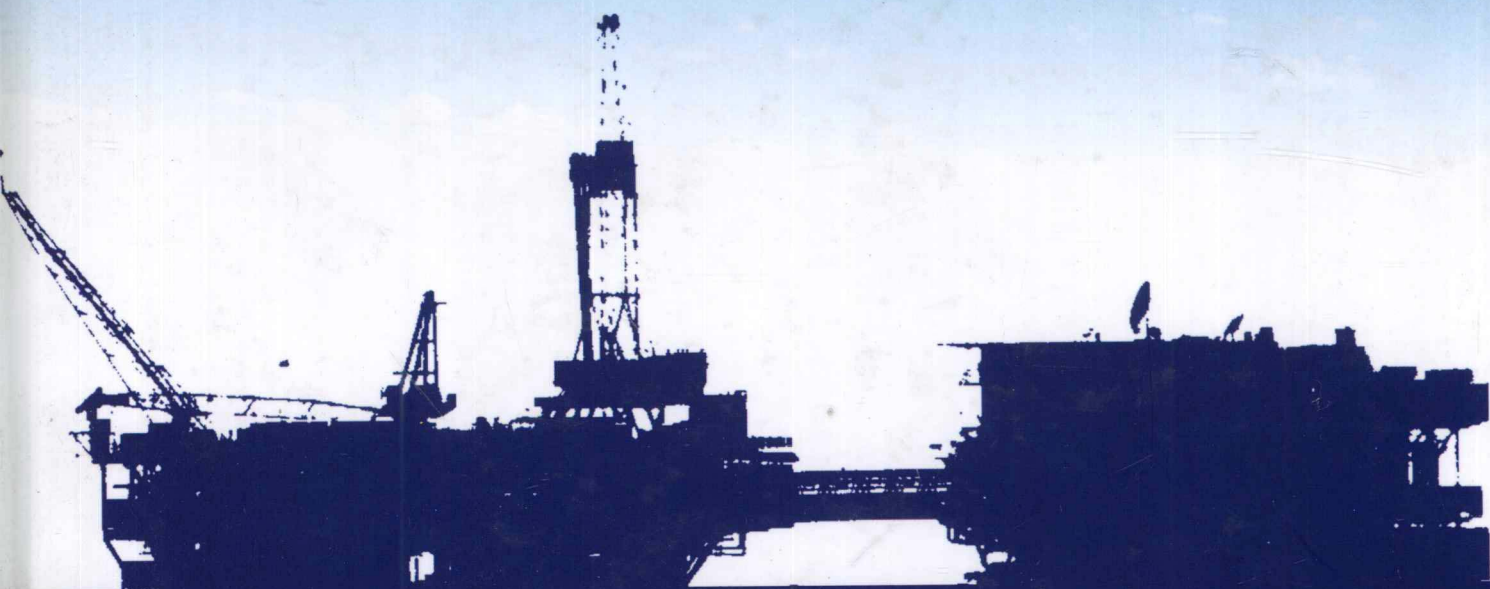


渤海海域 油气成藏与勘探

朱伟林 米立军 龚再升 等 著



科学出版社
www.sciencep.com

渤海海域油气成藏与勘探

朱伟林 米立军 龚再升 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统论述了渤海海域石油地质和油气勘探,主要方面有:①比较深入地探讨了作为渤海湾盆地演化最终归宿的渤中拗陷区域的地质背景、深部地质结构、构造演化史及成盆机制。②提出了新构造运动控制渤中拗陷及其周围油气晚期成藏,阐述了新构造运动的概念、表现、存在依据,及其对本区油气晚期成藏的影响和控制;探讨了油气快速幕式成藏机理、天然地震在含油气区可能是加速油气穿层运移的重要驱动力、油气动平衡成藏等观点和依据。③利用连片三维地震相干切片资料,系统描述了渤海海域郯庐断裂带新生代以来的发育发展和平面展布,以及郯庐断裂对渤海海域油气成藏的重大影响。④论述了渤海海域辽中、渤中、黄河口等主要富烃凹陷的存在及其油气成藏规律。⑤介绍了优快钻井、集束勘探等促进勘探取得重大进展的技术和方法,初步总结了渤海油气勘探的经验教训。

本书包含常规石油地质理论与勘探实践,更展示了渤海海域油气成藏的独特规律和某些新观点,可供从事油气勘探人员参阅、借鉴、类比、研究;亦可作教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

渤海海域油气成藏与勘探/朱伟林等著. —北京:科学出版社, 2009
ISBN 978-7-03-025023-0

I. 渤… II. 朱… III. ①渤海湾-油气藏-形成-研究②渤海湾-油气勘探-研究 IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 119177 号

责任编辑:罗 吉/责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年8月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2009年8月第一次印刷 印张:23 1/2

印数:1—1 000 字数:804 000

定价:220.00 元

如有印装质量问题,我社负责调换

前 言

渤海海域油气勘探历时 40 多年,走过了艰难漫长而曲折的探索之路。20 世纪 60~90 年代中的 30 年间,经历了自营探索和对外合作的两大阶段,由于资金投入有限,勘探工作量少,对渤海海域油气地质条件认识肤浅,加上早期海洋勘探技术水平低,因此,渤海海域的油气勘探没有太大进展。至 90 年代,经过了长期探索总结,通过对海陆油气地质条件和成藏规律的对比分析,终于发现了海域油气成藏条件与周围陆地的差异及其自身的特殊性,开辟了海域油气发现的新领域。在短短几年内,陆续发现了新近系的一系列大油田,使海域石油地质储量迅猛增长,自 1995 年以后 10 年发现的油气地质储量是这之前 30 多年的 5 倍多。截至 2007 年,渤海海域已发现各级石油地质储量 $38.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中探明储量 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$;天然气地质储量 $2615 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中探明 $533 \times 10^8 \text{ m}^3$;年产油 $1500 \times 10^4 \text{ m}^3$,年产天然气 $8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。预计 2010 年以后,其油气产量将名列渤海湾盆地各油区之首。为什么在同一片海域进行油气勘探 30 年后,勘探成效发生如此巨大的变化?本书的主题将回答上述问题,包括对油气成藏规律的认识过程,勘探指导思想方面的经验和教训,勘探技术方法上的创新和发展。

本书是渤海海域第一本论述海域石油地质和油气勘探的专著,较系统、全面地阐述了渤海成盆机制、区域地层及沉积相、断裂系统及其几何学特征、渤海基本石油地质条件及其特征、富烃凹陷的油气分布和成藏规律,以及渤海油气勘探中的新技术、新方法等。值得特别推介及与读者共同分享的有以下几点:

1) 充分运用各种地质、地球物理信息进行分析研究,比较深入地探讨了作为渤海湾盆地演化的最终归宿——渤中拗陷成盆的深部地质结构、区域背景,论述了渤海湾盆地渤中地区的构造演化史及成盆机制。

2) 突出渤中拗陷及其周围独特的油气成藏规律,提出了新构造运动控制油气晚期成藏的观点。重点阐述了新构造运动的概念,新构造运动在渤中拗陷及其周围的表现、存在的依据,及其对本区油气晚期成藏的影响和控制。此外,还探讨了油气快速幕式成藏、含油气区的天然地震可能是加速油气穿层运移的重要驱动力之一、油气动平衡成藏等观点和依据。

3) 首次利用连片三维地震相干切片资料,系统描述了渤海海域郑庐断裂带新生代以来的发育发展和平面展布,较为细致地刻画了海域郑庐断裂带的展布和几何学、运动学特征,弥补了以往对整个郑庐断裂带在海域段研究的不足;阐述了郑庐断裂带的活动是影响渤海海域油气成藏的重大地质事件的表现和依据。

4) 论述了渤海海域辽中、渤中、黄河口等主要富烃凹陷的存在及其油气成藏规律。

5) 介绍了促进渤海油气勘探取得重大进展的几项主要勘探技术和方法:优快钻井技术,适用的地震采集、处理、解释方法,具有针对渤海油气藏特点的试油技术,以及海域自主创新的集束勘探技术和方法。

本书是几代满怀为祖国献石油激情的海洋石油勘探工作者,为开辟我国海洋石油勘探开发事业,艰苦奋斗几十年,潜心求索,孜孜不倦追求渤海油气勘探取得成功的初步总结,它渗透着所有从事过渤海油气勘探工作者的心血和汗水,凝聚着他们的勤劳和智慧。编写人员是在汲取前人成果的基础上,通过在实际中的认识和研究成果结合国家自然科学基金“渤海中部新构造运动及深部动力过程对大型油气系统形成的控制”(No. 40238059)项目的部分成果进行撰写的,由于水平有限,不能把所有重要认识和经验概括完整,不妥之处,恳望批评指正。

参加本书编写的有：朱伟林、米立军、龚再升、夏庆龙、蔡东升、周心怀、徐长贵、杨甲明、郝芳、王守君、张功成、刘春成、郭永华、何仕斌、孙玉梅、魏刚、彭文绪、钟锺、孙晓红、胡圣标、王良书、何建坤、王红亮、辛仁成、朱筱敏、林畅松、吴国暄、李建平、李友川、姜伟、谭东健、罗毓晖、余淑敏、卢华复、侯贵廷、史歌、钱祥麟、赵俊猛等。最后由朱伟林、龚再升汇编、修改、审定。中海石油研究中心陈伟、邓运华、武文来，中海石油（中国）有限公司天津分公司勘探部薛永安、项华，天津分公司技术研究部田立新等均为本书的编著、出版给予了大力支持和帮助，李思田、郝芳教授参与了本书的策划指导，陈泽芬进行了图件审定。在此一并致以衷心感谢。

著者

2008年6月18日

目 录

前言

概论 中国近海第一大含油气区的形成	1
第一节 渤海海域在渤海湾含油气盆地中的地位	1
第二节 渤海海域油气勘探简历和勘探现状	4
第三节 渤海海域油气勘探开发现状	7
第一章 渤海湾盆地海域构造演化与成盆机制	11
第一节 渤海湾盆地海域成盆的构造背景	11
第二节 渤海湾海域新生代构造及其演化特征	35
第三节 渤海湾海域新生代盆地热史、构造-热演化史	53
第二章 渤海海域沉积充填特征	78
第一节 渤海海域层序地层特征	78
第二节 盆地结构控制古近系多个独立湖泊沉降单元	93
第三节 渤海古近系和新近系具有丰富的沉积体系类型	100
第四节 渤海海域沉积充填演化特征	121
第五节 渤海古近系大型砂体控制因素与分布规律	131
第三章 渤海海域主要富烃凹陷及其油气富集规律	142
第一节 富烃凹陷及渤海海域凹陷评价	142
第二节 渤海海域主要富烃凹陷烃源岩地球化学特征及资源潜力	149
第三节 渤海海域主要富烃凹陷油气分布及其油气富集规律	177
第四章 新构造运动控制渤中拗陷及其周围油气晚期成藏	226
第一节 新构造运动控制油气晚期成藏的提出	226
第二节 渤中拗陷新构造运动的时空概念及其存在依据	232
第三节 渤海湾盆地发育发展决定了渤中拗陷油气晚期成藏的必然性	236
第四节 新构造运动极大改善了渤中拗陷及其周围新近系的储盖组合	239
第五节 新构造运动控制渤海湾盆地渤中拗陷晚期生排烃	255
第六节 新构造运动控制渤中拗陷及其邻区新近系圈闭晚期定型	263
第七节 新构造运动期的断裂有助于形成晚期油气运移的疏导网	269
第八节 新构造运动控制下油气可能存在快速、幕式成藏	271
第五章 渤海海域郯庐断裂带对油气成藏的影响	296
第一节 郯庐断裂带概况	296
第二节 郯庐断裂带(渤海海域)的分布特征	300
第三节 郯庐断裂带与渤海海域油气成藏	314
第四节 郯庐断裂带的油气田分布及其控制因素	317
第六章 渤海海域油气勘探的启示和关键技术	320
第一节 创新观念、突破固有认识,是取得油气发现的关键	320
第二节 效益勘探是提高油气勘探成效的根本理念	328

第三节	地震勘探技术的发展，引领了勘探领域的扩展·····	333
第四节	优快钻井的成功，加速了渤海油气勘探的进程·····	355
第五节	试油试采新技术的创新和应用·····	359
主要参考文献·····		365

概论 中国近海第一大含油气区的形成

朱伟林 龚再升

渤海海域本是地理概念，只因整个华北新生代含油气盆地被石油地质界习惯称为渤海湾盆地，为避免名字混淆，在本书中，把渤海湾盆地现今海域部分，冠以“渤海海域”的名称，作为所含地质单元的总称。

前言提及渤海海域油气勘探走过了 40 多年艰难漫长而曲折的探索之路。1995 年之后 10 年内发现的油气地质储量是这之前 30 年总和的 5 倍多。在同一片海域进行油气勘探 30 年后，勘探成效为什么发生如此突变？这是本书要回答的主要问题。本书既包括对油气藏规律的认识和探讨、勘探指导思想方面的经验和教训，又包含勘探技术方法上的创新和发展。其中，特别值得与读者共享的是：

- 1) 渤中拗陷及其周围新构造运动控制油气晚期成藏；
- 2) 贯穿渤海东部的郯庐断裂带的活动是影响油气成藏的重大地质事件；
- 3) 渤海海域富烃凹陷的发现及其成藏规律；
- 4) 渤中拗陷深部地质背景及其对沉积、构造、断裂发育发展史的控制；
- 5) 适合渤海地质特点的集束勘探、优快钻井等新技术和新方法。

第一节 渤海海域在渤海湾含油气盆地中的地位

渤海湾含油气盆地位于华北平原，也称华北含油气盆地。渤海湾盆地是中生代末以来，叠置在华北中-古生界基底上，发育的新生代克拉通裂谷断陷盆地，其西北受限于燕山山脉，西部毗邻太行山脉，东部是胶辽隆起，南部为鲁西隆起，盆地面积约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。渤海湾盆地经历了古近纪的裂谷断陷期和新近纪的裂后沉降期。以古近系沉积发育为基础，考虑新近系的分布等因素，将盆地划分出：下辽河拗陷、冀中拗陷、黄骅拗陷、济阳拗陷、临清拗陷、渤中拗陷和埕宁隆起、沧县-内黄隆起等次级构造单元（图 0-1）。整个盆地经历多幕裂陷和沉降发育过程，自周围造山带和隆起区向海域，其沉积、沉降、构造、断裂都有由老向新转移的趋势，这一特点决定了以渤中拗陷为主的渤海海域油气成藏的特殊性。

渤海湾新生代盆地是在区域伸展构造体系作用下，受限於盆内中-古生界区域大断裂，形成诸多以半地堑为主的沉降单元，与相邻的隆起带彼此分隔，构成许多相对独立的陆源湖泊沉积单元，并在古近纪发生了多幕裂陷，多幕沉降充填。首幕裂陷发生在古新世孔店-沙四期，属裂陷早期，这期强裂陷区主要分布在盆地周边，靠近燕山-太行山前和隆起区边缘，如太行山前的保定凹陷、石家庄凹陷、大厂凹陷等。其充填物一般较粗，常以红色、杂色冲积扇为主，沉积范围较局限。在孔店二段-沙四期，裂陷沉降范围有所扩展，开始出现了湖相充填沉积，如济阳拗陷的昌潍凹陷、黄骅拗陷的沧东-南皮凹陷、下辽河拗陷的大民屯凹陷，形成了较厚的暗色湖相泥岩、页岩，成为了这些凹陷的重要烃源岩。第二幕裂陷出现在始新世沙三-沙一期，本期是主裂陷沉降期，整个盆地的裂陷作用加剧，各凹陷沉降面积和沉降幅度逐步扩大，沉积速率从盆地边缘向盆地中央加剧，如冀中拗陷的饶阳-坝县凹陷、济阳拗陷的东营凹陷、黄骅拗陷的歧口凹陷、下辽河拗陷的辽河西部凹陷等，本裂陷幕总体上是继承性沉降性质，各凹陷都发育了很厚的半深湖-深湖相的沉积，主要为暗色的泥岩、页岩。但不同凹陷裂陷活动略有差异，在沙三期末、沙二期末分别出现过不同程度的湖盆抬升萎缩期。

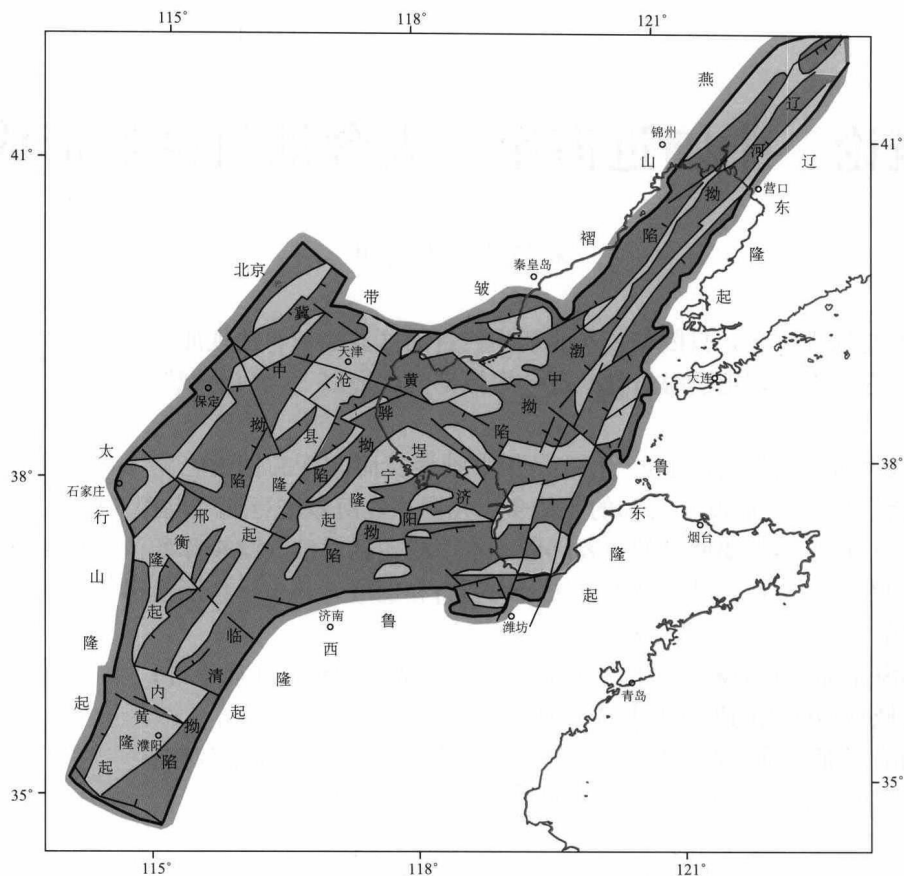


图 0-1 渤海湾盆地构造单元简图

这二幕裂陷沉积是盆地内最主要的、区域性的、优质烃源岩形成期。第三裂陷幕是渐新世东营组沉积期，这期裂陷沉降强度明显由盆地边缘向盆地中心转移。盆地边缘的凹陷，随着控凹断裂活动减弱，沉积沉降幅度减小，湖盆萎缩，出现河流-三角洲-沼泽相沉积，厚度较薄。而靠近盆地中央的各凹陷，受区域性走滑断裂活动影响，沉积沉降加剧，如歧口凹陷、南堡凹陷、渤中拗陷、辽中凹陷，接受了巨厚的湖相-三角洲相沉积。渐新世末，盆地结束了裂陷期，整个盆地抬升，接受了较为广泛的剥蚀夷平，形成了标志性的区域破裂不整合面，古近纪形成的隆凹相间格局逐步消失。新近纪，盆地开始进入裂后热沉降期，尽管受不同地区地壳深部结构横向差异的控制，不同凹陷的沉积速率和沉降幅度也存在一定差异，但总体上沿袭了沉积、沉降作用由盆地边缘向中央转移的特点，歧口凹陷东北段和渤中拗陷一带是整个盆地新近系的沉降中心，其沉积最厚达 4000m。

渤海海域是整个渤海湾盆地自古近纪以来由周边山前和隆起区逐步剥蚀夷平、伸展裂陷、沉降充填、由水域覆盖变成陆的变化过程中目前仅存的水域部分。从地质构造单元上分析，渤海海域是渤海湾盆地的组成部分，由北部的下辽河拗陷（辽河油田）向海域延伸的辽西、辽中、辽东凹陷，辽西、辽东凸起等单元；西南部的黄骅拗陷（大港油田）向海域延伸的歧口、北塘、南堡凹陷等；南部的济阳拗陷（胜利油田）向海域延伸的青东、莱州湾、黄河口凹陷和莱北隆起等单元和渤中拗陷组成。这些构造单元是随着渤海湾盆地发育、发展起来的，与渤海湾盆地基本上具有同样的发育、发展、充填历史。

渤海海域可进行油气勘探的面积约 5.1 万 km²，包括 14 个古近纪的凹陷和 10 个隆（凸）起（图 0-2）。其中，渤海湾盆地中面积最大的渤中拗陷是渤海海域的主体，也是整个渤海湾含油气盆地发育发展的归宿，其发育发展历程有其特殊性。自渐新世以来，渤中拗陷逐渐成为全盆地沉降、沉积

的中心，发育了河流、湖泊、三角洲沉积体系，接受了巨厚的湖相沉积；中新世—第四纪仍处于快速沉积、沉降中心区，由于远离物源补给区，发育了滨浅湖相沉积。进入上新世以来，渤中拗陷及其周围受郯庐断裂带再活动的影响，继续快速沉降，出现构造再活动，即新构造运动期。渤中拗陷正是由于渐新世以来成为了整个盆地的沉积沉降中心。晚期快速沉降和上新世以来的构造再活动，给海域油气成藏带来了特殊性，为渤中拗陷及其周围油气晚期成藏创造了条件。

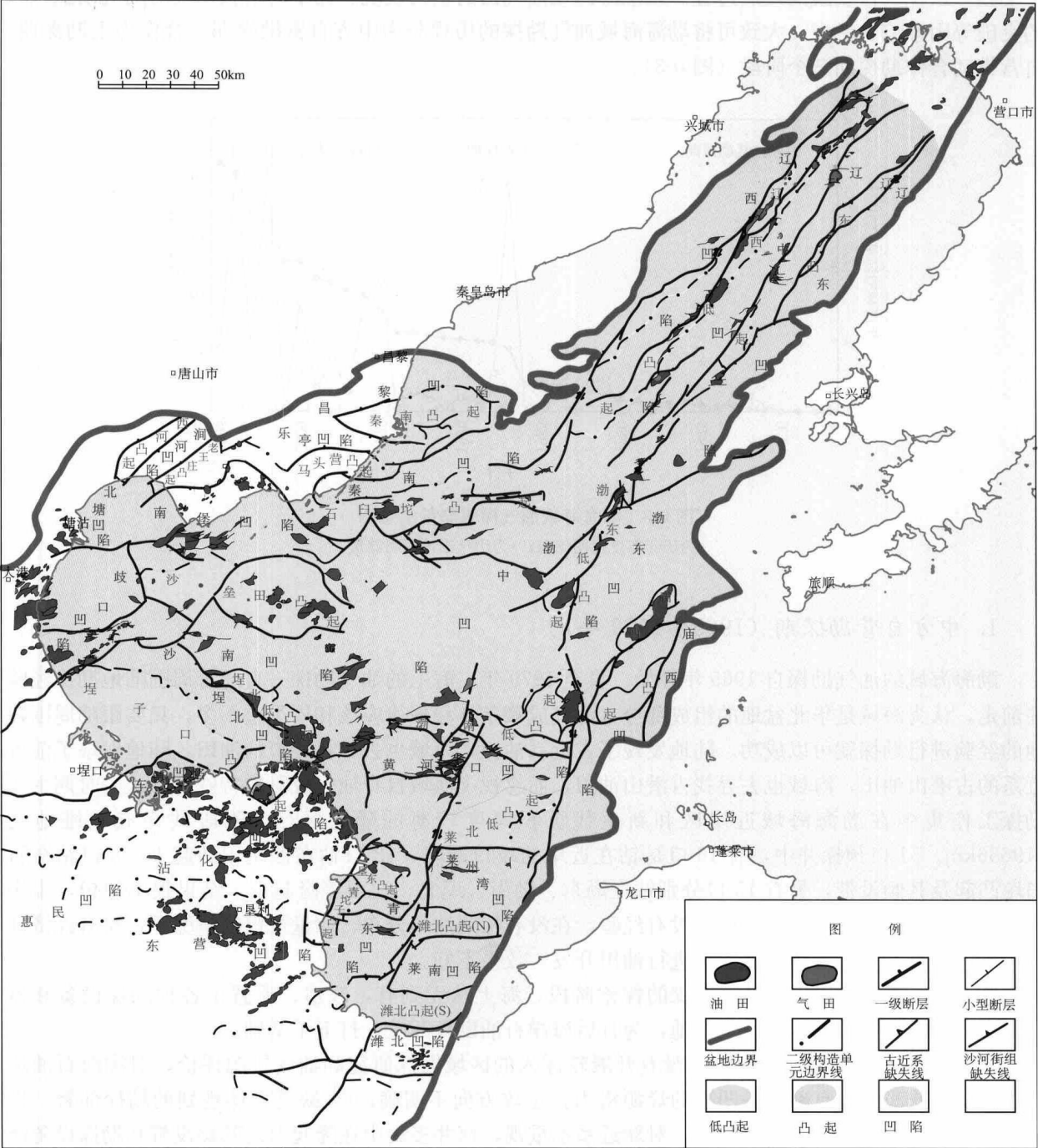


图 0-2 渤海海域构造单元及油气勘探形势图

第二节 渤海海域^①油气勘探简历和勘探现状

渤海海域油气勘探始于1965年,从1967年第一口井——海1井出油到1995年发现QHD32-6新近系油田,从而揭开本区油气田大发现的序幕,前后历经了30年,是一个艰难的探索历程,也是一个实践—认识—再实践的发展过程。从渤海海域油气田的重大发现、储量的增长以及对油气勘探领域的突破等因素综合考虑,大致可将渤海海域油气勘探的历程分为中方自营勘探期、合作为主勘探期、自营带动合作勘探期三个阶段(图0-3)。

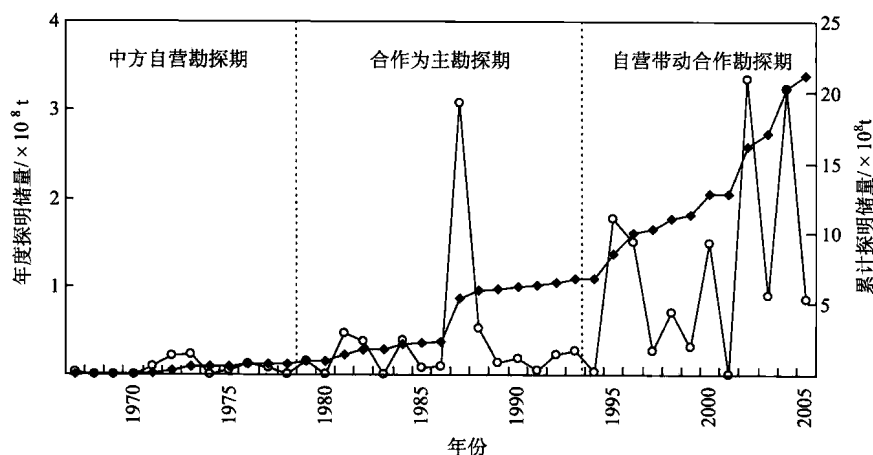


图 0-3 渤海海域油气探明储量示意图

○为历年年度探明储量；●为历年累计探明储量

1. 中方自营勘探期 (1965~1979 年)

渤海海域的油气勘探自1965年开始,直至1979年,海上的油气勘探一直随着周围陆地勘探经验往前走,认为海域是华北盆地的组成部分,油气成藏条件和规律应该和周围差不多,只要跟随周围陆地的经验进行勘探就可以成功。陆地发现了古近系油田,海域也去寻找相似的油田,陆地发现了前古近系的古潜山油田,海域也去寻找古潜山油田,而忽视了海域自身油气成藏的特殊性。这一时期主要勘探工作集中在渤海海域近岸区和新生代沉积厚度较薄的隆起区,本阶段共完成二维地震119656km。51口预探井中,有16口是钻在近岸的歧口凹陷、12口钻在沙垒田凸起上、8口钻在石臼坨凸起及其倾没带,另有15口分别钻在渤东、渤南、埕北、辽西等隆起带。结果很不理想,十多年里,仅发现了5个小油田,由于没有经验,在没有探明油气分布、储量规模的情况下,没有经济评价、风险分析,就试行边勘探、边进行油田开发,效果不好。

这一阶段也是中国近海油气勘探的探索阶段,海上从无到有,改造、购置了各种勘探设备和器材,形成和锻炼了队伍,建设了基地,为日后海洋石油勘探开发,打下了基础。

分析本阶段不成功的原因:①没有开展较深入的区域勘探研究和油气资源评价,对渤海石油地质条件认识肤浅,没有确认各凹陷的烃源潜力,主攻方向不明确;②缺乏整体规划的勘探部署,把主导勘探目的层偏重古近系和潜山,对新近系不重视,探井多集中在隆起上及其倾没带和勘探设备能力可及的近海区,许多勘探领域未能涉及;③当时的地震、钻完井、测井、测试技术水平较差,不适应渤海复杂地质条件下的油气勘探,如在隆起带的古潜山勘探过程中,许多井都钻遇了新近系的油

^① 不包括周边滩海地区,面积约4.3万km²。

气显示,或解释了油气层,但油稠、出砂,试油产量很低,认为新近系成不了气候,没有商业价值,结果把许多发现新近系大油田的机会错过了;④ 勘探资金投入有限,15年里,在4万多平方米范围内仅钻了51口探井,取得的资料信息有限,发现油气的几率低。

2. 合作为主勘探期(1980~1994年)

这一时期,整个渤海以对外合作为主,仅在辽东湾继续自营勘探。

1980年开始渤海海域对外合作勘探,先后有美、英、法、日等国的十多家跨国石油公司参与渤海油气勘探,共签订了23项石油合同和联合研究协议,完成了二维地震测线44147km、三维地震365km²,共钻了58口探井,结果没有重要发现。

合作第一阶段自1980年开始,以日本日中石油公司及法国ELF公司签署两个双边石油合同为标志。其中日中石油完成二维地震测线27014km,钻探井21口,在黄河口凹陷发现BZ28-1、BZ34-2/4油田及一些含油气构造,探明石油储量 4381×10^4 t、天然气储量 55×10^8 m³。本阶段合作开发了BZ28-1、BZ34-2/4油田和原已试生产的埕北油田,油田高峰年产油 $22 \times 10^4 \sim 46 \times 10^4$ m³。ELF合作区完成勘探义务工作量,钻探井3口,除见到油气显示外,未发现油气田,于1984年退出合同。

合作的第二阶段始于1987年,相继和美国、英国、澳大利亚等国的EXXON、TEXCO、CEVRON、BP、KMG、PHILIPS、BHP等石油公司签订了21个石油合同。其中EXXON、CEVRON进入辽东湾,首先开展了大规模连片三维地震勘探,共1889km²。EXXON以古近系为主要目的层,钻了6口探井,发现了被认为没有商业价值的JZ31-1小气田。CEVRON以潜山为主要目的层,钻了5口探井,仅发现油气显示。外方相继于2000年退出合作区块。

PHILIPS的11/05合同区,覆盖了渤中拗陷及其东部的渤南、庙西凸起,合同区义务探井5口,完成二维地震 1.4×10^4 km、三维地震1219km²,截至1994年底以古近系及潜山为目的层完成探井4口(仅剩下最后一口义务探井),发现2个含油构造BZ36-2、PL14-3,被认为没有商业价值。

BP合同区覆盖了石臼坨凸起及其周围,合同期完成勘探义务工作量,包括二维地震1172km,钻探井3口,没有任何油气发现,于1994年9月退出合作区块。

KMG的两个合同区覆盖了石臼坨凸起及其周围,截至1994年底以古潜山为主要目的层,共钻了5口探井,发现CFD2-1小油田,没有独立开发的价值。

因此,截至1994年底的合作勘探期,各大石油公司在渤海的合作勘探中未能取得突破,也没有具有经济性的油气发现,合作伙伴普遍认为渤海是高风险的油气勘探区,勘探前景不乐观。

与此同时,中海油以辽东湾为主要探区的自营勘探蓬勃开展,包括二维地震39817km,三维地震1405km²,钻探井、评价井84口,并取得了渤海海域油气勘探的重要突破。1982年开始在辽东湾开展了区域性的二维地震勘探,在区域研究评价的基础上,以辽西低凸起为主要方向开展钻探。1984年发现了JZ20-2油气田,储层是始新统沙河街组碎屑岩、中生界火山岩和太古宇花岗岩,具有跨不同层系构成相同油气水系统油气田,天然气储量 135×10^8 m³,是渤海海域最大的天然气田。1987年发现了SZ36-1大油田,这是辽西潜山带中北段的一个披覆背斜,储层是渐新统东营组的三角洲相砂岩,油层物性好、厚度大,油水系统较简单,探明储量近 3×10^8 m³。这是当时渤海海域油气勘探20多年来发现的唯一的亿吨级大油田。1990年左右,自营勘探转移至渤西歧口凹陷,又相继发现了QK18-1等一些中小油田。

总之,第二阶段合作为主的勘探期约15年的勘探中,是对外合作的高潮期,不但合同区面积大,而且投入勘探工作量也较大,外国油公司应用了当时的先进勘探技术,却未能取得应有的油气发现,其中最主要的问题还是合作方仅限于各自合同区的孤立研究,缺乏对渤海区域石油地质条件的全面掌握,将勘探的主要目的层局限在古近系及潜山,造成连连勘探失误,没有获得有商业性的油气发现。但这一阶段的对外合作,完成了大量地震勘探和大批探井,揭示了不同区域、不同层位的地质情况,取得了丰富的地质资料,为以后的油气发现奠定了扎实的基础。与此同时,第二阶段在区域勘探研究

的基础上,中海油在辽东湾的自营勘探将辽西凸起作为主要勘探方向,并取得了渤海油气勘探的第一次突破。

3. 自营带动合作勘探期(1995~2006年)

如果说中方自营勘探期(1965~1979年)是限于当时的技术设备落后,又处于自我封闭探索期,没有重要发现可视为海洋石油勘探“交学费”阶段的话,那么合作为主勘探期(1980~1994年)是中海油大规模对外合作勘探的15年,先后有十多家当时的跨国大石油公司进入渤海合作勘探,签署了20多个石油风险勘探合同,采用了当时国际通用的先进勘探技术,进行了合同规定的义务工作量勘探,竟没有一个具有可独立开发的油田发现。原因何在?难道渤海真的是高风险探区而无油气可找了吗?作为渤海湾盆地的组成部分,含油气情况和周围的胜利、辽河、大港油区真的有如此大的差异吗?

海洋石油地质工作者通过反复对比、分析研究,终于在反思中更新了认识、创新了思维,逐步形成了渤海海域油气勘探的新思路。渤海海域的渤中拗陷是渤海湾盆地发育发展的归宿,整个渤海湾盆地的沉降中心、沉积中心、断裂、构造都是从燕山、太行山、胶辽隆起边缘的凹陷向海域的渤中拗陷由老到新推移的,因此,海域的烃源岩、储集层、油气成藏都相应变新。因此,渤海海域油气勘探应以新近系为主要目的层,坚持以富生烃凹陷及其周围的隆起区为主要勘探方向。在这一认识的指导下,中海油在渤中拗陷北部的石臼坨凸起上,通过自营勘探,1995年6月发现了QHD32-6新近系大油田,探明储量 $1.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,从此,揭开了新近系大油气田群发现的序幕。1996年在石臼坨凸起上又发现NB35-2亿吨级油田,从此开始了渤海海域以新近系为主要目的层的油气发现新高潮,迎来了渤海油气勘探的春天。

自营勘探发现新近系大油田的新认识和经验,带动了合作伙伴把勘探目的层由古近系、古潜山转移到新近系,1999年PHILIPPS钻探渤南凸起上的PL19-3构造,发现了地质储量大于 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大油田,这一发现进而带动KMG在石臼坨凸起发现了CFD11-1、12-1两个亿吨级大油田,PHILIPPS相继发现PL9-1、PL25-6油田,随后CHEVRON、TEXCO也加入了新近系的勘探,且均有发现,渤海自此出现了新近系油气发现的最高潮。从1995~2000年共发现了QHD32-6、NB35-2、BZ25-1S、PL19-3、CFD11-1、CFD12-1、PL25-6、PL9-1、LD32-2、LD27-2等十多个大中型油田,三级石油地质储量约 $17 \times 10^8 \text{ m}^3$,奠定了渤海成为近海最大采油基地的地位。

这些油田具有如下基本特点:①分布在生烃凹陷包围的隆起上,如渤南隆起北倾没带上的PL19-3、西倾没端的BZ25-1S,石臼坨凸起上的QHD32-6、NB35-2,沙垒田凸起上的CFD11-1、CFD12-1,渤东隆起上的LD32-2、LD27-2,庙西凸起上的PL9-1等,至此,渤海海域生烃凹陷包围的隆起上,除莱北隆起外,都发现了石油地质储量亿吨以上的大油田;②油藏圈闭类型以披覆构造为主;③油藏埋深浅,一般在1000~1500m,最浅的仅800m,最深的在1700m左右;④稠油为主,地面原油密度一般在0.92~0.97左右,地下黏度 $30 \sim 200 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ^①,基本上为埋深越浅油越稠;⑤储层全为河流相砂岩,储层物性好,但横向分布不稳定,油水关系复杂。

新近系油气田大发现带动了渤海油气勘探的持续发展,在渤中拗陷,新近系的勘探由隆起上向已发现油田周围继续扩展,同时开展了凹陷区内走滑断裂带的勘探,也取得了前所未有的进展,最重要的发现是黄河口凹陷中央南北向的羽状断裂带,从BZ28-BZ34构造带,在过去古潜山和古近系勘探的基础上,新近系相继发现了一系列新油气田,包括BZ28-2S、BZ26-3、BZ29-4、BZ34-1S、BZ34-1N等,油气储量也超过1亿t。

这一阶段的另一重大进展是重返辽东湾,获得本区新一轮油气大发现。自第二阶段合作勘探结束以后,辽东湾的勘探趋于沉寂阶段,2002年重新勘探辽东湾获得了4项重大进展:①发现太古宇混

① 动力黏度单位:1千克力秒/米²($\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)=9.80505帕·秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。

合花岗岩为储层的 JZ25-1S 油田,这是辽西凸起上一个披覆半背斜,主要储层是沙河街组二段砂岩和太古宇混合花岗岩,两套储层均获得高产油气,且以太古宇混合花岗岩为主,其天然气三级地质储量 $149 \times 10^8 \text{ m}^3$,石油地质储量 $8471 \times 10^4 \text{ m}^3$,是渤海湾盆地最大的太古宇混合花岗岩油气藏。② 在辽中凹陷走滑带上取得重大突破,发现了 JX1-1 断块油田。这是由于渐新世郯庐断裂带右旋走滑作用在辽中凹陷中央,顺凹陷轴向发育的一条陡倾大断裂,沿断裂不同部位,上下盘由主断裂与派生羽状断裂交汇形成的断裂鼻状构造带,JX1-1 仅为其中之一。其储层为东营组三角洲砂岩,油藏埋深适中,油质好,目前已探明三级石油地质储量 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。这一发现还将带动这一走滑断裂带的进一步勘探。③ 证实了辽东湾的辽西凹陷具有良好的生烃条件,存在类似下辽河的辽西凹陷的沙四段烃源岩和油气成藏条件。④ 在辽东湾首次发现了岩性油气藏 JZ31-6 气田。

第三节 渤海海域油气勘探开发现状

截至 2006 年底,渤海累计钻探井 511 口。其中预探井 277 口,评价井 234 口,探井进尺 $134 \times 10^4 \text{ m}$ 。累计完成二维地震 $24.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,三维地震 $2.14 \times 10^4 \text{ km}^2$;发现油气田 41 个,含油气构造 65 个,发现三级石油地质储量 $35.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中探明石油地质储量 $20.3 \times 10^8 \text{ m}^3$),三级天然气地质储量 $941 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中探明天然气地质储量 $546 \times 10^8 \text{ m}^3$);已开发油气田 24 个,2006 年产油 $1504 \times 10^4 \text{ m}^3$,年产气 $7.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,预计 2010 年,年产油气当量将超过 $2500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

随着油气勘探工作量的增加,油气田发现不断增加,对渤海海域油气成藏条件和油气分布的认识也在不断加深,取得了以下重要进展。

1. 在渤海海域证实了一批富烃凹陷

勘探实践表明,在裂谷断陷盆地内进行油气勘探的成败首先取决于烃源条件,只有具备了生烃条件,才可能找到油气田,这是寻找油气的物质基础。而发现油气田的数量和规模则取决于富生烃凹陷的存在。一个含油气盆地往往发育多个拗(凹)陷,但各凹陷的生烃潜力不同,只有部分凹陷生烃条件优越,成为富生烃凹陷。凡证实了一个富生烃凹陷,就等于找到了一个油气富集区、一个找油气的新领域,就能在富生烃凹陷的内部或周围找到大中型油气田,或油气田群。所以寻找和证实富生烃凹陷是勘探的首要问题。渤海海域通过 40 多年的勘探,从 13 个凹陷中证实了渤中拗陷、辽中凹陷、黄河口凹陷、南堡凹陷是富生烃凹陷。目前几乎全部的油气探明储量都来自这四个凹陷。

(1) 渤中拗陷是渤海海域最富烃的凹陷

渤中拗陷是渤海湾盆地内的二级构造单元,它是由 NE、NW 向两组断裂系统控制的近方形拗陷,由主体渤中拗陷及围绕凹陷周边的隆起,如石臼坨、渤东、渤南、沙垒田等隆起,以及这些隆起外围的小凹陷,如渤东、庙西、秦南、沙南等凹陷组成,整体构结呈隆起包围凹陷的环状。渤中拗陷受周围隆起的结构控制,东与渤东隆起、南与渤南隆起、北与石臼坨凸起交界处的某些部位,往往发育控凹断裂,使凹陷出现多个局部的半地堑,形成渤中拗陷多个古新世的沉降、沉积中心,一般沉积厚度超过 3000m。渐新世以后沉降中心偏移至现今凹陷的中心部位,沉积厚度超过 7000m。凹陷往西主要呈超覆式沉积与石臼坨凸起接触。现已证实本凹陷存在沙河街和东营组两套烃源岩,因烃源岩沉积体规模巨大,有机质类型好、丰度高、成熟度适中,奠定了富烃凹陷的物质基础,构成了渤海湾盆地最富的生烃凹陷。同时由于本凹陷具有隆包凹的环形结构,古近纪从隆起向凹陷发育了众多的水下扇,和相关断裂形成了良好的输导系统,使油气容易从凹陷向隆起方向运聚,加上晚期新构造运动,使油气最终在新近系成藏。因此,在渤中拗陷周围的隆起上,基本上都发现了新近系的油气田群。如渤南隆起上的 PL19-3,沙垒田凸起上的 CFD11-1、CFD12-1,石臼坨凸起上的 QHD32-6、NB35-2,渤东隆起上的 LD27-2、LD32-2,庙西凸起上的 PL9-1 油田,都是储量规模很大的油田。据统计,到 2007 年,本区共钻探井 48 口,评价井 62 口,发现油田 6 个,含油气构造 25 个,发现三级石油地质

储量 $15.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明储量 $8.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，本区发现油气储量占整个渤海海域油气储量的 44.2%。

(2) 辽东湾具有烃类最佳运聚结构和条件

辽东湾探区面积约 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，长约 160km，宽约 40km，呈 NNE 的长条形展布，自西往东由辽西凹陷、辽西隆起、辽中凹陷、辽东隆起、辽东凹陷等单元，呈条带状相间排列，凹陷具典型的半地堑箕状结构，其中辽中凹陷是被证实的主要富生烃凹陷，其烃源岩以沙三段为主，在辽中凹陷北段，除沙三以外，东营组下段也是烃源岩之一。辽西凹陷初步认为具有沙四段、沙三段两套烃源岩，可能也是富生烃凹陷。这样，辽东湾形成了生烃凹陷向相邻隆起带近距离供油的最佳运聚结构。其中，辽西隆起为辽西大断裂翘倾形成的带状基底隆起，有南高北低的趋势，但略有起伏，隆起上出现多个高点，形成几个披覆构造带，基本上均有古近系分布。只因遭受剥蚀程度不同，各构造高点上古近系具体层位和厚度不同。最南部构造带局部缺失古近系，新近系馆陶组直接覆盖在基底之上，中部主要是渐新统东营组覆盖在基底上，最北部为始新统沙河街组地层覆盖在基底上，因此各段的主要勘探目的层略有差别。目前共钻预探井 63 口，钻圈闭 58 个，发现含油气构造 41 个，其中油气田 18 个，商业成功率 31%，探明石油地质储量 $6.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，探明天然气地质储量 $375 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，控制预测油气储量约 $5.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，本区发现油气储量占整个渤海海域油气储量的 34.6%。

(3) 郯庐断裂带主导黄河口凹陷油气分布

黄河口凹陷是济阳拗陷向海域的延伸部分，面积为 3059 km^2 ，西南紧邻沾化凹陷，北部受控渤南隆起，东南是莱北隆起，主要烃源岩为沙三段，郯庐断裂带东支主断裂控制了凹陷东界，西支近南北向贯穿凹陷中央。郯庐断裂的存在和活动，特别是新近纪末以来的活动是影响黄河口凹陷油气成藏的主导因素。目前发现的油气田主要是沿渤南隆起的南断裂带和贯穿凹陷中央的郯庐断裂带分布。至 2007 年，在本凹陷及渤南隆起，共钻探井 43 口，评价井 51 口，发现油气田 12 个，含油气构造 18 个，发现三级石油储量 $5.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明石油地质储量 $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，本区发现油气储量占整个渤海海域油气储量的 16%。

2. 毗邻生烃凹陷或被生烃凹陷夹持的隆起带是油气运聚的最佳场所

渤海海域目前发现的油气田主要集中在紧邻生烃凹陷的隆起带上。渤海海域共有 10 个隆起，其中被生烃凹陷包围的隆起有 9 个，目前在 6 个隆起上发现了亿吨级的整装大油田，仅渤东、莱北隆起上，尚未发现亿吨级油田。

如辽西潜山构造带是辽东湾的一条“油龙”，它夹持在辽中和辽西凹陷之间，呈 NNE 走向，西侧为辽西控凹大断裂，自中生代末到渐新世末继承性发育，新近纪以来活动微弱。其东侧呈斜坡倾向辽中凹陷。基底地貌起伏，形成多个潜山带，总趋势由北往南抬高，多为中生界覆盖，在各潜山顶顶部，因前古近系遭受侵蚀程度不同，分别出现太古宇混合花岗岩、古生界灰岩和中生界火山碎屑岩。在这个带自北往南，发现了 JZ9-3、JZ20-2、JZ25-1、JZ25-1S、SZ36-1、LD5-2、LD4-2、LD10-2 等油气田，探明油气储量超过 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。主要油气藏类型有披覆背斜油藏，如 SZ36-1、LD10-1 等，储层为渐新统东营组三角洲砂岩；潜山油气藏，如 JZ25-1S、JZ25-1、JZ20-2，混合花岗岩及沙二段砂岩是主要储层，部分存在中生界安山岩、流纹岩类储层。目前这个带是渤海主要的产油气区。

又如渤南隆起带，它被渤中、渤东、黄河口、庙西凹陷所包围，在这个隆起上发现了 PL19-3、BZ29-4、BZ28-1、BZ26-2、BZ25-1 等油气田，这些油气田主要分布在渤南隆起向各凹陷的倾没带，主力油气层基本上为新近系馆陶组和明化镇组河流相砂岩，个别在潜山中，储量超过了 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

其他如埕北、沙垒田、石臼坨、庙西凸起带上均发现成批的油田，基本上均属披覆背斜型油田，储集层全为新近系河流相砂岩，稠油，原油密度为 0.93~0.98，每个带三级石油地质储量都超过 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3. 继承性控凹的断裂带基本上是油气富集带

渤海油气田分布的另一特点是沿继承性断裂带分布。断裂带有三类，第一类是分隔隆起和凹陷的边界断裂，断裂控制其下盘古近纪凹陷的形成，也控制其上盘隆起上古潜山及其披覆构造的形成，因此部分隆起边缘的油气田实际是受大断裂控制的，如上述辽西潜山带上的油气田基本上受辽西大断裂控制；渤东隆起两侧的大断裂控制了 LD27-2、LD32-2 油田的存在；渤南隆起西延部分是近东西向的高带，它是由两条分别向南掉和北掉的东西向断裂控制的垒块，其上的 BZ28-1、BZ26-2、BZ25-1 等油气田分布在这个带上。

第二类继承性发育的同沉积断裂，它们不是控凹的边界断裂，常常发育在凹陷内。在歧南断阶带，沿断裂带发育了成带的油气田。如海 4 断裂带上的 QK17-3、QK18-9、QK18-2、QK18-2E、QK18-1 等油田。又如黄河口凹陷中央的 BZ28—BZ34 构造带，这是一条隐伏基底之上的南北向断裂带，受晚期近东西向断裂复杂化，构成张扭性的断鼻构造带，相继发现了 BZ28-2、BZ28-2S、BZ28-2E、BZ34-1N、BZ34-1、BZ34-2/4、BZ34-3、BZ34-5/6/7 等油气田。

第三类是走滑反转断裂带。这类断裂带受郯庐断裂系统影响，反转多发生在渐新世末，走滑断裂可以穿越不同构造单元，有时与边界断裂或同沉积断裂重合，有的完全是新发生的断裂。比较典型的是发育在辽中凹陷中央的走滑断裂，它与辽东湾的构造线基本平行，呈 NNE 向羽状排列，伴随断裂产生了一系列的反转断背斜和断鼻构造，由于处于富生烃凹陷中，断裂沟通了油源，沿断裂带形成了一串油气田，如 JX1-1、JX1-1S、JX1-1E、LD12-1、LD22-1 等。

4. 基本形成了覆盖整个渤海海域的主要开发体系

随着渤海海域勘探进程，渤海海域的油气田开发也经历了一个探索发展的过程。目前已逐步建立并完善了渤海海域的油气田开发系统。

1965~1979 年，完全是自我探索式的试验性油气田开发，这一阶段是只要发现有一定产油气量的探井，就建设安装固定平台去开发油田，不懂油藏评价、经济评价、风险分析，先后开发过海 1、海 4、埕北、428 东、428 西五个油田，自 1967 年海 1 油田投产，直至 1982 年中国海洋石油总公司成立，这些油田高峰年产量由 $17 \times 10^4 \text{t}$ 降至 $9.5 \times 10^4 \text{t}$ ，十多年累计产油仅 $64 \times 10^4 \text{t}$ 。但这一阶段培养锻炼了队伍，积累了经验，奠定了海上油气田开发的基础。

1980~1994 年的对外合作阶段，由于合作者在渤海油气勘探中没有重大发现，仅日本的日中石油公司发现了 BZ28-1、BZ342/4 等储量规模不大的油气田，并于 1989~1993 年对这两个油田进行开发，高峰年产量分别为 $28 \times 10^4 \text{t}$ 和 $42 \times 10^4 \text{t}$ ，产量递减很快。同期自营油气田开发取得了长足的进展。1992 年建成投产了 JZ20-2 凝析油气田，向锦州年供气 $2 \times 10^8 \sim 4 \times 10^8 \text{m}^3$ ，已累计产气 $53 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1993~2001 年，全面建成投产了 SZ36-1 大油田，要开发这样一个稠油油田，被当时国际石油公司认为是 21 世纪的难题。但我们通过试验区，创新钻采工艺技术，采用海陆联合的海洋工程设计方案，用十座平台，成功地开发了这个大油田，高峰年产量 $360 \times 10^4 \text{m}^3$ ，开辟了海上稠油开发的先河，树立了经济有效开发稠油油田的信心。它的成功开发，为加速推进渤海新近系稠油油田的勘探和开发的进程起了决定性的作用。接着又用人工岛等方式开发了 JZ9-3 油田。这样基本形成了辽东湾的油气开发体系，同时开始了建设渤西开发系统。

1995 年以来，由于渤海新近系一批大油田的发现，自营和合作共同推动渤海油田开发，使渤海的油田开发进入了一个新的高潮。先后投产了 QHD32-6、NB35-2 油田，CFD11-1/2/3/5 油田，蓬莱 19-3 油田，BZ25-1/25-1S 油田，形成了多个油田开发系统，使渤海海上采油平台星罗棋布，为整个渤海油气田进一步开发打下坚实基础。截至 2006 年，海域共有 26 个在生产的油气田，还有一批在建设和在评价的油气田，当年产油 $1500 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

通过渤海的开发实践，积累了常规水域油气田开发、设计、建造、管理的成套经验；摸索出一套适应渤海的钻采工艺技术、海洋工程装备设施；探索出了海上油气田联合开发，启动中小边际油田有效开发的途径；创出了海上重油油田有效经济开发的设计思路、方法、对策。我国近海油气田开发技术步入了国际先进行列。