

高等学校教学用书

放矿学

353.36

冶金工业出版社

中国矿业大学



北京 100083

高等学校教学用书

放 矿 学

中南矿冶学院 王昌汉 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 11 字数 259 千字

1982年5月第一版 1982年5月第一次印刷

印数00,001~3,400册

统一书号: 15062·3837 定价 1.15 元

前 言

大量崩落采矿法，包括有底柱分段和阶段崩落法、无底柱分段崩落法。这一类回采强度大、效率高、成本低、作业安全和使用灵活的采矿方法，从六十年代以来，在我国地下金属矿山中已获得了比较广泛的应用。用这类采矿法采出的矿石，约占地下总采矿量的26%。从目前的发展趋势看，随着采矿工业的发展，它们将会得到更加广泛的应用。

崩落采矿法是用崩落围岩来实现地压管理的采矿方法。在这类采矿方法的回采过程中，不把矿块划分成矿房和矿柱，而是以整个矿块为单元，按一定的回采顺序，连续进行单步骤回采；崩矿以后崩落矿石和崩落废石直接接触。在这种条件下进行放矿，崩落废石容易渗入崩落矿石中，造成矿石损失和贫化，浪费资源，恶化各项技术经济指标。为此，国内外对崩落围岩覆盖下放矿的崩落矿岩移动规律进行了很多研究工作。

这个问题的研究，始于四十年代的苏联，而大规模有成效的研究则在五十年代以后。但从放出崩落矿岩是松散介质流动这一观点出发，早在三十年代的欧美各国，已对筒仓问题中散体放出时的流动规律作过研究。五十年代最大的成就，是在大量试验基础上提出了椭球体放矿理论，并根据这个理论得出了一套确定采场合理结构参数和预测矿石贫化损失的方法，以及最优放矿管理制度的方法。

六十年代的主要研究工作集中在进一步完善椭球体放矿理论和扩大应用范围、简化计算方法、寻求放矿模拟相似条件等方面。在此期间苏联还开展了振动放矿的理论和应用的研究。同时，还注意放矿效果的经济分析。

到了七十年代，除了继续完善所提出的放矿理论外，开始用散体静力学和动力学研究崩落矿岩运动规律、放出体形成原理以及散体移动区内的应力状态。同时也开展了电算机随机模拟和数值模拟放矿的研究。这两项研究都取得了一定的进展。这样，就把放矿问题的研究和基础科学、现代计算技术结合起来了，使它进入了一个新的发展阶段。

近十年来，还就放矿管理和放矿质量监控方法进行了一些研究工作，如用电算机储存和输出放出矿岩数量和品位的变化情况，以及为了快速测定出矿品位，研制出了各种快速分析仪表。

通过对放矿理论研究，可以达到以下目的：

(1) 掌握放矿过程中崩落矿岩运动规律，其主要目的是及时了解崩落矿岩接触面的变化情况；

(2) 确定崩落采场的合理结构参数；

(3) 预计矿石的贫化率和损失率；

(4) 优选放矿方案和放矿制度。

其最终目的是提高矿石回收率，减少矿石贫化率，达到最好的综合经济效益。

本书主要内容是研究围岩覆盖下放矿时崩落矿岩的运动规律，简称“放矿学”是《金属矿床地下开采》课程中，研究崩落采矿法基本理论的继续，是采矿专业的选修课程。本书是根据冶金工业部高等学校采矿专业教学计划编写的，它包括崩落矿岩的物理力学性质、崩落矿岩的运动规律及放矿研究方法等主要内容。考虑到放矿理论的许多问题尚在

探索之中，所以本书主要介绍目前应用最广而体系又比较完整的椭球体放矿理论。本书力学部分难度较大，可不列入必读内容。

本书由中南矿冶学院、北京钢铁学院和昆明工学院三个院校合编，王昌汉（中南矿冶学院）担任主编。编写分工：前言、第二篇第一章——王昌汉；第一篇第一章——赵庆和（昆明工学院）；第一篇第二章——赵庆和、王昌汉；第二篇第二、三章——周骥（中南矿冶学院）；第三篇——熊国华（北京钢铁学院）。结束语——王昌汉。

在编写过程中，得到了西安冶金建筑学院余明亮同志和冶金部马鞍山矿山研究院黄德玺同志的支持和帮助，在此表示衷心地感谢。

由于编者水平所限，书中疏漏及错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者
1981年4月

目 录

第一篇 松散介质的物理力学性质

第一章 松散介质的物理力学性质	1
第一节 松散介质的基本概念、分类及其特性	1
第二节 松散介质的容重	1
第三节 松散介质的松散性	3
第四节 松散介质的孔隙度	4
第五节 松散介质的压实度	4
第六节 松散介质的湿度	5
第七节 松散介质的块度	6
第八节 松散介质的自然安息角	14
第九节 松散介质的外摩擦角	17
第十节 松散介质的内摩擦角	18
第十一节 松散介质的粘聚力	21
本章小结	22
思考题	22
第二章 松散介质的几个力学问题	24
第一节 崩落矿岩的力学属性	24
第二节 松散介质的变形	24
第三节 松散介质应力极限平衡理论及其在放矿中的应用	26
第四节 松散介质的侧压力及侧压系数	32
第五节 松散介质动力学的基本概念	33
本章小结	37
思考题	38
主要参考文献	38

第二篇 崩落矿岩运动规律及其应用

第一章 底部放矿	39
第一节 椭球体放矿理论的基本概念	39
第二节 放出椭球体	39
第三节 松动椭球体	49
第四节 等速椭球体	53
第五节 松动带内(运动场内)颗粒下降速度	55
第六节 松动带内颗粒运动轨迹	58
第七节 放出漏斗	59
第八节 相邻漏斗放矿时矿岩运动规律	62
第九节 矿石的损失与贫化及其预计	68
第十节 矿体倾角小于 90° 时的放矿	79

第十一节 崩落法采场主要结构参数的初步选择	82
第十二节 底柱上压力显现规律	85
第十三节 放矿管理	87
本章小结	96
思考题	100
第二章 端部放矿	101
第一节 端壁对放出体形的影响及放出体的理论计算	101
第二节 流动带形状和采矿方法结构参数的确定	103
第三节 矿石贫化和损失与放矿管理	108
第四节 运用放矿规律改进和创造无底柱分段崩落法的新方案	110
本章小结	113
思考题	113
第三章 振动放矿	114
第一节 概述	114
第二节 振动波在松散矿石中的传播及矿石的流动原理	115
第三节 振动对放出体积的影响及放出体积的理论计算	115
第四节 振动出矿机的工作原理及工作参数	118
第五节 振动机与放矿机械化	122
本章小结	128
思考题	128
主要参考文献	128

第三篇 放矿研究方法

第一章 物理模拟试验法	129
第一节 物理模拟放矿模型的种类	129
第二节 物理模拟放矿试验的相似条件	130
第三节 物理模拟放矿试验设计	139
第四节 重力放矿模型试验步骤及工艺	141
第五节 其它物理模拟放矿试验工艺特点	145
第六节 减少物理模拟试验误差的措施	145
第二章 放矿数学模拟法	147
第一节 数学分析计算法	147
第二节 电算数值模拟试验法	152
第三节 电算随机模拟放矿试验法	153
第三章 现场试验研究法	157
第一节 放出体直接试验法	157
第二节 放出体间接试验法	160
本篇小结	161
思考题	161
主要参考文献	162
结束语	162
附录	163

第一篇 松散介质的物理力学性质

第一章 松散介质的物理力学性质

第一节 松散介质的基本概念、分类及其特性

松散介质是由彼此相联系的固体颗粒所共同组成的集合体，其中单个固体颗粒的大小与所研究的整个集合体相比应是很小的。组成松散介质的单个固体颗粒称之为松散颗粒，或称为松散块。由许多松散颗粒聚积而构成的集合体称之为松散体。采场内崩落的矿岩堆就属于松散体。本书所讲的松散介质主要是指崩落矿岩。

松散介质通常分为理想的和非理想的两种。当松散介质中不含有水份和粘结性物质，颗粒之间不存在粘聚力时，称之为理想的松散介质；反之，当松散介质内含有水份和粘结性物质，颗粒之间具有一定的粘聚力时，就称为非理想的松散介质。崩落矿岩的岩块之间一般具有一定粘聚力，属于一种非理想的松散介质。然而岩块之间的粘聚强度，远比岩块本身的强度小得多，甚至很弱，很容易相互产生位移，有流动的趋势。

由此可见，松散介质中的单个颗粒，具有固体的特性，构成了松散介质的骨架。但从整个松散体来看，它有流动的性能，故又具有液体的某些特性。松散介质具有这种双重特性，这就使松散介质既不属于固体，又不属于液体，而是一种固体和液体性质兼而有之的介质。这种双重特性就决定了放矿时崩落矿岩运动过程的力学特点。

科学地测定和掌握松散矿岩的物理力学性质，是我们研究放矿的基础。下面根据放矿研究的需要，分别介绍与放矿有关的松散矿岩的物理力学性质。

第二节 松散介质的容重

松散介质单位体积的重量称之为松散介质的容重，用下式来计算：

$$\gamma_k = \frac{W_s}{Q_s} \quad (1-1-1)$$

式中 γ_k ——松散介质（松散矿岩）的容重；

W_s ——松散介质（松散矿岩）的重量；

Q_s ——松散介质（松散矿岩）的体积。

崩落的松散矿岩的容重，对放矿来说是一个重要的物理参数，在进行放矿计算和研究时，都必须测定松散矿岩的容重。根据条件和测定方法的不同可以分为以下几种情况。

一、松散矿岩试料容重

松散矿岩试料容重的测定步骤如下。

首先，根据松散矿岩试料的粒径大小，选用适当规格的量筒作为测容器，如表（1-1-1）。

试料粒径与选用量筒规格关系表

表 1-1-1

试料最大颗粒直径 (毫米)	量筒容积 (升)	量筒规格 (毫米)		备 注
		直 径	高 度	
<5	0.5	86.1	86.1	均为圆筒
5~10	5	185.5	185.5	
10~40	10	234	234	
40~80	20	294	294	
>80	50	400	400	

其次,要校正量筒的容积。先称量筒的重量,然后,把已测过了比重和水温的蒸馏水,小心注入量筒内,直到筒的边缘。再称带水量筒的重量,两者重量之差除以测定温度下水的比重,即得量筒的容积:

$$Q_{ch} = \frac{W_{ts} - W_{ch}}{\gamma_w}, \quad \text{升} \quad (1-1-2)$$

式中 Q_{ch} ——量筒的容积,升;

W_{ts} ——带水量筒的重量,公斤;

W_{ch} ——量筒的重量,公斤;

γ_w ——测定温度下水的比重。

然后测定松散容重。测定方法是先将松散矿岩试料在105~110°C下烘至恒重,然后冷却至室温。再把试料装入量筒内;用小量筒时,用分样漏斗慢慢地均匀倒入;用大量筒时,装填小铲与装填面始终保持5厘米左右高度均匀倒入,以防止试料装填不均。装满后刮平称重。

若要测定松散矿岩的压实容重,其测定方法与上述方法稍有不同。测定时,把试料装至三分之一量筒高度时,抹平,捣或压25下;装至三分之二高度后再捣或压25下;装满再捣或压25下,然后刮平称重。应当指出,这种方法只适用于最大粒径≤40毫米的试料。

松散矿岩试料容重按下式计算:

$$\gamma_v = \frac{W_{ty} - W_{ch}}{Q_{ch}}, \quad \text{公斤/升} \quad (1-1-3)$$

式中 γ_v ——松散矿岩试料容重,公斤/升或克/厘米³;

W_{ty} ——带试料量筒的重量,公斤。

要进行三次相同操作条件下的平行测定,两次平行测定的允许误差为0.02克/厘米³。每次要选取新的试料,取三次测定的算术平均值为测定结果。

二、模型中试料装填容重

试料装填容重是用装入模型中松散或压实的试料所占的体积,去除装入松散试料的总重量,即用下式来计算:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{Q_m} \quad \text{公斤/升} \quad (1-1-4)$$

式中 γ_m ——模型中试料装填容重,公斤/升或克/厘米³;

W_m ——模型中装入试料的重量,公斤;

Q_m ——模型中装入试料所占的体积,升或厘米³和米³。

三、松散矿岩装载容重

在现场用标准矿车作测容器。首先准确标定矿车容积，然后把有代表性的松散矿岩均匀倒入矿车，直至装满刮平，称矿岩重量。装载容重用下式来计算：

$$\gamma_r = \frac{W_r}{Q_r} \quad , \text{吨/米}^3 \quad (1-1-5)$$

式中 γ_r ——松散矿岩装载容重，吨/米³；

W_r ——松散矿岩装入矿车的重量，吨；

Q_r ——矿车的装载容积，米³。

松散矿岩的装载容重通常是用于现场放矿试验的计量，和用来计算运输容器的装载重量。

崩落的松散矿岩的容重可以说明崩落矿岩松散体内部结构的松散性或压实度。随着容重的增大，松散性减小，压实度增大，放出体将变小。故容重是引起放出体体积变化的因素之一。然而容重又往往与下面所讲的松散性和压实度有关。

第三节 松散介质的松散性

整体矿岩经过爆破破碎以后的体积，比原有体积增大的性质称之为松散性。松散性通常用崩落矿岩在松散状态下的体积，与整体状态下的体积之比来表示，称为松散系数（也叫碎胀系数），用下式来计算：

$$K_s = \frac{Q_s}{Q_p} \quad (1-1-6)$$

式中 K_s ——松散系数；

Q_s ——意义同前，即矿岩在松散状态下的体积；

Q_p ——矿岩在整体状态下的体积。

松散系数、崩落的松散矿岩容重和整体矿岩的体重之间存在着以下关系：

$$K_s = \frac{\gamma_z}{\gamma_k} \quad (1-1-7)$$

式中 γ_z ——整体矿岩的体重；

γ_k ——松散矿岩的容重。

根据松散系数形成时外界条件和用途的不同，松散系数可分为：

一、装载松散系数

通常，在地质报告中所提供的，就是这种装载松散系数，是矿岩爆破后，在无外界约束状态下，经过自由松散而测得的。在矿山设计中，用它来计算运输和提升的装载重量，或用它来计算露天采矿爆破的松散性。

二、一次松散系数

在放矿工作中，通常把地下采场崩矿以后整体矿石破碎而产生的碎胀，称之为第一次松散。而把这种碎胀后的松散矿石体积与原来整体矿石体积之比，称为一次松散系数。

在地下采场爆破时，虽产生巨大的爆破动载荷，但受补偿空间的限制，使被爆矿石得不到自由的松散。所以一次松散系数比装载松散系数小。根据不同的形成条件，一次松散系数有如下的值。

当采用带有自由补偿空间的深孔崩矿时，矿石的一次松散系数为1.25~1.32当采用垂直深孔的挤压崩矿时，为1.1~1.2；当采用地下药室挤压崩矿时，为1.12~1.14。

第四节 松散介质的孔隙度

松散介质的孔隙度是指松散介质在松散状态下颗粒间的孔隙体积占松散体积之百分比，即：

$$n = \frac{Q_s - Q_z}{Q_s} \times 100, \% \quad (1-1-8)$$

式中 n ——松散介质的孔隙度，%；

Q_z ——松散介质的固体颗粒的体积。

松散介质的孔隙性还可以用孔隙比来表示。所谓孔隙比是指松散介质在松散状态下孔隙体积和固体颗粒的体积之比，即：

$$K_{hx} = \frac{Q_s - Q_z}{Q_z} \times 100, \% \quad (1-1-9)$$

式中 K_{hx} ——松散介质的孔隙比，%。

松散介质的孔隙度和孔隙比之间关系如下：

$$n = \frac{K_{hx}}{1 + K_{hx}} \quad K_{hx} = \frac{n}{1 - n}$$

崩落矿岩松散体的一个重要特征，就是矿岩块之间具有较多的孔隙。根据矿岩松散体结构特点的不同，它的孔隙度也不同。块矿结构的孔隙度大，粉矿结构的孔隙度小。带棱角不规则形状的矿岩孔隙度大，圆滑规则形状的矿岩孔隙度小。崩矿挤压程度大，覆盖矿岩重力作用大，保留时间长，则孔隙度小，反之，孔隙度大。

当采场中崩落矿石的孔隙度小，压实度大，则放出体小，放矿过程容易形成空峒，对放矿不利。当覆盖岩石块度较小，甚至小于崩落矿石块之间的孔隙的1/2~1/3时，小块废石将穿过孔隙，以较快速度下降，超前放出，提早贫化，使放矿指标恶化。

崩落矿岩孔隙度的测定方法如下：

取测定容重的试样与量筒，用玻璃量筒慢慢地往装满试样的量筒内注水，到注满为止，记下注水量，再用下式进行计算：

$$n = \frac{Q_{xi}}{Q_s} \times 100, \% \quad (1-1-10)$$

式中 Q_{xi} ——注入水的体积，厘米³；

Q_s ——此处为松散状态下试样总体积，厘米³。

第五节 松散介质的压实度

对于松散矿岩仅用它的孔隙度和孔隙比来表示松散矿岩的结构密度还不够。因为孔隙比虽然相同，但由于矿岩块的形状和块度级配不同，它们的性质也不相同，故还需要测定松散矿岩的压实度，或称为相对结构密度，以便了解该松散矿岩在自然状态或经压实后的松散和压实情况以及结构的稳固性。

松散矿岩的压实度是指崩落的松散矿岩在外力作用下，被压实的程度。通常是把松散

矿岩压实后的体积与原松散状态下总体积之比，称之为松散矿岩的压实度，用下式来表达：

$$K_{ys} = \frac{Q_{ys}}{Q_s} \quad (1-1-11)$$

式中 K_{ys} ——松散矿岩的压实度；
 Q_{ys} ——松散矿岩压实后的体积。

或用松散矿岩孔隙比来表达：

$$K_{ys} = \frac{K_{kx\max} - K_{kx}}{K_{kx\max} - K_{kx\min}} \quad (1-1-11)$$

式中 $K_{kx\max}$ ——松散矿岩自由充分松散状态下的孔隙比；
 $K_{kx\min}$ ——松散矿岩已经完全压实状态下的孔隙比；
 K_{kx} ——松散矿岩自然状态或某种压实状态下的孔隙比。

松散矿岩的压实度与松散系数之间存在着以下关系：

$$K_{ys} = \frac{K_y}{K_s} \quad (1-1-12)$$

式中 K_y ——松散矿岩压实后的松散系数；
 K_s ——松散矿岩原来的松散系数。

松散矿岩的压实度与动静载荷大小、储存时间、湿度和块度组成等因素有关。若爆破地震效应强烈而频繁，覆盖矿岩重力作用大，湿度增大，贮存时间增长等，都会使松散矿岩块重新排列，结构改变，孔隙减小，而导致压实度增大。压实度的增大将引起内摩擦系数和粘聚力增大，放出体变小，恶化放矿指标并使放矿困难。因为压实度过大时，松散矿岩可能丧失松散性；不过只要其粘结性不大，放矿时，松散性仍能逐渐恢复。

第六节 松散介质的湿度

松散介质的湿度，是指一定量的松散介质中所含水份的百分比。在采矿中，通常是用崩落的松散矿岩中所含水份重量与干燥的松散矿岩重量的百分比来表示，即：

$$M = \frac{W_s - W_g}{W_g} \times 100, \% \quad (1-1-13)$$

式中 M ——松散矿岩的湿度；
 W_s ——松散矿岩在自然湿度状态下的重量；
 W_g ——松散矿岩在干燥状态下的重量。

在松散介质颗粒的表面上，水份仅以水膜形式出现时，称之为潮的松散介质；而在颗粒之间的孔隙中充有水份时，称为湿的松散介质。

松散介质表面不含有水份时，称之为风干状态下的松散介质；只含有化学结晶水时，称为干燥的松散介质。

松散矿岩的湿度是影响放矿条件的重要物理参数之一。湿度小于4~7%的矿岩块，具有良好的松散性和流通性，放矿条件好，可以达到好的放矿效果；而含粘土的粉矿，将自行结块，在放矿中形成空峒和管子状放出体，使放矿困难，恶化放矿效果。

松散矿岩湿度的大小，除与矿岩物理性质有关外，往往与矿山的水文地质条件和大气

降雨量有关。特别是当回采范围内的崩落带发展到地表以后，采场内松散矿岩的湿度常常随季节而变化。雨季松散矿岩的湿度可超过8~20%，干季只有2~8%。

松散矿岩的湿度增大，会使具有一定粘结性的矿岩粘结性增大。但当湿度超过一定范围，松散矿岩达到水份饱和的程度时，矿岩块之间的内摩擦系数和粘聚力反而减小，流动性增大。当地表黄土层较厚，崩落带已发展到地表，在雨季，有引起“井下泥石流”的危险，给生产及安全造成了严重威胁，并增加矿石损失和贫化。因此，有类似危险的矿山，必须注意采取地表防洪措施。

松散矿岩湿度的测定方法如下：

把用蜡密封容器中的松散矿岩试样，取出摊平，用四分法分成四份，分次称试样重量。再把称后的试样，放入烘箱里，在105~110℃温度下烘干，直至重量不变为止。而后称烘干的试样的重量。重量湿度按公式(1-1-13)计算。取三次以上平行测定的平均值。

第七节 松散介质的块度

松散介质的块度是指松散矿岩块的尺寸和各级矿岩块所组成的百分比。

在目前地下采场崩矿条件下，崩落的松散矿石，总是由各种不同尺寸的矿石块所组成。在生产实际中，根据产品和采场工艺本身的要求，松散矿石的块度不能过大和过于粉碎，必需对块度上下限有一定的限制。如大块应规定允许的最大块度，当超过这种规定的块度尺寸，称之为不合格大块。松散矿石中所包含大块的百分比，称为大块产出率。把大块破为小块称为二次破碎。由于松散矿石块的大小、形状和组成，对放矿的矿石运动性能、放出强度和矿石损失贫化都有很大的影响，故有必要加以研究。

一、单个矿岩块的几何参数

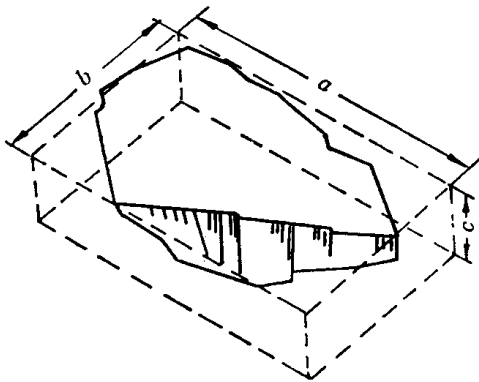


图 1-1-1 矿岩块的尺寸测量图

通常是用矿岩块的尺寸和形状来表示单个矿岩块的几何参数的。

1. 矿岩块的尺寸 矿岩块可以用线性尺寸、面积和体积等单位来表示。但在采矿上一般用线性尺寸来表示。

松散矿岩块可用三个方向相互垂直的最大尺寸来量度，所量得的最大尺寸为矿岩块的长度(a)，中间的为宽度(b)，最小的为厚度(c)，如图1-1-1所示。这三个尺寸是外接该矿岩块的平行六面体各对应边的尺寸。

在实际工作中，往往需要用一个数字来表示矿岩块的尺寸，因此，通常是利用矿岩块的直径来表示松散矿岩块的尺寸。矿岩块的直径可用以下方法表示：

$$d_{dk} = b \quad (1-1-14)$$

$$d_{dk} = \frac{a + b + c}{3} \quad (1-1-15)$$

$$d_{dk} = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c} \quad (1-1-16)$$

式中 d_{dk} ——单个矿岩块的平均直径；

a, b, c ——单个矿岩块的长、宽、厚。

当矿岩块的长与宽相接近时,可用(1-1-14)式来表示矿岩块的直径;当矿岩块的长与宽相差较大时,可用(1-1-15)式来计算矿岩块的直径;为了较精确起见,可用(1-1-16)式来计算矿岩块的直径。当松散颗粒筛分时,某种颗粒恰好只能通过某一种筛孔孔径,一般把这种筛孔的直径作为颗粒的直径。

2. 矿岩块的形状 矿岩块的形状特征,可以用三个方向相互垂直的矿岩块尺寸比来表示:

$$a : b : c \quad (1-1-17)$$

为了使各种矿岩块的形状具有可比性,不应当用矿岩块的绝对尺寸比,而是应当用以矿岩块的宽度为一个单位的相对尺寸比来表示。这就是矿岩块的形状的数值特征。

$$\frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b} \quad (1-1-18)$$

根据矿岩块的长宽比和厚宽比,可以把矿岩块的形状分为:

- | | | |
|----------|----------------------|------------------------|
| (1) 立方体 | $a = (1 \sim 1.3) b$ | $c = (1 \sim 0.7) b$ |
| (2) 柱状体 | $a > 1.3 b$ | $c = (1 \sim 0.7) b$ |
| (3) 板状体 | $a = (1 \sim 1.3) b$ | $c = (0.7 \sim 0.3) b$ |
| (4) 长板状体 | $a > 1.3 b$ | $c = (0.7 \sim 0.3) b$ |
| (5) 片状体 | $a = (1 \sim 1.3) b$ | $c < 0.3 b$ |
| (6) 长片状体 | $a > 1.3 b$ | $c < 0.3 b$ |

在实际工作中,为了表示矿岩块的形状特征,有时还用矿岩块尺寸的相差系数(K_z)——即矿岩块的最大尺寸(长度)和最小尺寸(厚度)的比来表示:

$$K_z = \frac{a}{c} \quad (1-1-19)$$

正立方体 $K_z = 1$,实际的矿岩块往往是 $K_z > 1$,而以长板状和长片状的 K_z 最大。

二、松散矿岩的块度组成

根据矿岩的构造、物理力学性质和凿岩爆破参数等,所爆下来的松散矿岩,是各种不同尺寸的矿岩块的集合体。在这集合体中,各种不同块度级的重量占其总重量的百分比,称之为块度组成。

块度的分级。根据矿石产品、采矿工艺、爆破效果的评价、生产和科学实验研究等的要求,通常把松散矿岩的矿岩块,按尺寸大小分成不同的块度等级,在生产实验中和评价爆破效果时,可分为大、中、小三级;对放矿实验研究,根据实验要求,分为三~七级。

每一级的块度,常常是用级内最小和最大块的尺寸来表示;或者用级内块的平均尺寸——块的平均直径来表示。松散矿岩体所有各级块度,也可用块的平均直径来表示。

矿岩块的平均直径,可用下式计算:

$$d_p = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \quad (1-1-20)$$

式中 d_p ——某一级内或松散矿岩体的矿岩块的平均直径;

$d_{\max}$ ——某一级内最大的或最大级的矿岩块的直径;

$d_{\min}$ ——某一级内最小的或最小级的矿岩块的直径。

三、松散矿岩块度组成的测定方法

1. 筛分法 首先, 根据要求规定块度分级, 并按所分的级数选好筛子或格筛。

再根据采矿方法和爆破方法, 选用不同的方法来取样。当采用无底柱分段崩落法时, 由于用垂直扇形深孔回采, 在整个出矿过程中, 各出矿时期块度组成发生变化, 故应在同一地点, 按不同出矿时期进行取样。即在出矿初期、中期、后期各取样1~3吨。当采用水平扇形深孔崩矿的有底部结构分段崩落法时, 在同一时间, 不同的漏斗下进行取样, 每个地点取样1~3吨。当采用垂直扇形深孔崩矿的, 有底部结构分段崩落法时, 则必须在不同的放矿时期进行取样。所取的样必须具有代表性。然后把所取的样, 用四分法进行缩分, 直至试样只有0.5~1吨时为止。

称试样的总重量后, 用大孔径筛开始依次筛分。为了使筛分的结果具有可比性, 必须按规定的给料制度和振荡时间进行。称出每号筛上筛余试样的重量。用下式计算各级块度的重量占其总重量的百分比:

$$U = \frac{W_i}{W_z} \times 100, \% \quad (1-1-21)$$

式中 U ——某一级块度重量百分比, %;

W_i ——某一级试样筛余重量, 公斤;

W_z ——筛分的试样总重量, 公斤。

求出各号筛的累计筛余百分比, 即各级块度累计百分比后, 以它为纵坐标, 以筛孔尺寸为横坐标, 可绘制筛分曲线。

筛分法用来测定块度组成是可靠的, 但劳动量大, 需要的时间长, 在坑内测定操作困难和需要较多的设备。

2. 块度尺面积法 这种方法就是在松散矿岩堆的表面上, 测定各级矿岩块的水平投影总面积占整个测定面积的百分比。经过专门块度组成测定证实, 在松散矿岩堆表面上, 各级块度所占的面积百分比, 与其堆体内各级块度所占体积百分比几乎是一致的。因此, 块度组成的测定, 可以直接在扒平的松散矿岩堆表面上, 圈定出一定尺寸的测定面积, 铺上块度尺。在块度尺上放上透明坐标纸, 在良好的照明条件下, 把各级矿岩块的轮廓描绘在方格坐标纸上; 或按块度尺各格内, 所显现的矿岩块轮廓, 临摹在方格坐标纸上, 如图(1-1-2)所示。然后计算各级矿岩块的总面积, 再计算它们各占整个测定面积的百分比, 就可得出块度的组成。某一级块度的面积百分比, 用下式计算:

$$U_m = \frac{S_i}{S_c} \times 100, \% \quad (1-1-22)$$

式中 U_m ——某一级块度的面积百分比, %;

S_i ——某一级块度的总面积, 毫米²;

S_c ——被测定范围的总面积, 毫米²。

用块度尺面积法测定块度组成时, 在选择测定地点上必需注意, 在所选的地点上矿岩块应是自然堆放, 应具有充分的代表性; 测定面积的控制范围, 应根据所测松散矿岩体中最大矿岩块尺寸来决定。一般所控制的测定面积的最小边长可由下式来确定:

$$l_k = 3\sqrt{S_z}, \text{ 厘米} \quad (1-1-23)$$

式中 l_k ——所控制测定面积的最小边长, 厘米;

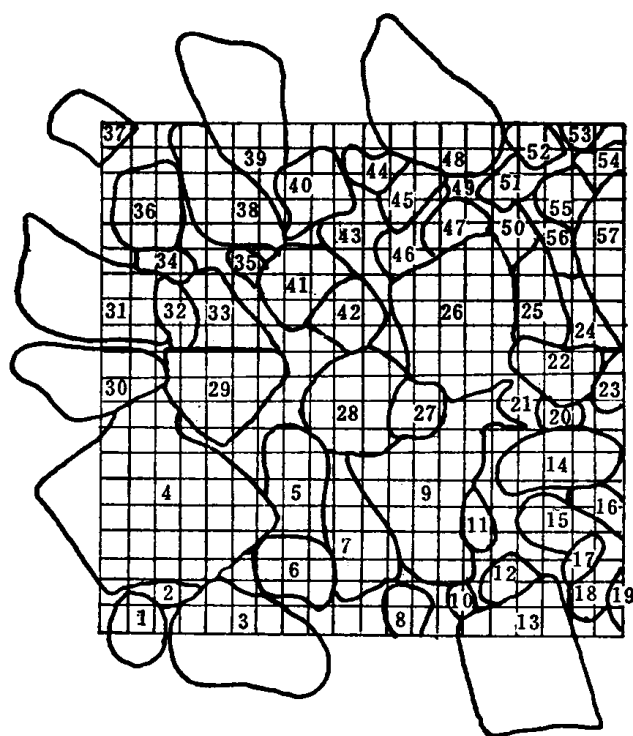


图 1-1-2 块度组成的块度尺面积测定平面图

S_s ——最大矿岩块的水平投影面积，厘米²。

只要满足上式条件，在任何情况下，都能测出一个完整的最大矿岩块的面积。

块度尺的结构如图1-1-3所示。一般块度尺的尺寸为1×1米，一个网格的尺寸为10×10厘米或20×20厘米，可以折叠。

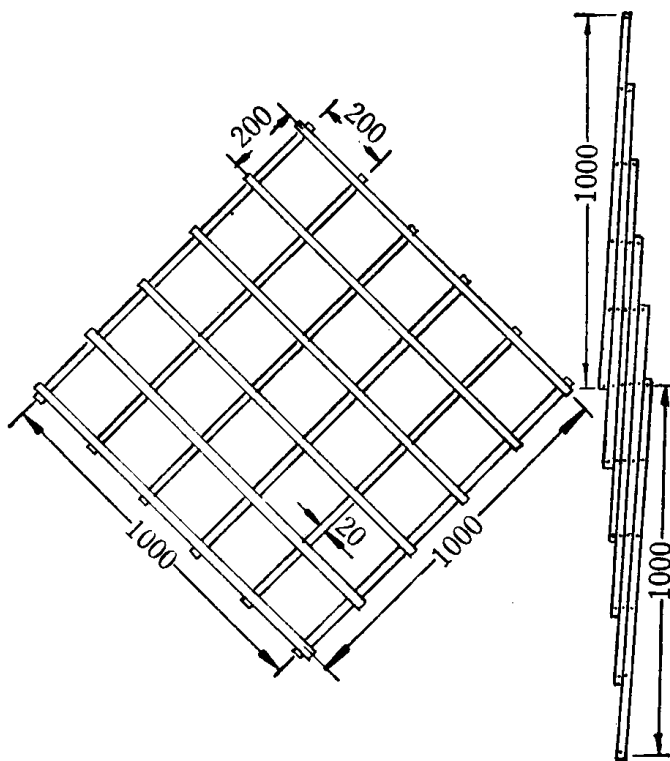


图 1-1-3 可折叠的块度尺

块度尺面积法测定松散矿岩的块度速度较快，劳动强度较轻，所需设备少。因此，在生产试验中块度较大，小块份量少时，经常使用。但当小块较多时描绘工作量就增大。在这种情况下，用照相方法来代替人工描绘，将使测定工作大大地简化。下面就介绍这种方法。

3. 照相法

(1) 照相面积法。这种方法的原理与块度尺面积法相同，也是在松散矿岩堆表面上铺上网格为 10×10 厘米，整个尺寸为 1×2 米的白色块度尺，用照相机把块度尺内的矿岩块拍照下来。在照片上计算每一级块度的总面积所占整个尺内面积的百分比，就可以确定出每一级块度所表示的块度组成。

用照相面积法测定块度时，也应选择具有代表性的地点。拍照时一般应使照相机轴与被照表面相互垂直，以便拍摄正面照片。如果两者成一定倾斜角度，则照片上块度尺和矿岩块都有一定的变形。若块度尺上有可见刻度，可直接用变形了的尺寸来计算矿岩块尺寸，否则要用图解法确定方格网的修正系数来矫正“象差”。照片上的物体与实物之间的比例，可采用 $1:10$ 或 $1:20$ 。把照片上的矿岩块进行分级，如表1-1-2所示。

块度分级表

表 1-1-2

分 级 种 类	块 度 分 级 代 号				
	1	2	3	4	5
现场块度分级 (毫米)	<20	20~100	100~300	300~500	>500
1:20照片上的 块 度 分 级 (毫米)	<1	1~5	5~15	15~25	>25
1:20照片上按面 积的块度分级 (毫米 ²)	<1	1~20	20~180	180~490	>490
照片上落在块上 点数的块度分级 (点数)	1	1~20	20~180	180~490	>490

照片上按面积来划分块度分级的基础，是假设矿岩块通过一定直径的筛孔时，这个矿岩块的水平投影面积将不超过等值圆的面积。

最后，把照片上所圈出了轮廓并编上号的矿岩块，分级计算其总面积，再计算各级总面积占整个照测面积的百分比，也就得出块度组成。

(2) 照相频率法。这种方法同样利用照相面积法所拍的照片和照片上块度分级与代号。对照片上块度尺内每个网格里占优势的块度级代号，注在照片网格上。当全部网格都注好分级代号后，就可以算出每一级块度出现的频率数。再算出每一级块度频率数占全部频率数 f 之比就得相对频率数，也就代表了各级块度占总体块度的比。一般采用选举唱票法计算频率。计算实例如表1-1-3所示。

还可以利用点频率法。这种方法是，在照片上铺盖上一块带有 2×2 毫米网格的，尺寸为 60×90 毫米的，包含有均匀分布的 $30 \times 45 = 1350$ 个点的透明玻璃片。根据落在矿岩块上点的数目，把矿岩块度分成五级，见表1-1-3所示。计算落到每一级矿岩块上点的频率总数，再计算每一级点的频率总数占全部照片上点的总数的百分比，也可以得出块度组成。点的计算也可以用唱票法。

照相法测定松散矿岩的块度组成，速度快，工作量大、简单、方便、可靠。目前生产

频率计算表

表 1-1-3

分 级 代. 号	现场块度 分 级	照片上的 块度分级	唱 票 法 计 算 频 率 的 结 果	频率数 f_i	相对频数 f_c	计 算 公 式 $f_c = f_i / f$
1	<20 毫米	<1 毫米	正 正 正 正 正 正	30	0.15	$f_{c1} = f_1 / f$
2	20~100毫米	1~5 毫米	正 正 正 正 正 正 正 正 正 正 正 正	60	0.30	$f_{c2} = f_2 / f$
3	100~300毫米	5~15毫米	正 正 正 正 正 正 正 正 正 正 正 正 正 正	70	0.35	$f_{c3} = f_3 / f$
4	300~500毫米	15~25毫米	正 正 正 正	20	0.10	$f_{c4} = f_4 / f$
5	>500毫米	>25毫米	正 正 正 正	20	0.10	$f_{c5} = f_5 / f$
			合 计	$f = 200$		

和科学实验研究中应用较多。

4. 多角形算法 这种方法是把矿岩块的外形, 用极接近的多角形来表示, 并确定各多角形各顶点的坐标, 而后按各多角形顶点坐标来计算各矿岩块的面积。再计算各级矿岩块的总面积与整个测定总面积的百分比, 就可以求出块度组成。

每个矿岩块的外形投影面积, 可用下式来计算:

$$S_d = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$= \frac{1}{2} [(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (x_2 y_3 - x_3 y_2) + \cdots + (x_n y_1 - x_1 y_n)] \quad (1-1-24)$$

式中 S_d ——每个矿岩块的外形投影面积;

x_i, y_i ——矿岩块外形的多角形顶点的坐标;

n ——每个矿岩块多角形顶点数目。

这种方法: (1) 可以利用录相机和图象显示器, 把各矿岩块的多角形顶点坐标数据记录下来, 并以信息形式输入电子计算机。按一定程序计算各矿岩块多角形面积, 然后算出各级矿岩块面积的总和, 再计算各级矿岩块总面积占整个测定总面积的百分比, 就得出块度组成。与以上其它方法相比, 录相计算可以自动化, 减少工作量, 提高测定速度, 方便, 可靠。

(2) 由于测定速度快, 能较快的评价松散矿岩的破碎质量, 可以及时地改进凿岩爆破参数, 可以提高放矿工艺效果和出矿强度。

(3) 自动录相电子计算机计算多角形面积法和照相面积法 所得的结果对照, 如图

两种方法测得松散矿岩块度组成, %

表 1-1-4

方 法 名 称	松 散 矿 岩 块 度 分 级 (毫米)							
	0~25	25~50	50~100	100~150	150~200	200~250	250~300	300~350
照 相 面 积 法	16.93	2.88	21.49	24.01	9.80	2.39	11.44	11.06
自 动 计 算 多 角 形 面 积 法	18.91	3.72	21.12	22.03	9.76	2.34	11.09	11.06