

油页岩科学研究论文集

COLLECTED PAPERS ON OIL
SHALE RESEARCH

华东石油学院

(北京)

6-53

21

PDG

本论文集共二十篇文章，内容包括：油页岩工业和技术的发展评述；我国油页岩的性质和结构研究；油页岩热解和燃烧动力学试验及油页岩和页岩油加工方法的探索等。

本论文集由朱亚杰主编、钱家麟校核、学报编辑部编辑出版。

本论文集可供油页岩加工、炼油化工、地球化学及能源资源等方面的科技人员和高等院校有关专业师生参考。

DP57/24

编辑出版：华东石油学院学报编辑部
印刷：华东石油学院印刷厂
出版日期：1984年1月
通讯处：山东东营市
定价：1.50元

22031



00313131

序

“油页岩科学研究论文集”汇编了近几年来我院在油页岩方面的研究成果，共二十篇。其中有些论文曾在国际学术会议上宣读，有些曾在国内刊物上发表，此次刊登时作了修改补充，但大部分论文则属首次发表。论文集中有十五篇论文的工作系在我院山东校本部和北京研究生部开展的；两篇论文系与中国科学院山西煤化学研究所合作进行的；一篇论文系与石油部北京石油勘探开发研究院合作的；两篇论文则为由我院派赴国外的教师作为访问学者与美国教授合作的成果。

论文集的内容包括：对我国与世界油页岩工业发展的述评；我国油页岩的性质、组成、结构的研究；油页岩热解和燃烧动力学试验；页岩油的裂解和焦化的研究及油页岩加工新方法的探索；油页岩氧化制酸、水电解制氢和超临界抽提等。

希望这本论文集对我国油页岩工业和科学技术的发展会有所裨益。由于时间和水平有限，论文中可能有不当之处，欢迎读者提出宝贵意见。



200752060



朱五志

1983年5月

华东石油学院 油页岩科学研究论文集

0057/24 目 录

序.....	朱亚杰
油页岩是值得重视的能源.....	朱亚杰 钱家麟 (1)
世界油页岩科技进展.....	钱家麟 王剑秋 (6)
煤和油页岩利用的新技术在我国发展的前景.....	朱亚杰 鲍汉琛 金发楠 (19)
中国页岩油工业.....	钱家麟 (33)
抚顺和茂名油页岩的有机质含量及其元素分析.....	秦匡宗 (40)
油页岩油母质芳碳率的测定.....	秦匡宗 (49)
煤和油页岩超临界气体抽提的研究	朱亚杰 杨 煌 熊亢候 薛文华 (58)
超临界流体抽提法研究茂名和抚顺油页岩中油母质的化学结构	秦匡宗 王仁安 贾生盛 (66)
抚顺、茂名、黄县油页岩有机质的红外光谱分析.....	秦匡宗 劳永新 (82)
抚顺油页岩热解动力学方程初步探索.....	王廷芬 陆绍信 (90)
抚顺油页岩热分解过程的热重法研究.....	杨继涛 陈廷蓑 (98)
茂名油页岩中有机质与矿物质热分解过程的研究	杨继涛 陈廷蓑 秦匡宗 (111)
抚顺和茂名油页岩热解生烃动力学的研究.....	王剑秋 郭立言 钱家麟 (120)
世界上几种主要油页岩的热解动力学	H.E. Nuttall 郭天民 S. Schrader D.S. Thakur (128)
油页岩和煤的混合干馏.....	C.H. Sun-Chang 陆绍信 H.R. Sohn (149)
油页岩及页岩半焦和空气反应的差热分析法研究.....	王廷芬 (157)
油页岩氧化制有机酸的探索.....	杨秋水 范维玉 曹重远 (168)
油页岩-水电解制氢的研究.....	戴 衡 赵永丰 苏君雅 (172)
抚顺页岩油脉冲热解初步研究.....	董 鹏 吴惠真 (178)
抚顺页岩油渣油焦化机理的研究.....	秦匡宗 刘现义 李俊香 郭绍辉 (186)

COLLECTED PAPERS ON OIL SHALE RESEARCH IN EAST CHINA PETROLEUM INSTITUTE

CONTENTS

Preface.....	Zhu Yajie (Editor-in-Chief)
Oil Shale as a Valuable Source of Energy	
.....	Zhu Yajie and Qian Jialin (1)
The Development of World's Oil Shale Processing and Research	
.....	Qian Jialin and Wang Jianqiu (6)
The Prospects of the Application of New Techniques in the	
Utilization of Coal and Oil Shale in China	
.....	Zhu Yajie, Bao Hanshen and Jin Fa'nan (19)
Shale Oil Industry in China	Qian Jialin (33)
Organic Mass Content and its Ultimate Analysis of Fushun and	
Maoming Oil Shales	Qin Kuangzong (40)
Aromaticity Determination of Maoming and Fushun Oil	
Shale Kerogen	Qin Kuangzong (49)
Investigation on Supercritical Gas Extraction of Coal and	
Oil Shale.....	Zhu Yajie, Yang Huang, Xiong Kanghou and Xue Wenhua (58)
Chemical Structure Investigation of Maoming and Fushun Oil	
Shale Kerogens by Super-critical Fluid Extraction	
.....	Qin Kuangzong, Wang Ren'an and Jia Shengsheng (66)
The IR Spectroscopic Analysis of the Organic Matters of	
Fushun, Maoming and Huangxian Oil Shales	
.....	Qin Kuangzong and Lao Yongxin (82)
Investigation on Pyrolysis Kinetics of Fushun Oil Shale	
.....	Wang Tingfen and Lu Shaoxin (90)
Thermogravimetric Study on Fushun Oil Shale Pyrolysis	
.....	Yang Jitao and Chen Tingrui (98)
A Study on the Pyrolysis of the Organic Matters and Mineral	
Matters Separated from Maoming Oil Shale	
.....	Yang Jitao, Chen Tingrui and Qin Kuangzong (111)
Kinetics Study of Hydrocarbon Forming Pyrolysis of Fushun and	
Maoming Oil Shale.....	Wang Jianqiu, Wu Liyan and Qian Jialin (120)

The Pyrolysis Kinetics of Several Key World Oil Shale	
.....H. E. Nutall, Guo Tianmin, Scott Schader and D. S. Thakur(128)	
Hybrid Retorting of Oil Shale and Coal	
.....C. H. Sun-Chang, Lu Shaoxin and H. Y. Sohn(149)	
Differential Thermal Analysis of the Reaction Properties of Oil Shale and Carbonaceous Residue on Retorted Oil Shale with Air	
.....Wang Tingfen(157)	
Study on Oxidation of Oil Shale for Producing Organic Acids	
.....Yang Qiushui, Fan Weiyu and Cao Zhongyuan(168)	
Production of Hydrogen by Electrolysis of Oil Shale Water System	
.....Dai Heng, Zhao Yongfeng and Su Junya(172)	
Preliminary Study of Pulsed Pyrolysis of Fushun Oil Shale	
.....Dong Peng and Wu Huizhen(178)	
Coking Mechanism of Fushun Shale Oil Pitch	
.....Qin Kuangzong, Liu Guanyi, Li Junxiang and Guo Shaohui(186)	

油页岩是值得重视的能源

朱亚杰 钱家麟

提 要

油页岩可利用于炼油化工,也可用于燃烧发电,油页岩是一种值得重视的能源。本文论述了发展我国油页岩工业的有利条件并提出了建议。

一、前 言

党的十二大确定了我国经济建设的战略目标,要求从一九八一年到本世纪末的二十年内力争实现我国工农业总产值翻两番^[1];当前能源的紧张成为制约我国经济发展的一个重要因素。据估计,能源的增长到公元二千年仅为一倍。我国天然石油的远景良好,但在第六个五年计划期间(1981~1985),石油年产量将只能稳定在一亿吨的水平^[2]。

因此,油页岩作为石油的补充能源,宜引起足够的重视,应把加速发展我国页岩油工业的问题提到议事日程上来。

二、我国的油页岩资源

油页岩是一种含有机质(亦称油母)的岩石,属于固体可燃矿产,其发热量比煤低,我国的油页岩一般为每公斤一千多大卡。油页岩加热干馏时,可得到页岩油。我国油页岩的含油率约为6%。

世界油页岩的储量,通常认为最大的是美国,其次是巴西、苏联和中国。联合国专家认为,世界油页岩的已知可采储量折算成页岩油,超过世界天然石油的可采储量^[3]。

我国已知的油页岩储量分布较广,其中以吉林、广东、辽宁为主^[4],此外还有陕西、山东、新疆、甘肃、内蒙等地^[5]。

值得指出的是,我国油页岩的实际储量可能要比已知储量大得很多。从过去的一些地质资料来看,内蒙、黑龙江、陕西、河北等省区可能有大量的油页岩有待进一步勘探^[6~7]。

三、油页岩的工业利用途径

油页岩的工业利用途径主要有两个方面:即炼油化工利用和直接燃烧产汽发电。

油页岩的炼油化工利用,即将油页岩进行干馏,制取页岩油和副产硫酸铵、吡啶等。页岩油进一步加工,生产汽油、煤油、柴油等轻质油品。油页岩直接燃烧,是将油页岩在专门设计的锅炉中燃烧产汽发电。油页岩干馏炼油残留的页岩灰和油页岩燃烧生成的页岩灰,都

可用作水泥等建材的原料。

1. 油页岩的炼油化工利用

迄今为止,世界上用油页岩生产页岩油的,只有中国和苏联。1978年苏联油页岩产量约3,500万吨,其中20%用于生产页岩油,以及副产酚类、硫磺、芳烃等化工产品,还有民用煤气[8]。

我国目前油页岩主要用于干馏生产页岩油[4,9]。我国的油页岩炼油工业已有五十年历史,积累了相当丰富的生产经验。现有的生产厂有抚顺石油一厂、石油二厂和茂名石油工业公司炼油厂。合计年产页岩油三十余万吨。大约每30吨油页岩生产1吨页岩油和250公斤硫酸铵,还有副产气体燃料等。上述三个工厂各有抚顺式干馏炉几十台。这种炉型是干馏与气化相结合的内热式炉,其优点是:可干馏低品位油页岩(含油率约6%),操作简单,易于掌握,热效率较高,这是因为油页岩在炉子上半部干馏后生成的页岩半焦,可在炉子下半部气化,使半焦中的含碳量得到较充分的利用。实践证明,这种干馏炉是一种成熟的适用范围较广的炉型[9],但其生产能力较小,每台炉子的日处理量为200吨。此外,该种炉型不能处理粉末页岩。

七十年代以来,苏联、美国、西德、巴西等国研究发展处理量大、热效率高的新炉型,包括能处理颗粒油页岩的炉型。苏联发展了日处理油页岩3,750吨的固体热载体干馏炉[10];美国研制了日加工1,000吨的固体热载体干馏试验炉,正设计日处理1万吨油页岩的工业炉[11]。此外,美国还在进行油页岩地下干馏和气化的工业试验[12];巴西发展了日处理2,200吨的块状页岩干馏炉[13]。

2. 油页岩直接燃烧产汽发电

目前,世界上用油页岩直接燃烧产汽发电的,只有苏联和西德等国。

苏联油页岩产量的75%用于锅炉燃烧,每年约2,500万吨。苏联的油页岩发热量较高,用于锅炉燃烧的约1,400~2,000大卡/公斤。苏联烧油页岩的电站,开始时规模较小(10万千瓦),现已发展到160万千瓦[14]。电站采用油页岩粉悬燃式锅炉,其热效率达91%,容量达320吨/时蒸汽,压力为140大气压,其结构类似煤粉锅炉。由于油页岩灰份高,性质较特殊,锅炉配有震动清除积尘的装置,并有静电除尘器和300多米高的烟囱排放烟气。苏联1950~1978年油页岩用量增加8倍。

在西德,道登豪森水泥厂采用颗粒油页岩在沸腾锅炉内燃烧,生产蒸汽供发电,装有静电除尘器。所用油页岩是低热值的(930大卡/公斤)。该装置日处理能力为720吨油页岩,生产40个大气压、450℃的蒸汽,用于发电;所得570吨页岩灰用作优质水泥原料[15]。

四、油页岩工业的经济性

油页岩工业的首要问题是经济性。

一般认为,油页岩是低热值燃料,油页岩炼油厂的投资大、页岩油的生产费用也高、利润少。然而,事实并非如此,特别是如今天然石油的勘探开发日益向复杂地层、边远地区和沿海大陆架发展,所需投资费用也大大增加。天然石油的国际市场价格十年来上涨了十七倍,最近一年来虽有所下跌,仍将在每吨200美元左右,因此页岩油的投资和生产费用同天然石油相比,已较接近。再加上油页岩综合利用的进展,页岩油工业在经济上仍可能有利。

苏联在发展天然石油和煤炭生产的同时,在爱沙尼亚和列宁格勒地区发展油页岩生产,

作为一种重要的地区性燃料，主要用于发电，其次为干馏炼油和造气。尽管油页岩电站的投资比其他燃料高，但发电成本较低，因为在当地油页岩比煤和天然石油便宜，折算成一吨标准煤，露天开采的油页岩为9.3卢布；顿涅茨烟煤为18.9卢布；泥煤为11.7卢布；天然石油炼制的重油为10.1卢布^[15]。据报道，苏联在油页岩方面，将从燃烧发电转向炼油发电综合利用，这在经济上是更有利的^[8]。

美国油页岩的利用方向，主要是干馏制取页岩油，再加氢制取汽油、柴油等轻质油品。美国估计建一座年产万吨页岩油的工厂，包括油页岩的开采以及干馏炼油和页岩油加工成轻质油品，投资高达10亿美元。尽管如此，美国各大石油公司仍在投资筹建页岩油试验厂，如联合油公司将于1983年建成一座年产40万吨页岩油的工厂^[16]。

在我国，抚顺和茂名的油页岩均为露天开采，尤其是抚顺，油页岩位于煤层之上，是采煤时的副产，因此油页岩价格较低；加上我国注意油页岩干馏产物的综合利用，因此，目前我国页岩油的成本已大大低于国际天然石油的价格^[9]。如果将页岩油加工后制汽油、煤油、柴油等轻质油品，则在经济上将更为有利。

我国页岩油工业的原材料消耗、能量消耗和成本构成如下^[9]：

按目前工艺，生产一吨页岩油约需30吨原页岩，耗电160度，耗蒸汽2.8吨。抚顺生产一吨页岩油的费用如下：原页岩占59%；材料4%；工资2%；水电汽占23%；折旧、修理及管理费12%^[9]。

从技术经济角度来看，我国页岩油工业还有很多值得改进的地方，例如原页岩的利用率只有75%左右，这是由于粉末页岩没有利用。应研究发展处理粉末页岩的干馏炉，或将其用于锅炉燃烧。又如，页岩油目前是作为燃料油出售，它应该象过去那样进一步加工（焦化和加氢精制），生产汽油、柴油等轻质油品。此外，还应积极推广页岩灰制水泥等建筑材料，并研究页岩灰的新用途，则页岩油工业在经济上将更有利。

五、我国发展油页岩工业的条件

我国发展页岩油工业有下列一些有利条件：

1. 我国油页岩资源比较丰富，分布也较广。东北有辽宁抚顺、吉林农安；华北有河北丰宁，内蒙东胜；西北有陕西延安、新疆博格多山北；华东有山东黄县；华南有广东茂名等地。油页岩的分布较天然石油更广泛，因此，发展页岩油工业，有利于因地制宜，解决地区性供油问题。

2. 我国油页岩炼油工业已有五十年历史，积累了比较丰富的生产经验和科技成果，已有抚顺和茂名两个生产基地。

3. 油页岩即可炼油作为常规能源的补充来源，也可制取硫酸铵和酚类等化工产品，页岩灰还可制造水泥等建筑材料。因此油页岩是一种多用途的资源，合理地利用油页岩，将促进国民经济多方面的发展。

4. 在我国，页岩油工业所生产的页岩油，其成本大大低于国际天然石油的价格。在当前增产页岩油，可以顶替一部分用于燃烧的天然石油，使我国有更多的石油可供出口。

5. 我国页岩油工业引起有关国家的注意，在这方面发展国际合作存在有利条件。

总之，发展页岩油工业有利于缓和我国能源的紧张，有利于现代化建设。

当然，我国油页岩的利用，除了干馏炼油外，也可直接作为锅烧燃料。山东黄县有油页岩

岩和褐煤混烧的小型电厂；茂名石油工业公司进行过颗粒页岩沸腾锅炉和粉末页岩悬燃式锅炉的工业试验。可以认为，在缺乏煤炭而富产油页岩的地区，利用油页岩直接作为锅炉燃料是可以考虑的。或者将块状页岩用于干馏炼油；将颗粒、粉末页岩用于锅炉。

六、几点建议

鉴于油页岩可作为我国传统能源，特别是作为天然石油的补充来源，其加工产物又可综合利用，发展油页岩工业在我国存在着以上有利的条件，值得加以充分的重视，为此，提出如下建议：

1. 希望有关资源、能源领导部门把油页岩这一值得重视的资源的开发利用，列入议事日程，深入研究油页岩在我国能源中应占的地位，进一步明确我国发展油页岩工业的方针政策，并会同盛产油页岩的各省作出加速发展页岩油工业的规划。

2. 开展油页岩资源的勘查工作，特别是在某些有希望的地区，如吉林、陕西、内蒙、山西等地进行勘探，以期扩大油页岩的可采储量。

3. 进一步组织和培养技术力量，加强油页岩科技工作，发展抚顺式干馏炉型，研制大处理量和粉末页岩干馏炉型，更合理地开展和推广综合利用，搞好三废处理。

4. 考虑吸收外资，开展补偿贸易或与外资合营页岩油企业，同时开展国际间油页岩的科技合作。

参 考 文 献

- [1] 胡耀邦，全面开创社会主义现代化建设的新局面，在中国共产党第十二次代表大会上的报告，人民出版社，1982。
- [2] 赵紫阳，关于第六个五年计划的报告，在第五届全国人民代表大会第五次会议上的报告，人民出版社，1982。
- [3] Department of Economics and Social Affairs of United Nations, Utilization of Oil Shale, Progress and Prospects, United Nations Publications, New York, 1967.
- [4] 国家科学技术委员会，中华人民共和国发展新能源和可再生能源状况的报告，联合国新能源和可再生能源大会，内罗毕，1981。
- [5] 彭承麟，油页岩干馏基本知识，石油工业出版社，1958。
- [6] 全国地质资料局，地质月刊，[8] 47~48, (1959)。
- [7] 陈国达，地质论评，16[2]110~136 (1951)。
- [8] Стугарев, А.С., Химия Твердого Топлива, [4] 4~8 (1980)。
- [9] 钱家麟，中国油页岩工业（英文）中译文收入本论文集。
- [10] Тягунов, Б.И., Энергетическое Строительство, [4], 28 (1980)。
- [11] Schora, F.C., Hydrocarbon Processing, 56[2]113 (1977)。
- [12] Schora, F.C., Hydrocarbon Processing, 56[3]127 (1977)。
- [13] Moreira, H.B., O Xisto-Uma das Opções Energeticas Substituiyas do petroleo, 1st. Congresso Brasileiro de Petroleo, (1980)。

- [14] Lyashenko, I.V., Use of Baltic Oil Shales at Thermal Power Plants, paper presented at UN Oil Shale and Tar Sand Panel, New York, 1980.
- [15] Кузнецов D.T., Горючие Сланцы Мира, Недра, Москва, 1975.
- [16] Issak D.T., and Hoffman S.L., World Synfuel Production: The Medium Term Outlook, Paper presented for V Workshop of the Asia-Pacific Energy Studies Consultative Group, Honolulu, 1982.

OIL SHALE AS A VALUABLE SOURCE OF ENERGY

Zhu Yajie Qian Jialin

Abstract

Oil shale may be used for producing liquid fuels and other chemical products, and also used for generating electric power by combustion. Oil shale is a valuable source of energy. In this paper, the advantages of development of Chinese oil shale industry are discussed, and some proposals are presented.

世界油页岩科技进展*

钱家麟 王剑秋

提 要

本文概述了油页岩日趋重要的作用和用途,展望了八十年代油页岩工业的发展前景,重点评述了世界上油页岩炼油的一些工业试验炉型,包括用于块状页岩干馏的气体内热式炉型及用于颗粒页岩干馏的固体热载体干馏炉型,并涉及到某些新干馏工艺。

本文还介绍了近年来油页岩的实验室试验和基础性研究工作,包括油页岩的生成、油母的组成、结构及性质、页岩油的组成和加工研究、油页岩热加工产物的组成及其综合利用等。

一、八十年代世界油页岩工业展望

1. 能源问题是八十年代的重大国际问题

世界能源问题主要是石油问题,近年来石油储采比下降,表1为1980年美国、苏联和世界的天然石油探明可采储量^[1]、产量^[2]及储采比。

表1 世界石油储量和产量

	探明可采储量 1,000桶	产量 1,000桶/天	储采比 年
世 界	670,189,400	53,000	~34
美 国	29,785,000	8,655	~9.4
苏 联	63,000,000	12,200	~14

注:苏联的储量数字为勘探储量。

我国石油资源远景良好,目前维持在年产1亿吨左右^[3]。

石油的国际市场价格七十年代以来上涨了十余倍,近年来价格虽有所下降,但廉价的石油时代已经成为过去,从煤和油页岩制取液体燃料重新引起人们的重视。

2. 世界油页岩储量丰富

世界油页岩储量很丰富,表2所列1965年美国 Duncan和 Swanson 所统计的各大洲油页岩储量折算成页岩油的量^[4,5],所列数字为含油率大于40立升/吨的页岩所含的页岩油,其中可采储量系正在开采或按当时技术经济条件可以开采的量,界限以下的储量则是按当时

* 本文曾发表于“燃料化学学报”1982年3期,此次刊登时由作者做了一些修改。

技术条件难以开采的储量。应当指出,这是十几年前的统计数字,近年来不少国家发现了大量油页岩,如澳大利亚等[6~8],表2中就没有列入。

表2 世界油页岩储量
(折算成页岩油,百万吨)

一般认为,世界上油页岩资源最丰富的国家是美国[9],此外有巴西、苏联和中国等。

关于世界各国油页岩的储量,虽有很多报道,但互相常有矛盾[10],这可能是由于估算范围和统计方法不一致所造成。某些发展中国家则由于地质勘探工作尚未充分开展,以致其探明储量可能大大低于实际蕴藏量。1980年有些学者估计,世界油页岩探明可采储量折算成页岩油约800亿吨[8],其中美国约占75%[11]。不少专家认为,世界油页岩可采储量相当或超过世界天然油可采储量。

洲 名	可采储量	界限以下储量
非 洲	1,400	12,300
亚 洲	3,300	11,500
大洋洲		1,10
欧 洲	4,100	6,300
北美洲	11,000	290,400
南美洲	6,800	102,700
总 计	26,600	423,340

3. 油页岩炼油成本已低于天然油价格

经济问题是发展页岩油工业的关键。由于天然油的国际市场价格不断上涨,81年初已达30余美元/桶,在不少国家内,油页岩炼油成本已低于世界天然油价格,因此发展油页岩工业有其现实意义[12]。

在美国,每桶页岩油的生产费用约为26~30美元[13,14],相当于天然油国际市场价格。美国气体工艺研究所所长李行怨博士认为,页岩油价格即使为24~36美元/桶,也比进口天然油合算[15],同时页岩油的生产成本也比煤炼油为低[16]。

巴西的研究报告也表明,每吨页岩油的成本亦低于国际天然油价格[17]。

我国抚顺和茂名页岩油的生产成本也低于国际天然石油价格[18]。

4. 有关国家油页岩工业发展动向

迄今为止,世界上只有中国和苏联拥有油页岩工业[10],但美国、巴西等正从工业试验阶段转向发展页岩油工业。

(1) 中国

我国目前有抚顺和茂名两地生产页岩油,年产量约30万吨[18]。此外,山东黄县将油页岩用于锅炉燃烧,但规模不大。我国油页岩资源较丰富[18,19],抚顺、茂名两地页岩皆为露天开采,成本较低。油页岩炼油工业在我国已有五十年生产历史,积累了不少经验,页岩油生产成本也较低,所以,在我国发展油页岩工业具有不少有利条件。

(2) 苏联

苏联历年来在开发天然石油的同时,仍继续发展油页岩的生产,1976年油页岩年产量约3,500万吨[20],主要是在爱沙尼亚和列宁格勒地区,有75%的油页岩直接用于锅炉燃烧,产汽发电[21],最大的电站能力为160万千瓦[22];20%油页岩用于干馏炼油[21],页岩油则用于生产化工产品 and 作锅炉燃料。苏联计划在今后若干年内将油页岩年产量增加约一倍[23]。值得注意的动向是,苏联最近将用于电站的页岩,先干馏炼油,把部分页岩油作为锅炉燃料,产汽发电,干馏气体可供化工利用。这比页岩直接燃烧更经济合理,也有利于环境保护[23,24]。

(3) 美国

美国正处于从工业试验阶段转向建立页岩油工业的时期。美国政府于1980年通过了能

源安全法案，成立“合成燃料公司”，将拨款扶植炼油、煤造气和页岩炼油的企业[25,26]。七十年代后期，美国各大石油公司曾计划筹建页岩油厂[27~31]，近两年来，由于世界石油价格有所回跌，各有关公司推迟或取消了建厂计划[32,33]。但美国 Union Oil Co.在政府的合成燃料公司的支持下仍在继续建设一座年产50万吨页岩油的工厂，投资约5亿5千万美元，计划于1983年下半年建成投产，这将是美国第一座的页岩油生产厂[34~37]。

(4) 巴西

巴西的块状页岩干馏工业试验炉，单炉日处理页岩高达2,200吨，经过十年的试验已取得成功，现已设计年产250万吨页岩油的工厂[17]。

其他如澳大利亚、摩洛哥等，都有发展油页岩的工业计划[8,38]。

二、油页岩干馏炉型

中国抚顺式页岩油干馏炉[18]和苏联爱沙尼亚式干馏炉[10]，是目前世界上块状页岩炼油最成熟的炉型。这两种炉型的上半部是页岩的干燥和干馏段，下半部则是页岩半焦的气化和燃烧段（页岩自上而下，空气和水蒸汽自下部进入），炉型的特点是利用了页岩半焦的化学潜热，因此热效率高。抚顺式页岩干馏炉已有五十年生产历史，炉型结构简单，生产操作稳定，且能处理低品位的油页岩。在抚顺式干馏炉中，页岩干燥和干馏所需的热量，一部分由从气化段来的热气供给，一部分由炉中部引入的热循环气（500~700℃）供给。热循环气则来自蓄热炉。在蓄热式炉中周期性地通入来自干馏炉出口的经冷凝的循环气，或进行燃烧，或被加热[39]。

苏联、美国、巴西、西德等国纷纷研制和发展大处理量的干馏炉型，其中较成熟的试验炉有十几种[40]，有的单炉处理量高达千吨/日，并正在设计万吨/日的炉子。但是这些工业试验炉型，在原理上没有什么突破，对于块状页岩仍是气体加热，直立式园筒炉；对于小颗粒页岩，一般仍用固体热载体加热，回转式或流化床炉型。现对其中较典型的值得参考的若干炉型叙述如下：

1. 块状页岩干馏炉

(1) 巴西 Petrosix[17,41~43] 炉型

这是目前世界上最大的块状页岩干馏炉（见图1），日处理2,200吨。该炉由巴西石油公司于1970年建成，经过约十年的努力，于1979年操作正常。页岩的铝甑油收率为5.5%，热值为920千卡/公斤，含硫0.5%，页岩的块径为150毫米左右，每日可得1,000桶页岩油，36,500米³高热值燃料气及17吨硫。其加热方法为：炉出口的干馏气经旋风分离和静电沉降分出重油后，部份气体送至气体加热炉，然后回到干馏炉中部以加热页岩。另一部份不经加热炉的冷循环气，送至干馏炉底部，回收半焦的显热。

Petrosix炉型与发生式干馏炉相比，最大的区别是没有半焦气化段，其优点是便于控制径向和轴向温度，中部布料和下部出焦结构简单，炉型易于放大，但缺点是没有利用半焦的化学潜热。

巴西正设计Petrosix式工业炉型，直径11米，设计处理量8,000吨/日。

(2) 苏联 Kiviter 炉型[40,44,45]

苏联 Kiviter 炉是垂直园筒形气燃式页岩干馏炉。其特点是干馏段呈环隙状，有利于气体分布，油气横向导出，减少了再冷凝，有利于放大；与一般的气燃式炉相同，出炉气体由

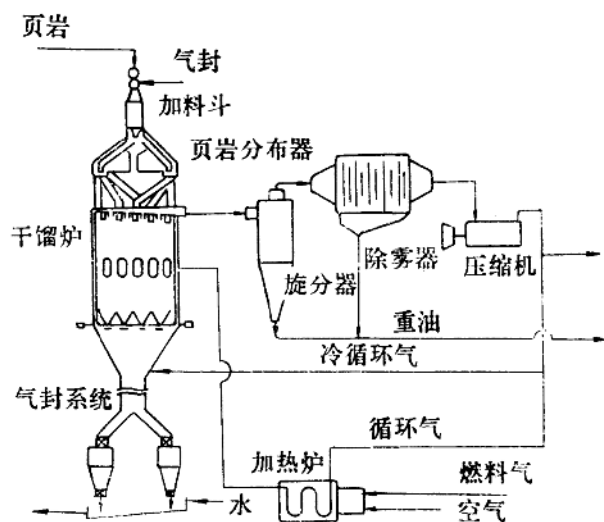


图1 巴西 Petrosix 炉

于被入炉空气中的氮气所稀释，其发热值不高。页岩块径为25~100毫米，热效率约73%。日处理200~300吨的炉子（见图2）运转正常，现正设计日处理1,000吨的炉子，内径11米，高35米，每十台炉子共用一套冷凝系统。

(3) 美国的块状页岩干馏炉型

美国多年来发展了几种块状页岩干馏炉，如 Paraho-1型（气燃式），Paraho-2 型[40.43]（循环气加热），Union Oil Co. 岩石泵式（固体自下而上）[40.46]，Bureau of Mines气燃炉[40.42]，及 Superior Oil Co. 内热式干馏炉等[40.47]，目前的规模尚不及巴西的Petrosix炉。

2. 颗粒页岩干馏炉

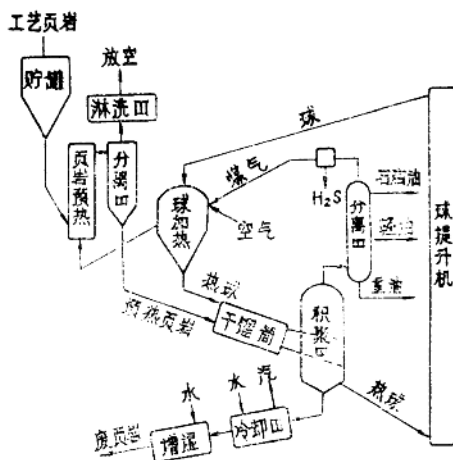
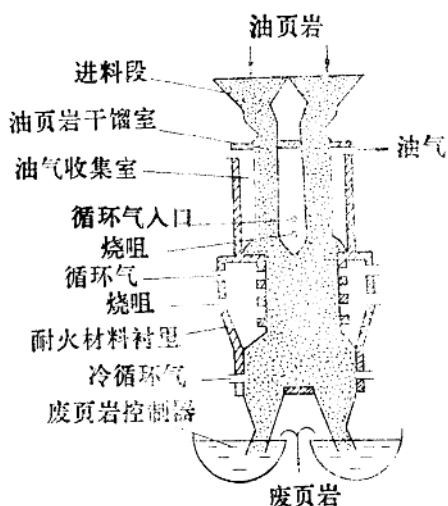
上述各种层状炉不能处理颗粒页岩，小颗粒及粉末页岩一般都用固体热载体加热干馏，现在规模较大、较成熟的有如下二种：

(1) 美国TOSCO II型炉[40.48.49]

TOSCO II 炉型如图3，它是以水平倾斜的回转式干馏炉处理粒径小于12毫米颗粒页岩，载体为直径12.7毫米的磁球。热载体在一个特殊的加热器中，由于页岩气燃烧加热，然后去回转式干馏炉中将已干燥的页岩进行干馏（加热至480℃左右）；出炉油气直接进分馏装置，页岩半焦与磁球经分离后，半焦去废热回收，磁球由机械提升机送至加热器，TOSCO II型的工业试验装置日处理量为900吨页岩，现在设计日处理11,000吨的工业炉，油收率可达铝甑收率的107.6%[49]。

(2) 苏联 Galoter 炉型[23.24.49.42.44.45]

苏联 Galoter 炉型亦为处理颗粒页岩的水平式回转干馏炉（图4），但用页岩灰作为固体热载体。该炉型可处理小于25毫米的页岩，在回转式干馏炉内，页岩被页岩灰加热干馏，生成的页岩半焦与页岩灰出干馏炉，进入流化床燃烧室，以空气作为流化剂，使页岩半焦燃烧成高温的页岩灰。在旋风分离器内页岩灰与高温烟气分离，页岩灰再与干燥的页岩混合进入回转炉，循环使用；高温烟气进废热锅炉用以干燥页岩。Galoter 工业试验炉型的



处理量为500吨/日,热效率81%。据报道已建成日处理3,750吨的工业炉,与160万瓩的电站相配合。该电站原是直接用页岩作锅炉燃料,现改为先将页岩在Galoter炉中干馏,制得高热值气及页岩油;从气体中回收烯烃以备化工利用,而将部分页岩油送入锅炉燃烧。据称这样改进后可使电站发电能力从160万瓩提高到320万瓩^[24],且排放的烟气对环境的污染可大大减少^[23]。苏联称这种联合装置为动力-工艺利用流程,是今后的发展方向。

上述两种固体热载体干馏流程各有优缺点。Galoter 流程利用了页岩半焦的化学潜热。而TOSCO II型没有利用页岩半焦中的固定碳的化学潜热,这是很大的缺点;且磁球机械输送,装置笨重,设备亦易磨损;但该流程是使用脱去 SO_2 即净化后的干馏气燃烧加热磁球,烟气无污染,除尘也较简单。因而,对环境保护而言,TOSCO II型比 Galoter 流程较为有利。

此外，西德 Lurgi 公司发展一种 Lurgi-Ruhrgas 炉型，类似砂子烃类裂解炉，但用于颗粒页岩干馏；以页岩灰作热载体，与页岩在混合推进器中混合加热干馏，再进入干馏器（移动床）中干馏，生成的页岩半焦至气流式提升管燃烧，形成热页岩灰再去干馏页岩，该种页岩

岩干馏炉型目前的处理量不大,约15吨/日[50]。但有一类相似的较大的工业试验装置用于处理泥煤,处理量约为720~800吨/日[40]。

3. 地下干馏[51]

油页岩不经开采,直接在埋藏的地点进行加热干馏,称为地下干馏,亦称就地干馏。美国目前正在进行工业试验,有不少公司和研究所开展了这方面的工作,主要有 Occidental 公司的垂直式过程及 Laramie 能源研究中心的水平式干馏。由于地下的流动和传热过程复杂,不易控制,因此热效率较低。有人认为,地下干馏可以避免页岩开采后在干馏装置内热加工时生成的废水、废气和废渣所导致的环境污染。但也有人认为,地下干馏如导致地下水源的污染,则更不相宜。

三、油页岩干馏新工艺中型试验

近二、三十年来,对油页岩干馏新工艺的研究颇多,仅在美国取得专利者就达百余种,虽然其中有实用价值的不多,但美国最近发展的两种新干馏工艺突破了单纯热加工的范畴,值得参考。在我国茂名,曾开展了页岩流化干馏中型试验,初步取得一些数据;试验结果表明,该流程有多优点。

1. 加氢干馏[52,53]

美国 IGT (煤气工艺研究所)发展了加氢干馏新工艺,在 30 大气压、700~800℃ 的条件下将页岩进行加氢干馏。此法对于含油率较低的页岩比一般加热干馏可提高油收率 2~3 倍,并可使油母中的有机碳转化为页岩油的百分数从 25% 左右提高到 60%。干馏所得的烃类气体如用水蒸汽转化制氢,则所得到的氢气可以满足页岩加氢干馏和页岩油加氢精制之需要。IGT 加氢干馏中型试验装置的页岩处理量为 1 吨/时,块径为 2.5~50 毫米。据 1979 年的初步估计,用此法生产页岩油的成本约 116 美元/米³。

2. 射频加热干馏 (Radio Frequency Heating) [53,54]

美国 IITRI 研究所利用射频加热的技术对油页岩进行地下干馏,所用高频装置的能量为 200 瓩。该法的优点是加热均匀,而且是定向的。

3. 流化干馏[18]

我国茂名石油工业公司进行过颗粒页岩流化干馏中型试验,以高温的页岩灰作热载体,在流化床中干馏颗粒页岩,流化剂为水蒸汽。页岩灰和干馏后的页岩半焦则入另一流化床,导入空气进行流化燃烧。生成的页岩灰循环使用。初步试验结果良好,油收率较高,油质也较轻。

四、油页岩的基础研究和综合利用

近年来,美国、澳大利亚、法国、苏联等对油页岩进行了大量的较系统的研究,并出版了若干有关油页岩的专著[10,55~58]。

1. 油页岩的成因

美国、澳大利亚等国对油页岩的生成进行了大量的研究,并考察了各种油页岩中的动植物化石,认为油母主要是浮游生物中的兰绿藻类生成,也可以由一些高等植物的部份组织形成。R.F.Cane 把油母分成三类[55]: A 类由高等植物生成,木质素芳香烃起了较大作用,油