

在单钻孔中水压致裂法的三维地应力测量

刘允芳

(长江科学院岩基所 武汉 430010)

摘要 提出了利用钻孔中原生裂隙的重张试验,在单钻孔中进行水压致裂法的三维地应力测量的原理和方法。对利用原生裂隙的重张试验及其与完整岩体段常规压裂试验相结合的两种基本情况,推导了计算公式,可操作性很强。

关键词 水压致裂法,三维地应力测量,原生裂隙,单个钻孔

分类号 TU453

1 前言

水压致裂法地应力测量技术是迄今为止进行深部地应力测量的最有效的手段,测量深度可达到地下数千米。由于其测量深度深,操作简便,测试周期短以及不需要岩石力学参数参与计算等优点,在国内外得到广泛应用。应用范围覆盖水电、矿山、交通、军工等岩石工程和地震机制、地球动力学的研究。但是,传统的水压致裂法地应力测量理论,是建立在弹性力学平面问题理论基础上的,其基本假设之一为地应力场的一个主应力为垂直方向,利用垂直钻孔的测量,测得水平面上的二维地应力状态(最大和最小水平主应力及其方向),而垂直向正应力分量则用上覆岩体自重来估算。

由于水压致裂法地应力测量的广泛应用,众多部门和研究人员的重视和投入,对该测量方法的理论和测试方法进行了深入研究,尤其不满足它的二维应力状态的测量,对三维地应力测量相继提出了新的理论和方法,得到了可喜的成果。例如 F. H. Cornet^[1], Y. Mizuta 和 M. Kuriyagawa 等学者作出了卓越的贡献。本人也曾发表过“水压致裂法三维地应力测量”的论文^[2,3],建议通过三个或三个以上不同方向的钻孔分别进行测量,利用应力分量的坐标变换,建立包含6个应力分量未知量的观测值方程组,然后解这些方程组来确定岩体三维地应力状态。该方法已经在广州抽水蓄能电站、广西全州天湖、天峨龙滩、宁夏大柳树水电站等十几个工程,得到成功的应用。

本文建议利用钻孔中的原生裂隙的重张试验,在一个钻孔中测定三维地应力状态,对利用原生裂隙段的重张试验及其与完整岩体段常规压裂试验相结合的两种具体情况,推导了资料整理的计算公式,是一种新的三维地应力测量方法。文内提出了这种测量方法的理论和计算公式,可操作性很强。

2 测试原理

2.1 观测值方程组的建立

观测值方程组是在大地坐标系下建立的。大地坐标系为 σ_{xyz} 的轴 x 为水平向,取某工程建筑物轴向或正北向,方位角 α ,轴 z 为铅垂向上方向,轴 y 以右手坐标系定向。

2.1.1 原生裂隙段的重张试验测定三维地应力

根据原生裂隙结构面的走向、倾向和倾角建立结构面坐标系 $\sigma_{x_k y_k z_k}$ 。设结构面走向为 α_k ,倾角为 β_k ,取结构面走向为轴 x_k ,结构面倾向为轴 y_k ,结构面上与走向相垂直的线为轴 z_k 。它与大地坐标系的关系如图1。

水压致裂法在钻孔原生裂隙段(序号为 k)进行测试,当裂隙重新张开时,裂隙面上法向应力 σ_{y_k} 与瞬时关闭压力 P_{s_k} 得到平衡,即

$$\sigma_{y_k} = P_{s_k} \quad (1)$$

裂隙面上法向应力 σ_{y_k} 根据应力分量坐标变换,与大地坐标系表达的应力分量的关系为

$$\sigma_{y_k} = \sigma_x l_1^2 + \sigma_y m_1^2 + \sigma_z n_1^2 + 2\sigma_{xy} l_1 m_1 + 2\sigma_{yz} m_1 n_1 + 2\sigma_{zx} n_1 l_1 \quad (2)$$

1997年12月26日收到初稿,1998年4月13日收到修改稿。

作者 刘允芳 简介:男,61岁,1961年毕业于上海交通大学工程力学系固体力学专业,现任教授级高级工程师,主要从事岩石力学、地应力场的测量和研究以及地下洞室稳定性分析研究工作。

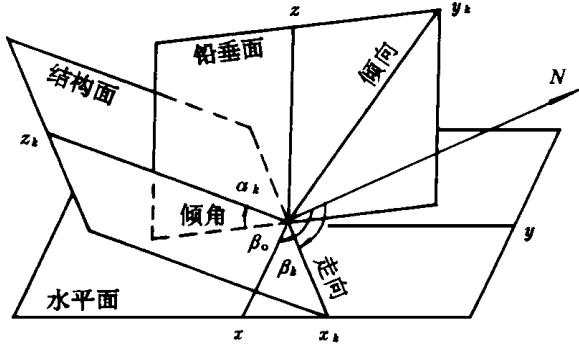


图 1 结构面坐标系与大地坐标系的相对关系

Fig.1 The relation between structural plane coordinate system and earth coordinate system

表 1 结构面坐标系轴 y_k 相对大地坐标系的方向余弦

Table 1 Direction cosines of axis y_k of structural plane coordinate system with respect to earth coordinate system

	x	y	z
y_k	$l_2 = -\sin k \cdot \sin(\theta - k)$	$m_2 = \sin k \cdot \cos(\theta - k)$	$n_2 = \cos k$

式中: l_2, m_2, n_2 为结构面坐标系轴 y_k 相对于大地坐标系的方向余弦, 它们的表达式列于表 1。

用表 1 表达式代入式 (2), 得到

$$y_k = [x \sin^2(\theta - k) + y \cos^2(\theta - k) - xy \sin 2(\theta - k)] \sin^2 k + z \cos^2 k + [yz \cos(\theta - k) - zx \sin(\theta - k)] \sin 2k \quad (3)$$

式(3)左边为由原生裂隙段重张试验获得的已知量, 右边为 6 个应力分量的未知量。只需对 6 个不同产状的原生裂隙段进行重张试验, 就可确定三维地应力状态。因此观测值方程组写成

$$P_{sk} = A_{k1} x + A_{k2} y + A_{k3} z + A_{k4} xy + A_{k5} yz + A_{k6} zx \quad k = 1 \sim N(N \geq 6) \quad (4)$$

式中: N 为进行重张试验的原生裂隙段的个数, $A_{k1} \sim A_{k6}$ 为应力系数, 由原生裂隙的产状确定为

$$\left. \begin{aligned} A_{k1} &= \sin^2 k \sin^2(\theta - k) \\ A_{k2} &= \sin^2 k \cos^2(\theta - k) \\ A_{k3} &= \cos^2 k \\ A_{k4} &= -\sin^2 k \sin 2(\theta - k) \\ A_{k5} &= \sin 2k \cos(\theta - k) \\ A_{k6} &= -\sin 2k \sin(\theta - k) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

2.1.2 原生裂隙段的重张试验与完整岩体段的常规压裂试验相结合测定三维地应力

以原生裂隙段的重张试验测定三维地应力, 不同产状的原生裂隙段的数量必须在 6 个以上。如果在这些原生裂隙段之间, 能选择一个或几个完整岩

体段进行常规的水压致裂法测试, 测定钻孔横截面上的二维应力状态, 那末原生裂隙段的重张试验, 只须进行 3 次, 就可以测定三维地应力状态。

为钻孔横截面上二维应力状态的统一形式表达, 再引入钻孔坐标系 $\sigma_{x_1 y_1 z_1}$ 。设钻孔倾角为 α' , 方位角为 β' , 取钻孔方向为轴 z_1 , 指向孔口为正, 取水平方向为轴 x_1 , 以按右手系确定的轴 y_1 位于上半空间的指向为正。它与大地坐标系的关系如图 2。

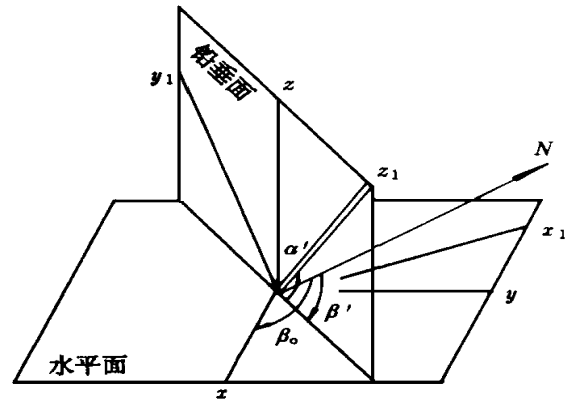


图 2 钻孔坐标系与大地坐标系的相对关系

Fig.2 The relation between borehole coordinate system and earth coordinate system

在完整岩体段进行常规的水压致裂法测试, 即可测得钻孔横截面上大次主应力 A 和小次主应力 B 及其方向(当测量钻孔为铅垂向时, A 和 B 为最大水平主应力 H 和最小水平主应力 h), 它们与钻孔坐标系表达的应力分量关系为

$$\left. \begin{aligned} x_1 + y_1 &= A + B \\ x_1 - y_1 &= (A - B) \cos 2A \\ 2 x_1 y_1 &= (A - B) \sin 2A \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中: A 为在钻孔横截面上以钻孔坐标系水平轴 x_1 起始逆向到裂缝的夹角。如钻孔为铅垂向, 且水平轴 x_1 取正北向, 则 A 为裂缝方位角的负值。

(1) 钻孔为铅垂向

这种情况取钻孔坐标系 $\sigma_{x_1 y_1 z_1}$ 和大地坐标系 σ_{xyz} 重合。由于两种坐标系相一致, 在实测数据处理时, 变得非常简单。在式 (3) 中, $x = x_1, y = y_1, xy = x_1 y_1$, 即在完整岩体段中进行常规水压致裂法测试, 测得了 3 个应力分量 x, y, xy , 余下的三个未知的应力分量 z, yz, zx , 由对 3 个以上不同产状的原生裂隙段进行重张试验的结果确定。这时观测值方程组(4)变成

$$P_{sk}^* = A_{k3} z + A_{k5} yz + A_{k6} zx \quad k = 1 \sim N(N \geq 3) \quad (7)$$

式中:

$$P_{sk}^* = P_{sk} - A_{k1} x - A_{k2} y - A_{k4} xy \quad (8)$$

而应力系数 $A_{k1} \sim A_{k6}$ 表达式列于式(5)。

(2) 钻孔为非铅垂向

这种情况必须把由钻孔坐标系表达的钻孔横截面上二维应力状态, 通过坐标变换, 转换到由大地坐标系表达为

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_1 l_1^2 + y_1 m_1^2 + z_1 n_1^2 + 2 x_1 y_1 l_1 m_1 + \\ & 2 y_1 z_1 m_1 n_1 + 2 z_1 x_1 n_1 l_1 \\ y_1 &= x_1 l_2^2 + y_1 m_2^2 + z_1 n_2^2 + 2 x_1 y_1 l_2 m_2 + \\ & 2 y_1 z_1 m_2 n_2 + 2 z_1 x_1 n_2 l_2 \\ x_1 y_1 &= x_1 l_1 l_2 + y_1 m_1 m_2 + z_1 n_1 n_2 + \\ & xy (l_1 m_2 + m_1 l_2) + yz (m_1 n_2 + n_1 m_2) + \\ & zx (n_1 l_2 + l_1 n_2) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中: l_1, m_1, n_1 和 l_2, m_2, n_2 为钻孔坐标系轴 x_1 和轴 y_1 相对于大地坐标系的方向余弦, 它们的表达式列于表 2。

表 2 钻孔坐标系轴 x_1 和轴 y_1 相对大地坐标系的方向余弦

Table 2 Direction cosines of axis x_1 and y_1 of borehole coordinate system with respect to earth coordinate system

	x	y	z
x_1	$l_1 = \cos(\alpha_1)$	$m_1 = \sin(\alpha_1) \cos(\beta_1)$	$n_1 = \sin(\alpha_1) \sin(\beta_1)$
y_1	$l_2 = -\sin(\alpha_1) \cos(\beta_1)$	$m_2 = \cos(\alpha_1) \cos(\beta_1)$	$n_2 = \cos(\alpha_1) \sin(\beta_1)$

用表 2 中的表达式代入式(9), 并注意式(6), 同样可得到由完整岩体段常规水压致裂法测试得到的观测值方程组。

把钻孔完整岩体段的常规压裂试验和原生裂隙段的重张试验的观测值方程组, 综合写成如下形式:

$$\begin{aligned} k^* &= A_{k1} x + A_{k2} y + A_{k3} z + A_{k4} xy + \\ & A_{k5} yz + A_{k6} zx \quad k = 1 \sim 3n + n_1 + N \\ & (n = 1, N = 3) \end{aligned} \quad (10)$$

式中: n 和 n_1 为完整岩体段常规压裂试验有破裂缝印模记录(序号为 i) 和没有破裂缝印模记录(序号为 i_1) 的数量。

为了运算的方便, 观测值方程的顺序: 有破裂缝印模记录常规压裂试验成果放在前面 ($k = 3(i - 1) + k_1$, k_1 为相应于式(6)的第一、第二、第三式), 没有破裂缝印模记录常规压裂试验成果放在其后 ($k = 3n + i_1$), 原生裂隙段重张试验成果(序号为 j) 放在最后 ($k = 3n + n_1 + j$)。 k^* 的组合形式为应力分量或瞬时关闭压力的已知值, $A_{k1} \sim A_{k6}$ 为应力系数。当 $k > 3n + n_1$ 时, $k^* = B_k$, $A_{k1} \sim A_{k6}$ 仍按式(5)计

算; 当 $k = 3n + n_1$ 时, k^* 和 $A_{k1} \sim A_{k6}$ 按下列表达式计算:

$$\left. \begin{aligned} k = 3i - 2 (\text{或 } 3n + i_1) : \quad k^* &= A_i + B_i \\ A_{k1} &= 1 - \cos^2 \alpha_i \cos^2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k2} &= 1 - \cos^2 \alpha_i \sin^2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k3} &= \cos^2 \alpha_i \quad A_{k4} = -\cos^2 \alpha_i \sin 2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k5} &= -\sin 2\alpha_i \sin(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k6} &= -\sin 2\alpha_i \cos(\beta_i - \beta_0) \\ k = 3i - 1 : \quad k^* &= (A_i - B_i) \cos 2\alpha_i \\ A_{k1} &= 1 - (1 + \sin^2 \alpha_i) \cos^2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k2} &= 1 - (1 + \sin^2 \alpha_i) \sin^2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k3} &= -\cos^2 \alpha_i \\ A_{k4} &= -(1 + \sin^2 \alpha_i) \sin 2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k5} &= \sin 2\alpha_i \sin(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k6} &= \sin 2\alpha_i \cos(\beta_i - \beta_0) \\ k = 3i : \quad k^* &= (A_i - B_i) \sin 2\alpha_i \\ A_{k1} &= \sin^2 \alpha_i \sin 2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k2} &= -\sin^2 \alpha_i \sin 2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k3} &= 0 \quad A_{k4} = -2 \sin \alpha_i \cos 2(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k5} &= 2 \cos \alpha_i \cos(\beta_i - \beta_0) \\ A_{k6} &= -2 \cos \alpha_i \sin(\beta_i - \beta_0) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

2.2 三维地应力状态的确定

建立了观测值方程组以后, 联立这些代数方程组解题, 就可求得三维地应力状态下的 6 个应力分量。如果独立的观测值方程的数量超过未知的应力分量的数量, 属多值测量的广义逆问题, 利用数理统计的最小二乘法原理, 得到求解应力分量最佳值的正规方程组。

对原生裂隙段重张试验与完整岩体段常规压裂试验相结合的铅垂钻孔情况, 正规方程组为

$$\left[\begin{array}{ccc} N & N & N \\ & A_{k3}^2 & A_{k5} A_{k3} & A_{k6} A_{k3} \\ k=1 & & k=1 & k=1 \\ N & & N & N \\ & A_{k3} A_{k5} & A_{k5}^2 & A_{k6} A_{k5} \\ k=1 & & k=1 & k=1 \\ N & & N & N \\ & A_{k3} A_{k6} & A_{k5} A_{k6} & A_{k6}^2 \\ k=1 & & k=1 & k=1 \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} z \\ yz \\ xy \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} N \\ k=1 \\ N \\ k=1 \\ N \\ k=1 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{c} A_{k3} \cdot P_{3k}^* \\ A_{k5} \cdot P_{5k}^* \\ A_{k6} \cdot P_{6k}^* \end{array} \right\} \quad (12)$$

对其他两种情况, 正规方程组为

$$\begin{bmatrix} n_0 & n_0 & n_0 \\ A_{k1}^2 & A_{k2}A_{k1} & \dots & A_{k6}A_{k1} \\ k=1 & k=1 & & k=1 \\ n_0 & n_0 & n_0 \\ A_{k1}A_{k2} & A_{k2}^2 & \dots & A_{k6}A_{k2} \\ k=1 & k=1 & & k=1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_0 & n_0 & n_0 \\ A_{k1}A_{k6} & A_{k2}A_{k6} & \dots & A_{k6}^2 \\ k=1 & k=1 & & k=1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} x \\ y \\ \dots \\ zy \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} n_0 \\ A_{k1} \cdot \dots \\ k=1 \\ n_0 \\ A_{k2} \cdot \dots \\ k=1 \\ \dots \\ n_0 \\ A_{k6} \cdot \dots \\ k=1 \end{Bmatrix} \quad (13)$$

式中： n_0 为测试情况系数，对原生裂隙段重张试验情况， $n_0 = N$ ；对原生裂隙重张试验与完整岩体段常规压裂试验相结合的非铅垂孔情况， $n_0 = 3n + n_1 + N$ 。

求得地应力状态 6 个应力分量以后，再根据三维应力状态的特征方程，求得 3 个主应力的量值：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= 2 \sqrt{-\frac{P}{3} \cos \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} J_1} \\ \sigma_2 &= 2 \sqrt{-\frac{P}{3} \cos \left(\frac{\pi+2}{3} \right) + \frac{1}{3} J_1} \\ \sigma_3 &= 2 \sqrt{-\frac{P}{3} \cos \left(\frac{\pi+4}{3} \right) + \frac{1}{3} J_1} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中：

$$\left. \begin{aligned} P &= \cos^{-1} \left[-\frac{Q}{2} / \sqrt{-\left(\frac{P}{3}\right)^3} \right] \\ P &= -\frac{1}{3} J_1^2 + J_2 \\ Q &= -\frac{2}{27} J_1^3 + \frac{1}{3} J_1 J_2 - J_3 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

而 J_1 、 J_2 和 J_3 为应力张量的第一、第二和第三不变量为

$$\left. \begin{aligned} J_1 &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = x + y + z \\ J_2 &= \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1 = xy + yz + zx - \frac{2}{3} xy - \frac{2}{3} yz - \frac{2}{3} zx \\ J_3 &= \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 = xyz + 2xyyz - \frac{2}{3} xyz - \frac{2}{3} yzx - \frac{2}{3} zxy \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

3 个主应力方向，由静力平衡方程和互为垂直的几何关系求得。主应力的倾角 θ_i 和方位角 ϕ_i 为

$$\left. \begin{aligned} \theta_i &= \sin^{-1} n_i \\ \phi_i &= \cos^{-1} \frac{m_i}{\sqrt{1 - n_i^2}} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

式中： m_i 和 n_i 为主应力相对大地坐标系轴 y 和轴 z 的方向余弦为

$$\left. \begin{aligned} m_i &= B / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \\ n_i &= C / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

式中：

$$\left. \begin{aligned} A &= xy yz - (y - i) zx \\ B &= xy zx - (x - i) yz \\ C &= (x - i) (y - i) - \frac{2}{xy} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

3 算例

某工程在铅垂钻孔中进行水压致裂法的三维地应力测量，建筑物的轴线方向 $\theta_0 = 109^\circ$ 。选择相邻近的 7 段原生裂隙段进行重张试验，它们的瞬时关闭压力 P_k 和原生裂隙的产状列于表 3。由这些数据根据式(5)求得应力系数 $A_{k1} \sim A_{k6}$ ($k = 1 \sim 7$)，代入方程组(13)解得地应力状态的 6 个应力分量，然后再根据式(14) ~ (19)求得主应力量值及其方向。测定的三维地应力状态列于表 4。

表 3 瞬时关闭压力 P_{sk} 和原生裂隙面产状

Table 3 Twinkling-closed pressures P_{sk} and attitudes of original fissures

测段 k	关闭压力 P_{sk}/MPa	走向 $k/(\circ)$	倾向	倾角 $k/(\circ)$
1	4	0	正 W	20
2	5.5	60	NNW	30
3	9.5	270	正 S	45
4	4	330	WWS	45
5	7.5	130	NE	70
6	10	220	SE	80
7	6.5	10	NWW	75

表 4 三维地应力实测成果表

Table 4 Measured results of 3-dimensional geostresses

应力分量					
x	y	x	xy	yz	zx
7.94	9.39	5.38	-2.67	-0.18	2.20
主应力					
1		2		2	
量值	倾角	量值	倾角	量值	倾角
11.80	13.9	157.7	7.10	35.5	57.5
			3.81	51.5	265.5

也可计算出最大水平主应力 σ_H 和最小水平主应力 σ_h 及 σ_H 的方位角 ϕ_H ：

$$\sigma_H = 11.43 \text{ MPa}, \quad \sigma_h = 5.90 \text{ MPa}, \quad \phi_H = 161.6^\circ$$

由以上实测成果可知，该测区测定的地应力状

态以地质构造应力场为主导,主压应力方向为 NNW 向。

为了进一步论证本文提出的在单钻孔中进行三维地应力测量理论的正确性,假定在此铅垂钻孔中,已在选定的完整岩体段进行了常规的水压致裂法测试,测定的水平面上二维应力状态 σ_x, σ_y 和 σ_{xy} 如表 4 所列。仍采用 7 段原生裂隙段进行重张试验(瞬时关闭压力和原生裂隙面产状仍按表 3 所列)。则根据式(5)计算的应力系数 $A_{k1} \sim A_{k6}$ 代入方程组(12),解得的应力分量 σ_z, σ_{yz} 和 σ_{zx} 与表 4 结果完全相同。由此说明两种测量方法(原生裂隙段的重张试验及它与完整岩体段常规压裂试验相结合)的结果,能够相互得到印证,所提出的理论是正确的。

4 结 语

水压致裂法地应力测量具有突出的优点,已经在国内外得到广泛应用。由于各单位和研究人员的积极投入,测试原理和方法的研究都有新的进展,尤其对三维地应力测量的研究,获得了可喜的成绩,扩大了这种测量方法的应用范围。

本人的“水压致裂法三维地应力测量”^[2]论文问世后,得到国家地震局地壳应力研究所等单位的关注,在具体应用上对测试技术作了深入探讨和改进。该论文主张采用不同方向的 3 个交汇钻孔分别进行测量来测定三维地应力状态,由于可操作性强,很快得到推广应用。目前这种三维地应力测量方法,已经在十几个水利工程中得到应用。

利用 3 个交汇钻孔分别测量来测定三维地应力,增加了钻探工作量和经费。并且斜向钻孔的方向不易掌握,影响了测量深度;三孔交汇不易交汇到一点(有的不用三孔交汇,作三孔同处均匀应力场的假定),影响了测量成果的准确性。

本文提出在一个单钻孔中,利用原生裂隙的重张试验进行三维地应力测量方法,改进了三孔交汇测量法需要三个钻孔才能测定三维地应力状态的缺点。在钻孔有限长度的测段内不难寻找到 6 条原生裂隙段,尤其是与完整岩体段的常规压裂试验相结合的方法,只要寻找到 3 条原生裂隙段进行测试,就可测定三维地应力。另外,从数理统计观点,实测数据越多,测量成果就越精确,这种测量方法能够寻找到较多原生裂隙段进行测试,使实测成果的精度较高。最值得引人注目的是这种三维地应力测量方法,完全能适应在深钻孔内进行测量。所以这种三维地应力测量方法,可操作性很强,有广泛应用前景。

参 考 文 献

- 1 F H Cornet. In situ stress heterogeneity identification with the HTPF tool. In: Tillerson & Wawersik ed. Rock Mechanics. New York: McGraw-Hill, 1992
- 2 刘允芳. 水压致裂法三维地应力测量. 岩石力学与工程学报, 1991, 10(3): 246~256
- 3 刘允芳,高建理. 水压致裂法三维地应力测量的原理和在广州抽水蓄能电站的实践. 见:第三届全国地应力会议专辑. 北京:地震出版社, 1994, 26~37

3-DIMENSIONAL GEOSTRESS MEASUREMENT BY HYDRAULIC FRACTURING TECHNIQUE IN ONE BOREHOLE

Liu Yunfang

(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010)

Abstract A method of 3-dimensional geostress measurement by hydraulic fracturing technique in one borehole is suggested. It is based on utilizing re-opening tests of the preexisting fissures in borehole. The specific calculating formulas are derived for two cases in which re-opening tests of preexisting fissures are only utilized or it is combined with conventional hydraulic fracturing in intact rock section. These methods possess the advantage of easy practical operation.

Key words hydraulic fracturing technique, 3-dimensional geostress measurement, preexisting fissures, one borehole