

拉次序时张拉 25%，1-6 次序时再张拉 25%；2 轴 27、28 号拉索分别与其余拉索同步张拉，确保张拉力一致。结构施工卸载后（拆除胎架、施加附加恒载），根据实际内力和位移状况微调索力，达到最终控制目标。

张拉流程：一是设备调试，接通油管，空载运行两个行程，确保千斤顶工作正常；二是同步张拉，启动油泵缓慢供油，拉索下移过程中同步旋动调节螺杆；三是分级稳压，达到分级张拉力后稳住油压，旋紧调节螺杆；四是卸荷关机，完成分级张拉后卸除油压，回油、关机、断电，做好张拉记录。

4 索力 - 变形协同控制方法

4.1 协同控制原理

大跨度曲面屋盖预应力拉索的索力与结构变形存在强耦合关系，索力施加直接影响结构变形，而结构变形反馈影响索力分布。协同控制的核心是通过施工模拟预判索力与变形的匹配关系，在施工过程中通过实时监测动态调整，确保索力精准施加与结构变形可控，最终实现设计预期的结构受力状态与形态。

4.2 施工模拟分析

采用 Sap2000 有限元软件进行施工全过程模拟，分析目的包括：确定合理张拉方案，保证施工过程与使用阶段结构安全；给出典型张拉阶段的索力和变形数据，为施工监测提供理论依据；优化张拉顺序与分级，确保屋盖变形满足设计要求。

模拟参数设置：拉索弹性模量 195GPa，热膨胀系数 1.17×10^{-5} ，屈服强度 1086MPa，极限强度 2140MPa；荷载考虑结构自重、附加恒载及拉索预应力（未计入荷载设计分项系数）；胎架按实际布置建模，设置为只压不拉单元。

模拟结果表明：拉索应力均小于屈服强度，满足安全储备要求；屋盖在恒载作用下的竖向变形扣除预起拱值后均小于 50mm，符合设计控制要求；第二级张拉结束时，胎架已不受力，可安全拆除。

4.3 全过程监测技术

4.3.1 监测内容与指标

监测内容包括拉索索力、屋盖结构变形、胎架反力与应力等，核心监测指标：一是拉索索力，采用应力传感器监测，每根拉索 1 个监测点，允许偏差满足设计与规范要求；二是结构变形，监测主桁架与屋面边梁在 8 轴位置的竖向变形，以及柱端节点水平位移，竖向变形控制值 $\leq 50\text{mm}$ ；三是胎架状态，监测张拉过程中胎架反力与应力，确保胎架受力安全。

4.3.2 监测频率与反馈

监测频率：张拉前采集初始值，每分级张拉完成后即时监测，张拉完成后 12 小时内提交监测数据；结构卸载与附加恒载施加后增加监测频次。监测数据实时反馈给施工、监理与设计单位，若索力偏差超过允许范围或结构变形异常，立即停止施工，分析原因并调整张拉参数后再继续施工。

4.4 专家论证优化与过程控制

施工前组织超危大工程专家论证会，针对方案中的薄

弱环节提出优化意见，主要包括：完善方案审核审批程序；细化汽车吊布置示意图，增加行走路线、周边环境、材料堆放位置等；明确拉索安装与屋盖钢结构施工的衔接关系；补充拉索张拉体型控制的具体数据与方法；细化吊车吊重分析与工况图；调整盘扣架立杆间距与搭设参数；补充拉索剖面图与操作平台设计；优化操作架荷载验算与不均匀沉降控制；取消汽车吊挂篮，采用剪叉式高空作业平台等。

5 施工效果与验证

5.1 施工质量验收结果

根据《索结构技术规程》（JGJ257-2012）、《建筑索结构工程施工质量验收标准》（T/CECS1301-2023）等规范要求，对拉索施工质量进行全面验收：一是拉索与锚头成品性能，全数检查原材料合格证、制造厂复验报告，均符合设计要求；二是拉索防护，表面平整密实，无损伤、擦痕；三是拉索索力，全数检查施工记录与监测数据，索力偏差控制在规范允许范围内。

5.2 关键技术指标验证

索力控制：拉索张拉完成后，索力实测值与设计值偏差均小于 3%，满足《钢结构工程施工质量验收标准》（GB50205-2020）要求；

变形控制：屋盖竖向最大变形 42mm，柱端节点水平位移最大 28.19mm，均在设计允许范围内；

安全性能：施工过程中未发生设备故障、高空坠落、结构失稳等安全事故，实现“零伤亡、零隐患”目标；

工期控制：拉索施工从 2025 年 9 月 15 日开始，2026 年 4 月 15 日完成，总工期 213 天，符合计划要求。

6 结语

本文结合温州文化展示中心（G-08 地块）大跨度曲面屋盖预应力拉索施工实践，系统研究了预应力拉索的施工技术与索力 - 变形协同控制方法，得出以下结论：大跨度曲面屋盖预应力拉索施工需建立“加工 - 运输 - 安装 - 张拉”全流程技术体系，重点控制拉索加工精度、吊装稳定性、操作平台安全性及张拉分级顺序，可有效保障施工质量与安全。采用“体型控制为主、张拉力控制为辅”的原则，结合有限元施工模拟与全过程监测，能实现索力与结构变形的协同控制。温州项目通过该方法使屋盖竖向变形 $\leq 42\text{mm}$ ，索力偏差 $\leq 3\%$ ，满足设计要求。

参考文献

- [1] 牛卫兵. 大矢高双曲双弧型复合钢结构屋盖安全管控措施研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(17): 59-61.
- [2] 熊森, 冯孝宾, 朱铭超, 等. 杭州电竞中心车辐式索承网格屋盖结构设计[J]. 建筑结构, 2024, 54(17): 16-22.
- [3] 柳子通, 袁理明, 肖志杨, 等. 汉川东站大跨度钢网架屋盖结构设计[J]. 建筑结构, 2024, 54(17): 54-59.
- [4] 王迎春, 朱华. 体外预应力加固技术在网架结构中的应用[J]. 安徽建筑, 2024, 31(07): 57-60.

Research on Construction Difficulties and Application of Prefabricated Building

Chenggang Qian

Jiangsu Zhongjiang Jianye Construction Engineering Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract

As industrialized construction advances, prefabricated buildings have become a widely adopted innovative construction method in numerous projects. However, the rapid expansion of prefabricated construction faces multifaceted challenges in project organization and on-site execution, stemming from both process differences between component manufacturing and on-site installation, and the limited adaptability of construction teams in node connections, mechanical coordination, and on-site construction rhythm. To address these issues and ensure construction quality while promoting sustainable development, this paper systematically analyzes current challenges in prefabricated construction through literature review and case studies, proposing corresponding optimization strategies for reference.

Keywords

Prefabricated construction; Construction; Challenges; Optimization strategies; Application

装配式建筑施工难点与运用研究

钱承刚

江苏中匠建业建设工程有限公司, 中国·江苏 无锡 214000

摘 要

在建筑工业化进程不断深入背景下,装配式建筑作为新型建造方式在众多项目中得到了广泛应用。目前,装配式建筑施工的工程组织和现场执行在快速推广过程中受到诸多因素的影响呈现出多层次的技术约束与操作摩擦,这些约束既源于构件生产与现场安装之间的工序差异,也受限于施工班组对节点连接、机械协调和现场施工节奏的适配能力。针对这一局面,出于保证装配式建筑建设质量以及推动其良好发展的需要,本文基于有关文献与工程案例研究系统梳理现阶段装配式建筑施工难点,并探讨出相应的优化策略应用,以供参考。

关键词

装配式建筑; 施工; 难点; 优化策略; 运用

1 引言

进入新时期以来,国家积极推动建筑工业化与绿色建造融合发展,装配式建筑作为提升施工效率、减少资源浪费的重要手段,正日益受到重视。然而,在实际推广应用过程中,装配式建筑施工暴露出一定的难点痛点,如预制构件现场安装精度与节点连接、构件吊装与现场施工机械化协调等,这影响了其规模化发展^[1]。有鉴于此,本文围绕着装配式建筑施工难点及其优化策略运用展开研究。旨在通过对难点与策略的对应分析,形成较为完整的装配式建筑施工技术应对思路,为类似工程提供参考依据。

2 装配式建筑概述

结合工程实践,装配式建筑是指以标准化设计为前提,将梁、板、柱、墙等主要结构构件在工厂内,按统一技术标准进行预制生产,经检验合格后运输至施工现场,通过起重机械进行装配安装,并在关键节点部位完成可靠连接,最终形成整体受力结构的建造方式。该模式强调“工厂制造、现场装配”的施工组织特点,与传统现浇施工相比,现场湿作业明显减少,对施工精度、构件质量和安装顺序要求更高。在推广过程中,装配式建筑需严格执行现行国家及行业标准,对构件尺寸偏差、连接方式、灌浆质量和施工过程控制提出明确要求。施工管理中需重点做好构件生产计划、运输组织、吊装顺序及现浇—预制转换部位控制,确保结构整体性和安全性。目前,装配式建筑已在住宅、公建等领域广泛应用,正逐步形成较为成熟的施工技术体系。

【作者简介】钱承刚(1969—)男,中国江苏扬州人,本科,高级工程师,从事建筑施工研究。

3 装配式建筑施工难点分析

3.1 预制构件现场安装精度与节点连接难点

在装配式建筑施工中,预制构件现场安装精度控制是影响结构整体性能的重要环节。构件在工厂预制阶段虽可实现较高成型精度,但在运输、堆放及二次吊装过程中,易因受力变化和环境条件影响产生微小变形,导致现场安装时标高、轴线或垂直度偏差累积。同时,节点连接形式多样,包括湿接缝、灌浆套筒及现浇叠合部位等,不同构件之间的连接公差叠加后,对安装定位提出更高要求。若现场测量放线、临时固定或调整措施不到位,容易造成节点拼装困难,甚至出现割除钢筋、返工处理情况。此类问题在高层装配式住宅中尤为突出,其施工节奏快、构件数量多,一旦精度控制链条中某一环节失控,便会对后续结构施工产生连锁影响。

高层住宅的转换层施工的精度控制对层高、标高的控制,钢筋的预留等提出了更高的要求。大型装配式厂房工程的预制梁柱体系的连接精度控制也是值得研究的课题。

3.2 构件吊装与现场施工机械化协调难点

装配式建筑施工过程中,构件安装主要依托起重设备完成,其构件单体重量大、尺寸规格多样、吊装作业密集度高,整体机械化水平显著高于传统现浇施工。在实际实施中,受施工场地狭小、周边环境复杂等因素影响,起重机械的布置位置、回转范围及额定起重量需兼顾多类构件的吊装需求,当构件类型差异较大或施工组织衔接不当时,易产生吊装等待、作业面交叉干扰等现象^[2]。同时,装配式施工对构件安装顺序和作业节奏要求严格,若起重设备配置能力与施工进度计划不匹配,将直接制约现场安装效率。部分工程在前期策划阶段对构件吊装特性和机械适配性分析不充分,导致施工过程中频繁调整设备使用方案,或因吊装能力不足,拆解构件,造成施工周期延长和现场协调难度大,并对安全管理和工期控制形成不利影响。

3.3 现浇—预制转换部位施工质量控制难点

现浇—预制转换部位是装配式建筑施工中质量控制要求最为集中的关键环节,通常分布于结构节点、叠合楼板及构件连接区域。该类部位既承担结构受力连续传递任务,又需要实现预制构件安装与现浇作业之间的有效衔接,其施工复杂程度明显高于单一结构形式。受浇筑时序、材料收缩特性及现场环境差异影响,若工艺控制不到位,易出现界面裂缝、混凝土密实度不足等质量隐患。同时,转换部位多处于钢筋、模板、构件安装等多工序交叉作业阶段,各工序相互制约,若缺乏专项控制与过程检查,极易出现饱满度不满足要求、套筒钢筋连接长度不足等严重缺陷。

3.4 机电安装与构件集成施工难点

装配式建筑强调结构构件与机电管线的协同布置,但在实际施工中,机电安装往往仍沿用传统施工思路,与结构施工衔接不足。预制构件中预留孔洞、预埋件位置一旦与现场机电安装需求不匹配,后期调整空间有限,容易引发二次

开凿或临时改动,破坏构件完整性。此外,机电专业与结构专业在施工组织和工序安排上存在节奏差异,若协调不到位,易出现构件安装完成后再进行机电处理的被动局面。此类问题在管线密集区域尤为突出,对施工精细化管理提出了更高要求。

4 装配式建筑施工难点的优化策略运用

4.1 强化提升构件精度控制与节点连接

在装配式建筑施工实践中,构件精度控制与节点连接易受设计偏差、生产误差及现场条件叠加影响,应通过全过程控制手段加以优化。首先,在构件进场管理阶段,应结合预制构件工厂化生产特点,建立以实测实量为核心的分批复核机制,对构件长度、截面尺寸、钢筋外露长度及套筒位置进行针对性抽检,并将检测结果与设计深化图纸逐项比对,对偏差接近控制上限的构件提前标识,避免在安装阶段集中暴露问题而引发返工^[3]。其次,在现场测量与放线环节,应以主体结构控制轴线为基准,配合构件自身预留基准面进行双向校核,在放线过程中采用多点复核与反向验证相结合的方法,重点控制楼层间竖向传递误差,防止因单一控制点偏移造成构件整体累计偏差,确保构件安装位置与节点空间条件匹配。再次,在构件吊装与就位过程中,应根据构件类型与节点受力特征合理布置临时支撑与可调装置,控制构件初始落位姿态,通过分步调整实现轴线、标高与垂直度同步修正,在节点未形成稳定连接前严禁提前拆除临时固定措施,避免受风荷载或施工扰动产生不可逆位移。最后,在节点施工阶段,应针对套筒灌浆、后浇混凝土及干式连接等不同节点形式,明确构件对位顺序、连接操作流程与过程检查要点,重点控制连接间隙、钢筋插入深度及施工时序衔接,使构件安装精度与节点连接质量形成连续受控的施工状态。

4.2 做好现场起重机械与施工组织协调

在装配式建筑施工过程中,做好现场起重机械与施工组织协调是解决构件吊装效率低、交叉作业干扰多等问题的关键环节。首先,在施工策划阶段应结合工程结构形式、构件标准化程度及单件重量分布,对起重机械型号与布置方案进行针对性论证,通过计算最大起重量、最不利工作幅度及覆盖范围,合理确定塔式起重机数量、安装位置及附着方案,避免因选型偏差导致吊装能力不足或作业半径受限,从源头上降低频繁调整设备对施工节奏的影响。其次,在施工组织安排上,应以构件安装顺序为主线,将吊装作业细化至楼层、轴线和构件类型层级,明确每日、每班次吊装数量和顺序,并与现浇节点施工、临时支撑安装等工序进行时间错位安排,防止同一作业面内多专业同时占用起重资源造成等待和停机。再次,在吊装实施前应严格执行构件检查与吊点确认制度,对构件外观质量、吊环位置、预埋件牢固性及重心偏移情况逐一核查,并结合构件安装姿态合理设置吊索长度和角度,必要时配置导向绳和临时限位措施,确保起吊、平移