

任丘油田地质构造与注水诱发地震

张德元 赵根模

(大港油田) (天津市地震局)

摘 要

本文在研究任丘油田地质构造的基础上,讨论了注水诱发地震活动特点和今后趋势。诱发地震与断裂构造、地层岩性及油田水文地质条件有密切关系,分布于特定的地质构造部位。

引 言

任丘油田位于华北平原中部,是我国最大的古潜山碳酸盐岩油藏。1975年9月试采,1976年12月开始注水,1977年10月以后月注水量超过100万方,1980年1~5月注水量最大,月注入量平均在150万方左右,1981年至1983年注水量开始减少,月注入量由110万方减少至100万方左右。随着油田注水量的变化,任丘油田诱发了一系列地震,笔者等〔1〕〔2〕〔3〕已进行了初步研究。

本文在详细叙述任丘油田地质构造的基础上,根据地震活动特点,重点讨论任丘油田地震活动与地质构造的关系。

一、油田地震活动及特点

任丘油田注水前九年(1969年至1976年)未记录到地震活动。1976年12月开始注水后至1983年4月共记录地震62次¹⁾,其中有感地震24次(表1)。1978年至1979年为活动高潮,两年记录地震23次,其中四次3.0级以上地震均在此时段内。

1. 发震时间与注水量增加时间关系密切。

初期注水量小,地震活动也少。1977年10月以后月注水量超过100万方,注采比大于1,1978年开始地震频度增加,强度增大,79年5月26日M_L3.9级地震最大。发震时间间隔不均匀,其原因与注水变化有关。所有地震都发生在注水量二阶差分 Δ^2y (正值)较高后1~3个月〔2〕。

1) 油田深井台网的部分资料未包括在内。

表 1

序 号	发震时间	震级 (M _l)	宏 观 震 中	地 质 构 造 位 置
1	1978.3.23	3.0	辛中驿与三十里铺之间	9井山头
2	78.3.27	1.9	任二站东	11井山头
3	78.7.10	2.2	三十里铺西北二公里	9井山头
4	78.10.23	2.0	任三注水站	同 上
5	1979.3.12	2.2	同 上	同 上
6	79.5.26	3.9	任 二 站	11井山头南界任 8 井断层
7	79.6.21	2.2	辛中驿南	9井山头
8	79.6.22	2.5	同 上	同 上
9	79.6.22	2.3	同 上	同 上
10	79.12.18	3.7	任丘县城西南二公里	11井山头南界任 8 井断层
11	79.12.19	3.0	同 上	同 上
12	1980.7.8	2.2	任丘县城与设计院间	11井山头
13	80.7.18	2.5	石 门 桥	6井山头
14	80.8.27	2.0	荷花村西	7井山头
15	80.8.27	2.5	同 上	同 上
16	1981.3.28	2.9	任丘县城东	11井山头
17	81.7.4	2.3	采油一矿	6井山头
18	81.7.6	2.1	油田指挥部	7井山头
19	81.7.27	2.1	任丘县城与设计院之间	11井山头
20	81.8.22	2.5	水 电 厂	7井山头
21	1982.5.28	1.8	任丘县城西门	11井山头
22	1983.1.12	2.4	辛中驿南	9井山头
23	83.3.18	1.9	任丘县城	11井山头
24	83.4.28	1.8	水电厂与南于庄间	6井山头

2. 地震分布在油田区内特定地段。

地震分布总的规律与油田范围一致,受注水井分布与注水量控制,主要在石门桥、辛中驿、油田指挥部、任丘县城至油田设计院一带,呈北东向展布。有三个地段地震活动相对集

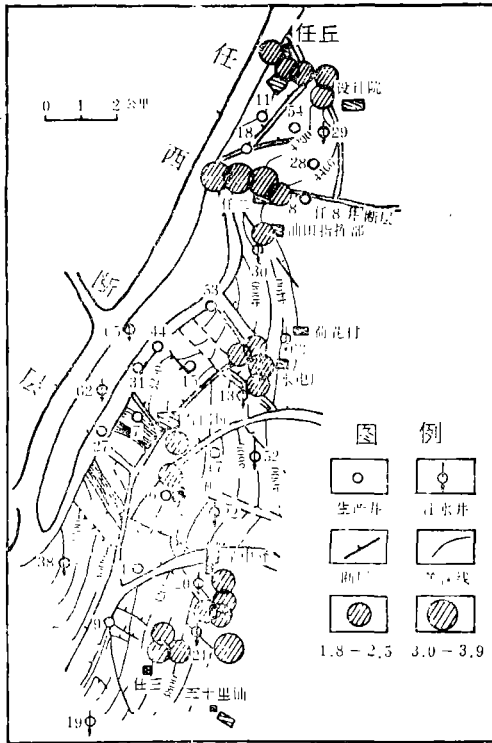


图1 任丘油田雾迷山组第六组底部构造及地震分布

中,分别为任丘县城至设计院、任二站和辛中驿南部一带(图1)。

3. 震源浅、烈度高、影响范围小。

油田已发生的最大地震为 $M_L 3.9$ 级,震中烈度达到IV度强。一般 $M_L 2.0$ 级左右地震震中普遍有感,少数出现破坏现象。1983年3月18日 $M_L 1.9$ 级地震,任丘县城大部有感,县邮局二层楼出现裂缝,据经验公式计算震源深度约3公里。油田深井台网记录的S—P在0.7—1.7秒之间,表明震源深度为3~3.5公里,这个数值与油田开发注水深度大体一致。

4. 油田区内不同地点的地震活动大体集中在某一时段内同时发生、同步活动。如1980年7月8日发生2.2级地震,7月18日发生2.5级地震,8月27日又发生2.0级和2.5级地震。1981年7月4日至8月22日相继发生2.1~2.5级地震4次(表1)。发震时间大体相同,与同一次注水变化有关,说明全区孔隙裂缝连通情况良好,注水压力均匀上升,只是由于不同地点地质构造条件的制约,发震时间略有先后。

二、任丘油田地质构造特征

本区地质构造已有人进行详细研究^{2)、3)}。现综述如下:

1. 任丘油田的断裂构造。

区内断裂十分发育,据162口钻井资料发现85条断层,大致可分四组,其中北北东向和东西向断层形成较晚,现代地貌上有清楚显示,说明现代活动仍很显著。

(1) 北西向断层:发生在燕山期以前,断距小(一般100米以内),延伸距离短(一般小于2公里),密度大(0.6~0.8条/平方公里),最密处平面间距仅25~30米。

(2) 北东向断层:发生时间晚于北西向断层,断距稍大(100~500米),延伸距离稍长(2~5公里),密度为0.1~0.2条/平方公里。

(3) 北北东向断层:发生于燕山运动后到喜山运动时期,系北东向断层发展而来,断距大,一般300~600米,共有4条,其中任西断层断距达1000~2600米,延伸距离达10公里以上,活动性表现为南弱北强,导致北山头地形高、幅度大。

(4) 东西向断层:发生在早第三系沉积末期,断距一般200~400米,其中任8井断层

2) 黄正芳等, 1983, 任丘油田雾迷山组油藏储层非均质性研究。

3) 李功治等, 1983, 任丘油田雾迷山组油藏合理开发措施研究。

规模较大，形成现代地貌的鞍部。自北而南任丘古潜山被切割为四个小山头，北部为11井山头，向南为7井、6井和9井山头（图1）。

兰吉利油田、丹佛、松代注水诱发地震及水库地震表明，老构造面的存在，特别是张性、张剪性断裂面的存在是至关重要的。赵重远^[4]认为任丘油田是在中生代形成的构造格局下经过第三纪第四纪时的拉张兼右旋剪切作用改造的结果（图2），可见任丘油田断裂构造具备这种诱发地震的背景条件。

2. 地层岩性变化，区内以蓟县系雾迷山组碳酸盐岩为主，北部边缘有寒武系砂、页岩及奥陶系灰岩分布。雾迷山组的非均质程度远远大于砂岩储层，但由于其孔、洞、缝比较发育，与奥陶系灰岩相比，其均质程度又相对较高。由此可见，雾迷山组储层的非均质性是绝对的，而均质性是相对的，这种非均质性对注水效果和地震活动有明显影响。

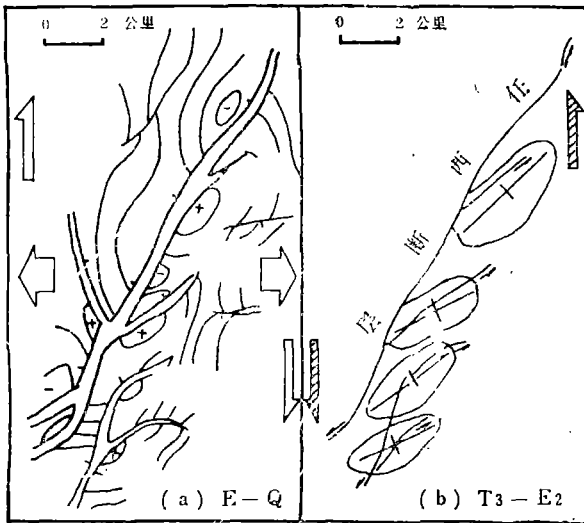


图2 任丘油田不同时期形成机制示意图

根据雾迷山组地层岩性和沉积韵律可划分为十组（图3），构成完整的沉积旋回。雾六组以下属海进初期沉积，为潮上到潮间带上部的泥质白云岩与白云岩互层，储集性能差。雾三~雾五组为海进中期沉积，处于潮间带下部至潮下高能带地域，主要为一套中~细晶藻云岩，泥质岩少，是形成好储层的有利岩带。雾一~雾二组为海进末期形成一套以潮下低能带沉积为主的泥晶、细粉晶云岩，硅质岩及部分藻云岩，岩性致密，储集性能不十分有利。

结合其它资料对十个油组储集性能作综合评价（表2）。

3. 地层的储渗条件。

受地层岩性影响，经过多次构造运动，潜山各部位受力强度不同，断层和裂隙发育程度

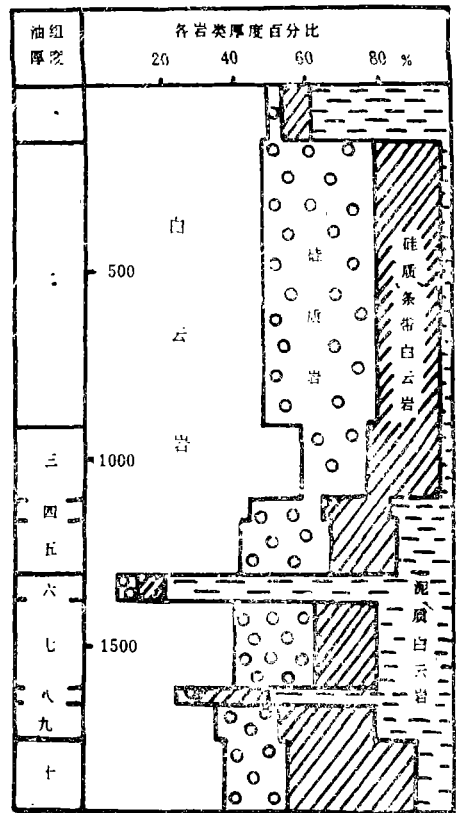


图3 雾迷山组岩层厚度百分比

表2

油组	揭开厚度 占总厚度 (%)	储层厚度 (%)		地 层 溶 洞 率 (%)	漏失率 (公升/米)	每米采油指数 (吨/日·大气压·米)	有效渗 透 率 (达因)	综合评价
		I	I + I _F					
一	7.2	11.5	46.1	0.23	0.99	3	0.373	二类中等油组
二	20.0	11.9	35.5	0.31	0.25	1.76	0.32	二类差油组
三	10.3	11.8	46.9	0.35	1.23	2.14	0.53	二类中等油组
四	13.1	18.6	50.1	0.59	1.59	11.32	0.945	一类好油组
五	11.5	14.7	50.6	0.85	1.56	6.66	1.31	一类好油组
六	4.7	0.4	9.9	0.05	0.87			四 类
七	18.4	13.8	38.7	0.11	1.86	1.21	0.855	二类中等油组
八	4.0	10.7	35.9	0.66	1.18	1.31	0.298	三类差油组
九	5.3	8.5	27.8	0.39	0.63	1.8	0.894	一类差油组
十	6.5	25.2	62.4	0.23	1.33	23.00	1.739	二类好油组
合计	100	13.3	41.5		1.17			

有差异。7井和6井山头断层发育、密度大，平均为1.5条/平方公里和1.3条/平方公里，多数为北西向内幕断层，由于断层发育，裂隙也多，裂隙发育地段占钻开厚度分别为42.1%和51.8%。9井山头虽然断层较多，但因泥质白云岩多、厚度大，致使裂隙不发育。11井山头断层较少，平均为0.48条/平方公里，裂隙不如7井、6井山头发育，裂隙发育段占钻开厚度的34.7%，储渗条件较差。

应该特别指出，11井山头北部围斜部位有寒武系页岩和奥陶系灰岩复盖，裂隙不发育，溶蚀作用很差，对地震分布有直接影响。

三、油田地质条件与地震分布

受断裂构造与地层岩性制约，形成不同的水文地质条件。在上述因素影响下，油田地震活动绝大多数集中在开发范围内，与注水井分布区一致，呈北东向展布。然而油田内部各地震活动频度与强度又很不均一，出现几个相对密集区（图1）。

1. 断裂构造与地震分布

由图1可知，7井与6井山头北西向断层发育，断距小，延伸距离短，密度大，储集性能最好。注水后吸水能力强，渗流条件好，为注水量最多的山头。11井山头断层少，裂隙仅沿大断层发育，山头核心部位裂隙不发育，吸水能力及渗流条件最差。9井山头介于两者之间。地震活动受断裂裂隙控制，表现为11井山头震级大，频次高，9井山头次之，吸水与渗流条件最好的7井与6井山头地震活动性相对最弱，没有发生3.0级以上地震。11井山头与

7井、6井山头分界的任8井断层附近发生了三次3.0级以上地震。

2. 地层岩性与震中分布

任丘雾迷山组碳酸盐岩地层孔、洞、缝非常发育, 与奥陶系灰岩或寒武系页岩相比, 具有较高的渗透性, 有利于水体渗流。又由于岩体本身强度高, 可以积累较大的应变能, 构造破碎带或岩性突变地段, 容易产生脆性破裂或断层滑动, 从而诱发地震。

11井山头以雾一、雾二油组为主, 多为泥晶, 粉晶云岩, 硅质白云岩及藻白云岩。岩性细密, 次生作用差, 溶蚀孔、洞不发育, 渗流条件较差。7井和6井山头以雾三~雾五油组为主, 储渗条件最好。9井山头储渗条件介于其间。受岩性制约, 11井山头地震活动最强, 9井山头次之, 7井6井山头活动最弱。

3. 油田水文地质条件与地震关系。

受断裂构造与地层岩性制约, 注水后使原有的水文地质条件发生变化。

任₅₃井投产后无水采油期只有16天, 见水后含水比很快上升到22.4%, 分析其过早见水原因是: 该井东北约2公里为任₃₀注水井, 任₅₃井投产时, 任₃₀井日注量5000~6000方, 累积注入量已达125万方。将任₃₀井日注量由6000方降至3300到4000方时, 任₅₃井含水上升缓慢或保持稳定, 说明任₅₃井的水是通过断层及破碎带受任₃₀井注水影响而造成的。类似的由于注水改变水文地质条件也多有发现。当水文地质条件突然改变时常会诱发地震。1981年7月3日任₅₃井发生井喷, 共喷油和水近万方, 7月4日在任₅₃井南5公里的油田一矿发生2.3级地震, 7月6日在任₃₀注水井附近发生2.1级地震, 地震后任₅₃井停喷, 说明由于注水使断层破碎带或某种特定部位孔隙压力增高导致井喷与地震。

水文地质条件的改变还反映在各山头注水后油水界面上升速度有很大不同, 80年8月11井山头比其它山头油水界面高出300~340米, 界面高程在任₈井断层附近骤然改变。11井山头南界的三次3.0级以上地震可能与此条件变化有关。

11井山头北部围斜部位雾迷山碳酸岩与寒武系页岩、奥陶系灰岩接触, 注水时渗流条件突然改变, 这一地带地震活动则明显集中。

四、今后地震发展趋势估计

本区注水以来共发生 $M_L \geq 3.0$ 级地震4次, 均发生在月注水量超过100万方以后。79年3月月注水量达到128万方, 5月26日发生 M_L 3.9级地震(主震), 79年10月注水量达到140万方, 12月18日连续发生 M_L 3.7和 M_L 3.0级地震。80年3月~5月注入量达开发以来最高水平, 每月150万方, 只诱发了7月8日、7月18日、8月27日的2.2~2.5级地震三次。据1981年1~7月油田深井台网试记资料, 该区共发生地震168次, 震级均小于3.0级。81年以后注水量大幅度减少, 至83年进一步减至每月100万方, 地震活动也明显减弱。

水库地震研究认为, 主震发生后, 即使水位再度达到了主震时的水平, 甚至在比主震时还高的情况下, 也不曾有比主震更大或与之相当的震级出现^[5]。这点可供注水地震研究参考。

为了获得较长的稳产期和较好的开发效果, 任丘油田需要控制在合理的采油速度下生

产,注采比保持在 1 左右。因此注水量不可能大幅度增加,任丘油田地震活动将保持目前水平或略有降低。

华北石油管理局地质勘探开发研究院提供地质与开发资料,油田地震站提供部分地震宏观调查资料,作者一并致谢!

参 考 文 献

1. 赵根模、张德元、刁桂苓,任丘油田的地震活动与深井注水,地震科学研究, 2, 1981.
2. 刁桂苓、张德元、赵根模,任丘油田注水地震的初步研究,西北地震学报 3, 1982.
3. 刘一鸣等,任丘油田开发与地震活动,中国诱发地震,地震出版社, 1984.
4. 赵重远、渤海湾盆地的构造格局及其演化,石油学报, 1, 1984.
5. 北京大学等,地震地质学,地震出版社, 1982.

THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND THE INDUCED EARTHQUAKE BY WATERFLOODING IN RENQIU OIL FIELD

Zhang Deyuan

(Dagang Oil Field)

Zhao Genmo

(Tianjin Seismological Bureau)

Abstract

This paper will discuss the active characteristics of the induced earthquake by waterflooding and its future tendency based on the analysis of Renqiu oil field geological structure.

The induced earthquake is closely related with the faulting structure, formation lithology and the hydrogeological conditions of the oil field.

The induced earthquake is distributed in the Particular location of the geological structure,