

MICHAEL B. McELROY

[美] M. B. 麦克尔罗伊 著  
王聿绚 郝吉明 鲁玺 译

# 能源 展望、挑战与机遇

PERSPECTIVES, PROBLEMS, & PROSPECTS



科学出版社

# 能源——展望、挑战与机遇

〔美〕M. B. 麦克尔罗伊 著  
王聿绚 郝吉明 鲁玺 译

科学出版社

北京

图字: 01-2011-0621

## 内 容 简 介

本书从历史的角度,深入浅出地论述了人类社会文明进程与能源、环境和气候的依存关系,并以通俗易懂的方式描述了工业革命以来能源技术的演进过程,讨论了煤炭、石油、天然气等化石能源在不同历史阶段的角色演变;从全球的视角,分析了能源-技术-经济-环境的相互作用,客观讨论了化石能源带来的环境挑战,如局部的空气污染和今天备受关注的全球气候变化问题,并从技术、经济和环境影响这三个层面,科学展望了风能、太阳能、地热和核能等低碳能源的供应潜力。基于人类社会可持续发展的目标,本书为全球能源系统提出了持续、低碳的未来发展路径,为我们思考中国的能源战略和发展模式提供了宝贵的参考资料。

本书适合对能源和环境感兴趣的各类读者阅读,包括政府公务人员、企业管理人员、高等院校师生、科研人员及大众读者。

“ENERGY: PERSPECTIVE, PROBLEMS, AND PROSPECTS, FIRST EDITION” was originally published in English in 2009. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

### 图书在版编目(CIP)数据

能源——展望、挑战与机遇 / (美)麦克尔罗伊(McELROY, M. B.)著;王聿绚,郝吉明,鲁玺译. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-030200-7

I. 能… II. ①麦…②王…③郝…④鲁… III. ①能源-研究 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 019763 号

责任编辑:杨震 张小娟 / 责任校对:钟洋

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011年2月第一版 开本: B5(720×1000)

2011年2月第一次印刷 印张: 22 3/4 插页: 1

印数: 1—4 000 字数: 435 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

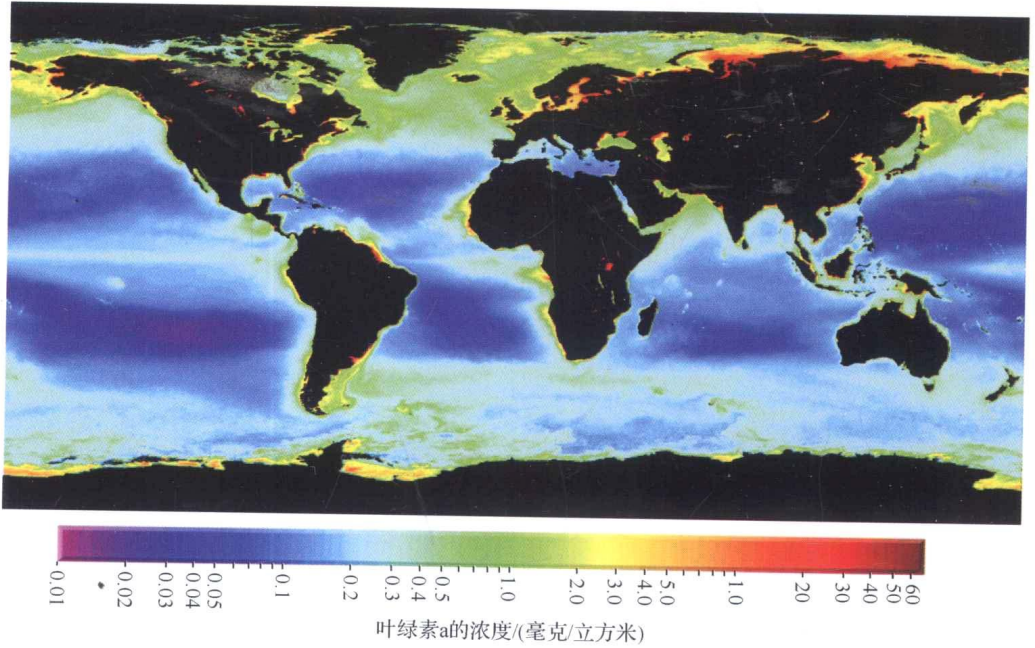


图 6.1 海洋颜色卫星组合照片

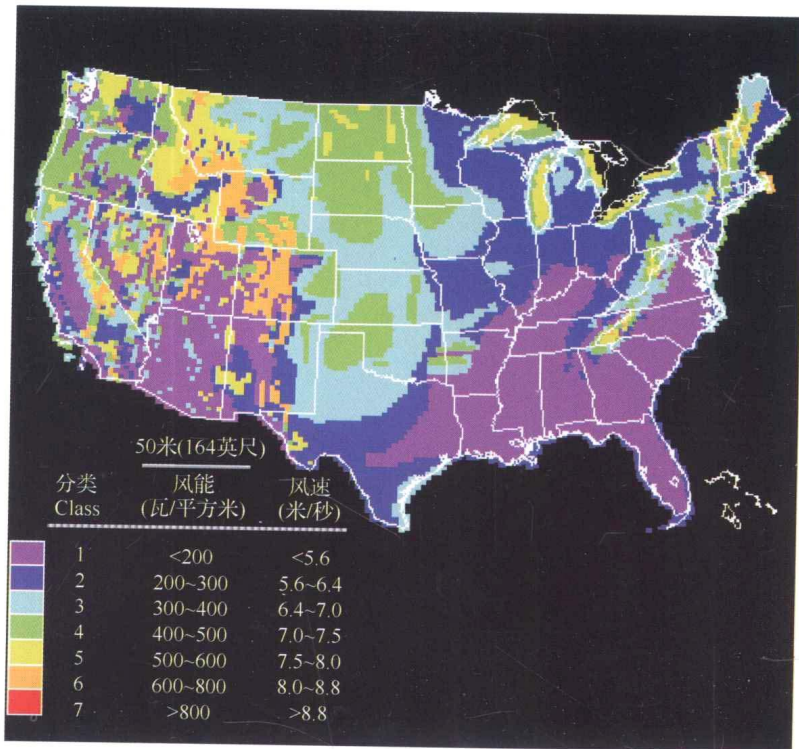


图 8.5 美国不同地区年均风力资源密度以及分类

([http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/wind\\_potential.html](http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/wind_potential.html), 访问时间 2007 年 3 月 8 日)



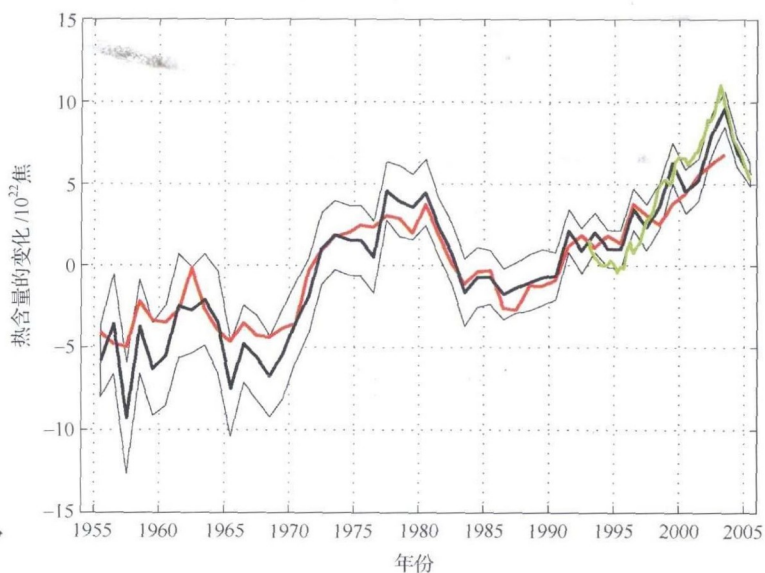


图 13.5 全球海洋 0~700 米间年均热含量( $10^{22}$ 焦)的时间序列图。图中黑线和红线表示的是与 1961~1990 年间平均值的偏差,较短的线表示与 1993~2003 年平均值偏差(IPCC, 2007)

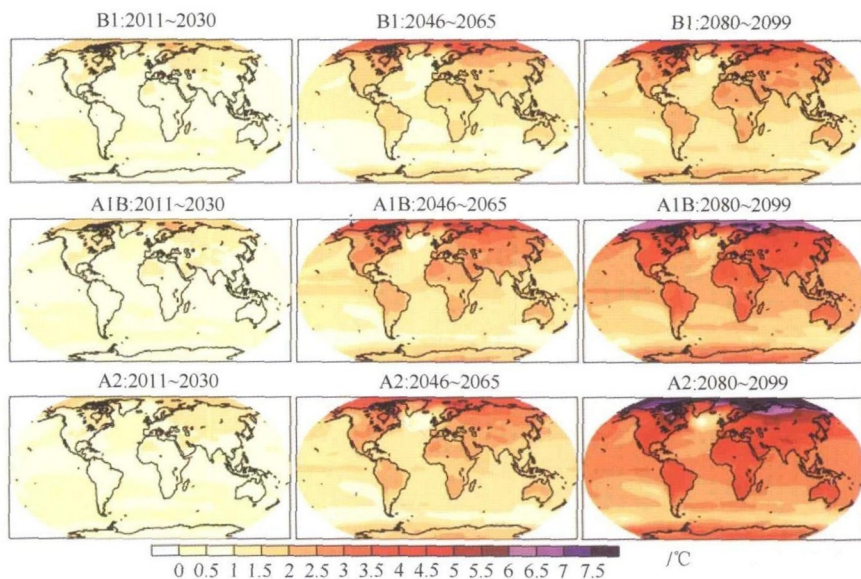


图 13.7 B1(上)、A1B(中)和 A2(下)排放情景下全球在下列三个时间段的年均地表温度增量(地表空气温度变化,  $^{\circ}\text{C}$ ): 2011~2030 年(左)、2046~2065 年(中)和 2080~2099 年(右)。图中显示的是多个模式结果的平均值,温度变化是相对于 1980~1999 年基准期而言(2007)

## 序

我认识麦克尔罗伊教授很久了。在上世纪 90 年代,他主持了一个“广义”的能源大项目,牵涉到能源本身,也包括法律、体制和政策。由他主编出版的 *Energizing China: Reconciling Environmental Protection and Economic Growth* 一书总结了那一阶段的工作,其中第二章由我撰写。之后,我和他又在中国环境与发展国际合作委员会(国合会)一起工作了 5 年左右,我们两人都是其中的委员,常常坐在一起讨论一些问题。

麦克尔罗伊教授是一位知识面很广、造诣很深的专家。《能源——展望、挑战与机遇》一书对能源的多个方面做出了简要的、全局性的客观论述,看起来似乎是一本科普读物,而事实上这是麦克尔罗伊教授和他的团队多年研究、观察、分析的结晶,以宏观的视角,从人类历史长河的发展趋势,对一些问题做出了概括性的归纳。

目前,全世界的能源、环境问题都是讨论的热点。尤其是中国,在这个热潮中,涌现了一些片面或“过头”的对能源各个发展途径和各种技术的看法。很多同志不从某一种能源的全生命周期出发来研究其能源效率、环境影响和经济性,不从整个产业链来分析,总是就事论事,突出局部一点,不及其余,这给我国能源系统的可持续发展造成了很大的浪费。产生这些问题的原因很多:如一些地方官员,新官上任,急于在任上搞出一些标志性的成果,以行政命令突出某些项目;一些大民营企业,甚至在负债率很高的情况下急于大手笔投资,对一些项目有些“慌不择食”;一些学者特别“爱好”自己所从事的研究工作,对一些事物的发展报喜不报忧,做了不切实际的宣传;一些外国公司,为了商业利益,拼命地做上层工作等等。总之,在能源领域,问题真是五花八门、令人眼花缭乱,所以更应该对能源的全貌和历史作一些了解,以便更好地前进。该书可以起到这个作用。此外,该书内容简洁、语言通顺,有很宽的读者“频谱”,从中学生到研究生、政府工作人员、投资者等等,都可以从书中获益。

清华大学热能工程系教授

中国工程院院士

倪维斗

2011 年 1 月 26 日

## 译者序

本书翻译工作始于哥本哈根会议召开之际。从 1992 年的里约热内卢到 2009 年的哥本哈根,以减缓气候变化为目的的国际气候谈判一路走来,迄今都没有达成具有法定效应并真正让所有国家都认同的文件。在这 17 年中,人类对碳基化石能源的持续依赖使得全球二氧化碳的排放总量又增长了 37%。面对气候变化的挑战,人类有再次选择能源系统的机会吗?以化石燃料为主的全球能源结构是如何形成的?哪些新能源能够满足全球经济的持续发展需求?这些问题是本书要深入讨论的部分核心内容。此外,本书还以辩证的态度讲述了卡内基、洛克菲勒、福特、爱迪生等是如何借助于化石燃料及其衍生品而创造了美国及西方工业发展史。以史为鉴,本书带给中国读者的思考是:新能源是否能为中国经济的进一步发展带来新的契机?

本书的作者 M. B. 麦克尔罗伊是美国哈佛大学的学术大师和全球著名的环境学家。麦克尔罗伊教授曾任美国政府的环境顾问,被美国前副总统、2007 年诺贝尔和平奖得主戈尔先生誉为自己在“气候变化方面的启蒙导师”。他 29 岁时就被聘为哈佛大学的终身教授,是哈佛大学两大院系(环境科学与公共政策系、地球与行星科学系)的创建者和首任系主任。他领导创办了哈佛大学环境中心和中国项目组,多年来一直致力于推动中、美两国间在环境、气候与能源方面的合作交流。麦克尔罗伊教授坚信:中国经济的发展模式及中国政府的调控能力决定了可再生能源模式的全球领军者最有可能是中国。

本书是麦克尔罗伊教授 10 年来对人类社会-能源-气候系统潜心研究及思考的结晶,处处体现了作者的睿智、卓见及多年参与美国公共政策的经验心得。与市面上常见的能源专业书籍不同,本书站在地球历史和人类社会发展的对全球能源问题进行剖析,可谓高屋建瓴、匠心独具。作者以简洁明快的方式阐述了人类社会发展史以及人类对能源的依存性,为工业革命的发生与发展提供了历史背景;以通俗易懂的方式描述了煤炭、石油、天然气在几亿年前的形成过程,揭示了化石能源的不可持续性;以发人深省的语句提醒人类,为保证人类文明的持续发展,我们必须现在对能源做出明智的选择。

三位译者中,郝吉明院士是与麦克尔罗伊教授有着近 20 年友好合作关系的同事和朋友。王聿绚和鲁玺是麦克尔罗伊教授亲自指导的博士研究生,有幸经历了他在哈佛大学完成本书的全过程。在译者看来,本书体现了麦克尔罗伊教授作为

一位世界顶级学者和教育家,以推动人类社会可持续发展为己任的责任感,这种责任感不应该受限于国界、语言与学科。

谨以此中文译本献给麦克尔罗伊教授及其关心热爱的中国环境事业。

译者

2010年11月于北京清华园



## 前 言

在本书出版之际，世界正面临着危机。各地的危机相互关联，呈现很多前所未有的特点。全球金融市场正处于混乱状态。各国政府纷纷采取积极的救市手段，帮助银行平衡收支、保障存款安全、提供流动资产。几大金融机构在一夜之间遭到破产的厄运。汇率波动也很大，难以预测。石油价格在几个月之间从每桶<sup>①</sup>约 150 美元跌到 40 美元，而 2009 年 5 月又回升到每桶 60 美元。铜、金、银、玉米等其他全球交易商品的价格也同样出现了大的波动。亚洲市场当天的变化，几个小时后会传到欧洲，随后再波及纽约，从而对世界各地的人们产生影响。我们生活在一个实时关联的世界里，这已经成为比以往任何时候都更清楚的事实。

本书的核心问题是能源。能源是整个人类事业的生命线，当前世界主要依赖煤、石油和天然气等化石能源而生存。化石能源是几百万年前陆地及海洋植物所吸收的太阳能的累积。就像半个世纪前著名海洋学家罗杰·雷维尔所说的那样，我们正在进行一项巨大的、全球性的地质试验，但我们对试验结果却没有明确的预知。目前空气中二氧化碳的浓度比过去几百万年中的任何历史时期都要高。如果我们继续目前的发展方式，空气中二氧化碳的浓度在几十年之内就会升高到比 6500 万年前恐龙时代的二氧化碳浓度还要高的程度。全球气候正在发生变化。地球从太阳吸收的能量超过了从地球返回到宇宙空间的能量，因此全球变得越来越“热”。天气特征也在转变。北冰洋冰川正在迅速消失。格陵兰岛和南极洲所覆盖的巨大冰川的稳定性甚至也受到威胁。所有的这些都发生在这样一个时代：面对本地生存环境日益恶化，人们迁徙他处的能力受到越来越难穿越的国家边境的限制；当今世界人口总数高于历史上任何时期，在未来世界人口又将新增几十亿。

越来越值得确信的一点就是我们需要彻底改变全球能源经济的结构。碳基化石燃料为我们服务了一个多世纪，我们现在要被迫面对这种服务所带来的后果。我们的能源路线需要改变：需要从一个不可持续的、基于化石燃料的能源经济转向一个更多依靠可再生能源的模式。我们认为，风能、太阳能和地热能将成为极具吸引力的新能源。如果安全防范措施到位的话，核能也可以成为一种重要的能源形式。

在本书的写作之初，我参与了哈佛大学就现代大学教育应该包括哪些重要方面的大讨论。这次讨论得到了一个普遍的共识：应该要求本科生在至少一个方向

---

<sup>①</sup> 本书中非法定单位与法定单位的换算关系见附录。

上进行较深的探求,他们在毕业时将拥有至少一个重要知识领域的专业技能。然而,应该还有更多的要求。哈佛大学上一次对于大学教育的全面大讨论是在1979年。那次大讨论的结果是,确定了本科教育必须使“本科生在下列七个必不可少的方向掌握获取知识的能力:国外文化、历史学习、文学与艺术、道德推理、定量推理、科学和社会分析”。在1979年的大讨论后,哈佛大学在这七个方向都安排了不同专业程度的课程,哈佛本科生必须在这七个方向的每一个方向中都选择至少一门课程来完成学分要求。哈佛大学本次的大讨论让我认识到,现代生活中的各种挑战越来越多地要求我们掌握跨学科的技能,因此在本科生的课程设置中应该有相应的跨学科的内容。

本书就是应对这一挑战的一个尝试。本书的核心虽然是能源本身,但还有一个核心论点是我们今天做出的选择对我们能源的明天将有着深远的影响。为了从众多的能源形式中做出选择,我们需要有定量计算的能力。我们必须认识到人类社会就像自然界本身一样,是动态的。我们需要认识到,地球上的生命系统是统一的,我们只是自然的一部分而非独立其外,而且我们必须在自然允许的界限内生存;人类虽然拥有改变全球环境的潜在能力,但我们必须谨慎地使用这种能力。我们需要从历史中吸取教训,不单单是从科学与技术中吸取真知灼见,还要从世界伟大的哲学和文化等更广阔的知识遗产中学习。哈佛大学在30年前选出了普通教育的七个核心方向。人类从这七个领域获取的知识对于我们为保证人类文明继续向前发展而必须在现在做出的选择而言都是至关重要的。我希望本书能够帮助读者剖析当前的各种能源选择。我们必须在现在就开始思索与讨论,以确保互相依赖的全球社会具有可持续发展的未来。我也希望本书至少能为这种讨论提供一些背景知识。

Michael B. McElroy

## 中文版致谢

〔美〕 Michael B. McElroy

在过去的 16 年里,我有幸与中国四位卓越的领军人物进行合作,现谨以此书的中文版献给他们。他们分别是:原国务委员、国家科学技术委员会及国务院环境保护委员会主任宋健,他是促成哈佛中国项目(Harvard China Project)于 1994 年成立的关键人物,哈佛中国项目的宗旨是支持中美学者合作,就中国高速工业化进程所带来的重大挑战进行深入探讨并提出应对策略;曲格平,他自哈佛中国项目成立伊始就一直担任资深顾问;解振华,感谢他在过去 16 年中的睿智指导以及他在中国乃至近来在国际舞台上对环境问题上所起的领导作用;郝吉明,感谢他在创建清华和哈佛两校之间无与伦比的密切关系所起到的至关重要的作用。我以能与这四位杰出的学者为友而深感自豪。

我还感谢我的朋友和同事,王聿绚教授和鲁玺博士,他们倡议并组织了本书从英文原版到中文的翻译工作。

## 致 谢

几年前,我应同事弗雷德里克·阿伯内西教授的要求,与他合开一门关于能源、技术和环境的新课程,主要面向非理工方向的哈佛本科生。弗雷德的知识面非常广,他不仅是工程技术方面的专家,而且对现代工业社会的发展过程也非常了解。我在与弗雷德的合作过程中学到了很多,与他的合作经历使我产生了写本书的想法。我非常感谢弗雷德的鼓励和多次与他进行的富于启发性的交流。

我要感谢其他一些同事,尤其是詹姆斯·安德森教授、保罗·马丁教授、露丝·雷克教授、丹尼尔·施拉格教授、弗兰斯·斯备番和理查德·威尔逊教授。他们不仅花了很多时间阅读书中内容,他们的建议也促进了我个人知识的积累。这里要特别感谢哈佛大学环境中心主任,丹(译者注:丹尼尔·施拉格教授)。哈佛大学环境中心资助的能源论坛召集了来自政府、学术界以及工业界的优秀能源专家,使我有机会与他们进行广泛的讨论。还要感谢一些非学术界的朋友,包括乔治·科莫、唐纳德·福特、莫顿·迈尔森以及可敬的西蒙·厄普顿,感谢他们抽出时间来阅读我早期的部分手稿,他们的提问还促使我把本书写得更具有针对性。要特别感谢我的儿子斯蒂芬·麦克尔罗伊。我们就关于能源的很多实际问题进行了有益的讨论,他的那些事半功倍的观点也使我受益匪浅。

如果没有我身边的同事和学生的帮助,我几乎是不可能完成本书的。特别要感谢鲁玺、倪世琪和王聿绚。聿绚总是能可靠地回应我众多的帮忙请求,甚至当她离开哈佛大学到清华大学担任环境科学与工程系教授之后也还是如此。感谢雨果·比克曼,尽管他参与本书的写作工作较晚,但他帮助我准备了书的索引以及其他一些重要资料;感谢劳伦斯·塔伊,他在本书写作的开始阶段担任了我的研究助理;感谢塞西莉亚·麦科马克,由于她的可靠帮助才使我的一切工作能够有条不紊地进行。还要感谢参与我能源讨论课程的那些多才多艺的本科生们,感谢他们阅读我的手稿并提出评价。最后,却是很重要的一点是要感谢美国国家自然科学基金,感谢它40年来对我在哈佛研究工作的持续的资助,最近一次资助的项目号是ATM-0635548。

# 目 录

序

译者序

前言

中文版致谢

致谢

<b>第 1 章 导言</b> .....	1
1.1 背景 .....	1
1.2 地球历史概要 .....	2
1.3 生命历程 .....	6
1.4 人类的出现 .....	8
<b>第 2 章 从采集/狩猎到英国工厂</b> .....	14
2.1 引言 .....	14
2.2 农业的起源 .....	16
2.3 灌溉和美索不达米亚文明的发展 .....	19
2.4 埃及文明的出现 .....	21
2.5 气候变化与文明的衰落 .....	21
2.6 文明的复兴 .....	24
2.7 米诺斯和迈锡尼文明 .....	24
2.8 古希腊的出现 .....	25
2.9 来自东方的挑战 .....	26
2.10 亚历山大大帝 .....	27
2.11 罗马的出现 .....	28
2.12 犹太教与基督教 .....	31
2.13 伊斯兰教 .....	33
2.14 维京人 .....	35
2.15 欧洲的文艺复兴 .....	38
2.16 探险时代 .....	41
2.17 宗教改革 .....	44
2.18 荷兰和英国的出现与兴起 .....	47
2.19 结束语 .....	54



参考文献 .....	58
<b>第 3 章 什么是能量？我们如何度量能量？</b> .....	60
3.1 基础性思考 .....	60
3.2 进一步的思索 .....	65
3.3 我们从太阳获得了多少能量？ .....	66
3.4 结束语 .....	70
参考文献 .....	71
<b>第 4 章 木材、光合作用与碳循环</b> .....	72
4.1 引言 .....	72
4.2 光合作用吸收太阳能 .....	73
4.3 碳循环 .....	76
4.4 结束语 .....	79
参考文献 .....	80
<b>第 5 章 煤炭的来源、历史与问题</b> .....	81
5.1 引言 .....	81
5.2 不同种类煤炭的来源及能值 .....	83
5.3 煤炭使用的历史 .....	85
5.4 燃煤带来的环境问题 .....	88
5.5 结束语 .....	94
参考文献 .....	94
<b>第 6 章 石油的性质、来源、历史、问题及前景</b> .....	95
6.1 引言 .....	95
6.2 原油的化学组成及其产品 .....	97
6.3 原油的形成 .....	99
6.4 石油使用的历史 .....	101
6.5 石油带来的环境问题 .....	109
6.6 石油未来展望 .....	113
6.7 结束语 .....	116
参考文献 .....	117
<b>第 7 章 天然气的形成、历史和未来</b> .....	119
7.1 引言 .....	119
7.2 历史 .....	121
7.3 基础设施 .....	122
7.4 消费、生产及储量 .....	127
7.5 结束语 .....	130

---

参考文献	130
<b>第 8 章 水能和风能</b>	131
8.1 引言	131
8.2 新英格兰地区工业革命早期的水力使用	133
8.3 水力发电	139
8.4 从太阳能到风能	143
8.5 风力发电的现状和未来	145
8.6 结束语	155
参考文献	156
<b>第 9 章 核能</b>	157
9.1 引言	157
9.2 核裂变	158
9.3 核能历史	164
9.4 未来核能的挑战	167
9.5 未来核能的前景	170
9.6 结束语	172
参考文献	174
<b>第 10 章 蒸汽动力</b>	175
10.1 引言	175
10.2 水的性质	176
10.3 从萨弗里到瓦特	179
10.4 蒸汽和铁路的发展	187
10.5 蒸汽动力船舶	190
10.6 结束语	192
参考文献	195
<b>第 11 章 电能</b>	196
11.1 引言	196
11.2 电的基本知识	196
11.3 电报和电话	208
11.4 爱迪生,电灯泡和分布式电力的发展	212
11.5 关于直流电与交流电的辩论	216
11.6 结束语	219
参考文献	222
<b>第 12 章 汽车、卡车和内燃机</b>	223
12.1 引言	223

12.2	内燃机	225
12.3	美国汽车工业的早期历史	227
12.4	第二次世界大战后的发展	232
12.5	近期发展和未来前景	236
12.6	结束语	239
	参考文献	241
<b>第 13 章</b>	<b>全球气候变化的挑战</b>	<b>242</b>
13.1	概述	242
13.2	大气成分的变化	245
13.3	辐射强迫	250
13.4	全球变暖潜能值	253
13.5	全球变化的重要记录	258
13.6	未来展望	261
13.7	结束语	264
	参考文献	265
<b>第 14 章</b>	<b>碳捕集与封存技术的前景</b>	<b>266</b>
14.1	引言	266
14.2	碳捕集技术	268
14.3	碳封存技术	272
14.4	从大气中捕集 CO <sub>2</sub> 的前景	280
14.5	结束语	281
	参考文献	282
<b>第 15 章</b>	<b>生物乙醇：替代汽油的新燃料？</b>	<b>284</b>
15.1	引言	284
15.2	玉米乙醇	286
15.3	甘蔗乙醇	294
15.4	纤维素乙醇	296
15.5	结束语	301
	参考文献	303
<b>第 16 章</b>	<b>当今能源利用模式</b>	<b>305</b>
16.1	引言	305
16.2	美国的能源使用	306
16.3	英国的能源使用	308
16.4	加拿大的能源使用	311
16.5	中国的能源使用	313

---

16.6 结束语	315
参考文献	316
<b>第 17 章 低碳能源未来展望</b>	<b>317</b>
17.1 引言	317
17.2 节约能源	317
17.3 车用替代燃料	321
17.4 风力发电	322
17.5 太阳能发电	325
17.6 地热发电	328
17.7 交通部门电气化	329
17.8 电能系统	331
17.9 结束语	332
参考文献	334
<b>附录 本书中非法定计量单位与法定计量单位的对照和换算表</b>	<b>335</b>
<b>索引</b>	<b>337</b>