智能电网—电力资讯

专 注 于 电 力 领 域 的 品 牌 媒 体

北极星电力网中核资讯 “2011智能电网高峰论坛”特刊

http://www.bjx.com.cn



本期关注

特刊 2011

- ▲“2011中国智能电网产业发展高峰论坛”再现头脑风暴
- ▲ 一个因智能电网而带动40万亿元的宏大产业链条正徐徐展开
- ▲ 国内最大的风光互补发电项目在玉门开建
- ▲ 制定市场价格机制将是沉寂多年的电网主辅分离改革的新的进展
- ▲ 微网中的多元复合储能技术

公司地址：北京市朝阳区八里庄西里97号住邦2000商务中心4号楼301
联系电话：(+86 10)52898473 传真：(+86 10)85757021 邮箱：chenchen@bjxmail.com

卷首语

“2011 中国智能电网产业发展高峰论坛”再现头脑风暴

2011 中国智能电网产业发展高峰论坛议程和议题

1. 智能电网市场观察

未来 10 年，一个因智能电网而带动 40 万亿元的宏大产业链条正徐徐展开

国家电网“十二五”全国建 5000 座智能变电站 将拉动 7000 多亿元新增市场

2. 特约评论

制定市场价格机制将是沉寂多年的电网主辅分离改革的新的进展

3. 企业风采

倡导精细电力资产管理 远光软件提出降本增效两重点

4. 高端访谈

北极星电力网专访智能电网电力线通信专家 SEMITECH 总裁

5. 项目快讯

哈密-郑州±800 特高压直流输电工程换流站(预)初步设计将启动

国内最大的风光互补发电项目在甘肃玉门开建

东海大桥海上风电场二期(扩建)工程项目将开 上海电气中标

无锡尚德四期 600MW 光伏组件工程投产

6. 技术文章

新能源并网发电系统的关键技术和发展趋势

中国光伏发电成本价格及技术进步作用的分析

微网中的多元复合储能技术

MW 级大容量锂电池储能电站自主研发集成报告



AVAGO TECHNOLOGIES

AVAGO工业光纤产品,智能电网通信应用的的理想选择



世强电讯可提供包括从15KBd到160MBd Versatile Link,SC,ST,SMA,SC-RJ 收发分离光模块。

产品优势:

- 世界级工业光纤领导厂商，
  提供业内最高品质工业光纤通讯器材设计及制造服务
- 最完整的工业光纤器件产品线，
  提供650/820/1300nm全系列工业光纤通讯器件产品
- 工业光纤整体解决方案，
  提供工业光纤器件，塑料光纤POF，光学评估包与配件等一站式服务

产品广泛应用于

- 高压变频器
- 数字化变电站，光电互感器
- 继电保护，电磁消弧系统
- 无功补偿设备，SVC,SVG
- 光伏，风力发电

Control and Communications Fiber Optic Components Solutions

Part Number	Description	Data Rate	Distance		
			POF	HCS	Multimode
			1mm	200μm	62.5/125μm
HFBR-1515BZ	650nm, Transmitter	DC-10 MBd	40m	200m	-
HFBR-2515BZ	650nm, Receiver	DC-10 MBd	40m	200m	-
HFBR-1505CZ	650nm, Transmitter	DC-10 MBd	50m	400m	-
HFBR-2505CZ	650nm, Receiver	DC-10 MBd	50m	400m	-
HFBR-1521Z	650nm, Transmitter	DC-5 MBd	20m	-	-
HFBR-2521Z	650nm, Receiver	DC-5 MBd	20m	-	-
HFBR-1522BZ	650nm, Transmitter	DC-1 MBd	45m	-	-
HFBR-2522Z	650nm, Receiver	DC-1 MBd	45m	-	-
HFBR-1528Z	650nm, Transmitter	DC-10 MBd	40m	300m	-
HFBR-2528B	650nm, Receiver	DC-10 MBd	40m	300m	-
HFBR-1414Z	820nm, Transmitter	DC-5 MBd	-	1500m	2000m
HFBR-2412Z	820nm, Receiver	DC-5 MBd	-	1500m	2000m
HFBR-1414BZ	820nm, Transmitter	DC-20 MBd	-	-	2700m
HFBR-2416Z	820nm, Receiver	DC-20 MBd	-	-	2700m
HFBR-1414BZ	820nm, Transmitter	DC-160 MBd	-	-	500m
HFBR-2416Z	820nm, Receiver	DC-160 MBd	-		500m

世强电讯
www.secomtel.com

卷首语

“2011 中国智能电网产业发展高峰论坛”再现头脑风暴

随着各种先进信息技术在电网中的广泛应用、智能化已经成为电网发展的必然趋势，近年来，发展智能电网已在世界范围内形成共识。在 2009 年、2010 年两年的试点工作基础上，我国智能电网建设再度升温，“十二五”规划纲要中也明确道：依托信息、控制和储能等先进技术，推进智能电网建设，切实加强城乡电网建设与改造，增强电网优化配置能力和供电可靠性;开展智能电网建设试点，改造、建设智能变电站，推广应用智能电表，配套建设电动汽车充电设施。由此可见，未来五年，将是智能电网进入全面建设阶段的关键五年。

目前，智能电网的发展过程中，各国结合其电力工业发展的具体现状，通过不同领域的研究和实践，形成了各自的发展方向和技术路线。而各领域的专家、学者对智能电网建设各抒己见，观点更是百花齐放，这也反映出各国对未来智能电网发展模式的不同理解。

伴随着太阳能、风能、生物质能等分布式“绿”电在我国的蓬勃发展，如何实现电网自愈控制？如何将分布式电源并入配电网进行控制与保护？如何优化发、输、配、用各环节的协调调度？如何利用先进的电力电子技术提升智能电网发展？如何实现电能质量控制和电能的灵活分配？如何降低损耗、提高供电可靠性和电能质量等，诸多难题，再次抛给当下中国发展智能电网规划，并对其建设也提出了更新更多的诉求。

为了缔结政、研、企三方垂直纽带，推进中国电网智能化的建设步伐，破解智能电网在新形式下的技术难题，国家能源局、教育部、上海市政府、国家电网公司特联合投资建设的“国家能源智能电网(上海)研发中心”将承担国家发改委、科技部、各地方政府、国家电网公司、南方电网公司等相关科研项目。作为整体项目的开局部分，国家能源智能电网(上海)研发中心携手北极星电力网，主办首届“2011 中国智能电网产业发展高峰论坛”将于 2011 年 11 月 10 日在上海拉开序幕。

作为本次论坛的承办方，中国电力行业第一门户网站——北极星电力网与“国家能源智能电网(上海)研发中心”共同表示，此次“2011 中国智电能网产业发展高峰论坛”将分别就智能电网产业发展政策解读、智能电网建设重点项目解读、智能电网技术标准化解读、绿色能源发电机遇与并网瓶颈破解、新能源汽车市场空间和电动汽车充电站发展布局及支撑技术等产业发展难点进行命题;与会各方将会在论坛中就中国智能电网的政策规划、可再生能源并网技术和输配电系统需求、智能变电站在建项目、智能配电网电能质量控制及需求、特高压输电工程分析及亟待解决的问题等进行深入探讨，构建准确、快速、高效的垂直对话通道，以促进我国智能电网产业向标准化、市场化大幅迈进。



2011 中国智能电网产业发展高峰论坛议程和议题

我们已邀请：

国家能源局、国家科技部和上海市科委的有关领导、国家电网公司智能电网部王益民主任、华中科技大学程时杰院士、清华大学卢强院士、中国电力科技研究院白晓民副总工程师、国网电科院姚良忠博士、南网科研院饶宏副院长、国网信通公司刘建明总经理、英国利物浦大学吴青华教授，还有 GE、埃森哲、西门子、施耐德等有关专家进行演讲，并展开探讨。

论坛时间

2011 年 11 月 9 日（星期三）全天报到

2011 年 11 月 10 日（星期四）全天～2011 年 11 月 11 日（星期五）上午 高峰论坛

论坛地点

上海园林格兰云天大酒店（上海市徐汇区百色路 100 号）

论坛官网

http://2011.chinasmartgrid.com.cn

组委会联系方式

联系人：周先生

联系电话：010-85767886 13911210378

联系邮箱：zhouquan@bjxmail.com

联系 QQ：1051558492

议程和议题：

2011 年 11 月 10 日（星期四）

上午：中国智能电网产业发展的政策规划和发展前景专题

9：00～ 9：10 开幕式，大会主席致辞

9：10～ 9：40 中国智能电网的政策规划

9：40～10：10 构建符合中国国情的智能电网

10：10～10：20 Q&A

10：20～10：50 茶歇

10：50～11：20 智能电网技术及产业化前景

11：20～11：50 中国需创新发展以综合网架为核心的智能能源网

11：50～12：00 Q& A

12：00～13：30 午餐

下午：智能电网关键技术和产业发展专题（一）

13：30～14：00 智能电网的建设实践和发展目标

14：00～14：30 从智能电网 863 专项看智能电网的关键技术

14：30～15：00 国内外智能电网理念和技术线路的比较分析

15：00～15：10 Q & A

15：10～15：40　茶歇

15：40～16：10　中国智能电网技术标准体系和优先发展的技术

16：10～16：40　高温超导带材的产业化及其广阔的应用前景

16：40～17：10　可再生能源并网技术

17：10～17：20　Q& A

18：00 欢迎晚宴

2011 年 11 月 11 日（星期五）

上午：智能电网关键技术和产业发展专题（二）

9：00～ 9：25　信息和控制技术在智能电网中的应用

9：25～ 9：50　智能电网配用电技术高效能智能电网标准

9：50～10：15　智能电网综合集成示范工程的技术线路和产业机会

10：15～10：25　Q& A

10：25～10：50　茶歇

10：50～11：20　直流配电网技术与应用

11：20～11：50　智能家居的产业化和智能楼宇技术

11：50～12：00　Q& A

12：00～13：30 午餐

13：30　论坛结束

智能电网市场动态

未来 10 年，一个因智能电网而带动 40 万亿元的宏大产业链条正徐徐展开

智能电网正在带动中国经济形成一个全新、庞大的“智网产业链”。

2010 年 9 月，江苏省成立了智能电网产业联盟（下称智网联盟）。智网联盟由国电南瑞、亨通集团等 16 家单位联合发起、50 多个企业加盟，几乎囊括了江苏省智能电网上下游产业链上的所有精英。

在此之前，北京中关村的数十家企业已经成立了智网联盟。

“智网联盟”之外，全国的电力设备制造企业都在为智能电网产业化的商机磨刀霍霍。

在中国的沿海地区，智能电网方兴未艾。位于浙江的小城海盐县已经宣布，12.7 万用电客户即将全部更换完智能电表，海盐成为中国第一个“准智能电网城”；天津市已开始为全市 417 万户居民免费换装智能电表……

2009 年 5 月，国家电网公司（下称国家电网）对外宣称，中国要建设“以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、自动化、互动化特征”的“坚强智能电网”。

在年初的政府工作报告中，国务院总理温家宝 8 次提及电力问题，明确表示“要加强智能电网建设”，这被业界广泛理解为智能电网已经被提升为国家战略。

按国家电网的规划，“坚强智能电网”建设周期横跨 12 年;到 2015 年,国家电网直供直管经营区域用电信息采集覆盖率将达到 100%;国网公司内部人士说总投资“初步预计 3.45 万亿元”。2009 年到 2010 年底，是该工程的规划试点阶段。

作为事关国计民生的重要基础设施，电网网架“坚强”是应有之义;但电网既“坚强”又“聪明”，其难度不言而喻。

目前，人们能预估的是，“坚强智能电网”一旦建成，将在方方面面影响中国——真正的智能电网，将是一个庞大的技术、产业、政经综合体，囊括从发电到用电的所有电力环节，可能带动新材料、高端设备研发、清洁能源、节能减排等多行业发展，同时涉及能源布局乃至国家能源安全。

抢跑“智网”

随着智能电网项目招标和建设工作的推进，地方政府和企业的投资热情一步步高涨;智能电网正在带动上下游产业形成庞大的“智网产业链”3 万亿以上。

国家电网相关负责人在接受媒体记者专访时明确表示：未来 10 年里，智能电网预计年均投资约 3000 亿元。而在业内专家看来，国家电网的投入资金将拉动十倍乃至百倍的资金跟进。

“智能电网建设将成为未来 5~10 年中国经济增长的超级引擎。”中科院首席能源专家武建东接受媒体采访时表示，“其投资拉动效应将使 GDP 每年至少因此增加一个百分点。”

首先感知这一利好的是股票市场。2010 年上半年，沪深指数下跌 28%，而智能电网板块指数仅仅下跌 2.4%,板块中的“龙头”更是逆势大幅上扬。

按照国家电网的发展规划，2009 年、2010 年不过是智能电网的“规划试点阶段”，主要工作是制定规划和相关标准，这一阶段的投资寥寥无几。而即将到来的 2011 年~2015 年，则是智能电网计划的“全面建设阶段”，这一阶段的投资金额接近 20000 亿元。

“我们判断这个规划一旦实行，将产生巨大的市场蛋糕。”一位参与智网联盟的企业家说，“争夺战已经开始了。”

地方“抢跑”

国家关于智能电网的规划尚在酝酿之中，但地方政府已经提前“抢跑”。

5 月初，江苏省公布《江苏省智能电网产业发展专项规划纲要(2009~2012 年)》，提出要以智能电网建设带动智能电网产业、以智能电网产业发展促进智能电网建设的发展思路。江苏省设定每年在智网的投资 200 亿元,到 2012 年、2015 年智能电网产业总产值分别突破 1500 亿元、3000 亿元的宏大目标。

江苏省经信委电力处一官员明确告诉记者，省政府高层希望分散的电力装备制造业能形成产业集聚效应。

5 月 12 日，上海推出《上海推进智能电网产业发展行动方案(2010~2012 年)》。根据方案，上海将新能源接入与控制、智能变电站系统及智能设备、电力储能、智能配电网与智能用户端等作为智能电网的重点发展方向。力争到 2012 年培育 3~5 家智能电网行业的龙头企业，形成有竞争力的智能电网产业集群，产业规模达到 500 亿元。

江苏和上海的“抢跑”引来共鸣。记者在采访中获悉，山东、河北、浙江等省已经先后启动智能电网发展规划工作。

“不能落后。”山东省发改委内部人士透露，“省政府已经责成国家电网山东分公司拟定全省智能电网规划纲要。”

事实上，国家电网山东分公司已经初步完成了《山东电力集团智能电网发展规划(审议稿)》，但相应投资远低于江苏和上海。

“山东省智能电网的建设与投资应与其经济大省的地位相符，在智能电网方面的年投资不能少于江苏。”上述山东发改委的人士透露，山东方面也希望推动山东与国家电网签订类似于上海模式的战略合作协议。

比省级政府更先行动的是城市。早在 2009 年，江苏扬州已经与国家电网接洽，希望将该市打造成中国第一个智能城市。

“我们觉得目前建设智能城市不切合实际，所以婉拒了。”国家电网一位专家说。

但这并没有打消扬州发展智能电网产业的积极性。2010 年 4 月，扬州建立“江苏省智能电网产业基地”，这是全国第一个兴建的智能电网产业基地，虽然这一基地目前大部分是个空壳，但扬州市政府已经明确指定了打造“千亿级智能电网产业基地”的具体目标。

扬州市各个区县也进行着自己的智能产业基地规划。宝应县以宝胜集团为依托，发展智能电缆电线;邗江则以风电设备制造为主，打造电力电气设备集团;江都则规划建立以电力金具为主的特色产业园区;就连高邮菱塘回族乡也在 6 月建设了一个智能电网产业基地，主推风力发电、生物智能发电和储能技术。

国网电科院副总工程师姚建国曾经就智能电网建设专程去过扬州。“效果不是很理想，他们更多还是从发展当地产业的角度去考虑。”

扬州式的“抢跑”还在复制。5 月 7 日，浙江温州出台电气产业发展新规划，计划依托智能电网建设的逐步推进，用两年时间将温州建成“国际电气城”，年产值达到千亿元;河南省平顶山也拟定了“中原电气城”的蓝图，其目标是到 2015 年整个智能电网产业链实现年产值 600 亿元……

“资本市场现在已经严重过热了，市场透支，实际上并没有这么多机会。”国家电网公司智能电网部主任王益民说。

中国电力科学院的一位主要负责人告诉记者，随着智能电网项目招标和建设工作的推进，地方政府的热情还将进一步高涨;这些热情虽然略显草率，但是在地方看来，近 4 万亿的投资对地方政府而言无疑是拉动经济增长的巨大动力。

根据规划，“十二五”期间将新建智能变电站 8000 座，“十三五”期间新建智能变电站 7700 座，可谓“市场无限”。

与智能电表相比，智能变电站是“大买卖”。国家电网山东分公司提供的数据显示，目前正在实施的淄博李家 110kv 升级改造项目总耗资 2410 万元，而济宁黄屯新建 110kv 智能变电站项目总投资约 5800 万元。

与智能电表主要集中于民营企业相比，盯住智能变电站的大都是行业巨头。在采访中获悉，展开智能变电站研发和攻关的企业除了国网麾下的许继和平高之外，华为、天威保变、GE、西门子等中外行业巨头也都摩拳擦掌。

“坚强智能电网的投资重点集中在光伏并网、安全监控、智能变电站等领域，这都是我们的强项。”南瑞内部人士透露，在智能电网的万亿“蛋糕”中，南瑞能“切”下来的逾千亿之巨。

广发证券认为，按照国网的规划，从下半年开始，大量智能变电站项目将陆续开始招标，“涉及的数量大幅增加,设备范围也开始扩大,我们坚定认为,二次设备厂商已经进入‘黄金十年’的发展期。”

认准“黄金十年”的不仅仅是电力企业，巨大蛋糕的诱惑下，一些科技企业也纷纷“改行”，投入智能电网的大潮中。

“公司目前已经全面涉足包括智能电表业务在内的智网业务。”去年 8 月底，中国航天科工总经理谢伟良当时接受电话采访时明确表示，航天科工集团的智能电网项目论证评审早在 2010 年 5 月已经获批。而其目标更是雄伟：通过智网十年规划，打造超百亿的智网产业集团，力争在电力领域再造一个行业龙头。

家电革命

2010 年 9 月 2 日，海信电器数字家庭开发部软件所所长赵建立现场演示其数字家庭时，多次因网络速度原因卡壳。

“还是受制于网络。”赵解释说，目前连接家庭中各电器的是无线网络，传输只能达到 250K 左右，而一旦智能电网的光纤接入，这一速度将增至 60~90 兆，“届时的智能效果将非常好。”

智能电网正在促进一场家电和家居革命。

三星经济研究院产业组首席研究员邱罡认为，智能电网将助跑三网融合，由智能电网的兴起所带来的多网融合局面，将引发商业模式的转变和企业发展方式的转变。

这一转变正在家电和家居领域悄然发生，两个受智能电网影响而加速形成的千亿产业正在酝酿。

海尔智能家电公司企划部经理朱旬说，随着智能电网的介入，智能家电的功能将得到充分释放，未来三五年之内智能家电市场会形成一个比较大的市场容量。

十年前，包括海尔、海信在内的国内品牌也早已着手开发智能家电。

海尔的智能冰箱不仅可以储存食物，而且可以通过与网络连接，实现了冰箱与冰箱里的食品、与超市的食品、与人类之间自由沟通；其智能洗衣机具有自动识别电网负荷、洗涤剂品类、衣物布质、自来水水质及污垢的脏污、家庭水电费的管理、网上购物等功能。

但当时的智能家电基本没有销售空间，产品也仅仅局限于展览会。以海尔集团为例，该公司早在2005年就为所有家电产品预留有可随时升级为智能家电的智能接口，但时至今日，智能家电仍未成为市场的主流产品。

2009年，海尔集团智能家电的销售额为5.2亿元，而海尔集团当年的销售总额为1243亿元，智能家电所占比重不足0.5%，智能家电部也成为海尔集团旗下最羸弱的部门。

最先开发出智能家居的海信集团同样面临销售尴尬。目前，该公司的智能家居仅仅局限于一些高端家庭，“如果没有海信地产的配套介入，整个智能家居的销售情况将惨不忍睹。”

目前，国家电网正在全国范围内进行包括“电力光纤到户”在内的智能电网试点，“电力光纤到户”为智能电网跨界三网融合奠定了基础，融合后的光纤不仅可以输送电能，而且还可以搭载互联网、电信、广播电视信号和物联网的需求，而这也将催生更为全面的智能家居和智能家电服务。

国脉物联网技术研究中心的报告显示，到2015年，中国智能家居的市场规模将达到1240亿元。

这一预计规模让海信无限欣喜，并制定了近期发展规划：2010年下半年，与国家电网联合制定行业标准;2011年，联合建立样板房和示范工程，争取政府的政策支持……

试图借智能电网开辟新市场的家电企业比比皆是。2009年3月，海尔集团与国家电网旗下的国网信通签订战略协议，全面启动智慧用电计划。同时，海尔集团将智能家电列为战略发展方向，仅研发人员就多达260多人，2009年，这个团队共拿到研发经费3亿多元。

朱旬认为，三网融合下的电器变革正在发生，这将导致智能电网下的家电发生本质变化，比如电视将不仅仅只有电视信号显示器的功能，它甚至可以具备与电视台互动、网络沟通、控制整个家庭的家电工作状态等多种功能。

“智能家电将覆盖所有的家电领域，未来三五年，智能家电增长五六倍不成问题。”中国家电协会副秘书长陈钢说。

智能电网“电力光纤到户”将催生智能家居和智能用电，用户将大量需求复合智能电网技术标准、可报告用电信息、具备远程控制等功能的家电产品，家电厂商应该在家电研发方面做好准备。

40万亿元的产业链

智能电网正在带动中国经济形成一个全新、庞大的“智网产业链”。

“虽然无法准确计算智能电网对每个领域带来的具体经济效益，但可以肯定的是，智能电网将是一项涉及多领域、跨行业乃至全社会理念转变的庞大系统工程。”中国电科院副总工程师蔡国雄介绍道。

这一巨大蛋糕已逐渐被切开。2009年12月，国家电网首次开始组织针对智能电网的项目招标。当年12月9日，国家电网山东分公司承担了首批次83万块电表项目招标。2010年4月和7月，国家电网又组织了两次项目招标，招标涉及智能电表、信息采集器，合计金额6.2亿元。

“未来(从智能电网)获益最大的应该是新能源发电。”电监会副主席王野平说，尤其是此前受制于并网难题的风电、光伏发电将会获得足够的发展空间。

在此之前，电网甚至成为可再生能源发展的瓶颈。中电联的统计数据显示，由于风电会对电网产生谐波污染、电压波动及闪变等问题，风电并网难题一直困扰风电企业，2008年，中国风电因此至少1/3以上的风机在空转，当年全国风电

总装机容量分别为 624.6 万千万，太阳能发电则几乎为零。

从国家能源局了解到，即将出台的《新能源产业战略规划》对 2020 年风电、太阳能等新能源发电的目标大幅调整，调整后的幅度分别为 1 亿千瓦和 2000 万千瓦。中投顾问能源行业首席研究员姜谦认为，依照规划，仅风电行业的投资就将超过 1 万亿元。

发改委能源所一位专家表示，国家能源局是在“押宝”智能电网，脱离了智能电网而确立的新能源战略只能是纸上谈兵。国家能源局无疑也注意到这一点，其《新能源产业战略规划》的时间节点与智能电网完全吻合。

另一个将因智能电网而受益巨大的将是电动汽车。8 月 3 日，发改委牵头起草的《新能源汽车产业规划(草案)》首度曝光，根据草案，中央政府未来十年将分两个阶段、集中投资 1000 亿元，换取新能源汽车产业化和市场规模达到世界第一。

北京电力公司总经理朱长林认为，预计到 2020 年，在智能电网相关技术的带动下，中国电动汽车的保有量将达到 3000 万辆。按照每辆车 5 万元计算，至少将带来 15 万亿的经济收益。

智能电网不仅可以保障电动汽车有序充电，而且可以通过分时电价政策引导客户调整充电操作，而随着电池技术的突破，电动汽车甚至将成为引动储能单元，并最终成为智能电网的一部分。

这些都仅仅是“智网产业链”的一角。按照国家电网对于智能电网的规划纲要，智能电网的辐射范围相当广阔，包括新材料、电力电子元器件制造、电池制造、新能源发电、钢铁制造、通信设备、智能家电、电动汽车、智能家居等上下游产业，而后续还将衍生出诸如智能城市、智能交通等更多新的产业。

随便哪一个产业，未来的发展空间都在千亿以上，国网电科院副总工程师姚建国说。

“30 年后，中国智能电网的规划和建设将实现产值 40 万亿元产值。”中国电力科学院电工所所长肖立业认为，智能电网的建设将成为中国经济推动内需体系转型的战略机遇，起码将带动上下游近百个行业领域的创新发展。

未来 10 年，一个因智能电网而带动的宏大产业链条正徐徐展开。

国家电网“十二五”在全国欲建 5000 座智能变电站 将拉动 7000 多亿元新增市场

国家电网日前(8 月 12 日)在吉林长春召开了 2011 年年中基建工作会议暨智能变电站建设现场会，会议要求加快智能输变电工程建设，全面开展智能变电站工程建设，规范智能输变电工程建设，完善智能输变电工程建设标准体系。

会议虽未明确透露未来智能变电站的开工数量，但是中国电力科学研究院战略发展研究中心副主任刘有为昨日在接受记者专访时表示，“十二五”期间，国家电网将在全国建立 5000 座左右的智能变电站。中国电力科学研究院是国家电网的直属科研单位。

加快建设坚强智能电网

根据国家电网的预测，到 2020 年，我国用电需求将达到 7.7 万亿千瓦时，发电装机容量达到 16 亿千瓦左右。为满足未来持续增长的电力需求，我国正在加快建设坚强智能电网。

智能变电站作为坚强智能电网建设中的核心内容之一，是智能电网的重要组成部分，也是实现风能、太阳能等新能源接入电网的重要支撑。“为支撑国家智能电网建

成计划，‘十二五’期间，国家电网将在全国建5000座智能变电站。”刘有为表示。

但刘有为同时强调，这5000座并非全部新建，有些将采用智能化改造。“这些将建的变电站本来就在国家电网原先的发展目标里，因为智能电网的概念提出后，要把所有要建的变电站进行智能化升级。”

促进一二次变电产业融合

据悉，智能变电站的大规模建设，将成为我国一二次变电设备产业融合的契机，有利于电工装备制造业升级。

刘有为表示，行业龙头现在正出现这种趋势：特变电工主动与四方继保在南京成立合资公司，西电电器主动联合国电南自在沈阳成立合资公司。“这些都是为应对一二次设备融合趋势做出的竞争计划。”刘有为说。

拉动7000多亿新增投资

记者从国家电网获悉，在未来五年建成5000座左右的智能变电站后，2016年-2020年，我国还将建设7700座左右的智能变电站。这将明显促进智能变压器、电子传感器、智能电子控制系统等相关产业的发展。

有研究报告认为，由于智能变电站的建设，至2020年，智能变压器将新增总投资3500亿元、智能开关新增总投资2800亿元、新型互感器新增总投资900亿元。

记者了解到，去年8月，国家电网曾公布智能电网2010年第一批项目主设备招标中标人名单，其中有6个智能变电站参与招标。招标结果显示，中国西电、国电南自大获全胜。其中，中国西电变压器占有率为58.87%、电抗器占有率为100%、组合电器占有率为36.54%、避雷针占有率为71.43%;国电南自则在电子式互感器领域斩获了84.54%的份额。而平高电气 、国电南瑞 、许继电气 中标情况低于预期。


Schneider Electric
Micrologic™ E
智能化浏览，引领能效管理的未来
一种更加经济、有效地实现电能管理的方式
> 了解详情请登录：http://sereply.com
输入活动代码：91949t
参与活动，有机会赢取价值300元加油卡！

特约评论

制定市场价格机制将是沉寂多年的电网主辅分离改革的新的进展

“要真正开展输配分离，必须先要有一个市场的价格机制，以及政府对国有企业的管理方式的转变，如果这些基本条件没解决，就从市场结构上进行切分，实际上竞争不起来。”曾鸣如是表示。

沉寂多年的电网主辅分离改革终于有了新的进展。

2011 年 5 月 6 日，国务院国资委办公厅下发的《关于印发电网企业主辅分离改革及电力设计、施工企业一体化重组宣传提纲的通知》（国资发改革【2011】55 号文）中，详细推介了这次电网主辅分离改革的重组方案，即两大电网公司的辅业将被剥离，与 4 家中央电力设计施工企业重组，并成立两家新的辅业集团。这两家公司最迟要在今年 12 月 31 日前完成挂牌。

此次重组方案的正式出台，意味着第二轮电力体制改革的启动。距离第一轮改革已有 9 年之久。

新建 2 家航母级央企

新一轮电网主辅分离改革，将通过一系列的剥离、整合和重组予以实施，并诞生新的资产超千亿的航母级企业。根据此次改革重组方案，国家电网、南方电网两大公司的省级（区域）电网企业所属勘测设计企业，火电、水电施工企业和电力修造企业将被剥离，与中国电力工程顾问集团公司、中国水电工程顾问集团公司、中国水利水电建设集团公司和中国葛洲坝集团公司进行重组，采取新设母公司的方式，将 4 家中央电力设计施工企业和电网公司辅业单位成建制纳入新集团，保持原有企业法人地位不变。

新组建的两个综合性电力建设集团公司以项目总承包、工程管理、设计、施工、修造业务为主。其中，国家电网和南方电网两电网公司的河北、吉林、上海、福建、江西、山东、河南、湖北、海南、重庆、四川、贵州、青海和宁夏等 14 个省（区、市）公司所属辅业单位和中国水利水电建设集团、中国水电工程顾问集团重组，组建为中国电力建设集团有限公司（暂定名）。而两大电网公司的北京、天津、山西、辽宁、黑龙江、江苏、浙江、安徽、湖南、广东、广西、云南、陕西、甘肃和新疆等 15 个省（区、市）公司所属辅业单位和中国葛洲坝集团、中国电力工程顾问集团重组，组建为中国能源建设集团有限公司（暂定名）。

这两个新集团均由国资委代表国务院履行出资人职责，列入中央企业名单。据国资委估算，新组建的中国电力建设集团有限公司资产总额为 1587.4 亿元，中国能源建设集团有限公司资产总额为 1111.6 亿元。这两家资产超千亿的央企均有望进入世界 500 强。

这份新方案是由国资委牵头制定的，2010 年 9 月经电力体制改革工作小组通过，11 月上报国务院。今年初，该方案获批，国务院明确由国资委负责组织实施。

争议不断

事实上，此份主辅分离方案从 2010 年开始就已经陆续传出各种版本，新方案的出台被很多业内人士看好，但也引发了许多质疑，尤其是在主辅业的界定问题上。

早在 2002 年出台的《电力体制改革方案》（电改 5 号文），就已明确了“厂网分开”、“主辅分离”、“输配分离”、“竞价上网”的改革方向，并提出国家电网公司应当剥离所有非电网资产，包括从事电力设计、修造、施工等辅助性业务资产。

2007 年，国资委牵头进行过一次主辅分离的方案制订，当时已经在各部委达成一致，但因 2008 年初的雪灾而搁置。雪灾后，电网企业以保障电网安全为由，建议保留送变电企业。而后，国家电网在争议声中先后收购了作为电气设备制造商的平高集团、许继集团，但在此次新推出的重组方案中，这些企业并未被剥离。因此，有专家表示，主辅分离并没有触及实质，反而催生了两大新巨头，并有可能形成新的垄断。

对于这种说法，华北电力大学电力经济管理教研室的曾鸣教授并不认同，“不同的时期，垄断和竞争会有不同的表现，不能一概而论。”他告诉《上海国资》，“此次新方案关于主辅的界定相对于 2007 年确实有了一定的变化，我认为这是基于资源的最优配置。电力是一个特殊产业，它的效益或者说最优配置是通过社会效益来呈现的。一般认为是辅业的产业，可能放在主业里面对优化配置的效率更好一些，会使成本降低，特别是对外部环境的影响，节能减排会做得更好一些。”

据上海电力系统一位人士透露，省网公司与区域电网很早就脱离了隶属关系，区域电网公司只负责省际间的电力调度。近日关于国家电网资产下放，职权上收的消息也已见诸报端。“这对 5 号文中的区域电力市场的模式也是一个突破，弱化区域的目的当然是提高企业内部的管理效率”。曾鸣表示。

下一步，输配分离

自 2002 年起，电力体制改革正式启动。第一步是“厂网分离”，结果出现了国家电网与南方电网两大电网公司，国电、大唐、华能、华电、中电投五大电力集团，基本上实现了厂网分开的目标。

厂网分离实现了发电侧的竞价上网，而受电侧则仍然保留计划体制，这导致了后来发电厂频繁出现巨额亏损的状况。中国电力企业联合会最新发布的数据显示，2011 年 1—4 月，电力行业利润当年累计增速自 2009 年 5 月份以来首次由正转负；火电企业资产负债率继续高位上升。而 1—5 月，五大发电集团火电业务继续巨额亏损，亏损额达到 121.6 亿元，同比增加 78.6 亿元。中部、东北地区各省份火电企业则继续全部亏损。

煤炭价格上涨、发电厂巨额亏损、网厂之间不相协调以及电网建设滞后都是导致今夏华东出现电荒的重要因素。

而更深层次的问题还是体制。电力体制改革的目的是打破垄断，引入竞争机制，实现竞价上网。其中，“主辅分离”改革便持续了 9 年，中途经过反复讨论和磨合，甚至一度传出“夭折”的消息。而难度更大的“输配分离”，将会是下一步改革的重点。

国家发改委在日前下发的《关于 2011 年深化经济体制改革重点工作的意见》中提出，今年将加快输配电价改革，开展电力输配分开试点。但这个试点，目前尚无更为详细的信息。

而在学界、业界看来，输配要不要分开、如何分开，有很多问题需要厘清。华东电网一位知情人士告诉《上海国资》，“电网是自然垄断，一个地区内不可能同时存在多家电网公司，输配分离达不到竞争目的，也会造成巨大的浪费。”

曾鸣也认为，这个问题需要深入研究，“首先，由于电网的规模经济性和范围经济性，不可能在同一个地区利用网络产生什么竞争。网络都应该是专营的，要分开也只是财务上的产权分开，其本身并不能够形成竞争；其次，如果将配网分出去，县级电网问题会比较大，因为农网都在里面，而农网在中国范围非常之大，农民用户的购买力又是相当低的，实际上是要用工业去贴补农业、用城市去贴补农村、大电网带动小电网，这样整个电网才能发展起来。一旦网络分开，农网这一块很难靠其自身的购买力来促成投资和未来的可持续发展。我们普遍担心的就是社会责任和普遍服务的缺失，这是会影响社会稳定的，也是输配分开后最令人担忧的问题。”

“要真正开展输配分离，必须先要有一个市场的价格机制，以及政府对国有企业的管理方式的转变，如果这些基本条件没解决，就从市场结构上进行切分，实际上竞争不起来。”曾鸣如是表示。

企业风采

倡导精细电力资产管理 远光软件提出降本增效两重点

2011 年 8 月 12 日，远光软件在青岛召开主题为“精细化管理，降本增效”的研讨会。近 50 名来自各个地区发电企业的财务管理、生产管理、信息化的管理人员受邀参加本次会议。会议采取互动方式，围绕远光软件如何帮助发电企业建立集约化经营信息化体系，并针对资产集约化生命周期的价值管理，发电企业存在的资产盘点难题，和如何有效实现基建工程的过程管理、燃料管控的合理规划等内容进行全面阐述。旨在帮助企业通过建立信息化体系进行规范化管理、精细化管理，实现降本增效，为企业提高发展质量，创先争优，以实现全面科学管理搭建交流平台。



（济济一堂，聚精会神）

会上，远光发电事业部总经理方盛对与会专家和客户的到来表示真诚的感谢。他表示，远光历经 20 多年深耕电力行业，已成为电力企业推动信息化应用的首选伙伴，是中国管理软件的领导厂商。这一切的成果既来源于客户对远光的支持和关注，同时也造福于客户，如同会议主题“精细化管理 降本增效”，共为电力企业提升经营能力、提升内动力贡献一分力。

财务管控是实现经营的集约化的突破口

精细管理，降本增效。本次研讨会从精细化管理的实操性和前瞻性向客户展示了远光产品的系统性和丰富价值。远光市场总监杨健介绍，今天的远光已经取得长足的进步。针对超大型电力企业集团集约化管理的信息化需求，远光推出 GRIS 集团资源集约化管理系统。远光在确保原有传统服务收入持续增长的基础上，努力开拓了系统巡检、管理咨询、培训等新的服务项目，进一步构建贴近客户的全面服务体系。所以，今天的远光更有信心和能力，为客户提供全面的、一体化的专业信息化解决方案。

大型电力集团企业的规模扩张，经营跨度变长，经营主体增多，内部管理的复杂性也呈几何级增长，资产的增长规模如何能够与盈利能力的增长相匹配，是集团企业普遍面临的问题。远光咨询中心总经理靳守军点明核心，“集约化管理是集团企业发展的必由之路。集团集约化管理对信息技术的创新要求已经从高度集中控制向高效集约管理变革。”管理问题的实质是打造价值增值链协同。发电企业管理信息化建设的发展层次经历了从核算型财务管控信息系统到管理型管理信息系统，再到控制型管理信息系统，到步入集团集约化管理信息系统。在靳总看来，集团集约化管理需要落实几个方面，比如建立纵向贯通的管控体系，横向协同的计划反馈体系，基层产业单位应采用 ERP 系统的管理闭环。

提升资产管控能力是重点

来自远光的其他各位专家还向客户呈现了“资产集约化全生命周期管理解决方案”、“基建工程项目竣工决算管理解决方案”和“资产智能盘点产品解决方案”等一系列项目解决方案。其中，“资产智能盘点产品解决方案”是远光针对发电企业资产情况不清，存在重复购置等资产浪费情况，在建工程完工转出资产数据无法核对和资产帐实不符率较高而专门推出的新解决方案，采用 RFID 技术和智能设备，实现了电力企业帐、卡、物统一管理，提升了资产盘点工作的速度和标准化，最终提高资产盘点作业的准确性，提升资产管控能力。

伴随着内容的层层推进，与会客户纷纷发言，积极与远光专家进行互动。与会客户表示，“本次会议增强了对远光软件的全面了解，远光提出的解决方案符合发电企业的现状情况，对我们有很大的帮助，对进一步完善内部的信息化体系建设和推进精细化管理具有客观、科学地指导意义。”



（客户精彩互动）

近几年，远光软件，紧跟电力企业的改革步伐，从提供单一的财务管理软件扩展为提供电力企业全面管理解决方案及咨询服务的提供商，涵盖了电力企业的人、财、物、产、供、销各方面，满足了电力企业不同层面的不同需求。通过本次研讨会，彰显了远光作为集团管理软件领航者的实力，提升了远光的品牌影响力，为迈向科学发展管理引航探路。

映翰通树立工业以太网交换机技术新标杆

全球首家基于公有协议实现冗余环网全环恢复时间5ms以内
全面通过工业交换机最高级别电磁兼容性检测
通过国网电科院、中国电科院、CNAS多重权威认证



北京办事处
北京映翰通网络技术有限公司
电话：（8610）6439 1099
传真：（8610）8417 0089
网址： www.inhand.com.cn
地址：北京市朝阳区望京科技园G座11层西侧

上海办事处
电话：021-5480 8501
邮箱：zhangyan@inhand.com.cn
地址：上海市闵行区古龙路66弄11号楼1508

广州办事处
电话：020-8562 9571
邮箱：shiyc@inhand.com.cn
地址：广州市天河区员村四横路美林花园美林湾1座902

成都办事处
电话：028-8679 8244
邮箱：shizy@inhand.com.cn
地址：成都市金牛区蜀蓉路39号凯丽豪景1-1-906

高端访谈

北极星电力网智能电网电力线通信专家 SEMITECH 总裁专访

日前，北极星电力网记者专访了 SEMITECH 半导体公司市场营销副总裁 MichaelHolt 先生，并就中国智能电网的发展特点及 SEMITECH 解决方案进行了详尽采访。



SEMITECH 半导体公司市场营销副总裁 MichaelHolt 先生

北极星电力网记者：请简单介绍一下贵公司如何?

MichaelHolt:SEMITECH 是专注于推动传统电网向智能电网转型的电力线通信解决方案的半导体公司。我们与中国国内的科研和产业界密切合作，针对中国输变电网环境特征，推出业界首款基于 OFDMA(正交频分多址)技术的电力线路通信收发器芯片——SM2200。

北极星电力网记者：我注意到您提到与中国国内的合作，能详细介绍一下吗?

MichaelHolt：每个国家的电网都有其特点。SEMITECH 非常注重当地电网的具体情况，以便提出更具针对性的产品及解决方案。事实上，Semitech 公司与中国哈尔滨工业大学电力线通信专家代礼周老师共同完成 SM2200 芯片项目的开发。我们认为：“中国电网由于具有较高的噪声，在供电线路网上实现通信一直非常困难。SM2200 中的 OFDMA 协议极大地改善了通信系统的数据吞吐能力和系统可靠性。”

北极星电力网记者：能详细谈谈中国电网以及智能电网的问题吗?

MichaelHolt：中国电网地域广阔，又有城市电网和农村电网的差别。由于各种通信设备和不同通信标准中的严重杂讯及信号变异等因素，中国电网的噪音问题特别突出，这也是与其他国家电网最大的不同。这种情况导致传统的电力线通信技术往往存在很多困难。

北极星电力网记者：那么可不可以这么认为，贵公司的产品主要定位于噪音干扰的解决?

MichaelHolt：是的。SM2200，这款新一代 OFDMA 电力线通信收发器专门针对杂讯严重的中国电力网环境而设计，并且面向特定的网络通信应用。SM2200 能提供最高可靠性级别的供电线路通信，同时重点引入了高级电表架构(AMI)和自动抄表系统(AMR)等应用，充分满足了用户对低成本和高性能的要求。

北极星电力网记者：能透露一下 SM2000 的设计原理吗?

MichaelHolt：SM2200 通过先进的调制技术和信号处理技术，不仅解决了速率的自适应调整问题，还能够实现“频率捷变”(frequencyagile)，从而实现高度稳定可靠的通信。SM2200 能够根据不同的噪声环境，自动选择最高效率的传输频率。它还采用了多址(MultiAccess)架构设计，提供更高的稳定性，实现多节点并发通信，从而为客户带来更多方面的提升，包括最高的通信吞吐能力和最可靠的通信可用性等。

SEMITECH 选择与亚太地区业绩非常卓越的益登电子科技有限公司进行合作，向国内智能电网相关厂商，尤其是电表生产企业、自动抄表系统厂家，提供 SM2200 芯片。SEMITECH 拥有非常优秀的产品供应和售后服务体系，希望与上述企业一起抓住中国智能电网发展的良好契机。

全球各地的政府，包括中国政府都在极力推动智能电网技术的发展，在未来 10 年内预计每年将有超过 100 万部电表需要被更换，SM2200 的推出恰逢其时。SM2200 使电力线通信变得更加可靠和经济高效。

电力线通信一直受到众多公共事业单位的青睐，因为这对他们来讲是最自然的方式，可以让这些单位在他们自己管理的基础设施上快速地完成数据传送。长期以来，电力线通信解决方案始终无法摆脱嘈杂噪声等因素的影响。

今天 SM2200 的推出将会终结这个时代。

面向 SM2200 的应用包括高级电表架构与自动抄表系统、路灯控制系统、智能化家庭电力管理、家庭自动化、楼宇自动化以及其他各类需要利用供电线路进行通信的应用部署。目前，SM2200 所采用的技术已经在中国地区 1000 多个节点上成功地完成了测试和部署。

北极星电力网记者：现在很多人都非常关注智能电网，请问您有什么特别的看法?

MichaelHolt：据美国能源部测算，只要将其电网效率提高 5%，由此减少的温室气体排放量就相当于减少了 5300 万辆汽车。另外，从社会安全的角度来看，更加智能化的电网对恐怖攻击的应变能力也强得多。既节能又安全，这也就是所谓的坚强电网。

SM2200 中内置了一个具备简单物理层通信协议的完整数据包调制解调器。通过与微控制器(MCU)的整合，提供了一个面向数据链路和点到点、星型或 adhoc 网络的经济高效的通信解决方案。

另外，我需要特别提示的是，SM2200 可以与其它主流厂商芯片进行全面兼容。

北极星电力网记者：SEMITECH 具体的营销策略是什么?

MichaelHolt：尽管我们的用电设备日新月异，但我们的电力网其实跟 100 年前相比并没有多大变化。有专家说，在当今信息化、网络化的世界中，发电机这种最大的电器虽然在能量方面驱动着全球覆盖面最广的网络，但在信息流方面却几乎是相互隔绝的。

在这种情况下，我非常看好智能电网的未来。

北极星电力网记者：非常感谢您接受我们的采访，我们会继续关注 SEMITECH 以及 SM2200 的最新动态。

MichaelHolt：谢谢!我知道北极星电力网是中国国内领先的电力行业互联网站，希望你们多关注智能电网。

SemitechSemiconductor 公司简介：

SemitechSemiconductor 总部位于新加坡，是一家专门提供有传统电网向智能电网转变设备的公司。Semitech 芯片产品帮助家庭客户实现能源敏感的“智能家庭”，根据电网环境做出相应，从而实现全球范围基于已有电网的通信网络。

Semitech 的设备产品广泛应用于智能测量计、智能电网监控器和路灯控制器等，用来实现更可靠、更灵活的互联系统，为已部署设备间提供更优质的通信。

项目动态

9 月智能电网项目快讯

哈密-郑州±800 特高压直流输电工程换流站(预)初步设计将启动

9 月 7 日，哈密-郑州±800 特高压直流输电工程换流站(预)初步设计启动动员会在哈密地区召开。国家电网公司建设部、新疆电力公司、哈密地区相关领导出席了会议。

新疆电力公司党组成员、副总经理沙拉木•买买提表示，在国家电网公司的坚强领导下，在各级政府的大力支持下，哈密至郑州±800 特高压直流外送工程得以顺利有序开展。根据送端电源建设及受端电力市场情况，哈密-郑州±800 特高压直流输电工程预计 2013 年年底双极低端投产，2014 年全部建成投产，直流输送容量 7600 兆瓦。该项目的建成，将构筑起“疆电外送”的“高速路”，真正实现“煤从空中走、电送全中国”的宏伟构想。”

会上，国家电网公司建设部副主任高理迎在讲话中要求设计单位加快工程设计步伐。哈密地区人大工委主任樊庆魁表示将积极配合、全力以赴支持工程建设，同时期盼工程早日开工。

西北电力设计院、中南电力设计院及监理单位在会上作表态发言。

国内最大的风光互补发电项目在甘肃玉门开建

9 月 6 日，甘肃玉门行 9 兆瓦并网光伏风光互补发电项目开工奠基仪式，玉门新能源产业向太阳能领域开发建设迈出了可喜的一步。

玉门市 9 兆瓦并网光伏风光互补发电项目计划总投资 2 亿元，占地面积 400 亩，力争年上网电量达 1300 万千瓦时以上，实现销售收入 1600 万元，上缴税金 300 万元。该项目是玉门市实施的第一个风光互补发电项目，不但实现了玉门光电产业发展零的突破，也是国内首个风电场内规划建设的光伏发电项目，对于建设大型风光互补并网光伏发电项目、提高资源综合利用率具有重要的示范带动作用。

今年以来，玉门市把光伏光热风光互补发电建设项目列为全市的重大项目之一，计划 10 月 20 日完成土建工程，11 月底完成设备安装，12 月 20 日前调试并网发电。

玉门市境内光能资源丰富，年日照时数 3362 小时，日照百分率达到 75%，具有日照时间长、太阳辐射强、空气纯净透明、无污染的特点。加之区域内 330kv、110kv 输电线路都与国家主电网连接，规划建设的 750kv 输电线路和升压站将在 3 年内建成，太阳能热发电站的电力输出十分便捷。

东海大桥海上风电场二期(扩建)工程项目将开 上海电气中标

9 月 13 日报道，上海电气风电公司日前在东海大桥海上风电场二期(扩建)工程风机主设备供货及技术服务项目中中标，将制造和提供计 26 台 3.6MW 风机。此次中标是继国家首轮特许权招标成功以后，上海电气风电公司在海上风电项目中的又一标志性的突破，为公司加快推进世界级工厂建设，冲刺百亿目标迈进了关键一步。

无锡尚德四期 600MW 光伏组件工程投产

全球最大的太阳能晶硅组件生产商--中国无锡尚德电力近日(9 月 28 日)宣布,其产能为 600MW(兆瓦)的四期工程正式投产。

无锡尚德董事长兼首席执行官(CEO)施正荣在投产仪式上表示：“四期工程投产后,公司产能将突破 2.4GW,相当于年产一个 50 万千瓦的核电站。”

该公司四期工程 2010 年上半年开建,总投资 2.97 亿美元。

施正荣并称,尚德成立后 10 年内,以平均每年 43%的复合增长率在成长。去年底,尚德电力已具有年生产 1.8GW 的光伏电池和组件的能力。今年第二季尚德出货量同比增长 48%.稍早公司预计,第三季出货量将较第二季增长逾 15%,全年出货量至少达到 2.2GW,营收达到 32-34 亿美元。



技术文章

新能源并网发电系统的关键技术和发展趋势

【摘要】随着以新能源及可再生能源为代表的微型能源发电技术、分布式发电技术以及储能技术的飞速发展，新能源并网发电正逐渐成为研究的热点。首先介绍了主要新能源分布式发电技术，进而给出了微网的相关概念及其基本结构，阐述了新能源并网发电系统中的关键技术。最后提出了新能源并网发电系统的发展趋势是分布式混合能源系统和在坚强智能电网框架下的智能微网，并探讨了在研究中需要重点解决的理论和技术问题。

【关键词】新能源;微网;分布式混合能源系统;智能电网;智能微网

随着以新能源及可再生能源为代表的微型能源发电技术、分布式发电技术以及储能技术的飞速发展，新能源并网发电正在逐渐成为研究的热点。2007 年 9 月国家发展改革委员会《可再生能源中长期发展规划》中明确将水电、风电、太阳能、生物质能等列为重点发展领域，并在 2008 年 3 月发布了《可再生能源发展“十一五”规划》作为“十一五”时期我国可再生能源开发利用和引导可再生能源产业发展的指导。

从能源利用的国际发展趋势来看，新能源及可再生能源最终将以替代能源的角色进入电力市场，而并网发电将是新能源及可再生能源进入电力市场的必由之路。

1 新能源并网发电系统简介

1.1 分布式新能源发电技术

分布式发电也称分散式发电或分布式供能，一般指以新能源和可再生能源为主的小型的发电装置就近布置在负荷附近的发电方式[1]。新能源想要向电力用户提供优质的供电服务，主要依靠分布式发电技术和储能技术相结合。

新能源和可再生能源包括水能、风能、太阳能、生物质能、地热能和海洋能等，国内外在新能源利用和开发方面，将风力发电、太阳能光伏发电和燃料电池技术作为当前电气工程重要的研究领域和发展方向。

(1)风力发电技术。风力发电技术是将风能转化为电能的发电技术。风力发电机组并网运行时，要求发电机的输出频率与电网频率一致。风力发技术可分为恒速恒频 fConstant Speed Constant Frequency，CSCF)和变速恒频 Variable Speed Constant Frequency，VSCF)P~大类。恒速恒频采用失速调节或主动失速调节的风力发电机。以恒速运行时，主要采用异步感应发电机;变速恒频采用电力电子变频器将发电机发出的频率变化的电能转化成频率恒定的电能。

变速恒频发电技术有因最大限度地捕捉风能、较宽的转速运行范围、可灵活调节系统的有功功率和无功功率和采用先进的 PWM 控制等优点，逐渐成为当前风力发电的主流技术。

变速恒频风力发电机组可以有多种形式[2]，主要有以下四种方案，方案电路拓扑如图 1 所示。

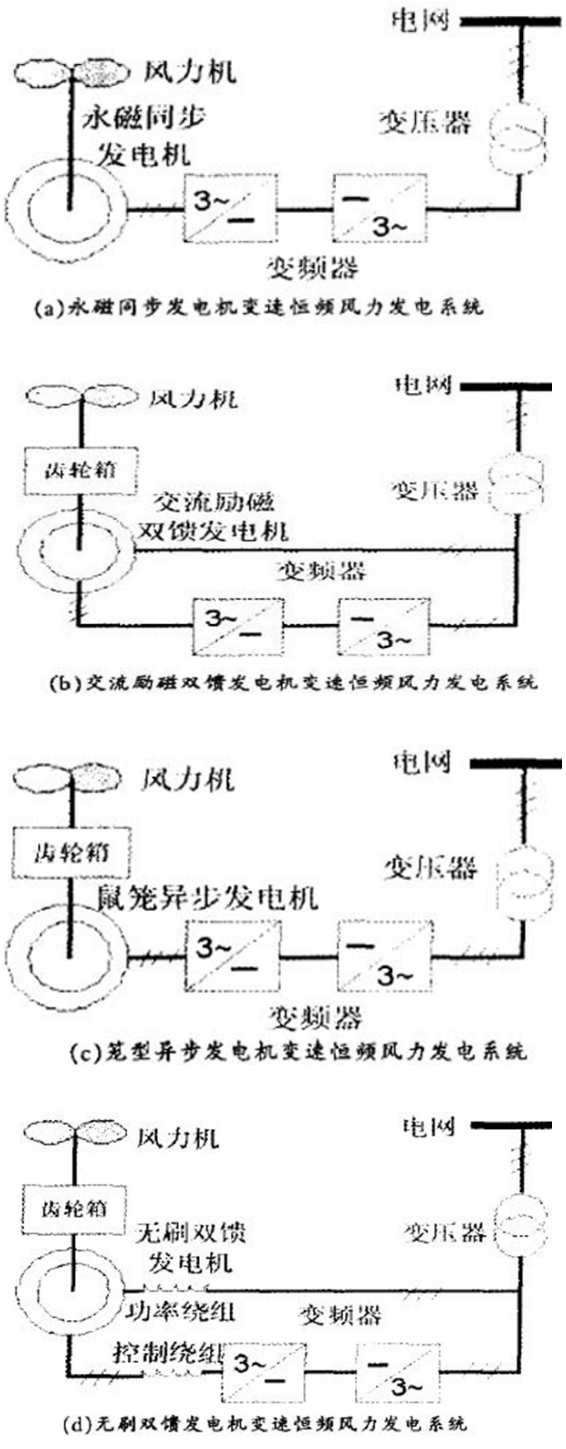


图 1 几种变速恒频风力发电系统方案拓扑图

(2)太阳能光伏发电技术。太阳能光伏发电技术，即光电转换。太阳能光伏发电技术是利用半导体材料的光电效应直接将太阳能转换为电能。光伏发电系统可分为独立光伏发电系统和并网光伏发电系统。图 2 是一个太阳能光伏并网发电系统示意图。

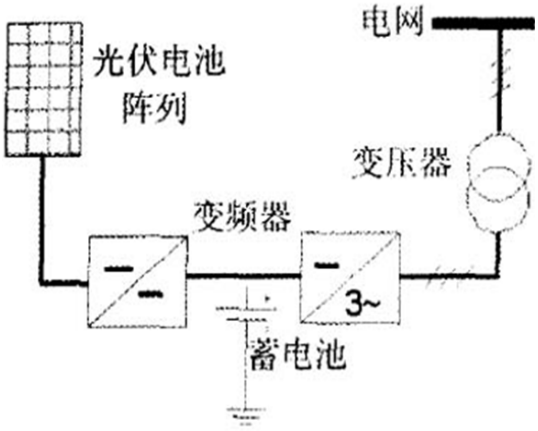


图 2 太阳能光伏并网发电系统

在实际系统中.太阳能发电系统一般采用 2 级电力变换器实现，其主要由光伏电池阵列、DC/DC 变换器、DC/AC 光伏并网逆变器、储能系统、控制器、并网/独立切换开关等部分组成。第 1 级为直流/直流(DC/DC)变换器，采用 Boost 升压电路，用于实现太阳能输出电压的变换和对光伏电池阵列的最大功率跟踪(MPPT)控制;第 2 级采用电压源型逆变器，将直流电变为交流电送人电网，逆变器控制其直流侧电压恒定，并控制输入电网的无功功率[3]。

整个发电系统主要涉及的技术主要有：太阳能电池材料技术、最大功率跟踪技术(MPPT)、并网逆变器控制技术、孤岛检测技术及能量管理与监控技术。

(3)燃料电池技术。燃料电池是一种直接将储存在燃料和氧化剂中的化学能高效地转化为电能的发电装置。它还具有燃料多样化、排气干净、噪声小、环境污染低、可靠性高及维修性好等优点。燃料电池被认为是 21 世纪全新的高效、节能、环保的发电方式之一。

燃料电池电源系统的结构与图 2 相似，主要包括燃料电池、直流变换器、逆变器和能量缓冲环节等。通过直流变换器和逆变器组成的功率变换装置，实现燃料电池的输出电压与用户需求的匹配。

1.2 微网的概念及基本结构

微网通过有效的协调控制.使主要基于新能源和可再生能源的分布式电源并网所产生的负面问题都在微网内得到解决，减少了分布式电源并网对大电网产生的各种扰动[4]。

微网是指由分布式微源、负荷、储能装置、电能转换设备及控制系统组成的小型配电网络，可以实现灵活的能量管理。典型的微网模型如图 3 所示。微网中分布式电源由多种能源形式，如光电、风电、微型燃气轮机和冷热电联产(combined cold heat and power，CCHP)等形式。微网中电力负荷有两种，一种是主要负荷。即对电能质量和可靠性要求较高的负荷.另一种为次要负荷.即对电能质量和可靠性要求较低的负荷。微网中的分布式电源可直接并网或通过电力电子换流装置并网。既可以向本地负荷供电，又可以将余电反馈回电网。通过能量管理，可以调整分布式电源冷热能量输出，满足用户冷热需求。

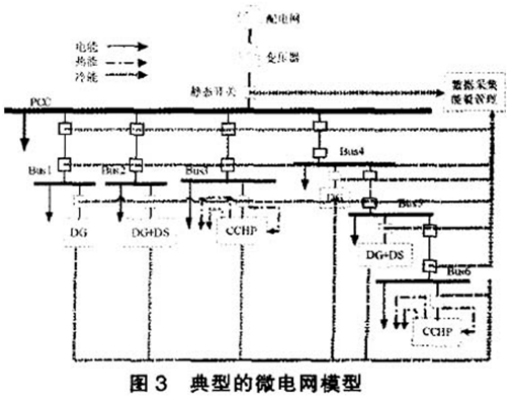


图 3 典型的微电网模型

图 3 典型的微电网模型

微网与主网通过公共连接点(Point of Common coupling，PCC)的静态开关与上级母线相连[5]，此处通常安置电压、电流互感器用于检测微网运行状态。对于某些微网控制方式，如主从控制方式或分散控制方式，系统还需安置通讯设备，用于控制信号的传递。此外，微网还可以配置信息采集和能量管理中央控制单元，用于对微网整体以及各分布式电源进行灵活控制。

2 新能源并网发电系统的关键技术

近几年来，国内外对于光伏、风力和燃料电池

分布式发电系统的研究不断深入，许多技术问题得

以提出并探讨。其中的关键技术问题包括(但不限

于 1 电源系统结构、关键部件和微网技术中的运行

控制、能量管理与故障检测与保护技术等。

2.1 新能源发电系统结构

新能源发电系统结构采用多种能源并联组成的分布式发电系统。小型分布式发电系统中，存在着风能、太阳能、燃料电池、微型燃气轮机和储能系统多种能源的组合供电，其大部分都需要通过逆变电源并联的形式接人微型公共电网。

2.2 基于电力电子技术的关键部件

电力电子技术是开发各类可再生能源和发展分布式发电的关键技术之一。根据微网的特殊需求.需要研制基于电力电子技术的一些新型的电力电子设备.如并网逆变器、静态开关和电能质量控制装置[6]。在新能源并网发电系统中，并网变换器、静态开关以及电能质量控制装置等作为关键部件，对系统的运行产生重大影响。

(1)并网逆变器。光伏电池、风机、燃料电池、储能元件等都需要通过电力电子变换器才能与微网

系统网络相连接。这些变换器可能既包括整流器也包括逆变器，也可能仅是一个逆变器。变换器具有响应速度快、惯性小、过流能力弱等特性。同时，适用于微网中的逆变器除了需要具备常规逆变器的功能以及能够并联运行外，还需要根据微网系统的特殊需求具备一些控制功能，如有功一频率下垂控制功能和电压一无功下垂控制功能。因此逆变器的拓扑结构和运行控制成为微网中的关键技术。

(2)静态开关。静态开关置于连接微网与主网间的公共连接点处。在发生一些主网故障、电能质量等事件时，静态开关应该能自动地将微网切换到孤岛运行状态：此后.当上述事件消失时，它也应自动实现微网与主网的重新连接。

(3)电能质量控制装置。任何 DER 单元的接人都会对系统中的电能质量产生或多或少的影响，如果控制不当，它们对电压波形、频率以及功率因数会产生负面影响，尤其是太阳能、风能这些随机性的能源.其频繁的启停操作、功率输出的变化，都可能给所接入系统的用户带来电能质量问题：微网中大量单相分布式电源的存在，也增加了配电系统的三相不平衡水平;而且电子负载易受暂态、跌落、谐波、瞬间中断及其它扰动的影响，这些都是需要关注的方面。总之，微网及含分布电源微网配电系统中存在很多与电能质量相关的独特问题。电能质量综合监控技术是解决保证微网安全可靠运行的关键技术问题之一。

2.3 微网技术

将各类微型能源与电力储能装置以及电力电子装置有机的结合起来，构建成为一个发电设备、储能设备组成的微型电网(Microgrid)，通过电力电子装置实现与大电网的“柔性”联网。微网技术从局部解决了分布式电源大规模并网时的运行问题。

2.3.1 微网的运行控制

微网系统承受扰动的能力相对较弱，尤其是在孤岛(自主)运行模式下，考虑到风能、太阳能资源的随机性，系统的安全性可能面临更高的风险.因此对系统进行有效地运行控制是非常关键技术之一。

(1)微网中多个微电源之间的协调控制问题。

在微网系统中，含有多个微电源，可以是同类型的微电源，也可以是异种类型的微电源，这些电源的外特性、时间常数和组成环节等各不相同，而电力系统中的能量都是平衡的，如何保持微电网运行时电压的稳定性与系统的平稳性和可靠性，减小微电网对大电网的冲击，都需要进一步的探讨和研究。如：各种微电源稳态、暂态、动态分析模型，多个变流器的稳定性及其协调控制问题。

(2)在并网与独立运行两种运行状态的切换过程。

IEEE P1547 对分布式电源入网标准做了规定：在大电网发生故障时，分布式电源必须立即退出运行。微电网与分布式发电一个主要区别就是微电网既可与大电网并网运行.也可以在大电网故障情况下切断与大电网的联接而独立运行。两种运行状态的切换过程对大电网而言就是一种扰动，对大电网的稳定运行有一定的影响，且影响不可能完全消除，必须改进微电网的结构与配置参数，改进控制策略，消除对大电网的影响。

2.3.2 高级能量管理与优化运行

高级能量管理是微网的核心组成部分，能够根据能源需求、市场信息和运行约束等条件迅速做出决策，通过对分布式设备和负荷的灵活调度来实现系统的最优化运行[7]。

微网 EMS 与传统 EMS 的关键区别在于：(1)微网内集成热负荷和电负荷,因此微网 EMS 需要热电匹配;(2)

能够自由与电网进行能量交换;(3)微网 EMS 能够提供分级服务 特殊情况下可牺牲非关键负荷或延迟对其需求响应，为关键负荷提供优质电力保障。

2.3.3 微网故障检测与保护技术

DER 单元的引入使得微网系统的保护控制与常规电力系统中的保护控制在故障检测方法和保护原理上有很大不同，如除了过压及欠压保护外，针对分布式电源还包括反孤岛和低频保护的特殊保护功能。另外，常规的保护控制策略是针对单向潮流系统的保护，而在微网系统中潮流可能双向流通，且随着系统结构和所连接的 DG 单元数量的不同，故障电流级别将有很大不同.传统的继电保护设备可能不再起到应有的保护作用，甚至可能导致这些保护设备损坏，因而需要研发能够在完全不同于常规保护模式下运行的故障检测与保护控制系统。

3 发展趋势

3.1 分布式混合能源系统

新能源作为电力系统未来的发展方向是采用几种新能源发电方式组成的分布式新能源混合能源系统。分布式混合能源系统是一种结合分布式能源与储能技术的全新分布式供电系统。混合能源系统的特点在于:利用各类微型能源的不同特性.通过多种微型能源以及储能装置的有效混合配置，克服单一能源供电的不稳定性.实现各类能源的优势互补与效率提升;同时利用负荷均衡化控制策略，通过电力电子装置为其提高独立运行和并网运行两种状态下的供电可靠性以及电能质量提供可能。在分布式混合能源系统中需要重点解决拓扑结构、控制策略和关键部件的理论与技术问题。

(1)新能源并网发电系统的结构与关键部件的选择问题。

根据对并网变换器的拓扑进行了深入的建模与量化对比分析，确定最适合用于直流交流双总线结构的微电网的并网变换器结构。在就近供电的微电网中使用直流总线.可以减少用电装置中的交流一直流整流环节，提高电能利用效率。通过对各类储能装置的技术进行了详细的对比与分析.确定系统内储能环节的容量、结构等的选择与配置。根据并网变换器的拓扑特点，提出将并网发电与电能质量调节功能合二为一.实现并网变换器功能复合化的概念。

(2)新能源并网发电系统中的主电路的设计与各部分的建模问题。

对新能源并网发电关键部件的研究需要建立在系统主电路设计参数以及各个部件的模型基础上。首先确定新能源并网发电系统实验样机的直流母线电压和各个部件的功能定位，然后在对微电源以及储能装置的特性所进行的分析基础上。建立了相关的等效电路模型、热模型、性能评价指标以及机电方程。对微电源以及储能装置的电力电子接口电路进行探讨，对并网变换器的控制模型进行简要分析。通过仿真分析对所建立的模型进行了验证，完成并网系统的主回路设计。

(3)新能源并网发电系统中多个微电源之间的协调控制问题。

并网系统中有不同的微电源。各微电源通过先进的电力电子设备与微网中的直流总线或交流总线连接，它们多数是灵活可控的，各个微电源都有不同的电压一电流，频率一功率特性.时间常数也有相当大的差异，较好的协调控制策略可以在保证电网稳定运行和电能质量的前提下，充分发挥新能源发电的效率。

(4)孤岛独立运行时的负荷分级原则与方法。

与分布式发电技术不同，微电网允许独立运行，这进一步增加了微电网检测与控制的复杂性。因此要

求对电力负荷进行仔细分类与细化，最终形成金字塔式的负荷结构。对供电可靠性与供电质量要求不高的负荷位于金字塔的底层，对供电可靠性与供电质量要求极高的少数负荷位于金字塔的顶层。对负荷进行细致的分类体现了微电网个性化供电的特点，探讨如何设计微电网实现这个复杂的分层结构。

3.2 智能微电网

近年来国际范围内逐步开展了智能电网的研究与实践计划。智能电网的概念最早是美国为了解决日益老化的电网而提出的一种解决方案，旨在通过升级改造原有电网的发电、输电、配电和用电环节达到更加环保、高效、互动的现代化电力系统。针对未来含有微网的智能化配电网，美国电力研究院(EPRI)在2004年开始制定了详细的科研计划，并构建了新的科研管理机构和一个世界范围内智能电网研究的网络化平台Intelligrid[8]，以引领世界范围内智能配电网的技术研究。

通过第五、第六框架计划中各个项目的研究，欧盟逐步明确了基于可再生能源和分布式发电系统的未来欧洲电网的发展趋势。“欧盟第七框架计划”在原有微网研究基础上又提出发展智能电网的构想[9]。智能电网概念的提出为所有的与可再生能源利用及分布式发电相关的技术项目提供了载体，各个项目的研究都成为智能电网框架下的有机组成部分，为项目成果的汇集、交叉、融合提供了必要的技术平台[10]。

智能微网的概念在国际上已经出现[11-12]。文献[7]认为智能微网是未来智能配电网新的组织形式。实现智能微网涉及众多技术领域，主要关键技术有高级电力电子技术、量测与通信技术、信息管理系统、高级能量管理和高级分析技术等。在坚强智能配电网的高级配电运行框架下，结合分布式发电系统特性。实现智能微网自愈控制、分布式电源协调与自适应控制、能量管理优化、信息集成等，实现微网的智能化、信息化、数字化和自动化。

4 结论

综上所述，新能源及可再生能源发电技术虽然已取得了突破性进展，然而由于目前大部分可再生能源发电装置所产生的电能存在不可预测性和间歇性，例如风力发电、光伏发电等，其产生的电能如果直接输入电网将对电网的稳定运行产生严重的影响。制约了可再生能源的并网利用和进一步的发展。因此迫切需要一些解决方案以提高新能源及可再生能源并网发电技术的经济性和运行的可靠性。今后应将新能源及可再生能源发电作为一种重要的分布式电源。纳入建设坚强智能配电网的总体研究框架中。在坚强智能配电网的高级配电运行框架下，微电网是未来电网实现高效、环保、优质供电的一个重要手段，是实现智能电网有源配网的有效方式。

参考文献：

[1] 王建，李兴源，邱晓燕.含有分布式发电装置的电力系统研究 综述[J].电力系统自动化，2005，29(24)：90-97。

[2] 马洪飞，徐殿国，苗立杰.几种变速恒频风力发电系统控制方案的对比分析[J].电工技术杂志，2000(10)：1-4。

[3] 张超，王章权，蒋燕君等.无差拍控制在光伏并网发电系统中的应用 [J].电力电子技术，2007 41(7)：3-5。

[4] 李鹏，张玲，盛银波.新能源及可再生能源并网发电规模化应用的有效途径一微网技术 [J].华北电力大学学报，2009，36(1)：10-14。

[5] Robert H.Lasseter，Microgrids，IEEE PES Winter Meeting，27-31，January，2002 (11)：305-308。

[6]T 明，张颖媛，茆美琴.微网研究中的关键技术[JI.电网技术，2009，33 (11)：6-l1。

[7] 李振杰，袁越.智能微网一未来智能配电网新的组织形式[J].电力系统自动化.2009，33(17)：42-48。

[8] HAASE P.IntelliGrid：a smarl network of power[EB/OL}[2008-07 -2l] 。

[9] European Commission. European technology platform smartGrids：vision and strategy for Europe S electricity networks of the future [EB/OL].[2008-07-21]。

[10] 王成山，高菲，李鹏，丁菲.可再生能源与分布式发电接入技术欧盟研究项目述评 [J].南方电网技术，2008，2(6)：1-6。

[12] Valence Energy.Smart microgrid [EB/OL].[2009-07-16]。

Key Technology and Development of Grid-Connected System of New Energy

Sun Zuo
(Department of Physics and Mechanical and Electronic Engineering，Chizhou College，Chizhou，Anhui 247000)

Abstract：With t he rapid development of new energy and micro—generation of power generation，distributed power generation systems and energy storage，grid-connected system of generation of new energy has become a hot research topic.The paper introduces the distributed power generation technology and presents the relevant concepts of micro-network and its basic structure and discusses the key technology of grid——connected system of generation of new energy，and presents the development trend of grid—connected system of generation of new energy and explores the theoretical and technical problems in the research.

Key Words：New Energy;Micro-Network;Distributed Power Generation Systems;Smart Grids;Smart Micro—Network.



中国光伏发电成本价格及技术进步作用的分析

中国科学院电工研究所 马胜红 李斌 陈东兵 陈光明 孙李平 张亚彬 熊燕 刘鑫

一、中国光伏的产业链

1 光伏产业链的构成

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



图 1 光伏产业链的构成

2 中国光伏产业链现阶段特点

(1) 光伏产业链趋于完整

经过 7 年的快速发展，中国光伏产业格局从以往“头小尾大” 转变为“上游企业有所突破、中游企业迅速壮大、下游企业不断涌现”从多晶硅材料到光伏应用产品的产业链逐渐形成并渐趋平衡。以江苏为代表的全球光伏产品制造加工基地已形成国内最大规模，浙江、上海、江西、河北、四川、河南、重庆、青海等省(市)也在大力发展光伏产业，当地政府给予高度重视和极大关注，为光伏产业链的进一步完善创造了良好的政策环境和条件。

据初步统计，截至 2009 年底，我国投产的多晶硅材料企业约 20 家，年产量约 2 万 t；从事硅锭/硅片生产的企业 60 余家，年产量约 4000MWp；太阳电池生产企业 10 余家，年产量约 4000MWp；光伏组件生产厂家 300 多家，年产量 5000MWp。

(2) 光伏产业发展迅猛

受“送电到乡”工程的激励和国际市场的拉动，自 2 003 年起我国光伏组件制造业以超常速度发展，2003-2009 年最高增长率达到 300％ 。2007 -2009 年连续 3 年全球产量第一。2009 年太阳电池产量约 4000MWp，占全球产量的 40 ％ ， 年产值超过 1000 亿元，成为高新技术产业和绿色经济增长点一批上市企业脱颖而出，以无锡尚德、天威、英利、河北晶澳、江西 LDK 、常州天合、南京中电等，为代表的 ro 余家海外上市企业(见表 1)，引起了国际经济界、能源界和企业界的高度关注，中国光伏产业走上了“专业化、集约化、规模化” 的发展道路。

表 1 海外上市的中国光伏公司

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

(3) 光伏市场在外

2009 年我国光伏系统安装量为 160MWp，占全球总安装量的 2.4 ％ ；2008 年我国光伏系统安装量为 40MWp，仅占全球总安装量的 0. 73 ％。而与此相对应的是，2009 年我国太阳电池产量达 4000MWp，占全球总量的 4 0 ％ ；2008 年我国太阳电池产量 2300MWp，占全球总量的 33 ％ .受全球金融危机影响，部分光伏企业受到冲击，利润

下降，个别企业出现亏损。由于我国光伏产品 96 % 以上出口，国外光伏市场的波动必然影响中国光伏企业的生存与发展在此背景下，中国光伏产业过分依赖国外市场的弊端和严重后果已经凸显。

（4 ）国内市场开始启动

2009 年，中国政府及时采取了一系列有效措施扩大国内光伏应用市场，取得了突破性的进展 2009 年 3 月，国家光伏发电大型示范项目——甘肃敦煌 10M W 并网光伏发电项目开始竞标，并最终由中广核公司与比利时弈飞公司等 3 个公司组成的联合体赢得我国首个 10MW 级特许权并网光伏电站开发权，上网电价为 1.09 元 /kW h 。该项目已于 2009 年 8 月开工建设，进展顺利 随着 2009 年 3 月“太阳能屋顶计划”以及 7 月“金太阳示范工程”的正式启动，全国已建成 3 个 10M W 并网光伏电站并已并网发电，已有 8 个 10MW 并网光伏电站正在建设，即将并网发电，数个 M W 级的光伏电站正在积极开展前期工作[1]。

二、中国光伏产业链现状

1 多晶硅原材料

光伏技术发展至今，晶体硅太阳电池始终是商品化光伏发电的主流，国际市场 80 % 以上的太阳电池是利用高纯多晶硅制备的。作为太阳电池生产的最基本材料，高纯多晶硅制备也就成为光伏产业链上最重要的环节之一。

在国外光伏市场需求的拉动下，中国多晶硅产业发展迅速，技术进步飞快。一些企业通过引进、消化和吸收欧美等国家改良西门子法的先进技术，并在多晶硅生产实践中不断创新，我国高纯度多晶硅提纯技术已到达国际先进水平。

2006 年我国多晶硅产量仅为 290t ，进入 2007 年，我国多晶硅提纯技术发展飞速，产能扩张迅猛，2007 年产量突破千吨大关，2009 年产量预计达到 2 万 t 图 2 为中国多晶硅产量历年变化情况，由此可见中国多晶硅产业近年来的快速发展趋势。

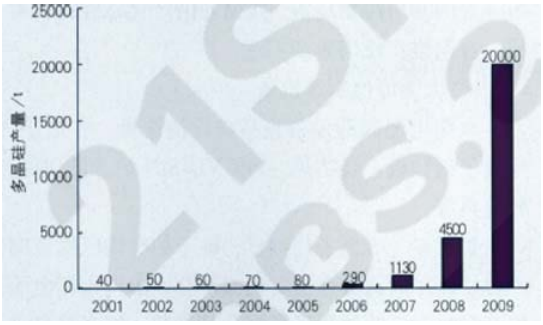


图 2 2001-2008 年中国多晶硅产量的变化情况

2 晶体硅锭/ 硅片

晶体硅锭/硅片的制造是光伏产业链的第二个环节。近几年来在光伏市场驱动下，晶体硅锭/硅片制造业发展迅速。目前我国硅锭/硅片生产厂家超过 60 家，2009 年硅锭/硅片产能已达到 5000MWp。

我国单晶硅锭的制造和加工技术已经达到国际先进水平，技术先进企业的能耗约为 62kWh/kg 多晶硅锭的生产技术门槛较单晶硅的高一些，生产厂家相对较少，产量较低。国内企业多晶硅铸锭环节能耗为 33~55kWh/kg。

硅片切割是硅片生产的关键技术，切割的质量与规模直接影响到整个产业链的后续生产。多丝切割作为一种先进的切割技术，目前已逐渐取代传统的内圆切割，成为硅片切片加工的主要切割方式。目前，很多企业采用多丝切割技术，硅片厚度可以达到 180~200μm ，能耗约为 220~300kWh/kg。采用国内最先进的多丝切割技术，硅片厚度可达到 180μm ，400kg 的硅锭可切 13000 多片。

3 太阳电池制造

(1) 晶体硅太阳电池制造

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

在世界光伏市场的强力拉动下，中国太阳电池产业保持着快速增长势头。据统计，截至 200 9 年底,从事太阳电池生产的企业达到 100 余家，按照在位设备计算，太阳电池的年生产能力达到 5000MWp。图 3 给出了 2000-2009 年中国太阳电池产量的历年变化情况，显然，自 2002 年以后，中国太阳电池制造进入了快速发展阶段，以超常速度迅速崛起。



图 3 2000-2008 年中国太阳电池产量的历年变化

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

(2) 非晶硅薄膜太阳电池制造

近年来，非晶硅薄膜太阳电池以其成本低、弱光性能较好的优点而受到重视，非晶硅薄膜太阳电池制造业得到了较快的发展 2004 年以前中国非晶硅薄膜太阳电池产业以单结非晶硅电池为主，2004 年天津津能引进了 2. SMWp 双结非晶硅薄膜太阳电池生产线之后，非晶硅双结电池产业发展较快。截至 2009 年底，中国从事非晶硅薄膜太阳电池生产的企业接近 30 家，总生产能力达到 900MWp。2003、2009 年中国非晶硅薄膜太阳电池的产量分别为 37 .9MWp 和 150MWp。

现国产化自 20 例年起我国非晶硅薄膜太阳电池产业进入快速发展时期 分析其发展动力：一是由于世界光伏市场的拉动；二是薄膜太阳电池产业技术不断走向成熟；三是全球金融危机爆发前多晶硅材料短缺极大地制约了晶体硅太阳电池产业的发展，因而刺激加速了薄膜太阳电池产业的发展。

目前有一大批企业正在筹建和引进技术水平更高的非晶/微晶叠层电池(a-Si/μc-Si)生产线，一些企业自主建立技术研发中心、自主制造设备、扩大生产能力，这些电池生产线建成并投产后，将使我国薄膜太阳电池产业提升到一个新水平。

非晶硅薄膜太阳电池的发展仍面临着一些问题，如效率较低且有衰减，使用寿命较晶体硅太阳电池短，市场认知度较低等 另外，薄膜太阳电池产业化还处于技术完善和更新阶段，设备不定型,初始投资高。

4 光伏组件封装

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

光伏组件封装业投资少且建设周期短，是我国目前整个光伏产业链中生产工艺最成熟、设备国产化率最高、从业门槛最低、从事企业最多、扩产最快、产量最大的一个环节 由于技术和资金门槛低,可以充分利用劳动力成本低廉的优势，我国光伏组件封装行业的发展最为迅速 目前，总生产能力已达到 6000MWp 。

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

5 光伏产业相关设备

(1) 多晶硅材料制造设备

我国已经能够生产 $SiHCl_3$合成设备和分馏塔,能够制造 $SiHCl_3$还原炉，24 对棒常压 $SiHCl_3$还原炉已投入应用，24 对棒高压还原炉也在研制过程中。2010 ~2011 年期间，中国将有一大批多晶硅生产线相继投入生产，随着多晶硅产业的迅速崛起，包括尾气回收设备在内的各种相关生产设备都会相继实现国产化。

(2) 晶硅锭/硅片生产设备

单晶硅锭生长炉是单晶硅锭生产的主要设备,其制造技术在我国非常成熟，已有近 40 年的历史 国产单晶炉质量完全可以满足光伏行业需求，而价格仅为进口产品的 1/3 一 1/2 ，因此被大量采用。目前国内各类单晶硅锭生长设备约 4000 余台，绝大部分是国产设备。国内单晶炉生产企业达十余家。

在市场需求推动下，中国多晶硅铸造炉国产化步伐在加快，开始改变着多晶硅浇铸设备全部进口的局面。目前已经开发出性能合格的 240~270kg 和 400~460k g 的系列化产品，并开始批量生产和销售。预计未来几年在国内会得到普遍应用。

国内现有硅片生产过程使用的线锯主要依靠进口。由于需求拉动，目前已有多家公司在开发太阳级硅片的专用线锯设备。线锯的国产化已经指日可待，普遍推广使用为期不远。

(3) 太阳电池制造设备

太阳电池进行太阳电池制造设备包括硅片清洗机、扩散炉、等离子刻蚀机、烧结炉、PECVD 一 SiN 炉、丝印机、分选机等。

扩散炉、等离子刻蚀机、烘干炉等均已实现国产化 硅片清洗机也已实现国产化，国内太阳电池生产线约有半数使用了国产化清洗机。国产半自动丝网印刷机已被大量使用，全自动丝印机和全自动分选机正在研制过程中,1~2 年后可投人市场。

(4) 光伏组件封装设备

光伏组件封装设备已完全实现国产化。中国前 30 名光伏组件封装企业所使用的层压机有 90% 是国内厂家生产的 激光划片机 组件测试仪均已国产化。光伏组件生产线可以全部采用国产化设备，虽然不是全自动化生产，但有成本上的优势。自动化程度高的串连焊接机和铺设机正在开发和试用过程中

三、中国与国际晶体硅光伏产业链成本及分析

由于中国光伏组件产品 96% 以上出口，因此国内光伏组件价格基本上跟随国际价格。全球金融危机爆发后,多晶硅材料价格大幅下滑，加之国外市场需求下降，2008 年底组件价格降至 2 .8 美元/Wp,目前已降至 2.0 美元/Wp。光伏组件价格受全球光伏市场需求变化的影响显著。

对于国内和国外光伏组件厂家来说，成本构成不同(见表 2) 。目前国内光伏组件总成本为 1.4 1 美元/Wp,其中多晶硅材料 0. 5 1 美元/Wp，占总成本的 36.2 %.国外光伏组件总成本为 1.77 美元/Wp，其中多晶硅材料 0.45 美元/Wp，占总成本的 25 .0 % 。相比之下，国内光伏组件多晶硅成本所占比重过高。究其原因,近几年来，国内光伏产业发展迅猛，多晶硅需求出现快速增长，而国内多晶硅材料产量小，造成多晶硅材料极度短缺，价格

不断上涨　有资料显示，2005 年，国内多晶硅价格为 66 美元/kg ，到 2006 年第四季度突破 300 美元/kg 后，2007 年更是创出 4 00 美元/kg 的新高。

表 2 中国与国际光伏组件成本构成

生产环节	多晶硅材料	硅锭/硅片	太阳电池	光伏组件
成本(国内)/美元·W_p^{-1}	0.51	0.3	0.3	0.3
占成本比例/%	36.2	21.3	21.3	21.3
成本(国外)/美元·W_p^{-1}	0.45	0.30	0.50	0.55
占成本比例/%	25.0	16.7	27.8	30.6

国内光伏组件的生产在硅锭/硅片、太阳电池、组件封装三个环节所用成本仅为 0. 9 美元/Wp，占总成本的 63 .8% ；而国外这三个环节成本为 1.35 美元/Wp,占总成本的 75 %。与国外相比，国内劳动力相对低廉，土地价格便宜，工业用电价格较低，某些工艺技术领先(如切薄等)等，这些有利因素在一定程度上抵消了国内光伏组件多晶硅材料成本高的不利因素。

四、中国晶体硅光伏产业技术发展潜力及成本发展趋势

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

1 多晶硅原材料制备技术取得实质性突破

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

如果多晶硅材料价格能够降到 40 美元瓜 g ，可以使光伏组件成本下降到约 1.18 美元/Wp.

2 硅片厚度持续降低

降低硅片厚度是减少硅材料消耗、降低晶体硅太阳电池成本的有效技术措施之一。30 多年来，太阳电池硅片厚度从 20 世纪 70 年代的 450~500μm 降低到目前的 180~200μm ，降低了一半以上，对太阳电池成本降低起到了重要作用。目前，国内优秀企业电池片厚度已达到国际先进水平 180μm。硅片厚度降低的趋势如表 3 所示。在不提高碎片率的前提下，如果太阳电池厚度从 180μm 降到 160μm ，太阳电池硅用量可减少 10 % ，组件成本可下降 6% 。

表 3 晶体硅太阳电池硅片厚度的降低

年份	硅片厚度/μm	硅用量/t·MW_p^{-1}
20 世纪 70 年代	450~500	＞20
20 世纪 80 年代	400~450	16~20
20 世纪 90 年代	350~400	13~16
2006	200~220	10~11
2007	180~200	9~10
2008	180	约 7
2010	160	约 6

3 电池效率不断提高

单晶硅电池的实验室效率已经从 20 世纪 50 年代的 6% 提高到目前的 25 %，多晶硅电池的实验室效率达到了 20.3% 。先进技术不断向产业注入，使商业化电池技术不断得到提升。目前商业化晶体硅电池的效率达到 14 %~20 %（单晶硅电池 16 %~20 %，多晶硅 14 % ~16 % ）。晶体硅电池的效率提高 1%，太阳电池成本可下降 6%。

4 生产规模持续扩大

根据《20 07 中国光伏发展报告》，生产规模与成为 0. 2%本降低的关系体现在学习曲线率 LR (Leanrning Curve Rate)上，即生产规模扩大 1 倍，生产成本降低的百分比。对于太阳电池来说，LR = 20 %（含技术进步在内），即生产规模扩大 1 倍，生产成本降低 20 %[2]。

生产规模不断扩大是太阳电池生产成本降低的重要方面。中国太阳电池产业的发展已经从上世纪 80 年代的起步阶段，发展到 2000 年的年生产能力 45MWp,2007 年的年生产能力 2900MWp。电池单厂生产规模已经从上世纪 80 年代的 0. 1~0 .2MWp/年发展到 2000 年的 0.1~2MWp /年，2006 年 10~350MWp/年,2007 年 10 一 500MWp /年。2008 年底，无锡尚德已形成年生产能力 1GWp。

5 辅助材料国产化

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

五、光伏发电系统成本与度电成本的研究与分析

1 并网光伏发电系统成本与度电成本测算

(1) 并网光伏发电系统度电成本测算

初始条件:

① 系统初始投资

2008 上半年，并网光伏发电系统成本约为 4 万元/Wp。金融危机爆发后，光伏组件价格大幅下滑,系统成本下降。采用固定式光伏阵列的并网光伏发电系统成本降至 2.15 万元/kWp(未考虑无功补偿设备费用)，构成如表 4 所示

表 4 1kWp 并网光伏发电系统投资成本构成

项目	投资/万元	比例/%
光伏组件	1.3	60.47
并网逆变器	0.2	9.30
配件	0.3	13.95
其他费用	0.35	16.28
合计	2.15	100.0

②年运行维护费

运行维护费=初始投资×运行维护费率

光伏电站不消耗燃料，没有燃料支出。建筑并网光伏系统和开阔地并网光伏系统可无人值守，低值易耗品和维护用品的费用很少；年运行维护费率为 0. 2% 。

③ 工资及福利费

建筑并网光伏发电系统的运行无需人值守，只需兼职管理，所以这部分的费用率为初始投资的 0. 8%。开阔地并网光伏系统虽然需要专人管理，但工作量较小，费用率也采用 0. 8 % 。

④设备更新和大修费

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

⑤折旧费

折旧费= 固定资产原值× 折旧率

其中，固定资产原值= 初始投资 x 80% ；折旧率= 1/折旧年限×100% = 1/0 x 100% = 5% 。

固定资产折旧提取后用于冲销贷款本息。

⑥财务费用

假设初始投资的 80% 为贷款，20% 为自有资金 贷款利息：贷款期限 20 年，年利息率 6 .12 % 。 内部收益率：10 % 。

⑦税率

光伏发电企业所得税税率为 25 % ，增值税税率为 8 .5 % ，城市维护建设税是增值税的 5 % ，教育附加费是增值税的 3% 。

⑧发电量的测算

光伏发电系统的发电量主要取决于当地的太阳能资源、系统的运行方式和系统的综合效率。因此,不同发电系统的发电量也不相同。

⑨系统效率

建筑并网光伏发电系统安装角度受到建筑结构的限制，朝向损失较大，系统综合效率约为 74 %（逆变器效率 95 % ，朝向损失巧% ，其他效率 92 % ）。

建立在开阔地的并网光伏发电系统基本没有朝向损失，但增加了升压变压器，而且荒漠地区灰尘遮挡比城市严重 总体运行综合效率约为 80 %（逆变器效率 95 % ，变压器效率 95 % ，其他效率 89 % ）。

⑩年有效利用时间

不同类型光伏发电系统平均有效利用时间如表 5 所示。在测算中，并网光伏系统年有效利用时间取 1500h，即 1kWp 光伏组件每年发电 1500kWh。

表 5 不同发电方式全国平均有效年利用时间(h)

分类	年最高	年最低	年平均
离网光伏电站有效利用时间	1668.3	896.5	1095.7
建筑并网系统有效利用时间	1815.5	975.6	1192.4
开阔地并网系统有效利用时间	1962.7	1054.7	1289.1

注：年有效利用时间=年可利用时间× 发电系统的综合效率。

数据来源：2007 中国光伏发展报告

综合以上因素，并网光伏发电度电成本的计算方法如下：

度电成本(元/kWh)= (年偿还贷款本金额+ 20 年年均偿还贷款利息额+ 设备折旧+ 年维护本)/年发电量。

在未考虑光伏电力输送成本及其他电网服务成本的前提下，按并网光伏系统年有效利用时间为 1500h 计算，测算出并网光伏度电成本为 1.26 元/kWh 左右。

(2) 敏感性分析

①初始投资的敏感性分析

并网光伏系统初始投资占光伏发电成本的 60 %，对光伏发电成本起到决定性的作用。伴随着技术进步、光伏效率的提升、使用寿命增加、规模经济效应，光伏系统初始投资将逐渐降低。参照国际上的有关预测，光伏发电初始投资每年以 10 % 的速度下降。图 4 给出了光伏发电初始投资每年以 5 % 、10% 的速度下降情况下光伏度电成本的走势。光伏发电初始投资 2 .15 万元/kWp，年有效利用时间 1500h ，光伏发电初始投资每年下降 5% ，2013 年光伏度电成本可降到 1.03 元/kW h 。如果太阳电池制造技术产生重要突破、材料成本大幅下降，度电成本降到 1 元/kWh 的时间也可能提前。

②年有效利用时间的敏感性分析

各地区阳光资源不同，光伏发电有效利用时间不同，导致系统发电量不同。如图 5 所示，分别是年有效时间 1000、1400、1800h 按照光伏发电初始投资每年下降 5% 、10 % 的光伏发电度电成本的趋势线。.按光伏发电初始投资 2.15 万元/kWp，光伏发电初始投资每年下降 10 % 测算，在光照资源非常丰富的地区(西藏\新疆等个别地区)，年有效利用时间可以达到 1800h，2009 年光伏发电度电成本(未计入收益、利税)可以达到 1.05 元/kWh。

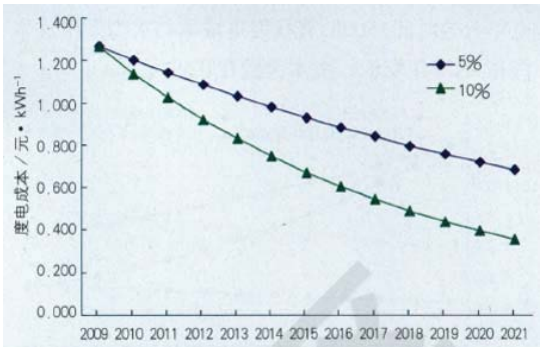


图 4 并网光伏发电度电成本趋势线(年有效利用时间 1500h)

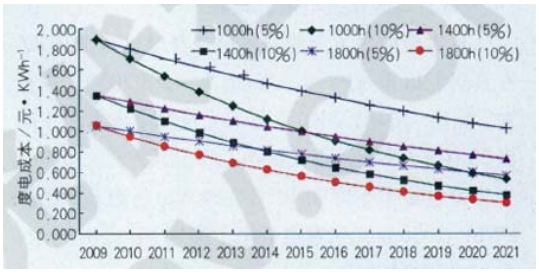


图 5 并网光伏发电度电成本趋势线(年有效利用时间 1000、1400、1800h)

(3) 并网光伏发电成本与火电成本比较

根据对我国传统火电成本的研究，20 8 年火电发电总成本为 0. 6 2 元/kWh，其中包括发电成本 0. 27 元/kWh，以及考虑煤炭开采、运输和使用造成的发电外部成本约为 0. 343 元/kWh。随着煤炭开采量逐年增加，煤炭资源的紧缺程度日益加剧，煤炭价格必然上涨，进而导致火电发电成本的快速升高。保守估计，按火电发电成本年增长率 3% 测算，2020 年火电发电成本将达到 0. 39 元/kWh 。考虑火电发电外部成本，火电发电成本年增长率 3% ，2020 年火电发电成本将达到 0. 86 元/kWh。在图 6 中分别给出了火力发电成本计人外部成本和不计入外部成本两种情况的增长趋势。在计入火电发电外部成本，火电发电成本 0. 62 元/kWh ，年均增长率 3% 的前提下，光伏发电初始投资 2 .15 万元/kWp ，光伏发电初始投资每年下降 10 % ，年有效时间按 1500 h 测算，光伏

发电成本与火力发电成本将在 20 巧年交汇，即成本大致相同在 0. 73 元/kWh 。不计入火电发电外部成本，火电发电成本 0. 277 元/kWh ，年均增长率 3% ，光伏发电年有效时间 1500h ，光伏发电成本与火力发电成本将在 2020 年交汇，成本大致在 0. 39 元/kWh。



图 6 光伏发电与火力发电成本发展趋势

2 国外光伏发电电价预测

(1) 日本光伏发电电价预测

日本新能源.产业技术综合开发机构(NEDO)在其研究报告《PV Roadmap Toward 2030》中预测，如图 7 所示，2010 年日本光伏发电成本将下降到 23 日元/kWh(折合人民币 1.53 元/kWh)，2020 年光伏发电成本下降到 14 日元/kWh (h 折合 0 .93 元/kWh)，2030 年光伏发电成本下降到 7 日元/k W h(折合 0.47 元/kWh) 。

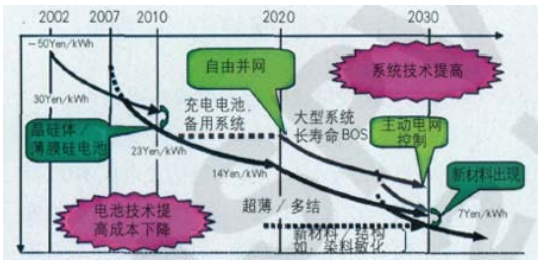


图 7 日本光伏发电成本发展走势

(2) 德意志银行的预测

德意志银行在其报告“Solar PV Indusrty Outlook and Economics”中预测，如图 8 所示，在三种不同日照条件下(4、5、6kWh/(平方米.d))，到 2016 年无论晶体硅还是啼化福(C dTe)太阳电池的发电成本都将下降到 0.15 美元/kWh(折合 1.02 元/kWh)以下[3]。

(3) EPIA 和 Green Peace 的预测

欧洲光伏工业协会(E P IA)和绿色和平组织(GreenPeace)预测，如图 9 所示，到 2015 年光伏电价将下降到 0.16 欧元/kWh(折合 1.5 元/kWh) 左右，2 0 20 年下降到 0 .11 欧元/kWh (折合 1.0 元/kWh)左右。

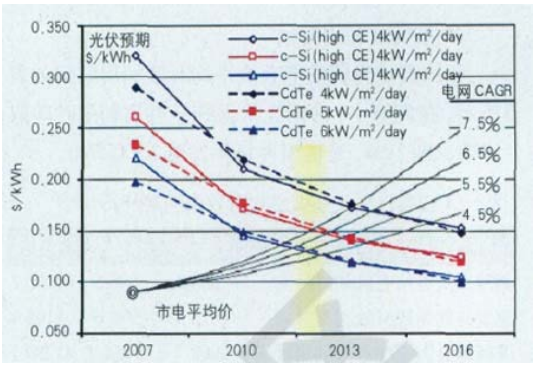


图 8 德意志银行预测的光伏发电成本发展走势

注：h/a*有效利用时间，洲北部国家年有效利用时间 900h，欧洲南部国家年有效利用时间 1800h。

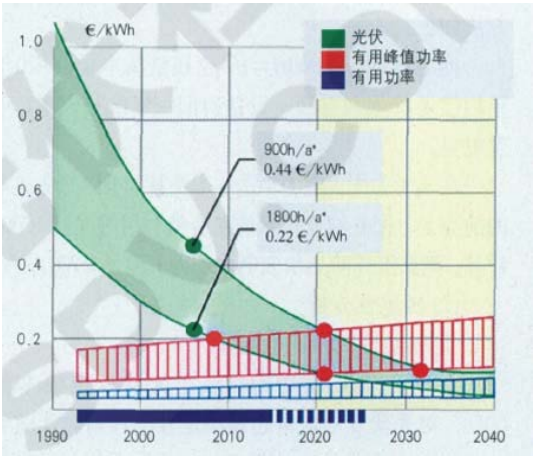


图 9 EPIA 和 Green Peace 预测的光伏发电成本发展走势

（4 ） Q.CELLS 预测

如图 10 所示， 世界光伏第一大厂 Q.CELLS 预

测意大利光伏电价 2019 年达到 0.11 元/kWh(折合 1.0 元/kWh)，德国光伏电价 2020 年达到 0.16 欧元/kWh (折合 1.5 元/kWh)[4]。

综合以上 4 家国外研究机构及光伏企业对光伏发电成本的预测， 并网光伏发电成本在 2015~2017 将达到 0.15 美元/kWh(折合 1.02 元/kWh)。常规

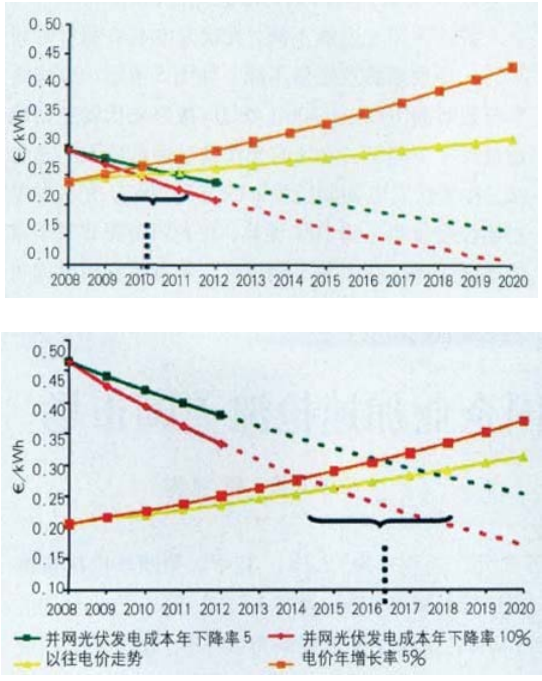


图 10 Q.CELLS 预测的光伏发电成本发展走势

电价 2000 年以来以每年 4 % 的幅度上涨， 而在今后 10 年内将以 5 % ~7% 的速度上涨， 电价将从 2006 年的 0.086 美元/kWh(折合 0.58 元/kWh)上涨到 2019 年的平均 0 .16 美元/kWh(折合 1.06 元/kWh) 。光伏的发电成本有望在 2016 一 2017 年达到 0.14 美元/kWh(折合 0. 95 元/kWh) ， 与常规电价一致。

3 离网光伏发电系统

(1) 系统构成

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

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

离网光伏发电系统在我国主要用于解决西部边远农村和部分通信基站供电问题。到目前为止，有 1000 多座离网光伏电站运行于西部省区。

(2)离网光伏发电系统度电成本分析

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

按照以上条件对离网光伏发电系统度电综合成本进行测算，可以得出离网光伏发电系统年运行维护费用及度电综合成本，如表 6 所示。

表 6 离网光伏发电系统年运行维护费用

项目	金额/元
初始投资	60000
年日常维护费	300
年技术支持费	750
年管理费	150
每次部件更换费	12000
发电综合成本	14.53

(平均到单位 kWp)及发电综合成本

离网光伏发电系统成本较高，一方面由于系统含有储能装置(蓄电池)，采用锡镍电池 20 年内需更换 3 次，如采用铅酸电池 2 0 年内需更换 6 ~7 次，造成系统初始投资高；另一方面由于离网光伏发电系统地处偏远地区，交通不便，系统维护费用较高。

按照离网光伏发电系统初始投资 6 万元/kWp,年有效时间 800h 测算，图 11 出了初始投资每年分别下降 5 %、10 % ， 度电综合成本的下降趋势。如图 11 所示， 2008 年离网光伏发电成本为 0.6 元/kWh,2011 年 8.5 元/kWh,2020 年可以降到 3.3 元/kWh。

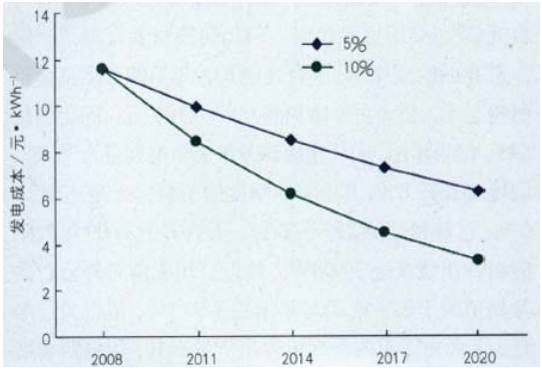


图 11 离网光伏发电度电成本走势

参考文献

[1] 钟银燕,伏市场发展瓶颈开始破解[E B /O L].

[2] 赵玉文,王斯成,王文静,等伏产业发展研究报告(2006-2007)[Z].

[3]李俊峰.光伏行业最新市场分析[Z].

[4] Q -CELLS .RePort as of 30 SEPTEMBER 2008[EB/OL].

微网中的多元复合储能技术

储能技术被认为是微网的核心技术之一，它在稳定电网运行及利用可再生能源方面有重要作用。阐述了微网中储能的作用和意义，并结合适用于微网的几种储能方式，如飞轮储能、超导磁储能、超级电容器和蓄电池，分析了其技术特点。提出了未来微网中的多元复合储能应用模式，并简要分析了应用多元复合储能的技术课题。

0 引言

微网在未来电网中有着良好的发展前景，它对于保障供电可靠性、提高供电品质、集约应用分散的新能源，以及能源的梯级利用等有独到的优势，也有利于增强电网应对灾难的能力。微网还能以有源可控负荷的形式有机地融入智能电网。为了更好地实现微网的技术特性，电能存储技术已成为微网的核心技术之一。本文根据微网的技术需求以及电能存储技术的发展现状和技术特点，提出了多元复合储能概念，主张在微网中将具有快速响应特性和具有大容量储能特性的储能技术协调控制，以使微网获得更好的技术性能和更高的经济性指标。

1 微网中多元复合储能的必要性

微网是区别于大型电力系统的一个概念。虽然各国对微网的定义有不同侧重点，但其基本目标均着眼于提高电力安全、保证可靠供电、改善供电品质、利用新能源、提高能源利用效率等基本目标[123] 。2009 年 3 月在国网电力科学研究院召开的/ 微网技术体系研究 0 工作会议将微网定义为：微网是指以分布式发电技术为基础，靠分散型资源或用户的小型电站为主，结合终端用户电能质量管理和能源梯级利用技术形成的小型模块化、分散式供能网络。微网能实现内部电源和负荷一体化运行，并通过与主电网的协调控制，平滑接入主网或独立自

治运行，充分满足用户对电能质量、供电可靠性和安全性的要求。由国内外对微网的定义可看出，微网的功能主要体现在以下几方面[427] : ¹ 提高供电的可靠性º 集约应用分散性新能源; » 改善供电品质。基于这些基本功能，要求微网既可独立运行，也能连接到大电网运行。对大电网而言，微网是一个可控的有源负荷单元，一方面可以从大电网吸取能量，另一方面也可以根据大电网运行的需要快速改变本单元的状态，向大电网输出能量或是与大电网解除连接。对用户来说，微网可以满足他们特定的需求：增加本地可靠性，降低网络损耗，保持本地电压。因此，微网带来的其他利益主要有：提高能源的综合利用效率，提高电力系统应对灾害的能力。电能存储技术对于满足微网的基本功能、实现更大的技术经济效益是十分重要的。微网对于电能存储的要求来源于 4 个方面: ¹ 为保证供电品质的储能，如电压补偿; º 为保障供电可靠性的储能，如不间断电源; » 为提高新能源发电并网性能的储能,如平抑风力发电等新能源发电输出功率的间歇性、波动性; ¼ 为提高电能利用效率的优化能量管理的储能。不同的需求对储能的技术性能要求也不同:为保证供电品质所要求的储能要能快速响应系统的动态变化; 作为不间断电源的储能要能满足负荷对电能容量的要求; 为提高新能源发电并网性能的储能则既要有快速响应部分，也要有一定的储能容量以满足负荷调节的需要; 作为能量优化管理的储能则重点在储能容量。显然，一种储能元件很难同时满足这些要求，因此采用多元复合储能是必要的。多元复合储能就是将具有快速响应特性的储能系统和具有大容量储能特性的储能系统联合使用、协调控制，从而最大限度地发挥储能技术的性能。

2 多元复合储能的技术方案

2.1 适用于微网的储能技术及其特性

储能技术形式多样，在电力系统中已实现规模化应用的是抽水蓄能。但从微网的规模、特点等方面来看，适用于微网的储能技术主要有电池类储能、超级电容器储能、飞轮储能和超导磁储能。表 1 是这些储能技术的主要动态响应特性[8] 。[$NewPage$]

1) 电池类储能。蓄电池种类较多，如铅酸电池、锂电池、钠硫电池和钒液流电池等[9212] ，其技术虽成熟度不一，但均较易实现大容量储能。但电池类储能的充放电速度、充放电次数等受到限制，不能用于实现快速的动态功率补偿，不能用于稳定电压波动、抑制动态振荡、平滑风力发电输出的快速变化。

2) 飞轮储能。飞轮储能[13214] 利用电力电子变流器控制电机运行与电动机或发电机状态以实现电能的存储和输出，电能以机械能的形式储存于电机转子及飞轮。飞轮储能密度主要取决于飞轮转子的转动惯量和转速。提高转速是获取更高储能密度的直接手段，为此要求电机旋转部件，特别是飞轮具有良好的抗拉强度。目前的碳素纤维复合材料飞轮转子承受的最大线速度可超过 1 km/ s，储能密度可达到

13. 8 J/ g，预计今后几年研制的熔融石英材料的飞轮储能密度可达到 48 J/ g，碳纳米管材料将使飞轮的储能密度提高到 162 J/ g。磁悬浮轴承是提高飞轮储能效率的基本方法，随着超导技术的发展，采用超导磁悬浮轴承的飞轮储能使轴承的摩擦因数降低到 10- 7 ，更是大大提高了储能的能量密度和效率。飞轮储能的主要优点有: ¹ 储能密度高; º 无过充放电问题，寿命长; » 可实现快速动态功率补偿。

3) 超导磁储能。超导磁储能[15217] 一般由超导线圈及低温容器、制冷装置、变流装置和测控系统 4 个主要部分组成。其主要特点是: ¹ 响应速度快, 可以达到 1 ms~ 5 ms; º 储能效率高, 可达到 90%以上;» 可实现大功率输出。

4) 超级电容器。超级电容器[18219] 的存储容量可以达到普通电容器的 20 倍~ 1 000 倍。理论上超级电容器应具备很高的功率密度和循环寿命。与蓄电池和传统物理电容器相比, 超级电容器的主要技术特点体现在: ¹ 功率密度高, 可达 102 W/ kg ~104 W/ kg, 远高于目前蓄电池的功率密度水平; º 循环寿命长, 在几秒的高速深度循环 1 万次~ 50 万次后, 超级电容器的特性变化很小, 容量和内阻仅降低 10%~ 20% ; » 响应速度较快, 对过充电和过放电有一定的承受能力。

表 1 适用于微网的几种主要储能技术的动态响应特性
Table 1 Dynamic response characteristics of several energy storage technologies

储能方式	输出功率/MW	放电持续时间	响应时间	循环寿命/万次
飞轮	0~ 0.25	1 ms~ 15 min	1 ms~ 20 ms	2
超导磁储能	0.01~ 10	1 ms~ 8 s	1 ms~ 5 ms	10
超级电容器	0~ 0.1	1 ms~ 1 h	1 ms~ 20 ms	5
铅酸电池	0~ 50	数秒~ 数小时	> 20 ms	1.2
钒液流电池	0.03~ 3	数秒~ 10 h	20 ms~ 数秒	1.2
钠硫电池	0.05~ 8	数秒~ 数小时	20 ms~ 数秒	0.25

2.2 多元复合储能的组合模式

文献[8] 较为全面地分析了现有储能技术的发展水平。从表 1 可以看出, 电池类储能过程中自损耗小, 储能时间长, 但循环寿命小, 响应速度慢, 只能作为负荷调节或紧急备用电源。飞轮、超级电容器、超导磁储能响应速度快, 输出功率大, 但储能过程中自损耗较大, 不适用于长时间的储能。按当前的技术水平, 飞轮、超级电容器、超导磁储能的成本均较高, 要实现大容量在技术上也有一定的困难, 主要适用于微网中的动态功率补偿以平滑功率、稳定电压或作为短时间的紧急备用电源。为满足微网的技术需求, 在微网中多元复合储能应以能实现大容量的电池类储能为基础, 配合具有快速响应特性的飞轮储能、超导磁储能或超级电容器, 由此获得 4 种复合储能模式。[$NewPage$]

2.3 多元复合储能的优越性

在微网的一些示范性工程中还未见到采用多元复合储能的实例。美国电力科学研究院和加利福尼亚州能量协会在圣拉蒙(San Ramon) 建设的微网示范工程, 以及美国加利福尼亚州帕尔姆达尔(Palmdale) 基地对微网分别采用飞轮储能和超级电容器储能[20] 。但在这 2 项工程中, 储能技术主要对应系统的动态变化, 如稳定电网、维持电压、稳定频率、补偿瞬时负荷的变化等, 没有对应调节负荷、不间断电源等的要求, 因此, 二者均只采用单一的储能形式。

是否采用多元复合储能与微网中的负荷特性和电源特性有关。如果微网中同时含有对供电可靠性要求很高的敏感负荷和输出功率波动性很大的新能源, 多元复合储能技术就会成为必要。在微网中同时应用具有大容量储能特性和具有快速功率响应特性的多种储能技术时, 由于不同储能形式对应不同需求, 其可独立控制。但是, 如果

多种储能方式能实现协调控制，将可使微网获得更好的技术性能和更高的经济指标。这是因为虽然电池类储能对于响应系统动态特性几乎是无能为力，但飞轮、超导磁储能、超级电容器可以在一定程度上实现负荷调节，充当紧急电源。多种储能的协调控制可优化系统结构、降低设备冗余度，提高反应能力。

3 多元复合储能技术的研究课题

3. 1 多元复合储能的控制策略

为实现多元复合储能的最优控制，首先要研究储能器件的动态特性及其与变流器的电磁耦合问题，以实现储能系统的最佳性能。其次要研究微网及其与大电网连接点的动态特性检测与诊断技术,提高诊断速度和准确性。在此基础上，研究储能系统响应微网需求的控制策略，以及多种储能技术协调控制策略，实现微网中的综合能量管理与控制。

表 2 适用于微网的几种主要储能技术经济性能参数

Table 2 Technological and economical performance parameters of several energy storage technologies

储能方式	能量密度/(kJ# L- 1)	功率密度/(kW# L- 1)	自放电/(%)	能量效率	能量成本/(美元#(kW# h)- 1)	功率成本/(美元# kW- 1)	寿命/a
飞轮	1. 2~ 4. 8	1~ 2	100	0190	250~ 350	1 000~ 5 000	15
超导磁储能	0. 012~ 0. 150	1~ 4	10~ 15	0195	200~ 300	103~ 104	20
超级电容器	0. 6~ 1. 8	100	20~ 40	0195	100~ 300	300~ 2 000	20
铅酸电池	3. 0~ 4. 8	0. 01~ 0. 40	01 1~ 01 3	0185	300~ 600	200~ 400	5~ 15
钒液流电池	0. 96~ 1. 98		很低	01 70~ 01 85	600~ 1 500	150~ 1 000	5~ 10
钠硫电池	9~ 15		20	01 75~ 01 86	1 000~ 3 000	300~ 500	10~ 15

3. 2 多元复合储能的经济规划

在保证技术性能的同时，微网应追求最经济的运行方式。不同储能技术不仅其动态特性不同，其经济性能也差异巨大。表 2 是表 1 所列几种储能技术的经济指标[8] 。影响储能系统的经济性指标既包括制造成本、占地面积、运行维护成本、寿命，也要考虑储能效率、自放电特性等。如何根据微网中动态补偿的功率需求量、调节负荷，以及不间断电源的能量需求量，结合储能系统的经济性指标来实现优化规划是微网储能技术的一个重要课题。[$NewPage$]

3. 3 改善储能器件的技术经济特性

电池类储能技术较为成熟，需要进一步提高的是寿命，特别是充放电寿命。同时，为了实现大容量，也要研究储能器件的模块化并联技术。飞轮储能的发展要点在于高强度的飞轮材料和高稳定性的磁悬浮轴承。超导磁储能已经可以实现几兆焦级的储能，制约用于大容量储能的主要因素是经济成本。超导磁储能成本的下降取决于超导材料和低温技术，同时，市场增长也会使成本下降。

4 结语

微网能有效地提高供电可靠性和供电品质，也能为各类分散、小型的新能源发电并网提供接入平台，这对于提高能源资源的利用效率、保护环境、增强电力系统应对紧急状态的能力等具有重要意义。作为智能化电网的一个有源负荷单元，微网技术必将得到进一步的发展。为满足微网的特性需求，要求储能系统不仅具有大容量的储能能力，还要具有高功率的快速响应能力。在当前储能技术水平下，没有一种储能技术能同时满足这种需求，需要不同储能技术的同时应用。在微网中，虽然可以将单独控制的不同储能技术去对应某一特定的需求，但如果实现复合多元储能的协调控制、综合规划，将使微网获取最大的技术性能和经济性指标。目前，复合多元储能模式的研究刚刚起步，在控制策略、经济规划等方面存在诸多的研究课题。

参考文献

[1] LASSET T ER R, AKH IL A, MAMAY C, et al. The CERTSmicrogrid concept [EB/ OL] . [2009209212] . h ttp: / / cert s. lbl .gov/ pdf/ 50829. pdf.

[2] 盛鹂, 孔力, 齐智平, 等. 新型电网))) 微网(microgrid) 研究综述. 继电器, 2007, 35(12) : 752 81.SH ENG Kun, KONG Li, QI Zhiping, et al . A sur vey onres earch of microgrid) a n ew power syst em. Relay, 2007,35(12) : 752 81.

[3] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇, 等. 微网研究综述. 电力系统自动化,2007, 31(19) : 1002107.LU Zongxiang, WANG Caixia, MIN Yong, et al. Overview onmicrogrid research. Automation of Elect ric Power Sy st ems ,2007, 31(19) : 1002107.

[4] KROPOSKI B, PINK C. Microgrid st andards and techn ologydevelopment / / Proceedings of IEEE Power Engin eering SocietyGeneral Meet ing, Ju ne 24228, 2007, T ampa, FL, U SA: 242 28.

[5] MAJUMDER R, GHOSH A, L EDWICH G, et al. Loadsharing and p ower quality en han ced operat ion of a dist ribut edmicrogrid. IEEE Renew Power Generation, 2009, 3: 1092 119.

[6] NOMURA S, OH ATA Y, H AGITA T . Wind farms link ed bySMES s yst ems . IE EE T rans on Applied Superconductivity,2005, 15: 19512 1954.

[7] JAYAWARNA N, WUT X, ZH ANGT Y, et al. St abil ity of amicrogrid/ / Proceedin gs of the 3rd IE T Int ernat ional Conferenceon Machines and Drives, April 426, 2006, Dublin, Ireland:3162 320.

[8] CH EN Haish eng, CONG T N, YANG Wei, et al. Progres s inelectri cal energy storage sy st em: a crit ical r eview. Progress inNatu re Sci ence, 2009, 19(3) : 2912321.

[9] 孔令怡, 廖丽莹, 张海武, 等. 电池储能系统在电力系统中的应用. 电气开关, 2008, 46(5) : 61264.KONG Lingyi, LIAO Liying, ZH ANG Haiwu, et al.Appli cat ion of bat t ery energy storage syst em in p ower sys tem.El ect rical Swit chg ear, 2008, 46(5) : 61264.

[10] 温兆银. 钠硫电池及其储能应用. 上海节能, 2007, 2: 72 10.WEN Zhaoyin . Sodium sulfur cell and it s energy storageapplicat ion. Shanghai En ergy Conservat ion, 2007, 2: 7210.

[11] 杨根生. 液流电池储能技术的应用与发展. 湖南电力, 2008, 3:592 62.YANG Gen sheng. The appl icat ion and progress of flow redoxcell storag e t echnology. H unan El ect ric Power, 2008, 3:592 62.

[12] 张华民, 赵平, 周汉涛. 钒氧化还原液流储能电池. 能源技术,2005, 26(1) : 23226.ZHANG H uamin, ZHAO Ping, ZHOU H ant ao. Vanadiumredox flow bat t ery for energy storage. En ergy T echnology,2005, 26(1) : 232 26.

[13] 程时杰, 文劲宇, 孙海顺. 储能技术及其在现代电力系统中的应用. 电气应用, 2005, 24(4) : 128.CH ENG Sh ijie, WEN Jingyu, SUN Haishu n. T he storaget echnology and it s applicat ion in modern power sys tem.El ect rot echnical Journal, 2005, 24(4) : 128.

[14] 邓自刚, 王家素, 王素玉, 等. 高温超导飞轮储能技术发展现状.电工技术学报, 2008, 23(12) :1210.DENG Zigang, WANG Jiasu, WANG Shuyu, et al. St atu s ohigh Tc su percondu ct ing flywheel energy s yst em. Transact ionsof China E lectr ot echni cal Society, 2008, 23(12) : 1210.

[15] 唐跃进, 石晶, 任丽. 超导磁储能系统及其在电力系统中的应用. 北京: 中国电力出版社, 2009.

[16] 曹彬, 蒋晓华. 超导储能在改善电能质量方面的应用. 科技导报, 2008, 26(1) : 47252.CAO Bin, J IANG Xiaohua. Appli cat ion of SMES to improvePower Qu ality. Scien ce and T echnology Review, 2008, 26(1) :47252.

[17] 侯炳林, 朱学武. 高温超导储能应用研究的新进展. 低温与超导, 2005, 33(2) : 46250.HOU Bingl in, ZH U Xuewu. New progress of th e hightemperatur e supercondu ctor magnet ic en ergy storage.Cryogenics and Supercondu ct ivi ty, 2005, 33(2) : 46250.

[18] 鲁鸿毅, 何奔腾. 超级电容器在微型电网中的应用. 电力系统自动化, 2009, 33(2) : 87291.LU H ongyi, H E Bent eng. Appli cat ion of the super2 capacitor ina microgrid. Au tomat ion of El ect ric Power Sys t ems, 2009,33(2) : 872 91.

[19] 耿建明, 李体明, 王炜. 超级电容器的储能特性研究. 低压电器,2008, 5: 16218.GENG Jianmin g, LI Timing, WANG Wei . Res earch on thecharact erist ics of en ergy storage for sup ercapacitor. LowVol tage Apparatu s, 2008, 5: 16218.

[20] Microgrid en ergy s torage demonst ration [EB/ OL] . [2009208207] . ht tp: / / en ergystoragedemo. epri. com/ cec/ microg rid/microgrid. asp.

MW 级大容量锂电池储能电站自主研发集成报告

1 国内外大容量锂电池储能系统发展现状

近年来，储能技术的研究和发展一直受到各国能源、交通、电力、电讯等部门的重视。电能的储存形式可具体分为机械、电磁、电化学电池三大类型。其中电池储能近年来受到越来越多的关注。铅酸电池作为最早的电化学电池之一，已经历了近 150 年的发展历程。利用铅酸电池构建大容量储能系统接入电网，作为移峰填谷的应用，最早开始于 1980 年代。然而，铅酸电池循环寿命较短(平均循环寿命为 500～1500 次)而且在高温下寿命会缩短，能量密度和功率密度较低(30～50Wh/kg、75～300W/kg)，且在制造过程中存在一定的环境污染，这使得常规电池远远满足不了大容量接入电网的要求。因此，近年来世界各国大力研究高级电池(advanced battery)，例如，钠硫电池，液流电池等，其中锂离子电池是高级电池中一种有广泛应用潜力的电池。《2009 年美国复苏与再投资法案》中预算 20 亿美元，用于鼓励高级电池在电力系统中的应用，其中，就包括锂离子电池。

随着锂离子电池性能和安全性的提高，以及成本的降低，由于其具有能量密度高、无记忆效应、无污染、自放电小、循环寿命长的特点，逐步受到业界的关注和重视。从锂离子电池使用的正极材料角度可以将目前的锂离子电池分为： (LiCoO2) 钴酸锂电池、(Li(NiCoMn)O2)三元材料电池、(LiMn2O4)锰酸锂电池以及(LiFePO4)磷酸铁锂电池等。钴酸锂电池由于在充电和高温状态下存在安全问题，且钴是稀贵资源，其成本高，因此钴酸锂电池不宜在大容量电池储能中采用。锰酸锂电池正极材料资源丰富、价格低廉，安全性好，无环境污染，近年来取得重大突破，已在电动公交车中尝试应用。三元材料锂电池是钴酸锂电池的替代产品，其相对安全、成本较低，钛酸锂电池是三元材料锂电池的一种。磷酸铁锂电池，与传统的钴酸锂电池相比，能量密度为钴酸锂电池的 75%，但在制造成本、安全性、循环寿命等方面有明显的优势。

目前，锂离子电池在交通行业(电动汽车)得到了广泛应用。2007 年美国锂离子电池的市场销售量为 10 亿美元，并且预计每年有 50-60%的增长幅度。但是，锂离子电池大容量集成接入电网的应用直到 2008 年 10 月后才开始有报道。美国 A123 Systems 公司已开发出 2MW×0.25h 的 H-APU 柜式磷酸铁锂电池储能系统(Hybrid Ancillary Power Unit)，2008 年 11 月，A123 Systems 公司联合 GE 公司，与美国 AES 公司与合作，于 2009 年在宾夕法尼亚州实施了 2MW 的 H-APU 柜式磷酸铁锂电池储能系统接入电网。同时，将类似的 2 个 MW 级磷酸铁锂电池储能系统分别接入了加利福尼亚的两个风电场。其应用主要定位于为电力系统提供包括频率控制在内的辅助服务和新能源灵活接入。南加州爱迪生电力公司(Southern California Edison)于 2009 年 8 月计划投资 6 千万美元(其中 2.5 千万美元由美国能源局补贴)，利用 A123 Systems 的设备建设当今世界上最大的锂离子电站(32MWh)；印第安纳州的

Power & Light 公司于 2008 年 7 月对美国另外一个主要锂离子电池生产商 Altairnano 公司的 2 个 1MW/250kWh(4C 充放)的锂离子储能系统进行了测试。在国内，深圳比亚迪公司已开发出基于磷酸铁锂电池储能技术的 200kW×4h 柜式储能电站和 1MW×4h 储能示范站(目前实际投入运行 330kW×4h)，其应用方向定位于削峰填谷和新能源灵活接入。

总之，全世界范围内的大容量锂离子电池储能系统目前还处于试验与示范阶段，没有形成成熟的成套装备产业，但是，大容量锂离子电池储能系统在电力系统中的应用发展势头迅猛，发展潜力巨大。

2 锂电池储能电站的技术成熟度与风险评估

电池储能电站的关键设备主要包括电池、电池管理系统(BMS)、站内监控系统和电力电子变流器(PCS)四个部分。目前，国内作为动力电池使用的单体锂电池技术已经成熟，包括比亚迪公司在内的多个电池厂家能提供现成产品，但大规模电池成组使用技术有待成熟，成组后电池的一致性与寿命管理尚待完善;在电池监控系统方面，国内已有基于信号采集的简单 BMS 系统的产品，但尚不具备对大规模电池组进行管理控制的能力，尤其在大规模单体电池成堆成组后，电池一致性问题成为影响电池寿命的关键环节，而采用电池均衡技术则是目前技术的发展前沿，国内目前在电池动态均衡技术刚刚起步，大规模应用少有报道，其中凹凸科技公司的电池管理系统技术水平在国内处于前沿，从对外报道来看也仅能同时管理 5 节单体电池，实现动态均衡;站内监控系统，目前在电力系统应用广泛，技术已经比较成熟，但主要为传统的监控功能，对于储能电站，还需实现对电池堆的有效管理以及承担储能站的高级应用控制功能，目前市场上已有的产品无法满足上述技术需求，需要在现有的厂(站)监控平台上进行二次深化开发;相比较而言，电力电子变流器(PCS)是四者当中技术成熟度最低的一个，下面具体进行分析。

电力电子变流器(PCS)，是实现直流储能电池与交流电网之间的双向能量传递，将储能电池接入电力系统的关键设备。国外实际工程的统计结果显示，在电池储能系统中，PCS 的成本占到整个系统成本的 25%以上。目前，传统功率单向流动的并网逆变器型 PCS 装置在包括太阳能、风能在内的分布式发电技术中的已有广泛的应用。国内从事电力电子变流器行业的企业也主要集中于光伏和风力发电等新能源应用领域，市场上还没有专门针对储能电站应用的双向变流器的成熟产品。下面从风电、光伏及 STATCOM 等的应用情况来分析目前国内外电力电子变流器(PCS)及其应用技术的发展水平以和技术成熟度情况。

在风电变流器领域，根据 2008 年 10 月出版的《中国风电研究报告 2008》的研究结果，在我国风力发电装备产业链中，尽管零部件产业化情况有了较大的进展，但是风电机组的控制系统和变流系统等核心部件的产业化程度较低，仍然是国内风电设备制造业中最薄弱的环节。

风电变流器属于风力发电机组大型核心部件之一，也是目前风电制造行业国产化水平较低的部件之一。一直以来国内变流器市场被 ABB 等几家外资巨头垄断，但是国家近几年发布了关于风力发电方面的一大批科技支撑计划项目，在风电机组控制系统及变流器的研发及产业化方面投入了大量资金，促进了国内风电变流器企业的发展。

目前，在华提供风电变流器的主要外资企业有：ABB(瑞士)，科孚德机电 Converteam(法国阿尔斯通)，美国超导公司 AMSC Windtec，艾默生网络能源有限公司(美国)，施耐德电气(法国，已并购 Xantrex);国内目前能提供 1.5MW 以上风电变流器的厂家有合肥阳光电源，北京科诺伟业，黑龙江九洲电气，北京清能华福，国电龙源电气，成都东方日立，株洲南车时代，北京四方继保、海得控制等，在研以及拟建项目有国电南瑞(在研)，北京荣信股份(拟建项目)，山东新风光电子科技发展有限公司(全功率变流器在研)，甘肃

天水电传(长城电工，拟建项目)等。风电变流器分为双馈型变流器和直驱型全功率变流器两种。目前国内绝大部分企业提供的都是双馈型变流器，1.5MW 双馈型机组所使用的变流器容量为 500kW;金风公司研制的国内首个 1.2MW 直驱型风电变流器，近期已经投入市场。

在光伏发电领域，成立于 1981 年的艾思玛(SMA)是全球最早也是最大的光伏逆变器生产企业(德国市场占有率达 50%以上)，占全球市场 33%左右的市场份额，是全球光伏逆变器第一大生产供应商，第二位是 Fronius，全球前七位的生产企业占领了 74%的市场份额。2008 年国内光伏逆变器的进口量为 13.6MW，其中德国是最主要的进口来源地，占全部进口量的 70%，主要的供货企业包括艾思玛(SMA)、KACO、康能(Conergy)，其次为奥地利占 7%，主要的生产企业为 Fronrius，瑞士占 6%，主要的厂商为 Sputnik、Studer。国内生产光伏逆变器的厂商有合肥阳光、北京索英、北京科诺伟业、志诚冠军、北京日佳、南京冠亚、北京四方继保等企业。目前，我国在中小功率光伏逆变器上与国外处于同一水平，在 500kW 以上大功率并网逆变器上，合肥阳光电源等国内企业已经可以提供。总体上说，在大容量光伏逆变器方面，国内企业已接近国外企业的技术水平，不过在装置模块化设计、系统集成、检测技术以及稳定性可靠性方面还存在一定差距。

在 STATCOM 相关领域方面，由清华大学和原河南省电力局合作研制的±20MVA 的 STATCOM，1999 年在河南省洛阳市朝阳 220KV 变电站投入试运行，并于通过了相关科技鉴定。这是目前国内唯一的具有自主知识产权的且经过运行鉴定的大容量 STATCOM 装置;2006 年，由上海电力公司、许继电源有限公司和清华大学合作完成的采用 IGCT 器件的±50Mvar 链式 STATCOM 装置在上海西郊变电站投运成功，并通过了国家电网公司组织的专家验收。

与风电和光伏等可再生能源并网领域不同的是，大规模电池储能系统的应用对于变流器(PCS)的技术要求更高，主要表现在以下几个方面：(1)PCS 既要与电池组接口完成充放电管理，又要与电网接口实现并网功能。在光伏逆变器中，电能是从电池板到电网单向流动的，而且光伏电池特性平稳，控制相对简单;在风力发电中，变流器秩序保证输入输出功率平衡即可，无需进行能量管理。(2)大规模电池储能电站中，并网只是对 PCS 的最基本要求，PCS 更重要的任务是要与电网配合实现诸如移峰填谷、调频调峰、孤网供电、动态无功支持、电力系统稳定器以及改善电能质量等多种系统级应用功能。PCS 不再是一个独立的并网装置，而是需要与电力系统进行频繁互动的系统级设备。(3)上述与电网互动的高级应用功能，PCS 难以单独完成，而是需要和储能电站的监控系统进行协调控制，即 PCS 只是储能电站控制系统中的一个环节(4)光伏、风电等并网应用中，PCS 只在电网稳态情况下工作，在电网发生故障时仅需要保持一定时间不脱网即可;而电池储能电站的大多数应用是针对电网的故障状态，PCS 需要实时主动监测系统电压、频率等信息，并随时响应 AGC、AVC 等系统调度指令，一旦系统发生异常或故障，需要其快速做出响应，在小于秒级的时间内迅速调整有功和无功出力，在关键时候微电网提供最有力的支撑，将故障造成的损失降至最低。

而在 MW 级以上大规模储能系统的应用方面，国内外尚无批量生产的产品，国外 ABB、GE 等大公司也只是有屈指可数的几个示范项目。在国内，这个领域几乎还是空白。目前已见报道的只有上海世博会储能项目中的 100kW 变流器(思源电气研制)、浙江省电力试验研究院微网实验室项目中的 100kW 双向变流器(清华和北京四方继保联合研制)，以及深圳比亚迪公司自建的 200kW 储能电站示范项目(比亚迪自行研制，PCS 容量 100kW)，500kW 以上的储能双向变流器国内还还未见报道。其中，在上海世博会和比亚迪的储能项目中，PCS 的高级应用策略实现了移峰填谷的基础功能;而浙江省电力试验研究院微网实验室项目在应用策略方面，除了实现移峰填谷外，还在系统调频、与可再生能源接入配合以及孤网供电等方面进行了研究和尝试。然而，该系统为容量有限的实验室应用，其与大

容量储能电站并网运行的应用要求相比，还有很多需要进一步研究完善的地方。

综合以上分析，开展 MW 级锂电池储能电站存在以下技术风险：

1）3 万节以上单体构成的锂电池系统的成组技术、运行维护、SOC 以及 SOH 等状态估计与监测技术，国内没有相关的工程经验。

2）适合于 MW 级储能电站应用的大容量 PCS 目前国内没有相关产品，需要完全自主研发。

3）在 MW 级锂电池储能电站中的控制技术上，既要考虑 PCS 与锂电池的接口技术，在保证大容量锂电池的使用寿命和安全性的条件下，合理的对电池进行充放电管理;同时，还要考虑以 PCS 作为接口的电网接入技术，考虑 PCS 满足电力系统运行的要求，发挥移峰填谷、调峰调频、无功调节、孤岛运行等功能。

4）MW 级大容量储能电站往往由多台 PCS 组成，站内多台 PCS 之间直接协作机制与实现方法尚待研究。

5）一般变电站的监控信息点规模在 3-5 万个左右，而 MW 级储能电站仅电池相关信息点表规模就在 30 万以上，对监控系统的容量与接入技术是一个的挑战。

6）5MW 级储能电站有 3 万节多电池，10 台 PCS，信息量大，既要满足容量的要求，又要满足实时性的要求，站内信息的分层分区设计及工程实现是一个技术难点。

7）市面上没有厂家能提供完整解决方案，各自侧重，系统集成成为关键的技术风险之一，一是完整的集成方案需要研究;二是各个部分有无集成所需的信息与接口需要确认与研发。

3 锂电池储能系统自主集成研发技术路线

综合当前的技术发展现状，难以找到单一的合作厂家，能提供整套符合南方电网公司 MW 级大容量锂电池储能电站示范工程建设目标要求的系统;目前也没有厂家能提供有关储能电站的运行方式和控制策略的完整解决方案，需要进行自主研发。另外，南方电网示范工程的重点之一是了解各种电池、PCS 系统、监控系统的并网运行以及整体系统集成等各方面的技术要点，从而制定相应的技术规范，形成储能电站建设规范，为推广储能电站建设提供技术、规范方面的保障系统。这就涉及到多家电池、PCS 的有效集成，技术风险与挑战加大。依靠单纯设备采购很难达到预期的目标，为此，需要公司进行自主集成研发。

自主集成研发的内容包括储能电站的高级应用策略、关键设备、和系统集成三个方面。

3.1 储能电站高级策略方面：

大规模电池储能系统应用于电力系统，改变了传统电力系统发、输、变、配用瞬时平衡的运行规律，将会给电力系统带来一系列革命性的变化。国外电力公司在这方面以及开展了大量的研究工作，并在一系列的示范工程中发挥出显著的效益。大规模电池储能电站在电力系统中的典型下图所示：

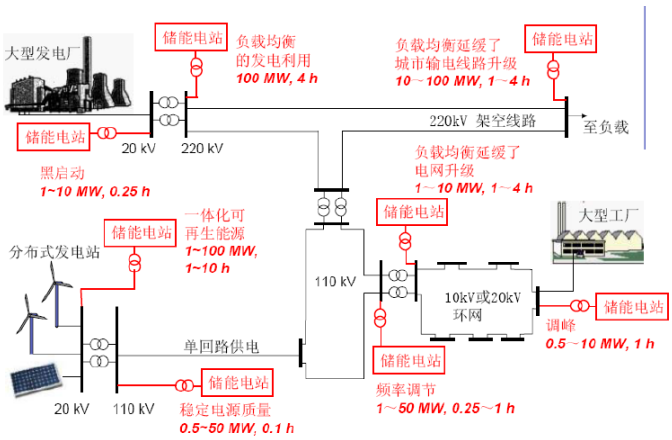


图 大规模储能电站在电力系统中的应用示意图

研究内容：

1）调研与分析国外大容量储能电站在电力系统工程应用的控制策略的具体内容与实现方式；

2）调研与分析国内外不同类型蓄电池的性能、指标及 BMS 的控制策略；

3）调研与分析国内外不同类型储能装置的电网接入方式；

4）调研与分析国内外电池储能系统 PCS 装置的构成与参数选择，给出自主集成与研发部分的 PCS 技术解决方案；

5）研究储能电站各种应用对电池容量，电池充放响应性能的要求；

6）电池储能装置与可再生能源发电联合运行的经济调度方式研究；

7）带有电池储能装置的电网动态与稳态特性的仿真分析；

8）储能装置接入配网后对继电保护的影响研究。

9）基于 RTDS 或 EMTDC 建立电池储能系统仿真研究平台，对各种控制策略及其实现方式进行仿真校核与优化研究；

10）开展电池长寿命运行要求下的 PCS 充放电控制技术研究，统筹考虑电网运行控制要求与电池长寿命运行要求，形成公司 MW 级储能电站科自主集成与研发部分的控制策略及其实现方案，给出与工程部分的接口技术规范，给出自主集成与研发设备的技术解决方案，控制逻辑图，指导关键设备研发；

预期效益：

1）编写国内外不同的已投运储能电站高级控制策略的综述报告，使公司全面了解当今储能电站的发展趋势，为公司储能电站的推广提供基础材料；

2）掌握储能电站每个应用场景的具体内容，为公司结合网情进行储能电站的规划提供依据。

3）掌握储能电站各种应用场景对电池容量、充放电时间响应的需求，掌握储能电站各种应用对电池寿命及其经济成本，为公司进行储能电站推广建设的设计与经济技术分析提供依据。

4）掌握储能电站不同控制策略对于电网动态特性的影响分析的系统方法，为储能电站的接入提供分析的技术方法支撑；形成储能系统数字仿真与物理模拟平台，为储能电站的接入提供分析的技术平台。

5）掌握储能装置与可再生能源发电联合优化调度的方法与方案，为公司在新能源接入方面提供指导。

6）形成公司 MW 级储能示范工程的整体控制策略方案，为公司示范工程的建设提供技术指导与支撑。

3.2 关键设备研发方面

研究内容：

1）调研与分析国内外不同类型 PCS 装置的控制策略及其技术现状；

2）研究应用于储能系统的 500kW 以上大容量双向变流器(PCS)成套设计技术。

3）研究大规模储能电站中 PCS 多机协调控制技术。

4）研究大容量双向变流器(PCS)的技术规范要求。

5）研究大规模储能电站系统接入技术。

预期效益

1）掌握应用于储能系统的 500kW 以上大容量双向变流器(PCS)成套设计技术，为公司进行大容量储能电站示范工程建设提供装备技术保障。

2）掌握大规模储能电站系统接入的技术

3）形成大容量双向变流器(PCS)的技术规范要求，为公司的储能电站推广建设提供技术标准方面的指导。

3.3 系统集成

研究内容：

1）研究大容量双向变流器(PCS)与电池及电池管理系统的接口技术。

2）研究大容量电池及电池管理系统的架构与功能体系

3）研究储能电站各种高级应用策略的实现技术条件要求

4）研究大容量储能电站的信息架构体系。

5）研究储能电站接入公司现有自动化体系的技术条件要求。

预期效益：

1）掌握大容量双向变流器(PCS)与电池及电池管理系统的接口技术，提出不同类型电化学电池差异性

要求的 PCS 装置控制策略优化方案，为公司储能电站推广建设有更多设备选项提供技术保障；

2）掌握储能电站各种高级应用策略的实现技术条件要求，为公司的储能电站推广建设在具体经济技术评估方面提供依据与技术保障。

3）掌握储能电站接入公司现有自动化体系的技术方案，为公司的储能电站建设提供基础。

4 总结

目前，大容量锂电池储能系统在世界范围内尚处于试验与试点阶段，国内尚没有厂家能提供完整的技术方案，相关成熟产品市场上也较难采购。因此有必要在相关关键设备与系统集成方面进行自主研发，为示范工程提供坚实的技术支撑与技术保障；另外，南方电网在示范工程中的重点之一应该是关注构建南方电网储能设备应用管理体系，制定公司储能设备接入电网的系列技术标准，重点关注与研究储能设备集成监控技术和满足“即插即用”的储能站接入电网技术。只有通过自主研发与系统集成的方式，才能深入了解各种电池、PCS 系统、监控系统的相关技术规范以及整体系统集成等各方面的技术要点，从而制定相应的技术规范，形成储能电站建设规范，从而为推广储能电站建设提供技术、规范方面的技术保障系统。



