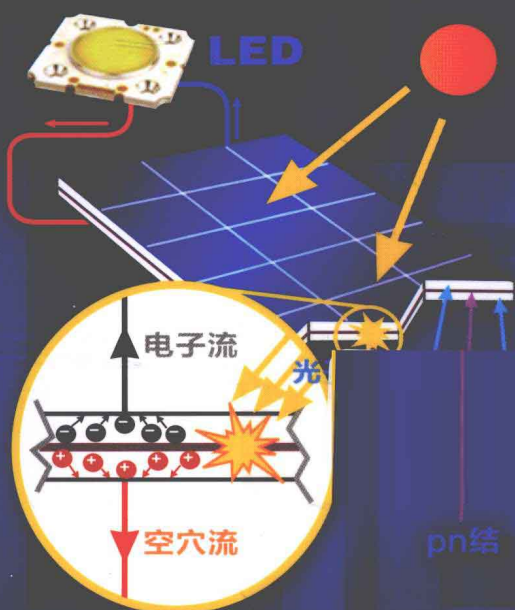


太阳能LED 照明系统

陈育明 编著



化学工业出版社

太阳能LED 照明系统

陈育明 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了太阳能 LED 照明技术的基本原理、系统构成和设计应用。全书共 8 章,第 1 章简要叙述了太阳能 LED 照明技术的背景、意义和基本原理;第 2~5 章主要介绍了构成太阳能 LED 照明系统的各部件的基本原理和使用特性,包括了太阳电池、LED 光源、蓄电池和控制系统;第 6 章介绍了太阳能 LED 照明系统的设计;第 7 章介绍了太阳能 LED 照明系统的应用情况;第 8 章介绍了太阳能 LED 照明系统的安装和维护。

本书可供从事太阳能光伏系统设计、应用、研究和管理的相关科技人员、技术人员以及相关高等院校、专业技术学院的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能 LED 照明系统/陈育明编著. —北京: 化学工业出版社, 2011. 5
ISBN 978-7-122-10677-3

I. 太… II. 陈… III. 太阳能-发光二极管-照明技术 IV. TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 034877 号

责任编辑: 戴燕红

文字编辑: 丁建华

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

710mm×1000mm 1/16 印张 15½ 字数 309 千字 2011 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

能源已经成为现代社会发展的重要基石，全球都关注着能源储备问题。可再生能源将对实现社会经济的可持续发展具有举足轻重的意义，太阳能无疑是其中一种非常理想的清洁能源，太阳能的应用也越来越受到重视。LED 具有效率高、寿命长等优势，配合太阳能应用可以实现高效节能的照明，是理想的太阳能照明产品。太阳能作为低功耗直流电源已实现了实用化，随着生产技术的进步光电转换效率不断提高，而且成本大幅度降低。LED 技术和太阳能技术的结合相得益彰，二者的结合可以在很大程度上摆脱对传统电源和人工维护等方面的依赖和由此带来的成本，具有极高的社会效益和经济效益。随着太阳能产业化进程和技术开发的深化，它的效率、性价比将得到提高，LED 技术在照明领域的应用也将得到长足进步，因此太阳能 LED 照明技术将推动我国“绿色照明工程”的快速发展。

本书共 8 章，系统介绍了太阳能 LED 照明技术的基本原理、系统构成和设计应用。第 1 章简要叙述了太阳能 LED 照明技术的背景、意义和基本原理；第 2~5 章主要介绍了构成太阳能 LED 照明系统的各部件的基本原理和使用特性，包括太阳电池、LED 光源、蓄电池和控制系统；第 6 章介绍了太阳能 LED 照明系统的设计；第 7 章介绍了太阳能 LED 照明系统的应用情况；第 8 章介绍了太阳能 LED 照明系统的安装和维护。

本书编写过程中参考和引用了大量国内外的著作文献，主要的已列入书后的参考文献，在此谨向这些作者表示衷心感谢。

由于作者水平有限，编写时间仓促，太阳能 LED 照明的发展又比较迅速，书中会存在很多不足，恳请广大读者批评指正。

陈育明

2011 年 2 月于复旦

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 太阳能资源应用概述	3
1.2 光伏发电技术	10
1.3 太阳能 LED 照明系统	13
第 2 章 太阳电池	23
2.1 太阳电池概述	25
2.2 太阳电池的基本特性	34
2.3 太阳电池的外部特性	42
2.4 太阳电池的发展	45
第 3 章 LED 光源及其驱动技术	53
3.1 LED 的工作原理	55
3.2 LED 的光学特性	59
3.3 LED 的电学特性	64
3.4 LED 的热学特性	66
3.5 LED 的封装技术	69
3.6 半导体照明驱动和控制技术	73
3.7 LED 的分选技术	78
3.8 LED 灯及太阳能 LED 系统	80
第 4 章 蓄电池	89
4.1 蓄电池基本概念与特性	91
4.2 蓄电池种类及其工作原理	99
4.3 铅酸蓄电池	112
4.4 蓄电池充放电控制	118
4.5 VRLA 电池	122
第 5 章 控制系统	129
5.1 控制系统的原理和要求	131

5.2	充电控制·····	132
5.3	放电控制·····	138
5.4	控制器的分类·····	140
第 6 章	系统设计	145
6.1	设计要求·····	147
6.2	容量配置·····	149
6.3	太阳能电池方阵的位置·····	158
6.4	配电设计·····	161
第 7 章	太阳能 LED 照明的应用	171
7.1	照明设计基础·····	173
7.2	太阳能 LED 道路照明 ·····	202
7.3	太阳能 LED 草坪灯 ·····	207
7.4	太阳能 LED 景观照明 ·····	210
7.5	太阳能 LED 广告照明 ·····	214
第 8 章	安装与维护	223
8.1	系统的安装·····	225
8.2	检查测试·····	229
8.3	系统的维护·····	232
参考文献		239

第 1 章

绪 论

传统的化石能源正在逐渐减少，并且对环境造成的危害日益突出。21 世纪全世界都把目光投向了可再生能源，希望可再生能源能够改变人类的能源消费结构，维持长远的可持续发展。太阳能作为一种巨量的可再生能源，以其独有的优势而成为研究利用的热点。太阳能 LED（发光二极管）照明产品是新一代的绿色环保照明产品，它集成了太阳能光伏发电和 LED 固态照明优点，实现了新一代能源和新型光源的完美结合。

1.1 太阳能资源应用概述

1.1.1 太阳能替代化石能源

在传统的能源消费结构中，以石油、天然气和煤炭为主的化石能源占有重要比例。这些化石能源的形成如图 1.1 所示，亿万年前古生物吸收太阳能辐射到地球上的部分能量后经过沧海桑田的演化才变成了今天的化石能源。随着人类近百年的消费，这些化石能源的消耗非常快，根据专家预计地球上通过 25 亿年累积的化石能源，人类只要 400 年就可以消耗殆尽，因此能源危机在进入 21 世纪以来显得更加危急。

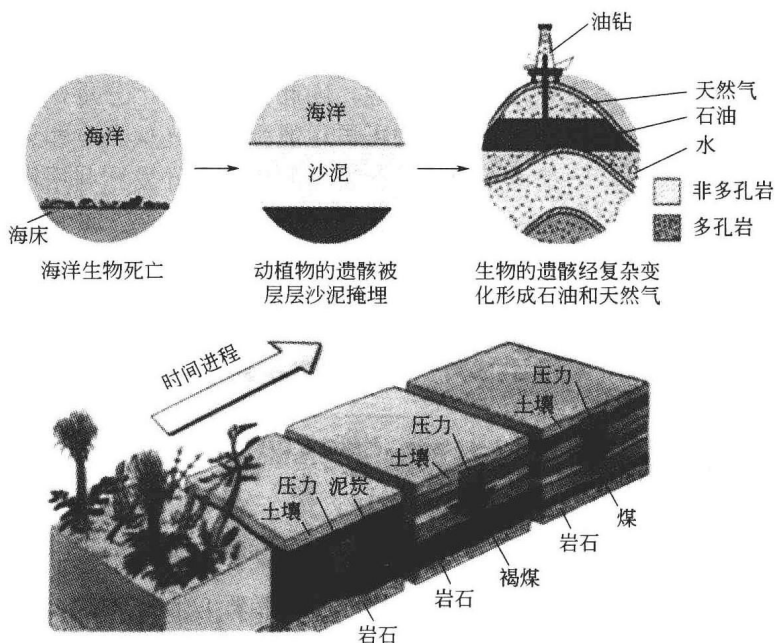


图 1.1 化石能源的形成

尽管世界各国都竭力降低能源的消耗，但随着人口规模和经济体量的增大，能源的消耗还在不断增加。根据 21 世纪初进行的世界能源储备的调查，化石能源的储备已经不多了（如图 1.2 所示），世界上石油的可采量只有 35

年了, 而中国的能源储备量更少, 中国各种一次能源的储量水平均低于世界水平, 因此 21 世纪我国高速的发展的重要瓶颈就是能源短缺问题。

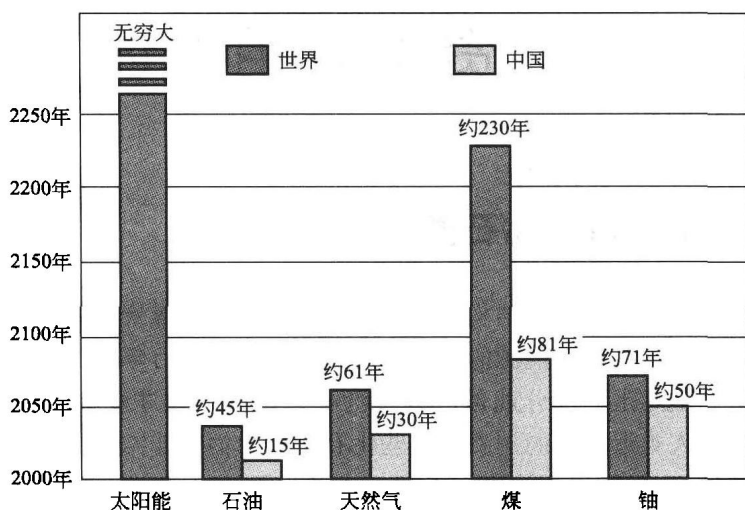


图 1.2 世界和中国一次能源的储量比较

从长远来看, 人类利用一次能源为主的时代将一去不复返, 可再生能源必将成为人类的消费能源的主要来源, 因此全世界都十分重视可再生能源对未来能源供应的重要作用。在新的可再生能源中, 光伏发电和风力发电是发展最快的, 世界各国都把太阳能光伏发电的商业化开发和利用作为重要的发展方向。根据欧盟联合研究中心 (JRC) 的预测 (如图 1.3 所示), 到 2030 年太阳能发电将在世界电力的供应中显现其重要作用, 达到 10% 以上, 可再生能源在总能源结构中占到 30% 以上; 2050 年太阳能发电将占总能耗的 20% 以上, 可再生能源占到 50% 以上, 到 21 世纪末太阳能发电将在能源结构中起到主导作用。

1.1.2 太阳能利用与环境保护

经过一个多世纪的发展, 目前全球能源消耗增幅基本趋于稳定, 平均每年呈 3% 指数增加。能耗的不断增长的趋势带来了十分严重的后果: 一方面伴随着化石燃料消耗的增加, 大气中 CO_2 的含量相应增加, 地球不断变暖, 生态环境恶化, 自然灾害及其造成的损失逐年增加, 另一方面将越来越快地消耗掉常规化石能源储量。能源的潜在危机和生态环境的恶化迫使世界各国积极开发可再生能源。在今后的 20~30 年里, 全球的能源结构必然发生根本性的变化。如上所述, 在 21 世纪 50 年代, 新能源与可再生能源在整个能源构成中会占到 50%。因此开发利用包括太阳能在内的可再生能源、实现

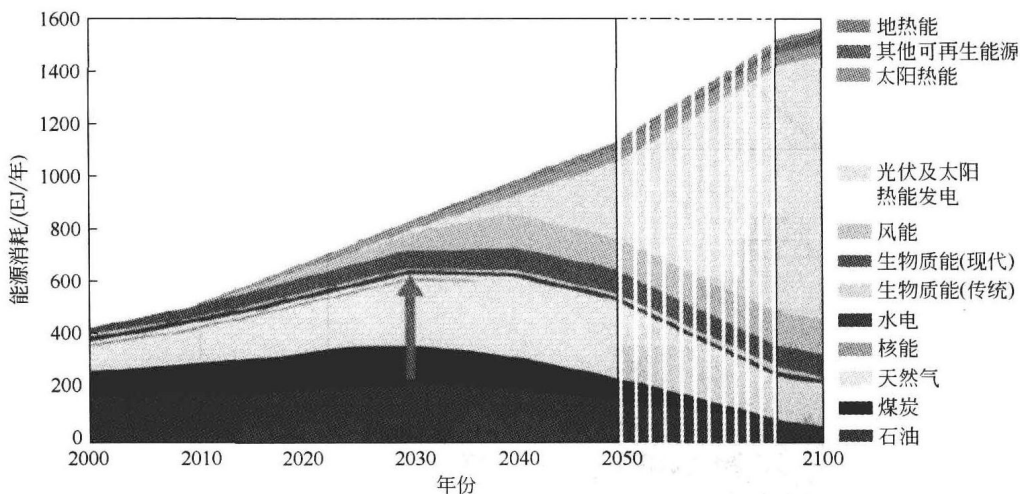


图 1.3 欧盟联合研究中心对全球能源构成变化的预测

能源工业的可持续发展具有更加迫切、更加重大的战略意义。

20 世纪 70 年代 Meadows 等发现化石能源的燃烧排放的二氧化碳 (CO_2) 会阻碍地球与外太空的辐射热量交换，导致地表有较高的温度（温室效应），进一步会导致气候变化和环境破坏。从工业化革命以来，人类物质文明得到高速发展的同时，地球的生态环境却遭到了严重的破坏。在过去的 100 年时间里，全球的气温上升了 $0.3\sim 0.6^\circ\text{C}$ ，全球的海平面上升了 $10\sim 25\text{cm}$ 。根据研究发现，造成这一现象的主要温室气体是 CO_2 ，其作用约占 60%，而 CO_2 的产生主要是煤、石油和天然气等化石燃料的燃烧排放。专家预计：如果不对温室气体采取措施，到 2100 年全球气温将升高 13.5°C 。改变当前对化石能源的依赖已经刻不容缓了，开发绿色环保的可再生能源将成为全球的重要任务。

太阳是一个巨大的反应堆，具有庞大的辐射能量 ($3.8\times 10^{26}\text{W}$)。尽管太阳辐射到地球大气层的能量仅为其总辐射能量的二十二亿分之一，已经高达 $1.73\times 10^{17}\text{W}$ ，相当于每分钟有 320 亿桶石油的能量传送到地球上。图 1.4 给出了人类可利用的太阳能和全球能耗量的对比，可利用的太阳能辐射是全球能源总消耗量的 14000 倍。1 年的太阳能辐射累积的能量就已经远大于目前地球上所有探明的化石能源总和。因此开发利用太阳能的潜力巨大，可以满足人类对能源的需求。

太阳能是可以直接利用的绿色能源，使用过程中没有污染排放物，因此是一种理想的可再生能源。目前各种发电方式的碳排放率如图 1.5 所示，各种发电方式计算的碳排放率是以各种发电方式使用的原料的开采运输、发电设备制造、输电线路的配备、电站运行发电以及维护保养和废弃物排放与处理整个周期里的能源消耗为依据的。采用太阳能光伏发电的碳

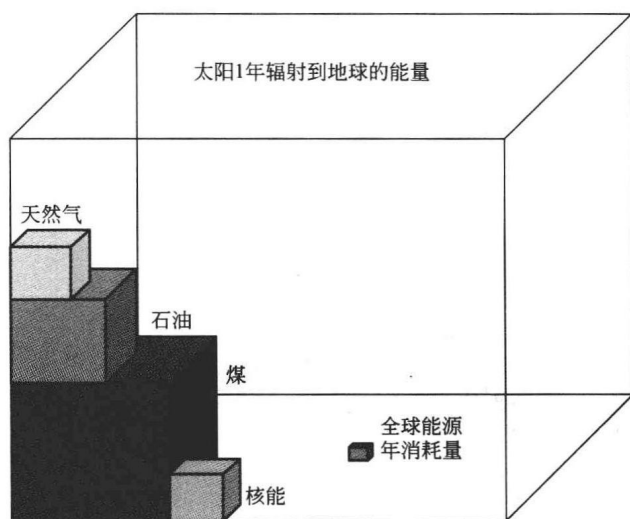


图 1.4 全球能源消耗与太阳能及化石能源的对比

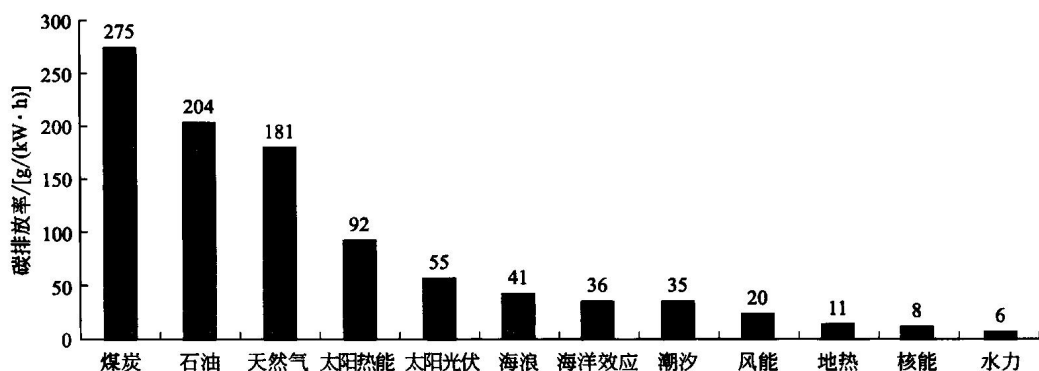


图 1.5 各种发电方式的碳排放率

排放率只有煤炭发电的 $1/5$ 。太阳能作为一种新能源，与常规化石能源相比具有四大优势。

① 它是人类可利用的最丰富的能源，据研究太阳在过去的 11 亿年里仅消耗了本身能量的 2%，因此不必担心太阳能的枯竭问题。

② 太阳对整个地球表面进行照射，因此世界各处均可以利用太阳能，不需要对原料进行输运，对在边远地区和无电力设施的区域更具有利用优势。

③ 太阳能在使用的时候是一种洁净的能源，在发电过程中不必担心出现废渣、废水和废气，也不会影响周围的生态环境。

④ 太阳能是目前已知能源中最丰富的，每年到达地球表面上的太阳辐射能约相当于 130 亿吨煤，是可以开发的最大能源。

太阳能在实际使用中,与常规能源相比也有一些不足之处,主要有以下三点。

① 分散性:到达地球表面的太阳辐射的总量尽管很大,但是能流密度很低,影响利用效率。平均说来,北回归线附近,夏季在天气较为晴朗的情况下,正午时太阳辐射的辐照度最大,在垂直于太阳光方向 1m^2 面积上接收到的太阳能平均有 1000W 左右;若按全年日夜平均,则只有 200W 左右。而在冬季大致只有一半,阴天一般只有 $1/5$ 左右,这样的能流密度是很低的。因此,在利用太阳能时,想要得到一定的转换功率,往往需要面积相当大的一套收集和转换设备,造价较高。

② 不稳定性:由于受到昼夜、季节、地理纬度和海拔高度等自然条件的限制以及晴、阴、云、雨等随机因素的影响,所以,到达某一地面的太阳辐照度既是间断的,又是极不稳定的,这给太阳能的大规模应用增加了难度。为了使太阳能成为连续、稳定的能源,从而最终成为能够与常规能源竞争的替代能源,就必须很好地解决蓄能问题,即把晴朗白天的太阳辐射能尽量贮存起来,以供夜间或阴雨天使用,但目前蓄能也是太阳能利用中较为薄弱的环节之一。

③ 效率低和成本高:目前太阳能利用的发展水平,有些方面在理论上是可行的,技术上也是成熟的。但有的太阳能利用装置,因为效率偏低,成本较高,总的来说,经济性还不能与常规能源相竞争。在今后相当一段时期内,太阳能利用的进一步发展,主要受到经济性的制约。

1.1.3 我国的太阳能资源

我国太阳能资源也十分丰富,全国 $2/3$ 以上的地区的年日照时间大于 2000h ,西部较多地区的日照时间超过 3000h 。我国太阳能资源分布的主要特点有:

① 太阳能的高值中心和低值中心都处在北纬 $22^\circ\sim 35^\circ$,这一带,青藏高原是高值中心,四川盆地是低值中心;

② 太阳年辐射总量,西部地区高于东部地区,而且除西藏和新疆两个自治区外,基本上是南部低于北部;

③ 由于南方多数地区云多雨多,在北纬 $30^\circ\sim 40^\circ$ 地区,太阳能的分布情况与一般的太阳能随纬度而变化的规律相反,太阳能不是随着纬度的增加而减少,而是随着纬度的升高而增长。

目前我国的能源结构是以煤炭为主,是世界上最大的煤炭消费国。煤炭燃烧产生的温室气体是所有发电方式中最高的,因此对环境造成的污染问题比较严重。能源和环境污染问题已经制约了我国的发展,而我国开发利用的

太阳能资源还不到可开发利用的 $1/1000$ ，因此发展太阳能的潜力巨大。为了按照各地不同条件更好地利用太阳能，按接受太阳能辐射量的大小，全国大致上可分为五类地区（如图 1.6 和表 1.1 所示）。从图 1.6 中可以看到，我国大部分地区（除云贵高原部分地区）均有较好的太阳能资源可以开发利用。

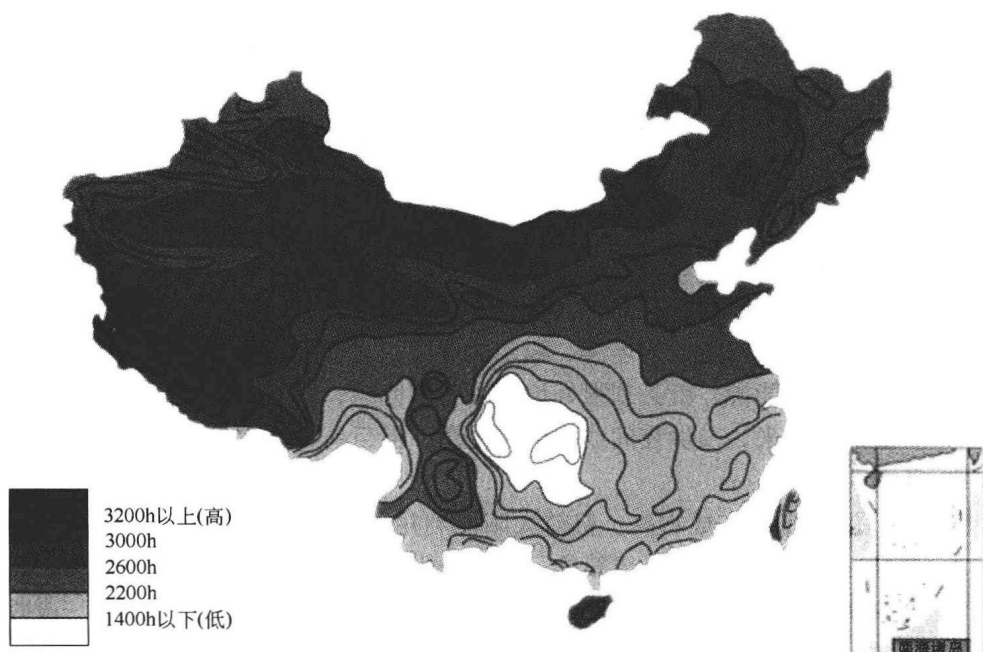


图 1.6 我国的太阳能资源分布

表 1.1 我国太阳能资源分布情况

地区类型	年日照时数 /(h/a)	年辐射总量 /[MJ/(m ² ·a)]	等量热量所需 标准燃煤/kg	包括的主要地区	备 注
一类	3200~3300	6680~8400	225~285kg	宁夏北部, 甘肃北部, 新疆东南部, 青海西部, 西藏西部	太阳能资源最丰富地区
二类	3000~3200	5852~6680	200~225kg	河北西北部, 山西北部, 内蒙古南部, 宁夏南部, 甘肃中部, 青海东部, 西藏东南部, 新疆南部	较丰富地区
三类	2200~3000	5016~5852	170~200kg	山东, 河南, 河北东南部, 山西南部, 新疆北部, 吉林, 辽宁, 云南, 陕西北部, 甘肃东南部, 广东南部, 福建南部, 江苏北部, 安徽北部, 台湾西南部	中等地区
四类	1400~2200	4180~5016	140~170kg	湖南, 广西, 江西, 浙江, 湖北, 福建北部, 广东北部, 陕西南部, 江苏南部, 安徽南部, 黑龙江, 四川西部, 台湾东北部	较差地区
五类	1000~1400	3344~4180	115~140kg	四川东部, 贵州, 重庆	最差地区

(1) 一类地区

全年日照时数为 3200~3300h。在每平方米面积上一年内接受的太阳能辐射总量为 6680~8400MJ, 相当于 225~285kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部和西藏西部等地。是中国太阳能资源最丰富的地区, 与印度和巴基斯坦北部的太阳能资源相当。尤以西藏西部的太阳能资源最为丰富, 全年日照时数达 2900~3400h, 年辐射总量高达 7000~8000MJ/m², 仅次于撒哈拉大沙漠, 居世界第 2 位。

(2) 二类地区

全年日照时数为 3000~3200h。在每平方米面积上一年内接受的太阳能辐射总量为 5852~6680MJ, 相当于 200~225kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部等地。为中国太阳能资源较丰富区。相当于印度尼西亚的雅加达一带。

(3) 三类地区

全年日照时数为 2200~3000h。在每平方米面积上一年接受的太阳辐射总量为 5016~5852MJ, 相当于 170~200kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏北部、安徽北部、天津、北京和台湾西南部等地。为中国太阳能资源的中等类型区。相当于美国的华盛顿地区。

(4) 四类地区

全年日照时数为 1400~2200h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为 4180~5016MJ, 相当于 140~170kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括湖南、湖北、广西、江西、浙江、福建北部、广东北部、陕西南部、江苏南部、安徽南部以及黑龙江、四川西部、台湾东北部等地。是中国太阳能资源较差地区。相当于意大利的米兰地区。

(5) 五类地区

全年日照时数为 1000~1400h。在每平方米面积上一年内接受的太阳辐射总量为 3344~4180MJ, 相当于 115~140kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括四川东部、贵州、重庆等地。此区是中国太阳能资源最少的地区。相当于欧洲的大部分地区。

一、二、三类地区, 年日照时数大于 2200h, 辐射总量高于 5000MJ/(m²·a), 是我国太阳能资源丰富或较丰富的地区, 面积较大, 约占全国总面积的 2/3 以上, 具有利用太阳能的良好条件。四、五类地区虽然太阳能资

源条件较差，但仍有一定的利用价值。

1.2 光伏发电技术

1.2.1 光伏发电简介

科学家对光伏发电的研究已经有两个世纪的历史了。1839 年，法国科学家 A. E. 贝克雷尔 (A. E. Becquerel) 发现光照时能够使由两片金属浸入电解液结构的伏打电池产生额外的电位势，这种现象后来被称为“光生伏打效应 (photovoltaic effect)”，简称“光伏效应”。1873 年英国科学家 W. B. Smith 发现了对光照敏感的硒材料，并推理出光照下硒的发电能量与光照的强度成正比。1880 年 Charles Fritts 开发出了以硒为材料的光伏电池。在所有的能够产生光伏效应的器件中，半导体 PN 结是迄今为止光电转换效率最高的器件，因此太阳电池主要采用此结构。

早期的太阳电池光电转换效率低，生产成本低，阻碍了太阳电池的使用。科学家们一直致力于太阳电池的研究，以提高光电转换效率和降低生产成本。20 世纪 50 年代，美国贝尔实验室的科学家在为远程通讯寻找电源时，发现结构掺杂的硅半导体对光的敏感比硒好，并可以产生稳定的电压。1954 年，美国贝尔实验室首次制成了实用的单晶硅太阳电池，其光电转换效率达到了 6%，至此将太阳光能转换为电能的实用光伏发电技术产生了。

20 世纪 70 年代，太阳电池的研究得到广泛的开展，各种空间飞行器使用的单晶硅太阳电池面世，科学家们还研制出了超薄的单晶硅太阳电池，但此时的主要问题还是成本较高。

20 世纪 70 年代后，随着现代工业的发展，全球能源危机和大气污染问题日益突出，由于太阳能的独特优势，太阳电池的研究得到空前规模的开展。20 世纪 80 年代后，太阳电池的种类不断增多、应用范围日益广阔、市场规模也逐步扩大。更为重要的是生产太阳电池的成本呈指数下降，这为太阳电池的普及使用提供了条件。

21 世纪，随着科技水平的不断进步和人类对太阳能利用的重视，太阳电池的性能将得到不断的提高，生产成本不断降低，将在日常生活中得到普及使用。

1.2.2 光伏发电的现状和发展

近年来世界各国特别是发达国家对光伏发电技术十分重视，世界太阳能电池年产量迅速增加，连续 8 年增速在 30% 左右，2004 年的年增长率甚至超过 60%，达到 1200MW。图 1.7 所示为 1988~2004 年世界太阳能电池的产量。

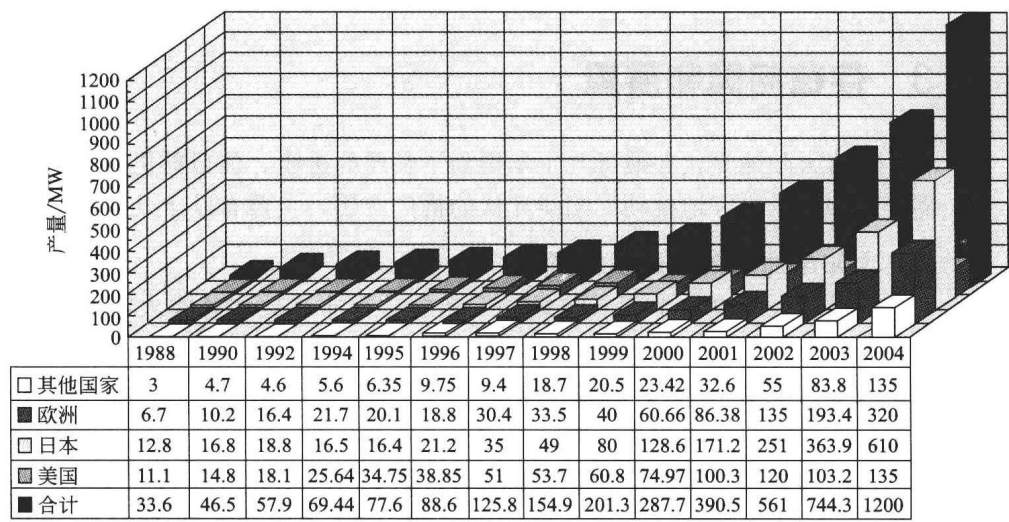


图 1.7 1988~2004 年世界太阳能电池的产量

我国光伏产业在 2004 年之后飞速发展，年平均增长率超过 40%（如表 1.2 所示），2007~2009 年连续三年太阳能电池产量居世界第一，目前，行业年产值超过 2000 亿元，就业人数 30 万人。

表 1.2 2004~2010 年累计安装容量							单位：MWp	
项目	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
年度增加		10	27	38	52	75	105	138
累计安装	55	65	92	130	182	257	362	500

注：平均年增长率为 41%。

通过自主创新和集成创新相结合，我国光伏产业形成了具有自主知识产权的核心技术体系。目前我国千吨级多晶硅规模化技术取得突破，2010 年已基本实现自给，不再依赖进口；晶体硅太阳能电池已经占有技术和成本的绝对优势，2009 年产量已占全世界产量的 40%。随着我国光伏生产设备的国产化率的不断提升，太阳能电池的成本会有很大的下降通道，将为太阳能在我