

声发射法地应力测量的岩样制备*

丁原辰

(中国地质科学院地质力学研究所 100081)

1996年11月4日收到

摘要 利用岩石声发射的凯瑟(Kaiser)效应和抹录不净现象测量地应力时,岩石试样的制备是重要环节.本文着重讨论了试样需具备的条件;端帽材料的配方;端帽厚度计算方法;端帽浇铸工艺及脱模.

关键词 声发射,凯瑟效应,地应力.

The preparation of rock specimens in geostress measurement by the AE method

Ding Yuanchen

(Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081)

Abstract The preparation for rock specimens is an important link when using Kaiser Effect and Incomplete Erasion Phenomenon of rock acoustic emission for stress measurement. This paper emphatically discusses the required factors of an specimen, the prescription of material of the end cap, the method of calculation of the end cap thickness, the casting technology and drawing of the pattern of end cap.

Key words Acoustic emission, Kaiser effect, geostress

1 引言

利用岩石声发射的凯瑟效应^[1]和抹录不净现象^[2]测量地应力时,岩石试样的加工精确度必须予以保证,否则很难达到应有的测量效果.特别是利用一个声发射探头作单通道测量时,试样不加端帽,就很难辨别凯瑟效应点(相应于出现凯瑟效应的外加压应力),因为探头在接收试样中部声发射信号时,也同时接收了试样端部在加载过程中产生的摩擦噪声.文献[1]报道了这样的实验现象:如果岩石试样不加端帽,将三个声发射探头分别置于岩石试样的中

部和两端,对试样加载时,测得的声发射信号集中出现于端部而中部很少出现.这是由于试样直接由钢压头加压时,在试样角上引起很高的应力集中,其根源是由于弹性不同会在岩石试样和钢压头的接触面产生剪应力,以及两个接触面处截面积突然变化所致^[3].克服试样端部噪声干扰有两种手段,一种是采用定区测试^[4],另一种是试样加端帽(单探头测试必须具备的条件).即使是定区测试,采用加端帽的试样将会获得更加可靠的测试效果.加了端帽的试样,其端部的应力集中变得可以忽略.然而端帽以何尺寸加于不同岩石的试样上,端帽

* 国家自然科学基金资助项目

材料如何配制, 未见国内外文献详述, 为此作者将侧重讨论这两方面内容.

2 声发射法所用岩样需具备的条件

采用最多的岩样尺寸为直径 25mm、高 50-75mm 的岩柱. 将钻取出的小岩芯按规定高度切割两端, 装入卡具内在精密平面磨床上将两端磨平, 制成满足下列要求的试样用岩柱:

- (1) 岩柱两端面不平行度误差小于 0.010mm;
- (2) 岩柱两端面与轴的不垂直度误差小于 0.1 度;
- (3) 试样柱面应当是光滑的, 以防表面应力集中, 表面光洁度不低于 5 级 ($3.2\mu\text{m}$);
- (4) 岩柱整个高度上的直径差不得超过 0.2mm.

为消除端部应力集中, 试样两端浇铸上由水泥和环氧树脂混合材料制成的端帽. 浇铸端帽后的试样如图 1 数所示. 而后, 端帽的两端还需用平面磨床加工, 保证两端面不平行度误

差也小于 0.010mm. 磨好后的试样, 其端帽端面与试样中岩柱端面间应具备的厚度, 由后面的计算给出.

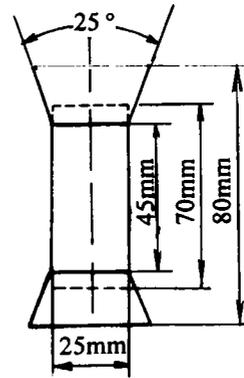


图 1 浇铸了端帽的岩石试样

浇铸端帽用的模具如图 2 所示. 图 2 中 a 为模具组装图. 分为两半时, 即打开模具时, 其中一半如图 2 中的 b 所示. 制成带端帽的岩石试样之后, 在空气湿度不大的气候条件下放置五天左右, 即可用于实验.

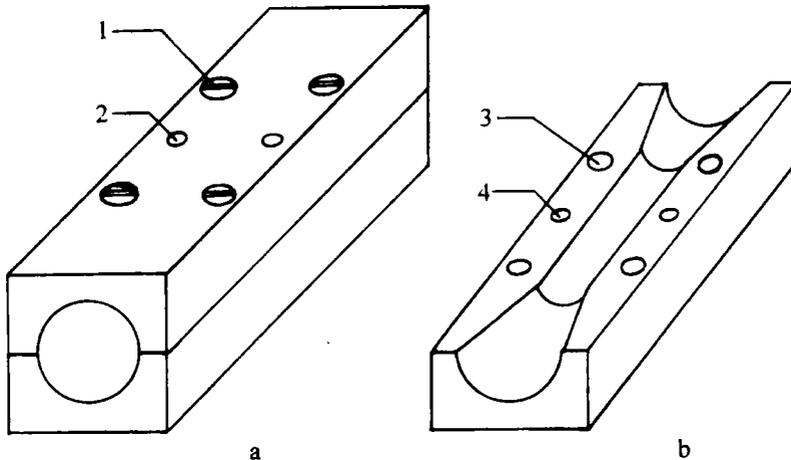


图 2 浇铸端帽用的模具

a 为组装图; b 为打开模具时其中一半的形状

1. 螺钉 2. 定位销子 3. 螺孔 4. 销孔

3 端帽材料的配方

要求端帽材料本身有较弱的声发射且也具有凯瑟效应；端帽的刚度应与试样中岩柱的刚度一致；端帽材料应能与试样中的岩柱牢固地胶结。为了达到上述三条要求，拟定了以下三种实验方案，以寻求端帽材料的最佳配方。

(1) 环氧树脂：巨酰胺：普通水泥 = 1:0.5:1.5，选用不同牌号的水泥 (425#，225#) 以比较不同水泥牌号的影响。

(2) 提高水泥含量，使三种成分的重量比

为，环氧树脂：巨酰胺：普通水泥 = 1:0.13:2.13

(3) 为解决气泡问题加入 501 稀释剂，其量为 20% 环氧树脂的重量，并改变巨酰胺含量百分比，以观察加入稀释剂的效果。

将上述配方制成的液态材料灌入图 2 所示模具，经冷却固化后制成全部是上述配方的试样，内部并无岩柱。将各试样分别放置一个月以上进行测试，结果如表 1 所示。

表 1 配方比较表

类别	配方 (环: 巨: 水泥)	水泥牌号	试样编号	试样气孔情况	测得弹模 (GPa)	评价	备注
第一种	1:0.5:1.5	425#	1#	有少量较大气孔	5.4	较好	
	1:0.5:1.5	225#	4#	有少量较小气孔	4.8	尚可	
第二种	1:0.5:1.5	225#	6#	有较大气孔	5.5	好	
第三种	1:1.1:2	225#	1#	几乎无气孔	2.2	差	加 501 稀释剂
	1:0.72:2	225#	3#	几乎无气孔	1.3	最差	加 501 稀释剂

由表 1 可见，为改进浇铸效果、排出气泡，减少配制过程中巨酰胺毒素而加入 501 稀释剂的方法不可取。因为 501 加入后材料的弹性模量大为降低。根据上述比较结果，选用高标 (425#) 水泥，配方为环氧树脂：巨酰胺：水泥 = 1:0.5:2，则弹性模量又有所提高 (达 5.6GPa)，并且气泡量相对较少。若需进一步提高其弹性模量，可选用更高标号水泥，如 525# 或 725#。

4 端帽厚度的计算

笔者的经验证明，要想使端帽的刚度与岩石试样中岩柱的刚度一致，只要对不同弹性模量的岩石采用不同的端帽厚度即可。当然，这里所指端帽，其材料的弹模是确定值。以下为笔者推演的端帽端面与试样中岩柱端面之间的厚度计算公式。

要求端帽与试样中岩柱二者刚度一致，则有

$$\frac{E_c A(L)}{2L} = \frac{E_r S}{H} \quad (1)$$

(1) 式中 L —端帽端面距试样中岩柱端面的高度，也就是端面的厚度，单位 Gpa; E_c —端帽材

料的弹性模量，单位 GPa; E_r —试样中岩柱的岩石弹性模量，单位 GPa; H —试样中岩柱的高度，单位 cm; S —岩柱的截面积，单位 cm^2 ；式中端帽的端面面积 $A(L)$ 可表达为

$$A(L) = (R + L \tan \theta)^2 \pi \quad (2)$$

式中 $R = R_0 + L_0 \tan \theta$ 其中 R —岩石试样中岩柱端面处端帽截面的半径，单位 cm; R_0 —岩柱半径，单位 cm; L_0 —包含在端帽内的岩柱高度，单位 cm。 θ —图 1 所示角度 (25°) 的半角。将 (2) 式代入 (1)，并整理可得：

$$L^2 \tan^2 \theta + \{2R \tan \theta - [2R_0^2 E_r / (E_c H)]\} L + R^2 = 0 \quad (3)$$

解方程 (3) 可得 L 值。

兹举一例如下：若岩石试样中岩柱为北京房山大理岩，其弹模 $E_r = 79\text{GPa}$ ，所用端帽材料的弹模 $E_c = 5.6\text{GPa}$ ，按图 1 所示尺寸， $R_0 = 1.25\text{cm}$ ， $L_0 = 1.25\text{cm}$ ， $H = 7.0\text{cm}$ ， $2\theta = 25^\circ$ ，于是， $R = 1.25 + 1.25 \tan(12.5^\circ) = 1.527(\text{cm})$ ，将这些值代入方程 (3)，解得端帽厚度 $L = 0.416(\text{cm})$ 。

这就是说, 浇铸出带端帽的大理岩试样, 由总高度 80mm 磨至总高度 78.32mm, 每端磨掉 0.84mm, 即可使端帽刚度与试样中岩柱刚度一致. 当岩石弹模过低, 即使端帽厚度达 4.5mm, 仍不能使端帽刚度与岩样中岩柱刚度一致, 或者岩石弹模过高, 即使端帽厚度达 2.5mm, 仍不能使端帽刚度与岩样中岩柱刚度一致, 应参照表 1 改变端帽材料配方, 对前者应使材料弹模降低, 后者则应提高. Kanagawa 认为端帽厚度以 3mm^[1] 为宜.

5 端帽浇铸工艺

5.1 准备

除模子中部的圆柱部分外, 其余部分涂真空硅脂或其他脱模剂; 用丙酮洗净岩柱; 按模子中部圆柱部分的高度, 如图 1 所示其高度为 45mm, 用纸将岩柱包好, 岩柱两头各出露 12.5mm, 装入模具内; 在一平板上放置厚度 5mm、直径与岩柱相同的垫块, 垫放于装了岩柱的模具底端.

5.2 浇铸

将巨酰胺和环氧树脂加热熔稀, 保持其温度在 60°C-100°C 之间; 称出所需的水泥份量, 按照配方将相应份量的环氧树脂和巨酰胺逐一倒入水泥中搅拌均匀; 将这混合物从各个模子

端面的一边倒入模子(模子内已装有岩柱), 同时敲击模子侧面使气泡排出; 3 小时后, 可以重复上述操作, 浇铸这批试样的另端端帽. 注意, 由于巨酰胺有毒, 应在抽风橱内进行浇铸. 为排出浇铸过程中产生的气泡, 曾进行过抽真空试验, 效果不明显. 不过表 1 显示气泡对端帽材料弹模的影响并不突出. 作者用敲击模具排气泡的方法, 尽管不理想, 但已基本达到要求. 浇铸工艺中的温度变化经历, 对岩石试样的声发射性能并无影响, 文献 [5] 已证实.

致谢 作者感谢中国地质大学北京研究生院探矿工程系张大伦教授在本研究工作起步时, 所给予的指教.

参 考 文 献

- [1] Kanagawa T, Hayashi M, Nakasa H. Third Acoustic Emission Symposium, Tokyo, 1976, 228-248.
- [2] 丁原辰、张大伦. 岩石力学与工程学报, 1991, 10(4): 313-326.
- [3] Sumio Yoshikawa and Kiyoo Mogi. *Journal of Acoustic emission*, 1990, 8(4):113-123.
- [4] 丁原辰、张大伦、傅芳才. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 1988, (12): 171-183.
- [5] Sumio Yoshikawa, Kiyoo Mogi. *Tectonophysics*, 1981, 74: 323-339.



(上接第 45 页)

- [7] Kwon Y, et al. *Rheology Acta*, 1993, 32, 108-111
- [8] Casulli J, et al. *Proceedings of the Xth International Congress on Rheology*, 1978, 1, 229-232
- [9] Tessier N, et al. 31st Int. SAMPE Symp. 1986, 21-31
- [10] Peshkovskii S L, et al. *Polymer Composite*, 1983, 4, 126-129
- [11] Alexander Tukachinsky, et al. *AICHE Journal*, 1993, 39, 359-363
- [12] 金长善编. 超声工程, 哈尔滨, 哈尔滨工业大学出版社, 1982
- [13] Paul D W. *Ultrasonics*, 1981, 23
- [14] Vinogradov G V, et al. *Polymer*, 1978, 19, 1458-1563
- [15] Sung K Byon, et al. *Polymer Engineering and Science*, 1990, 30, 147-151
- [16] Neppiras. *Physics Reports*, 1980, 61, 159-164
- [17] Biesenberger J A, et al. *Polymer Engineering and Science*, 1987, 27, 510-519
- [18] Youn J R, et al. *Polymer Composite*, 1985, 6, 175-179
- [19] Fairbanks T H. U.S.Pat. 1972, 3, 663-668
- [20] Isayev A I. *Polymer Engineering and Science*. 1993, 33, 1051-1059