



# 中 国 石油勘探开发 百科全书

刘宝和 主编



工程卷

石油工业出版社

### 图书在版编目 (CIP) 数据

中国石油勘探开发百科全书·工程卷 / 刘宝和主编.  
北京: 石油工业出版社, 2008.11  
ISBN 978-7-5021-6808-7

- I . 中…
- II . 刘…
- III . ①油气勘探 - 百科全书  
②油田开发 - 百科全书
- IV . P618.130.8-61 TE34-61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 169586 号

### 中国石油勘探开发百科全书·工程卷

Zhongguo Shiyou Kantan Kaifa Baikequanshu-Gongchengjuan

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: [www.petropub.com.cn](http://www.petropub.com.cn)

编辑部: (010) 64523542 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

889×1194 毫米 开本: 16 印张: 42.25

字数: 1260 千字 印数: 1—5000 册

定价: 260.00 元 (全套四卷定价: 1280.00 元)

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

## 《中国石油勘探开发百科全书》总编委会

主任：刘宝和  
常务副主任：沈平平 魏宜清  
副主任：贾承造 赵政璋 袁士义 刘希俭 白泽生 吴奇  
赵文智 李秀生 傅诚德 李文阳 丁树柏  
委员：(按姓氏笔画排列)  
马纪 马双才 马家骥 王元基 王秀明 石宝珩  
冉新权 田克勤 刘洪 齐志斌 吕鸣岗 余金海  
吴国干 张玮 张镇 张卫国 张水昌 张绍礼  
李建民 李秉智 宋新民 汪廷璋 杨承志 邹才能  
陈宪侃 单文文 周虬 周家尧 孟慕尧 岳登台  
金志俊 咸玥瑛 姜文达 禹长安 胡永乐 胡素云  
赵俭成 赵瑞平 秦积舜 钱凯 顾家裕 高瑞祺  
章卫兵 蒋其垠 谢荣院 潘兴国

主编：刘宝和  
常务副主编：沈平平 魏宜清  
副主编：冉新权 张卫国 孟慕尧 高瑞祺 潘兴国 单文文

## 《中国石油勘探开发百科全书》学术委员会

主任：邱中建  
委员：(按姓氏笔画排列)  
王铁冠 王德民 田在艺 李庆忠 李德生 李鹤林  
苏义脑 沈忠厚 罗平亚 胡见义 郭尚平 袁士义  
贾承造 顾心悻 康玉柱 韩大匡 童晓光 翟光明  
戴金星  
秘书长：沈平平  
副秘书长：傅诚德

## 《中国石油勘探开发百科全书·工程卷》编委会

主 编：吴 奇

常务副主编：李文阳 单文文

副 主 编：张 镇 刘玉章

委 员：(按姓氏笔画排列)

马双才 马家骥 方代焯 庄惠农 余金海 张绍礼  
李建民 陈宪侃 余朝毅 周煜辉 姜文达 章卫兵  
谢荣院

## 《中国石油勘探开发百科全书·工程卷》审稿人

(按姓氏笔画排列)

万仁溥 马双才 马家骥 王幼金 王宏声 王志忠 王瑞泉 冯启宁  
卢拥军 卢富国 龙庆晏 刘同斌 刘希圣 刘雨晴 刘振庆 刘能强  
庄建山 朱 文 朱礼斌 张绍礼 李东平 李建民 李章亚 杨川东  
杨振威 邹洪岚 陈 勉 陈泽芳 陈宪侃 陈炳谦 单文文 庞志学  
欧阳健 金 勇 姜文达 胡 杰 赵国珍 郭继岩 商焕龙 曹嘉猷  
盛江庆 黄隆基 黄新生 曾凡芝 曾时田 葛云华 董 杰 蒋 阗  
蒋希文 谢荣院 楚泽涵 褚人杰 鄢捷年 廖明书 穆正勋



## 序

中国是世界上发现和利用石油、天然气最早的国家之一，但中国石油工业的崛起是在中华人民共和国成立之后。在中国共产党的领导下，新中国一代又一代石油人，发扬爱国、创业、求实、奉献的精神，在草原、戈壁、沼泽、海洋拼搏奋斗，取得了一个又一个辉煌胜利。石油工业从1949年新中国成立之初的年产原油7万吨（不含人造油），发展到2006年的年产原油18367.6万吨、年产天然气585.5亿立方米，跨入世界主要产油国的行列。

石油工业的发展，离不开石油科学技术的进步。新中国石油工业的发展史，也是石油科学技术不断更新和发展的历史。广大石油科技工作者和石油员工，勤奋学习、勇于实践、积极探索，中国石油科技水平迅速提高，在油气勘探开发理论与实践和石油利用等诸多方面，总体上处于世界先进行列，不少领域具有中国特色。

适时地总结我国在石油勘探、开发和工程技术等方面的知识、技术、经验和理论成果，使之传之久远，这对加强石油员工队伍建设，提高石油科技文化水平，促进石油工业的新发展是非常必要的。《中国石油勘探开发百科全书》在近900名石油专家、学者和科技工作者的辛勤努力下，以百科全书条目形式，比较全面、系统、科学地总结了石油工业在勘探开发方面的知识、技术和理论，具有很强的权威性和广泛的实用性。它的编纂出版，填补了我国此类出版物的空白，加强了石油科技文化基础建设，是一项标志性石油出版工程，很有意义，值得庆贺。

当前我国正进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段，新形势、新任务对石油工业提出新的更高的要求。我们要高举中国特色社会主义伟大旗帜，深入贯彻落实科学发展观，继续实施科技兴油，进一步发扬优良传统，不断提高石油员工队伍的综合素质，坚定信心，奋发图强，奉献能源，构建和谐，谱写中国石油工业的新篇章。

马富才

2008年10月



## 前言

百科全书常被人们视为一个国家、一个行业、一个地区科技文化发展的标志，一个时代的丰碑。石油工业是知识密集、人才荟萃的行业。进入 21 世纪，石油的战略地位更显重要，石油与社会及广大人民的生活更加密切。以百科条目形式，全面汇集石油及其相关学科知识，系统总结中国在石油勘探、开发和工程方面的理论、技术、经验和成果，不仅非常必要，而且十分紧迫。为适应新时期石油工业的新发展，加强石油科技文化基础建设，石油行业需要石油百科全书；为促进石油科学知识的普及与推广，帮助了解石油、熟悉石油，广大读者盼望石油百科全书；为填补中国石油百科类出版物的空白，也为专业百科全书家族增添新的重要成员，出版界期待石油百科全书的问世。

2002 年下半年，中国石油天然气股份有限公司副总裁刘宝和、中国石油天然气股份有限公司副总裁兼中国石油勘探开发研究院院长沈平平、石油工业出版社社长魏宜清和副社长张卫国等同志，在广泛调研、认真分析的基础上提出了编纂《中国石油勘探开发百科全书》（以下简称《全书》）的建议，此事很快得到许多领导和石油专家们的大力支持。中国石油天然气集团公司副总经理郑虎对此项工作高度重视，并在石油工业出版社关于编纂出版《全书》的专题报告上做了“认真组织实施”的重要批示。2002 年 12 月，《全书》编委会第一次全体会议在北京召开，标志着《全书》编纂工作全面展开。

《全书》编纂工作一开始，编委会就明确提出要努力把《全书》建设成一项标志性石油出版工程，编纂成一部高水平、传之久远的大型石油工具书。2006 年，石油工业出版社社长白泽生表示要举全社之力，把《全书》打造成精品。参加《全书》框架设计、条目撰写和审稿工作的近 900 名石油专家、学者和科技工作者大多数是第一次从事这项工作，大家克服了许多困难，在实践中不断加深对百科全书的认识，努力提高编纂质量。特别是许多老专家在撰写释文和审阅条目时，认真推敲，反复修改，精益求精。有的专家为使撰写的条目释文内容准确全面，多次到相关图书馆查找资料；有的专家虽然年事已高，仍认真钻研百科知识，工作一丝不苟，力求撰写出高质量的条目释文；有的专家在病床上还挂念着《全书》条目释文的撰写；有的专家出国探亲时还带着《全书》初稿不时修改。

中国科学院、中国工程院石油勘探、开发和工程方面的院士们，对《全书》工作给予了热忱支持和大力帮助。中国工程院院士邱中建担任了《全书》学术委员会主任，20 位两院院士担任了《全书》学术委员会委员。他们不仅认真审查《全书》的重要条目，把握好重要的学术问题，有的还亲自参加卷首文章和重要条目的撰写，有力

地促进了《全书》的编纂质量和学术水平的提高。

为了使《全书》的撰写、审稿和编辑工作能按统一标准规范进行,在条目框架设计时,《全书》编辑部就组织编印了《全书·撰写须知》,以后又适时编印了《全书·审稿须知》和《全书·编写体例实施细则》。在《全书》框架设计、条目释文撰写、审稿和编辑加工等每一个重要阶段的开始,都请百科全书专家讲座,帮助释疑解惑。针对编纂工作中遇到的难点和重点,《全书》和各卷编委会都及时召开了形式多样的研讨会,解决问题,讲求实效。《全书》编委会还定期召开例会,及时交流情况,认真分析问题,扎实推进工作。

经过近 900 名石油专家、学者、科技人员和责任编辑近 6 年的辛勤劳动、通力合作,最终顺利完成了《全书》的编纂工作。《全书》分综合卷、勘探卷、开发卷、工程卷四卷,总计约 6000 条条目,630 万字,2200 幅图表。《全书》涵盖了石油勘探、开发和工程方面的知识,全面总结了在这些领域具有中国特色的理论、技术、经验和成果,具有系统性、科学性和权威性。综合卷有 11 个分支和附录,共 791 条条目,约 130 万字。分支为一般术语、油气勘探管理、油气田开发管理、油气田勘探与生产业务发展管理、石油科技与教育、信息技术、质量安全环保、石油经济评价、中国石油勘探开发史、中国石油机构、石油人物;附录一是中国石油勘探开发重大科技成果,附录二是中国石油勘探开发大事年表。勘探卷包括油气勘探综述、相关地质基础学科、石油地质理论基础与研究及石油勘探工程技术四大部分 23 个分支,共 2349 条条目,约 220 万字。分支为石油天然气勘探,地层与古生物、沉积与古地理、层序地层和数学地质,石油地质学、油气地球化学、油气储盖层地质、油气构造地质、油气成藏地质、石油地质实验和石油地质综合研究,石油地质调查、遥感地质、石油地球化学勘探、石油地球物理勘探、重力勘探、磁力勘探、电法勘探、石油放射性勘探、地震勘探、石油钻探和石油勘探测量。开发卷有 8 个分支,共 1304 条条目,约 150 万字。分支为石油开发地质学、油层物理学、渗流力学、油藏工程、提高石油采收率、中国主要油气田开发类型、典型油气田开发实例和煤层气开发。工程卷有 10 个分支,共 1450 条条目,约 126 万字。分支有石油钻井工程、完井工程、测井工程、试井工程、试油工程、采油工程、采气工程、井下作业、储层改造和油气田地面工程。

《全书》编纂工作始终得到了中国石油天然气集团公司各有关部门、中国石油勘探开发研究院和石油工业出版社等单位的鼎力支持和热情帮助,在此表示诚挚的感谢!《全书》内容涉及广泛,参加人数众多,疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

《中国石油勘探开发百科全书》总编委会

2008 年 10 月





## 凡 例

1 本书是中国石油勘探开发方面的专业百科全书，分综合卷、勘探卷、开发卷、工程卷四卷，各卷既相互联系，又独立成卷。各卷由条目、附录和索引组成。总计约630万字。

2 条目是本书主体，是供读者查阅的基本单元，本书条目选自石油勘探、开发、工程、管理中的常用科学技术术语和词组。其中，综合卷791条条目，勘探卷2349条条目，开发卷1304条条目，工程卷1450条条目。

3 条目按照学科知识体系分类排列，正文后附有全部条目的汉语拼音索引和汉字笔画索引。

4 条目一般由条目标题（简称条头）、与条头对应的英文或其他拉丁字母文字、条目释文、相应的插图和表格以及作者署名组成。条头上方加注汉语拼音，但不标注声调；有的释文之后列有推荐书目。

5 条目的内容涉及其他条目，或与其他条目互为补充，则用“参见”方式，被参见条目在释文中出现时用棕色楷体字显示，如“应用石油地质学及相关学科理论知识”；未在其中出现时，则加括注，如“……利用试油（见试油工程）”。条目释文的一段内容同其他条目密切相关，设段末参见。整个释文同其他条目密切相关，设条末参见。

6 条目释文可根据需要，设置层次标题，最多分两级，用不同字体字号区别。

7 本书所用数字，执行国家标准 GB/T 15835—1995《出版物上数字用法的规定》。所用计量单位，采用《中华人民共和国法定计量单位》，援引史籍中统计数字所用的计量单位则仍照旧。释文中物理量单位采用符号。释文中涉及外国人名和地名时，按照译名规则译成中文，其后括注原文。

8 各卷之间的交叉条目，在不同卷中各自保留，释文侧重本专业内容。

9 本书综合卷中的石油人物分支选入的是中国科学院、中国工程院与石油勘探开发和工程专业相关院士，石油工业历任部长，中央国有石油石化企业历任主要负责人，部分从事过早期石油勘探工作的著名专家以及铁人王进喜，按照出生年月编排。

10 本书采用的资料和数据截至2005年12月，个别截至2007年。

# 石油工程

吴 奇 李文阳 单文文

石油工程是以有关的自然科学和技术科学为理论基础，以勘探开发地下油气资源为目的，研究和解决如何经济有效地开采石油和天然气所用工程技术、措施的一门综合性应用学科。是一个从地下到地面的复杂的综合系统工程，同时也是一项高投入、高风险的工程，它涉及了机械学、物理学、化学、地质学、水利学、渗流力学、电子学、计算机等多个学科。

**石油工程的重要性** 油气勘探开发离不开石油工程。油气勘探的主要目标是要去寻找油气资源，例如有机地球化学研究可对沉积盆地的成油条件、油源及生油量进行定量评价，指出有利油气勘探地区；沉积学研究的发展有利于寻找油气聚集带，而地震地层学直接指导了油气资源的发现等。在这个过程中，需要通过各种工程技术手段，如石油地球物理勘探、石油钻探、石油测井、录井等技术手段来探明油气储量并发现商业油气流。油气开发的重点是要针对各种复杂的油气藏类型，研究不同的开发对策和方案，逐步建立不同油气藏的开发模式和工艺技术，以获得最佳的采收率 and 经济效益。在这个过程中也需要综合运用油藏工程、建井工程、采油采气工程、地面油气集输储运工程以及经济管理等多项学科和技术，进行有机的协同和集成。显然，石油天然气的勘探与开发离不开工程技术手段，石油工程自始至终贯穿于油气勘探开发过程中并发挥重要作用，保证勘探、开发目标的实现。反过来，油气勘探开发中不断出现的新理论、新方法和新思路也引导和促进了石油工程技术的进步与发展。

**石油工程的内容与作用** 石油工程的内容主要包括建井工程（钻井和完井）、测试工程（测井、试井、试油试采）、采油（采气）工程（其中包含井下作业、储层改造）和油气田地面工程等四大部分，而每个部分都有明确的分工和目的，相互之间又有紧密联系，前后衔接，是保证将油、气从地下采到地面直至供应到客户终端所必须经历的各个环节。

**建井工程** 是石油工业的一项主体工程，是油气田勘探开发的重要组成部分，包含钻井与完井。因为只有钻井完井后，勘探才能直接发现油气资源，确定含油气面积和储量，油田开发才能根据钻探和试油的结果，部署油气田开发方案，通过油气井将油气开采出来。

石油钻井是利用机械设备从地面开始钻凿，沿预定轨道穿过多套地层到达预定目的层（油气层或可能油气层），形成油气采出或注入所需流体（水、气、汽）的井眼通道，并在钻井过程中和完钻后，采集石油勘探、开发和钻井所需信息。石油钻井分为勘探钻井和开发钻井：勘探钻井的任务是通过钻探井发现油气层；开发钻井的任务是通过钻开发井到达已发现的油气层，开采地下的石油和天然气。

完井的工作内容包括从钻开油层开始的下套管注水泥固井、射孔、下生产管柱、排液等，直

至投产。完井工程衔接钻井工程和采油工程而又相对独立，它从准确认识储层和充分利用其产能的目标出发，针对储层特征，通过节点分析和优化压力系统等技术手段，选择完井方法和确定生产套管直径，采用合理工艺措施，达到提高生产效率和延长油气井寿命的目的。

**测试工程** 钻开地层后需对地层进行一系列测试，以获得地层可靠的各种信息。包括测井、试井、试油等测试技术。

测井是通过井筒利用各种仪器在井中高温、高压和移动的条件下测量，将采集到的电量（如岩石的电阻率）或非电量（如岩石的声波传播速度、放射性、井筒中流体的流速等）信息变成电信号并通过测井电缆输送到测井地面仪器记录，给出测量信号和随井深度变化曲线——测井曲线。再对测井曲线进行处理解释，给出地质、油藏工程和采油工程所需的参数。测井工程为油气藏的勘探和开发提供了大量重要的相关资料，为认识油气藏的地质特征和储层性质，计量油气储量，制定和调整开发方案，采取增产措施和修井等提供依据，对合理开发油气藏起着重要作用。

试井是储层描述的重要技术，它用高精度井下压力计（包含温度计）录取油气井井底压力、温度数据，并结合地面测量的流量等参数，借助渗流力学理论和相应的计算机解释软件，对以压力为主的测试资料进行分析，以求得油气藏地质参数和完井工艺参数。从一个油气田的第一口发现井开始，到油气田开发方案的制定，以及油田开发过程的动态监测及调整井的安排，都需要用试井工程方法进行测试和分析。录取到准确的数据后，必须通过对压力资料的分析解释进一步了解地层的情况，确认描述储层的理论模型，建立起与这些储层模型相对应的压力图版，编制通过压力资料进行储层分析的试井解释软件，从而获得油气层的相关信息，为油气田生产规划提供依据。

在油气田勘探开发过程中，钻完井后还必须进行试油、试采。试油是为取得油气储层压力、产量、流体性质等所有特性参数，满足储量计算和提交要求的整套资料录取和分析处理解释的全部工作过程。试采是在试油（气）之后，开发方案确定之前，为进一步评价储量的经济性和探索油气开发主体工艺及确定开发方案，对单井通过一定的技术方法在较长时间内获取储层产量、压力、流体性质等储层动态参数。试油试采是最终确定一个构造或一个圈闭是否有油气藏存在和油气藏是否具备开采价值的依据，是寻找油气田，了解地下情况的最直接的手段，也是为油气田开发提供可靠数据依据的一环。

**采油（采气）工程** 石油工程的目的是要把储层中的油气采到地面，采油（采气）工程在油气田开发中起了非常重要的作用。

采油（采气）工程通过生产井或注入井，对油藏采取一系列工程技术措施，使油气以最小阻力流入井底并举升到地面，它涉及面广，综合性强，包括了自喷采油开采和各种人工举升采油（直井开采、定向井开采、水平井开采、分支水平井开采、斜直井开采），还包括防砂、清防蜡、防垢除垢、注水井调剖、封堵水等采油工艺技术及大修、小修作业。采气工程还要根据气藏的特点研究天然气在储层、井筒和地面管道中的流动规律，在气井开采的各个阶段，采取适合气藏特点的一系列工艺技术措施，以经济、有效、安全的方式将天然气从井底采到地面。采油采气的优

化目标是要提高油气单井产量和最终采收率,实现油气田开发方案的各项指标,以达到经济高效开发油气田。

当油气井出现故障不能正常生产或为了改善油气田的开发效果时,有必要对油气井进行井下作业。井下作业贯穿于钻完井之后直到生产井报废为止的生产全过程,是一门极为复杂的综合性专业,这种复杂性,决定了井下作业研究方法的难度和多样性。由于储层埋深几千米,这就要求人们必须研究能适应几千米深的提升装置,研究能适应套管直径的井下生产机具及井下工作状况的测试仪器;同时要根据储层的性质,研究能够改善流体在储层内流动能力的物理、化学及工艺方法。此外,井下作业风险高,主要体现在高温高压的油气井容易发生井喷和着火事故,尤其当油气中含有硫及硫化氢气体时,有可能发生人员中毒现象,因此,如何保证施工过程中的健康、安全、环保也是重要的研究内容。

对低渗透特低渗透储层以及受伤害的中、高渗透储层还必须进行储层改造,使储层产生一条或多条具有一定导流能力的裂缝或溶解伤害储层的某些物质,从而有利于油气从储层流向井筒,达到提高油气井产量或注入井注入量的目的。主要包括:各种不同介质的压裂技术,如水力压裂技术、酸压裂技术、泡沫压裂技术和高能气体压裂技术等;各种不同的基质酸化技术,如砂岩酸化技术和碳酸盐岩酸化技术等。

**油气田地面工程** 油气采到地面后,还必须将它处理成为符合标准要求的油气产品并输送到指定地点。包括油气集输(处理、储运)、含油污水处理、注水及自控、仪表、通信、供电、供水、供热、暖通、道路、机修、建筑、消防、安全、节能、环保等工程与工艺技术。它在实施油气田产能建设目标、体现油气田开发技术水平、录取油气田开发生产数据、处理油气水达标利用、促进油气田安全高效生产等方面发挥了重要作用。

**石油工程的发展历程** 石油工业是一个由多学科集成的技术密集型产业。石油的勘探、开发都蕴含了石油工程的内容,其发展不仅有赖于基础科学理论的创新,还需要有工程技术的不断进步。中国石油工业的发展离不开石油工程技术的不断进步。石油工程的发展史实质上就是一部石油科技创新的历史。

19世纪中叶,美国人德雷克将已有的采盐工具与蒸汽发动机组合在一起,在宾夕法尼亚州钻成了第一口油井。1878年中国台湾苗栗油矿聘请两名美国技师,采用美国顿钻钻机钻成中国第一口油井——苗1井,该井井深120m,日产油0.75t。20世纪初中国陆上也钻成了第一口工业油井——延1井,井深80多米,日产油1~1.5t。最初的钻机为顿钻钻机,钻杆和钻绳上下往复动作带动顿钻钻具在井内作上下往复动作,使顿钻钻头对井底进行冲击,破碎岩石。破碎后的岩屑用捞筒捞到地面,然后再继续冲击钻进,如此往复,逐渐形成井眼。顿钻钻井法钻井具有钻井成本低、不伤害地层等优点,但由于工艺相对落后、钻速慢、不能用于钻较深的井和高压油气井等,现场已很少采用。以后发展为旋转钻井,大大提高了钻井效率并能适应各种复杂的井下地层情况,这种方法已替代了顿钻钻井,并一直沿用至今。20世纪80年代无线随钻测量技术的开发,实现了井下信息的遥测和双向遥传。90年代开发出了井下遥控工具。计算机和遥控技术相结合,把

钻井控制技术推向了自动化的高潮。如今由于钻井工具和测量技术的发展，已形成了深井钻井技术、复杂地层钻井技术、定向井钻井技术、水平井钻井技术和分支井钻井技术等，使得井眼轨迹在油层中延伸成为可能。同时，随着高科技工具和仪器的投入使用，可以进行随钻测量和实时跟踪钻头的钻进情况，由此出现了“地质导向技术”，把井眼轨道控制技术又推进到地质自动导向的水平，它可以及时测到地层的真实参数，并通过轨迹控制技术提高油层的钻遇率。20世纪90年代中国的钻井、完井技术也有了很大的发展，研制了有自主知识产权的顶部驱动钻井装置、盘式刹车和电驱动钻机等装备，形成了深井钻井和多种功能定向井钻井的配套技术。并进而建立起了“现代完井工程”新概念，形成了开发油藏全过程的储层保护技术并发展完善了水基类、气基类、油基类等保护储集层的钻完井流体技术。

对目的层钻井后就必须对储层进行测试评价，以确定储层的含油气特性。20世纪30年代，法国康拉德·斯伦贝谢和马塞尔·斯伦贝谢兄弟俩在高加索山脚下对位于格罗兹尼的试验井进行测试研究后，取得了重大突破，用他们发明的仪器测得的数据验证了石油的存在。由此诞生了测井技术，并最终引发了整个石油工业科技和效益上的革命。中国翁文波等于1939年在四川巴1井进行了测井试验，打开了中国测井的局面。由于石油工业发展的需要，学习和引进了国外新技术，中国测井工程得到了同步发展，20世纪50年代应用了普通电极系测井，地面仪器中模拟记录的全自动测井仪代替了半自动测井仪，对测井资料主要进行定性解释；60年代应用了声波测井、感应测井、中子测井、密度测井等，同时在套管井中开展了注水剖面测井和自喷井产液剖面测井等；70年代应用了数字化测井仪，在裸眼井测井中形成较完整的测井系列，在套管井中应用了声波变密度测井等，对测井资料可进行定量解释；80年代数控测井仪得到全面推广应用，同时推广应用了放射性同位素示踪注水剖面测井、“过环空”产出剖面测井和碳/氧能谱测井，并在裸眼井测井和套管井测井中建立了完整的测井系列；90年代开始应用了第五代成像测井仪，测井下井仪器也相应配套，测井资料处理解释也由单井解释进入多井评价，形成了陆相油气层、低电阻率油气层、低孔隙低渗透储层、水淹层、生产测井等解释评价技术和测井资料处理解释软件。此外，其他一些测试技术也获得了长足的发展，在试井技术方面由于现代电子计算机的广泛使用和高精度电子压力计的研制成功而有了重大突破。试井理论的发展与计算机应用技术的结合便逐步形成了一套比较完善的现代试井分析方法，特别是数值试井技术的发展为精细油藏描述研究提供了更准确的资料。试井工作领域也由开发扩展到勘探，由生产井、注水井测试扩展到探井测试，由单井测试扩展到一定控制面积内的多井测试和井间试井。在试油试气技术方面到20世纪90年代初期发展形成了符合中国实际情况的科学试油系统工程，主要包括钻井中途测试技术，优质试油压井液、射孔液，油管传输负压射孔技术，地层测试技术，水力泵、螺杆泵、液氮及抽汲排液求产技术，地面油气水分离计量技术，测试资料处理、解释技术等。针对不同储层条件形成了低渗透储层试油（气）配套技术，深井、高压及含硫化氢储层试油（气）配套技术，复杂岩性天然裂缝储层配套试油（气）技术及滩海试油（气）配套技术。这些技术为各油田的增储上产和快速发展做出了重大贡献。

为了更好地把油、气采到地面，发展形成了各种人工举升工艺技术，建立起了完整的注水工艺技术和细分层注水采油技术，开采稠油的蒸汽吞吐及蒸汽驱技术，注聚合物驱等三次采油技术。在仪器、设备等方面研制了各种耐高温、耐高压、耐化学腐蚀的井下工具和井下仪器仪表，配备了各种作业装备和辅助设备，形了解卡打捞、损坏井修复、侧钻、找水、堵水调剖、防砂等工艺技术。特别是在引进、消化、吸收国外技术的基础上，中国建立了具有自主知识产权的设备，如可变速连杆游梁抽油机、直线电机抽油机等。

20世纪40年代美国第一次对低渗透储层采用水力压裂技术来提高油井产量，中国也在1955年于玉门油田进行了第一次压裂。进入70年代后，发展了大型水力压裂技术以开发致密砂岩气藏和复杂油气藏。开发了各种高密度支撑剂和大功率、大流量的泵入设备；压裂酸化设计的各种数值模型以及实时监测分析技术也得到了进一步的发展。90年代后水力压裂技术的应用领域进一步拓宽，从致密储层的大型压裂到中高渗透层的端部脱砂压裂；从砂岩油气藏的压裂到碳酸盐岩油气藏以及各种复杂岩性油气藏的压裂；从直井的压裂到斜井、水平井的压裂，从单井的压裂到油藏区块的整体开发压裂；从水力压裂方案优化设计、材料研制到实时监测设备、计算机控制等都得到了进一步的发展和提高。

1949年以前中国油田没有正规的集输工艺。20世纪50年代玉门油田建成了多井计量的选油站流程，四川气田的集输处理技术也极其落后。至20世纪六七十年代，油气田地面工艺技术有了显著进步，大庆会战初期创造了萨尔图流程，适应了油田开发的需要，从20世纪70年代中后期开始，这种流程陆续被改造为单井进计量站集中计量的小站流程。同时，胜利、大港、辽河、新疆等油田大规模开发建设，针对不同油区特点，分别采用单管井口加热流程、三管伴热流程、双管掺水等流程。20世纪80年代开始，为减少油气损耗，提高油气产品质量、保护环境，中国各整装油田地面工程按“三脱”（油中脱水、水中脱油、气中脱油）、“三回收”（回收污水、回收污油、回收凝液）、“出四种合格产品”（稳定原油、净化天然气、合格污水、轻烃）要求进行建设，油气集输、处理、储运及注水、含油污水处理等工艺技术得到了全面发展。20世纪80年代至21世纪初建成了川渝、长庆、塔里木、青海等四大气区，形成了配套的天然气高压集气节流制冷、高压集气集中注醇、天然气脱硫、脱水及凝液回收等集输、处理先进工艺技术。

半个世纪以来，中国石油勘探、开发理论的突破与创新和石油工程技术的不断进步，有力地支撑了中国石油工业的发展。石油工程技术的进步使石油勘探、开发的目标得以实现，发现了大庆、胜利、辽河、新疆、塔里木、长庆等一个又一个大型油气田，使中国年产油达到1.8亿吨，年产天然气几百亿立方米，进入了亿吨级的世界产油大国。同时石油工业的持续稳定发展也有力支持了中国国民经济的快速发展。

**石油工程展望** 随着中国经济建设的发展和社会对能源的需求，油气勘探开发工作的力度将不断加大，开发对象将逐步向深层、深海、高原、沙漠等环境恶劣之地转移，从常规油气藏向非常规油气藏转移，从中高渗透油气藏向特低渗透油气藏转移，这就对石油工程技术的发展提出了更高的要求。油气系统、盆地模拟、油藏表征、水平井及多分支井、高分辨率地震、三维可视化、

核磁共振测井、成像测井、油气混相输送、井下油水分离、油气生产智能化、远程生产、深海作业等技术将得到进一步开发利用。石油工程技术中的智能控制、智能决策的程度将不断提高；技术集成、方法集成、数据集成和工具集成构成石油工程技术发展的方向；同时石油工程技术的发展也将更多地体现人性化和清洁化，石油工程中发展“绿色”石油科技是时代的要求，是可持续发展的基础，未来石油工程技术的发展也更加注重安全性。安全作业与运行技术、环境保护、事故预防等控制与管理技术将成为未来石油工程技术发展不可缺少的重要内容。

石油一直是最重要的能源之一，是中国经济和社会发展的重要物质基础。在石油勘探、开发过程中，石油工程技术起着决定性的作用。进入 21 世纪，随着石油资源的不断消耗，勘探开发的难度越来越大，对石油工程技术的要求也越来越高。石油工程技术包括在理念、设计、方法和工艺应用等方面的创新必将不断朝着降低油气勘探、开发、生产成本，提高作业效率和收益的方向发展。未来，中国石油能源的需求将为石油工程技术的可持续发展提供更广阔的空间。

## 《中国石油勘探开发百科全书》编辑出版人员

总策划：白泽生

策 划：张卫国 张 镇

编辑组：

组 长 周家尧

副组长 马 纪 咸玥瑛 章卫兵

责任编辑 综合卷 何 莉

勘探卷 谭忠心 王焕弟 马 纪

开发卷 贾 迎 咸玥瑛

工程卷 方代焯 章卫兵

编 辑 庞奇伟 崔淑红 李 中 胡宇芳 马新福 王金凤

马海峰 金平阳 郭建强

封面设计：赛维钰

封底篆刻：白 光

责任校对：李 黎 黄京萍 王 颜 王 群 陈 丽

印前审读：孔秀兰 周家尧 邓传彩 蒋文贞 牛 瑄 张卫国

章卫兵 方代焯 咸玥瑛 杨仕平 张 镇 鲜德清

孙培国 郭建强 李 丰

版式设计：李 欣 孙晋平 章 虹 袁雪芹

责任排版：张晓军

监 印：段 玲 张红军





## 目 录

|          |     |
|----------|-----|
| 序        |     |
| 前言       |     |
| 凡例       |     |
| 石油工程     | 1   |
| 条目分类目录   | 1   |
| 正文       | 1   |
| 附录       | 605 |
| 条目汉语拼音索引 | 610 |
| 条目汉字笔画索引 | 623 |