



太阳能利用系列丛书

太阳能光伏发电 应用技术（第2版）

主编 杨金焕



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

013033589

TM615
14-2

太阳能利用系列丛书

太阳能光伏发电应用技术

(第2版)

主 编 杨金焕
参 编 汪 乐 于化丛 裴 骏
王士涛 徐 燕 葛 亮



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



北航

C1640344

TM615
14-2

内 容 简 介

本书第1版出版3年多来,世界光伏技术、产业和应用都有了飞速发展,为了介绍最新的相关技术,第2版在原书的基础上,重点对并网光伏系统的设计、发电量和成本的计算,储能装置,新型薄膜和聚光电池等进行了较详细的阐述和分析,同时也对太阳能辐射,太阳电池的工作原理及制造,系统配套部件,光伏系统的安装、应用及效益等进行了较全面的介绍。希望本书能使读者对太阳能光伏发电应用技术有较全面的了解。

本书可作为有关研究机构 and 高等院校师生的教学参考用书,也可供太阳能光伏企业的管理和工程技术人员以及广大科技爱好者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电应用技术/杨金焕主编.—2版.—北京:电子工业出版社,2013.4

(太阳能利用系列丛书)

ISBN 978-7-121-20059-5

I. ①太… II. ①杨… III. ①太阳能发电 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第063582号

责任编辑:苏颖杰(suyj@phei.com.cn)

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19 字数:483.2千字

印 次:2013年4月第1次印刷

印 数:3500册 定价:49.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

面临全球化石燃料逐渐枯竭的危机和生态环境受到污染,自然灾害频繁发生的严重局面,人们终于认识到逐步改变能源消费结构,大力发展可再生能源,走可持续发展的道路,已经到了刻不容缓的地步。近年来,由于各国政府采取了多种扶植政策,通过光伏业界的共同努力和社会各界的大力支持,尽管受到世界金融危机和经济衰退的影响,全球光伏技术、产业和应用还是取得了全面的进步。

本书第1版出版3年多来,光伏发电形势发生了巨大的变化,新型太阳电池的研究开发不断取得进展,商业化规模的电池和组件转换效率逐渐提高,各类配套部件的性能和技术水平都有很大提高。无论是全球太阳电池产量还是光伏系统安装容量,2011年与2008年比较,都增加了约3.7倍。2008年全球最大的光伏电站容量只有47.6MW,2011年为100MW,目前已经达到214MW。可见光伏是世界上发展最快的高新技术产业之一。

由于现代科技的发展日新月异,本书第1版中的不少内容和数据已经过时或失效,作为介绍现代科技知识的书籍,应当反映最新的科技成果,不断吐故纳新,尽量做到与时俱进。因此,我们决定对书的内容进行修改补充,出版第2版,内容仍然是在全面介绍光伏发电基本知识的基础上,着重于光伏系统应用技术,希望仍能得到读者的支持和鼓励。

针对目前大型并网光伏电站的大量兴建,并网系统应用占主要地位的状况,本书将原来以介绍离网系统设计为主改为以介绍并网系统的设计为主,并对有些不恰当的设计观点提出了我们的看法,希望能引起讨论,以求共同提高设计水平。同时根据薄膜电池的发展情况,加强了碲化镉和铜铟镓硒电池的相关内容。对于第三代太阳电池——聚光电池单独列出一章进行介绍。从长远观点来看,光伏以后要发展成为主要的消费能源,必须解决储能问题,所以在第7章介绍了目前正在研发和应用的多种储能装置。为了科学地衡量光伏发电的经济效益,在第11章中增加了计算光伏发电成本的内容。书中采用最新的数据和图表,并尽量注明来源,以客观地表达参考文献作者的观点。为了方便广大院校师生使用,在各章最后增加了练习题。

本书编写过程中,汪乐、裴骏修改了第3章、第6章,于化丛修改了第4章,王士涛起草了第5章,徐燕编写了各章的练习题,葛亮改制了有关图稿,其余各章修改及全书统稿由杨金焕负责,汪乐协助进行了审核和定稿。

本书各章后面虽然列有参考文献目录,但由于数量庞大,无法一一列出,谨向有关作者致谢。

尽管我们希望本书尽量做到内容先进、全面、正确、翔实,对读者有所裨益,但由于我们的学术和知识水平有限,错误和疏漏在所难免,敬请批评指正。

编 者

第1版前言

人类社会进入21世纪,正面临着化石燃料短缺和环境污染的严重局面。廉价的石油时代已经结束,逐步改变能源消费结构,大力发展可再生能源,走可持续发展的道路,已逐渐成为人们的共识。

太阳能光伏发电由于具有独特的优点,近年来正在飞速发展。太阳电池的产量平均年增长率在40%以上,已成为发展最迅速的高新技术产业之一,其应用规模和领域也在不断扩大,从原来只在偏远无电地区和特殊用电场合使用,发展到城市并网系统和大型光伏电站。尽管目前太阳能光伏发电在能源结构中的所占比例还微不足道,但是随着社会的发展和技术的进步,其份额将会逐步增加,可以预期,到21世纪末,太阳能发电将成为世界能源供应的主体,一个光辉灿烂的太阳能时代必将到来。

我国的光伏产业发展极不平衡,2007年太阳电池的产量已经超过日本和欧洲而居世界第一位,然而光伏应用市场的发展却非常缓慢,光伏累计安装量大约只占世界的1%,应用技术水平与国外相比还有相当大的差距。光伏产品与一般机电产品不同,必须根据负载的要求和当地的气象、地理条件来决定系统的配置,由于目前光伏发电成本较高,所以应进行优化设计,以达到可靠性和经济性的最佳结合,最大限度地发挥光伏电源的作用。然而,国内很多光伏工程和市场上光伏产品的设计、安装、使用很不合理,不少光伏系统根本不能长期稳定地运行,严重地影响了光伏发电的实际效果。

根据我们多年从事光伏发电技术研究的实践和体会,觉得有必要呼吁社会各界来重视光伏应用技术。太阳电池器件的效率要提高1%~2%非常困难,而在实际应用中,由于设计不当,导致光伏系统效率减少10%~20%的情况却屡见不鲜。因此,本书在全面介绍光伏发电基本知识的基础上,着重讨论有关光伏系统的应用技术,包括太阳辐照量的正确计算,光伏方阵最佳倾角的确定,配套部件的性能及选择,各类光伏系统的优化设计,以及各种光伏系统的实际应用等。希望本书能够对提高我国的光伏应用技术水平有所促进。

本书编写过程中,于化丛编写第4章,葛亮编写附录并承担了绘制全部图稿及全书的校核工作,汪乐、裴骏编写第5章部分内容,杨金焕编写其余章节,并负责全书统稿;赵建华博士审阅了第5章,并提出了宝贵的修改意见,曹仁贤审阅了第6章,并进行了重要的修改和补充;洪承恩、李毅、赵春江、贾国强等提供了很多有关的资料;中国可再生能源学会副理事长、光伏专业委员会主任赵玉文提出了宝贵意见,并欣然为本书作序,使本书得以顺利出版,在此一并致谢。同时,本书还参考了大量的著作和文献,无法全部列出,谨向有关作者致谢。

由于仓促集结成册,限于我们的学术水平和写作能力,加上掌握的资料有限,错误和遗漏在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

《太阳能光伏发电应用技术(第2版)》

读者调查表

尊敬的读者:

欢迎您参加读者调查活动,对我们的图书提出真诚的意见,您的建议将是我们创造精品的动力源泉。为方便大家,我们提供了两种填写调查表的方式:

1. 您可以登录 <http://yydz.phei.com.cn>,进入“读者调查表”栏目,下载并填好本调查表后反馈给我们。
2. 您可以填写下表后寄给我们(北京海淀区万寿路173信箱电子技术分社 邮编:100036)。

姓名: _____ 性别: ☐ 男 ☐ 女 年龄: _____ 职业: _____
电话: _____ 移动电话: _____
传真: _____ E-mail: _____
邮编: _____ 通信地址: _____

1. 影响您购买本书的因素(可多选):

☐封面、封底 ☐价格 ☐内容简介 ☐前言和目录 ☐正文内容
☐出版物名声 ☐作者名声 ☐书评广告 ☐其他 _____

2. 您对本书的满意度:

从技术角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意
从文字角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意
从版式角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意
从封面角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意

3. 您最喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

4. 您最不喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

5. 您希望本书在哪些方面进行改进?

6. 您感兴趣或希望增加的图书选题有:

邮寄地址:北京市海淀区万寿路173信箱电子技术分社 苏颖杰 收 邮编:100036
电 话:(010)88254579 E-mail:suyj@phei.com.cn

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036



北航

C1640344

目 录

第1章 绪论	1
1.1 开发利用太阳能的重要意义	1
1.1.1 化石燃料正面临逐渐枯竭的危机局面	1
1.1.2 保护生态环境逐渐受到人们的重视	4
1.1.3 常规电网的局限性	7
1.2 太阳能发电的特点	8
1.2.1 太阳能发电的优点	8
1.2.2 太阳能发电的缺点	9
1.2.3 太阳能发电的类型	9
1.3 近年来世界光伏产业的发展状况	10
1.3.1 太阳能电池生产	10
1.3.2 光伏应用市场	13
1.4 中国光伏产业的发展	16
1.5 部分国家和国际组织发展光伏发电的规划和展望	17
1.5.1 日本	17
1.5.2 欧盟	19
1.5.3 美国	21
1.5.4 中国	23
1.5.5 国际能源署(IEA)	24
参考文献	28
练习题	29
第2章 太阳辐射	30
2.1 太阳概况	30
2.2 日地运动	32
2.3 天球坐标	33
2.3.1 赤道坐标系	34
2.3.2 地平坐标系	35
2.3.3 太阳角的计算	36
2.4 太阳辐射量	37
2.4.1 大气层外的太阳辐射	38
2.4.2 到达地表的太阳辐照度	41
2.4.3 地表倾斜面上的小时太阳辐照量	44
2.4.4 地表倾斜面上的月平均太阳辐照量	49
参考文献	52

练习题	53
第3章 晶体硅太阳能电池的基本原理	54
3.1 太阳能电池的分类	54
3.1.1 按基体材料分	54
3.1.2 按电池结构分	55
3.1.3 按用途分	56
3.2 太阳能电池的工作原理	56
3.2.1 半导体	56
3.2.2 能带结构	57
3.2.3 本征半导体、掺杂半导体	58
3.2.4 P型和N型半导体	60
3.2.5 P-N结	61
3.2.6 光生伏特效应	62
3.2.7 太阳能电池的基本工作原理	63
3.2.8 晶体硅太阳能电池的结构	63
3.3 太阳能电池的电学特性	64
3.3.1 标准测试条件	64
3.3.2 太阳电池等效电路	64
3.3.3 太阳电池的主要技术参数	66
3.3.4 影响太阳电池转换效率的因素	71
参考文献	73
练习题	74
第4章 薄膜太阳能电池	75
4.1 概述	75
4.2 非晶硅太阳能电池	76
4.2.1 非晶硅太阳能电池发展简史	76
4.2.2 非晶硅太阳能电池结构	77
4.2.3 非晶硅太阳能电池的衰减及可靠性	82
4.2.4 非晶硅薄膜电池的制造	84
4.2.5 非晶硅薄膜电池的产业化情况	86
4.3 碲化镉(CdTe)太阳能电池	88
4.3.1 CdTe材料与太阳能电池特点	88
4.3.2 CdTe薄膜太阳能电池的结构	89
4.3.3 CdTe薄膜太阳能电池的制造	89
4.3.4 CdTe薄膜太阳能电池产业化情况	92
4.4 铜铟镓硒(CIGS)太阳能电池	92
4.4.1 CIGS太阳能电池的特点	93
4.4.2 CIGS太阳能电池的结构	93
4.4.3 CIGS薄膜太阳能电池的制造	94

4.4.4 CIGS 薄膜太阳电池的产业化情况	97
4.5 染料敏化(Dye-sensitized) 太阳电池	98
4.6 有机半导体太阳电池	99
4.7 薄膜太阳电池的市场发展前景	99
参考文献	102
练习题	102
第 5 章 聚光太阳电池	103
5.1 聚光光伏发电的特点	103
5.1.1 聚光光伏发电的优点	103
5.1.2 聚光光伏发电的缺点	105
5.2 聚光光伏部件	105
5.2.1 聚光太阳电池	105
5.2.2 聚光器	106
5.2.3 太阳跟踪器	110
5.2.4 散热系统	111
5.3 聚光光伏系统	112
5.3.1 低倍聚光系统(LCPV)	114
5.3.2 中倍聚光系统(MCPV)	115
5.3.3 高倍聚光系统(HCPV)	115
5.4 聚光光伏发电前景	118
参考文献	119
练习题	120
第 6 章 太阳电池的制造	121
6.1 硅材料制备	121
6.1.1 三氯氢硅法	122
6.1.2 流化床反应炉法	123
6.1.3 硅烷(SiH_4)热分解法	123
6.2 单晶硅制备	124
6.2.1 直拉单晶法	124
6.2.2 区熔法	125
6.2.3 磁拉法	125
6.3 多晶硅的制备	126
6.3.1 铸锭多晶硅	126
6.3.2 硅带法	128
6.3.3 准单晶技术简介	129
6.4 硅片的制备	129
6.4.1 切片	129
6.4.2 表面处理	130
6.5 晶体硅太阳电池的制造	131

6.5.1 制作绒面	131
6.5.2 扩散制结	133
6.5.3 去边(刻蚀)	137
6.5.4 去磷硅玻璃	138
6.5.5 制作减反射膜	138
6.5.6 制作电极	140
6.5.7 太阳能电池性能测试	141
6.6 太阳能电池组件的封装	142
6.6.1 太阳能电池组件封装材料	143
6.6.2 太阳能电池组件封装工序	145
参考文献	148
练习题	148
第7章 光伏系统部件	149
7.1 太阳能电池方阵	149
7.2 二极管	149
7.3 储能装置	150
7.3.1 主要储能技术	150
7.3.2 蓄电池	155
7.4 控制器	164
7.4.1 控制器的类型	164
7.4.2 控制器的主要功能	165
7.4.3 控制器的主要技术指标	166
7.5 逆变器	167
7.5.1 逆变器的分类	167
7.5.2 逆变器的技术性能	168
7.5.3 光伏并网逆变器	169
参考文献	174
练习题	175
第8章 光伏系统的设计	176
8.1 光伏系统设计的总体目标	176
8.2 并网光伏系统的设计	176
8.2.1 并网光伏系统的容量设计	177
8.2.2 并网光伏系统与电网的连接	184
8.2.3 并网光伏系统设计的大致步骤	188
8.3 离网光伏系统的设计	190
8.3.1 离网光伏系统优化设计的基本原则	190
8.3.2 技术条件	191
8.3.3 方阵倾角的选择	193
8.3.4 均衡性负载光伏系统设计	194

8.3.5 季节性负载光伏系统设计	200
8.3.6 特殊要求负载光伏系统设计	201
8.4 光伏系统的硬件设计	201
8.4.1 现场总体布置	201
8.4.2 配电房及电气设计	205
8.4.3 辅助设备的选配	206
8.5 其他设计	207
参考文献	207
练习题	208
第9章 光伏系统的安装、调试及维护	209
9.1 对光伏系统安装人员的要求	209
9.1.1 光伏系统安装人员的条件	209
9.1.2 北美光伏系统安装人员合格考试内容	209
9.2 光伏系统的安装	210
9.2.1 系统安装前的准备	211
9.2.2 太阳电池方阵的安装	211
9.2.3 控制器和逆变器等电气设备的安装	214
9.2.4 蓄电池组的安装	216
9.3 光伏系统的调试	217
9.3.1 调试前的准备工作	217
9.3.2 方阵调试	217
9.3.3 控制器调试	218
9.3.4 离网逆变器调试	219
9.3.5 并网逆变控制器调试	219
9.4 光伏系统的维护及管理	221
9.4.1 日常维护	222
9.4.2 定期检查	222
参考文献	229
练习题	229
第10章 光伏系统的应用	230
10.1 光伏系统的类型	230
10.1.1 离网非户用系统	230
10.1.2 离网户用系统	242
10.1.3 分布式并网系统	243
10.1.4 集中式并网系统	244
10.1.5 混合系统	248
10.2 光伏组件的特殊应用	248
10.2.1 光伏与建筑一体化	249
10.2.2 光伏声屏障系统	253

10.3 空间光伏电站·····	255
参考文献·····	257
练习题·····	258
第 11 章 光伏发电的效益分析 ·····	259
11.1 光伏发电的经济效益·····	259
11.1.1 光伏发电成本 ·····	259
11.1.2 光伏发电成本的历史及展望 ·····	265
11.2 光伏发电的能量偿还时间·····	268
11.2.1 能量偿还时间(EPBT) ·····	268
11.2.2 国外分析综述 ·····	268
11.2.3 相关参数的计算方法 ·····	277
11.3 光伏发电减少 CO ₂ 排放量·····	280
11.3.1 发电排放的温室气体 ·····	280
11.3.2 CO ₂ 排放指数 ·····	280
11.3.3 光伏减排 CO ₂ 潜力 ·····	285
11.4 光伏发电的其他效益·····	287
参考文献·····	289
练习题·····	289

第1章 绪 论

1.1 开发利用太阳能的重要意义

1.1.1 化石燃料正面临逐渐枯竭的危机局面

随着世界人口的持续增长和经济的不断发展,对于能源供应的需求量日益增加,而在目前的能源消费结构中,主要还是依赖煤炭、石油和天然气等化石燃料。

全球一次能源消费量在 1971—2000 年的平均年增长率是 2%,在 2001—2004 年为 3.7%,其中 2003—2004 年为 4.3%。增长率不断提高的主要原因是:亚太地区在 2001—2004 年的平均年增长率为 8.6%,特别是中国,在 2003—2004 年,达到了 15%。国际能源署(IEA)在 2011 年 10 月发表的统计资料 *CO₂ emissions from fuel combustion highlights (2011 edition)* 显示,中国在 1990—2009 年平均一次能源消费量的年增长率达到了 160.7%。部分国家在 1971—2009 年的一次能源供应总量见表 1-1。

表 1-1 部分国家在 1971—2009 年的一次能源供应总量(单位:petajoules^①)

年 度 国 家	1971	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2009	1990—2009 变化率(%)
美国	66464	69231	75558	74278	80177	86550	95180	97086	90557	12.9
日本	11201	12772	14424	15194	18393	20777	21727	21793	19761	7.4
法国	6639	6907	8029	8533	9374	9909	10545	11331	10727	14.4
德国	12772	13126	14954	14956	14713	14112	14122	14181	13336	-9.4
英国	8737	8347	8308	8406	8621	9055	9334	9301	8238	-4.4
加拿大	5918	6948	8064	8060	8732	9662	10528	11397	106639	21.8
南非	1890	2251	2734	3710	3930	4560	4789	5458	6031	53.4
印度	6551	7441	8589	10667	13261	16089	19143	22521	28196	113.4
中国	16526	20418	25252	29248	36493	44292	46401	71555	95126	160.7
俄罗斯 ^②	32169	39351	46453	52248	36810	26655	25927	27286	27085	-26.4
巴西	2921	3815	4767	5416	5872	6746	7920	9021	10055	71.2

注:① 1 petajoules = 10¹⁶ J。

② 俄罗斯 1985 年以前为苏联的数据。

据美国能源部能源信息管理综合分析及预测办公室(EIA)于 2011 年 9 月发表的 *International energy outlook 2011 (DOE/EIA-0484(2011))* 估计,世界能源消费量从 2006—2035 年将增加将近 60%。在燃料中,石油一直占有最大份额,2006 年占 35.7%,到 2035 年将降低为 29.3%。表 1-2 为 2006—2035 年世界各种燃料能源消费量的统计和预测。

表 1-2 2006—2035 年世界各种燃料能源消费量的统计和预测(单位: $\times 10^{24}$ Btu^①)

年 度 燃料种类	历史数据			预测数据					2008—2035 年 平均增长率 (%)
	2006	2007	2008	2015	2020	2025	2030	2035	
石油	171.7	172.7	173.0	187.2	195.8	207.0	216.6	225.2	1.0
天然气	107.5	110.9	114.3	127.3	138.0	149.4	162.3	174.7	1.6
煤炭	127.2	133.3	139.0	157.3	164.6	179.7	194.7	209.1	1.5
核能	27.8	27.1	27.2	33.2	38.9	43.7	47.4	51.2	2.4
其他	47.1	48.5	51.3	68.5	82.2	91.7	100.6	109.5	2.9
总计	481.3	492.6	504.7	573.5	619.5	671.5	721.5	769.8	1.6

注:① Btu 为英热单位符号,1Btu = 2.93071 $\times 10^4$ kW · h。

中国的经济正在高速发展,能源消耗量在过去 10 年中大幅度上升,占预测的全球能源使用增长的 36%,2000—2008 年中国能源消费量比 20 世纪 90 年代 10 年间的增加了 4 倍多。近年来,由于受到世界金融风暴和全球经济衰退的影响,世界许多地区的能源需求都放慢了脚步,2009 年美国的能源消费量下降了 5.3%。而中国的经济仍然持续强劲增长,能源消费量也

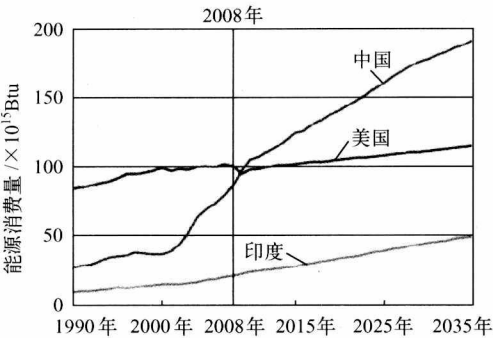


图 1-1 中国、美国和印度能源消费的变化情况
来源:International energy outlook 2011

不断攀升,其需求量在 2008—2035 年间将会上升 75%。初步数据表明,2009 年中国已超过美国成为世界上最大的能源消费国。EIA 预计,到 2035 年中国占世界能源的消费量将会从现在的 17% 上升到 22%,届时美国的能源消费量只有中国的 68%。引人注目的是,在 2000 年中国的能源消费量仅仅是美国的一半。因为中国人均消费水平仍然很低,只有经合组织国家平均水平的 1/3,而且有 13 亿人口,所以能源消费进一步增长的趋势依然强劲。图 1-1 所示为中国、美国和印度的能源消费变化情况预测。

根据 EIA 发布的 International energy outlook 2011 附表 A1 参考情况统计和预测,世界部分国家和地区一次能源消费量见表 1-3。预计中国在 2008—2035 年一次能源消费的平均年增长率为 3.0%。

表 1-3 2006—2035 年部分国家和地区一次能源消费量(单位: $\times 10^{15}$ Btu)

年 度 国家/地区	历史数据			预测数据					2008—2035 年 平均增长率 (%)
	2006	2007	2008	2015	2020	2025	2030	2035	
美国	99.8	101.7	100.1	102.0	104.9	108.0	111.0	114.2	0.5
加拿大	14.0	14.3	14.3	14.6	15.7	16.4	17.6	18.8	1.0
墨西哥	8.5	8.3	8.5	9.5	10.4	11.5	13.0	14.7	2.1
日本	23.3	23.0	22.4	22.2	23.2	23.7	23.7	23.8	0.2
韩国	9.4	9.8	10.0	11.1	11.6	12.4	13.1	13.9	1.2

(续表)

年 度 国家/地区	历史数据			预测数据					2008—2035 年 平均增长率 (%)
	2006	2007	2008	2015	2020	2025	2030	2035	
澳大利亚/新西兰	6.5	6.6	6.8	7.4	7.8	8.1	8.5	8.9	1.0
俄罗斯	29.1	29.7	30.6	31.1	31.3	32.3	33.7	35.5	0.6
中国	73.4	78.9	86.2	124.2	140.6	160.9	177.9	191.4	3.0
印度	18.8	20.0	21.1	27.8	33.1	38.9	44.3	49.2	3.2
中东	24.0	24.0	25.6	31.0	33.9	37.3	41.3	45.3	2.1
非洲	17.2	17.8	18.8	21.5	23.6	25.9	28.5	31.4	1.9
中南美	25.9	26.5	27.7	31.0	34.2	38.0	42.6	47.8	2.0
巴西	11.5	12.1	12.7	15.5	17.3	19.9	23.2	26.9	2.8
总计	481.3	492.6	504.7	573.5	619.5	671.5	721.5	769.8	1.6

中国石油依赖进口的情况也越来越严重。2009 年,中国石油消费量估计为 830 万桶/天,比 2008 年增长近 500 万桶/天。2009 年,中国生产石油量估计为 400 万桶/天,石油进口约 430 万桶/天,也就是约有一半石油需要进口,首次超过日本成为仅次于美国的世界第二大石油进口国,而且从长远来看,这种趋势还将继续,预计在 2020 年将超过美国成为世界最大的石油进口国,如图 1-2 所示。据 EIA 发布的 *International energy outlook 2011* 预测,2035 年中国液体燃料的需求量将上升到约 1300 万桶/天,其中约 72% 需要进口原油,明显高于目前的约 50%。根据 EIA *International Energy Statistics* 统计,中国近年来的石油生产、消费和进口情况见表 1-4。

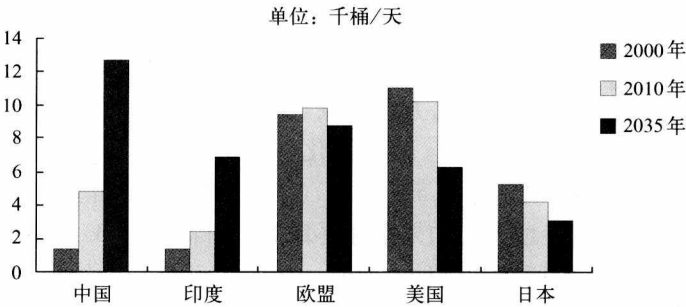


图 1-2 部分国家和地区的石油进口情况(来源:World energy outlook 2011)

表 1-4 中国近年来的石油生产、消费和进口情况(单位: $\times 10^3$ 桶/天)

年 度	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
消费	4917.9	5160.7	5578.1	6437.5	6695.4	7263.3	7534.1	7467.5	8539.7	9330.2
生产	3434.5	3529.8	3559.0	3657.5	3791.6	3865.3	3956.3	4026.3	4066.0	4351.4
进口	589.221	698.652	796.511	911.200	871.273	915.192	873.139	941.342	1102.291	971.498

能源消费不断增长的情况正面临挑战,地球上化石燃料的蕴藏量是有限的,根据已探明的储量,全球石油可开采约 45 年,天然气约 61 年,煤炭约 230 年,铀约 71 年。据世界卫生组织估计,到 2060 年全球人口将达 100 亿~110 亿,如果到时所有人的能源消费量都达到今天发达国家的

人均水平,则地球上主要的 35 种矿物中,将有 1/3 在 40 年内消耗殆尽,包括所有的石油、天然气、煤炭(假设为 2 万亿吨)和铀。所以世界化石燃料的供应正在面临严重短缺的危机局面。

为了应对这种局面,必须逐步改变能源消费结构,大力开发以太阳能为代表的可再生能源,在能源供应领域走可持续发展的道路,才能保证经济的繁荣发展和人类社会的不断进步。

1.1.2 保护生态环境逐渐受到人们的重视

由于人类的活动,主要是化石燃料的燃烧,造成了环境污染,导致全球气候变暖、冰山融化、海平面上升、沙漠化日益扩大等现象出现,自然灾害频繁发生。人们逐渐认识到,减少温室气体的排放,治理大气环境,防止污染已经到了刻不容缓的地步。

联合国政府间气候变化专门委员会发表的《气候变化 2007 综合报告》指出:“自 1750 年以来,由于人类活动,全球大气 CO_2 、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)浓度已明显增加,目前已经远远超出了根据冰芯记录测定的工业化前几千年中的浓度值。2005 年大气中 CO_2 和 CH_4 的浓度已远远超过了过去 650000 年的自然范围。全球 CO_2 浓度的增加主要是由于化石燃料的使用,自工业化时代以来,由于人类活动已引起全球温室气体排放增加,其中 1970—2004 年期间增加了 70%。自从 20 世纪中叶以来,大部分已观测到的全球平均温度的升高很可能是由于人为温室气体浓度增加所导致。过去 50 年,各大陆(南极除外)均出现了显著的人为变暖。 CO_2 是最重要的人为温室气体,1970—2004 年期间, CO_2 年排放量已经增加了约 80%,从 210 亿吨增加到 380 亿吨,在 2004 年已占到人为温室气体排放总量的 77%;在 1995—2004 年, CO_2 当量排放的增加速率(每年 9.2 亿吨 CO_2 当量)比前一个十年期(1970—1994 年)的排放速率(每年 4.3 亿吨 CO_2 当量)高得多。全球大气中 CO_2 当量浓度已由工业化前时代的约 280×10^{-6} 增加到 2005 年的 379×10^{-6} 。1995—2005 年, CO_2 当量浓度增长平均值为每年 1.9×10^{-6} ,大于自从连续和直接的大气观测开始以来(1960—2005 年增长平均值为每年 1.4×10^{-6})的浓度值(虽然在增长率中存在年际变率)。若温室气体以当前或高于当前的速率排放将在 21 世纪期间造成温度进一步升高,并会诱发全球气候系统中的许多变化,这些变化很可能会大于 20 世纪期间所观测到的变化。气候变化可能导致一些不可逆转的影响,有中等可信度表明,如果全球平均温度增幅超过 $1.5 \sim 2.5^\circ\text{C}$ (与 1980—1999 年相比),所评估的 20% ~ 30% 的物种可能面临灭绝风险增大。如果全球平均温度升高超过 3.5°C ,模式预估结果显示,全球将出现大量物种灭绝(占所评估物种的 40% ~ 70%)。”表 1-5 给出了基于模式预估的针对 21 世纪末(2090—2099 年)全球地表温度升高及平均海平面上升的预估值。

表 1-5 21 世纪末全球平均地表温度升高及海平面上升的预估值

SRES 标志情景 ^②	温度变化(与 1980—1999 年相比, 2090—2099 年时段的温度)/ $^\circ\text{C}$ ^{①、④}		海平面上升(与 1980—1999 年相比, 2090—2099 年时段的高度)/m
	最佳估值	可能性范围	基于模式的变化范围, 不包括未来冰流的快速动力变化
稳定在 2000 年的浓度水平 ^③	0.6	0.3 ~ 0.9	无
B1 情景	1.8	1.1 ~ 2.9	0.18 ~ 0.38
A1T 情景	2.4	1.4 ~ 3.8	0.20 ~ 0.45
B2 情景	2.4	1.4 ~ 3.8	0.20 ~ 0.43
A1B 情景	2.8	1.7 ~ 4.4	0.21 ~ 0.48