

唐山地震前不同区域油水井异常变化及其机理分析

王瑞丽¹, 徐守余¹, 孙万华¹, 卿颖²

(1. 石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油青海油田分公司, 甘肃 青海 736202)

摘要:对唐山地震前胜利、大港、辽河 3 个油田的油井和渤中 2 井的资料以及北京附近部分水井的资料进行整理和分析, 描述了油水井的短期和临震异常特征; 分析了唐山地震前同一地区和不同地区间的油水井前兆异常之间的关系, 对油水井异常变化的机理进行了研究和分析, 认为不同的油水井前兆异常是由于唐山地震孕震过程中造成的不同地区的应力状态不同所致, 油水井前兆异常可以用来监测和预报地震。

关键词:唐山地震; 前兆; 机理; 压力降; 油水井

中图分类号:P315.72 **文献标识码:**A

0 引言

地震的发生过程是地壳运动产生的能量以弹性能的形式在断层及其附近岩层中的长期积累, 并使断层两侧的岩块发生相对错动^[1], 孕震过程涉及到的区域很大。由于地壳介质的非均质性, 不同的孕震区将产生不同的应力状态, 使得不同孕震区地下流体的异常状态不同。人们常常把地下流体的异常作为地震前兆来研究^[2]。地下流体前兆的物理力学机制, 主要是基于强震孕育的动力学原理, 即在区域应力作用下, 地壳介质受到力的作用而发生变形时, 赋存于介质中的流体在动力作用、热力作用和化学作用下灵敏响应介质的动态变化。一部分流体通过各种通道上升到地壳浅层, 在地表出现多种类型的前兆现象^[3]。油水井异常是地下流体异常的直接体现, 不同的应力状态将造成不同的油水井异常。本文重点讨论唐山地震前孕震区域的油水井异常特征、异常形成的机理及其与孕震区域的关系。

1 唐山地震概况

1976 年 7 月 28 日唐山地震震中位于北纬 39°38′、东经 118°11′, 震级为 7.8 级, 震中烈度高达Ⅱ度。地震发生在以渤海为中心的渤中—黄骅上地幔高导层隆起带的边缘, 在近 EW 向阴山—燕山南缘活动构造带与 NNE 向华北平原活动构造带的交汇处, 震区被香河—宁河的 NW 向断裂和宁河—昌黎

北 NEE 向深断裂所围限^[4]。唐山地震的应力来源是由于太平洋板块对中国大陆有近 EW 向的推挤力, 在此力的作用下, 下岩石圈剪切滑移线的方向应为 NE45°或 NW45°的方向^[5]。地震前, 根据 1960~1971 年期间的应变参数求得的一个最大剪切应变方向为 NE67°。据以上所述推测, 唐山地震前的大范围区域的主压应力方向应近于 NE 向, 拉张应力近于 NW 向。据唐山地震的孕震应力状态及震后的震源应力解, 现将唐山周围的孕震区分为 2 个挤压区、2 个拉张区(见图 1)。

2 震前油水井异常的特点

本文选取的油水井异常资料是在未采取任何工艺措施、没有改变开发状态和观测手段下的资料, 认为唐山孕震应力是造成油水井异常的直接因素。地震的孕育伴随着应力的变化, 应力的增减往往使储集层的孔隙流体压力和渗透系数改变, 从而造成地下流体压力失衡, 具体体现为油水井异常。油井在未采取任何工艺措施、相对稳定的开发情况下, 储层压力不断下降, 石油产量不断减少直至最后停产, 井口压力一般不会突升或突降; 水井水位年动态一般较稳定。但在唐山地震前, 位于不同区域的油田中, 有些井出现了产量的上升、突升、突降、压力增大、废井喷油等异常现象; 北京附近的部分水井在唐山地震前也出现水位异常现象。

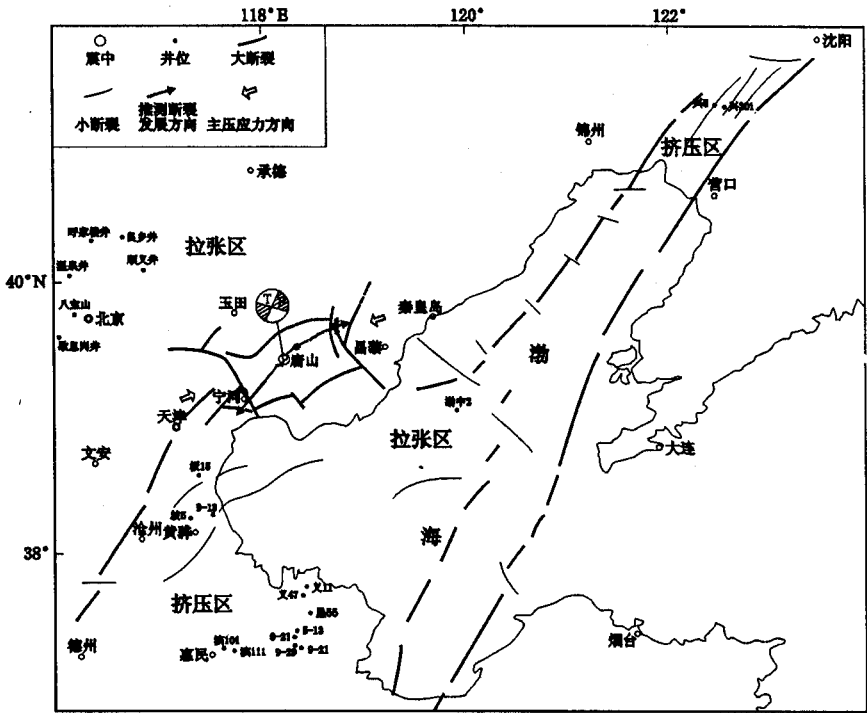


图 1 唐山地震区域应力场及其异常井位图

胜利油田的垦 55 井、8-21 井、9-21 井从 1972 年末开始出现异常,产量呈逐步上升趋势,形成明显的正趋势异常,在上升过程中多次出现较大幅度的突变,垦 55 井在 1975 年 12 月产油量由 30t/d 增加至 70t/d,8-21 井在 1974 年 8 月产油量由 50t/d 增加至 140t/d,9-21 井在 1974 年 7 月产油量由 t/d 增加至 80t/d,分别达到最大值。唐山地震发生在达到最大值之后的下降阶段。这 3 口井的趋势异常具有明显的一致性,日产量达到最大值的时间也相差不长,可以认为是唐山地震前的中期前兆异常(见表 1、图 2)。滨 101 井、义 11 井、9-29 井、5-13 井、滨

111 井从 1976 年 4 月开始出现不同程度短期异常。滨 101 井在总体上升趋势背景下,幅度出现多次的跳跃,最大一次突变是在 7 月 15 日,从出现的时间上看是临震异常;义 11 井、5-13 井、滨 111 井上升幅度相对较稳定,但在 7 月 23~24 日这 3 口井同时出现较大的突跳;9-29 井变化较大,有时呈上升趋势,有时呈下降的趋势。以上各井都有一个相同之处,就是在临震前的一段时间之内,都出现了较大的突变,出现的时间具有很好的一致性(见表 1、图 3)。

大港油田的 9-13 井从 1976 年 4 月产量变化幅度较小,为短期异常,在震前的一个月产量突然加速上升、套压也出现较大幅度的变化,表现为临震异常;歧 5 井的产量变化不大,但在 7 月 15 日出现突跳,产量由 10t/d 猛增到 50t/d,为典型的临震异常;板 15 井在震前的 2 个月内地层压力也有较大的增加;小牛庄井是一废井在 6 月中旬开始自喷,为临震异常(见表 2、图 4)。华北油田的郑 1 井在唐山地震前 7 天发生自喷,油柱高达 20m,后逐渐降低,最后呈阵发性喷油,于 1976 年 7 月 27 日停止自喷^[6]。

渤海湾腹地的渤中 2 井在 1976 年 7 月 1 日~22 日产液量呈下降的趋势,产液量变化幅度最高达 84t,表现为临震异常,在 25 日产量有所回升,之后发生唐山地震(见图 5)。

辽河油田的兴 5 井在 1976 年 1 月产量有较大的增加,是正常的 18 倍,但由于采取了人工放喷的

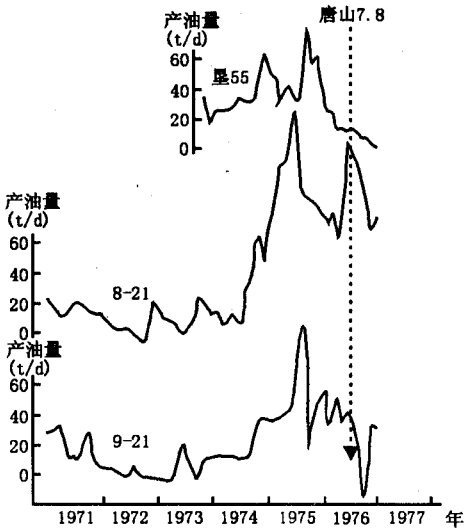


图 2 胜利油田产油量的趋势变化图

表 1 胜利油田油井动态典型异常情况表

井号	震中距 (km)	油层深度 (m)	异常情况	
			出现时间(年月日)	异常特点
5-13	250	1900±34	19760722	产油量由 15t/d 增加至 80t/d
8-21	251	1923±89	197408	产油量由 50t/d 增加至 140t/d
9-29	254	1972±12	19760420	产油量由 15t/d 增加至 80t/d
9-21	252	1934±89	197407	产油量由 45t/d 增加至 80t/d
垦 55	235	1939±9	197402	产油量由 90t/d 增加至 140t/d
义 11	230	2899±7	19760724	产油量由 75t/d 增加至 85t/d
义 47	230	2916±23	197603	地层压力上升 1.47MPa
滨 101	240	1908±39	197512	地层压力上升 1.96MPa
			19760630	产油量突升 100 %
滨 111	240	2265±53	19760723	产油量由 40t/d 增加至 90t/d

表 2 大港油田、华北油田唐山地震前油井动态异常情况表

井号	井深(m)	震中距(km)	异常时间(天)	异常特点
大港油田板 15 井	2750	90	61	地层压力由 18.54Mpa~20.47MPa
大港油田小牛庄井	2601	125	42	废井自喷
大港油田 9-13 井	1620	130	28	套压由 2.03Mpa~4.85MPa
大港油田歧 5 井	2142	130	11	由 10t/d 增至 50t/d
华北油田郑 1 井	3185	130	8	废井自喷

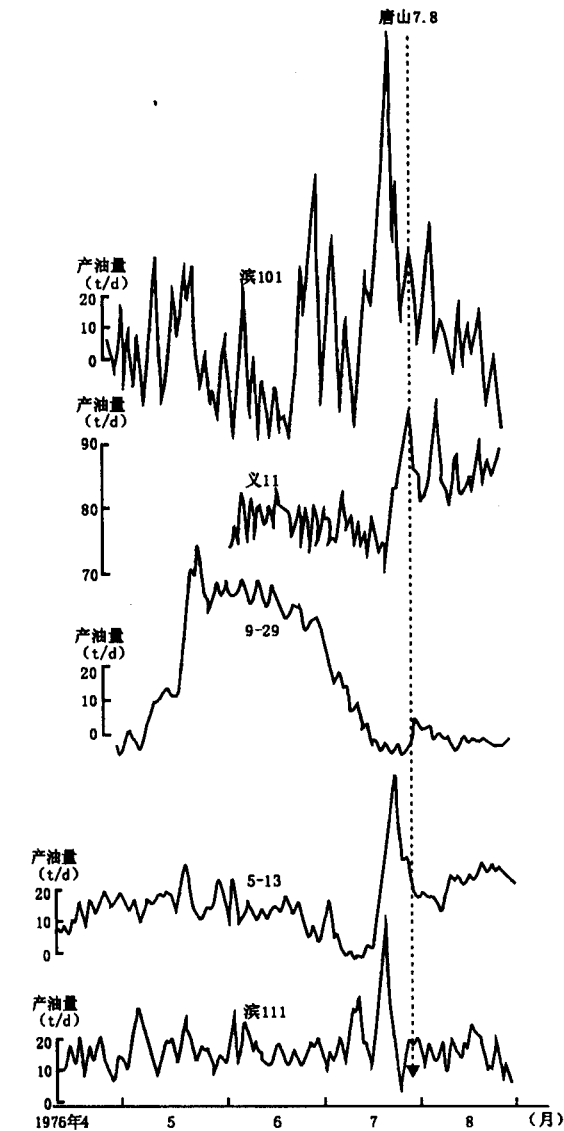


图 3 胜利油田产油量的短期变化图

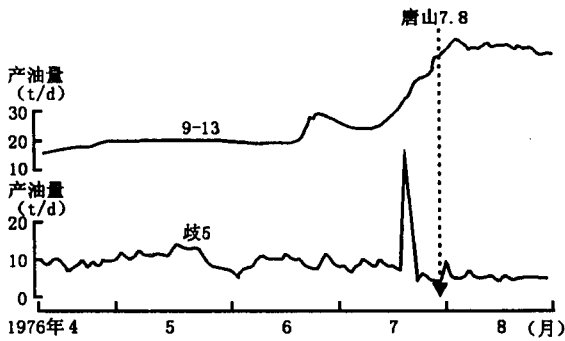


图 4 大港油田产油量短期变化图

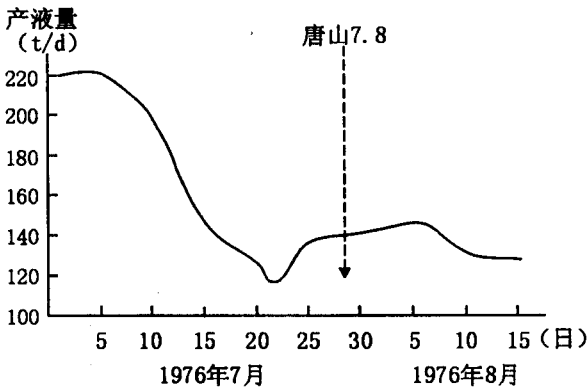


图 5 渤中 2 井产液量短期变化图

措施、遂使异常资料中断,但异常仍然非常显著;兴 201 井在 1973~1974 年间由于正常开采,压力呈下降趋势,1975 年开始下降幅度减小,偏离正常的下降状态,表明压力发生了变化,在 1976 年转而上升,压力开始增加,表现为明显临震异常^[7]。以上 2 口井均表现为正异常,是唐山地震前临震异常的体现(见表 3、图 6)。

表 3 辽河油田油井动态典型异常情况表

井号	震中距 (km)	油层深度 (m)	异常情况	
			出现时间 (年月日)	异常特点
兴 5	380	1850 ± 17	19741009	产量由 2t/d 上升至 46t/d
			19760126	产量由 2t/d 上升至 37t/d
兴 201	380	1586 ± 2	19760709	地层压力上升 0.804MPa

1975 年中,北京附近地区有些水井改变了多年相对匀速变化的状态,如位于八宝山断裂带两侧的良好乡、歇息岗、顺义等井水位表现为趋势下降;1976 年 7 月 24 日呼家楼井、温泉井(井深 298.72m,承压岩溶水)、良好乡井(井深 258.31m,承压岩溶水)也观测到了水位的下降变化,幅度达 5~10cm,震时巨降,表现为临阵异常^[4];1975 年下半年位于北京东北的冀北断块隆起的水动态表现为负异常^[8]。

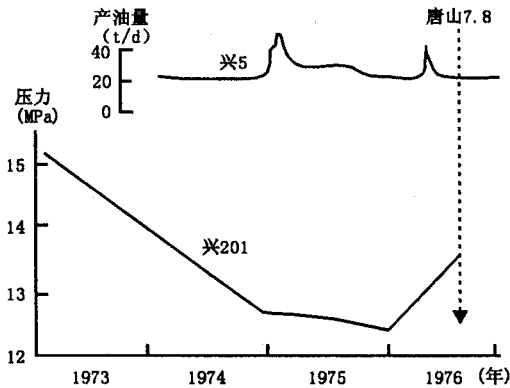


图 6 辽河油田油井趋势异常变化图

3 油水井动态异常的机理

在孕震过程中,孕震区周围的大范围区域应力将发生变化,区域应力的调整导致含油水层的压力发生变化并最终导致孔隙压力随之改变。油水井处形成压力漏斗^[9],井孔对孔隙压力的微小调整较灵敏,因此井孔中的压力和流速伴随大范围区域应力发生改变,引起油水井的产液量和压力等开发动态发生变化。同时区域应力场的调整是大范围的,孕震区以外的某些地区和地层的应力场发生变化,必将造成较大范围内的油水井产生异常反映。毗邻唐山震源周围的油井和水井,受到应力调整的影响,出现异常。

唐山孕震的主压应力是近于北东向、张应力近于北西向,在区域应力场的作用下,油水井的异常具有一定的规律性:胜利、大港、华北、辽河油田等油井

的地理位置虽然不同,但异常大都表现为正趋势异常,临震前产量有较大的突跳。分析认为这些井位于唐山地震孕震的挤压区,由于震前大范围区域应力变化,挤压区应力表现为增大的趋势,导致岩石骨架产生微小变形,孔隙度减少,地层孔隙压力增大,致使工作压差增大,从而使这些油井异常表现为产液量增加、压力增大和废井自喷,异常表现为正趋势异常;在临震前,应力有较大的集中,使孔隙压力变化较大,油井产量相应变化也较大,表现为临震前的突跳。从出现时间上看,趋势异常在唐山地震前的 2 年内较明显,异常出现的时间具有同步性,突跳现象大多出现在地震前的 3 个月内,井间的突跳时间具有很好一致性。发生正趋势异常及突跳一致性的原因是油水井处于相同的挤压应力状态所致;渤中 2 井及北京附近的水井位于孕震的拉张区,在拉张应力作用下,应力表现为减小,油层孔隙压力减小,使工作压差减小,驱动能力降低,油井异常表现为产液量降低,压力下降,水井异常表现为水位下降幅度加大,均为负趋势异常。渤中 2 井和北京附近的水井异常出现的时间同样具有同步性。

以上各油水井的异常虽然不同,但在时间上都发生在唐山地震前的一段时间内,研究认为油水井异常的形态受唐山地震孕震应力控制,是孕震应力调整导致的结果。油水井的异常形态能反映孕震应力场的变化,从而预测地震的发生。

石油和水是岩石孔隙中的液态流体,其运移和聚集过程是流体在孔隙介质中的运移和聚集过程。描述流体在孔隙介质中渗流规律的公式是达西定律:

$$\vec{V} = K \vec{J} = -K \text{grad} H = \frac{\kappa}{\mu} \text{grad} \left(-\frac{P}{\rho} + i_0 \right)$$

式中: $\vec{V}$ 为渗流速度; K 为流体传导系数; $\vec{J}$ 为水力梯度; H 为水头势; κ 为介质渗透率; μ 为流体粘度; P 为流体压力; ρ 为流体密度; i_0 为初始水头。

由上式可知,地下流体的渗流需要压力降,渗流

的强度取决于岩层的渗透率和流体的粘度。区域构造应力作用于岩石,引起岩石变形和岩石孔隙度的变化,影响油水的渗流强度,区域应力的不均匀分布产生的压力降是引起岩石孔隙内流体渗流的基本驱动力。在挤压区流体的粘度随着应力增加,由于溶解的气体体积增加导致流体粘度减小,渗流速度增加,产量相应增大,应力增大使储层骨架颗粒的体积压缩很小,由于渗透率的微小变化导致不同区域间的储层渗透率差值增大,导致压力降增加,促进流体流动,造成油水产量增加,因此,在挤压区油水井异常表现为增大的趋势,相反,在拉张区将产生负油水井异常。

可见孕震导致应力的变化,油水井前兆异常是

应力变化直接作用于流体的具体体现,油水井前兆异常是孕震导致的结果,以上各井前兆异常与唐山地震具有密切的关系。

由于不同地区应力状态的不均一性,储层的非均质性,同时油水井所处的具体构造部位不同等原因,可能个别井的异常会有所不同,需综合分析。

4 结论

地震的孕育过程就是大范围应力变化的过程,不同的地应力变化导致油水井出现不同的前兆异常,前兆异常与孕震具有相关性。因此,深入研究油水井异常变化并结合区域应力场可以用来监测和预报地震。

参考文献:

- [1] 北京大学地震地质教研室,等.地震地质学[M].北京:地震出版社,1982,10-12.
- [2] 郭增建.地震发生前的地下水位变化[J].地球物理学报,1964,13(3):223-226.
- [3] 张炜,王吉易,郭秀清,等.水文地球化学预报地震的原理与方法[M].北京:教育科学出版社,1988,205-210,281-285.
- [4] 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组.一九七六年唐山地震[M].北京:地震出版社,1982,71-78.
- [5] 郭增建,秦保燕.地震成因和地震预报[M].北京:地震出版社,1991,24-28.
- [6] 吕永生,靳同者.中强地震前郑1度井自喷异常变化[C].油田地震信息监测研究与应用.北京:地震出版社,1995,29-31.
- [7] 张德元,赵根模.唐山地震前后渤海湾地区油井动态的异常变化[J].地震学报,1983,5(3):360-369.
- [8] 邵永新,李君英,李一兵,等.地下流体动态异常分布与构造的关系[J].西北地震学报,2000,22(3):284-287.
- [9] 徐守余,孙万华.油水井异常变化机理与天然地震前兆[J].石油勘探与开发,2003,30(4):98-99.

Analysis of the anomalies from oil and water wells in different area as well as their mechanisms before Tangshan earthquake

WANG Ruili¹, XU Shouyu¹, SUN Wanhua¹, QING Ying²

(1. University of Petroleum (East China), Dongying 257061, Shandong Province, China;

2. Qinghai Oilfield Corporation, PetroChina, Gansu 736202, China)

Abstract: The data from oil wells in Shengli, Dagang and Liaohe oil field and Bozhong No.2 well and some water wells near Beijing are analyzed, its characteristic of anomalies in short term and imminent stage is presented. Through analysis to the anomaly of the wells in different area and its mechanism we conclude that these anomalies were caused by the preparation of Tangshan earthquake, and this kind anomalies can be used in earthquake prediction.

Key words: Tangshan earthquake; precursor; mechanism; stress drop; oil and water wells