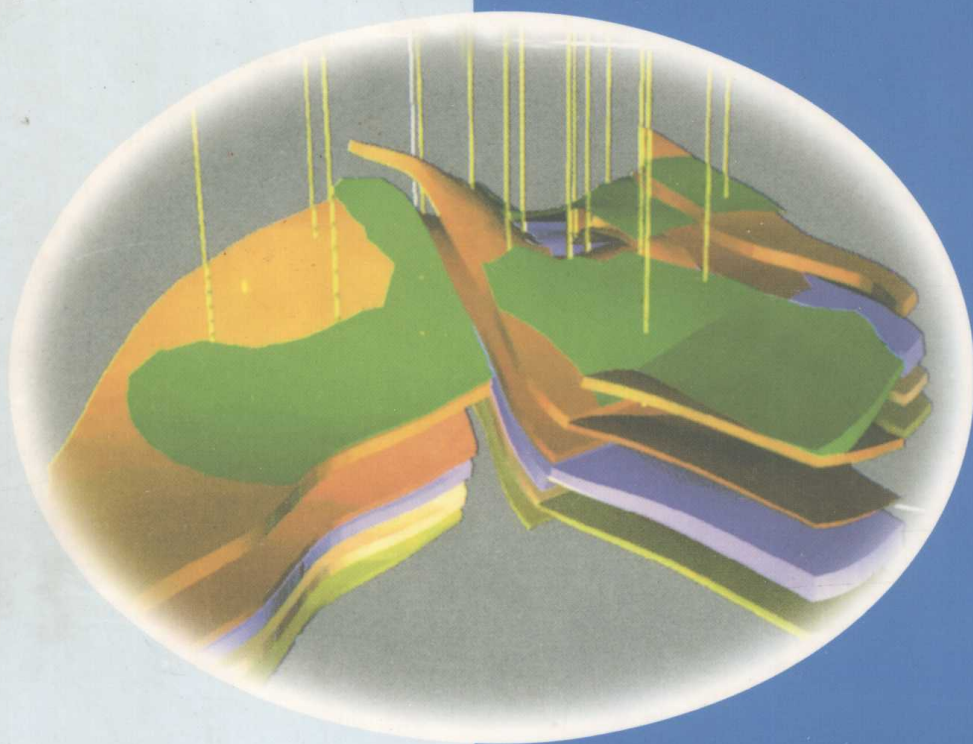


科技丛书
大港油田

8

大港油田科技丛书编委会编

大港油田开发实践



石油工业出版社
P E T R O L E U M

I N D U S T R Y P R E S S

大港油田科技丛书 8

大港油田开发实践

大港油田科技丛书编委会编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书共分十四章,全面介绍了大港油田的地层、构造、储集层、流体性质、分布及地层温度、压力系统的特征。它以大港油田长期的开发实践为基础,对大港油田开发的早期部署、中后期调整及提高采收率等多项开发技术进行了全面系统的论述;它以实例解剖的方式阐述了高凝高粘油藏开发、凝析油气藏循环注气开发、三次采油及油田开发综合评价技术,既具有一定的理论性,又具有较强的实用性,可以作为石油勘探开发管理者及技术人员的工作参考书,也可供有关石油工程院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大港油田开发实践/大港油田科技丛书编委会编.
北京:石油工业出版社,1999.11

(大港油田科技丛书;8)

ISBN 7-5021-2787-9

I. 大…

II. 大…

III. 油田开发-技术

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 60019 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 25.5 印张 1 插页 650 千字 印 1—2300

1999 年 11 月北京第 1 版 1999 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2787-9/TE·2183

定价: 45.00 元

大港油田精神文明丛书总编委

主 任：王 鹏 姚和清

副 主 任：张德寿（常务）

主任委员：孙希敬 陈玉瑾 高兰成 朱敬成 郭德宝 张大德
俞叔武 于庄敬 薛士荣 刘志谦 王鹤龄 于树方
蒋永佑 华勇魁 于秋云 王兴隆 段新坎 黄建庆
李润寿 张国欣

大港油田科技丛书编委

主 任：孙希敬

副 主 任：张大德 于庄敬（常务） 薛士荣

委 员：吴永平 曲经文 周嘉玺 李文瑞 马世煜 毛立言
宋伯韬 周学仁 李学文 刘鸿斌 牟祥汇 孙宝绪
李 淦 王巧月

序

大港油田三十多年来在勘探、开发和建设方面都取得了长足的进步，物质文明和精神文明建设结出丰硕成果，创造了许多成功经验，这些都是广大职工共同努力，发扬艰苦奋斗、顽强拼搏、无私奉献的创业精神的结果。为了使这些成果和经验系统化、理论化，形成财富，促进油田勘探开发建设进一步发展，经济效益大幅度提高，大港油田领导提出编写大港油田“科技丛书”。这个安排引起油田党委的重视，经过认真研究，决定扩大“丛书”编写范围，于1997年5月油田党、政联合下发文件，决定编撰“大港油田精神文明建设丛书”，成立了精神文明建设丛书编委会，下设七个系列，“科技丛书”是其中之一，并成立了编委会。

“科技丛书”怎样写，以哪些读者为对象，写成什么样的书，对这些问题我们花费了较长时间，听取了各方面的意见，进行广泛深入讨论，逐渐形成了明确的指导思想。大家认为这套“丛书”应有独特的品质，它不同于教科书，不同于科普读物，不同于论文集，不同于经验总结（成果汇编），也不同于工具手册。要突出“科技”和“大港”两个特色。“科技”特色是总结大港油田三十多年极其丰富的科学技术实践和创造发明，做到有理论基础、方法原理、实用程序和实践成果，在“科技”特色的基础上，突出“大港”特色，写出大港发明创造的技术，在国内外有影响的技术，使用过的技术，试验过的技术，并有成功和失败的实例分析，还要讨论一些技术的实用性和发展方向，全书不是简单的技术描述和实际案例分析，而是一次再提高再创造，使读者特别是中青年科学技术人员和各级管理干部，还有非本专业的技术人员，有原理可查，有方法可学，有实例可看，有经验可借鉴，起到承上启下的作用。

这套“丛书”为广大读者提供大港油田科技发展的历程。大港油田三十多年的发展建设，经历了风风雨雨，有成功的经验和失败的教训，学会借鉴前人的经验和教训，少走弯路，杜绝重复劳动，对我们事业的兴旺发达和科技人员成长都有一定的好处。“丛书”还展示了大港油田的科技全貌，反映了大港油田的技术状况，为广大青年技术干部、各级管理人员和非本专业技术干部了解油田技术状况修通了高速公路。还应说明，活跃在大港油田勘探开发早、中期各条战线的技术骨干，现在多数已经退休，在工作上完成了交接。有许多退休老专家参加“丛书”的编撰工作，把他们多年积累的宝贵经验留下来，也算老专家们在技术上对大港油田的干部职工有了个好交代。这套“丛书”正式出版恰逢大港油田勘探开发建设三十五周年之际，谨以此书献给为大港油田建设做出卓越贡献的人们。

这套“科技丛书”，按照油田的习惯说法，包括十个专业共24册约800万字。即：

- 第一册 勘探历程与经验
- 第二册 第三系石油地质基础
- 第三册 油气藏与分布
- 第四册 新区、新层系、新领域
- 第五册 地质实验技术
- 第六册 地震勘探资料采集技术

- 第七册 地震勘探资料处理和解释技术
- 第八册 大港油田开发实践
- 第九册 枣园高凝高粘中低渗断块油田开发
- 第十册 提高采收率技术
- 第十一册 油气藏探边测试方法与应用
- 第十二册 钻井工程技术 (1)
- 第十三册 钻井工程技术 (2)
- 第十四册 钻井工程技术 (3)
- 第十五册 滩海工程技术
- 第十六册 录井技术
- 第十七册 测井技术 (1)
- 第十八册 测井技术 (2)
- 第十九册 电泵采油与分层注水
- 第二十册 防砂工艺技术
- 第二十一册 压裂与酸化工艺技术
- 第二十二册 试油与油井大修
- 第二十三册 油田地面工程设计与施工
- 第二十四册 石油炼制

为了编撰好“丛书”，确保达到设计要求，使各分册有个好质量，编委会认真研究精心设计各册编写提纲，这是写好“丛书”的基础。安排章节的作者力争由学科带头人执笔，分册负责人全文贯通，提出修改意见、把关，负责完成初稿，这是保证“丛书”质量的重要环节。然后由编委会组织6至7名专家进行审查定稿。尽管这方面我们做了不少工作，由于水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

孙希敬

1999年2月4日

前 言

大港油田自 1964 年发现,至今已经历了 35 个春秋,经过两代人的艰苦奋斗,至 1998 年底,探明石油地质储量 $8 \times 10^8 \text{t}$ 以上,累计生产原油 $1.02 \times 10^8 \text{t}$,建成了年产原油 $430 \times 10^4 \text{t}$,年产天然气 $4 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大型石油天然气生产基地。

大港油田所处的含油盆地是一个复杂的地质体,具有断裂、构造活动强烈,圈闭类型复杂多变;储集岩类型多,岩性变化大;产油层系多,油藏类型丰富多彩;油气资源类型多,流体性质差异大等特点。面对这样一个复杂的油田,大港油田广大科技工作者凭着献身祖国石油工业的热情,不畏艰险、锐意创新,在油田开发实践中,在油藏地质研究、油藏精细描述、滚动勘探开发、复杂断块油藏综合治理及提高采收率等方面取得了卓越的成绩。

经过长期的科研攻关及实践,形成了以北大港油田港东、港西开发区为代表的复杂断块油藏开发技术;以北大港油田马西深层开发区为代表的低渗透油藏开发技术;以枣园油田为代表的高凝、高粘油藏开发技术;以板桥油田大张坨为代表的凝析油气田循环注气开发技术;以羊二庄油田为代表的边底水油藏开发技术;以港西四区为代表的聚合物驱提高采收率技术以及水平井、微生物驱油……等系列配套开发技术。

每项技术的形成,无不凝聚着一代又一代石油科技工作者的心血和汗水。本书出版将有助于同行及后人加深对大港油田开发实践全过程的了解,并希望对新一代石油科技工作者有所借鉴、有所启发。

全书共分十四章,由何鲜任主编,包怀庆、张欣然、石占中、刘树明任副主编。第一章由王志忠、包怀庆编写;第二章由杨国安、张欣然编写;第三章由碧莲编写;第四章、第五章由张欣然、蔡连生编写;第六章由赵焕欣、包怀庆编写;第七章由陈汉培编写;第八章、第九章由包怀庆编写;第十章由赵焕新编写;第十一章由郑振英编写;第十二章由窦松江、李国庆编写;第十三章由刘树明、王静云、刘延庆、于治娟、蔚芒、王羽等编写;第十四章由孟立新、卢宝荣、田秀霞、陈汉培、刘树明、马立军、马小明等编写。本书初稿完成后,由开发专业路进行初审,会议由于庄敬主持,马世煜、何鲜、包怀庆、张欣然等参加,对全书多处提出了修改意见。会后何鲜组织参加编写的专家进行认真的修改,其中,第二章至第五章、第十一章、第十二章由石占中、张欣然、包怀庆校审;第一章、第六章至第十章、第十三章、第十四章由何鲜、包怀庆、刘树明校审,最后由何鲜总校审。修改后,交由分编委会审查定稿。审查会由于庄敬主持,马世煜、何鲜、张大德、李文瑞、王志忠、石战中等参加,进行了最后的讨论,经再次修改后成文出版。但由于作者水平所限,书中难免谬误之处,敬请广大读者批评指正。

在本书的编写过程中,孙希敬、薛士荣、周嘉玺等同志进行了认真的审阅,提出了很多宝贵的意见,花新生、王巧月等同志为该书的出版作了大量的工作,在此一并致谢。

《大港油田开发实践》编写组

1999 年 3 月 1 日

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 大港油田的发现	(1)
第二节 油田开发历程	(5)
第三节 油田开发效果综合评价	(11)
第二章 地层与构造	(17)
第一节 地层层序及分布	(17)
第二节 主要含油层段地层特征	(19)
第三节 主要含油层段油组划分	(27)
第四节 构造特征	(28)
第三章 储层特征	(40)
第一节 碎屑岩储层	(40)
第二节 粒屑灰岩储层	(71)
第三节 火山岩储层	(73)
第四节 储层孔隙结构与物性特征	(76)
第四章 油气分布特征	(87)
第一节 油气藏类型及特征	(87)
第二节 油气分布特点	(98)
第三节 原始驱动类型及特征	(104)
第五章 地层压力、温度、流体性质及分布特征	(108)
第一节 地层压力及温度系统	(108)
第二节 流体性质	(109)
第三节 油气水性质的组合关系	(119)
第六章 初期开发部署	(122)
第一节 总体开发部署	(122)
第二节 开发方式的选择	(130)
第三节 开发层系划分	(142)
第四节 开发井网部署	(146)
第七章 人工水驱油藏的开发	(152)
第一节 断块油藏注水开发的可行性论证	(152)
第二节 注水方式的选择	(161)
第三节 开发过程的调整	(164)
第四节 三次采油提高采收率先导试验及推广	(195)
第八章 天然水驱油藏的开发	(202)
第一节 天然水驱油藏地质特点	(202)
第二节 天然水驱油藏能量补充特点	(206)

第三节	边底水推进规律及其影响因素	(214)
第四节	提高和改善天然水驱油藏开发效果	(217)
第九章	混合驱动油藏的开发	(221)
第一节	混合驱动油藏类型及特点	(221)
第二节	混合驱动油藏开发现状、阶段划分及开采特点	(236)
第三节	改善和提高混合驱动油藏开发效果	(244)
第十章	开发过程的监控	(249)
第一节	分层流量监测	(249)
第二节	剩余油分布监测及研究	(259)
第十一章	滚动开发技术	(269)
第一节	滚动开发方式与程序	(269)
第二节	滚动评价技术	(275)
第十二章	精细油藏描述	(279)
第一节	油层精细对比及微构造研究	(279)
第二节	储层沉积微相及流动单元研究	(282)
第三节	储层物性、结构、流体变化规律研究	(287)
第四节	储层建模技术	(289)
第五节	油藏数值模拟	(290)
第十三章	油田开发综合评价技术	(295)
第一节	未动用储量评价	(295)
第二节	可采储量评价	(306)
第三节	开发规划、方案优化	(321)
第四节	开发效果、水平评价	(326)
第十四章	油田开发实例	(338)
第一节	北大港油田港东开发区	(338)
第二节	北大港油田马西深层开发区	(349)
第三节	羊二庄油田	(358)
第四节	羊三木油田	(365)
第五节	枣园油田	(375)
第六节	板桥凝析油气田	(385)
结束语		(396)

第一章 概 论

大港油田自 1964 年发现, 经过 30 多年的勘探、开发, 现在已建成一个探明石油地质储量 $8 \times 10^8 \text{t}$ 以上, 原油年产量超过 $400 \times 10^4 \text{t}$, 天然气年产量超过 $4 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大型石油天然气能源基地。

至 1997 年底, 大港油区已投入开发 16 个油田, 25 个开发区 (见图 1-1), 开发动用地质储量 $5.08 \times 10^8 \text{t}$, 可采储量 $1.4 \times 10^8 \text{t}$ 。现有采油井 2355 口, 正常开井 1853 口, 平均单井日产原油 5.9t/d , 平均总日产原油 11918t/d , 原油年产量 $435 \times 10^4 \text{t}$, 采油速度 0.87% 。从 1993 年至 1997 年, 已连续五年原油年产量保持在 $400 \times 10^4 \text{t}$ 以上, 是大港油区历史上最长的稳产高产期。1997 年年末综合含水 84.75% , 比 1996 年末下降 0.29 个百分点。全油区累计生产原油 $9783 \times 10^4 \text{t}$, 地质储量采出程度 19.53% , 可采储量采出程度 70.8% 。

至 1997 年底, 全油区共有 13 个油田、20 个开发区投入注水开发, 动用注水开发地质储量 $3.6 \times 10^8 \text{t}$, 水驱控制储量 $2.93 \times 10^8 \text{t}$ 。现有注水井 855 口, 正常注水井 626 口, 平均单井日注水量 $112 \text{m}^3/\text{d}$, 总日注水量 $70303 \text{m}^3/\text{d}$, 1997 年年注水量 $2508 \times 10^4 \text{m}^3$, 累计注水 $34209 \times 10^4 \text{m}^3$, 累计注采比 0.71 。

第一节 大港油田的发现

大港油田的发现是 1964 年底在港 5 井下第三系沙河街组获得自喷工业性油流后揭开序幕的。其勘探历程可划分为以下几个阶段。

一、油田初探阶段 (1955~1963 年)

黄骅坳陷的油气勘探始于 1955 年, 钻探工作始于 1961 年。

1955~1956 年开始了华北平原的石油地质普查, 进行了全区的重磁力及地质地球物理大剖面勘探工作。1959 年完成了航空磁测, 并进行了海上地震勘探的方法试验, 1961~1963 年陆续发现了北大港、孔店、羊三木等局部构造, 并对少量构造投入钻探。在北大港构造带西部的黄 2 井于上第三系明化镇组见到了油浸砂岩, 位于羊三木构造的黄 1 井、黄 3 井于馆陶组和沙河街组也见到含油砂岩; 位于港西的黄 5 井于奥陶系石灰岩中见到油气显示。黄 3 井还在 1962 年 11 月完钻试油中在上第三系馆陶组, 获得了日产 $84 \text{m}^3/\text{d}$ 的工业性油流, 从而促进了黄骅坳陷大规模的油气勘探工作。

二、油田详探阶段 (1964~1966 年)

1964 年 1 月黄骅坳陷开始了大规模的石油区域钻探, 在有利构造带展开了油田详探。

北大港构造带港中地区的港 5 井位于“凹中隆”的有利油气储集带, 1964 年 11 月开钻, 同年 12 月 10 日于井深 2526.3m 沙河街组地层中发生强烈井喷, 利用受卡钻具的钻杆裸眼测试, 获得日产 19.74t/d 原油和 $34000 \text{m}^3/\text{d}$ 天然气, 从而发现了北大港油田。随后在港东地区钻探的港 14 井、港 16 井; 唐家河构造上钻探的港 21 井、港 12 井; 白水头鼻状构造端钻探的港 20 井、六间房构造的港 45 井。先后在上第三系明化镇组、馆陶组、下第三系东营组、沙河街组获得自喷工业性油流。



图 1-1 黄骅坳陷大港油区油田分布图

在港西地区钻探的港 3 井于钻探中发现第三系地层的油砂，在试油中于明化镇组获得日产 89.7t/d 原油和 $2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 天然气。至此，北大港构造带连片含油，奠定了大港油田的发展基础。

在北大港钻探连获喜讯的同时，南大港的钻探也捷报频传。位于王徐庄构造上的歧 3 井，1966 年 1 月开钻，4 月完钻，测试中在沙₂₊₃段的砂岩油层中获得日产 181t/d 的高产油流和 $21.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的天然气。从而发现了王徐庄油田。同年在构造翼部钻探的歧 5 井，于沙一段

下部生物灰岩油层中也获得高产,经6mm油嘴测试,日产原油81.5t/d,天然气11948m³/d。证实王徐庄油田是一个多种油藏类型的高产油田。

南北大港的连片钻探在1966年也取得进展,位于南北大港构造带之间凹陷带中的歧26井在沙一段下部生物灰岩也获得了自喷工业性油流,为寻找非背斜油藏开创了先例。

羊三木油田的详探在1966年末也喜获丰收,至此已有3口井喷油(黄3、孔5、羊1)基本探明了羊三木油田范围,为开发提前做好了资源的准备。

三、全面发展油田的勘探与开发阶段(1967~1997年)

1. 勘探开发南北大港油田(1967~1969年)

1965年,在探明一定地质储量的基础上,详探与开发相结合,首先选择北大港油田港东开发区进行开发试验。1966年完成500m基础井网,共钻井4口,1967年编制初步开发设计,1968年5月全部进行试采,当年建成年产原油11.7×10⁴t/a的生产能力,使油田产量迅速上升至28×10⁴t/a,1969年增至49.7×10⁴t/a。

北大港油田港西开发区、王徐庄油田也进行了进一步详探和开发准备,1969年在港西部署了基础井网,钻取心井了解油层情况。王徐庄加强了详探,搞清砂岩与生物灰岩油藏范围,为全面开发做准备。

位于周清庄构造主体部位的歧24井,1967年3月20日完钻试油中,于沙河街组获自喷工业性油流,日产原油30t/d,天然气4117m³/d,生产层主要为沙一下段鲕状灰岩,从而发现了周清庄油田。进一步扩大了大港油田含油范围。阶段末南北大港累计探明地质储量2.2×10⁸t,建成年原油生产能力43×10⁴t/a。

2. 扩大黄骅拗陷中南区钻探和开发(1970~1975年)

1970年迎来了勘探工作高峰年,勘探工作量加大,成果丰硕。1971年南区沧州市构造钻探的沧1井在完钻试油中于沙三段获得日产16158m³/d天然气,进一步证实了南区的含油远景。随后在王官屯构造顶部钻探的官1井,1971年3月完钻,在沙三段发现21层油气层,含油厚度25.4m,试油时获得日产146t/d的原油,4766m³/d天然气。其后又在官2、官3井也获得工业性油流,从而发现了王官屯油田。

枣园地区钻探的孔17井,在孔一段枣Ⅱ油组获得日产38.3t/d的工业性油流,发现了枣园油田。随后在沈家铺构造上钻探的官33井均获得工业油流,扩大了枣园油田的含油范围。1972年在孔店凸起上钻探的孔31井,于馆陶组获得工业性油流,又发现了孔店油田。

1973年拗陷中区板桥构造带上钻探的板3井获得日产原油108t/d和31191m³/d天然气,发现了板桥凝析油气田。

1974年在羊二庄构造带上钻探的庄26井,于明化镇组获得日产281t/d的高产工业性油流。两个月后又在庄70井于馆陶组获得日产600t/d的高产油流,从而发现了羊二庄油田。

1975年6月官28井喷油,产出层位孔一段,日产原油102t/d,又发现了小集油田。

本阶段历经6年,共发现了5个油田(王官屯、孔店、枣园、羊二庄、小集)、一个凝析油气田(板桥)、一个气田(沧州市)和10个含油构造或区块(大中旺、齐家务、觉道庄、沈青庄、大张坨、塘沽、南中段、友谊、扣村、舍女寺),探明地质储量3.8×10⁸t。北大港油田港西开发区、港中开发区、唐家河开发区与周清庄油田、王徐庄油田、羊三木油田、羊二庄油田、王官屯油田、孔店油田陆续投入开发,动用地质储量2.3×10⁸t,建成原油生产能力370.5×10⁴t/a,1975年生产原油449.6×10⁴t/a,是油田开发历史上的最高峰。

3. 滚动勘探开发全面发展(1976~1997年)

(1) 钻探深层与古潜山, 发现深层高产油气藏 (1976~1978 年)

在任丘古潜山油藏发现后, 大港油田在古潜山钻探上也有好的显示。先后在 9 个潜山带打石灰岩探井 29 口, 但只有港西潜山的太 4 井和北区柏各庄潜山的南 13 井喜喷工业性油流。其他各井均未见油气显示, 大都因成藏条件欠佳而未形成油气藏。

深层钻探主要集中在北大港构造带。1978 年 9 月在马西深层构造上钻探的深 13 井于下第三系沙一段下部喜获高产油气流, 11mm 油嘴测试, 日产原油 211.6t/d, 天然气 $12 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 突破了深层找油关。

(2) 展开复式油气藏的勘探, 不断发现新的油气田 (1979~1997 年)

1979 年起在全区展开了复式油气藏滚动勘探, 突破南堡凹陷找油关。1979~1981 年陆续发现了高尚堡油田、柳赞油田、北堡油田, 形成南堡凹陷新的含油气区。1979 年 5 月在马东深层构造上钻探的深 11 井在沙河街组板Ⅳ、板Ⅲ油组获日产原油 31t/d 和 46t/d, 天然气 $7000 \sim 30000 \text{m}^3/\text{d}$, 扩大了深层含油范围。1983 年段六拨构造上的官 66 井喷油, 日产原油 63.3t/d, 天然气 $2626 \text{m}^3/\text{d}$, 发现了段六拨油田。

1984 年发现了羊二庄油田的庄 42 高产块, 日产原油 270t/d, 天然气 $3.3 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。同年 8 月发现王官屯油田的官 80 高产块, 扩大了王官屯油田含油范围。当年在长芦断鼻上钻探的板深 51 井, 沙三段试油后, 获得日产 26.2t/d 的原油。从而发现了长芦油田。

1986 年枣园地区枣 55 井钻入中生界安山岩地层后, 发现良好的油气显示, 裸眼测试日产原油 256t/d, 第一次发现了中生界火山岩油藏。随后在滚动勘探中, 含油面积进一步扩大, 使枣园油田陆续上产, 到 1997 年建成年产油能力 $61 \times 10^4 \text{t/a}$ 。

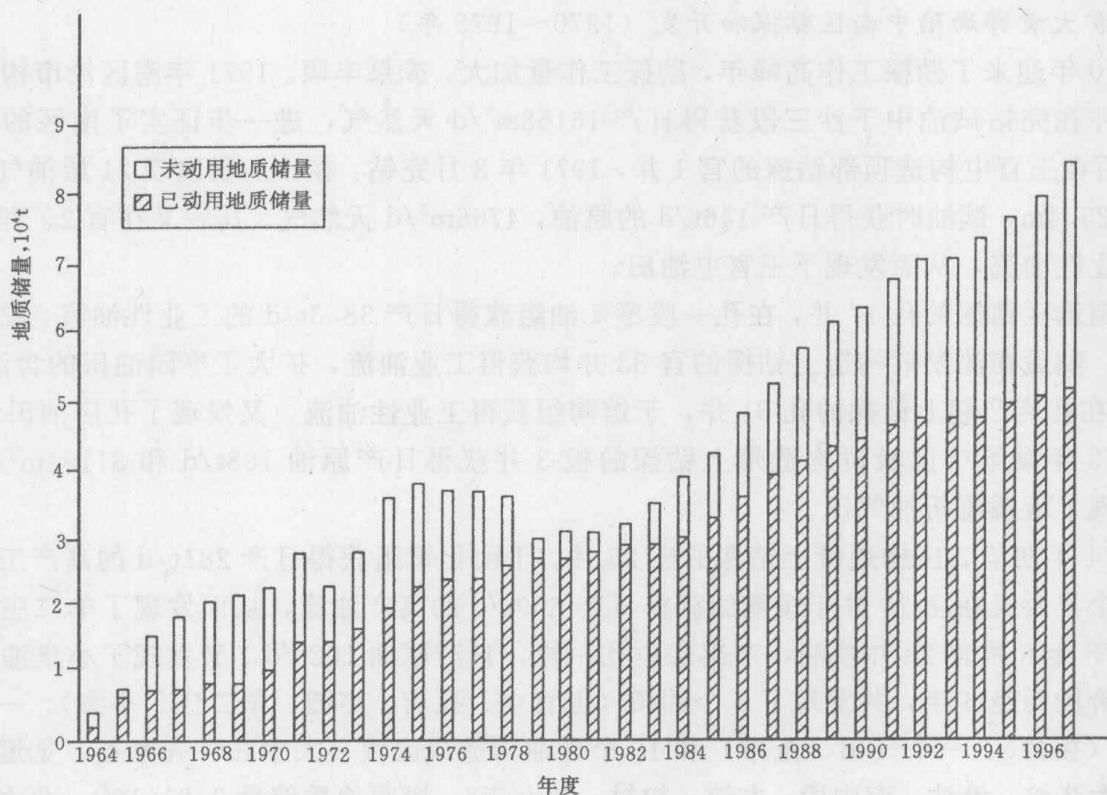


图 1-2 大港油区历年地质储量动用状况图

1987 年中南区滚动勘探中, 舍女寺构造女 14 井出油, 王官屯油田官 142 断块获高产, 扣村构造的扣 9 井于沙一下喜喷油流 20t/d, 天然气 $1.22 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 发现了扣村油田。

1989~1991年南区滚动勘探找到了不少高产断块，王官屯油田的官195、官104块、乌马营构造的乌8断块相继高产，为南区扩大开发面积增加了后劲。使王官屯油田1994年建成了产能 $83 \times 10^4 \text{t/a}$ 的大油田。

中区唐家河构造的港深18-2、港22-1断块，千米桥构造板64块、驴驹河构造的板深80块，塘沽、洪湖地区以及位于海域之张东、赵东构造等均获自喷油流，扩大了探明地质储量，阶段末1997年大港油田累计探明地质储量超过 $8 \times 10^8 \text{t}$ （见图1-2）。有16个油田25个开发区投入开发，1997年生产原油 $435 \times 10^4 \text{t/a}$ 。

第二节 油田开发历程

1964年发现大港油区，1965年试采，1966年开辟生产试验区，1968年投入开发，生产能力至1970年达到 $100 \times 10^4 \text{t/a}$ ，至1972年上升到 $200 \times 10^4 \text{t/a}$ ，至1973年达到 $300 \times 10^4 \text{t/a}$ ，至1974年上升到近 $400 \times 10^4 \text{t/a}$ ，1975年达到 $449.6 \times 10^4 \text{t/a}$ ，是油田年产量的最高峰。以后几经反复，形成了“W”形生产态势，1981年产油 $287 \times 10^4 \text{t/a}$ ，是油田开发以来的低谷，历经科技攻关、增储上产措施，1993年恢复至 $400 \times 10^4 \text{t/a}$ 以上，1997年又跃升至 $435 \times 10^4 \text{t/a}$ 的产油水平（其开发历程详见图1-3、1-4，表1-1）。

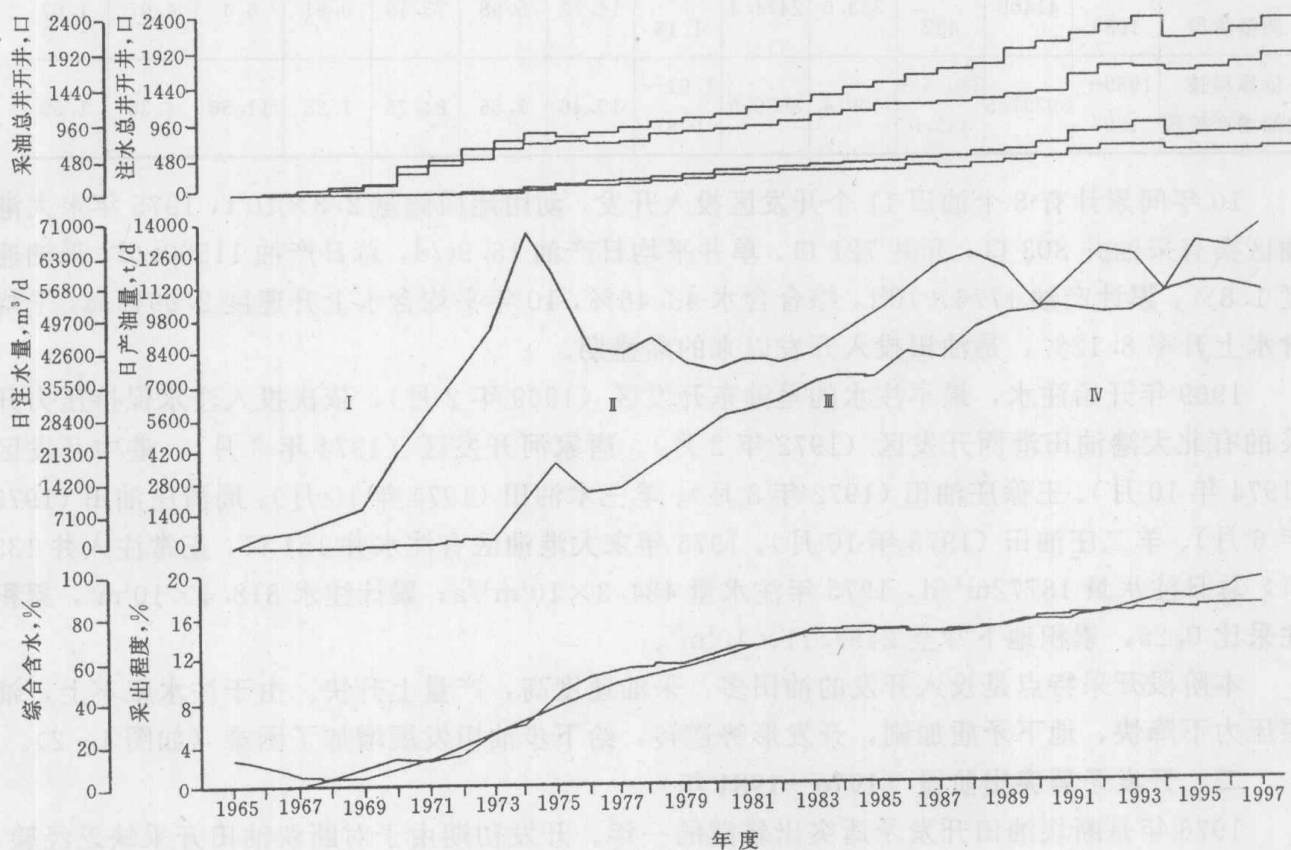


图1-3 大港油区综合开采曲线

一、油田开发初期阶段（1966~1975年）

大港油区的开发，是从北大港油田港东开发区开始的。1965年底开辟了港东生产试验区，1966年完成了500m井距基础井网，1967年编制初步开发设计，1968年以 $300 \times 300 \text{m}$ 正三角形井网钻开发井投入开发。建成原油生产能力 $24.5 \times 10^4 \text{t/a}$ ，当年产油 $28.2 \times 10^4 \text{t/a}$ 。1970年

北大港油田港西开发区、王徐庄油田、周清庄油田投入开发,新建原油生产能力 $64.5 \times 10^4 \text{t/a}$,使油田年产油量上升到 $102 \times 10^4 \text{t/a}$ 。1971年羊三木油田投入开发,新建原油生产能力 $5.1 \times 10^4 \text{t/a}$ 。1972年唐家河开发区、港中开发区相继开发,新建原油生产能力 $43.7 \times 10^4 \text{t/a}$,全油田产量上升到 $216 \times 10^4 \text{t/a}$ 。1974年发现了羊二庄油田,当年钻生产井投入开发,新建原油生产能力 $44 \times 10^4 \text{t/a}$,全大港油田累计建成原油生产能力 $420 \times 10^4 \text{t/a}$,年产油量上升至 $398.9 \times 10^4 \text{t/a}$ 。1975年7月和12月王官屯油田、孔店油田投入开发,新增产能 $15 \times 10^4 \text{t/a}$,使全油田产油量达到 $449.6 \times 10^4 \text{t/a}$ 的最高峰。

表 1-1 油田开发历程各阶段开发综合数据表

开发阶段	起止年份	动用地质储量 10^4t	年产量变化 10^4t	平均年产量 10^4t	阶段累计产量 10^4t	采油速度 (%)	采出程度		综合含水 %	含水上升速度 %	阶段含水上升 %	含水上升率 %	阶段含水上升率 %
							累计 %	本阶段 %					
油田开发初期阶段	1966~1975	22809	11.5~449.6	177.6	1776	0.49~1.8	7.60	7.60	43.46	4.79	38.34	5.72	5.04
开发矛盾突出阶段	1976~1981	26927	360.2~287.1	307.2	1843.4	1.3~1.06	12.90	6.84	66.79	3.81	23.33	5.18	3.41
全面综合调整阶段	1982~1988	41409	293~422	353.5	2474.4	1.01~1.13	14.72	5.98	73.19	0.91	6.4	4.97	1.07
依靠科技稳油增产阶段	1989~1997	50797.5	380.5~435.0	409.4	3689.5	1.01~0.87	19.46	7.86	84.75	1.28	11.56	4.36	1.59

10年间累计有8个油田11个开发区投入开发,动用地质储量 $2.3 \times 10^8 \text{t}$,1975年末大港油区实有采油井803口,开井721口,单井平均日产油 15.9t/d ,总日产油 11500t/d ,采油速度1.8%,累计产油 $1776 \times 10^4 \text{t}$,综合含水43.46%,10年平均含水上升速度2.99%/a,平均含水上升率8.12%,是油田投入开发以来的鼎盛期。

1969年开始注水,最早注水的是港东开发区(1969年2月),依次投入注水保持压力开采的有北大港油田港西开发区(1972年2月)、唐家河开发区(1974年3月)、港中开发区(1974年10月)、王徐庄油田(1972年8月)、羊三木油田(1974年10月)、周清庄油田(1975年6月)、羊二庄油田(1975年10月)。1975年末大港油区有注水井151口,正常注入井135口,总日注水量 $18772 \text{m}^3/\text{d}$,1975年注水量 $484.3 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$;累计注水 $818.4 \times 10^4 \text{m}^3$,累积注采比0.25,累积地下亏空 $2457.11 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

本阶段开采特点是投入开发的油田多,采油速度高,产量上升快。由于注水跟不上,油层压力下降快,地下矛盾加剧,开发形势逆转,给下步油田发展增加了困难(如图1-2)。

二、开发矛盾突出阶段(1976~1981年)

1976年是断块油田开发矛盾突出暴露的一年。开发初期由于对断块油田开采缺乏经验,井网层系不适应,注采失调,致使油田产量在1975年达到最高峰后开始大幅度递减,日产量由1975年末的 11500t/d ,1976年降至 8639t/d ,1981年最低降至 8129t/d ,其间虽有1975年刚投入开发的两个油田(王官屯、孔店)和新近投入开发的4个油田(枣园、马西、六间房、板桥油田),增加原油生产能力 $62.1 \times 10^4 \text{t/a}$,采油井总数增加至1173口,增加了46%,但产油量仍由1975年的 $450 \times 10^4 \text{t/a}$,下降至1976年的 $360.2 \times 10^4 \text{t/a}$,1981年更降为 $287.1 \times 10^4 \text{t/a}$,六年间平均每年减少 $27.08 \times 10^4 \text{t/a}$,年递减率28%~22%,本阶段累积采油1843

$\times 10^4\text{t}$, 平均年产油量 $307.2 \times 10^4\text{t/a}$, 采油速度 $1.3\% \sim 1.06\%$, 综合含水上升至 66.79% , 含水上升率 5.18% 。油田开发形势处于低谷 (见图 1-4、图 1-5)。

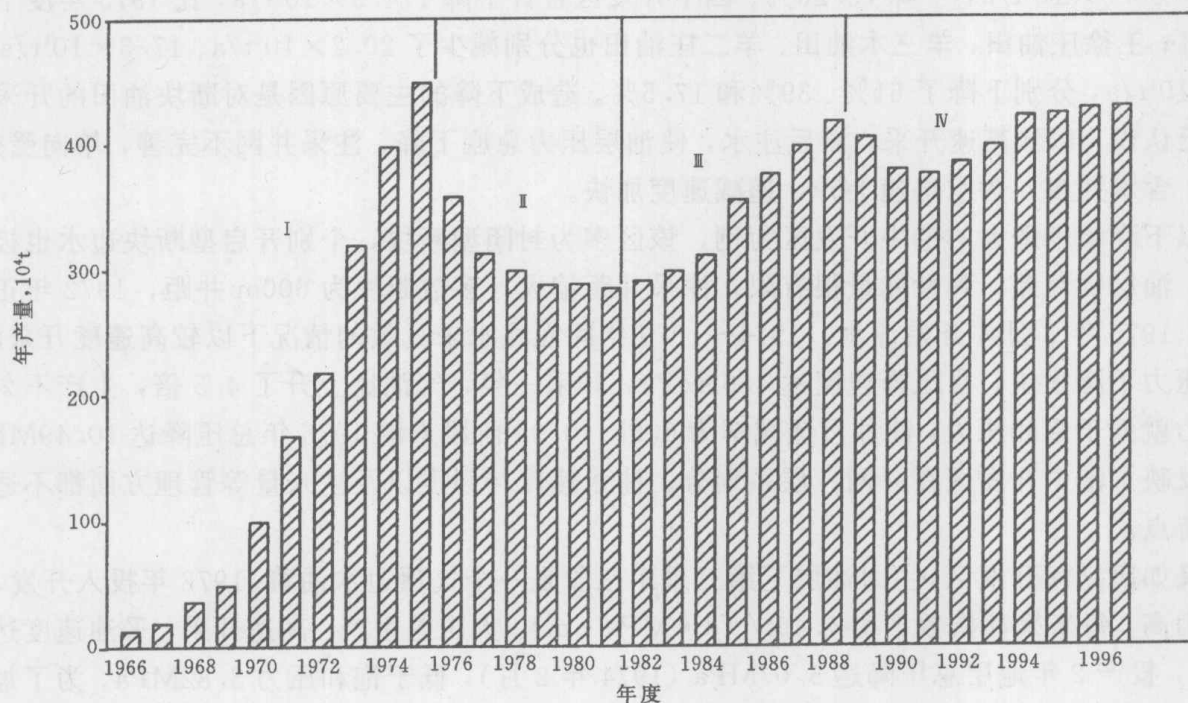


图 1-4 大港油区年产油量对比图

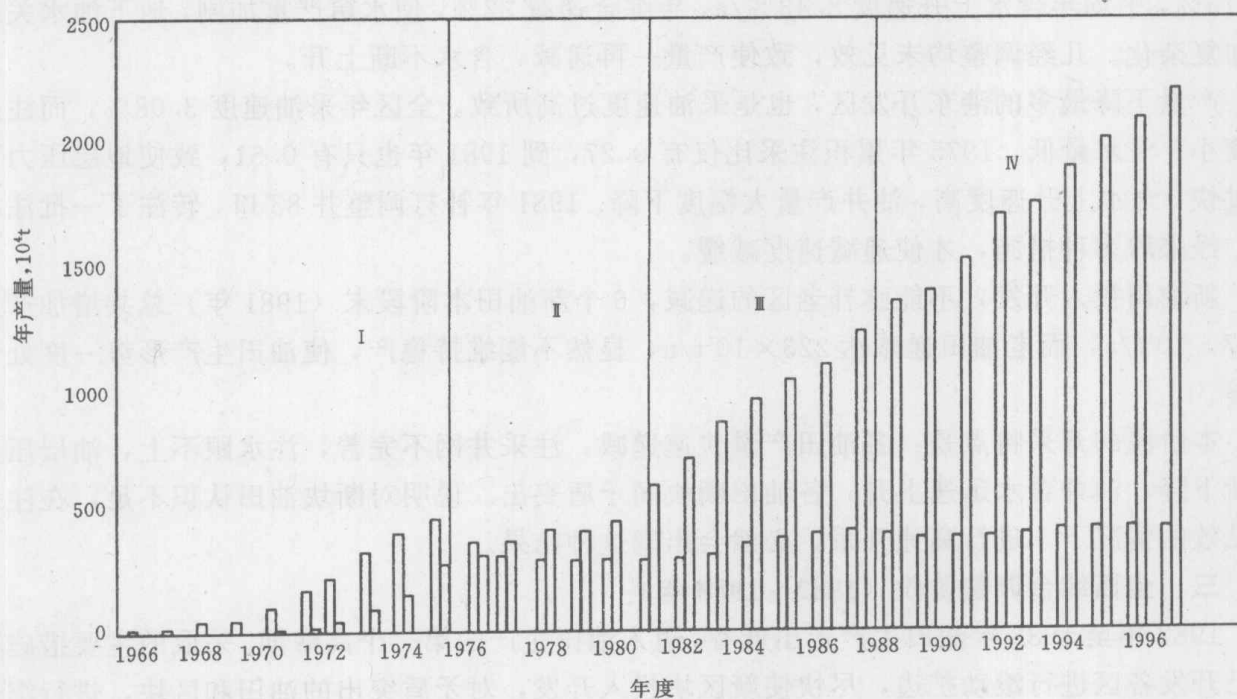


图 1-5 大港油区年产油量、年产水量对比图

产量下降的原因基本相同, 但各油田下降幅度不一。7 个油田中以北大港油田最为显著。特别是港东开发区产量下降的最多, 由 1975 年的产油 $139.1 \times 10^4\text{t/a}$ 下降至 1981 年的 $55.1 \times 10^4\text{t/a}$, 净减少油量 $84 \times 10^4\text{t/a}$, 下降了 60.39% ; 港西开发区 1975 年产油 $81.3 \times 10^4\text{t/a}$, 1981 年降为 $60.8 \times 10^4\text{t/a}$, 净减少 $20.5 \times 10^4\text{t/a}$, 下降 25.22% ; 港中开发区, 1975 年产油

量 $40.6 \times 10^4 \text{t/a}$, 1981 年降至 $7.1 \times 10^4 \text{t/a}$, 净减少 $33.5 \times 10^4 \text{t/a}$, 下降了 82.72%, 是降产幅度最大的一个。唐家河开发区也由 1975 年产油 $48.5 \times 10^4 \text{t/a}$ 降至 1981 年的 $12.0 \times 10^4 \text{t/a}$, 净减少 $36.5 \times 10^4 \text{t/a}$, 下降 75.26%。四个开发区合计下降 $174.5 \times 10^4 \text{t/a}$, 比 1975 年度下降 56.4%; 王徐庄油田、羊三木油田、羊二庄油田也分别减少了 $20.2 \times 10^4 \text{t/a}$ 、 $17.5 \times 10^4 \text{t/a}$ 和 $7.5 \times 10^4 \text{t/a}$, 分别下降了 61%、39% 和 17.5%。造成下降的主要原因是断块油田的开采特性缺乏认识。以致高速开采, 滞后注水, 使油层压力急剧下降, 注采井网不完善, 单向受效、见水, 含水井多, 含水迅速上升, 递减速度加快。

以下降幅度最大的港中开发区为例, 该区多为封闭型断块, 个别开启型断块边水也极不活跃, 油层物性差, 弹性能量很有限, 注采井距偏大, 多数断块为 600m 井距, 1972 年正式开发, 1975 年 8 月才开始注水。1974~1975 年间在注水未见效的情况下以较高速度开采时, 地层压力下降很快, 月压降速度达 4.61MPa, 开采一年, 气油比上升了 4.5 倍, 生产不久地层压力就低于饱和压力, 油井月递减率为 0.85~0.9, 阶段末的 1975 年总压降达 10.49MPa。从而反映了港中开发区在井网、层系划分、注水速度与强度以及注入量等管理方面都不适应油藏特点。

又如唐家河开发区, 主力油层下第三系东三段是一个气顶边水油藏。1972 年投入开发, 生产能力高, 每米采油指数平均 $4.49 \text{t}/(\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m})$ 。大压差生产、高速开采, 采油速度达到 5.3%, 投产 2 年地层总压降达 5.07MPa (1974 年 2 月), 低于饱和压力 3.82MPa。为了加快开采, 1974 年 3 月加强注水, 在构造顶部转注 2 口注水井, 采用中心开花方式强注强采。注水第一年含水上升了 23.42%, 第二年又上升了 10.84%, 至阶段末 1981 年含水上升至 74.75%, 平均年含水上升速度 $8.43\%/a$, 年综合递减 22%, 使水窜严重加剧, 地下油水关系更加复杂化。几经调整均未见效, 致使产量一再递减, 含水不断上升。

产量下降最多的港东开发区, 也是采油速度过高所致。全区年采油速度 3.08%, 而注入强度小、注水量低, 1975 年累积注采比仅有 0.27, 到 1981 年也只有 0.51, 致使地层压力下降过快, 含水上升速度高, 油井产量大幅度下降。1981 年补打调整井 83 口, 转注了一批注水井, 经采取多种措施, 才使递减速度减缓。

新油田投入开发, 不能弥补老区的递减, 6 个新油田本阶段末 (1981 年) 总共增加产量 $52.7 \times 10^4 \text{t/a}$, 而老油田递减达 $223 \times 10^4 \text{t/a}$, 显然不能维持稳产, 使油田生产形势一度处于低谷。

本阶段的开采特点是: 各油田产量快速递减, 注采井网不完善, 注水跟不上, 油层压力不断下降, 油井含水迅速上升, 各油田断块间矛盾突出。说明对断块油田认识不足, 在注水未见效的情况下, 进行高速开采, 必然会出现这种结果。

三、全面综合调整阶段 (1982~1988 年)

1982 年至 1988 年油田生产走出低谷, 迈入油田生产的第二个高峰期。采取的主要措施是对已开发各区进行滚动扩边, 尽快使新区块投入开发, 对矛盾突出的油田和区块, 进行综合治理、调整层系、完善井网, 增加注水井点, 提高注水强度和注入量, 大搞综合治理措施, 使油田生产面貌发生改观。1982 年当年产量就回升到 $293 \times 10^4 \text{t/a}$ 。小集油田 1982 年进行开发, 1984 年马东深层投产, 1985 年段六拔油田、枣园油田、自来屯开发区也投入开发。1987 年舍女寺油田投产, 1988 年扣村油田也投入开发。一批老油田的滚动区块陆续投产。这些区块有 1982 年的板 821 断块; 1983 年的官 28、官 979 断块; 1984 年的孔东、枣南、小集油田外围、板 822 断块; 1985 年的官 80 高产块、友谊断块; 1986 年的官 63、官 39、官 998、枣 40、枣