

基于 BIM 技术的 EPC 项目成本效益评价研究

子燕琼

昆明理工大学 昆明 650500

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12190

[摘 要] 在建筑业 EPC 模式广泛应用且成本管理复杂的背景下，本研究聚焦 BIM 技术在 EPC 项目中的应用，构建评价体系并运用 AHP 法与模糊评价法进行综合评估。结果显示，BIM 技术显著提升 EPC 项目成本效益，总评分达 90.30 分，属“极好”等级。其优化了项目质量与成本管理，降低企业成本，促进信息交流与协作，提升管理质量和决策效率。

[关键词] EPC 项目；BIM 技术；成本效益；模糊综合评价法

1 研究背景

在建筑业发展推动下，EPC 模式因整合设计、采购及施工而广受应用，但成本管理复杂。BIM 技术的引入，通过紧密连接项目各阶段与参与者，提升信息交流效率，促进工程质量与成本降低。评估 BIM 在 EPC 项目中的应用成效成为关键。现有研究已探讨 BIM 技术在 EPC 项目的成本管理、风险管理等方面的影响。

本文在前人基础上，融合 BIM 与 EPC 模式，构建适用于 EPC 的成本效益评价体系，并运用 AHP 法分配权重，得出成本效益评分，旨在通过动态监控投入与收益成本，识别关键指标，以实现项目效益最大化。

2 国内外研究综述

近年来，EPC 模式下的 BIM 技术应用研究备受关注，研究涉及融合应用、场景探讨、管理效率提升等，旨在挖掘 BIM 潜力，推动 EPC 项目管理创新发展。

赵丽乐(2020)指出 BIM 技术与 EPC 模式结合的必要性^[1]。Piselia (2020) 探究 BIM 4D 建模在 EPC 项目中的运用^[2]。邢哲 (2021) 以 220KV 变电站 EPC 项目为例，阐述 BIM 技术在电网 EPC 项目全生命周期管理的应用^[3]。陈奕才 (2021) 认为构建 EPC 项目数字化管理平台需剖析数字建造流程^[4]。虞奇 (2021) 将 BIM 技术融入产业园区 EPC 项目，探讨管理模式^[5]。黄达 (2020) 综合评估 EPC 项目基于 BIM 技术的构建成效，给出应用建议^[6]。张云宁 (2020) 研究水利工程中 BIM 技术应用价值，构建评估体系并提出发展策略^[7]。

3 BIM技术在EPC工程中的应用

BIM 技术构建全生命周期数字化架构，促进资源共享与决策。在 EPC 项目中，解决信息传递问题，明确管理阶段，降低错误，提升效率。图 1 展示了 BIM 在类似项目中的应用。



图 1 BIM 技术在 EPC 项目的应用

3.1 设计阶段模拟

BIM 技术于设计流程中搭三维模型，促多方高效协作，直观对比设计草案，结合 GIS 分析数据，采用多指标评估筛选方案，确保 EPC 项目选择最优且合理的设计。

3.2 采购阶段的应用

在 EPC 项目中，物料设备采购费用占比高达六七成，是关键成本环节。BIM 采购管理系统能够整合全流程，前置调研缩减耗时成本，锁定总成本，评估施工方案，优化设计，减少额外费用。

3.3 施工阶段的应用

施工过程成本管理复杂，BIM 模型助力控制。BIM 广泛应用于施工策划、技术设定、安全监管等，可视化仿真施工过程，规划现场布局，集成系统监控进度，确保施工质量。

表 1 基于 BIM 技术的 EPC 项目成本效益评价指标体系

方案层	准则层	指标层
基于 BIM 技术的 EPC 项目成本效益	战略指标 (A1)	战略契合度 (A11)
		合作匹配度 (A12)
		品牌影响力 (A13)
		变更降低量 (A21)
	质量指标 (A2)	材料设备质量 (A22)
		项目合格率 (A23)
		施工进度 (A24)
		设计成本节约 (A31)
	成本指标 (A3)	采购成本 (A32)
		施工成本 (A33)
		施工图设计时间 (A41)
		设计变更时间 (A42)
	进度指标 (A4)	设备采购时间 (A43)
		施工方案优化时间 (A44)
	管理层指标 (A5)	员工素质程度 (A51)
		管理能力 (A52)
		劳动效率 (A53)
		信息沟通 (A54)

4 基于BIM技术的EPC项目成本效益评价

4.1 成本效益评价指标体系确定

在 EPC 项目成本控制中，实时追踪工程实况至关重要。

本研究针对采用 BIM 技术的 EPC 项目，构建成本效益评估体系，从总承包商视角评价成本控制效果，并提出建议。依据 BIM 全周期管理，结合专家调研，构建多层次成本效益评估体系，具体如表 1。

4.2 基于 BIM 技术的 EPC 项目成本效益评价

4.2.1 构建判断矩阵

通过汇总专家评分数据，可以确定各个评价指标的权重。为了简化权重值的计算过程，可依据专家评分数据建立比较判断矩阵，以表 2 准则层为例。

表 2 准则层判断矩阵

准则层指标	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	2	1	1	1
A2	1/2	1	1	2	1/2
A3	1	1	1	1	1
A4	1	1/2	1	1	1
A5	1	2	1	1	1

4.2.2 确定指标权重

依据权重的数理逻辑阐述：通过分析判断矩阵 A，可推算出其特征向量与特征峰值，进而利用 $BW=\lambda_{\max}W$ ，能够获取具体的排序情况。其中， $\lambda_{\max}$ 是 A 判断矩阵的特征峰值，而 W 则是充当排序的向量。本项研究借助 MATLAB 软件来估算各个参数的权重，并进行一致性指数验证。

依据权值度量策略，在对专家团队采用德尔菲法进行咨询的基础上，依据所构建的判断矩阵，确定基于 BIM 技术的 EPC 项目成本效益评价指标的重要性。以成本指标层（A3）的判断矩阵为例，进行指标权重确认的步骤说明：

$$QA3=\begin{bmatrix}1&1&1\\1&1&2\\1&1/2&1\end{bmatrix}$$

结合得出的特征向量，运用方根法（ $W_{ij}=(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}$ ， $W_{ij}=\frac{W_{ij}}{\sum_j W_{ij}}$ ）进行优化处理，进而获得具体的指标权重，以 A3 为例：

$$WA3=(0.327, 0.413, 0.260)$$

同样地，对准则层、质量指标 A2、成本指标 A3、进度指标 A4 等进行优化处理。

运用公式 4-1、4-2，计算所构建矩阵的一致性数值，当 $CR<0.1$ 时，表示指标具有较好的一致性，可以展开后续分析。

$$\lambda_{\max}=\frac{1}{3}\sum\frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (\text{公式 4-1})$$

$$\text{一致性指标CI}=\frac{\text{最大特征值}\lambda_{\max}-\text{矩阵阶数}}{\text{矩阵阶数}-1};$$

$$\text{一致性比例CR}=\frac{\text{一致性指标CI}}{\text{随机一致性指标标准值RI}} \quad (\text{公式 4-2})$$

通过计算，即可得出战略指标 A1、质量指标 A2、成本指标 A3、进度指标 A4、管理层指标 A5 的 CR 数值，具体为 0.0437、0.0516、0.0968、0.0516、0.0221 及 0.0634，均低于 0.1，表示其构建的矩阵一致性较好。表 3 为详细的权重统计结果。

表 3 基于 BIM 技术的 EPC 项目成本效益评价指标权重

准则层指标	指标层指标权重	准则层指标	指标层指标权重
战略指标 (A1)	0.2280	战略契合度 (A11)	0.4130
		合作匹配度 (A12)	0.3270
		品牌影响力 (A13)	0.2600
		变更降低量 (A21)	0.3023
质量指标 (A2)	0.1730	材料设备质量 (A22)	0.2138
		项目合格率 (A23)	0.2297
		施工进度 (A24)	0.2542
		设计成本节约 (A31)	0.3270
成本指标 (A3)	0.1980	采购成本 (A32)	0.4130
		施工成本 (A33)	0.2600
		施工图设计时间 (A41)	0.2026
		设计变更时间 (A42)	0.2846
进度指标 (A4)	0.1730	设备采购时间 (A43)	0.3407
		施工方案优化时间 (A44)	0.1703
		员工素质程度 (A51)	0.1716
		管理能力 (A52)	0.3431
管理层指标 (A5)	0.2280	劳动效率 (A53)	0.2426
		信息沟通 (A54)	0.2426

表 4 调查统计结果

准则层指标	指标层指标	项目成本效益评价				
		极好	较好	一般	较差	极差
战略指标 (A1)	战略契合度 (A11)	45	20	15	0	0
	合作匹配度 (A12)	46	19	15	0	0
	品牌影响力 (A13)	55	15	10	0	0
	变更降低量 (A21)	56	20	4	0	0
质量指标 (A2)	材料设备质量 (A22)	63	10	7	0	0
	项目合格率 (A23)	57	16	7	0	0
	施工进度 (A24)	55	19	6	0	0
	设计成本节约 (A31)	61	11	8	0	0
成本指标 (A3)	采购成本 (A32)	53	25	4	0	0
	施工成本 (A33)	49	23	8	0	0
	施工图设计时间 (A41)	43	22	15	0	0
	设计变更时间 (A42)	52	24	4	0	0
进度指标 (A4)	设备采购时间 (A43)	51	18	11	0	0
	施工方案优化时间 (A44)	46	26	8	0	0
	员工素质程度 (A51)	51	20	9	0	0
	管理能力 (A52)	45	31	4	0	0
管理层指标 (A5)	劳动效率 (A53)	36	32	12	0	0
	信息沟通 (A54)	46	23	11	0	0

4.2.3 构建评价矩阵

(1) 建立评价集

在评估 BIM 技术框架下的 EPC 项目成本效益时，首先，要构建相应的因素集、权重集与评价集。

1) 因素集: 依照 BIM 技术框架下的 EPC 项目成本效益评价体系, 构筑因素集如下, 以 A1 为例:

$$A1 = \{A11, A12, A13\}$$

2) 权重集: 运用 AHP 法计算各指标的对应权值, 然后构建权重集如下, 以 WA1 为例:

$$WA1 = (0.413, 0.327, 0.260)$$

3) 评价集: 该集合旨在依照评估结果, 来判断评价的具体层级, 本文将 BIM 技术框架下的 EPC 项目成本效益的评价等级归为五个维度。

根据评价等级, 得到评语集为:

$$V = \{V1, V2, V3, V4, V5\} = \{\text{极好}, \text{较好}, \text{一般}, \text{较差}, \text{极差}\} = \{95, 85, 75, 65, 30\}$$

为精准评估 BIM 技术框架下的 EPC 项目成本效益, 可采用问卷的方式, 为参与该项目的人员下发调查问卷, 共计 80 份, 详细结果可见表 4。

(2) 建立模糊综合评价矩阵

依照表 4 的调查结果, 来构建准则层指标评价矩阵, 以 R_{A1} 为例:

$$R_{A1} = \begin{bmatrix} 0.5625 & 0.2500 & 0.1875 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.5750 & 0.2375 & 0.1875 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.6875 & 0.1875 & 0.1250 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

依照判断矩阵, 构筑指标层的权重集, 并与模糊评价矩阵做乘法运算, 具体结果如下:

$$G_{A1} = W_{A1} * R_{A1} = (0.1250, 0.1818, 0.2283, 0.3109, 0.1540)$$

$$G_{A2} = W_{A2} * R_{A2} = (0.1220, 0.1959, 0.2257, 0.2507, 0.2057)$$

$$G_{A3} = W_{A3} * R_{A3} = (0.1132, 0.2053, 0.2326, 0.2404, 0.2087)$$

$$G_{A4} = W_{A4} * R_{A4} = (0.1632, 0.2898, 0.3314, 0.3085, 0.2440)$$

$$G_{A5} = W_{A5} * R_{A5} = (0.1632, 0.2898, 0.3314, 0.3085, 0.2440)$$

(3) 模糊综合评价

结合各指标层权重与模糊评价矩阵的运算结果, 得出准则层的具体权重:

$$R = \begin{bmatrix} 0.5991 & 0.2297 & 0.1713 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.7184 & 0.2086 & 0.0730 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.6822 & 0.2488 & 0.0794 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.6090 & 0.2731 & 0.1161 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.5511 & 0.3426 & 0.1117 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

$$\text{已知 } WA = (0.228, 0.173, 0.198, 0.173, 0.228)$$

所以综合评价集为:

$$G = W * R = (0.6269, 0.2631, 0.1117, 0.0000, 0.0000)$$

然后得出一级指标“基于 BIM 技术的 EPC 项目成本效益”的评分情况:

$$E = G * V^T = 90.30$$

接着, 计算出准则层指标的分值。

“战略指标 A1”的评价得分为:

$$E_{A1} = G_{A1} * V^T = 89.28$$

“质量指标 A2”的评价得分为:

$$E_{A2} = G_{A2} * V^T = 91.45$$

“成本指标 A3”的评价得分为:

$$E_{A3} = G_{A3} * V^T = 91.91$$

“进度指标 A4”的评价得分为:

$$E_{A4} = G_{A4} * V^T = 89.78$$

“管理层指标 A5”的评价得分为:

$$E_{A5} = G_{A5} * V^T = 89.44$$

4.2.4 结果分析

依照模糊评估法得出的结果, 可知 BIM 技术框架下的 EPC 项目成本效益总评分为 90.30 分, 为“极好”等级, 表示 BIM 技术能够促进 EPC 项目成本效益的提升。在准则层指标中, 质量指标 A2、成本指标 A3 的评分较高, 具体为 91.45 分、91.91 分, 均为“极好”等级, 说明 BIM 技术在优化项目质量与成本管理上效果较好。而战略指标 A1、进度指标 A4 以及管理层指标 A5 的分值均高于 89 分, 为“较好”等级, 表示 BIM 技术可以增强项目的战略适配度和品牌效应, 减少施工图的设计、变动, 以及设备的购置和方案改进时间, BIM 技术在 EPC 项目中的运用, 有效提升了其成本效益, 并为项目的顺利推进提供了科学指引。

5 研究结论

本研究聚焦 BIM 技术在 EPC 项目中的应用, 分析了其设计、采购、施工等环节的成本效益优化策略, 并构建了多指标评价体系。采用 AHP 法与模糊评价法分析发现, BIM 技术显著提升了 EPC 项目的成本效益, 评价高达 90.30 分, 属“极好”级别。通过提高设计效率、优化采购流程、强化施工成本管理, BIM 有效降低了企业成本, 促进了信息交流与协作, 提升了管理质量和决策效率。在 EPC 项目中, BIM 展现出强大的成本效益优势, 对建筑行业数字化转型和项目管理升级至关重要。

[参考文献]

[1] 赵丽乐. EPC 模式中 BIM 技术应用研究[D]. 吉林建筑大学, 2020.

[2] Piselia M, 4D BIM implementation to improve EPC project performance from contractor's perspective. A case study[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 930: 012-021.

[3] 邢哲, 郑世超. BIM 技术在电网工程 EPC 总承包项目中的应用[J]. 红水河, 2021.

[4] 陈奕才, 崔喜莹, 杜佐龙, 焦柯, 杨新. 基于 BIM 的数字建造平台在 EPC 项目的应用研究[C]//. 2021 年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册). [出版者不详], 2021: 292-295.

[5] 虞奇, 张仁友, 何瑞金. 基于 EPC 模式的建筑工程设计、施工一体化 BIM 应用[J]. 工程设计与设计, 2021 (22): 107-110

[6] 黄达. 某 EPC 项目基于 BIM 的智慧工地建设与综合效益评价研究[D]. 华南理工大学, 2020.

[7] 张云宁, 施陆燕, 秦韬, 宋亮亮. 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(01): 29-35+48+86.

作者简介: 子燕琼(1996—), 女, 彝族, 云南丽江, 研究生学历, 研究生在读。