

# 岩爆形成机制的细观力学实验分析

张梅英<sup>1</sup> 李廷芥<sup>1</sup> 尚嘉兰<sup>2</sup> 孔常静<sup>2</sup>

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 430071, 武汉; 2. 中国科学院力学研究所, 100080, 北京)

**摘要** 在扫描电镜下,对三种类型岩石进行单轴压缩的细观力学实验,即时观察岩石变形破坏全过程。根据实验结果,可以较好的解释岩爆形成的实质。

**关键词** 岩爆;细观力学实验;即时观察;微裂纹的萌生——扩展——断裂破坏

**中图分类号** TB302.1

## 0 引言

在矿山开挖或隧道掘进等工程中,因工作面、侧壁或底板发生岩石突然断裂并喷射岩块,伴随有较大的声响,通称为“岩爆”。岩爆发生的突然性,对工程安全的危害极大,常常造成人员伤亡和设备损坏,给国民经济带来很大的损失。由于岩石是自然界的产物,经受过漫长的地质作用历史,给“岩爆机制”课题的研究带来较大的困难,至今岩爆形成的机制仍未被人们所共识,宏观的实验研究远远不能解释其客观现象的本质,为此,我们试图通过细观力学实验探讨岩爆形成的实质。

## 1 实验和结果

### 1.1 试样的实验

本文试样取自香港地区白岗岩、碎裂黑云母正长花岗岩和湖北大冶大理岩。分别制成三种类型(长方形板块状、长方形板块中心预制小圆孔、长方形板块中心预制割裂缝)和四种尺寸的试件(15×5×1、15×10×1、15×10×2、20×10×2),在试件底部(中间部位、小孔轴线、割缝端部)平行荷载方向粘贴 BXC120-1AD 的电阻应变片。试件表面经磨光后喷镀一层金膜,然后置于 S-570 型扫描电镜拉伸台(拉伸台最大荷载为 2000N 加载头最大行程为 5mm)进行单轴压缩实验,即时观察试样在受力过程中微裂纹的萌生——扩展——直至破坏全过程,并得到应力~应变曲线和相对应的微观结构变化的照片。

### 1.2 实验结果

1.2.1 上述三种岩样在压力作用下,为脆性断裂类型。岩石受力后,随荷载增加,其变形破坏有一逐渐发展过程,大致可分为三个阶段:(1)压密阶段,为组成矿物之间的紧密接触,力和波

• 香港研究资助局(RGC)资助

收稿日期:1997-05-20

在矿物间传递调整阶段;(2)微裂纹的萌生和扩展阶段,经压密后,在应力集中部位萌生微裂纹(以平行压力方向为主)并且沿矿物边界向前曲折扩展(亦有穿晶扩展),微裂纹的扩展有闭有扩,在空间上分布不均匀,是较平静的变形破坏阶段;(3)断裂破坏阶段,荷载达到峰值强度,瞬间发生突然性的压剪断裂破坏。其第一、二阶段为渐变性,第三阶段为突变性,由渐变到突变,有一时间和空间的准备过程。表明了宏观的破裂为微观结构(微裂纹)变形破坏的累积反映。

1.2.2 白岗岩试样的峰值应力为165~189MPa;碎裂黑云母正长花岗岩试样的峰值应力为74MPa;白岗岩试样中心预制小圆孔的峰值应力为72~96MPa,厚度为2mm的试样,因受仪器量测限制,其峰值应力>96MPa;大理岩试样中心预制小圆孔的峰值应力为36~61MPa;大理岩试样中心预制割裂缝的峰值应力为41MPa。说明了完整的块状试样的峰值强度比有预制孔的峰值强度大一倍。随试样厚度增加,峰值强度增大。

1.2.3 在单轴压力作用下,各试样的微裂纹萌生应力不一样。白岗岩的起裂应力为峰值应力的17~40%;碎裂黑云母正长花岗岩的起裂应力为峰值应力的32%;白岗岩有预制小圆孔的起裂应力为峰值应力的16~30%左右(个别稍大);大理岩有预制小圆孔的起裂应力为峰值应力的35~50%;大理岩有预制割裂缝的起裂应力为峰值应力的59%。长方形块状试样的起裂一般在端部,垂直端边或有一定角度,随机性较大;有预制圆孔的试样起裂在沿轴向二侧,平行荷载方向较多,亦有垂直圆切线或呈一定角度起裂;有预制割裂缝的试样起裂在裂缝二端外侧,垂直缝壁或平行荷载方向。萌生微裂可以是一条或多条,见图1。

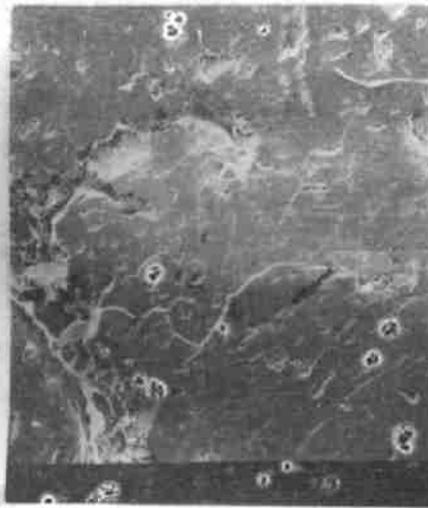


图1 大理岩割缝端微裂纹萌生SEM像(30×)

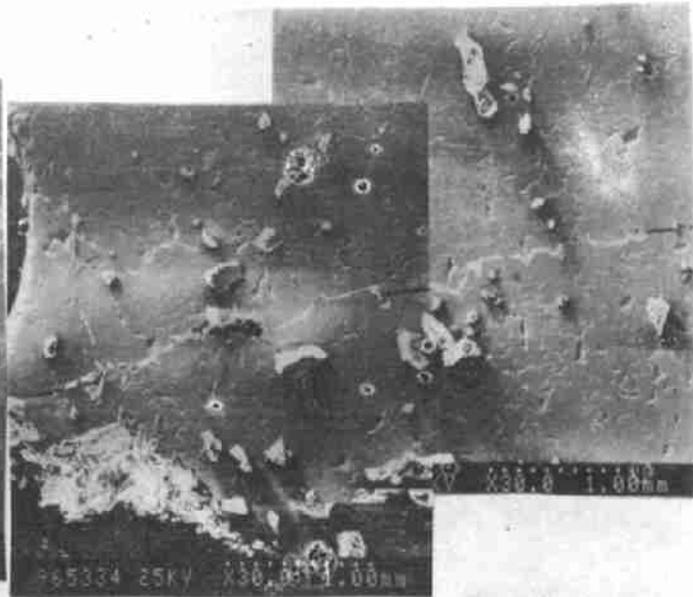


图2 大理岩断裂破坏SEM像(小圆孔下方断口)

1.2.4 微裂纹萌生后,随压力增加,微裂纹以平行压力方向沿矿物边界曲折向前扩展为主,亦有穿晶扩展。扩展过程中产生分叉裂纹或出现新的微裂纹,大理岩试样比白岗岩试样的微裂纹发育,最后扩展成一条(或裂纹带)与压力方向平行的主裂纹,其余的微裂纹停止扩展或闭合。裂纹以张裂型为主。当荷载达峰值强度80~90%时,微裂纹扩展速度较快而形成主裂纹,此

时,如果压力保持不变,裂纹仍继续扩展,直至裂尖受硬度大的矿物所阻或能量消耗才停扩,但压力稍有下降。

1.2.5 当压力达到峰值强度时,试样瞬间破裂,压力陡降,试样抖动强烈,并有弱的响声,较多的细小碎片飞溅落在试样表面(图2、3)。白岗岩和碎裂黑云母正长花岗岩以端部碎裂破坏为主,大理岩(有预制孔和割缝)的断裂破坏方向与压力方向呈近 $45^\circ$ 角(图4),在破坏前夕,出现有的微裂纹与主方向呈反方向的萌生的扩展(图5)。试样破坏后,原来裂纹宽度缩小或有的闭合。最终断裂是压剪破坏现象。

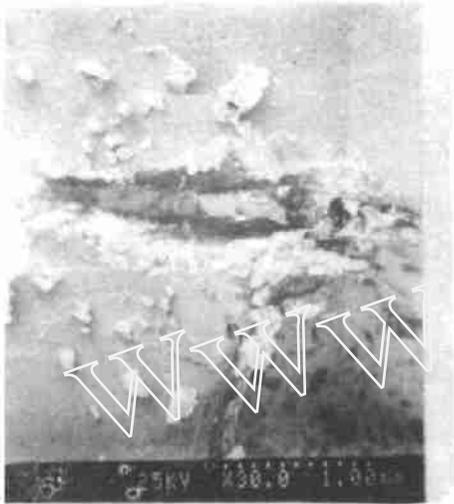


图3 大理岩断裂破坏SEM像  
(小圆孔上方切口)

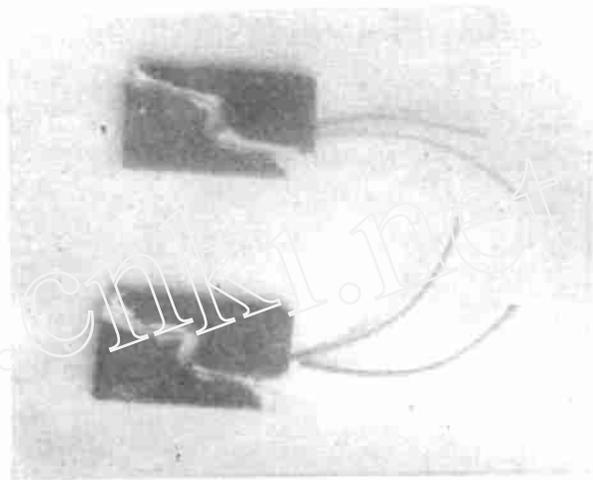


图4 大理岩具小圆孔试样的  
断裂破坏像

## 2 岩爆形成的实验分析

岩爆的发生有其内因和外因,内因是地层岩性为必要条件,外因是地应力(或外载)大小为诱发条件,而岩性是控制着岩爆的发生。岩石不同于金属、陶瓷、混凝土等材料,它是经受过自然界复杂的成岩作用和地质作用的产物,由多种物性不同的造岩矿物所组成,如:石英、长石、云母、角闪石、辉石等,微结构形态是随机无序排列,镶嵌胶结较紧密,岩性坚硬,为不均质体。因此,岩石受力后,其变形破坏的随机性较大(有预制孔、缝的除外)。

目前有些学者分别用强度理论、能量理论、失稳准则、冲击倾向性理论、刚度理论、损伤理论、扩容理论、突变理论、分叉理论等来解释岩爆的发生,然而用某一理论来解释岩爆的形成是困难的和不全面的。从我们的细观力学实验结果看,有的现象不是单一理论能解释清楚,在不同的发展阶段,以某种不同变形破坏形式为主。岩石受力后,其经压密缝之出现微裂纹和微裂纹扩展有个逐渐变化过程,当岩石的表面微裂纹扩展成宏观主裂纹,而且裂纹把全部试样贯通至端部时,压力仍没有明显下降。根据上述,作者初步认为在一、二阶段中,以损伤和强度问题为主,压力达到岩石的一定强度而出现微裂纹并且开始扩展,在这过程中,同时亦有扩容现象(裂纹扩展促使体积增大),以及能量的转换和累积,随压力增加,裂纹向岩石内部和深层扩展,

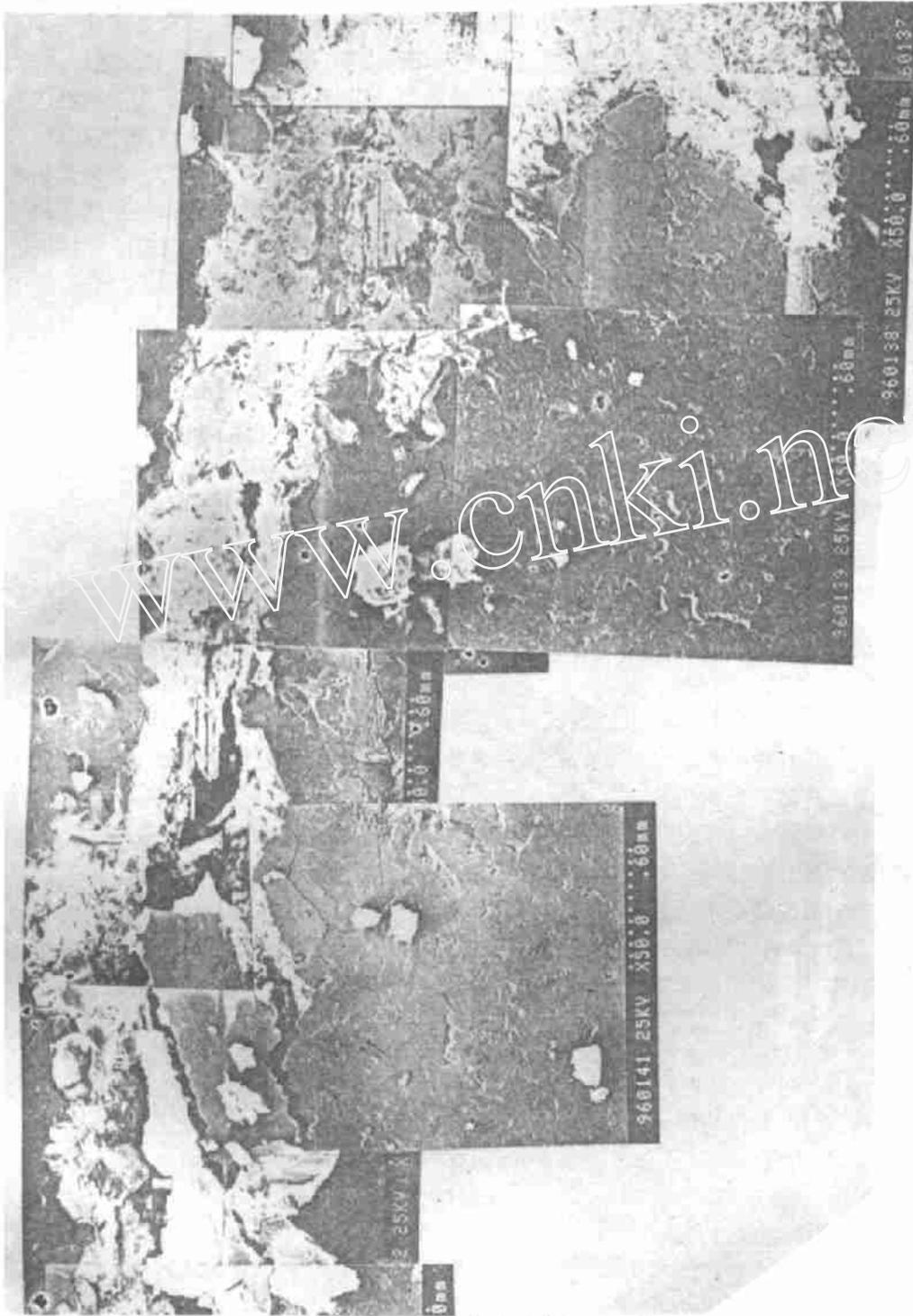


图5 大理岩(具小圆孔)断裂破坏SEM像

有的微裂纹停止扩展,有的闭合,这现象容易产生隐蔽的不稳定状态区和应力集中的能量储存区;在第三阶段以刚度和冲击倾性为主,压力达到峰值强度,裂纹处于最后贯通之际,应力高度集中,在空间上的某一处有利于能量释放的不稳定区,当其释放能量的速率大于消耗能量的速率时,就会出现突然性瞬间压剪断裂破坏(其断裂不沿主裂纹断开,如图2),压力陡降,岩屑飞溅。影响宽度范围在0.8~3.5mm(图5),是否可以比拟洪水冲毁堤岸一样。正如矿山和地下洞室开挖时,孔洞岩体周围岩石已受损伤,出现许多为人们肉眼不能观察和测量到微裂纹损伤区,成洞后,孔洞周围岩体仍处于较高应力集中状态,整个岩体地层对孔洞周围岩体仍有压挤力作用,当损伤区内的应力达到足以使微裂纹继续扩展破裂时,这部位的应力得到快速突然释放,牵动周围不稳定区或能量储存区已被微裂纹切割的岩块而喷溅,形成“岩爆”,所以岩爆形成往往在孔洞开挖后3~24小时,有的延长至半个月出现。

从实验结果也证实了岩性是控制岩爆形成,对砂岩进行单轴压缩实验时,试样平行压力方向断裂拉张开,是张拉破裂型。由于砂岩胶结紧密,岩性坚硬,进行单轴压缩试验时,虽仍以拉张应力为主,但有剪应力分力产生,特别是在最终破坏瞬间,其能量首先达到剪应力的临界值时,出现与压力方向呈近45°角的压剪断裂破坏。

### 3 结 论

3.1 通过本文的细观力学实验,能很直观的揭示岩石变形破坏全过程,为岩爆形成机制研究提供了新的和成功的途径。

3.2 岩爆发生在空间和时间上必须达到一定条件,即损伤破裂区分布不均匀,在某局部出现应力的高度集中,在时间上已有充分的能量积累,当弹性能量的能量释放率大于消耗能量速率时,发生能量冲击式突然释放。

3.3 实验结果证实,岩性控制岩爆发生,最终的压剪破裂比拉张破裂具有较大的冲击力。可以认为岩爆的发生是压剪应力所诱发。

3.4 本文的实验是初步结果,还有不少问题有待做更多的实验探讨。

本文实验得到中科院力学所李端义高工的帮助,试样制备得到北京大学地质系耿金达同志的帮助,中科院力学所汪海英同志参加了部分实验工作,在此一一表示感谢!

### 4 参 考 文 献

- 1 张梅英,袁建新等. 科学通报,1993,38(10):920~924
- 2 卢应发,张梅英,葛修润. 岩土力学,1990,11(4):75~80
- 3 周端忠. 岩土工程学报,1995,17(6):111~117
- 4 赵永红. 科学通报,1995,40(7):621~623
- 5 唐辉明,晏同珍. 岩体断裂力学理论与工程应用. 中国地质大学出版社,1993

## A MESO-MECHANICAL EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE MECHANISM OF ROCK BURST

Zhang Meiyong<sup>1</sup> Li Tingjie<sup>1</sup> Shang Jialan<sup>2</sup> Kong Changjing<sup>2</sup>

(1. *Wuhan Research Institute of Rock and Soil Mechanics Academia Sinica, 430071, Wuhan;*

*2. Research Institute of Mechanics, Academia Sinica, 100080, Beijing)*

### Abstract

The whole process of rock deformation and failure is observed under the SEM simultaneously when meso-mechanical experiments are being conducted with axial compression exerted on three kinds of rock. The experimental results have proved helpful for better explaining the nature of rock burst.

**Keywords:** rock burst; meso-mechanical experiment; simultaneous observation; the initiation-expansion-fracture failure of microcrack