

DOI: 10.7672/sgjs2026020021

超高层塔楼异形自由双曲面梯田施工技术*

刘强斌,单宏伟,兰晓刚,傅强,张志超,杨宇雄,朱东平
(中建五局华南建设有限公司,广东 深圳 518000)

[摘要] 随着现代建筑设计多样化,异形自由双曲面因其独特的造型和功能,在标志性建筑中得到了广泛应用。同时异形自由双曲面对施工提出了新的要求。以深超总C塔裙楼东侧异形自由双曲面梯田为例,系统介绍一种新型异形自由双曲面模板施工技术,代替定制模板,从而实现降低异形构造施工成本及保证外观质量的目的。

[关键词] 高层建筑;双曲面;模板;施工技术

[中图分类号] TU755.2

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)02-0021-04

Construction Technology of Special-shaped Free Hyperbolic Terraces for Super High-rise Towers

LIU Qiangbin, SHAN Hongwei, LAN Xiaogang, FU Qiang, ZHANG Zhichao,
YANG Yuxiong, ZHU Dongping

(China Construction Fifth Division Southern Construction Subsidiary Co., Ltd.,
Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract: With the diversification of modern architectural design, special-shaped free hyperbolic has been widely used in iconic buildings due to its unique shape and function. At the same time, special-shaped free hyperbolic surfaces put forward new requirements for construction. In this paper, taking the east side of special-shaped free hyperbolic terraces in the skirt building of the Tower C of the Shenzhen Bay Super Headquarters Base as an example, a new type of special-shaped free hyperbolic formwork construction technology is systematically introduced to replace the customized formwork, so as to achieve the purpose of reducing the cost of the construction of the special-shaped structure and guaranteeing the quality of the appearance.

Keywords: tall buildings; hyperboloid; formwork; construction

0 引言

现代建筑设计越来越多样化,由于异形自由双曲面可以构成独特的造型和功能,在体育场馆、剧院、博物馆及超高层建筑等标志性建筑中得到了广泛应用^[1-3]。这些面板不仅满足了美学需求,还能实现复杂的结构功能,受到诸多设计师的青睐。然而,在实际混凝土浇筑过程中,由于异形自由双曲面板的空间结构复杂,造型精度难以控制,施工难度巨大^[4-6]。目前,关于异形双曲面的施工,一般采用预定制模板^[7-8],当存在多个异形构造时,由于模板形状固定而无法重复利用,会造成材料浪费,降

低了材料的周转性,同时由于制作周期长,显著提高了施工成本。基于以上问题,本文提出异形自由双曲面模板施工技术,以解决现代建筑中的异形构造物建造难题。

1 工程概况

深超总C塔项目位于深圳湾超级总部基地核心位置,其异形自由双曲面梯田位于裙房东侧1~5层,总面积约2500m²,如图1所示。

2 施工难点分析

由图1可知,各梯田均为异形自由双曲面构造。其中,1号和4号梯田为中间斜板两侧双曲异形面构造,2号和5号梯田为双曲异形板及折梁构造,3号梯田为不规则扇形构造。本文以1号梯田为例进行介绍,该梯田面均由不均匀分布的等高线控制,导致两侧梯田形状呈现双曲异形构造,如图2所示。

* 中建五局重点研发项目:超高层项目智能建造成套关键技术研发及应用(CSCEC5B-2024-5)

[作者简介] 刘强斌,工程师,E-mail:997168141@qq.com

[收稿日期] 2025-08-10

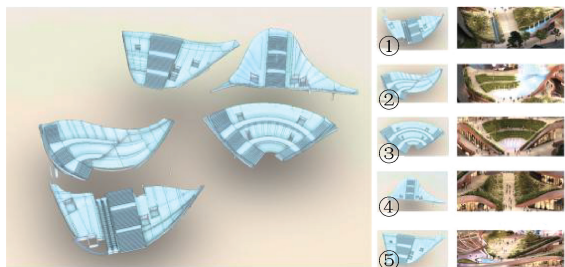


图 1 梯田建筑效果

Fig. 1 Architectural effect of terraces

由于梯田区域面积小,且不做清水混凝土,使用预制模板施工成本将大幅度增加,故需采用新型异形自由双曲面施工技术,以减少施工成本。



图 2 1号梯田双曲构造

Fig. 2 Hyperbolic structure of No. 1 terraces

3 施工工艺流程

C塔异形自由双曲面梯田施工工艺流程如图3所示。本文所采用的异形自由双曲面施工技术基本原理是通过异形自由双曲面梯田三维模型原等高线进行“以直代曲”,形成优化后等高线,在此基础上沿优化后等高线排布钢管支架,采用双层木方的方式形成异形双曲面(见图4),同时设置补充等高线、支架中部标高控制点、支架边缘标高控制点及异形双曲面边缘标高控制点,确保施工要求和保证施工精度。

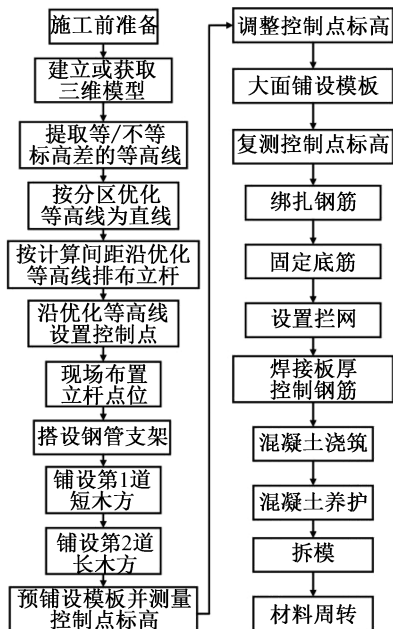


图 3 施工工艺流程

Fig. 3 Construction process flow

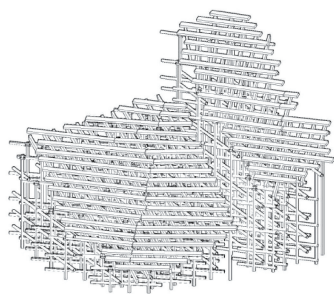


图 4 异形自由双曲面支撑体系

Fig. 4 Special-shaped free hyperbolic support system

4 异形自由双曲面梯田施工关键技术

4.1 施工前准备

提前完成钢管、木方、扣件、木模板等材料进场验收,按规格、大小堆放,同时做好标识,满足现场安全文明施工要求。完成方案技术交底,熟悉施工方法、操作工艺以及质量安全要求。

4.2 “以直代曲”等高线深化设计

通过选取合适高差的等高线进行直线型优化,在直线型等高线上设立支撑立杆,在优化后的同一等高线两侧和中间及沿优化后等高线延长的曲面边界处设置曲面底部标高控制点,用于控制模板形状,如图5所示。根据精度要求,当优化后等高线立杆之间的标高差偏差大于可接受偏差时,在中间控制点处通过弯曲顶部钢管,形成V字形构造,以调整曲面,确保施工精度。而当标高差在可接受偏差内时,顶部钢管可直接使用直钢管以减少工作量。

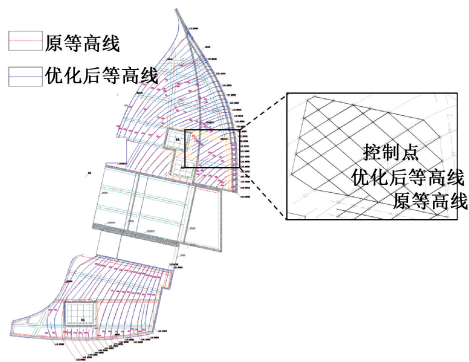


图 5 等高线优化

Fig. 5 Contour optimization

4.3 深化模型与设计模型对比

深化设计后,基于优化后等高线及控制点标高建立深化理论模型,如图6所示。

将深化模型与设计模型通过 64 807 个标高点进行对比,统计数据如表 1 所示。其中,误差在 1cm 以内标高点数为 61 708 个,占比为 95. 22%;误差在 1~2cm 的标高点数为 3 043 个,占比为 4. 7%;误差在 2~3cm 的标高点数为 56 个,占比为 0. 09%。误

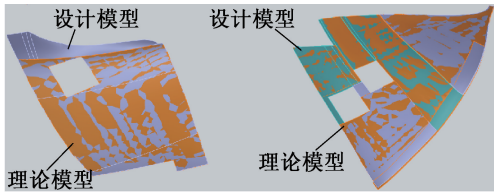


图6 深化模型与设计模型

Fig. 6 Deepening model and design model

差分布如图7所示,绝大部分区域标高误差在1cm内,标高误差在1~2cm区域主要集中于边缘和部分板中心位置,而标高误差在2~3cm的标高点位于模型边缘。以上模型对比分析证明优化后的新型异形自由双曲面施工技术满足施工精度要求。

表1 深化模型与设计模型标高误差统计

Table 1 Statistics of elevation errors between deepening model and design model

序号	颜色	误差范围/mm	标高点数	占比/%
1	黄	0~10	61 708	95.22
2	红	10~20	3 043	4.70
3	蓝	20~30	56	0.09

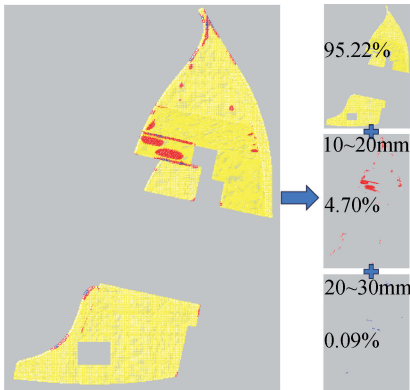


图7 模型误差分布分析

Fig. 7 Analysis of model error distribution

4.4 现场布置立杆点位

现场按照施工方案图纸,沿优化后等高线方向布置立杆点位,使用喷漆区别梁和板的立杆位置。

4.5 搭设钢管支架

根据现场立杆点位布置,搭设钢管支撑体系。板梁均采用双扣件进行固定。顶部钢管作为主楞根据控制点标高的约束,分为V字形和直线形钢管,V字形钢管通过弯曲钢管达成。

4.6 铺设第1道短木方

采用双层木方搭设支撑体系,第1道木方搭设在2根顶部水平钢管上,为短木方,用于模拟曲面在2条不平行钢管间的斜率,保障曲面的施工精度。

4.7 铺设第2道长木方

第2道木方采用平放的方式,在2条不平行顶

部水平钢管两端按比例等份额固定与第1道木方上,规避第1道木方所形成角度的影响,提高异形自由双曲面造型施工精度。当顶部水平钢管为V字形构造时,第2道木方分为左、右两部分,而当顶部钢管为直钢管时,第2道木方可当作优化后等高线之间的等高线。

4.8 预铺设木模板并测量控制点标高

因木模板为大面铺设,各控制点标高确定后,可控制模板的形状,采用全站仪对控制点标高进行测量,有助于提高异形自由双曲面板的施工精度。

4.9 调整控制点标高

当控制点标高与设计标高的偏差大于可接受偏差时,现场记录调整数据并调整控制点标高,以提高异形自由双曲面的施工精度。

4.10 模板铺设

为减少材料浪费,提高材料周转率,提高施工精度和表观质量,采用大面积模板进行铺设。

4.11 固定底筋

由于异形自由双曲面梯田坡度较大,混凝土浇筑时,面板底部钢筋容易被混凝土顶起而脱离板面,故采用不锈钢钉将底筋固定于异形双曲面板。

4.12 设置拦网

异形自由双曲面梯田的坡度较大,为避免混凝土滑落,沿等高线方向设置拦网,间距<2m,拦网设置在上、下2层钢筋之间,以保证混凝土连续不形成裂缝,如图8所示。

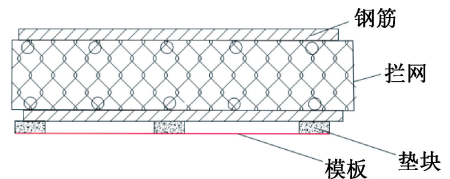


图8 拦网设置剖面

Fig. 8 Section of the barricade setup

4.13 焊接板厚控制钢筋

为控制异形自由双曲面板板厚,保证施工精度,在钢筋上焊接板厚控制钢筋,按间距600mm×600mm布置,混凝土浇筑时,沿板厚控制钢筋控制面板曲度。板厚控制钢筋顶部至混凝土结构面保留5mm厚度,混凝土浇筑时配合插钎的方式控制板面厚度,如图9所示。

4.14 混凝土浇筑

由于异形自由双曲面梯田梁板混凝土强度等级为C35,整体斜度>30°,钢筋节点多,因此控制坍落度在(140±20)mm,选择细粒径骨料,混凝土依据从低到高、从左到右的原则依次浇筑并及时养护,

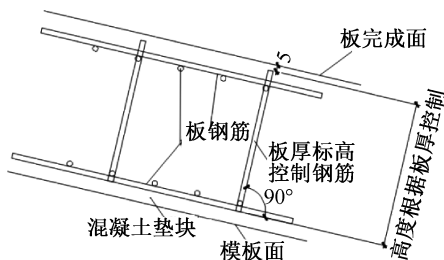


图9 板厚控制钢筋剖面

Fig.9 Section of slab thickness control reinforcement

避免冷缝。

4.15 完成面精度测量

对已完成施工面,采用三维激光扫描仪进行测量,由经过三维扫描数据处理的梯田光谱图可知,梯田表面标高与设计模型误差大部分在3cm以内,超过3cm的区域为设计要求的光滑处理表面。

5 质量保证措施

1)按照“以直代曲”改进后的方式对梯田其余部位进行深化,为现场施工提供方法和依据。

2)对于异形曲面结构部位,严格按照深化图在地面进行画线定位立杆,定制立杆长度,防止标高高或过低,过程中进行复核。

3)按工序先后,钢管主梁、第1道木方、第2道木方、模板搭设后,按深化图中控制点位置进行复核,不满足要求的部位及时调整。梯田局部异形曲面的部位,按照样板施工方法,模板铺设完成后,按照控制点进行复测,利用复测数据进行建模,与原设计模型进行对比。

4)施工过程中着重对控制点标高进行复核,尤其是梁板交接位置及等高线悬高较大的位置。

5)对用于梯田施工的钢管、模板、木方材料进行挑选,规格一致,减少误差。

6)梯田施工过程中技术及测量人员全程跟踪,核对现场与图纸情况。

7)模板施工前,技术部须对木工班组进行详细技术交底,要求木工班组严格按方案要求进行模板施工;工程部需针对现场实际情况对木工班组进行工长交底。

8)模板必须按施工方案及交底要求进行搭设。

6 结语

本文基于深超总C塔异形梯田工程,围绕异形自由双曲面梯田的外观效果和施工成本开展施工技术研究,根据“以直代曲”的理念,将原等高线进行优化,并在优化后等高线上设置标高控制点,采用长短2层木方,模拟等高线之间的斜率以控制板面成型效果。实践证明采用新型异形自由双曲面

木模板体系具备如下技术特点:①工期缩短,使用现场已有的材料,包括钢管、扣件、木方、木模板,为确保异形双曲梯田精度,不必工厂加工定制异形钢模板,显著缩短工期;②质量提升,与细小模板相比,该模板支撑体系允许采用大块木模板进行大面铺设,材料可周转性显著提高,提高成品表观质量,减少后期人工修补;③成本降低,采用现成材料,与细小模板和定型模板相比,显著提高材料可周转性,降低施工成本和工作量。

参考文献:

- [1] 朱旭良,于吉祥,庄帅.大型商业密集式多圆心拼接异型弧形梁模板施工技术分析[J].安徽建筑,2024,31(4):48-49.
ZHU X L, YU J X, ZHUANG S. Construction technology analysis of large-scale commercial dense multi-center splicing special-shaped arc beam formwork[J]. Anhui architecture, 2024, 31(4): 48-49.
- [2] 侯彦果,朱博莉,郭宇飞,等.双曲面斜交网格筒冷却塔施工关键技术[J].施工技术(中英文),2024,53(2):74-78.
HOU Y G, ZHU B L, GUO Y F, et al. Key construction technology of hyperbolic diagonal intersecting grid cylinder cooling tower[J]. Construction technology, 2024, 53(2): 74-78.
- [3] 吕勇拓,韩洋,乔会丹,等.异型模板在不规则曲面造型建筑结构中的应用[J].工程建设与设计,2022(20):168-170.
LÜ Y Z, HAN Y, QIAO H D, et al. Application of special-shaped formwork in building structure with irregular curved shape[J]. Construction & design for engineering, 2022(20): 168-170.
- [4] 许慧.高处双曲异型大截面环梁模板体系施工技术[J].建筑技术开发,2014,41(5):45-48.
XU H. Construction technique of high-altitude hyperbolic specially-shaped large section ring beam formwork system[J]. Building technique development, 2014, 41(5): 45-48.
- [5] 孙辉,张洪波,李恩平.空间异型结构清水混凝土模板施工技术[J].青岛理工大学学报,2016,37(1):121-124.
SUN H, ZHANG H B, LI E P. Construction technology of the special-shaped clear water concrete structure for concrete template[J]. Journal of Qingdao University of Technology, 2016, 37(1): 121-124.
- [6] 刘文强,吴敬召,范红英,等.异型结构模板施工技术[J].市政技术,2012,30(5):50-52,91.
LIU W Q, WU J Z, FAN H Y, et al. Construction technology of special-shaped structure template[J]. Municipal engineering technology, 2012, 30(5): 50-52, 91.
- [7] 令狐延,彭恺.我国房屋建筑模板技术的研究综述[J].施工技术(中英文),2024,53(17):71-76.
LINGHU Y, PENG K. Review on building formwork technology in China[J]. Construction technology, 2024, 53(17): 71-76.
- [8] 左凤霞,王腾飞.常规大型模板异型化处理扭坡施工技术[J].南水北调与水利科技,2007,5(S1):46-48.
ZUO F X, WANG T F. Construction technology of abnormal treatment of twisted slope with conventional large formwork[J]. South-to-north water transfers and water science & technology, 2007, 5(S1): 46-48.