

陈 壁 主编



渤海油田上产3000万吨 科技创新实践

中国石化出版社
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

渤海油田上产 3000 万吨 科技创新实践

陈 壁 主编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

渤海油田上产 3000 万吨科技创新实践 / 陈壁主编.
—北京: 中国石化出版社, 2011. 6
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0967 - 6

I. ①渤… II. ①陈… III. ①海上石油开采 - 文集
IV. ①TE53 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 103840 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者
以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京科信印刷有限公司印刷

*

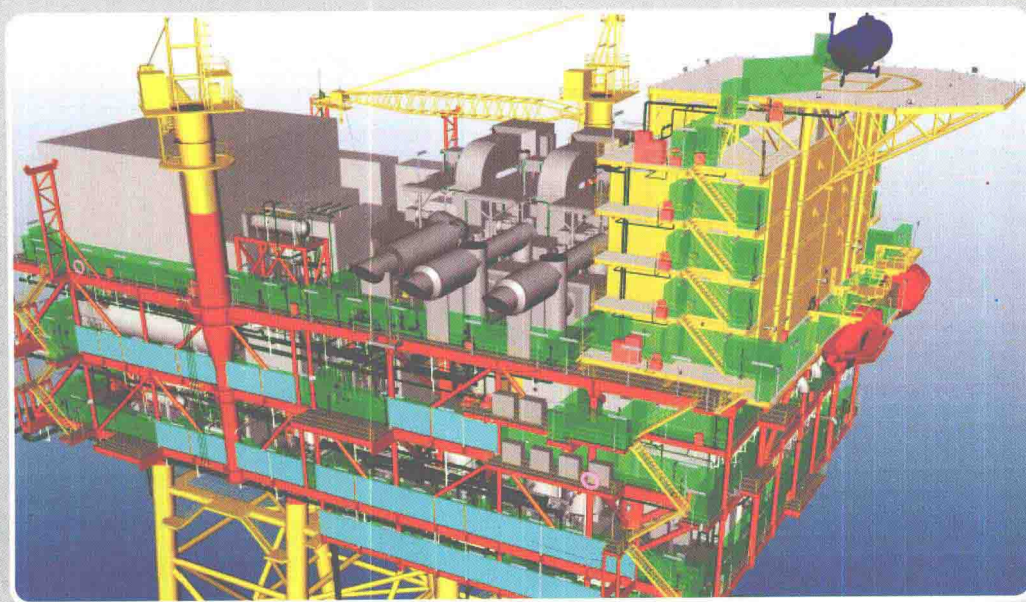
787 × 1092 毫米 16 开本 15.75 印张 4 彩插 328 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

定价: 128.00 元



锦州25-1南WHPA平台三维模型



绥中36-1 CEPK平台三维模型



渤中34-1 CEPA平台“浮托法”安装



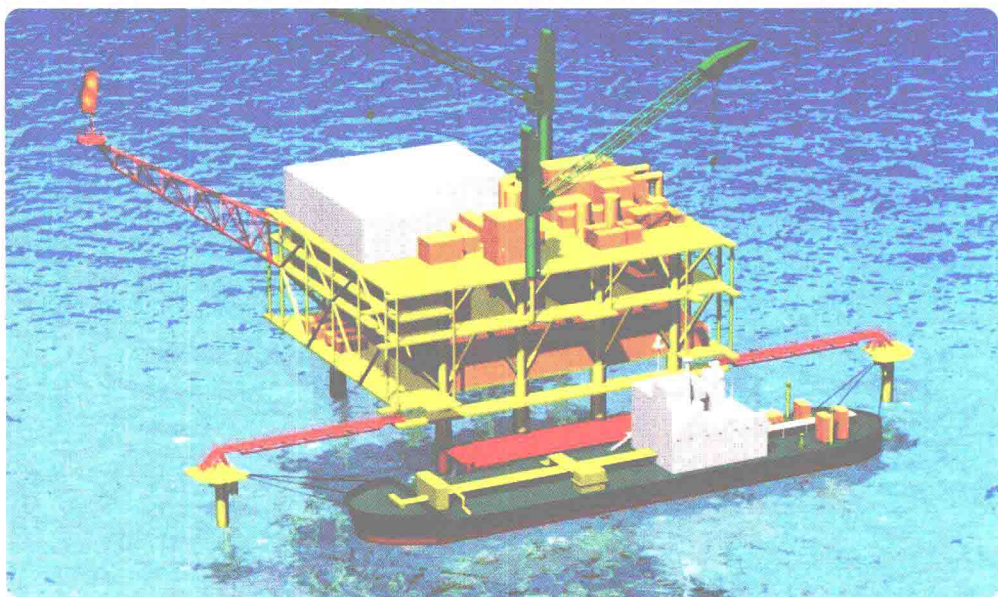
“渤海明珠”号FPSO与
外输油轮进行原油外输作业



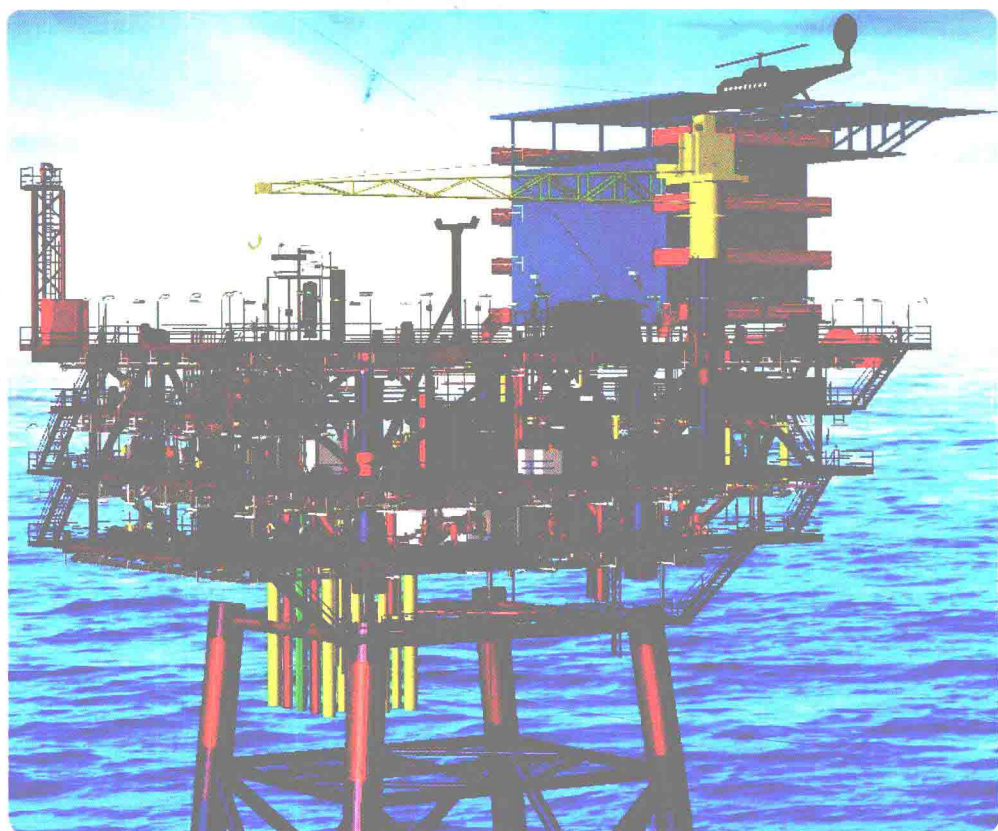
锦州25-1南WHPA平台“浮托法”安装



“渤海明珠”号FPSO与
外输油轮进行原油外输作业



旅大32-2 PSP平台三维模型



锦州25-1南WHPB平台三维模型

编 委 会

主 编 陈 壁

副主编 夏庆龙 罗国英 陈 明 郭太现 刘 松 刘良跃

编 委 王永利 薛永安 王国栋 田立新 邓建明 崔 航

刘光成 戴照辉 潘亿勇 刘建忠 温哲华 杨 寨

阎洪涛 田 楠 高东升 朴庆利 王中雪 王海林

耿 婕 林少宏 魏洪涛 范白涛 刘义刚 谭忠健

张 晓 戴 平 沈章洪 李建平 苏彦春 王应斌

彭 刚 杨庆红 周 滨 谭 吕 阎凤玉 曹树春

杨秋荣 徐田甜 曲兆光 周 苓 邹 剑 白健华

杨家臣 朱 凯 许永康 武 强 姚 霞 曾 建

王月杰

序

进入 21 世纪尤其是“十一五”以来，随着中国经济的高速发展，中国能源建设的形势和需求也越来越迫切。2009 年中国原油进口首次突破 2 亿吨，石油对外依存度超过了 50%，而 2010 年中国石油对外依存度达到了 55%，中国正面临越来越严峻的能源压力。在这种形势下，作为我国最现实、最可靠能源接替区之一的海洋石油必将承担重要的社会责任，为国家开发油气资源，为国家能源建设做出更大的贡献。我国近海宽广的大陆架约有 110 万平方公里，蕴藏着十分丰富的石油和天然气资源，近海油气田的开发是我国油气田开发的重要组成部分和接替领域。

2004 年，中国海油站在国家能源建设的高度，并结合渤海油田的实际，提出渤海油田 2010 年上产 3000 万吨油当量的发展目标。实现 3000 万吨油气产量这个目标，对国家能源安全 and 经济建设都具有重要的现实意义，这也是中国海油建设“海上大庆”的重要部分。“十一五”期间，渤海油田以目标为引领，敢于创新，勇担责任，在 2006 年实现 1500 万方油气产量的基础上，2010 年圆满实现了 3005.9 万吨的产量目标，成为了我国第二大原油生产基地，也成为渤海油田发展史上的重要里程碑。应该说，渤海油田上产 3000 万吨的建设史，也是一部海上油田勘探开发实践的科技发展史。因此，对渤海油田在上产 3000 万吨过程中，创新实践的重要科技成果进行总结非常有必要。

《渤海油田上产 3000 万吨科技创新实践》一书，分勘探、开发、钻完井、工程建设、采油工艺以及节能减排等六个专业领域，对渤海油田上产 3000 万吨产量目标过程中的重要科技成果进行总结，几乎涵盖了油气勘探开发上游业务的所有环节。全书对各项科技成果的剖析，是渤海油田“十一五”期间科技成果的系统总结提升。同时，本书还对渤海油田“十一五”期间石油储量与产量的持续稳步增长情况进行了概述。此书的编写是渤海石油人对近五年来勘探开发实践活动的再认识和再提高。全书集理念与实施为一体，突出了海上油气勘探开发科技工作的特色与创新成果。该书的出版必将是中国近海油田勘探开发理论研究的又一成果。

总结过去是为了今后更好地发展，相信《渤海油田上产 3000 万吨科技创新实践》一书，将对今后渤海油田的发展乃至中国海油科技工作具有借鉴作用和指导意义，是值得同行认真阅读的一本好书。

中国海洋石油有限公司执行副总裁

陈肇

前 言

“实施科技领先战略，加强自己的科研队伍建设，建设科技创新体系，在引进、集成、创新的基础上有选择地加大自主创新力度”，是中国海油长期坚持的科技发展方针。在这一方针的指导下，中国海油进入了一个全新的发展阶段。

“十五”以来特别是“十一五”期间，在中国海洋石油总公司的正确领导和科技发展战略的指引下，渤海油田依靠理念与技术的不断创新，实现了油气储量与产量的快速增长，不断取得历史性的跨越。2004年渤海油田的油气产量突破1000万方大关，2006年油气上产1500万方，2009年又实现了年产2000万方油气产量的新高，2010年突破了3000万吨油气产量大飞跃，成为了我国第二大油田（原油产量），作为我国北方重要能源基地的地位凸显，渤海油田的大开发建设取得了辉煌成果。为了系统反映这一阶段勘探开发方面的科技创新成果，以及这些成果在渤海油田上产3000万吨产量目标过程中发挥的重要作用，2010年初，以陈壁总经理为首的有限公司天津分公司领导层，研究决定组织编写《渤海油田上产3000万吨科技创新实践》一书，以期对今后渤海油田的发展乃至中国海油科技工作提供借鉴。

为了编好这本书，在初期制定本书编写内容和提纲过程中，陈壁总经理多次组织公司领导班子成员进行探讨，最终确定了“一是围绕海上油田高效勘探开发为目标，突出了海上油气田开发的技术特色，一些在陆地油田已经成熟应用的技术在海上成功进行了发展与创新应用；二是这些技术在渤海油田‘十一五’期间发挥了重要作用，提升了油气田勘探开发水平，促进了勘探上不断取得新突破，油气产量快速攀升”的基本原则。当然，上产3000万吨的过程中创新应用的技术有很多，但限于篇幅，本次技术创新与实践总结只编入了其中有代表性并取得了突出成效的技术成果。本书的编写由有限公司天津分公司夏庆龙总地质师负责召集，公司各相关部门经理成为各路编写组具体责任人。在此基础上成立了编写组，编写组成员由各部门岗位经理、首席及其他专业技术骨干人员组成。

本书的筹备工作始于2010年初，3月份成立了编写组正式启动了编写工作。期间编写组先后组织了10多次会议，就编写内容等具体问题进行研讨。在2010年9月完成初稿后，在蓟县进行集中审查修改补充，并经多轮反复修改，于2010年底形成第二稿，2011初又对书中的一些关键数据做了更新修改。编写期间，陈壁总经理、夏庆龙总地质师等领导都多次审阅书稿，提出很多修改意见，给编写工作带来了很大的启发，给本书的编写工作给予了悉心指导和大力支持。

本书分六章，外加引言和后续，共八部分。引言和后续部分由王永利、王应斌、阎凤玉等编写；第一章由李建平、彭刚、谭忠健、周滨等编写；第二章由沈章洪、苏彦春、杨庆红、曹树春等编写；第三章由范白涛、杨秋荣等编写；第四章由

张晓、徐田甜、曲兆光、周苓等编写；第五章由刘义刚、邹剑、白健华、杨家臣、朱凯等编写；第六章由戴平、许永康等编写。全书由王永利统稿，武强、曾建、王月杰等也参与了部分编写工作。在本书编写过程中，汪志勇、周德相、丁九亮等老专家在书稿审核等方面，提出了不少建议，给予了很多指导。还有田立新、薛永安、王国栋、谭吕、邓建明、崔航、刘光成、朴庆利、赵春明、周心怀、周东红、王根照、魏洪涛等参与了本项工作，并给予了很大支持。此外，中国石油大学(北京)、中国地质大学(武汉)的一些教授在本书的编写过程中也给予了很多支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书编写是一次集体创作过程，在编撰过程中参阅了大量的内部技术报告与成果，并对一些观点和思路进行了梳理、盘点和提炼。但是，尽管参加编撰的各位作出了极大的努力，终因知识面和业务水平所限，不可避免地会有一些局限性，会有一些疏漏或不尽人意之处，敬请批评指正。

目 录

引言	(1)
第一章 夯实储量基础, 勘探再获新突破	(17)
第一节 渤海油田“十一五”勘探工作综述	(17)
第二节 新近系浅水三角洲油气成藏新认识	(23)
第三节 中深层“三因素”联合控砂地质理论创新及勘探突破	(39)
第四节 渤海海域郯庐断裂带勘探技术创新与认识进步	(48)
第五节 多元热流体热采探井测试技术——针对蓬莱9-1稠油油田 ..	(65)
第二章 技术创新引领渤海油田大开发	(69)
第一节 渤海油田“十一五”开发工作综述	(69)
第二节 新近系砂岩储层精细描述技术	(73)
第三节 变质岩潜山裂缝定量描述配套技术	(94)
第四节 海上油田整体加密综合调整技术及应用	(105)
第三章 渤海油田高效开发钻完井关键技术	(115)
第一节 综述	(115)
第二节 压力控制钻井技术	(119)
第三节 水平井钻井创新技术	(131)
第四节 加密调整井钻井技术	(141)
第四章 海上工程建设保障油气田快速开发	(161)
第一节 油气田开发工程新模式	(161)
第二节 大中型油气田开发工程技术	(171)
第三节 边际油气田开发工程技术	(180)
第四节 油气田工程建设资源保障	(183)
第五章 提升采油工程技术, 实现老油田增油控水	(187)
第一节 海上稠油油田高效开发采油工艺技术	(187)
第二节 海上稠油油田提高采收率新技术	(205)
第三节 海上油田复杂井治理技术	(213)
第六章 创新节能减排增效技术, 建设清洁环保油田	(222)
第一节 天然气的综合利用技术	(222)
第二节 新技术在设备资产优化中的应用	(228)
第三节 岩屑回注技术在蓬莱油田的应用	(234)
参考文献	(237)
后记	(241)

引言

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。海域面积 $7.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，其中有利油气勘探面积约 $5.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，中国海油所属矿区面积达 $4.43 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。渤海海域内有利于油气勘探的部分在区域地质构造上属于渤海湾新生代含油气盆地，该盆地是中国目前累积探明石油地质储量最多的含油气盆地。根据全国资源评价对构造单元划分的统一标准并结合渤海海域具体情况，将渤海海域新生代含油气盆地部分划分为黄骅拗陷、济阳拗陷、渤中拗陷、下辽河拗陷和埕宁隆起 5 个一级构造单元。除渤中拗陷为海域独立的单元外，其余三拗一隆都是陆上的构造单元向海域的延伸。这 5 个一级单元又划分为 28 个二级构造单元，包括 13 个凸起和 15 个凹陷(图 0-1)。

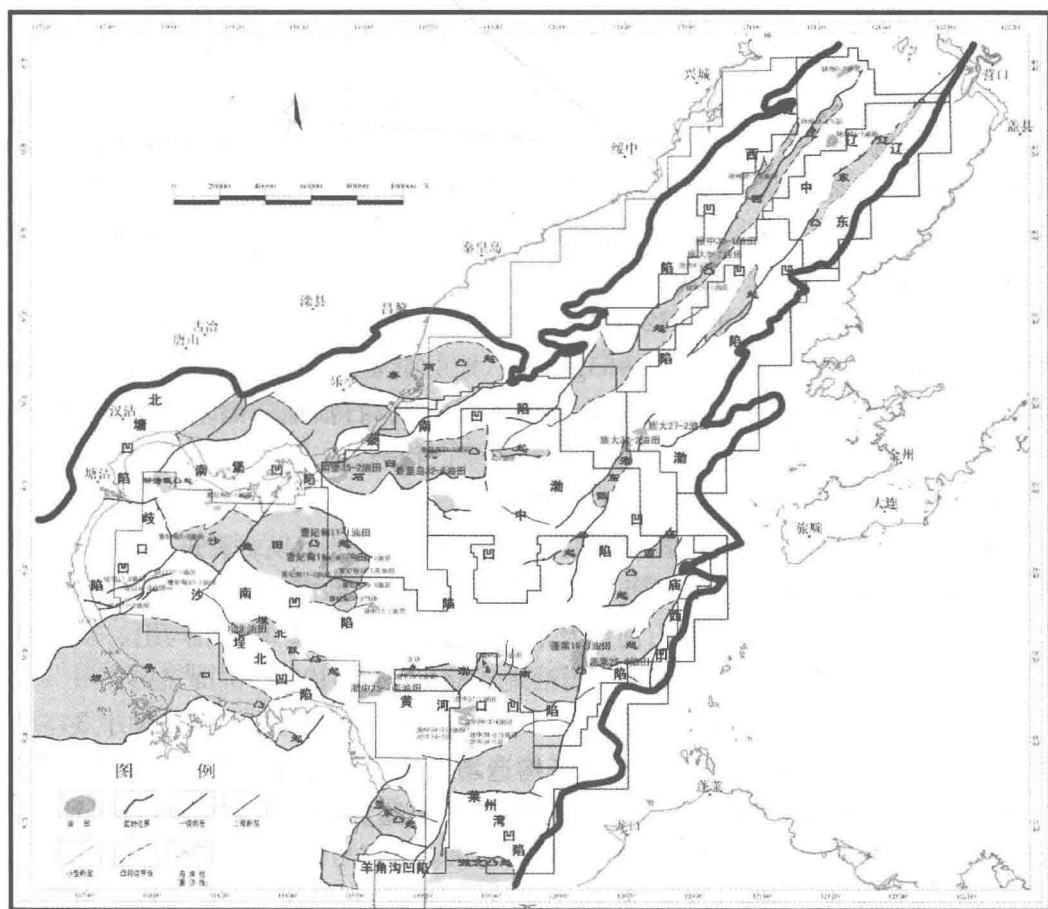


图 0-1 渤海海域构造单元划分图



渤海海域是中国海油国内近海四大油气开发区之一,是中国海油近年来原油储量和产量增长的主要地区。自1965年下海勘探至2010年,渤海油田经过40多年艰难的勘探开发实践,不断开拓创新、提高技术水平,共探明原油地质储量 $24.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,凝析油 $1514.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,天然气 $699.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,溶解气 $1045 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在生产油气田共53个,动用探明石油地质储量 $21 \times 10^8 \text{ m}^3$,共有油气井1395口、注水井301口,2009年产原油2013万方,2010年实现油气产量3005.9万吨。约占全国原油年产量的15%,为稳定我国东部能源供应发挥了重要作用,为我国经济建设发挥着越来越重要的作用。

一、渤海油田“十一五”之前勘探历程回顾

自1965年开始,渤海海域的油气勘探经历了不同的发展阶段,并实现了几次大的勘探突破。根据渤海矿区勘探作业经营模式和石油储量增长的特点,将渤海“十一五”之前的勘探大体划分为下海探索——初建储量、对外合作——引进技术、自营勘探——古近系突破、自营勘探——新近系突破和自营合作并举——储量高速增长等五个阶段。

1. 下海探索——初建储量阶段(1965~1979年)

该阶段是在一缺资金、二缺技术、三缺管理经验的条件下,首次下海探索的阶段。当时受渤海湾盆地新生代沉积中心向渤中海域转移的认识及大港矿区北大港地区、胜利矿区孤岛地区新近系油气重大发现的启示,勘探的重点放在中浅层构造圈闭及潜山披覆构造上,并陆续有所发现。共发现埕北油田、曹妃甸11-1等稠油油田和含油构造5个,中、小型非稠油油田3个(歧口17-3、428东、428西),探明石油地质储量总计 $4720 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

其中,埕北油田发现于1972年11月,在古近系东营组钻遇20m油层,测试折算日产油 96 m^3 ,地面原油密度 0.955 g/cm^3 ,地层原油黏度 $57 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。从而发现了渤海矿区第一个稠油油田,探明含油面积 7.72 km^2 ,石油地质储量 $2052 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该油田于1985年投产,至今仍保持了很好的生产状态。

2. 对外合作——引进技术阶段(1980~1986年)

进入渤海矿区勘探第二阶段后,受上阶段勘探效果的启发,新进入本矿区的外方作业者把勘探的重点集中在古近系及古潜山轻质油的勘探上,并由此先后发现了渤中28-1古生界碳酸盐岩潜山油田及渤中34-2/4明化镇组、馆陶组、东营组、沙河街组砂岩油田,两个油田的探明石油地质储量共计 $5195 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

此外,在曹妃甸13-1、渤中25-1、渤中28-2、渤中34-1、渤中34-3、渤中34-5、渤中34-6、渤中34-7等构造均发现了油气流。同时,1984年重新启动的自营勘探在辽东湾海域也有了重大收获,发现了锦州20-2凝析气田及锦州14-2、绥中36-1北高点含油气构造。

3. 自营勘探——古近系突破阶段(1987~1994年)

以1987年绥中36-1东营组亿吨级大油田的发现为标志,渤海矿区进入勘探第

三阶段，即“自营勘探—古近系突破阶段”。该阶段在古近系陆续发现了绥中 36-1、锦州 9-3 等大中型油气田，成为渤海油田勘探史上的第一次重大突破。

其中，发现于 1987 年的绥中 36-1 大型稠油油田，位于渤海辽东湾海域，探明含油面积 42.5km^2 ，石油地质储量达 $2.98 \times 10^8\text{m}^3$ ，是渤海最早发现的亿吨级油田，主力油层在古近系东营组，储层类型为大型三角洲沉积，高峰期年产量 400 多万方，截至 2010 年底，已累计产油 4735 万方，成为渤海的主力油田，也是目前海上自营勘探开发规模最大的油田。

本阶段还发现了歧口 18-1、歧口 17-2、锦州 9-3、锦州 21-1 等 4 个油气田和歧口 17-1、曹妃甸 14-2、曹妃甸 18-2、曹妃甸 1-6、旅大 16-1、旅大 16-3、金县 1-1、锦州 9-2、锦州 27-6、渤中 35-2 等含油气构造。

该阶段共发现 6 个油田，探明石油地质储量为 $4.53 \times 10^8\text{m}^3$ ，其中古近系砂岩油田 5 个，探明石油地质储量 $4.35 \times 10^8\text{m}^3$ ，占该阶段发现油田总探明石油地质储量的 96%，是渤海低凸起古近系油藏勘探上取得的重大突破。至该阶段末，渤海矿区探明石油地质储量累积达到 $5.52 \times 10^8\text{m}^3$ ，达到了渤海矿区勘探历史上第一个储量高峰。

4. 自营勘探——新近系突破阶段(1995~1998 年)

20 世纪 90 年代以来，随着综合勘探技术的发展，特别是高分辨三维地震勘探技术与探井测试技术的发展为渤海海域的石油勘探提供了更为先进的技术手段。渤海油田的勘探工作者以勘探新理论、新技术为基础，对渤海海域大型凸起开展了含油气再评价，并深入研究了“新构造运动控制晚期成藏”的地质规律。在此基础上，首先对几家国外石油公司退出的石臼坨凸起进行新一轮勘探，取得突破性进展，由此渤海海域的油气勘探进入了自营勘探—新近系突破阶段。

绥中 36-1、锦州 9-3 等古近系油气田发现以后，随后几年进入勘探低潮。1995 年，通过对渤海浅层成藏条件的认识和勘探技术的不断提高，在新近系发现了秦皇岛 32-6 油田，该油田探明含油面积为 37.85km^2 ，探明石油地质储量 $1.78 \times 10^8\text{m}^3$ ，使我们在新近系的探索获得了巨大的成功，成为渤海海域勘探思路由古近系为主转为新近系为主勘探的重要转折点，实现了渤海油田勘探史上的第二次重大突破。在随后的几年里，陆续发现了渤中 25-1 南、南堡 35-2 等一批大型新近系油气田。本阶段还发现了曹妃甸 2-1、曹妃甸 18-1、渤中 13-1、渤中 26-2 和秦皇岛 33-1 等中、小型油气田。

该阶段探明石油地质储量共计 $4.67 \times 10^8\text{m}^3$ 。实践表明，综合勘探技术的发展卓有成效地推进了渤海油田的勘探进展，使渤海矿区探明石油地质储量累积达到 $10.19 \times 10^8\text{m}^3$ ，从而攀上第二个储量高峰。

5. 自营合作并举——储量高速增长阶段(1999~2005 年)

20 世纪 90 年代中期以来渤海勘探、开发的辉煌成果激发了一批外国石油公司在渤海找油的信心。菲利普斯石油国际亚洲公司、科麦奇中国石油有限公司和雪佛龙海外石油有限公司均在渤海的勘探区块获得重要发现。该阶段同时加大了自营勘



探力度,取得了十分显著的勘探成果。该阶段发现了蓬莱19-3、曹妃甸11-1、旅大27-2等大型稠油油田,导致了渤海凸起上新近系油田群的大发现。该阶段还发现了旅大32-2、曹妃甸11-2、曹妃甸11-3/5、曹妃甸11-6、旅大10-1、旅大4-2、锦州25-1南、渤中19-4、渤中3-2、渤中34-1、歧口18-2等中、小型油气田。

其中,蓬莱19-3油田发现于1999年6月,作业者菲利普斯石油国际亚洲公司在渤南凸起北侧的蓬莱19-3构造钻探了PL19-3-1井,在明化镇组下段和馆陶组解释油层147.2m,从而发现了蓬莱19-3大型稠油油田。该油田经评价后探明含油面积32.5km²,探明石油地质储量达 $3.42 \times 10^8 \text{ m}^3$,三级地质储量高达 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

本阶段总计发现油田16个,总探明石油地质储量 $8.95 \times 10^8 \text{ m}^3$,使渤海矿区原油储量攀上第三个高峰(图0-2)。该阶段发现的储量以新近系稠油为主,共发现稠油油田有5个,探明储量 $5.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,占本阶段发现储量的60.7%。蓬莱19-3和曹妃甸11-1两个大型稠油油田的探明储量为 $4.56 \times 10^8 \text{ m}^3$,占本阶段探明总储量的50.9%。

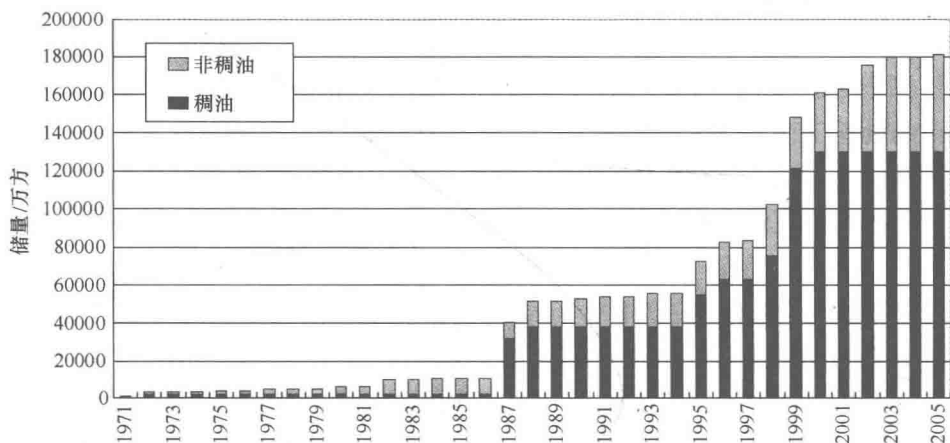


图0-2 渤海油田2006年之前探明石油地质储量统计

截至2005年底,渤海勘探走过了近40年历程,发现油田共计38个,共探明原油地质储量 $19.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,凝析油 $868.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,天然气 $432.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,溶解气 $778.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。勘探成果丰硕,为渤海海域油气田的快速发展打下了重要的储量基础。

二、渤海油田“十一五”之前开发生产历程回顾

渤海油田储量的增长为油田的开发奠定了重要物质基础,但在海洋环境条件下进行油气田开发面临许多挑战,经历了曲折的过程。1975年,渤海海域油气田开发初期年产量仅为8万方,1990年达到年产100万方。经过30年的开发建设,新

油气田不断建成投产。2005 年渤海海域在生产油田 21 个，年产原油 $1367 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，天然气 $5.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，油气产量居当时全国第四位。根据石油产量的增长情况(图 0-3)，结合海洋工程、钻采技术发展历程，可将“十一五”之前渤海海域的油田开发划分为自主创业——试验性开发(1967 ~ 1984 年)、对外合作——正规开发(1985 ~ 1992 年)、自营开发——产量快速增长(1993 ~ 2000 年)、自营合作并举——产量高速增长(2001 ~ 2005 年)等四个阶段。

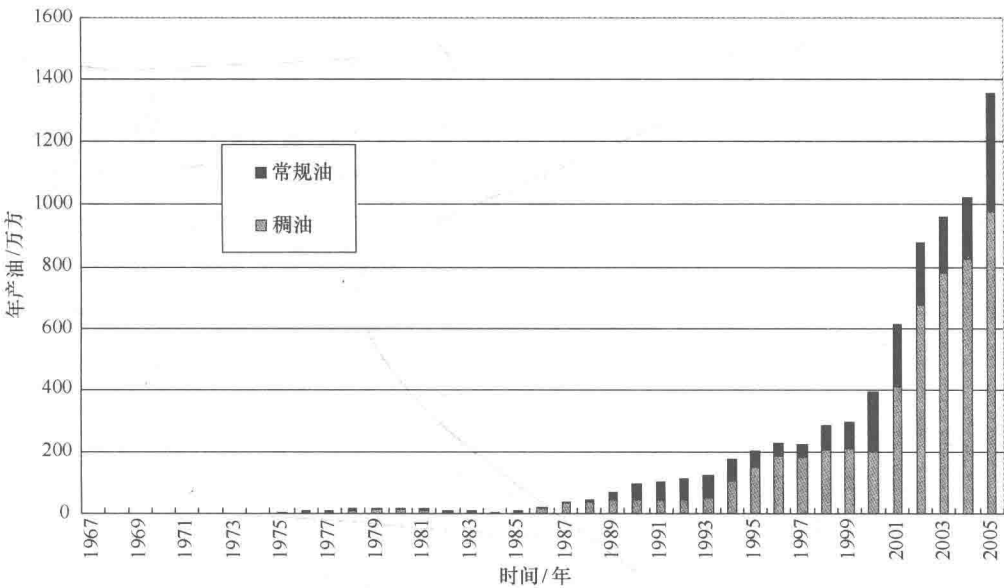


图 0-3 渤海油田 2006 年之前原油产量统计

1. 自主创业——试验性开发阶段(1967 ~ 1979 年)

在早期自主创业阶段先后对四个油田、一个含油构造进行了试验性开发与试采。试验性开发的油田有埕北、海四和 428 西油田；试采的有 428 东油田和海 1 含油构造。海上开发设施均为自主设计、制造、安装的，具有独立生产、生活设施的，钢质桩基固定式综合性采油平台。该阶段各油田最高年产量的累积值(不同于建成能力)为 $29 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，阶段产油量达到 $63 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，阶段最高年产油量为 $17 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 0-4)。

该阶段的特点是初次下海、自主创业和试验性开发。主要成果：一是在无海上油田开发经验与技术的条件下，从零起步，自主设计、制造了海上采油平台，并成功进行了海上安装；二是初次尝试了钻定向井，并取得成功；三是成功进行了海上油田生产作业，实现了海上石油生产“零”的突破；四是通过埕北油田的试采，初步掌握了稠油油田的开采特点以及应对暴露矛盾的主要技术策略；五是下海开发油田的实践，涌现出一批各方面的管理和专业骨干，为渤海油田开发的大发展打下了基础。

埕北油田位于埕北低凸起的西高点，是形态比较完整的背斜构造，砂体横向分