

杨服民 耿玉广 等编著

华北油田

采油工程技术

华北油田采油工程技术

石油工业出版社

石油工业出版社

TE3

043



石油工业出版社

华北油田采油工程技术

杨服民 ~~耿~~ 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统总结了华北油田自 1976 年投入开发 20 年来在碳酸盐岩、砂岩油田不同开发时期取得的采油工程技术成果。主要包括：完井工艺技术、保护油层技术、机械采油工艺技术、注水工艺技术、油层改造工艺技术、油水井剖面调整工艺技术、油水井生产动态监测技术、油井清防蜡及降粘技术、油水井大修工艺技术、采油工程中的计算机应用技术、采油工艺综合研究及其应用、提高采收率工艺技术、科研实验装备建设等，并针对当前华北油田开发面临的困难、存在的问题以及采油工程技术的适应性，对今后一个时期华北油田各种采油工程技术的发展方向、主要攻关课题进行了探讨。

本书可供油田现场采油、注水、井下作业技术人员和油田开发设计人员使用，也可供石油院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

华北油田采油工程技术/杨服民，耿玉广等编著．

北京：石油工业出版社，1998.3

ISBN 7-5021-2133-1

I．华…

II．杨…

III．石油开采－技术－中国－华北地区

IV．TE35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 20494 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 24½ 印张 612 千字 印 1—2000

1998 年 3 月北京第 1 版 1998 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2133-1/TE·1793

定价：39.00 元

前 言

华北油田自 1976 年正式投入开发以来,采油工程技术从无到有,从小到大,从单项技术发展到配套技术,初步形成了 9 项采油工程配套技术,对不同开发时期全局原油增储上产起到了重要作用。研究并发展的一大批新工艺、新技术、新工具,有的达到了国际、国内先进水平。为了全面、客观、准确地反映华北油田开发 20 年来采油工程技术的配套水平、技术特点、应用状况、发展方向,以及与国内外同类技术相比所达到的水平,深入挖掘和充分发挥采油工程技术在油田开发中的挖潜作用,促进采油工程技术成果的交流与转化,进一步推动华北油田采油工程技术的发展与配套,我们编写了《华北油田采油工程技术》一书。

本书内容覆盖了华北油田开发 20 年来在碳酸盐岩、砂岩油田不同开发阶段的采油工程技术成果。主要包括:完井工艺技术、保护油层技术、机械采油工艺技术、注水工艺技术、油层改造工艺技术、油水井剖面调整工艺技术、油水井生产动态监测技术、油井清防蜡及降粘技术、油水井大修工艺技术、采油工程中的计算机应用技术、采油工艺综合研究及其应用、提高采收率工艺技术、科研实验装备建设等,并针对当前华北油田开发面临的困难、存在的问题以及采油工程技术的适应性,对今后一个时期华北油田各种采油工程技术的发展方向、主要攻关课题进行了探讨。

本书在结构上按技术系列分类,每一章节介绍一类(种)工艺技术,对华北油田自行研究并在生产过程取得显著应用效果的各种工艺及工具的结构、工作原理、性能特点、应用效果、技术水平等,作了比较细致的分析和论述。对应用效果较好的部分引进技术作了一般性介绍。全书图文并茂,内容翔实,系统反映了华北油田采油工程技术发展、壮大和配套的历程。

本书聘请秦荣章、陈宪侃、刘震远担任技术顾问,他们都对本书作了仔细审核。

本书是在华北石油管理局副总工程师杨服民的策划和指导下完成的。科学技术管理处副处长姚成武、采油工艺研究所副所长彭进、井下作业公司副总工程师席明扬等对本书提出了许多宝贵意见。开发事业部、各采油厂、二连公司、井下作业公司、勘探开发研究院、勘察设计研究院、采油工艺研究所等单位的有关科室,为本书提供了大量资料。为本书提供资料的同志有:郭东、王自治、胡小兵、梁睿、王月朝、王锦善、段宝玉、赵玉民、崔永来、王兆凤、杨迪、韩宁等。本书初稿完成后,请有关同志做了技术审核。在此一并致以衷心的感谢!

本书由耿玉广负责统稿,杨服民总审定。

由于时间紧迫,加之编著者水平有限,书中错漏在所难免。热切希望广大读者提出宝贵意见。

编著者

一九九七年五月二十六日

《华北油田采油工程技术》编写和技术审核人员名单*

章	节	编 写 人	技术审核人
第一章	概 述	杨服民、耿玉广	杨服民
第二章	完井工艺技术	徐克彬	席明扬
第三章	保护油层技术 第一节、第二节、第三节、第五节 第四节	耿玉广 徐必光	梁 睿
第四章	机械采油工艺技术 第一节、第二节 第三节、第五节 第四节	耿玉广 冯建华 耿玉广	周赤峰、郭吉民 周赤峰 王月朝
第五章	油田注水工艺技术	张振清	陈成才
第六章	油层改造工艺技术 第一节 第二节 第三节	卢修峰 韩俊华、卢修峰 刘廷奋、孙金睦、徐必光	徐必光
第七章	油水井剖面调整技术	李善维	罗玉儒
第八章	油水井生产动态监测技术	韩兴华	智玉杰
第九章	油井防砂工艺技术	张振清	毛汉全
第十章	油井清蜡、防蜡及降粘技术	夏 阳、王积龙	耿玉广
第十一章	油水井大修工艺技术	徐克彬	席明扬
第十二章	采油工程计算机应用技术	冯建华	耿玉广
第十三章	采油工艺综合研究及其应用	耿玉广	冯建华
第十四章	提高采收率工艺技术	张宪民、耿玉广、李善维	贺 煜、陈成才
第十五章	科研实验装备建设	李占林	耿玉广
第十六章	华北油田采油工程技术发展方向 探讨	耿玉广	杨服民

* 参加本书编写工作的还有：刘永恩、肖迎红、肖毅、肖云、吕爱珍等。

目 录

第一章 概述	1
第一节 油田开发简况	1
第二节 采油工程技术的发展历程	2
一、以碳酸盐岩潜山油藏开发为重点的采油工程技术发展时期	2
二、以碳酸盐岩潜山油藏和砂岩油藏开发并重的采油工程技术发展时期	4
三、以砂岩油藏开发为重点的采油工程技术发展时期	5
第二章 完井工艺技术	9
第一节 裸眼完井技术	9
第二节 套管射孔完井技术	10
一、套管射孔方法	11
二、主要射孔器材性能	12
三、射孔参数优选	14
四、高温高压射孔模拟实验装置	16
第三节 特殊完井管柱	19
一、水平井完井管柱	19
二、注氮气完井工艺管柱	21
三、赵洲桥地区含 H_2S 井完井工艺管柱	23
四、井下液控开关保护油气层工艺管柱	24
第三章 保护油层技术	26
第一节 油田储层特征	26
一、冀中砂岩油田的储层特征	26
二、二连油田的储层特征	30
三、冀中碳酸盐岩油藏的储层特征	32
第二节 储层损害机理研究	35
一、各种作业对储层的损害	35
二、储层敏感性引起的损害	38
第三节 储层敏感性评价	40
一、水敏性评价	40
二、速敏性评价	41
三、盐敏性评价	45
四、酸敏性评价	45
第四节 射孔过程中的储层保护技术	46
一、射孔液对储集层的损害	46
二、优质射孔液	46
三、现场应用情况	46

四、与国外同类技术比较	46
第五节 开发过程中的保护油层技术	48
一、在采油过程中的保护油层技术	49
二、在注水过程中的保护油层技术	50
三、在增产措施作业过程中的保护油层技术	51
四、在修井作业过程中的保护油层技术	52
第四章 机械采油工艺技术	54
第一节 概况	54
第二节 有杆泵采油	55
一、新型抽油机的研制与应用	56
二、新型抽油泵的研制与应用	64
三、玻璃钢抽油杆的研制与应用	73
四、有杆泵井计算机诊断与优化设计技术	79
五、深抽配套技术	100
六、有杆泵采油的辅助设备与工具	104
七、斜井抽油技术简况	110
第三节 水力活塞泵采油	110
一、水力活塞泵系统的组成	111
二、水力活塞泵的工作原理	112
三、水力活塞泵采油工艺管柱	113
四、水力活塞泵参数优选	114
五、水力活塞泵工况诊断技术	117
六、油田自动化管理技术	118
第四节 电动潜油泵采油	121
一、电泵机组	122
二、电潜泵采油的选井条件	125
三、高温电泵延长运行寿命的技术措施	126
四、电泵井举升参数优化设计	129
第五节 螺杆泵采油	134
一、单螺杆泵的结构	134
二、单螺杆泵的工作原理	134
三、基本设计计算方法	134
四、应用效果分析	136
第五章 油田注水工艺技术	138
第一节 分层注水工艺技术	138
一、分注工艺管柱	138
二、分注配套工具	141
三、投捞调配技术	146
第二节 水质处理工艺技术	147
一、高效注水水质处理流程	148

二、主要水质处理设备	149
第三节 水井增注工艺技术	153
一、增压增注工艺技术	153
二、粘土防膨增注技术	153
三、解堵增注工艺技术	154
第六章 油层改造工艺技术	156
第一节 概述	156
第二节 压裂工艺技术	156
一、油层水力压裂的基本概念	156
二、压裂液	157
三、支撑剂	169
四、压裂工艺	174
五、压裂优化设计	177
第三节 酸化工艺技术	179
一、酸化机理	179
二、碳酸盐岩油气层酸化	183
三、砂岩油气层酸化	188
四、影响酸化效果的主要因素及预防	208
五、酸化设计	211
第七章 油水井剖面调整技术	217
第一节 油井化学堵水技术	217
一、堵水机理	217
二、碳酸盐岩油田堵水技术	217
三、砂岩油田堵水技术	225
第二节 注水井调剖技术	227
一、低温砂岩油藏注水井调剖技术	227
二、高温砂岩油藏注水井调剖技术	230
三、调剖优化设计与效果预测技术	231
第三节 机械卡水技术	232
一、碳酸盐岩油田卡水技术	232
二、砂岩油田卡水技术	234
第八章 油水井生产动态监测技术	236
第一节 自喷井测试工艺技术	236
一、自喷井测试内容	236
二、自喷井测试仪器	236
第二节 有杆泵井环空测试工艺技术	245
一、发展概况	245
二、环空测试内容及测试仪器	245
第三节 水力活塞泵井测试工艺技术	252
一、顶部测压技术	252

二、双管平行管柱测试工艺·····	253
第四节 注水井测试工艺技术·····	253
一、放射性同位素示踪法测井·····	253
二、以涡轮流量计为主的注水井测试技术·····	253
第九章 油井防砂工艺技术·····	256
第一节 油井出砂机理·····	256
一、引起油井出砂的地质因素·····	256
二、引起油井出砂的开发工程因素·····	257
第二节 防砂工艺技术·····	257
一、防砂技术发展概况·····	257
二、机械防砂工艺技术·····	257
三、化学防砂工艺技术·····	260
第十章 油井清蜡、防蜡及降粘技术·····	263
第一节 油井清蜡技术·····	263
一、机械清蜡·····	263
二、热力清蜡·····	265
三、化学清蜡·····	267
第二节 防蜡、降粘技术·····	270
一、作用机理·····	270
二、防蜡、降粘方法·····	273
第十一章 油水井大修工艺技术·····	278
第一节 高效套磨铣工艺·····	278
一、主要设备·····	278
二、有关参数的确定·····	280
第二节 套管内开窗侧钻工艺·····	281
一、侧钻工艺技术要求·····	281
二、侧钻施工工艺·····	282
三、主要工具设备性能、结构·····	285
第三节 套管补贴工艺技术·····	286
一、套管内补贴工艺原理·····	286
二、工具的作用·····	286
三、工艺技术参数·····	287
四、套管内补贴施工工艺·····	287
第四节 水泥承转器挤封串工艺技术·····	289
一、水泥承转器及配套工具的结构·····	289
二、水泥承转器挤封串作业基本程序·····	289
三、典型应用实例·····	290
第五节 打捞及卡钻处理工艺技术·····	291
一、打捞工艺·····	291
二、卡钻事故处理·····	292

三、打捞及处理卡钻事故工具性能及使用方法·····	294
四、注意事项·····	296
第十二章 采油工程计算机应用技术·····	297
第一节 采油工程计算机应用技术发展过程·····	297
第二节 采油工程计算机软件发展现状·····	298
一、注采系统压力节点分析软件·····	298
二、微机辅助管柱受力分析系统·····	302
三、机械采油诊断设计及效果预测系统·····	304
第三节 开发系统计算机网络·····	306
一、开发系统计算机网络系统结构·····	306
二、华北油田网络系统的功能·····	308
三、采油工程数据库系统·····	308
第四节 采油工程计算机应用技术发展方向·····	308
第十三章 采油工艺综合研究及其应用·····	310
第一节 综合研究的任务、目的与方法·····	310
一、综合研究的任务·····	310
二、综合研究的目的·····	311
三、综合研究的方法·····	311
第二节 采油工程方案设计过程·····	312
一、采油工程方案的设计内容及特点·····	312
二、采油工程方案的设计程序·····	315
三、采油工程方案设计的发展方向·····	318
第三节 用计算机优化采油工程方案·····	319
一、软件包的基本结构·····	319
二、软件包的功能及特点·····	319
三、软件包的应用·····	321
四、小结·····	321
第四节 采油方式优选·····	321
一、优化分析方法·····	321
二、优化分析步骤·····	322
三、主要数学模型·····	322
四、软件设计·····	329
第十四章 提高采收率工艺技术·····	330
第一节 微生物采油技术·····	330
一、微生物采油机理·····	330
二、微生物采油应用条件·····	330
三、现场试验过程·····	330
四、试验效果分析·····	332
第二节 稠油油藏蒸汽吞吐开采技术·····	333
一、完井方法与要求·····	333

二、地面工艺流程·····	334
三、热采工艺·····	335
四、现场实施效果分析·····	336
第三节 蒙古林油田砂岩油藏注聚合物驱油工艺技术·····	337
一、蒙古林油田砂岩油藏注聚合物驱油可行性分析·····	337
二、单井注聚试验·····	338
三、井组注聚试验·····	340
第四节 雁翎油田注氮气提高采收率试验·····	350
一、试验方案·····	350
二、修井、完井设计及现场施工·····	350
三、注氮气及开井试采情况·····	364
第十五章 科研实验装备建设·····	366
第一节 科研实验装备发展概况·····	366
第二节 中心实验室的建设·····	366
一、油、气、水三相流量模拟实验室·····	367
二、井下工具检测实验室·····	367
三、油田化学剂评价模拟实验室·····	369
四、机械采油实验室·····	370
第十六章 华北油田采油工程技术发展方向探讨·····	372
第一节 当前油田开发面临的困难及存在的问题·····	372
一、油田开发中存在的四大矛盾·····	372
二、油田开发中存在的六大难题·····	373
第二节 目前采油工程技术的基本估价及其适应性分析·····	374
一、对采油工程技术的基本估价·····	374
二、采油工程技术的适应性评价·····	379
第三节 近期急需攻关和配套的采油工程技术·····	380
一、碳酸盐岩潜山油藏·····	380
二、主力砂岩油藏·····	380
三、低渗透油田·····	380
四、非常规油藏的开发·····	381
五、科研先导技术·····	381
第四节 加快发展采油工程技术的几点建议·····	381

第一章 概 述

第一节 油田开发简况

华北油田自1976年正式投入开发,至1995年已有20个年头。油田开发由初期的以任丘古潜山油藏为主,发展为碳酸盐岩潜山油藏与砂岩油藏并重;开采方式由初期以自喷井为主,转为机械采油;油田开采以原油生产为主,发展为原油、天然气生产并举;油田区域由冀中扩展到二连地区。纵观二十年来华北油田的开发历程,可概括为以下三个阶段:

第一阶段:“七五”之前(1975~1985年),油田开发的重点集中在碳酸盐岩潜山油藏的开发。在这一阶段,以任丘雾迷山组油藏为主体的碳酸盐岩潜山油藏处于开发的初期,绝大多数油井自喷开采,采油速度快,单井产量高。从1977年至1986年,华北油田连续十年实现了 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 以上高产稳产。

第二阶段:“七五”(1986~1990年)期间,碳酸盐岩潜山油藏与砂岩油藏开发并举。此间以任丘雾迷山组油藏为代表的碳酸盐岩潜山油藏处于快速递减阶段,加上后备储量严重不足、储采比失调等因素的影响,碳酸盐岩产量急剧滑坡,尽管冀中第三系主力砂岩油田全面投入开发,但华北油田年产量仍然由1986年的 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 迅速递减到1990年的 $534.8 \times 10^4 \text{t}$ 。

第三阶段:“八五”(1991年)以来,油田开发重点转移到以砂岩油藏开发为主,“八五”末原油产量开始回升。在此阶段,通过开展潜山油藏控水稳油、综合调整等工作,使碳酸盐岩油藏产量递减速度逐步减缓,加之对冀中第三系油田进行以细分开发层系、加密井网为主的大规模整体调整,积极开展老油田滚动勘探开发、挖潜工作,努力增加新建生产能力,以及二连油田自1991年以来连续五年年产量达 $100 \times 10^4 \text{t}$ 以上,使华北油田“八五”期间原油产量基本保持了低速递减,并于“八五”末实现了原油产量回升。

华北油田历年原油产量变化曲线见图1—1。

截止到1995年底,华北油田在冀中、二连两个探区共计探明油气田50个,累计探明含油面积 657.9km^2 ,原油地质储量 $10.0053 \times 10^8 \text{t}$,天然气地质储量 $169.94 \times 10^8 \text{m}^3$,溶解气储量 $238 \times 10^8 \text{m}^3$ 。现已有46个油田170个油藏投入开发,动用含油面积 484.0km^2 ,原油地质储量 $8.7685 \times 10^8 \text{t}$,溶解气 $217.41 \times 10^8 \text{m}^3$,储量动用程度87.6%,11个气藏投入开发或试采,动用天然气地质储量 $155.74 \times 10^8 \text{m}^3$,动用程度91.6%。

1995年底,冀中地区已投入开发37个油田159个油藏,动用含油面积 394.6km^2 ,地质储量 $7.6389 \times 10^8 \text{t}$,可采储量 $2.12329 \times 10^8 \text{t}$,储量动用程度90.3%;二连地区有9个油田11个油藏投入开发,动用含油面积 89.4km^2 ,地质储量 $1.1296 \times 10^8 \text{t}$,可采储量 $1725.2 \times 10^4 \text{t}$,储量动用程度73.2%。

截止到1995年12月,华北油田共有开发井3963口。其中采油井2886口,注水井1001口,观察井76口。采油井开井2161口,平均单井日产油 5.9t/d ,1995年生产原油 $466.0 \times 10^4 \text{t}$,累计产油 $18229.5 \times 10^4 \text{t}$,采油速度0.53%,采出程度20.79%;见水井开井1849口,综合含水72.2%;注水井开井740口,日注水量 37946m^3 ,年注水 $1274 \times 10^4 \text{m}^3$,累计注水

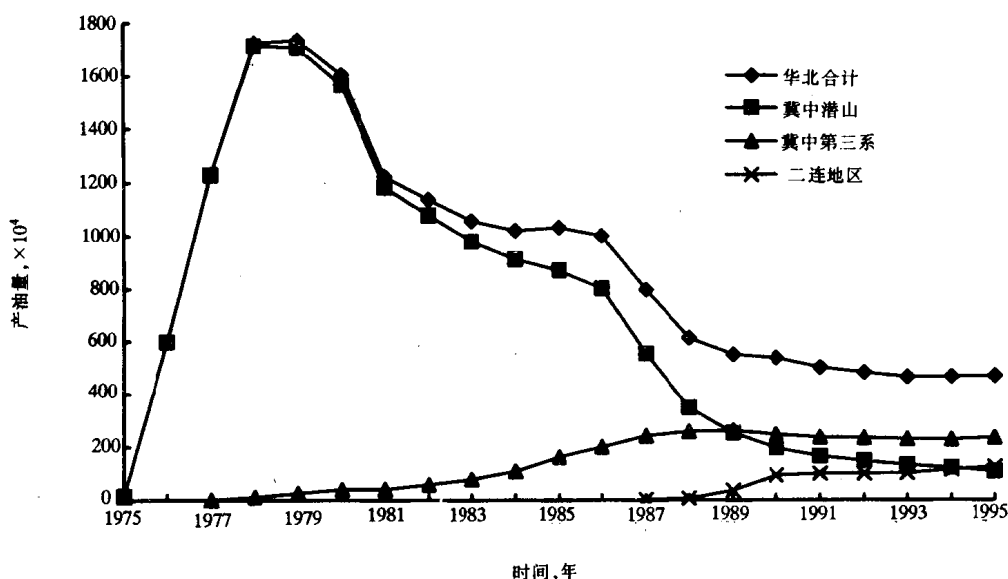


图 1—1 华北油田历年原油产量变化曲线

$32746 \times 10^4 \text{ m}^3$, 月注采比 0.83, 累计注采比 0.93; 全油田日产气 $88.8 \times 10^4 \text{ m}^3$, 年产气 $3.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 累计产气 $55.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

第二节 采油工程技术的发展历程

随着华北油田二十年来的开发建设,采油工程系统建立了以采油厂为主体的采油、注水、集输、作业等生产管理队伍,建立了采油工艺研究所与采油厂相配套的采油工艺研究队伍及工程技术实施队伍,建立了井下作业公司与采油厂(矿)作业大队相结合的油、水井施工作业队伍,以及油田动态监测、后勤配套等为油田开发生产服务的专业队伍。

目前,华北油田的开发队伍主要包括:采油一、二、三、四、五等 5 个采油厂、阿尔善油矿、井下作业公司、测井公司、采油工艺研究所、石油勘探开发研究院、勘察设计院等生产管理、科研、设计单位。采油工程技术不断完善、配套,在各类油田不同开发阶段增储上产中起到了重要作用,为开发方案的实施及开发指标的的实现提供了必要的技术保证。

针对不同开发阶段的开采对象和生产特点,华北油田坚持走自主开发与引进相结合的科研道路,研究并发展了相应的采油工程技术。通过采油工程系统广大干部、技术人员和工人的不懈努力,从一般性工艺技术发展到拥有一批高新技术,从单项技术、产品发展到成龙配套,初步形成了适应碳酸盐岩、砂岩两类油藏的九项采油工程配套技术(表 1—1),共计取得重大采油工程科研成果 100 多项。

一、以碳酸盐岩潜山油藏开发为重点的采油工程技术发展时期

随着任丘油田于 1976 年正式投入开发,掀起了碳酸盐岩潜山油藏开发的热潮。开发初期,原油产量高速增长,当年建成 $1000 \times 10^4 \text{ t}$ 生产能力。当时摆在采油工艺面前的是一片全新的课题:高温、高产、深井、高压及裸眼完井等。采油工程技术人员坚持“以生产测试为中心,以井下工具为重点,引进和研制并重”的指导方针,在较短的时间里研制出了

表 1—1 华北油田九项采油工程配套技术

序号	配套技术名称	主要内容及技术水平
1	完井、射孔工艺技术	(1) 为解决膏盐层蠕动挤毁套管, 在套变井段采用双层套管; (2) 完成了完井及射孔过程中地层伤害机理的研究; (3) 研制出防伤害优质完井液; (4) 形成了常规电缆射孔和油管传输射孔两种射孔工艺; (5) 建成高温、高压射孔工艺模拟实验装置; (6) 研制出防止储层伤害的优质射孔液, 普遍推广应用无杆堵、深穿透射孔弹, 对防止储层二次污染起到了重要作用
2	保护油层工艺技术	(1) 开展了速敏、水敏、酸敏及盐敏实验研究, 结合储层特征研究成果, 基本搞清了各类储层的伤害机理, 建立了各种敏感性评价指标体系; (2) 研制并应用了低残渣、低伤害, 以羟乙基田菁冻胶等为主, 适合高、中、低不同温度的系列压裂液; (3) 研制并推广了防伤害复合酸、乳酸等酸化液; (4) 应用了防伤害洗井液及空心抽油杆技术等
3	机械采油工艺技术	(1) 研制出异型游梁式抽油机、有杆射流增压泵及玻璃钢抽油杆等新型三抽设备, 各种井下附件齐全; (2) 机械采油设计、诊断实现了微机化和最优化; (3) 机械采油已发展成为以有杆泵为主, 水力活塞泵及电潜泵为补充, 以“高效、大排量、增行程、长周期、深抽”为特点的配套工艺技术, 基本适应砂岩、碳酸盐岩两类油田抽油的需要; (4) 建成了机械采油实验室
4	注水工艺技术	(1) 全密闭注水流程、胶帽密闭注水流程、高效含油污水处理流程等三套高效注水处理流程大大提高了注入水水质; (2) 3500m 内深井分注工艺技术完善配套; (3) 防膨增注、提压增注及解堵增注技术日趋完善
5	油层改造工艺技术	(1) 压裂工艺有投球选压、封隔器分压、封隔器+桥塞分压、填砂分压及液体暂堵分压等五套; (2) 压裂液以羟乙基田菁冻胶、魔芋胶、胍胶等为主, 形成高、中、低温系列压裂液; (3) 各种添加剂有稠化剂、交联剂、pH 值调节剂、破胶剂、降滤失剂、杀菌剂、降阻剂、粘土稳定剂、铁离子稳定剂、降垢剂、助排剂等, 能较好地满足压裂液性能要求; (4) 高砂比、人工遮挡控制垂向缝高技术取得较大进展; (5) 酸化形成了以自生酸、转向酸、复合酸、浓缩酸等为代表的新型酸化工艺系列; (6) 压裂、酸化设计实现了微机化
6	油水井剖面调整技术	(1) 机械卡水可根据出水层位置不同形成“卡上采下”、“卡下采上”、“卡中间采上下”三种管柱; (2) 碳酸盐岩油井化学堵水技术形成系列, 油井重复堵水取得突破, 砂岩油井堵水技术仍处于试验阶段; (3) 注水井调剖技术较为配套, 在工艺上从单一冻胶类、体膨型、膨润土调剖, 发展到了两种调剖剂复配, 段塞挤注施工, 以及从单井调剖发展到区块整体调剖等
7	清防蜡技术	(1) 机械、化学、电加热方法配合使用, 清防蜡工艺有尼龙刮蜡器刮蜡、热洗清蜡、强磁防蜡等; (2) 化学清防蜡剂有 10 余种之多; (3) 基本消除了有杆泵井蜡卡问题
8	动态监测技术	(1) 形成两套有杆泵井过环空产液剖面测试工艺技术, 较好地满足了生产需要; (2) 研制出注水井分层流量井下存贮仪及注水井指示曲线井下存贮测试仪, 技术先进, 应用效果良好; (3) 测试资料绘解实现了计算机化
9	油水井大修工艺技术	(1) 能够完成井下落物解卡和打捞, 套管外找串、封串, 修复变形套管以及油水井开窗侧钻等; (2) 已成为华北油田的一项比较配套的工艺技术, 目前年大修井数 30 口左右

77—1 型电缆式流量计, 及时解决了高温、高产自喷井的流量测试问题。同一时期, 研制出的 HB—671 型裸眼封隔器, 为碳酸盐岩油田卡水提供了必要的工具。为了满足碳酸盐岩高含水期正常开采需要, 研制成功了增距式抽油机; 从国外引进了高温电动潜油泵以及从胜利油田引进了大排量水力泵进行现场试验与评价, 为后期开采作了技术储备。通过引进 7801 缓蚀剂, 较好地改善了高温防腐效果。在优选酸液配方基础上, 实施大酸量酸化工艺措施, 使单井平均增油量达 1~3.5 倍, 个别井甚至高达 10 倍。这些工艺技术为原油产量实现高速增长提供了保证。

经过几年的高速开发以后, 碳酸盐岩油田底水锥进, 含水上升加快, 严重威胁到油田稳产。1980 年以后, 采取了降低采油速度、控制油水界面上升速度的开发措施, 通过调整求稳产。此时, 摆在采油工艺面前的首要问题是如何有效地治理底水锥进。为此, 相继研制成功 PHP 高温溶胶、高温冻胶; 聚合物—树脂凝胶 (8201) 和 216—8201 复合堵剂等四种堵水材料, 初步形成堵剂系列, 在治水工作中发挥了重要作用。与此同时, 研制的乳化酸深度酸化技术获得了工艺上的一项重大突破, 与 HB—472 及 HB—671 封隔器配合使用, 形成了一套卡一堵一酸分层综合治理工艺措施。在此期间, 为适应油田自喷井生产需要, 研究和应用了 LJZ—1 型流量井径仪、BJ—1 型半集流流量计、LJQ—II 型全集流流量计、LJC 磁耦合流量井径仪、STLC 和 SULC 磁耦合注水井流量计、低能源含水率计、油水界面仪、JWG—82 型高灵敏度井温仪、固定式压力温度仪等仪器, 使生产测试工艺由原来的点测发展到全井段连续测量, 由测大流量发展到能够测试小流量, 由测量中心流速发展到半集流、全集流仪器结构, 形成较为系统配套、独具特色的碳酸盐岩油田开发测试工艺技术。

二、以碳酸盐岩潜山油藏和砂岩油藏开发并重的采油工程技术发展时期

进入“七五”以后, 华北油田油气勘探部署以潜山勘探与第三系勘探并举。在此期间, 碳酸盐岩潜山油藏水淹体积越来越大, 含水升高, 逐渐进入后期开发阶段; 而砂岩油藏的开发进展很快, 其产量从“六五”末只占华北油田总产量的 15.8%, 上升到“七五”末占总产量的 46.1%。

(一) 碳酸盐岩油藏采油工程技术

由于潜山油藏进入开发的后期, 油井自喷能力减弱, 工艺措施增产余地已经很小, 在此阶段主要是进行裂缝系统的调整。通过应用高强度无机石灰乳堵剂封堵大裂缝; 采用有杆大泵 ($\phi 70 \sim \phi 110 \text{mm}$) 以及引进的高温电潜泵进行大排量强采, 发挥中、低缝洞的生产潜力, 改善开采效果。此外, 为进一步挖掘碳酸盐岩潜山油藏的生产潜力, 中法合作在雁翎油田北山头开展了注氮气提高采收率试验研究。

(二) 砂岩油藏采油工程技术

“七五”期间, 冀中许多主力砂岩油藏全面投入开发并形成大规模生产能力, 砂岩油藏的开发步伐加快。在此期间, 经过一系列的采油工程技术引进、科研攻关和推广应用, 初步适应了砂岩油藏开发的需要。

油层改造工艺技术是改善砂岩油藏开发效果的必要手段, 1987 年从国外引进了千型压裂机组及配套设备, 加快了砂岩油藏压裂改造工作的步伐, 5000m 超深井压裂获得成功。与此同时, 研究和应用了田菁系列压裂液及改性聚季胺、甲醛杀菌防腐剂、8908 助排剂等系列添加剂, 大大提高了砂岩油田油层改造的水平。研究应用的桥塞+封隔器分层压裂及投球选压等分层压裂工艺技术, 使分层压裂技术有了明显进步, 分层压裂井数增加到施工总井数的 40%, 有效地改善了油层渗流条件。同时, 低渗透油田整体压裂改造取得明显效果, 譬

如刘李庄油田压裂 8 口井, 日增油 66t。

“七五”期间, 与国内石油院校联合开展的“冀中砂岩油藏储层损害机理研究”及“二连油田砂岩油藏储层损害机理研究”等科研课题攻关取得重大成果, 使华北油田砂岩油藏油层保护工艺技术达到国内领先水平。在油层损害机理研究、系列入井液与油层配伍性研究等成果的指导下研制的钾铵基低伤害优质完井液、低伤害射孔液、深穿透 89 射孔弹及其优化设计技术、低伤害系列酸化液、低伤害压裂液、注水井防膨增注技术、低伤害压井液、洗井液等一系列先进工艺技术, 在钻井、完井、射孔及投产过程中对保护油层起到了重要作用, 有效地防止了储层伤害, 使油层无污染率达 80%~90%, 促进了砂岩油藏开采水平的提高。

通过引进 DDL—Ⅲ测试仪以及应用干扰试井、同位素测井等工艺技术, 使砂岩油藏生产测试技术有了较大提高。

机械采油工艺技术通过研制和应用“便携式诊断仪”、“抽油机井诊断设计软件包”、“车载计算机诊断设计系统”等软硬技术及“深抽配套工艺技术”, 实现了有杆泵井诊断调参、举升设计、系统工程管理的计算机化, 为砂岩油藏增产、挖潜做出了较大贡献。

三、以砂岩油藏开发为重点的采油工程技术发展时期

“八五”期间, 以任丘雾迷山组油藏为代表的碳酸盐岩潜山油藏水淹体积进一步增大, 纯油带厚度逐年减小, 油水关系日趋复杂, 挖潜难度逐渐增大, 措施效果越来越差, 碳酸盐岩油藏进入了高含水开发的后期阶段, 自喷井几乎全部转为机械采油。而同期砂岩油藏的产量已占华北油田总产量的三分之二, 油田开发工作跨入了以砂岩油田为主的开发阶段。“八五”初期, 主力砂岩油藏经过“七五”期间的高速开发, 进入中高含水开发阶段; 大部分低渗透砂岩油藏处于低速低效开发状况。为控制原油产量急剧滑坡的势头, 华北油田作出了“稳定冀中, 发展二连”的战略部署。根据“冀中靠老区挖潜调整, 二连上百万吨产能建设”的需要, 开展了以砂岩油藏开发为重点的科技攻关, 研究和推广应用了一大批新技术、新工艺、新产品, 不断丰富和完善了采油工艺整体配套水平, 采油工程技术取得了一批具有国内领先水平, 能够带动油田开采工作不断提高的重大成果。

(一) 冀中地区以老区挖潜调整为手段的增储上产工艺配套技术

为扭转冀中各主力砂岩油藏含水上升速度快、水驱效果变差、稳产基础薄弱的被动局面, “八五”期间, 在细分开发层系进行层间调整的基础上, 实施以分层注水、化学调剖、周期注水、油井防砂和找卡水等配套工艺措施为主的“控水稳油”工程, 提高了储量动用程度和原油采收率, 改善了开发效果, 使稳产基础得到增强。针对低渗透砂岩油藏的开采特点, 实施了被中国石油天然气总公司列为十大新技术推广项目之一的“低渗透断块油藏改善开发效果配套开采技术”, 该技术以现有成熟的 47 种单项工艺技术为基础进行技术系列配套, 形成了以深化低渗透复杂断块认识为重点的动态监测和油藏描述技术; 以防止储层伤害为重点的保护油层技术; 以提高低渗透复杂断块油藏水驱控制程度为重点的井网调整技术; 以改善低渗透油层渗流能力为重点的酸化压裂技术; 以增大低渗透油藏驱替压差为目的的强注强采技术; 以调整低渗透砂岩油藏注采剖面为重点的分层治理技术等六大配套工艺技术, 有效地改善了低渗透油藏的开发效果, 促进了采油工程技术配套水平的提高, 为扭转华北油田原油产量不断下滑的被动局面做出了贡献。从 1994 年起, 华北油田控制住原油产量长期下滑的局势, 实现了产量略有回升。

1. 以小直径流量含水分测仪为代表的动态监测技术

为适应砂岩油藏抽油机井生产测试的需要, “八五”期间先后研究和推广了环空四

参数组合测试仪, 高分辨率持水率计, 注水井分层流量和注水井指示曲线井下存贮测试仪及小直径流量含水分测仪等测试仪器, 以及双频介电测井、C/O 测井、放射性元素示踪测井等测试技术, 初步形成了七个生产测试系列, 基本满足了油田开发动态监测需要。尤其小直径流量含水分测仪, 具有结构新颖、测试范围宽、结果准确、精度高等特点, 配合绘解技术可定量解释井下分层产液量及含水率, 准确找出主要出水层位, 在高含水油井找水及识别油水层中取得突破性进展, 达到了国内领先水平。目前, 该项技术已推广应用于大庆、吉林、中原、大港等油田。

2. 以机(异型抽油机和六连杆抽油机)、杆(玻璃钢抽油杆、空心抽油杆及杆柱附件等)、泵(有杆射流增压泵、 $\phi 110\text{mm}$ 大泵)配套, 提高有杆泵诊断和优化设计系统, 深抽加大压差, 提高液量为代表的机械采油技术

针对华北油田不同类型油藏特点, 初步形成了以“高效、大排量、增行程、长周期、深抽”为特点的机械采油配套工艺技术。研究并推广应用的异型抽油机形成系列产品, 与相同额定载荷的常规抽油机相比, 平衡率提高 9%, 节电率 33.8%, 启动电流下降 40%, 相应供电设备容量减小 40%, 是节能、增产、降耗、实用的新型采油设备, 被评为中国石油天然气总公司十大科技成果, 国家级重点新产品和开发项目, “九五”国家级重点推广项目。已在华北、胜利、大港、吐哈、辽河、大庆、吉林、克拉玛依、长庆、冀东、中原等油田得到大量推广应用。

有杆射流增压泵是把常规管式泵与射流装置有机结合起来的一种新型泵, 通过提高泵的吸入口压力提高泵的充满系数, 从而增加排量, 降低悬点载荷和换向冲击载荷, 改善抽油杆柱的受力条件, 减少杆柱断脱次数。是进一步实现有杆泵深抽、增效、节能、降耗、增产的高新技术产品, 在低渗透油藏、低液面井采油中发挥了良好的增产、增效作用。

“八五”时期, 有杆泵深抽配套工艺技术发展成为华北油田砂岩油藏控水稳油、高效提液, 低渗透油藏整体改造、挖潜增产的重要手段。玻璃钢抽油杆的研制与推广应用, 促进了深抽工艺水平的进一步提高, 目前 $\phi 38\text{mm}$ 泵最大下深 3107m, $\phi 70\text{mm}$ 泵下至 1705m, 实现了“小机深抽”和“不换机深抽”, 具有明显的增油、节能和提高泵效的效果。由异(大)型机、D 级(或玻璃钢)杆、有杆射流增压泵、油管锚定等组成的深抽工艺配套技术, 达到了国内领先水平。

同期, 在各采油厂普遍配置动力仪、回声仪、车载诊断装置、便携式诊断仪、双憋曲线仪的基础上, 研制并推广了“有杆泵抽油机井诊断设计软件包”及“有杆泵工况计算机综合评判及优化设计”软件, 可对有杆泵井的各种地面抽油设备进行分析, 对井下泵况进行定量综合评判, 以及进行管柱、杆柱及井下附件的优化设计等, 大大提高了有杆泵抽油的系统效率。

3. 以水质精细处理及深井分注为代表的注水工艺技术

国内首创的以多功能过滤器为核心的含油污水处理短流程, 省去了原有流程中的二级隔油罐、二级调节罐、粗粒化罐、砂滤罐和精细过滤罐等多套装置。以此技术改造的污水处理站, 各项指标均达到 SY5329—94 注入水质标准, 提高了油藏注入水水质合格率, 平均每座处理站可节约投资 300×10^4 元。该项技术已被大港、胜利、海洋石油总公司等单位广泛采用。

针对华北油田深井、高温、地层复杂等特点研制的以 HB757—1 型封隔器为主的空心及偏心深井分注管柱及其空心液力投捞调配技术, 有效地提高了分注工艺水平和投捞调配成功