

湖南地区装配式建筑技术成本探讨

田伟¹ 邱敏² 林济星²

深圳市华阳国际工程设计股份有限公司长沙分公司

摘要:近些年来,装配式建筑项目比例越来越高,但是在推广过程中还存在很大的阻力,开发单位对装配式建筑的认识也还存在一定的误区,其中装配式建筑的增量成本就是反映的一个重要问题之一,通过成本要素法分析造成目前长沙市装配式建筑的各种装配式技术的增量成本原因,并就具体的实施技术分析具体产生的成本,这对下一步指导装配式建筑的设计及推广,促进装配式建筑的高质量发展具有重要意义。

关键词:装配式;成本要素;成本增量

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.14.077

装配式建筑以标准化设计、工厂化生产、装配化施工、信息化管理、智能化应用和一体化装修为基本原则,将极大地提高劳动生产力,是现代建筑业的发展方向,也是实现绿色发展的重要抓手。虽然装配式建筑项目比例越来越高,但是在推广过程中还存在很大的阻力,开发单位对装配式建筑的认识也还存在一定的误区,其中装配式建筑的增量成本就是反映的一个重要问题之一,尤其在目前房地产严格调控的环境下显得尤为突出。为此我们通过调研分析现有技术成本,总结归纳出目前市场上各种装配式技术的成本增量,这对指导装配式建筑的设计及推广,促进装配式建筑的高质量发展具有非常重要的意义。

合理的选择装配式方案有利于降低建筑的全寿命周期的综合成本。本文将通过成本要素法进行分析,成本要素法是通过装配式结构的工程案例总结出增量成本影响要素,然后通过这些成本要素来进行增量成本估算。根据《湖南省绿色装配式建筑评价标准》DBJ43/T 332-2018中的绿色装配式建筑评分表,装配率计算分为主体结构Q1、围护墙和内隔墙Q2、装修和设备管线Q3、绿色建筑Q4、加分项Q5这五个部分评价。下面我们根据目前长沙地区的市场行情来分析这五部分对成本增量的影响(以百米住宅为例,主材价格以2020年9月为参考)。

一、主体结构Q1

主体结构预制可分为竖向构件预制与水平构件预制。采用竖向构件、水平构件预制时,PC综合单价相对现浇混凝土价格增加较多,同时会增加运输成本和起吊成本,但相应可以减少部分模板、支撑、及现场钢筋混凝土工程量。此项技术目前为装配式建筑主要成本增量因素。

预制剪力墙的费用包含预制构件材料费和施工措施费。预制构件材料费也就是预制构件的市场价格,对项目的成本起着直接影响(预制构件的生产成本组成详见附录三)。

下面根据《湖南省绿色装配式建筑评价标准》,以测算一栋高层住宅楼的预制剪力墙为例,探究装配整体式剪力墙结构体系中的剪力墙的预制比例对成本的影响,为选择合理的方案提供参考。

(一) 采用预制剪力

根据统计,百米高层住宅的剪力墙的占建筑面积的比例(含墙率)一般为5%~6%,其中边缘构件占比为40%~45%。以33层的装配整体式剪力墙结构为例,层高3m,含墙率取5.5%,边缘构件占比取45%,每层

建筑面积500m²进行测算。根据以上条件,主体结构竖向构件混凝土总体积 $V=500\text{m}^2 \times 5.5\% \times 3\text{m}=82.5\text{m}^3$ 。考虑到剪力墙结构底部加强部位的剪力墙宜采用现浇混凝土,即塔楼底部5层宜采用现浇。按现浇混凝土单价取1000元/m³,预制剪力墙单价取3000元/m³,由式

$$q_{1a} = \frac{(V_{1a\text{标准层}} + V_{1a\text{连接部分}}) \times (33\text{层} - 5\text{层})}{500\text{m}^2 \times 5.5\% \times 3\text{m} \times 33\text{层}} \times 100\% \text{ 可得出单方成本增量与预}$$

制剪力墙应用比例之间的关系(此成本增量未含施工措施费),如下图所示:

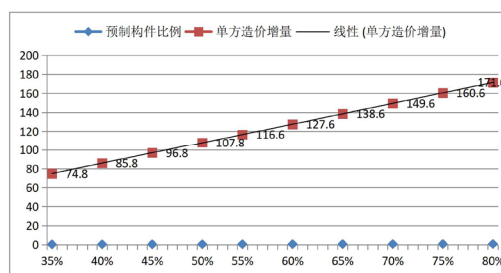


图1.1 单方成本增量与预制剪力墙应用比例之间的关系图

备注:本表按预制墙固定综合成本计算,实际随着预制比例增加,运输和模具成本会有所降低,成本增速有所变缓,呈现出曲线。

(二) 采用预制叠合剪力墙

当采用叠合剪力墙时,叠合构件部分需按照总体积(含叠合构件中的现浇混凝土)乘以0.85的折减系数。下面同样以33层的装配整体式剪力墙结构为例,层高3m,含墙率取5.5%,边缘构件占比取45%,每层建筑面积500m²进行测算。按现浇混凝土单价取1000元/m³,预制叠合剪力墙(含空腔)单价取2300元/m³,空腔处混凝土应采用高流态混凝土,取800元/m³,由此我们可以推出叠合预制剪力墙应用比例与单方成本增量之间的关系(此成本增量未含施工措施费),如下图所示:

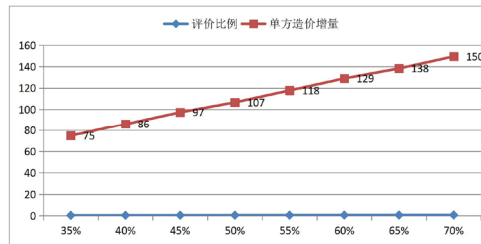


图1.2 单方成本增量与预制叠合剪力墙应用比例之间的关系图

备注:本表按预制墙固定综合成本计算,实际随着预制比例增加,运输和模具成本会有所降低,成本增速有所变缓,呈现出曲线。

由上图可知,当评价比例相同时,预制剪力墙与预制叠合剪力墙在构件成本上的综合单方造价差异不大,但预制叠合剪力墙占剪力墙总量的比例要高一些,这是由于计算评价比例时,叠合构件部分需按照总体积(含叠合构件中的现浇混凝土)乘以0.85的折减系数。叠合剪力墙除底部加强区外,其余全部剪力墙采用预制构件时,评价比例也很难达到80%。

考虑钢筋连接及塔吊吊装、底部封堵等施工措施费用增量下，竖向预制35%比例时，预制构件预制综合每平方米增量在90~120元之间。

(三) 水平结构构件：梁、板、楼板、阳台、空调板

1) 楼板采用叠合楼板时材料费增量如下表所示：

项目	板厚 (mm)	材料单价 (元/m³)	单方成本 (元/m²)
现浇楼板	100	1000	100
叠合楼板	60 (预制)+70 (现浇)	2200 (PC楼板)	132+80

上表中PC楼板按照长沙市场叠合板构件平均2200元/m³计算，叠合楼板比普通现浇板单方增加造价约： $132+75-100-35+40(10)=82\sim 112$ 元/m²（其中60mm厚PC楼板：132元/m²；70mm厚现浇叠合层：75元/m²；现浇楼板100mm厚：100元/m²；铝合金模板平均节省：35元/m²；垂直运输塔吊选型考虑构件重量和分布选择增加约：10~40元/m²）水平预制构件采用比例约为80%，换算为建筑面积，每平方米增加约70~90元。

(四) 高精度模板应用

装配式建筑施工时，利用高精度模板工艺较好的整体性和安装的便捷性，预制构件能更快更精确的安装到位，同时还可以做到免抹灰或薄抹灰。目前高精度模板有铝合金模板和大钢模板，由于钢模板对机械和人工要求高，铝合金模板的使用较为普遍。下面通过总结多个项目的铝合金模板设计情况，得出模板建筑单方指标约为3.3，即一平方米的约需要3.3m²的模板（项目数据详见附录五）。

实际项目中铝合金模板一般采用租赁的方式，根据厂家提供的数据，目前铝合金模板租赁价格为500~600元/m²（标准层铝合金模板与混凝土接触面积）。下面按30层高层，每层建筑面积400m²进行测算，来对比木模板和铝合金模板的经济性。

表1 项目采用木模、铝合金模板（租赁）的造价明细表

木模板支撑体系	计算规则	费用
材料费用)	含模板、木方、钢管、扣件)	30元/m²
人工费	按建筑面积	100元/m²
附材及损耗费用	按建筑面积	3元/m²
合计	按建筑面积	133元/m²
铝合金模板（租赁）	计算规则	费用
租费	(含附材，模板建筑单方指标3.3m²)	20元/m²*3.3=66元/m²
人工费	按建筑面积	25元/m²*3.3=82.5元/m²
合计	按建筑面积	148.5元/m²

由上表可知，高层住宅采用木模施工与租赁铝合金模板的费用差别不是很大，由于铝合金模板的优越性能，为装配式建筑施工提供了更多便利，因而推荐优先采用。

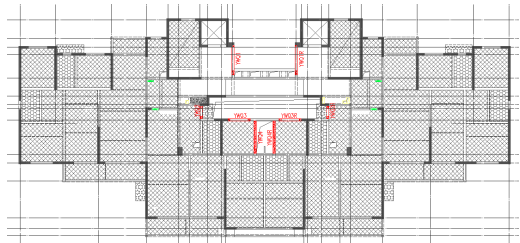
二、围护墙和内隔墙Q2

(一) 非承重围护墙非砌筑

长沙采用的主要为PC外墙、PC飘窗、全砼外墙三种，但全砼构造外墙结构受力不清，拉缝难以施工，现不予认定为非砌筑，全砼结构外墙受方案因素不一定都可实现，PC外墙或飘窗综合单价相对现浇混凝土价格增加较多，同时会增加运输成本和起吊成本，相应可以减少部分模板、支撑和现场钢筋混凝土工程量以及采用免抹灰或薄抹灰。

现以龙湖映客G1#栋为例测算非承重围护墙采用PC外

墙时的成本增量。下图为该项目的标准层PC外墙平面图：



该项目标准层采用了8片PC预制外墙，标准层的建筑面积约为580m²，预制外墙体积为5.8m³，按PC外墙2500元/m³，现浇混凝土1000元/m³计算，则该项目因采用PC预制外墙增加的材料成本为15元/平方米。在普通住宅项目中，除剪力墙以外的外墙较少，所以此项增加成本也不多。

(二) 内隔墙非砌筑

内隔墙非砌筑，主要有轻质墙板和PC内隔墙两大类，其中轻质墙板又分为蒸压加气ALC条板、混凝土轻质条板、改性石膏条板以及复合硅钙保温条板。这几类轻质条板，根据市场调研，材料费大概均在700元/m³左右，考虑税费、运输、安装及接缝防裂处理，综合单价每立方均在1400~1600元之间。

目前长沙市场应用主要为ALC轻质条板和PC内隔墙，由于PC内隔墙，造价高，且对结构刚度影响大，现已很少采用，其他轻质条板，目前应用较少，还需要市场检验，ALC轻质条板已成主流，相对传统砌块，轻质条板具有以下优势：自重轻，轻质抗震；保温隔热、隔音、防火性能好；环保；安装工艺简单，施工速度快，表面平整，可以做到薄抹灰。同时也有一些劣势，如防潮性能不佳；易开裂，接缝处需重点控制；不宜挂载重物。

下表为目前长沙项目所采用的内隔墙种类及其大致成本对比：

内隔墙采用技术	PC内隔墙	ALC墙板	加气混凝土砌块Ma3.5
材料费+运输安装 (元/m²)	2800	1400~1600	800

根据实际项目统计测算，每平米内隔墙含量约0.09m³/m²左右，各种砌体做法

综合单价如下：

内隔墙采用技术	50%比例PC内隔墙	50%比例ALC墙板	加气混凝土砌块Ma3.5
材料费+运输安装 (元/m²)	162	108	72

由上述数据可知，PC内嵌墙的造价最高，轻质墙板次之，采用50%比例PC内隔墙比传统加气混凝土砌块综合单价单方增加约90元/m²，采用50%比例ALC内隔墙比传统加气混凝土砌块综合单价单方增加约36元/m²。但根据调研目前安装轻质墙板比砌筑普通加气块施工工期可节约1/3以上。以华润琨御府项目为例：2~3人施工可达两天三层，普通加气块的话，两天一层，且质量不可控。对于条板安装后开裂这一顾虑，已考虑防开裂措施：条板+2道玻纤网格布+8mm抗裂砂浆，可有效降低开裂风险。

三、装修和设备管线Q3

全装修：目前全装修在装配式建筑和传统建筑中的做法和成本基本没有差异，主要由装修档次定位决定。

1) 干式工法楼地面：主要是品牌和产品的差异，价格差异大，主要受精装档次控制，和是否做装配式建筑差异不大，但由于住宅项目厨房卫生间公区基本是铺

地砖，导致应用比例难以达到70%，故较少采用此项。

2) 集成厨房、集成卫生间：集成化程度高，安装方便，但产品较少，且较难适应个性化需求，成本高，目前项目极少采用。

3) 管线分离：增加管线长度和预埋线盒，成本有一定增加，但可减少现场开槽和封堵成本，有利于后期装修改造。管线分离的现场施工难度有所增加，施工单位的相关工程经验和施工思维还有待提升，后期需组织技术培训与交底工作。

综合以上，全装修成本与装配式建筑关系不大，主要由装修档次定位决定。

四、绿色建筑

规范要求必须达到绿色建筑审查基本要求，成本不因装配式建筑增加。绿建一星基本也不增加成本，绿建二星，三星，需增加较多设备和绿建设计，根据不同得分方式选择不

同增项，成本增加较多。一般住宅项目建议拿一星。

五、加分项Q5

1) BIM技术应用：目前湖南省要求采用BIM审查，因此非装配式建筑成本增项，且可减少错漏空缺导致的返工成本。

2) EPC模式：设计施工总包为鼓励建造方式，可减少管理成本，而且能够从设计、采购、施工全过程控制项目成本和施工质量，提高施工效率，建议采用。

六、成本增量总结

根据目前长沙市场典型装配式项目案例（百米住宅）成本分析研究可知，目前单方成本增量在150~400元/m²之间，在不采用竖向构件预制以及PC内隔墙的情况下，成本增量在150~200元/m²元之间。装配式技术选择、设计标准化程度和现场施工管控对成本浮动有较大的影响。

各单向成本增量如下表：

评价项目		指标要求	采用方式	成本增量元/m ²	备注	
主体结构Q1 (45分)	竖向构件	A采用预制构件 35%≤比例≤80%	PC预制	90~120	35%比例预制	
	水平构件	B高精度模板 85%≤比例	铝膜	--	相对传统不增加	
		采用预制构件 70%≤比例≤80%	叠合楼板	70~90元/m ²	80%比例预制叠合板	
围护墙和内隔墙Q2 (45分)	非承重围护墙非砌筑		比例≥80%	少量PC外墙+ALC非临雨面外墙	10~15元/m ²	PC较少分摊后成本增加不多
	外围护墙	A、围护墙与保温、隔热、装饰一体化	50%≤比例≤80%	---	--	暂无案例数据
	体集成化	B、围护墙与保温、隔热、窗框一体化	50%≤比例≤80%	---	--	成本增量较大，长沙近两年极少采用
	内隔墙非砌筑		比例≥50%	ALC轻质条板/PC墙板	36~40元/m ² /90元/m ²	ALC比PC隔墙更经济合理
	内隔墙体集成化	A、内隔墙与管线、装修一体化	50%≤比例≤80%	---	--	长沙暂无此类产品应用
B、内隔墙与管线一体化		50%≤比例≤80%	---	0	工厂开槽预埋，现场成本转移到工厂	
装修和设备管线Q3 (25分)	全装修		---	采用	--	非装配式增量
	干式工法的楼面、地面		比例≥70%	---	--	非装配式增量
	集成厨房		70%≤比例≤90%	---	--	长沙暂无此类产品应用
	集成卫生间		70%≤比例≤90%	---	--	长沙暂无此类产品应用
绿色建筑Q4 (10分)	绿色建筑基本要求		满足绿色建筑审查基本要求	4	--	一星成本基本不增加，绿建非装配式增量
	绿色建筑评价标识		一星≤星级≤三星	2~6	--	
加分项Q5	BIM技术应用		设计	采用	--	政策推行采用，非装配式增量
			生产	采用	--	不增加成本
			施工	采用	--	不增加成本
采用EPC模式		---	采用	--	可降低综合成本	
设计费	装配式设计				10~12元/m ²	
其他	主体结构荷载增加，整体体结构造价增加				15~20元/m ²	

七、未来装配式政策发展建议

结合两提两减政策原则，并着眼引导未来装配式发展方向，给出对应政策建议以及行业发展中需注意的问题。

1) 装配式建筑最大的特点在于工业化生产和安装，目前市场建筑标准化程度不高，立面线脚复杂，重复率低，施工复杂，未能达到规模效应和减少人工原则，建议增加户型标准化和构件标准化引导。

2) 装配式建筑不仅仅包括建筑结构体系和内外围护墙体系，装配化装修和设备管线体系也是装配式建筑非常重要的组成部分。目前市场应用很少，现场湿作业多，标准化低，后期维修改造浪费大，未能达到建筑全生命周期的节能减排效果，应引导和鼓励装配化装修，鼓励集成厨

房、卫生间产品创新和干式工法楼、管线分离技术推广。

3) 目前装配式建筑施工期间临时措施费用高，浪费大，现场杂乱，容易出现安全隐患，应积极鼓励装配化施工技术创新，例如爬架、免抹灰工艺、成型钢筋制品，自动化加工技术、自升式布料机等，这些技术可以带来很大程度的减少人工，提高效率，因此建议增加装配化施工技术加分。

参考文献

[1] 湖南省住房和城乡建设厅.《湖南省绿色装配式建筑评价标准》DBJ 43/T332-2018.

[2] 邱敏.长沙市某装配式建筑与传统现浇建造成本比较[J].房地产导刊, 2021(24): 235-236.