

中国现代科学全书

石油与天然气工程学

油气勘探工程

张一伟 金之钧 编著



中国石化出版社

TEI
3

中国现代科学全书·石油与天然气工程学

油气勘探工程

张一伟 金之钧 编著

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

油气勘探工程/张一伟,金之钧编著
—北京:中国石化出版社,2002
(中国现代科学全书·石油与天然气工程学)
ISBN 7-80164-301-1

I. 油… II. ①张…②金… III. 油气勘探
IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 087633 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 12.5 印张 322 千字 印 1—2000

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

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

石油与天然气工程学编辑委员会

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		

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》、《油气井工程》、《油气田开发工程》、《油气开采工程》、《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 年至 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

我国是世界上最早开发和利用石油和天然气资源的国家之一，即使从近代台湾苗栗磺坑油矿的勘查开始算起，也已有近150年的历史。从最初的依据油气苗找油，到寻找多种圈闭找油，从利用原始顿钻，到近代的旋转钻机钻井，发现了一批容易找到的浅油气藏。

伴随着科学技术的进步，以及勘探经验的不断积累、总结和上升，现代油气勘探已经步入综合勘探的新阶段，它通过全方位收集地下地质信息，采用多种技术，对控制油气的因素进行综合研究，找到了一批更难于发现的油气田。特别是随着新的地质和油气地质理论，如板块构造理论、层序地层学理论、烃源岩及储层地球化学理论、含油气系统概念等的不断涌现，现代勘探技术，如三维地震技术、深井超深井钻井技术、成像测井技术、计算机应用技术等的飞速发展，勘探领域开始向深层、向隐蔽圈闭、向海洋、沙漠、复杂山地和极地等新领域延伸，油气勘探开始进入一个全新的发展时期。

全球经过一百多年的勘探，目前均已进入以复杂油气田为主的勘探阶段。今后发现的油气田的地理环境将更为恶劣，埋深将逐渐加大，类型更为复杂，油气勘探将面临更大的风险。我国石油勘探工作同样面临着严峻的形势。由于东部老油田含水率的上升，产量递减，后备储量勘探难度加大，成为制约我国石油工业发展的主要因素。但是，我国石油工业的发展是不平衡的，西部的勘探程度还很低，绝大部分资源尚未发现，如最近在内蒙古发现的苏里格气田为我国第一特大气田，即便是在东部勘探程度较

高的渤海湾盆地近年来也陆续发现了一批大型油气田，如蓬莱19-3大油田为我国第二大油田，因此，可以说我国石油工业仍是一个欣欣向荣的“发展中的工业”，油气勘探的前景和领域依然十分广阔，有许多新领域、新地区、新层系等待着我们去工作。只要我们“以史为鉴、敢于创新”，积极突破现行找油模式的束缚，充分利用新理论、新技术、新手段，油气勘探仍然会有较大的发现。内蒙古苏里格世界级大气田、鄂尔多斯中部大气田、塔里木盆地克拉2特大气田以及渤海海域的蓬莱19-3大油田的发现充分说明了这一点。

本书从勘探工程的系统观出发，全面介绍了油气田勘探的理论基础、技术手段、工作部署、综合评价、经营管理，并根据历史唯物主义的世界观，从勘探的历史经验和教训两方面，深入阐述了油气勘探的部署原则，在内容上展示了油气勘探的最新进展，反映了勘探理论和技术的最新动态，对于了解油气勘探工程的基本特点、工作程序、管理方法等具有重要的参考价值。

本书第一篇由蒋有录、张一伟执笔，第二篇由张一伟、吴欣松执笔，第三篇由罗东坤执笔，第四篇由金之钧、张金川执笔；张一伟对全书进行了统稿和修订，王志欣参加了部分修订工作。

目 录

第一篇 油气勘探理论与技术篇

第一章 油气勘探的理论基础·····	(1)
第一节 人类寻找油气的历史·····	(1)
第二节 石油和天然气的生成·····	(8)
第三节 储集层和盖层·····	(23)
第四节 石油与天然气的运移·····	(33)
第五节 油气聚集及油气藏的形成·····	(44)
第六节 油气聚集单元·····	(69)
第七节 油气分布规律及主要控制因素·····	(76)
第二章 油气勘探技术的新进展·····	(86)
第一节 我国油气勘探技术发展的历史回顾·····	(86)
第二节 地震技术·····	(91)
第三节 井筒技术·····	(103)
第四节 非地震地质调查技术·····	(112)
第五节 石油地质模型化技术·····	(115)

第二篇 油气勘探程序与评价篇

第三章 勘探程序与勘探阶段·····	(125)
第一节 勘探程序与勘探阶段划分·····	(125)
第二节 如何科学地执行勘探程序·····	(128)

第四章 区域普查	(132)
第一节 区域普查的工作程序	(133)
第二节 区域普查的部署原则	(137)
第三节 盆地评价技术	(141)
第五章 区带详查	(155)
第一节 区带详查的工作程序	(156)
第二节 区带详查的部署原则	(160)
第三节 区带评价技术	(164)
第六章 圈闭预探	(176)
第一节 圈闭预探工作程序	(177)
第二节 圈闭预探的部署原则	(180)
第三节 圈闭评价技术	(186)
第七章 油气藏评价	(194)
第一节 油气藏评价的工作程序	(195)
第二节 评价勘探的部署原则	(197)
第三节 油气藏描述技术	(201)
第八章 滚动勘探开发	(210)
第一节 滚动勘探开发的概念与基本特点	(210)
第二节 滚动勘探开发程序	(214)
第三节 滚动勘探开发的部署原则	(220)

第三篇 油气勘探管理篇

第九章 油气勘探项目与项目管理	(226)
------------------------------	-------

第一节	油气勘探项目及其类型	(226)
第二节	油气勘探项目的运行过程	(235)
第三节	油气勘探项目管理	(243)
第十章	油气勘探项目的产生	(251)
第一节	项目建议的产生	(251)
第二节	勘探项目的可行研究	(258)
第三节	勘探投资决策	(271)
第十一章	勘探项目的组织与管理	(279)
第一节	勘探项目管理组织	(279)
第二节	作业队伍组织	(288)
第三节	项目计划与控制	(297)
 第四篇 油气勘探展望篇		
第十二章	世界与我国油气资源状况及勘探区域	(309)
第一节	世界油气资源状况	(309)
第二节	世界油气勘探状况	(317)
第三节	我国油气资源状况	(328)
第四节	我国油气勘探方向和领域	(332)
第十三章	知识经济条件下油气勘探形势	(348)
第一节	世界油气工业发展趋势	(348)
第二节	知识经济条件下的几个问题	(351)
第三节	油气勘探所面临的机遇和挑战	(355)
第十四章	计算机集成与全球一体化勘探趋势	(359)

第一节	计算机信息技术与油气勘探	(359)
第二节	油气勘探信息计算机集成	(362)
第三节	油气勘探全球一体化趋势	(368)
第四节	我国油气勘探发展战略	(371)
参考文献		(383)

第一篇 油气勘探理论与技术篇

第一章 油气勘探的理论基础

第一节 人类寻找油气的历史

石油和天然气在国民经济中占有极其重要的地位，现在已经能够从中提炼出三千多种产品，应用到各个领域。石油和天然气是非常宝贵的燃料、润滑油料及化工原料。石油是工业的血液，从石油中提炼的汽油、煤油、柴油等是优质动力燃料；特别是天然气具有发热量大、燃烧完全、运输方便、对空气污染少等优点，在世界能源消费结构中占有重要地位。据专家预测，21世纪上半叶，天然气将成为第一能源。更为重要的是石油和天然气作为化工原料的总趋势已经形成，乙烯、丙烯等化学工业应用的主要基础原料多来自石油和天然气。

人类发现和利用石油与天然气的历史很长，但真正有意识地寻找和开发油气，则只有几百年的历史。到19世纪中叶，近代石油工业诞生，标志着人类大规模勘探和开发石油与天然气的开始。人类从最初利用油气苗进行找油，到现在利用地质、地球物理、地球化学等方法寻找油气，指导这一勘探活动的理论——石油地质学也获得了突飞猛进的发展。回顾寻找油气的历史，对认识现代油气勘探工程有重要意义。

一、我国油气勘探简史

我国是世界上最早发现、开采和利用石油及天然气的国家之

一。早在两千年前我国古代劳动人民就发现了能够燃烧的石油。班固的《汉书·地理志》写到：“高奴，有洧水，可燔”，就是描述陕北一带水面上有像油一样的东西可以燃烧。

科学术语“石油”是北宋著名科学家沈括在《梦溪笔谈》中首次提出的：“石油……生于水际沙石，与泉水相杂惘惘而出”。他在描述了陕北富县、延安一带石油的性质和产状后，进一步推论了石油的利用远景：“此物后必大行于世，……盖石油至多，生于地中无穹，不若松木有时而竭”。

我国古代劳动人民最早利用天然气进行煮盐。据记载，公元前 221~210 年，四川邛崃出现了用顿钻钻凿的天然气井，利用钻井开采天然气煮盐。天然气煮盐促进了古代钻井技术的迅速发展。我国是世界上最早开发气田的国家，四川自流井气田的开采约有两千年历史。宋末元初(13 世纪)，已大规模开采自流井的浅层天然气。公元 1840 年钻成磨子井，在 1200 米深处钻达今三叠系嘉陵江统石灰岩第三组深部主气层，发生强烈井喷，火光冲天，估计日产气量超过 40 万立方米。从汉朝末年年开始，在自流井大规模开采天然气煮盐以来，共钻井数万口，采出了几百亿立方米天然气和一些石油。这样长的气田开采历史在世界上也是罕见的。

我们中华民族的祖先，以其勤劳、勇敢和智慧，在认识、利用和开采石油及天然气资源方面一直走在世界前列，积累了丰富的知识和宝贵的经验，给我们留下了一笔极其珍贵的文化遗产。

但近代以来，由于封建政府的腐败和外敌入侵，我国的石油勘探和开发工业大大落后于世界先进水平。新中国成立前，全国只有两个地质调查队，几十个地质勘探人员，百分之九十以上的面积没有进行过石油地质调查。全国只有几个小油田，从 1904~1949 年期间，石油累计产量约为 210 万吨。

新中国建立后，石油工业获得了突飞猛进的发展，在自力更

生、艰苦奋斗的精神鼓舞下，石油勘探者们发现了一个又一个大油田，石油年产量成倍增长，至 70 年代末期就突破了一亿吨大关，90 年代达到一亿五千万吨，现在一天的石油产量大体相当于建国前最高年产量 5 年的产量，石油年产量居世界第五位，彻底改变了我国石油工业落后的局面。

新中国的石油勘探大致经历了三个阶段：解放后前十年为第一阶段，开展全国石油普查，勘探重点在西部的四川、陕甘宁、酒泉、准噶尔、柴达木、吐鲁番、民和等盆地。这些地区的地表油气显示较多，已有少数油气田，地层出露较好，构造比较明显。这期间陆续发现了克拉玛依、冷湖等油田和川南一批气田，石油工业有了显著发展，但还没有根本改变进口石油的局面。1959 年国庆 10 周年前夕，松辽盆地松基 3 井喜喷高产油流，标志着我国石油勘探进入了第二阶段，从此石油勘探的重点从西部转向东部大平原。随后在 60 年代至 70 年代中期，相继在松辽盆地、渤海湾盆地等陆相盆地发现了一大批油气田，石油年产量迅速增长，使我国石油工业上了一个新台阶。1975 年渤海湾盆地任丘古潜山油田的发现，打开了石油勘探的新领域，首次在古老的中、上元古界白云岩中找到了巨大的地层油藏，标志着我国石油勘探向着更广阔的领域发展，找油的层系和类型不断丰富。不仅在中、新生界陆相地层，而且在古生界和中、上元古界海相地层中寻找油气藏。1978 年我国原油产量逾亿吨，迈入世界产油大国行列。进入 80 年代以来，伴随着我国改革开放，我国石油勘探进入第三阶段，其主要标志有两个：一是向海洋石油勘探突飞猛进，对外开放合作勘探使我国海洋石油勘探进入了一个大发展时期，在我国近海盆地相继发现了一大批大油气田，如蓬莱 19-3 油田、崖 13-1 气田；二是我国石油工业坚持“稳定东部、发展西部、油气并举”的勘探战略，在西部塔里木、准噶尔、吐哈三大盆地加强了勘探，并获得了重大发现，如苏里格大气田、

克拉 2 号大气田等,使西部地区成为我国石油工业 21 世纪发展的重要后备阵地。

建国 50 年来,我国油气勘探取得了辉煌成就,发现了一大批油气田。截至 1997 年底,已找到 493 个油田、145 个气田,油气产量持续稳定增长,1997 年产油量达 1.6 亿吨、产气量逾 200 亿立方米,跃居世界第五大产油国。

与此同时,我国还成长起来一支油气地质勘探和科学研究队伍。在石油地质理论及相关边缘学科研究领域都做出了很大贡献。在生油理论方面,破除了“中国贫油论”的理论束缚,批判了唯海相生油论的偏见,建立了陆相沉积盆地能够大量生油并可形成大型油气田的新理论,找到了一批重要的陆相大油田。

二、世界油气勘探简史

世界上关于石油和天然气的最早记载可能出现在中国,至少有两千多年的历史。在人类历史上,石油在宗教、医药、照明、润滑、建筑、火攻等方面都起过重要作用。

在几个世纪前,人们已从地表油苗中获得了少量原油。但人们有意识的钻探石油则是近一个半世纪以来的事。19 世纪后半叶,俄国(1848 年在比比-埃巴特)、美国(1859 年在宾夕法尼亚州)相继钻成了各自的第一口产油井后,标志着近代石油工业的诞生。在这个时期,人们从石油中提炼煤油点灯照明,称为石油工业发展缓慢的“煤油时代”。20 世纪初,内燃机的广泛使用促进了石油工业蓬勃发展,从 1900~1940 年,石油主要用于提炼汽油,可称为“汽油时代”。1940 年后,化学工业的发展利用石油产品作为基础原料,提炼出的三千多种产品渗透到国民经济的各个领域,同时石油和天然气及其产品还是世界各国的动力燃料,在世界能源消费结构中已占 60%~70%。所以现代石油工业已发展到“燃料和化工原料时期”。

近代石油工业是在世界资本主义发展时期发展起来的。由于石油具有良好的燃烧性能以及巨大的商业利润，从而大大刺激了石油勘探开发活动。世界年产石油从 19 世纪 80 年代的 500 万吨上升到 20 世纪 40 年代末的 5 亿吨，直至 80 年代的 30 亿吨。80 年代以来，受石油市场的影响，世界原油年产量基本上徘徊在 30 亿吨左右。但天然气勘探活动却蓬勃发展，储产量远远超过石油。据专家预测，21 世纪 20~30 年代，天然气将取代石油成为第一能源。

在 20 世纪 20 年代以前，主要石油生产国是美国和俄国。特别是美国，石油年产量长期居世界首位，从 1860 年到 1946 年，美国总计生产了全世界原油总产量的近一半左右。20 世纪 20 年代以后，墨西哥、委内瑞拉等国相继成为产油大国。二次世界大战后，中东波斯湾地区成为最重要的产油区。目前该区石油年产量占世界石油总产量的三分之一，储量占全球剩余石油储量的三分之二以上。

20 世纪 60 年代以来，北非撒哈拉大沙漠、西非尼日尔河三角洲、北美墨西哥、西欧北海东亚和中国都陆续发现了许多大油气田，大大改变了世界油气资源分布不平衡的状态，中国、挪威、墨西哥、尼日利亚和利比亚都成为世界主要产油国。前苏联解体后石油产量骤减，独联体国家的石油产量退居第二位，沙特阿拉伯跃居世界之首。1995 年世界石油总产量已达 30.72 亿吨。与此同时，世界天然气勘探开发也有显著增长，1995 年世界天然气产量达到 2.22 万亿方，独联体、美国、加拿大仍居前列。

从找油的理论和手段来看，近代世界石油勘探工作经历了几个十分明显的阶段。在 19 世纪 50 年代，勘探的依据是油气苗，人们相信油气苗是地下油气藏的直接显示。因此，井位主要选择在接近油苗和先期钻探成功井的附近。不久人们注意到油气聚集明显地沿着一条带状的趋势线分布，同时还发现油气充填在某些