

高等学校教学用书

金属矿床开采

下 册

冶金工业出版社

高等学校教学用书

金属矿床开采

下册

北京钢铁学院 东北工学院

中南矿冶学院 昆明工学院

西安矿业学院

采矿教研组编

冶金工业出版社

金屬矿床开采 下册

北京鋼鐵学院等五院采矿教研組 合編
冶金工業出版社出版（地址：北京市灯市口甲45号）
北京市書刊出版業營業許可証出字第093号
北京市印刷一厂印 新华書店發行

— * —
1959年12月第 一 版

1959年12月北京第一次印刷

印数 4,020 冊

开本 787 × 1092 · $\frac{1}{16}$ · 330,000 字 · 印張14 $\frac{10}{16}$ ·

— * —
統一書号：15062 · 1860 定价：1.40 元

目 录

第三篇 地下开采專論

第十四章 崩落采区的放矿	1
§ 1. 放矿的意义	1
§ 2. 放矿的基本运动規律	1
§ 3. 崩落采区的合理放矿方法	6
§ 4. 崩落采矿法構成要素尺寸的选择	17
§ 5. 崩落采区的放矿組織	23
§ 6. 在崩落采矿法中最合理的矿石回收率的确定方法	25
§ 7. 欲选别的貧化矿石数量的确定方法	29
第十五章 采区地压及其構成要素	33
§ 1. 采区地压現象及其影响因素	33
§ 2. 根据地压确定矿柱尺寸	36
§ 3. 几种研究地压的方法	42
§ 4. 关于繼續研究地压的几个問題	49
第十六章 深部开采	51
§ 1. 深部开采时的地压現象	51
§ 2. 深部开采的溫度条件	54
§ 3. 深部开采的合理采矿方法	55
§ 4. 深部开采所存在的其他問題及其發展方向	60
第十七章 矿山年产量	62
§ 1. 矿山企業年产量与矿石質量的关系	62
§ 2. 根据矿山生产可能性确定矿山年产量	63
§ 3. 近似計算法	63
§ 4. 比較精确的計算法	65
§ 5. 矿山經濟合理存在年限	73
§ 6. 根据矿山年产量分配給各生产單位的年产量	75
第十八章 砂矿床地下开采	80
§ 1. 砂矿床的工業特征	80
§ 2. 砂矿床开拓的特点	82
§ 3. 砂矿床采准的特点	83
§ 4. 砂矿床的采矿方法	84
第十九章 特殊采矿法	96
§ 1. 浸析法	96
§ 2. 溶解法	97

§ 3. 改善浸析法和溶解法的途径·····	98
§ 4. 硫的地下熔化法·····	100
§ 5. 地下水力采矿法·····	102

第四篇 矿床的露天开采

第二十章 基本概念和术语·····	106
§ 1. 概述·····	106
§ 2. 术语·····	107
§ 3. 矿床的特征·····	109
第二十一章 露天开采的主要生产过程·····	111
§ 1. 穿爆工作·····	111
§ 2. 采装工作·····	114
§ 3. 露天矿场运输·····	129
§ 4. 排土工作·····	138
第二十二章 掘沟工程·····	150
§ 1. 沟的尺寸及掘沟工程量的计算·····	150
§ 2. 掘沟方法·····	153
第二十三章 矿床开拓·····	161
§ 1. 边坡角的确定·····	161
§ 2. 台阶高度的决定·····	163
§ 3. 开拓方法·····	166
第二十四章 开采方法·····	184
§ 1. 开采方法分类·····	184
§ 2. 开采方法的要素·····	184
§ 3. 开采方法·····	187
第二十五章 露天砂矿开采·····	193
§ 1. 概述·····	193
§ 2. 人力采掘法·····	193
§ 3. 采砂船采掘法·····	196
§ 4. 水力机械化开采法·····	199
第二十六章 露天开采深度·····	217
§ 1. 剥采比的概念·····	217
§ 2. 经济合理剥采的确定·····	218
§ 3. 确定露天开采深度的计算原则·····	219
§ 4. 确定露天开采深度的方法·····	221
第二十七章 露天矿生产能力·····	224
§ 1. 按可能有的工作面数目确定生产能力·····	224
§ 2. 按采矿工程年度可能延深量确定生产能力·····	226

第三篇 地下开采專論

第十四章 崩落采区的放矿

§ 1. 放矿的意义

冶金工業的飞躍發展，要求大大地提高矿石的开采量。因此采用高生产率的采矿法具有非常重大的意义。苏联和其它国家所采用的大量崩落的采矿法（炮孔落矿的分段崩落法，阶段强制崩落法和阶段自然崩落法），就属于这一类采矿法。选矿科学技术的日益进步也提供了采用大量崩落采矿法开采貧矿床的可能性。

在大量崩落的采矿法中，自采区放出已經崩落了的矿石（简称放矿），是最主要的生产作業之一，它对于矿石的损失和貧化程度具有决定性的影响。

从前由于对放矿过程了解得不够，致使阶段自然崩落法和阶段强制崩落法無法得到广泛采用。

近年来，苏联在放矿方面取得了巨大成就，掌握了确定采区参数和組織放矿的科学理論。近年来的实践表明，阶段崩落法的损失和貧化可能不超过現在所采用的其它較笨重采矿法的损失和貧化。現在在苏联，阶段崩落法不仅用于开采鉄矿床，而且也用于开采多金属矿床，甚至用于开采較富的多金属矿床。

§ 2. 放矿的基本运动規律

一、放矿椭球体及其性质

实驗室和現場試驗都表明，矿石是从溜眼之上的椭球形体积內流出来的，該体积叫做放矿椭球体。

被溜眼的平面所截的几何旋轉橢圓体（圖 336）的体积可以用下式表示

$$q = \frac{2}{3} \pi a b^2 + \int_{x=0}^{x=na} y^2 dx \quad (86)$$

式中： a, b ——分别为旋轉橢圓体的長半軸和短半軸； $n = \frac{\pi}{a}$ 。

用被截的旋轉橢圓体的高度 h 、溜眼半徑 r 和偏心率 ε 表示 a ，經過演算之后，得出

$$a = \frac{h}{2} \left[1 + \frac{r^2}{h^2(1-\varepsilon^2)} \right]; \quad n = \frac{x}{a} = \sqrt{\frac{a^2 - \frac{r^2}{1-\varepsilon^2}}{a}} = \frac{1 - \frac{r^2}{h^2(1-\varepsilon^2)}}{1 + \frac{r^2}{h^2(1-\varepsilon^2)}}$$

把得到的 a 和 n 的值代入公式(86)中, 得到

$$q = \frac{\pi}{6} h^3 (1-\varepsilon^2) + \frac{\pi}{2} r^2 h \quad (87)$$

式中: h 和 ε ——被截的几何旋轉橢圓體的高度和偏心率;
 r ——溜眼半徑。

試驗表明放矿橢球體不是几何旋轉橢圓體, 因为在溜眼方面略長。几何旋轉橢圓體和放矿橢球體的体积差別不大, 可以忽略。

放矿橢球體的偏心率 ε 是崩落矿石粒度和湿度的函数。細粒愈多和湿度愈高, 則偏心率愈大, 即放矿橢球體愈長。放矿橢球體的偏心率也隨其高度不同而变化。

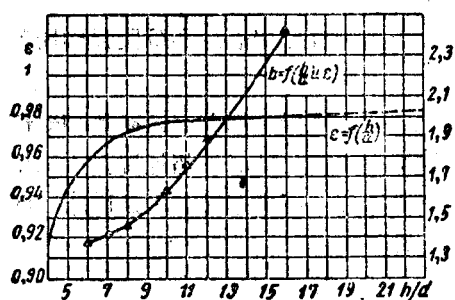


圖 337 偏心率和短半軸與 $\frac{h}{d}$ 的關係

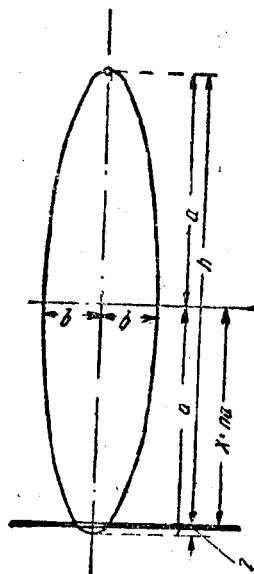


圖 336 几何旋轉橢圓體

圖 337 的曲線是根据在苏联捷尔任斯基矿进行工業試驗的結果繪制的。

二、松动橢圓體和其中顆粒的运动速度

自溜眼放矿时, 其上形成橢球形松散帶, 当以 ξ 表示松散體的二次松散系数时, 松动橢圓體体积为:

$$a_1 = \frac{\xi}{\xi - 1} q \quad (88)$$

式中: q ——放出量的体积。

在放矿过程中, 松动橢球體的頂点不断地向上移动; 同样, 当放矿橢球體体积不断增大时, 其頂点也向上运动, 而运动的速度等于在溜眼軸綫上的相应松散體顆粒向相反方向运动的速度。

如果近似地認為放矿橢球體的偏心率是一个常数, 則利用公式(87)就可以求出放矿橢球體頂点的上升速度。

將隱函數 $q = \frac{\pi}{6} x^3 (1 - \varepsilon^2) + \frac{\pi}{2} r^2 x$ 微分，得到：

$$S v_{cp} dt = \frac{\pi}{2} x^2 (1 - \varepsilon^2) dx + \frac{\pi}{2} r^2 dx$$

式中 S ——溜眼斷面積；

v_{cp} ——在溜眼處的平均流速（一定直徑的 v_{cp} 為一常數）；

t ——放礦時間。

將兩邊除以 dt ，代入數值 $S = \frac{\pi d^2}{4}$ ，就可以求出放礦橢球體頂点的運動速度近似

數值：

$$v_a = \frac{dx}{dt} = \frac{v_{cp}}{2(1-\varepsilon^2) \frac{x^2}{d^2} + 0.5} \quad (89)$$

在公式(89)中未考慮到速度的阻滯現象。

在沒有阻滯的條件下，當放礦時，份量 q 依次地被放礦橢圓體體積之差 $2q - q, 3q - 2q, \dots$ 等所代替。實際上（圖 338）體積 $2q - q$ 因發生松散而占據體積 $q\xi$ 。在體積 $2q$ 內的自由空間是 $2q - q\xi$ 。依此類推，就可以決定出在每次相應的松散體積下落之後所余下的自由體積：

$$\Delta_1 = 2q - q\xi;$$

$$\Delta_2 = 3q - 2q\xi;$$

$$\Delta_{(i-1)} = nq - (n-1)q\xi.$$

n 值隨着鬆動帶尺寸的增加而加大，最後到達某一數值，就使 $nq = (n-1)q\xi$ ，即繼續鬆動停止了。阻滯係數（余下的自由體積與放出的礦石體積的比）為：

$$\eta_{(i-1)} = \frac{\Delta_{(i-1)}}{q} = i - (i-1)\xi = i(1-\xi) + \xi \quad (90)$$

式中： $i=1, 2, \dots$ 或 n 。

考慮到速度阻滯的運動速度為：

$$v_a = \frac{v_{cp}}{2(1-\varepsilon^2) \frac{x^2}{d^2} + 0.5} \eta_{(i-1)} \quad (91)$$

從公式(91)中可以看出，圖 338 所示的各個區間中速度所受的阻滯程度是不相同的；愈靠近鬆動橢圓體的頂點，阻滯程度愈大。亦即在愈是靠近鬆動橢圓體的頂點的區間中阻滯係數愈小。

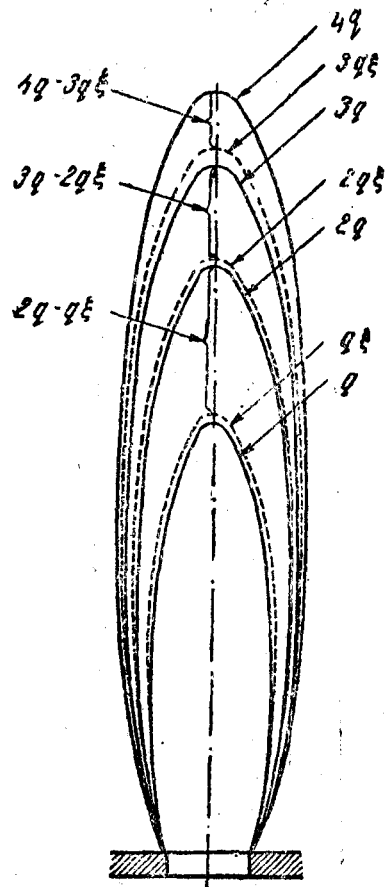


圖 338 顆粒移動的實際特性

三、等速橢球体和構成漏斗的曲綫

在試驗中，查明了等速橢球体的存在。等速橢球体的特点是分布在其表面上的点的垂直速度相等。等速橢球体的偏心率是不变的。

以 x 表示运动点的流动纵坐标 (圖 339), 則点 A 在 t 秒内走过的距离 $S = h_1 - x$. 点的大約 (不考虑它受到阻滯) 运动速度为:

$$v = \frac{dS}{dt} = \frac{c(h_2 - x)}{dt} = - \frac{dx}{dt}$$

根据公式(89)得出:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{v_{cp}}{2(1-\varepsilon^2)} \frac{x^2}{d^2} + 0.5,$$

明。

$$\left[2(1-\varepsilon^2) \frac{x^2}{d^2} + 0.5 \right] dx = -v_{cp} dt$$

为求 x 而积分, 得:

$$\int_{h_1}^{h_2} \left[2(1-\varepsilon^2) \frac{x^2}{d^2} + 0.5 \right] dx = -v_{cp} \int_{t_1}^{t_2} dt.$$

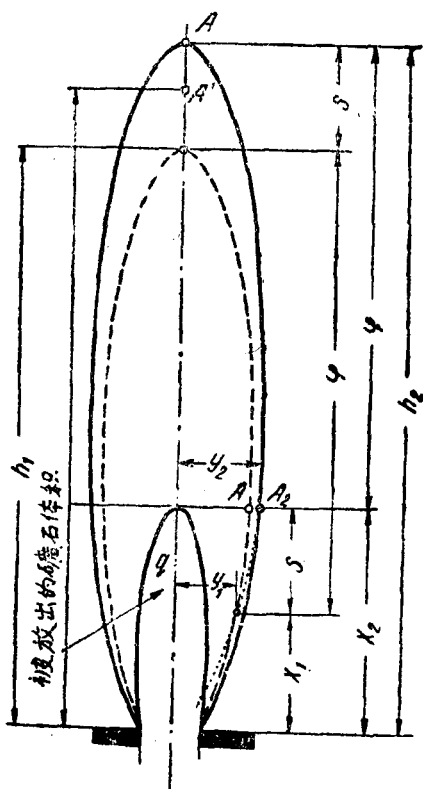


圖 339 松动橢球体内的点向漏口移动的距离

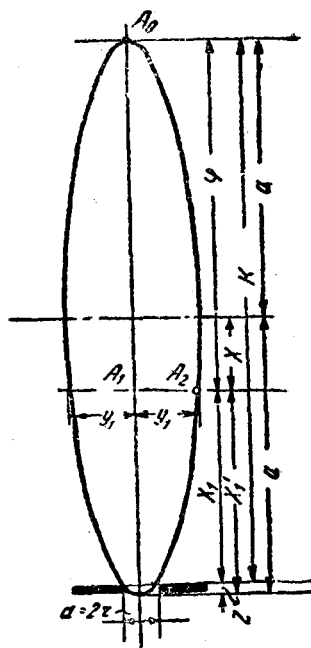


圖 340 流內任意一點的運動速度

积分后, 加入条件: 当 $x=h_2$ 时, $t_2=0$, 得

$$2(1-\varepsilon^2)\frac{h_2^3}{3d^2} + 0.5h_2 - 2(1-\varepsilon^2)\frac{h_1^3}{3d^2} - 0.5h_1 = v_{cp} t_1 \quad (92)$$

式中: t_1 ——点 A_2 由 (x_2, y_2) 移到 (x_1, y_1) 所需要的时间, 在这段时间内放出的放矿椭球体 (q) 的高度 (x_1+S) 等于接触面到溜眼的距离。

在前面已经叙述到 $q = S v_{cp} t$, 式中 S ——溜眼断面积。把 $v_{cp} t_1 = \frac{q}{S}$ 代入公式 (92) 中, 经过整理后得到:

$$h_1^3 + \frac{0.75d^2}{1-\varepsilon^2} h_1 - \left[h_2^3 + \frac{0.75d^2}{1-\varepsilon^2} h_2 - \frac{q}{S} \frac{1.5d^2}{1-\varepsilon^2} \right] = 0 \quad (93)$$

以 h_1 为未知量解该三次方程式, 就可以求出当放出 q 个单位体积后, 点 A 在新的位置 (例如 A') 上时, 与溜眼的距离。

下面另外叙述一下, 任意点 A_2 (圖 340) 的运动情形, 以便确定接触面上颗粒的移动与放出矿石体积的关系。

当坐标原点为等速椭球体的几何中心时, 则其方程式为:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1,$$

亦即

$$a^2 \frac{Y^2}{b^2} = a^2 - X^2 = (a+X)(a-X), \quad (94)$$

將 $b^2 = a^2(1-\varepsilon_0^2)$ 代入公式 (94), 則得

$$\frac{Y^2}{1-\varepsilon_0^2} = (a+X)(a-X) \quad (95)$$

把横坐标轴由等速椭圆的几何中心移到溜眼中心, 則 (見圖 340),

$$x \approx x' = a - X$$

自圖 340 看出

$$\varphi = a + X, \quad y = Y$$

并且視

$$x = a - X$$

將 φ 和 x, y 的值代入公式 (95) 中, 得出

$$\varphi = \frac{y^2}{x(1-\varepsilon_0^2)} \quad (96)$$

根据解析几何可以写出 (見圖 339):

$$h_2 = x_2 + \frac{y_2^2}{x_2(1-\varepsilon_0^2)}$$

$$h_1 = x_1 + \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)}$$

但是因为相位差的数值为:

$$\varphi = \frac{y_2^2}{x_2(1-\varepsilon_0^2)}, \quad \varphi = \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)} \quad (97)$$

所以可以写出,

$$h_2 = x_2 + \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)}$$

$$h_1 = x_1 + \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)}$$

式中 x_1 和 y_1 为点 A_2 的流动座标, 而 ε_0 为等速椭球体的偏心率。

把 h_2 和 h_1 的值代入公式(93)中, 就可以得出构成放矿漏斗的曲线方程式:

$$\left[x_1 + \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)} \right]^3 + 0.75 \frac{d^2}{1-\varepsilon^2} \left[x_1 + \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)} \right] - \left[x_2 + \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)} \right]^3 - \frac{0.75 d^2}{1-\varepsilon^2} \left[x_2 + \frac{y_1^2}{x_1(1-\varepsilon_0^2)} \right] + \frac{1.5 q d^2}{S(1-\varepsilon^2)} = 0$$

整理后, 得:

$$y_1 = \sqrt{x_1(1-\varepsilon_0^2)} \left\{ \sqrt{\frac{q d^2}{2S(1-\varepsilon^2)(x_2-x_1)} - \frac{0.25 d^2}{1-\varepsilon^2} - \frac{(x_2-x_1)^2}{12} - \frac{x_2+x_1}{2}} \right\} \quad (98)$$

当计算 y_1 值时, 可设等速椭球体的偏心率 ε_0 与最终松动椭球体的偏心率 (当 $\frac{h}{d} \approx 30$ 时的放矿椭球体的偏心率) 相等。该偏心率可以相当精确地用于实际工作中。

为了在溜眼中心线距离的中间找出最接近实际的构成放矿漏斗的曲线, 必须取与中间松动椭球的某一个平均高度 (h_{cp}) 相适应的 ε 数值。

$$h_{cp} = \frac{H_p + h}{2}$$

式中: H_p ——最终松动椭球体的高度;

h ——崩落矿石层的高度。

当 $x_1 = x_2$ 时, $y = \infty$, 所以公式(98)适用于 $x_1 < 0.7x_2$ 的条件下。

将 $\varphi = H_p - h$ 和 $x_2 = h$ 代入公式(97), 则得出接触面上漏斗的半径 (R):

$$R = \sqrt{h(H_p - h)(1-\varepsilon_0^2)} \quad (99)$$

可以用下式近似地表示松动椭圆体的体积:

$$Q_p = \frac{4}{3} \pi a b^2 = \frac{4}{3} \pi \frac{H_p}{2} \left(\frac{H_p}{2} \right)^2 (1-\varepsilon_0^2) = \frac{\pi}{6} H_p^3 (1-\varepsilon_0^2)$$

根据公式(88), 可以按下面近似公式计算 H 值:

$$H_p = \sqrt[3]{\frac{6 \xi q}{\pi(1-\varepsilon^2)(1-\xi)}} \quad (100)$$

§ 3. 崩落采区的合理放矿方法

一、崩落采区放矿的特性

前面已经提到, 当从一个矿石溜子放矿时, 放矿的特性取决于下列因素:

- a) 矿石和复盖岩石的物理性質;
- b) 从矿石与廢石的接触面到溜眼的距离;
- b) 矿石与廢石接触面的数目;
- r) 溜眼的直徑。

当从几个鄰接的矿石溜子放矿时, 上述因素仍旧發生影响。此外, 采矿法的主要構成要素的尺寸和矿層傾角对崩落采区的放矿也有影响; 采矿法主要構成要素的尺寸决定了鄰接矿石溜子影响范围(松动橢球体)的相交程度。放矿的顺序对于鄰接矿石溜子間的相互作用具有很大的意义。

在确定崩落采区的合理放矿方法时, 可將放矿条件分类如下:

- a) 从与廢石具有一个水平接触面的垂直壁采区中放矿;
- b) 同上, 并与廢石具有側边接触面(一般为垂直的);
- b) 从矿層傾角小于 90° 并具有一个水平接触面的崩落采区中放矿;
- r) 同上, 并有一个、两个或三个側边的廢石接触面。

二、崩落采区具有一个接触面时的放矿

如果溜眼間距(S)不能使作用圈相交(圖 341), 則一个溜眼所難的儲量的純矿石回收率(U)可按下式計算:

$$U = \frac{q}{hS^2} = 0.523 \frac{h^2}{S^2}$$

$$(1 - \varepsilon^2) + 1.57 \frac{r^2}{S^2}$$

当自相鄰各溜眼均匀放矿时, 如果作用圈相交(圖 342), 則接触面平行底柱的平面移动, 一直到临界高度(即相鄰溜眼的相切放矿橢球体的高度)为止。在这种情况下, 貧化前的純矿石回收率可按下式計算:

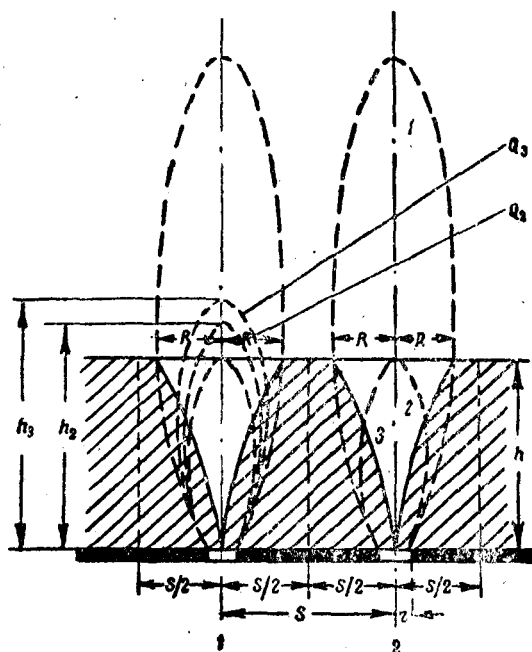


圖 341 自間距大的溜眼放矿
1—碎脹帶; 2—放矿橢球体, 其体积为 Q ; 3—放矿漏斗

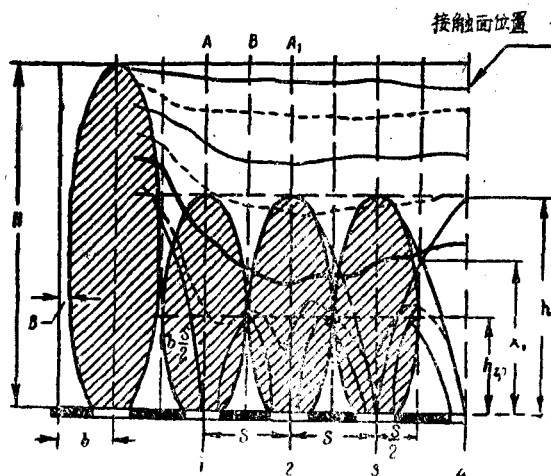


圖 342 自相鄰溜眼均匀放矿

$$U = 1 - \left\{ \frac{h_{ip} S^2 - [0.524 h_{ip}^3 (1 - \varepsilon^2) + 1.57 r^2 h_{ip}]}{H S^2} \right\}$$

$$= 1 - \frac{h_{ip}}{H} \left[1 - 0.523 (1 - \varepsilon^2) \frac{h_{ip}^2}{S^2} - 1.57 \frac{r^2}{S^2} \right] \quad (101)$$

从公式(101)中可以看出, 采区的純矿石回收率随 H 的增加和 S 的减小而增加。

試驗証明, 最好均匀放矿, 并使接触面与底柱保持平行。如果違反这条規則, 則回收率降低。依次自相鄰溜眼放矿(圖 343) 是不合理的。因为自 2 号溜眼回收的純矿石的体积小于自 1 号溜眼回收的, 前者的大小取决于它与 1 号溜眼的構成放矿漏斗曲綫相交的条件。崩落矿石層愈厚, 依次放矿引起的回收率降低愈严重。

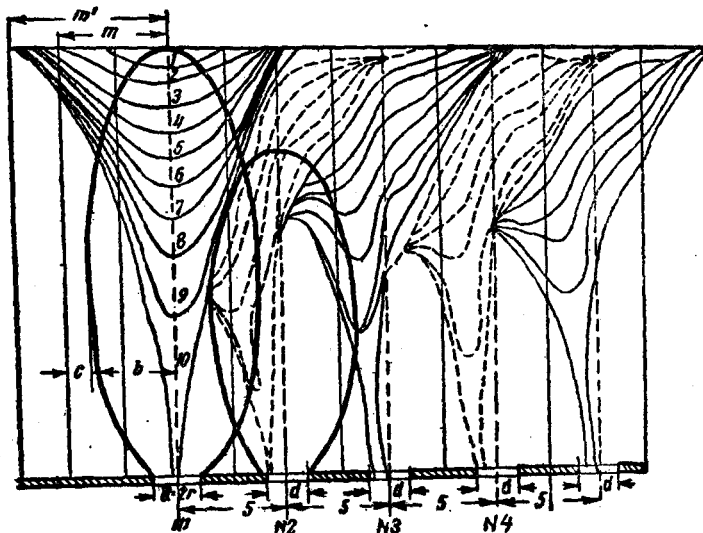


圖 343 自模型中依次放出材料的各个步骤
1—10 为放矿次序

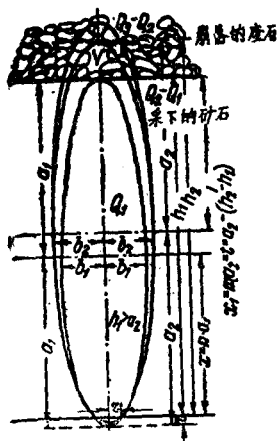


圖 344 在一个水平接触面下的放矿

当接触面成傾斜状态时, 放矿更为复杂。試驗表明, 为了使接触面保持一定的傾角, 就需要自各溜眼放出不等量的矿石。然而接触面在几次放矿后就变为波紋狀, 并且迅速地形成依次放矿所特有的状态。

每个溜眼放出的采出矿石量 Q_2 由两部分——矿石 Q_p 和廢石 U_n 所構成 (圖 344)。

利用圖 344 的符号可以写出:

$$U_n = \frac{2}{3} \pi a_2 b_2^2 - \int_{x=0}^{x=ma} \pi y^2 dx = \frac{\pi}{3} a_2^3 (1 - \varepsilon_2^2) (2 - 3m + m^2),$$

$$\text{式中: } m = \frac{t}{a_2} = 1 - \frac{h_2 - h_1}{a_2^2} = \frac{\frac{2}{h_2} + \frac{r^2}{h_2^2(1 - \varepsilon_2^2)} - 1}{1 + \frac{r^2}{h_2^2(1 - \varepsilon_2^2)}}.$$

將 U_n 的值和

$$Q_2 = \frac{\pi}{6} h_2^3 (1 - \varepsilon_2^2) + \frac{\pi}{2} r^2 h$$

代入計算体积貧化率的公式得，

$$R'_0 = \frac{U_n}{Q_2},$$

經整理后得出：

$$R'_0 = \frac{1 + 2 \frac{h_1^3}{h_2^3} - 3 \frac{h_1^2}{h_2^2} + \frac{r^2}{h_2^2 (1 - \varepsilon_2^2)} \left(3 - 6 \frac{h_1}{h_2} + 3 \frac{h_1^2}{h_2^2} \right)}{1 + 3 \frac{r^2}{h_2^2 (1 - \varepsilon_2^2)}} \quad (102)$$

由于值 $\frac{r^2}{h_2^2 (1 - \varepsilon_2^2)}$ 是很小的，如果忽視分子的第四項和分母的第二項，則公式(102)就簡化成：

$$R'_0 = 1 + 2 \frac{h_1^3}{h_2^3} - 3 \frac{h_1^2}{h_2^2} \quad (103)$$

而重量貧化率則為：

$$R'_0 = \frac{r_n}{r_{p.m}} \left(1 + 2 \frac{h_1^3}{h_2^3} - 3 \frac{h_1^2}{h_2^2} \right) \quad (104)$$

但是可以認為：

$$Q = 0.523 h_1^3 (1 - \varepsilon_1^2) \text{ 和 } Q_2 = 0.523 h_2^3 (1 - \varepsilon_2^2),$$

從而

$$\frac{h_1^3}{h_2^3} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_2^2)}{(1 - \varepsilon_1^2)}$$

將 $\frac{h_1^3}{h_2^3}$ 的值代入公式(104)中，得到

$$R'_0 = 1 + 2 \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_2^2)}{(1 - \varepsilon_1^2)} - 3 \sqrt[3]{\frac{Q_1^2}{Q_2^2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_2^2)^2}{(1 - \varepsilon_1^2)^2}} \quad (105)$$

在某一個期間內放出的貧化矿石 $Q_3 - Q_2$ 的貧化率可以按下式求得，

$$R_0 = \frac{R_3 Q_3 - R_2 Q_2}{Q_3 - Q_2}, \quad (106)$$

式中： R_3 和 R_2 ——采出矿石体积 Q_3 和 Q_2 的貧化率。

將公式(106)改写成

$$R_0 = \frac{R_3 - R_2 \frac{Q_2}{Q_3}}{1 - \frac{Q_2}{Q_3}} \quad (107)$$

根据公式(105)將 R_2 和 R_3 的值代入公式(107)中并設 $\varepsilon_2 \approx \varepsilon_3$ ，經整理后得到

$$R_0 = 1 - \frac{3 \sqrt[3]{Q_1^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{(1 - \varepsilon_2^2)^2}{(1 - \varepsilon_1^2)^2}}}{\sqrt[3]{Q_3^2} + \sqrt[3]{Q_3 Q_2} + \sqrt[3]{Q_2^2}} \quad (108)$$

用椭圆的高度代替其体积, 则公式(108)具有下面的形式:

$$R_0 = 1 - \frac{3h_1^2}{h_2^2 + h_2 h_3 + h_2^2} \quad (109a)$$

当崩落矿石层的高度能满足 $\frac{h}{d} > 11$ 的条件时, 在必要的情况下, 可以设 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$,

则公式(108)便被简化成

$$R_0 = 1 - \frac{3\sqrt[3]{Q_1^2}}{\sqrt[3]{Q_3^2} + \sqrt[3]{Q_3 Q_2} + \sqrt[3]{Q_2^2}} \quad (109b)$$

与公式(109b)相适应的重量贫化率为

$$R_b = \frac{r_n}{r_{p.m.}} \left(1 - \frac{3\sqrt[3]{Q_1^2}}{\sqrt[3]{Q_3^2} + \sqrt[3]{Q_3 Q_2} + \sqrt[3]{Q_2^2}} \right) \quad (110)$$

采出矿石品位随贫化程度增高而降低, 因为,

$$q = p - (p - r) R_b, \quad (111)$$

式中 p ——矿石品位;

r ——使矿石贫化的岩石的品位。

当采出矿石品位达到标准矿石的最低允许品位时停止放矿。如果采出矿石被送到选矿厂, 则需要继续放一段时间, 直到采出矿石品位达到选矿最低允许品位为止。

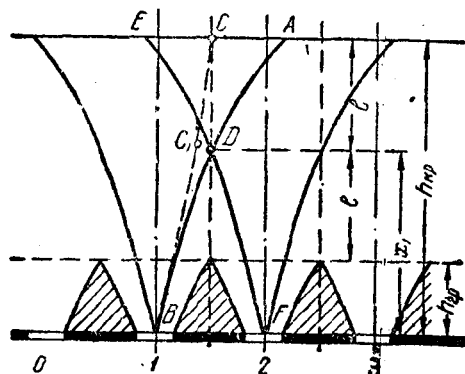


图 345 溜眼间脊柱的高度

试验表明, 在公式 109a 中符合于纯矿石椭圆体积的崩落矿石层的高度应相当于溜眼间脊柱的高度 h_{kp} (图 345)。试验表明, 当均匀放矿时, 与溜眼 1 和 2 等距离的 C 点, 位于线段 CD 的两倍的地方。所求的溜眼的脊柱高度 $h_{kp} = h_{kp} - 2l$, 式

中 $l = h_{kp} - x_1$ (x_1 ——符合于座标 $y_1 = \frac{S}{2}$ 的构成漏斗曲线的横座标)。

将 l 值代入后,

则得:

$$h_{kp} = 2x_1 - h_{kp}. \quad (112)$$

三、崩落采区具有两个接触面 (水平的和垂直的) 时的放矿

如果采区与已采完的采区之间有垂直接触面, 则自此类采区 (图 346) 放矿时, 应考虑侧边贫化。

侧边贫化率是废石体积 (为侧边接触面所截的一段放矿椭圆球体体积) 与整个体积的比值。

混入矿石中的废石体积:

$$U_n = \pi a_1 b_2 \int_{-b_2}^{-b_1} \left(1 - \frac{y^2}{b_2^2} \right) dy = \frac{\pi}{3} a_2 b_2^2 \left(\frac{b_1^3}{b_2} - \frac{b_1}{b_2} + 2 \right) \quad (113)$$

积分式是从下列旋轉橢圓体方程式得来的:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{l^2} = 1$$

因此

$$1 - \frac{y^2}{b^2} = \frac{x^2}{a^2} + \frac{z^2}{l^2}$$

$$\frac{x^2}{\left(a \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}\right)^2} + \frac{z^2}{\left(b \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}\right)^2} = 1$$

$$S_{xz} = \pi a b \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right)$$

对这种情况下的体积貧化率的分析表明, 当 $h > 10$ 米和 $r = 0.6 - 0.75$ 米时, 可以近似地認為:

$$Q_2 = \frac{4}{3} \pi a_2 b_2^2$$

因此

$$R'_0 = \frac{U_n}{Q_2} = \frac{\frac{\pi}{3} a_2 b_2^2 \left(\frac{b_1^3}{b_2^3} - 3 \frac{b_1}{b_2} + 2 \right)}{\frac{4}{3} \pi a_2 b_2^2}$$

$$= 0.25 \left(\frac{b_1^3}{b_2^3} - 3 \frac{b_1}{b_2} + 2 \right) \quad (114)$$

既然如此, 在实际中当計算側边貧化率时, 就可以利用比較簡單的公式, 并且能达到足够的精度。

当矿石与廢石的側边接触面为 n 时, 体积貧化率为

$$R'_0 = 0.25 n \left(\frac{b_1^3}{b_2^3} - 3 \frac{b_1}{b_2} + 2 \right) \quad (115)$$

將公式 (114) 中的放矿橢球体短半軸之比 $\frac{b_1}{b_2}$ 代以橢球体的高度和体积, 并取

$$b_1 = a_1 \sqrt{1 - \varepsilon_1^2} \approx \frac{h_1}{2} \sqrt{1 - \varepsilon_1^2}, \quad b_2 = a_2 \sqrt{1 - \varepsilon_2^2} \approx \frac{h_2}{2} \sqrt{1 - \varepsilon_2^2}$$

和

$$\frac{b_1^3}{b_2^3} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_2^2)}{(1 - \varepsilon_1^2)},$$

則得:

$$R'_0 = 0.25 \left(\frac{b_1^3}{b_2^3} - 3 \frac{b_1}{b_2} + 2 \right) = 0.25 \left(\frac{Q_1 \sqrt{1 - \varepsilon_1^2}}{Q_2 \sqrt{1 - \varepsilon_2^2}} - 3 \sqrt[3]{\frac{Q_1}{Q_2}} \cdot \frac{\sqrt{1 - \varepsilon_1^2}}{\sqrt{1 - \varepsilon_2^2}} + 2 \right). \quad (116)$$

与上面一样, 每份放矿量 $Q_3 - Q_2$ 的体积貧化率为:

$$R_{06} = \frac{R_3 Q_3 - R_2 Q_2}{Q_3 - Q_2},$$

亦即:

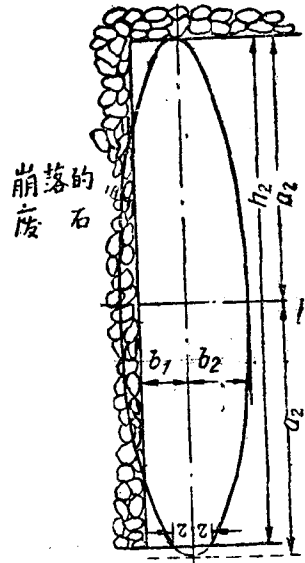


圖 346 在具有一个側边接触面的条件下放矿

$$R_{06} = \frac{R_3 - R_2 \frac{Q_2}{Q_3}}{1 - \frac{Q_2}{Q_3}}$$

將公式(116)的 R_2 和 R_3 之值代入經整理后得出:

$$R_{06} = 0.5 - 0.75 \frac{\sqrt[3]{Q_1}}{\sqrt[3]{Q_2}} \frac{\sqrt[6]{1-\varepsilon_1^2}}{\sqrt[6]{1-\varepsilon_1^2}} \left(1 - \frac{\sqrt[3]{Q_2^2}}{\sqrt[3]{Q_3^2}} \right) \quad (117)$$

$$1 - \frac{Q_2}{Q_3}$$

圖 347 所表示的是兩個相鄰采區放礦時回收礦石的情形。首先由左側的采區放礦，其次由右側的采區放礦，最后回收兩個采區間死帶的礦石。這個死帶是人工造成的。由圖 347 中可以看出在這種情況下礦石的損失是要增大的。

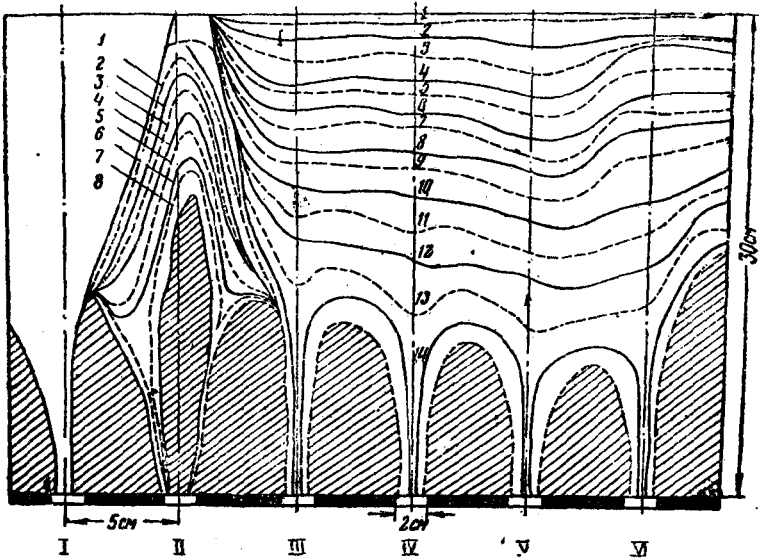


圖 347 從兩個相鄰采區中放礦
1—14 為放礦順序

在這種情況下，為了增加回收率需要考慮下列問題：

1. 選擇采區的最合理的水平斷面的形狀（正方的或矩形的）。這個問題的提出，是由于必須減少死帶長度。因此，對於廢石具有兩個側邊接觸面時正方形的斷面尺寸是最合理的。廢石具有一個側邊接觸面時，矩形的斷面尺寸是最合理的。
2. 確定采區水平斷面的尺寸。當劃分井田為采區時必須注意到：采區尺寸愈大，則側邊接觸面的數目愈少，從而礦石的回收率也就愈大。
3. 確定最優的由溜眼軸綫到垂直接觸面的距離。垂直接觸面與溜眼 2 的構成漏斗曲綫間形成了死帶，根據使放礦橢球體 1（圖 348）在該死帶中相切最完全的要求，來決定死帶之下溜眼 1 的最優位置。

決定下述情況下的純礦石回收率：開采采區的礦石同崩落的廢石具有兩個接觸面，並且從垂直接觸面到靠邊的一列溜眼軸綫的距離為 $\sigma > \frac{s}{2}$ （圖 349）。