



Advances in the Science of Victorian Brown Coal

维多利亚褐煤 科学进展

[澳] 李春柱(Chun-Zhu Li) 主编

余江龙 常丽萍 等译



化学工业出版社



Advances in the Science of Victorian Brown Coal

维多利亚褐煤 科学进展

[澳] 李春柱(Chun-Zhu Li) 主编

余江龙 常丽萍 等译



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了褐煤开发和利用的研究进展,由澳大利亚和日本长期从事低阶煤研究的专家合作编写。内容包括褐煤的性质与应用、脱水干燥技术、褐煤的热解、气化和燃烧及过程中氮和硫的转化、褐煤发电技术、直接液化技术等。可供从事煤炭和生物质研发与清洁利用研究的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

维多利亚褐煤科学进展/[澳]李春柱主编;余江龙,常丽萍等译. —北京:化学工业出版社,2009.5

书名原文:Advances in the Science of Victorian Brown Coal
ISBN 978-7-122-04909-4

I. 维… II. ①李…②余…③常… III. 褐煤-研究
IV. TD849 TQ536

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第025439号

Advances in the Science of Victorian Brown Coal
Chun-Zhu Li

ISBN 0-08-044269-2

Copyright © 2004 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized simplified Chinese translation edition jointly published by Chemical Industry Press and Elsevier (Singapore) Ltd, 3 Killiney Road, # 08-01 Winsland House I, Singapore 239519.
ISBN: 981-259-952-5, 978-981-259-952-0

Copyright © 2009 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.
Copyright © 2009 by Chemical Industry Press
All rights reserved.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译版由化学工业出版社与Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 在中国大陆境内合作出版。本书仅限在中国境内(不包括香港特别行政区及台湾地区)出版及标价销售。未经许可,不得盗印、出口,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2007-1703

责任编辑:王丽
责任校对:王素芹

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张23 字数456千字 2009年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

译者序

本书根据 Elsevier 出版社 2004 年出版的专著《Advances in the Science of Victorian Brown Coal》翻译。该著作在 1991 年出版的《The Science of Victorian Brown Coal: Structure, Properties and Consequences for Utilisation》一书的基础上,全面介绍了 20 世纪 90 年代以来维多利亚褐煤科学和利用技术方面的研究进展,其中大部分内容是澳大利亚和日本两国褐煤科学研究领域的专家在近年来取得的最新研究成果,具有很高的学术水平。本书可以作为高校、研究机构和工程技术人员进行褐煤科学和利用技术开发研究的参考书。

我国是一个以煤炭为主要一次能源的国家,煤炭消费和生产均居世界首位。随着我国经济的持续发展,煤炭产量逐年增加,2007 年已经超过 22 亿吨,预计 2010 年将达到 26 亿吨。由于世界范围内硬煤的过度开采利用,褐煤资源的开发和利用越来越受到全球的重视。我国具有丰富的褐煤资源,已经发现的褐煤资源量为 1290 亿吨,约占我国煤炭保有资源总量的 12.7%,主要分布在华北和西南地区。我国目前对褐煤的开发和利用水平很低,对褐煤的研究则更少,技术数据和资料十分缺乏。本书的翻译出版将为我国褐煤资源的开发利用提供十分重要的参考。需要指出的是:中国褐煤多属老年褐煤,与维多利亚褐煤的特点不尽相同,灰分较高,一般为 20%~30%,全水分一般可达 20%~50%。因此在进行我国褐煤的研究和开发利用时不能完全依赖维多利亚褐煤的数据,需要积累我国褐煤的数据资料。

本书第一、四、八章由沈阳航空工业学院、辽宁科技大学博士生导师余江龙教授翻译,第二、五章由太原理工大学博士生导师常丽萍教授翻译,第三章由通用电气中国技术中心(上海)曾才博士翻译,第六章由澳大利亚 Curtin 理工大学田福军博士翻译,第七章由余江龙教授和曾才博士合译,全书由余江龙教授统稿。

由于时间仓促,在本书翻译过程中难免存在一些不妥之处,请读者谅解和批评指正。同时由于原著作者来自不同国家,书中部分术语或单位不统一或与我国目前使用的单位有差别,请读者在阅读时予以注意。

特别感谢本书的原著编者 Monash 大学李春柱教授在本书翻译过程中给予的帮助和热心鼓励。本书的出版得到了国家 973 项目(2005CB221203)的资助。

译者

2008 年 11 月

序

澳大利亚维多利亚省拥有世界上最大的优质褐煤矿藏，是维多利亚省重要的资源，为该省的社会和经济发展长期提供廉价和可靠的能源供应。在可预见的未来，维多利亚褐煤仍将是重要能源，并将在平衡能源价格方面起到重要作用。维多利亚褐煤的应用将取决于新技术的开发，这些新技术能够降低（褐煤利用）对环境的影响和减少温室效应气体的排放。维多利亚省过去已经同联邦政府和工业界共同鼓励和支持了一批洁净煤技术的开发。

《维多利亚褐煤科学进展》一书总结了维多利亚褐煤科学的最新进展及其清洁高效技术的研发。该书是澳大利亚和日本两国煤科学研究领域的专家共同合作的建设性成果，充分反映了两国在当今世界所面临的能源和环境的双重挑战面前所做的努力。该书是维多利亚褐煤科学发展的重要里程碑，将有助于洁净煤技术在维多利亚省的发展和应用。祝贺编者和作者完成了这样一个重要的项目。

Theo Theophanous MP
能源工作和资源部部长
2004 年 6 月

前言

煤炭在世界很多地区仍然并继续扮演着重要的能源角色。由于世界人口的持续增长和生活水平的不断提高,要求煤炭科技工作者不断开发新的廉价能源技术,同时要降低对环境的危害,尤其是降低温室效应气体和其他大气污染物的排放。洁净煤炭利用技术的发展迫切要求人们对煤的结构和性能有更深入的理解。尤其是在过去的十五年中,人们经历了煤炭科学技术的飞速发展,其中一些新的洁净煤技术开始向示范工程和工业化方向发展。

与国际贸易中的黑煤相比,维多利亚褐煤具有很多独特的物理和化学性质,这在发展褐煤高效利用技术过程中必须充分重视。十三年前,《维多利亚褐煤科学:结构、性质和利用》一书(R. A. Durie 博士编著)得以出版。该书几乎涵盖了与维多利亚褐煤有关的从地质学到作为能源的利用和作为化工原料的应用等各个方面。在过去的十三年中,对维多利亚褐煤的结构特征和性能的了解以及在高效和环境友好新技术开发方面取得了很大进展,这些进展激发了本书的编写。本书旨在向广大读者提供最新的维多利亚褐煤科学和技术的知识。

本书共分八章。第一章介绍了维多利亚褐煤的重要性及其性质,简述了维多利亚褐煤作为重要能源的应用、在化工原料方面的潜在应用和其他非传统领域的应用等。

第二章首先简述了维多利亚褐煤的岩相组成,详细叙述了褐煤的物理和化学特征和性质,包括其丰富的孔结构、不同的官能团、离子交换性能和大分子特征。

维多利亚褐煤最重要的特征之一是其高的水分含量,这一特征影响到其应用的方方面面。本书第三章详细介绍了褐煤中的水分及其脱水、干燥技术,当然在其他章节中也不同程度地涉及这些知识。

第四章详细介绍了维多利亚褐煤的有机和无机组分在热解过程中发生的化学反应。该章在一开始总结了研究煤炭热解过程的主要实验技术,而在最后介绍了煤热解的动力学模型,并介绍了通过(改性的)维多利亚褐煤热解生产化工产品的相关技术。

第五章阐述了褐煤气化和燃烧方面的基础理论。本章详细介绍维多利亚褐煤气化和燃烧过程中有机和无机组分的化学反应,并论述了褐煤中固有的和向褐煤中添加的金属元素的催化作用。

第六章论述褐煤在热解、气化和燃烧过程中氮和硫的转化。本章中还综述了近年来利用现代分析方法研究煤中燃料氮和燃料硫的转化的最新进展。在详细讨论煤中燃料氮转化前,还针对含氮模型化合物的热解如简单的吡咯(氮杂茂)和吡啶

(氮苯)到聚合物尼龙及蛋白质等热解的相关研究进行了简单文献综述。

第七章介绍利用维多利亚褐煤的先进发电技术,重点介绍了基于煤气化并使用燃气轮机和燃料电池的发电技术。根据热力学模拟分析了这些循环的效率。

第八章介绍褐煤的直接液化技术,包括褐煤液化的基础研究和褐煤液化技术的最新发展,重点介绍了针对维多利亚褐煤开发的液化技术。

本书对从事煤炭尤其是低阶煤的清洁利用技术研究和开发的人员有十分重要的参考价值,尤其对该领域的研究生以及新涉足该领域的研究人员十分有用。

维多利亚褐煤和生物质有很多相似之处,其性质更接近于生物质,而与高阶煤则相差甚远。例如,二者水分含量都很高,都含有高的挥发性金属如钠、钾、镁和钙。因此,本书对从事生物质利用技术的研究人员也具有参考价值。

本人作为本书的编者感到十分荣幸。本书的完成是所有作者团队精神的结晶。他们本身都承担着繁重的本职工作,为完成书稿,他们经常在周末和夜晚加班。在此对所有作者在编写本书过程中所付出的辛苦劳动表示诚挚的感谢。

许多同仁对本书的编写给予了大力支持和帮助,尤其要感谢 Alan N Buckley 和 Zhiheng Wu 对本书部分章节进行了审核。

本书中的大部分研究成果是澳大利亚和日本两国的研究人员在澳大利亚和日本政府及工业界的资助下完成的,在此也要对他们表示感谢。如果没有他们的工作,本书是不可能完成的。

还要特别感谢 Elsevier 的工作人员 Victoria Thame, Salma Azmeh 和 Sharon Brown 在本书编写过程的各个阶段所给予的大力支持和帮助。还要感谢 Elsevier 允许本书使用其出版的杂志和书籍中的版权材料,所有在本书中使用的图表均进行了重新处理。对其他允许本书使用其版权材料的机构,在此一并表示感谢。

最后我要感谢我的妻子 Fan 和女儿 Merry 在编写本书过程中给予的关爱、支持和鼓励。

李春柱

2004 年 6 月

于澳大利亚墨尔本

目录

第一章 绪论	1
Chun-Zhu Li 余江龙 译	
1.1 维多利亚褐煤作为能源的重要性	1
1.2 维多利亚褐煤的典型性能	2
1.3 维多利亚褐煤的主要应用	3
1.3.1 粉煤燃烧	4
1.3.2 气化	4
1.3.3 液化	4
1.3.4 煤砖制造、焦炭和碳材料的生产	5
1.3.5 化工产品的生产	5
1.3.6 维多利亚褐煤在吸附剂方面的应用	6
1.3.7 维多利亚褐煤在农业上的应用	6
1.3.8 煤灰的应用	6
参考文献	6
第二章 维多利亚褐煤的结构和性质	9
Jun-ichiro Hayashi, Chun-Zhu Li 常丽萍 译	
2.1 引言	9
2.2 维多利亚褐煤的岩相学	9
2.2.1 岩相成分	9
2.2.2 显微组分	12
2.3 维多利亚褐煤的物理结构和特征性能	14
2.3.1 维多利亚褐煤的胶体性质	14
2.3.2 碱溶解和腐植酸	15
2.3.3 水作为探针分子表征褐煤的物理结构和特征性能	16
2.3.4 孔体积和密度	22
2.3.5 表面积和气体吸附	23
2.3.6 小角散射和电子显微镜信息	26
2.4 维多利亚褐煤的化学结构和特征性能	28
2.4.1 维多利亚褐煤中的无机物	28
2.4.2 官能团和离子交换特性	29

2.4.2.1 含氧官能团及其定量分析·····	29
2.4.2.2 其他官能团·····	37
2.4.2.3 离子交换特性·····	37
2.4.3 大分子结构特征·····	44
2.4.3.1 溶剂抽提和溶胀·····	44
2.4.3.2 氢键·····	52
2.4.3.3 化学降解和生物降解·····	53
2.4.3.4 芳香特性·····	55
参考文献·····	58

第三章 褐煤中的水分和褐煤的脱水····· 65

David J. Allardice, Alan L. Chaffee, W. Roy Jackson, Marc Marshall	曾才译
3.1 引言·····	65
3.2 褐煤中水分的物理、化学和分析特性·····	65
3.2.1 等温线和滞后现象·····	65
3.2.2 等温数据中的吸附热·····	68
3.2.3 ^1H 核磁共振试验·····	69
3.2.4 差分扫描热量测定·····	70
3.2.5 褐煤与水相互作用的分子模拟·····	72
3.2.6 其他褐煤-水表面化学研究·····	74
3.2.7 影响床层水分含量波动的因素·····	75
3.2.8 水分含量的测定·····	75
3.2.8.1 水分含量的定义和标准测定方法·····	75
3.2.8.2 快速水分测定方法·····	75
3.2.8.3 水分测定的仪器方法·····	76
3.3 低阶煤干燥·····	76
3.3.1 概况·····	76
3.3.2 蒸发干燥·····	77
3.3.2.1 蒸发干燥速度·····	77
3.3.2.2 直接蒸发干燥工艺·····	78
3.3.2.3 间接加热干燥工艺·····	83
3.3.3 非蒸发脱水·····	84
3.3.3.1 热能脱水工艺·····	84
3.3.3.2 机械热挤压脱水·····	87
3.3.3.3 有机溶剂脱水·····	88
3.3.3.4 非蒸发脱水工艺废水·····	90

3.4 褐煤的水分与无黏结剂成型.....	93
3.4.1 型煤工业背景.....	93
3.4.2 型煤工艺.....	93
3.4.3 水分对型煤的影响.....	94
3.5 结论.....	95
参考文献	96
 第四章 维多利亚褐煤的热解	104
Jun-ichiro Hayashi, kouichi Miura 余江龙 译	
4.1 简介	104
4.2 实验参数对维多利亚褐煤热解的影响	104
4.2.1 煤热解的一般规律	104
4.2.2 研究热解的反应器	105
4.2.2.1 固定床反应器	105
4.2.2.2 金属丝网反应器	105
4.2.2.3 居里点反应器	106
4.2.2.4 吊管反应器	106
4.2.2.5 流化床反应器	107
4.2.3 常压下加热速率对一次热解的影响	107
4.2.4 决定加热速率对热解产物分布的物理及化学过程	109
4.2.5 焦油中小芳香团簇的选择性释放	111
4.2.6 外部气体压力对一次挥发分生成的影响	112
4.2.7 一次热解过程中内在及外加金属物质的影响	113
4.2.7.1 一次热解过程中内在 AAEM 物质的作用	113
4.2.7.2 添加 AAEM 物质对褐煤热解特性的影响	116
4.2.7.3 AAEM 物质对褐煤热解过程中轻气体形成的影响	117
4.2.8 褐煤在活性气氛中的一次热解	117
4.2.9 一次挥发分的二次反应	118
4.2.9.1 固定床反应器中的快速热解	118
4.2.9.2 夹带流反应器或吊管反应器中的快速热解	120
4.2.9.3 压力对褐煤在吊管反应器和流化床中热解的影响	121
4.2.10 吊管反应器和流化床反应器中快速热解的其他研究.....	123
4.3 通过褐煤的闪热解制备化学药品	123
4.3.1 以增加液体产量为目标的褐煤的闪热解	123
4.3.2 新的热解方法	127
4.3.2.1 溶剂溶胀后煤的热解	127

4.3.2.2	在溶剂蒸气气流中煤的热解	128
4.3.2.3	溶剂煤胶浆的热解	128
4.3.2.4	溶剂溶解后煤的热解	129
4.4	AAEM 物质的挥发	130
4.4.1	一次热解中 AAEM 物质的挥发	130
4.4.2	半焦中 (与碳基体键合的) AAEM 物质的挥发	133
4.4.3	压力对 AAEM 物质挥发的影响	137
4.4.4	AAEM 物质的挥发对半焦气化过程的影响	138
4.5	煤热解反应的模型	138
4.5.1	煤的化学结构及大分子结构与煤的热解	138
4.5.2	单反应模型	140
4.5.2.1	微分法	141
4.5.2.2	积分法	142
4.5.2.3	热煤解分析的单反应模型的验证	143
4.5.3	定数的平行一级反应	145
4.5.4	分布的活化能模型 (DAEM)	146
4.5.4.1	基本方程	146
4.5.4.2	从实验数据估算 V/V^* 与 E 关系的方法	147
4.5.4.3	估算 $f(E)$ 和 k_0 的方法	148
4.5.4.4	利用新的 DAEM 方法对 Argonne 优质煤和维多利亚褐煤热解 反应的分析	151
4.5.5	以煤的结构为基础的热解模型	152
4.5.5.1	FG-DVC 模型	154
4.5.5.2	FLASHCHAIN 模型	155
4.5.5.3	CPD 模型	157
4.5.5.4	煤热解与 Bethe 格阵	158
4.5.6	动力学模型进展的总结	162
4.6	结语	162
	参考文献	163
第五章	褐煤的气化和燃烧	169
	Akita Tomita, Yasuo Ohtsuka 常丽萍 译	
5.1	褐煤气化	169
5.1.1	引言	169
5.1.2	气化工艺和方法	170
5.1.2.1	气化过程	170

5.1.2.2 褐煤气化研究中的实验方法	171
5.1.3 挥发分和半焦气化	173
5.1.3.1 挥发分的二次反应	174
5.1.3.2 半焦气化	177
5.1.4 气化过程中有机物/碳和无机物的结构变化	180
5.1.4.1 有机物的特性和结构变化	180
5.1.4.2 无机物的释放和滞留	182
5.1.5 固有无机组分对半焦的催化气化	183
5.1.6 外加无机物对半焦的催化气化	184
5.1.6.1 碱金属和碱土金属化合物的催化	184
5.1.6.2 过渡金属化合物的催化	187
5.2 燃烧	189
5.2.1 引言	189
5.2.2 褐煤燃烧反应动力学	191
5.2.2.1 反应性	191
5.2.2.2 高温和高压下的反应性	191
5.2.2.3 模拟	193
5.2.2.4 着火	195
5.2.2.5 爆炸	196
5.2.3 矿物质和灰分	197
5.2.3.1 表征矿物质、灰分和炉渣的方法	197
5.2.3.2 矿物质和灰分的迁移变化	199
5.2.3.3 燃煤过程中存在的灰分问题	201
5.2.3.4 避免灰分引起的问题的措施	202
5.2.3.5 灰渣的利用	202
5.2.4 环境问题	203
5.2.4.1 硫氧化物	203
5.2.4.2 氮氧化物	204
5.2.4.3 微量元素	206
5.2.5 结论性评述	209
参考文献	209

第六章 褐煤热解、气化和燃烧过程中氮和硫的转化..... 216

Chun-Zhu Li 田福军 译

6.1 维多利亚褐煤中的氮	217
6.2 含氮模型化合物的热解	224

6.2.1 含氮模型化合物的气相热解	226
6.2.2 固态含氮模型化合物的热解或涉及炭黑和焦油生成的热解过程 ...	227
6.3 维多利亚褐煤中氮的反应机理	229
6.3.1 煤中氮向挥发分-N 和半焦-N 的转化	230
6.3.2 热裂解时挥发分-N 的转化	232
6.3.2.1 挥发分-N 生成的 HCN、HNCO 和 NH ₃	232
6.3.2.2 含氮模型化合物的热解同挥发分-N 的热裂解的对比	235
6.3.3 半焦-N 的热裂解转化	238
6.3.3.1 由半焦-N 生成的 HCN 和 NH ₃	238
6.3.3.2 由半焦-N 生成 N ₂	241
6.3.3.3 半焦中的含氮官能团	245
6.3.4 热解时 HCN 和 NH ₃ 生成的进一步探讨	247
6.3.5 相关的实验技术及对煤中氮转化的影响	252
6.4 气化和燃烧过程中 NO _x 的 NO _x 前驱体生成机理	253
6.4.1 同 O ₂ 的反应	253
6.4.2 同 CO ₂ 的反应	258
6.4.3 同 H ₂ O 和 H ₂ 的反应	260
6.5 维多利亚褐煤中的硫以及热解、气化和燃烧过程中硫的转化	262
6.5.1 维多利亚褐煤中的硫	262
6.5.2 热解、气化和燃烧过程中硫的转化	265
参考文献	267

第七章 利用褐煤的先进发电技术..... 277

Sankar Bhattacharga, Atsushi Tsutsumi 余江龙, 曾才 译

7.1 简介	277
7.2 褐煤对先进发电技术的关键流程的影响	277
7.2.1 干燥	278
7.2.1.1 利用高温气体进行干燥	278
7.2.1.2 利用水蒸气干燥	278
7.2.1.3 非蒸发式干燥	279
7.2.2 气化	279
7.2.3 燃料气的燃烧	280
7.2.4 气体净化	281
7.2.5 半焦的燃烧	281
7.2.6 燃料电池中燃料气的电化学转化	282
7.3 先进发电技术	282

7.3.1	系统模拟和一般假设	284
7.3.2	循环流化床燃烧 (CFBC) 系统	285
7.3.3	集成气化联合循环 (IGCC) 系统	286
7.3.4	增压流化床燃烧系统	288
7.3.5	先进增压流化床燃烧系统 (A-PFBC)	289
7.3.6	混合部分气化与常压 CFBC (PG/CFBC) 系统	291
7.4	不同工艺效率的对比	291
7.4.1	循环流化床燃烧系统的效率	292
7.4.2	整体煤气化联合循环 (IGCC) 系统效率	293
7.4.2.1	IGCC 与常压 SFBD 干燥结合的效率	293
7.4.2.2	IGCC 与增压 SFBD 干燥联合系统的效率	293
7.4.2.3	IGCC 与热气干燥联合系统的效率	294
7.4.2.4	IGCC 与二段干燥、半焦循环和增压 SFBD 联合系统的 效率	295
7.4.3	增压流化床燃烧 (PFBC) 系统的效率	295
7.4.3.1	煤的水分含量及干燥的影响	295
7.4.3.2	超临界蒸汽循环的使用	295
7.4.4	先进的增压流化床燃烧 (A-PFBC) 系统效率	296
7.4.4.1	半焦燃烧室中的过量空气	296
7.4.4.2	半焦产率	296
7.4.4.3	蒸汽系统的状态	296
7.4.4.4	原煤及干燥后煤的水分含量	297
7.4.4.5	对 A-PFBC 系统模拟的进一步讨论	297
7.4.5	混合部分气化与常压 CFBC (PG/CFBC) 系统的效率	297
7.4.6	不同技术效率总结	298
7.4.7	与采用高阶煤的类似技术的比较	301
7.5	热-化学回热与气化-燃料电池联合系统	301
7.5.1	热-化学回热的概念	301
7.5.2	系统的描述	302
7.5.3	过程模拟和主要假设	303
7.6	需要进一步研发的方面	304
	参考文献	305

第八章 维多利亚褐煤的液化技术..... 307

Osamu Okuma, Kinya Sakanishi 余江龙 译

8.1	前言	307
-----	----------	-----

8.2	褐煤液化过程中的基本反应	308
8.2.1	褐煤的结构与反应性	308
8.2.2	煤的溶解和解聚	309
8.2.3	褐煤液化过程中氢的传输	309
8.2.4	褐煤的催化液化	310
8.3	预处理对煤液化的影响	311
8.3.1	干燥对褐煤液化的影响	311
8.3.2	酸洗对褐煤液化的影响	311
8.3.3	热预处理对褐煤液化的影响	312
8.3.4	溶胀和植入	312
8.4	新型煤液化溶剂和催化剂的设计开发	312
8.5	褐煤液化工艺的设计与开发	317
8.5.1	维多利亚褐煤作为液化原料的特点	317
8.5.2	维多利亚褐煤液化工艺开发的理念	317
8.5.2.1	脱水 (DW) 单元	319
8.5.2.2	液化 (PH) 单元	320
8.5.2.3	液化工艺中的预热	320
8.5.2.4	液化 (氢化)	322
8.5.2.5	氢气的消耗	325
8.5.2.6	煤液化的动力学模型	326
8.5.3	固液分离 (除灰)	327
8.5.3.1	除灰溶剂的选择	327
8.5.3.2	除灰效率与除灰条件的影响	329
8.5.4	液化溶剂的氢化和液体产物的二次氢化	331
8.6	产物的评价及提质	331
8.7	维多利亚褐煤液化大型中试装置的开发与运行	335
8.7.1	煤液化工艺的开发	335
8.7.2	维多利亚褐煤液化工艺 (BCL) 发展的简单回顾	336
8.7.3	中试装置的设备及其运行	336
8.7.4	工艺性能 (操作)	338
8.7.4.1	新型煤浆法脱水 (DW) 单元	338
8.7.4.2	一次氢化 (PH) 单元	338
8.7.4.3	除灰 (DA) 单元	339
8.7.4.4	二次氢化 (SH) 单元	339
8.7.5	油产品的质量	339
8.7.6	中试装置运行中的机械和材料问题 (磨损与腐蚀)	339

8.7.7 主氢化 (PH) 单元结垢的形成、固体物料的沉积和压降 的提高	341
8.8 煤液化的现状和发展趋势	343
8.8.1 液化工艺的现状和未来的工业化推广	343
8.8.2 针对工业化的工艺过程的改进	343
8.8.3 BCL 工艺用于印尼低阶煤液化的可行性	345
参考文献	346

第一章 绪 论

Chun-Zhu Li

余江龙 译

1.1 维多利亚褐煤作为能源的重要性

澳大利亚的褐煤资源分布于维多利亚省的三大主要的第三纪盆地^[1]：墨累（Murray）盆地、奥特韦（Otway）盆地和吉普斯兰（Gippsland）盆地。墨累盆地已探明的褐煤储量约有 196 亿吨，主要分布在克兰（Kerang）煤田^[1]。奥特韦盆地的褐煤储量约有 155 亿吨，分布在巴秋斯（Bacchus）、码西-阿尔通娜（Marsh-Altona）和天使海（Angelsea）^[1]。吉普斯兰盆地比墨累盆地和奥特韦盆地要大得多，是世界上主要的煤炭和石油储藏盆地之一。吉普斯兰盆地只有五分之一在陆地，其余部分均延伸到了巴斯（Bass）海峡下面^[1]。吉普斯兰盆地包括拉特罗布（Latrobe）山谷拗陷，Moe-Yarragon, Stradbroke, Won Wron-boodyarn, Alberton 和 Gelliondale，其陆地部分的褐煤总储量估计为 3950 亿吨^[1,2]，其中三分之一为探明储量，其余为预测储量。根据 Holdgate 等^[3]的详细综述，特拉拉尔根（Traralgon）地质构造带的褐煤储量在吉普斯兰盆地显然是最大的。

最新公布的吉普斯兰盆地的褐煤估计储量为 9800 亿吨，除去城镇地区保留的约 3300 亿吨外，可开采储量为 6500 亿吨^[2]。这些褐煤资源多处在地表浅层，煤层厚，适合建设大型露天煤矿。将维多利亚褐煤和世界其他地区褐煤资源比较的结果表明^[4]，拉特罗布山谷拥有世界上最丰富的优质褐煤资源。

Harvey 对拉特罗布山谷褐煤利用的历史进行了很好的综述^[5]。他以 Yallourn 电厂为例，叙述了以维多利亚褐煤为燃料的电力工业的发展史。第一个露天煤矿于 1879 年建在 Yallourn 北部，在开采了 1800 万吨褐煤后于 1963 年关闭^[2]。Yallourn 露天矿是维多利亚省电业局运行的第一个大型露天矿。此后，维多利亚省的褐煤用量一直稳步增长，以满足对能源的需求。从 1923 年到 1989 年 6 月，维多利亚省电业局在拉特罗布山谷生产的褐煤达到约 10 亿吨^[2]。这些露天矿主要包括 Yallourn 露天矿（5.8 亿吨）、Morwell 露天矿（3.32 亿吨）和 Loy Yang 露天矿（5400 万吨）^[2]。1988 年到 1989 年维多利亚省褐煤的年产量为 4900 万吨^[4]，2000