



## 项目信息

**项目编号:** G-1207-16457

**项目期:** 07/01/2012 - 06/30/2013

**所属领域:** 新兴能源产业

**项目概述:** 本项目基于对新兴能源产业特征的分析,围绕风电、光伏、储能和页岩气这四个新兴能源产业,在调查研究美国新兴能源产业技术创新支撑体系与政策的基础上,重点分析了我国新兴能源产业技术创新支撑体系现状及存在的问题;同时,借鉴美国经验提出构建一个三维立体的我国新兴能源产业技术创新支撑体系的基本设想与框架,并最终从完善我国创新技术供给、创新技术产业化路径,以及技术创新服务等要素角度提出具体的可操作的政策建议,以及促进新兴能源产业发展的政策环境建议,供国家决策参考。

**报告执笔:** 张永伟 国务院发展研究中心 研究员

张葵叶 中国能源网研究中心 研究员

王鸿雁 中国能源网研究中心 研究员

Joanna Lewis 乔治敦大学 教授

**关键词:** 新兴能源、技术创新支撑体系、技术创新供给、  
创新技术产业化、技术创新服务、政策

# 中国新兴能源产业的创新支撑体系及政策研究

(正文报告)

清华大学产业发展与环境治理研究中心

二零一四年

# 目 录

目 录 .....	I
图目录 .....	IV
表目录 .....	V
前 言 .....	1
1. 新兴能源产业特征 .....	3
1.1. 高技术、高资本密集，高度依赖技术创新及技术进步 .....	3
1.2. 具有高增长性，对经济增长具有很大的拉动作用 .....	4
1.3. 早期普遍具有高成本特性，适当的扶持政策有利于快速启动产业 .....	6
1.4. 产业扶持政策须与新兴能源技术发展相匹配 .....	7
1.5. 产业发展融入常规能源系统时需要一系列配套支持 .....	9
2. 国内外新兴能源产业发展现状及技术水平 .....	10
2.1. 风电 .....	10
2.1.1. 世界风电产业发展现状与技术水平 .....	10
2.1.2. 中国风电产业现状与技术水平 .....	16
2.2. 太阳能光伏 .....	23
2.2.1. 世界光伏产业现状与技术水平 .....	23
2.2.2. 中国光伏产业现状与技术水平 .....	29
2.3. 储能 .....	33
2.3.1. 世界储能产业现状与技术水平 .....	33
2.3.2. 中国储能产业现状与技术水平 .....	36
2.4. 页岩气 .....	38
2.4.1. 世界页岩气产业现状与技术水平 .....	38
2.4.2. 中国页岩气产业现状与技术水平 .....	42
3. 美国新兴能源产业技术创新支撑体系研究 .....	50
3.1. 美国新兴能源产业技术创新支撑体系框架 .....	50
3.2. 新兴能源创新技术供给 .....	51
3.2.1. 美国新兴能源技术创新领导力 .....	51
3.2.2. 联邦政府系统的公共研发机构和国家实验室 .....	51
3.2.3. 高等院校系统 .....	54
3.2.4. 专门的能源联合研究中心 .....	55

3.2.5. 企业系统 .....	56
3.2.6. 非盈利系统的能源专门技术研发机构 .....	58
3.2.7. 产学研体系 .....	59
3.3.   新技术转移及规模化路径 .....	59
3.3.1. 美国新技术转移及路径 .....	59
3.3.2. 政府专门设立示范项目推动新技术产业化 .....	64
3.3.3. 风险投资推动新技术产业化 .....	64
3.3.4. 行业协会推进新技术产业化 .....	64
3.3.5. 多种灵活商业模式助推新技术产业化 .....	66
3.4.   技术创新服务 .....	68
3.4.1. 美国成熟的资本市场及融资服务体系为技术创新提供资金支持 .....	68
3.4.2. 美国重视科技创新人才积累与知识创新 .....	69
3.4.3. 美国建立“绿色技术”专利通道 .....	69
3.5.   政策环境与社会氛围 .....	70
3.5.1. 良好的新兴能源产业发展战略与措施 .....	70
3.5.2. 良好的法律及政策环境 .....	70
3.5.3. 以明确的产业发展目标及规划引导技术创新 .....	72
3.5.4. 政府资助研发及健全的产业财税政策扶持 .....	72
3.5.5. 出台与产业发展阶段相匹配的财政及税收扶持政策 .....	75
3.5.6. 严格的市场监管 .....	75
3.5.7. 政府和非政府组织都是鼓励技术创新的政策环境创造者 .....	76
3.6.   美国经验总结及对中国的启示 .....	76
4.   我国新兴能源产业技术创新支撑体系现状及存在的问题 .....	77
4.1.   新技术供给现状 .....	77
4.1.1. 新兴能源产业技术创新遭遇瓶颈 .....	78
4.1.2. 创新供给条件不足，产学研局面较为混乱 .....	78
4.1.3. 我国的公共研发能力在改革中被削弱 .....	79
4.1.4. 国有企业创新动力不足 .....	80
4.1.5. 中小企业创新遇到瓶颈，大小企业间缺乏协同创新 .....	81
4.2.   技术创新支撑体系存在的问题 .....	82
4.2.1. 政府主导的方式遏制了企业创新 .....	82
4.2.2. 行政化和官本位导致大学、研究机构创新能力不足 .....	83
4.2.3. 体制分割阻碍创新 .....	84

4.2.4. 技术创新服务体系滞后 .....	85
4.2.5. 技术标准不健全 .....	86
4.2.6. 能源技术创新政策有待完善 .....	87
4.2.7. 能源管理体制不健全 .....	87
5. 构建我国新兴能源产业技术创新支撑体系的设想与建议 .....	88
5.1. 确立我国新兴能源技术目标定位 .....	88
5.1.1. 要确立国际领先的新兴能源产业目标定位 .....	88
5.1.2. 我国在新兴能源领域具有成为全球领先地位的条件 .....	89
5.1.3. 构建我国新兴能源产业技术创新支撑体系的基本框架 .....	90
5.2. 建立完整的供给体系 .....	91
5.2.1. 建立公共研发机构 .....	92
5.2.2. 给中小企业技术创新创造条件 .....	93
5.2.3. 提升国有企业的创新动力 .....	94
5.3. 构建合理的产业化路径 .....	95
5.3.1. 走一条基于核心技术突破的发展路径 .....	95
5.3.2. 打通产学研资之间的贯通 .....	96
5.3.3. 产业化与需求侧的发展相协调 .....	96
5.3.4. 依靠市场的选择机制 .....	97
5.3.5. 新兴能源产业化与商业模式创新互动协调 .....	98
5.4. 提供全面的技术创新服务 .....	100
5.4.1. 提供顺畅的融资支持 .....	100
5.4.2. 建立新兴能源标准，完善机制 .....	101
5.4.3. 建立技术信息、资产交流交易的服务平台 .....	102
5.4.4. 加大人才培养 .....	103
5.4.5. 提供技术与资产并购的服务体系 .....	104
5.5. 完善政策支持体系 .....	105
5.5.1. 制定权威可预期的规划方案 .....	106
5.5.2. 完善财政支持政策 .....	106
5.5.3. 提供税收支持 .....	107
5.5.4. 提供示范项目支持 .....	108
5.5.5. 完善价格、环保等监管体系 .....	109
5.5.6. 积极推进市场开放 .....	109

## 图目录

图 1.	1996 年-2012 年全球风电新增装机及累计装机容量变化.....	11
图 2.	2005 年-2012 年全球主要地区风电装机装机容量比较.....	12
图 3.	1999-2012 年美国风电累计装机容量.....	13
图 4.	美国风能技术专利年度申请状况（1971-2009）.....	15
图 5.	美国风能技术专利来源国家分析.....	16
图 6.	2001 年-2012 年中国风电新增及累计装机容量变化.....	17
图 7.	2001 年-2013 年全球年度新增及累积光伏装机容量.....	24
图 8.	2012 年全球光伏市场分布.....	24
图 9.	2012 年全球多晶硅产量与成本分析.....	25
图 10.	全球光伏产量与市场需求分析.....	26
图 11.	美国所有连入电网光伏项目的平均装机成本（1998-2010 年）....	27
图 12.	2005 年-2013 年中国光伏累计装机容量.....	30
图 13.	2007 年-2012 年中国光伏新增装机量及增长情况.....	30
图 14.	中国不同地区光伏发电价格变化趋势.....	31
图 15.	2011 年全球电网储能装机容量.....	35
图 16.	美国页岩气产量与占天然气总量比例（2007-2012）.....	39
图 17.	2010 年-2040 年美国天然气出口量.....	39
图 18.	美国天然气生产与消费量（1990-2040）（单位：万亿立方英尺）.	40
图 19.	中石化焦石坝地区五峰组-龙马溪组一段气藏（矿权范围内）日产量45	
图 20.	美国新兴能源产业技术创新支撑体系框架.....	50
图 21.	美国能源部对能源技术的支持体系.....	52
图 22.	美国将大学和公共研究机构的技术转移到企业的路径及方式.....	60
图 23.	能源创新—如何将技术规模化.....	61
图 24.	美国劳伦斯伯克利国家实验室 2010 年的资金分配.....	63
图 25.	我国新兴能源产业技术创新支撑体系建设基本设想.....	91
图 26.	我国新兴能源产业技术创新支撑体系的功能要素.....	91

## 表目录

表 1.	2013 年全球累计及新增风电装机排名前十位国家.....	10
表 2.	美国电网储能装机容量.....	36
表 3.	第二轮页岩气中标区块工作量统计表.....	46
表 4.	页岩气勘探开发主要环节关键技术与设备厂商一览.....	49
表 5.	部分设在美国研究型大学中的国家实验室概况.....	53
表 6.	美国部分院校/研究机构进行的储能技术创新.....	55
表 7.	美国储能研究联合中心科研队伍组成.....	56
表 8.	纽约州政府通过行业协会资助的储能技术创新活动.....	66
表 9.	“美国复苏与再投资法案” 预算内支出.....	73



## 前 言

能源是社会经济发展的重要物质基础，我国已经成为世界能源生产和消费大国，能源产业发展也取得了巨大的成就。但是，我国经济发展仍旧面临着长期的能源问题：人均能源占有量比较少，不到世界人均水平的一半；能源生产和消费结构都以煤炭为主，煤炭约占到一次能源消费总量 75%，大量使用煤炭带来的二氧化碳、二氧化硫和烟尘排放造成极大的环境压力；能源利用效率低下，约为 30%，比发达国家平均水平低将近 10 个百分点，主要用能产品的单位能耗比发达国家平均高 40% 左右。

要消除这些问题对于我国经济可持续发展的制约，最现实和最有效的途径是能源技术的进步和创新，而拥有良好的能源产业技术创新体系及支撑环境对促进能源技术进步与技术创新至关重要。

目前，人类提到的能源产业范围较广，包括一切能提供能源供给，且未来能满足一定规模能源需求的能源生产与供应，包括煤炭石油、天然气、水能、风能、太阳能、生物质能等等，可见能源产业包含的子行业非常众多。当然，随着人类认识的进步和发展，每一次能源技术的进步、创新及变革都会带来能源产品种类的丰富或者能源使用方式的革新，且不同能源子行业对技术的要求与技术进步的依赖程度，以及技术创新能力的需求也有较大差别。

结合本课题研究，我们将能源产业划分主要归纳为两类：一类是包括煤炭、石油天然气、水电、核电及能源输送系统（主要包括油气管网与电网等基础设施）等在内的传统能源产业；一类是随着新技术的出现与应用，以及能源利用方式的改变与提升而出现的新兴能源产业，如：煤炭的清洁利用与煤基清洁生产，大规模风电与太阳能光伏发电等可再生能源，支撑智能电网发展与辅助电网调峰的储能产业，以及资源量非常丰富的煤层气和页岩气等非常规天然气产业。

相比较传统能源产业，新兴能源产业普遍对能源技术进步与技术创新的要求和依赖程度较高，新兴能源产业在技术上的进步、创新及突破能极大的推进本产业的快速发展与经济价值实现，这在美国和欧洲等国家新兴能源产业的发展历程中已经得到较好的论证和体现。研究我国新兴能源产业的技术创新及其支撑体系建设也能较好地反映我国整个能源产业技术创新的现状及存在的问题，这对构建未来我国能源产业技术

创新支撑体系意义重大。

为使本课题研究内容更加聚焦,我们将本课题研究的能源产业范围重点锁定在新兴能源产业领域,重点围绕风电、太阳能光伏、储能,以及页岩气这四个新兴能源产业展开研究。事实上,这几个能源产业大多是近年来我国提出的国家战略性新兴产业<sup>1</sup>的重要组成部分,也是当前我国优化能源消费结构、转变经济增长方式、推进节能减排的现实选择,其必将成为未来我国能源供应的重要组成部分,前景广阔。

---

<sup>1</sup> 战略性新兴产业: 2010年9月国务院常务会议明确将重点培育和发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等七大产业。2011年3月,全国人大审议通过的“十二五”规划纲要,确定了要以加快转变经济发展方式为主线,把科技进步和创新作为加快转方式的重要支撑等重要指导思想,提出了以重大技术突破和重大需要需求为基础,促进新兴科技和新兴产业深度融合,在继续做强做大高技术产业的基础上,把战略性新兴产业发展成为国民经济的先导性、支柱性产业的重要任务。

# 1. 新兴能源产业特征

## 1.1. 高技术、高资本密集，高度依赖技术创新及技术进步

新兴能源产业是典型的高技术和高资本密集型产业，新兴能源产业的发展对技术进步及技术创新的依赖性非常强。每一次技术上的重大突破都可能对整个新兴能源产业起到非常关键性的推动作用，这包括促使技术应用的成本经济可行性。

一般来说，谁能取得技术上的突破，谁就能在新兴能源领域取得领先一步。这在近年来美国轰轰烈烈的页岩气勘探开发中体现的尤为突出，美国页岩气成功开发从根本上来讲就是由于美国最先在水平钻井技术和压裂增产技术的综合应用方面取得重大突破，才实现页岩气的规模化量产和商业化利用。2002 年以前，垂直井是美国页岩气开发主要的钻井方式，随着 2002 年戴文能源公司七口巴纳特页岩气试验水平井取得了巨大成功，业界才开始大力推广水平钻井，并逐渐成为页岩气开发的主要钻井方式。巴纳特页岩最成功的直井在 2006 年上半年的累积产量为 990 万立方米，而同期表现最好的水平井的产量为 2830 万立方米，为直井的三倍。加上随后水力压裂、同步压裂、重复压裂在水平井中的应用，单井产量得到大幅上升，最终使页岩气开采实现经济性基础。页岩气开采技术上的突破，改变了美国天然气行业乃至美国整个能源行业的格局，使美国能源对外依存度下降明显。根据美国能源署（EIA）统计，2005 年至 2011 年，美国石油对外依存度从 66.371% 下降至 52.69%，天然气对外依存度从 16.46% 下降至 8.13%，能源对外依存度从 30.06% 下降至 18.74%。

同时，新兴能源产业还是一个典型的跨学科领域，诸多交叉技术被应用在新能源领域，且广泛的交叉技术在该领域也是最容易能得到实现和拓展的，这就使得新兴能源产业的技术创新也非常活跃。这一特征在世界风能、光能、储能，以及页岩气等新兴能源领域均展现出来。例如，大规模风电的发展，促使现代 IT 技术、信息技术、材料科学，以及分布式能源和微网技术与智能电网技术等都被应用到电力工业中。在太阳能光伏及光热利用方面，光伏技术的发展，除了信息技术、电网技术、工艺制造，还涉及诸多材料科学技术，如多晶硅材料的生产提纯，银浆、银铝浆材料、TPT 背板材料、EVA 封装材料制备等。新一代储能技术的发展更是需要纳米级材料的应用和化学方面的无数次试验和实验。当然，最新发展起来的页岩气勘探开发涉及的新技术主要有微地震压裂检测技术、水平井钻井技术、欠平衡钻井技术、射孔优化技术、压裂增产技术、废水处理或重复利用技术、超临界二氧化碳开采页岩气技术等，且页岩气勘探开发技术要比常规油气

领域的技术更加复杂，更加宽泛，如气流阻力比常规天然气大，所有的井都需要实施储层压裂改造才能正常开采，还需要水平井与现代水力压裂技术的结合等。

## 1.2. 具有高增长性，对经济增长具有很大的拉动作用

在高度重视发展传统优势产业的同时，培育和发展新兴产业对提升国家竞争力、形成未来经济增长支柱有着非常重要的作用。

新能源产业关联度高，影响范围深远。新能源产业的发展不仅仅局限于能源调整的层面，而具有更为深刻的现实意义。新能源具有高度的产业关联性，通过新能源领域的研发和推广，不仅能够促进信息产业、汽车制造业和生物产业等领域的深刻变革，也能够极大地扩大内需，扭转美国在国际贸易中的不利地位，将进口转移为国内生产，刺激内生经济的复兴和持续发展。

新兴能源产业也是一个增长很快的产业，这对经济增长具有很大的拉动作用。新能源的研发、产业化能够吸引大量的投资，而系统的安装、营运、维护需要大量人力，是一个既能吸收大量投资又能创造大量就业的行业。新兴能源产业具有能源和工业两方面因素。作为能源因素，新兴能源大多是清洁能源，对于解决能源安全问题和环境气候问题都大有益处；作为工业因素考虑，新兴能源产业的发展能够带动原材料生产、装备制造等一系列工业生产，是新的经济增长点。因此，很多国家都非常重视新兴能源产业的发展。

例如美国，2009年，奥巴马上台后，一改布什政府的能源政策，宣布了“经济刺激一揽子计划”（Stimulus Package），其中很重要的一项就是在未来10年向清洁能源领域投资1500亿美元，以帮助创造500万个新的就业岗位，并使可再生能源发电比例在2012年达到10%，在2025年达到25%。奥巴马以新能源振兴美国经济的着眼点有三点：一是创造就业，拉动经济进入新的增长周期；二是降低能源对外依存度，寻求国家能源安全；三是减少温室气体排放，改善环境。

在一系列政策鼓励下，美国新兴能源发展迅速。其中，风力发电拉动经济增长的效果十分显著，仅2012年美国在风力发电方面的投资额就高达250亿美元，成为当年美国GDP的主要推动因素。美国最初预计的GDP增长率为+0.1%，最终上调至+0.4%。非住宅领域从+5.8%大幅增加至+16.7%，增长显著，增加部分之中，仅电力领域就占到37%。目前，美国44个州共有559个风力发电相关制造设施。从主要设施来看，大型叶片制造工厂有13家，风车塔制造工厂有12家，涡轮机及短舱相关装配工厂有12家。在就业方面，制

造相关领域为 2.5 万人，如果包括发电及建设等所有相关领域在内，则达 8 万多人<sup>2</sup>。

美国非营利组织太阳能基金会(The Solar Foundation)发布的一系列报告，美国太阳能行业聘用超过 14.2 万人，超过三分之一在加州。在 2010 年的基本报告中，第一版普查发现美国太阳能员工超过 9.3 万人。而 2013 年在对包括各种形式的太阳能发电，包括光伏、聚光光热及太阳能热和冷却，审查整个供应链的就业岗位，包括安装、制造、销售和分销、研发及学术界、非营利组织进行调查后发现，太阳能行业目前在 18000 个地点支持 142,698 名员工，在三年的时间内出现近五万个新就业岗位。<sup>3</sup>

“页岩气革命”是美国发展新兴能源的代表，美国近年的页岩气产业繁荣带来供应充足和价格低廉的天然气，有效降低了工业生产中的能源成本，进而带动美国制造业的复苏，并拉动了相关产业比较优势。美国相关产业振兴，不仅创造了源源不断的就业岗位，而且可以减少美国对外石油进口、稳步促进了美国本土的油气资源出口，进而有效平衡了贸易赤字。根据剑桥能源咨询公司的研究报告<sup>4</sup>，迄今为止页岩气革命为美国创造的经济效益主要体现在以下方面。第一，促进经济增长，增加就业。仅在 2010 年，页岩气相关产业创造了 760 亿美元的 GDP 和 60 多万个新增工作岗位，并将在未来继续增长。第二，创造新税基，提高政府收入。2010 年页岩气相关产业为联邦、州及地方政府带来了 180 多亿的新增税收，并有望继续增长。第三，降低能源开发和应用成本，提升相关产业竞争力。2011 年，非常规天然气井的开采成本比常规天然气井的开采成本降低 40%-50%，同时较低的天然气价在可预期范围内将使电价降低 10%、并提升 2.9% 的工业产值。这有利于促进制造业回归至美国本土，并创造更多的工作机会。第四，实现天然气自给，降低天然气价格。据预测，得益于较低的天然气价格，2005 年以来美国家庭平均每户每年在能源上节省的开销高于 800 美元，然而如果大量依靠天然气进口，美国国内天然气价格至少将攀升至现有价格的 2 倍。

我国经济正处于转型的关键时期，着力改善能源结构，促进新兴能源产业健康发展，实现新能源产业经济的良性循环，势在必行。新兴能源产业的健康发展不仅牵动着未来能源产业格局的神经，也牵动着国家经济发展的利益大势，直接关系到国家的经济安全和可持续发展，具有全局影响和战略意义。培育新兴产业是我国转变增长方式的重要突破口。对于我国来说，以新兴产业为龙头，可以带动科技创新、拉动投资、增加高收入就

---

<sup>2</sup> 美国“页岩气革命”是否使风电开发停滞[eb/1], [http://www.gmw.cn/ny/2013-07/09/content\\_8223281.htm](http://www.gmw.cn/ny/2013-07/09/content_8223281.htm)

<sup>3</sup> 美国三年内新增五万个太阳能就业岗位, <http://www.pvnews.cn/chanyeyaowen/2014-02-17/95570.html>

<sup>4</sup> IHS, Economic and Employment Contributions of Shale Gas in the United States, Dec 2011

业岗位、提高可持续发展的保障能力。以此为契机，有可能使我国经济转向主要依靠优化结构、技术进步和提高劳动者素质，以提高效率实现经济增长的轨道，提高危机后的国家竞争力。

### 1.3. 早期普遍具有高成本特性，适当的扶持政策有利于快速启动产业

新兴能源技术发展早期普遍成本较高，且这种发展初期的高成本性使其在与常规能源的竞争中处于劣势，这也是新兴能源技术发展产业化面临的最大挑战。任何一种产业形态都具有一定的生命周期，从其萌芽、成长直至成熟壮大，都需要相应的政策扶持。尤其是在产业成长初期，市场规模和经济效益还未凸显的时候，更是需要积极的政策措施加以培育。某些新兴能源产业由于长时间未克服高成本问题，在大的能源市场环境的影响下，导致该产业发展极其缓慢，或者在于常规能源发展的博弈中极具波动性。例如，在 1973 年的石油危机以后，受高油价的影响，美、日、西欧等发达国家和地区经济发展受到沉重打击，发达国家都建立了自己的可再生能源研发机构，并制定相应的专项计划，加强可再生能源的研究与应用，力图减少对传统能源的依赖。虽然可再生能源资源丰富，但能量密度低，在当时的科技水平限制下，可再生能源的转换效率低，成本高，很难与传统化石能源竞争，新能源开发如“昙花一现”。直到后来受到环境形势的倒逼，通过一系列的补贴与扶持，才逐渐发展起来。例如，在光伏领域，占光伏组件总成本近 40% 的多晶硅价格，已经由 2006 年的 250 美元/kg 下降到 2008 年的 140 美元/kg，光伏发电的成本也下降到 2.3-1.7 元/KWh，且还有很大的下降空间。这种下降速度远远超出了当年众多学术机构和投资者的预期。目前国际上一些权威机构对未来光伏发电成本的预测都持很乐观的态度，其中最为乐观的预测认为，到 2015 年光伏发电的成本会降到 1.0-0.7 元/KWh，也就是说再用五年左右的时间就可实现光伏发电成本达到传统电力的水平。

新兴能源技术在发展早期通常需要国家以扶持性的产业政策来启动技术应用，产业发展早期的财政税收及补贴等政策至关重要。事实上，在风电和光伏等新能源发展早期，世界各国普遍通过补贴和财税优惠政策对新兴能源的发展给予不同程度的扶持。例如，德国主要是通过优惠贷款、津贴以及可再生能源生产者给予较高标准的固定补贴相结合的方式对可再生能源发展进行补贴。德国于 1990 年制定《电力输送法》，规定中型到大型电力用户按居民电价的 90% 支付风能、太阳能、水力以及生物质能生产的电力；对风能发电，德国政府按电力产出量或设备能力成本支付津贴。投资可再生能源的企业，国家还以低于市场利率 1-2 个百分点的优惠利率，提供相当于设备投资成本 75% 的优惠贷款。例如，日本 1997 年之前推行的“万户屋顶”计划，就是通过对电力消耗征收附加税的方

式筹资，对所有装备太阳能的家庭，予以相当于设备成本三分之一的津贴，同时电力部门承诺以市场价格回购太阳能装置生产的超出家庭消耗需求的电。

#### 1.4. 产业扶持政策须与新兴能源技术发展相匹配

当然，新能源产业的扶持政策并不是一成不变的，政府须根据新兴能源技术的发展和应用情况适时调整扶持政策，以匹配产业发展进程，最终由市场经济选择技术竞争力。对新兴能源的补贴并不是贯穿于整个产业周期，而是具有一定的阶段性。一般来说，随着产业技术的进步，补贴的程度和幅度是呈现一个先增加再减少的趋势。

例如具有代表性的德国光伏：早在 1991 年，德国就通过了《强制购电法（StrEG）》，要求电网企业按规定的电价全额收购可再生能源发电量；2000 年，德国颁布了世界上第一部《可再生能源法（EEG）》，当时规定光伏发电在固定时间内（20 年）享受固定的上网电价，上网电价每年按 5% 的比例递减，同时还设置了每年提供优惠上网电价的容量上限为 35 万千瓦（0.35 吉瓦）；2002 年，上述每年提供优惠上网电价的容量上限被调整为了 1 吉瓦；2004 年，德国修订了 EEG，规定对不同容量、不同形式的光伏发电实行 46~62 欧分/千瓦时的区别上网电价；2009 年，德国采取了更加灵活的上网电价政策，将其每年递减的比例由固定值改为与容量挂钩，以更好地利用电价杠杆，调节新增的装机容量；2011 年，德国光伏发电上网电价降低为 0.24~0.39 欧分/千瓦时。

又如美国对页岩气开发的补贴。在 20 世纪 70 年代末的美国页岩气发展早期，美国政府在《能源意外获利法》中提出非常规能源开发税收补贴政策，对 1979-1993 年钻探的非常规油气和 2003 年之前生产和销售的页岩气及致密气实施税收减免，对油气行业实施 5 种税收优惠；随后，在 1990 年的《税收分配综合协调法案》和 1992 年的《能源税收法案》便扩大了非常规能源的补贴范围。2005 年起，美国政府加大了开发难采天然气的政策扶持力度，大大降低了天然气开采税。为激发土地所有者与开采公司签署土地租赁合同的积极性，政府给土地所有者增加了 25% 的强制提成，并且鼓励天然气企业积极开展水平井钻探和多级地层水力压裂工序等技术创新。在这一系列政策扶持措施的推动下，页岩气勘探开发才取得了明显成果。

但是，采取补贴等方式扶持也会带来问题，其中最大的问题就是随着产业规模越来越大，补贴所需资金也越来越多，这会使财力变得难以为继。此外，补贴也会给新兴能源产业发展带来负面影响，如补贴可能会使市场机制缺乏作用，让企业产生依赖，从而不是促进反而阻碍产业的发展等。

例如欧盟在对可再生能源的补贴上就出现了难题。为了提高绿色能源的市场竞争力，

降低碳排放，减少气候变化对环境的威胁，从 2005 年起，欧盟国家已陆续向可再生能源项目投资约 6000 亿欧元(约合 8820 亿美元)。不过目前可再生能源已让欧洲“进退两难”，欧洲本来是世界仿效的绿色能源典范，但不知不觉已成为反面教材。如今，在欧洲经济不景气的背景下，大多数欧盟成员国不再像从前那样“拥护”可再生能源，或削减财政补贴，或出台税收政策。

2013 年 9 月，捷克议会上议院审批通过了一项可再生能源法案，该项法案规定自 2014 年 1 月份起终止对所有类型的可再生能源提供 FIT 补贴，延长对光伏电站的征税期限，并对目前装机量大于 30kW 的太阳能光伏电站可追溯性征收高达 28% 的税率。

除了捷克，德国、西班牙等绿色大国也对可再生能源补贴有点消化不良。西班牙多年来一直斥巨资填补能源价格与成本之间的差价，现已成为欧盟区最大的公共赤字国，背负着 260 亿欧元的能源补贴债务。对此，西班牙政府不得不多次削减补贴，导致国内超过 5 万家光伏企业面临财政亏空和破产风险。而拥有世界一半以上太阳能电池板的德国，德国 110 万个太阳能发电系统在 2012 年 12 月至 2013 年 1 月间几乎瘫痪，基本无电可发。为了防止大规模停电，德国电网运营商们不得不从法国进口核电，或启用天然气发电站和燃煤电站作为备用电力。默克尔曾承诺，如果 2013 年 9 月大选连任，每年将对可再生能源项目削减约 240 亿欧元的补贴。

此外，2012 年 4 月，意大利设定了可再生能源补贴限额，年度补贴支出将不超过 65 亿欧元；2012 年 7 月，保加利亚也大幅削减太阳能和风电补贴；2013 年，波兰政府开始修正削减可再生能源补贴草案；2013 年 3 月 29 日，罗马尼亚能源监管机构宣布，政府将削减可再生能源补贴，减少颁发绿色电力证书，降低发电商购买绿色电力证书的价格上限。

**我国也不例外，比如我国的风电产业。**我国财政部 2008 年出台的《风力发电设备产业化专项资金管理暂行办法》指出，财政资金将支持中国境内从事风力发电设备生产制造的中资及中资控股企业，对满足支持条件的企业的首批 50 台风电机组，按 600 元/千瓦的标准予以补助。但在这种补贴模式下，导致风电设备制造技术进步缓慢，质量问题频出。另外，随着我国风电生产能力逐渐增强，补贴对于风电产业发展已经意义不大。例如金风科技在 2009~2010 年期间，1.5 兆瓦的主流机型装机就已经超过 3000 台，50 台机组的补贴对于企业经营已意义不大。2011 年 2 月，财政部公布《财政部关于公布废止和失效的财政规章和规范性文件目录（第十一批）的决定》，2008 年出台的《风力发电设备产业化专项资金管理暂行办法》(财建[2008]476 号)等一批财政规章和规范性文件随即



被废止。

而在 2006 年 6 月通过的《可再生能源法》中，明确电网企业按照中标价格收购风电、光电等可再生能源，超出常规火电上网标杆价格的部分，附加在销售电价中分摊。可再生能源电价附加的征收标准最初为 0.1 分/千瓦时。随后，这一标准提高到 0.2 分/千瓦时，2009 年 11 月起调高至 0.4 元/千瓦时，2011 年 12 月调高至 0.8 分/千瓦时。但随着风电装机容量的逐年上升，补贴的压力也越来越大，国家财政对发电企业的补贴拖欠已越来越严重，正常的发放周期一般是半年，但 2012 年底仅发放截至 2011 年 4 月的补贴，相差一年半的时间，已经造成严重拖欠。据《中国经营报》2013 年 9 月报道，甘肃玉门某风电企业在 2012 年和 2013 年上半年未拿到的补贴已经超过了 1 亿元<sup>5</sup>。

### 1.5. 产业发展融入常规能源系统时需要一系列配套支持

新兴能源产业一个最大的特点，也是其发展面临的最大问题，就是在进入市场的过程中，较难融入目前的以常规能源为主的能源系统，面临如何与现有的能源系统融合问题。例如，风电、光伏等新能源与电网之间的匹配问题：一方面，相比传统能源，风电、光伏发电具有随机性和间歇性，而且随机出现的间歇性电力对受端系统动态稳定有较程度的影响，对基于传统能源建设的电网在安全性上有一定挑战，所以在传统电网模式下新能源发电相对于传统能源有自然的劣势，需要电网做出相应的升级；另一方面，风电、光伏等新能源虽然相比传统化石能源具有清洁性这一优势，但现行电价体系和机制却不能体现出这一区别，不适应清洁能源科学发展的需求。

新兴能源产业由于与传统常规能源系统的不匹配问题，其发展不仅是需要补贴，也需要一系列的配套支持，例如：电网的规划要与新能源规划匹配，建设适应新能源发展的新型电网；加快跨区输电通道建设，扩大“三北”新能源消纳范围，保障全国新能源规划目标的实现；加快抽水蓄能电站建设，提升系统运行灵活性，提高新能源消纳水平；完善电价体系和电价形成机制，突出新能源发电的清洁性优势；完善电网收购可再生能源发电的政策法规等。

---

<sup>5</sup> 全国可再生能源补贴缺口将越来越大，<http://www.chyxx.com/data/201309/219349.html>

## 2. 国内外新兴能源产业发展现状及技术水平

### 2.1. 风电

#### 2.1.1. 世界风电产业发展现状与技术水平

##### 2.1.1.1. 世界风电产业现状

根据全球风能理事会（GWEC）发布的 2013 年全球风电统计快报数据，截至 2013 年底，全球风电累计装机容量达到 3.18 亿千瓦，排名前五位依次为中国、美国、德国、西班牙、印度。其中 2013 年全球新增风电装机 3547 万千瓦，同比下降约 1000 万千瓦。新增装机容量排名前五位国家分别是中国、德国、英国、印度、加拿大。

表1. 2013 年全球累计及新增风电装机排名前十位国家

2013 年新增装机			2013 年累计装机		
排名	国家	容量（万 kW）	排名	国家	容量（万 kW）
1	中国	1610	1	中国	9142
2	德国	324	2	美国	6109
3	英国	188	3	德国	3425
4	印度	173	4	西班牙	2296
5	加拿大	160	5	印度	2015
6	美国	108	6	英国	1053
7	巴西	95	7	意大利	855
8	波兰	89	8	法国	825
9	瑞典	72	9	加拿大	780
10	罗马尼亚	70	10	丹麦	477

注：中国为中国风能协会的风机出厂口径。

（资料来源：王乾坤，国网能源研究院新能源与统计研究所）

根据世界风能协会 2013 年 5 月发布的《世界风能报告》，过去十年内，全球风电装机容量从 30 吉瓦猛增至 282 吉瓦。其中 2012 年新增 44,609 兆瓦，比以往任何时候都更多。但增长率却为 19.2%，是十几年来最低水平。截止 2012 年底，全球年风力发电量达 580TWH，约占全球年发电总量的 3%，产值 750 亿美元。

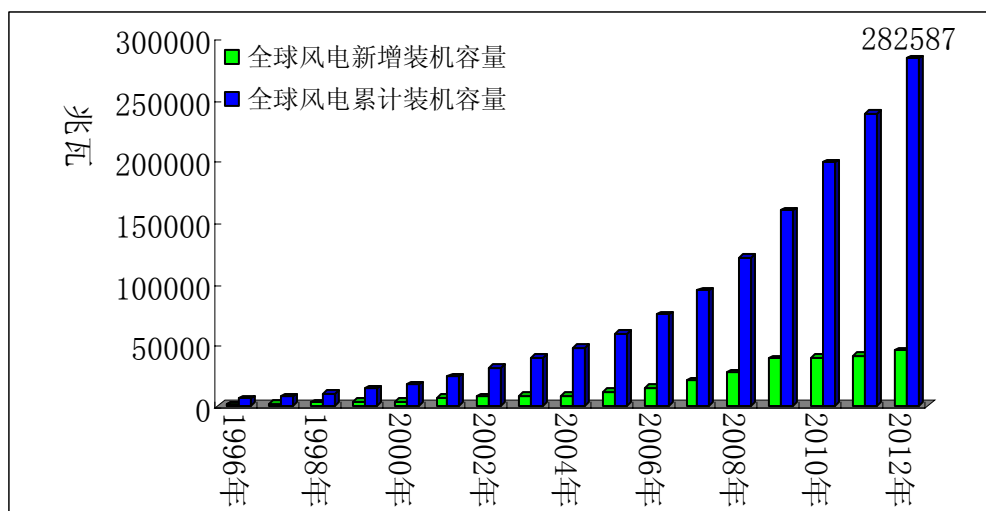


图1. 1996年-2012年全球风电新增装机及累计装机容量变化

(数据来源：CWEC)

2012年，全球风电行业营业额达到600亿欧元或750亿美元，共有100个国家和地区使用风能发电，冰岛是第100个使用风力发电国家。数据显示，亚洲是风电发展最快的地区。目前全球100个利用风力发电的国家中，亚洲新装机容量最大，占全球的36.3%，其次是北美和欧洲，分别占31.3%和27.5%，其余地区风电发展较慢，拉美占3.9%，大洋洲占0.8%，非洲占0.2%，仍是一个很小的风电市场。拉丁美洲和东欧继续成为世界最有活力的地区，而非洲表现出停滞，只有突尼斯和埃塞俄比亚有新的安装风电场。

在亚洲，2012年，中国继续成为迄今为止亚洲最大的市场，增加了13GW，但是明显低于上年。印度再次成为全球新的风机第三大市场，增加2.5GW。亚洲第三大风力发电市场日本，还是增长速度非常缓慢，安装还不及后来者巴基斯坦。在北美，美国市场创下了新纪录，并成为世界上新的风力发电机组最大的市场，新增13GW。加拿大风电市场增长放缓，低于全球平均水平。在欧洲，德国一直是最大的风电国家，装机容量已达31吉瓦，西班牙以22.8吉瓦紧随其后，其次是意大利、法国和英国，装机容量约在7.5至8.5吉瓦区间。

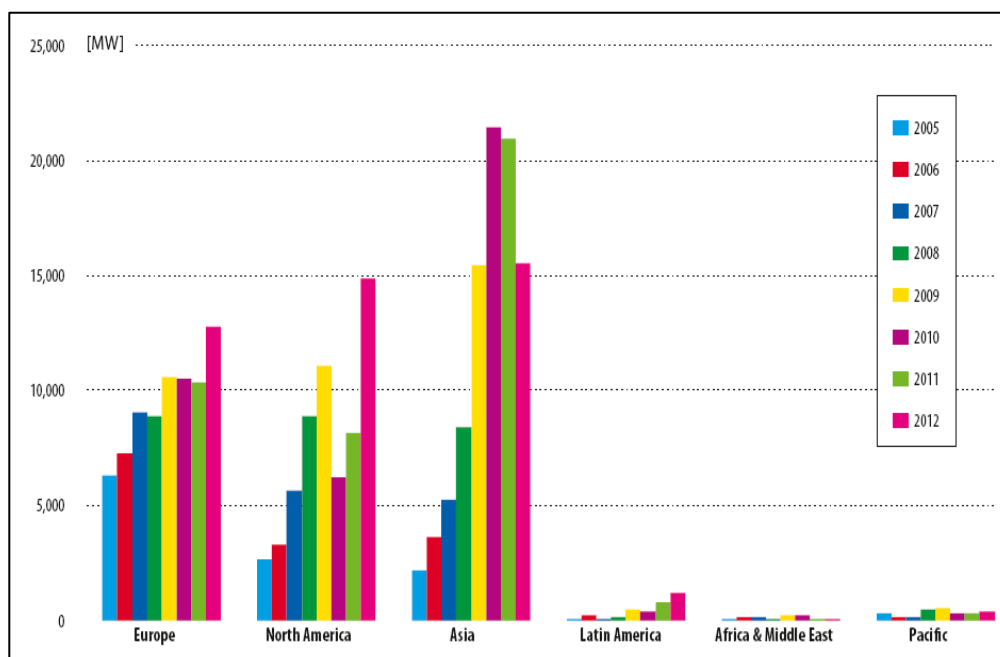


图2. 2005年-2012年全球主要地区风电装机容量比较

(来源: CWEC)

欧洲提出 2020 年风电装机达到 2.3 亿千瓦，德国提出 2020 年可再生能源发电占到电力消费 35%，其中 50%来自风电。世界风能协发布的《世界风能报告》预测未来风电发展空间巨大，截止 2016 年，全球风电装机容量将达到 500 吉瓦，2020 年有望达到 1000 吉瓦。根据欧洲风能协会发布的《全球风能展望 2030》，到 2020 年和 2030 年，全球风电发电量将达到 581 亿千瓦时和 1153 亿千瓦时，其中海上风电将占到 25.5%和 48.7%。

美国风电资源十分丰富，陆上风电资源约为 10459 吉瓦，相当于 200 亿桶石油所包含的能量，海上风电资源约为 4150 吉瓦。美国风力发电起步于 20 世纪 70 年代的石油危机之后。20 世纪 80 年代初美国风电曾显赫一时，占全球风电装机的 90%。遗憾的是，80 年代中期之后，世界石油价格下跌和政府削减经费，美国风电产业突然停顿。2000 年以后，随着全球清洁可再生能源发展日益强劲，美国也加快了风电产业发展步伐，在联邦政府和德克萨斯等州州政府的推动下，美国风电新增装机容量以每年 30%的比例快速增长。从 2005 年开始，美国新增风电装机容量超过德国，重新位居世界第一，直到 2009 年被中国超过。

2012 年，美国风电装机容量为 132 亿瓦，全美风电累计装机容量达 600 亿瓦，风力发电占全美电力供应的 6%<sup>6</sup>。（如图）从风电投资看：2012 年投资达 250 亿美元，1980

<sup>6</sup> 2012 年美国风电占全美电力供应 6%，风能，2013.

年以来的累计投资达 1220 亿美元。2012 年风力电站安装较 2011 年增长 90%，比此前年度安装量最大的 2009 年增长 30%，2012 年累计装机容量增长 28%。<sup>7</sup>

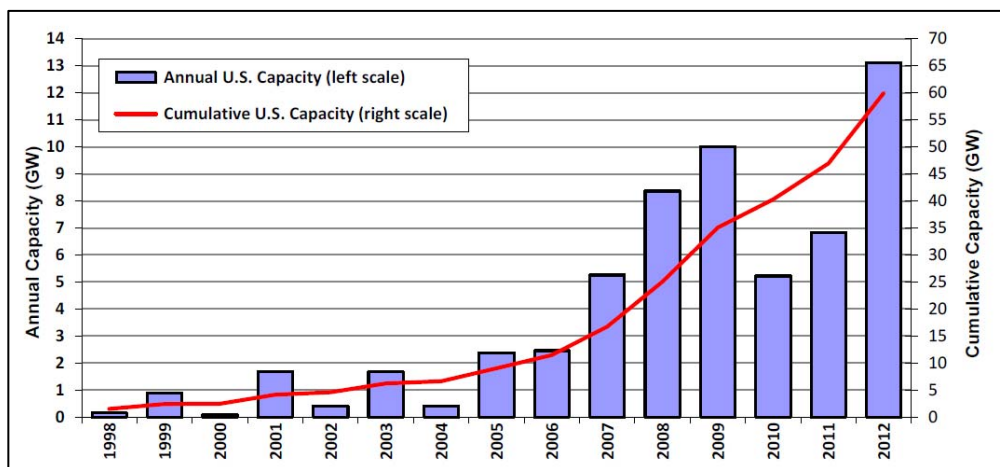


图3. 1999年-2012年美国风电累计装机容量

(来源：AWEA)

目前美国各州的风电生产成本差异性较大，例如：加利福尼亚州的平均风电价格为 0.11 美元/(kW·h)，而风力资源丰富的中西地区和德克萨斯州的平均风电价格只有 0.04 美元/(kW·h)左右，相差近 3 倍。风电机组价格和安装成本也是构成风电生产成本的重要因素。例如，2008 年投资建设的风电场，由于当时风电机组价格处于高位，2011 年建成后的平均风电价格为 0.074 美元/(kW·h)，比 3 年前提高了 0.013 美元/(kW·h)。由于运营水平的提高，美国风电场的运营成本逐年降低，2011 年，平均运营管理成本为 0.01 美元/(kW·h)<sup>8</sup>。

美国近海水域和五大湖区的离岸 (offshore) 风力资源丰富。根据美国国家可再生能源实验室的估算数据，全美离岸风力资源蕴藏量大约有 4000GW，相当于 2011 年全美发电量的 4 倍。但由于受开发成本高，以及环境和生态的限制，美国离岸风电发展缓慢，除了一些实验性风电场外，至今还没建成一座商业化的离岸风电场。

### 2.1.1.2. 世界风电技术水平

近年来，水平轴风电机组技术，因其具有风能转换效率高、转轴较短，在大型风电机组上更显出经济性等优点，使水平轴风电机组成为世界风电发展的主流机型，并占到 95% 以上的市场份额。风电机组单机容量也逐渐朝着大型方向发展，特别是海上风电场

<sup>7</sup> 美国能源部，2012 Wind Technologies Market Report.

<sup>8</sup> 张 健，美国风电发展现状分析，全球科技经济瞭望[J]，2013(05)

的开发，进一步加快了大容量风电机组的发展。国际风电主流机型从 2000 年的 0.5~1 兆瓦提高到 1.5~2.5 兆瓦，5~6 兆瓦的风机开始生产运行，10~20 兆瓦正在部署研发。而且随着风电机组的单机容量不断增大，各部件的性能指标都有了提高，新的电机驱动技术、智能控制技术、电网接入技术和发电预报技术等不断涌现，使得风电更为可靠，也更容易接入电网。由于变桨距功率调节方式具有载荷控制平稳、安全和高效等优点，近年在大型风电机组上得到了广泛采用。以丹麦 Vestas 公司的 V80、V90 为代表的双馈异步发电型变速风电机组，在国际风电市场中所占的份额最大。而由于无齿轮箱的直驱方式能有效地减少由于齿轮箱问题而造成的机组故障，可有效提高系统的运行可靠性和寿命，减少维护成本，也得到了市场的青睐。鉴于风电机组的极限载荷和疲劳载荷是影响风电机组及部件可靠性和寿命的主要因素之一，近年来，风电机组制造厂家与有关研究部门积极研究风电机组的最优运行和控制规律，通过采用智能化控制技术，与整机设计技术结合，努力减少和避免风电机组运行在极限载荷和疲劳载荷，并逐步成为风电控制技术的主要发展方向。此外，目前世界风电场建设和运营的技术水平日益提高，恶劣气候环境下的风电机组可靠性也越来越得到重视，为加强电网安全的低电压穿越技术也得到广泛应用。由于技术进步、规模经济以及竞争加剧，风电成本显著下降，近几年折合为 0.44 元/千瓦时，与燃煤电厂折合的 0.43 元/千瓦时成本相近。

美国风力发电的核心技术是叶轮、叶片、发电机和发电机控制与调节技术等。其专利申请逐年快速增长并呈现出很好的发展态势，主要技术来源国家是美国本土，但大多数技术领军者都是国外企业。

美国风电设备市场国际化程度高，竞争激烈。2005 年以前，在美国能够制造和安装 1MW 以上风电机组的企业只有 4 家，分别是美国本土企业 GE 公司、丹麦维斯塔斯公司（Vestas）、日本三菱重工和西班牙歌美飒公司（Gamesa）。其中，美国 GE 公司处于绝对领先地位，2005 年前，其市场占有率超过 60%。2005 年之后，美国风电产业发展迅速，外资企业纷纷进入美国风电市场。到 2011 年，在美国能够生产和安装 1MW 以上风电机组的企业已达 20 家，相关风电设备零部件生产企业近 500 家，从业人员超过 7.5 万人。根据美国能源部的报告，美国 GE 公司、丹麦维斯塔斯公司和德国西门子公司 2011 年的全美市场占有率分别达 29%、29%和 18%，成为美国风电市场的三大企业。其他风电公司，如日本三菱重工、西班牙歌美飒、印度苏司兰（Suzlon）、德国恩德风电公司（Nordex）、美国 Clipper 公司、德国瑞能公司（REpower）和西班牙安讯能能源公司（AccionaEnergy）等众多企业的市场占有率只有 2%~5%。中国在风电机组制造和安装量均排名世界第 1，

但在美国市场上的占有率非常低。中国的三一重工、金风科技和华锐风电于 2011 年开始进入美国风电市场，分别安装了 10MW、4.5MW 和 1.5MW 风电机组，与美国 GE 公司每年 2000MW 的生产和安装量相比，相距甚远。

越来越多的在美外资企业把风电设备和部件生产转移到美国境内，使美国风电设备的国产化率由 2005 年的 35%，提高到了 2011 年的 67%。同时，美国风电设备出口也有所增加，出口额从 2007 年的 1500 万美元，增长到 2011 年的 1.49 亿美元。目前，美国依然是世界上最大的风电设备净进口国。

另外，从专利申请来看，根据中国科学技术信息研究雷孝平，刘润生等对美国风电专利在 2011 年 4 月的数据进行的分析，美国在七十年代初期开始出现风能技术相关专利申请，然后风能技术经过七十年代中后期的发展和积累，在七十年代末八十年代初达到一个小高峰。之后有一段时间的下降，并在很长一段时间都处于很低的平缓趋势。随后又在 2000 年以后开始快速增长，专利申请数量在 2008 年达到高峰，呈现出强劲的发展态势。

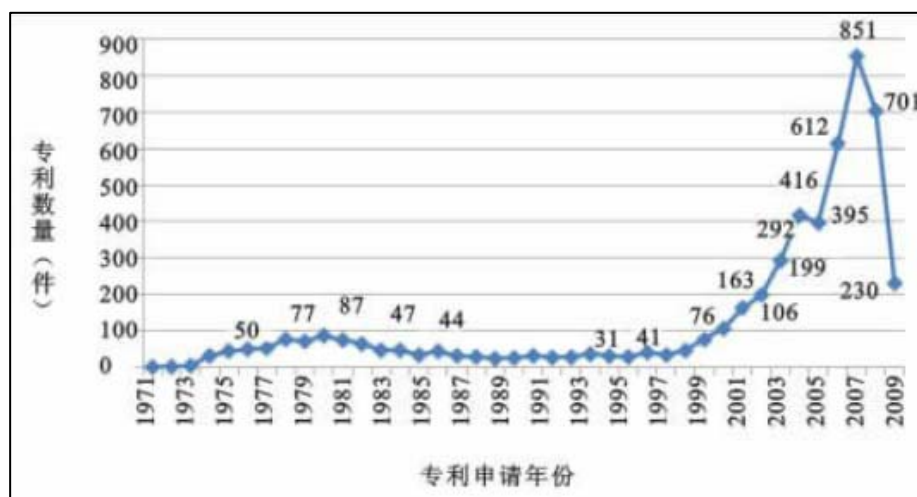


图4. 美国风能技术专利年度申请状况（1971-2009）

（来源：美国风电产业及技术发展状况研究，2011.）

而且美国风能技术的主要技术来源国家是美国本土，优先权国家为美国的专利占美国全部风能专利的 72%，说明美国本土具备较强的技术优势。企业是技术创新的主体，专利是创新的成果。从企业所属国别来看，美国风能专利拥有量排名前十位的企业中，只有一家是美国本土的企业，排名第一位的通用电气公司。该公司有 580 件专利申请，远远超过了其它公司。其余的九家企业都是国外的公司。从专利拥有量的集中程度来看，美国排名前 10 位的企业虽然只占专利权人总量(5, 986)的 0.17%，但却拥有 1520 件专利，

占美国风能专利总量的 29%。说明美国风能专利申请具有一定的集中性，大约有 70%—80% 被大型企业所拥有，其中通用电气占有 20%—30% 左右的专利份额，远远超过了其它公司。

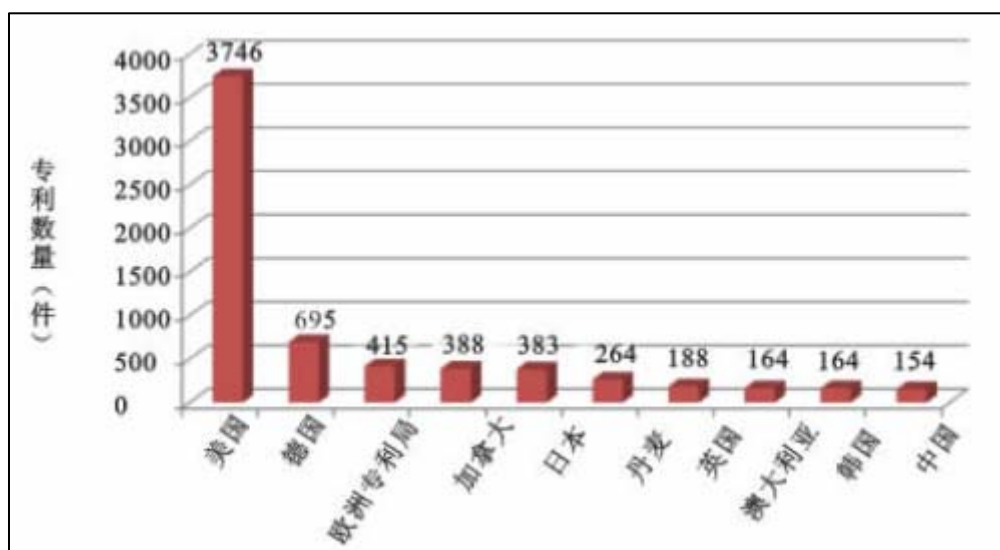


图5. 美国风能技术专利来源国家分析

(来源：美国风电产业及技术发展状况研究，2011.)

## 2.1.2. 中国风电产业现状与技术水平

### 2.1.2.1. 中国风电产业现状

在我国可再生能源技术中，风电技术相对比较成熟、成本较低，发展也最为迅速。根据中国风能协会发布的《2012 年中国风电装机容量统计》报告，2012 年中国（不包括台湾地区）新增安装风电机组 7872 台，装机容量 1296 万千瓦，同比下降 26.5%；累计安装风电机组 53764 台，装机容量 7532.42 万千瓦，同比增长 20.8%。2012 年，中国风电并网总量达到 6083 万千瓦，占全国并网总量的 5.3%，发电量 1004 亿千瓦时，首次超过核电发电量，成为继煤电和水电之后的第三大主力电源。但和欧洲国家相比，我国风电发电量所占比例仍然较低，发展空间非常大。



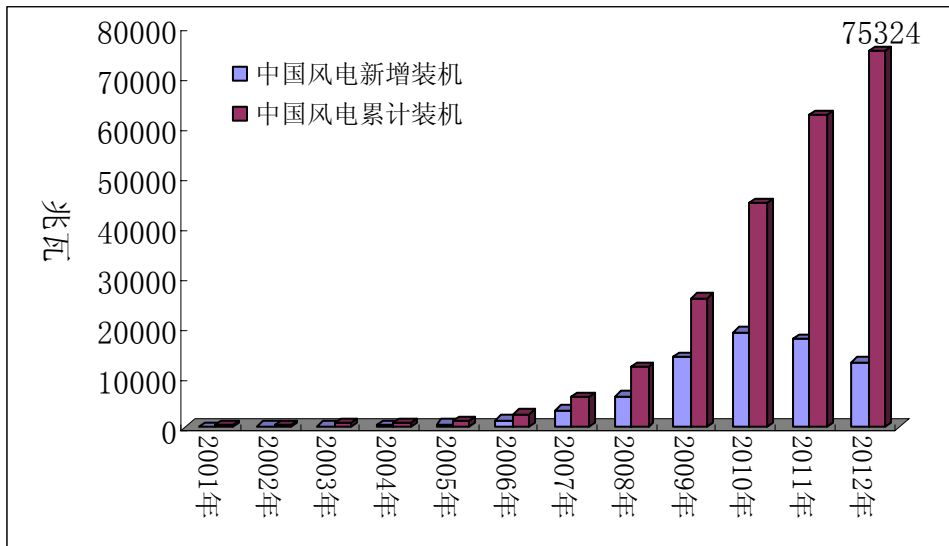


图6. 2001年-2012年中国风电新增及累计装机容量变化

(数据来源：CWEA)

2012年，中国海上风电新增装机46台，容量达到12.7万千瓦，其中潮间带装机量为11.3万千瓦，占海上风电新增装机总量的89%。截止2012年底，中国已建成的海上风电项目共计38.96万千瓦，是除英国、丹麦以外海上风电装机最多的国家。作为我国海上风电发展的一个重要组成部分，潮间带风电的开发进程较快。截止2012年底，我国潮间带风电装机容量达到26.15万千瓦，近海风电装机容量为12.81万千瓦，其中规模最大的近海风电项目为东海大桥海上项目（10.2万千瓦），其余主要为各风电机组制造商安装的样机。

2012年，中国风电新增装机容量排名前20的企业几乎占据了国内98%的市场份额，其中金风新增风电装机容量最多，达到252.15万千瓦，占据19.5%的市场份额。2012年，我国风电新增装机容量排名前3的企业分别为金风、联合动力和华锐。

截止2012年底，我国风电机组制造商已出口的风电机组共计407台，总容量达到70.02万千瓦。与2011年相比，2012年我国风电机组制造商在“走出去”方面取得明显突破。我国共有7家风电机组制造商向国外出口风电机组，已发运的数量达到225台，容量为43.05万千瓦。其中，我国向美国出口的风电机组容量已达到32.76万千瓦，占出口总量的46.8%。风电机组制造商中，以金风和华锐的出口数量最多，容量分别达到26.88万千瓦和20.4万千瓦，占出口总量的38.38%和29.14%。

“三北”地区仍是我国风电发展的主要地区。我国“三北”地区风能资源非常丰富，多数地区风功率密度等级达到3级及以上，个别地区风功率密度等级接近或超过5级。

在风电标杆电价政策出台后，这些地区风电开发具有较大优势(不考虑限电因素)。因此，长期以来，“三北”地区都是我国风电发展的主要地区。2012年，全国共有14个省(区)风电累计并网容量超过百万千瓦，其中内蒙古并网容量1670万千瓦，居全国之首，河北和甘肃分别以并网707万千瓦和634万千瓦位居第二、三位。华北、东北、西北地区风电并网容量约占全国风电并网容量的86%，较2011年略有降低。受到电力消纳困难的影响，“三北”地区分散开发的风电项目有所减少，新核准的项目以大型基地为主。以基地形式整体开发的项目，可以在国家层面协调解决接入电力系统和电力消纳问题，项目风险降低。2012年，新增核准容量位于前三位的省份及容量分别是甘肃339.45万千瓦，内蒙古305.22万千瓦，新疆241.26万千瓦。

**2012年，内陆地区风电开发依然保持强劲的发展势头。**其中，云南的成绩最为显著，2011年，云南省新增并网容量34.43万千瓦，位列全国第十一位，2012年，云南省新增并网容量90.22万千瓦，位列全国第七;另一个进展较快的省份是贵州，2011年，贵州省新增并网容量6.09万千瓦，位列全国第二十一位，2012年，贵州省新增并网容量45.82万千瓦，位列全国第十一位。数据显示，我国风电建设的重点已经逐步转向中、东部及内陆地区，风电项目布局得到了进一步优化。2011年，国家能源主管部门提出了集中式开发和分散式开发并重的发展思路，并出台了相应的管理办法。2012年，山西、内蒙古、浙江、湖南、陕西、新疆等省(区)开展了分散式风电试点尝试，可以预见，内陆地区分散式开发的风电场将占有越来越大的比重。

**国有企业是我国风电开发的主力军。**近年来，随着国家新能源政策的持续支持以及市场逐步扩大，开发企业积极性明显提高，国有企业、民营企业、外商投资企业纷纷加入到风电开发的队伍中来。其中，国有企业包括国电、大唐、华能、华电和中电投等五大发电集团，国华、中广核、中海油等中央所属能源企业，京能、河北建投、宁夏发电集团、鲁能和奥电等省级所属能源企业；民营企业包括中国风电、天润投资等，外商投资企业则主要是一些依托国内发电企业组建的中外合资企业。目前，国有企业，特别是五大发电集团，仍然是我国风电开发的主力军。到2012年底，全国共有约1000家国有企业参与了风电投资建设，累计并网容量5077万千瓦，占全国总并网容量的81%。其中，华能、大唐、华电、国电、和中电投五大发电集团新核准开发建设的项目容量为1310万千瓦，占全国当年新核准容量的53%，其中国电集团核准项目为433万千瓦，依然是全国当年核准项目最多的发电企业，占全国份额的17%，大唐集团和华能集团位列二、三位，分别占全国新核准容量的12%和10%。大型国有企业风电投资业务保持稳定发展状

态。五大发电集团累计并网容量为 3579 万千瓦，占全国总并网容量的 57%。国电集团以累计并网容量 1300 万千瓦位列国内风电装机第一名，华能集团和大唐集团分别以 834 万千瓦和 771 万千瓦列第二和第三位，前三位的企业排名与 2011 年相同。到 2012 年底，民营企业累计并网容量 283 万千瓦，占全国总并网容量的 4.5%。外资企业累计并网容量约 73 万，占全国总并网容量的 1.2%，中外合资企业累计并网容量 833 万千瓦，占全国总并网容量的 13.3%。

**风电并网和消纳问题正逐步成为制约风电开发的重大挑战。**中国风力资源主要分布在三北地区(东北、华北和西北)，但电力负载主要分布在沿海地区，总体上看，风力资源的地理分布与电力负载之间并不匹配。最近两三年来，由于风电开发高度集中三北地区、风电和电网建设不同步、当地负荷水平较低、灵活调节电源少、跨省跨区市场不成熟等原因，风电的并网瓶颈和市场消纳问题开始凸显，弃风现象比较突出。“三北”地区尽管风能资源丰富，是全国年上网电量最多的地区，但也是“弃风”最严重的地区。《2012 年度中国风电建设统计评价报告》对 2012 年的“弃风”情况进行了统计和分析。根据各省上报风电场统计数据，2012 年全国由于限电因素而产生的“弃风”损失电量 208 亿千瓦时，约占全国 2012 年上网电量的 20%，全国 2012 年“弃风”率约为 17%。“三北”地区尽管风能资源丰富，但受消纳能力影响，“弃风”现象仍然严重。初步估算，“三北”地区 2012 年平均弃风率约为 13%。其中蒙东和吉林仍然是“弃风”最严重地区，“弃风”率超过 30%；蒙西和甘肃“弃风”问题也较严重，“弃风”率超过 20%；宁夏和山西省“弃风”现象较轻。

值得注意的是，在南方省份，云南省也因送出通道容量不足开始出现了“弃风”。一般来讲，内陆地区人口密集，电力负荷大，风电场接网条件好，基本上不会限电。但是个别省份风能资源比较集中，在集中快速开发的状况下，电网配套工程及消纳能力有可能跟不上风电发展速度，就会出现“弃风”现象。除了云南以外，山西北部、贵州的毕节、河南的三门峡等地区，风电开发比较集中，应尽早做好消纳能力研究，合理安排开发规模与时序，避免大规模“弃风”的发生。

**海上风电建设速度加快。**中国有丰富的海上风能资源，并且我国东部沿海地区经济发达，能源需求大，电网结构强，风电接网条件好，我国发展海上风电具有得天独厚的优势。我国 2009 年 1 月启动了海上风电规划工作，截至 2012 年底，国家能源局已批复河北、山东、上海、广东和江苏的海上风电规划报告，辽宁(大连)规划已上报国家，浙江、福建、海南也基本完成了规划报告编制，广西规划报告正在编制中。到 2012 年底，全国

共建成海上风电试验、示范项目 5 个，总装机容量达到 39 万千瓦。其中，商业运行的风电场主要包括上海东海大桥海上风电示范项目、江苏如东 30MW 潮间带试验风电场和江苏如东 150MW 潮间带示范风电场，另有江苏响水海上试验项目(12.5MW)、中水电如东海上风电场(潮间带) 100MW 示范项目处于在建阶段。获得国家能源局同意开展前期工作批复的项目 17 个，总装机容量为 395 万千瓦。2010 年招标确定的江苏滨海、射阳、东台、大丰等市(县)近海和潮间带区域的 4 个海上风电特许权项目(100 万千瓦)均完成了可行性研究报告，海域使用、环评以及海缆路由等专题也基本完成论证。

中国风电在经历了连续数年高速增长后，开始面临瓶颈，发展速度放缓。但是“十二五”期间，我国风电产业将迎来结构调整的重要机遇。根据《可再生能源“十二五”规划》，到 2015 年，我国将建成并网风电 100GW，年发电量达到 1900 亿千瓦时，风电发电量在全部发电量中的比重超过 3%；到 2020 年，风电总装机容量超过 2 亿千瓦，其中海上风电装机容量达到 3000 万千瓦，风电年发电量达到 3900 亿千瓦时，力争风电发电量在全国发电量中的比重超过 5%。“十二五”及 2020 年前重点规划建设上海的东海大桥、南汇、奉贤，江苏的南通、盐城南北部、连云港，山东的莱州湾、渤中、长岛、半岛北海和半岛南海，河北的唐山、沧州，广东的粤东、粤西、珠三角，浙江的杭州湾、舟山东部、象山、台州、温州，辽宁的瓦房店、花园口、庄河等海域的海上风电项目。

#### 2.1.2.2. 中国风电技术水平

在我国可再生能源技术中，风电技术近些年进步明显，技术相对比较成熟、成本较低、发展也最为迅速，我国在发展初期以许可证生产、模仿为主，但经过十几年的发展，我国风电技术已经取得一定的成绩，已具备一定的自主创新能力。具体表现在：风电设备关键零部件的技术水平快速提高，风机成本明显降低；风机产能迅速提升，市场占有率逐步扩大，在不断开发适应国内风能资源特点的产品、满足国内市场需求的的同时，我国风电设备已开始进入国际市场；依托国内主要科研机构 and 骨干企业，我国建立了一批风能领域国家重点实验室和国家工程技术研究中心；参考国际惯例和相关标准，初步建立了适应我国的风电标准、检测和认证体系，为风电发展提供了技术支撑和保障。

**风电设备可靠性已明显提高。**据国家风电技术与检测研究中心风电并网检测信息，截止到 2013 年 6 月 30 日，我国风力发电企业共完成 219 座风电场低电压穿越能力改造，占需改造风电场（共 247 座）的 89%。已组织完成 151 个风电场的低电压穿越抽检，占已具备测试条件风电场的 69%。结果显示，我国风机制造厂家整体水平提升明显，检测

机型的国产化率明显提高。“风电并网难”在技术上的四大类典型问题，现已逐步得到解决。风机并网性能和风电运行质量不断提升，大规模风电脱网事故从 2011 年的 8 起降低到 2012 年的 1 起，2013 年未发生大面积脱网事故。但是不同厂家在风机性能改造过程中技术水平和质量控制等方面的差异还很大，风电场一次抽检通过率仅为 60%，经数次改造后补检通过的比率为 38%，最终未通过的比率为 2%。

**大功率风电机组制造步入世界先进行列。**自上海东海大桥海上风电场示范项目建设完成以后，我国海上风电开发建设缓慢。但是，国内风电设备制造企业在大容量风电机组研制方面一直在积极有序进行，这些大容量机组将主要应用于海上风电场。目前，已经投入试运行的功率超过 3MW 的风电机组有上海电气的 3.6MW 机组、华锐风电的 5MW 机组和 6MW 机组、联合动力的 6MW 机组、湘电风能的 5MW 机组、重庆海装的 5MW 机组和东汽的 5.5MW 机组，还有一些企业的大容量机组尚在研发之中，如浙江运达 5MW 机组、上海电气 5MW 机组、明阳风电 6MW 机组和金风科技的 6MW 机组等。

但是我国风机制造关键核心技术主要依赖进口的局面仍没有得到根本改变，与国际先进风电技术水平相比，我国风电产业还没有建立起与之相匹配的核心技术能力和产业竞争实力。这些问题主要体现着以下几个方面：一是研发力量薄弱，创新能力欠缺。二是研发投入不足，同质化现象严重。目前国内风电设备制造企业主要是依靠引进技术成长起来的，风电机组设计和关键技术仍然依赖国外，国内低层次技术的同质化竞争十分严重。三是关键零部件质量问题突出，导致风电事故频发。四是质量监督、市场监管不到位，低成本竞争愈演愈烈。部分企业面对激烈的市场竞争，单纯以降低成本方式占领市场，忽视技术进步、产品可靠性等内在核心竞争力的培育，已暴露出一些风电设备质量问题。五是风电技术标准和法规体系尚不完善，明显落后于产业调整步伐。此外，一些附加值较高的风电设备关键零部件、材料和元器件尚未改变主要依靠进口的局面，影响了风电产业整体实力的进一步提高。

### 专栏 我国几种大容量风电机组的技术特点<sup>9</sup>

无论在国外还是在国内，人们在大容量风电机组的研制上采取了更具特色的技术路线，尤其在传动结构设计变桨控制技术及叶片制造等方面有更多创新性技术和新材料应用。根据企业已经公开的资料，对我国几种大容量风电机组技术特点介绍如下：

上海电气 3.6MW 风电机组采用了传统的带齿轮箱的变速恒频双馈技术，采用双馈异步发电机，齿轮箱一级行星轮和二级平行轴斜齿结构，采用电动变桨和电动偏航技术，风轮直径有 116m 和 122m 两款，风轮转速范围 8.3~15.4rpm，切入风速 3m/s，切出风速 25m/s，额定风速 11~13m/s，设计使用寿命 25 年。驱动链采用了紧凑型驱动链形式，这样不但缩短了驱动链长度，更重要的是可以最大限度的降低机舱重量。叶片设计采用了通过大量商业化实际应用的翼型，充分考虑了各种不确定因素导致的功率降低，使设计与实际运行更吻合。齿轮箱采用了先进的差动齿轮传动技术，实现功率分流，保证行星齿轮之间更均匀的载荷分配和更好的齿轮啮合，降低齿轮箱故障率，提高齿轮箱使用寿命。同时还采用了一系列先进的设计方法和技术，如冗余设计等提高可靠性的设计方法和技术。

湘电风能 5MW 风电机组(XD115-5000)采用直驱型设计，没有主轴和齿轮箱，单主轴承设计，并嵌入低速永磁同步发电机中，配全功率水冷变流器。主轴承采用多列圆柱滚子轴承，一端与轮毂联接，另一端与发电机锥形支撑和发电机转子联接，并安装在紧凑的机舱铸件上。这种设计可以将载荷分布到相对大的直径上，从而减轻重量。为适应海上环境，采用全封闭设计，内循环冷却系统，内置除盐雾设备。叶轮直径 115 米，轮毂高度 100 米，设计等级为 IEC IC，机头重量 265 吨，其中叶轮 85 吨，发电机 135 吨，机舱 45 吨。

重庆海装 5MW(H154-5MW)风电机组采用整体式铸造机架，大轴承，齿轮箱增速，高速永磁发电机，全功率变流器，机舱全密封结构，内部空空冷循环系统，其机舱结构紧凑，重量只有 210 吨。变桨备用电源采用超级电容，更加安全可靠。风轮直径 154 米，叶片长度为 75 米。标配在线监测系统和自动消防系统。叶片、齿轮箱、发电机、控制系统、轮毂、塔筒、润滑系列等重要零部件均由中船重工集团成员自己完成。

东汽 5.5 MW(FD140A-5500KW)风电机组，齿轮箱采用两级行星+一级平行轴齿轮，

<sup>9</sup> 2013 中国风电发展报告

发电机为永磁同步发电机，伺服电机电动变桨，独立变桨控制，叶片采用玻璃纤维增强复合材料制造，风轮直径 140 米，轮毂高度 100 米，额定风速 13.5m/s。该机组完成低电压穿越试验，具备良好的海上工况适应性，极强的抗台风能力。全密封设计与盐雾过滤配置，实现了有效的防腐功能，同时还进行了完备的防火设计。其长叶片也由东汽自主研发并通过静力试验。

华锐风电 6MW 机组(SL6000/128)有常温型和低温型两种设计，采用两级行星+一级平行轴斜齿增速齿轮箱，水冷式双馈异步发电机，电机驱动式叶片独立变桨控制技术，叶片采用玻璃纤维增强复合材料，叶轮直径 128 米，轮毂高度 100 米，额定风速 13.5m/s，另外还有一种型号叶轮直径 155 米，轮毂高度 11 米，额定风速 10m/s。

国电联合动力 6MW(UP6000-136)风电机组采用外齿圈偏航轴承、大型双列圆锥主轴承，以及短主轴的紧凑结构形式，大大减轻了机组的重量，机舱重量 240 吨;超级电容独立变桨控制，有效降低了机组承受的不均匀载荷，降低了机舱振动;6 级双馈异步发电机，发电机定子电压 6600V，可有效减小发电机损耗。齿轮箱两级行星一级平行斜齿设计。发电机、变流器、齿轮箱采用水冷方式，机舱内微正压设计，同时还具备低电压穿越能力及动态功率调节功能，使机组具备良好的电网适应性。风轮直径 136 米，轮毂高度 95 米，叶片长度 66.5 米，叶片生产采用真空灌注的制作工艺，生产效率高；叶片采用高强、高模的碳纤维复合材料替代传统的玻璃纤维，有效降低了重量，进而降低了机组的载荷。特殊的防腐设计，满足海上高盐雾和高腐蚀的运行环境。发电机为联合动力宜兴公司自主研发制造，在电磁计算方法、定子和转子绝缘结构等方面实现了创新与优化。

## 2.2. 太阳能光伏

### 2.2.1. 世界光伏产业现状与技术水平

#### 2.2.1.1. 世界光伏产业现状

根据 SEMI 发布的《2013 中国光伏产业发展报告》，2012 年全球光伏新增装机容量达到 31GW，相对于 2011 年的 27.9GW 增长 11%，累计装机量达到 98.5GW，创历史新高。全球光伏市场的中心正从欧洲的德国、意大利、法国、西班牙向中国、美国和日本等新兴市场转移。德国光伏进入稳定发展阶段，连续三年维持在 7.5GW 左右，意大利、西班牙等国深受经济危机的影响，2012 年光伏装机量大幅减少。以中国、美国和日本为代表的新兴市场成为新的增长点，2012 年三国装机合计占全球的 31%。

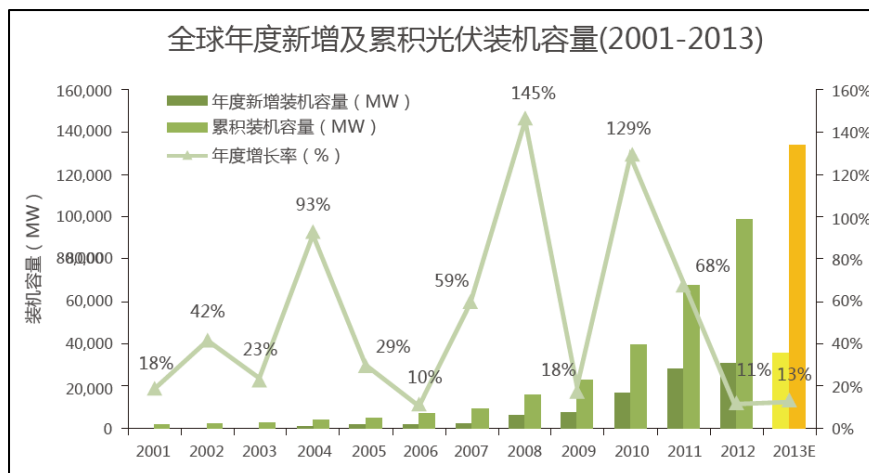


图7. 2001年-2013年全球年度新增及累积光伏装机容量

(来源：SEMI)

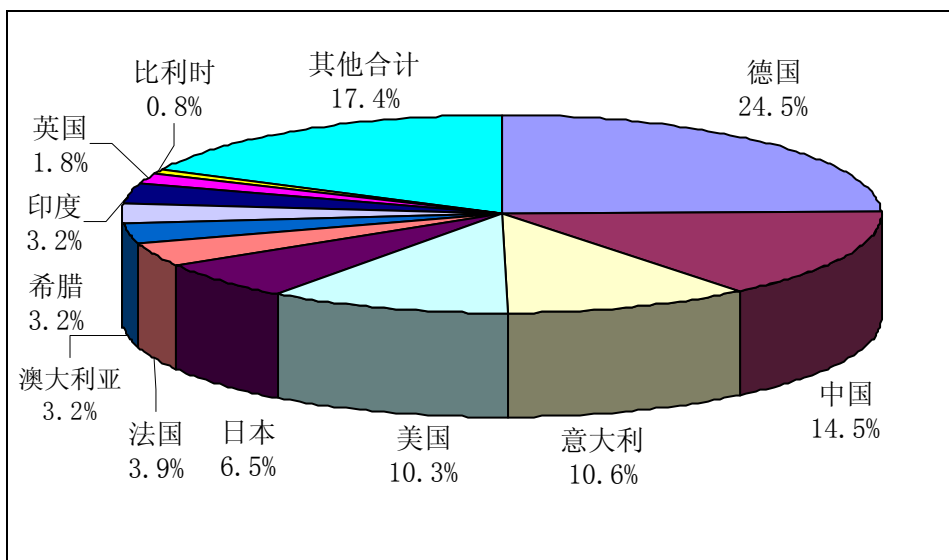


图8. 2012全球光伏市场分布

(来源：SEMI)

受2010年和2011年连续两年全球范围内制造产能非理性扩张的影响，在2011年底全球光伏制造产能突破79GW，产量40GW，而当年的装机量仅为27.7GW。供需的严重偏离导致了2012年组件价格延续了2011年下跌的趋势，从年初的0.9美元/瓦下降到年底的0.65美元/瓦。企业利润被挤压，破产倒闭的新闻也已让人些许麻木。经过2012年的洗礼，全球的光伏产能已降至70GW，产量39GW，但仍然高于31GW的新增装机。这标志着光伏制造整合大幕的拉开，也预示着整合的不断深入。

光伏制造方面，受2010年和2011年连续两年全球范围内制造产能非理性扩张的影



响，2011 年底全球光伏制造产能突破 79GW，产量 40GW，而当年的装机量仅为 27.7GW。供需的严重偏离导致了 2012 年组件价格延续了 2011 年下跌的趋势，从 2012 年初的 0.9 美元/瓦下降到年底的 0.65 美元/瓦。企业利润被挤压，很多企业破产倒闭。经过 2012 年的洗礼，全球的光伏产能已降至 70GW，产量 39GW，但仍然高于 31GW 的新增装机。光伏制造业的整合正在不断深入。

在产能方面，根据 SEMI 发布的《全球光伏制造数据库》，2012 年全球组件产能 81GW，达到历史最高水平；但是产能利用率只有 48%，是 2006 年以来的最低值。由于 2012 年在全行业的大面积倒闭与兼并重组，2013 年全球组件产能预期下降到 72GW，下滑 13%。2012 年全球多晶硅产量 260KMT，产能利用率 62%，在各产业段中居首，其它的产业段（铸锭、硅片、电池和组件）的产能利用率在 50%左右。2012 年全球晶体硅组件产能 67.5GW，占全球光伏组件的 83%；薄膜和聚光光伏组件的产能分别为 12.7GW 和 800MW。2012 年全球薄膜组件产能 12.74GW，其中硅基薄膜组件以 7.23GW 的产能排在薄膜类组件的首位，但产能利用率只有 32%，低于铜铟镓硒和碲化镉组件的产能利用率。中国、美国和日本分别以 49GW、6.7GW 和 6.0GW 排名 2012 年全球前三位，日本的产能利用率 62%，高于中美两国。2012 年中国光伏制造的产能/安装量比值为 10.5，高出全球平均水平的 4 倍。到 2015 年，中国和全球的此数值将会降到 7.7 和 1.7。

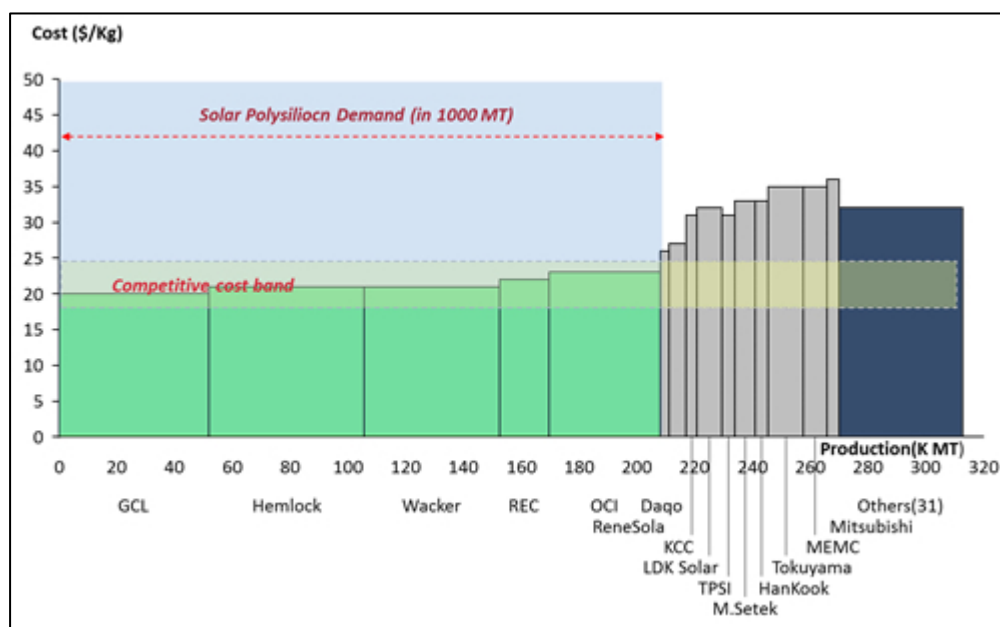


图9. 2012 年全球多晶硅产量与成本分析

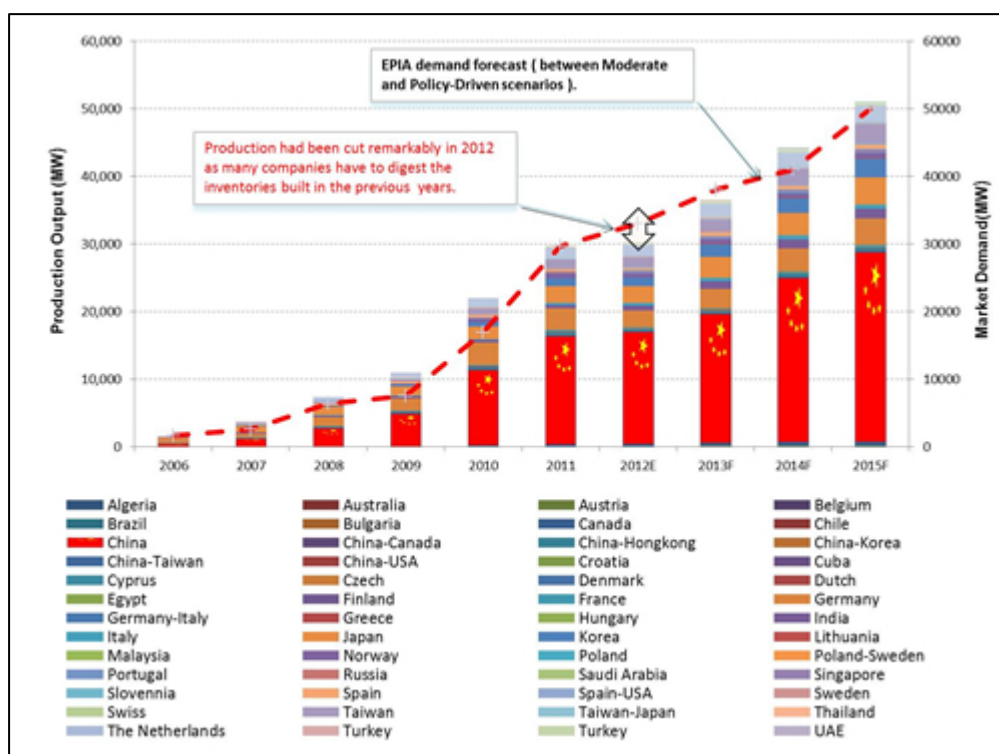


图10. 全球光伏产量与市场需求分析

美国太阳能产业主要分为太阳能光伏发电(photovoltaic PV)和太阳能集热(Concentrating solar power, CSP)两大类。据美国劳伦斯国家实验室的数据统计,2012年,太阳能占美国能源消耗总量的0.235%。虽然太阳能产业在美国能源消费中比例仍然很小,但发展迅速。截至2012年底,美国累计并网发电的光伏系统已增长到74亿千瓦(7.4GWDC)。2012年美国光伏产业从数量和发电量都大幅增长。与2011年相比,新装机增加80%,达33亿千瓦(3.3GW),连续6年增长率超过40%,过去10年复合增长率达到惊人的65%,总装机增加2.5倍,安装在家庭(5亿千瓦)、商业建筑(10亿千瓦)和政府部门建筑(18亿千瓦)上的分布式系统增加36%。目前,美国光伏发电新装机占全美发电总装机的12%。2012年,得益于各州对新能源所占比例要求和美国能源部联邦贷款担保,美国大型光伏发电设备安装项目出现成倍增长。在加州5个最大的安装项目都为太平洋燃气和电力公司(PG&E)供电,2012年该公司的的光伏项目发电占了全美30%。2012年连接电网的分布式光伏发电能力比2011年增长了36%。得益于租赁和第三方对该系统的使用,2012年新增了分布式光伏系统9.5万个,其中家庭安装的增长了61%。2012年超过三分之二的新安装光伏发电系统集中在加州、亚利桑那州、新泽西州和内华达州。在2012年新装机的前十州里,亚利桑那州、夏威夷、马里兰州、马萨诸塞州、内华达州和北卡罗来纳州装机都超过了去年的一倍。

加利福尼亚州作为美国西岸的门户,由于其独特的气候条件地理位置非常适合太阳

能产业的发展，目前已成为全美发展太阳能产业的一枝独秀。2012年加州光伏发电新装机10.33亿千瓦，占全美新装机总量的三分之一，比2011年的5.77亿千瓦增加了近一倍。如果以国家为单位计算的话，加州的太阳能装机量位列世界第7位。2013年加利福尼亚仍居美国光伏市场产能首位。随着公共事业电站的增加，北卡罗来纳州的光伏产能超过亚利桑那州和新泽西州，跃居第二。新墨西哥州和纽约也于2013年取代了马里兰州和科罗拉多州，挤入美国光伏产能前十位。

据不完全统计，目前在北加州的中资太阳能企业超过17家。主要有汉能、英利、晶澳、天合光能、新澳、海润、昱辉、中利腾辉、比亚迪和阳光电源等。在北加州的中资光伏企业多为设备供应商，有些企业在加州已经经营多年，大多数企业经营情况良好，但受到美国对我太阳能产品双反调查的影响，市场波动较大，竞争也越加激烈，但从长远来看，随着技术的不断创新和当地政策的鼓励和推动，多数企业对加州太阳能的发展前景充满信心。

快速发展的太阳能光伏产业规模，加上行业活跃的创新活动，已使得美国光伏发电装机成本大幅降低。美国能源部劳伦斯伯克利国家实验室发布的《1998-2010年美国光伏系统装机成本概述》报告，考察了1998~2010年间美国42个州安装的115000个住宅、商用和公共光伏系统，占到全美并网光伏装机容量的78%。数据显示，2010年完成的住宅和商用太阳能光伏系统平均装机成本比2009年下降了17%，2011年上半年又在此基础上下降了11%。这一趋势部分是由于光伏组件价格的大幅降低，光伏组件批发价格自2008年以来急剧下降，上游成本削减已传导到用户端。

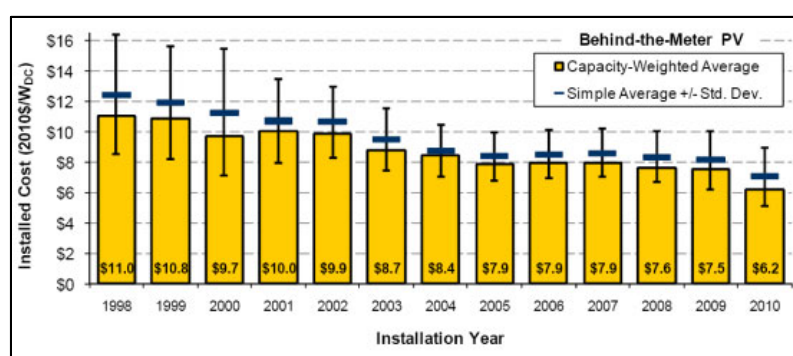


图11. 美国所有连入电网光伏项目的平均装机成本（1998-2010年）

1998~2010年期间，按照容量加权的住宅和商用光伏设备装机成本用2010年现值美元表示，从1998年的11美元/瓦下降到2010年的6.2美元/瓦，降幅达43%，年均下降0.4美元（4.6%）。第一次大幅下降出现在1998~2005年；而2005~2009年却停滞不前；直到2010年，平均装机成本才相比上一年大幅下降1.3美元（17%）。

2010年公用光伏系统装机成本差别较大，由于不同的项目规模、系统配置以及单个项目的特性，大于5000千瓦的光伏系统装机成本在2.9~6.2美元/瓦之间。伴随着持续的成本降低，目前大规模公共光伏系统项目装机成本基准在3.8~4.4美元/瓦之间。

报告指出，2009~2010年，住宅和商用系统的非组件成本（包括劳动力、市场营销、逆变器和系统平衡成本）平均下降近18%。相比于改造房或现房，安置于新房的住宅光伏系统花费的成本较低。在2010年安装的小于10千瓦光伏系统的平均成本，根据各州情况不同从每瓦6.30美元至8.40美元不等；而小于2千瓦的系统平均成本每瓦9.80美元。因此，从经济考虑，安装规模越大，单位装机成本就越低。该报告还显示，州和公用事业光伏激励项目提供的直接现金激励在2002年达到峰值，之后不断下滑。2010年联邦投资税收抵免政策（ITC）以及代替ITC的财政部拨款补贴，基于装机成本的百分比给予补贴因平均装机成本减少而削减。因此，不考虑补贴时，住宅和商用光伏系统的装机成本分别下降1美元/瓦和1.5美元/瓦，而考虑补贴的减少，住宅和商用光伏系统的装机成本分别实际下降0.4美元/瓦和0.8美元/瓦。

#### 2.2.1.2. 世界光伏技术水平

目前全球光伏市场供过于求的大背景下，技术突破显得尤为迫切。传统光伏技术遇到转换效率的瓶颈，非硅成本下降空间有限，高效电池技术在设计和材料选择上的突破，使非硅成本有较大下降空间；光伏产品转换效率的提升可以直接降低系统平衡成本，组件效率每提高一个百分点，系统平衡成本可下降5到7个百分点。以美国SunPower和日本Panasonic为代表的高效电池组件制造商的光伏产品效率已达到24%，国内的电池组件商也在积极开发高效光伏产品。全球P型、N型单晶电池效率已分别达到18.5%—20%和21%-24%，多晶电池效率达到17%-17.5%。随着高效单晶、多晶技术的不断探索与应用，其成本不断下降，目前高效单晶组件产品的成本已低于传统单晶组件产品，但还高于多晶产品。高效电池技术在全球范围内蓄势待发，这将是下一轮产业扩张时的投资热点。

目前，世界光伏电池技术主要朝着三个方向发展：

一是晶硅电池仍是当前世界光伏电池市场主导产品，并且近几年不可能被其他产品取代。晶硅电池转换效率相对高，价格便宜，性能相对稳定，市场上占有优势。因此，各国企业科研机构，一方面仍大量投入研究晶硅提纯技术、工艺，以提高电池转换效率，提高自动化水平，减少能源、材料消耗，对生产中间的辅助材料循环再利用减少污染排

放。另一方面研究切割技术，晶硅电池逐年减薄，减少材料的利用浪费，以降低产品成本，提高市场竞争力。

二是薄膜电池种类繁多，以碲化镉、铜铟镓硒、非晶硅为代表的薄膜电池，其转换效率低于晶硅电池，但薄膜电池能源、材料消耗少，价格和晶硅电池相比优势明显。各国生产企业、科研机构都在积极改进薄膜电池的材料、工艺，待规模提高，性能稳定。非晶硅薄膜电池标准设备组件的推出和双层、叠层镀膜技术的日趋成熟，促使非晶硅薄膜电池市场迅速扩大，成为晶硅电池的主要竞争产品；碲化镉电池方面，FirstSolar 采用设备与技术一体化战略，不对外转让设备和生产工艺，并且建立良好的产品回收机制，打消了社会对污染的顾虑。使得 FirstSolar 2009 年碲化镉薄膜太阳能电池产量达到 1.1GW，跃居成为全球第一大太阳能电池制造商；铜铟镓硒薄膜电池实验室最高转换效率为 19.9%，被称为最有前景的薄膜电池技术，但是其复杂的多层结构和敏感的元素配比，工艺和设备尚未达到商业化运营的要求。

三是聚光光伏电池采用砷化镓太阳电池和太阳能跟踪系统，电池转换效率达到 40%，成本约 3~4 美元/Wp。该系统占地较大适合用于发电站，聚光电池技术结合光学、控制、机械等多种学科技术，研发投入较高。作为由实验室走向工程化的新技术，产业链尚未形成，技术路线有待突破。

## 2.2.2. 中国光伏产业现状与技术水平

### 2.2.2.1. 中国光伏产业现状

受《可再生能源法》的鼓励，同时也得益于国际市场的拉动，我国的光伏电池制造业在 2004 年后飞速发展，开始大量出口，产能和产量也大幅增加，目前已成为世界光伏制造的中心。并且在经理欧美国家反倾销与反补贴调查而陷入冰冻期之后，经过一系列整合，目前中国光伏产业已逐步回暖，部分企业开始扭亏。

目前，我国多晶硅和太阳能光伏电池级组件产业规模已实现稳步增长，光伏市场规模迅速扩大。2008 年，我国多晶硅产量仅 4 千多吨，太阳能电池产量 2.5GW，光伏装机量近 40MW。而根据 SEMI 发布的数据，2012 年，中国的多晶硅产能已达到 15.8 万 MT，占全球的 43%，产量为 6.9 万 MT，占全球的 32%；光伏组件产能达到 37GW，占全球的 51%，产量为 22GW，占全球的 54%。据原电监会公布的数据，截至 2012 年底，我国新增光伏发电装机容量 400 万千瓦，达到 700 万千瓦。其中并网装机容量达到 328 万千瓦。2012 年中国光伏制造的产能/安装量比值为 10.5，高出全球平均水平的 4 倍。2013 年上

半年约 2.8GW，其中大型电站 1.3，金太阳 1.8GW，三季度装机约 1.6GW。历年中国新增装机容量与增长率见下图。

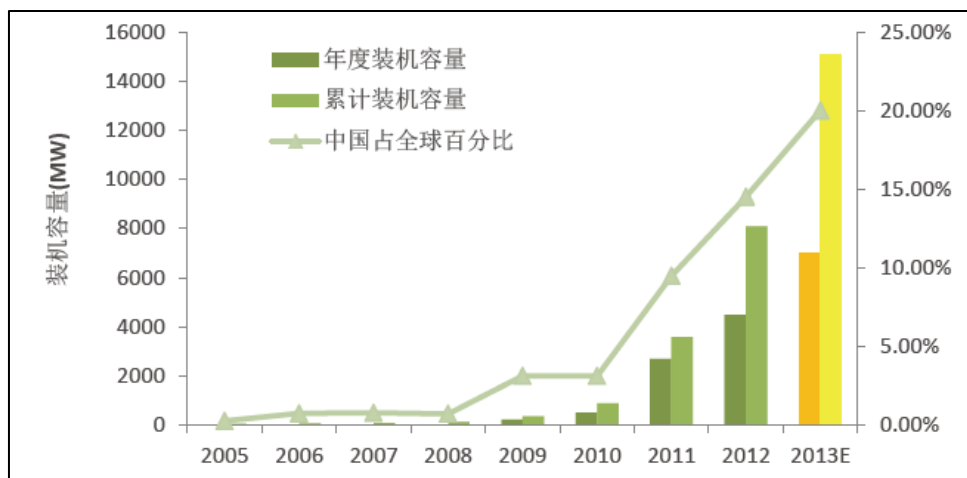


图12. 2005年-2013年中国光伏累计装机容量

(来源：2013中国光伏产业发展报告)

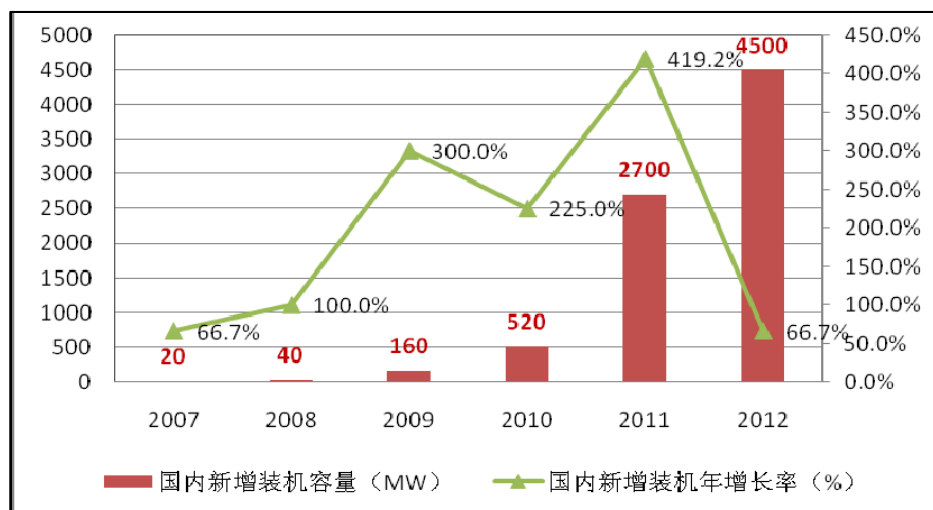


图13. 2007年-2012年中国光伏新增装机量及增长情况

(资料来源：CPIA)

光伏制造产能在过去几年中快速扩张的同时，工艺水平不断提高，制造技术也越来越成熟，生产效率和管理水平都有了较大幅度的提升，光伏产业链从多晶硅原材料、组件到逆变器的生产成本和价格迅速降低。与此同时，通过大规模光伏电站的建设与维护，整个产业界积累了大量宝贵的电站设计、建设和运营管理经验，这也是电站系统价格得以下降的另一个原因。2008至2013年，每千吨多晶硅投资由7-10亿元（人民币）下降至2.5-4亿元；每兆瓦晶硅电池生产线投资2012年以来已经下降至最低100万元以内（国

产设备)。2008-2013年，我国主要光伏企业生产每千克多晶硅的综合能耗由300千瓦时左右降低至120千瓦时以下，先进企业已达到80千瓦时以下。单晶硅、多晶硅及薄膜电池（硅基）产品平均转换效率分别由16.5%、15%、6%提升至19%以上、17.5%左右、10%左右。部分企业相应指标已全球领先。

工艺技术水平的提升带来了多晶硅及电池组件生产成本的不断降低。目前国内先进多晶硅企业生产成本已降至16美元/千克以下，晶硅电池降至0.5美元/千克。截止到2012年，投资国内大型地面电站的系统价格平均为1.5美元/瓦-1.8美元/瓦，光伏发电的度电成本也随之不断降低。在光照资源丰富地区，2012年大型光伏地面电站发电的度电成本已经接近0.6元/度。

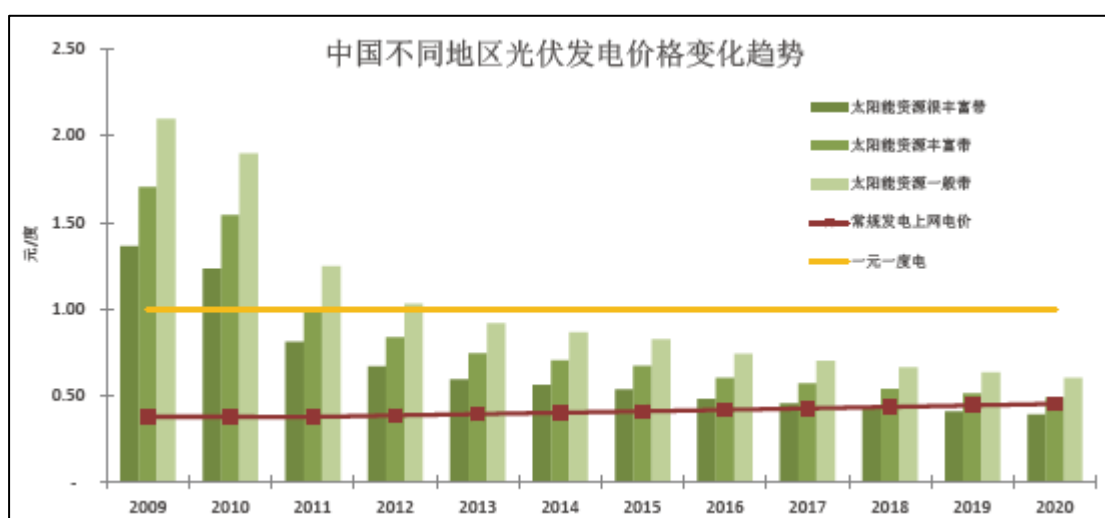


图14. 中国不同地区光伏发电价格变化趋势

(来源：SEMI)

光伏产业的利润向下游转移的现实促使更多的光伏上游制造商向电站开发进军。根据SEMI的《全球光伏制造数据库》的统计结果，中国排名前20位的光伏组件和电池制造商均已涉足电站开发业务。

2011年底以来，受欧美“双反”调查影响，我国光伏制造业出口受阻，其中2012年8月的对美出口额为0.85亿美元，较年初1月份的3.87亿美元下降80%。国际市场影响反致国内光伏发电装机增加。

2012年，我国多晶硅产业情况进一步恶化，产量出现负增长，停产企业数量达到近90%，至2012年底，仅有江苏中能、大全、亚洲硅业和黄河上游等几家企业在保持生产，且产能利用率也大幅下降。我国多晶硅行业价格也从2012年初的230元/公斤一路跌到12月初的110元/公斤。

## 2.2.2.2. 中国光伏技术水平

### (1) 光伏产业技术总体特征

太阳能电池可主要划分为单晶硅电池、多晶硅电池和薄膜电池三种，其中：单晶硅电池技术成熟，光电转换效率高，但其生产成本较高，技术要求高；多晶硅电池成本相对较低，技术成熟，但光电转换效率相对较低；薄膜电池成本低，发光效率高，但目前其在技术稳定性和规模生产上均存在一定的困难。随着技术的进步，未来薄膜电池会有更好的发展前景。

我国光伏产业技术总体特征是：上游产业（硅提纯、硅锭/硅片环节）缺乏技术创新，不掌握核心技术；中游产业（电池片、电池组件制造环节）自主创新能力不够，主要引进国外先进技术。下游产业（应用系统环节）技术逊于国外。

从光伏产业链技术角度来看，虽然在我国光伏中游产业中企业创新不断，但缺少自主创新能力，主要引进吸收国外技术，导致创新能力不够。上游和下游产业缺少技术创新，尤其是在上游产业中多晶硅提纯技术，核心技术被外国掌握，下游产业由于我国应用推广还很少，技术创新步伐进展缓慢。现阶段制约我国光伏产业发展的瓶颈是上游产业中的多晶硅提纯技术，主要为引进俄罗斯的改良西门子法，相对于外国技术有一定差距，能耗成本大，产能相对较少。

### (2) 多晶硅提纯技术主要依靠引进国外技术

我国的多晶硅提纯技术始终靠引进国外技术，缺少自主研发和掌握核心技术，外国对我国的技术转移都是在本国产生了更高效率的提纯技术的前提下进行的或者核心技术没有对我国进行转移，使我国在多晶硅提纯方面完全依赖和受制于外国，导致我国大部分高纯度多晶硅都是从国外进口。由于我国大部分光伏企业都处在附加值较低的中游产业，虽然有创新，但处在这部分产业的技术已经相当成熟，技术创新空间较小。而在创新空间大的上游产业，企业因为没有掌握多晶硅提纯的先进技术，导致成本过高，致使总体利润不大。有的甚至出现亏损。

多晶硅原材料的生产技术在 2007 年以前被美国、日本、德国等国垄断。与国外的多晶硅生产商相比，国内厂商由于技术落后，多晶硅生产质量相对较差，且生产成本普遍高于国外企业。我国的太阳电池关键生产设备和高纯度硅材料基本上依赖进口；薄膜电池生产工艺及装备水平也明显落后于国际先进水平。

我国在引进光伏生产设备和技术的同时，德、日、美等主要发达国家在光伏关键核心技术和工艺技术上对我国实施技术封锁，导致了我国一些企业在没有完整的光伏工艺



技术条件下，由高额利润驱动疯狂进入光伏行业，快速上马光伏项目，进而出现了高耗能、高排放。

### **(3) 晶硅电池生产技术处于全球领先水平**

我国晶体硅太阳能电池的技术水平逐年提高，太阳能电池效率和产品合格率平均每年提高 1%。无锡尚德的“冥王星”(Pluto)技术、南京中电的发射结钝化技术均使批量生产的电池效率均超过 19%，达到世界先进水平；保定英利的硅浆料回收技术，使得太阳能电池高纯硅材料的用量从 9 克/瓦下降到 5.8 克/瓦。我国在晶体硅太阳能电池方面已经占有质量和成本的双重优势。

光伏设备辅料研发成果不断。产业发展，设备先行，近些年来我国在光伏设备和配套辅料的研发方面不断取得突破，国产化水平不断提高。除了单晶炉、扩散炉、清洗机等设备外，2010 年我国浙江精功科技有限公司研制出的多晶硅铸锭炉，其技术指标已达到国际先进水平，打破了多晶硅铸锭炉设备依赖进口产品的局面，国产化水平得到大幅提升。河南恒星科技有限公司突破多晶硅切割线的产业化生产技术，打破切割线被外国企业垄断的局面，实现进口替代。而晶硅电池生产也已实现全线贯通能力，能提供全套生产线的生产设备。

### **(4) 未来技术方向**

技术的提升始终是光伏产业进步、发展的推动力。我国《太阳能发电科技“十二五”专项规划》从太阳电池材料、器件、系统和装备四个方面对太阳能光伏产业重点技术和方向进行了详细阐述。其中：太阳能级硅材料方面，重点研究高效节能多晶硅材料的产业化技术；太阳电池方面，重点研究高效、低成本、超薄晶硅太阳电池和高效薄膜太阳电池的产业化技术，着力发展新兴太阳电池关键技术；光伏系统及平衡部件方面，重点研究 100MW 级并网光伏电站、高密度区域建筑光伏系统、光伏微电网系统技术和大型多能互补光伏并网系统技术与关键设备的产业化技术

## **2.3. 储能**

### **2.3.1. 世界储能产业现状与技术水平**

鉴于储能在能源结构以及电网安全等方面的重要作用，几十年来很多国家都对储能技术，特别是对化学储能技术及产品给予关注与研发支持，持续推动着储能技术及产业的发展。

美国、日本早在二十世纪 80 年代就开始了化学储能的研究性试点，但绝大多数是铅酸电池，且应用主要集中在电网本身调度中的一些能量管理问题，如削峰，调频，旋转

备用，黑启动，负荷跟踪，负载均衡。直到 2005 年，日本出现了第一例为新能源并网应用的储能示范项目，该项目采用钒电池，主要用于应对风电上网的典型问题：爬坡速率减缓和调频，规模为 4 MW/6 MWh(6MWx30 秒)。

美国在 1999 年出现了其它化学储能技术的示范项目，包括锂电池，锌溴电池(ZnBr)，镍镉电池(NiCd)和镍氢电池(NiMh)，但主要还是用于常规能源条件下电网调度本身的能量管理。至 2009 年后，各种技术进一步发展，大量新应用的示范项目在各个层面开展，包括：钠硫，氯化钠 / 镍，高级铅酸，高级锂电等技术从研发实验性应用到大规模新能源并网，以及分布式能源等智能电网范畴的各类示范性项目，乃至涵盖能源套利和电网投资资本递延的市场和其经济性的相关的试点遍布美国各州。美国基于战略发展立足长远考虑，长期在储能领域的研究和系统的试点项目的这些部署，使美国对各种储能技术从技术特点和应用场景及经济性的评估等多角度积累了大量的数据和经验，为其今后形成具有实践意义的行业标准及有效选取相应应用储能技术的方法论打下了坚实的基础。同时，这些针对储能应用的试点项目为产业的相关利益者及民众对未来能源的生产和利用方式下储能的关键性作用有了更加清晰的认识，从而将能够有效提升市场对储能的需求，进而带动各种投资推动整个产业进入良性发展模式。

欧洲在可再生能源利用方面一直走在世界的前列。由于可再生能源电源所占比例不断提高，其不稳定的特性给电网造成了极大的冲击，使得德国、爱尔兰等国家近几年积极寻找储能技术建立大规模试点项目。如 2006 年底 VRB Power Systems 公司开始为爱尔兰建设迄今为止国际上最大的额定输出功率 2MW(脉冲输出功率 3MW)，储能容量 12MW 的全钒液流储能电池系统；德国 EVONIK 工业股份公司宣布将联合戴姆勒汽车公司等研发机构共同开发适用于风能和太阳能发电的大容量、低成本储存的锂离子电池电站，先期计划在德国西部的萨尔州建造一个功率为 1MW 的储能装置。<sup>10</sup>欧洲很多国家已经认识到储能的重要性，在法规法案中将储能技术的研发放到了重点位置，也有相应的产业政策予以支持。可以预见，在不久的将来储能技术和应用会在欧洲出现规模化发展。

尽管储能技术在美国、日本一直不断演进与发展，未来在欧洲也有可以预见的、广阔的发展空间，但目前在全球，各类储能技术中，只有抽水蓄能与压缩空气储能最为成熟，化学电池储能则由于材料、成本及特定应用领域等方面的限制在全球的装机并不高，许多新技术还处于研发或商业化初期阶段。截止到 2011 年 5 月，全球储能装机超过 125GW，

---

<sup>10</sup> 中国储能网，电池储能技术国内外发展现状，<http://www.escn.com.cn/2012/0116/120207.html>

抽水蓄能主导了全球储能市场，占安装储能技术的 98%。日本（23GW）和西欧（13GW）主导着全球抽水蓄能的部署工作。飞轮和锂电池用于调频是目前储能市场中增长最快的应用方式。这种“快速储存”的应用方式比常规化石燃料电厂更经济有效，同时还能降低温室气体排放。在空调系统中，热能削峰填谷的应用，能突出其显著的优势，在夏季高峰负荷时期，当电网忙于支持最大的电力负荷时，制冷储存则能发挥其显著优势。下表是估算的全球储能装机容量。<sup>11</sup>

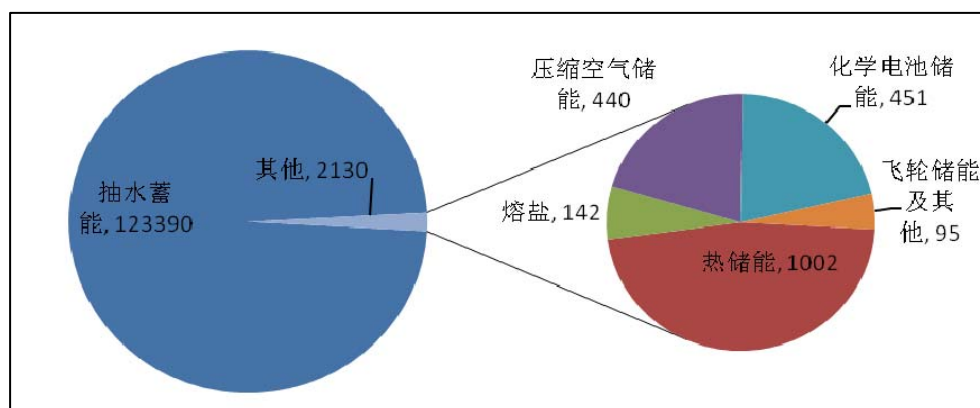


图15. 2011年全球电网储能装机容量

（资料来源：StrateGen consulting 2011。）

（注：预测中包括仅供制冷的热储能，图中数据截止到2010年4月。单位：兆瓦）

目前，美国储能技术以电池、抽水蓄能为主，也有飞轮等其他形式的储能。

其中，电池储能主要应用于新能源并网、分布式能源、电网“削峰填谷”，和电力系统的电能质量管理。例如，美国佛罗里达州建造了 2\*5kW\*4h 全钒液流电池储能系统，用于光伏并网发电，该系统于 2007 年投入运行，对于平滑输出和储能发挥了重要作用。离网式分布式能源主要应用电池储能，例如，美国 AEP 公司将于 2010 年建成以锂离子电池进行储能的 3MW 社区储能系统(CES)，该储能系统主要是用于社区分布式能源。夏威夷毛伊岛安装了一个 1.5 万千瓦的储能电池系统，和从瓦胡岛风电场购买的电力配套运行。该风电场装机容量为 3 万千瓦，计算机将保持电池在一天中的大多数时间处于半充电状态。如果风力骤然增强或减弱，电池将平稳电流。该储能装置的成功之处在于其拥有频率调节功能。电池系统可以在电价较低时储存电力，而在电价较高时送出电力。该电池系统可以容纳 1 万千瓦时的电量，相当于一个 3 万千瓦的风电场满负荷运行 20 分钟产生的电力。在阿拉斯加费尔班克斯市有一个重达 1400 吨的镍镉电池储能系统，占地面积相当于一个足球场，可以满足 4 万千瓦的电力需求。该系统已安装两年，避免了 81 次

<sup>11</sup> Electricity Advisory Committee, “Energy Storage Activities in the United States Electricity Grid”, May, 2011

停电事故。2010年3月，美国德克萨斯州安装了由80个电池模块组成的容量为4MW的钠硫电池储能系统，可以持续供电8小时。

美国使用的另外一种储能技术是抽水蓄能。目前，效率最高的储能形式当属抽水蓄能电站，其效率在70%到85%之间。加州最大的抽水蓄能设施之一是海尔姆斯(Helms)抽水蓄能设施。该设施通过发电模式可产生120万千瓦的电力，通过泵送模式可产生93万千瓦的电力。太平洋燃气与电力公司(PG&E)在加州东部莫凯勒米河(Mokelumne River)建设40万千瓦到120万千瓦的抽水蓄能电站进行可行性研究，该项目将有助于应对日益增长的太阳能和风能发电。

此外，美国还使用其他方法储存电力。纽约州的一家电力公司建设一座由200个飞轮组成的电力储存装置。每个飞轮上方安装一种可交替作为发电机或电动机使用的装置，能够在飞轮里储存或获取能量。美国能源部为两个压缩空气储能项目提供资金支持，其中一个是为纽约州北部耗资1.25亿美元的15万千瓦的项目提供3000万美元支持，另一个是为北加州耗资3.5亿美元的30万千瓦的项目提供2500万美元支持。这两个项目都在负荷低谷时段储存电力，并在负荷高峰时段送出电力。

目前，美国电力电网中储能安装总容量超过23GW，且96%以上是抽水蓄能。

表2. 美国电网储能装机容量

储能技术类型	容量 (MW)
抽水蓄能	22000
压缩空气	115
锂离子电池	54
飞轮储能	28
镍镉电池	26
钠硫电池	18
其他（液流电池，铅酸电池）	10
热调峰（冰蓄冷）	1000
总计	23251

注：分析基于电力储能委员会的数据。

### 2.3.2. 中国储能产业现状与技术水平

#### 2.3.2.1. 中国储能产业现状

目前，我国比较成熟的规模储能技术是抽水蓄能和铅酸电池，技术进步最快的是电化学储能，其中以液流电池、锂离子电池和钠硫电池最为显著。在实际生产及应用方面，尽管我国已经在实验及试用不少电化学储能的关键技术，但整体来看，在实际生产中主

要以中低端的镍氢动力电池和铅酸电池为主，更大容量的液流电池、锂离子电池、超级电容器等领域的关键技术虽有所突破，但由于缺乏政策支持，未发展到商业化运作和大规模运用的阶段，部分储能技术如磷酸铁锂、液流电池等真正的大规模工业化试用也才刚刚开始，产业化水平相对较低。据储能专委会统计，截止 2010 年底，我国电力储能总装机约为 16345MW，约占全国电力总装机容量的 1.7%，约占全球电力储能总装机的 13%，且国内电力储能近 99% 以上为抽水蓄能。据国家电网公司的规划，到 2020 年我国电力储能装机容量需要达到 60GW 以上，占全国电力总装机容量 4.0-5.0%；到 2050 年，为建成一个健康的国家电网体系，需要将电力储能装机占全国电力总装机容量的比例提高到 10% 以上。

在储能技术应用示范及产业化方面。目前我国已有近 40 个储能示范项目，其中规模在兆瓦级的示范项目主要包括国家电网公司张北“风光储输”示范工程项目（20MW 储能）、南方电网公司深圳“宝清储能电站”（10MW 储能）、国电集团和风锦州塘坊储能型风电场储能系统示范项目（5MW），这些 MW 级储能项目仅仅起到示范、探索性作用，尚不具备产业化条件。

### 2.3.2.2. 中国储能技术水平

中国储能产品及系统技术尚需不断提升和创新。近年来，随着各种对可再生能源开发与智能电网建设的重视与发展，作为新能源并网与智能电网建设主要支撑的储能技术也取得快速发展，新技术及新材料也不断呈现。但是我国储能技术除了抽水蓄能得到大规模应用外，其他储能技术的成熟度、可靠性、经济性等尚需进一步提升及验证。

我国储能技术缺失主要体现在几个方面：一是国内注重对储能电池技术本身研究，对其它载体的研究不够；二是国内普遍仅对材料和单一装置进行研究，缺乏对系统应用和管理的研究，甚至没有或少有针对整个产业的一揽子解决方案，技术路线尚不清晰。事实上，储能具体应用、试点过程中所遭遇的关键材料、制造工艺和能量转化效率等技术难题都有待破解。

以对储能技术要求最基本的安全可靠性为例，当前的主要技术问题是蓄电池成组后，安全性大幅下降、使用寿命大幅缩短，甚至存在发生蓄电池燃烧爆炸的危险。目前，锂离子电池大多被用做动力电池领域，但是经过多年的研究开发及试用，锂离子电池的安全性问题一直都没有得到很好的解决。2011 年国内多起电动汽车自燃事件再次警示锂离子等新兴蓄电池成组应用技术、系统集成技术，是当前推动节能与新能源产业发展迫切

需要解决的重大课题。同时，国际上知名的 A123 公司已经将锂电池成功用于规模储能，但是锂离子电池在做兆瓦级系统的安全性问题还没有解决。未来我国储能技术研发及储能产业发展也需要不断提高及创新储能产品及系统技术。

我国近年来大力发展可再生能源和分布式发电，鼓励新能源电源并网。近期我国以建设储能示范项目为依托，检验储能技术对可再生能源发电并网、电力系统调频、调峰及电力系统备用的效果。相关科技发展规划则专注于储能材料和储能技术在分布式、可再生能源发电项目中的系统集成技术。在我国现行的能源政策和电力市场框架下，近期的储能扶持政策仍将主要围绕在智能电网、可再生能源发电、分布式发电及微电网、农村电网升级改造及电动汽车领域。我国现行的上网端峰谷电价对储能发展的激励作用有限，而大工业用户的两部制电价鼓励用户错峰用电的电力管理需求，一定程度上激励了储能产业的发展。

## **2.4. 页岩气**

### **2.4.1. 世界页岩气产业现状与技术水平**

#### **2.4.1.1. 世界页岩气产业现状**

页岩气是从页岩层中开采出来的天然气，是一种重要的非常规天然气资源。19 世纪末，美国米歇尔能源及开发公司成功将水平钻井技术和水力压裂技术相结合，极大提高了深层页岩气的开采效率和盈利性，页岩气开采开始进入规模化和商业化发展阶段。页岩气资源在全球储量非常丰富，而且分布广泛。全球页岩气资源量相当于煤层气和致密气的总和，约占全球非常规天然气资源量的 50%，与常规天然气 472 万亿立方米的储量相当。美国能源信息署（EIA）2011 年针对全球页岩气储量的评估显示，全球 32 个国家的页岩气技术可采资源量为 163 万亿立方米，加上美国的 24 万亿立方米，全球页岩气技术可采资源量升至 187 万亿立方米。其中，中国页岩气技术可采资源量为 36 万亿立方米，排名世界第一（约占 20%），其后依次是美国（约占 13%）、阿根廷、墨西哥和南非。EIA 于 2010 年测算的全球天然气技术可采资源量约为 453 亿立方米，此次探明的页岩气资源量将使全球天然气资源量增长 40% 以上，达到 640 万亿立方米。而该结果还未考虑俄罗斯、中东等非常规天然气储量丰富的国家和地区。因此，总体来看，页岩气的开采将极大地丰富全球天然气的供应能力。

美国是页岩气产业发展最为成熟的国家。2000 年，美国页岩气产量占天然气总产量的比例仅为 1% 左右。随着水平井和水力压裂技术的进步和开发成本及风险的大幅降低，

页岩气井数量激增，页岩气产量在 2008 年得到突破性增长，页岩气井数量激增到 4 万余口，产量为 599.2 亿立方米，占天然气总产量的 11%，比 2007 年增长了 64%。2012 年，美国页岩气产量达到 2480.56 亿立方米，占其天然气总产量的 37%。

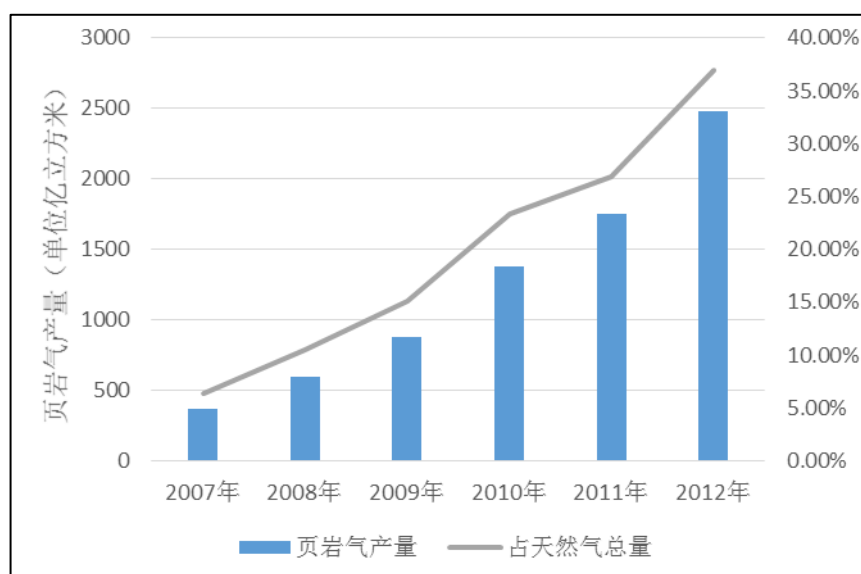


图16. 美国页岩气产量与占天然气总量比例 (2007-2012)

(资料来源：中国能源网研究中心根据 EIA 信息整理)

随着页岩气产量的不断增加，EIA 的《年度能源展望报告 2013》(AE02013) 中预测，到 2020 年美国将成为天然气净出口国。预计到 2021 年美国将成为管道天然气净出口国，到 2027 年出口 LNG 上升到约 1.6 万亿立方米方尺，到 2035 年，美国天然气将出口 762.6 亿立方米，2040 年，美国天然气出口 1070 亿立方米。

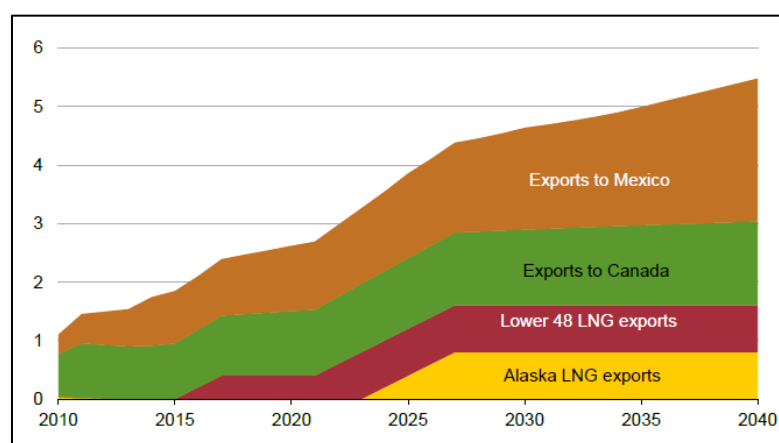


图17. 2010年-2040年美国天然气出口量

(资料来源：EIA，年度能源展望，2013年发布)

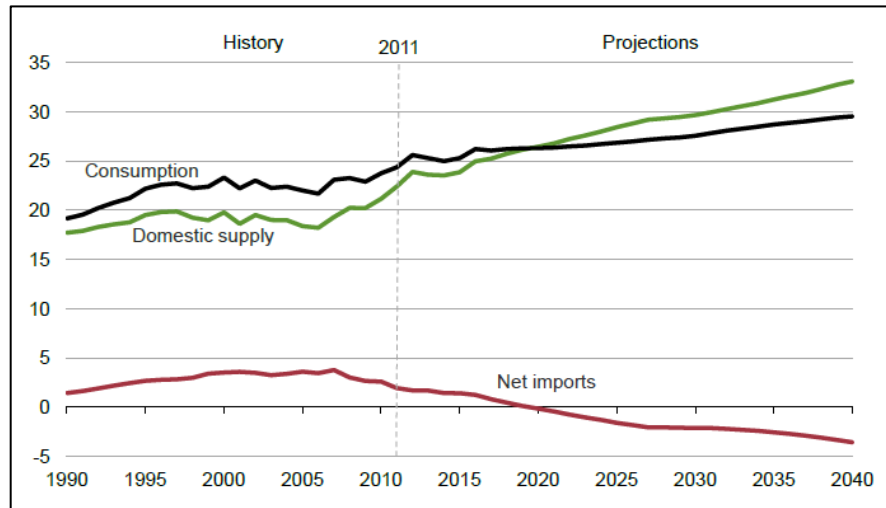


图18. 美国天然气生产与消费量（1990-2040）（单位：万亿立方英尺）

（资料来源：EIA，年度能源展望，2013年发布）

随着技术进步和规模化生产，页岩气的开采成本大幅下降。2007年至2010年3年时间里，美国 Marcellus 区块页岩气钻井与完井成本下降了大约 45%。目前，美国 2000 米深的页岩气水平井的钻井费用平均为 390 万美元，约为 2470 万元人民币。

现阶段，以中小能源企业为主的页岩气开发结构正在发生改变。主要表现在两个方面。第一，大型、上下游一体化跨国油气公司，如埃克森美孚和壳牌等，开始逐渐取代中小型独立天然气公司。持续低迷的天然气价格严重影响中小企业的企业效益，企业资金状况不好。据不完全统计，美国的 10 家能源企业中，有 4-6 家企业面临破产或者财务状况不好。所以，这些企业通过出售部分或者全部资产的方式，来获得资金，清偿债务。如美国第二大天然气生产商 Chesapeake 能源在 2012 年 2 月宣布将继续出售 100-120 亿美元的资产，降低其总资产中的债务比例。而购买这些资产的一般都是大型跨国公司。第二，日本商社和亚洲大油气公司纷纷进入美国页岩气开发领域。2010 年 2 月三井物产以 140 亿美元收购美国 Anadarko 公司的 Marcellus 页岩气区块。8 月住友商社以 1.9 亿美元收购美国 Rex 能源公司的 Marcellus 区块，同年 4 月、6 月，印度 Reliance 公司分别以 17 亿美元、13 亿美元收购美国 Atlas 资源公司的 Marcellus 区块、Pioneer Natural 资源公司 Eagle Fort 区块。

加拿大是继美国之后第二个实现页岩气商业化开采的国家，2009 年的产量已达到 72 亿立方米。目前全球已有三十多个国家展开页岩气的勘探开发工作，但是北美以外国家的页岩气开发总体上仍处于初级阶段。欧洲（除俄罗斯以外）页岩气技术可采资源量相对较低，但分布广泛，主要集中在波兰、法国、挪威、乌克兰和瑞典等国。波兰的页岩



气可采资源量为欧洲之最，预计未来 10-15 年波兰每年可提供 200 亿-300 亿立方米天然气。此外，德国、英国、西班牙等国也已开始开展页岩气研究和试探性开发，部分企业已着手商业性勘探开发。但在法国，由于担心页岩气的开采会对水资源管理带来较大负面影响，已暂时停止相关开采活动。总体来看，由于欧洲缺少大型石油服务行业，人口稠密，政治限制多，且存在更严格的环保要求，因此欧洲距离实现页岩气大规模商业开发仍为时尚远。

拉丁美洲的页岩气资源主要集中在阿根廷、墨西哥和巴西等国。目前道达尔、埃克森美孚等能源公司已经开始与阿根廷国内的石油公司合作，参与其国内矿区页岩气的开采。墨西哥的页岩气可采资源量位列世界第四，2011 年 10 月墨西哥北部与美交界处发现大规模页岩气田，预计该气田能满足墨西哥 90 多年的天然气需求。

在亚太地区，中国和澳大利亚的页岩气储量都很丰富，以及印度、印尼都已相继开始对页岩气资源展开调查与勘探。目前中国页岩气开发刚刚起步，总体处于以资源评估与勘探为主的探索和准备阶段。

#### **2.4.1.2. 世界页岩气技术水平**

美国页岩气的勘探开发技术走在世界的前列。目前，美国已经掌握了从气藏分析、数据收集和地层评价、钻井、压裂到完井和生产系统集成技术，并且积极研究产生了一批国际领先的专业服务公司，如哈里伯顿、斯伦贝谢、贝克休斯等。围绕页岩气开采，美国形成了一个技术创新特征明显的新兴产业，并已开始向全球进行技术和装备输出。

现阶段，美国页岩气开发在压裂技术、压裂液和体积改造等技术方面有大幅度的改进，对页岩气的单井产量、环境保护和低成本等方面做出巨大贡献。第一，美国水平压裂已进入具有旋转导向系统的二代技术时代。美国专业服务公司贝克休斯、斯伦贝谢和哈里伯顿等通过各种方式分别形成了其各自商业化应用的 PowerDrive SRD、AutoTrak RCLS 和 Geo-Pilot 旋转导向钻井系统。如斯伦贝谢 PowerDrive SRD，通过电子成像和声波仪器识别天然裂缝和钻井诱导裂缝，进而寻找渗透率最高的页岩区域，减少对栖息地影响，提高钻井效率和实现单井产量最大化和投资效益最大化。第二，在压裂液方面，美国采用了食物添加剂作为化学凝胶、采取低毒的阻垢剂以及使用更安全和可降解的戊二醛混合剂，这些都大大提高了压裂液的安全环保性，同时，也减少了压裂液的使用量。第三，“井工厂”的理念应用于非常规气的勘探开发，有利于增加勘探开发效益。利用最小的丛式井场使钻井开发并网覆盖区域最大化，为后期的批量化钻井作业、压裂施工奠

定基础，使地面工程及生产管理得到简化。它可以实现设备利用的最大化，泥浆重复利用，减少泥浆的交替，以及压裂工厂化流程能够在在一个丛式井平台上压裂 22 口井，极大地提高了效率。

目前，美国天然气技术研究院（GTI）正在研究精密井孔装置（Precision Wellbore Placement）技术，即通过精确定位垂直井的位置，使得地下水平井可以在这一个垂直井的基础上以伞状方式向四面八方展开。预计此技术需要 10 年左右的时间完成。同时，美国能源部正与相关行业和企业合作研究环境保护方面的新技术，其中包括地质学数据管理技术、监管方面的数据管理技术、增产技术、压裂技术、减少环境污染技术以及减少水资源浪费等技术。此外，美国能源部也资助关于页岩气开发中水管理的技术研究项目。

## **2.4.2. 中国页岩气产业现状与技术水平**

### **2.4.2.1. 我国页岩气产业发展现状**

2012 年 3 月，国土资源部发布中国陆域页岩气资源潜力评价初步成果，中国陆上页岩气地质资源潜力和可采资源潜力分别为 134.42 万亿立方米、25.08 万亿立方米（不含青藏区）。优选出页岩气有利区 180 个。评价结果表明，中国页岩气资源潜力大，分布面积广、发育层系多，开发前景广阔。据初步统计，截至 2013 年底，全国页岩气勘查开发累计投资近 150 亿元，我国累计完成页岩气钻井 285 口，其中调查井 105 口（直井）、探井 94 口（直井），评价井 86 口（水平井），压裂日产超万方的 38 口，超 10 万方的 23 口，2013 年我国页岩气产量达 2 亿立方米，2014 年有望超过 15 亿立方米。

国内石油公司和招标区块的勘探开发活动均取得较快进展，各大油气企业主要在四川盆地及周缘、鄂尔多斯、渤海湾盆地进行钻井，取得了一定开发进展。据初步统计，截至到 2014 年 3 月，我国石油公司累计投入 100 多亿元，开展二维地震 10000 公里，三维地震 1000 多平方公里，初步评价 6-10 万亿立断米的勘探靶区，石油公司在常规油气区块中选择页岩气有利区块申请增列页岩气探矿权 24 个，勘探面积 10 万多平方公里。

#### **（1）中石油页岩气勘探开发进展**

目前，中石油集团正在积极调整企业能源业务结构，已逐步将页岩气勘探开发提升为非常规油气开发业务的主要组成部分，并通过应用水平井体积压裂技术和工具，持续推动四川威远-长宁和云南昭通两个国家级页岩气示范区建设。据初步统计，截至 2013 年底，中石油共完成地质浅井 14 口，探井 28 口，其中：直井 21 口，水平井 7 口；中石油还优选了 4 个海相有利目标区域，主要是四川威远、长宁、富顺-永川，及云南昭通地区。

依托在四川长宁-威远和云南昭通这两个国家级页岩气示范区，以及富顺-永川国际合作区开展的页岩气勘探开发活动，中石油也已经取得较大进展。

#### ◆ 长宁-威远国家级页岩气示范区进展

据初步统计，截至 2013 年底，四川长宁-威远国家级页岩气示范区完钻 16 口井，完成压裂试气 12 口井，直井日产量 0.2-3.3 万方，水平井日产量 1-16 万方，其中宁 201-H1 井日产 15 万方。目前，长宁-威远国家级页岩气示范区已经进入第三步阶段，并提出“2015 年产气 20 亿立方米”的目标。

2013 年以来，中石油在长宁-威远地区的页岩气规模开发速度加快，其中威 204H 井压裂施工采用自主研发的复合桥塞分段压裂工艺技术，分 11 段改造后获得初期产量 16 万立方米/日，为该技术的规模化应用奠定了基础。同时，据中石油公司 2013 年年报数据，2013 年 6 月中石油正式启动长宁页岩气试采干线建设工程，管道全长 93.7 千米，设计输量 450 万立方米/日，以宁 201-H1 井集气站为起点，止于双河集输末站，与四川纳溪-云南安边输气管线相连，计划 2014 年投入运营，实现威远-长宁地区页岩气的外输。

#### ◆ 云南昭通国家级页岩气示范区进展

据初步统计，截止 2013 年底，中石油在云南昭通国家级页岩气示范区共完钻 7 口井，完成压裂试气 2 口井，直井日产 0.25 万立方米，水平井日产 1.5 万-3.6 万立方米。

#### ◆ 富顺-永川国际合作区

中石油与壳牌合作开发的富顺-永川页岩气国际合作项目位于四川盆地，合作区块面积 3503 平方千米，由壳牌担任作业者。2010 年 12 月，该区块开钻第一口井。据中石油 2013 年年报数据，2013 年中石油在富顺-永川国际合作区的页岩气勘探评价工作完钻 12 口井，4 口井试采，生产页岩气近 4200 万立方米。

完钻直井 3 口井，水平井 3 口。其中，阳 101 直井产气 6 万方/日，来 101 直井 10 万方/日，坛 101H 水平井 4 万方/日，阳 201-H2 井日产量达 43 万方。

此外，除了在上述国家级页岩气示范区与国际合作区开展页岩气勘探开发活动以外，2013 年中石油还分别与康菲公司、埃尼公司签订协议，联合进行四川内江—重庆大足区块、四川荣昌北区块页岩气开发。

### (2) 中石化页岩气勘探开发进展

中石化是最早响应国家号召，实施页岩油气勘探开发的央企之一。2009 年，集团公司油田勘探开发事业部成立非常规勘探处，组织上游企业实施页岩油气勘探，从投资等方面对页岩油气研究和勘探开发实行倾斜政策，并开始与埃克森·美孚、康菲等全球实力雄

厚的页岩气开采公司开展深度合作。2010年，中国石化勘探南方分公司成立了页岩气勘探项目管理部和页岩气勘探研究室，此后相继制定和落实了“海陆并举”的页岩气勘探思路。到2012年底，中石化勘探南方分公司在焦石坝地区实施的第一口页岩气井—焦页1HF井钻获高产页岩气，开启了我国页岩气开发的新纪元，这也标志着中石化乃至我国整个页岩气开发取得了历史性突破，从此进入高速发展阶段。2013年6月，中石化首轮三维地震野外采集完成，3口评价井和12口完钻开发井均钻获高产页岩气；到9月份，国家能源局正式批准涪陵页岩气田为国家级页岩气产能建设示范区。

自焦页1HF井获得突破后，中石化勘探南方分公司迅速在焦页1HF井以南甩开部署了焦页2HF井、焦页3HF井和焦页4HF井3口评价井，评价不同水平井段长和埋藏深度页岩气产能，整体控制焦石坝构造主体。2013年7月2日，焦页1-3HF井投产，测试产量20多万方/日；9月29日，焦页6-2HF井投产，测试产量达35万方/日；10月9日，焦页8-2HF井投产，测试产量再创新高，达55万方/日。到今年6月份，焦石坝气田已实现页岩气商业性开发，日产气300多万方，建成产能11亿方/年。2014年，为扩大焦石坝气田范围，勘探南方分公司在焦石坝南部构造复杂区针对不同的构造样式部署了焦页5井、焦页6井、焦页7井和焦页8井四口探井，评价不同构造页岩气保存条件及含气性，初步预计4口井将进一步扩大焦石坝气田面积及资源量。

中石化“井工厂”的水平井组开发模式在涪陵区块焦石坝页岩气开发中得到成功应用。目前，中石油涪陵页岩气产能建设示范项目正在稳步推进中。据初步统计，截至2013年底，焦页1HF井累计产气量约2678万方，目前井口压力18.4MPa，生产稳定。同时，中石化在涪陵地区的钻井工程稳步推进，目前中石化已有11个平台，12部钻机、2套压裂车组正在涪陵地区施工，部署完成钻井平台建设10个（水平井24口），压裂15口和投入试采15口，测试产量在13.4~54.7万立方米/日之间，无阻流量在15~156万立方米/日之间，日产量已达200万立方米，已形成了6~7亿立方米/年的产能，截止2013年底，累计产气量14849万立方米。据初步统计，截至今年5月17日，中石化在涪陵页岩气田280平方公里一期产建区，已开钻页岩气井82口，完钻47口，投产27口，平均单井日产气11万方以上。今年内，该区域将规划投产100口井左右。

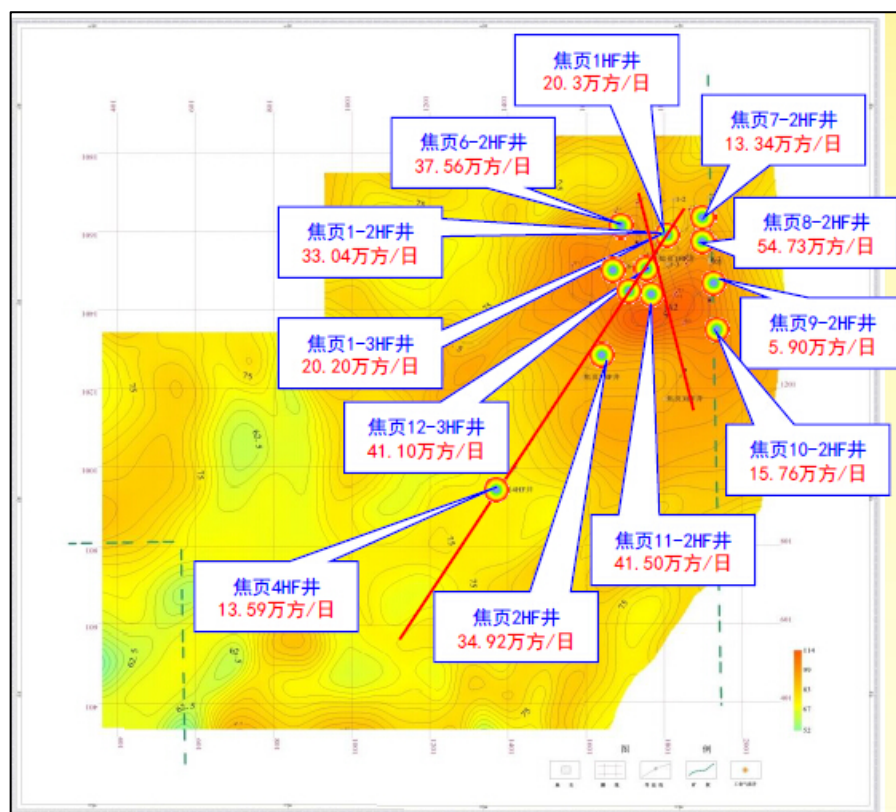


图19. 中石化焦石坝地区五峰组-龙马溪组一段气藏（矿权范围内）日产量

（资料来源：包书景，中国页岩气发展的机遇与挑战，2014年3月。）

### （3） 延长石油鄂尔多斯陆相取得重要进展：

据初步统计，截止2013年底，延长石油在鄂尔多斯陆相三叠系和上古生界，完钻页岩气井39口（直井32/丛式直井3/水平井4）。完成压裂34口（直井28口/丛式直井3口/水平井3口，均获页岩气流）。柳坪177井日产量达2350方、新57井日产量达2413方。初步落实页岩气探明面积130平方公里，落实地质储量290亿立方米，发现了第一个陆相页岩气田。

### （4） 招标区块页岩气勘探开发进展

2011年以来，国土资源部组织两轮页岩气探矿权招标，共出让21个区块，面积23741.64平方公里，除中国石化外，还有17家企业中标。其中，第二轮页岩气区块招标（共计24个区块），中标19个各区块：贵州（5个）、湖南（5个）、重庆（3个）、湖北（2个）、河南（2个）、江西（1个）、浙江（1个），合计面积：19504.81平方公里，中标企业为中国华电、中国神华等16家企业。据初步统计，截至2013年底，页岩气中标区块共完成大地电磁299.4公里，航遥测量1002.09平方公里，二维地震6167.58公里，

1421.8 公里待完成采集处理，地质调查井 10 口，总进尺 11427.51 米，探井 3 口，总进尺 6000 米。

同时，第二轮页岩气中标区块计划投入的工作量包括：野外地质路线调查 10848.5km、野外地质剖面实测 476.5km、二维地震部署 8808.8km、微地震检测 486 层次、三维地震部署 2468.5km<sup>2</sup>、钻井直井部署 216 口、水平井 35 口、分析测试分析 102274 项次，计划总投入 127 亿元左右，其中 2013 年计划投入约 30 亿。据初步统计，截至到 2013 年 9 月份，初步统计完成的工作量有野外地质路线调查 5069km，完成工作量的 46%、野外剖面实测 280.9km，完成工作量的 58.9%、二维地震采集处理 1258.1km，完成工作量的 14.2%、钻井 5 口，完成工作量的 2.3%、分析测试 6750 项次，完成工作量的 6.6%。从对第二轮页岩气中标企业的工作情况进展来看，页岩气招标区块的整体工作进展缓慢。

表3. 第二轮页岩气中标区块工作量统计表

项目	合计
野外地质调查（千米）	10848.5
2013 年完成（千米）	5069
野外剖面调查（千米）	476.5
2013 年完成（千米）	280.9
二维地震部署（千米）	8808.8
2013 年完成（千米）	1258.1
微地震检测（千米）	486
三维地震部署（平方公里）	2468.5
钻井直井部署（口）	216
2013 年完成（口）	5
水平井部署（口）	35
分析测试（次）	102274
2013 年完成（次）	6750
2013 年计划投入（万元）	299147.8
总计划投入（万元）	1277974

（资料来源：包书景，中国页岩气发展的机遇与挑战，2014 年 3 月。）

#### 2.4.2.2. 中国页岩气技术水平

##### （1）我国在页岩气开采技术及装备方面已经具备一定的基础

改革开放以来，我国油气装备制造业取得了快速发展，油气钻采装备不但满足了本国油气勘探开发的需要，而且还大量出口到美国、欧洲及中亚国家。页岩气与常规油气开采所采用的装备与技术原理相近。页岩气规模化开发取决于水平钻井和水力压裂技术突破，目前这两种关键技术在我常规油气开发中均已广泛应用。中石化重庆涪陵页岩气

田进入商业开发的事实证明，通过技术借鉴和经验积累，现有油气开发技术能力和经验完全可以应用到页岩气开发。国外著名油服公司都已进入中国市场并参与页岩气开发，他们均愿提供关键环节的国际先进技术支持，如导向钻探、随钻测井、数据分析等。他们在华承担的开采业务也主要由国内油服企业分包实施。此外，我们通过引进人才和鼓励海外华裔专家归国创业，也掌握不少配套技术，如压裂液配制等。

我国页岩气开采核心装备，如成套钻机、压裂车组、井下工具，以及配套工程服务都具有很强的能力，且国内多家制造企业的油气装备甚至远销海外用于常规和非常规油气的钻探开采，部分企业装备在国内首批页岩气试验井中亦得到成功应用。国内在页岩气市场具有竞争力的油气设备制造企业有江汉四机厂、四川宏华石油设备公司、烟台杰瑞、宝鸡石油机械厂等，其中一些企业的部分设备及压裂车组已经成功应用到国内页岩气试验井与北美页岩气开发中。例如，四川宏华石油设备有限公司的钻机设备已批量出口美国用于页岩气开发，江汉油田四机厂的车载式全液压顶驱 SJ5460T/ZJ10 钻机已成功应用到中石油在四川页岩气试验勘探井中。足以见得我国页岩气装备已经行销全球，并在国内页岩气开发中做出了贡献。

## **(2) 国内拥有一批有资质及经验的油田技术服务企业**

目前，我国常规油气资源矿业权基本上为国有石油公司所有，中国页岩气资源条件较好的区块也大都与几大国有石油公司已登记的常规油气区块重叠，因此，现阶段国有石油公司是页岩气勘探开发的主力。这些拥有多年勘探开发资质的企业如中石油、中石化、中海油、延长石油等，既具备强大的经济实力，同时在技术研发、设备制造、技术服务等多环节积累了相当丰富的运营与管理经验，具备通过国外技术转让、技术合作等方式迅速实现页岩气勘探开发突破的实力和基础。事实上，目前取得进展的勘探试验井也多为几大国有公司所投入或主导。

例如，在开发试验与工程技术方面，中石化已经形成了优快钻井技术系列，积极探索实施了井工厂化作业模式，水平井分段压裂技术逐渐配套，设备、技术能力能够满足页岩气开发要求，目前试验井最大水平段长 2100 米，最大压裂段数 26 段。同时，中石化还在装备和配套工具的国产化方面，于 2013 年 3 月成功研制出 3000 型压裂车，代表了世界压裂装备技术的最高水平，目前已有 4 台投入现场应用。此外，中石化研发的裸眼封隔器、桥塞等井下压裂工具也达到国际先进水平，实现工业化批量生产并出口北美市场，使国际同类设备价格降低了 50%以上。

## **(3) 部分成套技术尚不成熟，核心技术引进尚需“本地化”**

我国在页岩气勘探开发技术装备方面虽具有一定基础，但尚未形成页岩气开发的系统性配套技术。尤其是针对不同地质条件且有良好经济效益的页岩气区块开发的水平井钻井、完井、测试、分段压裂改造，以及压裂液配方等关键技术还需进一步攻关和完善。

我国在传统油气领域勘探开发的现有技术水平虽可作为页岩气开发的借鉴，但尚难以完全满足国内页岩气勘探开发的要求，如系统的勘探开发参数测试的实验技术和仪器装备尚不完备；部分核心技术亟需进行重大科技攻关和试验或通过国际合作和自主创新实现突破；我国在旋转导向技术，随钻测井技术，压裂隔离部件等井下技术工艺及设备方面尚存在薄弱环节或缺失，亟需不断提升与完善；特别是页岩气勘探开采过程中涉及到的模拟软件、分析软件、监测工具等软科学类技术还需研发和配套。

同时，由于我国缺乏对页岩气资源勘查、评价、开发及生产等一系列作业活动的深入分析和研究，对如何将现有传统油气领域的水平井及压裂技术有针对性地应用于不同页岩气区块的经验尚不足，也需尽快组织开展大量的研究、测试以及实践工作，才可以为“页岩气”所用。

此外，由于我国与美国地质情况不同，我国的地质情况是海相、湖相、以及海陆交互均有大量页岩气赋存，且页岩气普遍埋藏较深，地质条件复杂，后期破坏严重，开发难度较大，所以美国页岩气开发的成功技术并不能完全照搬到国内，引进技术也将不可避免地存在美国成功技术在国内地质条件下的“本土化”适应问题，需要在勘探开发实践中探索、总结。



表4. 页岩气勘探开发主要环节关键技术与设备厂商一览

环节	关键技术	关键技术介绍	关键设备厂商
勘探	微地震监测技术	微地震监测技术在油气藏勘探开发方面的主要应用包括储层压裂监测、油藏动态监测等，可缩短和降低储层监测的周期与费用	我国尚待从设备和工艺两方面大力推进
钻井测井	水平钻井	通过该技术，可以获得更大储集层段面积，提高单井产量	钻机及PDC钻头：宝鸡石油机械、宏华集团、南阳石油机械； 顶部驱动钻井系统：北京石油机械厂、辽宁天意实业公司、天津瑞灵石油设备公司
	随钻测井	在油气田勘探、开发过程中，钻井之后必须进行测井，以便了解地层的特性和含油气情况	
	地质导向系统	该技术是用近钻头地质、工程参数测量和随钻控制手段来保证实际井眼穿过储层并取得最佳位置	
井下作业	水力压裂	该技术的作用是改善储层本身渗透率，提高流体的渗滤通道，加快油气的开采速度，提高单井采收率	压裂车组：江汉油田四机厂、烟台杰瑞石油服务公司、大港油田集团中成机械制造； 井下工具：川庆钻探、渤海钻探工程、西部钻探工程有限公司
	压裂液等化学剂配方	水力压裂的关键在于压裂液需针对地层和流体特点加入一些特殊的添加剂和支撑物并形成有特色的工艺体系，以降低储层损害，改善页岩气层本身超低的渗透率，提高导流性	
采气			气动机：济南柴油机股份有限公司、胜动集团； 抽油机（可抽气）：渤海装备、玉门油田机械厂、大庆装备制造集团、胜利油田、孚瑞特石油装备公司

(资料来源：中国能源网研究中心根据专家访谈资料整理)

### 3. 美国新兴能源产业技术创新支撑体系研究

#### 3.1. 美国新兴能源产业技术创新支撑体系框架

技术是新兴能源产业发展的引擎，有效的促进科技进步是推动新兴能源产业发展的根本。从美国新兴能源技术发展的实践来看，一个能够支持长期技术创新的研发体系和多渠道的商业化机制是推动新兴能源产业发展不可或缺的条件。与我国拥有非常强大的由政府计划推广的扶持科技创新的战略相比较，美国由市场逐渐形成的清洁能源技术创新体系总体上缺乏一项由联邦政府能源政策或一项联邦政府级别的清洁能源创新战略。然而，由美国能源部主要主导的对各类能源项目进行的“缝补工作”已经培育了一个为传统的衡量方法所认为的强有力的能源产业技术创新及支持体系。目前，美国已经形成相对比较完善的新兴能源产业技术创新链条及支撑服务体系，即技术在不同发展阶段就拥有多元化的技术供给主体，且处在技术生命周期中的不同技术供给主体也得到了多种投资的资金支持，并有政府灵活的产业政策给予配套扶持。总的来讲，美国新兴能源产业技术创新支撑体系的基本框架可归纳总结为：在产业不同发展阶段，不同的市场创新主体与金融投资主体所发挥的作用各有侧重，且这些市场化的行为在政府相关产业政策及监管的引导下形成良好的衔接，建立起一套有序的技术创新“接力棒”链条，促使技术从源头创新到实验试验，再到示范及初期应用，再到规模化市场应用，已经形成了一条有序衔接起来的技术创新支撑体系模型/框架。

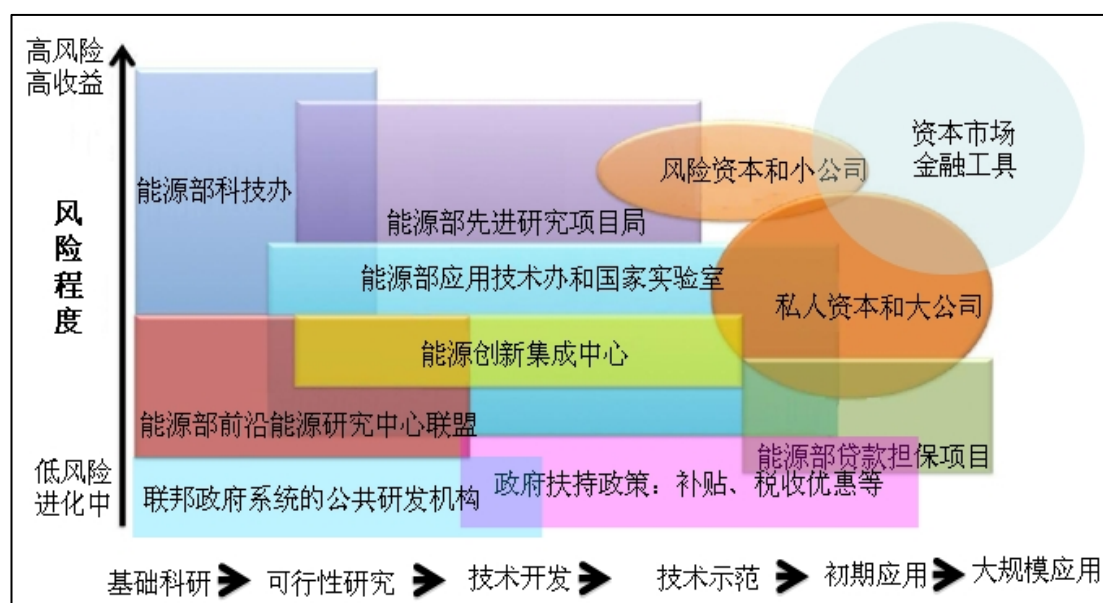


图20. 美国新兴能源产业技术创新支撑体系框架

## 3.2. 新兴能源创新技术供给

### 3.2.1. 美国新兴能源技术创新领导力

科技进步是美国经济增长的主推手。20 世纪以来，美国一直是创新能力最强的国家，无论是历史同期还是现在，美国的科技贡献率在全球都首屈一指。2008 年美国 GDP 为 14.33 万亿美元，居世界首位，远超位居第二的日本，即便发生了金融危机，2009 年 GDP 仍达到 14.27 万亿美元，继续保持世界第一。美国以不到世界 5% 的人口（4.53%），创造了全世界 24% 的财富（按 GDP 占全球总量计算）和 40% 的高科技产品。美国里奇蒙德储备银行（Richmond FED）主席莱克（Jeffrey Lacker）说：“近年来，推动美国薪资和就业趋势的幕后因素是科技进步，而非贸易。”1929 年至 1941 年，美国科技进步对经济增长的贡献率达到 33.8%；到上世纪 80 年代，美国的科技贡献率高达 80%。<sup>12</sup>

据兰德公司 2008 年报告，美国在科技研发方面的支出占全球总量的 40%，工业化国家所有专利发明的 38%。在世界经济论坛（World Economic Forum, WEF）发布的《全球竞争力报告 2009—2010》中，美国保持着国际竞争力的领导者地位。从“科技创新与成熟度”因素的排名来看，美国居全球第一位，其中“创新”的因素名列第一，是全球创新能力最强的国家。而美国之所以能成为当今世界首屈一指的科技强国，其强大科技实力的背后隐藏着一个完善的科技创新体系。

总的来讲，美国的科技创新体系可以划分为四大系统：**联邦政府系统、企业系统、高等院校系统和其他非营利系统。**

### 3.2.2. 联邦政府系统的公共研发机构和国家实验室

#### 3.2.2.1. 强大的公共研发机构是美国形成技术创新能力，并实现技术领先的重要源泉

在美国能源产业技术研发体系中，公共研发机构发挥了不可获取的作用。公共研发机构为美国工业创新提供了基础知识，公用的基础知识为能源产业技术的创新与突破提供了多样性的空间。

当然，必须强调的是，美国的公共研发机构向来都是以强调长期的、巨大经济利益为目标的技术进步，并不具备判断市场竞争中技术的经济可行性、辨识市场需求细节的能力。公共研发部门既是长期创新发展的重要条件，也是创新兴经济发展的结果。它的

---

<sup>12</sup> 美国在新能源技术创新能力上的来源，<http://zixun.dljz.net/hangye-xinwen/45448>

职能既体现为把先行出现工业成就以理论化（如历史上的内燃机、航空器），也包括通过提供基础知识以催生新的工业产品（如生物制药、化工等工业）；它既为工业界提供基础知识，也从工业界吸收新知识、掌握新动向，从而扮演了社会整体的知识“存取中枢”的作用。正因为这个“存取中枢”是对公众开放的，公共部门的技术进步也会激励私人企业增加研发投入以追赶或保持技术优势，否则它可能就会落后于其他充分利用了公用知识并成功守住前沿技术的企业。

以风电和光伏等新能源产业为例，美国作为全球新能源技术的源头创新者，其优势是创新与投资活跃，劣势是制造成本高。这种条件决定了发展的速度可能比部分发展中国家（如中国）稍慢，但后劲足。不同的发展道路，决定了美国和中国在新能源产业链上的不同定位。美国靠技术创新占据产业链高端，获取的是高附加值的经济利益，而我们国家靠制造优势占据的是新能源产业链的中低端，以高投入和高消耗获取经济利益的小头。美国新能源技术创新的源头恰恰来自于其多年形成的、并由政府坚定支持的能源公共研发体系。例如：美国能源部一项重要使命就是支持能源包括新能源的技术创新。美国能源部对技术研发的支持是从基础科学开始，同时覆盖技术可行性研究、技术开发、技术示范、小规模工程、大规模工程这个从头到尾的创新链。而在支持环节中，尤其是以支持基础研究为主。

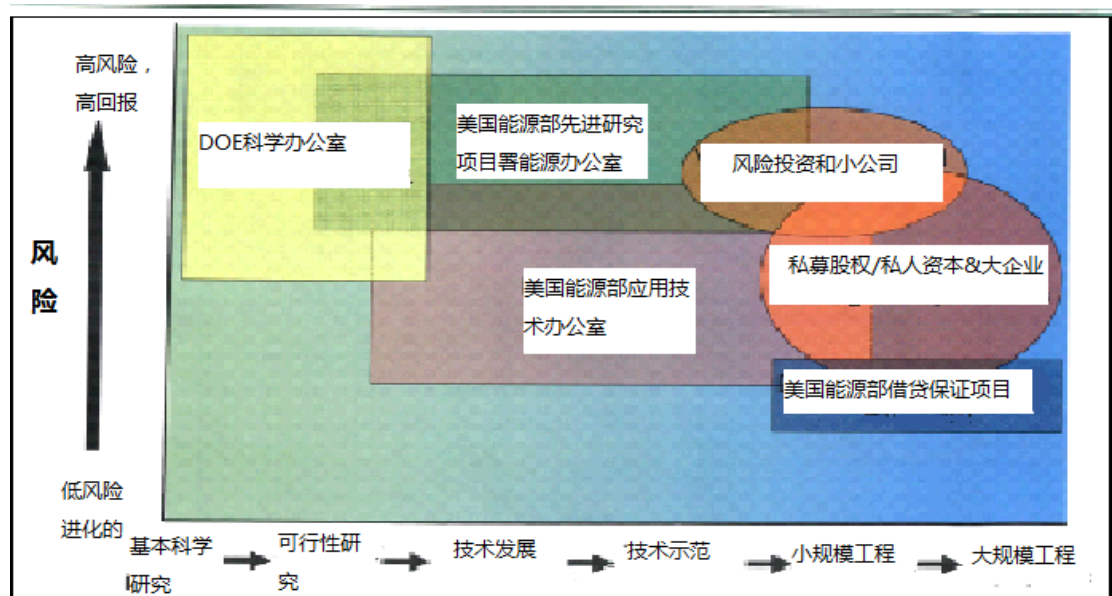


图21. 美国能源部对能源技术的支持体系

(资料来源：Advisor for International Programs, Corey Cohn, DOE Office of Science)

### 3.2.2.2. 国家实验室是美国在能源技术领域领先全球的根本力量

在美国联邦政府系统内，国家实验室是主要的科技骨干力量。目前，全美大约有 800 个国家实验室，年度经费约占政府 R&D 总经费的 1/3。美国能源领域的基础研究，以及源头性技术的研究和转让主要是由国家实验室承担的。美国能源部下属有多个国家实验室长期进行有关能源基础领域的研究和应用研究，主要实验室包括国家可再生能源实验室，劳伦斯伯克利国家实验室，桑迪亚国家实验室、新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯国家实验室、田纳西州的橡树岭国家实验室、佛罗里达州的肯尼迪航天中心，以及阿贡国家实验室等等。下表是与能源领域研关的一些国家实验室，多数隶属于国家能源部，这支力量是美国在能源领域主导全球的根本力量。

表5. 部分设在美国研究型大学中的国家实验室概况

实验室名称	成立时间	成立原因	人数	每年经费	隶属部门	所在大学	目前研究方向
直线加速器中心	1962年	高能物理研究	1,314 (00)	1.5亿美元 (00)	能源部	斯坦福大学	高能物理、粒子物理
软件工程研究所	1984年	国家软件工程研究	323 (01)	0.5亿美元 (01)	国防部	卡内基梅隆大学	软件工程
等离子体物理实验室	1951年	核聚变能科学研究	484 (02)	0.75亿美元 (02)	能源部	普林斯顿大学	等离子体物理和聚变科学研究
喷气推进实验室	1944年	导弹推进技术研究	5,175 (01)	13亿美元 (01)	航空航天局	加州理工学院	星际探索、地球科学、天体物理、通讯工程等
劳伦斯伯克利实验室	1931年	回旋加速器研究	2,941 (02)	4.7亿美元 (02)	能源部	伯克利加州大学	高级材料、生命科学、能源效率以及加速器的研究
洛斯阿拉莫斯实验室	1943年	核武器研究	10,800 (02)	22亿美元 (02)	能源部	加州大学	数学和计算机科学、生物学、地球科学
阿贡国家实验室	1946年	核武器研究	3,526 (00)	4.7亿美元 (00)	能源部	芝加哥大学	医学、生物学、物理学、反应堆分析、应用数学和在核能量中的工程研究与发展
劳伦斯利弗莫实验室	1952年	核武器研究	6,347 (00)	13.7亿美元 (01)	能源部	加州大学	生命科学与健康保护、能源与环境、国家安全
林肯实验室	1951年	雷达等	2245 (1995)	3.44亿美元 (1995)	国防部	麻省理工学院	国防、通讯、民航交通管理

(资料来源：赵文华、黄纓、刘念才，《美国在研究型大学中建立国家实验室的启示》，清华大学教育研究，2004。)

### 3.2.2.3. 公共研发机构的资金来源

美国公共研发机构主要依靠政府投资,其官员可以是理事会成员,但研发机构是独立运作的法人。

20 世纪 80 年代,美国国会通过《国家合作研究法》,对反垄断法进行了修改,鼓励联合研究。同时,政府还建立了有利于联邦实验室和企业之间合作的机制。《史蒂文森—怀得勒技术创新法》、《联邦技术转移法》、《国防部 1990 年财政授权法案》为联邦研究机构向私营部门转移技术提供了法律依据,同时也对联邦实验室人员积极进行技术转移予以激励。转移是双向的,通过与产业界的联合,联邦机构的科研人员也获得了许多有用的信息和技术。

许多公共研究机构在大学设有自己的分支机构。美国很多一流的研究型大学都为政府代管国家实验室,这些设在大学里的国家实验室作为原始性创新基地,在国家基础研究、技术开发和科技攻关中承担着重要使命。

### 3.2.3. 高等院校系统

高等院校系统(大学)是美国从事基础研究的主要基地。在全美 3000 多所高等院校中,拥有研究生院的综合大学有 300 多所,其中麻省理工学院、斯坦福大学、哈佛大学、普林斯顿大学、康奈尔大学、加州大学伯克利分校、加州理工学院等研究型大学更是科学研究的佼佼者。

由于美国高等教育和研究的经费来源分散,各大学为争取教员、学生和研究基金充满了竞争,同时也形成大学与企业紧密联系的传统。值得一提的是,在美国,高等院校系统与公共研发机构还有一个重要职能是为能源产业技术创新提供大量有技术素养的人才,并促进公用的基础知识的扩散。从这个角度来说,没有高水平的公共研发机构就没有高水平的能源产业技术创新人才队伍。因此,强健的公共研发机构是以市场为主导的创新兴能源产业寻求技术进步与突破的重要基石。

以储能产业为例,美国的高端院校及其实验室在推动储能技术的材料突破,设计优化,瓶颈突破方面发挥着巨大的推动作用。如 ARPA-e 资助的铁-空气技术在南加州大学取得巨大进展,使得电池能量损失从 50%降低到 4%,电池成本有望降低到 100 美元/kWh,电池目标循环寿命有望达到 5000 次。纽约城市大学能源研究所开发出一种安全无毒可靠并快速充放电的高能量密度的新型镍锌液流电池,并在该校教学楼中安装了 36

个 1KWh 的这样的电池，用于电价管理。为了推动其商业化，还计划设立公司将该产品推向市场。

表6. 美国部分院校/研究机构进行的储能技术创新

大学/研究机构	研究突破/相关举措	意义/资金支持来源
西弗吉尼亚大学	成立电化学储能技术与应用研究中心，开发低成本、低温的钠玻璃复合电解质，用于公用事业规模的电池存储	研究中心的建立获得了 130 万美元的资金支持
美国克莱姆森大学	研究碳纳米材料在储能中的应用，利用碳纳米材料的分子链来提高储能容量	获得国家科学基金 1200 万美元的资金支持
美国加州大学	设计新算法，降低锂离子电池的体积与成本	美国能源部将提供 4 百万美金的奖励支持这项工程
纽约城市大学能源研究所	开发出一种安全无毒可靠并快速充放电的高能量密度的新型镍锌液流电池	能够为学校节省大量电费

(资料来源：中国能源网研究中心根据相关资料整理。)

### 3.2.4. 专门的能源联合研究中心

除了国家实验室、高等院校及企业之外，美国能源部还针对不同的能源领域，联合多家实验室、大学以及企业等成立具有针对性的专门的能源研究联合中心。例如，美国能源部就曾投资 1.2 亿美元在芝加哥建立了一个储能研究联合中心，专门从事高级蓄能电池的研发。

该储能研究联合中心是以美国阿贡国家实验室为领导的专门研究组，主要使电动汽车价格更为消费者所接受，该中心包括：5 家大的国家级实验室、5 所知名大学，以及 4 家知名私人企业。该中心计划用 5 年时间，研发出容量是现在 5 倍的新型电池，同时成本降到现在的 1/5。

表7. 美国储能研究联合中心科研队伍组成

美国储能研究联合中心——科研队伍组成	5 大国家实验室	5 所大学	4 家私人企业
	阿贡国家实验室	美国西北大学	陶氏化学公司
	劳伦斯伯克利国家实验室	芝加哥大学	应用材料公司
	西北太平洋国家实验室	芝加哥伊利诺大学	江森自控
	桑迪亚国家实验室	伊利诺大学-香槟分校	清洁能源信托公司
	史丹福大学直线加速国家实验室	密歇根大学	

(来源：中国储能专业委员会)

### 3.2.5. 企业系统

企业的科技工作在全美占有举足轻重的地位。大约 3/4 的 R&D 工作是企业部门完成的，3/4 的科研人员分布在企业科研单位，这里还吸纳了全国 60% 以上的 R&D 总经费。

#### 3.2.5.1. 大型企业

在美国企业研发工作中，大型企业在美国能源技术创新中发挥着重要作用。例如，美国贝尔实验室、贝克休斯、斯伦贝谢及哈里伯顿等油气田技术服务公司均在全球拥有多个技术研发中心及实验中心，这些大型企业的研发及实验中心均对美国的技术进步与技术创新起到过巨大的引导作用。在美国大型企业技术创新最鼎盛的 20 世纪 50-90 年代，这些大型企业研发中心所开展的基础研究占到美国整体基础研究比例的 20% 以上。

在能源领域，美国的大型能源企业基本上都具有有很强的全球竞争力，在本国以及全球产业链中位居技术集成和产业领导地位，而且大型企业很容易凭借资金实力及市场优势整合本土中小企业的技术创新成果，推进产业技术的升级换代与规模化商业应用。

例如，在美国页岩气领域，大公司的介入及参与在很大程度上推动页岩气勘探开发的关键核心技术投向规模化应用。据调研，在美国页岩气开发早期，大型油气公司并没有重视对页岩气的开发，而更多的是将注意力集中在墨西哥湾的深水油气开发，也低估了页岩气的潜力。当然，那时大型油气公司也没有精力与诸多土地持有者进行旷日持久的矿业权获取谈判，几乎没有早期介入页岩气的开发。然而，随着墨西哥湾深水油气产量的下滑，大型油气公司难以找到比较大的储量增长点来保证储量接替率，因此大型油气公司凭借其在产业长期性和投资能力上的优势纷纷转向日益成熟的页岩气开发市场。正是由于一些大型油气公司在美国页岩气产业发展稍显成熟之时便果断并购大量拥有关键核心技术及页岩气区块的中小型能源公司，才使得一些重大的页岩气勘探开发技术得



以广泛应用及提升。可见，新兴能源技术也往往出现在市场主体经历了几轮投资或并购重组之后得以持续优化，并最终实现大规模商业化应用。

### 3.2.5.2. 中小企业

20 世纪 70 年代以来，美国中小企业的科技开发作用也显著增加，特别是在科技工业园发展中，中小企业及其技术创新活动起了决定性作用。目前，美国 70% 以上的创新成果来自于中小企业。例如，在近年来美国最为引以自豪的页岩气革命中，引领页岩气勘探开发技术突破的正是中小企业，如 Michell 能源公司和 Devon 能源公司等。

#### **专栏：美国页岩气革命中不同规模的能源企业促进技术创新的合作与有序接替**

美国充分鼓励页岩气勘探开发领域的竞争，注重发挥中小企业的作用，在页岩气产业发展上形成了中小企业与大企业有机接替、专业化分工与协作有机结合、产业链各环节资本高效流动的开发机制。

#### **(1) 中小公司推动页岩气技术创新及商业化**

页岩气在开发初期经济性和成长性不明朗，而技术驱动性强。大公司不愿介入，然而中小公司创新意识强、敢于承担风险，在发现新机会和技术革新行动上更为快捷。目前，美国 85% 的页岩气由中小公司生产，多数区块被中小能源公司和各类基金控制，这些中小能源公司依靠传统的油田服务公司（如哈里伯顿、斯伦贝谢等）提供服务和技术支持。这些中小公司主要包括：Devon Energy、XTO Energy、Chesapeake、EOG Resources、Encana Oil & Gas (USA)、Burlington Resources 等。政府对非常规能源在税收方面的减免，加上油价的上升，使得页岩气开发利润增大，促使中小型独立油气开发商在低回报、高成本的压力下，勇于投资页岩气开发，迅速实现技术革新，扩大产业收益。

美国主要页岩气开采技术都源自中小能源和技术公司，一项技术从研发到商业化甚至经历了数个公司间的更替。例如 Michell 能源公司从 1981 年就开始研究页岩气开采技术，并在德克萨斯州北部 Fort Worth 盆地 Barnett 页岩地区完钻了第一口取心评价井，进行了氮气泡沫压裂改造；1986 年该公司完成了下 Barnett 组的地层剖面的数据提取，并对其孔隙度、渗透率、有机质含量和裂缝方向进行了详细的研究；90 年代末，Michell 能源公司开始实施其它新的增产试验等，如此十几年坚持不懈，但待到快成功时该公司因实力不济，于 1998 年被 Devon 能源公司收购；Devon 能源公司在 2002 年 7 月页岩气试验水平井取得巨大成功，此后，业界开始大力推广水平钻井，从此水平井技术在页岩气开采中实现了商业化，推动了美国页岩气产业的突破性发展。

## **(2) 大公司的介入及参与推动页岩气向规模化发展**

实际上在页岩气开发早期，大型油气公司并没有重视对页岩气的开发，而更多的是将注意力集中在墨西哥湾的深水油气开发，也低估了页岩气的潜力。当然，那时大型油气公司也没有精力与诸多土地持有者进行旷日持久的矿业权获取谈判，几乎没有早期介入页岩气的开发。然而，随着墨西哥湾深水油气产量的下滑，大型油气公司难以找到比较大的储量增长点来保证储量接替率，因此大型油气公司凭借其在产业长期性和投资能力上的优势纷纷转向日益成熟的页岩气开发市场。

近几年来，以美国为主的页岩气资产交易非常活跃，一些大型油气公司开始通过并购拥有页岩区块或开采技术或开发经验的中小公司，或与中小公司合资合作等方式介入页岩气开发。据《环球》统计，2009年1月至2010年4月，美国页岩气产业资产的收购兼并交易达到73.33亿美元，这还不包括埃克森美孚公司于2009年12月以410亿美元全面收购XTO能源公司的常规天然气和非常规天然气资源的交易。

在美国，中小能源公司实现页岩气开发的技术突破与商业化应用后，大型油气公司凭借产业长期性和财政稳定性介入页岩气产业发展给予了更多的支持和保证，使得美国页岩气市场得以迅速规模化以及商业化发展。美国页岩气产业快速而有序发展起来，正是得益于这种专业化、市场化的资本交接。

## **(3) 在页岩气开发产业链的各个环节引进各类专业化的技术服务公司**

美国页岩气开发在各个环节引进专业的服务公司进行作业，如专门的地震公司、钻井公司、软件公司等，是非常普遍的做法。专业公司在完成本环节相应服务后即可退出，下一环节的工作由另一专业服务公司接替。通过分工协作，可提高效率，缩短生产周期，分散开发风险，减少单一主体投资支出，并且专业公司也能在短时间内积累大量开发经验，有利于技术再创新。

### **3.2.6. 非盈利系统的能源专门技术研发机构**

目前，美国在新能源技术研究方面还形成了一套专门的技术研发机构，包括能源前沿研究中心（ENERGY FRONTIER RESEARCH CENTERS），能源创新中心（ENERGY INNOVATION HUBS），高级研究计划局-能源（ARPA-E），制造能源系统合作（Manufacturing Energy System Partnerships），通过多学科、多研究阶段的综合与衔接为

新能源技术提供最坚实的基础支持。

(1) 能源前沿研究中心：利用能源前沿研究中心这个平台，将部门、院校与机构的研究人员组成研究小组，将阻碍技术突破的关键壁垒进行突破。

(2) 能源创新中心：该中心主要关注新技术问题的研究与发展，将以探索为主的科学研究与转化工程研究同步综合，以便于商业化良机能够在技术开发生命周期中尽早显现。

(3) 高级研究计划局-能源处：这是能源部里一个新的资助型机构，主要支持新技术，这里的新技术既不是新科学知识的派生理论，也不是改善的现存技术。

(4) 制造能源系统合作：主要执行并发技术发展及制造系统设计，为新的、低碳能源系统的商业规模应用降低成本和时间。

### 3.2.7. 产学研体系

美国政府也十分重视强化企业、公私科研机构 and 大学之间的密切合作，积极构建产、学、研快速互动机制，大力推进科技创新和高科技产业发展。

1988年，美国根据《贸易和竞争法》设立了国家标准与技术研究院。该院通过设立区域制造技术转移中心，组织研究机构与企业共同实施先进技术，目前，全美各州都设有此类中心。<sup>13</sup>美国强化企业技术创新主体地位，建立以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系，形成自主创新的基本体制架构，使其依靠技术创新能力成为世界强国的经验值得我国深入研究与学习。

## 3.3. 创新技术转移及规模化路径

### 3.3.1. 美国创新技术转移及路径

美国政府十分重视联邦实验室科技成果转化问题，通过各种法案鼓励技术成果向产业界转移。<sup>14</sup>国家实验室的研究成果在美国可通过多种方式转让和产业化。主要方式有：采用商业管理/市场销售方式；优选客户；设施展示以吸引产业合作伙伴；与风险投资者，天使投资人，和其他资助来源建立关系等。

美国一旦明确新能源技术确实有实质的影响，会尽快将实验室发明转移到商业部门，使产品规模化生产与应用于公共领域将成为必然。为了推动商业化，能源部与私人企业

---

<sup>13</sup> 美国的科技体制和科技创新，资料卡片杂志，  
[http://news.xinhuanet.com/banyt/2004-04/08/content\\_1407903.htm](http://news.xinhuanet.com/banyt/2004-04/08/content_1407903.htm)

<sup>14</sup> 美国的科技体制和科技创新，资料卡片杂志，  
[http://news.xinhuanet.com/banyt/2004-04/08/content\\_1407903.htm](http://news.xinhuanet.com/banyt/2004-04/08/content_1407903.htm)

以及其他联邦机构联合起来将技术从“概念验证阶段”推动至“全面应用部署阶段”。

美国政府鼓励并推动产业与国家实验室之间增加承包合同、降低技术转让成本，为那些愿意为实验室中衍生的技术进行早期开发与应用而买单的人或机构提供帮助。美国能源部也在寻求能够在目前的政策体制框架中实施的创新（合同商主导的）技术转让机制，鼓励私人企业通过 SBIR，小型企业技术转让（STTR），ARPA-E，合作研究与发展协议（CRADA），以及贷款担保等方式将实验室的技术与研究成果转移到市场中去<sup>15</sup>。

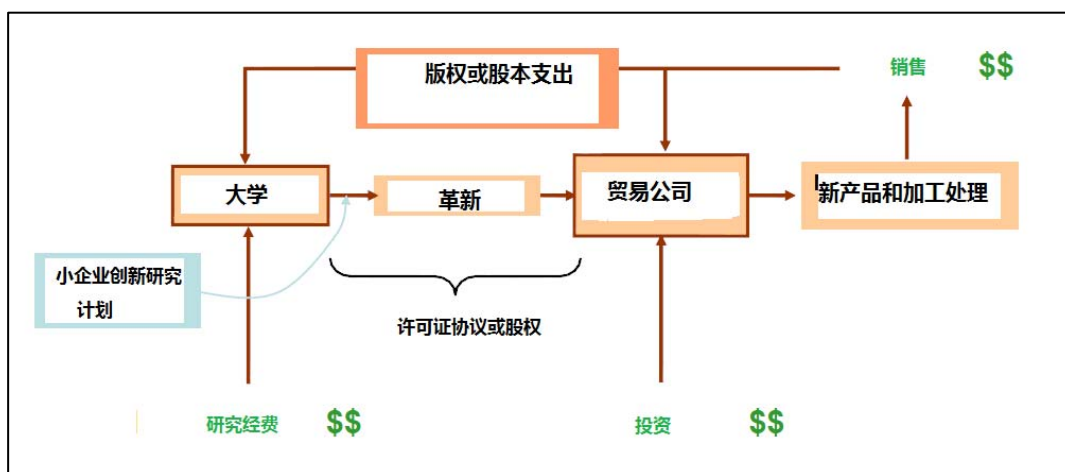


图22. 美国将大学和公共研究机构的技术转移到企业的路径及方式

(资料来源：Advisor for International Programs, Corey Cohn, DOE Office of Science,)

例如，美国在储能技术方面的革新与转移也遵循了这一路径，如位于美国宾夕法尼亚州匹兹堡市 Axion Power，该公司开发的先进铅酸电池简称为铅碳电池。宾夕法尼亚州能源当局就曾拨款 248650 美元资助其进行相关技术研发<sup>16</sup>。

<sup>15</sup>美国能源部，《Strategic Plan》，2011 年 5 月

<sup>16</sup> 铅碳电池厂商 Axion Power 先进储能系统获 PJM 电网公司订单，中国储能网，

<http://www.escn.com.cn/2011/1123/53408.html>

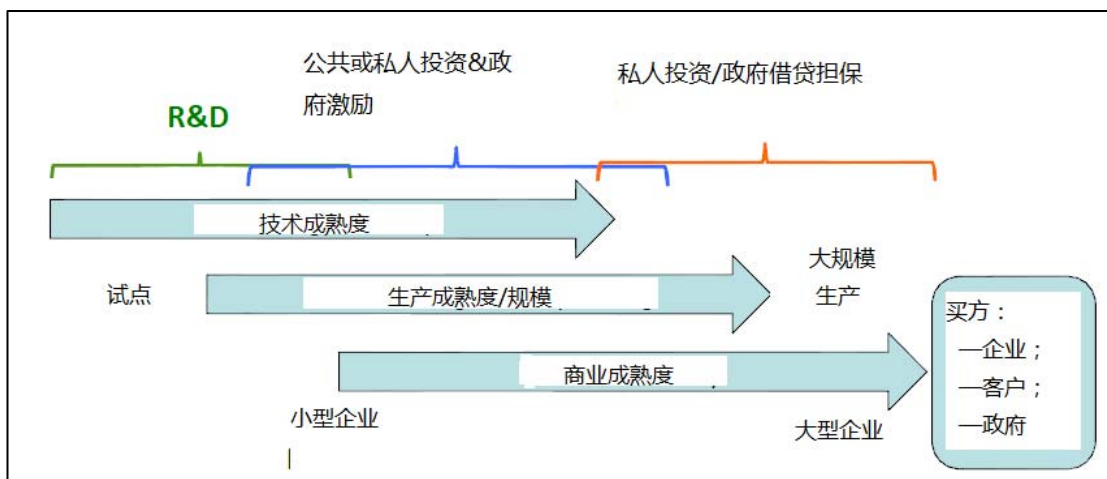


图23. 能源创新—如何将技术规模化

(资料来源：Advisor for International Programs, Corey Cohn, DOE Office of Science, )

### 案例：美国伯克利国家实验室（LBNL）的创新技术成果转移及路径

美国劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL）主要采用发放使用 LBNL 技术许可证和合作的方式向外转让技术。

LBNL 向工业部门发放使用其开发的软件和技术许可证，以将其发明推向市场，造福公众。LBNL 寻找能够安排必要的财政、研发、制造、营销和管理能力，并承诺能成功 LBNL 的创新进行商业化的获取许可证的人。

LBNL 的目标是：通过向能够将 LBNL 的发明技术成功实现商品化的公司发放使用许可证，促进其技术的利用，以造福社会；支持通过创造而取得的收入，通过发放许可证所得收入来支持未来实验室的研究和确定工业合作伙伴赞助实验室的研究来支持实验室的研究任务；为实验室和发明者获取合理的回报和认可；促进区域和国家经济的发展。

同时，LBNL 的一些最创新的技术转移涉及到与工业部门的合作项目。在合作研究中，美国能源部和工业部门可根据合作研究和开发协议（CRADA）共同赞助一个项目。费用、人员、设施、设备，或研究能力可以共享，互惠互利。这给工业部门提供了一个充分利用研发资金和工业部门不可能进行的研究的极佳方式。LBNL 还开展一些工业部门赞助的研究，并提供众多国家研究设施。

综上所述，可见，美国能源部的这套技术革新架构有力的保障了能源产业技术在研发早期时的资金与政策支持，促成了其在能源领域持续的技术领导力。<sup>17</sup>

<sup>17</sup>美国能源部，《Strategic Plan》，2011 年 5 月



### 专栏 劳伦斯伯克利国家实验室 (LBNL)

劳伦斯伯克利国家实验室是美国能源部下设的第一个国家实验室，位于美国加州大学伯克利分校，占地 81 公顷，毗邻旧金山湾。它隶属于美国能源部，由伯克利代管。

LBNL 是 1939 年诺贝尔物理学奖得主欧内斯特·奥兰多·劳伦斯先生于 1931 年建立的，早期关注于高能物理领域的研究，建起了第一批电子直线加速器，发现了一系列超重元素，开辟了放射性同位素、重离子科学等研究方向，成为美国乃至世界核物理学的圣地。它是美国一系列著名实验室：Livermore, Los Alamos, Brookhaven 等实验室的先驱，也是世界上成百所加速器实验室的楷模。劳伦斯伯克利国家实验室现在研究的领域非常宽泛，下设 18 个研究所和研究中心，涵盖了高能物理、地球科学、环境科学、计算机科学、能源科学、材料科学等多个学科。

LBNL 拥有正式员工 2902 名（包括科学人员 708 名，技术员工 1548 名，支持员工 646 名），教学研究人员 278 名，博士后研究 407 名，研究生 314 名，大学学生 151 名，登记的实验室使用者 6010 名，访问科学家 1544 名。LBNL 建立以来，共培养了 5 位诺贝尔物理学奖得主和 4 位诺贝尔化学奖得主。

#### LBNL 的预算与资金分配

2010 年 LBNL 预算 7.067 亿美元，另外根据《美国复苏与再投资法案》可另获得 1.04 亿美元的研究经费。

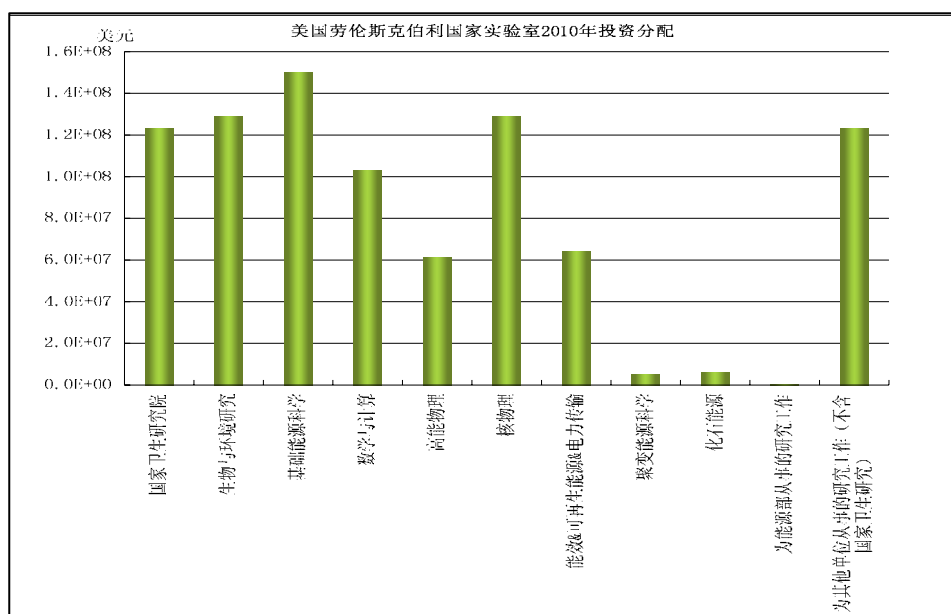


图24. 美国劳伦斯伯克利国家实验室 2010 年的资金分配

(资料来源：劳伦斯伯克利国家实验室与美国能源部网站)

### 3.3.2. 政府专门设立示范项目推动创新技术产业化

美国政府支持示范项目建设以推动创新技术产业化。全球对清洁能源领域研发和示范的投资主要来自美国和日本。美国 DOE 的“能源效率和可再生能源计划部门(EERE)”是美国关注清洁能源技术研发和示范工作中的首要部门。受益于“复苏与再投资法案”(ARRA)，美国用于清洁能源领域的研发和示范的投资额自 2004 年以来基本上一直处于增长态势，且由 2004 年的 15 亿美元增加到 2009 年的 70 亿美元，2009 年 ARRA 资金中约 30 亿美元投向了可再生能源和提高能源效率方面；2011 年，美国在清洁能源领域的研发和示范资金额虽有下降，但仍保持较高的 40 亿美元水平；2012 年，美国向清洁能源和核能领域投入的 R&D 约为 40 亿美元，仍然是全球在该领域投资的主要国家。例如，2009 年 10 月美国能源部制定的关于智能电网资助计划中，安排储能技术项目达 19 个。美国能源部高级研究项目计划署 ARPA-E（成立于 2007 年）在 2011 财年资助了 12 个储能项目，项目总金额 2.76 亿元，涉及企业、研究所、大学等总共 20 多个单位，包含有项目示范（例如波音公司承担的低成本、高能密度飞轮储能示范）、高新技术研究（例如 ABB 公司的超导储能技术研究）等。

### 3.3.3. 风险投资推动创新技术产业化

风险投资是除了政府资助以外，另一个能强有力的支持新兴技术实现产业化的措施。

美国 Sun Catalytix 公司正在测试一款使用金属络合物做电解质的廉价的液流电池，为间歇性风能和太阳能提供长达数小时的能量备份，有望大幅降低电网储能成本，增加电池的使用寿命和安全性。公司预计该系统将会在 2015-2016 年推向市场，届时成本将低于每千瓦时 300 美元。目前该公司已经募得 1650 万美元的风险资金，并仍在积极争取其他风险投资和合作伙伴，以生产更大规模的电池产品。类似的，

SustainX 公司于 2013 年 8 月发布了一款绝热压缩空气储能系统，发电机功率为 1.5MW，热效率较现有技术有显著的提高。而 SustainX 不仅曾获得过国家科学基金的支持，研发了一个 40kw 的储能原型，也获得过美国能源部 540 万美元的激励补助，还从市场上获得过 2500 万美元的风险投资。

### 3.3.4. 行业协会推进创新技术产业化

美国新兴能源技术实现产业的另一个主要途径就是政府通过行业协会等机构支持关键技术研发的企业，推进技术产业化。事实证明，美国通过行业协会资助新兴能源技术公司进行技术创新，将更容易把握关键技术挑战，以及产业核心问题的所在，更容易



实现有针对性的专门技术产业化。

在储能产业中，美国就有数家储能产业协会，如储能协会（ESA，位于华盛顿），加州储能协会（CNESA，位于洛杉矶），纽约电池和储能技术协会（NY-BEST，位于纽约）等，目前这些储能行业协会在推动储能技术产业化方面都发挥着重要作用。例如，纽约州政府就曾划拨给 NY-BEST 共 1440 万美元的补助资金，用以资助该协会下的 12 个会员单位的先进能源项目（第一轮补助资金资助了 6 家公司共 1180 万美元，第二轮资助资金又资助了 6 家公司共 140 万美元），包括储能技术的研发、技术解决方案等，该项资助已经对纽约州的储能产业产生巨大的推动作用。

表8. 纽约州政府通过行业协会资助的储能技术创新活动

被资助企业	资助金额 (美元)	研发内容/方向	备注
电池储能系统(BESS)技术公司 (位于纽约州奥尔巴尼市)	\$218000	旨在开发和商业化的一种由石墨烯材料做成的锂离子电池电极。	BESS 技术公司通过与纽约州立大学学院纳米科学与工程(CNSE)和伦斯勒理工学院合作
Bettergy 公司 (位于 Peekskill 市)	\$189000	计划改进和示范一个低成本的锌空气液流电池技术,该技术可用于电网储能,包括存储可再生电力等	
Custom Electronics 公司 (位于奥尼昂塔市)	\$250000	计划开发一种储能潜力较大的超级电容技术	目前正寻求运用该技术在工业电力电子领域和混合动力汽车领域开辟市场
Electromotive Designs 公司(位于 Ronkonkoma 市)	\$250000	致力于研发一个低成本、便于安装的混合动力引擎,该引擎采用 Loxus 制造的超级电容器,能够捕捉反馈制动的能量,为启动的巴士和卡车加速	
Eos 储能公司 (位于曼哈顿)	\$250000	正寻求规模化和商业化一种新型锌电池技术,该技术的成本更低、能量密度更高,固有设计更安全,能够降低客户的能量成本,延缓昂贵的输配系统升级方面的投资,并且提高电能质量和电网灵活性	该资金已支持第一个整规模子模块的实地测验 — 1MW/6MWh Aurora battery。该公司与联合爱迪生公司合作,目标是示范多种分布式储能应用带来的收益
瓦特燃料电池公司 (位于华盛顿)	\$ 250000	目前正在构建一个原型系统,该系统利用一个便携式固态氧化物燃料电池中提供电力和热能。	该项目在军事和热电联产项目中有应用,也可以在电力中断时做备用电源

### 3.3.5. 多种灵活商业模式助推创新技术产业化

在储能领域,美国有一些公司正通过影响高峰用电费来帮助企业节约电费,并帮助储能系统实现产业化。它的解决方案主要是通过利用一套系统在企业自己非用电高峰时段从电网中储电,在企业自身用电高峰时段,从该套电力调度系统中取电,从而降低了自己在能源公司电网中的高峰用电量。该套系统通常包含:一个用电量智能检测装置,一

套储能蓄电池，一套可视化仪表盘软件。该套系统并没有影响企业自己的电力使用方式和习惯，但却降低了用电费。

这种技术创新服务模式可以说是从太阳能租赁行业中取经，也可以说是互联网方式。它的系统部署不向企业收费，企业不需要一次性买下它的整套系统，而是将近零的安装成本，后续每月向系统解决方案提供商支付一笔固定费用。

### 专栏 Stem 公司的储能解决方案

Stem 是美国一家通过安装带有储能的管理系统帮企业降低商用/工业用电费的储能解决方案公司。

目前,Stem 公司已经在加利福尼亚旧金山的一家酒店安装了 2 个锂离子的储能装置来帮助酒店管理用电高峰需求。该酒店过去一年已经进行了一个 15 千瓦的 Stem 储能系统的试验，通过它该酒店在管理高峰需求上提高了 17%~30%。

2012 年 11 月，该酒店再次订购了 17 个 Stem 储能系统并计划在旧金山的 Mark Hopkins 安装两个 54 千瓦的电池组，预计能够提供 20%的酒店用电需求。系统成本的资金一部分来自加州政府（一个 54kw 系统的成本约为 97000 美元~ 100000 美元，加利福尼亚州能补贴约 60%费用），另一部分由 Clean Feet Investors 资助的 500 万美元的基金来提供，这些资金来源使得 Stem 为客户提供无安装费用的电池储能系统，而用节省下来的电费使得企业能够月付给 Stem。

在页岩气领域，美国页岩气在开发初期的经济性和成长性也不明朗，而技术驱动性强。大公司不愿介入，然而中小公司创新意识强、敢于承担风险，在发现新机会和技术革新行动上更为快捷。目前，美国 85%的页岩气由中小公司生产，多数区块被中小能源公司和各类基金控制，这些中小能源公司依靠传统的油田服务公司（如哈里伯顿、斯伦贝谢等）提供服务和技术支持。这些中小公司主要包括：Devon Energy、XTO Energy、Chesapeake、EOG Resources、Encana Oil & Gas (USA)、BurlingtonResources 等。政府对非常规能源在税收方面的减免，加上油价的上升，使得页岩气开发利润增大，促使中小型独立油气开发商在低回报、高成本的压力下，勇于投资页岩气开发，迅速实现技术革新，扩大产业收益。

美国主要页岩气开采技术都源自中小能源和技术公司，一项技术从研发到商业化甚至经历了数个公司间的更替。例如 Michell 能源公司从 1981 年就开始研究页岩气开采技术，并在德克萨斯州北部 Fort Worth 盆地 Barnett 页岩地区完钻了第一口取心评价井，进

行了氮气泡沫压裂改造；1986年该公司完成了下 Barnett 组的地层剖面的数据提取，并对其孔隙度、渗透率、有机质含量和裂缝方向进行了详细的研究；90年代末，Michell 能源公司开始实施其它新的增产试验等，如此十几年坚持不懈，但待到快成功时该公司因实力不济，于1998年被 Devon 能源公司收购；Devon 能源公司在2002年7月页岩气试验水平井取得巨大成功，此后，业界开始大力推广水平钻井，从此水平井技术在页岩气开采中实现了商业化，推动了美国页岩气产业的突破性发展。

实际上在页岩气开发早期，大型油气公司并没有重视对页岩气的开发，而更多的是将注意力集中在墨西哥湾的深水油气开发，也低估了页岩气的潜力。当然，那时大型油气公司也没有精力与诸多土地持有者进行旷日持久的矿业权获取谈判，几乎没有早期介入页岩气的开发。然而，随着墨西哥湾深水油气产量的下滑，大型油气公司难以找到比较大的储量增长点来保证储量接替率，因此大型油气公司凭借其在产业长期性和投资能力上的优势纷纷转向日益成熟的页岩气开发市场。

近几年来，以美国为主的页岩气资产交易非常活跃，一些大型油气公司开始通过并购拥有页岩区块或开采技术或开发经验的中小公司，或与中小公司合资合作等方式介入页岩气开发。据《环球》统计，2009年1月至2010年4月，美国页岩气产业资产的收购兼并交易达到73.33亿美元，这还不包括埃克森美孚公司于2009年12月以410亿美元全面收购 XTO 能源公司的常规天然气和非常规天然气资源的交易。

在美国，中小能源公司实现页岩气开发的技术突破与商业化应用后，大型油气公司凭借产业长期性和财政稳定性介入页岩气产业发展给予了更多的支持和保证，使得美国页岩气市场得以迅速规模化以及商业化发展。美国页岩气产业快速而有序发展起来，正是得益于这种专业化、市场化的资本交接。

### **3.4. 技术创新服务**

#### **3.4.1. 美国成熟的资本市场及融资服务体系为技术创新提供资金支持**

美国新兴能源技术创新，离不开技术创新服务体系，美国新兴能源技术创新体系中最关键的一点就是美国成熟的资本市场及融资服务体系为技术创新提供资金支持。例如在页岩气领域，美国页岩气实现大规模开发的一个主要原因就在于资本高效流动性。由于美国页岩气开发实施的是专业化分工和协作相结合的机制，这就使得页岩气开采的单个环节投入小、效率高、作业周期短、资金回收快、资本效率高，使很多项目内部收益率超过10%，因此吸引了大量风险资金与民间资本投资于页岩气各个环节。各类资本在

页岩气生产的全链条上实现了快速流动，同时又带动了技术服务和商业模式的创新。

类似的，美国页岩气市场的大量并购活动，也为产业发展和技术更替注入了新鲜的资本及血液。在美国，中小能源公司在实现页岩气开发的技术突破与商业化应用后，大型油气公司凭借产业长期性和规模资金的稳定性介入页岩气领域，使得页岩气产业发展得到了更多的资金支持和保证。这种专业化、市场化的资本接替极大的促进了页岩气市场得以迅速规模化以及商业化发展，新的资本活力的注入也极大的保障了美国页岩气产业的持续繁荣。据《环球》统计，美国页岩气领域的资产交易非常活跃，仅2009年1月至2010年4月，美国页岩气产业资产的收购兼并交易达到73.33亿美元，这还不包括埃克森美孚公司于2009年12月以410亿美元全面收购XTO能源公司的常规天然气和非常规天然气资源的交易。

### 3.4.2. 美国重视科技创新人才积累与知识创新

目前，美国在科技人才积累与知识创新方面位居世界前列。截至2009年，全球40%的诺贝尔奖得主来自美国。美国在全球科技进步中的主导地位，还体现在论文及专利的高产出上。中国科技信息研究所的研究表明，2008年，三大国际检索系统SCI、EI、ISTP共收录美国作者论文62.5万篇，占世界份额的26.6%，其中SCI论文40.6万篇，占世界论文总数的28.3%，三大国际检索系统收录的美国作者论文量均居世界首位。根据基本科学指标(ESI)的统计，2000年至2010年间，美国论文被引用次数以4192万多次遥遥领先于其他国家。

### 3.4.3. 美国建立“绿色技术”专利通道

目前，美国是世界上拥有专利最多、创新速度最快的国家。以清洁能源为例，纽约州奥尔巴尼Heslin Rothenberg Farley & Mesiti P.C.律师事务所发布的清洁能源技术专利增长指数(CEPGI)(反映的是清洁能源技术在美国国家专利和商标办公室(The US Patent and Trademark Office)申请专利的情况，这些技术包括太阳能、风能、混合动力和电动汽车、燃料电池、水力发电、潮汐能、地热能、生物能和生物燃料)显示，由美国专利和商标局授予的清洁能源技术专利数量在2010年达到了创纪录的水平，约2000项的清洁能源技术专利获批，同比增长170%，是自2002年该事务所首次追踪清洁能源技术创新趋势以来同比增长最快的一年。其中，太阳能技术专利数量同比增长了134%，混合动

力和电动车技术专利数量增长了 60%。<sup>18</sup> 同时，在专利审批领域，2009 年美国专利和商标局还一度特别推出了快速处理“绿色技术”专利申请的计划，以加强对绿色能源技术的专利服务。据此一些“与环境质量、能源节约、可再生能源资源的开发、或温室气体减排”有关的技术专利申请也基本上得到了快速审理。

### 3.5. 政策环境与社会氛围

美国新兴能源产业技术的快速发展和应用与美国政府创造的政策及环境支持密不可分，同时，政府在新兴能源产业技术发展初期，还辅助提供大规模的政府资金支持，这都为美国新兴能源产业技术创新奠定了良好的基础环境。

#### 3.5.1. 良好的新兴能源产业发展战略与措施

任何一个新的能源技术的出现及发展，都难以离开政府早期的支持与重视。美国在新能源产业发展过程中的战略与措施恰恰成就了美国新能源产业的发展。

新能源产业的选择与培育，在美国已经有相当长的发展历程，政府自石油危机之后一直保持对这一领域的关注。在新近制定的各项计划中，政府给予新能源发展以巨额的资金保障，促进技术创新与产品生产。美国也迫切需要将新能源培育成为战略性内生经济类型，振兴经济，带动产业链条升级。另外，政府在税收和配套产业方面，也给予了明确支持。一是政府的长期关注与支持。美国是世界能源消费大国之一，能源问题是历届政府的重点工作。比如，布什政府时期，美国国会通过了《国家能源政策》报告，涉及到美国面临的能源挑战、能源高价格对美国的冲击、保护环境、加强能源节约和提高能源效率、增加国内能源供应、加强可再生能源和替代能源的使用，改善能源基础设施、加强国家能源安全和国际关系等方面，体现了政府对能源问题的高度重视。2007 年，布什政府还制订了《能源独立和安全法案》，旨在从根本上改变美国能源使用模式，尤其是进一步明确了可再生能源和降低原油供应依赖性的重要意义。在奥巴马新政府组建以来，官方对新能源的支持和关注程度空前提高，在政策、资金、计划和研发等方面都给予了极大支持，对新能源寄予了厚望。

#### 3.5.2. 良好的法律及政策环境

美国能源领域的法律基础非常健全，各项能源基本法案都为新兴能源产业技术创新及产业发展奠定很好法律基础。在页岩气领域，美国能源立法将天然气生产和运输分离

---

<sup>18</sup> 美国新能源技术专利出现爆炸性增长，<http://www.forbeschina.com/review/201105/0009382.shtml>

有助于页岩气的管道准入。在页岩气勘探开发初期，依托美国发达的天然气管道，油气生产商几乎可以为美国 48 个州的任何地区输送天然气，而页岩气分布紧邻常规天然气田，可以方便借用已有的天然气管网，促使新开采出来的页岩气能够快速进入管网系统，使得页岩气应用简单快捷。事实上，美国关于土地所有所有权的相关立法基础也为美国页岩气繁荣奠定了法律环境，在美国土地的地表权和矿业权是分开的，这非常有利于开采商灵活获取页岩气上游资源。在美国，由于土地的地表权和矿业权是相分离的，所以美国矿业权人对页岩气矿业权可以采取自主经营或通过市场交易的方式进行出让，这就使得页岩气开采商能够顺利实现对页岩气资源的开采权的获得。美国联邦政府在全美拥有 11%左右的土地，其它大部分为私有土地。在私有土地上，页岩气开采商可以通过和矿业权权利人签署租约，在设钻井与铺管道的土地上与地表权权利人签署单独的协议，并取得州管理机构的许可。联邦法律规定对公有土地使用实行规划，规划每十年审核一次，公众广泛参与，私营公司可竞标获取在公有土地上的钻探权，并支付给政府相应的租金、费用及矿区使用费。

在储能领域，美国储能产业的发展较早，全球很多的先进储能技术都来自于美国。据统计，美国从 2009 年开始，就逐步出台了各类与储能直接相关的政策来支持储能技术的研发和示范应用。近两年的储能政策分别从标准、补贴、项目应用等方面进一步发展储能产业。具体的政策如下：

**《AB2514》号法案：**美国加州政府于 2010 年 9 月 29 日发布，要求 CPUC（加州公用事业委员会）在 2013 年 10 月 1 日前制定出切实可行、具有成本效益的储能系统安装标准，扩大储能系统使用范围，并要求加州所有公共机构和电力相关企业于 2015 年和 2020 年达到 CPUC 制定的第一、二期储能系统安装目标。该法案的目的是通过储能技术实现可再生能源并网及调峰作用。

**《2011-2015 储能计划》：**美国能源部于 2011 年 2 月发布，该计划主要关注——如何安装储能系统以实现其最大效用；储能系统的成本、安全性及使用周期的研发和应用事宜；促进技术研发并建设示范项目展示储能的价值链条，通过示范项目的建设及运营反馈指导科研方向；储能设备的工业设计，以实现其大规模产业化生产。

**《2011 年 SGIP 计划》：**美国加州公用事业委员会于 2011 年 10 月 10 日发布，计划涵盖了与太阳能发电或其他 SGIP 发电技术相结合的储能系统，创举性的提出为独立储能系统提供补贴，只要可以达到最低 2 小时的额定放电功率，即按照 2 美元/W 的标准补贴，对热电联动的燃料电池的激励标准则定为 2.25 美元/W。

**《为效果付费政策》：**美国能源委员会于 2011 年 10 月 20 日发布，将储能技术纳入

调频辅助服务范围，承认储能是提供调频服务机构，增加提供调频服务的机构数量，纠正该服务的市场价格信号，使储能系统在该领域与传统发电系统之间竞争更加公平。

### 3.5.3. 以明确的产业发展目标及规划引导技术创新

在美国，若明确某一产业的发展的重要性及产业发展前景的前提性，往往会通过美国会将该产业及技术研发提升到国家战略的高度来重视。例如，近年来，美国能源部支持清洁能源与储能产业的发展就尤为突出。目前，美国政府已将储能技术定位为支撑新能源发展的战略性技术，并对本国内的各种储能技术创新来源给予了较大的支持，推动技术创新公司或机构得以将研发技术产业化。

美国能源部正式通过“战略计划”将储能上升到战略层面。2011年5月美国能源部发布的“strategic plan”对通过科技创新应对能源、环境以及核安全的挑战，确保国家安全与繁荣规划了蓝图。该战略规划分为四个部分，一是尽快而有效地促进美国能源结构的转变，确保美国在清洁能源技术方面的领先地位；二是维持美国在科学工程方面的活力，在重要战略领域保持领先优势，并将其作为美国经济繁荣的基石。三是通过防御、防扩散和环境方面的努力，加强美国核安全；四是建立可操作的、灵活工作机制，以有效整合各方智慧，确保最大化实现美国的能源使命。<sup>19</sup>同时，该计划明确提出要促进“电网现代化”，而引入储能及其技术，与改善运行方式，能够更灵活以及有效的控制电网，达到实现智能化、稳定化运行的目的。此外，美国政府还清晰地将所要达到的目标落实到实施层面：能源部将在未来1-5年中，为包括从调频服务到大宗能源管理的应用示范与推广提供支持。该计划在预期成果中还提到：（1）到2013年要安装超过1000电子计量设备以更好的认知与控制电网系统；（2）到2013年在美国家庭和商业区安装超过2600万的智能表计；（3）到2015年将应用规模的储能成本降低30%。<sup>20</sup>

### 3.5.4. 政府资助研发及健全的产业财税政策扶持

#### （1）美国新能源领域的资金扶持计划

在系能源领域，美国为新能源产业的发展提供了巨额的研发资金保障，尤其是对于新能源的研发和推广，美国政府更是给予了巨额资金支持。根据经济刺激计划方案，美国将在电网改造、可再生能源和输电项目等方面投入大量资金。比如，通过2010年预算

---

<sup>19</sup> 上海科技情报所，宋鸿，“美国新能源政策的转变对我国可再生能源的影响”，电力与能源，2011年，<http://www.docin.com/p-451691935.html>

<sup>20</sup> 美国能源部，《Strategic Plan》，2011年5月。



中的资金和 2009 年《美国复苏与再投资法案》中提供的 390 亿美元，构建以清洁和安全能源驱动的新型经济体系。依托《美国复苏与再投资法案》中为精明电网技术的 110 亿元投资，升级电网，更新与优化电力传输设施。如表 3 所示，能源领域成为未来一段时期内美国投资的重点，而新能源研究计划也是这一战略性新兴产业发展的前导工作。

表9. “美国复苏与再投资法案”预算内支出

单位：百万美元

部门	项目	2009 年支出	2009-2019 年支出
农业、农村发展、食品与饮料管理以及相关部门	预算主管当局	11, 330	26, 466
	预计支出	5, 691	26, 431
商务、司法、科学以及相关部门	预算主管当局	15, 922	15, 922
	预计支出	2, 538	15, 810
国防部	预算主管当局	4, 555	4, 555
	预计支出	1, 679	4, 531
能源与水资源发展	预算主管当局	44, 335	50, 825
	预计支出	3, 159	50, 775
金融服务与政府部门	预算主管当局	6, 858	6, 858
	预计支出	620	6, 707
国土安全部门	预算主管当局	2, 755	2, 755
	预计支出	506	2, 744
内政、环保与相关部门	预算主管当局	10, 950	10, 950
	预计支出	1, 158	10, 454
劳动、健康和人权服务、教育及相关部门	预算主管当局	71, 733	72, 564
	预计支出	6, 831	71, 271
立法分支	预算主管当局	25	25
	预计支出	8	8
军队建设和退伍军人事务以及相关机构	预算主管当局	4, 281	4, 281
	预计支出	448	4, 246
交通运输和房屋以及城市发展	预算主管当局	61, 782	61, 795
	预计支出	5, 508	61, 051
政府金融稳定计划	预算主管当局	53, 600	53, 600
	预计支出	6, 540	53, 600
总计	预算主管当局	288, 728	311, 198
	预计支出	34, 792	308, 338

(资料来源：美国国会预算办公室)

## (2) 美国页岩气领域的资金扶持计划

在页岩气领域，美国页岩气开发取得成功并非“偶然事件”，这在很大程度上得益于美国有利于新兴能源产业发展的系统且完善的市场环境。美国页岩气成功开发在政策及市场环境方面亦有诸多驱动因素，这主要体现在美国政府在页岩气产业发展初期就给予

非常优惠的产业政策支持，包括直接由政府牵头组织技术和地质研究，以及政府直接资助页岩气勘探开发的前期技术研发与勘探研究。

一是美国政府牵头组织页岩气勘探开发的技术和地质研究。1973年阿以战争期间的石油禁运，1976-1977年间的第一次石油危机，以及对国内天然气资源可持续利用的考量等因素，促使美国能源部（DOE）在20世纪70年代加快了本国天然气勘探研究的步伐。美国能源部及其以后的能源研究和开发署（ERDA）联合了美国国家地质调查局、州级地质调查所、大学以及工业团体，发起并实施了针对页岩气研究与开发（R&D）的东部页岩气工程，这主要包括阿巴拉契亚、密执安和伊利诺斯盆地。该项工程的目的是加强对页岩气地质、地球化学、开发工程等方面的研究，摸清页岩气分布规律并进行资源潜力评价，研发过程中产生了一批科研成果，其中最重要的进展是认识到页岩气的吸附作用机理。页岩气吸附机理的认识对促使页岩气进入实质性开采起了决定性作用。该项研究的突破促使美国新的页岩气田不断被发现，勘探和研究范围迅速向其他地区扩展。仅20年的时间，页岩气年产量从1979年的13.5亿立方米到1999年的108亿立方米，净增了7倍<sup>21</sup>，美国页岩气开发研究得以进入了全面展开阶段。

二是美国政府直接资助前期技术研发与勘探研究。根据美国国家能源技术实验室资料，20世纪70年代，美国能源部投资了9200万美元用于政府层面的勘探研究。到90年代后期研发工作主要由各石油公司进行。为鼓励科研机构以及油气公司开展非常规天然气的研发工作，美国专门设立了非常规油气资源研究基金，支持包括拨款、贷款和担保、培训资助、科研资助和勘探直接投入等相关活动。实践证明，后来美国页岩气领域的诸多技术突破都受益于政府对页岩气开发技术及勘探的研究与资助。

在页岩气资源得到开采，并逐渐实现商业开发后，美国政府也并未停止对页岩气等非常规气勘探及基础研发等工作的财政支持。例如，2004年美国政府在《能源法案》中规定到2015年的十年期间，政府将每年投资4500万美元用于非常规气研究。

据估计，从20世纪80年代初至今，美国政府先后投入了60多亿美元进行非常规气的勘探开发活动，其中用于培训与研究的费用近20亿美元。美国政府对页岩气开发的重视为页岩气发展提供了强劲动力，带来了技术进步与突破，使得页岩气产业迅速获得长足发展，产量持续上升。

---

<sup>21</sup> <http://www.adv-res.com/pdf/Annual-Gas-Shale-Production.pdf>.

### 3.5.5. 出台与产业发展阶段相匹配的财政及税收扶持政策

美国积极出台法律及产业政策以拉动能源市场，抢占能源产业技术制高点。例如美国在页岩气产业启动初期，美国政府就对页岩气等非常规能源的上游开发实施非常优惠的税收优惠政策，包括税收减免与费用扣除等。1980年，美国政府于颁布的《原油意外获利法》<sup>22</sup>明确对1979年和1993年之间钻探的非常规油气与2003年之前生产和销售的页岩气均实施税收减免，而其他时期的页岩气开采则不能享受该项政策优惠。同时，美国政府还将对传统油气上游开发的税收优惠政策也移植到页岩气开发领域，对油气行业实施的五种税收优惠也适用于页岩气，包括无形钻探费用扣除、有形钻探费用扣除、租赁费用的扣除、工作权益视为主动收入、小生产商的耗竭补贴等；除了美国联邦政府出台的相关税收扶持优惠政策外，美国部分州政府也对页岩气开发实施了更为优惠的税收政策，如德克萨斯州自20世纪90年代初开始就对页岩气的开发不征收生产税。

### 3.5.6. 严格的市场及环境监管

在页岩气领域，1992年美国联邦能源委员会颁布第636号法令，取消管道公司对天然气购销市场的控制，规定管道公司只能从事输送服务。美国采取这种天然气开采和管道运输两种业务垂直分离的管理模式，即管道准入受到联邦能源管理委员会的监管，管道运营商对天然气供应商实施无歧视准入；管道运输价格受到监管，而天然气价格则完全放开。这种管网设施第三方准入的管理模式解决了页岩气开发商输送的需求，支持了应用市场的商业化开展。

例如，在页岩气方面，美国设立了严格的监管体系。在页岩气发展初期，美国政府并未对页岩气采取特殊的监管政策，而是将常规天然气的监管框架自然而然地引用到页岩气的监管上来，即美国对传统油气上游勘探及生产、中游管网设施利用、下游分销商，以及相关环境保护方面的监管等都适用于页岩气开发。目前，美国对天然气行业的监管分为州内和联邦两个层面，其中联邦政府对天然气监管的依据是宪法的贸易条款，联邦制要求在州和联邦之间进行分权，即州政府有权监管州内的天然气业务，联邦则监管跨州的天然气业务，包括天然气管网第三方准入及利用。与此类似，美国页岩气的开发和生产涉及联邦、州和地方政府一系列复杂的法律，用来规范开采地的勘探开采以及相关操作。

---

<sup>22</sup> 1980年美国政府出台《原油意外获利法》，该法律的最初目的是要把从常规燃料上征收的税收用于促进非常规燃料的开发，该法律的第29条旨在通过降低可替代能源的生产成本来鼓励其生产和使用，使其在市场上变得具有竞争力。

### 3.5.7. 政府和非政府组织都是鼓励技术创新的政策环境创造者

美国能源领域的政府机构和非政府组织为新兴能源产业的技术创新支撑体系建设提供了有力的基础服务支撑。美国新兴能源领域最具有影响力的政策和市场规则主要出自政府机构和非政府组织。

例如，在储能领域，最有影响力的政策和市场规则主要出自以下一些政府机构或非政府组织。在政府机构中，在联邦政府层面上，主要包括美国能源部（DOE）和联邦能源管理委员会（FERC）；在州政府层面上，主要包括州立公共事业委员会（PUC）。在非政府组织中，主要包括独立系统运营商（ISOs）以及区域输电商（RTOs）、北美电力可靠性公司（NERC）、电力存储协会（ESA）、和民间协会组织比如近来最有号召力的加州储能委员会（CESA）。

### 3.6. 美国经验总结及对中国的启示

综合上述美国在各类新兴能源产业技术发展的实践不难看出，一个能够支持长期技术创新的研发体系和多渠道的商业化机制是推动能源产业发展不可或缺的条件。通过对美国能源产业技术创新及支撑系的分析研究，对我国能源产业技术创新支撑体系建设具有如下启示：

（1）研发体系中充足的资金与人才资源，科学的评价系统以及有效的管理方法是可持续的创新力的保证。如何通过管理机构、管理系统及激励机制的设置使相关资源更加合理、更加有效地发挥作用，从而吸引更多的资本投入以促进创新的繁荣应是能源产业及各类新兴能源发展首要解决的问题。

（2）能源技术创新成果的转化机制是实现能源产业发展的关键。并非最先进的技术就能产生最好的产品，也并非最好的产品就是最适合于商业应用的。因此，多样的产品转化渠道和高效的商业转化机制的推广是推动能源产业，尤其是新兴能源产业发展的必要条件之一。同时，培养和积累对技术产品化和产品商业化有专业经验的人才队伍更是当务之急。

（3）一个相对宽松的市场环境（包括政策环境及监管机制）对于商业模型的创新必不可少。使先进的技术应用和优秀的商业运作为社会创造最大的价值，需要创造一个健康的市场环境，同时通过法律、政策、行业标准、专利、金融与投资，以及监管和公平的市场竞争规则加以引导，才能真正推动行业乃至经济整体产生实质性的增长。没有哪一个具有技术导向性的能源产业产业（创新兴）是在低成本竞争的环境中成长起来的。

因此，在市场初期发展阶段，给予一定的政策倾斜以确保处于竞争劣势的新兴能源产业具有一定的生存发展空间，以及逐步为其建立一个良好的竞争环境都应该是国家层面的战略性的考虑。尤其是在我国电力行业仍然是高度垄断的条件下，这种以创新为导向的行业发展趋势更是面临着全方位的挑战。如何以战略的政策设计逐步引导建立相对商业化的市场体系是储能乃至整个能源行业需要急迫解决的问题。

(4) 要实现能源产业创新技术的有序接替或衔接，还需要长期和稳定的政策与合理的竞争市场来保证。然而，立足于能源战略和产业的可持续发展，如何通过诸如短期的配额及补贴政策和长期的税收及投资再分配等政策手段，实行对能源行业的调整以及逐步建立有序竞争的市场应是政府工作的重点；长期的能源产业发展应该留给市场由其因供需关系引起的价格机制去调节，只有这样才能有效实现优胜劣汰，促进能源产业可持续地健康发展。

#### **4. 我国新兴能源产业技术创新支撑体系现状及存在的问题**

据对我国风电、光伏、储能及页岩气四个能源产业技术创新现状及问题的调研，发现虽然我国拥有非常强大的由政府计划推广的扶持科技创新的战略计划，但在新兴能源产业技术创新支撑体系建设上，总体却缺乏市场主动的或自发的创新精神，致使国内缺乏源头性创新的能力；同时，国家在创新技术产业化及成果推广方面或者滞后、或者缺乏长效机制，这也导致国内自主创新活力不足，必然带来多数产业的关键核心技术及装备依赖引进国外先进或全部进口；此外，我国在培育产业技术创新能力的政策环境及社会氛围方面也存在较大不足，优于是一些涉及产业健康有序发展的电价机制、补贴机制及监管体系等体制机制问题没能得到较好的解决，也影响了我国新兴能源产业技术创新进展。

##### **4.1. 创新技术供给现状**

近年来，我国很多新兴能源产业发展常常经历的一个“怪圈”是，当该产业出现重大发展机会的时候，各种资本会大举进入该产业；在没有自主技术支撑的情况下，企业就通过引进国外技术和生产线在国内迅速形成巨大的生产能力，往往在一半甚至更短的时间内达到国外经过多年才能实现的产能。

这种“一哄而上”的结果很容易迅速导致国内甚至全球的产能过剩。同时，在不得不面对产能过剩的巨大压力面临，国内很多企业又偏好于采取以规模化获取低成本和超低价的竞争战略全力打压竞争对手，使得整个行业很快陷入恶性竞争。低水平竞争导致企业利润率降低，结果是严重削弱了企业和行业的研发投入，使整个行业长期停留在

低水平，在缺乏自主发展能力的状况下，一个新的产业很快被做“滥”，这种“暴生暴滥”，使得这些新兴的产业难以最终形成具有支持我国经济增长能力的新兴产业。

#### **4.1.1. 新兴能源产业技术创新遭遇瓶颈**

综合本报告前述，可以看到虽然我国新兴能源产业技术取得了较好的成绩，但同时我们又必须认识到，在国际能源技术层出不穷的市场化竞争大环境中，我国新兴能源产业整体依然受困于主要依赖加工制造和低成本竞争的环节。其中突出的矛盾，在于大量企业遇到了源头性创新的瓶颈，这种瓶颈大致表现在：

一是新兴能源产业技术缺乏源头性创新的能力。我国新兴能源产业的本土企业长期受困于西方跨国企业主导的全球生产链低端，具体表现为产品附加值不高，抗国际市场波动能力小，这在我国光伏产业中表现的尤为突出。

二是核心技术依赖引进或完全进口。我国新兴能源产业中有不少中本土企业的技术来源主要依靠从西方合作伙伴手中引进大量“先进的技术”，但这些“先进的技术”往往只是以设备、生产线或技术图纸为载体的。随着现代能源技术越发展越复杂，追赶者单纯从设备、生产线和图纸已经很难深入把握这些能源技术背后的知识；西方跨国公司依然掌握了能源核心技术轨道发展的主导权，以至于跨国公司一旦采取技术变轨战略就往往能使我国本土工业在技术资本品上的大量投资变成全面落后。这在我国风电技术方面体现的尤为突出，同时储能电池生产的隔膜主要依靠进口。

三是缺乏知识创新的长效机制。我国新兴能源产业中仅有的少数创新型企业虽然已经获得了一定的技术突破，但企业的运作方式却往往只是项目式的，没有一个知识创新的长效机制，因此等到相关项目的创新效应被充分消化后，整个企业的活力就消退了。

#### **4.1.2. 创新供给条件不足，产学研局面较为混乱**

尽管我国已是世界专利大国、大学生及工程师规模庞大，但各类企业仍缺乏创新人才，特别是领军人物。这根源于我们的教育与人才体制改革滞后，大学培养的人才远不适应创新需求，如在工程技术领域，大量企业找不到专业对口的学生，一些即使专业对口的学生到企业后往往也要经过一两年再培养才能真正发挥作用。对高层次人才的行政评定、以文章和论文论英雄、遵循官本位和论资排辈的做法，限制了人才优势的发挥。

我国基础研究水平、创新基础设施建设仍明显不足，缺乏原创性技术突破，制约了企业实现前沿创新的进程。原始创新源于基础研究，重大的科学发现与突破也要依赖基础研究，但近年来我国基础研究所占研发经费的比例一直在 5%以下，远低于美国 18%、

法国 24%、日本 12%的水平。我们很多企业在发展壮大后，要想持续创新，面临的共同问题是缺乏科学储备和原创性技术突破，国外公司在这个阶段可以较容易地从大学、研究机构获得相应的创新资源，但国内的大学、研究机构等能提供给企业基础性的、原创性的技术并不多。

同时，我国产学研陷入混乱局面。首先，我国的高等院校既要做研究，又要做试验，甚至部分院系还不得不创办企业自谋生路。事实上，学校难以发挥研究所致力开展应用研究的作用，也难以获得企业持续的资金支持，结果使得学校无法集精力与主业，顾头顾不上尾，企业办得也很累，难成气候。同样，有些承担“产学研”中间环节的研究所也开始成立自己的企业，试图将研究所的成果凭借自身力量推广起来。现实是研究所要想独立管理好一个公司是非常困难的，这与研究所的基础有很大的关系，研究所一般都有自己的研究方法，科研人员最擅长的是基础研究，试验与应用研究也仅需要少量的实体产品，真正要实现规模化生产及市场化应用还是需要由专门的企业来完成的，结果造成早期承担试验及应用研究的研究所实际上已经名存实亡，国家不仅损失了科研力量，也失去了技术创新的源泉。最后，真正担负产品加工及生产的企业又不得不既做基础技术研发、试验，又做生产应用，结果只能是两头都顾不上；即便是企业自主产品研发成功了，但由于前期投入大量人力、物力也大大抬高了产品成本，影响产品的在市场上的竞争力。

#### **4.1.3. 我国的公共研发能力在改革中被削弱**

在国家能源技术创新体系中，我们一个很大的短板是公共研发体系的缺失。由于缺乏强大的公共研发力量支持，导致我国虽然建立了体系庞大、世界级规模的能源工业体系，甚至能抢先发达国家发力于新兴能源产业，但是源头创新非常少，这导致了不仅在传统能源产业领域，即使在新兴能源产业领域，我们总是后续发展乏力。当发生重大技术变革或重大技术跃升的时候，我们很多刚刚建立起来的能源工业体系很快陷入落后。

仅通过中美在能源领域的公共研发能力对比，我们就明显感到两国的差距。美国有几十个力量雄厚的国家实验室以及众多的研究型大学，是美国的能源技术创新的源头，而我们至今没有建立起一个成规模、在能源领域有一定研究能力的公共研究机构。这与我们对公共研究机构的定位与改革设计直接相关。自改革开放以来，我国的公共研发部门已得到很大发展。尤其以 1985 年、1998 年调整为核心的几次改革，减少了公共研发部门的计划成分，增加了市场成分。这些改革在当时都很具针对性，因为长期以来我国产

业部门的研发能力都很薄弱，而计划体制下科研部门与产业部门距离过大、系统效率低，因此把公共研发部门的活动甚至组织部分地“市场化”，能直接补强产业部门的研发能力。当时的经济环境是支持这种改革的，但是，把公共研发部门部分“市场化”的改革并没有根本改变我国新知识生产不足的困境。相反，这些改革在增加科研院所对应用技术的研究和商业化运作的同时，也降低了它们对探索新知识的投入比例，甚至削弱了它们关注知识生产的动机。知识生产与产业创新发展之间互相促进的关系依然没有普遍建立起来。与此同时，经过三十年的改革发展，我国的能源工业使命已不再是当初的“全面追赶”，我们不能再一味倚重以低成本制造为核心的发展方式。但是我国公共研发部门的发展现状并不能提供这些新兴能源领域一些前沿创新竞争所需的新知识。其中，过度的“市场化”使公共研发部门过多地介入私用技术的委托研发，削弱了它生产并传播公用知识的职能，使本土创新体系中公用知识尤其是基础性知识的生产、升级和传播不足。

在能源领域，公共研发部门的前沿探索相对于产业部门已没有优势，甚至已落后，不少公共研发部门产生了以短期及直接经济回报为导向的考核文化，一些公共部门在参与市场竞争中甚至以自身作为行业规制者的特殊角色妨碍了国内整体的技术进步，扭曲了它们本应主要服务于社会整体进步与知识扩散的角色。“以发表为中心”的学术绩效考核机制也是我国能源领域公共研发部门新知识生产效率低下的另一原因。这套考核机制主要源自 90 年代的改革，在当时促进了各高校和院所的学术竞争与国际化；但一味强调发表指标，又会造成科研人员偏好于易发表的研究活动的倾向，以自己擅长的、而不一定是知识竞争主战场的内容为研究对象，甚至完全固守自己熟悉的、狭窄的知识领域，扭曲了科研部门有价值的冒险与自主探索。

#### **4.1.4. 国有企业创新动力不足**

中国能源行业的领先大企业更多大多是国有企业，民营大企业较少。国有企业虽是很多行业的排头兵，但创新动力不足，没有起到国家创新主力和本土中小企业技术成果的集成者作用。民营大企业虽同样应是推动国内创新的重要力量，但受限于规模和能力不足，在国家创新体系中发挥的作用还有限。在华的跨国公司虽然有技术与规模优势，但其主要的研发力量并不在中国，除少数企业将重大研发项目放在中国外，多数跨国公司在华的研发中心的主要任务是工艺改进和产品设计。爱尔兰等国过度依赖跨国公司虽实现了阶段性繁荣但最终创新乏力的教训说明，重大创新必须更主要地依靠本土公司。

国有企业是我国创新政策的最大受益者，国家同时希望国有企业能承担实现新技术



的商业化，为替其他中国公司提供技术支持的重任。但国有企业在创新中的现实表现却不尽如意，他不仅创新成果不及非国有企业，也没有完全承担起实现新技术商业化和提供主要技术支持的责任。根据世行的统计与分析，与中小企业和民营企业相比，国有企业在将资源转化为专利和创新成果方面的效率相对较低。相比非国有行业的 4.56%，国有行业的全要素生产率年增速只有 1.52%<sup>23</sup>。如何理顺国有企业的问题已经成为我国能源领域创新体系面临的一个非常重要的挑战。

**导致国有企业创新动力不足的原因是多方面的。**首先是以保值增值为主要内容的考核制度更鼓励企业扩张而不鼓励国有企业技术创新，科技创新并不是国有企业考核体系的实质性指标，创新成果更没有与企业管理团队的利益挂钩。由于企业及企业所处的行业的情况都十分复杂，发展有周期，简单地要求企业每年都要比上一年增值，容易造成短期行为，削弱企业长期竞争力。长期以来国有企业技术投入不足、大而不强，与此不无关系。短期“保值增值”的压力助长了企业扩张的欲望，在短期业绩考核的压力下，国企投资方向与民企趋同，重复投资、盲目扩张动机越加强烈。

其次是内部缺乏激励机制。目前我国的能源中央企业，多数企业彼此之间也是存在激烈竞争的，这些企业来自市场的压力不小于民营企业。但是技术创新最关键的是对人的激励，而央企面临的问题是不能实行国际国内通行的允许科研人员持股的做法，甚至即使之前有人持股，而一旦企业上市，个人股就要全部要退出。

第三，国有企业缺乏有效的公司治理也制约了其创新行为和创新绩效。由于没有功能完善并实质运行的董事会制度，并且公司实际负责人实质上并不对董事会负责，而是对其上级组织部门和国有资产管理部门负责，而这两个部门并不能真正代表股东利益，这就必然导致公司负责人不太愿去追求企业的长期目标，而技术创新，特别是重大技术创新是需要时间的，也会有很大风险，并且往往是“前人栽树后人乘凉”，因此，现任的国企负责人是在很大程度上缺乏进行重大技术创新动力的，除非他是“奉命创新”，或者他能确保即使创新失败他自己也不会有太大风险时，他才会有创新的动力。

#### **4.1.5. 中小企业创新遇到瓶颈，大小企业间缺乏协同创新**

简单地讲“企业是创新主体”还是很模糊的，因为不同类型的企业在创新中扮演的角色不同，各自的创新动力与遇到的问题均不同。技术创新主要源自中小企业，但中小企业的创新成果不一定要自己去产业化，被大企业应用、集成、收购是主要方式，这也

---

<sup>23</sup> 数据来自世界银行专家 Shahid 的分析。

是大企业重要的技术来源。然而,由于我国国有企业创新动力不足,没有发挥到成为本土中小企业技术创新成果集成者的作用,使得大量中小企业的创新成果没有应用机会,出现创新“堰塞湖”。

我国缺乏行业领先大企业,大量中小企业的创新成果没有应用机会,出现创新“堰塞湖”。中国的大企业更多是国有企业,民营大企业较少。如2011年公布的中国企业500强(实际上是按营业收入排序的500大)名单中,国有企业就占了316席。国有企业虽是很多行业的排头兵,但创新动力不足,没有起到国家创新主力和本土中小企业技术成果的集成者作用。民营大企业在500强中排名多靠后,其虽应是推动国内创新的重要力量,但受限于规模和能力不足,在国家创新体系中发挥的作用还有限。小型企业不具备进行必要的研发投资的能力,但是具备技术和经济能力的大型能源企业可能没有进行研发投资的动机。

我国能源产业特别是新兴能源产业很多中小企业从初创、研发、中试、产品上市的各个发展阶段都遇到了融资、人才等瓶颈,在产业化阶段更是困难重重。如在产业化阶段,中小企业的创新很多时候会遇到技术不完善、生产达不到规模效益、配套设施和服务体系跟不上、商业模式不成熟、市场认同度较低等问题,进而形成信任瓶颈、资金瓶颈、制度瓶颈和市场瓶颈,企业则会因为无法克服这些瓶颈而中途夭折。小企业由于自身能力不足,采用联合研发等方式被国际证明是有效的,但在我国能源产业的实践中,国内很多由政府推动形成产业联盟、技术联合等并没有实质运作,其中一些变成了只供用来联合申报国家项目的平台。

## **4.2.技术创新支撑体系存在的问题**

### **4.2.1. 政府主导的方式遏制了企业创新**

能源产业尤其是新兴能源产业技术创新具有较大的风险和不确定性,比较适合以企业为主体进行分散决策。试图“弯道超车”的政府主导、计划审批、集中决策、集中配置资源、进行经济性管制等办法,不利于能源产业的技术创新。

例如很典型的光伏产业,我国光伏产业在前些年一片坦途的时候,由于利润非常高,而门槛又很低,导致地方政府无不想大力发展这个新兴产业,给出很多土地、税收、银贷方面的优惠政策,全国各地的光伏开发区、产业园遍地开花。“大上快上”的招商政策导致了光伏企业一哄而上,盲目建设、粗放扩张引发产能严重过剩。目前,国家的补贴政策,也大多装进了电站项目开发商的腰包,上游制造企业受益有限,并不能对基础研

发起到带动作用。这样一来，虽然光伏产业中游创新不断，但多晶硅提纯的核心技术被外国掌握，下游市场应用推广较少，技术创新步伐进展缓慢，整体缺少自主创新能力。

同时，创新具有风险和不确定性，只能以企业为主体，分散决策。用赶超阶段的政府主导、计划审批、集中决策、集中配置资源、进行经济性管制等办法，很难实现创新驱动的经济发展。虽然政府对于技术创新方向引导方面具有一定的积极作用，但由于政府不掌握技术、也不会承担市场风险，在缺乏必要的信息支持、无法准确预知未来的情况下，政府主导做什么或不做什么，都会带有很大的盲目性，鼓动或限制企业投资，都会使资源错配；把企业的创新活动框在一个地方政府的规划之中，必然抑制创新；由企业申报、政府部门选定研发项目、分配资助资金，并对成果进行评估、鉴定、表彰的做法，使企业的创新不是追踪市场，而是被政府牵着走；政府选择特定企业进行产业化支持，容易让政府被企业绑架，也会限制新的进入者。

其根本原因还在于政府与市场的关系没有完全理顺。受传统计划经济体制和当前经济发展阶段的影响，政府在支持企业科技创新方面越位和缺位并存。一方面，正如上所说，政府对企业技术创新过度干预，不利于企业成为真正的技术创新主体。另一方面，政府在为企业营造良好的创新环境方面着力不够，基础生产要素价格扭曲，市场竞争不规范、不充分，知识产权保护不力，产业和融资环境较差，创新人才缺乏，影响了企业创新的动力、能力和绩效。

此外，由于政府控制更多的资源与审批，导致企业受到来自政府的过多干预，创新活力不足。如在工商登记、投资体制、项目审批、市场准入、检查评比等方面，企业会遇到非常多的审批。以工商为例，企业的设立要经名称核准、设立登记、验资、办理营业执照、印章、代码证、税务登记、获取验资证明、统计登记和社保登记等 12 个以上流程和审批，涉及工商、税务、质检、公安、审计、统计、劳动等 7 个以上部门。国有独资、外资企业和经营范围涉及许可的还需履行额外的审批。企业名称、住所、法定代表人、资本、经营范围等任何一项变更，都需进行工商审查和办理变更。有的企业一年需要更换几十次登记册。过于繁琐的审批，抑制了市场作用和创新人员积极性。

#### **4.2.2. 行政化和官本位导致大学、研究机构创新能力不足**

前述“4.1.2 创新供给条件不足”章节已经明确指出我国的教育与人才体制滞后问题。

学术行政化制约了创新人才发展。在办学模式上对教育的行政干预过多，形成了自上而下的行政主导型管理体制。在大学里，学校通过行政力量对大学教学质量进行监管

与评估，依靠行政手段抓质量，通过一些量化指标来衡量。学术行政化以及外部各种干扰严重影响科技创新人才潜心研究，而且科研机构和科研人员的评价标准和导向存在偏差，学术成为权力的附庸，高校中的学术活动浮躁，难以形成鼓励科研人才专心从事科研工作的学术环境，以致难以产生高水平的创新成果。这与前述创新供给条件不足的问题是一致的，导致我们的大学和研究机构等很难提供给企业基础性的、原创性的技术。这些机构必须进行改革，消除行政化和官本位的弊病，从而成为真正的科学研究主体，独立进行研究工作，按科学规律评价研究成果。

#### 4.2.3. 体制分割阻碍创新

目前体制分割的问题仍然困扰着我国能源产业技术创新的发展。企业按所有制和隶属关系被分成了“三六九等”，在我国能源产业中，国有企业处于绝对强势地位。一是它属“体制内”，有“行政级别”和从政府那里获得稀缺资源的优势。如获得土地等自然资源，获得电力特许经营权，获得政府投资项目的能力也最强。二是可以方便地获得银行贷款。银行贷款大多贷给国有企业，民营企业贷款极其困难。三是国企在能源上游产业、基础服务业形成寡头垄断，获得超额利润。四是即便在某几个稍具竞争性的领域，也有市场准入和行政审批两道门槛。能源产业的准入条件往往为大型企业“量身定制”，而行政审批则和与政府的亲疏程度相关。很多民营企业因此被挡在门外，称此为“玻璃门”。五是政府承担了过多的建设职能，在既有国企之外，通过“融资平台”又建立了一批国有企业，在基础设施等领域不少民营企业被挤了出去。

近年来，跨所有制的壁垒、大企业与小企业的割裂有上升的趋势。一些能源行业垄断企业自行扩展垄断链条，国有企业更倾向于在体制内部建立产业联盟，形成配套。如电网企业把“网”的天然垄断性延伸到输变电装备、施工、电缆。一些大企业在研发和创新方面，也倾向搞封闭式、大而全、不求人。大企业往往是中小企业创新产品和技术转化成果的市场，这个市场空间没有很好放开，致使中小企业的发展空间受限；大企业与中小企业合作互补的局面未能很好形成，导致创新体系的结构低效率。不仅使大企业创新成本上升、周期加长，也迫使小企业做长产业链，招致创新创业的成功率下降。

例如，我国新能源和分布式能源上网困难主要是体制性问题。我国油气管网设施与输电网络均由国有企业垄断经营，尚未对社会开放。一方面，由于缺乏管网设施，页岩气开采面临困难，而电网企业接纳新能源和分布式能源发展也积极性也有限，导致新能源和分布式能源发展严重受阻；另一方面，新技术在能源行业应用中也经常碰到层层壁

垒，如民营企业生产的生物燃料在油品掺烧中受到垄断企业制约，民营企业的电力设备新产品、新技术难以进入电网体系等。

此外，能源技术创新的垄断还体现在大型能源国有企业垄断创新研发资源，如各行业研究院所基本被国有企业垄断，封闭严重不仅使其本身创新动力不强，而且严重导致非体制内企业难以获得创新资源共享和公平的服务。例如，对于民营企业的电力设备新产品、新技术难以进入电网体系的问题。目前，我国研发生产风电功率预测系统的主体有中国电科院与东润环能、国电南自、华北电力大学、IBM 中国研究院等，而中国电科院与东润环能属于国家电网公司的下属企业，东润环能凭借与电科院携手推出 WPFS VER1.0，加上国电南自几乎占据了整个市场。而华北电力大学的产品在 2010 年 7 月 4 日，只是通过了由河北省科技成果转化服务中心组织的专家鉴定。电科院的 WPFS VER1.0 则是通过了国家电网公司组织的验收，对于风电场唯一客户的电网公司，两者的市场影响力差距之大不言而喻。东润环能与电科院合作，采用的所有参数获得了电网公司的认可，如果用国内其他企业的产品，会存在参数不兼容的后果，如果用国外公司的产品，会存在泄漏我国电力机密的风险，政策上可能不允许。<sup>24</sup>

#### 4.2.4. 技术创新服务体系滞后

企业在创新的不同环节应得到不同金融和资本工具的支持，如在初创期，其外部资金来源主要是天使投资和风险投资，一些竞争前的技术研发往往还会得到政府资金的支持。在快要或者进入产业化阶段，外部资金则主要靠私募基金、银行支持，这个时候也可通过资本市场进行融资。在成熟期，则更多地是利用银行、资本市场来融资，对一些关系国家战略的技术研发和产业化推进，也可由政府出资金进行支持。但由于我国风险投资、私募基金等仍不发达，对能源产业技术创新的支持更是远远满足不了创新实践需求，很多风险投资不愿“冒风险”，投早期项目的少，一些私募基金更喜欢“临门一脚”的项目，在企业快要上市时争相进入，上市后快速套现，缺乏对企业的稳定支持。尽管现在私募资金较多，但在创新技术处于关键研发以及进入产业化的重要阶段，很多创新企业往往苦于找不到资金支持而导致创新被迫中断。

创新服务业未能有效顺畅地与创新活动结合。创新服务业有助于打通创新链条，如技术交易市场、股权交易市场、猎头公司等，可使不同成熟度的创新成果可以在市场上变现，使买方可以在市场上方便地获得所需的创新资源。同时，依托市场化、专业化的

---

<sup>24</sup> 垄断阻碍风电功率预测技术进步，《中国能源报》（2011-07-04 第 21 版）

金融服务、技术服务、人才服务的支撑与撮合，众多创业者和科技型中小企业围绕高校而生，他们吸纳高校科研活动的扩散效应，吸引高校流出的人才，并发挥创新企业的集聚效应，开展创新转化活动，形成可形成一条强有力的创新结合纽带。而我国创新服务业还存在很多问题，其发展仍受制于一些体制和政策障碍。全国各地建了很多技术交易市场，但多数并不活跃，很多技术交易市场功能单一，交易主体不多，还没有更好地发挥出价格发现、促进技术转让的功能。服务于创新的股权交易市场还刚刚起步，过去各地建立的许多产权交易市场更多是服务于企业改制重组的，其服务创新的功能不强。全国性的股权交易市场的交易规模仍较小，其发展定位和交易规则还处于探索中，企业期盼的类似于美国的“场外市场”，在国内还没有真正运转起来，一些地方的先行试验进展仍缓慢。由于我国高校与科研机构改革仍滞后，通过人才流动而促进成果转化、围绕高校形成创新创业集聚区等创新模式在中国走得仍较艰难，中国还很难出现硅谷这样的创新地。

#### 4.2.5. 技术标准不健全

技术标准对于引导产业技术进步起着十分重要的作用。目前，中国一些新兴能源产业技术标准滞后，部分行业节能环保标准相对较低，且存在标准执行不严的现象，不利于技术创新。

例如：在页岩气产业，虽然页岩气标准化技术委员会已成立，但相关标准体系并未建立，其近期工作目标是通过 3 至 5 年努力，基本建成国内页岩气全产业链标准体系。而《页岩气产业政策》规定页岩气勘探开发生产活动必须符合现行页岩气相关技术标准和规范，因此，标准的缺失也必然会影响到现阶段的页岩气产业技术创新。

我国光伏标准规范体系虽然基本形成，现行和在研光伏标准数量达到一定规模，基本覆盖了光伏产业的主流产品，但也存在一些问题，比如标准制修订速度过慢。虽然一些光伏行业急需的标准经过努力已获得成功立项，但是由于标准研制周期过长，不能及时发布实施为行业所用，往往在一定时期内表现为产业标准缺失。

我国在风电发展的初期时，由于风机制造标准缺失，风机制造门槛儿低。我国风电采用的风机制造厂商众多、品牌众多。由于标准的缺失，导致 2009 年以前生产的风机基本上没有低电压穿越、高电压穿越这些常规发电机组都有的功能。而且风电厂既没有控制系统，也不和调度相连，互相信息不通，风机不可控、不可测。既给系统安全运行带来隐患，也给风电厂自身的效益带来很大的影响，并直接导致了 2011 年多起大面积脱网

事故的发生。目前中国新兴能源产业呈“爆发式”增长，很多产品从研制到批量生产周期太短，产品研制中的问题在批量生产之前没有充分暴露和有效解决，加上标准缺失、未经严格检测就被大量投放市场，有可能出现大面积设备故障，造成重大损失。

#### **4.2.6. 能源技术创新政策有待完善**

虽然我国已出台的能源技术政策非常繁多，但多数政策并不完善也并不规范，政策效应难以得到体现。而且重大政策缺乏深入研究和论证，技术路线和政策变化无常。促进科技创新的财税政策不健全，技术与产业政策法规之间协调性差，执行不力。

例如，目前可再生能源发电全额保障收购的实施细则尚未出台，可再生能源发展缺乏足够保障和激励；对低碳能源开发的激励政策只侧重于发电环节，对输电、常规电源辅助激励不足，特别是对其他电源为可再生能源发电提供辅助服务（调峰、调频等）还没有建立起完善的定价和补偿机制（如储能电价补偿机制等），对建立创新科研组织的引导不足，尤其是支持产业联盟对共性技术和关键零部件的国产化扶持以及能源技术成果大规模市场运用方面政策缺失等，这些都不利于能源技术创新和新兴能源产业快速发展。

#### **4.2.7. 能源管理体制不健全**

在条块分割的管理体制下，能源产业各环节分散在不同部门管理。能源局、科技部、工信部等部门都对能源技术和产业发展进行规划和管理，存在多头管理、重点不一、产业各环节发展难以衔接的弊病，造成能源领域的基础技术与市场严重割裂，新兴能源技术市场应用上明显存在问题，产业化进程不畅。

以风电为例，并网困难和弃风限电同时存在。2010年底完成装机吊装的风电装机容量为4473万千瓦，但并网容量只有3107万千瓦。截至到2013年底，中国风电累计装机容量达到9174.46万千瓦，但并网风电累计容量只有7758万千瓦。2012年全国弃风电量约200亿千瓦时，2013年弃风限电形势虽有明显好转，但弃风电量仍超过150亿度。大量风电的撂荒有短期性的因素，比如发展过快，电网建设在一定时期跟不上，但深层次原因是相关体制机制没有理顺，包括新能源可再生能源发展和电网建设的不协调、新能源可再生能源发展带来的成本增加没有及时得到传导、对电网企业缺乏有效监管等。

## 5. 构建我国新兴能源产业技术创新支撑体系的设想与建议

### 5.1. 确立我国新兴能源技术目标定位

#### 5.1.1. 要确立国际领先的新兴能源产业目标定位

构建国内新兴能源产业技术创新支撑体系，首先需要对我国新兴能源产业的发展进行目标定位。就目前来看，我国已将发展新兴能源产业提到了战略高度，并制定了一定的规划目标。

首先是我国发布的《中国的能源政策 2012》对我国非化石能源发展提出了目标要求。白皮书指出，中国坚定不移地大力发展新能源和可再生能源，到“十二五”末，非化石能源消费占一次能源消费比重将达到 11.4%，非化石能源发电装机比重达到 30%。而非化石能源则以新兴能源为主，这就表明我国需要大力发展新兴能源产业。

其次，我国 2012 年发布了《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》，风能、太阳能等被作为新能源列入其中，规划指出，到 2015 年，新能源占能源消费总量的比例提高到 4.5%，减少二氧化碳年排放量 4 亿吨以上。其中包括：

2015 年，累计并网风电装机超过 1 亿千瓦，年发电量达到 1900 亿千瓦时。基本建立完善的风电产业链，掌握先进风电机组整体设计能力，形成海上风电设备制造、工程施工能力。2020 年，累计并网风电装机 2 亿千瓦以上，年发电量超过 3800 亿千瓦时。海上风电装备实现大规模商业化应用。风电装备具备国际竞争力，技术创新能力达到国际先进水平。

2015 年，太阳能发电装机容量达到 2100 万千瓦以上，光伏发电系统在用户侧实现平价上网。太阳能热利用安装面积达到 4 亿平方米。掌握太阳能发电、热利用关键技术，太阳能利用设备及其新材料的研发制造能力大幅提高。开展太阳能热发电试验示范。2020 年，太阳能发电装机容量达到 5000 万千瓦以上，光伏发电系统在发电侧实现平价上网。太阳能热利用安装面积达到 8 亿平方米；太阳能光伏装备研发和制造技术达到世界先进水平，太阳能热发电实现产业化和规模化发展。

我国在 2013 年 10 月国家能源局制定的《页岩气产业政策》中，将页岩气开发纳入了国家战略性新兴产业。并在《页岩气发展规划（2011-2015 年）》中指出，



到 2015 年初步实现规模化生产，实现页岩气产量 65 亿立方米。力争 2020 年产量达到 600-1000 亿立方米。

对于储能产业来说，“储能”二字在国家的政策性纲领性文件中首次出现是在我国 2011 年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》，其中指出“要依托信息、控制和储能等先进技术，推进智能电网建设”。到目前为止，我国还没有具体的发展规划目标，只是相关产业的规划中，对储能产业提出了一定的目标要求。例如：《国家“十二五”科学和技术发展规划》中指出，要围绕节能减排、能源材料和装备、生物质能、储能等战略必争领域和产业核心竞争力的提升，突破核心关键技术；《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》的太阳能、风能等发展目标中指出，要开发太阳能光伏储能技术和装备，发展高效储能，并在风电储能技术方面取得重大突破。

目前，欧洲正在逐步实现关于 2020 年可再生能源发电总用电量占比 20% 的目标。我国要实现到 2020 年非化石能源占一次能源消费比重 15% 的目标，一半靠水电，另外一半则要靠新能源。要实现这个目标，技术创新和产业化是非常重要的，我们应该以中国的能源现状确立具体的能源目标。中国应该在新兴能源技术创新领域确立全球领先的地位，要争做全球领先者。并主要依靠自有的技术创新，通过整合利用全球的技术创新成果，来推动中国新兴能源技术和产业的共同发展。

### **5.1.2. 我国在新兴能源领域具有成为全球领先地位的条件**

一是对于新兴能源，我国已经有这样的基础，在有些领域已经走在或者跟上全球领先发展水平，比如大型风电设备的研制。

二是新兴能源产业在世界各国的发展几乎同时起步，发展的基础相同或相似，我国在新兴能源领域有机会做一个领跑者。

三是目前新兴能源在国际范围正在发生变革，在这种变革期，只要我国抓住机会，也完全有可能在新的轨道上成为领跑者，即所谓的“变轨式创新”。

此外，我国还具有一个世界其他国家不具备的条件，就是我国拥有非常巨大的应用市场，我国可以通过市场应用的拉动作用来推动新兴能源产业的发展。近几年我国风电、太阳能光伏装机容量实现高速增长，对装备工业的拉动非常大。

因此，我国在新兴能源领域具有成为全球领先地位的条件，我国在新兴能源

领域确定一个全球领先的目标是可行的，我国完全可以也应该在能源技术领域确定一个“技术和技术创新领先”的目标定位。

### 5.1.3. 构建我国新兴能源产业技术创新支撑体系的基本框架

我国现有能源技术创新支撑体系尚存在诸多问题，要建立我国新兴能源产业“技术和技术创新领先”的目标，就需要重构我国新兴能源产业技术创新支撑体系的基本框架，并不断丰富完善基本框架下的新兴能源创新技术供给体系、创新技术产业化路径、技术创新的服务体系，以及政策环境和设备氛围。在借鉴美国新兴能源产业技术创新支撑体系框架的基础上，我们提出一个立体的三维新兴能源产业技术创新支撑体系基本框架。其中：

**第一个维度是基于技术成熟程度而建立的“技术发展及应用阶段轴”。**该指标维度主要将技术划分为基础科研阶段、可行性研究阶段、技术开发阶段、技术示范阶段、技术初期应用阶段、技术大规模应用阶段这六个区间段来标记。当然，针对同一种创新型技术，不同市场创新主体依据自身的研发能力所能掌控的技术成熟程度必然是有所区别的，这才能体现出技术不同发展阶段的创新技术供给主体的区别，以及技术不断改进、升级及优化，并最终实现规模应用的产业化过程。

**第二个维度是基于技术不同发展阶段产业所具有的特征而建立的“技术产业特征轴”。**该指标维度主要以技术不同阶段情况下产业对技术研发及资本投入需求的多寡来划分，如：高资本投入、中等资本投入投入、低资本投入等相对概念来标记。一般技术不同发展阶段对研发和资本投入的需求程度基本上反应了技术创新对产业扶持及配套政策的需求，高资本投入普遍需要政府出台更加优惠的产业政策来引导技术创新，并推进产业发展。这就决定技术发展不同阶段对产业政策环境及社会氛围的需求也是不同的。

**第三个维度是基于技术不同发展阶段创新风险及收益的高低程度而建立的“技术风险及收益轴”。**该指标维度主要反应技术不同发展阶段创新的风险程度。技术创新的高风险一般对应着创新成果的高收益性，而技术创新的低风险并不一定是低收益，也可能带来较高的收益，所以该维度指标主要在坐标轴中体现为高风险高收益和低风险进行中两个前后端。

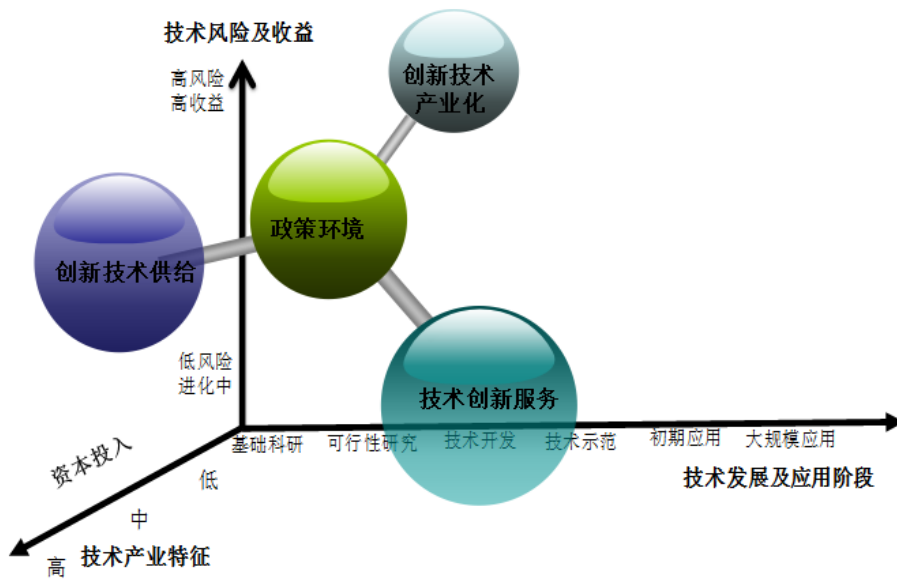


图25. 我国新兴能源产业技术创新支撑体系建设基本设想

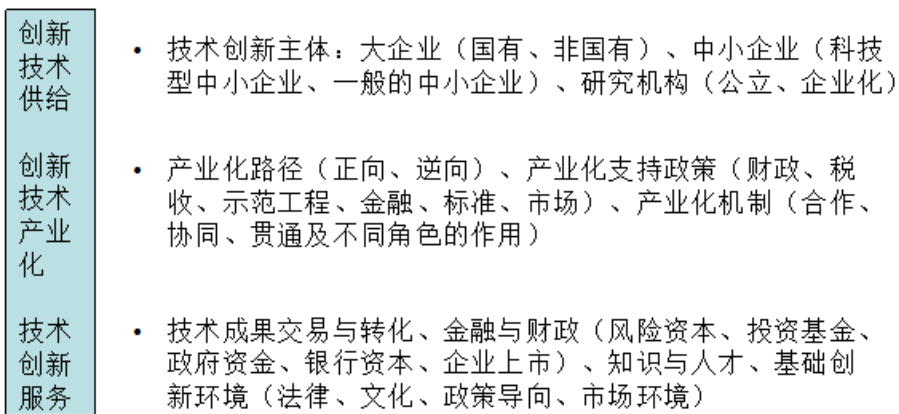


图26. 我国新兴能源产业技术创新支撑体系的功能要素

立足该三维立体框架结构，我们尝试着对完善及重构我国新兴能源产业技术创新支撑体系的功能要素提出建议，包括对建立完整的创新技术供给体系的建议，构建合理的创新技术产业化路径的建议，提供全面的技术创新服务体系的建议，以及完善产业政策支持体系。

## 5.2. 建立完整的供给体系

研发体系中充足的资金与人才资源，科学的评价系统以及有效的管理方法是可持续的创新力的保证。如何通过管理机构、管理系统及激励机制的设置使相关资源更加合理、更加有效地发挥作用，从而吸引更多的资本投入以促进创新的繁荣应是新兴能源技术及产业发展首要解决的问题。在我国的新兴能源技术创新供

给体系中，公共研发机构、大企业、中小企业和大学都是必不可少的，只是在不同阶段发挥不同作用。例如：源头性创新主要以公共研发机构和大学为主；应用开发更多地依靠中小企业；而推动产业集聚，实现大规模产业化则要依靠大企业。

### 5.2.1. 建立公共研发机构

在美国，有若干隶属于美国能源部的从事清洁能源技术研究的国家实验室，包括劳伦斯伯克利国家实验室、国家能源技术实验室、劳伦斯利佛摩尔国家实验室、橡树岭国家实验室、及太平洋西北国家实验室等。这些国家实验室为美国清洁能源提供了源源不断的源头创新技术，其中国家可再生能源实验室更是专门专注于清洁能源研究，其尤其关注可再生能源和能源效率，在基础科学、生物质能、地热、氢能、太阳能、水利项目、风能、建筑、电气基础设施、及汽车和燃料技术等领域的创新、以及旨在培育商业化和推广方面做了大量工作。

在我国能源领域，虽曾建立过一些国家级的研发机构，但目前公共研发部门的前沿探索相对于产业部门已没有优势，甚至已落后：首先是源自 90 年代的改革，当时为促进各高校和院所的学术竞争与国际化的“以发表为中心”的学术绩效考核机制；其次是不少公共研发部门近年产生了以短期及直接经济回报为导向的考核文化；再者，在企业转制后一些公共研发机构变成了为个别企业利益服务，从而失去了公共研发的职能。所有这些因素都妨碍了国内公共研发机构整体的技术进步，扭曲了它们本应主要服务于社会整体进步与知识扩散的角色。

目前，我国在新兴能源研究与技术开发方面的公共力量已严重不足，至今没有建立起在行业内主要从事前沿研究、在全国有影响的、专业化的新兴能源公共研发机构。其直接结果是，新兴能源产业在国内基本得不到前沿技术的支撑。

公共研发机构缺失或未发挥应有的作用，已成为我国能源领域技术创新的短板。由于缺乏强大的公共研发力量支持，导致我国新兴能源产业虽然已形成了庞大的产业，但是技术革新上主要还是以引进国外的技术进行直接应用为主，而缺乏进一步创新的能力。我国必须建立新的公共研发体系，这不仅需要对原有研发机构进行加强，同时也需要设立新的公共研发机构。建立一个能源主管部门直接管理的国家新兴能源实验室，提供资金专注开展新兴能源的研发与示范，包括从基础科学研究到市场分析和系统集成，以及所有的试验或验证，并通过与其它研究机构及私营产业保持紧密合作关系，负责培育商业化和推广。国家新兴能源实

实验室要对一些设立在大学、国有企业等的国家级实验室或研究中心进行直接干涉和管理，所有国家级新兴能源实验室的研究成果都要通过国家新兴能源实验室进行分享。国家新兴能源实验室可以设立风能、太阳能等分行业的研究院，具体负责单个行业的研发工作。

### 5.2.2. 给中小企业技术创新创造条件

美国很多技术创新都是由中小企业完成的，约有 70% 以上的创新成果都来自于中小企业，是美国的中小公司推动了新兴能源产业技术创新及商业化。例如，在近年来美国最为引以自豪的页岩气革命中，引领页岩气勘探开发技术突破的正是中小企业，如 Michell 能源公司和 Devon 能源公司等。

对于我国新兴能源产业的发展，无论是风电、光伏还是储能产业，都是在一项或一组重大技术突破的基础上，附之一个庞大的技术群而发展起来的，其后续发展还需持续的技术来源不断完善产品、建立完整的产业链，同时还需要大量细微的创新开拓增值业务、扩展边缘业务和强化产业渗透力，围绕新兴能源产业形成多层次市场。在这过程中，中小企业创新处于不可或缺的地位。他们不仅数量庞大，而且直接接触市场，能够为新兴能源产业发展提供大量的持续的技术创新来源，是建立完整产业链的主要力量，是围绕新兴能源产业开拓增值业务的主力，也是推动形成多元化、多层次市场的主角。

但目前我国新兴能源中小企业的创新发展还面临较多困难，例如：目前中国油气管网设施、输电网络均由国有企业垄断经营，由于缺乏管网设施，页岩气开采面临困难，而电网企业接纳新能源和分布式能源发展的积极性也有限，导致新能源和分布式能源发展严重受阻；中小企业研发的新技术在能源行业应用中也经常碰到层层壁垒，如民营企业生产的生物燃料在油品掺烧中受到垄断企业制约，民营企业的电力设备新产品、新技术难以进入电力、电网体系等；此外，能源技术创新的垄断还体现在大型能源国有企业垄断创新研发资源，如各行业研究院所基本被国有企业垄断，搞自成一体，封闭严重，不仅使其本身创新动力不强，而且严重导致非体制内企业难以获得共享的创新资源和公平的服务。

政府应该为中小企业的创新创造条件，最重要的就是要打破垄断，开放市场，要为中小企业提供广阔的市场空间。一方面，应在电力部门实行切实可行的措施，确保新能源和可再生能源发电优先上网，鼓励更多的企业和资金进入新能源可再

生能源领域，加快新能源可再生能源的商业化进程。另一方面，打破管网垄断，促进无歧视公平入网，建立公平公开的竞争性市场环境，特别是推动社会力量投入页岩气等非常规油气的开发和产业技术进步，适时进行天然气管网改革，从制度上确保中小企业和民营企业开采非常规油气资源后能够进入油气市场。

### 5.2.3. 提升国有企业的创新动力

我国与欧美等国一个重要的不同是我国有数量多、规模大的国有企业。能源领域是保障国家安全的重点领域，能源领域的国有企业资本雄厚，资产庞大，占据绝大部分的市场份额，具有很强的垄断地位和优越的竞争环境，但同时也垄断了大量的创新研发资源，并且封闭严重。国有企业是我国创新政策的最大受益者，国有企业本应承担替其他中国公司提供技术支持和实现新技术的商业化的重任。但国有企业在创新中的现实表现却不尽如意，不仅创新成果不及非国有企业，也没有完全承担起实现新技术商业化和提供主要技术支持的责任。例如，目前我国民营企业的电力设备新产品、新技术等难以进入电网体系的情况。目前国内研发生产风电功率预测系统的主体有中国电科院与东润环能、国电南自、华北电力大学、IBM 中国研究院等，其中中国电科院与东润环能属于国家电网公司的下属企业，东润环能凭借与电科院携手推出 WPFS VER1.0，加上国电南自几乎占据了整个市场。华北电力大学的产品在 2010 年 7 月 4 日，只是通过了由河北省科技成果转化服务中心组织的专家鉴定。而电科院的 WPFS VER1.0 则是通过了国家电网公司组织的验收。对于风电场唯一客户的电网公司，两者的市场影响力差距非常大。东润环能与电科院合作，采用的所有参数获得了电网公司的认可，但如果用国内其他企业的产品，就会存在参数不兼容的后果，如果用国外公司的产品，会存在泄露我国电力机密的风险，政策上可能不允许。<sup>25</sup>

国有企业的地位和责任，决定了我国必须要发挥好国有企业的创新力量和对创新的带动作用。国有企业可以垄断一定资源，但是不能垄断一切资源，特别是本应是公共的研发资源，却与个别企业利益挂钩，从而阻碍了国有企业吸收市场上的大量创新和提供创新支持的动力。因此，一是要重视其本身的创新力量，要对国有企业和依托于国有企业的科研院所进行整合、重组，建设成大型的公共研究机构，为市场提供公共的研发平台；二是要发挥国有企业对产业创新的带动作

---

<sup>25</sup> 垄断阻碍风电功率预测技术进步，《中国能源报》（2011-07-04 第 21 版）

用，鼓励国有企业加大对新兴能源的投资，但同时必须要接纳市场上的技术和创新成果，不能搞封闭。

### 5.3. 构建合理的产业化路径

创新成果的转化机制是实现新兴能源技术应用及产业发展的关键。并非最先进的技术就能产生最好的产品，也并非最好的产品就是最适合商业应用。因此，多样的产品转化渠道和高效的商业转化机制的推广是推动新兴能源技术及产业发展的必要条件之一。

#### 5.3.1. 走一条基于核心技术突破的发展路径

我国新兴能源产业的发展，主要是依靠引进国外技术，快速形成生产能力，但是这样容易产生问题。例如光伏产业，世界上率先利用太阳能发电的是发达的欧美国家和日本，我国光伏技术主要来自国外。2000年，施正荣从澳洲带着技术回国创业成立无锡尚德太阳能电力有限公司，到2008年产能达到1GW，一跃成为世界最大的晶硅组件制造商，只用了短短八年时间。特别是近几年，在地方政府的扶持下，我国光伏产业规模更是迅速扩大。2011年，全国31个省市自治区均把光伏产业列为优先扶持发展的新兴产业；600个城市中，有300个发展光伏太阳能产业，100多个建设了光伏产业基地；全球多晶硅产量20万吨，我国占近9万吨<sup>26</sup>。但企业仓促盲目跟风上马，很快导致供需失衡，价格持续下降，利润下降，从而导致部分企业出现经营困难，一些企业甚至开始停产、半停产。2009年和2010年整个光伏行业还高速扩张，欣欣向荣，从2011年便开始急转直下，2012年全行业更是陷入集体亏损。2013年3月20日，无锡尚德宣布破产重组。

光伏行业的教训，一方面有其国际大背景，另外也与这种依靠直接引进技术、引进生产线进行规模扩张的产业化路径有关系。新兴能源产业发展不能再走这样的路子，应先有技术突破，在此基础上推进应用，形成规模化应用后，再进行新的技术突破，带动应用开发，再突破，再带动新一轮应用开发，形成一个“技术突破-产业化应用-再突破-再应用”的产业化路径。到了一定阶段时，通过技术的更新，再带动新一轮的技术投入及应用开发。

---

<sup>26</sup> 何勇. 光伏产业产能扩张过快 岂能遍地开[N/OL]. [2011-11-09]. <http://finance.people.com.cn/GB/16179054.html>.

### 5.3.2. 打通产学研资之间的贯通

“科技成果转化”这一提法是我国习惯使用的一个概念，是指一项新的科技成果被研发出来以后，后续进行试验、开发、应用、推广，最后形成新产品、新工艺、新材料甚至新产业的过程。但是目前高校的研发由于考核机制的问题和缺乏与市场对接的渠道，从而忽视市场导向，更看重论文、专著、鉴定成果和评奖，更看重理论的研究，使其大量科技成果在研发之前就没有相应的适用推广对象，更谈不上形成产业化的条件，加上缺乏资金支持，使得我国高校科技开发、成果转化和推广的案例很少，成果转化率很低。

此外，目前我国在进行一些技术研发时也往往面临这样一种情况：在确定技术目标时，这种技术对当前产业发展来说还算是新技术，但等到技术实现研发突破，再实现产业化应用时，这项技术相对于当前的国际发展现状来说就不再是新技术了，已经严重落后甚至淘汰了。

因此，要缩短技术研发与产业化的时间，就必须改变“先搞技术再推动产业化”的这种“科技成果转化”的传统路径，实现产、学、研、资本之间的全面贯通。这就必须做到两点：一是高校的研发目标要与产业化目标相符；二是让资本在产学研之间的实现全面贯通。也就是要靠市场来引导技术开发，并在研究阶段就确立这种技术的产业化目标，这样才能使研究与未来的产业化能够更好更快地实现对接。而要让产学研之间实现对接，关键的一点是要发挥资本的连续性作用。不能只是对技术研发提供资金支持，要以资本推动连贯一体的运作，使研发、产业化、资本之间实现贯通。要让研发阶段的资金投入，继续向产业化阶段延伸，继续对产业化应用进行支持，一直投资到这些技术形成产业规模或者开始实现盈利了为止。

### 5.3.3. 产业化与需求侧的发展相协调

新兴能源技术创新要顺利实现大规模产业化，不能一味求快，还必须与需求侧的发展相协调。例如新能源与可再生能源发电要与电网发展相协调，页岩气开发要与天然气管网的发展相协调。

目前由于新能源项目审批与电网规划脱节，电网发展滞后于新能源开发，使新能源发电上网难的问题越来越突出。一方面，两种电价机制并存，造成新能源上网电价混乱；另一方面，国家对电网公司发展新能源的权利职责定位不清，电



网公司发展新能源动力不足。这就造成一方面新能源建设风风火火，而另一方面电网建设却迟迟跟不上，使风电“窝风”、光伏电站“晒太阳”在所难免。截至2012年底，内蒙古全区电力装机7828万千瓦，其中风电装机1692万千瓦，外送电量占全国近1/5。但是，由于电力外送通道不畅，自身用电负荷不足，电力装机富余800多万千瓦，风电弃风率超过20%。

新兴能源产业的发展与汽车、彩电等产业不同。汽车和彩电等只要制造出来产品，然后进行营销就可以了，而新兴能源的发展和利用，则要通过电网或管网来实现，风电、光伏发电必须经过电网，页岩气则必须经过天然气管网。所以从一定程度上来讲，电网、管网的建设和发展决定了新兴能源产业发展的进程和规模等。

所以，可再生能源的特征决定了其发展从一开始就必须考虑需求侧，发展新能源和可再生能源必须考虑电网的因素，发展页岩气则必须考虑管网因素，而不能避开需求侧闹革命，也必须同时推动电网和管网的建设和发展。目前新兴能源产业在我国尚处于发展初期，发展规模还不大，一些利益关系也较易平衡。在大范围电力改革和油气改革推进难的情况下，可考虑在新兴能源管理体制改革方面先行一步。尽快为新兴能源发展创造好的体制环境，及时调整发展规划，做到新兴能源发展与需求侧的有机统一，为真正落实好新兴能源的发展规划创造条件。

#### **5.3.4. 依靠市场的选择机制**

要使新兴能源技术创新成功实现产业化，需要打破垄断，开放市场，更多地依靠市场的选择机制。从美国实现储能技术在电力系统的应用来看，一个主要原因就在于美国自上个世纪70年代末开始，通过立法打破了电力市场的垄断局面，逐渐形成或者正在发展成为有组织的区域性电力市场，并形成了基本结构类似由能量市场（日前及实时现货市场）、辅助服务市场、容量市场和金融套利市场等组成的电力批发市场。而我国的电力体制改革还没有完成，市场化的电力市场环境还没有建立起来，就使得风电、光伏等新能源的发展受到限制。

十八届三中全会通过的改革决议中强调，要“使市场在资源配置中起决定性作用”。2004年，风电产业在我国刚刚起步，只占全世界风电的1.66%，当时的风电装备也几乎全部从国外进口，而风力发电的最低价格是0.8元/度，最高达到2.5元/度。这个价格并不能为市场接受，使风电成为有竞争力的能源。但在引入

市场竞争机制后，通过竞争引导价格来促进风电行业的发展，目前风电上网电价已能与煤电竞争。而且风电上网电价的下降也并没有导致风电企业无利可赚，反而还提高了企业的竞争力。根据各公司的年报披露数据显示，华能新能源 2013 年上半年的销售收入达到 28.66 亿元，比去年同期增长了 58.4%，其中利润是 6.68 亿元，比 2012 年同期增长了 141.3%；中广核风力发电部分 2013 年也赢利 9 亿元。这些成绩的取得正是市场机制在发挥作用。民营企业不仅没有退出风电市场，反而扮演了很重要的角色。在风电领域，国企、民营企业在同一起跑线上进行竞争。尤其是风力发电设备制造企业，随着我国制造能力的增强，同类企业的竞争非常激烈，虽然一定程度的价格竞争带来风电设备制造商的利润下降，但是激烈的竞争也降低了风电的投资成本，从而促进整个风电制造业的技术进步和成本下降，并使我国风电制造走向国际市场。

而在太阳能发电领域，由于太阳能发电和风力发电略有不同，总量上也没有风电大，上网电价比风电要高，因此太阳能发电在没有补贴的情况下要做到有竞争力难度可能要大一些。当前，我国太阳能光伏实行的是分区域标杆上网电价政策，应该进一步引入竞争机制，辅以一定的政府扶持政策，让市场来发现价格，让价格反映市场的情况，也同样能促进太阳能发电行业的技术进步和成本下降。

### **5.3.5. 新兴能源产业化与商业模式创新互动协调**

在工业革命成长的初期，商业模式的创新可以拯救一个产业，可以拯救一个技术，或者说甚至其重要性要大于技术的创新。所以，商业的快速创新，使整个的技术进步的节奏加快了，这是过去的工业革命时代所不具备的一个特点。抱定一个技术，抱定一个产品，试图来获得持久利润的时代，在新的工业革命很难见到，要不断地推进技术的更新和进步，而技术进步又必须快速地对接产业化。那么，实现这种对接就要靠商业模式的创新，或者是商业的创新。

拿储能来说，储能产品进入电力市场，像其他新技术产品一样，往往是基于其在电力系统中多个环节的积极作用，但由于成本较高、材料等因素的限制，也往往在电力系统中无法与传统能源获得公平的竞争，使商业化应用障碍重重。但从储能在电力系统中的作用及功能来看，其在发电、输配以及终端用户都具备应用及盈利机会，一旦成本允许，在一个相对完备与理想的电力市场环境中则可以达到全面商业化运营。在美国，以飞轮储能和化学电池为主的储能产品，在不同

的区域电力市场中已经实现了商业化运营。根据各区域电力市场的规则，目前这些电站主要以提供调频服务获取利益，且市场的反馈显示这些项目在响应速度、准确性方面都非常出色，且已经可以与传统调频资源相竞争。而在开放、竞争相对公平的 PJM 电力市场中，储能则依托需求波动带来的电价波动，也有了套利的良机，利用在电价低时购买并储存能量，在电价高时售出能量。

因此，虽然当前加快推动新兴能源产业化从根本上是要立足于技术突破，但短期内，在技术无法实现突破性进展的情况下，通过商业模式的创新来解决新兴能源发展所遇到的难题就显得尤为重要。电力、能源不过是一种商品，页岩气、风电、光伏发电、储能本质上也是商品，对于新兴能源可用的商业模式，只要符合市场规律，就可能有多种商业模式选择，也可以多种商业模式组合。一切普通商品具有的商业模式，都有可能被新兴能源借鉴运用。新兴能源产业的新技术产业与商业模式紧密结合起来，例如：

(1) 页岩气，不仅可以进入管网以常规管道天然气的模式进行运作，也可以就地发电，作为分布式能源加以利用。

(2) 风电不仅可以发展大风机为主的集中式大型风电场，也可以发展中小型风机的分布式利用。

(3) 光伏发电更是特殊，不仅可发展大型光伏电站，也可以发展商用屋顶或个人屋顶分布式发电，而在发展分布式利用的时候，就完全完全可以把它作为一种普通商品，只是完善配套的技术服务措施，做好技术咨询和服务工作就行了。

(4) 对于储能来说，由于应用广泛，可采用的商业模式则更多，供给侧、电网侧和用户侧都可以利用：供给侧主要指可作为可再生能源发电商，如风电场、太阳光伏电站的电能储存装置，对于其提高电能质量或利用峰谷电价差盈利都有好处；在电网侧利用储能则可提高系统安全和提供优质的输配电服务，另外也同样可以利用电力供应和负荷需求不匹配而引起的峰谷价差来套利；而在用户侧，特别是如高耗能企业、大型商业建筑等对电价比较敏感的工业或商业的用电大户，在用电负荷低谷期，电价较低时储电，在负荷高峰、电价较高时放电自用，不仅可以保证自身用电，如果采取净电表法，还可以实现盈利。

## 5.4. 提供全面的技术创新服务

一个相对宽松的市场对于商业模型的创新必不可少。使先进的技术应用和优秀的商业运作为社会创造最大的价值，需要创建一个健康的技术创新服务体系，同时通过投融资机制、行业标准、公平市场竞争规则的引导，以及培养和积累对技术产品化和产品商业化有专业经验的人才队伍才能真正推动新兴能源产业乃至经济整体产生实质性的增长。

### 5.4.1. 提供顺畅的融资支持

能源是发展国民经济的命脉，是重要的国际战略性资源；而金融是现代经济的核心，是资金运动的中介，是宏观经济调控的重要杠杆。一方面，能源的发展离不开金融的支持。作为资本密集型行业，能源的开发建设需要巨额的资金，而且能源的勘探和研发具有高风险、高回报的特点，因此能源的开发和发展需要巨额的融资需求和多元化金融服务，必须要有政府的扶持，而且更离不开包括银行信贷、证券、保险、基金、信托、金融租赁等在内的金融系统的支持。另一方面，能源的发展也能为金融带来新的商机。

因此，能源的发展与金融密不可分，能源问题实际上在很大程度上是金融问题。目前，我国新兴能源领域，企业融资渠道相对单一，融资集中于龙头企业，产业链中的中小企业融资较困难；由于商业银行对新兴能源仍采取了谨慎或限制的授信政策，信贷支持有限，加上不完善的资本市场制约，许多正处于发展初期的企业，很难取得上市资格，导致企业融资主要依赖于传统的信贷方式，融资方式也比较单一；金融服务理念相对滞后，支持企业发展的措施不配套，金融生态环境有待改良，金融支持的范围相对较窄，中小企业的担保不足的问题未能解决，成为制约其银行授信的瓶颈障碍。

应当加大风险资本对新兴能源产业的投资力度，加大银行对新兴能源产业的信贷支持力度，加大直接融资对新兴能源产业的支持力度。具体地，在新兴能源产业的不同发展阶段，金融介入的形式及发挥的作用也应不尽相同。在新兴能源技术的基础研发阶段，主要是以政府资金支持、自有资金和社会融资为主，并主要以市场竞争来选择技术支持或投资方向。到了技术应用阶段，则主要依靠金融资本和大量社会资金支持，主要包括风险投资、私募股权基金、能源产业基金等。这些资金介入后，侧重发挥资本市场的作用，即允许有能力的企业先行上市，允

许其发行债券、股票等，以解决资金不足问题。而到了大规模应用阶段，风险投资则可以撤出，这时银行等金融机构应作为主要的融资平台，银行要通过担保、贷款等方式发挥杠杆作用，进一步推动新兴能源技术大规模应用。同时，该阶段还应争取到产业基金和社会投资者的融资支持，并允许采用资产证券化，即允许企业用未来的收益进行前期抵押贷款及融资。例如，我国的页岩气开发就可以在前期勘探开发阶段用未来的产出气量做抵押贷款。

#### **5.4.2. 建立新兴能源标准，完善机制**

技术标准对于引导产业技术进步起着十分重要的作用。目前，中国一些新兴能源产业技术标准滞后，部分行业节能环保标准相对较低，且存在标准执行不严的现象，不利于技术创新。例如：正欲被列为战略性新兴产业的页岩气产业，虽然页岩气标准化技术委员会已成立，但相关标准体系并未建立，其近期工作目标是“通过 3 至 5 年努力，基本建成国内页岩气全产业链标准体系”。而《页岩气产业政策》规定页岩气勘探开发生产活动必须符合现行页岩气相关技术标准和规范，因此，标准的缺失也必然会影响到现阶段的页岩气产业技术创新。我国光伏标准规范体系虽然基本形成，现行和在研光伏标准数量达到一定规模，基本覆盖了光伏产业的主流产品，但也存在标准修订速度过慢等一些问题。虽然一些行业急需的标准经过努力已获得成功立项，但是由于标准研制周期过长，不能及时发布实施为行业所用，往往在一定时期内表现为产业标准缺失。我国在风电发展的初期时，由于风机制造标准缺失，风机制造门槛儿低。加上我国风电采用的风机制造厂商众多、品牌众多，从而生产出来各式各样质量参差不齐的产品。由于标准的缺失，导致 2009 年以前生产的风机基本上没有低电压穿越、高电压穿越这些常规发电机组都有的功能。而且风电厂既没有控制系统，也不和调度相连，互相信息不通，风机不可控、不可测。既给系统安全运行带来隐患，也给风电厂自身的效益带来很大的影响，并直接导致了 2011 年多起大面积脱网事故的发生。目前中国新兴能源产业呈“爆发式”增长，很多产品从研制到批量生产周期太短，产品研制中的问题在批量生产之前没有充分暴露和有效解决，加上标准缺失、未经严格检测就被大量投放市场，有可能出现大面积设备故障，造成重大损失。

标准是驱动可再生能源发展的非常重要的政策工具，制定及时和有强制性的标准会极大促进新兴能源产业的发展。在美国，为保证小型风力发电顺利上网，

美国联邦能源管理委员会对容量小于 20MW 的小型发电机组专门制定了并网标准。该标准包括小机组联网程序以及小机组联网协议，联网协议明确界定了谁应该为小机组联网发生的电网改造费用买单。在该标准出台后，约有 40 个州制定了配网级的小发电机组并网标准，为小型风电并网扫清了最大阻力。

我国要加快完善制定机制，建立新兴能源标准体系。首先，标准制定应该有多方面参与，制造商、发电商、电网等。第二，标准起到行业规范作用，缺乏标准的话，就会出现竞争无序，建立一个完善的标准体系不仅能推动产业发展，也是对安全的保障，特别是能源领域不同于普通商品，风能、太阳能的发电上网对整个电网安全都有影响，如果发生事故，带来的危害是系统性的。第三，标准具有牵引力量，能够引导技术创新，反之，如果标准更新太慢则不利于引导技术进步，技术不进步就会被淘汰，因此要对标准进行及时更新。第四，技术标准具有系统性，通过标准，解决系统连带问题，标准统一了，产业就联动了，所以一定要标准先行。新兴能源产业有其自身的产业链，又与其他诸多行业或学科有交叉，在制定标准的时候一定要与其他行业或学科协调。

#### **5.4.3. 建立技术信息、资产交流交易的服务平台**

建立技术信息、资产交流交易的服务平台，对于新兴能源产业发展，对于解决共性技术缺失的问题都是非常有益的。我国新兴能源产业在技术并购、阶段性技术转让、以及企业间的整合，都需要建立公共的服务平台。

首先，技术并购等需要服务平台。能源信息需要快速交流，人才和技术需要快速流动，先进的技术只有在不同的国家及企业间流动才能快速应用起来。如何让先进国家的先进技术快速流入中国？其中一个重要方法就是通过并购的方式来加快对先进国家的先进技术的引进吸收，例如页岩气产业，可以通过收购国外有技术的公司，达到获得国外页岩气先进技术的目的，但这就需要通过公共服务平台来提供信息及数据。

第二，阶段性技术产品的转让需要公共服务平台提供信息等服务。例如，半成品开发技术的转让，主要是对半成品技术的交易、出售、融资、转让提供信息服务，带有资产性开发的阶段性转让，技术的交易资源的交易，在能源产业化中很重要。例如，页岩气矿权的转让，这在国际上先进国家已经非常成熟。当某一家企业对区块进行勘探没有获得发现之后，就可以转让矿权，引进别的企业进行

新的勘探，而在矿权转让的过程中，就需要一个公共服务平台来分享信息。

第三，能源产业链上企业的整合需要公共服务平台。例如，石油公司（作为业主的开发商）、油服公司（拥有技术服务的主体），以及技术公司（专门从事技术研发的企业），要推动他们之间的整合与合作，就需要为他们提供一个信息交流的平台。在对信息进行充分交流的基础上，就可选择多种合作模式，这种机制在能源领域显得非常重要。同时，油气产业上、中、下游之间也是不同业务环节或领域之间的交流，也需要平台提供服务。

#### 5.4.4. 加大人才培养

近年来，我国新兴能源产业发展迅速，例如新能源电力行业在产能、装机容量等方面都已居于世界的领先行列，但在我国新能源电力行业快速发展的过程中，人才供给不足的问题也越发显现，从而在很大程度上制约了新能源产业的发展和技术进步。我国新兴能源产业人才培养已刻不容缓。

首先，高校对新兴能源人才的培养落后。目前我国开设新能源相关专业的高校很少，培养规模小。以风电为例，截止到 2011 年底，国内开设风电相关专业的高校不超过 10 所，每年毕业生不足 1000 人，远远不能满足年均几万人的人才需求量，生物质及光伏发电，到目前国内还没有一所大学开设生物质发电相关专业，只有一些大型光伏制造基地所在的省市开设了相关的职业技术培训类学校，和华北电力大学等几所高校与企业合作成立了生物质、太阳能相关研究机构，但培养的相关研究生的数量也很少，能对接国际前沿技术的更是寥寥无几。

其次，我国现有的人才还主要集中在垄断行业中，人才吸附性强，缺乏流动性，导致外界难以找到适合的人才。例如，我国页岩气上游勘探开发市场放开后，新进入市场的华电、IDG 等企业都难以找到国内从事油气勘探开发及技术服务的专业人才及队伍，面临困难。

再次，新兴能源涉及的大多是一些新的学科，目前我们的高教体系里还非常缺乏对这些新学科的教育和研究。例如，目前的高校教育中，建设太阳能、风电、储能等学科极少，基础工作人才和高端技术人才都非常紧缺。即使有，大多数也只是职业技术学院这样的培训类院校。

新兴能源要实现产业的快速发展和技术的快速进步，人才的供给必须得到保障。

一方面，高校作为技术人才培养的主力军，应当承担起为新能源发电行业培养高级人才的重任。应加大本土人才培养，加强高校新兴能源相关专业的建设，专门针对新兴能源的发展，开设相应专业，专门讲授新兴能源方面课程。

另一方面，也是更为重要的一方面，便是要努力引进、吸纳海外人才。新兴能源产业毕竟是从国外发端，我国新兴能源领域在早期的大多数技术也是从国外带回来的，基本是利用海外的人才资源开始发展我国新兴能源产业。例如：中国光伏制造业发展主要是靠海外归国的技术人才，国内第一批获得页岩气技术的也主要是 IDG 等这些海外留学归国人才，都是海外归国团队。海外技术人才或海外技术团队，加上国内的资本及制造，构成了新兴能源领域创新的主渠道之一。在新兴能源创新和海外回国人员创业，需要将这些人才掌握的技术与国内的资本相结合，这是近几年我国新兴能源领域技术创新最主要的一个渠道之一。这些海外关键人才不仅拥有技术，而且了解技术的前沿发展方向，甚至了解世界整个产业链的布局和发展情况，对产业发展的前景和方向有很强的把握。我国要为引进这些海外关键人才创造条件，并提供更大的支持，包括就业、税收等，以及国家的人才计划，如千人计划、万人计划等，这些政策都应该向这些关键人才倾斜，解决这些海外技术人才归国后的后顾之忧。同时，提供公共平台，为这些海外关键人才归国提供服务和支撑。

#### 5.4.5. 提供技术与资产并购的服务体系

企业通过并购，可以扩张经营规模、降低经营成本、实现专业化生产、充分利用生产能力，同时可以提高市场占有率、提高企业自身的竞争能力，提升企业价值。我国新兴能源通过国内并购，能够较好地整合资源，加快产业发展，通过并购海外资产，可以加快技术的引进。

新兴能源领域在发展过程中的并购活动非常活跃。例如在美国，由于美国页岩气矿权、公司股权之间可以自由转让，矿权的可流动性使得页岩气的并购市场非常活跃。仅在 2011 年，美国页岩气领域就一共发生了 68 起并购，总额高达 1070 亿美元，比 2010 年的 689 亿美元增加了 55%。其中外国资本在美国页岩气领域并购多达 40 起，总投资 564 亿美元。<sup>27</sup>

并购表现形式也非常多样化，可以表现为：同类企业相互之间的“大吃小”；

---

<sup>27</sup> 张永伟，中国的“页岩气革命”靠什么，《中国改革》，2012(11)



产业链不同环节上的上游、中游和下游之间的并购；以及国内企业和国外企业之间的并购活动。例如，全球从事全钒液流电池研发制造的代表性公司北京普能公司，自 2009 年成功收购世界著名钒电池企业加拿大 VRB Powe Systems 公司后，迅速集成具备了全球顶尖的研发团队、技术成果和工程经验，跻身世界化学储能界的明星阵容。中国的三大油气公司也都有对国外页岩气技术服务公司或开发商进行收购，以获得现成技术，例如前面提到的中国石化集团所属全资子公司国际石油勘探开发有限公司收购美国戴文（Devon）能源公司 5 个页岩油气资产权益的 1/3，以及中国石油集团完成的对壳牌加拿大一个页岩气项目中 20% 权益的收购，都使其在页岩气技术以及相关的开发、生产和管理累积了更多经验。

从此可以看出，我国新兴能源产业对提供技术和资产并购的服务体系有非常大的需求。但由于并购活动一般对法律、税收、人才等信息的要求都比较高。所以，我国要大力发展新兴能源产业，就必须把支持并购的一些相关法律、税收、人才、融资、评估、公司等服务体系等基础条件建立起来。

## 5.5. 完善政策支持体系

在新兴能源技术方面，没有哪个具有技术导向性的创新型的行业是在低成本竞争的环境中成长起来的，这在新兴能源产业也是一样的。因此，在新兴能源技术及产业发展的初步阶段，给予一定的政策倾斜以确保处于竞争劣势的新兴产业具有一定的生存发展空间，以及逐步为其建立一个良好的政策环境与社会氛围都应该是国家层面的战略性的考虑。尤其是在目前我国电力及油气行业仍然是高度垄断的条件下，这种以创新为导向的新兴能源产业发展趋势更是面临着全方位的挑战。如何以战略的政策设计逐步引导建立相对商业化的市场体系是储能乃至整个能源行业需要急迫解决的问题。

目前，我国在实施激励性政策时的政策难点在于，实施对象应为供给方还是需求方？实施环节应在研发环节还是产业环节？目前，我国以各种方式对新能源发电进行了大量隐性补贴，而电网企业不享受新能源发电企业所享有的税收政策优惠，国家对电网公司的补贴标准也显著偏低，这就造成电网企业积极性不高。另一方面，我国对基础研究投入不足，技术瓶颈日益突出，受制于人的窘境在新能源产业再次上演。由于我们对基础研发投入欠账太多，当我们形成大规模产业化之后，发现技术及装备的制约越来越突出。

### 5.5.1. 制定权威可预期的规划方案

新能源创新的进程，取决于规划的设计，因此必须要有规划。并且规划也要有权威性和可预期性，这样相关研究机构才能根据国家的规划作出合理安排科技研发的路线图。

首先，规划是属于产业发展的顶层设计政策。新兴能源产业是一个政府管制性较强的行业，新兴能源产业的发展与国家整体能源规划和能源政策紧密相关。新兴能源产业发展和技术创新的进程取决于新兴能源产业发展规划的设计，包括规划的规模大小、时间安排，以及其他一些政府考虑安排，例如政府对能源产业的定位是要快速发展，还是缓慢起步等等。

其次，产业规划应具有权威性和可预期性。新兴能源产业发展规划是对产业发展比较全面长远的发展计划，是对未来整体性、长期性、基本性问题的思考和考量，是设计未来整套行动的方案。因此，其必须应具有权威性和可预期性。新兴能源产业的规划要给产业发展一个明确的目标或预期，让业界对产业的发展前景有一个预判，这样才能形成产业发展的路线图，才能引导这个产业朝着这个方向去发展。

最后，新兴能源单个领域的发展规划也要制定。例如，光伏、风电、页岩气等具体产业的发展规划，包括要解决什么样的重大问题，要明确的技术重点，产业发展目标，要发展的一些重点项目等问题。

### 5.5.2. 完善财政支持政策

完善财政支持政策，需要注意几点：

首先，财政支持要体现阶段性。在新兴能源产业产业发展的不同阶段应给予不一样的财政支持。例如：在早期技术研发阶段，应对新产品的源头技术开发、可行性研究、商业规划和市场研究以及试生产和试销售。由于需要购买研究生产设备、进行产品开发研究和建立销售渠道，企业需要大量资金，但由于企业规模小，产品技术又不稳定，这一阶段的投资风险是最高的，同时又较难获得规范的银行贷款。在美国，财政在这一阶段的主要政策是专项投资、对知识产权成果的形成给予补贴以及支持创办孵化器等。在技术示范阶段，财政政策则应该更多地支持示范项目建设；到了技术应用阶段，则是别的支持方式。总之，应尽可能地明确时间节点，清晰划分技术不同发展阶段的财政政策。

第二是要体现可预期性。例如补贴，要可预期。今年补多少？明年补多少？什么时间停？都要尽量清楚。要有时间表，及时公布，可以修订，并且还要有一定的确定性或权威性。规划要具备权威性和可预期性，就要设立具体而科学的发展目标，或者能够起预期参考作用的目标。例如对光伏发电上网的补贴。确定补贴多少？补到什么时候？或者补贴的多少和方式如何根据产业发展程度或随着时间的推移进行调整？这些细节，能够公布的应尽早公布，要有时间表，要有一定的确定性，使业界有预期。

目前我国对新兴能源的补贴存在很大问题。根据《可再生能源发展基金征收使用管理暂行办法》，可再生能源发展基金由国家财政公共预算安排的专项资金(以下简称可再生能源发展专项资金)和依法向电力用户征收的可再生能源电价附加收入两部分组成，由于可再生能源附加和财政专项资金来源不同，征收、拨付和监管分属不同政府机构，因此在可再生能源附加征收不能满足补贴资金需求的情况下，出现了主管机关相互推诿，附加征收水平不能得到及时调整，资金缺口迟迟无法弥补的情况。以 2012 年为例。根据《2013 中国风电发展报告》，2012 年我国全社会用电量为 46 亿千瓦时，按每千瓦时 8 厘计算，应收可再生能源电价附加总额为 370 多亿元，但实际征收 250 多亿元资金缺口达 120 亿元。由于逐年累计，拖欠发电企业的可再生能源附加补贴总额已逾 200 亿元。同时，现行可再生能源补贴拨付程序过于繁琐，补贴资金的申报、审核、拨付由财政部会同国家发改委、国家能源局三家审批，再由中央财政拨付至地方财政，继而或直接发放至发电企业或由电网企业代付，导致资金调配周期过长，补贴不能及时到位，到 2014 年初补贴拖欠周期长达 18—36 个月。政府长期拖欠发电企业补贴，不仅严重影响了政府信用导致发电企业资金流转不畅、财务成本增加，产业链出现发电企业、设备企业、零部件企业间的三角债现象，也严重影响了企业的正常经营和经济效益。

### 5.5.3. 提供税收支持

利用税收政策鼓励创新是美国鼓励创新的重要手段，例如通用的企业研发费用的抵扣或减免的优惠和研发费用向后结转或追溯抵扣。企业研发费用的抵扣或减免的优惠规定，当年发生的研发费用超过规定标准的部分，其 20%可直接从应纳税额中抵免。而研发费用向后结转或追溯抵扣规定，美国企业当年发生亏损或

没有上缴所得税，计算确定的减免税款和研发费用扣除额，可以往前追溯 3 年，往后顺延(结转)7 年,最长可以顺延 15 年。

税收抵免更是美国联邦政府促进新兴能源产业发展的最主要的经济措施。例如可再生能源，美国采取了投资税抵免、生产税和生产所得税抵免、消费税抵免等多种税收优惠措施，鼓励新能源可再生能源发展。拿投资税抵免（ITC）来说，美国鼓励可再生能源计划的发展，对于符合规格的太阳能，燃料电池和小型风能项目予以 30%的税收减免，地热能、微型燃气轮机和热电联项目抵减 10%。当然，美国联邦政府会根据产业发展的实际情况，对税收抵免的覆盖范围、抵免额度不断予以调整。再如，为鼓励页岩气开采，1980 年美国国会通过《原油意外获利法案》，其中第 29 条税收补贴条例对 1979 年到 1993 年期间钻探与 2003 年之前生产和销售的页岩气均实施税收减免，减免幅度为 0.5 美元/mmbtu（mmbtu：百万英热单位），而在 1989 年美国天然气定价基准亨利枢纽（Henry Hub）价格仅为 1.75 美元/mmbtu。补贴的存在使得开发者长期保持了对页岩气开发的动力。

#### 5.5.4. 提供示范项目支持

美国对研发和示范的支持是新兴能源技术产业化当中非常关键的一点。美国用于研发和示范的投资额自 2004 年起始终是增加的，清洁能源研发示范的支出由 2004 年的 15 亿美元增加到 2009 年的 70 亿美元，并于 2009 年因《2009 美国复苏与再投资法案》（ARRA）达到了 71 亿美元。约 30 亿 美元的 ARRA 资金投入了可再生能源和提高能源效率方面（分配大致均匀）。到 2011 年，美国的研发示范资金额下降，但仍高达 40 亿美元。

我国新兴能源产业具有不确定性，一项关键技术的变化可能影响一个大的系统变动，可能产生系统性风险。例如，一座火电厂既消耗煤炭，同时还消耗油品，大量煤炭还需要可靠的运输来保障；火电、风电、光伏发电，都同时接入电网，从发电端到用户端，某一环出现事故都会对整个系统产生影响。所以，新兴能源技术在产业化过程中必须示范先行，既要对具体的技术开展示范，还要对相应的标准、财税政策，以及商业模式等开展示范，为未来大规模应用积累技术数据和运行经验。例如，在储能示范项目中，要结合考虑各类储能技术的性能，在全面评价基础上，根据具体用途选用合适的储能技术；早期的储能示范项目还可先与风电、光伏等相结合，探索风光储一体化模式。

### 5.5.5. 完善价格、环保等监管体系

发展新能源产业一定要有技术的持续性突破。目前，我国的新能源领域，很多技术是从境外通过便捷途径进入国内，利用国内较低的资源及运行成本，快速形成了规模化生产，并采取低价竞争策略，不仅扰乱了整个行业的秩序，而且严重打击了本土新兴产业的技术创新能力。由于当前业界对鼓励发展什么样的新能源技术与市场争议比较大，结果导致相关政策迟迟不能出台。为了新能源产业的良性发展，应该及时出台相关管理和约束政策。

新兴能源产业是一个受管制的行业。在价格监管方面，要尽早推动价格市场化。例如，油气管网要进一步向社会资本放开，同时，尽快建立起油气管网的监管制度，保证油气管网运营者的独立、公平，防止形成新的垄断，从制度上确保中小企业和民营企业开采非常规油气资源后能够进入油气市场。电网作为保障安全可靠供电的公用事业，承担着满足经济社会快速增长的电力需求和促进环境保护和资源高效利用，推进节能降耗，保护生态环境，促进人与自然和谐发展的责任，因此，电网应该对新能源和可再生能源发电要无歧视上网。国家应尽快明确相关法律规定，以法律的手段强制要求电网企业承担责任。

同时，新兴能源产业发展对环境的要求也比较高。例如页岩气开发的环境影响问题、光伏制造的环保问题、储能电池的回收环保问题等。拿光伏制造行业来说，一些地方政府和环保部门为了上项目保发展而有意放松监管，严重影响了中国光伏产品的形象和国际竞争力。有关部门没有及时出台或更新有关光伏产业的环保和产品标准，而企业为压低成本有意减少必需的污染控制投入，其结果是在国外没有产生污染的光伏产业，在国内却成为一些地方的重要污染源，加上由于一些生产规模小、技术水平低的企业生产的产品质量得不到保证，导致进入国际市场的中国产光伏产品质量参差不齐，退货等质量纠纷事件不断增加。

所以，新兴能源发展必须要加强对环境影响的监管，建立环保监管体系。如果价格、环保，以及社会监管等不到位，就可能这个产业混乱，最终导致产业技术创新中断、中止。这样的问题属于社会性问题，应坚决杜绝发生。

### 5.5.6. 积极推进市场开放

十八届三中全会通过的《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》提出：“要准确界定不同国有企业功能。国有资本继续控股经营的自然垄断行业，

实行以政企分开、政资分开、特许经营、政府监管为主要内容的改革，根据不同行业特点实行网运分开、放开竞争性业务，推进公共资源配置市场化，进一步破除各种形式的行政垄断。完善主要由市场决定价格的机制。凡是能由市场形成价格的都交给市场，政府不进行不当干预。推进水、石油、天然气、电力、交通、电信等领域价格改革，放开竞争性环节价格。政府定价范围主要限定在重要公用事业、公益性服务、网络型自然垄断环节，提高透明度，接受社会监督。同时，逐步取消竞争性领域专项和地方资金配套。”

体制问题一直是我国新兴能源产业发展面临的一大难题，尤其关于垄断环节的市场准入问题。我国油气管网设施、输电网络等基本上都是由国有企业垄断经营，尚未对社会资本及市场主体开放，这严重阻碍了新兴能源产业发展和技术创新。建议我国尽快落实十八届三中全会关于全面深化改革的决定，放开竞争性业务，推进公共资源配置市场化，进一步破除各种形式的行政垄断。现阶段，我国亟需尽早推动油气管网准入机制，并要进一步向社会资本放开管网建设，同时尽快建立起油气管网的监管制度，保证油气管网运营者的独立、公平，防止形成新的垄断，从制度上确保中小企业和民营企业开采非常规油气资源后能够进入油气市场。此外，我国还需要尽快明确相关法律规定，以法律等手段强制要求电网企业承担责任，对新能源和可再生能源发电上网要无歧视接入等。

# 中国新兴能源产业的创新支撑体系及政策研究

( 附件报告 )

清华大学产业发展与环境治理研究中心

二零一四年

# 目 录

1.	前言 .....	1
2.	扶持清洁能源的根本原因 .....	2
3.	美国清洁能源扶持体系：投资、专利申请和政策 .....	3
3.1.	一般性投资和专利趋势.....	3
3.2.	全球环境下的美国清洁能源投资及创新.....	3
3.2.1.	投资和补贴 .....	4
3.2.2.	研究、发展和示范方面的支持 .....	5
3.2.3.	清洁能源专利 .....	6
3.3.	扶持开展清洁能源的关键政策.....	9
4.	美国清洁能源创新体系内的机构 .....	11
4.1.	美国能源部.....	12
4.2.	国家实验室.....	15
4.2.1.	国家可再生能源实验室 .....	16
4.3.	美国能源部的新计划.....	16
4.3.1.	ARPA-E.....	17
4.3.2.	美国能源部贷款担保计划 .....	18
4.3.3.	能源创新中心 .....	19
4.3.4.	能源前沿研究中心 .....	21
4.3.5.	“射日”计划 .....	22
4.3.6.	美国下一代顶尖能源创新者计划 .....	23
5.	美国得到扶持的清洁能源有创新成果 .....	23
5.1.	Solyndra 公司和 1705 贷款担保计划 .....	23
5.2.	1366 技术计划：将 ARPA-E 计划、贷款担保计划和射日计划与大学研发相结合 .....	24
6.	评价美国清洁能源的成功与失败 .....	26
6.1.	贷款计划.....	26
6.2.	ARRA 创新计划: ARPA-E .....	27
7.	向中国提出的建议 .....	28
7.1.	美国清洁能源扶持计划的教训.....	28
7.2.	美国-中国在清洁能源创新方面合作的机会 .....	29



## 图目录

图 1.	新的各国年度清洁能源投资额.....	4
图 2.	主要国家年度风电和太阳能投资额.....	5
图 3.	清洁能源领域的风投资金额.....	5
图 4.	主要国家在清洁能源领域的研发和示范支出情况.....	6
图 5.	美国专利和商标局授予的清洁能源和污染控制领域的专利情况.....	7
图 6.	按技术领域分类, 清洁能源专利.....	7
图 7.	特定技术领域内的清洁能源专利下降.....	8
图 8.	按不同技术领域划分的美国专利商标局清洁能源专利.....	8
图 9.	涵盖主要清洁能源专利申请国家和技术的专利技术活动指数.....	9
图 10.	投入清洁能源技术的公共刺激性资金 (2008 年至 2009 年) .....	10
图 11.	按联邦机构分类的美国能源创新资金的分配情况.....	12
图 12.	美国能源部资助历史 .....	13
图 13.	美国能源部的计划在不同技术阶段和风险水平时所起的作用图示 .....	15
图 14.	NREL 的资金和职员.....	16
图 15.	ARPA-E 的技术加速方法.....	17
图 16.	能源前沿研究中心的地点.....	21
图 17.	为削减太阳能成本而制订的射日计划.....	22
图 18.	按 1366 技术计划分类, 获得的公共财政资金和私营资.....	26
图 19.	美国和中国的国家清洁能源扶持方面的互补性.....	29

## 表目录

表 1	美国清洁能源技术的研发 .....	6
表 2	ARRA 中清洁能源在技术和机构中的花费 (到 2009 年止) .....	10
表 3	美国对可再生能源的关键扶持政策机制.....	11
表 4	美国能源部能源效率和可再生能源预算.....	14
表 5	能源部先进计划研究局预算.....	18
表 6	获得美国能源部 1705 计划贷款担保的项目.....	18

# 美国支持清洁能源创新的举措

## ——美国清洁能源创新体系及其对中国的借鉴意义

### 1. 前言

全球很多国家的政府都正在推进可再生能源的利用，开发可再生能源技术产业。尽管各国用于扶持本国的可再生能源技术开发的政策有所不同，但新技术的开发，以及将新技术用于示范和集中应用是公共财政扶持的能源研究、开发、和示范计划的关键组成部分。总体而言，不论是经济合作与发展组织的国家还是许多新兴经济体国家，政府在能源研究、开发和示范方面的投资额一直都在增加，然而，如何分配和实施该等与创新有关的计划则因各国的具体情况而差异巨大。

该等国家在产生商业技术提供者方面所取得的成功数量的多寡常被归因于新兴公司的运营所依赖的国家创新体系的差异。包含“国家-产业创新复合体”在内的国家创新体系包括“对研发提供资金并开展研发的公共和私营机构的网络、将研发成果变为商业创新、并对新技术加以推广”，并受到本国政策及鼓励创新活动的其它因素的影响。对国家创新体系进行的研究强调了发达国家与发展中国家之间以及属于该等内容广泛的范畴内的各个国家之间的差异，或按照区域特点来加以区分，而在亚洲后工业化的国家之间，该区域特点在创新模式上又具有某些相似之处。此外，机构性范畴如“研究院”、“所”、或“政府”的含义及该等机构在不同的国家或行业开展的活动范围也会存在巨大差异。以中国为例，公共机构和私营机构之间以及某一机构进行的活动类型会与那些不受中央计划控制的经济实体的活动类型之间的差异巨大。此外，在全球经营的跨国公司的崛起已经通过全球的技术革新而创造了新的创新模式。

作为最大的能源消费国和温室气体排放国，美国和中国是开展清洁能源的最重要的国家。本文回顾美国清洁能源创新体系中的关键因素和参与者，目的是理清中国的政策制定者可能感兴趣的成功范例和失败案例，以便为中国的政策制定者在修改和扩大其自己的扶持清洁能源技术创新的国家体系时提供参考。本文回顾了美国的清洁能源技术扶持情况、详细说明了机构性参与者、资金流向及政策性扶持措施，以便确定谁在执行、谁在为清洁能源的研究、开发和示范提供资金，及清洁能源技术创新是如何通过具体的政府资助项目以及通过学术机构与行内企业的合作而得到刺激。这个对机构、参与者及资金流向进行自上而下的分析在后来与由几家院所对政府扶持清洁能源创新的显著案例

进行的案例分析结合在一起，并分析了对该等案例的成功与失败产生影响的因素。

本文对美国近十年来在清洁能源创新项目上得到的一些教训进行分析，做出总结，同时也提供了一些能使中国创新过程中的各个阶段更好地扶持清洁能源的建议。本文也对更好地完善那些能够通过两国各自的优势而开展的联合创新提出了一些设想。由于中国的政策制订者注重进一步加强中国的国家清洁能源创新体系的创新端，美国的早期扶持及转型能源技术提供了一个可能的模式。同样，由于美国致力于将新技术投入市场，与中国在技术示范方面的合作也可以为他们带来利益。

## 2. 扶持清洁能源的根本原因

清洁能源技术事实上是由一系列不同技术领域构成。不仅将自然界发现的初级能源形式（如阳光或煤炭）转化成直接能源服务（如提供热能）或二次型式（如电力或汽油）的技术形式多种多样，而且还有许多将该等能源型式配送给用户的技术（即，灯泡或冰箱）。能源供应技术将能源形式提供到最终使用的某一点，而能源终端使用技术在该点上得以应用，以便将某种能源型式转换成服务。此外，一项能源技术并非仅仅是硬件技术，而且还是软件技术、实践以及与该技术的使用有关的知识。

清洁能源技术也涉及到技术开发的各个阶段，从研究和开发阶段（如下一代生物燃料或高效太阳能光伏板）到示范阶段（如综合性气化联合循环（IGCC）燃煤电站），到商业运营阶段（如风机和多晶硅光伏太阳能组件）。清洁能源技术同样有不同的来源。例如，太阳能电池创新是源自卫星和半导体行业的研发，现代化的风机创新则源自太空、造船和农业方面的研发。因领域、市场和技术的多样性，推动清洁能源创新和应用的政策也应该灵活，并考虑到研究中的单项技术或多项技术的具体特点。

由于成本结构里通常不包含温室气体减排的社会效益，开展于社会有益的技术通常在经济上是无利可图的。和许多其它型式的技术一样，清洁能源技术也要求大量的研发投入，并且在早期开发阶段就对投资者构成高风险。然而，与其它许多技术不同的是，因现行的化石燃料的定价机制抑制对低碳技术的需求，进行投资的公司无法得到投资于研发而带来的好处。其结果是极大地抑制了对清洁能源技术的投资。通过补贴或其它型式的公共扶持，政策工具可以被用来调整有关价格，以鼓励采用替代能源技术。由于商业应用阶段之前的技术缺乏市场价值，政策制定者必须同时考虑示范项目的功能，并创造早期采用方。为使市场讯号能够导致低碳能源技术以一种符合 G8+5 国家的国家科研机构所倡导的碳减排规模所需的速度部署，必须对碳制定内部价格，这个价格的大小对公司战略和商业模型具有深远的影响。上述讨论的因素对技术创新提出了一种非常不同

的范例，而且清洁能源领域需要比其它行业领域聘用更多的部署。

### **3. 美国清洁能源扶持体系：投资、专利申请和政策**

从研究、发展和示范方面的投资额，对创新进行投入、申请专利、创新活动产出来看，美国是世界上较注重创新经济的国家之一。当然，并非所有研发示范投资都能产生出有结果的创新，而且并非所有发明都能申请到专利。此外，申请专利的倾向因行业和技术领域而不同，而且在价值和目的方面差异巨大。考虑到这些因素，该等指标仍能对一个国家的创新活动提供有用的衡量指标，该等指标在本章中予以探讨。

#### **3.1. 一般性投资和专利趋势**

在美国的专利体系里，由美国专利和商标局向美国本土发明人授予的专利比例近来已经有所下降。美国公司拥有美国专利和商标局于 2003 年授予的专利总数的 53%，而该比例在 2012 年仅为 48%。在美国申请专利的来自韩国和台湾的发明人的数量增加，反映出亚洲的创新型公司数量在增加，以及朝向全球化的范围更广的趋势，使得在外国保护专利变得更加重要。美国发明人也是日本和欧盟专利体系里的关键专利申请人，其拥有的专利数量与欧盟和日本公司的数量相当。

全球范围内在清洁能源领域里的公共研究、开发和示范的投资主要来自美国和日本。根据美国复苏与再投资法案提供的刺激和创立，在美国，清洁能源研发示范的支出由 2004 年的 15 亿美元增加到 2009 年的 70 亿美元。到 2011 年，美国的研发示范资金额下降，但仍为相当高，达 40 亿美元。

美国是最大的技术输出转让以赚取提成和费用的国家，2012 年该等交易总额达到 920 亿美元。事实上，美国在该领域里的“大而增长”的贸易出超之大，以致有人提出“美国在知识产权交易方面较其它国家拥有比较优势。”相比之下，欧盟是第二大出口方，但在费用和提成方面的交易有贸易赤字，而日本则是第三大交易国，和美国一样，拥有巨大的贸易出超。

在风险资本投资领域，美国在全球的作用也是主导性的。在 2011 年，约 70% 的全球风投资金投向美国本土的投资。中国和欧盟处于第二位，在该年度得到的投资额约为 60 亿美元，印度获得了 20 亿美元。美国以外进行的多数风投资金来源于美国的风投公司。

#### **3.2. 全球环境下的美国清洁能源投资及创新**

衡量创新活动的指标包括在研发和示范领域里，或者说在发展阶段，以投资形式体现的对创新活动进行的投入，以及以专利申请型式体现的产出。

### 3.2.1. 投资和补贴

在 2012 年，全球清洁能源技术商业投资总额，包括早期的天使投资额、风险投资额、及后期的融资额总计为 1600 亿美元。该等投资额（85%）的绝大多数投向了风电和太阳能技术。就该年度的清洁能源总投资额而言，美国和欧盟落后于中国。2012 年约 610 亿美元投向中国，而投向美国和欧盟的则为 270 亿美元。总体而言，美国的投资额在 2008 年金融危机时下降，但在 2010 年回升至 320 亿美元，2011 年达 450 亿美元，而 2012 年则降至 290 亿美元。2012 年投资额下降可能主要是因为扶持可再生能源项目的融资合同和补贴到期，包括投资税收减免（ITC）。

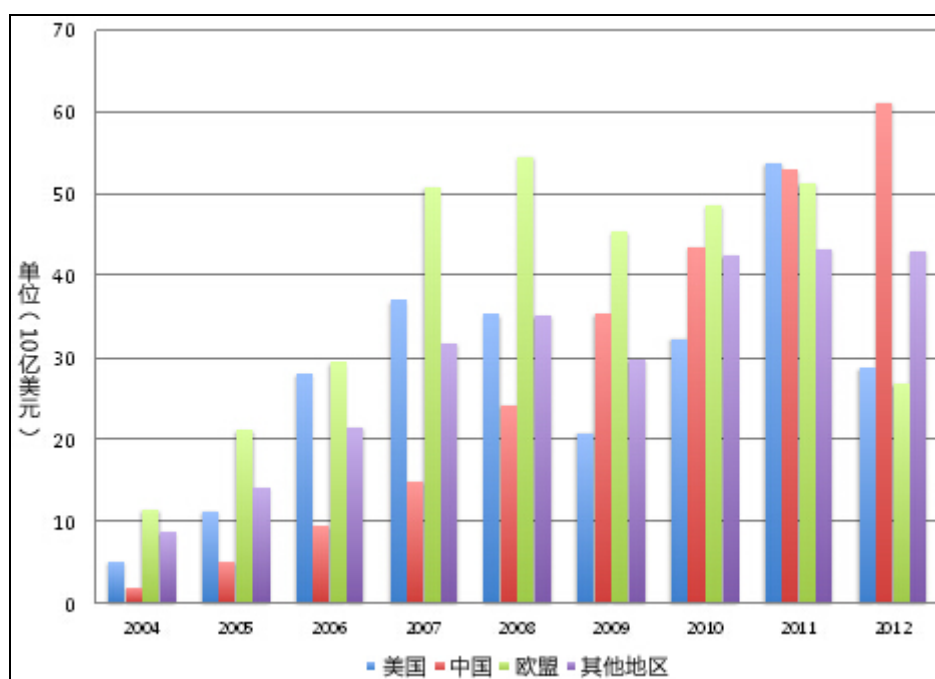


图1. 新的各国年度清洁能源投资额

（资料来源：国家科学委员会 2012）

绝大多数在美国的投资投向风电和太阳能技术，2012 年 风电总投资额约为 140 亿美元，太阳能的投资额约为 100 亿美元。中国在 2012 年对风电和太阳能的投资额远超美国。另外，值得注意的是，在 2012 年，中国太阳能的投资额首次接近风电投资额（太阳能 270 亿美元，风电 280 亿美元）。欧盟在 2012 年在风能上的投资超过了美国的，尽管美国在 2010 年领先于欧盟。在太阳能领域，美国的投资额在 2012 年超过欧盟，而在 2010 年落后于欧盟。

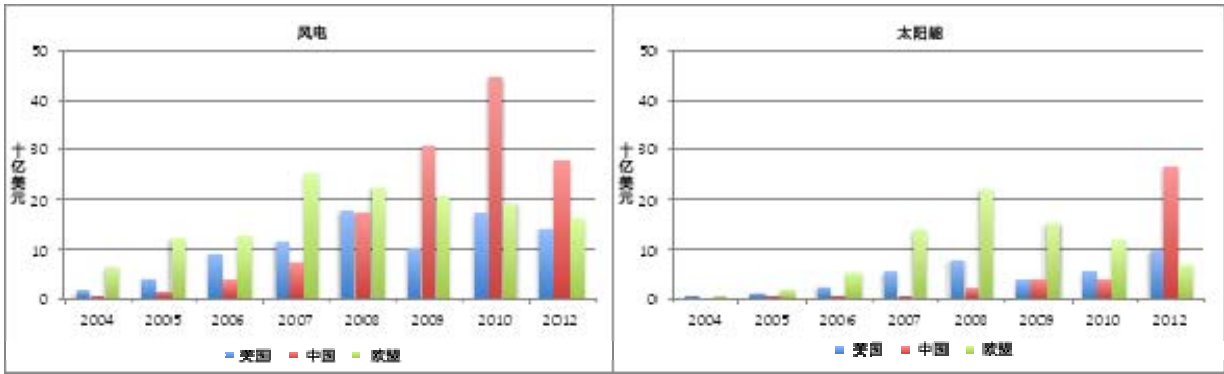


图2. 主要国家年度风电和太阳能投资额

(资料来源：国家科学委员会 2012。)

如前所述，全球绝大多数风投资金来源于美国。美国2012年在清洁能源领域里的风投资金总额为40亿美元，其中约一半投向提高能源效率和智能电网技术，约20%投向太阳能和生物质能技术。

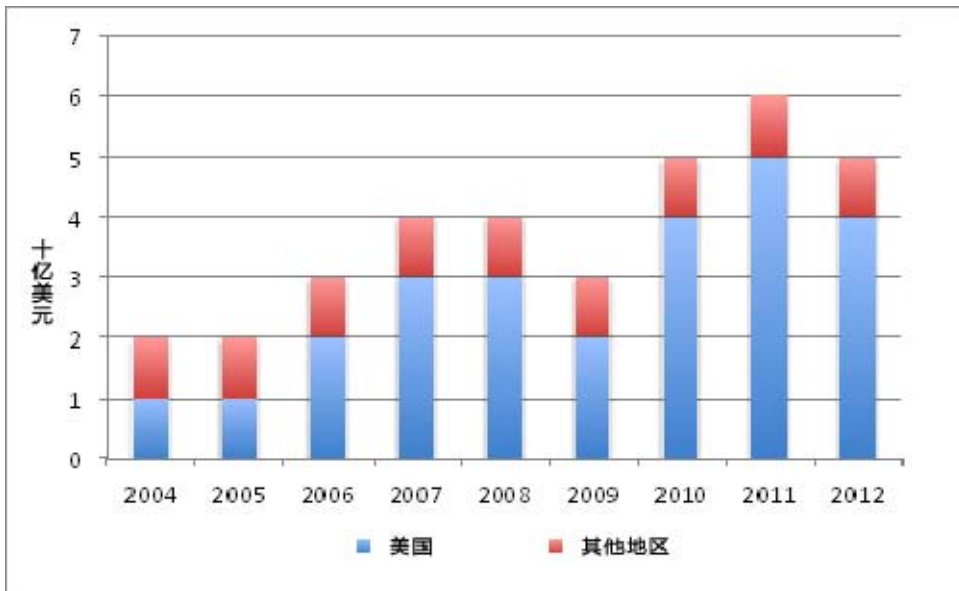


图3. 清洁能源领域的风投资金额

(资料来源：国家科学委员会 2012。)

### 3.2.2. 研究、发展和示范方面的支持

2012年，美国向清洁能源和核能研发投入了约40亿美元，使他和日本一起成为了最大的全球投资国。欧盟投入了约26亿美元，加拿大约10亿美元，澳大利亚和韩国各自的投资额在5亿-6亿美元之间。美国用于研发和示范的投资额自2004年起一直在增加，并于2009年因ARRA而达到了71亿美元。约30亿美元的ARRA资金投入了可再生能源和提高能源效率方面（分配大致均匀）。

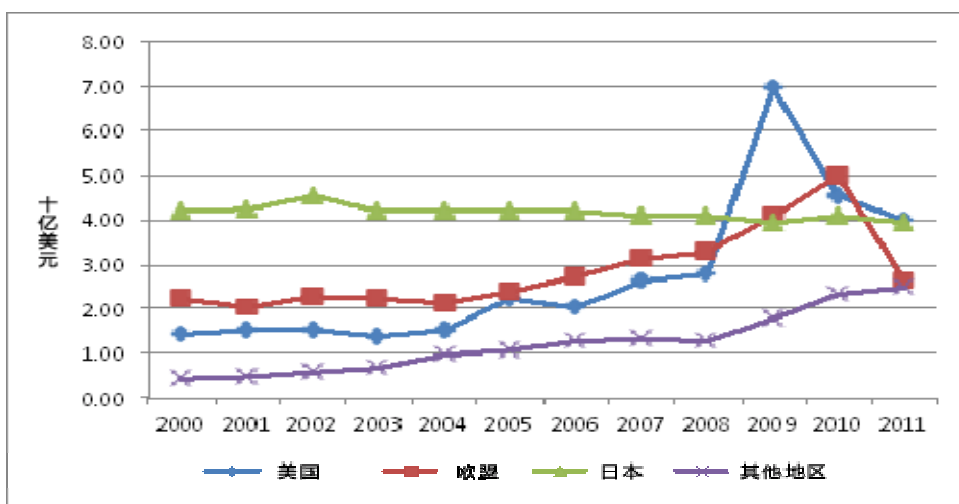


图4. 主要国家在清洁能源领域的研发和示范支出情况

(资料来源：国家科学委员会 2012。)

据国际能源机构报道，美国清洁能源的研发和示范，在表一中详细的指出了自 2007 年至 2011 年，可再生能源具体研发和示范投资额因 ARRA 的资金于 2009 年达到顶点，然后下降。用于提高能源效率的投资额也是类似趋势。2011 年的核能投资额高于前五年的总和。

表1 美国清洁能源技术的研发

单位：百万美元

年度	总量	能效	新能源	核能	氢和燃料电池	储能
2007 年	2072	462	223	721	357	159
2008 年	2831	692	468	1008	335	127
2009 年	7131	2196	2280	871	368	951
2010 年	4519	1422	1338	907	340	281
2011 年	3996	882	1161	1225	260	178

(资料来源：国际能源署 2013；国家科学委员会 2012。)

### 3.2.3. 清洁能源专利

由美国专利和商标局授予的清洁能源技术专利数量在 2010 年达到了创纪录水平，尽管该年度授予的专利中只有 45% 是授予美国本土发明人。美国专利和商标局已经实施了几项措施，加快审批程序，快速受理绿色技术的专利申请，这也许是专利数量增加的原因之一。在美国获得清洁能源专利的主要非美国发明人包括日本、欧盟和韩国。中国发明人拥有的美国授予的专利数量很少，2010 年只有 67 项。

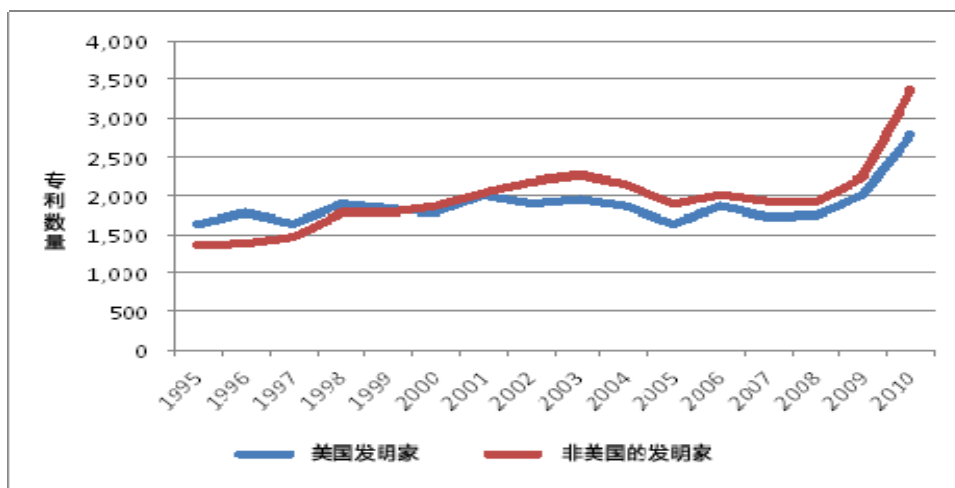


图5. 美国专利和商标局授予的清洁能源和污染控制领域的专利情况

(资料来源：国家科学委员会 2012。)

在清洁能源领域里，绝大多数专利授予对象均是可替代能源技术领域(2993 项专利)，如图六和图七所示，燃料电池为该领域的主导技术（1031 项专利）。之后的最大清洁能源专利领域是能源储存，拥有 980 项专利，其后是智能电网技术，528 项专利。污染清理技术，包括控制空气和水污染的技术，以及清洁煤和 CCS 碳捕捉和摧毁技术，和再生循环和固体废物管理技术是另一个申请专利的大范畴（2010 年总计 1887 项专利）。在该范畴里，水污染处理技术占 2010 年授予的专利的最大份额（319 项专利），接下来是循环技术（186 项专利）、清洁煤（89 项专利）和碳捕捉和摧毁技术（152 项专利）。

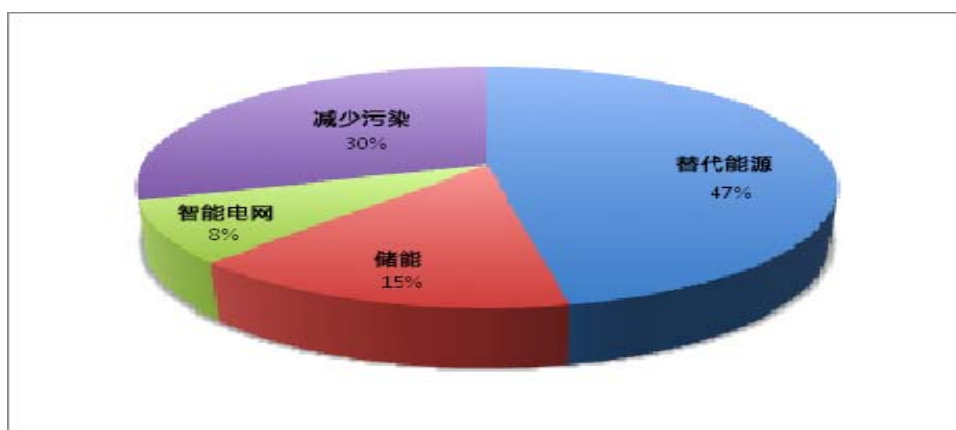


图6. 按技术领域分类，清洁能源专利

(资料来源：国家科学委员会 2012。)





图7. 特定技术领域内的清洁能源专利下降

(资料来源：国家科学委员会 2012。)

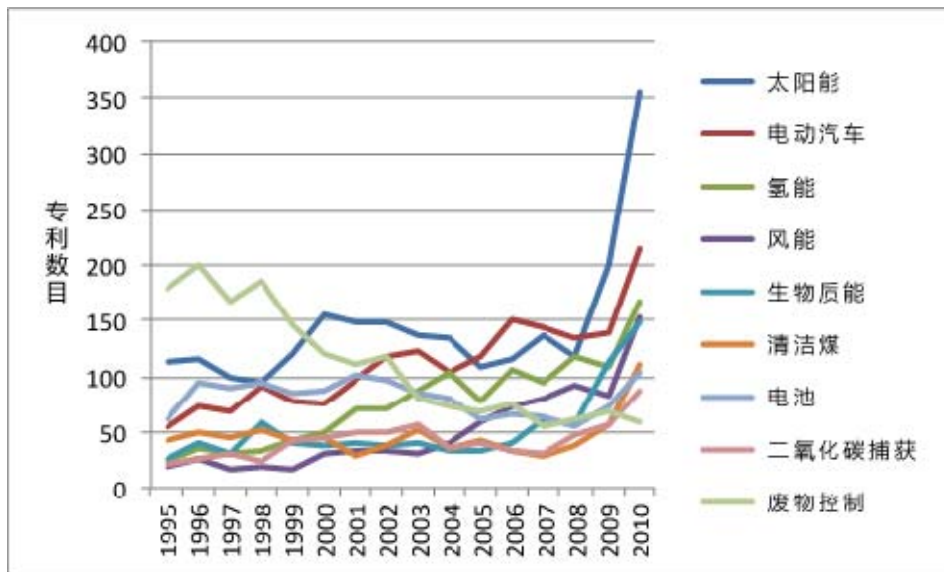


图8. 按不同技术领域划分的美国专利商标局清洁能源专利

USPTO = 美国专利商标局 (在美国注册的商标)

(资料来源：国家科学委员会 2012。)

上图表示了长期以来美国专利系统自 1995 年至 2010 年的专利申请情况，以及在该段时期内申请专利技术的重心跨越到了清洁能源技术。尤其值得注意的是自 2008 年起与太阳能有关的专利数量快速增加，尽管自该年起几乎所有清洁能源领域的专利申请活动均有增加。这一数量快速增加部分可归于 2009 年美国专利和商标局推出的快速处理绿色技术专利申请的计划。根据该项计划，某些“绿色技术”包括“与环境质量、能源节约、可再生能源资源的开发、或温室气体减排”有关的技术专利申请也可得到快速审理（商务部，美国专利和商标局 2009 年）。该项计划自那时起被中止（商务部，美国专利和商标局 2012 年）

根据某一特殊地理区域或国家在其它技术领域里做出的贡献来评估该特殊地理区域或国家在清洁能源领域做出的贡献的一个方法是专利技术活动指数。由 NSF 公布的专利

技术活动指数衡量着某一具体国家在某一具体清洁能源领域里所拥有的专利份额与其在涵盖所有清洁能源技术范畴的专利世界份额之比，若比例超过一，则预示这一特定区域的专利是集中于某一特定技术方面的。

下图所示，与其它国家的相比，美国的专利在清洁煤、生物质能和智能电网技术领域及水处理技术、氢气电能及太阳能技术里的集中度很高。欧盟的专利在风电、核电和碳捕捉及摧毁技术方面，以及空气污染处理和固体垃圾处理技术方面的集中度高。日本的专利集中于混合动力汽车和燃料电池技术领域。与其它国家的相比，韩国的专利仅在电池领域里集中度高，但是其集中度相比而言高出许多。

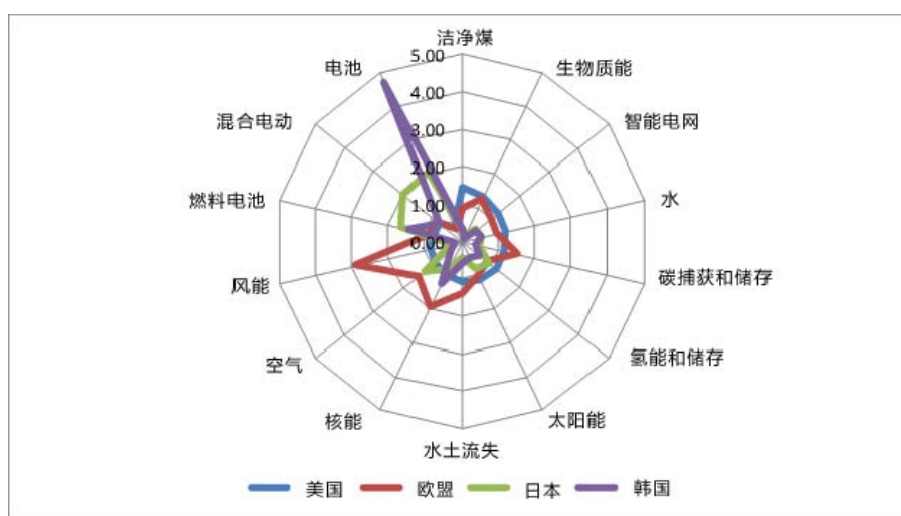


图9. 涵盖主要清洁能源专利申请国家和技术的专利技术活动指数

(注：指数是根据平均在 2007-2010 年之间的专利活动。)

(资料来源：摘自国家科学委员会 2012。)

### 3.3. 扶持开展清洁能源的关键政策

在过去的几年中，美国最有意义的扶持清洁能源发展的政策工具是随着全球金融危机而采取的措施。ARRA 中的一个核心是政府投资的超过900亿美元以及给予清洁能源的税务奖励，加上可再生能源发电、能源效率提高（例如不受天气影响）及交通（包括高速铁路）方面的最大一笔投资。美国的ARRA 投资中绿色能源投资的29%投向了可再生能源。

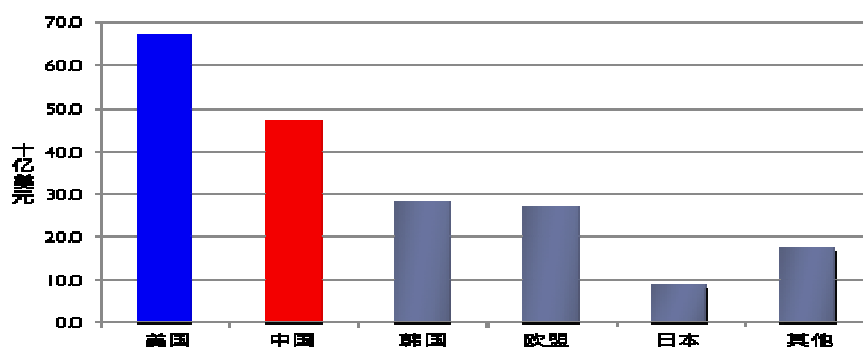
其它关键政策包括联邦政府给予可再生能源的保护性税收减免(PTC)及 ARRA Section 1603 投资税收减免。联邦政府的 PTC 在 2010 年至 2012 年(根据通胀率调整后的)对所有 2012 年年底以前运行的风电场每度电给予 0.022 美元的减免 (全球风力能源理事会)( GWEC)及国际可再生能源机构(IRENA) 2012)。ITC 允许风电项目享受 30%的

投资税收减免,用以取代 PTC。对于 2011 年年底以前开工建设、2013 年以前投入服务的风电项目,开发商可选择从财政部获得一笔等值于 ITC 的现金款项,取代 PTC。为开发商提供的从财政部获得现金补助来替代 ITC 的选择 对许多无足够的税前利润抵消的开发商尤其有利。一项研究表明,正因为有了 Section 1603 补助,才使得 2009 年共有 2400 兆瓦的风电装机容量得以开发。

**表2 ARRA 中清洁能源在技术和机构中的花费（到 2009 年止）**

	拨款数（百万美元）	债务（百万美元）	支出（百万美元）
<b>合计</b>	<b>90,222</b>	<b>30,859</b>	<b>5,121</b>
能源效率	19,935	11,913	1,162
可再生发电	26,598	1,513	1,479
电网现代化	10,453	2,666	72
先进的汽车和汽油技术	6,142	3,149	450
传统的交通工具和高铁	18,113	8,834	1,805
碳捕捉和隔离	3,400	425	4
绿色创新和工作培训	3,549	2,197	123
清洁能源工具制造	1,624	14	14
其他	408	148	12
<b>合计</b>	<b>90,222</b>	<b>30,861</b>	<b>5,121</b>
商业	6	1	0
国防部和退伍军人事务	922	354	46
能源	35,235	16,608	712
环境保护机构	300	294	28
常规服务管理	4,800	1,980	387
住房和城市发展	850	608	84
内部	41	7	1
人工	500	55	0
去昂服务协会	77	64	3
交通	17,968	8,774	1,745
税收条款	29,523	2,115	2,115

（资料来源：美国经济顾问委员会 2010 年。）



**图10. 投入清洁能源技术的公共刺激性资金（2008 年至 2009 年）**

（资料来源：国家科学委员会 2012）

由于获得商业贷款有各种挑战，以及受困于 PTC 能否延长至 2012 年以后的不确定，该行业自 2009 年金融危机以来在保持其开发速度方面遇到了挑战。在过去的十年里，PTC 仅被短期地更新过几次，而且每一次更新的不确定性均对市场产生直接影响。PTC 在 1999 年、2001 年和 2003 年被中止过，而每一次中止均对美国市场上的下一个年度的已装机风电容量造成下降。对于技术提供方来说，该管制的的不确定性已经造成制造容量投资不足，并造成设备和供应费用的变动。

**表3 美国对可再生能源的关键扶持政策机制**

机制	目的	形势
生产税收抵免	通过 PTC 对风能，闭环生物量，地热 (\$0.22/kWh)，垃圾填埋，开环生物量，城市固体废物，水电，海洋何流体动力设备 (\$0.11/kWh) 通过在 10 年间对通货膨胀的调整，鼓励可再生能源项目的开发。	目前，如在 2012 年末能够投产的风能项目能够得到 10 年的 PTC，其他可再生能源技术会有更多的年数来联网比如，在 2013 年末联网。
投资税收抵免	鼓励可再生能源计划的发展，对于符合规格的太阳能，燃料电池和小型风能项目予以 30% 的 ITC 减免，地热能，微型燃气轮机和热点联项目抵减 10%。	在 ITC 目前通过的项目在 2016 年以前已经在实施（除了没有过期日期的地热信贷贷款和太阳能贷款，太阳能贷款如果不能增加的话，将减少 10%）。
贷款担保计划	LGP (1703 部分) 是为了减轻创新技术获得融资的门槛。这个项目被 ARRA 在 (1705 部分) 中得到了商业项目的延伸。在 1703 部分计划，借方披露了信贷补贴成本而 1705 部分则包括了 DOE。	1705 部分 需要在 2011 年 9 月 30 日开始。从 2010 年 10 月，DOE 在 1703 框架内已完成 4 项委托业务 (106.56 亿美元) 和 12 项担保 (在 1705 框架内，总价值 89.59 万美元，其中 4 项已经关闭，总价值 7.74 亿美元)。
企业平均燃料经济性	通过指定平均燃油效率标准为节油汽车拓展市场。通过经济处罚来惩罚没有达到标准的制造商。	现在适用于轻型汽车 (轿车和轻型卡车)，奥巴马政府最近建议从 2014 年开始，延伸 CAFÉ 标准到重型卡车。
可再生燃料标准	为生物燃料测量体积以和传统能源相混合 (汽油和柴油)。	第一次介绍了 2005 年能源政策法案和在广度和深度上拓展了能源独立安全法案 2007 (RFS2)。

#### 4. 美国清洁能源创新体系内的机构

现存的美国清洁能源扶持体系包含一系列 1970 年应对石油危机时产生的机构，以及过去十年间产生的一系列新的机构，该等机构均由美国能源部 (DOE) 及其国家实验室领导。尽管这些构成美国清洁能源创新体系的机构发展于清洁能源的优先性非常不同的时期但是多数机构已经能够适应现代的研究、发展及示范的优先性。

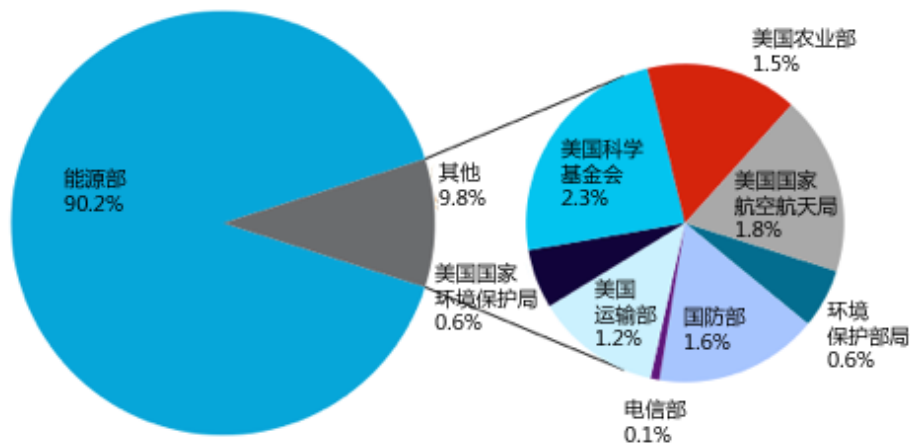


图11. 按联邦机构分类的美国能源创新资金的分配情况

（来源：能源创新追踪 2013）

根据上可见，美国能源部得到了绝大多数的能源创新资金（2010 年的金额超过了90%）。因此，本章重点讨论美国能源部的能源创新计划。

#### 4.1. 美国能源部

由能源部长领导的美国能源部的使命是“通过利用转型科学与技术解决方案来解决能源、环保及核能挑战，以确保美国的安全与繁荣”。

2012 年美国能源部用于能源活动的预算仅为总预算的 12%，而绝大多数预算则用于了“国家核安全管理计划”。与 ARRA（2009 年 2 月 17 日美国总统奥巴马签署了“2009 年美国复苏与再投资法案” American Recovery and Reinvestment Act of 2009，简称“ARRA”）刺激计划相比，能源部在获得能源资金方面遇到了显著的阻碍。

除了美国能源部以外，一些美国政府机构也为能源的研究、发展和示范提供了少量的支持，包括美国农业部、国防部、和国家宇航局，而且许多其它机构在制订对推广清洁能源技术方面产生影响的政策时发挥了作用，包括国会和白宫。这对跨机构的能源活动的协调增加了难度。

跨若干机构的政策制定路线图都将已经完成的能源生产量，和已经为美国能源政策推荐的战略方向，以及机构改革方法为目标。例如，总统科学和技术咨询委员会 (PCAST) 于 2010 年发表了“向总统提交的关于通过一项综合联邦能源政策加快能源技术领域的变革速度的报告”中，呼吁联邦政府“编制出一份跨所有政府机构的联邦能源政策，并且与美国国防部定期更新其有关政策一样，通过每四年定期更新能源政策)。 第一份四年一次的技术复审报告由美国能源部于 2011 年 9 月发布。该报告包括涵盖了美国能源部所有技术计划领域，着力于为美国能源部制订一份多年的战略计划，同时也为该等领域里

的各个机构之间的协调工作提供了具体的计划。此外，国家科学院提交的一份名为“超越正在聚集的风暴：为了更加美好的经济的未来而为美国充电，提供就业机会”的报告，为提升美国在科学和技术领域的竞争力提供了建议，并建议针对能源领域设置一个先进研究项目机构，该建议最终产生了今天的 AEPA-E (工作宗旨旨在使美国二十一世纪的全球经济中胜出的委员会：一份为美国科学和技术委员会、美国科学院、美国工程科学院、2007 年度药品机构制订的计划)。

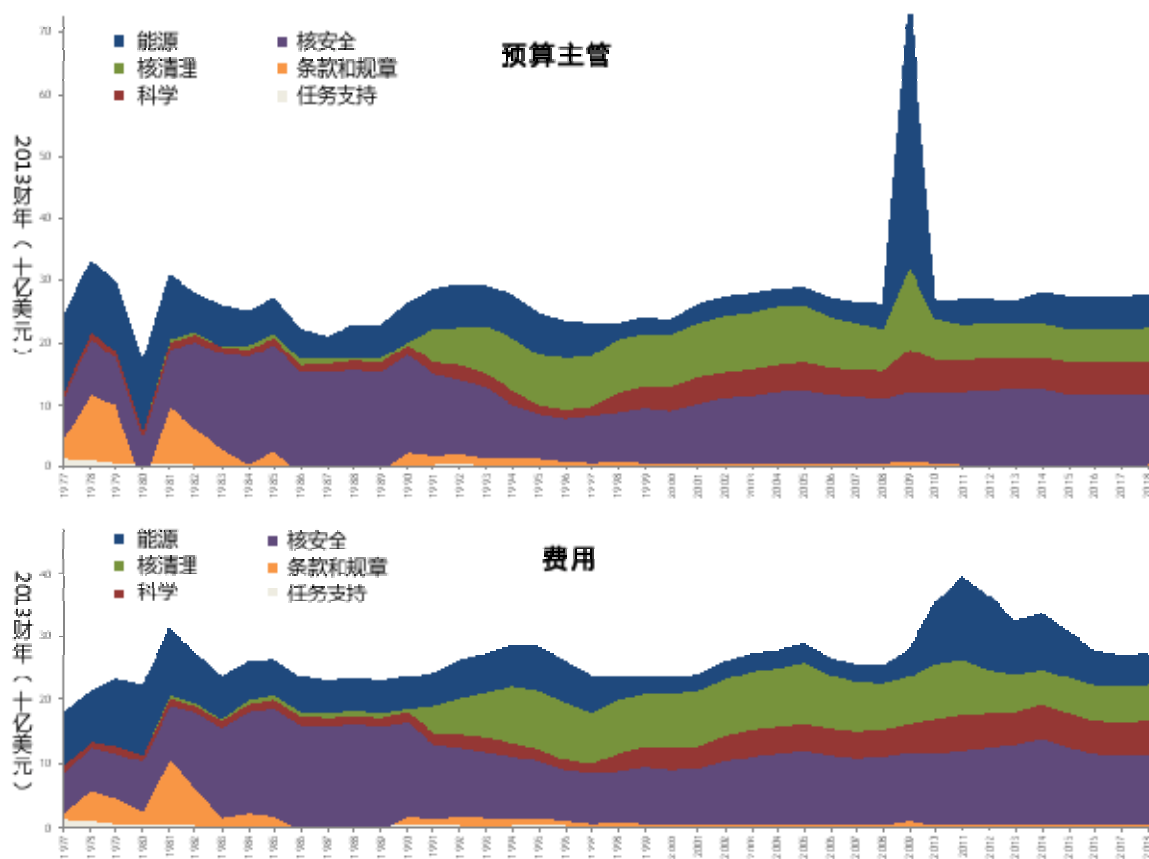


图12. 美国能源部资助历史

(资料来源：美国能源部 2013 年。)

美国能源部的能源效率和可再生能源计划部门 (EERE) 是美国关注清洁能源技术的研究、开发和示范工作中的首要部门。2012 年度的 EERE 预算，以及 2013 财政年度的持续估算的总决算和为 2014 财政年度提出的预算。

**表4 美国能源部能源效率和可再生能源预算**

	2012 财年现状 (百万美元)	2013 财年需求 (百万美元)	2013 财年年度 CR (百万美元)	2014 财年需求 (百万美元)
<b>可持续交通</b>	<b>617,287</b>	<b>770,000</b>	<b>635,573</b>	<b>957,000</b>
车辆技术	320,966	420,000	330,819	575,000
生物能源技术	194,995	270,000	200,496	282,000
氢燃料电池技术	101,326	80,000	104,258	100,000
<b>能源效率</b>	<b>485,289</b>	<b>872,000</b>	<b>495,690</b>	<b>949,000</b>
先进制造	112,692	290,000	116,287	365,000
建筑技术	214,706	310,000	220,546	300,000
联邦能源管理项目	29,891	32,000	30,074	36,000
保暖和政府内部活动	128,000	195,000	128,783	248,000
<b>可再生能源</b>	<b>471,570</b>	<b>490,000</b>	<b>481,785</b>	<b>615,500</b>
太阳能	284,702	310,000	290,719	356,500
风能	91,813	95,000	93,825	144,000
地热技术	36,979	65,000	38,094	60,000
水能	58,076	20,000	59,147	55,000
<b>企业</b>	<b>216,311</b>	<b>250,000</b>	<b>217,635</b>	<b>267,000</b>
设备和设施	26,311	26,400	26,472	46,000
计划指导	165,000	164,700	166,010	185,000
储能	25,000	58,900	25,153	36,000
<b>能源效率和可再生 资源前年结余</b>	<b>1,790,457</b>	<b>2,337,000</b>	<b>1,830,683</b>	<b>2,337,000</b>
<b>以前年度扣除</b>	<b>-9,909</b>	<b>-69,667</b>	<b>-9,970</b>	<b>-69,667</b>
<b>能源效率和 可再生资源总和</b>	<b>1,780,548</b>	<b>2,267,333</b>	<b>1,820,713</b>	<b>2,267,333</b>

(资料来源: 美国能源部 2013 年。)

美国能源部拥有一系列旨在研发和示范连续统一体所处的不同阶段扶持清洁能源的计划, 具体如图12所示。 该等计划中有些是因 ARRA 而新规划的, 包括先进研究项目机构-能源 (ARPA-E)、能源创新中心、能源前沿研究中心、以及1705项项目下得到贷款担保计划 (效仿先前的贷款担保计划), 尽管有些计划已经存在了几十年, 包括大多数国家实验室。其它由美国能源部的技术计划发起的积极措施, 如”射日”计划及美国的下一代顶尖能源创新者计划, 均为近期的开发活动, 两项计划均为2011年年初规划的。

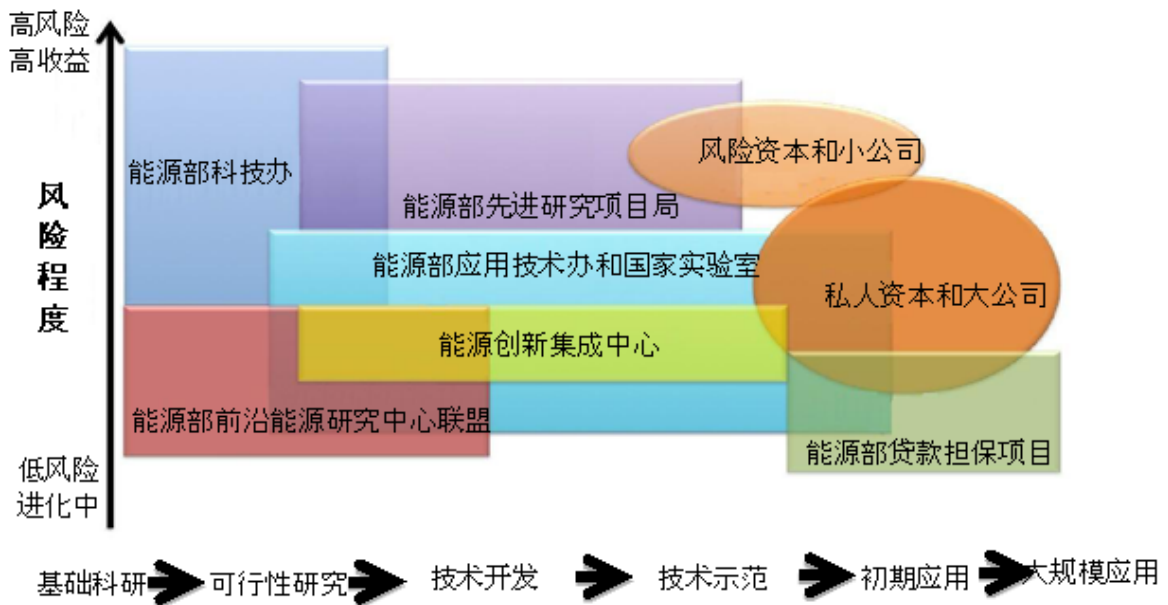


图13. 美国能源部的计划在不同技术阶段和风险水平时所起的作用图示

(资料来源: 根据 Cohn2011 改编)

ARRA 扶持的多数新计划是在奥巴马政府第一任的能源部长史蒂文朱(2009 年 1 月 21 日至 2013 年 4 月 22 日担任)的领导下制订的。在那段时间内, 美国能源部制订了若干项关注清洁能源研发和示范的新计划, 在很大程度上归功于朱部长的学术背景及对该领域的兴趣。在担任能源部长前, 朱运营着拥有范围广阔的环境能源技术部门的劳伦斯伯克利国家实验室。而且朱最近的学术研究是建立在他物理学专业基础上的清洁能源和气候变化解决方案。同样, 2013 年获得任命确认的能源部长 Ernest Moniz 也从其物理学研究转向担任麻省理工学院跨专业研究机构的创始人。他对清洁的和可替代的能源技术研究兴趣很可能会继续强化由朱部长发起的美国能源部清洁能源创新计划。尽管朱部长在其任期前即与美国能源部的国家实验室有着广泛的合作, Moniz 部长与国家顶尖能源研究大学的联系将有助于进一步构筑美国能源部与学术机构之间的合作。

## 4.2. 国家实验室

从事清洁能源技术研究的美国能源部所属的国家实验室有若干, 包括劳伦斯伯克利国家实验室、国家能源技术实验室、劳伦斯利佛摩尔国家实验室、橡树脊国家实验室、及太平洋西北国家实验室等。国家可再生能源实验室是唯一一家专注于清洁能源的实验室, 尤其关注可再生能源和能源效率。国家实验室的基础设施最初是二战期间扶持核武器研究。自 1940 年代末以来, 它们的研究重点扩大到了包括与能源有关的更广泛的范围。



### 4.2.1. 国家可再生能源实验室

1973 年美国石油供应因阿拉伯石油禁运而中断时，美国政府的各个部门实施了一系列的旨在促进可再生能源和提高的全国能源效率的计划。作为国家可再生能源实验室的先驱，太阳能能源研究院就是这样的一个计划。太阳能能源研究院于 1974 年建立，目前的 NREL 是于 1991 年作为国家实验室建立的。今天，NREL 在开展能源研发和示范时还从事所有范围的活动，从基础科学研究到市场分析和系统集成，还有试验和验证。NREL 与其它研究机构及私营产业保持紧密合作关系。NREL 在基础科学、生物质能、地热、氢能、太阳能、水利项目、风能、建筑、电气基础设施、及汽车和燃料技术等领域的创新、以及旨在培育商业化和推广方面的情况详见 NREL 网址 <http://www.nrel.gov/innovation>。

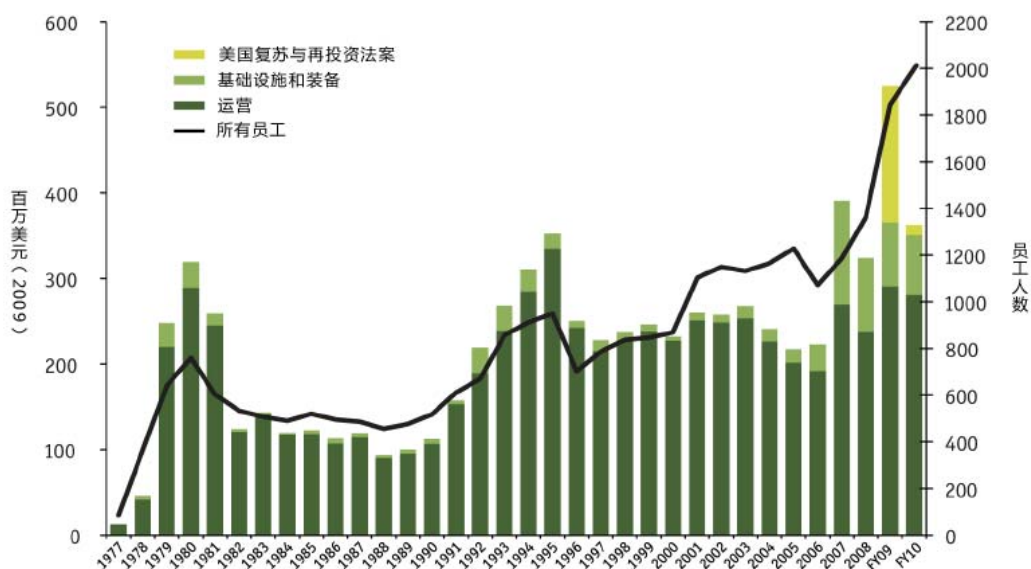


图14. NREL 的资金和职员

(资料来源: Ron Benioff (NREL) in Rask, Tawney, and Fang 2011.)

NREL 的总预算额和职员人数在 2009 年受 ARRP 的扶持而急剧增加，而 2010 年则减少很多。自 2010 年以来，NREL 的预算从未接近 2009 年的水平，致使很多职员和研究计划被裁员和削减。

### 4.3. 美国能源部的新计划

如前所述，ARRA 资金扶持的结果是产生了若干项新的能源创新计划，包括“先进研究项目机构-能源 (ARRA-E)，能源创新中心、能源研究中心、及 1705 贷款担保计划。本章回顾该等计划，以及其它两项 2011 年制订的新的规模小但水准高的计划，即“射日”计划和美国下一代顶尖能源创新者计划。

### 4.3.1. ARPA-E.

“先进研究项目机构-能源”（ARPA-E）旨在重点推动处于早期阶段的高风险和高回报的技术研究。 ARPA-E向那些因在早期投资有高风险而无法获得私营投资的项目提供资金。但是，因这些技术潜在的回报非常高，该等技术的目标是获得公共财政扶持，期望填补基础能源研发和工业应用创新之间的空白。尽管这类投资很可能无法获得回报，ARPA-E 标定的创新活动是具有“潜在的能够根本地改善美国经济繁荣、国家安全、和环境优良”性质的。ARPA-E“技术加速”日程计划见图14.



图15. ARPA-E 的技术加速方法

ARPA-E 项目是根据 2007 年通过的美国竞争法案设立，但是在 2009 年由 ARRA 资助的。该项目直接基于美国国防部自 1950 年代开始开发的 DARPA 计划，但具有某些能源领域的特殊要求；他们主要只提供资助，不进行研究。其战略目的是建立一个对持续性地获得美国国会的资金拨款具有重要意义的扶持圈。实际上，ARPA-E 也实施其扶持的创新活动，例如，通过与美国能源部及私营领域合作，扮演 ARPA-E 技术的早期使用方的角色。2012 年 ARPA-E 的总预算是 2.53 亿美元，而为 2014 财政年度提出的预算额是 3.45 亿美元。

**表5 能源部先进计划研究局预算**

	2012 仅供参考	2014 财年 (要求)
	(千美元)	(千美元)
总计	\$253,000	\$344,890
交通系统项目 (电能, 生物能, 电动汽车, 液化气)	\$138,250	\$196,587
固定电源系统 (太阳能, 风能, 天然气, CC, 存储, 传输)	\$114,750	\$148,303

(来源: ARPA-E 2013b.)

ARPA-E 计划的活动是由美国能源部各部门、其它联邦机构、和国家实验室之间进行协调, 以避免重复性投资, 并促进协同效力。 ARPA-E 计划的首任主任是 Arun Majumdar, 和能源部部长斯蒂文朱一样, 他来自劳伦斯伯克利国家实验室, 这也许可以帮助促进与国家实验室之间的协调工作。由于 ARPA-E 创新活动仍处于其早期阶段, 目前评价该计划的成功仍属过早, 但是, 该项计划已经在能源储存、生物质能、电力电子等方面取得了进展, 而且若干项初步指标说明未来很可能会取得以“将扶持的技术放给其它参与方, 继续提供资助、少发表学术刊物和少申请专利”的型式来体现的成功。

#### 4.3.2. 美国能源部贷款担保计划

美国能源部有两项为清洁能源项目提供贷款担保的计划, 为商业化前的技术提供担保的 1703 计划 (2005 年通过的能源政策第 XVII 部分的第 1703 章) 及 ARRA 修订能源政策法案时确立的针对商用技术的 1705 担保。 1705 计划允许向 2011 年 9 月 30 日前开始施工的而且位于美国境内的“可再生能源系统, 包括产生电能或热能的增量水力发电, 以及生产制造相关部件的设施; 电力输电系统; 或领先的生物质能项目 (达到试点或示范规模)”提供贷款担保。获得 1705 计划贷款担保的项目详见下。

**表6 获得美国能源部 1705 计划贷款担保的项目**

方案	技术	协议日期	工作 (永久/结构)	位置	贷款担保金额
Abengoa Solar, Inc. (Mojave Solar)	太阳能发电	6-11	70/830	San Bernardino County, CA	12 亿美元
Abengoa Solar, Inc. (Solana)	太阳能发电	12-10	60/1,700	Gila Bend, AZ	14.46 亿美元
Abound Solar	太阳能制造	12-10	N/A/400	Longmont, CO and Tipton, IN	4 亿美元
Caithness Shepherds Flat	风能	10-10	35/400	Gilliam and Morrow Counties, OR	13 亿美元
Cogentrix of Alamosa, LLC	太阳能发电	9-11	Oct-75	Alamosa, CO	9 千万美元
Exelon (Antelope Valley)	太阳能发电	9-11	20/350	Lancaster, CA	6.46 亿美元

Solar Ranch)					
Granite Reliable	风能发电	9-11	6/198	Coos County, NH	1.689 亿美元
Kahuku Wind Power (First Wind)	风能发电	5-10	10/200	Kahuku, Oahu, HI	1.17 亿美元
LS Power Associates (ON Line - formerly known as SWIP-S)	电力传输	2-11	15/400	Ely to Las Vegas, NV	3.43 亿美元
Mesquite Solar 1, LLC (Sempra Mesquite)	太阳能发电	9-11	7/300	Maricopa County, AZ	3.37 亿美元
Nevada Geothermal Power Company, Inc. (Blue Mountain)	地热能	9-11	14/200	Humbolt County, NV	0.985 亿美元
NextEra Energy Resources, LLC (Desert Sunlight)	太阳能发电	9-11	15/550	Riverside County, CA	部分担保 14.6 亿美元
NextEra Energy Resources, LLC (Genesis Solar)	太阳能发电	6-11	47/800	Riverside County, CA	部分担保 8.52 亿美元
NRG Energy, Inc. (BrightSource)	太阳能发电	8-11	86/1,000	Baker, CA	16 亿美元
NRG Solar (California Valley Solar Ranch)	太阳能发电	9-11	15/350	San Luis Obispo, CA	12.37 亿美元
NRG Solar, LLC (Agua Caliente)	太阳能发电	8-11	10/400	Yuma County, AZ	9.67 亿美元
Ormat Nevada, Inc.	地热能	6-11	64/332	Jersey Valley, McGinness Hills, and Tuscarora, NV	3.50 亿美元
Prologis (Project Amp)	太阳能发电	6-11	42/1,028	28 States	部分担保 14 亿美元
Record Hill Wind	风能发电	8-11	8/200	Roxbury, ME	1.02 亿美元
SolarReserve, LLC (Crescent Dunes)	太阳能发电	6-11	45/600	Nye County, NV	7.37 亿美元
SoloPower	太阳能制造	8-11	450/270	Portland, OR	1.97 亿美元
Solyndra Inc.	太阳能制造	9-09	N/A/3,000	Fremont, CA	5.35 亿美元
Stephentown Spindle (Beacon Power)	能有储存	8-10	14/20	Stephentown, NY	0.43 亿美元
US Geothermal, Inc.	地热能	2-11	10/150	Malheur County, OR	0.97 亿美元

### 4.3.3. 能源创新中心

美国能源部的能源创新中心是“将从事于基础和应用研究”的研究中心与工程结合起来，以加快在关键能源问题领域获得科学发现”。该中心的型式仿造曼哈顿项目，其宗旨是把各学科、行业、和政府的最好的研究人员集中起来，合作研究能源技术，包括能源部的国家实验室。研究活动的目标是“将能源科学和工程方面的有希望的领域从早期开始研究至实现商业应用为止”。首批三个中心于 2009 年 12 月设立，专注于建立核

能反应堆、阳光燃料、和高效建筑物的模型，并进行模拟试验。2012年又建立了另外两座中心：即电池和能源储存中心和关键材料中心。各个中心在运营的头五年中获得了1.2亿至1.22亿美元的资金。

核能模型和模拟能源创新中心是由橡树脊国家实验室领导，也包括与电力研究院、爱达荷国家实验室、洛斯阿拉莫斯国家实验室、麻省理工学院、纽约州立大学、桑迪亚国家实验室、田纳西河谷当局、密西根大学、和西屋电气公司进行合作。该中心正在创造正在运行的核能反应堆模型，以便解决核反应堆运营和安全方面的重大问题。

人造影像联合中心由加州工学院劳伦斯伯克利国家实验室领导，与斯坦福大学、加州大学伯克利分校，厄文和圣迭戈，和斯坦福线性加速器实验室合作。此外，人造影像联合中心起到了做为美国包括20家能源部能源前沿研究中心的其它太阳能燃料研究团队的汇集中心的作用。

高效建筑中心是总部设在费城海军船坞的能源-区域性创新集合体，包括25个组织，该25个组织包括11家学术机构、两家能源部实验室、六家高水平全球行业伙伴和区域经济开发机构。该中心开展以开发并集成材料、技术、模型、和工具以优化整个建筑能源效能的研究。

为研究关键材料而设立的能源创新中心被称为“关键材料学院，由阿米斯实验室联合其它三家实验室（爱达荷国家实验室、劳伦斯利佛摩尔国家实验室和橡树脊国家实验室）七所大学（布朗大学、科罗拉多矿业学校、佛罗里达工学院下属的工业和磷研究院、爱和华州立大学、普渡大学、罗格斯大学、新泽西州立大学、及加州大学戴维斯分校）、七家实业合作伙伴（Advanced Recovery, Cytec Industries, GE, Molycorp (chair of CMI's industrial council)、OLI 系统材料以及旋转技术渗透公司）联合领导，其研究重点是“消除材料的临界性，也是为今天和明天消除清洁能源技术实现商业应用方面的障碍。”其研究将着力于提高稀土矿和制造工艺的生产效率和经济活力。

电池和能源储存中心是设立在 Argonne 国家实验室里的能源储存研究的联合中心 (JCESR)。与 Argonne 实验室一起，该中心包括四家其它的能源部国家实验室（劳伦斯伯克利国家实验室、太平洋西北国家实验室、桑迪亚国家实验室、及 SLAC 国家加速器实验室）、五所大学（西北大学、芝加哥大学、伊利诺伊-芝加哥大学、伊利诺伊-Urbana Champaign 大学、及密西根大学），和四家私营公司（道氏化学公司、应用技术公司、约翰逊控制系统公司）、及清洁能源信托基金。JCESR 旨在将电池技术研究的重点由不同的独立的方式调整为向更大更合作的方向努力。

#### 4.3.4. 能源前沿研究中心

能源前沿研究中心 (EFRC)与能源创新中心的区别在于该中心更多地关注学术研究机构开展的基础研究。有 46 家能源前沿研究中心在 2009 年 8 月被设立，分别由大学、国家实验室、非盈利组织和盈利性公司组成，由科学同行评审，资助每年两百万至五百万美元（大部分资金来自 ARRA）的为期 5 年的资助。能源前沿研究中心是“集成的、多家调查方的中心”，其任务是“对一项或多项重大挑战全力开展基础性研究，着力于满足实用性基础研究需求，该种需求由科学界的战略规划确立，并发表在基础科学咨询委员会 (BESAC) 的报告里，“为有关事宜和能源指明方向：科学和想象方面的五个挑战”，被称为“大挑战”报告。大挑战报告为基础能源科学提出了集中关注五大挑战的建议，这也是组成能源前沿研究中心的动力。能源前沿研究中心也关注那些能够推进有关清洁能源技术的基础研究，包括：太阳能应用、清洁和高效燃烧技术、电力能量储存、碳捕捉和摧毁技术、先进的核能系统、催化剂、极端环境中的材料、氢能科学、固态照明、及超导。

能源前沿研究中心雇用了 850 名高级调查员和超过 2000 名学生或博士后研究员，而且他们据称已经发表了 3400 份经同行审阅的刊物，超过 200 项专利申请。能源前沿研究中心分布于 35 个州及哥伦比亚特区。

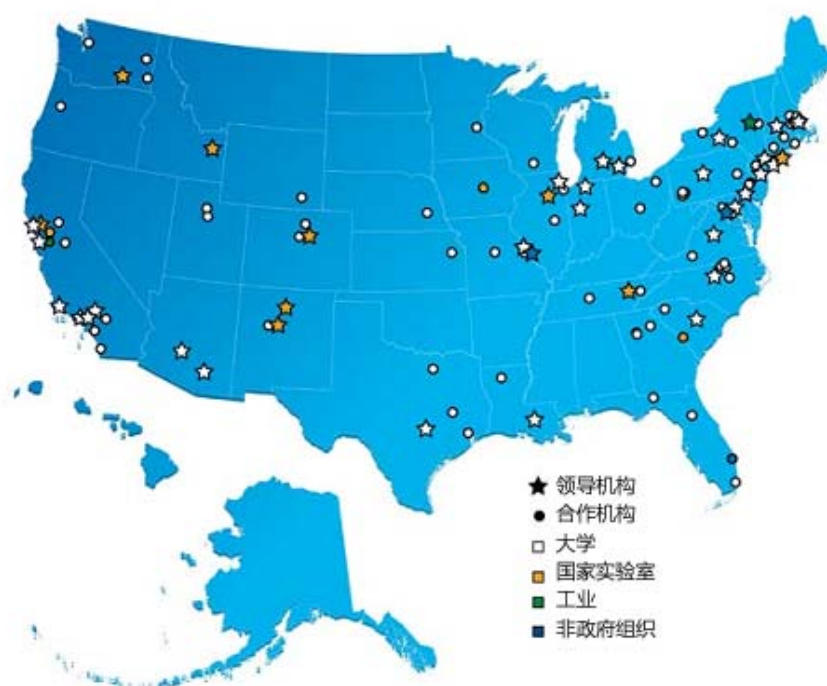


图16. 能源前沿研究中心的地点

(来源：美国能源部科技办公室 2013)

### 4.3.5. “射日”计划

“射日”计划是美国能源部的太阳能技术办公室的业务一部分，属于能源部的能源效率和可再生能源项目（EERE）。射日计划的目标是在十年末使太阳能成本可与其它能源形式相竞争，是受第一次将人类送到月球上的由肯尼迪总统发起的“射月”计划的启发而制订的。自从2011年2月宣布射日计划以来，太阳能办公室在光伏领域、聚焦太阳动力、平衡系统费用、及系统集成方面资助了150个项目。在任一该等技术的领域里均有不同的可供使用的项目支持计划，包括研发扶持、竞标大奖。所谓竞标大奖是通过竞标方式为目标研究项目寻找扶持资金，邀请行业单位、国家实验室、和大学参与竞标。竞标性大奖是给予如下各种项目的，如下一代光伏项目，推动电池效率的基础性项目，射日计划孵化器项目、光伏供应链及交叉剪接项目、光伏制造计划、及美国本土项目的Nascent PV升级版。

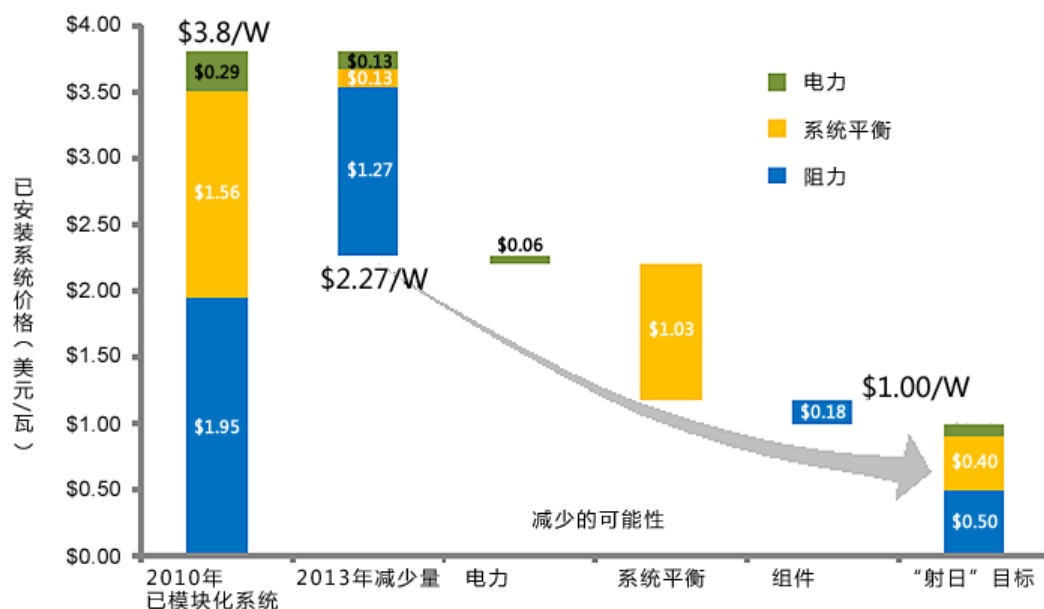


图17. 为削减太阳能成本而制订的射日计划

(来源: Danielson 2013.)

射日计划通过一系列方式向太阳能技术开发提供资金扶持。它提供过渡补助金，但也举行有奖竞赛。例如，“美国最可支付得起的屋顶太阳能装置大赛”为各团队提出的挑战是通过向前三名能够以每瓦2美元的平均价格安装5000个屋顶太阳能光伏系统的团队提供总额为一千万美元的奖金，来刺激它们快速降低已经安装完毕的屋顶光伏系统的成本。竞赛的目的是“刺激公共-私营合作、原创性商业模式、创新形方法，创造百万家庭和商家能够承受得起太阳能。此外，射日计划的孵化器计划专门培育那些“开发转型方案以便减少太阳能安装过程，如融资、批文、和检查”的初创公司。根据能源部报道，

孵化器项目已经在为太阳能行业初创公司吸引后续投资方面创造了记录，每 1 美元的政府投入可吸引 30 美元的私营投资。自 2007 年起已经在孵化器项目里投资了六千万美元，吸引了 160 亿美元私营投资。

#### **4.3.6. 美国下一代顶尖能源创新者计划**

“美国的下一代顶尖能源创新者计划”始于 2011 年，旨在通过将实验室研发的无许可专利成果转给那些能够将该等成果转变为商业化产品的初创的能源公司，以促进国家实验室的能源创新成果商业化。该项计划以 1000 美元最多三项专利的低价向初创公司提供国家实验室研发的无许可专利。初创公司可通过浏览能源部的在线能源创新窗口查到可提供的专利。该窗口还跟踪专利申请情况及能源部拥有的专利情况。该计划是模仿为大众所喜欢的美国真实电视秀的模式运行，公众可在线投票给他们最喜欢的初创公司。

## **5. 美国得到扶持的清洁能源有创新成果**

本章将回顾两项直接受益于美国政府进行的研发和示范项目的能源技术创新成果的案例。每个案例均强调了起步阶段公共财政对研发和示范提供的扶持的性质，包括那些吸引投资的项目，任何其它关键的资金来源，如风投资本或其它私营资本扶持，以及鼓励合作，刺激创新机构，包括大学、政府实验室、或私营公司。一个案例被用于说明美国政府的研发和示范项目所取得的成功，用另一个用以说明美国政府的研发和示范项目所遭受的失败。

### **5.1. Solyndra 公司和 1705 贷款担保计划**

Solyndra 公司成立于 2005 年，总部设在加利福尼亚的 Fremont。其母公司为 360 度太阳能控股公司。该公司已经开发了一项即使用了新颖技术又使用了新颖设计的太阳能光伏产品。该项技术是一张使用了铜铟镓硒化合物 (CIGS) 的薄膜技术，可替代其它如那些用铬碲化合物 (CdTe) 制成的薄膜技术，是一项有吸引力的，能够替代更多的传统的晶体硅的技术。该产品的形状是筒状的，而非通常的平板设计，目的是为平顶屋顶提供更低的装置成本（屋顶装置占联网的光伏市场的 60% 份额以上）。薄膜光伏是晶体硅技术的潜在的、有竞争力的替代产品，因为它使用的原材料更少，效能更高。在实验室测试中，在所有薄膜技术中，CIGS 薄膜技术所展示出的效能是最高的，在 NREL 测试中其效能达到了 20%。

据行业报道，该公司从 2008 年的 600 万美元收入，增长到了 2009 年的 1 亿美元收入，有人预测其 2010 年至 2015 年的混合年增长率可达 50%。Solyndra 公司生产的光伏



板的安装成本据说在每瓦 0.5 美元至 0.75 美元之间，或是平板形状的太阳能板的成本的一半。Solyndra 公司想要进入主要由晶体硅技术提供方，包括许多低成本的中国公司所占有的市场（2008 年全球市场的 86% 是由晶体硅太阳能板），事实证明，当 2009 年至 2011 年期间，多晶硅成本下降了 89% 时，这是特别的挑战。

2011 年 8 月 31 日，有报道说 Solyndra 公司突然关闭了其运营，并在其开始申请破产保护时裁员。Solyndra 公司在 2011 年 10 月申请破产保护时总共拥有 1100 名雇员，登记的资产额为 8.541 亿美元，负债 8.671 亿美元。

Solyndra 公司在向美国证券交易委员会（SEC）提出申请时表示了上市的意愿，但因 2008 年末公共股权市场行情下行，Solyndra 公司未再跟进。因需要资金建立新的安装工厂，该公司向美国能源部申请了贷款担保，并于 2009 年 3 月得到了 5.35 亿美元的联邦贷款担保。

根据能源部的信息，在申请联邦贷款担保时，Solyndra 公司估计他们的新制造设施将要雇用 3000 人，而且该设施的运行可创造 1000 个新岗位，还不包括光伏板在全美国安装时能创造出的数以千计的新工作岗位。此外，Solyndra 公司承诺该项技术的商业化生产将会导致这些影响在许多待建的其它制造工厂得以复制。

朱部长原定于 2009 年 1 月为 Solyndra 公司在该年 5 月份提供贷款担保承诺，但能源部将时间提前，并在 3 月中批准。能源部表扬了该部的贷款团队“能够在不到两个月内加快处理此项有条件的承诺，展示了团队工作的力量以及在排除阻碍成功的障碍方面能源部工作的速度。”然而，在 Solyndra 公司令人震惊的倒塌以后，该项贷款被快速的担保批准一直受到质疑。

据报道，Solyndra 公司还在许多私营投资者的支持中受益，包括 Argonaut, 亿万富翁的投资工具及奥巴马竞选筹资人乔治凯撒的慈善组织 沃尔顿家族（沃尔玛的拥有人）在内，Solyndra 得到的扶持总额约为 10 亿美元。

2012 年 10 月，Solyndra 公司宣布他们正在起诉三家在美国经营的中国太阳能公司，Suntech, Trina 和 英利，他们声称这三家公司利用了掠夺式定价政策破坏竞争。

## **5.2. 1366 技术计划：将 ARPA-E 计划、贷款担保计划和射日计划与大学研发相结合**

1366 技术计划是麻省理工学院的 Emanuel 教授和 Tonio Buonassisi 教授的实验室进行的研究成果的副产品。该公司位于麻省莱克星顿，正在开发使硅太阳能电池更加有效的技术。例如，阻止进入通用硅太阳能电池的光被反射出去，和防止硅中的污染物或

缺陷把电子窝住。

2009年10月,1366技术计划获得了 ARPA-E 项目的四百万美元资助,期限从2010年3月1日延长至2012年6月30日,并与 Buonassisi 教授领导的麻省理工学院实验室合作。 ARPA-E 资助集中扶持为 1366 的一项能够以工业标准的尺寸直接从熔化了了的硅生产出薄片,从而避免因将大块硅晶体切成薄片,使得一半的硅晶体变成尘埃这一昂贵过程的技术开发。

继 ARPA-E 资助之后,2010年10月,1366技术计划宣布其在 Hanwha 化学公司及 Ventizz 资本基金、以及 North Bridge 风险资本合伙人和 麻省的 Waltham 的 Polaris 风险资本合伙人的帮助下,已经筹集到了两千万美元用以将其新技术从实验室应用于工厂生产。2011年3月,该公司宣布其又从通用电气公司能源金融部、VantagePoint 风险资本合伙人、Hanwha 化学公司、以及几家其它公司那里获得了 840 万美元的投资,使该公司的筹资总额接近了 4600 万美元。

2011年9月,1366技术计划获得了 1705 计划项下 1.5 亿美元贷款担保(见表 6)。该笔贷款是用于 1366 技术计划建造两座制造工厂。建造该两座工厂预计可提供 50 个建筑工作岗位和 70 个永久性工作岗位。第一座商业化的工厂的建筑面积为 42,000 平方英尺,制造容量为 25 兆瓦,位于麻省的 Bedford, 预计于 2013 年全部投入运营,而且的确于 2013 年 1 月开始运营。第二座工厂面积更大,制造容量为 1,000 兆瓦,预计于 2013 年后期开工,2015 年投入运营。.

2011年8月,1366技术计划获得了一笔名为 SUNPATH 的美国能源部制订的“射日”计划项下的拨款。该笔拨款提供的最高金额为 6,999,959 美元,是用于配合金额为 20,999,877 美元的私营投资,来建造该公司的首座商业规模的年制造容量为 40 兆瓦的生产线,可使 1366 技术计划将其现有的示范规模的工艺转化成—个制造容量足以用于学习和统计过程开发的规模。该新工厂将建在麻省的莱克星顿。

尽管该公司仍在扩大和完善其创新成果,1366技术计划已经代表了能源部的成功故事之一,因为该计划已经获得了能源部提供的为研发和示范过程的各个阶段设计的资金扶持,而且已经成功地利用了这一公共财政的扶持来吸引私营资金投入。当技术仍处于早期阶段时,APRA-E 提供的早期资金扶持帮助了该公司吸引风险资本扶持,而且最终得到了能源部根据 1705 计划提供的贷款担保,而该公司可利用该项担保吸引更多的私营资金投入。1366技术计划在过去四年获得的资金的来源和金额详见下图。

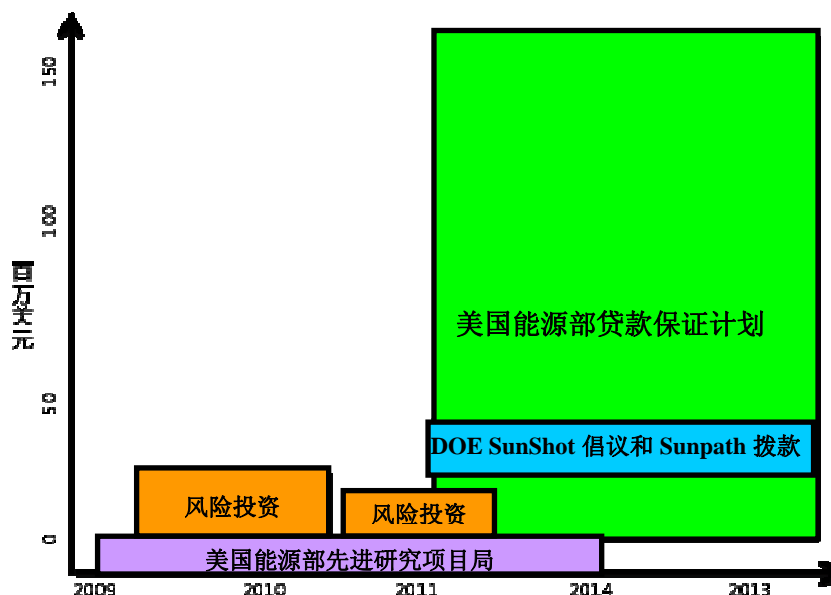


图18. 按 1366 技术计划分类，获得的公共财政资金和私营资

2013 年 5 月，1366 技术计划宣布其与日本硅生产商 Tokuyama 达成了一项研发交易。Tokuyama 是日本第一大全球第四大硅生产商。该公司也通过投资与包括 Hanhwa 太阳能和 NRG 能源在内的大能源公司结成了伙伴关系。

尽管 1366 技术计划算得上成功了，但同一创始人更早时设立的公司则并未取得同样的成功。Sach 的早期研究促使他成立了 Evergreen 太阳能公司----同样设在 Buonassisi 工作麻省的另一家太阳能公司。Evergreen 于 2011 年 8 月破产，被一家中国买家，即中国私募基金投资控股公司收购。Evergreen 早前与中国的 Jiawei 太阳能公司和湖北科技投资有限公司达成伙伴关系，后者从中国国家开发银行获得了一百亿人民币的贷款，扶持华中地区的发展。

## 6. 评价美国清洁能源的成功与失败

本文讨论的许多美国项目均为最近开发的，因此对该等项目的有效性进行全面的评估仍嫌为时过早。然而，已经出现的成功和失败的例子，如上述两个案例，或许可以供就如何完善现存项目进行讨论，并弥补该等实践中存在的不足，以更好地开发新项目。此外，事实上美国能源部在过去五年中制订的多数创新型清洁能源扶持计划均依赖于一度为联邦刺激计划（ARRA）的财政拨款，该等计划在将来资金流断开时能否保持其可持续性已经引发了担忧。

### 6.1. 贷款计划

在 Solyndra 公司倒闭后美国能源部的贷款担保计划的有效性受到了审查。一项研究发现能源部的贷款担保计划比其它能源部开展的清洁能源扶持计划更难处理和更耗费

人工，被认为这项计划“即不必要也不有效。”

单单 Solyndra 公司失败的一个例子可能不足以证明联邦政府贷款担保计划失败了。因为在该贷款担保计划扶持的 33 个项目中仅有两个失败了，而且该计划最初被设计为允许这些失败，并拨备了一百亿美元来填补 260 亿美元贷款中的损失。此外，Solyndra 公司另外向能源部申请的 4.68 亿美元贷款未得到批准。作为一项象征性的举动，共和党控制的美国众议院于 2012 年 9 月通过了一项“再也没有 Solyndras 公司现象的法案”，试图防止能源部批准任何新的贷款担保申请。但是，该计划的设计宗旨是要求美国能源部“挑选出优胜方”，而非由市场决定何种技术最终能大规模推广。

尽管许多能源部的清洁能源项目扶持方式是“放手不干涉”式的，该贷款担保计划使能源部扮演了通常由私营投资人和项目开发商担任的角色，而这可能并非是他们目前设计下的强项。若能源部将其角色职责扩大至清洁能源的资金提供方，其需要另外开发一个独立于能源部政策制订部门的、由其它公平的机构的金融专家组成的融资和银行机构。

## 6.2. ARRA 创新计划: ARPA-E

美国最近几年发展新能源研发和示范项目的方式被总结为对现存扶持体系进行“缝补”，而非对整个研发和示范系统重新设计。本文所论及的每一个计划，包括 ARPA-E、能源创新中心、以及能源前沿研究中心、和规模更小的项目，还有像射日计划及“美国下一代顶尖能源创新者”计划的宗旨皆以明确研发和示范过程中清洁能源创新在不同阶段的障碍为目标。

能源部研发和示范的重点中存在的一个潜在的不足，与 ARPA-E 计划的创新型支持相比，为技术提供的技术示范资金扶持更能商业化。例如，许多项研究均为碳减排、碳捕捉和碳摧毁技术的示范项目提供扶持。尽管能源部制订的“FutureGen 未来发电”计划是对该种项目的一种尝试，但高昂的成本和复杂的政治因素令该项目永远无法实施。

美国 GAO 最近进行的一项研究发现，ARPA-E 计划可完善其挑选标准，尤其是可以提高其对私营领域的资金投入的信息方面的要求。根据该项报告，“ARPA-E 计划在决定是否提供资金扶持时使用了四项挑选标准，即与涉及工艺的技术提出的影响；所推荐的技术的总体科技优点；技术申请方的资质、经验、和能力；以及所推荐的管理计划的质量，”（具体的提供资金的机会和应用方面的信息可查阅网址 <https://arpa-e-foa.energy.gov/Default.aspx/>。申请由 ARPA-E 计划的八位项目主任审查，他们基本上都是科学家和工程师。

GAO 的报告还发现 ARPA-E 的确填补了私营投资人不可能填补的投资空白。ARPA-E 奖励优胜者的数据显示，头三轮资助的 121 个 ARPA-E 项目中有 91 个项目的技术概念并未在实验室阶段得到示范。风险资本投资公司“基本上不对那些依赖于未经验证的技术概念的或无展示该种技术的、运行中的样板的项目进行投资。”此外，风险资本行业“主要对那些能在三年内实现商业化的和那些能够展现出市场增长能在大约 5 年至 7 年内实现指数式增长的技术。”

## 7. 向中国提出的建议

### 7.1. 美国清洁能源扶持计划的教训

对美国体制进行的审视表明，美国缺乏一项联邦政府能源政策或一项联邦政府级别的清洁能源创新战略。尽管如此，主要由美国能源部主导的“缝补工作”已经培育了一个由传统的衡量方法所认为强有力的创新体系。相反，中国拥有一项非常强力的由政府计划推广的扶持科技创新的战略，但是在培育创新成果和在创办创新型公司方面取得的成功则嫌不足。

产生这种现象的原因之一是对研究机构开发的发明成果缺乏早期扶持。美国拥有一种在大学开始创业的企业家文化，尤其是在工程和商业教育方面。此外，大学、国家实验室与私营产业间的强力联接可给予该等企业家更多的扶持。中国可通过完善基础研究和应用研究的整合来提高大学、实验室和私营产业间的联接。这方面的范例包括美国能源部创办的能源创新中心，以及 ARPA-E 计划。

就资金扶持而言，美国拥有世界上最高水平的风险资本投资，以及高度的国家研发扶持。中国可增加公共财政对早期的研发和示范的扶持力度，包括扩大其风险资本对初创技术公司的扶持力度，例如，在没有大规模的私营风险资本银行的情况下，可从 MOST 获得国家的扶持。尽管中国的创新体制的一个强项在清洁能源技术示范方面已获得大规模投资，但是还有一个问题，政府在某一技术公司开发的技术的活力在市场得到充分验证之前就太快的“挑选出优胜者”。

其结果是，中国政府可能想开发更多的根据项目的优点而被挑选出来的项目，以对清洁能源公司提供资金扶持。可能的范例包括美国能源部的技术办公室扶持的项目，例如射日计划。中国也可考虑集中挑选一批像美国的下一代顶尖能源创新者计划那样的项目，引入范围更广的利益相关者，并增加公众对本土开发的创新成果的重视程度。美国联邦贷款担保计划大概对中国无多少借鉴意义，因为大规模的、政府支持的扶持显然是中国目前清洁能源创新体系的重要优势之一。

## 7.2. 美国-中国在清洁能源创新方面合作的机会

在过去三十年里，美国-中国在清洁能源领域的合作取得了巨大的发展。自 1978 年美中科学与技术合作协议签署以来，大多数合作的重点一直是就政策问题进行对话和交换意见，以及就分享一般性的非合作技术开发的信息进行的交流。2009 年由胡锦涛主席和奥巴马总统倡导的合作新纪元项目包括设立美中清洁能源研究中心（CERC），首次开始了由美中两国的研究机构、大学、和私营实业伙伴一起开展的合作研发和示范项目。美中清洁能源研究中心与美国能源部同期创办的美国本土的能源创新中心十分相似。

美中清洁能源扶持体系在若干方面均具有互补性。例如，美国在基础科学和可行性研究方面占优，这主要缘于公共财政扶持的研发，而中国在这方面落后。此外，美国在早期风险资本投资方面具有优势，而中国仍有待于开发一套强有力的风险资本投资体系。然而一旦某项技术开发达到示范和推广阶段，中国政府的扶持优势即可显现，尤其是对那些尚未商业化的技术的扶持，而许多美国的技术却很难走出实验室到达初步示范阶段。

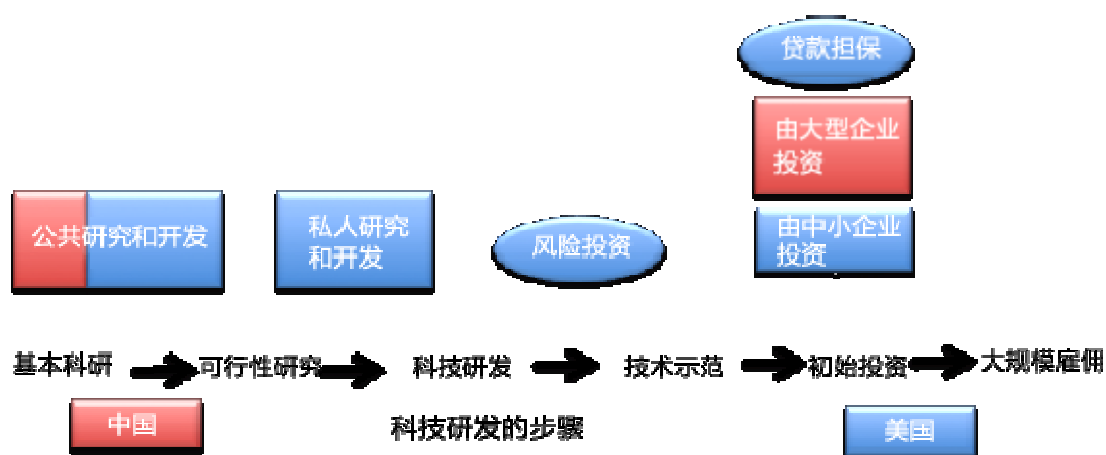


图19. 美国和中国的国家清洁能源扶持方面的互补性

该等互补性表明，在清洁能源创新体系里的各参与方之间存在着许多合作机会。从结果来看，美中两国政府均应为利用美中清洁能源研究中心而审视进一步合作的机会，并进一步让中国和美国的大学、实验室和公司参与进来，尤其是在各自的国家清洁能源扶持体系中建立该等互补性。