

# 世界油页岩研究开发利用现状

——并记 2011 年国内外三次油页岩会议

李术元, 马 跃, 钱家麟

(中国石油大学(北京), 北京 102249)

**摘 要** 2011 年国内外召开了 3 次大型油页岩科技会议。世界油页岩资源蕴藏量十分巨大, 折算成页岩油约达  $4500 \times 10^4$  t, 超过世界石油资源量。目前世界上油页岩干馏生产页岩油的国家有中国、爱沙尼亚和巴西。爱沙尼亚还在建设颗粒页岩干馏新工艺的大型工业装置。中国虽然油页岩预测资源量很大, 但探明储量不多, 近年来加强了地质勘探工作。中国还引进了颗粒页岩干馏的大型工业装置, 并自主创新筹建颗粒页岩干馏的工业试验装置。中国近年来出版了多部油页岩专著, 中国石油大学等高校和一些研究机构继续开展油页岩开发利用的研究。美国拥有世界上最丰富的油页岩探明储量, 然而至今仍无页岩油的工业生产, 但有很多公司和大学正在进行油页岩地下和地上干馏炼油的开发和基础研究。约旦、土耳其等发展中国家则加强了油页岩开发利用的研究, 其政府制定了政策, 加大了生产页岩油的国际合作。当前世界上利用油页岩燃烧产汽发电的国家有爱沙尼亚、中国、以色列和德国等, 爱沙尼亚油页岩电站生产规模很大, 总容量达 3200MW, 所发电量占其所需电力的 94%, 其他国家规模很小。

**关键词** 油页岩 页岩油 资源量 探明储量 地质勘探 油页岩电站 干馏

## 1 前言

2011 年 10 月美国矿业学院继续召开了一年一度的国际油页岩会议——第 31 届油页岩科技报告会, 并安排了现场参观, 包括 Piceance Creek 以及 Uinta 盆地油页岩矿区地貌及 Enshale Co. 的干馏中试装置<sup>[1]</sup>。参加第 31 届油页岩会议的有美国、中国、爱沙尼亚、约旦、澳大利亚、加拿大、德国、印度、英国、土耳其等 10 余个国家, 约 200 多位代表, 共计宣读口头报告 69 个, 张贴书面报告 33 个, 报告内容涵盖了各有关国家油页岩的资源、地质、性质、地上干馏、地下干馏、燃烧发电、综合利用及环境保护等<sup>[2]</sup>。中国有中国石油大学、吉林大学、东北电力大学、沈阳石油化工大学等单位共计 10 余位代表参加, 一共有 7 个口头报告及 6 个张贴报告<sup>[2]</sup>, 中国石油大学关于中国油页岩开发利用的最新发展的口头报告受到了与会代表的关注<sup>[3]</sup>。

2011 年 6 月, 由中国国土资源部油气战略研究中心主办、中国石油大学和吉林大学协办、以山东能源龙矿集团为主承办的中国油页岩产业发展交流会在龙口召开, 国内页岩油生产的主要工厂及开展油页岩研究和开发的一些主要大学、科研机构等

共计 80 多位领导和代表参加。会上宣读了 10 余篇论文, 并刊印了油页岩交流会论文集, 其中有国土资源部油气战略研究中心关于中国油气资源形势和前景展望的报告, 以及抚顺矿业集团和龙矿集团等页岩油生产的论文等<sup>[4]</sup>。

2011 年 12 月初, 中国煤炭加工利用协会油页岩分会由理事长单位抚顺矿业集团在海口召开了油页岩分会 2011 年年会, 国内从事页岩油生产的工、有关设备制造厂、有关地质部门和环保机构, 以及从事油页岩研究和开发的一些大学、科研机构等约 55 个单位, 共计 100 多位代表参加。会上做了分会 2011 年年度工作报告<sup>[5]</sup>, 并宣读了 8 篇论文, 安排了 12 篇书面报告, 其中一部分刊登于抚顺矿务局承办出版的油页岩分会会刊——中国油页岩

作者简介: 李术元, 教授、博士生导师, 1989 年毕业于中国石油大学应用化学专业, 获博士学位, 现任中国石油大学应用化学系主任, 主要从事石油化学和新能源化学方面包括油页岩的研究开发工作, 已发表论文 150 多篇, 出版学术专著 3 部、译著 1 部, 获发明专利 4 项, 曾获省部级科技奖 4 项。

E-mail: syli@cup.edu.cn

岩 2011 年第一期<sup>[6]</sup>。

本文归纳了一年来我们所掌握的世界油页岩情况,包括上述三个国内外油页岩会议所述及的各国最新近况的主要内容。

## 2 世界油页岩开发利用概况

### 2.1 世界油页岩资源

世界油页岩资源蕴藏量十分巨大,估计有  $10 \times 10^{12}$  t<sup>[7]</sup>,折算成页岩油约达  $4500 \times 10^8$  t<sup>[8]</sup>,超过世界石油资源量。美国页岩油探明储量高达  $3000 \times 10^8$  t,几乎占了世界的 70%,其他拥有丰富页岩油储量的国家依次为:俄罗斯( $390 \times 10^8$  t)、扎依尔( $140 \times 10^8$  t)、巴西( $120 \times 10^8$  t)、加拿大( $63 \times 10^8$  t)、约旦( $52 \times 10^8$  t)、摩洛哥( $50 \times 10^8$  t)、澳大利亚( $45 \times 10^8$  t)、中国( $28 \times 10^8$  t)、爱沙尼亚( $25 \times 10^8$  t)、意大利( $14 \times 10^8$  t)等<sup>[9]</sup>。应该指出,中国预测的油页岩资源高达  $7199 \times 10^8$  t,折合页岩油达  $476 \times 10^8$  t<sup>[10]</sup>,但因勘探程度很低,故探明储量不多。近年来有关方面加强了油页岩的地质勘探工作。

### 2.2 世界页岩油年产量

当前世界上油页岩干馏生产页岩油的国家只有中国( $75.5 \times 10^4$  t/a)、爱沙尼亚( $52.5 \times 10^4$  t/a)和巴西( $18 \times 10^4$  t/a),共计年产页岩油约  $146 \times 10^4$  t,见表 1<sup>[8]</sup>。

### 2.3 世界油页岩发电厂

世界利用油页岩燃烧产汽发电的国家有爱沙尼亚、以色列、德国和中国,其中爱沙尼亚的发电量很大,其他国家都很小,见表 2<sup>[8]</sup>。

## 3 世界主要国家油页岩研究、勘探开发和加工利用现状

### 3.1 中国

#### 3.1.1 中国对发展油页岩产业的政策支持

在中国,国务院等中央领导部门几年来多次发布有关鼓励和扶持油页岩产业发展的政策,包括税收优惠等规定,这对中国页岩油的发展起到了促进作用。如国务院关于加强地质工作的决定中提出加强煤层气、油砂、油页岩等非常规油气资源的勘探开发;国家发改委和辽宁省将抚矿生产的页岩油免交增值税,并将其综合利用产品烧制砖和水泥等定为减免税产品;2011 年发布的国家产业结构调整指导目录中将油页岩、油砂、页岩气、天然气水合物等非常规资源勘探开发列为鼓励类产业<sup>[11]</sup>。

#### 3.1.2 出版多部油页岩专著

中国已有 20 多年没有油页岩方面的书籍出

版,最近几年由于油页岩研究和产业发展的需要,先后出版了多部油页岩的专著<sup>[9, 10, 12~16]</sup>。

表 1 世界页岩油年产量(2011 年)

国 家	公司或地区	年产量/( $10^4 \cdot a^{-1}$ )	炉 型	单炉处理量/( $t \cdot d^{-1}$ )	台 数
中 国	辽宁抚顺	34.0	抚顺式炉	100	220
	辽宁朝阳	1.5	抚顺式炉	100	10
	辽宁北票	5.0	抚顺式炉	100	60
	辽宁调兵山	2.5	抚顺式炉	100	20
	山东龙口	12.0	抚顺式炉	100	40
	吉林桦甸	9.0	抚顺式炉	100	32
			百叶窗炉	100	2
			全循环炉	300	12
	吉林汪清	5.0	抚顺式炉	100	40
	黑龙江东宁	1.5	抚顺式炉	100	4
	甘肃窑街	5.0	气燃方炉	300	8
	合 计	75.5			
爱沙尼亚	EestiEnergia	16.0	Galoter 炉	3000	2
	VKG	30.0	GGS4 炉	100	20
			GGS5 炉	200	12
			GGS6 炉	1000	2
			Galoter 炉	3000	1
	Kivioli	6.5	Kiviter 炉	100	8
	合 计	52.5			
巴 西	Petrobras	18.0	Petrosix 炉	6000	1
	合 计	18.0		1600	1
世 界	总 计	146.0			

表 2 世界油页岩发电厂(2011 年)

国 家	电 厂	容量/MW	炉 型	台 数
爱沙尼亚	波罗的海电厂	1600	悬浮燃烧式	10
			循环流化床式	2
	爱沙尼亚电	1600	悬浮燃烧式	7
			循环流化床式	2
以色列	巴马电厂	25	循环流化床式	1
德 国	鲁尔巴水泥厂	11	流化燃烧床式	3
中 国	桦甸热电厂	15	循环流化床式	3
	汪清炼油厂	9	循环流化床式	2
	广东遂溪电厂	6	循环流化床式	1

#### 3.1.3 中国油页岩研究、勘探开发和加工利用最新进展

中石油西北地质研究所、西安地质矿产研究所和中国地质大学等合作对中国西北部民和盆地、六盘山盆地、索洪沟盆地及鄂尔多斯盆地的油页岩资源进行了勘察,初步研究结果表明,该地区预测油页岩资源量高达  $3.1 \times 10^{12}$  t,折算成页岩油达  $2000 \times 10^8$  t,其中鄂尔多斯盆地(陕西铜川等地区)的资源量

是主体(占 99%)。油页岩生成年代为三叠纪,埋深位于地下 300m,层厚 4~36m,含油率 1.5%~13.7%。然而该地区探明的油页岩储量仅  $22.86 \times 10^8 \text{t}$ ,折算成页岩油为  $1.5 \times 10^8 \text{t}$ ,这表明还有很多详细的勘探工作要做,以落实更多的可采油页岩储量<sup>[17]</sup>。

沈阳地质调查中心对中国东北部 11 个盆地的侏罗纪油页岩资源进行了初步勘察。结果表明,该地区油页岩埋深 500~3500m,总厚度达 102m,含油率为 0.76%~8.01%(平均 3.34%)<sup>[18]</sup>。

成都地质矿产研究所先后与四川大学及中国科学院地质研究所等合作,对中国西南部西藏羌塘盆地北区胜利河—长蛇山油页岩及羌塘盆地南区毕洛措等地区的油页岩进行了勘查。研究结果表明,羌塘盆地油页岩是中国少有的海相油页岩,主要生成于白垩纪和侏罗纪。毕洛措油页岩的探明储量为  $9000 \times 10^4 \text{t}$ <sup>[19]</sup>,胜利河油页岩的探明储量则高达  $10 \times 10^8 \text{t}$ ,含油率为 3.5%~16.3%<sup>[20]</sup>。

抚顺矿业集团建有油页岩干馏炼油厂两座,年产页岩油  $35 \times 10^4 \text{t}$ ,并建有年产  $30 \times 10^4 \text{t}$  的页岩灰水泥厂和年产  $2.4 \times 10^8$  块的页岩灰砖厂。2010 年开始筹建油页岩和煤矸石电厂,规模为  $12 \times 10^4 \text{kW}$ ,预计 2012 年投产。同时筹建年处理  $40 \times 10^4 \text{t}$  的页岩油化工厂,以生产石脑油、柴油、丙烯和液化气等,也将于 2012 年投产<sup>[21]</sup>。抚矿进口的日处理 6000t 颗粒页岩干馏工艺装置(ATP)已建成并冷运,现等待运转。该工艺由加拿大 UMATAC 公司开发,装置的主要设备由德国 Krupp Polysius 制造<sup>[22]</sup>。

龙口矿业集团拥有 7 对生产矿井,包括矿区本部 3 对——洼里煤矿、北皂煤矿和梁家煤矿,主要生产褐煤,副产油页岩,探明油页岩储量  $7.58 \times 10^8 \text{t}$ 。北皂和梁家矿区油页岩厚度 2.59~4.74m,含油率平均 14%,为当前中国油页岩品位最高的生产矿区。龙口集团已投资 8 亿元建成了年处理油页岩  $120 \times 10^4 \text{t}$ ,产页岩油  $12 \times 10^4 \text{t}$ 、副产  $1.2 \times 10^4 \text{kW}$  干馏气发电等装置,并计划建立页岩灰水泥厂<sup>[23]</sup>。

甘肃窑街煤田集团公司对陕西神木三江煤化工公司开发的 SJ 型气燃式块煤干馏工艺加以改进,用于干馏窑街油页岩,建成 8 台气燃式方炉,单炉日处理块页岩 500t,2011 年已投产成功,页岩油收率可达铝甌收率的 80%,半焦及粉末页岩用于循环流化床燃烧产汽发电。同时建设年产  $60 \times 10^4 \text{t}$  的

水泥厂及  $3000 \times 10^4$  块的免烧砖<sup>[24]</sup>。

吉林成大弘晟能源公司由吉林成大公司和阜新矿业集团合资组成,其在桦甸开发了油页岩干馏新炉型(类似于巴西 Petrosix 工艺),即将油页岩干馏生成的油气冷凝去油后的干馏气在加热炉中加热后,作为热载体返回干馏炉以加热干馏油页岩,此工艺被称为全循环干馏装置。建设总规模为年加工桦甸油页岩  $300 \times 10^4 \text{t}$ ,产页岩油  $25 \times 10^4 \text{t}$ ,干馏炉单炉日处理量 300t。第一期 24 台干馏装置已于 2010 年建成试产,油收率可达铝甌的 82%,但因加热炉设计问题需要改造而推迟了正常投产,第二期 12 台干馏装置亦已建成。成大公司还拟在新疆建设更大规模的页岩油厂<sup>[25]</sup>。

汪清县龙腾能源开发公司对罗子沟油页岩进行开发利用,目前已投资 8 亿元建成年产页岩油  $200 \times 10^4 \text{t}$  的矿山和年产页岩油  $8 \times 10^4 \text{t}$  的炼油厂,并装机 6MW 干馏废渣发电和 3MW 干馏气发电及年产  $6000 \times 10^4$  块灰烧结砖等装置。罗子沟油页岩含油率 6.5%,2011 年生产页岩油  $5 \times 10^4 \text{t}$ <sup>[26]</sup>。

中煤黑龙江煤化工公司自 2003 年开始与有关单位合作,建立了日处理 50t 粉末页岩流化干馏、半焦流化燃烧的中试装置,历时多年完成长期正常运转试验,目前开始筹建日加工 2000t(年加工  $60 \times 10^4 \text{t}$ ) 依利粉末页岩的干馏工业试验装置,于 2011 年委托中石化洛阳石化工程公司进行开发设计<sup>[27]</sup>。

中石油大庆油田采用大连理工大学开发的颗粒页岩固体热载体干馏新技术,筹建年加工  $60 \times 10^4 \text{t}$  柳树河页岩的工业试验干馏装置,预计年产页岩油  $3 \times 10^4 \text{t}$ 。该项目几经评审,几经补充试验,由中国化工第二设计院设计,现已通过初步设计评审,正在进行施工设计,预计 2013 年建成投产<sup>[8]</sup>。

中国石油大学(北京)继续开展油页岩的开发利用研究,参与国内外油页岩干馏炼油的分析评价、咨询和建设工作,包括对缅甸、喀麦隆等国油页岩的研究,以及国内对窑街和龙口等油页岩的开发利用。中国石油大学还开展了油页岩地下干馏的基础研究<sup>[28,29]</sup>,以及配合龙江煤化工公司进行粉末页岩流化干馏装置油气旋风分离除尘的研究<sup>[30]</sup>。中国石油大学以钱家麟教授为主编,王剑秋、李术元教授为副主编,于 2008 年由中国石化出版社出版的中文专著《油页岩——石油的补充能源》已经售罄,又

于 2011 年第二次印刷<sup>[12]</sup>。另外,他们编写的英文专著“Oil Shale—Petroleum Alternative”自 2010 年出版至今,已销至美国、德国、爱沙尼亚、约旦及土耳其等 10 余个国家及中国台湾地区<sup>[9]</sup>。

东北电力大学总结了所设计开发的桦甸、遂溪、汪清等油页岩循环流化床燃烧产汽发电装置的成功经验<sup>[31,32]</sup>,目前又开展了颗粒页岩水平回转式干馏的冷模试验<sup>[33]</sup>等多项工作。

吉林大学成立了油页岩实验中心,建立了油页岩资源数据库,主要研究内容有中国油页岩的资源评价、成矿规律、地质和地化性质、油页岩的水力开采、油页岩的超临界水抽提、页岩灰的利用等<sup>[34,35]</sup>。

大连理工大学开发了颗粒煤和页岩的固体热载体干馏新技术,目前已有神木地区的公司应用该技术,建成日加工 2000t 颗粒褐煤的工业试验装置,并已试运。大庆油田应用该技术对柳树河颗粒油页岩进行干馏制取页岩油,正筹建日加工 2000t 页岩的工业试验装置。近年来大连理工大学还和大连师范大学合作,开展了从页岩灰中制取高质量氧化硅等研究<sup>[36]</sup>。

中石油勘探开发研究院廊坊分院开展了多项油页岩的实验室研究,包括油页岩微波干馏和常规加热干馏结果的比较<sup>[37]</sup>、油页岩的加热破裂<sup>[38]</sup>以及油页岩的热解动力学等<sup>[39]</sup>。

当前,中国又有一些大学开始了油页岩的研究工作,如西安建工大学进行了窑街油页岩微波干馏的研究<sup>[40]</sup>,辽宁石油化工大学进行了抚顺页岩油糠醛精制的试验<sup>[41]</sup>,东北大学开展了油页岩与聚乙烯混合物的热解研究<sup>[42]</sup>,太原工业大学进行了抚顺页岩加热裂碎及其透过率的试验等<sup>[43]</sup>。

### 3.2 爱沙尼亚

爱沙尼亚能源集团公司(Eesti Energia)系国有企业,是爱沙尼亚最大的,也是全世界最大的油页岩燃烧发电企业<sup>[44]</sup>。目前年开采油页岩  $1500 \times 10^4$ t,主要用于燃烧发电,总发电能力达 3200MW,占爱沙尼亚全国所有电力的 94%。该公司主要有两座油页岩电站,其中爱沙尼亚电站有 8 套发电装置(每套装置有两台锅炉配一台透平发电机组),波罗的海电站有 4 套发电装置。两座电站都有一套发电装置的锅炉是近几年新建的循环流化床颗粒页岩燃烧锅炉(CFB),能力为 215MW,其他所有锅炉都是老

式的粉末页岩悬浮燃烧锅炉(PF)。CFB 锅炉的废气符合排放规范;PF 锅炉排放的二氧化硫高达  $820 \sim 1360 \text{mg/MJ}$ ,排放的氮氧化物高达  $90 \sim 110 \text{mg/MJ}$ ,不符合规范,电站将对 PF 锅炉安装半干性的脱硫装置及纤维过滤脱尘装置,使其排放达标。爱沙尼亚能源集团公司于 2011 年在爱沙尼亚电站附近筹建一座新的电站,采用 CFB 锅炉,装机 300MW,预计于 2016 年建成<sup>[45]</sup>。

爱沙尼亚电站还拥有 2 台葛洛特颗粒页岩干馏炉(Galoter,亦命名为 UTT3000),每台日加工  $0 \sim 25 \text{mm}$  颗粒油页岩 3000t,年产  $16.1 \times 10^4$ t 页岩油<sup>[46]</sup>。爱沙尼亚能源集团公司还与德国奥图泰(Outotec)公司合作,于德国法兰克福筹建一套改进的葛洛特炉,其工艺流程中改用 Outotec 的循环流化半焦燃烧技术设施来代替现有葛洛特炉型中的半焦喷射式燃烧,以提高燃烧效率<sup>[47]</sup>。爱沙尼亚能源集团还拟利用这项改进的工艺在该公司电站筹建一台大型颗粒页岩干馏装置(Enefit 280),日加工油页岩由 3000t 增至 6000t,预计年产  $29 \times 10^4$ t 页岩油、 $7500 \times 10^4 \text{m}^3$  高热值气及 280GW·h 电力,计划于 2012 年建成投产<sup>[48]</sup>。

爱沙尼亚化学集团公司(VKG)为民营企业,拥有 30 多台气燃式块状页岩圆筒形干馏炉,单炉日加工油页岩  $300 \sim 1000 \text{t}$ <sup>[49]</sup>。VKG 公司引进俄罗斯原子能设计院的葛洛特颗粒页岩固体热载体干馏技术并加以改进,建成一台工业炉,命名为 Petroter 干馏工艺,设计日处理油页岩 3000t,预计年产  $10 \times 10^4$ t 页岩油,已于 2011 年底建成试产,投资达 11 亿爱沙尼亚克朗<sup>[50]</sup>。当前 VKG 公司年加工  $200 \times 10^4$ t 爱沙尼亚库克瑟特油页岩,年产页岩油  $25 \times 10^4$ t,加工成多种产品出售,包括燃料油、沥青、石油焦、酚类及树脂等<sup>[50]</sup>。

爱沙尼亚基维利页岩油厂(Kivioli Oil Plant)为民营企业,年加工库克瑟特油页岩约  $45 \times 10^4$ t,年产页岩油约  $6.6 \times 10^4$ t,有数台基维特炉持续生产<sup>[49]</sup>。

爱沙尼亚塔林理工大学(Tallinn University of Technology)长期从事多项油页岩基础研究和应用研究,目前与爱沙尼亚电厂合作,在锅炉装置上安装脱硫设施和袋滤器,使废气中的二氧化硫含量降至  $400 \text{mg/m}^3$ (标准),粉尘含量降至  $30 \text{mg/m}^3$ (标准)<sup>[45]</sup>。还研究了油页岩与生物质混烧的问题<sup>[51]</sup>,考察了爱沙



尼亚页岩油工业的碳排放问题等<sup>[49]</sup>。

塔土大学(University of Tartu)也开展了多项有关页岩的研究,包括页岩油厂废水中酚类和间苯二酚类的生物降解等<sup>[52]</sup>。

### 3.3 巴西

巴西石油公司(Petrobras)是巴西国营大型天然石油开采和油品加工生产企业,但也长期开采和干馏 Irati 矿藏的页岩。该公司在巴西 Sao Mateau do Suel 建有两台佩特罗瑟克斯(Petrosix)块状页岩圆筒形干馏炉,一台直径 5.5m,日加工 2500t 页岩;另一台直径 11m,日加工页岩 6000t,日产页岩油 550t、干馏气 130t、液化石油气 50t 及硫磺 32t,这是目前世界上块状页岩日处理量最大的炉子。该炉上半段为干馏段,由炉出口油气冷凝回收页岩油后,干馏气在一管式加热炉加热后循环进入干馏段加热页岩产生油气,该炉下半段则为半焦冷却段。炉型生产成熟,且油收率可高达实验室铝甌油收率的 90%,目前两台炉子年产页岩油共约  $18 \times 10^4$ t,生产装置无污染泄漏,周围环境无异味。该工艺的缺点是半焦未利用<sup>[53]</sup>。

### 3.4 美国

美国地质调查局(USGS)2011 年宣称,对绿河页岩资源的最新统计换算成页岩油约  $4.3 \times 10^{12}$ bbl,约合  $6000 \times 10^8$ t 页岩油(这是资源量,较探明储量要大很多)。绿河页岩主要分布在怀俄明州西南部、科罗拉多州西北部及犹他州东北部的 Great Green River 等盆地<sup>[54]</sup>。其中,怀俄明州西南部盆地页岩资源折合成页岩油估计为  $1.44 \times 10^{12}$ bbl,科罗拉多州 Piceance 盆地资源折合页岩油约为  $1.53 \times 10^{12}$ bbl,Uinta 盆地的资源折合成页岩油约为  $1.33 \times 10^{12}$ bbl。Great Green River 盆地面积为  $5500 \text{m}^2$ ,Uinta 盆地面积为  $3834 \text{m}^2$ ,Piceance 盆地面积为  $1335 \text{m}^2$ <sup>[55]</sup>。

美国拥有极其丰富的页岩油资源,但迄今没有建立起页岩油的工业生产。美国国家页岩油协会提出了对这个问题的看法:在页岩干馏工艺方面,地下干馏尚在试验阶段,要建立工业生产尚不成熟;地上干馏在国外已有工业上成功的工艺,但需要使用美国的页岩加以检验。应该认为,工艺问题已不是最重要的挑战,当前美国在这方面的关键问题是联邦政府和有的州政府缺乏鼓励发展页岩油工业的合适的政策<sup>[56]</sup>。

美国石油学会(API)页岩分会目前重新提出推动美国页岩发展的建议,包括美国当局应该对非常规燃料工作组于 2007 年提出的发展页岩油工业的规划设想认真加以审核、修改及予以促进;还要引起国会议员对页岩发展工作的重视,并建议与科罗拉多矿业学院成立一个页岩油方面的论坛;以及加强与中国、巴西、爱沙尼亚和约旦等国家在发展页岩油方面的合作交流等等<sup>[57]</sup>。

壳牌公司(Shell)在美国科罗拉多州 Piceance 盆地完成了用冷冻墙围住地下干馏区域以封闭页岩热解产生的油气,并隔离地下水渗入的初步试验,还将进行小规模地下冷冻中试<sup>[58,59]</sup>。该工艺被称为 ICP Process,预计 2012 年进行钻井等建设<sup>[60]</sup>。

埃克森美孚(ExxonMobil)拟在 Piceance 盆地对绿河页岩层使用平面加热器于地下干馏进行试验,以减少加热井的数量,计划在 5 年内开展工业规模的地下干馏中试<sup>[61]</sup>。

雪佛龙公司(Chevron)几年来为了开发利用科罗拉多州 Piceance 盆地页岩,开展了地下干馏的研究、模拟实验及现场数据收集,至今已钻井 20 口,进行了多种分析,为进行地下干馏中试做准备<sup>[62]</sup>。

美国页岩油公司(AMSO)是法国道达尔与美国综合技术设备公司(IDT)各持股 50%的合资公司。该公司建立了一套地下干馏中试装置,已于 2011 年开始运行,装置包括一口加热井及一口生产井,还有多口测试井,预计中试将进行到 2012 年<sup>[63]</sup>。

美国燃烧资源公司(Combustion Resources, Inc.)在犹他州 Provo 由能源部支持,开发了地上干馏回转炉工艺,并建有中试装置,已进行运转。其水平式回转炉直径 25cm,长 2.3m,为间接加热,命名为 C-SOS 工艺。目前已完成了日加工 6000t 页岩的工业示范装置的初步设计,采用 4 台直径 4m、长 42m 的放大规模的回转炉<sup>[64]</sup>。

爱尼菲特美国公司(Enefit American Oil, EAO)是爱沙尼亚能源集团公司的全资子公司,2011 年获得美国犹他州  $120 \text{km}^2$  页岩的开采权,储量折合成页岩油约为  $16 \times 10^8$ t。爱沙尼亚能源集团与德国 Outotec 公司共同承担发展新的 Enefit 技术,新技术结合了 Eesti Energia 的固体热载体干馏颗粒页岩技术以及 Outotec 的循环流化床半焦燃烧技术,从而可以提高效率,减少环境污染。EAO 计划研发日

产量为  $5 \times 10^4$  bbl 页岩油的干馏装置, 并且包括油页岩开采及页岩油的改质。预计进行 6 年的研发, 再加上 3 年的建设, 目前正准备将犹他州当地的页岩运至德国 Outotec 公司的研究中心进行测试<sup>[65]</sup>。

美国犹太大学(University of Utah)开展了多项油页岩的基础研究, 包括页岩油母的结构、页岩块度对热解的影响、地下干馏时进行油页岩裂碎以增加其渗透性的问题等<sup>[66-68]</sup>。

### 3.5 澳大利亚

设在澳大利亚的昆士兰能源公司(QER)是一家美国企业, 几年前在购入澳大利亚南太平洋公司的矿业和装置后, 将塔瑟克装置(ATP)停运, 并将澳大利亚 Stuart 地区的 10000t 油页岩运至位于美国科罗拉多州 Rifle 地区的帕拉霍(Paraho)中试装置进行试运, 取得了肯定的结果, 从而决定在澳大利亚改用美国帕拉霍干馏工艺。该干馏装置系直立圆筒型炉, 加工块状页岩, 于 2011 年建成一台中试装置, 现已投入运转。同时利用原有的页岩油加氢装置, 将帕拉霍炉生产的页岩油加工制取极低硫含量的柴油和高质量的运输燃料油<sup>[69]</sup>。QER 公司还计划建设 Paraho 干馏炉<sup>[70]</sup>。

### 3.6 德国

德国奥图泰公司(Outotec)与爱沙尼亚能源集团合作, 开发了颗粒页岩回转炉干馏、半焦循环流化燃烧的新工艺。奥图泰公司在德国法兰克福建立了一套实验室规模的装置, 每小时加工 4~12kg 油页岩, 可生产出 2L 页岩油。目前两家公司合作, 正使用爱沙尼亚油页岩在该装置上进行实验工作, 并决定在法兰克福利用该工艺建设一套中试装置, 每小时可处理 350kg 油页岩, 其半焦循环流化燃烧床的直径约为 700mm<sup>[47]</sup>。

### 3.7 约旦

约旦虽地处中东, 却没有原油, 但约旦拥有丰富的油页岩资源, 且含油率也较高。由于约旦缺乏资金和技术, 多年以来即委托国外多家公司开展约旦油页岩开发利用的试验或可行性研究, 以图发展页岩油工业。目前与壳牌公司签订了进行地下干馏的协议, 与英国约旦能源公司签订了油页岩开发协议, 还与卡拉克国际石油公司签订了利用拉琼油页岩进行地上干馏等协议<sup>[71, 72]</sup>。

约旦塔拉尔大学(Talal University)对约旦拉琼

油页岩的矿物质组成以及油页岩的浮选和溶剂抽提等进行了研究<sup>[73, 74]</sup>。

### 3.8 土耳其

位于土耳其东北部索洛伐(Suluova)和瑟尔太克(Celtek)地区之间的瑟尔太克盆地赋存了丰富的第三纪的油页岩和煤伴生的两个矿区: 爱斯基瑟尔太克(Eeski Celtek)及阿尔木特罗(Armutlu)。爱斯基瑟尔太克矿区油页岩的热值平均为 2500kJ/kg, 最高为 5800kJ/kg, 厚度为 5~10m, 位于煤层之上, 煤层平均厚度为 2m, 其热值为 23000kJ/kg; 阿尔木特罗矿区油页岩厚度为 5~45m, 煤层厚度平均 1.2m, 热值 14000kJ/kg。两个矿区油页岩的总有机碳含量为 1.23%~7.15%, 页岩总储量约  $9000 \times 10^4$  t, 煤的储量约为  $2100 \times 10^4$  t<sup>[75]</sup>。

土耳其依格大学(Ege University)与爱沙尼亚塔林理工大学合作, 进行了土耳其油页岩在压力下、在有水和无水条件下热解的研究, 对热解产物的收率和性质进行了对比<sup>[76]</sup>。

### 3.9 印度

印度国家地球物理研究所对印度油页岩资源进行了初步研究。结果认为, 印度油页岩资源不多, 折合成页岩油约为  $1500 \times 10^4$  t<sup>[77]</sup>。

印度潘狄亨达亚大学(Pandit Deendayal University)对油页岩地下干馏生产页岩油的经济问题进行了研究, 认为地下干馏工艺所需的能耗很大, 影响其广泛推广<sup>[78]</sup>。

### 3.10 以色列

以色列在鹿特姆(Rotem)的巴马公司建有一座小型电站, 利用低品位油页岩循环流化床燃烧产汽发电, 容量 25MW<sup>[8]</sup>。

以色列萨米夏蒙学院(Sami Shamoon College)与本-戈林大学(Ben-Gurion University)合作, 利用纯乙醇及掺水的乙醇对以色列油页岩进行抽提研究。结果表明, 在最佳抽提条件下, 可从油页岩抽得 8% 的有机质<sup>[79]</sup>。

### 3.11 埃及

埃及苏伊士卡那尔大学(Suez Canal University)在埃及矿物资源局的支持下进行了埃及油页岩性质的研究。结果表明, 油页岩的矿物质主要由碳酸盐类组成, 其次为石英和依利石; 油页岩的油母质则分布于矿物质的骨架中; 油页岩的总有机碳含量

为 20.78%<sup>[80]</sup>。

#### 4 结语

① 2011 年世界油价在 80~100 美元/bbl 之间波动,高油价促进了油页岩的研究和开发利用。2011 年国内外召开了三次大型油页岩科技会议。

② 世界油页岩资源蕴藏量十分巨大,折算成页岩油约达  $4500 \times 10^8 \text{t}$ ,超过世界石油资源量。美国页岩油探明储量高达  $3000 \times 10^8 \text{t}$ ,几乎占了世界的 70%,其他拥有丰富页岩油储量的国家依次为:俄罗斯、扎依尔、巴西、加拿大、约旦、摩洛哥、澳大利亚、中国、爱沙尼亚和意大利等。中国预测的油页岩资源折合页岩油资源很多,但由于勘探程度很低,故探明储量不多。近年来,有关方面加强了油页岩的地质勘探工作。

③ 当前世界上油页岩干馏生产页岩油的国家只有中国( $75.5 \times 10^4 \text{t/a}$ )、爱沙尼亚( $52.5 \times 10^4 \text{t/a}$ )和巴西( $18 \times 10^4 \text{t/a}$ ),共计年产页岩油约  $146 \times 10^4 \text{t}$ 。

④ 当前世界油页岩电站以爱沙尼亚最大,总容量达到 3200MW,中国和德国等国家油页岩电力规模很小。

⑤ 中国页岩油仍不断增产,各生产厂主要采用老式的抚顺式干馏炉。抚矿集团和中石油大庆油田分别引进和自主开发了大处理量的颗粒油页岩干馏生产页岩油的新工艺。中国石油大学等高校和一些研究机构继续开展油页岩开发利用的研究。中国近年来还出版了多部油页岩专著。

⑥ 爱沙尼亚拥有世界上最大的油页岩电站,将逐步用循环流化床燃烧颗粒页岩的新工艺取代悬浮燃烧工艺,以提高热效率,减少污染物的排放,达到环保要求。爱沙尼亚油页岩干馏炼油除了旧的发生式炉以及葛洛特炉以外,目前与德国奥图泰公司合作改进葛洛特炉,将半焦喷射燃烧改为循环流化床燃烧工艺,以提高热效率。爱沙尼亚塔林理工大学等进行了不少油页岩的研究。

⑦ 巴西有页岩油生产,但因近年来在近海发现大型油田,故无页岩油的增产计划。

⑧ 美国虽然拥有最丰富的油页岩资源,一些大石油公司(壳牌、埃克森美孚、雪佛龙等)正在开展或计划开展地下干馏现场试验,有些公司(燃烧资源公司等)则在进行地上干馏研究和中试,但至今都没有工业生产。美国一些大学和科研机构正在开

展有关油页岩的基础研究。

⑨ 德国、加拿大、澳大利亚等发达国家的一些公司则在研究开发油页岩干馏新工艺。

⑩ 约旦、土耳其、以色列等发展中国家加强了油页岩资源的勘查和/或国际合作,开展了油页岩加工利用的可行性研究。

#### 参考文献:

- [1] 31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, October 17-21, 2011[EB/OL].[http://csmospace.com/events/oilshale\\_2011/](http://csmospace.com/events/oilshale_2011/).
- [2] The Center for Oil Shale Technology and Research, Colorado School of Mines[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October 17-21, 2011.
- [3] LI Shuyuan, MA Yue, QIAN Jialin. Chinese current oil shale business[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October 17-21, 2011.
- [4] 山东能源龙矿集团.油页岩交流会论文集[C]//中国油页岩产业发展交流会,龙口,2011-06-25.
- [5] 尹亮.交流合作求发展、沟通学习谋共赢,推动我国油页岩综合利用产业持续健康发展[C]//中国煤炭加工利用协会油页岩分会 2011 年年会,海口,2011-12-02.
- [6] 尹亮.中国煤炭加工利用协会油页岩分会会刊[J].中国油页岩,2011(1).
- [7] 曹祖宾,张宗平,韩冬云,等.油页岩干馏工艺与工程[M].北京:中国石化出版社,2011.
- [8] 施国泉.石油替代路在何方[C]//中国油页岩产业发展交流会,龙口,2011-06-25.
- [9] QIAN Jialin, WANG Jianqiu, LI Shuyuan, et al. Oil shale-petroleum alternative[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2010.
- [10] 刘招君,杨虎林,董清水,等.中国油页岩[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [11] 曲直.油页岩环境保护政策及保护对策[J].中国油页岩,2011(1):31-34.
- [12] 钱家麟,尹亮,王剑秋,等.油页岩——石油的补充能源[M].北京:中国石化出版社,2008.
- [13] 施国泉.油页岩和页岩油[M].北京:中国石化出版社,2009.
- [14] 张家强,刘志逊,钱家麟,等.中国发展油页岩产业的可行性[M].北京:地质出版社,2009.
- [15] 王红岩,刘振文,宁宁.油页岩资源及开发工艺技术[M].北京:石油工业出版社,2010.
- [16] 曹祖宾,张宗平,韩冬云,等.油页岩干馏工艺与工程[M].北京:中国石化出版社,2011.
- [17] BAI Yunlai, TANG Hua, YAN Kai. Geological characteristics and some problems in development for oil shale in north-west China[J]. Oil Shale, 2011, 28(3): 380-397.

- [18] CHEN Shuwang, SHAN Haiping, ZHANG Jian. On potential new deposits of oil shale in northeastern China[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October 2011.
- [19] ZENG Yuhong, FU Xiugen, ZENG Shengqiang, et al. Organic geochemical characteristics of the Bilong Co oil shale(China): implications for paleoenvironment and petroleum prospects [J]. Oil Shale, 2011, 28(3): 398-414.
- [20] FU Xiugen, WANG Jian, TAN Fuwen, et al. Sedimentological investigations of the Shengli River-Changshe Mountain oil shale(China): relationships with oil shale formation[J]. Oil Shale, 2009, 26(3): 373-381.
- [21] 抚顺矿业集团公司工程技术研究中心. 油页岩炼油工艺装备的开发与前景展望[C]//中国油页岩产业发展交流会, 龙口, 2011-06-25.
- [22] ODUT S, MOHR M. From R&D to commercial plant-scale-up challenges of the ATP technology[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [23] 何继来. 龙矿集团油页岩综合利用探索与实践[C]//中国油页岩产业发展交流会, 龙口, 2011-06-25.
- [24] 窑街煤电集团公司. 油页岩综合利用产业链延伸[C]//中国煤炭加工利用协会油页岩分会 2011 年年会, 海口, 2011-12-02.
- [25] 吉林成大弘晟能源有限公司. 300 万吨油页岩瓦斯全循环干馏技术[C]//中国油页岩产业发展交流会, 龙口, 2011-06-25.
- [26] 汪清县龙腾能源开发有限公司. 罗子沟油页岩资源综合利用项目进展情况简介[C]//中国油页岩产业发展交流会, 龙口, 2011-06-25.
- [27] 中煤能源黑龙江煤化工公司. 中煤能源黑龙江煤化工公司 2011 年油页岩项目进展[J]. 中国油页岩, 2011(1): 6.
- [28] MA Yue, MA Guili, LI Shuyuan. Study of oil shale pyrolysis to simulate in-situ conversion process[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [29] 李术元, 唐勋, 王娟. 油页岩地下干馏热压模拟实验研究[M]//王红岩, 刘振文, 宁宇. 油页岩资源及开发工艺技术. 北京: 石油工业出版社, 2010: 80-85.
- [30] YANG Jingxuan, SUN Guogang, WANG Yang. A study of the effects of concentration on the performance of a cyclone separator with oil shale ash[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [31] WANG Qing, SUN Jian, LI Shaohua, et al. Revamping of a 75t/h pulverized coal-fired boiler to a 65t/h oil shale-fired high-low bed CFB boiler[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [32] 王擎, 孙键, 李少华, 等. 我国油页岩循环流化床锅炉的发展[C]//中国油页岩产业发展交流会, 龙口, 2011-06-25.
- [33] LI Shaohua, ZHU Mingliang, WANG Qing, et al. Research and development related to solid retorting of oil shale from Huadian, China[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [34] 吉林大学地球科学学院, 国土资源部油气资源战略研究中心. 油页岩实验中心简介[C]//中国油页岩产业发展交流会, 龙口, 2011-06-25.
- [35] DENG Sunhua, WANG Zhijun, WANG Hongyan. Extraction of Huadian oil shale lumps by near-critical water[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [36] XU Yingmei, QI Ji, SHI Jiawei, et al. Technique of preparing modified silica from oil shale residue[J]. Oil Shale, 2011, 28(2): 309-320.
- [37] LI Xiaolong, FANG Chaohe, ZHENG Dewen. Microwave processing of oil shale and characterization of shale oil generated by microwave retorting[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [38] FANG Chaohe, YAO Jianjun. Study on thermal fracturing and permeability of oil shale[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [39] XIA Yongjiang, XUE Huaqing, WANG Hongyan, et al. Kinetics of isothermal and non-isothermal pyrolysis of oil shale [J]. Oil Shale, 2011, 28(3): 415-424.
- [40] Song Yonghui, SHE Jianmei, LAN Xinzhe, et al. Microwave pyrolysis of Yaojie oil shale[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [41] LI G X, YAN D Y, CAO Z B, et al. Studies on Fushun shale oil furfural refining[J]. Oil Shale, 2011, 28(3): 372-379.
- [42] LIU Yanhui, XUE Xiangxin, LI Yong. Pyrolysis of oil shale mixed with low-density polyethylene[J]. Oil Shale, 2011, 28(1): 42-48.
- [43] KANG Zhiqin, YANG Dong, ZHAO Yangsheng, et al. Thermal cracking and corresponding permeability of Fushun oil shale [J]. Oil Shale, 2011, 28(2): 273-283.
- [44] HAMBURG A. Analysis of energy development perspectives [J]. Oil Shale, 2011, 28(3): 367-371.
- [45] PAIST A. Present and future of oil shale based energy production in Estonia[J]. Oil Shale, 2011, 28(1S): 85-88.
- [46] OTS A, POOBUS A, LAUSMAA T. Technical and ecological aspects of shale oil and power cogeneration[J]. Oil Shale, 2011, 28(1S): 101-112.
- [47] SIEGER H, BINDER C, ORTH A, et al. Test facilities and First results for the improved solid heat carrier technology (ENEFIT 280) for processing different oil shales[C]//31<sup>st</sup> Oil



- Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [48] Enefit oil and gas, unlocking the potential of oil shale[M]. Tallinn: Eesti Energia, 2010.
- [49] SIRDE A, ROOS I, MARTINS A. Estimation of carbon emission factors for the Estonian shale oil industry[J]. Oil Shale, 2011, 28(Suppl.1): 127-139.
- [50] Viro Keemia Group[EB/OL]. <http://www.vkg.ee/>.
- [51] KASK Ü, LOOSAAR J, PARVE T, et al. Potential of biomass in Narva region regarding oil shale and biomass co-firing[J]. Oil Shale, 2011, 28(S1): 181-192.
- [52] LEPIK R, TENNO T. Biodegradability of phenol, resorcinol and 5-methyl-resorcinol as single and mixed substrates by activated sludge[J]. Oil Shale, 2011, 28(3): 425-446.
- [53] Petrosix Process[EB/OL]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Petrosix>.
- [54] JUSTIN B. Technical and environmental aspects of oil shale assessment for western U.S. deposits[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [55] RONALD C, JOHNSON T J, MERCIER M E. Assessment of in-place oil shale resources in the Eocene Green River Formation[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [56] VAWTER G. Responsible development of oil shale[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [57] HOLLY H. American Petroleum Institute Oil Shale Subcommittee activities toward realizing goals and objectives of Section 369 of the 2005 Energy Policy Act[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [58] WOLFGANG D, SEPEHR A, LARRY C, et al. Shell's Colorado oil shale freeze wall test[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [59] ERIK H, MICHAEL D, JOHN H, et al. Subsurface Reclamation for an ICP Oil Shale Project[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [60] JANICEK P, POSEY H. Progress on Shell's R&D Pilot project[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [61] TANAKA P, YEAKEL J, SYMINGTON W, et al. Plan to test an in situ planar heater on a proposed RD&D Lease[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [62] MINNERY G, LOONEY M, FLODIN E, et al. Status report and direction of Chevron's RD&D pilot oil shale project, Piceance Basin, Colorado[C]//31<sup>st</sup> Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [63] DAY R L, BURNHAM A, FOULKES J, et al. Pilot test of AMSO's CCR(TM) in-situ oil shale process[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [64] SMORT L D, HATFIELD K, OCHOA A. Demonstration and commercial resign of the Clean Oil Shale Process[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [65] HRENKO R. Enefit American Oil[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [66] BAUMAN J, BHITE R, DEO M. An evaluation of porosity and permeability changes in oil shale due to thermal stresses[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [67] TWARI P, DEO M. Experimental analysis of the multiscale oil shale pyrolysis[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [68] FACELI J, ORENDT A, BADU S, et al. Atomistic modeling of oil shale kerogen and asphaltenes[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [69] HENDERSON I. Elements of process design and progress on commissioning the QER Technology Demonstration Plant in Australia[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [70] BOWMAN P. 2011: A milestone year in progressing the shale to liquids industry in Australia[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [71] RAMINI H. Jordan's oil shale development policy and strategy[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [72] MORGAN C, FRASER J. Oil shale project progress in Jordan[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [73] AL-THYABAT S, ABD-ALRAZAG E. Preliminary evaluation of Jordanian oil shale upgrading by froth flotation[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [74] ALNAWAFLEH H, FRAGE F. Characterization and shale oil yield evaluation of Jordanian oil shale[C]//31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [75] SENGULER I. Geological and organic petrographical charac-

- teristics of oil shale bearing deposits in the Celtek oil shale and coalfield, Amasya, Turkey[C]/31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [76] YANIK J, SECIM P, KAPAKAYA S, et al. Low-temperature pyrolysis and co-pyrolysis of Göynük oil shale and terebinth berries(Turkey)in an autoclave[J]. Oil Shale, 2011, 28(4):469–486.
- [77] KUMAR B. Geology, stratigraphy & geochemical characteristics of potential oil shale and shale gas basins of India and their prognostic resources[C]/31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [78] GHIYA S, KHAROLIA K. The world oil shale—General and Indian scenario and its cost analysis[C]/31<sup>st</sup> Oil shale symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, October, 2011.
- [79] WOLFSON A, ELMUGRABI Y, LEVI R, et al. Green process for simultaneous extraction of oil shale and enrichment of ethanol[J]. Oil Shale, 2011, 28(4):516–527.
- [80] MUHAMMAD A F, ELSALMAWY M S, ABDELAALA A, et al. El-Nakheil oil shale: material characterization and effect of acid leaching[J]. Oil Shale, 2011, 28(4):528–547.
- (编辑 张 峰)

## Global Oil Shale Research, Development and Utilization Today

——And an Overview of Three Oil Shale Symposiums in 2011

*Li Shuyuan, Ma Yue, Qian Jialin*

(China University of Petroleum, Beijing 102249)

**[Abstract]** In 2011, three major oil shale symposiums were held worldwide. There are significant oil shale resources in the world, which is equivalent to about  $4500 \times 10^8$  t of shale oil, more than the world's conventional oil resources. Countries currently producing shale oil using the destructive distillation method include China, Estonia and Brazil. Estonia is building large industrial units using new granule shale distillation technology. Although China holds significant estimated oil shale resources, only a small volume has been proven in place so far. The country has in recent years stepped up its effort to explore for oil shale. China has also introduced large industrial units using the granule shale distillation method and is planning to build pilot industrial units using its own granule shale distillation technology. China has in recent years published a host of monographs on oil shale and some colleges and research institutes such as China University of Petroleum are being engaged in the research on the development and utilization of oil shale. The United States has more proven oil shale reserves than any other country; however, the country has not yet started shale oil production on a commercial scale. Many companies and colleges in the United States are conducting development and basic research into processing oil shale both underground and on the surface using the destructive distillation method. Some developing countries such as Jordan and Turkey are strengthening the research on the development and utilization of oil shale. The governments of these countries have enacted policies and strengthened their cooperation with international partners in producing shale oil. Some countries such as Estonia, China, Israel and Germany are using oil shale as fuel to produce steam for generating electricity. Estonia has a very large oil shale-based power generating capacity, about 3200 MW, which provides 94% of the country's electricity output. The shares of oil shale-derived electricity in total electricity production in other countries are very small.

**[Keywords]** oil shale; shale oil; volume of resources; proven reserve; geological prospecting; oil shale-based power station; destructive distillation