

现代化高标准预制清水混凝土看台关键技术研究与应用

赵利辉

北京榆构有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i11.4590

[摘要] 现代化大型专业体育场馆预制看台普遍面临集成化程度不足、弧形构造施工精度欠缺、清水混凝土外观效果调控难度大等技术瓶颈。本文以北京工人体育场改造重建项目为工程依托,系统开展高集成高精度预制清水混凝土弧形看台关键技术研究。通过标准化设计、模具研发、施工工艺优化及性能试验验证,构建了贯穿设计、生产、安装、检测全过程的技术体系。该技术成果已在北京工人体育场项目中成功应用,有效破解了弧形清水看台多专业集成、异形构件生产与安装关联控制难度大等关键问题,为同类大型体育场馆预制弧形看台工程提供了可复制的理论依据与工程范例。

[关键词] 现代化; 高集成; 预制清水混凝土看台; 工程应用

中图分类号: TV331 文献标识码: A

Research and Application of Key Technologies for High-Standard Prefabricated Concrete Slab Stands in Modern Sports Venues

Lihui Zhao

Beijing Yujigong Co., Ltd.

[Abstract] Modern large-scale professional sports venues often face technical bottlenecks such as insufficient integration, poor construction accuracy of curved structures, and difficulty in regulating the appearance effect of concrete. Based on the Beijing Workers' Stadium renovation and reconstruction project as the engineering basis, this paper systematically conducts research on key technologies for high-integration and high-precision prefabricated concrete curved stands. Through standardized design, mold development, construction process optimization, and performance test verification, a technical system covering the entire process of design, production, installation, and inspection has been constructed. This technical achievement has been successfully applied in the Beijing Workers' Stadium project, effectively solving key problems such as multi-disciplinary integration of curved concrete stands and the control of associated production and installation of irregular components. It provides a replicable theoretical basis and engineering example for similar prefabricated curved stand projects in large-scale sports venues.

[Key words] Modernization; High integration; Prefabricated concrete clear-slab grandstand; Engineering application

1 引言

伴随我国体育产业的快速发展,大型专业体育场馆建设已迈入高质量发展阶段,对看台结构的集成深度、施工精细化水平及外观美学品质提出了更高标准。北京工人体育场改造重建项目作为首都重点工程,须满足国际足联专业足球比赛标准,并兼顾历史风貌保护与功能品质提升,建设难度极高。当前,国内已建体育场馆的预制看台多以直线型或折线型为主,弧形清水看台相关技术尚处发展期,缺乏系统性的“设计-生产-施工-检测”一体化解决方案。

梳理国内外研究现状可知,相关技术均存在明显局限。国外

方面,德国安联球场的预制弧形看台虽模块化设计水平高,但未能实现多专业的深度集成,模具通用性不强;日本札幌巨蛋体育场虽注重清水外观效果,但缺乏系统的结构性能试验验证,且对大型专用设备依赖度高。国内研究则多聚焦于直线型看台或单一弧形构件,缺乏系统性与综合性^[1]。基于此,本文以北京工人体育场改造重建项目为依托,开展高集成高精度预制清水混凝土弧形看台关键技术研究,采用“理论分析—试验研究—工程验证”的技术路线,着力解决多专业集成、异形构件高精度生产及狭小空间高效安装等关键问题,为同类工程提供技术支撑与工程范例。

2 工程背景与技术难点

2.1 工程概况

北京工人体育场改造复建项目定位为“全国首批、首都首座”国际标准专业体育场馆,总建筑面积约48万 m^2 。看台采用四层“碗形”设计方案,总坐席数约6.8万个,其中四角部位为弧形预制清水混凝土看台,弧形最大跨度达12m,半径范围为8~10m。项目需预制各类构件总计8266块,初始型号达2914种,须集成通风、排水、防雷、疏散指示、栏杆预留等多个专业的预留预埋需求。结构设计使用年限为100年,混凝土强度等级最低为C40,关键部位达C50;清水混凝土外观须满足颜色均匀、表面致密、无明显色差且弧形线条流畅顺滑的严格要求。

鉴于现浇方案存在物资管理难度大、交通与场地压力大、工期长等问题,并综合考虑工体绿色建筑定位与紧张的施工计划,本项目最终确定主体框架结构现浇,观众看台全部采用预制清水混凝土看台的方案。该方案在资源利用、能效、尺寸精度与外观效果上均更具优势。

2.2 核心技术难点

结合本工程实际情况及国内外同类项目调研,本项目主要面临以下核心技术难点,亦是当前预制弧形清水看台工程的共性难题:

(1) 标准化设计难度大。弧形看台构造复杂、集成专业多,现有项目集成度普遍偏低,缺少成熟的多专业集成标准化设计经验,导致构件型号冗余、设计效率低下。

(2) 生产精度与清水效果控制难。传统固定式模具通用性差,针对不同弧度须单独制模,成本高效率低,致使构件弧线精度偏差大,清水外观易出现气泡、色差、弧线不流畅等质量缺陷。

(3) 安全性与舒适度要求高。“新工体”对标欧洲主流配置,需满足FIFA标准,确保看台有足够的安全性和舒适度。除理论设计外,如何通过有效方式验证实际效果,是重要研究课题。

3 关键技术研究

3.1 集成式高精度预制清水混凝土弧形看台标准化设计技术

3.1.1 设计原则与流程

结合本项目的工程特点与技术难点,设计工作遵循“标准化、集成化、可视化、可施工性”四大核心原则,在兼顾设计精度、施工效率与成本控制的基础上,融合建筑、结构、机电、装饰等多专业需求,构建了一套科学规范的预制看台标准化设计流程,以确保设计成果的准确性、可实施性及经济性^[2]。

具体设计流程如下:前期方案研究阶段,结合项目功能需求、历史风貌保护要求及国际足联标准,明确预制范围与设计目标;施工图深化阶段,对各专业设计要求予以细化,确定预留预埋的位置与尺寸;预制范围与边界确定阶段,结合结构受力特征与施工便利性,合理划分预制构件的范围与边界;平面拆分阶段,依据轴线距离与台阶尺寸,优化预制构件的平面拆分方案;截面标准化阶段,以模数化为基础,统一样板截面的形式与尺寸;BIM建模与碰撞检测阶段,建立三维信息模型,开展多专业碰撞检测,优化设计方案;节点设计阶段,优化连接节点构造,兼顾结构安

全性与安装便利性;最终形成标准化设计图纸、构件清单及施工指导文件,完成成果输出。设计过程中采用多方案对比分析方法,结合BIM技术与ANSYS有限元分析软件,对构件受力性能与安装精度进行模拟分析,以保证设计成果的准确性与可实施性。

3.1.2 平面拆分与截面标准化

标准化看台板设计参数包含所有能够影响型号产生的因素,包括尺寸(板长、板宽、梁高、板厚)、配筋、预留预埋种类和位置。通过上述标准化设计措施,大幅消减了构件型号冗余问题;同时统一了预埋件的形式与位置,实现了预埋件空间相对边距和端距的模数化,减少了预埋件大样种类,显著提升了深化设计的效率与精度,为工厂化批量生产和现场快速安装奠定了坚实基础。

3.1.3 结构计算

对看台板参数进行计算,对看台板各项性能进行复核,包括荷载、抗弯、抗剪、裂缝、挠度等,以确保理论设计满足需求。

3.1.4 BIM建模与碰撞检测

依据看台板三维尺寸信息、标准化设计成果及多专业集成需求,采用Revit软件绘制预制构件族,确保构件的可识别性与可追溯性。将建筑、结构、机电(通风、排水、电气、防雷)及预制构件等各专业模型同步载入BIM平台,借助BIM软件的空间分析功能,系统考察各专业构件之间的空间关系,全面开展碰撞检测,及时发现并处置预制构件与主体结构、机电管线之间的冲突问题,避免后期施工返工,降低了工程成本^[3]。

3.2 集成式高精度预制清水混凝土弧形看台制造技术

3.2.1 清水混凝土配合比优化

清水混凝土的外观质量与结构性能直接决定看台的整体品质与使用寿命。针对本项目对清水混凝土外观与结构性能的严格要求,开展了原材料选型与配合比正交试验,确保混凝土的工作性能、力学性能与外观质量均满足设计指标。

原材料选型方面,选用质量稳定、强度波动不超过5%的P•042.5级普通硅酸盐水泥,以保证混凝土强度稳定性;选用细度模数2.4~2.6、含泥量不超过2.5%中砂,确保混凝土的和易性与表面光滑度;选用5~20mm连续级配、含泥量不超过1%的碎石,优化颗粒级配,提高混凝土的密实度与强度;选用聚羧酸系高效减水剂,保障混凝土的流动性与施工性能;单掺粉煤灰,改善混凝土的和易性,降低水化热,减少开裂风险。试验设计方面,以水泥品牌、粉煤灰掺量(2.55%、3.41%、4.26%)、水胶比(0.39),设计9组配合比试验,分别测定混凝土的坍落度(控制范围120~140mm)、扩展度、28d抗压强度及外观色泽,通过对比分析筛选最优配合比。

经系统试验比选,最终确定工程用鸿泰水泥、冀东水泥+低掺粉煤灰施工配合比。该配合比制备的混凝土工作性能优良,便于现场浇筑作业;成型后表面致密、颜色均匀(色差 $\Delta E \leq 3$),无明显气泡与视觉色差,满足清水混凝土外观质量要求;28d抗压强度满足C40强度等级标准及结构受力要求。

3.2.2 创新型可调模具研发

针对弧形构件生产精度控制困难、模具通用性差且成本高的问题,研发了预制弧形带折弯式滑动侧模轨道的可调节看台板模具。创新性采用“轨道滑动+钢板折弯”双重调节机制,可实现构件弧形半径相差800~1000mm、弧线间距相差5mm以内的模具灵活可调,能够适配本项目不同区域弧形构件的生产需求。

3.2.3 生产工艺与养护技术优化

生产采用反打成型工艺,该工艺可有效保障清水混凝土的表面成型质量,兼顾生产效率与成本控制。结合本项目技术指标,制定了精细化生产工艺流程,对各关键工序实施严格质量管控,以减少表面气泡、色差等缺陷。

养护技术方面,引入智能自动蒸养系统,配合可移动工具式养生大棚,设定科学的蒸养温度曲线:升温速率不超过15℃/h,以防止升温过快引发温度裂缝;恒温阶段温度控制在55±5℃,确保混凝土强度快速增长;降温速率不超过20℃/h,避免降温过快产生收缩裂缝,实现养护湿度的精细化调控^[4]。

4 技术创新点

4.1 集成式高精度预制清水混凝土弧形看台标准化设计与深化设计技术研究

研发了一种高集成的弧形预制看台板深化设计技术,解决了大体量、多构造的看台板拆分和标准化的难题,解决了专业融合度低,后期大量后锚固、开孔、焊接等破坏性施工,保护了看台板本身,提高了整体质量,提高了施工效率,对于后续的体育场馆设计积累了经验,提供了参考。

4.2 集成式高精度预制清水混凝土弧形看台混凝土材料与生产工艺研究

清水混凝土看台外观颜色控制技术:通过研究混凝土胶凝材料水化机理,和光的透射、反射机理,研究混凝土水化产物对人眼视觉成像颜色的关系,从而制定不同温度下清水混凝土配合比的调整原则、养护制度,以保证清水看台外观颜色的一致性。研发了适用于清水混凝土看台板的材料和配合比,能够为实际生产施工提供可靠的依据,提高了项目实施的效率。

4.3 集成式高精度预制清水混凝土弧形可调节看台模具设计及制造技术

大型弧形看台高精度模具精益建造技术:针对看台生产工艺,进行看台板模具受力分析,对模具进行构造设计改进,把模具分为底架、底模、端模和侧模四个部品;对每个部品的材料、精度都分别进行要求;采用自动化下料设备及焊接机器人,确保模具成品质量;最终组装后的看台模具成品应满足高精度、高性能要求。研发了新一代弧形清水混凝土看台板模具对于材料实现了更加精益的利用,对于加工工艺实现了进一步的提升,对于整体模具的市场应用,提供了更有利的条件^[5]。

5 工程应用与效益分析

5.1 工程应用效果

该套关键技术已在北京工人体育场改造复建项目中得到成

功应用。清水混凝土表面颜色均匀、无明显质量缺陷和视觉色差,弧形线条流畅顺滑,完全满足设计要求及国际足联专业足球比赛场馆的视觉验收标准;多专业集成的预留预埋位置精准无误,通风、排水及防雷等系统安装顺畅,未发生任何干涉问题;安装精度稳定控制在2mm以内,结构连接安全可靠,满足100年设计使用年限的要求,为我国大型专业体育场馆预制弧形看台建设积累了宝贵的工程实践经验。

5.2 综合效益分析

本研究针对弧形清水混凝土看台板进行研究,通过设计、荷载计算、有限元数值分析模拟、多项试验等方式,整理出一套适用于弧形清水混凝土看台板的设计-生产-施工安装-质量控制全过程技术。本项技术合理的提出了弧形清水混凝土看台板设计、生产技术及施工全过程关键控制点,在施工质量、成本、工期等方面均达到最优选择。通过标准化设计优化、模具技术创新及施工工艺改进等一系列技术措施,项目取得了显著的成本节约与工期压缩成效,综合经济效益表现突出。

6 结论

本文以北京工人体育场改造复建项目为工程依托,针对预制清水混凝土弧形看台面临的核心技术难题,系统开展了高集成高精度预制清水混凝土弧形看台关键技术研究,通过理论分析、试验研究与工程验证,得出以下主要结论:

(1) 所研发的集成式标准化设计方法,通过平面拆分优化、截面标准化定型、BIM多专业碰撞检测与集成设计,有效解决了弧形看台多专业集成困难与构件型号冗余的问题,为工厂化批量生产提供了可靠保障,相较于国内外同类设计技术,集成度与标准化程度均处于更高水平。

(2) 创新性研制的可调模具采用“轨道滑动+钢板折叠”双重调节机制,成功解决了弧形构件生产精度不足、模具通用性差的技术难题,模具成本降低,生产消耗与材料浪费得到有效控制,模具通用性与技术经济性优势显著。

【参考文献】

- [1] 蒋勤俭.装配式混凝土建筑发展现状与趋势[J].建筑结构,2020,50(11):1-7.
- [2] 王广军,李建伟.预制清水混凝土看台板施工技术在大中型体育场中的应用[J].施工技术,2019,48(12):89-92.
- [3] 刘昊,王雷亮.弧形预制清水混凝土构件生产与安装技术研究[J].混凝土,2022,(7):132-135.
- [4] 北京建工集团有限责任公司.北京工人体育场改造复建项目预制清水混凝土弧形看台施工方案[R].2021.
- [5] 张怡,史自卫.大型体育场馆预制看台板标准化设计研究[J].建筑科学,2020,36(8):102-107.

作者简介:

赵利辉(1981--),男,汉族,北京人,工程师,本科,研究方向—装配式。