



TAIYANGNENG YU
FENG NENG
FADIAN BINGWANG JISHU

太阳能与 风能

发电并网技术

李春来 杨小库 等 编著

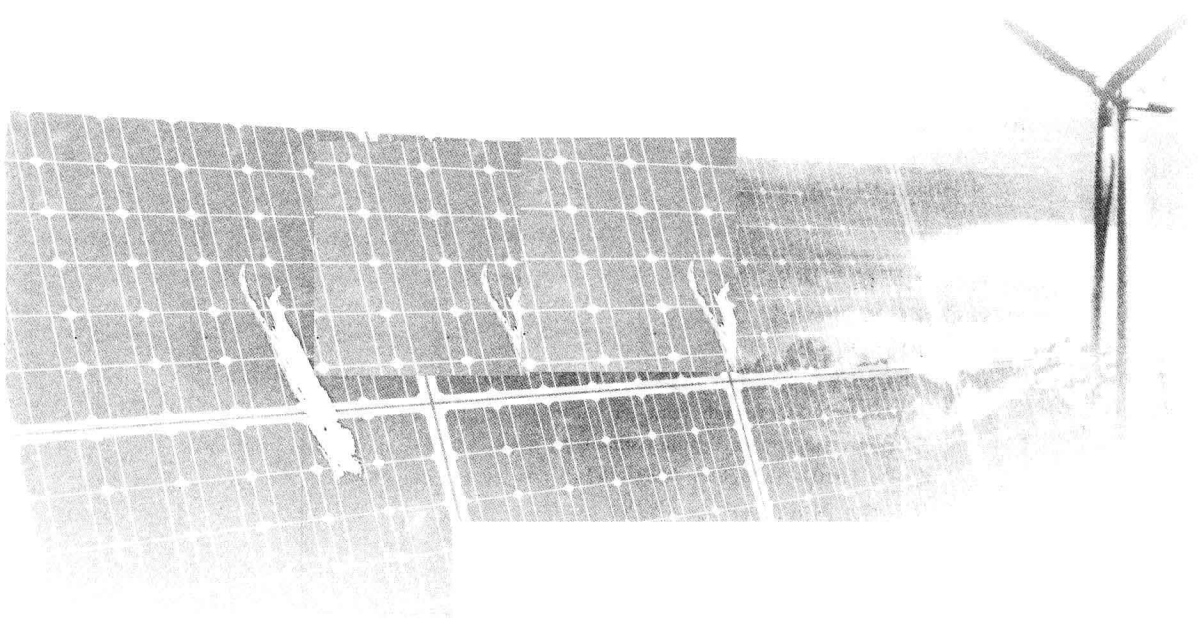


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

太阳能与风能

发电并网技术

李春来 杨小库 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面、系统地阐述了国内外太阳能、风能资源现状及其发展,针对太阳能发电系统、风力发电系统的基本结构原理进行了详细说明,对于独立运行、并网运行的太阳能、风力发电系统的结构和并网关键技术、分布式发电接入及微电网技术、储能技术及间歇性能源与智能电网之间关系等方面进行了深入剖析。

本书通俗简练、系统翔实、图文并茂,可作为从事太阳能发电、风力发电、电力系统设计、调度、生产、运行等工作的工程技术人员提高专业技能,扩充知识面的培训教材和参考资料,也可供相关专业的师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能与风能发电并网技术 / 李春来等编著. --
京:中国水利水电出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-5084-9267-4

I. ①太… II. ①李… III. ①太阳能发电②风力发电
IV. ①TM615②TM614

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第281466号

书 名	太阳能与风能发电并网技术
作 者	李春来 杨小库 等 编著
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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 25.25印张 599千字
版 次	2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	78.00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

撰 写 人 员 名 单

撰写人员：李春来 杨小库 沈龙华 钟永泰 张海宁

韦 强 薛俊茹 李公理 刘生宁 宋 锐

孔祥鹏 丛贵斌 张 杰 马勇飞 赵世昌

王 轩 梁 英 杨 嘉 郭金辉

工作单位：青海电力科学试验研究院

前 言

可再生能源是全世界关注的主要研究领域，事关能源发展的方向与国家战略。随着我国社会经济的快速发展及技术进步，能源与环境问题日益突出，可再生能源受到我国及世界各国越来越多的关注。为促进我国可再生能源的健康发展，青海电力科学试验研究院于2010年组织相关专家结合青海省可再生能源的开发进展情况，启动了“太阳能、风能发电系统及并网关键技术”咨询研究项目。根据研究工作的需要，项目分为国内外太阳能、风能现状分析、光伏发电系统、风力发电系统、光伏电站、风电场接入电网相关技术要求、光伏电站、风电场接入电网关键技术研究、大规模储能技术与智能电网、分布式电源发电与微电网技术、间歇性能源接入与智能电网技术等方面，开展了一系列的研究。

能源是国民经济的基本动力之一，在严峻的能源形势和人类生态环境（如气候变暖等）的压力下，世界各国都把开发利用可持续的清洁能源作为未来的能源发展战略，其中太阳能、风能以资源丰富、没有地域界线、清洁等独特优点而成为人们关注的热点。在技术的进步和法规政策的强力推动下，太阳能光伏发电、风力发电产业呈现出快速发展的势头。

我国是世界上太阳能、风能最丰富的地区之一。根据最新风能资源普查初步统计成果，中国陆上离地10m高度风能资源总储量约4350GW，居世界第一位。其中，技术可开发量为297GW，技术可开发面积约20万km²。另外，海上10m高度可开发和利用的风能储量约为750GW。全国10m高度可开发和利用的风能储量超过1000GW，仅次于美国、俄罗斯，居世界第三位。陆上风能资源丰富的地区主要分布在三北（东北、华北、西北）地区、东南沿海及附近岛屿。根据规划，我国将在甘肃、新疆、河北、吉林、内蒙古、江苏六省（自治区）打造7个千万千瓦级风电基地。甘肃酒泉千万千瓦级风电基地建设规划总装机容量为35.65GW；新疆哈密规划建设20GW；内蒙古规划建设50GW，其中蒙西20GW，蒙东30GW；河北规划在沿海和北部地区共建设10GW；江苏规划建设10GW，其中近海7GW；吉林西部地区，主要在松源和白城等市，规划到2020年达到23GW。目前，国内风电开发多以并网远

距离外送为主，但由于风电场一般不具备低电压耐受能力，抗电压扰动能力差，导致近期发生多次大量风电机组脱网故障。

对于太阳能资源来说，全国 2/3 以上地区的年日照大于 2000h，年辐照量约为 $5900\text{MJ}/\text{m}^2$ ，具有良好的太阳能利用条件。目前我国的太阳能光伏发电系统有三种形式，一种是为解决我国边远地区人民生活用电和某些特殊生产用电而建立的独立电站系统，一种是为城市美观、节能环保而建立的小型并网建筑光伏电站系统，还有一种是建立在太阳能资源丰富地区的荒滩戈壁处的大型和超大型并网光伏电站系统。大型和超大型并网光伏电站系统建设规模可以达到数十兆瓦甚至上百上千兆瓦，发出的电能直接并入高压输电网络，是世界各国未来可再生能源发电的重要发展方向。根据我国政府制定的太阳能发电发展规划，2009 年底我国太阳能发电总装机容量达到 300MW，预计到 2020 年达到 20000MW。由于光伏发电与风力发电均属于间歇性能源发电，具有相似的特点，因此，如何吸取风电发展的教训保证将来大型甚至超大型并网光伏电站的可靠并网运行，非常有必要从电网的角度对光伏电站、风电场并网技术要求、光伏电站、风电场并网运行对电网稳定性和电能质量的影响等问题进行深入研究，并提出保证太阳能、风能发电与电网协调发展和安全运行的技术措施。

本书是作者及其课题组在多年研究“太阳能、风能发电系统及并网关键技术”项目系列成果的基础上编写的一部专著，旨在比较系统地介绍太阳能、风能发电并网技术研究的进展和成果，阐述太阳能、风能发电系统及并网的基本概念和特征、接入电网后分析和计算原则、间歇式能源及储能系统在不同并网模式下的相关技术要求。在本书编制过程中，青海电力科学试验研究院给予经费支持，同时得到了青海省电力公司、青海省发改委以及相关科研院所、太阳能系统生产厂家、风电系统生产厂家、有关高校等单位的大力支持。

全书分八章，第一章为国内外太阳能、风能现状分析，介绍国内外太阳能现状分析，国内外风能资源及风电发展前景分析；第二章为太阳能光伏发电系统，包括太阳能光伏系统设计，太阳能光伏系统性能分析，太阳能光伏系统设计软件，光伏电站管理规定及太阳能光伏系统发电特性；第三章为风力发电系统，包括风力发电机，风力发电机与蓄能装置，风力发电机组的运行，风电场管理规定，青海省某地区风资源现状分析；第四章为光伏电站、风电场接入电网关键技术，包括光伏发电并网运行要求，光伏电站并网检测项目，风电并网有关技术要求，大规模光伏、风电并网对电网的影响；第五

章为光伏电站、风电场接入电网前沿技术，包括青海省光伏电站及风电场规划，光伏电站、风电场接入电网专题研究，光伏电站、风电场接入电网相关原则；第六章为大规模储能技术与智能电网，包括储能技术的现状分析，主要储能技术的技术经济比较，智能电网中储能技术的应用领域；第七章为分布式电源发电与微型电网技术，包括分布式电源概述及分布式电源与配电网的互联，微型电网技术概述、发展方向及并网运行特性；第八章为间歇性电源接入与智能电网技术，包括智能电网发展概述，坚强智能电网发展战略与规划。

本书由青海电力科学试验研究院统一组织编写。本书由李春来、杨小库主编，第一、二、八章由杨小库编写，其余章节由李春来编写并对全书统稿，张海宁、韦强、薛俊茹修订并设计了本书的章节框架，李公理、刘生宁、宋锐、孔祥鹏、丛贵斌、张杰、马勇飞、赵世昌、王轩、梁英、杨嘉、郭金辉等参与了编写工作，沈龙华、钟永泰审阅了主要章节的书稿。

可再生能源是一个发展中的领域，还有许多问题有待进一步研究。本书是一个初步研究，有待继续深入，诚望各界专家和广大读者提出各种意见和建议。同时，限于作者水平，本书难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正。

作者

2011年11月

目 录

前言

第一章 国内外太阳能、风能现状分析	1
第一节 国内外太阳能现状分析	1
一、国际太阳能发电发展现状及前景	1
二、我国太阳能资源条件	11
三、我国太阳能发展前景分析	13
四、需要解决的主要问题	17
第二节 国内外风能资源及风电发展前景分析	18
一、国际风电发展现状及前景	18
二、我国风能资源储量与分布	26
三、我国风电发展现状及前景分析	29
四、需要解决的主要问题	36
第二章 太阳能光伏发电系统	38
第一节 太阳能光伏系统设计	38
一、太阳能光伏系统的组成和原理	38
二、太阳能光伏系统的分类	40
三、太阳能光伏系统的设计原则 ^[1]	43
第二节 太阳能光伏系统性能分析	63
第三节 太阳能光伏系统设计软件简介	64
一、德国 PV * SOL 设计软件	65
二、电力系统仿真软件 Digsilent	65
第四节 光伏电站管理规定	68
一、独立光伏电站管理规定	68
二、并网光伏电站调度管理规定	75
第五节 太阳能光伏系统发电特性	89
一、某西部地区太阳能资源特性分析	89
二、光伏电站模型	91
三、光伏电站出力特性分析	94
四、出力与负荷变化相关性分析	97
第三章 风力发电系统	100
第一节 风力发电机	100
一、风力发电现状、特点与趋势	100
二、风力发电机的类型	101

三、风力发电机的结构构成	102
四、风力发电机的基本参数和基本理论 ^[13]	103
第二节 风力发电机与蓄能装置	105
一、风力发电原理	105
二、风力发电系统	106
三、风力发电的电能储存	108
第三节 风力发电机组运行	109
一、风力发电机组并网运行	109
二、风力发电与柴油发电联合运行	111
三、风 / 光互补联合运行	115
四、风力发电机组的独立运行	119
五、风力发电机组和小水电联合运行	121
第四节 风电场管理规定	121
一、风电场运行管理规定 ^[14]	121
二、风电场并网调度管理规定	125
第五节 青海省某地区风资源现状分析	130
一、概述	130
二、气象站测风资料	131
三、风电场测风资料	133
四、风电场风能计算	136
五、风电场发电量估算	157
第四章 光伏电站、风电场接入电网关键技术	158
第一节 光伏发电并网运行要求	158
一、光伏电站逆变器交流侧电压的要求	158
二、电网电压的要求	158
三、电网频率的要求	158
四、故障类型、故障切除时间及可能采取的稳态措施	158
第二节 光伏电站并网检测项目 ^[16]	159
一、前言	159
二、目的	159
三、范围	159
四、规范性引用文件	159
五、术语和定义	160
六、一般原则	161
七、光伏电站入网检测	161
第三节 风电并网有关技术要求	172
一、风电并网技术标准制定情况	172
二、风电并网技术要求内容	173
三、风电并网有关技术规定执行中存在的主要问题	176

第四节	大规模光伏、风电并网对电网的影响	177
一、	负荷峰谷	177
二、	昼夜变化，东西部时差以及季节的变化	177
三、	气象条件的变化	177
四、	远距离光伏电能输送	177
五、	降耗问题	177
第五章	光伏电站、风电场接入电网前沿技术	179
第一节	光伏电站及风电场规划	179
一、	青海省柴达木盆地千万千瓦级光伏发电基地规划报告	179
二、	青海省风电规划报告	183
第二节	区域电网光伏电站接入承载能力	190
一、	光伏电站出力特性及其与负荷相关性分析	190
二、	区域电网的调峰能力及光伏承载能力分析	194
三、	在接纳能力研究的基础上，对光伏发电的开发时序进行研究	201
第三节	区域电网规模化光伏发电并网技术	203
一、	并网光伏电站接入系统分析	203
二、	光伏发电接入后电网暂态稳定性分析	239
三、	光伏电站接入系统对电能质量的影响	249
四、	分析光伏电站并网运行后系统的暂态特性	260
第四节	区域电网适应大规模光伏电站、风电场适应性	261
一、	光伏发电并网运行要求	261
二、	规划光伏发电的经济效益和运行成本分析	264
第五节	区域电网光伏电站、风电场功率预测技术	272
一、	光伏发电功率预测系统对青海电网运行调度的意义	272
二、	国内光伏发电功率预测的现状	273
三、	光伏发电功率预测模型研究	273
四、	光伏发电功率预测系统方案	274
第六节	光伏电站、风电场接入电网相关技术规定和原则	275
一、	光伏电站、风电场接入电网技术规定和原则	275
二、	光伏电站、风电场无功补偿配置原则	290
三、	光伏电站、风电场相关电气技术问题	292
第六章	大规模储能技术与智能电网	295
第一节	当前储能技术的现状与发展	295
一、	抽水蓄能电站的工作特性	295
二、	压缩空气储能电站的工作特性	298
三、	飞轮储能 ^[20]	299
四、	铅酸电池 ^[21]	302
五、	镍镉电池 ^[22]	304
六、	锂离子电池 ^[23]	306
七、	液流电池 ^[24]	308
八、	钠硫电池 ^[25]	308

九、金属空气电池 ^[26]	309
十、超级电容器 ^[27]	310
十一、超导储能 ^[28]	312
第二节 主要储能技术的技术经济比较	312
一、存储容量	312
二、循环寿命和储能效率	313
三、能量密度	313
四、成本比较	313
第三节 智能电网中储能技术的应用领域	313
一、改善电能品质、接纳大规模间歇性可再生能源，增强电网的兼容性	313
二、参与需求侧管理，调峰填谷，提高输电设备利用率，增强电网灵活性	314
三、满足用户个性化服务，实现用户与电网之间的互动	314
第四节 有关结论	315
一、技术不够成熟	315
二、成本依然较高	315
三、定价机制尚未理顺	315
四、激励政策不到位	316
第七章 分布式电源发电与微型电网技术	317
第一节 分布式电源	317
一、分布式电源概述	317
二、分布式电源与配电网互联问题	324
三、分布式电源技术应用的障碍和瓶颈 ^[29]	326
四、分布式电源技术发展方向 ^[29]	327
五、分布式电源并网运行特性 ^[30]	328
第二节 微型电网技术	330
一、微型电网技术简介	330
二、微型电网技术与配电网互联问题 ^[31]	333
三、微型电网技术发展方向 ^[32]	344
四、微型电网技术并网运行特性 ^[33]	348
五、微型电网接入电网在规划设计方面的要求 ^[34]	354
第八章 间歇性能源接入与智能电网技术	356
第一节 智能电网发展概述	356
一、智能电网国内概念 ^[35]	357
二、智能电网国外概念	367
第二节 智能电网的组成	373
一、智能电网发电环节	373
二、智能电网输电环节	375
三、智能电网变电环节	376
四、智能电网配电环节	378
五、智能电网用电环节	379
六、智能电网调度环节	381
七、智能电网通信信息平台	382

第三节 坚强智能电网发展战略与规划 ^[35]	385
一、坚强智能电网的概念	385
二、坚强智能电网发展战略目标	385
三、坚强智能电网发展规划	386
四、坚强智能电网示范工程	386
五、坚强智能电网发展面临的主要问题	386
参考资料	388

第一章 国内外太阳能、风能现状分析

第一节 国内外太阳能现状分析

一、国际太阳能发电发展现状及前景

(一) 总体发展趋势

太阳能发电包括光伏发电和太阳能热发电。

近十年来,国内外光伏发电呈爆发式增长趋势。截至2008年,全球累计安装容量接近15000MW,其中欧洲9000MW,日本2100MW,美国1200MW,分别占据全球总量的60%、14%和8%。

2008年全球太阳能光伏发电的安装总量达到了5559MW,其中西班牙发展势头迅猛,安装容量2007年为560MW,2008年快速上升到2511MW,占2008年全球安装总量的45%,并打破德国三连冠记录,德国1500MW,美国342MW,日本230MW。其他主力增长国家在欧洲有意大利258MW,法国105MW,捷克51MW,葡萄牙50MW,比利时48MW,在亚洲有韩国274MW。相对于离网型太阳能光伏系统,并网型太阳能光伏系统增长趋势明显加快。表1-1是2004~2008年主要国家及世界范围并网型太阳能光伏系统安装容量数据。1998~2008年全球主要发展国家和地区安装容量如表1-2所示。

表 1-1

2004~2008 年并网型太阳能光伏系统安装容量数据表

单位: MW

国 家	2004 年	2005 年		2006 年		2007 年		2008 年	
	新增	新增	总计	新增	总计	新增	总计	新增	总计
德国	600	860	1900	900	2800	1100	3900	1500	5400
西班牙	12	23	50	100	150	550	700	2600	3300
日本	270	310	1200	290	1490	240	1730	240	1970
美国	57	65	220	100	320	160	480	250	730
欧洲其他国家	10	40	130	50	180	170	350	400	750
韩国	3	5	15	20	35	60	100	250	350
世界其他国家	—	>20	>30	>50	>80	>150	>250	>200	>450
合计	952	1323		1510		2430		5440	
累计			3545		5055		7510		12950

表 1-2

1998~2008 年全球主要发展国家和地区安装容量

单位: MW

国家	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
西班牙	0	1	0	2	9	10	6	26	88	560	2511
美国	0	17	22	29	44	63	90	114	145	207	342
日本	69	72	112	135	185	223	272	290	287	210	230
世界其他国家	68	84	94	75	104	98	53	12	196	207	485
欧洲其他国家	8	11	10	16	16	50	30	30	37	108	492
德国	10	12	40	78	80	150	600	850	850	1100	1600
总计	155	1997	278	335	438	594	1051	1322	1603	2392	5660

规模化并网光伏电站大量涌现。世界范围内 200kW 以上的规模化并网光伏电站增至 1800 个 (2007 年约 1000 个), 总安装容量达 3000MW (三倍于 2007 年), 主要集中在西班牙、德国、葡萄牙等欧洲国家以及美国、韩国等, 已建成装机容量在 10MW 以上的光伏电站已有 66 家, 装机规模前 10 的光伏电站如表 1-3 所示。

表 1-3

全球装机规模前 10 的光伏电站

序 号	容 量 (MW)	地 点	主要特点	建成时间 (年, 月)
1	60	西班牙 Olmedilla (Castilla La Mancha)	固定式	2008. 09
2	50	西班牙 Puertollano (Castila La ancha)	固定式	2008
3	46	葡萄牙 Moura (Alentejo)	跟踪式	2008. 12
4	40	德国 Brandis	固定式	2007~2008
5	34	西班牙 Arnedo (La Rioja)	固定式	2008. 10
6	30	西班牙 Osa de la Vega (Cuenca)	固定式	2008
7	30	西班牙 Trujillo (Cáceres)	跟踪式	2008
8	30	西班牙 Merida (Extremadura)	跟踪式	2008. 09
9	28	西班牙 Casas de Los Pinos (Castila La Mancha)	固定式	2008
10	26	西班牙 Fuente Alamo (Murcia)	固定式	2008. 08

受全球金融危机和西班牙光伏发电补贴政策调整的影响, 依据全球光伏市场的需求模式, 欧洲光伏工业协会 EPIA 有正常发展 (适度模式) 和政府激励 (政策激励模式) 两种情况。各主要发展国家 2006~2010 年光伏发电装机容量如表 1-4 所示。

表 1-4

2006~2010 年各主要发展国家光伏发电装机表

单位: MW

国 家	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
比利时	2	18	48	379	803
捷克	0	3	51	463	1953
法国	8	11	46	261	1025

续表

国 家	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
德国	850	1100	1500	9914	17320
希腊	1	2	11	56	206
意大利	13	42	258	1181	3502
葡萄牙	0	14	50	102	131
西班牙	88	560	2511	3523	3892
欧洲其余	12	17	28	410	785
日本	287	210	230	2627	3617
美国	145	207	342	1642	2520
中国	12	20	45	373	893
印度	12	20	40	120	189
韩国	20	43	274	442	573
其他国家	153	125	126	1550	2369
总计	1603	2392	5559	23043	39778

欧洲光伏工业协会 EPIA 对未来光伏发电的发展也进行了预测，图 1-1 是直至 2030 年全球光伏发电安装总容量和年度安装容量的预测图，表 1-5 是光伏发电量占全球总发电量的比例及减排 CO₂ 量。

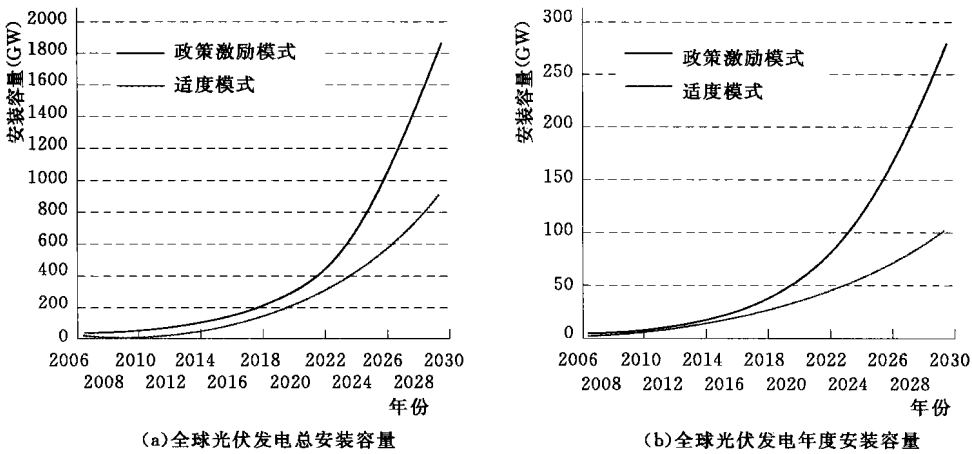


图 1-1 全球光伏发电安装总容量和年度安装容量的预测图

预测到 2030 年，按政策激励模式全球光伏总装机容量为 1864GW^❶，总发电量为 2646TWh，根据国际能源组织 IEA 年度发电量预测，占当年总发电量的 8.9%，减排 CO₂ 量为 1588Mt；适度模式全球光伏总装机容量为 910GW，总发电量为 1291TWh，占当年总发电量的 4.34%，减排 CO₂ 量为 755Mt。

❶ 1GW=10³MW=10⁶kW=10⁹W。

表 1-5 光伏发电量占全球总发电量的比例及减排 CO₂ 量预测表

模式	项 目	2007 年	2010 年	2020 年	2030 年
加速 发展 模式	年度装机容量 (GW)	2.4	6.9	56	281
	总容量 (GW)	9.2	25.4	278	1864
	总发电量 (TWh)	10	29	362	2646
	占全球发电量比重 (IEA)	0.07%	0.16%	2.05%	8.90%
	年度 CO ₂ 减排 (Mt)	6	17	217	1588
正常 发展 模式	年度装机容量 (GW)	2.4	5.3	35	105
	总容量 (GW)	9.2	21.6	211	912
	总发电量 (TWh)	10	24	283	1291
	占全球发电量比重 (IEA)	0.07%	0.14%	1.20%	4.34%
	年度 CO ₂ 减排 (Mt)	6	15	170	775

太阳能热发电主要是利用聚光器将低密度的太阳能汇聚到焦斑处，使其生成高密度的能量，然后由工作液体将其转化为热能，再利用热能发电。根据聚热方式和热能利用方式的不同，主要分为：槽式、塔式、菲涅尔式和碟式，这些方式主要是利用不同技术加热工质，最后都要利用工质驱动汽轮机发电，目前仅有槽式太阳能热发电得到商业化应用。太阳能热发电有转动和高温部件，维护要求很高，尤其需要水或其他液体作为传热工质，因而不利于在沙漠等空旷干旱地区大规模应用，和光伏发电相比，应用场合和范围严重受限。因此，虽然目前太阳能热发电初期投资和发电成本均比光伏发电低，但大规模应用技术更加复杂，目前仍处于试验、探索阶段。

截至 2009 年，全球太阳能热发电装机容量分别为槽式 500MW、塔式 40MW、菲涅尔式 500kW 和碟式 500kW。

(二) 关键技术发展现状及趋势

光伏发电是根据“光生伏特”效应，利用太阳能电池将太阳光能直接转化为电能。根据其 与电网的连接方式可分为独立太阳能光伏系统和并网太阳能光伏系统两大类。经过多年的发展，光伏发电已成为一种较为成熟、可靠的技术，并已逐渐从独立系统向大规模并网方向发展。

光伏发电的发电成本较高，其关键技术主要体现在有效降低成本的一些重要技术，如太阳级多晶硅 (SOG) 制备技术 (占据市场 90% 的晶体硅太阳电池成本的重要原材料)、硅锭线切割技术和高效低成本太阳电池技术。

1. 太阳级多晶硅制备技术

传统的多晶硅制备技术主要有改良西门子法、硅烷法和流化床法，定位于电子级硅 (EG)(9N 纯度即 99.999999% 以上) 生产，兼顾太阳级硅 (SOG)(6N 纯度即 99.9999% 以上) 制备。

多晶硅最初主要用于半导体领域，技术门槛高，投资规模大，收益时间长，这些技术主要掌握在美国 Hemlock 和 MEMC (包括美国及意大利公司)，日本住友 Tokuyama、三

菱 Mitsubishi（包括美国及日本公司）和德山 Sumitomo，德国 Wacker，挪威 REC（包括 Asimi 和 SGS）等四个国家的七个生产厂商中，形成技术封锁和垄断（明确表示不会对我国进行技术转让）。表 1-6 表明 2002~2006 年世界主要多晶硅厂家产量列表。

表 1-6

2002~2006 年世界主要多晶硅厂家产量列表

单位：t

公 司	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
美国 Hemlock 半导体公司	5100	5300	7000	7400	8350
德山株式会社	3600	4000	5200	5200	5300
德国瓦克公司	4000	4200	5000	5000	5775
挪威再生能源公司	2050	4000	4300	5200	5400
休斯电子材料公司	2500	2500	2500	3700	4100
三菱公司	2400	2400	2800	2800	3000
日本住友公司	700	700	700	800	800
合计	20350	23100	27500	30000	32725
占全球总产量比重	100%	99.78%	100%	93.75%	90.90%

国内外现有的多晶硅厂绝大部分采用改良西门子法生产 EG 硅与 SOG 硅，所生产的多晶硅占当今世界总产量的 70%~80%。流化床法比较适合生产价廉的 SOG 硅。

传统工艺可产出纯度较高的多晶硅，但由于中间牵涉到许多副产品的控制与处理，技术难度较高，依照不同技术来源，成本各异。大部分化学法都需利用冶金级硅（MG）（纯度在 99%以上）来当作硅化合物的原料，少数是直接利用二氧化硅矿石来制备硅化合物。

依靠世界最先进的多晶硅制备技术，高纯多晶硅的生产成本约为 25 美元/kg，自 2004 年以来受晶体硅太阳能电池需求拉动而出现供不应求，致使多晶硅价格自 2003 年约 35 美元/kg 持续上涨至 2008 年 9 月的 480 美元/kg。

持续的价格上涨带来暴利，暴利的诱惑下大量资金和技术涌入，为了降低 SOG 硅的生产成本和突破产业壁垒，除了传统工艺（EG 和 SOG 兼容）技术升级外，国内外也涌现出了几种专门生产 SOG 硅的工艺技术，其中有代表性的是冶金法。

冶金法成本低廉，约为传统工艺的 1/3~1/4，在多晶硅暴利的催生下，技术研发进展较快。一旦能够量产 6~7N 级多晶硅，将给行业带来极大的冲击。

不考虑后端产业技术进步，目前太阳级硅材料对太阳电池成本和售价的影响如表 1-7 所示。

表 1-7

太阳级硅材料对太阳电池成本和售价的影响

硅材料 (美元/kg)	硅材料 (美元/W)	组件成本 (美元/W)	毛利润 (美元/W)	组件售价 (美元/W)
250	1.75	3.00	1.00	4.00
200	1.40	2.65	0.79	3.44
150	1.05	2.32	0.65	2.97
100	0.70	1.95	0.52	2.47
50	0.35	1.60	0.40	2.00