

绿色低碳背景下装配式建筑施工技术应用分析

陈家棋

上海城建建筑集团有限公司 上海 200000

【摘要】：基于建筑行业落实“双碳”目标的迫切性，本文针对传统施工高耗能的痛点，对绿色低碳视域下装配式建筑关键施工技术进行了探讨。结合装配化建造流程，阐述了构件精准吊装、绿色灌浆与免拆底模等工艺在压减现场碳排放层面的运行逻辑。研究表明，深度融合物联网等数字技术，推进全工序精益管理，并成规模引入固废建材与纯电动施工装备，能够实质性重塑现场用能结构，精准切断隐性耗材与无效用能路径，进而有效控制物化阶段的总体碳排放量。

【关键词】：绿色低碳；装配式建筑；施工技术；节能减排

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.059

引言

伴随我国经济持续快速发展和城镇化的快速推进，建筑业将迎来空前的历史机遇。但在我国快速发展的大势下，传统的混凝土建筑施工方式已很难满足社会对绿色低碳环保、节能高效等方面的要求，在此基础上装配式混凝土结构施工技术应运而生并得到社会的高度关注。然而，低碳蓝图的落地必须依托于工程一线的实地执行。施工阶段作为建筑全生命周期中化石能源消耗最为集中的爆发期，其技术手段的先进性直接决定了最终的减碳上限。探寻该阶段内各项复杂工艺与绿色环保诉求的深度耦合机制，已成为破局高能耗困境的必由之路。

1 绿色低碳与装配式建筑的内在契合性

1.1 建造模式转变驱动的“四节一环保”效应

装配式建筑将粗放的现浇工艺转变为“工厂预制加现场拼装”，这种生产空间的转移直接重塑了建造环节的资源消耗结构。在预制环节，工厂数控流水线精准下料，严格控制了混凝土与钢材的损耗，实现了实质性的“节材”与集中化“节能”。构件进场后，核心施工流程全面转向干法拼接。该工艺大幅压缩了现场材料加工与堆放占地，落实了“节地”指标；同时，干法作业直接免去了传统的大面积现浇与抹灰工序，使项目总用水量随之锐减，达成“节水”目标。在“环境保护”层面，现场湿作业的削减从物理源头上遏制了施工扬尘、泥浆外溢及固体废弃物的产生。该模式通过变革底层生产逻辑，将“四节一环保”要素严密嵌合于施工全过程，在工序源头与绿色低碳理念达成了深度契合。

1.2 全生命周期视角的碳减排优势

在全生命周期评价视角下，装配式建筑的碳减排贯穿建造、运维至拆除全过程。在前端生产环节，构件的工厂化预制模式完善了制造流程，实现了对生产能耗的集中管控。进入现场后，高效拼装大幅缩短了绝对工期，直接削减了大型施工机械的台班运转时间与化石燃料消耗。同时，预制构件尺寸精度高，墙体基本可免去传统抹灰工序，避免了二次装修产生的建材过度消耗与隐性碳排放。在建筑服役期满后，标准化节点使部分构件具备无损拆卸与材料回收潜力。装配式体系通过精准锁定各阶段碳排放节点，构筑了系统性的减碳闭环。

2 基于低碳导向的装配式建筑关键施工技术解析

2.1 预制构件精准吊装与装配技术

预制构件的吊装与拼装是装配式施工的核心技术环节，在技术实施准备阶段，技术人员依托 BIM 模型提前展开三维动线模拟，科学规划塔吊站位与构件运行轨迹，以寻找最佳的空间起吊路径^[1]。在具体作业中，施工班组需使用专用的平衡吊具系统连接构件预埋件，确保受力均匀。进入就位环节后，操作人员引入高精度全站仪或三维激光靶标辅助空间定位，替代传统依靠人工撬棍盲目试错的模式。当构件下放至指定标高时，安装工人通过调节可调式斜支撑与定位销完成构件的临时固定与垂直度精调，将拼装误差严格控制在毫米级。这种高精度的空间导向与精密连接技术，直接压减了塔吊等重型起重设备的无效运转周期，进而从源头阻断了因返工重做衍生的隐蔽碳排放。

作者简介：姓名：陈家棋，出生年月：1991.8.26，性别：男，民族：汉，籍贯：浙江绍兴，学历：本科，职称：工程师，研究方向：建筑施工，施工技术。

2.2 节点连接与绿色灌浆技术

钢筋套筒灌浆是装配式混凝土结构受力转换的关键施工工序。在灌浆前处理阶段,施工人员需彻底清理接缝腔体,并采用高分子密封条严格封闭构件接缝空腔,以此阻断漏浆路径并规避建材浪费。在注浆作业环节,为克服传统手工灌注极易造成材料溢出的缺陷,施工现场全面引入了数控定量压注设备。该设备搭载压力传感模块,能够精确计量单孔注浆量,确保浆体在套筒内饱满密实;待浆体自排气孔均匀流出后,操作人员随即实施封堵保压作业。在灌浆材料配制方面,技术人员在干混料中大比例混入粉煤灰与矿粉等工业固废,推广使用新型环保灌浆料。这种精细化的数控压注工艺与固废替代材料的结合,在严格满足结构锚固受力要求的前提下,实质性压减了高耗能建材的用量及其隐含碳排放因子。

2.3 免拆模与工具式支撑体系

针对叠合楼板与结构节点的模板施工作业,施工企业普遍采用免拆底模与钢筋桁架楼承板工艺。在技术构造层面,制造工厂在预制阶段将钢筋桁架与底部受力薄板浇筑为一体;构件运抵现场并吊装就位后,直接作为现浇混凝土的承重底板。待楼板浇筑成型,该底模系统即刻转换为整体结构的受力层,施工人员无需执行传统工艺中的底模拆卸工序^[2]。在竖向支撑体系的构建中,施工现场全面引入基于标准化模数设计的工具式独立钢支柱,以替代传统的满堂脚手架。操作工人通过调节支柱的螺纹微调装置,即可快速建立受力体系并精准控制楼板标高。这种免拆构造与独立钢支撑技术的协同应用,不仅规避了传统木模板拼装、切割造成的材料损耗,更通过金属构件的高效周转,切实降低了施工阶段的物化碳排放量。

2.4 预制机电管线与集成化安装技术

面对建筑机电工程中复杂的管线交叉问题,施工方广泛引入机电管线预制与模块化集成装配技术。在深化设计阶段,技术团队首先运用建筑信息模型进行管线综合排布,并导出精确的几何尺寸与空间坐标数据。随后,加工厂依据数字模型,预先完成制冷机房设备、泵房管路及标准层管线的自动化下料、坡口加工、机械焊接与综合支吊架组装,将其整合成标准化的空间机电模块。机电模块运抵现场后,现场作业人员借助专用液压提升平台将其整体吊装就位,施工人员仅需执行法兰对接或机械抱箍等干式连接作业。该集成化安装工艺将繁杂的施工作业前置工厂环节,直接消除了现场的大面积明火焊接工序与高功率电焊机负荷。同时,模块化组装有效避免了多专业交叉作业引发的管线碰撞与返工拆改,在保障机电系统运行稳定性的基础上,大幅削减了现场辅材耗损与直接电能消耗。

3 绿色低碳背景下装配式建筑施工技术优化应用

3.1 深度融合 BIM 与物联网技术

施工碳排放管控正由事后核算转向过程干预,BIM与物联网的深度融合构筑了虚拟建造与物理工地的交互闭环。技术人员依托BIM预演工序,提前规避空间冲突引发的实体拆改与材料浪费。物联网传感节点则负责将现场高耗能设备接入控制后台。项目部通过平台实时抓取机械运转的动态能耗曲线,对照BIM理论计算值排查能耗异常节点^[3]。该机制彻底打通了软硬件数据壁垒,为现场工机具的低碳调度提供了客观的决策依据。

以某大型装配式住宅项目为例,施工方在预制墙板内植入RFID芯片,并为重型塔吊加装了能耗监测网关。构件进场时,闸机系统读取信息并匹配BIM进度模型,直接锁定最优堆放位置,杜绝了构件二次倒运产生的铲车燃油消耗。进入吊装环节,技术组依据BIM输出的空间坐标规划塔吊的最短回转动线。施工作业中,物联网模块高频采集塔吊耗电数据并回传至总控室。当系统捕捉到某台塔吊能耗曲线偏高且有效吊次率下降时,自动触发报警。现场管理人员核查确认系构件供应脱节导致机械长时间空转待机,随即修改物流指令调整发车频次。该项目凭借底层数据的实时联动,精准切断了无效用能路径,直接削减了大型起重设备近两成的绝对耗电量,验证了数字技术在现场减碳管理中的落地价值。

3.2 推进施工工法标准化与精益化管理

技术的减碳潜能必须依托严密的现场管理才能转化为实质效益,企业需针对构件吊装、节点灌浆等核心环节编制标准化作业指导书,将宏观减碳指标下沉至班组操作层面。统一工法标准能直接遏制因人员经验差异导致的盲目试错与材料浪费。精益化管控要求彻底打破粗放的备料习惯,推行基于工序定额的限额领料制度,严控各类辅料损耗。辅以常态化的产业工人技能培训,管理层便能用标准规范的技术动作筑牢项目施工的能耗底线。

某装配式住宅项目在主体施工期全面引入了工位制精益管理模式,针对外墙预制拼缝打胶这一高耗材工序,项目部摒弃了传统大桶估算的领料方式。技术组实测不同缝宽的理论用胶量,制定出精确到克/延米的定额明细。现场推行定人、定段、定量的标准化作业,工人每日凭任务单向库房领用匹配的密封胶。在操作环节,现场普及恒压数控打胶枪替代传统手工挤压,依靠预设流速确保胶缝饱满度与宽度的高度一致。若触发超额领料预警,质检员随即介入核查构件拼缝误差与工人操作手法。该标准化体系不仅将结构胶的实际损耗率从常规的15%骤降至3%以内,还根除因多余胶体固化剥离产生的固体废弃物。借助这套精益工法,项目部成功将长期游离于监管之外的隐性

耗材转化为明确的碳减排数据，在工序细节处落实了低碳效益。

3.3 推广低碳新材料与新能源施工装备

建材供应链与现场动力的低碳化迭代，是削减工程绝对碳排放的硬性底座。施工企业需在采购端打破对传统硅酸盐体系的路径依赖，引入具备低隐含碳属性的新型基材，从源头降低建筑的物化碳排放。现场硬件配置须实质性推进“以电代油”的能源替代方案。项目部应逐步淘汰高排放的传统柴油机械，规模化引入纯电驱动作业设备及储能微电网。基材的革新与动力源的清洁化直接重塑了现场用能结构，推动施工减碳从管理手段向物理属性转变。

某装配式产业园项目在施工期彻底重构了现场装备与耗材清单，针对预制构件的场内接驳倒运，项目部全面取缔柴油平板车，引入了纯电驱动的重型运输底盘。为解决局部施工用电拉线难的痛点，现场摒弃了小型柴油发电机，部署多台移动式储能电源车。这些设备利用夜间谷电充电，日间直接为电焊机和数控灌浆机提供稳定直流电，彻底切断了燃油废气直排。在耗材端，项目联合供应商，在非承重隔墙及找平层大面积应用以高炉矿渣为主要胶凝材料的地质聚合物混凝土。这种免烧结新型建材替代了传统水泥，在满足早期工程强度的同时，将材料自身的隐含碳排放因子压降逾半。该标段凭借机具电动化与基材固废化的双向发力，单月直接节约柴油数千升，在保障正常工效的前提下，将现场直接碳排放量实现了断崖式削减。

3.4 构建施工全流程碳排放核算与评价体系

低碳施工的持续优化必须建立在精准的数据量化基础上，行业企业需着手构建贯穿装配式建造全流程的碳排放核算机制与动态评价体系。项目部应结合装配化工序特征，确立涵盖机械能耗、辅材消耗及废弃物外运的碳核算边界。通过编制

专项工序碳排清单，管理层能够清晰锚定高排放的作业节点，从而为后续技术革新提供客观的数据支撑。配套建立基于低碳减排指标的专项考核评价机制，可倒逼一线施工班组主动寻求工效提升与能耗压降的平衡点，使“经验主导”向“数据驱动”转变。

某大型装配式公共建筑项目在施工筹备期，联合高校科研团队开发了专用的施工碳核查模型。技术组依据现场工况，赋予吊装、灌浆、机电等环节动态碳排放因子。在主体结构施工期间，专职核算员按周采集现场水、电、燃油等能源台账，并导入系统生成实际排放曲线。当系统比对发现地下室构件拼装阶段的单位时间碳排放量异常高出BIM理论基准线时，评价体系自动触发区域预警。项目部介入排查确认，系场内临时道路铺设不合理，导致重型构件运输车频繁刹车与怠速等候。管理团队据此重新硬化并展宽了场内单行环线，次周该区段机械碳排量即回落至基线以内。该核算与评价体系切实消除了工地现场的排放监管盲区，将抽象的减碳目标转化为全员可控的量化指标。

4 结语

在双碳目标的硬性约束下，工程建造的低碳转型是一场深刻的产业重塑。各项关键施工技术的纵深推进，实际上是将抽象的环保理念，精准转化为机械运转、工序交接与材料定额中的量化指标，最终守住了实体建造阶段的能耗底线。放眼未来，前沿数字技术与工程装备的深度绑定，将使现场施工碳排管理彻底告别静态核算，迈入全息感知与动态自适应阶段。随着固废新型基材的迭代及储能微电网在工地的普及，装配式体系必将跨越当前的低碳探索期。依托智慧工地这一载体，建筑施工的最终形态将稳步向“零碳建造”的愿景演进，进而全面重塑工程生态的价值坐标。

参考文献：

- [1] 李天华.绿色低碳理念背景下装配式建筑发展研究[J].工程技术研究,2022,7(14):4.
- [2] 尹美苓.基于绿色低碳环保下的装配式建筑技术分析[J].市场周刊·理论版,2020(52):0143-0143.
- [3] 王亮明.低碳理念下装配式建筑绿色节能技术的应用[J].城镇建设,2025(22):103-105.