

模块化建筑工程项目管理中的成本控制与工期优化方法

曹炜宇

九江市庐山工业发展集团有限公司 江西九江 332000

摘要: 随着建筑工业化与绿色建造理念的深入推进,模块化建筑凭借其高效、环保、质量可控等优势,逐渐成为建筑行业转型升级的重要方向。然而,模块化建筑在项目管理过程中,成本控制与工期优化仍面临诸多挑战,如模块设计标准化不足、供应链协同不畅、现场安装与集成效率偏低等问题。本文针对模块化建筑工程项目的特点,系统分析了影响项目成本与工期的关键因素,从设计阶段、生产制造阶段、物流运输阶段及现场施工阶段四个维度,提出了具体的成本控制措施与工期优化方法。研究表明,通过采用标准化与参数化设计、建立模块化构件生产的精益管理模式、优化物流配送方案、实施现场装配的并行作业与信息化协同管理等策略,能够有效降低项目成本,缩短建设周期,提升模块化建筑项目的综合效益。本文的研究成果可为模块化建筑工程项目管理实践提供理论参考与技术指导,促进模块化建筑在我国的规模化应用与健康发展。

关键词: 模块化建筑; 项目管理; 成本控制; 工期优化

引言

近年来,在国家推动新型建筑工业化等政策背景下,模块化建筑作为创新建造方式迎来快速发展机遇期。它将建筑功能单元在工厂预完成设计、生产等,再运至现场吊装拼接,实现建筑生产工业化、集约化和高效化。与传统现浇方式相比,其有减少现场作业量等优势,适用于保障性住房等标准化程度高的建筑。不过,我国模块化建筑发展仍处初级阶段,项目管理体系不完善,成本控制与工期管理存在诸多问题。一方面,设计缺统一标准,模块拆分组合影响成本,工厂化初期投入大,规模或效率不足会致成本偏高;另一方面,涉及多环节,各参与方协同要求高,任一环节失误易延误工期。因此,构建科学有效的成本控制体系和工期优化模型,是模块化建筑项目管理领域亟待研究的重要课题。

一、模块化建筑工程项目管理的特点与挑战

(一) 模块化建筑的基本概念与特征

模块化建筑是将建筑物分解为标准化功能单元或空间模块,在工厂预制后运输至现场组装的建造方式。其核心是生产方式变革,将传统现场湿作业、离散化作业转变为工厂流水线干作业、连续化作业。这赋予其固有属性:高度标准化与工业化,设计、生产遵循统一标准;设计与生产一体化,项目初期完成模块深化设计;施工过程并行化,工厂预制与现场基础施工同步,改变传统线性流程。

(二) 模块化建筑工程项目的核心要素

模块化建筑工程项目管理核心要素与传统项目有显著转移,管理重心从现场施工协调延伸至设计、生产、运输、吊装全过程一体化管理。设计管理是首要环节,其可制造性和模块拆分合理性影响后续环节效率与成本。供应链管理是关键支撑,涉及原材料采购等复杂组织。物流与运输管理是难点,需精细安排运输路线等。现场组装管理强调高效接口处理和快速吊装,核心是减少现场作业量 and 时间。各要素相互关联,任一环节失误会影响项目整体目标^[1]。

(三) 成本控制与工期优化的内在关联

模块化建筑项目中,成本控制与工期优化正相关、相互促进。工期缩短是显著优势,源于工厂生产与现场施工并行,可降低资金占用、现场管理、设备租赁等间接成本。工厂化生产可减少材料浪费、提高生产率,降低建造成本。有效的成本控制能保障生产连续性和稳定性,确保工期目标实现。在模块化项目管理中,优化工期是控制成本的有效途径,二者形成良性循环。

(四) 模块化项目管理面临的主要挑战

模块化建筑虽优势明显,但项目管理面临独特挑战。前期设计要求高、成本大,设计变更会导致生产停滞和模块报废。供应链复杂且脆弱,关键部品或材料供应延迟会使生产线停摆。物流运输受道路等物理因素制约,成本高、不确定性大,还可能限制模块尺寸和重量。接口管理复杂,模块连接精度要求高,现场吊装偏差会影响

响工期和质量。这些挑战是项目管理难点和成败关键。

二、模块化建筑工程项目成本控制方法

(一) 成本构成与关键影响因素分析

模块化建筑工程的总成本构成与传统建筑存在显著差异,其成本重心由现场施工阶段向工厂制造与物流运输阶段前移。具体而言,项目总成本主要包括设计研发成本、工厂制造成本、物流运输成本、现场安装成本以及项目管理成本。其中,工厂制造成本占据了较大比重,涵盖了原材料采购、构件加工、设备折旧、人工及工厂管理费用。物流运输成本则因模块尺寸、重量、运输距离和路线复杂程度而成为一项重要且可控性较弱的支出。影响这些成本的关键因素包括设计的标准化程度,标准化程度越高,模具复用率越高,单位制造成本越低;生产批量规模,规模效应能有效摊薄固定成本;供应链的稳定性,原材料价格波动和供应及时性直接影响制造成本;以及运输方案的合理性,优化运输路线、选择合适运输工具和批次能有效控制物流成本^[2]。

(二) 设计阶段的成本控制策略

设计阶段是模块化建筑成本控制的源头和决定性环节。此阶段的成本控制策略核心在于“价值工程”与“面向制造和装配的设计”理念的深度应用。首先,推行标准化、系列化、模块化的设计,最大限度地减少非标构件的数量,提高模板和模具的利用率,从源头上降低制造成本。其次,进行精细化设计,在满足建筑功能和安全规范的前提下,优化模块的尺寸和内部结构,减少材料用量,并考虑模块在工厂生产、运输和现场吊装过程中的便利性,避免因设计不合理导致的二次加工或特殊加固措施。再次,强化各专业协同设计,利用建筑信息模型技术进行碰撞检查和管线综合,提前解决设计冲突,避免在制造或安装阶段因设计错误产生昂贵的变更费用。通过在设计阶段对成本进行系统性预控,能够锁定项目绝大部分的成本,为后续阶段的成本管理奠定坚实基础。

(三) 制造与运输阶段的成本管理措施

制造阶段的成本管理措施聚焦于生产效率和资源消耗的控制。核心措施包括实施精益生产,优化工厂流水线布局 and 作业流程,减少生产过程中的等待、搬运和不增值动作,提高单位时间产出。建立严格的材料管理制度,对原材料采购、入库、领用、消耗进行全过程跟踪,精确核算单件模块的材料成本,并通过集中采购、战略合作等方式降低采购价格。推行全面质量管理,加强生产过程中的质量检验,将不合格品控制在生产源头,避

免废品损失和返工成本。运输阶段的成本管理则重点在于物流方案的优化。需根据模块的物理特性和项目进度要求,科学规划运输批次、路线和时间,选择经济高效的运输组合方式,如陆运与水运结合^[3]。

(四) 现场安装阶段的成本监控与调整

现场安装阶段是模块化建筑成本控制最后一道防线,其核心在于对计划成本的动态监控与及时调整。首先,制定详尽的现场安装施工组织设计,明确吊装顺序、人员配置、设备需求和进度计划,并将其作为成本监控的基准。其次,建立实时的成本数据采集与分析机制,对现场发生的人工费、机械租赁费、辅助材料费等进行每日或每周的统计,与预算成本进行对比分析,及时发现成本偏差。一旦发现偏差,立即启动纠偏程序,分析偏差原因,如是否因吊装方案不合理导致机械效率低下,或因接口问题导致额外的人工调整,并采取针对性的调整措施,如优化吊装流程、加强现场协调、改进连接工艺等。此外,严格控制现场变更,任何对已安装模块的修改都必须经过严格的审批程序,评估其对成本和工期的影响,避免随意变更导致成本失控。

三、模块化建筑工程项目工期优化方法

(一) 工期影响因素识别与分析

模块化建筑工程的总工期由设计、制造、运输和现场安装四个阶段的时间串联或并联叠加而成,其影响因素具有跨阶段、强耦合的特点。设计阶段的影响因素主要包括设计方案的复杂程度和设计变更的频率。复杂的非标模块设计需要更长的研发和深化时间,而频繁的设计变更则会打断设计流程,并引发后续制造环节的等待或返工。制造阶段的核心影响因素是工厂的生产能力和供应链的稳定性。生产线饱和度、工人熟练度、模具周转效率直接决定了模块的生产节拍;而原材料或关键部件的供应延迟,则会造成生产线的停顿,形成工期瓶颈。运输阶段受制于外部物流环境,包括运输路线的交通状况、天气条件以及运输许可的审批效率,这些因素往往具有不确定性。现场安装阶段的影响因素最为集中,包括现场准备工作的完备性、吊装设备的性能与可用性、安装队伍的技术水平与管理效率,以及最重要的——模块与基础、模块与模块之间的接口匹配精度。任何一个环节的延误,都会在高度紧凑的现场安装计划中被放大,导致整体工期的延长^[4]。

(二) 设计与制造阶段的工期优化路径

设计与制造阶段是模块化建筑工期优化的源头,其核心路径在于并行工程与精益生产的深度应用。在设计

阶段,推行并行工程模式,打破传统线性设计流程,使建筑、结构、机电、内装等各专业在设计初期就进行协同工作,利用建筑信息模型进行三维碰撞检查和虚拟建造,提前发现并解决接口冲突问题,避免在制造和安装阶段因设计缺陷导致返工。同时,采用标准化、模块化的设计理念,最大限度地复用成熟的模块单元和节点构造,减少非标设计比例,从而缩短设计周期,并为后续的快速制造奠定基础。在制造阶段,引入精益生产理念,对生产流程进行价值流分析,识别并消除非增值活动,如不必要的物料搬运、等待和库存积压。通过优化生产线布局、制定标准作业程序、实施看板管理等手段,实现生产过程的连续流和拉动式生产,提高生产线的整体效率。此外,应用预制装配化技术,将管线、设备、装修面层等在工厂内集成到模块中,最大化地完成工厂作业量,将现场作业量降至最低,这是缩短总工期的根本途径。

(三) 现场安装阶段的进度控制技术

现场安装阶段是模块化建筑工期优势的集中体现期,其进度控制依赖于精细化的计划管理和先进的监控技术。首先,采用关键路径法或基于BIM的4D施工模拟技术,制定精确到天的现场安装进度计划,明确每个模块的吊装顺序、开始时间和完成时间,识别出影响总工期的关键吊装任务。其次,实施基于进度计划的动态跟踪与控制。利用无线射频识别或二维码技术为每个模块赋予唯一身份标识,在模块出厂、运输、到场、吊装等关键节点进行信息采集,实时反馈至项目管理平台,实现模块状态的透明化管理。现场管理人员通过对比实际进度与计划进度,及时发现偏差。对于出现的延误,运用赶工、快速跟进等进度压缩技术进行调整。例如,增加高性能吊装设备以缩短单次吊装时间,或在非关键路径上增加资源投入,以释放关键路径上的资源。同时,强化现场协调机制,每日召开短会,解决吊装过程中出现的接口、空间冲突等问题,确保各工序无缝衔接,维持安装作业的连续高效^[5]。

(四) 成本控制与工期优化的协同机制

成本控制与工期优化在模块化建筑项目管理中并非两个独立的目标,而是存在着紧密的内在联系,必须建立有效的协同机制。这种协同机制的核心在于对项目全过程的“时间-成本”权衡分析。在设计阶段,增加一定的设计研发投入,采用更优的标准化方案,虽然会提

高前期设计成本,但能大幅降低制造和安装阶段的成本与工期,从而实现项目全生命周期的成本最优。在制造阶段,为了满足紧张的工期要求,可能需要支付加班费或启用备用生产线,导致制造成本上升,但这避免了因工期延误而产生的巨额现场管理成本和可能的合同违约金。在现场安装阶段,投入更先进的自动化吊装设备会增加设备租赁成本,但能显著缩短安装周期,减少人工成本和间接费用。建立协同机制,要求项目管理者不能孤立地看待成本或工期,而应运用价值工程和挣值管理等综合管理工具,将成本和工期数据整合在同一分析框架下,评估不同方案对项目整体效益的影响。通过这种系统性的协同决策,才能在满足项目工期目标的同时,实现成本的有效控制,达到项目管理的最佳平衡点。

结语

模块化建筑工程项目管理中的成本控制与工期优化方法研究,揭示了二者之间的紧密联系与相互作用。通过系统分析各阶段的关键影响因素及优化路径,可以显著提升项目管理的效率和效益。在设计阶段,强化标准化与协同设计是降低成本和缩短工期的核心;在制造与运输阶段,精益生产和物流优化成为保障进度与费用控制的重要手段;在现场安装阶段,动态监控与快速调整机制则是确保目标达成的关键。未来,随着技术进步和管理模式的不断创新,模块化建筑将进一步释放其优势,为建筑行业带来更高效、更经济的解决方案。因此,深入探索成本控制与工期优化的协同策略,对推动模块化建筑的可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 时斌. 建筑工程施工模块化管理探讨[J]. 幸福生活指南, 2019.
- [2] 裴敬雷. 浅谈海外工程优化工期的几点措施[J]. 石油工程建设, 2021(S02): 043.
- [3] 刘军, 张慧洁, 胡晨, 张金峰. 基于粒子群算法的工程项目工期-成本优化研究[J]. 建筑结构, 2022, 52(S01): 1994-1999.
- [4] 齐廉升. 基于EPC模式的天然气处理站项目总承包方风险管理研究[D]. 新疆大学, 2021.
- [5] 江媛静. 基于BIM的装配式建筑施工工期-成本优化研究[D]. 南京林业大学, 2021.