

基于 BIM 技术的工程项目绩效评价方法研究

林依豪¹ 徐明² 饶平平¹ 项江繁³ 王翔宇⁴ 王喜春⁴

- (1. 上海理工大学 土木工程系, 上海 200093; 2. 杨浦区规划和土地管理局, 上海 200090;
3. 上海市金山区朱泾镇城市综合管理中心, 上海 201500;
4. 上海延华智能科技(集团)股份有限公司, 上海 430073)

【摘要】 BIM 技术作为一种新兴技术, 拥有许多不确定因素和趋势。在全行业应用 BIM 技术的环境下, 业界普遍认为 BIM 技术可以带来较高的经济价值, 但是该观点缺少强有力的评价体系支撑。本文根据 BIM 技术的应用特点, 结合问卷调查以及文献归纳的方式, 确定绩效评价指标, 并利用层次分析法以及模糊综合评价法, 建立了基于 BIM 技术的工程项目的绩效评价体系。将建立的 BIM 项目绩效评估体系应用于某个已完成验收的 BIM 试点项目, 进行项目绩效的综合评价。

【关键词】 层次分析法; 项目绩效; BIM 技术; 模糊评价

【中图分类号】 TU17 **【文献标识码】** A

【版权声明】 本文被《土木工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网, 未经授权严禁登载。

1 引言

BIM 技术借助于计算机技术, 将工程项目中包含材料信息、几何数据等相关建筑信息的构件有机地整合起来, 形成一个建筑信息数据库, 并根据信息数据库中所有构件的参数信息建立工程项目三维数据模型。设计师和工程师通过三维数据模型, 能够充分掌握各种建筑信息, 能够及时应对未知问题, 为协同工作提供坚实的基础^[1]。BIM 技术的综合应用不仅提高了工程质量和施工效率, 降低了项目的总体成本, 为建筑业的发展带来了巨大的利益, 还加快了建筑行业的科技发展, 推动了工程建设领域的转型^[2]。

BIM 技术于 2008 年在国内广泛的流传。经过十年的发展, 各建筑参建方从对 BIM 技术的不确定趋势的观望态度, 转变到施工企业开始积累和探索 BIM 技术在全生命周期中施工阶段项目管理应用, 并逐步改善传统粗放型的管理模式, 向精细化项目管理模式转变^[3]。与此同时, 政府部门也开始探索

基于 BIM 技术的公共服务管理平台, 提升政府监管水平和相关建设单位以及设计单位的管理能力。在 BIM 技术发展的十年间, 大多数建筑企业和建筑各参建方都一致认同 BIM 技术能为项目运行带来巨大的价值, 甚至, 有些企业夸大了 BIM 技术的优势, 认为 BIM 技术可以解决一切问题。仅仅是感官上认为 BIM 技术可以解决许多工程难题, 对于如何高效地使用 BIM 技术, 怎么利用 BIM 技术能带来更高的价值, 应用 BIM 技术能产生哪些经济价值点都没有清晰的认识。当然, 也有一部分企业对于运用 BIM 技术到底值不值都产生了疑问。

为了推动 BIM 技术更好地实施落地, 量化 BIM 技术对工程项目的推进作用, 明确 BIM 应用目标与应用结果的指向关系。本文根据 BIM 技术对工程项目绩效的影响, 结合绩效评价方法, 构建基于 BIM 技术的工程项目绩效评价体系^[4-5]。

2 工程项目绩效评价指标

通过对上海市 63 个 BIM 试点项目进行调研

【项目基金】 上海市杨浦区建设和交通委员会资助项目“基于 BIM 技术的经济效益分析研究”(编号:19-11925)

【作者简介】 林依豪(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: BIM 技术研究与应用; 徐明(1979-), 男, 硕士, 主要从事城市规划和管理研究; 饶平平(1984-), 男, 博士, 副教授, 主要从事 BIM 方面教学与管理研究。

(调研结果如图 1 所示), BIM 技术对工程项目绩效产生影响主要集中在缩短工期、节约成本、提高质量、提高管理效率、提高安全性以及数据资产的积累六个方面。其中认为提高质量以及提高管理效率,共计 57 个,占比高达 90%。

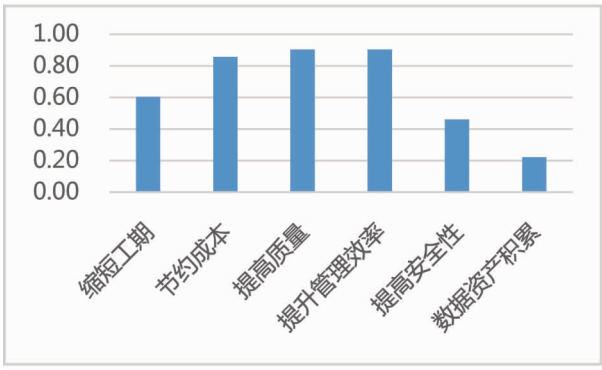


图 1 BIM 试点项目调研结果

根据文献归纳及调研结果,结合项目“三控、三管、一协调”^[6],本文从进度控制能力、成本控制能力、质量控制能力、安全管理能力及管理效率五个方面进行项目绩效评价^[7],并构建如表 1 所示的层次结构模型。

表 1 工程项目绩效评价指标结构模型

准则层	方案层	准则层	方案层
进度控制能力 T	工期缩短率 T1	质量控制能力 Q	分项工程优良率 Q1
	提前完工率 T2		项目交付品质 Q2
成本控制能力 C	费用偏差 C1	管理效率 E	质量事故处理 Q3
	投资回报率 C2		变更减少率 E1
安全管理能力 S	工伤死亡率 S1	信息请求次数 E3	返工减少率 E2
	重大事故次数 S2		

3 构建工程项目绩效评价模型

3.1 工程项目绩效评价方法

基于 BIM 技术的工程项目的评价过程是抽象的。建筑各参建方对 BIM 应用的能力或者实践经验不同,都会给项目绩效价值来源带来许多不确定性。因此,本文提出一种复合型评价方法(如图 2 所示)。首先,通过搜集国内外核心期刊中提及的应用价值点、绩效评价指标及实际工程项目中 BIM 应用价值点和改变量,建立层次分析结构模型。将复杂的评价对象分成若干个小对象,按照对象之间的联系逐个划分层级。接着,建立决策矩阵用于数据处理,以确定每个层级的权重指标。需要注意的

是,决策矩阵需满足一致性检验,否则需重新构建决策矩阵^[8]。最后,使用模糊综合评价法,构造模糊综合评价矩阵,并进行工程绩效的综合评价。

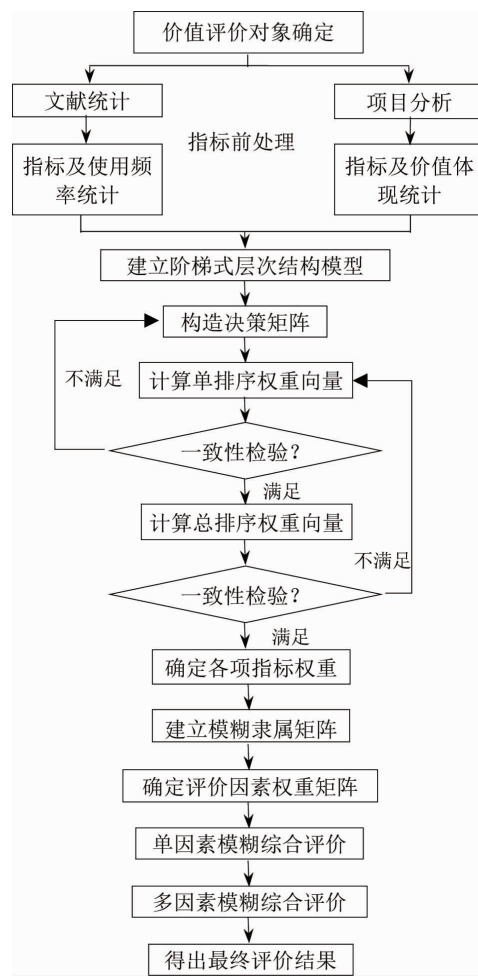


图 2 工程项目绩效评价方法流程图

基于 BIM 技术的工程项目绩效评价方法结合了层次分析法和模糊综合评价法的优点,并加入文献统计和工程实践数据的方式,从而降低了层次分析法的主观性,大大提高了评估体系的准确性和全面性。

3.2 层次分析法确定指标权重

层次分析法结合了定性分析与定量分析的特点,将人的主观判断转化成定量的客观依据。层次分析法的基本原理是将一件事分解成多个系统,然后使这些系统之间相互制约和关联,再根据数学原理将其划分层几个层级,最后通过分析计算,得出最终结果。其基本步骤共分为四步^[9-10]:

(1) 构建评价问题的层次结构模型。层次结构模型一般分为目标、准则和方案层三个层级。目标层包括的是评价决策的目标,准则层主要涵盖决策

对象的若干影响因素,方案层则是为了达到目标层而提出的各种方案和措施。基于 BIM 技术的工程项目绩效评价的层次结构模型如图 3 所示;

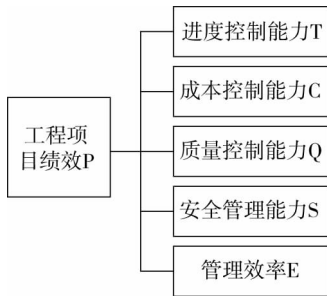


图3 层次结构模型

(2)构造判断矩阵。判断矩阵是通过层级之间的两两对比,并赋值产生的矩阵,判断矩阵的形式如下:

$$A_B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

其中, b_{ij} 表示对于准则 A 而言,方案层 B 中的元素 b_i 与 b_j 元素比较得到的二者之间的相对重要程度。 b_{ij} 的取值可以是根据资料、历史统计数据或是专家意见和经验来确定的。本文引入 9 分位标度法进行要素间的定量描述。

(3)计算各层级之间的排列顺序。在确定判断矩阵之后,对层次结构进行排序,分别计算每个判断矩阵每个方案层所对应准则层、目标层的权重。计算步骤如下:

1)将判断矩阵归一化为下列结果:

$$b_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^n b_{ij}} (i, j = 1, 2, 3 \cdots n)$$

2)将每一列经归一化处理后的判断矩阵按行相加为(W_i 为各要素的权重):

$$W_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} (i = 1, 2, 3 \cdots n)$$

(4)一致性检查

一个正确的判断矩阵,其重要性排序是有一定逻辑规律的。例如,当 A 比 C 更重要,而 B 稍微比 C 重要时,很明显 A 必须比 B 更重要。如果判断结果与之相违背,那么判断将是不合理的。因此,在实际操作中需要进行一致性检查。只有通过一致性检验,才能认为判断矩阵计算的权重和结果分析是合理的。

在进行一致性检查时,需计算判断矩阵的一致

性指标 $C.I.$,随机一致性比率 $C.R.$ 以及判断矩阵的最大特征值 λ_{max} 。

基于此,本文利用层次分析法确定各评价指标权重。根据专家评判以及数据统计结果,构造出 6 个判断矩阵。如表 2-7 所示。

表2 准则层要素判断矩阵

综合评价	T	C	Q	S	E	权重
T	1	1/2	2	3	1	0.232
C	2	1	2	5	1/2	0.296
Q	1/2	1/2	1	1	1	0.130
S	1/3	1/5	1	1	1/2	0.096
E	1	2	1	2	1	0.246

判断矩阵的 $\lambda_{max} = 5.384$,随机一致性比率 $C.R. = 0.077 < 0.1$,故判断矩阵具有可以接受的一致性。

表3 进度控制能力要素判断矩阵

进度控制能力 T	T1	T2	权重
工期缩短率 T1	1	1/3	0.25
提前完工率 T2	3	1	0.75

判断矩阵 $\lambda_{max} = 2$,随机一致性比率 $C.R. = 0 < 0.1$,故判断矩阵具有完全一致性。

表4 成本控制能力要素判断矩阵

成本控制能力 C	C1	C2	权重
费用偏差 C1	1	1	0.5
投资回报率 C2	1	1	0.5

判断矩阵的 $\lambda_{max} = 2$,随机一致性比率 $C.R. = 0 < 0.1$,故判断矩阵具有完全一致性。

表5 质量控制能力要素判断矩阵

质量控制能力 Q	Q1	Q2	Q3	权重
分项工程优良率 Q1	1	1	3	0.405
项目交付品质 Q2	1	1	5	0.481
质量事故处理 Q3	1/3	1/5	1	0.114

判断矩阵的 $\lambda_{max} = 3.029$,随机一致性比率 $C.R. = 0.014 < 0.1$,故判断矩阵具有可以接受的一致性。

表6 安全管理能力要素判断矩阵

安全管理能力 S	S1	S2	权重
工伤死亡率 S1	1	1	0.5
重大事故次数 S2	1	1	0.5

判断矩阵的最大特征值 $\lambda = 2$,随机一致性比率 $C.R. = 0 < 0.1$,故判断矩阵具有完全一致性。

表 7 管理效率要素判断矩阵

管理效率 E	E1	E2	E3	权重
变更减少率 E1	1	1	1	0.327
返工减少率 E2	1	1	2	0.413
信息请求次数 E3	1	1/2	1	0.260

判断矩阵的 $\lambda_{max} = 3.036$, 随机一致性比率 $C.R. = 0.03 < 0.1$, 故判断矩阵具有可以接受的一致性。

3.3 模糊综合评价

模糊综合评价法是一种基于模糊数学理论的评价方法,它利用隶属度理论对隐藏信息进行数字化处理。并最终作出较为科学且贴近实际的综合性评价^[11]。具体步骤如下:

(1) 建立模糊因素集 $\bar{P} = \{p_1, p_2 \dots p_n\}$ 以及评价集 $\bar{M} = \{m_1, m_2 \dots m_n\}$ 。

(2) 确定权重集 $\bar{W} = (w_1, w_2 \dots w_n)$ 。根据各因素的相对重要性,赋予相应的权重,且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

(3) 确定隶属度模糊关系矩阵 R , 其表示模糊因素集 \bar{P} 各元素对应评价集 $\bar{M} = \{m_1, m_2 \dots m_n\}$ 的一种模糊关系。

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

(4) 模糊综合评价。采用模糊算子将权重矩阵 \bar{W} 与隶属度模糊关系矩阵 R 进行计算,得到模糊综合评价结果 $S = \bar{W} \circ R = (s_1, s_2 \dots s_n)$, s_i 表示模糊评判指标。

4 案例分析

本文以已完成验收的某个 BIM 试点项目为例,进行工程绩效评价分析,工程基本情况如表 8 所示。

表 8 工程基本情况

建筑总面积	46550 m ²	交付品质	优
投资总额	99339	质量事故处理	优
BIM 投入	680	工程优良率	95%
BIM 收益	1106	重大事故次数	0
工期节省	15 天	减少信息请求	60 次

(续)

建筑总面积	46550 m ²	交付品质	优
变更减少率	80%	变更费用节省	500
返工减少率	10%	工伤死亡人数	0

根据层次分析法计算结果得:

$$W = (0.232, 0.296, 0.130, 0.096, 0.246)$$

$$W_T = (0.25, 0.75)$$

$$W_C = (0.5, 0.5)$$

$$W_Q = (0.405, 0.481, 0.114)$$

$$W_S = (0.5, 0.5)$$

$$W_E = (0.327, 0.413, 0.260)$$

根据项目实施情况,并结合指标进行评分,并

根据及评价集 $\bar{M} = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$ 四个等级进行评分,将评分结果进行换算,得到以下模糊矩阵:

$$R_T = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \end{pmatrix} \quad R_C = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0.85 & 0.15 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_Q = \begin{pmatrix} 0.90 & 0.10 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.65 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.55 & 0.35 & 0 \end{pmatrix} \quad R_S = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_E = \begin{pmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.65 & 0.25 & 0.1 & 0 \\ 0.35 & 0.45 & 0.3 & 0 \end{pmatrix}$$

根据各自权重得出一级指标综合评价:

$$S_T = W_T \cdot R_T = (0.625, 0.3, 0.075, 0)$$

$$S_C = W_C \cdot R_C = (0.525, 0.425, 0.05, 0)$$

$$S_Q = W_Q \cdot R_Q = (0.5, 0.42, 0.08, 0)$$

$$S_S = W_S \cdot R_S = (0.22, 0.78, 0, 0)$$

$$S_E = W_E \cdot R_E = (0.6, 0.3, 0.1, 0)$$

所以,工程项目绩效评价矩阵为:

$$S = (0.494, 0.445, 0.061, 0)$$

根据最大隶属度原则,本项目整体绩效评价结果为优。从五个层面结果来看,进度控制能力、成本控制能力、质量控制能力及管理效率表现结果均为优,仅安全管理能力为良。因此,需要适当加强项目安全管理的能力。

5 结论

本文运用综合评价理论和信息技术评价方法,分析了 BIM 应用的工程绩效评价问题,得出以下结论:

(1) 本文通过对 63 个 BIM 试点项目进行专家调研,并结合文献应用及 BIM 试点项目资料分析,

共总结出一级指标 5 项,二级指标 12 项,并基于此构建工程绩效评价层次结构模型。

(2)本文根据专家调研结果,深入分析工程绩效评价中 BIM 技术所产生的价值,并利用层次分析法确定各个指标权重系数。最后,通过模糊综合评价法建立模糊矩阵,处理数据并得出最终评价结果。

(3)在全行业应用 BIM 技术的环境下,业界普遍认为 BIM 技术可以带来较高的经济价值,但是该观点缺少强有力的评价体系支撑。本文选取 BIM 试点项目进行工程绩效评价,验证了评价模型的可行性,为构建科学、完善、合理的 BIM 应用的工程项目绩效评价体系奠定了良好的基础。

参考文献

- [1] 张坤南. 基于 BIM 技术的施工可视化仿真应用研究[D]. 青岛理工大学, 2015.
- [2] 张桦. 建筑设计业现代信息技术的研究[D]. 同济大学, 2004.
- [3] 刘群. BIM 技术在建筑企业精细化施工管理中的应用

- 研究[D]. 烟台大学, 2016.
- [4] 荀志远, 齐琦, 孙悦, 等. 基于 KPI-ANP 的绿色施工管理绩效评价研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7(4): 45-49.
- [5] 李恒, 金志刚. 中国建筑企业国际化绩效评价体系研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2009, 1(2): 37-44, 50.
- [6] 谭涛, 熊志坚. 工程项目绩效评价指标体系比较研究[J]. 科技管理研究, 2014(23): 81-90.
- [7] 冯丽霞, 陈义. 完善工程项目绩效评价指标体系的思考[J]. 长沙理工大学学报(社会科学版), 2005, 20(1): 51-53.
- [8] 马建斌. 工程项目管理绩效评价实证研究[J]. 四川建材, 2017, 43(3): 178-180.
- [9] 黄洪金. 层次分析和模糊综合评价方法在公共政策评价中的应用研究[D]. 华中师范大学, 2014.
- [10] 姜荣荣, 李希胜, 李明瑞. 一种基于 BIM 的建筑性能分析软件选用方法[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(5): 92-97.
- [11] 唐静. 基于模糊综合评价法的房地产开发项目风险评估研究[D]. 华中农业大学, 2013.

Research on Performance Evaluation Method of Engineering Projects Based on BIM Technology

Lin Yihao¹, Xu Ming², Rao Pingping¹, Xiang Jiangfan³, Wang Xiangyu⁴, Wang Xichu⁴

- (1. Department of Civil Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 20093, China;
2. Construction Management Affairs Center of Yangpu District Shanghai, Shanghai 200090, China;
3. Comprehensive Urban Management Center of Zhujing, Jinshan District, Shanghai 201500, China;
4. Shanghai Yanhua Smartech Group Co., Ltd, Shanghai 430073, China)

Abstract: As a newly emerged technology, the BIM technology still possesses many uncertain factors or uncertain trends in the future. Under the background of BIM application in the whole industry, it is generally believed in the whole industry that BIM technology can bring higher economic value, which, however, lacks of strong support of evaluation system. Based on the characteristics of BIM technology, this paper determines the performance evaluation index through integrated methods of questionnaire survey and literature induction, and also establishes a performance evaluation system of engineering projects of BIM technology by using the analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation. The established BIM project performance evaluation system is then applied in a BIM pilot project which has completed acceptance to conclude comprehensive evaluations of the performance of the project.

Key Words: Analytic Hierarchy Process; Project Performance; BIM Technology; Fuzzy Evaluation