

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.231488

景观异形桥墩承插式连接设计及受力分析

唐 晓

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 预制装配技术具有施工快、交通环境影响小、工程质量好、能源消耗低等优点,近年来开始得到逐步应用和推广。与此同时,城市桥梁建设也越来越注重景观效果,这导致了桥梁结构外形的多样化、复杂化。如何让预制装配技术与景观艺术设计融合兼顾,成为了桥梁工程师们新的难题。通过深圳市侨城东路北延通道工程的2个立交桥设计实例,介绍了桥墩的景观艺术设计、异形桥墩承插式连接构造和异形墩柱结构受力分析,可为今后国内城市桥梁的高品质建设提供借鉴和参考。

关键词: 桥梁预制拼装;景观艺术设计;异形桥墩;连接形式;承插式连接;有限元分析

中图分类号: U443.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)01-0096-05

Design and Force Analysis of Socket and Spigot Connection for Landscape Shaped Bridge Piers

TANG Xiao

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Prefabrication technology has the advantages of fast construction, low impact on traffic environment, good engineering quality and low energy consumption, and has been increasingly widely used in recent years. At the same time, urban bridge construction is increasingly focusing on the landscape effects, which leads to the diversification and complexity of bridge structure. How to integrate the prefabrication technology with landscape art design has become a new challenge for bridge engineers. Through two design examples of interchanges in Shenzhen East Qiaocheng Road North Extension Channel Project, the landscape art design of bridge piers, the socket and spigot connection structure of shaped bridge piers and the structural force analysis of shaped pier column are introduced, which can provide the reference and guidance for the high-quality construction of urban bridges in China in the future.

Keywords: bridge prefabrication and assembly; landscape art design; shaped bridge pier; connection form; socket and spigot connection; finite element analysis

0 引 言

进入21世纪后,传统的桥梁建造方式由于固有的弊端而面临诸多挑战。随着建筑结构工业化智能建造技术的逐步应用,桥梁工程预制装配化工艺也开始蓬勃发展。装配式建造工艺采用标准化的设计理念、工业化的生产设备、装配化的施工技术以及精细化的管理模式,使其在节能减排、环境保护等方面具有显著优势。

预制装配技术的优势为:结构整体性能安全可靠、施工速度快、现场所需人工作业量少、对既有交通影响小、对周边自然环境污染小、工程质量有保

障、结构外观效果佳、全寿命周期费用低^[1-2]。

桥墩作为桥梁中非常重要的结构,目前在市政桥梁中仍大量采用现浇的传统施工工艺,这与“绿色发展”、“可持续发展”等理念是相悖的。桥墩预制装配技术具有施工快、对交通环境影响小、工程质量好、能源消耗低等优点,因此应加快研究推广桥墩的预制装配技术^[3]。桥墩预制拼装成功的关键点之一就是确保连接构造的受力可靠性,目前预制拼装桥墩的连接构造方式主要有灌浆套筒连接、预应力连接、灌浆波纹管连接、承插式连接、插槽式连接和湿接缝连接等^[4]。其中的承插式连接方式对预制装配的精度要求较低,现场安装工序较少,现场所需人工作业量少,且其结构性能等同现浇结构,安全可靠,因此是一种很好的连接构造方式^[5]。从目前采用承插式连接方式的预制桥墩实例看,桥墩截面形式比

收稿日期: 2023-12-21

作者简介: 唐晓(1991—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计咨询与研究工作。

较单一,主要采用矩形和圆形两种,而圆形多应用于公路桥梁的排架墩中。

随着国民生活水平的提高,国人开始重视审美,强调城市交通设施除了其本身的功能属性以外,也应具备一定的美化城市风貌作用^[6]。城市桥梁建设如今也开始有了景观艺术设计,这导致了桥梁结构外形的多样化、复杂化,也为桥梁工程师们带来了新的挑战。

深圳市交通运输委员会曾在 2016 年发文,要求全面提升交通建设工程品质,改善综合景观效果,在加快推广装配式建筑应用的同时开展多阶段的景观艺术设计。近年来,深圳市已经在多个项目中进行了试点应用,取得了很好的效果。本文所介绍的侨城东路北延通道工程的 2 个立交桥梁设计实例,正是其中之一。

1 工程概况

深圳市侨城东路北延通道工程北起福龙路(不含福龙立交),南至滨海大道,全长约 15.7 km,规划为城市快速路,双向 6 车道,设计速度 80 km/h。

本工程新建桥梁包含 2 座互通立交桥,分别为南坪立交和北环立交,其工程平面区位图见图 1。南坪立交共包含 ES1、ES2、WN、NW 这 4 座匝道桥,桥梁总长 1 581.7 m,总面积 13 976.7 m²;北环立交共包含 1 座跨北环主线桥,以及 ES、SW、NE、WN、WS、SE、辅道桥和掉头匝道桥这 8 座匝道桥,桥梁总长 2 887.1 m,总面积 31 520.0 m²。

北环立交主线桥采用分幅设计,单幅标准桥宽 13.25 m;北环、南坪立交匝道桥标准桥宽分别为 9.0、10.0 m。立交上部结构采用钢混组合梁、钢箱梁和节段预制拼装箱梁,立交下部结构采用独柱式花瓶墩(预制)或双柱式桥墩(预制),桥台采用重力式桥台或轻型桥台。

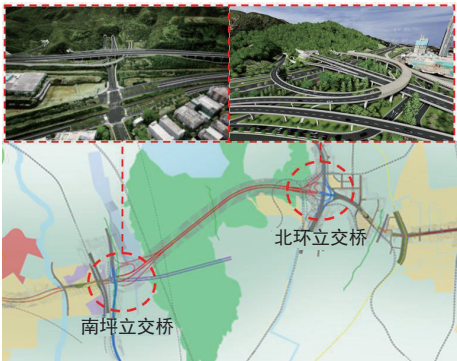


图 1 工程平面区位图

2 主要技术标准

- (1)道路设计等级:城市快速路。
- (2)设计速度:主线 80 km/h,匝道 40 km/h。
- (3)汽车荷载:城-A 级。
- (4)桥梁设计基准期:100 a。
- (5)桥梁设计工作年限:100 a。
- (6)设计安全等级:一级。
- (7)耐久性设计:环境类别为 I 类,环境作用等级为 B、C 类。
- (8)地震作用:建设场地基本烈度为 7 度,地震动峰值加速度值为 0.1g;抗震设防类别为乙类,抗震措施按 8 度设防。
- (9)设计基本风速:W1 作用水平风速为 25 m/s, W2 作用水平风速为 37.5 m/s。
- (10)桥梁净空:车行道净空不小于 5 m。

3 桥墩景观艺术设计

项目以连山通水的特色风貌为出发点,依托山水格局和城市意象,通过整合自然山水、工业区人居环境、滨海城市情境等沿线周边资源,由北至南总体上分为 3 段:北段自然山林段、中段活力新城段、南段热情滨海段。图 2 展示了本项目景观总体设计和立交的景观设计理念。

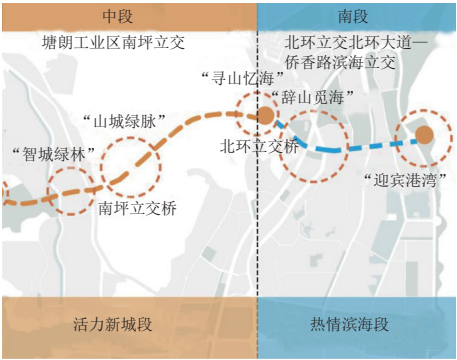


图 2 景观设计理念

立交桥下部结构主要为预制独柱花瓶墩,墩底截面采用非常规的八边形,墩顶 3.0 m 高度做开花段,墩顶横桥向刻深槽,桥墩空间线条简洁,整体造型柔美优雅。独柱墩底平面横桥向尺寸统一采用 2.2 m,顺桥向厚度根据墩高和受力需要为 1.4~2.2 m (见图 3、图 4)。

立交桥下部结构部分桥墩采用了预制双柱墩,墩底截面同样为非常规的八边形,墩顶 4.0 m 高度做开花段,与独柱花瓶墩遥相呼应。墩顶表面 3.0 m 高

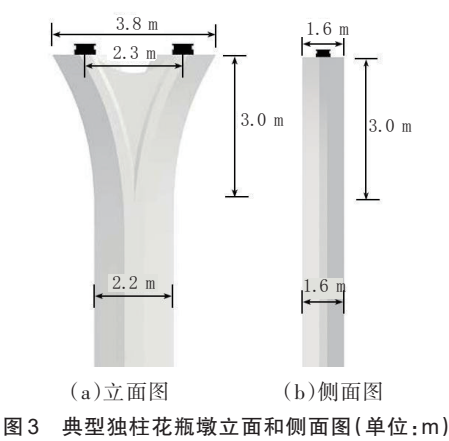


图3 典型独柱花瓶墩立面和侧面图(单位:m)

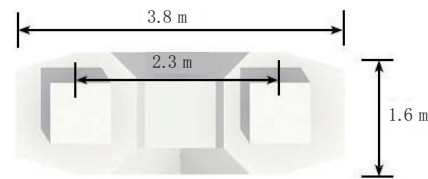


图4 典型独柱花瓶墩平面图(单位:m)

度内,纵横桥向均刻梯槽,梯槽最宽0.7 m、深0.1 m。双柱墩整体造型犹如含苞待放的花骨朵般含蓄优雅。双柱墩底平面纵横桥向尺寸统一采用1.4 m,墩顶纵横向开花后尺寸变为2.0 m(见图5、图6)。

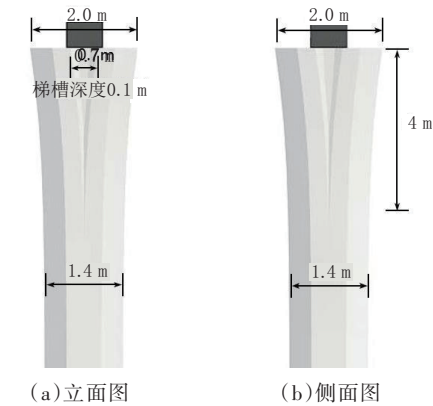


图5 典型双柱墩立面和侧面图(单位:m)

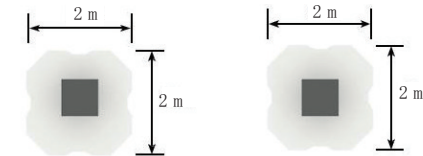


图6 典型双柱墩平面图(单位:m)

4 承插式连接构造

目前应用较多的承插式连接构造主要有2种形式:(1)承台预留承插孔,待预制桥墩插入并调整垂直度后浇筑灌浆料,从而实现墩台连接;(2)先将预制桥墩调好垂直度并固定在承台上,而后在桥墩四周现浇嵌固结构从而实现墩台连接。上述2种连接形式在公路桥梁中已经有了工程应用,其预制桥墩

截面形式多为圆形^[5]。本工程采用一种新型承插式连接构造(见图7、图8),相比目前常见的承插式连接构造,主要区别在于其承插槽部分位于承台内部,部分位于承台顶部的杯口构造内;其具体构造主要包括承台预留孔、承台顶部杯口构造、剪力键构造(承插槽和预制墩柱底部)以及嵌缝材料。该种新型承插式连接构造的主要施工工序为:现场施工桩基、承台,承台中设置承插槽(包含承台内孔洞和杯口构造);预制桥墩与承台预拼装;承插槽底填充高强砂浆垫层;预制墩柱吊装就位,调整垂直度;嵌缝内灌注高强韧性材料,连接形成。

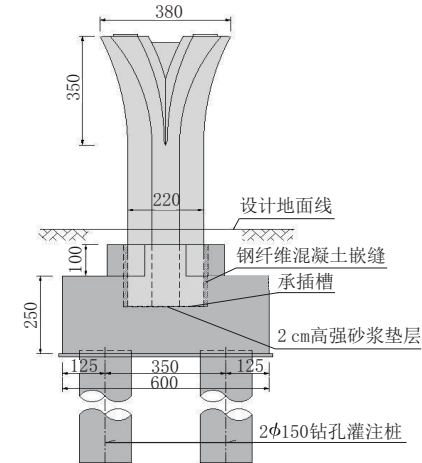


图7 墩台承插式连接立面图(单位:cm)

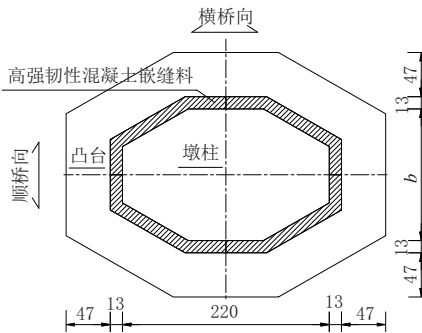


图8 墩台承插式连接平面图(单位:cm)

这种部分埋置式承插式连接^[7]构造可以避免因承台底部冲切性能不足而加大承台高度,增加承台混凝土用量。通过承台顶部设置的杯口构造,可以满足桥墩嵌固所需的承插深度要求。由于桥墩截面为非常规的八边形,因此为了降低承台施工模板制作的难度,杯口构造采用了等截面设置。有研究^[8]认为,承插式连接的最小合理承插深度为0.7D(D为桥墩横截面较大尺寸,下同),此时预制桥墩抗震性能与现浇桥墩基本一致;同时指出偏大的承插深度(超过1.5D)会造成部分承插深度不能充

分或极少发挥作用,导致材料浪费。因此,在考虑一定安全富余的基础上,本工程预制桥墩承插式连接承插深度采用 $1.0D$,杯口高度和承台掏孔深度各自约占 $0.5D$,不同截面尺寸的桥墩略有不同。

5 结构受力分析

5.1 材料参数

桥墩和承台采用 C40 混凝土,桩基采用 C35 混凝土,各等级混凝土性能见表 1。

表 1 混凝土材料性能

标号	弹性模量 E_c/MPa	剪切模量 G_c/MPa	泊松比	f_{cd}/MPa	f_{td}/MPa	线膨胀系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$
C40	32 500	13 000	0.2	18.4	1.65	0.000 01
C35	31 500	12 600	0.2	16.1	1.52	0.000 01

注: f_{cd} 表示混凝土轴心抗压强度设计值; f_{td} 表示混凝土轴心抗拉强度设计值。

普通钢筋采用热轧 HPB300 和 HRB400 钢筋,钢筋标准应符合《钢筋混凝土用钢第 1 部分:热轧光圆钢筋》(GB/T 1499.1—2017)和《钢筋混凝土用钢第 2 部分:热轧带肋钢筋》(GB/T 1499.2—2018)的规定,其性能见表 2。

表 2 普通钢筋材料性能表

牌号	容重 $\gamma_s/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	弹性模量 E_s/MPa	泊松比	f_{sk}/MPa	f_{sd}/MPa	f_{sd}'/MPa
HPB300	78.5	2.1×10^5	0.30	300	250	250
HRB400	78.5	2.0×10^5	0.23	400	330	330

注: f_{sk} 表示钢材抗拉强度标准值; f_{sd} 表示钢材抗拉强度设计值; f_{sd}' 表示钢材抗压强度设计值。

5.2 桥墩计算分析

本工程桥墩墩底截面为八边形(见图 9,图中 a 为横向尺寸, b 为纵向尺寸)。目前规范均无相应截面承载能力和裂缝等验算公式,如果偏安全地按简化矩形验算,如图 9 中虚线或点划线所示,显然简化截面相比原截面削弱很多,验算将过分保守,导致材料浪费。

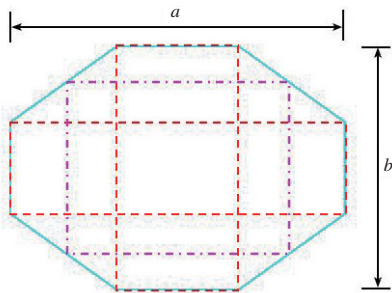


图 9 八边形截面验算示意图

为了确保充分利用截面性能,同时保证结构的安全,必须采用精细化的计算手段进行受力分析。

本工程桥墩八边形特殊截面通过有限元分析软件建立纤维截面来完成相应计算,以下为计算实例。

A2 型桥墩墩底截面横向尺寸为 2.2 m,纵向尺寸为 1.6 m,倒角横向尺寸为 0.7 m,倒角纵向尺寸为 0.5 m,建立 A2 型纤维截面图(见图 10)。通过计算得到该型桥墩频遇组合和基本组合的纵向弯矩分别为 3 825、5 211 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

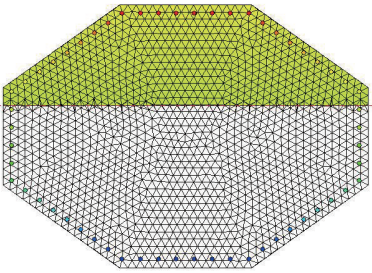


图 10 A2 型纤维截面图

A2 型频遇组合纵向钢筋应力图见图 11;A2 型基本组合弯矩曲率图见图 12。

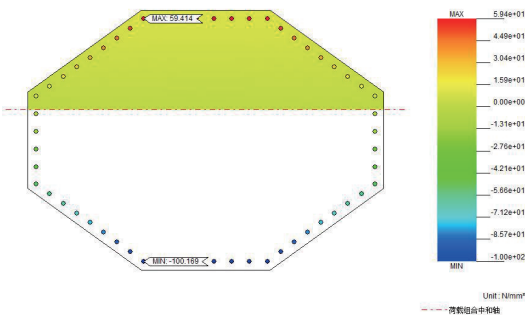


图 11 A2 型频遇组合纵向钢筋应力图(单位:MPa)

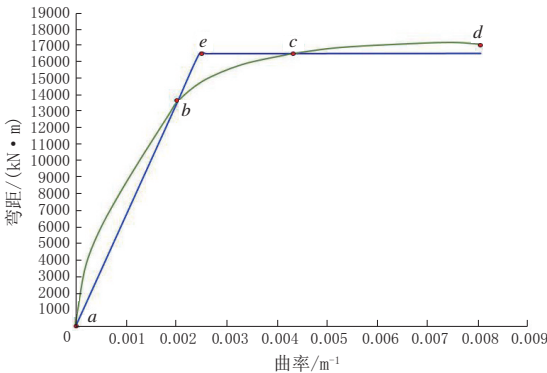


图 12 A2 型基本组合弯矩曲率图

由图 11 可知,A2 型桥墩在频遇组合下的最大钢筋拉应力为 100.2 MPa,据此计算得到的截面裂缝值为 0.15 mm,满足 I 类环境裂缝限值 0.2 mm 的要求。由图 12 可知,A2 型桥墩在基本组合下的截面最大弯矩能力为 16 560 $\text{kN}\cdot\text{m}$,大于弯矩需求的 5 211 $\text{kN}\cdot\text{m}$,截面承载能力极限状态满足要求。从验算结果看,可以发现八边形桥墩的配筋设计主要由裂缝验算控制。

6 结 语

(1)全预制拼装要求构件尽量标准化、模块化和轻量化,这样往往构件截面越常规越方便实施。但是城市桥梁工程作为城市的宣传名片,需得兼顾其景观效果,这对工程师们提出了更高的要求。

(2)本工程从预制拼装技术上,提出了一种桥墩部分埋置式承插式连接构造,可在不额外加高承台的基础上满足嵌固要求,同时降低了预制拼装精度要求,其受力性能等同现浇结构安全可靠;从景观艺术设计上,采用了特殊的八边形截面桥墩,墩身设置了较多的刻槽设计,桥墩整体造型柔美优雅,极具美感。本文涉及的工程实例,对桥梁预制拼装技术和景观艺术设计如何融合兼顾进行了一次探索和尝试,可为今后国内城市桥梁的高品质建设提供借鉴

和参考。

参考文献:

- [1] 齐新,孔令刚,吴东升.城市预制拼装桥梁若干问题浅析[J].上海公路,2020(2):40-43.
- [2] 孙润生.装配式建筑技术在市政桥梁工程中应用探讨[J].建设科技,2022(5):124-128.
- [3] 齐新,卢永成,周海峰,等.桥墩预制装配连接技术特点与应用[J].城市道桥与防洪,2020(8):89-93.
- [4] 陈彦江,丁梦佳,许维炳,等.预制拼装桥墩体系及其抗震性能研究进展[J].中国公路学报,2022(12):60-80.
- [5] 齐新,卢永成,邵长宇,等.新型承插式矩形墩柱的抗震性能研究[J].桥梁建设,2022,52(2):39-46.
- [6] 陈翠丽.景观桥梁设计方法与实例分析[J].城市道桥与防洪,2023(4):131-134.
- [7] 徐艳,曾增,王志强,等.承插式桥墩连接构造及其力学行为的研究进展[J].土木工程学报,2023,56(1):90-108.
- [8] 徐艳,曾增,葛继平,等.承插式预制拼装桥墩的最小合理承插深度[J].同济大学学报,2019,47(12):1706-1711.
- [9] [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2020, 177: 106427.
- [6] Reissner E. Analysis of Shear Lag in Box Beams by the Principle of the Minimum Potential Energy[J]. Quarterly of Applied Mathematics, 1946, 4(3): 268-278.
- [7] 李夏元,万水,陈建兵,等.基于修正翘曲位移函数的薄壁箱梁剪力滞效应分析[J].东南大学学报(自然科学版),2018,48(5):851-856.
- [8] 肖军,李小珍,刘德军,等.不同位移函数对箱梁剪力滞效应的影响[J].中国公路学报,2016,29(9):90-96.
- [9] 姜瑞娟,肖玉凤,吴启明,等.基于能量变分法的波形钢腹板组合箱梁剪力滞效应研究[J].建筑结构学报,2019,40(增刊1):271-277.
- [10] 朱力,聂建国,季文玉.钢-混凝土组合箱型梁的滑移和剪力滞效应[J].工程力学,2016,33(9):49-58,68.
- [11] 袁帅华,段文强,周聪,等.波形钢腹板部分斜拉桥施工阶段剪力滞效应分析[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(11):4055-4062.
- [12] 蒲黔辉,陈良军,施洲,等.铁路钢箱梁正交异性桥面加劲肋疲劳性能研究[J].铁道学报,2020,42(1):96-102.
- [13] 方淑君,戴公连.钢箱梁受压翼缘局部稳定分析[J].长沙铁道学院学报,2003(2):29-31,44.
- [14] 乔朋,周绪红,狄谨.扁平钢箱梁剪力滞效应分析[J].交通运输工程学报,2014,14(4):36-44.
- [15] 张玉元,张元海,张慧.箱形梁剪力滞效应的分离求解方法及参数影响分析[J].应用数学和力学,2018,39(11):1282-1291.
- [16] 李陇亮.考虑纵向加劲肋影响的曲线钢箱梁剪力滞效应研究[D].兰州:兰州交通大学,2019.

(上接第95页)