

利用定向岩心进行AE法原地应力测量

李 宏 陈景崧 江南生 王福江 张伯崇

摘 要：在北京市房山区迎风坡花岗闪长岩300m深钻孔中，采用以水泥端帽法为主的岩心定向技术，并在钻进和取心过程中采取特殊措施，在钻孔中距地表25m~301m整个深度段内取得了直径86mm的定向岩心。对深度294m的定向岩心进行了声发射Kaiser效应试验。岩石试件为圆柱形，直径30mm，高度75mm。在垂直方向，利用声发射Kaiser效应估计的垂直主应力为7.7MPa；在294m岩体静岩压力为7.9MPa；两者基本相同。在水平面内，对4个方向的试件进行声发射Kaiser效应试验，得到相应的各个方向的压应力，由此估算的水平最大和最小主应力分别为21.2MPa和12.1MPa。水平面内最大主应力的方向基本为SN方向。将声发射Kaiser效应测量结果与水压致裂法的测量结果进行对比，二者具有很好的一致性。

关键词：声发射；Kaiser效应；地应力；定向岩心

分类号：TU459.4

文献标识码：A

INSITU STRESS MEASUREMENT BY A METHOD USING ORIENTED CORE

LI Hong, CHEN Jingsong, JIANG Nansheng, WANG Fujiang, ZHANG Bochong
Institute of Crustal Dynamics, CSB, Beijing 100085

Abstract : A borehole was drilled in granodiorite rockmass at Fangshan, Beijing, China. The depth of the borehole is 301m with diameter of 110mm. From about 30m to 301m, all cores were oriented by cement end cap method. AE Kaiser effect tests on oriented core at depth of 294m were carried out. The rock specimens are the cylinders with 30mm diameter and 75mm height. In vertical direction, the vertical stress estimated by AE Kaiser effect tests is 7.7 MPa. The lithostatic pressure at the depth of 294m in granodiorite rockmass is 7.9 MPa. Both of them are almost same. In horizontal plane, for four directions rock specimen, AE Kaiser effect tests were carried out and their corresponding normal stresses were gotten. The horizontal maximum and minimum principal stresses are 21.2 MPa and 12.1 MPa respectively. The orientation of horizontal maximum principal stress is about the NS-trending. Comparing the result of AE Kaiser effect tests with hydrofracturing shows that they are consistent fundamentally.

Key words: AE ; Kaiser effect ; stress ; core orientation

0 引言

在实验室通过实验取得原地应力，近年来受到地学界和工程界的普遍重视。这类方法已在研究和应用的有岩石声发射Kaiser效应法^[1—6]和差应变分析法^[7]等。用这类方法测量原地应力，前提条件必须获得定向岩心。另外，要研究深部岩体节理裂隙的空间展布以及岩石的各向异性特征，也需要获得定向岩心。

本文简要介绍在北京市房山区迎风坡花岗闪长岩300m深钻孔中，采用以水泥端帽法为主的岩心定向技术的定向结果，定向误差的估算等问题；对深度294m的定向岩心进行了声发射Kaiser效应试验研究，并将测量结果和水压致裂测量结果进行了对比研究。

1 300m深钻孔岩心定向

1.1 水泥端帽岩心定向技术与方法

岩心定向实际上就是在钻孔的底部岩心的顶面或侧面上用恰当的方法标注痕迹并用定向器确定其方位，然后钻取标有方位的定向岩心。我们采取的方法是，在定向岩心的顶面用水泥筑一端帽，在水泥硬化之前将与定向器相连的定向片埋入其中，待水泥硬化之后，将粘有水泥帽的岩心钻取出来，就可根据水泥帽中定向片的方位确定岩心的方位，这就是所谓水泥端帽定向法。水泥端帽法的实施过程大体有以下几步：孔底岩粉的排除与岩心顶面的处理；将水泥浆注入孔底埋设定向片；钻取定向岩心；对定向岩心标注定向方位请见文献^[8]。

1.2 300m深花岗岩钻孔定向取心结果及其误差分析

1.2.1 300m深花岗岩钻孔定向取心结果 在房山300m深花岗岩钻孔中，从25m~301m进行了定向取心，定向取心率达100%。主要采用了水泥端帽法，在170m以上段采用了底座法，底座法源于应力解除。岩心定向的深度、方位等详见表1。

表1 两次岩心定向之间误差估计

Table 1 Difference estimation between two orientation test

序号	定向方法	定向深度 / m	定向范围 / m	方位角 / (°)	定向自核对误差 / (°)
1	直接端帽法	27.12	25.00 ~ 32.87	264.5	
2	底座法	32.87	32.87 ~ 45.58	5.0	2与3之间核对误差：9
3	小孔端帽法	45.58	45.58 ~ 72.29	225.0	3与4之间核对误差：9
4	小孔端帽法	72.29	72.29 ~ 91.49	345.0	4与5之间核对误差：9
5	底座法	110.27	91.49 ~ 131.22	96.0	5与6之间核对误差：1
6	底座法	134.27	131.22 ~ 151.45	32.0	
7	底座法	151.45	151.45 ~ 170.96	358.5	7与8之间核对误差：9
8	小孔端帽法	185.21	170.96 ~ 200.52	123.5	8与9之间核对误差：12
9	直接端帽法	200.52	200.52 ~ 211.90	177.5	9与10之间核对误差：3

10	小孔端帽法	211.90	211.90 ~ 229.00	311.0	
11	小孔端帽法	229.00	229.00 ~ 242.20	192.0	11与12之间核对误差：14
12	直接端帽法	242.20	242.20 ~ 256.75	185.5	12与13之间核对误差：1
13	直接端帽法	256.75	256.75 ~ 272.00	157.5	13与14之间核对误差：13
14	直接端帽法	272.00	272.00 ~ 291.49	350.0	14与15之间核对误差：9
15	直接端帽法	294.31	291.49 ~ 301.00	235.0	

1.2.2 岩心定向误差分析 根据25m~301m定向岩心所定方位，将岩心中所有节理产状进行测量，将测量结果与超声波井下电视确定的节理产状进行对比(图1)。从图中看出，误差最大为17°，一般都在10°以内，造成误差的主要原因是由于定向方位线延长的划线误差和井下电视照片判读误差共同引起。

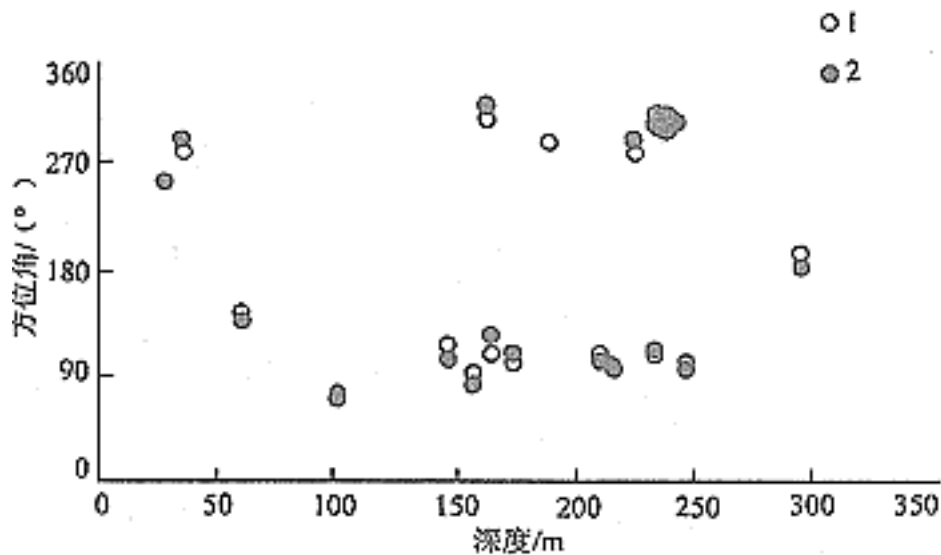


图1 定向岩心节理产状实测结果与
井下电视节理产状实测结果对比
Fig.1 Difference of joint attitude determined
by oriented core and BHTV

1.由定向岩心确定的节理方位角；2.由井下电视确定的节理方位角

2 294m定向岩心AE法应力测量

试件制备、测量系统及数据解析方法请见文献[6]。

Yoshikawa和Mogi[2,3]在用AE法进行原地应力测量研究中，发现一些岩石在第一次加载过程中凯赛效应不明显，提出重复加载的方法确定先行应力。他们认为第一次加载后再一次加载，用两次加载AE结果的差更易确定先行应力。在本次研究中，我们采用了这种方法。

图2给出了AE法应力测量AE累计值与截荷的典型试验曲线，上图是两次加载的试验曲线，下图是两次加载AE相减的试验曲线，图中认为是凯赛效应点用 标注。将AE

测量结果进行应力解析，得出水平面内最大、最小主应力及最大主应力的作用方向(图3)。最大水平主应力21.2 MPa，最小水平主应力12.1 MPa，最大主应力方向 -1° ($N1^\circ W$)。

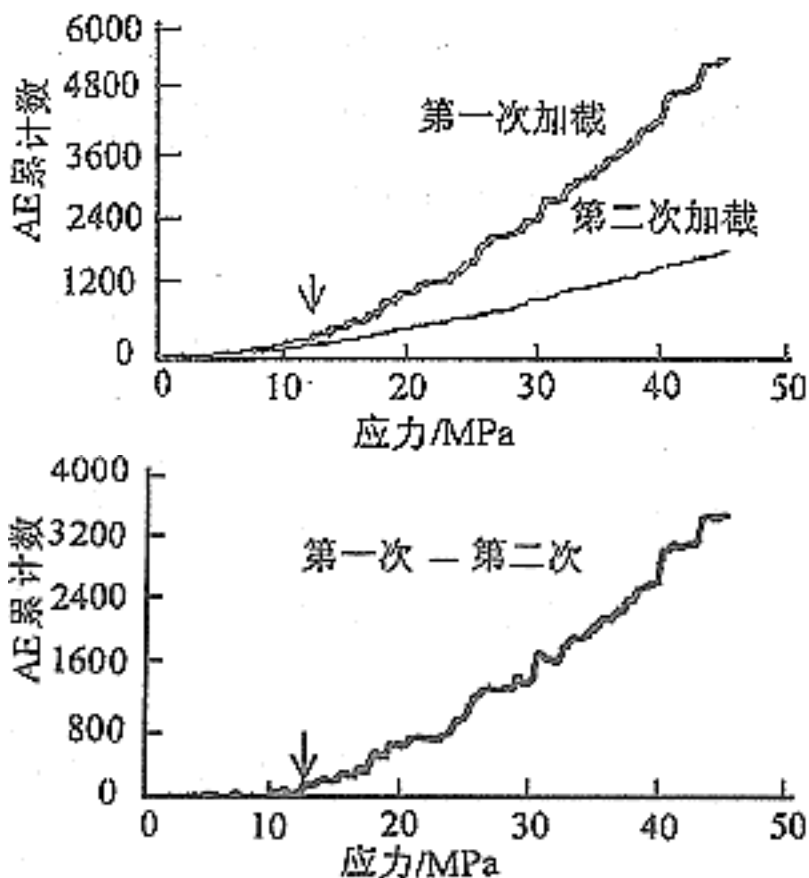


图2 AE累计数与加载载荷的试验曲线
深度/294m，方向/EW
Fig.2 Typical AE accumulation-
Stress curve

3 AE法与水压致裂法地应力测量结果的对比

3.1 垂直方向应力AE法测量结果与岩体上覆岩压的对比

岩石容重为 2.74 g/cm^3 ，测量深度是294m，岩体上覆岩压应为：

$$P = 2.74 \times 294 \times 10^{-2} \times 0.981 = 7.9 \text{ MPa}$$

AE法测量垂直应力的平均值： $\sigma_v = 7.7 \text{ MPa}$

所以，垂直方向应力AE法测量结果与岩体上覆岩压有较好的一致性。

3.2 水平面内主应力AE法测量结果与水压致裂法的对比

水压致裂法已广泛应用于深孔应力测量。但仍存在许多需深入研究的问题，例如如何正确地确定关闭压力、重张压力及压裂流体的粘滞度、以及压裂速率和岩体渗透率等因素的影响等。我们在同一钻孔进行了水压致裂应力测量的研究，从钻孔150m~300m，用不同方法估算最大和最小主应力(图4)。在294m由水压致裂确定的最大主应力

的作用方向基本上是SN方向，与AE法的测量结果相一致。由AE法确定的最大、最小主应力标在同一幅图中，它们基本上没有区别。

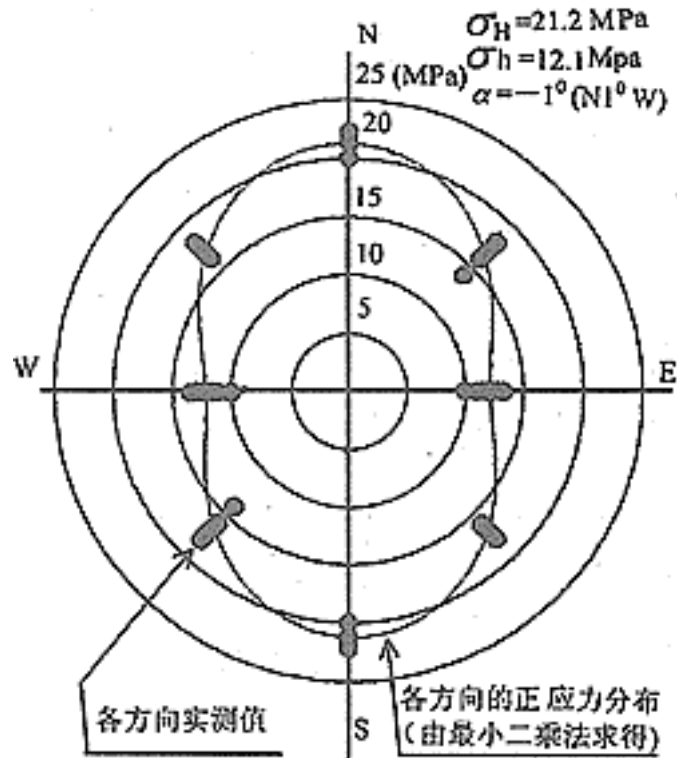


图3 AE法地应力水平主应力分量测量结果及各方向正应力计算结果
Fig.3 The measured and calculated normal stress in horizontal various direction

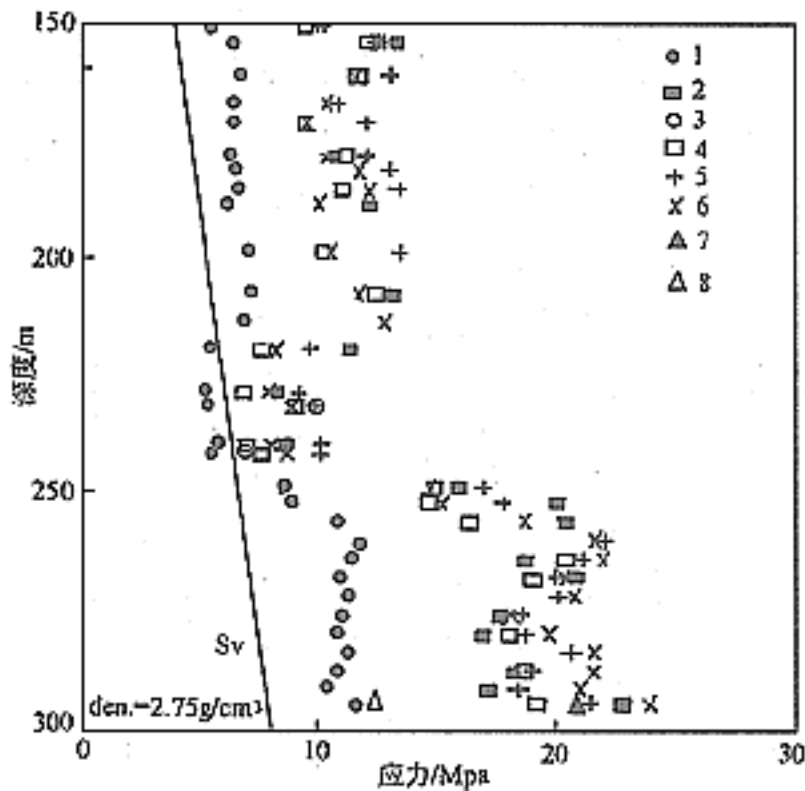


图4 水平面内主应力AE法测量
结果与水压致裂法对比

Fig.4 Comparison of horizontal maximum
and minimum stresses by HF and AE method

- 1.由压力—流量曲线确定的最小主应力；
- 2.由快速压裂的破裂压力确定的最大主应力；
- 3.由慢速压裂的破裂压力确定的最大主应力；
- 4.由第一次重张压力确定的最大主应力；
- 5.由第二次重张压力确定的最大主应力；
- 6.由第三次重张压力确定的最大主应力；
- 7.由AE法确定的最大主应力；
- 8.由AE法确定的最小主应力

4 结论

(1)通过在房山300m深钻孔中采用水泥端帽法进行全孔定向取心，证明了这种方法是一种经济可行、安全可靠的方法，特别在深孔中，由于其节省了上下钻具的麻烦和风险，更显示出其优越性。

(2)利用定向岩心的方位对节理产状进行了实际测量，并与井下电视的实测结果进行了对比，误差一般都在 10° 左右。

(3)由于采取了合理的钻进工艺和特殊的取心措施，使得每次取心均为整根，且岩心端面大都能良好地耦合对接，在保证定向方位精度的前提下，充分利用了岩心端面耦合对接定向，大大减少了定向的次数，并且可进行两次定向结果自核实，为定向结果的可靠性提供了保证。

(4)在岩心定向过程中，在岩心柱面上标注方位线是一个很重要的环节，特别是利用岩心端面耦合对接定向，这个环节尤为重要。由于我们研制使用了特殊的划线器，使得定向方位的误差与井下电视相比只有 10° 左右，两次定向结果自核实的误差也在 10° 左右，充分保证了定向的精度。

(5)通过对北京房山花岗岩体300m深钻孔中的定向岩心，进行AE法应力测量，并

将测量结果与水压致裂法的测量结果进行了对比,证实了AE法是一种有效的室内应力测量方法,且在300m深的硬质岩层中的测量结果与水压致裂法具有相同的测量精度。

作者简介:李宏(1965-),男,副研究员,硕士,主要从事岩石力学和地应力测量方面的研究。

作者单位:中国地震局地壳应力研究所,北京 100085

参考文献

- [1] Kanagawa T, Hayashi M, Nakasa H. Estimation of spatial geostress components in rock samples using the Kaiser effect of acoustic emission [C] . The Third Acoustic Emission Symposium, Tokyo, 1976.
- [2] Yoshikawa S, Mogi K. A new method for estimation the crustal stress from cored samples; Laboratory study in the case of uniaxial compression [J] . Tectonophysics, 1981, 74 : 323 ~ 339.
- [3] Yoshikawa S, Mogi K. Experimental studies on the effect of stress history on acoustic emission activity —— A possibility for estimation of rock stress [J] . Journal of Acoustic Emission, 1989, 8(4): 113 ~ 123.
- [4] 李方全, 张伯崇, 祁英男, 等. 中国三峡地下800m深部应力测量——中日合作AE法与水压致裂法对比研究 [M] . 北京:地震出版社, 1992.
- [5] 李方全, 张伯崇, 苏恺之, 等. 三峡坝区水库诱发地震研究——茅坪钻孔的现场测试与分析 [M] . 北京:地震出版社, 1993.
- [6] 李宏, 等. 北京房山花岗岩体AE法应力测量研究 [A] . 地壳构造与地壳应力文集 [C] . 北京:地震出版社, 1997.
- [7] Thiencelin M J, Hudson P T, Ren N K, et al. Laboratory determination of the in-situ stress tensor [A] . Proceeding of the International Symposium on Engineering in Complex Rock Formations [C] . Beijing: Science Press, 1986 , 278 ~ 283.
- [8] Li Hong, Zhang Bochong, Jiang Nansheng. All Borehole Core Orientation Experiment in 300m Borehole [A] . 地壳构造与地壳应力文集 [C] . 北京:地震出版社, 1996 .

收稿日期:1998-03-15