

华北油田

开 发
实 践 与 认 识

赵树栋 杨培山 柏松章等 编著

Practice and Cognition

HUABEI OIL FIELD

石油工业出版社

责任编辑: 郎 杰

责任校对: 王 颜

封面设计: D · L

ISBN 7-5021-4011-5



9 787502 140113 >

ISBN 7-5021-4011-5/TE · 2864

定价: 63.00元

华北油田开发实践与认识

赵树栋 杨培山 柏松章等 编著

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

华北油田开发实践与认识/赵树栋等编著.

北京:石油工业出版社,2003.1

ISBN 7-5021-4011-5

I. 华…

II. 赵…

III. 油田开发-概况-华北地区

IV. TE·34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 081344 号

石油工业出版社出版发行

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京华正印刷厂排版印刷

(内部发行)

★

787×1092 毫米 16 开本 24.25 印张 621 千字 印 1—1300

2003 年 1 月北京第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4011-5/TE·2864

定价:63.00 元

《华北油田开发实践与认识》

编辑委员会

主 任：于英太

副主任：赵树栋、苏 俊、马桂成、杨培山、罗承建

委 员：杨服民、张风藻、马庆坤、王绍维、高 珉、
刘磊石、王惠敏、李向齐、王合林、柏松章、
孙月明、陈宪侃、田 复、胡孟启、熊英俊

编写组成员：

组 长：赵树栋

副组长：杨培山、柏松章、罗承建

成 员：高 珉、刘磊石、李向齐、康振媛、刘福刚、
熊英俊

序

以任丘碳酸盐岩潜山油藏为代表的华北油田，从1976年投入开发至今，已经走过了26年的历程。26年来，广大油田开发工作者潜心研究、刻苦攻关、大胆实践、不断认识，克服了诸多困难，创出了令人瞩目的开发成果，为油田持续稳定发展作出了巨大贡献。《华北油田开发实践与认识》就是一部华北油田创业史、发展史的真实写照。

可以说华北油田的开发史是与高水平开发碳酸盐岩油藏密不可分的，会战伊始，广大参战人员发扬“特别能战斗”的英雄气概，拿下了中国最大的碳酸盐岩高产大油田，当年发现，当年建设，当年开发，当年收回国家投资，创造了中国当代石油史上的新记录，并为全国原油产量上亿吨做出了重要贡献。任丘碳酸盐岩潜山油藏的开发，极大地丰富和发展了我国油田开发理论。特别是潜山油藏开发后期综合调整技术的应用，为同类型油藏的开发提供了宝贵的经验。

华北油田的开发史也是深入认识复杂断块油藏、不断提高砂岩油藏开发水平的过程。勘探开发一体化思路的建立和不断完善以及滚动勘探开发技术的应用，拓展了增储上产的工作领域；“调水增油”工程的实施，为砂岩油藏中高含水期开发闯出了一条新路。

华北油田的开发史更是油田开发工作者总结正反两方面经验教训，不断探索、反复实践的概括和总结。

跨入新世纪，华北油田面临着新的机遇和挑战。“温故而知新”，只要我们把握机遇，正视困难，积极吸收和借鉴以往的经验教训，以创业的精神和创新的勇气，就一定能取得油田开发的新成果、创出新水平，在挑战中铸造华北油田新的辉煌！

于英太

2002年12月3日

前 言

《华北油田开发实践与认识》一书即将出版，这是非常值得庆幸的。新世纪的第一年，按照中国石油天然气集团公司“在世纪之交，希望把我国油气田开发的事情好好回顾一下，总结成功的经验与某些失败的教训，写成一书”的工作要求，华北油田领导非常重视，认真组织了机关有关处室、研究院所以及部分退休老领导、老专家回顾历史，分析研究，总结经验，纂写成文。从2000年12月23日召开第一次编委会至出版整整一年的时间。该书是华北油田25年开发历史的真实回顾和经验总结，是几代华北石油人和油气田开发工作者辛勤耕耘和智慧的结晶。它的出版凝结着编著者的辛劳，也充分体现许多老专家、老领导对华北油田、对一生所追求事业的一片亲情。

华北油田自1976年10月任丘雾迷山组油藏投入开发，至今经历了25年的开发历程。油田开发不仅取得了较好的开发效果和经济效益，而且也积累了一些重要认识和经验，特别是碳酸盐岩潜山油藏开发已处于国外同类油藏开发的先进水平，其中任丘潜山油藏开发在许多方面处于国外领先水平。

华北油田的开发对象，多为地质条件复杂、开发难度很大的特殊类型油藏，包括在油田开发过程中起主导作用的碳酸盐岩潜山油藏和冀中地区的复杂断块油藏以及二连地区的特殊岩性油藏。这些油藏的储集—渗流条件与常规砂岩油藏相比，具有一些本质性的差别。为了开发好这类油藏，广泛调研了国外同类油藏的开发情况，开展了技术攻关和开发试验，进行了理论与实践相结合的多学科综合研究，编制了水平较高的油田开发方案、开发调整方案和开发规划，提出了不同开发阶段的开发部署和技术政策，使华北油田成为我国碳酸盐岩潜山油藏开发的重要研究基地，拓宽了我国碳酸盐岩潜山油藏开发的新领域，充分发挥了这类油藏在油田开发过程中，特别是高产、稳产阶段的主导作用，探索了这类油藏中后期开发阶段的有效途径；同时，在冀中砂岩油藏和二连特殊岩性油藏的开发中，发展和应用新技术，开展现场开发试验，卓有成效地进行了开发调整和调水增油工程，显著地提高了开发效果和开发水平，取得了重要的技术进展，在这些油藏的开发中也积累了比较丰富的认识和经验。

华北油田开发初期正是我国国民经济面临迅速恢复和发展的重要时期，迫切的石油需求决定了以任丘潜山油藏为代表的华北油田从投入开发的初期就面临着比较高的采油速度、超负荷生产的客观要求。由于碳酸盐岩潜山油藏在华北油田的资源和产量上都占有主导地位，当潜山油藏进入中后期开发阶段后，依靠砂岩油藏实现产量接替的形势十分严峻。长期以来油田开发一直处于储采关系紧张、采油速度偏高的超负荷生产条件下进行，这是制约华北油田开发状况和开发效果的一个重要环境和外部条件。25年以来，华北油田从油藏的具体地质特点出发，在油田开发部署决策和技术政策界限上采取了一些不同于常规砂岩油藏开发的作法，形成了具有自己特色的开发理论和开发途径，同时完善配套了与不同类型油藏不同开发阶段相适应的钻井工程、采油工程、地面建设工程等系列配套技术。回顾这一历史过程，确实存在需要吸取教训的问题，例如开发初期在一些中小潜山油藏上进行的高速开采试验，无论对改善油藏稳产状况和提高开发效益都造成了明显的不利

影响。

油田开发是主观见之于客观的实践过程。华北油田在其 25 年的开发过程中,不断加强多学科综合研究,不断深化对油田开发决策体系(系统)的认识,并且取得了显著的进展。研究结果表明,开发层系划分、合理井距与井网布置、油藏能量与开发方式、注水方式与注采配置、采油速度与稳产界限以及方案实施方面的许多重要问题都是涉及到油田开发决策的基本问题,这些问题是相互联系的,组成一个相互制约、相互影响的开发决策体系;只有通过多学科综合研究,才能逐步加深对油田开发决策体系的认识,才能不断提高油田开发决策的质量和水平。

在经历了 25 年开发历程后,华北油田总体上已处于中后期开发阶段。这是一个潜力分布更加复杂、挖潜难度越来越大、开发效果和经济效益日趋变差并持续时间相对较长的开发阶段。这一阶段面临的主要矛盾是:资源接替、深度调整 and 低成本运行。该阶段基本工作特点是深度开发、滚动建设。这就需要我们必须认真按照“低成本、有效益、可持续”的发展战略和精细管理、全员创新的经营理念,做好这一阶段油气田开发各项工作。一是要进一步加大新区勘探和滚动开发的工作力度,全面推行勘探开发一体化运行机制,加快资源探明和动用的节奏;二是要继续深化油藏潜力研究,并发展完善综合配套工艺技术,做好综合调整挖潜,改善油藏中后期开发效果;三是要积极开展提高采收率攻关试验,提高最终开发效果;四是要广泛进行挖潜增效,控制成本,努力实现油田开发中后期开发阶段的低成本高效运行。作为这一时期油气田开发的任务十分艰巨,油田稳定发展面临着严峻的挑战。回顾 25 年油田开发建设的历史,进一步激发和坚定了我们胜利的信心,华北油田广大油田开发工作者一定能正视困难,超越自我,迎接挑战,铸造辉煌。

《华北油田开发实践与认识》是在中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司总经理于英太的亲切关心下,赵树栋副总经理、原华北石油管理局总地质师杨培山的直接主持和指导下完成的。该项研究成果是集体智慧的结晶。本书各章的主要编写人有:第一章高珉;第二章孟庆春、柏松章;第三章王晓芬、孙月明;第四章赫恩杰;第五章王皆明,吴行才、朱亚东;第六章耿玉虎、李向齐;第七章康振媛、张红、金淑祥;第八章刘磊石、韩惠杰;第九章柏松章;第十章王洪光、田克忠。华北油田大事记部分由邓华云、熊英俊编写。杨培山编校全书,最后由赵树栋审定。

参加本书编写与编校工作的还有:陈宪侃、刘福刚、刘震远、胡孟启、王绍滩、罗承建、马庆坤、田复、李玉贞、隋胜利、王桂淑、罗玉儒、陈成才、王惠敏、张志贵、王合林、纪伟、程安林、李合龙等。

在本书的编写过程中得到了原中国石油天然气总公司老领导、老专家焦力人、李虞庚、金毓荪、李道品、裘怿楠、陈炳泉、巢华庆、于庄敬、张大德、甄鹏,华北石油管理局新老领导咸雪峰、马桂成等的关心、支持以及同行专家的帮助,在此表示衷心地感谢。

由于编写者水平和视野的限制,加上编写的时间比较仓促,一定会存在不少的缺点、错误和不足,诚恳地期待着来自领导、专家和同行们的批评和指正。

赵树栋

2003 年 1 月

目 录

第一章 华北油田概况	(1)
第一节 油田勘探概况	(1)
第二节 油田地质特征	(2)
第三节 油田开发历程	(4)
第二章 碳酸盐岩潜山油藏	(6)
第一节 油田开发过程	(6)
第二节 油藏基本特点	(14)
第三节 潜山油田开发的主要做法	(18)
第四节 雁翎油田高速开采试验	(30)
第五节 潜山油藏开发的基本认识	(33)
第三章 冀中砂岩油藏开发	(36)
第一节 冀中砂岩油藏开发历程	(36)
第二节 冀中砂岩油藏开发阶段划分及主要做法	(40)
第三节 冀中砂岩油藏开发的主要成果与认识	(44)
第四节 典型油田剖析—岔河集油田	(55)
第四章 二连油田开发	(70)
第一节 油田概况	(70)
第二节 油田勘探开发历程	(71)
第三节 开发阶段划分及主要做法	(73)
第四节 主要开发成果及认识	(90)
第五章 天然气开发与油藏提高采收率技术应用	(94)
第一节 天然气开发历程	(94)
第二节 天然气开发主要成果	(96)
第三节 油藏提高采收率工作历程	(102)
第四节 重点矿场试验项目剖析	(107)
第五节 提高采收率潜力及发展分析	(120)
第六章 采油工艺技术	(122)

第一节	采油工艺技术发展概况	(122)
第二节	任丘碳酸盐岩潜山油藏开采工艺技术	(126)
第三节	雁翎油田注氮气提高采收率工艺技术	(132)
第四节	砂岩油藏开采工艺技术	(136)
第五节	采油工艺技术的适应性及其发展方向	(160)
第七章	油田地面建设工程	(167)
第一节	油田地面建设概况	(167)
第二节	任丘碳酸盐岩油田地面建设	(168)
第三节	雁翎碳酸盐岩油田地面建设	(183)
第四节	岔河集砂岩油田地面建设	(193)
第五节	小断块油田地面建设	(206)
第六节	二连阿尔善油田产能地面建设	(212)
第七节	华北油田地面建设评价及发展方向	(220)
第八章	油田钻井工艺技术	(223)
第一节	地层特征及开发井录井技术	(223)
第二节	井身结构及完井方法	(230)
第三节	钻井工艺技术	(234)
第四节	钻井液技术	(260)
第五节	固井工艺技术	(267)
第六节	地层测试及配套技术	(270)
第七节	华北油田钻井工艺技术现状与发展方向	(274)
第九章	华北油田开发史的回顾与认识	(282)
第一节	油田开发的主要特点	(282)
第二节	油田开发的主要成果	(287)
第三节	油田开发的主要做法	(300)
第四节	油田开发的基本认识	(314)
第十章	油田开发面临的挑战与发展趋势展望	(352)
第一节	油田开发面临的挑战	(352)
第二节	油田开发发展趋势展望	(356)
附:华北油田开发大事记	(371)	

第一章 华北油田概况

华北油田的勘探范围，包括冀中探区(冀中坳陷和冀南地区)和二连盆地两大部分。两者在自然地理环境和油田地质条件等各方面都有很大的差别。目前华北油田发现的 57 个油气田，主要分布在冀中坳陷东部和二连盆地的东部。

华北油田大规模的勘探开发建设是从 1975 年 7 月，任丘构造任 4 井在蓟县系雾迷山组潜山油藏获得高产油流开始的。由于潜山油藏具有单井高产的特点，可以在很短的时间内，以很少的井达到全油田的高产。以任丘油田为例，其平均单井日产可达 1033t。由于这一特点，华北潜山油藏的投入开发，在全国产油量上亿吨的过程中，发挥了重要作用。1978 年全国产油 1.04×10^8 t，其中华北油田潜山油藏的产量为 1703×10^4 t，占 16.3% (其中任丘潜山的产量为 1191.5×10^4 t，占 11.4%)，充分显示出了潜山油藏的开采特征。

华北油田的开发，拓展了我国碳酸盐岩古潜山油藏开发的新领域，在 25 年的开发过程中，逐步形成了具有特色的潜山油藏开发理论与实践，使潜山油藏的开发达到了很高的水平。

第一节 油田勘探概况

一、冀中探区

冀中探区的勘探范围，南至临清坳陷的西部，北临燕山山脉，西到太行山，东至沧县隆起，面积约 5.6×10^4 km²。油气普查工作始于 1955 年，1963 年开始地震详查，1974 年开始数字地震勘探，1980 年开始三维地震勘探。1955 年钻探第一口石油探井——固 1 井。

1964 年京参 1 井于下第三系沙三段自喷产油，这是本区第一口工业油井，同时在奥陶系也发现了油气显示。1974 年家 1 井下第三系沙三段试油，日产 63.3t，成为当时冀中第一口可连续自喷的高产油井，取得了冀中坳陷勘探的突破。1975 年 7 月，在任丘构造带上钻的任 4 井，经过酸化获日产油 1014t，发现了任丘碳酸盐岩潜山大油田，这是冀中地区勘探的重大突破。

任 4 井在蓟县系雾迷山组碳酸盐岩潜山获得高产油流，不仅打开了冀中坳陷找油的新领域，而且开辟了华北油田开发的新阶段。

冀中地区获得工业油气流的层系有 14 个，自上而下为：上第三系明化镇组、馆陶组、下第三系东营组、沙一、沙二、沙三、沙四段—孔店组、古生界石炭系—二叠系、奥陶系、寒武系、蓟县系雾迷山组、长城系高于庄组、元古界—太古界。

二、二连探区

二连盆地的大规模勘探开始于 20 世纪 70 年代末，该盆地位于巴音宝力格隆起以南，温都尔庙隆起以北，西界为索伦山隆起，东至大兴安岭隆起，面积约 10×10^4 km²。

1979 年石油部集中了大庆、辽河、吉林、华北等油田和地球物理勘探局的部分勘探队伍，对二连盆地进行综合勘探，同年 7 月钻探了第一口参数井——连参 1 井，1981 年阿 2 井于中生界下白垩系首次获得日产 27.1t 的工业油流，揭开了二连盆地的找油序幕。

1982 年哈 2 井在凝灰岩潜山获日产 61.3t 的高产油流，此后在二连盆地的九个凹陷获

得了工业油气流，即阿南、阿北、巴音都兰、赛汉塔拉、额仁淖尔、吉尔嘎朗图、乌里雅斯太、洪浩尔舒特、呼仁布其。

二连盆地获工业油流的地层有中生界，自上而下为：白垩系赛汉塔拉组、腾格尔组(腾二段、腾一段)、阿尔善组(阿四段、阿三段)及古生界。

至 2000 年底，华北油田共发现的 57 个油气田中，有 43 个分布在冀中坳陷，有 14 个分布在二连盆地。

第二节 油田地质特征

一、碳酸盐岩潜山油藏

组成碳酸盐岩潜山油藏的基本岩类为石灰岩和白云岩，一般孔隙细小且不发育，但潜山油藏由于受长期风化、淋滤及多次构造运动的影响，断裂、裂缝及溶蚀孔洞较发育，无论是储层结构还是渗流特征都表现出与一般碎屑岩油藏截然不同的特点。

1. 碳酸盐岩潜山油藏类型以块状底水为主。

华北油田碳酸盐岩潜山油藏主要由中上元古界隐藻云岩和下古生界灰岩、粉细晶白云岩组成，其油藏类型可划分为两大类四个亚类：块状底水油藏(包括复合型块状底水油藏和似孔隙型块状底水油藏)和层状边水油藏(包括裂缝孔隙型内幕层状边水油藏和裂缝溶洞型层状边水油藏)。

中上元古界长城系高于庄组和蓟县系雾迷山组是本地区碳酸盐岩油藏主要的含油层系，储集岩岩石类型主要为隐藻云岩、角砾状云岩、(含)硅质云岩。溶蚀孔洞以及裂缝十分发育，使整个地层上下串通成一个连通体，油层含油高度可达数十米至数百米，构成以底水衬托的巨厚块状油藏。

2. 具有双重孔隙类型的储集空间。

碳酸盐岩的储集空间类型比较复杂，除原生的晶间、粒间等孔隙外，由于受构造应力作用、溶蚀作用、白云岩化作用和再结晶作用等，常形成各种宽度不等的裂缝及孔洞，孔隙结构多样，但都表现为一个由裂缝孔隙和一个为裂缝所切割的岩块孔隙所组成的双重孔隙体系。由于其孔隙类型较多且受次生作用的影响严重，致使储集空间的分布极不均匀，非均质性极强。这种非均质性首先反映在两种不同类型的储集空间上。裂缝系统的主要特点是：组系多、延伸远、裂缝宽度较大、渗流能力极高，形成高渗透带。这些裂缝在油藏中主要起通道作用，但它也是重要的有效储油空间。岩块系统一般多为粒间、粒内、晶间孔隙及小型溶蚀孔洞和微细裂缝组成，渗流能力极差。

3. 油藏具有很高的生产能力与吸水能力。

由于碳酸盐岩潜山储层的裂缝十分发育，在生产动态上表现为油井生产能力十分旺盛，通常在只有 0.05MPa 的生产压差下，日产油量可达到 1000~3000t，任丘油田的最高单井日产油达 5435t(任 9 井)，而第一口注水井在自吸的条件下日注水达 3000m³。碳酸盐岩潜山的储层非均质性十分严重，平面上各井也有明显的差别。但由于裂缝的沟通，使整个油藏形成一个巨大的连通体。任一点的压力降或压力升都会迅速波及整个油藏，而在某些局部，由于非均质特点，又反映出某些层状的特性。

这一特点，可以在开发过程中用很少的井，达到较高的采油速度，大大加快油田建设的速度，大幅度降低建设投资。

4. 存在两种不同的驱油机理和驱油效率。

碳酸盐岩储集层中存在的双重孔隙体系，其水驱油机理有很大差别。在裂缝系统中，流体服从达西定律，主要驱动力是压力梯度及重力，毛管力的作用很微弱甚至可以忽略，水驱油效率都在 90% 以上。在岩块系统，因孔喉非常细小，毛管力渗吸作用是主要驱油动力，但驱油效率较低，一般小于 20%。而此类孔隙又是主要的储油空间，其驱油效率的高低直接影响了全油藏的驱油效率和最终采收率。故对于碳酸盐岩油藏开发，如何尽可能地提高岩块系统的驱油效率是一个重要问题。正确的开发技术政策，保持油藏在合理速度下生产，最大限度地发挥岩块自吸驱油的能力，才可能提高油藏采收率。

二、砂岩油藏

砂岩油藏在纵向上分布很广泛。冀中第三系砂岩油藏从古新世孔店组一直到上新世明化镇组均有分布。其中以东三段、沙一上段、沙三段以及沙四段为油藏的主要含油层段，约占砂岩油藏总储量的 80% 以上。二连地区砂岩油藏主要分布于下白垩统阿尔善组的阿三段、阿四段，腾格尔组的腾一段、腾二段中。华北砂岩油藏的基本地质特征可以概述如下：

1. 断层发育，圈闭规模小，多为复杂断块油藏。

形成于不同时期、不同规模的断层在砂岩油藏中普遍分布且十分发育，是油藏形成和富集的重要条件。据统计，油藏内部断层密度一般为 $2 \sim 4$ 条/ km^2 ，在张扭应力作用下，大多为性质单一的正断层。断层的存在产生了众多规模不等的断块，构成了基本的储集单元。这些断块或许相互连通，就形成了更大规模的断块；或许自成体系，就形成了一个独立的断块油藏。目前已发现的断块油藏的储量占砂岩油藏储量的 80% 以上。断块油藏由于破碎、圈闭规模小，无论在储层分布还是在油水关系上，都表现得异常复杂。

2. 含油层系多，井段长，埋藏深。

拗陷内沉积的巨厚的暗色泥岩生油层，与上期活动的同生大断裂以及纵向上发育的不同相带的储集层的相互匹配，为油气生成、运移和聚集提供了条件。因此只要有良好的圈闭，即可形成自生自储或下生上储的原生、次生油气藏。其含油层系自下而上冀中地区依次为沙四—孔店组、沙三段、沙二段、沙一段、东营组、馆陶组和明化镇组；二连地区为阿尔善组、腾格尔组和赛汉塔拉组。含油井段可达 $200 \sim 400\text{m}$ （岔河集油田）。油层的埋深 $1400 \sim 3700\text{m}$ ，大多在 2000m 以下。

3. 储集层具有三种基本的沉积相类型。

储集层具有三种基本的沉积相类型：河流相、湖泊近岸滩坝相、三角洲相。河流相储层多分布在东营组或沙一上段及上第三系。一般具有宏观非均质性强，储层厚度变化大，连续性差的特点，油层连通率一般低于 70%；三角洲相和湖泊近岸滩坝相的储层多分布在沙二—沙四段，储层的连续性和稳定性明显好于河流相，油层连通率一般大于 80%。二连地区砂岩油藏多为近岸水下扇相沉积，平面上相带分布窄、相变快。

4. 物性差，多属于低—特低渗透储层。

砂岩油藏岩石类型以岩屑长石砂岩为主。岩性多为细砂岩和粉砂岩，储层粒径大多集中在 $0.11 \sim 0.15\text{mm}$ 之间，原生粒间孔隙不发育，加之胶结物含量较高，泥质和钙质含量多在 10% 以上。储层的成岩后生作用明显，造成了长石蚀变和石英次生加大，使储层渗流条件进一步变差。据统计，砂岩油藏孔隙度一般在 10% ~ 20% 之间，属中—低孔隙度范畴；渗透率一般小于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据岩心分析资料，按单层规模统计，低渗和特低渗透层约占总层数的 90% 以上。

5. 油井生产能力差异大。

由于砂岩油藏的储层物性较差，且连通状况不好，水驱率为 50% ~ 70%，因此一般情况下油井产能不高，一般单井产油 10t/d 左右；有些条件较好的，初产量也可达 20 ~ 30t/d，但稳产期很短，这和潜山油藏油井的生产形成鲜明的差别。

第三节 油田开发历程

华北油田自 1975 年 7 月任 4 井获日产千吨高产油流后，于 1976 年 10 月投入开发，至今已经经历了 25 年的开发历程。期间随着新的勘探目标的不断出现，勘探战略重点也在不断的变化，由深化潜山勘探到加大冀中第三系的勘探力度，继而开辟二连勘探新战场，使得油田开发的工作目标也在不断的发生变化，产量的构成也发生了相应变化；潜山油藏的全面开发开创了华北油田的产量高峰，也为全国原油年产量突破亿吨作出了突出贡献，但高速开发引发了产量的快速递减；冀中第三系砂岩油藏的陆续开发，遏制了产量持续下降的局面，保证了华北油田千万吨稳产十年目标的实现；二连油田的全面开发保证了华北油田在“八五”、“九五”期间实现了产量的基本稳定。

按照采油速度和综合含水随采出程度的变化，可以将华北油田 25 年的开发过程划分为四个阶段：

——投产—产量迅速上升阶段。

——高产稳产阶段。

——产量迅速递减阶段。

——产量低速缓慢递减阶段。

一、投产—产量迅速上升阶段

自 1976 年至 1977 年，在两年的时间内，油田产量即达到了 $1225 \times 10^4 \text{t}$ ，采油速度达到了 2.8%。这个阶段的特点是：充分利用潜山油藏单井高产的特点，以少量油井把潜山油藏迅速投入全面开发。以任丘油田为例，该油田设计能力为年产 $1000 \times 10^4 \text{t}$ ，仅用 17 口井就达到了设计能力。在 1977 年 27 口井达到年产 $1127.3 \times 10^4 \text{t}$ ，单井平均日产 1122t。采油速度达到 3%，而所用的时间不到两年，这是前所未有的。该阶段几乎全油田的产油量都是由潜山油藏采出的。

二、高产稳产阶段

该阶段从 1978 年至 1986 年，持续时间为 9 年，油田年产量一直保持在 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 以上。

这个阶段的主要特点是：全油田产量在阶段前期由于一批中小潜山的投产，产量继续上升，最高年产量达到了 $1733 \times 10^4 \text{t}$ ，全油田采油速度达 3.4%，而到了该阶段的后期，则由于潜山油藏的高速开采，油田产量开始下降。仍以任丘油田为例，在该阶段最高年产量达到 $1240 \times 10^4 \text{t}$ ，采油速度达到 3.3%，到阶段末产量已下降为 $582 \times 10^4 \text{t/a}$ ，但采油速度仍达 1.5%，采出程度已达 26.9%。

这个阶段是潜山油藏开发的主要采油阶段，潜山油藏的开发逐步转入中后期开采。同时砂岩油藏的产量比例逐步提高，潜山油藏产量的比例由阶段初的 98% 下降为阶段末的 50% 左右。

1986 年结束了全油田年产 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的十年高产期，而且产量结构也由潜山为主，过渡为潜山油藏与砂岩油藏各占一半。

三、产量迅速递减阶段

这个阶段自 1987 年至 1991 年持续 5 年时间，年产油量从 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 降至 $500 \times 10^4 \text{t}$ ，采油速度由 1.5% 降至 0.6%；阶段末采出程度达 21.2%，采出可采储量的 77.3%，综合含水达 69.6%，实际上结束了中含水采油期；阶段产油量占全油田累积产油量的 14.55%。

这个阶段是华北油田的一个重要转折阶段。在此期间，影响全油田开发的有三个因素：一是 1989 年二连油田建成 $100 \times 10^4 \text{t}$ 生产能力并于当年产油 $47.6 \times 10^4 \text{t}$ ，对于实现华北油田走出谷底并持续稳定发展起到了重要作用；二是冀中砂岩油藏产量超过潜山油藏产量，实现了开发对象的转化，为油田的后期稳产创造了有利条件；三是经过 15 年的开发后，任丘等潜山油藏进入后期开发阶段，产量趋于缓慢递减，这些因素对于实现华北油田的稳定发展，显然是有利的。

四、产量低速缓慢递减阶段

这个阶段持续至 2000 年底，原油年产量为 $456.1 \times 10^4 \text{t}$ ，采油速度降至 0.5%，采出程度 22.2%，可采储量采出程度 81.6%，综合含水 80.6%，这个阶段末潜山油藏的产量已不足总产量的 20%。

为了改善油田稳产状况，提高经济效益和开发水平，华北油田在油田开发上采取了许多开发技术政策调整，促进了油田开发工作向纵深方面发展。其中主要的有：一是在任丘等潜山油藏开展控注和停注降压开采试验，实现驱动方式的有效转化；二是开展已开发油田的油藏精细描述和油藏模拟，深化油藏研究，取得了比较重要的技术进展，对油藏潜力分布有了比较系统而明确的认识；三是立足于潜力研究，对砂岩油藏进行了以通过细分开发层系、加密井网进一步完善和强化注采井网系统、“调水增油”为主要目标的综合开发调整，对潜山油藏进行综合调整挖潜，都取得了比较好的开发效果；四是开展提高采收率现场试验，包括雁翎油田北山头的注氮气井组现场试验和二连蒙古林油田的注聚合物试验等；五是采取油气并举方针，大力加强天然气的勘探和开发工作，促进了天然气生产的加速发展。

通过上述工作，华北油田扭转了由于潜山油藏高速开采所造成的含水迅速上升和产量大幅递减的被动局面，使油气当量年产量保持在 $500 \times 10^4 \text{t}$ 的水平上，实现了油田后期开发阶段的相对稳定生产，提高了油田经济效益和开发水平。

从华北油田的四个开发阶段可以看出：

华北油田开发初期，产量的高速增长和高产稳产主要原因是碳酸盐岩潜山油藏的开发。在初期，碳酸盐岩潜山油藏的储量占全油田的 92%，而产量占 98%；至目前，由于碳酸盐岩潜山油藏经过高速开发已进入后期开采，产量仅占 19%，但其储量仍占华北油田动用储量的 57%，所以如何提高潜山油藏采收率对华北油田至关重要。这就形成了碳酸盐岩潜山油藏的开发始终在华北油田占有重要位置的特点，但砂岩油藏的滚动发展将是今后华北油田稳定发展的基础。

第二章 碳酸盐岩潜山油藏

华北油田冀中地区碳酸盐岩潜山油藏自 1976 年 10 月任丘雾迷山组油藏投入开发算起,至 2000 年底已经经历了 25 年的开发历程。

在此期间除任丘油田外,发现并开发了一批不同类型的潜山油气藏,完成了大量的地质基础研究与油藏工程技术研究工作,进行了多方面的室内试验研究与现场试验,积累了丰富的经验,取得了重要的技术进展,实现了比较好的开发效果和经济效益,在开发理论研究与开采实践中都达到了比较高的水平,其中任丘潜山油藏开发已处于国际上同类油藏开发的先进行列。

第一节 油田开发过程

一、基本情况

华北油田冀中地区碳酸盐岩潜山油藏裂缝发育、连通性好、油层厚度大(任丘雾迷山组潜山油藏平均含油高度 272m,最大含油高度 930m)、有效渗透率高,属于高产的碳酸盐岩潜山油藏。

油藏埋藏深度一般在 3000m 以下,地层压力大于 30MPa,地层温度 120℃左右,具有统一的压力系数和油水界面,组成一个水动力系统。弹性开采过程中,地层压力统一下降;注水后,地层压力又统一回升,开发动态具有整体一致性。同时,由于储层非均质性的影响,又有局部差异性。

任丘潜山油藏是以较高的单井产量投入开发的。1976 年 10 月投产 17 口井,日产达 3×10^4 t,平均单井日产 1765t,建成年产 1000×10^4 t 的生产能力。同年 5 月,任 9 井投产酸化后,日产 5435t,是中国石油工业史上单井初产最高的油井;1976 年底平均单井日产 1806t,1977 年底平均单井日产 1200t,1978 年底平均单井日产 1117t,实现了碳酸盐岩油藏单井高产的新水平。油田开发初期的采油速度普遍大于 3%。

投产 25 年来,任 35 井累积产油量最高,为 550.5×10^4 t;任 11 井累产油 511.3×10^4 t,是仍在生产的单井累计产油最高的油井。

截止 2000 年 12 月底,华北油田共发现碳酸盐岩潜山油藏 31 个,含油面积 184.4km²,投入开发的潜山油藏有 29 个,含油面积 155.7km²,其中任丘雾迷山组油藏含油面积 58km²,地质储量 37606×10^4 t,预测可采储量 12057.4×10^4 t。经过 25 年的开发后,华北潜山油藏已进入后期开发阶段,采油速度和单井产量有较大幅度的下降。目前潜山油藏剩余可采储量的采油速度为 9.6%,地质储量采出程度 28.7%,可采储量采出程度已达 95.1%;综合含水为 90.9%(见图 2-1)。

二、开发阶段划分

综合考虑产油量(或采油速度)和含水变化,可以把碳酸盐岩潜山油藏的开发过程划分为产油量上升(投产)、高产稳产、产油量迅速下降和低速缓慢递减四个阶段。

(1) 产量上升(投产)阶段:随着投产井数的增加,产量连续增长,直至达到方案设计



图 2-1 任丘雾迷山组油藏构造图