



准噶尔盆地油气实验技术与应用系列丛书

新疆北部 油页岩资源与分布

SILALE RESOURCES AND DISTRIBUTION IN NORTHERN XINJIANG

靳 军 王屿涛 马万云 等著



石油工业出版社

准噶尔盆地油气实验技术与应用系列丛书

新疆北部油页岩资源与分布

靳 军 王屿涛 马万云 等著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书在全面分析和总结世界油页岩资源与勘探开发现状以及油页岩形成地质条件与成因基础上,重点对新疆北部准噶尔盆地、伊犁盆地、福津盆地扎河坝凹陷油页岩的区域地质概况、沉积环境、地球化学特征、工业品质等方面进行了分析和研究,特别对准噶尔盆地南缘博格达山前二叠系芦草沟组油页岩进行了资源评价和成矿规律的研究。这是迄今最为全面和系统的阐述新疆地区油页岩形成条件与资源预测方面的专著。

本书可供从事油页岩地质研究、油页岩成矿理论研究和油页岩资源评价领域的科研人员及相关院校师生学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

新疆北部油页岩资源与分布/靳军等著.
北京:石油工业出版社,2015.10
(准噶尔盆地油气实验技术与应用系列丛书)
ISBN 978-7-5183-0917-7

I. 新…

II. 靳…

III. 油页岩资源-资源分布-新疆

IV. TE155

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 236292 号

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

编辑部:(010) 64523543

图书营销中心:(010) 64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10

字数:256 千字

定价:80.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《新疆北部油页岩资源与分布》

编写人员

靳 军 王屿涛 马万云 任江玲 廖健德

罗正江 郭晓燕 周 妮 于起玲 王海静

高秀伟 连丽霞 杨淑梅 王 明 王 熠

刘翠敏 杨红霞 王桂君

序

XU

英国著名科学家、现代实验科学的奠基人培根说过“没有实验，就没有科学”。现代科技的发展和引领者基本上都是在实验室中孕育产生的。实验室作为科学研究和人才培养的平台和载体，国内外历来都十分重视。作为现代企业，实验室的建设、实验技术和水平的提升、实验研究成果的推广和应用是企业科技创新的基础和动力。

2011年12月6日“新疆油田公司实验检测研究院”正式挂牌，标志着新疆油田公司化验、实验、检测业务发展进入新的起点，亦是中国三大石油公司及所属油田实验检测业务独立发展的新模式。挂牌伊始，时任新疆油田公司总经理陈新发提出了“充分实现资源整合利用，以现代化的理念，建成大中亚地区最具实力、最具影响力的实验检测研究院”这一要求以及“立足新疆、面向西部、辐射中亚”的业务定位，新疆油田的油气实验技术和应用将步入全新的发展空间。

纵观新疆油田油气勘探开发半个多世纪的发展史，无论是油气发现，还是增储上产，都离不开实验基础和实验研究。早在20世纪50年代初，新疆油田勘探开发研究就与实验研究融为一体，1951年成立了“独山子科学研究总化验室”，1955年改名为“新疆石油公司中心科学化验室”，之后，随着油田的发展，油气实验研究与之独立。可以说，新疆油田油气勘探开发史亦是一部油气实验技术应用史，这期间，积累了丰富的实验研究成果，培育了大量实验技术与应用人才。

在庆祝“克拉玛依油田发现六十周年”之际，我们欣慰地看到，由实验检

测研究院组织编纂的《准噶尔盆地油气实验技术与应用系列丛书》在历经两年的时间后，与大家见面了。这既是对“克拉玛依油田发现六十周年”庆典活动最好的献礼，也是对新疆油田油气实验研究理论、技术和应用全面系统地总结和提升。

《准噶尔盆地油气实验技术与应用系列丛书》的问世，汇聚了几代油气实验科技工作者的成果与智慧，也反映了当代年轻实验工作者刻苦钻研、勇于创新的精神。同时，又是一套弥足珍贵的系列专著与教科书和育人成才的精神财富。

面对准噶尔盆地越来越复杂的油藏地质条件和增储上产越来越困难的勘探开发现状，希望从事油气实验研究的科技工作者沉下心来，潜心钻研，勇于攻关，不断提升实验研究水平，大力推广实验研究成果，攻克和解决勘探开发领域的各类难题，为新疆油田的可持续发展做出新的、更大的贡献。

中国石油新疆油田分公司副总经理

2015年1月12日



前言

QIANYAN

世界油页岩资源丰富，预测储量在 $10 \times 10^{12} \text{t}$ ，其探明储量折算成页岩油，远大于世界原油探明储量。油页岩分布几乎遍布于世界各地，但资源分布并不均衡。世界上大部分油页岩分布区地质勘探程度都很低。

油页岩作为一种固体可燃有机岩，经过低温干馏可以提取页岩油，与页岩气、油砂矿、煤层气、致密油气等资源统称为非常规油气资源，可以作为常规油气的主要接替或补充资源。随着近年来国内油气对外依存度逐年增加，油气资源供给形势严峻，同时，伴随着开采技术的不断进步，油页岩等非常规油气资源重新成为业内关注的焦点。

近年来，我国油页岩勘探进展迅速，但油页岩探明资源储量主要分布在东部地区，如吉林桦甸、辽宁抚顺、山东龙口等地；而开发利用主要集中在辽宁抚顺、广东茂名等地。而西部地区，特别是新疆的油页岩勘探和资源评价工作尚处于起步阶段。

新疆北部地区，尤其是准噶尔盆地蕴藏着丰富的非常规油气资源，是我国陆上非常规油气种类最多、分布最广、资源最为富集的含油气盆地之一。其中，分布于准噶尔盆地南缘博格达山前的二叠系芦草沟组为一套分布广泛、厚度较大、含油率较高、资源丰富、开发潜力较大的油页岩矿床。

本书是在“准噶尔盆地油页岩资源调查与勘探潜力分析”研究课题的基础上，收集整理和归纳总结了国内其他学者的研究成果和文献资料，其中，涉及伊犁盆地和福津盆地扎河坝凹陷的研究内容参阅了“准噶尔盆地周缘碳酸盐岩重点剖面及伊犁盆地野外地面石油地质调查”、“伊犁盆地二叠系沉积储层研

究”、“伊犁、福津盆地及准东外围新领域研究及目标优选”等相关成果。

本书共分为六章，分别从世界油页岩资源与勘探开发现状、油页岩形成条件及成因、准噶尔盆地、伊犁盆地及福津盆地油页岩分布特征与成藏主控因素、新疆北部油页岩成矿品质评价和资源评价等方面进行了较为系统的阐述。对于今后进一步深化新疆油页岩成矿规律和地质评价的认识，指导油页岩的勘探将起到重要的作用。

由于笔者水平所限，不妥和谬误之处在所难免，敬请读者不吝指正。

目

录

MULU

第一章 世界油页岩资源与勘探开发现状	(1)
第一节 油页岩定义及分类	(1)
第二节 国外油页岩资源分布与勘探开发现状	(4)
第三节 国内油页岩资源分布与勘探开发现状	(10)
第二章 油页岩形成条件及成因	(21)
第一节 油页岩形成石油地质条件	(21)
第二节 油页岩成矿规律	(31)
第三节 油页岩成因类型	(35)
第三章 准噶尔盆地油页岩	(37)
第一节 博格达山前油页岩	(37)
第二节 克拉美丽山前油页岩	(73)
第四章 伊犁盆地与福津盆地二叠系油页岩	(77)
第一节 伊犁盆地油页岩	(77)
第二节 福津盆地扎河坝凹陷二叠系油页岩	(107)
第五章 新疆北部油页岩成矿品质评价	(113)
第一节 油页岩成矿品质评价指标	(113)
第二节 油页岩品质评价结果	(124)
第六章 新疆北部油页岩资源评价	(132)
第一节 油页岩资源评价方法概述	(132)
第二节 油页岩资源评价流程与评价参数的确定	(133)
第三节 油页岩资源评价结果	(135)
第四节 油页岩有利勘探目标优选	(144)
参考文献	(148)

第一章 世界油页岩资源与勘探开发现状

第一节 油页岩定义及分类

一、油页岩定义

早在 100 多年前,油页岩就被冠有多种不同的名称,如油煤、藻煤、明矾页岩、沥青煤、黑沥青、托班藻煤、气煤、乌伦岗页岩、库克页岩等。许多国家的学者也讨论了“油页岩”这一术语,但至今仍未有一个广为接受的定义。

Gavin J. M. (1924): 油页岩是致密层状的沉积岩,含有 33% 以上的灰分,蒸馏时有油产出,在正常溶剂抽提时和石油没有区别。

Котлуков В. А. (1968): 油页岩是黏土质、石灰质或硅质的沉积岩,含有腐泥质或腐殖腐泥质,有机质占 15%~50%,并均匀地分布在矿物质中,加热到 500°C (无空气进入) 和 1000°C (有空气进入) 时,能产出页岩油和可燃气体。

Кузнецов А. Т. (1975): 油页岩属于腐泥岩,它是固体有机成因沉积矿产,含有不同数量的有机物质,可当作燃料燃烧,当热分解时可获得相当数量的、由各种化学组分组成的液体产物和高热值瓦斯。

Tissot 和 Welte 认为 (1978): 任何热解生油量达到一定商业标准的浅层岩石,均可看作是油页岩。

《全国矿产储量委员会矿产工业要求参考手册》(1987): 油页岩是一种高灰分 (40%~80%) 的可以燃烧的有机岩石 (或称腐泥煤)。有机物质有沥青、腐殖质等,无机质有硅酸铝、氢氧化铁、方解石、石膏、黄铁矿等。化学成分主要为碳、氢、氧、氮、硫等元素。油页岩一般含油率为 3.5%~15%,个别高达 20% 以上,油页岩的发热量为 4.18~16.75 MJ/kg。

赵隆业等 (1990): 油页岩是高灰分的固体可燃有机体,作为工业矿产要求含油率大于 5%,发热量超过 7.5 MJ/kg,它可以是腐泥、腐殖或混合成因的。它和煤的主要区别是灰分超过 40%,它和碳质页岩的主要区别是含油率大于 5%。

联合国教科文组织 (UNESCO) 于 2003 年出版的《新世纪大百科全书》中关于油页岩的定义: 油页岩是一种沉积岩,具无机矿物质的骨架,并含固体有机物质,主要为油母质及少量沥青质 (Bitumen)。油页岩是一种固体化学燃料 (Solid Fossil Fuel)。作为一种能源,油页岩也可直接燃烧,产生蒸汽发电。

刘招君等 (2004) 把油页岩定义为: 油页岩 (又称油母页岩) 是一种高灰分的固体可燃有机沉积岩,低温干馏可获得页岩油,含油率大于 3.5%,有机质含量较高,主要为腐泥型和混合型 (腐殖—腐泥型和腐泥—腐殖型),其发热量一般不小于 4.18 MJ/kg。

国际上,把含油率不小于 0.25 bbl/t (相当于含油率大于 3.5%) 的页岩称为油页岩。

二、油页岩分类

油页岩的分类如同其命名一样，也随历史的发展而变化，依据的参数也很多。早期大多数是单纯注重有机质的化学性质划分级别，根据碳、氢元素含量及含油率、发热率等参数，把油页岩分为五个级别（Добрянский А. Ф.，1947），但这种分类容易引起成因概念上的混乱（表 1-1）。

表 1-1 油页岩按化学性质分类表（据 Добрянский А. Ф.，1947）

油页岩品级	C (%)	H (%)	含油率 (L/t)	发热量 (MJ/kg)
一级	<60	<7.3	18~25	24.3~26.4
二级	60~65	7.3~7.8	25~35	26.4~28.5
三级	65~70	7.8~8.3	35~45	28.5~31.4
四级	70~75	8.3~8.9	45~57	31.4~35.6
五级	75~80	8.9~9.3	>57	35.6~37.5

而后，发展到从油页岩成因角度出发，根据有机质类型划分为腐泥型、腐殖—腐泥型、腐泥—腐殖型三类，每一类型根据所含藻类体的性质和数量又作了进一步细分，使成因分类愈加复杂，缺乏实用性。为了体现实际操作性，原苏联学者（Гинэбург А. Н.，1986）列出了其成因分类和化学分类的对应关系，但经过实际应用，这种关系拟合得并不理想（表 1-2）。

表 1-2 油页岩成因类型—化学成分分类表（据 Гинэбург А. Н.，1986）

有机质类型	藻类体数量（个）	有机质氢元素含量（%）
腐泥型	80~93	8.5~11
腐殖—腐泥型	70~80	7.0~8.5
腐泥—腐殖型	50~70	6.0~7.0

现代油页岩分类综合考虑了矿床的沉积环境、有机质类型、岩石矿物组合特征以及有机母质的识别。其中，最有代表性的是澳大利亚学者 Hutton A. C.（1987，1988，1991）提出的有机成因分类方案（表 1-3）。

表 1-3 油页岩按成因性质分类表（据 Hutton A. C.，1991）

沉积相	岩石类型	主要组分	次要组分
陆相	浊煤	孢子体、树脂体、角质体	镜质体、惰性体
湖相	托班油页岩	结构藻类体	镜质体、惰性体
	层状油页岩	层状藻类体	结构藻类体、镜质体
海相	海相油页岩	层状藻类体、沥青质体	
	塔斯马尼亚油页岩	结构藻类体	
	库克油页岩	结构藻类体	

他将油页岩分为浊煤、托班油页岩、层状油页岩、海相油页岩、塔斯马尼亚油页岩和库克油页岩。但此分类没有考虑到油页岩的化学性和工艺性，混淆了煤岩与油页岩的界限。事实上，著名的塔斯马尼亚煤、托班藻煤以及浊煤是典型的煤岩而非油页岩。

不难看出，单纯以成因分类为基础，其分类将越分越细，与工业利用相结合的难度也越来越大。原苏联学者 Озеров И. М. 等（1970）提出了一种油页岩实用的成因分类，即工业—成因分类：以成因分类，发热量定级，含油率定亚级，含油率与发热量比值 T/Q 定组，油页岩显微组分定亚组，矿物质的成分定种，硫的含量定亚种（表 1-4）。该方法参照国际煤炭分类方案，用量化的指标，拓宽了分类表的范围，避免了各分类参数的重复。

表 1-4 油页岩按工业—成因性质分类表（据 Озеров И. М.，1970）

成因分类	腐泥型	腐殖—腐泥型	腐泥—腐殖型
级—发热量	高发热量 12.5kJ/g	中发热量 8.4~12.5kJ/g	低发热量 6.3~8.4kJ/g
亚级—含油率	高含油率	中含油率	低含油率
	中有机质（40%~50%）	中有机质（40%~50%）	中有机质（30%~40%）
	低灰分（<60%）	中灰分（60%~70%）	高灰分（>70%）
组— T/Q 比	>6	5~6	<5
亚组—煤岩显微组分	结构藻类体 无结构藻类体	结构藻类体	镜质体—腐泥—腐殖混合组分
		腐泥—腐殖混合组分	镜质体+壳质体+胶质藻类体
		胶质藻类体+壳质体+镜质体	
种—矿物质	碳酸盐质 ($\text{CaO}+\text{MgO}=10\%\sim20\%$)	硅铝质 ($\text{CaO}+\text{MgO}\leq 10\%$)	硅质 ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3\geq 70\%$)
	硅铝—碳酸盐质 ($\text{CaO}+\text{MgO}=10\%\sim20\%$)		
亚种—硫	低硫（<2%）	中硫（2%~4%）	高硫（>4%）
伴生组分	稀有分散元素高，可工业利用 Al、K、Na、Ca、P 等		
工业利用方向	化学工业、能源工业、建材工业		化学工业（硫化化工产品）、能源工业

目前，国内油页岩分类主要采用的是赵隆业（1991）等提出的工业—成因分类方案（表 1-5）。该分类体系根据中国油页岩特征在参数上进行了选择，提出了一套适合中国油页岩分类的方案。

表 1-5 中国油页岩工业—成因分类（简化）（据赵隆业等，1991）

类—成因类型	腐泥质	腐殖—腐泥质	腐泥—腐殖质
级—发热量	高发热量 12.5kJ/g	中发热量 8.4~12.5kJ/g	低发热量 6.3~8.4kJ/g
亚级—焦油产率	高焦油率	中焦油率	低焦油率
	中有机质（40%~50%）	中有机质（40%~50%）	中有机质（30%~40%）
	低灰分（<60%）	中灰分（60%~70%）	高灰分（>70%）
组— T/Q 比	>6	5~6	<5
亚种—硫	低硫（<2%）	中硫（2%~4%）	高硫（>4%）

第二节 国外油页岩资源分布与勘探开发现状

一、油页岩资源分布

世界上现已发现油页岩矿的国家达 42 个, 从其形成的地质年代看, 自寒武纪至新近纪。这是因为油页岩的形成要有较稳定的环境。在上述地质历史年代里, 全球的构造运动相对稳定, 有利于油页岩的形成。

(一) 油页岩资源层系分布

1. 古生界

1) 寒武系和奥陶系

绝大多数的古生界下部油页岩都沉积在斯堪的那维亚以东加拿大寒武纪地质边缘的浅海中以及美国和加拿大的中、东部和瑞典等地。它们很多都是在漫长的年代里经历了中等程度的热演化, 所以一般为中等含油率。奥陶系位于爱沙尼亚塔林和俄罗斯圣彼得堡之间的库克瑟特, 其油页岩含油率最高, 达 20%, 该地区总储量为 $210 \times 10^8 \text{t}$, 相当于 $35 \times 10^8 \text{t}$ 页岩油。

2) 志留系和泥盆系

志留系和泥盆系油页岩主要沉积在北非的利比亚和阿尔及利亚以及美国中、东部的浅海陆棚中。在非洲, 含油率最高的油页岩是志留系海相黑页岩; 在美国, 泥盆系黑页岩主要分布于印第安纳州、肯塔基州和俄亥俄州, 加上田纳西州、阿拉巴马州, 其潜在页岩油储量约 $100 \times 10^8 \text{t}$ 。

3) 石炭系和二叠系

石炭系和二叠系油页岩广泛分布在冈瓦纳地区, 在乌拉圭和阿根廷也有相同的地层。其他高含油率的岩系则位于澳大利亚的煤油页岩、塔斯曼油页岩和南非安米洛油页岩。在北半球, 还有许多较小的油页岩矿藏, 往往是与煤矿伴生, 出现在西欧的海西造山带或造山运动后的盆地中, 如苏格兰、法国、西班牙等。

2. 中生界

三叠系油页岩主要分布于中非的扎伊尔, 含油率很高, 总储量约为 $150 \times 10^8 \text{t}$ 。其次, 西欧的瑞士、奥地利、意大利也有三叠系油页岩; 侏罗系油页岩主要分布于西欧, 分布甚广, 但含油率较低, 为 4%~6%。另外, 在亚洲东部和北部也有从侏罗系到白垩系与煤伴生的油页岩。

3. 新生界

新生界油页岩主要分布于古近—新近系。美国的古近—新近系绿河油页岩是世界上储量规模最大的油页岩, 约 $3000 \times 10^8 \text{t}$ 。其矿床主要分布在 4 个盆地: 科罗拉多州的皮申斯盆地 (油页岩储量约占总储量的 2/3)、犹他州的尤因塔盆地、怀俄明州的绿河盆地和瓦沙凯盆地。

(二) 世界各国油页岩资源量和储量

世界上油页岩资源量巨大, 预测储量不低于 $10 \times 10^{12} \text{t}$, 其探明储量换算成页岩油, 远大于实际原油的探明储量。油页岩几乎遍布于世界各地, 但资源分布并不均衡。世界上大部分

油页岩分布区地质勘探程度较低,很难对全球的油页岩资源量作出准确预测,只有部分国家对本国油页岩矿产进行了详细的勘探和评价工作,如美国、爱沙尼亚、俄罗斯、澳大利亚等国,公布的油页岩资源量较为可靠。就目前的勘探情况而言,美国是世界上油页岩资源最丰富的国家,地质资源量为 $3.34 \times 10^{12} \text{t}$,折合页岩油 $5369 \times 10^8 \text{t}$ 。

世界上油页岩资源排名前十位国家依次为:美国、巴西、俄罗斯、中国、澳大利亚、摩洛哥、扎伊尔、加拿大、约旦、爱沙尼亚。

表 1-6 是根据美国地质勘查局资深油页岩地质专家杜尼 (Dyner) 于 2003 年发表的统计资料,本书笔者加以更新、补充而成。需要说明的是,由于油页岩资源量或其储量常因缺乏必要的资料报道而无法判别,因此,表中页岩油量只能标明为油页岩资源量(或储量)。对于某些国家能明确为储量的,则标明为储量。此外,表中或者标明了油页岩资源量(或储量),或者标明了折算为地下蕴藏的页岩油资源量(或储量)(钱家麟等,2008)。

表 1-6 世界主要国家油页岩资源量统计表 (据钱家麟等,2008,2014 补充修改)

洲	国家	地层	页岩油资源量或储量 (10 ⁸ t)	页岩油资源量或储量 (10 ⁸ t)
北美洲	美国	泥盆系—三叠系	33400 (1999 年)	5369 (2011 年) 储量
	加拿大	奥陶系—白垩系		21.92 (1991 年)
南美洲	阿根廷			0.57
	巴西	二叠系—三叠系	120 (2002 年) 储量	
	智利	三叠系—白垩系	500.4 (2006 年) 储量	27.4 (2006 年) 储量
欧洲	奥地利	三叠系		0.01 (1981 年)
	白俄罗斯	泥盆系	16 (2007 年)	
	比利时	三叠系		1 (1991 年)
	保加利亚	三叠系		0.18 (1991 年)
	爱沙尼亚	奥陶系	65 (1998 年)	24.9 (1998 年) 储量
	法国			10.02 (1978 年)
	德国			2.86 (1965 年)
	匈牙利			0.08 (1995 年)
	意大利	三叠系		14.31 (2000 年)
	卢森堡			0.97 (1993 年)
	波兰			0.07 (1974 年)
	罗马尼亚		90 (1984 年)	1 (1984 年)
	俄罗斯	奥陶系—侏罗系		390 (1988 年) 储量
	西班牙			0.4 (1958 年)
	瑞典	石炭系		8.75 (2007 年)
	乌克兰			4 (1975 年)
	英国			5.01 (1975 年)
	南斯拉夫	三叠系		2.1 (1981 年)

续表

洲	国家	地层	页岩油资源量或储量 (10 ⁸ t)	页岩油资源量或储量 (10 ⁸ t)
亚洲	缅甸	三叠系		2.8 (1981 年)
	印度	三叠系	150 (2007 年)	
	印度尼西亚		8.87 (2006 年)	
	以色列	白垩系	300 (2002 年)	5.5 (1982 年)
	约旦	白垩系	700 (2007 年) 储量	52.4 (1997 年) 储量
	哈萨克斯坦	侏罗系		4 (1996 年)
	蒙古	侏罗系	88.45 (2002 年)	0.42 (2001 年)
	泰国	三叠系	9.25 (2007 年)	0.26 (2006 年)
	土耳其	三叠系		2.84 (1995 年)
	中国	二叠系—白垩系	7199.37	476.44
非洲	埃及	白垩系		8.16 (1984 年)
	埃塞俄比亚	三叠系	38.9 (2006 年)	
	摩洛哥	白垩系		50.19 (2006 年)
	尼日利亚	白垩系	57.6 (2005 年)	2.4 (2005 年)
	南非			0.18 (1988 年)
	扎伊尔			143.1 (1958 年)
大洋洲	新西兰			0.35 (1991 年)
	澳大利亚	二叠系—白垩系		45.40 (1999 年)

二、油页岩勘探开发历史与现状

(一) 勘探开发历史

世界油页岩工业约始于 1830 年，油页岩的勘探开发和利用已有近 200 年的历史。伴随着第二次世界大战的爆发、能源危机的出现和石油工业的兴起，油页岩工业几度兴衰，期间出现过三次高峰期。

1. 起步阶段

油页岩工业的发展最初起步于西欧，1835 年法国建成世界上第一座油页岩炼油厂，将油页岩干馏制取页岩油，再精制成煤油、石蜡等用于照明。1855 年，世界第一座用油页岩生产页岩油的干馏厂在德国投产，英国于 1862 年开始生产页岩油，随后建立了百余座小规模页岩油场。与此同时，西班牙等国家也进行了页岩油的生产。

2. 开发热潮阶段

20 世纪初，由于汽车工业的发展及第一次世界大战的爆发，对成品油需求大增，西欧油页岩生产得到了快速发展，至 1937 年，西欧页岩油产量达 50×10⁴t。第二次世界大战期间石油需求量剧增，油价猛涨，不少国家兴起了油页岩开发热潮。1924 年，爱沙尼亚建成油页岩干馏厂，到 1940 年，页岩油产量达 17.4×10⁴t。据统计，第二次世界大战期间，德国约 50%的动力消耗来自于页岩油。

3. 低谷阶段

第二次世界大战之后,特别是到了20世纪60年代,页岩油的成本无法与廉价的天然石油相竞争,西欧国家的油页岩工业先后停办。但在原苏联,油页岩因其含油率和发热量高,生产成本相对较低,其生产一直没有停止,主要用于发电和供气。

4. 重启阶段

20世纪70年代出现世界能源危机,各国都为寻求新的能源而努力,油页岩的开发与利用又重新得到了重视。美国、日本、德国、巴西、原苏联、中国等国家研制了各种油页岩干馏炼制页岩油的方法,部分国家形成工业化生产规模,油页岩产业快速发展。

5. 快速下滑阶段

自20世纪80年代以后,由于石油被大量发现和开发,油价大幅下降,油页岩工业遭遇“寒冬”,产量一路下滑,到2000年,全球页岩油产量只有 $1600 \times 10^4 \text{ t}$ 左右。

6. 产业复苏阶段

随着国际油价的持续走高,因成本高而一直低迷的油页岩工业又迎来了新的发展机遇。同时,由于美国和加拿大对致密油气、页岩油气、煤层气、油砂矿等非常规油气资源勘探开发技术的突破,非常规油气产量快速增长,致使主要油气资源国掀起了一轮非常规油气勘探开发的热潮。在此背景下,油页岩工业再次得到重视。

据世界能源委员会的最新报道,世界油页岩资源量折算成页岩油高达 $4.8 \times 10^{12} \text{ bbl}$,为世界石油资源量的4倍;共计有40个国家300多个油页岩矿藏,其中以美国的油页岩资源最为丰富。

当前世界上油页岩干馏生产页岩油的国家仅有中国、爱沙尼亚和巴西。世界年产页岩油约 $156 \times 10^4 \text{ t}$ 。

(二) 主要油页岩生产国勘探开发现状

1. 美国

美国油页岩储量巨大,形成时代自前寒武纪至新近纪,广泛赋存。主要矿藏为怀俄明州及犹他州的绿河盆地(图1-1)以及东部泥盆纪—密西西比纪黑色油页岩(图1-2)。其他矿藏分布于内华达州、蒙大拿州、阿拉斯加州等,但品位均很低。

目前,美国对油页岩资源的开发利用还处于研究和试验阶段,未开展工业化生产。主要原因并非工艺技术问题,而是联邦政府和州政府缺乏鼓励发展油页岩工业的合适政策。不过,2008年以后,据美国能源部统计,大约有29个公司和研究机构重新或开始进行油页岩地上或地下的干馏试验。

2011年,美国地质调查局(USGS)宣布了对绿河油页岩资源的最新统计结果,换算成页岩油近 $6000 \times 10^8 \text{ t}$,是1999年统计结果的2.79倍。

2. 爱沙尼亚

爱沙尼亚油页岩矿藏面积超过 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$,自爱沙尼亚北部向东延伸至俄罗斯西部(图1-3)。油页岩形成于奥陶纪海相沉积,探明储量约 $30 \times 10^8 \text{ t}$,油页岩含油率高达20%。

爱沙尼亚每年开采油页岩 $1400 \times 10^4 \text{ t}$ (露天开采和地下开采约各占50%),其中,78.57%用于燃烧发电,其余的用于干馏炼油,年产页岩油 $52.5 \times 10^4 \text{ t}$ (表1-7)。

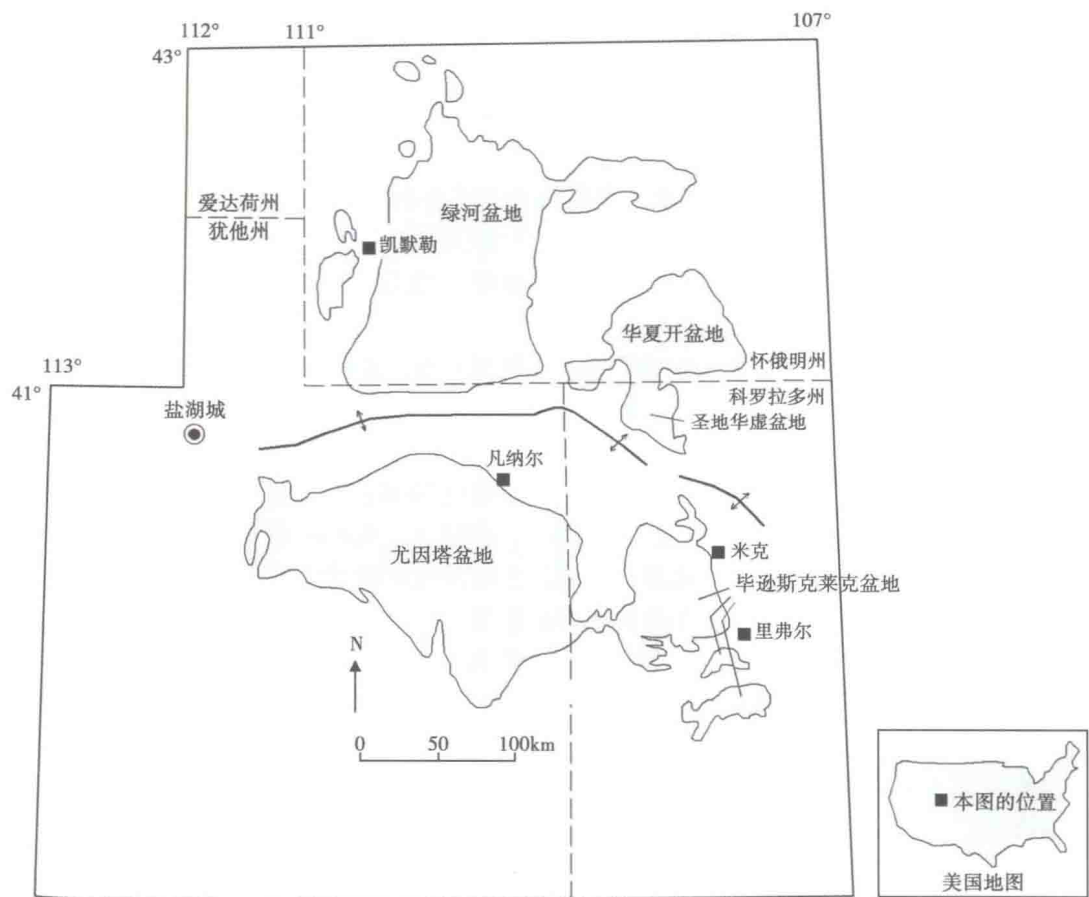


图 1-1 美国犹他州、怀俄明州绿河油页岩分布图（据钱家麟等，2008）

表 1-7 爱沙尼亚页岩油生产现状（据钱家麟等，2008，有修改）

公司	产油量（10 ⁴ t/a）		
	2008 年	2009—2010 年	2011 年
页岩油化学集团公司	22.0	22.0	30.0
基维利页岩油厂	6.0	6.0	6.5
能源集团公司	13.8	16.1	16.0
合计	41.8	44.1	52.5

3. 巴西

巴西已发现 9 处油页岩矿藏，形成时代自泥盆纪至新近纪。巴西油页岩生产和页岩油炼制始于 20 世纪 50 年代，目前，巴西年产页岩油 18×10⁴t。

2008 年，巴西石油公司与美国页岩油开发公司合作，在美国犹他州进行了日产 6821t 页岩油的可行性研究工作；2009 年，又与法国道达尔公司合作，对摩洛哥油页岩加工利用进行评估。