



低碳经济与绿色能源丛书

风、太阳与海洋

——清洁的自然能源

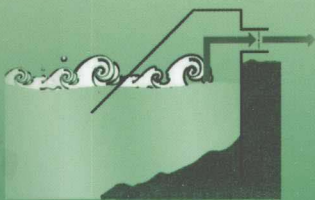
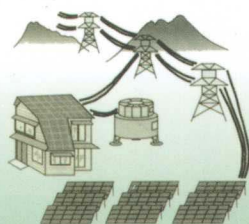
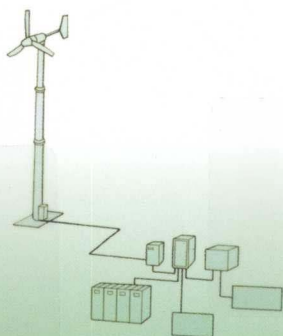
風と太陽と海

—さわやかな自然エネルギー—

日本能源学会组编

(日) 牛山 泉 等著

王毅 韦利民 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



低碳经济与绿色能源丛书

风、太阳与海洋

——清洁的自然能源

日本能源学会 组编

(日) 牛山 泉 上宫成之 长藤佳夫 横山伸也 著
上原春男 稻叶 敦 田原圣隆
王 毅 韦利民 译



机械工业出版社

本书首先要求人们对全球能源和环境问题加以关注,从而选择使用清洁的可再生自然能源。书中从可再生能源的有效利用以及解决资源枯竭问题和地球环境问题的角度出发,在全面介绍可再生能源的基础上,分述了太阳能(光伏)发电、风力发电、海洋能(含海洋温差能、波浪能、潮汐能)以及生物质能,并利用能源回收期 and CO₂ 回收期对可再生能源进行了评估。

本书可供发电厂、新能源开发、城市规划部门的技术人员阅读,还可供各级政府主管城建的领导参考,还可作为新能源技术培训用书。
Copyright © 2001 by The Japan Institute of Energy & Corona Publishing Co., Ltd.
All rights reserved.

Chinese translation rights arranged with Corona Publishing Co., Ltd. Tokyo, Japan through TOHAN CORPORATION. Tokyo, Japan.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有,翻印必究。

本书版权登记号:图字 01-2009-5470 号

風と太陽と海

书名原文:— さわやかな自然エネルギー —

图书在版编目(CIP)数据

风、太阳与海洋:清洁的自然能源/(日)牛山 泉等著;王毅,韦利民译. —北京:机械工业出版社,2010.8

(低碳经济与绿色能源丛书)

ISBN 978-7-111-31253-6

I. ①风… II. ①牛… ②王… ③韦… III. ①再生资源:能源—研究 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 130968 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张沪光 牛新国 责任编辑:张沪光

责任校对:李汝庚 封面设计:赵颖喆

责任印制:杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·7.75 印张·136 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31253-6

定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821 封面防伪标均为盗版

译 者 序

21 世纪以来,世界经济飞速发展带来的资源枯竭问题和地球环境污染问题日益显现,已严重影响到人类社会的可持续发展,成为整个人类社会所必须面对的严峻现实。太阳能、海洋能和生物质能是可再生的新能源,其有效利用不仅有利于促进经济发展,而且可协调经济发展与环境建设的关系。本书作者从可再生能源的有效利用以及解决资源枯竭问题和地球环境污染问题的角度出发,在全面介绍可再生能源的基础上,分述了太阳能(光伏)发电、风力发电、海洋能(包括海洋温差能、波浪能、潮汐能)以及生物质能,并利用能源回收期 and CO_2 回收期对可再生能源进行了评估。

本书用简单的语言使可再生能源这一专业性很强的话题简单易懂、生动有趣,是关于新能源方面最佳的培训、研究用教科书和参考书。

我国幅员辽阔,太阳能资源丰富,据估算,我国陆地表面每年接受的太阳辐射能约为 $50 \times 10^{18} \text{ kJ}$, 全国各地太阳年辐射总量达 $335 \sim 837 \text{ kJ/cm}^2$, 太阳能利用具有广阔的前景。

我国风力资源丰富,陆上 50m 高度达到 3 级以上风能资源的潜在开发量约为 23.8 亿 kW, 5 ~ 25m 水深线以内近海区域、海平面以上 50m 高度可装机容量约 2 亿 kW, 具有良好的风电发展前景。

我国是一个海洋大国,大陆海岸线达到 18000km, 500 m^2 以上的海岛 6900 多个,海域蕴藏着丰富的海洋能储量和可开发利用量,我国潮汐能可开发资源量约为 2200 万 kW, 潮流能可开发资源量约为 1400 万 kW, 波浪能可开发资源量约为 1300 万 kW, 温差能可开发资源量超过 13 亿 kW, 具有很好的开发利用前景。

我国发展生物能源具备很多有利条件,生物质资源蕴藏量丰富,有大量的农林副产品、剩余物、废弃物。我国可供开发生物能源的生物质资源至少达到 4.5 亿 t 标准煤。全国还有约 20 亿亩 (1 亩 = 666.6 m^2) 宜农、宜林荒山荒地可用于发展能源农业和能源林业。

中国作为世界上最大的发展中国家,在节能减排、调整产业结构、大力发展



循环经济方面面临着严峻的挑战，承担着艰巨的任务和使命。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中将“沿海与陆地风电场和西部风能资源密集区建设技术与装备、高性价比的太阳电池（光伏发电）及利用技术、太阳能热发电技术、太阳能建筑一体化技术、生物质能和地热能等开发利用技术”作为重点领域和优先主题。近年来，我国风电、光伏发电、海洋能利用等发展迅速，但由于种种原因，我国可再生能源利用技术与发达国家相比，仍有一定的差距。日本在太阳能发电、太阳能利用、近海风电、海洋能利用、生物质利用方面技术先进，部分领域达到世界领先水平，希望本书的出版能为国内可再生能源的利用提供帮助。

本书译者长期从事能源相关设备的技术信息管理及翻译工作，对新能源的发展有深刻的理解。本书的出版得到天水长城开关厂有限公司有关专家的大力支持与协助，在此一并表示诚挚的感谢。由于译者水平有限，如有不妥之处，诚请读者批评指正。

译者
2010年5月

原 书 序

21 世纪以来,科技文明的飞速发展带来的资源问题、人口问题、地球环境问题更加严重,成为人类必须面对和解决的重大课题。其中,与我们的生活密切相关的能源问题,不仅在更大的广度和深度上涵盖上述三个方面的问题;而且存在于经济形势变化、中东冲突等千变万化的问题之中,因此电力管制缓和、碳税(CO_2 排放税)问题、回收理论等频繁出现在每天的报纸、电视等新闻媒体之中。

另一方面,能源科技也与导电性高分子、持续快速发展的电池技术、基础科学、材料技术等息息相关,成为令人感兴趣的话题。

2002 年,日本能源学会迎来了创建 80 周年,在此之际,让我们以更广阔的视野,更高的角度,研究“能源学”的构建,以此揭开 21 世纪的开卷话题。

为构建新型规范化能源学体系,不仅需要自然学科专家,而且需要人文学、社会学的研究人员以及各领域专家共同努力。因此,诸如此类的研究,需要向下一代学生以及市民宣讲。

《21 世纪能源系列丛书》邀请一线专家执笔,该系列丛书发行的目标是“用简单的语言谈能源大问题”、“使能源尖端研究课题生动有趣”,是满足求知欲望和好奇心的趣味读物。本系列丛书是探索科技文明可持续发展的书籍,可将其用于培训教材、大学课程、研究等的教科书和参考书。另外,为更好地编辑本系列丛书后续读本,敬请读者提出宝贵意见,寄送日本能源学会。

最后,借此机会向在本系列丛书长期准备过程中进行规划、校对等编辑工作的编委会成员、学会办公室、各位作者、コロナ出版社表示由衷的感谢。

《21 世纪能源系列丛书》编委会主任委员
堀尾正鞠

前言

目前,生活于地球这颗行星上的人数已超过 60 亿,到本世纪中期,大有达到百亿之势。维持人类日常生活、文化,需要消费大量的能源。但过度的能源消耗在促进人类发展的同时,会使地球环境恶化,甚至成为威胁人类生存的因素。

在 20 世纪的 100 年间,全世界人口从 16.5 亿增长了 3.7 倍,但消费的能源以惊人的速度增长到原来的 9 倍。由于消耗的大部分能源来自矿物燃料,必然导致 CO_2 排放量的增加,因此大气温室效应不断加重。如果 21 世纪继续维持这种能源消耗增长态势,社会生活大有无法维继的危险。

因此,为了今后人类的可持续发展,由传统的矿物燃料向太阳、风之类的绿色可再生能源(即可再生能源或自然能源)的转变是能源发展的必然趋势。

但该类可再生能源涉及面极广,一个作者不可能撰写其全部内容。

因此,本书编写中选择了代表性的可再生能源,诸如太阳光、风、海洋、生物质,邀请活跃于各能源领域一线的研究人员执笔,为确认利用可再生能源能够解决能源与环境问题,对这些可再生能源从各个角度进行了调查。另外,为了使肩负 21 世纪的年轻人便于理解,本书的编写原则是高中生以上水平的读者能够完全读懂。

本书总共有 6 章。首先在第 1 章全面介绍了可再生的自然能源的利用。然后各章分述,第 2 章介绍了太阳能(光伏)发电;第 3 章介绍了风力发电;第 4 章介绍了海洋能,包括海洋温差能、波能、潮汐能;第 5 章介绍了生物质能;第 6 章对各种可再生能源进行了评估,并阐述了能源回收期和 CO_2 回收期的评估方法。

本书编写过程中,编写人员从该领域很多前辈处得到了有益的教诲。本书从以上前辈及参考文献所列作者那里获益颇多,在这里向他们表示深深的谢意。

通过多方努力,本书得以出版,如果本书能对关心可再生能源与环境问题的有识之士发挥一点点作用,作者将会感到意外惊喜。

作者代表 牛山 泉

目 录

译者序

原书序

前言

第 1 章 可再生的自然能源的利用 1

第 2 章 太阳能（光伏）发电 5

2.1 为何利用太阳能（光伏）发电 5

2.2 能源问题 5

2.2.1 能源资源枯竭 5

2.2.2 作为新型绿色能源的太阳能 6

2.3 太阳电池的进步 8

2.3.1 太阳电池的历史 8

2.3.2 太阳电池的现状 9

2.4 太阳电池の利用 14

2.4.1 太阳电池的生产量与成本 14

2.4.2 太阳电池在电子产品中的应用 14

2.4.3 太阳电池在独立电源中的应用 15

2.4.4 系统连接 16

2.4.5 新能源利用大纲 20

2.4.6 电力太阳电池普及的课题与对策 21

2.5 太阳电池的将来——GENESIS 计划 21

2.6 小结 23

参考文献 24

第 3 章 风力发电 25



3.1 风车（风力机）的历史	25
3.2 作为能源的风	28
3.2.1 获得风况数据的途径	28
3.2.2 日本风况	29
3.3 风力的利用	33
3.3.1 利用风力机获得能量	33
3.3.2 风力机的类型及特点	34
3.4 风力机业绩调查	42
3.4.1 功率系数	42
3.4.2 转矩系数	42
3.4.3 叶尖速度比	42
3.4.4 叶片稠度	44
3.5 风力机建设地的选择	44
3.5.1 环境与安全性	45
3.5.2 风力机的规模与用途	47
3.5.3 经济性	47
3.5.4 选址基准	48
3.6 风力发电的使用方法	49
参考文献	53
第4章 海洋能	54
4.1 大海是人类之母	54
4.2 海洋能与能量物质	55
4.3 海洋能的种类与特点	57
4.4 海洋温差能	58
4.4.1 海洋温度分布与海洋温差发电的可利用量	59
4.4.2 海洋温差发电的原理和周期	62
4.4.3 海洋温差发电开发简史	64
4.4.4 印度 1000kW 实验工厂概要	66
4.4.5 海洋温差发电的多功能利用及成本	68
4.5 波力发电	69
4.5.1 波能与能量	69

4.5.2 波能开发简史	70
4.5.3 波能的利用形态、分类及存在的问题	71
4.5.4 实际海域的波力装置现状	72
4.6 潮汐能	74
4.6.1 潮汐与潮汐能	74
4.6.2 潮汐能发电的原理及实例	75
4.7 洋流能与潮流能	78
4.7.1 洋流与能量	78
4.7.2 潮流与能量	79
4.7.3 能量转换方式与实例	79
4.8 小结	80
参考文献	80
 第5章 生物质能	 82
5.1 何谓生物质能	83
5.2 用生物质制造乙醇	84
5.3 生物柴油	86
5.4 生物质发电	87
5.5 用生物质产油	90
5.6 生物质的热利用	91
5.6.1 热解气体	91
5.6.2 甲烷(沼气)	92
5.6.3 纤维素类固体燃料	92
5.7 植树造林的 CO ₂ 固定效果	93
5.8 生物质种植的 CO ₂ 减排	94
5.8.1 植树造林	94
5.8.2 生物质发电	96
5.8.3 CO ₂ 减排效果	96
参考文献	99
 第6章 可再生能源的评估	 100
6.1 对可再生能源的疑问——确实能获得能量吗	100



6.2 为可再生能源利用投入的能量	101
6.3 运行多少年够本——能量回收期	106
6.4 对 CO ₂ 减排的作用——CO ₂ 回收期	107
6.5 单位面积的效率	109
6.6 对可再生能源的期望	109
参考文献	110



第 1 章

可再生的自然能源的利用

提到能源，大家会联想到什么呢？也许有人会想起初中或高中物理课程中令人头痛的势能、动能、热能等问题；也有人会想起石油危机，脑海中会浮现出抢购卫生纸的情景；也许有人会最近报纸、杂志等刊登的有关温室效应的报道，联想到矿物燃料的埋藏量、太阳能等新能源的有效利用。

但是，认为能源消费是理所当然的人难道还少吗？目前，环境问题已成为日常话题，我们应当重新认识能源问题。本书介绍的新能源，其重点是环保的自然能源。本书的目的在于使各位读者以此为基础，能够认真思考今后的能源问题。

那么，究竟什么是新能源或可再生的自然能源呢？首先让我们来了解一下日本的能源供应现状。图 1-1 给出了日本能源（也叫一次能源）的构成。日本能源资源不足，虽然以能源的多元化为目的，使用石油、煤炭、天然气、核能、水力、太阳能、地热等各种能源，但石油、煤炭、天然气等矿物燃料仍占全部使用量的 80% 以上。随着大量使用，矿物燃料的储量必然减少。而且随着其使用，会排放引发温室效应的二氧化碳气体。

那么，能否减少矿物燃料的使用呢？究竟什么是可再生能源呢？可再生能源就是太阳能，这种能源环保，使用后不会增加环境中的二氧化碳含量。照射到日本的太阳能总量为 $5 \times 10^{10} \text{ kW}$ ，是日本能源消耗量的 100 倍；照射到全球的太阳能总量为 $1.2 \times 10^{14} \text{ kW}$ ，是全球能源消费总量的 1 万倍。我们以直接或间接方式连续不断地使用太阳能，例如我们将接收太阳光而长成的树木作为柴燃烧取暖就是太阳能的间接利用。虽然这肯定属于生物质能的利用，但切记，在砍伐树木的同时应植树造林，这样生物质能作为可再生能源才能成立（虽然矿物燃

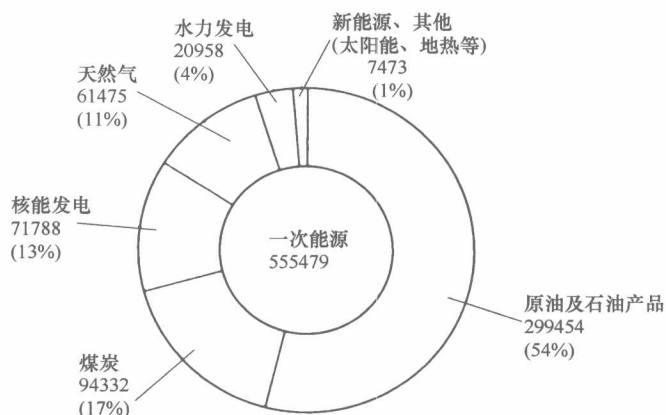


图 1-1 一次能源供应总量 (1997 年) (单位: $\times 10^{10}$ kcal)

注: 1 kcal = 4. 1868 kJ。

料可认为是曾经获得太阳能的动植物残体转变而成的物质, 但不能像树木一样再生)。

另外, 通过设置于屋顶的洗澡用太阳能热水器使用沸腾的开水, 就是人们身边直接利用太阳能的最好例证。目前, 太阳能的利用包括直接利用太阳光能的太阳电池、直接利用热能的太阳热发电, 另外还有间接利用太阳能的风能、水能、海洋能、生物质以及人工合成等各种方式, 其中部分技术已经实用化, 相信其他部分能够在不久的将来实现实用化。目前, 大部分太阳能转变为电能使用。所谓可再生能源, 就是这些能源的总称。

另一方面, 新能源也有与自然能源的重复部分, 但严格地讲是有区别的。新能源是指目前为止有效利用的能源中除矿物能源和核能以外的能源。除包括太阳光能、太阳热能、风能、海洋能、地热能、水能 (尤其是小容量发电机) 等自然能外, 还包括垃圾能源 (垃圾燃烧发电)、热电联供 (同时供电、供热的系统)、未开发能源的有效利用、燃料电池等高效发电系统。图 1-2 给出了新能源分类的汇总。太阳电池可将光能转换为电能、风力发电可将风的动能转换为电能。这里要提请注意的是, 要实现能量的高效利用, 其重点在于尽可能减小转换损耗。这是新能源开发的重点之一。

那么, 既然开发新能源, 就不需要矿物能源了吗? 图 1-3 给出了 1996 年新能源的利用业绩和 2010 年的发展目标。这里的热利用量与能源供应总量, 是按石油的单位体积能量计算出的石油 (或原油) 换算量。由此可知, 太阳能 (光伏) 发电 (即太阳电池) 量将从 5.7 万 kW 增长至 500 万 kW, 接近目前的 100

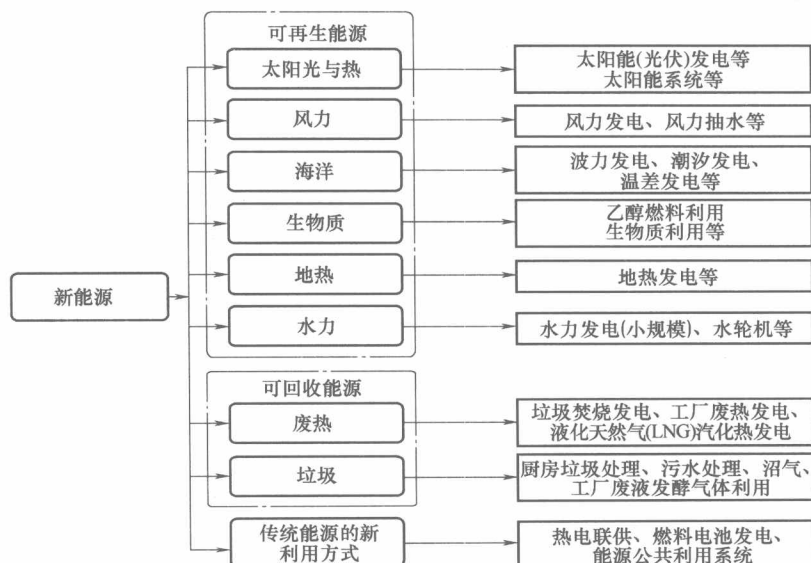


图 1-2 新能源的分类

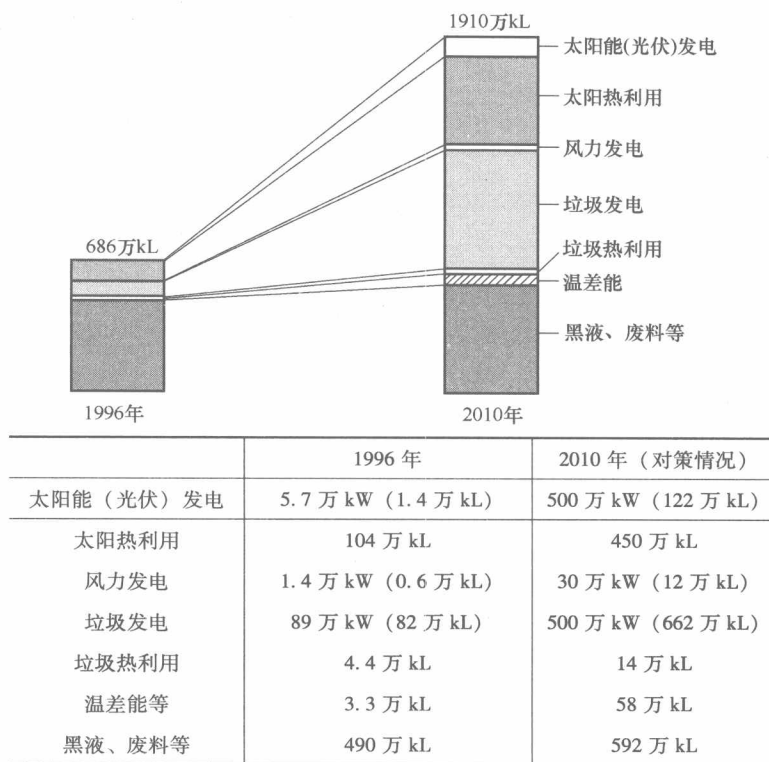
倍，以普及利用为目标。尽管新能源的总供应量达到目前的3倍，但仅占10年后能源需求量的3.1%。换句话说，在50年后，甚至100年后，新能源也许才开始发挥主要作用。但是，若考虑矿物能源的有限性以及政府提出的核能普及的困难性，希望每个人都明白新能源开发，尤其是可再生的自然能源利用的重要性。

要有效利用自然能源，需要掌握其特征。如上所述，自然能源具有使用不产生二氧化碳的绿色环保性，以及可永久使用的非枯竭性（可再生性）等优点；但另一方面同时具有能量密度低、随气候变化性大等缺点。当然，无论是太阳能电池还是风力发电，一天中不可能稳定地获得电能，而且不是日本所有地域都日照充足，也不一定能够获得发电所需的稳定风速。也许日本就不适合利用自然能。另外，目前为了推广新能源，政府虽然提供了大量的援助，但要与传统发电系统竞争，需要在经济性方面进一步努力，以提升其竞争能力。

带着这些问题，很多研究人员、技术人员怀着技术普及的梦想，夜以继日地投入了研究开发。从下一章起，将邀请各领域专家，对自然能源中的太阳能、风能、海洋能、生物质能分别进行介绍，便于读者理解。另外，在最后一章，将对这些新能源用客观科学的态度进行评估。各位读者难道不想以此为基础考虑今后能源的发展吗？



也许各位读者会对本书内容有疑问、意见或反对本书观点。如果您与日本能源学会（地址后附）联系，我们将很负责地回答有关问题。



注：参考《综合能源调查会长期能源供需预测》

图 1-3 新能源利用业绩与利用目标



第 2 章

太阳能（光伏）发电

2.1 为何利用太阳能（光伏）发电

进入 21 世纪后，世界的发展即将迎来全球较大的转折期。即面对地球环境问题这一难题，全球将向波涛汹涌的 21 世纪驶航。除地球环境问题外，还存在能源枯竭问题。

要化解这些难题，不能沿用以往的观点，需要构筑面向未来的新思维框架（体制改革），向适应新时代的社会体制与生活方式转变。具体地说，必须要实现从目前大量消费、大量废弃的体制向所谓“零排放”的不产生垃圾的体制转型。

这里将以向新时代转型中作为新时代旗手而引人注目的太阳电池为主，介绍其作为地球环境问题解决方案和 21 世纪能源的应用前景。

2.2 能源问题

2.2.1 能源资源枯竭

如图 2-1 所示，从地球能源资源量（探明储量）考虑，煤炭、石油、天然气等矿物燃料的消费，已经走到了死角。即使保持现有的能源消费水平，预期 200 年内地球上的矿物燃料会枯竭。另一方面，虽然有人认为由于探明储量增长而无需担忧，但这是错误的。即使加上极限储量，如图 2-2 所示，需要考虑将来



人口增长因素。即由于世界人口与人均能源消费量的增长叠加，如图 2-3 所示，预期今后能源消费量会爆炸式增长。而且，大概到 2020 ~ 2030 年，人类所需能源总量与矿物燃料的生产量之间会产生较大的短缺，这就是所谓的能源短缺。要解决能源短缺问题，就需要开发新能源。

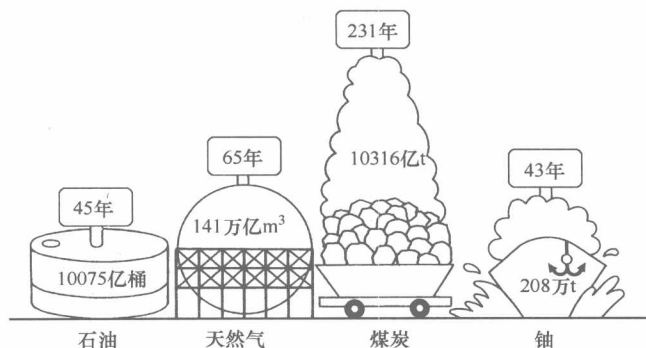


图 2-1 全球矿物燃料的埋藏量

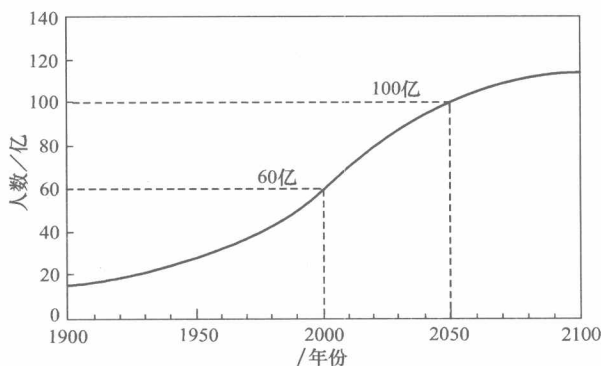


图 2-2 全球人口增长预测

2.2.2 作为新型绿色能源的太阳能

由于地球环境问题与能源资源枯竭等原因，我们需要开发丰富、安全的新能源替代矿物燃料。从这种意义上讲，太阳能具有绿色环保、取之不尽、无论世界何处都能使用的特点，是最理想的能源。照射到地球上的太阳能，达到每秒 $1.7 \times 10^{14} \text{ kW}$ ，地球每小时获得的太阳能可满足全球全年的能量需求。另外，太阳的寿命比人类历史长很多数量级，因此太阳能可作为半永久性能源。