

基于 BIM 技术的建筑工程施工进度 - 成本优化模型研究

张德海,高明烁,张雨,孙绍桐

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘 要:传统施工进度成本优化模型是通过增加人工或机械的数量使工期缩短,从而达到降低成本的目。通过利用建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)的施工组织优化设计、施工模拟、碰撞检测和信息集成等优势,可以实现降低直接费用并缩短工期,BIM 应用深度不同,缩短工期的程度也不同,基于此建立了 BIM 一级、二级、三级应用施工进度成本优化模型。通过对 4 个施工进度成本优化模型的工期、成本进行对比,找出最佳方案,实现各类工程项目工期、成本控制目标。

关键词:BIM 技术;施工进度成本优化模型;发展精细度等级;工期费用优化

中图分类号:TU17 **文献标志码:**A

进度、成本管理在工程项目管理过程中起主要作用,深刻影响着工程项目全寿命周期的开展和运行。因此,把握好工程项目的工期、实施成本管控尤为重要。

国内专家学者针对进度成本问题进行了研究。杜镀等^[1]将计算智能技术中的遗传神经网络和免疫粒子群算法组合,通过寻找最优方法,避免了数学公式难以准确表达进度和成本之间非线性关系的情况,为施工工序较多的地铁隧道进度成本优化提供了一个较优路径。丰景春等^[2]构建了依据遗传算法原理求解的项目群工期费用优化模型,解决了项目群工期、费用的优化问题。王永泉等^[3]利用 BIM 技术的信息统计及合理安排进度资源等优势,构建了依据遗传算法求解的基于建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)的施工进度费用优化模型。袁振民等^[4]利用 BIM 技术对工程量统计的

便捷性,创建了施工进度成本优化模型,从而找到最低费用所对应的工期,达到工期、成本控制目的。柳茂^[5]创建了基于 BIM 技术的施工进度优化模型,通过对 5D 关系数据的管理,解决了工程项目施工进度的信息缺失和管理效率低下的问题。朱庆亮等^[6]为实现对工程项目进度的有效控制,利用 BIM 技术的 3D 模型、4D 施工模拟过程和 5D 平台对工程项目进度信息进行了精细化管理。

一、施工进度成本优化研究基础与创新点

1. 传统施工进度成本优化模型

施工进度成本优化模型是对工程总费用、直接费用、间接费用与工期之间的关系(见图 1)所进行的表示。施工进度成本优化模型^[4]表达式为

$$\begin{cases} \text{Min}C = \sum_{i=1}^n C_i^j + C' \\ \sum_{i=1}^n C_i^j = \sum_{i=1}^n [\mu_i \times (D_i^0 - D_i^j) + C_i^0] \\ C' = V \times \sum_{i \in A} D_i^j \\ \mu_i = \frac{C_i^z - C_i^0}{D_i^0 - D_i^z}, \mu_i > \mu_i^0, D_i^z \leq D_i^j \leq D_i^0, A \subset B \end{cases} \quad (1)$$

式中: C 为施工总成本; C' 为间接成本; C_i^j 为优化后完成工作 i 的直接费用; D_i^j 为优化后完成工作 i 的时间; D_i^0 为完成工作 i 的一般持续时间; V 为工程的间接费用率; D_i^z 为完成工作 i 的最短持续时间; C_i^0 为按一般持续时间完成工作 i 的直接费用; C_i^z 为按最短持续时间完成工作 i 的直接费用; μ_i 为 i 工作优化后的直接费用率; μ_i^0 为工作 i 正常工作的直接费用率; A 为网络计划中某一条关键线路上的工作集合; B 为网络计划中的所有工作集合。

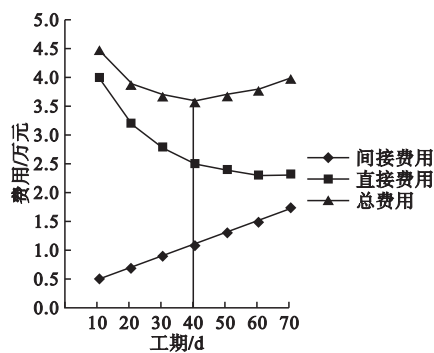


图 1 工期 - 费用曲线

2. BIM 技术收费标准

Level of development 是一种描述 BIM 模型详细程度的方法,美国标准中将其译为“发展精细度等级”。其精细度分为 LOD100、LOD200、LOD300、LOD400 和 LOD500 共 5 个等级^[7]。随着 BIM 技术的发展,中国各省市陆续出台了 BIM 技术的相关收费标准。其中,浙江省对 BIM 技术应用按照模型深度和服务内容进行了分级,再分别进行设计阶段、施工阶段、运维阶段的细分,对于 BIM 技术收费相对来说更加精

确^[8]。因此,研究依据该标准来计算 BIM 技术服务费。

3. 理论创新

BIM 技术的应用可以实现在不增加直接费用的情况下缩短工期,例如,BIM 技术可以优化施工组织设计,通过施工进度模拟合理安排施工计划和资源配置,降低施工现场因组织管理不当而引起的工期延误和材料浪费。在这种情况下研究对施工进度成本优化模型的进一步创新,直接费用不会增加,加入 1 项 BIM 技术服务费,建立 BIM 一级、二级、三级应用施工进度成本优化模型,通过 4 个模型的对比寻找最优结果,可以为各种工程项目的施工提供较优方案。

二、基于 BIM 应用的施工进度成本优化模型

欧特克公司近几年对于 BIM 技术施工进度管理数据进行了整理和分析,发现施工过程中信息查询降低了 55% ~ 75%,施工工期降低了 5% ~ 9%,各专业人员协调与沟通时间降低了 20% ~ 30%,这些大大提高了施工效率^[9]。当通过 BIM 技术的应用而使工期缩短时,直接费用不会增加,间接费用依旧减少,但需要加 1 项 BIM 技术服务费。根据 BIM 应用等级的划分,可将 BIM 技术施工阶段应用划分为 3 个等级。基于此,可对式 (1) 进行修改。基于 BIM 的施工进度成本优化模型表达式为

$$\begin{cases} \text{Min}C = \sum_{i=1}^n C_i^j + C' + C_k \\ \sum_{i=1}^n C_i^j = \sum_{i=1}^n [\mu_i \times (D_i^0 - D_i^j) + C_i^0] \\ C' = V \times \sum_{i \in A} D_i^j \\ C_k = m \times e \end{cases} \quad (2)$$

式中: C_k 为 BIM 技术服务费; m 为建筑面积; e 为单价。

1. BIM 一级应用施工进度成本优化模型

BIM 应用等级为一级时,模型精细度达

到了 LOD300,模型组件以包含尺寸、形状、位置、方向及与其他建筑物系统的接口信息的图形作为表达方式,此模型组件也可链接非图形信息^[10],可服务于施工模拟和仿真漫游。施工模拟是 BIM 技术施工进度管理应用的重点,通过演练实际施工过程,有利于施工方案的选取,可以提前解决图纸错误问题以及施工过程中可能遇到的重点难点、质量问题。通过碰撞检测可以提前检查出各专业之间的碰撞问题,减少后期更改施工方案导致工期延后,避免窝工现象。

通过施工模拟和碰撞检测达到缩短工期的目的,使直接费用曲线变为直接费用 1 曲线,总费用曲线变为总费用 1 曲线,再进行传统施工进度成本优化,找到最低费用对应工期。BIM 应用等级为一级时,单价为 1 元,最后求出最低成本。

2. BIM 二级应用施工进度成本优化模型

BIM 应用等级为二级时,模型精细度达到了 LOD400,所含专业在一级基础上增加了机电部分,模型组件增加了详细图、制造、组合和安装的信息,此模型组件也可链接非图形信息^[10],可服务于施工深化、施工建造和安装等。通过 BIM 施工进度模拟,可以对各专业工序的施工进度计划进行合理安排,对各施工工序的持续时间进行合理调整,减少无用工序,优化施工过程,从而减少工期延误。BIM 技术施工进度管理可以实时更新实际施工进度情况,通过对比原施工进度计划,便于施工人员掌握当前情况判断后续采取的措施。通过 BIM 平台集成而丰富的数据信息,便于各大建设参与方自行提取自己需要的信息,提高了沟通的效率,达到缩短工期的目的^[11]。在施工中利用 BIM 技术集成信息对工程项目的机电配件进行预制加工可以提高预制率,从而提高生产效率。

通过上述措施使费用 1 曲线变为费用 2 曲线,BIM 应用等级为二级时,单价为 8 元,总费用计算步骤同 BIM 一级应用。

3. BIM 三级应用施工进度成本优化模型

BIM 应用等级为三级时,模型精细度依

旧是 LOD400,但是增加了景观、室内、幕墙和岩土专业。景观工程模型包含更加精确的地形、建筑、管道等信息,通过对地形信息和市政管道信息进行分析,避免在开挖之前对市政管道造成破坏,避免拖延工期^[12]。在岩土方面,利用 BIM 模型进行岩土工程施工模拟,优化施工方案并进行施工指导。在室内专业方面,通过 BIM 模型对水电、暖通等专业进行碰撞检查,可以避免后期方案调整造成的工期延误。

通过上述措施使费用 2 曲线变为费用 3 曲线,BIM 应用等级为三级时,单价为 18 元,总费用计算步骤同 BIM 一级、二级应用。

4. 施工进度成本优化模型对比评价

将上述成本控制模型进行汇总(见图 2),进行对比可以看出直接费用不变,间接费用不断降低,BIM 技术服务费虽有所增加,但仍能实现在考虑 BIM 技术服务费时达到最优工期、最低成本的目标。

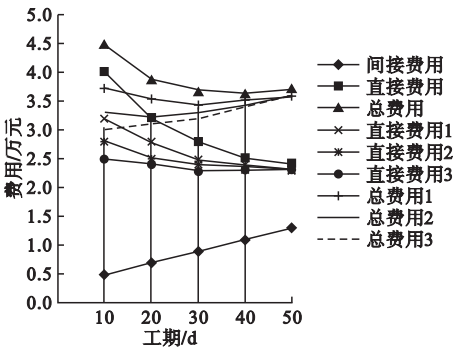


图 2 工期 - 费用曲线汇总对比

三、施工进度成本优化模型应用

1. 工程概况

某住宅用房建筑面积为 3 900 m²,剪力墙结构,地下 1 层,地上 12 层。主体结构为现浇钢筋混凝土结构,抗震设防烈度为 8 度,安全等级为二级。根据工程实际情况结合施工人员经验确定间接费用率为 8 000 元/d^[13]。工程项目施工工序如表 1 所示。

2. 传统施工进度成本优化

(1) 根据比较线路长度法确定关键线路,为 A—B—C—D—G—L—M—P—Q,

表 1 施工工序明细

工序 i	任务名称	一般持续时间 D_i^0/d	最短持续时间 D_i^*/d	直接费用率 $\mu_i/\text{元}$
A	基坑开挖及边坡支护	15	10	10 000
B	桩基工程	18	15	7 900
C	防水层	6	3	11 000
D	地下室结构	15	10	85 000
E	电气管线、给排水、采暖通风预留预埋	40	35	11 000
F	地下室外墙防水及室外回填	4	3	22 000
G	主体结构	90	80	84 300
H	外架搭设	90	80	11 000
I	地下室砌体	4	3	68 500
J	主体砌体及粉刷	25	21	22 000
K	外架拆除	30	25	7 500
L	屋面工程	12	9	11 000
M	外墙装饰工程	35	32	22 000
N	门窗安装工程	35	30	34 000
O	水电安装、电梯安装调试	27	24	22 000
P	室外工程	24	20	3 400
Q	竣工验收	4	2	10 000

总工期为 212 d。直接费用为 479 900 元,间接费用为 1 696 000 元,总费用为 2 175 900 元。

(2)运用工期费用优化理论对工期进行压缩,压缩工序 P 的持续时间至 20 d,将工序 B 持续时间压缩至 15 d。

3. BIM 技术应用施工进度成本优化

经 BIM 一级应用后,工期缩短为 209 d,总费用为 2 155 800 元。依此继续进行工期费用优化。经 BIM 二级应用后,工期缩短为 204 d,总费用为 2 139 700 元。继续进行 BIM 三级应用后,工期缩短为 200 d,总费用

为 2 124 100 元。
4. 施工进度成本优化对比评价

经过上述 4 个施工进度成本控制模型结果对比(见表 2),发现 BIM 三级应用的施工进度成本优化工期最短、总费用最低。BIM 三级应用的施工进度成本优化较之传统施工进度成本优化工期缩短了 12 d,成本降低 51 800 元。因此本工程在 BIM 三级应用时施工方案最优。由此使得施工阶段进度、成本控制进一步取得成效。

表 2 施工进度成本优化对比评价

施工进度成本优化	工期/d	直接费用/元	间接费用/元	BIM 技术服务费/元	总成本费用/元
传统施工进度成本优化	212	479 900	1 696 000	0	2 175 900
BIM 一级应用施工进度成本优化	209	479 900	1 672 000	3 900	2 155 800
BIM 二级应用施工进度成本优化	204	476 500	1 632 000	31 200	2 139 700
BIM 三级应用施工进度成本优化	200	453 900	1 600 000	70 200	2 124 100

四、结 语

施工进度、施工成本的控制对于工程项目管理至关重要。BIM 技术加强信息协同、降低风险、提高生产率和提高效率等功能可以有效降低成本、缩短工期^[14]。根据 BIM 技术应用深度不同,对工期缩短的程度不同,对传统施工进度成本模型进行改进,建立了 BIM 一级、二级、三级应用施工进度成本优

化模型,通过 4 个模型对比寻找最优结果,从而进一步达到对施工阶段工期、成本的控制。在本工程案例的应用中,可以看出在 BIM 应用等级为三级时工期最短、总成本最低。但针对于不同工程项目的特点和规模,其 BIM 技术应用价值也不同,需要具体案例具体分析,因此 BIM 各等级施工进度成本优化模型的建立可以为各种工程项目的施工方案提供选择,达到工期、成本控制的目的。

参考文献:

- [1] 杜钺,王肖辉. 基于计算智能的地铁隧道施工进度-成本优化[J]. 土木工程与管理学报, 2021,38(3):126-132.
- [2] 丰景春,施嘉锋,丰慧,等. 基于遗传算法的工程项目群工期费用优化研究[J]. 科技管理研究,2020(20):212-218.
- [3] 王永泉,黄亚钟,韦芳芳,等. 基于 BIM 和遗传算法的网架工程施工进度费用优化研究[J]. 施工技术,2020,49(6):18-22.
- [4] 袁振民,王要武. 基于 BIM 和网络计划技术的建设工程施工进度成本研究[J]. 工程管理学报,2015,29(4):95-100.
- [5] 柳茂. 基于 BIM 技术的建筑施工进度优化研究[J]. 现代电子技术,2017,40(3):103-105.
- [6] 朱庆亮,张丽华,方涛. BIM 技术在施工进度管理中的应用[J]. 施工技术,2017,12(46):1184-1186.
- [7] 吴润榕,张翼. 精细度管控:美标 LOD 系统与国内建筑信息模型精细度标准的对比研究[J]. 建筑技艺,2020(6):114-120.
- [8] 浙江省住房和城乡建设厅. 关于印发《浙江省建筑信息模型(BIM)技术推广应用费用计价参考依据》的通知:浙建建[2017]91号[A/OL]. (2017-09-25)[2022-04-10]. https://jst.zj.gov.cn/art/2017/9/25/art_1229159347_48355470.html.
- [9] 荀杨. BIM 技术在工程项目进度管理中的应用研究[D]. 长春:长春工程学院,2018.
- [10] 李磊. Revit 三维模型 LOD 简化及 Web 可视化[D]. 成都:成都理工大学,2020.
- [11] 郭国锋. 基于 BIM 的工程施工工期与成本协同优化研究[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2020.
- [12] 路力. BIM 技术在居住区景观工程中的应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2015.
- [13] 李元峰. 兰州新区二标段建设工程项目进度优化与控制[D]. 兰州:兰州交通大学,2014.
- [14] 李闫岩,唐廷廷. 基于结构方程模型的建筑业 BIM 应用影响因素研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2017,19(3):286-291.

BIM Technology-Based Construction Progress of the Constructing Works:the Study of Cost Optimization Model

ZHANG Dehai,GAO Mingshuo,ZHANG Yu,SUN Shaotong
(School of Management,Shenyang Jianzhu University,Shenyang 110168,China)

Abstract:The traditional construction schedule-cost optimization model shortens the construction period by increasing the number of labor or machinery,thereby achieving the purpose of reducing costs. Through the advantages of BIM technology such as construction organization optimization design, construction simulation, collision detection and information integration, the construction period can be shortened without increasing direct costs,and the application depth is different,and the degree of shortening the construction period is different. On this basis, the first, second and third level application construction-cost optimization model of BIM is established. By comparing the construction period and cost of the four construction schedule-cost optimization models, the best scheme is found to meet the construction period and cost control objectives of various engineering projects.

Key words: BIM technology; construction progress-cost optimization model; developing detail degree levels;construction schedule-cost optimization

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)