



中国社会科学院国情调研丛书
Chinese Academy of Social Sciences Research Books conditions

光伏太阳能 产业发展调研

Research on Solar Photovoltaic
Industry Development

李 平 等/著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE



中国社会科学院国情调研丛书
Chinese Academy of Social Sciences Research Books conditions

光伏太阳能 产业发展调研

Research on Solar Photovoltaic
Industry Development

李 平 等/著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

光伏太阳能产业发展调研/李平等著. —北京: 经济管理出版社, 2016.9
ISBN 978-7-5096-4270-2

I. ①光… II. ①李… III. ①太阳能发电—电力工业—产业发展—调查研究—中国
IV. ①F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 037849 号

组稿编辑: 张永美
责任编辑: 张永美 尚 南
责任印制: 黄章平
责任校对: 超 凡

出版发行: 经济管理出版社
(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn
电 话: (010) 51915602
印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司
经 销: 新华书店
开 本: 720mm × 1000mm/16
印 张: 12.5
字 数: 205 千字
版 次: 2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-5096-4270-2
定 价: 48.00 元

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

“国情调研成果编选委员会”名单

(经 2015 年 10 月 30 日第 34 次院务会议审议批准)

主 任：李培林

副主任：马 援

成 员：(以姓氏笔画为序)

王 岚	王子豪	王延中	邓纯东	李 平
陆建德	陈 甦	陈光金	张 平	张车伟
张宇燕	高培勇	黄群慧	潘家华	魏后凯

《光伏太阳能产业发展调研》 课题组分工

课题负责人 李 平

执行负责人 王宏伟

课题组成员 李鹏飞 邓 洲 万相昱
尚闯红 董宝奇 张 静

第一章 尚闯红 董宝奇

第二章 万相昱 王宏伟

第三章 万相昱 王宏伟 张 静

第四章 李 平 邓 洲

第五章 邓 洲 李 平

第六章 邓 洲 张 静

第七章 尚闯红 董宝奇

第八章 李鹏飞 李 平

目 录

第一章 光伏太阳能产业发展现状分析	1
第一节 国际光伏太阳能产业的发展	2
第二节 国内光伏太阳能产业的发展	10
第二章 中国光伏产业技术进步历程与发展现状	25
第一节 国际光伏技术的变革及发展	26
第二节 我国光伏产业技术进步史	29
第三节 技术创新对光伏成本下降的贡献分析	33
第四节 我国光伏产业技术发展的现状与问题	35
第五节 影响光伏产业技术进步的因素分析	41
第三章 我国光伏产业的关键技术和技术发展趋势	45
第一节 我国光伏产业技术链及技术特征	45
第二节 我国光伏产业的关键技术解析	50
第三节 中国光伏技术发展趋势	66
第四节 促进中国光伏产业技术进步的政策建议	71
第五节 无锡尚德电力破产在技术创新层面的启示	80
第四章 国内外光伏应用市场发展现状	85
第一节 光伏产品的应用领域不断扩展	85
第二节 国外光伏应用市场发展现状	93
第三节 国外促进光伏市场发展的主要政策	104
第四节 国外光伏产业发展存在的问题	108
第五节 国内光伏应用市场发展现状	110



第五章 国内光伏应用市场存在的问题和发展障碍	113
第一节 国内光伏应用市场存在的问题	113
第二节 国内光伏应用市场发展的主要障碍	116
第六章 光伏应用市场发展前景	121
第一节 应用市场发展的环境不断改善	121
第二节 国外光伏应用市场发展规划	126
第三节 国内光伏应用市场发展前景	132
第七章 煤电和光伏太阳能发电产业链技术经济比较分析	137
第一节 计算方法选择与成本界定	137
第二节 煤电成本分析	141
第三节 光伏发电成本分析	152
第四节 煤电和光伏太阳能发电技术经济比较	159
第八章 光伏太阳能产业发展政策分析	169
第一节 我国促进光伏产业发展的主要政策（2005~2012 年）	169
第二节 我国光伏产业政策存在的主要问题	175
第三节 促进我国光伏产业发展的政策建议	180
参考文献	189

第一章 光伏太阳能产业发展 现状分析

传统化石能源危机、环境压力、新能源技术的发展和投资的快速增长已经促使光伏太阳能发电成为优化能源结构、实现绿色发展的重要选择。光伏太阳能产业是一个充满机遇与挑战的朝阳产业，其独有的产业特点和战略地位吸引了国内外政府、企业界以及研究机构的空前关注。

在后金融危机时代，作为新能源重要组成部分的光伏太阳能产业具备产业技术含量高、经济带动效果突出、产业关联大等特征，将成为全球产业结构调整、产业转移、技术转移的重心，代表着产业发展的方向，是新兴科技和新兴产业的深度结合，从而推动新一轮的产业革命，最终形成战略性支柱产业。

从长远看，光伏太阳能发电在不远的将来会占据世界能源消费的重要席位，不但要替代部分常规能源，而且将成为世界能源供应的主体。国际能源署（IEA）预测，到 2020 年全球光伏发电量将占总发电量的 1.1%，到 2040 年将占总发电量的 21%~26%。根据欧洲联合研究中心（JRC）的预测，到 2030 年可再生能源将在总能源结构中占到 30% 以上，光伏太阳能发电在世界总电力的供应中占到 10% 以上；2040 年可再生能源占总能耗的比例在 50% 以上，光伏太阳能发电将占总电力的 20% 以上；到 21 世纪末可再生能源在能源结构中占到 80% 以上，太阳能发电占到 60% 以上，显示出极其重要的战略地位。



第一节 国际光伏太阳能产业的发展

一、国际光伏太阳能的发展历程和现状

1. 光伏太阳能的起源

1839年，法国科学家贝克雷尔（Becquerel）发现，光照能使半导体材料的不同部位之间产生电位差。这种现象后来被称为“光生伏打效应”，简称“光伏效应”。1904年，爱因斯坦对光伏效应做出了理论解释，并很快得到实验证实。1954年，美国科学家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电池，将太阳光能转换为电能的实用光伏发电技术正式诞生。

2. 光伏太阳能应用的初步发展

20世纪70年代爆发的全球性能源危机，促使光伏技术向民用方面迅速推广，各种材料的太阳能电池相继问世。70年代，出现了针对地面商用的太阳能电池和系统的公司。1990年以后，在能源危机和全球气候变暖的压力下，可再生能源越来越受到关注。

随着全球可持续发展战略的实施，光伏发电技术得到了许多国家和政府的大力支持，美国、欧洲、日本等发达国家相继提出了光伏发电的“光伏屋顶计划”、“新阳光计划”等，已经实现了普及应用。

3. 光伏太阳能的快速发展阶段

进入21世纪以来，全球的光伏太阳能产业呈现出迅猛发展的态势。全球太阳能电池新增、累计装机量的年均复合增速分别高达27.60%、33.40%，全球光伏组件的年均增长率更是高达30%以上，光伏产业成为全球发展最快的新兴行业之一。1998~2008年，世界光伏市场年均增长率达46.07%。2010年全球太阳能电池产量达到15.2GW，2013年全球太阳能电池产量快速达到40GW。

从总体来看，目前全球范围的光伏产业整体规模还是很小的，2010年世界光伏发电并网装机容量只有4000万kW。预计到2020年，欧洲有望实现“3个20%”，即可再生能源替代20%的化石能源，节能20%，降耗



20%，光伏发电量达到 1 亿~4 亿 kW；美国有望实现光伏发电 1 亿~3.5 亿 kW；中国将实现光伏发电 5000 万 kW；全世界将达到 5 亿~10 亿 kW。

二、国际光伏太阳能产业的布局

光伏太阳能产业的上游是高纯度硅料生产，技术含量最高、利润最大，价格约占太阳能电池成本的 70% 以上；中游是电池片、电池组件等环节，下游是光伏电网安装系统集成。

1. 上游的高纯度硅料生产

多晶硅制备是一项相对复杂的高科技工程，涉及化工、电子、电气、机械和环保等多个学科。目前，太阳能级多晶硅技术主要包括物理法和化学法。另外，在其他太阳能级多晶硅制备技术方面，如日本川崎制铁公司及德国的湿法精炼法、日本德山公司的熔融析出法、美国国家可再生能源实验室的无氯技术等工艺已经逐步成熟，并步入规模化生产阶段。

世界上生产多晶硅的方法主要有改良西门子法、硅烷法和流床法三种。最常用的方法是“改良西门子法”，该方法生产的多晶硅产量占据全球太阳能级多晶硅产量的 76% 以上。工业硅料的生产主要在发展中国家进行，是产业链中高能耗、高污染的一环。工业硅料经提纯后得到高纯度的硅料（纯度在 99.9999% 以上）但价格高昂，见图 1-1。

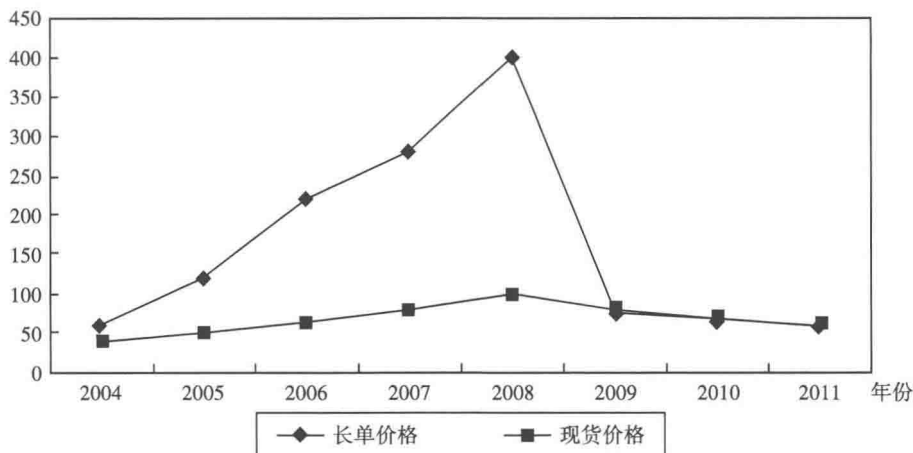


图 1-1 多晶硅长单与现货价格走势

资料来源：中银国际研究。



作为光伏产业链进入壁垒最高的环节——高纯多晶硅原料生产，占电池总成本的 70%。目前，高纯度硅料的供应商主要来自美国、德国和日本的公司。全球多晶硅基本由欧洲、美国和日本的七家供应商垄断，具体包括美国的 MEMC 和黑姆洛克半导体公司（Hemlock），挪威的 REC，日本的三菱高纯硅株式会社（Mitsubishi）、住友希蒂克斯尼崎公司（Sumitomo）和德山曹达株式会社（Tokuyama）以及德国瓦克化学电子公司（Wacker）。这七大厂商生产的高纯度晶体硅总产量约占世界总产量 95% 以上（见表 1-1），拥有 10 家多晶硅生产工厂，其中美国有 5 家，日本有 3 家，欧洲有 2 家。七大厂商具备从硅料到硅片的完整产能，垄断了高纯度多晶硅规模化生产的核心技术，从而在成本控制、产品质量以及生产规模上都具有很大的竞争优势。

表 1-1 全球七大厂商产能规划

单位：吨

年份 厂商	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Hemlock			14500	19000	22000	29000
Wacker			10000	10000	14000	30000
REC			8000	10000	11500	11500
MEMC			6000	8000	12000	15000
Mitsubishi			3300	3750	4200	4650
Tokuyama			6200	6200	8200	8200
Sumitomo			1400	1400	1400	1400
产能合计	36000	40000	49400	58350	73300	99750
产量预计	28750	31944	395451	46599	58538	79661

2. 中游的太阳能电池

从中游的太阳能电池来看，光伏发电的核心部件是太阳能电池或光伏电池。目前，晶硅太阳能电池是发展速度最快、技术最成熟、产业化规模最大的一种太阳能电池。全球光伏发电中的太阳能电池仍以硅基太阳电池为主，约占市场份额的 90%，大面积商品化电池效率单晶硅为 16%~20%，多晶硅为 15%~18%。此外，非晶微晶硅薄膜太阳电池发展迅速，占全球光伏组件销量的 10%~15%。非晶硅与微晶硅叠层电池效率在 8%~10%。其他如碲化镉（CdTe）电池、铜铟镓硒（CIGS）电池等已实现商业化，市



场份额相对较小，但发展迅速（见图 1-2）。未来，光伏新兴技术的突破方向主要有先进薄膜和有机电池（后者即将进入市场）、新型光伏概念、聚光技术。

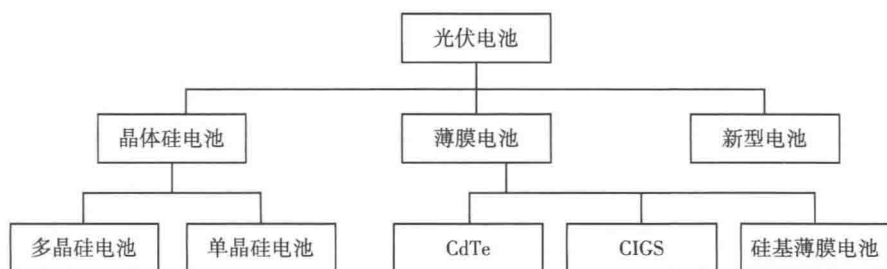


图 1-2 太阳能电池分类

中国是世界上最大的太阳能电池板供应商之一，在 2012 年全球十大太阳能电池企业中，中国与台湾地区企业共占据一半席位。国际分析机构 Photon International 数据显示，以 2009 年的产出计，全球三大太阳能电池企业分别为美国薄膜太阳能厂 FirstSolar FSLR.O、中国尚德电力 STP.N 和日本夏普 6753.T，产出分别为 1100MW、704MW 和 595MW。其他大厂商依次为德国 Q-Cells QCEG.DE，中国英利绿色能源控股 YGE.N、晶澳太阳能 JASO.O，日本京瓷 6971.T，中国天合光能（Trina Solar）TSL.N，美国 SunPower SPWRA.O 及中国台湾昱晶 3514.TW。其中，晶澳太阳能 2010 年产出 1.35 吉瓦（GW），远超过 Q-Cells 同期的 1.1GW，已成为全球最大的光伏电池片生产商；而尚德科技 STP.N 2010 年实现产出为 1.3GW。据咨询机构 iSupply 的数据，2010 年全球光伏电池需求为 14.2GW，2011 年光伏电池的需求在 17~18GW。除此之外，在海外上市的中国太阳能电池厂商还有 CSI 阿特斯（CanadianSolarInc）CSIQ.O、浙江昱辉（Renesola）SOL.N、南京中电 CSUN.O、江苏林洋新能源 SOLF.O、赛维 LDK 等。创益太阳能近日正在进行香港 IPO 筹资。

2009 年世界光伏电池总产量为 9340MW，同比增长 36.35%；中国光伏电池产量为 4382MW，同比增长 66.24%，占全球产量的 46.92%，但 95%以上的产品出口国外。全球光伏产业在 2010 年出现了爆发性的增长，全球光伏市场安装量达到 18.2GW，相较于 2009 年增长了 139%，新增安装量超过了 1500 万 kW，提前实现了业内普遍估计的到 2015 年实现的发



展目标。2011 年全球太阳能光伏电池产量仍达到了惊人的 37.2GW，相比 2010 年的 27.4GW 提升了 36%。

3. 下游的光伏电网安装系统集成

光伏产业链下游是光伏电网的安装系统集成，主要集中于市场发达的欧洲、美国和日本，其市场主要在欧洲。中国应用市场产业则处于起步阶段。

欧洲是目前世界上最大的光伏区域市场，除了传统光伏大国德国外，西班牙、意大利、法国、捷克、葡萄牙、希腊等新兴欧盟光伏市场规模不断增加。此外，美国、日本的光伏市场也保持了高增长态势。今后，如果中国、日本、美国等世界区域大国光伏市场继续保持较快增长，欧洲光伏市场的份额预计将继续缓慢下降，但整体市场规模仍将长期维持世界最大光伏区域市场的地位。

2009 年，全球光伏太阳能发电装置达到创纪录的 64.3 亿 W，比 2008 年增长 6%，全球太阳能产值达 380 亿美元。欧洲国家太阳能发电量为 47.5 亿 W，占 2009 年全球市场的 74%。其中，40.7 亿 W 来自最主要的三大太阳能能源国——德国、意大利和捷克共和国。2011 年，全球光伏新增装机容量约为 27.5GW，与上年的 18.1GW 相比，涨幅高达 52%，全球累计安装量超过 67 亿 W。

4. 全球光伏太阳能产业格局

全球光伏太阳能产业格局总结如表 1-2 所示：

表 1-2 全球光伏太阳能产业格局

工序环节	国际技术状况	国内技术状况
多晶硅	技术主要掌握在美国、日本、德国，产能主要技术在全球七大生产商手中	主要为引进俄罗斯的改良西门子法，技术相对有一定差距，产能相对较少
硅锭、硅片	单晶、多晶技术都相对成熟，切割工艺不断提升，硅片厚度不断下降	单晶硅拉制技术比较成熟，单晶炉已实现国产化，价格低廉；多晶硅浇铸炉依靠进口，价格昂贵
电池及组件	电池片的光转化效率高	生产工艺和国际相当，生产设备国产化率最高，是从业门槛最低，从事企业最多，且扩产最快，产量最大的一个环节。由于技术和资金门槛低，同时可以充分利用劳动力成本低廉的优势，中国光伏太阳能电池封装行业的发展最为迅速



三、全球光伏太阳能产业的市场特征

近年来,因环境减排压力、能源危机、技术进步推动、光伏发电成本降低及各国政府的激励政策驱动等因素,光伏太阳能发电应用市场迅速发展。2008年以来,受全球金融危机和欧债危机影响,虽然欧洲的光伏应用市场有所萎缩,但全球光伏产品和发电成本急剧下降,上网电价竞争力不断提升。

1. 全球光伏电池产量增长迅速

2008年是全球光伏电池产量的转折点。在此之前,全球光伏电池产量一直处于缓慢增长之中。2008年以后,全球光伏装机进入迅猛发展阶段。2000~2011年,全球太阳电池产量年均复合增长率为57%。尤其是2010年,全球光伏电池产量达27.4GW,比2009年增长了161%。2011年,全球光伏电池产量达37.2GW;2012年与2011年基本持平,约为36GW。图1-3为1996~2012年全球光伏电池产量。

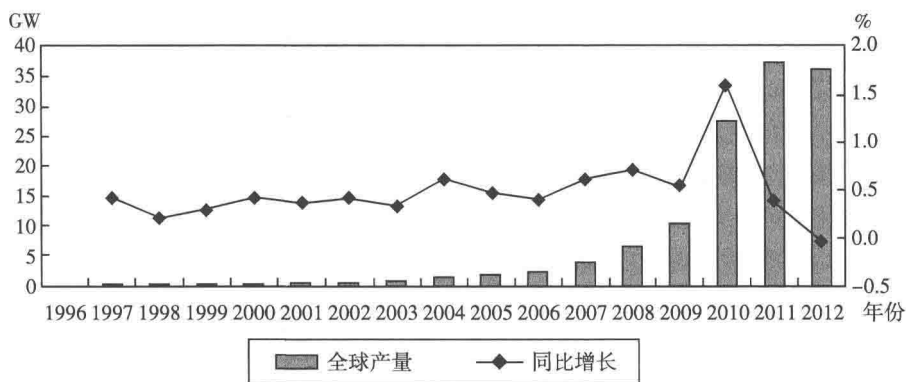


图 1-3 1996~2012 年全球光伏电池产量

资料来源:根据 EPIA、《BP 世界能源统计 2012》等资料整理。

2. 全球光伏装机容量增长迅速

2001~2012年,全球光伏发电新增容量持续快速增长,年均增速达54.8%。2000~2008年,以欧洲、美国、日本为主的全球光伏太阳能发电应用市场以45%的年均复合增长率快速增长,在总安装量中欧洲占据82%。截至2009年,欧洲以近16GW的安装量遥遥领先,占据约70%的光伏发电总量,而日本和美国分别以2.6GW和1.6GW紧随其后。中国进



入全球十大光伏市场之列，预计未来数年将扮演重要角色。

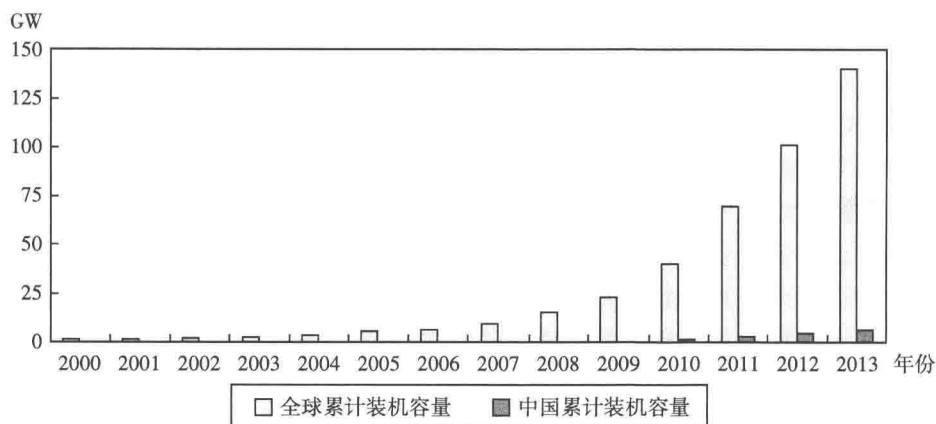


图 1-4 2000~2013 年全球和中国累计装机容量

资料来源：根据 EPIA、《BP 世界能源统计 2012》等资料整理。

与光伏电池产量的增长轨迹相似，2008 年也是全球光伏装机容量的转折点。2008 年以后，全球光伏装机进入迅猛发展阶段。2008~2012 年，全球光伏发电容量年均增长 65% 左右。2010 年，全球光伏太阳能发电累计安装容量达 40GW；2010 年当年新增装机容量 17GW，超过了 2008 年之前的全球累计安装容量总和 15.98GW。2012 年，全球光伏发电累计安装容量超过 100GW，是仅次于生物质能和风电的第三大可再生能源（见图 1-4）。据 EPIA 数据，2013 年全球光伏市场装机容量仍然延续增长态势，总体装机容量在 2014 年 30GW 的基础上增长 26%~41%。

需要说明的是，自 2008 年以来，受全球金融危机和欧债危机的影响，欧盟传统光伏大国如德国、西班牙、意大利等国家政府补贴不断减少，导致光伏装机容量虽然每年仍有稳定的安装需求，但是增长速度放缓。新兴国家如中国、印度等国家的装机容量逐渐增加。据 EPIA 预测，未来 5 年中国、印度光伏新增装机容量或将超过欧洲。

此外，2008 年全球光伏产量为 6.85GW，比 2007 年的 3.44GW 增长近 100%。2011 年全球太阳能光伏电池产量达到了惊人的 37.2GW，相比上一年的 27.4GW 提升了 36%。全球光伏产量超过安装量，供给过剩问题初步显现，引发了更加激烈的产业竞争、行业洗牌。



3. 全球光伏发电装机容量市场整体规模较小

当前,从总体能源结构来看,全球范围的光伏产业整体规模还很小,光伏发电正处在从补充能源向替代能源过渡的阶段。2000年,光伏发电大概占总发电量的万分之几。进入21世纪以来,光伏太阳能发电产业增长迅速。根据当时世界能源组织对未来光伏发电发展趋势的预测,到2010年,光伏发电大概占总发电量的千分之几;2020年,光伏发电大概占总发电量的1%;2030年,光伏发电大概占总发电量的9%左右;2040年,光伏发电大概会占总发电量的20%以上。根据国际能源署预测,2050年光伏太阳能发电在全球能源的比重将达到25%,在能源结构中起主导作用,2100年将达到64%(见图1-5)。

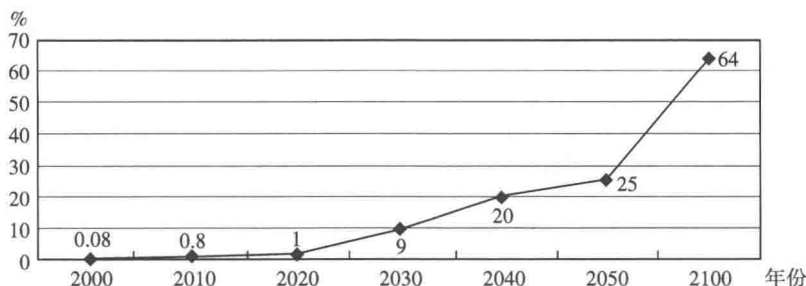


图 1-5 全球能源构成中光伏发电所占比例的预测

资料来源:世界能源组织。

2010年,世界光伏发电并网装机容量只有4000万kW。2011年,全球光伏新增装机容量约为27.5GW,与上年的18.1GW相比,涨幅高达52%,全球累计安装量超过6700万kW。预计到2020年,欧洲有望实现“3个20%”,即可再生能源替代20%的化石能源,节能20%,降耗20%,光伏发电量达到1亿~4亿kW;美国有望在2020年实现光伏发电1亿~3.5亿kW;中国有望实现光伏发电5000万kW;全世界将达到5亿~10亿kW。



第二节 国内光伏太阳能产业的发展

一、国内光伏太阳能的发展历程和现状

与发达国家相比,我国的光伏太阳能产业技术研发和市场培育起步较晚。但是,得益于欧洲对光伏产业的大力支持以及由此产生的庞大市场需求,也得益于我国改革开放以来积累的雄厚的制造业基础,更得益于我国相对低廉的劳动力成本和资源成本,进入 21 世纪后我国的光伏制造业得到了迅猛的发展。

中国太阳能电池产业的发展大致可分为三个阶段:第一阶段为 1984 年以后的研究开发时期;第二阶段为 2001 年以后的产业形成时期(尚德等太阳能电池厂商开始创业);第三阶段为 2005 年至今中国太阳能电池产业的快速发展时期。

在 2005 年之后我国光伏太阳能产业经历了快速发展的过程,年增长率连续 5 年超过 100%。2007 年至今,中国已经连续 5 年光伏电池产量居世界首位。2008 年,我国太阳能多晶硅产量为 4500 吨左右,硅锭产量为 1.33 万吨左右,电池片产量为 2000MW 左右,光伏组件产量为 2000MW 左右,占全球产量的 29.45%,光伏产业产值为 1500 亿元,行业从业人数为 12 万人,从业企业达 500 多家。2008 年,中国超过了之前一直居全球市场份额首位的日本,成为全球第一大生产国。而这一年的全球产量约为 7GW,中国的太阳能电池产能约为 3.3GW,产量超过了 2GW,中国占全球的份额超过了 30%。2009 年,中国的太阳能电池产量达到 4.3GW,占全球的份额已达到 4 成。2010 年,中国太阳能电池产量达到 9GW,已超过全球总产量的 50%。^① 2013 年,我国太阳能电池产量更是达到 40GW。

中国的光伏装机容量呈现出跳跃式发展态势。从终端市场应用来看,2008 年以前,我国的光伏发电市场需求发展速度一直较慢,当年累计装

^① 中国新能源网. 2010 中国太阳能电池产量占世界生产总量 50% [EB/OL]. <http://www.newenergy.org.cn/html/01012/12291038018.html>.