

油页岩资源开发利用经济评价

陈会军¹, 刘招君², 朱建伟², 付占荣³

(1. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034; 2. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061;

3. 内蒙古自治区有色地质勘查局 108 队, 内蒙古 赤峰 024000)

摘要: 油页岩资源是一种重要的非常规油气资源, 但是, 其作为单独的一种产品开发利用具有很大的局限性, 所以, 油页岩资源的开发利用必须走综合利用的途径。这就要求油页岩资源开发利用项目的经济评价应当采用产业经济模式评价, 而不能采用行业经济模式评价。通过调研分析, 建立产业经济模式评价模型, 按产能比模拟年产 5×10^4 t 页岩油的“油页岩综合开发利用项目”的评价结果表明: 项目的盈利能力稳定, 盈利能力强, 抗风险能力强。

关键词: 油页岩; 产业经济模式; 开发利用; 经济评价

ECONOMIC EVALUATION OF OIL SHALE UTILIZATION

CHEN Hui-jun¹, LIU Zhao-jun², ZHU Jian-wei², FU Zhan-rong³

(1. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110034, China; 2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 3. Team No. 108, Inner Mongolia Bureau of Nonferrous Metal Geologic Exploration, Chifeng 024000, Inner Mongolia, China)

Abstract: Oil shale is a kind of significant unconventional fossil resources. However, there are some limitations in its utilization and development as a single product. Thus a comprehensive pattern is necessary. The industrial economic pattern should be adopted in the economic evaluation of oil shale utilizing projects. By investigation and study, the evaluation model of industrial economic pattern is established. In the simulation of “Oil Shale Comprehensive Utilization Project” with shale oil refining of 50 000 t/a, the evaluation result shows a good and stable profitability and good risk-resistant ability.

Key words: oil shale; industrial economic pattern; utilization; economic evaluation

0 引言

矿产资源经济评价就是在地质勘查报告的基础上, 从矿产资源勘探、开发到利用的全过程, 通过投入与产出、收益与消耗的对比, 综合地评价矿产资源的经济价值^[1-3]。它是一项多学科、多方法, 政策性和理论性很强的科学研究工作, 是从工业利用的角度来评价矿产资源的经济价值和开发利用的合理性^[4]。

油页岩是一种重要的非常规油气资源, 作为油气的替代能源, 在能源日趋紧缺的今天, 其研究引起全

世界的广泛关注。它不仅可以干馏提炼页岩油, 而且干馏制取页岩油产生的半焦和瓦斯气可以用来发电, 炼油和发电后剩余的废渣可以制取建材、化肥和提炼贵金属。因此, 油页岩资源具有巨大的综合利用潜力。

油页岩资源单纯从某一方面开发利用, 其开发前景具有很大的局限性。油页岩与煤炭相比, 其发热量要低; 与原油相比, 其干馏成本要高于原油开采成本。因此, 这就决定油页岩的开发利用只能走综合利用的路线。对于油页岩综合开发利用的经济评价不能从行业

收稿日期: 2010-07-15; 修回日期: 2010-09-08。编辑: 李兰英。

基金项目: 中国地质调查局“中国油页岩开发利用可行性”项目(12120110813079-2)、国土资源部公益性行业科研专项“中国东北部油页岩富集规律与成矿机制研究”项目(200811013)资助。

作者简介: 陈会军(1967—), 男, 湖南岳阳人, 博士, 地质高级工程师, 从事含油气盆地分析与油页岩资源评价研究, 通信地址 沈阳市黄河北大街 1 号, E-mail/chjcc@126.com

经济的角度评价,而应当从产业经济的角度评价。

行业经济角度进行经济评价是对从事国民经济中同性质的生产或其他经济社会的经营单位或者个体的组织结构体系进行经济评价,仅就一个部门或环节的投入产出效益的评价,追求单一部门或行业的生产产品利润最大化。例如,干馏炼制页岩油企业希望油收率越高越好,发电企业希望热值越高越好等。

产业经济的角度进行经济评价是对组合到一起的企业集合进行经济评价,是对多个部门、多个环节的投入产出效益的评价。因此,不是要求某一单一部门或环节的利润最大化,而是油页岩资源价值的综合利润最大化,追求油页岩资源综合价值最大化。例如,干馏炼制页岩油并非油收率高就好,还要考虑半焦发电、回收瓦斯气以及灰渣制取建材的可用性等。

笔者在广泛调研、收集和整理国内外油页岩矿区、矿业公司关于油页岩开发利用、生产经营资料的基础上,结合参与“全国油页岩的开发利用研究”项目工作,与中国地质调查局和石油大学密切配合,通过调研、参访以及听取相关单位有关发展页岩油工业的意见,建立了油页岩资源的产业经济评价模型。

1 油页岩开发利用经济性调研与分析

1.1 国外油页岩开发利用经济性调研

爱沙尼亚能源集团公司(Eesti Energia)拥有2座油页岩矿山,3个油页岩干馏厂。其矿山开采方式为井巷开采,干馏炉型为葛洛特炉,处理油页岩生产能力3000 t/d,年生产页岩油 12×10^4 t。

公司2004年投资1.3亿欧元在爱沙尼亚建2台颗粒页岩循环流化床燃烧锅炉(容量215 MW)发电厂,投资1.13亿欧元在Balti建2台容量215 MW的颗粒页岩循环流化床燃烧锅炉发电厂^[5]。其油页岩开采成本8.6美元/t,油页岩干馏页岩油生产成本100美元/t(14.3美元/bbl),页岩油销售价格283美元/t(40.4美元/bbl)^[6]。

爱沙尼亚基维利公司Virus Keemia Group(VKG)干馏油页岩采用的炉型是基维特炉(Kiviter),页岩油收率为实验室铝甑干馏油收率的75%,单炉日加工油页岩1000 t^[7]。

2006年,VKG公司加工处理油页岩 147×10^4 t,提炼 20×10^4 t页岩油^[8];其生产成本23.8美元/bbl,页岩油售价为50~70美元/bbl;销售收入1.36亿美元,利润2700万美元^[9]。

巴西石油公司拥有露天开采油页岩矿山。1972

年投资3500万美元建造直径5.5 m,日处理1500 t的佩特洛瑟克斯炉(Petrosix)。1991年投资9300万美元建造直径11 m,日处理6000 t的佩特洛瑟克斯炉。目前,两座炉日产页岩油550 t、干馏气 14×10^4 m³、液化气45 t、硫磺75 t^[10-11]。

澳大利亚南太平洋石油公司/中太平洋矿业公司(SPP/CPM)1999年投资1.7亿美元建造一座塔瑟克炉(ATP),日处理油页岩6000 t。除炉子冷凝回收系统外,还包括轻馏分加氢制取超低硫石脑油等^[12-14]。设计年处理油页岩 200×10^4 t,产页岩油 20×10^4 t,生产成本70美元/t。1999年试运行,开工率50%,2004年南太平洋石油公司将该装置及油页岩矿售予美国的昆士兰能源公司^[9]。

美国油页岩资源极其丰富,2004年美国能源部负责石油储备的副部长助理办公室及海军石油和油页岩储备办公室发表了题为《美国油页岩的战略意义》的两卷本研究报告,预计从2011年开始开发油页岩资源,到2020年使页岩油年产量达到 1×10^8 t,最终建成年产 5×10^8 t的页岩油生产能力^[15-16]。

2005年美国能源部负责石油储备的副部长助理办公室及海军石油和油页岩储备办公室建立了美国油页岩商业性开发利用的经济模型,估算出 6×10^{12} bbl资源中有 $6000 \times 10^8 \sim 8000 \times 10^8$ bbl是可经济利用的。

2007年美国能源部主导的非常规油气战略项目中提出了不同开采方式提炼页岩油的投资与费用关系(表1)^[17-18]。

表1 美国不同开采方式的投资、生产成本与经营成本

Table 1 Investment and cost of different mining method in USA

项目	投资	生产成本	经营成本
露天开采地面干馏	4.0~4.1	44	12~13
井巷开采地面干馏	4.1~4.2	54	16~17
原位开采中试	2.7~4.0	65.2	18~26
预计原位开采	3.6~5.6	30~37.8	19~20

资料来源:美国能源部,2007。投资单位:10⁴美元/bbl;生产和经营成本单位:美元/bbl。

1.2 国内油页岩开发利用经济性调研

辽宁省抚顺矿业集团有限责任公司页岩油炼厂,是我国目前唯一从事利用油页岩提炼页岩油的国有中型油页岩综合利用企业,是集团公司的两大骨干企业之一。

1988年经国家计委批准兴建页岩炼油厂,1991年建成投产。企业有4部抚顺式炼制装置,80台干馏炉,装置规模为年处理油页岩 400×10^4 t,年生产页岩油

12×10⁴ t, 并建有 2 条喷雾炭黑生产线, 年产军用喷雾炭黑 2000 t. 页岩油主要成分为柴油, 可加工生产军用喷雾炭黑, 也可直接做工业油炉的优质燃料, 并可用西太平洋柴油调和生产船用燃料油. 油页岩炼油废渣可生产页岩烧结砖和水泥等, 炼油剩余气可用作发电燃料.

抚顺油页岩与煤共伴生, 露天开采, 其开采成本约 10~20 元/t. 抚顺炉干馏油页岩的单炉日处理能力约 100 t 油页岩, 油收率约为实验室铝甑油收率的 70%, 环保水平相对较低. 产油与耗用油页岩之比为 1:30, 耗电 160 度, 耗蒸汽 2.8 t. 其成本构成是: 原页岩占 59%, 材料 4%, 工资 2%, 水电气占 23%, 折旧、修理及管理费占 12%^[19-21]. 2003 年页岩油的生产成本约 800 元/t, 市场价格 2000 元/t; 2009 年, 生产成本(包括主要原材料、工资、维修、折旧等)约 1500 元/t(相当于 30 美元/bbl), 市场售价 2500~3500 元/t(相当于 52~73 美元/bbl).

吉林省成大弘晟能源有限公司开展的“桦甸油页岩综合开发利用项目可行性分析”研究数据如下^[22-23].

项目投资概算 27.5 亿元, 规划建设集油页岩开采、干馏、发电和新型建材于一体的循环经济产业链条. 其中矿山投资概算约 7 亿元; 发电厂投资概算约 10 亿元; 炼油厂投资概算 6 亿元, 主要设备包括: 生粉磨、煤磨、回转窑、干馏炉、瓦斯加热炉、洗涤塔、凉水塔、筛分设备、运输系统; 新型建材项目投资概算约 4 亿元; 公共工程概算约 0.5 亿元.

成本及收益测算: 桦甸油页岩开采采用井巷开采, 预计开采成本 100~120 元/t; 炼油生产成本 1200 元/t(包括材料、工资、维修、折旧和贷款利息等), 总的生产成本 2400 元/t(相当于 50 美元/bbl)^[24-29]. 项目全部建成投产后, 正常生产年份总销售收入为 11.18 亿元, 税后利润 4.19 亿元, 上缴税金 0.92 亿元. 项目财务内部收益率为 14.3%, 投资回收期 9.04 年.

汪清龙腾能源开发有限公司开展的“汪清罗子沟油页岩综合开发利用”项目调研分析数据如下.

项目总投资概算 7.18 亿元, 其中: 矿山 3.88 亿元, 炼油及配套电厂为 1.8 亿元和 0.65 亿元, 陶粒厂 0.24 亿元, 烧结砖厂 0.61 亿元. 建设期利息 0.28 亿元, 流动资金 0.38 亿元. 资金来源为银行贷款 4.31 亿元, 自筹 2.87 亿元. 项目规划建设年开采油页岩矿石 168×10⁴ t 的露天矿; 采用抚顺式炉年产页岩油 8×10⁴ t 的炼油厂; 电机容量 6 MW 的电站; 年产陶粒 10×10⁴ m³ 和烧结砖 1.2 亿块的建材厂.

项目成本: 罗子沟油页岩采取露天开采, 一般剥采比不大, 油页岩开采成本费用一般在 30 元/t 左右. 其页岩油生产成本约 1800 元/t(折合 38 美元/bbl, 其成本构成为: 原料 30×25=750 元/t, 再加上人工、水电、维修、利息等生产费用约 1000 元).

山东省龙口矿业集团有限公司是全国唯一的一家大型海滨煤炭企业, 同时也是全国唯一一家实施海下采煤技术的煤炭企业. 矿业集团“油页岩综合利用炼油项目”调研分析数据如下.

项目规划建设年处理油页岩 150×10⁴ t 炼油厂, 提炼页岩油 18×10⁴ t, 炉型引进国外先进的技术和设备(ATP); 建一座 40 MW 配套发电厂, 粉煤灰做建筑材料或塌陷地回填.

投资及经济效益分析预测: 项目总投资 2.65 亿美元(约 18.6 亿元人民币). 预测炼油年销售收入 3.24 亿元, 利润 0.59 亿元; 年发电量 22 亿千瓦小时, 销售收入 7.04 亿元, 利润 2.06 亿元^[30].

甘肃省甘肃煤电公司采用陕西神木三江煤化工公司开发的油页岩气燃式干馏方炉(每台日加工 500 t), 于窑街拟筹建年产 15×10⁴ t 页岩油的干馏厂, 计划明年年初开工建设^[31]. 规划建设项目包括采用 SJ 方型炉年产 15×10⁴ t 的页岩油干馏厂及发电厂和建材厂^[32].

辽宁省五家子张家窝铺油页岩炼厂: 投资 3000 万元, 2006 年底建成投产, 运行 10 台抚顺炉, 日处理矿石 1200 t, 年产页岩油 1.0×10⁴ t. 含油率 3.5%~5%, 其油页岩埋藏浅, 采用平硐方式开采, 矿石成本 45 元/t, 利润 500~1000 元/t.

1.3 油页岩资源开发利用经济分析

1.3.1 开发利用方案

油页岩资源综合开发利用涉及矿山开采、石油、电力、建材、化工等行业, 是一项知识面广, 纷繁复杂的工作. 因此, 要较好地开展油页岩资源综合开发利用研究工作, 不但研究人员需要有丰富的专业知识, 复合型、复合型的素质, 还要充分借鉴国外开发经验、油气开发经验和煤炭开发经验, 搞好与生态环境的结合、与综合利用的结合和与产学研用的结合.

通过国内外油页岩开发利用调研分析, 油页岩资源综合开发利用, 形成闭合产业链, 既可提高经济效益, 又能解决环境和生态保护问题. 其主要的综合开发路径有 3 条. ①传统的方法: 油页岩开采→炼油→发电→灰渣回填或制取有机肥料; ②技术成熟, 已进行工业化生产的方法: 油页岩开采→炼油→发电→制取建材^[33]; ③处于中试阶段, 未大规模工业化生产的方法:

油页岩开采→炼油→发电→元素提取(图 1)。

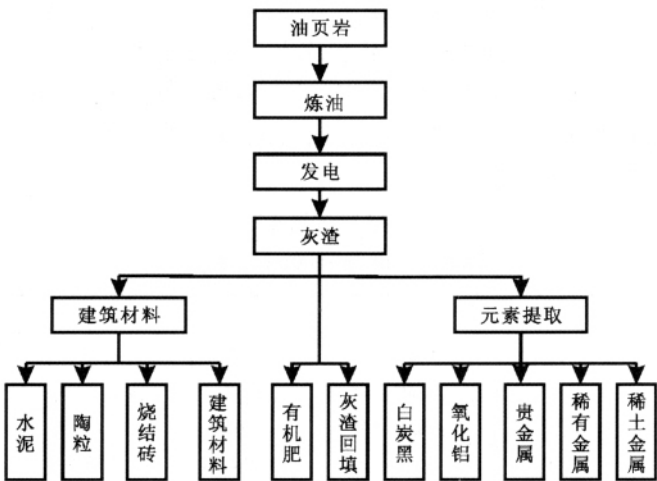


图 1 油页岩综合利用流程图

Fig. 1 Comprehensive utilization route of oil shale

1.3.2 开发利用项目投资

技术成熟的油页岩综合利用投资包括: 矿山投资、炼油厂投资、配套电厂投资及新型建材项目的投资。

通过对国内外油页岩开发企业调研, 矿山投资一般为 200~233 元/t; 炼油厂投资一般为 2000~2400 元/t; 配套发电厂投资一般为 1000~1083 万元/MW。所掌握的油页岩开发利用项目的单位投资分布情况如表 2。

1.3.3 开发利用产品市场销售价格及成本

油页岩开发利用的主要产品为: 页岩油、发电、建材产品等。根据市场及相关企业的调研, 国内矿山油页岩矿开采成本是: 露天开采为 40~60 元/t; 井巷开采为 100~120 元/t。油页岩开发利用的主要产品及副产品市场销售价格及成本如表 3。

2 油页岩资源综合利用动态盈利分析

2.1 产业经济模式评价油页岩资源开发利用的财务模型

从产业经济角度来评价油页岩资源开发利用是

对油页岩资源开采→炼油→发电→建材闭合产业链的投入与产出经济效益的评价。以此为指导思想, 针对油页岩资源绿色产业链, 在基于市场不变价原则和产销均衡原则假设的前提下, 建立的油页岩资源开发利用的经济评价模型如下。

(1) 现金流入(+)

①销售收入(包括页岩油销售收入、电销售收入、建材销售收入);

②回收固定资产净残(余)值;

③回收流动资金。

(2) 现金流出(-)

①建设资产投资(包括矿山建设资产投资、炼油厂建设资产投资、建材厂建设资产投资);

②无形资产投资(含土地使用权);

③其他资产投资;

④更新改造资金(含固定资产、无形资产及其他资产更新投资);

⑤流动资金(包括矿山流动资金、炼油厂流动资金、建材厂流动资金);

⑥经营成本(包括矿山经营成本、炼油、发电经营成本、建材厂经营成本);

⑦销售税金及附加;

⑧企业所得税。

(3) 净现金流量(现金流入量 - 现金流出量)。

(4) 累计净现金流量。

(5) 税前净现金流量。

(6) 税前累计净现金流量。

财务评价模型计算, 反映盈利能力的指标税前、税后财务净现值和内部收益率, 反映清偿能力的指标税前、税后投资回收期。

2.2 油页岩资源开发利用经济指标评价

根据对国内、外油页岩开发利用企业调研, 按照矿产储量规模与矿石生产能力和服务年限相匹配原则确定生产规模与服务年限。经分析认为: 油页岩产油率 5%~10% 的炼油厂生产规模分别为 5×10^4 t/a、

表 2 调研项目投资分布表

Table 2 Investment distributing of survey and study project

项目名称	矿山规模 (10^4 t/a)	炼油厂规模 (10^4 t/a)	发电厂规模 /MW	总投资/亿元			单位投资		
				矿山	炼油厂	发电厂	矿山/(元/t)	炼油厂/(元/t)	发电厂/(万元/MW)
桦甸	300	25	100	7	6	10	233	2400	1000
罗子沟	168	8	6	3.88	1.8	0.65	231	2250	1083
龙口	150	18	40		18.6				
五家子	5	1		0.3			200	2000	

表 3 油页岩及其相关产品的市场销售价格及成本价格

Table 3 Market price and cost of oil shale and correlative product

序号	项目名称	销售价格	成本价格
1	页岩油	3400~3800 元 / t	1400~2000 元 / t
2	灰渣	26.55 元 / t	0
3	粉状油页岩	35.40 元 / t	
4	煤气	0.07 元 / m ³	0
5	空心砌块	160~180 元 / m ³	70~80 元 / m ³
6	水泥	270~310 元 / t	145~160 元 / t
7	白炭黑	6000~12000 元 / t	3400 元 / t
8	氧化铝	6000~12000 元 / t	3400 元 / t
9	发电	0.408~0.653 元 / 度	0.204 元 / 度
10	陶粒	150~160 元 / m ³	90~100 元 / m ³

10×10⁴ t/a、20×10⁴ t/a、50×10⁴ t/a 和 100×10⁴ t/a; 按照可以提供原料保障, 所需的矿山生产规模相应为 150×10⁴ t/a、300×10⁴ t/a、600×10⁴ t/a、1500×10⁴ t/a 和 3000×10⁴ t/a; 按照至少可采 30 年计算, 相匹配可采储量为 0.5×10⁸ t, 1×10⁸ t, 2×10⁸ t, 5×10⁸ t 和 10×10⁸ t (表 4)。

表 4 可采储量-矿山生产能力-炼油厂生产能力匹配表

Table 4 Correlation of recoverable reserves, mining production capacity and dry distillation production capacity

可采储量/10 ⁸ t	矿山生产能力/(10 ⁴ t/a)	炼油厂生产能力/(10 ⁴ t/a)
0.5	150	5
1	300	10
2	300	20
5	1500	50
10	3000	100

依据表 4, 对于产油率 5%~10%的油页岩综合开发利用项目, 模拟规划建设: 年生产能力为 150×10⁴ t 油页岩矿山; 5×10⁴ t 页岩油的炼油厂; 利用油页岩半焦余热和不适合炼油的油页岩建配套电厂, 单台发电装机容量为 500 kW, 20 台总容量 10 MW; 发电后的灰渣可供年产陶粒 10×10⁴ m³、砌块 32.8×10⁴ m³ 和水泥 50×10⁴ t 的油页岩综合生产企业利用。

项目年开采 150×10⁴ t 油页岩, 入炉干馏的只占 80%, 剩余 20%, 即 30×10⁴ t 粉状油页岩可制取陶粒等建筑材料, 其价值 35 元/t; 120×10⁴ t 油页岩干馏后灰渣产率 60%, 即产灰渣 72×10⁴ t, 可制取水泥, 矿井填充材料及复合肥或提取稀有及贵重金属, 其价值 26 元/t。

项目计算期 16 年, 建设期 1 年, 第 2 年达产, 生产期 15 年. 油页岩开采方式为露天开采, 开采成本 40 元/t, 油页岩相关产品和成本参照表 3 确定。

按照产业经济模式评价油页岩资源开发利用的财务模型, 计算得出油页岩综合开发利用项目的主要参数及经济指标 (表 5)。

表 5 主要经济指标汇总表

Table 5 main economic target

经济指标	项目	数额	备注
基本数据	总投资	48454	
	建设投资	47000	
	流动资金	1454	
	销售收入	25422	生产期平均
	总成本费用	17040	生产期平均
	其中: 折旧	2100	生产期平均
	销售税金及附加	796	生产期平均
	利润总额	7586	生产期平均
	所得税	1897	生产期平均
	所得税后利润	5690	生产期平均
税后财务指标	财务内部收益率	19	
	财务净现值	98821	ic=0
	财务净现值	33068	ic=8
	财务净现值	16868	ic=12
	财务净现值	-1901	ic=20
	投资回收期	5.93	
税前财务指标	财务内部收益率	23	
	财务净现值	129030	ic=0
	财务净现值	48630	ic=8
	财务净现值	28440	ic=12
	财务净现值	5594	ic=20
	投资回收期	5.13	

财务内部收益率单位: %; 投资回收期单位: 年; 其余数额单位为万元。

模拟规划的油页岩综合利用项目的税后内部收益率 19%, 投资回收期 5.93 年. 而中国煤炭行业基准财务内部收益率为 10%~17%, 基准投资回收期为 8~13 年; 油田开采行业基准财务内部收益率为 12%, 基准投资回收期为 6~8 年, 炼油项目基准财务内部收益率为 12%^[34]. 与相关行业比较可知: 油页岩综合开发利用项目的内部收益率高于各相关行业内部收益率, 而投资回收期低于各相关行业的投资回收期. 说明油页岩综合开发利用, 项目盈利能力稳定、盈利能力强, 抗风险能力强. 因此, 油页岩开发走产业经济的道路是其必然的方向, 油页岩产业的发展前景可期待。

3 结论

(1) 油页岩资源的开发利用经济评价应当以产业经济模式开展,对组合到一起的部门或行业集合进行经济评价,针对油页岩的开采→干馏→发电→建材产业经济模式,定量评价油页岩综合利用的经济参数。

(2) 应用产业经济模式评价模拟的油页岩开发利用项目结果表明:油页岩资源综合开发利用项目盈利稳定、盈利能力强,抗风险能力强,综合开发利用经济效益高于炼油和发电。

调研过程中得到了诸多帮助,例如:中国石油大学钱家麟教授和东北电力大学的孙健教授开列了应当查阅的文献和资料,中国地质调查局发展研究中心的张家强教授提供项目信息和资料,抚顺矿业集团工程技术研究中心的高健总工程师热心介绍工艺配套及生产流程,炼油厂马国明工程师介绍炼油成本构成,成大弘晟能源集团的张志范董事长和龙腾能源开发有限公司的黄兴伟董事长介绍企业的生成经营情况等等。在此,向他们致以崇高的敬意和真挚的感谢。

参考文献:

- [1]梁恩廷. 矿床经济评价问题的探讨[J]. 河南地质, 1988, 6(2): 75—78.
- [2]王立杰, 陶树人. 矿产资源经济评价初步研究[J]. 中国人口·资源与环境, 1993, 3(1): 35—38.
- [3]左治兴, 孙学森. 矿产资源评价理论与方法评述[J]. 中国矿业, 2005, 14(10): 31—33.
- [4]姚筱煌, 周雪珊. 矿产资源经济评价及其程序[J]. 铀矿冶, 1991, 10(2): 1—6.
- [5]Live S. Eesti Energia annual report, 2006-2007 [R/CD]. Disc presented at the 27th Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2007.
- [6]Volkov E P. New development in oil shale technology [A]. 26th Oil Shale Symposium, Proceedings, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2006.
- [7]钱家麟, 王剑秋, 李术元. 世界油页岩资源利用和发展趋势[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(6): 877—887.
- [8]VKG. Viru Keemia Group [EB/OL]. <http://www.VKG.ee>.
- [9]Purga J. Estonian oil shale industry growth 2007-2012 ongoing developments and forecast [C]. 27th Oil Shale Symposium, Paper No. 2.2, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2007.
- [10]Rezende J. Present state of development of the Petrosix process [A]// Allred A D, ed. Oil Shale Processing Technology. The Center for Professional Advancement, East Brunswick, New Jersey, 1982: 121—135.
- [11]Hohmann J P, Martignoni W P, Novicki R E M, et al. Petrosix — A successful oil shale operational complex, Proceedings [A]. Eastern Oil Shale Symposium, Institute for Mining and Minerals Research, 1992: 17—20.
- [12]Schmidt S J. New directions for shale oil: path to a secure new oil supply well into this century: on the example of Australia [J]. Oil Shale, 2003, 20(3S): 333—346.
- [13]McFarland J D. Dec. 2002 Quarterly Report [R]. Staurt Southern Pacific Petroleum N L, 2003.
- [14]McFarland J D. Dec. 2003 Quarterly Report [R]. Staurt Southern Pacific Petroleum N L, 2004.
- [15]Biglarbigi K, Killen J, Carolus M. The current understanding of U.S. oil shale economics [A]. 29th Oil Shale Symposium, Paper No.09.3. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2009.
- [16]中国地质调查局发展研究中心. 全国油页岩资源开发利用可行性研究成果报告 [R]. 2009.
- [17]Dammer A, Patten J, Biglarbigi K, et al. Plenary session on the potential for oil shale development in the United States [A]. 27th Oil Shale Symposium, Paper No. 17.1, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2007.
- [18]Bodman S. Task force on strategic unconventional fuels 2007 [EB/OL]. <http://www.unconventional-fuels.org>, 2007.
- [19]朱亚杰, 钱家麟. 油页岩是值得重视的能源 [A]// 油页岩科学论文集, 1984: 1—4.
- [20]钱家麟. 中国页岩油工业 [A]// 油页岩科学论文集, 1984: 33—39.
- [21]华东石油学院. 油页岩科学研究论文集 [C]. 1984.
- [22]吉林市人民政府网. 桦甸油页岩综合开发利用项目 [EB/OL]. <http://www.jlcity.gov.cn>, 2009-12-13.
- [23]Wang Q, Bai J R, J Sun B Z, et al. Strategy of the Huadian oil shale comprehensive utilization, [J]. Oil Shale, 2005, 22(3): 305—315.
- [24]Qian J L, Wang J Q, Li S Y. One years' progress in the Chinese oil shale business [C]. 27th Oil Shale Symposium, Paper No. 2.1, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2007.
- [25]Qian J L, Wang J Q, Li S Y. Chinese oil shale activities [A]. 26th Oil Shale Symposium, Paper No.2C, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2006.
- [26]钱家麟, 王剑秋, 李术元. 世界油页岩综述 [J]. 中国能源, 2006, 28(8): 16—19.
- [27]钱家麟, 王剑秋. 世界油页岩发展近况——并记 2006 年两次国际油页岩会议 [J]. 中外能源, 2007, 12(1): 7—11.
- [28]钱家麟, 王剑秋, 李术元. 世界油页岩开发利用动态——记美国第 27 届国际油页岩会议 [J]. 中外能源, 2008, 13(1): 11—15.
- [29]He Y G. Mining and utilization of Chinese Fushun oil shale [J]. Oil Shale, 2004, 21(3): 259—264.
- [30]山东商务之窗. 山东省龙口矿业集团 [EB/OL]. <http://shandong.mofcom.gov.cn>, 2005-06-09.
- [31]李术元, 岳长涛, 王剑秋, 等. 世界油页岩开发利用现状——并记美国第 28 届国际油页岩会议 [J]. 中国油母页岩, 2009(1): 28—36.
- [32]尚文智, 李术元, 施彦彦, 等. 甘肃窑街油页岩在 SJ 方型试验炉干馏试验研究 [J]. 中国油母页岩, 2009(1): 14—19.
- [33]姜秀民, 韩向新, 崔志刚. 油页岩综合利用技术的研究 [J]. 自然科学进展, 2005, 15(11): 1342—1345.
- [34]刘胜英, 王世辉, 郑玉龙, 等. 油页岩资源开发利用项目经济评价 [J]. 油气田地面工程, 2007, 26(4): 53—54.