

当代石油和石化工业技术普及读本

非常规油气资源

庞名立 执笔



中國石化出版社

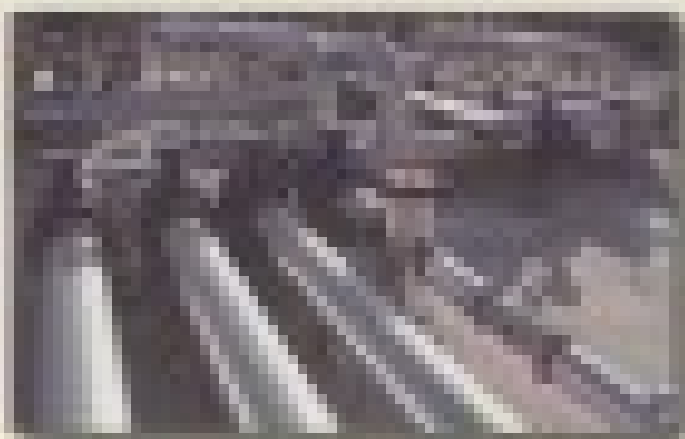
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



当代石油和石化工业技术普及读本

非常规油气资源

潘永江 编著



中国石化出版社

CHINA PETROLEUM & CHEMICAL INDUSTRY PRESS

当代石油和石化工业技术普及读本

非常规油气资源

庞名立 执笔

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

非常规油气资源 / 庞名立执笔.
—北京: 中国石化出版社, 2013. 7
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 978 - 7 - 5114 - 2238 - 5

I. ①非… II. ①庞… III. ①石油资源—研究
IV. ①TE155

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 142734 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭,
或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

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

读者服务部电话: (010) 84289974

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

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 3.625 印张 65 千字
2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定价: 12.00 元

《当代石油和石化工业技术普及读本》

(第四版)

编 委 会

主任：曹湘洪

编委：(按姓氏笔画为序)

王子康	王少春	王丙申	王协琴
王国良	王毓俊	尤德华	亢峻星
刘积文	刘跃文	刘镜远	孙梦兰
孙殿成	孙毓霜	陈宝万	陈宜焜
张广林	张玉贞	李润清	李维英
吴金林	吴明胜	法琪瑛	庞名立
赵 怡	宫 敬	贺 伟	郭其孝
贾映萱	徐嗶东	翁维琬	龚旭辉
黄志华	黄伯琴	梁朝林	董恩环
程曾越	廖谟圣		

前 言

《当代石油和石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版共包括了11个分册,2000年出版发行;2005年起根据石油石化工业的新发展和广大读者的要求,在修订了原有分册的基础上,补充编写了海洋石油开发、天然气开采等8个新的分册,于2007年出版发行了《普及读本》第二版;2009年我们又组织编写了煤制油、乙醇燃料与生物柴油等7个分册。至此,《普及读本》第三版共出版了26个分册,涵盖了陆上石油、海洋石油、开采与储运、天然气开发与利用、石油炼制与化工、石油化工绿色化及信息化、炼化企业污染与防治等石油石化工业相关领域的内容。

《普及读本》以企业经营管理非技术人员和非炼化专业技术人员为读者对象,强调科普性、可阅读性、实用性、知识及技术的先进性,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业各个技术领域的概貌有一个基本了解,使其能通过利用阅读掌握的知识更好地参与或负责石油石化业的管理工作。这套丛书作为新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版项目,从开始组织编写到最后出版,我们在题材的选取、大纲的审定、作者的选择、稿件的审查以及技术内容的把关等方面,都坚持了高标准、严要求,力求做到通俗易懂、深入浅出、由点

及面、注重实用，出版后，在社会上，尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响，受到了广泛好评。为了满足读者的需求，其中部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行，对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用，并荣获2000年度中国石油化工集团公司科技进步三等奖。

近年来，石油石化工业的发展日新月异，先进技术不断涌现；随着时间的推移，原有部分分册中的一些数据已经过时，需要更新。为了进一步完善《普及读本》系列读物，使其内容与我国石油石化工业技术的发展相适应，我们决定邀请国内炼油化工领域的专家对第一版及第二版的19个分册进行修订，组织该书第四版的出版发行，从而使该系列读物与时俱进，更加系统全面。

《普及读本》第四版的组织编写和修订工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华以及中化集团的大力支持。参与丛书编写、修订工作的专家、教授精益求精、甘于奉献，精神令人感动。在此，谨向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢！

中国工程院院士

二〇一一年八月八日

引 言

人类跨入 21 世纪，世界各国对石油天然气资源的需求量大增。尽管常规油气可采储量和产量仍然不断上升，但石油在一次能源消费中的比例逐年降低；同时，动荡的世界局势经常造成油气供应短缺。在可再生能源尚无法替代化石燃料之前，为了确保能源供应安全及延迟石油峰值的到来，人们在寻找并开发非常规油气资源，并使得石油供应重心开始转移，对中东石油的依赖削弱了。

非常规油气是指不通过生产井从地下圈闭的油气藏中开采，而通过其他方式生产或提取的油气。

由于非常规油气开采成本远比常规油气高，遏制了非常规油气的发展，但是随着油气价格飙升，非常规油气跨过了经济和环境保护的门槛，成为能源市场能够接受的能源品种。

现今在加拿大阿萨帕斯卡尔油砂矿，载重 400 吨的巨型卡车每天数万车次运输油砂到加工厂；中国数百座页岩油干馏炉耸立在抚顺地区，使中国一跃成为世界上页岩油产量最大的国家；巴西建成世界上最大的油页岩干馏炉，每天每座炉干馏油页岩 6200 吨；委内瑞拉在奥里诺科地带寻找超重原油，使其石油剩余可采储量超过沙特阿拉伯跃居世界首位；世界上煤制油最高产量在中国内蒙古；美国竖立起数万个井架开采页岩气；科技

工作者正在研究藻类制油技术……。所有这些都说明，人们正在用非常规手段获取石油天然气。

非常规油气勘探开发进入突破高峰期，将成为全球石油工业发展的必然趋势；非常规油气理论技术进入持续创新期，正在引发世界石油工业新的科技革命；非常规油气地质学进入黄金发展期，已成为石油地质学发展的理论前沿，非常规油气资源的战略地位日趋重要。

全球有丰富的非常规油气资源。在全球石油资源中，常规石油只占 30%，其余 70% 都是非常规石油，而天然气水合物资源量则为全球油气资源总和的两倍，但非常规油气都是低丰度、低品位的，因此，开发非常规油气资源面临着严峻的挑战：

①非常规油气资源的勘探程度较低，需要加大资源评价力度；

②非常规油气资源部分关键技术需要持续攻关；

③环境保护对非常规油气资源产业发展提出了严格的要求；

④非常规油气资源业务投入大、周期长，经济效益短期内难以体现。

⑤非常规油气资源的开发需要获得政府的政策支持。

随着我国经济的快速发展及勘探的不断深入，发现大型的常规新油气田越来越困难，常规油气资源已经无法满足人们的需求，因此，要求加快非常规资源勘探开发技术的研发，加大经济评价力度，确定其经济可采储量规模，尽量减少我国对外石油的依存度。

目 录

引言	(i)
第一章 概述	(1)
第一节 油气成因学说	(1)
第二节 油气资源的生成	(2)
第三节 油气储层与地层深度的关系	(4)
第四节 资源量与可采储量	(5)
第五节 非常规油气跨过准入门槛	(6)
第二章 非常规石油	(12)
第一节 非常规石油的简介	(12)
第二节 油 砂	(14)
第三节 油页岩与页岩油	(25)
第四节 致密油	(37)
第三章 非常规天然气	(43)
第一节 非常规天然气的简介	(43)
第二节 致密砂岩气	(49)
第三节 煤层气	(54)
第四节 页岩气	(60)
第五节 天然气水合物	(67)

第四章	合成燃料	(76)
第一节	直接液化法	(77)
第二节	间接液化法	(83)
第三节	生物燃料	(87)
第五章	环境问题	(96)

第一章 概 述

第一节 油气成因学说

人类进入石油时代以来，一直在探索油气的成因，进入 20 世纪 70 年代，出现了两种截然不同的观点：有机成因说和无机成因说。

1. 有机成因学说

把成烃的条件限制在相当狭窄的范围。根据有机成因学说推断，地层很深的干酪根将变成石墨，失去成烃的可能。即使形成石油天然气也被进一步分解，不可能以烃矿床存在，从而导出“石油极限”和“天然气极限”论。通过地质勘探，有机成因学说受到质疑，特别是天然气成因。

2. 无机成因学说

有两种著名的观点：

(1) 费歇尔-托普斯法观点

主要成烃机理是含氢和含碳等无机物经由化学反应生成石油天然气。用费歇尔-托普斯法合成人造石油已经进入商业化生产。在以费歇尔-托普斯法合成石油过程中，氢、一氧化碳和二氧化碳是必要物质，在地下深

层高温高压的条件下，这些物质极可能存在，反应也可能发生，所以深层气的生成也容易发生。

(2) 地球深层气观点

美国天文学家托马斯·戈尔德提出“地球深层气无机成因”假说，认为地球形成时便封存烃类这一原始物质。烃类的存在不仅限于地球而是整个宇宙。这种烃类深埋在地下(100~300千米)，在高温(1100~2400℃)条件下，发生各种反应生成甲烷，并由地壳向地表运移。

由于宇宙化学、同位素地质学，特别是全球构造学的进展，深层气的研究重新引起人们的重视，并提出了一些新的假说或论证，如板块俯冲带成气说、地球深层气说等。深层气成因假说的提出开阔了视野，深层勘探也越来越活跃，各国都在不断寻找和勘探。

1978年蒂索与维尔特合著《石油形成与分布》，论述了有机质转化为干酪根，然后又转化为石油天然气及油气藏的形成机理。即“干酪根晚期热降解生烃”理论模式，成为石油化学发展的里程碑。就目前而论，虽然有机成因说受到质疑，但在油气勘探开发中，仍占主导地位，因此，寻找油气田仍然按照有机成因理论，所以非常规油气的成因也仍然采用有机成因理论。

第二节 油气资源的生成

地球约在46亿年前形成，距今33~35亿年前，蓝藻就在地球上出现。蓝藻是第一种经由光合作用从太阳

光中获得能量的生物，也是地球上最早出现的生物。在3~4亿年前，海洋已经大量繁殖动植物，生成油气的有机物质就来自于海洋和湖泊中的动植物残体。这些残体随同沉积物沉积于海洋中的低洼地带，在缺乏氧气的环境中得以保存，并在一定的物理、化学作用下分解，完成“去氧、加氢、富集碳”的过程，形成分散的碳氢化合物——石油和天然气。

分散的油气的存在压力差和浓度差的条件下，在地壳内任意移动。在油气运移过程中，如果受到某一遮挡物的阻挡而停止，则油气被聚集起来。常见的遮挡物如储集层上覆的不渗透盖层、断层以及储层物性的变化等。在储集层中，这种遮挡物存在的地段或区块，称为“圈闭”，油气进入圈闭就形成油气田，即为常规油气资源。

油气生成后，未排出源岩层系，大规模滞留于源岩层系，游离或吸附分散在致密岩层或页岩层中，就形成了非常规油气资源。

与常规油气资源的生成条件和特性不同，非常规油气资源地质特征为储层分布广泛、以自生自储方式为主、储层致密、无特定圈闭、没有或很少扩散运移等。从生产方式来说，常规油气钻井，只要钻进到油气圈闭内，即可产生高压油气流，高产维持数年；而开采非常规油气通常技术更为复杂，必须采用丛式井或水平井，实施增产措施如压裂酸化等，而且油气流衰减很快。

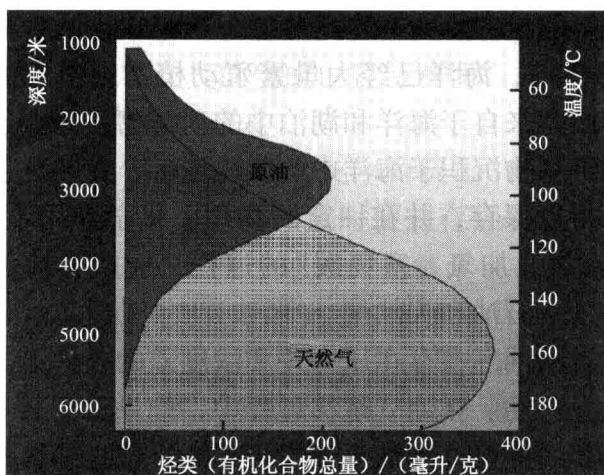


图 1-1 油气储层与埋深 - 温度的关系

第三节 油气储层与地层深度的关系

油气资源埋深与地层深度和温度有密切关系。原油在 165°C 以上就裂解为以烷烃为主的天然气，而甲烷具有较高的热稳定性，在地层的条件下存在的最高温度可大于 500°C ，天然气埋深远比原油深得多。

图 1-1 表明，绝大多数有商业价值的油气田出现在此范围，非常规油气资源也在此范围，其温度超过此范围，油气就会碳化。

勘探油气田朝向深层发展，世界上已在 21 个盆地中发现了 75 个埋深大于 5000 米的工业油气藏。我国元坝气田成为迄今为止埋藏最深的大型海相气田，气藏埋深 6500 米左右；30 年来西半球发现的最大油田——巴西卢

拉油田位于水下 2000 米，然后在盐砂岩下 5000 米。这种地壳埋深处的成藏机理一直是研究者探索的焦点。

第四节 资源量与可采储量

非常规油气资源量不是指自然界地下蕴藏的非常规油气数量，而是指经过人们的地质勘探和研究，已探明的、地下蕴藏的并可被利用的非常规油气数量。

地下油气资源不是一个常数，随着人们的认识和技术进步而改变，因此，人类消费油气形成这样一个链：资源量→可采储量→生产量→消费量，前者不断为后者提供数量。

资源量数据是估算的，是统计机构、协会及学者按照自己的规范对资源量进行的评价，因此，可能出现多种数据，这些数据仅供参考，不具备商业价值。在论述非常规油气资源时，许多数据采用资源量，其中又分为地质资源量和技术可采资源量，而不是可采储量，因此数据相差很大。但很难查到非常规油气可采储量数据，其原因是有的非常规油气如页岩油、油砂、页岩气等已经跨过经济（价格）的门槛，没有单独统计，而是并入可采储量范围。也就是说，可采储量已经包含了常规油气和非常规油气两者的可采储量数据。在市场经济中，可采储量、生产量和消费量等数据是能源决策者和研究者关注的，每年 6 月可以从 BP 公司的《世界能源统计评论》中查询到更新的数据。

当今世界，尽管油气可采储量和产量持续增加，但需求量更加强劲增长，油气供应难以支持经济增长，表现出石油供不应求，显示出原油在一次能源消费中持续降低，常规油气资源已经不能满足需求；同时，国际地缘政治局势的变化，经常性影响油气供应，因此，为了确保油气供应，不被国外油气牵制，世界各国将能源的注意力逐渐聚焦于非常规油气资源。

第五节 非常规油气跨过准入门槛

人类对地下资源的利用总是从其较易开发、资源丰度较高、因而易获得较大经济效益的地方入手，然后随着需求的扩大和技术水平的提高而转向资源禀赋较差的领域扩展。自 20 世纪 60 年代以来，常规和非常规油气的概念开始流行。人们把当时就可进行经济开发的那些油气资源类型归为常规，而把丰度低、难开发以致在当时技术经济水平下难以取得经济效益（即难于达到经济门槛）的油气资源列入非常规。从其划分的两个关键词（技术水平、经济门槛）来看，都随时间推移条件改变而变化，因而这个界限是模糊的、在不同国家是有所不同的。在不断的探索中，20 世纪后期人们已认识到从地下赋存量来看，非常规油气要比已发现的常规油气高几倍。于是在需求的巨大推动下，依托科技水平的不断提升而使可采的经济边际不断下移。如用 20 世纪后期的标准划分的非常规油气类型，以现今的条件会有一部