

昆阳磷矿数字配矿优化模型与配矿工艺规程

陈鹏能¹, 张电吉², 李志国^{2,4}, 章 鹏³, 周永生¹

(1. 云南磷化集团有限公司昆阳磷矿, 云南 昆明 650600; 2. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074; 3. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430070;
4. 国家磷资源大开发利用工程技术研究中心, 云南 昆明 650113)

摘 要:随着开采年限和深度的增长, 昆阳磷矿中低品位矿石比例逐渐增大, 为了达到磷矿质量指标, 满足磷酸和高浓度磷复肥等的生产要求, 实现多目标精细配矿, 针对昆阳磷矿的矿石品位和有害杂质特征, 提出了一种基于多目标线性规划的配矿计算方法. 首先根据昆阳磷矿矿石特征, 建立线性规划函数, 确定配矿目标及约束, 然后结合昆阳磷矿目前的配矿方法及矿物加工要求, 建立多目标数字配矿优化模型; 最后借助 Matlab 软件实现多目标配矿解算技术. 另外, 针对配矿的生产过程与管理, 提出了关于优化配矿管理制度的措施. 研究结论证实多目标线性规划数字配矿优化模型与合理的配矿管理制度相结合既达到多元目标的配矿要求, 又给矿山企业带来更大的经济效益.

关键词:数字矿山; 配矿; 模型; 矿石质量; 经济效益

中图分类号:TD804

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.10.009

1 昆阳磷矿配矿现状

随着开采的不断深入, 昆阳磷矿富矿比例减小, 中低品位矿比例增大, 须通过合理均衡配矿后才能满足磷酸和高浓度磷复肥等的生产要求^[1]. 为了达到磷矿质量指标, 昆阳磷矿针对品位高低及其有害成分不同的磷矿石, 仅按目标元素含量进行加权平均互混搭配, 供选矿厂加工后销售使用, 但是昆阳磷矿大多数的矿石都不能达到磷矿石质量指标, 以这种加权平均的配矿方式不能满足生产及其销售的要求. 因此, 采用数字配矿优化模型合理均衡配矿以实现多目标精细配矿, 这不仅能降低原料成本、降低有害杂质的含量、稳定工艺指标, 且有利于企业进一步优化生产工艺指标, 提高产品质量^[2].

2 配矿计算模型及评价

2.1 配矿计算的研究现状

配矿计算方法有多种, 其中按照目标矿石的品位与矿石重量可分为简易的理论计算方法, 按照工程实例类比可分为验算法, 按照目标矿石品位与杂质等各种要求可分为线性规划法.

(1) 简易理论计算法. 这是一种较为简便的计算方法, 可采用两种配比, 即是品位配矿比与质量

配矿比来计算配矿, 这种方法简单, 在矿种少, 不复杂的矿山配矿中可以采用^[3]. 为了使不同品级的矿石搭配后达到质量指标, 必须进行采场质量中和的计算, 不同情况可采用不同的计算方法, 主要方法有品位配比率计算法(品位搭配法^[4])和重量搭配法.

(2) 验算法. 验算法是结合实际的工程数据, 利用操作者丰富的工作经验来实时的调整配矿的相关数量, 现在随着计算机的广泛使用, 单靠人为及一些数据, 不结合计算机的使用, 这种验算法已经基本被淘汰了. 安阳钢铁公司, 利用了计算机 Excel 的数据强大的处理功能, 来指导配矿工作的计划、实施与调整, 在配矿上起到了很大的效果^[5]. 综合来说, 该方法简单易用, 适用于现场配料的配矿工作.

(3) 线性规划法. 通过各种约束条件如磷矿石的品位与各种杂质的限制, 计算目标函数即矿山效益的最大值^[3].

2.2 多目标优化配矿方法

在配矿计算的三种方法中, 应用最多且最广泛的是线性规划配矿. 近年来, 随着线性规划在矿业中的应用大幅扩大, 能用来解决的问题越来越多, 诸如配矿、运输、分配、采掘进度计划的制定以及资源的规划和合理利用等问题^[6].

收稿日期:2012-09-12

作者简介:陈鹏能(1985-), 男, 云南曲靖人, 助理工程师. 研究方向:采矿工程.

多目标线性规划配矿方法是在露天矿配矿动态管理系统中,针对矿山实际情况,使用线性规划制定短期生产质量计划,以利用来配矿^[7];能够处理多品种问题是此方法的最大优点^[8]。作为运筹学最重要的一个分支,它主要用于有限资源最佳分配问题的研究,在理论上最完善,实际应用也最广泛。在 MATLAB 软件的支持下,多目标线性规划能得到较好的实施,只需要在满足各种约束条件下,列出利润最大的目标函数,使用 MATLAB 软件编程,就可得到所需要的计算结果。

综上所述,能总结出多目标线性规划是一种实用、精确合理的计算配矿的方法。

昆阳磷矿生产矿石,其最终的目标是追求更好的矿山经济效益。合理配矿即是要考虑矿石品位与有害杂质的含量,因此可设目标函数如下^[3]:

$$M = \text{Max} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

式(1)中: M 为最终矿石的最大销售价值; C_{ij} 为第 i 矿段第 j 个品级矿石的价格; X_{ij} 为第 i 矿段产出的矿石的第 j 品级磷矿使用量; m 表示有 m 个矿段, n 表示有 n 个品级范围的矿石。采用线性规划方法同时需要配矿的约束函数。

(1)品位的约束如下:

$$\bar{\alpha} \geq \alpha \quad (2)$$

$$\text{即: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \alpha_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \geq \alpha \quad (3)$$

式(3)可转化为:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \alpha_{ij} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \alpha \geq 0 \quad (4)$$

式(4)中: $\bar{\alpha}$ 为配矿后矿石平均品位; α 为加工用矿要求的矿石品位; α_{ij} 为第 i 矿段第 j 品级的矿石品位; X_{ij} 为第 i 个矿段中第 j 品级矿石使用量。

(2)有害元素约束条件为:

① MgO 约束:

$$\bar{\eta} \leq \eta \quad (5)$$

$$\text{即: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \beta_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} X_{ij} \leq \eta \quad (6)$$

式(6)可转化为:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \beta_{ij} - \eta \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} X_{ij} \leq 0 \quad (7)$$

式(5)~(7)中: $\bar{\eta}$ 为配矿后 Mg 元素和 P_2O_5 含量比值; η 为 MgO 总量与 P_2O_5 总量比值的要求比率; β_{ij} 为第 i 矿段第 j 品级 MgO 的含量。

② 二氧化硅约束:

$$\bar{\chi} \leq \chi \quad (8)$$

$$\text{即: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \chi_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq \chi \quad (9)$$

式(9)可转化为:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \chi_{ij} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \chi \leq 0 \quad (10)$$

$$\bar{\chi} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \chi_{ij} / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (11)$$

其中: χ_{ij} 为第 i 矿段第 j 品级倍伴氧化物要求的百分含量; $\bar{\chi}$ 为配矿后二氧化硅含量; χ 为生产用矿中二氧化硅要求的含量。

(3)使用量的限制约束:

$$0 \leq X_{ij} \leq \bar{X}_{ij} \quad (15)$$

式(15)中: X_{ij} 为第 i 矿段第 j 种品级的可使用矿石总量。

3 配矿优化模型的建立

3.1 分析配矿质量的影响因素

配矿质量的影响因素主要有两种,即品位与配矿方法^[9]。

品位因素:由于矿山配矿工作主要根据矿石品位进行,若品位不定,会极大地影响配矿的质量。在现场,由于地质采样不能概括每个区域矿石的品位,人为的操作失误,加上个别职工责任心不强等都易导致所获得的矿石地质品位失真;矿山实际出矿品位肯定与地质勘探出的品位有误差等种种因素,都可能导致品位的差异,影响配矿质量。

配矿方法因素:配矿中,简易理论计算法,即品位搭配法和重量搭配法,虽然简单,但是没考虑杂质的影响,相比较线性规划法,其配矿的质量没有线性规划法优越。

3.2 数字配矿优化模型

实现磷矿效益是磷矿企业的首要目标,决定着企业的成败。为了提高企业的整体效益,企业在将自产的矿石进行深加工的同时,其下游的产业会与自产的矿石质量有密切的关系,为了保证下游产品的质量,必须在考虑主要产品的同时,考虑其他的一些要求。

昆阳磷矿的下游生产工艺主要为湿法磷酸工艺,因此在制定矿石有害元素的影响目标时主要考虑的是酸法工艺^[10]。

因此,昆阳磷矿配矿时按照其 P_2O_5 的品位以及各种杂质的限制性要求,制定出相应的配矿次序,昆阳磷矿的目标实现次序如图 1^[11]所示。

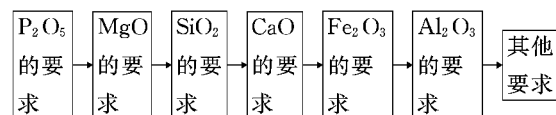


图 1 目标实现次序图

Fig. 1 target sequence diagram

因此,建立数字配矿优化模型如下:

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \cdots + c_m x_m \quad j = 1, 2, \cdots, m$$

约束条件为:

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \cdots + a_{1m} x_m \geq b_1$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \cdots + a_{2m} x_m \leq b_2$$

...

$$a_{n-1,1} x_1 + a_{n-1,2} x_2 + \cdots + a_{n-1,m} x_m \leq b_{n-1}$$

$$a_{n,1} x_1 + a_{n,2} x_2 + \cdots + a_{n,m} x_m \leq b_n$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \cdots, m$$

$$a_{ij} \geq 0 \quad b_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \cdots, n$$

其中, Z 表示最大配矿的配矿量; c_j 表示各个配矿点的矿石总量; x_j 为所用的矿石占预配矿的比值; a_{ij} 为各种对应第*i*种约束条件中,第*j*种矿对应的第*i*中物质的含量; b_i 为各种约束条件给定的指标。

在配矿过程中,各矿石的品位,数量以及杂质的含量通过化验数据获取。基于以上约束条件,利用 MATLAB 线性规划软件便能实现配矿的最优化,以达到最佳的经济效果。

4 优化配矿工艺规程

(1)优化品位管理。不同作业位置品位常有较大的差异,若根据爆区所有炮孔品位来计算该爆区平均品位,这种方法的不精确性只会误导配矿工作^[9]。

为了达到更高的配矿要求,须在地质平均品位基础上,将爆区断面取样化验和爆区供矿量计算结果标识在现场爆堆上^[12],以提供更精确的作业位置,现场作业人员可据此直观地分辨出作业地点和范围。

(2)优化产量管理。配矿人员可根据各平盘供矿量和品位确定各平盘的适时供矿量^[13],因为70%的供矿任务由矿石堆场承担,所以对配矿整体质量的影响最大。由于矿石堆场可以进行首次配矿,因此,应最大发挥矿石堆场的首次配矿作用。

① 堆场配矿原则。采场首次配矿的配矿量可自由控制,配矿较为主动灵活,而二次配矿情况就被动受限了。因此矿石堆场配矿应立足于矿石堆场的矿石品位相对稳定,遵循“首次配矿为主,二次配矿为辅”的原则,以矿石堆场二次配矿为辅助手段,来调整供矿品位,达到配矿的目的。

② 企业所属矿山基本情况、各矿矿石堆场吞吐量及矿石品位的确定。掌握各堆场吞吐量及品位是选择合理均衡配矿工艺的依据,据此,在单座

矿山配矿不能达到目标的情况下,可以考虑多做矿山多目标规划综合配矿,以满足更高的矿石配矿要求。

(3)优化现场的管理与监督。

① 强化对配矿工作的领导与管理。明确责任及主管部门,实行专人负责制。

② 强化配矿点的地质动态监察,细化现场管理。

③ 加大考核力度,维护配矿指令的严肃性。

5 结 语

a. 合理均衡配矿可降低后续生产成本,提高资源的利用率,并能保持供矿品位的稳定性。

b. 数字配矿优化模型及解算技术能够实现多元目标的配矿要求。

c. 多目标优化配矿新理论与新技术,将给矿山企业带来更大的经济效益。

参考文献:

- [1] 向洋良,郭云. 昆阳磷矿擦洗原矿性质[J]. 武汉工程大学学报,2011,33(2):103-105.
- [2] 孙成斌. 配矿对过磷酸钙生产的影响[J]. 化工矿物与加工,2000(6):10-12.
- [3] 李军. 烧结配矿专家系统的研究[D]. 长沙:中南大学,2004.
- [4] 林启太. 混合配矿模拟技术研究[J]. 江西建材,1998(3):39-43.
- [5] 高丙寅. 用 Excel 作烧结配料计算[J]. 烧结球团,2001,26(1):32-33.
- [6] 李克庆,黄凤吟,吴大卫. 矿仓优化配矿专家决策支持系统[J]. 北京科技大学学报,1995(6):503-505.
- [7] 文超,顾清华,冯居易. 基于 GIS 的露天配矿管理系统研究[J]. 黄金科学技术,2009,17(2):58-62.
- [8] 范晓慧,王海东. 烧结过程数学模型与人工智能[M]. 长沙:中南大学出版社,2002.
- [9] 马英. 露天配矿工作浅析[J]. 有色金属,2008,24(5):13-15.
- [10] 葛英勇,张元龙,李红强,等. 深度氧化脂肪酸 MG-2 浮选胶磷矿的性能及机理[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(6):111-115.
- [11] 肖建华. 开磷集团生产配矿技术研究[D]. 贵州:贵州大学,2009.
- [12] 谭光虹. 晋宁磷矿排土场及露天采空区地质灾害的治理[J]. 武汉工程大学学报,2011(3):104-106.
- [13] 孙兆刚,褚义景. 铁矿石资源节能减排科技支撑倡导和管理机制[J]. 武汉理工大学学报,2010,32(4):117-120.

Digital optimization model & technical procedure of ore blending of Kun Yang phosphate

CHEN Peng-neng¹, ZHANG Dian-ji², LI Zhi-guo^{2,4}, ZHANG Peng³, ZHOU Yong-shen¹

(1. Kunyang Phosphate of Yunnan Phosphate Group Co., Ltd., Kunming 650600, China;

2. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

3. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

4. National Engineering and Technology Research Center for Development & Utilization of Phosphorus Resources, Kunming 650113, China)

Abstract: With the growth of the mining time and depth, Kun Yang phosphate gradually increases in the proportion of middle-low grade ore. To achieve the quality index of phosphate and meet the production requirements of phosphoric acid and high concentration of phosphate compound fertilizer, achieving multi-objective refined ore blending, a calculation method of ore blending was put forward based on the multi-objective linear programming model, with regarding to the ore grade and the feature of harmful impurities of Kun Yang phosphate. Firstly, based on the ore feature of Kun Yang phosphate, the linear programming function was established and the objectives and constraints of ore blending were determined. Then current ore blending method of Kun Yang phosphate was combined with mineral processing requirements, and the multi-objective linear programming model was established. At last, the multi-objective ore blending technology was achieved by the Matlab software. What's more, the study proposed several measures about optimizing ore distribution management system based on the production process and management of ore blending. It is proved that the combine of the optimized model of multi-objective linear programming and a reasonable ore blending production management system can not only reach the ore blending requirements of diversity objectives, but also make a great contribution to the economic benefits of mining enterprises.

Key words: digital mine; ore blending; model; quality of the ore; economic benefits

本文编辑:陈小平