

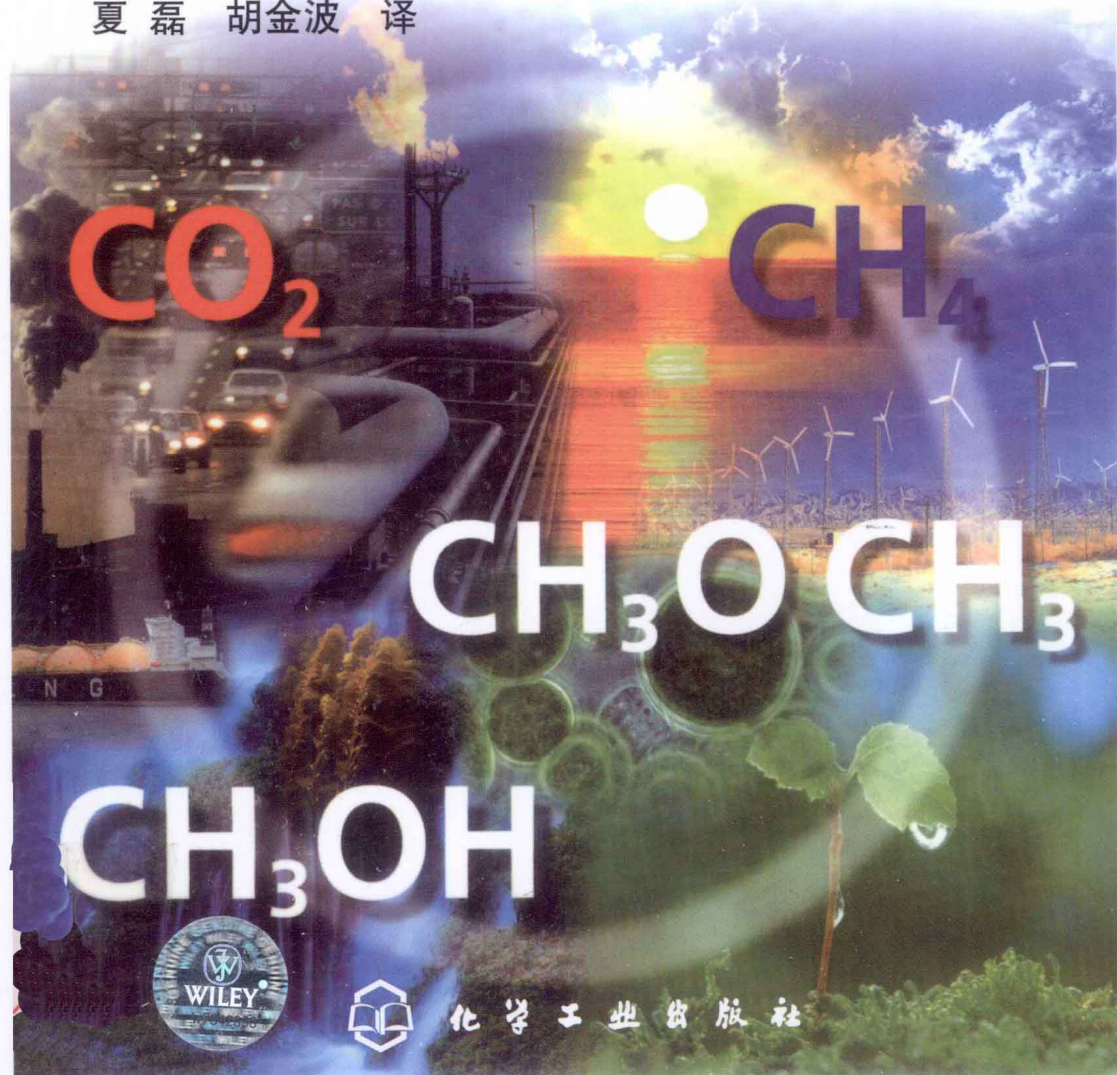
第二版

# 跨越油气时代：甲醇经济

Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy

[美] 乔治 A. 奥拉 阿兰·戈佩特 G.K. 苏耶·普拉卡西 著  
George A. Olah Alain Goeppert G.K. Surya Prakash

夏磊 胡金波 译



化学工业出版社

第二版

# 跨越油气时代：甲醇经济

Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy

[美] 乔治 A. 奥拉 阿兰·戈佩特 G.K. 苏耶·普拉卡西 著  
George A. Olah Alain Goeppert G.K. Surya Prakash

夏磊 胡金波 译



化学工业出版社

·北京·

本书系 2006 年出版的由诺贝尔化学奖得主、有机化学家乔治 A. 奥拉先生主创的《跨越油气时代：甲醇经济》的修订版。

书中论述了各种燃料与能源的相互依存关系，指出了人类目前所使用的不可再生的化石能源的极限可利用程度，讨论了各种可再生能源与原子能的利用现状及展望，介绍了“氢经济”及其重大局限性，从而引出“甲醇经济”，特别是对利用工业排放及自然界的二氧化碳转化为甲醇及二甲醚提出了高瞻远瞩的观点。

这是一本前瞻性的、激发人们探索欲望的著作，可供能源、石油及天然气化工、有机化学、煤化工等领域的研究人员、工程技术人员以及政府部门相关管理人员参考阅读。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

跨越油气时代：甲醇经济 第二版/[美] 奥拉 (Olah, G. A.), [美] 戈佩特 (Goepfert, A.), [美] 普拉卡西 (Prakash, G. K. S.) 著; 夏磊, 胡金波译. —北京: 化学工业出版社, 2011. 7

书名原文: Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy  
ISBN 978-7-122-11421-1

I. 跨… II. ①奥…②戈…③普…④夏…⑤胡… III. 甲醇-能源经济-经济发展-研究-世界 IV. F416.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 100536 号  
Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy, Second edition/by George A. Olah, Alain Goepfert, G. K. Surya Prakash  
ISBN 978-3-527-32422-4

Copyright© 2009 by WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Weinheim. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

本书中文简体字版由 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分，违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2011-062

责任编辑：路金辉  
责任校对：宋 玮

文字编辑：糜家铃  
装帧设计：周 遥

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

710mm×1000mm 1/16 印张 20% 字数 313 千字 2011 年 11 月北京第 2 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：78.00 元

版权所有 违者必究

# 中文第二版前言（译文）

在本书第一版出版仅仅三年之后，由于受到了非常良好的市场认可及学术肯定，出版商建议我们继续出一个更新的版本。在此期间，我们提出的“甲醇经济”理念，已经在全世界各国取得很好的进展，包括研究与开发实践等领域。从小型的示范厂到大规模的甲醇与二甲醚工厂，这一领域的工业应用实践正在推进。这些包括二氧化碳制甲醇（与二甲醚）的工厂，同时还包括百万吨级的基于煤或天然气的甲醇（与二甲醚）工厂，这些工厂使用目前仍可利用的煤炭或天然气资源作为原料。

当化学回收自然界或工业二氧化碳资源制甲醇及其衍生物被广泛实施，通过“碳中和”与再生使用，甲醇经济的全部潜力将得以实现。这将使我们能够减少与全球气候变暖相关的严重环境问题。

同时，最终从空气中化学回收二氧化碳，将为人类提供用之不竭的、在地球上任何地方都能得到的碳资源。从二氧化碳转化成甲醇需要的氢气，可以用任何可再生能源或原子能从水中获取。这种转化将使便利的交通和家用燃料、合成烃类及其产品得以继续生产，这些都是我们目前非常依赖的。应该强调的是，甲醇本身不是一种能量来源，而只是一种方便的能量储存、运输和使用形式。我们并不是说这种方法在各方面都是必须的，且一定是未来唯一的解决办法。然而，“甲醇经济”确实是一个新的、可行的、现实的方法，需要进一步发展和越来越多的实际应用。

我们感谢亚化咨询公司的夏磊先生和中国科学院上海有机化学研究所的胡金波教授，以及其他业界同仁们为本书中文版的翻译、出版和“甲醇经济”在中国的推广做出的贡献。

乔治 A. 奥拉

阿兰·戈佩特

G. K. 苏耶·普拉卡西

(2011年6月于洛杉矶)

# Preface to the Second Chinese Edition

After just three years since the publication of the first edition of our book it is rewarding that favorable reception and interest prompted our publisher to suggest an updated edition. The concept of our proposed “methanol economy” in the intervening time has made progress from extended research to practical development in countries around the world. From smaller demonstration plants to full-scale methanol and derived DME plants, practical industrial applications are growing in this field. These include carbon dioxide to methanol and DME conversion plants but also large million metric tonners per year. Coal or natural gas based mega-plants using still available large coal and natural gas resources.

The full potential of the methanol economy will be realized, however, when the chemical recycling of natural and industrial carbon dioxide sources in to methanol and its derived products are widely implemented, making their use environmentally carbon neutral and regenerative. This will allow us to mitigate the grave environmental problems linked to global warming.

At the same time chemical carbon dioxide recycling, eventually from the air itself, will provide humankind with an inexhaustible carbon source available everywhere on earth. The needed hydrogen for the conversion of  $\text{CO}_2$  into methanol can be produced from water using any renewable or atomic energy sources. This conversion will allow the continued production of convenient transportation and household fuels, and synthetic hydrocarbons and their products on which we all so much depend on. It should be emphasized that methanol is not an energy source but only a convenient way to store, transport and use any form of energy. We are not suggesting that this approach is necessarily in all aspects the only solution for the future. The methanol economy, however, is a new feasible and

realistic approach, warranting further development and increasing practical application.

We thank Mr. Lei XIA from ASIACHEM consulting and Prof. Jinbo HU from SIOC-CAS as well as other colleagues, for their contributions in the translation and publishing of this book's Chinese version, and the promotion of "Methanol Economy" in China.

Los Angeles, June 2011

George A. Olah  
Alain Goeppert  
G. K. Surya Prakash

# 中译本序一

能源与环境是二十一世纪人们最为关注的问题。能源是世界各国经济增长与人民生活水平提升的重要基础；而环境则关系到社会的可持续发展与子孙后代的生存家园。自 2009 年丹麦哥本哈根与 2010 年墨西哥坎昆的全球气候变化大会以来，能源、经济、温室气体、气候变化等热点话题在全球范围内的讨论已经上升到了一个前所未有的高度。

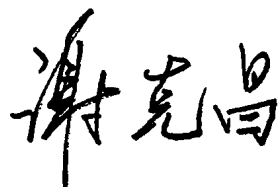
当今世界各国的能源结构中，化石能源平均占了 86%，其中煤炭占到 28%。而在中国，化石能源占到 93%，煤比例高达 70% 左右。根据中国政府的规划，到 2020 年非化石能源将占能源总量的 15%，也就是说化石能源还要占到 85% 的比例，而其中的 65%~70% 将依然是煤，2010 年中国消耗了世界 48.2% 的煤。煤的大量生产和使用对中国的生态和环境造成巨大威胁。因此煤的清洁、高效、可持续开发利用就成为中国的巨大需求，其中如何通过煤热解、煤气化为基础，以一碳化学为主线，以单元过程优化集成为途径，生产各种化工产品和替代燃料，如烯烃、甲醇、二甲醚、精细化学品、合成油等，从而实现煤炭洁净高效转化，显得十分重要而且必要。甲醇，作为重要的能量载体与基本化工原料，有望在其中扮演关键的角色。

美国南加州大学 George A. Olah, Alain Goeppert, G. K. Surya Prakash 三人的前瞻性著作《跨越油气时代：甲醇经济》详尽地论述了甲醇作为能量载体与基本化工原料的重要性，以及在未来通过二氧化碳与氢气合成甲醇，最终实现“碳中和”的循环的可能性与可行性。作为诺贝尔化学奖得主探讨未来能源、化工与环境问题，乔治·奥拉的这一著作在面世之日起就受到了广泛关注。

近年来，由于生产甲醇的原料来源十分广泛，煤、天然气、焦炉气、石油、生物质、二氧化碳等均可作为原料，生产技术日趋成熟，在全球范围内，甲醇装置的规模大幅提升，甲醇及其衍生物行业获得了快速发展。特别是在中国，甲醇生产能力增长迅速，不仅部分替代汽油已作为车用燃料，而且作为原料生产烯烃、芳烃等化工产品的新技术开发和工业化应用大力推进，这种趋势使得甲醇应用领域不断扩大，对中国提出的“加快发展高碳能源低碳化利用和低碳产业”，

发展低碳经济，建设资源节约型与环境友好型社会有重要意义。

在此背景下，上海亚化咨询公司夏磊与中国科学院上海有机化学研究所胡金波等青年同仁，把本书译成了中文并由化学工业出版社出版，作为能源化工学界的前辈，我感到非常欣慰。在此，我谨向国内从事以及关心能源、化工、特别是现代煤化工领域发展的各界人士推荐这本著作。期待“甲醇经济”这一理念，以及其引出的“能量高效利用方式”与“合适的能量载体”等问题能促进读者对相关问题有更深入的理解和思考。

A handwritten signature in black ink, reading '谢克昌' (Xie Kangchang) in a cursive style.

中国工程院院士 副院长  
2011年7月



## 中译本序二

有史以来，人类便有意识地利用各种能源来改善生活和从事生产活动。但是，人类对能源问题从来没有像今天这样给予高度关注。特别在我们中国，随着经济持续快速发展，当今经济社会各领域对于石油、煤炭、天然气等主要能源的需求显得十分迫切，能源问题已经上升到关系经济发展、国家和社会稳定的战略问题。

在这样的大背景下出现了《跨越油气时代：甲醇经济》一书。该书由美国南加州大学化学系著名有机化学家，1994年诺贝尔化学奖得主乔治·A·奥拉教授等人撰写，于2006年3月出版第一版。该书迅速在国外学术界和企业界引起了很大反响，其中 *Angew. Chem.* 和 *C&E News* 等著名刊物对本书做了积极评价。

本书第一版广受读者认可，“甲醇经济”理念在能源、化工、环境等领域也获得很好的推广。2009年，在读者要求和出版社的建议下，奥拉教授及其团队继续更新并推出了第二版，在内容上对第一版做了进一步丰富和补充，全书的篇幅有20%的增加。

在石油资源日益减少的今天，作者前瞻性地提出“甲醇经济”理念，作为应对油气时代过后能源问题的一条解决途径。作者意识到，目前我们所使用的石油既是主要能源，又是核心化工原料。随着石油资源的日益减少，能源和化工这两大领域不可避免地会面临前所未有的危机。甲醇作为一类可通过多种方法得到的有机化学物质，它既能作为方便的液态燃料，也可作为代替石油的化工原材料，而甲醇生产本身还可以作为减轻大气中二氧化碳含量的一条绿色化学途径。他们认为甲醇经济将在能源的储存和转化中发挥重要作用。甲醇是一种方便安全而又清洁的能量载体。

能源问题与化学有着紧密的内在联系，因为很多能源物质本身就是化学物质（如石油、煤炭、天然气）或者是从化学物质转化而来的（如火力发电）。在第一版的基础上，长期关注能源化工行业发展的青年学者——上海亚化咨询公司夏磊先生与中国科学院上海有机化学研究所胡金波研究员等人把《跨越油气时代：甲

醇经济》一书第二版译成了中文并由化学工业出版社出版。我谨向国内从事能源、化工、煤炭、石油、天然气等领域的工业界、学术界和政府行业主管部门，以及所有对当今和未来世界能源发展趋势感兴趣的人士推荐这本名家之作。作为一家之言，“甲醇经济”与其他如“氢经济”、生物质经济、太阳能等有关能源的各种观点一样，值得大家去进一步思考和探索。近年来石油储缺或天然气对汽车的充气装置多次出现事故，甲醇和二甲醚的安全性更成为无比重要的优点，值得我们重视。

到2010年底，中国的甲醇生产能力达到3800万吨，其中80%都以煤炭为原料。近几年来，随着新技术创新与工业化应用，如甲醇制烯烃（MTO）、甲醇制丙烯（MTP），以及未来具有工业化前景的甲醇制芳烃（MTA）等技术的研究和开发，甲醇作为重要的化工基础原料的地位日渐凸显。进入到2011年，中国已经成为世界第二大经济体和世界第二大能源消费国，同时又是世界第三大煤炭储量国。在我国煤炭储量丰富的内蒙古、新疆等省区，着力发展甲醇经济应为一个合理的选择。对甲醇经济的批评很多关注于甲醇生产中二氧化碳的排放，但近日研究表明，在甲醇生产过程中，添加少量天然气或煤炭气即能极大地减少二氧化碳的排放。当然天然气、煤炭气本身就是含能很高的燃料，但转化得到的却是方便、安全、便于输送的能源载体——甲醇。在人类追求物质文明进步和能源、环境可持续发展的今天，高效、清洁地利用好我们相对丰富的煤炭资源显得尤为重要。对于“甲醇经济”的理念，我们应当给予足够的重视。



中国科学院院士  
中国科学院上海有机化学研究所研究员  
2011年7月

# 译者前言

从2006年出版的《跨越油气时代：甲醇经济》英文第一版，到2009年的英文第二版，仅有三年时间。在此期间，这一理念在全球范围内得到了很好的推广。正如奥拉教授所言：我们提出的“甲醇经济”理念，已经在全世界各国取得很好的进展，包括研究与开发实践等领域。

奥拉教授一直非常关心中国的发展，特别是近年来中国洁净煤转化、二氧化碳利用与新能源产业的发展近况。在这几年里，通过与奥拉教授的邮件沟通与当面交流，对于能源化工行业未来的轮廓和画面，我们的视线似乎也越来越清晰。

2009年底，我们几乎同时收到了奥拉教授亲笔签名的，从美国南加州大学邮寄来的英文第二版。在第一版的基础上，第二版内容大量增加了关于甲醇与二甲醚作为合适的能量载体，以及从化石燃料和生物资源到二氧化碳化学回收生产甲醇的论述。我们觉得很有必要将本书译成中文，进一步推荐给国内的读者。

尽管奥拉教授提到：“并不是说甲醇经济一定是未来唯一的解决方案，然而，确实是一个新的、可行的、现实的方法，需要进一步发展和越来越多的实际应用。”然而对我们读者而言，通过阅读本书科普式的文字内容，借鉴本书提供的关于能源、化工与环境等方面的完整分析框架，完全可以从中学取大量的思想营养。

在本书翻译和出版过程中，得到了中国工程院副院长谢克昌院士，中科院上海有机化学研究所戴立信院士，清华大学倪维斗院士，上海市化学化工学会张培璋先生，上海华谊集团沈丽萍女士等前辈专家的关心和支持；得到了化学工业出版社同仁提供的许多帮助；也得到了德国南方化学集团的资助。参与本书翻译和校对的人员还包括顾约伦、郑春临等。此外，中科院上海有机所的郑吉、刘俊、倪传法、朱林桂、李亚、张来俊、高燕、许国峰、李怀峰、张继明参与了第一版翻译工作，为本书第二版翻译打下了坚实的基础。在此一并表示衷心的感谢。

尽管我们已经用心来完成本书的翻译，希望能将原著作者的思想 and 见解忠实地呈现给读者；但由于时间仓促，加上水平所限，难免还存在不足之处，敬请诸位读者批评和指正。

夏 磊 上海亚化咨询公司  
胡金波 中科院上海有机化学研究所

2011年6月

# 首字母缩拼词、单位及缩写式

## 1. 首字母缩拼词

AFC	Alkaline Fuel Cell	碱性燃料电池
BP	British Petroleum	英国石油(公司)
BWR	Boiling Water Reactor	沸水反应堆
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique(France)	法国原子能总署
CEC	California Energy Commission	加利福尼亚州能源总署
CIA	Central Intelligence Agency	美国中央情报局
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell	直接甲醇燃料电池
DOE	Department of Energy (United States)	美国能源部
EDF	Electricité De France	法国电力(公司)
EIA	Energy Information Administration (DOE)	美国能源部能源信息局
EPA	Environmental Protection Agency(United States)	美国环保署
EU	European Union	欧盟
GDP	Gross Domestic Product	国内生产总值
GHG	Greenhouse Gas	温室气体
IAEA	International Atomic Energy Agency	国际原子能机构
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle	整体煤气化联合循环
IPCC	International Panel on Climate Change	国际气候变化专门小组
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor	国际热核聚变实验反应堆
LNG	Liquefied natural gas	液化天然气
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell	熔融碳酸盐型燃料电池
NRC	National Research Council(United States)	全美研究会议
NREL	National Renewable Energy Laboratory(United States)	美国国家可再生能源实验室

OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development	经济合作与发展组织(经合组织)
OPEC	Organization of Petroleum Exporting Countries	石油输出国组织(欧佩克)
ORNL	Oak Ridge National Laboratory	橡树岭国家实验室
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion	海洋热能转换
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell	磷酸燃料电池
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell	质子交换膜燃料电池
PFBDC	Pressurised Fluidised Bed Combustion	增压流化床燃烧技术
PV	Photovoltaics	光电
PWR	Pressurized Water Reactor	加压水反应堆
R/P	reserve / production ratio	存储/产出比
SUV	Sport Utility Vehicles	运动型全功能车
TPES	Total Primary Energy Supply	总初级能源供应
UNO	United Nations Organization	联合国组织
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation	联合国原子辐射效应科学委员会
URFC	Unitized Regenerative Fuel Cell	可再生式燃料电池
USCB	United States Census Bureau	美国统计局
USGS	United States Geological Survey	美国地质调查局
WCD	World Commission on Dams	世界水坝委员会
WCI	World Coal Institute	世界煤炭协会
WEC	World Energy Council	世界能源委员会
ZEV	Zero Emission Vehicle	零排放车辆

## 2. 单位及缩写式

b, bbl	barrel	桶
Btu	British thermal unit	英国热量单位
°C	degree Celsius	摄氏度
cal	calorie	卡
g	gram	克
h	hour	小时
ha	hectare	公顷
kW · h	kilowatt-hour	千瓦·时
m	meter	米

Mb	megabarrel(10 <sup>6</sup> barrels)	百万桶
ppm	parts per million	百万分之一
toe	tonne oil equivalent	1吨当量油
s	second	秒
Sv	Sievert	西韦特
t	metric tonne	吨
W	watt	瓦特,瓦

### (1) 前缀

$\mu$	micro	微	10 <sup>-6</sup>
m	milli	毫	10 <sup>-3</sup>
k	kilo	千	10 <sup>3</sup>
M	mega	百万,兆	10 <sup>6</sup>
G	giga	十亿,千兆,吉[咖]	10 <sup>9</sup>
T	tera	万亿,太[拉]	10 <sup>12</sup>
P	peta	千兆兆,拍[它]	10 <sup>15</sup>
E	exa	穰,艾[可萨]	10 <sup>18</sup>

### (2) 单位换算

#### ① 体积

$$1\text{t 原油} = 7.33 \text{ 桶油}$$

$$1\text{gal} = 3.785\text{L}$$

$$1 \text{ 桶油} = 42\text{gal} = 159\text{L}$$

$$1\text{m}^3 = 1000\text{L}$$

$$1\text{m}^3 = 35.3\text{ft}^3$$

#### ② 能量

$$1\text{kcal} = 4.1868\text{kJ} = 3.968\text{Btu}$$

$$1\text{kJ} = 0.239\text{cal} = 0.948\text{Btu}$$

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 860\text{kcal} = 3600\text{kJ}$$

$$1 \text{ toe(吨油当量)} = 41.87\text{GJ}$$

$$1 \text{ Quadrillion Btu(QBtu)} = 1 \times 10^{15} \text{ Btu}$$

# 目 录

第 1 章 引言 .....	1
第 2 章 煤炭在工业革命中及其以后的应用 .....	11
第 3 章 石油和天然气的历史 .....	18
3.1 石油的开采和勘探 .....	22
3.2 天然气 .....	24
第 4 章 化石燃料资源和利用 .....	28
4.1 煤炭 .....	29
4.2 石油 .....	34
4.3 非常规石油资源 .....	38
4.3.1 沥青砂 (tar sands) .....	38
4.3.2 油页岩 (oil shale) .....	39
4.4 天然气 .....	41
4.5 煤层气 .....	48
4.6 致密砂岩和页岩 .....	49
4.7 甲烷水合物 .....	49
4.8 展望 .....	51
第 5 章 日益减少的油气储备 .....	53
第 6 章 对碳基燃料、烃类及其产品的持续需求 .....	62
6.1 分馏 .....	65
6.2 热裂化 .....	66



<b>第 7 章 化石燃料和气候变化</b> .....	73
7.1 化石燃料对气候变化的影响 .....	73
7.2 缓解 .....	82
<b>第 8 章 可再生能源和原子能</b> .....	86
8.1 概述 .....	86
8.2 水电 .....	89
8.3 地热能 .....	92
8.4 风能 .....	96
8.5 太阳能：光电转换和热能 .....	99
8.5.1 光电转换生电 .....	100
8.5.2 利用太阳热能发电 .....	102
8.5.3 利用盐湖太阳池发电 .....	104
8.5.4 利用太阳能供热 .....	104
8.5.5 太阳能的经济局限性 .....	105
8.6 生物质能 .....	105
8.6.1 生物质能发电 .....	106
8.6.2 液体生物燃料 .....	107
8.6.3 生物甲醇 .....	110
8.6.4 生物燃料的优点和局限性 .....	110
8.7 海洋能：热能、潮汐能和波浪能 .....	111
8.7.1 潮汐能 .....	112
8.7.2 波浪能 .....	113
8.7.3 海洋热能 .....	113
8.8 核能 .....	114
8.8.1 裂变核能 .....	116
8.8.2 增殖反应堆 .....	120
8.8.3 对核能的需求 .....	122
8.8.4 经济性 .....	122
8.8.5 安全性 .....	124
8.8.6 辐射危险 .....	125
8.8.7 核副产物、核废料及其管理 .....	126
8.8.8 排放 .....	127