

研究简报

# 中尺度地壳岩体中 人工力源应力场的实验研究

于允生 李健春 王铁男

(国家地震局地震地质大队)

王东岩 王勇

(山西省地震局) (兰州地震所)

利用人工力源进行中等尺度地壳岩体中的应力场实验研究的首次实验,于1982年10月至11月在唐山古冶进行。

## 一、实验原理、场地和设备

此次实验以水压致裂法应力测量中的注水压力作为人工力源,在水压致裂孔(简称实验孔)的附近布设装有地应力传感器的观测孔,用地应力测量系统进行现场实测。

这类实验在国内外未见报道。它不仅能够通过实验检验地应力相对测量方法的效果,而且为解决有关真实地质体中的岩石力学性质、应力波的传播和动力学过程、应力场的分布状态、岩石变形及破裂与地震前兆现象的关系等问题提供了一种有效的方法。

在水压致裂实验中,人为施加于实验孔孔壁的力,改变了实验孔附近区域原来的应力状态而形成一个局部的附加应力场。在不同的实验阶段这个场呈现出不同的变化过程和分布状态。对此进行测量和记录,然后从中提取有用的成果进行分析研究,这就是实验所要进行的工作。

此次实验是在河北省唐山市西黄坨苗圃进行的。实验孔孔深353.46 m,0—18 m为浅黄色砂质粘土,以下为紫红色细砂岩。在实验孔S30°W方向上布设了两个观测孔,与实验孔水平距离分别为8 m(简称 $L_8$ )、20 m(简称 $L_{20}$ )。 $L_8$ 孔深23.92 m,0—17.82 m为浅黄色砂质粘土,以下为紫红色细砂岩; $L_{20}$ 孔深31.81 m,0—21.79 m为浅黄色砂质粘土,以下为紫红色细砂岩。钻孔平面布设情况见图1,剖面图见图2。

在两个观测孔的底部按相同方位安装了DIL-110型四分向传感器,传感器布设方位见图3。安装孔段均为完整砂岩。除 $L_{20}$ 孔N75°E元件与孔壁接触不良外,其余各元件与孔壁的接触状态良好。实验所使用的观测仪器都是近几年新研制的自动记录地应力相

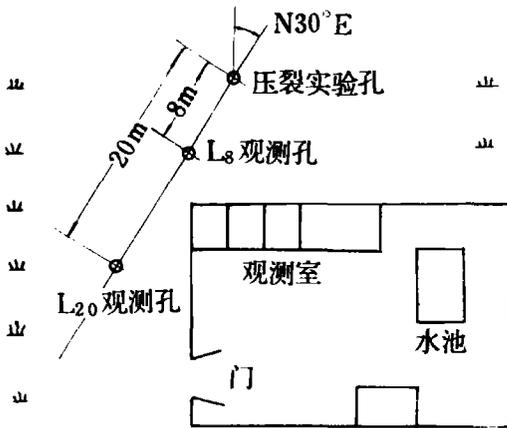


图 1 钻孔平面布设图

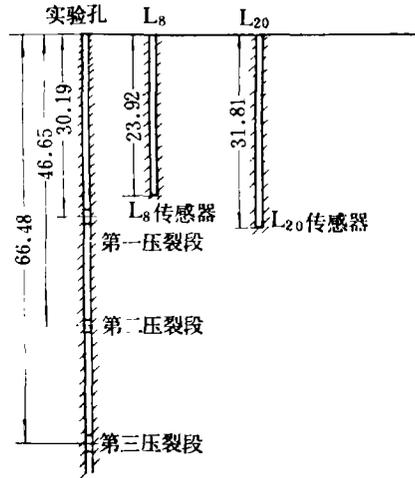


图 2 钻孔剖面图

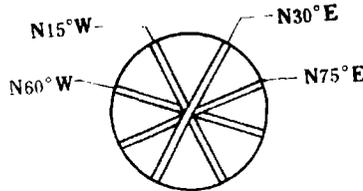


图 3 传感器布设方位

观测仪器一览表

传 感 器		方位	观 测 仪 器	记 录 仪 器	负 责 单 位
编 号					
L <sub>8</sub>	L <sub>20</sub>				
38	17	N30°E	4101A 型压磁应力仪	LM-6 型 描笔式记录仪	国家地震局 地震地质大队
39	44	N15°W	PYL-1 型频率式应力仪	YEW 型(日本) XCW-100 型(沪)	华北第七所
46	45	N60°W	YZL 型电感动态应力仪	LZ6 型 三笔记录仪	国家地震局 兰州地震研究所

对测量仪器(见上表),测量精度均优于 0.01%。传感器与仪器用屏蔽导线相连接。安装后经测试,传感器与观测记录仪器工作正常,测值稳定,测量结果是可靠的。

## 二、实验过程和主要实验现象

在水压致裂所进行的十多次分段实验中,只有浅部 110 m 之内的四次实验在观测孔有明显的记录,对 160 m 以下的各次压裂实验,记录应力值均无明显变化。这四次中最浅的、也是最接近观测孔的实验是在 29.02m—31.36m 压裂段(第一压裂段)进行的,其实

验过程简述如下:

在第一压裂段的上、下两端使用封隔器封隔(称为座封),座封完成后高压水泵开始以每秒 70 升的流量向封隔岩段中注水加压。到 1.5 秒时岩段沿  $N 54^{\circ} E$  方向破裂,此时压力值达到  $107 \text{ kg/cm}^2$ 。岩段破裂后,压力值迅速下降至  $30 \text{ kg/cm}^2$  以下,而泵流量不变,这种状态维持 42 秒(称保压时间)后停泵,流量为零,压力值逐渐下降。然后再重复上述过程若干次(称为重张),不过由于岩段已产生破裂,后面再加压力已达不到第一次的值,大约只有  $20-30 \text{ kg/cm}^2$  压力、流量和记录应力值的典型记录曲线见图 4。

在上述过程中测量系统记录到的主要现象是:

1. 当座封压力分别为  $117$ 、 $112$ 、 $132 \text{ kg/cm}^2$  时,在  $L_8$  孔分别记到了  $0.0014$ 、 $0.0023$ 、 $0.0009 \text{ kg/cm}^2$  的应力变化。

2. 在岩石破裂前 1—2 秒的时间内,虽然井下压力已接近最高值,但记录应力值并无明显变化。当岩段被压裂后,虽然压力值已下降很多,但记录应力值却逐渐上升,并达到一定幅度,最大变化量可达约  $0.46 \text{ kg/cm}^2$  (张性)。这一变化过程不仅与压力源的压力值有关,而且其上升时间和保压时间大致相等。随着力源的消失,经过一段时间(数十分钟)基本上可以复原。

3. 在实验过程中无论加载时还是卸载时都记到  $L_8$  和  $L_{20}$  两个孔记录曲线拐点的到时差。在本段实验中,加载、卸载共计 12 次,其中有 7 次明确记到了约 1—2 秒的到时差。

浅部其它三次实验的实验过程和主要现象与第一压裂段大致相同。除  $45.48\text{m}-47.82 \text{ m}$  压裂段实验的  $L_{20}$  孔  $N15^{\circ} W$  元件的记录表现为压性、第一压裂段实验的  $L_{20}$  孔  $N 30^{\circ} E$  和  $N 15^{\circ} W$  元件的记录表现为先张后压外,其余各次、各孔、各方位的记录均呈张性。记录应力值的幅度随压裂段深度的增加而减小,而且各次实验中  $L_{20}$  孔的记录幅度比  $L_8$  孔小。

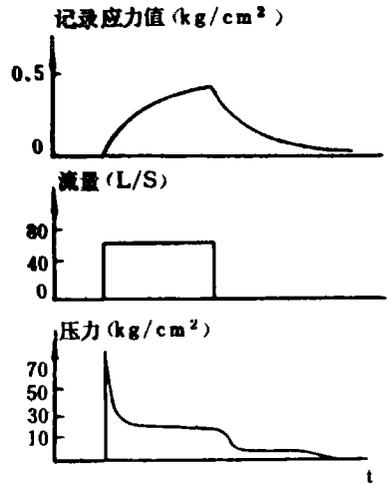


图 4 压力、流量和记录应力值对比示意图

### 三、讨 论

1. 对座封压力的应力值记录是在岩段破裂前测到的,这时可以认为岩孔是完整的,没有渗透水压的影响。据此可对岩石的力学性质和在无限弹性空间中有一圆柱形压力腔的应力场分布状态进行分析和研究。

2. 从不同距离的记录有明显到时差来看,实验过程中存在有介质的非瞬态地应力变化过程,这对了解地应力的地震前兆过程是有意义的。

3. 在岩石破裂后测得信息幅度增大的主要原因,可能是破裂面的延伸,既增加了总载荷,又改变了力源体积和形状。如果孔位数量较多的话,从实测应力值判断破裂面的延伸状态将是一个好方法,而这正是水压致裂法中尚未解决的问题。

4. 在实验中大部分记录应力值呈张性变化(既观测点处于两向张区),而且经过计算最大主应力方向并不指向实验孔。这两个现象同样可以认为是由于力源状态从圆柱状改变为尺度较大的破裂面(体)所致。

由于初次实验经验不足,而且观测点布设数量较少,实验所取得的成果是初步的。

本次实验由国家地震局地震地质大队筹备组织,山西省地震局、华北第七研究所、国家地震局兰州地震研究所参加集体完成。

## EXPERIMENTAL STUDY OF STRESS FIELD WITH ARTIFICIAL FORCE SOURCE IN MEDIUM-SIZED CRUSTAL ROCK

YU YUN-SHENG LI JIAN-CHUN WANG TIE-NAN

*(Seismo-geological Expedition, State Seismological Bureau)*

WANG DONG-YAN

*(Seismological Bureau of Shanxi Province)*

WANG YONG

*(Lanzhou Seismological Institute)*

### Abstract

In this paper, the studies of a stress field in medium-sized crustal rock are reported. During the tests the porehole hydraulic press was used as an artificial force source and the borehole stressometer was the measuring tool. The depth of measurement reached to more than 100 meters. The working area extended horizontally in 20 meters.

It has been found that the range of additional stress field made by the artificial force source is rather large. The change of the additional stress field has close relation to the dynamic variation of water.