

中国现代科学全书

石油与天然气工程学

油气开采工程

何生厚 张琪 编著



中国石化出版社

中国现代科学全书·石油与天然气工程学

油气开采工程

何生厚 张琪 编著



A1089423



中國石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

油气开采工程/何生厚, 张琪编著.
—北京: 中国石化出版社, 2003
(中国现代科学全书·石油与天然气工程学)
ISBN 7-80164-430-1

I. 油… II. ①何… ②张… III. ①石油开采
②天然气开采 IV. TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 067596 号

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

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

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北省徐水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米 32 开本 18.5 印张 495 千字 印 1—2000

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

定价: 66.00 元

石油与天然气工程学序

《中国现代科学全书》是一套规模宏大的学术专著丛书，它的任务是系统、全面地概述我国现代自然科学和社会科学各学科的建设与发展及其学术研究的主要成果，为繁荣和发展我国与世界各国之间的科学文化交流服务。它是一项迎接 21 世纪的科学文化建设工程。

石油与天然气工程学科是工业分卷中的一部分，其内容又按四个分支学科分为五卷，即《油气勘探工程》、《油气开发工程》、《油气开采工程》、《油气井工程》、《油气储运工程》。

近代石油工业的发展约有 150 年的历史。石油在 20 世纪世界工业化进程中起了极其重要的作用，它不仅在能源、交通方面支撑着工业化的进行，在化工等各个方面也起着举足轻重的作用，因此被称为“工业的血液”。我国是世界上最早发现、开采和利用石油的文明古国。两千年前，我们的祖先就开始描述和利用石油了。公元前 221~210 年，四川出现了用顿钻钻凿的天然气井；13 世纪，四川的先民已大规模开采气田煮盐。公元 1878~1949 年的旧中国勘探、开发了一批油气田，如玉门的老君庙、新疆的独山子、台湾苗栗的出磺坑、陕北的延长等油田、四川的圣灯山等气田；但自 1904~1949 年累积产量仅 210 万吨。因此，中国现代石油工业的建设是在 1949 年全国解放以后开始的；经过半个世纪的奋斗，已发现了大庆、胜利、克拉玛依、辽河、任丘、渤海蓬莱 19-3 等一批油田和四川、陕甘宁、南海、柴达木、塔里木等一批气区；2000 年我国的原油产量达到了 1.6 亿吨，天然气产量 262 亿立方米。

我国石油工业极其艰难地走过了半个世纪。由于中国地质构造和陆相沉积的复杂性使石油勘探开发工作也极具特色，这也决定了石油学科的科学技术发展方面的特殊性，它丰富了世界油气勘探开发理论和技术的宝库，应予以很好总结。

虽然中国的石油工业进入了大发展的阶段，但是国民经济的快速发展对石油工业提出了更高的要求。1993年，我国又开始进口原油了，而且今后石油缺口还会不断扩大。在这样矛盾的情况下，对中国石油工业应有一个正确的认识，它到底是一个发展中的产业或高峰期的产业还是一个夕阳产业？目前的几个事实应该能清楚地说明上述问题。一是我国油气产量还在逐年稳步上升，保持在世界前十位这样一个较高的产量水平上，二是后备储量也在不断增长，能支持产量维持在这一较高水平上，能确保“西气东输”的资源基础。三是大型油气田还在不断发现，如近几年发现的内蒙古苏里格大气田(5千亿立方米以上)、塔里木盆地的克拉2号大气田(2.5千亿立方米)是目前我国最大的整装气田，渤海湾的蓬莱19-3油田，为位列大庆油田之后的第二大油田，说明我国东、西部地区都有着巨大的潜力，说明我国石油工业仍处在向上发展阶段；特别值得一提的是蓬莱19-3油田，它是在我国东部老区上第三系新领域发现的大油田。根据对我国资源量的估算，石油高峰年产量预计将达到2.5亿吨左右。

本书回顾和总结了前五十年石油工业理论和技术发展概况和发展水平，对未来的发展趋势和可能前景作了预测，相信会对今后石油学科的发展和有关政策的制定起到应有的作用。

《石油与天然气工程学》主编 张一伟

2002年6月

前 言

油气开采工程是研究油气资源开发过程中根据开发目标通过产油气井和注入井对油藏采取各项工程措施以提高产量和采收率的理论、工程设计方法及其实施技术的一门综合性应用科学，也是油气井开发大系统中衔接油藏工程、钻井工程和矿场油气集输工程，实现油田开发目标使整个系统得以有效运行的中心系统。

从古代发现油气到进行工业性开采，经历漫长的时期，但进入21世纪以后，由于石油的高额利润和它在国民经济和国际政治中逐渐显现的重要作用，也随着科学技术的进步，油气开采技术得到了长足的发展。现代油气开采技术已从提高单井产量向集成化油藏经营；从单学科孤军奋战向多学科协同工作；从单项技术应用向集成技术解决问题等多方面发展。

虽然我国是世界上最早发现油气的国家，但由于社会、历史原因，石油工业发展十分缓慢，我国现代石油工业只是在新中国成立以后才发展起来的。油气开采工程在油气田开发中有效地发挥了重要的工程技术保证作用，使我国油气产量位于世界前列。但我国与国际石油工业同样面临：多数新发现的油气藏环境条件差(戈壁、沙漠、海洋)；储量品位低(稠油、低渗)；老油田开采难度大；争夺和控制石油战略资源的国际经济、政治斗争的不断持续，油价的激烈动荡；环境保护要求愈来愈高；全球化等一系列挑战。这些既向油气开采技术提出了挑战，同时也提供了技术发展的机遇。加强科技创新力度，充分应用现代科学技术的最新成果，研究新理论、新方法、新工艺、新技术，进行传统技术的

改造，发展适应新挑战的油气开采技术，已成为油气开采工程面对挑战的基本对策。这必将促进我国石油开采技术的新发展。

根据《中国现代科学技术全书》的出版宗旨和编写要求，石油大学(华东)和中国石油化工股份有限公司油田勘探开发事业部组织撰写了《油气开采工程》一书。本书较全面、系统而又扼要地介绍了油气开采技术的基本理论、工程设计方法并简要地回顾了油气开采技术发展历史，也对未来的技术发展作了展望。全书除绪论外共分为十一章：绪论和第十一章由何生厚执笔；第一章和第十章由张琪执笔；第二章由李明忠执笔；第三章由陈德春执笔；第四章由王杰祥执笔；第五章由曲占庆执笔；第六章由孙建孟执笔；第七章由邓敦夏、王杰祥执笔；第八章由曾庆坤、曲占庆执笔；第九章由沈琛、曲占庆执笔。全书由何生厚、张琪主编并统稿。

本书在编写过程中得到了石油大学(华东)石油工程学院、中国石油化工股份有限公司油田勘探开发事业部和中国石化出版社有关同志的支持以及中国石油情报研究中心何艳青同志的帮助，在此一并表示感谢。

由于编写水平所限，书中不妥之处恳请读者指正。

编著者

2003年3月

中国现代科学全书总编辑委员会

名誉主编 胡 绳 钱伟长 吴阶平 周光召
许嘉璐 罗豪才 季羨林 王大珩
郑必坚

主 编 姜士林 郭德宏 刘 政 程湘清
卞晋平 王洛林 许智宏 白春礼
卢良恕 徐 诚 王洪峻 明立志

石油与天然气工程编辑委员会

主 编 张一伟

编辑委员 (以姓氏笔画为序)

张一伟 严大凡 何生厚 张劲军
杜志敏 张 琪 金之钧 罗平亚
胡湘炯 高德利

绪 论

一、油气开采工程的地位、作用及特点

油气开采工程是油气资源开发过程中根据开发目标通过产油气井和注入井对油气藏采取的各项工程技术措施的总称。作为一门综合性应用科学，它所研究的是可经济有效地作用于油气藏，以提高油气井产量和油气采收率的各项工程技术措施的理论、工程设计方法及实施技术。

油气开采工程的任务是通过一系列可作用于油藏的工程技术措施，使油、气由储层畅流进入井筒，并高效率地将其举升到地面进行分离和计量，其目标是经济有效地提高油气井产量和油气采收率。

从系统工程观点出发，油气开采工程则是油气田开发大系统中的一个处于中心地位的重要子系统，通过开采工程衔接油藏工程与矿场油气集输工程，使整个系统得以有效运行。

油气开采工程面对的是不同地质条件和动态不断变化的各种类型的油气藏，只有根据其地质条件和动态变化，正确地选择和实施技术上可行、经济上合理的工程技术方案，才能获得良好的经济效果。开采工程对实现油藏工程方案设计的开发指标起着重要的工程技术保证作用。

我国当前和未来都将面对低渗、稠油等难开发油藏及特高含水期油藏，以及海上和沙漠油田的一系列开采问题。随着油田开采难度的增大，技术要求越来越高，必须运用现代科学技术改造传统开采工艺，以迎接 21 世纪的挑战。

解决油气开采过程中某一生产技术问题，有机械、化学和物理

等各种不同的方法,这将涉及技术方法的选择,以及综合应用问题。

综上所述,油气开采工程的特点是:在整个开采过程中地位十分重要;遇到的问题多、难度大、涉及面广;综合性和针对性强;各项工程技术措施间有较强的相对独立性。

二、世界油气开采技术的发展

我国是世界上最早发现和利用石油与天然气的国家之一,早在公元前就有发现石油的记载。到公元 13 世纪石油与天然气逐步进入民用生活,以至于用于火药及火攻武器。石油与天然气的开采从地面露头,大井径浅井,向小井径深井发展。我国于 1521 年在四川乐山钻成第一批采油井,比美国(1859 年)和俄国(1848 年)早 300 多年。随着工业革命的进程,从 19 世纪中期用机器代替手工,以蒸汽机代替人力和畜力进行油气开采,开始了石油与天然气工业的近代发展期,并形成一定的生产规模。进入 20 世纪以后,由于石油的高额利润和它在国民经济及国际政治中所显现的重要作用,随着科学技术的进步,石油与天然气工业得到迅速发展。从依靠天然能量着眼于单井生产向从油田整体出发合理布署井网;注水注气保持油藏压力;人工举升方法的改进和设备的配套以及酸化压裂、防砂等油气井增产增注措施应用,标志着从 20 世纪 30~40 年代开始进入现代油气开采技术的发展期。

20 世纪 60~70 年代,一些能源预测家根据消费需求的增长速度和资源状况发出了 20 世纪最后 30 年将出现石油储量枯竭的预言。但 1971~1996 年的实践表明:石油储量有了新的增长,储采比由 28.1 年提高到了 43.1 年,天然气储采比由 30 年上升到 62 年;新的油藏评价方法和先进的开采技术使可采储量不断增加,储量再评价的新增储量远超过新发现的储量;世界上还有近 100 个新区的沉积盆地基本上未经勘探,油价的高位将会刺激新区的勘探;剩余的近 2 万亿桶石油开采储量足以使世界石油工

业持续发展。科技进步打破了关于 20 世纪最后 30 年石油储量枯竭的预言。科技进步大幅降低了勘探开发成本, 1986 ~ 1996 年 10 年间世界大石油公司勘探成本下降了 40.8%, 生产成本下降 24%, 完全成本下降 33.8%。

回顾世界石油公司经营战略, 近 30 年来大体经历了三个阶段: 70 年代由于油价高、开采对象的地质条件简单, 靠扩大生产规模取得效益; 80 年代和 90 年代初由于油价下跌, 石油公司靠降低成本保持生存, 依靠裁员和紧缩投资降低成本; 90 年代以来仅依靠规模和降低成本不能适应急剧变化的世界石油市场, 随着世界性的科学技术的迅速发展, 用新技术改造传统产业, 引进和开发新技术, 缩短新技术开发和应用周期, 以提高生产效率, 为石油工业的生存和发展开辟了新的前景。

纵观石油工业近 50 年的发展历程, 油气田开发开采技术总体发展趋势具有以下几个特点:

①由提高单井产量发展到集成化油藏经营; ②由单学科孤军奋战发展为多学科协同研究; ③由单项技术应用发展为集成技术解决问题; ④由延时监测与解决向实时监测和解决方向发展。油气开发关键技术的发展历程与趋势可概括见图 1 所示。

石油与天然气已成为当今影响人类社会政治和经济发展的战略性资源, 为争夺和控制石油和天然气资源国际政治、经济斗争会愈演愈烈。尽管油气资源开采技术得以迅速发展, 但它将不断面临新的挑战。

三、我国油气开采技术的发展

尽管我国是石油与天然气发现和利用最早的国家之一, 然而由于社会历史原因, 在近代和现代石油天然气工业发展的初期, 我国石油与天然气工业发展速度却十分缓慢, 到 1949 年累积产量仅 210 万吨。我国现代石油工业是在全国解放之后, 与新中国

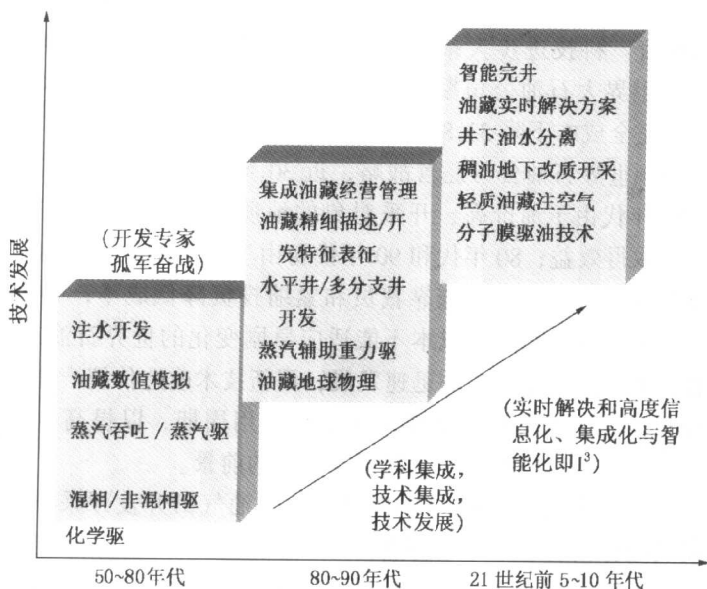


图1 国外油气开发关键技术的发展趋势

同步发展起来的。

20世纪50年代油田开发重点在西北地区的玉门、克拉玛依等油田，是我国现代石油工业完整体系的开始形成和初展期。它在人才、技术和物质装备上为我国石油工业大发展奠定了基础，开始应用油田注水、有杆抽油、油田维护措施及酸化水力压裂技术等现代开采技术，是我国油气开采技术的开始形成期。

20世纪60年代到70年代中期是我国石油工业在曲折道路上克服困难、排除干扰的大发展时期。自1959年大庆油田发现和投入开发，我国石油工业进入新的发展期。由于自然灾害和国内、国际政治原因，该时期是在曲折道路上的发展期。继大庆油田之后，胜利油田、大港油田、辽河油田、华北油田和江汉油田

相继投入开发。为适应多种类型的油气藏的发现和投入开发，开采技术有了新的发展：

1. 为适应我国陆相沉积油层特点，形成了配套的分层开采技术；

2. 为开发灰岩油藏和低渗透油藏，发展了较大型的酸化、压裂技术；

3. 针对易出砂油藏，开展了防砂技术的研究和应用。

自 1976 年至今特别是 80 年代以来我国石油工业进入技术上全面进步与发展的时期，由于实行解放思想，改革开放的政策，加强了技术创新，扩大了技术交流和技术改造以及对外合作，并随着一批稠油油藏和更多的低渗透油藏和沙漠及海上油田的相继投入开发以及老油田相继进入中高含水期，开采技术进一步以提高效益为目标的多元化、配套化的全面发展，使我国油气开采技术逐渐接近或达到国际先进水平。

在 20 世纪 80 年代着手发展了以下关键技术：

1. 针对稠油油藏的蒸汽吞吐和验油技术；

2. 大型酸压及水力压裂技术；

3. 油田开发全过程的系统油气层保护技术；

4. 为保持原油稳产，发展了中高含水期的提液技术；

5. 人工举升技术的配套与完善为大规模采油方式转换提供了技术保障。

20 世纪 90 年代以来发展的新技术主要有：

1. 高含水期的油水井调剖堵水技术；

2. 以聚合物驱为代表的提高采收率技术；

3. 水平井等特殊结构中开采技术；

4. 整体压裂技术。

世界科学技术的进步促进了油气开采技术的发展。信息化、集成化、智能化(I³)技术，将为石油企业带来勃勃生机。



何生厚 教授级高级工程师。
1970年毕业于北京石油学院采油工程专业。中国石油化工股份公司油田勘探开发事业部主任。兼任中国石化集团公司科学技术委员会委员，第五届中国石油工程学会采油工作部副主任，中国造船工程学会副理事长，石油工业标准化技术委员会第五届油气田开发专业委员会主任委员，“十五”八六三计划海洋资源开发技术主题专家组组长。

现已出版专著2部、译著1部，获国家和省部级科技进步二
等以上奖项10次，获实用新型专利3项，在国家级刊物和国际学术会议上发表论文13篇。



张 琪 教授, 博士生导师, 享受政府津贴专家, 1958年毕业于北京石油学院油气田开发与开采专业。石油大学(华东)油气田开发研究所所长, 兼任国务院学位委员会学科评议组成员、人事部博士后管理委员会专家组成员、全国自然科学名词审定委员会石油名词审定委员。

曾被授予全国优秀教师、山东省高校十大优秀教师、石油工业有突出贡献科技专家、石油天然气总公司先进科技工作者、山东省拔尖人才、石油天然气总公司科技铁人成就铜奖、中国科学技术发展基金委员会孙越崎能源大奖等多项荣誉称号和奖励。

主编和参编公开出版教材、专著和译著9部, 获国家和省部级科技进步奖12项。在国内外发表论文50余篇。

目 录

绪论

第一章 油气井流入动态与井筒多相流·····	(1)
第一节 油气井流入动态·····	(1)
第二节 井筒多相流动的工程计算·····	(18)
第三节 水平井气液两相变质量流动·····	(56)
第二章 自喷与气举采油·····	(67)
第一节 自喷采油设施及管理·····	(67)
第二节 自喷井生产系统分析·····	(74)
第三节 气举采油·····	(92)
第四节 气举生产系统设计·····	(108)
第五节 气举采油的应用与发展·····	(122)
第三章 有杆泵采油·····	(124)
第一节 常规有杆泵采油·····	(124)
第二节 地面驱动螺杆泵采油·····	(199)
第四章 无杆泵采油·····	(242)
第一节 电潜泵采油·····	(242)
第二节 射流泵采油·····	(261)
第三节 水力活塞泵采油·····	(271)
第五章 注水·····	(290)
第一节 水源、水质及注水系统·····	(290)
第二节 注水工艺设计·····	(297)
第三节 注水调剖与调驱技术·····	(307)
第四节 油田注水的应用·····	(315)

第六章 生产测井技术	(319)
第一节 生产动态测井.....	(320)
第二节 工程技术测井.....	(332)
第三节 产层评价测井.....	(349)
第七章 油水井增产增注技术	(370)
第一节 低渗透油藏开采特点.....	(370)
第二节 水力压裂技术.....	(373)
第三节 酸处理技术.....	(392)
第四节 改善近井地带渗透性的其它方法.....	(405)
第八章 疏松砂岩油藏开采技术	(433)
第一节 油层出砂机理及出砂预测技术.....	(433)
第二节 防砂方法及选择.....	(455)
第三节 砾石充填防砂技术.....	(461)
第四节 压裂防砂技术.....	(472)
第九章 稠油油藏开采技术	(487)
第一节 稠油分类及开采技术.....	(487)
第二节 蒸汽吞吐开采技术.....	(490)
第三节 蒸汽驱开采技术.....	(495)
第四节 水平井辅助重力泄油技术.....	(499)
第五节 火烧油层开采技术.....	(501)
第六节 稠油出砂冷采.....	(505)
第七节 深层常规稠油举升技术.....	(512)
第十章 采油工程方案设计	(522)
第一节 概述.....	(522)
第二节 采油工程方案设计的基础资料.....	(528)
第三节 采油工程方案技术设计内容.....	(530)
第四节 采油方式综合评价与决策分析.....	(540)
第五节 采油工程方案经济评价.....	(552)