

建筑业数字化转型路径中的阻力与对策研究

李旭东

北京建筑大学 城市经济与管理学院, 中国·北京 100044

摘要: 随着全球经济格局的演变与科技革命的浪潮汹涌, 建筑业正处在深刻变革的十字路口。文章以 TOE 框架为基础, 从技术维度、环境维度、组织维度三个维度进行分析, 并结合调查问卷和层次分析的方法, 深入剖析建筑业前沿面临的挑战以及产业变革的关键路径。通过研究发现, 建筑业的数字化虽然应用越来越广泛, 但是其面临的挑战还有很多, 其中有数字化研发成本过高, 数字化技术成熟度不足, 信息泄露, 技术人员的缺失, BIM 计价体系不健全等因素, 这些因素是阻碍建筑数字化发展的关键。本文对阻碍数字化发展的因素提出了分层次的对策和建议, 包括构建统一的技术平台、规模化应用降低成本, 强化数据加密系统, 加强校企合作培养专业技术人才等。本研究对建筑行业的技术革新中遇到的挑战进行全面分析, 并给出相对应的对策和建议, 助力建筑行业克服技术革新中遇到的阻力, 成功实现企业的数字化转型。

关键词: 建筑前沿; 人工智能; TOE 框架; 技术革新

Research on Obstacles and Countermeasures in the Digital Transformation Path of the Construction Industry

Li Xudong

School of Urban Economics and Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, China Beijing 100044

Abstract: With the evolution of the global economic landscape and the surge of technological revolution, the construction industry is at a crossroads of profound transformation. Based on the TOE framework, this article analyses from three dimensions: technology, environment, and organisation, combined with surveys and hierarchical analysis methods, to deeply explore the challenges faced by the forefront of the construction industry and the key paths of industrial transformation. The study finds that although digitalisation in the construction industry is increasingly applied, there are still many challenges, including high digital research and development costs, insufficient maturity of digital technologies, information leakage, a shortage of technical personnel, and an imperfect BIM cost estimation system, which are key factors hindering the development of digitalisation in construction. The article proposes tiered strategies and suggestions to address these obstacles to digital development, including building a unified technology platform, large-scale application to reduce costs, strengthening data encryption systems, and enhancing collaboration between universities and enterprises to cultivate professional technical talent. This study provides a comprehensive analysis of the challenges encountered in technological innovation in the construction industry and offers corresponding strategies and recommendations to help the industry overcome obstacles in technological innovation and successfully achieve digital transformation.

Keywords: Architectural frontier; Artificial intelligence; TOE framework; Technological innovation

0 引言

2020年, 住建部与13个相关部门联合发文《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》^[1], 在指导意见中提出, 我国到2035年, 我国智能建造与建筑工业化协同发展取得显著进展, 企业创新能力大幅提升, “中国建造”核心竞争力世界领先, 迈入智能建造世界强国行列。在国家政策的背景下, 建筑企业的数字化转型已迫在眉睫,

建筑企业智能化已经成了未来的趋势, 在当前时代下, 数字化取得了部分的成果, 在施工过程中, 施工机器人、AI技术、大数据等前沿科技技术已经开始在部分施工企业中得到了应用^[2], 虽然已经初见成效, 但是在大多数建筑企业中应用的还是不够广泛, 比如BIM体系还是不够完善, 每一个建筑都具有独特性^[3], 那么建筑企业如何在众多竞争对手中脱颖而出, 成为了每个建筑企业都要思考的问题。

在数字化转型过程当中,传统的建筑企业的管理模式必须向数字化转变,历史上的每一次技术革新都是不容易的,建筑企业也是如此,在数字化转型过程当中建筑业也将面临着诸多挑战;其中建筑业中技术人员的缺失,组织架构僵化,BIM应用标准体系尚不完善等问题都是现阶段建筑企业数字化转型的难点^[1]。

综上,为了解决当前建筑行业数字化转型遇到的困难和挑战,本文基于TOE框架构建数字化转型阻力模型,采用调查问卷结构层次的方法对建筑行业数字化转型进行分析,并给出相对应的策略和建议。

1 研究背景及意义

1.1 研究背景

全球经济格局加速演变,科技革命浪潮汹涌澎湃,建筑业正站在深刻变革的关键节点。随着人工智能、大数据、BIM等数字化技术的快速发展,传统建筑业高能耗、低效率、信息化水平滞后等问题日益凸显,数字化转型成为行业突破发展瓶颈的必然选择。2020年,住建部联合13个部门发布《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》,明确提出到2035年我国要迈入智能建造世界强国行列,为行业转型提供了政策指引和目标导向。

当前,人工智能技术已经在建筑企业中得到了初步的应用,但在建筑企业的应用率还是不高,尤其在项目施工阶段,建筑行业的传统技术仍然高于数字化技术。在施工技术方面,传统技术与数字化技术转变相对困难、数字化技术的研发成本较高;在建筑企业中,各部门之间具有独立性、传统管理模式根深蒂固,各个部门之间的信息并不互通;并且在当前环境下,国家的政策标准不统一、业主驱动不足、从业人员认知偏差等问题在建筑行业中仍然普遍存在,成为了数字化转型过程中的多重阻力^[8]。在此背景下,如何系统性破解转型障碍,成为建筑企业亟待解决的核心议题。

1.2 研究意义

随着国家从高速发展转变为高质量发展,传统的建筑行业生产率低、信息化弱、生产费用高的问题逐步显现出来,建筑企业需要数字化转型来改变这一现状,通过研究建筑业数字化转型可以为企业提供前行的思路,帮助建筑企业打破转型困局,降低试错成本,提升建筑企业数字化转型的成功率,为我国迈入智能建造强国行列提供实践支撑。建筑产业数字化转型成功后可以提升建筑产业的能力,为企业带来更高的收益和市场地位^[1];建筑行业作为国民经济的重要支柱产业。完成企业的数字化转型对于推动国家经济高质量发展具有重要意义。通过数字化转型,建筑

行业可以提高施工效率,降低资源的损耗,减少经济成本,从而为经济的可持续发展做出贡献。建筑业的数字化转型不仅能够带动自身行业的发展,还能够带动其他行业的发展,比如软件开发行业、智能设备行业等等。建筑企业的数字化转型是推动企业数据资源流动和数据整合,实现生产方式、管理流程和组织变革的重要举措^[5]。

2 TOE 框架阻力模型构建

基于上述分析,本研究构建了TOE框架阻力模型,从技术、组织和环境这3个维度分析建筑业前沿面临的挑战以及产业变革路径上遇到的困难。

2.1 技术维度

随着人工智能的快速发展,建筑业的数字化转型也迫在眉睫,但其在技术维度还是存在着诸多挑战,大部分建筑行业在项目施工阶段还是依赖于传统技术,其原因是因为数字化技术与传统技术的差距巨大,像BIM、AI等技术的专业性太强,对于企业来说缺乏这种又会技术又懂施工的管理型复合人才,并且要培养这种复合型人才的投入过大,对于许多建筑企业来说这并不能给企业带来短期的收益,所以导致建筑业的数字化技术和传统技术衔接困难,使得数字化技术很难应用到建筑业的施工管理当中;使用数字化设备的前期费用较高,尤其对于中小企业来说,这部分投资在短期之内是不会有回报的,这种投资回报对于企业未来的发展是不利的;部分企业虽然也采购了部分数字化设备,但因缺乏技术人才导致数字化设备在角落里“落灰”,闲置率过高的场面。

2.2 组织维度

传统建筑企业的组织架构多个部门相互独立,每个部门管好每个部门的事情,但在建筑业数字化转型过程当中,各部门之间要打破之前的工作模式,各个部门之间相互合作,传统建筑企业的部门之间之前的工作模式导致工作信息不互通,各个部门之间合作困难;建筑业在转型过程中需要复合型人才,但因为复合型人才短缺,导致建筑企业培养复合型人才的工作难以开展,人才培养体系不完善,缺少相关的培养机制,对于企业的管理人员培养的方式大多数还是传统模式培养,对数字化技术的培养不足;建筑业的传统管理模式更侧重于管理的经验,管理存在一定的灵活性,但是新技术的发展使的管理模式发生巨大的变化,企业的管理人员对新技术的发展持有怀疑和害怕的态度,怀疑新技术是否可靠,害怕新技术的发展会影响其个人的发展,代替企业的管理人员,员工的这种传统观念是阻碍技术革新、数字化转型的重要因素;企业内部对于数字化转型没有完善的管理机制,对企业管理人员没有激励作用,对员工的创新行为和成果缺少奖励和认可。

2.3 环境维度

对于建筑企业数字化转型的环境维度来说，国家政策是重中之重，当前环境下数字化转型缺少统一的国家技术标准，导致现在各省都有自己的一套政策，导致建筑企业跨省的项目数字化成本增高，施工现场的数字化技术更多还是依赖企业的管理人员的数据上报，存在数据造假的风险，但是现在政府仍缺乏相关的管理措施及工具；业主方对于建筑企业更关注的是企业的盈利情况，对于建筑行业的新技术的发展并不是特别在意，导致建筑企业对新技术的投入缺少资金上的支持，现在建筑行业在投标时存在低价中标的现象，对于建筑企业来说不得不压缩自己的施工成本；建筑行业的从业人员的文化水平平均水平不高，随着科技和人工智能的发展，施工队员对自己的“饭碗”感受到了前所未有的危机，建筑业的从业人员对于新技术的接受度不高，甚至有反感的情绪存在，并且数字化工具的培训费用过高，导致建筑业数字化转型较为困难。

通过 TOE 框架模型的分析，构建建筑企业组织数字化转型阻力模型如下图所示：

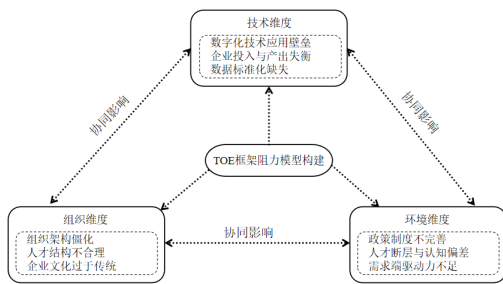


图1 TOE框架阻力模型

3 AHP-Delphi 决策模型应用研究

3.1 确定建筑企业数字化转型阻力影响因素

根据 TOE 框架阻力模型的构建，分析出影响建筑企业数字化转型的阻力因素有技术、组织和环境三个维度，每个维度中有三个影响因素，根据以上内容建立多层次结构图（如表 1 所示）。

表1 数字化技术革新阻力因素

总目标	准则层	指标层
数字化技术革新阻力因素	技术因素	数字化技术应用壁垒
		企业投入与产出失衡
		数据标准化缺失
	组织因素	组织架构僵化
		人才结构不合理
		企业文化过于传统
	环境因素	政策制度不完善
		人才断层与认知偏差
		需求端驱动力不足

3.2 确定判断值

构建判断矩阵将 9 个影响因子两两进行比较，见表 2。

表2 数字标度值说明

标度 a_{ij}	定义
1	因素 i 与因素 j 同等重要
3	因素 i 比因素 j 稍微重要
5	因素 i 比因素 j 比较重要
7	因素 i 与因素 j 强烈重要
9	因素 i 与因素 j 绝对重要
2、4、6、8	介于上述标度值之间的重要程度
倒数	与上述标度值意思相反

3.2.1 德尔菲法专家咨询

专家打分。基于建筑行业数字化转型阻力的影响因素，邀请专家对 9 个指标层进行两两对比，之后按 9 分位比率排定建筑行业数字化转型阻力的影响因素的相对优劣顺序，然后根据专家打分依次列出评价指标的判断矩阵，在德尔菲法专家调查问卷过程当中，共进行了 2 轮问卷调查，第一轮问卷邀请了 21 位具有建筑工程方面经验的专家，第二轮在第一轮的基础上增加了两名有相关经验的专家；参与专家的基本信息包括性别、学历、行业、工作年限，具体如表 3 所示。

表3 专家基本信息

	类别	第一轮咨询		第二轮咨询	
		频数	占比/%	频数	占比/%
性别	男	14	66.7	15	65.2
	女	7	33.3	8	34.8
	合计	21	100	23	100
学历	专科	5	23.8	5	21.7
	本科	10	47.6	12	52.2
	硕士	6	28.6	6	26.1
	合计	21	100	23	100
职位	土建工程师	15	71.2	16	69.6
	建筑行业商务经理	1	5.2	1	4.3
	学生	5	23.6	6	26.1
	合计	21	100	23	100
工作时间	5年以下	12	57.1	13	56.5
	6年-10年	6	28.6	7	30.4
	10年以上	3	14.3	3	13.1
	合计	21	100	23	100

3.2.2 专家积极性程度

专家的参与热情可以通过他们对问卷调查的回应率来衡量。在首轮专家问卷调查中，我们发出了 21 份问卷，并荣幸地收到了 21 份有效的回复，回复率达到了 100%。在随后的第二轮咨询中，我们分发了 23 份问卷，并且收到了 22 份有效的反馈，回复率为 95.7%。这些数据表明，参与本次调查的专家们展现出了极高的参与度和积极性，这对于确保调查结果的质量和可靠性至关重要。

3.2.3 汇总专家意见

专家打分环节采用德尔菲法完成，经过两轮调查、反馈和修改，专家意见达成了一致，判断矩阵最终被确定，见表4。

3.2.4 为判断专家的赋值准确与否，避免指标比较相互之间存在矛盾，需要确定权重，进行一致性检测

采用求和法进行归一化处理，首先得出特征向量，再得出权重值；对矩阵进行归一化处理得到权重值如表5:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, \quad i, j=1,2,3,\dots,n \quad (\text{公式 4-1})$$

3.2.5 检验矩阵的一致性

计算出的权重值是否可靠有效，需要通过检验矩阵的一致性来判断。

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum(AW_i)}{nW_i} \quad (\text{公式 3-2})$$

公式中：A-11 阶矩阵；W- 权重
一致性检验

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{公式 3-3})$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{公式 3-4})$$

式中：RI 是平均随机一致性指标，是一个常量，根

据阶数可以在量表里查询。经查表6得，9阶矩阵的RI = 1.46。

若 CR < 0.1，判断矩阵 A 具有满意一致性；若 CR > 0.1，判断矩阵 A 不具有满意一致性，需反复多次构造，直到符合一致性标准。经计算，CR = 0.027 < 0.1，说明矩阵 A 具有满意一致性。

根据调查问卷和层次分析法得到的数据来看，在分析建筑行业数字化转型技术革新阻力因素时，按照其重要程度排序为企业投入与产出失衡>组织架构僵化>数字化技术应用壁垒>需求端驱动力不足>人才结构不合理>政策制度不完善>企业文化过于传统>人才断层与认知偏差>数据标准化缺失；

其中组织维度中的组织结构僵化和技术维度中的企业投入与产出失衡的阻力是最为突出的。但是就前三大主要阻力中，其中有两项直接关联于技术维度的问题，分别是企业投入与产出失衡和数字化技术应用壁垒，所以企业在数字化转型过程当中需要特别重视技术维度的提升；以上数据表明建筑企业在数字化转型过程中需要加强技术的提升和组织能力的加强，并根据自身性质合理应对政策环境带来的挑战。

4 对策和建议

4.1 技术维度对策

对于建筑企业来说，技术维度对于建筑企业数字化技术革新的阻力是最大的，为了有效的应对数字化转型过程中的技术挑战，建筑企业不仅要解决技术本身的问题，更要让技术真正的容易到施工环境当中，首先建筑企业要在

表4 9阶判断矩阵

A	人才结构不合理	政策制度不完善	企业投入与产出失衡	企业文化过于传统	人才断层与认知偏差	数据标准化缺失	组织架构僵化	需求端驱动力不足	数字化技术应用壁垒
人才结构不合理	1	2	1/4	2	4	4	1/4	1/2	1/3
政府相关政策不完善	1/2	1	1/4	2	3	4	1/4	1/2	1/3
企业投入与产出失衡	4	4	1	5	5	6	2	3	2
企业文化过于传统	1/2	1/2	1/5	1	2	3	1/5	1/3	1/4
人才断层与认知偏差	1/4	1/3	1/6	1/2	1	2	1/5	1/4	1/4
数据标准化缺失	1/4	1/4	1/6	1/3	1/2	1	1/5	1/5	1/4
组织架构僵化	4	4	1/2	5	5	5	1	3	2
需求端驱动力不足	2	2	1/3	3	4	4	1/3	1	1/2
数字化技术应用壁垒	3	3	1/2	4	4	4	1/2	2	1

表5 影响因子所占权重明细

	人才结构不合理	政策制度不完善	企业投入与产出失衡	企业文化过于传统	人才断层与认知偏差	数据标准化缺失	组织架构僵化	需求端驱动力不足	数字化技术应用壁垒
特征向量	0.96	0.79	3.13	0.56	0.38	0.30	2.63	1.30	1.88
权重值	0.08	0.07	0.26	0.05	0.03	0.02	0.22	0.11	0.16

表6 随机一致性RI表格

n阶	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI值	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

管理过程中推广简单易上手的数字化工具, 长沙市的智能建造观摩交流会、济南城市发展集团中可以看到项目采用的实测实量机器人、清扫机器人等智能化施工都融入到了项目管理全周期, 都为建筑施工带来了极大的便利性, 并能够有效的减低成本^[6,7]; 建筑企业也可以培养几个技术人才后进行“导师培养”制度。对接受数字化培养的员工给予一定的奖励, 引发企业员工的学习兴趣; 在施工投入过程中建筑企业可以实行和技术供应商合作的模式, 使用“技术租赁 + 效果分成”来降低初始成本, 并向国家申请技术补贴来覆盖部分支出; 对于数据标准化缺失, 建筑企业需抛弃以往的管理模式, 采用新型管理模式, 建立信息系统, 使各个部门之间的信息互通, 并有专门的监管领导, 成立专业部门协调, 强化跨主体数据交互与能力共建, 系统性破解技术、成本与数据瓶颈。

4.2 组织维度对策

针对组织架构僵化、人才结构不合理、企业文化过于传统等组织维度的问题, 建筑企业可以设立一个“数字化转型革新小组”, 该小组主要负责部门之间的协调问题, 建立数字化能力中心, 维护系统的安全, 打破各个不同部门之间的壁垒, 使得各个部门之间的信息互通, 整个项目的信息共享, 不再存在信息壁垒的情况, 北京恒鼎嘉泰建设工程有限公司带领公司团队建立的一套数字化信息系统, 其运用的智能设备大大提高了工程的安全性^[8]; 同时, 建筑企业也可以选取公司的骨干进行数字化技术培养, 考核合格后给予对应的奖励, 并应当制定相关的制度, 比如项目管理人员每周必须使用一次数字化工具, 使建筑业从业人员有学习和使用数字化的习惯^[9]。最终实现组织从“管控型”向“赋能型”, 员工从“单一技能”向“复合人才”的转变。

4.3 环境维度对策

对于政府相关政策不完善、人才断层与认知偏差、需求端驱动力不足所带来的挑战, 政府应该加大实施对建筑企业的奖励措施, 鼓励建筑企业实现数字化转型, 也能够促进建筑企业实现智能化转型^[10]; 建筑企业经常与相关部门沟通, 向相关部门反应企业在数字化转型过程中面临的挑战和困难, 并积极参与行业标准制定与政策研讨; 建筑企业应积极与各大高校联合, 强强合作, 搭建数字化人才基地, 通过薪酬和认可留住技术与技能的复合型人才; 建筑企业应深入挖掘数字化技术在建筑设计、施工、运营等阶段的的优势, 并扩大这种优势, 让业主方看到数字化转型的优势所在, 同时加大数字化服务的市场推广力度, 通过各种方式向业主或者其他客户宣传建筑企业数字化转型带来的价值, 加快建筑业数字化的转型。

5 结语

本研究通过探讨建筑企业在数字化转型过程中遇到的技术、组织和环境维度的阻力, 验证了 TOE (技术 - 组织 - 环境) 框架在建筑行业数字化变革中的适用性。通过调查问卷和层次分析法得出了影响建筑业数字化转型过程中的阻力, 并分析出阻力因素对于企业数字化转型的重要程度; 最后根据阻力因素提出了相对应的对策和建议。研究表明, 数字化转型能够为建筑企业接下来的发展提供新的思路和方法^[6]。建筑企业只要能够系统的针对各个维度遇到的挑战, 建筑企业就能够高效的完成数字化转型。随着技术的不断进步和市场环境的变化, 数字化转型的具体实践也在不断地发生变化。因此我们需要不断地进行数字化转型的研究, 动态的观察数字化转型的过程, 才能够制定更好的转型方案, 完善相关策略。通过不断的进行理论创新与实践探索, 期望数字化转型能够更加科学、系统, 助力建筑行业的高质量发展。

参考文献:

- [1] 刘亚龙, 谷雪影, 朱剑萍等. 建筑业数字化转型背景下智能建造产业学院建设探索[J]. 建筑经济, 2023,44(S2):297-300.
- [2] 王波, 陈家任, 廖方伟等. 智能建造背景下建筑业绿色低碳转型的路径与政策[J]. 科技导报, 2023,41(05):60-68.
- [3] 陈永鸿, 邓嘉鑫. 建筑业数字化转型整合研究框架与未来展望[J]. 土木工程与管理学报, 2025,42(01):81-90+111.
- [4] 杨慧嘉. 建筑业转型升级中的智能建造技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025,(03):223-225.
- [5] 倪立坤, 王炳刚, 邓雷. 绿色发展背景下数字化转型对企业绿色创新的影响——以建筑业张家瑞. 中国建筑高质量发展时空演变及影响因素研究[D]. 青岛理工大学, 2024.
- [6] 石德西. 人工智能融入项目管理全周期济南城发集团走出一条传统建筑业转型升级之路[J]. 山东国资, 2025,(04):73.
- [7] 陈焕明, 陈星源. “智改数转”推动建筑业转型突围[N]. 长沙晚报, 2024-12-30(004).
- [8] 王楚. 构建智慧运维体系, 助力建筑业转型升级[J]. 中国建设信息化, 2024,(24):43-45.
- [9] 胡正义. 强化数字赋能增效推动建筑业转型升级[J]. 中国质量万里行, 2025,(03):68-69.
- [10] 胡克明, 刘迅. 建筑业数字化转型: 政府、业主与建筑企业的策略与激励措施研究[J]. 工程管理学报, 2025,39(02):7-13.