

装配式建筑的生命周期成本分析与优化

文 / 李新红 山东圣博项目投资管理有限公司

桑志武 山东圣博项目投资管理有限公司

王晓伟 山东圣博项目投资管理有限公司

摘要：装配式建筑通过在工厂内预制构件并在施工现场进行组装，提供了一种高效、环保的建筑解决方案。然而，装配式建筑在全生命周期内的成本问题仍然是其推广应用的一个关键挑战。本文通过对装配式建筑的全生命周期成本进行系统分析，并探讨优化成本的有效策略，期望为装配式建筑的实际应用提供理论支持和实践指导，帮助建筑行业相关从业者在项目中有效控制成本，并促进装配式建筑的进一步发展及普及。

关键词：装配式建筑；生命周期；成本分析；优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.019

前言

虽然装配式建筑在施工进度、质量控制等方面有着显著的优势，但其全寿命期造价仍是制约其发展的重要因素。目前，国内外相关研究主要关注于装配式施工的技术与工艺，缺乏对装配式施工全寿命期造价的系统分析与优化。通过对工程造价进行优化，提高其市场竞争能力，促进其在建筑业中的推广，进而推动建筑业的可持续发展，在城市化过程中改善环境质量，支持住房需求。

一、装配式建筑全生命周期成本的主要构成部分

（一）前期成本

前期成本是在装配式建筑项目启动前和建设过程中所产生的所有费用。这些费用主要包括：（1）规划与设计费用，项目规划费用包括初步规划、环境影响评估等费用，建筑设计费用包括建筑设计、结构设计、机电系统设计等专业设计费用，对于装配式建筑还包括预制构件的详细设计和定制设计。（2）土地购置费用，包括购置建筑用地的费用以及相关的法律和行政费用。

（3）审批和许可费用，包括获取建设许可、审批费用、合规检查费用等。（4）前期准备费用，现场准备费用包括地基处理、场地平整、基础设施建设等，预制工厂建设和设备购置涉及建造预制构件工厂及采购生产设备的费用。

（二）建造成本

建造成本是指在工程开始前及施工期间发生的一切费用。这些成本主要包括：（1）规划与设计成本，项目规划成本包含初步规划、环境影响评价等成本，建筑设计成本包含建筑设计、结构设计、机电系统设计等专业设计费用，而装配式建筑则包含预制件的细化设计及定制设计。（2）土地购买成本，包括购买建设土地所需的成本、法律、管理等方面的成本。（3）审批及许可费用，主要包括建筑许可的取得、审批的审批费用、合规检查的费用等。（4）施工前准备成本，包括地基

处理、土地平整和基础设施建设，以及建设预制厂房和设备所需的建设成本。

（三）使用成本

使用成本是指建筑物在其使用阶段产生的所有费用，主要包括：能源费用包括建筑物的电力、暖气、空调、燃料等能源消耗的费用。日常维护包括定期清洁、设备保养和小修小补，维修费用包括系统故障、构件损坏修复的费用。运营管理费用包括人员工资、办公费用等。保险费用包括建筑物的保险费用，包括财产保险、责任保险等，税费如房产税、地方税等。

（四）处置成本

处置成本涉及建筑物使用寿命结束后，拆除和处理的所有费用。拆除费用包括建筑物的拆除、清理现场和废料处理的费用。废料处理费用包括将拆除下来的建筑材料和废料运输到垃圾填埋场或回收处理点的费用，装配式建筑由于其构件的标准化和模块化，在拆除和回收过程中具有一定的优势，但仍需考虑相关费用。如果建筑材料可以再利用或出售，会有额外的收入或费用。

二、装配式建筑全生命周期成本分析

（一）前期成本分析

在工程建设过程中，对工程造价进行分析是评价其经济效益的关键。装配式建筑要求预制件的精细化设计，包括结构设计、选材、工艺规划等，为保证构件的加工与组装达到设计标准，往往需要大量的设计投入。采用BIM等先进的设计软件与技术对零件进行优化，虽然会导致前期的设计费用增加，但是可以改善设计精度，提高建造效率。装配式建筑在工厂生产和现场施工的过程中需要更大的土地面积，以便布置预制构件的生产和存储区域，土地购置费用会因此增加，由于需要设置预制工厂，前期的场地准备和基础设施建设费用会较高。由于装配式建筑涉及预制构件和新型施工方法，审批和许可流程会更加复杂，需要额外的时间和费用来满足

足相关规范和标准。同时，需要确保预制构件的设计和施工符合当地建筑规范，会需要额外的认证和检查费用。需要建设预制工厂并购置相关生产设备，这些前期费用通常较高，但可以通过批量生产和工艺优化来降低单位成本，购置用于生产和运输预制构件的专用设备，前期投入较大。

（二）建造成本分析

在装配式施工中，生产效率高，作业环境规范，单位人工成本一般都很低。装配式建筑在工地上的建造是比较简单的，工人们只需要在工地上安装预制件，并且在工地上做一些小的调试工作，所以工地上的人工成本很低，整个施工时间也比较短。人工费在建设费用中的比重很小。原材料成本主要体现在预制件的制造上，这类构件一般采用混凝土、钢材等标准化建材，单个构件的原材料价格偏高，但因其生产效率高，且具有规模效应，可有效降低材料成本。由于现场施工减少，材料费用相对较低，现场材料使用量少，减少了施工过程中的浪费。需要购置或租赁预制构件生产所需的机械设备，如混凝土搅拌机、模具和自动化生产线，前期投资较高，但由于机械设备的长期使用和生产效率的提高，单位成本较低。尽管现场机械的需求量比较小，但是要租用或购置一些设备，如吊车、运输车等，整体机械费用较低。运输预制构件到施工现场的费用会较高，因为需要专门的运输车辆和设备，大规模的预制构件运输增加了整体运输成本。尽管运输费用较高，但由于施工周期缩短和现场施工工序减少，总体费用相对合理。由于现场施工时间短，措施费用如安全设施、环保措施等较低，预制工厂和现场施工的管理费用较低，因为施工周期短、工序简单。规费通常与项目规模和复杂性相关，与装配式建筑 and 传统建筑的差异较小。在装配式建筑中，税金通常包括增值税、建筑税等，税金依据项目规模和成本计算，由于装配式建筑的成本控制较好，税金会相对较低。

（三）使用成本分析

装配式建筑因其优良的绝热性能，往往运用先进的建筑工艺与材料，例如：高效保温、节能窗等。其中，冬、夏两种采暖方式所需的能量都比较少，总体能耗也比较低。很多装配式建筑都装备有智能化的楼宇管理系统，通过智能化的灯光、空调等节能措施来实现节能降耗。装配式建筑预制件耐久性能好、结构稳定、维修保养要求少、结构性能稳定、长期使用风险小等特点。装配式建筑具有部件标准化、模块化的特点，因此，维修保养相对简便，维护费用低廉。当有零件要被替换时，模块化的组合结构可以实现快速的替换，从而缩短停机周期，降低相关成本。组合结构往往将诸如高效率的采暖，通风，空调等现代系统整合在一起，其失效率更低，维修费用也更低廉。

（四）处置成本对比分析

由于装配式结构是预制件，且具有模块化的特点，因此拆卸工作比较容易，各部分可单独进行拆卸，从而降低了拆卸的复杂度和耗时。装配式建筑的零部件一般都是标准化的，拆卸后的零件易于循环使用，降低了废弃材料的处理费用，降低了资源的浪费。在装配式建筑中，废弃材料可分为混凝土、钢材和木材等，对其进行分类处置，有利于提高废弃物的回收率，降低废弃物处置成本。在拆除时，可减轻对环境的冲击，并可减少废弃物处置的环保费用。该方法具有拆除过程简便、效率高、修复周期短、修复成本低等优点。

（五）全生命周期成本综合分析

装配式建筑虽然初期投入较高，但由于建造周期短、使用成本低、处置成本低，从而在整个生命周期内具有更高的经济效益，高效的施工和使用阶段的节能性能有助于在长期内节省总体成本。装配式建筑由于其高效的建造和使用阶段成本控制，装配式建筑通常表现出较高的投资回报率，节省的维护费用和能效改善对长期投资回报有正面影响。装配式建筑通常具有较小的环境影响和社会效益，减少施工现场的工作量，降低对环境的干扰，且拆除过程环保，全生命周期内的资源利用更为高效，有助于可持续发展。

三、成本优化措施

（一）优化结构设计

在结构设计中，材料的选择将会对工程造价产生直接的影响，高强度、轻质的材料可以减少材料的用量，进而可以降低造价。对材料进行适当的选材，可以避免对贵重或不需要的材料的过分使用，可以帮助降低造价。在设计过程中，通过对原材料进行本地化采购，并对供应链进行优化，可以降低物流成本，降低采购成本。复杂的结构设计往往会加大建设难度，造成工期延长、人力资源消耗增大。在设计过程中，采用高效的施工工艺，如装配式施工，可以减少施工时间和劳动成本。结构设计的复杂性和材料的耐久性直接影响维护需求，设计中考虑到材料的长期耐久性和易于维护的特性，可以降低后期维护成本。复杂的结构设计可能增加维护和修缮的难度，导致较高的维护费用，简化设计可以使维修工作更加方便和经济。

采用标准化构件可降低设计与施工的复杂度，降低工程造价，该方法不仅能减少设计、建造费用，而且对结构外形的简化还能减少材料的用量，减少建造的困难。选用高强混凝土、钢筋等高强、轻质、耐久的材料，可有效地降低材料消耗，节约造价，优先选用当地原料，可以节省运输、物流等费用，同时也能降低原料的总成本。采用 BIM 等先进的建造方法与技术，可以对工程进行优化，减少错误，减少返工，节约建设费用。通过对建筑隔热、自然采光、通风等进行合理的设计，

可以有效地降低建筑的能耗，从而达到节约能源的目的。通过“节能环保”等绿色建筑标准，可以有效地提升建筑节能水平，降低运行成本。通过对各种设计方法的分析，可以对各种设计方法的性能与费用进行仿真，从中选出最优的设计方案。利用模块化的思想，将建筑物拆分成装配式的模块，既能增加设计的柔性，又能提高建造的效率，降低整体造价。

（二）优化预制工厂生产工艺

规范的生产过程可以提高生产的效率，减少错误和返工，通过对制造过程进行有效控制，从而实现对产品质量的有效控制。引进了自动装置和机器人，可以使生产的准确性和效率得到更大的提升，同时也降低了人工成本。使用计算机控制系统进行生产过程监控和调整，可以提高生产稳定性，减少人为错误和工艺变异。优化原材料采购和库存管理，提高原材料使用率，减少材料浪费，与供应商建立良好的合作关系，可以获得更好的价格和交货时间。在生产过程中对原材料进行预处理或预加工，可以提高材料的使用效率和质量，降低生产成本。实施严格的过程监控和质量检测，确保预制构件的质量符合标准，高质量的构件减少了返工和维修成本，建立生产反馈机制，及时发现和解决生产过程中出现的问题，优化生产工艺，提升生产质量。采用新兴的生产工艺技术如3D打印、预应力技术等，可以提高生产效率和构件质量，降低生产成本。引入模块化生产方法，将复杂的构件分解为更简单的模块进行生产，可以提高生产效率和灵活性，降低整体成本。

（三）新技术的应用

3D打印可应用于复杂结构构件及模具的快速制造，提高了设计柔性及准确性，并可应用于小批量定制零件的制造，缩短制造周期。该方法可有效地解决零件制造过程中对模具及模具变更的要求，减少材料浪费，提高零件制造效率与精度。BIM是一种能够在设计、施工、运营三个阶段实现数据的共享与协同，帮助对设计方案进行优化，以避免施工失误和返工，提升设计准确性和建造效率，减少修订和调整的费用，提高整个工程的管理水平。智能制造技术是利用物联网、人工智能、大数据等技术对生产工艺进行优化，并对其进行实时监控与数据分析，实现对生产线的生产效率与品质管理，提升生产流程的自动化程度与柔性，减少了人为的干涉，降低了制造错误，降低了运行费用。预应力技术是一种提高结构承载力、耐久性能的新方法，通过在混凝土内施加预应力钢筋来改善其性能，可以减少混凝土的用量，降低材料成本，同时提高构件的使用寿命和稳定性。绿色建筑技术包括能效优化、再生材料使用和生态设计等技术，绿色建筑技术可以减少建筑的环境影响，提高能源使用效率，通过提升建筑的能效和可持续性，降低了长期使用成本和环境影响，还会获得政策支持和经济激励。

（四）全产业链建筑的整合

建立综合信息化平台，实现设计，生产，建设，通过对生产过程中各个环节的信息进行共享与协作，将各个环节的数据与信息进行整合，从而达到实时监测与管理、优化决策与资源分配的目的。与供应商建立长期的战略伙伴关系，对供应链的资源进行有效的整合，对物料的采购及物流进行有效的控制，以减少成本及风险，优化物料及零件的运送及分配过程，以提升物流效率，降低运输费用及时间。运用精益生产方式，对生产过程进行优化，降低废料及瓶颈，提升产品的效能与质量，推动模块化制造与组装，提升产能与柔性，减少制造周期与制造周期。编制完善的工程建设计划及计划，协调各个环节，保证工程的顺利开展，并建立完善的质量管理系统，保证工程的质量与安全，降低维修及维修费用。运用数据分析技术，构建完备的设备管理体系，有效地对建筑物的运行与维修进行有效的管理，从而延长建筑物的生命周期，监测并最佳化建筑物的运作绩效，提高能源利用效率和运营成本效益。

结论

综上所述，通过对装配式建筑全生命周期成本的系统分析，揭示了各个成本环节的重要性，并提出了有效的优化措施。通过改进设计、生产工艺和技术水平以及结合全产业链的整合策略，可以显著降低装配式建筑的总体成本，提高其经济效益和可持续性。未来的研究应重点关注新技术应用、动态成本监测和绿色建筑技术，以进一步优化装配式建筑的经济效益和可持续性，推动建筑行业的创新和发展。

参考文献

- [1] 尹洪涛. 装配式建筑造价成本偏高应对策略探析[J]. 营销界, 2023, (19): 68-70.
- [2] 魏然, 柳向东. 全生命周期下钢结构装配式建筑成本分析[J]. 建筑结构, 2022, 52 (S2): 1539-1542.
- [3] 徐鑫. 影响装配式建筑成本因素及优化措施[J]. 四川建材, 2022, 48 (02): 214-216.
- [4] 章国美. 装配式建筑全生命周期成本分析[J]. 项目管理技术, 2021, 19 (08): 44-48.
- [5] 黄蒙. 装配式建筑成本影响因素分析与优化研究[D]. 内蒙古科技大学, 2020.
- [6] 邵富强. 装配式建筑成本分析及优化研究[J]. 房地产世界, 2020, (23): 10-14.
- [7] 刘杨. 装配式住宅建筑成本分析及优化研究[D]. 武汉工程大学, 2020.
- [8] 苏伟泽. 装配式建筑成本分析及优化研究[J]. 四川水泥, 2019, (12): 213.
- [9] 王毅, 陈肖伊. 装配式建筑成本优化思路浅析[J]. 广东土木与建筑, 2019, 26 (11): 78-81.