

太阳能/风力发电 与系统并网技术

〔日〕 甲斐隆章 藤本敏朗 著

王 庆 译

钱 诚 刘涓涓 审



太阳能/风力发电与 系统并网技术

〔日〕甲斐隆章 藤本敏朗 著

王 庆 译

钱 诚 刘涓涓 审

科 学 出 版 社

北 京

图字：01-2012-1904号

内 容 简 介

本书主要介绍太阳能发电系统、风力发电系统的原理与结构,以及新能源与系统并网技术,内容包括:太阳能电池的原理、种类、特性,太阳能电池阵列,并网式系统与反向功率流的有无,功率调节器,系统并网保护继电器;风力发电的原理,风力发电系统的基本结构,风能与变速控制及功率曲线,风力发电系统的种类与特征,并网条件与系统并网保护继电器,风力发电系统的发电原理;与系统并网相关基本事项,与低压配电线的并网,与高压配电线的并网;与发电设备设置相关的法规与手续。虽然其中涉及的法规及手续是针对日本的,但是我们可以结合国情借鉴他们的思路,很好地为我国的能源发展服务。

本书可作为从事新能源开发与利用的技术人员、研发人员及管理的技术指导书,也可供工科院校新能源相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能/风力发电与系统并网技术/(日)甲斐隆章,藤本敏朗著;王庆译;钱诚,刘涓涓审. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-036873-7

I.太… II.①甲… ②藤… ③王… ④钱… ⑤刘 III.①太阳能发电-系统工程-研究;②风力发电系统-研究 IV.①TM615 ②TM614

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第040632号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面制作:林一帆

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>

天津市新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年4月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013年4月第一次印刷 印张: 10 3/4 插页: 4

印数: 1—4 000 字数: 161 000

定价: 32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

现在，世界各国都在致力于实现低碳社会，签订了京都议定书的日本，与1990年相比，已经实现了2008年至2012年降低温室气体排放6%的目标。在日本2001年的综合资源能量调查会的新能源部会报告书中，曾经提到过，2010年的新能源导入目标为，太阳能发电为482万kW，风力发电为300万kW，生物质发电为33万kW，但5年前，日本太阳能发电量第一的位置却让位于德国，处于不能够实现上述目标的状况，因而作为新能源（可再生能源）的普及对策，希望导入新的制度。另一方面，在联合国，以面向后京都的发达国家与发展中国家形成一体框架为目标进行激烈的讨论，但各国的想法各有不同，达成一致需要相当一段时间。

关于太阳能发电，从长期来看，根据2008年的福田构想，至2030年日本的导入目标为现在的40倍即5300万kW，至2020年为2800万kW。而且，对于太阳能发电，2009年1月日本又恢复了补偿金制度，2009年11月将只限于住宅用的太阳能发电的剩余电力的买进价格提高至48日元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，引发现代的太阳能发电潮。进而，通过今年的政权交接而上台的鸠山内阁在联合国上声明，日本2020年温室气体排放的削减目标为1990年的25%，先进国家与新兴国家一道致力于温室气体排放的削减。而且，对于利用新能源所产生的电力，研究了电力公司义务性全部买进的制度，例如，买进对象是哪种新能源产生的，价格如何，以及电费追加额（家庭或工业的负担额）等，目前正在等待迎接兼顾上述问题的政策的出台。

为了大量导入新能源，需要在电力系统中并网分散式电源（电力公司等以外单位或人员所设置的电源）。因此，全世界对能够接受大量的太阳能发电及风力发电的智能电网（新一代电

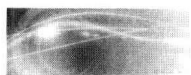
网)寄予了很大的希望,期待在现有电网中应用ICT(信息通信技术)、电力电子技术、蓄电池技术等,在接近用户的地方大量导入分散式电源。与之相关,日本经济产业省已经着手通过横滨等四个城市形成生态城的实际验证实验,而且,各电气设备厂商也分别计划进行各自的实际验证实验。

本书中,以具有代表性的新能源即太阳能发电、风力发电为中心,在第1章中论述了这些新能源的概况与普及状况;在第2章中论述了太阳能发电系统、风力发电系统的原理与结构等,作为针对太阳能发电、风力发电等的分散式电源的系统并网的安保与电力质量维持的第三方规程,发表了《系统并网规程(JEAC 9701-2006)》;在第3章中简单地叙述了关于上述内容的基础;在第4章中,针对系统并网协议及安保规程中诸多手续进行了叙述。在新能源大量普及的大潮不断增长的情势下,发行兼顾新能源与系统并网技术的本书正合时宜,自认为是至今为止未曾有过的书籍。但是,如果重新来看,发现未曾涉及的部分,以及论述不充分的部分有很多,怀着抱歉的心情,希望本书作为入门书籍能够给予读者一些帮助。

最后,对株式会社高岳制作所顾问松田高幸氏、OHM社各相关人员,以及提供资料的各相关公司/团体表示衷心的感谢。

甲斐隆章

2010年8月



目 录



1 章 新能源发电的普及及其背景	1
1.1 全球气候变暖的对策和新能源	2
1.1.1 全球气候变暖	2
1.1.2 全球气候变暖对策及新能源	4
1.2 日本及世界对新能源的普及状况	8
1.2.1 太阳能发电	8
1.2.2 风力发电	10
1.2.3 燃料电池	12
1.2.4 生物质发电	17
2 章 利用新能源的发电系统	25
2.1 太阳能发电系统	26
2.1.1 太阳能电池的原理	26
2.1.2 太阳能电池的种类	27
2.1.3 太阳能电池的特性	28
2.1.4 并网式系统与反向功率流的有无	29
2.1.5 太阳能发电系统的基本结构	34
2.1.6 太阳能电池阵列	34
2.1.7 功率调节器	36
2.1.8 系统并网保护继电器(单独运行检测功能)	45

2.2 风力发电系统	53
2.2.1 风力发电的原理	53
2.2.2 风力发电系统的基本结构	54
2.2.3 风能与变速控制及功率曲线	57
2.2.4 风力发电系统的种类与特征	59
2.2.5 并网条件与系统并网保护继电器	62
2.2.6 风力发电系统的发电原理	62



3 章 新能源与系统并网技术

3.1 新能源发电系统与系统并网	74
3.2 系统并网指导原则的完善现状	76
3.3 进行系统并网的发电系统的分类	80
3.4 与系统并网相关的基本事项	81
3.4.1 并网的分类	81
3.4.2 系统并网与防止单独运行	85
3.4.3 接电方式	87
3.4.4 功率因数	89
3.4.5 电压变化	91
3.4.6 谐 波	95
3.5 与低压配电线的并网	96
3.5.1 基本思路	96
3.5.2 必要的保护继电器的种类与作用	97
3.5.3 防止单独运行	102
3.5.4 保护装置的结构例	114
3.6 与高压配电线的并网	116
3.6.1 基本思路	116
3.6.2 必要的保护继电器的种类与作用	116

3.6.3 防止单独运行	121
3.6.4 重合闸时的故障防止	133
3.6.5 对于短路故障保护的注意点 (限流电抗器的设置等).....	136
3.6.6 保护装置的结构例	136
 章 与发电设备设置相关的法规与手续 (日本).....	145
4.1 与发电设备相关的法规概况	146
4.2 关于发电设备设置的手续概况	150
译者跋	159

1.1 全球气候变暖的对策和新能源

1.1.1 全球气候变暖

由于全球气候变暖及能源问题，太阳能及风能等作为新一代能源在世界范围内备受瞩目。如图1.1所示，地球所沐浴的太阳能在地球表面形成反射红外线，向宇宙散出。但是，如果地球被二氧化碳、甲烷等笼罩，那么由地表反射的红外线就会被这些气体吸收，导致地球仿佛处于被“塑料大棚”包围的状态，这就是全球气候变暖的成因。因此，二氧化碳、甲烷等被称为导致全球气候变暖的温室效应气体。

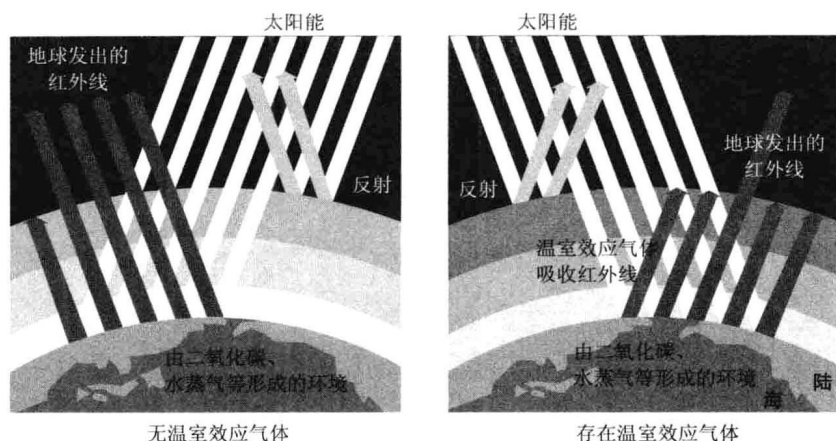


图1.1 全球气候变暖的成因

由联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的报告可知，地球的平均气温从1906年至2005年的100年间上升了 0.74°C ，IPCC预测，假设即使所有的温室效应气体以2000年的水平保持不变，那么今后的10年内温度也将逐年升高 0.1°C 。从现在开始的100年间在如下几种情况，地球的平均气温可能随之升高 1.8°C 至最高 6.4°C 。

情况之一是在全球规模兼顾环境保护和经济发展的可持续发展式社会下平均气温升高 1.8°C ；情况之二是在重视地区性问题的解决及世界公平

性的地区共存式社会下平均气温升高 2.8°C ；情况之三是在政治经济区域化、人员及技术交流受到限制的多元化社会下平均气温升高 3.4°C ；情况之四是在重视化石能源、以迄今为止的经济增长速度持续增长的高度成长式社会下平均气温升高 4°C 。据预测，如果地球的平均气温升高 2°C ，那么每年遭受洪水侵害的人数为数万人；如果地球的平均气温升高 4°C ，则地球上的40%的野生生物将濒临绝灭的危机。

全球气候变暖如图1.2所示，由于海平面的上升以及喜马拉雅山脉冰川的溶化等，导致洪水、干旱，引发农作物歉收、影响人类的健康等各种深刻的问题。



图1.2 全球气候变暖的影响

对于温室效应气体中排放量最多的二氧化碳，2004年各国的排放量如图1.3所示，由该图可知，在最近的数据中，排在第一位和第二位的分别为美国和中国，分别约占总排放量的20%，合计约占全世界总排放量的40%。日本的二氧化碳排放量2005年度为11.7亿吨，约占世界总排放量的4%，相当于每人每年大约9吨的排放量。EC（欧盟）占世界总排放量的

12%，发展中国家占世界总排放量的31%。

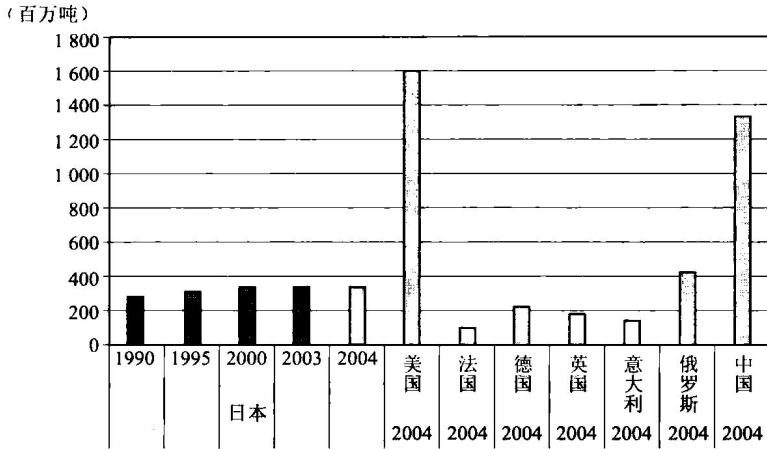


图1.3 世界二氧化碳排放量（出自：NEDO新能源指南 2008）

石油、天然气、煤炭等化石燃料的可开采年限如图1.4所示，石油的可开采年限为41年，煤炭的可开采年限为164年。所谓可开采年限是指对于已确认储藏的化石燃料，以现有消耗量，计算在今后的几年内耗尽这些燃料所需要的年数。今后，只要未再发现新的化石燃料的储藏，那么在不久的将来，化石燃料将面临枯竭。特别是，日本作为资源匮乏的国家，98%的石油依赖进口，因此，确保国产能源是最重要的预防措施。

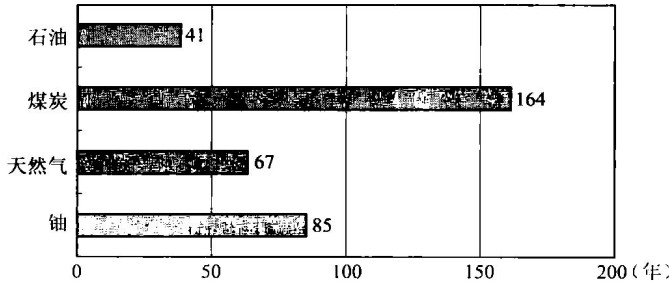
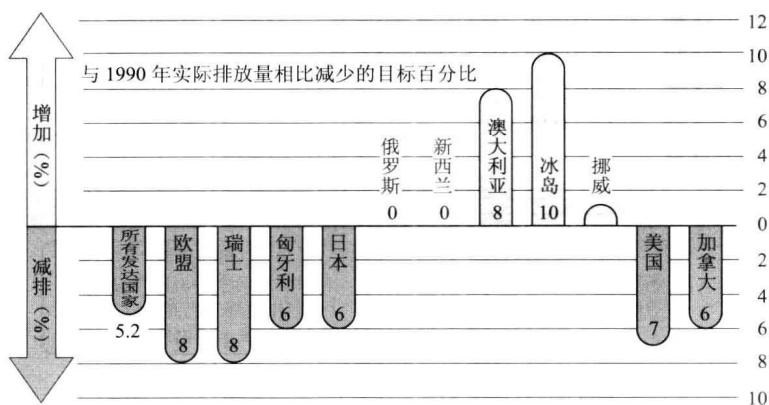


图1.4 化石燃料的可开采年限（出自：NEDO新能源指南 2008）

1.1.2 全球气候变暖对策及新能源

如上所述，地球环境及能源问题是左右全世界以及人类未来的重要问

题，所以，在1997年举行的联合国第三次气候变化相关框架条约缔约国会议（COP3）上签订了京都议定书，如图1.5所示，对于各国分配了减排温室效应气体的目标。同意该目标的日本与1990年相比，需在2008年~2012年5月之间减少6%，但是2005年度的二氧化碳排放量与1990年相比增加了7%，目前实现该目标比较困难。



对于发达国家（包括前苏联、东欧），从将二氧化碳作为温室效应气体的2008年开始，将以2012年的平均排放量与1990年的水平相比至少减少5%为目标，设定各国同时期的减排目标

图1.5 京都会议所确定的各国减排温室效应气体的目标

（出自：NEDO新能源指南2008）

在福田内阁时期，温室效应气体减少的长期目标为，在2050年之前，与现在相比减少60%~80%；在鸠山内阁时期，其目标为，在2020年之前，与1990年相比减少25%。至于到2020年的中期目标，作为后京都议定书现在已经议定，在该议定书中，要求脱离京都议定书的美国及发展中国家的中国、印度也参加进来。

在日本，不必担心枯竭、且具有不排放二氧化碳特征的太阳能及风能被称为“新能源”，新能源作为石油的替代能源在经济层面上并未被充分普及，在《关于促进新能源利用等的特别处置法》中已经被定义为亟待促进其导入的项目。

2008年1月，日本内阁会议通过了《关于促进新能源利用等的特别处置法施行令的一部分修改政令》，对新能源的定义进行了如图1.6所示的更改，从新能源中删除了燃料电池等。

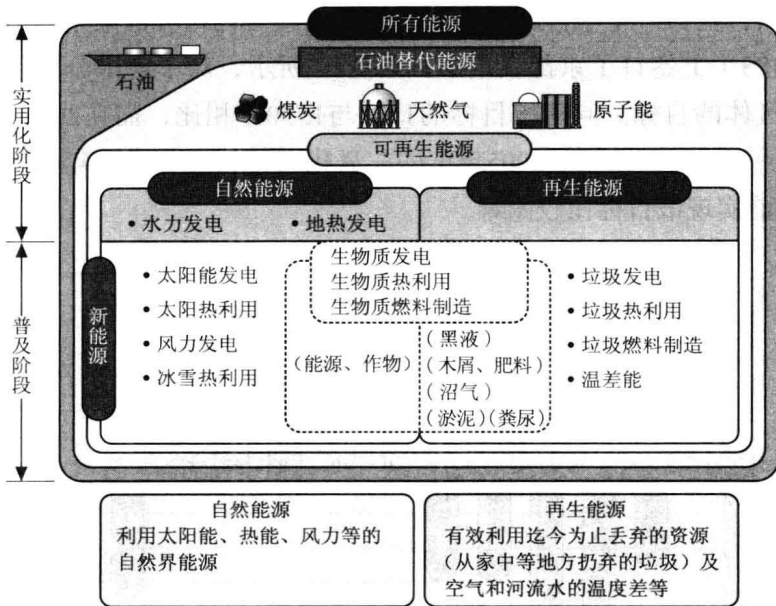


图1.6 新能源分类（出自：资源能源厅）

太阳能、风能等为自然能源，垃圾发电为再生能源，组合这两种能源后称为“可再生能源”，新能源的优势如下所述：

- 环保的绿色能源。
- 石油的替代能源。
- 身边的能源，具有多种多样的利用形式。

为普及新能源，以日本经济产业省综合资源能源调查会“新能源部会”为中心，研讨了2010年的导入目标，导入目标以原油换算为1910万kL，表1.1表示不同新能源的导入目标。

从2003年4月开始实行《关于电力服务商利用新能源等的特别处置法》（Renewable Energy Portfolio Standard, RPS）。

这是相对于上一年度的电销售量而附加给电力服务商从新能源获得电力的义务，具有如下的利用形式：

- 自行利用新能源等发电并提供电力。
- 从其他地方购买并提供新能源等电力。
- 从其他地方购买相当于新能源等的电力。

这是赋予电力服务商利用新能源而得到电力的义务，表1.2为所示的利

表1.1 日本2010年的新能源导入目标（出自：NEDO新能源指南 2008）

	原油换算（万kL）	发电容量（万kW）
太阳能发电	118	482
风力发电	134	300
生物质发电+垃圾发电	586 （其中生物质发电34万kL）	587 （其中生物质发电33万kW）
太阳热利用	90	-
垃圾热利用	186	-
生物质热利用	308	-
未利用能源（包括冰雪热利用）	5	-
黑液、废料等	483	-
新能源提供合计	1910	-

表1.2 电力服务商利用新能源等电力的目标量

年 度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度
目标量（亿kW·h）	86.7	92.7	103.8	124.3	128.2	142.1	157.3	173.3

用目标。关于太阳能发电，考虑到与其他电能的发电成本的差异（约为风力发电的5倍），判断需要推进太阳能发电的进程，确定从2011年至2014年基于太阳能发电的RPS相当量为基于其他电能的RPS相当量的2倍。

2009年度要求电力服务商（42个公司）利用新能源等的利用量为91.7亿kW·h，而且，在该年度中，根据RPS法得到认定的新能源等发电设备为83 562台，设备容量为64.5万kW。由此，2009年度末的新能源等发电设备认定台数如表1.3所示，为519 966台，设备容量的累计为648.6158万kW。

表1.3 2009年度新能源等发电设备的认定状况（出自：资源能源厅）

发电形式	设备数（件）			设备容量（kW）		
	认定	报废	2009年度末	认定	报废	2009年度末
风力发电	37	1	375	271 639	500	2 314 328
太阳能发电	16	3	83	1850	7	18 087
水力发电	21	0	477	2865	0	203 453
生物质发电	11	6	350	49 053	9344	2 014 881
地热发电	0	0	1	0	0	2000
复合型发电	2	1	32	144	21	14 069
合计	87	11	1318	325 551	9872	4 566 818
特定太阳能发电	83 475	791	518 648	319 687	2939	1 919 340
总计	83 562	802	519 966	645 238	12 811	6 486 158

（备注）（1）生物质发电设备的设备容量是在各设备的容量基础上乘以生物质产热率而得到的。

（2）特定太阳能发电是在太阳能发电设备中，根据《太阳能的新买进制度》，将买进对象即设备作为新的发电形式而区分。

1.2 日本及世界对新能源的普及状况

1.2.1 太阳能发电

太阳光的能量密度为 $1\text{kW}/\text{m}^2$ ，其能量可以通过将p型半导体和n型半导体形成pn结的太阳能电池转换为电能而加以利用。图1.7表示太阳能发电系统的实例。

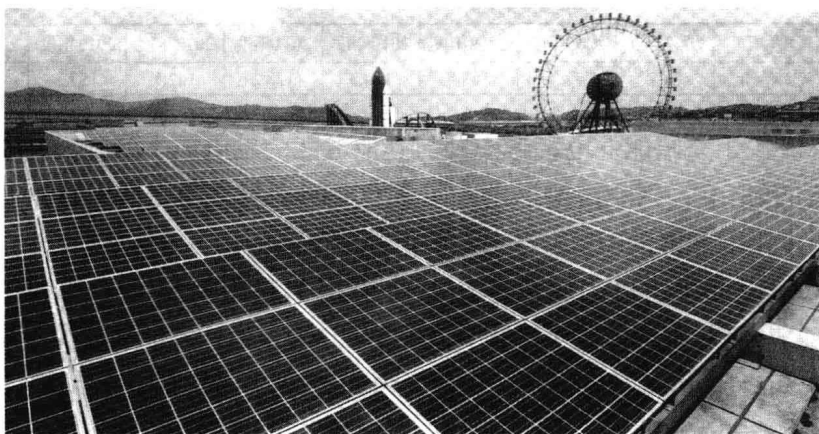


图1.7 太阳能发电系统的实例

(日本北九州市立自然史、历史博物馆，系统容量160kW)

根据所设置的场所，太阳能发电系统分为公共/产业用与住宅用，其发出的电为直流电，通过功率调节器转换为交流电，通常与电力系统并网运行，最普及的多晶硅太阳能电池的转换效率为15%~20%。

太阳能发电的特征如下所示：

- 发电及买进电力都能自动进行，而且几乎不需要对设备进行维护。
- 能够有效利用住宅的屋顶及学校的房顶等不使用的空间。
- 能够作为山中小屋或自然公园等不通电的区域的电源灵活使用。
- 在发生灾害等停止供电的情况下，能够作为应急电源发挥作用。

图1.8、图1.9表示世界及日本对太阳能发电的导入量。日本2004年

累计导入量为113万kW，居于世界首位。但2005年日本废除了补偿金制度，而另一方面，德国在2004年，通过固定价格买入制度（FIT：上网电价），将太阳能发电的电价提高至70日元/kW·h，因而促进太阳能发电迅速普及。其结果为，德国在2005年的累计导入量为190万kW，超过日本在该年度的累计导入量143万kW，而一跃居于世界首位，直至今在。

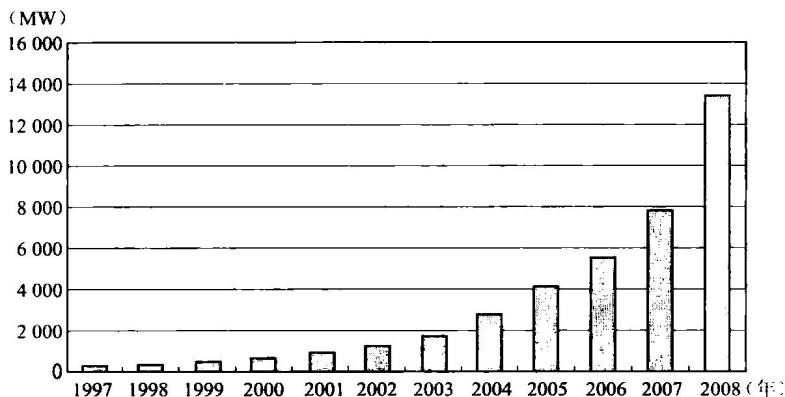


图1.8 世界对太阳能发电导入的变迁（出自：IEA（国际能源机构）PVPS资料）

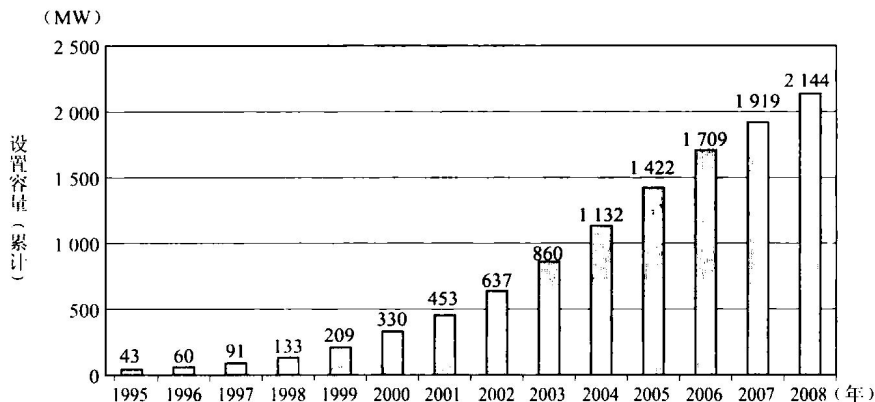


图1.9 日本对太阳能发电导入的变迁（出自：电气事业联合会）

日本2010年的导入目标为482万kW，至2008年末已经累计导入214万kW，因此，为实现更进一步的普及，日本从2009年1月起又恢复了补偿金制度，从2009年11月开始，只要是住宅用太阳能发电，那么导入固定价格买入制度（FIT）的买入价格提高至大约2倍，约为48日元/kW·h，从而促进太阳能发电迅速发展。