

国家骨干高职院校建设项目教材

太阳能光伏发电技术

主 编 颜 慧

副主编 吕 军 金 秋



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

6)

要 目 录 内

国家骨干高职院校建设项目教材

太阳能光伏发电技术

主 编 颜 慧

副主编 吕 军 金 秋

作为高等职业教育技能型人才培养规划教材,《太阳能光伏发电技术》立足这一基点,从工程实际出发,深入浅出,详细地论述了太阳能光伏发电的基础知识,太阳能光伏组件的选型、串并联、最大功率跟踪、光伏阵列的倾角、方位角、遮挡、日照时数、太阳辐射强度的测算,太阳能光伏发电系统设计、光伏并网发电系统、光伏发电系统运行与维护。

本书是依据太阳能光伏发电技术编写教学内容,理论联系实际,突出对太阳能发电能力和技术应用能力的培养。

本书编写过程中,吕军编写了学习情境1,颜慧编写了学习情境2~4,金秋编写了学习情境5,同时邀请了大量的行业专家和企业技术人员参与了编写工作,在此表示衷心的感谢。

由于光伏建设起步晚,限于篇幅,本书未能涉及光伏发电的所有内容,存在一定的局限性,错误和遗漏在所难免,恳请读者指正。



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

太阳能光伏发电系统的应用正在迅速发展,本书在全面介绍太阳能光伏发电知识的基础上,着重对光伏发电系统实用技术,包括太阳辐射强度的正确测算,光伏方阵的组合设计,各类光伏系统的构成、实际应用、优化设计,以及光伏系统的操作使用及管理维护等方面,进行了比较详细的阐述和分析。本书技术内容先进,实用,可操作性强。

本书可作为高等职业教育技能型人才培养规划教材,不仅适用于高等职业院校电力专业和光伏新能源专业的教学,也可作为太阳能光伏产业人员的上岗培训用书,对太阳能光伏企业的工程技术人员、管理人员、维修服务人员、生产销售人员和科技爱好者均有较好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电技术 / 颜慧主编. — 北京: 中国
水利水电出版社, 2014. 8
国家骨干高职院校建设项目教材
ISBN 978-7-5170-2369-2

I. ①太… II. ①颜… III. ①太阳能发电—高等职业
教育—教材 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第195703号

书 名	国家骨干高职院校建设项目教材 太阳能光伏发电技术
作 者	主编 颜慧 副主编 吕军 金秋
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14印张 332千字
版 次	2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

随着人类文明的发展,全球正面临着化石能源短缺和生态环境污染的严重局面,推进可再生能源的发展在各国已经达成共识。其中太阳能光伏产业已成为新能源行业中的最大亮点,太阳能光伏发电应用技术得到广泛推广。光伏产业的发展需要大量的技术人员和从业人员。

作为高等职业教育技能型人才培养规划教材,《太阳能光伏发电技术》立足这一基点,从工程实际出发,深入浅出,详细地论述了太阳能光伏发电的基础知识,太阳能光伏系统的组成、设计、安装施工与维护,并详细介绍了太阳能光伏技术的应用。全书共分为7个学习情境:光伏发电技术认知,太阳辐射强度的测算,太阳能电池方阵组合,离网式光伏发电系统,并网式光伏发电系统,光伏发电系统设计及案例分析,光伏发电系统操作使用与管理维护。

本书是依据太阳能光伏系统的组成和应用,循序渐进,由浅入深,项目化地编写教学内容,理论和实训实践有机结合,使得所写内容流畅、实用且贴近企业生产实际。本书紧紧围绕太阳能光伏技术应用能力和基本素质培养这条主线,突出对太阳能光伏发电系统的基本技术和基本技能的培养,注重职业能力和技术应用及管理能力的强化。

本书编写过程中,吕军编写了学习情境7,金秋编写了学习情境5、学习情境6的主要内容,颜慧编写了其余的学习情境,并负责全书统稿。同时,本书编写过程中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。

编者

2014年1月

学习情境1 光伏发电技术认知	85
任务1 并网式光伏发电系统认知	85
任务2 太阳能电池组件设计选型	89
任务3 蓄电池的设计选型	93
任务4 光伏控制器的作用和设计	102
任务5 逆变器的原理和选型	111
任务6 离网光伏系统其他设备选型	124

目录

前言

学习情境 1 光伏发电技术认知	1
任务 1 太阳能光伏发电的重要意义	1
任务 2 太阳能光伏发电的特点	4
任务 3 近年来世界光伏产业的发展状况	6
任务 4 太阳能光伏发电设计标准、规范应用规定	17
本章小结	18
习题 1	18
实训项目 1	19
学习情境 2 太阳辐射强度的测算	21
任务 1 太阳高度角、方位角的确定	21
任务 2 太阳辐射量的计算	28
本章小结	36
习题 2	36
实训项目 2	37
学习情境 3 太阳能电池方阵组合	39
任务 1 太阳能电池的认知	39
任务 2 提高太阳能电池效率的一些方法	51
任务 3 屋顶太阳能电池方阵组合	58
任务 4 地面太阳能电池方阵组合	75
本章小结	81
习题 3	81
实训项目 3	81
学习情境 4 离网式光伏发电系统	85
任务 1 离网式光伏发电系统认知	85
任务 2 太阳能电池组件设计选型	89
任务 3 蓄电池的设计选型	93
任务 4 光伏控制器的作用和选型	102
任务 5 逆变器的原理和选型	111
任务 6 离网光伏系统其他设备选型	124

本章小结	133
习题 4	133
实训项目 4	134
学习情境 5 并网式光伏发电系统	138
任务 1 并网式光伏发电系统认知	138
任务 2 并网光伏发电系统的优化设计	147
任务 3 光伏并网逆变器	165
任务 4 光伏阵列的安装及防雷措施	169
本章小结	174
习题 5	174
实训项目 5	174
学习情境 6 光伏发电系统设计及案例分析	177
任务 1 离网式光伏发电系统设计	177
任务 2 并网式光伏发电设计	181
任务 3 并网光伏发电案例分析	187
任务 4 离网式光伏发电案例分析	201
本章小结	206
习题 6	206
实训项目 6	206
学习情境 7 光伏发电系统操作使用与管理维护	208
任务 1 太阳能光伏发电系统操作使用	208
任务 2 太阳能光伏发电系统管理维护	210
本章小结	216
习题 7	216
参考文献	217

学习情境 1 光伏发电技术认知

【教学目标】

- ◆ 初步了解光伏发电的重要意义。
- ◆ 了解光伏发电的特点。
- ◆ 了解光伏产业的发展现状。
- ◆ 熟悉光伏发电系统的相关标准。

【教学要求】

知识要点	能力要求	相关知识	所占分值 (100分)	自评 分数
光伏发电的重要意义	加强对世界能源危机的认识	常规电网的局限性认识	20	
光伏发电的特点	掌握光伏发电的优点和缺点	光伏发电的概念	20	
光伏产业发展现状	1. 了解世界光伏产业的发展状况； 2. 了解我国光伏产业的发展现状	光伏电池，光伏应用市场，各国政策支持	30	
光伏发电系统的相关标准	熟悉光伏发电系统设计运行维护的相关标准	系统设计运行维护的操作流程	30	

任务 1 太阳能光伏发电的重要意义

【学习目标】

- ◇ 了解世界能源危机。
- ◇ 了解可再生能源的发展潜力。
- ◇ 了解常规电网的局限性。

1.1.1 世界能源危机局面

近年来，曾支撑 20 世纪人类文明高速发展的以石油、煤炭和天然气为主的化石能源出现了前所未有的危机，除其储藏量不断减少外，更严重的是科学研究发现，化石能源在使用后产生的 CO₂ 气体作为温室效应气体排放到大气中后，导致了全球变暖，引发了人

们对未来社会发展动力来源的广泛关注和思考。

随着世界经济、社会的发展,未来世界能源需求量将继续增加。预计,2020年达到128.89亿t油当量,2025年达到136.50亿t油当量,年均增长率为1.2%。根据《2004年BP世界能源统计年鉴》,截至2003年年底,全世界剩余石油探明可采储量为1565.8亿t,世界煤炭剩余可采储量为9844.5亿t。然而地球上化石燃料的蕴藏量是有限的,根据已探明的储量,化石能源耗尽时间大约为:石油、天然气50~100年,煤炭200多年。

常规能源的大量利用对人类生存环境也有着日趋严重的破坏作用。到20世纪末人们开始意识到:由于每年燃烧常规能源所产生的CO₂排放量约210亿t左右,已经使地球严重污染,而且目前CO₂的年排放量还在呈上升趋势。CO₂造成了地球的温室效应,使全球气候变暖。经过较为准确的推算,如果全球变暖1.5~4.5℃,最严重的后果是海平面将上升25~145cm,沿海低洼地区将被淹没,这将严重影响到许多国家的经济、社会和政治结构。此外,大量燃烧矿物燃料,会在大范围内形成酸雨,将严重损害森林和农田。目前全球已有数以千计的湖泊酸性度不断提高,并已接近鱼类无法生存的地步;酸雨还损坏石造建筑,破坏古迹,腐蚀金属结构,甚至进入饮用水源,释放出潜在的毒性金属(如镉、铅、汞、锌、铜等),威胁人类健康。因此,人类文明的高度发展与生存环境的极度恶化,形成了强烈的反差。

中国是目前世界上第二能源生产国和消费国,能源资源总量比较丰富。2006年,煤炭保有资源量10345亿t,已探明的石油、天然气资源储量相对不足。但中国人口众多,人均能源资源拥有量在世界上处于较低水平(表1-1)。煤炭和水力资源人均拥有量相当于世界平均水平的50%,石油、天然气人均资源量仅为世界平均水平的1/15左右。仅煤炭资源较为丰富,能源供应形势不容乐观。

表1-1 2007年年底世界及我国主要化石能源可采储量情况

能源类型	世界可采储量	我国可采储量	占世界比例	世界排名
石油	1686.3亿t	21.2亿t	1.3%	14
天然气	177.4万亿m ³	1.9万亿m ³	1.1%	18
煤炭	8474.9亿t	1145.0亿t	13.5%	3

针对以上情况,开发和利用新能源(可再生能源和无污染绿色能源)已是人类目前迫切需要解决的重要问题。虽然目前人类可利用的新能源,如太阳能、风能、地热能、水能、海洋能等能源形式都是可以满足要求的。但从能源的稳定性、可持久性、数量、设备成本、利用条件等诸多因素考虑,太阳能将成为最为理想的可再生能源和无污染能源。

1.1.2 可再生能源的潜力

人与自然应和谐共处。但目前全球已有70亿人口,与过去完全依靠自然能源生活的人口不能相提并论。如果不使用化石能源,很难养活70亿人口。不少国家的能源战略都有一个明显的政策导向——鼓励开发新能源。

新能源又称非常规能源,指传统能源之外的各种能源形式,或刚开始开发利用或正在积极研究、有待推广的能源,如太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能和核聚变能等。联合国开发计划署(UNDP)把新能源分为以下三大类:大中型水电;新可再生能



源,包括小水电、太阳能、风能、现代生物质能、地热能、海洋能(潮汐能);穿透生物质能。其中核能、太阳能即将成为主要能源。

许多国家都在研究能够替代化石燃料的能源,包括太阳能、风能、核能、生物质能和电动汽车等。福岛核事故后,全球对核能的想法急转直下,许多国家的核电建设都处于停滞状态,原本大力发展核电的中国也受到了影响,一年多来中国未再批准新的核电项目。2011—2012年间,全球对可再生能源的需求持续增长。2012年全球可再生能源累计装机超过了1470GW,较上一年增长8.5%。其中,风能的比例为39%左右,水能和太阳能光伏产能各占大约26%。太阳能光伏装机达到里程碑的100GW,已超过生物质发电,排在水能和风能之后,成为第三大可再生能源技术。《2013年世界BP能源统计年鉴》表明,可再生能源在电力行业的利用呈上升趋势(图1-1)。其中中国位居前列。2012年,中国巩固了在全球可再生能源市场上的主导地位,增长22%,即670亿美元,这很大程度上归功于对光伏产业的投资。在其他地区,尤其是在南非、摩洛哥、墨西哥、智利及肯尼亚,投资额也实现了飞涨。目前中国太阳能发电成本是1元/kWh,风电约为0.6元/kWh,核电约为0.43元/kWh,煤电成本约为0.45元/kWh。太阳能发电成本最高,化石能源发电仍最具有经济性。但化石能源是地球几十亿年来累积起来的深埋在地下的太阳能,总有一天消耗殆尽。因此,我们要充分利用当前的太阳能来满足我们的需要。

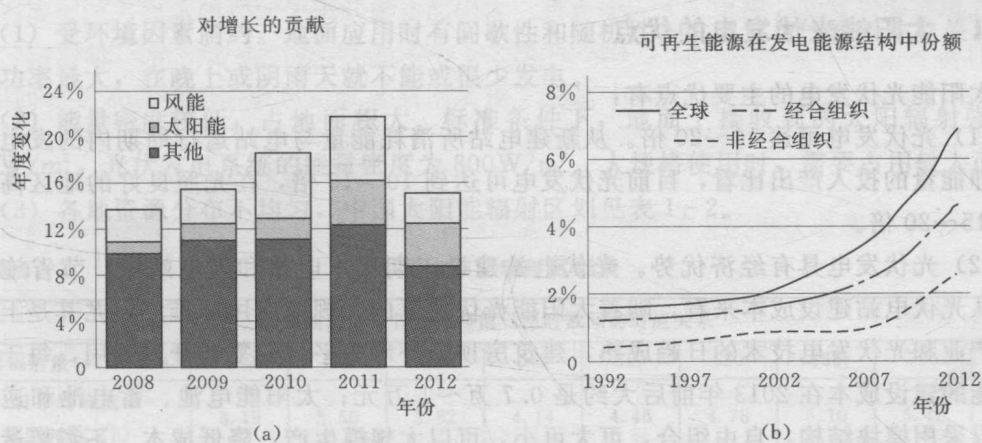


图1-1 2012年可再生能源在电力行业的利用

1.1.3 常规电网的局限性

常规电能主要指传统的水力发电和火力发电。

(1) 水力发电是再生能源,对环境冲击较小。除可提供廉价电力外,水力发电还有下列优点:①控制洪水泛滥。②提供灌溉用水。③改善河流航运同时改善该地区的交通、电力供应和经济,还可以发展旅游业及水产养殖。其缺点:①因地形上的限制无法建造太大的容量,单机容量为300MW左右。②建厂期间长,建造费用高。③因设于天然河川或湖沼地带、易受风、水之灾害,影响其他水利工程的建设。电力输出易受气候旱雨之影响。④建厂后不易增加容量。

(2) 火力发电的优点：技术成熟，目前成本最低。其缺点：污染大，可持续发展前景暗淡；耗能大，效率低。

现在全球还有将近 20 亿人口没有用上电，其中相当大部分生活在经济不发达的边远地区。由于居住分散，交通不便，很难通过延伸常规电力来解决生活用电问题。没有电力供应严重制约了当地经济发展。而这些无电地区往往太阳能资源十分丰富，利用太阳能发电是理想的选择。中国太阳能资源非常丰富，理论储量达每年 17000 亿 t 标准煤。充分利用太阳能资源，对解决许多农村学校、医疗所、家庭照明、电视等用电，对发展边远贫困地区的社会经济和文化发挥了十分重要的作用。西藏已有 7 个无电县城采用光伏电站供电，社会经济效益非常显著。

任务 2 太阳能光伏发电的特点

【学习目标】

- ◇ 了解太阳能光伏发电的优点。
- ◇ 了解太阳能光伏发电的缺点。

1.2.1 太阳能光伏发电的优点

太阳能光伏发电的主要优点有：

(1) 光伏发电可达 10~20 倍。从新建电站所消耗能量与电站运行周期内的发电量之比，即能量的投入产出比看，目前光伏发电可达到 10~15 倍，在光照良好的地区高的可达到 15~20 倍。

(2) 光伏发电具有经济优势。光伏电站建设工期比水电站和火电站短，节省施工费用；从光伏电站建设成本来看，随着太阳能光伏发电的大规模应用和推广，尤其是上游晶体硅产业和光伏发电技术的日趋成熟，建筑房顶、外墙等平台的复合开发利用，每千瓦光伏电能的建设成本在 2013 年前后大约是 0.7 万~1 万元；太阳能电池、蓄电池和逆变器都可以采用模块结构，自由组合，可大可小，可以大规模生产，降低成本。不需要运送燃料，可以放置在边远地区和海岛上。

(3) 光电资源蕴含量高达 96.64%。从我国可开发的资源蕴含量来看，学者和专家比较公认的数字，生物质能 1 亿 kW，水电 3.78 亿 kW，风电 2.53 亿 kW，而太阳能是 2.1 万亿 kW，只需开发 1% 即达到 210 亿 kW；从其比例看，生物质能仅占 0.46%，风电占 1.74%，水电 1.16%，而光电为 96.64%。

(4) 碳排放量接近零且不污染环境。从目前各种发电方式的碳排放来看，不计算其上游环节：煤电为 275g，油发电为 204g，天然气发电为 181g，风力发电为 20g，而太阳能光伏发电则接近零排放，并且，在发电过程中没有废渣、废料、废水、废气排出，没有噪声，不产生对人体有害物质，不会污染环境。

(5) 转换环节最少最直接。从能量转换路线来看，太阳能发电的能量转换路线，是直接



式。一般来说,在整个生态环境的能量流动中,随着转换环节的增加和转换链条的拉长,能量的损失将呈几何级增加,并同时大大增加整个系统的运作成本和不稳定性。目前,晶体硅太阳能电池的转换效率实用水平在15%~20%之间,实验室水平最高已达35%。

(6) 容易维护,运行稳定。太阳能发电使用的是静止装置,无可动部分,容易维护。运行可靠稳定,使用寿命长,可达25~30年。

(7) 最经济,最清洁,最环保。从资源条件尤其是土地占用来看,生物能、风能是较为苛刻的,而太阳能则很灵活和广泛。如果说太阳能发电要占用土地面积为1的话,风力则是太阳能的8~10倍,生物能则达到100倍。而水电,一个大型水坝的建成往往需要淹没数十到上百平方公里的土地。相比而言,太阳能发电不需要占用更多额外的土地,屋顶、墙面都可成为其应用的场所,还可利用我国广阔的沙漠,通过在沙漠上建造太阳能发电基地,直接降低沙漠地带直射到地表的太阳辐射,有效降低地表温度,减少蒸发量,进而使植物的存活和生长相当程度上成为可能,稳固并减少了沙丘,又向自然索取了我们需要的清洁可再生能源。

1.2.2 太阳能光伏发电的缺点

太阳能光伏发电的主要缺点有:

(1) 受环境因素制约。地面应用时有间歇性和随机性,发电量与气候条件有关,正午发电功率最大,在晚上或阴雨天就不能或很少发电。

(2) 能量密度较低,占地面积大。标准条件下,地面上接收到的太阳辐射强度为 $1000\text{W}/\text{m}^2$,光伏发电系统的能量密度为 $800\text{W}/\text{m}^2$ 。大规格使用时,需要占用较大面积。

(3) 各地资源分布不均匀,中国太阳能辐射区划见表1-2。

表1-2 中国太阳能辐射区划表

总辐射量与日平均峰值日照时数间的对应关系									
年总辐射量 (kJ/cm^2)	420	460	500	540	580	620	660	700	740
日平均峰值日照时数 (h)	3.19	3.50	3.82	4.14	4.46	4.78	5.10	5.42	5.75
区域划分	丰富区		较丰富区		可利用区			贫乏区	
年总辐射量 (kJ/cm^2)	≥ 580		500~580		420~500			≤ 420	
全年日照时数 (h)	≥ 3300		2400~3300		1600~2400			≤ 1600	
地域	内蒙古西部、新疆南部、甘肃西部、青藏高原		新疆北部、东北、内蒙古东部、华北、陕北、宁夏、甘肃部分、青藏高原东侧、海南、台湾		东北北端、内蒙古呼盟、长江下游、两广、福建、贵州部分、云南、河南、陕西			重庆、川、贵、桂、赣部分地区	
特征	日照时数 $\geq 3300\text{h}$, 年日照百分率 ≥ 0.75		日照时数 2400~3300h, 年日照百分率 $\geq 0.60\sim 0.75$		太阳能丰富区到贫乏区的过渡带			日照时数 $\leq 1600\text{h}$, 年日照百分率 ≤ 0.4 , 建议不使用太阳能的地区	
连续阴雨天	2		3		7			5	



(4) 目前价格仍比较贵,为常规发电的2~3倍,初始投资高。

(5) 大规模存储技术尚未解决,大规模应用没有自身调节能力。

任务3 近年来世界光伏产业的发展状况

【学习目标】

- ◇ 了解光伏电池的发展历史。
- ◇ 了解世界及我国光伏产业发展状况及政策支持。
- ◇ 了解光伏产业的前沿动向。

1.3.1 光伏电池的发展历史

自从1954年第一块实用电池问世以来,光伏电池便取得了长足的发展,大概经历了以下几个阶段。

第一阶段(1954—1973年):1954年恰宾和皮尔松在美国贝尔实验室首次制成了实用的单晶硅太阳能电池,效率为6%。同年,威克尔首次发现了砷化镓有光伏效应,并在玻璃上沉积硫化镉薄膜,制成了太阳能电池。太阳能电池开始了缓慢的发展。

第二阶段(1973—1980年):1973年爆发了中东战争,引起了第一次石油危机,从而使许多国家,特别是工业发达国家,加强了对太阳能及其他可再生能源技术发展的支持,在世界上再次兴起了开发利用太阳能热潮。1973年,美国制定了政府级阳光发电计划,太阳能研究经费大幅度增长,而且成立了太阳能开发银行,促进太阳能产品的商业化。美国于1978年建成了100kW_p太阳地面光伏电站。日本1974年公布了政府制定的“阳光计划”。

第三阶段(1980—1992年):进入20世纪80年代,世界石油价格大幅回落,而太阳能产品价格居高不下,缺乏竞争力,太阳能技术没有重大突破,提高效率和降低成本的目标未能实现,以致动摇了一些人开发利用太阳能的信心。这个时期,太阳能利用进入了低谷,世界上很多国家相继大幅消减太阳能研究经费,其中美国最为突出。

第四阶段(1992—2000年):由于大量燃烧矿物能源,造成了全球性的环境污染和生态破坏,对人类的生存和发展构成威胁。在这样的背景下,1992年联合国在巴西召开“世界环境和发展大会”,会议通过了《里约热内卢环境与发展宣言》《21世纪议程》和《联合国气候变化框架条约》等一系列重要文件,把环境与发展纳入统一的框架,确立了可持续发展的模式。这次会议之后,世界各国加强了清洁能源技术的开发,将利用太阳能和环境保护结合在一起,国际太阳能领域的合作更加活跃,规模扩大,使世界太阳能技术进入了一个新的发展时期。这个阶段的标志性事件有:1993年,日本重新制定“阳光计划”;1997年,美国提出“克林顿总统百万太阳能屋顶计划”;1998年,澳大利亚新南威尔士大学创造了单晶硅太阳能电池效率25%的世界纪录。

第五阶段(2000年至今):进入21世纪,原油也进入了疯狂上涨的阶段,从2000年的不足30美元/桶,暴涨到2008年7月时接近150美元/桶,这样世界各国再次认识到不



可再生能源的稀缺性，加强了人们发展新能源的欲望。此一阶段，太阳能产业也得到了轰轰烈烈的发展，许多发达国家加强了政府对新能源发展的支持补贴力度，太阳能发电装机容量得到了迅猛的增长。受益于太阳能发电需要的猛烈增长，我国在2007年一跃成为世界第一大太阳能电池生产大国。在光伏电池转换效率方面，多晶硅太阳能电池最高转换效率达到了20.3%。2009年，美国Spectrolab公司最新研制的砷化镓(GaAs)多结聚光太阳能电池转换效率达到了41.6%，这是迄今为止所有类型太阳能电池最高的实验室效率。

1.3.2 世界光伏产业的发展状况

太阳能光伏发电产业是20世纪80年代以后增长最快的产业之一。最近10年的年平均增长率为25%~40%。光伏电池和组件性能不断提高，商业化电池效率由20世纪80年代的10%~12%提高到目前的12%~18%，光伏组件成本不断降低，售价由20世纪80年代初的65~70元/W_p降到目前的约8元/W_p。随着组件成本的不断下降，光伏市场发展迅速。世界光伏发电主要集中在发达国家，特别是日本、德国和美国3个经济强国，约占世界光伏发电市场的80%。发达国家强有力的市场拉动，不仅使光伏电池生产规模不断扩大，技术水平不断提高，而且光伏发电系统的自动化水平也快速发展。特别值得一提的是，并网发电和光伏建筑集成发展迅速，2002年，并网发电占总光伏应用的51%，已成为最大的光伏市场。

2006年世界光伏市场的排序和各国生产量有着很大不同。德国光伏市场占世界市场份额的51%，其余依次为：日本20%，美国10%，欧洲其他国家9%，亚洲其他国家3.63%，中国0.57%，世界其他国家5.8%。从中不难看出光伏产品的主要流向以及世界不同国家和地区光伏市场的启动程度。

根据Solarbuzz LLC.年度PV工业报告的信息，2007年世界光伏市场比2006年增长了62%，统计的安装量为2826MW_p。其中德国的光伏市场在2007年的安装量为1328MW_p，占世界光伏市场总量的47%，已经连续三年为世界之首，西班牙安装了640MW_p，为世界第二，日本安装230MW_p，世界第三，美国市场增加了57%达到220MW_p，为世界第四。表1-3中给出了2006年、2007年世界主要国家和地区太阳能光伏市场及份额。

表1-3 2006年、2007年世界主要国家和地区太阳能光伏市场及份额

2006年			2007年			
国家和地区	份额(%)	排序	国家和地区	安装量(MW _p)	份额(%)	排序
德国	51	1	德国	1328	46.99	1
欧洲其他国家	9	—	西班牙	640	22.65	2
日本	20	2	日本	230	8.14	3
美国	10	3	美国	220	7.18	4
—	—	—	意大利	20	0.71	5
中国	0.57	—	中国	20	0.71	5
—	—	—	韩国	20	0.71	5

续表

2006年			2007年			
国家和地区	份额 (%)	排序	国家和地区	安装量 (MW _p)	份额 (%)	排序
—	—	—	法国	15	0.53	6
世界其他国家	9.43	—	世界其他国家	333	11.78	—
总计	100	—	总计	2826	100	—

2011年,全球光伏新增装机容量约为27.5GW,较上年的18.1GW相比,涨幅高达52%,全球累计安装量超过67GW(图1-2)。全球近28GW的总装机量中,有将近20GW的系统安装于欧洲,但增速相对放缓,其中意大利和德国市场占全球装机增长量的55%,分别为7.6GW和7.5GW。2011年以中国、日本、印度为代表的亚太地区光伏产业市场需求同比增长129%,其装机量分别为2.2GW、1.1GW和350MW。此外,在日趋成熟的北美市场,2010年新增安装量约2.1GW,增幅高达84%。

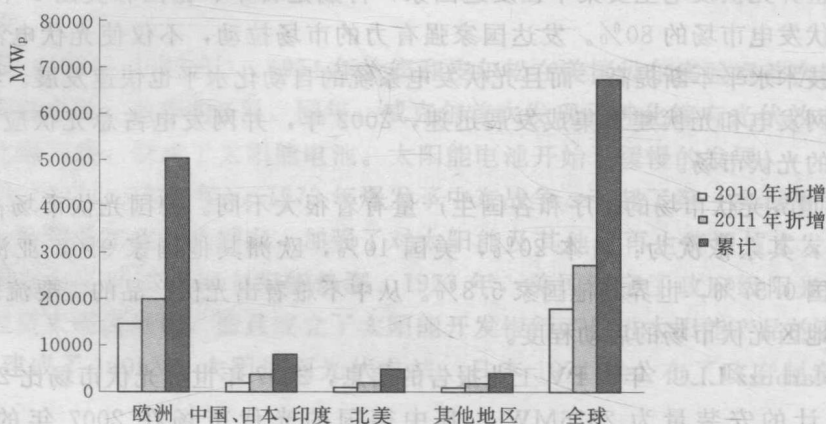


图1-2 2011年全球新增光伏系统安装量和累计安装量

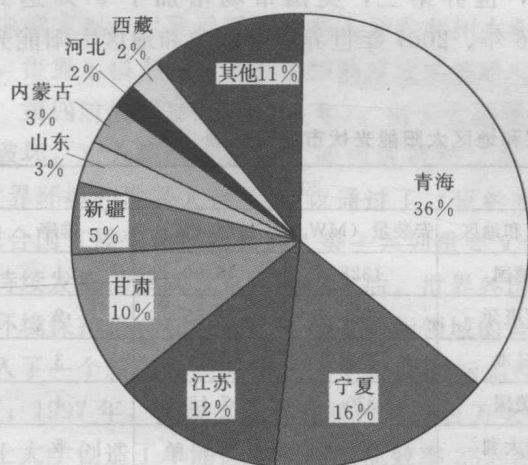


图1-3 2011年我国光伏新增装机量按省分布

中国是全球光伏发电安装量增长最快的国家。2010年年底,我国光伏发电装机规模达到60万kW,光伏新增并网容量为21.16万kW,累计并网容量为24万kW,较上年的2.5万kW,增长了960%。2011年中国新增光伏装机达到2.2GW,成为全球第三大光伏市场。其中以青海省的安装量最多,占全部安装量的36%,其后为宁夏、江苏、甘肃、新疆、山东、内蒙古、河北、西藏和山西,这10个省份的安装量占到全国的92%(图1-3)。

欧洲光伏发电产业协会(EPIA)日前发布的数据显示,截至2012年年底,全球



光伏发电累积装机容量达到 1.02 亿 kW，比上年增长 44%。除了最大市场德国表现坚挺之外，中国、美国和日本市场也迅速扩大。中国已超过美国，在累积数据方面跃居世界第三位。全球市场今后有望以年均 3000 万 kW 左右的规模持续扩大。

在截至 2012 年年底的全球累积装机容量中，欧洲占 70%，德国（31%）和意大利（16%）合计占全球的接近一半，其次是中国（8%）、美国（7%）和日本（7%）。

据统计，2012 年全球光伏发电新装机容量为 3110 万 kW。虽然同比增长率仅为 2%，但持续保持较高水平。在政府的鼓励措施下，中国新装机容量达到 500 万 kW，增长 1 倍，净增加容量仅次于德国，跃居全球第二位。美国增长 80%，日本增长 50%。在一直拉动市场增长的欧洲，由于鼓励政策被取消，新装机容量下降 20% 以上。

欧洲光伏发电产业协会（EPIA）预测称，考虑到欧洲增长将放缓，2013 年全球光伏发电新装机容量将减至 2780 万 kW。但 2014 年有望恢复至 2012 年的水平，到 2017 年有望扩大至 4800 万 kW。

1.3.3 中国光伏产业的发展状况

中国于 1958 年开始对光伏技术研发并应用于空间技术。1971 年中国首次成功地将太阳能电池应用于东方红二号卫星上。1980 年前中国光伏产业发展缓慢，主要应用于高端领域。此后，光伏产业发展纳入国家计划，加大对光伏应用示范项目支持，促进光伏产业发展。但因技术缺乏，市场发展缓慢，太阳能光伏产业处于萌芽阶段，至 2001 年前中国光伏电池组件产能不超过 2MW_p。

2004 年德国“上网电价法”的实施，促进了世界光伏产业的大发展，也催生了一批中国光伏企业。随着大量民间资本进入光伏产业，在中国政府大力支持下，中国光伏产业取得了快速发展。2007 年中国光伏电池产量突破 1000MW_p，占世界总产量的 27.2%，超过日本和欧洲，跃居世界第一大生产国。到 2008 年我国太阳能电池产量约占到世界产量的 33.1%，加台湾地区约占到 45%（图 1-4）。

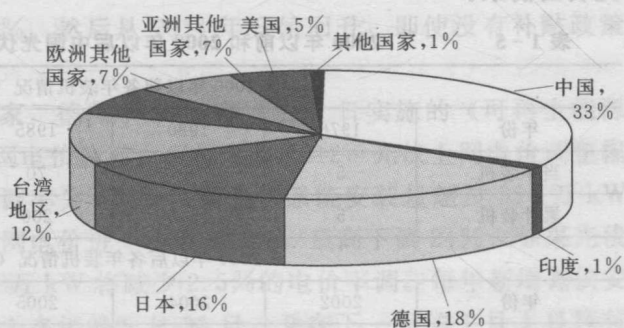


图 1-4 2008 年全球太阳能电池产量份额

由 2003—2008 年中国太阳能电池产量图（图 1-5），可以了解到这 6 年中国太阳能电池产量呈飞速增长趋势（表 1-4）。

表 1-4 2003—2008 年中国太阳能电池生产总量及增长数据

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008
太阳能电池总产量 (MW _p)	12	50	146	438	1088	2634
比上年增长 (%)		317	192	200	148	142

2009 年中国太阳能电池产量突破 4GW，占全球总产量的 40%；2010 年约 8GW，占全球产量的 50%，居世界首位；2011 年达到 20GW，约占全球的 65%；2012 年，光伏电池组件出货量约 23GW。欧洲光伏产业协会（EPIA）分析报道，全球光伏产能达 60GW，

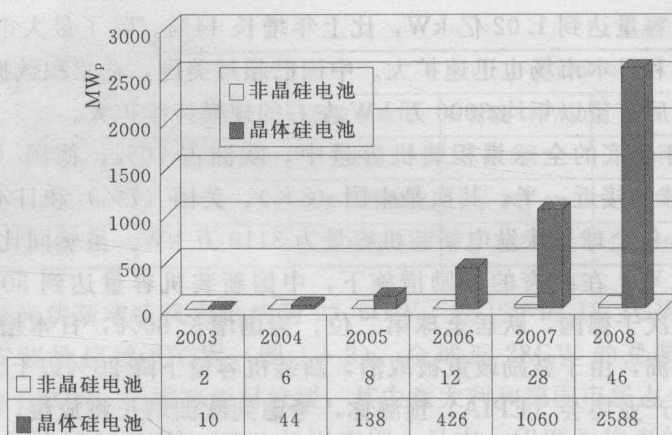


图 1-5 2003—2008 年中国太阳能电池产量

而需求只有 30GW，产能严重过剩，所以产值同比将大幅下降。

与快速发展的太阳能电池生产相反的是，中国国内光伏市场发展缓慢，大部分产品出口到欧洲等发达地区。2007 年中国国内光伏系统累计安装 100MW_p，约占世界累计安装量的 1%；2008 年约达 40.3MW_p，比上年增长了 102%（表 1-5、图 1-6）。针对光伏产业与国内市场之间发展的不平衡，2009 年 3 月 23 日，财政部、住房和城乡建设部出台《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》，并出台了《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》，决定有条件地对部分光伏建筑进行每瓦最多 20 元人民币的补贴。这两个文件的出台，对光伏市场的拓展有巨大的促进作用，让国内太阳能光伏企业看到了光明的前景。

表 1-5 2000 年以前和 2000 年以后中国光伏发电历年装机情况对照

2000 年以前各年装机情况（单位：kW _p ）						
年份	1976	1980	1985	1990	1995	2000
当年装机	5	8	70	500	1550	3300
累计装机	5	16.5	200	1780	6630	19000
2000 年以后各年装机情况（单位：MW _p ）						
年份	2002	2004	2005	2006	2007	2008
当年装机	20.3	10	5	10	20	40.3
累计装机	45	65	70	80	100	140.3

2010 年年底，我国光伏发电装机规模达到 60 万 kW，光伏新增并网容量为 21.16 万 kW；2011 年中国新增光伏发电装机达到 2.2GW，新增量位居世界第三，占全球太阳能发电新增装机的 7%；2012 年我国新增光伏装机量约为 4.5GW，同比增长 66%，约占全球市场份额的 14%。

1.3.4 部分国家对光伏产业的政策支持

1.3.4.1 德国

2004 年德国政府启动上网电价法，即著名的 EEG 法案，导致德国光伏安装量激增，

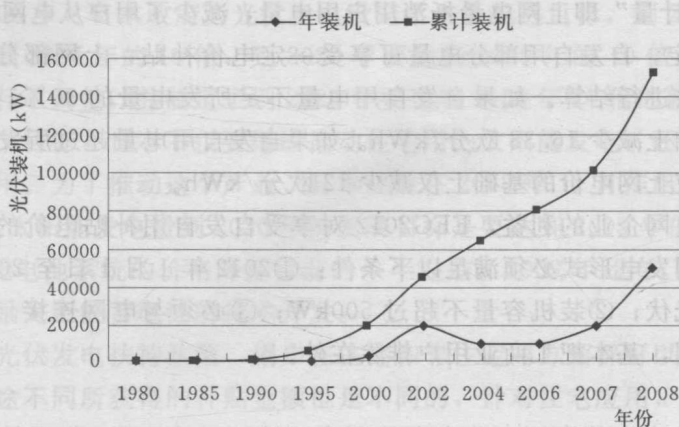


图 1-6 中国历年装机和累计装机情况

最初的上网电价为零售电价的 3 倍或者工业电价的 8 倍。光伏系统在安装后的 20 年内固定价格，每推迟一年，固定价格下调一定的比率。2008 年受金融危机的影响，德国修订了太阳能补助案并由下议院正式宣读后定案。根据新的法案太阳能年度收购电价税率 (Feed-in Tariffs) 由 2008 年以前年降幅 5%，改成 2009 年、2010 年降 8%，2011 年降 9%；地面装配系统 (Ground-mounted system) 从 2008 年降 6.5%，改成 2009—2010 年降 10%。新法规已在 2009 年 1 月 1 日生效。

经过 6 年的发展，一般认为德国太阳能市场已经在 2010 年进入成熟阶段。自从 2010 年以来，德国每年的安装容量稳定在 7~8GW。2013 年装机容量大幅下降，全年新装光伏系统 3.3GW，增长速度同比下降 55%。然后从 2014 年开始回升，即使没有补贴政策也会回升，因为届时投资将见到效果。

作为开发利用可再生能源的标杆国家，德国于 2012 年 1 月 1 日实施的《可再生能源法 2012》(EEG2012) 中修订的光伏上网电价新政。根据 EEG2012，光伏上网电价调整幅度取决于每年新增光伏安装量，基准下调率为 9%。如果光伏系统安装量超过 350 万 kW 的年度限额，每超出 100 万 kW 将使上网电价进一步下调 3%，最高下调 24%。如果光伏系统安装量不足 250 万 kW，每减少 50 万 kW 将减少 2.5% 的电价下调。每年新增光伏安装量的计算日期为前一年的 10 月 1 日至本年的 9 月 30 日，并在下一年的 1 月 1 日执行下调。

另外，EEG2012 还规定，如果在前一年的 10 月 1 日至本年的 4 月 30 日期间新增光伏安装量除以 7 乘以 12 后的值超过 350 万 kW，上网电价将下调 3%，每超出 100 万 kW 将使上网电价进一步下调 3%，最高下调 15%，并在本年的 7 月 1 日执行下调。鼓励用户自发自用减小对电网的影响。

EEG2012 提出了鼓励光伏发电自发自用的“双价制”。德国光伏发电自发自用采用多表计量，“双价制”即上网电量给定上网电价，电网企业按照确定的价格支付给开发商，价格超出常规上网电价的部分在全国范围内分摊，而用户用电量则按照常规电价支付电费，卖电和用电是分开的。

“双价制”与美国等国实行的“净电量计量”政策是管理自发自用并网发电的两种不