

基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值影响因素研究

薛松^{1,2,3}, 黄国华^{1,2}, 徐宁梓^{1,2}, 张珍珍^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学项目管理研究所, 江苏 南京 211100;
3. 江苏省“世界水谷”与水生态文明协同创新中心, 江苏 南京 211100)

摘要:针对当前水利工程 EPC 项目中信息技术应用效率低下的问题, 将 BIM 技术应用于水利工程 EPC 项目能够促进项目全生命周期信息和知识的共享, 提高项目参建方之间的协同工作能力, 实现价值增值。探索基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值影响因素及作用机理是实现项目价值增值的前提和关键, 采用质性研究方法, 通过对 20 名从事水利工程 EPC 项目建设或研究的人员进行访谈, 以及对 90 篇相关文献进行梳理, 识别了 BIM 技术对水利工程 EPC 项目价值增值的影响因素; 运用 DEMATEL-ISM 法分析因素间相关性, 得到影响因素层次结构。结果表明: BIM 市场需求是根源影响因素, BIM 技术支持能力、企业重视及投入程度和管理组织建设是影响基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值的核心因素。

关键词:水利工程; EPC 模式; 建筑信息模型(BIM); 价值增值; 影响因素

中图分类号: F294.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-9511(2021)04-0028-07

水利工程是民生工程, 与群众生活息息相关。EPC 模式在国内外大型复杂工程项目中得到广泛应用, 也成为我国水利行业发展的必然选择。水利工程 EPC 项目建设实践表明, 生产效率并未出现本质提升, 也没有取得预期的项目价值增值。2018 年美国《工程新闻纪录》榜单显示, 中国总承包企业利润低于国际承包商, 一方面是因为未采用适配于 EPC 的管理方法, 另一方面则是由于“信息孤岛”现象。2011 年, 《2011—2015 年建筑业信息化发展纲要》发布, 提出利用 BIM 技术推进建筑行业转型升级。BIM 价值巨大, 其深度应用与发展, 将带来工程建设领域的一场变革。因此, 把 BIM 理念和技术与 EPC 模式相结合, 有利于水利工程项目全生命周期各阶段、各专业、各参建方之间的信息与知识共享, 提升多方的协同工作能力, 实现 EPC 项目价值增值。项目价值增值是各利益相关方一致的追求, 研究价值增值影响因素有助于阐明 EPC 项目增值机理, 为实现 EPC 项目价值增值提供理论依据。理论和实务界共同聚焦于基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值问题, 如何利用 BIM 技术促进项目价值提升以及项目价值增值的影响因素等问题是研究的

关键。

EPC 模式应用及价值研究对实施 EPC 模式有指导性作用。Moreau 等^[1]提出应用于 EPC 项目设计过程的信息管理策略能够提高项目绩效。Yeo 等^[2]从供应链管理角度入手为 EPC 项目提出改进框架, 从工程项目角度出发, 提出了项目价值链的概念。Kelly 等^[3]提出要使 EPC 项目各参与方的信息畅通, 必须提高信息化水平。丰景春等^[4]提出需要对 EPC 项目进行信息化管理, 使项目的不同参与方能够通过统一的信息平台实现信息的畅通。BIM 在国际上的使用较为广泛, Ding 等^[5]提出一个 BIM 应用框架, 讨论如何利用 BIM 集成项目建设过程中的各类信息。Daytalab 等^[6]探索在项目建设的过程中如何搭建软件平台, 设计了建筑系统各组成部分与 BIM 平台的互操作, 通过两种技术的协同实现效益最大化。国内目前对 BIM 的研究仍处于初始阶段, 何清华等^[7]对 BIM 技术进行研究综述, 探讨 BIM 技术在工程建筑领域的应用。孙杰^[8]认为 BIM 技术能够很好地弥补二维 CAD 的缺点, 提出将 BIM 技术应用于工程项目中, 并对基于 BIM 的工程项目管理流程进行探究。有相关学者研究了 EPC 模式与

基金项目: 国家社会科学基金青年项目(15CJL023); 中央高校基本科研业务费专项(2019B19614)

作者简介: 薛松(1980—), 男, 副教授, 博士, 主要从事 EPC 项目治理研究。E-mail: xuer2399@163.com

BIM的结合,张德凯等^[9]总结BIM技术的价值,对比目前各种管理模式的优缺点,指出EPC模式能够充分发挥BIM技术的作用。施静华^[10]提出BIM技术在EPC项目中应用,为国际EPC项目管理提供了新思路。张云宁等^[11]从经济、能源、技术、管理4个维度,构建水利工程BIM应用效益评价指标体系。丁继勇等^[12]运用TOE框架和匹配理论,分别讨论了水利水电工程组织场域BIM扩散的主要影响因素。一些学者对工程项目与价值链的结合进行了研究,Polat等^[13]认为建筑材料的采购和库存对项目的准时制生产尤为重要,因此需要在工程项目中应用供应链管理。唐文哲等^[14]通过研究提出需要对EPC项目进行一体化的供应链管理,为各项目参与方提供可以信息共享的途径。段志成等^[15]认为在工程项目中,总承包商是核心,总承包商通过与各分包商的协同合作,构造了一条完整的工程项目供应链,提高工程项目效率。姜阵剑^[16]将价值网络理论应用于建筑施工企业,通过价值网络建立可持续发展的建筑企业协同发展模式。马俊乐^[17]分析了在建筑行业中如何基于价值网络将BIM充分运用于建筑行业,实现集成化和协同管理。

以上研究表明,国内外学者已经意识到BIM技术应用于工程项目管理的重要性。目前,已有文献大多探讨BIM技术的应用前景以及具体的应用情景,如BIM技术在设计阶段的碰撞检测^[18]等。还有部分学者,研究BIM技术采纳与适应性^[19]、BIM数据共享与交换^[20]等。鲜有学者从BIM应用层面探讨BIM技术与EPC项目价值增值的作用机理及关键影响因素识别。鉴于此,笔者从学术文献和访谈记录的原始数据入手,基于扎根理论,从宏观、中观、微观三个不同的角度,识别出基于BIM的水利工程EPC项目价值增值的影响因素,采用集成DEMATEL-ISM方法解析关键因素之间的影响作用机理,为构建项目价值增值路径提供理论支撑。

1 机理分析与研究设计

1.1 价值增值机理分析

EPC模式下,项目价值主要体现在勘察、设计、采购、施工、竣工、验收等各阶段活动中。在设计阶段,总承包商根据业务提供“项目参与人员的协同努力、BIM技术支持能力、企业内部BIM能力、管理组织建设”的需求和资料,委托设计单位按照工程技术标准规范开展限额设计和设计优化,EPC项目价值初始形成。当设计完成后,就进入EPC项目采购和实施阶段。采购阶段是为EPC项目价值创造提供必需的物资资源、人力资源、技术资源等重要保

障。施工阶段的重要输出是提供合格的项目产品,项目产品是EPC项目价值创造的载体。项目产品的验收与交付,完成了EPC项目价值的最终实现。在此之前的项目价值形成、项目价值创造都是为了最终的项目产品价值交付。EPC项目参与方的价值创造活动作用于项目价值链的不同阶段和节点,EPC项目价值的最大体现即为EPC项目产品。实现项目价值以项目完成为基本前提,因此与项目建设相关的要素,如建设成本及项目效益,均为衡量项目价值的重要组成部分。

依托于BIM平台,通过物资流、资金流、人员流的整合,加快各阶段间信息流动,减少界面矛盾,能够更加合理化配置资源,达到全部动态最优,从而实现项目产品价值的传递、转移和增值。BIM技术为项目资料收集、处理、共享提供了有效平台,各参与方须协同合作,推进BIM平台更新项目信息,有助于各利益相关方对项目的全局把控。DB模式下,项目价值主要体现在设计、施工等各阶段活动中,利用BIM合理配置资源,实现的仅仅为设计、施工两阶段的价值增值。DBB模式下,工程项目严格按照D-B-B的顺序进行,因此利用BIM仅可实现各环节的价值增值,而无法实现阶段并行时创造新的价值。而EPC模式下,基于BIM平台,不仅能实现项目各阶段的项目增值,同时通过信息流的传递,减少界面矛盾,实现阶段并行下的项目增值。基于BIM的水利工程EPC项目价值增值过程如图1所示。

1.2 研究设计

1.2.1 扎根理论

扎根理论是一种质性研究方法,归纳分析数据并形成概念框架。该方法具有灵活的准则、规范的方法、严谨的程序、建构的理论源于经验数据的分析与提炼等优势。近年来,我国大力推广EPC模式、BIM技术、智慧水利等应用,出台了一系列政策文件。同时,建设领域大量的工程实践经验与教训,也为EPC项目价值增值研究提供了基础资料。以深度访谈记录和已有文献作为原始数据,通过扎根理论的方法识别项目价值增值的影响因素,能够更好地弥补现有文献研究宽度不足的缺陷。

1.2.2 DEMATEL-ISM方法

决策实验室分析法(DEMATEL)^[21]运用矩阵工具和图论,通过专家评分判断各因素间的逻辑关系,计算各因素的影响程度和被影响程度。解释结构模型(ISM)^[22]综合运用图论、集合论的知识,将复杂系统分解为多级递阶结构,分析系统要素相互关系和对整体的影响。DEMATEL-ISM二者的综合集成^[23],系统层次划分更为直观,适合分析决策复杂

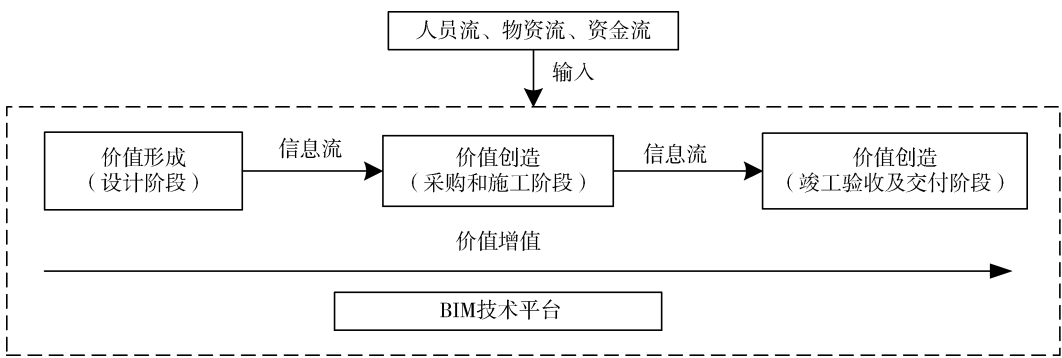


图1 基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值过程

系统问题。

为了更好地研究基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值影响因素,利用扎根理论对大量访谈记录和文献记录进行编码,得出影响水利工程 EPC 项目价值增值的内生性因素集。构建 DEMATEL-ISM 模型,确定影响因素之间的相互影响关系,分析基于 BIM 的 EPC 项目价值增值影响因素的影响机理。研究思路如图 2 所示。

2 价值增值影响因素识别

2.1 收集资料

对内涵和外延尚不明确的理论概念适于采用基于扎根理论的质性研究^[24],本文采用扎根理论进行基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值影响因素研究。访谈对象选择对水利工程项目建设的全过程以及 BIM 技术在项目中的应用有清晰的了解、有一定的工作年限和项目经验的专家共计 20 人,其中不同项目参与方 15 人,该领域研究人员 5 人。访谈重点围绕 BIM 对水利工程 EPC 项目价值增值的影响

因素,访谈内容围绕两个主题展开,开放式访谈提纲如表 1 所示。

表 1 开放式访谈提纲

主题	主要内容
BIM 目前在水利工程 EPC 项目中的使用情况	您觉得 BIM 技术的推广程度如何 项目各参与方使用 BIM 情况 BIM 技术在项目中的哪些环节、阶段发挥了作用
基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值的影响因素	您觉得基于 BIM 哪些因素可能影响项目的价值 对这个影响因素您能深入谈一下吗 您觉得推广 BIM 技术还需要哪些努力

此外,在中国知网进行检索,得到 90 篇相关文献。其中 2/3 作为初始编码的样本,其余的 1/3 作为样本,用来进行之后的饱和度检验。在对深度访谈记录进行整理后,形成了约 3 万字的文字资料。随机选取 2/3 作为初始编码的样本,剩余的 1/3 进行饱和度检验。

2.2 基于扎根理论的资料分析

2.2.1 开放式编码

开放式编码的目的是为了整合收集到的资料,

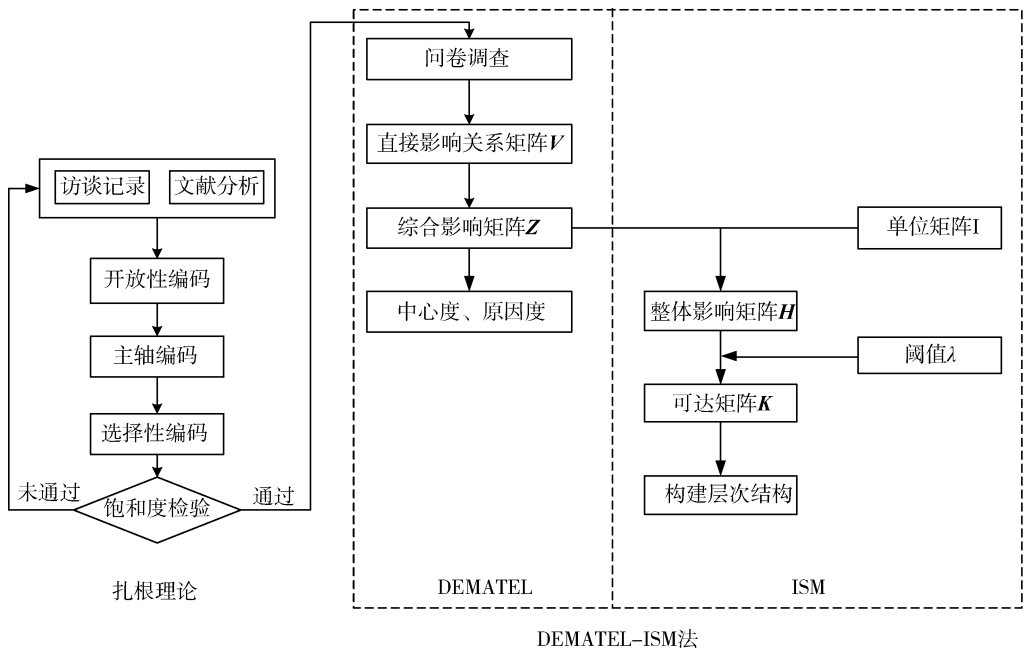


图2 研究思路

表2 选择性编码结果

核心范畴	主范畴
宏观因素	政策扶持 a_1
	BIM 应用统一标准或监管 a_2
	行业体制的统一 a_3
	BIM 市场需求 a_4
	法律责任界限的明确性 a_5
中观因素	项目参与方的沟通合作 a_6
	企业投入及重视程度 a_7
	企业内部 BIM 能力 a_8
	外部合作企业的 BIM 专业技能 a_9
	管理组织建设 a_{10}
微观因素	项目参与人员的协同努力 a_{11}
	BIM 技术支持能力 a_{12}
	BIM 与其他先进技术的结合 a_{13}
	配套软件和软件数据互用性 a_{14}
	BIM 交付物定义 a_{15}
	BIM 相关成本 a_{16}
	建筑构件库平台 a_{17}

并进行梳理。将无用的语句删除,留下对编码有效的资料,对整理好的资料进行概念化的翻译,为主轴编码提供依据。本次访谈得到了预期的效果,对提前设计的相关问题进行了充分的提问。结束后整理出本次访谈的内容,受文章篇幅所限,开放式编码过程及结果未予展示。

2.2.2 主轴编码

由开放性编码结果所获得的范畴和概念数量多、差异大,需要对所得结果进一步进行二级编码,即主轴编码。通过研究开放式编码得到的概念,追溯原始语句,寻找各范畴之间可能存在的关系,抽象得出相应的主轴。在进行二级编码的过程中可以发现,18位参与访谈人员都提出政策的推动、BIM 市场需求等因素是 BIM 对 EPC 项目价值的影响因素之一;其次,项目参与方的沟通合作、项目参与人员的协同努力、企业内部及外部合作企业的 BIM 专业技能等因素也能对 EPC 项目价值产生很大的影响;最后,16位访谈人员表示 BIM 技术支持能力、BIM 与其他先进技术的结合等微观因素对 EPC 项目价值也有很大的影响。因此,笔者抽象出上述不同范畴,整理结果反馈回专家,依据反馈意见二次讨论,得出最终结论。如编码命名标准、模型创建标准、库的创建标准等均属于 BIM 对 EPC 项目价值增值的影响因素中的 BIM 应用统一标准因素,因此将这几个副范畴归纳成一个主范畴。最终得到 17 个主范畴,受文章篇幅所限,主轴编码结果未予展示。

2.2.3 选择性编码

比较各个主范畴的关系,进行系统性分析,从影响因素的主范畴中挖掘核心范畴,将识别出的影响因素分成宏观、中观、微观 3 个维度。通过深入挖掘,选择性编码后形成的各主范畴之间存在下列典型关系:首先,宏观因素是根本,政策的推动、BIM 标准、法律责任界限的明确等因素影响着 BIM 在项目中的使用。中观因素是保障,如协调工作复杂性、BIM 能力、管理组织建设等对项目建设全生命周期环节的整体价值产生影响。微观因素是基础,如 BIM 技术的支持能力、BIM 与其他先进软件的结合等影响着项目单个环节的内在价值,从而也影响 BIM 对项目价值增值。选择性编码结果如表 2 所示。

2.2.4 理论饱和度检验阶段

利用预留的资料再次重复进行上面的步骤,完成饱和度的检验。饱和度检验结果显示,不存在与先前 BIM 对 EPC 价值的影响因素冲突的范畴,说明通过编码得到的结果已经足够。因此,理论上已饱和。

3 基于 DEMATEL-ISM 的价值增值影响因素分析

3.1 问卷调查

共发放问卷 100 份,回收 74 份,剔除无效问卷,有效问卷 61 份。采用 Cronbach's α 分析法进行信度检验,从表 3 的正式量表信度检验结果可以看出,问卷整体信度为 0.917,且变量宏观因素、中观因素、微观因素的信度系数均处于 0.8 以上。由此可见,问卷的稳定性和可靠性很高,调查样本数据可用于进一步的讨论研究。

表3 正式量表信度检验结果

变量	Cronbach's α 系数	项数
宏观因素	0.836	5
中观因素	0.817	6
微观因素	0.846	6
问卷整体信度	0.917	17

3.2 基于 DEMATEL-ISM 的 BIM 应用影响因素研究

通过集成 DEMATEL-ISM 方法,分析基于 BIM 的 EPC 项目价值增值影响因素的影响机理,具体步骤如下:

3.2.1 构建直接影响关系矩阵

标度因素间的影响程度,分析两两指标之间的直接影响关系,根据公式(1)构建直接影响关系矩阵 V ,如表 4 所示。

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & \cdots & V_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ V_{n1} & \cdots & V_{nn} \end{bmatrix} = (V_{ij})_{nn} \quad (1)$$

式中: V_{ij} 为因素 i 对因素 j 的直接影响程度; i 为整数,取值范围为 $1 \leq i \leq n$; j 为整数,取值范围为 $1 \leq j \leq n$;

当 $i=j$ 时,因为不考虑因素自身的影响, $V_{ij}=0$ 。

表4 直接影响矩阵

因素	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}
a_1	0	2	2	3	1	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1
a_2	0	0	0	1	2	1	0	3	2	2	0	3	0	2	1	0	2
a_3	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
a_4	2	3	2	0	3	0	3	3	0	0	0	0	2	2	3	3	2
a_5	0	2	2	0	0	0	2	0	0	2	0	2	2	2	0	0	0
a_6	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	4	2	1	1	0	0	0
a_7	0	1	1	0	0	2	0	4	3	3	3	4	3	3	0	2	1
a_8	0	0	0	0	0	2	3	0	0	4	1	4	0	1	0	2	0
a_9	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	2	2	2	0	0	1	0
a_{10}	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	3	0	0	0	0	2	0
a_{11}	0	0	0	0	0	4	1	3	2	4	0	3	1	1	0	2	0
a_{12}	0	1	0	0	0	3	2	3	0	3	3	0	2	2	0	3	0
a_{13}	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	3	0	3	0	0	0
a_{14}	0	0	0	0	0	2	1	0	3	2	0	2	3	0	1	1	2
a_{15}	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	2	1	2	0	0	0
a_{16}	0	0	0	0	0	2	3	2	1	2	0	2	2	1	1	0	0
a_{17}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	3	2	3	2	1	0

3.2.2 计算各影响因素的影响度、被影响度、中心度、原因度

将得到的 V 矩阵各行求和,比较各行取和数值,取其中最大值,设为 M 。构造规范化直接影响矩阵 X , X 的元素为 V 矩阵各个元素都除以 M 。

$$X = V / \max \sum_{j=1}^n V_{ij} = (X_{ij})_{nm} \quad (1 \leq i \leq n, 0 \leq x_{ij} \leq 1) \quad (2)$$

构造综合影响矩阵 Z 。采取 $Z = X(I - X)^{-1}$ 相近计算,计算式如下:

$$Z = X(I - X)^{-1} \quad (3)$$

式中 I 为单位矩阵。基于综合影响矩阵,依据式(4)~(7)计算影响度 A 、被影响度 B 、中心度 M 和原因度 U ,结果见表5,依据表5 绘制原因结果如图3所示。

$$A_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad (4)$$

$$B_i = \sum_{j=1}^n Z_{ji} \quad (5)$$

$$M = A_i + B_j \quad (6)$$

$$U = A_i - B_j \quad (7)$$

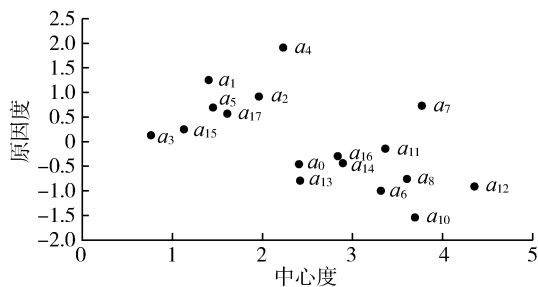


图3 原因结果

表5 中心度与原因度

因素	A	B	M	U	中心度排序
a_1	1.325	0.077	1.403	1.248	15
a_2	1.439	0.529	1.968	0.909	12
a_3	0.448	0.326	0.773	0.122	17
a_4	2.072	0.159	2.230	1.913	11
a_5	1.063	0.386	1.449	0.677	14
a_6	1.162	2.162	3.324	-1.000	6
a_7	2.247	1.521	3.767	0.726	2
a_8	1.418	2.188	3.607	-0.770	4
a_9	0.977	1.441	2.418	-0.464	10
a_{10}	1.065	2.619	3.684	-1.554	3
a_{11}	1.603	1.755	3.357	-0.152	5
a_{12}	1.718	2.630	4.348	-0.912	1
a_{13}	0.811	1.611	2.422	-0.801	9
a_{14}	1.221	1.665	2.885	-0.444	7
a_{15}	0.689	0.443	1.132	0.246	16
a_{16}	1.266	1.577	2.843	-0.311	8
a_{17}	1.087	0.521	1.608	0.566	13

3.2.3 建立可达矩阵

在得到 Z 的基础上,用下式计算得到整体影响矩阵 H :

$$H = I + Z = (h_{ij})_{nm} \quad (8)$$

根据相关领域已有的研究成果进行多次取值分析,依据试算结果,邀请多位专家考虑合理性及最优性,得到最适配于本研究的阈值计算模型。

$$\lambda = \alpha + \beta \quad (9)$$

式中: α 、 β 分别为综合影响矩阵 Z 中所有元素的均值和标准差。最终确定本文所需的 λ 值为 0.14。

依据式(10)构建可达矩阵 K 如表6所示。

$$K = (K_{ij})_{nm} \quad (10)$$

表6 可达矩阵

因素	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}
a_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
a_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
a_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a_4	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0
a_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
a_7	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
a_8	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
a_9	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
a_{10}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
a_{11}	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
a_{12}	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0
a_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
a_{14}	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
a_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
a_{16}	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
a_{17}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1

3.2.4 构建层次结构

对可达矩阵 K 划分层级,识别影响因素层次。验证可达集 P 和先行集 Q 的交集 R 与可达集 P 是

否相同,其中 $R = P \cap Q$ 。如果交集 R 等于可达集 P ,则代表这个影响因素属于这个层级。每识别完一个层级,需在 K 中划去该层级行、列,用剩下的矩阵再次重复该过程,直到所有影响因素都被划去。其中,最先被划去的即为识别出的第一层级。以此类推,直至构建出完整的层级结构模型,层级划分结果见表 7。

表 7 层级划分

影响因素 (a_i)	可达集 $P(a_i)$	先行集 $Q(a_i)$	交集 $R(a_i)$	层级
a_3	3	3	3	L_1
a_5	5	5	5	L_1
a_6	6、10、11、12	6、7、8、9、10、11、12	6、10、11、12	L_1
a_{10}	6、10、11	2、6、7、8、9、10、11、12、14、16、17	6、10、11	L_1
a_{15}	15	15	15	L_2
a_8	7、8、12	2、4、7、8、11、12、16	7、8、12	L_2
a_9	9	7、9、14	9	L_2
a_{12}	7、8、11、12、16	1、2、4、7、8、11、12、13、14、16、17	7、8、11、12、16	L_2
a_1	1	1	1	L_3
a_2	2	2	2	L_3
a_{11}	11	11	11	L_3
a_{13}	13	13	13	L_3
a_{16}	7、16	4、7、16	7、16	L_3
a_{14}	14	14	14	L_4
a_7	7	7	7	L_5
a_{17}	17	17	17	L_5
a_4	4	4	4	L_6

根据层级分析的结果,构建 ISM 模型,如图 4 所示。

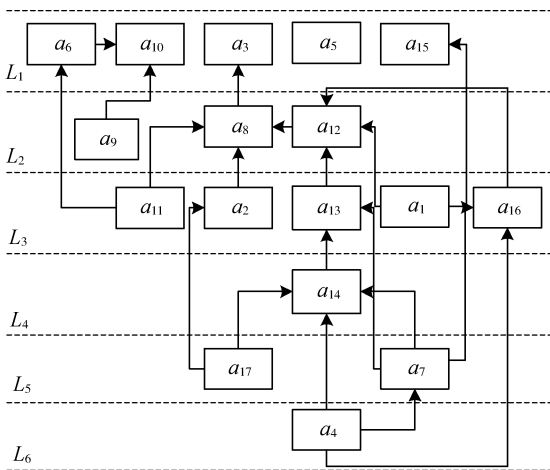


图 4 ISM 模型图

3.3 结果分析

3.3.1 按照影响因素中心度分析

通过表 6 可知,中心度排名前 3 位的为 a_{12} 、 a_7 、 a_{10} ,可以看出这 3 个因素在基于 BIM 的 EPC 项目价值增值的过程中作用尤为突出。因此,为了实现基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值,需要对这 3

个因素进行重点关注和改进。结合 ISM 层级结构图,可以看到 a_{10} 处于层级结构中的第一层,对于项目的价值增值起到直接影响的作用, a_{12} 和 a_7 分别属于中层和深层影响因素,与其他因素联系紧密,在系统中的重要性可见一斑,因此 a_{12} 、 a_7 、 a_{10} 应列为影响 EPC 项目价值增值的重要因素。

3.3.2 按照影响因素原因度分析

原因因素易影响其他因素,主动性较强。 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_7 、 a_{15} 、 a_{17} 属于原因因素,其中, a_4 在原因度排名中处于第一位,说明它最容易影响其他因素而不易被其他因素所影响。

结果因素易受其他因素的影响,有较强的被动性。 a_6 、 a_8 、 a_9 、 a_{10} 、 a_{11} 、 a_{12} 、 a_{13} 、 a_{14} 、 a_{16} 属于结果因素。

3.3.3 影响因素层级结构分析

由层级结构图可知,基于 BIM 的 EPC 项目价值增值的影响因素是一个有着 6 层递阶层级结构的复杂的系统。处于层级结构图顶层的是表层影响因素,共有 5 个,分别是 a_3 、 a_5 、 a_6 、 a_{10} 、 a_{15} 。中间层共 9 个因素,分别是 a_8 、 a_9 、 a_{12} 、 a_1 、 a_2 、 a_{11} 、 a_{13} 、 a_{16} 、 a_{14} 。处于次底层的是深层影响因素 a_7 、 a_{17} ;处于最底层的是根源影响因素 a_4 ,处于模型最底层的影响因素在系统中属于根本性问题,能够对系统中的其他所有因素产生直接或间接的影响,是水利工程 EPC 项目价值增值需要关注的重点问题。

基于上述结论,针对基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值,从 BIM 技术支持能力、企业重视及投入程度、管理组织建设和 BIM 市场需求等 4 个方面,提出以下对策建议:

a. 提高 BIM 技术支持能力。开发更强大的 BIM 软件功能,提高 BIM 的协同应用、应用软件功能完备性和结果正确性、易用性、软件可靠性。提高 BIM 技术应用能力,如各专业协同设计、设计效果可视化、碰撞检测等以及 BIM 平台能力如信息获得的及时性、共享信息的准确性。培养 BIM 人才,加强对项目建设人员的 BIM 技能的培训,将 BIM 技术作为能够大幅提高生产效率的主要动力。

b. 企业加大对 BIM 技术的重视及投入程度。想要在企业内部使用 BIM,需要对 BIM 技术有一定的前期投入。对 BIM 的投入包括购买 BIM 软硬件费用、对项目人员进行 BIM 技术的培训费用、聘请 BIM 专业人员的费用、构建适应 BIM 技术的业务流程等。

c. 完善管理组织建设。应该创建 BIM 技术团队,为团队内的所有人员组织 BIM 技术相关的学习。组建 BIM 技术小组,在全项目范围内推广使用 BIM 技术,使 BIM 技术真正融合进项目管理过程中。

d. 通过激励措施提高 BIM 市场需求。需要建立科学规范的基于 BIM 的利益分配政策和激励措施,从而对项目各参与方产生激励,推动各方真正将 BIM 理念和技术应用到项目建设中去,从而提高 BIM 市场需求。

4 结 语

本文将 BIM 理念及技术引入水利工程 EPC 项目中,通过扎根理论对 90 篇相关文献和 20 份访谈记录进行编码处理,从宏观、中观、微观 3 个不同的角度,提取出基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值影响因素的 17 个内生性因素,并利用集成 DEMATEL-ISM 方法分析基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值关键因素影响机理,最后在结果分析基础上提出针对性建议。

本文研究仍存在一定的局限性,目前基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值理论研究不多,且真正参与基于 BIM 的水利工程项目建设全过程的人员也有限。参与访谈人员仅能就自己深入参与阶段的内容进行交流,存在一定的主观性,偏差不可避免。此外,如何对基于 BIM 的水利工程 EPC 项目价值增值效果进行评估,有待于进一步研究。

参考文献:

[1] MOREAU K A, BACK W E. Improving the design process with information management[J]. Automation in Construction, 2000, 10(1): 127-140.

[2] YEO K T, NING J H. Integrating supply chain and critical chain concepts in engineer-procure-construct (EPC) projects[J]. International Journal of Project Management, 2002, 20(4): 253-262.

[3] KELLY J, MALE S, GRAHAM D. Value management of construction projects [M]. Bulgaria: Blackwell Science, 2014.

[4] 丰景春,吴凯丽,李晟. 基于 BIM 的 EPC 项目信息价值链增值研究[J]. 科技管理研究, 2020, 40(9): 149-155.

[5] DING L Y, ZHOU Y, AKINCI B. Building information modeling(BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable nD[J]. Automation in Construction, 2014, 46: 82-93.

[6] DAYTALAB O, KAZEMIAN A, KHOSHNEVIS B. Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through contour crafting[J]. Automation in Construction, 2018, 89(1): 3-23.

[7] 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.

[8] 孙杰. 基于 BIM 的工程项目管理流程与组织设计[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(9): 29.

[9] 张德凯,郭师虹,段学辉. 基于 BIM 技术的建设项目管理模式选择研究[J]. 价值工程, 2013, 32(5): 61-64.

[10] 施静华. BIM 应用: EPC 项目管理总集成化的新途径[J]. 国际经济合作, 2014(2): 62-66.

[11] 张云宁,施陆燕,秦韬,等. 基于 SEM 和云物元的水利工程 BIM 应用效益评价[J]. 水利经济, 2020, 38(1): 29-35.

[12] 丁继勇,黄燕林. 组织场域视角下水利水电工程 BIM 技术扩散的影响因素: 基于 TOE 框架的分析[J]. 水利经济, 2020, 38(6): 54-59.

[13] POLAT G, ARDITI D. The JIT materials management system in developing countries[J]. Construction Management and Economics, 2005, 23(7): 697-712.

[14] 唐文哲,雷振,王姝力,等. 国际工程 EPC 项目采购集成管理[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2017, 57(8): 838-844.

[15] 段志成,陈通,张巧云. 总承包模式下工程项目供应链关键影响因素研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2012, 39(10): 103-108.

[16] 姜阵剑. 基于价值网的建筑施工企业供应链协同研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.

[17] 马俊乐. 基于价值网理论的 BIM 应用模式研究[J]. 价值工程, 2016, 35(5): 47-49.

[18] 王孟钧,廖娜,秦岭. 城市轨道交通项目 BIM + GIS 技术集成探索与思考[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(24): 102-106.

[19] 赖华辉,邓雪原,刘西拉. 基于 IFC 标准的 BIM 数据共享与交换[J]. 土木工程学报, 2018, 51(4): 121-128.

[20] 赵颖萍. TOE-UTAUT 视角下 BIM 适用性分析与实证研究[J]. 软科学, 2018, 32(2): 101-105.

[21] 岳文玉,仇蓉蓉. 基于 DEMATEL 的学术信息资源云存储安全影响因素研究[J]. 情报理论与实践, 2020, 43(3): 53-58.

[22] 缪秀梅,陈焯天,米传民. 基于 ISM 和在线评论的汤山温泉顾客满意度研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(7): 186-194.

[23] 周德群,章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 20-26.

[24] 宋雪雁,崔民一,刘强. 基于扎根理论的华为移动应用商店用户满意度影响因素研究[J]. 情报科学, 2020, 38(10): 74-81.

(收稿日期: 2020-12-29 编辑: 陈玉国)

