

# 渤海湾盆地构造体系与油田地质灾害

徐守余

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

**摘要:** 渤海湾盆地是我国重要的石油基地。渤海湾盆地发育雁列、帚状和网状等多种类型不同级序的构造体系。根据灾害发生的动力学环境、灾害的特征、灾害的危害及灾害的分布规律, 将油田地质灾害分为油水井套管损坏、诱发地震、地表冒砂喷水油等多种类型, 并论述了各类的特征及分布。研究认为, 渤海湾盆地油田地质灾害的形成、分布及演化受不同级序构造体系及构造应力场的控制, 在帚状构造体系的收敛端等现今应力场的转化区、转折带等常是油田地质灾害发生频率高、强度大的地区。

**关键词:** 油田地质灾害; 构造体系; 渤海湾盆地; 诱发地震; 套管损坏; 地裂  
**中图分类号:** TE121.2                      **文献标识码:** A

渤海湾盆地内各油田年产原油的总和约占我国年产原油总量的 2/5<sup>[1]</sup>, 研究渤海湾盆地构造体系及其与油田地质灾害的关系, 对提高渤海湾盆地内部油田勘探开发效果, 预防和减轻油田地质灾害的影响具有重要意义。

油田地质灾害是地质灾害的一种特殊类型, 油田地质灾害的形成受区域地质背景、应力场及油田勘探开发方式、强度等诸多因素的影响<sup>[2]</sup>。长期以来, 国内外从事油田地质灾害方面的研究甚少, 本文以渤海湾盆地为例, 研究油田地质灾害与构造体系的关系。

## 1 渤海湾盆地构造体系

构造运动和构造应力场形成的各种构造样式在空间和时间上的分布是有规律的, 是按一定序列排列组合在一起的, 从而可分辨构造体系<sup>[3]</sup>。渤海湾盆地构造体系类型多, 多油田地质灾害的影响大。

### 1.1 帚状构造体系

帚状构造体系是渤海湾盆地内一种常见而重要的构造体系类型, 可分为巨型、大型、中型和小型等多种级别。该体系是不同级序的旋扭应力场的产物, 控制了渤海湾盆地内油气的形成和分布, 也控制了油田地质灾害的形成和分布。高级序的帚状构造体系是由冀中拗陷、

收稿日期: 2005-11-23

基金项目: 中国石油天然气集团公司石油科技中青年创新基金(04E7041)、中国石油天然气集团公司应用基础项目及中国石油大学博士基金联合资助。

作者简介: 徐守余(1968-), 男, 博士, 教授, 从事油气地质工程、储层表征方面的教学和科研工作。电话: 0546-8391714, E-mail: xushouyu@mail.hdpu.edu.cn

临清拗陷、济阳拗陷、黄骅拗陷和内黄隆起、埕宁隆起、邢衡隆起、沧县隆起组成的巨型帚状构造体系（图 1）。渤海湾盆地内还发育有低级序帚状断裂构造带，如临邑-商河断裂带就是一个由一组西南收敛、东北撒开、向北凸出的帚状断裂构造带（图 2）。帚状构造体系的收敛端常是油田地质灾害多发地区，如 1998 年 7 月临邑县发生的地裂喷水冒油灾害<sup>[4]</sup>就发生在临邑-商河帚状断裂带的收敛端（图 2）。

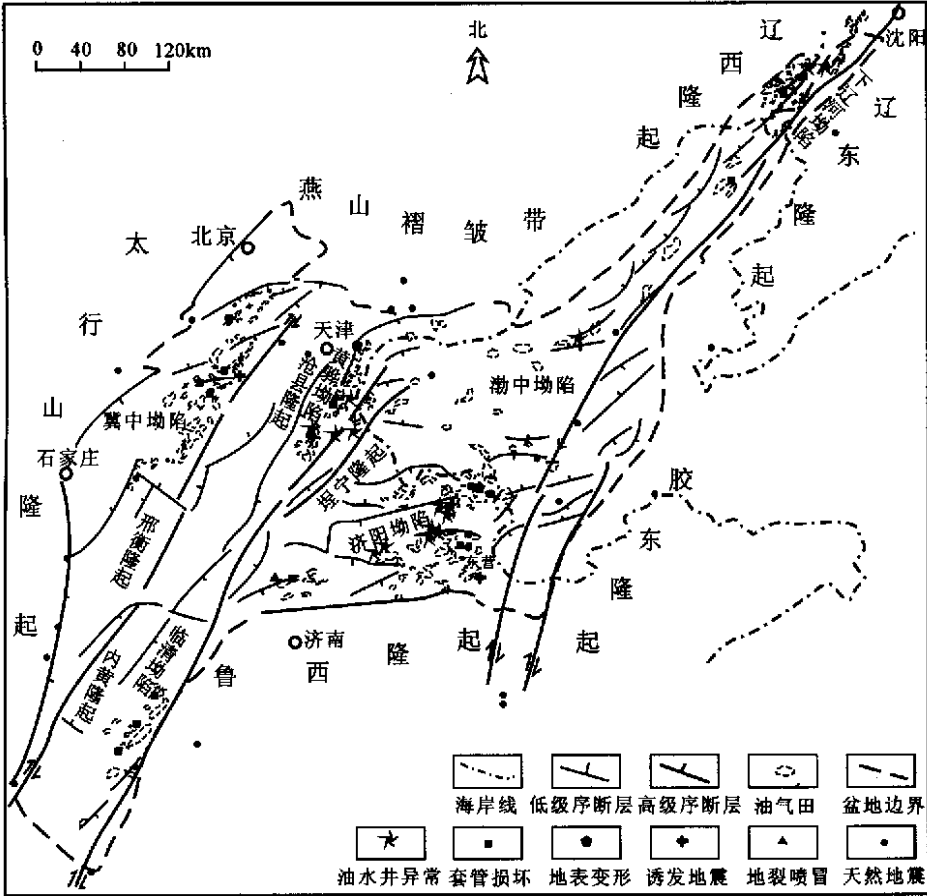


图 1 渤海湾盆地构造体系及油田地质灾害分布示意图

Fig.1 Sketch map of the structural system and distribution of geological hazards in oilfields in the Bohai Gulf basin

### 1.2 雁列构造体系

渤海湾盆地内广泛发育不同级序的雁列式构造体系<sup>[5]</sup>，高级序的雁列式构造由大型隆起和拗陷组成，平面上为雁行排列（图 1），最西边的冀中拗陷，中间的临清拗陷、黄骅拗陷、济阳拗陷、渤中拗陷，最东边的下辽河拗陷。拗陷内均发育有一系列由凹陷和凸起组成的雁行体系，如黄骅拗陷内西侧从南向北依次发育南皮、沧东、板桥和北塘凹陷，东侧依次发育盐山、歧口和南堡凹陷。凹陷及凸起内部的二级构造带也组成雁列式构造体系。如冀中拗陷东部的河西务、牛东、马西、河间和沧西断层组成次一级雁行断层系。凹陷内部的断裂及伴生构造组成低级序的雁列体系，如东濮凹陷中央构造带由南向北发育马厂、徐集、桥口、文留和卫城等呈左行排列的次级雁列式断裂构造带（图 3），整体沿 NNE 向延伸，与凹陷两侧的边界断层近平行。还发育了 4 级或 5 级断裂组成的更低级序的雁列式构造体系。这些雁列

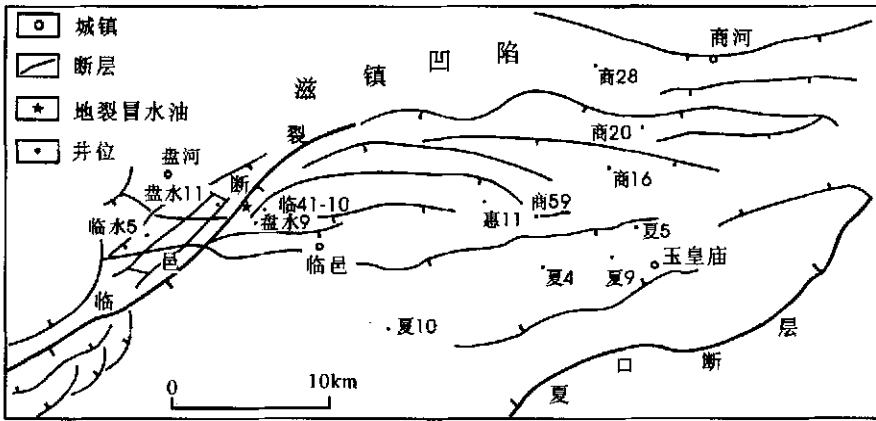


图2 临邑-商河帚状断裂体系

Fig.2 Linyi-Shanghe brush fault system

式构造体系是不同级序的张扭应力场和压扭应力场的产物，不仅控制了油气藏的形成与分布<sup>[5-6]</sup>，也控制了油田地质灾害的形成和分布，如雁列式断裂体系附近油井套管损坏严重。

### 1.3 网状断裂构造体系

该体系通常是由两组共扼扭裂面成生发展起来的断裂体系。如滨南主断裂附近发育的网状断裂构造体系，一组为与主断裂近平行的顺扭向断裂，另一组为与主断裂近垂直的逆扭向断裂。再如临邑-商河帚状构造体系伴生的盘河网状断裂体系（图2），一组断层与主断裂近平行，而另一组与主断裂有较大夹角（50°~60°），该断裂体系可能是临邑断裂曾发生右旋扭动而形成的。

油田地质灾害的分布主要沿构造体系和构造带分布，如帚状构造体系的收敛端等现今地应力场集中、转换的地区，常是油田地质灾害易发地区。

## 2 渤海湾盆地油田地质灾害的类型及特征

目前还没有形成统一的油田地质灾害划分方案，笔者根据灾害发生的动力学环境、灾害的特征、灾害的危害及灾害的分

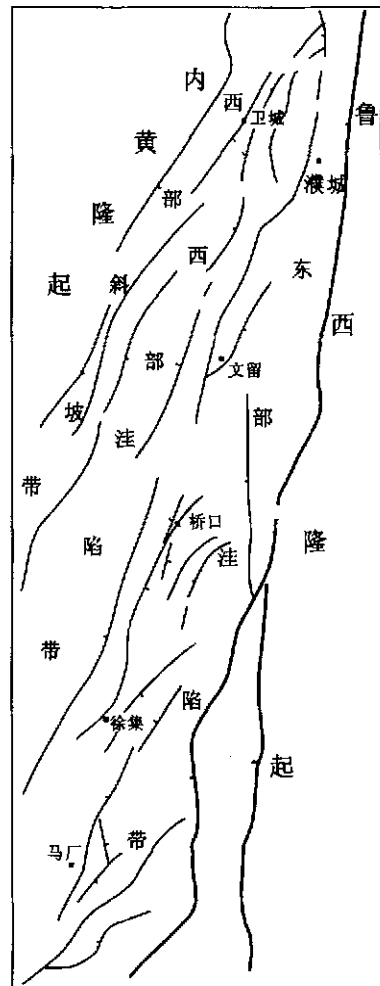


图3 东濮凹陷中央隆起带断裂体系示意图

Fig.3 Sketch map of the fault system in the Central uplift of the Dongpu subs basin

布规律，将油田地质灾害分为油水井套管损坏、诱发地震、地表冒砂喷水油等多种类型。

### 2.1 油水井套管损坏

导致套管损坏的原因是多方面的，包括复杂地质环境、复杂工程条件和人为因素等，但最根本的决定性的因素还是油水井所处的复杂地质环境<sup>[7]</sup>。研究表明，古断裂、古褶皱、古变形带和现代地震活动带、地表变形带、活断层附近是套管损坏严重的地带。

油水井套管损坏与构造体系密切相关，研究表明，油井套管变形、破坏直到报废的原动力在很大程度上来自地壳运动伴生的构造应力场，即地壳块体发生变形、断裂等的动力，这种力的大小、方向、性质、空间展布、时间演化和产生的地质环境等是受构造体系控制的。大港油田所处的黄骅坳陷位于冀鲁巨型帚状构造体系的中部，构造应力场相对较为活跃，油田地质灾害相对较严重，如港西油田有近 1/3 的套管损坏在断层附近或就在断点上，其中最典型的是在 5 号断层附近油井套管有规律地成片损坏（图 4）。由图 4 可看出，在地表多处出现出砂冒水油现象，这些出砂冒水油点可以看成断层在地表附近的反映，说明该断层在油田开发过程中出现局部复活迹象，而套管损坏绝大部分发生在断层投影带内，且沿断层投影带呈条带状分布。由此可见，该断层附近的应力变化剧烈，导致断层附近大范围内油井套管有规律地发生弯曲变形甚至损坏报废。在渤海湾盆地其他油田也有类似现象。

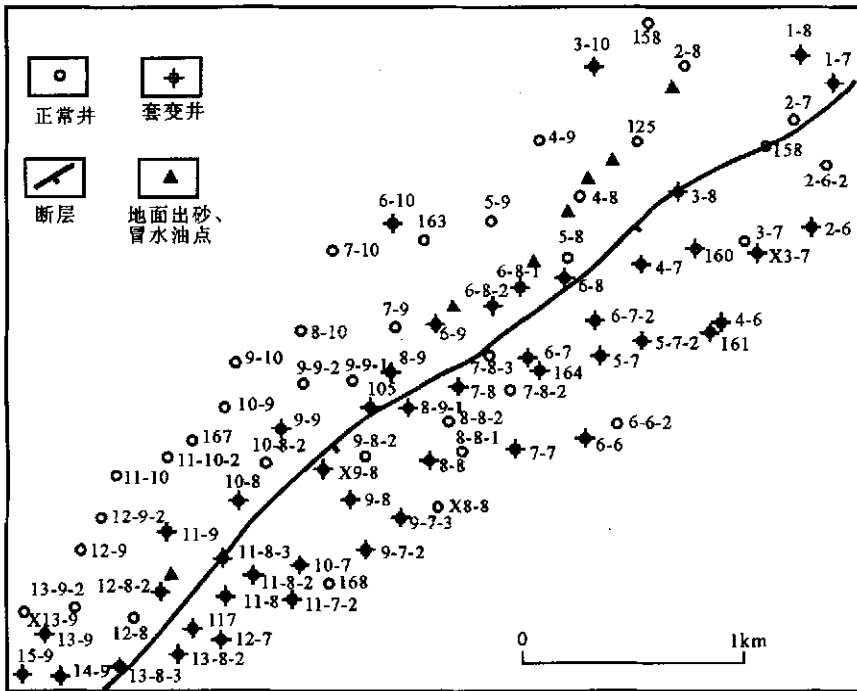


图 4 港西油田 5 号断层附近套管损坏分布示意图

Fig.4 Distribution of casing damage near the No.5 fault in the Gangxi oilfield

### 2.2 诱发地震

石油钻井、地震勘探和油田注水采油等各种与油田生产相关的人类工程活动还会诱发地震。诱发地震的形成主要取决于油田所在地的地质条件、地应力方式、应力场及地下岩体内积聚的应变能，油田进行勘探开发生产只作为诱发地震的重要因素，实质上改变了勘探开发油区的局部应力场的平衡，从而导致灾害发生。

如直扭应力占主导地位的任丘油田在注水开发后产生了一系列诱发地震。研究表明，构

造体系与储层其他性质偶合从而发生诱发地震。图5所示为任西断层与诱发地震的关系,在断层发育、断距小、延伸距离短、密度大的构造带,注水后储层吸水能力强,渗流条件好,地震活动相对较弱(如图5中6、7井附近);断层大、裂隙少的构造带,注水后储层吸水能力弱,渗流条件差,地震活动相对较强(如图5中11井附近)。

### 2.3 地裂及地表冒砂

断裂活动造成地面冒喷水、油灾害也是油田开发过程中时常遇见的油田地质灾害之一。这类灾害不仅影响油田正常生产,而且对环境产生较大影响。如大港的港西油田在开发过程中地表多处发生出砂及冒喷水、油的灾害(图4)。济阳坳陷惠民凹陷中央隆起带于1998年7月出现地裂冒喷水、油的地质灾害,最大冒喷水柱高达约40cm,水柱粗约20~30cm,喷出液体沿村内街道流入村东头水塘内,经现场粗略测定流量,初期最大流量约 $2000\text{m}^3/\text{d}$ ,此次地裂冒喷水、油灾害是由活动性断层——临邑断层在局部薄弱部位活动而引起的,自然条件下的断层活动、地表不均衡沉降、油田采油和注水不均衡等多方面因素耦合使得地下应力分布不均匀,导致在断层的薄弱部位产生应力集中,从而造成灾害发生<sup>[4]</sup>。

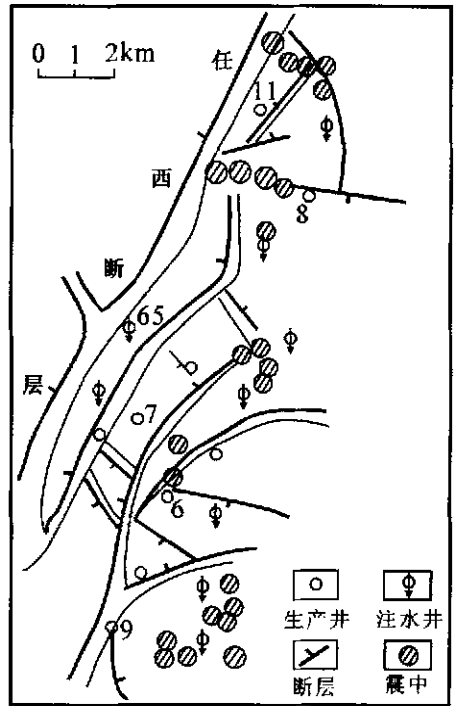


图5 任西断层与诱发地震分布图

Fig.5 Distribution of induced earthquakes near the Renxi fault

## 3 渤海湾盆地油田地质灾害的分布规律及控制因素

渤海湾盆地是我国东部现今应力场活跃的地区,渤海湾盆地构造体系复杂,油气资源丰富。渤海湾盆地构造体系控制了油田地质灾害的类型和分布,不同油田地质灾害的平面分布规律不同(图1)。总地来看,油田地质灾害多发生在复杂构造体系分布区。

渤海湾盆地油田地质灾害的分布受多种因素控制。

### (1) 构造体系因素

油田地质灾害受不同级序、不同成因的构造体系控制,现今地应力活动的构造体系或构造带,常是油田地质灾害易发、多发且灾害活动强度大的地区。如前述地裂冒水油及诱发地震等灾害均分布在活动性构造体系中。复杂构造体系分布区油水井的套管损坏较为严重,如东濮凹陷中央隆起带、东营凹陷中央隆起带的油水井套管损坏常见。

### (2) 石油工程因素

石油工程因素包括石油勘探开发过程中所采用的勘探开发方式、强度和采用的工程措施与油藏类型的匹配关系等,勘探开发方式和工程措施合理常能促进油田勘探开发;相反,会诱发油田地质灾害,进而破坏油田的生产。勘探开发的方式和强度是影响油田地质灾害能否形成及灾害强度的至关重要的外在因素。纵观渤海湾盆地内已经发生的油田地质灾害,如诱发地震、地裂冒喷水油等均是在注水开发强度较大的情况下发生的。华北油田诱发地震的实

例证实, 控制注水强度可以控制诱发地震的发生。大港油田地裂冒喷水油的实例证实, 减少注水量则地裂冒喷水油的灾害停止。

## 4 初步认识

油田地质灾害是地质灾害的一种特殊类型, 目前对油田地质灾害的研究程度较浅。本文初步研究了渤海湾盆地油田地质灾害与构造体系的关系, 认为渤海湾盆地油田地质灾害的形成、分布及演化受不同级序构造体系及构造应力场的控制, 帚状构造体系的收敛端等现今应力场的转化区、转折带等常是油田地质灾害发生频率高、强度大的地区。

油田地质灾害是人类开发石油资源而诱发的地质灾害, 其形成机制与分布规律很复杂, 还有待于进一步研究。随着科学技术的不断进步, 对油田地质灾害的认识水平将不断提高, 在一定程度上可以通过科学技术削弱乃至避免灾害活动、降低灾害损失。

### 参 考 文 献

- [1] 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探(第三卷). 东部油气区 [M]. 北京: 石油工业出版社, 地质出版社, 1999. 1~20.
- [2] 徐守余, 李东旭. 油田地质灾害刍议 [J]. 地学前缘, 2004, 11 (1): 236.
- [3] 李四光. 地质力学概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1999, 18~19.
- [4] 徐守余. 山东省临邑县临盘镇地裂冒喷水油灾害初步分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16 (3): 90~93.
- [5] 徐守余, 严科. 渤海湾盆地构造体系与油气分布 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (3): 259~265.
- [6] 徐守余, 刘泽容. 山东济阳帚状构造体系与油气聚集 [J]. 地质力学学报, 2001, 7 (2): 155~160.
- [7] 徐守余, 魏建军, 温红. 油井套管损坏动力学机制研究 [J]. 石油钻采工艺, 2003, (3): 67~70.

## STRUCTURAL SYSTEMS AND OILFIELD GEOLOGICAL HAZARDS IN THE BOHAI GULF BASIN

XU Shou-yu

(School of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong)

**Abstract:** The Bohai Gulf basin is an important petroleum base of China. Many structural systems of different structural orders are developed in the basin, such as the en-echelon, brush and network structural systems. According to the dynamic setting, characteristics, harm and distribution of geological hazards, the oilfield geological hazards occurring in the basin may be divided into several types such as well casing damage, induced earthquakes, sand blasting and water and oil spouting at the surface and ground cracks, and the characteristics and distribution of various oilfield geological hazards in the Bohai Gulf basin are discussed. The authors think that the formation, distribution and evolution of oilfield geological hazards in the Bohai Gulf basin are controlled by the structural systems and structural stress fields of different orders. The conversion or turning zones of present stress fields such as the converging end of the brush structural system are usually areas where oilfield geologic hazards take place frequently and intensively.

**Key words:** oilfield geological hazard; structural system; Bohai Gulf basin; induced earthquake; casing damage; ground crack