN}$,截面抗力 $R1(0.6f_{ck}2/3bh_0)=36\,270\text{ kN}$,截面抗力 $R2(0.25f_{ck}1/2bh_0+0.9f_ibh_0)=14\,084\text{ kN}$,可不需进行斜截面抗剪承载力验算,按构造配置抗剪钢筋即可满足要求。



图5 基本组合下主梁剪力包络图(单位:kN)

基本组合下主梁扭矩如图6所示。基本组合下主梁最大扭矩为2462.7 kN·m,其中风荷载产生的扭矩为1588.4 kN·m;节段接缝处扭矩为2181.4 kN·m,其中风荷载产生的扭矩为1412.7 kN·m;主梁最大剪力为2824.4 kN,其中风荷载产生的剪力为334.2 kN;节段接缝处剪力为919.7 kN,其中风荷载产生的剪力为135.4 kN。

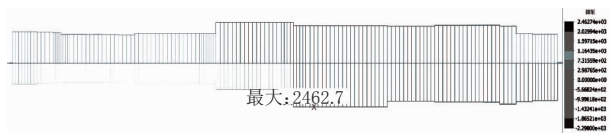


图6 基本组合下主梁扭矩示意图(单位:kN·m)

由于现有的装配式超高混凝土桥梁设计规范暂无抗扭构件计算的相关内容,故本桥梁主梁根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)中5.5条进行抗扭计算^[7]。

标准段箱梁设置130根直径12 mm和84根直径10 mm的纵向钢筋,6根直径10 mm的箍筋,抗扭承载力为3444.43 kN·m $> 1.1 \times 2462.7 = 2708.97$ kN·m,满足要求。但节段接缝处扭矩为2181.4 kN·m,根据现有规范,无法准确计算胶接缝和干接缝的抗扭承载力,故采用湿接缝。接缝处设置6根直径为10 mm的箍筋、65根直径为12 mm和42根直径为10 mm的纵向钢筋,经计算, $\gamma_0 T_d = 2399.54 < \beta_i (0.35 \beta_a f_{td}) W_t + 1.2 \sqrt{\xi} f_{sv} A_{sv1} A_{cor} / s_v = 2442.25$ kN·m,满足抗扭要求。

为减少接缝处钢筋焊接或绑扎难度,箱梁纵向钢筋采用错位互锚连接,接缝宽度设计为1 m,交错钢筋的重叠长度为0.8 m^[5]。为提高接缝处截面的抗扭承载力,在节段端部沿箱梁腹板和底板外侧设置一层长度为1 m,厚度为14 mm的钢板,并可兼做湿接缝浇筑的模板。抗扭钢板伸出梁端0.5 m,湿接缝处两节段抗扭钢板焊接。接缝处纵向钢筋及抗扭钢板设置如图7所示。

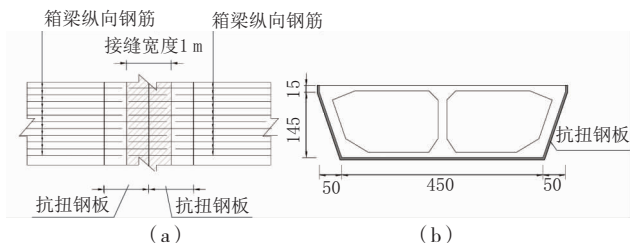


图7 接缝处纵向钢筋及抗扭钢板布置示意图(单位:cm)

4.2 雨棚主杆件在箱梁锚固点处处理

位于天桥桥面的雨棚主杆件,其杆件锚固件位于边腹板上方倒角范围,顶板厚度可满足杆件锚固及受力需求;固定于天桥主梁底板的雨棚主杆件,因为杆件传向箱梁的内力较小,故底板厚度可满足立

柱的锚固及受力需求。固定于天桥主梁腹板雨棚主杆件,杆件锚固板尺寸为600 mm × 600 mm,腹板厚度仅为12 cm,难以满足杆件锚固需求,且杆件传向箱梁的内力较大,腹板局部受力较大,故此处设置一道横隔板以改善腹板受力,为减少混凝土用量,并方便模板的拆除,横隔板设置为开孔板,杆件锚固及隔板设置如图8所示。

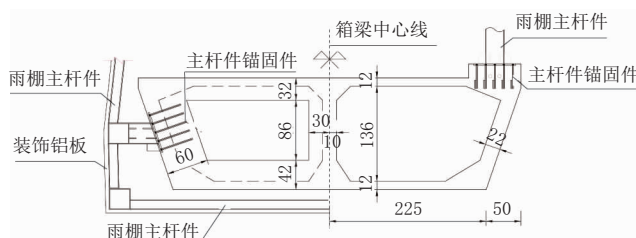


图8 雨棚主杆件锚固及隔板设置示意图(单位:cm)

4.3 箱梁牛腿处理

天桥主梁宽度为5.5 m,在梯道牛腿处宽度达6.5 m,为超宽运输宽度,预制梁段运输存在困难,为减小运输难度,梯道牛腿及横隔板采用后浇,且为减少工程造价,减少UHPC工程量,后浇构件采用C50混凝土。牛腿处构造及钢筋设置如图9所示,图中N3、N4钢筋由预埋部分和后浇绑扎部分组成,预埋部分和后浇绑扎部分采用钢筋套筒连接,预制主梁时应预埋钢筋及套筒;N1、N2、N5、N6钢筋贯穿主梁,需在预制主梁是预埋PVC管,PVC管在浇筑主梁混凝土前应封堵防止堵管,钢筋绑扎完成后对PVC管注浆,待水泥浆硬化后再浇筑混凝土。新旧混凝土接触面人工凿毛为高差不小于6 mm的凹凸面,并冲洗干净在主梁新露出混凝土表面喷界面胶。

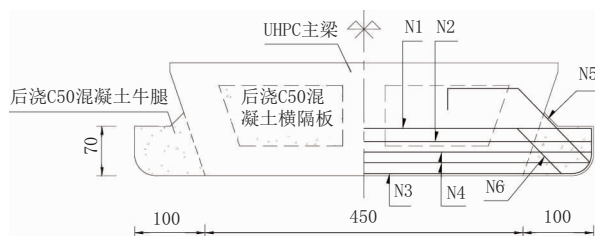


图9 牛腿处构造及钢筋设置示意图(单位:cm)

5 结论

通过对风荷载作用下某复杂雨棚结构UHPC人行天桥关键节点的分析研究,取得了一定成效,得到如下结论,可为以后类似工程提供参考。

(1)装配式UHPC桥梁可根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)中5.5条进行抗扭计算。风荷载作用下,复杂雨棚结构的天桥主梁会产生较大的扭矩和剪力,建议预制节段拼接采用湿接缝,箱梁纵向钢筋采用错位互锚

(下转第142页)

表 1 持久状况应力验算结果 单位:MPa

工况	频遇组合		准永久组合		标准组合	
	计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值
上缘最大正应力					5.89	16.2
上缘最小正应力	-0.49	-1.855	1.8	0		
下缘最大正应力					7.18	16.2
下缘最小正应力	-0.09	-1.855	0.8	0		
最大主拉应力	-0.66	-1.325				
最大主压应力					7.18	19.44

段中上下缘应力计算结果见表 2, 其中压应力为正, 拉应力为负。由表 2 可知, 盖梁在各施工阶段最大压应力为 $7.6 \text{ MPa} \leq 0.7 f'_{\text{ck}} (f'_{\text{ck}} \text{ 为施工阶段混凝土轴心抗压强度标准值}) = 0.7 \times 29.6 = 20.72 \text{ MPa}$; 最大拉应力为 $1.4 \leq 0.7 f'_{\text{tk}} (f'_{\text{tk}} \text{ 为施工阶段混凝土抗拉强度标准值}) = 0.7 \times 2.51 = 1.757 \text{ MPa}$, 故均满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)要求。

表 2 各施工阶段盖梁上下缘应力 单位:MPa

施工阶段	上缘应力	下缘应力
张拉 N1、N4 钢束	3.2	-0.5
架设小箱梁	-1.4	4.2
张拉 N2、N3 钢束	7.6	-1.4
上二期恒载	6.1	0.7

3.3.4 挠度验算

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设

计规范》(JTG 3362—2018)要求, 盖梁端部在汽车荷载(不计冲击系数)作用下的挠度(见表 3)不应超过悬臂长度的 1/300。由表 3 可知, 盖梁端部竖向挠度为 3.89 mm, 而上述规范的允许值为 52.5 mm, 因此盖梁挠度满足要求。

表 3 盖梁挠度结果

位置	跨径 /m	节点号	竖向挠度 /mm	允许值 /mm
悬臂端部	15.75	1、29	3.89	52.5

4 结 语

(1)双柱式大悬臂倒 T 形隐式盖梁的承载力、应力和挠度均满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)要求, 可为同类型桥梁设计提供借鉴和参考。

(2)为了确保盖梁在施工过程中应力不超《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)要求, 盖梁钢束应采用分批张拉方式。

(3)双柱式大悬臂倒 T 形隐式盖梁能充分利用桥下空间, 并降低盖梁高度, 使上、下部结构相协调, 景观性较好; 同时能有效降低桥面高程, 减少工程建设规模, 节约投资, 因此在城市桥梁建设中应用越来越广泛。

参考文献:

[1] 贺超.单柱式大悬臂 T 型桥墩预应力混凝土盖梁设计与计算[J].广东土木与建筑, 2017(5):29-31.
[2] 伊绪胜, 冯兵, 王凤鸣.大悬臂 T 型盖梁设计要点分析[J].山东交通科技, 2022(2):80-82.
[3] 李建强, 孙立山.大悬臂预应力混凝土倒 T 盖梁设计与施工过程分析研究[J].城市道桥与防洪, 2018(8):141-144.

(上接第 131 页)

连接。为提高接缝处截面的抗扭承载力, 可在节段端部沿箱梁腹板和底板外侧设置一层抗扭钢板, 并可兼做湿接缝浇筑的模板。

(2)在腹板局部受力较大, 且腹板厚度难以满足雨棚杆件锚固需求的位置, 可此处设置一道横隔板以改善腹板受力, 为减少混凝土用量, 并方便模板的拆除, 横隔板设置为开孔板。

(3)对于超宽运输宽度的天桥梯道牛腿位置, 为减小运输难度, 梯道牛腿及横隔板可采用后浇, 且为减少工程造价, 减少 UHPC 工程量, 后浇构件可采用 C50 混凝土。

参考文献:

[1] 邵旭东, 邱明红, 晏班夫, 等.超高性能混凝土在国内外桥梁工程中的研究与应用进展[J].材料导报, 2017, 31(23):33-43.
[2] 张培君, 刘大山.采用 UHPC 对钢结构人行桥加固分析与应用[J].城市道桥与防洪, 2020(12):84-86, 115.
[3] 刘安兴.某 UHPC 箱梁人行天桥设计研究[J].广东交通职业技术学院学报, 2019, 18(2):39-43.
[4] 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):1-24.
[5] JTG/T 3360-01—2018, 公路桥梁抗风设计规范[S].
[6] GB 50009—2012, 建筑结构荷载规范[S].
[7] JTG 3362—2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[8] DBJ/T 15-244—2022, 装配式超高性能混凝土市政桥梁结构技术规程[S].