

# 基于结构方程模型的建筑业 BIM 应用影响因素研究

李闫岩,唐廷廷

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**在文献研究的基础上,从经济、技术、政策、法律、组织和人员 6 个方面总结归纳出 22 项影响我国建筑业 BIM 应用的主要影响因素。运用结构方程模型,以调查问卷方式获取影响因素影响程度的原始数据,以 SPSS22.0 和 AMOS22.0 进行实证分析,最终得出各影响因素的路径系数及其效应,并针对主要影响因素提出对策建议,以期加快推进我国建筑业 BIM 的应用推广。

**关键词:**建筑信息模型;建筑行业;影响因素;结构方程模型;对策建议

**中图分类号:**TU 17      **文献标志码:**A

建筑业是我国国民经济支柱产业之一,其正面临从粗放发展向集约高效发展的转型,工业化、信息化和可持续性是我国建筑业发展的目标。建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)能够集成建设项目全生命周期所有数据信息,为项目各参与方提供合作交流分享平台,为科学决策和高效项目管理提供有力支持,其被认为建筑业继 CAD 之后的又一革新创举,成为我国建筑业转型的理念和技术依托。2017 年 2 月,国务院办公厅发布的《关于促进建筑业持续健康发展的意见》中提出,要加快推进 BIM 技术在规划、勘察、设计、施工和运维全过程的集成应用,促进建筑业提质增效。目前, BIM 技术在我国建筑业的应用主要集中在设计阶段和施工阶段,且在这两个阶段应用的深度和广度不大,项目前期决策阶段和运维阶段的应用则更少<sup>[1]</sup>, BIM 在我国应用过程中面临着许多障碍。笔者通过对 BIM 技术在国

内建筑业应用影响因素的分析,为推动 BIM 技术全面集成应用提供一点理论支持。

## 一、BIM 应用影响因素分析

学者们从不同视角,运用不同方法对 BIM 应用影响因素进行了研究探讨,成果颇丰。Darius 等<sup>[2]</sup>认为 BIM 软件兼容性差、高层领导者支持力度不够、BIM 应用模式不明确等是阻碍 BIM 应用的主要影响因素。Tulenheim<sup>[3]</sup>通过案例分析认为 BIM 应用的经济效益、BIM 标准的统一性、BIM 使用者对新技术的接纳程度等均使 BIM 的应用推广受阻。何清华等<sup>[4]</sup>和郗恩田等<sup>[5]</sup>指出我国建筑施工企业现阶段 BIM 应用障碍主要体现在 BIM 技术推动政策力度不足、缺乏高层领导者的支持以及 BIM 的应用环境不完善等方面。赵雪媛等<sup>[6]</sup>从政府法律因素、设计单位因素、设计人员因素和 BIM 本身因素 4 个方面对设计阶段 BIM 应用障碍进行逐

条分析。从中国建筑全行业视角出发,潘佳怡等<sup>[7]</sup>认为政策因素是阻碍 BIM 在国内应用推广的首要因素,其次为法律因素,而从业人员传统思维的转变和对新技术的接纳也影响重大。张连营等<sup>[8]</sup>则认为 BIM 在国内的应用推广障碍还包含技术因素、组织规划因素、行业因素和经济因素,其中技术因素和行业因素影响最大。徐友全等<sup>[9]</sup>通过对 BIM 影响因素研究重要文献中影响因素的合并整合,利用 DEMATEL 法对其进行排序和因果关系分析,认为 BIM 标准不完善影响最大,政府的推动力度是影响 BIM 推广效果的直接原因。秦旋等<sup>[10]</sup>从对 BIM 中意两国障碍因素对比分析中得出,我国处于 BIM 应用初级阶段,BIM 培训和 BIM 人才需求最迫切,而意大利亟需解决的是 BIM 标准指导多专业协同工作、集成管理的问题。

目前,国内建筑业 BIM 应用影响因素研究主要集中在影响因素排序和主要影响因素提取方面,定性研究方法居多,定量研究不足。笔者通过对研究文献中 BIM 应用影响因素的分析整合,从经济、技术、政策、法律、组织和人员 6 个方面总结归纳出 22 项影响我国 BIM 应用的主要影响因素(见表 1),采用结构方程模型量化的方法,研究各影响因素对 BIM 应用的影响路径和作用机制。

二、基于结构方程模型的建筑业 BIM 应用影响因素模型构建

结构方程模型是一种理论模型检验统计方法,它基于理论或经验法则建立假设模型,然后对模型进行实证和修正。它整合了因素分析和路径分析两种方法,可进行多变量的关系探讨,以及自变量对依变量的影响效果分析。BIM 应用影响因素指标具有抽象性、主观性、难测量性,且指标间关系复杂,一般统计分析方法的功能比较单一,难以反应 BIM 应用影响因素间的复杂系统关系,而结构方程模型可以较好地实现该功能<sup>[11]</sup>。笔者根据专家意见和相关文献指导,提出如下假设:

表 1 我国 BIM 应用影响因素

因素类型	应用影响因素
经济因素 A	BIM 技术带来的经济效益不明显 A <sub>1</sub>
	软硬件成本、培训咨询费用高 A <sub>2</sub>
技术因素 B	缺乏国产 BIM 软件 B <sub>1</sub>
	软件兼容性差 B <sub>2</sub>
	专业之间交互性差 B <sub>3</sub>
	BIM 模型准确度管理难 B <sub>4</sub>
	基于 BIM 的二次研发不足 B <sub>5</sub>
政策因素 C	BIM 标准和指南不完善 C <sub>1</sub>
	BIM 政策推动力度不足 C <sub>2</sub>
法律因素 D	BIM 的法律责任界限不明 D <sub>1</sub>
	缺乏 BIM 标准合同示范文本 D <sub>2</sub>
	BIM 项目争议处理机制不成熟 D <sub>3</sub>
	缺乏 BIM 知识产权保护法律 D <sub>4</sub>
组织因素 E	缺乏高级管理者的支持 E <sub>1</sub>
	缺乏与 BIM 相匹配的企业组织结构 E <sub>2</sub>
	基于 BIM 的工作流程尚未建立 E <sub>3</sub>
	缺乏 BIM 的综合应用模式 E <sub>4</sub>
	缺乏 BIM 成功案例和应用经验 E <sub>5</sub>
人员因素 F	缺乏成熟的 BIM 团队和管理者 F <sub>1</sub>
	对 BIM 的认知不足 F <sub>2</sub>
	传统思维转变和新技术接纳困难 F <sub>3</sub>
	数据分享意识不足 F <sub>4</sub>

H<sub>1</sub>:经济因素对 BIM 应用推广有正向影响作用。使用 BIM 技术带来的经济效益以及软硬件成本、培训和咨询费用直接影响 BIM 使用方投资意向,进而影响 BIM 的应用推广。

H<sub>2</sub>:技术因素对 BIM 应用推广有正向影响作用。国产 BIM 软件体系和 BIM 的二次研发完成程度决定 BIM 的应用范围及其与我国建筑行业体制的适应程度。软件兼容性和专业间交互性影响 BIM 的集成应用,以及模型准确度管理能力直接影响 BIM 应用过程中的安全系数。

H<sub>3</sub>:政策因素对 BIM 应用推广有正向影响作用。BIM 标准和指南是解决 BIM 应用组织、法律和技术问题的前提,BIM 推动政策力度直接影响 BIM 潜在应用单位的新技术采纳进程。

H<sub>4</sub>:法律因素对 BIM 应用推广有正向影响作用。BIM 的法律责任界定、BIM 标准合同示范文本、争议处理机制和 BIM 知识产权保

护法律为 BIM 应用创造有章可循、完善稳定的法律环境,消除 BIM 应用者的后顾之忧。

$H_5$ :组织因素对 BIM 应用推广有正向影响作用。高层管理者的支持力度决定企业是否采纳 BIM 技术,适宜 BIM 的工作流程和企业组织结构为 BIM 发挥价值效益创造条件,企业内部 BIM 的使用为 BIM 综合应用模式奠定基础。BIM 成功案例和应用经验能够指导和推动 BIM 应用。

$H_6$ :人员因素对 BIM 应用推广有正向影响作用。对 BIM 的认知程度通过影响 BIM 潜在使用者来转变传统思维,采纳新技术的动力和数据分享意识间接影响 BIM 的应用推广。BIM 团队和管理者的 BIM 应用能力直接影响 BIM 项目的实施效率和效益,进而影响 BIM 的应用推广。

根据上述假设推演,将 BIM 应用影响因素作为内生潜变量,将经济因素、技术因素、政策因素、法律因素、组织因素及人员因素作为外生潜变量,来构建 BIM 应用影响因素的假设模型(见图 1)。

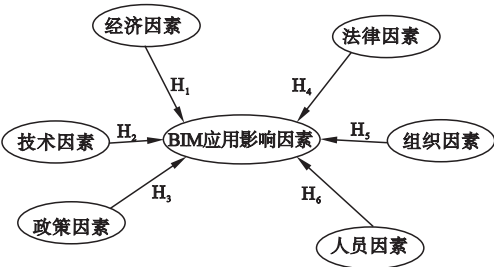


图 1 BIM 应用影响因素假设模型

### 三、我国建筑业 BIM 应用影响因素实证研究

#### 1. 数据来源和选取

研究 BIM 应用影响因素时,由于潜变量的不可测量性,需要观测变量来体现,笔者采用李克特量表法设计调查问卷,进行观测变量的测量。问卷由两部分组成,第一部分为受访者背景资料,确保有效问卷参与者为建筑业 BIM 相关使用者或研究者;第二部分为 BIM 应用影响因素评价,包括 22 项影响因素及其影响程度选项。为了保证调查数据的

有效性和全面性,调查问卷采取实地调研、学术会议和网络问卷 3 种方式填写,调查对象包括领域专家、高校 BIM 研究者以及设计单位、施工单位和业主单位 BIM 使用者。

本次总计发放问卷 255 份,收回有效问卷 163 份,有效回收率为 63.9%,符合结构方程模型样本数据要求。

#### 2. 数据有效性检验

为了保证数据的有效性,对所得数据进行信度和效度检验。信度反映多次测量结果的一致性,反映了测量的稳定性。运用 SPSS22.0 对数据进行 Cronbach's Alpha 信度系数分析,结果如表 2 所示。6 个潜变量和总体信度系数接近或大于 0.7,说明数据具有较高信度。

表 2 Cronbach's Alpha 信度系数表

影响因素	Cronbach's Alpha	项数
经济因素	0.683	2
技术因素	0.698	5
政策因素	0.694	2
法律因素	0.820	4
组织因素	0.767	5
人员因素	0.811	4
总体	0.833	22

运用探索性因素分析对数据进行效度检验,KMO 值为 0.793,高于最低标准 0.5;Bartlett 球体检验值小于 0.001,拒绝相关系数矩阵为单位阵的零假设,说明数据的效度良好。

#### 3. 模型拟合检验

运用 AMOS22.0 建立 BIM 应用影响因素的结构方程模型,采用最大似然估计法进行参数估计,并根据模型拟合评价指数,在不违反结构方程模型设定和相关理论或经验法则的前提下,对模型进行修正,得到拟合较好的最终模型及路径系数,其中  $P$  代表 BIM 应用影响因素(见图 2)。

结构方程模型的拟合检验包括基本适配度检验和整体适配度检验两部分。模型标准误均为正且很小,没有负的标准误;外生潜变量与内生潜变量、外生潜变量与观测变量间的标准化系数在 0.5~0.93,说明模型有充分的理论支持,且本模型的基本拟合度较好。

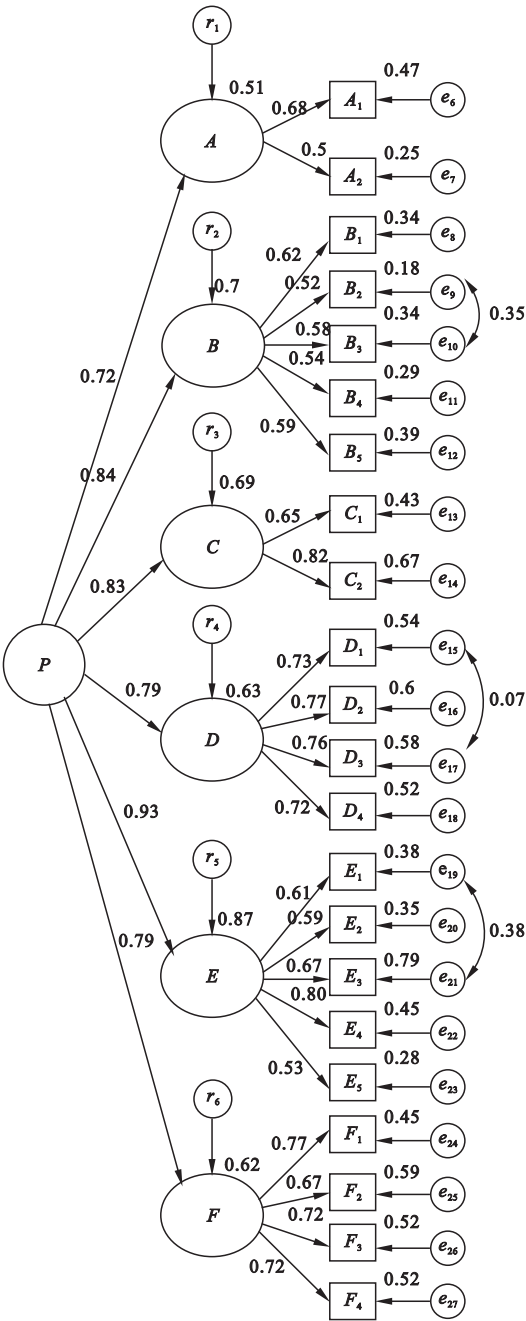


图 2 标准化估计值模型

选取  $GFI$ 、 $RMSEA$ 、 $AGFI$ 、 $\chi^2/df$ 、 $IFI$ 、 $CFI$ 、 $NFI$  评价模型的整体拟合度,模型修正后各整体拟合度评价指标值绝大部分符合标准(见表 3),说明最终模型的整体适配度良好。

理论模型的假设检验结果显示,所提出假设  $H_1$  至  $H_6$  的  $P$  值都小于 0.05,说明这些假设都得到了数据支持,经济因素、技术因素、政策因素、法律因素、组织因素及人员因

素与 BIM 应用影响因素通过显著性检验,存在正相关关系。

表 3 整体适配度检验表

指标	结果值	评价
$GFI$	0.805 (< 0.9)	适配较差
$RMSEA$	0.053 (> 0.05)	适配较差
$AGFI$	0.901 (> 0.90)	适配良好
$\chi^2/df$	1.207 (< 3)	适配良好
$IFI$	0.939 (> 0.9)	适配良好
$CFI$	0.935 (> 0.90)	适配良好
$NFI$	0.924 (> 0.90)	适配良好

4. 模型结果分析

通过对模型修正和标准化后,得到潜变量之间、潜变量与观测变量之间的反映关系(用路径系数表示)。将 BIM 应用影响因素的路径系数大小分为 3 类,0.71 ~ 0.80 为三级影响因素,0.81 ~ 0.90 为二级影响因素,0.91 及以上为一级影响因素(见表 4)。

表 4 结构模型解析

结构模型	路径系数	因素类别	说明
$E \leftarrow P$	0.93	一级影响因素	因素间关系很大,必须考虑
$B \leftarrow P$	0.84	二级影响因素	因素间关系大,需要考虑
$C \leftarrow P$	0.83	二级影响因素	因素间关系大,需要考虑
$A \leftarrow P$	0.72	三级影响因素	因素间关系较大,需要考虑
$D \leftarrow P$	0.79	三级影响因素	因素间关系较大,需要考虑
$F \leftarrow P$	0.79	三级影响因素	因素间关系较大,需要考虑

从问卷分析结果得出,组织因素对 BIM 应用影响最大,其次为技术因素和政策因素,法律因素、人员因素和经济因素的影响也不容小觑。各影响因素中路径系数较大的观测反映因素分别是使用 BIM 技术带来的经济效益不明显( $A_1 \leftarrow A, 0.68$ )、缺乏国产 BIM 软件( $B_1 \leftarrow B, 0.62$ )、基于 BIM 的二次研发不足( $B_5 \leftarrow B, 0.62$ )、BIM 政策推动力度不足( $C_2 \leftarrow C, 0.82$ )、缺乏 BIM 标准合同示范文本( $D_2 \leftarrow D, 0.77$ )、缺乏 BIM 的综合应用模式( $E_4 \leftarrow E, 0.89$ )以及缺乏成熟的 BIM 团队和管理者( $F_1 \leftarrow F, 0.77$ )。

四、加快推进我国建筑业 BIM 应用推广的对策建议

1. 加快企业 BIM 环境建设

组织因素是影响 BIM 应用的最重要因



素,其中,高层管理者的支持力度、与 BIM 相适应的企业组织结构以及基于 BIM 的流程再造是 BIM 在企业实施落地层面的重要影响因素。BIM 行业层面的战略规划愿景最终均要立足于企业层面,由企业去运作实施。因此,企业 BIM 环境建设具有迫切实际意义。由于国内成熟应用 BIM 的企业还很少,都处在探索尝试阶段,很多企业高层管理者对 BIM 的认知模糊,对 BIM 应用目标和价值不明确,导致其企业应用 BIM 的支持力度不够。高层管理者对 BIM 的支持力度是企业 BIM 环境建设的强大驱动力,行业协会可组织交流会,由 BIM 专家对高层管理者的 BIM 疑惑进行解答,提高高层管理者对 BIM 的认知,使其产生持续稳定的自驱力。在企业组织结构改造和企业流程重组方面,企业可根据自身特点聘请 BIM 顾问进行咨询协助,积极探索,吸取经验,不断完善。

## 2. 探索 BIM 综合应用模式

BIM 综合应用是 BIM 深化应用和 BIM 价值体现的实现途径。BIM 综合应用模式的探索可从两方面入手:一是促进建设项目统筹管理,二是总结积累 BIM 综合应用案例经验。我国建设项目各参与方相互独立、项目阶段割裂的局面不利于实现 BIM 的综合应用,应建立一种以 BIM 技术为手段,实现信息共享、跨职能团队协作的项目管理模式,如 IPD 模式。目前,国内外都缺乏 BIM 综合应用的典型案例,此种情况下,政府可设立一些 BIM 综合应用项目,为 BIM 综合应用模式提供本国经验参考。

## 3. 加大对 BIM 的扶持力度

提高经济效益是企业采用新技术、新方法的目的。企业在应用 BIM 初期,需要投入大量资金进行软硬件配置、人员技术培训以及专家咨询指导,还面临短期工作效率低下、BIM 应用程度不够导致无法产生增值效益等问题,投入产出比难以准确衡量,进而导致企业决策者虽了解 BIM 的价值,但应用意愿仍不强烈。此种情形下,政府可发挥引导和推动作用,在政府项目中强制参与方应用

BIM 技术并规定应用程度,给予一定的政策优惠;对于非政府项目,可按项目规模和参与方在项目各阶段的 BIM 应用情况,给予一定限额的奖励。

## 4. 加快 BIM 技术建设

技术因素是阻碍 BIM 在我国应用的重要因素,其中 BIM 软件本土化程度和基于 BIM 的二次开发程度决定了 BIM 技术在我国应用的适应性。BIM 软件本土化不是语言上的汉化,而是在借鉴国外相关软件开发设计经验的基础上,遵循我国 BIM 标准和指南,开发出与我国建筑行业体系相适应的 BIM 软件体系。BIM 软件本土化是一个复杂的过程,一步到位并不客观现实,可制定阶段性目标,吸取实践经验,逐步完成。在进行 BIM 的二次开发时,应当结合我国工程应用实践的特点,在满足功能要求的同时,考虑软件操作者的操作习惯,如技术人员习惯 CAD 二次开发软件的模块式操作,在 BIM 二次开发时也可尽量采取类似的模块操作,以此提高操作人员工作效率。

## 5. 加强 BIM 合同管理研究

BIM 在我国的应用仍处于初级阶段,合同中关于 BIM 的合同条款不完善,BIM 应用者的责任界限不明,易产生分歧,发生纠纷。应加强对 BIM 合同管理的研究,制定完善的 BIM 相关合同条款,明确合同双方的权责利,使双方的行为以明确的合同条款为指导,有章可循,提高合作效率。

## 6. 培养多层次 BIM 人才

成熟的 BIM 团队和管理者是企业采用 BIM 技术能否创造增值价值,获得竞争优势的重要内部因素。成熟的 BIM 管理者能够对企业各阶段 BIM 应用深度和范围进行准确判断,成熟的 BIM 团队有准确选择和应用 BIM 技术的能力,二者从战略到实践和谐统一,使 BIM 价值最大化。行业协会组织应进行多层次 BIM 人才培养,包括 BIM 战略人才、BIM 项目管理人才和 BIM 软件操作人才等。建设主管部门可逐步实施 BIM 人员持证上岗规定,促使从业人员主动学习,积极培

训。企业应制定多层次 BIM 人才培养计划,形成成熟的 BIM 人才体系和 BIM 应用管理体系。

五、结 语

BIM 技术是全球建筑业关注的焦点,是我国建筑业转型的重要技术依托,但 BIM 技术在我国起步较晚,发展也比较缓慢。笔者通过对 BIM 应用影响因素的研究,提出我国可从加大对 BIM 的扶持力度,加快 BIM 技术建设,加强 BIM 合同管理研究,探索 BIM 综合应用模式以及培养多层次 BIM 人才促进 BIM 技术在我国建筑行业应用的建议。

参考文献:

[1] 何关培. 企业 BIM 应用关键点的分析与思考 [J]. 工程质量,2015,33(8):8-12.

[2] DARIUS M, VLADIMIR P, LEONAS U. The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation[J]. Procedia engineering, 2013(57):767-774.

[3] TULENHEIMO R. Challenges of implementing new technologies in the world of BIM-Case study from construction engineering industry in

Finland [J]. Procedia economics and finance, 2015(21):469-477.

[4] 何清华,张静. 建筑施工企业 BIM 应用障碍研究[J]. 施工技术,2012(22):80-83.

[5] 郅恩田,李勇,熊凯,等. 基于 AHP 的建筑施工企业 BIM 应用影响因素分析[J]. 桂林理工大学学报,2016(3):526-532.

[6] 赵雪媛,董娜. BIM 在设计阶段应用障碍及解决措施[J]. 施工技术,2015(增刊2):667-670.

[7] 潘佳怡,赵源煜. 中国建筑业 BIM 发展的阻碍因素分析[J]. 工程管理学报,2012(1):6-11.

[8] 张连营,李彦伟,高源. BIM 技术的应用障碍及对策分析[J]. 土木工程与管理学报,2013(3):65-69.

[9] 徐友全,孔媛媛. BIM 在国内应用和推广的影响因素分析[J]. 工程管理学报,2016(2):28-32.

[10] 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.

[11] 吴明隆. 结构方程模型:AMOS 的操作与应用 [M]. 重庆:重庆大学出版社,2010.

The Study of Factors Affecting the Application of BIM in the Construction Industry Based on SEM

LI Yanyan, TANG Tingting

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

**Abstract:** The paper selects 22 main affecting factors on the application of BIM in the Construction Industry of China through literature review, which involve six aspects: economy, technology, policy, law, organization and stuff. Based on the structural equation model, the paper uses questionnaire survey to get original data standing for the effect degree of affecting factors, applies SPSS22.0 and AMOS22.0 for empirical analysis, and eventually obtains the path coefficients and their effects. Finally, suggestions are put forward to come over the main affecting factors so as to accelerate application of BIM in the Construction Industry of China.

**Key words:** BIM; construction industry; affecting factors; SEM; countermeasures and suggestions