

# 非标准岩样岩石力学参数试验研究

胡静云<sup>1</sup>, 徐宏斌<sup>2</sup>, 唐海燕<sup>1</sup>

(1. 长沙矿山研究院, 湖南 长沙 410012; 2. 厦门大学, 福建 厦门市 361005)

**摘要:**通过对非标准岩样的室内试验来获取岩石力学参数是试验研究中必须处理的技术问题。对某矿 4 种不同岩石的非标准岩样进行单轴抗压实验和巴西劈裂实验, 分析了岩样的强度分布特点, 考虑尺寸效应和形状效应, 对岩石强度试验结果进行了修正, 获得了岩石的单轴抗压、抗拉强度、弹性模量、泊松比、粘聚力和内摩擦角等力学参数, 并对所得参数进行了分析。所得力学参数为该矿山的岩石力学和地压研究提供了基础资料。

**关键词:**岩石力学参数; 非标准岩样; 尺寸效应; 形状效应

在很多情况下, 由于现场不具备获取标准岩样的条件, 所获取的岩样在尺寸和形状上往往是非标准岩芯。因此, 在试验中通过对非标准岩样的试验来获取岩石力学参数, 是试验研究中必须处理的技术问题。针对某矿非标准岩样开展了室内岩石力学实验研究, 内容包括岩石的单轴抗压强度、抗拉强度、弹性模量、泊松比、粘聚力和内摩擦角等力学参数。考虑到试样的尺寸效应和形状效应, 对试验结果进行了修正。

## 1 岩样采集与加工

在现场采集的岩芯其直径在 36~38 mm 之间, 为非标准岩芯。采集岩样种类包括石英晶屑凝灰岩 (Ma)、黑云母片岩 (Mb)、辉绿岩 ( $\delta$ )、绢云母石英岩 (Sq)。

在室内加工岩样时, 对于单轴抗压强度试样, 保证加工后的岩芯长度为其直径的 2 倍; 对于抗拉强度试样, 保证样品的高度等于直径的尺寸。岩样两端磨平, 试样两端的不平整度允许偏差为  $\pm 0.05$  mm, 端面应垂直于轴线, 允许偏差为  $0.25^\circ$  以内。

为了保证岩石的单轴抗压强度值不受宏观节理、裂隙等缺陷面的影响, 对每种岩石的试样进行实验前的观察, 剔除具有明显宏观缺陷面的试样。

## 2 试验设备

单轴抗压试验采用美国进口的 250 MTS851 全数字型电液伺服岩石力学试验系统。试验中, 采用轴向应变控制加载时, 加载速率为  $2 \times 10^{-6}$  mm/s; 采用轴向变形速度控制时, 加载速度为  $1 \times$

$10^{-3}$  mm/s

拉伸试验采用巴西劈裂法进行间接测试, 采用 30 普通小型材料压力机系统。采用手动轴向压力控制加载方式, 折换为应力加载速度为  $0.3 \sim 0.5$  MPa/s。

## 3 试验结果

### 3.1 分析计算方法

#### 3.1.1 单轴抗压强度

对于非标准岩样测得的抗压强度的结果必须进行换算来确定岩石的抗压强度。换算的过程综合考虑试样的形状效应和尺寸效应。

第一步考虑形状效应。形状效应是指因试样的形状的变化而造成岩石单轴抗压强度值的变化。形状的变化有两个方面: 试样截面形状 (圆形、矩形或三角形) 对实验强度值的影响; 当试样截面相同时 (如圆形), 试样长径比的变化对实验强度值的影响。在本次试验中, 选用经验公式 (1) 将非标准岩样测得的抗压强度换算为长径比为 2 的岩样抗压强度  $\sigma_s$ :

$$\sigma_s = \frac{8\sigma_L}{7 + 2\frac{d}{h}} \quad (1)$$

式中:  $\sigma_L$ ——非标准岩样的试验单轴抗压强度;

$d$ 、 $h$ ——分别为非标准岩样的直径和高度。

第二步考虑尺寸效应。尺寸效应是指试样形状相同时, 直径 (或长度) 的变化对实验强度值的影响。尺寸效应的本质是岩石的不均质性。选用经验公式 (2) 将已经得到的长径比为 2 的岩样抗压强

度换算为直径为 50 mm 的岩样抗压强度  $\sigma_m$ :

$$\sigma_m = \sigma_{50} \left( \frac{50}{d} \right)^{0.18} \quad (2)$$

式中,  $\sigma_{50}$  为由式 (1) 计算得到的长径比为 2 直径为 50 mm 的标准岩样的单轴抗压强度。

### 3.1.2 抗拉强度

岩石的单轴拉伸强度同样具有尺寸效应, 但本文由于采用巴西劈裂法间接测试抗拉强度, 该方法的尺寸效应与直接拉伸实验的尺寸效应都没有科学的参考公式, 因此在本文暂不考虑拉伸强度的尺寸效应。抗拉强度的计算方法由下式给出:

$$R_t = \frac{-2P}{\pi dl} \quad (3)$$

式中:  $R_t$  为抗拉强度;  $P$  为最大荷载;  $d$  为试样的直径;  $l$  为试样的厚度。

### 3.1.3 其它力学参数

(1) 弹性模量。根据国际岩石力学与工程学会的推荐, 在峰值强度之前岩石弹性模量的求算可用 50% 强度点处的切线斜率表示。对于同一岩样按公式  $E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$  计算出各岩样的弹性模量, 然后取平均值即为该岩样的弹性模量。

(2) 泊松比。横向应变  $\epsilon_c$  与纵向应变  $\epsilon_a$  之比即为试件泊松比, 其计算公式为  $\mu = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_a}$ 。在应力与纵、横向应变图上, 泊松比可用纵向应变曲线和横向应变曲线上对应的直线段的斜率的比值来表示。对于同一岩样的泊松比, 在实际计算时取为该种岩样的泊松比的平均值。

(3) 粘结力和内摩擦角。本次实验的粘结力和内摩擦角是利用单向拉伸和单向压缩试验所绘制的莫尔圆包络线来反映岩石的粘结力和内摩擦角的关系。已知单轴抗压强度和抗拉强度后, 通过几何关系推导出粘结力和内摩擦角的计算公式为:

$$\varphi = \frac{\sigma_{50} - R_t}{2 \sqrt{\sigma_{50} R_t}} \quad (6)$$

$$C = \frac{\sqrt{\sigma_{50} R_t}}{2} \quad (7)$$

式中:  $C$ 、 $\varphi$  分别为粘结力与内摩擦角,  $\sigma_{50}$ 、 $R_t$  意义同上。

### 3.2 计算结果分析

典型岩样的应力—应变曲线见图 1, 典型岩样纵向、横向和体积变化的应力应变曲线见图 2。根

据岩样的应力—应变图和岩样的破坏特征推断该 4 种岩石为脆性岩石。

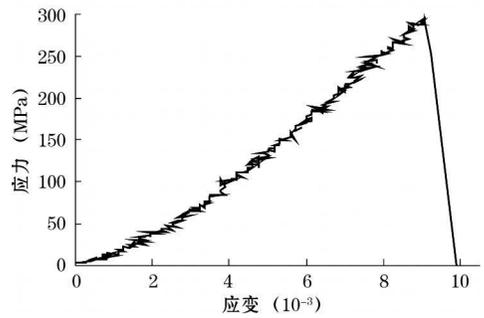


图 1 典型岩样的应力—应变曲线

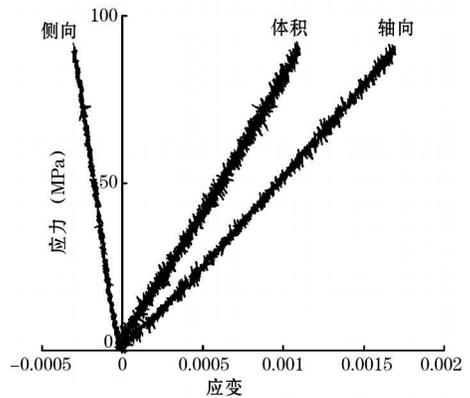


图 2 典型岩样的纵横向应力应变以及体积应变

石英晶屑凝灰岩试样的单轴压缩换算强度见图 3。由图 3 可知, 直径小于 40 mm 的小尺寸岩样的单轴抗压强度分布趋向于均匀分布, 强度离散性大。

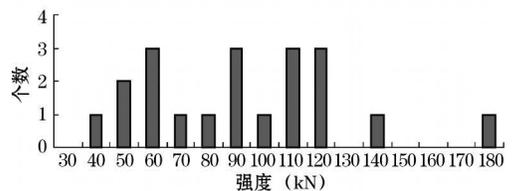


图 3 岩石试样单轴压缩试验换算强度分布

得到岩石的应力—应变图、单轴抗压强度、单轴抗拉强度等资料后, 根据前述的确定岩石弹性模量、泊松比、粘聚力和内摩擦角的求算方法, 计算得到的各种岩石的力学参数如表 1 所示。

表 1 岩石的力学参数

岩石	抗压强度平均值 (MPa)	抗拉强度平均值 (MPa)	弹性模量 (GPa)	泊松比	粘聚力 (MPa)	内摩擦角 (°)
Ma	90.34	6.62	33.7	0.19	12.23	59.71
Mb	87.94	7.23	32.5	0.16	12.61	58.00
Sq	106.4	6.24	23.6	0.20	12.89	62.77
δ	261.98	6.50	34.4	0.26	20.63	72.10

(下转第 54 页)

$R_0$  逐渐上升, 当  $R_0$  增大至与  $P_f$  相等时,  $(P_f - R_0) = 0$  “窜流”过程结束。煤层注入的“窜流”过程如图 1 所示。

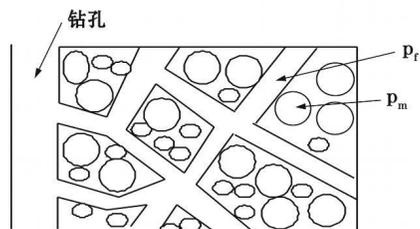


图 1 煤层注入的“窜流”过程示意

### 3 结 论

(1) 对两种非饱和和孔隙系统都使用 Richard 方程 (Darcy 定律) 是否合理, 这个假设在基质孔隙中是合理的, 但是在裂隙中却不一定正确, 因为在裂隙中的流体渗流速度比较大, 渗流可能由层流变为紊流。

(2) 在煤层注水中, 水在煤体中的运动与矿井中地下水的外渗是一个相反的过程。“窜流”量  $Q$  与裂隙和孔隙之间的压力差  $(P_f - R_0)$  成正比, 但与地下水外渗不同, 煤层注水中裂隙压力  $P_f$  可通过调节注水压力来人为控制。当  $P_f$  超过一定限度时, 煤体内部原有的裂隙系统会发生改变, 产生新的裂隙。此时若继续增大注水压力, 便可能会发生泄水。

(3) 建立了有关煤层注水的多重孔隙介质模

型, 并对模型中的渗流场、渗透率与压力的关系进行了分析, 结合多重孔隙介质理论对煤层注水的机理进行了论述, 对煤层注水的理论研究提供了新的途径。

#### 参考文献:

- [1] 张永吉. 煤层注水技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001. 14~17
- [2] 白 承, 刘天泉. 孔隙裂隙弹性理论及应用导论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 14~23
- [3] Barenblatt G I, Zheltov I P, Kochina I N. Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous fluids in fissured rocks [J]. Prikl Mat Mekh, 1960. 24(5): 852~864.
- [4] Warren J E, Root P J. The behavior of naturally fractured reservoirs [J]. SPEJ Trans, AME 1963. 228. 245~255.
- [5] 葛家理. 油气层渗流力学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1982
- [6] 刘耀儒. 基于多重孔隙介质模型的渗流—应力耦合并行数值分析. 岩石力学与工程学报 [J]. 2007. (4).
- [7] 黎水泉, 徐秉业. 非线性多重孔隙介质渗流. 岩石力学与工程学报 [J]. 2000. (4).
- [8] 孔 亮. 非饱和流固耦合多重孔隙介质模型控制方程 [J]. 西安石油大学学报, 2007. (2).
- [9] 黎水泉, 徐秉业. 多重孔隙介质流固耦合理论模型 [J]. 水动力学研究与进展, 2001. 16.
- [10] [苏] 巴斯宁耶夫 K C. 地下流体力学 [M]. 张永一, 赵碧华, 译. 北京: 石油工业出版社, 1992.

(收稿日期: 2009—02—21)

作者简介: 张茂增 (1985—) 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事煤层注水理论及技术研究, Email: waohao111@163.com

(上接第 43 页)

### 4 结 论

(1) 根据尺寸效应与形状效应的转换公式, 建立了非标准岩样与标准岩样之间单轴抗压强度的两步骤转换过程。

(2) 通过对非标准岩样进行尺寸效应和形状效应换算, 得到了 4 种岩石的力学参数, 为矿山地压研究提供了基础数据。

(3) 根据岩样的单轴抗压强度实验数据可知, 同一种类岩石试样的单轴抗压强度的分布离散性很大, 趋向于均匀分布。

(4) 试验结果表明, 抗压强度比抗拉强度大 10~20 倍。这一试验结果与长期积累的理论和理论

值相符合; 当岩石粘结力相差不大时, 岩石强度越大内摩擦角越大, 这一结果与岩石强度越高, 剪切破裂面与岩样轴线的夹角越小的试验规律相符。这充分说明, 本文采用的强度换算方法对于非标准岩样的强度换算是适用的。

#### 参考文献:

- [1] 尤明庆. 岩石的力学性质 [M]. 北京: 地质出版社, 2007
- [2] 杨圣奇, 苏承东, 明平美, 等. 岩石强度尺寸效应的研究方法和机理的研究 [J]. 焦作工学院学报, 2002. 21(5): 324~326.
- [3] 杨友卿. 岩石强度的损伤力学分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 1999. 18(1): 23~27.

(收稿日期: 2009—02—22)

作者简介: 胡静云 (1985—) 男, 湖北汉川人, 在读研究生, 主要从事矿山岩石力学地压稳定与岩石声发射监测研究。