重庆大学学报(社会科学版) 2017 年第 23 卷第 6 期
JOURNAL OF CHONGQING UNIVERSITY(Social Science Edition) Vol. 23 No. 6 2017

doi:10.11835/j.issn.1008-5831.2017.06.004

**欢迎按以下格式引用:**秦旋,李奥蕾,张榕,等.建筑工业化影响因素层级结构关系研究:来自厦门的调查[J].重庆大学学报(社会科学版),2017(6):30-40.

**Citation Format**: QIN Xuan, LI Aolei, ZHANG Rong, et al. Research on the relationship between the influencing factors of construction industrialization based on ISM: Survey from Xiamen[J]. Journal of Chongqing University(Social Science Edition),2017(6):30-40.

# 建筑工业化影响因素层级结构关系研究:来自厦门的调查

秦 旋[a],李奥蕾[a],张 榕[b],谢 祥[a]

(华侨大学 a.土木工程学院;b.财务处,福建 厦门 361021)

**摘要:**当前中国建筑工业化的发展面临诸多挑战和障碍。通过相关文献阅读与分析,辨识和定义出 12 个影响建筑工业化推广的因素,采取专家访谈的方法,运用 ISM 构建影响因素的多级递阶结构图,进而分析各因素之间的层级关系和影响建筑工业化发展的路径。研究结果显示:缺乏专业人才是最深层的不利因素,相关标准不完善和研发投入不足、缺乏创新是顶层的影响因素。在此基础上,运用 MICMAC 进一步分析 12 个影响因素的驱动力和依赖性,其中专业人才是建筑工业化市场中驱动力最大的因素。整个研究以厦门市为研究对象展开调研,研究结果具有一定的科学性和普适性,对中国其他地区建筑工业化推广建设具有启发和借鉴意义。

**关键词:**建筑工业化;影响因素;解释结构模型;交叉影响矩阵相乘法

**中图分类号:**F407.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-5831(2017)06-0030-11

## 一、研究背景与问题

近年来,随着中国社会的发展和经济的增长,传统建筑业面临产业转型与升级要求,建筑产业发展的趋势——建筑工业化再一次被行业所关注。2014 年住房和城乡建设部出台《关于推进建筑业发展和改革的若干意见》,紧接着 2016 年中共中央、国务院又发布《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》,明确力争用 10 年左右时间,使装配式建筑占新建建筑的比例达到 30%。这为中国建筑工业化推广建设指明了未来的发展方向和工作目标。

建筑工业化是以构件预制化生产、装配式施工为生产方式,以设计标准化、构件部品化、施工机械化为特征,能够整合设计、生产、施工等整个产业链,实现建筑产品节能、环保、全生命周期价值最大化的可持续发展的新型建筑生产方式[1-2]。建筑工业化思想最早形成于 20 世纪 20-30 年代的欧洲,因其在建筑质量、效益、效率以及环境等方面的诸多优势而得到迅速发展。作为一种新型的建筑生产方式,相比于传统施工而言具有很多优势,诸如可以有效解决当前传统现场施工方式所面临的环境污染、水资源浪费、产生建筑垃圾、存在健康和安全风险等日益突出的现实问题[2-3]。

**修回日期:**2017-06-15

**基金项目:**福建省软科学基金项目"基于行业扩散特征的建筑业企业新技术采纳模型与应用策略研究(2016R0062);泉州市科技项目"建筑工业化推广建设研究"(QZKJSXK201504)

**作者简介:**秦旋(1969-),女,山西稷山人,华侨大学土木工程学院教授,博士,主要从事建筑业可持续发展研究,Email:hdwq@hqu.edu.cn。

随着中国对建筑工业化的大力推广,建筑工业化在中国的发展取得了一定的成效,但与发达国家或地区的差距依然明显。建筑工业化在中国的实质性推广远比预期的要艰难和缓慢,究其原因是建筑工业化在实际发展过程中遇到了诸多不利因素。目前已有学者开始关注这些相关问题,如 Rahman[2] 指出在推广建筑工业化过程中遇到前期建造成本高、缺乏相关的标准规范、缺乏技术和经验、有限的市场需求等八大类障碍因素,并分别在美国和中国两个市场展开问卷调研。王俊等[3] 总结当前在中国推广装配式混凝土结构体系过程中,建造成本偏高是一个主要不利因素,另外还存在模数化、标准化与多样性以及盲目效仿国外已有的成套理论体系、缺乏创新等问题。张连营和郑宏亚[4] 指出建筑工业化的实行对于建筑开发商而言存在一定的困难、初期成本投入比较高、标准化与多样化需求存在矛盾、缺乏合适且足够的建筑工业化项目预制构件的供应商、预制构件结合技术复杂、与传统工艺和管理方式不合、缺少技术工人、相关法律法规不完善和优惠性政策力度不够等十类障碍因素。张希黔等[5] 从住宅产业化角度,指出实现住宅产业化要以政策体系为保证、以保障性住房为依托、以科技研发为支撑、以部品创新为动力、以示范项目为依托、以绿色施工为促进,多方面采取措施推进建筑产业化。发达国家有成熟的建筑工业化发展的经验。亓霞等[6] 选取日本、美国、新加坡、瑞士等 4 个有代表性的国家,从法律法规、政府作用、市场力量和技术进步四个方面进行了深入分析,指出中国建筑工业化的推进不仅需要市场这只“看不见的手”和政府这只“看得见的手”联合推动,更需要以制度、人才和技术为支撑加快建筑产业化的进展。

目前中国建筑工业化的推广面临诸多挑战和困难,研究这些不利因素并提出有效的解决方法是一件有意义的工作。研究首先通过大量相关文献的阅读和专家访谈,辨识出影响建筑工业化推广的障碍因素;其次以厦门为对象展开调研,基于 ISM 模型构建多级递阶结构模型,明晰各影响因素间复杂的层级关系和依赖关系;然后运用 MICMAC 分析各影响因素的驱动力和依赖性,并对影响因素间的内在关联进行评价;最后对建筑工业化的推广提出有针对性建议。厦门作为国家八大住宅产业化试点城市之一,研究结果具有一定的科学性和普适性,可为其他城市推广建筑工业化提供借鉴。

## 二、研究方法

### (一)影响因素的识别与分类

为辨识出影响建筑工业化发展的影响因素,选择近三年发表的与中国建筑工业化推广密切相关的 16 篇文献,初步辨识出 15 个影响因素。在此基础上研究团队通过小组多轮会议,根据 15 个影响因素的内涵将其合并为 13 个。在正式调查之前,研究团队邀请 2 位工业化方面的专家通过访谈对影响因素进行进一步的确认,最后明确了 12 个影响因素。研究将 12 个影响因素分成制度层面、技术层面、管理层面和市场层面四大类,影响因素的辨识、分类和定义详见表 1 和表 2。

**表 1　基于文献分析的影响建筑工业化推广因素辨识一览表**

| 序号 | 影响因素 | 参考文献 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | ∑ |
| 1 | 政府经济政策支持力度不够 | √ | | √ | | √ | √ | | | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | 11 |
| 2 | 相关标准不完善 | √ | | | | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 12 |
| 3 | 缺乏技术集成和工业化生产体系 | √ | √ | √ | √ | | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 14 |
| 4 | 生产、建造及配套技术不成熟 | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | √ | | √ | √ | √ | 13 |
| 5 | 研发投入不足,缺乏创新 | | √ | √ | √ | √ | √ | √ | | | √ | | | | | | | 7 |
| 6 | 标准化与多样化的矛盾 | | √ | √ | √ | | | | √ | | √ | √ | √ | | | | | 7 |
| 7 | 建筑部品工业化水平低 | | | | | | | | √ | √ | | √ | | √ | √ | √ | √ | 7 |
| 8 | 缺乏专业人才 | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | | √ | √ | | √ | √ | | | √ | 11 |
| 9 | 缺乏现代化的管理模式和管理经验 | √ | √ | √ | √ | | | √ | | | √ | √ | √ | √ | √ | | | 10 |
| 10 | 建造成本偏高,综合性价比较低 | √ | √ | √ | | | √ | √ | √ | | √ | √ | √ | | √ | | | 10 |
| 11 | 政府层面的宣传与引导不够 | | | | | √ | √ | | √ | | | √ | | | | | | 4 |
| 12 | 缺乏市场认可(包括消费者认可和企业参与) | √ | | | | √ | √ | | | | √ | | √ | | √ | √ | √ | 8 |

注:A = Rahman[2],B = 王俊等[3],C = 张连营和郑宏亚[4],D = 张希黔等[5], E = 亓霞等[6],F = Zhang X 等[7],G = 张传成等[8],H = 汪中林等[9],I = 李晓桐[10],J = Mao C 等[11],K = 贺灵童和陈艳[12],L = Luo L Z 等[13],M = 姜腾腾[14],N = 孙凌志和王克青[15],O = 李传坤[16],P = 哲文[17]。

**表 2 所辨识影响因素的内涵解释与分类**

| 序号 | 一级指标 | 二级指标(影响因素) | 内容解释 |
|---|---|---|---|
| 1 | 制度层面 | 政府经济政策支持力度不够 | 政府对发展工业化的企业缺乏税收、金融、财政等政策方面的支持,且各地鼓励政策大都指向开发建设单位,而对产业链上的其他参与主体关注不够。 |
| 2 | | 相关标准不完善 | 缺乏针对不同建筑体系的技术标准,如“设计标准”“管理标准”“生产标准”“验收标准”“计价标准”等,在制度层面存在空白,导致某些环节无章可循,给工业化推广造成了一定的阻碍。 |
| 3 | 技术层面 | 缺乏技术集成和工业化生产体系 | 不能有效地将建筑部品从产品的设计、生产、施工到验收维护等环节进行融合,形成技术集成系统,未建立完整的工业化生产体系。 |
| 4 | | 生产、建造及配套技术不成熟 | 装配连接技术不成熟,节点的施工质量得不到有效保证,导致建筑抗震能力不足,渗漏隐患多,预制构件的质量、外观和尺寸精准度不高,达不到高效、节能和清洁生产的要求,而且构件连接的套头和安装辅材等上游配套技术不完善。 |
| 5 | | 研发投入不足,缺乏创新 | 工业化相关参与方重视程度不够,缺乏管理模式和技术方面的思考,想依靠和复制国外的成功经验,而没有结合中国实际国情进行改进创新,对建筑工业化的实体技术研究不够。 |
| 6 | | 标准化与多样化的矛盾 | 由于建筑设计差异化,要求构件多样化。然而,中国建筑工业化在标准化体系设计方面还处于设计定型阶段,构件规格少,不能满足建筑设计差异化的需求,且中国的建筑工业化在钢筋混凝土结构体系中应用较多,在其他结构体系中应用较少,难以满足建筑市场的要求。 |
| 7 | | 建筑部品工业化水平低 | 建筑部品通用化程度低、配套性差、建筑与部品的模数难以协调,不同项目的模具不可重复利用,为工厂化、集约化生产批量定型产品带来较大困难。 |
| 8 | 管理层面 | 缺乏专业人才 | 首先,专业做建筑工业化的设计人才极缺。其次,部品生产和现场装配的工作需要由专业的产业工人来完成。最后,现行项目经理的知识结构、专业能力都需要重新培训方能适应。 |
| 9 | | 缺乏现代化的管理模式和管理经验 | 建筑工业化生产模式对管理水平要求较高,其管理贯穿于项目建设的全产业链流程中,现场需要以“信息化”为支撑,以“精益建设”为理念,而当前中国建筑工业化管理水平仍停留在传统施工现场的粗放型管理阶段,很难支撑建筑工业化的发展需求。 |
| 10 | 市场层面 | 建造成本偏高,综合性价比较低 | 装配式工艺较现浇混凝土结构会产生大量模具费用,同时模具不能重复利用,短期内难以收回成本,且人员培训费用高,未实现规模化生产,综合性价比较低。 |
| 11 | | 政府层面的宣传与引导不够 | 政府对使用工业化技术的住宅产品宣传力度不够,没有实行相关措施来调动各方积极性。 |
| 12 | | 缺乏市场认可(包括消费者认可和企业参与) | 多数人认为预制结构整体性及抗震性差,加之目前缺乏优良部品和住宅性能认定制度,导致消费者无法获得正确的信息,从而缺乏消费者认可;企业无法在短期内获得较高经济效益,导致企业参与度低。 |

(二) 样本数据收集

最终确定的 12 个影响因素根据 ISM 的需求设计了访谈问卷。2016 年 4 - 5 月在厦门市展开了调研,访谈了来自建设单位、施工单位、设计单位、构件生产单位、造价咨询单位和政府部门的 21 位有工业化项目经验的专业人士,访谈专家背景资料详见表 3。

另外,调查问卷第一部分询问受访者认为推广建筑工业化主要的障碍来源哪个层面,其中 12 位专家(超过 50%)认为主要障碍来自于市场层面,4 位专家认为来自于制度层面,仅有 3 位专家认为来自于技术层面和 2 位专家认为来自于管理层面。

**表 3　被访专家背景资料统计**

| 背景项目 | 统计数据 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 最高学历 | 大专<br>5 | | | 本科<br>16 | | |
| 工作年限 | 5 年以下<br>2 | 5 ~ 10 年<br>7 | 10 ~ 15 年<br>4 | 15 ~ 20 年<br>5 | 20 年以上<br>3 | |
| 对建筑工业化的了解程度 | 了解不多<br>2 | 一般了解<br>8 | 比较了解<br>9 | 非常了解<br>3 | | |
| 职称 | 初级职称<br>6 | 中级职称<br>7 | 高级职称<br>8 | | | |
| 工作岗位 | 技术岗位<br>6 | 管理岗位<br>11 | 综合岗位<br>4 | | | |
| 工作单位 | 建设单位<br>4 | 施工单位<br>4 | 设计单位<br>2 | 构建生产单位<br>6 | 造价咨询单位<br>4 | 政府部门<br>1 |

(三)解释结构模型(ISM)的原理

解释结构模型(Interpretive Structural Modeling, ISM)是分析复杂社会经济系统结构问题而开发的一种方法,其特点是通过提取问题的构成要素,利用人们的实践知识(专家经验)辨识系统元素间的相互影响关系,基于有向图、矩阵和计算机技术等工具通过相应的矩阵演算与变换,最终构建出一个多级递阶结构模型,使众多元素间错综复杂的关系层次化、条理化,从而展现出系统的内部结构和各元素之间的依赖关系。

ISM 为分析系统构成要素之间的相互依赖与制约关系提供了一种结构化与层次化的分析方法和范式,该方法已在国内外不少研究领域有成功的应用[18-20]。ISM 方法的基本思路框架图如图 1 所示[21]。由于影响中国建筑工业化推广的因素较多,且众多影响因素间具有一定的相关性,因而研究采用解释结构模型(ISM)方法有助于分析各影响因素之间错综复杂的关系,揭示各因素间的影响机理,从而提出有针对性的建议。

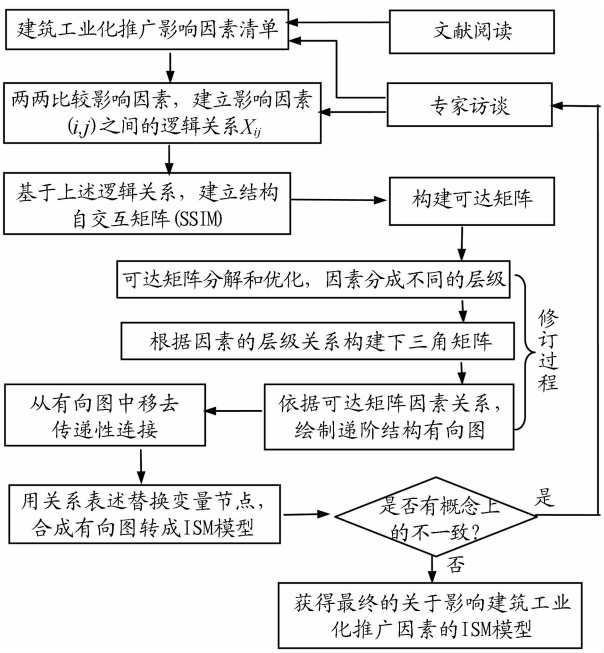


**图 1　ISM 流程模型图**

## 三、数据分析

通过对 21 位来自厦门市不同单位具有丰富工业化经验的专家进行访谈,12 个影响因素间的直接影响关系得到初步确认。另外,在判断因素之间影响关系是否存在时,本研究设置阈值为 80%,即超过 80% 的专家认为两因素之间存在某种关系时,确认的关系才能成立[20]。

(一)SSIM(Structural self-interaction matrix)关系建立

影响关系是指因素 $i$ 变化导致因素 $j$ 随之发生变化,变化可以表现为加强或者减弱,即可判断因素 $i$ 与因素 $j$ 存在关系。对所有因素两两比较,可以得到每一个因素(变量)的结构关系。可用四种符号表示因素 $i$ 和 $j$ 之间的关系:

V:表示因素 $i$ 将会影响因素 $j$;

A:表示因素 $j$ 将会影响因素 $i$;

X:表示因素 $i$ 和因素 $j$ 互相影响;

O:表示因素 $i$ 和因素 $j$ 没有任何关系。

影响建筑工业化推广因素的 SSIM 如表 4 所示。SSIM 中符号 V,A,X 和 O 所表示的因素之间的关系可以举例解释如下:因素 B1“政府经济政策支持力度不够”会影响因素 B5“研发投入不足,缺乏创新”,则在单元格(1,5)中填入符号“V”;因素 B8“缺乏专业人才”将会影响因素 B4“生产、建造及配套技术不成熟”,则在单元格(4,8)中填入符号“A”;因素 B10“建造成本偏高,综合性价比较低”与因素 B12“缺乏市场认可(包括消费者认可和企业参与)”之间互相影响,则在单元格(10,12)中填入符号“X”;因素 B2“相关标准不完善”与因素 B11“政府层面的宣传与引导不够”之间没有任何互相影响关系,则在单元格(2,11)中填入符号“O”。以此类推,整个 SSIM 的结构关系见表 4。

**表 4 建筑工业化推广影响因素的 SSIM**

| 影响因素 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | A | X | V | O | O | O | O | V | O | O | V | — |
| B2 | V | O | O | O | O | O | O | O | O | O | — | |
| B3 | O | O | O | A | O | O | O | O | V | — | | |
| B4 | O | O | A | A | A | X | O | O | — | | | |
| B5 | O | O | O | O | A | O | O | — | | | | |
| B6 | O | O | O | O | O | V | — | | | | | |
| B7 | O | O | V | O | O | — | | | | | | |
| B8 | O | O | O | V | — | | | | | | | |
| B9 | O | O | O | — | | | | | | | | |
| B10 | X | O | — | | | | | | | | | |
| B11 | V | — | | | | | | | | | | |
| B12 | — | | | | | | | | | | | |

(二)可达矩阵(Reachability matrix)

V,A,X 和 O 可按照表 5 的原则用 0 或者 1 替代,可将上述 SSIM 结构关系转化成初始可达矩阵。如:表 4 的 SSIM 的单元格($i$, $j$)中是 V,那么在初始可达矩阵的单元格($i$, $j$)中输入 1 和单元格($j$, $i$)中输入 0;若 SSIM 的单元格($i$, $j$)中是 A,那么在初始可达矩阵的单元格($i$, $j$)中输入 0 和单元格($j$, $i$)中输入 1。其余依此类推,可得初始可达矩阵如表 6 。

**表 5 SSIM 结构关系转换成初始可达矩阵的规则**

| SSIM 结构关系 | 初始可达矩阵 | |
|---|---|---|
| 影响因素 ($i$,$j$) | 影响因素($i$,$j$) | 影响因素($j$,$i$) |
| V | 1 | 0 |
| A | 0 | 1 |
| X | 1 | 1 |
| O | 0 | 0 |

最终可达矩阵是在初始可达矩阵的基础上基于传递性发展得到的。传递性是 ISM 模型的一个基本假设。所谓传递性假设就是假如因素 M 与因素 N 相互关联,而因素 N 与因素 K 相互关联,那么因素 M 与因素 K 一定相互关联。因而如果最终可达矩阵中单元格($i$, $j$)是 0,即意味着因素 $i$ 对因素 $j$ 没有任何直接的和间接的关系,而若初始可达矩阵中单元格($i$, j)为 0,仅表达因素 $i$ 对因素 $j$ 没有直接的关系。

初始可达矩阵 $\boldsymbol{A}$ 属于布尔矩阵,因而可根据如下布尔运算法则计算确定最终可达矩阵 $\boldsymbol{M}$:

$$M = (A+I)^k = (A+I)^{k-1} \neq (A+I)^{k-2} \neq \cdots \neq (A+I), (K \leqslant n-1)$$

其中 $I$ 为单位矩阵,可求得最终可达矩阵如表 6 所示。

(三)构建层级结构图

层级结构图中最顶层表示系统的最终目标,往下各层分别表示上一层的原因。为更清晰地表达系统中各要素之间的层级关系,可利用这种方法科学地建立工业化推广影响因素的类比模型。

根据最终可达矩阵首先确定每个元素的可达集 $R(Si)$ (可达集合的概念为从 $Si$ 出发,所有可能到达的要素集合)、先行集 $A(Si)$ (先行集的概念为所有可能到达 $Si$ 的要素集合)和共同集 $C(Si)$ ($C(Si) = R(Si)$

$\cap A(Si)$),即所有既能影响 $Si$ 又被 $Si$ 影响的要素集合);然后找出可达集和共同集即 $R(Si) = C(Si)$ 完全相同的元素即为解释结构模型的第一层;接着从可达矩阵中删去第一层所有元素所在的行和列,组成新的可达矩阵。再从新的可达矩阵中继续寻找解释结构模型第二层所包含的元素;依此类推,可以得到各级所包含的所有因素。

**表 6　最终可达矩阵与初始可达矩阵**

| 影响因素 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 驱动力 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| B2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| B3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| B4 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| B5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| B6 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| B7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| B8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| B9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| B10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| B11 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| B12 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| 依赖性 | 11 | 11 | 3 | 11 | 11 | 1 | 11 | 1 | 2 | 11 | 11 | 11 | 95 |

注:1—加下划线表示由于传递性而因素间存在的间接关系。

第一层和第二层示例分析过程见表 7。整个影响因素的层级划分如表 8。

**表 7　第一层级和第二层级分析过程举例**

| 第一层级 | | | | | 第二层级 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 因素 | 可达集合 $R(Si)$ | 先行集合 $A(Si)$ | 交集 $C(Si)$ $R(Si) \cap A(Si)$ | 层次 | 因素 | 可达集合 $R(Si)$ | 先行集合 $A(Si)$ | 交集 $C(Si)$ $R(Si) \cap A(Si)$ | 层次 |
| 1 | 1,2,4,5,7,10,11,12 | 1,2,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1, 2, 4, 7, 10,11,12 | | 1 | 1, 4, 7, 10, 11,12 | 1,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 2 | 1, 2, 4, 7, 10, 11,12 | 1,2,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1, 2, 4, 7, 10,11,12 | Ⅰ | 3 | 1,3,4,7,10,11,12 | 3,8,9 | 3 | |
| 3 | 1,2,3,4,5,7,10,11,12 | 3,8,9 | 3 | | 4 | 1, 4, 7, 10, 11,12 | 1,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 4 | 1,2,4,5,7,10,11,12 | 1,2,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1, 2, 4, 7, 10,11,12 | | 6 | 1,4,6,7,10,11,12 | 6 | 6 | |
| 5 | 5 | 1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 | 5 | Ⅰ | 7 | 1, 4, 7, 10, 11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 6 | 1,2,4,5,6,7,10,11,12 | 6 | 6 | | 8 | 1,3,4,7,8,9,10,11,12 | 8 | 8 | |
| 7 | 1,2,4,5,7,10,11,12 | 1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1, 2, 4, 7, 10,11,12 | | 9 | 1,3,4,7,9,10,11,12 | 8,9 | | |
| 8 | 1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12 | 8 | 8 | | 10 | 1, 4, 7, 10, 11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 9 | 1,2,3,4,5,7,9,10,11,12 | 8,9 | 9 | | 11 | 1, 4, 7, 10, 11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 10 | 1,2,4,5,7,10,11,12 | 1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1, 2, 4, 7, 10,11,12 | | 12 | 1, 4, 7, 10, 11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 11 | 1,2,4,5,7,10,11,12 | 1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1, 2, 4, 7, 10,11,12 | | Level Ⅱ = 1 4 7 10 11 12 | | | | |
| 12 | 1,2,4,5,7,10,11,12 | 1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1, 2, 4, 7, 10,11,12 | | | | | | |
| Level Ⅰ = 2 5 | | | | | | | | | |

表 8 建筑工业化影响因素层级结构

| 影响因素 | 可达集合 $R(Si)$ | 先行集合 $A(Si)$ | 交集 $R(Si) \cap A(Si)$ | 层次 |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 | 5 | Ⅰ |
| 2 | 1,2,4,7,10,11,12 | 1,2,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1,2,4,7,10,11,12 | Ⅰ |
| 1 | 1,4,7,10,11,12 | 1,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 4 | 1,4,7,10,11,12 | 1,3,4,6.7.8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 7 | 1,4,7,10,11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 10 | 1,4,7,10,11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 11 | 1,4,7,10,11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 12 | 1,4,7,10,11,12 | 1,3,4,6,7,8,9,10,11,12 | 1,4,7,10,11,12 | Ⅱ |
| 3 | 3 | 3,8,9 | 3 | Ⅲ |
| 6 | 6 | 6 | 6 | Ⅲ |
| 9 | 9 | 8,9 | 9 | Ⅳ |
| 8 | 8 | 8 | 8 | Ⅴ |

最后根据影响因素的层级划分和可达矩阵中所反映的因素间的相互影响关系,构建出影响建筑工业化推广的因素 ISM 模型(见图 2)。另外,为使表达的层级结构更加清晰,模型中只考虑影响因素之间的直接影响关系。

由 ISM 模型图 2 可以得出如下结果。

第一,处于最底层的因素:只有缺乏专业人才(B8)1 个因素。处于模型底层的因素直接或者通过传递影响着其余各项因素,是深层次的根本影响因素。这个因素是建筑工业化推广过程中需要关注的首要因素。

第二,处于最顶层的因素:相关标准不完善(B2)和研发投入不足、缺乏创新(B5)2 个因素。处于模型顶层的是表层的直接影响因素,同时也是系统的最终目标。这些因素的解决多数是需要通过中间层和底层因素的解决而解决。如通过培养大量工业化专业人才来实现现代化的管理模式,进而完善技术集成和产业化生产体系,然后实现有效解决工业化生产、建造及配套技术不成熟和建筑部品工业化水平低等问题,同时专业人才的培养可以有效解决缺乏创新等表层的直接影响因素,最终实现克服这些障碍因素的目的。

第三,其他处于底层和顶层之间的因素(第 2 层至第 4 层):处于模型中间层的是间接影响因素,通过底层因素的解决,传递给顶层因素。中间层有五个相对独立的因素:政府层面的宣传与引导不够(B11),缺乏市场认可(包括消费者认可和企业参与)(B12),政府经济政策支持力度不够(B1),建造成本偏高、综合性价比低(B10),标准化与建筑多样化的矛盾(B6),这 5 个因素与底层因素没有直接影响关系。但 B10、B1、B12 和 B11 与下层的 B8、B9 和 B3 均有间接影响关系,因而这些因素也可以通过 B8、B9 和 B3 的解决得到一定程度上的解决。需要注意的是,唯有 B6(标准化与建筑多样化的矛盾)是一个真正独立的因素,这是建筑工业化本身所提倡的模数化、标准化与建筑设计本身要求的多样化、多变性的特点之间难以调和的矛盾,虽然它没有出现在底层,但它是一个必须独立解决的障碍因素,也是建筑工业化推广过程中需要重点关注的另

一个关键因素。

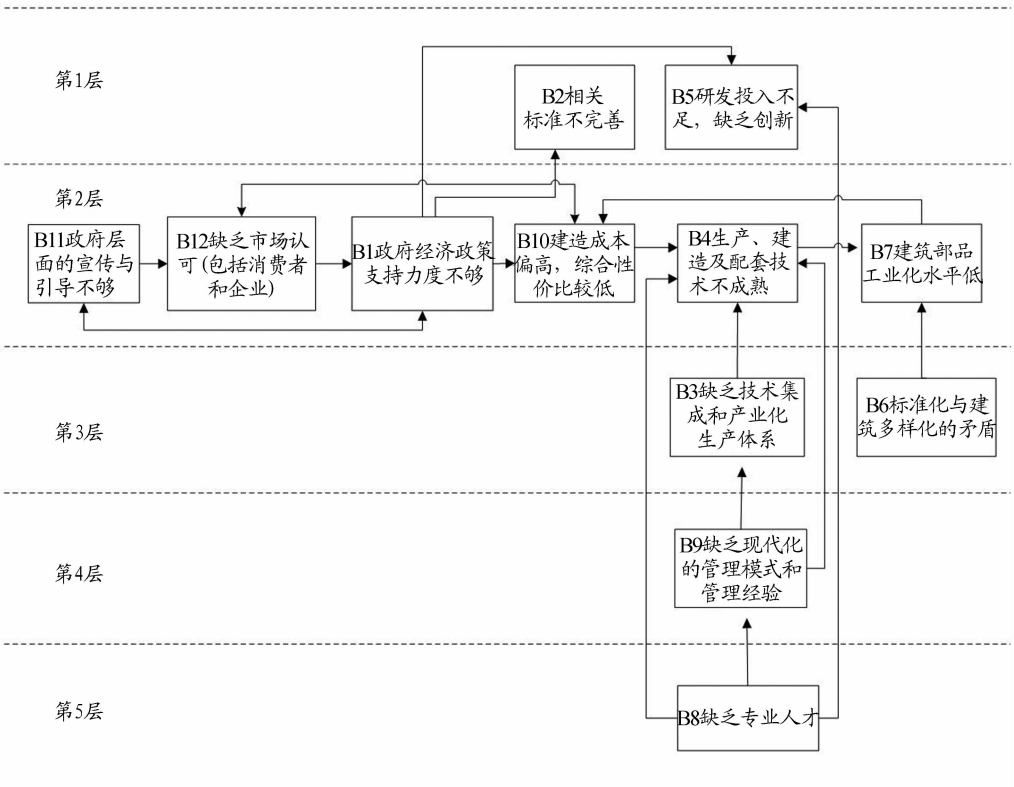


**图 2　建筑工业化影响因素层级分析 ISM 模型图**

## 四、影响因素分类 MICMAC 分析

### (一) MICMAC 分析方法简介

在确定各影响因素递阶结构的基础上,通过 MICMAC(Matrix impacts cross-reference multiplication applied to a classification)来进一步分析各影响因素所处的地位和作用。MICMAC 分析的主要目的是评价建筑工业化推广过程中各影响因素的驱动力和依赖性,可以将影响因素分成四类:自治簇(Autonomous)、依赖簇(Dependents)、联系簇(Linkage)和独立簇(Independent)[21-23]。各因素的驱动力和依赖性可分别通过最终可达矩阵中元素的行求和与列求和得到(详见表 6 的最后一列和最后一行)。一般来说具有较高依赖性的影响因素意味着为了将它排除,大量的有关的其他因素需要先被解决,而具有较高驱动力的影响因素则意味着大量的其他因素可以通过它的解决而被解决。

建筑工业化推广影响因素的 MICMAC 分析如图 3 所示。

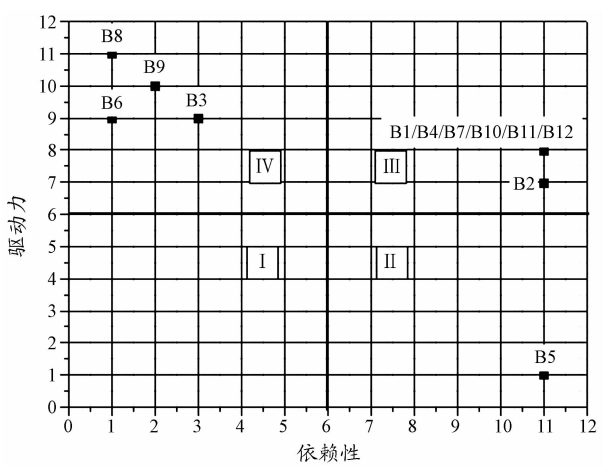


**图 3　影响因素 MICMAC 分析**

(二)影响因素 MICMAC 分析

对影响建筑工业化推广的因素进行 MICMAC 分析,可以得到以下结论。

其一,属于自治簇的因素(第Ⅰ象限)没有。

其二,属于依赖簇的因素(第Ⅱ象限)有 1 个,B5。B5(研发投入不足,缺乏创新)属于技术层面的影响因素,位于此象限的影响因素有较强的依赖性,因而它需要依赖其他因素的解决而被解决。如:从图 2 的影响路径可知,B5 可以通过培养大量专业人才得到直接解决;还可以通过增大政府经济政策支持力度得到直接改善;也可以通过加强政府层面的宣传与引导或增强市场认可度使政府投入更多的经济政策支持,从而得到一定程度的解决,等等。

其三,属于联系簇的因素(第Ⅲ象限)有 7 个,B1,B2,B4,B7,B10,B11 和 B12。B1(政府经济政策支持力度不够)和 B2(相关标准不完善)属于制度层面;B4(生产、建造及配套技术不成熟)和 B7(建筑部品工业化水平低)属于技术层面;B10(建造成本偏高,综合性价比较低)、B11(政府层面的宣传与引导不够)和 B12(缺乏市场认可)属于市场层面。位于此象限的因素依赖性和驱动力均很强,但它们事实上是不稳定的。这 7 个因素中除了 B2 属于第一层级,其他 6 个因素均属于第二层级。它们之间具有较为复杂的互相影响关系,且容易反作用影响自己。如:B1(政府经济政策支持力度不够),政府对建筑工业化的态度和经济政策支持的力度,就会连锁影响到研发投入与创新、建造成本、标准规范的制定、政府层面的宣传与引导等因素,且在影响 B11(政府层面的宣传与引导)的同时也会受到 B11 的反作用影响。

其四,属于独立簇的因素(第Ⅳ象限)有 4 个,B3,B6,B8 和 B9。位于该象限的因素驱动力很强,在系统里承担着驱动的角色。其中 B3(缺乏技术集成和工业化生产体系)和 B6(标准化与多样化的矛盾)属于技术层面;B8(缺乏专业人才)和 B9(缺乏现代化的管理模式和管理经验)属于管理层面。其中 B8 和 B9 是驱动力最大的两个影响因素,可见专业人才与现代化的管理模式和管理经验是建筑工业化健康快速发展的关键因素,而根据 ISM 的分析可知,B8 的解决可以有效推动 B9 的解决;B6 的驱动力虽然位于第三层,但根据图 2 的 ISM 的分析结果发现,B6 是一个相对较为独立的因素,是必须独立解决的关键性障碍因素。

## 五、结论与讨论

以建筑工业化推广过程中遇到的不利因素为研究对象,通过大量文献阅读辨识出 12 个影响因素,结合厦门市建筑工业化的实践展开调研,运用 ISM 模型和 MICMAC 方法分析了各影响因素间存在的关联关系和其依赖性及驱动力。通过 ISM 分析得出目前建筑工业化需要解决的关键问题是:缺乏专业人才(B8),政府经济政策支持力度不够(B1),建造成本偏高、综合性价比低(B10),缺乏市场认可(包括消费者认可和企业参与)(B12),政府层面的宣传与引导不够(B11),标准化与建筑多样化的矛盾(B6)等 6 个关键因素。其中政府经济政策支持力度不够(B1)和政府层面的宣传与引导不够(B11)均属于政府责任的范畴,而建造成本偏高(B10)和缺乏市场认可(B12)是可以通过提高经济政策支持力度和加大政府层面的宣传与引导等,政府发挥积极作用,在一定程度上得到缓解。由此可见,中国建筑工业化推广过程中,政府起到了尤为关键的作用,政府应该发挥“看得见的手”的作用,积极推进建筑工业化进程。

通过 MICMAC 分析可知,B5(研发投入不足,缺乏创新)是依赖性最大且驱动力最弱的一个影响因素,该因素的解决直接或间接取决于其他因素,如可通过政府加大经济政策支持力度(B1)和培养大量专业人才(B8)来改善,而 B8(缺乏专业人才)是所有影响因素中驱动力最强的一个。目前中国建筑工业化发展处于初级阶段,此时科技创新尤为重要,人才缺乏尤为突出,因此工业化所需的相关专业人才是解决其他工业化问题的基础,是推动工业化发展的根本,是当前需要大力解决的关键因素之一。专业人才的培养需要通过政府和相关企业的共同努力来解决,政府方面可以通过政策支持,如鼓励支持科研院校、高校相关企业及产业联盟等通过关键技术的研发和工程应用试点等,来培养相关领域的专业人才,而施工单位可以在建筑工业化相关技术标准和规范的指导下加大对技术工人的培养,为工业化项目的施工提供操作层面的技术保

障。另外,B6(标准化与多样化的矛盾)具有很强的驱动力和很弱的依赖性,且是一个相对独立的问题,它的解决无法依靠其他因素的解决来完成,但它却直接影响到建筑部品工业化水平(B7)和建造成本(B10)等问题,需要引起高度重视。解决标准化与多样化的矛盾,一方面,需要政府相关部门在对市场和技术充分调研的前提下进行建筑工业化的顶层设计,强调装配式混凝土结构、钢结构、现代现浇结构等多模式共同发展,推行工厂工业化与现场工业化方式相结合的建造方式;另一方面,在推进建筑工业化发展过程中应强调因地制宜,根据不同的建筑类型选择不同的工业化建筑体系,这样才能降低建造成本,提高企业的市场竞争力,进而取得较好的社会与经济效益,从而解决调研中超过半数的受访者认为的当前建筑工业化推广过程中面临的主要不利因素——市场问题。

**参考文献:**


[1]纪颖波. 我国住宅新型建筑工业化生产方式研究[J]. 住宅产业,2011(6): 7 – 12.

[2]RAHMAN M M. Barriers of implementing modern methods of construction[J]. Journal of Management in Engineering,2014,30(1):69 – 77.

[3]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.

[4]张连营,郑宏亚. 建筑工业化发展障碍研究[J]. 建筑经济,2016, 37(2):9 – 13.

[5]张希黔,康明,黄乐鹏. 对我国建筑工业化现状的了解和建议[J]. 施工技术,2015(4):5 – 13.

[6]亓霞,李洁,束晓东. 基于国外成功经验的建筑工业化发研究[J]. 工程建设与设计,2015(3):121 – 124.

[7]ZHANG X,SKITMORE M,PENG Y. Exploring the challenges to industrialized residential building in China[J]. Habitat International, 2014, 41:176 – 184.

[8]张传成,李轶,许凯. 发展新型建筑工业化,促进建筑产业现代化[J]. 建筑技术开发,2015 (1):19 – 23.

[9]汪中林,肖桃李,金赤,等. 湖北省建筑工业化发展存在的问题及其对策研究[J]. 长江大学学报(自然科学版),2015(5): 65 – 67.

[10]李晓桐. 基于社会网络分析的建筑工业化利益相关者关系研究[D]. 北京:北方工业大学,2015.

[11]MAO C,SHEN Q,PAN W,et al. Major barriers to off-site construction:The developer's perspective in China[J]. Journal of Management in Engineering, 2013, 31(3):1 – 8

[12]贺灵童,陈艳. 建筑工业化发展的瓶颈与思路[J]. 施工企业管理,2014(5): 50 – 52.

[13]LUO L Z,MAO C,SHEN LY,et al. Risk factors affecting practitioners' attitudes toward the implementation of an industrialized building system:A case study from China[J]. Engineering, Construction and Architectural Management,2015,22(6):622 – 643.

[14]姜腾腾. 绿色建筑背景下基于 BIM 技术的建筑工业化发展机制研究[J]. 土木建筑工程信息技术,2015,7(2): 56 – 60.

[15]孙凌志,王克青. 我国建筑工业化协同发展模式研究[J]. 施工技术,2013,42(22): 16 – 18.

[16]李传坤. 制约我国建筑工业化发展的关键问题及应对措施研究[D]. 聊城:聊城大学,2014.

[17]哲文. 浙江省建筑产业现代化调研报告[J]. 住宅产业,2015(1):23 – 27.

[18]TOKTAS – PALUT P,BAYLAV E,TEOMAN S,et al. The impact of barriers and benefits of e-procurement on its adoption decision:An empirical analysis[J]. International Journal Production Economics,2014,158:77 – 90.

[19]ANSARI F MD,KHARB K R,LUTHRA S, et al. Analysis of barriers to implement solar power installations in India using interpretive structural modeling technique[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2013,27:163 – 174.

[20]秦旋,MANCINI M,TRAVAGLINI A,等. 基于市场推广视角的 BIM 技术采纳障碍因素中意对比研究[J]. 管理学报,2016(11):1718 – 1727.

[21]MATHIYAZHAGAN K,GOVINDAN K,NOORUL – HAQ A,et al. An ISM approach for the barrier analysis in implementing green supply chain management[J]. Journal of Cleaner Production,2013,47:283 – 297.

[22]ATTRI R, DEVI, SHARMA V. Interpretive structural modelling (ISM) approach: An overview[J]. Research Journal of Management Sciences,2013(2):3 – 8.

[23]LUTHRA S,KUMAR V,KUMAR S,HALEEM A,et al. Barriers to implement green supply chain management in automobile

industry using interpretive structural modeling technique: An Indian perspective [J]. Journal of Industrial Engineering and Management, 2011, 4(2): 231 - 257.

# Research on the relationship between the influencing factors of construction industrialization based on ISM: Survey from Xiamen

QIN Xuan[a], LI Aolei[a], ZHANG Rong[b], XIE Xiang[a]

(*a. College of Civil Engineering; b. Department of Finance, Huaqiao University, Xiamen 361021, P. R. China*)

**Abstract:** The development of China's construction industry faces many challenges and obstacles at present. 12 factors which affect the promotion process of construction industrialization are identified and definited through literature reading and analysis. And adopting the method of expert interview, constructing the hierarchy figure of influence factors by ISM and analyzing the relationship between the factors and the influence of path level on the development of construction industry, the study finds that the lack of professional talent is the most unfavorable factors, and relevant standards imperfect, lack of investment in research and lack of innovation are the top of the influence factors. On this basis, MICMAC is used to analyze the factors' driving force and dependence. And it is concluded that professional talents is the biggest driving force factors in the industrial market. Taking Xiamen as an example, the research results have a certain scientific and universal character, which can inspire and guide the further development of China's construction industrialization.

**Key words:** construction industrialization; influencing factors; interpretive structural modeling (ISM); matrix impacts cross-reference multiplication applied to a classification (MICMAC)

(责任编辑 傅旭东)