

预制装配式建筑生产成本影响因素分析^①

陈圆月, 李伟清

西南大学 工程技术学院, 重庆 400716

摘要: 现阶段预制装配式建筑建造成本较高, 限制了其在国内的推广应用, 运用影响系数分析法对限制预制装配式建筑的生产成本影响因素进行分析, 研究表明: 形成规模经济、采用先进施工工法有助于降低装配式建筑生产成本, 可为其推广应用提供参考。

关键词: 装配式建筑; 成本分析; 影响系数分析法

中图分类号: TU528.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2020)02-0068-05

预制装配式混凝土建筑是以预制混凝土构件为主, 经装配、连接、部分现浇而成的专用建筑技术体系。预制装配式建筑优势凸显: ①从社会层面看, 可降低能耗节约资源, 实现可持续发展; ②从消费者层面看, 居住舒适安全, 耐久性好; ③从投资者层面看, 提升经济效益, 提高工程建设效率; ④从就业者层面看, 增加就业机会, 改善作业环境。部分国家已经形成了以市场机制为主, 政府参与为辅的住宅产业化发展制度。但是目前我国绝大部分地区仍处于传统化建设阶段, 国家正在摸索发展适合中国国情的住宅产业化道路。根据国家政策推动下的各城市试点项目建设来看, 市场对装配式建筑的反应效果不甚乐观, 同时浮现出了各个方面的问题^[1]: 主要在政策规范方面、技术和施工标准方面、市场环境方面、经济成本方面、管理组织方面和其他方面。其中, 在市场经济下, 推动预制装配式建筑发展经济问题突出, 通过实例对比发现, 预制混凝土构件生产及安装费使建筑成本大幅增加, 我国预制率达到 10%~20%, 而建筑安装工程费增加 20%~50%^[2], 装配式住宅目前还处于高成本, 小市场的状态^[3], 因此分析装配式建筑成本问题具有一定的实践意义和指导作用。

1 因素分析方法体系

目前提出的因素分析方法主要有传统因素分析法(即拉氏指数与派氏指数所构成的指数体系)、理想指数分析法(费雪的理想指数公式)、微积分因素分析法(又称函数因素分析法)以及影响系数分析法。其中, 后三种方法是为了弥补第一种方法的不足提出来的, 影响系数分析法在因素分析研究的 4 个主要方面即确定性、真实性、稳定性、一致性, 其计算结果的各相关指标间都具有严格的数量依存关系, 既平衡协调又不存在误差^[4]。主要因素分析方法体系见表 1(以指数体系 $f=x*y*z$ 为例, 其中 f 为母指标, x, y, z 为子因素指标)。

表 1 清晰地阐述了 4 种方法的计算公式及其各自的特点和局限性, 4 种方法相比较, 影响系数分析法比其它 3 种方法更科学, 合理地克服了传统因素分析法的不确定性、不真实性和不一致性等缺陷, 在实际案例分析时选择影响系数分析法可以提高分析指标的精度。

① 收稿日期: 2018-06-13

基金项目: 重庆市技术创新与应用示范(社会民生类)一般项目(cstc2018jscx-msybX0028)。

作者简介: 陈圆月(1995—), 女, 硕士研究生, 主要从事工程项目管理的研究。

通信作者: 李伟清, 副教授。

表 1 主要因素分析方法体系

因素分析 方法名称	传统因素分析法	理想指数分析法	微积分因素分析法	影响系数分析法
绝对数体系	总变动 = $x_1 y_1 z_1 - x_0 y_0 z_0$	总变动 = $x_1 y_1 z_1 - x_0 y_0 z_0$	总变动 = $x_1 y_1 z_1 - x_0 y_0 z_0$	总变动 = $x_1 y_1 z_1 - x_0 y_0 z_0$
	X 变动 = $(x_1 - x_0) y_0 z_0$	X 变动 = $1/2[(x_1 y_0 z_0 - x_0 y_0 z_0) + (x_1 y_1 z_1 - x_0 y_1 z_1)]$	X 变动 = $(x_1 y_1 z_1 - x_0 y_0 z_0) \times \frac{\ln(x_1 y_0 z_0 / x_0 y_0 z_0)}{\ln(x_1 y_1 z_1 / x_0 y_0 z_0)}$	X 变动 = $\Delta x_1 + \Delta x_1 \times (M_x y + M_x z + M_x y z)$
	Y 变动 = $x_1 (y_0 - y_1) z_0$	Y 变动 = $1/2[(x_0 y_1 z_0 - x_0 y_0 z_0) + (x_1 y_1 z_1 - x_1 y_0 z_1)]$	Y 变动 = $(x_1 y_1 z_1 - x_0 y_0 z_0) \times \frac{\ln(x_0 y_1 z_0 / x_0 y_0 z_0)}{\ln(x_1 y_1 z_1 / x_0 y_0 z_0)}$	Y 变动 = $\Delta y_1 + \Delta y_1 \times (M_x y + M_x z + M_x y z)$
	Z 变动 = $x_1 y_1 (z_1 - z_0)$	Z 变动 = $1/2[(x_0 y_0 z_1 - x_0 y_0 z_0) + (x_1 y_1 z_1 - x_1 y_1 z_0)]$	Z 变动 = $(x_1 y_1 z_1 - x_0 y_0 z_0) \times \frac{\ln(x_0 y_0 z_1 / x_0 y_0 z_0)}{\ln(x_1 y_1 z_1 / x_0 y_0 z_0)}$	Z 变动 = $\Delta z_1 + \Delta z_1 \times (M_x y + M_x z + M_x y z)$
相对数体系	总指数 = $x_1 y_1 z_1 / x_0 y_0 z_0$	总指数 = $x_1 y_1 z_1 / x_0 y_0 z_0$	总指数 = $x_1 y_1 z_1 / x_0 y_0 z_0$	总指数 = $x_1 y_1 z_1 / x_0 y_0 z_0$
	X 指数 = x_1 / x_0	X 指数 = $\sqrt{\frac{x_0 y_1 z_0}{x_0 y_0 z_0} \times \frac{x_1 y_1 z_1}{x_0 y_1 z_1}}$	X 指数 = x 变动额 / $x_0 y_0 z_0$	X 指数 = x 变动额 / $x_0 y_0 z_0$
	Y 指数 = y_1 / y_0	Y 指数 = $\sqrt{\frac{x_0 y_1 z_0}{x_0 y_0 z_0} \times \frac{x_1 y_1 z_1}{x_1 y_0 z_1}}$	Y 指数 = y 变动额 / $x_0 y_0 z_0$	Y 指数 = y 变动额 / $x_0 y_0 z_0$
	Z 指数 = z_1 / z_0	Z 指数 = $\sqrt{\frac{x_0 y_0 z_1}{x_0 y_0 z_0} \times \frac{x_1 y_1 z_1}{x_1 y_1 z_0}}$	Z 指数 = z 变动额 / $x_0 y_0 z_0$	Z 指数 = z 变动额 / $x_0 y_0 z_0$
方法特点	计算方法简便, 便于掌握, 具有稳定性, 应用广泛。	计算较为简洁, 克服了不确定性缺陷。	计算简便, 克服了不确定性和不一致性, 增强了理论分析的科学性。	克服了不确定性、不真实性、不一致性缺陷, 具有很强的稳定性。
方法局限	不确性, 不真实性, 不一致性, 缺陷明显 ^[5] 。	不稳定性, 不真实性, 不一致性。	不能彻底克服不真实性缺点, 存在不稳定性缺陷。	计算相对比较复杂。

2 预制装配式建筑成本分析

2.1 造价对比

探索装配式建筑在市场经济下发展艰难的问题需要对装配式建筑造价构成进行剖析, 在对比类似度量的传统现浇工程, 发现这两种不同施工方式的最大造价差距主要存在于土建工程, 见表 2^[2]。

表 2 装配式设计与现浇式设计造价对比

序号	分项工程	装配式建筑		现浇建筑	
		造价/元	平米造价/元	造价/元	平米造价/元
1	土建工程	10 034 807	2 128.72	6 208 408	1 317.01
2	装饰工程	156 941	149.05	736 929	156.33
3	给排水工程	764 419	30.6	218 338	46.32
4	采暖工程	146 503	28.57	198 381	42.08
5	电气工程	893 365	81.77	552 572	73.03
	总计	12 404 809	2 418.71	7 914 628	1 634.77

由表 2 分析可知, 土建工程造价在单项工程造价中不仅占比大, 而且两种施工方式造价差距主要集中于土建工程, 重点剖析装配式建筑土建工程造价是具有一定经济意义的。传统现浇建筑主要是设计和施工两个阶段, 而装配式建筑包含设计阶段、生产阶段、运输和安装 4 个阶段。李丽红^[4]等人提出装配式建筑在大部分分项工程及其他方面投入的成本明显减少, 抹灰费用有较少降低, 但 PC 构件生产及安装成本大大增加。装配式建筑土建成本除了包含设计制作费用、运输费用、安装费用以外还要计算厂房和设备的摊销折旧费, 但是目前装配式建筑的市场接受程度较低, 项目落地存在一定困难, PC 构件无法实现批量化规模化生产, 各种费用摊销在低产量的构件上必然会造成装配式建筑土建成本居高不下, 从表 2 可以看到装配式建筑土建成本高出

了现浇建筑土建成本约 62%，这足够让很多开发商对装配式建筑望而却步，这也是装配式建筑推广受阻的一大重要因素，最终形成恶性循环造成推广进展缓慢。

2.2 实际案例分析

装配式建筑除因为应用规模小带来构件生产成本过高以外，在施工阶段因为技术、管理等问题也带来了较大费用增加。本文通过案例选择影响系数分析法，分析影响预制装配式建筑土建工程施工成本的影响因素，找出关键因素，为降低施工成本提供参考。

上海某项目 5 号框架剪力墙结构小高层住宅楼采用的是预制混凝土装配式施工工艺，其建筑面积为 4 953 m²。实际造价为 12 404 809.00 元，比预期造价增加了 756 051.00 元。其中土建工程计划造价为 10 411 895.00 元，而实际造价为 11 040 281.00 元，实际造价与计划造价变动对比如表 3。

表 3 实际造价与计划造价变动分析

	计划造价		实际造价		增加率/%
	造价/元	每平方米价格/元	造价/元	每平方米价格/元	
土建工程	10 411 895.00	2 102.14	11 040 281.00	2 229.01	6.04
单项工程	11 698 758.00	2 361.96	12 454 809.00	2 514.60	6.47

从表 3 结果可知，土建工程造价增长占到单项工程造价增长的 93.35%，说明要降低预制装配式建筑的生产成本，必须降低土建工程成本。

我们可以把预制装配式建筑土建工程施工成本影响因素分解为预制构件体积(S)、预制构件综合单价(P)、预制构件综合损耗率(R)，其中预制构件单价为生产三阶段价格综合，损耗率为预制构件在生产、运输、安装过程中各阶段预制构件体积的综合损耗率，具体见表 4。

表 4 预制构件分步工程造价分析

序号	对象	计划值	实际值
一	预制构件体积(S)/m ³	1 161.48	1 219.56
二	预制构件综合单价(P)/(元·m ⁻³)	5 987.45	6 043.08
三	预制构件综合损耗率(R)/%	101.60	101.65

根据影响系数分析法进行因素分析：

$$\Delta S_1 = (S_1 - S_0)P_0R_0 = S_1P_0R_0 - S_0P_0R_0 = 1 219.56 * 5 987.45 * 1.016 - 1 161.48 * 5 987.45 * 1.016 = 353 315.11$$

$$\Delta P_1 = (P_1 - P_0)S_0R_0 = S_0P_1R_0 - S_0P_0R_0 = 1 161.48 * 6 043.08 * 1.016 - 1 161.48 * 5 987.45 * 1.016 = 65 646.94$$

$$\Delta R_1 = (R_1 - R_0)S_0P_0 = S_0P_0R_1 - S_0P_0R_0 = 1 161.48 * 5 987.45 * 1.0165 - 1 161.48 * 5 987.45 * 1.016 = 3 477.15$$

$$\Delta SP = (S_1 - S_0)(P_1 - P_0)R_0 = S_1P_1R_0 - S_1P_0R_0 - S_0P_1R_0 + S_0P_0R_0 = 1 219.56 * 6 043.08 * 1.016 - 1 219.56 * 5 987.45 * 1.016 - 1 161.48 * 6 043.08 * 1.016 + 1 161.48 * 5 987.45 * 1.016 = 3 282.69$$

$$\Delta SR = (S_1 - S_0)(R_1 - R_0)P_0 = S_1P_0R_1 - S_1P_0R_0 - S_0P_0R_1 + S_0P_0R_0 = 1 219.56 * 5 987.45 * 1.0165 - 1 219.56 * 5 987.45 * 1.016 - 1 161.48 * 5 987.45 * 1.0165 + 1 161.48 * 5 987.45 * 1.016 = 173.88$$

$$\Delta PR = (P_1 - P_0)(R_1 - R_0)S_0 = S_0P_1R_1 - S_0P_1R_0 - S_0P_0R_1 + S_0P_0R_0 = 1 161.48 * 6 043.08 * 1.0165 - 1 161.48 * 6 043.08 * 1.016 - 1 161.48 * 5 987.45 * 1.0165 + 1 161.48 * 5 987.45 * 1.016 = 32.31$$

$$\Delta SPR = (S_1 - S_0)(P_1 - P_0)(R_1 - R_0) = S_1P_1R_1 - S_1P_1R_0 - S_1P_0R_1 + S_1P_0R_0 - S_0P_1R_1 + S_0P_1R_0 + S_0P_0R_1 - S_0P_0R_0 = 1 219.56 * 6 043.08 * 1.0165 - 1 219.56 * 6 043.08 * 1.016 - 1 219.56 * 5 987.45 * 1.0165 + 1 219.56 * 5 987.45 * 1.016 - 1 161.48 * 6 043.08 * 1.0165 + 1 161.48 * 6 043.08 * 1.016 + 1 161.48 * 5 987.45 * 1.0165 - 1 161.48 * 5 987.45 * 1.016 = 1.62$$

$$M_{sp} = \Delta SP / (|\Delta S_1| + |\Delta P_1|) = 3 282.69 / (353 315.11 + 65 646.94) = 0.007 835$$

$$M_{SR} = \Delta SR / (|\Delta S_1| + |\Delta R_1|) = 173.88 / (353 315.11 + 3 477.15) = 0.000 487 3$$

$$M_{PR} = \Delta PR / (|\Delta P_1| + |\Delta R_1|) = 32.31 / (65 646.94 + 3 477.15) = 0.000 467 4$$

$$M_{SPR} = \Delta SPR / (|\Delta S_1| + |\Delta P_1| + |\Delta R_1|) = 1.62 / (|353\ 315.11| + |65\ 646.94| + |3\ 477.15|) = 0.000\ 003\ 83$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + |\Delta S_1| (M_{SP} + M_{SR} + M_{SPR}) = 353\ 315.11 + |353\ 315.11| * (0.007\ 835 + 0.000\ 487\ 3 + 0.000\ 003\ 83) = 356\ 256.857\ 5$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + |\Delta P_1| (M_{SP} + M_{PR} + M_{SPR}) = 65\ 646.94 + |65\ 646.94| * (0.007\ 835 + 0.000\ 467 + 0.000\ 003\ 83) = 66\ 192.192\ 3$$

$$\Delta R = \Delta R_1 + |\Delta R_1| (M_{SR} + M_{PR} + M_{SPR}) = 3\ 477.15 + |3\ 477.15| * (0.000\ 487\ 3 + 0.000\ 467 + 0.000\ 003\ 83) = 3\ 480.481\ 6$$

相对数体系:

$$\text{总指数} = S_1 P_1 R_1 / S_0 P_0 R_0 = (1\ 219.56 * 6\ 043.08 * 1.016\ 5) / (1\ 161.48 * 5\ 987.45 * 1.016) = 106.028\%$$

$$S \text{ 指数} = \Delta S / S_0 P_0 R_0 = 356\ 256.857\ 5 / (1\ 161.48 * 5\ 987.45 * 1.016) = 5.042\%$$

$$P \text{ 指数} = \Delta P / S_0 P_0 R_0 = 66\ 192.192\ 3 / (1\ 161.48 * 5\ 987.45 * 1.016) = 0.937\%$$

$$R \text{ 指数} = \Delta R / S_0 P_0 R_0 = 3\ 480.481\ 6 / (1\ 161.48 * 5\ 987.45 * 1.016) = 0.049\%$$

$$\text{且 } 6.028\% = 5.042\% + 0.937\% + 0.049\%$$

即总指数 = S 指数 + P 指数 + R 指数

绝对数体系:

$$\text{总变动} = S_1 P_1 R_1 - S_0 P_0 R_0 = 1\ 219.56 * 6\ 043.08 * 1.016\ 5 - 1\ 161.48 * 5\ 987.45 * 1.016 = 425\ 929.6$$

$$S \text{ 变动} = \Delta S = \Delta S_1 + |\Delta S_1| (M_{SP} + M_{SR} + M_{SPR}) = 356\ 256.857\ 5$$

$$P \text{ 变动} = \Delta P = \Delta P_1 + |\Delta P_1| (M_{SP} + M_{PR} + M_{SPR}) = 66\ 192.192\ 3$$

$$R \text{ 变动} = \Delta R = \Delta R_1 + |\Delta R_1| (M_{SR} + M_{PR} + M_{SPR}) = 3\ 480.481\ 6$$

$$\text{且 } 425\ 929.6 = 356\ 256.857\ 5 + 66\ 192.192\ 3 + 3\ 480.481\ 6$$

即总变动 = $\Delta S + \Delta P + \Delta R$

由计算分析可知,预制构件生产成本总指数为106.028%,在预制构件体积、综合单价和综合损耗率三者的共同作用下使得预制装配式建筑生产成本增加了6.028%,增长的绝对额为425 929.60元。各动态单因素变化影响下,母指标影响绝对额最大的因素是预制构件体积,其对预制构件生产成本的绝对影响额为356 256.86元,增长了5.042%。其次是综合单价影响因素,增长的绝对额为66 192.22元,相对指数为0.937%。预制构件综合损耗率的变动对母指标影响额最小为3 480.48元,仅增长了0.049%。

由此可知,预制构件体积增加是引起施工阶段费用增加的主要因素,降低装配式建筑施工阶段成本必须控制好预制构件体积增加。

3 对策研究

通过装配式建筑生产成本统计资料和施工费用资料分析发现,要降低装配式建筑成本必须提高其建造规模,形成规模经济效应;要降低施工阶段费用增加,必须控制预制构件体积增加。如何扩大装配式建筑应用规模,降低施工费用,可采取如下措施:

3.1 政府层面多措施并举

要想在全国范围内顺利推广预制装配式建筑,形成预制装配式建筑构件的生产规模化,早日实现具有中国特色的住宅产业必然无法脱离政府的引导和政策措施的支持。

1) 建立政府和市场双轨驱动机制。目前装配式建筑的市场接受程度较低,报批报建以及招投标等各环节在传统程序的适应性上存在一定问题,导致预制装配式项目落地困难。各地政府应自行评估当地预制装配式建筑现存规模和项目落地瓶颈,强化“发展预制装配式建筑作为产业结构调整和建设两型社会的关键”意识,因地制宜、有针对性地在土地出让准入、金融贷款投资优惠、消费者购房定向补贴、报批报建费用部分减免、降低构件生产增值税收等方面出台系列政策。

2) 打造示范动力。在各地区域范围内重点培育一批示范城市、示范基地、示范项目,政府牵头搭建地区交流沟通平台,促进资源整合、技术发展,通过示范提高带动力,可以解决市场认可度低、投资动力不足、资

源倾斜等问题.

3) 人才培养. 引进科研团队识别、攻克预制率低下的重难点问题以提高建筑装配率, 培育一批专业能力突出的专家型、具有管理视野和推广统筹能力的复合型、技术实力高超的工匠型人才, 满足市场各类型人才需求, 推动整个预装装配式建筑产业化发展.

3.2 提升企业竞争力

一般来讲, 实现规模化生产需要外部的市场需求和内部的企业供给都达到了一定规模, 且在时间和空间上相对平衡^[6]. 外部市场接受程度和需求在当前已有一定规模的条件下, 伴随各地因地制宜的政策宏观调控和激励, 将会大幅度提升, 同时企业内部的供给产能和竞争力也应该达到相应匹配度.

1) 施工工序、工艺新型化. 装配式建筑施工阶段重点需要处理大批量 PC 构件的安装和节点连接, 这些处理不仅有可能影响工程的质量和工期, 还会潜藏构件损耗增量的风险. 优化施工工序, 采用合理的吊装系统, 选择新型的节点连接技术或材料可以让项目保质保量、低成本低风险地顺利完成.

2) 操作人员专业化. 装配式建筑相较于传统现浇施工而言, 在生产、施工的技术方面和操作人员的职业素养要求上都有大幅度的提升, 在实际施工过程中, 应该集中对操作人员进行岗前培训, 定时定期针对项目施工中遇到的重难点进行总结和学习, 确保后期施工质量和效率.

③施工管理标准化、规范化. 相对传统现浇建筑施工需要创新、标准化现场施工管理, 注意构件的有序、规范存放以及现场运输存储点的合理布置, 减少二次搬运、有效降低施工成本, 提升企业的管理能力和竞争能力.

参考文献:

- [1] 刘 康. 预制装配式混凝土建筑在住宅产业化中的发展及前景 [J]. 建筑技术开发, 2015, 42(1): 7-11.
- [2] 王 爽, 王春艳. 装配式建筑与传统现浇建筑造价对比浅析 [J]. 建筑与预算, 2014, 37(7): 26-29.
- [3] 杨 闯, 刘 香. 我国装配式住宅现存问题及应对策略分析 [J]. 建筑技术, 2016, 47(4): 301-304.
- [4] 李丽红, 耿博惠, 齐宝库, 等. 装配式建筑工程与现浇建筑工程成本对比与实证研究 [J]. 建筑经济, 2013, 34(9): 102-105.
- [5] 杜家龙. 因素分析理论新探 [J]. 商业研究, 2003(17): 27-29.
- [6] 王 进. 关于预制构件企业规模化生产的思考 [J]. 企业改革与管理, 2017(18): 208.

Analysis of Factors Affecting Production Costs of Prefabricated Buildings

CHEN Yuan-yue, LI Wei-qing

College of Engineering & Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: At the present stage, the cost of prefabricated prefabricated building construction is relatively high, which limits its popularization and utilization in China. In this paper, the influence coefficient analysis method has been used to analyze the factors that affect the production cost of prefabricated prefabricated building. It shows that the formation of economies of scale and the use of advanced construction methods can help reduce the production costs of prefabricated buildings and provide a reference for their popularization and application.

Key words: prefabricated building; cost analysis; influence coefficient analysis