

当代固体矿床
采矿方法与理论研究

当代固体矿床 采矿方法与理论研究

王昌汉 著



湖南科学技术出版社

当代固体矿床 采矿方法与理论研究

王昌汉 著



湖南科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

当代固体矿床采矿方法与理论研究 / 王昌汉著. --
长沙 : 湖南科学技术出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-5357-6509-3

I. ①当… II. ①王… III. ①矿山开采 IV. ①TD8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 223055 号

当代固体矿床采矿方法与理论研究

著 者: 王昌汉

责任编辑: 杨 林

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731 - 84375808

印 刷: 衡阳博艺印务有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 湖南省衡阳市黄茶岭光明路 21 号

邮 编: 421008

出版日期: 2010 年 12 月第 1 版第 1 次

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 20.25

字 数: 480000

书 号: ISBN 978-7-5357-6509-3

定 价: 46.00 元

(版权所有 · 翻印必究)

内 容 简 介

本书系统阐述了独创的松散矿岩放出力学理论及其应用，它对解决采矿的放矿问题起到了实质性的指导作用。介绍了一种与空场采矿法、充填采矿法、崩落采矿法等三类采矿方法有本质区别的自创的采矿方法——分段空场崩落组合式采矿法。论述了采、选、冶专业融为一体的溶浸采矿法的基本原理与应用前景；对矿山安全人机工程学及矿山质量管理等问题也进行了研究。书末，介绍了采矿工程专业三弧结构教学法及南华大学核类专业发展的探讨。本书对大学生、研究生以及相关研究人员均有参考价值。

感谢南华大学采矿工程重点学科专项基金对本著作出版的支持

目 录

王昌汉教授简介.....	(1)
--------------	-----

第一篇 放矿力学

松散矿岩放出力学及其应用	王昌汉 (3)
松散矿岩放出的力学特性.....	王昌汉 (14)
用“塑性应力极限平衡理论”研究放矿中的几个问题.....	王昌汉 (22)
放矿力学.....	王昌汉 (29)
单漏口多颗粒同时放出时松散介质的流动规律.....	罗顺勤 王昌汉 (37)
放矿物理模拟试验中一个容易混淆的问题.....	罗顺勤 王昌汉 (45)
放矿静力学在矿山工程中的应用.....	王昌汉 (49)
块度不均匀崩落矿岩的放出规律及其应用和利用中间移动角确定矿块结构参数	刘满堂 王昌汉 王前裕 丁德馨 余明亮 (59)
无底柱崩落法矿石贫化和损失计算方法.....	王昌汉 (71)
对无底柱分段崩落法两种改进方案的探讨.....	王新民 王昌汉 (76)
试论振动放矿技术在留矿法中的应用前景	王昌汉 周 骥 (83)
简评振动放矿技术发展的几个问题.....	王昌汉 (90)
国内外留矿法存在的问题及改进方向.....	王昌汉 (95)
矿山井下铲运机应用浅析.....	王昌汉 周 骥 (100)

第二篇 组合式(洪峰式)采矿法及中厚倾斜矿体采矿法

分段空场——崩落采矿法.....	王昌汉 周 骥 (107)
分段空场崩落组合采矿法理论基础初探	王昌汉 (113)
“洪峰”式采矿法技术理论分析.....	王昌汉 周 骥 彭氏辉 彭思君 (119)
用电算数值模拟法优选采矿方法及结构参数	彭端生 王昌汉 (125)
无底柱分段崩落法开采倾斜中厚矿体的适应范围	王昌汉 彭端生 (134)
论中厚偏薄倾斜矿体采矿方法的改革.....	王昌汉 周 骥 (140)

第三篇 溶浸采矿

论溶浸采矿的名称及其分类	王昌汉 (149)
论溶浸采矿的前期研究工作	王昌汉 朱红兵 (154)
论溶浸采矿法现状及发展方向	王昌汉 (160)
溶浸液渗滤速度与其调整	王昌汉 (165)
浸蚀方法中矿石块度及其组成的确定原则	王昌汉 (171)

第 一 篇

放

矿

力

学

松散矿岩放出力学及其应用

——1991 年获中国核工业总公司部级科技进步二等奖

王昌汉

核工业中南工学院

1 内容简介

本内容主要研究金属矿山应用最广的大量崩落采矿法、留矿采矿法的崩落矿岩从采场放出时的运动规律。大量崩落采矿法的矿石是在崩落岩石直接覆盖下放出的，易导致覆盖废石过早混入矿石，造成矿石的损失率和废石混入率的升高，降低矿产资源的回收率和矿山经济效益。

本研究视崩落矿岩为块度不均匀的散体，运用弹塑性动力学原理，以力学分析、物理和数学模拟为手段，结合生产实际中崩落的松散矿岩的特点，对其从采场放出时的力学机制做了较系统的研究，提出了松散岩放出运动学、放出静力学和动力学组成的放矿力学新体系，得出了松散矿岩放出状态方程和一系列的表达式，并建立了电算数值模拟程序，解决矿山崩落采矿方法的采场结构参数的最优选择、矿石损失和贫化的预算、放矿方案、放矿制度和采场底部结构的优选、崩落法最佳使用范围等设计和生产中的实际问题，也涉及了振动放矿问题。

众所周知，散体是具有介于固体和液体之间双重力学特性的介质，其物理力学性质十分复杂，静力学的研究正在探索之中（如土力学），而本研究不但应用了静力学，还探讨了运动学和动力学解决采矿中的放矿问题，体现了本课题研究课题的特点和难点。

研究成果已被采矿行业最权威著作《采矿手册》和《采矿设计手册》引用，也是《矿床开采中矿石的损失与贫化》一书的主要参考文献，化工部贵州开阳磷矿，大冶金山店铁矿等矿山均用其指导过生产，也已成为采矿专业大学本科教材，硕士、博士和中专的参考资料。

2 基本内容

2.1 研究背景

由于大量崩落法劳动生产率和机械化程度高，被国内外广泛采用，采矿工业发达的瑞典世界最大的地下铁矿基鲁纳、美国几个大型地下矿、原苏联的巨人矿、基洛夫矿，我国的大型地下矿金山店、程潮、尖林山的铜矿峪、胡家峪、大庙、小寺沟均采用这类方法，它应用中的主要问题是由于对放矿规律认识不够引起矿石的损失和废石混入高达 20%~30%，这是立项的主要技术依据。

从 20 世纪 50 年代开始，前苏联马拉霍夫教授等对放矿问题已开始了研究，提出了椭球体放矿理论，我国一些研究人员对发展这一理论也做了大量工作。其成果集中反映在 Г·М·МАЛАХОВ 教授所著的 *ВЫПУСК РУДЫ ИЗ ОВРУЩЕННЫХ БЛОКОВ*（崩落矿块的放矿）M—1952；В. В. КУИЛКОВ 所著 *СОВМЕСТНАЯ ПОВТОРНАЯ РАЗРАБОТКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ*（矿床重复开采）НЕДРА，1965 年，刘

兴国译,《崩落采矿法放矿时矿石移动的基本规律》一文,摘自《有色金属》1979, N04, 5; 刘兴国、王泳嘉《应用电算数值模拟法研究崩落法放矿时矿岩移动规律》《化工矿山技术》,另外加拿大、前苏联和我国研究人员建立了随机放矿模拟方法。其代表性的论文有: D·Jolley, “Computer Simulation of the Movement of Ore and Waste in Undergronnd Mining of pillar”,《Canadian Miningand Metallurgy Bull.》, 1968 年, 61, No. 675; 熊国华等,《电算模拟放矿及其相似条件初探》,《北京钢铁学院学报》No. 3, 1980 年。

这些理论对生产起了一定的指导作用,但均存在以下几个不足之处:①把崩落矿岩假设为理想的散体,而实际上它是块度非常不均匀、粘度各异的特殊散体,因此所得规律与矿山实际出入较大;②计算公式复杂,要求参与计算的参量多,取据困难,特别以偏心率“ ε ”作为矿岩放出性能好坏的判据,这既不准确又难以取得准确数据;③仅以散体运动学观点阐明了放矿规律,对松散矿岩放出的力学过程缺乏全面分析,因此没有形成完整的松散矿岩放出力学体系,计算结果也与实际距离较远。

2.2 基本内容

2.2.1 建立了“放矿力学及其应用”体系

根据已有的研究状况,为了较全面地解决放矿理论问题,着手从散体力学角度进行探讨。通过研究,建立了较完整的“放矿力学及其应用”体系,包括松散矿岩动力学、静力学和运动学。

(1) 放出动力学方面:

1) 研究和完善了松散矿岩放出状态方程:

根据实验,松散矿岩从采场漏斗口均匀放出时,可以采用 r 、 z 、 θ 的轴对称圆柱座标系统,其原点为放出口中心, z 为垂直中心轴。

轴对称应力“ σ ”状态用下列应力分量表示:

$$\sigma_r = \sigma_r(r, z); \sigma_\theta = \sigma_\theta(r, z); \sigma_z = \sigma_z(r, z) \\ \tau_{rz} = \tau_{rz}(r, z)$$

运动场内每一点的分速度“ v ”和密度“ ρ ”的分量为:

$$v_r = v_r(r, z); v_z = v_z(r, z); \rho = \rho(r, z)$$

为了求得这些数据,建立下列适于放矿条件的状态方程:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_z}{r} = \rho \left(v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = \rho \left(g + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial r}(r\rho v_r) + \frac{\partial}{\partial z}(r\rho v_z) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{2 \partial \tau_{rz}}{\sigma_r + \sigma_z} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \pm \frac{\partial v_r}{\partial r} \tan \varphi}{\frac{\partial v}{\partial r} \mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \tan \varphi} \quad (4)$$

式中, φ ——松散矿岩内摩擦角

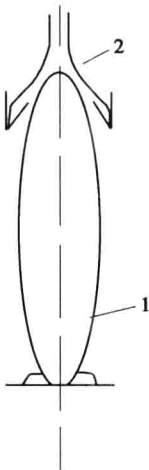
$$(\sigma_r - \sigma_z)^2 + 4\tau_{rz}^2 = [\sigma_r + \sigma_z + 2(\sigma_f + \sigma_c)]^2 \sin \varphi \quad (5)$$

式中, σ_c ——边壁等效力,放矿过程中,放出漏斗边壁和无底柱分段崩落法前壁对松散矿岩放出时增加约放出阻力。

σ_f ——称为边壁等效应力。

$$\sigma_{\theta}=\frac{1\pm\sin\varphi}{2}(\sigma_r+\sigma_z)\pm(\cos\varphi) \tag{6}$$

2) 完成了放矿过程中采场底柱上压力显现规律的研究。放矿过程中对采场底柱上施加的压力（即动压），对采场底柱的维护产生巨大影响，为了研究这些问题采用室内外应力测试和理论分析方法得出了规律（图 1，图 2，图 3，图 4），这些研究区别于原来仅以崩落矿岩静压作计算底柱压力大小的方法，而代之以放矿过程中出现的动压。



1—松动体；2—压力传递方向

图 1 单漏斗放矿时压力传递图

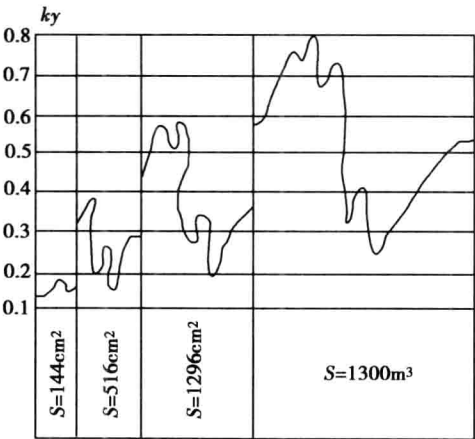
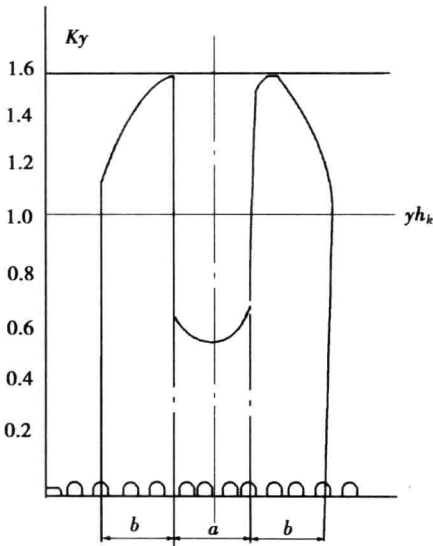
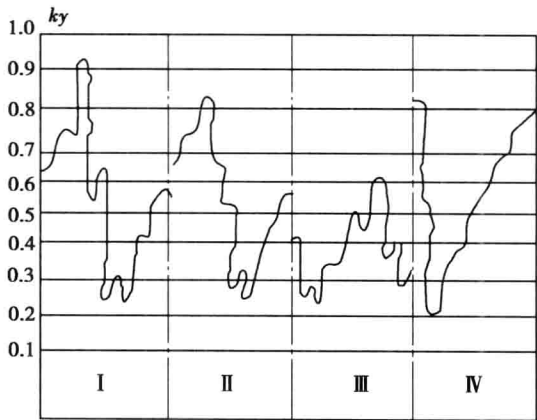


图 3 底柱上压力大小与采场面积关系



k_y —压力系数； h_k —开采深度； γ —松散矿岩容量；
a—降压区；b—增加区

图 2 多漏斗放矿时压力曲线



I—从未采边界内向已采边界秩序放矿；II—从已采边界向未采边界顺序放矿；III—由采场中央向已采和未采边界等量、均匀、顺序放矿；IV—由采场中央向四方等量、均匀顺序放矿

图 4 采场底柱压力与放矿方式及方向的变化

图 1~图 4 反映了如下新规律：

a. 底柱上显现的动压大小与采场面积成正比关系。

b. 底柱上动压大小与放矿方式及方向有关。通过研究，底柱上出现动压最小的最佳放矿方向和方式是由采场中央向其周边采用等量、均匀、顺序放矿。

(2) 放出静力学方面：

1) 探讨了放矿时松散矿岩的变形特点。

① 松散矿岩变形特性：用三轴剪力仪验证了散体变形特点，即它的密度，内摩擦角 φ 与正应力的关系（图 5，图 6）。

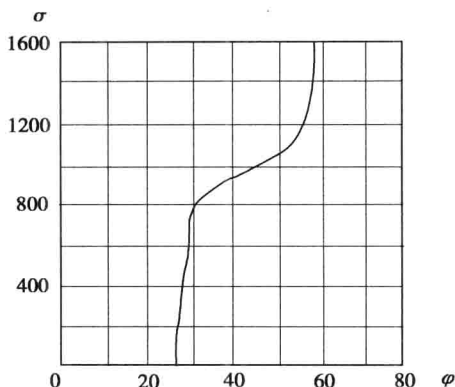


图 5 松散矿岩 σ 与 φ 关系曲线

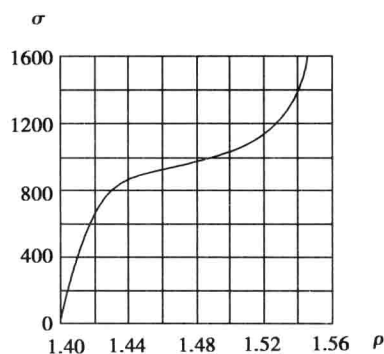


图 6 松散矿岩 σ 与 ρ 关系曲线

研究结论：松散矿岩受外力作用时，其变形主要为不可逆转的结构变形（即塑性变形）。

② 松散矿岩放出时其变形特点为：

a. 松散和压缩两种变形方式同时存在，放矿口上部为松散变形，其孔隙度增加，放矿口上部周围为压缩变形区，孔隙度减小。

b. 外加载荷（动载荷或静载荷）对松散矿岩的变形影响比松动作用影响小得多。这一规律的发现，对解决采场因松散矿岩压实结块妨碍顺利放矿的问题起到了指导作用，其办法是定时放出少量矿石，使其松动。江西一些钨矿就用此法解决了采场矿石结块问题。

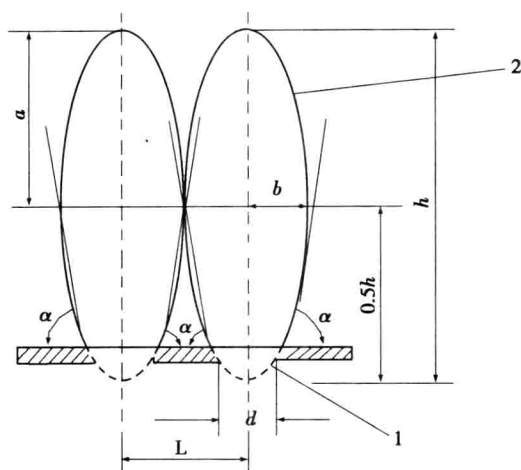
2) 建立了松散矿岩放出静力学方程。

① 根据挡土墙原理提出了最小移动角可近似地用 $\theta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2} + \xi$ 表示（ φ ——内摩擦角； ξ ——综合影响因素增值角）。通过实验测定了松散矿岩块度组成（大小及均匀性）、矿石性质、矿岩含湿量、边壁影响及放矿层高对“ θ ”的影响。该式具有综合反映松散矿岩放出的物理力学性质特性。但它的测定十分复杂。为了便于工程应用，推荐用中间移角“ α ”代替，其表示式为：

$$\alpha = \frac{90^\circ + \theta}{2} = 45^\circ + \frac{\theta}{2} = 67.5^\circ + \frac{\varphi}{2} + \frac{\xi}{2} \quad (7)$$

“ α ”又可理解为指相邻漏斗放矿时处于两个当量放出体相切点上颗粒点向漏斗口移动的角度（图 7）。

从图 7 可知公式（8）、公式（9）：



1—漏斗口；2—当量放出体；L—漏斗间距

图7 当量放出体与中间移动角

$$\tan \alpha = \frac{h}{\sqrt{1.9 \frac{q}{h} - d}} \quad (8)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{\sqrt{1.9 \frac{q}{h} - d}} \quad (9)$$

式中， h ——有效放矿层高，m。

q ——放出矿量， m^3 。

d ——漏斗口直径，m。

或用下式表示：

$$\tan \alpha = \frac{h}{1.4R - d} \quad (10)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{1.4R - d} \quad (11)$$

式中， R ——放出漏斗半径，m。

“ α ”的值在矿山生产前一般通过现场试验求取。由于试验前对“ h ”、“ d ”均已知，只要在试验中测出放矿量“ q ”，就可以简捷地求出“ α ”值。

3) 放矿静力学的应用举例（考虑篇幅，有关矿石损失贫化预测计算，最佳放矿方案的确定从略）。

通过现场试验，测出“ α ”值以后，可利用它解决以下矿块结构参数问题。

①求有底柱崩落法最低高度 h_{ut}

$$h_{ut} = (L - d) \tan \alpha \quad (12)$$

式中， L ——相邻漏斗口间距（已知），其他符号同前。

②求有底柱崩落法漏斗口最大间距 L_{max}

$$L_{max} = \frac{h_u}{\tan \alpha} + d(m) \quad (13)$$

式中, h_u ——有效放矿层高。

③有底柱崩落法最优采场面积:

当一个侧边有一个矿岩接触面, 且接触边为短边, 其长为 L_d

$$L_d = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1 - \eta} \left[h_u \left(\frac{1}{2 \tan \alpha} + 0.04 + r \right) \right] \quad (\text{m}) \quad (14)$$

式中, η ——整个采场纯矿回收率, (%), 按设计要求指标选取。

η_1 ——采场中央部分纯矿回收率, (%), 按设计要求指标选取。

η_2 ——采场边缘保护带纯矿回收率, (%), 一般取 30%~40%。

r ——漏斗口半径。

0.04——盈余宽度, 取 0.4~0.8m; 其他符号同前。

④无底柱分段崩落法分段高“ h_a ”的确定

$$h_a = 0.5 [h_0 + (L - 2B) \tan \alpha] \quad (15)$$

式中, h_0 ——进路高。

B ——进路宽。

L ——进路间距。

⑤无底柱分段崩落法最优崩矿步距“ W ”和放矿步距“ R ”

$$W = \frac{1}{k_t} \left[\frac{h_a - \frac{1}{2} h_c \times m \times \tan \alpha}{\tan \alpha} \right] \quad (16)$$

$$R = k_t W \quad (17)$$

式中, k_t ——挤压崩矿推移系数 (1.2~1.25);

M ——铲运机铲取深度, m。

⑥无底柱崩落法最优铲取深度“ E ”

$$E = h_c \cot \varphi = h_c \tan \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \quad (18)$$

式中的符号同前。

⑦漏斗口直径的确定 (利用松散矿岩极限平衡理论):

a. 楔缝形漏斗口宽“ B ” (图 8)。

$$B = \frac{2(c + c')(1 + \sin \varphi)}{r} \quad (19)$$

式中, r ——松散矿岩容重。

C ——松散矿岩初始应力。

c' ——松散矿岩放出时的边壁等效应力。

φ ——松散矿岩内摩擦角。

b. 圆形漏斗口直径“ d ” (图 9)

$$d = \frac{4(c + c')(1 + \sin \varphi)}{r} \quad (20)$$

式中符号同前。

漏斗口直径的一般计算公式为:

$$d = \frac{4(c + c')(1 + \sin \varphi)}{K_t r} \quad (21)$$

式中, K_t ——放矿口形状系数, 对圆形及方形取 0.5, 楔形取 1。

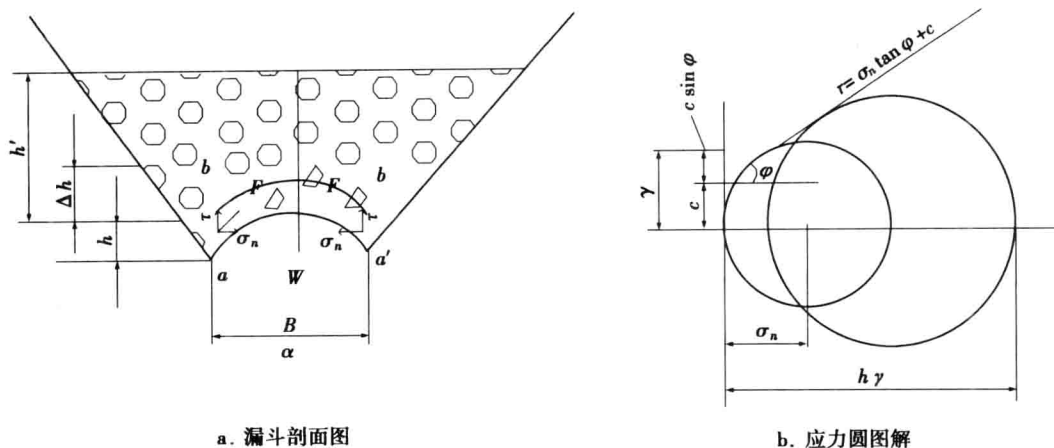


图8 楔缝形放矿口

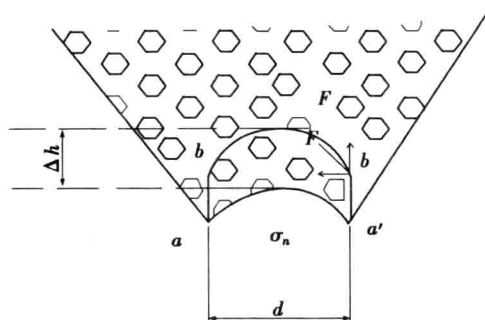


图9 圆形漏斗口

(3) 放矿运动学(椭球体放矿理论)方面, 又称为松散矿岩运动形体学。

原苏联、中国研究工作者已形成了较完整的体系, 我们的研究主要为完善该理论的核心部分——处于放出椭球体表面颗粒的同时从漏斗口放出。为解释这一问题, 应用了北京科技大学苏宏志教授和“放矿学”中的数学抽象法, 将放矿过程中缩小变厚的“颗粒单元集合体”抽象为颗粒点(见图10), 将放出椭球体表层厚度抽象为线, 这样“同时从放出口放出”的含义可以进行理解, 解决了放矿研究工作者为具体颗粒的体积不能缩小所困惑, 长期不得其解的问题。

2.2.2 崩落采矿法是最佳使用条件的电算模拟

利用前述有关公式建立数模, 模拟该法的实际生产过程, 编制了该法最佳适用条件的电算模拟程序, 下面介绍根据无底柱分段崩落法的电算模拟结果, 整理成的图(图11), 以便工程应用。

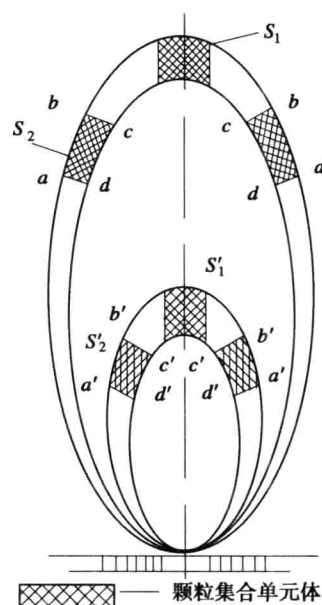


图10 放出椭球体过渡方式

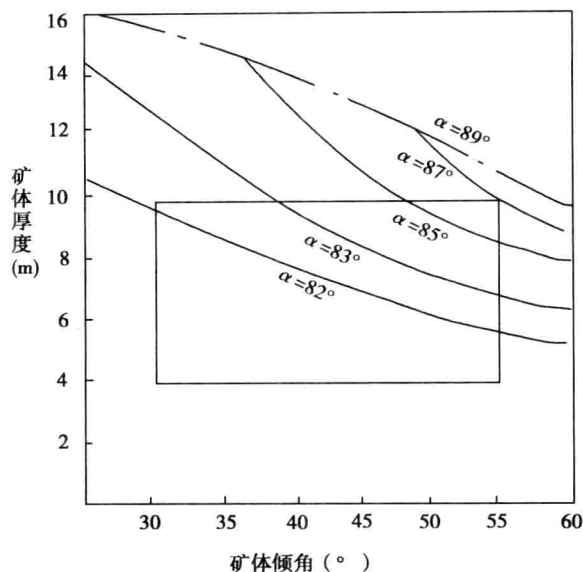


图 11 无底柱分段崩矿法适用范围图

应用时当知道中间移角“ α ”后，就可找出与该角相应的松散矿石所适用的厚度和倾角的矿体。这一种研究成果，在设计和生产中，应用十分简便，可减少采矿方法选择的盲目性。

2.2.3 提出了新的采场底柱结构

(1) 为减少粘性矿石对放矿影响，提出了斜面底部结构

采场底部结构是采场的一个重要组成部，它直接影响放矿效果和采矿劳动生产率，国内外在确定放矿漏斗直径时，往往按松散矿岩全断面流出计算，也没有考虑松散矿岩块的形状和流动特点对漏斗直径的影响，而生产实际中，松散矿岩放出时往往是倾斜方向的非全断面流(图 12)。

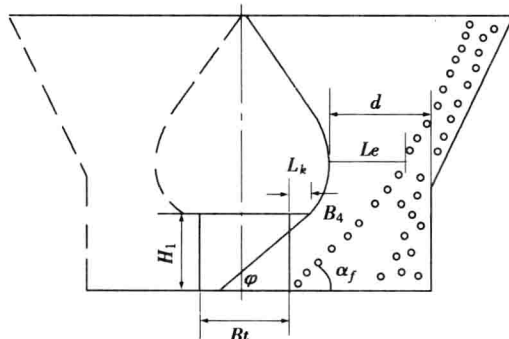
从图 12 可以看出，松散矿岩放出时，流过漏斗口的实际（有效）宽度“ B_u ”为：

$$B_u = b(h_t \cos \alpha_t - L_k \sin \alpha_1)$$

$$S_u = b B_u (h_t \cos \alpha_f) \quad (22)$$

式中， S_u ——漏斗的实际流出面积。

b ——漏斗口沿放矿巷长轴方向尺寸，其他符号见图 12。



h_t ——出矿巷高； L_k ——额檐长； B_t ——出矿巷宽； B_u ——松散矿岩流过放矿口实际有效宽； l_e ——放矿口实际水平宽； d ——放矿口垂直出矿巷方向的工程尺寸； α_f ——松散矿石移动角； φ ——松散矿石自然安息角

图 12 放矿漏斗纵断面图

放矿漏斗的水平面积 S 。

$$S=bd$$

从公式 (22) 可以看出, 放矿漏斗的实际有效尺寸与松散矿岩的移动角 α_f 有直接关系, 它取决于矿石性质, 也随矿石的湿度、粉矿含加的增加而增加。因此一味增加放矿漏斗的工程尺寸, 不但达不到改善放矿条件的目的, 反而削弱了底柱的强度, 我国金山店铁矿就证明了这一点, 因此建议在放出粉矿含量多、粘性大的矿石时, 采用斜面底部结构 (见图 13)。

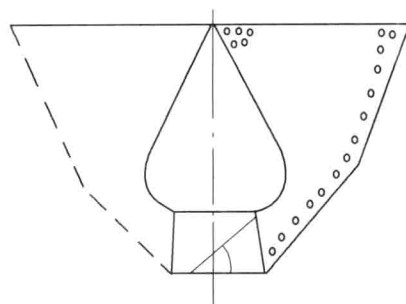


图 13 适用于粘性大的矿石放出的斜面底部结构

(2) 为提高放矿效率, 提高底柱稳固性, 减少放矿过程中的堵塞次数和高度, 建议在适宜条件下采用非对称形底柱, 见图 14; 图 15; 图 16、图 17。

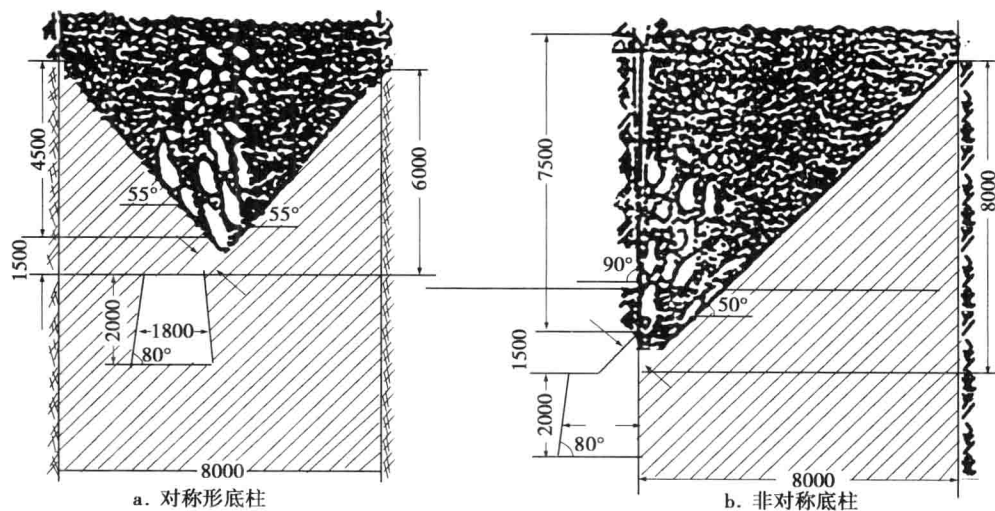
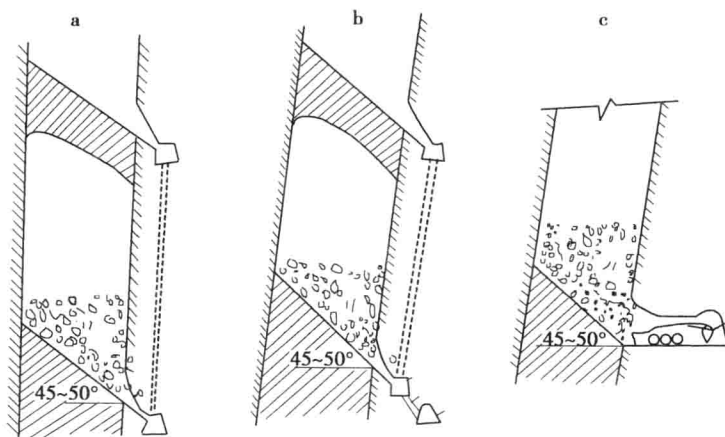


图 14 对称形底柱和非对称形底柱



a. 矿车直接装矿系统; b. 电耙装矿系统; c. 铲运车装车机装矿系统

图 15 所建议的非对称形底柱之一

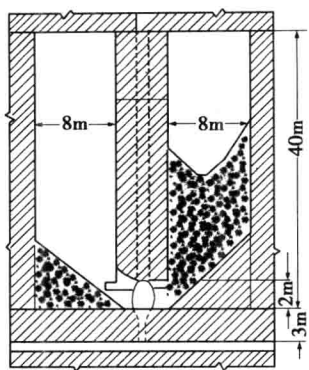
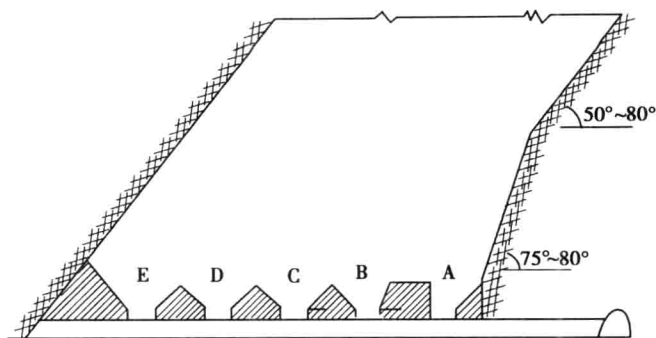


图 16 所建议的非对称形底柱之二
(适于垂直布置矿房的阶段矿房法)



A, B—非对称形底柱；C, D, E—对称形底柱
图 17 所建议的底部非对称形底柱之三 (适于大量崩落采矿法)

这种底柱形式，已在原苏联齐良诺夫斯克铅锌矿获得应用，室内和现场试验证明：非对称形底柱相比于对称形底柱，堵塞次数减少 20%，堵塞高度降低 50%，放矿强度提高 25%，底柱强度提高 20%，耐磨时间也有所增加。

(3) 考虑崩落矿岩块分布方向性对放矿的影响，建议合理的放矿口形状。

根据大量国内外资料统计，崩落后有矿岩块大部分属长板和长片状，且其分布方向与原矿体主要构造方向吻合，为了提高放矿速度，采用长方形（楔形）或椭圆形放矿口，且其长边与长形块方向一致，这样放矿中漏斗口阻塞次数可以减少 23%~28%，这已为江西一些钨矿的留矿法采场的生产实际所验证。

3 比较

本研究成果与当前国内外同类研究、同类理论的综合比较

(1) 抓住了松散矿岩从采场放出机制的实质——散体力学。从松散矿岩放出动力学，放出静力学和运动学等方面进行研究，跳出了国内外研究工作者仅从运动学瞄准的框架，从而形成了自己的“放矿力学”理论体系，较原有理论体系完整。

(2) 在形成理论体系的同时，注意实际应用，紧密联系放矿实际，建立了较完整的状态方程、公式、表格、电算数值模拟程序。所建议的公式简单，计算参数少，应用方便，取值较容易。

(3) 当前国内外应用较广的椭球体放矿理论在实用上存在的最大困难是：作为主要计算参数的偏心率难以测定。如利用它的放出体积公式 $Q = 0.523h^3(1 - \epsilon^2) + 1.57r^2h$ (Q ——放出体积； h ——放出椭球体高； r ——漏斗口半径， ϵ ——放出椭球体偏心率) 求“ ϵ ”，则要在漏斗口中心轴线的“ h ”高上放置标志块，待该标志块放出瞬间的相应放出椭球体体积“ Q ”放出，并将已知的“ r ”值代入该式，才能求出。这种要求在现场试验确难进行，因标志块难以放入崩落矿石中。若在崩落之前放入，崩矿以后，标志块又产生难以预计的移动。而本课题所建议的“中间移动角 α ”的测定，只要知道有效放矿层高“ h ”，放出矿量“ q ”，漏斗口直径“ d ”，就可代入公式 (9) 求出。因为这里放出体是当量放出体 (图 7)。所以用“中间移动角”计算放矿中各种参数的公式大都比椭球放矿理论简单。