

石油深井闭井连续自记测压方法及其 在地震预报中的应用

杨国军

刘乃生

(天津市地震局)

(塘沽区地震办公室)

摘 要

本文着重介绍了石油深井闭井连续自记测压方法及其在地震预报中的应用。具体介绍了观测井条件、观测仪器及记录原理。通过对仪器及记录资料的分析,指出石油深井闭井连续自记测压方法与其它地震前兆观测方法相比具有许多优点。根据所记录到的较突出的短临异常变化,可以认为闭井测压是地震短临预报中较有发展前景的一种方法。

前 言

1976年唐山7.8级地震后,天津地区加强了地震监测预报工作。塘沽区地震办公室利用石油废井塘11井、塘12井开展了闭井测压工作。但由于观测仪器和方法比较落后,因此观测精度不高。但从所取得的观测资料来看,记到的几次异常变化与唐山震区某些五级左右余震活动存在较明显的对应关系(观测期间在观测井周围没有发生更大地震),异常变化均属短临异常类型。塘沽区地震办公室曾利用这两口井的井压变化预报过唐山震区五级左右的地震。为了进一步提高仪器观测精度和观测数据的连续性,我们于1983年对这两口井的观测条件进行了改造,调换了仪器。于1984年12月22日在塘11井和塘12井开始了正式闭井连续自记测压观测。从四个月的实测资料看,对唐山老震区内五级左右的地震能反映出明显的短临异常变化,因而展示了这种方法在地震短临预报中的前景。

一、观测井条件概述

塘11井、塘12井位于唐山地震区的西南端。在地质构造上处于黄骅拗陷中的北塘凹陷与板桥凹陷交接部位的新港构造带上(图1)。塘11井井深3097.04米,射孔位置在2123·2—2171·2和2796·96—2953·95米之间,观测层厚度为48米、156.99米。塘12井井深3154.31米,射孔位置在2564—2684和2929—2952.4米之间,观测层厚度为120米、23.4米。两口井观测层的岩性均是第三纪砂岩。这两口观测井井孔射孔位置很深,观测层厚度大,井的密

封性较好, 储油、气、水的地层通过射孔与井孔形成较好的封闭体, 因此与浅井比较其干扰因素少。另外, 两口井都处于多种构造的交汇区, 并位于沧东外断裂的端部, 因此是构造应力易于调整也易于集中的地区。井孔位于唐山地震震源区的西南侧, 沧东断裂带的东北部, 属于唐山震源区的调整单元。

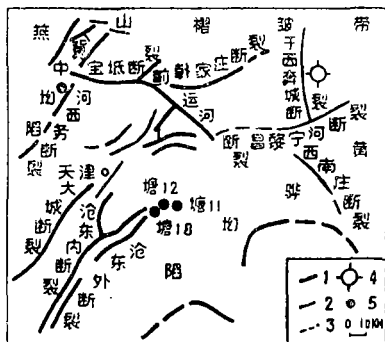


图1 天津及邻近地区地质构造略图

1. 继承性活动大断裂 2. 断裂 3. 重磁推测断裂 4. $M > 5$ 级地震 5. 观测井孔

Fig. 1 The brief tectonic map of Tianjin and its neighbor regions.

综上所述, 我们认为, 塘11井、塘12井井孔无论在构造部位、深度及结构上, 都是比较理想的。

二、观测仪器及其记录原理介绍

1. 观测仪器

经调研, 我们选用了西安仪表厂生产的“g系列仪表”。该仪器是由电源箱、脉冲发生器、压力变送器、安全保持器、记录器组成。仪器工作原理方框图如图1所示。下面简要介绍仪表中各部分的功能。

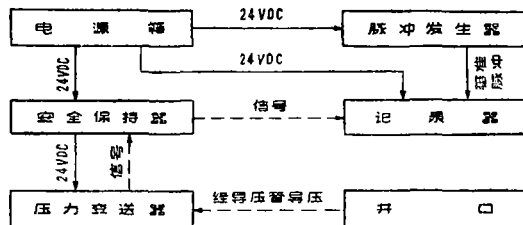


图2 仪器工作原理方框图

Fig. 2 Square chart of working principle of the instrument.

(1) 电源部分: 主要部件为一电源箱。它的作用是向压力变送器、安全保持器、记录器提供24V直流工作电源。当输入电压变化10%时, 输出电压变化1%。输出电阻为 0.2Ω 以下。当电压升到30VDC时, 能自动切断输出, 起到过电压保护的作用。仪表精度达2.5级(指电源仪表)。

(2) 安全保持器: 其作用是, 一方面给安装在危险场所的压力变送器提供工作电源,

将变送器送来的信号转换成隔离的,并将1—5 VDC信号输出给记录器;另一方面,在出现故障时,可以限制电流或电压的大小,以确保现场仪器的安全防爆性能。环境温度为0—54℃。

(3) 压力变送器:主要部件为一电容式压力变送器。其作用是将井口压力变为电信号,输入记录器。其综合误差为量程0—100kg的 $\pm 0.2\%$ 。其稳定性在六个月内为最高测量范围的 $\pm 0.2\%$ 。温度影响为 $\pm 1.0\%/55^\circ\text{C}$ 。环境温度为0—50℃。

(4) 导压部分:主要结构为一导压管和隔离罐。导压管为无缝钢管,一端连接压力变送器,另一端连接隔离罐。隔离罐为不锈钢材料,耐压200公斤。它的一端连接导压管,另一端连接井口。由于原油不得进入压力变送器,所以在导压管、隔离罐内必须填入隔离液。我们选用了乙二醇水溶液,它可以耐 -36°C 的低温,因此,即使寒冬季节也可正常工作。必须注意的是,该部分的各处接口必须密闭,不得漏气、漏油。

(5) 记录器:主要部件为一“脉冲发生器”和一“记录器”。脉冲发生器的作用是向记录器提供驱动记录纸的基准脉冲。脉冲周波为37.5脉冲/秒,精度达 $\pm 0.1\%$ 。环境温度为0—50℃。记录器的作用是记录由压力变送器送来的信号。输入电阻为 $1\text{ M}\Omega$,记录纸给进速度有两种:慢速为20mm/小时和快速为20mm/分。记录纸规格:宽114mm(有效宽度为100mm),长8米。如慢速给进,16天换一次纸。不灵敏区为量程的0.2%,仪器精度为0.5级。环境温度为0—50℃。

“g系列仪表”精度高,稳定性好,并有安全保持器,适合于油、气井观测,可避免事故的发生,同时具有体积小、重量轻、坚固耐振、安装使用简便等优点。

2. 仪器记录原理

当油井井压变化时,沿隔离罐、导压管经压力变送器检测出来,并变成与井口0—100 kg压力变化成正比的4—20mA(国际标准)直流信号输入安全保持器。安全保持器可将电流限制在30mA以下(因30mA电流产生的火花可以使一定浓度的可燃气体爆炸),起到安全防爆作用,另外还将压力变送器输入来的4—20mA直流信号变为1—5 V直流电压信号,并输入记录器。记录器由测量元件、机械连杆和记录纸驱动系统组成。当1—5 V直流信号进入记录器后,经比较放大器、脉冲分配电路、步进电机和磁平衡式角位移变换器变为回转角。其最大回转角为 30° 。通过连杆传达指针,指针臂端在滑槽内设有滑轮,这样就将指针臂的圆弧运动变为直线运动。由于设计臂长为193.2mm,所以记录笔的直线位移为100mm。因直流信号与井口压力成正比,故将记录纸100等分后,则记录纸上1mm位移变化代表井口压力变化1公斤。由脉冲发生器产生的37.5赫兹的脉冲信号输入记录器后,经感应式步进电机,由电源箱带动记录纸以20mm/时或20mm/分的速度运转。电源箱可向仪器记录系统提供24V直流工作电源。

三、震例资料分析

1. 人工读数资料分析

自1981年12月5日起在塘11井、塘12井采用人工读数观测以来到84年12月22日止,观测资料连续性、可靠性较好。在观测期间内曾记到与唐山震区较大余震活动相对应的异常变化。对应较好的有四次震例,现分述如下:

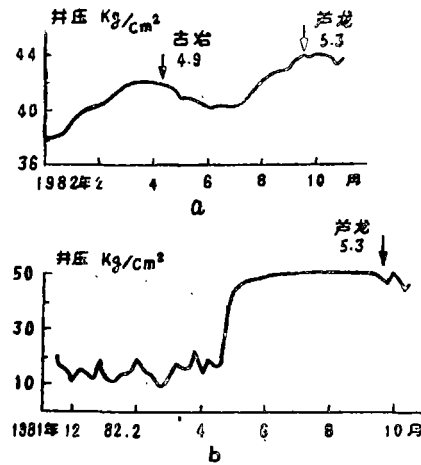


图3 塘11井、12井井压五日均值图

a. 塘11井 b. 塘12井

Fig. 3 Average value of pressure every 5 days, No. 11 and No. 12 well (Tangshan).

(1) 1982年10月19日芦龙5.3级地震

塘11井井压从1981年12月份到1982年6—7月份一直稳定在 40kg/cm^2 ,从8月份开始井压连续上升,到10月上旬其最大值达 44kg/cm^2 ,在转折时发生芦龙5.3级地震,震后井压在高值背景上起伏变化。该井井压曾于5月9日古冶4.9级地震前由 38kg/cm^2 上升到 42kg/cm^2 (图3a)。

唐12井井压从1981年12月开始至1982年5月中旬一直在 $10\text{—}20\text{kg/cm}^2$ 范围内变化,5月下旬突升到 44kg/cm^2 ,6—7月上旬缓升到 50kg/cm^2 ,稳定发展到10月15日,在缓降背景上发震,震后井压下降(图3b)。

(2) 1982年12月10日马道峪4.4级地震

塘11井井压自1982年11月12日至29日一直稳定在 $42\text{kg/cm}^2\text{—}44\text{kg/cm}^2$ 之间。从1982年11月29日起,井压缓慢下降,到12月4日井压略有回升,而后又忽然加速下降,到12月7日下降到最低值,达 34kg/cm^2 ,从12月7日起跳跃式回升,到9日基本恢复正常,10日发生4.4级地震。震后又出现过突跳,到12月18日完全恢复正常(图4a)。

塘12井井压从1982年11月12日到24日起起伏变化,自11月28日起井压缓慢下降,到12月2日下降到 30kg/cm^2 ,然后突然上升,转平后又加速下降,到12月4日达最低点,

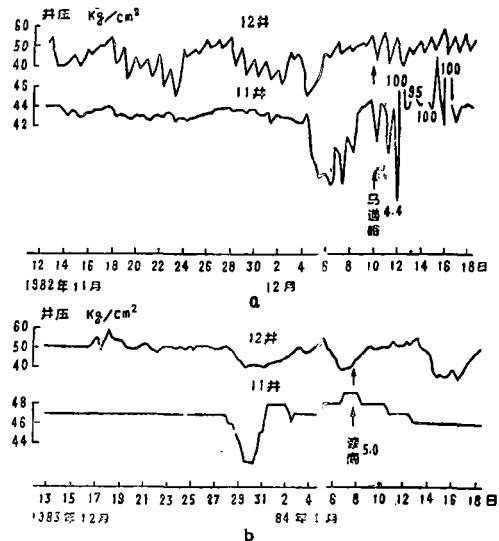


图4 塘11井、12井井压日均值图

a. 1982年12月10日马道峪4.4级地震前

b. 1984年元月7日滦南5.0级地震前

Fig. 4 Daily average value of pressure, No. 11 and No. 12 wells

(Tangshan).

其值为 27kg/cm^2 。此后逐步回升, 到12月8日基本恢复正常, 10日发生4.4级地震。

(3) 1984年元月7日滦南5.0级地震

从1983年12月28日起, 塘11井、塘12井井压出现同步下降, 到30日下降到最低点, 12井井压下降幅度达 11kg/cm^2 , 11井井压下降幅度为 5kg/cm^2 。从12月31日起12井井压缓慢上升, 84年元月5日达最高值 60kg/cm^2 , 然后突然下降, 在回升中发震; 塘11井自12月31日起迅速上升, 到1984年元月8日达最大值 50kg/cm^2 后发震, 震后缓慢恢复(图4b)。

(4) 1984年11月23日渤海4.2级地震

塘12井自1984年11月以来, 井压变化平稳, 自11月8日起井压逐渐下降, 从16日开始加速下降, 17日降至最低值, 其幅度为 30kg/cm^2 , 此后突然回升, 到11月20日左右恢复到正常值, 23日发生渤海4.2级地震。而塘11井无任何变化(图5)。

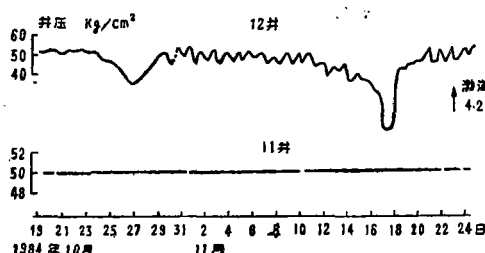


图5 1984年11月23日渤海4.2级地震前塘11井、12井井压日均值图

Fig. 5 Daily average value of pressure, No. 11 and 12 wells (Tangshan) before the Bohai earthquake (M=4.2) on Nov. 23, 1984.

2. 自记资料分析

1984年12月22日在塘11井、塘12井安装了闭井连续自记测压仪器, 并于23日开始正式观测。到目前为止, 12井已取得4个月的连续自记资料, 11井只取得1个半月的资料。

井压日变图形显示每日早8点为最低值, 从10点左右开始井压缓慢上升, 到14—16点达最高值, 然后缓慢下降, 至次日早8点又降到最低值。其日变幅度为 1kg/cm^2 。估计与固体潮变化有关, 还有待计算证明。此外还记到一些异常变化, 现分别介绍如下:

(1) 1985年1月13日丰南4.4级地震

1985年1月5日13点45分、14点、14点25分、17点, 塘12井井压分别出现上下突跳现象。其幅度分别为 5 、 3.5 、 3.5 、 2kg/cm^2 (图6a)。

1985年1月6日零点55分, 塘11井井压出现向上突跳, 其幅度达 2kg/cm^2 , 此后曲线开始抖动, 2点30分出现一正弦波形, 幅度为 2kg/cm^2 , 3点、3点10分又分别出现两个正弦波形, 幅度为 1kg/cm^2 , 3点20分又出现一尖峰, 幅度达 2kg/cm^2 。在平静数天后于1月13日发生丰南4.4级地震(图6b)。

(2) 1985年1月18日南山村3.8级地震

1985年1月11日17点, 塘11井井压自记图上出现正弦波形, 变化幅度为 1.5kg/cm^2 。11日13点25分又出现抖动现象, 一直持续到1月18日3点钟, 此后处于正常变化, 並发生南山村3.8级地震。而在这次地震前塘12井无变化(图7a)。

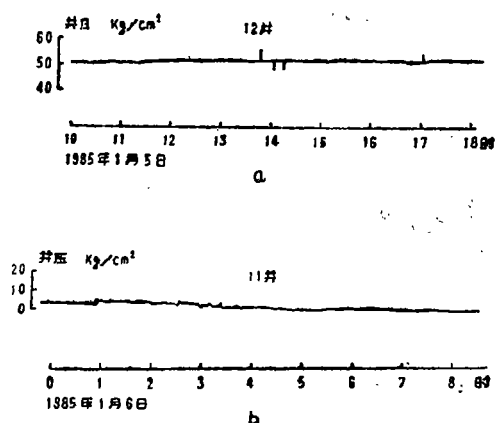


图6 1985年1月13日丰南4.4级地震前塘11、12井井压自记图

a. 塘12井 b. 塘11井

Fig. 6 Automatically recording diagrams of pressure (Tangshan) before the Fengnan earthquake ($M=4.4$) on Jan.13, 1985.

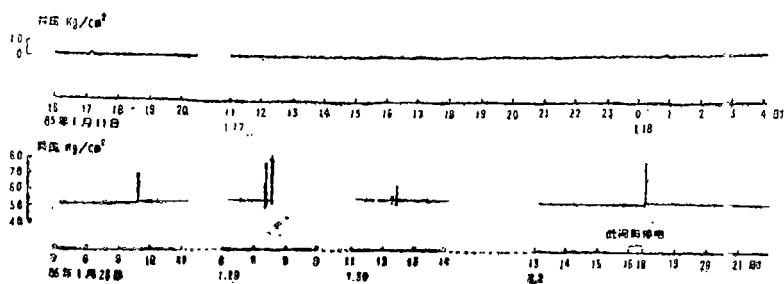


图7 塘11井、12井井压自记图

a. 1985年1月18日南山村3.8级地震

b. 1985年1月30—2月3日夏垫震群

Fig. 7 Automatically recording diagrams of pressure (Tangshan).

(3) 1985年1月30—2月3日夏垫震群

1985年1月28日9点30分, 塘12井井压出现明显的向上突跳变化, 幅度达 18kg/cm^2 ; 1月29日7点25分、45分出现两次更大幅度的突跳变化, 其幅度分别为 31kg/cm^2 、 29kg/cm^2 ; 又于1月30日12点10分、12分、15分再次出现上、下跳动, 幅度分别为 6.5 、 1 、 12kg/cm^2 ; 2月2日18点再次出现突跳, 幅度达 18kg/cm^2 。此后恢复正常变化, 发生夏垫震群活动, 共发生小震60多次。塘11井因调整仪器, 没有进行记录(图7b)。

(4) 1985年3月1日—22日国外6级以上地震活动

塘12井井压于2月25日14点出现突跳, 幅度达 20kg/cm^2 ; 3月7日14点30分、32分又出现向上突跳, 幅度分别为 11kg/cm^2 、 4kg/cm^2 ; 3月14日9点再次出现向上突跳, 幅度为 11kg/cm^2 。塘11井停记(因石油部门需要而交回)。3月1日—22日, 国外出现一次强震活动高潮, 共发生6级以上地震8次, 最大一次地震是3月4日智利8.4级地震(图8)。

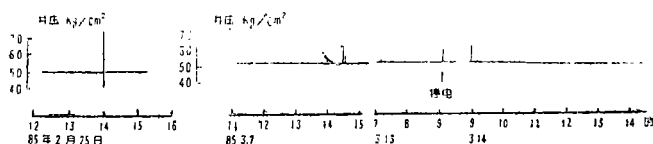


图8 塘12井井压自记图

Fig. 8 Automatically recording diagram of pressure, №12 well (Tangshan).

石油深井井压变化是否与远强震有关,目前尚不能做出结论。但是塘12井井压变化与这次国外强震活动在时间上的一致性并非偶然,很可能存在某种联系,有待进一步研究。

通过震例资料分析,可以认为塘11井、塘12井井压变化与地震活动存在较明显的对应关系。震前井压变化特点是:(1)变化幅度大,最大可达 30kg/cm^2 ;(2)加速下降或快速回升,大幅度突跳,锯齿形变化多;(3)变化持续时间短,大部分为几天、十几天,最长为几个月;(4)变化均出现在震前,在恢复过程中发震或者恢复后发震,震后均恢复到正常变化状态。

四、异常变化机理讨论

自1966年邢台地震以来,我国连续发生破坏性地震。不少同志曾利用石油开采井或石油废井的观测资料研究地震预报问题,已有不少文章对油、气、水的异常变化机理进行了讨论,但多数是在油井开采条件下进行的。本文以塘11井、塘12井的资料为例,仅对闭井测压的异常变化机理进行讨论。

可以认为地下某一深度的储油、水、气层是由固体岩石骨架和许多形状不同的孔隙所组成。而孔隙中充满着液相(油、水等)和气相的流体。因此该岩层是由固态、液态和气态组成的三相介质。在正常情况下,位于这样深度的固体、液体和气体是具有一定压力的,可称为承压液体或承压气体。孔隙中的液体和气体与固体骨架一起与上覆地层的重量以及周围地层的侧压构成了一个平衡系统。如果没有外界的影响,则油井上部的井压将维持在一个恒定水平上,这就是闭井测压的正常背景值。当井压发生异常变化时,就说明该井受到外界因素的影响,其影响有以下几个方面:(1)震源区形变的影响;(2)临近地震前震源区外围蠕滑断层运动的影响;(3)无地震伴随的断层蠕滑运动的影响。

以上这三种影响均可以使深井及其附近的岩石骨架产生微小变形,因而产生深油井上部气体总量的增减,造成油井井压出现异常变化。很显然,上述的前两种影响引起的异常是与较大地震的孕育与发生有关的,而后者是属于正常构造运动中某些加速运动所引起的变化,与地震并没有关系。我们认为对于地壳上部极浅层(深井也位于这一深度),中强地震或大震前震源及外围的调整运动在该范围产生的应力是非常小的,因此没有位于构造交汇部位的深井震前没有异常。然而位于构造交汇区附近的深井震前却出现了较大的异常,其异常产生原因可能与震源和源外区局部变形所引起的上部构造调整运动有关。当震源区以及外围地区发生形变时,或调整单元发生调整运动时,位于构造带或构造交汇地区的调整运动较大,而块体内部应变很小。因而位于这些部位的井孔会因变形(挤压、拉伸、剪切)而使原来孔隙中

的气体挤出、泄出。从而使具有一定压力的井孔气体总量增加,最终造成井压增大。对于本文中所列举的中强地震来说,震前震源区及其附近地区构造调整运动的量级是比较小的。我们仅研究作用于观测井的“瞬时形变”。观测井受到的总形变分别由观测层附近的骨架和充满其空隙的流体(包括气体)来承受。在变形初期,“瞬时形变”增量并不立即传递至骨架上,而是全部作用于空隙的流体。随后使骨架产生微小变形,使骨架孔隙中的气体被泄出,造成井孔中的气体总量增加。因此安装在井管上的“g系列仪表”连续自记测压系统所记录的井压值是该时刻观测井及其观测层的空隙流压。因此,塘11井和塘12井闭井测压直接测到的是观测层承受的构造应力变化。

总之,经过几个月的实际观测,我们认为石油深井闭井连续自记测压方法是地震短临预报中较有发展前景的一种方法。其优点是:(1)利用深度达3000米左右的石油废井进行闭井连续自记测压工作,做到了石油废井的合理使用;(2)观测井较深,井管封闭性很好,又采用闭井测压方法,因此与浅井相比干扰因素少;(3)利用高灵敏度“g系列仪表”的连续自记测压仪器进行记录,可大大提高观测精度,保证观测资料的可靠性和连续性;(4)在仪器正常运转情况下,16天换一次纸,可大大减少人工读数的观测工作量,也为进一步实现观测系统的自动化、传输化打下良好的基础;(5)观测仪器精度高、稳定性好,并具有体积小、重量轻、坚固耐振、安装使用简便等优点。

(本文1985年7月2日收到)

参 考 文 献

- [1] И.Г.Кисин, Об аномальных вариациях обводненности нефтедобывающих скважин перед землетрясениями—докладу академии наук СССР., ТоМ270, 3, 1983.
- [2] 艾里赫等, 地震前后油井喷油量的变化, 自然, Vol.247, №5442, 1974.

**A METHOD OF MEASURING PRESSURE BY CONTINUOUS AND
AUTOMATIC RECORDING IN DEEP AND CLOSE OIL WELLS
AND ITS USES IN EARTHQUAKE PREDICTION**

Yang Guojun

(The Seismological Bureau of Tianjin)

Liu Naishang

(Tanggu Seismological Office)

Abstract

This paper emphatically introduces a method of measuring pressure by continuous and automatic recording in deep and close oil wells and its uses in earthquake prediction. It concretely discussed the condition of observation wells, instruments and materials recorded, it points out that the method has a lot of advantages as compared with others of observing seismic precursors. In accordance with obvious record anomaly of short-period and prequake variation, it is said that the method will be quite hopeful in short-period and prequake prediction.