

基于 SEM 的 BIM 技术对施工项目管理的影响研究

王煜庭, 祝连波, 伍平安, 虞芷绮

(苏州科技大学 土木工程学院, 江苏 苏州 215000)

摘要: BIM 技术正逐步应用于施工企业项目管理, 但不同施工项目应用状况不同, 对项目管理的影响也不同。为了解 BIM 技术对不同施工项目管理领域影响大小, 提出 BIM 技术在部分领域影响不足、应用效果不显著问题的解决方法, 通过建立结构方程模型, 调查并分析了 BIM 技术对施工项目管理的影响。结果表明: 1) BIM 技术对施工企业的进度管理和成本管理有正向影响, 对质量管理有轻微的正向影响, 其他方面正向影响不明显。在进度管理中, BIM 技术的使用可以加快施工进度计划的编制并使计划更符合实际; 2) 在成本管理中, BIM 技术可以在设计阶段准确地预测成本, 在竣工验收阶段精确统计成本, 减少人力成本; 3) 在质量管理中, 可以提前进行碰撞检查。本文研究成果可为施工企业全面评估和优化 BIM 技术在项目管理中的应用提供重要参考。

关键词: 施工项目管理; BIM 技术; 影响因素; 结构方程模型

中图分类号: TU71

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)02-0068-08

doi:10.13402/j.gcjs.2025.02.025

Impact study of BIM technology based on SEM on construction project management

WANG Yuting, ZHU Lianbo, WU Ping'an, YU Zhiqi

(School of Civil Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215000, Jiangsu, China)

Abstract: BIM technology is gradually being applied to project management in construction enterprises, but the application conditions of different construction projects are different, and the impact on project management is also different. In order to understand the impact of BIM technology on different construction project management fields, a solution to the problem that BIM technology has insufficient influence and insignificant application effect in some fields is proposed, the impact of BIM technology on construction project management is investigated and analyzed by establishing a structural equation model. The results show that BIM technology has a positive impact on the schedule management and cost management of construction enterprises, has a slight positive impact on quality management, and has an inconspicuously positive impact on other aspects. In schedule management, the use of BIM technology can speed up the preparation of construction schedules and make plans more realistic; In cost management, BIM technology can accurately predict costs in the design stage, accurately count costs in the completion and acceptance stages, and reduce labor costs. In quality management, collision checks can be carried out in advance. The results can provide an important reference for construction enterprises to comprehensively evaluate and optimize the application of BIM technology in project management.

Key words: construction project management; BIM technology; influencing factors; structural equation model

进入 20 世纪以来, 我国建筑行业的发展呈现出快速且稳定的态势, 产值逐年上升。然而, 尽管

行业内的增速显著, 但仍存在一些待解决的问题, 诸如劳动效率低下、安全事故频发以及成本超支

收稿日期: 2024-04-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72201188); 苏州市科技计划(基础研究)资助项目(SJC2023002)

作者简介: 王煜庭(1999—), 男, 硕士研究生, 从事智能建造研究。

通信作者: 祝连波(1973—), 女, 博士, 教授, 从事智能建造研究。

等。为了推动建筑行业的转型升级,我国从2003年开始积极推广建筑信息模型(building information modeling, BIM)这一前沿技术^[1],近年来, BIM 技术在施工企业的应用逐渐增多。经过多年的实践, BIM 技术已经对施工企业产生了广泛的影响。

近年来,学者们开始对 BIM 技术与施工项目管理进行研究与探讨。宴平宇^[2]结合施工企业管理的现状,对 BIM 技术实施要点进行了分析,同时详细介绍了现阶段 BIM 技术在建筑施工阶段的项目实践内容,并对今后的发展进行了展望;祝连波等^[3]结合我国大型施工企业 BIM 技术发展现状,进行了 BIM 技术发展的 SWOT 分析,并在此基础上提出了大型施工企业 BIM 技术发展的 3 种模式,分析了每种模式的特点及适用范围,为大型施工企业科学、合理地推进 BIM 技术提供了参考;赵爽^[4]分析了 BIM 技术在我国建筑工程项目中的推广动因,分别从业主方、设计方、施工方、监理方阐述建筑工程项目参与方 BIM 技术采纳影响因素,并从政府角度提出加强推广、完善法律及标准、促进软件发展方面,以及从项目各参与方角度提出构建利益分配制度、制定人才储备方案、建立有效协作模式等方面应对策略;卢恒等^[5]研究发现, BIM 技术应用程度对 BIM 技术采纳率的影响作用具有一定的波动性,而项目风险对 BIM 技术采纳率的影响趋势则呈现单调性,在 BIM 技术应用程度和项目风险对 BIM 技术采纳率的影响作用中,企业的风险承受能力发挥较为显著的调节作用;曹婷^[6]以具体项目工程审计为例,剖析 BIM 技术的具体应用状况,为 BIM 技术在建筑施工企业工程审计中的应用提供参考。

综上所述,尽管国内外的专家学者对 BIM 技术与施工项目管理进行了大量研究,并取得丰硕的成果,但是针对 BIM 技术对施工项目管理影响分析方面的研究还较少。因此,本文基于文献综述法识别 BIM 技术对施工项目管理影响因素并建立评价模型,采用结构方程模型(structural equation modeling, SEM)进行验证性分析,分析不同影响因素的影响程度,并针对影响较小的因素提出改进意见,为评估和优化 BIM 技术在项目管理中的应用提供一定的参考和依据。

1 BIM 技术对施工项目管理的影响

当前, BIM 技术已成为建设领域信息技术的研究和应用热点, BIM 技术的应用价值已经得到政府的高度关注和行业的普遍认可^[7]。BRYDE^[8]探讨了 BIM 技术在施工项目中的应用,主要分析了其对成本管理、进度管理、质量管理、安全管理和协同管理等方面的影响;SUCCAR^[9]的研究将 BIM 技术对项目的影响分为成本、进度、质量和协同管理 4 个部分, BIM 技术通过提供准确的成本估算、优化施工进度、提高施工质量,并改善团队协作,使得建筑项目更加可持续;刘倩等^[10]探讨了 BIM 技术在建筑工程项目管理中的应用,分析了 BIM 技术对施工企业在成本管理、进度管理、质量管理、安全管理和协同管理等方面的影响;王春涛^[11]以扬州宝龙金轮广场一期工程为例,探讨 BIM 技术在实际施工中解决成本问题、进度问题、质量问题的具体内容和价值。尽管各专家对 BIM 技术在施工项目管理中影响的分类各不相同,但是本质上都是从项目管理三要素出发进行分类。本文基于先前学者的研究,将一级指标分为成本管理、进度管理、质量管理、安全管理、协同管理 5 类,并通过文献分析法识别二级指标 17 个,构建 BIM 技术对施工项目管理评价指标体系,如表 1 所示。

2 BIM 技术对施工企业影响理论模型

2.1 模型建立

SEM 模型是一种将传统的因素分析与回归分析相结合的数理统计方法。本文通过构造结构方程模型来重点研究各影响因素对于施工企业的影响程度。首先通过文献识别得出影响理论假设的重要因素,接着通过假设推演,将施工企业受到的影响作为内生潜变项,将成本管理、进度管理、质量管理、安全管理等方面的影响,协同管理方面的影响,视为外生潜变项,构建 BIM 技术对施工企业影响力的结构方程模型,如图 1 所示,其中 $A_1 \sim E_3$ 为观测变量; $e_1 \sim e_{22}$ 为误差项。

2.2 数据收集

对 21 家江苏省大型施工企业的工作人员发放

表 1 BIM 技术对施工项目管理影响评价指标

一级指标	二级指标	指标说明	文献来源
成本管理方面的影响 A	对设计阶段的成本影响 A ₁	精准量化和成本预测能力、碰撞检测和设计优化、施工过程仿真和规划优化、信息共享和协作效率。	[2],[5],[10],[12],[13]
	对施工阶段的成本影响 A ₂	施工阶段的协调和效率提升、资源管理和优化、施工进度控制和冲突解决。	[3],[5],[7],[9]
	对竣工验收阶段的成本影响 A ₃	质量管理和竣工验收、竣工验收阶段的数据交付和维护。	[7],[8],[14]
进度管理方面的影响 B	对编制进度计划的影响 B ₁	三维建模、项目协同管理、资源优化配置。	[8],[10],[13]
	对执行进度计划的影响 B ₂	三维模拟和可视化、协同工作和数据共享、精确计算和预测。	[6],[7],[12],[14]
	对控制项目进度的影响 B ₃	精确的项目计划制定和管理、动态调整和优化能力、跨部门协同与一致性保证、风险管理和决策支持。	[9],[15],[16],[17]
质量管理方面的影响 C	对材料质量的影响 C ₁	材料选择和管理的优化、质量控制和施工监督、材料浪费的减少、施工缺陷和后期维护的预防。	[6],[10],[12],[13]
	对机械设备质量的影响 C ₂	设备选择和优化、施工进度仿真和优化、维护和保养计划的支持、设备安装和操作的精准性提升、数据驱动的设备管理。	[7],[14],[16]
	对施工方案质量的影响 C ₃	精细化的施工方案、设计协同作业与冲突检测、施工进度仿真和优化、数据驱动的决策支持、质量保证与持续改进。	[6],[13],[18],[19]
	对人员素质的影响 C ₄	技能和培训需求的变化、跨学科团队合作能力的增强、数据驱动的决策能力、创新意识和问题解决能力的培养、质量意识和责任感的强化。	[9],[12],[18],[19]
安全管理方面的影响 D	对施工方案安全性的影响 D ₁	施工方案的安全性评估、风险管理和避免、避免施工冲突、施工环境模拟和预演、施工指导和培训。	[17],[18],[19]
	对事故应急处理合理性的影响 D ₂	提升应急响应速度、优化应急决策、增强跨部门协同能力、提高事故预防能力。	[12],[18],[19]
	对安全预测准确性的影响 D ₃	精确的空间和时间信息、仿真和虚拟测试、实时数据更新和监控、风险评估和冲突检测、实时协同和信息共享。	[12],[17],[18]
	对施工现场布置的影响 D ₄	优化空间规划和布局、碰撞检测和冲突解决、支持临时结构和安全设施的布置、可视化和实时调整、施工过程的监控和优化。	[10],[20],[21]
协同管理方面的影响 E	与勘察单位协同的影响 E ₁	数据集成和信息共享、设计协同和冲突检测、提高工作效率和准确性、支持复杂项目的实施、项目进度和资源优化。	[8],[9],[14],[21]
	与设计单位协同的影响 E ₂	协同设计和信息共享、碰撞检测和设计优化、实时反馈和调整、优化施工可行性和效率。	[3],[12],[20]
	与监理单位协同的影响 E ₃	实时监控和信息共享、质量控制和合规性检查、碰撞检测和安全管理、问题解决和变更管理、监督项目进度和预算控制。	[10],[12],[13]

线下调查问卷。调查问卷分为 3 个部分：问卷填写者的基本情况、对 BIM 技术的应用能力与看法、

评估 BIM 技术对施工企业的影响程度，其中第二、三部分采用李克特量表，分为 5 种程度，每一个

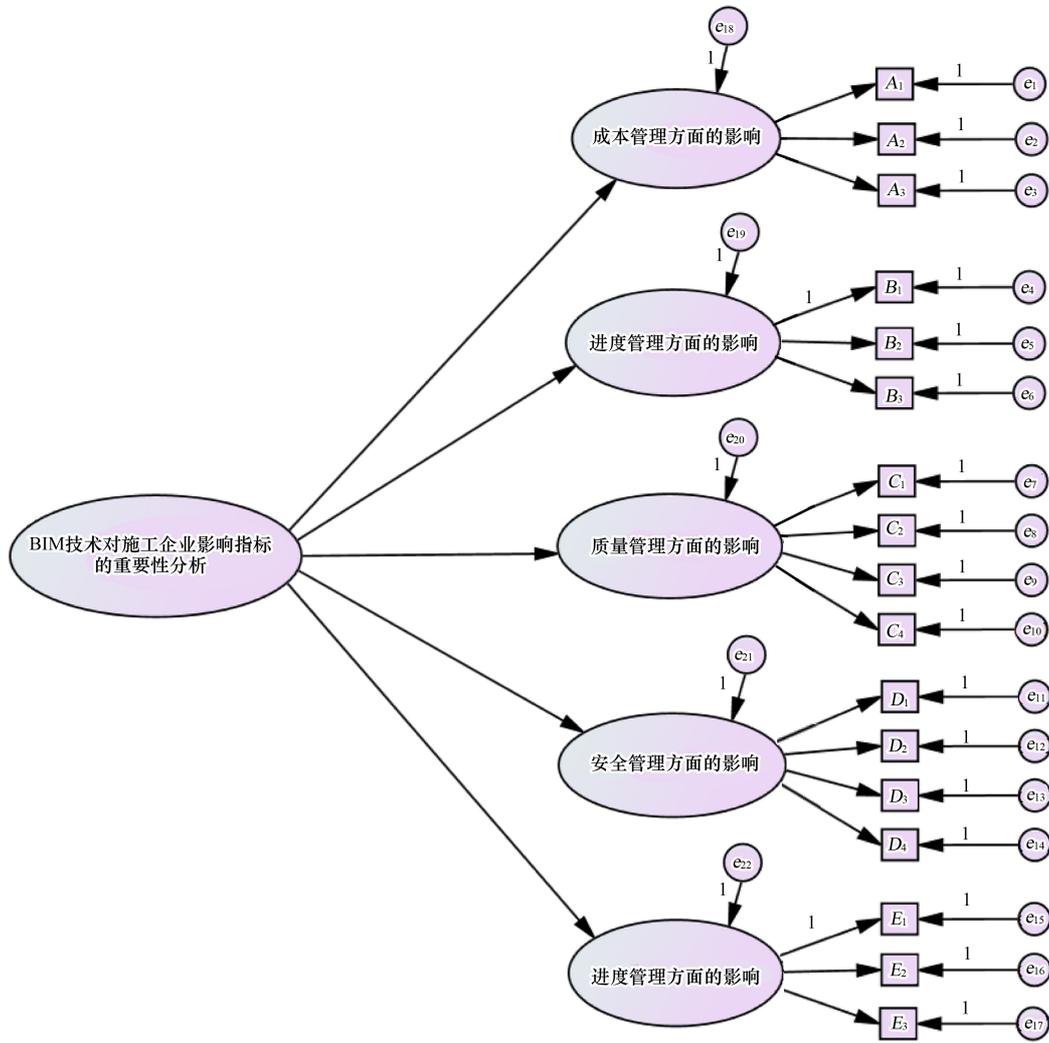


图 1 一阶验证性因子分析模型

程度都有对应的分值。经过初步筛选, 总共获得有效问卷 366 份, 被调查工作人员的基本情况及占比如表 2 所示。

2.3 信效度分析

通过 SPSS24.0 件对采集到的数据进行统计分析, 并用(克朗巴哈系数法)对量表的可靠性进行测试, 结果如表 3 所示。由表 3 可知: 量表的 Cronbach's Alpha 分别为 0.843、0.857、0.836、0.817、0.809, 均大于 0.7, 说明问卷数据的信度很高。

KMO 值用于检验该量表的有效性, 本次收集的效度量表的 KMO 值如表 4 所示, 为 0.912, 大于 0.7, 表明调查项目准确、有效, 可以进行分析。

3 结构方程模型的参数估计与评价

3.1 模型拟合、修正

在 AMOS22.0 分析软件中构建初步的结构方

程模型, 如图 2 所示。

表 2 数据分析

类别	选项	样本数量	占比/%
性别	男	267	72.90
	女	99	27.10
年龄	21~30 岁	82	22.43
	31~40 岁	232	63.55
	41~50 岁	45	12.15
	51 岁及以上	7	1.87
受教育程度	专科	106	28.97
	本科	192	52.34
	硕士	55	14.95
	博士及以上	13	3.74
工作年限	5 年以下	41	11.21
	5~10 年	65	17.76
	11~15 年	161	43.93
	16~20 年	72	19.63
	20 年以上	27	7.48



图 2 二阶验证性因子分析模型

表 3 信度检验

量表名称	克隆巴哈系数	项数
成本管理	0.843	3
进度管理	0.857	3
质量管理	0.836	4
安全管理	0.817	4
协同管理	0.809	3

表 4 效度检验

Kaiser - Meyer - Olkin	Bartlett 球形检验		
	取适当性系数	大约卡方	自由度
0.912	4 290.537	216	0.000

AMOS22.0 软件中主要的适配统计量：卡方值 χ^2 、自由度 DF、卡方自由度比 CMIN/DF、近似误差均方根拟合度指标 RMSEA、拟合优良度指标 GFI、

调整的拟合优良指标 AGFI、基准化适配度指标 NFI、相对适合度指标 RFI、增量适合度指标 IFI、非规范拟合度指标 TLI、比较适合度指标 CFI、简约性已调整基化适合度指标 PNFI。卡方自由度比值为 1.430 9，介于 1 和 2 之间，代表二阶验证性模型可以被接受。其余适配度指数，也均处于理想值范围，表示模型的整个拟合过程较为理想。结果如表 5 所示。

3.2 指标权重分析

各指标对应权重如表 6 所示。从一级风险要素指标角度分析，装配式住宅项目投资风险中按影响程度从大到小依次为成本管理方面的影响、质量管理方面的影响、进度管理方面的影响、安全管理方面的影响。

表5 SEM整体适配度的评价指标及评价标准

拟合指标	可接受范围	修正前	修正后
CMIN/DF	<3	1.430 9	1.318 1
GFI	>0.9	0.976 0	0.979 0
AGFI	>0.9	0.883 0	0.905 0
RMSEA	<0.08	0.087 0	0.079 0
IFI	>0.9	0.917 0	0.921 0
NFI	>0.9	0.914 0	0.924 0
TLI(NNFI)	>0.9	0.927 0	0.929 0
CFI	>0.9	0.979 0	0.984 0

3.2.1 一级指标分析

从一级指标得分来看, BIM技术在成本管理方面的影响力最大, 其次是质量管理和进度管理, 协同管理和安全管理的影响相对较小。这表明, 施工企业在应用BIM技术时, 主要受益于其在成本控制、质量提升和进度管理方面的优势。同时, 由于协同管理存在沟通和协作机制效率低、系统集成兼容性差等挑战, 安全管理也由于现场动态性和复杂性、技术实施困难等局限, BIM在安全管理和协同管理方面的影响力相对较低。

3.2.2 二级指标分析

(1) 成本管理方面: BIM技术在设计阶段和竣工验收阶段发挥了最大的权重作用。赵岩等^[12]研究指出, 利用BIM技术可以在设计阶段及时发现图纸

问题, 进行施工模拟, 减少施工中的错误, 从而降低试错成本; 在竣工验收阶段, 计算机代替人工不仅可以提高准确率, 还可以降低人力成本。张红^[15]的研究基于BIM的概念, 对工程造价中存在的问题进行研究, 并分析有效的解决措施来提高工程造价的管理质量, 以实现利益的最大化。由此可见, BIM技术在设计阶段能准确预测成本, 在竣工验收阶段能精确统计成本并降低人力成本。

(2) 进度管理方面: BIM技术对编制进度计划的影响最为显著。高效的软件可以简化计算, 节约大量时间, 并且通过BIM技术的可视化可以提高进度计划的准确率。薛建英等^[13]的研究指出, BIM技术的优势在于利用模型进行更清晰直观的展示, 可以实时发现计划进度与实际进度的冲突, 实现动态管理。蒋爱明等^[14]的研究则表明, 利用BIM技术的虚拟施工技术可以对进度计划和施工方案进行分析、模拟和优化, 提前发现问题从而加快进度管理。因此, BIM技术的使用不仅可以加快施工进度计划的编制, 还可以使计划更符合实际, 有利于按时交付成果。

(3) 质量管理方面: BIM技术对施工方案质量的影响最大。由于BIM技术可视化的特点, 提前设计的施工方案可以在BIM5D中预演, 使施工

表6 BIM技术对施工企业影响力指标权重

潜在变量	一级权重	观测变量	二级权重
成本管理方面的影响 A	0.259	对设计阶段的成本影响 A_1	0.342
		对施工阶段的成本影响 A_2	0.324
		对竣工验收阶段的成本影响 A_3	0.333
进度管理方面的影响 B	0.192	对编制进度计划的影响 B_1	0.365
		对执行进度计划的影响 B_2	0.291
		对控制项目进度的影响 B_3	0.342
质量管理方面的影响 C	0.207	对材料质量的影响 C_1	0.263
		对机械设备质量的影响 C_2	0.273
		对施工方案质量的影响 C_3	0.224
		对人员素质的影响 C_4	0.238
安全管理方面的影响 D	0.162	对施工方案安全性的影响 D_1	0.246
		对事故应急处理合理性的影响 D_2	0.270
		对安全预测准确性的影响 D_3	0.256
		对施工现场布置的影响 D_4	0.226
协同管理方面的影响 E	0.177	与勘察单位协同的影响 E_1	0.316
		与设计单位协同的影响 E_2	0.351
		与监理单位协同的影响 E_3	0.331

方案中出现的问题一目了然。孙玉芳等^[16]的研究表明,采用 BIM + 物联网技术可以对装配式建筑进行质量管理,各方可以在设计阶段协同参与并满足各自需求,还可以提前进行碰撞检查以减少后续施工中的错误。但对材料、机械设备、人员素质影响数值较小。由此可见,BIM 技术可以提高施工方案的质量并减少后续施工中的错误,但由于实际应用中的局限性、施工人员的技术水平不足、项目管理的复杂性,BIM 技术对于工程项目的质量管理能力仍然有待提高。

(4) 安全管理方面: BIM 技术对安全预测准确性的影响最大。在正式施工之前,可以利用 BIM 技术软件对施工方案进行动态模拟以预测方案的安全程度。袁霏龙^[17]提出,利用 BIM4D 技术可以对塔吊等大型机械的操作进行模拟,以确保塔吊的安全安装和拆除。一些学者还使用 BIM 技术建立了安全系统以管控施工现场,如:于用庆等^[18]利用 BIM 与定位技术建立了地铁施工安全事故预警系统;雷亚设等^[19]通过实例验证该模型对于各参与方利益分配的有效性,推动 BIM 的发展应用,进而促进安全文化建设。由此可见,由于 BIM 技术对实际施工过程中的动态安全管理和突发事件应对能力有限、实际应用中存在培训和认知的不足、BIM 技术在实际突发事件中,如何快速、准确地执行应急处理仍然存在缺陷等问题。

(5) 协同管理方面: BIM 技术通过一个统一的平台整合项目各阶段、各专业的数据信息,实现信息的无缝共享和传递。徐建江等^[20]通过 BIM 技术较准确地对工程建设情况进行评判,为各方协同管理提供技术支持。李贇磊^[21]总结了 BIM 技术在提升项目协同效率、降低成本和缩短工期方面的效果,但同时指出由于标准化和规范化不足与 BIM 技术实施成本和复杂性,BIM 技术在协同管理方面仍然有改进空间。

3.2.3 对策与建议

(1) 继续推进软件技术的开发,确保安全管理精度。为了推动 BIM 技术在施工安全管理中的应用,针对 BIM 技术在施工安全管理中的应用效果尚未达到预期的问题,需要继续推进相关软件技术的开发和优化。这包括制定和完善 BIM 技术

在安全管理领域的技术标准,覆盖人员安全、设备安全、安全检查和安全教育等多个方面。同时,将 BIM 技术应用软件与国家标准规则相结合,确保技术应用的高度一致性和规范性。这不仅能够显著提高 BIM 技术的实际应用效果,还能提升施工项目效率和质量,减少不必要的成本和时间浪费,确保施工过程中的安全性,从而增强 BIM 技术在施工企业中的影响力。

(2) 构建统一质量管理体系,确保协同提升项目品质。为了提升施工项目的整体质量,解决施工项目的质量管理缺乏统一性和连贯性的问题,施工企业应构建一个统一的质量管理体系,确保各方参与者在项目执行过程中能够高效协同、共同提升项目品质。通过制定并推行统一的质量管理标准和规范,使各参与方在项目的各个阶段都能遵循相同的质量要求和操作流程,从而保证项目各环节的质量控制和管理具有一致性。此外,实施严格的质量检查和评估机制,通过定期的质量审核和现场检查,确保施工活动符合既定的质量标准。通过 BIM 平台记录和追踪质量问题的整改情况,形成闭环管理,从而确保 BIM 技术在质量管理中的应用得到充分发挥,提升其对施工项目整体质量的正向影响。

(3) 发挥 BIM 技术应用价值,激励各方主动介入。为增强 BIM 技术在协同管理中的影响力,应通过加强 BIM 技术的培训和推广,激励各方积极参与协同工作。通过定期举办培训班、研讨会和实操演练,提升各方对 BIM 技术的认识和操作能力,从而确保其在实际项目管理中的有效应用。同时,结合物联网、人工智能和大数据分析等新兴技术,进一步拓展 BIM 技术的应用场景,提升施工项目的智能化管理水平。通过这些举措,激励各参与方在协同管理中主动介入,促进施工项目的高质量、高效率和高安全性管理,从而实现项目各方的共赢,并提升 BIM 技术在施工企业管理中的整体影响。

4 结 论

本文基于文献综述法识别 BIM 技术对施工项目管理影响因素,建立评价模型,采用 SEM 对模型进

行验证性分析,基于模型分析结果得出如下结论。

(1) 各一级指标对施工项目管理的影响程度依次为成本管理、进度管理、质量管理、安全管理、协同管理。这一排序反映了在施工项目管理中,成本管理和进度管理对风险控制的影响最为显著,而质量管理、安全管理、协同管理的影响相对较小。

(2) 二级指标中,在成本管理方面,特别是设计和竣工验收阶段起到关键作用。在进度管理方面,BIM技术对编制进度计划影响显著。BIM技术对质量管理的影响主要体现在提高施工方案质量方面。在安全管理方面,BIM技术对安全预测准确性的影响最为显著。BIM技术对协同管理和其他方面的影响相对较低。施工企业可以通过推进软件技术的开发、构建统一质量管理体系、激励各方主动介入等方式来解决BIM技术在部分领域影响力不足、应用效果不显著的问题。

(3) 通过提出推进软件技术开发以提升安全管理精度、构建统一的质量管理体系以确保项目品质,以及激励各方主动介入以增强协同管理效能来解决BIM技术在部分领域影响力不足的问题。通过落实这些建议,施工企业将能够更充分地发挥BIM技术的价值,推动行业管理水平的持续提升。

综上所述,通过分析BIM技术在不同施工项目管理领域的影响力,识别出对施工项目管理影响较大的影响因素,并针对应用效果不显著的因素提出具体的改进对策。这些建议不仅有助于优化BIM技术在施工企业中的应用,还能够显著提升项目管理的整体效率和质量。通过持续改进和推广BIM技术,施工企业将能够更好地应对未来项目管理中的各种挑战,实现更高的经济效益和可持续发展目标。

参考文献:

- [1] 何清华,钱丽丽,段运峰,等. BIM在国内外应用的现状及障碍研究[J]. 工程管理学报,2012,26(1):12-16.
- [2] 晏平宇. 施工企业BIM技术发展及探索[J]. 施工技术,2015,44(6):4-8.
- [3] 祝连波,李鑫,黄一雷. 我国大型施工企业BIM技术发展模式研究:基于SWOT分析[J]. 建筑经济,2018,39(6):78-82.
- [4] 赵爽. 建筑工程项目参与方BIM采纳影响因素及应对策略[J]. 建筑经济,2021,42(3):51-54.
- [5] 卢恒,王艺博,付鑫,等. 施工企业BIM技术应用实践[J]. 施工技术,2014,43(增刊1):532-534.
- [6] 曹婷. BIM在建筑施工企业工程审计中的应用[J]. 建筑经济,2021,42(7):59-62.
- [7] 张建平,李丁,林佳瑞,等. BIM在工程施工中的应用[J]. 施工技术,2012,41(16):10-17.
- [8] BRYDE D, BROQUETAS M, VOLM M J. The project benefits of building information modelling (BIM) [J]. International Journal of Project Management, 2013, 31(7):971-980.
- [9] SUCCAR B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders [J]. Automation in construction, 2009, 18(3):357-375.
- [10] 刘倩,詹吾娇,杨迁,等. BIM技术在建筑工程管理中的应用研究[J]. 重庆建筑,2015,14(4):56-58.
- [11] 王春涛,陈留兵. BIM技术在建筑工程施工中的应用[J]. 南通职业大学学报,2015,29(2):81-85.
- [12] 赵岩. BIM技术在建筑工程施工中的应用分析[J]. 居舍,2019(14):73.
- [13] 薛建英,谭萍,孟繁敏. BIM与挣值法在施工进度及成本控制中的应用研究[J]. 建筑经济,2019,40(6):115-119.
- [14] 蒋爱明,黄苏. BIM虚拟施工技术在工程管理中的应用[J]. 施工技术,2014,43(15):86-89.
- [15] 张红. 基于BIM的工程造价精细化管理研究[J]. 工程建设,2017,49(2):90-93.
- [16] 孙玉芳,吴霞,何孟霖,等. 基于BIM+物联网技术的装配式建筑全过程质量管理研究[J]. 建筑经济,2021,42(5):58-61.
- [17] 袁需龙,刘渊博. 基于BIM技术的高层住宅建筑质量安全研究[J]. 建筑经济,2023,44(增刊1):301-304.
- [18] 于用庆,邹树琪,张兴军. 基于BIM技术与定位技术的地铁施工人员安全预警[J]. 城市轨道交通研究,2021,24(6):129-132,136.
- [19] 雷亚设,王成军. 建筑企业安全文化建设中BIM应用研究[J]. 工程建设,2017,49(3):104-106.
- [20] 徐建江,尹习双,刘金飞,等. 基于数字孪生的风电建设智能协同管控技术研究及应用[J]. 太阳能学报,2024,45(6):536-543.
- [21] 李贇磊. 施工管理中BIM技术在项目协同中的应用与效果分析[J]. 中国建筑装饰装修,2024(12):155-157.