

用电测深法在水压致裂实验中确定岩石破裂 方向的实验研究

1. 测点布设及观测方法

实验场地位于福建省南靖县汤坑盆地中央。盆地内分布有 F_1 、 F_2 、 F_3 和 F_4 4组断裂，其中 F_1 为张性兼压扭性断裂， F_2 为扭性断裂， F_3 为张扭性断裂， F_4 为压扭性断裂(图1)。

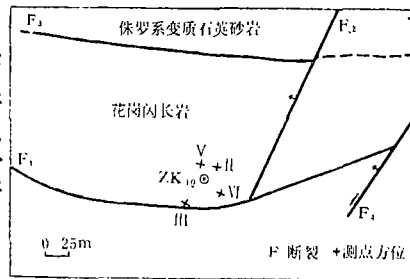


图1 南靖汤坑地质构造及测点方位图

加压在 ZK_{10} 号井中进行，具体压裂过程参见文献[1]。我们采用Sehlmurger排列环形垂向直流电测深的观测方法，为了能确定压裂后的破裂方向，在 ZK_{10} 号压力井四周布设了4个观测点，测点分布及各参数见图1及表1。

表1

点号	测线方向	距 ZK_{10} 井距离	测点方位	测点布设	$\frac{AB}{2}$ 的选取	$\frac{MN}{2}$ 的选取
I	N70°W N20°E N20°W N70°E	22m	N40°E	环形“米”字测深	4—220m 4—340m 4—340m 4—340m	0.5—110m
II	N10°E S80°E	56m	S37°W	交叉“十”字测深	4—340m 4—340m	0.5—12m
IV	N10°E S80°E	32m	S50°E	交叉“十”字测深	4—340m 4—220m	0.5—12m
V	N10°E S80°E	26m	N23°W	交叉“十”字测深	4—340m 4—220m	0.5—12m

在实验之前，在 $N40^\circ E$ 方向距 ZK_{10} 号井22米处做了环形“米”字型测深，通过环形作图法找出了视电阻率的长、短轴的方向，根据这两个方向进行在加压过程中的定点定时观测。

2. 实测结果

表2给出了4个测点的实验数据，由于表层干扰较大，只取 $\frac{AB}{2} = 100—150m$ 的观测数据。

由表2可以看出，Ⅰ号测点及Ⅴ号测点的测值的变化幅度较小，最大幅度不超过2.5%。Ⅱ号测点的N10°E测线呈现较大的正向变化，极距 $\frac{AB}{2} = 100\text{m}$ 时的变化幅度为5.9%，比基值增加了4.5Ωm； $\frac{AB}{2} = 150\text{m}$ 时变化幅度为5.5%，比基值增加5.4Ωm。Ⅲ号测点的S80°E测线变化幅度较小，最大极距 $\frac{AB}{2} = 153\text{m}$ 时的测值仅变化了2.3%。Ⅳ号测点变化幅度最大，N10°E测线在极距 $\frac{AB}{2} = 100\text{m}$ 时的变化幅度为+9.9%，比基值增加了4.1Ωm；在 $\frac{AB}{2} = 150\text{m}$ 时的变化幅度为+7.5%，比基值增加了4.5Ωm。S80°E测线在 $\frac{AB}{2} = 100\text{m}$ 时变化幅度为-9.0%，比基值减少3.4Ωm；在 $\frac{AB}{2} = 150\text{m}$ 时变化幅度为-10.2%，比基值减少了5.4Ωm。根据各个测点变化幅度，编制了各点的环形图，如图2所示。

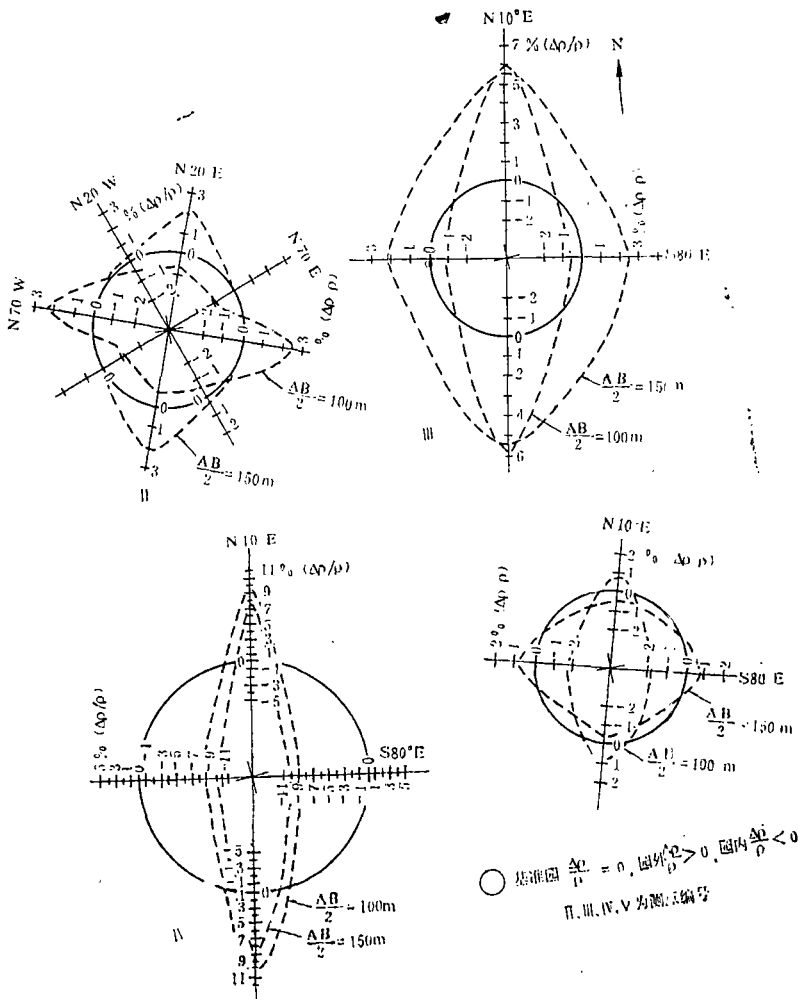


图2 水压致裂试验中对称四极电测深 $\Delta\rho/\rho$ (%)变化幅度环形图

表 2 福建南靖汤坑水压致裂实验电测深 ρ_s 变化幅度表

点号	测线方向	$\frac{AB}{2}$ (m)	$\frac{MN}{2}$ (m)	压前 ρ_{s_1} (Ωm)	压后 ρ_{s_2} (Ωm)	差值 ($\rho_{s_2} - \rho_{s_1}$)	变化幅度 %
I	N70°W	100	12	39.7	40.7	1.0	2.4
		150	12	61.5	61.5	0	0
	N20°E	100	12	29.5	29.3	-0.2	-0.7
		150	12	56.3	57.6	1.3	2.2
	N20°W	100	12	37.3	37.1	-0.2	-0.5
		150	12	51.4	51.6	0.2	0.4
	N70°E	100	12	41.4	40.9	-0.5	-1.2
		150	12	65.5	65.5	0	0
II	N10°E	100	12	71.5	76.0	4.5	5.9
		150	12	93.1	98.5	5.4	5.5
	S80°E	100	12	41.2	40.9	-0.3	-0.7
		150	12	56.2	57.5	1.3	2.3
IV	N10°E	100	12	37.4	41.5	4.1	9.9
		150	12	55.6	60.1	4.5	7.5
	S80°E	100	12	41.0	37.6	-3.4	-9.0
		150	12	58.4	53.0	-5.4	-10.2
V	N10°E	100	12	36.3	36.6	0.3	0.8
		150	12	50.6	50.4	-0.2	-0.4
	S80°E	100	12	43.8	43.0	-0.8	-1.9
		150	12	68.0	68.5	0.5	0.9

在压裂过程中，在 II 号测点视电阻率长轴 (N70°E) 方向和短轴 (N20°W) 方向进行了定点定时观测。由于 N70°E 方向的变化不明显，仅取 N20°W 方向的观测数据作出图 3。图 3 较明显地反映出在加压过程中的视电阻率变化。

3. 分析与讨论

把 4 个测点的正向变化值点绘在构造平面图上，作成图 4。

根据电法勘探理论，沿正向变化幅度较大的方向即为环形测深的长轴方向，是主破裂的方位。由于 II、V 号测点的 ρ_s 测值基本上没有出现变化，这样就可以确定出现破裂的方向是位于 ZK₁₀ 井孔的 SE 方向。III、VI 号点的测值变化较大，说明在这两测点处出现了压裂的裂隙。而在 VI 号点 ρ_s 的变化幅度较 III 号点大，则可认为在这个点的 N10°E 方向出现的裂隙较 III 号点大。从 ZK₁₀ 井孔周围的地质构造看，III 号测点位于 F₁ 断裂边缘，VI 号测点位于 F₁ 和 F₂ 两条断裂的交汇处，两个测点所在地区岩石强度较弱。ZK₁₀ 压力孔位于 F₁ 和 F₂ 断裂的交汇地区，距离 F₂ 断裂较远，达 200 米，这样在施加压力后，必然是在岩石强度较弱的部位出现破裂，这 and 实际观测结果是相吻合的。

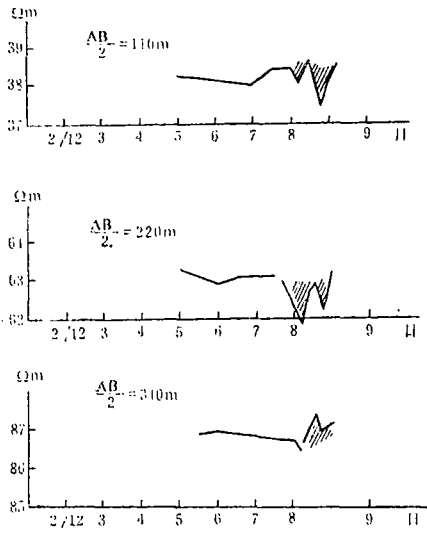


图3 II号点N20°W方向水压致裂定点观测ρ_s变化曲线

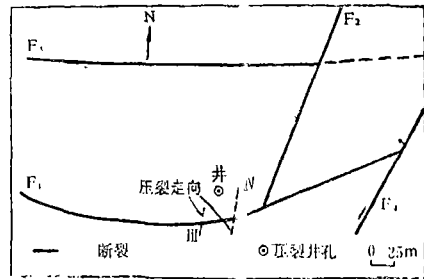


图4 采用对称四极电测深法观测的压裂走向图

实验结果还表明，在非均匀介质内，岩石视电阻率变化不完全与距力源的距离有关，而是决定于岩层（岩石）承载压力的能力。如Ⅲ号测点和Ⅵ号测点距压裂孔的距离比Ⅰ号测点和Ⅴ号测点远，而其视电阻率变化幅度却比Ⅱ号测点和Ⅳ号测点大。

从图3.可以看出，在加压过程中视电阻率有较清晰的变化。特别是在N20°W方向，在极距 $\frac{AB}{2} = 110m$ 和 $\frac{AB}{2} = 220m$ 时，在加压过程中观测到视电阻率呈下降变化，卸压后视电阻率回升，基本上恢复了原来的基值，这和实验室的结果是吻合的。 $\frac{AB}{2} = 340m$ 时的视电阻率变化呈现上升的趋势，但不显著，表明在加压过程中在90.57—91.57m深度上产生的裂隙是很小的。

以上岩石破裂试验过程的定点、定时观测结果说明，用地电方法研究地震破裂过程是可行的，同时也表明，用地电方法是可以观测到地震前兆信息的。

本次实验自始至终得到桂燮泰同志的指导，在此表示衷心的感谢。

（本文1987年7月9日收到）

（国家地震局分析预报中心 高福旺 贺国玉 韩凤银 可志和）

参 考 文 献

〔1〕李彤起，水压致裂过程中氦气的反应，西北地震学报，Vol.10, No.1, 1988.

RESEARCH ON DETERMINING ROCK FRACTURE DIRECTIONS BY ELECTRICAL SOUNDING METHOD IN THE HYDROFRACTURING EXPERIMENT

Gao Fuwang, He Guoyu, Han Fengyin, Ke Zhihe
 (Centre for Analysis and Prediction, SSB)