

基于灰色模型的有色金属矿山巷道支护工程造价预测研究

肖 瑶

(长春黄金设计院有限公司)

摘要: 造价控制是工程施工建设管理的关键环节,尤其在有色金属矿山巷道施工中,其影响因素复杂多变,造价预测难度较大,研究提出了一种基于灰色模型有色金属矿山巷道支护工程造价预测方法。简单介绍了灰色模型,建立了基于灰色模型的巷道支护模型,并进行支护过程的仿真模拟,完成了巷道支护造价的编制与计价工作。该方法能够有效预测支护工程的成本,为矿山巷道支护工程造价控制提供了科学依据和参考。

关键词: 灰色模型;有色金属矿山;巷道支护;工程造价;造价控制

中图分类号: TD35

文献标志码: A

文章编号: 1001-1277(2024)07-0031-04

doi: 10.11792/hj20240707

引言

近年来,随着经济的快速发展,矿产资源需求量随之增加,有色金属矿山的开采水平也在不断提高。有色金属是国民经济、人民生活、科学技术发展不可或缺的基本原料,也是衡量一个国家综合实力的重要指标。有色金属矿山建设和管理过程中,首先要对矿山工程进行优化,然后才能对其成本进行控制。工程成本风险是指施工单位在生产管理中,未对某些不可预见和不可控制的因素进行管理,造成预期利润与现实之间存在很大差距,严重的甚至会造成亏损^[1]。在实际的工程活动中,施工企业普遍面临成本风险。因此,施工企业将如何有效地规避项目成本风险置于首要位置,以有效降低成本风险对工程的负面影响。

在矿山工程中,巷道支护是一项重要的工程活动,用于确保矿山巷道的稳定性和安全性^[2-4]。而对于巷道支护工程造价的预测,则是为了有效规划和管理工程预算,确保项目顺利进行。通过预测巷道支护工程造价,可以提前评估工程成本,合理安排资源,避免工程延误和预算超支的情况发生^[5-9]。目前,关于工程造价预测的研究主要集中在传统统计方法、机器学习算法和灰色模型等方面。其中,灰色模型在处理少样本、不完整信息时具有一定优势,因此可用于巷道支护工程造价预测领域。

本文旨在基于灰色模型,结合巷道支护工程的实际情况,进行有色金属矿山巷道支护工程造价预测,为工程管理和决策提供科学依据。

1 灰色模型

灰色系统理论是20世纪80年代由中国科学家陈纳德提出的一种非常实用的系统分析方法。如果一个系统具有层次、结构关系的模糊性,动态变化的随机性,以及指标数据的不完备性或不确定性,则这些特性被称为灰色性,具有这些特性的系统就是灰色系统。灰色模型是灰色系统理论的重要组成部分,具有模糊性和随机性的特点,适用于数据不完备、不确定性强等情况下的建模与分析。

灰色模型是对灰数列进行建模的一种方法。与传统基于数据序列的差分方程建模方法不同,灰色模型是在对一系列原始数据进行处理后,再将其转化为微分方程。目前,灰色模型主要有3类:静态模型、状态模型和预报模型。本文基于GM(1,1)预报模型建立巷道支护模型,它将随机的原时间序列通过一次一阶微分方程的解进行近似,是一阶线性动力学模型。该模型形式决定了其是对变量自身资料进行预测的模式,适用于预报数据。

2 基于灰色模型的巷道支护模型建立

灰色模型在矿山巷道支护方面的应用,主要体现在对巷道变形和稳定性的预测和分析。由于矿山巷道支护受多种因素影响,如地质条件、开采方式、支护结构等,因此巷道变形和稳定性均较复杂。灰色模型可以通过对已有数据的处理和分析,揭示巷道变形和稳定性的内在规律和趋势,为支护设计和优化提供科学依据。此外,也可以通过对巷道变形和稳定性的时间序列数据进行处理。基于巷道净宽3 m建立预测

模型,对未来变形和稳定性进行预测。同时,灰色模型还可以对支护结构的受力状态进行监测和分析,及时发现支护结构存在的问题和隐患,为支护结构的优化和加固提供指导。

由于有色金属矿山巷道的开挖深度普遍超过 2.5 倍当量荷载,因此,在对其进行应力分析时,均按深埋隧洞计算大断面硐室围岩的压力。在这种情况下,将围岩压力视为松动压力,竖向均匀分布压力计算公式为:

$$t_v = \varphi h = 0.45 \times 2^{s-1} w \tag{1}$$

式中: t_v 为竖向均匀分布压力(N/m²); φ 为围岩容重(kN/m³); h 为荷载的等效高度(m); s 为围岩级别; w 为宽度影响系数, $w = 1 + \partial(b - 5)$ (∂ 为巷道开挖宽度增加 1 m 时围岩压力的增减率(%), b 为巷道的开挖宽度(m))。

当巷道净宽为 3 m 时,其宽度影响系数为 0.6,荷载的等效高度为 4.32 m,竖向均匀分布压力为 108 N/m²,水平压力为 43.2 N/m²。净宽 3 m 断面弯矩示意图如图 1 所示。

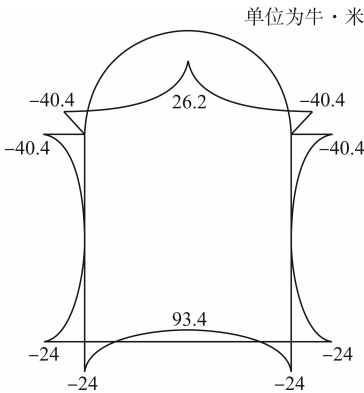


图 1 净宽 3 m 断面弯矩示意图

Fig. 1 Schematic diagram of bending moment of the section with net width 3 m

由图 1 可以看出:该巷道断面弯矩是对称分布的,其顶点弯矩为 26.2 N·m,底端弯矩为 93.4 N·m,顶点、底端左右对称弯矩分别为 -40.4 N·m 和 -24 N·m。本模型选取典型的弹塑性材料,对支护过程进行建模,并进行数值仿真。网格单元采用四面体单元,喷射混凝土采用板元,锚杆采用树脂端头锚,每个锚固件分为 3 个节点,采用植入式桁架形式,

该单元节点与墙体节点不匹配,但在计算过程中,程序会自动选取最靠近锚杆端部节点的位置,完成锚杆受力计算。在相同范围内,巷道开挖通过活化及钝化能量来实现。巷道支护模型单元图如图 2 所示。

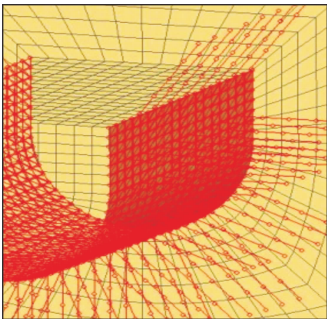


图 2 巷道支护模型单元图

Fig. 2 Diagram of units for support model

巷道净宽 3 m 的断面,考虑施工方便、快捷,建议 I ~ III 级围岩采用喷射混凝土支护,IV、V 级围岩优先采用钢拱架支护,其次采用钢筋混凝土支护^[7]。

3 巷道支护工程造价预测

根据巷道支护所有实施的工程量设定清单进行计价,其施工造价清单如表 1 所示。

表 1 施工造价清单
Table 1 Construction cost list

项目编号	指标	计算方法	备注
1	分项工程	$\sum al$	a 为清单工程量, l 为综合单价
2	人工费	按规定计算	
3	其他项目费	按招标文件规定计算	
4	规费	$(1+2+3)d$	1,2,3 为项目编号; d 为费率
5	不含税工程造价	$1+2+3+4$	1,2,3,4 为项目编号
6	税金	$5d$	5 为项目编号; d 为费率
7	含税工程造价	$5+6$	5,6 为项目编号

根据巷道支护模型部分成本价格变化规律的数据分析结果,分别对巷道支护的各项工程造价指标进行估算。人工费(c)估算公式为:

$$c = \sum c_d \Delta c_d t \tag{2}$$

式中: c_d 为人工单日单价(元); Δc_d 为人工单日价格波动幅值(元); t 为巷道支护工程的施工时间(d)。

分项工程量计算结果如表 2 所示。

表 2 分项工程量计算结果

Table 2 Results of workload calculation for each project

序号	分项工程	特征分析	工程量/m ³
1	平硐开挖	巷道按 15 m 开挖,破碎软岩	65.9
2	锚杆	$\phi 18$ mm,长为 2.1 m	566.30 ¹⁾
3	喷射混凝土	拱部和边墙喷射混凝土,厚度为 100 mm,混凝土强度等级为 C20	7.62
4	注浆	间距为 1 m,排距为 8 m,每排 3 个孔,孔径 40 mm,孔深 5 m	14.3

注:1)单位为 kg。

工程施工材料(c_m)、设备费用(c_e)计算公式为:

$$\begin{cases} c_m = \sum m_m \Delta m_m + c_t \\ c_e = \sum n_e c_u \end{cases} \quad (3)$$

式中: m_m 为施工材料消耗量(kg); Δm_m 为材料单价波动幅值(元); c_t 为施工材料的检验试验费(元); n_e 为设备的使用量(台); c_u 为设备单台的检验试验费(元)。

综上所述,基于灰色模型进行有色金属矿山巷道支护工程造价预测,最终得到巷道支护工程造价预测结果 c_z 的表达公式为:

$$c_z = c + c_m + c_e \quad (4)$$

将式(2)、式(3)得出的各支护工程造价结果代入式(4),得到最终巷道支护工程造价预测结果,即

有色金属矿山巷道支护工程造价结果。

4 模型应用对比

某有色金属矿山于 1987 年 5 月竣工并投入使用,采用一对主、副竖井开拓,分为 300 m、540 m 和 600 m 3 个水平,目前生产能力为 120 万 t/a。矿山采用由上水平至下水平的开采顺序,目前正在开采二水平。按照生产接替要求和金属比例要求,所有采区应进行支护回采。

区域地层是影响模型预测造价的重要因素之一。在工程造价预测中,需要充分考虑地层因素的影响,以提高预测的准确性和合理性。矿山所处地区的区域地层示意如表 3 所示。

表 3 区域地层示意
Table 3 Schematic representation of regional stratigraphy

地层系统	年龄/Ma	厚度/m	岩性特征
新生代	0.01	0 ~ 200	主要由冲洪积相、湖积相的黏土,砂质黏土,砂、砾石等组成;以黏土和砂相间分布的混合堆积为特征,含有泥灰岩、薄层石膏及泥炭薄层等
	2.48		
	65		
中生代	248	0 ~ 9 500	灰色、灰白色、灰绿色、棕红色含砾中、细砂及黏土岩,本区分布不稳定(0 ~ 70 m)
	286		
	296		
上古生代	433	1 300 ~ 2 000	由粉、细砂岩及砂质泥岩互层组成,厚度 > 800 m;为砂砾岩、火山碎屑
		120 ~ 190	
下古生代	505	330 ~ 560	主要为砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层沉积(共 5 个含煤段)
	590	700 ~ 1 400	

以该有色金属矿山巷道支护工程为例,巷道支护参数如表 4 所示。

表 4 巷道支护参数
Table 4 Roadway support parameters

围岩级别	支护形式	支撑能力
I	50 mm 厚喷射混凝土	围岩自承
II	50 mm 厚喷射混凝土	围岩自承
III	80 ~ 100 mm 厚喷射混凝土;50 mm 厚喷锚网,锚杆长 1.8 m,间排距 1.0 m	围岩自承
IV	16 槽钢拱架,50 mm 厚喷射混凝土支护;250 mm 钢筋混凝土支护,受力筋 $\phi 16$ mm,分布筋 $\phi 12$ mm,间排距 250 mm	能承受等效高度 6 m 的冒落松散体自重荷载;已发生冒顶的巷道采用槽钢拱架支护时,须在槽钢外侧施工 100 mm 厚喷射混凝土
V	16 槽钢拱架,50 mm 厚喷锚网支护;250 mm 钢筋混凝土支护,受力筋 $\phi 16$ mm,分布筋 $\phi 12$ mm,间排距 200 mm	能承受等效高度 6 m 的冒落松散体自重荷载;已发生冒顶的巷道采用槽钢拱架支护时,须在槽钢外侧施工 100 mm 厚喷射混凝土

采用本文提出的基于灰色模型有色金属矿山巷道支护工程造价预测方法进行预测,并与文献[10]中的深基坑支护工程造价管控方法及实际成本进行对比,结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,基于灰色模型有色金属矿山巷道支护工程造价预测方法预测结果准确度较高,表明该方法能够有效预测巷道支护工程成本。

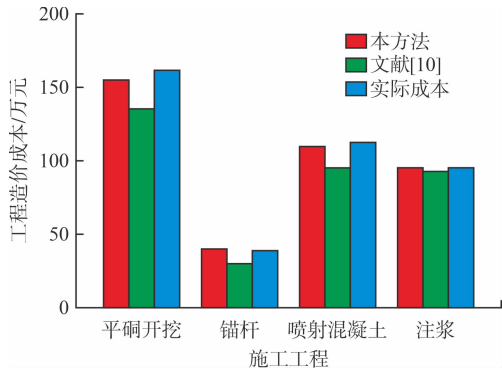


图3 巷道支护工程造价预测结果

Fig. 3 Roadway support project cost prediction results

5 结 语

在有色金属矿山巷道支护工程造价预测中,灰色模型的应用提供了一种有效处理不完全信息和数据的方法,可以利用历史数据和信息,对工程造价进行预测。在此过程中,首先需要收集和处理相关历史数据,然后通过灰色模型进行预测。灰色模型具有简单、实用、灵活、易于理解和计算等特点,特别适用于处理具有不确定性和模糊性的有色金属矿山巷道支护工程造价预测。此外,随着科技的进步和工程实践的发展,还需要不断更新和改进灰色模型,以适应新

的环境和需求。同时,需要加强对有色金属矿山巷道支护工程造价相关影响因素的研究,以便更好地理解和控制工程造价。综上所述,灰色模型在有色金属矿山巷道支护工程造价预测中具有较高的应用价值和实用性。

[参 考 文 献]

[1] 李娅坤,陈玉蓉. 基于灰色 BP 神经网络模型的电网工程造价预测研究[J]. 中国电力企业管理,2021(3):78-79.

[2] 付宗智. 有色矿山常用巷道断面受力分析及支护研究[J]. 世界有色金属,2022(13):34-36.

[3] 赵南南,齐升龙,闵祺,等. 开采扰动下软岩巷道支护优化及其应用效果研究[J]. 煤炭与化工,2023,46(6):1-5,9.

[4] 陈才贤,陈磊,黄智强. 高海拔软破大断面巷道支护设计及参数优选研究[J]. 矿业研究与开发,2022,42(10):88-94.

[5] 王丹. 矿山建设工程造价控制方法论述[J]. 有色矿冶,2023,39(6):61-64.

[6] 张朝. 浅析矿山建设工程管理与造价控制[J]. 世界有色金属,2023(13):220-222.

[7] 林健. 矿山建设工程造价控制的探讨[J]. 中国金属通报,2021(10):229-230.

[8] 肖瑶,金照雨. 基于 LS-SVM 的金属矿山千米竖井工程造价控制方法[J]. 黄金,2023,44(6):1-3,10.

[9] 刘宇勤,付迎新. 工程造价管理在矿山工程经济管理中的应用探析[J]. 黄金,2022,43(9):8-11.

[10] 郑尚会,王腊梅. 深基坑支护工程造价管控研究[J]. 建筑经济,2021,42(7):75-79.

Cost prediction study of support projects
in non-ferrous metal mine roadways based on the grey model

Xiao Yao

(Changchun Gold Design Institute Co., Ltd.)

Abstract: Cost control is a critical aspect of project construction management, particularly in the roadway construction of non-ferrous metal mines where the influencing factors are complex and variable, making cost prediction challenging. This paper proposes a cost prediction method for support engineering in non-ferrous metal mine roadways based on the grey model. A brief introduction to the grey model is provided, and a support model based on the grey model is established. Simulation of the support process is conducted, and the compilation and pricing of roadway support costs are completed. This method effectively predicts the cost of support projects, providing a scientific basis and reference for cost control in mine roadway support construction.

Keywords: grey model; non-ferrous metal mine; roadway support; project cost; cost control