

# 基于ISM的装配式建筑发展影响因素

刘光忱,温振迪,沈静

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**以装配式建筑为研究对象,通过文献综述法选取10个影响装配式建筑发展的因素,运用解释结构模型法(ISM)系统分析了各影响因素之间的相互关系,并在此基础上建立了5级多层递阶结构模型,进一步精确地描述了各个影响因素之间的直接关系,进而直观地反映了各个因素之间的层级关系和相互影响,理清了我国装配式建筑发展的影响因素之间的相互关系。最后,从政府、投资方、施工方3个层面提出了相应的应对措施,以期为推进我国装配式建筑发展提供一定的参考依据。

**关键词:**装配式建筑;解释结构模型;可达矩阵;递阶结构图

**中图分类号:**TU-741      **文献标志码:**A

建筑业作为我国的传统行业,规模宏大,2016年,其总产值达到193 566.78亿元,同比增长7.09%,还解决了5 185.24万人口的就业问题。尽管如此,仍然要清醒地认识到,我国建筑业的高速发展是以环境污染和资源浪费为代价取得的,是不可持续的。随着建筑业的经济增长速度逐步放缓,传统的现场湿作业生产方式是否与未来我国建筑业的发展方向相符合,是否与我国发展新型工业化道路的大环境相适应,再次成为业内关注的重点。一方面,传统的现浇施工方式效率低下、污染严重、资源浪费、质量难以控制、容易受外部施工条件的限制等问题日益突出;另一方面,大批新技术、新材料不断涌现也对传统的建筑行业造成了很大的冲击。同时,政府为了推动装配式建筑的发展,相继出台了一些相关政策文件,在一些主要城市进行建筑产业化试点工作,加大对相关企业的扶持力度。经过数年的研究和推广实践,我国的

装配式建筑事业取得了很大的进步,采用装配式建造方式的项目也越来越多。

## 一、影响装配式建筑发展的因素识别

影响我国装配式建筑发展的因素有很多,各个影响因素不是孤立存在的,两两之间往往存在着错综复杂的关系。为了明确影响我国装配式建筑发展各因素之间的相互关系,笔者通过文献综述法<sup>[1-6]</sup>找出了10个影响我国装配式建筑发展的主要因素:建设成本较高 $S_1$ ;相关专业人才短缺 $S_2$ ;政府推行力度不够 $S_3$ ;缺乏足够的预制构件生产厂商 $S_4$ ;施工方实行装配式施工方式存在困难 $S_5$ ;投资方对采用装配式建筑生产方式的热情不高 $S_6$ ;对装配式建筑技术的研究深度不够 $S_7$ ;消费者认可度不高 $S_8$ ;施工工艺与管理模式与湿作业施工不同 $S_9$ ;预制构件组装技术复杂 $S_{10}$ 。

二、基于解释结构模型的影响因素内在关系分析

解释结构模型法(Interpretative Structural Modeling, ISM)是由 J. Warfield 教授在 1973 年开发的系统分析模型,是结构化模型技术的一种,可用于分析宏微观不同层面的问题。

1. 影响因素相互关系分析

各个影响因素都不是独立存在的,相互之间有着直接或间接的关系,在建立影响装配式建筑发展相关因素的解釋结构模型之前,首先要确定影响因素之间的相互关系。由 10 位装配式建筑相关领域的专家根据工作经验为影响因素的相互关系打分,采用一票否决制,只要任一专家认为二者没有关系,便认为两个因素之间没有关系,然后归纳总结专家意见,得到了影响装配式建筑发展的各个因素的关联矩阵(见图 1)。

	$S_{10}$	$S_9$	$S_8$	$S_7$	$S_6$	$S_5$	$S_4$	$S_3$	$S_2$
$S_{10}$	A	A	E	A	E	E	A	O	O
$S_9$	A	A	O	O	E	E	O	A	
$S_8$	O	O	E	E	E	E	E		
$S_7$	O	O	O	O	E	E			
$S_6$	A	A	O	O	O				
$S_5$	O	A	A	O					
$S_4$	O	O	O						
$S_3$	O	O							
$S_2$	O								

图 1 影响装配式建筑发展因素的关联矩阵示意图

在关联矩阵中,用  $S_i$  表示行因素,用  $S_j$  表示列因素,用不同的符号表示影响因素的相互关系,符号含义如下:O 表示因素  $S_i$  与因素  $S_j$  相互不影响;E 表示因素  $S_i$  对因素  $S_j$  有影响,反过来没影响;A 表示因素  $S_j$  对因素  $S_i$  有影响,反过来没影响。

2. 建立邻接矩阵并计算可达矩阵

利用邻接矩阵将图 1 中各影响因素的相互关系数量化,用“1”和“0”分别表示影响因素之间的关系。当系统有  $n$  个要素时,构成的邻接矩阵便是  $n \times n$  阶,规定当  $S_i$  对  $S_j$  有影响时,则  $a_{ij} = 1$ ,当  $S_i$  对  $S_j$  没有影响时  $a_{ij} = 0, i \neq j$ 。将关联矩阵数量化,便可得到表

示影响因素相互关系的邻接矩阵  $A$ 。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

可达矩阵指的是用矩阵形式来描述有向连接图各节点之间经过一定长度的通路后可达到的程度,表明了所有构成要素之间是否存在影响关系。将邻接矩阵  $A$  加上单位矩阵  $I$  得到矩阵  $(A + I)$ ,之后经过若干次布尔运算,直到

$$(A + I)^{k-1} \neq (A + I)^k = (A + I)^{k+1}$$

经计算有:

$$(A + I)^3 \neq (A + I)^4 = (A + I)^5$$

即经过计算得出可达矩阵为

$$M = (A + I)^4$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3. 分解可达矩阵

计算得到可达矩阵  $M$  后,还需要对可达矩阵进行区域分解和级间分解。由于选取的 10 个因素相互之间均有影响关系,因此,它们属于同一区域,可不分区,只进行级间分解。在进行级间分解前还需找出可达集  $P(S_i)$  与先行集  $Q(S_i)$ ,其中,可达集  $P(S_i)$  是指因素  $S_i$  所对应的行中,  $a_{ij} = 1$  的列元素所对应的元素组成的集合,先行集  $Q(S_i)$  是指因素  $S_i$  所对

应的列中, $a_{ji} = 1$  的行所对应的元素组成的集合。第一级因素分析如表 1 所示。

表 1 第一级因素分析表

因素	$P(S_i)$	$Q(S_i)$	$C(S_i) = P(S_i) \cap Q(S_i)$
$S_1$	$S_1, S_5, S_6, S_8$	$S_1, S_3, S_4, S_7, S_9, S_{10}$	$S_1$
$S_2$	$S_2, S_5, S_6$	$S_2, S_9, S_{10}$	$S_2$
$S_3$	$S_1, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$	$S_3$	$S_3$
$S_4$	$S_1, S_4, S_5, S_6, S_8$	$S_3, S_4$	$S_4$
$S_5$	$S_5$	$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_7, S_9, S_{10}$	$S_5$
$S_6$	$S_6$	$S_1, S_2, S_3, S_4, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$	$S_6$
$S_7$	$S_1, S_5, S_6, S_7, S_8$	$S_3, S_7$	$S_7$
$S_8$	$S_6, S_8$	$S_1, S_3, S_4, S_7, S_8, S_9, S_{10}$	$S_8$
$S_9$	$S_1, S_2, S_5, S_6, S_8, S_9$	$S_9$	$S_9$
$S_{10}$	$S_1, S_2, S_5, S_6, S_8, S_{10}$	$S_{10}$	$S_{10}$

由表 1 可知,当先行集与可达集的交集  $C(S_i)$  等于可达集  $P(S_i)$  时,表示从其他要素可以到达该要素,反之不可以,因此  $S_5$  与  $S_6$  是一级因素。再将一级因素从中去掉,继续采用该种方式寻找二级、三级、四级等因素,最后可得一级因素为  $S_5$  和  $S_6$ ,二级因素为  $S_2$  和  $S_8$ ,三级因素为  $S_1$ ,四级因素为  $S_4$ 、 $S_7$ 、 $S_9$ 、 $S_{10}$ ,五级因素为  $S_3$ 。

将可达矩阵进行级间分解后,便可以按照上述划分的因素级别重新排列可达矩阵  $M$ ,得到可达矩阵的标准形式  $M_1$ 。

$$M_1 = \begin{bmatrix} & S_5 & S_6 & S_2 & S_8 & S_1 & S_4 & S_7 & S_9 & S_{10} & S_3 \\ S_5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_6 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_8 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_4 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_7 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ S_9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_{10} & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ S_3 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

根据可达矩阵的标准形式  $M_1$  便可以绘制出装配式建筑发展影响因素的多层递阶结构图,构建影响因素的解释结构模型。

4. 多层递阶结构图

将可达矩阵的标准型  $M_1$  去掉反身关系和传递关系后,便可以绘制出影响装配式建筑发展的多层递阶结构图(见图 2)。

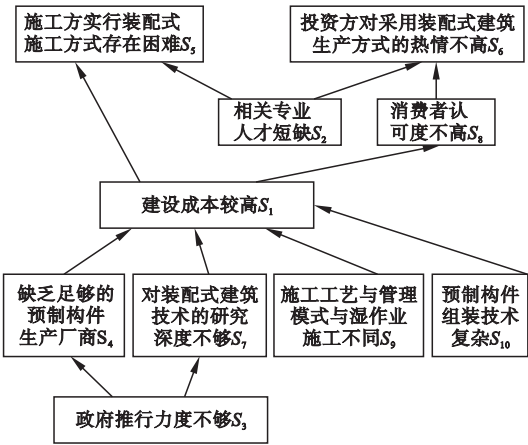


图 2 影响装配或建筑发展的多层递阶结构图

5. 影响因素分析

通过解释结构模型法,得到了影响我国装配式建筑发展的各个因素之间的层级结构关系,其特点主要有:

(1)由图 2 可以直观地看出影响我国装配式建筑发展的 10 个影响因素之间的逻辑关系,10 个影响因素一共被划分为 5 个层级,各层级之间为由下向上的层级递阶关系,由五级因素逐级向上直到一级因素,不同程度地影响了我国装配式建筑的发展。

(2)“施工方实行装配式施工方式存在困难”“投资方对采用装配式建筑生产方式的热情不高”这两个因素是影响装配式建筑发展的一级因素,是最容易被看到的。

(3)二级、三级、四级因素最多,分别是“相关专业人才短缺”“消费者认可度不高”“建造成本较高”“缺乏足够的预制构件生产

厂商”“对装配式建筑技术的研究深度不够”“施工工艺与管理模式与湿作业施工不同”“预制构件组装技术复杂”这7个因素。

(4)“政府推行力度不够”是我国装配式建筑发展受阻的第五级因素,也就是最深层的因素。

### 三、针对我国装配式建筑发展关键影响因素的应对措施

#### 1. 政府层面

(1)加大科研投入。科学技术是第一生产力,为了加快我国装配式建筑的发展进程,目前应该重点解决以下关键问题:①加快研究高性能、全装配式结构体系和组装技术;②加快连接节点技术和抗震性能的研发;③加紧研发及优化预制构件自动化生产加工技术;④加快BIM和RFID技术在预制构配件的设计、生产、运输、堆放、装配、后期维护过程中的应用研究。

(2)制定完善的法律法规及优惠政策。具体可以采用以下方式:①做好发展装配式建筑的顶层设计,建立健全装配式建筑制度体系;②进一步加大产业扶持力度,例如:优先审批采用装配式生产方式的项目,采取财政补贴、容积率奖励、返还部分土地出让金等激励措施,引导金融机构给予一些贷款方面的便利;③进一步完善工程建设监督管理制度,重点加强对设计和施工图的审查,推广采用监理驻厂制度,建立新的部品部件备案制度,研究适用于装配式建筑的质量检测方法。

(3)建立健全专业型人才的培养和培育机制。我国装配式建筑发展较慢的一部分原因是市场上缺少足够的专业人才,传统的施工方式依赖于劳动力价格低廉的农民工,但是随着上一代农民工的老龄化,新一代农民工不愿意从事脏累的工作,导致用工价格上涨、人工成本增加,频现“用工荒”的窘状。而发展装配式建筑可以改善工作环境、提高待遇,吸引新一代农民工就业。具体可以采用如下方式培养人才:①加快培养既懂装配式施工技术又懂管理的复合型人才;②引导

农民工向产业工人转变,以适应装配式施工机械化程度高、质量标准高的新要求;③在大专院校开设装配式建筑特色专业并设立针对企业人员的培训点。

(4)注重产业化协同发展。新型装配式建筑的发展离不开广大企业的共同努力,政府必须加强引导,形成以EPC总承包企业为龙头、其他企业为成员的全产业链布局,实现带头产业、主体产业、支撑产业和相关产业力量的集聚。①有效整合行业的科研力量,更加重视开展与行业高端人才、科研院所以及国内知名高校的产学研合作,通过设立院士工作室、博士后科研流动站为推进装配式建筑发展提供技术支撑;②有效聚集产业化的市场资源,装配式建筑的健康发展必然带动相关的建筑材料业、机械制造业、混凝土预制部品业、厨卫一体化产业、装修一体化产业的发展<sup>[7]</sup>。

(5)完善标准化体系建设。针对目前我国预制构件标准化、通用化程度较低的问题,应该着手建立标准的建筑设计体系、部品部件信息库,对预制构件实现合理的统筹与控制,进而实现预制构件的模数化与标准化,加强预制构件的通用性和互换性。①根据建筑结构体系的不同,加快完善部品部件的设计、生产和施工工艺标准,编制标准图集、通用技术导则、指南和手册;②加快对全自动生产养护设备和预制构配件生产制作标准体系的研究,提高生产效率,保证构件质量;③加快研究推广整体卫浴和整体厨房等部品模块化的应用技术,发展和应用设备管线集成、外围护系统、室内装修等装配式建筑部品技术体系。

#### 2. 投资方层面

(1)投资建设预制构件生产厂。虽然前期投资建设预制构件生产厂代价高昂,但是后期费用却很低,边际效益相当可观,所以在装配式建筑发展的大背景下,投资方应该把眼光放长远,在条件允许的情况下,投资建设自己的预制构件生产厂。一方面可以为自己的建设项目服务;另一方面也可以向社会开放,最大化地发挥效用,创造利益。



(2)开发无隔断空间住房。针对装配式建筑的标准化与用户需求的多样化之间的矛盾问题,投资方应该充分考虑到用户需求的多样化问题,可以让设计单位将住房空间设计成无隔断空间,用户在后期的装修过程中可以根据自己的喜好进行装修改造,这样既满足了不同用户的需求,又能够实现装配式建筑的标准化生产<sup>[8]</sup>。

(3)加大宣传力度。由于我国发展装配式建筑的过程中出现过诸如抗震性能不好、整体性差、保温隔热性能弱等一系列质量问题,很多消费者认为装配式建筑是劣质低端产品。投资方应该在国家开展试点工作的同时,积极寻求与政府的合作,树立起正面的形象。同时,要通过电视、平面媒体、网络等多种传媒通道,积极宣传装配式建筑的典型案例和先进施工经验,消除消费者对质量方面的疑虑,而在介绍相关产品时要有针对性,突出装配式建筑的优势,吸引消费者消费。

(4)采用部分预制、部分定制的生产方式。作为投资方来讲,都不希望自己开发的项目千篇一律,没有特色,况且建筑物的构造非常复杂,并不是所有的部品部件都可以采用标准化的生产方式,所以可以考虑采用部分预制、部分定制的生产方式,如楼梯、楼板、阳台板、厨卫等可以大批量生产的部品部件采用预制生产,其他不便于提前预制的构配件,可由投资方向预制构件生产商定制,再进行工厂化生产。

### 3. 施工方层面

(1)提高设计、审图、施工一体化能力。当前,我国的装配式建筑项目大多只是在部分大城市进行试点再推广,除了上海城建、远大住工等少数的大型企业外,大部分建筑业人员对装配式建筑的设计、审图、施工等程序还不是很熟悉,所以相关单位应该提高发展的意识,积极开展装配式建筑设计、施工、审图的培训工作,搭建交流平台,不断总结经验,进一步提高本单位的施工能力,为推进我国装配式建筑的发展提供源源不断的内生动力。

(2)构建有利于形成产业化工人队伍的长效机制。施工方应培育自己的产业工人队伍,构建有利于形成建筑产业工人队伍的长效机制。对于大型施工方来说,劳动用工量比较大,应该注重培养本单位的劳务队伍,专门为自己服务,以此为可持续发展提供源源不断的产业工人。中小型施工方可以与专门的劳务分包商建立长期的战略合作关系,以使自己的产业工人队伍拥有可靠的保证。

(3)加强工业化技术的研究成果转换。随着国家对装配式建筑的关注度逐渐提高,研究成果也在不断面世,施工方应该集中力量对研究成果进行消化吸收,将其转化为生产力,不断提高装配式建筑的科技含量,提高工程质量和施工效率,降低成本,缩短工期,切切实实地发挥出装配式建筑的优势。

(4)提升发展意识,加快企业转型升级。尽管目前的建造成本较高,但是随着产业规模的不断扩大,必然呈现下降趋势。因此,各个施工企业应该提升发展意识,借助国家的利好政策,积极促进企业的转型升级。对于大型的施工企业来说,其发展模式可以选择设计—生产—施工的一体化模式。对于中小型的施工企业来说,应该实施设计与施工阶段的战略联盟,通过优势互补发挥自身优势,走专业化的道路,为大型企业的某一环节提供专门的生产或销售服务,这样也能分享到发展装配式建筑带来的好处。

(5)推广 BIM 技术的应用。BIM 技术能够实现设计方、承建方、运营方之间的信息共享,为各单位提供工程项目的实时信息。BIM 技术在进行模型设计时能够利用数据共享平台进行数据共享,有利于项目参与方的信息交流,进而及时纠正纠偏,实现标准化设计。同时,也可以将 BIM 技术的信息传输到生产系统中,实现构配件自动化生产<sup>[9]</sup>。利用 BIM 技术的虚拟建造技术,能够及时发现施工过程中可能会出现的问题,进而采取预防措施减少将来对项目进度的干扰<sup>[10]</sup>。

## 四、结 语

笔者主要采用解释结构模型法对影响我

国装配式建筑发展的相关因素进行了分析处理,得出了制约我国装配式建筑发展的一级、二级、三级、四级、五级因素,并根据多层递阶结构图从政府、投资方、施工方3个角度提出了相应的应对策施,希望通过政府、投资方、施工方的共同努力,促进我国装配式建筑的健康发展。另外,由于我国疆域辽阔,各个地区的经济和文化发展水平不同,各个地区应该根据本地区的实际情况制定不同的政策,来促进本地区装配式建筑的发展。

### 参考文献:

- [1] 王俊,赵基达,胡宗羽.我国建筑工业化发展现状与思考[J].土木工程学报,2016,49(5):1-8.
- [2] 叶浩文.新型建筑工业化的思考与对策[J].工程管理学报,2016,30(2):1-6.
- [3] 郭章林,梁婷婷.浅谈装配式建筑的发展[J].价值工程,2017,36(2):233-235.
- [4] 桑培东,张钰璇.装配式建筑发展影响因素的SEM构建与分析研究[J].山东建筑大学学报,2017,32(3):212-217.
- [5] 庄丽,白国庆,董骅.浅谈我国装配式建筑的发展现状与未来发展趋势[J].价值工程,2017,36(17):169-171.
- [6] 齐宝库,朱娅,刘帅.基于产业链的装配式建筑相关企业核心竞争力研究[J].建筑经济,2015,36(8):102-105.
- [7] 张洁,任旭.我国住宅产业化标准体系构建研究[J].工程管理报,2017,31(3):81-86.
- [8] 马军卫,潘金龙,尹万云.全装配式钢筋混凝土框架-剪力墙结构抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2017,38(6):12-22.
- [9] 曹江红,纪凡荣,解本政,等.基于BIM的装配式建筑质量管理[J].土木工程与管理学报,2017,34(3):108-113.
- [10] 于龙飞,张家春.基于BIM的装配式建筑集成建造系统[J].土木工程与管理学报,2015,32(4):73-78.

## Influencing Factors Research of Assembly Building Development Based on ISM

LIU Guangchen, WEN Zhendi, SHEN Jing

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang China, 110168)

**Abstract:** Taken prefabricated building as the object of study, through literature review to choose 10 factors affecting the development of assembly building, this paper utilizes the interpretative structural modeling(ISM) to analyze the relationships among the influencing factors, and builds 5-leveled hierarchical structure model on the basis. Furthermore, the paper describes precisely the direct relationship between various influencing factors, then intuitively reflects the hierarchical relationship and mutual influence between each factor, and clarifies mutual relationship between affecting factors in development of our national prefabricated buildings. Finally, the paper puts forward the corresponding measures from 3 levels of government, investors and construction to provide some references for promoting the development of assembly building in our country.

**Key words:** assembly building; ISM; reachability matrix; hierarchy structure chart