

渤海海域油气地质与勘探进展丛书（卷三）

渤海海域油气藏形成 分布与资源潜力

夏庆龙 周心怀 薛永安 等著
田立新 庞雄奇 王应斌



石油工业出版社

内 容 提 要

本书对渤海海域的勘探历程和主要成果进行了详细介绍。通过对渤海海域盆地形成演化及烃源岩、储盖组合和圈闭等成藏要素的分析,研究了渤海海域油气成藏地质条件;在对渤海海域原油成因类型和来源、油气充注史及油气输导体系分析的基础上,研究了渤海海域油气成藏机理;通过与陆上临区油气地质特征对比、典型失利井分析和油气分布主控因素研究,总结了渤海海域油气分布规律;最后,在对渤海海域油气地球化学特征、有机质生烃史及烃源岩排运油气史系统分析后,划分了油气运聚单元,并对渤海海域的油气资源量进行了评价。

本书可供从事地质研究和油气勘探的科技工作者及石油高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

渤海海域油气藏形成分布与资源潜力/夏庆龙等著.

北京:石油工业出版社,2012.12

(渤海海域油气地质与勘探进展丛书;3)

ISBN 978-7-5021-9372-0

I. 渤…

II. 夏…

III. ①渤海-海域-油气藏形成

②渤海-海域-油气藏-分布

③渤海-海域-油气资源-资源潜力

IV. P618.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第280179号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2012年12月第1版 2012年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:17.25

字数:438千字 印数:1—1000册

定价:128.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

“渤海海域”本为一地理概念，海域面积约 7.3 万平方千米，为避免与渤海湾盆地混淆，本丛书将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。

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、由水域覆盖变成陆地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，由北部的下辽河坳陷（辽河油田）向海域延伸的辽西凹陷、辽中凹陷、辽东凹陷、辽西凸起、辽东凸起等单元；西南部的黄骅坳陷（大港油田）向海域延伸的歧口凹陷、北塘凹陷、南堡凹陷等单元；南部的济阳坳陷（胜利油田）向海域延伸的青东凹陷、莱州湾凹陷、黄河口凹陷、莱北隆起等单元和渤中坳陷组成。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，但是郯庐断裂带的贯穿和长期影响又使其具有自身的特殊性。

从 20 世纪 60 年代起，渤海海域油气勘探走过了 40 多年漫长而曲折的探索之路。20 世纪 60 年代至 90 年代的 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 2010 年，渤海海域已发现各级石油地质储量 47.4 亿立方米，其中探明储量 26.5 亿立方米，天然气地质储量 2967 亿立方米，其中探明储量 1845 亿立方米；年产油气 3005 万吨，油气产量名列渤海湾盆地各油区之首，也为中国海洋石油总公司建设“海上大庆”立下了汗马功劳。

2006—2009 年，在前石油工业部王涛部长的主持下，中海石油（中国）有限公司天津分公司与中国石油大学（北京）组织联合研究队伍，围绕“渤海湾地区油气形成富集与分布预测”，对渤海海域构造演化、沉积充填、油气形成与富集规律进行了全面系统的研究。研究成果不仅提升了对渤海海域形成演化、油气分布规律整体认识的水平，同时坚定了渤海海域油气勘探进一步上台阶的信心。将这些研究成果整理、集结出版，不仅可以丰富我国陆相盆地石油地质理论，同时对促进渤海海域及邻区的油气勘探具有借鉴意义。

前 言

把握勘探区油气形成分布的规律及资源潜力,对于油气勘探目标的确定及勘探生产工作部署有着重要意义,是油气勘探中最重要的一环。因此,深入研究渤海海域油气成藏地质条件,分析油气成藏机理,把握油气分布规律,并对油气资源潜力进行评价,是渤海油区高效地开展油气勘探和开发工作的重点。

对于渤海油气形成分布规律的认识主要经历了3个阶段:探索阶段、发展阶段和成熟阶段。

20世纪60年代至70年代,渤海海域主要为自营勘探,这一阶段内,并未在渤海海域开展深入的勘探研究和资源评价,整体上对于渤海海域地质条件认识肤浅,各凹陷生烃潜力也并未确认,处于油气成藏规律的探索阶段。在这一时期的勘探过程中,认为海域是渤海湾盆地的组成部分,油气成藏条件和分布规律应该相差不大。依照陆地上古近系和潜山油田的成功勘探经验,海域内的51口预探井主要集中在近岸区和新生代沉积厚度较薄的隆起区,其中有10余口钻在近岸的歧口凹陷,有30余口钻探在隆起处,效果极不理想,这一阶段仅发现了5个小油田。

20世纪80年代至90年代,为引进外国石油公司先进的勘探技术,渤海海域开始大规模与各石油公司合作勘探研究,这一时期对渤海海域内油气成藏规律的认识处于发展阶段。该阶段内,由于合作方局限于自己合同区内,缺乏对渤海全区石油地质条件和分布规律的全面认识。但这一阶段的合作取得了丰富的地震勘探和钻井资料,揭示了海域内各区域、各层位的地质情况,且对海域内油气分布规律有了模糊的认识,北部辽东湾地区浅层新近系的成功勘探使得海洋石油地质工作者认识到海域与周围陆上盆地的石油地质条件存在差异,因此有着不同的分布规律。这一时期内渤海油气勘探主要成果集中在北部的辽东湾拗陷内,发现了JZ20-2和SZ36-1等大型油气田。

21世纪以来,渤海海域的油气勘探以自主勘探为主、合作勘探为辅,随着勘探实践的逐步深入以及扎实的区域地质研究,对渤海海域的形成分布规律有了较为清晰和成熟的认识。意识到整个渤海湾盆地的发展演化是由周缘区向海域的渤中拗陷逐步由老到新,海域的烃源岩、储层等各成藏要素也逐步变新,确定了渤海海域的勘探应以新近系为主要目的层,富生烃凹陷及其周缘隆起区为主要勘探方向。在这一思路指导下,渤海地区的油气勘探迎来了春天,发现了QHD32-6和NB35-2等多个亿吨级大油田。

本书内容是2006年中海石油(中国)有限公司天津分公司与中国石油大学(北京)的大型研究合作项目“渤海湾地区油气形成富集与分布预测”的一部分。本书以油气勘探主要要素为出发点,着眼于渤海海域的油气成藏地质条件及油气成藏机理,分析了渤海海域油气分布与富集规律,并预测了其油气资源潜力。

本书的研究成果是集体劳动的结晶，书稿由夏庆龙、周心怀、薛永安、田立新、庞雄奇、王应斌、郝芳、徐长贵、吕修祥、魏刚、邱楠生、牛成民、邹华耀、彭文绪、姜振学、韦阿娟、刘小平、王昕、王德英、郭永华、王根照、姜福杰、朱杨明、王春江等执笔。张金辉、吴小红、涂丹凤、张杰、吴国强、王海军、左银辉、马行陟、朱秀香、史翠娥、范秋海、李伯华、张强、尹相东、郭恩珍、李翠翠、武丽、周晶晶、周小慧、李晓蕾、张莺莺、孔庆莹、鲍晓欢、宗奕、姜雪、田金强、庄新兵、姜丽娜、杨元元、滕长宇、石丛岩等共同完成了基础工作的整理、统计、图件清绘以及书稿校对等工作。

目 录

第一章 油气勘探历程及主要成果	(1)
第一节 油气勘探历程	(2)
第二节 油气勘探主要成果	(6)
第二章 油气成藏地质条件	(17)
第一节 盆地形成演化与构造特征	(17)
第二节 烃源岩特征与发育机理	(33)
第三节 储盖组合	(51)
第四节 圈闭成因类型及分布	(64)
第三章 油气成藏机理	(80)
第一节 原油成因类型与来源	(80)
第二节 油气充注历史	(90)
第三节 油气输导体系与油气运移	(105)
第四节 不同勘探领域油气富集与贫化模式	(114)
第四章 油气分布规律	(135)
第一节 渤海海域与陆上周缘凹陷油气地质特征对比	(135)
第二节 典型地区油气成藏规律	(152)
第三节 典型失利井分析	(171)
第四节 油气分布主控因素	(186)
第五节 大中型油气田富集规律	(192)
第五章 油气资源潜力	(206)
第一节 烃源岩地球化学特征及其分布预测	(206)
第二节 古地温场演化特征及有机质生烃历史	(219)
第三节 有效烃源岩排运油气历史与烃源灶的迁移演化	(235)
第四节 油气运聚单元划分与资源量评价	(254)
参考文献	(262)

第一章 油气勘探历程及主要成果

渤海海域位于北纬 $37^{\circ}07' \sim 41^{\circ}00'$ 、东经 $117^{\circ}33' \sim 122^{\circ}18'$ ，是由辽东半岛、辽河平原、华北平原和山东半岛所环抱的半封闭内海，平均水深 18m，海域面积为 $7.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，可供勘探面积为 $5.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，中国海油所属矿区面积达 $4.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ （图 1-1）。渤海海域新生代含油气盆地划分为黄骅坳陷、济阳坳陷、渤中坳陷、下辽河坳陷和埕宁隆起 5 个一级构造单元，其中渤中坳陷为海域独立的单元。渤海油田自 1966 年进行油气勘探工作以来，至 2011 年，共完钻探井 672 口，钻探圈闭 264 个；二维地震勘探全覆盖 $17.6 \times 10^4 \text{ km}$ ，三维地

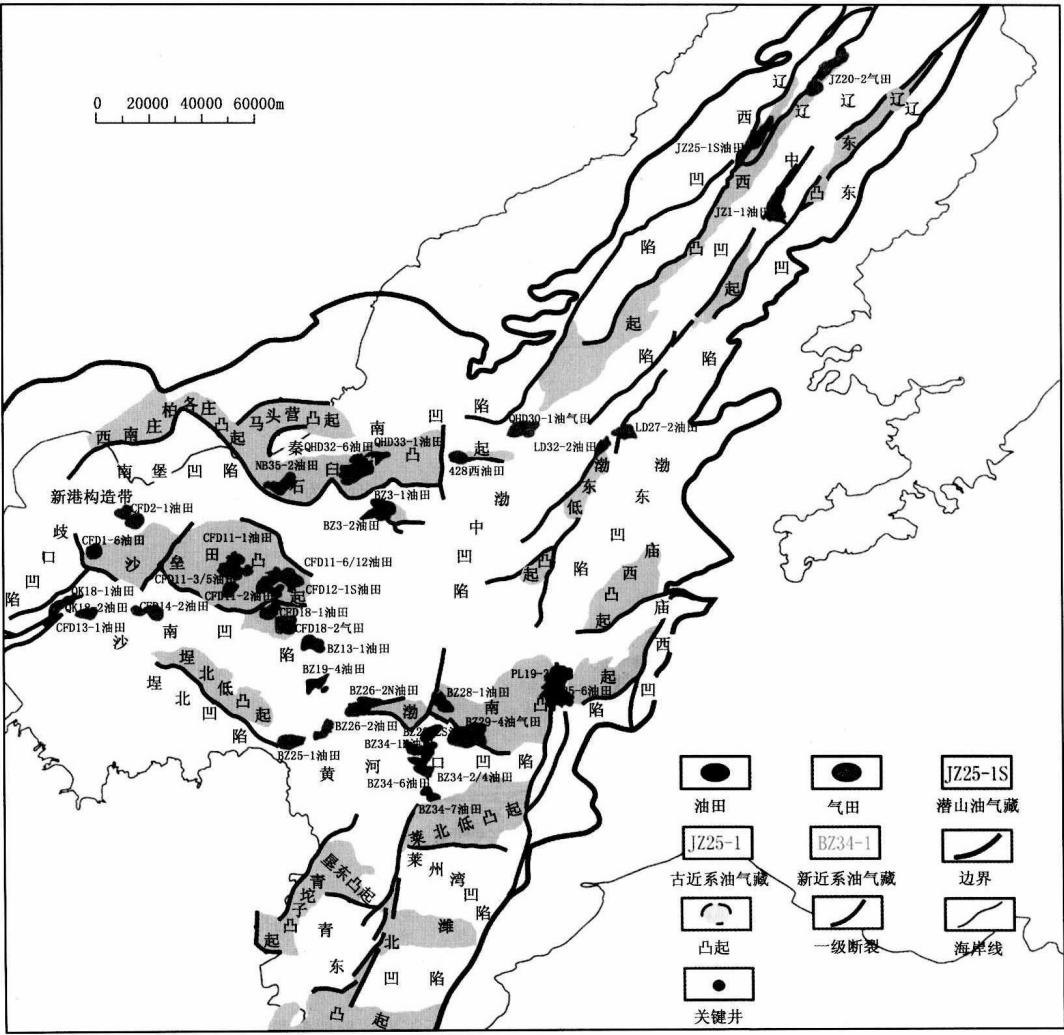


图 1-1 渤海海域勘探形势图（2011 年）

震勘探一次覆盖率达 85%，总面积达 $4.1 \times 10^4 \text{km}^2$ ；发现三级石油地质储量 $45.0 \times 10^8 \text{t}$ ，探明石油地质储量 $24.8 \times 10^8 \text{t}$ ；发现油气田 54 个、含油气构造 92 个。目前已逐步建立了覆盖整个渤海海域的主要开发体系，在生产油田 51 个，动用探明原油地质储量 $19 \times 10^8 \text{t}$ ，共有油气井 1395 口，2010 年原油年产量突破 $3000 \times 10^4 \text{t}$ ，已成为我国北方的重要石油生产基地，为国家经济建设发挥着越来越重要的作用。

第一节 油气勘探历程

渤海海域油气勘探始于 1965 年，从 1967 年第一口井——海 1 井出油直到 1995 年发现 QHD32-6 新近系油田，才揭开了该区油气田大发现的序幕，前后经历了 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、自营为主勘探期 4 个阶段（图 1-2）。

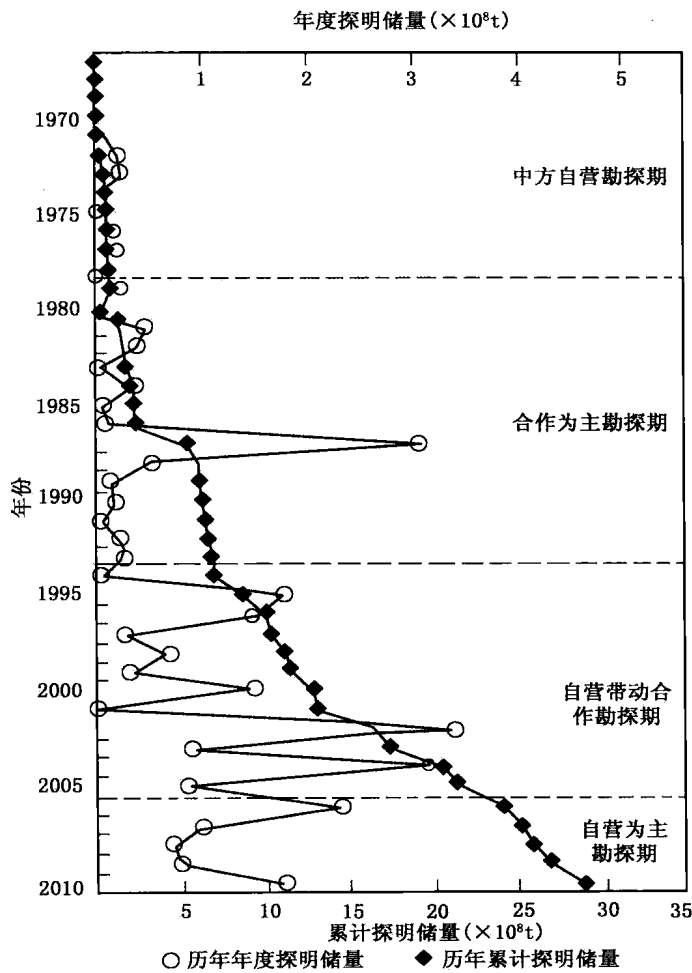


图 1-2 渤海海域油气探明储量示意图

一、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，是在一缺资金、二缺技术的条件下，首次下海探索的阶段。受周边陆区潜山勘探成功的影响，主要借鉴陆上勘探经验，在“源控论”指导下，在近海以凸起潜山为主进行摸索。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勘探 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，10 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，为今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当时的地震勘探、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，结果错过了许多发现新近系大油田的机会；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，取得的资料和信息有限，发现油气的几率低。

二、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。

自 1980 年，渤海海域开始对外合作勘探，先后有美国、英国、法国、日本等国家的 10 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，完成了二维地震勘探 44147km、三维地震勘探 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，日中石油公司完成二维地震勘探 27014km，钻探井 21 口，在黄河口凹陷发现 BZ28-1 油田、BZ34-2/4 油田及一些含油气构造，探明石油地质储量 4381×10^4 t、天然气储量 55×10^8 m³。本阶段合作开发了 BZ28-1 油田、BZ34-2/4 油田和原已试生产的埕北油田，油田高峰年产油 $(22 \sim 46) \times 10^4$ 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、CHEVRON、BP、KMG、PHILIPS、BHP 等石油公司签订了 21 个石油合同。其中，EXXON、CHEVRON 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小气田。CHEVRON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，覆盖了渤中坳陷及其东部的渤南凸起、庙西凸起，合同区义务探井5口，完成二维地震勘探 $1.4 \times 10^4 \text{km}^2$ 、三维地震勘探 1219km^2 ，截至1994年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^2 ，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，包括二维地震勘探 39817km^2 ，三维地震勘探 1405km^2 ，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，天然气储量为 $135 \times 10^8 \text{m}^3$ ，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 $3 \times 10^8 \text{m}^3$ 。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。这一阶段虽然在勘探上取得了发现，但是由于以稠油为主，对于海洋开发来说面临着极大的挑战，所以至该阶段末，产量仍然较低，到1994年约 $219 \times 10^4 \text{t}$ 油气当量。

总之，第二阶段以合作为主的约15年勘探期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，造成勘探失误连连，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。

三、自营带动合作勘探期（1995—2005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10多家当时的大型跨国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油区、辽河油区、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。渤海海域的渤中坳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坳陷由老到新推移的，因此，海域的烃源岩、储层、油气成藏都相应变新，所以，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，中海油在渤中坳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，从而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PHILIPS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、CFD12-1两个亿吨级大油田，PHILIPS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10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 $0.92 \sim 0.97 \text{ g/cm}^3$ ，地下原油黏度为 $(30 \sim 200) \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，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。

新近系油气田的巨大发现带动了渤海油气勘探的持续发展，在渤中坳陷，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 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 。

这一阶段的另一重大进展是重返辽东湾，获得该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为 $149 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，石油地质储量为 $8471 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，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会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，存在类似于下辽河拗陷的辽西凹陷地区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。

四、自营为主勘探期（2006 年至今）

随着凸起区勘探程度增加，勘探难度增大，新近系勘探逐渐进入低潮，勘探再次陷入困境，需要主动转变勘探思路，以寻找具有一定规模的优质油气田为指导，将勘探领域从凸起稳定区转向活动断裂带。该阶段强化了自营勘探力度，创新提出了“活动断裂带油气差异富集理论”，并以寻找优质沉积体系、优质储层和多目的层系的立体勘探思路，依托大面积精细三维地震资料和配套勘探技术，发现了一大批中等规模以上的高产优质油气藏，形成了五大优质油田群（锦州、金县、石东、黄东和莱北油田群），累计发现中轻质油 $12 \times 10^8 \text{ t}$ ，探明和控制储量占 69%，为开发阶段继续新增探明储量留有足够的空间。近 5 年新发现油田储量品质优良，中轻质油储量由立项前的 25.9% 增加到 73.4%，从而改变了渤海油田以稠油为主的储量格局。

第二节 油气勘探主要成果

截至 2011 年 8 月底，渤海海域共采集二维地震 $17.6 \times 10^4 \text{ km}$ （全覆盖），采集三维地震 $4.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ （85% 覆盖）。钻探井 672 口，总进尺 1765742m，其中预探井 349 口、评价井 323 口；自营探井 516 口，其中预探井 261 口、评价井 255 口；合作探井 156 口，其中预探井 88 口、评价井 68 口。这些探井 401 口处于凹陷区，271 口处于凸起区。“十五”以来，渤海共钻井 338 口，平均每年钻井 34 口，工作量随时间增长趋势明显，其中“十五”期间钻井 131 口，平均每年钻井 26 口；“十一五”期间钻井 180 口，平均每年钻井 36 口。

在石油地质储量和产量方面，截至 2010 年年底，发现三级石油地质储量 $47.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ （其中探明石油地质储量 $26.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ），三级天然气地质储量 $2967 \times 10^8 \text{ m}^3$ （其中探明天然气地质储量 $1845 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）。2010 年，年产油气当量达到 $3005 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

在勘探程度方面，目前渤海海域二维地震基本达到 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ，局部地区达 $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$ ；截至目前，三维地震覆盖有效勘查矿区内达 85%；探井控制面积勘查矿区内平均 $62.7 \text{ km}^2/\text{口}$ ，二级构造单元平均 $74.2 \text{ km}^2/\text{口}$ 。凸起较凹陷勘探程度高，凸起探井控制面积 $15.2 \sim 734.1 \text{ km}^2/\text{口}$ ，平均 $33.6 \text{ km}^2/\text{口}$ ；凹陷 $31.3 \sim 908.3 \text{ km}^2/\text{口}$ ，平均 $116 \text{ km}^2/\text{口}$ 。辽西低凸起勘探程度最高，探井控制面积 $15.2 \text{ km}^2/\text{口}$ ，其次是石臼坨凸起 $16.1 \text{ km}^2/\text{口}$ 、渤东低凸起 $22.6 \text{ km}^2/\text{口}$ ；勘探程度比较高的凹陷有歧口凹陷（ $31.3 \text{ km}^2/\text{口}$ ）和黄河口凹陷（ $32.8 \text{ km}^2/\text{口}$ ），辽东凹陷勘探程度最低，探井控制面积 $908.3 \text{ km}^2/\text{口}$ 。

在勘探成效方面，截至 2011 年 8 月底，发现油气田 54 个，含油气构造 92 个，地质成功率平均为 77%，商业成功率平均为 31%。“十一五”期间，地质成功率为 57.1% ~ 86.7%，年平均为 73.8%，商业成功率为 21.1% ~ 66.7%，年平均为 48.8%。渤海油田勘探成效较好，单井平均控制三级储量 $670 \times 10^4 \text{ t}$ ，探明 $370 \times 10^4 \text{ t}$ ，“十一五”期间单井平均控制三级储量 $510 \times 10^4 \text{ t}$ ，探明储量 $240 \times 10^4 \text{ t}$ 。

在投资成本方面，渤海油田勘探资金投入“十一五”期间投资成本约 103.4 亿元，主要包括物探、探井、科研和其他（包括海域使用金、井口保留、技术部分分摊）几部分，分别占投资比例的 27.6%、68.3%、0.4%、3.7%。“十一五”期间勘探成本较“十五”期间及以前均大幅度提高，三维地震成本“十五”期间平均为 9.46 万元/km²，“十一五”期间平均为 13.18 万元/km²（包括部分海底电缆采集处理），上升了 39.3%；探井成本“十五”期间为 1.25 万元/m，“十一五”期间平均为 1.34 万元/m，上升了 7.2%。从“十一五”期间的 5 年内比较分析来看，总体探井成本呈逐年增长趋势；物探近 5 年工作量增加迅速，成本增长趋于稳定；科研投入逐年增长明显。总体来看，勘探直接投入逐年增加，但勘探投入与储量增长成明显的正比关系。

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。

一、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坳（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，才能成为富生烃凹陷。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 15 个凹陷中证实了渤中凹陷、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 4 个凹陷。

1. 渤中凹陷是渤海海域最富烃的凹陷

渤中凹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椭圆形凹陷，由主体渤中凹陷及围绕凹陷周边的凸起，如石臼坨凸起、渤东凸起、渤南凸起、沙垒田凸起等凸起及其外围的小凹陷，如渤东凹陷、庙西凹陷、秦南凹陷、沙南凹陷等凹陷组成，整体结构呈凸起包围凹陷的环状。渤中凹陷受周围隆起的结构控制，东与渤东凸起、南与渤南凸起、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，形成渤中凹陷多个古新世的沉降中心、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。现已证实该凹陷存在沙河街组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。同时由于该凹陷具有凸起包围凹陷的环形结构，古近纪从凸起向凹陷发育了众多的水下扇，与相关断裂形成了良好的输导系统，使油气容易从凹陷向凸起方向运聚，加上晚期新构造运动，使油气最终在新近系成藏。因此，在渤中凹陷周围的凸起上，基本上都发现了新近系的油气田群。如渤南凸起上的 PL19-3 油田，沙垒田凸起上的 CFD11-1 油田、CFD12-1 油田，石臼坨凸起上的 QHD32-6 油田、NB35-2 油田，渤东凸起上的 LD27-2 油田、LD32-2 油田，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，该区共钻探井 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 $15.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中探明地质储量 $8.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，该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 向的长条形展布，自西往东由辽西凹陷、辽西低凸起、辽中凹陷、辽东凸起、辽东凹陷等单元构成，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，除沙三段以外，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凸起带近距离供油的最佳运聚结构。其中，辽西低凸起为辽西大断裂翘倾形成的带状基底凸起，有南高北低的趋势，但略有起伏，凸起上出现多个高点，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，新近系馆陶组地层直接覆盖在基底之上，中部主要是渐新统东营组地层覆盖在基底上，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，商业成功率达 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 $5.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，该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，北部受控于渤南低凸起，东南是莱北低凸起，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低凸起的南部断裂带和贯穿凹陷中央的郯庐断裂带分布。至 2007 年，在该凹陷及渤南低凸起，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 $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，该区发现油气储量占整个渤海海域油气储量的 16%。

二、毗邻生烃凹陷或被生烃凹陷夹持的凸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凸起带上。渤海海域共有 10 个凸起，其中被生烃凹陷包围的凸起有 9 个，目前在 6 个凸起上发现了亿吨级的整装大油田，仅渤东低凸起、莱北低凸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”，它夹持在辽中凹陷和辽西凹陷之间，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，总趋势由北向南抬高，多为中生界覆盖，在各潜山顶部分，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、古生界石灰岩和中生界火山碎屑岩。在该凸起带自北往南，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 等油气田，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 等油气田，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。目前该凸起带是渤海主要的产油气区。

又如渤南低凸起，它被渤中凹陷、渤东凹陷、黄河口凹陷、庙西凹陷所包围，在该凸起带上发现了 PL19-3、BZ29-4、BZ28-1、BZ26-2、BZ25-1 等油气田，这些油气田主要

分布在渤南低凸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 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

其他如埕北凸起带、沙垒田凸起带、石臼坨凸起带、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，储层全为新近系河流相砂岩，稠油，原油密度为 $0.93 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$ ，每个带三级石油地质储量都超过 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

三、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 3 类，第一类是分隔凸起和凹陷的边界断裂，断裂控制其上盘古近纪凹陷的形成，也控制其下盘凸起上古潜山及其披覆构造的形成，因此部分凸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；渤东低凸起两侧的大断裂控制了 LD27-2 油田、LD32-2 油田的存在；渤南低凸起西延部分是近东西向的高带，它是由两条分别向南掉和向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 等油气田。

四、基本形成了覆盖整个渤海海域的主要开发体系

随着渤海海域勘探的不断进行，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 5 个油田，自 1967 年海 1 油田投产，直至 1982 年中海石油（中国）有限公司成立，这些油田高峰年产量由 $17 \times 10^4 \text{ t}$ 降至 $9.5 \times 10^4 \text{ t}$ ，10 多年累计产油仅 $64 \times 10^4 \text{ t}$ ；但这一阶段培养和锻炼了队伍，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、BZ32-2/4 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 $(2 \sim 4) \times 10^8 \text{ m}^3$ ，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 10 座平台，成功地开发了这个大油田，高峰年产量达 $360 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，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到决定性的作用；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 油田、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 2010 年年底，海域共有 51 个在生产的油气田，采油平台 113 座，简称陆地终端 4 个，还有一批在建设和在评价的油气田，当年产量突破 $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

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，使我国近海油气田开发技术步入了国际先进行列。

五、形成了一系列理论与技术创新

1. 地质理论创新

渤海油田 40 多年的勘探历史积累了大量的勘探实践和理论，逐步总结并提出了“晚期成藏”与“活动断裂带控藏”理论，指导了浅层油气的大发现与复杂断裂带优质油气田群的发现。

“晚期成藏”理论：晚期成藏是我国东部油气田的鲜明特点之一。渤海湾盆地自周围的山区和隆起区向海域的渤中坳陷，其沉积中心、沉降中心向海域向心式迁移，使得海域油气的生成、运移和成藏都变晚。因此，渤海海域具有富集层位新、晚期构造运动活跃的特点。

为此提出了新构造运动油气“晚期成藏”理论，主要指多注陷多层系活跃烃源岩的晚期供烃，沿郯庐断裂带晚期大量圈闭的形成，晚期发育的储盖组合，晚期浅层近源、晚期快速大规模油气成藏。如渤海海域郯庐断裂带最大油气田蓬莱 19 - 3 油田原油储量超过 $6.5 \times 10^8 \text{ t}$ ，层拉平分析和构造平衡剖面恢复表明，蓬莱 19 - 3 圈闭形成于 5Ma 以来，表明油气有效地聚集发生在 5Ma 以后，即使不考虑通过断裂的油气逸散及生物降解的破坏烃量，该油田的平均原油聚集速率达 0.329 d/t ，明显表现出晚期快速成藏的特征。渤海浅层“中转站”油气运移模式是晚期成藏理论的模式之一，该模式指出断层是浅层油气运移的通道，断层只有与砂体的有机配置才能有较强的输导能力，即形成大断层与中转站高效组合——形成大中型油田，特别强调了大断层下降盘砂体的作用。当烃源岩成熟后生成的油气在温—压作用下向近岸水下扇砂体内发生初次运移；砂体内的油气达到一定饱和度后（5% ~ 10%），压力增高，伴随着断层的活动，油气沿断面从近岸水下扇砂体内向上部的圈闭中运移，这就是“中转站”油气运移理论。其中渤中 25 - 1 南、歧口 17 - 3、歧口 17 - 2、羊二庄、赵东、港东等大中型凹陷内新近系油藏均为此模式。该理论指导了歧口 17 - 2 等一批油气田的发现。

“晚期成藏”理论的提出开辟了中国东部油气勘探的新领域，其应用指导了浅层大油气田的发现。它的创立是中国对世界石油地质理论三大贡献之一。

“活动断裂带控藏”理论：渤海海域是在“伸展—走滑双动力源”背景下形成、发育的，这种双动力源机制造成了活动断裂带内断裂组合的多样化、复杂性，使得有的断层呈现伸展断层组合构造特征，有些呈现典型走滑断层组合构造特征，而更多的则呈现伸展与走滑复合叠加构造特征（图1-3）。

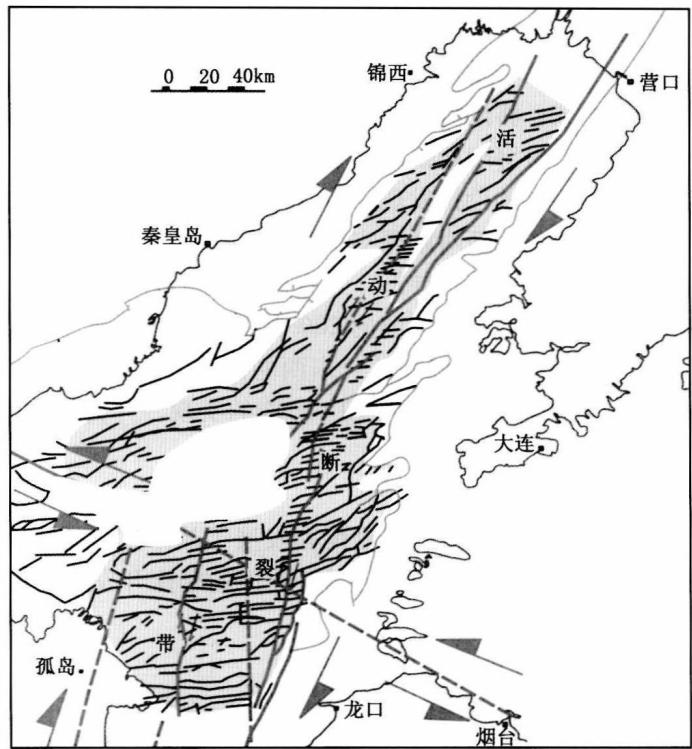


图1-3 渤海海域活动断裂带分布图

通过分析活动断裂带古近系砂体富集机制，提出“源—汇时空耦合”富砂机理及模式，指出物源区经过风化剥蚀产生的碎屑物质，经过一系列的输砂通道搬运后，在特定的时间和特定的空间沉积下来，就构成一个完整的源—汇时空耦合富砂系统。活动断裂带发育隐性和显性两种有效的物源体系，并建立了渤海海域复杂断裂带常见的汇聚体系——6种典型的源—汇富砂模式：盆缘断裂墙角式汇聚体系、盆缘断裂走向斜坡式汇聚体系、盆缘断裂同向消减式汇聚体系、盆缘断裂沟谷式汇聚体系、走滑汇聚体系以及凸起轴向汇聚体系，这些不同的汇聚体系与3种不同的物源体系构成复杂的源—汇耦合富砂模式。通过分析新近系沉积相，提出了新近系湖盆萎缩期极浅水三角洲沉积模式。以前受勘探程度的制约，传统观点认为渤海新近系为一套冲积—河流相沉积，缺乏良好的盖层，勘探风险较大。近年来，随着勘探力度的加大，发现海域中南部新近系不仅发育河流相沉积，而且还发育范围较广的极浅水湖泊沉积，在极浅水湖泊的大型河流入河处还发育重要的储集体——极浅水三角洲砂体。在宏观古沉积背景研究基础上，利用古生物、泥岩特征、古水深资料确定了极浅水湖泊存在的证据，并对极浅水湖泊背景下发育的三角洲岩相特征、沉积韵律、地球物理响应进行精细研究，结合现代浅水湖泊沉积体系的考察和水槽模拟实验，建立了新近系湖盆萎缩期极浅水三角洲体系的沉积模式，即分流沙坝型极浅水三角洲和分流河道型极浅水三角洲两种沉积模