郭彦丽,侯云飞.震后重建项目中基于灰色模型构建的多因素造价控制模型[J].地震工程学报,2019,41(1):215-220.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.01.215
GUO Yanli,HOU Yunfei.Multi-factor Model Based on the Gray Model for the Cost Control of Post-earthquake Reconstruction Projects[J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(1):215-220.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.01.215

震后重建项目中基于灰色模型构建的多因素造价控制模型

郭彦丽[1],侯云飞[2]
(1.宜宾职业技术学院 建筑工程系,四川 宜宾 644000;2.长沙理工大学 交通运输工程学院,湖南 长沙 410004)

摘要: 在当前震后重建项目的多因素造价控制过程中,未考虑造价影响因素造成的偏差,导致控制精度较低,因此需对震后重建项目中基于灰色模型构建的多因素造价控制模型进行研究。从重建项目的造价影响因素入手,分析由于震后重建项目管理程序缺位造成的进度偏差,因为设计能力影响造成的质量偏差以及因建筑材料市场供求状况不稳定造成的价格偏差,计算各影响因素造成的偏差系数,求解得出更为精确的重建项目整体偏差结果。结合灰色模型构建造价控制约束函数,并进行求解,进而完成震后重建项目中多因素造价控制模型的构建。实验结果表明,所构建模型的精确度较高,且与实际值偏离程度小,可信度较高。可以对重建项目进行全方位的动态管理,降低工程成本。

关键词: 震后;灰色模型;重建项目;多因素造价;控制;偏差
中图分类号: TU723.3　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1000-0844(2019)01-0215-06
DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.01.215

Multi-factor Model Based on the Gray Model for the Cost Control of Post-earthquake Reconstruction Projects

GUO Yanli[1], HOU Yunfei[2]
(*1.Department of Architectural Engineering, Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644000, Sichuan, China;*
2.School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: The current method for the multi-factor cost control of post-earthquake reconstruction projects has low control accuracy because it ignores the deviation caused by the factors that affect project cost. Therefore, the multi-factor model based on the gray model for the cost control of post-earthquake reconstruction projects is necessary. In reference to the factors that affect the cost of reconstruction projects, we analyze the schedule deviation caused by the absence of management procedures for post-earthquake reconstruction projects, the quality deviation caused by the influence of design capability, and the price deviation caused by the instability of supply and demand in the construction materials market. In addition, we calculate the deviation coefficients

收稿日期: 2018-07-28
基金项目: 国家自然科学基金(51078045)
第一作者简介: 郭彦丽(1985-),女,山西长治人,硕士研究生,研究方向:建筑多因素造价与施工项目管理。
E-mail:guoyanli_3356@163.com。

caused by various factors and obtain results for the overall deviation of reconstruction projects with increased accuracy. The cost control constraint function is constructed and used in combination with the gray model, and the multi-factor cost control model of the post-earthquake reconstruction project is then established. Experimental results show that the model has high accuracy, low deviation from the actual value, and high credibility. The model can reduce project costs when used in the omnidirectional dynamic management of reconstruction projects.

Keywords: post-earthquake; gray model; reconstruction project; multi-factor cost; control; deviation

0 引言

震后重建项目是保障灾区救济物资供给和经济恢复的前提,同时也是灾民精神与心理重建的基础。随着震后重建工作的进一步展开,工程项目建设过程中的质量、工期、造价等问题成为人们关注的重点,尤其是在重建项目的多因素造价方面[1-2]。建设工程的造价不仅关系着重建工作能否顺利进行,也是对政府以及社会各界救灾资金能否合理利用的一个真实反映,因此,合理控制震后重建项目的多因素造价,对震后地区的稳定发展起着非常重要的作用[3-4]。然而,在重建项目实施过程中,受重建地域和当地环境等因素的影响,很难对重建项目的多因素造价进行精确的控制,这种状况引起了相关研究者的重点关注。

文献[5]着重对四川地区地震发生后的公路恢复建造问题进行研究,分析了公路建设过程中存在的成本控制等问题,阐述了造价控制的影响因素并进行深入分析,但成本控制的精确度较低;文献[6]结合特定地区地域特点以及地质条件,对多因素造价的计算方法以及控制模型进行研究,但在实际操作过程中,该模型的模拟结果可信度较低;文献[7]主要基于 BIM 对造价模型进行设计,提取项目造价过程的约束参量,构建目标函数,根据主成分分析法求解出目标函数最优值,但忽略了对实际施工过程中可能产生的偏差进行考虑,导致控制的精确度不高。针对上述存在的问题,本文模型结合震后重建项目管理程序缺位、设计能力不足和建筑材料市场供求状况不稳定这三个影响因素,运用灰色模型综合求解进度、价格、质量偏差系数,结果表明模型误差值较小残差值较小,精确度较高。

1 震后重建项目的多因素造价影响因素分析

地震灾区的震后重建项目,受特殊的地理条件以及社会环境影响,具有施工时间紧迫、施工环境恶劣等特点,同时对施工质量要求严格[8]。鉴于对地震灾区重建项目的建设经验不足,在一定程度上影响项目的工期、质量,也会给多因素造价的管理与控制带来风险。本文主要对震后重建项目管理程序缺位、设计能力不足和建筑材料市场供求状况不稳定这三个影响因素进行分析,具体过程如下:

(1) 震后重建项目管理程序缺位

地震受灾区地形复杂、地质安全隐患较多、援建项目工期紧、任务重等都会造成震后重建项目管理程序缺位,进而导致工期进度存在偏差。

由赢得值(已完工程计划投资)减去预算计划值(拟完工程计划投资)可得进度偏差值,其数值的大小反映了项目的超前(拖延)的情况。具体计算公式如下:

$$S = B_s - W_s \tag{1}$$

式中:S 表示某个月的工期差;B_s 表示赢得值(已完工程计划投资);W_s 表示预算计划值(拟完工程计划投资)。

根据公式(1)可得完工至检查日期时工期差的累计值 S_n:

$$S_n = \sum_{i=1}^{n} S \tag{2}$$

式中:S_n 表示累计工期差,当 $S_n > 0$ 时,表示至检查日期时工期提前;当 $S_n = 0$ 时,表示至检查日期时工期与计划进度相一致;当 $S_n < 0$ 时,表示至检查日期时工期拖延。

在 $S_n < 0$ 的情况下,完工至检查日期时工期拖延导致的造价成本 P 为:

$$P = \eta S_n \tag{3}$$

式中:η 表示日均造价值。

(2) 设计能力的影响

震后重建项目设计过程中,必须将地区的特殊地貌考虑进去,同时为保证施工质量,势必会加大对钢筋混凝土等建筑材料的用量,这对设计难度也做出了要求。在工期紧迫、任务重的条件下,想要完成对重建项目质量与经济成本的有效结合,就必须要

求设计者具备较强的设计能力[9]。

质量偏差是以实际值(已完工程实际投资)和实际质量价值相比而得到的,质量偏差的值反映了完成项目的实际质量与规定质量的符合情况。具体计算公式如下:

$$Q = B_Q - W_Q \tag{4}$$

式中:Q 表示某个月的质量差;B_Q 表示实际值(已完工程实际投资);W_Q 表示实际质量价值。

根据公式(4),可得出完工至检查日期时累计修复质量需要的造价值 Q_n:

$$Q_n = \sum_{i=1}^{n} Q \tag{5}$$

Q_n 是对重建项目实际完工质量与计划质量的相符合状况的反映,当 $Q_n > 0$ 时,表明至检查日累计修复质量所需要的造价值;当 $Q_n = 0$ 时,表明至检查日重建项目的质量合格;当 $Q_n < 0$ 时,表明重建项目的质量高于计划值,这种情况在实际中基本不会出现。

(3) 建筑材料市场供求状况不平衡

地震受灾区面临着大规模的震后重建项目,建筑材料需求量大,但存在当地供应商数量较少,外地供应商因交通条件不便利提高成本的问题,导致建筑材料供应不均衡,货源紧缺,大宗材料如水泥、沙石、红砖等价格大幅度上涨,供需矛盾显著。在保证项目质量的条件下,还需要维护援建各方合法权益,这给重建项目多因素造价控制增加了困难[10]。对某地区建筑项目材料的震前、震后价格进行统计分析,如表 1 所列。

表 1　建筑项目材料的震前、震后价格

Table 1　Material prices for construction projects before and after the earthquake

建筑材料	震前	震后	上涨幅度
钢筋	340 元/t	560 元/t	64.7%
柱梁木模	17 元/m^2	27 元/m^2	58.8%
砖墙	42 元/m^2	53 元/m^2	26.2%

建筑项目人工成本的震前、震后价格统计结果如表 2 所列。

表 2　建筑项目人工成本的震前、震后价格

Table 2　Pre-earthquake and post-earthquake prices of labour cost for construction projects

人工工种	震前	震后	上涨幅度
钢筋工	55 元/天	100 元/天	81.8%
木工	75 元/天	120 元/天	60.0%
砌筑工	60 元/天	110 元/天	83.3%

价格偏差是实际值(已完工程实际投资)与赢得值(已完工程计划投资)相比较得到的,这两者都是已完工作,却表达不同的含义:实际值的已完工作中包含了所有已完成的工作量,计划中有的工程以及计划外的新增工程。赢得值的已完工作中包含计划中有的工作量和取消的工作。具体计算公式如下:

$$C = B_c - W_c \tag{6}$$

式中:C 表示某个月的造价费用差值;B_c 表示实际值(已完工程实际投资);W_c 表示赢得值(已完工程计划投资)。

根据式(6)可得完工至检查日时累计的重建项目价格偏差值 C_n:

$$C_n = \sum_{i=1}^{n} C \tag{7}$$

C_n 是对完工后累计超支或者节支费用的体现,当 $C_n > 0$ 时,表明至检查日的累计超支费用值;当 $C_n = 0$ 时,表明至检查日的实际费用值与计划值相一致;当 $C_n < 0$ 时,表明至检查日的累计节支费用值。

2　基于灰色模型的多因素造价控制模型

根据偏差值无法直观地对各个月的工程进度变化趋势、质量变化趋势以及价格变化趋势进行预测,需要利用偏差系数来进行描述,因为利用偏差系数可以更为精确地求解出整体偏差值。

在计算各偏差系统前,分别对震后重建项目管理程序缺位、设计能力不足和建筑材料市场供求状况不稳定这三个影响因素的权重进行分析,结果如图 1 所示。

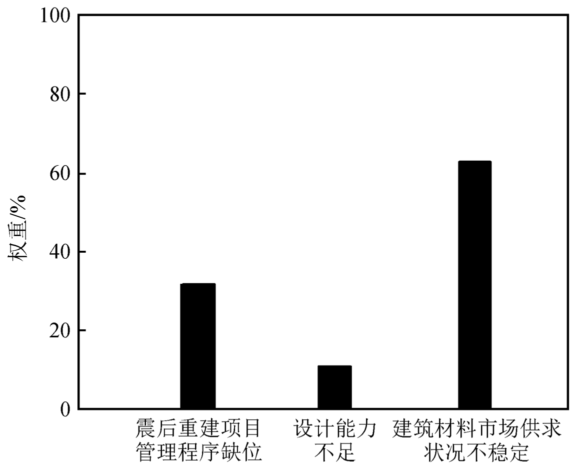


图 1　影响因素权重

Fig.1　Weight of influencing factors

根据图 1 可知,震后重建项目管理程序缺位因素的权重比值为 30%,设计能力不足因素的权重比

值为 10%，建筑材料市场供求状况不稳定因素的权重比值为 60%。根据以上结果，分别计算进度偏差系数、质量偏差系数和价格偏差系数，求解出整体偏差值。结合灰色模型构造造价控制约束函数，并进行求解，进而完成多因素造价控制模型的构建。灰色模型的分布规律与投资变化的前中期规律比较一致，其模型是指数型模型，一开始曲面坡度不是很明显，其坡度成递进式增长，慢慢地变得陡峭，并持续以这种规律增长下去。所以运用灰色模型可以完成震后重建项目的多因素造价控制。

完工至检查日的累计进度偏差系数 α 的变化曲线可以表明累计工期变化情况，计算公式为：

$$\alpha=\frac{S_n}{nB_c} \tag{8}$$

完工至检查日的累计质量偏差系数 β 的变化曲线可以表明累计质量修正变化情况，计算公式为：

$$\beta=\frac{Q_n}{nB_Q} \tag{9}$$

完工至检查日的累计质量偏差系数 φ 的变化曲线可以表明累计费用变化情况，计算公式为：

$$\varphi=\frac{C_n}{nB_c} \tag{10}$$

综上所述，可得出整体偏差系数 T：

$$T=0.3\alpha+0.1\beta+0.6\varphi \tag{11}$$

则已完项目的整体造价偏差 ΔC 可表示为：

$$\Delta C=T\sum_{i=1}^{n}(P_{fi}Q_{fi}-P_jQ_j)+\sum_{j=1}^{n}P_jQ_j \tag{12}$$

式中：Q_{fi} 为重建项目中关键项的单价；P_{fi} 为重建项目中关键项的工程量；Q_i 为重建项目中关键项的原计划单价；P_i 为重建项目中关键项的原计划工程量；P_iQ_i 为至完工时新增工程项目的造价。

结合整体偏差，运用灰色模型构造造价控制约束函数 $X(t)$，计算公式如下：

$$X(t)=[X^0(1)-V]\Delta C\times u \tag{13}$$

式中：$X^0(1)$ 表示重建项目的计划造价初始函数；V 表示整体重建项目的实际造价；u 表示约束系数。

由此可得出基于灰度模型的震后重建项目的多因素造价控制模型，计算公式如下：

$$C_t=X(t)(C_0+\Delta C)\left(\rho_1\frac{A}{A_0}+\rho_2\frac{B}{B_0}+\rho_3\frac{C}{C_0}\right) \tag{14}$$

式中：C_t 为震后重建项目的最终实际造价；C_0 为计划合同价；ρ_1、ρ_2、ρ_3 分别代表人工费、钢材费、运输费等费用在重建项目造价总成本中所占的比例；A_0、B_0、C_0 分别代表与 ρ_1、ρ_2、ρ_3 对应的基期价格指数；A、B、C 分别代表与 ρ_1、ρ_2、ρ_3 对应的造价控制指数。

3　实验结果与分析

为了测试本文模型在震后重建项目的多因素造价控制中的性能，进行实验分析。以四川某一震后重建项目为例，将不同类型的建筑造价数据作为实验数据，具体数据用表 3 描述。

表 3　震后重建项目造价数据表

Table 3　Cost data for post-earthquake reconstruction projects

项目序号	建筑面积	结构类型	建筑层数	造价/(元·m^{-2})
1	620	砖混	7	1 213.6
2	720	砖混	7	1 326.6
3	860	钢混	10	1 562.5
4	950	砖混	6	1 324.5
5	960	钢混	15	1 563.4

为验证本文模型的准确度，以上述实验数据为依据，选取 50 组数据，数据的选取应该具有代表性、随机性以及客观性。选取实验数据较少会出现误差较大的问题。选取实验数据应该遵循只多不少的原则，结合本文实验环境，选取 50 组数据进行实验。以造价偏差计算准确度和模型误差值为指标，对本文模型与传统模型进行对比。

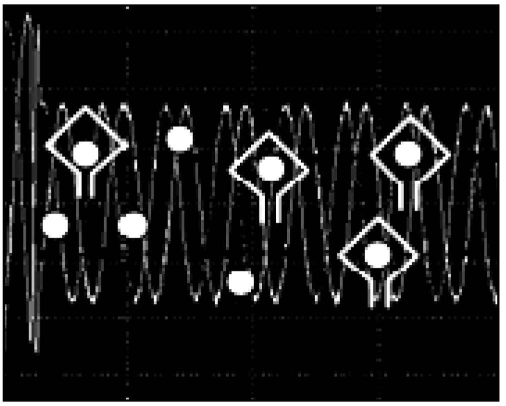
造价偏差计算准确度对比结果如图 2 所示，图中的曲线表示模拟数据波，图中的白色原点表示造价偏差，加框的原点表示已计算出来的偏差，不加框的原点则表示未计算出来的偏差，白色原点是否加框需要重点关注，可着重体现造价偏差。

分析图 2 可知，本文模型中白色原点全部都被加框，传统模型中白色原点被加框的比例仅占 50%，表明本文模型的多因素造价偏差计算准确度高，进而保证了造价控制的精确度。

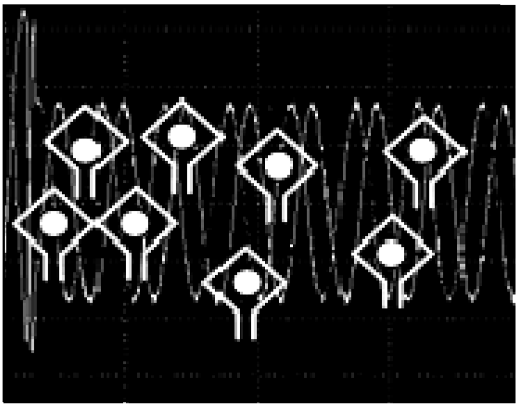
以某 100 m^2 小型建筑为例，利用本文模型与传统模型对建筑造价进行预算，并做出造价控制。分别对两个模型的控制误差值进行对比，结果如表 4 所列。

分析表 4 可知，本文模型的误差值整体在 0.10 以下，最低可达 0.05，误差值较低；而传统模型的误差值在 0.68 以上，最高可达 0.79，整体误差较大，进一步表明了本文模型的精度高。因为在本文模型构建过程中，考虑了地震受灾区的特殊情况，分别具体计算了造价影响因素可能造成的进度偏差、质量偏差和价格偏差，结合偏差系数计算出项目整体的偏差值，使得计算结果更为准确。

为验证本文模型的可信度，对本文模型与传统模型的残差进行计算，计算结果如表 5 所列。



(a) 传统模型



(b) 本文模型

图 2　两种模型的造价偏差计算准确度对比

Fig.2　Comparison between calculation accuracies of cost deviation using two models

表 4　两种模型的误差值对比

Table 4　Comparison between errors of two models

实验组数	实际造价计算值/万元	本文模型造价计算值/万元	传统模型造价计算值/万元	本文模型误差值	传统模型误差值
10	6.1	6.0	6.89	0.10	0.79
20	6.3	6.21	6.99	0.09	0.69
30	6.2	6.26	6.88	0.06	0.68
40	5.9	5.85	6.60	0.05	0.70
50	6.0	6.08	6.76	0.08	0.76

表 5　两种模型的残差对比

Table 5　Comparison between residuals of two models

实验组数	实际造价计算值/万元	本文模型造价计算值/万元	传统模型造价计算值/万元	本文模型残差	传统模型残差
10	6.1	6.0	6.89	1.550	6.927
20	6.3	6.21	6.99	1.097	7.057
30	6.2	6.26	6.88	1.468	7.034
40	5.9	5.85	6.60	1.455	6.930
50	6.0	6.08	6.76	1.394	7.918

模型残差为:

$$e(k)=X(k)-\hat{X}(k) \tag{16}$$

式中:$X(k)$ 表示实际造价值;$\hat{X}(k)$ 表示回归估计值。

模型误差为:

$$\Delta D=\left|r(k)-X(k)\right| \tag{17}$$

式中:$r(k)$ 为多因素造价控制值。

分析表 5 可知,本文模型的残差相对较小,整体控制在 1 左右,最高值为 1.550。传统模型的残差最高值为 7.918,整体在 7.0 左右,远远高于本文模型,表明本文模型的可信度较高。原因是:传统模型注重结合特定地区地域特点以及地质条件,构建 BIM 模型对多因素造价的计算方法以及控制进行研究,但是未考虑造价影响因素造成的偏差,而本文对实际施工过程中可能产生的偏差进行综合考虑,对震后重建项目管理程序缺位、设计能力不足和建筑材料市场供求状况不稳定这三个影响因素进行综合分析,因而本文模型对造价控制的精确度与可信度都较好。

4　结论

地震后重建项目的多因素造价控制是施工过程中的重要环节,可实现项目全方位的动态管理,以降低工程成本。本文提出一种震后重建项目中基于灰度模型构建的多因素造价控制模型,对重建项目整体造价偏差进行深入分析,构建造价控制约束函数,结合灰度模型,完成了基于灰度模型的多因素造价控制模型的构建。实验结果表明,本文模型对造价控制的精确度较高,误差值整体在 0.10 以下,最低可达 0.05,误差值较低,且残差相对较小,整体控制

在 1 左右,可信度好,验证出该模型具有一定的参考价值。但该模型在计算效率方面仍需要改进,未来将针对该多因素造价控制模型的计算步骤进行简化,提高计算效率,以便提高控制模型的效率。

参考文献(References)

[1] 岳乌云高娃.地震后重建过程中的建筑最低成本分析[J].地震工程学报,2017,39(6):1150-1155.
YUE Wuyungaowa. Lowest-cost Analysis of Buildings during Post-Earthquake Reconstruction[J]. China Earthquake Engineering Journal,2017,39(6):1150-1155.

[2] 张加庆.基于大数据的地震损失价值评估模型设计[J].地震工程学报,2018,40(2):356-362.
ZHANG Jiaqing. Design of Earthquake Loss Value Evaluation Model Based on Big Data[J]. China Earthquake Engineering Journal,2018,40(2):356-362.

[3] 张王乐元,张荞丰,孙增林,等.基于灰色理论的公路工程施工造价动态控制研究[J].交通科技与经济,2017,19(1):72-74,80.
ZHANG Wangleyuan, ZHANG Qifeng, SUN Zenglin, et al. Research on the Highway Project Construction Cost Dynamic Control Based on Grey Theory[J]. Technology & Economy in Areas of Communications,2017,19(1):72-74,80.

[4] 董留群,刘井周.基于灰色系统理论的建筑工程项目投资估算实证研究[J].项目管理技术,2016,14(3):68-72.
DONG Liuqun, LIU Jingzhou. Empirical Study on Investment Estimation of Construction Project Based on Grey System Theory[J]. Project Management Technology,2016,14(3):68-72.

[5] 陶黎黎.四川山区公路灾后恢复重建工程造价控制研究[J].交通建设与管理(下半月),2015,(1):195-197.
TAO Lili. Study on Cost Control of Highway Recovery and Reconstruction Project in Mountainous Area of Sichuan Province[J]. Transportation Construction & Management,2015,(1):195-197.

[6] 万臣,赵勇.基于灰色马尔可夫模型的住宅工程造价预测研究[J].科技和产业,2016,16(5):95-99.
WAN Chen, ZHAO Yong. Prediction of ResidentialProjects Cost Based on Gray Markov Model[J]. Science Technology and Industry,2016,16(5):95-99.

[7] 侯兰.基于 BIM 在项目全生命期内的造价模型设计[J].现代电子技术,2017,40(7):109-111,115.
HOU Lan. Design of BIM-based Construction Cost Model in Project Life Cycle[J]. Modern Electronics Technique,2017,40(7):109-111,115.

[8] 林东敏,杨晶.基于切比雪夫不等式的电网工程造价合理区间的计算方法研究[J].现代电子技术,2017,40(22):48-50,53.
LIN Dongmin, YANG Jing. Study on Chebyshev Inequality Based Calculation Method for Reasonable Range of Power Grid Engineering Cost[J]. Modern Electronics Technique,2017,40(22):48-50,53.

[9] 陈源,崔文浩,赖应良.基于案例推理的山区高速公路工程造价估算研究[J].价值工程,2016,35(33):37-38.
CHEN Yuan, CUI Wenhao, LAI Yingliang. Study on the Estimation of Mountainous Expressway Project Cost Based on Case Reasoning[J]. Value Engineering,2016,35(33):37-38.

[10] 李静,杜润泽.BIM 模型视角下建设项目成本与进度控制研究[J].价值工程,2016,35(1):54-56.
LI Jing, DU Runze. Research on the Construction Project Cost and Schedule Control from the Perspective of BIM Model[J]. Value Engineering,2016,35(1):54-56.