

# 岩体中的节理对爆破作用的影响<sup>\*</sup>

郭文章<sup>a</sup> 王树仁<sup>b</sup> 陈寿峰<sup>b</sup>

(a. 北京理工大学机电工程系 北京 100081)

(b. 中国矿业大学 北京 100083)

**摘要** 通过分析节理岩体的结构特征,建立了节理岩体的质量综合评价指标体系,并将其嵌入 DYNA-2D 程序框架,用数值计算方法模拟了岩体中的节理对爆破作用的影响。

**关键词** 爆破 岩体质量综合评价指标体系 数值模拟

**中图法分类号** TD236

## 1 引言

岩体是经历了长期成岩建造和构造改造及次生改造作用形成的,具有独特组成和结构,并赋存于一定地质环境中的地质体。野外调查统计表明,在天然节理裂隙岩体中,节理分布既呈现出韵律性,又具有随机性,并且具有强烈的方向性,致使岩体表现出显著的各向异性特征和非均质特性<sup>[1]</sup>。所以节理裂隙性岩体是一种非常复杂的地质体,其研究具有很大难度。我们将从节理岩体的几何物理特征入手,定量地描述节理岩体,并根据分类标准<sup>[2]</sup>,建立节理岩体质量综合评价指标体系,同时作适当简化,在保证节理强度指标值不变的情况下,对于贯穿性节理,模拟并分析了其对爆破作用的影响。

## 2 节理岩体结构特征

### 2.1 节理组数和产状的概率模型

在节理随机模拟中,各几何特征参数的概率模型是按节理组数建立的。所以岩体露头面的产状量测,先要确定岩体中节理面的组数以及每一组的代表性产状。节理面的分组和优势方位的确定可以运用赤平极点投影作图法。分组以后,把所测量到的节理面,按极点投影等密度所固定的各组范围进行归属,得出每组节理面几何参数统计的样本数据,然后按节理面所属的节理面几何参数进行统计,就可得到相应参数的概率模型。

节理面产状的要素有走向、倾向和倾角。在数据处理中,对于平面网络结构的模拟需建立走向变化概率模型,对剖面结构则需确定倾向、倾角的概率模型。因此在确立产状概率模型时,应分别按走向、倾向和倾角进行统计,求出走向、倾向和倾角的概率密度分布函数形式及相应的均值与方差。

对大多数情形,节理产状数据倾向  $\alpha$  和倾角  $\beta$  的分布具有对称性,对于同组节理,可将其拟合成正态分布密度函数<sup>[2]</sup>

\* 郭文章:男,1965年9月生,博士后。

1998-02-04 收到原稿,1998-10-28 收到修改稿。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(t-\mu)^2\right] \quad (1)$$

式中:  $t$  为  $\alpha$  或  $\beta$ ;  $\mu$  为  $t$  的均值,  $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ ;  $\sigma^2$  为  $t$  的方差,  $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2$ 。

显然, 对于正态分布情形有

$$t_m = \mu \quad (2)$$

优势产状与平均产状一致。

## 2.2 节理面间距和节理密度的概率模型

节理面间距是指同一组节理面在其法线方向上相邻面的距离, 用  $x$  表示, 统计分析中常用平均间距  $\bar{x}$  来表示。节理密度则为该组节理面法线方向上单位长度内节理面的条数, 用  $\lambda$  表示。节理密度为间距的倒数

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

$$\lambda = 1/\bar{x} = n/L \quad (4)$$

式中:  $L$  为测线长度;  $n$  为节理面数目。

在岩体露头节理面测线中, 可沿任一方向布置测线, 求出沿该方向的平均间距和密度, 换算为沿节理面法向的平均间距和密度, 就可统计出节理面间距的概率分布形式。当然, 对于实际工程, 在有条件的情况下, 尽可能进行现场统计测量, 按实际的概率分布函数进行计算。

## 2.3 节理迹长的概率模型

节理的迹长指节理面与岩体露头面交线的长度。由于岩体露头面的限制, 节理面迹长的迹线可能两端均在露头采样窗内(称全迹长), 可能仅一端位于采样窗内(称半迹长), 也可能两端均已超出采样窗内(称删节半迹长)。对于这三种不同的迹长, 在统计分析中应区别对待, 并由部分迹长去求出全迹长。

测线测得半迹长的概率密度  $h(d)$  与迹长长度  $l$  的关系<sup>[3]</sup>

$$h(l) = k_h(1-F) \quad (5)$$

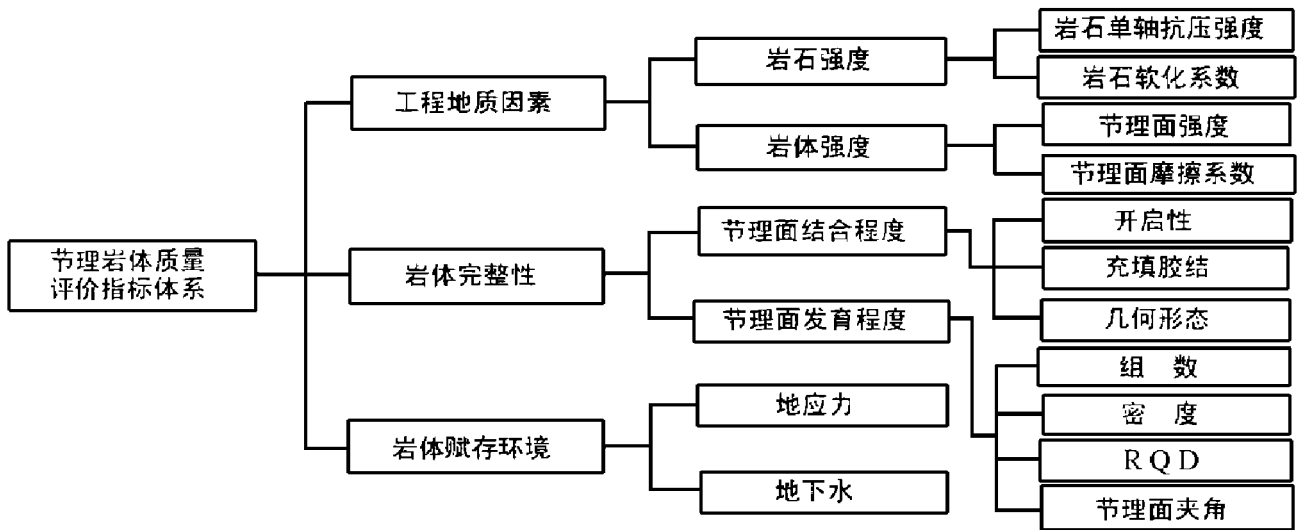
式中:  $F = \int_0^\infty f(l) dl$ , 为总体迹长分布函数;  $k_h = 2k_g$ ,  $k_h$  为半迹长测线端点密度值,  $k_g$  为全迹长测线端点密度值。

## 3 节理岩体质量综合评价指标体系

岩体质量是复杂岩体工程地质特性的综合反映, 它受控于岩体结构特性, 又是影响岩体稳定性的重要因素。其中工程地质岩组、岩体结构及其赋存环境是控制岩体基本质量的一级决定因素, 而各项因素又是由若干级次的子因素层组成。在各层次间及同一层次内的各因素对岩体质量的影响权值都是不同的, 它们共同构成了多层次岩体质量综合评价指标体系。根据岩体结构分类的定量指标<sup>[4]</sup>, 即可建立节理岩体的质量综合评价指标体系<sup>[5]</sup>。

岩体结构分类的定量指标有: (1) 岩体完整性: 节理面、间距、组数, 延续性, 完整性系数; (2) 节理面状态: 节理面类型、风化程度、充填状况和张开度、节理面强度; (3) 岩体强度特性: 单轴抗压强度  $\sigma_c$ , 点荷载强度  $I$ ; (4) 岩体变形特性: 岩体弹性模量、折减系数 ( $K_E = E_{\text{岩体}} / E_{\text{岩石}}$ ) 和抗压强度折减系数 ( $K_\sigma = \sigma_{\text{岩体}} / \sigma_{\text{岩石}}$ ) 及岩体动弹模量; (5) 水文地质特征。

建立节理岩体的质量综合评价指标体系,可以全面地认识节理岩体,从体系中每一个指标值去评价岩体的质量,继而全面系统地研究其动力特性,进一步为工程应用服务。



#### 4 数值模拟算例

由于节理岩体是复杂的地质体,加上它在爆炸载荷作用下的动态响应的复杂性,很难实现爆破过程的可视化。因此,在保证节理强度指标值不变的情况下,对于贯穿性同组且规则化的节理,进行二维简化处理,分析岩体中的节理对爆破作用的影响。用弹塑性本构模型,嵌入 DYNA-2D 程序,通过数值模拟对三个算例进行分析。

算例为实验室模型。岩块材料采用 425<sup>#</sup> 硅酸盐水泥和筛选后的细砂拌制而成,其重量比为 1:2:0.45(水泥:砂子:水);节理材料采用 425<sup>#</sup> 白水泥和粗砂拌制而成,其重量比为 1:3:0.6。模型为 400mm×400mm×300mm 的长方体(如图 1)。节理厚度为 3mm,节理间距为 50mm。装药条件如下:孔深 100mm,孔径 8mm,装药高度 50mm,炸药选用黑索金,起爆药选用 DDNP,炸药密度 1g/cm<sup>3</sup>,爆速 6000m/s。



图 1 简化的爆破模型  
Fig.1 Simple blasting model

炸药平均爆压由下式确定

$$p_m = \frac{1}{2}p_1 = \frac{1}{8}\rho_0 D^2 \quad (6)$$

式中: $p_m$  为平均爆压, $p_1$  为爆压, $\rho_0$  为炸药密度, $D$  为炸药爆速。

根据质量、动量和能量守恒定律,爆压逐节点逐网格向下传递。

图 2 为没有任何充填物的闭节理的结果。图 3 为有一条 3mm 厚的充填节理的结果。图 4 为有两条 3mm 厚的充填节理的结果。图 2~4 中节理法向均与炮孔轴线垂直,A、B、C、D、E 均代表应力等值线。

由图 2 可见,闭节理对爆炸应力波的影响并不十分明显,应力波基本上穿过了闭节理。A、B 及 C 区均为波反射后形成的拉伸区。

由图 3 可见,应力波在节理处已明显发生折射、反射现象。A、B 区为反射波形成的受拉

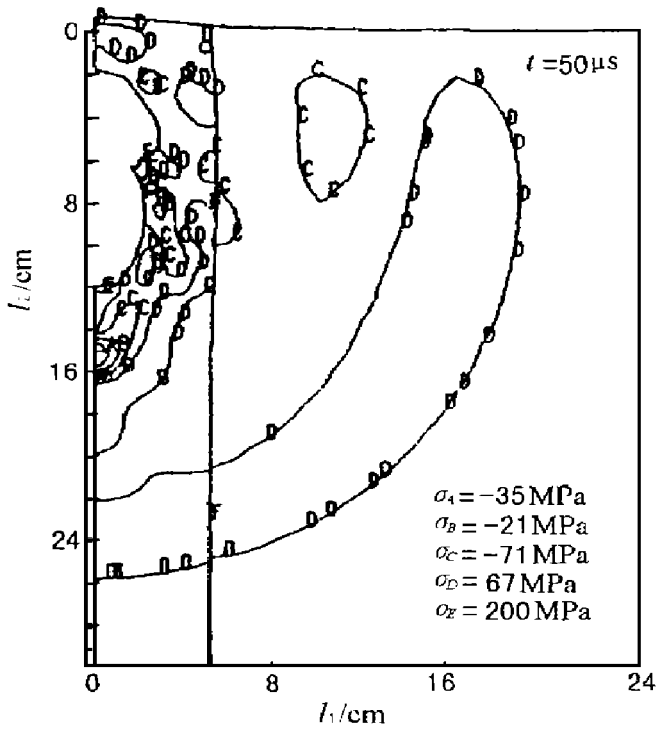


图 2 一条闭节理应力图

Fig.2 Contours of stress for one closed joint

区。

对比图 2 和图 3 可知,节理的充填情况对爆破作用的影响很大,同样间距和角度的节理,充填节理要比闭节理作用应力小约 10MPa,并且由于应力波的透射、反射,充填节理处应力情况比闭节理复杂得多。

由图 4 可见,爆炸产生的应力场更加复杂,是节理面处和自由面处应力波共同反射的结果。其中 B 区应力比只有一条充填节理情形(图 4)C 区小 25MPa, A 区为受拉区。

对比图 3 与图 4,说明随着节理条数的增加,爆炸应力明显衰减,而且形成的爆炸应力场也更加复杂。

### 5 结 论

(1)节理的存在从宏观上整体弱化了岩体结构。因此在实际工程中要根据岩体质量综合评价指标体系来真实地评价岩体质量。

(2)通过数值模拟,分析了不同质量指标情况下的爆炸应力等值线图,说明节理指标值不同,对爆破作用有明显的影响。

(3)本文的工作尚需进一步完善和深入,并需与现场紧密结合,为工程爆破应用服务。

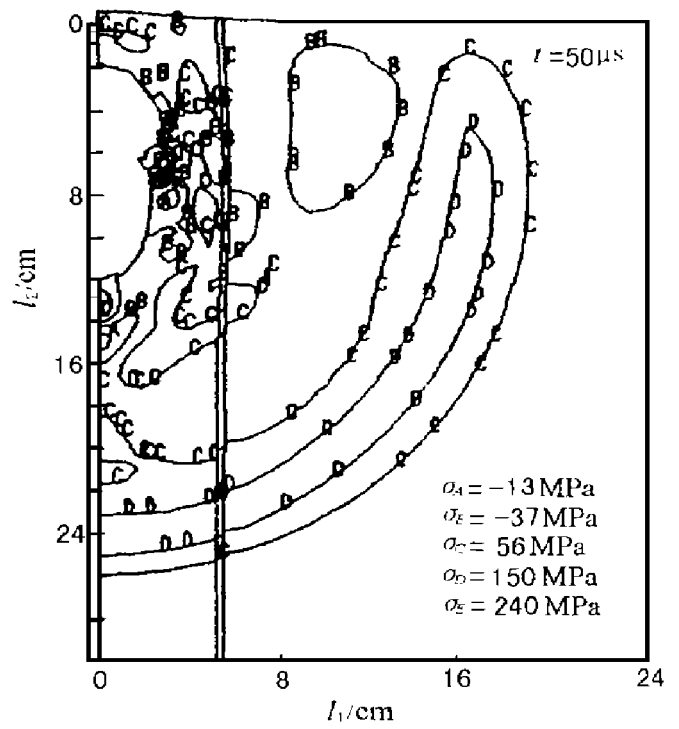


图 3 一条充填节理应力图

Fig.3 Contours of stress for one filled joint

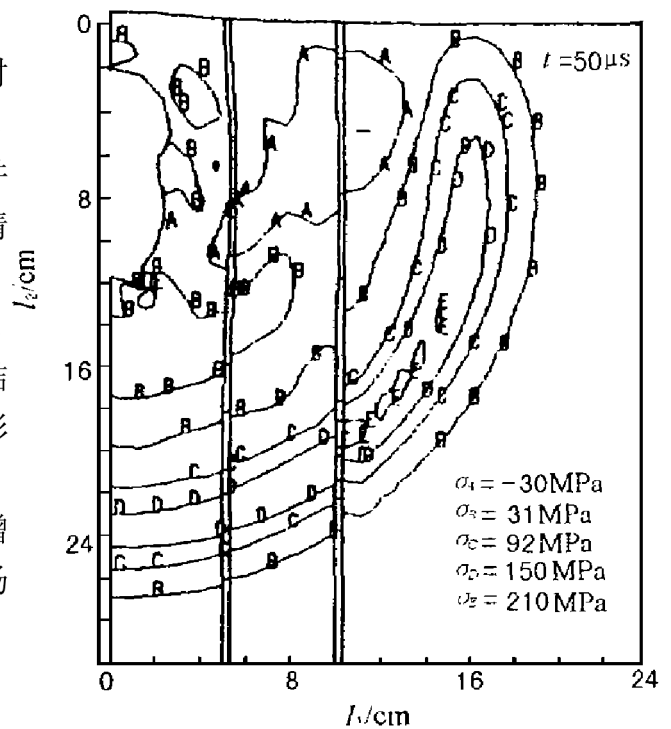


图 4 两条充填节理应力图

Fig.4 Contours of stress for two filled joint

## 参 考 文 献

- 1 王思敬. 坝基岩体工程地质力学分析. 北京: 科学出版社, 1990. 136 ~ 150
- 2 杨更社. 岩体损伤力学特性及细观损伤的 CT 识别: [博士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 1995. 13 ~ 25
- 3 伍法权. 统计岩体力学原理. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 20 ~ 36
- 4 Bieniawski Z T. 工程岩体分类. 吴立新, 等译. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993. 19 ~ 25
- 5 郭文章. 节理岩体爆破过程数值模型及其实验研究: [博士学位论文]. 北京: 中国矿业大学, 1997

**EFFECT OF JOINT ON ROCK MASS UNDER BLASTING**

Guo Wenzhang<sup>a</sup>, Wang Shuren<sup>b</sup>, Chen Shoufeng<sup>b</sup>

(a. *Department of Engineering Safety, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081*)

(b. *China University of Mining and Technology, Beijing, 100083*)

**ABSTRACT** In this paper, the structured characteristic of jointed rock masses is analyzed overall, and its quality synthetic evaluation target system is built. In the meantime, the quality synthetic evaluation is brought into the DYNA-2D program, numerical calculation to be carried out. Guiding practice of engineering blasting with the simulation results, it provides the theoretical basis to jointed rock masses by blasting.

**KEY WORDS** blasting, rock mass quality synthetic evaluation target system, numerical simulation