

智慧工地建设障碍因素及作用路径研究

——基于 FISM-MICMAC 模型

晋书元 刘文娟

(重庆城市科技学院 建筑管理学院, 重庆 402167)

【摘要】智慧工地建设在实现施工项目全面数字化,迈向工业级精细化管理等方面具有重要意义。为推广智慧工地建设,本文结合专家意见与问卷调查,归纳出影响智慧工地建设主要障碍因素,并运用模糊解释结构模型构建其主要障碍因素递阶层级结构,揭示各因素间作用路径,同时结合交叉影响矩阵相乘法识别出障碍因素系统中驱动力较强因素。研究结果表明:影响智慧工地建设的主要障碍因素有12项,分为直接影响因素、间接影响因素、关键影响因素和根源影响因素四个层级;政府推动力度和核心技术成熟度两个因素驱动力较强,据此从加强政府推动力和提高核心技术成熟度两方面提出推进智慧工地建设的对策。

【关键词】智慧工地;障碍因素;模糊解释结构模型;交叉影响矩阵相乘法

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1674-7461(2022)06-0056-06

【DOI】10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2022.06.10

引言

近年来建筑业发展红利开始减弱,迫切需要利用信息化、智能化技术提效降费,实现精益建造。在此背景下智慧工地作为建筑业智慧化实施的阵地很快受到大众关注。曾凝霜^[1]基于BIM技术最早对智慧工地管理体系框架进行了研究;韩豫^[2]在明确智慧工地的内涵特征上设计了包含感知层、网络层和应用层的智慧工地系统架构;孙文侠^[3]、陈星^[4]和邱洲^[5]从智慧工地应用实例阐述了智慧工地建设价值和发展趋势;黄建城^[6]围绕项目施工现场监管要求,依托试点项目自主开发了智慧工地管理项目级及企业级平台。由此可知,学者们对智慧工地的研究主要集中在智慧工地体系构建设计方面和在实际项目中浅表应用及发展趋势层面,而对于智慧工地建设中的障碍因素研究较为稀缺。为此,本文通过查找文献、结合专家意见及调查问卷探寻影响智慧工地建设的主要障碍因素,运用系统工程学中Fuzzy-ISM模型分析其主要障碍因素的关键

性及作用路径,找出制约智慧工地建设中的根源性因素,并结合交叉影响矩阵相乘法(MICMAC)将影响因素归类,分别提出相应对策,以期智慧工地的推广提供理论与案例参考。

1 确定智慧工地建设障碍因素

1.1 文献阅读、案例调研,初选障碍因素

通过文献资料检索及实地调研,结合智慧工地的内涵特征,初步归纳出技术因素(核心技术成熟度、智慧工地管理平台完备度)、经济因素(智能设备安装使用成本、管理平台及软件使用成本、培养员工费用、智慧工地带来的项目效益)、人员因素(企业管理层的支持度、基层员工的接纳度)、外部环境因素(政府推动力度、法律权责清晰度、标准完善度、案例可供参考度)、组织因素(智慧工地的人岗匹配度、智慧工地的管理模式适用度、智慧工地的工作流程规范度)、项目本身因素(项目复杂程度、项目规模大小)6个方面17项。

【基金项目】重庆城市科技学院科学研究项目(编号: XKY20215)

【第一作者】晋书元(1989-),女,讲师,主要研究方向:智能建造。

【通讯作者】刘文娟(1987-),女,讲师,主要研究方向:施工管理。

1.2 专家评审,修正障碍因素

进一步邀请 10 名施工管理方面专家,采用德尔菲法对初步筛选的 17 项障碍因素重新评审。遵循专家建议将意思表达相近的因素进一步概括及合并,并删除“智慧工地带来的项目效益”因素,最终提炼出 12 项主要障碍因素如表 1 所示,并分别对 12 项主要障碍因素进行编号,给予具体解释说明。

1.3 问卷调查,佐证障碍因素

针对上述甄选的 12 项障碍因素设计调查问卷,其目的是分析选取的 12 项障碍因素是否被业界认可,能否作为最终影响智慧工地建设中的主要障碍因素。调查问卷分两部分构成,第一部分是关于被调查者对智慧工地的认识程度,考察被调查者是否对智慧工地有足够的了解,初步判断其作答是否可作为有效问卷;第二部分是问卷的核心部分,对初选的 12 项障碍因素采用李克特“5 级”量表进行认同程度评价(非常认同得 5 分,比较认同得 4 分,认同 3 分,一般认同得 2 分,不认同得 1 分)。

(1) 数据收集

本次调查问卷通过 QQ 和微信向同事、行业群及往届建筑类毕业生发放。被调查者从业范围涉及施工、监理、房地产开发、项目咨询以及大中专院校科研者等。最终剔除无建筑行业经验的问卷、剔除对智慧工地不了解的问卷等,有效问卷共计 160 份。

(2) 数据分析

利用 SPSS 软件,对有效问卷数据进行分析,得出 Cronbach' α 系数为 0.970,大于 0.9,说明调查问卷结果信度甚佳,回收的问卷具有较高的可靠性;KMO 值为 0.917, Bartlett 球形度检验的近似卡方值为 2169.701,显著水平为 0.000,说明问卷具有良好的有效性。并用均值和标准差对问卷数据进行评价,均值曲线都在 3.5 分基线以上,标准差曲线基本围绕 0.08 分基线波动,证明调查对象对所选取的 12 个要素都达到“认同”等级。综上可知,所选取的 12 个障碍影响因素较为客观合理。

2 判定障碍因素层级关系

解释结构模型法(Interpretative Structural Modeling Method,简称 ISM),是系统科学里广泛使用的一种研究方法^[7]。首先将复杂系统拆分成若干因素,然后根据社会经验分析因素间的关系,并在计算机的帮助下基于有向图和关联矩阵原理,把模糊不清的思想、看法、关系、概念转化成简洁的层次化有向结构图^[8]。MICMAC(Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification)分析法,是应用矩阵相乘的原理,借助 ISM 所构建的可达矩阵^[9],以可达集与先行集来表征驱动力与依赖性,并计算出系统中各要素的驱动力与依赖性数值,再将数值以二维坐标形式展现^[10],最终将复杂系统中的所有要素分

表 1 智慧工地建设主要障碍因素

序号	障碍因素及解释
S ₁	核心技术成熟度:数据交换技术、BIM 技术、物联网技术、人工智能技术、云计算技术、网络通信技术、信息管理技术、数据库技术等由低级向高级发展,能够满足项目目标程度的一种度量
S ₂	智慧工地管理平台完备度:智慧工地管理平台(集成系统)功能的实用性及可扩展性,移动端操作的简易性及与数字化办公的兼容性
S ₃	软硬件成本:监控、智能门禁、无人机、预警等硬件设备采购安装维护成本,管理平台研发维护成本,工程软件(广联达、鲁班等)使用成本
S ₄	培养员工成本:培养核心技能人员的时间、费用及人才流失风险
S ₅	企业管理层支持度:高层管理者对智慧工地的采纳意愿及给予人力、物力、财力等资源投入程度
S ₆	基层员工接纳度:项目班组及劳务人员对智慧工地的接受度与主动适应能力
S ₇	政府推动力度:政府的鼓励性政策、行为规范以及立法等强制压力,影响和促进行业、企业及个体对智慧工地的使用程度
S ₈	法律权责界限清晰度:智慧工地各参与方的权责、风险的法律界限明确程度
S ₉	规范标准完善度:智慧工地平台标准、智慧工地建设行业标准、国家监管标准等的建立与健全程度
S ₁₀	案例可供参考度:可供不同施工企业实施智慧工地参照的试点案例数量及可应用的程度
S ₁₁	企业组织结构与智慧工地的契合度:组织内部的人岗匹配程度、管理模式的个性化与规模化程度、工作流程规范程度等与智慧工地体系需求要素的一致性 & 配合性程度
S ₁₂	项目规模与复杂程度:项目规模大小与技术复杂程度,对智慧工地的需求及应用深度。如大体量曲面工程项目与小型简单工程项目相比,对智慧工地需求更迫切且应用层次更高一些

类归总为 I 自治、II 依赖、III 联系、IV 独立要素 4 个集群象限,进而提出相关的对策^[11]。

在 ISM 基础上结合 MICMAC 方法,既可对智慧工地建设障碍因素进行层级划分,又可分析出各障碍因素的作用路径及重点干预对象^[12]。同时引入模糊集概念,对子系统内的各元素间关系进行判断,能提高因素间关系的准确性,又增加了模型的灵活性,使障碍因素层级模型构建更加合理准确^[13],具体步骤如下。

2.1 确定障碍因素间的关联程度

首先,邀请专家凭借自身的实践经验与知识认知判断 12 项主要障碍因素之间的关联程度,用 0 ~ 1 数值对两两因素间相互作用赋值(几乎没影响:0 - 0.25,有影响:0.25 - 0.5,影响较大 0.5 - 0.75,影响非常大:0.75 - 1)。然后,将专家的打分使用平均值法统计后进行处理得出因素模糊关联矩阵 F 如表 2 所示。

2.2 构建邻接矩阵

邻接矩阵是反映系统中两个要素间一步到达关系的矩阵,基于上述对智慧工地建设障碍因素模糊关联矩阵 F 基础上,选取隶属度函数,如公式(1)进行聚类分析,得到关联强度矩阵 B。运用公式(2)对去模糊化后的关联强度矩阵进行转化,式(2)中, a_{ij} 表示影响因素 i 对 j 的影响关系, λ 为阈值。依据文献资料与专家建议,确定阈值 λ 取 0.08,对关联强度矩阵进行筛选后构建智慧工地建设障碍因素邻接矩阵 A。邻接矩阵中各元素数值的定义为: S_i 对 S_j 有显著影响,填写数字 1; S_i 对 S_j 无明显影响,填写数字 0($i, j = 0, 1, 2, \dots, 12$)。

$$b_{ij} = f_{ij} / (f_i + f_j - f_{ij}) \quad (1)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & b_{ij} \geq \lambda \\ 0, & b_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (2)$$

2.3 确定可达矩阵

依据式(3) I 为单位矩阵, A 为邻接矩阵,在此基础上,计算出智慧工地建设障碍因素最终可达矩阵 R。

$$R = (A + I)^k = (A + I)^{k-1} \neq (A + I)^{k-2} \neq \dots \neq (A + I), (k \leq n - 1) \quad (3)$$

2.4 划分层级,绘制多级递阶结构模型

首先,根据智慧工地建设障碍因素可达矩阵 R,罗列出每个因素的可达集 $R(S_i)$ 、先行集 $A(S_i)$ 与共同集 $C(S_i)$,其中 $C(S_i) = R(S_i) \cap A(S_i)$ 。

然后,进行层级划分。ISM 模型的第一层为可达集 $C(S_i)$ 与共同集 $R(S_i)$ 相等的元素,即 $L_1 = \{4, 5, 6, 11\}$,为智慧工地建设中最直接的障碍因素;第二层为去除第一层元素所在的行和列得到的新可达矩阵中可达集 $C(S_i)$ 与共同集 $R(S_i)$ 相等的元素,即 $L_2 = \{2, 3, 8, 10\}$,为影响智慧工地建设中的间接障碍因素;同理,构建出其他元素的各层级,即 $L_3 = \{1, 9, 12\}$ 和 $L_4 = \{7\}$,分别为影响智慧工地建设中的关键性和根源性障碍因素。最后,通过层级划分,得到基于模糊解释结构模型智慧工地建设障碍因素的层级结果,从而绘制出一个具有四层递阶结构的有向图层级结构模型如图 1 所示。12 项主要障碍因素划分为直接影响因素、间接影响因素、关键影响因素、根源影响因素四个层级。

2.5 归类分析图

在可达矩阵 R 的基础上,根据交叉影响矩阵相

表 2 因素模糊关联矩阵 F

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
S_1	0.00	0.95	0.89	0.15	0.41	0.38	0.37	0.23	0.48	0.17	0.11	0.05
S_2	0.14	0.00	0.12	0.12	0.88	0.79	0.19	0.24	0.13	0.28	0.21	0.06
S_3	0.06	0.49	0.00	0.11	0.92	0.26	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06
S_4	0.05	0.12	0.07	0.00	0.91	0.58	0.07	0.05	0.02	0.02	0.87	0.06
S_5	0.23	0.48	0.05	0.09	0.00	0.85	0.12	0.07	0.07	0.11	0.89	0.06
S_6	0.21	0.48	0.05	0.88	0.56	0.00	0.06	0.06	0.04	0.06	0.48	0.07
S_7	0.51	0.41	0.16	0.11	0.97	0.82	0.00	0.84	0.83	0.21	0.16	0.03
S_8	0.22	0.42	0.05	0.06	0.85	0.36	0.17	0.00	0.42	0.18	0.27	0.04
S_9	0.35	0.91	0.12	0.16	0.41	0.34	0.15	0.45	0.00	0.37	0.26	0.02
S_{10}	0.11	0.08	0.04	0.06	0.88	0.58	0.28	0.44	0.45	0.00	0.41	0.02
S_{11}	0.07	0.51	0.05	0.79	0.38	0.42	0.05	0.07	0.02	0.15	0.00	0.08

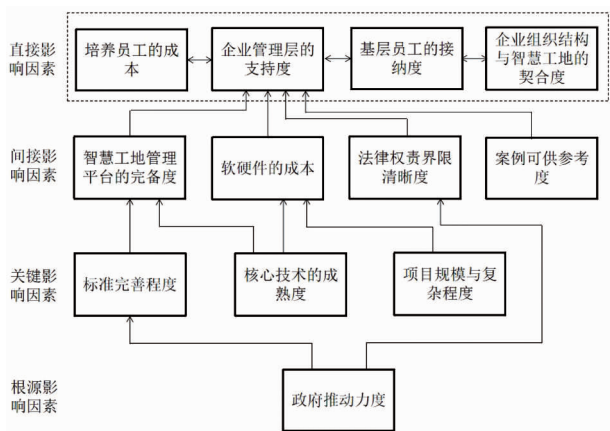


图1 智慧工地建设障碍影响因素多级递阶结构模型

乘法计算出各因素的驱动力与依赖性数值。以驱动力为横坐标,依赖性为纵坐标,将各因素对应的值标注于坐标体系中,得出智慧工地建设障碍影响因素的归类分析图,如图2所示。

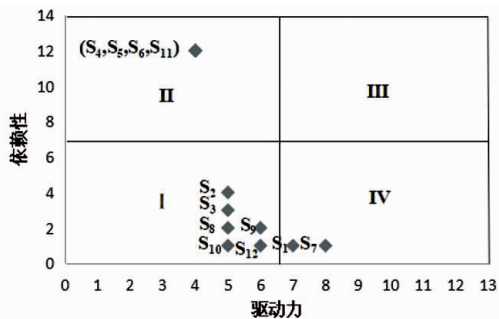


图2 MICMAC分析图

2.6 结果分析

如图1所示,影响智慧工地建设的12项主要因素按其影响程度划分为直接影响因素、间接影响因素、关键影响因素和根源影响因素,层级因素之间相互关联、相互影响;如图2所示,12项主要障碍因素没有位于第III象限,说明本文所选取因素都较为稳定,这些障碍因素通过相互之间的关联性作用于智慧工地建设。具体分析如下:

(1)直接影响因素包含4项,即“ S_4 培养员工的成本”、“ S_5 企业管理层的支持度”、“ S_6 基层员工的接纳度”和“ S_{11} 企业组织结构与智慧工地的契合度”,这4项因素存在强联系关系,将互相影响,意味着改善这4项因素会对智慧工地建设起到催化作用。同时,这4项因素位于第II象限,表示对其他因素的依赖性较高;

(2)根源影响因素只有1项即“ S_7 政府推动力度”,位于模型最底层意味着该因素能够直接或间接地通过影响其他层级因素来影响智慧工地建设,在智慧工地推广中需要予以重点关注。该因素位于第IV象限,具有很强的驱动力,不易受其他因素影响;

(3)间接影响因素包含4项,即“ S_2 智慧工地管理平台的完备度”、“ S_3 软硬件的成本”、“ S_8 法律权责界限清晰度”和“ S_{10} 案例可供参考度”,这一层级的因素并不能直接影响智慧工地建设,但能通过上层级的直接影响因素对其产生作用;且这4项因素均位于第I象限,具有很强的依赖性,依赖于下层级关键影响因素的解决,并向上传递给顶层直接影响因素;

(4)关键影响因素包含3项,即“ S_1 核心技术成熟度”、“ S_9 规范标准完善程度”和“ S_{12} 项目规模与复杂程度”。这3项因素具有一定的驱动力,尤其是“ S_1 核心技术成熟度”,非常关键。这些因素与上层级间接影响因素共同作用传递给顶层级直接影响因素,应给予极大的关注。

3 结论与建议

3.1 结论

本文综合运用FISM-MICMAC方法对智慧工地建设障碍因素进行分析,主要得到以下结论:

(1)智慧工地建设障碍因素虽然众多且复杂,但主要障碍因素为12项。具体是“核心技术成熟度”、“智慧工地管理平台的完备度”、“软硬件的成本”、“培养员工的成本”、“企业管理层的支持度”、“基层员工的接纳度”、“政府推动力度”、“法律权责界限清晰度”、“规范标准完善程度”、“案例可供参考度”、“企业组织结构与智慧工地的契合度”和“项目规模与复杂程度”;

(2)运用FISM对12项主要障碍因素进行层级划分,得到四层递阶结构图。位于底层的“政府推动力度”是根源影响因素能够对其他因素产生较大影响,需要引起足够重视;位于顶层的“培养员工的成本”、“企业管理层的支持度”、“基层员工的接纳度”、“企业组织结构与智慧工地的契合度”是直接影响因素,对智慧工地建设起到最直接的推动作用;

(3)通过MICM-AC方法分析可知,培养员工的成本、企业管理层的支持度、基层员工的接纳度、

企业组织结构与智慧工地的契合度,具有较强的依赖性和较低的驱动力;政府推动力度、核心技术成熟度、规范标准完善程度、项目规模与复杂程度,具有较强的驱动力和较弱的依赖性,其中“政府推动力”、“核心技术成熟度”驱动力最强,是管理与干预的重点对象。

3.2 建议

为了推进我国智慧工地建设,在上述对智慧工地建设障碍因素分析结论的基础上,分别从加强政府推动力和完善核心技术两个方面提出以下建议:

(1) 加强政府的推动力

第一,加大财政支持力度,通过金融支持、减税减负、投标加分、表彰典型、树立样板,鼓励企业自发性开展智慧工地建设;第二,完善法律及标准,明确参与主体的权责,制定建设标准、验收标准、技术标准规范体系,使智慧工地建设有“据”可依;第三,支持企事业单位进行核心技术研究,尽快实现数据标准化、通用化,降低智慧工地建设成本,满足用户和市场需求;第四,鼓励高校与科研单位、企业联合,以智慧工地建设发展所需的“专”、“复”、“精”、“熟”人才为目标进行人才培养,解决人才短缺现实矛盾。

(2) 完善核心技术

第一,提高宽带网络的高速稳定可靠安全性,解决云数据、云存储等问题,打通信息孤岛,实现多平台数据兼容及共享,进而实现施工企业内部、公司与项目之间、项目与项目之间、项目内各业务之间的数据互通与协同;第二,从智慧工地发展需要和项目管理实际出发,以市场为导向提升服务价值。开放企业资源,以自主创新为主,联合协同攻关为辅,通过市场竞争机制,创新服务内容,做到真正智能化、信息化,实现企业的降本增效的愿景。

4 结语

智慧工地是工地精益管理的有利抓手,对建筑业改革模式实现产业升级有着重要意义,本研究有

助于识别出智慧工地建设中的障碍因素及层级关系,深入理解智慧工地建设障碍因素间的作用路径,为政府做出决策和企业进行智慧工地建设提供借鉴。

参考文献

- [1] 曾凝霜,刘琰,徐波.基于BIM的智慧工地管理体系框架研究[J].施工技术,2015,44(10):96-100.
- [2] 韩豫,孙昊,李宇宏,等.智慧工地系统架构与实现[J].科技进步与对策,2018,35(24):107-111.
- [3] 孙文侠,王志文.“智慧工地”在公路工程中的应用研究[J].公路,2019,64(08):353-355.
- [4] 陈星,薛伟,程淑珍,等.智慧工地管理体系在玉溪海绵城市建设中的应用[J].中国给水排水,2019,35(12):100-103.
- [5] 邱洲.公路工程智慧工地开发模块建设及具体应用[J].公路,2021,66(07):214-216.
- [6] 黄建城,徐昆,董湛波.智慧工地管理平台系统架构研究与实现[J].建筑经济,2021,42(11):25-30.
- [7] Warfield J N. Binary matrices in system modeling[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 1973, 3(5):441-449.
- [8] 李忠富,彭虹灵,蔡晋.建筑工业化背景下农民工产业工人化制约因素研究[J].建筑经济,2021,42(07):84-88.
- [9] 江小燕,闫碧琼,于竞宇,等.基于ISM-fuzzy MICMAC方法的PPP项目关键风险层级关系识别[J].土木工程与管理学报,2018,35(06):70-77.
- [10] 章锡俏,袁亚龙,孙志超.居民出行成本影响因素的改进解释结构模型研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2017,36(07):101-105.
- [11] 刘光忱,温振迪,何雪礼,等.基于ISM-MICMAC的装配式建筑质量影响因素[J].土木工程与管理学报,2019,36(5):33-39.
- [12] 吴碾子,徐雷.基于改进解释结构模型和交叉影响矩阵相乘法的建设工程质量影响因素分析[J].科学技术与工程,2020,20(08):3222-3230.
- [13] 张国宗,罗千买.工程总承包招投标影响因素的ISM分析[J].建筑经济,2021,42(04):40-43.

Research on Obstacle Factors of Smart Site Constructing Based on FISM-MICMAC Method

Jin Shuyuan, Liu Wenjuan

*(School of Construction Management, Chongqing Metropolitan College of Science and Technology,
Chongqing 402167, China)*

Abstract: The development of smart site is of the great significance in achieving the digitization of construction projects and moving towards the fine management of industrial level. To promote the development of smart site, and to sum up the main obstacles to affect smart site development, it combines with the expert opinions and questionnaire, identify the strong driving force in the obstacle factor system based on FISM and MICMAC method, reveal the action path of each factor. The results show that there are 12 main obstacles to the construction of smart sites, and they are being divided into four levels. The four factors' driving force is strong: government impetus, core technology maturity, the size and complexity of the project, and the perfection of the standard. The government drive and core technology can promote the development of smart sites.

Key Words: Smart Site; Obstacle Factors; FISM; MICMA