

马文姝. 重大自然灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 67-71. [MA Wenshu. Road Reconstruction Cost Control Algorithm based on BIM Model in Major Natural Disasters[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(2): 67-71. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.014.]

重大自然灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法*

马文姝

(吉林工程职业学院 建筑工程学院, 吉林 四平 136001)

摘要: 基于挣值分析的道路造价成本控制算法, 应用到重大自然灾害的造价评估中时, 无法适应建筑用料成本与灾害复杂程度的变化关系, 存在建筑造价成本控制精度差的弊端。该文提出重大自然灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法, 设计 BIM 模型分析影响道路重建工程造价成本控制的主要因素, 构建道路重建工程人力、设备资源以及施工材料等成本的变化状态方程, 结合设置的道路工程造价成本控制阈值, 采用基于等效近似线性模型的造价成本控制方法, 模拟自然灾害对成本变化的影响。实验结果表明, 所提算法控制自然灾害下道路重建造价成本时, 整体均方根误差低于 5%, 造价成本控制时间变化范围在 1.5~2.3 s 间, 算法平均评分是 9.63 分, 说明该算法适用于自然灾害环境。

关键词: 重大自然灾害; BIM 模型; 道路重建; 造价成本; 控制算法; 相空间重构

中图分类号: X43; X915.5; P642.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)02-0067-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.02.014

当前随着自然灾害发生频率的增多, 一些重大自然灾害的发生会对基础设施造成严重的破坏影响。其中, 自然灾害的发生对城市道路造成大规模损坏, 急需对道路损毁的路面重新修整, BIM 数据模型通过数字软件对建筑工程项目不同信息实施集成分析, 其对复杂环境下, 道路重建造价成本的控制有极大帮助。实际的建筑过程中, 各种外界原因会造成建筑工程造价成本预算过高, 造成预算的作用无法体现, 影响建筑的经济效益。胡晓娟^[1]对保温建筑的博弈平衡造价实施了控制仿真, 对混凝土墙面进行柔性造价与热应力梯度边界数值模拟, 获取建筑造价成本与建筑生产效率的约束关系, 该算法仅从理论计算建筑造价成本与建筑生产效率关系, 未考虑外界因素的影响。傅为华^[2]营改增下基于 BIM 技术的工程造价管理研究根据施工过程中某阶段的消耗成本, 该算法对建筑工程造价成本控制精度低。为解决以上问题, 提出重大自然灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法, 提升道路重建造价成本控制精度, 提高建筑经济效益。

1 重大自然灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法

1.1 重大自然灾害类型

我国重大自然灾害种类较多, 主要的几种重大自然灾害类型有洪涝灾害、地震、泥石流等。

(1) 洪涝灾害。过度降雨、堤坝等水利设施崩溃等会形成洪涝灾害。当前我国的洪涝灾害在东部区域中的七大江河及其支流中下游的发生概率较高, 通常发生在降雨集中的梅雨天气。洪涝灾害会淹没房屋和群众, 使基础道路设施被破坏, 严重影响人们的出行安全和交通的顺利运行。

(2) 地震。破坏性地震通常会形成瞬间突发性严重灾害。地震灾害具有突发性和难预见性, 并且大部分重大地震灾害会产生次生灾害, 如泥石流和滑坡等。重大地震灾害会导致道路出现大范围断裂、错位甚至崩塌, 对道路造成的危害最为严重和直接。

(3) 泥石流。泥石流发生具有较高的突发性, 不容易被检测, 在形成时会产生大量破坏性能量, 大量泥沙和石块堆积在道路中, 严重影响交通的顺利通行, 并且还会破坏道路表面以及道路两端基础设施, 通常会导致道路出现凹陷、裂缝等问题。

1.2 重大灾害下道路主要破坏形式和原理

1.2.1 裂缝

重大灾害对道路形成的最直接破坏形式是裂缝, 特别是地震灾害下道路容易产生裂缝, 其中横向裂缝包括荷载型裂缝和非荷载型裂缝, 而泥石流、滑坡灾害下道路路面承载力和强度大大降低, 导致道路路面出现严重开裂问题, 在泥石流

* 收稿日期: 2018-11-13 修回日期: 2019-01-15

基金项目: 吉林省教科办项目(GH180929)

作者简介: 马文姝(1971-), 女, 吉林四平人, 副教授, 研究方向为工程造价. E-mail: wyxjl@163.com

和滑坡侵害下,道路裂缝向上扩展,同时受到下层开裂的影响,使得道路路面应力集中并且出现严重开裂问题。地震灾害下道路会出现不均匀沉降,而产生非荷载型裂缝问题。而滑坡、泥石流、地震等灾害下道路容易出现荷载过高、承载力降低以及纵向应力增强等问题,进而形成纵向裂缝。

1.2.2 变形

重大自然灾害下道路产生的破坏形式主要是沉陷和推挤,其中滑坡、泥石流以及地震灾害都会导致道路路面出现凹陷问题而产生大幅度沉降现象,同时存在贯穿总体路面的结构性损坏。

1.2.3 表面破坏

重大自然灾害会使得道路表面出现剥落、坑槽等损坏问题。并且在地震等极限强度下对道路产生偏荷载作用,在该作用下使得道路基层失去抵抗拉应力的能力,同时在开裂出将拉应力传输到道路表面层,增强道路损坏程度。

1.3 基于 BIM 模型的道路重建造价成本初步控制

上述两小节充分分析了不同重大灾害类型对道路产生的影响,因此灾害道路重建工作具有重要的意义。而对道路进行重建,合理控制道路重建造价成本,对于提高道路建设的效益具有重要意义。

控制道路重建造价成本时,采用 BIM 模型分析影响道路重建工程造价成本控制的主要因素^[3],包括材料的市场供需关系、道路工程重建所需的工程人力、设备资源以及材料的成本变化状态观测方程^[4],确定道路工程重建的造价控制阈值,采用该阈值实现对道路工程重建造价成本的控制^[4],具体控制过程如下:

重大自然灾害发生后,采用 BIM 模型分析得出的道路工程重建中的造价风险用表示,完成该道路工程重建的实际花费为 $A(f)$, 预算单价用 $B^{(a)}$ 表示,预算的花费误差为 $P(o)$, 道路工程的全部开支为 $M_{(y)}$, 将定额开销用 Q 表示,将对道路工程建设有益处的资金用 Z 表示,影响道路工程重建造价的主要因素为:

$$\rho(k^*) = \frac{Z \otimes Q}{M_{(y)} \otimes P(o)} \otimes \frac{B^{(a)} \otimes A(f)}{R \otimes C^{(p)}} * \frac{k(\tau) \otimes (D^*)}{E^{(\delta)}} \quad (1)$$

式中:工程重建的造价控制阈值用 $C^{(p)}$ 表示,道路工程重建造价过程的中的各项支出表示为 $k(\tau)$, 整个道路工程重建不同阶段的支出演变规律用 D^* 表示,建筑材料的价格变化用 $E^{(\delta)}$ 表示^[5]。设单个道路工程的施工时间为 F , 道路施工材料类型用 $H(i)$ 表示,工程施工风险为 $N(p)$, 道路工程中的施工材料与市场关系为^[6]:

$$Y(u, t) = \frac{N(p) \otimes H(i)}{P \otimes G^c} \otimes F^*(\varepsilon) \otimes \tau(pf) \quad (2)$$

式中:施工材料的数量类型变化指数用 G^c 表示,消耗的建筑材料的价格为 $F^*(\varepsilon)$, 将道路工程重建造价控制的增值指标用 $\tau(pf)$ 表示。将 $v(H)$ 用于

表示所有的成本,将道路工程重建的进度与成本关系用 D^0 表示,建筑施工材料的单价演化规律为^[7]:

$$v(\Phi) = \frac{D^0 \otimes v(H)}{\tau^*} \otimes \frac{H(u) \otimes k_{(o)}}{N^*} \quad (3)$$

式中: τ^* 为道路工程重建成本的核算权重,道路重建工程相关费用的评价指数为 $H(u)$, N^* 和 $k_{(o)}$ 分别为工程实际成本和控制误差以及项目工程的延误期^[8]。将道路重建工程的成本价格变量用 J^θ 表示,道路重建工程人力、设备资源以及施工材料等成本的变化状态观察方程为:

$$\partial''(a, d, c) = \xi''(e) * \frac{J^\theta \oplus K^M R \tau(s)}{N(d)} \quad (4)$$

式中:成本核算权重为 $\xi''(e)$, 道路重建工程项目变更权限为 K^M , 成本价格的财务监督权重为 $\tau(s)$, 项目施工的外界条件为 $N(d)$ 。将道路重建工程全部的造价预算阈值设为 F^x :

$$F^x = \frac{X^\Phi \otimes r(w)}{Z^\theta} \otimes W'' \quad (5)$$

式中: X^Φ 为道路重建工程中不同阶段的成本控制定值^[9], 建筑材料的价格波动曲线为 $r(w)$, 道路重建项目数量为 W'' 。基于式(5)获取的造价成本阈值和式(4)的道路重建工程人力、设备资源以及施工材料等成本的变化状态方程,道路工程重建的初步造价控制为:

$$A^*(u) = \frac{F^x \otimes \partial''(a, d, c)}{v(\Phi)} \times Y(u, t) \quad (6)$$

在上述造价成本初步控制的基础上,为了实现道路工程造价成本精确控制,应在线评估原始状态下不同项目的开销状态^[10],且工程造价成本增长指数随时间的变化呈现指数分析的现象,则应运算出道路造价成本预算指数时间序列的非线性造价影响因子激活函数^[11],依据该函数评估道路重建工程预算增长指数的波动情况,在此集成上通过时间序列估计方法评估道路重建工程造价成本控制增长指数时间序列。

1.4 基于等效近似的线性模型的造价成本控制方法

采用成本控制经济指数的相空间重构措施^[12],得到的道路重建造价预算增长指数的相空间重构向量轨迹矩阵为:

$$L = \begin{bmatrix} x_1^D \\ x_2^D \\ \vdots \\ x_N^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_{1+g} & \cdots & x_{1+(m-1)g} \\ x_2 & x_{2+g} & \cdots & x_{2+(m-1)g} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N-1} & x_{N-1+g} & \cdots & x_{N-1+(m-1)g} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: m 为嵌入维数,将材料价格采集值用 g 表示, D 为时间序列周期,塑造道路重建工程造价预算估计模型时^[13],分解 $L = U \times S \times C$ 奇异值过程中运用的手段是单因素灰色关联, S 和 C 均为矩阵 L 的奇异值,分解后的 U 和 C 均为正交矩阵,矩阵 C 为:

$$C = (c_1, c_2, \cdots, c_n) \quad (8)$$

c 为矩阵中的常数，在道路重建造价成本控制过程中，会出现一些冗余信息^[14]，对冗余信息的过滤满足：

$$S = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n), \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0. \quad (9)$$

式中： σ 为冗余信息， S 为过滤后的信息，根据相空间重构轨迹矩阵 L 的嵌入维数 m ，获取影响道路重建造价成本控制的所有影响因素为 $N \times m$ 的矩阵 X 为：

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1^D c_1 & a_1^D c_2 & \dots & a_1^D c_m \\ a_2^D c_1 & a_2^D c_2 & \dots & a_2^D c_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_N^D c_1 & a_N^D c_2 & \dots & a_N^D c_m \end{bmatrix}. \quad (10)$$

本文通过设置一个预估器来计算 X ，计算过程为：

$$\varphi x_{i+1} \approx X \varphi x_i. \quad (11)$$

式中： $\varphi x_i = x_j - x_i$ 为质量效益控制变化量，同时 x_j 为 x_i 近邻的质量效益控制向量^[15]，存在 x_j 是 R^m 的子集，将道路重建工程造价预算的历史数值用 $\{x_i\}_{i=1}^N$ 表示，当存在 $\varphi x_{i+1} = x_{j+1} - x_{i+1}$ 的关系式时，计算出 φx_{i+1} 和 φx_i 的值，采用公式(12)和(13)计算最优和最劣经济：

$$F_v = \sum_{j=1}^M \text{Min}(F_{jk}); \quad (12)$$

$$F_v = \sum_{j=1}^M \text{Max}(F_{jk}). \quad (13)$$

式中： F_v 和 F_v 分别为道路重建造价的最优和最劣经济。

通过上述算法实现了对道路重造工程造价成本的精密设计，提升道路重造工程的造价成本控制精度。

2 模型检验及结果分析

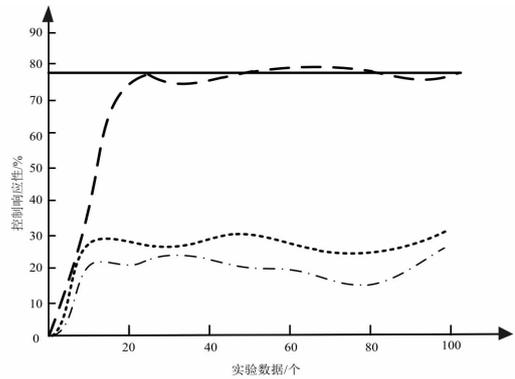
实验为证明本文算法的有效性需要进行仿真实验，在 MATLAB6.5 环境下构建的道路重建工程造价成本实验平台。

2.1 不同算法的造价成本控制效果对比

实验分别采用本文的算法、基于挣值分析的道路造价成本控制算法以及基于博弈平衡的道路造价成本控制算法进行道路造价成本控制实验，实验通过比较三种算法的道路工程造价成本控制响应性和均方根误差，来比较三种算法的造价成本控制效果，算法的控制响应性对比结果和均方根误差对比结果分别用图 1 和图 2 表示，且在比较算法的造价成本控制均方根误差时，将基于博弈平衡的道路造价成本控制算法与该三种算法同时比较。分析图 1 可以看出，从算法的响应性可以看出，本文算法对道路重建造价成本控制的控制响应性随实验数据的增加而增加，当实验数据增加到一定程度时本文算法的控制响应不变且控制响应性与给定的控制阈值几乎完全重合，基于挣值

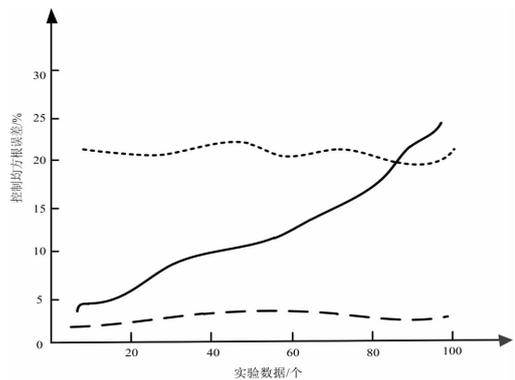
分析的道路造价成本控制算法和基于博弈平衡的道路成本控制算法的控制响应性随着实验数据的不断提升，算法的响应性开始提升，当提升到 30% 以及 25% 左右时其响应性就不再提升，因此说明本文算法的道路重建成本控制响应性强。

分析图 2 可以看出，三种算法在实验数据不同的情况下对造价成本控制的均方根误差均不相同，分析基于挣值分析的道路造价成本控制算法的均方根误差曲线可知，该算法随着实验数据的增加算法的均方根误差逐渐增加，当实验增加到 100 时，其均方根误差达到 25%；而基于博弈平衡的道路造价成本控制算法从实验数据很少时，其均方根误差就很大，其均方根误差变化范围在 20% 到 25% 之间；而本文算法的整体均方根误差都在 5% 以下，因此可以说明，本文算法的均方根误差小，算法对造价成本预测的准确度高。



图例：—— 给定的控制阈值 - - - 本文算法
 造价成本控制算法 - · - · 工程成本控制算法

图 1 三种算法的控制响应性对比结果图



—— 基于净值分析的道路造价成本控制算法
 图例：- - - 本文算法
 基于博弈平衡的道路造价成本控制算法

图 2 三种算法的造价成本控制均方根误差对比图

3.2 不同算法的造价成本控制可靠度

为验证本文算法对道路重建造价成本控制结果的可靠度，采用本文算法、基于挣值分析的道路造价成本控制算法和基于博弈平衡的道路造价成本控制算法分别对某道路重建工程进行造价成本控制，实验将该重建路段平均划分为 10 段，记录三种算法对不同路段准确的造价成本控制所需时间并将该结果如表 1 表示。

表1 三种算法的造价成本耗时(s)

重建路段	本文算法	基于挣值分析的道路造价成本控制算法	基于博弈平衡的道路造价成本控制算法
1	1.8	5.8	6.5
2	1.6	6.2	6.8
3	2.2	5.8	6.5
4	1.5	6.4	8.5
5	1.8	6.5	8.6
6	2.3	7.3	8.8
7	2.2	6.0	7.2
8	1.6	6.8	7.6
9	1.7	6.4	7.5
10	1.6	5.9	7.6

分析表1可以看出,本文算法对不同重建路段的造价成本控制时间变化范围在1.5 s至2.3 s之间,波动较小,算法的稳定性强;基于挣值分析的道路造价成本控制算法的造价成本控制时间波动范围为5.8 s至7.3 s,该算法的最低控制时间高于本文算法最高控制时间5 s,说明本文算法对道路重建造价成本控制的效率高。

2.3 不同算法的评价结果

在上述实验结果分析的基础上,采用专家评估方法对本文算法进行评价,专家评估角度包括算法造价成本预测效果、算法运行耗时以及算法稳定性,实验对本文算法、基于挣值分析的道路造价成本控制算法以及基于博弈平衡的道路成本控制算法实施评价,评价结果如表2、表3和表4所示。

表2 本文算法的专家评价打分结果(满分为10分)

专家编号	造价成本预测效果	算法运行耗时	算法稳定性
1	10	10	10
2	9.5	10	10
3	9.0	9.5	10
4	9.5	9.5	9.5
5	10	10	9.0
6	10	10	9.0
7	9.0	9.5	9.0
8	9.5	9.5	10
9	9.5	10	10
10	9.5	9.5	10
11	9.0	10.0	9.5
12	9.0	10.0	9.5
13	9.0	9.5	10.0
14	9.5	9.5	10.0
15	9.5	10.5	9.5
平均得分	9.43	9.8	9.66

分析表2数据可以看出,专家对本文算法的评价结果较高,从专家对本文算法的造价成本预测效果可以看出,各位专家对造价成本控制效果的评分均高于9.4分,且平均得分也有9.43分,该

结果表明本文算法对道路重建造价成本的控制效果佳;同样分析算法的运行耗时和稳定性得分可以看出,本文算法的平均评价得分几乎接近满分10分,本文算法的综合平均得分是 $(9.43 + 9.8 + 9.66)/3 = 9.63$ 分,综合结果说明本文算法的造价成本控制过程效果较好。

表3 基于挣值分析的道路造价成本控制算法的专家评价打分结果(满分为10分)

专家编号	造价成本预测效果	算法运行耗时	算法稳定性
1	5.5	5.5	5.0
2	4.0	5.0	4.5
3	3.5	4.5	4.0
4	5.0	4.0	4.0
5	4.0	4.0	3.5
6	5.5	4.5	4.5
7	4.0	4.0	3.5
8	4.0	5.5	4.5
9	5.0	5.0	4.0
10	5.5	5.5	5.0
11	6.0	5.0	4.0
12	5.5	6.0	3.0
13	5.0	5.5	4.0
14	5.5	5.0	3.5
15	5.5	4.5	4.5
平均得分	4.9	4.9	4.1

分析表3基于挣值分析的道路造价成本控制算法的专家评价结果可知,该算法的最高评价得分为6.0,整体的评价得分处于中间水平,得到的造价成本预测效果、算法稳定性以及运行耗时的平均得分均低于5.0分,说明该算法的道路重建造价成本控制能力一般。

表4 基于博弈平衡的道路成本控制算法的专家评价打分结果(满分为10分)

专家编号	造价成本预测效果	算法运行耗时	算法稳定性
1	4.0	3.0	3.0
2	3.0	2.5	3.5
3	3.5	3.5	3.5
4	3.5	3.0	3.0
5	3.0	3.0	3.5
6	3.0	2.5	3.0
7	3.5	2.5	3.0
8	4.0	3.0	2.5
9	3.5	3.0	3.0
10	3.0	2.5	3.5
11	3.0	3.0	3.0
12	3.5	2.5	3.0
13	3.0	3.5	2.0
14	3.5	3.0	2.5
15	3.0	2.5	3.5
平均得分	3.33	2.86	3.03

分析表 4 数据结果可以看出, 该算法的专家评价结果最差, 从算法的造价成本预测效果评价得分可以看出, 各位专家对该算法的造价成本控制效果均不满意, 给出的平均得分仅有 3.33 分, 远远低于本文算法的得分; 且该算法的运行耗时是三种算法中用时最长的, 专家得分仅有 2.86 分, 说明该算法对道路重建造价成本控制的能力最差。

综合分析上述实验结果得出, 本文重大灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法的造价成本控制效果、造价成本预测可靠度以及综合评价结果均较为优秀。

4 结 论

本文提出的重大自然灾害中基于 BIM 模型的道路重建造价成本控制算法, 采用基于 BIM 模型的道路重建造价成本初步控制方法对重大灾害中道路重建造价成本进行初步控制, 再采用基于等效近似的线性模型的造价成本控制方法, 实现对道路造价成本的精确控制。实验结果表明, 本文算法的整体均方根误差变化范围均在 5% 以下, 而基于挣值分析的道路造价成本控制算法和基于博弈平衡的道路成本控制算法的成本控制均方根误差随着实验数据的增加显著提升, 最高均方根误差会达到 25%, 说明本文算法的造价成本控制准确率高; 从三种算法的专家评价结果可看出, 本文算法的造价成本预测效果、算法运行耗时以及稳定性得分分别为 9.43 分、9.8 分和 9.66 分, 远远优于另外两种算法的得分, 综合数据表明本文算法具有较高的道路重建造价成本控制性能。

Road Reconstruction Cost Control Algorithm based on BIM Model in Major Natural Disasters

MA Wenshu

(School of Architectural Engineering, Jilin Vocational College of Engineering, Siping 136001, China)

Abstract: The cost control algorithm of road construction based on earned value analysis cannot adapt to the changing relationship between the cost of building materials and the complexity of disasters when it is applied to the cost evaluation of major natural disasters, which has the disadvantage of poor accuracy of cost control of building costs. We put forward a cost control algorithm for road reconstruction based on BIM model in major natural disasters, design a BIM model to analyze the main factors affecting the cost control of road reconstruction project, construct a state equation for the cost change of human resources, equipment resources and construction materials of road reconstruction project, and adopt an equivalent approximation line based on the set cost control threshold of road construction project. The cost control method of sex model simulates the impact of natural disasters on cost change. The experimental results show that when the proposed algorithm is used to control the cost of road reconstruction under natural disasters, the overall root mean square error is less than 5%. The time range of cost control varies from 1.5 to 2.3 seconds, and the average score of the algorithm is 9.63. This shows that the algorithm is suitable for natural disaster environment.

Key words: major natural disasters; BIM model; road reconstruction; cost; control algorithm; phase space reconstruction

参考文献:

- [1] 胡晓娟. 绿色保温建筑的博弈平衡造价控制仿真[J]. 科技通报, 2016, 32(1): 153-157.
- [2] 傅为华, 马丽鹰, FUWei-hua, 等. 营改增下基于 BIM 技术的工程造价管理研究[J]. 建筑技术, 2016, 47(7): 657-659.
- [3] 林佳瑞, 张建平. 基于 BIM 的施工资源配置仿真模型自动生成及应用[J]. 施工技术, 2016, 45(18): 1-6.
- [4] 吴静, 杜亚灵, 柯洪, 等. 互联网思维下全过程造价咨询业务对客户满意度的影响机理研究[J]. 科技管理研究, 2016, 36(18): 206-212.
- [5] 赵龙, 闵世平, 赵亮亮. BIM 模型在路基压实检测技术中的应用[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(4): 36-41.
- [6] 张欢欢, 蔡宁, 蒋宇一, 等. 面向异构资源环境的 BIM 道路施工进度优化方法[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(4): 1042-1050.
- [7] 周勃, 任亚萍. 基于 BIM 的工程项目施工过程协同管理模型及其应用[J]. 施工技术, 2017, 46(12): 85-90.
- [8] 徐伟, 刘元东, 金国辉, 等. 基于 BIM 协同设计优化方案的经济性[J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(4): 96-100.
- [9] 刘智敏, 王英, 孙静, 等. BIM 技术在桥梁工程设计阶段的应用研究[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39(6): 80-84.
- [10] 刘晓东, 田林, 高子钰. BIM 对建筑工程施工技术影响研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2015, 20(3): 117-120.
- [11] 党晓旭, 张华, 王元庆, 等. 公路建设项目造价管理绩效优化计算方法[J]. 中国公路学报, 2016, 29(5): 124-129.
- [12] Atazadeh B, Kalantari M, Rajabifard A, et al. Extending a BIM-based data model to support 3D digital management of complex ownership spaces[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2017, 31(3): 499-522.
- [13] 刘院英, 郭景峰, 魏立东, 等. 成本控制下的快速影响最大化算法[J]. 计算机应用, 2017, 37(2): 367-372.
- [14] 陈永霞. 建筑工程造价效益分配优化控制仿真[J]. 计算机仿真, 2016, 33(11): 208-211.
- [15] 宋宗耘, 牛东晓, 肖鑫利, 等. 基于改进萤火虫算法优化 SVM 的变电工程造价预测[J]. 中国电力, 2017, 50(3): 168-173.