

WFSD-1 钻孔地应力测量及断层稳定性分析

马秀敏^{1,2)}, 彭华^{1,2)}, 姜景捷^{1,2)}, 李振^{1,2)}, 白金朋³⁾, 赵芳²⁾, 彭立国²⁾

1) 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京, 100081; 2) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081; 3) 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京, 100024

地应力是存在于地壳岩石中的天然应力, 地应力测量是获取地应力状态的主要途径, 差应变分析地应力测量是汶川地震断裂带科学钻探 (WFSD) 项目井中科学探测课题地应力测量技术之一 (Tanimoto et al. 1981; Wu et al., 2007; Chang et al., 2010)。

差应变分析地应力测量 (DSA) 是通过高压容器对取之于钻孔不同深度实验样品施加围压, 记录

样品因失去地层应力而膨胀产生的裂纹重新闭合过程应变, 利用应变分析获得实验样品所处位置主应力大小和方向。

WFSD-1 钻孔位于汶川地震断层带映秀—北川断裂上盘彭灌杂岩中, 是科学钻探的第一口井, 孔深 1201.50m, 岩性以元古界花岗岩和砂岩为主, 在 590m 穿越地震断层主界面, 终孔于三叠系变质砂板岩中 (图 1a)。

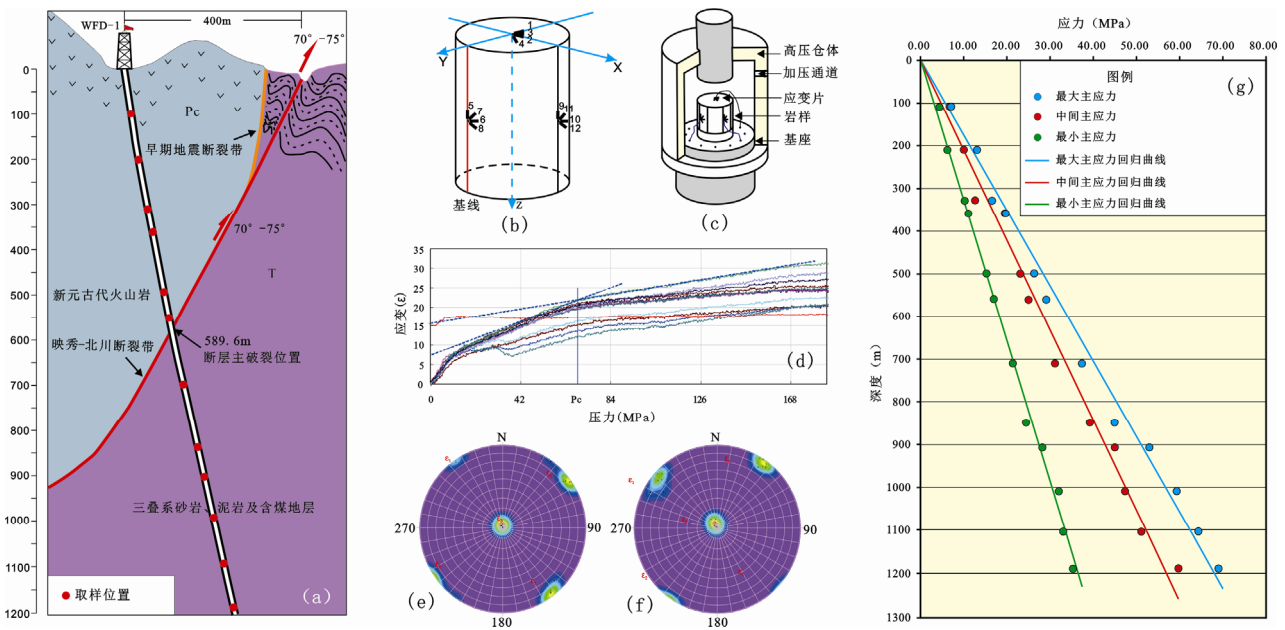


图 1 WFSD-1 孔地应力测量

(a)—地层岩性及取样位置; (b)—样品贴片位置; (c)—高压容器; (d)—差应变曲线;

(e)—110~560m 试样差主应变轴极密图; (f)—710~1190m 试样差主应变轴极密图; (g)—主应力随深度变化图

为了获得 WFSD-1 钻孔地应力状态及断层稳定性, 根据揭露的岩性特征, 采用 DSA 开展了地应力测试工作。

1 差应变分析地应力测量 (DSA)

在穿越汶川地震断层 WFSD-1 钻孔共获取 12 个样品, 断层上盘花岗岩和下盘砂板岩各取 6 个(图

注: 本文为国家科技支撑汶川地震带科学钻探项目-井中科学探测课题 (编号: WFSD-0003) 的成果。

收稿日期: 2015-02-02; 改回日期: 2015-02-28; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 马秀敏, 男, 1978 年生, 硕士, 助理研究员, 地质工程专业。E-mail: maxiumin2@163.com。

1a)。岩心样品经过 105℃干燥 3 小时,采用环氧树脂胶粘贴应变花(4 分向, 0°, 90°, 45°和 135°),按 120°方向排列(图 1b);真空干燥和氩气充填微裂纹;最后覆盖硅橡胶涂层防止样本被实验液体侵入。将试样和补偿块一起放入高压容器中(图 1c),并缓缓加压至 100~140MPa(围压试验最高压力取

裂缝闭合点 1.5 倍),裂隙逐步闭合,获取 WFSD-1 井 12 个岩心样品温度、压力、应变等参数和曲线(图 1d 和图 1e)。根据测试记录差应变曲线分析,得到了主应力轴比率和主轴方位、倾角,将微裂纹闭合压力导入主应力比值,计算出三维主应力值(表 1, 图 1e)。

表 1 WFSD-1 井差应变法地应力测量结果

岩芯编号	岩性	采样深度(m)	根据微裂纹闭合压力 P_c 计算			σ_1/σ_3
			最大主应力 σ_1 (MPa)	中间主应力 σ_2 (MPa)	最小主应力 σ_3 (MPa)	
WFSD-1-A1	花岗岩	110	7.1	6.8	4.5	1.76
WFSD-1-A2	花岗岩	210	13.0	10.0	6.0	2.83
WFSD-1-A3	花岗岩	330	16.5	12.4	10.2	1.91
WFSD-1-A4	花岗岩	360	19.6	19.3	10.9	2.19
WFSD-1-A5	花岗岩	500	26.3	23.1	15.3	2.08
WFSD-1-A6	花岗岩	560	29.0	24.9	17.0	2.05
WFSD-1-B1	砂岩	710	37.5	31.1	21.4	2.12
WFSD-1-B2	砂岩	850	45.0	39.1	24.4	2.30
WFSD-1-B3	砂岩	909	53.0	45.0	28.1	2.31
WFSD-1-B4	砂岩	1010	59.4	47.5	32.0	2.25
WFSD-1-B5	砂岩	1105	64.4	51.1	33.1	2.42
WFSD-1-B6	砂岩	1190	69.1	59.8	35.3	2.44

3 断层稳定性讨论

为了分析断层的稳定性,逆断层滑动准则选取库仑准则。拜尔利(Byerlee, 1990)综合各种不同类型岩石的实验室摩擦实验资料表明:大部分岩石的 μ 值均在 0.6~1.0 之间。若最大、最小有效主应力之比小于此值,则断层稳定,不发生滑动。如果比值等于此值,就会在方位合适的断层上发生滑动。

根据 WFSD-1 各个测点的应力状态,计算 σ_1/σ_3 比值 k 在 1.5~2.6 之间,在断层上盘(580m 以上)大部分在 $\mu=0.5$ 之线上,岩石稳定性好,上盘应力释放较充分,逆断层处于稳定状态;而断层下盘

(600m 以下)大部分在 $\mu=0.6$ 线以上,岩石稳定性差。

4 结论

(1) 通过 DSA 技术测出 WFSD-1 井 12 组平均最大水平主应力的方向为: NE330.58°, 在断层上下盘应力状态差异明显。

(2) 建立 WFSD-1 井应力剖面,随深度增加而增加。钻孔最大主应力值为 7.1~69.1MPa,属于中偏高的逆断层应力状态。

(3) 所测最大与最小主应力比值接近 2.0, WFSD-1 孔 580m 以内岩体较为稳定,600m 以外岩石稳定性差。

参 考 文 献 / References

Byerlee J D. 1990. Friction, overpressure, and fault normal compression, *Geophys. Res. Lett.*, 17: 2109~2203.

Chang C. et al. 2010. In situ stress state in the Nankai accretionary wedge estimated from borehole wall failures. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11, Q0AD04. doi:10.1029/2010GC003261

Sinha B K, Plona T J. 2001. Wave propagation in rocks with elasto-plastic deformations. *Geophysics*, 66(3): 772~ 785.

Tanimoto K, Nakamura J, Fudo R. 1981. Application of acoustic emission in in-situ test [A]. In *Proc. of the 10th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Rotterdam: A.A. Balkema, 573~576.

Wu H.-Y. et al. 2007. Stress orientations of Taiwan Chelungpu-Fault Drilling Project (TCDFP) hole-A as observed from geophysical logs. *Geophys. Res. Lett.* 34, L01303. doi:10.1029/2006GL028050.