

基于ISM的大数据在建筑领域中的应用障碍分析

纪颖波¹, 赵子豪¹, 姚福义²

1. 北方工业大学土木工程学院, 北京 100144; 2. 重庆大学管理科学与房地产学院, 重庆 400044

摘要

大数据在建筑领域的应用程度低、推广缓慢。准确识别大数据在建筑领域中的应用障碍因素, 探索因素间的相互影响关系具有重大意义。通过对相关研究工作进行梳理, 识别了12个障碍因素。使用解释结构模型(ISM)确定了因素间的相互关系并将其转化为邻接矩阵。通过幂迭代分析建立了可达矩阵, 确定了因素的层级关系。最后对因素间的影响传递路径进行研究分析, 给出了相应的应对建议, 为我国建筑领域的大数据应用推广提供了研究支持。

关键词

大数据; 建筑工业化; 解释结构模型; 障碍因素

中图分类号: TU18

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2021066

Analysis of application barriers for big data in construction field based on ISM

JI Yingbo¹, ZHAO Zihao¹, YAO Fuyi²

1. School of Civil Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China

2. School of Management Science and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400044, China

Abstract

The application degree of big data in the construction field is low, and the promotion is slow. It is of great significance to accurately identify the factors that hinder the application of big data in the construction industry and explore the interaction between the factors. By sorting out the relevant research work, 12 barrier factors were identified. Through using interpretive structure model (ISM), the relationship between factors was determined and transformed into adjacency matrix. Through power iterative analysis, the reachability matrix was established, and the hierarchical relationship of factors was determined. Finally, the influence transmission path between factors was studied and analyzed, and the corresponding countermeasures were given, which provides research support for the application and promotion of big data in China's construction field.

Key words

big data, construction industrialization, interpretive structural model, barrier factor

1 引言

近年来,我国建筑业发展迅速,但存在管理方式粗放、环境污染严重、安全事故频发等问题。随着工业4.0的到来,一大批新兴信息技术(如建筑信息模型(building information modeling, BIM)、物联网、云计算和大数据技术^[1])正冲击着传统建筑行业^[2],为高效率管控、高品质产品输出和高社会效益实现进行科技赋能^[3]。BIM使建筑行业由二维设计进阶到三维可视化^[4],可实现从工程设计到项目运维全过程的数据集成^[5];物联网通过多方网络互联,可实现施工进度监控、质量跟踪、安全及环保监管^[6];云计算将各种数据进行集成并提供虚拟化计算环境;大数据技术将实现海量数据整理、挖掘和分析,为项目管理提供决策支持。然而,不同技术的应用深入程度参差不齐,特别是大数据技术并没有在建筑业中真正地应用起来,工程数据的应用率不足0.4%,工程数据价值远远没有被挖掘出来^[7]。

目前,已经有少数学者尝试应用大数据技术解决规划设计及环保测评方面的建筑业问题,如王淑桃^[1]提出在项目规划阶段可以根据建筑周边人群分布及特点,使用大数据技术合理划分出商业及住宅等功能区域;原雯等人^[8]使用大数据技术估算北京市房屋竣工面积;史北祥等人^[9]通过大数据技术对高密度建成区的环境进行监控分析。但整体来看,大数据在建筑领域的应用程度还非常低,停留在对一些宏观统计数据通过网络爬取分析的阶段,推广应用障碍明显。如何推动大数据在建筑业中的广泛、深入应用,已成为学术界和产业界重点关注的问题。障碍因素的识别与分析

被广泛认为是解决技术推广问题的重要手段,如Mao C等人^[10]从开发者视角探讨了装配式建筑改革发展过程中遇到的障碍因素,并给出了相关对策建议。因此,鉴于大数据在建筑业中应用不深入这一现实问题,亟须开展其应用障碍因素的分析研究工作。

为了促进大数据在建筑领域中的推广应用,本文对其障碍因素进行研究。使用解释结构模型(interpretive structural model, ISM)分析建立了障碍因素的层级关系及影响传递路径,并提出了应对策略,为促进大数据在建筑行业的应用推广提供了参考。

2 大数据在建筑领域应用的障碍因素识别

本研究以中国知网(CNKI)数据库为基础,检索目标文献并识别障碍因素。第一轮检索的关键词包括“大数据”“建筑业”“影响因素”等,共选取23篇文章作为核心文献资料,进行障碍因素识别,并初步确定了影响大数据在建筑行业应用的9个障碍因素,分别是基础硬件设施不足、缺乏应用软件、数据量不足、大数据应用标准未建立、大数据发展方案不系统、隐私保护抵触、缺乏专业人才、部门间协调配合能力不足、企业管理人员积极性不高。

考虑到文献研究的滞后性及与实际情况不完全符合性,组织行业专家进行半结构化访谈,对文献分析获得的初步因素进行二次筛选补充。专家认为除上述因素外,缺少资金支持、平台数据割裂、缺少政策及法律支持也是阻碍大数据在建筑领域应用的因素。具体的因素来源见表1。

具体的因素解释如下。

表1 因素来源

因素	来源
基础硬件设施不足	蔡得菊 ^[11] 、邓朗妮等人 ^[12]
缺乏应用软件	蔡得菊 ^[11] 、杜书波等人 ^[13]
数据量不足	中国勘察设计协会建筑分会 ^[14] 、原雯等人 ^[8]
大数据应用标准未建立	王美华 ^[15]
大数据发展方案不系统	王美华 ^[15] 、史北祥等人 ^[9]
隐私保护抵触	王美华 ^[15]
缺乏专业人才	王美华 ^[15]
部门间协调配合能力不足	郭志光等人 ^[16] 、王淑桃 ^[1]
企业管理人员积极性不高	万晓曦 ^[17] 、龙惟定 ^[18]
缺少资金支持	专家访谈
平台数据割裂	专家访谈
缺少政策及法律支持	专家访谈

● 基础硬件设施不足(B1): 大数据是一个不断收集和海量数据的过程,不是仅靠计算机来完成的,在实际工程中还需要结合云计算、云存储、区块链等技术。数据的深度剖析和处理对基础设施的要求很高。然而,目前建筑行业的综合效益水平较低,由于不能在短时间内获得经济效益,建筑企业不愿意投入大量成本购买高水平设备,这阻碍了大数据在建筑行业更好的应用。

● 缺乏应用软件(B2): 目前,大量项目管理软件在工程项目管控中起到了一定的辅助作用,但由于数据过于分散和独立,查询人员需要独立搜索所需的数据,记录及整合查询数据,查询能力受人为因素影响较大。在实际的工程建设中,大量的数据采集和探索缺乏一个比较完善的监测应用软件,包括对人机料法环的采集和记录。对其进行有效的检测收集、整合分析,并将其应用到实际工程中,还有很长一段路要走。

● 数据量不足(B3): 建筑业是数据需求和业务规模较大的行业,同时也是数据较少的行业。在传统的建筑行业中,只有弱

电流、交易等几种数据可以被称为“大数据”。市场上的“建设大数据”大多是“数据库”或普通数据,且数据大多未进行电子化。

● 大数据应用标准未建立(B4): 中国建筑业数字化转型升级刚刚起步,其基础是大数据应用。然而,基于大数据应用的建筑业标准体系尚未建立,导致现有体系中存在严重的数据孤岛现象。

● 大数据发展方案不系统(B5): 建筑企业对大数据应用的推广缺乏可靠计划,主要表现在企业缺乏整体战略,项目实施中存在数据采集形式不标准、自动化程度低等问题。

● 隐私保护抵触(B6): 从其他行业真实案例可知,隐私泄露可能导致歧视、欺诈、骚扰、人身伤害等问题,严重影响社会稳定和人身安全。建筑企业的数据信息往往包含公司财务机密、核心技术成果,一旦发生泄露会对公司产生毁灭性打击。

● 缺乏专业人才(B7): 在建筑业数字化转型中,人才是关键。2015年年初,住房和城乡建设部提出了利用BIM等大数据手段辅助进行工程管理,但该行业缺乏既掌握大数据技术又掌握专业施工技术的专业人才。

● 部门间协调配合能力不足(B8): 在工程领域,部门负责多种事务,由于整个系统的复杂性和数据之间的交互能力较弱,部门间无法很好地协调和共享数据,难以充分发挥大数据的作用。

● 企业管理人员积极性不高(B9): 企业管理人员对大数据持怀疑态度,且短时间无法接受管理方式转变,导致其不愿意进行管理方式改革,为大数据推广扫除障碍。

● 缺少资金支持(B10): 科技发展的资金来源主要有3种,政府融资、企业上市融资和跨行联盟。大数据发展前期需要大量的资金。然而,在建筑行业,社会资本较

难进入,传统业务紧张,导致投入大数据建设的资金一直不够充足。

- 平台数据割裂(B11):数据共享不仅是公共信息收集的目的,也是业务协作的前提。各部门建立的信息平台可能会造成信用信息碎片化的现象,影响主要公共信用文件的完整性,导致大数据应用缺乏实物支撑。

- 缺少政策及法律支持(B12):目前,我国政策仅支持大数据的发展,未制定出详细的推动策略和计划。法律也未对大数据给予充分支持,不能很好地解释和界定数据的所有权,导致海量数据的检索仍然存在壁垒。

3 障碍因素层级关系构建

ISM是沃菲尔德于1973年提出的,被用来分析复杂系统中各因素之间的相互作用,并确定各因素的优先度和间接关系。在工程管理领域,ISM是一种常用的因素分析方法,如郭斌等人^[19]使用ISM分析了BIM的协同应用障碍。周景阳等人^[20]基于ISM建模方法分析了装配制造成本的影响因素。Tan T等人^[21]使用ISM建

模方法分析了在中国装配式建筑中实施BIM的障碍。

本研究采用ISM分析来建立阻碍大数据在建筑行业应用的各因素间的层级结构图。具体工作内容说明如下。

第一步:通过问卷调查及专家打分建立相互关系结构。

第二步:建立邻接矩阵。

第三步:建立可达矩阵。

第四步:划分因素层级及绘制分级结构图。

3.1 确定因素间的相互关系

在最终确定了12个障碍因素后,再次组织专家进行半结构化访谈,以确定专家对这些因素之间的关系的看法。通过回答问题“你认为因素*i*是否直接影响因素*j*”对因素进行配对比较。因素*i*和因素*j*之间的相互关系用4个符号表示: X指因素*i*可以导致因素*j*,反之不成立; Y指因素*j*可以导致因素*i*,反之不成立; W指因素*i*和因素*j*可以相互影响; O指因素*i*和因素*j*互不相关。通过专家打分得出12个因素的结构自影响矩阵(见表2)。在表2~表4中,因素*i*为列元素,因素*j*为行元素。

表2 结构自影响矩阵

因素	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1
B1	Y	X	Y	X	O	O	O	O	O	X	O	
B2	Y	W	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	X		
B3	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y			
B4	Y	O	Y	O	O	Y	Y	Y				
B5	W	X	W	X	X	Y	O					
B6	Y	X	O	X	X	Y						
B7	Y	X	Y	O	X							
B8	Y	X	Y	Y								
B9	Y	X	Y									
B10	W	X										
B11	Y											
B12												

表3 邻接矩阵

因素	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
B1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
B2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B5	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
B6	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0
B7	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
B8	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
B9	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
B10	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
B11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

表4 可达矩阵

因素	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
B1	1	1*	1	0	0	0	0	1*	1	0	1	0
B2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
B3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1*	0
B5	1	1	1	1	1	1*	1*	1	1	1	1	1
B6	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0
B7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1*	1	1*
B8	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
B9	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
B10	1	1	1	1	1	1*	1	1	1	1	1	1
B11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
B12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3.2 建立邻接矩阵

邻接矩阵能够表示因素之间存在的直接作用关系,为了进一步得到因素之间的上下层级关系和因素之间的间接影响关系,需要将结构自影响矩阵转换为二进制的邻接矩阵,然后通过MATLAB进行分析,具体的转换规则如下。

(1) 结构自影响矩阵中的因素(i, j)的相互关系为 X ,则在邻接矩阵中标记因素 i 对因素 j 的影响为1,因素 j 对因素 i 的影响为0。

(2) 结构自影响矩阵中的因素(i, j)的相互关系为 Y ,则在邻接矩阵中标记因素 i 对因素 j 的影响为0,因素 j 对因素 i 的影响为1。

(3) 结构自影响矩阵中的因素(i, j)的

相互关系为 W ,则在邻接矩阵中标记因素 i 对因素 j 的影响为1,因素 j 对因素 i 的影响为1。

(4) 结构自影响矩阵中的因素(i, j)的相互关系为 O ,则在邻接矩阵中标记因素 i 对因素 j 的影响0,因素 j 对因素 i 的影响为0。

转换后形成的邻接矩阵见表3。

3.3 建立可达矩阵

通过应用上述变换规则得到了二进制值的邻接矩阵。借助计算工具MATLAB进行幂迭代分析,得到最终的可达矩阵(见表4),验证了传递性规则。表4中的1表示因素 i 的影响直接可达因素 j ,1*表示因素 i 的影响间接可达因素 j 。

3.4 建立层级关系

根据最终的可达矩阵可以确定每一个因素的可达集以及先行集,形成层次划分。可达集表述了每个因素能直接或者间接影响的其他因素,先行集表述了每个因素能被直接或者间接影响的因素。若可达集和先行集的交集与可达集所含的因素相同,则交集因素将位于整个结构的最上层,表明这些因素很可能受到其他因素影响。顶层的障碍因素一旦被确定,它将从其他障碍因素的可达集中移除。然后,重复上述过程以获得下一层的障碍因素,直到所有因素都被放置在层次结构中。障碍因素层级划分结果见表5。

障碍因素层级关系如图1所示。由图1可知,最终确定的大数据应用的12个障碍因素被分为6层,其中大数据发展方案不系统(B5)、缺乏专业人才(B7)、缺少资金支持(B10)、缺少政策及法律支持(B12)是基础因素,位于第六层;隐私保护抵触

(B6)和基础硬件设施不足(B1)位于第五层;企业管理人员积极性不高(B9)位于第四层;大数据应用标准未建立(B4)和部门间协调配合能力不足(B8)位于第三层;缺乏应用软件(B2)及平台数据割裂(B11)位于第二层;数据量不足(B3)位于第一层。

4 大数据在建筑领域应用的障碍因素ISM分析

大数据发展方案不系统(B5)、缺乏专业人才(B7)、缺少资金支持(B10)、缺少政策及法律支持(B12)位于层级关系的最底层,是基础因素,反映出建筑领域的大数据应用处于缺人、缺钱、缺政策的状态,并且建筑领域对大数据的推广尚无完善的发展计划。这些是导致大数据应用不顺畅的根本原因。这4个因素没有受到其他因素的干扰,但互相之间具有紧密的影响关系,每一个因素都可对其他3个因素产生直接或间接的影响,这意味着对其中一

表5 障碍因素层级划分结果

障碍因素	可达集	先行集	交集	层级
B1	B1、B2、B3、B8、B9、B11	B1、B5、B7、B10、B12	B1	V
B2	B2、B3、B11	B1、B2、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B11、B12	B2、B11	II
B3	B3	B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B11、B12	B3	I
B4	B2、B3、B4、B11	B4、B5、B6、B7、B10、B12	B4	III
B5	B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B11、B12	B5、B7、B10、B12	B5、B10、B12	VI
B6	B2、B3、B4、B6、B8、B9、B11	B5、B6、B7、B10、B12	B6	V
B7	B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B11、B12	B5、B7、B10、B12	B5、B10、B12	VI
B8	B2、B3、B8、B11	B1、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B12	B8	III
B9	B2、B3、B8、B9、B11	B1、B5、B6、B7、B9、B10、B12	B9	IV
B10	B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B11、B12	B5、B7、B10、B12	B5、B7、B10	VI
B11	B2、B3、B11	B1、B2、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B11、B12	B2、B11	II
B12	B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B9、B10、B11、B12	B5、B7、B10、B12	B5、B7、B10、B12	VI

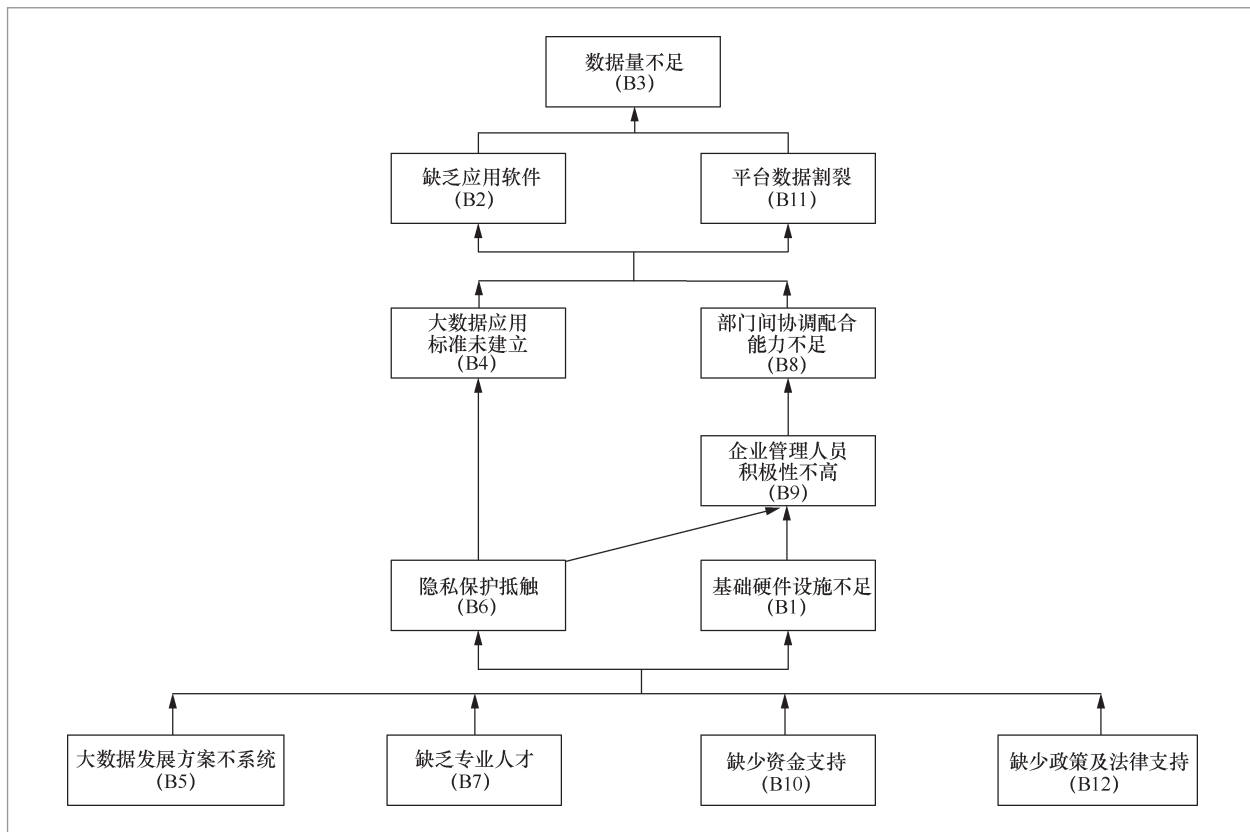


图1 障碍因素层级关系

个因素单独管控会受到其他3个因素的牵掣，难有很大改善。因此需要制定综合方案，同时对这4个因素进行管控。

隐私保护抵触 (B6) 和基础硬件设施不足 (B1) 受到了底层因素的影响。隐私保护抵触产生的原因是大数据会对各个平台间的数据进行联通，可能导致工程隐私泄露，如投标报价、材料进价、核心施工技术等信息一旦泄露就会造成巨大损失。因此需要对工程数据进行划分，具有商业隐私性质的数据应被保护加密，但保密数据的划分工作任务量极大，不仅需要政策支持，还需要人力财力的投入。基础硬件设施是实现软件需求的基础，配备硬件设施不仅需要专业人才和资金投入，更需要制定详细的发展计划，从而实现硬件设施可根据大数据的发展需求逐渐升级。

企业管理人员积极性不高 (B9) 位于中间层，会受到下面两层所有因素直接或间接的影响。并且该层仅有一个因素，说明下级因素的影响在该层汇集，若无法调动管理人员的积极性，下级因素的一切改进都会在此被削弱。

大数据应用标准未建立 (B4)、部门间协调配合能力不足 (B8) 分别受到第五层和第四层因素的影响，并会对第二层的因素 (缺乏应用软件 (B2) 及平台数据割裂 (B11)) 产生影响。但大数据应用标准未建立 (B4) 与部门间协调配合能力不足 (B8) 之间不存在影响关系，在进行大数据推广时，可作为两条并行线开展。

顶层的因素是数据量不足 (B3)。建筑行业具有大量的数据使用需求，但现在的的数据大多依托数据库进行管理，数据体量

远远达不到“大数据”规格。该因素受到全部下级因素的直接影响,说明仅针对该因素进行改善的难度极大,需要通过下层因素的改善带动数据量的收集。

5 结束语

大数据对于建筑工业化发展具有重要意义,但目前大数据在建筑行业的应用微乎其微。本文构建了大数据在建筑领域应用的障碍因素的解释结构模型,明确了障碍因素间的相互关系,分析了因素层级结构中的上层、中层、底层因素。基于此,本文提出了一个三级应对策略以解决这些障碍。

(1) 第一级应对策略旨在改善第五层及第六层障碍因素。针对这两层障碍因素影响关系交织复杂的情况,该级策略分为3个方向:一是增加底层投入力度,包括资金支持、人才培养、基础硬件设施生产三方面;二是发挥上层引导作用,不仅是政策上支持,更要制定系统合理的发展方案;三是通过立法规范大数据的应用行为,进一步明确数据隐私边界的法律定义,规范大数据应用的行为,既要避免隐私保护成为大数据在建筑领域进一步推广的借口,也要防止不法分子借机窃取他人技术成果、商业机密。

(2) 第二级应对策略主要针对第四层因素。首先可以对企业管理人员制定绩效考核及奖励制度,调动管理人员推进大数据应用的积极性;其次,由于大数据应用存在一定的技术门槛,企业可以注重培养与大数据相关的专业领域的人才成为管理人员。

(3) 第三级应对策略主要针对前三层因素。该级策略主要是为了应对数据量不足的问题,从数据采集和数据应用两个方面开展,一是要形成便于数据交流的制度,应在不同部门间建立联系机制,避免同一数据的调用需经多个部门审批,导致

数据应用效率降低;二是解决软件支持不足的问题,增加大数据采集及应用软件的开发,破除各平台、各数据库间的信息壁垒,实现数据量的迅速增长。

应用大数据是促进建筑领域变革的重要方式,无论从政府层面还是企业层面,都应当充分认识到大数据技术的推广是一个长期的过程,应该采取合理的措施促进大数据在建筑领域的推广及应用。

参考文献:

- [1] 王淑桃. 工程建设管理中智能建造技术的创新应用[J]. 建筑经济, 2021, 42(4): 49-52.
WANG S T. Innovative application of intelligent construction technology in engineering construction management[J]. Construction Economy, 2021, 42(4): 49-52.
- [2] 尤志嘉, 郑莲琼, 冯凌俊. 智能建造系统基础理论与体系结构[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(2): 105-111, 118.
YOU Z J, ZHENG L Q, FENG L J. Basic theory and architecture of intelligent construction system[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2021, 38(2): 105-111, 118.
- [3] 马国丰, 宋雪. 基于BIM的办公建筑智能化运维管理设计研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(24): 170-178.
MA G F, SONG X. BIM-based design of intelligent operation and maintenance management in office buildings[J]. Science and Technology Management Research, 2019, 39(24): 170-178.
- [4] 智鹏, 史天运, 王辉麟, 等. 京张高铁清华园隧道施工管理BIM关键技术[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(4): 53-58.
ZHI P, SHI T Y, WANG H L, et al. BIM techniques for construction management of the qinghuayuan tunnel on the Beijing-Zhangjiakou high-speed railway[J]. Modern Tunnelling Technology, 2018,

- 55(4): 53-58.
- [5] 孙宗宇, 乔鏖, 曹勇. 智慧能源建筑应用技术的发展与展望[J]. 建筑科学, 2018, 34(9): 143-147.
SUN Z Y, QIAO B, CAO Y. Development and prospect of smart energy technology applied in buildings[J]. Building Science, 2018, 34(9): 143-147.
- [6] PENG Y X, LI B X. Construction of listed company management defense indicators based on big data and embedded network technology of the Internet of things[J]. Soft Computing, 2021(prepublish): 1-11.
- [7] 韩港, 李文锐. 大数据背景下工程项目管理创新研究[J]. 经济问题, 2021(1): 81-86.
HAN G, LI W R. Research on engineering project management innovation under the background of big data[J]. On Economic Problems, 2021(1): 81-86.
- [8] 原雯, 王君, 申鸿怡, 等. 基于统计年鉴和网络大数据的房屋竣工面积估算[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2021: 1-15.
YUAN W, WANG J, SHEN H Y, et al. Estimation of building area based on statistical yearbooks and online big data[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2021: 1-15.
- [9] 史北祥, 西蒙·马尔温, 杨俊宴. 后智慧城市转型背景下高密度城区建成环境的品质提升研究[J]. 国际城市规划, 2021, 36(2): 16-21.
SHI B X, MARVIN S, YANG J Y. Study on quality improvement of built environment in high-density urban areas under the background of post smart city transformation[J]. Urban Planning International, 2021, 36(2): 16-21.
- [10] MAO C, SHEN Q P, PAN W, et al. Major barriers to off-site construction: the developer's perspective in China[J]. Journal of Management in Engineering, 2015, 31(3): 04014043.
- [11] 蔡得菊. 大数据在建筑业中的应用[J]. 科技创新导报, 2018, 15(22): 125, 127.
CAI D J. Application of big data in construction industry[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018, 15(22): 125, 127.
- [12] 邓朗妮, 赖世锦, 廖羚, 等. 基于文献计量可视化的中外“建筑信息模型+大数据”研究现状对比[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(5): 1899-1907.
DENG L N, LAI S J, LIAO L, et al. Comparison of the research status of “BIM+big data” at home and abroad based on literature metrology visualization[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(5): 1899-1907.
- [13] 杜书波, 杨丽, 赵庆双, 等. 城轨交通非牵引能耗系统性节能研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(2): 174-184.
DU S B, YANG L, ZHAO Q S, et al. Study on non-traction energy saving approach in urban metro system[J]. Building Science, 2021, 37(2): 174-184.
- [14] 中国勘察设计协会建筑分会. 中国建筑设计行业发展环境(2018—2019)Ⅲ[J]. 建筑设计管理, 2020, 37(11): 23-45.
Architectural Branch of China Survey and Design. Association development environment of China's architectural design industry (2018-2019)Ⅲ[J]. Architectural Design Management, 2020, 37(11): 23-45.
- [15] 王美华. 加快推动建筑行业数字化转型升级[N]. 联合时报, 2021-04-13(3).
WANG M H. Accelerate the digital transformation and upgrading of the construction industry[N]. United Times, 2021-04-13(3).
- [16] 郭志光, 张凡, 赵韦皓, 等. 浅析建筑业如何适应快速发展的数字时代[J]. 中国建设信息化, 2021(2): 76-78.
GUO Z G, ZHANG F, ZHAO W H, et al. Brief analysis on how to adapt the construction industry in the rapid development of the digital age[J]. Informatization of China Construction, 2021(2): 76-78.
- [17] 万晓曦. 大数据破解建筑行业痛点[J]. 中国建设信息化, 2016(14): 26-28.
WAN X X. Big data cracking pain points in the construction industry[J].

- Informatization of China Construction, 2016(14): 26-28.
- [18] 龙惟定. 人工智能技术在建筑能源管理中的应用场景[J]. 建筑科学, 2021, 37(2): 127-136, 145.
LONG W D. Application scenario of artificial intelligence technology in building energy management[J]. Building Science, 2021, 37(2): 127-136, 145.
- [19] 郭斌, 朱轲, 冯涛. BIM协同应用障碍因素解释结构模型[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(6): 49-55.
GUO B, ZHU K, FENG T. BIM collaborative application obstacle factor interpretation structure model[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2019, 36(6): 49-55.
- [20] 周景阳, 何鹏旺. 基于解释结构模型(ISM)的装配式建筑成本影响因素分析[J]. 工程管理学报, 2019, 33(1): 39-44.
ZHOU J Y, HE P W. Analysis the influence factors of prefabricated building cost based on interpretative structural model (ISM)[J]. Journal of Engineering Management, 2019, 33(1): 39-44.
- [21] TAN T, CHEN K, XUE F, et al. Barriers to building information modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: an interpretive structural modeling (ISM) approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 219: 949-959.

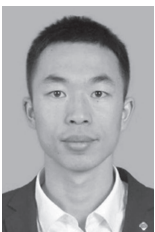
作者简介



纪颖波(1975-),女,博士,北方工业大学土木工程学院教授,主要研究方向为建筑工业化、智能建造、信息化。



赵子豪(1996-),男,北方工业大学土木工程学院硕士生,主要研究方向为建筑工业化、质量控制、人工智能及大数据。



姚福义(1993-),男,重庆大学管理科学与房地产学院博士生,主要研究方向为装配式建筑、质量控制、人工智能及大数据。

收稿日期: 2021-06-16

通信作者: 赵子豪, zihaozhao1996@126.com

基金项目: 北方工业大学重点科学研究方向(2020-2025)资助项目(No.110052972027/034, No.110052972027/030)

Foundation Items: Key Scientific Research Direction of North China University of Technology (2020-2025) Funded Projects (No.110052972027/034, No.110052972027/030)