

WFSD-3P 孔人工注水诱发地震试验及其探讨

马秀敏^{1,2)}, 彭华^{1,2)}, 李振^{1,2)}, 姜景捷^{1,2)}, 赵芳²⁾, 韩超朴^{2,3)}, 白金朋⁴⁾,
苑鹏翔^{2,3)}, 卢胜周²⁾, 郭凤君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) 中国石油大学, 北京, 102249; 4) 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京, 100024

自 20 世纪 60 年代初期发现, 美国丹佛附近军工厂深井注入的废液引起地震活动频繁, 停止注水后地震活动减弱, 这一现象引起人们的普遍关注。此后, 美国科罗拉多州的蓝吉利油田、日本松代、德国 KTB 科学钻探、法国莱茵地热井、中国荣昌油井等进行注水实验, 进一步证实了注水与地震活动的相关性, 更加引起了人们的重视(赵根模等, 1990; 张宝红等, 1994; Cornet et al., 1997; 黄世源等, 2007)。

为了研究注水诱发地震及其断层愈合过程, 汶川地震断裂带科学钻探项目井中科学钻探课题启动, 在穿过安县—灌县断层科学钻探 WFSD-3P 孔中开展了注水试验, 并在地表和井中开展辅助测量, 观测注水过程中活动断裂对局部应力变化的响应。

1 注水诱发地震试验系统

1.1 地表观测系统

为了有效地监测到注水诱发地震, 在钻井附近地表布设 2 组 9 个地震仪组成的微地震观测台网, 并在井口处以“双 L”型布极方式布设地电场仪设备, 形成地表辅助观测系统(图 1)。

1.2 井中观测系统

WFSD-3P 注水井的井底、井口处以及井口旁 3 个位置分别安放有高频地震检波器, 其中井下放置的频率为 4.5~2000Hz 三分量检波器(位于 551m 深处), 井口放置一个垂直分量检波器, 井口旁边放置一个 4.5~2000Hz 高频检波器。这些检波器可

以精确记录井下由于注水压裂诱发的微地震事件。

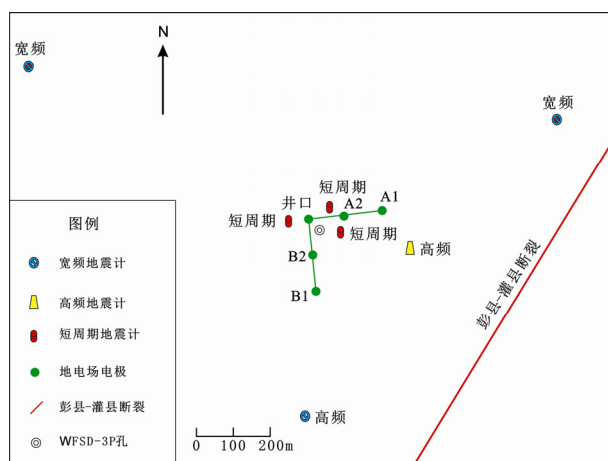


图 1 地表地震观测台站及电极布置示意图

1.3 注水诱发地震试验

2013 年 11 月 22 日至 2014 年 3 月 9 日对 WFSD-3P 钻孔开展了为期 108 天的注水诱发地震试验, 该孔深度为 551.54m, 注水总量达到 47520m³, 这是迄今为止在大陆科学钻探中所进行的世界注水时间最长的诱发地震实验。

通过不同压力、流量(初始注水量 10L/min, 以 10 天为一小周期, 每一周期增加 10L/min 的水量向孔内注水, 注水流量计划最终加至 100L/min)条件下的注水试验, 获取注水期间人工诱发微地震数、流量、压力与时间的关系(图 2); 根据诱发地震的空间分布, 运用震源机制解析方法, 计算出岩石中有效应力及其空间分布状态。

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。

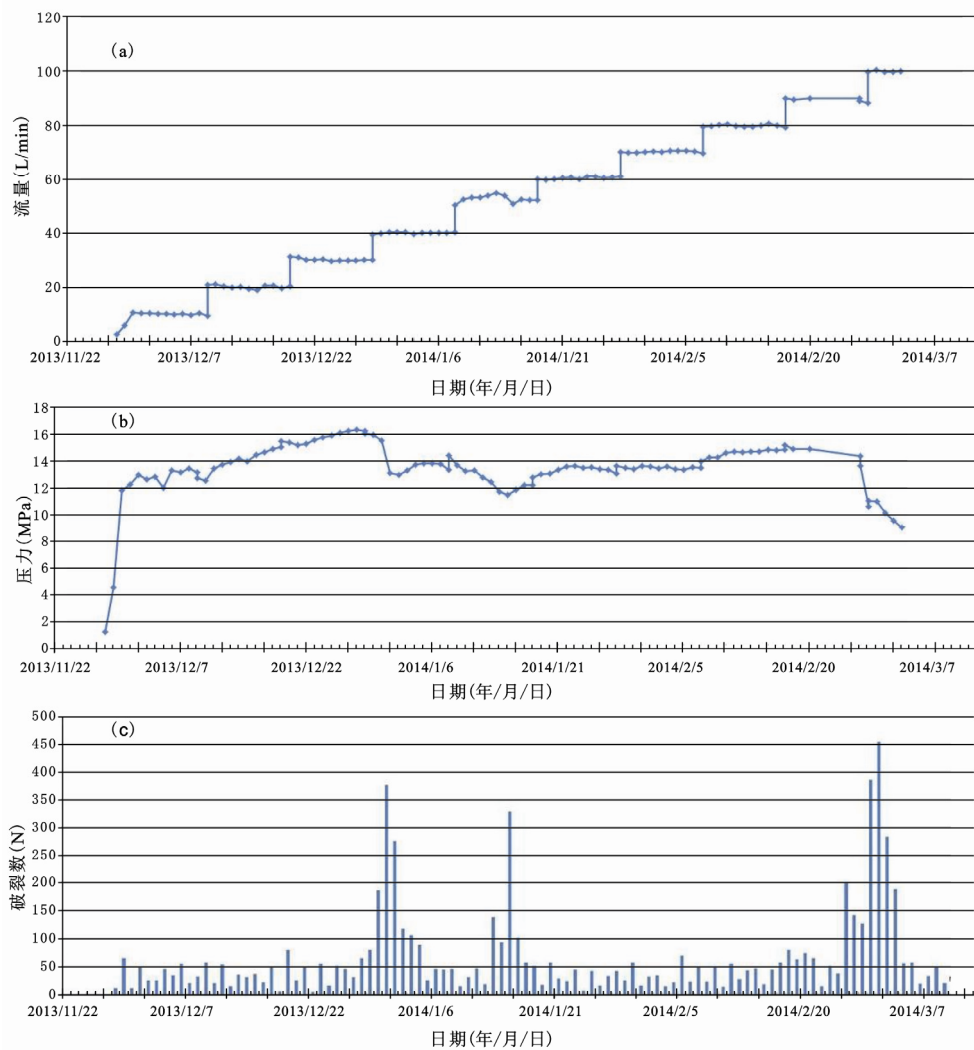


图 2 WFSD-3P 注水试验流量、压力和地震事件随时间变化图

(a)一注水试验流量-时间记录; (b)一注水试验压力-时间记录; (c)一注水试验中人工诱发破裂数-时间记录

2 认识与讨论

(1) 通过注水压裂试验, 可获得的远源地震、微地震、地电、温度、湿度、气压、水位、流量、压力等数据。

(2) 通过长期观测数据分析, 获得注水期间人工诱发微地震数、流量、压力与时间的关系。

(3) 通过和达法剔除天然地震, 并计算 P 波与 S 波的波速比, 再通过大折刀法得到站台偏差与地震偏差, 进而对注水压裂过程中得到的人工地震事件精确定位, 最终分析注水压裂诱发的微地震在时空上的展布特征。

(4) 统计地震事件显示: 在停泵检修期间地震数量相对变少而并非不发生诱发地震, 可能是先前

注水弱化地层造成地震破裂时间的“惯性”延迟所致。

(5) 整个注水试验阶段内, 诱发地震破裂事件分布较均匀, 且注水流量、流体压力和地震试验具有显著地相关性。

3 结论

(1) 2013年11月至2014年3月, 人工注水诱发地震试验在位于安县—灌县断裂带的WFSD-3P孔内实施, 该孔深度为551.54m, 注水总量达到47520m³。

(2) 诱发的地震被井中高频地震观测网和地表地震观测网记录, 运用和达法和大折刀法进行了地

震重定位, 井中记录了大约有20000个地震事件, 而地表记录到824个定位事件, 最大震级达1.6。

(3)通过钻孔电视发现孔壁出现 3.4cm 的滑动, 说明要达到上述滑动量, 才能诱发相应震级的地

震, 因此, 地震事件是由地层滑动引起的, 这表明所观测地震不全是注水诱发所致, 但它能够识别注水期间高孔隙压区。

参 考 文 献 / References

黄世源, 魏红梅, 朱丽霞. 2007. 2006 年荣昌地震活动与注水关系. 高原地震, 19(2): 8~11.

张宝红, 邱泽华. 1994. 关于注水地震研究的几个问题. 现代地质, (3): 329~333.

赵根模, 杨港生. 1990. 注水诱发地震的震源应力场和尾波衰减特征. 地

震地质, 12(4): 303~309.

Cornet F H, Helm J, Poitrenaud H, et al. 1997. Seismic and aseismic slips induced by large-scale fluid injections. Pure and Applied Geophysics, 150: 563~583.