

采场回采质量影响因素灰色关联分析

邓 俏, 罗周全, 沈玉众, 冯福康

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 影响采场回采质量的因素多且复杂, 这些因素往往具有模糊性、不确定性, 具有典型的灰色特征。本研究以三维激光探测系统 (CMS) 为手段, 运用矿用软件 Surpac 构建采空区三维实体模型; 根据矿山的技术资料, 计算获得准确的采场回采贫化率、损失率等技术参数; 结合矿山信息系统提供的回采经济指标, 依据灰色理论的关联分析法, 构建某矿山采场回采质量影响因素的灰色模型。以回采贫化率为参考数列, 对采场回采质量的影响因素进行灰色关联分析, 计算得到各个影响因素的关联度值, 定量分析了影响采场回采质量的各因素间的相互作用、主次关系。辨别影响采场回采质量的主要因素, 有利于提高采场回采质量管理的针对性。

关键词 CMS; 精密探测; 采场回采质量; 灰色关联分析

中图分类号 TD75

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)16-0021-04

Grey Relational Analysis of Stope Mining Quality Impact Factors

DENG Qiao, LUO Zhouquan, SHEN Yuzhong, FENG Fukang

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract There are many complicated factors that affect the stope mining quality, and some with fuzziness and uncertainty with typical features of the grey system. In this paper, using CMS to detect the cavity accurately, the three-dimensional model of the cavity is built by Surpac software. The technical parameters such as dilution and loss of the mining are obtained accurately according to the technology data of mining and the three-dimensional model. And then, the mining economic indexes provided by the mine information system are combined, according to the grey theory, to obtain a grey model for analyzing the impact factors of stope mining quality, based on the method of Grey Relational Analysis. With the dilution of the mining as the reference series, the factors that affect stope mining quality are evaluated through the Grey Relational Analysis, to obtain the correlation value of each factor. This method can be used to analyze quantitatively the interaction among various factors and to determine the primary and secondary relations. The main factor can be identified, that would help to improve the management of stope mining quality impact factors.

Keywords CMS; precise detecting; stope mining quality; Gray Relational Analysis

准确掌握采场回采指标, 并通过控制采场回采质量降低矿山贫化损失、降低矿山生产成本, 从而提高矿山企业的生产效率, 是矿山生产质量管理的重要方面。

过去因受到探测手段的限制, 加之技术经济指标选取不当, 导致矿山企业不能得到准确的技术资料, 其采场回采数据误差较大, 只能依靠经验推测采场的回采质量情况, 做出定性评价; 技术经济指标选取不当, 将进一步影响到评价结

果的准确性, 严重影响了矿山生产计划的制定和生产过程的管理^[1-2]。

本研究以 CMS 精密探测成果为基础, 在准确获取采场回采贫化率、损失率及采场回采经济指标的基础上, 结合灰色理论的关联分析法, 对采场回采质量影响因素进行分析评价。新的探测手段和矿山信息系统为分析评价影响采场回采质量各因素间的主次关系奠定了坚实的数据基础。

收稿日期: 2009-12-18; 修回日期: 2010-08-03

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划专题(2007BAK22B04, 2006BAB02B05)

作者简介: 邓俏, 硕士研究生, 研究方向为矿山安全数字化理论与技术, 电子信箱: dengqiao1@126.com; 罗周全 (通信作者), 教授, 研究方向为金属矿深井开采及灾害监控数字化理论与技术, 电子信箱: lzg505@hotmail.com

1 CMS 三维精密探测

由于测量方法和现场条件的限制,传统的回采指标的测定方法不仅工作量和难度较大,难以真正获得准确的采场回采指标。三维激光探测系统(3D Laser Cavity Monitoring System, CMS)是加拿大 Optech 公司生产的一种基于激光的空区精密探测系统。CMS 因能准确测定井下巷道、硐室及井下危险采空区的三维形态,而被广泛应用于国内外的金属地下矿山。数字化矿山在国内的不断发展,可以实现矿山生产环节的技术经济指标的动态优化管理^[3-4],实现矿山资源高效安全开采。

CMS 探测系统能较好地适应井下环境,并且 CMS 使用简便,探测精度高(精度可达 2cm),可以探测危险或人员无法进入的空间,确保操作人员的安全。CMS 三维精密探测的基本过程^[5]如图 1 所示。

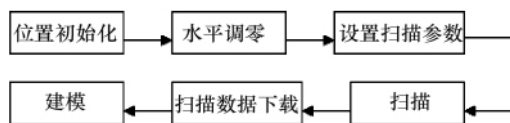


图 1 CMS 探测过程

Fig. 1 CMS survey process

根据 CMS 探测所获得的数据,利用矿用建模软件 Surpac 生成采空区的三维实体模型,如图 2 所示。

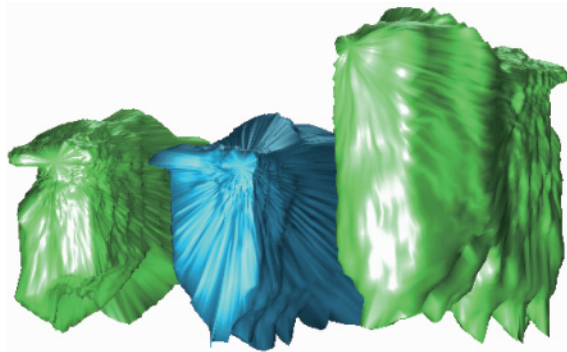


图 2 CMS 探测空区的 Surpac 三维模型

Fig. 2 Surpac 3D model of cavity surveyed by CMS

2 采场回采质量数据获取

大规模采场回采质量的影响因素诸多,本研究运用 CMS 三维探测成果,并结合矿山生产资料,可以获得空区任意剖面、三维实际边界和空区体积等数据^[6-9],准确计算获得采场回采过程中的贫化、损失等技术参数,结合矿山信息系统提供的回采经济指标,确定采场回采质量的 4 个主要数据:采场回采贫化率、回采损失率、采矿综合成本和回采工班进度。

通过 Surpac 软件的相关布尔运算,可准确测定采场回采时的超挖废石量和欠挖矿石量,结合计算所得的存留矿量及

空区体积、回采设计单元体积和底部结构体积^[10],根据采场回采贫化率和损失率的计算方法^[11],精确计算出该采场回采的贫化率和损失率指标,结合采场回采经济指标计算方法^[11],采用作业成本法计算采矿综合成本和回采工班进度,即吨矿综合成本和采矿工班效率。

通过计算,获得了某矿山 10 个采场回采质量的原始数据,详见表 1。

表 1 采场原始数据

Table 1 Original data of the mine field

| 序 列 | 采场 编号 | 贫化率 /% | 损失率 /% | 采矿综合成本 /(元·吨 ⁻¹) | 采矿工班进度 /(吨·工班 ⁻¹) |
|--------|----------|-----------|-----------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 52-10 | 16.7 | 15.98 | 26.67 | 106.4 |
| 2 | 52-14 | 9.10 | 3.38 | 27.63 | 105.8 |
| 3 | 52-16 | 2.25 | 7.22 | 25.30 | 106.2 |
| 4 | 52-2 | 3.79 | 3.06 | 26.5 | 106.8 |
| 5 | 52-6 | 8.46 | 4.41 | 27.6 | 107.1 |
| 6 | 52-8 | 12.67 | 3.70 | 26.4 | 105.8 |
| 7 | 54-14 | 1.22 | 1.35 | 27.5 | 106.1 |
| 8 | 54-16 | 1.20 | 2.48 | 26.5 | 105.9 |
| 9 | 54-2 | 0.44 | 5.16 | 27.1 | 106.6 |
| 10 | 54-6 | 2.76 | 4.75 | 26.9 | 106.3 |

3 灰色关联分析

3.1 灰色关联分析原理

灰色理论以小样本、贫信息不确定性系统为研究对象,主要通过对部分已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为的正确认识 and 有效控制,灰色关联分析是灰色理论的重要组成部分之一。其基本原理是通过统计序列几何关系的比较来分清系统中多因素间的关联程度,序列曲线的几何形状越接近,则它们之间的关联度越大。从数学本质而言,这种方法是将无限收敛以近似收敛代替,将无限空间的问题用有限数列的问题取代,将连续的概念用离散的数据取代的一种方法,其特点是对样本数据没有量的要求,也不必预先了解典型的分布规律,同时计算量小,其结果与定性分析吻合,符合矿山管理系统特征的需要^[12]。

3.2 构建评价体系

构建评价体系,建立参考数列,并以隐患因子的参数指标值建立评价数列;设参考数列为

$$X_0 = \{X_0(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$$

则评价数列为 $X_i = \{X_i(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$, 其中 i 为指标数。

3.3 无量纲化

对原始数据进行无量纲处理,将不同量纲的不同数量级的数据经规范化处理,变成可以进行比较的数列,如:

$$X_i(k) = \frac{x_i(k)}{x_i(k)} \quad (1)$$

$$\overline{x_i(k)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i(k) \quad (2)$$

其中, $X_i(k)$ 为第 i 个指标的无量纲值; $x_i(k)$ 为第 i 个指标的原始值, $\overline{x_i(k)}$ 为其平均值; $k=1, 2, \dots, n, n$ 为序列数。

3.4 关联度计算

计算关联系数:

$$\zeta_{\alpha_i}(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (3)$$

式中, ξ 为分辨系数, 取值范围为 $(0, 1)$, 通常取 $0.5^{[13-15]}$; $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为两级最小差; $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为两级最大差。 $\zeta_{\alpha_i}(k)$ 为第 i 个指标的关联系数。第 i 个指标的关联度值 R_{α_i} 为

$$R_{\alpha_i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_{\alpha_i}(k) \quad (4)$$

式中, $R_{\alpha_i} \subseteq (0, 1)$ 。计算出关联度后, 又格评价数据序列与标准数据序列的关联系从大到小排序, 关联度越大, 说明评价数据序列与标准数据序列度变化的态势越一致。

4 实例应用

选取回采贫化率、回采损失率、采矿工班进度、吨矿综合成本 4 个影响采场回采质量的数据作为分析指标, 以某矿山为工程实例, 选取此矿山的 10 个采场, 收集了 10 个采场的原始数据(表 1)。为了找到各因素间对采场回采质量影响的主次关系, 运用灰色理论, 对以上 4 个因素进行关联性分析。这里确定以回采贫化率为参考数列, 其他指标则作为比较数列, 对其关联度进行计算分析。

4.1 计算关联系数

对表 1 的原始数据做无量纲化处理后, 根据式(3)、式(6)可计算出关联系数, 结果如表 2 所示。

表 2 关联系数
Table 2 Correlation coefficients

| 序列 | 采场编 | $\zeta_{01}(k)$ | $\zeta_{02}(k)$ | $\zeta_{03}(k)$ | $\zeta_{04}(k)$ |
|----|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 52-10 | 0.8347 | 0.3408 | 0.3862 | 0.3869 |
| 2 | 52-14 | 0.5691 | 0.5562 | 0.6983 | 0.6837 |
| 3 | 52-16 | 0.5369 | 0.7742 | 0.6829 | 0.6612 |
| 4 | 52-2 | 0.9767 | 0.9086 | 0.7791 | 0.7758 |
| 5 | 52-6 | 0.6719 | 0.7175 | 0.7473 | 0.7368 |
| 6 | 52-8 | 0.4480 | 0.4308 | 0.4997 | 0.5020 |
| 7 | 54-14 | 0.9755 | 0.3656 | 0.5924 | 0.6009 |
| 8 | 54-16 | 0.8206 | 0.6969 | 0.6029 | 0.6004 |
| 9 | 54-2 | 1.0000 | 0.4505 | 0.5584 | 0.5606 |
| 10 | 54-6 | 0.7298 | 0.6166 | 0.6943 | 0.6956 |

4.2 计算关联度

根据式(4)和表 4, 可以计算出关联度:

$$R_{01} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^n \zeta_{01}(k) = 0.7563$$

同理, 可以计算出其他的关联度: $R_{02}=0.5858, R_{03}=0.6242, R_{04}=0.6204$ 。

4.3 关联度排序

由计算结果可知, 关联度大小顺序为

$$R_{01} > R_{03} > R_{04} > R_{02}$$

其关联次序由大到小依次为 $R_{01}, R_{03}, R_{04}, R_{02}$, 即采场回采损失率和采矿综合成本与采场回采贫化率的关联度最大, 采矿工班进度次之, 符合现场检查 and 定性分析。

5 结论

1) 运用 CMS 三维探测成果, 准确计算获得采场回采过程中的贫化、损失等技术参数, 结合矿山信息系统提供的回采经济指标, 得到采场回采贫化率、回采损失率、采矿综合成本、回采工班进度等 4 个影响采场回采质量的指标。基于灰色理论的灰色关联分析法, 建立灰色关联分析模型, 使灰色关系量化、序化、显化, 可以体现影响采场回采质量的各因素间的相关特性, 决策者藉此可获得影响因素的主次关系, 可以采取有针对性的措施进行管理控制。

2) 在采场回采质量的控制中, 以采场回采贫化率为参考集的情况下, 采场回采损失率和采矿综合成本是 2 个关键因素, 控制措施应从降低这 2 个指标着手, 这样才可达到投资少、见效快、目标明确的结果。

3) 与其他分析方法相比, 灰色关联分析法具有弥补采用数理统计作系统分析导致的缺憾, 对样本数量的多少和样本有无规律性并没有要求, 而且计算量小、快速简捷。

参考文献 (References)

- [1] Jill A. Rossiter total quality management [M]. An Dogan: Dearborn Financial Publishing, Inc, 1996.
- [2] 张晓东. 论我国企业质量管理的协调发展[J]. 世界标准化与质量管理, 2001(1): 12-14.
Zhang Xiaodong. *World Standardization and Quality Management*, 2001 (1): 12-14.
- [3] 汪应宏. 基于 GIS 的生产矿山资源评价与管理决策支持系统探讨[J]. 测绘通报, 2000(5): 18-20.
Wang Yinghong. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2000(5): 18-20.
- [4] 杨永清, 许先云. 矿山企业经济效益综合评价的数学模型 [J]. 运筹与管理, 1999, 8(1): 63-65.
Yang Yongqing, Xu Xianyun. *Operations Research and Management Science*, 1999, 8(1): 63-65.
- [5] Gilbertson R J. The application of the cavity measurement system at Olympic Dam operations [C]//Proc Underground Operators Conference. Kalgoorlie, Western Australia, 1995: 245-252.
- [6] Optech Systems Corporation. Cavity monitoring system wireless user manual[M]. Canada: Optech Systems Corporation, 2004.
- [7] 罗周全, 鹿浩, 刘晓明, 等. 基于空区探测的采场超欠挖量计算及顶板

- 安全分析[J]. 金属矿山, 2007(12): 36-38.
Luo Zhouquan, Lu Hao, Liu Xiaoming, *et al.* *Metal Mine*, 2007(12): 36-38.
- [8] Gemcom Software International Inc. Surpac vision software user manual [M]. Beijing: Surpac Software International, 2002.
- [9] 过江, 罗周全, 邓建, 等. 三维动态空区监测系统 CMS 在矿山的应用 [J]. 地下空间与工程学报, 2005(6): 994-996.
Guo Jiang, Luo Zhouquan, Deng Jian, *et al.* *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2005(6): 994-996.
- [10] 刘晓明. 基于实测的采空区三维建模及其衍生技术的研究与应用[D]. 长沙: 中南大学资源与安全工程学院, 2007.
Liu Xiaoming. The research and application based on the measured three-dimensional modeling of mined-out area and its derivative technology [D]. Changsha: School of Resources and Safety Engineering, Central South University, 2007.
- [11] 罗周全, 熊立新, 刘晓明, 等. 基于实测的采场回采质量综合评价方法及应用[J]. 金属矿山, 2008(12): 94-97.
Luo Zhouquan, Xiong Lixin, Liu Xiaoming, *et al.* *Metal Mine*, 2008(12): 94-97.
- [12] 巩志敏, 周心权, 刘正宏. 采空区煤自燃危险因素灰色关联性分析[J]. 煤矿安全, 2008(4): 80.
Gong Zhimin, Zhou Xinquan, Liu Zhenghong. *Safety in Coal Mines*, 2008(4): 80.
- [13] 叶义成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
Ye Yicheng, Ke Lihua, Huang Deyu. Comprehensive assessment of the technology and its applications[M]. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2006.
- [14] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987.
Deng Julong. The primary methods of grey system theory [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1987.
- [15] 施式亮, 汤广发, 王海桥. 建筑室内环境安全灰色评价模型 [J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(11): 22-24.
Shi Shiliang, Tang Guangfa, Wang Haiqiao. *China Safety Science Journal*, 2004, 14(11): 22-24.

(责任编辑 陈广仁)

2010年全国声学学术会议

时间: 2010年12月
地点: 黑龙江·哈尔滨

主办单位: 中国声学学会

电 话: 010-62554285
传 真: 010-62561833
电子信箱: asc@mail.ioa.ac.cn
通信地址: 北京市海淀区北四环西路21号 (100190)
网 址: <http://www.aschina.org>