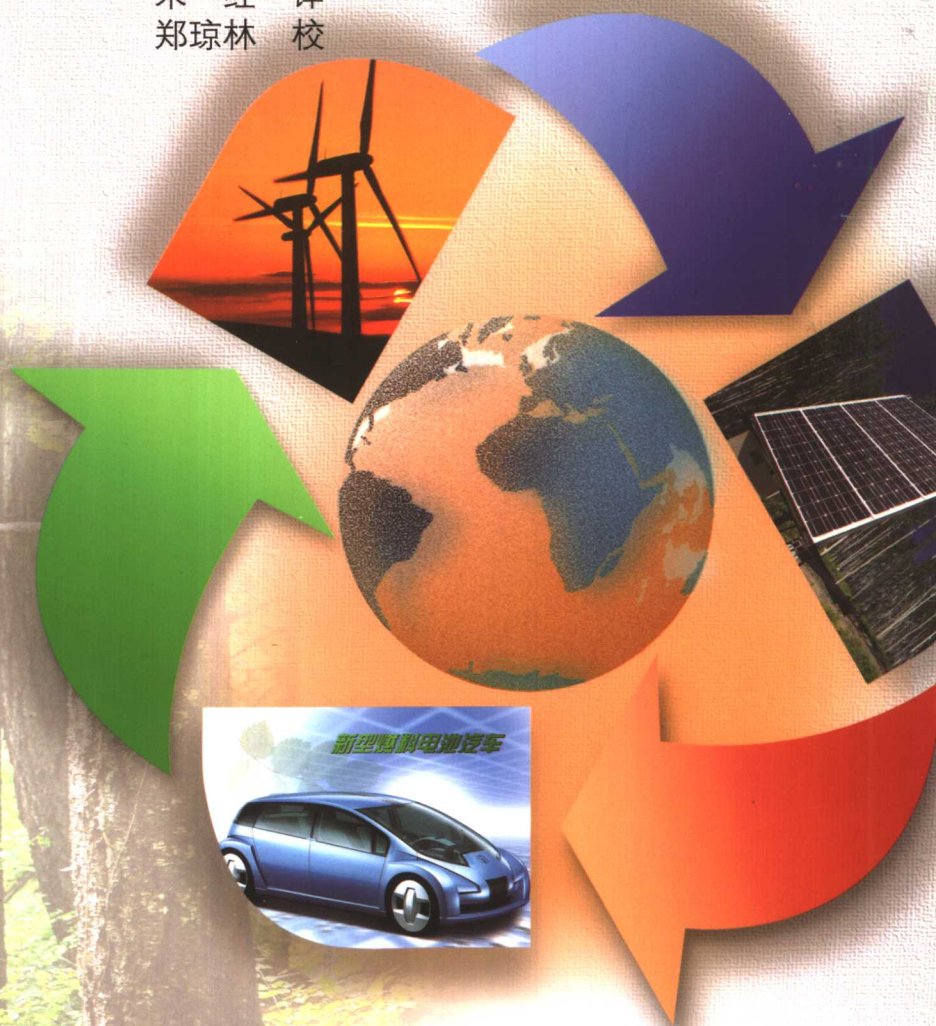


可 再生能源开发应用技术丛书

Technology
实用技术

可再生能源开发技术

〔美〕 保罗·克留格尔 著
朱 红 译
郑琼林 校



科学出版社

www.sciencep.com

可再生能源开发应用技术丛书

可再生能源开发技术

〔美〕 保罗·克留格尔 著
朱 红 译
郑琼林 校

科 学 出 版 社

北 京

图字: 01-2006-7054 号

内 容 简 介

本书是“可再生能源开发应用技术丛书”之一。开篇简述人类社会发展的基本规律,依此引出人类社会对能源的依赖性和矛盾性,并对人类发展过程中已利用的、正利用的和将利用的能源作了系统的介绍。在后续的章节中,具体地介绍了化石能源中的煤、石油和天然气的使用情况,化石能源的可持续性和化石能源消耗对环境的影响;对具有可持续性的核能、太阳能、生物能等新能源的发展情况也作了详细阐述。对最具有潜力的氢能进行重点介绍,说明了氢的来源、用途及其利用方式,并描绘出使用氢能的美好前景。

本书可作为大学本科生对能源世界认知的入门教材,也可作为能源、化学、汽车等领域研究技术人员的参考用书,还可供相关领域管理者参考。

书名原文: **Alternative Energy Resources: The Quest for Sustainable Energy**

ISBN: 0-471-77208-9

Copyright © 2006 by John Wiley & Sons Ltd.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Ltd.

图书在版编目(CIP)数据

可再生能源开发技术/(美)保罗·克留格尔(Paul Kruger)著;朱红译;
郑琼林校. —北京:科学出版社,2007

(可再生能源开发应用技术丛书)

ISBN 978-7-03-018820-5

I. 可… II. ①保… ②朱… ③郑 III. 可再生能源-技术 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 048640 号

责任编辑:赵方青 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 祥

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

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

*

2007年5月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007年5月第一次印刷 印张: 12 1/4

印数: 1—4 000 字数: 225 000

定 价: 29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

科学出版社

科龙书友服务卡

亲爱的读者：

为了提高我们的图书质量以及选题策划水平，也使我们更好地为您服务，请您填写以下信息。我们会根据您的需要，定期地给您提供科龙图书目录。

姓名：_____ 电话：_____ 传真：_____

电子信箱：_____

工作单位：_____ 邮编：_____

地址：_____

教育程度：初中(中职)☐ 高中(高职)☐ 本科☐ 硕士☐ 博士☐

职业：技术人员☐ 科研人员☐ 教师☐ 学生☐

曾购买科龙图书书名(条码上方有标注“东方科龙”)：

_____ ISBN 7-03-_____

_____ ISBN 7-03-_____

对本书评价：_____

期望和要求：_____

所从事专业领域：_____

非常感谢您购买科龙图书，若您发现书中有误，请您填写以下勘误表，以便再版时及时更正，进一步提高本书的质量。

勘 误 表

页 码	行 数	错 误	修 改

备注：我公司承诺对于读者所填的信息给予保密，只用于我公司的图书质量改进和新书信息快递工作。已经购买我公司图书并回执本“科龙书友服务卡”的读者，我们将建立服务档案，并给予直接从我公司邮购图书 95 折免邮费的优惠。

回执地址：北京市朝阳区华严北里 11 号楼 3 层

科学出版社东方科龙图文有限公司电工电子编辑部(收)

邮编：100029



译者序

可持续发展是当今世界的热点话题之一,能源的可持续发展是世界可持续发展的最重要部分之一。能源是人类社会发展的基石,人类文明的发展与能源的利用是密不可分的。但是在人类充分利用各种能源以发展自身的同时,也产生了诸多矛盾,例如人口增长后能源需求与能源供应的矛盾,能源消耗与生态环境恶化的矛盾等等。可以说能源的可持续发展与人类在未来环境的生存和发展息息相关。

近年来,世界各国政府、国际组织和相关学者已经为能源的可持续发展作出了巨大努力和贡献。为使广大科学工作者、管理者以及青年一代能够全面了解能源的发展史、能源与人类社会的关系,以及能源可持续发展的重要性,科学出版社将本书的中译本出版发行献给广大读者。

本书对人类社会与能源之间的关系以及各种可利用能源进行了详细介绍。本书内容详实全面,层次分明,逻辑紧密。首先从哲学角度阐述人类社会发展的共性 & 需求,然后从科学的角度描述能源对人类社会发展的 <重要性>。既从理论上对各种能源的来源、利用方式、利用效率和对生态环境的影响情况作了详尽的介绍,还根据实践经验和实例说明能源利用的方式以及对生态环境的影响。该书反映了当今能源利用的最新进展,体现了未来能源使用的发展方向。

本书原著由美国斯坦福大学的保罗·克留格尔博士编写,约翰·威利出版社出版发行。保罗·克留格尔是斯坦福大学教授,从事能源与环境影响方面的研究工作已有 40 年之久,在该领域具有很高的造诣。

本书由北京交通大学朱红教授翻译,北京交通大学教授郑琼林教授对全书进行了认真详细的校订。

在翻译过程中,本研究所的部分研究生,特别是王芳辉、张永明和邹静等参与了部分章节的翻译工作,付出了辛勤劳动。在此成书之际,特向他们表示诚挚的谢意。

科学出版社对本书的翻译给予了大力的支持和帮助,在此对他们的关心和辛勤劳动表示衷心感谢。

由于译者的能力和水平有限,加之时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

译者

序 言

能量供应在最近几年再次引起我们的关注。对能量供应的关注主要体现在三个方面:①对能源的可利用性和可持续性的思考;②对日益月滋的全球需求的分析;③对新风险(新的极端主义、恐怖主义的出现和自然灾害发生后这种风险逐渐凸显出来,这也是导致美国对中东政策动态变化的原因。且引起这些问题的原因是毫无关联,几乎没有任何共同点的。)的担忧。

在希望面前,我们的担忧显得有些多余,完全可以利用新技术来实现,如燃料电池和可再生能源等,就是我们的希望所在。基于此,克留格尔博士编写的这本书非常实用,对那些充满求知欲的学生来讲也很及时。

本书是围绕人类永不停止地对充足能源的寻求这个主题展开的,它以能源寻求的三个定律作为开端,分析了当前正在开发的能源的情况。本书主要介绍三个大规模能源以满足呈指数增长的电能需求,以及氢——作为当前运输用可替代燃料和产生电能的燃料电池的燃料。叙述氢能潜力的部分主要介绍了这种作为燃料可替代能源的需求状况,实现其社会效益的时间,以及作者认为的成为未来能够提供所需能量的主要可用能源。本书的数据提供了足够的信息,使人们能够评估什么才是合适的过渡目标。

克留格尔博士在本书内容的安排上增加了可替代能源的讲解。这些可替代能源包括:可利用的和正要利用的两类资源,后者代表了最新的技术和经济信息。本书还讨论了各种能源的环境效益和对健康的影响。这些效益也可以量化得更清楚,因为在近几十年中,使用何种能源的选择方向的成本已经变得更清楚。

对于那些从事发展方向研究和政策制定者来说,本书具有很高的参考价值。本书所讲解的知识不仅能用于避免错误方向的选择,而且也能通过不采取或放弃适当的一些步骤以减少达到最终目标的成本。

克留格尔博士是斯坦福大学荣誉退休教授,他已经在这个主题上研究和教学40余载。他在能源与环境方面的研究成果影响和帮助了整个20世纪90年代南海岸空气质量管理局的工作。那时,我们在与洛杉矶地区的烟雾和臭氧排放作“斗争”,并一直在探索可能的最清洁燃料技术。

正是由于这个关系,克留格尔博士在南海岸空气质量管理局的工作经验对他在转入新技术领域后的研究(即能量使用过程中产生的各种影响)很有帮助。大多

序 言

数经济评论都是趋于静态的,如在某一点上及时地进行数与数和事件与事件的比较。而将要执行的政策和技术的结合点在宏观水平上是动态变化的,并受新技术的影响,而且还与能量需求的宏观变化途径,倘若现在不开始会是什么样的延迟以及成本有关。讨论成百上千甚至成千上万辆的可替代燃料车(例如,燃料电池混合动力车)只是问题的一个方面,因为他们只是在个别区域或个别国家内得到非常明显的应用,如在美国数百万辆这种车正在使用。既然我们不想为小规模的使用而制定相关政策,克留格尔博士所做的关于氢燃料在国家范围乃至世界范围内使用的动态模型就很值得关注。从克留格尔博士那里你可以得到关于能量需求的不同理论,而他也会引导你去建立模型和思考其他更多的已经得到证实的结论。

我们正在做这些事情,希望你们也加入其中!

艾伦·C. 劳埃德博士
加利福尼亚环境保护署

前 言

大学本科生毕业时年纪较轻,主要集中在 20 岁左右,但是他们通常将会经历数十年多变的职业生涯直到在 70 多岁退休。在这 50 多年中,所能看到的一个显著的变化是人类持续寻求到的能源的转变。体现在运输业的主要变化是,从以石油作为燃料(导致资源的损耗和向空气中排放的污染物日益增加)的内燃机到使用新技术(例如,燃料电池)和新燃料(如氢,它的大规模生产已经能够得到保证,而且向空气中排放的污染物几乎可以忽略)的发动机的变化。氢燃料使用的意义是平稳地过渡到双能量载体系统:一个是利用电能,主要集中于静态的电能利用(例如,居民、工业和商业点);另一个是用作运输业的燃料。在现有大量基础设施的基础上,这两种能量载体方式可以根据需要很方便地进行转换:通过电解将电能转化为氢或者通过燃料电池中氧化氢将氢转化为电能。

本书源自于课堂笔记,比较适合作为大学一年级和二年级学生的教科书,也可以作为想深入了解此方面内容和可能涉足该领域的成年人的再教育用书。氢作为大规模燃料的发展目前还处于初期阶段,要想在全球推广使用氢燃料估计还需要 50 年的技术推广过渡期。本书将这个过渡期的宽阔画卷分成三个部分来展现:①人类寻求大量能源的背景分析;②对地球上化石燃料有限性和地球吸收大规模废弃物能力有限性认识的提高,废弃物会污染脆弱的环境;③运输用燃料从化石燃料过渡到氢燃料的过程中的潜在趋势。

本书的主要读者对象是大学本科生(和成年人),希望 20 岁左右的学生能够早日意识到他们有机会在全世界范围内实现可持续能源供应的目标,并且此类能源所产生的环境影响无论是对于局部地区还是全球都是可以接受的。现在需要大量的不同层次的专业人才去发展此技术和社会基础设施,将限制人们选择自由的规则减到最低的程度,并能够实现寻求充足能源的目标。

保罗·克留格尔
斯坦福,CA,2004

目 录

第 1 章 太空船地球上的人类生态学	1
1.1 引 言	1
1.1.1 定律(1)	1
1.1.2 定律(2)	4
1.1.3 定律(3)	5
1.1.4 能源寻求的哲学问题	6
1.2 人类生态学的发展	7
1.2.1 人类历史上的主要时代	7
1.2.2 生物圈:“太空船地球”	8
1.2.3 增长的极限	8
1.3 小 结	10
参考文献	11
 第 2 章 能源的寻求过程	 12
2.1 历史背景	12
2.2 工业化国家的特征	14
2.2.1 充足能量流	14
2.2.2 不可再生能源和可再生能源	16
2.3 指数增长动力学	17
2.3.1 线性增长	17
2.3.2 指数增长	18
2.3.3 倍增时间	18
2.3.4 指数增长情况	19
2.3.5 通过回归分析计算增长率	21
2.4 当前能耗的增长	22
2.4.1 能耗趋势	22
2.4.2 能量密度	24
2.4.3 能量密度规划	24

目 录

2.4.4 未来一次能源消耗规划	25
2.5 小 结	26
参考文献	26

第 3 章 化石燃料时代 27

3.1 历史背景	27
3.1.1 从 1990 年开始美国的化石燃料消耗	28
3.2 化石燃料	29
3.2.1 煤	29
3.2.2 煤热值	30
3.2.3 原油	30
3.2.4 天然气	31
3.3 美国到 2025 年的能耗预测	31
3.4 化石燃料还能维持多久	33
3.4.1 化石燃料储量的估计	34
3.4.2 McKelvey 图表	34
3.4.3 有限资源的产量	37
3.4.4 逻辑产量曲线法	37
3.5 发电用化石燃料需求的增长	40
3.6 小 结	42
参考文献	43

第 4 章 能源的可持续性 44

4.1 可持续经济发展	44
4.1.1 可持续能源发展的指示器	45
4.1.2 可持续能源供应	45
4.2 电能需求的可持续性	45
4.2.1 电子生活方式	46
4.2.2 大陆超电网	46
4.2.3 氢燃料时代	47
4.3 可持续能源中的天然气	48
4.3.1 石化用途的天然气	49
4.3.2 美国天然气消耗增长	49
4.3.3 到 2025 年的天然气消耗预测	50

4.3.4 天然气的供应和储量	52
4.4 天然气在发电中的份额	53
4.5 作为能源的天然气的可持续性	55
4.6 非化石能源	57
4.6.1 可替代(非化石)能源燃料使用的增长	57
4.6.2 非化石燃料供应预测	58
4.7 小 结	58
参考文献	59
第 5 章 能源消耗对环境的影响	60
5.1 历史背景	60
5.2 环境影响因素	60
5.2.1 数量和严重性的关系	61
5.2.2 环境威胁的后果	61
5.2.3 数量和严重性分析的假定例子	62
5.3 温室效应传奇	64
5.3.1 传奇的成分	65
5.4 汽车尾气的局部空气污染	73
5.4.1 烟雾的环境影响	75
5.4.2 光化烟雾中的氮氧化物	75
5.4.3 氮氧化物的数量-严重性问题	76
5.5 运输业的空气质量改进值	76
5.6 洛杉矶空气区域的一些数据	78
5.7 小 结	78
参考文献	79
第 6 章 核能时代	80
6.1 历史背景	80
6.2 核科学的基本元素	81
6.2.1 原子核	81
6.2.2 同位素组成和丰度	81
6.2.3 原子质量	82
6.2.4 质量与能量的等价	82
6.2.5 键 能	83

目 录

6.2.6 核稳定性	84
6.2.7 放射性衰变的类型	85
6.2.8 放射性核素的性质	86
6.3 核动力的基本元素	87
6.3.1 核裂变	88
6.3.2 铀燃料中的可利用能量	88
6.3.3 核能反应堆	89
6.3.4 轻水铀燃料环链	92
6.3.5 IV代核反应堆	93
6.3.6 核安全	93
6.3.7 核废料	94
6.4 地球上的奥克劳自然核反应堆	95
6.5 热核聚变	96
6.6 小 结	97
参考文献	97

第7章 可再生能源资源 98

7.1 可再生能源	98
7.1.1 可再生能源的种类	98
7.1.2 可再生能源的消耗	99
7.2 水力发电能	100
7.3 太阳能	103
7.3.1 太阳常数	103
7.3.2 太阳能“储备”	104
7.3.3 太阳能发电	105
7.4 风 能	109
7.4.1 风能功率	109
7.4.2 风力涡轮机的转换效率	111
7.4.3 风能资源	113
7.4.4 风能发电的成本估计	113
7.5 生物质能	115
7.5.1 太阳生物质资源	115
7.5.2 生物质转化过程	116
7.5.3 生物能燃料的环境因素	118

7.6 其他可再生能源资源	118
7.6.1 潮汐能	118
7.6.2 地热能	119
7.7 小 结	121
参考文献	121
第 8 章 能量载体——氢	123
8.1 历史背景	123
8.1.1 氢的物理性质	123
8.1.2 氢的化学性质	124
8.1.3 氢的热力学	125
8.2 氢能和电能作为平行的能量载体	125
8.2.1 使用氢的理由	126
8.2.2 氢的竞相使用	127
8.3 氢能燃料环链	127
8.3.1 氢能的制备	127
8.3.2 氢能的存储	135
8.3.3 氢的分布	137
8.3.4 氢燃料的综合利用	138
8.3.5 氢燃料的成本因素	141
8.4 小 结	141
参考文献	143
第 9 章 运输设备中的燃料——氢	145
9.1 历史背景	145
9.1.1 氢能在航空中的应用	145
9.1.2 氢能在船舶技术上的应用	145
9.2 运输车辆中的氢燃料电池	146
9.2.1 燃料电池应该是什么	146
9.2.2 微量热力学	148
9.2.3 氢气作为运输燃料的原因	149
9.2.4 氢燃料汽车的应用类型	151
9.3 氢燃料电池车	151
9.3.1 燃料电池可供选择燃料的特征	153

目 录

9.3.2 甲醇燃料电池	154
9.3.3 天然气作为运输燃料	154
9.4 还需要什么	155
9.5 小 结	156
参考文献	157

第 10 章 氢燃料时代 158

10.1 时代背景	158
10.2 空气质量提高的潜能	158
10.2.1 排放标准	158
10.2.2 影响机动车排放物的因子	160
10.2.3 加利福尼亚州排放物标准的历史	161
10.3 受益于氢能燃料运输的健康建模	162
10.3.1 对三个城市氢能空气质量研究模型的发展	162
10.3.2 东京市的空气质量研究	165
10.4 氢燃料对电能的需求	168
10.4.1 基于已有数据推算 2010 年的运输燃料	169
10.4.2 氢能燃料和电能的需求增长：2010—2050 年	171
10.5 一种可持续能量供应的未来前景	174
10.5.1 能量资源的潜在分布	174
10.5.2 解决僵局的可能性	176
10.6 结束语	177
10.7 小 结	177
参考文献	178

第 1 章 太空船地球¹⁾上的人类生态学

1.1 引言

有史以来,人类一直在探寻可利用的资源。同民族的人们渴望共同生活在干净、安全的环境中,尤其是当其他民族由于需要更多的能源威胁到他们的时候。人们持续不断地探索日趋完善的开发能源的方法及途径,以使可利用的能源能够满足人类生活日益增长的各种需求。这种对能量持续不断的探索可以归纳出以下三个定律:

(1) 在任何给定的人口增长率条件下,总能源消耗的增长率总是大于人口增长率的值。

(2) 人类生存的基本目标是生活在一个具有丰富能源以满足需求的干净、安全的环境中。

(3) 人类社会的未来将继续沿着这种方式持续地发展下去。

由以上三个定律可以得出一个结论:即在人们找到一种比受控核裂变更有效和更高能量的能源(如受控核聚变)之前,核裂变会逐步成为人类社会的首选能源。

1.1.1 定律(1)

人类在追求舒适、安逸和健康的生活方式已经取得了历史性的进展,这些进展是由一系列日益高效(高比能量)的能源发展推动的,即从人力(自己、奴隶、雇员)到畜力(牛、骆驼、马)再到机械力(水力、蒸汽力、电力、辐射能)的发展过程。在这个发展过程中,单位“有用”功的能耗比在持续增加。因此就有了定律(1),即在既定人口增长率下,总能源消耗总是以更高的增长率来增加的。

在整个人类历史上,世界人口的变化率是不断增大的,图 1.1 为人类从旧石器时代到现代社会的 200 万年间人口的增长过程^[1]。图 1.1 着重突出了在黑暗时代的瘟疫大流行之后人口急剧增加的地质时代。

图 1.2 为从公元 0—2050 年的世界人口长期增长图,该数据是由联合国提供的^[2]。图 1.2 表明,世界人口的快速增长始于工业革命时期。

由联合国^[3]提供数据的从 1750—2050 年的最近一段时期人口增长的情况如图 1.3 所示。图 1.3 表明从 20 世纪 80 年代开始年人口增加量是下降的,即从 20 世纪

1) 巴克明斯特·富勒曾说过,地球就像太空船,依赖有限资源生存。——译者注

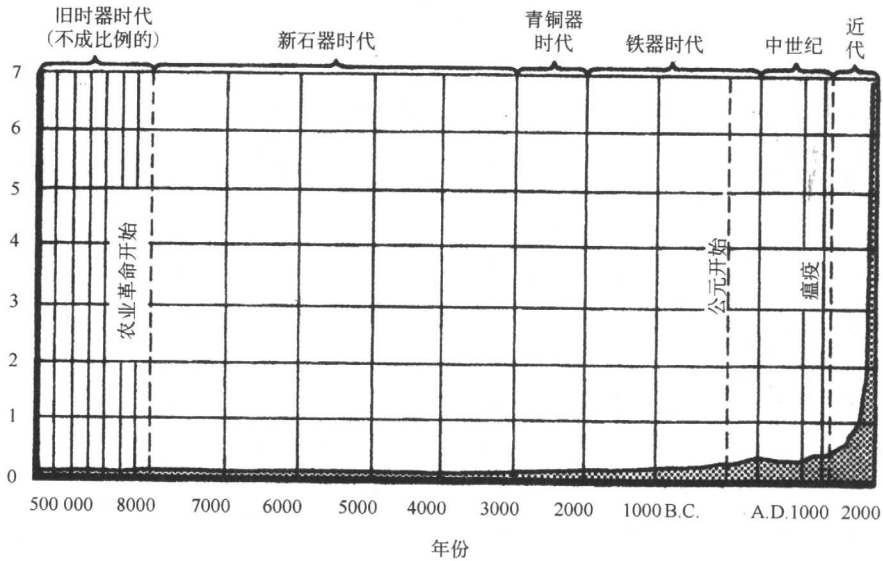


图 1.1 200 万年地球史上的世界人口变化^[1]

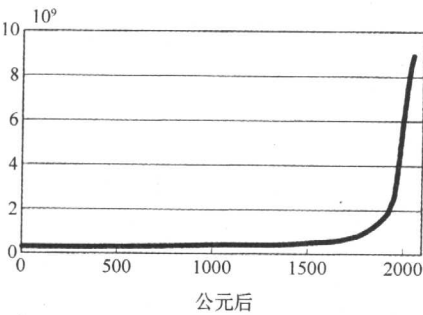


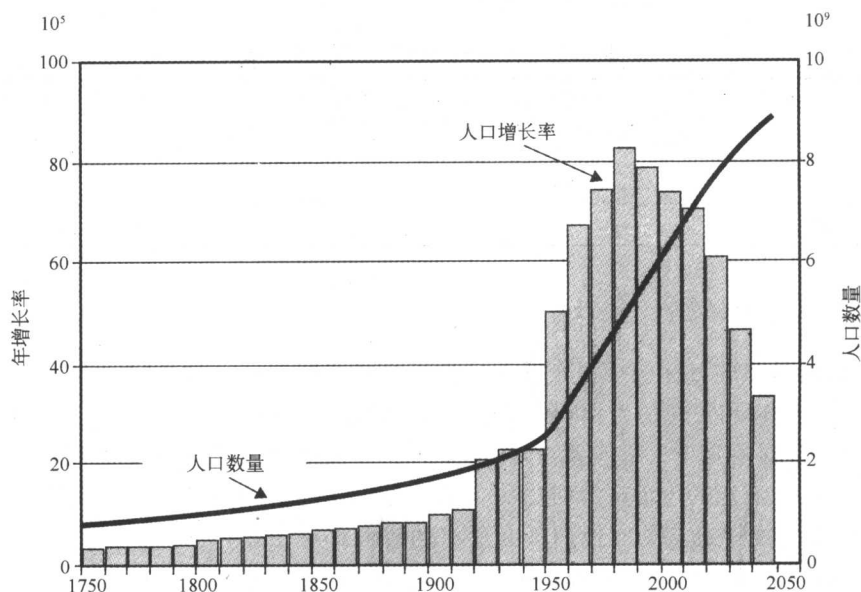
图 1.2 从公元 0—2050 年的世界人口长期增长图^[2]

80 年代的平均每年增加 8000 多万人降低到 2050 年的年增加数不足 4000 万人。在这种增长率急剧下降的情况下，2050 年的世界人口预计能达到 90 亿(2000 年为 60 亿)。

世界人口的快速增加也能够从由联合国^[2]提供数据的表 1.1 中得到证明，表 1.1 显示了自具有 10 亿人口的 1804 年起每增加 10 亿人口所需的时间间隔。表 1.1 中底部的数据是联合国根据到 2050 年年人口增长率逐年降低的情况估算出来的，表 1.1 中的数据表明人口的增长速度正在减缓。

表 1.1 世界人口的加速增长^[2]

世界人口(10 亿)	年 份	增加 10 亿人口所需时间/年
1	1804	—
2	1927	123
3	1960	33
4	1974	14
5	1987	13
6	1999	12
7	2013	14
8	2028	15
9	2054	26

图 1.3 从 1750 年到预计的 2050 年的世界人口增长图^[3]

随着人口的增加,能源消耗也相应地快速增长。表 1.2 列出了由 Fowler^[4] 和联合国^[2] 编撰的各个时期的能源消耗数据,给出了从公元前 5000 年到公元 2000 年的各个时期的人口数量(单位为 10 亿)和每一个连续时间段的人口平均年增长率(m. a. g. r.), 还给出了每个连续时间段中每天的人均能耗($\text{kW} \cdot \text{h}$)和平均能耗年增长率。史前人类每人每天消耗 $2.9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的能量只相当于他们每人每天的基本新陈代谢所需的 2500 kcal ($1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$) 热量。

表 1.2 从史前时代开始的能源消耗增长

时 期	人口/($\times 10$ 亿)	m. a. g. r. /(%/a)	每天人均能耗/($\text{kW} \cdot \text{h}$)	m. a. g. r. /(%/a)
300 000 B. C.			2.9	—
100 000 B. C.			5.0	< 0.001
5000 B. C.	~ 0.1	—	9.4	< 0.001
0 A. D.	0.3	~ 0.04		
1850 A. D.	1.3	0.08	12.0	0.004
1980 A. D.	4.4	0.94	51.0	1.1
2000 A. D.	6.0	1.6	230	7.5

表 1.3 为 1900—2000 年的人均能源消耗数据,该表中人口数据来自联合国^[2], 能耗数据来自于美国能源部的能源信息署^[5]。能量的单位是夸特($Q = 1 \times 10^{15} \text{ Btu}$, $1 \text{ Btu} = 1.55 \times 10^3 \text{ J}$), 能量密度是按人均百万 Btu(MBtu/cap)计算的。这些能量单位会在第 2 章中进一步介绍。由表 1.3 中得出重要信息,即人口从 1900—2000 年增加