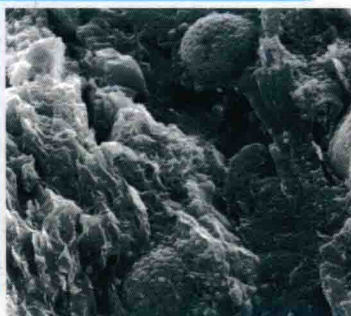




中国地质调查成果
CGS 2014-014

陕西省铜川－黄陵地区 三叠系油页岩及伴生油气资源

李玉宏 武富礼 等著



地质出版社



中国地质调查“1212011120963”项目资助

陕西省铜川—黄陵地区 三叠系油页岩及伴生油气资源

李玉宏 武富礼 姜 亭 姚志刚
卢进才 陈高潮 魏仙样 李金超 著
张慧元 王宝文 许海红 聂浩刚



地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书对陕西省铜川—黄陵地区三叠系油页岩成矿条件、分布规律进行了系统的研究，评价了油页岩资源潜力，预测了资源量。按照多种伴生能源矿产综合评价的思路，结合区域资料，对油页岩伴生的石油及页岩气资源前景进行了概略评价。

本书可供从事油气地质工作的相关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

陕西省铜川—黄陵地区三叠系油页岩及伴生油气资源 /
李玉宏等著. —北京：地质出版社，2014.11
ISBN 978-7-116-09025-5

I. ①陕… II. ①李… III. ①油页岩资源—研究—陕西省 IV. ①TE155

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 245011 号

Shaanxi Sheng Tongchuan-Huangling Diqu Sandiexi Youyeyan ji Bansheng Youqi Ziyuan

责任编辑：刘亚军 邢宇

责任校对：李玫

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083

咨询电话：(010)82324508（邮购部）；(010)82324578（编辑室）

网 址：<http://www.gph.com.cn>

传 真：(010)82324578

印 刷：北京地大天成印务有限公司

开 本：787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张：13.75

字 数：350 千字

版 次：2014 年 11 月北京第 1 版

印 次：2014 年 11 月北京第 1 次印刷

定 价：100.00 元

书 号：ISBN 978-7-116-09025-5

（如对本书有建议或意见，敬请致电本社；如本书有印装问题，本社负责调换）

序

21 世纪初，油页岩作为一种重要的能源矿产资源，随着国际油价持续走高，逐步进入各国能源开发、利用的视野。在我国油气资源供需形势日趋严峻的情况下，将油页岩作为常规油气重要的补充资源，已成为我国能源发展的当务之急。

鄂尔多斯盆地不仅具有丰富的油气资源，也是大型的非常规油气的“聚宝盆”。该盆地南部是我国油页岩资源最丰富的地区之一，其中，三叠系延长组是盆地内最具资源潜力的油页岩产出层位。该区还伴生有多种能源矿产，除煤炭以外，油气研究程度远低于盆地中、北部。因此，立足非常规油气新领域、常规油气南部新区，拓展油气新层系，综合研究鄂尔多斯盆地东南部黄陵—铜川地区的三叠系油页岩及其伴生资源，对推进该区能源矿产勘查开发具有重要意义。

油页岩评价过程中的主要参数（如含油率等）都是采用实验室测试岩心的方法来获得。虽然该方法获得的数据较为准确，但由于现场工作的实际情况、经济成本等原因，不可能每口井都做大量取心和分析化验，而且由于油页岩含油率纵向非均质性强，使得分析获得的数据十分有限，且纵向连续性不好。测井资料具有数量多、分辨率高、连续性好等特点，利用测井资料进行油页岩评价可以在降低成本的基础上获得更多且连续性好的数据，弥补常规方法的不足，提高资源量估算的准确性。因此，急需探索经济有效的油页岩地球物理测井评价方法。

本书作者团队长期从事鄂尔多斯盆地油气、油页岩等多种能源矿产研究工作。本书是在对该区长期研究基础上，结合地

质大调查、石油勘探资料，完成的油页岩测井解释、成矿条件研究以及油页岩资源潜力评价的综合成果。研究成果包括：初步建立了研究区油页岩测井识别方法和含油率计算模板，总结了研究区油页岩特征和成矿模式，预测了工作区长7油页岩资源量。同时根据工作过程中发现的石油、页岩气等伴生能源矿产显示，按照多种伴生能源矿产综合评价的思路，结合区域资料，对区内石油及页岩气资源前景进行了概略评价。

本书对鄂尔多斯盆地东南部新区、新层系、新领域油气资源勘探具有重要参考价值，也为相关企业进一步开展该区多种能源矿产综合勘查利用提供了依据。我相信，本书的出版发行，必将进一步推动鄂尔多斯盆地油页岩资源的勘探与开发工作的开展。

李文厚

2014年5月26日

前 言

油页岩的开发和利用已有近 200 年的历史，其主要工业用途之一是制取页岩油。全球油页岩资源量巨大，但利用得很少，大多数油页岩地质勘探程度不够，研究程度很低。我国是世界上油页岩资源十分丰富的国家之一，油页岩评价工作在 20 世纪 50—60 年代为一高潮期，但是自 20 世纪 60 年代大庆等油田相继发现后，油页岩产品因成本高，逐渐被搁置。近年来，随着我国油气资源供需形势日趋严峻，同时伴随的全球高油价背景，油页岩资源又一次受到重视。

鄂尔多斯盆地东南部的陕北及渭北地区，不仅油页岩资源埋藏较浅，资源前景良好，而且随着油气勘探工作的深入，该区油气、页岩气资源日益受到重视。本书是在对该区长期研究的基础上，结合地质大调查、石油勘探等资料完成的。主要研究成果包括：

(1) 建立了区内油页岩地球物理解释模型，为利用油田测井资料解释油页岩奠定了基础

根据油页岩探井大量岩心的有机碳、含油率分析数据，利用声波时差和电阻率测井曲线，建立了油页岩有机碳、含油率的测井解释公式，为利用测井资料进行油页岩识别和资源评价建立了有效的途径，具有较好的推广意义。

(2) 总结了研究区油页岩成矿模式，明确了油页岩特征，预测了油页岩资源量

研究区三叠系延长组长 7 油页岩分布广，厚度较大，品质较好，资源潜力巨大，具有大型-特大型油页岩矿床远景。浅湖—

半深湖过渡带是最有利的油页岩成矿带。

(3) 长 10 新层系发现油气显示

何 3-1 井在长 10¹ 段钻遇连续含油显示层段 16 m。长 10¹ 油藏为弱构造-岩性油藏，其原油与延长组上组合原油的有机地球化学特征有明显的差异。

(4) 长 4+5 和长 6 有较好的油气资源潜力

区内长 4+5 和长 6 油层组中发现了多套油层，长 4+5—长 6 储层非均质性较强，总体属低孔特低渗储层。在调查区南部新优选了宜君-铜川和旬邑 2 个油气有利区。长 4+5 旬邑有利区位于三角洲前缘水下分流河道和浊积岩砂体带，鼻状隆起高点，断裂较发育，宜君-铜川有利区内何 3 井和何 3-1 井已见油浸砂岩。长 6 有利区主体位于浊积扇之上。

(5) 长 7 油页岩段具有形成页岩气的基本条件

何 3-1 井施钻过程中，在长 7 油页岩段发现较好的气测异常，异常值高于背景值 3 ~ 4 倍。样品瓦斯平均含量为 0.38 m³/t，含气性较好。区内油页岩 TOC 含量极高，可以弥补厚度和低演化程度导致的生气量不足，该区具有一定的页岩气前景。

在本书即将出版之际，非常感谢中国地质调查局西安地质调查中心和西安石油大学同事们的支持！感谢地质出版社刘亚军编审为本书出版所付出的辛勤劳动！本书引用了众多前人的资料，特别是石油系统的资料，有些资料无法查明原始作者，因此无法逐一标明引用资料的作者，在此对他们表示衷心感谢。

作者

2014 年 6 月

目 录

1	绪论	1
1.1	研究区概况	1
1.1.1	研究区范围	1
1.1.2	自然经济及交通	1
1.2	油页岩研究现状	2
1.2.1	国外油页岩研究历史与现状	2
1.2.2	国内油页岩研究历史与现状	5
1.3	工作区以往地质工作程度	7
1.3.1	基础地质与矿产地质工作	7
1.3.2	早期油页岩调查工作	10
2	区域地质背景	13
2.1	区域构造特征	13
2.2	区域地层特征	15
2.3	区域油页岩发育情况	19
2.3.1	三叠系延长组	21
2.3.2	侏罗系延安组	24
2.3.3	侏罗系安定组	24
2.4	三叠系延长组沉积背景	25
3	工作区地质特征	27
3.1	构造特征	27
3.2	地层特征	28
3.2.1	工作区地层发育概况	28
3.2.2	地层划分与对比的依据	29
3.2.3	延长组特征	32
3.2.4	地层划分对比结果	33
3.2.5	顶面构造特征	35
3.3	沉积相分析	36
3.3.1	沉积相研究方法	36
3.3.2	沉积相划分标志	36
3.3.3	沉积相类型	44
3.3.4	单井沉积相分析	47
3.3.5	沉积相带特征	48
4	油页岩地球物理测井解释与评价	52
4.1	油页岩测井识别	52

4.1.1	油页岩的测井响应特征	53
4.1.2	油页岩的测井识别模板	55
4.2	油页岩测井资料标准化	57
4.2.1	测井资料标准化方法及参数选取	58
4.2.2	各测井参数的标准化处理	61
4.3	油页岩含油率定量计算模型	64
5	油页岩矿体分布及其特征	69
5.1	油页岩矿体特征	69
5.1.1	油页岩矿石特征	69
5.1.2	油页岩分布特征	90
5.2	油页岩矿物成分及地球化学特征	102
5.2.1	油页岩矿物成分	102
5.2.2	油页岩无机地球化学特征	106
5.2.3	油页岩有机地球化学特征	114
5.3	油页岩分布规律和成矿模式	120
5.3.1	成矿条件分析	121
5.3.2	油页岩富集规律	123
5.3.3	油页岩成矿模式	125
5.4	油页岩矿石工艺特征	126
5.4.1	含油率与产气率	126
5.4.2	灰分产率	132
5.4.3	挥发分体积分数	133
5.4.4	发热量	134
5.4.5	视相对密度	136
5.4.6	全硫质量分数	137
5.4.7	湿度	138
5.4.8	半焦产率	140
5.4.9	可燃质比率	140
5.4.10	放射性元素质量分数	141
5.4.11	稀土元素总量质量分数	141
5.5	油页岩含油率与其他参数关系	142
5.5.1	含油率与产气率关系	142
5.5.2	含油率与发热量关系	143
5.5.3	其他	143
5.6	油页岩含气性简况	147
5.6.1	瓦斯含量	147
5.6.2	油页岩段页岩气地质条件简况	148
6	油页岩资源量估算	153
6.1	油页岩资源量预测方法	153

6.1.1	工业指标	153
6.1.2	资源量估算方法	153
6.2	油页岩资源量类型与资源量估算结果	154
6.2.1	油页岩埋深 500 m 以浅区	155
6.2.2	油页岩埋深在 500 ~ 1000 m 区	155
6.2.3	油页岩埋深在 1000 m 以深区	157
6.2.4	长 7 油页岩总资源量	157
6.3	油页岩资源潜力综合评价	159
6.3.1	资源品质评价	159
6.3.2	资源潜力评价	160
7	宜君地区长 4+5、长 6 储层评价	161
7.1	储层基本特征	161
7.1.1	岩石学特征	162
7.1.2	储层物性特征	162
7.1.3	储层非均质性	165
7.2	储层的四性关系研究	166
7.2.1	储层岩性	166
7.2.2	储层物性	167
7.2.3	含油性和电性	167
7.2.4	岩电关系	167
7.3	储层评价和有利区预测	171
7.3.1	储层分类及评价	171
7.3.2	油气有利区预测	172
8	延长组下组合初探	176
8.1	延长组下组合地质与沉积特征	176
8.1.1	延长组下组合构造概况	179
8.1.2	延长组下组合地层特征	181
8.1.3	延长组下组合沉积相	181
8.2	延长组下组合储层基本特征	185
8.2.1	储层物性特征	185
8.2.2	储层四性关系研究	187
8.3	延长组油源对比与分析	189
8.3.1	长 10 ¹ 油藏特征	189
8.3.2	油源对比和分析	190
结 语		195
参考文献		197
图 版		201

1 绪论

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地，以构造平缓和低品位、低渗透岩性油气藏广泛分布而著称。鄂尔多斯盆地不仅是一个大型的含油气、含煤、含铀盆地，而且还是一个大型的非常规油气“聚宝盆”。盆地南部是我国油页岩资源最丰富的地区之一，油页岩层系纵向上分布在二叠系山西组、三叠系延长组以及侏罗系延安组和安定组等层位。其中，三叠系延长组是盆地内最具资源潜力的油页岩产出层位。延长组埋藏较浅的油页岩资源主要分布在盆地东南部的陕北及渭北地区（包括铜川、延安、咸阳等市），该区还伴生有多种能源矿产，除煤炭以外，油气研究程度远低于盆地中、北部。因此，综合研究鄂尔多斯盆地东南部铜川—黄陵地区的三叠系油页岩及其伴生油气资源，对推进该区能源矿产勘查开发具有重要意义。

1.1 研究区概况

1.1.1 研究区范围

研究区位于陕西省铜川市宜君县、耀州区、印台区，延安市黄陵县、洛川县及咸阳市旬邑县等县（区）境内，面积约 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ （图 1.1）。

1.1.2 自然经济及交通

工作区位于黄土高原南部，地表广泛分布黄土沉积，地面海拔 950 ~ 1680 m，呈北高、南低，西高、东低的地貌特征。地表起伏变化较大，形成沟、峁、梁地形地貌，局部高差可达 200 m 以上。包茂高速、210 国道经过该区，各县、乡级公路形成了较好的交通网，交通条件便利（图 1.1）。水、电条件良好。

工作区属暖温带大陆性气候，年平均日照 2345.7 ~ 2412.5 h，年平均降水量 555.8 ~ 709.3 mm，年平均气温 8.9 ~ 12.3 ℃，冬季寒冷，夏季炎热。

区内自然资源丰富，有利于农、林、牧综合发展。已查明矿产 9 种（非金属矿产 5 种、金属矿产 2 种、能源矿产 2 种），其中油页岩储量超过 $5 \times 10^8 \text{ t}$ 。拥有以煤炭、石油、建材、陶瓷、铝冶炼、纺织、机电、医药、食品、化工等为骨干的 30 多个工业门类。

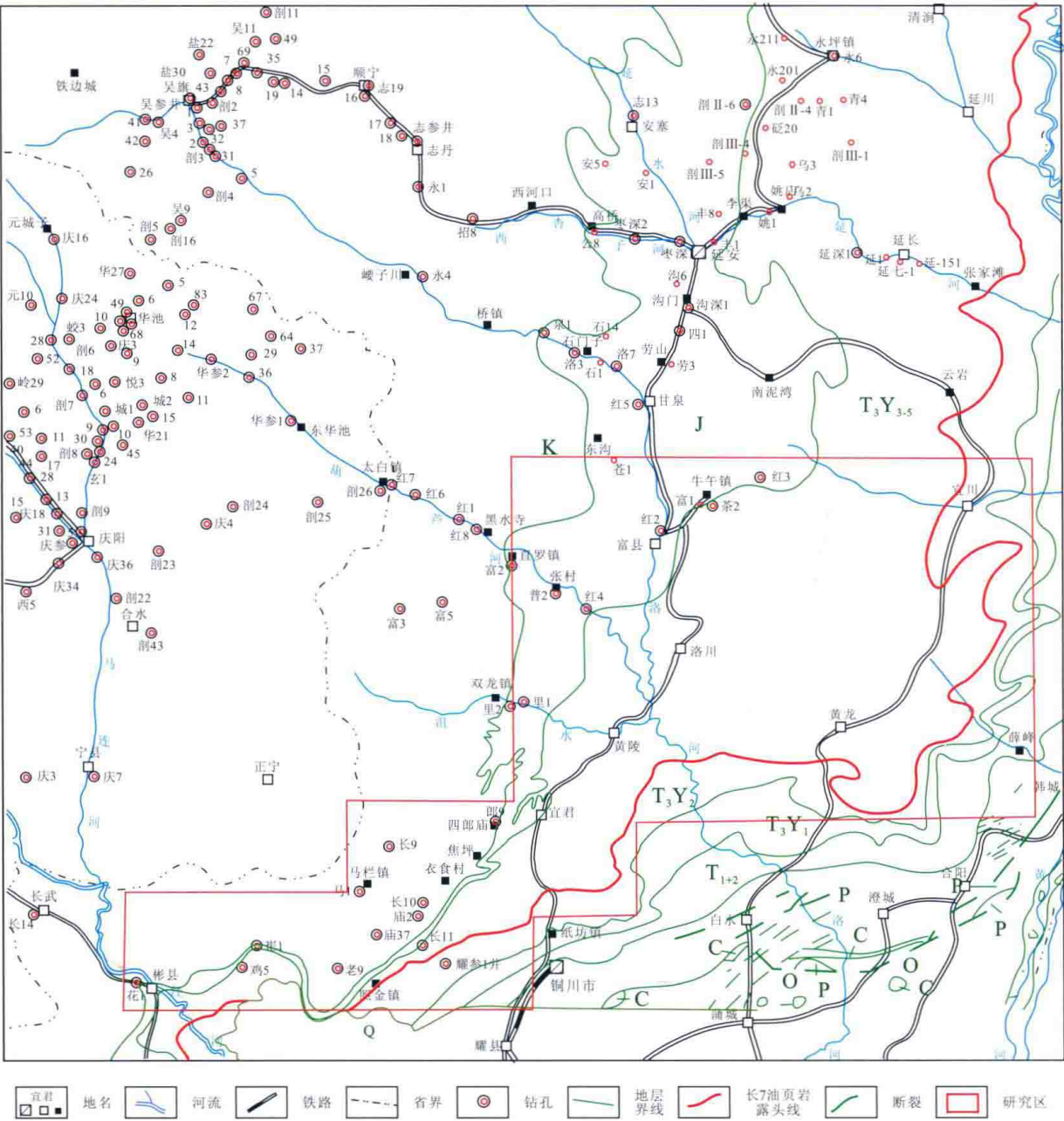


图 1.1 研究区地理位置及交通图

1.2 油页岩研究现状

1.2.1 国外油页岩研究历史与现状

虽然世界油页岩的开发和利用已有近 200 年的历史，但是油页岩资源一直没有得到较好的开发和利用，且油页岩的概念至今没有统一的定义。目前，国外常用的是 Dyni et al (2003) 的定义：油页岩是一种细粒沉积岩，其中包含大量有机物，通过粉碎、蒸馏工艺

可以提炼出大量的石油和可燃气。2003 年联合国教科文组织出版的新世纪大百科全书中油页岩的定义为：油页岩是一种沉积岩，具无机矿物质的骨架，并含有固体有机物质，主要为油母质及少量沥青质。油页岩是一种固体化石燃料。作为一种能源，油页岩加热后，油母质热解产生页岩油。页岩油加工可制取油品。油页岩也可直接燃烧，产生蒸汽用于发电（Qian et al, 2003）。

国内广为接受的是刘招君等（2005，2006）的定义：油页岩（又称油母页岩）是一种高灰分的固体可燃有机矿产，低温干馏可获得页岩油，含油率> 3.5%，有机质含量较高，主要为腐泥型、腐殖腐泥型和腐泥腐殖型，其发热量一般 $\geq 4.18\text{ kJ/g}$ 。一般地，国际上常将每吨能产出 0.25 桶（即，0.034t）以上干馏页岩油的油页岩称为“油页岩矿”，或者将产油率（oil yield）高于 4% 的油页岩称为矿。我国将含油率高于 3.5% 的油页岩称为油页岩矿，将含油率大于 5% 的称为富矿（刘招君等，2009；国土资源部油气资源战略研究中心等，2010）。

油页岩由于其特殊的组成和结构决定了它在能源、矿产、化工、医药、建筑、农业和环保方面具有许多可供综合利用的潜在前途。油页岩用途广泛，目前主要被用来干馏页岩油和燃烧发电。干馏页岩油加氢裂解精制后，可获得汽油、煤油、柴油、石蜡、石焦油等多种燃料油类和化工产品。油页岩还可炼制出各种合成燃料气体，也可以燃烧供暖。烟尘可以制喷雾炭黑。副产品半焦灰渣可用于制造砌块、砖、水泥、陶粒等建材产品，也可以用来制白炭黑、 Al_2O_3 、沸石、贵金属等，还可以制造土壤增肥剂、有机化肥，可以铺路。据统计（Brendow, 2003），全球开采的油页岩中有 69% 用于发电和供暖，25% 用于提炼高收益的页岩油及相关产品，6% 用于生产水泥、化工和其他用途（图 1.2）。

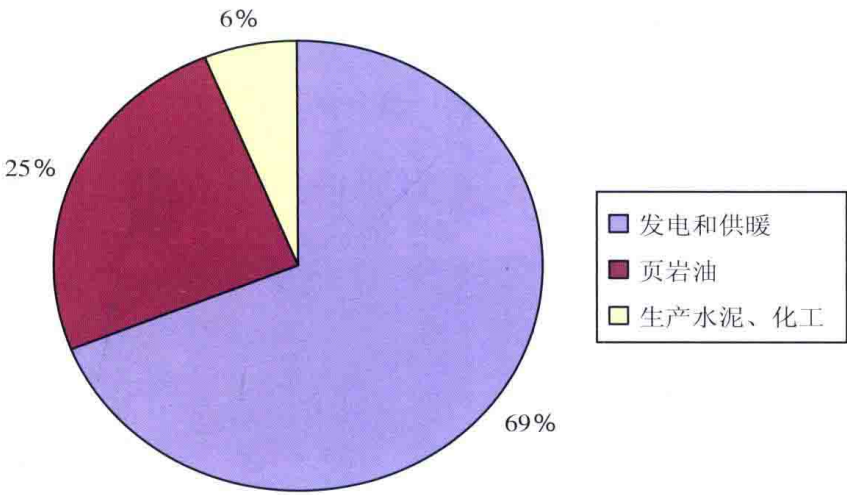


图 1.2 世界油页岩利用情况
(据 Brendow, 2003)

历史上，世界油页岩的生产经历了 3 个高峰期（20 世纪 20 年代、50 年代、80 年代），目前世界油页岩产业发展处于又一个爬坡阶段。近年来，国际原油价格经过急剧上升后，出现大幅波动，由于干馏页岩油生产有利可图，又是石油的理想替代资源，新世纪世界油页岩产业再次迎来重大发展机遇。

2002 年 11 月，世界能源理事会在爱沙尼亚主持召开了“全球油页岩开发、利用前景”

国际研讨会，指出全球油页岩资源量巨大，但利用率却很低。该理事会预测，随着世界石油资源需求的增加和石油资源的减少，油页岩的开发和利用肯定在短期（2006 年）、中期（2020 年）、甚至长期（2020 年以后）出现大幅度的增长。由于新技术的出现，不但使油页岩发电效率提高、污染减少，而且增加了用途，从而大大提高了油页岩的经济效率。油页岩作为常规油气的重要接替和补充资源，在全球资源战略中的地位日益彰显，并逐渐提升到各国能源发展规划的议程中。美国科罗拉多矿业学院在 2006 年、2007 年、2008 年连续召开了第 26 届、27 届、28 届国际油页岩会议。在 2008 年第 28 届国际油页岩会议上，共有 16 个国家的 50 名代表提供了 100 个报告，内容包括有关国家油页岩的发展和油页岩地质、资源开采、干馏炼油、数学模拟、页岩油化学及加工、油页岩燃烧发电、经济环保和管理政策等。金融危机以来，尽管油价波动剧烈，但世界油页岩开发利用的热潮未减，并日益引起学术界和工业界的关注。2009 年全球共举办 3 次油页岩会议，分别是 2009 年 6 月的爱沙尼亚国际油页岩会议，2009 年 10 月的美国科罗拉多第 29 届国际油页岩会议，2009 年 11 月在中国重庆召开的全国油页岩会议。

世界油页岩资源极其丰富，但并未被人类很好地开发利用。目前，美国、中国和俄罗斯 3 个国家的干馏页岩油资源量占整个世界的 90% 左右。根据目前世界油页岩总资源量的统计结果，截至 2009 年已发表的数据显示，共计 37 个国家的探明油页岩储量总和换算成页岩油约 410×10^{10} t，数倍于世界石油探明可采储量的 160×10^{10} t。美国油页岩资源经详细勘查，其探明储量居世界首位；其次就是中国和俄罗斯（图 1.3）（Dyni, 2003；李术元等，2010）。然而，从世界来看，很多国家的油页岩资源并未做过详细的普查，大多数国家的油页岩地质勘探程度不够，研究程度很低，探明的油页岩资源储量还只占整个资源量的一小部分。此外，世界上也没有统一估算油页岩资源量的标准，不同国家对油页岩资源量估算所用的工业指标不同，因此不同学者估算的资源量难以对比，故也很难对全球油页岩资源量进行正确估算。目前只有美国、澳大利亚、瑞典、爱沙尼亚、约旦、法国、

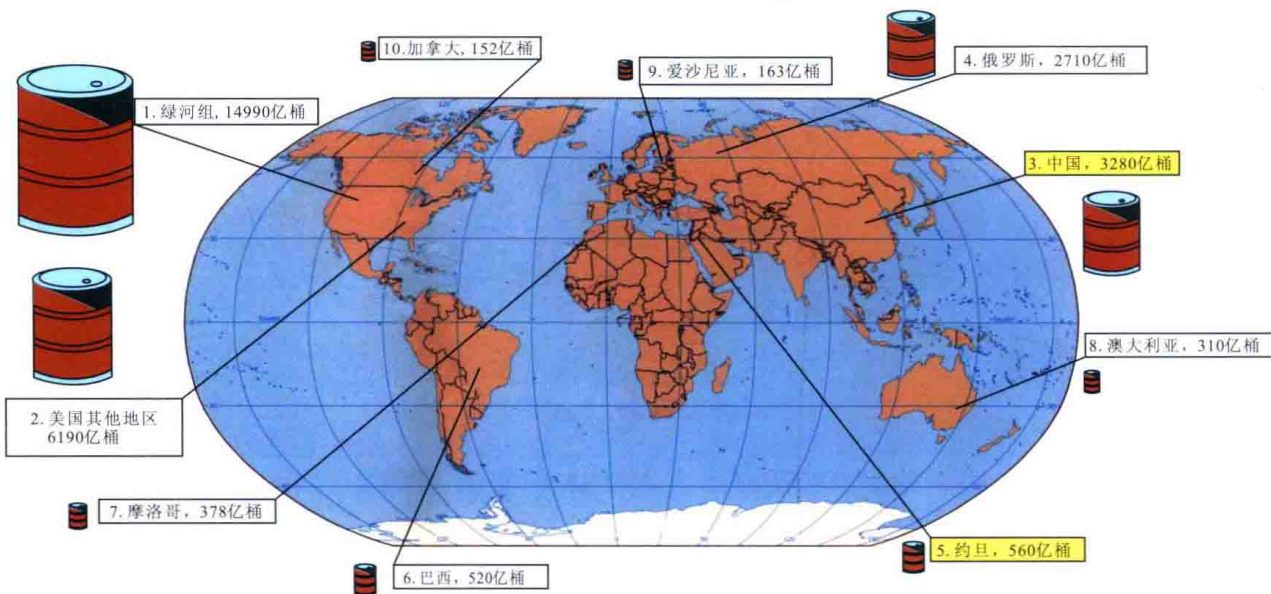


图 1.3 世界油页岩资源分布图
(据 Jeremy Boak, 2009)

德国、巴西和俄罗斯等国的部分油页岩矿床做了详细勘探和评价工作，查明的油页岩资源储量占整个资源量的比例还很低。随着全球能源消耗的快速增长，开展全球油页岩资源的评价工作已迫在眉睫。世界巨大的油页岩资源是保障油气资源供应可持续发展的潜在矿种，将对全球的能源战略起到重要的作用。

油页岩属于固体可燃矿物。油页岩由于干酪根含量高，可以分馏出有工业意义的石油。按成因分类，油页岩属于沉积型矿床，其形成环境主要为深水湖泊、水流闭塞的潟湖以及河流沼泽等。评价油页岩的工业价值，主要通过含油率和发热量。世界上最大的油页岩矿是美国绿河（Green River）油页岩矿床，也是迄今为止油页岩研究程度最高的地区，油页岩油总资源量约为 2150×10^8 t，分布面积约 65000 km^2 ，油页岩最厚可达 1200 m，平均含油率 11.44%，成矿模式为分层湖和干盐湖类型（Dyneri, 2003; Baughman, 1978）。

世界油页岩的综合开发技术，目前普遍较低，主要开发含油率高的油页岩，低含油率的油页岩基本未开发。美国等国家对油页岩产业的发展给予厚望，并着手可行性研究，尝试制定油页岩发展战略和产业发展规划，联邦政府和州政府还制定了包括油页岩在内的非常规能源法，为油页岩产业发展提供政策支持。

世界油页岩产业发展前景光明。现有生产国都做出了增产干馏页岩油、油页岩发电的发展规划。国内现有油页岩开发企业调研和经济可行性论证认为，只要国际油价高于 50 美元 /bbl，采用挖掘开采 + 地面干馏方式开发油页岩均可获得较好的经济效益。有关国家、众多能源公司相信今后世界油页岩产业会出现较快发展，纷纷开展了油页岩干馏新工艺的研发中试工作。最近几年来，壳牌石油公司探索的油页岩地下采油技术，有可能成为油页岩开发的一次革命。目前，国际上油页岩地上干馏炼油有成熟的技术（钱家麟等，1982；侯祥麟，1984）；油页岩地下干馏炼油尚在试验阶段。未来油页岩干馏技术发展趋势为：简化工艺（如发展地下干馏技术）、降低成本（资源综合利用）、保护环境及技术综合（孙健等，2007）。

1.2.2 国内油页岩研究历史与现状

中国经济的持续高速发展突显了人们对能源危机的认识。从目前看，能够替代天然原油的少数几类能源包括页岩油气、油砂、油页岩、生物质能源等。从中国实际情况出发，页岩油气开采技术正在探索，且页岩油开采难度大于页岩气，油砂工业由于资源量少而前途黯淡，而一些能替代汽油、柴油的生物质能源又因为中国人多地少的客观条件而无法大面积推广应用。因此，在中国，油页岩是天然石油最现实的接替能源，同时埋藏较深的油页岩也是最好的页岩油气富集层段之一。

中国是世界上油页岩储量十分丰富的国家之一，油页岩的勘探研究在 20 世纪 50—60 年代为一高潮期，取得一些基础资料和数据，并对其大量开采利用，成为当时我国的一种主要的油气资源。但是自 60 年代国内发现大庆油田以后，石油逐渐实现自给，而油页岩产品生产成本又比较高，逐渐被搁置。1993 年我国再度成为石油净进口国，近年来，随着我国油气资源供需形势日趋严峻，同时伴随而来的是高油价时代的到来，在这一背景下，油页岩资源又越来越受重视。

近年来的国内油页岩研究（刘招君等，2005，2006，2009；卢进才等，2005；西安地

质矿产研究所, 2006) 显示, 我国油页岩的研究与国外存在很大差距。我国最早的一篇有关油页岩的文章是陈国达在 1951 年发表在《地质论评》第 16 卷第 2 期的《中国油页岩概论》。该论文第一次谈论了我国油页岩主要的分布位置, 粗略地描述了油页岩宏观特征。1960 年, 抚顺石油一厂编制了《中国页岩油工业》。1984 年, 我国诞生了两部关于油页岩的著作: 一部是华东石油学院的《油页岩科学研究论文集》, 另一部是侯祥麟的《中国页岩油工业》。之后, 赵隆业、陈基娘和王天顺于 1990 年申请了《中国油页岩物质成分及工业成因分类》的研究, 该研究涉及我国 21 个矿区, 从煤岩学的角度研究了油页岩的显微组分特征, 并提出了工业成因的分类方案。

1951—1999 年, 我国先后开展了 4 次油页岩资源预测: 1951 年陈国达估算油页岩储量 185×10^9 t、1959 年原煤炭工业部预测油页岩可能储量 20485×10^9 t、1962 年抚顺石油研究所估算油页岩远景储量 4521×10^9 t、1990 年广东省地质矿产局王慎余和许家朋预测油页岩资源量 13698×10^9 t。从预测结果看数据相差悬殊, 资源类型不统一, 没有统一的油页岩勘查规范和开发利用标准, 评价指标边界不一, 参数取值原则不一, 比如含油率边界品位有 3.0%、3.5% (全国矿产储量委员会办公室, 1987)、4.0%、4.5%、4.7% (韩放等, 2006)、5.0%、5.5%、6.0%、6.3% (赵隆业等, 1991) 等不同标准。其他指标如油页岩的有效厚度、面积等参数界定和选取也存在很大的差别, 这在资料使用上造成了困难。

2004—2006 年我国首次开展了全国性油页岩资源评价工作, 这是我国油页岩发展历史上一个重要的里程碑。吉林大学承担了《新一轮全国油页岩资源评价》项目, 评价结果表明, 我国的油页岩是一种蕴藏量十分丰富却几乎未被很好利用的矿产资源; 主要分布在 20 个省和自治区、47 个盆地; 油页岩资源量为 7199.37×10^8 t, 页岩油资源量为 476.44×10^8 t, 页岩油可回收资源量为 119.79×10^8 t; 油页岩主要分布在平原和黄土塬地区, 分布在平原地区的油页岩资源量为 3256.53×10^8 t, 分布于黄土塬地区的油页岩资源量为 1562.86×10^8 t, 分别占全国油页岩资源的 45% 和 21%; 油页岩资源巨大的盆地有: 松辽盆地、鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地, 占全国油页岩资源的 76.79% (刘招君等, 2006)。同时, 也指出油页岩勘探程度较低, 大部分矿区都没有达到勘探阶段。

可见中国油页岩资源丰富, 高达 7000×10^8 t 以上, 但探明储量仅为 400×10^8 t 左右, 急需加强勘探工作。国务院关于加强地质工作的决定 (国发 [2006]4 号) 明确指出: 积极开展油页岩、油砂、煤层气、天然气水合物等非常规能源资源的调查评价和勘查。

我国油页岩的利用始于 1928 年, 近 1 个世纪的探索, 取得了丰硕的成果 (侯祥麟, 1984; 钱家麟等, 2006, 2008; 施国权, 2006; 柳蓉等, 2006; 游君君, 2004)。

辽宁、吉林是较早利用油页岩的地区, 20 世纪 40 年代, 日本侵占东北期间, 为支持其侵略战争需要, 在辽宁抚顺对油页岩进行了大量掠夺性开采和利用油页岩炼油工业化生产活动。1959 年我国油页岩年加工能力达到 2000×10^4 t, 页岩油产量为 79×10^4 t, 占全国石油产量的 21%, 达到历史最高水平。

辽宁抚顺油页岩矿是目前国内最大的油页岩生产基地。辽宁抚顺油页岩位于煤层之上, 是露天采煤的副产品, 因此矿石开采成本比较低, 页岩油的生产成本主要是水、电、汽、人工、维修及折旧等, 生产页岩油成本为 1500 元/t 左右, 而 1 t 页岩油价格一般在 3000 ~ 5000 元, 在油价高涨, 原油供应紧张时, 不仅具有良好的经济效益, 同时,

也显示了良好的社会效益。

广东是我国较早利用油页岩提炼页岩油的省份。20 世纪 50 年代,我国在广东茂名建造了油页岩制油厂,由于石油短缺,当时还出现了“是发展人造油还是发展石油”的争论,大庆油田发现后,“人造油”才渐渐退出主导地位。页岩油比重逐渐下降,2000 年全国页岩油产量约 $(15 \sim 20) \times 10^4 \text{ t}$,目前接近 $100 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。

流化床燃烧技术的出现,以其特有的性能引起了我国油页岩利用者的关注。我国是油页岩流化床锅炉研究较早的国家,从 20 世纪 60 年代开始研究流化床燃烧技术并研制流化床锅炉。1967 年在广东茂名石油公司建成我国第一台油页岩流化床锅炉。锅炉燃烧率达 90%,热效率为 77%。这为我国油页岩锅炉的发展奠定了良好的基础,也为我国燃煤流化床锅炉的起步提供了宝贵的技术依据和实践经验。

“六五”期间,国家将“35 t/h 油页岩电站流化床锅炉的研制”项目列入重点科技攻关项目,由东北电力学院设计,江西锅炉厂制造,有两台安装在广东茂名石油公司,燃用 10 mm 以下,热值 3990 kJ/kg 的油页岩,所排灰渣用于制作水泥,1985 年投入运行,主要是探索油页岩用于发电的可行性。运行中锅炉热效率为 78.86%,锅炉负荷 30 ~ 33 t/h,基本达到设计要求。1986 年,辽宁抚顺石油二厂建成一台 35 t/h 鼓泡流化床页岩发电站锅炉,利用干馏炉遗弃的小颗粒油页岩燃烧发电。自 1987 年投入使用至今,运行一直安全稳定。实践证明,用油页岩发电,技术上是可行的,但由于该炉是套用煤矸石流化床结构,所以效率低,经济效益差。

茂名油页岩厂经过半个多世纪发展,在油页岩综合利用方面取得了可喜的成果。目前,茂名油页岩厂主要用油页岩灰渣制砖、生产水泥、回收优质高岭土、制作陶粒、塑胶等,为我国油页岩的综合利用奠定了基础。

用油页岩渣做混合材料,掺加量为 25%,可以配制高标号水泥;如油页岩渣掺量达到 50%,可生产低标号水泥。由于油页岩渣成本低、活性高,用它做水泥混合材料,经济效益非常显著。目前,桦甸市松源水泥有限公司已经利用桦甸示范电厂的油页岩渣生产水泥。

2005 年以来,全国油页岩资源勘查和开发又开始迅速升温。2006 年吉林省与壳牌石油公司合作,在桦甸地区进行油页岩勘探和地下开发试验,规划建成我国最大的油页岩开发利用基地。2008 年干馏页岩油产量上升到 $40 \times 10^4 \text{ t}$;近期可以形成 $200 \times 10^4 \text{ t}$ 产能。其中,目前正在建设的新建、扩建干馏页岩油产能有 $60 \times 10^4 \text{ t}$,规划新建、扩建干馏页岩油产能 $100 \times 10^4 \text{ t}$ 。

1.3 工作区以往地质工作程度

1.3.1 基础地质与矿产地质工作

前人在鄂尔多斯盆地的工作较多,中华人民共和国成立以后,原地质矿产部、原石油工业部、原煤炭工业部等部门在陕北及渭北地区开展了大量的地质调查工作,建成了我国重要的能源基地(图 1.4 和图 1.5)。对鄂尔多斯盆地形成、发展与演化,盆地的地层