

# 地下深孔爆破中矿岩结构面的 调查统计与应用

陶纪甫

(西安冶金建筑学院)

张占国 张克利 黎培中

(中条山有色公司胡家峪铜矿)

**摘要** 本文讨论了地下采矿中矿岩结构面的调查、统计方法, 调查资料的整理和利用, 天然大块率的计算公式, 天然块度分布曲线的绘制方法等。并初步讨论了地下深孔爆破中三种临空面的适用情况。

**关键词** 岩体结构面 地下采矿深孔爆破 天然大块率 天然块度分布曲线 爆破临空面

## 前 言

矿岩是天然岩体的一部分, 由于成矿的作用, 和成矿后的长期岁月中, 又遭受过多次地质构造运动的破坏、损伤, 在矿体内形成了规模不等数量众多的结构面。其中断层是规模最大的结构面, 而更多的则以节理、裂隙、层面的形式出现, 使矿岩分割为大小不等形状各异的天然块体。在这样一些不连续的、已经受到损伤的矿体中进行穿孔爆破时, 这些结构面实际上已经形成了众多的破裂面, 他们在很大程度上将影响爆破效果。对爆堆的统计资料表明: 岩块中79~90%的表面积是原有结构面, 新鲜破裂面不过10~21%。即使距药包很近爆出的岩块, 新鲜破裂面也只占15~44%。这一事实表明, 结构面对矿岩爆破影响的严重程度, 特别是对破碎块度影响的严重程度, 但是, 在传统的爆破工艺设计中, 这些结构面的存在并没有引起足够的重视, 或虽感到它的影响, 但没有找到一种适当的方法在设计中加以考虑。本文是进行这方面探索的一个尝试。相信, 随着块体理论<sup>[1]</sup>的发展会开拓出一个新的领域。而这方面研究的深入与完善, 必然会导致矿岩爆破和采矿工艺新思想、新技术的面世。

## 1. 矿岩结构面调查

要了解矿岩结构面的力学特性、贯通程度、它的空间分布等就要对结构面进行调查。调查的方法通常采用测线法。首先选好调查巷道, 它们可以是凿岩巷道或电耙道, 其位置应对整个采区有控制作用。在距巷道底板1米处设置测线, 测线应靠矿体较厚的一侧布置, 起始座标与巷道座标相一致, 把和测线相交的每一个结构面特征都记录下来, 内容包括:

(1) 结构面类型和编号。结构面类型大体可分为四类: 即断层, 用 $F$ 表示; 层间错动, 用 $f$ 表示; 层面, 用 $l$ 表示; 其他结构面, 用 $j$ 表示。结构面编号以节理面为例表示为 $j_{ik}$ ,  $i$ 组表示号,  $h$ 表序号。

(2) 沿测线的距离。在巷道内测线上指定基准点(即座标原点), 从基准点到该结构面

与测线交点的距离表征该结构面的坐标，单位米。

(3) 每个结构面的产状。倾向用方位角表示，从正北顺时针按0~360°表示。倾角从水平方向算起，他们均用地质罗盘量取。由于在巷道两帮测得的倾角是视倾角，而在实际应用中应当采用真倾角，所以必须进行换算，换算公式为

$$\operatorname{tg} \Delta = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sin \beta} \quad (1)$$

式中  $\beta$  为测量面所在方向 (图1中BF) 和结构面走向的夹角。 $\beta$  可由下式求得

$$\beta = \begin{cases} |\theta_1 - \theta_2| & (|\theta_1 - \theta_2| < 180^\circ) \\ |\theta_1 - \theta_2| - 180 & (|\theta_1 - \theta_2| > 180^\circ) \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\theta_1$  为测量面方位， $\theta_2$  为结构面走向。

(4) 每个结构面的延续长度和间断长度。应分别沿结构面走向和倾向量取，以利计算切割度。要求延续长度超过0.5米者均纳入统计，沿倾向量测一般无太大困难，沿走向量测目前尚无良策。

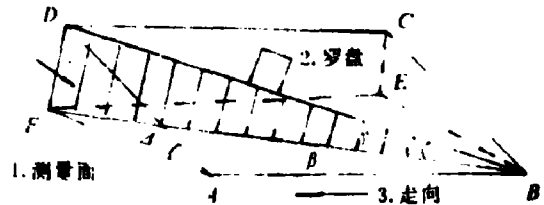


图1  $\Delta$  与  $\beta$

Fig. 1  $\beta$  and  $\Delta$

1. Survey surface,

2. Compass,

3. Run.

(5) 同组结构面 (指产状相似) 间距。

应量测同组结构面的垂直距离，以米计。如果两组结构面的倾向相差10°以上时，量测值应作校正。

(6) 结构面表面粗糙度。用简易法试验

他们的摩擦角 $\phi$ ，按其大小将结构面分为刚性、

柔性、破碎和泥化四类，其大体划分标准为：刚性  $\operatorname{tg} \phi = 0.1$ ，柔性  $\operatorname{tg} \phi = 0.3 \sim 0.4$ ，破碎  $\operatorname{tg} \phi = 0.16 \sim 0.3$ ，泥化  $\operatorname{tg} \phi = 0.2 \sim 0.3$ 。具体划分时还应结合结构面的矿物组成共同确定。

(7) 结构面的充填、胶结、张开情况。记录他的张开宽度，充填物，充填程度或胶结程度。

(8) 地下水。按渗水、潮湿、干燥大体划分类别。

上述资料依次填写到统计表中，调查数量应能反映所爆矿岩的结构特征，经验证明，被调查的结构面数量不宜小于100条<sup>[1]</sup>。

## 2. 矿岩结构面统计

在上述调查资料的基础上，根据矿体的矿岩种类及分布情况确定要分别统计的矿岩类型及数据的划分办法。一般来说应按矿岩类别分类统计，例如我们在某矿就是按钠化大理岩 (ZH4jm)、大理岩 (ZH5A) 和黑色片岩 (ZH4B) 分别统计的，统计内容包括：

### (1) 优势结构面产状

断层 (F) 和严重的层间错动 (f) 有一条就要算“优势结构面”，在爆破设计时对他们要作专门的研究，因此，不计入一般的优势结构面统计，优势结构面统计的主要对象是那些数量众多，貌似杂乱无章的节理、裂隙群。统计可以用手工也可以在微机上进行<sup>[3]</sup>。因为任何一个平面可以用他的法线表示其空间位置，而过球心平面的法线与赤道平面的交点称为极



切割的程度，用贯通度和体切割度表示。

(1) 贯通度

贯通度应按沿走向和沿倾向分别计算，对于沿走向的贯通度可表示为

$$K_R = \sum a_i / (\sum a_i + \sum b_i) \quad (3)$$

对于沿倾向的贯通度可表示为

$$K_T = \sum c_i / (\sum c_i + \sum d_i) \quad (4)$$

其中  $a_i$ 、 $c_i$  为统计范围内结构面的延续长度， $b_i$ 、 $d_i$  为结构面的间断长度。

(2) 体切割度  $X_V$

体切割度  $X_V$  按下式计算

$$X_V = K_R \cdot K_T / d \quad (5)$$

式中  $d$  为结构面平均间距， $X_V$  的物理意义是每米<sup>3</sup>岩体所含结构面的面积数。因此，他表征了岩体的切割程度，是衡量岩体破碎程度的一个定量指标。

2. 天然大块率 ( $P$ )

根据结构面间距统计直方图可绘制小于某间距的累计频率曲线，如图4所示。选择大体相互垂直的三组结构面绘制出累计频率曲线，假设大块边长为  $L_0$ ，对于这三组结构面可分别计算出大于结构面间距  $L_0$  的频率数，设它们分别为  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ ，利用集合论不难得到下列大块率计算公式。

一条边长超过  $L_0$  的天然大块率

$$P = P_1 + P_2 + P_3 - (P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_3 P_1) + P_1 P_2 P_3 \quad (6)$$

两条边长超过  $L_0$  的天然大块率

$$P = P_1 P_2 + P_2 P_3 + P_3 P_1 - 2P_1 P_2 P_3 \quad (7)$$

三条边长超过  $L_0$  的天然大块率

$$P = P_1 P_2 P_3 \quad (8)$$

3. 天然块度分布

选择大体相互垂直的三组结构面绘制小于某间距的累计频率曲线，根据这三组累计频率曲线可绘制天然块度分布曲线。设  $q_1^0$ 、 $q_2^0$ 、 $q_3^0$  分别代表小于某间距  $d_0$  的累计频率， $Q_0$  为小于该粒径  $d_0$  的累计频率。这样，由三幅累计频率曲线图便可绘制出天然块度分布曲线。仍以钠化大理岩为例，由  $J_{1-1}$ 、 $J_{1-2}$ 、 $J_3$  累计频率曲线可计算出各粒径的频率值如表2。

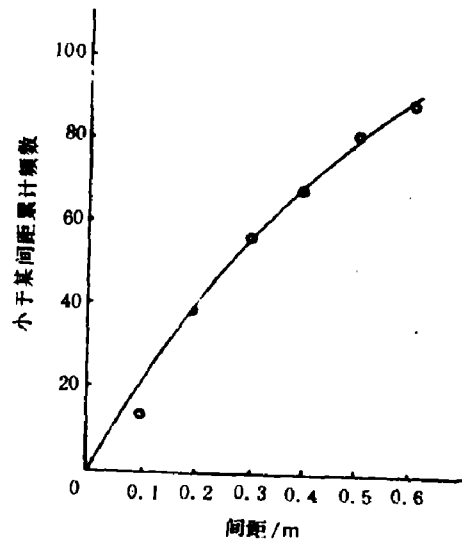


图4 钠化大理岩  $J_{1-1}$  组结构面间距累计频率曲线

Fig.1 Accumulated frequency curve of structural plane  $J_{1-1}$  less than some distance in ZH4jm

表2 小于某粒径的频率数

Table 2 Frequency value of less than some diameter

频率	粒径 / m					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$P_1(J_{1,1})$	0.2	0.38	0.53	0.64	0.74	0.81
$P_2(J_{1,2})$	0.14	0.44	0.6	0.71	0.81	0.89
$P_3(J_3)$	0.3	0.5	0.64	0.73	0.79	0.82
$P = P_1 P_2 P_3$	$0.84 \times 10^{-2}$	$8.36 \times 10^{-2}$	0.204	0.332	0.474	0.59

由表2可绘制天然块度分布曲线,如图5所示。而爆破块度与天然块度的关系是研究爆破参数优化的重要内容之一。

4. 结构面产状与电耙道走向以及深孔轴线方位的关系。

从优化爆破块度,减少大块率来说,电耙道宜平行主要结构面走向布置,使爆破排面与主要结构面走向大体正交。这样,可显著减少爆破大块,但是,如果遇到断层或大型层间错动,为维护电耙道稳定,有时不得不使电耙道垂直断层布置,使块度级配受些损失。在这种情况下进行爆破应注意:

- 邻近断层或层间错动的爆破排面或孔底应离开一定的距离,防止贯通泄爆,并尽可能的最后起爆,以免影响爆破效果。

- 巧妙地利用断层与断层相交、断层(或层间错动)与主要结构面相交的有利条件,减少穿孔量和装药量。

- 充分地估计到断层对爆破震动效应的传递作用,严格控制同段药量,以免损坏采准巷道和井巷设备。

地下采矿,通常,炮孔轴线在一个垂直平面内向上布置,因为这种布置的凿岩条件较好,技术上易于实现。但是,这种布孔只对优势结构面为水平或垂直产状的情况有利,而多数结构面为空间任意产状。对于空间任意产状的结构面,原则上炮孔轴线应垂直结构面布置才能取得好的爆破效果。在这种情况下,炮孔轴线就不再是垂直方向。而目前生产的凿岩机要钻凿这样的炮孔有困难,需要研制全空间钻架来满足这一需要。

#### 4. 爆破临空面与结构面的关系

##### 1. 块体的类型

矿岩被各种结构面和开创出的爆破临空面切割后,形成了形状各异的块体。从被切割的程度和稳定性分析,可分为以下几种类型。

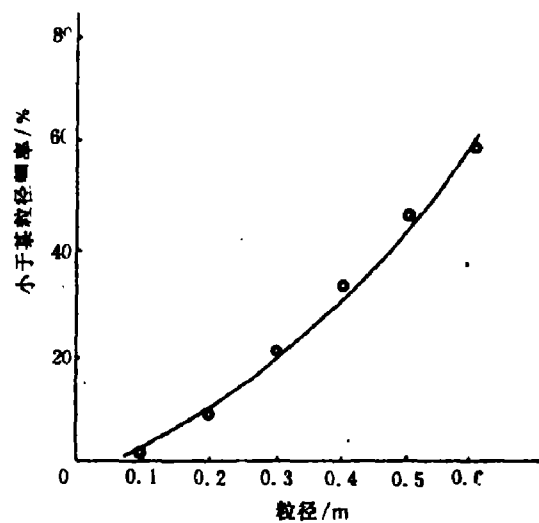


图5 天然块度分布曲线

Fig. 5 Distribution curve of natural block ratio.

(1) 无限块体。指未被结构面和临空面完全切割成孤立的块体，其特点是它们仍有一部分与母岩相连，见图6(a)。这种块体只有通过爆破才能和母岩分离。

(2) 有限块体。被结构面和临空面完全切割成孤立的块体，按其切割的具体情况又可分为：

- 倒楔体。这类块体沿空间任何方向移动皆受相邻块体所阻，如图6中(b)。在这类块体中爆破应先爆落一侧相邻块体。
- 稳定块体。在自重作用下即使滑移面的抗剪强度等于零，仍能维持稳定的块体，如图6中(c)。显然，这类块体只有在爆破力作用下，才能脱离临空面。
- 可能失稳块体。在重力作用下有可能丧失稳定的块体。
- 失稳块体。在重力作用下能自行丧失稳定的块体。

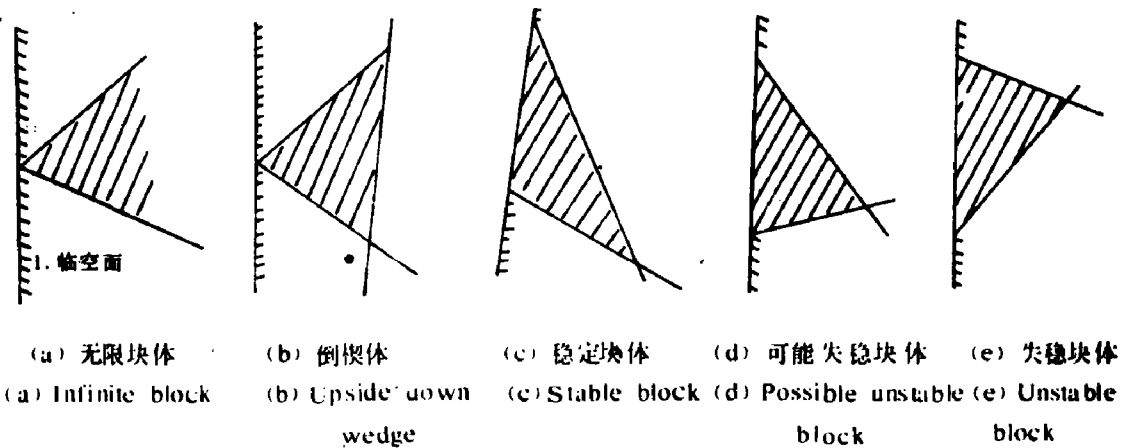


图6 块体类型

Fig.6 Type of blockes

1. Free surface.

后两类块体进行爆破设计时，主要是考虑破碎块度的问题，爆落的问题无需顾。现在已经有办法将上述各类块体特别是(d)、(e)类块体，用计算机从临空面上分别圈出<sup>[1]</sup>。但是在爆破设计中如何利用这一成果还是一个崭新的课题。

## 2. 关于爆破临空面的选择

从生产中所用临空面的形式看，爆破临空面大体有以下几种情况：

### (1) 下向水平临空面

从图6块体类型可以明显地看出，下向水平临空面能创造最多的失稳块体，是爆破中充分利用重力破岩最有效的形式。重力破岩有两种作用机制，一种是利用重力使岩块从母岩分离。另一种是利用重力连同爆力使岩块产生强大的动能，从而达到二次破碎的目的。显然，下向水平临空面使爆力与重力作用方向一致，从而创造了最好的条件。

采用水平临空面，从柱状药包的爆破效果看，宜水平布孔。但水平穿孔影响凿岩速度和钻进深度，与穿孔效率发生矛盾。目前的解决办法是采用垂直大孔和分次爆破技术。VCR法和铜陵有色公司试验的连续采矿法是这方面成功应用的实际例子。他的特点是采矿效率高，破碎块度均匀，炸药单耗较低。但是需要采用大型深孔设备和高威力炸药。从有利于矿岩破碎的观点看，下向水平爆破临空面是很有前途的。随着高效大孔径钻机的不断完善，这种临

空面形式会使用更加广泛。

### (2) 垂直临空面

垂直临空面是近几十年地下采矿中应用最广泛的一种临空面形式。这种临空面形式是基于当时的凿岩设备和炸药威力决定的,它有一些明显的缺点:

- 切割井和切割槽的夹制作用大,爆破工效低。统计表明,槽内的单耗比正常排面高一倍以上。一般来说,它们的矿量只占爆破矿量的20%,而炸药和深孔量占到总量的35~40%。
- 不能充分发挥重力破岩的作用。

### (3) 下向倾斜临空面

下向倾斜临空面是介于水平临空面与垂直临空面之间的一种临空面,是爆破参数设计为适应矿岩结构面特征而必然要出现的一种临空面形式。但是它的采用,将给采矿工艺和凿岩设备带来一些新的问题,例如要研究三角矿柱的开采和对现有钻架的改进等。

爆破临空面和爆破方案的选择与采矿方法的确定互为因果,互为条件;两者都为矿岩稳固性,矿岩赋存条件以及企业的技术水平和设备状况所决定。因此,在实际工程中常常要综合多方面因素去加以确定。在这个过程中,深入研究结构面对爆破的影响,并采取适当技术措施加以利用,无疑,将会改变人们的传统认识,并将推动爆破技术和采矿方法的向前发展。

## 参 考 文 献

- [1] Goodman, R. E., Gen-hua Shi. Block Theory and its Application to Rock Engineering. Englewood Cliffs, NJ. Prentice Hall. (1985).
- [2] Hoek, E., Brown, E. T., 岩石地下工程, 冶金工业出版社, (1986), 52~55.
- [3] 孙玉科等, 赤平极射投影在岩体工程地质力学中的应用, 科学出版社, (1980), 36~41.

## INVESTIGATION AND STATISTICS OF STRUCTURAL PLANE OF MINERAL MASS UNDER LONG HOLE UNDERGROUND BLASTING AND ITS APPLICATIONS

Tao Jinan

(Xian Institute of Metallurgy Engineering)

Zhang Zhanguo, Zhang Keli, Li Peizhong

(HU JIA YU Miner of copper)

**ABSTRACT** The investigation and statistics of structural plane of mineral mass for underground mining, the use and statistics of investigation data, calculation of natural large block ratio and plotting of distribution curve of natural block ratio are discussed in this paper. Three kinds of free surfaces of blasting for long hole under-

---

gound blasting are preliminarily analysed as well.

**KEY WORDS** structural plane of rock mass, long hole underground blasting, natural large block ratio, distributing curve of natural block ratio, free surface of blasting.