

国产 BIM 建模软件发展的思考： 基于 PCA 的影响因素研究

陈珂 陈强健 杜鹏

(华中科技大学 土木与水利工程学院, 武汉 430074)

【摘要】随着各行业向数字化、网络化和智能化方向发展,基础核心软件的战略意义不断提升。在工程建造领域,BIM 建模软件是实现智能建造的重要支撑。但是,当前国产 BIM 建模软件核心技术受制于人,面临严重的“卡脖子”风险。为促进国产 BIM 建模软件发展,本研究从政策环境、市场环境、研发经营和核心技术四个维度识别出 28 个国产 BIM 建模软件发展的影响因素,通过问卷形式开展因素影响程度的评定调查,并利用主成分分析法提取影响国产 BIM 建模软件发展的关键因素。最后,本研究通过与行业专家的多轮深度访谈,对关键影响因素进行解读,为发展我国自主可控的 BIM 建模软件提供路径规划方向。

【关键词】BIM 建模软件; 国产软件; 影响因素; 主成分分析; 专家访谈

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】文集数据被中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录,被本刊录用并在中国知网网络首发正式出版,严禁侵权转载。

引言

BIM 技术作为建筑业高质量发展的重要支撑,受到全球建筑业的广泛关注。2020 年,国家住房和城乡建设部等 13 个部门联合印发了《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》,将积极应用自主可控的 BIM 技术确立为提升我国建筑业信息化水平的重点任务^[1]。BIM 技术的应用离不开各类 BIM 软件^[2]。其中,BIM 建模软件(例如 Autodesk Revit、PKPM BIM 等)用于创建工程建造项目的数字化信息模型,为完成后续一系列基于 BIM 技术的工程分析与管理任务提供信息基础。在工程建造项目全生命周期中,各参与方基于 BIM 模型形成的统一信息平台进行有效地沟通,强化上下游协同工作^[3]。

当前,我国建筑业使用的 BIM 建模软件既有国产软件也有国外软件。但是,相较于国外软件,国产 BIM 建模软件存在整体实力较弱、核心技术缺失

等诸多问题,市场份额被国外软件占据,这直接导致我国建筑业面临技术“卡脖子”的风险。考虑到工程建造项目全生命周期蕴含着大量数据,长期依赖国外 BIM 软件使得关键数据的安全得不到保障。面向国家总体发展要求以及建筑业高质量发展规划,我国对高水平国产 BIM 建模软件的需求越来越迫切。在此背景下,有必要厘清影响国产 BIM 建模软件发展的各类因素以及因素间的系统性构成,从而提出针对性应对措施,助力国产 BIM 软件的发展。

近年来,国内外学者从应用企业角度研究了 BIM 软件的发展,如 Jongsung Won 和 Ghang Lee^[4]认为“对需求的满足度”、“协同性”、“易用性”是软件改进的重点; Lonny Simonian 和 Thomas Korman^[5]指出“工程数据安全及信息权限”应当被重点关注; 黄亚江^[6]则着重考虑“软件费用”、“过程服务”以及“软件适用性”。这些研究为 BIM 建模软件研发提供了一定的导向作用,但大多仅从单个维度

【基金项目】 中国工程院重点咨询研究项目子课题“中国建造 2035 战略总体研究与智能建造工程”(编号:2019-XZ-34-1)

【作者简介】 陈珂(1991-),男,博士、副教授,主要研究方向:智能建造;陈强健(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:工程软件及其发展研究;杜鹏(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:工程项目管理、施工数字化。

进行论述,结论相对较为片面。另外,我国学者针对软件产业发展的影响因素展开了论述,如江勇^[7]认为“核心技术”、“产业链合作”、“政府引导”等对软件发展有重大影响;倪光南^[8]指出“市场、软件协同、人才和投资”是软件发展中的关注重点。但该类研究并非针对 BIM 建模软件,且多为定性研究,也缺乏因素间的评级与层次关系。综上,当前缺乏系统论述国产 BIM 建模软件发展影响因素的研究。

本文立足于现有软件产业研究的相关成果,以系统论的观点将国产 BIM 建模软件的发展看作各种影响因素下的复杂结果,旨在通过文献分析、专家论证识别国产 BIM 建模软件发展影响因素。进而开展问卷调查,基于主成分分析提取关键因素,最终结合专家访谈解读关键因素,为国产 BIM 建模软件发展路径规划提供方向。

1 国产 BIM 建模软件发展影响因素识别

基于中国知网、Scopus 等数据库,本研究通过检索“软件发展”、“软件国产化”、“Software Development”等关键词,筛选出 23 篇高相关度的学术论文,从政策环境、市场环境、研发经营和核心技术 4 个维度初步归纳出影响软件发展的潜在因素。为了进一步识别国产 BIM 建模软件发展的影响因素,并明确因素所指代的含义,本研究在文献检索的基础上,充分结合 7 位专家的意见(专家信息如表 1),对各影响因素进行充分论证、修订与完善,根据少数服从多数原则,确定了 28 个影响国产 BIM 建模软

件发展的因素(见表 2)。

表 1 论证专家基本信息

	单位	职位
专家 1	施工单位	副总工程师
专家 2	软件研发单位	BIM 产品经理
专家 3	施工单位	技术总监
专家 4	设计单位	信息总监
专家 5	软件研发单位	BIM 市场经理
专家 6	软件研发单位	BIM 技术总监
专家 7	高等院校	教授

2 基于主成分分析的关键因素识别

2.1 模型介绍

主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)旨在利用降维思想,把多个无序、分散的指标转化为少数几个综合性的指标,以较少的指标反映原数据的大部分信息,且所含的信息互不重叠^[30]。该方法广泛应用于多变量分析场景,能在保证初始国产 BIM 建模软件发展影响因素所含信息完整性的前提下,简化影响因素体系,更有利于揭示国产 BIM 建模软件发展影响因素的特征和内在规律,因此适用于本研究的分析工作。

主成分分析的计算步骤如下:

(1) 每个数据减去均值后除以标准差,得到标准化后的序列;

(2) 在标准化处理变量数据的基础上,计算相

表 2 BIM 建模软件发展的影响因素

因素	主要来源文献	因素	主要来源文献
法律规定 x_1	[7,16,21,22,28]	企业盈利能力 x_{15}	[11,13,22,]
标准规范 x_2	[7,13,18~21,28]	研发设备配置 x_{16}	[10,13,22]
政策支持 x_3	[13-15]	骨干企业 x_{17}	[9~11,13,29]
软件相关规定 x_4	[10,11,13]	开发操作系统 x_{18}	[18,23]
同类产品竞争 x_5	[14,15,29]	开发环境 x_{19}	[18,23]
盗版情况 x_6	[13-16]	版本更新维护 x_{20}	[11,12,16,24~26,28]
市场需求 x_7	[8,10,14,26,29]	软件协同 x_{21}	[8,9,11,12,17~21,24,28]
资金配置 x_8	[8,14,15,27]	数据库 x_{22}	[7,9,13,15,17]
人才配置 x_9	[7~9,13~15,17,23,27]	图形引擎 x_{23}	[7,9,13,15,17,18,20,29]
产学研合作程度 x_{10}	[7,10,11,15,17]	软件代码量 x_{24}	[19,20,23,25]
资金投入风险 x_{11}	[8,14]	应用效益 x_{25}	[18,22,25~27]
产品转化周期风险 x_{12}	[9,10,22]	性能优越性 x_{26}	[12,16,18,24~26]
人员变动风险 x_{13}	[7,9,11,27]	稳定性 x_{27}	[12,16,19,24,27]
研发技术风险 x_{14}	[11,22]	功能丰富性 x_{28}	[12,16,22,25,26,28]

关系数矩阵

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $x_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 为原因素 x_i 和 x_j 的相关系数, 其计算公式为

$$x_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{(\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2)} \sqrt{(\sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_j)^2)}} \quad (2)$$

(3) 计算相关系数矩阵 X 的特征值 λ_i 及对应的特征向量 $\mu_i (i = 1, 2, \dots, n)$;

(4) 计算各个特征值 λ_i 的主成分贡献率 w_i 及累计贡献率 a_i :

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

$$a_i = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} (\sum_{i=1}^m \lambda_i \text{ 的 } i = 1, 2, 3, \dots, m, \text{ 正整数 } m \text{ 为主成分的个数}) \quad (4)$$

(5) 选择主成分, 计算主成分荷载, 进行综合分析。主成分荷载计算公式为

$$l_i = \mu_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

2.2 问卷设计

本研究通过网络问卷的形式, 邀请具有丰富 BIM 建模软件研发和使用经验的行业专家, 就 28 个因素对国产 BIM 建模软件发展的影响程度进行评定, 评分采用从 0(无影响)至 4(影响重大)的五分制。问卷调研从 2019 年 10 月开始到 2019 年 12 月结束, 通过腾讯问卷平台共收回来自全国 29 个省份 81 家单位的 249 份数据。然后, 通过三个原则剔除问题问卷: 1. 答题时间短于 100s(平均用时的 1/2); 2. 答题结果不完整; 3. 答题结果呈现强规律性。同时, 考虑到人员知识和经验对因素评定的影响, 本研究只筛选出工作经验在 5 年以上的人员问卷用作分析。最终筛选出 150 份问卷进行下一步分析, 这些问卷对应受访人员的具体工作年限分布见表 3。

表 3 问卷受访人员工作年限情况

5~12 年	13~20 年	20 年以上
102 人	40 人	8 人

2.3 数据显著性分析

根据标准化处理后的数据, 本研究进行数据信度和效度的检验。变量之间的相关性由 KMO 和 Bartlett 球度检验方法判定, 若 KMO 统计量大于 0.7 或 Bartlett 球形度检验的显著性概率 $p < 0.05$, 则表明样本数据效度良好, 适用于主成分分析^[31]。本研究数据效度检验结果如表 4 所示, 其中 KMO 统计量为 0.872, Bartlett 检验中显著性为 0.000, 该结果说明采集到的问卷数据适合主成分分析的降维处理。

表 4 KMO 和 Bartlett 检验

KMO 取样适切性量数		0.872
Bartlett 球形度检验	近似卡方	2152.768
	自由度	378
	显著性	0.000

2.4 主成分分析与建模

利用 SPSS25.0 软件分析各因素间的相关程度, 输出主成分的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率, 进而提取主成分, 结果如表 5 所示。前 6 个主成分解释的总方差达到 71.599% (多因素前提下, 方差累计贡献率达到 70%~80%, 则认为提取合理), 保留了原有因素的大部分信息, 因此可以用这 6 个主成分代替原有的 28 个影响因素进行后续研究。

表 5 主成分特征值和方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
F_1	110.204	36.441	36.441
F_2	2.451	14.612	51.053
F_3	1.640	7.291	58.344
F_4	1.577	6.857	65.201
F_5	1.305	3.344	68.545
F_6	1.080	3.054	71.599

对因子荷载进行旋转可以使提取出的主成分更具代表性、界定更加清晰^[32]。本研究采用最大方差法, 经旋转 6 次迭代后因子收敛, 具体因子荷载如表 6 所示。

从荷载情况得出, $x_8 \sim x_{15}$ 在第一主成分上荷载较高, 且多针对企业研发经营合作方面, 因此将第一主成分定义为 F_1 研发经营; $x_1 \sim x_4$ 可归列到第二主成分 F_2 政策环境; 第三主成分上 $x_{21} \sim x_{24}$ 多涉及软件底层核心, 因此将第三主成分定义为 F_3 基础核心; $x_5 \sim x_7, x_{16}$ 可归列到第四主成分 F_4 市场环

境;第五主成分上 $x_{18} \sim x_{20}$ 多涉及软件研发工具,因此将第五主成分定义为 F_5 研发工具; $x_{25} \sim x_{28}$ 、 x_{17} 可归列到第六主成分 F_6 软件表现。具体结果见表 7。

表 6 旋转成分矩阵

因素	主成分					
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
x_8	0.783	0.188	0.025	0.107	0.041	-0.078
x_9	0.743	0.093	0.153	0.305	0.157	0.041
x_{10}	0.741	0.274	0.028	0.071	0.192	0.058
x_{11}	0.706	0.059	0.242	0.115	0.198	-0.099
x_{12}	0.670	0.138	0.302	0.190	0.232	-0.106
x_{13}	0.570	0.260	0.197	0.292	0.089	0.146
x_{14}	0.489	0.257	0.212	0.420	0.374	0.043
x_{15}	0.485	0.162	0.420	0.275	0.083	-0.014
x_1	0.204	0.852	0.155	0.183	0.043	-0.046
x_2	0.263	0.802	0.255	0.104	0.061	-0.034
x_3	0.274	0.757	0.137	0.288	0.183	0.059
x_4	0.505	0.507	0.333	0.078	-0.019	-0.050
x_{21}	0.315	0.188	0.628	0.139	0.224	0.030
x_{22}	0.246	0.339	0.662	0.103	0.299	-0.070
x_{23}	0.350	0.269	0.608	-0.003	0.219	-0.088
x_{24}	0.134	0.343	0.458	0.298	0.419	0.000
x_5	0.093	0.309	0.329	0.750	0.051	-0.002
x_6	0.232	0.050	-0.031	0.684	0.049	-0.023
x_7	0.411	0.189	-0.039	0.645	0.299	-0.044
x_{16}	0.389	0.138	0.422	0.557	-0.075	-0.071
x_{18}	0.205	0.019	0.182	0.037	0.834	-0.058
x_{19}	0.353	0.069	0.154	0.085	0.746	-0.129
x_{20}	0.023	0.302	0.408	0.385	0.496	-0.035
x_{25}	0.000	-0.040	0.088	-0.001	0.080	0.718
x_{26}	-0.031	0.059	-0.044	-0.044	-0.220	0.708
x_{28}	-0.037	-0.058	-0.075	-0.114	0.053	0.679
x_{27}	0.075	0.156	-0.285	0.071	-0.030	0.640
x_{17}	-0.103	-0.238	0.363	0.113	-0.190	0.637

表 7 主成分因素组成

主成分	影响因素	主成分命名
F_1	$x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}$	研发经营
F_2	x_1, x_2, x_3, x_4	政策环境
F_3	$x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}$	基础核心
F_4	x_5, x_6, x_7, x_{16}	市场环境
F_5	x_{18}, x_{19}, x_{20}	研发工具
F_6	$x_{17}, x_{25}, x_{26}, x_{27}, x_{28}$	软件表现

2.5 确定各因素权重

2.5.1 因素在各主成分线性组合中的系数

根据公式(5)利用表 5 和表 6 中的数据,得到各因素在 6 个主成分线性组合中的系数 $l_i^k (k=1, 2, \dots, 6; i=1, 2, \dots, 28)$ 并建立各主成分线性组合公式,如 $F_1 = l_1^1 x_1 + l_2^1 x_2 + \dots + l_{28}^1 x_{28}$ 。

2.5.2 主成分的方差贡献率

方差贡献率可以看成是不同主成分的权重,由于原有因素体系可以由主成分 $F_1 \sim F_6$ 代替,因此影响因素模型可以看成是以这 6 个主成分方差贡献率为权重,对因素在这 6 个主成分线性组合中的系数做加权平均,得到国产 BIM 建模软件发展影响因素综合模型:

$$F = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_6} F_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_6} F_2 \dots + \frac{\lambda_6}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_6} F_6$$

2.5.3 因素权重的归一化

由于所有因素的权重之和应为 1,因此因素权重需要在综合模型中因素系数的基础上进行归一化处理,最终各因素权重排名如表 8 所示。

表 8 因素权重排名

排名	因素	权重	排名	因素	权重
1	x_9	0.048	15	x_4	0.038
2	x_{10}	0.047	16	x_{21}	0.036
3	x_{11}	0.046	17	x_{19}	0.036
4	x_8	0.045	18	x_{13}	0.036
5	x_3	0.045	19	x_{16}	0.034
6	x_{12}	0.044	20	x_{15}	0.031
7	x_1	0.044	21	x_{26}	0.031
8	x_5	0.043	22	x_{28}	0.031
9	x_2	0.041	23	x_{25}	0.028
10	x_7	0.041	24	x_{27}	0.026
11	x_{14}	0.041	25	x_{18}	0.023
12	x_6	0.040	26	x_{20}	0.018
13	x_{22}	0.039	27	x_{17}	0.017
14	x_{23}	0.038	28	x_{24}	0.014

2.6 关键因素提取

对比表 8 国产 BIM 建模软件发展影响因素权重排名和表 6 主成分旋转后的因素荷载,可以看出两种数据分析结果在整体上保持结论的一致性。本研究根据各因素的权重排名情况,剔除权重小于 0.03 的 6 个因素,进而在剩余 22 个因素基础上,根

据表 6 中的荷载大小筛选关键因素及主成分重新分类、命名。考虑到 BIM 建模软件的工程属性,本研究结合 3 位专家意见剔除 F_5 (研发工具)等 IT 软件共有的影响因素,筛选出影响国产 BIM 建模软件发展的 14 个关键因素。根据因素释义及内涵,可分为政策环境、市场环境、研发经营及核心技术四个维度,与因素初步识别的维度保持一致。

如表 9 所示,研发经营的方差贡献率达到 36.441%,表明此类因素对国产 BIM 建模软件发展的影响最大。政策环境以 14.612% 位居第二,第三位的核心技术包含基础核心与软件表现两方面,方差贡献率达到 10.345%,而市场环境则以 6.857% 的贡献率位列第四。

表 9 国产 BIM 建模软件发展关键影响因素

维度	方差贡献率(%)	因素	荷载值
研发经营	36.441	资金配置 X_8	0.783
		人才配置 X_9	0.743
		产学研合作程度 X_{10}	0.741
政策环境	14.612	法律规定 X_1	0.852
		标准规范 X_2	0.802
		政策支持 X_3	0.757
核心技术	10.345	数据库 X_{22}	0.662
		图形引擎 X_{23}	0.608
		软件协同 X_{21}	0.628
		性能优越性 X_{26}	0.708
		功能丰富性 X_{28}	0.697
市场环境	6.857	同类产品竞争 X_5	0.750
		盗版情况 X_6	0.684
		市场需求 X_7	0.645

3 结果讨论

在识别出国产 BIM 建模软件发展的关键影响因素的基础上,本研究通过与至少具有 10 年 BIM 建模软件研发与应用经验的 23 位行业专家分别进行 45~60 分钟的多轮深度访谈,对关键影响因素进行进一步解读。

3.1 研发经营维度

资金配置和人才配置对国产 BIM 建模软件发展的影响较为突出。中小型软件企业承受更大的资金压力,亟需启动资金开辟市场、支持软件商业化以及后续研发工作。而大型软件企业具备更丰富的融资渠道、更充实的资源储备,在资金配置方

面的顾虑较小,且大型软件企业更容易承担软件技术攻坚任务,因此其更关注人才的层次、规模及结构。此外,BIM 建模软件的研发需求和实际复杂应用场景紧密结合,再加上当前国产 BIM 建模软件亟需解决的核心技术缺失的重大技术难题,使得产学研合作在 BIM 软件发展中的角色越发重要。

3.2 政策环境维度

法律规定成为政策环境中最重要的因素,这表明诸如软件许可、企业认证、知识产权等法规是国产 BIM 建模软件发展的重要基础。随后是相关扶持政策,例如通过税收优惠政策、投融资政策等,鼓励研发生产要素投入,加大对软件研发、应用、服务企业的财政、金融支持。标准规范是 BIM 建模软件发展所面对的又一关键问题,包括 BIM 建模软件研发标准、应用体系标准及交付标准等。这些标准是工程知识、技术应用模式等综合而成的结晶。在受访专家中,有 11 位表示,当前国产 BIM 建模软件标准缺失,导致软件研发缺少基础数据标准、应用与交付缺少标准流程模式,软件研发与推广难度不断增大。因此,亟需通过各种举措加快软件技术框架、应用模式等标准化体系建设,加强行业深度研究。

3.3 核心技术维度

核心技术维度包含软件基础核心和软件表现两方面。其中,基础核心作为第三主成分,方差贡献率为 7.291%,超过软件表现的 3.054%。因此,基础核心相关因素的荷载值虽然低于软件表现相关因素,但数据库、图形引擎等基础性共性技术仍旧是核心技术维度最重要的因素之一。换句话说,只有在底层基础数据模型、核心引擎等方面实现自主可控,才能从根本上增强国产 BIM 建模软件在全产业链上的竞争力。另外,在专业设计等应用场景下需要使用多个软件才能完整地解决问题,要求软件间形成畅通的数据交换机制,对 BIM 建模软件的数据集成与交换能力、可拓展性等,即软件协同方面提出了更高要求。在软件表现方面,复杂模型的处理能力等性能表现和功能丰富性的重要性突出。相对于功能丰富性,用户更看重 BIM 建模软件的性能优越性。同时,有 6 位受访专家表示,用户希望 BIM 建模软件能够丰富与其工作场景有高关联度的针对性功能。例如,结构设计领域的用户希望软件针对结构设计拓展功能丰富性,实现专业场景下深

化功能、计算精度等的提升。

3.4 市场环境维度

同类产品竞争成为市场环境维度中的关键因素,这表明随着当前市场份额被国外 BIM 建模软件占据,用户习惯、工程数据依存等问题使用户难以对其使用的软件进行大规模替换,国产 BIM 建模软件的发展将面临巨大的后发劣势。同时,盗版软件恶化了竞争环境,影响相关软件研发企业的利润保障。此外,有 9 位受访专家表示市场需求是 BIM 建模软件研发的导向。软件企业需通过积极布局深度市场调研,以应用为牵引,打造符合市场需求、面向未来的高水平 BIM 建模软件。

4 结语

本研究较为完整地识别出国产 BIM 建模软件发展影响因素,基于主成分的降维与权重分析,系统论证了关键因素,即政策环境、市场环境、研发经营及核心技术 4 个维度的 14 个因素,并通过专家访谈进行了关键因素解读。研究结果为发展我国自主可控的 BIM 建模软件提供了路径规划方向。

基于分析结果,本研究针对国产 BIM 建模软件发展提出以下建议:

(1)制定科学的研发部署,规划合理的资源配置,确保能够进行可持续的研发活动;完善人才培养体系,改善人才层次结构,健全人才激励措施,打造国产 BIM 建模软件产业人才队伍。

(2)做好顶层设计,加大资源投入与政策支持力度;建立公平竞争的商业市场体系,健全有序规范的法律标准,并加强软件知识产权的保护力度。

(3)加快 BIM 建模软件接口、协议、数据等重点标准体系建设与应用;积极布局图形引擎等核心技术攻坚,提升软件性能,丰富软件功能,加强不同软件间的协同。

(4)推动产学研用合作深度,建立软件合作生态。以企业为主导,邀请高校科研院所等积极参与;以需求驱动技术落地,发挥工程应用牵引的效应。

参考文献

[1] 廖玉平. 加快建筑业转型 推动高质量发展——解读《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》[J]. 中国勘察设计, 2020, 9:20-21.

[2] 何关培. BIM 和 BIM 相关软件[J]. 土木工程信息技术, 2010, 2(4): 110-117.

[3] 王美华, 高路, 侯羽中, 等. 国内主流 BIM 软件特性的应用与比较分析[J]. 土木工程信息技术, 2017, 9(1): 69-75.

[4] Jongsung Won, Ghang Lee. How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach [J]. Automation in Construction, 2016, 69.

[5] Lonny Simonian, Thomas Korman. Legal considerations in the United States associated with building information modeling[J]. COBRA 2010 CIB W113 Law & Dispute Resolution, 2010.

[6] 黄亚江, 刘英音, 刘尔列, 等. 基于 FAHP 的 BIM 软件供应商选择评价研究[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(24): 51-58.

[7] 江勇. 发展自主工业软件促进制造业高端化发展的思考与建议[J]. 软件产业与工程, 2011, 1:19-20, 34.

[8] 倪光南. 大力发展工业软件[J]. 网信军民融合, 2019, 6:14-16.

[9] 谭章禄, 陈晓. 我国软件产业国产化发展战略研究[J]. 技术经济与管理研究, 2016, 8:104-108.

[10] Mikkonen T, Lassenius C, Männistö T, et al. Continuous and collaborative technology transfer: Software engineering research with real-time industry impact [J]. Information and Software Technology, 2018, 95:34-45.

[11] Gao L S, Iyer B. Value creation using alliances within the software industry [J]. Electronic commerce research and applications, 2009, 8(6): 280-290.

[12] ISO/IEC 25010-Software Product Quality, 2011.

[13] 袁野. 我国软件产业国际竞争力的影响因素分析[J]. 学术探索, 2012, 1:70-73.

[14] 张厚明. 提升中国高端工业软件发展水平[J]. 高科技与产业化, 2014, 4:30-34.

[15] 惠宁, 葛鹏飞. 产业规模、R&D 投入与软件产业发展的关联度[J]. 改革, 2015, 6:100-109.

[16] Moore R. Standardisation: A tool for addressing market failure within the software industry [J]. Computer Law & Security Review, 2013, 29(4): 413-429.

[17] 蒋昕昊. 工业仿真软件技术与产业发展趋势分析[J]. 互联网天地, 2016, 12:106-108.

[18] 何波. BIM 软件与 BIM 应用环境和方法研究[J]. 土木工程信息技术, 2013, 5(5): 1-10.

[19] 徐瀚婷, 孙成双. BIM 技术应用及风险初探[J]. 价值工程, 2020, 39(6): 294-296.

[20] 黄琢华. 基于 BIM 的分布式协同设计平台底层框架研究[J]. 土木工程信息技术, 2014, 6(1): 67-70.

[21] Salman Azhar, Malik Khalfan, Tayyab Maqsood. Building

- information modelling(BIM):now and beyond[J]. Australasian Journal of Construction Economics and Building, 2012, 12(4)
- [22] 徐恒,吴丽琳. 工业软件企业发展及对策建议——基于研发设计类软件开发[J]. 工业技术创新, 2019, 6(1):99-102+106.
- [23] Trendowicz A, Münch J. Factors influencing software development productivity—state - of - the - art and industrial experiences[J]. Advances in Computers, 2009, 77:185-241.
- [24] Enríquez J G, Sánchez-Begines J M, Domínguez-Mayo F J, et al. An approach to characterize and evaluate the quality of Product Lifecycle Management Software Systems [J]. Computer Standards & Interfaces, 2019, 61:77-88.
- [25] Carrozza G, Pietrantuono R, Russo S. A software quality framework for large-scale mission-critical systems engineering[J]. Information and Software Technology, 2018, 102:100-116.
- [26] 陈若愚,林磊,胡忠宇. 基于成熟度的开源软件立项评估方法[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(9): 278-282.
- [27] Supriyo D E, Dutta D. Impact of Intangible Capital on Productivity and Growth:Lessons from the Indian Information Technology Software Industry[J]. Economic Record, 2007, 83.
- [28] 许炳,朱海龙. 我国建筑业 BIM 应用现状及影响机理研究[J]. 建筑经济, 2015, 36(3): 10-14.
- [29] 陈蕾. 我国软件产业的发展模式及其路径选择[J]. 改革, 2010, 9:27-33.
- [30] 谭亚芳,刘娟,王才华,等. 一种稀疏可控的主成分分析方法[J]. 计算机科学, 2017, 44(1):243-246+282.
- [31] 杨振宏,赵双静,张梦洁,等. 建筑工人安全意识影响因素的主成分分析[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(1): 163-168.
- [32] 桑培东,王延杰. 装配式住宅发展的制约因素研究——基于主成分分析法[J]. 工程管理学报, 2018, 32(6): 23-28.

Reflection on the Development of Domestic BIM Modeling Software: A Study on the Influence Factors Based on PCA

Chen Ke, Chen Qiangjian, Du Peng

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: With almost every industry move towards digitization, networking, and intelligentization, the strategic significance of basic software is constantly enhanced. In the construction industry, BIM software is a key support to realize smart construction. However, at present, the core technology of domestic BIM modeling software is restrained by other countries. To promote the development of the domestic BIM modeling software, this study identified 28 domestic influence factors of BIM modeling software development from the policy environment, market environment, R&D management, and core technology dimensions. Then, it carried out a questionnaire survey to collect the impact degree of these factors and applied the principal component analysis(PCA) to identify the key factors affecting the development of domestic BIM modeling software. Finally, this study interpreted the key factors through multiple rounds of in-depth interviews with industry experts, this study, and suggested the development directions for the domestic BIM modeling software.

Key Words: BIM Modeling Software; Domestic Software; Influence Factors; Principal Component Analysis; Expert Interview