

关于加速开拓中国国内光伏市场 的激励政策与措施的研究及建议



中国科学院电工研究所
可再生能源发电咨询与培训中心

二〇〇九年五月

项目执行时间：2008年5月—2009年5月

项目组组长：马胜红

电工所成员：

肖立业 李斌 陈东兵 陈光明 孙李平 张亚彬 刘鑫 熊燕
尚永红

咨询专家（按姓氏笔画排序）：

王斯成 马艳 杨德仁 胡学浩 赵玉文 赵为 梁志鹏 侯卫东
夏爱民 唐元

报告主编：李斌 马胜红

报告参编人员：陈东兵 陈光明 孙李平 张亚彬 刘鑫 熊燕 尚永红



目 录

简介.....	5
致谢.....	6
符号说明与缩写.....	7
图目录.....	10
表目录.....	12
1. 背景与目的.....	14
1.1 高速发展的全球光伏产业及光伏市场.....	14
1.2 中国光伏产业的跳跃式发展与极不相称的国内光伏市场.....	14
1.3 中国是否急待开发国内光伏市场？如何科学地开发国内光伏市场？.....	15
2. 加速开拓中国国内光伏市场的必要性和紧迫性.....	17
2.1 可再生能源与产业革命.....	17
2.2 光伏发电在中国电力可持续发展中的作用和地位.....	20
2.3 中国电力发展需求预测.....	25
2.4 燃煤发电的全成本趋势分析.....	27
2.5 中国光伏产业目前的国际定位.....	30
2.6 国际金融危机对中国光伏产业的冲击、威胁和发展机遇.....	32
2.7 国际光伏发电产业和市场发展原动力分析.....	34
2.8 现在加速开拓国内光伏市场的重要意义.....	37
2.9 小结.....	40
3. 加速开拓国内光伏市场的可行性分析.....	46
3.1 中国太阳能资源分布和应用潜力.....	46
3.2 中国可再生能源发展规划及相关法律与政策.....	49
3.3 光伏发电技术发展现状及其市场应用.....	51
3.4 我国光伏发电技术推广应用的成果与经验.....	53
3.5 国内光伏市场的发展潜力分析.....	55
3.6 小结.....	58
参考文献.....	59
4. 中国光伏发电成本、价格及技术进步作用的分析.....	61
4.1 中国光伏的产业链.....	61
4.2 中国光伏产业链现状.....	67
4.3 中国与国际晶体硅光伏产业链成本及价格分析.....	76
4.4 中国晶体硅光伏产业技术发展潜力及成本发展趋势.....	79
4.5 中国光伏发电系统成本与电价的研究与分析.....	81



4.6	小结.....	89
	参考文献.....	90
5.	制约中国光伏市场发展的主要因素.....	92
5.1	我国光伏市场的发展现状及其特点.....	92
5.2	组件的高成本导致系统造价高昂.....	95
5.3	光伏并网技术尚未开展规模化实验.....	96
5.4	光伏发电的政策规定缺乏可操作机制.....	97
5.5	技术标准、认证制度和质量保证体系.....	100
5.6	管理与维护.....	106
5.7	能力建设与人才培育体系.....	107
5.8	相关问题分析.....	108
5.9	小 结.....	113
	参考文献.....	115
6.	加速开拓国内光伏市场、促进产业发展的激励政策研究与建议.....	117
6.1	加快加大科技攻关投入，掌握并完善产业关键技术.....	117
6.2	开展规模化的光伏并网实用化试点与先导应用.....	119
6.3	加强能力建设、构建人才培养的可持续机制和系统.....	123
6.4	强化质保体系及核查监督机制、提高产品质量.....	124
6.5	制订及完善相关法规与激励政策.....	126
6.6	小 结.....	129
	参考文献.....	131
7.	启动并实施“中国光伏跃进计划(2009-2012)”的分析与建议.....	133
7.1	国家采取紧急措施帮扶光伏企业渡过难关.....	133
7.2	37 万千瓦(370MWp)无电地区电力建设项目.....	140
7.3	266 万千瓦(2660MWp)大规模并网项目.....	141
7.4	36.5 万千瓦(365MWp)应急光伏电源项目.....	145
7.5	10.5 万千瓦(105MWp)城乡光伏照明工程—“光伏明灯 200 万”工程.....	147
7.6	小 结.....	150
	参考文献.....	151
8.	“中国光伏市场行动计划(2009-2020)”的规模和效益研究.....	153
8.1	概述.....	153
8.2	指导思想与原则.....	153
8.3	发展目标.....	154
8.4	投资概算.....	156
8.5	重点任务.....	157



8.6	预期效益分析.....	157
8.7	小结.....	159
	参考文献.....	160
9.	全文结论、政策建议.....	162
9.1	结 论.....	162
9.2	政策措施建议.....	169
	参考文献.....	172
10.	附件.....	173
10.1	硅基薄膜（A-Si（单 双 三结） 非晶/微晶）核心企业.....	173
10.2	CdTe 企业.....	174
10.3	CIGS CIS 企业.....	174
10.4	突发公共事件应急体系建设光伏电源项目实施导则.....	176
	参考文献.....	184

简介

作为未来最具有潜力的电力能源—太阳能发电，该产业的发展潜力十分巨大。太阳能电力产业是新兴的朝阳行业，几乎无限的、可持续的资源潜力以及行业本身的优势，使得太阳能发电产业具有良好的发展远景。

本研究报告中，首先阐明本研究的背景和目的；然后分析加速开拓中国国内光伏市场的战略意义、必要性、紧迫性和可行性；接着，研究当前光伏发电的产业链的成本构成、技术现状、技术创新与发展的潜力；综述国内外光伏发电产业的现状和市场运行情况，分析当前制约中国光伏市场的因素，并提出相关的政策和措施建议。报告对光伏发电产业的技术发展、关联产业和前景趋势进行了分析，提出了“开拓中国光伏市场的行动计划”的建议，并对该“行动计划”的规模设计和效益作了分析。

致 谢

本研究始终得到来自国家能源局、国务院政策研究室工贸司、美国能源基金会等部门、机构、及其领导的指导和大力支持。数次研讨会上，来自各部门、各公司的代表、专家学者的建设性的意见和建议，使得本研究工作保持正确的研究方向，研究紧密结合实际。在此向各位专家、代表的贡献致以由衷的谢意。

项目组向多位专家，尤其是外国专家，进行了咨询，专家们对研究报告的章节、内容设置等提出了宝贵的建议和意见。谨此，向所有为本研究成果做出贡献的人们表示感谢。

课题组在此向所有关心、支持本研究的、提出建议和意见的单位和个人致以诚挚的谢意，也要向使本研究及研究报告得以完善和完整的同仁们表示最真诚的谢意。

符号说明与缩写

符号、缩写	English	中文
APS	Arizona Public Service Company	亚利桑那公共服务公司
ACORE	America Council Of Renewable Energy	美国可再生能源理事会
BIPV	Building Integrated Photovoltaics	建筑-光伏一体化
BSW-SOLAR	Bundesband Solar Wirtschaft	德国光伏工业协会
CDM	Cleanness Development Mechanism	清洁发展机制
CEC	California Energy Commission	加州能源委员会
CGC	China General Certification Center	中国鉴衡认证中心
CPV	Concentrated PV	聚光光伏
CREIA	Chinese Renewable Energy Industries Association	中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会
CRES	Chinese Renewable Energy Society	中国可再生能源学会
DNI	Direct Normal Insolation	直接辐射
DOE	Department Of Energy	美国能源部
EERE	DOE, Office Of Energy Efficiency & Renewable Energy	美国能源部能效与可再生能源办公室
ENEA	An Italian Governmental Agency For New Technology, Energy, And The Environment	意大利新技术、能源、环境办公室
EPC	Engineering, Procurement, And Construction	工程、采购、建设
EPIA	European Photovoltaic Industrial Association	欧洲光伏行业协会
EPSG	Electric Power Generating System	发电系统
EU	European Union	欧盟
GEF	Global Environment Facility	全球环境基金
GHI	Global Horizontal Irradiance	水平全辐射
GTZ	German Technology Cooperation Company	德国技术合作公司
GW	Giga-Watt	吉瓦, 10^9 Wp
GWh	Giga-Watt Hour	吉瓦时, 相当于 100 万千瓦时
IEA	International Energy Agency	国际能源署
IEC	International Electro Technical	国际电工委员会



符号说明与缩写

符号、缩写	English	中文
	Commission	
ILR	Intermediate Load Range	中等负荷区域
IPP	Independent Power Producer	独立发电商
IPVEA	International Pv Equipment Association	国际光伏设备协会
IRR	Internal Return Rate	内部收益率
JPEA	Japanese Photovoltaic Industrial Association	日本太阳光电协会
KfW	Kfw Bankengruppe	德国复兴信贷银行
LCOE	Levelized Costs Of Energy	能源的归一化成本
LEC	Levelized Energy Cost Or Levelized Electricity Cost	归一化能源成本
LLC	Limited Liability Company	有限责任公司
LOC	Local Controller	局部控制器
MCR	Maximum Continual Rating	最大连续出力
MEP	Ministry Of Environmental Protection	中国国家环境部
MLR	Ministry Of Land & Resource Of PRC	中国国土资源部
MOF	Ministry Of Finance, P. R. China	中国财政部
MOHURD	Ministry Of Housing And Urban-Rural Development Of P. R. China	中国住房与城乡建设部
MWe	Mega-Watt Electric	兆瓦
MWh	Mega-Watt Hour	兆瓦时, 相当于 1000 千瓦时
NDRC	National Development And Reform Commission	国家发改委
NEA	National Energy Administration	国家能源局
NPV	Net Present Value	净现值
NREL	National Renewable Energy Laboratory	美国国家可再生能源实验室
O&M	Operation And Maintenance	运行维护
PEA	Project Executive Agency	项目执行单位
PPA	Power Purchase Agreement	购电协议
PTC	Energy Production Tax Credit	产能税额抵扣
PV	Photovoltaic	光伏
PVUSA	Photovoltaic For Utility Scale Applications	电力规模的应用光伏规划

符号说明与缩写

符号、缩写	English	中文
R&D	Research And Development	研究开发
REDP	Renewable Energy Development Program	可再生能源发展项目
ROI	Return On Investment	投资回报
RPS	Renewable Portfolio Standards	可再生能源配额
SDDC	Rural Electrification By Renewable Energy And Grid Extension	“送电到村”工程
SDDX	Township Electrification By Renewable Energy And Grid Extension	“送电到乡”工程
SEIA	Solar Energy Industries Association, Us	美国太阳能行业协会
SEPA	Solar Electric Power Association, US	美国太阳电力协会
SERC	The State Electricity Regulatory Commission	中国电监会
SETP	Solar Energy Technologies Program Of DOE	太阳能技术发展规划
SHS	Solar Household Power System	太阳能家用系统
SNL	Sandia National Laboratory	桑迪亚国家实验室
TCE	Ton Coal Equivalent	吨标煤
UNDP	United Nations Development Programme	联合国开发计划署
WB	The World Bank	世界银行
WEC	World Energy Commission	世界能源委员会
Wp	Peakwatt	峰瓦

图目录

图2-1	人类能源演化进程	18
图2-2	能源构成发展趋势	19
图2-3	中国能源生产量与进口量对比	20
图2-4	2005年各国人均一次能源消费量	21
图2-5	2008年我国发电量构成	22
图2-6	历年我国发电量构成	22
图2-7	2005年世界各国火力发电所占比重	23
图2-8	2020、2050年全社会电力需求及电力能源预测	27
图2-9	我国煤炭平均价格变化趋势	29
图2-10	未来火力发电成本及包括外部成本变化趋势	30
图2-11	世界太阳能电池产量分布	31
图2-12	2008年世界光伏市场分布	32
图2-13	2007年世界各国原油进口份额比例	35
图2-14	年人均化石燃料使用排放的二氧化碳	35
图3-1	中国太阳能分布图	47
图4-1	光伏产业链的构成	61
图4-2	2008年中国光伏产业各阶段产品产量	62
图4-3	2005-2008中国光伏产业销售额和就业人数	62
图4-4	中国光伏产业各环节投资	64
图4-5	2007年光伏产业分布	65
图4-6	2008年多晶硅产业分布	66
图4-7	2001-2008年中国多晶硅产量的变化情况	69
图4-8	2000-2008年中国太阳能电池产量的历年变化	72
图4-9	2000-2008年中国非晶硅电池产量的变化情况	73
图4-10	中国与国际光伏组件成本及价格构成	76
图4-11	中国与国际光伏组件成本构成	77
图4-12	国内外光伏组件各生产环节增值空间对比	78
图4-13	多晶硅材料价格对光伏组件成本的影响	78
图4-14	2004-2010年晶硅电池硅消耗量的降低	80
图4-15	并网光伏发电上网电价趋势线	84
图4-16	并网光伏发电上网电价趋势线	84
图4-17	光伏发电与火力发电成本发展趋势	85



图目录

图4-18	日本光伏发电成本发展走势	86
图4-19	德意志银行预测的光伏发电成本发展走势	86
图4-20	EPIA和GREEN PEACE 预测的光伏发电成本发展走势	87
图4-21	Q.CELLS预测的光伏发电成本发展走势	87
图4-22	离网光伏发电度电成本走势	89
图5-1	1990-2008我国光伏系统的年装机容量和累计装机容量	92
图5-2	中国太阳电池年产量和年装机容量	93
图5-3	世界光伏发电市场的增长	94
图5-4	离网村落光伏系统项目质量控制体系构成	105
图6-1	2001-2007世界薄膜电池产量的增长情况	118
图7-1	世界光伏市场供求关系曲线	137
图8-1	2009-2020年光伏安装量和累计安装量设想	155



表目录

表2-1	我国2020年、2050年远景电力需求预测	26
表2-2	2007年华能和大唐发电经营成本状况表	28
表3-1	大陆各省太阳能资源理论储量	48
表3-2	中国部分地区“开阔地光伏电站”潜在容量	58
表4-1	海外上市的中国光伏公司	63
表4-2	光伏产业产能及投资	64
表4-3	2007年各省光伏企业数量及其产量	65
表4-4	2001-2006年世界十大多晶硅厂商的产量	67
表4-5	2005-2008中国多晶硅产量和生产能力	68
表4-6	中国太阳级单晶硅锭产量	69
表4-7	2006、2007年多晶硅锭产量	70
表4-8	2006、2007年中国太阳电池产量	71
表4-9	2006-2008年中国非晶硅薄膜太阳电池的产量	73
表4-10	中国与国际光伏组件成本构成	77
表4-11	晶体硅太阳电池硅片厚度的降低	80
表4-12	1KWP并网光伏发电系统投资成本构成	81
表4-13	不同发电方式全国平均有效年利用小时数	83
表4-14	离网光伏发电系统年运行维护费用及度电综合成本	89
表5-1	2003-2008年中国及世界太阳电池的年生产量及市场份额	93
表5-2	中国近年光伏发电累计装机和市场分布	94
表5-3	世界(2000-2007)年并网/离网光伏市场对比	94
表5-4	中国太阳光伏能源系统标准体系	101
表5-5	已制定完成等待出版的光伏技术标准	102
表5-6	光伏系统生产制造环节的能耗	109
表5-7	光伏系统主要耗材能耗表	109
表5-8	不同地区的能量回收周期	110
表6-1	2002-2006年世界各类太阳能电池产量	118
表6-2	2001-2007年世界薄膜电池产量的增长情况	118
表6-3	2000-2008年中国太阳电池产量的历年变化	119
表6-4	大型并网光伏发电系统实施方案建议	121
表6-5	城市光伏屋顶并网系统实施方案建议	123



表目录

表7-1	可再生能源发展规划中国国内光伏发电分类发展目标.....	137
表7-2	“光跃计划2009”分类市场及所占份额	138
表7-3	(2009-2012)年开阔地光伏电站并网系统成本与上网电价及补贴额估算表	139
表7-4	光伏系统分类初始投资成本及“光跃计划 2009”项目投资总额概算	140
表7-5	“光跃计划2009”并网光伏系统实施规模及费用概况表	142
表7-6	“光跃计划2009”并网光伏系统实施规模分配计划	143
表7-7	“光跃计划2009”应急光伏电源系统实施年度计划	147
表7-8	“光跃计划2009”城乡光伏照明-“光伏明灯200万”工程实施规模与进度计划建议.....	149
表7-9	“光跃计划2009”“光伏明灯200万”城乡光伏照明工程实施测算.....	150
表7-10	“光跃计划2009”光伏系统项目年度安装容量及投资额度表.....	150
表8-1	光伏建设项目设想	156
表8-2	投资估算	157
表8-3	电费补贴投资估算	157
表8-4	光伏产业利税估算	159



1. 背景与目的

1.1 高速发展的全球光伏产业及光伏市场

截止2008年底，世界累计生产了约19GWp太阳能电池，光伏发电的实际总装机容量约18.5GWp。

据Solarbuzz提供的数据：全球2008年晶硅太阳能电池的产量从上年的3.44GWp猛增到6.85 GWp，其中中国大陆和台湾的产量从2007年全球份额的35%猛增到44%，达到3GWp。与此同时薄膜太阳能电池生产也在高速发展，2008年产量达到0.89GWp，年增长123%。以MWp为单位计算，太阳级多晶硅的产量增长了127%，基本满足了2008年光伏产业的需求；其中美国占据了全球43%的份额。全球硅片的产能增加到8.3GWp，增长了81%。2008年全球光伏产业产值超过了371亿美元，比上年增长11%。

Solar Outlook Navigant Consulting预期，受金融危机的影响，2009年光伏电池/组件的产量可能会负增长，跌到4.9GWp；但是很快会恢复快速增长，预期2013年达到至少15GWp，甚至达到28GWp。

- 1) 光伏生产的持续高速增长主要是由于需求侧强有力的拉动（低息、电价上涨、政策激励）以及光伏系统/组件每年综合7%的降价。预计由于规模的扩大和生产工艺的改进，光伏产业的毛利可以保持在30%左右。
- 2) 根据Solarbuzz报告的信息，2008年世界光伏安装量达到创纪录的5.95GWp，比2007年增长了110%。其中欧洲占据82%市场份额，西班牙以285%的年增长率超过德国，年装机量达到2,660MWp，跃居榜首；德国2008年的安装量为1,375MWp，占世界光伏市场的总量24.6%。美国排世界第三，高速发展的韩国跃升为世界第四，其后是意大利和日本。全球有81个国家安装了光伏系统。

1.2 中国光伏产业的跳跃式发展与极不相称的国内光伏市场

我国的光伏产业是在国家的“光明工程/送电到乡工程”的激励下，靠30亿左右的政府投资引导，从2002年开始规模化发展的。在高速发展的欧美市场拉动下，以民营为主体的中国光伏产业经过5年拼搏，2007年一跃成为世界第一的光伏组件生产国和出口国，截至2007年底，太阳能电池生产的企业达到50余家，生产能力达到2,900MWp（其

中非晶硅薄膜电池约100MWp)；生产光伏组件1,717MWp，占全球产量的28.2%，年产值超过880亿元，就业人数约82,800，总资产达到1,200亿元（其中在建投资500亿元），成为高新技术产业和绿色经济增长点。2008年光伏组件的发货量上升到2,000MWp，年增长16.5%，继续保持世界第一大太阳能电池生产国的地位。

截至2008年底，中国光伏系统的累计装机容量达到140MWp(不足世界累计安装量的1%)。2008年中国光伏系统的安装量总计约40MWp，仅为当年太阳能电池生产量2,000MWp的2%，意味着太阳能电池产量的98%需要出口。

1.3 中国是否急待开发国内光伏市场？如何科学地开发国内光伏市场？

中国的光伏产业是靠欧美市场发展起来的民营为主的产业，目前的制造能力、规模和太阳能电池产量已经排名世界第一；而国内累计装机容量却不足世界总容量的1%，其中市场化开拓的部分主要在通讯基站和商品电源方面大约占53.8%；其余46.2%为政府支持的农村电气化和少量并网光伏发电示范工程，其中并网发电（BIPV+地面光伏电站）不足20%，其余为独立光伏系统。

面对日益严重的能源和环境压力，基于目前仍然高昂的光伏发电成本，中国政府是否应像欧美、日本那样，通过政策激励和财政补贴手段，大规模开发国内的光伏市场？社会呼吁日益强烈。有人大代表指出“中国大规模出口光伏组件是把绿色能源出口给别人，而把污染留给自己的愚蠢做法”，但也有人说“我们是发展中国家，先让欧美培育中国的光伏产业，等成本下来后，我们再大规模开发不迟”……。

归纳起来，社会公认：太阳能必然是未来人类的主要能源，光伏发电正快速成为重要的替代能源电力技术，中国的光伏发电业必然成为电力系统的重要组成部分；争论的实质是中国光伏市场的科学发展路线应该如何制定，开拓的领域和规模以及增长速度应该如何确定，重点的市场区域如何布局，需要解决的技术和政策瓶颈有哪些，政策措施如何落实。一言以蔽之：即如何科学地开发国内市场？

面对突然来临的全球金融危机，中国的光伏产业面临巨大的压力：上市公司股票急剧缩水、相当数量的小企业已经关停、靠政策扶持的欧美光伏市场由于资金短缺而大幅萎缩的风险增大、国际贸易由于汇率变化和资金回流不畅给中国企业的压力越来越大…… 这些因素对市场在外的中国光伏产业罩上了层层乌云。

另一方面，中央拉动内需、调整产业结构、大力发展可再生能源的政策又给中国



的光伏市场和产业健康、可持续发展带来良好的机遇。特别是2009年3月国家对敦煌10MWp光伏项目的招标，以及财政部和建设部新近出台的关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见“财建[2009]128号、129号文件”，向全球发出了中国将积极推动国内光伏市场发展的信号。

本研究报告试图依据中国的国情，客观地分析光伏发电在中国电力能源结构中的战略地位和现状，以可持续发展的基本原则为指导，提出科学发展国内光伏市场的相关建议，以期政府主管部门和相关产业决策时参考。

2. 加速开拓中国国内光伏市场的必要性和紧迫性

2.1 可再生能源与产业革命^[1]

能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任何一种形式能量的载能体资源。地球上一切能源归根结底都来源于：太阳的热核反应释放的巨大能量；地球形成过程中储存下来的能量；太阳系运动赋予地球的能量。

自然能源是人类发展和进步的重要物质基础。

从18世纪60年代开始的英国产业革命，促使世界能源结构发生第一次大转变，即从木柴转向煤炭。英国1709年开始用焦炭炼铁，瓦特1765年发明了蒸汽机，1825年世界第一条铁路通车。冶金工业、蒸汽机带动了英、美、德、法、俄、日的产业革命，煤炭工业是这些产业发展的动力基础。

20世纪20年代开始，世界能源结构发生第二次大转变，即煤炭转向石油和天然气。以美国为首的发达国家依靠技术进步，将能源的利用从煤炭转向热值高，便于加工、转换、运输、储存和使用，效率高，而且又是理想化工原料的石油和天然气。20世纪50和60年代，许多国家正是依靠充足、廉价的石油实现了经济的高速增长。化石能源的开发利用有力地推动了现代科学技术的飞速发展，使人类社会的进步达到空前的高度：人类可以摆脱地球的引力飞向其它星球；可以比古人高成千上万倍的效率从事农业生产和工业加工；可以向地球的任何角落发送信息和图像等，借助这些能量，人类驾驭自然的能力达到了前所未有的水平。电力的生产和应用飞速发展，造福人类，推动社会进步。现代社会须臾不可离开电力。

从20世纪70年代开始，世界能源结构开始了第三次大转变，即从化石能源开始转向以可再生能源为基础的可持续发展的能源系统。根本原因有三个：其一，化石能源是有限的，不能再生；全球探明的石油、天然气、煤炭、铀、油页岩等资源总量，大约只够人类再使用100多年。其二，化石燃料的能源系统造成日益严重的环境问题，快速增长的污染排放正在突破人类生存的环境条件极限，人类必须限制排放的总量，维持生态系统处于良性循环状态。其三，目前的以化石能源为主的结构体系，造成资本和控制日益集中化，争夺资源和垄断市场引发越来越多的政治和社会问题，甚至战争。

以可再生能源为基础的可持续发展的能源系统的建立，将从根本上克服化石能源体系的弊端，使人类与自然和谐相处，使人类社会自身和谐发展。目前，我们正处于第三



次大转变的过渡时期。

上述人类能源演化过程的三个阶段，可由图2-1显示，图中虚线、红线和绿线分别为总能耗、化石燃料能源和可再生能源及新能源。

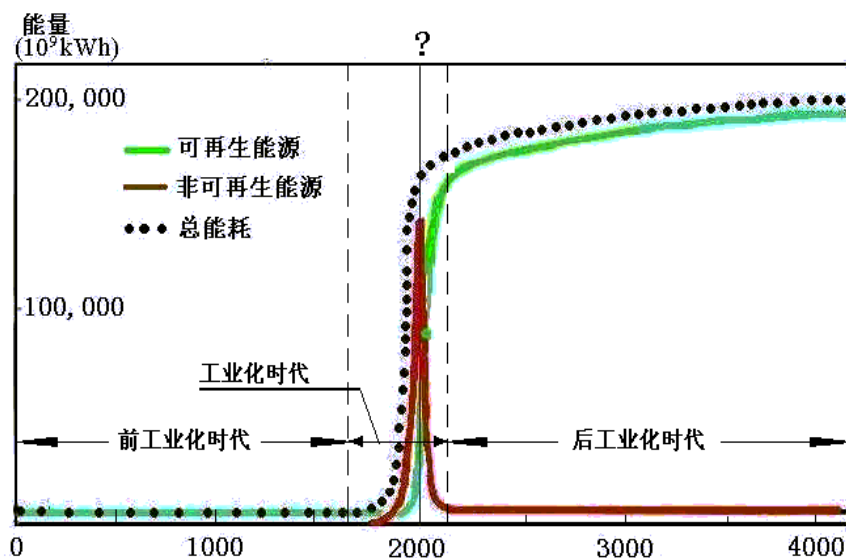


图 2-1 人类能源演化进程

过去的200多年里，尽管人类文明取得了迅速发展，但同时也以惊人的速度消耗掉了这个星球用46亿年积聚的大部分化石能源。过去20年间，世界每年能源消费大约以3%的速度增长，世界人均能耗已由20世纪70年代初1.871吨标准煤，增长到2000年2.143吨标准煤；其中经济发达的OECD国家人均能耗为5.49吨标准煤，而经济欠发达国家的人均能耗只有0.75吨标准煤；美国和加拿大超过11吨标准煤，俄、日、德、英、法为6吨左右，中国目前人均能耗为2吨标准煤。世界能源委员会（WEC）预测，按照资源探明储量和这样的发展速度，石油将在43年枯竭，天然气将在66年用尽，资源量最大的煤炭也只够开采169年。如何保证人类的能源供应可持续发展已经提到了议事日程。

过去的100年，是有史以来发展最快的世纪，世界人口增长了近4倍，工业生产增加了50倍以上，能源消耗增长了100多倍。但发展是一把双刃剑，我们尴尬地发现，人类正面临十大环境问题，①全球变暖 ②臭氧层破坏 ③生物多样性减少 ④酸雨蔓延 ⑤森林锐减 ⑥土地荒漠化 ⑦大气污染 ⑧水体污染 ⑨海洋污染 ⑩固体废物污染。上述问题无不与人类过度开采和利用化石能源有关！环境问题对人类在地球上的生存提出严重挑战。人们终于认识到，以牺牲环境为代价去换取经济和社会的发展，这种发展是不会长久的。

未来的以可再生能源为基础的可持续发展的能源系统主要包括太阳能、地热能、水

能、风能、氢能、海洋能、生物质能，以及核裂变和核聚变反应堆发电等。世界能源结构转变到以可再生能源为主将是一个漫长的过程，一些专家曾估计需要经历100多年的时间。但是近来环境日益恶化、全球气候变暖、为占有和控制化石能源资源而引发冲突甚至战争的问题正迫使人类加快采取有效措施，改善能源结构，减少排放，世界各国推动可再生能源发展的呼声日益高涨。在这种形势下，以可再生能源为主体的清洁能源机制的能源结构有望提前实现，也许到2050年世界能源结构就能够实现可再生能源占50%以上的目标，见图2-2。

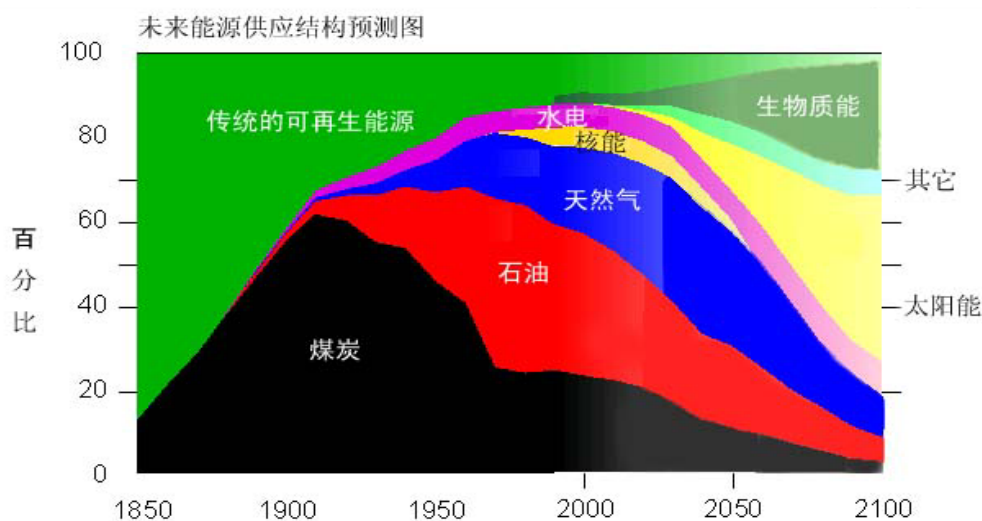


图 2-2 能源构成发展趋势

追根溯源，可再生能源来自于太阳能。太阳发射出的总辐射大约为 3.75×10^{26} 瓦，到达地球陆地表面的辐射能大约为 1.7×10^{13} 千瓦，它相当于目前全世界一年消耗总能量的35000多倍。陆地表面接收的太阳辐射能中，被植物吸收的仅占0.015%，被人们利用的约为0.002%，可见目前利用的比重微乎其微，太阳能潜力几乎是无限的。事实上水能、风能、生物质能、地热能等也都间接地来自于太阳能。从资源潜力的角度来看，太阳能是可再生能源家族中最重要的能源。

随着科学技术的进步，可再生能源技术正在以前所未有的速度发展，应用规模也在大幅跃升：随着化石能源的成本快速上升，可再生能源的成本正在接近化石能源成本；各国政府扶持力度正在日益加强，有力地推动可再生能源产业的发展，可再生能源成本加速下降。分布式电源技术、新型储能等技术的发展将保证可再生能源构成现代化大规模稳定电源，满足的电网供电的要求。

再过100年左右时间，化石能源就将告罄；人类已经开始了可再生能源替代化石能源的时代。由于中国人均化石能源占有量远远低于全球人均占有量，而能耗水平高速增长，

环境排放容量接近饱和，要保证经济和环境的可持续发展，保证能源安全，大力开发可再生能源是我国的必然选择。

大力开发可再生能源对于我国绝不是权宜之计，要实现振兴中华、建设小康社会的战略目标就必须解决能源和环境的可持续发展的问题，而实现可再生能源替代化石能源是解决这一问题的根本出路。可再生能源是人类社会后工业时代的基础，谁掌握最先进的可再生能源技术，谁就占领未来工业革命的战略制高点，成为后工业时代的引领者。光伏发电作为开发利用太阳能的重要技术，将在第三次产业革命中发挥重要作用。

2.2 光伏发电在中国电力可持续发展中的作用和地位

1. 我国的能源及环境面临巨大压力

随着我国城镇化、工业化进程的不断加快，能源供应短缺和环境污染加剧已成为制约我国经济社会可持续发展的两大突出问题。

我国经济和社会的快速发展加速了能源需求的增长，能源供应缺口越来越大，能源供应短缺严重制约着经济社会的发展。从图2-3可以看出，我国一次能源消费总量从1990年的10.4亿吨标准煤增长到2008年的28.5亿吨标准煤，已经跃居世界第二大能源消费国；能源进口量不断增加，到2008年我国能源净进口量达到2.5亿吨标准煤，能源净进口量约占当年一次能源消费总量10%^[2]。

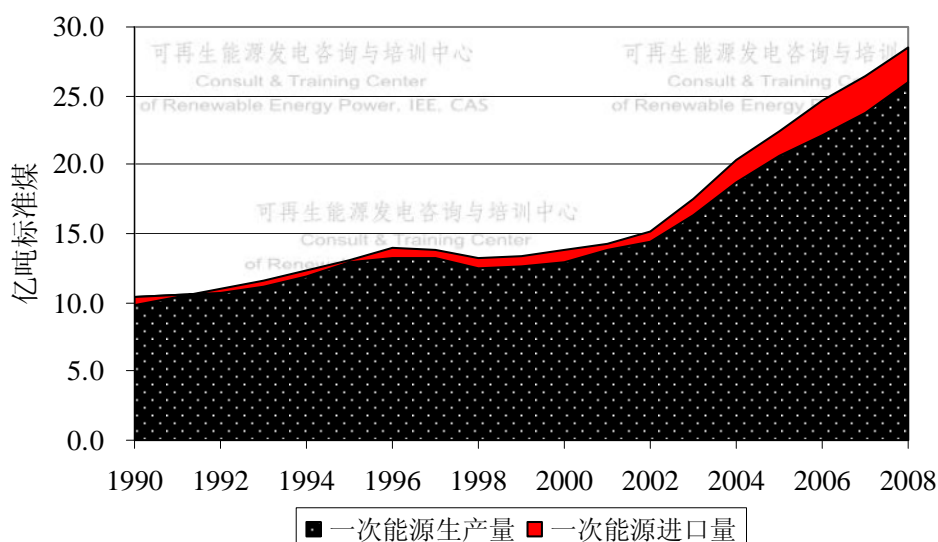


图 2-3 中国能源生产量与进口量对比
(来源：国家统计局中国统计年鉴)

我国化石能源资源储量比较丰富，煤炭占主导地位，保有资源量10,345亿吨，剩余探明可采储量约占世界的13%，列世界第三位；石油可采储量约212亿吨，天然气可采

储量22亿立方米。但是我国人口众多，人均化石能源拥有量较低，煤炭人均拥有量仅相当于世界平均水平的1/2，石油、天然气人均拥有量仅为世界平均水平的1/15左右^[3]。我国的化石能源形势较世界其他国家更为严峻。

我国是能源消费大国，消费总量排名世界第二，仅次于美国。但是，我国尚处于发展中国家水平，人均能源消费量很小，与发达国家相差甚远，能源需求增长空间很大，仍处于能源需求增长较快的历史阶段。如图2-4所示^[4]，我国人均能源消费仅1,316千克标准油，与世界平均消费水平1,778千克标准油有26%的差距，仅为日本的三分之一，美国的六分之一。随着我国全面建设小康社会的推进，工业化程度提高，人民生活不断改善，能源需求将持续增长。

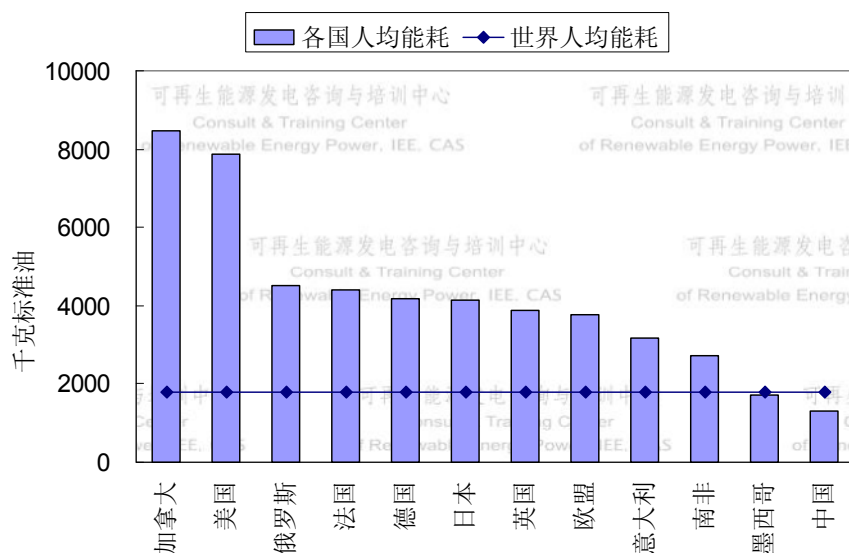


图 2-4 2005 年各国人均一次能源消费量

我国能源消费以煤炭为主，2007年我国一次能源消费总量为26.5亿吨标准煤，其中煤炭所占比例为76.6%，较世界平均水平高约40个百分点，火电用煤占煤炭总消费量的53%^[5]，这种能源消费结构对环境造成了严重的影响。2007年主要污染排放物，二氧化硫为2,468.1万吨，烟尘排放量为986.3万吨，工业粉尘排放量为699.0万吨^[6]。据有关部门统计，全国烟尘排放量的70%、二氧化硫排放量的85%、氮氧化物的67%和二氧化碳的80%都来自于燃煤。目前面临的能源环境问题：一是燃煤产生的二氧化硫导致了严重的酸雨发生，全国发生酸雨的面积占到了国土面积的三分之一，2007年监测的500个城市（县）中，出现酸雨的有281个，占56.2%；二是燃煤排放大量二氧化碳带来全球变暖的温室效应，自2007年起我国二氧化碳排放量已居世界第一。

2. 电力能源结构亟待改变

我国电力结构严重依赖火电的局面仍未改变。2008年全国全口径发电量达到34,334亿千瓦时，同比增长5.18%，增幅较近几年有大幅回落。其中，火电发电量为27,793亿千瓦时，占全部发电量的80.95%，见图2-5^[7]。

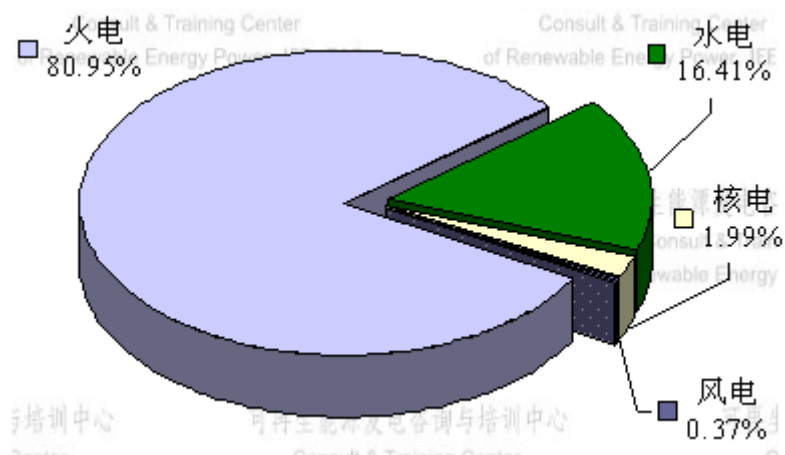


图 2-5 2008 年我国发电量构成

虽然我国呼吁大力发展清洁能源，提高清洁电力的比例，但是火力发电一直占据发电格局的主导地位。如图2-6所示，1990年火力发电所占比例79.8%，到2008年为80.95%，火电的比重不但没有降低反而有所升高，清洁电力在电力结构中的比例依然很低。

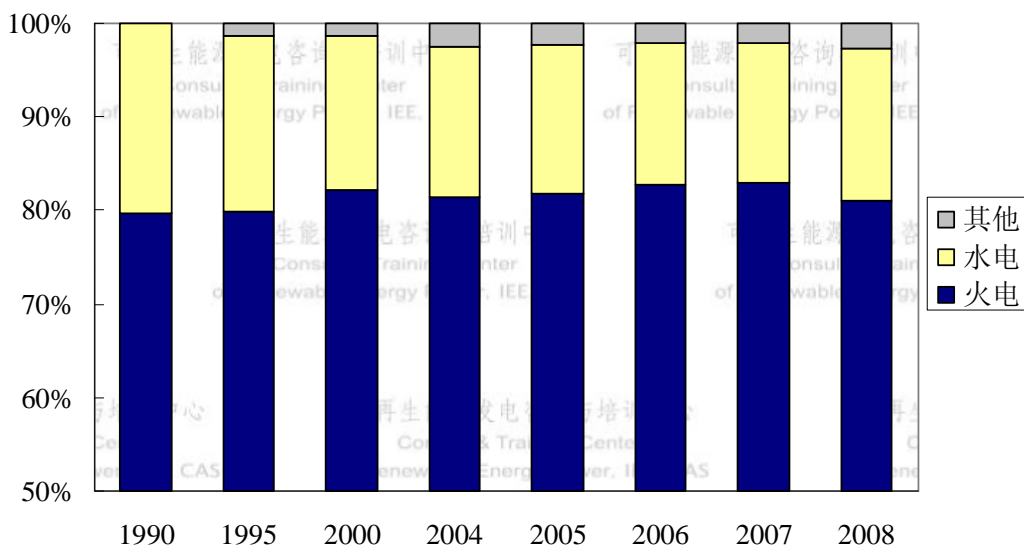


图 2-6 历年我国发电量构成

如图2-7所示，同其他国家相比，我国电力能源结构中火电所占比例最大。据统计^[8]，我国火力发电所占比例比美国等发达国家高很多，比世界平均火力发电所占比例也高出了15个百分点。但是，我国的火电基本上全部是煤电，比例接近80%，而发达国家火力

发电方面，除了煤电之外，石油发电和天然气发电也占了相当的比例，这两种发电方式较煤电排污少，更清洁。例如，美国的火力发电所占比例为**72%**，其中煤电在火力发电中的比例**70%**，其他**30%**为石油发电和天然气发电。因此，我国的电力结构相比较更不合理，对环境影响更大。

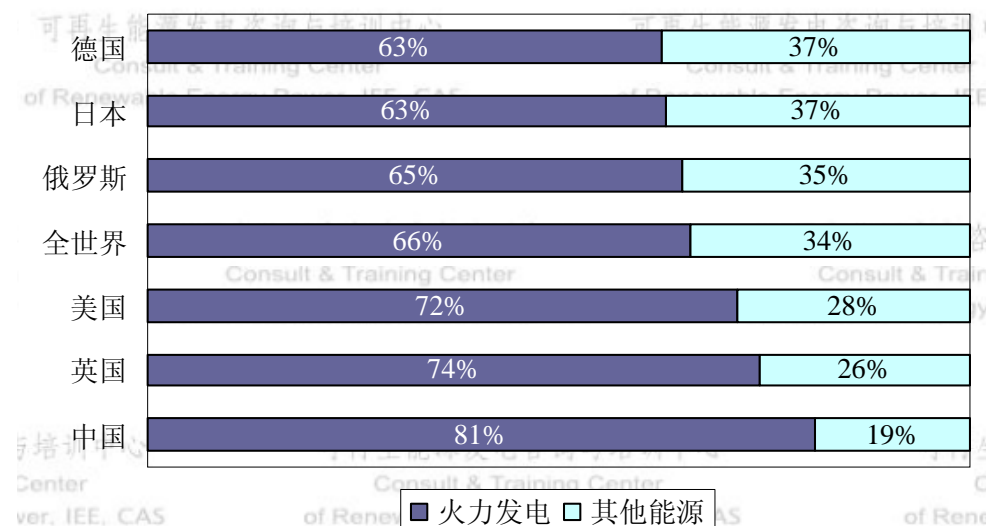


图 2-7 2005 年世界各国火力发电所占比重

3. 光伏发电在未来电力结构中 will 起到重要作用

自1954年第一块太阳能电池问世以来，光伏发电产业取得了长足的进步。随着技术水平不断提高，太阳能电池转换效率从问世时的**6%**，提高到目前大规模应用的**14-17%**，实验室最高效率已经达到**42.8%**^[9]。太阳能电池的应用由卫星电源，扩大到户用电源和大规模并网发电等诸多领域。随着市场规模的不断扩大，研发投入增加，应用经验积累，光伏发电成本不断降低，光伏并网由上世纪八十年代的**10元/千瓦时**左右降低到目前**1.5-3元/千瓦时**。光伏产业增长迅速，最近五年的年均增速超过**40%**。截至2008年底，全球累计安装光伏系统约**1,800万千瓦（18GWp）**。

2004年，欧盟可再生能源理事会发布的《可再生能源2040远景报告》指出，到2040可再生能源电力将提供全球用电量的**80%**，光伏发电将在可再生能源电力中比例达到约**31%**，发电量将高达**91,000亿千瓦时（9,100TWh）**^[10]。

2006年，绿色和平组织（Green Peace）和欧洲光伏工业协会（EPIA）发布报告预测，到2025年全球太阳能光伏安装量将达到**4.33亿千瓦（433GWp）**，年发电量将达到**5,860亿千瓦时（586TWh）**。

欧盟在《欧洲共同体战略和行动计划》白皮书中制定了到2010年发展目标，实现**300**

万千瓦（3GWp）的太阳能光伏安装量^[11]。

美国新任总统奥巴马上台后宣布：到2012年可再生能源电力占总用电量的比例提高到10%，到2025年这个比例提高到25%。这里的可再生能源明确提到包括太阳能、风能和地热能。为此，承诺未来十年内在可再生能源领域投入1,500亿美元。

2008年7月，日本内阁会议通过了《建设低碳社会》^[12]明确提出，到2020年光伏发电量达到目前的10倍，到2030年达到目前的40倍。截至2008年，日本已累计安装光伏发电系统约210万千瓦（2.1GWp）。

2007年，国家发改委发布的《可再生能源中长期发展规划》明确提出，加快发展包括太阳能在内的可再生能源，降低煤炭在整个能源消费中的比重，力争到2010年使可再生能源消费量达到能源消费总量的10%，到2020年达到15%。太阳能是可再生能源中的重要组成部分，具体目标是：2010年太阳能发电装机容量达到30万千瓦（300MWp），2020年达到180万千瓦（1.8GWp）。

4. 光伏发电在无电地区电力建设中的特殊作用和地位

“八五”、“九五”期间，总装机容量为420千瓦的“西藏无水能资源无电县光伏电站建设”项目利用光伏发电技术结束了西藏七县无电的历史。1997年，国家实施“光明工程”项目，通过太阳能、风能等新能源方式解决无电地区的用电问题，改善当地居民的生活条件。2002年，我国实施了举世瞩目的“送电到乡”工程，用光伏发电解决了700多个乡的供电问题。另外，中外合作项目也利用光伏技术解决我国边远地区供电问题，如：“全球能源基金会/世界银行中国光伏市场推动计划”，“UNDP中国光伏项目”，“日本NEDO中国光伏项目”，“丝绸之路”光明工程，“中德财政合作西部村落太阳能电站”项目等。这些项目的实施，推动了中国光伏发电的大规模推广应用，促进了我国农村电气化事业的发展，改善了居民的生活条件。

2007年，国家发改委发布的《可再生能源中长期发展规划》提出，采用户用光伏系统或者建设小型光伏电站，解决边远地区无电村和无电户的供电问题，重点地区是西藏、青海、内蒙古、宁夏、新疆、甘肃、云南等省（区）。建设太阳能光伏发电约10万千瓦，解决约100万户偏远地区农牧民生活用电问题。到2010年，偏远农村地区光伏发电总容量达到15万千瓦，2020年达到30万千瓦。

2009年年初，国家能源局制定的《能源振兴规划》中，再次提出因地制宜地利用光伏电站、户用系统解决约200万无电人口用电问题。



2.3 中国电力发展需求预测

1、中国电力科学研究院专家预测

通过考虑电力弹性系数、经济发展趋势等因素，中国电力科学研究院专家对于未来电力需求做出预测，从2009年至2020年的12年间发电装机容量再增加8亿千瓦，即平均每年增加6,600万千瓦，到2020年发电装机容量达到16亿千瓦^[13]。

2、电力企业联合会专家预测

2007年电力企业联合会理事长赵希正指出^[14]，到2020年我国全社会用电量将超过6万亿千瓦时。

3、本课题组的预测

电力消费弹性系数是电力消费平均增长速率和国民经济平均增长速率的比值。通过电力消费弹性系数可以在宏观层面预测未来的电力需求。国家发改委价格监测中心专家提出，电力弹性系数应该在1.0-1.2之间^[15]。本研究预测电力需求采用的电力消费弹性系数为1.1。

随着我国国民经济的快速发展，用电水平大幅提高，年人均用电量从2000年的1,084千瓦时，增长到2008年的2,598千瓦时，年均增幅约11.5%。

2007年，党的十七大提出，到2020年我国人均GDP在2000年的基础上翻两番。假定电力消费弹性系数取值为1.1，2000年人均用电量为1,084千瓦时，那么2020年人均用电量约为4,770千瓦时。我国《人口“十一·五”规划》提出，到2020年人口控制在14.5亿。由此推算，2020年全社会总用电量约为69,150亿千瓦时。我们预测的电力发展趋势为：从2008年到2020年，年人均用电量的增幅约5%，但较2000-2008年间的增幅降低一半以上。

另外，根据我国经济远景目标2050年全面达到小康社会，即经济发展水平达到中等发达国家水平。我国近邻韩国符合中等发达国家标准，目前该国年人均用电量为7,803千瓦时，将该数据作为我国2050年达到中等发达国家水平时的人均年用量参考标准。联合国人口基金预测，世界人口到2050年发生巨大变化，中国到那时人口约为14亿。由此推算，2050年全社会总用电量约为109,000亿千瓦时。按照本课题预测，从2020年到2050年，年人均用电量增幅约为1.7%。

表2-1 我国2020年、2050年远景电力需求预测

年份		2005	2020	2050
火电	发电量 (亿千瓦时)	20,437	48,287	49,000
	装机容量 (万千瓦)	39,137	96,574	98,000
水电	发电量 (亿千瓦时)	3,970	10,500	11,200
	装机容量 (万千瓦)	11,739	30,000	32,000
核电	发电量 (亿千瓦时)	530	2,530	12,000
	装机容量 (万千瓦)	684	4,217	20,000
风力发电	发电量 (亿千瓦时)	27	630	5,250
	装机容量 (万千瓦)	106	3,000	25,000
生物质发电	发电量 (亿千瓦时)	110	1,200	8,000
	装机容量 (万千瓦)	220	3,000	20,000
太阳能	发电量 (亿千瓦时)	0.2	27	1,500
	装机容量 (万千瓦)	1.5	180	10,000
全社会用电量 (亿千瓦时)		24,940	69,150	109,242
缺口 (亿千瓦时)		0	5,976	22,292

本课题假定各种发电方式年当量发电小时数为：火力发电5,000小时、核电6,000小时、水电3,500小时、生物质发电4,000小时、风力发电2,100小时和光伏发电1,500小时。由此推算不同发电方式在相应装机规模的发电量，见表2-1。如果到2020年实现我国《可再生能源中长期发展规划》提出的各类可再生能源发电方式的发展目标和中国电力科学院的专家预测的火力发电及核电发展目标，这两者的发电量合计为63,174亿千瓦时，仍然无法满足预测的2020年全社会用电量69,150亿千瓦时，存在5,976亿千瓦时缺口。本课题预测的2050年我国全社会用电量10,9042亿千瓦时，远景规划目标^[16]的装机规模发电量为86,950亿千瓦时，存在电力缺口22,292亿千瓦时。

过去，当我国出现供电紧张的局面时，电力部门通常都采用加速建设燃煤电厂的办法填补电力缺口。但是未来，由于煤炭价格不断上涨，煤电成本随之上升，同时大量燃煤将进一步加剧我国的环境污染，继续大规模发展煤电的势头将受到遏制。太阳能光伏发电具有明显的环境和资源优势，而且其成本也在快速降低。可以预见，光伏发电将在弥补未来电力缺口方面发挥重要作用。光伏发电成本越低，发展的规模就越大。按照不同的比例来考虑，如果到2020年电力缺口30%采用光伏发电来填补，则届时光伏装机容量需达到约1.2亿千瓦(120GWp)，当量装机容量约4,000万千瓦；如果电力缺口50%采用光伏发电来填补，则装机容量需达到约1.9亿千瓦（190GWp），当量装机容量约6,200万千瓦；如果电力缺口70%采用光伏发电来填补，则装机容量需达到约2.7亿千瓦（270GWp），当量装机容量约9,000万千瓦。保守预计到2050年，我国电力约20%来

自于光伏发电，则届时光伏装机容量需达到约58亿千瓦（5,800GWp），当量装机容量约19亿千瓦，见图2-8。

*注释：当量装机容量——按照5,000小时年满发小时数折算出的装机容量。光伏发电年满发小时数按照1,500小时计算。

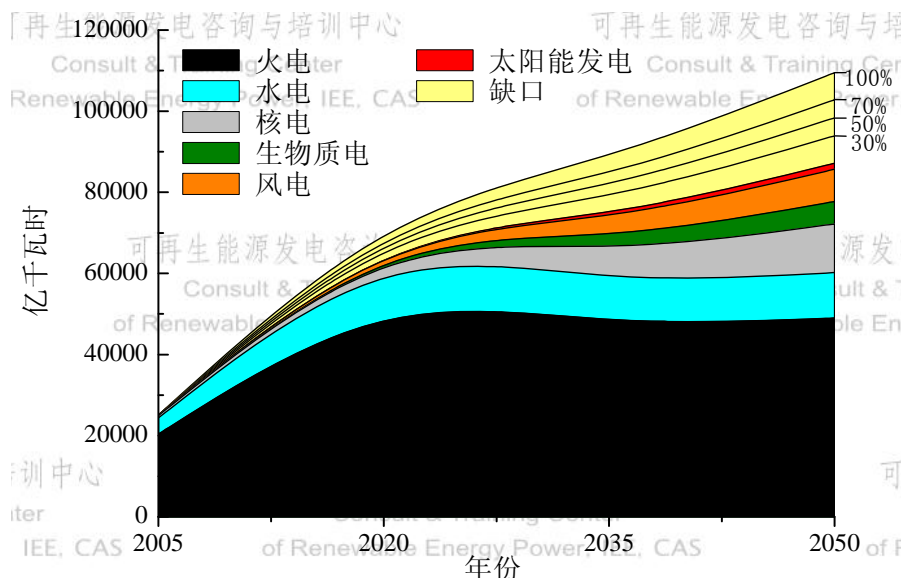


图 2-8 2020、2050 年全社会电力需求及电力能源预测

2.4 燃煤发电的全成本趋势分析

1. 目前的燃煤发电价格

根据2007年电力监管年度报告，2007年我国全口径总发电量32,559亿千瓦时，其中火力发电量为26,980亿千瓦时，占总发电量82.86%。

2007年发电企业平均上网电价为336.28元/MWh，比2006年增长1.74%。2007年电网企业平均销售电价为508.51元/MWh，比2006年增长1.84%，平均购电电价为348.39元/MWh，比2006年增长0.89%。发电企业的上网电价涨幅相对于发电成本涨幅要小许多，造成了发电企业的亏损。

从统计数据来看，无论是上网电价还是销售电价，电价水平呈南高北低、东高西低的态势，与我国煤炭分布不均衡造成的发电燃料的成本不平衡、装机分布和各地经济发展不平衡造成的供求状况一致。

目前，我国的煤炭价格已经市场化，但是电力的价格仍然由政府决定，当前的电价太低，没有反映真实的煤电成本，从长远角度看，不利于节能减排、不利于电力能源结构调整、不利于电力行业的发展。

2. 目前燃煤发电的真实成本和发展走势

截至2007年底，全国6,000千瓦及以上各类发电企业4,000余家，国有及国有控股企业约占90.00%。其中，中国华能集团公司（华能）、中国大唐集团公司（大唐）、中国国电集团公司（国电）、中国华电集团公司（华电）、中国电力投资集团公司（中电投）等中央直属五大发电集团约占总装机容量的41.98%。

2007年大唐集团和华能集团发电量及上网电量情况及经营成本状况见表2-2。

表2-2 2007年华能和大唐发电经营成本状况表

公司	华能	大唐
发电量（亿千瓦时）	1,736.88	1,182.71
经营成本总额（亿元）	417.06	236.10
发电成本（元/千瓦时）	0.24	0.20

本报告分别利用华能集团及大唐集团的2007年年度报告财务数据，得出不考虑外部成本的火力发电的度电成本。经营成本包括：燃料、维修、折旧、人工成本以及其他，综合计算两大发电企业的成本，得出火力发电成本为0.22元/千瓦小时左右。

煤炭的开采和利用是有外部成本的。根据2008年绿色和平组织发布的《煤炭的真实成本》，仅2007年我国煤炭开采、运输和使用造成的外部成本达到17,450亿元，相当于GDP的7.1%。该报告提到，2007年，我国煤炭的53%用于火力发电，那么外部成本的53%须由火力发电成本承担。根据2007年，火力发电量26,980亿千瓦时，得出火力发电每度电折合外部成本约为0.343元。因此，包含外部成本的火电实际成本应为0.563元/千瓦小时左右。

根据欧盟标准，燃煤发电产生的大气污染对人体健康的影响、酸雨、农业减产等综合成本大约为6-8欧分/千瓦时^[17]，折合人民币0.52-0.69元/千瓦时，较0.343元/千瓦时高出了约50%-100%。随着我国环境问题的日益突出，煤炭燃烧的外部成本必然不断增长。需要说明的是，燃煤外部成本中二氧化碳排放成本约70欧元/吨，尚未计算在内。

3. 趋势分析

国际上认为，火力发电成本的年增长趋势为4-7%。国家电监会根据五大电力集团经营状况分析得出^[18]，2008年第一季度五大电力集团单位发电成本较2007年同期上涨了8%。



图 2-9 我国煤炭平均价格变化趋势

火力发电成本的变化主要与燃料费用、人工工资、财务费用等相关，其中燃料费用约占发电成本的一半。从2002年煤炭价格放开后到2007年，原煤平均价格从121元/吨上涨到507元/吨，年均增幅约33%，见图2-9^[19]。我国煤炭价格持续上涨幅度远高于发电企业的上网电价调整幅度，造成发电企业严重亏损。2009年政府工作报告中提出：“继续深化电价改革，逐步完善上网电价、输配电价和销售电价形成机制，适时理顺煤电价格关系”。电价改革后，火电价格会随着煤炭价格的上涨而不断上涨。尽管目前受金融危机影响煤炭价格下跌，但是煤炭储量有限，煤炭需求量不断增长，其价格从长期来看必然呈增长趋势。

由于环境问题越来越严峻，环境污染治理力度加大，更多的资金投入环境治理，火力发电的外部成本随之不断增加。

本课题预测未来火力发电成本年变化趋势在增幅为5%和此增幅的基础上每年增加0.5%的范围内波动，如果国家不出台考虑外部成本的政策，火力发电成本应该变化范围如图2-10中下图所示；如果国家出场政策考虑火力发电的外部成本，火力发电成本应该在图2-10中上图所示。

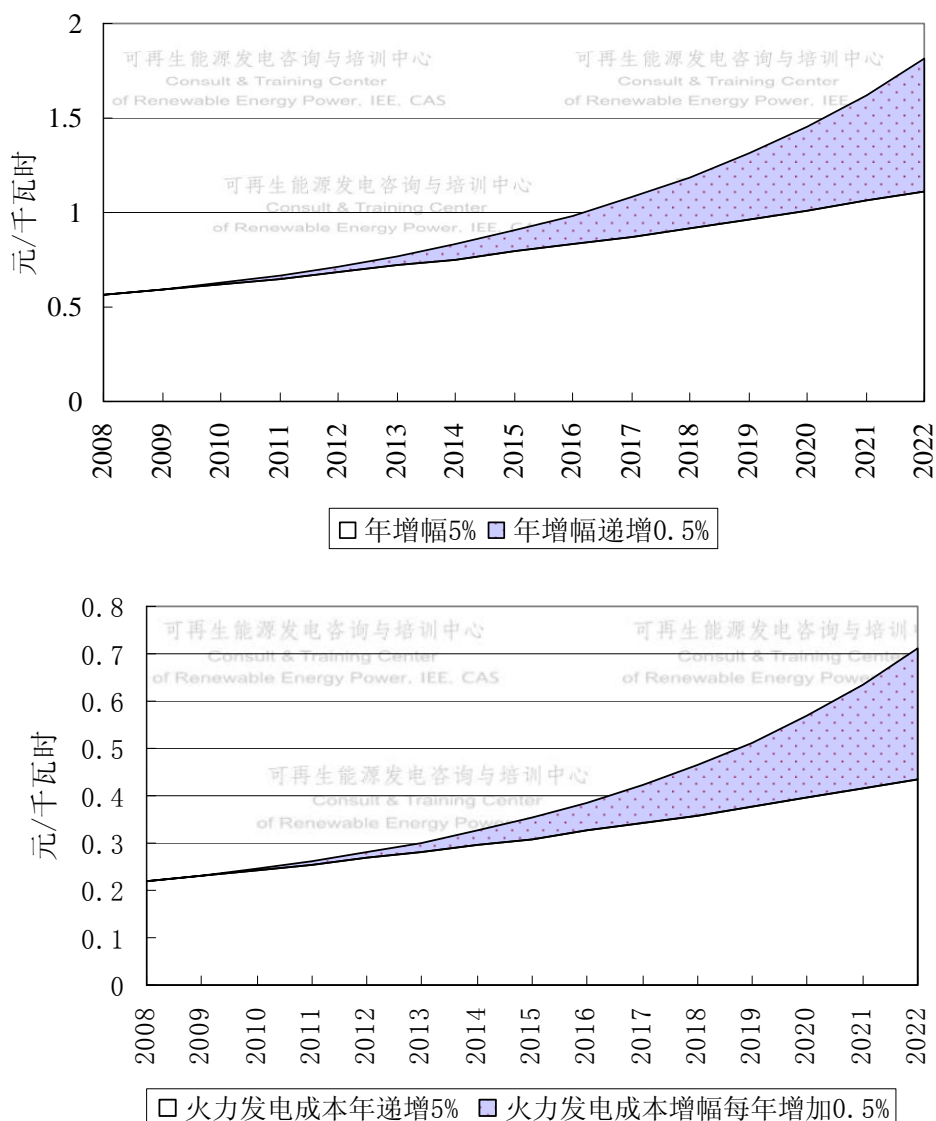


图 2-10 未来火力发电成本及包括外部成本变化趋势

2.5 中国光伏产业目前的国际定位

1. 中国光伏产业现状

2007年，我国成为世界最大的太阳电池和光伏组件生产国，占世界总产量27.2%，光伏产业实现销售收入超过880亿元，从业人数超过8万人。

近50家企业投资多晶硅原材料生产，总规模超过10万吨，总投资超过1,000亿元。初步估计，2008年多晶硅产量为4,500吨。到2009年1月，多晶硅已投入产能21,000吨/年，在建产能26,000吨/年。

硅锭/硅片生产企业超过60家，初步估计，2008年产量达20,000吨。

太阳电池生产企业约60家，2008年已经形成产能5,000MWp，2008年产量达

2,000MWp，仍居世界第一。同时，2008年我国有8家企业跻身世界太阳能电池企业25强。

从事光伏组件封装企业330余家，2008年封装能力达5,000MWp，光伏组件产量3,000MWp，占全球产量44%，居世界第一。

2. 国际光伏产业现状及发展趋势

2002-2007年，世界太阳能电池量年均增幅约50%，光伏产业成为目前发展最快的行业之一。2008年全球太阳能电池产量达到6,400MWp，较2007年增长50%，太阳能电池制造厂商主要分布在中国、日本、欧洲和美国，见图2-11^[20]。据统计，2008年，全球光伏产业实现产值371亿美元^[21]。

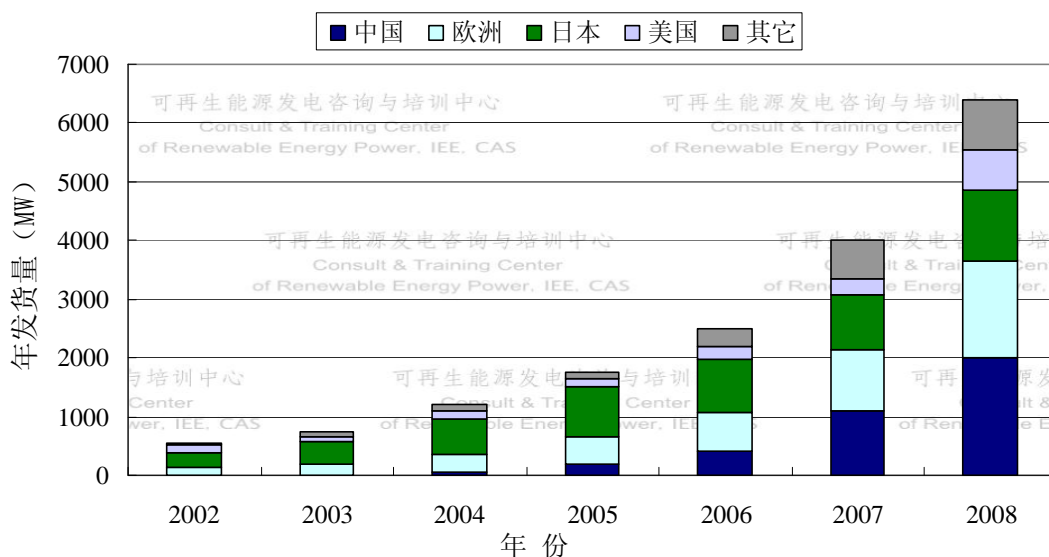


图 2-11 世界太阳能电池产量分布

根据国际机构预测，到2010年光伏产业产值将扩大到400亿欧元，太阳光伏市场将在6-17GWp，已经形成和规划的产能将使2010年太阳能电池产能增加到35GWp^[22]。这表明，即使最乐观的市场预期也不能消化快速增长的太阳能电池产能。

从本世纪初开始，光伏产业经历了一个快速发展期，过去几年年均增速40%左右，全球太阳能光伏安装量从2003年的600MWp增长到2008年5,950MWp。在整个安装量中，西班牙、德国、美国、日本、意大利和韩国占据主导地位，占总安装量的91%，如图2-12所示^[23]。2008年，西班牙的市场增长最快，安装容量达2.46GWp，超过了德国的1.8GWp。

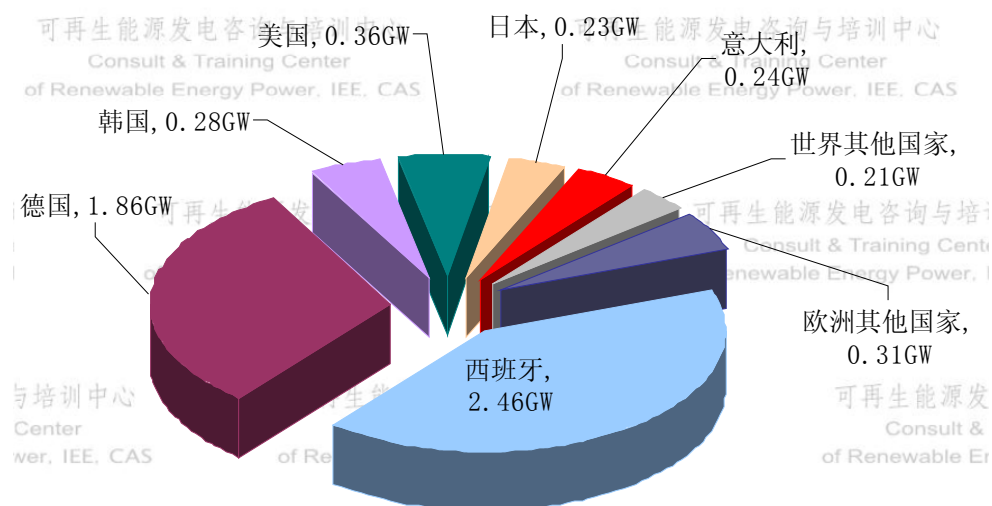


图 2-12 2008 年世界光伏市场分布

3. 中国光伏产业在国际上的定位

通过引进、消化、吸收国际先进技术，我国优秀企业多晶硅提纯技术已经达到国际先进水平，实现了废气回收再利用和无污染排放。多晶硅原材料短缺的问题将在一两年内得到解决。

单晶硅锭/多晶硅锭制造、加工技术已经达到国际先进水平。单晶硅生长炉已经实现国产化，多晶硅锭铸造炉正处于转向国产化阶段。

我国太阳能电池制造技术接近世界先进水平，优秀企业的制造技术已经达到国际先进水平。2008年，我国仍然是世界第一大太阳能电池生产国，占世界总产量的31%。我国光伏组件封装技术也已经达到或接近国际先进水平。

我国光伏市场规模小、发展慢。2008年，我国的光伏安装量40MWp，仅相当于我国光伏组件产量的约1.3%，不到世界光伏市场的0.7%。

2.6 国际金融危机对中国光伏产业的冲击、威胁和发展机遇

1) 国际金融危机对光伏企业的资本、生产、营销等的冲击

在金融危机的影响下，我国光伏企业融资难度加大，资金紧张。一是金融机构信贷紧缩，二是光伏企业的股价大跌，其市值降低。太阳能电池价格的下跌导致企业收入大幅下滑。另外，我国企业光伏产品绝大部分销往欧洲以欧元结算，2008年欧元贬值给企业造成了巨大的经济损失。

世界上最大的两个光伏市场德国和西班牙，纷纷出台了不利市场的政策。西班牙政

府新政策规定^[24]，2009年补贴的光伏发电容量为500MWp，而2008年西班牙光伏安装量为2.46GWp，意味着市场将缩小约80%。德国规定如果安装容量超出规划的上限安装容量，其光伏发电上网电价降幅在9%的基础上再增加1%；如果安装容量小于规划的下限安装容量，其光伏发电上网电价降幅将在9%的基础上减少降幅。规划的上限分别是2009年1,500MWp，2010年1,700MWp，2011年1,900MWp；规定的下限分别是2009年1,000MWp，2010年1,100MWp，2011年1,200MWp。受这些政策导向的影响，国际市场对光伏组件的需求量增速相应减缓。

金融危机对光伏的销售影响巨大。首先，在经济萧条的情况下，投资人在投资大规模的太阳光伏发电项目更加谨慎；其次，金融危机限制了贷款的规模，不利于进行大规模建设电站；还有，石油价格下跌，能源供应形势趋缓，使得短期内投入可再生能源领域的资金减少。以上这些因素导致了市场需求趋缓，也加剧了光伏组件价格下跌。

光伏市场萎缩的致使很多国内大型知名企业已经部分停产，并且降低了未来的产能。市场规模不稳固，不少产品技术水平不高、融资能力小的企业，已经倒闭或者面临倒闭的危险。

如果市场持续萎缩的局面得不到改善，大量光伏企业将面临倒闭，银行投放给光伏企业的大量贷款将面临风险，光伏企业的员工将面临失业的危险，光伏产业发展将会停滞不前，丧失发展的大好时机。

2) 中国光伏产业面临重新整合

由于国际市场光伏组件的巨大需求，促使许多国内企业进入光伏行业。但是，目前由于金融危机的影响，市场需求减少导致光伏产业链的相关产品价格纷纷下跌。金融机构收紧融资政策，资金实力薄弱的企业不得被实力强大的企业所兼并。当原材料价格逐渐回归理性时，仅依靠多晶硅原材料高价时倒卖材料维生的光伏企业将很难继续生存下去。在金融危机的影响下，光伏产业由卖方市场转变为买方市场。产品质量不过关、经营管理不完善、技术落后、研发能力薄弱的弱势企业将被淘汰。最后，具有稳定市场、技术先进的优良企业会被保留下来。

3) 金融危机给中国光伏产业带来的发展机遇

金融危机给光伏产业带来负面影响的同时也带来了新的发展机遇。光伏产业是新兴产业，发展潜力巨大。很多发达国家将发展光伏产业作为积极化解金融危机的重要举措，纷纷出台鼓励太阳光伏产业发展的政策。美国新总统奥巴马政府上台后将新能源特别是光伏产业的发展提升到国家能源战略和能源安全的高度，提出谁掌握可再生能源，谁领

导21世纪的口号，推出绿色复苏计划，将重振美国经济的希望寄托在可再生能源产业上。

金融危机促使光伏组件价格下跌，因此企业必须设法降低光伏组件的成本来保证公司的利益。光伏发电成本加速下跌，有利于扩大光伏市场，有望提前实现与传统发电价格相竞争的水平。

金融危机会促使中国光伏企业重新整合，综合实力较强的企业保留下来，为光伏产业健康有序发展奠定坚实的基础。

2.7 国际光伏发电产业和市场发展原动力分析

1) 能源和环境的压力

从全球角度来看，化石能源需求量不断增加和储量有限的矛盾日益突出，化石能源的过度使用造成环境污染和温室效应等诸多环境问题。

2006年3月，欧盟发布的“获得可持续发展，有竞争力和安全能源的欧洲战略”能源政策绿皮书指出，欧洲面临的能源压力包括：欧洲能源对外依赖性不断上升，油气价格攀升，气候变暖等因素。

当前，全球的能源生产和消费存在严重的地区不均衡性。少数发达国家消费了世界上多数的能源；而一些能源生产大国，由于工业化程度不高，能源消费量远小于生产量。

图2-13可以看出^[25]，少数几个发达国家的原油进口量占全球总进口量的一半以上。发达国家对进口能源的依赖性很高，能源供应存在很大的风险，能源安全问题尤为突出。

欧盟成员国的约一半国家，其能源依赖进口。目前，石油、天然气和煤炭约占欧盟整个能源消费的80%^[26]。其能源进口地主要分布在中东和俄罗斯。然而，中东动荡的政局和恐怖主义威胁是能源供应的一大隐患。

日本国内石油和天然气的储量几乎为零，但是日本是世界上第三大石油消费国，第二大石油净进口国，第一大液化天然气进口国。包括核能在内，日本能源自给率仅为16%。因此，日本面临十分严峻的能源安全问题^[27]。

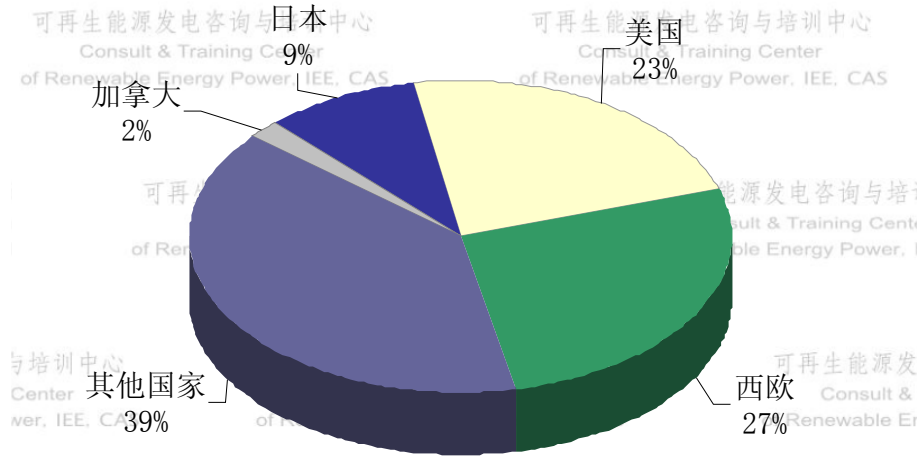


图 2-13 2007 年世界各国原油进口份额比例

据统计，美国、日本和德国等发达国家的人均二氧化碳排放量比其他发展中国家大许多。美国年人均二氧化碳排为19吨，为世界第一，约为世界年人均排放量4.28吨的5倍；德国人均排放量约为世界人均排放量的2倍。发达国家的人均排放量都较世界平均排放水平高，见图2-14^[28]。

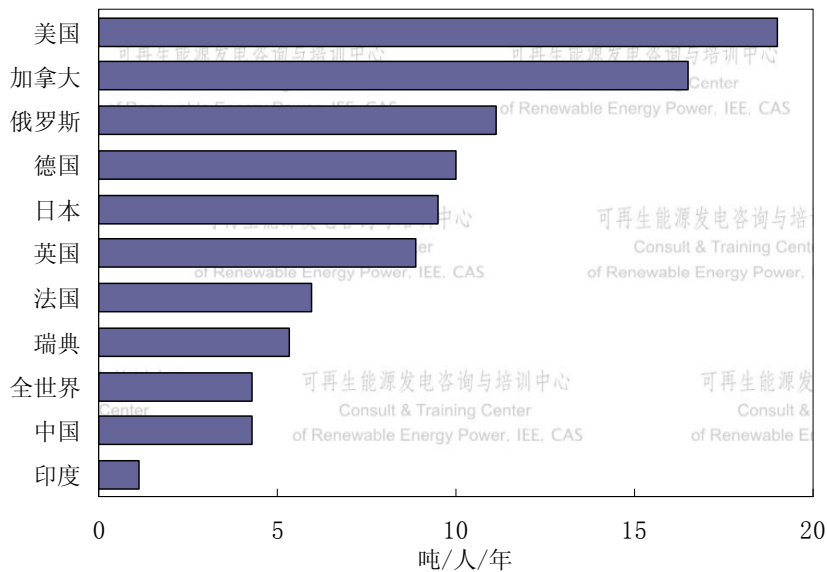


图 2-14 年人均化石燃料使用排放的二氧化碳

因此，二氧化碳减排也是发达国家面临的巨大压力。

积极推动包括太阳能光伏发电在内的可再生能源的发展，是发达国家别无选择的战略措施。

2) 争夺未来能源技术的制高点

世界各国都认识到太阳能光伏产业在未来能源领域的战略意义。为了确保太阳能利用技术的领先地位，各国纷纷出台政策支持光伏产业发展。

技术领先是一个国家经济具有竞争力的重要因素，发达国家为继续保持在新能源领域方面的技术先进性，提前大幅投入，抢占技术的最前沿。

德国是能源长期依赖进口的国家，为促进可再生能源的开发，德国政府2000年出台了《可再生能源法》。2004年德国政府实施上网电价政策支持可再生能源发展，光伏行业受益，出现了爆炸式增长。截至2008年，德国光伏总安装量达560万千瓦（5.6GWp），居世界第一。

日本是最早制定政策鼓励光伏产业发展的国家。1990年，日本修改电力公司法的相关技术规范与要求，积极支持光伏并网系统推广和应用。截至2008年，日本光伏发电累计装机容量达到210万千瓦（2.1GWp）。在政府政策的大力支持下，2006年日本光伏产量居全球第一，光伏产业在国际上具有强大的竞争力。2009年，日本内阁发布的《低碳社会行动计划》中明确提出，重新确立日本在光伏领域的世界领导地位，大幅增加太阳能光伏发电容量，使光伏发电的效率到2030年提高到约40%，发电成本降低到7日元/千瓦时（约折合7美分/千瓦时）。

美国奥巴马新政府上台提出，将太阳能光伏等可再生能源发展作为摆脱经济衰退、创造就业机会的重要手段、抢占未来发展制高点的重要战略产业。

通过市场开拓，提高本国光伏产业的技术水平和竞争力，为进一步扩张市场做好铺垫。在大规模光伏市场的促进下，光伏企业不断探索新技术，优化升级技术水平，占据世界光伏产业的领先地位。因此，迅速启动光伏市场是发达国家从战略发展的角度应对能源供应和技术竞争的一大举措。

3) 现实的经济和社会利益

光伏产业的发展，不但提供清洁能源、优化能源结构，而且也带来巨大的经济和社会利益，主要表现在增加投资机会、扩大就业。

自2000年以来，德国已累计在光伏产业投入超过150亿欧元，在光伏系统的制造环节投入超过30亿欧元。2007年德国太阳能光伏产业领域提供了约4万个就业岗位，销售收入高达90亿欧元^[29]。

美国可再生能源实验室预测，目前光伏产业为美国提供约3万个就业岗位，分布在研发、安装和销售等领域。2007年，美国太阳能电池和组件总销售收入17.2亿美元^[30]。

金融危机爆发后，世界许多国家都把发展光伏发电作为应对金融危机的重要举措，为此加大投资、创造就业机会、刺激经济增长。

日本政府通过实施“绿色新政”，其中太阳能发电量将增加20倍，削减CO₂排放量，



增加就业。日本政府2008年4月份财政年度预算提案中，有200亿日元资金是用于太阳能补贴。从2009年1月份开始，日本计划恢复对太阳能电池行业的所有补贴政策。日本政府在2009年第一个季度拨款90亿日元用于推广家用太阳能设备，对安装太阳能设备的用户发放7万日元/千瓦的补贴，目标是在2020年使70%以上的新建住宅安装太阳能电池板。

美国政府提出刺激经济的政策，花费10年时间向新能源开发投资1,500亿美元，促成500万人就业。在美国的新能源政策中，确保到2012年发电量的10%来自可再生能源。2008年9月美国参议院通过了一项180亿美元的新能源投资计划，其中光伏行业的减税政策续延2-6年。2009年1月10日，美国加州政府投入32亿美元，全面推动“百万屋顶太阳能计划”，预计到2016年在加州新建30万千瓦的太阳能电力系统。

欧盟推行可再生能源计划，将新增300亿欧元投资，创造35万个就业机会。

此外，法国、韩国、希腊、东南亚等国家和地区对光伏产业的发展也日益重视，并相继出台了一系列光伏补贴政策。

2.8 现在加速开拓国内光伏市场的重要意义

1) 保证我国能源安全和环境可持续发展

根据上文分析，2020年我国电力缺口将达到5,976亿千瓦时，由于太阳能光伏发电的资源和环境优势，使之成为填补这个缺口的重要选择之一。如果不及时大规模启动国内光伏市场，未来我国将面临更严峻的电力供需形势。按照国际能源机构预测，到2050年全球电力需求约20%依靠光伏发电，届时光伏发电在我国电力能源结构中的比例也将达到20%左右。基于我国能源资源、环境状况、发展速度、产业结构考虑，加速开拓国内光伏市场无疑是保证我国能源环境安全、可持续发展的重要措施，应该抓紧落实。

2) 帮助中国光伏企业渡过金融危机难关

由于我国光伏产品98%出口欧美，因此光伏产业是受金融危机影响最大的产业之一。目前中国光伏企业面临的最大问题是销量大幅下滑。加速开拓光伏市场，既满足我国能源发展的战略需求，也能帮助光伏企业走出困境。近期财政部出台的《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》和国家能源局开展的10MWp荒漠光伏电站招标，极大地提振了市场信心，纽约上市的中国光伏企业股票市值也因此上涨了30-50%，充分显示了国家政策对光伏企业渡过金融危机难关的巨大作用。

有了市场的保证，企业的生产可以恢复，已经开始实施的研发或扩产计划得以继续，



有助于减小金融危机的影响，保证光伏企业可持续发展。

国内市场的启动会有力地推动欧美市场信心和发展，加速全球可再生能源产业的发展。回顾我国光伏产业的跳跃发展，国家的“光明工程/送电到乡”工程，激励了我国光伏产业的规模建立。靠30亿左右的政府投资引导，从2002年开始，中国光伏产业经过5年高速发展，2007年一跃成为世界第一的光伏组件生产国和出口国，生产光伏组件1,717MWp，占全球产量的28.2%，年产值超过880亿元，总资产达到1,200亿元（其中在建投资500亿元），成为高新技术产业和绿色经济增长点。可以预见，只要国家适度规模启动国内市场，我国的光伏产业必将逆势而上，迎来再次跳跃发展；不仅为国内的拉动内需、增加就业、经济增长做出积极贡献，而且在全球光伏大发展中赢得更大市场份额。

反之，如果单凭光伏企业的孤独拼搏，必然会有一批中小企业倒闭，除了大批工人失业之外，银行和金融机构提供给企业的贷款也将变成呆账和坏账，给国家带来巨大的损失。更为严重的是，我国蒸蒸日上的光伏产业将错失发展良机，失去来之不易的领先地位。

3) 支持中国光伏产业快速步入中国的电力领域

随着我国经济社会不断发展，人民生活水平日益提高，电力需求不断增加。为了满足持续增长的电力需求，实现电力行业可持续发展，光伏发电将在未来电力结构中的作用越来越大。根据本课题预测到2050年，全部电力的20%左右将来源于太阳能光伏发电。

光伏发电步入电力领域的重要条件是光伏发电与传统发电相比具有竞争优势。但是，目前的光伏发电价格与传统发电方式相比价格依然偏高，不具备竞争力。通过扩大国内光伏应用市场，规模化应用效应有助光伏发电成本加速下降。美国研究报告^[31]指出，日本和德国累计安装的光伏系统较美国多，由于大规模应用的效应，日、德两国的安装成本较美国低。2007年，户用系统平均成本在日本和德国分别为5.9美元/瓦和6.6美元/瓦，而美国则为7.9美元/瓦。

4) 在无电地区的电力建设方面发挥主导作用

我国已经在“送电到乡”、“丝绸之路”光明工程、中德财政合作“西部太阳能村落”等项目利用光伏发电系统解决了一部分居民的通电问题，并取得了很好的效果，得到了当地百姓的一致好评。

在我国偏远地区，仍有约1,000万人口没有通电，严重制约当地经济社会发展和人民生活水平提高。无电地区地处偏远，交通不便，经济落后，远离大电网，而且很多地方



不适合采用常规能源，光伏发电已经在解决这些无电人口供电问题作出了突出的贡献。光伏发电不受水资源等自然条件的限制，利用的太阳能资源不受地域条件限制，而且无电人口分布地区太阳能资源相对比较丰富。光伏发电能够无电地区提供较为经济和可靠的电力，在无电地区电力建设方面发挥重要作用。

中国在这一应用领域有突出优势，我国的产品和经验适用于广大发展中国家。全球仍有约20亿人口得不到电力供应，这是其贫穷落后的主要原因之一。联合国已经制定专项发展计划，支持发展中国家推广光伏系统的应用。中国光伏产业应该积极开拓这一广阔的市场。

5) 加强民族团结和巩固边防

我国大部分无电人口都分布在少数民族地区，这些地区经济相对落后，生活条件亟待改善。利用光伏发电来解决分散人口的用电问题，有其独特的优势。西藏是我国无电人口最为集中的省区，同时也是太阳能资源丰富省区，非常适合采用光伏发电解决用电问题。我国其他民族地区很大一部分也适合采用光伏发电解决供电问题。无电地区人口的用电问题得到解决，人民生活和生产条件得以改善，有助于当地经济发展，为早日实现民族地区脱贫致富打奠定基础，对于加强民族团结、维护社会稳定具有重要意义。

中国边境地区远离电网，很多至今没有通电。这些地区适宜采用光伏发电解决供电问题。为深入推进兴边富民行动，促进边境地区发展，帮助边民尽快富裕，巩固祖国万里边疆，国务院办公厅2007年发布的《兴边富民行动“十一·五”规划》指出，为改善边境地区落后的电力基础设施状况，利用太阳能光伏发电等方式解决边境地区群众的用电问题。

6) 减轻环境问题的国际压力

我国在环境问题方面面临的国际压力持续多年，主要是以下几个方面^[32]：环境安全成为国家安全的重要内容；污染物总量大，影响全球环境；与周边国家环境摩擦上升；资源需求增长，影响世界资源供给；环境问题已成为对外贸易的制约因素等。

胡锦涛主席在2007年出席经济大国能源安全和气候变化会议上指出，各国发展阶段不同、科技水平不同、所处环境不同，应该本着共同但有区别的责任原则，为应对气候变化积极作出自己的努力，并力求有所作为。

中国已经结合自身经济和社会发展规划，制定了《中国应对气候变化国家方案》来应对气候变化。应对气候变化很重要和有效的手段，就是开发和利用可再生源，逐步让可再生能源替代化石能源，最大程度的减少二氧化碳等温室气体的排放。光伏发电几乎



是最清洁的发电方式之一，每千瓦光伏发电系统运行一年可以减排约16千克氮氧化物、9千克二氧化硫和2,300千克二氧化碳^[33]。如果将2008年我国生产的约2GWp太阳能电池都安装在国内，每年可以减排约32,000吨氮氧化物、18,000吨二氧化硫和460万吨二氧化碳，将在改善环境方面发挥重要作用。

7) 提高突发公共事件应急能力

2004年9月，党的十六届四中全会进一步明确提出，要建立健全社会预警体系，形成统一指挥、功能齐全、反应灵敏、运转高效的应急机制，提高保障公共安全和处置突发事件的能力。

电力是生活和工作的基本需求，建立健全有效的电力安全应急机制，正确、有效和快速地处置和应对电力突发事件，对维护国家安全、社会稳定和人民生命财产安全具有十分重要的意义。

光伏发电具有安装方便、规模灵活的特点。在大电网断电之后，光伏发电可以继续供电，为救灾、应急和维持受灾群众基本生活提供重要的保障。因此，在应急避难所及公共场所安装太阳能光伏发电系统作为应急电源，在灾难来临时提供必要的电力供应，以保证通讯、指挥、医疗等重要机构的供电，可以提高防灾减灾水平，将灾害带来的损失降到最低，最大限度地减少人民群众的生命和财产损失。在灾后重建阶段，光伏发电系统仍然可以提供电力。

8) 有助于拉动内需和调整产业结构

启动光伏市场对拉动内需有积极作用，扩大光伏产业链各个环节的销售量。根据《光伏发展报告2007》，光伏产业销售收入909亿元，就业人数超过8万人。如果国内市场启动，继续加大光伏产业的投资和产出，应对金融危机对我国造成的冲击。开拓国内光伏市场有助增加光伏产业包括研发、生产制造、安装和人员培训等一系列投资，能够起到拉动国内需求，促进经济增长的积极作用。

开拓国内光伏市场，加快光伏发电应用，有助于优化能源供应体系，为构筑稳定、经济、清洁的能源供应体系奠定基础。光伏产业既是新型能源产业，也是高新技术产业、高科技领域中引领未来的战略产业。开拓国内光伏市场，有利于推动我国光伏产业结构升级，实现自主创新，提高光伏产业在国际上的竞争力。

2.9 小结

1. 中国尽早启动光伏发电大规模市场的必要性和紧迫性



- 1) 世界能源消费结构正在经历第三次的转变，即由化石能源转向可再生能源，实现人类社会及环境的可持续发展。随着技术水平的提升、价格的降低，可再生能源应用规模逐步扩大，替代传统化石能源。可再生能源是我国解决能源问题的最终出路，也是保障我国全面实现小康社会物质等战略发展目标的基础。光伏发电是可再生能源应用的重要领域之一。
- 2) 中国目前能源消耗量大、增长速度快、能源结构不合理。到2008年，我国能源净进口量占能源总消费量的比例增长到约10%，能源供应短缺的矛盾不断加深。我国能源资源总量比较丰富，以煤炭资源为主，但人均拥有量较低，同时人均能源消费水平低，能源需求增长仍然空间大。目前能源消费以煤为主，其中一半以上用于电力行业，环境压力大。
- 3) 中国以火电为主的电力结构亟待改变。我国电力能源结构中火电占80.9%，这个比例较世界平均水平和发达国家各国都高。太阳能发电对于优化电力能源结构，将起到不可替代的作用。
- 4) 尽早规模化启动我国光伏市场，将有利于提升我国的国际影响力，在全球温室气体减排、改善环境与生态等方面的努力作出中国自身的贡献。
- 5) 光伏发电在未来电力结构中发挥重要作用。国际社会公认光伏发电将在未来电力结构中发挥重要作用。美国、日本、欧盟和中国等都制定了光伏产业发展目标。美国的发展目标是到2025年可再生能源电力占全部电力的25%。日本的发展目标是到2030年光伏发电量达到目前光伏发电量的40倍。我国的光伏发展目标是到2020年实现光伏安装量达到180万千瓦，这个目标太低，应当大规模启动国内光伏应用市场。
- 6) 光伏发电在无电地区电力建设中具有独特优势、特殊作用和地位。国内“光明工程”、“送电到乡”工程等项目和中外合作“丝绸之路”等项目都已采用光伏发电解决无电地区用电问题。未来，在解决无电地区的电力供应问题中，仍将发挥重要作用。
- 7) 中国未来的电力需求存在巨大缺口。本课题预测，2020年我国全社会用电量69,150亿千瓦时，存在电力缺口约5,976亿千瓦时。如果电力缺口30%采用光伏发电填补，装机容量需达到约1.2亿千瓦（120GWp），50%采用光伏发电填补，装机容量需达到1.9亿千瓦（190GWp），70%采用光伏发电填补，装机容量需达到2.7亿千瓦（270GWp）。2050年我国全社会用电量109,242亿千瓦时，预计20%



左右电力将来源于光伏发电。

- 8) 燃煤发电的当前电价不能反映其真实的成本。火力发电成本应该包括电力企业的发电成本以及煤炭生产、燃料等过程造成的外部成本。经测算，火电真实成本应为**0.563元/千瓦时**。未来火电成本按照增速在**5%**和增速**5%**的基础上每年增加一个百分点之间的速度增长。综合考虑燃煤发电的外部成本及增长率、以及光伏发电的成本下降和下降速率，随着燃煤发电的成本不断上升，常规电价和光伏发电的电价将在未来发生交汇，届时太阳光伏发电将更具竞争力。中国的太阳能资源非常丰富，本身具备发展光伏发电的条件。
 - 9) 我国已成为世界第一大太阳电池生产国，产量约占世界总产量的**32%**。曾经一度受制于人的多晶硅原料短缺问题，已经突破，将在一两年内得到解决。但是，光伏市场依然很小，仅为我国光伏产量的**2%**，不到世界光伏市场的**1%**。启动中国国内的光伏市场对改变当前的国内市场偏小的现状，起到助推作用。
 - 10) 受国际金融危机的影响，国际光伏市场萎缩，金融机构信贷紧缩和股价大跌等因素导致光伏企业融资难度加大。光伏市场萎缩，很多企业已经部分停产，甚至面临倒闭的危险。光伏产业将在金融危机的困难时期迎来整合重组。为应对金融危机，美国等国家将发展光伏产业作为提振经济的重要举措，这为光伏产业发展创造了新的机遇。现在，不失时机，规模化启动我国光伏市场，将为我国的光伏产业、光伏市场、研究等领域注入活力和兴奋剂，有利于我国光伏产业的技术、工艺水平的大幅提升。
 - 11) 尽早规模化启动我国光伏市场，将有利于中国早日占领未来能源领域技术制高点，为未来的能源供应争取主动权，免得受制于发达国家和能源出口国；对减少对常规化石能源的依赖，将大有裨益。
 - 12) 规模化启动我国光伏市场，有助于促进太阳光电成为新的经济增长点，并有利于促进就业、拉动内需、优化产业结构。
2. 现阶段加速开拓国内光伏市场的重要意义
- 1) 中国加速开拓国内光伏市场，从战略的和全球的角度来看，是一件非常重要的事情，它事关我国和全世界未来的能源安全、能源与环境和谐协调发展、以及能源可持续发展等重大问题。
 - 2) 中国加速开拓国内光伏市场，将有利于缓解中国政府面临的能源、环境的国际压力，将有助于提升中国的国际地位和影响力。

- 3) 中国开拓光伏市场有助于光伏企业早日从金融危机的困境走出。
- 4) 加速开拓光伏市场, 扩大光伏发电应用, 有利于光伏发电成本下降, 支持光伏发电早日步入电力领域, 进而改善目前以煤电为主的电力能源结构。
- 5) 加速开拓光伏市场在提高突发公共事件应急能力方面发挥重要作用。
- 6) 在解决无电地区供电、改善民生、加强民族团结、建设物质和精神文明等方面具有重要意义。

参考文献

- [1] 《能源百科全书》编辑委员会.能源百科全书.北京:中国大百科全书出版社.1997
- [2] 国家统计局统计年鉴网站.<http://www.stats.gov.cn>
- [3] 中华人民共和国国务院新闻办公室.中国的能源状况和政策.2007.12
- [4] World Resource Institute.<http://www.wri.org>
- [5] 茅于軾等, 煤炭的真实成本, 煤炭工业出版社, 2008年9月
- [6] 环境保护部, 2007年中国环境状况公报
- [7] 中国电力企业联合会, 2008年电力工业统计快报
- [8] Energy Information Administration Official Energy Statistics from the U.S. Government , <http://www.eia.gov/electricity>
- [9] UD-led team sets solar cell record, joins DuPont on \$100 million project,<http://www.udel.edu/PR/UDaily/2008/jul/solar072307.html>
- [10] European Renewable Energy Council .Renewable Energy Scenario to 2040. 2004
- [11] 陈宇、王少雨、黎苑楚, 欧洲光伏技术发展构想与战略规划, 全球科技经济瞭望, 2007.8
- [12] 日本政府内阁会议《建设低碳社会行动计划》, 人民网, <http://world.people.com.cn/GB/1029/42354/7581601.html>
- [13] 胡学浩, 中国电力需求发展预测, 中国电力科学研究院, 2008
- [14] 赵希正, 科学发展 携手共进 —在中国-东盟电力合作与发展论坛上的主旨演讲, 广西电业, 2007 (11)
- [15] 刘满平、桂琳, 未来三年我国电力行业供需形势分析及对策建议, 中国电力, 2004(3): 5-9



- [16] 何建坤、张希良, 促进可再生能源发展的战略与政策.中国可再生能源发展战略研讨会, 2005.10
- [17] Renewable energy source in figures national and international. Federal Ministry for the Environment , Nature Conservation and Nuclear Safety(BMU) Germany.2008
- [18] 唐俊, 发电企业亏损分析及应对措施探讨, 国家电力监管委员会价格与财务监管部, 2008
- [19] 世界银行, 建设持续发展的中国煤炭工业—安全、经济和环保, 2009
- [20] 王斯成, 光伏发电最新进展, 第五届中国太阳级硅及光伏发电研讨会, 2009.3
- [21] Solarbuzz LCC, Annual World Solar Photovoltaic Industry Report, 2009.3
- [22] PV status report 2008, European Commission Joint Research Center Institute for energy, 2008
- [23] Solarbuzz LCC ,Annual world solar photovoltaic industry report(2008)
- [24] Spanish Solar Growth Is Good and Bad News for PV Industry, Semiconductor international,<http://www.semiconductor.net/article/CA6631126.html>
- [25] Organization of Petroleum Exporting Countries,Annual Statistical Bulletin 2007
- [26] Paul Belkin, The European Union's Energy Challenges, 2008.3
- [27] Energy Information Administration Official Energy Statistics from the U.S.Government ,Background, <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/Japan/Background.html>
- [28] International Energy Agency ,Key World Energy Statistics 2008.
- [29] Gerhard Stryi-Hipp, The Photovoltaic Market in Germany–Snapshot and Outlook. Germany Solar Industry Association, 2008
- [30] Energy Information Administration Official Energy Statistics from the U.S.Government ,Solar Photovoltaic Cell/Module Manufacturing Activities, 2007, <http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/solarreport/solarpv.html>
- [31] Ryan Wiser, Galen Barbose, Carla Peterman. Tracking the Sun, the Installed cost of Photovoltaics in the U.S. from 1998–2007. January,2009. <http://eetd.lbl.gov/ea/emp/reports/lbni-1516e.pdf>
- [32] 新浪网, 国家环保总局: 环境问题国际压力正在加大, <http://news.sina.com.cn/c/2006-06-12/061410129378.shtml>
-

- [33] U.S. Department of Energy, Energy efficient and Renewable Energy,
Learning About PV: The Myths of Solar
electricity<http://www1.eere.energy.gov/solar/myths.html#6>



3. 加速开拓国内光伏市场的可行性分析

3.1 中国太阳能资源分布和应用潜力

中国幅员广阔，太阳能资源十分丰富。据估算，我国陆地表面每年接受的太阳辐射能约为 1.47×10^8 亿千瓦时，相当于4.9万亿吨标准煤，约等于上万个三峡工程年发电量的总和。我国各地的太阳能年辐射量达933~2,330千瓦时/平方米，中值为1,620千瓦时/平方米。

从全国太阳年辐射总量的分布来看，西藏、青海、新疆、内蒙古南部、山西、陕西北部、河北、山东、辽宁、吉林西部、云南中部和西南部、广东东南部、福建东南部、海南岛东部和西部以及台湾省的西南部等广大地区的太阳辐射总量很大。

青藏高原地区平均海拔高度在4,000米以上，大气层薄而清洁，透明度好，纬度低，日照时间长。全国以四川和贵州两省的太阳年辐射总量最小，其中尤以四川盆地最为，那里雨多、雾多，晴天较少。

我国太阳能资源分布的主要特点有：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；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；由于南方多数地区云雾雨多，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，而是随着纬度的增加而增长。

按接受太阳能辐射量的大小，全国大致上可分为五类地区：

一类地区：全年日照时数为3,200~3,300小时，年辐射量在1,860~2,330千瓦时/平方米，相当于225~285千克标准煤燃烧所发出的热量。主要包括青藏高原、甘肃北部、宁夏北部和新疆南部等地。这是我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。特别是世界著名的阳光城——西藏，地势高，大气透明度也好，年太阳辐射总量最高值达2,330千瓦时/平方米，仅次于撒哈拉大沙漠，居世界第二位。

二类地区：全年日照时数为3,000~3,200小时，年辐射量在1,630~1,860千瓦时/平方米，相当于200~225千克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。此区为我国太阳能资源较丰富的地区。

三类地区：全年日照时数为2,200~3,000小时，年辐射量在1,390~1,630千瓦时/平方米，相当于170~200千克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、江苏北部和安徽北部等地。

四类地区：全年日照时数为1,400~2,200小时，年辐射量在1,160~1,390千瓦时/平方米，相当于140~170千克标准煤燃烧所发出的热量。主要是长江中下游、福建、浙江和广东的一部分地区，春夏多阴雨，秋冬季太阳能资源还可以。

五类地区：全年日照时数约1,000~1,400小时，年辐射量在933~1,160千瓦时/平方米。相当于115~140千克标准煤燃烧所发出的热量。主要包括四川、贵州两省。此区是我国太阳能资源最少的地区。

一、二、三类地区，年日照时数大于2,000小时，年辐射总量高于1,620千瓦时/平方米，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。

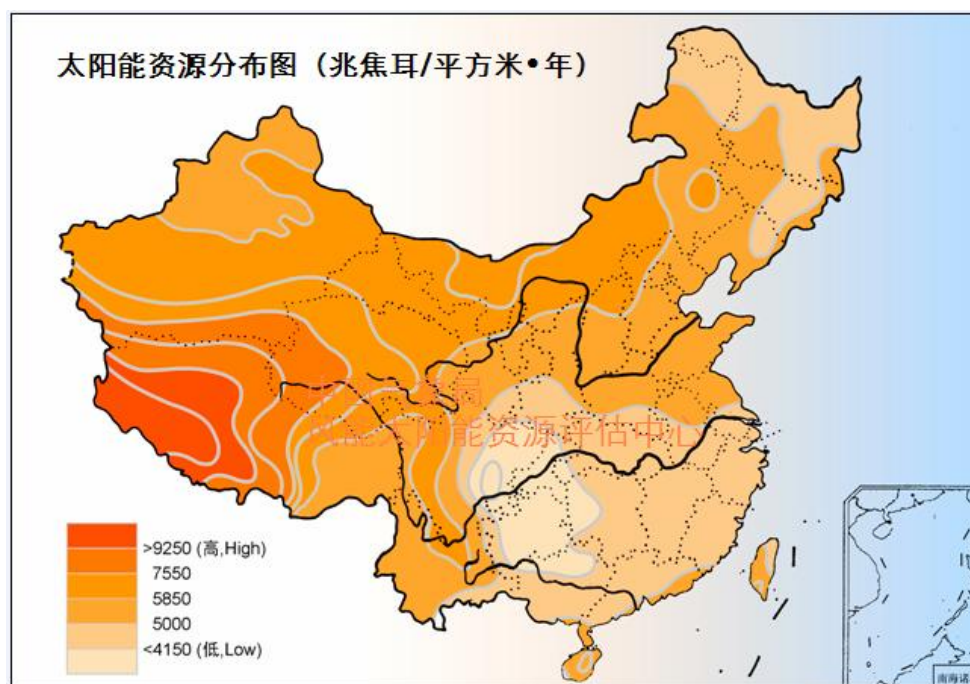


图 3-1 中国太阳能分布图

中国大陆太阳能资源储量

我国太阳能理论资源总量为 1.47×10^8 亿千瓦时/年，大陆各省理论资源量见下表(按理论资源量大小排序)。

表3-1 大陆各省太阳能资源理论储量（以储量大小为序）

序号	省 份	理论总储量	面积	序号	省 份	理论总储量	面积
		10 ⁶ 亿千瓦时/年	10 ⁴ 平方公里			10 ⁶ 亿千瓦时/年	10 ⁴ 平方公里
1	新疆	27.06	165.0	16	湖北	2.23	18.6
2	西藏	23.60	122.8	17	山东	2.19	15.7
3	内蒙古	17.75	118.3	18	河南	2.18	16.7
4	青海	13.66	72.2	19	辽宁	2.06	14.8
5	四川	7.36	48.7	20	江西	2.04	16.7
6	甘肃	6.70	45.4	21	贵州	1.89	17.6
7	黑龙江	5.97	45.4	22	安徽	1.69	14.0
8	云南	5.77	39.4	23	江苏	1.65	10.3
9	河北	2.88	18.8	24	福建	1.56	12.1
10	广西	2.84	23.6	25	浙江	1.28	10.2
11	陕西	2.60	20.6	26	宁夏	1.09	5.2
12	吉林	2.48	18.7	27	海南	0.47	3.4
13	湖南	2.47	21.2	28	北京	0.26	1.7
14	广东	2.40	17.8	29	天津	0.16	1.2
15	山西	2.30	15.6	30	上海	0.07	0.6

从经济发展水平来看，在东部地区，经济发达，人口密集，中国光伏企业主要集中在东部经济发达省，地方政府对光伏产业的发展极为重视，如江苏、河北等地，东部省区，工业用电负荷较大，人均电力消费量较西部地区高；然而，西部地区经济较落后，地方政府和民众财力有限，但也很看好光伏发电这一产业，地方政府为了拉动经济增长，积极支持开发大型光伏并网发电的项目；西部有实力的企业积极投入资金，加入到光伏产业链的队伍中，例如，在新疆、青海、宁夏、内蒙古等，多晶硅项目涌现投资热潮。

从资源条件来看，在太阳资源条件优越的新疆、西藏、青海、甘肃河西走廊、内蒙古西部等地区，未利用（或者利用价值不大）的土地资源十分丰富，非常适宜建设开阔地并网大型光伏电站，也适宜发展太阳能热发电并网系统；在中国的大型城市、省会城市中，有很多城市太阳资源条件亦十分丰富，城市并网系统将具有很大的开发潜力。

光伏产业布局时，应当注重：东西部地区均衡，发挥东西部、中部地区的资源优势，实现互补。需要考虑的因素包括：经济社会发展水平、电力负荷情况、自然资源（如硅原料以及品位等）、太阳资源、土地资源、屋顶资源、电力系统结构情况等。从整个产业链的角度，来进行宏观规划和调控。

3.2 中国可再生能源发展规划及相关法律与政策

1) 《中华人民共和国可再生能源法》

2005年2月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议通过。《可再生能源法》，制定了可再生能源发电优先上网、全额收购、价格优惠及社会公摊的政策。

2) 《中华人民共和国电力法》

第三条规定：电力事业应当适应国民经济和社会发展的需要，适当超前发展。国家鼓励、引导国内外的经济组织和个人依法投资开发电源，兴办电力生产企业。电力事业投资，实行谁投资、谁收益的原则。

第十七条规定：对农村电气化和少数民族地区，边远、兵团地区农村电力建设施行优惠和重点扶持政策。

第四十条提出：国家提倡和鼓励农村利用可再生能源进行电源建设，增加农村电力供应。

3) 《中华人民共和国节约能源法》

第四条提出：国家鼓励开发、利用新能源和可再生能源。

第十一条规定：各级政府安排资金，专门支持能源的合理利用和可再生能源的开发。

第三十八条规定：各级人民政府应当按照因地制宜、多能互补、综合利用、讲求效益的方针，加强农村能源建设，开发利用太阳能等可再生能源。

4) 2007年8月31日，国家发展和改革委员会正式发布中国《可再生能源中长期发展规划》（发改能源〔2007〕2174号）。

《可再生能源中长期发展规划》提出：到2010年使可再生能源消费量达到能源消费总量的10%，到2020年达到15%的发展目标。其中太阳能发电规划为：

到2010年，太阳能发电总容量达到30万千瓦（300MWp），到2020年达到180万千瓦（1,800MWp）。建设重点如下：

(1) 采用户用光伏发电系统或建设小型光伏电站，解决偏远地区无电村和无电户的供电问题，重点地区是西藏、青海、内蒙古、新疆、宁夏、甘肃、云南等省(区、市)。建设太阳能光伏发电约10万千瓦(100MWp)，解决约100万户偏远地区农牧民生活用电问题。到2010年，偏远农村地区光伏发电总容量达到15万千瓦(150MWp)，到2020年达到30万千瓦(300MWp)。

(2) 在经济较发达、现代化水平较高的大中城市，建设与建筑物一体化的屋顶太阳



能并网光伏发电设施，首先在公益性建筑物上应用，然后逐渐推广到其它建筑物，同时在道路、公园、车站等公共设施照明中推广使用光伏电源。“十一·五”时期，重点在北京、上海、江苏、广东、山东等地区开展城市建筑屋顶光伏发电试点。到2010年，全国建成1,000个屋顶光伏发电项目，总容量5万千瓦(50MWp)。到2020年，全国建成2万个屋顶光伏发电项目，总容量100万千瓦(1,000MWp)。

(3) 建设较大规模的太阳能光伏电站和太阳能热发电电站。“十一·五”时期，在甘肃敦煌和西藏拉萨(或阿里)建设大型并网型太阳能光伏电站示范项目；在内蒙古、甘肃、新疆等地选择荒漠、戈壁、荒滩等空闲土地，建设太阳能热发电示范项目。到2010年，建成大型并网光伏电站总容量2万千瓦(20MWp)、太阳能热发电总容量5万千瓦(50MWp)。到2020年，全国太阳能光伏电站总容量达到20万千瓦(200MWp)，太阳能热发电总容量达到20万千瓦(200MWp)。

另外，光伏发电在通讯、气象、长距离管线、铁路、公路等领域有良好的应用前景，预计到2010年，这些商业领域的光伏应用将累计达到3万千瓦(30MWp)，到2020年将达到10万千瓦(100MWp)。

5) 2008年3月3日，国家发展和改革委员会发布了《可再生能源发展“十一·五”规划》(发改能源(2008)610号)。

《可再生能源发展“十一·五”规划》中，明确提出：

发展目标：到2010年，太阳能发电装机容量达到30万千瓦(300MWp)，进行兆瓦级并网太阳能光伏发电示范工程和万千瓦级太阳能热发电试验和试点工作，带动相关产业配套生产体系的发展，为实现太阳能发电技术的规模化应用奠定技术基础。

建设布局与重点建设

开展无电地区电力建设。因地制宜，利用户用光伏发电系统和小型光伏电站，积极解决西藏、青海、内蒙古、新疆等边远地区无电户的基本生活用电问题，建设光伏发电系统10万千瓦(100MWp)。

启动光伏发电城市应用工程。在太阳能资源较好的大中城市开展光伏屋顶、阳光照明等光伏发电应用，在新建别墅等高档住宅区和城市标志性建筑上安装光伏发电系统，在封闭管理的住宅区、旅游景区以及城市交通照明和景观亮化工程，提倡应用光伏发电照明。在“北京奥运会”、“上海世博会”、“广州亚运会”的主要标志性建筑区和建筑物上成规模地安装光伏系统。到2010年，城市太阳能光伏系统应用达到5万千瓦(50MWp)。

开展光伏电站试点。在内蒙古、宁夏、甘肃、青海、新疆、西藏等太阳能资源丰富、



利用条件好的地区，建设大型并网光伏电站，总容量达到5万千瓦(50MWp)。

6) 《中国的能源状况与政策》(2007)

《中国的能源状况与政策》白皮书明确：“大力发展可再生能源，可再生能源是中国能源优先发展的领域。可再生能源的开发利用，对增加能源供应、改善能源结构、促进环境保护具有重要作用，是解决能源供需矛盾和实现可持续发展的战略选择”。

7) 国家发展和改革委员会，可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法，2006年6月1日。

8) 国家发展和改革委员会，关于印发《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》的通知，发改价格[2007]44号

9) 国家发展和改革委员会，关于印发《可再生能源发电有关管理规定》的通知，2006年1月5日

10) 国家发展和改革委员会，可再生能源发展专项资金管理暂行办法，2006年5月30日。

11) 国家发展和改革委员会，发改办能源[2005]1367号，国家发展改革委办公厅关于无电地区电力建设有关问题的通知。

12) 国家电力监管委员会令第25号，《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》，2007年7月17日国家电力监管委员会主席办公会议审议通过并公布，自2007年9月1日起施行。

13) 国家发展改革委、国家电监会，2008年11月20日，下发了《关于2007年10月至2008年6月可再生能源电价补贴和配额交易方案的通知》，明确了2007年10月至2008年6月可再生能源电价补贴项目和金额、电价附加配额交易、电费结算和监管要求等事项。本《通知》还要求，各省（区、市）政府价格主管部门、各区域和城市电力监管机构要加强对可再生能源电价附加征收、配额交易、电费和补贴结算行为的监管，坚决纠正和查处违反规定的电费结算行为，确保可再生能源电价附加补贴按时足额到位。

14) 国家财政部，财建[2009]128号，《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》。

15) 国家财政部，财建[2009]129号，关于印发《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》的通知。

3.3 光伏发电技术发展现状及其市场应用

成熟的、有市场应用的光伏发电技术，包括：晶体硅太阳能电池，薄膜硅太阳能电池，



GaAs薄膜太阳电池、**CdTe**薄膜太阳电池、**CuInSe**薄膜太阳电池等。

晶体硅太阳电池做为太阳电池的主流，包括直拉单晶硅太阳电池和铸造多晶硅太阳电池，占太阳电池市场的80%以上，应用于单独户用系统、光伏电站及BIPV等。

关于晶体硅产业与技术现状，见第4章的论述。

近年来，世界太阳能光伏产业以每年超过30%的速度递增，导致太阳能产业上游原材料瓶颈突出。虽然非晶硅太阳能电池的转换率（6-8%）低于单晶硅（15%左右），但它采用硅烷和浮法玻璃等原料，可以突破晶硅原料竞争激烈的瓶颈。

薄膜硅太阳电池约占市场的10-12%，包括非晶硅太阳电池，正在开发研究的非晶硅/微晶硅叠层太阳电池，主要用在弱电的玩具、计算器等，BIPV和荒漠光伏电站。

硅基薄膜（A-Si（单、双、三结）非晶/微晶）企业列表，见本报告附录10.1.

美国应用材料公司(Applied Materials)太阳能部门日前预测，由于价格优势抵消了效率不足的缺点，市场对于薄膜太阳能电池的需求增长速度将是传统硅太阳能电池的两倍。

与目前常见的硅太阳电池相比，硅薄膜太阳电池用硅量仅为前者的1%左右，可使每瓦太阳电池成本从2.5美元降至1.2美元。此外，这种高科技新产品可与建筑物屋顶、墙体材料如玻璃幕墙融为一体，既可并网发电又能节约建筑材料、美化环境。

2008年美国First Solar公司CdTe电池成本：1美元/瓦，达到11%左右的转换率。2007—2008间，全球光伏产业最为火热的环节可以说就是薄膜领域，不断有新的项目发布或者投产，为数不多的设备公司订单已经排到1年以后，且新增订单不断，除了美国First Solar，日本夏普也开始大规模投入薄膜领域，德国Q-CELL、肖特等也大力投入薄膜事业，台湾投入了超过10个薄膜项目。国内的非晶硅龙头拓日新能源、新澳集团都显示薄膜正在吸引越来越多的资本和关注；薄膜自身的发电优势和低成本也将会是降低光伏发电成本的一大主要驱动力；尽管短期内晶硅电池依然是主流，但长远来说，不排除薄膜才是光伏发电成本媲美传统能源的英雄。

CdTe薄膜太阳电池的成本较低，约占太阳电池市场的1-2%，主要应用在荒漠光伏电站。目前，技术尚没有稳定和定型，只有First Solar一家公司大规模生产。

CuInSe薄膜太阳电池的成本较低，理论太阳电池效率较高，是人们比较期待的新型太阳电池。但是，生产技术还没有成熟，虽然有多家中试线、小规模企业，实际大规模生产应用还没有出现。

GaAs薄膜太阳电池占的民用市场很小，远小于1%，电池效率高，但成本高，主要



应用在空间飞行器和聚光电池领域。上世纪80年代初，航天飞行器空间主电源尤其是小卫星空间电源系统开始应用GaAs太阳电池，GaAs组件在空间电源领域的应用比例日益增大，目前已超过90%。

关于CdTe、CIGS的制造商，见本报告附件10.2、10.3。

3.4 我国光伏发电技术推广应用的成果与经验

光伏发电在中国的主要应用：（1）无电地区电力建设；（2）手机通讯基站等。

2007年8月，国家发改委正式颁布中国《可再生能源中长期发展规划》。2008年3月，又发布了《可再生能源发展“十一·五”规划》，进一步明确了中国可再生资源的发展目标。根据发展规划，到2010年我国光伏发电的累计装机将达到30万千瓦（300MWp），2020年将达到180万千瓦（1,800MWp）。

自从“送电到乡”工程结束后，国内的光伏市场基本处于缓慢发展状态，每年的安装量维持在0.5-2万千瓦（5-20MWp）。而光伏产业在国际市场的拉动下呈现快速发展态势，2007年太阳能电池生产达到120万千瓦（1,200MWp），组件生产达到180万千瓦（1,800MWp）。但是在2007年我国光伏系统只安装了2万千瓦（20MWp），国内生产的太阳能电池组件绝大部分用于出口。

中国政府对解决偏远地区无电农村供电问题高度重视，除了采用电网延伸、建设小水电站以外，还组织实施了光明工程先导项目、西藏阿里地区项目，“送电到乡”工程等，引世界瞩目，“送电到乡”工程是迄今为止世界上投资力度最大的应用光伏发电解决农村供电的项目。通过国际合作，开展了“丝绸之路光明工程”、中德财政合作西部太阳能项目、内蒙古自治区新能源通电工程、日本NEDO援华光伏项目等项目。

离网光伏发电项目管理、经营、维护的现状和存在问题，分析如下：

1. 产权问题

产权归属是项目运营管理及日常运行维护等的前提，是项目可持续地发挥作用的必要条件。中国的农村太阳能发电项目，绝大部分尚未正式发文明确产权归属问题。

2. 项目运营管理的问题

偏远地区农村太阳能发电项目的可持续发展，以及长期稳定发挥作用，关键是项目建成后的运行管理和维护。独立村落供电系统，除个别情况外（如KFW项目），均未见有正式官方文件明确有能力、有资质的机构对已建成供电服务的项目实施运营与管理维护工作。“送电到乡”项目，大部分是由当地政府负责运营及日常管理，而维护保养等

技术服务与管理的工作，仍由项目承建单位（系统集成商）承担。没有明确的项目运营管理机构，项目无法验收和移交，无法进行合法、有效的运营与管理维护，相关各方面的责任、权限和义务也都不明确，运营单位未获得补贴，系统的正常运行面临巨大的危机。

3. 项目的验收、核查及监管

我国所实施的偏远无电地区太阳能发电项目中，只有中德合作财政援助项目（KFW项目）按照既定的管理规范要求，实施了严格的核查验收。其余各项目均未进行法律意义上的核查验收，后续工作无法正常进行。

无电地区农村电力建设项目的最终目标是向用户提供长期可靠的电力和供电服务。供电系统建成并交付使用的一个阶段性标志是项目的核查验收，而长期可靠的供电服务只有靠高质量的可持续的运营管理和维护才能保证。因此，项目的监管必须贯穿于整个项目存续期，包括项目的施工建设时期和更长时间的运行服务时期。目前实施的项目，普遍缺乏有效的监管机制。

可见，无电地区农村电力建设项目的当务之急是：组建相应的机构，制订相关制度，对已建成的项目实施验收和移交，强化项目监管，建立长效监管机制，使项目监管贯穿于项目建设与运营全过程，确保长期的、可靠的电力和供电服务。

4. 离网供电项目的质量控制与保证

1) 离网项目实施的全过程质量控制

离网发电全过程质量控制划分为：项目管理层面的质量控制、建设施工的质量控制、运行、维护与供电的质量控制三大部分。

(1) 项目管理质量控制，把项目的论证、立项、建设、经营、运行维护、管理作为一个整体，对这个全过程的管理实施质量控制，包括：规范项目管理的程序和步骤，质量控制体系建立，组建质量控制的核查监管机构，制订保证项目质量的各项规章制度、技术规范、质量标准及要求等。

(2) 建设施工的质量控制包括：设备（例如光伏组件、蓄电池、电气设备等）的质量保证和相关工程（光伏电站、机房、村落电网等）的安装施工建设质量控制。具体包括：项目建设地点的选择和认定工作，技术方案的优选和论证，工程招标、施工、监理、验收等。

(3) 运行维护的质量控制，其主要目的是，确保项目发挥经济、政治、社会等各方面效益，长期、可靠地为用户提供供电服务。主要包括：项目建成后的售后服务、供电



质量要求、设备的运行维护、各项费用的收取和使用规定等。前提是：确定项目的运行管理模式和运营管理执行机构。

2) “无电地区电力建设”项目质量保证与控制的经验

在中国农村，无电地区电力建设工程，除了采用电网延伸的方式外，仍然需要采用离网光伏发电系统，来解决这些地区的基本生活用电问题。为保证项目实施的高质量和持久地发挥作用，不仅要保证发电设施、供电系统的工程质量，而且更需要管理层面的的一系列制度的真正落实和执行，以确保实现离网发电系统的高质量施工建设和安装，以及工程经过核查验收后，长期安全、可靠地运行，和符合质量要求的供电服务。

3) “无电地区电力建设”项目的最终目标 — 供电服务

加重强调项目实施的目标是为偏僻边远农村地区的用户提供“长期、可靠的供电服务”，而不仅仅是发电设施、供电系统的安装建设。将项目的建设施工和交付使用的运营管理作为一个整体来考虑，不但要考虑项目建设费用，还要安排后期维修部件更换的费用，以及管理和运营方面的费用支出。发电设施的建设和安装只是整体项目的一部分，一般周期较短，而供电服务则需要10-20年的长期持续地进行。因此，需要建立一套无电地区光伏发电、供电服务体系。

3.5 国内光伏市场的发展潜力分析

在今后几十年，我国的光伏发电将主要应用于下述方面：

1. 无电地区电力建设

由于历史和地理的原因，迄今我国边远地区仍然有大约1,000万人口没有解决用电问题，绝大多数在西部的边疆少数民族地区。由于远离电网，居住分散，通过延伸电网解决用电问题的可能性也较小。而这些电网难以延伸到的地区太阳能资源丰富，将是光伏发电的主要市场之一。

在我国400多个有人居住的岛屿上，光伏发电系统其经济性和可靠性都比采用柴油机发电更有优势。

全部解决边远地区人口的用电问题是落实中央“三个代表”精神的具体体现，是构建和谐社会的意义深远的举措，也是为西部开发做的一件大事，对加强民族团结、巩固边防、促进边远地区发展有着深远的意义。

《可再生能源中长期发展规划》中关于农村可再生能源利用方面的规划：在农村地区开发利用可再生能源，解决广大农村居民生活用能问题，改善农村生产和生活条件，



保护生态环境和巩固生态建设成果，有效提高农民收入，促进农村经济和社会更快发展，解决农村无电地区的用电问题是发展的重点之首。具体内容为：在电网延伸供电不经济的地区，发挥当地资源优势，利用小水电、太阳能光伏发电和风力发电等可再生能源技术，为农村无电人口提供基本电力供应。在小水电资源丰富地区，有限开发建设小水电站（包括微水电），为约100万户居民供电。在缺乏小水电资源的地区，因地制宜建设独立的小型太阳能光伏电站、风光互补电站，推广使用小风电、户用光伏发电、风光互补发电系统，为约100万户居民供电，到2015年，通过扩大电网覆盖面和建设可再生能源独立发电系统，解决全部无电人口的用电问题。

光伏发电系统结构简单、体积小且轻、运行维护简单、清洁安全、无噪声、可靠性高、寿命长，经济性有比较的优势，对解决边远地区供电具有不可替代的作用。从上世纪80年代开始，我国就开始在边远农牧区推广光伏系统，至2008年底已累计安装总容量约14万千瓦（140MWp）。2002-2004年国家发展和改革委员会组织实施了“送电到乡”工程，建设了近720多个太阳能光伏电站（包括风光互补电站），总装机1.96万千瓦（19.6MWp），使我国全部乡政府所在地都解决了供电问题。在后续的“无电地区电力建设”工程中，光伏发电系统将继续发挥主导作用，因此，今后一段时期内，光伏发电在农村边远地区的推广应用将是我国光伏市场发展的主要增长点之一。

我国目前约有1,000万的无电人口，主要分布于西藏，新疆，青海，云南，四川等省区的边远地区。如以每人每年200千瓦时用电量计算，每年需要提供电能20亿千瓦时。如采用离网光伏系统供电，以年当量发电小时数800计算，需要安装离网光伏系统总容量约250万千瓦（2.5GWp），这是一个相当规模的光伏市场。

2. 分布式光伏电源

分布电源是指电网终端用户安装的并网系统和特殊应用的独立供电系统。目前日本、德国、美国以及欧洲国家所实施的“屋顶计划”、“建筑一体化光伏工程”等均属于分布电源应用，目前发达国家政府采取激励政策，吸引私人投资，成为解决能源和环境问题的一种手段，效果是十分显著的。

采用分布电源不仅可以积少成多地解决能源电力问题，减少排放，提高供电安全性，而且不存在电力输送的问题；如果广泛采用，可以避免用户对于少数大型电源点的绝对依赖性；在发生紧急情况时可避免由于少量大规模电源点的被破坏而造成的全网失效，对供电安全有特殊意义。

将光伏发电技术用于城市道路、小区照明有着巨大的市场潜力，而且技术成熟、可



靠，便于管理和操作。根据国情，我国可以将光伏街道和小区照明作为近期政府组织的光伏推广应用的切入领域。

尽管我国的居住条件同发达国家有很大的差异，但是运用政策机制，鼓励单位和个人建设光伏分布电源仍然是一种积极措施，也是可行的。特别是在中心城市应该积极推广。对于公益建筑（如学校、医院、政府、厂矿企业的屋顶等）、高档建筑，政府应出台政策，要求安装光伏屋顶和光伏幕墙，发挥先导示范作用。

分布式光伏电源的优点：

- 可以并网，尤其是夏季用电负荷较高的地区；
- 减少了电力传输、分配带来的损耗；
- 作为灾后的应急电源，快速恢复电力供应；
- 适应城市推广，城市内的项目用地“寸土寸金”，采用BIPV，避免大量征用土地，带来成本增加。

粗略估计我国现有建筑屋顶面积总计约400亿平方米，假如1%的屋顶用光伏组件覆盖，每年就可以提供600亿千瓦时的电能。

作为应急供电，光伏发电有其独特优点，应用潜力亦十分巨大。

3. 开阔地并网

建设大规模并网光伏发电系统是大规模太阳能光伏发电的必由之路，这个技术已经实践证明是切实可行的。德国、美国、西班牙、葡萄牙等发达国家已经建设了几十兆瓦级并网光伏电站；甚至印度、菲律宾、非洲一些国家也开始建设大型并网光伏发电系统。国内的大规模荒漠光伏电站的建设正在酝酿之中。

我国有108万平方公里的荒漠资源，其中大片的沙漠、沙漠化土地和半沙漠化土地约85万平方公里；主要分布在光照资源丰富的西北地区，其年总辐射在1,600–2,300千瓦时/平方米，在全球也属富集区。无需水资源条件的兆瓦级光伏电站具有广阔的发展空间。西部有不少荒漠，如甘肃的河西走廊绿洲边缘、新疆的塔克拉玛干沙漠边缘、晋西北及陕北、内蒙古的鄂尔多斯等靠近电力线路和负荷中心，还有很好的旅游资源，可以作为大型并网光伏项目的起步建议区域。随着电力输送技术和储能技术的发展，大规模荒漠光伏电站将必然成为未来的电力基地。

假设开发我国荒漠面积的3%用于建设大型并网光伏电站，作为战略开发基地，按每平方公里土地安装5万千瓦（50MWp）光伏系统计算，那么我国大规模开阔地光伏发电的潜力将达到15亿千瓦（1,500GWp）。下表为中国部分省区根据其荒漠面积3%计算



出的潜在光伏安装总量。

表3-2 中国部分地区“开阔地光伏电站”潜在容量

省（自治区）	太阳能资源	荒漠面积 万平方公里	潜在光伏安装总容量 万千瓦（3%面积）	电力输送距离
内蒙古	一类、二类地区	25.10	37,000	津京唐/800~1,200公里
宁夏	一类、二类地区	0.77	1,110	津京唐/800~1,000公里
河北	二类、三类地区	0.55	800	津京唐/200~300公里
甘肃	一类地区	5.30	7,950	津京唐/1,400~1,800公里
青海	一类、二类地区	4.28	6,400	珠三角/1,800~2,500公里
新疆	一类、二类地区	45.83	68,000	珠三角/2,600~3500公里
合计		81.83	121,260	

大规模开阔地光伏发电建设必须考虑超高压电力输送条件，建议国家能源主管部门协调电力部门尽早考虑电力输送通道建设规划，为大规模开发太阳能发电创造条件。

西藏是我国太阳能资源最为丰富的地区，但是由于其高海拔、恶劣的工程建设条件、远离负荷中心，目前以电力输出为目的的光伏应用为时尚早，但是用于解决其自身的电力需求，光伏发电可以发挥重要作用。

我国浩瀚的荒漠资源将成为能源宝地，保障中华民族的繁衍生息、可持续发展。从保障我国的能源战略安全目标出发，我国必须抓紧兆瓦级光伏发电技术的实用化；其中，大规模光伏发电并网技术已经成熟，需要国家激励政策，将其推入市场化运作的门槛。

4. 其它商业应用

光伏的其它商业应用是指没有政府政策补贴的商业化应用，如独立通讯基站电源、管道阴极保护、小商品电源等。主要应用于独立通讯基站电源，占总量的70%左右。随着技术进步、市场开发，新的应用领域和新的产品会迅猛发展。特别是国际光伏市场的飞跃发展，拉动着我国光伏生产快速发展，对我国的光伏市场也有极大的促进作用。

3.6 小结

1. 中国太阳能资源条件除去第四、第五类地区以外，2/3以上的国土发展太阳能发电的条件十分优越，未来的发展潜力和市场需求量十分巨大。
2. 国家的一系列法律，尤其是《可再生能源法》，为太阳能光伏发电奠定了法律基础和依据。国家发展和改革委员会、中国电监会、国家财政部等出台一系列配套政策，为中国大规模实施太阳发电，提供了政策保证。
3. 长远来看，由于光伏技术进步和市场规模的发展，度电成本会逐步下降，光伏发电逐步成为替代能源电力，是一个不可阻挡的趋势。



4. 光伏产业的市场前景是广阔的，主要在：①农村无电地区电力建设；②分布电源；③开阔地并网发电。
5. 目前，太阳能光伏发电属于成熟技术，主要的障碍一度电成本居高。太阳能光伏发电度电成本的下降受到多方因素制约：太阳资源、技术水平、安装维护工程质量、政策优惠的强度、融投资模式等。
6. 晶体硅电池技术早已成熟。未来的发展中，各类薄膜光伏发电将飞速发展，以其低成本优势，占有50%的太阳能光伏发电市场份额是可能的。
7. 当前的主要问题：如何通过技术进步、市场运作、政策激励和调控等措施，多管齐下，逐步降低成本，以逐步实现商品化发展、商品化经营太阳能光伏发电业务。
8. 离网光伏发电项目的经验：①项目业主必须明确；②运营、维护、管理模式必须确定；③加强项目的全过程质量控制与保证。
9. 假设采用离网光伏发电系统为我国偏远地区的无电人口提供每人每年200千瓦时电力供应，需要安装离网光伏系统总容量约250万千瓦（2.5GWp），这是一个相当规模的光伏市场。
10. 假设利用我国3万平方公里的荒漠面积建设大型并网光伏电站，作为战略开发基地，按每平方公里土地安装5万千瓦（50MWp）光伏系统计算，那么我国大规模开阔地光伏发电的潜力将达到15亿千瓦（1,500GWp）。

参考文献

1. 《中华人民共和国电力法》，1995年2月28日
2. 《中华人民共和国可再生能源法》，2005年3月1日
3. 《中华人民共和国节约能源法》，2008年4月1日
4. 《中国的能源状况与政策》，2007
5. 国家发改委，《中国可再生能源中长期发展规划》（发改能源〔2007〕2174号），2007年8月31日
6. 国家发改委，《可再生能源发展“十一·五”规划》（发改能源〔2008〕610号），2008年3月3日
7. 国家发改委，可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法，2006年6月1日
8. 国家发展改革委，关于印发《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》的通知，发改价格〔2007〕44号，2006年1月1日



9. 国家发展改革委，关于印发《可再生能源发电有关管理规定》的通知，2006年1月5日
10. 国家发改委，可再生能源发展专项资金管理暂行办法，2006年5月30日
11. 国家发改委，发改能源[2007]421号，国家发展改革委关于做好“十一·五”农村电网完善和无电地区电力建设工作的通知，2007年2月26日
12. 国家发改委，发改办能源[2005]1367号，国家发展改革委办公厅关于无电地区电力建设有关问题的通知，2005年7月11日
13. 国家电力监管委员会令第25号，《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》，2007年9月1日
14. 财政部，财建[2009]128号，2009年2月23日
15. 财政部，财建[2009]129号，2009年2月23日
16. 国家电力监管委员会文件，业务许可证规定，2005年12月1日
17. 国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP)，中国光伏产业发展研究报告（2004-2005），2005年5月
18. 国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP)，中国光伏产业发展研究报告（2006-2007），2008年5月
19. 中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会，中国光伏发展报告（2007），2007年9月
20. 中国科学院电工研究所研究报告，国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP)，可再生能源农村电气化项目设计咨询，报告之二：SDDC备选方案和推荐方案，2006
21. 中国科学院电工研究所研究报告，中国光伏发展“十一·五”规划（建议报告），2005。

4. 中国光伏发电成本、价格及技术进步作用的分析

4.1 中国光伏的产业链

1. 光伏产业链的构成

晶体硅光伏产业链是由高纯硅材料制造、硅锭/硅片生产、太阳电池制造、光伏组件封装以及光伏发电系统建设等多个产业环节组成，如图4-1所示。

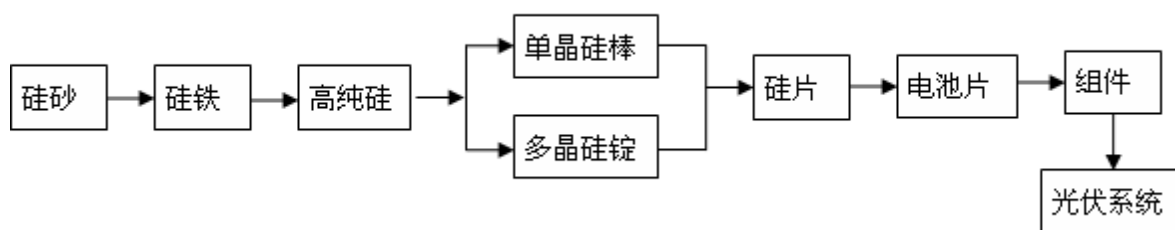


图4-1 光伏产业链的构成

2. 中国光伏产业链现阶段特点

1) 光伏产业链趋于完整

经过6年的快速发展，中国光伏产业格局从以往“头小尾大”转变为“上游企业有所突破、中游企业迅速壮大、下游企业不断涌现”，从多晶硅材料到光伏应用产品的产业链逐渐形成并渐趋平衡。据统计，截至2008年底，我国多晶硅材料企业投产的有8家，年产量达到4,500吨；从事硅锭/硅片生产的企业60多家，年产量达到20,000吨；太阳能电池生产企业60余家，年产量2,000MWp；光伏组件生产厂家330多家，年产量3,000MWp。2008年光伏产业各阶段产品：多晶硅材料、硅锭/硅片、太阳能电池、光伏组件的产量如图4-2所示。以江苏为代表的全球光伏产品制造加工基地已形成国内最大规模，浙江、上海、江西、河北、四川、河南、重庆、青海等省市也在大力发展光伏产业，当地政府给予高度重视和极大关注，为光伏产业链的进一步完善创造了良好的政策环境和条件。

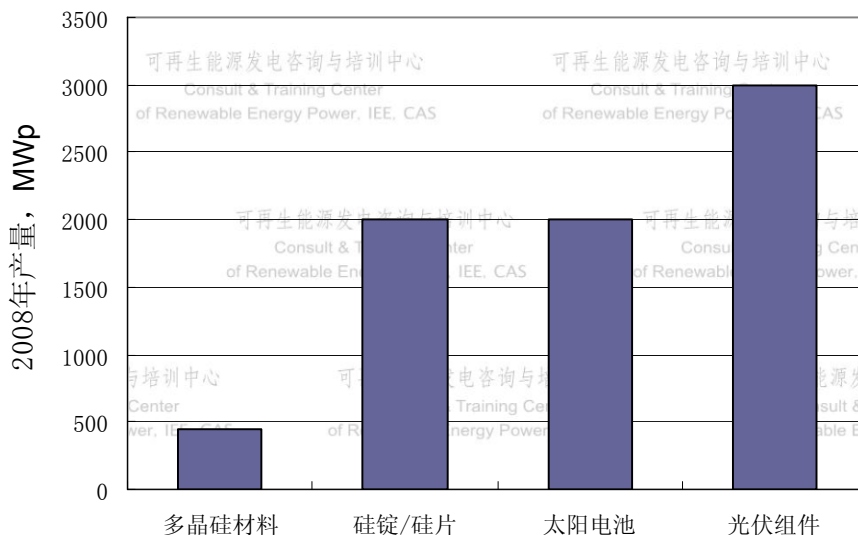


图 4-2 2008 年中国光伏产业各阶段产品产量
(其中电池片多晶硅消耗量按 10g/Wp 计算)

2) 中国光伏产业发展迅猛

2007年中国一跃成为世界第一的太阳电池生产国和出口国，生产太阳电池1,088MWp，占全球产量的27.2%，年产值超过880亿元，成为高新技术产业和绿色经济增长点。近4年来，我国光伏产业销售额不断增加，就业人数相应增加。2005年，光伏产业销售额128亿元，就业人数约13,800，2007年光伏产业销售额达到880亿元，就业人数约82,800，2008年销售额估计达到2,000亿元，增长趋势如图4-3所示。



图 4-3 2005-2008 中国光伏产业销售额和就业人数

2008年，我国共有500多家光伏企业和研发单位。一批上市企业脱颖而出，以无锡尚德、天威英利、江西LDK、常州天合、南京中电、河北晶澳等为代表的10余家海外上市企业，引起了国际经济界、能源界和企业界的高度关注。例如，无锡尚德从2002年产

能10MWp，到2008年产能达到1,000MWp，产量497.5MWp，实现销售收入超130亿，进入世界光伏前三强。天威英利2008年光伏组件产量281.5MWp，世界光伏排名第六。中国光伏产业走上了“专业化、集约化、规模化”的发展道路。

表4-1 海外上市的中国光伏公司

序号	公司名称	上市时间及交易所
1	无锡尚德	2005年12月，美国纽交所，
2	浙江昱辉	2005年英国伦敦交易所，2007年7月转到美国纽交所
3	苏州CSI	2006年11月美国纳斯达克
4	江苏林洋	2006年12月美国纳斯达克
5	常州天合	2006年12月19日美国纳斯达克
6	河北晶澳	2006年12月底美国纳斯达克
7	南京中电	2007年2月美国纳斯达克
8	保定英利	2007年4月美国纽交所
9	江苏浚鑫	2007年7月英国英国伦敦交易所
10	江西LDK	2007年8月美国纽交所
11	东营光伏	2008年8月欧交所

3) 光伏组件市场在外

受“送电到乡”工程的激励和国际市场的拉动，自2003年起我国光伏组件制造业以超常速度发展，2003-2008年最高增长率达到300%，2008年光伏组件产量达到3,000MWp，但2008年中国光伏组件的安装总量仅为40MWp，其余98%出口，可见我国光伏产业市场在外。受全球金融危机影响，中国光伏企业受到冲击，某上市公司2008三季度财报显示，亏损2,100万美元，另一上市公司四季度亏损6,590万美元^[1]。全球光伏市场需求下降，2008年10月开始一些上市公司英利、南京中电、林洋、尚德、阿特斯等，除个别企业运营较好，多数减产3-6成，出口下降5-8成，部分企业进入亏损阶段。由于我国光伏产品98%以上出口，国外光伏市场的波动必然影响中国光伏企业的生存与发展。在此背景下，中国光伏产业过分依赖国外市场的弊端和严重后果已经凸显。

4) 光伏产业投资规模巨大

近两年，受益于光伏产业的长期利好，整个光伏产业出现了前所未有的投资热潮。据统计，到目前为止，有近50家公司正在建设、扩建和筹建主要以西门子改良法为技术路线的多晶硅生产线，总建设规模超过10万吨，总投资超过1,000亿，其中一期规模超过4万吨，投资超过400亿。到2008年第三季度，已经形成产能2万吨，固定资产投资约200亿元。其次是硅锭/硅片、太阳能电池、组件环节，整体1,000兆瓦需投资100亿元。目前，已形成5,000兆瓦产能，固定资产投资500亿元。在建3,000兆瓦，正在形成300亿元的固定资产。硅锭/硅片、太阳能电池、光伏组件厂家纷纷扩产、扩建，形成及在建产能及

投资如表4-2所示。图4-4显示了中国光伏产业各环节已建及在建产能的投资。

表4-2 光伏产业产能及投资

生产环节	已形成		在建中	
	产能	投资(亿元)	产能	投资(亿元)
多晶硅材料	20,000吨	200	20,000吨	200
硅锭/硅片	5,000MWp	240	3,000MWp	144
太阳电池	5,000MWp	240	3,000MWp	144
光伏组件	5,000MWp	20	3,000MWp	12
总计		700		500

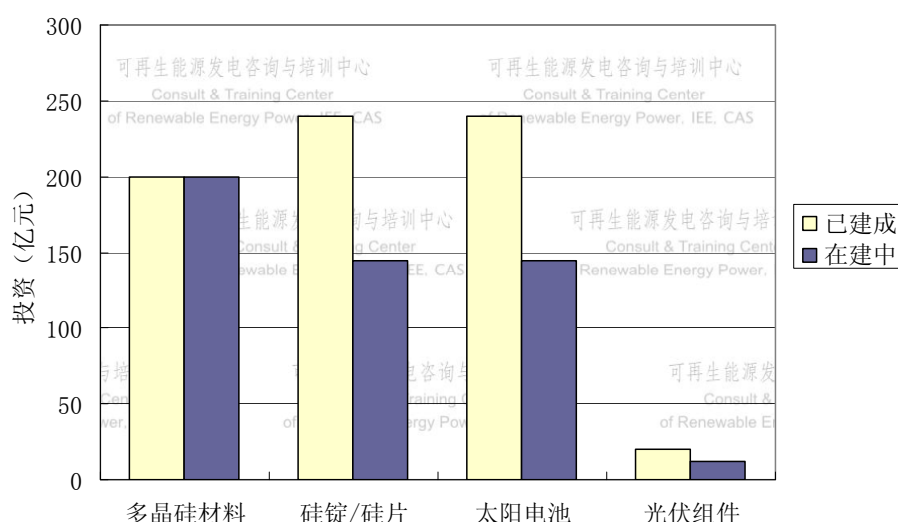


图4-4中国光伏产业各环节投资

5) 光伏产业地区分布不均衡

我国光伏产业地区分布极不均衡，东部多，西部少。表4-3对2007年我国主要光伏企业进行了统计分析，其中：年产量高于20吨的多晶硅材料企业6家，年产量高于40吨的硅锭/硅片企业24家，年产量高于5MWp的太阳电池片生产企业20家，年产量高于7MWp的光伏组件封装企业30家。多晶硅材料：6家企业，分布在江苏、上海、四川、河南四个省区，总产量1130吨。硅锭/硅片：江苏、河北、江西、浙江、上海五省19家企业，产量之和9840吨，占当年全国总产量的83.3%。太阳电池：江苏、河北、浙江、上海四省16家企业，产量之和达到1,025.7MWp，占当年全国总产量的94.3%。光伏组件封装：江苏、河北、浙江、上海、广东五省22家企业，产量之和1,423MWp，占当年全国总产量的82.9%。由此可见，我国光伏企业主要集中在东部沿海的江苏、浙江、上海、江西、河北等省区，西部省区所占比例偏少，如图4-5所示。

表4-3 2007年各省光伏企业数量及其产量

省(直辖市、自治区)	多晶硅材料		硅锭/硅片		太阳能电池		光伏组件	
	企业数量	2007年产量(吨)	企业数量	2007年产量(吨)	企业数量	2007年产量(MW)	企业数量	2007年产量(MW)
江苏	2	205	6	2,700	8	667	12	821
河北			2	2,700	2	255.7	2	280
广东					2	15.0	2	130
上海	1	20	4	650	4	50.0	4	97
浙江			6	1,490	2	53.0	2	95
云南					1	7.0	1	30
天津			1	40			1	25
北京			1	150	1	7.0	2	19
湖北							1	15
陕西							1	15
福建							1	10
山东							1	10
江西			1	2,300				
辽宁			1	900				
内蒙古			1	100				
新疆			1	60				
河南	1	520						
四川	2	385						
合计	6	1,130	24	11,090	20	1,054.7	30	1,547

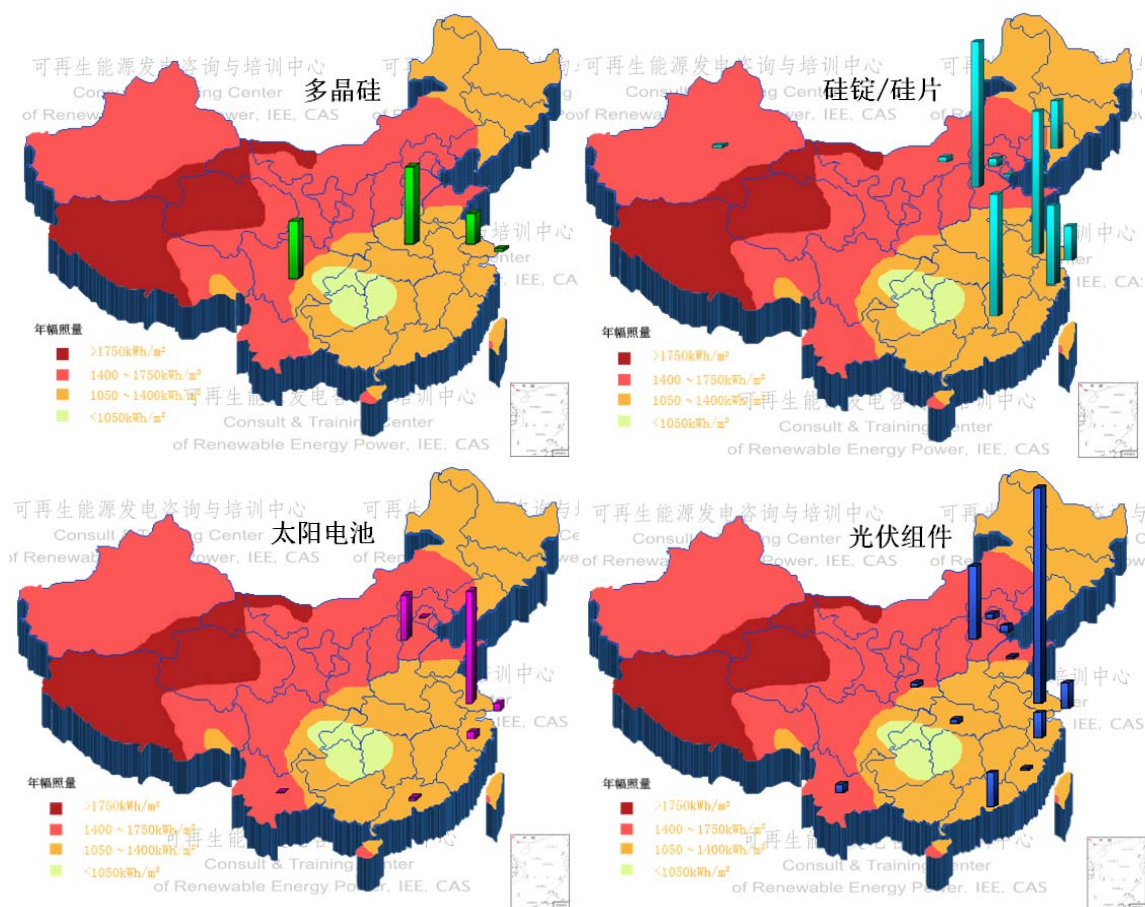


图4-5 2007年光伏产业分布

2008年，光伏产业地区分布情况出现一些变化，特别是多晶硅生产环节向中西部地区逐渐延伸。据不完全统计，截至2009年1月，国内已有17家多晶硅企业陆续投产，形成产能21,000吨/年，10家多晶硅企业项目处于建设中，在建产能26,000吨/年。多晶硅产能分布如图4-6所示，其中江苏、河南、四川已分别形成年产4,400吨、4,000吨、3,800吨的产能，内蒙古、青海、宁夏、湖南、湖北等省多晶硅项目均已形成一定的产能，多晶硅材料未来产能巨大。

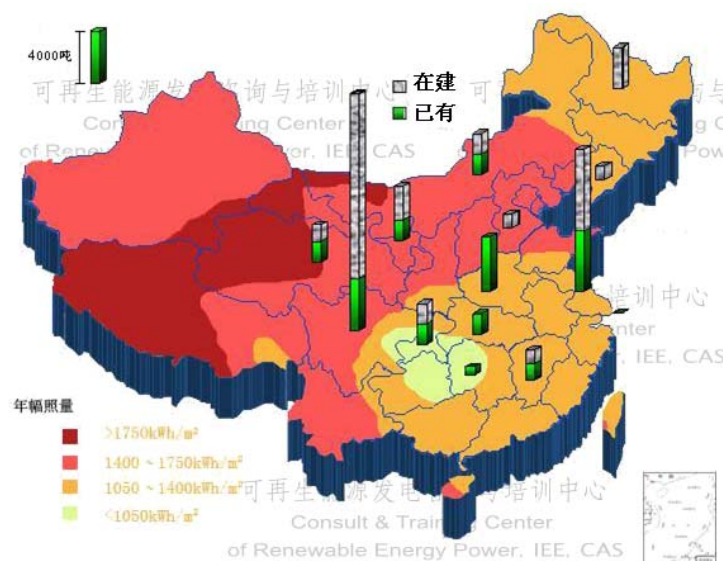


图4-6 2008年多晶硅产业分布

目前，硅锭/硅片、太阳电池、组件封装企业主要集中在东部沿海的江苏、浙江、上海、江西、河北等省区。与东部沿海省区相比，中西部省区工业用电价格相对低，劳动力相对低廉、土地价格便宜，太阳能资源极其丰富，光伏应用空间广阔。

光伏产业的发展应考虑地区布局平衡。国家应该出台相关政策，引导投资，利用中西部省区的资源优势、成本优势、市场优势，适当布局发展一定规模的光伏产业。在内蒙古、新疆、青海等省区新建、扩建硅锭/硅片、太阳电池、组件封装生产线，配合当地多晶硅项目的发展、大规模光伏发电的应用。这样可以科学合理地均衡我国的光伏产业布局，同时带动中西部的经济、社会发展。

6) 中国光伏产业面临巨大风险

金融危机使得全球光伏市场急剧萎缩，2009年世界光伏将供过于求进入买方市场时代。由于我国光伏产品98%以上出口，世界光伏需求急剧萎缩，中国光伏出口受到重击。由于产业链上下游企业的关联关系，需求急剧下降传导到每个环节，市场萎缩进一步蔓延到上游的拉棒切片和多晶硅环节。目前，已有部分光伏中小企业陷于停产，乃至关停。一旦企业减产30%以上，企业可能无利；减产50%，基本处于亏本；减产70%以上，可

能面临关闭。如果中国光伏产业2009年的产能利用率下降到40%，则多数企业面临困境。因此整个光伏产业链存在巨大的风险。

中国光伏通过多年努力已经打下了良好的产业基础，已经成为一个相对领先的、拥有自主知识产权的产业，有望2010年左右形成10,000亿的产值规模。一旦整个产业出现亏损和资金链断裂，中国光伏过去的多年努力将付诸东流，产业将面临倒退的风险。

如果中国光伏遭受重创，中国光伏多年努力打下的产业基础将遭受重创。可能造成1000亿固定资产闲置，减少产值2,000亿元，影响10多万人就业。

中国光伏产业正在遭遇十年来最严重的威胁，光伏企业迫切希望政府启动年安装容量50万千瓦(500MWp)的国内光伏市场，扶持光伏产业，帮助企业渡过难关。光伏产业界正在努力加快技术进步，降低成本，期望在2012年将光伏发电成本降至1元/千瓦时。

4.2 中国光伏产业链现状

1. 多晶硅原材料

光伏技术发展至今，晶体硅太阳能电池始终是商品化光伏发电的主流，国际市场98%以上的太阳能电池是利用高纯多晶硅制备的。作为太阳能电池生产的最基本材料—高纯多晶硅制备也就成为光伏产业链上最重要的环节之一。

国际上生产高纯多晶硅的生产工艺仍然以“改良西门子法—三氯氢硅氢还原法”(约占全球总产量的80%)为主。高纯多晶硅综合能耗约为125-170千瓦时/千克硅材料。

2006年前，多晶硅材料生产几乎被发达国家的10家生产商所控制，他们在2001-2006年的多晶硅产量如表4-4所示^[2]。光伏市场牵引着多晶硅材料产业的快速发展，除原有厂商加速扩产外，许多新企业积极投资建立新的多晶硅生产线。

表4-4 2001-2006年世界十大多晶硅厂商的产量 单位：吨

公司名称	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Hemlock(美)	5,300	5,100	5,300	7,000	7,700	10,000
Tokuyama(日)	3,500	3,600	4,000	4,800	5,600	6,000
Wacker(德)	3,700	4,000	4,200	4,600	5,600	6,600
三菱(美)	875	1,065	1,170	1,210	1,250	1,250
三菱(日)	1,050	1,300	1,300	1,400	1,600	1,600
Sumitomo(日)	550	700	700	700	800	900
MEMC(美)	800	1,500	1,500	2,200	2,200	2,600
MEMC(意)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Asimi(美)	2,800	2,050	2,100	2,400	3,000	6,500
SGS(德)		150	1,900	2,200	2,700	(REC)
合计	19,575	20,465	23,170	27,510	31,450	36,450

在国外光伏市场需求的拉动下，中国多晶硅产业发展迅速，技术进步飞快。一些企



业通过引进、消化和吸收欧美等国家改良西门子法的先进技术，并在多晶硅生产实践中不断创新，中国高纯度多晶硅提纯技术已到达国际先进水平，例如，徐州中能硅业采用先进的氯化氢技术、大流量高沉积速度的还原炉技术、高效的尾气回收技术等，实现了全流程的闭路循环、回收利用和无污染物的排放；其高纯度多晶硅提纯能耗降低到127千瓦时/千克^[3]，接近国际最好水平；徐州中能一期产品为太阳能级，二期多晶硅产品各项指标均达到电子级，多晶硅提纯技术取得突破性进展。

2006年我国多晶硅产量仅为290吨，其中洛阳中硅185吨，峨嵋半导体105吨。进入2007年，我国多晶硅提纯技术发展飞速，产能扩张迅猛。洛阳中硅在原来300吨基础上扩建至1,000吨，并于同年生产520吨多晶硅；四川新光硅业的1,260吨多晶硅生产线开始投产，并于该年生产230吨多晶硅；2007年徐州中能建成1,500吨生产线，并于同年生产150吨多晶硅；无锡中彩建成年产300吨生产线并于同年生产55吨多晶硅。如表4-5所示，给出了2005-2008年多晶硅产量，2007年突破千吨大关，预计2008年产量达到4,500吨^[4]。图4-6为中国多晶硅产量的历年变化情况，由此可见中国多晶硅产业近年来的快速发展趋势。

表4-5 2005-2008 中国多晶硅产量和生产能力 单位：吨

公司名称	2005年		2006年		2007		2008	
	产能	产量	产能	产量	产能	产量	产能	产量
峨嵋半导体	100	80	100	105	200	155	700	500
洛阳中硅	300	—	300	185	1,000	520	3,000	1,000
四川新光	—	—	—	—	1,260	230	1,260	800
徐州中能	—	—	—	—	1,500	150	4,000	1,800
无锡中彩	—	—	—	—	300	55	300	200
上海棱光	—	—	—	—	50	20	50	40
重庆大全	—	—	—	—	—	—	2,000	60
总计	400	80	400	290	4,310	1,130	11,310	4,500

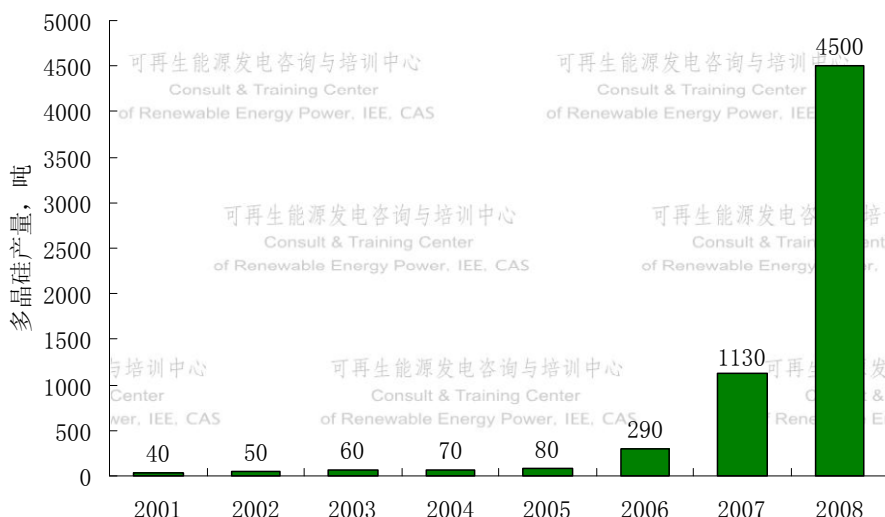


图4-7 2001-2008年中国多晶硅产量的变化情况

2. 晶体硅锭/硅片

晶体硅锭/硅片的制造是光伏产业链的第二个环节。近几年来在光伏市场驱动下，晶体硅锭/硅片制造业发展迅速。到目前为止，中国硅锭/硅片生产厂家超过60家，2008年硅锭/硅片产量已达到20,000吨。

我国的单晶硅锭的制造和加工技术已经达到国际先进水平，技术先进企业的能耗为62千瓦时/千克。近几年来，我国单晶硅锭产量增长迅速，表4-6给出中国太阳能级单晶硅锭的主要生产厂家及其产量，2005、2006和2007年太阳能级单晶硅锭总产量分别为2,216、4,550和8,070吨。截至2007年底，全国单晶硅炉数约2,400台，总生产能力约14,400吨/年^[2]。

表4-6 中国太阳能级单晶硅锭产量 单位：吨

序号	企业名称	2005	2006	2007
		产量	产量	产量
1	宁晋晶隆	1,126	1,250	1,500
2	浙江昱辉	300	750	1,100
3	锦州新日	400	750	900
4	扬中环太	—	350	900
5	常州天合	—	300	680
6	扬州顺大	100	250	500
7	上海卡姆丹克	—	30	450
8	常州亿晶	80	200	300
9	江阴海润	—	40	200
10	河北廊房	—	100	150
11	浙江嘉善	—	—	120
12	内蒙呼市	—	—	100

序号	企业名称	2005	2006	2007
		产量	产量	产量
13	浙江开化	—	70	100
14	上海合晶	—	30	80
15	上海松江	—	30	70
16	新疆新能源	—	—	60
17	湖州新元泰	—	—	50
18	上海九晶	—	20	50
19	天津环欧	—	20	40
	其他	210	360	710
	合计	2,216	4,550	8,070

多晶硅锭的生产技术门槛较单晶硅的高一些，生产厂家相对较少，产量较低。国内企业多晶硅铸锭环节能耗为33~55千瓦时/千克。表4-7给出中国太阳级多晶硅锭的主要生产厂家及其产量，2005、2006和2007年太阳级多晶硅锭总产量分别为300、1,120和3,740吨。至2007年底，多晶硅铸造炉230台，总生产能力约7,000吨/年。

表4-7 2006、2007年多晶硅锭产量 单位：吨

公司名称	2005	2006	2007
LDK	—	450	2,300
保定英利	260	550	1,200
常州天合	—	—	120
绍兴精工	—	80	80
宁波晶元	40	40	40
合计	300	1,120	3,740

硅片切割是硅片生产的关键技术，切割的质量与规模直接影响到整个产业链的后续生产。多丝切割作为一种先进的切割技术，目前已逐渐取代传统的内圆切割，成为硅片切片加工的主要切割方式。目前，很多企业采用多丝切割技术，硅片厚度可以达到180~200微米，能耗约为220~300kWh/kWp。采用国内最先进的多丝切割技术，硅片厚度可达到180微米，400公斤的硅锭可切13,000多片。

3. 太阳能电池制造

1) 晶体硅太阳能电池制造

晶体硅太阳能电池是在单晶或多晶体硅片上通过扩散制结等工艺而制成的，商品化晶体硅太阳能电池的生产工艺大致相同，工艺流程包括：损伤层去除、绒面制作、电极印刷、烧结等。

在世界光伏市场的强力拉动下，2007、2008年中国太阳能电池产业保持着快速增长势头，尽管受到原材料制约，两年来仍然不断有新企业加入到光伏产业队伍中来。据统计，

截至2008年底，从事太阳能电池生产的企业达到60余家，按照在位设备计算，太阳能电池的再生产能力达到5,000MWp。表4-8列出了2006、2007年中国主要太阳能电池生产商的太阳能电池产量。在电池生产方面，以无锡尚德为例，2006、2007年的电池产量分别为157.5MWp和327MWp，分别占当年全国产量的35.9%和30.1%，其他公司的产量及排序见表4-10。2006、2007年中国太阳能电池产量分别为438MWp和1,088MWp，其中：晶硅电池分别为426MWp和1,059.7MWp^[2]。2008年太阳能电池产量达到2,000MWp。

表4-8 2006、2007年中国太阳能电池产量，单位：MWp

序号	公司名称	2006年		2007年	
		产量	排序	产量	排序
1	无锡尚德	157.5	1	327.0	1
2	保定英利	35.0	3	142.5	2
3	河北晶澳	25.0	5	113.2	3
5	江苏林洋	25.0	5	88.0	4
4	南京中电	54.0	2	78.0	5
6	苏州阿特斯	25.0	5	55.0	6
7	宁波太阳能	30.0	4	45.0	7
8	常州天合光能	7.0	—	37.0	8
9	江阴浚鑫	14.0	7	35.0	9
10	常州亿晶	—	—	30.0	10
11	交大泰阳	21.0	6	25	12
12	无锡尚品	—	—	17	13
13	深圳拓日	8.0 (a-6)	8	10.0 (a-8)	14
14	上海超日	—	—	10.0	15
15	上海太阳能科技	2.0		8.0	16
16	浙江向日葵光能	—	—	8	16
17	云南天达	7.0	8	7.0	17
18	杉杉尤利卡	3.0		7.0	17
19	北京中轻	0.5		7.0	17
20	深圳珈伟	—	—	5.0	18
	其他	24 (a-6)	—	33.3 (a-20.3)	—
	合计	438 (a-12)	—	1088.0 (a-28.3)	—

图4-8给出了2000-2008年中国太阳能电池产量的历年变化情况，显然，自2002年以后，中国太阳能电池进入了快速发展阶段，以超常速度迅速崛起。图4-8中同时显示出晶硅电池和非晶硅薄膜电池的产量及增长趋势。

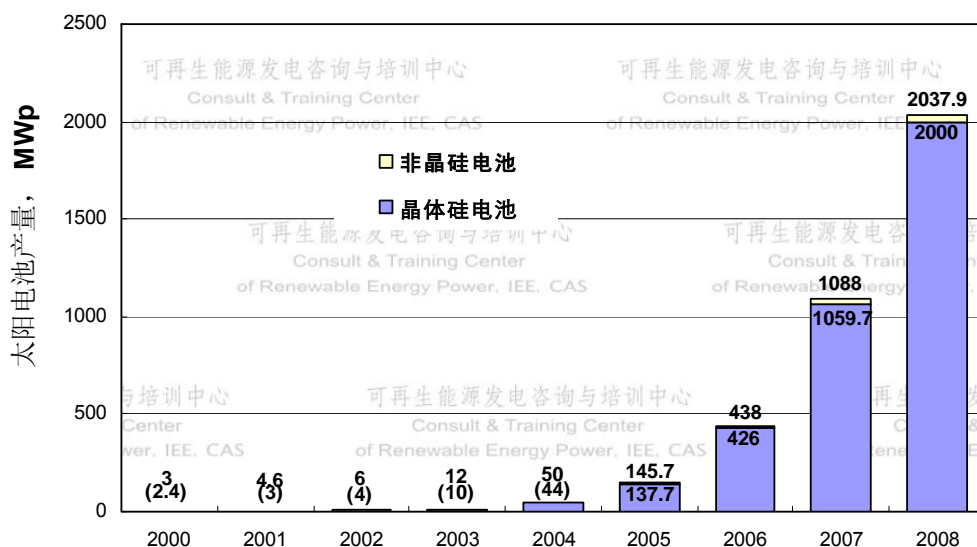


图4-8 2000-2008年中国太阳能电池产量的历年变化

我国的太阳能电池大规模制备技术基本是通过引进生产线实现的，由于在国际市场上可以购买到最新的设备及相关技术，我国一流企业的太阳能电池生产技术基本上与国际同步，处于国际先进水平。硅片到太阳能电池制作阶段平均能耗约为220kWh/kWp，接近国际最好水平。

2) 非晶硅薄膜电池制造

近年来，非晶硅薄膜电池以其成本低、弱光性能较好的优点而受到重视，非晶硅薄膜电池制造业得到了较快的发展。2004年以前中国非晶硅薄膜电池产业以单结非晶硅电池为主，2004年天津津能引进了2.5MWp双结非晶硅薄膜电池生产线之后，非晶硅双结电池产业发展较快。截至2008年底，中国从事非晶硅薄膜电池生产的企业接近20家，总生产能力达到134.9MWp。2007、2008年中国非晶硅薄膜电池的产量分别为28.3MWp和37.9MWp，其中11个主要生产商及其2006、2007、2008年的产量如表4-9所示。图4-9给出了2000—2008年中国非晶硅电池历年来的产量变化情况。

表4-9 2006-2008年中国非晶硅薄膜太阳能电池的产量 单位: MWp

序号	企业名称	2006	2007	2008
1	深圳拓日	6	8	11
2	上海索赛斯	—	—	6
3	深圳创益	2	4	5
4	北京世华	—	1	4
5	天津津能	1.2	2	2.5
6	福建金太阳	—	2	2
7	深圳日月环	1	1	2
8	浙江富升	—	1	1
9	深圳恒阳	—	1	1
10	哈尔滨格瑞	—	1	1
11	黑龙江哈克	1	1	0.9
	其他	0.8	6.3	1.5
	合计	12	28.3	37.9

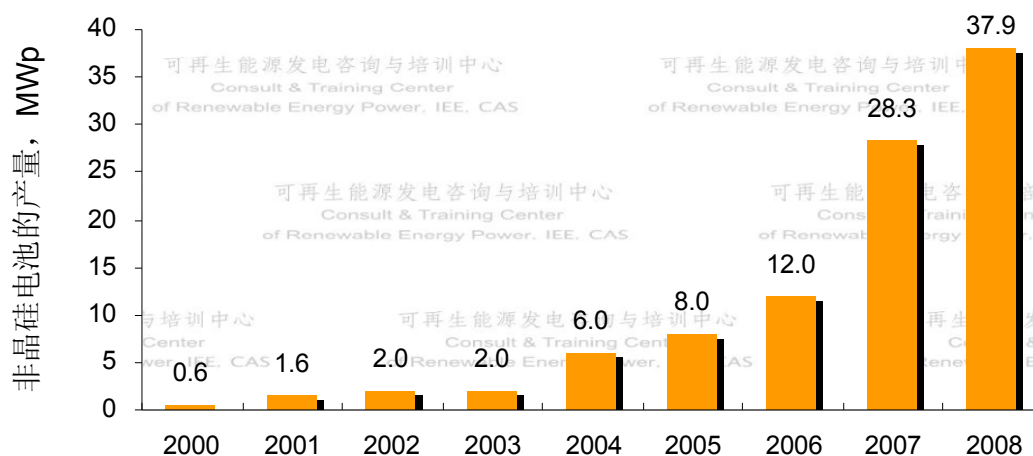


图4-9 2000-2008年中国非晶硅电池产量的变化情况

从图4-9中看出,自2004年起我国非晶硅薄膜电池产业进入快速发展时期。分析其发展动力:一是由于世界光伏市场的拉动,二是薄膜电池产业技术不断走向成熟,三是全球金融危机爆发前多晶硅材料短缺极大地制约了晶体硅光伏产业的发展,因而刺激加速了薄膜电池产业的发展。

目前有一大批企业正在筹建和引进技术水平更高的微非叠层电池(a-Si/ $\mu\text{c-Si}$)生产线,如尚德电力(上海)和河北新奥分别在引进50MWp的双结微非电池,一些企业自主建立技术研发中心、自主制造设备、扩大生产能力,这些电池生产线建成并投产后,将使我国薄膜电池产业提升到一个新水平。

非晶硅薄膜电池的发展仍面临着一些问题,如效率较低且有衰减,使用寿命较晶体硅电池短,市场认知度较低等。另外,薄膜电池产业化还处于技术完善和更新阶段,设

备不定型，初始投资高。

4. 光伏组件封装

晶体硅光伏组件制造是将晶体硅太阳能电池进行单片互连、封装，以保护电极接触，防止互连线受到腐蚀，避免电池碎裂。封装质量直接影响晶体硅光伏组件的使用寿命。

目前我国光伏组件封装业，是整个光伏产业链中生产工艺最成熟、设备国产化率最高、从业门槛最低、从事企业最多、扩产最快、产量最大的一个环节。在整个光伏产业链中，组件封装投资少且建设周期短。由于技术和资金门槛低，可以充分利用劳动力成本低廉的优势，我国光伏组件封装行业的发展最为迅速。据不完全统计，我国现有组件封装企业约330余家，2007年封装能力达3,800MWp^[2]，2008年封装能力达5,000MWp。

由于我国国内光伏市场尚未规模化启动，国产光伏组件绝大部分出口国外，主要是欧美国家。2008年中国光伏组件产量达到3,000MWp，占全球产量6,850 MWp的44%，世界第一。

和太阳能电池制备一样，由于可以在国际市场上购买到最新的设备及相关技术，我国优秀企业的光伏组件封装技术与国际上同步，处于国际先进水平，能耗可以达到44 kWh/kWp。

5. 光伏产业相关设备

1) 多晶硅材料制造设备

中国能够生产SiHCl₃合成设备和分馏塔，如峨嵋半导体和洛阳中硅的SiHCl₃合成设备和精馏塔就是国内自己设计制造的；中国目前已经能够制造SiHCl₃还原炉，如继峨嵋半导体厂和洛阳中硅继研制成功12对棒还原炉并投入使用后，洛阳中硅又研制成功24对棒常压SiHCl₃还原炉并投入应用，24对棒高压还原炉也在研制过程中；2009–2010年期间，中国将有一大批多晶硅生产线相继投入生产，随着多晶产业的迅速崛起，包括尾气回收设备在内的各种相关生产设备都会相继实现国产化。

2) 晶硅锭/硅片生产设备

单晶硅锭生长炉：单晶硅锭的主要生产设备是单晶硅锭生长炉，其制造技术在我国非常成熟，已有近40年的历史。近年来，在太阳能光伏市场的拉动下单晶硅炉产量直线上升，由2004年的销售额8,000万元上升到2007年的约8亿元。国产单晶炉质量完全可以满足光伏行业需求，而价格仅为进口产品的1/3–1/2，因此被大量采用。目前国内各类单晶硅锭生长设备约2,400余台，绝大部分是国产设备。国内单晶炉生产企业达十余家，



主要有：北京京运通，晶科(西安理工大学)，上海汉虹，北京京仪，宁晋阳光(晶龙集团)，常州华盛天龙，华德(西安理工大学)，西安骊晶，凯克斯，中国电子科技集团48所等。2006、2007年中国单晶炉分别销售400台和800余台，不但可以满足国内市场需求，而且实现了批量出口。

多晶硅铸造设备：在市场需求推动下，中国多晶硅铸造炉国产化步伐在加快，开始改变着多晶硅浇铸设备全部进口的局面。目前已经有多家企业开发多晶硅浇铸炉制造技术，如中国电子科技集团48所、京运通等。目前已经开发出性能合格240-270kg和400-460kg的系列化产品，并开始批量生产和销售。预计未来几年在国内会得到普遍应用。

线锯切片设备：国内现有硅片生产过程使用的线锯主要依靠进口。由于需求拉动，目前已有多家公司在开发太阳级硅片的专用线锯设备。上海日进机床有限公司研制出线锯设备正在试用，甘肃一家公司的线锯已经通过产品鉴定，河北宁晋阳光正在研制过程中。线锯的国产化已经指日可待，普遍推广使用为期不远。

3) 太阳能电池制造设备

太阳能电池制造设备中的包括硅片清洗机、扩散炉、等离子刻蚀机、烧结炉、PECVD-SiN炉，丝印机，分选机等。

扩散炉、等离子刻蚀机、烘干炉等均已实现国产化，生产商包括电子部48所、北京七星华创公司等，并被多家主要电池生产企业采用。

硅片清洗机也已实现国产化，主要生产商有深圳捷佳创公司、北京七星华创公司等。国内太阳能电池生产线约有半数使用了国产化清洗机。

电子部45所开发的半自动丝网印刷机已大量被使用，全自动丝印机和全自动分选机正在研制过程，1-2年后可投入市场。

西安交大太阳能所、上海交大太阳能所、秦皇岛博硕公司等研制的分选机可在自动化程度不高的小规模生产线上使用。48所等一些企业正在开发全自动化分选机，预计1-2年内可投入使用。

4) 光伏组件封装设备

光伏组件封装设备已实现国产化。生产层压机的企业有秦皇岛奥瑞特、上海申科公司、秦皇岛博硕等十余家企业。其中秦皇岛奥瑞特、上海申科公司和秦皇岛博硕占到总市场90%以上的份额。中国前30名光伏组件封装企业所使用的层压机有90%是上面三个公司所生产的。秦皇岛奥瑞特可提供各种规模的全系列层压设备，上海申科公司一般提供大型全自动封装设备。

激光划片机的生产商包括武汉三工、深圳大族、珠海粤茂等。组件测试仪的生产商包括上海交大太阳能所、西安交大太阳能所等。光伏组件生产线可以全部采用国产化设备，虽然不是全自动化生产，但有成本上的优势。自动化程度高的串连焊接机和铺设机正在开发和试用过程中。

4.3 中国与国际晶体硅光伏产业链成本及价格分析

由于中国光伏组件产品98%以上出口，因此国内光伏组件价格基本上跟随国际价格。2008年金融危机爆发前晶体硅光伏组件的价格比2007年有所上涨，平均价格从3.60美元/Wp涨到4.26美元/Wp。全球金融危机爆发后，多晶硅材料价格大幅下滑，组件价格降至2.8美元/Wp。伴随着金融危机的影响加剧，光伏组件价格有进一步下降的趋势。

基于2009年3月的市场数据，中国与国际光伏组件成本及市场价格构成如图4-10所示。其中国内多晶硅材料按市场现货采购价90美元/kg计算，按照7g/Wp多晶体硅计算，则每公斤硅材料可生产144Wp太阳电池，相当于市场现货采购价0.63美元/Wp。

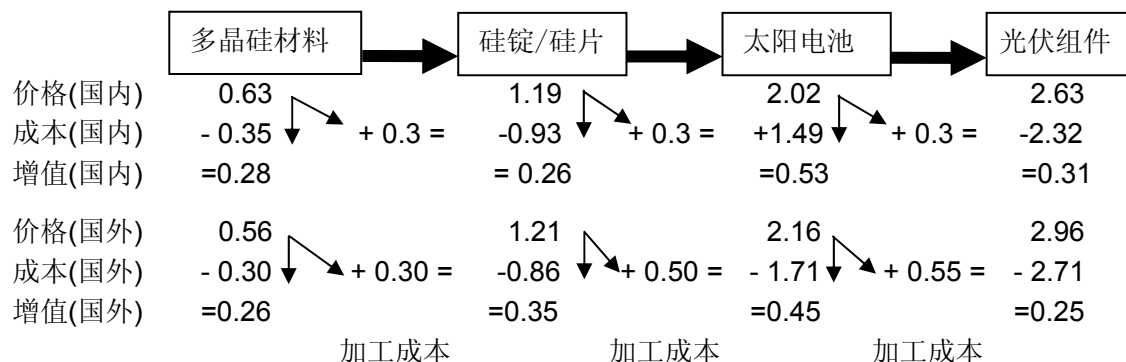


图4-10 中国与国际光伏组件成本及价格构成（单位 美元/Wp）

（部分数据来源：Barclays Capital in the United States, Industry Report, February 09, 2008）

对于国内和国外光伏组件厂家来说，成本构成不同，如表4-10和图4-11所示。国内光伏组件总成本为1.53美元/Wp，其中多晶硅材料0.63美元/Wp，占总成本的41.2%。国外光伏组件总成本为1.91美元/Wp，其中多晶硅材料0.56美元/Wp，占总成本的29.3%^[5]。相比之下，国内光伏组件多晶硅成本所占比重过高。究其原因，近几年来，国内光伏产业发展迅猛，多晶硅需求出现快速增长，而国内多晶硅材料产量小，造成多晶硅材料极度短缺，价格不断上涨。有资料显示，2005年，国内多晶硅价格为66美元/kg，到2006年第四季度突破300美元/kg后，2007更是创出400美元/kg的新高。

表4-10 中国与国外光伏组件成本构成 单位：美元

生产环节	多晶硅材料	硅锭/硅片	太阳电池	光伏组件
成本(国内)	0.63	0.3	0.3	0.3
占成本(%)	41.2	19.6	19.6	19.6
成本(国外)	0.56	0.30	0.50	0.55
占成本(%)	29.3	15.7	26.2	28.8

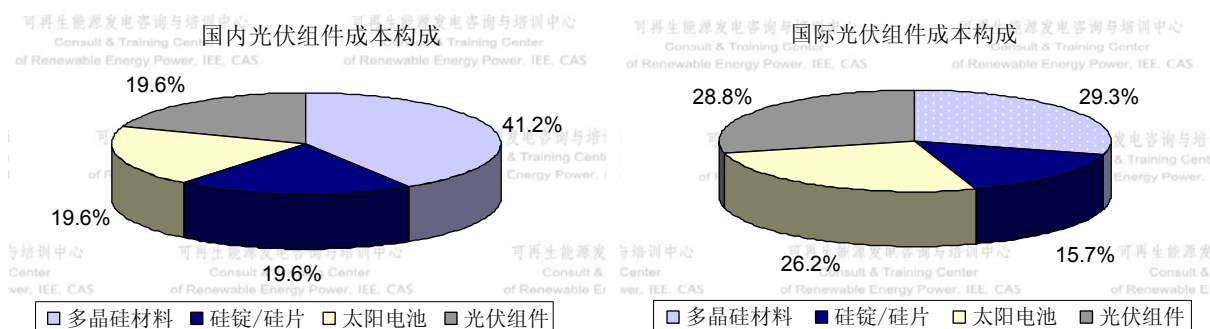


图4-11 中国与国外光伏组件成本构成

国内组件的生产在硅锭/硅片、太阳电池、组件封装三个环节所用成本仅为0.9美元/Wp，占总成本的58.8%，而国外的三个环节成本为1.35美元/Wp^[5]，占总成本的70.7%。与国外相比，国内劳动力相对低廉，土地价格便宜，工业用电价格较低，某些工艺技术领先（如切片薄等）等，这些有利因素在一定程度上抵消了国内光伏组件多晶硅材料成本高的不利因素。

事实上，金融危机爆发前，与国外光伏产业相比，国内光伏产业各生产环节增值空间较小。2008上半年，在多晶硅材料价格为260美元/kg时，多晶硅材料生产环节增值空间巨大，国内企业增值可以达到1.62美元/Wp，是国外的2.3倍。国内硅锭/硅片、太阳电池制造、光伏组件封装环节增值为0.26美元/Wp、0.68美元/Wp、0.43美元/Wp，均比国外相同的生产环节低。金融危机爆发后，多晶硅材料价格的下降使得国内硅锭/硅片、太阳电池制造、光伏组件封装环节增值与国外生产环节基本持平，如图4-12所示。

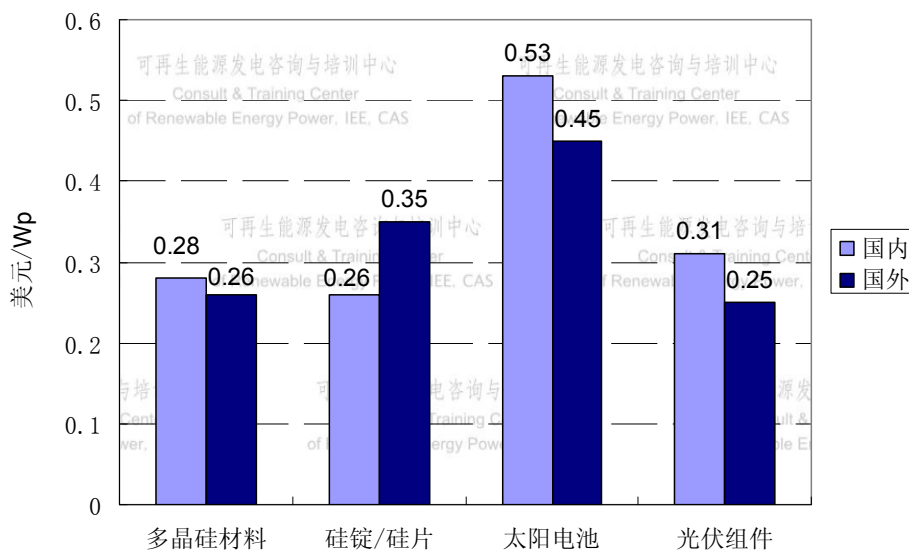


图 4-12 国内外光伏组件各生产环节增值空间对比

通过图4-11可以看出，多晶硅材料价格是影响国内光伏组件成本的主要因素。实际情况是，近几年来，国内光伏产业发展迅猛，多晶硅需求出现快速增长，而国内多晶硅材料产量小，造成多晶硅材料极度短缺，价格不断上涨。有资料显示，2005年，国内多晶硅价格为66美元/千克，到2006年第四季度突破300美元/千克后，2007年更是创出400美元/千克的新高。金融危机爆发后，多晶硅材料价格大幅下降，目前已降至80-90美元/千克。在硅锭/硅片、太阳电池、组件封装三个环节所用成本为0.9美元/Wp的前提下，如果多晶硅材料价格降到60美元/千克，光伏组件成本可以下降到1.32美元/Wp，如果多晶硅材料价格降到50美元/千克，光伏组件成本可以下降到1.25美元/Wp。如图4-13所示，可以看出多晶硅材料价格对国内组件成本的影响。

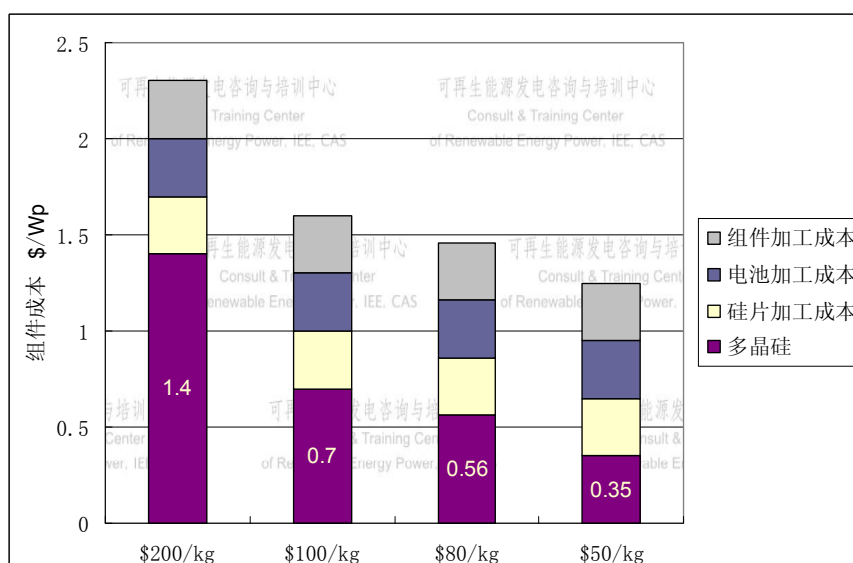


图 4-13 多晶硅材料价格对光伏组件成本的影响

多晶硅材料价格有进一步下降的趋势。一方面,受金融危机影响,全球多晶硅材料供需紧张的形势有所缓和,价格逐渐回归理性。另一方面,全球新增多晶硅产能陆续达产,特别是国内近10多家大型多晶硅企业的投产,缓和了国内多晶硅材料短缺的形势。2006年国内掀起的多晶硅项目建设热潮已进入结果期,目前国内规划的多晶硅产能高达10万吨,在建产能约4万吨。随着这些项目陆续投产,2009-2010年我国的多晶硅产量预计分别可以达到1万吨和3万吨。

4.4 中国晶体硅光伏产业技术发展潜力及成本发展趋势

近几年来,中国晶体硅光伏组件制造技术取得了巨大进步。围绕着降低成本的各种研究开发工作取得了显著成就,表现在多晶硅原材料制备技术取得巨大突破、硅片厚度持续降低、电池效率不断提高等方面,光伏组件的成本正快速下降。

1. 多晶硅原材料制备技术取得实质性突破

近两年来,国内一些企业引进、消化和吸收欧美国家的改良西门子法多晶硅提纯技术,在生产实践中自主创新,取得多项具有自主知识产权的技术。多晶硅提纯技术上取得巨大突破,使得我国光伏产业所需的多晶硅原材料不再受制于人。国内优秀企业生产能耗水平接近国际最好水平,生产全过程无污染。预计今后2-3年内,中国优秀多晶硅企业的生产成本可降到30美元/千克,甚至更低。多晶硅材料成本的降低将直接导致光伏组件制造成本下降。如果多晶硅材料价格能够降到40美元/千克,可以使光伏组件成本下降到1.18美元/峰瓦,是目前成本的77%左右。

2. 硅片厚度持续降低

降低硅片厚度是减少硅材料消耗、降低晶硅太阳能电池成本的有效技术措施之一。30多年来,太阳能电池硅片厚度从七十年代的450~500 μm 降低到目前的180~200 μm ,降低了一半以上,对太阳能电池成本降低起到了重要作用。目前,国内优秀企业电池片厚度已达到国际先进水平180 μm 。硅片厚度的降低趋势如表4-11和图4-14所示。在不增加碎片率的前提下,如果太阳能电池厚度从180 μm 降到160 μm ,太阳能电池硅用量可减少10%,组件成本可下降6%。

表4-11 晶体硅太阳能电池硅片厚度的降低

年份	硅片厚度, μm	硅用量, 吨 / MWp
20世纪70年代	450~500	>20
20世纪80年代	400~450	16~20
20世纪90年代	350~400	13~16
2006	200~220	10~11
2007	180~200	9~10
2008	180	~7
2010	160	~6

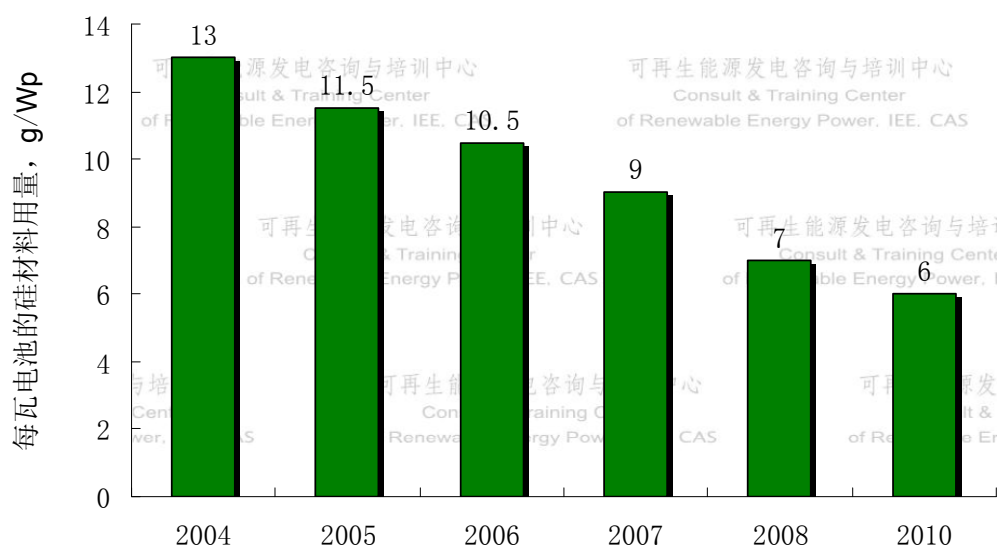


图4-14 2004-2010年晶硅电池硅消耗量的降低

3. 电池效率不断提高

单晶硅电池的实验室效率已经从50年代的6%提高到目前的24.7%，多晶硅电池的实验室效率达到了20.3%。先进技术不断向产业注入，使商业化电池技术不断得到提升。目前商业化晶体硅电池的效率达到14%~20%（单晶硅电池16%~20%，多晶硅14%~16%）。晶体硅电池的效率提高1%，太阳能电池成本可下降10%。

4. 生产规模持续扩大

根据《2007中国光伏发展报告》，生产规模与成本降低的关系体现在学习曲线率LR（Learning Curve Rate）上，即生产规模扩大1倍，生产成本降低的百分比，对于太阳能电池来说，LR=20%（含技术进步在内），即生产规模扩大1倍，生产成本降低20%^[6]。

生产规模不断扩大是太阳能电池生产成本降低的重要方面。中国太阳能电池产业的发展已经从上世纪80年代的起步阶段，发展到2000年的年生产能力4.5MWp，2007年的年生产能力2,900MWp。电池单厂生产规模已经从上世纪80年代的0.1~0.2MWp/年发展到2000年的0.1~2MWp/年，2006年10~350MWp/年，2007年10~500MWp/年。2008年底，

无锡尚德已形成年生产能力1GWp。

5. 辅助材料国产化

我国在太阳能电池辅助材料方面也发展很快，如：铝浆、EVA和光伏组件超白玻璃、连接器等都已经实现国产化，并规模化生产，已经初步可以满足目前我国光伏产业需要，这使得组件成本有所下降。

综合以上几方面因素，光伏组件成本有望到2010年降至9.6元/Wp（1.4美元/Wp）甚至更低。

4.5 中国光伏发电系统成本与电价的研究与分析

1. 并网光伏发电系统成本与电价测算

1) 系统构成

与公共电网相联接且共同承担供电任务的太阳能光伏发电系统称为并网光伏系统。它是太阳能光伏发电进入大规模商业化发电阶段、成为电力工业组成部分的重要发展方向，是当今太阳能光伏发电技术发展的主流趋势。

并网光伏发电系统通过光伏阵列将太阳能转换为直流电能，由并网逆变器将发出的直流电逆变成交流电并入电网。并网光伏发电系统由光伏阵列、并网逆变器等组成。

2) 并网光伏发电系统电价测算

初始条件：

(1) 系统初始投资

2008年，并网光伏发电系统成本每kWp大约为4万元。金融危机爆发后，光伏组件价格大幅下滑，根据敦煌10MWp并网光伏项目招标的情况，国内组件价格已降至14-16元/Wp。并网光伏发电系统成本降至2.75万元/kWp，构成如表4-12。

表4-12 1kWp并网光伏发电系统投资成本构成

项目	投资（万元）	比例（%）
光伏组件	1.50	54.5
并网逆变器	0.25	9.1
配件	0.5	18.2
其他费用	0.5	18.2
合计	2.75	100

(2) 年运行维护费

运行维护费=固定资产投资×运行维护费率。

光伏电站不消耗燃料，没有燃料支出。建筑并网光伏系统和开阔地并网光伏系统可



无人值守，低值易耗品和维护用品的费用很少；运行维护费率为大约0.2%。

(3) 工资及福利费

建筑并网光伏发电系统的运行不需人值守，只需要兼职管理，所以这部分的费用率为初始投资的0.8%。开阔地并网光伏系统虽然需要专人管理，但工作量较小，费用率也采用0.8%。

(4) 设备更新和大修费

光伏组件的寿命长达20-30年，并网光伏发电系统没有蓄电池组，不需要考虑光伏组件的更新和蓄电池维修费用；逆变器和其它电气设备在寿命周期内只需要部分更新，全部电器设备在寿命期内的更新和大修费用按照逆变器的一次初投资计算，大约占并网光伏发电系统初始投资的8-10%。

(5) 折旧费

折旧费=固定资产原值×折旧率

其中，固定资产原值=初始投资×80%；

折旧率=1/折旧年限×100%=1/20×100%=5%。

固定资产折旧提取后用于冲销贷款本息。

(6) 财务费用

假设初始投资的80%为贷款，20%为自有资金。

贷款利息：贷款期限20年，年利息率6.12%。

内部收益率：10%。

(7) 税率

光伏发电系统免征所得税，增值税税率为8.5%，城市维护建设税是增值税的5%，教育附加税是增值税的3%。

(8) 发电量的测算

光伏发电系统的发电量主要取决于当地的太阳能资源、系统的运行方式和系统中各环节的效率。不同的发电系统的效率不同，因此不同发电系统的发电量也不相同。

(9) 系统效率

建筑并网光伏发电系统安装角度受到建筑结构的限制，朝向损失较大，系统综合效率大约74%（逆变器效率95%，朝向损失15%，其它效率92%）；

建立在开阔地的并网光伏发电系统基本没有朝向损失，但增加了升压变压器，而且荒漠地区灰尘遮挡比城市严重。总体运行综合效率大约80%（逆变器效率95%，变压器



效率95%，其它效率89%)。

(10) 年有效利用小时数

不同类型光伏发电系统平均有效利用小时数如表4-16所示。在测算中，并网光伏系统年有效利用小时数取作1,500小时，即1kWp光伏组件每年发电1,500kWh。

表4-13 不同发电方式全国平均有效年利用小时数

分类	离网光伏电站 有效利用时数	建筑并网系统 有效利用时数	开阔地并网系统有 效利用时数
年最高	1,668.3	1,815.5	1,962.7
年最低	896.5	975.6	1,054.7
年平均	1,095.7	1,192.4	1,289.1

注：年有效利用小时数 = 年可利用小时数 × 发电系统的综合效率

数据来源：2007中国光伏发展报告

综合以上因素，光伏发电上网价格的计算方法如下：

上网电价（元/千瓦时）=（年资本金收益+年偿还贷款本金额+20年年均偿还贷款利息额+设备折旧+年运行成本）/年发电量

当并网光伏系统年有效利用小时数为1,500小时，可以测算出并网光伏上网电价为2.0元/千瓦时；如果年有效利用小时数达到1,800小时，并网光伏上网电价可降至1.68元/千瓦时。

2) 敏感性分析

(1) 初始投资的敏感性分析

并网光伏系统初始投资占光伏发电成本的60%，对光伏发电成本起决定性的作用。伴随着技术进步、光伏效率的提升、使用寿命增加、规模经济效应，光伏系统初始投资将逐渐降低。参照国际上的有关预测，光伏发电初始投资每年以10%的速度下降^[6]。图4-15给出了光伏发电初始投资每年以5%、10%的速度下降光伏上网电价的降低走势。光伏发电初始投资2.75万元/kWp，年有效利用小时数1,500小时，光伏发电初始投资每年下降10%，2016年光伏上网电价可降到1元/千瓦时。如果太阳制造技术产生巨大突破、材料成本大幅下降，上网电价降到1元/千瓦时的时间也可能提前。

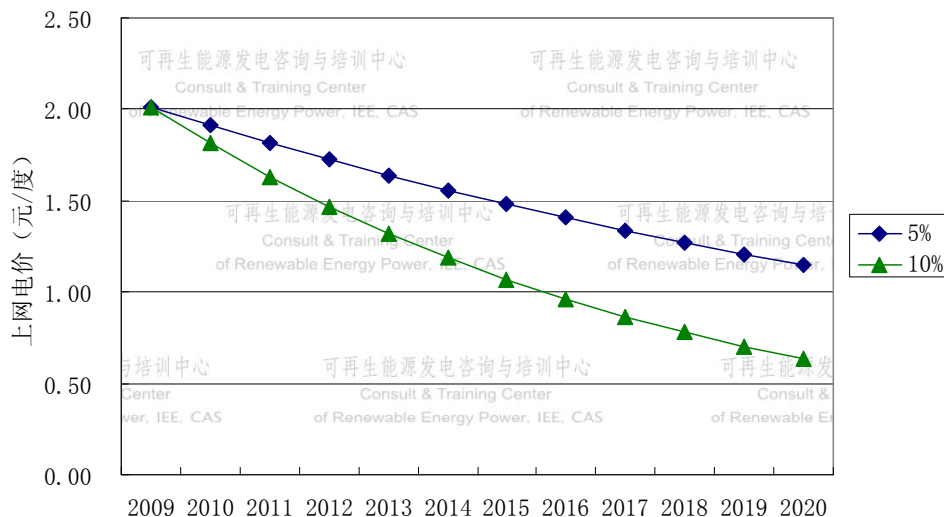


图4-15并网光伏发电上网电价趋势线

(2) 年有效利用小时数的敏感性分析

各地区阳光资源不同，光伏发电有效小时数不同，导致发电量不同。如图4-16所示，分别是年有效小时数1,000、1,400、1,800按照光伏发电初始投资每年下降5%，10%的光伏发电上网电价的趋势线。按光伏发电初始投资2.75万元/kWp，年有效小时数1,800小时测算，光伏发电初始投资每年下降10%测算，2009年光伏发电上网电价为1.68元/千瓦时，2015年可以降到0.89元/千瓦时。

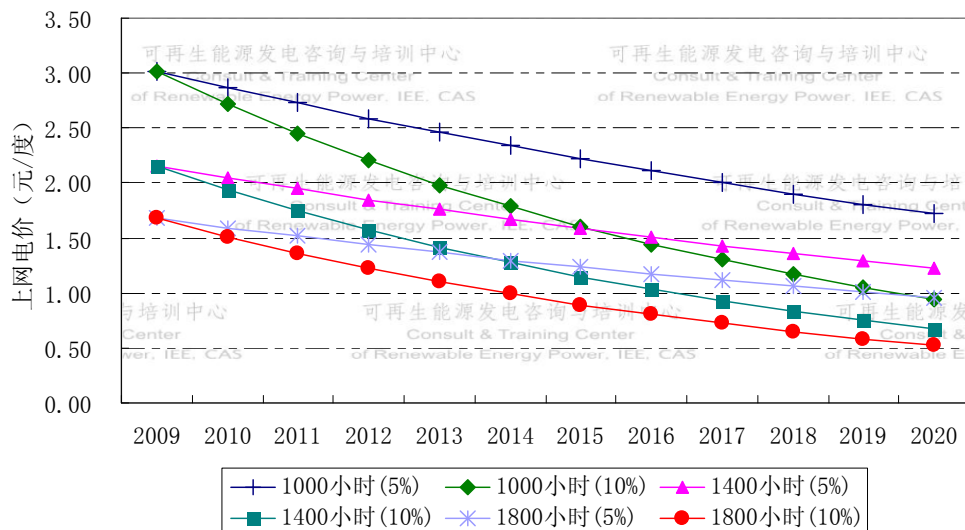


图4-16 并网光伏发电上网电价趋势线（年有效利用小时数1000，1400，1800）

(3) 并网光伏发电成本与火电成本比较

根据课题组对我国传统火电成本的研究，2007年火电发电成本为0.56元/千瓦时。其中包括发电成本0.22元/千瓦时，考虑煤炭开采、运输和使用造成的发电外部成本，火

电外部成本约为0.34元/千瓦时。据统计，自2002年我国煤炭价格放开后，原煤平均价格从121元/吨，猛涨到2007年的507元/吨，年均增长率达到33%。保守估计，按火电发电成本本年增长率5%测算，2020年火电发电成本将达到1.01元/千瓦时。另外，随着煤炭开采量逐年增加，煤炭资源的紧缺程度日益加剧，煤炭价格必然越来越高，必然导致火电发电成本的快速升高，火电发电成本的年均增长率可能会在5%的基础上每年增加0.5%。在图4-17中显示了火力发电成本的增长趋势。可以看出，按光伏发电初始投资2.75万元/kWp，每年以10%的速度下降，年有效小时数1800，火电发电成本0.59元/千瓦时，年均增长率5%测算，光伏发电成本与火力发电成本将在2016年交汇，即成本大致相同在0.8元/千瓦时。

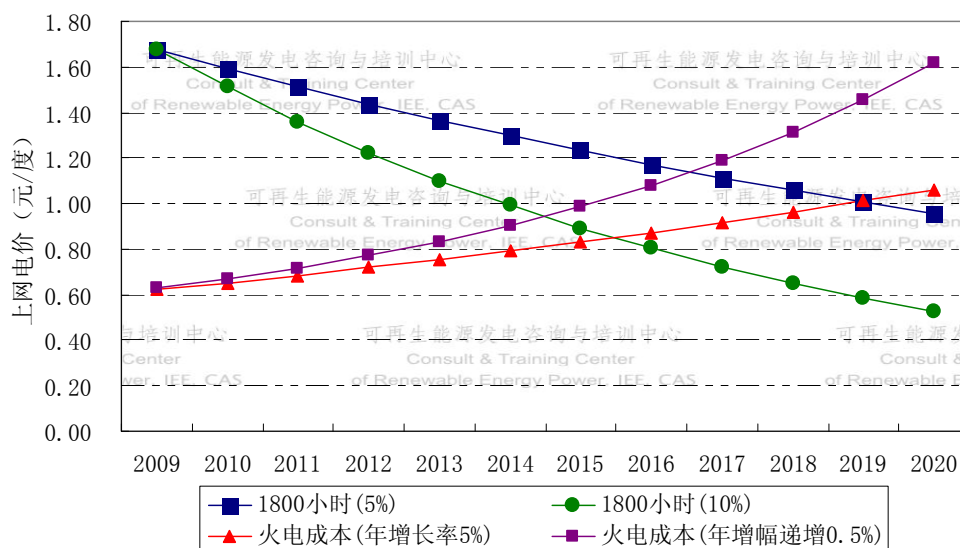


图4-17 光伏发电与火力发电成本发展趋势

2. 国外光伏发电电价预测

1) 日本光伏发电电价预测

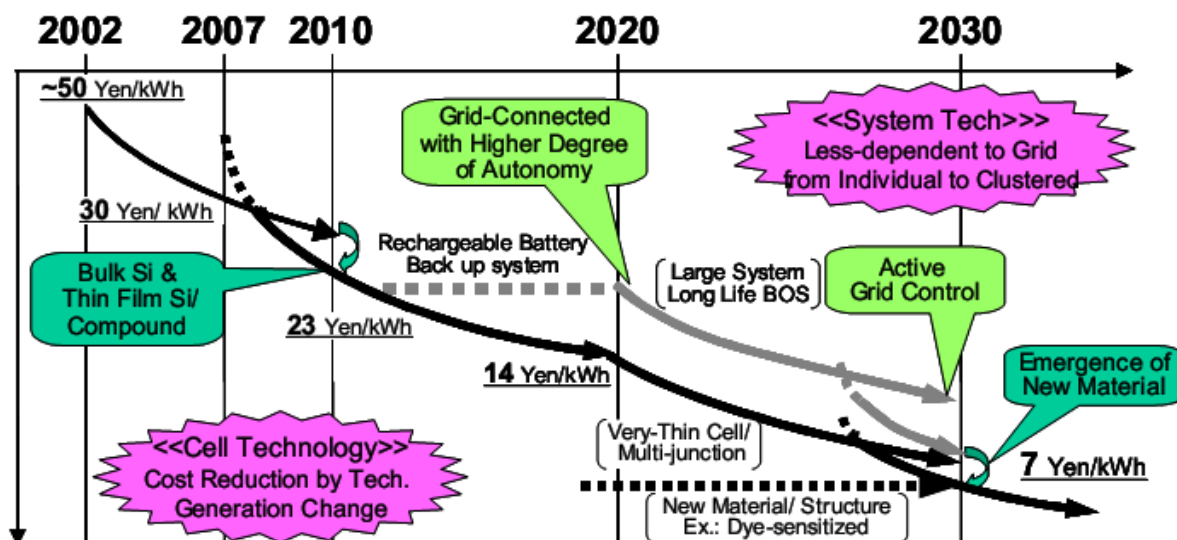


图4-18 日本光伏发电成本发展走势

日本新能源·产业技术综合开发机构(NEDO)在其研究报告“PV Roadmap Toward 2030”中预测,如图4-18所示,2010年日本光伏发电成本将下降到23日元/千瓦时(折合人民币1.53元/千瓦时),2020年光伏发电成本下降到14日元/千瓦时(折合0.93元/千瓦时),2030年光伏发电成本下降到7日元/千瓦时(折合0.47元/千瓦时)。

2) 德意志银行的预测

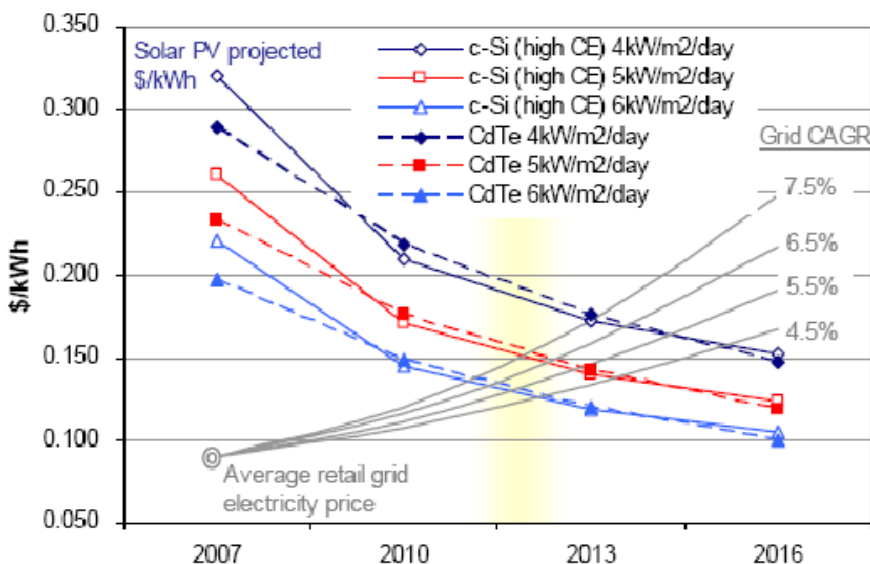


图4-19 德意志银行预测的光伏发电成本发展走势

德意志银行在其报告“Solar PV Industry Outlook and Economics”中预测,如图4-19所示,在三种不同日照条件下(4、5、6kWh/m²/day)到2016年无论晶体硅还是碲化镉(CdTe)太阳电池的发电成本都将下降到0.15美元/千瓦时(折合1.02元/千瓦时)以下^[7]。

3) EPIA和Green Peace 的预测

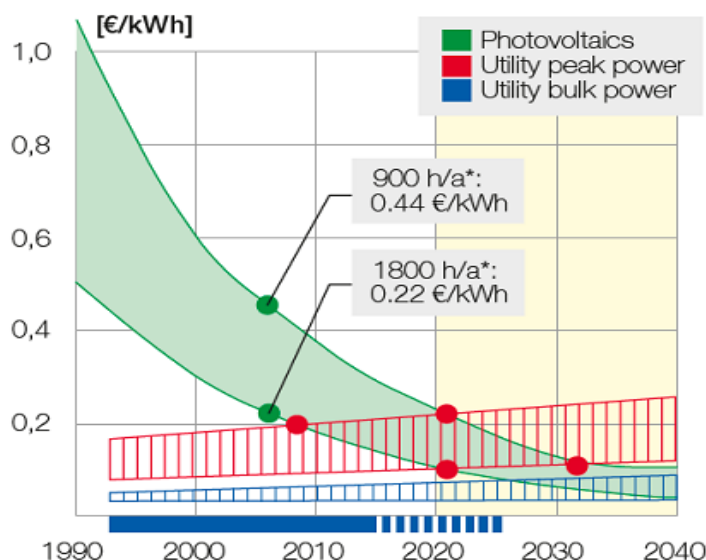


图4-20 EPIA和Green Peace 预测的光伏发电成本发展走势

注：h/a* 年有效利用小时数，欧洲北部国家年有效利用小时数900小时，欧洲南部国家年有效利用小时数1,800小时。

欧洲光伏工业协会（EPIA）和绿色和平组织（GreenPeace）预测，如图4-20所示到2015年光伏电价将下降到0.16欧元/千瓦时（折合1.5元/千瓦时）左右，2020年下降到0.11欧元/千瓦时（折合1.0元/千瓦时）左右。

4) Q.CELLS预测

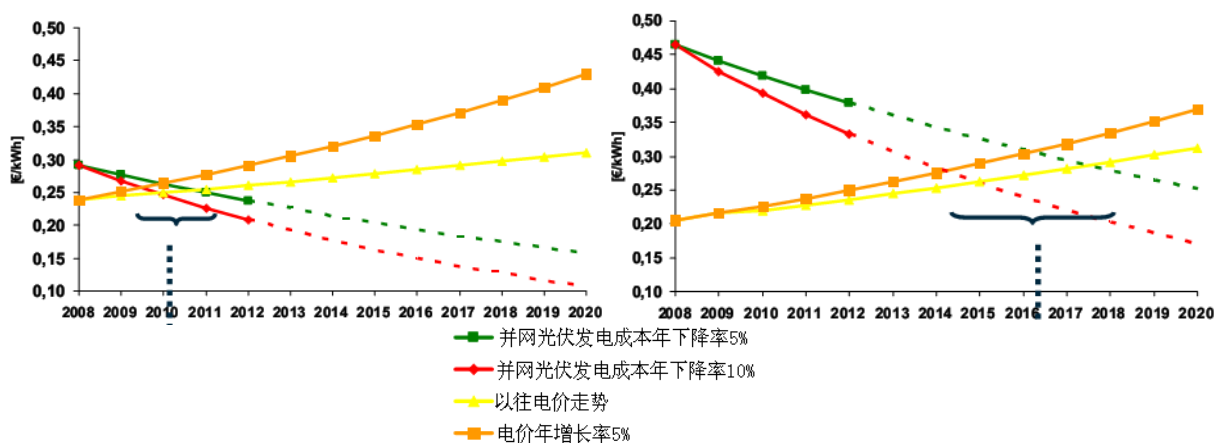


图4-21 Q.CELLS预测的光伏发电成本发展走势

如图4-21所示，世界光伏第一大厂Q.CELLS预测意大利光伏电价2019年达到0.11欧元/千瓦时（折合1.0元/千瓦时），德国光伏电价2020年达到0.16欧元/千瓦时（折合1.5元/千瓦时）^[8]。

综合以上4家国外研究机构及光伏企业对光伏发电成本的预测，并网光伏发电成本在2015-2017年将达到0.15美元/千瓦时（折合1.02元/千瓦时）。常规电价2000年以来

以每年4%的幅度上涨，而在今后10年内将以5-7%的速度上涨，电价将从2006年的0.086美元/千瓦时（折合0.58元/千瓦时）上涨到2019年的平均0.16美元/千瓦时（折合1.06元/千瓦时）。光伏的发电成本有望在2016-2017年达到同常规电价一致0.14美元/千瓦时（折合0.95元/千瓦时）。

3. 离网光伏发电系统

1) 系统构成

未与公共电网相联接独立供电的太阳能光伏电站称为离网光伏系统。主要应用于远离公共电网的无电地区和一些特殊场所，如为边远偏僻农村、牧区、海岛、高原、沙漠的农牧渔民提供照明、看电视、听广播等基本的生活用电，为通信中继站、沿海与内河航标、输油输气管道阴极保护、气象电站、公路道班以及边防哨所等特殊处所提供电源。

离网光伏发电系统主要包括太阳能电池方阵（光伏阵列）、蓄电池组、控制器、逆变器等。如系统需要、当地资源丰富，可以与柴油发电机组、风力发电机组结合，构成风/光/柴互补系统。

离网光伏发电系统在我国主要用于解决西部边远农村供电问题和部分通信基站。到目前为止，有1,000多座离网光伏电站运行于西部省区。

2) 离网光伏发电系统度电成本分析

初始条件：

- 离网光伏发电系统初始投资为6万元/kWp；
- 年利率6.12%；
- 系统寿命20年；
- 年有效利用小时数800小时；
- 系统综合效率68%；
- 寿命期内日常维护费率初始投资比例10%；
- 寿命期内技术支持费率占初始投资比例25%；
- 寿命期内管理费费率占初始投资比例5%；
- 主要部件更换及大修费费率占初始投资比例20%，寿命期内更换3次。

按照以上条件对离网光伏发电系统度电综合成本进行测算，可以得出离网光伏发电系统年运行维护费用及度电综合成本如表4-14所示。



表4-14离网光伏发电系统年运行维护费用（平均到单位kWp）及度电综合成本

项目	金额（元）
初始投资	60,000
年日常维护费	300
年技术支持费	750
年管理费	150
每次部件更换费	12,000
度电综合成本	14.53

离网光伏发电系统成本较高，一方面由于系统含有储能装置（蓄电池），采用镉镍电池20年内需更换3次，如采用铅酸电池20年内需更换6-7次，造成系统初始投资高；另一方面由于离网光伏发电系统地处偏远地区，交通不便，系统维护费用较高。

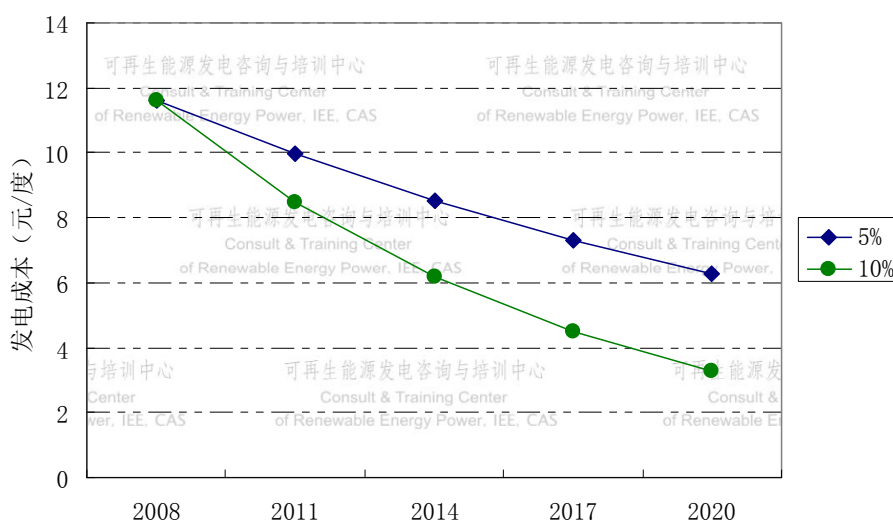


图4-22 离网光伏发电度电成本走势

按照离网光伏发电系统初始投资6万元/kWp，年有效小时数800小时测算，图4-22显示初始投资每年分别下降5%、10%，度电综合成本的下降趋势。如图4-21所示，2008年离网光伏发电成本为11.6元/千瓦时，2011年8.5元/千瓦时，2020年可以降到3.3元/千瓦时。

4.6 小结

1. 中国光伏产业现阶段主要特点：1) 中国光伏产业链趋于完整，光伏产业格局从以往“头小尾大”转变为“上游企业有所突破、中游企业迅速壮大、下游企业不断涌现”；2) 中国光伏产业发展迅猛，2002-2008年最高增长率达到300%，2007、2008连续两年光伏组件产量世界第一；3) 产业投资规模大，其中：多晶硅项目建设规模超过10万吨，总投资超过1,000亿，硅锭/硅片、电池、组件环节已形成5,000兆瓦产能，固定资产投资达500亿元，在建产能3,000兆瓦，投资300亿元；4) 中国光伏产业增

长非常快，但存在着光伏组件市场在国外，产业地区分布不均衡等突出问题；5) 全球金融危机爆发后，市场需求下降，中国光伏产业面临巨大风险，同时也大有逆势而上大发展的良好机遇。

- 2. 中国光伏产业链现状：**1) 多晶硅提纯技术已取得突破性进展，优秀企业多晶硅提纯最低能耗水平达到127千瓦时/千克，接近国际最好水平；十多家多晶硅企业投产、达产，2008年产量已达到4,500吨；2) 晶体硅锭/硅片的制造、加工技术已经达到国际先进水平，技术先进企业能耗仅为62千瓦时/千克，主要生产设备已实现国产化，2008年硅锭/硅片产量达到20,000吨；3) 晶体硅太阳能电池制造技术先进，优秀企业的太阳能电池生产技术与国际上同步，太阳能电池制作阶段能耗约为220kWh/kWp，2008年太阳能电池产量达到2,000MWp；4) 光伏组件封装产业生产工艺成熟、生产设备国产化率高，从事企业有330余家，形成的封装能力达到5,000MWp。
- 3. 中国光伏产业链成本及价格现状：**2008年晶体硅光伏组件价格比2007年有所上涨，平均价格4.26美元/Wp。金融危机爆发后，晶体硅光伏组件价格大幅下降，已降至2.8美元/Wp。中国晶体硅光伏组件价格与国际价格基本持平，但成本构成比例不同，国内多晶硅材料占光伏组件总成本的41%，国外仅为29%。与国际同类产品相比，中国光伏产品具有多晶体硅原材料成本高、劳动力成本低等特点。
- 4. 中国光伏产业链技术发展潜力及成本发展趋势：**中国晶体硅光伏组件的成本、价格的下降是必然趋势。一方面，中国晶体硅太阳能电池制造技术已取得了巨大进步，表现在多晶硅原材料制备技术取得巨大突破，硅片厚度持续降低、电池效率不断提高等方面；另一方面，受金融危机影响，多晶硅原材料现货价格较2008年最高价下降70%，价格趋于理性，将大大降低光伏组件成本。
- 5. 中国光伏发电系统成本与电价：**伴随着技术进步、光伏效率的提高、使用寿命增加、规模经济效应，光伏发电上网电价将逐渐降低。光伏发电初始投资2.75万元/kWp，年有效利用小时数1,800小时，并网光伏上网电价为1.68元/千瓦时。按光伏发电初始投资2.75万元/kWp，每年以10%的速度下降，年有效利用小时数1,800小时，火电发电成本0.59元/千瓦时，年均增长率5%测算，光伏发电成本与火力发电成本将在2016年交汇，成本大致在0.8元/千瓦时。

参考文献

- [1] 陈其珏、余飞飞，四季报亮相一体化光伏企业表现不俗，

http://www.cs.com.cn/ssgs/04/200903/t20090305_1778491.htm

- [2] 赵玉文、王斯成、王文静、励旭东等，中国光伏产业发展研究报告（2006—2007）
- [3] 江苏中能硅业科技发展有限公司，关于多晶硅项目发展情况的专题汇报
- [4] 鹤壁市光伏产业综合开发项目<http://www.hbzs.gov.cn/zsxmlInfo.asp?Id=485>
- [5] Ryan Wiser, Cost and Price of PV Manufacturing Components
- [6] 李俊峰、王斯成等，2007中国光伏发展报告，中国环境科学出版社
- [7] 李俊峰，光伏行业最新市场分析
- [8] Q-CELLS SE REPORT AS OF 30 SEPTEMBER 2008



5. 制约中国光伏市场发展的主要因素

5.1 我国光伏市场的发展现状及其特点

1. 我国光伏市场的发展现状

从上个世纪80年代起,国家开始对光伏产业和光伏市场的发展给以支持,使光伏系统在工业和农村应用中得到发展。应用领域包括微波中继站、设施防腐阴极保护、农村载波电话、村落供电系统及户用系统等,奠定了我国光伏技术应用的市场基础。

在政府的推动下中国的光伏市场开始有了比较快的发展,先后实施了“西藏无电县建设”、“中国光明工程”、“西藏阿里光电计划”、“送电到乡工程”以及“无电地区电力建设”等国家计划。“九·五”到“十一·五”期间,又开展了多项城市并网光伏发电和大型并网荒漠电站的工程示范。中国政府还不失时机地争取国际援助,开展了多项国际合作计划,大大推动了光伏发电在农村电气化方面的应用推广。截止到2008年底,中国光伏发电的累积装机已达到14万千瓦(140MWp)^[1]。

图5-1^[1]为我国(1990-2008)年光伏系统年安装量(蓝色)和累计安装量(红色)发展情况。蓝色线中间峰值为2002-2003年启动“送电到乡”工程而有较大增长。

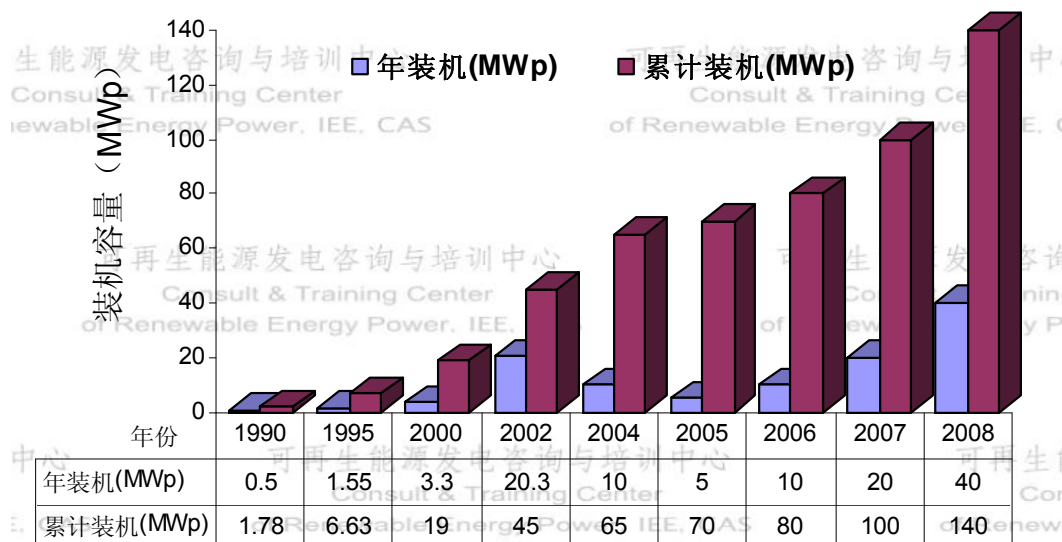


图5-1 1990-2008我国光伏系统的年装机容量和累计装机容量^[1]

2. 我国光伏市场发展的特点

我国光伏市场发展总体上与时俱进,稳步发展。我国的光伏市场具有以下明显的特点:

1) 光伏市场发展严重滞后于光伏产业^[1]

中国光伏产业近几年发展迅速，是世界上光伏产业发展最快的国家。2007年产量达到108.8万千瓦，占世界总产量的27.2%，成为世界第一大太阳能电池生产国，2008年继续位居世界第一。另一方面，我国国内光伏市场的发展依然缓慢，光伏市场和产业之间的发展极不平衡。2007年光伏系统安装了2万千瓦（20MWp），只是我国太阳能电池生产量的1.84%；2008年也只安装了4万千瓦（40MWp），占总产量的2%。见图5-2。

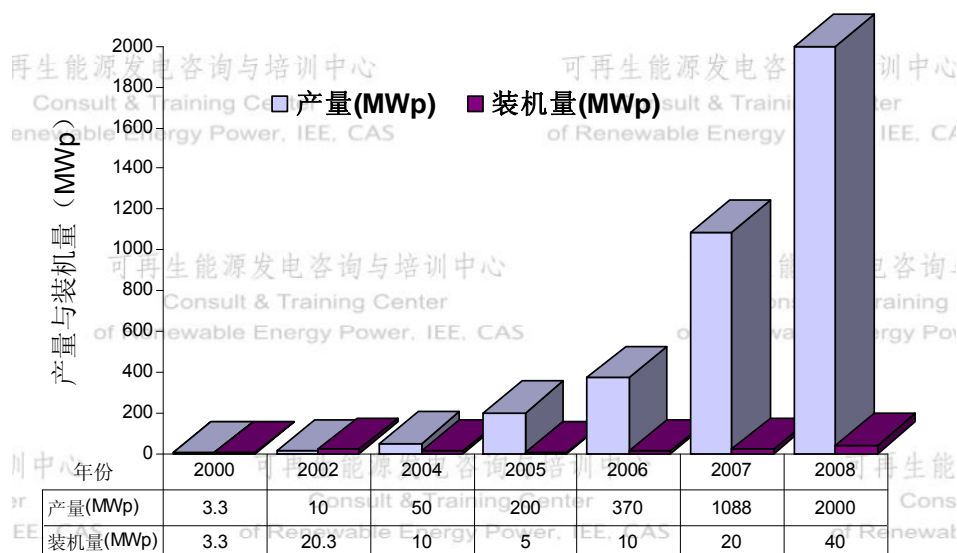


图5-2中国太阳能电池年产量和年装机容量

2) 我国光伏市场的发展严重落后于世界^[1]

虽然近几年我国太阳能电池生产的年增长率远远超过世界水平，然而我国光伏市场却大大落后于世界光伏市场的发展。例如在2006年我国光伏电池产量占世界的17.1%，而光伏市场仅占世界的0.57%；2008年我国光伏电池产量占世界的31.3%，光伏系统安装量占世界总安装量(560万千瓦)的0.71%。截止2008年底，我国光伏系统累计安装14万千瓦(140MWp)，不足世界累计安装量（1800万千瓦）的1%，见表5-1。

表5-1 2003-2008年中国及世界太阳能电池的年生产量及市场份额

年份		2003	2004	2005	2006	2007	2008
中国	年产量(MWp)	12	50	143	438	1,088	2,000
	年增长率(%)	100	317	186	206	148	84
全世界	年产量(MWp)	744	1,200	1,760	2,560	4,000	6,400
	年增长率(%)	32.5	61	47	45	56	60
中国光伏电池产量所占份额(%)		1.6	4.2	8.1	17.1	27.2	31.3
我国光伏市场在世界市场的份额(%)		0.5	0.3	0.3	0.57	0.71	0.71

3) 中国的光伏应用主要是离网系统，世界光伏发电以并网为主^[1]

我国光伏市场主要分布在离网发电等光伏应用方面，以独立系统为主，包括农村电气化、通信和工业应用以及太阳能商品电源等等，并网光伏发电应用比例还很小。到2008

年底，中国光伏发电累计14万千瓦(140MWp)的装机容量中，并网光伏不到20%。其市场分布见表5-2^[2]。

表5-2 中国近年光伏发电累计装机和市场分布

市场	累计安装量 (MWp)			累计市场份额 (%)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
农村电气化	33	42	48	41.3	42	34.3
通信&工业	27	30	35	33.8	30	25
光伏产品	16	22	30	20	22	21.4
城市并网	3.8	5.6	26.1	4.8	5.6	18.6
开阔地并网	0.2	0.4	0.9	0.3	0.4	0.6
合计	80	100	140	100	100	100

与中国的光伏市场不同，早在2000年世界并网光伏发电所占份额就已经超过50%，2007年达到92%，截止到2007年底的累计市场份额已经超过80%，成为世界光伏发电市场的主体。见表5-3与图5-3。

表5-3 世界(2000-2007)年并网/离网光伏市场对比

年份		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	总量
并网	安装量 (MWp)	124.8	198.4	306	476	891	1252	1543	2600	7566.2
	年增长率 (%)		59.0	54.2	55.6	87.2	40.5	23.2	68.5	
离网	安装量 (MWp)	115.2	121.6	146	134	195	198	207	226	1747.8
	年增长率 (%)		5.6	20.1	-8.2	45.5	1.5	4.5	9.2	
总量	安装量 (MWp)	240	320	450	610	1086	1450	1750	2826	9312
	年增长率 (%)		20	33.3	40.6	35.6	78.0	33.5	20.7	61.5
并网比例 (%)		52	62	68	78.03	82.04	86.34	88.17	92	81.25

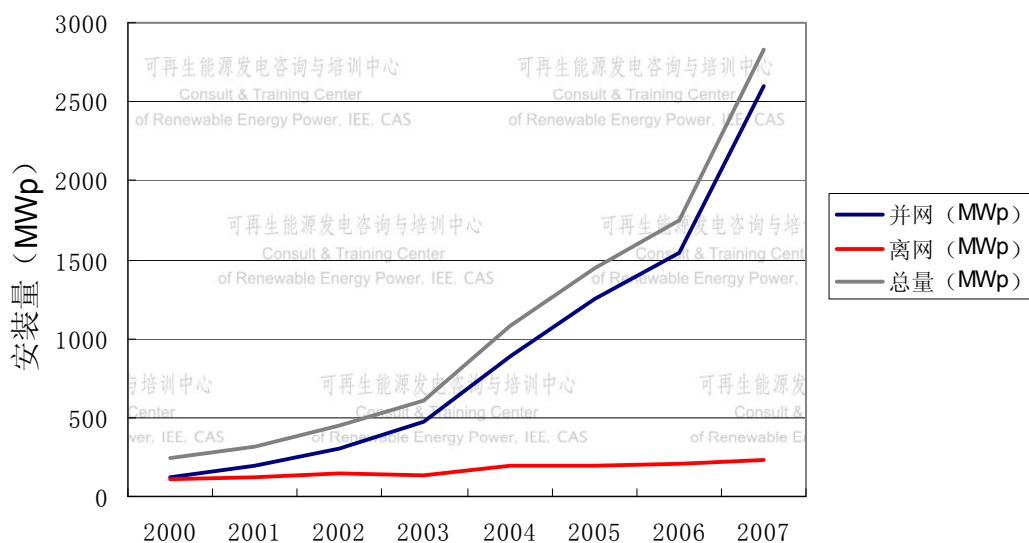


图5-3 世界光伏发电市场的增长

4) 中国目前的光伏市场主要依靠政府资金支持



我国目前太阳能光伏市场主要包括两个方面：一方面国家建示范项目、民心工程和国际合作项目，如“西藏无电县建设”、“送电到乡”、“光明工程”等农村和边远地区光伏电源项目的建设，是我国目前光伏最主要的市场和应用领域；还有少量用于具有“科技示范效应”的路灯、广告牌、草坪灯等。这些独立光伏电站和并网光伏电站等光伏项目绝大多数都是在中国政府、外国政府以及国际机构的大量资金支持下完成的。我国光伏市场的另一方面就是无电地区通信、卫星信号的传输和接收，以及输油、输气管道的阴极保护等系统所用的能源，主要由大型国有企业实施，属于商业化的市场。这些需要政府资金和政策支持的项目，直接影响我国光伏市场的发展。例如执行期为2002-2007年的国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP)，总计安装30~35万套太阳能光伏户用电源系统，项目规模达1万千瓦(10MWp)；2002年启动的“送电到乡”工程(SDDX)，光伏装机容量1.96万千瓦(19.6MWp)^[1]。两项合计装机容量近3万千瓦，约占到2007年我国累计装机总量的30%。由于“送电到乡”工程的实施，使2002-2003年的光伏市场有所突增，而2004、2005年又大幅度回落。2006年实施《可再生能源法》，对光伏市场虽有一定激励作用，但由于缺乏在光伏发电方面如何落实和实施的具体政策措施，光伏市场发展依然十分缓慢。近两年则由于北京市及其他各地方政府财政出资，建设诸如城市郊区农村道路照明的独立光伏系统等项目，以及在北京“绿色奥运”理念的推动之下，建设了一批城市并网示范应用光伏系统，我国光伏市场的安装容量又有较大回升(见图5-1)。

5.2 组件的高成本导致系统造价高昂

在光伏发电系统的各组成部分中，最为关键的部分是光伏组件。在离网、并网、光伏屋顶、光伏照明等各种不同类型的光伏系统中，组件价格所占比例各不相同。例如近几年建设的离网光伏系统中，组件约占系统总投资的40-50%；在并网系统中的组件甚至占系统总投资的70-80%；在光伏屋顶、光伏照明等系统中，组件约占30-40%。虽然系统中其它构成部件的价格对系统造价也有较大影响，但组件的价格是光伏系统造价的主要部分，是目前影响光伏系统造价的主要因素。

光伏发电产业链既包括各种设备和部件的生产制造，也包括光伏发电系统的建设与实际应用发电等。其中高纯度多晶硅材料的生产是太阳电池组件生产链条上的关键环节，核心技术“改良西门子法”由少数公司掌握并形成垄断，光伏组件的价格长期居高不下，给光伏发电的规模化应用设置了一道高成本门坎。



近年来国内投资硅锭(硅棒)、硅片的热潮空前高涨,中国光伏产业界经过多年努力,有关企业已攻克“改良西门子法”技术关键,掌握了自主创新的高纯硅生产核心技术,在原材料利用、污染防治、能耗等方面都已达到国际先进水平,期待太阳能电池组件的价格将会有大幅下降。

5.3 光伏并网技术尚未开展规模化实验

1. 我国的并网系统与技术和国际先进水平有一定差距

并网光伏发电要在电力结构中占有一席之地,发挥一定作用,就必须符合目前电力系统的规定和要求,以保证供电的电能质量和系统运行的安全。

中国政府对并网光伏发电技术的研究十分重视。早在“八·五”、“九·五”期间,我国科技部就开始对光伏发电的并网技术、大型光伏电站使用的控制器和逆变器技术等进行了研究和攻关,取得了阶段性成果。在“十·五”期间,将并网光伏发电技术列为重要的研究方向,加强了对并网光伏发电的系统设计、关键设备研制和光伏与建筑相结合等方面的攻关,加速了并网光伏发电技术发展的步伐。目前我国的并网系统技术已基本成熟,关键设备的技术性能指标完全符合电力系统的要求和规定。

无可否认,我国的光伏发电系统仍然存在一些不尽如人意的地方,特别是光伏并网接口的技术标准,尚未制订实施;在并网光伏发电的稳定性、可靠性和对电力系统的影响方面,有待于进行深入研究和探索。由于太阳能具有随机性、不连续性和分散性特点,必须在推广应用光伏发电的过程中,与电力系统紧密配合,解决有关技术问题和电力的调度与管理问题,保证电力系统的安全和可靠供电。要使电力公司放心地接受光伏发电,按照“成本加合理利润”的上网电价全额收购,还需要政府、光伏产业界、电力公司及电力用户共同努力,促进光伏市场的稳定、可持续发展。

2. 并网光伏系统技术未进行一定规模的实用化测试验证

并网光伏系统技术是光伏发电并网进入电力系统的关键,也是整个可再生能源技术中增长最快的技术。国外,光伏并网发电已经成为光伏发电的主导市场。2006、2007年欧洲的并网光伏系统比例达到95%以上,说明光伏发电在能源中正在发挥着愈来愈大的替代作用。

并网光伏发电主要分成两大部分:一是分散的并网光伏系统,如光伏屋顶及光伏建筑一体化系统等,容量为几千瓦至几百千瓦,是典型的位于电网末端的分布式电源;二是开阔地光伏电站,即集中安装、建于荒漠戈壁等开阔地域的并网光伏系统,高压并网,



容量在兆瓦级以上。中国目前已建成上百个光伏并网发电系统，安装的功率范围从千瓦级到兆瓦级，其中5千瓦以上的并网太阳能光伏系统约60座^[1]。

总体上看，我国的并网光伏发电起步较晚，规模小，尚未进行大规模推广应用。光伏发电的大规模并网对电网的冲击和影响，以及电力系统对规模化并网光伏发电的安全防范、电力调度、运行管理方面的问题都没有进行系统深入的研究和实证。我国已建成的光伏并网发电项目都处于试验并网状态，未进行真正实用化意义上的测试和示范研究，没有建立完善的质量标准体系，没有进行有经济意义、对大规模开发光伏并网发电有实用价值的先导性光伏并网实验示范系统。

- 国内尚未进行兆瓦级光伏电站的实用化并网测试与验证，相关的技术、运行管理、经济效益有待实践和探索。
- 分布式及规模化光伏屋顶并网系统开展了示范应用，但是大部分都是展示性质的形象工程，并没有实质性的解决并网运行的技术、管理和经济模式，没有突破规模化推广的管理制度方面的瓶颈。
- 一些光伏建筑一体化应用示范项目主要也是起到展示及宣传效果的形象工程，没有形成技术设计规范和经济运行的政策机制，对技术进步的提升和促进作用有限。

5.4 光伏发电的政策规定缺乏可操作机制

1. 光伏市场需要配套完善的法规政策来推动

在能源形势和人类生态环境恶化的双重压力下，随着光伏产业的巨大技术进步，世界太阳能光伏产业和市场自1990年代后半期起进入了快速发展时期，逐步完善的法规政策是推动这一发展的强大动力。特别是自2004年德国实施了经过修订的“上网电价法”以来，光伏市场快速发展，市场需求急剧扩大，光伏产品供不应求，起到对光伏产业的强力拉动作用。

2. 单靠技术进步难以使光伏发电早日进入电力系统^[1]

光伏产业的发展经验和有关的研究表明，如果组件价格维持3美元/瓦的水平，其发电成本仍然是常规发电（煤电或水电）的8-10倍。根据预测，如果不采取政策激励的措施，只依靠技术进步（包括各国政府的科技支持），光伏发电成本要到2050年左右才有可能接近或达到当时的常规发电成本水平。如果要求光伏发电成本在2020年左右就达到可与常规发电竞争的水平，单靠技术进步远远不够。

3. 单靠政府资金推动的光伏市场难以规模化可持续发展^[1]

到目前为止，中国典型的光伏发电项目，大部分都是在政府政策的推动之下开展和实施的，是在中国政府、外国政府以及国际相关机构的资金支持下完成。但由于主要是政府行为，未能从市场化、商业化的角度制订与项目建设、管理、运行等相关的法规政策，有些规定和要求也不完善、不配套、不健全。这些项目虽然对中国光伏发电产业的发展都起到了积极的推动作用，对我国光伏市场有积极影响，但这种作用和影响均不能持久，未能起到推动我国光伏市场发展的助推器作用，因此中国的光伏发电市场发展依然缓慢。

在离网的独立光伏发电系统的建设方面，特别是国家发改委在2002年组织实施的“送电到乡”工程，总投资47亿元，其中光伏和风光互补电站投资达16亿元，装机容量约1.96万千瓦，是目前国际上投资力度最大的应用光伏发电技术解决农村供电问题的项目。但由于未有相应的配套政策和规定出台，这些已建成项目在管理和运行维护方面都存在或多或少的问题，影响了项目本身的可持续发展和安全可靠地长期运行，也影响了后续项目如“送电到村”、“户户通电”工程的启动和实施。

在光伏并网发电方面，早在“八·五”、“九·五”期间，我国就开始了对并网光伏发电关键技术和设备的研究和攻关。“十一·五”期间，除国家科技部在“863”项目中安排的5个兆瓦级并网示范项目而外，近年来各地方政府自筹资金，在企业的支持下在各地建立一些大型并网光伏工程。如上海崇明岛1兆瓦屋顶光伏系统，上海临港新城1.1兆瓦屋顶光伏系统，保定的1.5兆瓦五星级饭店并网光伏电站，无锡的1.2兆瓦机场和办公楼并网光伏系统，深圳龙港区政府文化园1.2兆瓦并网光伏电站等^[1]，这些兆瓦级并网电站为我国光伏发电应用向并网方向发展起到积极的示范和带动作用。同样由于缺乏针对光伏发电的、市场化运作的配套法规和政策的支持，这些大小不等的并网光伏发电系统，基本都是政府推动的应用示范项目，也没有一个是开发商完全按照商业化运营方式投资建设的项目。出于电网安全等多种因素的考虑，电力公司对并网光伏不是积极主动地介入，而是等待、观望，消极被动地接受。无疑，这些都制约了我国光伏市场的规模化可持续发展。

4. 国家立法对光伏市场发展推动作用巨大^[1]

国际光伏市场的发展经验也说明简单的政策激励难以推动大规模、可持续发展的光伏市场，只有制订可实际操作的国家法规和政策，才能拉动光伏产业健康快速发展。从上世纪70年代地面应用开始，美国就先后制定了一系列鼓励光伏发电应用政策，诸如“百



万屋顶计划”、“PVUSA”等，以鼓励美国发展太阳能光伏发电；日本1974年开始执行阳光计划，以居民屋顶并网发电为重要目标，对光伏系统实施政府补贴政策，不但使日本成为世界最大的太阳电池生产国，而且使日本成为世界光伏市场最大的国家（2006年德国市场开始超过日本）。但是世界上没有第二个国家效仿日本，这是因为用政府财政对产业进行补贴在很多国家行不通或者很难持续下去。政府财政如此使用不但会受到来自不同方面的质疑，而且会因政府或者政府官员的换届等原因，政策缺乏连续性，因而局限性很大。30多年来，许多国家采取过几十种鼓励政策促进可再生能源的发展，但效果都十分有限。只有德国在制定了“上网电价法”以后，拉动光伏市场快速发展，使德国超过日本成为世界最大、发展最快的市场，德国也很快成为世界第二大太阳电池生产国。目前已有比利时、希腊、意大利、法国、西班牙、葡萄牙、澳大利亚、韩国、印度等国家及美国加州等40多个地区纷纷效仿德国实施上网电价法。

5. 政策落实需要注重可操作性

《中华人民共和国可再生能源法》于2006年1月正式实施以后，国家又陆续出台了《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》。有关部门又发布了《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》等一系列支持可再生能源发电的政策规定，为可再生能源发电的大规模发展提供了法规依据和政策保障，有效地推动中国的光伏发电市场。

近几年发布的相关政策法规，主要如下：

2006年4月，国家发改委出台《中华人民共和国可再生能源法》实施细则暂行办法。

2007年1月11日国家发展改革委颁布了《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》（发改价格[2007]44号）。

2007年8月2日国务院办公厅转发《节能发电调度办法（试行）》（国办发[2007]53号），将太阳能、风能等可再生能源发电机组排序在电力调度优先级的首位。

2007年国家电力监管委员会颁布《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》（2007年9月1日生效）。

2007年11月22日国家发改委办公厅发出了《关于开展大型并网光伏示范电站建设有关要求的通知》，要求上报的大型并网荒漠光伏示范电站规模不小于5,000千瓦，明确规定其上网电价将通过招标确定。

关于可再生能源离网独立发电系统后期运营维护补贴，也在相关文件中明确，规定同并网发电系统一样从可再生能源电价附加费中解决。

从上述各政策规定的内容可以看出，中国可再生能源发电的上网政策已基本配套齐

全，在原则上，对于并网光伏发电也是适用的。但由于相关规定对光伏发电采取的是“一事一议”的政策，缺少针对光伏发电特点的、可实际操作的实施细则，使《可再生能源法》在推动中国光伏市场的发展中难以发挥重大作用，以至于国内目前还没有一个具体项目执行了《可再生能源法》中规定的“成本加合理利润”的上网电价，也没有一个项目是开发商完全按照商业化运营方式投资建设的。

- 缺少与实施《可再生能源法》“全网平摊”条款配套的“光伏发电上网电价规定”，使得目前成本还很高的光伏发电难以按照市场规律快速发展。

- 没有具体的专门针对电网企业的“光伏发电电力配额”法律规定，电网公司缺乏光伏发电并网的义务和积极性，光伏发电的大规模并网难以顺利实施。

- 在光伏发电项目投融资方面，没有关于如何进行实际操作的具体要求和规定条款，如减免税政策、减息贴息政策等；以及电价补贴方面，缺乏实际操作规则和程序，使得大规模并网光伏发电难以商业化运作。

- 缺乏具体的光伏发电项目的管理和监督、检查机制，以及违反规定的处理和惩罚措施等方面的政策法规，使得光伏市场的发展缺少明确的法律保障。

5.5 技术标准、认证制度和质量保证体系

1. 相关的技术标准和规范不全面、不完整

1) 光伏产品的技术标准

随着中国加入WTO和光伏产业的迅速发展壮大，光伏标准在中国光伏技术发展、光伏工程、光伏商业活动中作用愈来愈重要，光伏技术标准对光伏市场的健康发展发挥重要作用。我国 1987年正式成立全国太阳光伏能源系统标准化技术委员会（简称标委会），负责全国太阳光伏能源系统的标准化技术归口工作。

我国的光伏技术标准，按光伏电源系统的组成和性质，分为以下类别：名词术语、太阳电池、非聚光组件、系统（独立系统、并网系统）、质量认证和鉴定、BOS（平衡）设备、聚光器组件和测试，各类别具体任务见表5-4。

表5-4 中国太阳光伏能源系统标准体系

类别	任务
1) 名词术语	起草名词术语方面标准
2) 太阳电池	起草太阳电池国家标准及行业标准
3) 非聚光组件	起草非聚光型地面光伏组件国家标准及行业标准。
4) 系统(独立系统、并网系统)	起草光伏系统设备的设计、结构、安装、检验、运行、维护及安全的国家标准及行业标准。
5) 质量认证和鉴定	起草太阳光伏系统设备及其部件的质量保证, 质量评估和鉴定等方面的国家标准及行业标准
6) BOS (平衡) 设备	起草光伏系统中BOS (Balance of System) 设备(蓄电池、充电控制器、逆变器等) 方面的国家标准及行业标准。
7) 聚光器组件	起草聚光型地面光伏组件国家标准及行业标准。
8) 测试	起草太阳电池、组件、系统等与光伏相关的测试方法、测试设备的国家标准及行业标准

2) 国家现有的光伏产品相关标准

中国自上世纪九十年代开始制订光伏技术标准以来, 形成了中国自己的太阳光伏能源系统标准化体系。在全球化进程中, 中国的光伏标准逐渐与国际接轨, 以国际IEC标准转换为中国的标准。在已经出版的标准中, 有18项是等同采用IEC的标准。作为光伏产业大国的中国, 也是IEC成员国, 目前已有两名中国专家参与到IEC的工作组中具体制定国际标准, 中国的标准基本上是国际通用标准。

中国目前已经正式出版的光伏技术标准共有41项, 其中: 国家标准31项, 行业标准10项, 具体名称及编号见参考文献^[1]。

3) 缺乏适用于光伏并网发电的的强制性标准

在我国已颁布实行的光伏技术标准中, 大部分是光伏产品的技术标准, 对于规范光伏发电性能质量、直接影响光伏市场的光伏系统的技术标准和规范尚不全面且不完整, 有关并网光伏发电方面的技术标准, 缺项较多。特别是大型并网光伏电站的相关标准和技术规范还是空白, 严重影响我国光伏市场的规模化健康发展。在41项光伏标准中, 约30项是太阳电池和组件类标准, 与并网光伏发电系统直接相关的仅有3项。

此外, 我国国家标准的出版速度也难以满足快速发展的市场需求。目前国际上光伏标准出台速度加快, 特别是在系统标准方面近一年来出台了许多新的标准, 但中国受每年出版标准数目的限制, 已经完成的标准也迟迟不能出版。表5-5列出了已制定完成等待出版的光伏技术标准, 其中有4项是关于并网光伏系统的。

中国光伏标准的强制性、权威性不足, 也影响到已有标准的执行和我国光伏市场的发展。目前已经制订的一系列关于光伏组件、并网逆变器、接入系统方面相关的标准,

均为推荐标准，没有一个是GB强制标准。例如国家标准：《光伏（PV）系统电网接口特性GB/T20046-2006》，主要采用IEC617271:2004版本，从电网角度出发，对光伏并网系统提出电能质量要求，完全满足电网对上网电力的关键要求；而关于BIPV和大型荒漠电站的国家标准，实际上也已经颁布。但因不是强制标准，权威性不足，实际执行效果难以得到保证。而电网公司也未出台相应的技术标准及管理规范和管理办法，影响了我国光伏市场的规模化推展。

表5-5 已制定完成等待出版的光伏技术标准

太阳电池和组件类标准	<u>光伏器件 第10部分：线性度测量方法</u> <u>地面用晶体硅太阳电池通用规范</u> <u>光伏组件安全鉴定 第2部分：试验方法</u>
<u>光伏BOS部件类标准1项</u> <u>光伏系统类标准8项</u>	<u>并网光伏发电专用逆变器技术要求和试验方法</u> 独立光伏系统技术规范 独立光伏系统的特性参数 独立光伏系统-设计验证 并网光伏发电系统安全规范 光伏系统并网性能测试方法
IEC已经出版目前还没有转化的系统标准	推荐农村电气化的小型可再生能源及互补系统，包含12个部分： 第1部分：农村电气化总论 第2部分：电气化系统的要求和范围 第3部分：项目开发和管理 第4部分：系统选择和设计 第5部分：安全规范 第6部分：认证、操作、维护和更换 第7部分：技术规范：发电机 第8部分：技术规范：蓄电池和控制器 第9部分：技术规范：集成系统 第10部分：技术规范：能源管理 第11部分：技术规范：并网条件 第12部分：其他论题

2. 缺乏权威的认证制度和相应认证机构

1) 我国还没有正式开展光伏领域的认证工作

中国的光伏产业总体上未涉及到重要的安全问题，所以国家还没有对其要求强制认证。而国际市场要求越来越严格的光伏产品认证，迫使中国的光伏产品出口需要得到进口国家认可的检测机构认证后才能出口。国外的认证和产品检测机构在获得了品牌利益和经济利益的同时，强化和扩充了自身的地位，反过来进一步提高认证和测试的门槛，要求中国的厂家无条件地接受。

权威的认证机制是保证质量的基础，强制认证也是国际通行做法。例如，就并网逆

变器及光伏组件而言，如果没有TUV认证（IEC 61646），几乎无法在欧洲进行销售；没有UL认证，就无法打入美国、澳大利亚市场。由于我国没有建立与国际接轨的认证机制，难以保证光伏产品的总体质量，影响了中国光伏行业和光伏市场的健康发展。

2) 国内光伏检测和认证机构权威性不足

国内的主要光伏检测机构有：天津电源研究所（18所），上海空间电源研究所（811所），中科院太阳能光伏发电系统和风力发电系统质量检测中心。设在无锡的“国家太阳能光伏产品质量监督检验中心”已于近期挂牌，将在未来我国光伏技术及光伏市场的发展中充分发挥其质量检测、监督和质量认证作用。

由于设备和条件的限制，我国目前的总体检测水平与国际水平仍有一定差距，没有得到国际上的普遍认同。国内各检测部门正积极努力，与国外著名的光伏检测机构合作，认真开展国际测试比对工作，让国际上认可中国的检测，为今后广泛开展光伏检测及认证奠定基础，促进中国成为世界上最大的光伏产品生产国及最大的光伏应用市场。可喜的是，新近建立的“国家太阳能光伏产品质量监督检验中心”已获授权，可以颁发UL认证及TUV认证，将对我国光伏市场的健康发展起到良好的促进作用。

3) 国内光伏产品认证机制有待于建立与完善

在国家发改委2000年实施的“光明工程”先导项目中，国内就开展了大规模光伏产品质量检测活动，成立了技术专家组，编写了光伏产品质量检测评分办法，为各省的业主公司提供了有力的产品质量保证。随着2002年国内的“送电到乡”项目和“世行光伏产品商业化项目”的实施开展，光伏产品的检测和质量监控越来越被业主单位和用户认知。

为了适应国内外光伏产业飞速发展的现状和趋势，保证中国太阳能光伏产业的健康发展，满足国家建设和终端消费的需要，国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP)开展了“建立中国太阳能光伏产品认证体系”项目。项目承担单位北京鉴衡认证中心(CGC)已召开了“建立中国太阳能光伏产品认证体系”项目启动会暨实施规则研讨会，组织成立了“太阳能光伏产品认证技术委员会”，进行了光伏产品认证的前期准备工作，制定了相关的认证文件和认证程序。权威的认证机构和可以按照相关的国家标准或国际标准进行产品检测并获得相关资质的实验机构，使中国初步具备了从硬件环境上开展光伏产品认证的基础和条件。

3. 质保体系与有效的监督与评估机制不健全

1) 光伏发电系统质量保证体系的构成



质量保障体系是由项目的法规、机制、规范和一系列质量标准构成的，可以分为项目管理方面的质量控制、建设施工的质量控制、运行供电期间的质量控制三个方面。以离网村落发电系统质量控制体系为例，其总体构成见图5-4。

(1) 项目管理的质量控制是实施项目的全面质量控制的重要组成部分。主要工作是建立质量控制体系，组建质量控制的核查监管机构，制订保证项目质量的各项管理章程、规范、要求，系统运行管理以及安全生产的规程、措施、规定及要求等。首先应规范化项目实施的程序和步骤，按科学规律逐步推进。

(2) 建设施工的质量控制包括建设施工的管理和工程质量两个方面。工程的质量控制包含主要设备和产品的质量保证和相关工程的安装施工建设质量，具体实施项目的系统特性及设计建设的规范和技术要求，以及进行建设施工、安装调试、材料设备等的性能要求、质量标准等。

(3) 运行供电期间的质量控制主要包括项目建成后的售后服务、供电质量要求、设备的运行维护、各项费用的收取和使用规定等。确定项目的运行管理模式和运营管理执行机构是运行供电期间质量控制的前提条件。



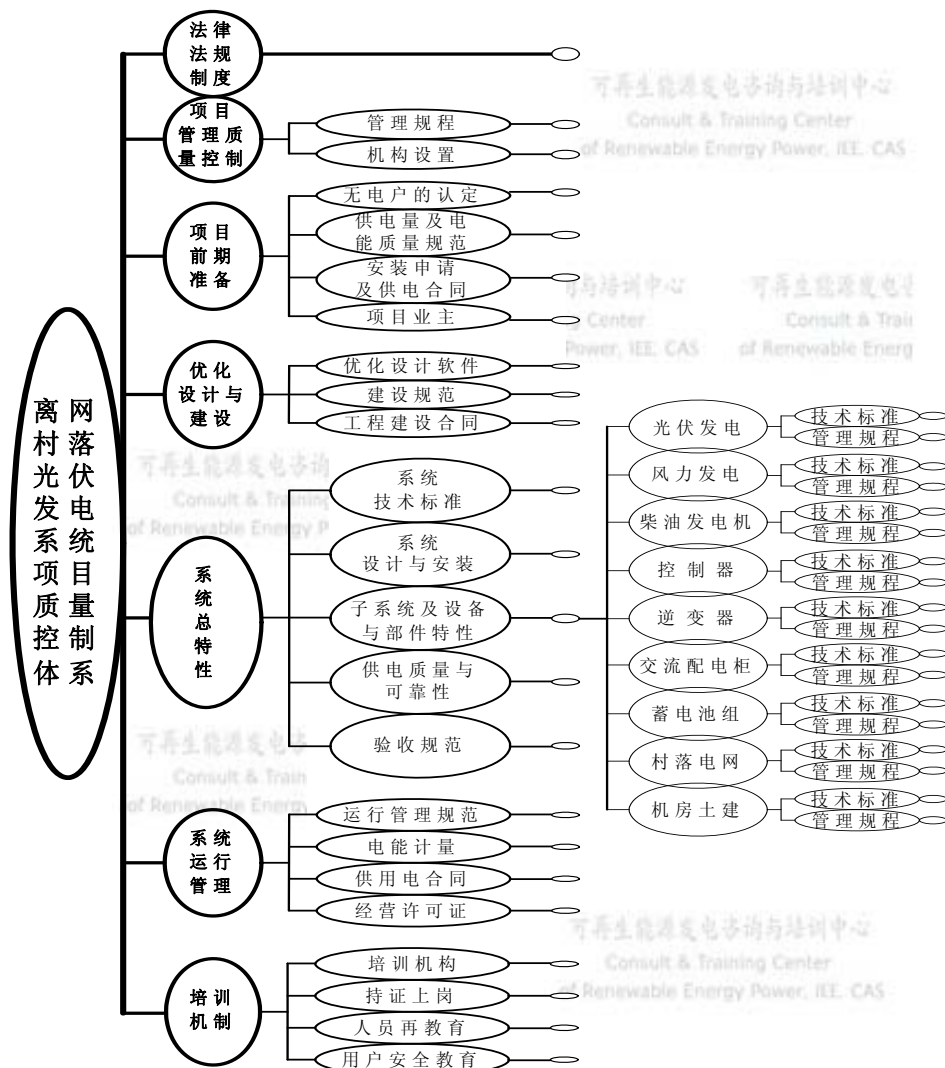


图 5-4 离网村落光伏系统项目质量控制体系构成

2) 质量控制链相关环节严重短缺

迄今为止，我国的光伏发电系统没有一项是按照全面质量控制的方式进行立项、建设、运行管理的。即使一直是我国主要光伏市场并大规模实施的离网光伏发电系统，长期以来的工作重点也主要放在系统的建设方面，使得图5-4所示质量控制链中的相关环节严重短缺或不足。例如在“送电到乡”工程的项目前期准备中，有些地区对项目业主(负责人)的地位和作用未予足够的重视，没有明确确定负责运行、维护、管理的责任单位，造成验收移交及维护管理方面的困难。参考文献^[6]按照质量控制体系的主要内容，对“送电到乡”工程、日本援助NEDO项目、德国援助KFW项目等中国主要独立光伏村落电站项目的质量保障情况进行了分析评估，在24个质量控制子项中，只有KFW项目有超过一半的子项（20个）的文书、文件较为完备，评估得分达190分（理想情况下满分240）。而“送电到乡”等项目则有三分之二以上的质量控制子项不够完备，使项目的实施在整

体上存在严重的质量隐患。

3) 尚未建立有效的后期性能评估和监督管理机制

完整严密的质量保证体系，需要有相应的监管机制来保证贯彻实施，包括规章制度和机构两个方面内容。光伏发电是一件特殊的产品，其产品质量保证与售后服务工作也要有特殊的约定，贯穿于整个存续期。我国目前尚未建立有效的光伏发电项目的性能评估和项目建设与运行的监管机制，未有严格中立的、权威的光伏发电顾问、咨询和系统的质量检测与性能评估机构。此前实施的光伏发电系统，发电、供电设施的生产制造和建设，主要靠商家的自律，项目的运营管理及给予用户的供电服务则缺少章法，处于放任状态。即使是管理严格、经常进行样品抽查和检测的REDP项目，也只是对发电供电产品的生产制造质量进行监管，并未开展对设备的运行及供电状况的监督评估^{[7][8]}。这些都影响到用户对光伏发电的信心和声誉，制约了我国光伏市场的发展。

5.6 管理与维护

1. “送电到乡”工程中存在的问题带来负面影响^{[9][10][11][12]}

离网光伏发电系统一直是我国的主要光伏市场，在我国偏僻边远的无电地区的农村电力建设中发挥了重要作用。按照国家发展规划，将于2006年开始启动实施“送电到村”工程，原计划在未来10年内，用光伏发电（及风力发电）方式解决全国16,000个无电行政村和12,000个无电自然村的供电问题，为我国偏僻边远农村地区约400万户、1,600万人口提供基本生活用电需求。可以预见，以政府资金为主导的无电地区农村电力建设中的离网光伏发电系统，在近几年内仍将会是我国光伏应用的主要市场。

中国在大规模地实施农村光伏项目过程中出现的建设及管理方面的问题，诸如项目供电服务的目标不明确、没有量化供电标准、没有贯彻“因地制宜、多能互补”原则、实施程序不规范等，影响了这些光伏发电系统的可持续运行和效益的充分发挥。这些问题没有及时解决，特别是项目业主及产权归属问题未能全面彻底解决，项目运营管理及日常运行维护等各种后续工作难以为继，使得“送电到村”工程迟迟未能启动，无疑是影响我国光伏市场开拓的主要原因之一。

2. 缺乏系统的光伏发电管理规程

在国家级层面，没有成立光伏发电专门管理机构。这样的专门管理机构，应按照《中华人民共和国可再生能源法》的规定和要求，对全国的光伏发电进行集中规划、协调、管理；要认真组织专家进行光伏发电的战略研究，切实研究世界能源形势和中国能源形

势，切实研究世界光伏发电的发展趋势，研究世界光伏发电发展路线图及其制定依据，在此基础上科学地制定中国光伏发展路线图和中长期发展规划，使该规划符合中国能源可持续发展的需要和环境友好发展的需要。

中国尚没有制订标准的光伏发电管理规程，以规范实际实施光伏发电项目的基本程序和步骤，诸如立项申报、前期准备、施工建设、验收移交、运行维护和管理、质量保证、核查监管等方面的内容。光伏发电设施的运行维护和管理，是一项专业性、政策性、社会性都很强的工作，贯穿于项目系统的整个存续期。只有良好的维护和管理工作，才能保证系统能够长期可靠地运行和向用户供电。在确定合格的运行管理机构的同时，要有强力的法规、政策予以支持，要有经济方面的安排，使之能够可持续发展。

5.7 能力建设与人才培育体系

1. 中国光伏发电人才培养与培训现状^{[13][14]}

1) 缺少设置光伏相关专业的大中专学校

各级各类学校（包括大中专学校，职业学校等）普遍尚未开设可再生能源发电和供电的课程和专业，目前虽然已有部分大学和科研机构正在培养可再生能源发电和供电的高级专门人才，但其中极少部分属于学历教育。如主要培养风力发电方面专门人才的河北电力大学开设可再生能源发电专业，设置于2007年；获教育部批准的我国高校首个光伏专业“光伏材料加工与应用技术专业”，于2008年9月1日在江西新余高等专科学校正式开班；南昌大学的“太阳能光伏学院”则到2008年10月6日才正式挂牌成立。

2) 没有常设的国家级光伏发电培训机构

20多年来，我国光伏发电事业取得了巨大成绩，但尚未建立相应的长效培训机制。迄今为止，我国尚未建立一家国家级的可再生能源发电培训机构。虽然与光伏发电相关的一些单位和部门建立有几家培训中心，但一般都不是专职培训机构。场地、设施、教材、教师等都不规范，没有统一的标准和要求，难以满足光伏发电事业发展需求。对于光伏发电系统可持续运行至关重要的系统操作和维护管理人员，劳动部门尚未将其设定为一个职业工种，没有相应的职业学校、技工学校进行相关的职业和技能的培训，从业人员的专业素质难以得到保证。

3) 为数不多的短期培训规模和效果有限

为配合国家、地方以及一些国际组织援助的某些专门项目的实施，曾经举办过一些培训班，但此类培训为数不多，规模不大，效果有限。在培训对象方面涉及面不大，培



训方式不够机动灵活，也少有根据不同的对象、层次、目标和要求的内容多样的培训教材。例如过去进行的中国农村可再生能源供电培训，主要注重直接从事可再生能源发电和供电的专业人员，对于与可再生能源发电和供电间接相关人员的培训，包括：政策管理人员、经济学者、融投资者等，几乎均未涉及；而面向普通老百姓的宣传、教育、普及光伏发电基本知识的培训也尚未开展。

2. 光伏专业人才缺乏严重制约产业的快速、可持续发展

长期以来，我国没有光伏专业人才培养的专业设置，目前光伏行业从事研究、设计、生产、工程建设等方面的专业技术人员，主要都是从其他相近专业转化而来，大部分为我国早期从事半导体硅材料等非光伏专业的人员。

近年来，我国光伏产业实现了跨越式发展，国内主要企业的太阳能电池生产技术水平进入国际一流行列，且部分技术国际领先。产业的扩张导致人力资源严重缺乏，相当多的企业由于人才紧缺而缺乏自主创新能力和自有技术，整体研发和大生产技术与国际先进水平尚有一定差距。尤其是在薄膜电池、高效低成本电池的开发制造方面，我国目前并没有拥有自主知识产权的规模化生产能力。

3. 光伏系统的维护管理人员总体素质较低^{[15][16]}

电站操作运行人员的素质及知识技能的培训，是光伏发电系统可持续运行的关键因素之一，也直接影响到光伏发电的社会声誉和我国光伏市场的可持续发展。

我国偏僻边远地区农村新能源发电项目的建设，特别是“送电到乡”工程及“KFW中德财政合作项目”，完成了上千座光伏电站的项目建设工作，并顺利运行发电和向用户供电。“送电到乡”项目的系统集成商在建站初期都对电站机手进行了培训，中央和地方政府也安排了一定资金对有关人员进行了培训。但是电站操作及维护管理人员总体职业素质不足，所具有的知识技能难以胜任所担负的工作，对电站的持续完好运行形成了潜在的危机。

5.8 相关问题分析

1. 产业能耗、能量回收期

光伏组件生产过程中要消耗一定的能量、物料，特别是在高纯多晶硅生产、铸锭/切片、太阳能电池制造三个环节的生产能耗较高。由于各个生产厂家的技术、工业水平不同，各个生产环节的物料消耗、能耗水平有很大差别。工业硅也叫冶金硅，是指纯度为99%的硅材料，提纯过程能耗约为12~14kWh/kg。我国的高纯多晶硅生产基本上都采

用改良西门子法的技术路线，消耗的物料主要有工业硅、氢气和氯气等。还原能耗一般在80~200kWh/kg，综合能耗在127~250kWh/kg。铸锭/切片环节消耗的物料较多，有石英坩埚、玻璃、钢丝、金刚砂、氮气、氩气等，整个过程能耗约为550~820kWh/kWp。太阳能电池制造环节消耗的物料种类较多，包括电极印刷带、氮气、氧气、氟化物、氢氧化钠、清洗液等，生产过程能耗为200~250kWh/kWp。光伏组件封装中需要的物料有低铁玻璃、EVA、组件边框（多为铝合金）、铜、锡、镍、包装纸板等。生产过程中能耗为50~150kWh/kWp。光伏系统的平衡组件包括控制器、逆变器等，这里主要考虑控制器、逆变器的生产，能耗约为150~200kWh/kWp。光伏系统各个环节具体能耗见表5-6，综合能耗平均水平为3,080kWh/kWp。

表5-6 光伏系统生产制造环节的能耗

生产制造环节	能耗 (kWh/kWp)	平均能耗水平 (kWh/kWp)	比例 (%)
工业硅 (冶金硅)	170~200	185	6.01
高纯多晶硅	1,370~2,050	1,710	55.52
多晶硅铸锭和切片	550~820	685	22.24
太阳能电池制造	200~250	225	7.31
光伏组件封装	50~150	100	3.25
光伏系统	150~200	175	5.68
合计		3,080	100

综合各个环节的物耗，光伏系统生产过程中消耗的物料主要有氢气、氯气、金刚砂、银、铝锭、铝合金边框、低铁玻璃、包装纸板等。各种耗材对应的能耗详见表5-7^[24]，综合能耗为737kWh/kWp。

表5-7 光伏系统主要耗材能耗表

	耗材消耗量 (kg /kWp)	耗材单位能耗	耗材能耗	
			kgce /kWp	kWh /kWp
氢气	1.76m ³ /kWp	5kWh / m ³		88
氯气	16.43	2kWh /kg		33
金刚砂	19.17	17.2 kWh /kg		330
银	0.735	1.561kgce /kg	1.2	3
铝锭	1.82	5.704kgce /kg	10.4	28
电池片制造	0.42			
逆变器制造	1.4			
铝合金边框	21	7.125kgce /kg	149.6	121
EVA	8	未知	未知	
低铁玻璃	82	0.46kgce /kg	37.7	102
包装纸板	8.75	1.35kgce /kg	11.8	32
合计				737

注：kgce 千克标准煤

不考虑光伏系统安装、运行和设备回收环节的能耗，光伏系统全寿命周期内的总能

耗为生产制造能耗和耗材能耗之和。光伏系统全寿命周期内生产制造能耗为3,080kWh/kWp，耗材的能耗为737kWh/kWp，光伏系统全寿命周期内的总能耗为3,817kWh/kWp。

能量回收期的定义：一个光伏发电系统全寿命周期内所消耗的能量除以该系统的年平均能量输出，单位为年。即光伏发电系统几年内能把自己寿命周期内消耗的能量回收回来。显然，回收期愈短愈好。

光伏系统的发电量即为系统的能量输出，所以光伏系统的能量回收期决定于系统的年发电量和生产制造能耗。光伏系统的发电量主要取决于当地的太阳能资源、系统的运行方式和系统中各环节的效率。在这里，主要测算并网光伏发电系统的能量回收期。

并网光伏发电系统效率的计算需要考虑系统各个部件的效率以及系统的运行情况。建立在开阔地的并网光伏发电系统基本没有朝向损失，运行综合效率大约80%。

太阳能资源对并网光伏发电系统的年发电量和能量回收期影响较大。表5-8给出一套相同的并网光伏发电系统，在北京、拉萨、上海、成都的能量回收周期。由于四个城市太阳能资源差别很大，导致光伏系统能量回收周期有很大不同。安装在拉萨的并网光伏发电系统的能量回收周期仅为1.97年，而安装在成都的并网光伏发电系统的能量回收周期为4.10年。

表5-8 不同地区的能量回收周期

	北京	拉萨	上海	成都
全寿命周期能耗(kWh/kWp)	3,817	3,817	3,817	3,817
水平面年辐射量(kWh/m ²)	1,561	2,191	1,314	1,053
倾斜面年辐射量(kWh/m ²)	1,748	2,453	1,445	1,180
光伏系统年发电量(kWh/kWp)	1,381	1,938	1,142	931
能量回收期(年)	2.76	1.97	3.34	4.10

根据荷兰、美国以及瑞士等国的研究，目前并网光伏发电系统的能量回收期为1.5-6.9年，远小于光伏发电系统的寿命期（25-30年，甚至更长）。例如，国际能源机构对26个OECD国家41个城市的研究表明，最佳安装倾角的多晶硅光伏系统的能量回收期为1.6年（澳大利亚珀斯）-3.3年（英国爱丁堡），垂直幕墙光伏系统的能量回收期为2.7年（澳大利亚珀斯）-4.7年（比利时布鲁塞尔）（IEA-PVPSTask10, May 2006）。

应该说明的是，光伏发电的能量回收期是一个动态、变化的概念，即随着应用扩大、产业发展、技术进步等因素，能量回收期愈来愈短。比如，上世纪80年代后期，晶硅光伏发电系统的能量回收期约5-10年，上世纪90年代中期，晶体硅电池的能量回收期约3-8

年，本世纪初期，晶硅光伏系统的能量回收期约2.5-6年，目前晶硅光伏系统能量回收期约2-5年。随着光伏技术和产业的持续发展，光伏发电的能量回收期也将持续不断的降低，未来可以降到1-2年。

2. 污染防治

- 1) 随着我国多晶硅总产量的逐年增加，其副产物四氯化硅的安全环保问题日益突出。四氯化硅是具有强腐蚀性的高毒物质，如不妥善进行处理回收，环保风险巨大。
- 2) 多晶硅材料的提纯技术门槛高、投资大，长期以来掌握在美、日、德10家工厂手中，国外一直对先进的多晶硅生产技术实施封锁。国内可能有个别企业以消耗能源、污染环境、破坏生态为代价提纯工业硅，甚至在没建立回收系统的情况下盲目上马，但大多数已经开工生产的多晶硅厂通过尾气回收、物料循环和综合利用，实现零排放和清洁生产，这里不存在不可逾越的技术障碍。
- 3) 在石英砂制备金属硅的过程中， CO_2 的排放是最大的污染。但是，目前中国每年产量超过120万吨的金属硅中，仅有2%左右是用在半导体领域，包括微电子和太阳能，其大部分是用作为钢铁工业、铝合金工业、有机硅工业的添加剂。
- 4) 在利用 SiHCl_3 制备高纯硅的改良西门子技术中， SiCl_4 是重要的副产品，如果能做到生产线的封闭运行，98%以上的 SiCl_4 能重复使用，既降低能耗，又避免污染。如果不能封闭运行，大量的 SiCl_4 必须处理，一般制备成白炭黑。如果不处理，则有可能成为污染源。值得注意的是，这些工艺在微电子工业用硅单晶的制备中都已经长期使用，有完善、公认的处理工艺，只要处理得当，应该没有污染问题。
- 5) 在直拉硅单晶和铸造多晶硅生产过程中，一是腐蚀、清洗，需要一些酸碱溶液，如 HF 、 HNO_3 、 NaOH 等，使用后需要进行综合处理，才能排放；二是在清洗、腐蚀过程中，酸碱溶液和硅反应，会产生腐蚀性气体，需要处理后才能排放；三是在剖锭等工艺中，由于机械加工产生一定硅粉，还没有能做到全工艺流程的回收使用，带有硅粉的切割液，需要处理后才能排放。值得注意的是，这些工艺在微电子工业用硅单晶的制备中都已经长期使用，有完善、公认的处理工艺，只要处理得当，应该没有污染问题。
- 6) 在太阳电池制备过程中，一是腐蚀、清洗，需要一些酸碱溶液，如 HF 、 HNO_3 、 NaOH 等，使用后需要进行综合处理，才能排放；二是在清洗、腐蚀过程中，酸碱溶液和硅反应，会产生腐蚀性气体，需要处理后才能排放。同样，这些工艺在



微电子工业用硅单晶的制备中都已经长期使用，有完善、公认的处理工艺，只要处理得当，应该没有污染问题。

- 7) 在组件制备中，几乎没有液体、气体废料，也没有相应的污染；固体废弃料基本没有环境污染问题。

3. 光伏并网发电的安全问题

国家标准已经提出对光伏并网的技术要求，电网对上网电力的电能质量要求可参考国家标准：《光伏（PV）系统电网接口特性GB/T20046-2006》。该标准主要采用IEC 617271:2004版本。该标准从电网角度出发对光伏并网系统提出以下几个关键点：

- (1) 正常电网电压工作范围：要求光伏并网逆变器在电网电压超出运行条件时，必须在规定的很短时间内（一般为0.5s）停机。
- (2) 正常电网频率工作范围：要求光伏并网逆变器在电网频率超出运行条件时，必须在规定的很短时间内（一般为0.2s）停机。
- (3) 闪变：光伏系统运行造成的电压闪变，不应超过IEC61000-3-3(<16A系统)或IEC61000-3-5(16A及以上系统)相关的限制。
- (4) 直流注入分量：在任何工作状态下，光伏系统向电网交流接口注入的直流电流不能大于逆变器输出电流的1%；
- (5) 谐波和波形畸变：光伏系统的输出应有较低的电流畸变水平，以确保对连接到电网的其他设备不造成不利影响；总谐波电流应小于额定逆变器输出的5%。各次谐波均有限定。
- (6) 功率因数：当输出大于逆变器额定输出功率的50%时，光伏系统的滞后功率因数应大于0.9。而提供无功功率补偿的特殊设计系统可不受限制。
- (7) 反孤岛保护：光伏系统必须在电网失压2s以内停止向电网线路送电。防止发生触电事故。

目前中国的技术水平可以达到以上的技术指标要求。标准是在不断进步和发展，特别是光伏发电这个新兴的技术领域，国外的标准也在经常更改和变更。实际上，除了IEC标准，各个国家还纷纷制订本国有关光伏发电的标准，如德国的VDE126，澳大利亚的AS4777，美国的UL1741，西班牙的RD1663，意大利的DK5940，英国的G83/1。这些标准中对于光伏并网系统的要求基本如上所述，在具体的参数值上有一些区别。值得一提的是，德国VDE126-1-1标准中，要求光伏并网系统中必须含有进行反孤岛效应保护的独立判断模块。这是所有标准中，最为严苛的。



从国外大规模应用光伏并网发电的情况来看，光伏发电相比于风力发电，功率变化相对平稳，稳定性也相对较好。同时，由于光伏发电的单台设备功率比较小，所以设备发生故障时，对电网的影响也很小。但对于我国较为薄弱的电网来说，还是有许多的研究工作需要进行，以防止在大规模应用光伏发电时，出现问题。一般来说，使用单独的中压线路接入大型光伏发电电站，将使系统更加容易受控，同时大大降低系统故障的扩大化。

4. 规模并网光伏项目的招标问题

经过多年酝酿，2009年国家能源局组织了敦煌1万千瓦（10MWp）光伏并网项目的招标，50家企业买走标书，18家企业在规定的时间内正式投标，5家企业被淘汰，13家企业进入第二轮的商务标。在十三个有效投标中，并网光伏发电的最低上网电价是0.69元/千瓦时，最高1.92元/千瓦时，大多在1.4元/千瓦时~1.6元/千瓦时之间。这个招标结果不但让人们不得不重新审视光伏发电3~4元/千瓦时的说法，也让人们联想到最初我国风电特许权招标时出现的0.382元/千瓦时的风电电价夺标现象。

我国风电上网电价从2002年开始，招标电价和审批电价制度并存。2003年开始的前四期风电特许权招标是“低价者胜”模式，出现了0.382元/千瓦时的极低夺标价格。风电特许权招标做了多次修改，电价在招标中的比重有所减少，技术、国产化率等指标有所加强。2008年第五期风电特许权招标采用“中间价”的招标模式，避免了恶性低价的竞争局面，有助于风电电价向理性回归，有利于整个风电产业的发展。风电特许权招标扩大了风电产业的规模，吸引了投资力量关注风电行业，扶持了中国的风电设备制造企业。

现在，我国光伏发电行业具备了大规模推广的条件。可以通过招标模式推广发展光伏产业和市场，但同时也应该吸取风力发电招标过程中的经验和教训，以此为戒。必须为光伏发电的健康、有序、可持续发展设计一套符合国情的科学招标机制。

5.9 小结

1. 当前制约大规模利用光伏发电的关键因素是电价过高。虽然，国家大力提倡发展太阳能发电，但是，当前国内的常规电价比光伏发电的成本要低很多，光伏发电还不具备竞争力，国内光伏发电市场的培育还需要激励政策的大力支持。与火力发电相比，度电成本相差悬殊，这是一个世界性问题。
2. 国际上，少数公司掌握光伏产业链上的核心技术—多晶硅提纯技术，并形成技术垄断，给光伏发电的规模化推广应用设置了一道高成本门坎。一段时期，光伏组件的



价格居高不下，导致光伏发电系统价格高昂，是制约光伏发展的主要因素之一；导致光伏发电成本过高的另一原因，国内厂家基础设施和生产设备落后、产品质量不高，光伏组件生产成本总体上比国外高出10%-20%左右。

3. 中国光伏产业近5年取得长足的进步，但是，光伏产业链的整体竞争力仍然较为脆弱。表现在：第一，尽管产业链趋于完整，但是，除中游链有一定竞争力外，从下到上依次薄弱，每一环节的产品原料都有需要从国外引进的部分；第二，一些重要环节技术期待突破。除太阳能电池、硅片组件生产技术在江苏省、河北省和上海市等地占据一定优势外，硅原料提纯技术、系统集成技术都没有国外成熟和先进；第三，产业链中有优势的部分处于价值链的低端。当前，硅原料的提纯、拉制、切片等部分处于价值链的高端，可获得高额利润；而石英砂的开采、硅片生产、电池片的组件封装等部分处于价值链的低端，属于劳动密集型部分，只获微利。国外将光伏产业中的劳动密集型部分转移到国内来，江苏省、河北省等一些光伏企业抓住机遇，实现了较快承接和发展。
4. 并网光伏发电是光伏市场的主流和发展方向，我国可再生能源发电的上网政策已基本配套齐全，原则上可以开展实施大规模并网光伏发电。但由于缺少针对光伏发电特点的、可实际操作的实施细则，使得目前成本还很高的光伏发电难以按照市场规律快速发展。
5. 光伏发电系统的不稳定特性以及产品质量和管理方面存在的问题，特别是并网光伏的电能质量及对电网影响方面的不确定性，使得电力系统对光伏发电疑虑重重，影响了我国光伏市场的规模化发展。
6. 制订光伏技术标准，建立严格的质量认证和质量保证体系，规范化的管理与维护，以及各类各层次光伏人才，对于我国光伏市场的规模化、健康可持续发展，具有重要的作用。
7. 激励政策的启动力度远远不够。对于光伏产业的发展，最有力的举措就是政府对光伏发展目标的确立以及制订相关激励政策和法规。日本确定2010年光伏发电目标是4820兆瓦，并制订了研究开发计划、示范工程计划和高价收购政策，从而迅速成为世界光伏产业第一大国。中国政府虽然实施了“送电到乡”和“西部无电县建设”等计划，对推动光伏发电发展起到一定推动作用，但至今还没有切实可行的激励政策，如补贴政策、光伏并网政策和合理的电价政策等。一些省市（区）纷纷出台太阳能发电的规划，规模比较宏大，尽管如此，对于迅猛发展的光伏产业来说，我国



启动国内光伏市场力度还远远不够。

参考文献

- [1] 赵玉文、王斯成等，中国光伏产业发展研究报告（2006-2007），中国可再生能源发展项目办公室、中国可再生能源学会光伏专业委员会，2008年5月
- [2] 王斯成，我国光伏发电有关问题研究，《中国能源》，2007年第2期：7-10
- [3] 王斯成、董路影等，UNDP支持的“送电到乡”工程基础数据调查项目总结报告，国家发展与改革委能源研究所“送电到乡”工程基线调查项目专家组，2005年12月22日
- [4] 国家发改委能源研究所、北京计科电可再生能源发展中心、世界银行REDP项目办公室，“送电到乡”工程情况调查和建议，2005年12月2日
- [5] 中国科学院电工研究所，REDP项目在西藏、新疆、甘肃、青海四省主要入围企业市场名誉和产品质量考察报告(检测结果分析及质量控制建议)，2004年10月
- [6] 马胜红、陈东兵等，离网村落光伏发电系统的质量控制链的研究报告，中国科学院电工研究所可再生能源发电咨询与培训中心，2007年9月
- [7] 国家发改委/世界银行/全球环境基金，中国可再生能源发展项目介绍，项目办公室
- [8] 国家发改委/世界银行/全球环境基金，中国可再生能源发展项目简报，第12-25期，项目办公室
- [9] 中华人民共和国国家发展和改革委员会，可再生能源中长期发展规划，2007年9月，www.sdpc.gov.cn；中国网 china.com.cn，2007-09-04
- [10] 国家发展改革委，可再生能源发展“十一·五”规划，www.sdpc.gov.cn，2008-03-19
- [11] 中国农村电气化（2001-2015年）发展纲要，农村电气化信息网，www.shp.com.cn
- [12] 中国科学院电工研究所，中德技术合作农村可再生能源项目（GTZ），离网村光伏发电系统的质量控制，2007-09
- [13] 中国科学院电工研究所，建立中国农村可再生能源供电可持续培训机制的建议，二〇〇五年九月
- [14] 我国高校首个光伏专业将在江西新余开班，新华网www.xinhuanet.com，008-9-2
- [15] 陈东兵、马胜红等，独立村落光伏电站系统运行及使用的调研与分析（2）—村落光伏电站机手的调研与分析，太阳能，2007.9。



- [16] 张亚彬、陈光明等, 关于光伏与风光互补电站的机手调查, 太阳能, 2007.3
- [17] 李俊峰、王斯成等, 中国光伏发展报告2007, 中国环境科学出版社, 2007年9月
- [18] 国家发改委能源局, 点亮乡村之光—“送电到乡”工程资料汇编, 知识出版社, 2006年1月第一版(第一次印刷), 北京
- [19] 夏爱民、李华、马胜红, 2012年光伏产业进入脱乳期—全球光伏产业发展趋势展望, 中国建设动态: 阳光能源, 2008年4期: 45-48
- [20] 可再生能源何时发挥主力军作用, 国家电力信息网www.sp.com.cn, 2007-11-07
- [21] 赵玉文、吴达成等, 我国光伏产业和市场的发展概况, 太阳能, 2007年 3期: 7-10
- [22] 王斯成, 《可再生能源法》在光伏发电上的执行情况, 中国建设动态: 阳光能源, 2007年1期: 12-13
- [23] 陈东兵、马胜红等, 独立村落光伏电站系统运行及使用的调研与分析(3)—光伏系统用户情况及系统负载的调研与分析, 太阳能, 2007.10
- [24] 胡润青, 我国多晶硅并网光伏能量回收期的研究, 太阳能, 2009.1

6. 加速开拓国内光伏市场、促进产业发展的激励政策研究与建议

6.1 加快加大科技攻关投入，掌握并完善产业关键技术

1. 中国应当拥有自主创新的晶体硅提纯技术^[1]

大规模推广应用光伏发电的关键是太阳能电池组件的生产成本和价格。多晶硅原材料的生产已经成为整个光伏产业链的瓶颈，限制了太阳能电池产量的增长，使得光伏发电的成本居高不下。只有掌握晶体硅生产及提纯的关键技术与工艺，打破国外厂商的技术封锁，才能改变我国高纯度多晶硅材料依赖进口的状况。

在国内光伏产业界多年来的不懈努力之下，我国已经有企业攻克“改良西门子法”技术关键，掌握了属自主创新的高纯硅生产核心技术，晶硅提纯技术处国际先进地位，但与国外最好水平还有一定差距。特别是在原材料利用、污染防治、能耗等方面，还需要进一步改进和完善。国家应加大在资金、人员方面的支持力度，以科技攻关或其他方式使有关企业在技术、设备、工艺等方面巩固领先地位，尽快达到国际最好水平，进一步提升我国硅材料提纯技术的整体实力，保证产品质量，扩大生产规模，促使太阳能电池组件的价格回归理性正常价位，促进我国光伏发电市场的可持续发展。

2. 加大对薄膜太阳能电池的研究与开发支持力度^{[2][3]}

1) 中国薄膜太阳能电池技术渐趋成熟

薄膜光伏电池按材料可分为硅基薄膜电池、化合物半导体薄膜电池、染料敏化的光化学光伏电池三类。薄膜电池的生产工艺较为简单，消耗的硅原材料极少，价格主要取决于衬底材料、制备工艺及封装等，比用料较多的晶体硅太阳能电池具有明显的价格优势。硅原材料的短缺，为薄膜电池技术的发展和扩大市场份额带来了难得的机遇，足可以抵消其目前效率较低的缺点。而解决薄膜太阳能电池效率光衰减的技术也已渐趋成熟，目前已进入实用化、产业化生产阶段。

2) 薄膜电池已步入实用化、产业化快速增长阶段^[2]

表 6-1 给出了 2002-2006 年世界单晶硅、多晶硅和薄膜太阳能电池的产量变化情况，反映了薄膜电池与晶硅电池之间的变化趋势。可以看出，近几年来薄膜太阳能电池所占的比例逐年上升，其年增长率也明显高于晶体硅电池。



表6-1 2002-2006年世界各类太阳能电池产量，单位：MWp

年份		2002	2003	2004	2005	2006*	2007
产量 (MWp)	总产量	536.8	747	1,201	1,792.9	2,561.7	4,000
	晶体硅电池	506.8	704	1,136	1,685.9	2,370.7	3,650
	薄膜电池	30	43	65	107	191	350
年增长 (%)	薄膜电池比例	5.59%	5.76%	5.41%	5.97%	7.46%	8.75%
	总产量	43.5	39.2	60.8	49.3	42.9	56.1
	晶体硅电池	49.9	38.9	61.4	48.4	40.6	54.0
	薄膜电池	-16.7	43.3	51.2	64.6	78.5	83.2

表6-2和图6-1给出近年来世界薄膜电池的产业情况，显示了硅基电池在薄膜电池中的主流地位，占2007年薄膜电池总产量的77.14%。自2004年以来世界薄膜电池的产业化进程已经进入了快车道。

表6-2 2001-2007年世界薄膜电池产量的增长情况，MWp

薄膜电池	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
a-Si, μ c-Si	33.68	28.01	40.5	47.8	84	147	270
CIGS	0.7	0.3	0.5	3.6	2	4	6
CdTe	1.53	1.6	2	13.2	21	40	74
合计	35.91	29.91	43	64.6	107	191	350

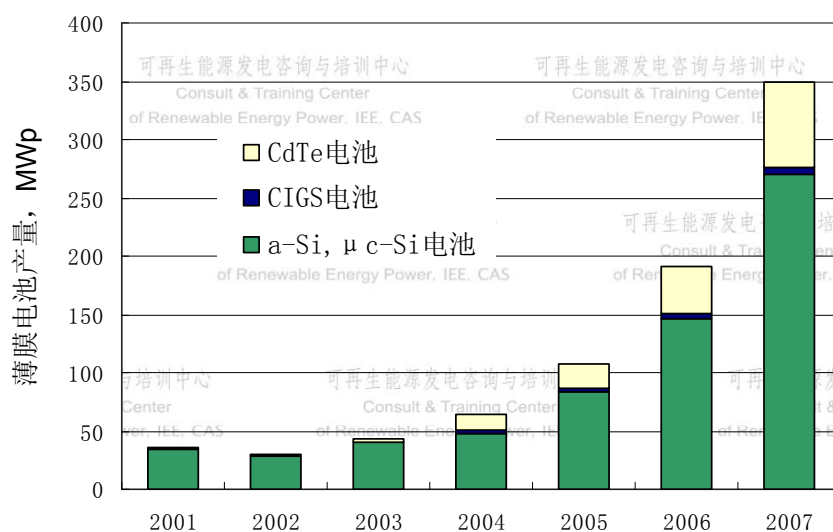


图 6-1 2001-2007 世界薄膜电池产量的增长情况

3) 大力促进中国薄膜太阳能电池产业的快速发展

中国自20世纪80年代中后期引进单结非晶硅电池生产技术，非晶硅电池产业稳步发展。近年来我国的薄膜电池产业快速发展，至2008年底已有近20家非晶硅薄膜电池生产企业，总生产能力达到134.9MWp，2008年中国非晶硅薄膜电池的产量为37.9MWp，约占太阳能电池总产量的19%。见表6-3。

表6-3 2000-2008年中国太阳能电池产量的历年变化

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
总产量 MWp	3	4.6	6	12	50	145.7	438	1,088	2,000
晶体硅电池 MWp	2.4	3	4	10	44	137.7	426	1,059.7	1,962.1
年增长率(%)		25.0	33.3	150.0	340.0	213.0	209.4	148.8	85.2
非晶硅电池 MWp	0.6	1.6	2	2	6	8	12	28.3	37.9
年增长率(%)		166.7	25.0	0.0	200.0	33.3	50.0	135.8	33.9

目前薄膜电池还面临着如效率较低、使用寿命较短、市场认知度较低、投资风险较高等技术和市场方面的不利因素，国家应加大对薄膜太阳能电池的支持力度，在光伏应用市场中给予应有的重视。应采取科技攻关或其他资金支持的方式，尽快使我国薄膜太阳能电池生产技术不断完善和成熟，产品性能参数不断提高，质量更加稳定，以利于我国的光伏市场健康地发展和扩大。

3. 加速大型并网光伏关键设备产业化^{[4][5]}

在并网光伏发电系统中，逆变器是其中的关键设备。逆变器的性能参数和产品质量决定了并网光伏发电的电能质量及稳定性和可靠性，逆变器的效率则直接影响光伏系统的发电量。目前应加快单台容量100kVA以上、效率 $\geq 97\%$ 的大功率、无变压器高效逆变器的研制步伐，完善大功率系列逆变器性能，提高产品质量，并尽快产业化，使其在我国大型并网光伏发电系统中发挥重要作用。

与大型并网光伏发电有关的关键技术还有：

- 大型并网光伏系统的自动化检测与控制技术，可实现并网光伏电站的无人值守，降低系统的运行维护成本。
- 性能可靠的大型光伏阵列的跟踪技术，能显著增加光伏系统的发电量，降低上网电力的发电成本。

建议我国应加快技术攻关及开发研制步伐，结合示范应用，不断改进完善，并尽快产业化，为大规模建设大型并网光伏电站提供技术支持。

6.2 开展规模化的光伏并网实用化试点与先导应用

1. 并网光伏发电是光伏应用的大势所趋^{[2][5]}

光伏发电要在电力结构中占有一席之地，就必需发展并网光伏系统。世界光伏市场中并网光伏占有越来越大的比例，从美、德、日等国家实施的大规模“光伏屋顶计划”到大型集中式光伏并网电站，截止到2007年底世界并网光伏的累计市场份额已经超过80%，成为世界光伏发电市场的主体。



我国的并网光伏发电技术经过“八·五”、“九·五”及“十·五”期间的研究和攻关，光伏并网的关键设备的技术性能参数完全符合电力系统的要求和规定，系统技术已基本成熟。但我国的并网光伏发电仍处于起步阶段，总体上与国际水平仍存在一定差距，还缺乏规模化、市场化、商业化运作的实践经验。必需有计划、有目标地开展一定规模的光伏并网实用化试点与先导应用，与电力系统紧密配合，共同解决有关技术、经济问题和电力管理问题。特别是关于光伏发电的大规模并网对电网的冲击和影响，以及电力系统对规模化并网光伏发电的安全防范、电力调度、运行管理方面的问题，都要进行系统深入的研究。

2. 大型开阔地光伏电站示范及应用 [2][5][6][7][8][10]

大型开阔地光伏电站，包括安装在荒漠、戈壁及难以耕作利用的荒地、荒坡、荒滩等开阔地域的兆瓦级并网光伏电站，发出的电能送到主电网。大型开阔地光伏电站是最具发展前景的光伏发电应用，目前全世界已有大量的荒漠电站建成发电。我国有约10%的国土面积是不可作为耕地的荒漠和滩涂，其中沙漠、沙漠化土地和潜在沙漠化土地约为85万平方公里，在中、东部地区还有大量的荒山、荒坡、荒滩。按每平方公里可安装5万千瓦(50MWp)计算，利用3万平方公里（约3.5%）的荒漠荒地来安装光伏发电系统，装机容量将达到15亿千瓦（当量装机容量5亿千瓦），相当于我国目前总装机容量的62.5%。大型开阔地光伏电站将成为我国未来主力能源之一。

国家发改委发布的《可再生能源中长期发展规划》明确提出，到2010年，太阳能发电总容量达到30万千瓦，建成大型并网光伏电站总容量2万千瓦。2007年11月22日，国家发改委办公厅向中国西部8省区发出通知，要求相关省区上报大型并网荒漠光伏示范电站的预可研，电站规模不小于5兆瓦。通知中还明确，大型光伏示范电站的上网电价将通过招标确定。这些项目的启动将会极大地推动中国的光伏发电市场。

依据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》的任务要求，国家科技部在“十一·五”863项目中设置了5个兆瓦级并网示范项目，重点研究我国并网光伏技术应用的有效形式，攻克关键技术，开发成套模块化设备，推动我国光伏产业的发展。项目拟设计建设不同形式的兆瓦级并网光伏电站系统四座，并对其关键设备进行研究、研制。项目的实施将为我国并网光伏电站系统的规划、设计、建设、设备供应和后评估提供有力的技术支撑，将对并网光伏发电起到积极的示范和推动作用。

鉴于2008年发生全球金融危机对我国光伏产业的严重冲击，建议在国家科技部编制的《“十一·五”863计划兆瓦级并网光伏电站系统重点项目实施方案》的基础上进行修



订，加快实施步伐，大大增加大型并网光伏发电系统的实施规模。具体详见表6-4。

表6-4 大型并网光伏发电系统实施方案建议

课题指南	科技部“十一·五”863计划实施方案 (课题支持年限为3-5年)	建议实施方案 (实施年限3-5年)
方向1	和景观、建筑结合的MW级并网光伏电站及关键设备研制	在全国有条件的地方建设和景观、建筑结合的并网光伏电站，单站容量20kWp-1MWp，总装机100MWp。
方向2	MW级光伏建筑集成并网光伏示范电站及关键设备研制	在全国有条件的城市各建设3-5座光伏建筑一体化并网光伏示范电站，单站容量20kWp-1MWp，总装机100MWp。
方向3	MW级聚光型(CPV)并网电站及关键设备研制	在太阳能资源丰富的西部省区各建1-2座50kWp-1MWp聚光型(CPV)并网电站，总装机容量20MWp。
方向4	MW级和高压电网并网的荒漠集中光伏示范电站及关键设备研制	在太阳能资源丰富而且电力输送适宜的西部荒漠及其他具备资源、土地条件的开阔地域建设MW级高压并网的光伏并网电站，单站容量1MWp以上，总装机容量1,000MWp。
方向5	大型并网光伏电站性能检测及技术经济分析	在课题方向1-4实施的项目中各选1-2个电站重点研究，进行性能检测、技术经济分析、建设模式及管理运行模式的研究分析。

3. 开展大型开阔地光伏电站并网运行的技术、经济问题研究^{[19][20][21]}

大型开阔地光伏电站与电力系统的并网运行，仍有一系列的技术、经济问题有待于实践解决，需要深入进行大型光伏并网发电的安全性、可靠性、运行管理及电力调度方面的研究。在示范应用及实验运行中，应以商业化模式运作，实行电价补贴机制，充分发挥电力系统和电网公司的积极性，尽快取得实用化大型光伏并网发电的经验，为我国光伏发电的规模化应用奠定基础。

目前需重点进行研究的问题有：

(1) 大型开阔地光伏电站站址选择研究

除考虑太阳能资源情况而外，还应考虑接入的互联电力系统现有状况，如输电线路和网络的容量、负荷、电压等级、主要发电电源等。可优先选择内蒙进行研究试点。

(2) 电网负荷特性对大规模光伏并网的适应性及光伏发电可信度研究

根据互联系统的综合负荷曲线和不同地点、不同季节的光伏发电特性曲线，进行综合考虑，确定电力系统常规电源的装机容量及光伏发电容量之间的相互关系。

(3) 超特大规模光伏发电的电力输送与储能研究

如高压或特高压交流输电、特高压直流线路输电，抽水蓄能及化学储能，与水电、风电、其他发电电源的互补，以及智能电网技术研究等。



(4) 规模化应用的并网光伏对电力系统影响的研究

如对全系统的转动惯量、系统的稳定、调度能力的影响，电力电子设备产生的电压闪变、谐波、负序和不平衡问题对电力系统电能质量的影响等。

(5) 建立大规模光伏发电并网研究实验基地

研究试验超大规模太阳能光伏电站的运行维护、电力调度、控制和保护技术，研究开发相应的计算机程序、专用和特种装置与设备等。

4. 规模化分布式城市并网光伏发电应用示范^{[2][5][6][7][9]}

城市的并网光伏发电系统，可将太阳能电池组件安装在建筑物上，建设“光伏屋顶”并网发电系统。光伏屋顶不但可以节省光伏阵列的占地面积，而且因为发电系统靠近用电负载，可省去输电线路建设，降低电力传输的损耗。

与建筑构件相结合的光伏幕墙等光伏建筑集成光伏系统（BIPV），以及建筑附加光伏系统（BAPV）可在新建筑物的建设中采用，节省常规建筑材料。在现有建筑物的屋顶安装太阳能电池组件，结构简单，维护方便，既不破坏现有建筑物的基本结构，又可以充分利用太阳能资源，是目前在城市实用化并网光伏发电系统建设的有效形式。我国已有大约400亿平方米以上的建筑面积，屋顶面积超过40亿平方米，加上南立面，可利用面积50亿平方米以上，如果20%用来安装太阳能电池，可以装100GW。

目前全世界的并网光伏发电系统，大部分都是城市的屋顶并网发电系统。如美国的“百万屋顶计划”（1997），德国的“1,000屋顶计划”（1990）及“10万光伏屋顶计划”（1999），日本的“阳光计划”及“7万屋顶计划”（1997）等。我国目前尚处于示范应用阶段，仅有数量不多的100多座不同规模的城市并网光伏系统。国家发改委的《可再生能源中长期发展规划》提出：在城市的建筑物和公共设施配套安装太阳能光伏发电装置，在大中城市首先在公益性建筑物上建设屋顶太阳能并网光伏发电设施，然后逐渐推广到其他建筑物。到2010年，全国建成1,000个屋顶光伏发电项目，总容量5万千瓦。到2020年，全国建成2万个屋顶光伏发电项目，总容量100万千瓦。这一计划目标显然已与目前形势的发展不相适应。例如上海市2006年起动了10万屋顶计划，计划在“十一·五”期间，建设10万屋顶发电系统，总容量约为40万千瓦；江苏光伏发电推广计划的“屋顶光伏发电工程”，计划在部分机场、大中城市标志性建筑上安装光伏发电系统，到2010年达到55万千瓦（550MWp）。

建议调整规划目标，扩大实施规模和实施范围，加快实施进度。除了安装容量较大的国有及集团所有的屋顶光伏发电系统而外，要适当开展有一定数量的规模化户用并网



光伏系统，探索利用分散的民间资本的投资模式，取得小容量规模化分散并网在运行维护管理和电网系统的安全与电力调度方面的经验。应在全国各大、中城市展开，用2-3年时间进行试点及先导，5-10年进行大规模推广应用。如果在屋顶及南立面总计50亿平方米以上可利用面积的1%安装太阳能电池，容量将达到5GW。城市光伏屋顶分类实施的目标见表6-5。

表6-5 城市光伏屋顶并网系统实施方案建议

光伏屋顶分类	安装单元数	平均每单元容量(kWp)	总装机容量(MWp)
大型公益性建筑物	2000	50	100
大中小学校校园	50000	10	500
政府机构及事业单位屋顶	50000	10	500
企业厂房屋顶	5000	20	100
宾馆娱乐等第三产业屋顶	5000	10	50
户用光伏屋顶系统	50万	2	1000
合计			2250

6.3 加强能力建设、构建人才培养的可持续机制和系统

1. 光伏发电的能力建设

必须加速光伏发电各项能力建设，以适应我国光伏产业快速发展的形势，满足我国大规模应用光伏发电的市场需求。光伏发电相关的能力建设包括：资源普查和评估、基础技术和产品的研发能力建设、质量监督服务体系建设、CDM能力建设及各级各类人员的教育和培训体系建设。按照《可再生能源发展“十一·五”规划》，必须尽快采取措施开展下列工作：

1) 成立专门机构或组织专家，完成全国和重点地区的相关资源普查和详查，包括太阳能资源、经济可利用荒漠面积、屋顶面积，电力输送设施，相关地区的负荷等必要的信息。建立权威的国家级和省级资源信息库，提供可靠的基础数据和信息。

2) 提高质量检测机构的能力和技术水平，健全和强化检测机构的职能和权威性，建立有威信的质量认证制度和有效的光伏市场质量监督机制，维护市场健康发展。

3) 与国际接轨，建立CDM相应的咨询服务机构和政府申请渠道，在履行减排义务的同时也应享有减排的利益。扩大国际影响，展示我国负责任大国形象，保证及时获得应得的利益。

2. 设置光伏发电专业、培育专门人才

1) 人才是产业发展的基础，只有全面提高所有从业人员的专业素质，才能保证光伏发电产业的高速度可持续发展。构建长效人才培育体系，培养各个方面不同层次的人

才，为产业和市场发展提供充足的合格人力资源。特别要重视基础理论与技术研究方面人才的培养教育，加强光伏发电实用技术研发人才的培养和培训。

2) 在全国10所一类高校设置光伏发电专业，设置5个硕士培养点和至少2个光伏发电专业博士培养点，培养光伏发电的高级专业人才。每年培养光伏发电专业的本科生50-100名、硕士生5-10名、博士生1-2名，以适应光伏发电战略地位和产业发展的需要。

3) 在全国10所高等、中等专科学校设置光伏发电专业，培养实用光伏发电技术及产品研发方面的中级技术人员。

3. 构建长效可持续人才培养体系

1) 尽快构建光伏发电应用方面的培训体系，建立各种不同层次的专职培训机构，进行从业人员的学习培训及业务提高培训，提高从业人员素质，促进提升全民认识水平。

2) 建立2-3个国家级的“可再生能源发电培训中心”，培训地方培训机构的教师及组织进行其他各种不同类型的高层次培训、讲座、国内外学术交流及专题研讨等。

3) 设置5-10家省区地方级的可再生能源发电培训机构，专职进行光伏发电及其他可再生能源发电系统的操作、管护人员的培训工作，并组织承担较高层次的讲座、学术交流及专题研讨等。

4) 劳动人事部门要尽早将光伏发电系统操作、管护业务设定为一个职业工种，在全国30个相关的职业学校、技工学校设置相应专业，进行光伏发电的职业技能培训，保证光伏发电系统的操作、管护从业人员的职业素质。

5) 建立培训机构及从业人员的资格认证制度，相关人员要持证上岗。

6) 制订标准，规范培训机构的师资、教材、培训设施、培训要求标准及考核发证等，以保证培训质量。

7) 采取各种措施，加大光伏发电的基本知识培训和科普宣传力度，提高公众意识。要让各级政府相关主管部门人员、金融机构的相关业者、大中小学校的学生、普通社会公众等，都有环保和洁净能源意识，认识光伏发电的战略地位，了解光伏发电的基本原理和特点等。要使公众了解国家关于可再生能源发电及光伏发电的相关法规政策规定，支持光伏发电。

6.4 强化质保体系及核查监督机制、提高产品质量

可靠的质量保障体系包括以下三个方面：颁布实施一系列产品质量标准；实行严格的产品质量保证及检测认证制度和相关法规、规范、要求等；建立权威有效的核查评估



与监督管理机制。

1. 完善并强化光伏系统技术标准

鉴于我国目前已经实施执行的光伏技术标准均为推荐标准，强制性、权威性不足，影响到标准的执行力度和我国光伏市场的发展，国家标准制订部门应尽快将对光伏发电系统质量有重大影响的标准转为“必须实行”而不是“建议实行”的强制性国家标准。

对于那些已与国际接轨、以国际 IEC 标准转换过来的国家标准，也必须尽可能转为强制性标准。同时要加快相关标准制定的步伐，要尽快组织专家，制订关于光伏发电系统方面的技术标准 and 规范，特别是并网光伏发电系统的相关标准和技术规范。

那些已经制定完成等待出版的光伏技术标准，应以其他方式先行发布实施，让相关行业遵照执行，以利于光伏市场的规模化顺利发展。

2. 与国际接轨、推行产品强制认证机制

产品强制认证是国际通行做法，权威的认证机制是保证产品质量的基础。要按国际要求进行配置，强化国家级“中国光伏检测中心”的地位。国内已有的高水平光伏发电检测机构，要进行设备更新和技术改造，提升检测能力和检测水平。要采取与国外著名的光伏检测机构合作、开展国际测试比对工作等措施，提升国内检测机构的实力和国际地位，让国际上认可中国检测机构的检测结论。

要根据检测机构的设备和技术实力，建立检测机构的分级制度。要统一产品性能检测和评价标准，强制规定光伏产品检测的市场准入要求，确立并维护检测结论的效力和权威性。

严格实施光伏产品的质量认证制度，加快“建立中国太阳能光伏产品认证体系”项目实施步伐，确保该认证体系的科学性、适用性、可操作性。尽快制定相关的认证文件和认证程序，授权获得认证资质的相关机构按照相关的国家标准或国际标准进行产品检测并颁发“中国光伏产品金太阳(CGS)”证书。

3. 健全核查评估与监管机制和办法

核查评估与监管机制包括制订质量标准、规章制度，及必要的机构设置两个方面内容。

1) 首先要明确供电服务的指导思想。无论离网光伏系统还是并网光伏系统，光伏发电市场的终端产品是光伏系统所产生的电能，是为用户提供符合质量要求的供电服务。核查与监管是光伏发电全面质量保证体系不可或缺的重要一环，不只是保证系统的安装建设质量，同时还负有监管的责任，保证系统使用寿命期的长期可持续运行。



2) 组织光伏发电及电力系统方面的专家，依据光伏发电系统建设及运行的全过程，确定系统的建设模式、运营管理模式、程序要求和管理规范，界定需要进行性能评估及核查验收的各个质量控制环节，制订实施评估的质量标准及相应的核查验收内容、方式等。

3) 组建国家级的“中国光伏发电质量管理办公室”，全面履行光伏发电系统建设与运行的质量控制与监督管理职责。组建或选择中立的、有资质的专业机构“中国光伏发电技术顾问咨询公司”，进行光伏发电的顾问、咨询、建设期的监理和运行期间的监管，并组织必要的质量评估与核查验收工作。

4) 在项目实施过程中，要首先确定项目业主，实行项目业主负责制。由项目业主进行工程的招标建设、制订管理规程、实施维护管理及运营供电服务。

6.5 制订及完善相关法规与激励政策

《中华人民共和国可再生能源法》实施以后，国家又陆续出台了一系列支持可再生能源发展的配套政策规定，为可再生能源发电的大规模发展提供了法规依据和政策保障，极大地推动了我国可再生能源发电市场的发展。近几年风力发电投资火热，大型风力发电场纷纷建立，市场呈井喷式发展，充分说明配套完善的法规及激励政策对于中国可再生能源发电市场发展的巨大推动作用。

然而这些可再生能源发展的扶持和配套政策对光伏市场发展的推动作用并不明显，其主要原因在于相关的实施细则暂行办法中，规定了光伏发电执行“一事一议”的政策。要拓展光伏发电市场，需将“一事一议”改为类似于风电“招标定价”的市场化运作模式，大力促进并网光伏系统的建设。目前应根据光伏发电的特点，尽快制订及完善针对光伏发电的配套政策和规定，对光伏发电给予必要的扶持和帮助。

1) 制订“中国光伏产业振兴发展提要”

针对我国光伏产业主要依靠国外市场的现状，抓紧制订“中国光伏产业振兴发展提要”，出台应对金融危机、扶持中国光伏产业的应急政策措施，诸如增加出口退税比例，尽早启动并加大国内计划项目的规模和补贴支持的力度，扩大内需以弥补国外光伏市场的萎缩。

2) 制订“并网光伏发电实施导则”

依靠法律、法规来保障光伏市场的发展，特别要有明确的适合中国国情的强制性规定和要求。如对电力系统要有一定量的光伏发电所占的比例要求，要保证电力系统的合

理利益，充分调动电网公司的责任感和主动性，积极参与光伏发电的应用实践。

3) 制订“光伏发电上网电价办法”

根据已经出台的关于可再生能源电价方面的有关政策规定，适当提高可再生能源电价附加并明确对光伏发电的扶持，制订符合目前光伏发电技术经济现状的“光伏发电上网电价办法”，明确规定光伏发电在可再生能源发电中的地位及其在“可再生能源电价附加收入调配”中所占份额，落实光伏发电系统的电价补贴的规定，扶持和帮助光伏发电的市场发展。

4) 制订“光伏发电项目建设和运营实施导则”

规范光伏发电项目立项、建设、运行管理方面的要求和规定。特别是项目建设及运营费用上的优惠政策和待遇，如减息贴息、减税免税、提供长期优惠贷款等。对于有一定技术含量的攻关、示范项目，国家应投入一定比例的公共资金作为不参加分红的一部分初始投资，共担风险，以推动大规模并网光伏发电的商业化运作。

5) 制订“光伏发电市场行为规范”

实行光伏企业及产品的市场准入机制，避免无序竞争。要严格产品认证制度，规范光伏产品市场，保证光伏发电的产品质量，保护光伏发电市场健康有序地发展。

6) 制订“光伏发电系统运行管理条例”

要明确供电服务的基本指导思想，制订统一的、规范化的光伏发电系统的运行管理条例，规定光伏系统发电、供电、用电各方的相互关系和责任、权利、义务，以及对光伏发电企业业主和从业人员的基本要求。

7) 制订“光伏发电建设及运行监督管理规程”

加强针对光伏发电的项目建设及运行的监督管理工作，明确管理和监督、检查的规定和要求，及违反规定的处理和惩罚措施等。组建职能机构，实施相应的核查监管，保证光伏发电的项目建设质量和充分发挥运行效益。

8) 制订“农村离网光伏发电系统建设及运行管理办法”

鉴于离网光伏发电系统在我国农村电力建设中的重要作用及在我国未来光伏市场中的地位，要组织各方面专家，根据“送电到乡”工程等项目的实践经验，制订针对性强的我国农村电力建设中离网光伏发电系统建设及运行管理办法。要按照可再生能源法及相关法律政策规定，规范村落光伏电站及户用光伏系统的建设及管理和运行维护要求。

农村离网光伏发电的关键是要确定项目业主。为便于按“同质同价”的原则落实供电服务及电费收取，宜由当地电力部门承担业主责任，全面负责项目建设和运营管理及



维护保养。要按照国家规定的人均年用电量200千瓦小时的供电目标，根据因地制宜、多能互补的原则进行优化选择，确定供电方式及进行技术方案设计。项目建设费用应由中央、地方、用户三方合理分摊；运行供电应按《可再生能源法》及有关规定实行电费补贴政策。要结合解决已建项目的遗留问题，制订可实际操作的实施细则，顺利实施新建项目。

9) 制订“开阔地大型光伏电站建设实施细则”

开阔地安装的兆瓦级大型光伏电站是以发电上网为目的的电力设施，应由电力部门负责建设及管理运行，以保证电力安全。

开阔地光伏电站建设应由各地方发改委主持实施。国家发改委及能源局根据国家能源发展规划和财政经济状况进行总量控制，适时发布实施规模限额及各地域最高上网电价等指导性文件，各省(市、区)发改委立项，上报国家发改委批准进行。

开阔地光伏电站可参照“风力发电”模式，采用“特许权招标”、“差额电价补贴”的市场化方式运作。鼓励和支持各种形式的非国有资本投资，当地政府应在融资、贷款、土地、税收等方面给予政策优惠。在确定上网电价时，应适当考虑投资者的合理利润。

10) 制订“城市并网光伏发电实施办法”

城市光伏发电系统，包括安装在建筑物上的光伏系统和光伏建筑集成一体化(如光伏幕墙等)光伏系统两类，一般应低压并网、以“自发自用”为主。城市光伏发电的并网要向当地电力主管部门申请批准，并上报当地发改委备案汇总。项目建设资金由业主/用户自筹，国家按规定给予一定量的一次性投资补助，由中央和地方按一定比例分担。自用多余及不足的电力，由用户与电力公司商议结算，原则上上网电力不再享受“差额电价补贴”。

对于那些容量较大、“自发自用”后仍有较多节余电力并网上送的城市光伏发电系统，如果项目业主/用户要求享受“差额电价补贴”，需在立项申报时予以说明。原则上按建设“光伏电站”的方式进行，国家给予补贴的形式及补贴数额需经听证后商议确定，并予以公示。

国家发改委应对城市并网光伏发电进行宏观调控，适时发布实施规模及各地不同光伏系统补贴要求和规定等指导性文件，并会同电监会实施督查和监管。

11) 制订“城乡分布式户用并网光伏发电实施办法”

对于城市和乡村个体所有、容量较小(10千瓦以下)的户用并网光伏系统，在条件许可的情况下，也应予以支持和鼓励。在城市安装的户用并网系统，按上述“城市并网光



光伏发电实施办法”执行，即：低压并网，自发自用；费用自筹，政府补助。应由用户提出申请，当地电力主管部门进行可行性审核，统筹安排进行。当地电力部门对户用并网光伏系统负有监管及指导使用的责任。

在已被电网覆盖的贫困地区农村，可试点进行“光伏扶贫”。即允许少数贫困户建设户用并网光伏系统，并网电力享受“差额电价补贴”，以获得一定的经济收入。建设费用可采用用户自筹加政府扶助的方式筹集，银行提供抵押低息贷款，政府免除税收并免费提供技术咨询服务。“光伏扶贫”并网光伏系统也要由用户提出申请，当地电力主管部门进行可行性审核，统筹安排实施，并接受电力部门的监管。

12) 制订“城市应急光伏电源建设及运行管理实施细则”

要深刻理解城市应急光伏电源的重要意义，首先在城市应急避难场所抓紧进行安装建设。应急光伏电源以保证应急情况下为应急场所及设施供电为目的，建成带储能设备、多能互补的并网光伏系统，平时发电并网，应急状态下离网独立供电。

应急光伏电源的建设费用以地方为主，中央补助为辅；在确保应急供电的前提条件下，也可以考虑采用商业化模式引进其他资本，以平时电力并网的收益作为投资回报。

各地政府和发改委全面负责应急光伏电源的实施工作，并责成当地电力部门承担业主责任，负责项目的工程建设及运行和维护管理工作。要把保证质量放在应急光伏电源建设的第一位，绝对保证应急情况下的可靠供电。具体见附件“10.4突发公共事件应急体系建设光伏电源项目实施导则”。

6.6 小结

本章提出加速开拓国内光伏市场、促进产业发展的措施与政策建议，主要包括：

1. 关于产业发展的建议，参照国际多晶硅发展“扩建为主，少建新厂”的模式，建议国家支持有技术和产业化基础的厂家加大技术投入，加快具有自主知识产权技术研发与产业化步伐，缩小与国外老牌多晶硅企业的差距，确保多晶硅产业和谐、健康、稳定、持久地发展。
2. 国家加大科研的投入力度，掌握并完善产业关键技术，降低光伏发电的投资成本。加大资金、人员方面的支持力度，进一步完善并整体提升我国高纯硅生产核心技术，促使组件价格回归正常价位。
3. 对薄膜太阳能电池给予更多的重视和支持，使我国薄膜太阳能电池生产技术不断完善和成熟，进入规模化实际应用市场；加快进行大容量高效并网逆变器等并网光伏关键



设备的技术攻关及开发研制步伐，并尽快产业化，为大规模建设大型并网光伏电站提供技术支持。

4. 目标明确地、有计划地开展规模化的光伏并网实用化试点与先导应用，与电力系统紧密配合，共同解决有关技术问题和电力管理问题。加快实施《可再生能源中长期发展规划》的步伐，大大增加大型并网光伏发电系统的实施规模，扩大光伏屋顶并网发电的实施规模和实施范围，加快实施进度，探索利用分散的民间资本的投资模式，取得运行维护管理和电网系统的安全与电力调度方面的经验。
5. 加强包括资源普查和评估、基础技术和产品的研发、质量监督服务体系等方面的光伏发电各项能力建设，构建各级各类人员的教育和培训体系。在大中专学校设置光伏发电专业，建立国家及地方的“可再生能源发电培训中心”，培养及培训不同层次的光伏发电专门人才，加大光伏发电的基本知识培训和科普宣传力度，提高公众环保和洁净能源意识。
6. 建立质量保证体系，提高产品质量。诸如：颁布实施强制性产品质量标准，设立权威的国家级检测机构，建立有国际影响力的产品强制认证机制，以及建立权威的、健全有效的核查评估与监管机制等。
7. 坚持科学发展的理念、以人为本、积极引进一流光伏技术人才。一流光伏人才是发展光伏产业的第一战略资源。有了这样一批顶尖人才，我国就可以在激烈的国际光伏产业竞争中占据科学前沿、把握重大科技发展方向，获得更多开创性成果，更能决定着光伏产业的实力和水平。有关部门应创造有利条件，加强对外光伏技术合作与交流，积极引进国际上顶尖光伏人才。目前，要创造一切有利条件吸引最为紧缺的硅原料提纯、硅切片技术、光电转换技术等方面的人才。
8. 推行绿色电价改革。光伏发电的价格是涉及光伏产业链中每个环节发展的敏感神经。建议，本着既不影响居民生活、又促进整个社会节能并支持可再生能源发展的原则，适当提高电价，将增量部分用来支持包括光伏发电在内的绿色电力发展。
9. 关于光伏发电的实施原则建议：
 - [1] 国家能源局发挥宏观调控的作用，各省（自治区）上报的光伏发电项目的总容量、补贴费用总额由能源局来调控。
 - [2] 尽快制订及完善针对光伏发电的配套政策和规定。参照风力发电的发展模式，将并网光伏发电“一事一议”的政策改为市场化运作模式，大力促进并网光伏系统的建设。

- [3] 能源局采用类似风力发电特许权招标的办法，核准或审批各省（自治区）上报的光伏发电项目。
- [4] 光伏发电项目采取多渠道、形式灵活的融资机制，遵循“合理成本、合理利润”的原则。
- [5] 鼓励民间资本参与投资光伏发电项目。

参考文献

- [1] 马胜红，江苏光伏产业状况调研报告，2008年11月
- [2] 赵玉文、王斯成等，中国光伏产业发展研究报告（2006-2007），中国可再生能源发展项目办公室、中国可再生能源学会光伏专业委员会，2008年5月
- [3] 国家863计划先进能源技术领域“薄膜太阳能电池成套关键技术”重点项目课题申请指南，2008.08.18
www.most.gov.cn/tztg/200808/P020080818616178432976.doc
- [4] 863计划先进能源技术领域2008年度专题课题申请指南，科技部网站
- [5] <http://www.most.gov.cn/tztg/200805/P020080522405385309328.doc>,
2008-05-21
- [6] 国家863计划先进能源技术领域“MW级并网光伏电站系统”重点项目申请指南
2006.10.01 科技部门户网站 www.most.gov.cn 2006年10月01日
- [7] 中华人民共和国国家发展和改革委员会，可再生能源中长期发展规划，2007年9月，www.sdpc.gov.cn；中国网 china.com.cn，2007-09-04
- [8] 国家发展改革委，可再生能源发展“十一·五”规划，www.sdpc.gov.cn，2008-03-19
- [9] 李俊峰、王斯成等，中国光伏发展报告2007，中国环境科学出版社，2007.9
- [10] 于波，国内首座太阳能光伏幕墙五星级酒店-保定“电谷锦江”引领中国 BIPV[J].
建设科技，2008，(06)：52-53
- [11] 马胜红、孔力、陈东兵等，敦煌8MWp并网光伏发电预可行性研究，太阳能，2004年6期：5-9
- [12] 中国科学院电工研究所，中国“十一·五”光伏发展规划建议报告，2005年5月
- [13] 中国科学院电工研究所，建立中国农村可再生能源供电可持续培训机制的建议，
2005年9月
- [14] 马胜红、陈东兵等，离网村落光伏发电系统的质量控制链的研究报告，中国科学院



电工研究所可再生能源发电咨询与培训中心，2007年9月

- [15] 王斯成，我国光伏发电有关问题研究，中国能源，2007年29卷2期：7-11
- [16] 中华人民共和国国家发展和改革委员会，可再生能源发电价格和费用分摊管理暂行办法，2006年1月
- [17] 中华人民共和国国家发展和改革委员会，可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法，2006年1月，
- [18] www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/tz2006/W020060206506597675623.doc
- [19] 严陆光、陈俊武主编，中国能源可持续发展若干重大问题研究，科学出版社，2007年3月
- [20] 胡学浩、周孝信等，极大规模光伏发电在中国的发展前景展望，《科技导报》，2004年第11期（总第197期）
- [21] 周孝信、胡学浩等，极大规模光伏发电及其电力系统在中国发展的初步可行性研究，
- [22] 中国电力科学研究院报告，2004年4月



7. 启动并实施“中国光伏跃进计划(2009-2012)”的分析与建议

7.1 国家采取紧急措施帮扶光伏企业渡过难关

1. 金融危机严重冲击中国光伏产业

国际光伏产业的新格局加上突发的国际金融危机，使得中国的光伏产业面临严峻形势。

国际上最新光伏研究和分析报告(Deutsche Bank, HSBC, EPIA & Green Peace, PV News, Solar News Letter等)显示，从2009年开始，太阳能级多晶硅将出现供大于求的局面，并将持续2-3年。与此同时，全球的阳光电池、光伏组件生产也将释放产能，供应量超过需求量而导致价格大降。

金融危机导致德国、西班牙调整光伏电价补贴政策，严重影响世界光伏销量。预计2009年德国市场将不会有正增长，而西班牙的市场将由2008年的266万千瓦(2660MWp)下降到2009年的50万千瓦(500MWp)。由于德国和西班牙在2007和2008年全球光伏市场中合共占有68%和72%的份额，因此德国和西班牙市场下滑将对世界光伏市场产生严重的影响。虽然美国、日本相继出台了新的补贴和税收优惠政策，2009年都将启动，但这两个国家在2007和2008年全球光伏市场份额中合共占有24%和12.5%(solar plaza, 2009/1/23)，其市场的增长远不足以补偿德国和西班牙市场的下滑。这对于正处于上升势头、98%的产品出口并以德国、西班牙为主要市场的中国光伏产业无疑是一个巨大的打击，减产及出口下降已经显现。

全球金融危机导致油价暴跌，使得国际上对能源的压力得以暂缓，对于仍然成本高昂的光伏发电又是雪上加霜。世界光伏市场需求大幅下降，许多订单被推迟和取消。2008年10月份以来，中国大部份光伏企业已出现亏损，部分中小企业陷于停产，面临被兼并或破产的危险。

2. 中国光伏产业面临挑战

我国已成为世界光伏大国，2007年光伏电池产量份额占全球27.2%，居全球第一，2008年占全球的31%，继续高居榜首。但我国光伏产业整体薄弱，特别是“市场在外”的问题，使我国的整个光伏产业处于巨大的风险之中。一旦中国的光伏产业遭受重创，近期的直接影响是可能减少上千亿的产值和出口额。长远来看，则可能使我国的光伏产业严重倒退，对中国光伏产业将是一场灾难。



尽管金融危机引发了世界光伏市场需求急剧萎缩，但光伏企业也正在努力争取新的发展和突破。世界各国考虑到光伏等新能源可以带来新的经济增长，国家扶持光伏的政策大方向不会有变。美国议会通过了可再生能源税收延长法案，日本将恢复对居民安装光伏发电系统的补贴政策。渡过金融危机之后，光伏等新能源将成为银行等金融和投资机构的新业务和利润增长点。因此，在全球金融危机面前，光伏市场即便受到较大影响，但是从长期看，光伏市场的政策推力依然存续，光伏产业的市场成长依然强劲。

经历金融危机的冲击，中国及世界的光伏产业都将重新洗牌。加上产业链整合和企业内部创新带来的成本下降、效率提升，光伏产品的价格将回归理性，世界光伏产业也将步入健康、良性发展的新时期。中国政府应抓住时机，加速开拓国内光伏市场，在救助我国光伏产业、避免产业倒退和破产、减少损失的同时，促使我国的光伏发电迈上一个新台阶。

3. 中国“光跃计划 2009”

为了帮助中国的光伏产业渡过难关，建议国家采取紧急对策，尽早启动扩大光伏市场应用的相关项目——“中国光伏跃进计划(2009-2012)”，简称“光跃计划 2009”。

1) 启动规模化光伏市场的产业技术条件已经具备

(1) 光伏产业链趋于完整、逐步成熟

中国光伏经过近几年的高速增长，形成了一批世界级领军企业，2007、2008已连续两年成为世界第一的太阳电池组件生产国和出口国。随着产业规模的壮大，中国光伏产业拥有了相对领先的电池研发和制造技术和显著的成本优势，产业链和产业集群逐渐完善。尤其是在上游多晶硅材料生产的关键技术、设备、工艺技术等，不断取得重大突破，产业链的上下游渐趋平衡并相对完整，正在改变生产光伏电池所需的高纯硅材料主要依靠进口的受制于人的被动局面。

(2) 离网光伏发电技术成熟

中国通过实施“送电到乡工程”、“世行 REDP 项目”、“中德合作 KFW 项目”等大规模的离网光伏发电项目，极大地带动了我国太阳能电池的生产制造，推动了逆变器、控制器等系统配套平衡部件的研发生产，锻炼和培养了大量从事光伏发电应用的设计、安装调试、运行维护方面的技术人才，并在营销、管理、质量控制、售后服务方面取得了宝贵的经验。通过多年的努力，我国的实用化离网光伏发电在规模和技术水平上，都已处于国际前列，完全具有建设离网光伏发电所需要的人员、技术、设备等方面的实力。



(3) 并网光伏发电顺应当前的国际趋势

光伏并网是光伏发电的发展方向，是世界光伏发电的主流。由于中国政府对并网光伏发电技术的研究十分重视，通过对并网光伏发电技术的研究和攻关，在光伏发电的并网技术、大型光伏电站使用的控制器和逆变器技术方面都取得了阶段性成果。单机功率150千瓦以上的大功率并网逆变器也已由企业研制开发，并在实际工程中得到了应用，性能和效果良好。“十·五”期间，又将并网光伏发电技术列为重要的研究方向，加强了对并网光伏发电的系统设计、关键设备研制和光伏与建筑相结合等方面的攻关，加速了并网光伏发电技术的步伐，并建成了多座并网示范电站。这些示范电站的建设都极大地推动了我国并网光伏技术的发展。目前，我国并网光伏系统在关键技术、产品质量及电能质量等方面，已完全达到国际标准，符合我国电力系统的要求。国内某些企业生产的并网逆变器，80%以上产品出口欧美。在我国开展规模化光伏并网发电的技术条件也已具备。

2) 规模化光伏发电相关的法规政策条件已基本齐备

(1) 《可再生能源法》已经颁布实施

《中华人民共和国可再生能源法》已于2006年1月1日生效实施。《可再生能源法》中明确规定了可再生能源发电系统的初投资由项目开发商承担，电网公司应当按照合理的上网电价（成本加合理利润）全额收购所发出的上网电量。超出常规上网电价的部分，通过向电力用户征收电价附加的方式在全国电网分摊。《可再生能源法》是我国光伏发电规模化、市场化发展的法律基础，也是政府在初始阶段给予财政补助及其它优惠政策予以扶持的法律依据。目前需要的是制订出台针对光伏发电的相关的配套政策规定，进行宏观调控与指导。

(2) 与可再生能源法相关的配套政策已基本齐备

为保证《可再生能源法》的落实和实际执行，国家发改委等有关部门已颁发与《可再生能源法》配套的相关系列配套政策和规定，如《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》（2007年9月1日生效）、《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》（发改价格[2007]44号）等。在这些配套的政策规定中，强调电网企业必须按照《可再生能源法》的原则优先收购可再生能源发电量，优先调度可再生发电资源并将无调节能力的风能、太阳能等可再生能源发电机组排序在优先级的第一位，对于可再生能源电价附加征收及电价补贴的实际操作程序也做了明确规定。促进我国光伏发电规模化、市场化发展的法规政策条件已基本齐备。

(3) 尽早启动大规模光伏发电项目的时机已经成熟

- 国内对于光伏发电的激励政策在国家层面上已经完备，各级政府也给予高度重视和极大关注。国内大型风电场并网发电近几年快速发展的经验表明，只要出台针对光伏发电的可具体操作的实施办法，制订类似于风电场建设“招标定价”的实施细则，大规模光伏发电可按市场化方式运作并获得快速发展。
- 能源和环境问题日趋严重，大力发展可再生能源已成为全社会的共识。广大民众及社会对光伏发电的认知程度已有极大提高，政府及公众已经能够客观、全面、科学地认识光伏发电的投资成本与收益。启动大规模光伏发电项目将会得到社会和公众广泛的认同与支持。
- 我国光伏产业的飞速发展和技术进步使光伏发电的成本大幅降低，目前的国际金融危机促使光伏发电的价格回归理性。最好的例证是：敦煌1万千瓦大型并网系统于2009年3月开标的上网电价报价平均在1.3-1.4元/千瓦时之间，最低报价只有0.69元/千瓦时！
- 在这样的有利形势下，适时启动我国大规模光伏发电项目，不但能帮助中国光伏产业渡过难关，同时可以节省政府大量的资金投入，扩大项目实施规模，提前实现国家《可再生能源中长期发展规划》和《可再生能源发展“十一·五”规划》中所定的目标，促使光伏发电早日发挥在电力结构中应有的地位和作用，是一件利国利民的大好事。

4. 尽早启动实施中国规模化光伏应用的“光跃计划 2009”

1) 我国太阳能光伏发电的发展规划目标^{[7][8]}

在我国国家发展和改革委员会制订的《可再生能源发展“十一·五”规划》及《可再生能源中长期发展规划》中，对我国的太阳能光伏发电都有明确的发展目标。《可再生能源发展“十一·五”规划》的发展目标是到2010年光伏发电装机总容量应达到30万千瓦(300MWp)，中长期发展规划提出的目标是：到2020年的总装机容量要达到180万千瓦(1,800MWp)。国家能源局于2009年2月拟订的《能源振兴规划(2009-2011)》，提出了新增太阳能发电容量50万千瓦(500MWp)的发展目标，因而到2011年的装机总容量将达到64万千瓦(640MWp)，显然较《可再生能源发展“十一·五”规划》的发展目标有大幅度提高。表7-1列出了我国可再生能源发展规划中光伏发电的分类发展目标。



表7-1 可再生能源发展规划中国国内光伏发电分类发展目标(万千瓦)

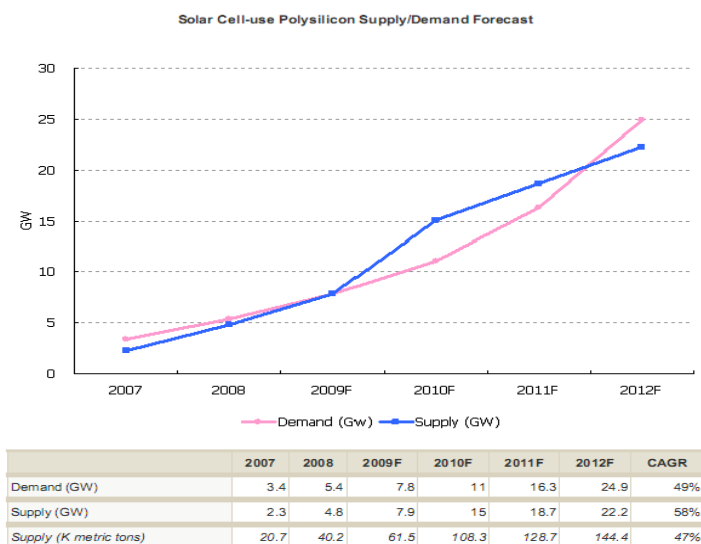
市场分类	到2010年 (“十一·五”规划)	到2020年 (中长期发展规划)	能源振兴规划 (2009-2011)
无电地区电力建设	10	30	新增容量 50 (投资300亿元)
城市光伏屋顶、阳光照明等	5	100	
较大规模开阔地光伏电站	5	20	
累计总量	30	180	64
2009年以后平均每年增加量*	8	13.8	16.7

* 至2008年底我国光伏系统累计装机总量约为14万千瓦(140 MWp)。

2) 建议尽早启动实施“光跃计划2009”提前实现规划目标

无论是从国际光伏发电市场发展的目标和从我国光伏产业的规模和技术水平来分析,上面所列出的我国光伏发展规划指标都显得保守,与当前的光伏发电飞速发展的形势不相适应。在当前国际光伏市场萎缩、价格理性回归的大好形势下,建议中国政府抓住有利时机,尽早启动实施总装机容量达350万千瓦(3.5GW)的“光伏跃进计划(2009-2012)”,提前实现中长期的发展目标。

从图7-1所示的曲线可以清楚地看出(2009-2012)年世界光伏市场供大于求的状况,其中2010、2011年的供应余量将分别达到36%、15%,合计约6.4GW。中国的“光跃计划2009”能够提供约3.5GW的光伏市场,是中国大陆2008年产量的3倍(1,270 MWp,占全球19.84%),将给中国的光伏产业以及及时的扶助,并能促成早日实现光伏产业界提出的“光伏发电1元/千瓦时”的产业化目标^{[1][9][10][11]}。



(Source: Displaybank, "Solar Cell-use Polysilicon, Ingot and Wafer Technology and Market Trend")

DisplayBank 2009-01-16

图 7-1 世界光伏市场供求关系曲线

“光跃计划2009”分类市场及建议各年的安装容量见表7-2。“光跃计划2009”实

施完成以后,新增总装机容量350万千瓦中的86%以上是并网光伏系统(包括应急光伏电源),并网光伏发电容量将超过300万千瓦,使我国光伏发电技术的应用真正进入主阵地。

按照表7-2的实施年度安排,“光跃计划2009”将使我国光伏发电系统累计安装总容量在2011年达179万千瓦(1,790MWp),提前实现“可再生能源中长期发展规划”中2020年180万千瓦(1,800MWp)的发展目标。其中2009-2011年合计安装165万千瓦(1,650MWp),是《能源振兴规划(2009-2011)》提出的50万千瓦(500MWp)发展目标的3倍以上。

表7-2 “光跃计划2009”分类市场及所占份额

项目名称	年份	年安装量 (MWp)					市场份额 (%)				
		2009	2010	2011	2012	合计	2009	2010	2011	2012	合计
A	无电地区电力建设	20	100	150	100	370	16.7	20.0	14.6	5.4	10.6
B	开阔地并网光伏电站	60	250	600	1,000	1,910	50.0	50.0	58.3	54.1	54.6
C	城市并网光伏系统	20	80	150	500	750	16.7	16.0	14.6	27.0	21.4
D	应急光伏电源	15	50	100	200	365	12.5	10.0	9.7	10.8	10.4
E	城乡光伏照明	5	20	30	50	105	4.2	4.0	2.9	2.7	3.0
	合计	120	500	1,030	1,850	3,500	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

“光跃计划2009”具体项目内容包括:

(A)无电地区电力建设项目。解决西部无电地区农牧民等生活用电问题,实施送电到村及户户通电,并考虑送电到乡项目的扩容改造问题,以及进行“光伏扶贫试点”。2009年安装光伏系统容量合计2万千瓦(20MWp),2009-2012年合计安装37万千瓦(370MWp);

(B)开阔地并网光伏电站项目。主要建在西部省区的荒漠、戈壁,东中部较发达省份的荒坡、荒地等开阔地域,以发电及上网送电为目的。在2009年安装光伏系统容量合计约6万千瓦(60MWp),2009-2012年合计安装191万千瓦(1,910MWp);

(C)城市并网光伏系统。主要建在城市公益及大型建筑物的屋顶等。在2009年安装光伏系统容量合计2万千瓦(20MWp),2009-2012年合计安装75万千瓦(750MWp);

(D)大中城市应急体系机构及场所的应急光伏电源。主要是带蓄电池的并网光伏系统。2009年安装应急光伏电源容量合计1.5万千瓦(15MWp)。2009-2012年合计安装36.5万千瓦(365MWp);

(E)城镇及新农村建设中的“光伏照明”工程。在2009年安装光伏照明灯10万盏,系统容量合计约5,000千瓦(5MWp),2009-2012年合计安装10.5万千瓦(105MWp)。总

计安装光伏照明灯约200万盏左右，称为“光伏明灯200万”工程。

3) “光跃计划2009”项目建设资金及费用

按照国家发改委发展规划中的精神，光伏发电项目建设资金问题，应根据其应用领域、建设规模、技术特点和发展状况，采取国家投资和社会多元化投资相结合的方式解决。在《能源振兴规划(2009-2011)》中明确指出：中央财政给予补助，并由政府核定电价，超出当地燃煤发电标杆电价部分，纳入可再生能源发电费用分摊机制。表7-2“光跃计划2009”所列的项目中，无电地区电力建设、应急光伏电源、城乡光伏照明三类都是主要由政府给予补助的公益性项目；而并网光伏项目，无论是开阔地安装还是城市光伏屋顶，都可以采用电费补贴的商业化模式建设和运营，或是由政府一次性给予初始建设投资补助而减少甚至不给予运营电费补贴。

随着光伏产业的技术进步及市场规模的不断扩大，光伏发电的上网电价将逐渐降低。而其他常规发电的上网电价必然将逐年增加，二者之差则须按照相关法律政策规定用全国电网分摊的附加电费予以补贴。

表7-3列出了(2009-2012)年开阔地光伏电站光伏发电上网电价及补贴概况，是以2009年开阔地光伏电站并网上网电价1.4元/千瓦时为基准、以2012年并网光伏1元/千瓦时为目标预测估算的，其中常规上网电价按2009年0.5元/千瓦时、年增5%计算。

表7-3 (2009-2012)年开阔地光伏电站并网系统成本与上网电价及补贴额估算表

年份	2009	2010	2011	2012
光伏组件单价(元/瓦)	15	13	11.5	10
并网光伏系统建设成本(元/瓦)	20	18	16.5	15
并网光伏上网电价(元/千瓦时)	1.40	1.20	1.05	1.00
常规上网电价(元/千瓦时)	0.50	0.53	0.55	0.58
差额电价补贴(元/千瓦时)	0.90	0.68	0.50	0.42

表7-4列出了“光跃计划2009”各年光伏系统分类项目的初始投资成本及各类光伏系统投资总额概算，是以表7-2中的年度计划及参照表7-3所列开阔地光伏电站并网光伏系统初始建设成本数据为基数进行估算的。其中带蓄电池的离网独立光伏系统及光伏照明系统比并网系统多出的设备投资均按不变价格考虑。

考虑到在实施“光跃计划2009”的4年中，我国光伏建筑一体化集成(BIPV)相关产业和技术尚难以达到大规模应用的水平，“城市并网光伏系统”将以建筑物安装的光伏系统为主，其系统构成与“开阔地并网光伏电站”相类似，成本较高的BIPV系统只占很小的比例。因此在表7-4中进行总投资概算时，“城市并网光伏系统”的初始建设投资成本

与“开阔地并网光伏电站”取同一数值。

表7-4 光伏系统分类初始投资成本及“光跃计划 2009”项目投资总额概算

	年份	光伏系统分类初始投资成本测算(元/瓦)				“光跃计划 2009”项目投资总额概算(亿元)				
		2009	2010	2011	2012	2009	2010	2011	2012	合计
A	无电地区电力建设	30.0	28.0	26.5	25.0	6.0	28.0	39.8	25.0	98.8
B	开阔地并网光伏电站	20	18	16.5	15	12.0	45.0	99.0	150.0	306.0
C	城市并网光伏系统	20	18	16.5	15	4.0	14.4	24.8	75.0	118.2
D	应急光伏电源	30.0	28.0	26.5	25.0	4.5	14.0	26.5	50.0	95.0
E	城乡光伏照明	50.0	48.0	46.5	45.0	2.5	9.6	14.0	22.5	48.6
	合计	//	//	//	//	29.0	111.0	204.0	322.5	666.5

从表7-4可以看出,实施“光跃计划2009”安装350万千瓦光伏发电系统的总投资约需670亿元,其中的无电地区电力建设、应急光伏电源、城乡光伏照明三项主要由政府出资实施,投资总额约为240亿元。

表7-4中的数据表明,(2009-2011)年的投资总额合计约344亿元,比国家能源局《能源振兴规划(2009-2011)》中提出的300亿元增加约15%,而安装总容量增加2倍以上,达165万千瓦(1,650 MWp)。

7.2 37万千瓦(370MWp)无电地区电力建设项目

1. 尽早启动实施“送电到村”及“送电到户”工程

经过“送电到乡”工程及各项国际合作项目等一系列项目的实施,以及电网延伸的努力,我国偏远、贫困农村地区的无电人口已大幅度降低。在《可再生能源中长期发展规划》及《可再生能源发展“十一·五”规划》规划中,明确提出继续采用户用光伏发电系统或建设小型光伏电站,解决约100万户偏远地区农牧民生活用电问题。在国家能源局《能源振兴规划(2009-2011)》中提出的目标是:要解决230万户无电人口用电问题,农村人均生活用电量达到200千瓦时以上;有约200余万户要用光伏发电来解决。

在目前金融危机情况下,建议尽早启动实施“送电到村”及“送电到户”工程,加大加快实施的力度和进度,提前实现规划预定的目标。即使按人均年生活用电量50千瓦时(《能源振兴规划(2009-2011)》中的1/4)、每户3.5人计算,则200万户的光伏发电装机容量将达到约44万千瓦(440MWp,年满发运行800小时),如按人均200千瓦时计算,则总容量将达175万千瓦。

2. 对“送电到乡”项目进行扩容和改造

“送电到乡”工程虽然解决了乡政府所在地的供电问题,但仅限于照明、看电视等



基本生活用电需求。随着社会飞速的发展进步，人民的生活水平有了极大提高，边远落后地区家庭购买和使用各种家用电器的情况越来越多，用电量大幅攀升，2002-2003年实施“送电到乡”工程所建的光伏发电系统已远远不能满足当地人民的用电要求。

建议安排进行一次普遍的大修和中期技术服务，适当扩容及改进与完善技术装备，提高已建光伏发电系统的供电能力与供电质量。“送电到乡”工程太阳能光伏电站（包括风光互补电站）总装机1.96万千瓦(19.6MWp)，加上历年实施的一系列项目及大量的户用系统，累计装机总容量约4万千瓦(40MWp)^[2]。根据目前供电情况和用户用电要求及发展前景，以及建设时仅按基本生活用电(照明、看电视)需求设计容量，考虑到与大电网供电同质同价的原则，建议扩容25%，新增光伏发电装机容量1万千瓦(10MWp)。

3. 实施“光伏扶贫计划”试点

各级政府可以试行“光伏扶贫计划”，在具备分布式光伏电源并网条件的地区，鼓励偏远、贫困、少数民族地区农村的贫困家庭自筹资金，国家给予一定的扶持，建设并网光伏发电系统，按照可再生能源法向电网送电，所获得的电费补贴则成为这些贫困户的固定收入。以每户安装2千瓦(2KWp)计算，年发电上网电量约3,000千瓦时，按2009年的上网电价1.4元/千瓦时计算，每年每户可获得的电费收入约4,200元。

建议在“十一·五”期间可考虑在全国进行一万户光伏扶贫计划试点，光伏发电装机容量约2万千瓦(20MWp)，国家为此每年电费差额补贴支出约2,700万元（按2009年上网电价计算）。

7.3 266万千瓦(2660MWp)大规模并网项目

1. 大规模光伏并网是我国光伏产业可持续发展的支撑点

启动大规模光伏并网项目将使我国的光伏发电事业提升到一个新的水平，保持我国光伏产业的长期可持续发展。建设大规模荒漠光伏电站及在城市建设与建筑相结合的并网光伏发电系统，在我国《可再生能源中长期发展规划》及《可再生能源发展“十一·五”规划》中已有安排：到2010年合计装机容量为10万千瓦，预测2020年装机总容量达到120万千瓦。建议尽早启动并加速实施“光跃计划2009”大规模并网项目，包括开阔地光伏电站及城市并网光伏示范项目的总容量达266万千瓦(2,660MWp)，这对处于困境的我国光伏产业无疑将是一个极大的利好消息。

并网光伏发电系统采用市场化方式运作，按照相关法规政策规定给予补贴。参照国家在风力发电方面成功实施的特许权招标模式，尽快制订针对光伏发电特点的措施和办



法,可实现尽早启动并加速实施我国大规模并网示范项目的目标。几年来,中国的光伏产业界在扩大产业规模的同时,也在不断推进技术进步,努力降低生产成本。在遭受国际金融危机冲击、国际市场萎缩、产品供大于求的严峻形势之下,在价格竞争、各产业环节削减浮利之后,经过产品生产商、系统集成商、投资商及用户的共同努力,加上严格、科学的管理和运营维护,以及贷款、税收、土地等方面的优惠政策,到2012年并网光伏上网电价稳定在1元/千瓦时以下的目标是一定能够实现的。

国家发改委在2008年批复同意的上海、内蒙已建成并网光伏系统的上网电价是4元/千瓦时,在敦煌1万千瓦(10MWp)大型并网系统立项招标文件中也要求上网电价最高不超过4元/千瓦时。而敦煌1万千瓦项目在2009年3月实际开标的最高报价已不足2元/千瓦时,13家有效报价的平均值为1.42元/千瓦时,无疑是一个鼓舞人心的好兆头。敦煌项目招标中报价最低的前3家平均值为0.98元/千瓦时,最低0.69元/千瓦时,说明了2009年大型并网光伏系统的上网电价已有可能做到低于1元/千瓦时,提前3年实现了1元/千瓦时的目标。这就意味着,国家原计划经费所实施的项目规模可以扩大3倍以上。

表7-5列出了建议实施的“光跃计划2009”开阔地光伏电站及城市并网光伏系统规模及费用概况。所得数据是按表7-3所列并网光伏系统建设成本及上网电价数据为基数计算的。从表7-5可以看出,到2012年总容量达266万千瓦(2,660MWp)的并网光伏系统全部安装运行、开阔地电站及城市并网都按市场化方式实行电费补贴,并网发电的电费补贴额约为每年18亿元。

表7-5 “光跃计划2009”并网光伏系统实施规模及费用概况表

年份	2009	2010	2011	2012
系统初始投资成本(元/瓦)	20.00	18.00	16.50	15.00
光伏上网电价(元/千瓦时)	1.40	1.20	1.05	1.00
常规上网电价*(元/千瓦时)	0.50	0.53	0.55	0.58
电价补贴(元/kWh)	0.90	0.68	0.50	0.42
年安装量 (MWp)	80.0	330.0	750.0	1,500.0
累计安装量 (MWp)	80.0	410.0	1,160.0	2,660.0
年新增发电量**(亿千瓦时)	1.12	4.63	10.65	20.50
初始建设投资成本(亿元)	16.00	59.40	123.75	225.00
当年新增电费补贴总额(亿元)	1.01	3.13	5.31	8.63
当年电费补贴支出总额(亿元)	1.01	4.14	9.45	18.08

*: 常规上网电价按照年递增5%计算。

**：光伏系统发电量计算：开阔地电站年运行1,500小时，城市并网1,100小时。

2. 开阔地光伏电站及城市并网系统实施地域分配

1) 各地区的实施规模设想



“光跃计划2009”开阔地光伏电站总容量191万千瓦(1,910MWp)，城市并网系统安装总容量75万千瓦(750MWp)，合计266万千瓦(2,660MWp)。实施地域分配为：

- 西部地区戈壁、荒漠等开阔地并网光伏电站151万千瓦(1,510MWp)，城市并网光伏示范2万千瓦(20MWp)，合计153万千瓦(1,530MWp)；
- 东部地区荒坡、荒地等开阔地并网光伏系统37万千瓦(370MWp)，城市并网光伏系统67万千瓦(670MWp)，合计104万千瓦(1,040MWp)；
- 其他各省安装开阔地并网系统3万千瓦(30MWp)，城市屋顶并网系统示范6万千瓦(60MWp)，合计9万千瓦(90MWp)。

各省份的实施份额，应综合考虑当地的地域环境条件、太阳能资源、经济发展水平、负荷消化能力等各方面情况，以及中央和地方的支持力度等。分配见表7-6。

表7-6 “光跃计划2009”并网光伏系统实施规模分配计划 (MWp)

地区	序号	省份	开阔地光伏电站	城市并网光伏系统	合计
西部地区	1	内蒙	500	10	510
	2	甘肃	300	3	303
	3	宁夏	200	1	201
	4	青海	180	1	181
	5	新疆	150	1	151
	6	云南	100	2	102
	7	西藏	50	1	51
	8	陕西	30	1	31
西部地区合计			1,510	20	1,530
东部地区	1	河北	180	60	240
	2	北京	50	80	130
	3	天津	40	50	90
	4	辽宁	30	30	60
	5	山东	20	40	60
	6	广东	20	35	55
	7	山西	15	10	25
	8	海南	10	15	25
	9	江苏	2	200	202
	10	浙江	2	50	52
	11	上海	1	100	101
东部地区合计			370	670	1,040
其他各省合计			30	60	90
总计			1,910	750	2,660

2) 开阔地并网光伏电站：西部地区 151 万千瓦，东部及其他地区 40 万千瓦

我国总计约108万平方公里的沙漠、沙漠化土地和半沙漠化土地，主要分布在太阳能资源极为丰富的西部各省（自治区）。在未来的太阳能电力时代，这些地区将成为我国的电力生产基地。在《可再生能源发展“十一·五”规划》中提出开展荒漠或戈壁大型



光伏电站试点,《可再生能源中长期发展规划》预计到2020年累计荒漠(戈壁)光伏电站装机将达到20万千瓦(200MWp)。

建议:2009-2012年在西部8省建设151万千瓦(1,510MWp)的开阔地并网光伏电站,每省的建设规模一般为3万-50万千瓦(30-500MWp)左右。按照1平方公里土地可以安装5万千瓦(50MWp)太阳能电池组件计算,151万千瓦的并网光伏系统总共只需要约32平方公里的荒漠面积。可利用我国西部地区已有的大量水力发电站,作为大规模并网光伏电站的储能调节手段,与水力发电协调,以及利用“西电东送”工程的电力线路,实现电力系统的调度管理。同时可选择一些有条件的地方建设抽水蓄能电站,更好、更科学地利用光伏发电,并为将来更大规模地开展光伏并网创建良好的基础和条件。例如西藏已建有羊八井地热电站及羊湖抽水蓄能电站,并且海拔高、光照好,全年太阳光辐射能量充足,可以建设成为一个太阳能光伏发电的能源基地,解决西藏地区的用电需求。

在我国东部及其他地区,存在大量无法耕种利用的荒山、荒坡、荒地,特别是华北北部地带还有许多沙化及半沙漠地区。这些地区人口密集,经济规模及生产活动量较大,是我国主要用电负荷区域,同时也有较为丰富的太阳能资源。例如,山东威海的年太阳辐射总量(1,627千瓦时/平方米)超过兰州(1,514千瓦时/平方米),几乎与银川的1,654千瓦时/平方米相当。利用这些地区的荒坡、荒地建设并网光伏系统,可就地消化太阳能电力。这些地区的电网容量大,大型并网光伏发电对电网的影响相对较小。同时能够充分调动各方面的积极因素,取得实用经验,强化光伏发电的意识,促进光伏发电市场的全面发展。

建议(2009-2012年)在东部地区及其他省区的荒坡、荒地建设开阔地并网光伏电站40万千瓦(400MWp)。主要选择华东、华南和华北等各省,根据各地的太阳能资源、地形地理状况、经济发展水平等确定建设规模。由于这些地区具有技术、经济、交通等优越条件,这些地区的40万千瓦大型并网光伏系统可优先安排,尽快实施,并及时总结经验,推广应用,以及配合出台具体可操作的政策规定。

3) 城市并网光伏系统:东部地区 67 万千瓦,西部 2 万千瓦,其他地区 6 万千瓦

城市建设与建筑相结合的并网光伏系统,是光伏应用的主要方式之一。在我国目前的技术条件下,城市并网发电的主要形式将是屋顶并网光伏系统。我国的光伏产业主要集中在东部省份,光伏产业对当地经济的发展起着重要作用。这些地区经济发达,各地方政府具有开展光伏发电应用的积极性,也有发展、扶持、救助本地光伏产业的意愿。在城市建设屋顶并网发电系统及光伏建筑一体化集成光伏系统(BIPV),对于城市形象及



政府业绩与形象都有良好的展示、示范作用。在东部地区建设城市屋顶并网光伏系统，具有充分的政治条件、经济条件及社会条件。在《可再生能源中长期发展规划》及《可再生能源发展“十一·五”规划》中，到2010年安装屋顶并网光伏系统1,000套，累计容量5万千瓦(50MWp)；到2020年安装2万套，累计安装100万千瓦(1,000MWp)。

建议：在2009-2012年，在东部地区城市建设总容量67万千瓦(670MWp)的并网光伏系统，重点是大型建筑物的屋顶，如体育场馆、展览场馆、文博场馆、交通场站等大型公共设施屋顶，企业厂房屋顶，大、中学校校园及屋顶，政府机构屋顶等，以及少量民居屋顶作示范应用。城市光伏屋顶系统一般是低压并网，就地发电，自发自用，带蓄电池储能的系统还可以用作应急备用电源。城市并网光伏还可以发展为智能电网(Smart Grid)系统，在白天为电动车充电及其它储能负荷供电。这种靠近负荷、并在时间上与负载用电一致的并网光伏系统，有一定的调峰及改善电网末端供电质量的作用，具有良好的经济效益与社会效益。

建议西部地区的城市，也可考虑建设少量的屋顶光伏系统作示范应用，总容量约2万千瓦(20MWp)，其他地区的城市并网光伏系统容量6万千瓦(60MWp)。

7.4 36.5万千瓦(365MWp)应急光伏电源项目

1. 应急电源给灾难中的人民以希望和信心

2008年年初，一场罕见的冰雪灾害横扫我国南方广大地区；2008年5月12日，特大地震震动了我国西南大地，摧毁了房屋建筑。灾难突然降临，交通、电力、通讯，全部中断，灾区的人们一时间陷入黑暗与恐惧之中。应急电源可以在常规电源失效时发挥关键作用，保证通讯、急救、避难所等设施的电力供应。

自2007年11月1日起，我国施行《中华人民共和国突发事件应对法》，中央政府在2006年1月就已编制制定并发布了《国家突发公共事件总体应急预案》，并发布实施21项“突发公共事件专项应急预案”，以便及时处置，减少损失，保障安全。各地方政府也积极行动，采取措施，实施应急体系建设，努力减小灾难造成的损失。在人口集中的城市开辟应急避难场所，给灾难中的民众以临时安身之地，便于救助与安置。这样的应急避难所应具有照明、通讯、视听广播及饮食、住宿等基本生活条件，而保证电力供应则是最重要的前提条件。

2. 启动建设应急光伏电源项目，完善应急机制

目前广泛配置的常规应急电源包括EPS电源和柴油发电机等。EPS电源容量小，持



续供电时间有限；配备柴油发电机还需储备燃料，平时设备闲置，若维护不当，应急使用时难以保障可靠启动。安装取之不尽、用之不竭的太阳能光伏发电电源，不依赖常规能源，无消耗，无污染，安全可靠、免维护；电站建设可与建筑一体化结合，或安装于城市应急避难场所；平时所产生的绿色电力可并网或自用，电网断电时可提供基本需求的应急电力。

对于这样的关乎人民生命安全的应急避难设施，各级政府应尽早启动，尽快建设，早一天完备早安心。另一方面，在目前全球金融危机的形势下，在我国光伏产业处于困难之际，在全国启动应急光伏电源项目，无疑是雪中送炭，助光伏产业一臂之力，使之能够早日摆脱困境。

为配合应急体系和应急避难场所光伏应急电源项目的实施，课题组起草了《突发公共事件应急体系建设光伏电源项目实施导则（建议稿）》，见附件10.4。

3. 尽早启动“光跃计划2009”365MWp 应急光伏电源项目

应急光伏电源系统主要在大中城市建设安装。有条件的可在以下场所安装配备：应急中心、消防支队、供电公司、自来水公司、燃气公司、地震局、人防办、广电局、邮政局、电信公司、移动公司、联通公司、火车站、民航机场、各三级甲等医院及其他需要的场所。作为一项市政设施，应首先在城市的应急避难场所安装。

应急光伏电源要设计成可独立供电的带蓄电池的低压并网光伏发电系统，充分发挥光伏发电灵活、分散的特点，容量不超过50千瓦。技术成熟，设计、安装、调试都有丰富的经验，相关设备生产厂家众多，产品质量易于保证，启动后将可标准化设计，尽早规模化实施。

我国正处在加速城市化的进程中。据国家统计局报告，至2007年，我国市辖区总人口50万人以上的城市已达237座，其中100万人以上的特大城市有119座；全国城镇人口已达5.94亿，占44.9%（改革开放30年报告之七：城市社会经济建设发展成绩显著，国家统计局2008.11.04，<http://www.stats.gov.cn/>）。按照应急避难场所可容纳2亿人(约占城市人口的33%)、每人5瓦光伏容量考虑，光伏系统安装总容量可达100万千瓦(1,000MWp)。

建议：尽早启动“光跃计划2009”中应急体系建设中的应急光伏电源项目，安装光伏系统容量约36.5万千瓦(365MWp)。

表7-7列出了“光跃计划2009”应急光伏电源系统的建设安排及费用建议，表中所需投资及补贴费用是按照表7-3及表7-4中的数据进行计算的。可看出初始建设总投资费



用约需95亿元。如果中央财政补助20%，则需支出约19亿元。

按平灾结合的原则，这些应急光伏电源系统平时的太阳能电力可并网使用。如按国家可再生能源法及相关政策规定给予相应的电费补贴收益，则到2012年总容量36.5万千瓦光伏系统全部安装运行，并网发电的电费补贴额约为每年1.8亿元。

表7-7 “光跃计划2009”应急光伏电源系统实施年度计划

年份	2009	2010	2011	2012
系统初始投资成本(元/瓦)	30.00	28.00	26.50	25.00
光伏上网电价(元/千瓦时)	1.40	1.20	1.05	1.00
常规上网电价(元/千瓦时)	0.50	0.53	0.55	0.58
电价补贴(元/千瓦时)	0.90	0.68	0.50	0.42
年安装量 (MWp)	15.0	50.0	100.0	200.0
累计安装量 (MWp)	15.0	65.0	165.0	365.0
年新增发电量(亿千瓦时)*	0.15	0.50	1.00	2.00
初始建设总投资成本(亿元)	4.50	14.00	26.50	50.00
中央财政补助 20%(亿元)	0.90	2.80	5.30	10.00
当年新增电费补贴总额(亿元)	0.14	0.34	0.50	0.84
当年电费补贴支出总额(亿元)	0.14	0.5	1.0	1.8

*：光伏系统发电量按年运行 1000 小时计算。

7.5 10.5万千瓦(105MWp)城乡光伏照明工程—“光伏明灯200万”工程

1. 快速增长的太阳能光伏照明

太阳能光伏照明，包括太阳能路灯、庭院灯、草坪灯，太阳能景观照明，太阳能标牌、信号指示、广告照明等，是光伏应用市场的重要组成部分。中国2007年生产的太阳能光伏照明灯等光伏应用产品太阳能电池的年用量接近4万千瓦(40MWp)。2007年国内安装的光伏照明产品（路灯、草坪灯、城市景观、LED照明、交通信号等）已达到6,000千瓦(6MWp)，占当年安装总量的30%。

随着LED等新型节能照明光源的出现，太阳能光伏照明（主要是太阳能路灯、太阳能草坪灯等）的市场快速增长，在我国城市的市政建设及新农村建设工程中得到越来越多的广泛应用。例如，北京市自2006年起，连续3年实施新农村建设“亮起来”工程，总投资6亿元人民币，在北京周边农村推广大约10万盏太阳能路灯、庭园灯、草坪灯、指示牌等。全国其它省区和城市也积极推广太阳能路灯以及与新型、高亮度LED相结合的城市照明和景观工程。

太阳能光伏照明已成为我国近几年光伏市场新的增长点。

2. 光伏照明的市场规模巨大



光伏照明可以广泛应用于城市和农村的各个领域，如：农村的道路、村庄照明，城市街道、住宅小区照明，高速公路及桥梁、隧道的照明等等。城市道路和小区照明是由市政和电力系统安排和管理，不涉及其他个人和部门，便于操作实施；农村安装光伏照明系统，不必收交电费，深受欢迎。我国可再生能源发展规划明确提出：在我国一批中心城市开展光伏照明，在城市交通照明及景观亮化工程中，提倡应用光伏照明。到2010年累计安装太阳能路灯和庭院灯的光伏容量5,000千瓦(5MWp)；2020年的累计用量将达到5万千瓦(50MWp)。

我国2007年全国公路总里程358.37万公里，其中高速公路5.39万公里（中国统计年鉴2008，<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm>）。城乡建设部的统计公报表明，至2007年末，全国拥有城市道路24.6万公里、县城道路8.38万公里(中华人民共和国住房和城乡建设部www.mohurd.gov.cn 2008年06月24日)。如按照每50米一盏50瓦的太阳能路灯计算，5%的公路、20%的高速公路和城市与县城道路采用太阳能路灯照明，总共需安装300万盏，大约需要30万千瓦（300MWp）的太阳电池。随着我国国民经济实力的增强及生活水平的提高，需要照明的道路里程、亮度将会大幅增加，加上新修的道路、新建的街道及住宅区、新农村建设的照明需求，光伏照明的市场规模将非常巨大。

3. 尽早启动“光伏明灯 200 万”太阳能光伏照明工程

建议尽早启动实施《可再生能源发展“十一·五”规划》提出的“阳光路灯”计划，在城市推广使用光伏照明系统，在农村结合新农村建设实施“光伏照明”工程，扩大应用规模，在(2009-2012)年安装光伏照明灯200万盏左右，总容量合计10.5万千瓦(105MWp)。工程首先在大中城市及周边郊区农村展开，逐渐推广到中小城市及乡镇。在全国城乡广泛安装太阳能光伏照明系统，是一项惠及全民的绿色照明工程，必将获得广泛的支持和欢迎。

光伏照明路灯可以采用多种技术方案设计，多种方式运行。可以离网独立供电，也可以并网联合运行，以保障电力供应的可靠性；可以是一个光伏系统一个灯，也可以相对集中，以光伏电站的形式给一组灯供电照明。规模化的城市光伏照明系统，还可以缓解电力供应晚高峰用电的压力，有一定的电力调峰作用。

实施光伏照明工程，主要应综合考虑各地的太阳能资源、经济发展水平、地域环境条件等各方面情况，以及地方政府的积极性和支持力度等。表7-8列出了各地的实施规模和年度进度计划的初步考虑，其中的路灯数量是按50瓦/灯的光伏容量计算的。



表7-8 “光跃计划2009”城乡光伏照明—“光伏明灯200万”工程实施规模与进度计划建议

编号	省份	光伏照明系统容量 (MWp)					光伏照明灯数量(万套)				
		总量	2009	2010	2011	2012	总量	2009	2010	2011	2012
1	北京	9.3	0.3	2.0	3.0	4.0	18.6	0.6	4.0	6.0	8.0
2	上海	8.5	0.5	3.0	2.0	3.0	17.0	1.0	6.0	4.0	6.0
3	天津	8.8	0.3	2.0	2.5	4.0	17.6	0.6	4.0	5.0	8.0
4	河北	9.4	0.4	2.0	3.0	4.0	18.8	0.8	4.0	6.0	8.0
5	内蒙	3.1	0.2	0.4	1.5	1.0	6.2	0.4	0.8	3.0	2.0
6	宁夏	1.4	0.05	0.2	0.4	0.7	2.7	0.1	0.4	0.8	1.4
7	山西	2.0	0.05	0.2	0.5	1.2	3.9	0.1	0.4	1.0	2.4
8	辽宁	2.4	0.1	0.3	1.0	1.0	4.8	0.2	0.6	2.0	2.0
9	吉林	0.6	0.05	0.1	0.1	0.3	1.1	0.1	0.2	0.2	0.6
10	黑龙江	0.6	0.05	0.1	0.1	0.3	1.1	0.1	0.2	0.2	0.6
11	山东	10.4	0.2	1.2	3.0	6.0	20.8	0.4	2.4	6.0	12.0
12	江苏	9.3	0.3	2.0	3.0	4.0	18.6	0.6	4.0	6.0	8.0
13	浙江	3.0	0.1	0.5	1.0	1.4	6.0	0.2	1.0	2.0	2.8
14	福建	1.9	0.1	0.3	0.5	1.0	3.8	0.2	0.6	1.0	2.0
15	安徽	1.9	0.1	0.3	0.5	1.0	3.8	0.2	0.6	1.0	2.0
16	江西	1.9	0.1	0.3	0.5	1.0	3.8	0.2	0.6	1.0	2.0
17	湖北	1.9	0.1	0.3	0.5	1.0	3.8	0.2	0.6	1.0	2.0
18	河南	2.9	0.1	0.3	0.5	2.0	5.8	0.2	0.6	1.0	4.0
19	重庆	0.3	0.05	0.05	0.05	0.15	0.6	0.1	0.1	0.1	0.3
20	湖南	0.6	0.10	0.1	0.2	0.2	1.2	0.2	0.2	0.4	0.4
21	云南	0.9	0.10	0.2	0.3	0.3	1.8	0.2	0.4	0.6	0.6
22	四川	0.6	0.05	0.2	0.1	0.2	1.1	0.1	0.4	0.2	0.4
23	贵州	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
24	广东	12.2	0.2	2.0	3.0	7.0	24.4	0.4	4.0	6.0	14.0
25	海南	3.2	0.2	0.5	0.5	2.0	6.4	0.4	1.0	1.0	4.0
26	广西	0.7	0.1	0.1	0.2	0.3	1.4	0.2	0.2	0.4	0.6
27	新疆	1.9	0.2	0.3	0.5	0.9	3.8	0.4	0.6	1.0	1.8
28	甘肃	2.8	0.3	0.5	0.8	1.2	5.6	0.6	1.0	1.6	2.4
29	青海	1.0	0.2	0.2	0.3	0.3	2.0	0.4	0.4	0.6	0.6
30	陕西	1.0	0.2	0.2	0.3	0.3	2.0	0.4	0.4	0.6	0.6
31	西藏	0.5	0.1	0.1	0.1	0.2	1.0	0.2	0.2	0.2	0.4
合计		105.0	5.0	20.0	30.0	50.0	209.9	9.9	40.0	60.0	100.0

4. 城乡光伏照明工程的实施规模及费用概况

上述建议实施的“光伏明灯200万”光伏照明工程规模及费用概况见表7-9，表中所需投资及补贴费用是按照表7-3及表7-4中的数据进行计算的。可看出到2012年总共安装10.5万千瓦(105MWp)的光伏照明系统，总费用约需近50亿元。

实施光伏照明工程所需要的费用主要由各地方政府财政支出，中央给予少量财政补助，并适当向西部倾斜。如中央政府承担总额的20%，则支出约为10亿元。



表7-9 “光跃计划2009”“光伏明灯200万”城乡光伏照明工程实施测算

年份	2009	2010	2011	2012
系统初始投资成本(元/Wp)	50.00	48.00	46.50	45.00
年安装量 (MWp)	5.0	20.0	30.0	50.0
累计安装量 (MWp)	5.0	25.0	55.0	105.0
初始建设总投资成本(亿元)	2.50	9.60	13.95	22.50
中央财政补助 20%(亿元)	0.50	1.92	2.79	4.50

*: 光伏系统发电量按年运行 1000 小时计算。

7.6 小结

为加速中国光伏市场的发展,应对当前的金融危机,政府应尽早启动相关项目,扶助光伏产业渡过难关。

本章提出了实施总装机容量达350万千瓦(3,500MWp)的“中国光伏跃进行动计划(2009-2012)”,简称“光跃计划2009”建议,并分别进行了概算与分析,给出了实施方案。

1. 中国启动规模化光伏市场的产业、技术条件及法规政策条件已基本具备,时机已经成熟。
2. 基于当前的国际、国内形势,提出“中国光伏跃进行动计划(2009-2012)”的规模设想和投资估算。
3. 建议:尽早启动需要政府财政补助及政策支持的项目,形成(2009-2012)年总计350万千瓦(3,500MWp)的国内光伏市场,投入资金总额约670亿元。其中(2009-2011)年的投资总额合计约344亿元,比国家能源局《能源振兴规划(2009-2011)》中提出的300亿元增加约15%;安装总容量为165万千瓦(1,650MWp),比规划的50万千瓦(500MWp)增加2倍以上。年度计划及投资总额如表7-10所示。

表7-10 “光跃计划2009”光伏系统项目年度安装容量及投资额度表

年份	2009	2010	2011	2012	合计
当年安装容量 (MWp)	120	500	1,030	1,850	3,500
年度投资额(亿元)	29.0	111.0	204.0	322.5	666.45
累计新增容量 (MWp)	120	620	1,650	3,500	
累计新增投资额(亿元)	29.0	140	343.95	666.45	

4. 尽早启动的项目类别如下,包括:
 - (1) 无电地区电力建设项目。2009年安装2万千瓦(20MWp),2009-2012年合计安装37万千瓦(370MWp)。
 - (2) 开阔地并网光伏电站项目。2009年安装6万千瓦(60MWp),2009-2012年合计



安装191万千瓦(1,910MWp)。

- (3) 城市并网光伏系统。2009年安装2万千瓦(20MWp)，2009-2012年合计安装75万千瓦(750MWp)。
 - (4) 城市应急体系光伏电源。2009年安装1.5万千瓦(15MWp)，2009-2012年合计安装36.5万千瓦(365MWp)。
 - (5) “光伏照明”工程。2009年安装光伏照明灯10万盏，容量合计0.5万千瓦(5MWp)，2009-2012年合计安装210万盏，总容量10.5万千瓦(105MWp)。
5. 主要由政府给予补助项目包括：无电地区电力建设、应急光伏电源、城乡光伏照明三项，总投资约240亿元。如果无电地区电力建设项目中央财政补助50%，应急光伏电源和城乡光伏照明中央补贴20%，4年(2009-2012)总计约需中央财政补助资金78亿元。
 6. 采用电费补贴的商业化模式建设和运营的项目包括：1) 开阔地并网光伏电站；2) 城市并网光伏系统两大类。2009-2012年合计安装266万千瓦(2,660MWp)，投资总额430亿元。
 7. 应急场所的应急光伏电源及太阳能路灯项目建设，以地方资金为主，如果中央补贴20%，则中央政府4年的投入总费用约为29亿元。

参考文献

- [1] 马胜红，江苏光伏产业状况调研报告，2008年11月
- [2] 赵玉文、王斯成等，中国光伏产业发展研究报告(2006-2007)，中国可再生能源发展项目办公室、中国可再生能源学会光伏专业委员会，2008年5月
- [3] 王斯成，面对当前金融风暴，拉动国内光伏市场的对策，2008年10月
- [4] 翟智高，潜藏危机的太阳能光伏产业，太阳能产业联盟网(www.21tyn.com)，2008-11-17
- [5] 中商情报网，2008-2010年中国光伏太阳能行业应对金融危机影响及发展策略咨询报告，2008.12，<http://www.askci.com>
- [6] 马胜红，适时启动400亿内需建设2000MW电站，将光伏打造成我国的战略产业和储备能源—4万亿内需促进经济升级和可持续发展的建议，2008年12月
- [7] 中国科学院电工研究所，中国“十一·五”光伏发展规划建议报告，2005年5月
- [8] 国家发展改革委，可再生能源发展“十一·五”规划，2008.03.19



- [9] 夏爱民、李华、马胜红, 2012 年光伏产业进入脱乳期—全球光伏产业发展趋势展望, 中国建设动态—阳光能源, 2008 年 4 期: 45-48
- [10] Photon 年度预测报告, The True Cost of Solar Power:10 Cents/kWh by 2010, 2007 年 4 月
- [11] Kiefer, 阳光下的阴影: 谁能点亮中国太阳能产业? IT 经理世界
www.ceocio.com.cn, 2007.3.21
- [12] 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 可再生能源中长期发展规划, 2007-09-04
- [13] 中华人民共和国突发事件应对法, 中央政府门户网站 www.gov.cn 2007.08.30
- [14] 国家突发公共事件总体应急预案, 中央政府门户网站 www.gov.cn 2006.01.08
- [15] 国家专项应急预案, 中央政府门户网站 www.gov.cn 2006 年 01 月 11 日
- [16] 中华人民共和国国家统计局, 中国统计年鉴 2007
www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2007/indexch.htm
- [17] 张亚彬, 关于用于应急避难场所的“光伏应急电源”的调研与设计, 2009.1

8. “中国光伏市场行动计划(2009-2020)”的规模和效益研究

8.1 概述

经济全球化给中国光伏企业带来了发展机遇，包括：先进技术、顶尖人才、资本、和市场等；中国光伏企业依靠国外市场，发展迅速，赢得了一定的国际地位和影响力。然而，波及全球的金融危机，让市场和原料两头在外的中国太阳能光伏企业倍感压力和危险。对于中国光伏企业来说，国外光伏政策和光伏市场的任何波动，都会在国内业界掀起巨大波澜。国内知名光伏企业大都在国外上市，还有很多光伏企业把融资希望寄托在国外资本市场。阴沉的国际经济环境已经阻断了到国外融资的渠道，一旦资本与市场的大门同时关上，国内光伏企业可能会大批休克，甚至消亡。目前，80%以上的中国光伏企业面临资金短缺、资金链断裂的问题，有的企业压产保利润，有的已经关门停工，甚至破产。

中国光伏企业正在面临严冬的考验，国家如何扶持中国光伏企业渡过难关，这是一个至关重要的问题。

总体来看，中国光伏产业和光伏市场存在如下的问题和不足：

- 1) 热火朝天忙扩张——面临产能过剩和巨大的投资风险；
- 2) 国内光伏市场偏小——成为产业稳健发展的瓶颈；
- 3) 国际金融危机影响逐渐显现——光伏企业面临巨大压力和危险。

8.2 指导思想与原则

1. 指导思想

以邓小平理论、“三个代表”重要思想和科学发展观为指导，贯彻并落实《中国可再生能源法》，以整合资源、有序开发为重点，完善体制、创新机制，强化管理，优化产业结构和区域布局，依靠科技、力促产业升级，清洁生产、合理利用，构建与当前国际、国内大环境相适应的中国光伏产业和市场体系，为实现中国能源、电力可持续发展的重大战略作贡献。

2. 基本原则

1) 立足当前、放眼长远；统筹规划，总量控制；稳步推进、协调发展，防止局部投资过热。

2) 坚持市场开发与经济、社会相协调。光伏市场的开拓既要重视规模化开发利用，



也要重视解决无电地区农村电力问题。要根据资源条件和经济社会发展需要，因地制宜，科学规划，合理布局，有序开发。

3) 坚持市场开发与产业发展互相促进。对潜力大、商业化发展前景好的光伏发电项目，在加大开发投入的同时，采取必要措施扩大市场需求，以持续稳定的市场需求为光伏产业发展创造有利条件。建立以自我创新为主体的技术开发和产业发展体系，加快技术进步，加速能力建设。通过持续的规模化发展提高光伏市场竞争力，为大规模发展奠定基础。

4) 坚持政策激励与市场机制相结合。通过激励政策，支持采用光伏发电解决农村电力供应短缺和无电问题；同时，国家建立促进光伏市场理性发展的市场机制，运用市场化手段，通过宏观调控，调动投资者的积极性，以期提高光伏发电的技术水平，降低成本与造价，推进产业化、规模化发展，不断提高自身市场竞争力，使光伏产业与市场在国家政策的支持下得到更大、更快、更好的发展。

5) 落实“自主创新，重点跨越，支撑发展，引领未来”的科技发展指导方针，建立和完善以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的光伏科技创新体系。优先发展先进的适用技术，提升光伏行业技术水平；加强前沿技术研发，为未来光伏技术发展奠定基础。坚持近期开发利用与远期技术储备相结合，积极发展未来具有巨大发展潜力、近期又有一定市场需求的光伏技术。

6) 发挥资源和区域等优势，增强光伏产业与市场自我发展能力、自我创新能力，整体提升中国光伏技术、产业、与市场的竞争力和国际地位。

7) 重视国际合作，充分利用全球重视可再生能源发展、保护环境、减少排放的机遇，积极引进技术、人才和资金，促进我国光伏市场和产业的快速发展。

8) 重视科技、法律宣传教育，提高从业人员素质，大力发掘光伏专业人力资源。

9) 关于资金来源：(1) 融资原则：政府引导、市场运作，吸引各类投资，包括国际援助，形成多元化的融投资机制。(2) 融资渠道：中央财政、地方财政、民间资本、国际合作、企业自筹和银行贷款等。

8.3 发展目标

长远目标

- a) 太阳能光伏发电为国家电力能源结构的优化作贡献。
- b) 为建立安全、经济、环境友好、可持续发展的国家能源供给体系作贡献，充分体现



光伏产业的社会效益和环境效益。

- c) 顺应当前的国际利用可再生能源发电的大趋势，增强国际地位和国际影响力。
- d) 改变当前的国内光伏产业与市场发展不相对称的局面。
- e) 使得光伏产业发展成为巨大的新能源经济的重要组成部分，并促进形成一种全新的经济模式，成为新的经济增长点，为经济发展可持续做贡献。
- f) 2050年，光伏发电量达到全国总发电量20%左右，成为我国经济社会发展的主要能源之一。

近期目标

根据保障电力供应安全和优化电源结构的需要，统筹考虑技术水平、建设周期、设备制造与本地化等条件。

2007年末，中国光伏累计安装10万千瓦（100MWp），07年安装量为2万千瓦（20MWp）。

2008年末，中国光伏累计安装14万千瓦（140MWp），08年安装量为4万千瓦（40MWp）。

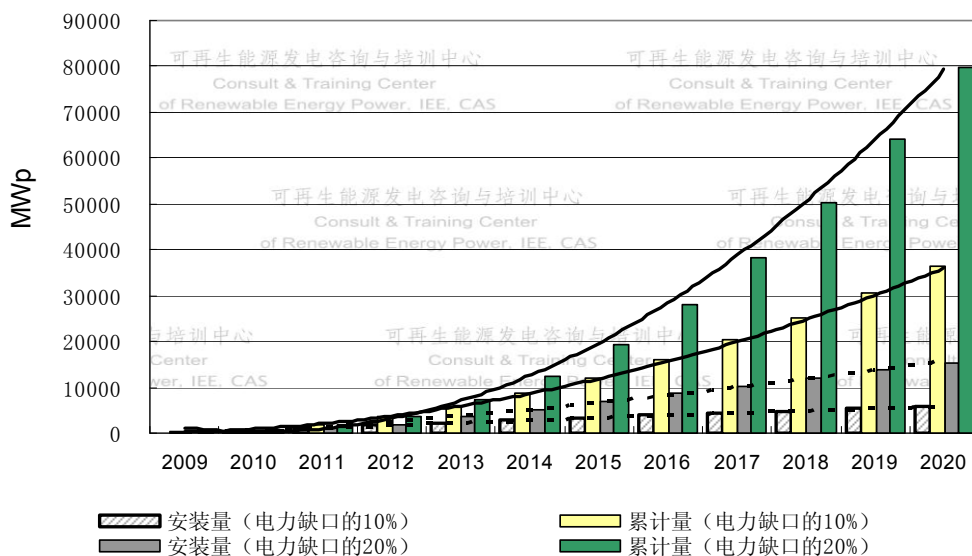


图 8-1 2009-2020 年光伏安装量和累计安装量设想

如图8-1所示，到2010年，光伏发电总装机容量达到56万千瓦（560MWp），约占全国电力总装机容量的0.061%。若以补充我国电力缺口的10%发电量预计，到2015年，光伏发电总装机容量达到1,200万千瓦（12GWp），约占全国电力总装机容量的0.86%，到2020年，总装机容量达到3,700万千瓦（37GWp），约占全国电力总装机容量的2.3%；若以补充我国电力缺口的20%发电量预计，到2015年，光伏发电总装机容量达到1,900万千瓦（19GWp），约占全国电力总装机容量的1.3%，到2020年，总装机容量达到8,000

万千瓦(80GWp),约占全国电力总装机容量的4.7%。

2009-2012年间,规划新增安装量350万千瓦(3.5GWp),到2020年,在2008年光伏装机容量14万千瓦(140MWp)的基础上,分别以补充电力缺口的10%和20%计算,新投产装机容量约370万千瓦(37GWp)和800万千瓦(80GWp)。考虑后续发展,2012年以后,在上年基础上,每年比上一年的新增安装量增加50万千瓦(500MWp)和170万千瓦(1,700MWp)的开工量,建设项目进度设想见图8-1和表8-1。

运营管理模式方面,建立与国际接轨的建设和运营管理模式,形成比较完整的光伏发电运营管理体系。

在工程建设方面,全面引入竞争机制,实施招投标制,提高项目管理水平,进一步降低工程造价。

在经济性方面,在确保安全性和可靠性的基础上,降低成本,用5-7年,逐步实现光伏发电上网电价与同地区的脱硫燃煤电厂相比实现持平或具有竞争力。

在法规和技术标准方面,在设施管理以及工程设计、制造、建设、运营等方面,建立起完整的符合中国国情并与国际接轨的法规和标准体系。

表8-1 光伏建设项目设想

		单位:万千瓦		
2006安装	1		2006	8
2007安装	2		2007	10
2008安装	4	年底累计投产	2008	14
2009安装	15		2009	21.2
2010安装	30		2010	56
	年内开工容量	年内投产容量	结转下一个5年的容量	5年末的总运行机组容量
2009-2010	69	49	20	56
2011-2015	1,143-1,863	1,029-1,585	134-250.8	1,085-1,641
2016-2020	2,425-6,025	2,648-6,155	234-590.8	3,733-7,737

8.4 投资概算

按照2009-2020年内新开工建设 and 投产的光伏发电建设规模大致估算,光伏发电项目建设资金需求总量约为6,581~14,141亿人民币,其中,12年(2009-2020)内项目资本金需求量为1,316.2~2,828.2亿元,平均每年要投入企业自有资金109.7~235.7亿元(以20%的资本金考虑)。



表8-2 投资估算

	年内开工容量 万千瓦	投资的平均单位千瓦 造价, 万元	总造价, 亿元
2009-2010	69	2.5	172.5
2011-2015	1,143-1,863	2	2,286-3,726
2016-2020	2,425-6,025	1.7	4,122.5-10,242.5
		合计	6,581-14,141

表8-3 电费补贴投资估算

	5年内 开工容量 万千瓦	发电量 估计值 亿千瓦时	投资的平均 单位千瓦造 价, 万元	估算电价 元/千瓦时	届时 常规电价平均 元/千瓦时	电费补贴额, 亿元
2009-2010	69	8.3	2.5	1.4	0.5	8.3
2011-2015	1,143-1,863	137.2-223.56	2.0	1.1	0.6	54.9-89.42
2016-2020	2,425-6,025	291-723	1.7	0.8	0.8	0

*: 不考虑投资侧补贴、电费补贴与否。

8.5 重点任务

1. 无电地区电力建设工程

重点解决边远无电地区电力供应问题。加快无电地区农村电力建设, 改善农村居民生产生活用能条件。

2. 城市分布式发电示范工程

重点发展资源潜力大、技术基本成熟的光伏发电示范, 以规模化建设带动产业化发展, 包括: 城市屋顶、建筑一体化、路灯等。

3. 开阔地并网发电示范工程

8.6 预期效益分析

1. 国际影响

能源是人类生存和发展的重要物质条件。煤炭、石油、天然气等能源支持了19和20世纪近200年来人类文明进步和经济社会发展, 但煤炭、石油、天然气等不可再生能源消费的持续增长和大量消耗, 不仅使人类面临资源枯竭的危险和压力, 更让世界各国感到了生存环境面临的严重威胁。

众所周知, 化石能源的资源有限性、不可再生、及其利用对环境的严重影响, 导致温室气体大量排放, 全球气候变暖, 区域气候、生态严重恶化、自然灾害频发等等, 都给人类生存带来极大的压力和恐惧。



《联合国气候变化框架公约（京都议定书）》由联合国气候大会于1997年12月在日本京都通过，目标是2008-2012年，工业化国家温室气体排放总量在1990年的基础上平均减少5.2%，发展中国家没有减排义务。中国政府于1998年5月29日签署了该议定书。

在北京举行的2005世界可再生能源大会上，国务院副总理曾培炎宣布，到2020年中国的可再生能源要占到全部能源消耗的15%。

作为世界上能源消费第一大发展中国家，中国大规模发展太阳能发电，不仅为世界解决能源、环境问题提供借鉴；而且，也在发挥引领作用；同时，也是履行国际承诺、承担减排义务的一种有效途径。

中国大力发展太阳能发电，可以作为典范，向世界展示中国在发展清洁能源、减少温室气体、消除贫困、改善民生等方面的实际行动，将大大提高国际影响力。

2. 社会效益

当中国的光伏产业发展成为电力能源中一个重要组成部分时，其显著的社会效益将体现在如下方面：

增加就业—光伏产业的发展有利于增加就业机会，稳定社会。目前我国光伏技术及产业的就业总人数近10万人，平均50人/兆瓦（MWp）。我国到2010年如果能达到年产量600万千瓦（6GWp）太阳能电池的发展目标，则光伏产业所能提供的就业机会将达到30万人；若到2020年能达到预计的太阳能电池年产量1,200万千瓦(12GWp)~3,000万千瓦(30GWp)，则就业机会将达到60万~150万人。

减少无电人口——通过“光明工程”解决无电村和无电户的供电问题，将使我国约1,000万不能靠电网覆盖的边远农村人口初步摆脱闭目塞听、柴薪烛火的落后生活状态，开始享受与其他人同等的现代文明权利。电力和电视的使用将使人们有机会了解外部世界信息，改变落后观念，及早脱贫致富。

大规模开拓光伏市场，将拉动相关产业，譬如：玻璃制造、硅材料、建筑、机械加工、运输等；太阳能发电带来的相关服务业，如农村电力服务业，也将达到飞速发展。

改善能源安全状况和能源结构——光伏发电的资源取之不尽且不受外部状况制约。当光伏发电成为中国能源供应的重要组成时，我国的能源安全状况将随之大大改善。

大规模光伏发电将节约和替代大量化石能源，显著减少污染物和温室气体排放，促进人与自然的协调发展，对全面建设小康社会和社会主义新农村起到重要作用，有力地推进经济和社会的可持续发展。

3. 环境效益



光伏发电属于可再生的清洁发电，无论从能源角度还是环境角度，都是未来发展的重点。光伏发电的大规模推广应用，无疑会带来良好的环境效益。

我国到2010年光伏组件累计安装将达到56万千瓦（560MWp），以年发电小时数1,200小时计算，发电量为6.72亿千瓦时电，节省原煤相当于25.5万吨，相当于年减排二氧化碳67.2万吨，减少灰渣排放2,550吨，飞灰510吨，SO₂ 4,590吨，NO_x 1,137吨。

2020年光伏组件累计安装量将达到3,700万千瓦（37GWp）~8,000万千瓦（80GWp），发电量为436.44~943.65亿千瓦时电，年减排二氧化碳4,400~9,600万吨，灰渣16.58~35.85万吨，飞灰3.32~7.18万吨，SO₂ 30~64.86万吨，NO_x 7.4~16万吨。

4. 经济效应

大力发展我国的光伏产业和市场，不仅能带来好的社会效益和环境效益，还可成为新能源经济的重要组成部分，成为新的经济增长点，促进形成一种全新的经济模式，为经济可持续性发展做贡献。

通过总运行机组容量、投资平均单位兆瓦（MW）造价、发电量估计数值以及估算电价（表8-1、8-2和8-3），平均利税按照25%计算，可以估算出2009-2020年我国光伏产业能够创造的经济效应，到2020年，光伏产业所创造的利税是1,641.17~3,447.67亿元，见表8-4。

表8-4 光伏产业利税估算

	投资所交利税 亿元	总装机发电量所交利税 亿元	总计 亿元
2009-2010	35	3.11	38.11
2011-2015	542.5-820.5	34.34-55.89	88.84-876.39
2015-2020	1,586.61-3,312.11	54.56-135.56	1,641.17-3,447.67

8.7 小结

1. 发展目标:

- 1) 2009-2012年，设计安装量分别为：12万千瓦（120MWp）、50万千瓦（500MWp）、103万千瓦（1,030MWp）和185万千瓦（1,850MWp）。
- 2) 2012年之后，在上年基础上，每年保持50万千瓦（500MWp）和170万千瓦（1,700MWp）的递增量，2011-2015年，5年总计的安装量为1,143万千瓦（11.43GWp）~1,863万千瓦（18.63GWp），2015年末，中国的累计光伏安装量将为1,085万千瓦（10.85GWp）~1,641万千瓦（16.41GWp）。



3) 2016-2020年, 5年总计的安装量为2,425万千瓦(24.25GWp)~6,025万千瓦(60.25GWp), 2020年末, 中国累计安装量将为3,700万千瓦(37 GWp)~8,000万千瓦(80GWp)。

2. 投资规模:

1) 单位千瓦平均造价分三个阶段来考虑: 2009-2010造价2.5万元/kWp, 总投资172.5亿元; 2011-2015造价2万元/kWp, 总投资2,286~3,726亿元; 2016-2020造价1.7万元/kWp, 总投资为4,122.5~10,242.5亿元; 2009-2020年的投资总额为6,581~14,141亿元; 其中, 12年(2009-2020)内项目资本金需求量为1,316.2~2,828.2亿元(以20%的资本金考虑)。

2) 度电成本, 亦分三个阶段来考虑: 2009-2010常规电价平均0.5元/千瓦时, 光伏发电的平均电价1.4元/千瓦时; 2011-2015常规电价平均0.6元/千瓦时, 光伏发电的平均电价1.1元/千瓦时; 2016-2020常规电价与光伏发电的平均电价基本持平, 以0.8元/千瓦时考虑, 无需电费补贴。2009-2015年共需电费补贴63.2~97.72亿元。

3. 效益分析:

1) 中国作为世界上能源消费第一大发展中国家, 大规模发展太阳能发电, 不仅为世界解决能源、环境问题提供借鉴, 发挥引领作用; 同时, 也是履行国际承诺、承担减排义务的一种有效途径。中国大力发展太阳能发电, 可以作为典范, 向世界展示中国在发展清洁能源、减少温室气体、消除贫困、改善民生等方面的实际行动, 大大提高国际影响力。

2) 中国大规模发展太阳能发电, 社会效益显著: 第一, 增加就业, 有利于稳定社会。第二, 消除无电人口——改善民生, 促进物质和精神生活的文明与进步; 第三, 节约自然资源, 改善环境, 减少对化石能源的依赖, 减少温室气体排放; 第四, 拉动相关产业的发展; 第五, 对优化电力能源结构和未来的电力可持续作贡献。

3) 环境效益方面: 光伏并网发电的推广应用, 无疑会带来良好的环境效益。

4) 经济效益方面: 可成为新的经济增长点, 为经济可持续性发展做出贡献。

参考文献

[1] 国家能源局, 能源振兴规划(2009-2012), 2009.2

[2] 国家发展改革委, 能源发展“十一·五”规划, 2007.4

- [3] 中国可再生能源利用促进法
- [4] 国家发展改革委, 可再生能源中长期发展规划, 2007.9.4
- [5] 国家发展改革委, 可再生能源发展“十一·五”规划, 2008.3.19
- [6] 中国科学院电工研究所, 中国光伏发展“十一·五”规划(建议报告), 2005
- [7] 赵玉文、王斯成等, 中国光伏产业发展研究报告(2006—2007), 中国可再生能源发展项目办公室、中国可再生能源学会光伏专业委员会, 2008.5
- [8] 李俊峰、王斯成等编著, 中国光伏发展报告(2007), 中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会, 2007.9
- [9] 王斯成, 光伏发电上网电价测算, 国家发展改革委
- [10] 王斯成, 光伏发电最新进展, 第五届中国太阳级硅及光伏发电研讨会, 2009.3.17
- [11] 中国科学院电工研究所研究报告, 国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP), 可再生能源农村电气化项目设计咨询, 报告之二: SDDC备选方案和推荐方案。

9. 全文结论、政策建议

9.1 结论

1. 必要性

- 1) 化石能源资源是有限、不可再生的。
- 2) 中国的能源形势比世界能源形势要严峻得多，中国可再生能源的替代形势也比世界要严峻、紧迫得多；我国目前的能源消耗数量大、增长快，常规能源的枯竭进程在加快。
- 3) 中国的能源结构不合理，需要发展可再生的清洁能源。我国有丰富的太阳能资源，为大力发展太阳能光伏发电提供了有利条件；从长远和战略的角度来看，也为能源结构的全面改善和能源可持续发展提供了有利条件。
- 4) 按照目前经济发展趋势和我国资源情况，2020-2050年的中国电力供需不平衡，加快发展光伏发电可缓解电力供应紧张局势，是优化能源结构、满足电力需求、改善生态环境、实现可持续发展的必由之路。
- 5) 我国目前面临能源与环境的双重国际压力。中国能源以煤炭为主，煤炭比例超过2/3。中国是世界SO₂排放最严重的国家，也是酸雨污染最严重的国家，这些与煤炭燃烧是直接相关的。除了燃煤发电外，煤炭还有许多直接燃烧的应用，其污染物排放更加严重。煤炭燃烧排放污染物是造成中国大气污染物的主要构成。2007年除中国SO₂排放持续为世界第一外，中国CO₂排放也跃居世界第一，成为世界排放最严重的国家；2007年中国CO₂排放超过美国，成为世界第一(2007年美国CO₂排放59.1亿吨，我国CO₂排放60.2亿吨)。中国节能减排、改善能源结构以及能源可持续发展面临巨大压力。

2. 战略意义

- 1) 中国作为世界上能源消费第一大发展中国家，大规模发展太阳能发电，不仅为世界解决能源、环境问题提供借鉴，发挥引领作用；同时，也是履行国际承诺、承担减排义务的一种有效途径。大力发展太阳能发电，可以作为典范，向世界展示中国在发展清洁能源、减少温室气体、消除贫困、改善民生等方面的实际行动，将大大提高国际影响力。
- 2) 中国大规模发展太阳能发电，社会效益、经济效益和现实意义十分显著：第一，促进增加就业，有利于维护社会稳定；第二，促进消除无电人口、消除贫困、改善民



生，促进物质和精神生活的文明与进步；第三，有利于节约自然资源，改善环境，减少对化石能源的依赖和减少温室气体排放；第四，拉动相关产业的发展；第五，对优化电力能源结构和未来的电力可持续作贡献。

- 3) 大规模发展光伏发电可以为保护本国、乃至全球的生态环境作贡献。我国环境形势比较严峻，2/3的国土受到酸沉降和酸雨的威胁，环境质量的总体水平仍在不断的恶化。世界10大污染城市我国一直占多数，环境污染给我国社会经济发展和人民健康带来了严重影响。
- 4) 解决无电人口的供电服务问题。太阳能光伏发电系统很适宜在偏远的农村地区安装，这些地区可能多年无法架设电网；光伏发电等可再生能源特别适用于远离电网，零星分布的社区；离网系统可以家庭为单位或设立小电网—光伏可与其他可再生能源或液化石油汽/柴油结合—可提供照明、冷藏、教育、通讯和卫生等所需电力，增加经济生产创造增加收入的机会；光伏发电系统结实耐用、易于安装和具有灵活性等特征，使其可满足世界任何地方的农村电力需求。
- 5) 大规模发展光伏发电可以极大地优化电力结构，为电网输送绿色电力。
- 6) 未来电力供需不平衡的局面，可再生能源发电是很好的补充之一，而太阳能光伏发电在未来中国的能源供应中占据主要位置。
- 7) 光伏发电具有独特的无可替代的优势，它将在未来的电力能源架构中发挥重要作用。只有太阳能是唯一能够保证人类能源需求的能量来源，其潜在资源1,200亿兆瓦（120,000TW），实际可利用资源高达6亿兆瓦（600TW），因此，太阳能光伏发电是替代潜力最大的可再生能源技术，在未来能源结构占据着十分重要的地位。
- 8) 大力发展太阳能发电可以减少对化石能源的依赖，为国家的能源安全作贡献。

3. 可行性

- 1) 从太阳能资源条件来看，中国太阳能资源条件优越，全国三分之二以上的国土面积，具备安装光伏系统的资源条件。可见，太阳能发电未来的应用潜力巨大、市场前景广阔。
- 2) 从国家法规、政策层面上看，国家发展和改革委员会、国家能源局、国家电监会等已出台相关政策，规定了实施太阳能光伏发电项目（包括：并网系统、离网发电）的诸多措施，但仍然需要进一步针对不同省（区）、不同光伏发电系统方案等具体问题加以细化，使之易于操作和可操作。有必要借鉴欧美等国经验，通过试点、示范，逐步完善和推广执行相关政策。



- 3) 从光伏技术来看,在中国,晶体硅太阳能电池制造是成熟技术,中国具有接近全球7成的太阳能电池产能;光伏发电并网系统的技术、离网光伏发电技术、建筑光伏一体化技术、光伏路灯技术等已经日臻成熟;但是,由于晶体硅太阳能电池的度电成本居高,短期内,难以和常规火电相竞争。
- 4) 薄膜太阳能电池由于成本和技术具有优势,因而发展速度飞速,但在效率和可靠性方面需要提高;由于市场需求的增加,薄膜太阳能电池的市场份额不断上升。
- 5) 长远来看,由于技术进步和市场规模的增加,无论是晶体硅太阳能电池,还是薄膜太阳能电池,光伏发电的成本必将逐步下降。
- 6) 从以往实施光伏离网发电项目的经验和教训来看,光伏发电项目的业主必须首先确立,其次是项目的运营、维护管理问题必须明确;第三重视项目的全过程质量控制。
- 7) 市场最主要取决于:成本与收益、市场需求、产品质量、服务等。光伏市场的发展和开拓,应当按照市场经济规律来操作实施,政府发挥政策监管、引导、宏观调控的作用和职能。
- 8) 中国目前已具备了大规模应用光伏发电的基本条件,概括为:应用前景广阔、市场潜力巨大、政策环境基本具备、装备和技术成熟可靠、不需要依赖进口。通过制定明确可行的市场发展目标与实施步骤,激励国内光伏市场的开发、促进光伏产业技术进步与升级、引入市场竞争机制,中国光伏发电将具有与常规火电相竞争的能力。

4. 结论要点

- 1) 以长远的战略眼光来看,谁掌握了光伏发电的制高点,谁就把握了未来能源的龙头和发展的主动权。一方面,要以国际光伏市场的巨大需求拉动我国光伏产业;另一方面,要以光伏产业来推动国内市场发展,做到精心培育国内市场、继续挺进国际市场。
- 2) 当前的发展形势:在全球金融危机的形势下,光伏行业难以独善其身,光伏产业难以逃脱危机的巨大冲击;经过连续5年的高速发展,中国光伏产业必然面临一次整合的阶段;多晶硅项目产能的爆发,全球金融危机的到来,使得这一轮调整迫在眉睫;谁能拥有资金和技术优势渡过这次危机存活下来,谁就能迎来下一轮爆发式增长。
- 3) 关于多晶硅产业链、成本、价格走势:

(1) **中国光伏产业现阶段主要特点:** 1) 中国光伏产业链趋于完整; 2) 中国光伏产业发展迅猛, 2002-2007年最高增长率达到300%, 2007年成为世界第一的光



- 伏组件生产国和出口国，占全球的**28.2%**；**3)** 产业投资规模大，其中：多晶硅项目建设规模超过**10万吨**，总投资超过**1,000亿**，硅锭/硅片、电池、组件环节已形成**5,000兆瓦**产能，固定资产投资达**500亿元**，在建产能**3,000兆瓦**，投资**300亿元**；**4)** 中国光伏产业增长非常快，但存在着光伏组件市场在国外，产业地区分布不均衡等突出问题；**5)** 全球金融危机爆发后，欧洲的光伏市场需求下降，中国光伏产业面临巨大冲击。
- (2)** 中国光伏产业链现状：**1)** 多晶硅提纯技术已取得突破性进展，优秀企业多晶硅提纯最低能耗水平达到**127千瓦时/公斤**，接近国际最好水平；**2008年**产量已达到**4,500吨**；**2)** 晶体硅锭/硅片的制造、加工技术已经达到国际先进水平，技术先进企业能耗仅为**62千瓦时/公斤**，主要生产设备已实现国产化，**2008年**硅锭/硅片产量可以达到**20,000吨**；**3)** 晶体硅太阳能电池制造技术先进，先进太阳能电池生产技术与国际上同步，太阳能电池制作阶段能耗约为**220千瓦时/千瓦 (220KWh/KWp)**，**2008年**太阳能电池产量达到**200万千瓦 (2,000MWp)**；**4)** 光伏组件封装产业生产工艺成熟、生产设备国产化率高，从事企业有**200**余家，形成的封装能力达到**500万千瓦 (5,000MWp)**。
- (3)** 中国光伏产业链成本及价格现状：**2008年**晶体硅光伏组件价格比**2007年**有所上涨，平均价格**4.26美元/峰瓦 (Wp)**。金融危机爆发后，晶体硅光伏组件价格大幅下降。中国晶体硅光伏组件价格与国际价格基本持平，但成本构成比例不同，国内多晶硅材料占光伏组件总成本的**69%**，国外仅为**41%**。与国际同类产品相比，中国光伏产品具有多晶体硅原材料成本高、劳动力成本低、增值空间小等特点。
- (4)** 中国光伏产业发展潜力及成本趋势：中国晶体硅光伏组件的成本、价格的下降是必然趋势。一方面，中国晶体硅太阳能电池制造技术已取得了巨大进步，表现在多晶硅原材料制备技术取得巨大突破，硅片厚度持续降低、电池效率不断提高等方面；另一方面，受金融危机影响，多晶硅原材料现货价格较**2008年**最高价下降**70%**，价格趋于理性，将大大降低光伏组件成本。
- (5)** 中国光伏发电系统成本与电价：伴随着技术进步、光伏效率的提高、使用寿命增加、规模经济效应，光伏发电上网电价将逐渐降低。光伏发电初始投资**2.75万元/千瓦 (kWp)**，年有效利用小时数**1,800**小时，并网光伏上网电价为**1.68元/千瓦时**。按光伏发电初始投资**2.75万元/千瓦 (kWp)**，每年以**10%**的速度

下降，年有效利用小时数**1,800**小时，火电发电成本**0.59**元/千瓦时，年均增长率**5%**测算，光伏发电成本与火力发电成本将大约在**2016**年交汇，成本大致在**0.8**元/千瓦时。

- 4) 光伏发电的能量回收期：不考虑光伏系统安装、运行和设备回收环节的能耗，光伏系统全寿命周期内的总能耗为生产制造能耗和耗材能耗之和。光伏系统全寿命周期内生产制造能耗为**3,080**千瓦时/千瓦（kWp），耗材的能耗为**737**千瓦时/千瓦（kWp），光伏系统全寿命周期内的总能耗为**3,817**千瓦时/千瓦（kWp）。光伏发电的能量回收期未来可以降到**1-2**年。
- 5) 光伏产业链中的污染问题：石英砂制备金属硅的过程中，**CO₂**的排放是最大的污染，应当予以控制；多晶硅提纯的副产物四氯化硅的安全环保问题，如不妥善进行处理回收，环保风险巨大；多晶硅厂通过尾气回收、物料循环和综合利用，实现零排放和清洁生产，不存在不可逾越的技术障碍；在铸锭/切片、电池片生产过程中，使用完善的处理工艺，这些工艺在微电子工业用硅单晶的制备都已经长期使用，只要处理得当，没有污染排放问题存在；组件封装中，几乎没有液体、气体废料，也没有相应的污染。
- 6) 假设采用离网光伏发电系统为我国偏远地区的无电人口提供每人每年**200**千瓦时电力供应，需要安装离网光伏系统总容量约**250**万千瓦（**2.5 GWp**），这是一个相当规模的光伏市场。若利用我国**3**万平方公里的荒漠面积建设大型并网光伏电站，作为战略开发基地，按每平方公里土地安装**5**万千瓦（**50MWp**）光伏系统计算，我国大规模开阔地光伏发电的潜力将达到**15**亿千瓦（**1,500GWp**）。
- 7) 光伏并网发电的安全问题：国家标准已经提出对并网的技术要求，对上网电力的电能质量要求可参考国家标准：《光伏(PV)系统电网接口特性**GB/T20046—2006**》。该标准主要参照**IEC617271：2004**版本。光伏发电相比于风力发电，功率变化相对平稳，稳定性也相对较好。同时，由于光伏发电的单台设备功率比较小，所以设备发生故障时，对电网的影响也很小。但对于我国较为薄弱的电网来说，还是有许多的研究工作需要进行，以防止在大规模应用光伏发电时，出现问题。一般来说，使用单独的中压线路接入大型光伏发电电站，将使系统更加容易受控，同时大大降低系统故障的扩大化。
- 8) 中国光伏市场化发展的制约因素：(1) 未将太阳能光电利用提高到战略地位来考虑；(2) 中国光伏发电发展目标规划偏低；(3) 尽管鼓励光伏发展的相关政策已经出台，



但无具体的可操作性，如：无明确的公开的并网电价；(4) 激励政策的启动力度不足；(5) 光伏发电度电成本高于常规电价；(6) 光伏产业链整体竞争力较弱；(7) 国内多晶硅提纯技术发展滞后、价格非理性暴涨；(8) 光伏内需市场不足；(9) 光伏专业人才缺乏；(10) 光伏并网尚未开展规模化实验；(11) 相关的技术标准和规范不全面、不完整。

9) 近期目标规划

2009-2012年，光伏系统项目年度安装容量及投资额度表

年份	2009	2010	2011	2012	合计
当年安装容量 (万千瓦)	12	50	103	185	350
年度投资额 (亿元)	29.0	111.0	204.0	322.5	666.45
累计新增容量 (万千瓦)	12	62	165	350	
累计新增投资额 (亿元)	29.0	140	343.95	666.45	

2009-2012尽早启动的项目类别，包括：

- (1) 无电地区电力建设项目。2009年安装2万千瓦（20MWp），2009-2012年合计安装37万千瓦（370MWp）。
- (2) 开阔地并网光伏电站项目。2009年安装6万千瓦（60MWp），2009-2012年合计安装191万千瓦（1,910MWp）。
- (3) 城市应急体系光伏电源。2009年安装1.5万千瓦（15MWp），2009-2012年合计安装36.5万千瓦（365MWp）。
- (4) 城市并网光伏系统。2009年安装2万千瓦（20MWp），2009-2012年合计安装75万千瓦（750MWp）。
- (5) “光伏照明”工程。2009年安装光伏照明灯10万盏，容量合计0.5万千瓦（5MWp），2009-2012年合计安装200万盏左右，总容量10.5万千瓦（105MWp）。

10) 资金来源的模式：1) 项目部分投资，政府补贴，商业运作，没有电费补贴；2) 全部商业投资，获取电费补贴；2) 全部政府资金投资。

11) 远期目标：

- (1) 2012年之后，在上年安装量的基础上，每年保持50万千瓦（500MWp）和170万千瓦（1,700MWp）的递增速率，2011-2015年，5年总计的安装量为1,143万千瓦（11.43GWp）~1,863万千瓦(18.63GWp)，2015年末，中国的累计光伏安装量将为1,085万千瓦（10.85GWp）~1,641万千瓦(16.41GWp)。



- (2) 2016–2020年，5年总计的安装量为2,425万千瓦（24.25GWp）~6,025万千瓦（60.25GWp），2020年末，中国累计安装量将为3,700万千瓦（37GWp）~8,000万千瓦（80GWp）。
- 12) 投资规模：
- (1) 单位千瓦平均造价分三个阶段来考虑：2009–2010造价2.5万元/kWp，总投资172.5亿元；2011–2015造价2万元/kWp，总投资2,286~3,726亿元；2016–2020造价1.7万元/kWp，总投资为4,122.5~10,242.5亿元；2009–2020年的投资总额为6,581~14,141亿元；其中，12年（2009–2020）内项目资本金需求量为1,316.2~2,828.2亿元（以20%的资本金考虑）
- (2) 度电成本，亦分三个阶段来考虑：2009–2010常规电价平均0.5元/千瓦时，光伏发电的平均电价1.4元/千瓦时；2011–2015常规电价平均0.6元/千瓦时，光伏发电的平均电价1.1元/千瓦时；2016–2020常规电价与光伏发电的平均电价基本持平，以0.8元/千瓦时考虑，无需电费补贴。2009–2015年共需电费补贴63.2~97.7亿元。
- 13) 实施重点：(1) 无电地区电力建设工程；(2) 城市分布式发电示范工程；(3) 开阔地并网发电工程。
- 14) 建议：主要由政府给予补助项目包括：无电地区电力建设、应急光伏电源、城乡光伏照明三项。建议无电地区电力建设项目中央财政补助不低于50%，应急光伏电源和城乡光伏照明以地方资金为主，中央补贴20%左右。
- 15) 建议：开阔地并网光伏电站，2009–2012年合计安装191万千瓦（1,910MW）。国家应近期在内蒙古、河北省选择资源富集、电力输送距离近的荒漠地区开展大规模可再生能源发电基地建设的可行性研究，注意大规模光伏系统同其它可再生能源发电系统，如风力发电、太阳能热发电、生物质能发电、抽水蓄能、燃气发电机组等综合互补，构成输出稳定、可调度、可预测、可合理输送的电源系统，审批后抓紧规模化建设，取得试点突破，以点带面，纲举目张；开阔地并网光伏系统按照全网分摊补贴机制扶持；
- 16) 建议：应急场所的应急光伏电源及太阳能路灯项目建设，以地方资金为主，中央补贴20%。
- 17) 建议：1) 无电地区离网光伏发电电站和户用系统、应急光伏电源的运营和管理交于当地电力公司负责，继续按执行目前全网分摊补贴机制对运营和维护管理进行扶



持；2) 开阔地并网发电工程的招投标由各省市发改委负责审批，再上报国家核准；3) 城市分布式光伏并网发电工程一定规模以下的（由电力部门讨论制定），采用建设部补贴制度由投资侧补贴，采取用户电表抵消制度让投资者受益，配套以绿色证书等社会荣誉。

9.2 政策措施建议

1. 健全法律法规

进一步完善以《可再生能源法》为主体的法律法规体系。贯彻落实国家发改委、国家能源局、国家电监会的关于可再生电力的制度，制定和完善与之配套的产业政策、制度和规定。建议尽快出台电力部门、供电部门、各省的可再生能源配额制（包括太阳能供电的配额比例）。

2. 强化规划和调控

明确光伏发电的战略地位，强化光伏产业发展规划及大型发电项目建设规划的作用，规范开发秩序，加强建设管理，调控产业开发布局和建设规模，防止产能过剩。适时对规划进行滚动调整。

建立和完善规划调整与公开发布制度，公开发布规划及实施进展。地方和部门组织制定的相关规划，必须与国家发展规划衔接一致，纳入国家统一规划。

严格建设项目核准和备案制度。不符合国家规划要求的建设项目，不予办理相关审核、许可手续，金融机构不予贷款。完善项目核准备案制度，形成更加科学、规范、透明的管理办法。

3. 推进机制创新

按照国家总体要求，建立健全现代企业与产权制度，推进机制和体制创新；光伏发电项目建设、建成后的运营要引入市场竞争机制。

与光伏发电相关的科研、设计、制造、建设和运营等环节也要建立以市场竞争机制为导向的发展机制。

4. 建立光伏发电持续稳定的市场需求

国家有关部门采取财政、税收、价格等综合措施和强制性的市场份额政策，并通过组织政府投资项目和特许权项目等方式，根据发展目标要求，按照政府引导、政策支持和市场推动相结合的原则，培育持续稳定的光伏发电的电力市场。

国家能源局根据战略发展规划，明确光伏发展的近、中期发展计划，落实政策和资



金规模，确定各省安装和产业发展布局，引导光伏发电市场和产业健康、可持续发展。建议近期在条件较好、地方积极性地区组织“无电地区电力建设”、“规模化荒漠并网光伏系统”、“应急体系光伏电源”、“城市光伏综合规模应用”先到示范项目，制订科学的项目运行机制及相关政策、标准体系，验收后在全国推广。建议“规模化荒漠并网光伏系统”采用上网电价补贴政策机制扶持，其余采用投资侧补贴，或投资加电价补贴机制扶持。国务院能源主管部门负责组织制定各类可再生能源电力的并网运行管理规定，电网企业负责建设配套电力送出工程。电力调度机构要根据可再生能源发电的规律，合理安排电力生产及运行调度，使可再生能源资源得到充分利用。电网企业按照发展规划中电力项目的布局，适度提前安排电力输送通道的建设规划，做好电网接入的规划和试验研究工作，保障光伏电力的上网和销售、补贴政策的落实到位。

国务院建筑行政主管部门和国家标准委组织制定建筑—光伏结合的国家标准，修改完善相关建筑标准、工程规范和城市建设管理规定，为光伏在建筑物上应用创造条件。财政部和城乡建设部已经出台了投资侧补贴，推广建筑光伏的政策机制，建议政府部门协调供电部门建立健全并网上网的标准，首先做到允许实现清表制，突破建筑光伏并网的壁垒。在太阳能资源丰富、经济条件好的城镇，在必要的政策条件下，强制扩大太阳能光伏发电技术的市场份额。

上述项目应注意向西部倾斜、向太阳能资源好的、靠近负荷中心的地区倾斜。为了解决东部省市电费上缴多、获得补贴少的矛盾，建议国家研究出台鼓励东部企业和个人到西部投资光伏项目，享受本地补贴的优惠政策。

为了简化审批程序，建议实行省（市）按国家计划审批、国家主管部门核准的机制。针对国有电力集团超低价竞标现象，建议有关部门研究制定科学合理的招标机制，保障合理有序竞争，健康可持续发展。

5. 完善已经制定的电价政策和费用分摊政策

国务院价格主管部门根据各类可再生能源发电的技术特点和不同地区的情况，按照有利于光伏发展的经济合理的原则，制定和完善光伏发电项目的上网电价，并根据光伏技术的发展适时调整；实行招标的光伏发电项目的上网电价，按照招标确定的价格执行，并根据市场情况进行合理调整。

电网企业收购可再生能源发电量，高出常规能源发电平均上网电价的部分，附加在销售电价中在全社会分摊。

6. 加大财税支持力度



国家加大财政预算内资金和国债资金对光伏项目的投入；加大对无电地区电力建设的投资力度；加大政策性投资或贴息资金的支持力度。在应急体系建设中采用光伏电源的经费，应列入国家应急体系建设专项。

按照国务院确定的可再生能源发电配额制度，完善可再生发电电价优惠政策，施行有利于生产和使用可再生电力的税收政策，加大税收优惠力度。

7. 施行可操作性强的融投资激励政策

简化光伏发电项目审批手续，降低光伏发电项目资本金比例，扩大企业通过债券、上市等直接融资的渠道和规模，促进投资多元化。

8. 加强运行与技术服务体系建设

按照社会化、市场化和专业化的思路，围绕光伏发电项目的开发、设计、建造、调试、运行、检修、人员培训等方面，进行相应的科研和配套条件建设，建立和完善光伏发电专业化运行与技术服务体系，全面提高光伏发电的稳定运行水平，为更多企业投资建设光伏电站创造条件。

鼓励企业在农村地区建立可再生能源服务公司，为农村居民和公共设施提供供电服务，保障农村离网光伏供电正常运行。

9. 加强科技攻关

国家列科技专项支持光伏发电技术基础研究，支持共性技术和关键技术的研发和攻关。鼓励企业与科研院所加强协作，开展技术创新。

10. 重视人才培养

大规模培养造就光伏行业需要的专业人才。为实现2020年光伏发电发展目标，国家、企业、高等院校、科研院所要抓住机遇，在科研、设计、制造、运行和维修等环节，及运行管理等专业领域，大力加强各类人才的培养工作，提高待遇，做好人才储备工作。

11. 加强行业管理

加强光伏发电项目全过程的管理，重视落实离网光伏系统后期的运行维护工作。

提高光伏行业准入门槛，规范光伏项目生产经营活动。引导企业增加投入，进行技术改造，提升装备水平。完善光伏发电电力市场监管和运行规则，创造公平竞争的市场环境。

引导光伏发电企业加强管理、降低成本、改进服务质量，提供稳定可靠、价格合理、质量优良的电力供应服务。

12. 完善标准化体系



抓紧完善、修订光伏发电产品与技术标准，逐步提高，加速与国际标准体系接轨。

13. 加强国际合作

以引进先进技术、优秀人才、和管理模式为主要目标，完善光伏项目国际合作政策；按照平等互利、合作双赢的原则加强国际合作。

参考文献

- [1] 国家能源局，能源振兴规划（2009–2012），2009.2
- [2] 国家发展改革委，能源发展“十一·五”规划，2007.4
- [3] 国家发展改革委，国家发展改革委关于印发天然气利用政策的通知，[2007]2155号，2007.8.30
- [4] 中国可再生能源利用促进法
- [5] 国家发展改革委，可再生能源中长期发展规划，2007.9.4
- [6] 国家发展改革委，可再生能源发展“十一·五”规划，2008.3.19
- [7] 国家发展改革委，煤炭工业发展“十一·五”规划，2007.1
- [8] 国家发展改革委，核电中长期发展规划(2005–2020)，2007.12

10. 附件

10.1 硅基薄膜（A-Si（单 双 三结）非晶/微晶）核心企业

- (1) United Solar Ovonic(Energy Conversion Devices) 美国 A-Si/A-SiGe/A-SiGe
- (2) Kaneka Solartech 日本 a-Si/Poly-Si
- (3) Sharp Thin Film 日本 a-Si/ μ c-Si/a-Si GaAs
- (4) MHI(Mitsubishi Heavy Industries) 日本 a-Si/ μ c-Si
- (5) Topray Solar 拓日新能源（深圳）a-Si Tandem
- (6) Bangkok Solar 泰国 a-Si Tandem
- (7) Soltechpv 北京世华（北京）a-Si Tandem
- (8) Sanyo Amorton 日本 a-Si Single
- (9) Sinonar 大丰能源科技（台湾竹南）a-Si Tandem
- (10) Schott Solar Thin Film 德国 a-Si/ μ c-Si
- (11) Jinneng Solar 天津津能（天津）A-Si Tandem
- (12) EPV Solar 美国 a-Si Tandem
- (13) CSG Solar 德国 Poly-Si
- (14) Fuji Electric Systems 富士电机（日本）A-Si/A-SiGe
- (15) Polar PV 普乐新能源（安徽蚌埠）a-Si Single,Tandem
- (16) Ersol Thin Film 德国 A-Si Single, a-Si/ μ c-Si
- (17) Brilliant 234. GmbH（Q-Cell）德国 a-Si/ μ c-Si 253
- (18) Trony 深圳创益（深圳）A-Si Single
- (19) Sumoncle 深圳日月环（深圳）A-Si Single
- (20) hksolar 黑龙江哈克（哈尔滨）A-Si Single
- (21) XinaoGroup 新奥集团（河北廊坊）a-Si Tandem
- (22) Sunfilm AG 德国 a-Si/ μ c-Si
- (23) Malibu GmbH 德国 a-Si/ μ c-Si
- (24) Signet Solar 美国 a-Si Single
- (25) SolarMorph 新加坡 a-Si/ μ c-Si
- (26) Suntech 无锡尚德（上海）a-Si/ μ c-Si
- (27) Moser Baer Photo Voltaic 印度 a-Si Single
- (28) T-Solar Global 西班牙 a-Si/ μ c-Si
- (29) Green Energy Technology 绿能科技（台湾桃园）a-Si Single
- (30) CMC 富阳光电（台湾桃园）a-Si Single
- (31) 宇通光能（台湾台南）a-Si/ μ c-Si
- (32) Inventux Technologies AG 瑞士 a-Si/ μ c-Si
- (33) Pramac SpA 意大利 a-Si/ μ c-Si
- (34) BSTRPV 威海蓝星泰瑞光电（威海）a-Si Tandem
- (35) China Solar Power 吉富中国投资（山东烟台）a-Si Single
- (36) Nexpower 联相光电（台湾台中）a-Si Single



- (37) Sunner Solar 旭能光电（台湾台中） a-Si Single
- (38) XsunX 美国 a-Si/a-SiC
- (39) Lambda Energia 墨西哥 a-Si/a-SiC
- (40) QS Solar 强生光电（南通） a-Si Tandem
- (41) 源畅光电（常州） a-Si Tandem
- (42) 赣能华基新能源（江西） a-Si Tandem
- (43) Formosun 鑫筌能源（台湾新竹） a-Si Tandem
- (44) Solar Plus 葡萄牙 a-Si Tandem
- (45) HELIODOMI 希腊 a-Si Tandem
- (46) HelioGrid 匈牙利 a-Si Tandem
- (47) Kenmos PV 大亿光能（台湾台南） a-Si Tandem
- (48) NanoWin 威奈联合科技（台湾台南） a-Si/ μ c-Si
- (49) GS Solar 欧德生或金太阳（泉州） a-Si Tandem
- (50) 中山铨欣照明电器（中山） a-Si Tandem
- (51) 浙江慈能光伏（杭州） a-Si Tandem
- (52) 沈阳汉锋（沈阳） a-Si Tandem
- (53) 尤尼索拉津能（天津） A-Si/A-SiGe/A-SiGe

10.2 CdTe 企业

- (1) First Solar(美国) CdTe
- (2) Antec Solar Energy AG (德国) CdTe
- (3) ARENDI SRL(意大利) CdTe
- (4) Canrom Photovoltaics(美国) CdTe
- (5) CALYXO GMBH(Q-Cell)(德国) CdTe
- (6) PrimeStar Solar(GE Energy)(美国) CdTe
- (7) AVA Solar(美国) CdTe
- (8) 中国正泰太阳能, CdTe
- (9) 杭州龙焱能源科技, CdTe
- (10) 浙江先进太阳能公司, CdTe（联想控股投资）

10.3 CIGS CIS 企业

- (1) Würth Solar (德国) CIS
- (2) Honda Soltec(日本) CIGS
- (3) Global Solar (美国) CIGS
- (4) Showa Shell Solar (日本) CIS
- (5) Miasolé (美国) CIGS
- (6) Johanna Solar (德国) CIGSSe
- (7) Odersun(China ATMCN)(等国) CISCut
- (8) Solibro Solar(德国) CIGS



- (9) Sulfurcell (德国) CIS
- (10) AVANCIS(Shell Solar)(德国) CIS
- (11) HelioVolt (美国) CIGS
- (12) Ascent Solar(美国) CIGS
- (13) DayStar (美国) CIGS
- (14) Nanosolar (美国) CIGS
- (15) SoloPower (美国) CIGS
- (16) ISET(美国) CIS
- (17) 山东孚日股份 (中国), CIGS, 60 MW
- (18) 台湾: 新能、铸德、亚化、正峰等 CIGS

10.4 突发公共事件应急体系建设光伏电源项目实施导则

突发公共事件应急体系建设光伏电源项目实施导则(建议)

目 录

1. 前言
2. 实施原则
3. 应急电源的现状及其问题
4. 实施目标及范围与规模
5. 实施方式及组织
6. 系统构成及基本性能要求
7. 项目的实施步骤要点
8. 质量控制及核查监管
9. 项目建设资金及所有权

1.前言

为了应对自然灾害及其他突发公共事件，我国已颁发施行《中华人民共和国突发事件应对法》，中央政府也已编制制定了《国家突发公共事件总体应急预案》，并发布实施各类“专项应急预案”，以便及时处置，减少损失，保障安全。各地方政府也积极行动，建立健全紧急救助体系和运行机制，提高应对和处置突发公共事件的能力，最大程度地减少人民群众的生命财产损失，维护国家安全和社会稳定，促进经济社会全面、协调、可持续发展。

按照突发事件应对工作预防为主、预防与应急相结合的原则，各地方政府及有关部门采取措施，推进应急管理体系建设，做好应对突发公共事件的应急保障工作，在人力、物力、财力、交通运输、医疗卫生、公共安全、通信等方面做好充分准备，以保证应急救援工作的需要和群众的基本生活需求，以及恢复重建工作的顺利进行。在应急体系建设及各种物资准备工作中，应急电源建设应是一项必须的基础性工程，应该保证质量，切实抓紧实施进行，才能保证在突发事件发生电力中断时，各种需要用电的应急设备能够及时启动，发挥作用。2008年年初的特大冰雪灾害及“5.12”汶川大地震的灾害情况



表明，在灾难突然降临，交通、电力、通讯较长时间全部中断的情况下，目前普遍采用的应急电源系统难以有效地保障电力供应，影响应急与救助行动。

根据《国家突发公共事件总体应急预案》的要求，必须采用先进的应急处置技术及设施，不断改进技术装备。在各种不同类型的应急电源系统中，利用普遍存在的太阳能发电的光伏发电系统，具有独特的技术优势。各地在应急体系建设中实施光伏电源项目，正是《总体应急预案》中“依靠科技，提高素质”精神的充分体现，是“加大公共安全应急处置技术研发的投入”及加强对物资储备的监管及补充、更新要求的具体落实，将有力地“提高应对突发公共事件的科技水平”。

2. 实施原则

实施应急光伏电源项目要以“应急供电”为目标，贯彻“统筹安排，科学规划，以人为本，平灾结合”的基本原则，要以居安思危、预防与应急相结合、常态与非常态相结合的指导思想，做好项目建设工作。

在应急光伏电源项目实施过程中，要贯彻落实科学发展观，在认真调查研究的基础上，进行科学的分析和论证。要在保证项目应急供电功能的前提下，进行技术经济、综合效益的优化选择。要充分认识到，应急光伏电源建设不仅仅是光伏发电系统的安装建设，更要重视常态的维护和管理。要做好项目前期的准备工作，综合考虑项目的工程建设和长期维护管理与应急运行。在依据《中华人民共和国突发事件应对法》及《国家突发公共事件总体应急预案》实施项目建设时，还必须认真贯彻落实《中华人民共和国电力法》、《中华人民共和国可再生能源法》以及一系列相关政策法规，确保应急光伏电源在应急情况下能够发挥作用。

3. 应急电源的现状和问题

应急电源的功能是在常规供电中断的情况下，保证必须的电力供应。其特点是启动的随机性、突发性，以及运行供电的独立性、可靠性。因此，对应急电源要求在平时处于长期的待机状态，应急启用则能够不依赖外部条件地长时间可持续运行。目前常用的应急供电方式有以下几种：

1) 多回路供电



对重要用电负荷，除常规主回路供电而外，还有一路以上的备用回路在主回路断电时应急供电。这种方式虽然简单，但当突发事件发生导致电源损毁、全部供电回路中断时，无法实现应急供电。

2) 柴油发电机供电

柴油发电机造价较低，是目前普遍采用的应急电供电电源。但需要储备燃料及易损另部件，运行时有噪音及有害气体，运行供电时间与燃料贮存量有关。

3) EPS 电源供电

随着电力电子技术的发展，EPS 是目前常用的应急电源之一。但其容量有限，应急供电时间取决于蓄电池所储存的电。在没有电源给蓄电池充电的情况下，无法长时间可持续供电。

4) 光伏电源供电

利用光伏发电技术，把太阳光变成电。在有太阳光照射时，利用太阳能发电；没有太阳时，由蓄电池给负载供电。不消耗燃料，没有污染，可长时间独立运行供电。光伏发电还可以与风力发电、柴油机发电等组成多能互补电源系统，进一步提高供电可靠性，增加供电能力，降低建设成本。

光伏发电既可以建成独立供电的离网系统，也可以与电网并网，发电上网。光伏发电技术已在我国无电地区农村电力建设中发挥了重要作用，得到大量应用，在城市中也已建设了大量的并网光伏发电系统，成功地并网运行。我国的光伏发电在近几年得到快速发展，产业配套齐全，技术成熟，在各个领域得到广泛应用。光伏应急电源能够充分发挥光伏发电技术的特点，保证实现应急状况下可靠供电目标，是应急电源的最佳选择。

4. 实施目标及范围与规模

各级政府及有关部门在突发事件应急体系硬件设施建设中，要充分认识到应急电源的重要意义，要抓紧进行光伏应急电源建设，使国家《突发事件应对法》得到更好的落实，使我国的应急保障工作准备更充分，让广大人民群众安心、放心。

应急光伏电源系统主要在大中城市建设安装。作为一项市政设施，应首先在下列突发事件处置应对机构及地点进行安装建设：

1) 各级各类突发事件的应急指挥及管理机构等处置应对突发事件的中心和枢纽。如国家相关突发公共事件应急指挥机构及国务院应急管理办公室，各省市设立的各级应急指挥部、应急办公室等，安装建设光伏应急电源以保证在任何情况下机构职能的正常运



转；

2) 通讯枢纽及关键通讯设施，应急通信、应急广播电视保障工作体系。光伏应急电源能够保证在任何情况下及时的信息传递和沟通，以及快速、直接的指导和指挥；

3) 公安、消防、医疗、交通等各类应急指挥中心。光伏应急电源能够保证这些部门在任何情况下都能够了解情况，接受指令，履行维护社会秩序稳定及减少人民生命财产损失的职责；

4) 各种形式的应急避难场所，如公园、广场、绿地、开阔地域等。在人口集中的城市中开辟应急避难场所，临时安置受灾民众，确保在紧急情况下公众安全，便于救助及恢复重建。光伏应急电源能够确保这些应急避难场所具有照明、通讯、视听广播及饮食、住宿、医疗等基本生活条件。

我国正处在加速城市化的进程中，2006年的城镇人口已达5.77亿，市辖区总人口百万人以上的大城市已有117个。国家要求各地应急避难场所的设置要与城市规模相适应，因此应急光伏电源的总装机容量预计将超过3000兆瓦(按5瓦/人考虑)，总投资大约需要1500亿元。各地在发展规划中要按照本项目实施原则，统筹安排，分阶段实施，到2015年完成90%的安装量。

5. 实施方式及组织

应急体系建设中的光伏应急电源项目在各级政府的主导下，依法实施。首先要明确目标，认真调查研究，科学地分析论证，做好发展规划。

在国家发展和改革委员会的领导下，由各省（市、区）政府的发展和改革委员会牵头，联合财政、电力、市政、公安等相关部门，组成专门的“应急光伏电源建设项目办公室”，负责本省（市、区）的光伏应急电源项目的实施工作。要科学组织，狠抓质量，落实管理机构，加强协调与沟通，又好又快地完成这一关呼人民生命财产安全的应急设施建设，早一天完备早安心。

省（市、区）应急光伏电源建设项目办公室或授权的应急指挥中心等机构，负责相关的组织和管理的工作，组织前期调研、编制实施计划书并上报有关部门批准，及时协调处理各种矛盾等。

应急光伏电源的建设和管理工作，也要按社会主义的市场经济规律办事，以商业化模式运作，实行成本核算。要加强监管，落实责任制，按照“应急预案”要求进行建设和管理。建成后平时的运行发电，按国家可再生能源法及相关政策规定执行，这些光伏

系统在平时送上电网的电力，应按规定得到相应的电费补贴收益。

6. 系统构成及基本性能要求

突发事件应急体系中的应急光伏电源建设，主要是固定安装的光伏电站形式，同时也要考虑配备适当数量的移动式光伏发电设施及便携式光伏电源系统作应急补充。

固定安装的应急光伏电源应建成能够离网独立供电的并网光伏发电系统。根据供电对象的重要程度不同，要求具有在没有太阳光照射的情况下，连续 3-10 天的离网独立供电能力。其安装支撑结构的设计、构建，应考虑到突发事件的极端状况。

应急光伏电源的技术方案，要在保证基本性能要求的前提下，进行优化设计，并尽量与已经配备的应急电源兼容。一般应采用多能互补的形式，即包括常规电网供电/充电的光伏-柴油机混合系统，有条件的还可以加上风力发电。

7. 项目的实施步骤要点

1) 前期准备

实施应急光伏电源项目的前期准备工作，主要是调研、规划，完成项目实施申报报告。

项目办公室在前期准备的开始阶段，就应聘请中立的、有资质的机构和专家，进行应急光伏电源项目实施过程中全面的咨询、顾问工作，既包括技术方面的，也包括管理方面的，以及质量控制、核查监管等。

首先应确定需要配备安装应急光伏电源的部门、场所，及其在应急体系中的职责和位置，按照在应急体系中的重要程度分期分批进行建设。

其次应确定需要配备的应急光伏电源类型、应急用电需求、目前配备的应急电源情况等。应详实填写“应急用电调查表”（见附件 1），并统计汇总。还需要了解太阳能、风能资源情况以及周边环境等，作为项目设计和建设的依据。

前期准备工作的结果是“省（市、区）应急光伏电源建设实施申报报告”，经省主管部门审批后上报国家发展和改革委员会审批。实施申报报告中要列出具体实施规模、资金概算、时间计划、维护管理安排。经国家发展和改革委员会批准后，项目办公室即着手组织实施应急光伏电源项目的具体建设。

2) 确定责任单位

实施应急光伏电源项目的每一个环节，都要有明确的责任单位。首先要确定的是项



目业主单位，全面负责项目建设及平时的维护管理工作。可优先选择当地电力部门担当项目业主，按照当地原有电力运行机制运营管理。项目办公室应与项目业主签订合同，规范各方关系，明确各方的责、权、利。国家和地方还应制定出台相应的规定和要求，设立检查监督机制，确保项目在应急使用状态时的应急运行供电。

3) 工程准备及建设施工

项目业主应根据应急用电要求制定具体的建设方案和实施计划，包括技术设计、系统参数、设备采购、系统集成、维护管理与运行规程、财务计划等完整的建设、管理计划，报项目办批准并监督执行。其中设备采购、系统集成应采用招标的方式；项目业主有能力进行系统集成的，经项目办批准后，也可不进行系统招标。

项目办公室应及时组织专家，对项目业主的方案计划进行审核并尽快批复施工。

项目的建设施工应贯彻国家相关质量标准，聘请项目监理以保证工程建设质量。系统集成商应按照合同要求，保留完整的质量证明文件、现场安装调试及试运行记录等文件，作为验收的必要条件。

鉴于应急光伏电源项目涉及市政、电力、用电等多个单位和部门，项目办应及时召集进行协调和沟通，解决有关问题，确保“应急供电”的根本目标。

4) 工程建设的验收和移交

所有系统在工程建设完工、系统集成商提出验收申请，都应进行及时的验收。验收必须按事先约定的规则和程序进行，既包括硬件设施的验收，也包括各种技术文件、管理文件的验收。并需有至少一年的试用期。初验收合格后，移交项目业主维护管理、发电运营。试用期期间，项目办应组织各有关方面的人员和专家，随机地进行3-4次不同镜况下的实用化“应急供电”模拟运行性能测试，全面评估系统的“应急供电”能力，进行项目的终验收。

5) 运行维护和管理

实行项目法人制，实施法制化运营管理。在验收移交以后，由项目业主根据项目办批准的运行维护和管理各项规章制度，负责进行平时的运营及维护管理工作，并承担确保应急供电运行的责任。项目业主要与用电机构或项目办签订具有法律效力的应急供电合同或协议，明确应急供电要求以及双方责任和义务。

应急光伏电源系统平时在非应急供电状态下运行所发的电能，可以上送国家电网，电网公司应按照国家可再生能源法全额收购，并享受国家发展与改革委文件《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》及其他相关政策规定的差额电价补贴。



8. 质量控制及核查监管

应急光伏电源系统的项目建设，应参照“送电到乡”等光伏发电系统项目建立从立项到供电服务的全面的质量控制体系。应及时启动和介入技术方案审查、规章制度制订，以及对于材料设备、工程建设、管理维护、平时运营发电与应急供电服务等各个环节的质量检测及核查与监督工作。

在项目的工程施工建设阶段以及平时非应急供电状态下运行发电阶段，由项目办公室组织必要的核查与监管，及时发现问题，保证项目总体质量。核查和监管应围绕“应急供电”的目标采用多种方式进行，以确保“应急供电”服务的质量和可靠性。

9. 项目建设资金及所有权

应急光伏电源项目建设资金的筹措，原则上以中央和地方政府拨款为主，同时要采用市场化运作方式，吸纳企业及民间资本的投资。投资的商业回报，是光伏发电系统平时非应急供电状态下运行发电并向电网公司售电的收益。项目建设资金方案以国家发展和改革委员会批准的“省（市、区）应急光伏电源建设项目建设方案申报报告”为准。

应急光伏电源项目应根据“谁投资谁拥有”的原则确定光伏发电系统的所有权，并实行所有权与经营权分离。由国家、地方政府投资建设的国有资产，所有权归国家，可以划归电力公司。其他融资渠道投资建设的非国有资产，在必要时也可按商业化程序运作，实行产权转移。

无论产权属谁，都必须绝对保证应急光伏电源的“应急供电”功能，应急光伏电源项目办公室及当地应急指挥中心拥有监管的权利和责任。

附件.突发事件应急用电调查统计表

参考文献

1. 《中华人民共和国电力法》
2. 《中华人民共和国可再生能源法》
3. 《中华人民共和国价格法》
4. 国家发改委,《中国可再生能源中长期发展规划》(发改能源[2007]2174号),2007年8月31日
5. 国家发改委,《可再生能源发展“十一·五”规划》(发改能源[2008]610号),2008年3月3日
6. 国家发改委,可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法,2006-6-1
7. 国家发展改革委,关于印发《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》的通知,发改价格[2007]44号
8. 国家发展改革委,关于印发《可再生能源发电有关管理规定》的通知,2006.1.5
9. 国家发改委,可再生能源发展专项资金管理暂行办法,2006-5-30
10. 国家发改委,发改能源[2007]421号,国家发展改革委关于做好“十一·五”农村电网完善和无电地区电力建设工作的通知
11. 国家发改委,发改办能源[2005]1367号,国家发展改革委办公厅关于无电地区电力建设有关问题的通知
12. 国家电力监管委员会令第25号,《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》
13. 国家电力监管委员会文件,电力业务许可证规定
14. 国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP),中国光伏产业发展研究报告(2004—2005)
15. 国家发改委(NDRC)/世界银行(WB)/全球环境基金(GEF)中国可再生能源发展项目(REDP),中国光伏产业发展研究报告(2006—2007),2008-05
16. 中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会,中国光伏发展报告(2007),2007-09
17. Jos Bouma, The Dutch RE and Transition Policy Implementation (ppt file), Hangzhou Training Workshop, April 19-25, 2005
18. The Clean energy Tax Stimulus Act of 2008
19. EERE Solar Energy Technologies Program (SETP), A Plan for the Integrated Research Development, and Market Transformation of Solar Energy Technologies (draft), Feb 5, 2007

20. DOE SETP, DOE Solar Energy Program Overview- Market, Trend, Strategy, R&D Pipeline, Next Step (ppt file), Aug. 2007
21. DOE SETP, Solar Energy Industry Forecast- Prospective on US Solar Market Trajectory (ppt file), June24, 2008
22. 《2006 年中国太阳级硅材料及硅太阳能电池研讨会》资料汇编
23. 招商证券研究报告, 光伏产业 2007 投资策略报告, 2006-12-04
24. 兴业证券研究报告, 光伏行业发展趋势分析及投资标的选择, 2008-09-23
25. Working group 2 “PV Policy Database and Best Practice Report”, Assessment of 12 national policy frameworks for Photovoltaic-Country Analyses• Benchmarks • Conclusions, Nov7, 2005
26. 《联合国气候变化框架公约》
27. 德国 2004 年颁布的新能源法(中文版)
28. 马耳他的可再生能源政策
29. 于站良等, 太阳能级硅制备新工艺研究进展, 轻金属, 2006.3
30. 严大洲, 我国多晶硅生产现状与发展, 世界有色金属, 2001.1
31. 雷永泉主编, 21 世纪新材料丛书: 新能源材料, 天津大学出版社, 2002.12, 天津
32. 张正敏主编, 中国风力发电经济激励政策研究, 中国环境科学出版社, 2002.11, 北京
33. 原国家计委, 新能源与可再生能源发展纲要(1999—2020), 中国计划出版社, 2000, 北京
34. 何建坤, 国外可再生能源法律汇编, 人民法院出版社