

自然崩落法放矿排产优化的数学模型^①

王新华 潘长良

(中南工业大学资源环境与建筑工程学院, 长沙 410083)

摘 要 在自然崩落法相关研究的基础上, 探讨了自然崩落法放矿控制的排产优化问题; 给出了正向优化和逆向优化的数学模型, 为实现均匀放矿提供了一种理想的理论方法。对充分发挥自然崩落法的优越性和提高矿产资源的回收率具有重要的理论和现实意义。

关键词 自然崩落法采矿 放矿控制 生产计划 最优化

自然崩落法是一种依靠矿岩自身的应力, 在拉底工程的诱导下, 通过矿岩自重的作用使矿体发生崩落并进而放出的大规模、高效率的采矿方法。在自然崩落法采矿的全过程中, 矿体的可崩性研究、采矿方法与工艺的设计和放矿控制研究, 构成了这一过程的理论主体。通过国家“七五”重大科技攻关项目的研究, 矿体的可崩性和采矿方法与工艺设计取得了重大突破, 然而通过目前的生产实践发现, 放矿控制系统的研究却难以满足生产的需要, 特别是如何安排排产区域各漏斗的放矿量, 以保证快速、有效、经济和低贫化地满足矿山生产的需要, 依然是一个有待于进一步研究的问题。

1 自然崩落法放矿系统的特点

通过作者对实际生产状况的分析和研究, 发现自然崩落法放矿系统具有以下几个特点:

(1) 系统的优化是多目标的

放矿控制的目的是试图通过控制各漏斗的放矿量, 来满足矿体崩落、均匀放矿和矿山对矿石产量的要求, 并且这三者是相互联系、相互制约的。欲使矿体有足够的冒落空间和满足矿山对矿石产量的要求, 就需要增加各漏斗的放矿量, 而增加各漏斗的放矿量, 必然容易使

矿堆表面出现大范围的起伏, 增加了贫化的概率。

(2) 约束是多方面的、不确定的

影响矿石产量的因素除应有足够的崩落矿石外, 还受漏斗、耙道和川脉的通过能力以及选厂选矿能力的制约, 同时还应考虑矿石品位对矿山经济效益的影响。

(3) 各漏斗实际放矿量的控制是困难的

实践证明, 由于工人在实际操作中出现的避远就近、避难就易的现象, 进一步增加了放矿的不均匀性, 因此在排产计划的安排时, 必须及时修正各漏斗放矿量, 最大限度地减少放矿的不均匀性。

(4) 衡量矿山生产的标准是片面的

目前不管是企业的上级主管机关还是企业本身, 都以矿石的产量作为衡量矿山生产的标准, 有时虽然也对均匀放矿有一定的要求, 但并没有把它放到应有的位置上。而这种状况在一定的时间内难以改变, 因此在安排生产计划时, 必须满足矿山对矿石产量的要求。

由上述几点可以看出, 放矿控制系统是一个环境非常复杂的“人—机—环境”系统。过去对这一系统的研究主要是针对矿石在放出过程中的移动规律而进行的, 如椭球体理论^[1]、期望体理论^[2, 3]、松散介质理论^[4]和对接椭球体

① 国家教委博士后基金资助项目 收稿日期: 1995- 11- 01; 修回日期: 1996- 03- 12

王新华, 男, 36岁, 副教授, 博士

理论^[5]等。然而如何应用这些理论来解决自然崩落法这种大规模、多漏斗的生产计划问题,仍然没有得到很好的解决,虽然文献[5, 6]对自然崩落法的排产问题作了比较深入的研究,也取得了一定的成果,并且亦在中条山有色金属公司铜矿峪矿得到了实际应用,但这些研究并没有将其视为一个“人—机—环境”系统,对生产过程中出现的诸如削峰(因放矿不均匀而使部分漏斗出现矿堆峰值)等因素也未给予应有的解决。因此,本文欲将放矿系统视为一个环境复杂的“人—机—环境”系统,来研究放矿过程中的排产优化问题。

针对放矿系统的特点,排产优化应是一个从“机—环境”到“人—机—环境”的过程。所谓“机—环境”就是应确定在当前状态(包括设备和资源环境)下,系统能够完成的最理想产量,即本文的正向优化;而“人—机—环境”则是把人对矿石产量的要求考虑进去,看在当前状态下如何安排人们所要求的产量,即本文的逆向优化。只有这样才能既体现放矿系统的“人—机—环境”特征,同时又能够满足自然崩落法的生产要求。

2 可放矿量的计算模型

所谓可放矿量是在当前状态下,漏斗上方已存储的可供放出的矿石量。它是各漏斗排产的基础。由自然崩落法的采矿特征可知,在待崩岩体下的可放矿量与漏斗上方的已崩落矿量和已放出矿量有关;而位于崩落围岩下的可放矿量与漏斗的担负矿量和已放出矿量有关。因此,欲计算各漏斗的可放矿量必须首先确定漏斗上方矿体的崩落状态(如是否处于待崩岩体下)。根据中条山有色金属公司铜矿峪矿的生产实践,漏斗上方矿体的崩落状态与矿体的崩落系数和已放矿量有关。

所谓崩落系数是指在漏斗上方的矿体中已崩落的矿量占担负矿量的百分比。显然各漏斗的崩落系数与漏斗的已放矿量有关,且是一个在与拉底方向相反的方向上其上限为1的递增

序列。为控制各漏斗的崩落速度,设初始放矿漏斗的崩落系数为 α_0 、崩落系数的增量为 $\Delta\alpha$,且令

$$\alpha_0 = \Delta\alpha \quad (1)$$

由于各漏斗在平面上的纵横排列是有序的,所以这里将沿拉底方向各排漏斗称为行,用 i 表示行号,并在排产范围内沿拉底方向 i 的大小以自然正整数递增;同样称与各行垂直的各漏斗排为列(用 j 表示列号),自上而下 j 的大小也以自然正整数递增,这样每个漏斗就有一个 (i, j) 对的编号,并设排产范围内所有 (i, j) 对(即所有漏斗)的集合为 R ,由此可见,当拉底方向由右向左时,右上角漏斗的行列号为 $(0, 0)$ 。

设初始放矿(即崩落系数为 α_0)的漏斗行列号集为 R_0 ,且第 k 次迭代后已知崩落系数为

$$\alpha_k = \alpha_0 + k \cdot \Delta\alpha \quad (2)$$

的漏斗行列号集为 R_k ,则寻找

$$\alpha_{k+1} = \alpha_0 + (k+1) \cdot \Delta\alpha$$

的漏斗行列号的公式如下:

对某个行列号 (i, j)

$$\textcircled{1} \text{ 若 } (i, j) \cap [(i, j+1) \text{ 或 } (i-1, j)] \subseteq R_k \quad (3)$$

则当 $(i-1, j+1) \in \bigcap_{i=0}^{k+1} R_i$ 时,将 $(i-1, j+1)$ 记入 R_{k+1} 。

$$\textcircled{2} \text{ 若 } (i, j) \cap [(i, j-1) \text{ 或 } (i-1, j)] \subseteq R_k \quad (4)$$

则当 $(i-1, j-1) \in \bigcap_{i=0}^{k+1} R_i$ 时,将 $(i-1, j-1)$ 记入 R_{k+1} 。

$$\textcircled{3} \text{ 若 } (i+1, j-1) \in R_k \quad (5)$$

$$\text{且 } (i+1, j) \cap (i, j-1) \subseteq R_k \quad (6)$$

则当 $(i, j) \in \bigcap_{i=0}^{k+1} R_i$ 时,将 (i, j) 记入 R_{k+1} 。

$$\textcircled{4} \text{ 若 } (i+1, j+1) \in R_k \quad (7)$$

$$\text{且 } (i+1, j) \cap (i, j+1) \subseteq R_k \quad (8)$$

则当 $(i, j) \in \bigcap_{i=0}^{k+1} R_i$ 时,将 (i, j) 记入 R_{k+1} 。

显然,若 R 中的点对都采用上述方法检查

以后即找到了崩落系数为 $\alpha_0 + (k+1) \cdot \Delta\alpha$ 的漏斗集合 R_{k+1} , 且若 $\alpha_0 + (k+2) \cdot \Delta\alpha \geq 1$, 则崩落系数为 1 的漏斗集合 R_L 为

$$R_L = \{(i, j) / (i, j) \in \bigcap_{i=0}^{L-1} R_i\} \quad (9)$$

由于人工在操作过程中并不完全按所要求的放矿量放矿, 因此在计算可放矿量时还应考虑已放矿量的影响, 即漏斗可放矿量 $kfkl(i, j)$ 的计算公式为:

$$kfkl(i, j) = \begin{cases} dfkl(i, j) \cdot \alpha(i, j) - \\ yfkl(i, j), & \text{当 } (i, j) \in R_L, \\ dfkl(i, j) \cdot \gamma - \\ yfkl(i, j), & \end{cases} \quad (10)$$

式中 $\alpha(i, j)$ — 漏斗 (i, j) 的崩落系数; $dfkl(i, j)$ — 漏斗 (i, j) 担负矿量, t; $yfkl(i, j)$ — 漏斗 (i, j) 的已放矿量, t; γ — 废石允许放出的最高比例。

同时, 为使排产计划的安排符合均匀放矿的要求, 需对可放矿量的奇异漏斗进行调整, 调整的方法是当某个漏斗的周围四个漏斗都已达到全部崩落状态(即 $\beta > \beta_0$) 时, 此漏斗亦按全部崩落处理, 反之亦然。其中 β_0 为担负矿量全部崩落时, 所需放出的矿量比例; β 为已放矿量占担负矿量的比例, 且

$$\beta = \frac{yfkl(i, j)}{dfkl(i, j)} \quad (11)$$

3 正向优化模型

3.1 系统优化的目标

根据目前应用自然崩落法的实践经验, 正向优化的目标主要是在均匀放矿的条件下使矿石产量达到最大, 因此, 优化的目标函数为:

$$\text{Max } Z = \sum_{(i, j) \in R} pckl(i, j) \quad (12)$$

式中 Z — 排产周期内的总产量, t; $pckl(i, j)$ — 漏斗 (i, j) 的排产矿量, t; 其它符号意义同前。

3.2 系统的约束条件

在自然崩落法中的约束条件主要有均匀放

矿、设备和品位约束三类。

3.2.1 均匀放矿约束

均匀放矿的主要目的是为了减小贫化率, 众所周知, 矿石的贫化率与矿岩接触面积有关, 由于自然崩落法是一个不断拉底、冒落和放出的过程, 所以矿岩接触面无法实现其水平下降, 这样矿岩接触面必为一倾斜面, 以往的研究工作证明矿岩接触面的倾角以 45° 角为宜, 但若将倾角严格地控制在 45° 是难以实现的, 且不同的排产周期其倾角可能不同。因此, 这里采用一种根据实际情况变角度的不均匀性指数的方法来衡量放矿的均匀性。

所谓不均匀性指数是指两漏斗间的实际矿堆高差与标准高差之间的差值的绝对值。而标准高差是指按当前矿岩接触面的倾角而计算出来的漏斗间的矿堆高差。因此, 两漏斗之间的不均匀指数 $k^{[(i, j), (i_1, j)]}$ 为

$$k^{[(i, j), (i_1, j)]} = \frac{|[kdgd(i, j) - kdgd(i_1, j)] - gc|}{\quad} \quad (13)$$

式中 $kdgd(\cdot, \cdot)$ — 漏斗 $(\cdot, \cdot)$ 的矿堆高度, m, 且

$$kdgd(\cdot, \cdot) = \frac{kfkl(\cdot, \cdot) \cdot k_1}{s \cdot r} \quad (14)$$

k_1 — 矿堆的松散系数; r — 矿体的容重, t/m³; s — 每个漏斗的担负面积; gc — 漏斗间的标准高差, 且两相邻漏斗间的标准差为

$$gc = q \cdot \text{tg}(\phi) \quad (15)$$

q — 相邻漏斗之间的间距; ϕ — 矿岩接触面的倾角, 且

(1) 崩落围岩下

$$\phi = \arctg \frac{\text{Max}\{kdgd(i_1, j) - kdgd(i, j)\}}{q \cdot i_1}, \quad \text{对任意 } j, \text{ 且 } (i_1, j) \in R_L \quad (16)$$

(2) 待崩矿体下

$$\phi = \arctg \frac{\text{Max}\{kdgd(i_1, j) - kdgd(i_2, j)\}}{q \cdot (i_2 - i_1)}, \quad \text{对任意 } j, \text{ 且 } (i_2, j) \in R_0 \quad (17)$$

由上述可知, 只要排产区域内所有漏斗间的不均匀指数满足式(18), 即达到均匀放矿的目的。

$$k[(i, j), (i_1, j)] = 0, \text{ 对任意的 } (i, j), (i_1, j) \in R \quad (18)$$

3.2.2 设备约束

设备约束主要有漏斗、电耙道、川脉和全矿运输能力的约束。

(1) 漏斗最大放矿量的约束为

$$pckl(i, j) \leq ld \quad \text{对任意的 } (i, j) \in R \quad (19)$$

式中 $pckl(i, j)$ —漏斗 (i, j) 的排产矿量, t; ld —排产周期内漏斗允许的最大放矿量, t。

(2) 电耙道运输能力的约束。若设 m 川脉 n 条电耙道的漏斗集合为 R_{mn} , 则

$$\sum_{(i, j) \in R_{mn}} pckl(i, j) \leq pd \quad (20)$$

式中 pd —排产周期内电耙道允许的最大通过能力, t。

(3) 川脉的约束条件为

$$\sum_{(i, j) \in R_m} pckl(i, j) \leq C_m \quad (21)$$

式中 C_m —排产周期内川脉允许的最大通过能力, t; R_m —川脉的漏斗集合, 且

$$R_m = \bigcap_{k=1}^{N_m} R_{mn} \quad (22)$$

式中 N_m — m 川脉的电耙道数目。

(4) 全矿运输能力的约束条件为

$$\sum_{(i, j) \in R} pckl(i, j) \leq qk \quad (23)$$

式中 qk —排产周期内全矿允许的最大通过能力, t。

3.2.3 排产品位的约束

排产品位的约束为式, 即

$$pw(i, j) \geq pw_0, \text{ 对任意的 } (i, j) \in R \quad (24)$$

式中 $pw(i, j)$ —漏斗 (i, j) 的排产品位。排产品位的计算采用了经过修正的 Laubscher 方法, 因限于篇幅, 详细的计算方法笔者将另文介绍; pw_0 —根据市场需求而确定的漏斗封斗品位。

3.3 正向优化的数学模型

综上所述, 正向排产优化的数学模型为

$$\text{Max } Z = \sum_{(i, j) \in R} pckl(i, j)$$

S. t:

$$\begin{aligned} & k[(i, j), (i_1, j)] = 0, \\ & \text{对任意的 } (i, j), (i_1, j) \in R \\ & pckl(i, j) \leq ld, \\ & \text{对任意的 } (i, j) \in R; \\ & \sum_{(i, j) \in R_{mn}} pckl(i, j) \leq pd, \\ & \sum_{(i, j) \in R_m} pckl(i, j) \leq C_m, \\ & \sum_{(i, j) \in R} pckl(i, j) \leq qk; \\ & pw(i, j) \geq pw_0, \\ & \text{对任意的 } (i, j) \in R; \\ & pckl(i, j) \geq 0, \\ & \text{对任意的 } (i, j) \in R; \\ & m = \{1, \dots, M\}; n = \{1, \dots, N_m\} \end{aligned} \quad (25)$$

式中 M —排产区域内的川脉条数。

4 逆向优化模型

4.1 优化的目标及约束条件

逆向优化的目标是在满足均匀放矿的条件下, 最大限度地保证矿山对排产产量的要求, 即

$$\text{Min } \Delta Z = \sum_{(i, j) \in R} pckl(i, j) - jhl \quad (26)$$

式中 ΔZ —排产矿量与计划矿量的差值, t; jhl —在排产周期内的计划矿量, t。

逆向排产优化的约束除均匀放矿的要求不同外, 其它基本相同。由于放矿工人操作的不均衡性和管理不善, 可能使各漏斗的矿堆高度出现比较大的起伏, 这样若在逆向排产中仍按正向排产时的要求来约束均匀放矿, 可能出现一些漏斗不能放矿的现象, 使矿山的产量始终无法满足, 这在逆向排产和实际生产过程中是不允许的, 因此, 逆向排产时均匀放矿的基本

原则应该在满足产量要求的条件下,使矿堆的峰值逐渐减少,尽量为下一周期的排产奠定一个好的外部环境,同时峰值低的漏斗又不能不放矿,因此在逆向排产的均匀放矿约束中,采用了等比例可变排产因子的方法来实现均匀放矿的目的。

4.2 逆向优化的迭代过程

在排产过程中,一般当漏斗的剩余矿量小于某个值 Q_0 时,就将其在一个排产周期内全部放出,设这种漏斗的集合为 $R_q \subseteq R_L$,此时需要排产的矿量 jhl_1 为

$$jhl_1 = jhl - \sum_{(i,j) \in R_q} kfk l(i,j) - \sum_{(i,j) \in R_u} ldk l(i,j) \quad (27)$$

式中 $ldkl(i,j)$ — 一个漏斗的拉底矿量, t ; R_u — 排产周期内的拉底漏斗集合。

此时,逆向优化就是在一定的约束条件下,如何安排各漏斗的放矿量,使其满足 jhl_1 的要求。其优化的迭代过程如下:

Step 1 计算排产区域内的总可放矿量 avl

$$avl = \sum_{(i,j) \in R_p} kfk l(i,j) \quad (28)$$

式中 R_p — 参加排产的漏斗集合,显然

$$R_p = R - R_q \quad (29)$$

Step 2 漏斗的校核过程

首先令: $avl_1 = avl$, $jhl_2 = jhl_1$, $R_{p1} = R_p$ 转 Step 2-1。

Step 2-1 若对某个漏斗 $(i,j) \in R_{p1}$ 有 $kfk l(i,j) \cdot fact < mid$ (30)

式中 mid — 排产周期内允许的漏斗最小放矿量, t ; $fact$ — 排产因子,且

$$fact = \frac{jhl_2}{avl_1} \quad (31)$$

成立,则

$$\left. \begin{aligned} pckl(i,j) &= mid \\ avl_1 &= avl_1 - kfk l(i,j) \\ jhl_2 &= jhl_2 - mid \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

否则,若 $kfk l(i,j) \cdot fact > ld$, 则

$$\left. \begin{aligned} pckl(i,j) &= ld \\ avl_1 &= avl_1 - kfk l(i,j) \\ jhl_2 &= jhl_2 - ld \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

否则

$$pckl(i,j) = kfk l(i,j) \cdot fact \quad (34)$$

Step 2-2 令

$$R_{p1} = R_{p1} - (i,j) \quad (35)$$

若 $R_{p1} = \Phi$ 则转 Step 3, 否则转 Step 2-1。

Step 3 按川脉和耙道的校核过程

令

$$\left. \begin{aligned} m &= 0 \\ zz &= \sum_{(i,j) \in R_p} pckl(i,j) - jhl_1 \\ avl_1 &= avl \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

并再设 R_{mn} 为 m 川脉 n 耙道的不属于 R_q 的漏斗集合, R_m 为 m 川脉不属于 R_q 的漏斗集合。下述迭代中其它符号的意义同前。

Step 3-1 令 $m = m + 1$, 若 $m > M$, 则转 Step 4, 否则令 $n = 0$ 、 $avl_0 = 0$ 转 Step 3-2。

Step 3-2 令 $n = n + 1$, 若 $n > N_m$, 则转 Step 3-8, 否则令 $s = 0$ 、 $avl_3 = 0$ 转 Step 3-3。

Step 3-3 令 $R_{p1} = R_{mn}$, 若

$$z_1 = \sum_{(i,j) \in R_{mn}} pckl(i,j) > pd \quad (37)$$

则

$$\left. \begin{aligned} z_2 &= z_1 - pd \\ zz &= zz + z_2 \\ avl_2 &= \sum_{(i,j) \in R_{mn}} kfk l(i,j) \\ avl_1 &= avl_1 - avl_2 + avl_3 \\ avl_0 &= avl_0 - avl_2 + avl_3 \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

转 Step 3-4; 否则若 $s = 0$ 转 Step 3-6, 否则转 Step 3-2。

Step 3-4 令 $fact = \frac{z_2}{avl_2}$, 若对某个漏斗 $(i,j) \in R_{p1}$ 有 $pckl(i,j) - kfk l(i,j) \cdot fact < mid$ (39)

成立, 则

$$\left. \begin{aligned} z_2 &= z_2 - [mid - pckl(i, j)] \\ pckl(i, j) &= mid \\ avl_2 &= avl_2 - kfkkl(i, j) \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

否则

$$pckl(i, j) = pckl(i, j) - kfkkl(i, j) \cdot fact \quad (41)$$

转 Step 3- 5。

Step 3- 5 令

$$R_{p1} = R_{p1} - (i, j) \quad (42)$$

若 $R_{p1} = \Phi$ 则转 Step 3- 2, 否则转 Step 3- 4。

Step 3- 6 令 $fact = \frac{zz}{avl_1}$, 若对某个漏斗 $(i, j) \in R_{p1}$ 有

$$pckl(i, j) - kfkkl(i, j) \cdot fact < mid \quad (43)$$

成立, 则

$$\left. \begin{aligned} zz &= zz - [mid - pckl(i, j)] \\ pckl(i, j) &= mid \\ avl_1 &= avl_1 - kfkkl(i, j) \\ avl_0 &= avl_0 - kfkkl(i, j) \\ avl_3 &= avl_3 + kfkkl(i, j) \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

否则若

$$pckl(i, j) - kfkkl(i, j) \cdot fact > ld \quad (45)$$

则

$$\left. \begin{aligned} zz &= zz + [pckl(i, j) - kfkkl(i, j) \cdot fact - ld] \\ pckl(i, j) &= ld \\ avl_1 &= avl_1 - kfkkl(i, j) \\ avl_0 &= avl_0 - kfkkl(i, j) \\ avl_3 &= avl_3 + kfkkl(i, j) \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

否则

$$pckl(i, j) = pckl(i, j) - kfkkl(i, j) \cdot fact \quad (47)$$

转 Step 3- 7。

Step 3- 7 令

$$R_{p1} = R_{p1} - (i, j) \quad (48)$$

若 $R_{p1} = \Phi$ 则 $s = 1$ 转 Step 3- 3, 否则转 Step

3- 6。

Step 3- 8 令 $R_{p1} = R_m$, 若

$$z_1 = \sum_{(i, j) \in R_m} pckl(i, j) > cm \quad (49)$$

则

$$\left. \begin{aligned} z_2 &= z_1 - cm \\ zz &= zz + z_2 \\ avl_2 &= \sum_{(i, j) \in R_m} kfkkl(i, j) \\ avl_1 &= avl_1 - avl_2 + avl_3 \end{aligned} \right\} \quad (50)$$

转 Step 3- 9; 否则转 Step 3- 1。

Step 3- 9 令 $fact = \frac{z_2}{avl_2}$, 若对某个漏斗 $(i, j) \in R_{p1}$ 有

$$pckl(i, j) - kfkkl(i, j) \cdot fact < mid \quad (51)$$

成立, 则

$$\left. \begin{aligned} z_2 &= z_2 - [mid - pckl(i, j)] \\ pckl(i, j) &= mid \\ avl_2 &= avl_2 - kfkkl(i, j) \end{aligned} \right\} \quad (52)$$

否则

$$pckl(i, j) = pckl(i, j) - kfkkl(i, j) \cdot fact \quad (53)$$

转 Step 3- 10

Step 3- 10 令

$$R_{p1} = R_{p1} - (i, j) \quad (54)$$

若 $R_{p1} = \Phi$ 则转 Step 3- 1, 否则转 Step 3- 9。

Step 4 排产结束, 接其它计算。

从上述迭代过程可以看出, 逆向排产经过了三次等比例排产因子的分配, 完全可以满足排产的要求, 这一点已在中条山有色金属公司铜矿峪矿的实际使用中得到了证实。

5 结论

(1) 自然崩落法的放矿控制系统是一个“人—机—环境”系统, 在此系统中所谓人的因素, 主要体现在人们对矿石产量的要求和工人在放矿过程中执行放矿指令的准确程度两方面。

(2) 排产过程是一个判断当前的生产环境是否能够满足生产要求的综合过程, 因此, 排产计算必须有正向优化和逆向优化两方面, 正向优化的主要目的是为决策者制定生产计划提供科学的依据; 逆向优化是确定在当前状态下如何满足计划的要求。

(3) 排产优化的主要约束条件是尽量满足均匀放矿的要求, 而均匀放矿是减少贫化和提供矿石回收率的关键, 但均匀放矿还有许多理论问题没有很好的解决, 如矿石在不同放矿原则下的移动规律等。

(4) 影响放矿均匀性的主要因素是放矿工人不能严格按照放矿指令放矿, 使漏斗上方的矿堆高度起伏较大。因此, 排产的过程就是要尽量减少这一因素的影响, 通过采用本文的数学模型所建立的软件在中条山有色金属公司铜

矿峪矿的应用证明, 这一模型是可行的。

(5) 虽然本文所建立的优化模型都是单目标的数学规划模型, 但它实际上是多目标的数学规划问题, 类似于均匀放矿等的目标都是以约束条件表示的, 这主要是为了数学求解的方便。

参考文献

- 1 马拉霍夫 Г М 著. 崩落矿块的放矿. 北京: 冶金工业出版社, 1958.
- 2 高永涛. 北京科技大学学报, 1994, (3): 201- 206.
- 3 高永涛. 金属矿山, 1993, (10): 23- 25.
- 4 罗顺勤, 王昌汉. 中南矿冶学院学报, 1990, (2): 141- 150.
- 5 王大勋, 马从安. 长沙矿山研究院季刊, 1992, (12): 130- 147.
- 6 周爱民. 长沙矿山研究院季刊, 1992, (10): 2- 7.

MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZING ORE DRAWING SCHEDULING OF SPONTANEOUS CAVING METHOD

Wang Xinhua, Pan Changliang

*College of Resources, Environment and Civil Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083*

ABSTRACT Based on interrelated researches of spontaneous caving method, the optimization of ore drawing scheduling and controlling of spontaneous caving methods was studied. The positive and inverse optimizing mathematical models were proposed, then a fairly theoretical method of evening ore drawing was achieved. Research work presented has great theoretical and practical significance in taking full advantage of the superiority of spontaneous caving method and increasing ore recovery.

Key words spontaneous caving method one drawing control production scheme optimization

(编辑 何学锋)