

基于多模型集成的传统社区 BIM 运维平台优化

刘林¹, 郑剑峰¹, 林智龄², 林诗瑶¹

(1. 福建理工大学 管理学院, 福建 福州 350118;

2. 福州建工集团有限公司, 福建 福州 350004)

摘要: 基于对建筑信息模型(BIM)运维平台应用现状及传统社区功能需求的系统调研, 构建了适用于传统社区的BIM运维功能层次网络关系模型。通过运用DEMATEL-ANP方法, 识别了BIM运维功能之间的相互依赖关系、重要性和影响力, 并结合DEMATEL-ISM方法划分的功能层级, 剖析各功能间的相互作用和逻辑交互关系。在此基础上, 进一步筛选出关键功能, 绘制BIM运维平台功能层次网络关系模型, 并提出分阶段部署的应用路径。该方法有助于提高传统社区BIM运维平台的使用效率, 并有效提升传统社区运维管理水平。

关键词: DEMATEL-ANP-ISM法; 传统社区; BIM; 运维管理; 应用路径

中图分类号: TU17

文献标志码: A

文章编号: 2097-3853(2026)03-0242-08

Optimization of traditional community BIM operations and maintenance platform based on multi-model integration

LIU Lin¹, ZHENG Jianfeng¹, LIN Zhiling², LIN Shiyao¹

(1. School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fuzhou Construction Engineering Group Co., Ltd., Fuzhou 350004, China)

Abstract: Based on a systematic investigation of the application status of BIM (building information modeling) operation-and-maintenance (O&M) platforms and the functional needs of traditional communities, a hierarchical network relationship model for BIM O&M functions applicable to traditional communities was developed. Using the DEMATEL-ANP approach, the interdependence, importance, and influence among BIM O&M functions were identified. In combination with the functional hierarchy derived from the DEMATEL-ISM method, the interactions and logical linkages among functions were further examined. On this basis, key functions were screened and a hierarchical network relationship model of BIM O&M platform functions was mapped, and a phased deployment roadmap for the platform was proposed. This method helps improve the efficiency of BIM O&M platform utilization and effectively enhances O&M management in traditional communities.

Keywords: DEMATEL-ANP-ISM method; traditional communities; BIM; operation and maintenance; application path

当前国内楼宇的运维普遍依赖传统人工与表单管理, 数字化水平不足, 导致建筑信息不完整、部门之间协同困难、多系统整合缺失, 以及缺少基于建筑信息模型的综合性专业响应等, 进而造成

运维效率低、安全隐患突出、居民生活不够便利等问题^[1]。推动传统社区设施数字化改造与运维管理的能力提升息息相关。在此背景下, 建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 技术

收稿日期: 2025-03-18

基金项目: 福建省财政厅社科专项 (GY-S23012)

第一作者简介: 刘林 (1980—), 男, 福建福州人, 副教授, 硕士, 研究方向: 工程项目管理。

在建筑运维领域的应用日益受到关注^[2]。BIM 运维平台作为一个数据集成的信息化平台,不仅是存储建筑和设施信息的数据库,更是一个能够实现建筑信息动态管理、分析和应用的高效工具,具有运维信息集成管理、运维可视化管理和运维决策管理三大功能,可以有效应对传统社区当前面临的挑战。学者也对 BIM 可实现的运维功能进行了大量研究。在运维平台构建方面,刘林等^[5]基于 BIM 技术构建了大型建筑的物业管理平台;汪再军等^[6]对基于 BIM 的传统建筑运维管理系统的结构和功能进行了设计,并提出实施方案;余芳强^[7]针对传统复杂公共建筑构建了 BIM 系统;周兆银等^[8]研究了智慧小区 BIM 运维平台的构建。

然而,目前面向传统社区的 BIM 运维功能研究还比较缺乏。为此,本研究构建了基于 DEMATEL-ANP-ISM 的多模型方法体系,用以构建 BIM 运维平台功能层次网络关系模型通过决策实验室分析法(decision making trial and evaluation laboratory, DEMATEL)量化功能模块间的因果影响关系,精准识别驱动传统社区运维效能提升的关键功能要素;继而运用网络分析法(analytic network

process, ANP)基于功能交互依赖网络进行权重计算,科学确定功能模块的实施优先级;最后通过解释结构模型(interpretive structural modeling, ISM)划分功能重要程度,识别关键功能,提出传统社区应用 BIM 运维功能的分阶段部署路径。该路径通过降低初期投入成本、优先满足核心运维需求、动态扩展附加功能,提升运维方的管理和服务水平。

1 BIM 运维平台功能体系构建

本课题通过查阅大量国内外文献,结合传统社区运维特点,初步归纳出目前可实现的 BIM 运维平台功能体系,而后通过专家访谈的方式(其中访谈对象包括建筑从业者、物业工作人员以及工程领域的专家和学者),对功能体系作进一步修正,最终确定了设施管理、能耗管理、空间管理、安全与应急管理以及信息管理 5 个功能为一级功能,设施设备的定位查询和设施设备的运行状态监控与故障检测等 16 个功能为二级功能,并对其内涵进行解释,体现该功能体系对于传统社区的针对性和适用性,如表 1 所示。

表 1 传统社区 BIM 运维平台功能表

Tab.1 Function list of BIM operation and maintenance platform for traditional communities

一级功能	二级功能	内涵解释	来源文献
设施管理 F1	设施设备的定位查询 F11	对设施设备在建筑中的具体位置进行查询	[2,6,9]
	设施设备的运行状态监控与故障检测 F12	通过接入设施设备的动态参数信息对其运行状态进行实时监控,检测设施设备的故障,识别故障原因和类型	[2,5,8,9,10,11]
	设施设备的数据操作与可视化 F13	快速、准确地对设施设备的各方面数据进行存储、访问、传输和计算,减少手工输入,并进行三维展示	[2,5,8,9,11,12]
	提高维修维保效率 F14	储存维修维保记录;分析设施设备维修维保周期规律;提供故障设备定位、相关信息;对维修维保方案进行辅助决策	[6,8,11,13]
能耗管理 F2	能耗信息的统计分析 F21	收集、存储和分析用户和公共的能耗信息	[2,4,6,10,12]
	动态能耗信息监控 F22	监控用户和公共能源的实时使用数据并检测异常情况	[6,13,14]
	能耗预测与性能优化 F23	通过总结用户和公共的能耗历史经验并分析实时数据来预测能耗情况,提供节能建议并执行节能方案	[4,8,13,14]
空间管理 F3	空间信息可视化 F31	存储和查询楼栋空间信息,并进行三维展示	[2,5,10,13]
	环境管理 F32	对空气质量、温度和湿度等数值进行监测、分析及预警	专家访谈
	停车场管理 F33	车位信息管理以及出租、出售管理	[1,12]

表 1(续)

一级功能	二级功能	内涵解释	来源文献
安全与应急管理 F4	消防设备管理 F41	消防设备信息查询和定位,提供维修保养方案	[3、4、10、13、14]
	日常安全与应急管理 F42	公共空间的视频监控、定位,安排和优化安保巡逻方案;对门禁进行智慧管理;紧急情况预警;模拟最佳疏散路径;对被困人员进行定位	[3、6、8、10、12、13、14]
	隐蔽工程管理 F43	对建筑结构、水电管线进行安全检测	[3、10、15]
信息管理 F5	信息处理、共建与共享 F51	运维各方通过平台输入并共享运维信息,平台存储和分析建筑和运维相关的所有信息;进行跨领域的信息交换;从模型将信息提取至平台并留存记录;对动态信息进行监控	[11、10、13、15]
	APP 服务 F52	运维方将用水用电、安防监控和停车场情况等信息集成至 APP;用户进行信息查看、处理和反馈,可实现便民及政务等服务;也可通过 APP 发布通知、公告。	专家访谈
	资产管理 F53	对资产的信息进行定义、分类和统计,进行三维展示。	[2、6、8、13]

2 DEMATEL-ISM-ANP 评价模型构建

本课题选取福州某社区作为研究对象。该社区建设于 2010 年,拥有地下停车场以及 20 栋配备电梯的框架结构居民楼,常住人口大致为 2 000 人。首先通过专家评分的方式,用 DEMATEL 法对各项一级功能间相互影响关系进行评分,对评分数据进行系统运算,得到一级功能的中心度和原因度;再用 ANP 法将 DEMATEL 法得到的中心度和原因度等关键信息计算功能权重并排序;而后利用 ISM 划分功能层次结构;最后基于功能权重排序和层次结构构建功能层次网络关系模型,筛选关键功能,并解释功能之间的关系,分析功能应用路径。传统社区 BIM 运维功能具有多样性和相关性等特点,可以采用系统化的方法进行功能应用分析。DEMATEL 法、ANP 法和 ISM 法具有一定的共性与互补性^[16],3 种方法都能够考虑到各因素的重要程度以及不同因素之间的关联性,使用 ANP 法计算每个因素的权重,通过 DEMATEL-ANP 模型可以更全面地分析问题的结构和因素之间的相互依赖关系,并确定每个因素的重要性和影响力。

而 DEMATEL-ISM 模型通过建立一个因素交互矩阵和因素层次关系图,通过 ISM 提供的层级结构更形象直观地分析因素之间的影响关系,并分析因素之间的逻辑交互关系^[17]。

本课题将 DEMATEL 法、ISM 和 ANP 法 3 种方法相结合构建评价模型,流程如图 1 所示。

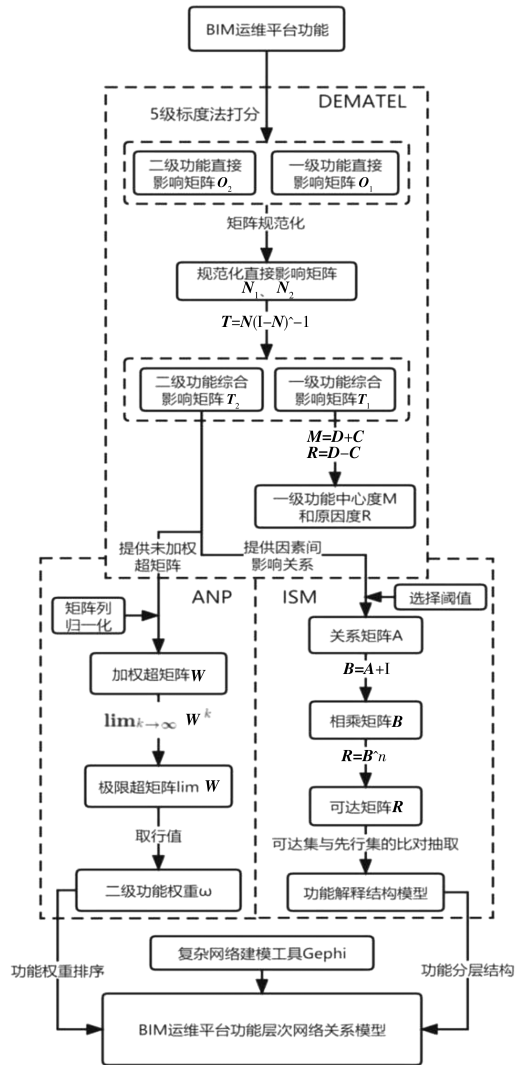


图 1 DEMATEL-ANP-ISM 法流程图

Fig.1 Flowchart of DEMATEL-ANP-ISM method

2.1 DEMATEL 法计算步骤

通过问卷形式对因素间的影响关系进行打分,采用算术平均法得到直接影响矩阵 $O = [a_{ij}]_{n \times n}$,其中 a_{ij} 表示因素 a_i 对因素 a_j 的影响程度(默认因素自身对自身影响为0)。

对直接影响矩阵 O 进行规范化计算,得到规范化直接影响矩阵 N ,如式(1)所示。

$$N = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

对规范化直接影响矩阵 N 进行计算,得到综合影响矩阵 T ,表示因素间直接作用和间接作用之和, t_{ij} 表示因素 i 对因素 j 的综合影响强度,如式(2)所示。

$$T = N(I - N)^{-1} = [t_{ij}]_{n \times n} \quad (2)$$

计算因素影响度 D 和被影响度 C ,将二者相加得到中心度 M ,二者相减得到原因度 R ,如式(3)~式(6)所示。

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n t_{ji}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$M_i = D_i + C_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$R_i = D_i - C_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中, D 反映因素对系统其他因素的外溢驱动效应; C 反映其对其他因素的依赖程度; M 用于区分因素的因果属性,原因度为正时视为根源因素,为负时视为表层因素; R 表示衡量因素在网络中的综合关联强度与关键性,体现其作为系统“枢纽”的程度。

2.2 ANP 法计算

对综合影响矩阵 T 的各列归一化,得到加权超矩阵 W ,其中 s_{ij} 为综合影响矩阵 T 的列和,如式(7)所示。

$$W = T \begin{bmatrix} s_{i1} & & \\ & \ddots & \\ & & s_{jn} \end{bmatrix}^{-1} \quad (7)$$

对加权超矩阵 W 求极限,若值收敛且唯一,即为极限超矩阵 $\lim_{k \rightarrow \infty} W^{[18]}$,行的值为权重值 ω ,如式(8)所示。

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W = \lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (8)$$

2.3 ISM 计算

将各因素的 ANP 权重排序和影响关系通过

ISM 法来体现,获取更加直观、丰富的网络结构模型。通过给定阈值 λ ,得到关系矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$,如式(9)所示。

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & t_{ij} \geq \lambda \\ 0, & t_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (9)$$

通过相乘矩阵 B 的无限连乘,直到矩阵不变即可得到可达矩阵 R ,其中 I 为单位矩阵,如式(10)、式(11)所示。

$$B = A + I \quad (10)$$

$$R = B^n, n = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

根据可达集 $R(E_i)$,先行集 $A(E_i)$ 与可达集 $R(E_i)$ 的交集 $U(E_i)$,对可达矩阵 R 进行层级划分,再结合功能权重信息绘制 ISM 图,得到传统住宅 BIM 运维平台功能层次网络关系模型。

3 BIM 运维平台的功能层次网络关系模型构建

3.1 确定功能直接影响矩阵

通过网络问卷的形式,发放 68 份调查问卷,剔除用时过短及答案呈强规律性的答卷,累计收回 45 份有效问卷,问卷有效率 66.2%,关于调查对象的工作单位,其中政府部门人员 9 人,占比 20%;物业人员 1 人,占比 2.22%;建筑从业者 13 人,占比 28.89%;小区居民 22 人,占比 48.89%。另外调查对象的学历情况,大专及以下 1 人,占 2.22%;本科 20 人,占 44.44%;硕士研究生 20 人,占 44.44%;博士研究生 4 人,占 8.89%。

调查对象结合自身经验根据五级标度法对因素间的影响程度进行打分,使用算数平均值确定一、二级功能直接影响矩阵 O_1 、 O_2 。受篇幅所限,DEMATEL 部分仅对一级功能的计算进行展示。

$$O_1 = \begin{bmatrix} 0 & 3.58 & 1.64 & 3.28 & 1.41 \\ 3.07 & 0 & 0.26 & 2.77 & 1.34 \\ 2.02 & 0.15 & 0 & 2.97 & 0.34 \\ 3.55 & 0.52 & 3 & 0 & 2.53 \\ 2.83 & 1.62 & 1.44 & 3.61 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

3.2 确定功能综合影响矩阵

根据式(1)利用 MATLAB 软件对 O_1 进行计算,得到一级功能规范化直接影响矩阵 N_1 ,再根据式(2)得到一级功能综合影响矩阵 T_1 。根据上述步骤可得二级功能综合影响矩阵 T_2 。

3.6 确定二级功能 ISM 可达矩阵

为了降低系统的复杂程度,往往可以忽略因素间较小的影响关系,通常给综合影响矩阵 T_2 设置阈值 λ ,以剔除系统的冗余信息,并根据式(9)来确定关系矩阵 A 。若 $t_{ij} > \lambda$,则 $a_{ij} = 1$;若 $t_{ij} < \lambda$,则 $a_{ij} = 0$ 。所以,如果阈值设置过大,则会删除因

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

表 3 二级功能权重排序

Tab.3 Weight ranking of second-level functions

一级功能	二级功能	权重值	排序
设施管理 F1	设施设备的定位查询 F11	0.073 6	1
	设施设备的运行状态监控与故障检测 F12	0.071 7	2
	设施设备的数据操作与可视化 F13	0.070 8	3
	提高维修维保效率 F14	0.064 9	7
能耗管理 F2	能耗信息的统计分析 F21	0.059 1	12
	动态能耗信息监控 F22	0.061 0	10
	能耗预测与性能优化 F23	0.055 7	14
空间管理 F3	空间信息可视化 F31	0.067 9	4
	环境管理 F32	0.048 5	16
	停车场管理 F33	0.050 7	15
安全与应急管理 F4	消防设备管理 F41	0.064 0	8
	日常安全与应急管理 F42	0.065 0	6
	隐蔽工程管理 F43	0.059 4	11
信息管理 F5	信息处理、共建与共享 F51	0.065 2	5
	APP 服务 F52	0.064 0	8
	资产管理 F53	0.058 8	13

素间的重要关系,阈值设置过小又会使系统变得复杂。为达到合理的层级分配,本研究选取阈值 $\lambda = \bar{x} + \sigma = 0.434 2$,其中 \bar{x} 为矩阵均值, σ 为矩阵标准差^[19],最后根据式(10)和式(11)利用 MATLAB 软件确定二级功能可达矩阵 R 。

3.7 绘制二级功能 ISM 图

利用结果优先的抽取方式进行层级划分。若 $U(E_i) = R(E_i)$,则将该要素划分为第一层级,去掉已划分的要素,重复上述步骤可得到其他各层级的要素,见表 4

根据表 4 所示的结构,按照层次划分步骤,利用复杂作图软件 Gephi 绘制二级功能 ISM 图,如图 2 所示。二级功能共分为表层功能、中间功能和根本功能 3 个层级,箭头表示功能间的影响关系,并且只能从下一层级指向上层级,或指向同级功能。总体趋势为根本功能影响中间功能,中间功能影响表层功能,同一层级的功能之间可以相互影响。

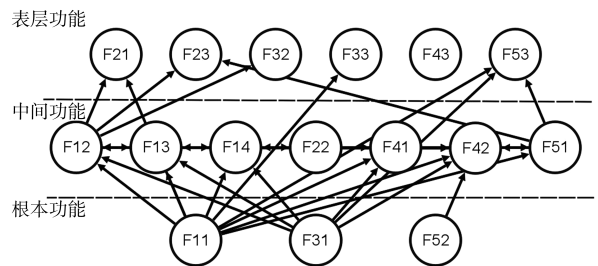


图 2 二级功能 ISM 图

Fig.2 ISM diagram of second-level functions

表 4 二级功能分解结构

Tab.4 Second-level function decomposition structure

功能	可达集 $R(E_i)$	先行集交可达集 $U(E_i)$
F11	F11、F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F33、F41、F42、F51、F53	F11
F12	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F53	F12、F13、F14、F22、F41、F42、F51
F13	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F53	F12、F13、F14、F22、F41、F42、F51
F14	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F53	F12、F13、F14、F22、F41、F42、F51
F21	F21	F21
F22	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F53	F12、F13、F14、F22、F41、F42、F51
F23	F23	F23
F31	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F31、F32、F41、F42、F51、F53	F31
F32	F32	F32
F33	F33	F33
F41	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F53	F12、F13、F14、F22、F41、F42、F51
F42	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F53	F12、F13、F14、F22、F41、F42、F51
F43	F43	F43
F51	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F53	F12、F13、F14、F22、F41、F42、F51
F52	F12、F13、F14、F21、F22、F23、F32、F41、F42、F51、F52、F53	F52
F53	F53	F53

3.8 构建 BIM 运维平台功能层次网络关系模型

根据图 2 及表 3,将二级功能权重排序于二级功能 ISM 图中体现,利用复杂作图软件 Gephi 构建 BIM 运维平台功能层次网络关系模型,如图 3 所示,其中每个圆圈右下角的序号代表功能权重排序。

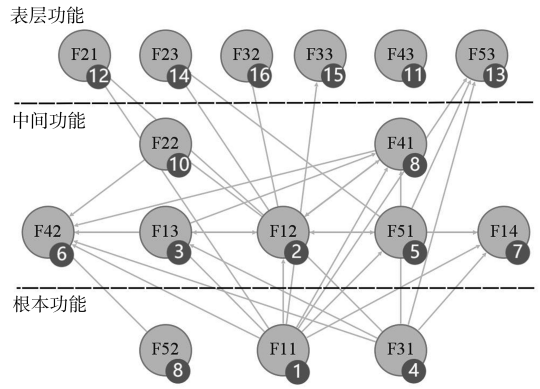


图 3 BIM 运维平台功能层次网络关系模型

Fig.3 BIM operation and maintenance platform function hierarchy network relationship model

由图 3 可知,传统社区 BIM 运维功能可分为 3 个层次,根本功能为 F11、F31 和 F52,中间功能为 F12、F13、F14、F22、F41、F42 和 F51,表层功能为 F21、F23、F32、F33、F43、F53。根本功能是整个模型的基础,对其他功能产生了较多的影响,从权重排序来看,为 BIM 运维平台中较为核心的功能。中间功能受到根本功能的直接影响,同时也对同一层级的其他功能产生了较强的影响,从权重排序来看,中间功能在 BIM 运维平台中的地位也较为显著,并且根本功能与中间功能共计 10 项功能同时处于权重排序的前 10 位,因此可以将这 10 项二级功能定义为关键功能,主要包括设施管理、安全与应急管理 and 信息管理这三个部分的内容。由于功能的影响路径整体显现出自下而上的规律,因此可以指导传统社区 BIM 运维平台实施路径的创新。

4 结束语

本课题从功能重要性出发,将传统社区 BIM 运维平台的实施划分为 3 个阶段。第一阶段聚焦设施设备的定位查询、空间信息可视化和 APP 服务这 3 个根本功能旨在快速构建 BIM 运维基础能力,满足核心需求。第二阶段引入运行状态监控与故障检测、设施设备的数据操作与可视化、提高维修维保效率、动态能耗信息监控、消防设备管理、日常安全与应急管理以及信息处理、共建与共享等 7 个中间功能,基本实现 BIM 运维的全面覆盖与协同管理。第三阶段补充能耗信息的统计分析、能耗预测与性能优化、环境管理、停车场管理、隐蔽工程管理以及资产管理等 6 个表层功能,最

终达成智慧运维的全系统整合。该分阶段实施策略有助于将传统社区 BIM 运维平台一次性的应用成本分摊为3次,减少物业方的平台初始应用难度。

基于 DEMATEL-ANP-ISM 集成方法构建了功能层次网络模型,识别出10项关键功能作为 BIM

运维平台的主体,并将 BIM 运维功能按影响关系分成3个层级,为传统社区 BIM 运维平台构建与功能选型提供了方法支撑,有助于打破信息孤岛,提升传统社区管理的智能化水平,并为建筑运维领域的数字化、可持续发展提供了理论参考与实践指导。

参考文献:

- [1] 庄志坚,杨城,许志坚,等. BIM 数据与现有运维系统的兼容与应用研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(3): 30-36.
- [2] 花园园,张颖,杨辉,等. 基于文献计量的 BIM 运维管理研究现状及热点分析[J]. 建筑经济, 2021, 42(S2): 75-78.
- [3] 胡振中,彭阳,田佩龙. 基于 BIM 的运维管理研究与应用综述[J]. 图学学报, 2015, 36(5): 802-810.
- [4] CAO Y, KAMARUZZAMAN S N, AZIZ N M. Building information modeling (BIM) capabilities in the operation and maintenance phase of green buildings: a systematic review[J]. Buildings, 2022, 12(6): 830.
- [5] 刘林,齐振华. 基于 BIM 的大型建筑物业管理平台应用[J]. 建筑经济, 2015, 36(5): 78-80.
- [6] 汪再军,李露凡. 基于 BIM 的既有建筑运维管理系统设计及实施研究[J]. 建筑经济, 2017, 38(1): 92-95.
- [7] 余芳强. 面向安全运行的文化场馆 BIM 运维系统开发与实践[J]. 建筑经济, 2022, 43(S1): 505-510.
- [8] 周兆银,谢春宁,廖小烽,等. 基于 BIM 技术的智慧小区运维平台构建[J]. 建筑经济, 2018, 39(6): 88-91.
- [9] 纪博雅,戚振强,孟桂芹. BIM 技术在设施管理中的应用现状调查[J]. 施工技术, 2016, 45(18): 54-57, 69.
- [10] 丁梦莉,杨启亮,张万君,等. 基于 BIM 的建筑运维技术与应用综述[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(3): 74-79.
- [11] 解晓明. BIM 技术在建筑设备运维管理中的应用研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(12): 74-78.
- [12] 陈梓豪,白宝军,陈昆鹏,等. 华润深圳湾国际商业中心项目 BIM 运维管理平台应用[J]. 施工技术, 2018, 47(S4): 1073-1076.
- [13] DAHANAYAKE K C, SUMANARATHNA N. IoT-BIM-based digital transformation in facilities management: a conceptual model[J]. Journal of Facilities Management, 2022, 20(3): 437-451.
- [14] GAO X H, PISHDAD-BOZORGI P. BIM-enabled facilities operation and maintenance: a review[J]. Advanced Engineering Informatics, 2019, 39: 227-247.
- [15] PANAH R S, KIOUMARSI M. Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: a systematic review[J]. Sensors, 2021, 21(3): 837.
- [16] 张其春,郗永勤. 城市废弃物资源化利用网络的脆弱性及影响机理[J]. 经济管理, 2016, 38(10): 168-183.
- [17] 黄亚江,李书全,李益铎,等. 基于 DEMATEL-ISM-ANP 的地铁运营安全韧性综合评价[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(6): 171-177.
- [18] 韩媛雯,鲍学英. 基于 DEMATEL-ANP 法的铁路站房施工扬尘治理评价模型研究[J]. 公路工程, 2019, 44(6): 46-50.
- [19] 刘微,韩伟,张金中,等. 基于 DEMATEL-ISM 的建设工程监理体系研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(S1): 924-930.

(责任编辑:方素华)