

Design and Application of Prefabricated Steel Structure in Low-rise Public Building

Shusen Jing

China Urban Construction Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100120, China

Abstract

In the current era of industrialized construction trends and widespread advocacy for green building concepts, the demand for rapid and efficient construction in low-rise public buildings has become particularly prominent. This study systematically explores the design and application of prefabricated steel structures in such buildings. The research process not only focuses on key design elements such as structural system selection, connection node treatment, and integrated envelope system design, but also conducts in-depth analysis of collaborative design models based on Building Information Modeling (BIM) and critical construction technologies. Through practical application cases, the comprehensive benefits of these approaches are validated. The results demonstrate that the prefabricated steel structure system offers multiple advantages including shorter construction periods, superior engineering quality, and environmental sustainability. The systematic design methodology, modular construction process, and information-based management model adopted further provide a reliable technical roadmap for the promotion and application of this technology.

Keywords

Prefabricated steel structure; Low-rise public building; Design principles; Construction technology; Engineering application

装配式钢结构在低层公共建筑中的设计与应用研究

荆树森

中国城市建设研究院有限公司, 中国·北京 100120

摘要

在建筑工业化趋势日益凸显且绿色建造理念广泛倡导的当下, 因低层公共建筑对于能够实现快速且高效建设的需求变得尤为显著。本研究将目标设定为对装配式钢结构在这类建筑之中的设计情况与应用方式展开系统性的探讨, 研究过程里不仅把重点放在结构体系的选型问题、连接节点的处理方式以及围护系统的集成设计等关键的设计要点之上, 同时还对基于建筑信息模型 (BIM) 的协同设计模式和关键的建造技术进行了深入分析, 并且通过结合实际的应用案例来对其综合效益进行验证。结果显示, 该装配式钢结构系统具备建设工期短、工程质量优以及绿色环保等多方面的优势, 其采用的系统化设计方法、装配化的施工流程以及信息化的管理模式, 更是为该技术的推广应用提供了一条可靠的技术路径指引。

关键词

装配式钢结构; 低层公共建筑; 设计要点; 建造技术; 工程应用

1 引言

在当下于政策层面全面推进建筑工业化进程并积极倡导绿色建造理念与可持续发展目标的宏观导向之下, 建筑业所面临的转型升级需求因时代发展与行业变革的双重驱动而显得愈发迫切, 该体系在具体工程应用场景中仍然不得不直面设计标准化程度尚显不足、围护系统集成技术有待完善以及全过程协同管理要求较为严苛等一系列来自技术层面与管理层面的现实挑战, 这些挑战在一定程度上对其优势的充分发挥以及规模化应用进程形成了制约。基于此, 针对该体系开展具有针对性的设计方法研究、关键建造技术攻关以

及工程应用成效评估等系统性工作, 对于推动该技术体系走向成熟并实现广泛普及而言, 无疑具备重要的现实意义与实践价值。

2 低层装配式钢结构建筑的设计要点

2.1 结构体系选型与模数协调

低层公共建筑的结构选型直接决定用钢量、抗震性能与空间适用性, 钢框架体系提供无支撑大空间, 适用于学校体育馆、社区文化活动中心等对内部空间灵活性要求高的场所, 其横向刚度依赖梁柱节点的抗弯能力, 通常将柱网控制在 9m 以内以保证经济性。对于设有较多隔墙的办公楼、快捷酒店或位于抗震设防烈度 8 度区的建筑, 钢框架-支撑体系更为适宜, 中心支撑或偏心支撑可显著提高结构抗侧刚度, 将层间位移角有效控制在 1/250 以内, 支撑可集中布置

【作者简介】荆树森 (1986—), 男, 中国天津人, 本科, 工程师, 从事建筑设计工作。

于楼梯间、设备间等对空间要求不高的区域。实现高效装配的基石在于严格的模数协调，统一采用3M的基本模数，将开间与进深尺寸协调为6m、7.5m、9m等数列，层高统一为4.2m或4.5m，这种标准化设计使得主钢梁、次钢梁及楼板构件种类减少约40%，极大简化了工厂下料与生产线排产流程^[1]。标准化柱网与建筑功能布局协同设计，将7.2m柱网与两间3.6m开间的标准教室匹配，将管线井、卫生间集中布置于同一柱网单元内，为后续管线分离与集成化吊顶施工创造条件，从源头上避免了现场切割与焊接，将主体结构现场作业量压缩60%以上。

2.2 典型连接节点精细化设计

装配式钢结构的设计核心在于节点的标准化与可靠性，梁柱连接普遍采用外伸端板高强螺栓连接，端板厚度需通过计算确保其在螺栓拉力下满足刚性要求，通常不低于16mm，并使用8.8级或10.9级M20、M24摩擦型高强螺栓，螺栓群对称布置，施拧时需采用扭矩扳手分初拧与终拧两阶段进行，终拧扭矩值必须达到设计要求值的 $\pm 5\%$ 精度范围内。主次梁连接采用铰接，次梁腹板通过单连接板与主梁加劲肋使用两枚高强螺栓连接，这种构造释放了次梁端部弯矩，简化了节点构造，允许楼板系统相对独立变形。支撑连接节点是抗侧力关键，中心支撑采用双连接板与梁柱节点域连接，连接板厚度不低于支撑件厚度，螺栓承载力需进行1.2倍超强系数验算，以防罕遇地震下支撑屈曲前节点先行破坏。节点区域的防火防腐处理采用厚涂型钢结构防火涂料，耐火极限需达到2.0h，涂层厚度不小于25mm，在螺栓连接板与构件接触面间需涂覆无机富锌防滑剂，摩擦系数不低于0.40，所有外露钢构件在工厂完成喷砂除锈至Sa2.5级并喷涂环氧富锌底漆80 μm ，现场补漆需采用同体系涂料确保膜厚连续。

2.3 围护系统集成设计

围护系统与主体钢结构的连接构造是保证建筑气密、水密与保温性能的核心，预制混凝土夹芯保温外墙板应用广泛，其内侧结构层厚度120mm，中间XPS保温板厚度80mm，外侧装饰保护层厚度50mm，板材顶部通过L形镀锌钢连接件与钢梁下翼缘用长圆孔螺栓连接，允许竖向位移，底部设置限位支座承受自重，水平方向在板侧预埋槽道，通过T型螺栓与钢柱侧的角钢连接件固定，该柔性连接体系可适应结构层间位移达1/200。热桥控制要求连接件穿透保温层部分采用尼龙材质断桥螺栓，其传热系数低于钢制螺栓的0.5W/(m \cdot K)^[2]。板缝防水采用构造防水与材料防水结合的三道防线，板缝设计为20mm宽，内侧嵌入聚乙烯棒背衬材料，中部灌注单组份硅酮耐候密封胶，胶缝深度与宽度比值为2:1，最外侧设置减压空腔并勾填耐候性聚合物水泥砂浆，此构造可有效消散风压并阻止毛细水渗透。对于轻质墙板如ALC板，采用专用勾头螺栓与钢梁连接，板底与楼面间隙填充发泡聚乙烯棒并打注弹性密封胶，防止因结

构变形与板材干缩产生裂缝，所有连接节点需通过气密性检测，在100Pa压差下单位缝长空气渗透量不大于1.5m³/h。

3 关键建造技术与管理流程

3.1 基于BIM的构件深化与生产

构件深化设计基于全专业整合的BIM模型开展，模型精细度需达到LOD350等级，确保包含所有连接板、加劲肋、螺栓孔等制造细节。深化工程师在模型环境中对钢结构节点进行三维实体放样，软件自动检测构件间的空间碰撞，将干涉冲突在虚拟环境中预先解决，碰撞检查消除率需达到95%以上。模型完成校验后，依据工厂加工与现场安装顺序对每个构件进行唯一编码，编码规则通常为“楼层-区域-构件类型-流水号”，该编码贯穿构件全生命周期。系统根据编码信息自动从模型中提取构件几何尺寸、材质、数量等数据，驱动数控机床或机器人切割、钻孔、焊接生产线，生成带三维视图与二维投影的加工详图(CNC文件)，图纸出错率可降低至0.5%以下。每个构件在出厂前粘贴或挂载包含唯一编码的二维码标签，扫描可获取其三维模型、安装位置、质量检验报告等完整信息，实现设计数据向制造车间的无损、精准传递，构件一次加工合格率可提升至98%以上。

3.2 现场高效装配施工工艺

现场装配遵循“先柱后梁、先主后次、对称吊装”的流水节拍，钢柱吊装采用可调节标高与平面位置的专用柱底垫板或地脚螺栓套架，柱脚就位后利用双向调节螺母初步调平，无需依赖传统缆风绳，单根柱校正时间可缩短至15min内，垂直度偏差需控制在H/1000且不大于10mm。大跨度主梁采用分段吊装，在距离柱端1.0m至1.5m处设置临时拼接平台，使用高强螺栓进行空中连接，拼接接口处设置导向板确保对孔精度，螺栓穿孔率要求达到100%。楼板系统采用钢筋桁架楼承板，其在钢梁安装后立即铺设，板与板之间采用拉钩连接，跨度大于3.6m时需设置临时支撑，楼承板可作为安全操作平台与钢筋模板一体化使用，缩短楼面施工周期约40%^[3]。高强螺栓安装严格执行初拧与终拧工序，初拧扭矩为终拧扭矩的50%，终拧采用扭矩法或转角法控制，扭矩偏差不得超过施工扭矩值的 $\pm 5\%$ ，所有施拧数据实时上传至管理平台。整个安装流程的施工偏差需满足表1规定的精度控制标准。

3.3 全流程信息化管理

全流程管理以构件唯一编码为线索，依托物联网与云平台实现透明化追溯。工厂生产阶段，在二维码中写入构件生产批次、工艺参数、质检员信息。构件运输阶段，通过GPS与RFID技术实时监控运输位置与状态。构件进场阶段，现场人员扫描二维码完成验收，数据自动同步至云平台库存清单。安装阶段，吊装人员再次扫描二维码确认构件安装位置，并将安装时间、作业人员、初步校正数据上传，系统自

动关联 BIM 模型，在三维视图中将已安装构件状态更新为“已就位”^[4]。现场质量验评数据，如焊缝超声波检测报告、螺栓终拧扭矩记录、垂直度测量值，通过移动终端直接录入并绑定对应构件或工序，形成不可篡改的电子档案。项目进度通过模型颜色区分为“未开始”、“进行中”、“已完成”状态，实现 4D 进度可视化管理。项目竣工时，集成设计模型、制造数据、施工记录、检测报告的数字化资产一并交付，为后续运维提供精确信息基础，关键安装工序施工精度允许偏差及检验方法如表 1 所示。

表 1 关键安装工序施工精度允许偏差及检验方法

检查项目	允许偏差 (mm)	检验方法
柱脚底座中心线对定位轴线偏移	± 3.0	用全站仪或钢尺检查
单节柱垂直度	H/1000, 且 ≤ 10.0	用经纬仪或全站仪检查
主梁跨中垂直度	h/500, 且 ≤ 15.0	用吊线和钢尺检查
相邻板顶面高差	± 2.0	用钢尺和塞尺检查
高强螺栓终拧扭矩	设计扭矩的 ± 5%	用扭矩扳手检查

4 工程应用案例与综合效益分析

4.1 某社区活动中心项目实例

本项目为一座两层装配式钢结构社区活动中心，总建筑面积 2150m²，建筑高度 10.8m，功能包含多功能厅、阅览室、办公室及配套用房。结构采用钢框架 - 中心支撑体系，柱网尺寸以 8.4m × 8.4m 为主，局部为 6.0m × 8.4m，层高均为 4.5m。主钢梁采用 H 型钢，截面为 H500 × 250 × 10 × 16，钢柱为箱形截面 400 × 400 × 16，中心支撑采用 H 型钢。梁柱连接节点全部采用外伸端板高强螺栓连接，围护系统采用 150mm 厚预制混凝土夹芯保温外墙板。项目实施中，基于 BIM 模型进行全专业协同与构件深化，生成带二维码的加工图纸，工厂预制化率高达 92%^[5]。现场施工采用钢柱无缆风绳可调底座定位与钢筋桁架楼承板同步铺设工艺。从基础完成至主体钢结构封顶，实际施工周期仅为 18 天，现场施工人员峰值人数为 25 人，主体结构平均用钢量为 65kg/m²。项目竣工结算数据显示，其主体结构工程综合造价为 1850 元 /m²，相较于同地区同期设计的现浇钢筋混凝土框架结构，造价高出约 8%。

4.2 综合效益分析与适用性总结

量化分析表明，该装配式钢结构项目在建造阶段效益

显著。相比传统现浇混凝土结构，其主体结构施工工期缩短了 65%，现场施工人工用量减少了 55%，建筑垃圾产生量减少了 80%，施工现场用水量节约了 70%，模板用量减少超过 90%。在全生命期绿色效益方面，钢结构材料回收率理论上可达 90%，建筑废弃物排放减少显著。项目运行阶段，其围护系统平均传热系数 K 值达到 0.40W/(m² · K)，低于国家节能标准限值。该体系推广仍面临现实挑战，其初期建安成本通常高出传统结构 5% 至 15%，成本敏感度较高。其高效实施严重依赖标准化设计、专业化工厂生产与熟练技术工人，对产业链协同水平要求严苛。综合技术经济性，装配式钢结构最适用于对建设周期敏感、功能需求明确、标准化程度高的低层公共建筑，例如应急防疫设施、乡镇学校、标准化厂房、文旅驿站以及需要快速建造交付的社区服务设施。在场地条件受限、环保要求严格或劳动力成本持续攀升的地区，其全生命期综合优势将更为突出。

5 结语

本研究围绕低层公共建筑，系统构建起一套将标准化设计、精细化节点构造以及集成化围护的关键设计方法予以明确，并融合基于 BIM 与物联网技术的构件生产、高效装配及全过程信息化管理的成套建造技术的装配式钢结构技术体系，该体系通过案例验证被发现具备在缩短工期、节约人工、减少建筑垃圾以及提升建筑品质等多方面呈现出的显著优势，而研究成果则为推进建筑工业化、达成低层公共建筑的快速绿色建造提供了包含系统性技术路径与实践参考在内的支持，这对于提升此类建筑的建设效率与可持续发展水平所具备的工程应用价值是明确的。

参考文献

- [1] 刘向斌,杨博,张涛,等. 轻量化装配式建筑构件低碳应用分析研究[J/OL].节能,2026,(02):5-10[2026-03-13].
- [2] 陈信堂,周恒,魏建鹏,等. 装配式光伏支架刚架结构承载性能试验研究[J].太阳能学报,2026,47(02):100-110.
- [3] 薛艳东. 装配式钢结构住宅关键性技术浅析[J].工程建设与设计,2026,(04):18-20.
- [4] 丁卉. 大数据支撑的装配式栈道桥建设成本管控研究[J].数字经济,2026,(Z1):178-179.
- [5] 陈少博. 装配式型钢梁外墙防渗保温施工技术研究[J].建筑科技,2026,10(02):97-99.