

深孔 X-lot 地应力测量技术方法

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

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, 100081

地应力是采矿、电站、隧道等工程稳定性设计的重要基础资料^[1], 因此, 地应力测量与研究已成为工程界科研人员最关心的问题之一。随着现代石油工程、采矿工程开采深度不断刷新纪录、科学钻探和地震研究也不断将探测目标指向深部, 深部地应力测量愈来愈重要^[2-10]。目前, 深部地应力测量主要是采用水压致裂法, 钻孔崩落法以及基于岩心测量的差应变法和滞弹性应变恢复法等方法^[11]。

首先, 随测试深度增大, 提、下钻时间变长, 钻取岩心到测试时间间隔变大。由于时效性的约束, 制约了基于岩心的地应力测试方法如滞弹性应变恢复法测量精度。随测试深度的不断增大, 带来高温、高压技术难题, 按照地温梯度 30°C/km 计算, 4500m 温度将达到 150°C 左右。由于电路板无法在如此高温下工作, 使得基于电子通讯传输的空心包体地应力测量技术方法不太可行。传统水压致裂地应力测量技术在理论上较完善, 测量结果可靠性也较高。但橡胶制品的封隔器、印模器在高温高压条件下的封隔密封效果、印模清晰度可能受到影响。

传统石油钻井过程中常进行地层漏失压力试验, 关闭防喷器, 通过钻杆以不变的泵速缓慢泵送流体迫使部分流体进入地层使其破裂。而测试地层破裂压力, 获取地层的漏失压力。为此, 我们借鉴此法改良水压致裂地应力测量, 利用 X-lot 试验测试深孔地应力。

1 X-LOT 原地应力测量技术与设备

1.1 测试原理

扩展漏失试验法 (X-LOT) 是一种特殊的水力压裂法地应力测量技术, 相对 LOT 试验来说, X-LOT 试验即是 LOT 试验的扩展, 在达到泄漏压力 (LOP) 继续开泵加压, 延长加压时间, 并进行多次压裂循

环。每一开钻进结束、下套管固井后, 先进行套管漏失试验 (LOT 试验); 然后, 继续钻进 3~7m 的裸孔, 在低于套管漏失试验测试压力下, 向裸孔段施压, 压裂过程大约 150min, 经历 4~5 个压裂循环, 并记录过程压力、流量等实测参数。依据照弹性力学原理, 当液压大于裸孔段岩石所能承受的压力时, 将在最小切向应力的位置上产生张破裂, 并利用相应的弹性力学公式计算出所测位置的地应力状态。

1.2 测试设备

X-LOT 测试系统包括工控机系统、数据采集卡、控制系统、数据采集软件、流量计、压力计、记录器、节流阀等, 以及钻探方协助的钻探设备, 包括泥浆泵、泥浆箱、钻杆、防喷器等材料设备 (图 1)。

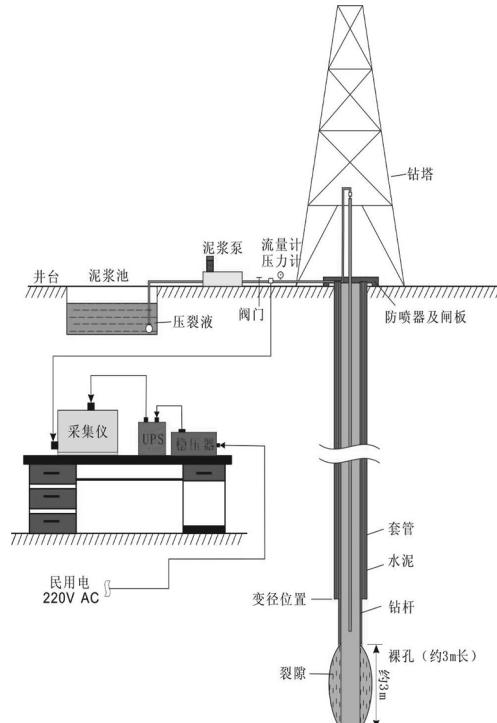


图 1 X-LOT 试验原理图

2 X-LOT 测试及测试结果

2012年1月8日,在海上平台现场钻探技术人员配合下,完成深度3415~3422m测试段套管漏失试验、X-LOT测试,并记录下压裂曲线(图2)。

测试结果表明,该钻孔以铅直主应力为最大主应力,即 $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$,属正断层应力状态,最大水平主应力值为72.9~88.2MPa。该结果与邻近钻孔资料地应力分析结果基本一致,具有一定的可靠性和可信度。该技术缺点在于无法确定主应力方向,需结合测井资料(FMI)完成应力方向的确定^[12]。该孔测试段最大方向81.0~87.0°,呈近东西向。

3 结论

(1) 该钻孔以铅直主应力为最大主应力,即 $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$,属正断层应力状态,最大水平主应力值为72.9~88.2MPa。东西向断层处于张性应力环境,不利于油气储藏。

(2) 深度34515~3422m测试结果与邻近钻孔资料地应力分析结果基本一致,具有较高可靠性和可信度。此次采用X-LOT试验成功获取某地区大深度地应力状态,也充分表明X-LOT地应力测试技术可用于深孔地应力测量。

参 考 文 献 / References

蔡美峰,乔兰,李华斌.地应力测量原理和技术[M].北京:科学出版社,1995:1~169.

LIAO Chunling, ZHANG Chunshan, WU Manlu, et al. Stress change near

the Kunlun fault before and after the MS 8.1 Kunlun earthquake [J].

Geophysical Research Letters, 2003, vol(30): 2027-2031

PENG Hua, MA Xiumin, JIANG Jingjie. Process Analysis of In-situ Strain during the Ms8.0 Wenchuan Earthquake-Data from the Stress Monitoring Station at Shandan [J]. Journal of the Geological Society of China, 2009, 83 (4): 754-766

CAI Meifeng, PENG Hua, MA Xiumin, JIANG Jingjie. Evolution of the in situ rock strain observed at Shandan Monitoring Station during the M8.0 earthquake in Wenchuan, China, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2009, 46(Issue 5): 952-955

彭华,马秀敏,姜景捷.山丹地应力监测站体应变仪的地震效应[J].地质力学学报,2008,14(2): 97-108.

BRUDY M, ZOBACK M D, FUCHS K, et al. Estimation of the complete stress tensor to 8 km depth in the KTB scientific drill holes: implications for crustal strength[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(B8): 453-475.

ZOBACK M D, HARJES H P. Injection-induced earthquakes and crustal stress at 9 km depth at the KTB deep drilling site, Germany[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(B8): 18 477-18 491.

何满潮,谢和平,彭苏萍,等.深部开采岩体力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(16): 2 803-2 813.

李朋武,崔军文,王连捷等.中国大陆科学钻探主孔钻孔崩落与现场应力状态的确定[J].岩石学报,2005,21(2):421-426.

王连捷,崔军文,张晓卫等.中国大陆科学钻主孔现今地应力状态[J].地球科学-中国地质大学学报,2006,31(4):0505-0513.

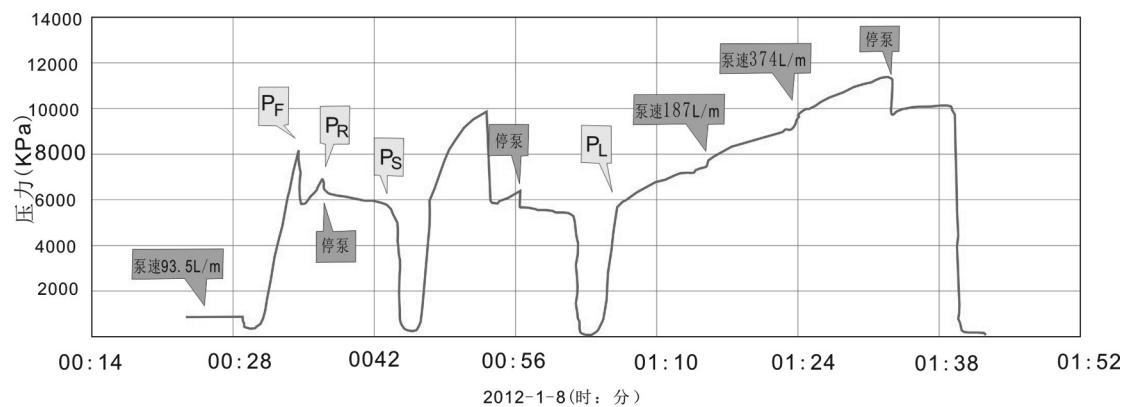


图2 X-LOT 试验曲线分析