高职高专“十二五”规划教材——机械电子系列



太阳能光伏电池实用技术

张兵 ◎主编

TAI YANG NENG GUANG FU DIAN CHI SHI YONG JI SHU

西苑出版社

高职高专“十二五”规划教材
机械电子系列

策划编辑：汪　林
责任编辑：周美萍
装帧设计：倪　翔

ISBN 978-7-80210-921-6
9 787802 109216 >
定价：36.00元

高职高专“十二五”规划教材——机械电子系列

太阳能光伏电池实用技术

主　编 张　兵

副主编 陈　亮 赵小金

西苑出版社
XI YUAN PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

《太阳能光伏电池实用技术》从社会发展和生态保护以及能源需求角度出发，阐述光伏利用太阳能的必然性与重要性。本着由浅入深的原则，系统地介绍了太阳能电池技术的相关知识内容。《太阳能电池基础与应用》可作为高等院校高年级学生、研究生的教材或参考书，也可作为光伏电池、光电子器件科学及相关技术领域的科研人员、工程技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

太阳能光伏电池实用技术/ 张兵主编. -- 北京 :西苑出版社, 2011.7
ISBN 978-7-80210-921-6

Ⅰ. ①太… Ⅱ. ①张… Ⅲ. ①太阳能技术－高等学校－教材 Ⅳ. ①Q730

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 837120 号

太阳能光伏电池实用技术

主　　编　张兵
出版发行　西苑出版社
通讯地址　北京市海淀区阜石路 15 号　　邮政编码：100143
电　　话：010-88624971　　传　　真：010-88637120
网　　址　www.xycbs.com　　E-mail: xycbs8@126.com
印　　刷　北京上元柏昌印刷有限公司
经　　销　全国新华书店
开　　本　787mm×1092mm　1/16
字　　数　390 千字
印　　张　15
版　　次　2011 年 7 月第 1 版
印　　次　2011 年 7 月第 1 次印刷
书　　号　ISBN 978-7-80210-921-6
定　　价　36.00 元

（凡西苑版图书如有缺漏页、残破等质量问题，本社邮购部负责调换）
版权所有　翻印必究

前　言

《太阳能光伏电池实用技术》从社会发展和生态保护以及能源需求角度出发，阐述光伏利用太阳能的必然性与重要性。本着由浅入深的原则，系统地介绍了太阳能电池技术的相关知识内容。本书的主要特点有：

（1）基础知识与新技术相结合。本书在教材内容上进行了精心挑选，既重视基础知识的提炼和更新，又介绍了太阳能电池技术的发展和现状，使基础知识与新技术有机地结合起来。让学生既学到了扎实的基础知识，又了解了新技术。

（2）理论与实际相结合。本书引入太阳能电池技术在工程上的应用实例，使学生从抽象的理论跃进看得见、摸得着的工程实践中。这不仅大大激发了学生学习的兴趣，而且也培养了学生学习工程概念和实现工程技术的能力。

（3）理论与技术培养相结合。注重对学生进行技能方面的培养。

（4）教材在结构安排上行由浅入深、由特殊到一般，以适应学生的认识规律；在叙述方式上做到通俗易懂，化解了太阳能电池中的许多难点，使学生易学易懂。

本书主要介绍了太阳能电池及太阳能发电系统的基本原理、系统构成和实际应用，包括太阳能发电的特点、太阳能电池的原理及装置物性、单晶硅太阳能电池和太阳能电池模板、多晶硅太阳能电池、非晶硅及微晶硅薄膜太阳能电池、CIS 以及 CIGS 系太阳能电池、Ⅲ-Ⅴ族太阳能电池、色素增感型太阳能电池、太阳能在日常生活中的应用、住宅用太阳光发电系统、楼房用太阳光发电模板及其系统、空间太阳能发电所，等等。

《太阳能光伏电池实用技术》可作为高等院校高年级学生、研究生的教材或参考书，也可作为光伏电池、光电子器件科学及相关技术领域的科研人员、工程技术人员的参考书。

本书由张兵任主编，由陈亮，赵小金任副主编，邹航、刘平参与编写。全书由张兵统稿。

在编写过程中，作者翻阅了大量的资料，参考了许多专家及学者的研究成果，由于时间关系来不及与作者联系，在此向各位表示感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不足与疏漏之处，敬请各位专家、学者及使用本书的师生批评指正。如在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向我们提出宝贵意见。

编　者

2011 年 7 月

目 录

第 1 章 总 论 1

1.1 引言 1

1.2 能源革命与文明的进步 1

1.3 能源的需求预测与能源资源 3

1.4 3E 的三重矛盾与解决策略 6

1.5 太阳能的质和量 11

1.6 太阳能发电的独特特点 14

第 2 章 太阳能电池原理及装置物性 16

2.1 引言 16

2.2 半导体的光吸收和光传导效率 16

2.3 半导体的光电效应 20

2.4 太阳能电池原理及能量转换效率 23

2.5 理论极限效率和太阳能电池的损失 27

2.6 高效率化技术及其装置物性 30

第 3 章 单晶体硅太阳能电池和太阳能电池模板 38

3.1 引言 38

3.2 单晶硅太阳能硅片的制造方法 40

3.2.1 单晶硅太阳能电池的特点 40

3.2.2 单晶硅铸模的制造 40

3.2.3 单晶硅硅片的制造 41

3.2.4 电池片的形成 41

3.2.5 电池片高效率化的技术 42

3.3 HIT 太阳能电池片及其制造方法 43

3.3.1 HIT 太阳能电池的结构 43

3.3.2 HIT 太阳能电池片的特点 44

3.4 大面积太阳能电池模板 47

3.4.1 太阳能电池模板的种类 48

3.4.2 太阳能电池模板的制造过程 48

3.4.3 太阳能电池模板的评价 50

3.5 采光型太阳能电池模板 51

3.6 超高效率太阳能电池 52

3.6.1 高效率太阳能电池的结构 53

3.6.2 电池片制造方法的进展 54

第 4 章 多晶体硅太阳能电池 56

4.1 引言 56

4.2 多晶硅铸模的制造技术 57

4.3 多晶硅太阳能电池的高效率化技术 58

4.4 多晶硅薄膜太阳能电池的开发 62

4.5 结束语 65

第 5 章 非晶硅及微晶硅薄膜太阳能电池 66

5.1 引言 66

5.2 Si 系薄膜的制作、基础物性和太阳能电池的装置 66

5.2.1 Si 系薄膜的制作 66

5.2.2 Si 系薄膜的基础物性 68

5.2.3 Si 系薄膜太阳能电池的装置 74

5.3 无结晶硅太阳能电池及其性能 80

5.3.1 a-SiC/a-Si 异质结太阳能电池 82

5.3.2 a-Si 太阳能电池大面积模板的制造及其高效率化 86

5.3.3 a-Si 太阳能电池的可靠性 89

5.4 薄膜微晶硅(μc-Si)太阳能电池及其性能 91

5.5 非晶硅 / 微晶硅型串联太阳能电池 97

第 6 章 CIS 以及 CIGS 系太阳能电池 102

6.1 引言 102

6.2 CIS 以及 CIGS 系半导体的基础物性及其特性 102
6.2.1 CIGS 系半导体的特点 102
6.2.2 禁带宽度控制 103
6.2.3 多样的结晶相和固有缺陷 103
6.3 CIS 以及 CIG 系太阳能电池的结合形式与制法 104
6.3.1 CIGS 系太阳能电池的基本结构 104
6.3.2 组成比和电池片特性 105
6.3.3 Na 的添加效果 106
6.3.4 蒸镀法 106
6.3.5 硒化法 107
6.4 模板制造法及其规模生产技术 108
6.4.1 集成化技术 108
6.4.2 提高效率的技术 109
6.4.3 可靠性评价 109
6.5 R&D 领域的新进展 110
6.5.1 Cd 自由缓冲层 110
6.5.2 柔性基片 111
6.5.3 S 系、AI 系等新材料 112
6.5.4 聚光电池片 112
6.5.5 宇宙空间应用 112
6.5.6 4 端子串联的高效率化 113
6.6 结束语 113
第 7 章 Ⅲ—Ⅴ 族太阳能电池 115
7.1 引言 115
7.2 Ⅲ—Ⅴ族半导体太阳能电池所用材料的特点 116
7.2.1 Ⅲ—Ⅴ族化合物半导体的基础物性和光电特性 116
7.2.2 Ⅲ—Ⅴ 族系半导体太阳能电池的特点 118
7.3 GaAs 系太阳能电池片的结构及其制法 119
7.3.1 GaAs 系太阳能电池 119
7.3.2 InP 系太阳能电池 120
7.3.3 新型太阳能电池——量子阱结构太阳能电池 122
7.3.4 薄膜太阳能电池 122
7.3.5 太阳能电池的制造方法 124
7.4 超高效率多结太阳能电池及其构成 124
7.5 聚光型太阳能电池技术及其现状 127
7.6 R&D 领域的新进展 128
第 8 章 色素增感型太阳能电池 130
8.1 引言 130
8.2 色素增感型太阳能电池的特征 130
8.3 基本原理和理论可达到的效率 132
8.3.1 基本原理和已报道的太阳能电池性能 132
8.3.2 理论可达到的效率 134
8.4 色素增感型太阳能电池的结构和制造方法 135
8.4.1 色素增感型太阳能电池的结构 135
8.4.2 Graetzel Cell 的制作方法 138
8.5 色素增感型太阳能电池技术的现状和性能 140
8.5.1 色素增感型太阳能电池技术的性能发展 140
8.5.2 色素增感型太阳能电池的稳定性 141
8.6 R&D 领域的新进展 142
8.6.1 新型高性能增感色素的开发 142
8.6.2 新型氧化物半导体薄膜光电极 143
8.6.3 电解质溶液的固体化·拟固体化 143
8.6.4 塑料太阳能电池 144

第 9 章 太阳能电池在日常生活中的应用 146
9.1 引言 146
9.2 太阳能计算器 147
9.3 太阳能手表 149
9.4 其他应用 150
9.5 交通系统的应用 151
9.6 受灾、求助体系的应用 154
9.7 日常生活应用的新展望 156
第 10 章 住宅用太阳光发电系统 158
10.1 引言 158
10.2 住宅用太阳光发电系统设置方法的种类 161
10.3 独立型系统和联系型系统 165
10.4 动力调节器 166
10.4.1 系统联系技术 166
10.4.2 与屋顶形状对应的设置多样化的组合技术 167
10.5 导入实例 169
10.6 今后的努力 170
10.6.1 原材料价格的下降 170
10.6.2 通过商品开发扩大市场 171
10.6.3 具备集体联系的课题的解决 171
10.6.4 由于再循环和再利用产生的长寿命化 172
10.6.5 可靠性和认证制度 173
10.7 结束语 175
第 11 章 楼房用太阳光发电模板及其系统 176
11.1 引言 176
11.2 楼房用建材一体型太阳光发电系统的特点 177
11.3 实用例子介绍 180
11.4 进一步提高采光型模板价值的方法 184
11.5 楼房用建材一体型太阳能电池 188
11.6 今后的展望 189
第 12 章 空间太阳光发电所 190
12.1 引言 190
12.2 空间开发的历史 190
12.3 宇宙空间的特征和魅力 191
12.4 宇宙太阳光发电所 SPS 和其关键技术 194
12.5 SPS 用太阳能电池及其特殊性 197
12.6 微波发送接收系统及其关键技术 199
12.7 太阳能繁殖器的设想 202
第 13 章 太阳光发电的展望 208
13.1 日本的能源政策和新阳光计划 208
13.2 太阳光发电技术开发项目及其现状 213
13.2.1 太阳光发电技术的开发 213
13.2.2 集中联系型太阳光发电系统的实证研究 216
13.3 世纪太阳光发电技术的展望 220
13.3.1 能源政策和太阳光发电 220
13.3.2 太阳光普及与扩大的课题 220
13.3.3 21 世纪的太阳光发电技术 222
13.3.4 21 世纪太阳光发电技术的研究 222
13.4 太阳光发电的新作用及未来的展望 222
参考文献 228

第1章 总 论

1.1 引 言

自19世纪产业革命以来，人类文明的进步与人类社会工业化、近代化的变迁，都与被称为动力来源的一次能源的形态和变迁有着很大的关系。首先应该指出的是，从煤炭文明到石油文明，再到天然气文明的能源革命有两种值得一提的方式，即能源的大量生产、大量贮藏及大量输送和以减轻环境负荷为出发点的方式。其次，在人们讨论有关21世纪文明的宏伟构想时，被称为最大课题的"3E"(三重矛盾)问题占据了重要地位，为此本章对解决此问题的关键技术——清洁能源开发中的太阳光发电技术的特点及其对解决地球环境问题所做的贡献进行介绍。

1.2 能源革命与文明的进步

人们生活所必需的能源可以分为维持个人生命的生理能源和日常生活、社会活动及生产活动中使用的生活能源两部分。我们从水和粮食中摄取的生理能源，全世界平均约为每人2200kcal/日(9.2MJ/日)。而生活能源则会因人们生活水平的不同而有很大的差异，根据最近的统计，世界平均水平为每人45 000kcal/日，是生理能源的20倍以上，且生活能源会因地域的文明程度不同有较大幅度的差别，例如美国生活能源的消耗是世界平均值的数倍之多。

从支撑人类文明活动的产业发展的高度来看，点燃近代产业革命之火的是发明蒸汽机(1769年)的詹姆斯·瓦特(James Watt，1736-1819)。最初以木材作为燃料的蒸汽机，改用煤炭作为燃料后，大大促进了铁路、大型蒸汽船的海洋交通业以及纺织机的机械化，并促进了纤维产业的发展，这就是煤炭文明的开始。此后固体的煤炭变迁为液体的石油、气体的天然气。图1.1描述了由产业革命引起的不同能源形态的变迁及随之产生的工业制品的种类。19世纪中叶由埃

特尼·勒努瓦(Etienne Lenoir,1822-1900)发明的现代内燃机的雏形——汽油机是瓦特发明蒸汽机100年之后的事了。不久这一技术为内燃机及汽车的发明奠定了基础。1903年,作为汽车司机的莱特兄弟把汽油机装在飞机上,并试飞成功。从这些事例可以看出,从研究开发到实现技术实用化、产业化,最后建立市场直到普及(market penetration)需要约20～50年的时间,因此可以毫不夸张地说,不只限于内燃机,还包括电、天然气等与能源相关的技术的显著发展产生了20世纪的文明。

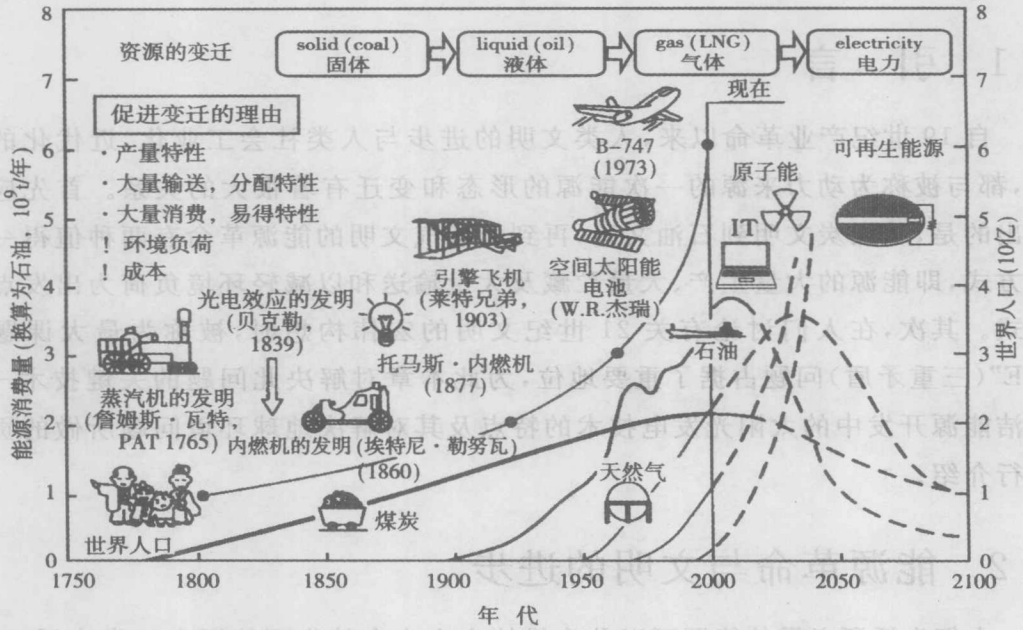


图1.1　近代文明随着化石能源形态固体→液体→气体利用技术的变化飞速进步

(摘自濱川圭弘:JSAP-International-,No,5,p.30(2002)图5)

随着化石燃料从固体→液体→气体利用技术的变迁,伴随能源工业化的进展,由大量消费引起的需求促进了能源的大量生产、大量贮藏和大量运输,迫使人们选择更方便、更具有经济性的能源形态。也就是说,这一技术革新也是基于"经济大原理"而产生的。另外,目前不可忽视的一个重要观点就是,伴随着化石能源的大量消费而引起的有害气体的产生和对环境的影响。众所周知,1950～1970年间从煤炭文明到石油文明的能源革命的曲折也有这一方面的原因。

可以认为,近20年来,从以汽油为燃料的汽车,到以天然气(LNG)及液化气(LPG)为燃料的汽车以及不久的将来会大量普及的电动汽车,都是因为环境问题

而引起的能源革命。以上讨论的是关于一次能源的问题，如果注意到发达国家的二次能源中约40%～50%是电力能源这一事实的话，不同于化石能源消费的原子能发电，称之为生态发电(ecological electric power generation)的太阳能发电、风力发电的普及和应用，就具有非常重要的意义。电能可以在瞬间大量输送，一旦有了电，就可以超高效率地转换成光、热和动力，因此电不仅作为文明生活中枢的信息通信、产业活动和交通运输等能源的利用，也是我们的生活及家庭活动所必需的能源形态。本书首先介绍不可枯竭的电力能源——太阳能，然后介绍利用太阳能这一清洁能源发电的新技术。

1.3 能源的需求预测与能源资源

世界人口如图1.2所示，1960年为30亿，而2000年翻了一番，达到了61亿，40年增长了一倍。世界各国的人均国民生产总值(GNP)和该国的人均能量消费如图1.3所示[2]。在此图中，原点附近的国家是发展中国家，离原点越远的国家是越发达的国家；对角线左上方的国家是节能比较先进的国家。总而言之，从图1.3中可以看出，文明的进步和能量的消费是成比例的。

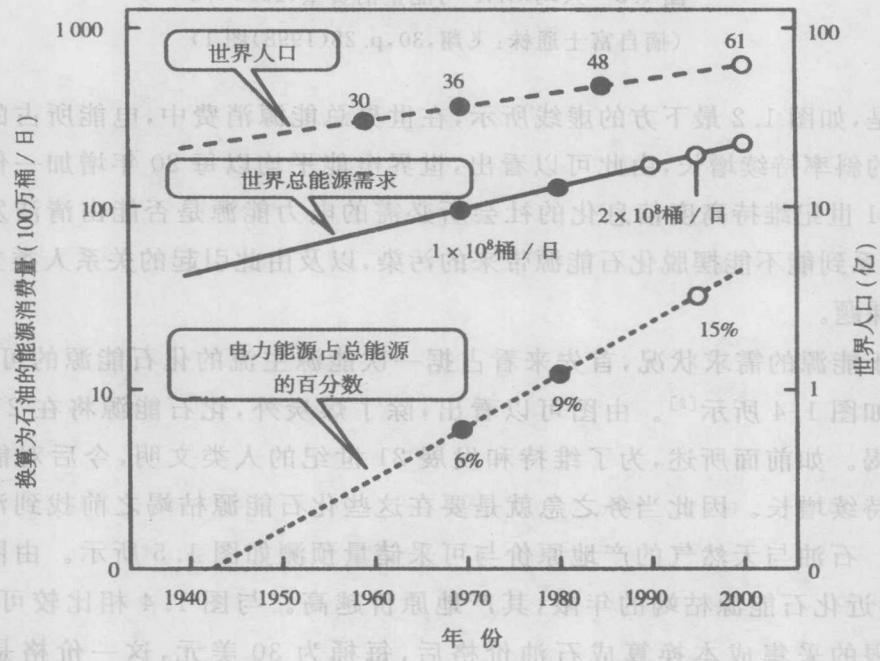


图1.2 世界人口、总能源需求及电力能源随年代的变迁

(摘自濱川圭弘：应用物理，67，9，p.1024(1998)图2)

由此可见，全世界总能源消费，与人口的增加、时间以及与此共同进步的文明程度密切相关，其结果如图 1.2 所示。从图 1.2 中可以看出，世界人口 40 年增加了一倍，而能源消费 30 年增加了一倍，也就是说，全世界的文明随时间进步的同时，平均能源消费也在随时间增加。

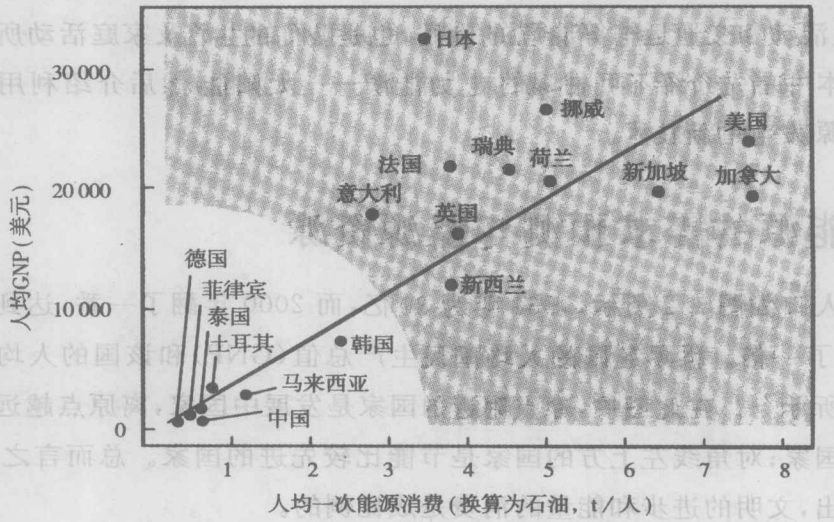


图 1.3　人均 GNP 与能量消费量(1993 年)

(摘自富士通株：飞翔，30，p. 28(1998)图 1)

但是，如图 1.2 最下方的虚线所示，在世界总能源消费中，电能所占的比例在以更大的斜率持续增长，由此可以看出，世界电能平均以每 20 年增加一倍的速度递增。21 世纪维持高度信息化的社会所必需的电力能源是否能由清洁发电来提供，是关系到能不能摆脱化石能源带来的污染，以及由此引起的关系人类文明存亡的重要课题。

关于能源的需求状况，首先来看占据一次能源主流的化石能源的可采年限，经调查如图 1.4 所示[2]。由图可以看出，除了煤炭外，化石能源将在 21 世纪的中叶枯竭。如前面所述，为了维持和发展 21 世纪的人类文明，今后对能源的需求还将持续增长。因此当务之急就是要在这些化石能源枯竭之前找到清洁的替代能源。石油与天然气的产地原价与可采储量预测如图 1.5 所示。由图可以看出，越接近化石能源枯竭的年限，其产地原价越高。与图 1.4 相比较可以确定，可采年限的采集成本换算成石油价格后，每桶为 30 美元，这一价格是相当便宜的。

图 1.4 是一次能源从产地输送到消费地所需要的运输费用。另外，一次能源

转换成电力能源后，大约有70%的转换损失。图1.6是世界一次能源中石油与天然气从产地到消费地的输送流程图。从图中可以看出，作为经济大国的日本，为了维持国民生活和国家职能，正在以很大的百分比进口着世界化石能源。这一状况从能源安全的角度来看，可以说，对外界依赖最强，具有“最弱的体质”。为了维持21世纪日本的繁荣，应尽早地把清洁能源技术实用化，使日本成为具有新能源技术输出能力的国家，这一点是至关重要的。

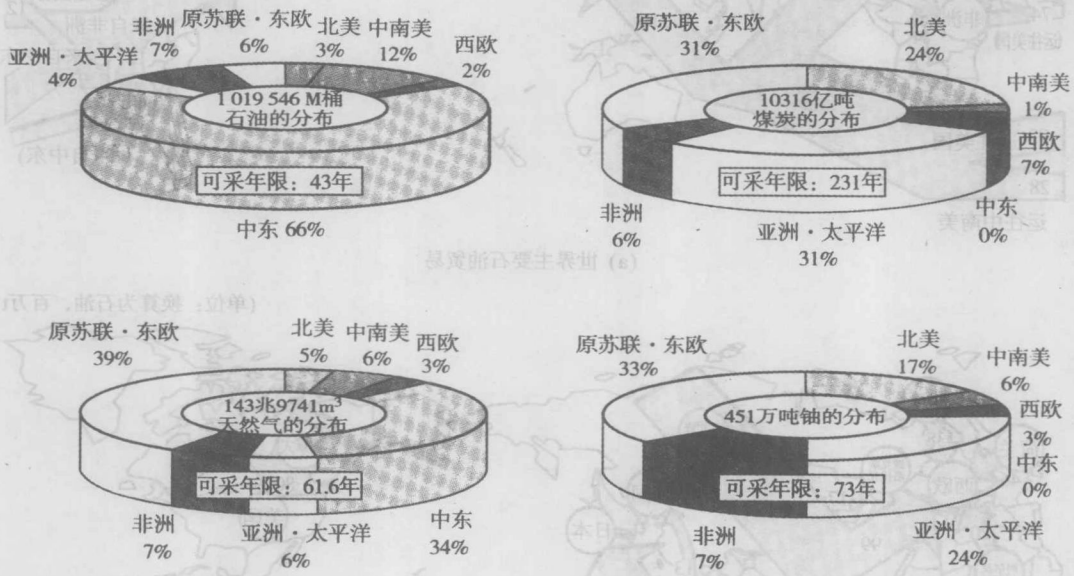
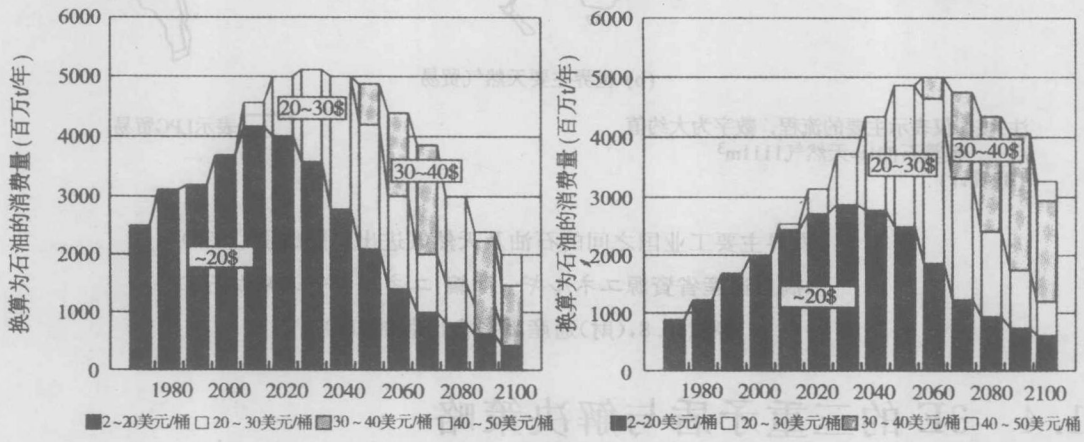


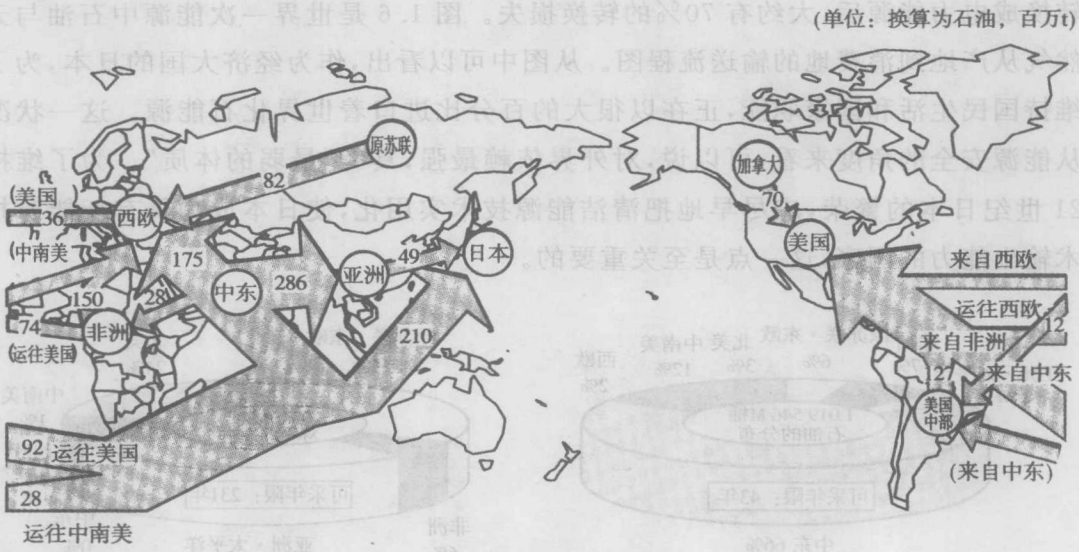
图1.4 石油、煤炭、天然气、铀的确切可采储量与可采年限

（摘自濱川圭弘：应用物理，68，8，p.995(2000)图3）

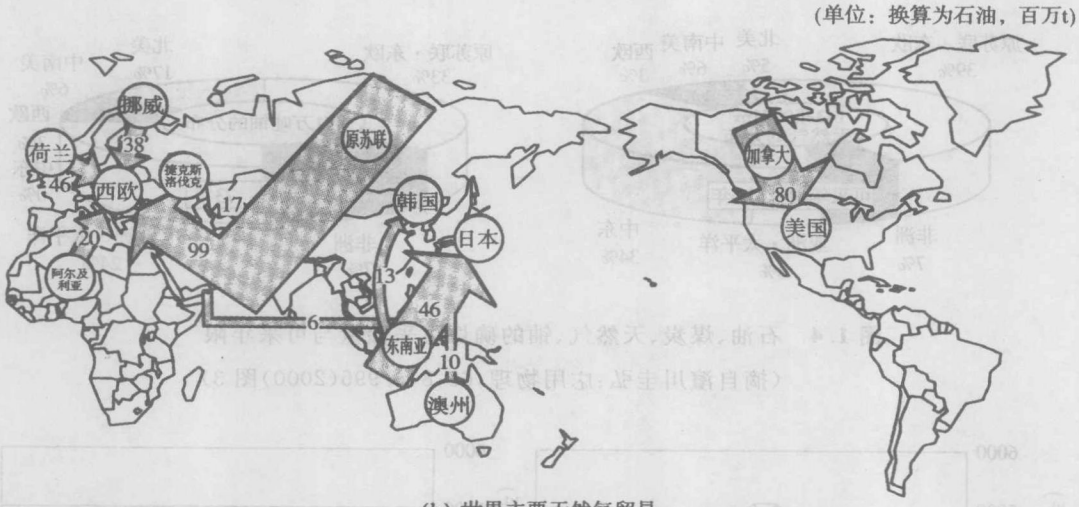


(a) 石油（不同区域生产费用）　　(b) 天然气（不同区域生产费用）

图1.5 不同区域石油天然气生产成本预测（选自 IEA World Energy Look(1996)）



(a) 世界主要石油贸易



(b) 世界主要天然气贸易

注：该图仅表示主要的流程，数字为大约值
换算石油1t=天然气1111m³
(BP统计)

表示LPG贸易

图 1.6　世界主要工业国之间的石油及天然气进出口路线图(1996)
(摘自通産省資源ユネルギー厅编：ユネルギー未来かろの警鐘，p. 8，(财)通産調査会出版部(1997))

1.4　3E 的三重矛盾与解决策略

从以塑料的发明为代表的高分子化学、以晶体管的诞生为始端的固体电子学到微电子学的进步，计算机的普及、宇宙开发以及原子能的利用等，随着科学技术

的不断进步，20世纪的我们不断创造着丰富的物质文明，然而支撑这种物质文明的根基如果是廉价而丰富的化石能源的大量浪费和只从经济角度计算的话，像牛皮纸袋和塑料袋等，特别是人工制造的物质，少量地浪费一点也没关系——这就会促使以经济为中心的社会规范的形成与发展。作为证据，看看大城市中的生活垃圾及废弃物处理量从20世纪后半叶开始的50年间增加了数倍，就可以明白了。地球资源的如此浪费，不仅仅表现在石油等化石燃料的浪费，作为纸张来源的森林的破坏，由于冷冻技术的进步引起的海洋资源的肆意掠夺，也是同样的。

然而这样做导致的结果是，地球诞生以来储存下来的太阳能遗产的化石资源，再有100年就会被挥霍一空。在21世纪的人类文明如何去发展这一伟大设想的讨论中，提出了图1.7所示的3E三重矛盾这一最重要的课题。也就是说，在经济(economy)发展的过程中，伴随着能源(energy)的消费，以化石能源为主体的资源需求结构会造成对地球环境(environment)的破坏这一三重问题。解决这一三重问题的方法如图中箭头所示，就是要依靠清洁能源技术的开发，实现从实箭头切换到虚箭头所示的良性循环。因此，在21世纪的世界能源需求展望中，必须考虑随着能源的消费而引起的对环境负荷的影响这一重要问题。

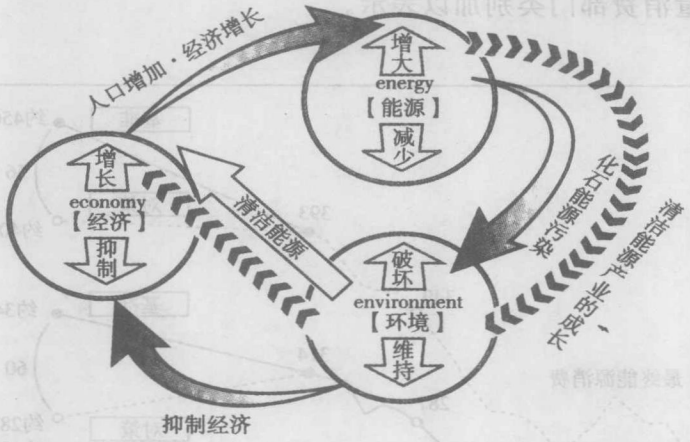


图1.7 维持21世纪人类文明的发展及解决3E三重矛盾的唯一出路是清洁能源的开发
(摘自滨川圭弘：应用物理，67，9，p. 1023(1998)图1)

例如，作为下一步行动的准备，1997年12月在京都召开了防止地球温室效应的第3次联合国会议(COP-3)，在此次会议缔结的协议书中提出，世界各国对温室气体的排放量，以1990年为基准，到2010年要削减到如表1.1所示的百分数[6]。在此表中，削减率为正的各国，表示与1990年度的数据相比，实际有害气体的产生量允许增加的百分数；而▲表示与1990年度的数据相比，应减少的百分数。从这

些数据可以看出，作为发达国家的日本有6%的削减率。然而如图1.3所示，日本已经是世界排名第一的节能国家和新能源技术开发的先进国家，要想达到更高的削减率，只有进一步推进新能源开发这一条路。

表1.1　COP-3京都议定书中关于温室气体的削减率

削减率(%)	国　名
+10	冰岛
+8	澳大利亚
+1	挪威
稳定化	新西兰，俄罗斯，乌克兰
▲5	克罗地亚
▲6	日本，加拿大，匈牙利，波兰
▲7	美国
▲8	比利时，丹麦，芬兰，法国，德国，希腊，爱尔兰，意大利，列士敦士登，卢森堡，摩纳哥，荷兰，葡萄牙，西班牙，瑞典，英国，瑞士，保加利亚，捷克，爱沙尼亚，拉脱维亚，立陶宛，罗马尼亚，斯洛伐克，斯洛文尼亚

图1.8是日本通产省资源能源厅综合能源调查会的作业部制定的以2010年为目标的最终能量消费量和CO_2排放量及对过去业绩的总结。表1.2是1996年日本发布的一次能源总供给量及最终能量消费对2010年的展望，分别以一次资源类别及最终能量消费部门类别加以表示。

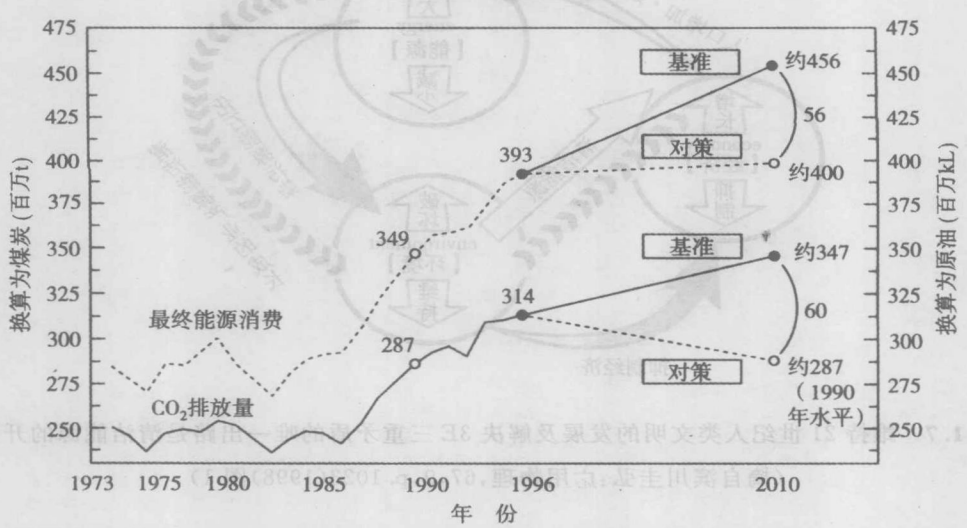


图1.8　最终能源消费和因能源引起的CO_2排放量的实际值及展望

图1.8中的“基准”是指维持现有的经济增长，而“对策”是指在维持现有的经济增长的同时推进新能源及节能技术的开发[6]。表1.2列出了基于新能源政策的2010年的供给量。

表 1.2 日本能量供需业绩和 2010 年展望

(a) 一次能源供给展望

项目 \ 年份	1996		2010 基准		2010 对策	
一次能源总供给量	5.97 亿 kL		6.93 亿 kL		6.16 亿 kL	
能源类别区分	实际值	构成比/%	实际值	构成比/%	实际值	构成比/%
石 油	3.29 亿 kL	55.2	3.58 亿 kL	51.6	2.91 亿 kL	47.2
石油(除去 LPG 进口)	3.10 亿 kL	51.9	3.37 亿 kL	48.6	2.71 亿 kL	44
LPG 进口	1520 万 t	3.3	1610 万 t	3	1510 万 t	3.2
煤 炭	13160 万 t	16.4	14500 万 t	15.4	12400 万 t	14.9
天然气	4820 万 t	11.4	6090 万 t	12.3	5710 万 t	13
原子能	3020 亿 kW·h 4250 万 kW	12.3	4800 亿 kW·h 7000 万～6600 万 kW	15.4	4800 亿 kW·h 7000 万～6600 万 kW	17.4
水 力	820 亿 kW·h	3.4	1050 亿 kW·h	3.4	1050 亿 kW·h	3.8
地 热	120 亿 kL	0.2	380 亿 kL	0.5	380 万 kL	0.6
新能源	685 亿 kL	1.1	940 万 kL	1.3	1910 万 kL	3.1
合 计	5.97 亿 kL	100	6.16 亿 kL	100	6.16 亿 kL	100

注：① 原油换算以 9250kcal/L 计；

② 新能源一项中，包括太阳能、废弃物发电、黑液(纸浆废液)等；

③ 水力发电电量是指一般的水力；

④ LPG 吨的换算按 0.712t/kL 计。

(b) 最终能源消费展望

项目 \ 年份	1996		2010 基准			2010 对策		
	构成比		构成比		年平均增长率 1996～2010 年	构成比		年平均增长率 1996～2010 年
	%	亿 kL	%	亿 kL	%	%	亿 kL	%
产 业	1.95	49.6	2.13	46.7	0.6	1.92	47.9	▲0.1
民 生	1.02	26	1.31	28.7	1.8	1.13	28.3	0.8
运 输	0.96	24.5	1.12	24.6	1.1	0.95	23.7	▲0.1
合 计	3.93	100	4.56	100	1.1	4	100	0.1

注：① 产业部门是指除了第 1 产业及能源生产·转换业(煤炭矿业、石油·天然气工业、石油炼制业、焦炭制造业等)的第 2 产业(不包括管理部门和自用运输)；

② 民生部门是指除了产业部门的管理部门及电气业、气体业、运输业等以外的第 3 产业及家用消费部门(不包括自用运输；)

③ 运输部门是指以运输为职业的运输、产业部门的运输及自用运输；

④ 非能量需求(石油化学用原料等)被包含在产业中；

⑤ 原油换算按 9250kcal/L 计；

注：摘自通産省資源ユネルギー厅．21 世紀地球環境時代のユネルギー戦略報告．1998：56－57.