



当代石油和石化工业技术普及读本

油页岩和页岩油

中国石油和石化工程研究会 组织编写
施国泉 执笔



中国石化出版社

[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

油页岩和页岩油

中国石油和石化工程研究会 组织编写

施国泉 执笔

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

油页岩和页岩油 / 中国石油和石化工程研究会组织编写. —北京: 中国石化出版社, 2009
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 978-7-80229-877-4

I. 油… II. 中… III. ①油页岩-普及读物②页岩焦油-普及读物 IV. P618.12-49 TE662-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 031855 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

读者服务部电话:(010)84289974

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

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 4.375 印张 79 千字

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

定价:12.00 元

前 言

《当代石油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, 对第一版的 11 个分册进行了修订, 并补充编写了 8 个新的分册, 于 2007 年出版发行。这样, 《普及读本》第二版共出版了 19 个分册, 涵盖了陆上石油、海洋石油勘探、开采与储运, 天然气开发与利用, 石油炼制, 石油化工和绿色石油化工等相关领域。

《普及读本》以企业经营管理人员和非本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的各个技术领域的概貌有一个基本了解, 能利用通过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, 我们在题材的选择、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。《普及读本》出版后, 在社会上, 尤其是在石油石化行业 and 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年度中国石化集团公司科技进步三等奖。

为了进一步补充、完善《普及读本》系列读物，根据近年来石油石化工业的发展状况，按照可持续发展的要求，在征求各方面专家意见的基础上，我们决定补充编写乙醇汽油、煤制油、页岩油以及污染治理、信息化等方面的内容；同时对先前出版的分册再次进行修订、更新，组织第三版的出版发行。对于新增补的分册，我们邀请了中国石油、中国石化、中国石油和石化工程研究会以及国内石油和石化高等院校的有关专家进行编写。原有分册的修订工作原则上请原作者负责。

《普及读本》第三版的组织编写、修订和增补工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华和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
美国国家工程院外籍院士

二〇〇九年二月六日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

(第三版)

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
徐喈东	翁维琬	龚旭辉	黄志华
黄伯琴	梁朝林	董恩环	程曾越
廖谟圣			

序 言

油页岩又称油母页岩，是一种高灰分的含有机物的固体燃料，其岩石多呈片状结构，因此称为油页岩。人们早就发现，这是一种可以炼出油来的石头。14 世纪 50 年代就有人从油页岩中提炼出照明用油，德国、法国、苏格兰、瑞典、西班牙等国家和地区先后建有 50 多个小型页岩油厂。1870 年后，随着价廉质优的天然石油的发现和开发，页岩油工业逐渐萎缩。但是由于油页岩矿藏在世界各地的普遍存在和数量巨大，页岩油性接近天然石油，容易加工利用，因此在世界某些地区、某些时期，仍得到一定的发展。如第一次世界大战期间，苏格兰页岩油产量大幅增加，日本帝国主义为了发动侵略战争，开发了我国抚顺的油页岩资源。在第二次世界大战后的两次石油危机期间，大家竞相研发页岩油的加工技术，尽管油价很快回落，还未来得及增产页岩油，但采炼技术得到了很大的提高和发展，单炉处理能力更加扩大，加工技术更加先进，环保措施更加完善。

我国也曾经是页岩油生产的大国，新中国成立初期，页岩油产品支撑了石油市场的半壁江山。当时有三个页岩油生产基地：吉林桦甸，建有二部内外并热式干

馏炉；辽宁抚顺一、二、三、四厂，建有抚顺式干馏炉 266 台，及相应的热加工和加氢精制设备，生产各种石油产品；广东茂名，茂名页岩油公司是当时苏联援建的 156 个项目之一，由于众所周知的原因未能全部建成，只建成了 40 台气燃式方炉和 64 台抚顺式圆炉，及相应的蒸馏、裂化、酸碱洗涤等粗加工设备。全国页岩油年产量近 100 万吨。

当时还成立了抚顺页岩油研究所、抚顺石油设计院和石油建设工程公司，大专院校设立人造石油专业，培养了大批人才，形成了一支发展页岩油工业的强大力量，对恢复、改进、发展页岩油生产，开展油页岩综合利用做了大量工作。如改进干馏炉结构，降低入炉页岩块度，页岩利用率从 60% 提高到 80%，开发了日处理为 275 吨的三段圆炉和 200 吨的气燃式方炉，实现了小块页岩压锭干馏和沸腾燃烧锅炉，利用小块页岩发电，使页岩 100% 得到利用，开发推广页岩灰做水泥、砌块、修筑道路，改善土壤等综合利用工作，发展了页岩油加氢技术，生产出航空汽油、煤油等高级产品和低凝点合成润滑油，不仅支援了经济建设，也为今后的发展奠定坚实的基础。

目 录

第一章 油页岩的成因	(1)
第二章 油页岩的性质	(5)
第一节 油页岩中的有机物质	(5)
第二节 油页岩的矿物质	(6)
第三节 油页岩的理化性质	(7)
第三章 世界油页岩资源和发展现状	(16)
第一节 世界各国油页岩资源	(16)
第二节 我国的油页岩资源	(17)
第三节 世界油页岩工业现状	(18)
第四章 油页岩的开采	(22)
第一节 露天开采	(22)
第二节 矿井开采	(24)
第三节 油页岩的破碎筛分	(25)
第五章 油页岩的热加工性能	(26)
第一节 油页岩的脱水干燥	(26)
第二节 油页岩的热分解	(27)
第三节 页岩半焦的燃烧和气化性能	(33)
第四节 油页岩的氧化	(34)
第六章 油页岩的低温干馏	(36)
第一节 地下干馏	(36)
第二节 以气体为热载体的干馏炉	(40)

第三节	以固体为热载体的干馏炉	(62)
第七章	油页岩干馏装置的回收系统	(80)
第八章	页岩油的加工	(87)
第一节	页岩油的性质	(87)
第二节	页岩油的加工	(89)
第九章	油页岩直接燃烧作燃料	(97)
第一节	油页岩悬浮燃烧锅炉	(97)
第二节	油页岩沸腾燃烧锅炉	(99)
第三节	油页岩循环流化床锅炉	(101)
第四节	油页岩循环流化燃烧的特点	(106)
第十章	油页岩的综合利用	(108)
第一节	页岩灰渣的综合利用	(108)
第二节	干馏煤气的利用	(113)
第三节	伴生矿物的开发利用	(114)
第十一章	环境保护及三废治理	(116)
第一节	水污染的防治	(116)
第二节	固体废物及粉尘的防治	(120)
第三节	有害气体的防治	(120)
第四节	噪音防治和绿化	(121)
第十二章	油页岩工业的发展前景	(122)
参考文献		(126)

第一章 油页岩的成因

油页岩是一种固体可燃矿物，和其他可燃矿物的成因相同，是由大量动植物的原始有机物质和泥沙等无机物沉积在一起，并且在适宜的气候条件和地质环境下，经长期的腐化、煤化作用而成。

一、油页岩的分类

根据原始组成物质的不同，固体可燃矿物通常可分为三类。

(1) 腐泥型(I型)。主要由海洋或湖泊水中大量生长的低等浮游植物和低等浮游动物沉积在水下，其脂肪属有机质，经长期缺氧条件下的生物、化学作用生成。如藻煤、油页岩等属于这一类。

(2) 腐殖型(Ⅲ型)。来自有氧条件下沼泽环境的陆生植物，主要是高等植物的木质素、纤维素经泥炭化作用、煤化作用而生成。可以形成腐殖煤、天然气，在一定条件下，也可以生成石油。

(3) 混合型(Ⅱ型)。也有把它分为腐殖腐泥型(Ⅱ-1型)和腐泥腐殖型(Ⅱ-2型)。

在显微镜下，油页岩切片中可以看到堆积的藻类群体，呈大小不一的褐色和黄色小团，表明藻类没有全部转化，而有一部分成了化石。在茂名、抚顺、桦甸等地

的油页岩中发现过藻类、孢子、树叶、树干以及鱼、龟、鳄鱼、贝壳等化石。藻类形成的油页岩属于腐泥类，这类油页岩在加热分解时，以油母有机质为基准的油收率较高。某些油页岩，除低等生物外，还有高等植物的木质素等芳香属组成，这类油页岩属于混合型。

二、油页岩生成的地理环境和条件

油页岩的生成，除需要大量丰富的原始有机物外，还取决于当时适宜的地理环境。

1. 较稳定的水体环境

水是生命之源，不但大量生物繁殖需要有一个良好的水体环境，而其残骸的沉积、富集、保存，在缺氧状态下的转化都需要水介质的作用。

2. 构造条件

油页岩的生成既然在水系中进行，即需要有形成湖泊、沼泽的良好的盆地构造。主要有三种：

(1) 凹陷深水湖盆，形成大型内陆湖泊，是发育大型、特大型油页岩矿的蕴床。

(2) 浅水断陷湖盆和断陷沼泽湖盆，形成小型浅水湖泊和沼泽，是产生煤系伴生油页岩矿的良好地带。

(3) 陆棚——泻湖构造。

3. 沉积条件

油页岩的组成特点是除含有机质外，还有大量的无机矿物质，这些矿物质可能是被流水以悬浮状态或固体状态带进来的泥沙，有的是溶于水中的矿物质，如硬水中的盐类，在水的浓度、酸度、碱度发生变化时沉淀出

来的。有的则是成矿生物的骨骼，如硅藻的硅藻土、贝壳的碳酸钙。这些无机物可以成为油页岩的组成部分，也可以成为油页岩矿的覆盖物。

按沉积盆地水体性质，可分为海相沉积和陆相沉积两大类。我国多为陆相湖盆成矿，只有少数如西藏羌塘盆地、塔里木盆地、柴达木盆地、四川盆地等为海相沉积，外国海相沉积的油页岩矿藏较多。

由于地球的构造运动，使成矿的地质条件不断发生变化，浅水湖泊或沼泽地可能下沉变成深水湖泊，深水湖泊可能上抬变成沼泽地带，或者浅水湖泊周边有大片沼泽，造成油页岩与煤共生的条件，亿万年间千变万化的地质、气候、水流条件，孕育了各种各样的油页岩矿藏，油页岩有时单独存在，有时则见于含煤、含油盆地。有的油页岩矿绵延数十公里，单层厚度达数百米，储量数十亿吨，有的厚度不到一米，储量仅数百万吨。有的一个矿区仅一层油页岩，有的则由厚薄不一的数十层组成。如桦甸油页岩矿仅计算储量可开采利用的就有13层，层厚1~3米，含油率从5%~15%不等。抚顺油页岩矿东西长达18千米，南北宽2~3千米，平均含油率5.5%，厚度达48~190米，抚顺油页岩属第三纪陆相湖泊沉积，分二个阶段形成，先是沼泽阶段形成了煤层，后来盆地下降形成深水湖泊，低等动植物大量繁殖、沉积而成共生的油页岩矿。

茂名盆地东西长44千米，宽4~14千米，是我国油页岩最著名产地之一，页岩储量达50余亿吨，平均厚度26米，属第三纪湖泊相和三角洲相沉积。

三、油页岩生成的年代

凡适合于动植物大量繁殖生长，地质较稳定的年代，都会生成油页岩矿，因此可以说各个不同地质年代都有油页岩矿的生成，如表 1-1。

表 1-1 油页岩矿生成年代

代	纪	距今 (万年)	矿产地	成因
新生代	第四纪	259		
	第三纪	6560	茂名、抚顺、桦甸、美国绿河、澳洲斯图阿特	陆相
中生代	白垩纪	14550	吉林农安、汪清、约旦拉琼	陆相
	侏罗纪	19960	辽宁新阜、甘肃窑街、内蒙奈曼旗	陆相
	三叠纪	25100	陕西鄂尔多斯盆地南部	陆相
中古代	二叠纪	29900	新疆伊犁、妖魔山、巴西依拉蒂	陆相
	石炭纪	35920	山东兖州、山西蒲县、加拿大阿尔伯特	陆相
	泥盆纪	41600	俄罗斯普里路特、美国密西西比	海相
	志留纪	44370	陕西汉中	海相
	奥陶纪	48830	爱沙尼亚库克西特	海相
	寒武纪	54000	俄奥林匹克、瑞典奥斯特各特	海相

第二章 油页岩的性质

油页岩由有机质和无机灰分组成，由于是逐渐交相沉积、岩化而成，二者紧密结合，很难分离。

第一节 油页岩中的有机物质

油页岩中的有机质分为两类，油母和沥青，油母不溶于一般有机溶剂，沥青可溶于有机溶剂。

1. 油页岩的油母

油母组成以碳、氢为主，并含有氧、氮、硫等元素的复杂化合物。油母不溶于水、酸、碱及常用的有机溶剂，在三氯化醛水溶液中能膨胀至相当程度但不变成溶液，在减压下也难以蒸馏分离，一般认为油母是一种具有三维结构的大分子聚合物的混合物。

稀盐酸和氟氢酸对油母的作用甚微，因此常用这两种酸先除去油页岩中的矿物质提取较纯的油母进行研究。用浓度 20% 盐酸，40% 氟氢酸处理抚顺、茂名油页岩取得灰分为 3.6% ~ 6.5% 的油母，分析结果见表 2-1。

从酸处理前后物料的有机碳平衡可以算出这两种油页岩的有机质含量分别为 21.27% 和 25.95%。

油页岩油母的碳氢比，较天然石油的 1.6 ~ 1.9 要

低，但远比煤炭的 0.62 ~ 1.0 要高。

表 2-1 几种油页岩油母元素分析

地名 组成(%)	抚顺	茂名	桦甸	黄县	美国绿河	巴西 依拉蒂
C	79.07	79.41	26.94	71.00	80.5	68.1
H	9.98	9.64	10.31	8.65	10.3	10.3
N	2.12	1.63	1.21	1.58	2.39	1.6
S	1.86	1.09	2.54	3.63	1.04	3.7
O	7.02	8.23	8.77	15.14	5.75	16.3
原子比	H/C	1.51	1.46	1.64	1.46	1.54
	O/C	0.067	0.078	0.085	0.159	0.053
						0.18

2. 油页岩的沥青

油页岩有机质中，沥青的含量很少。用酒精-苯混合溶剂抽提时，可从茂名页岩中抽出 1.14% 的沥青，而用其他单一溶剂，抽出量都未超过 1%。通常抽出沥青中饱和烃和芳香烃的平均分子量小于 500，是包在油母大分子网状结构中的脂类化合物，而平均分子量在 1000 以上的，其元素分析与红外光谱均与油母相类似，可认为是油母的碎片或其同系物。

第二节 油页岩的矿物质

油页岩中无机物的构成很复杂，含有各种各样的矿物，是在成矿过程中水流带入湖沼沉淀而来，其中最常见的是石英、粘土矿物(高岭石、蒙脱石、伊利石等)、碳酸盐(钙盐、镁盐)、硫酸盐(石膏)、硫化物(黄铁矿)以及亚铁化物等矿物，不一而足。如桦甸油页岩含

CaO 12.44%，爱沙尼亚页岩含 CaO 39.5%，燃烧时脱硫自给有余，巴西依拉蒂页岩含硫 5% ~ 6%，可以副产硫磺。

第三节 油页岩的理化性质

油页岩的理化性质对油页岩的开采、加工利用都有直接的关系，开发油页岩必须首先了解它的理化特性。

一、油页岩的特性

1. 颜色与外观

不同产地的油页岩颜色不同，从黄褐色到深褐色不等，窑街油页岩则呈黑色，其颜色受所含有有机质和无机矿物颜色的影响。在同一矿区中，含油率高的颜色较深。新开采出来的页岩颜色较深，如茂名页岩存放十天后页岩脱水、氧化，渐渐变成灰白色。

2. 密度、强度和硬度

油页岩的密度因所含矿物的成分、含量和有机质的含量不同而有很大差别，同一产地的油页岩含油率高，则密度较小，我国几个不同产区的油页岩密度如表 2-2。

表 2-2 不同产区油页岩密度 克/厘米³

产 地	密 度	产 地	密 度
茂 名	1.8 ~ 2.1	窑 街	2.13
抚 顺	1.9 ~ 2.2	农 安	2.2 ~ 2.4
桦 甸	1.65 ~ 2.15	东 胜	1.8 ~ 2.2

油页岩的强度和硬度不但影响破碎时的机械、动力