

基于价值工程的建筑脚手架方案比选

吴经纬

(中铁十五局集团第三工程有限公司,四川 成都 640000)

摘要: 建筑脚手架是建筑工程中十分重要的措施项目,脚手架的方案比选成为建筑施工过程中的一个重点问题。为了给决策者提供价值最优的脚手架比选建议,本文基于价值工程原理提出一种脚手架方案比选方法。通过对各个脚手架方案成本的计算来量化成本系数,根据脚手架功能模型和评价方法量化功能系数,通过计算价值系数判断最优项。结合某装配式项目的脚手架比选过程,详细阐述了该比选方法的实际应用。结果表明:本文提出的建筑脚手架方案比选方法能综合考虑各影响因素,全面、直观地量化出具体的比选结果,可为决策者提供价值最优的比选参考。

关键词: 脚手架; 方案比选; 价值工程; 装配式建筑

中图分类号: TU731.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)01-0073-06

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.01.014

Comparison on value engineering construction scaffolding schemes

WU Jingwei

(CR 15 BG No. 3 Engineering Co., Ltd., Chengdu 640000, Sichuan, China)

Abstract: As an indispensable measure item of construction engineering, the comparison and selection of scaffolding schemes has become a key issue in the construction process. In order to provide decision-makers with the best value scaffolding comparison suggestions, a value engineering scaffolding scheme comparison method is proposed. The cost coefficient is quantified by calculating the cost of each scaffolding scheme, the functional coefficient is quantified according to the scaffold functional model and evaluation method, and the optimal item is judged by calculating the value coefficient. Combined with the scaffolding comparison and selection process of a prefabricated project, the practical application of the comparison method is elaborated in detail. The results show that the comparison and selection method of construction scaffolding scheme proposed in this paper can comprehensively consider all influencing factors, comprehensively and intuitively quantify the specific comparison results, and can provide the best value comparison reference for decision makers.

Key words: scaffolding; scheme comparison; value engineering; prefabricated building

随着生产水平的发展,建筑施工脚手架形式越来越多样。各形式的脚手架各有优缺点,如何选择适合的脚手架成为项目决策者必须认真思考的问题。不少学者针对脚手架的比选做了专门的研究。沈毅等^[1]通过对4种常用外脚手架形式的

工作原理、适用性、灵活性、经济性等进行分析对比,探讨了脚手架方案选择的影响因素,提出了确定脚手架方案的实用办法;李军^[2]通过对北京市装配整体式混凝土结构工程使用外脚手架的调研,分析了各类脚手架在装配整体式混凝土结

收稿日期: 2023-03-24

基金项目: 中铁十五局集团第三工程有限公司科技研发计划资助项目(2023补3)

作者简介: 吴经纬(1987—),男,工程师,一级建造师,从事建设项目管理、工程经济方面的工作。

构工程中的适用性,为脚手架选型提供参考;高扬等^[3]从类型、安全、进度、经济、文明施工场容场貌 5 个维度对落地式双排脚手架、悬挑式脚手架、导座式附着升降脚手架进行了对比,为脚手架选型提供参考;刘周学^[4]结合高层建筑施工的特点,横向对比了各类外脚手架的工艺原理、技术要点和技术经济性,提出了不同建筑高度下的外脚手架方案选择原则,以及各类外脚手架的适用范围,为科学合理地选择高层建筑外脚手架方案起借鉴作用。现有研究存在的短板:1) 大多研究没有考虑各功能的权重,无法量化出具体的比选结果;2) 现有研究提供的建议更多偏向于功能最优、价格最优或最为合适的简单比选,没有深入综合地考虑项目环境、项目特点、施工单位情况、项目参建人员的主观意愿等综合因素,结果恐有偏颇。为克服上述问题,本文基于价值工程原理,提出一种脚手架比选方法,以期为类似工程提供参考。

1 价值工程概述及脚手架比选方法

1.1 价值工程概述

价值工程是综合利用科学的方法、技术和工具,对一项产品、工程或服务进行的以价值为指导、功能分析为核心的系统分析和研究。价值工程以功能分析为核心,力求用最低的寿命周期成本实现产品的必备功能。

价值工程自 20 世纪 70 年代引进我国,经过长时间的普及和发展,被广泛应用于各行各业^[5],其中,价值工程在建筑行业中主要用于方案比选和方案改进。彭琼芳^[6]应用价值工程对真石漆和石材颗粒饰面砂浆两种外墙出新方案进行了比选,得出了石材颗粒饰面砂浆更优的结论;汪丽^[7]对房地产项目的功能进行了分解,并按价值工程原理对各功能的价值进行计算,找到了成本优化的方向(即价值系数远大于 1 或远小于 1 的功能),并对精装修工程、户型布局、消防工程、小区内道路、通信工程制定了专门的优化方案。

1.2 脚手架比选方法

采用价值工程的分析步骤进行建筑脚手架的比选,具体步骤如图 1 所示。首先,成立专项工作小

组来完成相关工作,工作组可以由项目经理、技术负责人、商务经理、生产经理、安全工程师等相关专业人员组成。然后,工作小组进行方案收集、成本测算,为后续的价值工程的研究做准备。最后,工作小组根据价值工程的研究步骤,依次进行成本系数、功能系数以及价值系数的计算。

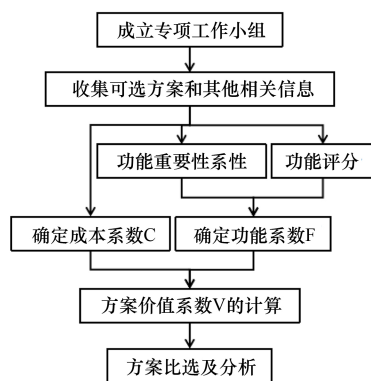


图 1 脚手架比选步骤

(1) 成本系数确定。从总包单位视角分析脚手架相关成本。脚手架的直接成本主要有材料购买/租赁费、人工施工/拆除费、后续的外墙面处理相关的人工材料成本、使用塔吊进行垂直运输的成本、材料二次转运所用到的机械费等;间接成本主要有管理费分摊。第 i 项方案的成本系数 C_i 计算方式为

$$C_i = \frac{P_i}{\sum_{j=1}^k P_j} \quad (1)$$

式中: P_i 为第 i 项方案的成本; k 为可选方案数量; P_j 为第 j 项方案的成本。

(2) 功能重要性系数。通过查阅资料文献^[1-4],对脚手架的主要功能进行定义,并按层次分析法构造递阶层次,如表 1 所示。通过引入判断标度(表 2),将处于同一层次的影响因素相互之间逐一进行比较,以确定其相对重要程度,据此建立正互反矩阵 A ,如式(2)所示。应用正互反矩阵,即计算 F_i 相对于 A 的权重,可先计算矩阵特征向量 W ,经归一化处理即可得出 F_i 相对于 A 的重要程度(权重)。计算矩阵最大特征根、一致性指标、平均随机一致性指标(式 3),将得到检验系数与规定的一致性指标 RI 进行对比(表 3)。若检验系数小于 RI ,判断该矩阵通过一致性检验,具备满意的一致性,反之则重新构件判断矩阵和确定权重。

表 1 建筑脚手架功能定义

一级功能定义	二级功能定义	三级功能定义
建筑脚手架功能定义 F	满足作业要求 F_1	提供的作业面满足要求 F_{11}
		满足工期要求 F_{12}
		便捷性 F_{13}
		适用性 F_{14}
	安全性 F_2	足够的强度、稳定性 F_{21}
		过程风险管控 F_{22}
		专家论证、当地安全政策 F_{23}
	辅助功能 F_3	延期影响效果 ^[8] F_{31} 文明及美观 F_{32}

表 2 相对重要性标准

标度	含义
1	F_i 与 F_j 同等重要
3	与 F_j 相比, F_i 稍重要
5	与 F_j 相比, F_i 较重要
7	与 F_j 相比, F_i 非常重要
9	与 F_j 相比, F_i 绝对重要
2、4、6、8	上述标度的中间值
上述标度的倒数	F_i 与 F_j 比较得到判断值的互反数

$$A = \begin{bmatrix} F_{11} & \cdots & F_{1l} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{lj} & \cdots & F_{ij} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中： F_{ij} 为功能 F_i 对功能 F_j 的相对重要程度。

$$CR = CI/RI \quad (3)$$

式中： CR 为一致性比例； CI 为判断矩阵一致性指标； RI 为平均随机一致性指标。

表 3 平均一致性指标取值

判断矩阵阶数	平均随机一致性指标
1	0
2	0
3	0.58
4	0.9
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45

(3) 脚手架功能评分。充分了解可选方案特点和各类相关信息后，按统一标准对各脚手架功能进行打分，评分标准如表 4 所示。取打分人员的平均值作为第 i 项功能的评分 P_i ，具体算式如式(4)所示。

表 4 脚手架功能评分标准

评分 P 的范围	评价
$0 \leq P < 2$	存在严重不足,甚至直接影响方案可行性
$2 \leq P < 4$	存在不足,对该方案的应用有明显的负面影响
$4 \leq P < 6$	表现中规中矩
$6 \leq P < 8$	表现良好
$8 \leq P \leq 10$	表现优秀

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{k} \quad (4)$$

式中： k 为参与功能评价的人数； P_{ij} 为第 j 位人员对第 i 项功能的打分。

(4) 方案功能系数确定。利用式(5)、(6)计算各方案的功能系数。

$$F'_i = \sum_{l=1}^j W_{il} P_{il} \quad (5)$$

$$F_i = \frac{F'_i}{\sum_{m=1}^k F'_m} \quad (6)$$

式中： F'_i 为第 i 项方案考虑功能重要性系数后的综合得分； F_i 为第 i 项方案的功能系数； W_{il} 为第 i 项方案的第 l 项功能重要性系数； P_{il} 为第 i 项方案的 l 项功能的评分； k 为可选方案数量。

(5) 方案价值确定。利用式(7)计算各方案价值。

$$V_i = F_i/C_i \quad (7)$$

式中： V_i 为第 i 项方案的价值； F_i 为第 i 项方案的功能； C_i 为第 i 项方案的成本。 V_i 值最大的方案为价值最优的选项。另外，分析过程中可以进一步体现出该方案的改进方向和关注点。

2 脚手架比选方法应用实例

某装配式高层住宅建筑项目，地上楼层为 30 层，二层以上均为标准层，单层层高为 3.05 m，标准层主要预制构件有预制夹心保温剪力墙、预制楼梯和预制叠合板，装配率为 50% 左右。

2.1 可选脚手架方案

通过前期的项目情况摸底、市场调研和技术分析得知，该装配式建筑标准层脚手架可以使用工具式外挂架、花篮式悬挑脚手架和爬架。工具式外挂架主要由方钢焊接制作，通过外墙预留的螺栓孔来固定三角支撑架，在上面铺设花纹钢板、架体外设防护网等形成一种新型的脚手架形式^[9-10]。该类型外挂架因存在较高的风险，在部分地区被禁用（如北京地区），但在项目所在地仍

可使用。花篮式悬挑架在传统悬挑架的基础上,更改了支座结构,通过高强螺栓固定在外墙上的工字钢和拉杆等组成一个三角形的支座结构^[11]。爬架具有一次性搭设成型,自动提升的特点^[12]。

2.2 方案成本系数确定

选取该工程其中一栋标准楼进行成本系数的

测算。直接费按市场摸底情况和历史合同相关内容进行测算,间接费参照总承包合同中约定的费率进行计算(表 5),方案成本系数计算结果:花篮式悬挑脚手架、爬架、工具式外挂架成本系数分别为 0.354、0.412、0.234。

表 5 方案成本系数

元

项目名称	花篮式悬挑脚手架	爬架	工具式外挂架
人工费	776 972.00	0	416 235.00
材料购买费	452 635.62	0	627 840.00
材料残值回收	-207 079.20	0	-376 704.00
材料租赁费	79 861.24	1 352 400.00	0
机械费	65 000.00	12 000.00	96 500.00
前期外墙预埋及后续外墙面处理费	27 749.00	27 750.00	27 749.00
管理费	59 756.93	69 607.50	39 581.00
增值税金	50 195.82	58 470.30	33 248.04

2.3 功能重要性系数确定

构建判断矩阵,如式(8)~(11)所示。其中 A 为二级功能价值重要性判断矩阵; A_1 为 F_1 的三级功能价值重要性判断矩阵; A_2 为 F_2 的三级功能价值重要性判断矩阵; A_3 为 F_3 的三级功能价值重要性判断矩阵。各矩阵的一致性判断检验计算结果及判断如表 6 所示。其中 $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵最大特征根; CI 为判断矩阵一致性指标。由表 6 可知:构建的各级判断矩阵具备满意的一致性,其权重计算结果可以反映实际情况。计算出的各功能权重如表 7 所示。由表 7 可知:1) 项目脚手架最重要的功能为 F_{14} 、 F_{12} 和 F_{21} ,这三项功能是项目脚手架方案比选的重点也是后续改进的重要方向;2) F_{32} 、 F_{13} 和 F_{23} 的重要性最低,在优化时可做适当舍弃。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 1/3 & 1 & 5 \\ 1/6 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 2 & 1/4 \\ 5 & 1 & 5 & 1/3 \\ 1/2 & 1/5 & 1 & 1/7 \\ 4 & 3 & 7 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1 & 4 \\ 1/5 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 8 \\ 1/8 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

表 6 一致性检验结果

功能编号	对应的判断矩阵	$\lambda_{\max}$ 值计算	一致性检验指标 CI	一致性检验
F_1, F_2, F_3	A	3.095	0.047 5	符合
$F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}$	A_1	4.183	0.061 0	符合
F_{21}, F_{22}, F_{23}	A_2	3.025	0.012 5	符合
F_{31}, F_{32}	A_3	2.000	0	符合

表 7 功能重要性系数计算

二级功能		三级功能		
功能编号	权重	功能编号	权重	综合权重
F_1	0.627	F_{11}	0.105	0.066
		F_{12}	0.307	0.192
		F_{13}	0.061	0.038
		F_{14}	0.527	0.33
F_2	0.292	F_{21}	0.568	0.166
		F_{22}	0.334	0.098
		F_{23}	0.098	0.029
F_3	0.081	F_{31}	0.889	0.072
		F_{32}	0.111	0.009

2.4 功能评分

结合项目情况,分析各个脚手架方案的优缺点并横向对比,再对各功能进行评分,结果如表 8 所示。由表 8 可知:1) 爬架对工期最为敏感,若

表 8 脚手架功能评价平均分

功能	工具式外挂架	花篮式悬挑脚手架	爬架
F_{11}	5.4	6.4	8.4
F_{12}	4.4	5.8	8.4
F_{13}	5.8	6.0	7.8
F_{14}	5.2	6.0	7.6
F_{21}	5.4	5.8	6.4
F_{22}	3.8	8.4	8.4
F_{23}	1.0	7.4	7.8
F_{31}	8.8	5.8	3.2
F_{32}	7.0	7.8	8.2

项目的工期风险较大(如甲方资金不到位等情况)更要慎重考虑使用爬架;2)使用工具式挂架有诸多功能限制(施工单位无处理经验;专家论证要求

较高;安全风险相对较高;占用过多塔吊时间进而可能影响整体工期),若最终确定使用工具式挂架,项目部需要提前采取措施,应对挂架在功能分析中体现出来的诸多风险;3)花篮式悬挑脚手架仅是在传统的工字钢悬挑脚手架基础上有所改进,横向对比各功能并不出众。

2.5 功能系数确定

将各项功能评分乘以对应的综合权重,可计算考虑权重后的功能评分,计算结果如表 9 所示。由表 9 可知:工具式外挂架、花篮式悬挑脚手架、爬架在考虑权重后的功能评分之和分别为 5.132、6.232 和 7.388,对应的功能系数分别为 0.274、0.332 和 0.394。

表 9 脚手架功能系数

功能	综合权重	工具式外挂架		花篮式悬挑脚手架		爬架	
		功能评分	考虑权重功能评分	功能评分	考虑权重功能评分	功能评分	考虑权重功能评分
F_{11}	0.066	5.4	0.356 4	6.4	0.422 4	8.4	0.554 4
F_{12}	0.192	4.4	0.844 8	5.8	1.113 6	8.4	1.612 8
F_{13}	0.038	5.8	0.220 4	6.0	0.228 0	7.8	0.296 4
F_{14}	0.330	5.2	1.716 0	6.0	1.980 0	7.6	2.508 0
F_{21}	0.166	5.4	0.896 4	5.8	0.962 8	6.4	1.062 4
F_{22}	0.098	3.8	0.372 4	8.4	0.823 2	8.4	0.823 2
F_{23}	0.029	1.0	0.029 0	7.4	0.214 6	7.8	0.226 2
F_{31}	0.072	8.8	0.633 6	5.8	0.417 6	3.2	0.230 4
F_{32}	0.009	7.0	0.063 0	7.8	0.070 2	8.2	0.073 8

2.6 功能价值计算

计算各脚手架的价值系数,计算结果如表 10 所示。由表 10 可知:项目应优先考虑使用价值系数最高的工具式外挂架。

表 10 脚手架功能价值

脚手架形式	工具式外挂架	花篮式悬挑脚手架	爬架
功能系数	0.274	0.332	0.394
成本系数	0.234	0.354	0.412
价值系数	1.171	0.938	0.956

3 结 论

各种形式的脚手架各有特点,不同的建筑对各脚手架的适用程度也不同。本文基于价值工程

进行脚手架的选型研究,在价值工程分析过程中还考虑了项目环境、项目特点、施工单位情况、项目参建人员的主观意愿等综合因素,更为全面、直观地量化出具体的比选结果。后续建议结合应用实际情况从细化功能定义、扩宽工作小组人员范围、严谨评分办法和计算过程这三个方面进行进一步改进。

参考文献:

[1] 沈毅,花周建. 高层建筑施工外用脚手架的对比与选用[J]. 建筑施工,2001,23(2):111-113.
[2] 李军. 装配整体式混凝土结构工程外脚手架适用性分析研究[J]. 施工技术,2020,49(S1):871-874.
[3] 高扬,庄寿松,罗金龙,等. 浅议高层住宅外脚手架选

- 型对比分析[J]. 施工技术,2018,47(S1):273-274.
- [4] 刘周学,王胜,刘汉进. 高层建筑外脚手架方案选择研究[J]. 青岛理工大学学报,2011,32(4):117-121.
- [5] 彭绪庶. 中国价值工程研究 40 年的回顾和展望[J]. 技术经济,2020,39(1):1-9.
- [6] 彭琼芳. 价值工程在高校外墙出新方案中的应用[J]. 工程经济,2021,31(12):9-11.
- [7] 汪丽. 基于价值工程原理的项目成本控制研究[J]. 建筑经济,2018,39(9):48-51.
- [8] 吴经纬. 施工方视角下的工期延误索赔计算综述及启示[J]. 工程建设,2021,53(10):73-78.
- [9] 涂刚要,李新. 装配式混凝土剪力墙外挂提升式脚手架体系的研究与应用[J]. 建筑施工,2019,41(7):1274-1275.
- [10] 秦立标. 工具式外挂架在装配式建筑施工中的应用[J]. 建筑施工,2019,41(3):469-471.
- [11] 郑根思,吴强,张志远. 装配式结构花篮拉杆悬挑脚手架的设计及施工[J]. 建筑施工,2019,40(7):1186-1207.
- [12] 高山,李玉建,张莉莉,等. 超高层爬架体系施工技术研究与应用[J]. 建筑技术,2015,46(4):366-369.