

中小型风能设备与应用



主办：中国农机工业协会风能设备分会

2016年9月·第3期（总第23期）

产业综述 > P04

国家发展改革委关于太阳能热发电 标杆上网电价政策的通知

侧风对风轮最大及平均应力特性的影响研究 > P15

风光柴互补智能控制系统设计与应用 > P31

南京欧陆上半年小风电业绩形成突破 > P33



全球领先的中小型风机电气控制系统

中小型风机安全控制，离/并网解决方案提供商



前端采集 / 独立安全控制模块



触摸屏式中央控制器



卸载控制器



并网逆变器



风机离网控制
充电一体机

»» 全套解决方案 »»

■ 前端采集 / 独立安全控制模块

读取汇集风机工况参数：风速、风向、机舱温度、发电机转速、温度以及电压，通过参与主动偏航、变桨、刹车等进行安全控制。/ 检测发电机输出电压，转子速度以及发电机极限温度。超过额定值即发出停机信号，与前端板实现冗余控制，符合 IEC61400-2 标准。

■ 触摸屏式中央控制器

根据前端控制模块采集到的参数，经系统控制软件运算，通过总线通讯方式对风力机组发送执行指令，可连接英特网对风机进行远程监控。

■ 风机离网控制充电一体机

1KW-5KW 可调功率曲线的风机充电控制一体机，植入最可靠安全的离网风机控制方案。可有选择地增配光伏组件接入。崭新设计的智能充电管理模块，使得电池寿命延长一倍，适应野外通信基站等严苛应用的要求。可应用于所有使用永磁同步发电机的离网系统 - 小型风力发电机、小型水力发电机、潮汐能电站等。

■ 卸载控制器

DSP 高速控制主控芯片，双闭环高精度控制，快速抑制阵风产生的瞬态高压。通过总线通讯方式接口对风机转速、电压、卸载功率等进行实时监控。

■ 并网逆变器

1KW, 1.5KW, 2KW, 3KW, 3.6KW, 5KW 逆变器已通过世界各大主要市场的安规、并网认证，如：CE、VDE0126、VDE4105、UL1741、CSA、G83、EN50438 等，与众多厂商配套出口全球，且提供完善的远程监控方案。

光热发电政策来了 中小风电政策还有多远

□ 祁和生

国家发改委已发出《关于太阳能热发电标杆上网电价政策的通知》，核定光热发电标杆上网电价为每千瓦时 1.15 元，这一消息旋即在光热发电行业引爆，业界一扫久等电价不出的焦虑与不快，光热发电市场迎来正式启动。

据 PV001 光伏网资讯频道报导，光热行业期待国家这项政策如果从这个行业在中国生根萌芽算起，到现在已有 10 余年时间；而这一电价政策的正式孕育时间始自于 2015 年 11 月，从完成示范项目评审算起，耗时不到一年。光热的孕育时间与中小风电行业的孕育时间几乎是同时。这样看来，光热行业比中小风电行业幸运得多。我们虽然羡慕，但我们为之高兴，为之欢呼 and 鼓舞。同时我们在期待中小风电行业国家政策何时能够落地。一般看来，与中小风电行业相同命运的光热行业盼来了国家政策，中小风电政策还会远吗？

回头想来，中小风电行业发展已有 40 年历史，至少在近 15 年间不曾见到过国家层面的政策支持，这与光热行业命运何等相似，致使国内企业的经营谋略上都转向国外，以外部解决国内发展问题，而西方发达国家设置的技术门槛让多数企业止步不得前行。

近年来，由于失去市场竞争平台，小风电产业的萎缩就剩下最后一把力气。行业就像陷入大沙漠的一支探险队伍，没有了食物，没有了水喝，只能靠体内累存的消耗，再寻来些沙漠昆虫和晨雾来补充饥饿和止渴。

不过，让我们看见希望的是，与中小风电同样命运的光热发电产业等来了曙光，敞开大门就直奔大道。中小风电行业还需要在沙漠中苦撑数日。同属于清洁能源产业领域的儿子，国家不会只要大儿不要小儿。光热跑得快迎来了转机，中小风电跑得慢，但也会赶上这一时刻的到来。摆在我们面前的就是如何做好冲出沙漠的准备，否则，你会失去时间，失去空间，失去信心。



主办：中国农机工业协会风能设备分会（风力机械分会）

协办：国际铜业协会（中国）
中国中小型风力发电产业联盟
中科恒源科技股份有限公司

专家委员会（按姓氏笔划排名）：

王大刚 王建平 刘长安 刘志璋
许洪华 朱瑞兆 肖占俊 吴永忠
李宝山 李景明 李 锋 张世惠
陈 严 郝先荣 贺德馨 俞红鹰
赵福盛 徐学根 都志杰 高瑞林
常东来 韩 镝

主编：祁和生

副主编：姚修伟

编辑部主任：李德孚

编辑部副主任：沈德昌

编辑：梁 伟 徐 涛 王文辉

电话：010-68596009 68513557

传真：010-68596006

邮箱：gaojian@cweea.com.cn

市场部主任：年方清

市场部：闫吉林

电话：010-68596008 68596007

传真：010-68596006

邮箱：fncy@cweea.com.cn

美术设计：吴培花

编辑出版：《中小型风能设备与应用》

编辑部

地址：北京市西城区月坛南街 26

号院 1 号楼 2012-2018 室

邮编：100825

网址：www.cweea.com.cn

版权声明：本刊为中国农业机械工业协会风能设备分会内部刊物，所刊内容未经许可，不得转载。来稿必须遵循有关法律、法规，文责自负，不得一稿多投。本刊登载的学术论文将被中国知网《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社出版的《中国重要会议论文全文数据库》及 CNKI 系列数据库网络以协会年度论文集的形式出版。若不同意文章为数据网络收录，请在来稿时向本刊声明，本刊将做适当处理。本刊录用稿件均视为同意在中国风能产业网或我会其它出版物刊登。



卷首语

01 光热发电政策来了 中小风电政策还有多远

产业综述

04 国家发展改革委关于太阳能热发电标杆上网电价政策的通知

05 两部委关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见

08 财政部、国家税务总局：光伏发电企业税收优惠将延续

09 我国首个自主新能源专业气象预报平台投入运行

11 分布式电站 8 种开发模式总结

技术交流

15 侧风对风轮最大及平均应力特性的影响研究 杨柳 等

19 储能技术融合分布式可再生能源的现状与发展趋势

28 5kW 风电机组在无电牧区分布式供电系统的试验研究 任君 等

产品应用

31 风光柴互补智能控制系统设计与应用 王化



专题报道

- 33 南京欧陆上半年小风电业绩形成突破
- 34 拓展风光互补综合应用新领域
- 37 投资合作公告

行业资讯

- 38 市场极度萎缩 制造企业转型
- 41 基于成本和效益分析的并网光储微网系统电源规划
- 50 功率曲线测试国际标准 IEC61400-12-1 最新修订终稿将于近期公布
- 52 关于燃料电池产业化发展的几点思考 卢琛钰
- 57 2016年中国智慧路灯应用现状分析

国际动态

- 60 日本小型风力发电机认证介绍 刘磊
- 63 美国能源部 AMO 用 3D 打印制造出 13 米长风力涡轮叶片模具
- 64 丹麦小风电和太阳能并网评价流程简化

国家发展改革委关于太阳能热发电 标杆上网电价政策的通知

发改价格[2016]1881号

各省、自治区、直辖市发展改革委，物价局：

为促进太阳能热发电产业健康有序发展，根据《可再生能源法》有关规定，现就制定太阳能热发电标杆上网电价政策有关事项通知如下：

一、核定全国统一的太阳能热发电（含4小时以上储热功能）标杆上网电价为每千瓦时1.15元（含税）。上述电价仅适用于纳入国家能源局2016年组织实施的太阳能热发电示范范围的项目。

二、2018年12月31日以前全部投运的太阳能热发电项目执行上述标杆上网电价。

三、鼓励地方相关部门对太阳能热发电企业采取税费减免、财政补贴、绿色信贷、土地优惠等措施，多措并举促进太阳能热发电产业发展。

四、2019年以后国家将根据太阳能热发电产业发展状况、发电成本降低情况，适时完善太阳能热发电价格政策，逐步降低新建太阳能热发电价格水平。

以上规定自本通知发布之日起执行。

国家发展改革委

2016年8月29日



两部委关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见

发改能源[2016]1430号

各省、自治区、直辖市发展改革委、能源局，新疆生产建设兵团发展改革委，有关能源企业：

根据国务院关于贯彻落实稳增长政策措施有关要求，为加快推进多能互补集成优化示范工程建设，提高能源系统效率，增加有效供给，满足合理需求，带动有效投资，促进经济稳定增长，现提出如下实施意见：

一、建设意义

多能互补集成优化示范工程主要有两种模式：一是面向终端用户电、热、冷、气等多种用能需求，因地制宜、统筹开发、互补利用传统能源和新能源，优化布局建设一体化集成供能基础设施，通过天然气热电冷三联供、分布式可再生能源和能源智能微网等方式，实现多能协同供应和能源综合梯级利用；二是利用大型综合能源基地风能、太阳能、水能、煤炭、天然气等资源组合优势，推进风光水火储多能互补系统建设运行。

建设多能互补集成优化示范工程是构建“互联网+”智慧能源系统的重要任务之一，有利于提高能源供需协调能力，推动能源清洁生产和就近消纳，减少弃风、弃光、弃水限电，促进可再生能源消纳，是提高能源系统综合效率的重要抓手，对于建设清洁低碳、安全高效

现代能源体系具有重要的现实意义和深远的战略意义。

二、主要任务

（一）终端一体化集成供能系统

在新城镇、新产业园区、新建大型公用设施（机场、车站、医院、学校等）、商务区和海岛地区等新增用能区域，加强终端供能系统统筹规划和一体化建设，因地制宜实施传统能源与风能、太阳能、地热能、生物质能等能源的协同开发利用，优化布局电力、燃气、热力、供冷、供水管廊等基础设施，通过天然气热电冷三联供、分布式可再生能源和能源智能微网等方式实现多能互补和协同供应，为用户提供高效智能的能源供应和相关增值服务，同时实施能源需求侧管理，推动能源就地清洁生产和就近消纳，提高能源综合利用效率。

在既有产业园区、大型公共建筑、居民小区等集中用能区域，实施供能系统能源综合梯级利用改造，推广应用上述供能模式，同时加强余热、余压以及工业副产品、生活垃圾等能源资源回收和综合利用。

（二）风光水火储多能互补系统

在青海、甘肃、宁夏、内蒙、四川、云南、贵州等省区，利用大型综合能源基地风能、太

太阳能、水能、煤炭、天然气等资源组合优势，充分发挥流域梯级水电站、具有灵活调节性能火电机组的调峰能力，建立配套电力调度、市场交易和价格机制，开展风光水火储多能互补系统一体化运行，提高电力输出功率的稳定性，提升电力系统消纳风电、光伏发电等间歇性可再生能源的能力和综合效益。

三、建设目标

2016年，在已有相关项目基础上，推动项目升级改造和系统整合，启动第一批示范工程建设。“十三五”期间，建成国家级终端一体化集成供能示范工程20项以上，国家级风光水火储多能互补示范工程3项以上。

到2020年，各省（区、市）新建产业园区采用终端一体化集成供能系统的比例达到50%左右，既有产业园区实施能源综合梯级利用改造的比例达到30%左右。国家级风光水火储多能互补示范工程弃风率控制在5%以内，弃光率控制在3%以内。

四、建设原则及方式

（一）统筹优化，提高效率

终端一体化集成供能系统以综合能源效率最大化，热、电、冷等负荷就地平衡调节，供能经济合理具有市场竞争力为主要目标，统筹优化系统配置，年平均化石能源转换效率应高于70%。风光水火储多能互补系统以优化存量为主，着重解决区域弃风、弃光、弃水问题；对具备风光水火储多能互补系统建设条件的地区，新建项目优先采用该模式。

（二）机制创新，科技支撑

创新多能互补集成优化示范工程政策环境、体制机制和商业模式，符合条件的示范项目优先执行国家有关灵活价格政策、激励政策

和改革举措。推动产学研结合，加强系统集成、优化运行等相关技术研发，推动技术进步和装备制造能力升级。示范项目应优先采用自主技术装备，对于自主化水平高的项目优先审批和安排。

（三）试点先行，逐步推广

积极推进终端一体化集成供能示范工程、能源基地风光水火储多能互补示范工程建设，将产业示范与管理体制、市场建设、价格机制等改革试点工作相结合，探索有利于推动多能互补集成优化示范工程大规模发展的有效模式，在试点基础上积极推广应用。

五、政策措施

（一）实施新的价格机制

落实《中共中央国务院关于推进价格机制改革的若干意见》，按照“管住中间、放开两头”的总体思路，推进电力、天然气等能源价格改革，促进市场主体多元化竞争，建立主要由市场决定能源价格的机制。

针对终端一体化集成供能示范工程，在能源价格市场化机制形成前，按照市场化改革方向，推行有利于提高系统效率的电价、热价、气价等新的价格形成机制。实施峰谷价格、季节价格、可中断价格、高可靠性价格、两部制价格等科学价格制度，推广落实气、电价格联动等价格机制，引导电力、天然气用户主动参与需求侧管理。具体价格政策及水平由国家及地方价格主管部门按权限确定。

针对风光水火储多能互补示范工程，统筹市场形成价格与政府模拟市场定价两种手段，加快推进电力和天然气现货市场、电力辅助服务市场建设，完善调峰、调频、备用等辅助服务价格市场化机制。在市场化价格形成前，实施有利于发挥各类型电源调节性能的电价、气价及辅助服务价格机制。

（二）加大政策扶持力度

经国家认定的多能互补集成优化示范项目优先使用国家能源规划确定的各省（区、市）火电装机容量、可再生能源发展规模及补贴等总量指标额度。风光水火储多能互补示范项目就地消纳后的富余电量，可优先参与跨省区电力输送消纳。符合条件的多能互补集成优化工程项目将作为能源领域投资的重点对象。符合条件的项目可按程序申请可再生电价附加补贴，各省（区、市）可结合当地实际情况，通过初投资补贴或贴息、开设专项债券等方式给予相关项目具体支持政策。

（三）创新管理体制和商业模式

积极支持采取政府和社会资本合作模式（PPP）建设多能互补集成优化示范工程。结合电力、油气体制改革工作，创新终端一体化集成供能系统管理和运行模式，开展售电业务放开改革。国家能源局会同有关部门完善电（气、热）网接入、并网运行等技术标准和规范，统筹协调用能、供能、电（气、热）网等各方利益，解决终端一体化集成供能系统并网和余电、余热上网问题。相关电网、气网、热力等管网企业负责提供便捷、及时、无障碍接入上网和应急备用服务，实施公平调度。创新终端一体化集成供能系统商业模式，鼓励采取电网、燃气、热力公司控股或参股等方式组建综合能源服务公司从事市场化供能、售电等业务，积极推行合同能源管理、综合节能服务等市场化机制。加快构建基于互联网的智慧用能信息化服务平台，为用户提供开放共享、灵活智能的综合能源供应及增值服务。

六、实施机制

（一）统筹规划布局

国家发展改革委、国家能源局在国家能源

规划中明确多能互补集成优化示范工程建设任务，并将相关国家级示范项目纳入规划。各省（区、市）能源主管部门应在省级能源规划中明确本地区建设目标和任务，针对本省（区、市）新城镇、新建产业园区等新增用能区域，组织相关地方能源、城建等有关部门研究制定区域供用能系统综合规划，加强与城市、土地等相关规划衔接，通过市场化招标等方式优选投资主体，统筹安排供用能基础设施建设。具有全国示范意义的重点项目，可由省级能源主管部门报国家发展改革委、国家能源局备案，国家发展改革委、国家能源局组织有资质的第三方机构进行审核认定，向社会统一公告。

（二）加强组织协调


国家发展改革委、国家能源局会同有关部门推进和指导多能互补集成优化示范工程的实施，组织制定相关政策和示范工程评价标准，协调政策落实中的重大问题。各省（区、市）能源主管部门应研究制定多能互补集成优化示范工程实施方案，负责省（区、市）示范项目的组织协调和监督管理，优化和简化项目核准程序，协调解决项目实施过程中的问题，及时向有关部门报告执行中出现的问题及政策建议，确保示范项目建设进度、质量和示范效果。

（三）强化事中事后监管

国家能源局派出机构应加强对多能互补集成优化示范工程事中事后监管，针对规划编制和实施、项目核准、价格财税扶持政策、并网和调度运行等情况出具监管意见，推动多能互补集成优化示范工程有效实施。

国家发展改革委

国家能源局

2016年7月4日 

财政部、国家税务总局： 光伏发电企业税收优惠将延续

据财政部网站 8 月 25 日消息，财政部、国家税务总局近日联合发布《关于继续执行光伏发电增值税政策的通知》通知显示，自 2016 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日，对纳税人销售自产的利用太阳能生产的电力产品，实行增值税即征即退 50% 的政策。已征的可用于抵减以后月份的增值税或予以退还。

为支持中国光伏发电市场发展，两部门曾于 2003 年印发期限为当年 10 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日的增值税优惠政策。据国家能源局统计，截至 2015 年底，我国光伏发电装机容量已达 4318 万千瓦，成为全球光伏发电装机容量最大的国家。

以下为通知全文：

关于继续执行光伏发电增值税政策的通知

财税[2016]81 号

各省、自治区、直辖市、计划单列市财政厅（局）、国家税务局，新疆生产建设兵团财务局：

经国务院批准，继续对光伏发电实行增值税优惠政策，现将有关事项通知如下：

自 2016 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日，对纳税人销售自产的利用太阳能生产的电力产品，实行增值税即征即退 50% 的政策。文到之日前，已征的按本通知规定应予退还的增值税，可抵减纳税人以后月份应缴纳的增值税或予以退还。

请遵照执行。

财政部 国家税务总局

2016 年 7 月 25 日

（来源：财政部）

我国首个自主新能源 专业气象预报平台投入运行

“十三五”规划纲要明确提出，深入推进能源革命，着力推动能源生产利用方式变革，优化能源供给结构，提高能源利用效率，建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系。

目前，新能源行业在国家政策的大力扶持下快速的发展，然而就风电、光伏发电行业来说，仍面临着资源评估成本高、发电预报精度低等难题，对于新能源投资开发运营来说，快捷、准确、方便的掌握专业新能源气象特征及资源状况是项目管理的基础。

北京能量魔方数据技术有限公司（以下简称能量魔方）于今年6月22日正式推出新能源专业气象预报服务平台，面向行业提供全天候7×24的风速、辐照度等气象服务。

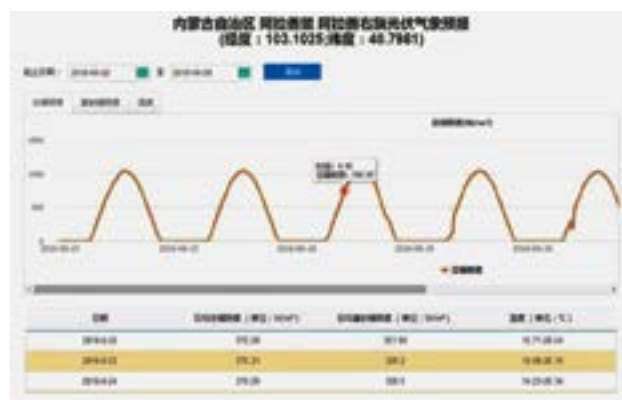
能量魔方总经理韩东升表示：“能量魔方作为可再生能源大数据领域的先行者，始终聚焦于推动清洁能源的发展与应用。此次推出的专业气象服务，通过900多座专业气象站的实时数据与数值天气预报的深度同化，实现了全国范围内的定点预报服务。结合已推出的资源评估服务，能量魔方公司已经可以为电场的微观选址、设备选型、生产运行提供直接的气象数据应用服务，同时可以为地方政府、投资集团提供专属定制集成服务，掌控及布局所属新能源产业的规划与发展方向。新能源的产业发展离不开专业、精准、及时的气象服务，这将是能量魔方打造的核心能力之一。”

能量魔方以地理数据为基础，结合资源、气象、电场、设备、并网、限电等产业大数据，为新能源投资企业、地方政府、电网在新能源开发、装备技术创新、产业金融等领域提供深度的数据挖掘和专业的应用服务。

据悉，该气象平台旨在为全国新能源行业用户提供专业的风力、光伏气象预报数据。强大的在线平台可以帮助风电场和光伏电站更完善、更便捷地了解与掌握光伏、风电系统的发电效率。



能量魔方气象服务光伏预报全景图



能量魔方光伏气象预报表

气象预报平台以超高精度的数据，推算出未来 7 天的气象情况，其水平分辨率达 9 公里 × 9 公里，时间分辨率为 15 分钟的风向、风速、辐照度等气象专业数据，通过全景展示窗口查看气象因素的整体运动情况。除此之外，便捷的操作流程，个性化的定制服务以及跨平台接收信息。



能量魔方气象服务风力预报全景图



能量魔方风力气象预报表

作为国内首个面向新能源全行业的公共气象服务平台，可有效的推动新能源使用普遍化、常态化发展。“气象服务”超高的预测精度，便捷的操作性能，单点和区域的个性定制服务以及全景式展示气象因素的整体变化情况，为资源评估、电场运行提供直接决策支撑。

(来源: PV001 光伏网)



分布式电站 8 种开发模式总结

1. EPC 模式

又称设计、采购、施工一体化模式。是指在项目决策阶段以后，从设计开始，经招标，委托一家工程公司对设计 - 采购 - 建造进行总承包。在这种模式下，按照承包合同规定的总价或可调总价方式，由工程公司负责对工程项目的进度、费用、质量、安全进行管理和控制，并按合同约定完成工程。EPC 有很多种衍生和组合，例如 EP+C、E+P+C、EPCm、EPCs、EPCa 等。

(1) 优点：

业主把工程的设计、采购、施工和开工服务工作全部托付给工程总承包商负责组织实施，业主只负责整体的、原则的、目标的管理和控制，总承包商更能发挥主观能动性，能运用其先进的管理经验为业主和承包商自身创造更多的效益；提高了工作效率，减少了协调工作量；设计变更少，工期较短；

由于采用的是总价合同，基本上不用再支付索赔及追加项目费用；项目的最终价格和要求的工期具有更大程度的确定性。

(2) 缺点：

业主不能对工程进行全程控制；总承包商对整个项目的成本工期和质量负责，加大了总承包商的风险，总承包商为了降低风险获得更多的利润，可能通过调整设计方案来降低成本，可能会影响长远意义上的质量；

由于采用的是总价合同，承包商获得业主变更令及追加费用的弹性很小。

2. 项目管理承包 (PMC) 模式

PMC 即 Project Management Consultant，即项目管理承包。指项目管理承包商代表业主对工程项目进行全过程、全方位的项目管理，包括进行工程的整体规划、

项目定义、工程招标、选择 EPC 承包商，并对设计、采购、施工、试运行进行全面管理，一般不直接参与项目的设计、采购、施工和试运行等阶段的具体工作。PMC 模式体现了初步设计与施工图设计的分离，施工图设计进入技术竞争领域，只不过初步设计是由 PMC 完成的。

(1) 优点

可以充分发挥管理承包商在项目管理方面的专业技能，统一协调和管理项目的设计与施工，减少矛盾；有利于建设项目投资的节省；该模式可以对项目的设计进行优化，可以实现在给项目生存期内达到成本最低；在保证质量优良的同时，有利于承包商获得对项目未来的契股或收益分配权，可以缩短施工工期，在高风险领域，通常采用契股这种方式来稳定队伍。

(2) 缺点

业主参与工程的程度低，变更权利有限，协调难度大；业主方很大的风险在于能否选择一个高水平的项目管理公司。该模式通常适用于：项目投资在 1 亿美元以上的大型项目。缺乏管理经验的国家和地区的项目，引入 PMC 可确保项目的成功建成。同时帮助这些国家和地区提高项目管理水平。利用银行或国外金融机构、财团贷款或出口信贷而建设的项目。工艺装置多而复杂，业主对这些工艺不熟悉的庞大项目。

3. 设计—建造 (DB) 模式

即设计 - 建造模式 (Design And Build)，在国际上也称交钥匙模式 (Turn-Key-Operate)。在中国称设计 - 施工总承包模式 (Design-Construction)。是在项目原则确定之后，业主选定一家公司负责项目的设计和施工。这种方式在投标和订立合同时是以总价合同为基础的。设计 - 建造总承包商对整个项目的成本负责，

他首先选择一家咨询设计公司进行设计，然后采用竞争性招标方式选择分包商，当然也可以利用本公司的设计和施工力量完成一部分工程。

避免了设计和施工的矛盾，可显著降低项目的成本和缩短工期。然而，业主关心的重点是工程按合同竣工交付使用，而不在乎承包商如何去实施。同时，在选定承包商时，把设计方案的优劣作为主要的评标因素，可保证业主得到高质量的工程项目。

(1) 优点

业主和承包商密切合作，完成项目规划直至验收，减少了协调的时间和费用；承包商可在参与初期将其材料、施工方法、结构、价格和市场等知识和经验融入设计中；有利于控制成本，降低造价。国外经验证明：实行 DB 模式，平均可降低造价 10% 左右；有利于进度控制，缩短工期；风险责任单一。

从总体来说，建设项目的合同关系是业主和承包商之间的关系，业主的责任是按合同规定的方式付款，总承包商的责任是按时提供业主所需的产品，总承包商对于项目建设的全过程负有全部的责任。

(2) 缺点

业主对最终设计和细节控制能力较低：承包商的设计对工程经济性有很大影响，在 DB 模式下承包商承担了更大的风险；建筑质量控制主要取决于业主招标时功能描述书的质量，而且总承包商的水平对设计质量有较大影响；出现时间较短，缺乏特定的法律、法规约束，没有专门的险种；交付方式操作复杂，竞争性较小。

4. 平行发包 (DBB) 模式

即设计 - 招标 - 建造模式 (Design-Bid-Build)，它是一种在国际上比较通用且应用最早的工程项目发包模式之一。指由业主委托建筑师或咨询工程师进行前期的各项工作（如进行机会研究、可行性研究等），待项目评估立项后再进行设计。在设计阶段编制施工招标文件，随后通过招标选择承包商；而有关单项工程的分包和设备、材料的采购一般都由承包商与分包商和供应商单独订立合同并组织实施。在工程项目实施阶段，工程师则为业主提供施工管理服务。这种模式最突出的特点

是强调工程项目的实施必须按照 D-B-B 的顺序进行，只有一个阶段全部结束另一个阶段才能开始。

(1) 优点

优点表现在管理方法较成熟，各方对有关程序都很熟悉，业主可自由选择咨询设计人员，对设计要求可控制，可自由选择工程师，可采用各方均熟悉的标准合同文本，有利于合同管理、风险管理和减少投资。

(2) 缺点

项目周期较长，业主与设计、施工方分别签约，自行管理项目，管理费较高；设计的可施工性差，工程师控制项目目标能力不强；不利于工程事故的责任划分，由于图纸问题产生争端多索赔多等。该管理模式在国际上最为通用，以世行、亚行贷款项目和国际咨询工程师联合会 (FIDIC) 的合同条件为依据的项目均采用这种模式。中国目前普遍采用的“项目法人责任制”、“招标投标制”、“建设监理制”、“合同管理制”基本上参照世行、亚行和 FIDIC 的这种传统模式。

5. 施工管理承包 (CM) 模式

Construction Management Approach 模式又称“边设计、边施工”方式。分阶段发包方式或快速轨道方式，CM 模式是由业主委托 CM 单位，以一个承包商的身份，采取有条件的“边设计、边施工”，着眼于缩短项目周期，也称快速路径法。即 FastTrack 的生产组织方式进行施工管理，直接指挥施工活动，在一定程度上影响设计活动，而它与业主的合同通常采用“成本 + 利润”方式的这样一种承发包模式。此方式通过施工管理商来协调设计和施工的矛盾，使决策公开化。其特点是由业主和业主委托的工程项目经理与工程师组成一个联合小组共同负责组织和工程的管理、设计和施工。完成一部分分项（单项）工程设计后，即对该部分进行招标，发包给一家承包商，无总承包商，由业主直接按每个单项工程与承包商分别签订承包合同。

这是近年在国外广泛流行的一种合同管理模式，这种模式与过去那种设计图纸全都完成之后才进行招标的连续建设生产模式不同，一般的招标发包方式与阶段发包方式的比较。

CM 模式的两种实现形式：CM 单位的服务，分代理型和非代理型。

(1) 代理型 CM (“Agency” CM)：以业主代理身份工作，收取服务酬金。

(2) 风险型 CM (“At-Risk” CM)：以总承包身份，可直接进行分包，直接与分包商签合同，并向业主承担保证最大工程费用 GMP，如果实际工程费超过了 GMP，超过部分由 CM 单位承担。

(1) 优点

在项目进度控制方面，由于 CM 模式采用分散发包，集中管理，使设计与施工充分搭接，有利于缩短建设周期；

CM 单位加强与设计方的协调，可以减少因修改设计而造成的工期延误；

在投资控制方面，通过协调设计，CM 单位还可以帮助业主采用价值工程等方法向设计提出合理化建议，以挖掘节约投资的潜力，还可以大大减少施工阶段的设计变更。如果采用了具有 GMP 的 CM 模式，CM 单位将对工程费用的控制承担更直接的经济责任，因而可以大大降低业主在工程费用控制方面的风险；

在质量控制方面，设计与施工的结合和相互协调，在项目上采用新工艺、新方法时，有利于工程施工质量的提高；5) 分包商的选择由业主和承包人共同决定，因而更为明智。

(2) 缺点

对 CM 经理以及其所在单位的资质和信誉的要求都比较高；分项招标导致承包费可能较高；CM 模式一般采用“成本加酬金”合同，对合同范本要求比较高。

6. 建造 - 运营 - 移交 (BOT) 模式：

即建造 - 运营 - 移交 (Build - Operate - Transfer) 模式。是指一国财团或投资人为项目的发起人，从一个国家的政府获得某项目基础设施的建设特许权，然后由其独立地联合其他方组建项目公司，负责项目的融资、设计、建造和经营。在整个特许期内，项目公司通过项目的经营获得利润，并用此利润偿还债务。在特许期满之时，整个项目由项目公司无偿或以极少的名

义价格移交给东道国政府。

BOT 模式的最大特点是由于获得政府许可和支持，有时可得到优惠政策，拓宽了融资渠道。BOOT、BOO、DBOT、BTO、TOT、BRT、BLT、BT、ROO、MOT、BOOST、BOD、DBOM 和 FBOOT 等均是标准 BOT 操作的不同演变方式，但其基本特点是一致的，即项目公司必须得到政府有关部门授予的特许权。该模式主要用于机场、隧道、发电厂、港口、收费公路、电信、供水和污水处理等一些投资较大、建设周期长和可以运营获利的基础设施项目。

(1) 优点

可以减少政府主权借债和还本付息的责任；可以将公营机构的风险转移到私营承包商，避免公营机构承担项目的全部风险；可以吸引国外投资，以支持国内基础设施的建设，解决了发展中国家缺乏建设资金的问题；BOT 项目通常都由外国的公司来承包，这会给项目所在国带来先进的技术和管理经验，既给本国的承包商带来较多的发展机会，也促进了国际经济的融合。

(2) 缺点：

在特许权期限内，政府将失去对项目所有权和经营权的控制；参与方多，结构复杂，项目前期过长且融资成本高；可能导致大量的税收流失；可能造成设施的掠夺性经营；在项目完成后，会有大量的外汇流出；风险分摊不对称等。政府虽然转移了建设、融资等风险，却承担了更多的其他责任与风险，如利率、汇率风险等。

7. 公共部门与私人企业合作模式 (PPP)

民间参与公共基础设施建设和公共事务管理的模式统称为公私 (民) 伙伴关系 (PublicPrivatePartnership—简称 PPP)。具体是指政府、私人企业基于某个项目而形成的相互间合作关系的一种特许经营项目融资模式。由该项目公司负责筹资、建设与经营。政府通常与提供贷款的金融机构达成一个直接协议，该协议不是对项目进行担保，而是政府向借贷机构做出的承诺，将按照政府与项目公司签订的合同支付有关费用。这个协议使项目公司能比较顺利地获得金融机构的贷款。而项目的预期收益、资产以及政府的扶持力度将直接影响贷款的数

量和形式。采取这种融资形式的实质是，政府通过给予民营企业长期的特许经营权和收益权来换取基础设施加快建设及有效运营。

PPP 模式适用于投资额大、建设周期长、资金回报慢的项目，包括铁路、公路、桥梁、隧道等交通部门，电力煤气等能源部门以及电信网络等通讯事业等。

无论是在发达国家或发展中国家，PPP 模式的应用越来越广泛。项目成功的关键是项目的参与者和股东都已经清晰了解了项目的所有风险、要求和机会，才有可能充分享受 PPP 模式带来的收益。

(1) 优点：

公共部门和私人企业在初始阶段就共同参与论证，有利于尽早确定项目融资可行性，缩短前期工作周期，节省政府投资；可以在项目初期实现风险分配，同时由于政府分担一部分风险，使风险分配更合理，减少了承建商与投资商风险，从而降低了融资难度；参与项目融资的私人企业在项目前期就参与进来，有利于私人企业一开始就引入先进技术和管理经验；

公共部门和私人企业共同参与建设和运营，双方可以形成互利的长期目标，更好地为社会和公众提供服务；使项目参与各方整合组成战略联盟，对协调各方不同的利益目标起关键作用；政府拥有一定的控制权。

(2) 缺点：

对于政府来说，如何确定合作公司给政府增加了难度，而且在合作中要负有一定的责任，增加了政府的风险负担；组织形式比较复杂，增加了管理上协调的难度；如何设定项目的回报率可能成为一个颇有争议的问题。

8. 合同能源管理模式 (EPC)

以前的通俗叫法是 EMC，最新国际标准为 EPC(Energy Performance Contracting)。

是服务商通过与客户签订节能服务合同，为客户提供包括：能源审计、项目设计、项目融资、设备采购、工程施工、设备安装调试、人员培训、节能量确认和保证等一整套的节能服务，并从客户进行节能改造后获得的节能效益中收回投资和取得利润。

按照合同能源管理模式运作节能项目，在节能改造后，客户原先单纯用于支付能源费用的资金，可同时支付新的能源费用和改造的费用。合同期后，客户享有全部的节能效益。

(1) 优点

合同能源管理能帮助用户规避了节能项目的资金风险、质量风险、安全风险，节能服务公司以财产抵押来确保项目节能效益的承诺；客户项目的长期节能效益成为节能服务公司的法定责任。

用户用浪费的能源，转化为“零投资”的新技术设备；用浪费的能源，来投资节能改造；节能服务公司用新技术设备来换取用户浪费的能源，化废为宝，点石成金，实现多赢。

在国家、企、事业专项节能改造投资资金不足的情况下，用户可用外来资金完成节能改造项目。消除用户对节能投资的财务压力，消除用户对节能效果的担心。

(2) 缺点

我国的 EMCo 很难通过银行等金融机构为合同能源管理项目融资，希望国家支持节能的有关基金也能划出一部分经费用于提高银行及其他非银行金融机构为 EMCo 节能项目的投资和融资能力。

投资方无法按时按量的回收节能投资款，由于种种原因，投资方经常无法按时按量的收回投资节能分享款，导致投资方现金流短缺无法进行正常业务。

在甲乙双方商务谈判中，甲方（被投资方）总是在想着乙方（投资方）到底多挣了多少钱，就不想投资方为此要承担多少风险。

同质化竞争严重，合同能源管理项目其实是很好做的。只要买了这些节能产品，谁都可以做合同能源管理项目。关键就要看谁肯出低价，谁和客户的关系过硬。

总结

上述合作模式都是在不同的条件下，经过市场运作和检验而形成的，但合作模式不是固定不变的，上述 8 种合作模式都可以在特定的条件下进行调整，也以经过创造提出全新的合作模式，唯一的准则就是要符合各方利益的诉求，满足特定的条件。🌱

侧风对风轮最大及平均应力特性的影响研究

□ 内蒙古工业大学 能源与动力工程学院^① 风能太阳能利用技术省部共建教育部重点实验室^②
杨柳^① 汪建文^{①②} 马剑龙^① 魏海姣^① 张彦奇^① 李佩林^①

摘要: 基于单向流固耦合分析方法, 针对最大应力和平均应力两类变量, 开展侧风工况下风轮应力特性的分析。研究发现: 风轮最大应力均出现在一阶对称振型处; 侧风角小于 5° 时, 随侧风角的增加, 风轮最大应力值逐渐降低, 而侧风角在 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 时, 其达到峰值, 此时的激振力达到极值, 故该侧风角被称为“最恶劣侧风角”, 同时, 随着风轮转速的增加, 该最大应力峰值越发显著; 最后发现风轮的平均应力值随侧风角增加逐渐降低。

关键词: 风力机 风轮 侧风 最大应力 平均应力

引言

风力机大多数工作在复杂的自然环境条件中, 因此风力机总是处于频繁变化的风况(风速、风向)中, 导致风力机始终不能及时、完全的对准自然风的来流方向,^[1]从而使风力机在运行过程中产生偏侧风。因此探究风轮应力特性随侧风工况的变化规律, 对增加风力机的寿命和运行的安全性具有重要的理论意义和工程实用价值。近年来国外相关研究已初探性揭示, Baran Ismet 等人利用三维欧拉热化学分析和二维准静态的平面应力学分析相结合的方法, 对叶片内部应力和残余应力进行分析^[2]。Schreck, S, Robinson, M. 等人研究在非稳态偏侧风下失速涡对叶片受力的影响^[3]。Braaten, Mark E., Seeley, Charles 等人利用双向流固耦合方法分析了偏

侧风下风力机叶片的变形和应力变化情况^[4]。在国内关于风轮应力特性的研究也有很多, 并且通过相关研究人员的努力, 也取得了不错的成绩: 白叶飞等人利用旋转遥测技术对 NACA4415 翼型叶片进行测试, 得到风力机叶片应力集中位置^[5]。侯西等人利用有限元软件, 通过仿真分析获得叶片的静压及应力分布, 在气动载荷作用下, 叶片最大应变位于叶片的 $0.6R$ 处, 利用光纤光栅传感器对叶片进行实验验证^[6]。同时对于侧风对风力机影响的研究也有一些: 重庆大学运用相对运动法对偏侧风进行矢量分解, 从气动性能的计算模型中分离出了偏侧风扰项, 分析了偏侧风对风力机气动性能的影响^[1]。刘博等人最先提出了侧风并且研究了侧风因素对风力机叶片的激振作用^[7]。

基金项目: 国家自然科学基金项目(51466012); 内蒙古自然科学基金项目(2013MS0726); 风能太阳能利用技术省部共建教育部重点实验室开放基金项目(201408); 内蒙古工业大学科学研究基金项目(X201218)。

作者简介: 杨柳(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为侧风对风轮动态特性的研究。

汪建文(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为可再生能源开发利用技术。

综合国内、外文献分析可知，近年来国外相关侧风对风轮应力特性方面的研究已初探性揭示，但是对于国内风轮应力特性研究的很多，侧风对风轮气动特性的影响研究也有一些，但是关于侧风对风轮应力特性研究却很少。

1. 数学模型

本文通过分别选取风速 5m/s~9m/s 和风轮转速 45.71rad/s、57.14rad/s、68.57rad/s、80rad/s、91.43rad/s 两种不同工况，同时对每个工况设定侧风角度为 0°、5°、10°、15°、20°、25°、30°，利用上述不同侧风工况来揭示风轮应力特性随侧风角的变化规律。

流场计算域分为旋转区域和静止区域两部分，其中，旋转区域为风轮扫略区域，流场计算模型如图 1 所示。为了获得较为精确的风轮表面气动载荷，因此静止域采用非结构化网格，自动划分，网格数量约为 30 万，旋转域采用六面体结构化网格，网格数量约为 170 万。并且对网格进行了分层网格加密处理，如图 2 所示网格剖面。

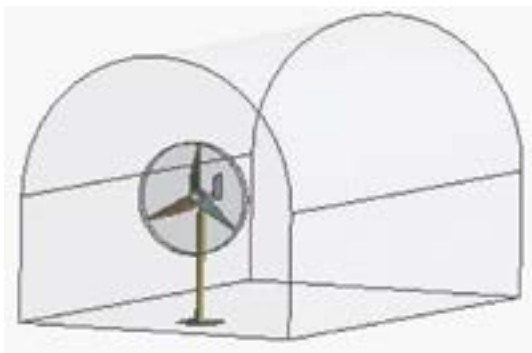


图 1: 计算模型

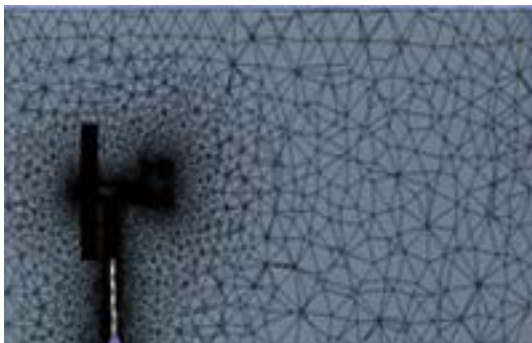


图 2: 网格剖面图

2. 计算结果分析

2.1 最大应力值随侧风角的变化规律

首先在定风轮转速与定来流风速两种情况下，设定不同侧风工况对风力机进行稳态结构模拟，首先详细分析研究风轮最大应力值随侧风角的变化规律以及各侧风工况下风轮最大应力值位置的变化情况。

经数值模拟，首先发现风轮最大应力值均出现一阶对称振型处，即在侧风工况下风轮应力、应变在一阶对称振型时达到最大，一阶对称振型如图 4 中的 c) 图所示。

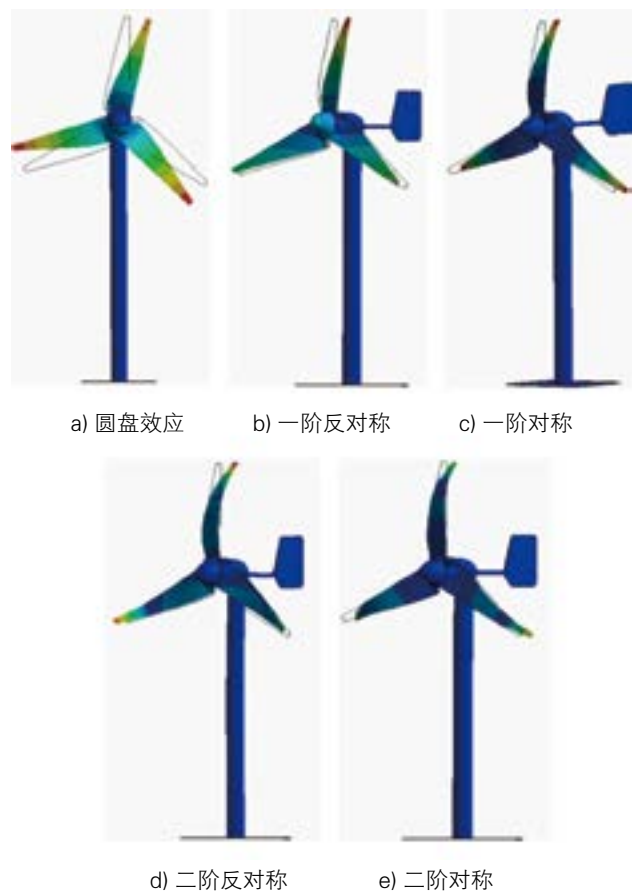


图 3: 风力机振型

如图 4 定转速条件下风轮最大应力值随侧风角变化情况所示，当侧风角度不变时，随着来流风速的增加风轮最大应力值逐渐增大，这是由于风轮在旋转过程中，风速增加，导致攻角增加，使叶片表面气动力增加，因此风轮最大应力值也相应升高，同时，当侧风风速不变时，随侧风角的增加，风轮受力面积减少。风轮最大应力值在侧风角 0° ~ 5° 之间逐渐降低，即当侧风角小

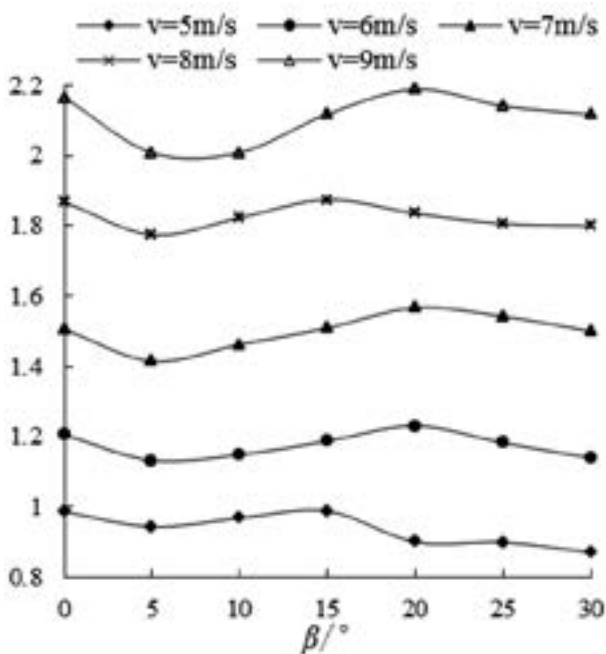


图 4: 风轮最大应力值随侧风角的变化 (定转速)

于 5° ，风轮最大应力值随侧风角增加而逐渐降低；但从图 5 可知在侧风角 15° 或者 20° 时风轮最大应力达到峰值，此时侧风角 15° 或 20° 被称为最恶劣侧风角，其原因可能是如有些文献所揭示的那样：侧风存在气动载荷的不对称性，即侧风存在激振力。将该侧风角定义为“最恶劣侧风角”。

如图 4 定风速下风轮最大应力值随侧风角变化情况所示，当侧风角不变时，随着风轮转速的增加风轮最大应力值逐渐增大，由于风轮转速越大，受到离心力作用越强，导致叶片刚度增加，因此风轮最大应力值也随之增大，当风轮转速不变时，随着侧风角的增加，如同上述风轮最大应力值在侧风角小于 5° 时呈现降低趋势，但在侧风角 $15^\circ \sim 20^\circ$ 时风轮最大应力值达到峰值，故侧风角 $15^\circ \sim 20^\circ$ 为最恶劣侧风角。当侧风角从 $15^\circ \sim 20^\circ$ 开始增加时，风轮最大应力值又开始呈现下降的趋势。同时，从图 5 中可以看出当侧风角为 $15^\circ \sim 20^\circ$ （最恶劣侧风角）时，随着风轮转速的增加，该最大应力值峰值的幅度越来越大，即随着风轮转速的增加，该最大应力值峰值逐渐趋于显著。

为了获得最大应力值随侧风工况的变化情况，如图 4 和 5 所示则是在定转速以及定风速下风轮最大应力值

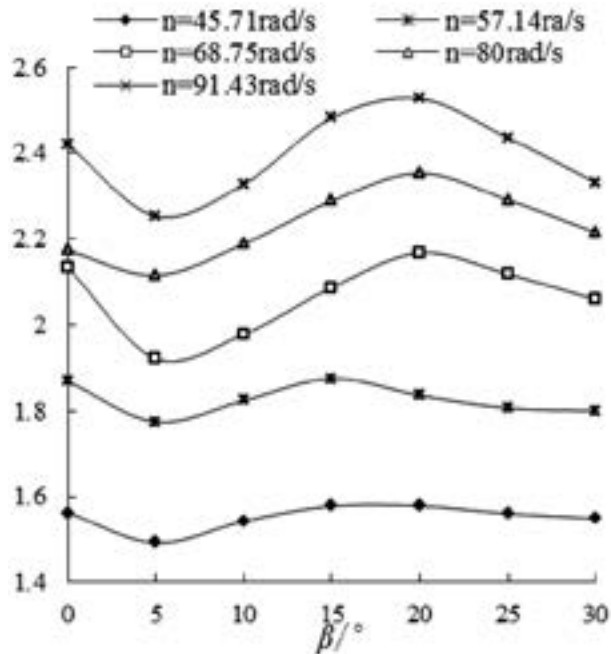


图 5: 风轮最大应力值随侧风角的变化 (定风速)

随侧风角的变化情况。在图中为风轮最大应力值，为侧风角。

2.2 平均应力值随侧风角的变化规律

由于上述研究的最大应力变化规律，仅能表征风轮局部位置的应力值随侧风工况的变化情况，如果想要捕捉风轮的平均应力分布情况，只能研究风轮平均应力值随侧风角的变化情况。

基于稳态结构计算，首先通过捕捉风轮表面每个单元格的应力大小，然后通过数据软件求平均值，进而获得各个侧风工况下风轮的平均应力值，同时通过计算研究发现平均应力不管是定转速还是定风速的变化规律都是一致的，因此为了避免数据的繁琐，本文就定转速下风轮的应力值随侧风工况的变化情况进行数据地呈现，也为此后风轮振动频率的变化规律提供必要的支持。如图 6 风轮平均应力值随侧风角的变化，图中为风轮平均应力值，由图 6 可知虽然风轮的平均应力值随侧风角的变化规律与风轮最大应力值有所不同，风轮平均应力值随侧风角的增加却是逐渐降低的，其原因是由于随着侧风角的增加，作用于风轮的平均气动载荷是逐渐减少的。

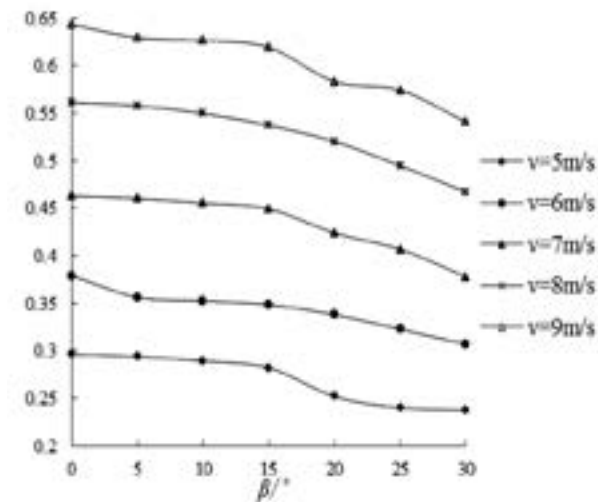


图 6: 风轮平均应力值随侧风角的变化

3. 结论

基于单向流固耦合分析方法, 对侧风作用下的风力机的最大应力及平均应力随侧风角的变化规律如下:

1) 研究发现风轮最大应力值均出现在一阶对称振型处。

2) 发现了最恶劣侧风角的存在: 随侧风角的逐渐增加, 风轮最大应力、应变值在侧风角在小于 5° 时逐渐降低; 而当侧风角为 $15^\circ \sim 20^\circ$ 时, 风轮应力最大值规律性地出现峰值, 此时侧风激振力达到极值。所以,

侧风角在 $15^\circ \sim 20^\circ$ 之间被称为最恶劣侧风角, 同时, 随着风轮转速的增加, 该最大应力、的峰值越来越显著。

3) 基于稳态结构计算, 通过捕捉风轮表面每个单元格的应力大小, 求解各个侧风工况下风轮的平均应力值, 该平均应力值的大小随着侧风角的增加逐渐降低。

参考文献:

- [1] 杨军, 秦大同. 偏侧风对风力机气动性能的影响[J]. 太阳能学报, 2011, 32(4):537-542.
- [2] Baran Ismet, Tutum Cem C., Hattel Jesper The internal stress evaluation of pultruded blades for a darrieus wind turbine[J]. Key Engineering Materials, 2013, V554-557: 2127-2137
- [3] Schreck, S, Robinson, M, Simms, D. Haw dynamic stall response asymmetries under yaw flow conditions[J]. ASME Wind Energy Symposium, 2000, 1:183-196.
- [4] Braaten, Mark E., Seeley, Charles, Tooley, Michael. High fidelity fluid-structure interaction analysis of a wind turbine blade[J]. Structures Structural Dynamics. 2013, 54:408-412
- [5] 白叶飞, 汪建文, 赵元星等. 风力机叶片动态应变分布特征的研究[J]. 可再生能源, 2014, 32(3): 306-311
- [6] 侯西, 张锦光, 胡业发. 小型风力机叶片的流场仿真和应变实验研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2013, 35(1): 11-14
- [7] 刘博. 侧风因素导致风力机振动的初步研究[J]. 太阳能学报. 1987, 8(3):227-230



储能技术融合分布式可再生能源的现状与发展趋势

中国电力科学研究院的研究人员李建林、马会萌、惠东，在 2016 年第 14 期《电工技术学报》上撰文指出，分布式发电能够充分利用可再生能源实现节能减排，是集中式发电的有效补充，利用储能系统的双向功率能力和灵活调节特性可以提高系统对分布式电源的接纳能力，具有广阔的应用前景。

首先汇总了多种主流储能技术目前在电力系统中的应用规模及其本体关键参数，并从储能设备自身特点和电力系统对储能的需求出发，分析各储能技术的优势和不足，提出了可能突破的方向及发展预期。

然后从应对分布式可再生能源大量接入给电网带来的问题出发，归纳了储能技术在融合分布式可再生能源方面的应用模式，分析了国内外的应用现状及不足，最后从本体发展和应用技术层面探讨了储能技术的未来发展方向。

分布式发电能够充分利用可再生能源，是实现节能减排目标的重要举措，也是集中式发电的有效补充^[1]。作为第三次工业革命的重要特征之一，分布式发电尤其是分布式光伏发电飞速发展，至 2014 年底，我国分布式光伏发电装机容量达 8GW，并且新一轮电力体制改革力推分布式能源。

中央发布的《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》^[2]（中发[2015]第9号）明确规定“允许拥有分布式电源的用户或微网参与电力交易”，“全面开放用户侧分布式电源市场，积极开展分布式电源项目的各类试点和示范”，可以预见分布式发电将拥有更广阔的发展空间。然而可再生能源发电的特性对系统的电压稳定、可靠性和电能质量将产生影响。

针对该问题，当前储能技术在可再生能源发电领域中的重要补充作用已基本得到业内认可，利用储能系统的双向功率能力和灵活调节特性可以提高系统对分布式电源的接纳能力。随着储能技术日益成熟、成本不断降低，以及未来智能配电网的发展，其在促进分布式电源消纳领域将拥有更广阔的应用前景。

本文首先介绍了储能本体技术的特点及发展现状，归纳了储能在促进分布式可再生能源消纳方面的应用情

况，并从应用技术、评估技术和本体技术层面对其未来发展方向进行了探讨。

1. 储能技术的特点及发展现状

储能技术包含本体技术与应用技术，本体技术是储能技术的基础。储能本体形式按照能量储存形式，可以分为机械储能、电磁储能、化学储能和相变储能。化学储能目前来看主要有电化学储能、氢储能等；电化学储能又包括锂离子电池、液流电池、铅酸电池、钠硫电池等典型的二次电池体系，以及新兴的二次电池体系（钠离子电池、锂硫电池、锂空气电池等）。

对于电力系统应用而言，储能系统的基本技术特征体现在功率等级及其作用时间上，储能的作用时间是区别于电力系统传统即发即用设备的显著标志，是储能技术价值的重要体现，是特有的技术特征。储能所拥有的这一独特技术特征将改变现有电力系统供需瞬时平衡的传统模式，在能源革命中发挥重要作用。

储能技术在电力系统的应用涉及发输配用各个环节^[3,4]，在促进集中式和分布式可再生能源消纳领域的应用已备受关注。其中在集中式可再生能源领域应用的项目数、装机容量占比均最大，增长态势最明显，在分布

式可再生能源领域应用的项目数占比增长速率较快。

据不完全统计，近 10 年来全球 MW 级以上规模的储能示范工程约 190 个，其中超过 120 个与电化学储能相关，主要储能类型项目数占比如图 1 所示。这些项目均以电池作为主要装置载体，采用的电池类型包括钠硫、液流、锂离子、铅酸等，国际上各示范工程对储能本体的选型表明现阶段电化学储能的技术基础积累优于其他类型的储能技术。

从电化学储能装机容量方面分析，MW 级储能项目中主要类型储能总装机增长趋势如图 2 所示。图 2 显示：锂离子电池储能前期装机容量小，自 2012 年后，其装机容量得到大幅提升，在电池储能中位列最高。铅酸电池自 2012 年后处于停滞状态，钠硫装机容量在 2011 年之后位居第一，之后增长缓慢。

从图 2 中可看出，在电化学储能示范项目中，以锂离子电池储能示范项目数、装机容量占比最高，达 48%，增长幅度也最快，可以预见锂离子电池仍将是应用最广的电化学储能技术。

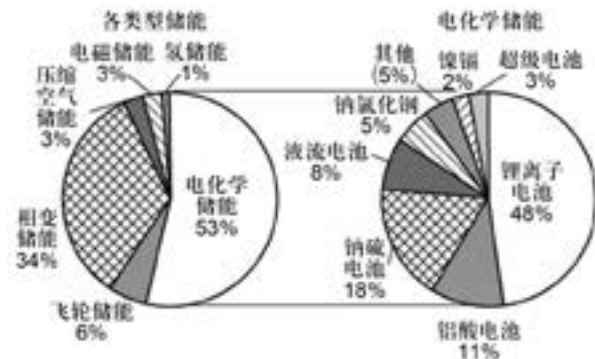


图 1: 主要储能类型项目数占比

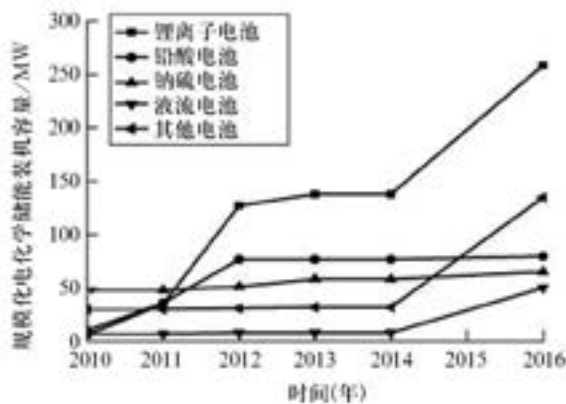


图 2: MW 级储能项目中主要类型储能总装机增长趋势

目前，各种储能的技术发展水平各有不同，在集成功率等级、持续放电时间、能量转换效率、循环寿命、功率/能量密度及成本等方面均有差异，主要储能技术参数见附表 1^[5-14]。

2. 分布式可再生能源领域中的储能应用现状

分布式电源的接入促进了电能与其他能源的融合和转换，促进了多种能源的互补和高效利用。电力、天然气、热能、氢能、生物质能等多种一次和二次能源将在用户侧得到综合利用，联合提供用户所需的终端用能服务。

而分布式电源的接入使配电网变成有源电网，对配电网规划、并网管理、运行、经营服务等提出了很大的挑战^[15,16]。主动配电网（Active Distribution Network, ADN）有机整合先进信息通信、电力电子及智能控制等技术，为实现分布式可再生能源大规模并网与高效利用提供了一种有效解决方案^[17]。而储能技术作为主动配电网的必要环节，通过与分布式电源一同并入电网，对电网起到支撑作用，图 3 为储能技术促进分布式发电并网的典型拓扑结构。

在促进分布式可再生能源发电灵活接入和高效利用^[18]中的作用主要有：①抑制分布式电源的功率波动，减少分布式电源对用户电能质量的影响^[19,20]；②为未来可能出现的直流配电网及直流用电设备的应用提供支持；③增强配电网潮流、电压控制及自恢复能力，提高配电网对分布式发电的接纳能力^[21,22]；④提供时空功率和能量调节能力，提高配电设施利用效率，优化资源配置。

微网将分布式发电装置、负荷、储能以及控制装置有机结合接入中低压配电系统中。既可与电网联网运行，也可在电网故障或需要时与主网断开单独运行，是分布式可再生能源有效利用的重要形式^[23,24]。

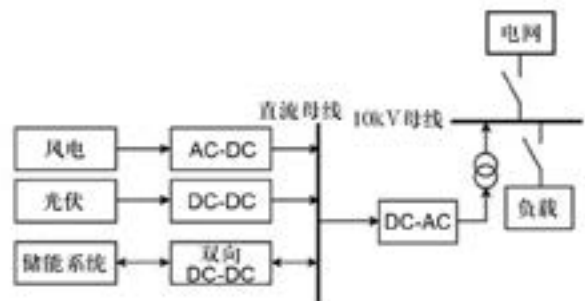


图 3: 基于直流母线方式的分布式发电系统

图 4 为典型的微网拓扑结构，包括微型燃气轮机、风力发电机、光伏电池、燃料电池和蓄电池等多种微电源形式。

储能是微电网中的必要元件^[25]，在微电网的运行管理中发挥如下重要作用：①实现微电网与电网联络线功率控制，满足电网的管理要求；②作为主电源，维持微电网离网运行时电压和频率的稳定^[26]；③为微电网提供快速的功率支持，实现微电网并网和离网运行模式的灵活切换；④参与微电网能量优化管理，兼顾不同类型分布式电源及负荷的输出特性，实现微电网经济高效运行。

不同工况提出的储能技术需求不同，应结合储能本体的技术特点进行储能选型。按照放电时间尺度划分，储能技术可分为功率型储能和能量型储能。功率型储能适用于短时间内对功率需求较高的场合，如微电网离网运行时暂态支撑。能量型储能适用于对能量需求较高的场合，如抑制分布式电源的功率波动、提升分布式能源汇聚效应等，见表 1。

国际上，美国、日本、欧洲很多国家和地区都在储能提高分布式能源利用率、新型智能用电等方面展开了积极的示范，验证了储能在调峰、调频、应急供电的作用。从国内的应用情况来看，示范应用场景主要包括用于新能源的并网发电、配电网的削峰填谷、分布式电源以及

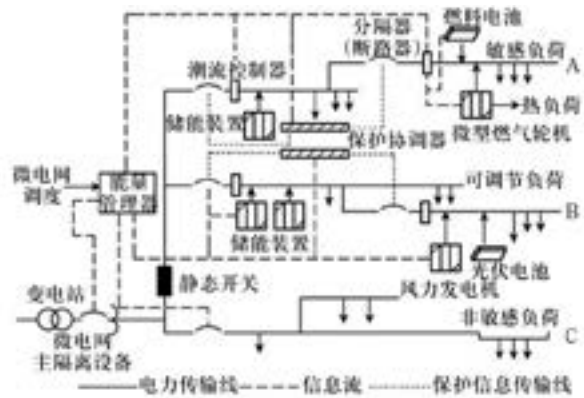


图 4: 经典微网拓扑结构

电能质量改善等。目前这些项目还处于储能系统功能验证的示范运行阶段。

从国内外应用示范所展示或验证的应用功能来看，储能系统在融合分布式电源方面主要取得的成果包括以下几个方面：

(1) 储能融合多能源接入能力应用

国际上，日本、美国、韩国等利用储能平滑风电场或光伏出力波动，抑制可再生发电爬坡率，提高可再生能源的利用率。韩国济州岛风/光/储/柴联合应用项目最具代表性，该项目配置了 0.1MW/2h 的全钒电池储能系统^[17]，借助储能系统双向功率调节能力实现了多能

表 1: 储能技术划分

时间尺度	应用场景	运行特点	对储能的技术要求	适用的储能类型
分钟级以下	改善电能质量 微电网离网运行时暂态支撑	动作周期随机 ms 级响应速度 大功率充放电	高功率 高响应速度 高存储/循环寿命 高功率密度及紧凑型的设备形态	超级电容器 超导磁储能 飞轮储能
分钟至小时级	抑制分布式电源的功率波动 提高配电设施利用效率 增强配电网潮流、电压控制及恢复能力 延缓配电设施扩容改造 提升分布式能源汇聚效应 调频、应急供电 微电网运行模式的灵活切换	充放电转换频繁 s 级响应速度 可观的能量	高安全性 一定的规模 (MW/MW·h 以上) 高循环寿命 (万次以上) 便于集成的设备形态	电化学储能
小时级以上	新型智能用电 配电网的削峰填谷 微电网能量优化管理	大规模能量吞吐	高安全性 大规模 (100MW/100MW 以上) 深充深放 (循环寿命 5000 次以上) 资源和环境友好 成本低	抽水蓄能 压缩空气 熔融盐 储氢

有效互补应用,提出了相应的协调控制策略,但能源类型相对较少,未能反映储能技术在主网与微网互动中的作用。

在国内,位于舟山海岛的风/光/储/海/柴项目配置了多类型储能系统[17],包括200kW/120F的超级电容器储能与1MW/500kW·h的锂离子电池储能。通过研究多类型储能系统的协调控制策略实现平抑风光功率波动及负荷调平功能,提升了风电或光伏跟踪日前调度计划能力,但在应对多类型负荷及新型用电方式情况下的功能未展开示范验证。

(2) 储能提高用户新型用电能力应用

国际上,美国、日本、法国等国示范项目使用户有机会管理其电能消耗及预算,成为“生产消费者”或利用移动式储能参与负荷用电管理。其中尤以美国夏威夷大学智能电网和能量存储示范项目为最[17],将其1MW/1MW·h锂离子电池系统被安装于变电站中,用以减少变压器的高峰负荷。并实施分布式电源/储能装置/微网/不同特性用户(含电动汽车等移动电力用户)接入和统一监控,用以展示储能系统在配网的协同调度,通过基于储能相关的关键技术提高用户新型用电能力。

在国内,最具代表性的为中新天津生态城,它利用储能系统参与用电侧电能管理,将负荷分为不可控负荷、可控负荷和可切负荷不同级别,并配以不同功率等级的储能系统。将源-荷有机地整合在一起,使之变为电网中的一个可控单元,满足不同用户的特定需求。

通过储能系统使负荷变为友好型用电负荷,提升了用电灵活互动能力,降低了大量分布式电源接入对配电网运行的复杂程度,提升了供电可靠性和供电质量。

(3) 提升分布式能源汇聚效应能力应用。

国际上,美国、日本、意大利等国利用分布式储能减少可再生能源发电引起的潮流变化,使变电站与上级电网进行可控的能量交换,或通过热储能为用户提供供冷、供热综合服务。其中基于车网(Vehicle to Grid, V2G)融合技术的理念,日本东京电力公司提出的“BESS SCADA”,对分布在配电网和用户侧的储能单元进行集中的管理和控制。通过对大量储能单元的统一管理和控制,形成大规模的储能能力,但控制上还有欠缺,未充分体现双向互动。

目前国内针对储能汇聚效应的工程还未开展,在薛家岛电动汽车工程示范中基于V2G理念做了类似的尝试,配套建设的集中充电站可同时为360辆乘用车电池充电。在储放功能上,可实现低谷时存储电能,在用电高峰和紧急情况下向电网释放电量,峰谷调节负荷7020kW,最大可达10520kW。但是切入点单一,缺乏基于能源互联系统层面的实现储能汇聚效应的统一规划和全面部署。

综上所述,国内外示范工程中,接入新能源种类局限在1~2种,储能主体以能量型居多,其中又以电化学储能为主导。现有示范工程中储能系统在提供电网辅助服务、平抑风电波动、实现风光多能互补、提高分布式系统供电可靠性等方面都得到了运用。

但兼具几种功能的综合演示鲜见报道,与能源互联网概念结合不够,未充分利用储能的聚合效应和双向调节能力,不能完全适应源-荷协同管理、终端用户和电网的灵活互动,且储能功能较为单一。

局限在单纯的新能源接入、参与新型用户用电、分散式能源汇聚等各种单项技术进行研究和工程示范,鲜有在一个区域中进行集成多种分布式能源和多种储能技术,并且对其能源的管理,缺乏自上而下的总体设计。

国内与国外相比,虽在储能本体的原创技术上总体落后于国外发达国家,但在储能应用技术特别是化学电池储能示范应用方面处于国际先进水平。“十二五”期间由国家电网公司主导,在储能领域取得了显著成绩,建成了天津生态城综合示范、上海世博园、张北风光储综合示范工程等具有影响力的项目。

但这些技术也只是一个区域内实施了单项技术,缺少系统性的多种能源接入与分布式储能应用技术的集成。

在技术推广过程中也暴露出一些不足。

第一,我国能源互联网储能基础理论研究落后于应用技术研究,缺乏从第三次工业革命储能支柱性角度进行顶层设计,多数应用利用已有经验来指导工程设计,没有形成系统化的理论体系做支撑。

第二,对分布式储能关键控制技术的研究多以工程实用为导向,原理上的研究不够深入,与信息物理融合技术的发展并不紧密。

第三,储能关键装置的研究应该以需求为导向,开

发相应的储能接入装置，与能源互联网结合的力度有待提升。

第四，储能系统与能源互联网系统智能用电的交互影响及作用方面，研究尚不充分。这些问题与不足都应在“十三五”期间加以重视。

3. 储能在分布式可再生能源领域中的发展趋势

3.1 本体技术选择依据及对策

3.1.1 评价要素。基于近几年来关于储能技术的研究工作，归纳出大容量储能技术推广应用的关键因素，并提出规模等级、技术水平、经济成本以及技术形态这四项指标，用于判断适于规模化发展的储能技术类型。

未来广泛用于电力系统的储能技术，至少需要达到 MW 级、MW·h 级的规模，而对于现有技术发展水平来说，抽水蓄能、压缩空气储能和电池储能、熔融盐蓄热、氢储能具备 MW 级或 MW·h 级的规模，而飞轮、超导及超级电容器储能很难达到 MW·h 量级。

安全与可靠始终是电力系统运行的基本要求，MW 级、MW·h 级规模的储能系统将对安全与可靠性提出更高的要求。储能系统的安全问题，与储能系统本身的材料体系、结构布局以及系统设计中所考虑的安全措施等因素相关。

尤其对电池储能系统而言，由于在应用过程中往往需要通过串并联成组设计将电池单体组成电池模块及电池系统才能满足应用需求，所以电池系统内部各单体电池的性能一致性问题，也成为影响电池系统安全性与可靠性的又一个因素。

在技术水平方面，首先，转换效率和循环寿命是两个重要指标，它们影响储能系统总成本。低效率会增加

有效输出能源的成本，低循环寿命因导致需要高频率的设备更新而增加总成本。其次，在具体应用中，影响储能系统比能量的储能设备体积和质量也是考虑因素。体积能量密度影响占地面积和空间，质量能量密度则反应了对设备载体的要求。

在经济成本方面，现有电价机制和政策环境下，单就储能技术的成本来讲远不能满足商业应用的需求。以风电应用为例，配套的储能设施单位 kW 投资成本几乎都超出了风电的单位投资成本，同时大规模化的储能系统还要考虑相应的运行维护成本。

因此，所关注的规模化推广的储能技术必须具备经济前瞻性，也就是说应该具备大幅降价空间，或者从长时期来看具有一定显性的经济效益，否则很难推广普及。

衡量一种储能技术能否得到大规模推广运用的第四项指标应是储能系统能否以设备或工程形态（批量化、标准化生产，便于安装、运行与维护）运用在电力系统中。在众多储能方式中，电池储能是契合设备形态需求较好的储能技术类型。

就目前储能技术发展水平而言，实现在电力系统的大规模应用，期望储能效率大于 95%，充放电循环寿命超过 10 000 次，储能系统规模可达到 10MW·h 以上，并具有较高的安全性。在上述基准下，当前各类储能技术现状如图 5 所示。

从对比效果来看，各种储能技术互有短板，距期望值有一定差距，其中锂电池与应用指标差距最大的是寿命和成本，液流电池与应用指标差距最大的是效率和成本。

在促进新能源消纳领域，单一储能配置，从技术角度可以实现储能的多种功能应用。但是从经济性角度，并非优化方案，需要在实际配置中考虑各类型储能的工

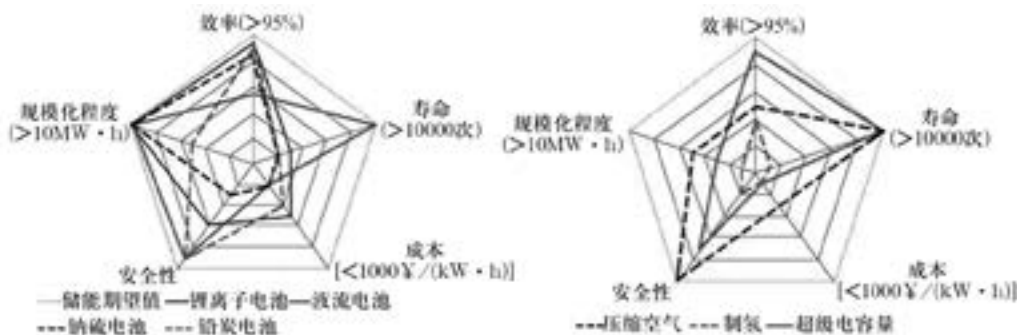


图 5：储能技术现状雷达图

况适应性，采用多元复合储能方案，使不同的储能技术之间可以取长补短，以达到投资和运行成本最优。

到 2020 年，各项储能技术发展期望如图 6 所示。

3.1.2 国内外发展路线。我国提出了在 2020 年之前，针对锂离子电池、全钒液流电池等的研究方向、预期目标。日本 NEDO[27] 发布的关于锂离子电池至 2030 年技术发展路线图中，详细说明了锂离子电池在未来 20 年内的发展趋势与技术指标，并明确列出研发时间节点，为我国相关电池技术的发展提供了良好的参考依据。

美国 DOE 于 2010 年底发布的关于储能技术应用研究的最新报告中，也针对各种储能技术，详细提出在未来 5 ~ 20 年中的技术发展方向与投资成本目标等，并确定超级铅酸与先进铅酸电池、锂离子电池、硫基电池、液流电池、功率型储能电池以及金属空气电池、液金属电池、锂硫电池、先进压缩空气等作为其重点关注的储能技术类型。

3.1.3 本体技术攻关对策。目前储能应用对本体技术的特征需求（规模、寿命、安全、成本和效率）与目前的本体技术水平还有一定差距，储能技术尚未得到广泛应用。因此，一方面要提升现有本体技术水平，挖掘其技术潜力，逐步缩短与储能应用需求之间的差距；另一方面要探索研究新型的储能技术，关注发展前景好、技术潜力大、具有相对技术优势的新型一代本体技术。

结合国内外现有储能技术研究水平、国内外关于电池技术的发展规划及资源条件等几个方面的因素，应该将锂离子电池作为重点攻关方向。重点关注并开展液流和铅炭电池相关研究，积极关注并适时切入熔融盐蓄热和氢储能，跟踪并把握钠硫电池、压缩空气、飞轮等技术的最新发展动态。

3.2 应用技术

(1) 储能支撑多能源高效融合效应日益显现。能源生产者、消费者和二者兼具的能源生产消费者，分层分散接入，种类繁多，构成城市能源局域网。能源管理和控制运行呈现出分散自治和集中协调相结合的模式。

(2) 储能系统功能由单一走向多元。储能应用场景日益丰富，作用时间覆盖从 s 级到 h 级，由单一功能向融合多能源 + 新型用电等多元复合功能过渡。紧凑型、模块化和响应快是储能装置的发展方向。

(3) 分布式储能系统促进终端用户用电方式多样化。随着用电需求多样化，不同电压等级下交直流用户共存，通过储能实现终端用户供用电关系转换、用能设备的能量缓冲、灵活互动以及智能交互是技术主流。

(4) 分散式储能系统汇聚效应进一步发挥。储能系统汇聚效应在电动汽车 V2G 运行模式已得到初步显现，随着分散式储能系统的规模化普及，在新能源接入、用户互动等方面的聚合作用会逐步凸显。

(5) 动力电池梯次利用试点逐步展开。随着动力电池筛选、重组技术、电池管理技术的进步 [28,29] 及梯次利用电池的适应工况研究，退役动力电池在融合分布式可再生能源领域的作用将得到进一步发展。

4. 结论

伴随清洁能源大量分散接入和终端用户双向互动，储能系统的作用已开始由简单的友好接入向以能源互联为导向过渡，并倾向于基于高效协同管理统一规划开展全面研究和技术示范。以储能作为核心承载技术的多能互补、双向互动一体化示范工程将全方位勾勒第三次工业革命的发展愿景。

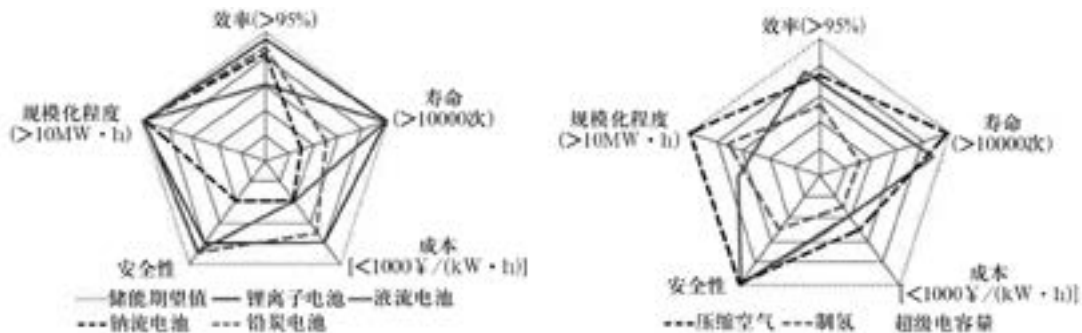


图 6: 储能技术发展期望雷达图

附表 1：储能技术参数 [4-5]

技术类型	安全性	集成功率等级	持续放电时间	响应速度	放电深度	工作温度范围 (°C)	循环寿命 (次)	能量转换效率 (%)	设备占地	
									体积功率密度 (kW/m ³)	体积能量密度 (kW/m ³)
机械储能	高	100 ~ 2000MW	数小时	S ~ min	较低	0 ~ 60	15,000	70 ~ 80	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 2
	高	10 ~ 300MW	数小时	S ~ min	--	35 ~ 50 (储气温度)	10,000	41 ~ 75	0.2 ~ 0.6	2 ~ 6
	中	5kW ~ 5MW	数分钟	1 ~ 20ms	较低	40 ~ 50	50,000	80 ~ 90	5,000	20 ~ 80
电化学储能	低	1kW ~ 10MW	数小时	20ms ~ s	较高	300 ~ 350	1500 ~ 3000 (100%DOD)	83	120 ~ 160	150 ~ 300
	高	10kW ~ 10MW	数小时	20ms ~ s	全部	0 ~ 40	13000 (100%DOD)	60	0.5 ~ 2	15 ~ 25
	中	1kW ~ 10MW	数小时	20ms ~ s	低	20 ~ 60	4000 (60%DOD)	70 ~ 75	20 ~ 700	50 ~ 80
	高	1kW ~ 10MW	数小时	20ms ~ s	低	40 ~ 50	2500 ~ 3000 (100%DOD)	90	--	--
	中	1kW ~ 10MW	数小时	20ms ~ s	高	20 ~ 60	2000 ~ 3000 (100%DOD)	90 ~ 95	1300 ~ 10000	200 ~ 400
	中	1kW ~ 10MW	数小时	20ms ~ s	高	30 ~ 40	1,000	> 90	--	176
	低	1kW ~ 1GW	数小时 ~ 数周	20ms ~ s	--	--	--	40 ~ 50	600	0.2 ~ 20
电磁储能	中	10kW ~ 10MW	数秒	1 ~ 5ms	较高	253 ~ 196	100,000	75 ~ 80	2,600	6
	中	10kW ~ 1.5MW	数秒	1 ~ 20ms	较高	40 ~ 70	104 ~ 105	85 ~ 90	40000 ~ 120000	10 ~ 20
相变储能	中	50 ~ 280MW	数小时	min	--	60 ~ 1,000	--	--	--	--

续

技术类型	维护量	对环境的影响	价格(元/kW)	价格(元/kWh)	技术成熟度	优势	不足	突破方向	发展预期
抽水蓄能	较大	无污染	3600 ~ 12000	300 ~ 500	商用	规模大、寿命长、运行维护费用低	选址受限	采用变速恒频技术、蒸发冷却技术及智能控制技术等技术等提高效率	具备大规模应用前景
机械储能	小	空气污染	3000 ~ 4000	20 ~ 50	示范工程	容量大	选址受限,需化石燃料,响应速度慢	新型地上压缩空气储能,通过利用循环过程中的放热,释冷提高效率,通过模块化实现规模化	具备大规模应用前景
飞轮储能	较大	无污染	1500 ~ 10000	2000 ~ 5000	示范工程	功率密度高、使用寿命长、对环境友好	储能密度低,自放电率较高	--	仅限于功率型应用场合,不适合电力系统大规模应用
电化学储能	小	有残留	2500	5000 ~ 7000	商用	无自放电,纳硫易得,规模应用	倍率性能差,充放电能力不对称,成本高,高温运行存在安全隐患。	提高倍率性能,降低制造成本,提高长期运行的可靠性和安全性	虽预计成本有较大幅度的下降,但明显高于锂电池,高温运行及纳硫的化学活性决定了其安全性差,不适合电力系统大规模应用
钒液流电池	小	基本无污染	11000	5000 ~ 10000	示范工程	寿命长,功率和容量独立设计,安全性好	能量效率低,运行温度窗口窄,可靠性低,关键材料存在国产化问题	选用高选择性、低渗透性的离子膜和高导电率的电极提高效率;提高液流电池的工作电流密度和电解质的利用率降低成本	从良好的安全性、循环寿命及成本预期来看,具有大规模应用前景
胶体电池	小	铅污染	1500	1000	商用	无热失控,耐高温性能好,循环稳定性好	胶体灌装困难,不适合高倍率放电,相对成本较高	--	宜于可再生能源配套使用,短期内解决大规模应用前景

技术类型	维护量	对环境的影响	价格 (元 /kW)	价格 (元 /kWh)	技术成熟度	优势	不足	突破方向	发展预期
铅炭电池	小	铅污染	1500	900 ~ 1200	研发	充放电效率高，使用寿命长，安全性好，能量转换效率高，成本较低	复合电极制造难度大，正极存在活性物质脱落、栅腐蚀现象，正极材料利用率高，比能最低	复合电极的制备、耐腐蚀合金板栅/正极材料的研发	技术成本较低，安全性较好，具备大规模应用前景
磷酸铁锂电池	小	有残留污染	1500	3000 ~ 4000	示范工程	储能密度高，功率密度高，无记忆效应，自放电小	安全性低，寿命较长，成本较高	提高寿命，降低成本	循环寿命突破万次，成本降至1元/千瓦时后，具备大规模应用前景
钛酸锂电池	小	有残留污染	1500	8000 ~ 10000	示范工程	储能密度高，功率密度高，循环寿命长	成本较高	在不过分追求能量密度和功率密度的前提下，通过材料微纳复合、电极配方调整、生产工艺方法等延长电池寿命，降低成本	在电力系统调频领域、应对电网电压冲击等方面具有大规模应用前景
氢储能	小	无污染	--	30000	示范工程	资源丰富，应用范围广，适应性强，可形成大规模储能	能量转换效率低，成本投入大，存在安全性问题	研发储氢材料	具有大规模应用前景
超导储能	大	电磁辐射	1200 ~ 1800	6000 ~ 60000	示范工程	效率高，响应速度快，循环寿命长	储能时间短，制冷能耗高	--	仅限于短期的功率型应用场合，不适合电力系统大规模应用
超级电容	很小	些许残留	600 ~ 1800	> 10000	示范工程	功率密度高，响应速度快，循环寿命长，可靠性高	能量密度低，价格高	--	能量密度可得多幅度有局限，除非重大技术突破，否则仅限于功率型应用场合，不适合电力系统大规模应用
熔盐蓄热	--	无污染	--	--	研发	规模大，可方便配合常规燃气机使用	成本高，效率低，可靠性低，仅限于太阳能发电技术发展	热存储和输送有关的关键设备材料及工质的选择	值得关注的储能技术

注：“—”表示由于相应储能技术尚不够成熟，相应数据仍不完善。

5kW 风电机组在无电牧区分布式供电系统的试验研究

□ 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院 任君 徐晨 乌云高娃 孙娇

1. 引言

近年来，随着我国广大边远地区经济的发展，特别是西部开发战略方针的实施，边远地区居民收入大幅度提高。随着生活水平的不断提高，他们对电力的要求也在提高，过去一家一户使用的数百瓦小型风力发电机的供电模式，已不能满足广大无电地区居民对电力的需求。

鉴于此，如何有效地利用当地丰富的风能资源集中解决农牧民对电力的需求，探索研究小型风力发电机并网应用，成为当前面临的实际问题。目前国内 2-10kW 档次机型的机组正处于普及推广起步阶段。为此，我们结合国内外较先进技术，采用新材料、新工艺，在保证机组的性能和可靠性的基础上，开发出高性能、高质量、高可靠性的 5kW 低速永磁直驱风力发电机组，用于分布式风电供电系统，以适用于国内大部分无电地区的市场需求。

2. 系统设计及配置

风力发电机：5kW

充电控制器：5kW/（220V、110V、48V）

逆变器：5kW/220V

蓄电池组：48V19.2KWh

负载类型：

负载类型	负载功率 (W)	单位	数量
新飞冰柜	105	台	1
白织灯泡	200	只	3
TCL 彩电	70	台	2
电饭煲	1000	台	1
电暖气	2000	台	3

3. 机组工作原理

5kW 直驱式低速永磁风力发电机组的风轮在风能作用下旋转，直接驱动额定转速为 170rpm 的低速永磁发电机，输出额定电压为 170V 的三相交流电（整流后直流电压为 230V），之后通过智能型控制器输出可控的直流电，给蓄电池充电，再经过逆变器向负载供电。

5kW 风力发电供电系统工作原理如图 1 所示：

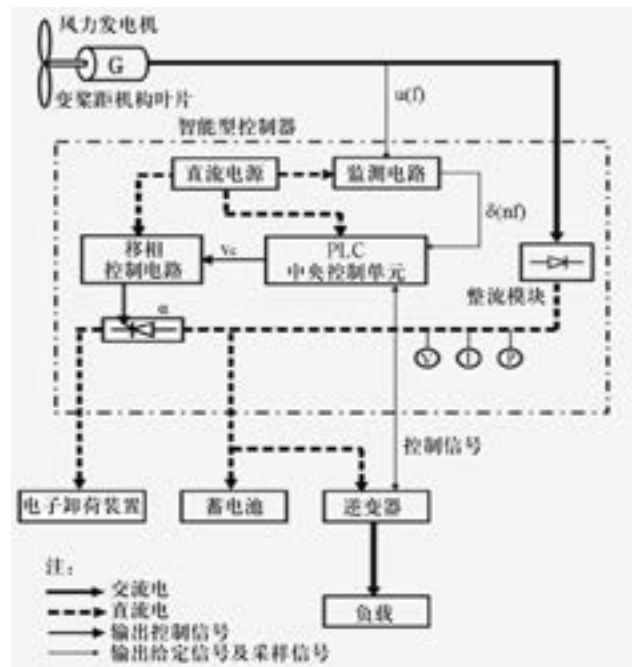


图 1：风能供电系统工作原理图

4. 对机组性能有重大影响的主要部件

对机组性能、质量、成本有重大影响的主要部件是风轮叶片、变桨距机构、刹车系统、发电机和安全保护系统。

4.1 风轮叶片

该机组的风轮是由3叶片组成的装配式风轮，叶片是由优质玻璃钢及钢制中心轴制成，其最大的特点是重量轻、运转平稳，对机组的振动影响小，降低了离心力，提高了抗疲劳性能和使用寿命。另外它的表面硬度高，抗风砂、抗腐蚀能力强。

4.2 变桨距机构

根据空气动力学原理，利用风轮承受的正面轴向推力以及风轮旋转时产生的离心力，采用变桨距调速机构，改变风轮叶片在不同风速下的迎风角，降低其风轮转速，使风力机在风速大于额定风速 10 m/s 的所有高风速区段，通过变桨距自动调节功能，使风力发电机保持在额定风速时的转速，有效的控制风轮的转速，实现功率的稳定输出。风速低于额定风速时，在变桨距机构的弹簧预紧力作用下，变桨距机构不动作，叶片桨距角不变。在达到额定风速后，风能作用于叶片的正压力大于弹簧预紧力，使叶片桨距角发生变化，从而改变了叶片的攻角，降低了叶片的升阻比，使风轮的转速受到限制，进而限制了机组的最大输出功率。该机构结构简单、合理且运行可靠。

4.3 刹车机构

采用电磁无极刹车系统和机械变桨距保护这2种方式实现机组在极端运行情况下的安全制动，由于有这样双重保护，保证了机组的安全可靠。

4.4 发电机

发电机由Nd-Fe-B(钕铁硼)稀土永磁材料制造，(钕铁硼永磁材料属于第三代永磁材料，具有创记录的高剩磁、高矫顽力和高磁能积)，由它作为磁性材料制造的发电机，具有以下优点(与电励磁发电机相比)：

- ① 取消了励磁系统损耗，提高了效率；
- ② 取消了励磁绕组和励磁电源，结构简单，运行可靠；
- ③ 稀土永磁材料磁能积高(磁密度高)，可以使电机结构紧凑，体积小，重量轻。

4.5 控制器

设计原理：5kW 风力机控制器依据国标《离网性风力发电机组控制器技术条件》设计，控制器的组成如下。

① 直流充电部分

风力机交流同步电机输出的三相交流电通过三相桥式整流器进行整流后对蓄电池充电。

② 耗能负载

在蓄电池电压高于最高充电电压上限时，将多余的能量转化为热能消耗，保证蓄电池不会过充。

③ 充电调节阀

利用PID调节器监测蓄电池的端电压，当超过上限充电电压—PID调节器的电压设定点后，调节器输出调节信号调节三相固态调压模块的导通角，将耗能负载逐渐加上。反之，耗能负载功率增减是靠调压模块的导通角的开通程度来调节的，不是突然加上或减去。保证了发电机运行的平稳性。充电的原理如图2-图4所示：

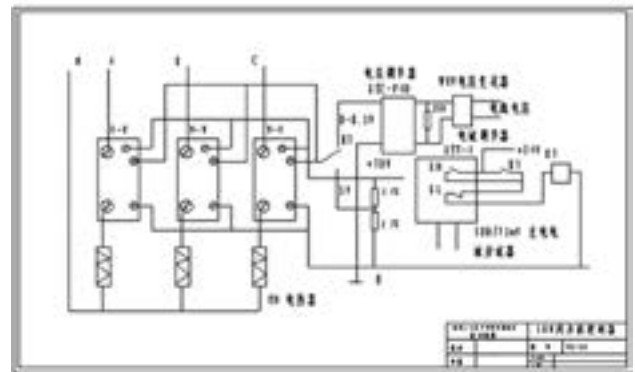


图2：充电调节阀原理图

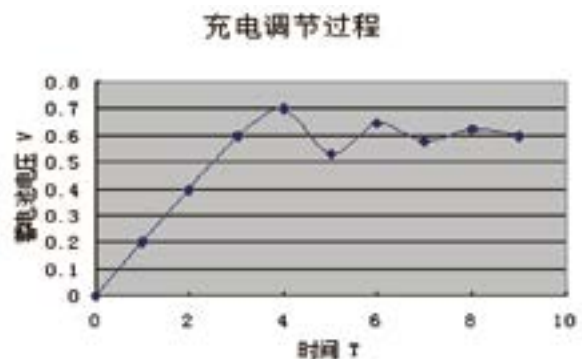


图3：调节过程原理图

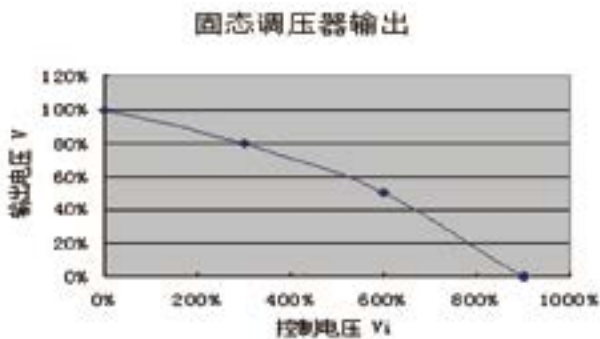


图 4: 固态调压器输出

④调压模块

选用不受频率影响的单相固态调节模块。控制信号变化时，模块的导通角随之改变，则与之联接的耗能负载功率发生变化，多余能量将消耗与耗能负载。

⑤变压器

根据不同电压等级的供电场合，整流变压器作为充电匹配电压使用。

⑥电压信号的采集

本系统使用隔离电压变送器检测蓄电池的端电压。保证测试的精度和可靠。

⑦本系统选用 2 倍范围的宽电压输入 DC/DC 变换器作为系统工作的电源，保证在蓄电池电压波动时系统正常工作。

5. 系统测试情况

5.1 安装情况

试验样机安装在距测试房间约 30 米处，试验导线截面为 2.5 平方毫米、约 40 米长的 4 芯防水电缆。风轮中心高度为 13 米，在其同等高度 13 米处安装了一套风速测量仪器。

5.2 试验仪器

在测试期间，采用了由国外引进的目前较为先进的计算机自动监测采集系统，经过历时近 4 个月的连续数据采集记录，得到了 1.5 万多组数据并对其进行了处理。该套测量系统是通过计算机监视来自风力机以及风速传感器的所有电信号，经功率变换器将电压转换为 010 伏

的模拟信号，可同时自动采集、记录随时间变化的风速大小、发电机输出的电功率大小，然后通过计算机转换为功率输出随风速变化的功率曲线。

5.3 试验结果

结果如表 1 所示，结果表明被检项目起动性能良好，调向平稳灵活，调速性能稳定可靠，机组效率高，各项指标均已达到和超过规定值，机组的整机效率达到优等品。

序号	被检测项目	优等品	一等品	合格品	实测值
1	额定输出功率 W	5000			5100
2	机组效率 %	≥ 25	≥ 22	≥ 18	28
3	风能利用系数	≥ 42	≥ 36	≥ 18	0.39
4	切入风速 m/s (额定风速 10 m/s)	≤ 4.5			3.5
5	第一次无故障 运转时间 h	≥ 1500	≥ 1000	≥ 2500	
6	振动	在工作风速范围内不得有明显振动			合格

6. 存在的问题及建议

6.1 工装系数较低

由于还没有投入批量生产，除少量必不可少的工装外，一般工装都没有配备，这对零件的质量稳定性和互换性是不利的，今后，随着批量生产的投入，应逐步提高工装系数。

6.2 变桨距机构的拉伸弹簧加工有一定难度

变桨距机构上有一对簧丝直径 $\phi 6.5$ 的大弹簧，它的性能的好坏关系着变桨距机构的性能，是一个关键零件，在样机试制过程中，虽然是由专业弹簧厂制造，但仍有一定的难度，生产中废品率较高，在以后的批量生产中，需通过工艺试验，确定一套严格的工艺规程，以保证性能，降低成本。

(下接第 36 页)

风光柴互补智能控制系统设计与应用

□ 合肥为民电源有限公司 王化

一、系统介绍

在广大的偏远地区，架线连接电网成本高、难度大、建设周期长，而太阳能和风能有取之不尽和使用便利等优点，就地采用风能、太阳能发电是比较好的选择。风能和太阳能发电受地理和气候环境影响较大，如遇到无风天气或连续阴雨天气，风能和太阳能发电都不能正常发电，而蓄电池存储的电能有限，对于比较重要或供电稳定性比较高的负载，还需要增加备用柴油机发电机（即风、光、柴互补系统），确保供电的可靠性、稳定性和不间断性。

二、系统组成

风力发电机、光伏组件、风光互补控制器、蓄电池组、柴油发电机、离网型逆变器、AC 转 DC 充电机（可选）。

三、系统方案设计介绍

1、方案一

1.1 方案图（图 1）

1.2 方案介绍

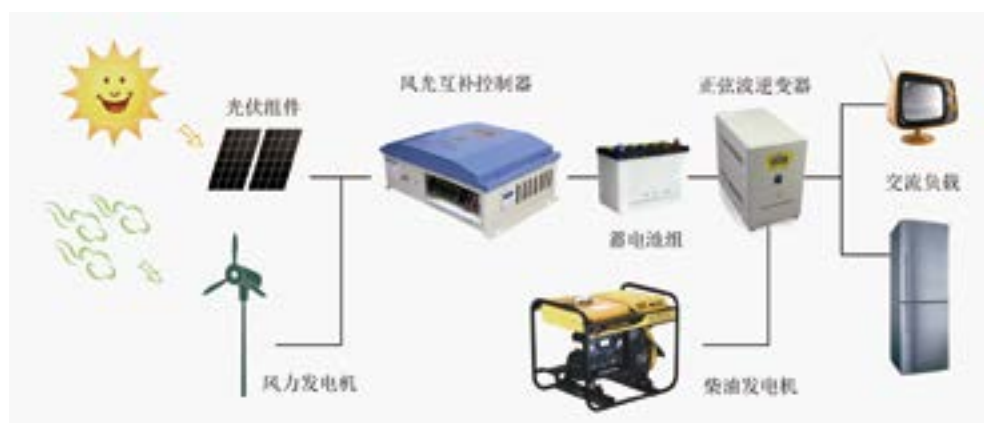


图 1（注：离网型逆变器必须具有新能源供电与柴油发电机切换功能。）

1.2.1 正常工作流程。风力发电机、光伏组件发出的电能通过控制器给蓄电池组充电，逆变器将蓄电池直流电转变为交流电提供负载使用。

1.2.2 柴油发电机启动工作流程。控制器检测到蓄电池组电压低于设定值时输出信号，柴油发电机接收到信号后启动，逆变器检测到蓄电池组电压低于设定值（蓄电池过放电压点）智能切换到柴油发电机给负载供电。

1.2.3 柴油机关闭工作流程。逆变器检测到蓄电池组电压达到设定值（蓄电池过放恢复电压点）智能切换到新能源供电（注：此时柴油发电机处在空转状态）。控制器检测到蓄电池组电压达到设定值关闭信号，柴油发电机停止工作。

2、方案二

2.1 方案图（图 2）

2.2 方案介绍

2.2.1 正常工作流程。风力发电机、光伏组件发出的电能通过控制器给蓄电池组充电，逆变器将蓄电池直流电转变为交流电提供负载使用。

2.2.2 柴油发电机启动工作流程。控制器检测到蓄

电池组电压低于设定值时输出信号，柴油发电机接收到信号后启动，柴油发电机所发电能通过 AC 转 DC 充电机给蓄电池组充电。

2.2.3 柴油发电机关闭工作流程。控制器检测到蓄电池组电压高于设定值关闭信号，柴油发电机停止工作。

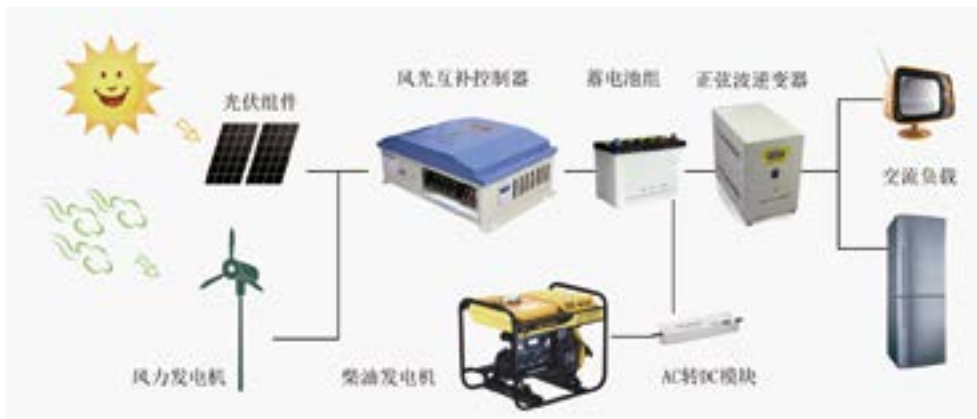


图 2

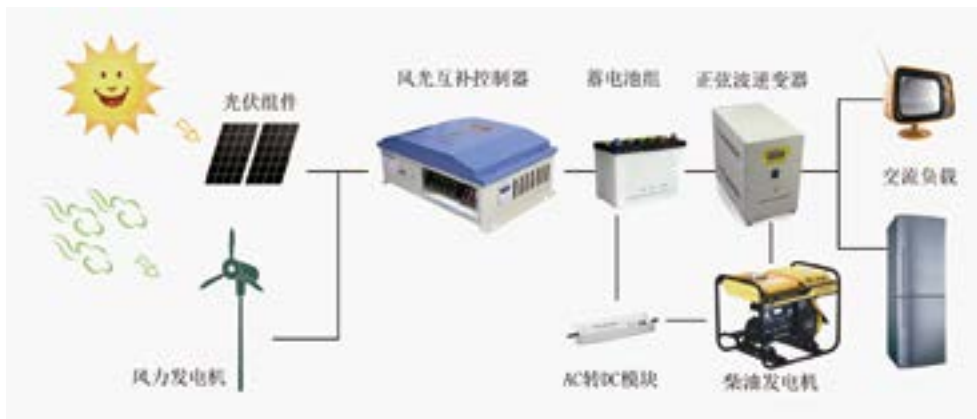


图 3 (注：离网型逆变器必须具有新能源供电与柴油发电机切换功能。)

3、方案三

3.1 方案图 (图 3)

3.2 方案介绍

3.2.1 正常工作流程。风力发电机、光伏组件发出的电能通过控制器给蓄电池组充电，逆变器将蓄电池直流电转变为交流电提供负载使用。

3.2.2 柴油发电机启动工作流程。控制器检测到蓄电池组电压低于设定值时输出信号，柴油发电机接收到信号后启动，柴油发电机所发电能通过 AC 转 DC 充电机给蓄电池组充电。等逆变器低于设定值 (蓄电池过放电电压点) 智能切换到柴油发电机给负载供电。

3.2.3 柴油机关闭工作流程。逆变器检测蓄电池组电压达到设定值 (蓄电池过放恢复电压点) 智能切换到新能源供电 (注：此时柴油发电机继续给蓄电池组充电)。控制器检测到蓄电池组电压高于设定值关闭信号，柴油发电机停止工作。

四、系统优缺点分析

类别项目	优点	缺点
方案一	系统造价成本低	1、不能及时给蓄电池组补充电能； 2、柴油发电机需提前启动，产生能源浪费。
方案二	及时给蓄电池组补充电能，有效保证蓄电池组使用寿命。	1、增加 AC 转 DC 充电机成本； 2、不能保证负载不间断供电；
方案三	1、及时给蓄电池组充电，避免蓄电池组亏电导致寿命降低； 2、充分利用柴油发电机的所发电能； 3、完全保证负载不间断供电。	系统成本比方案一、方案二高。



南京欧陆新的办公、生产区设计鸟瞰图

南京欧陆上半年小风电业绩形成突破

【南京欧陆电气通讯员报道】南京欧陆电气股份有限公司专注于工业电气设备的传动控制与节能技术、新兴能源发电设备及其控制技术，集研发、生产、销售与服务于一体的国家级高新技术企业。南京欧陆以拥有自主知识产权的工业自动化控制技术为基础，以快速为客户提供个性化的解决方案为主要经营模式，实现企业价值与客户价值共同成长。

公司科研力量雄厚，拥有一支经验丰富的高素质管理队伍和极富创新能力的技术研发团队，多项产品已获得专利与第三方检测认证，主要产品：100w ~ 100kW 风力发电机组、离网型控制逆变一体机、3kW ~ 30kW 并网逆变器、路灯控制器、变频器、伺服驱动系统、新能源整车控制系统等。

南京欧陆利用公司的技术优势与多年来在内蒙古推广风电机组的影响，于2016年上半年加强市场调研，加大推广力度，取得丰硕成果，截至8月中旬，独立的小型风力发电电机组已销售15000台套。

公司针对国内路灯照明市场竞争，不断进行技术创新，提高产品性能及生产效率，于8月份为内蒙古呼伦贝尔客户配套8200套小型风力发电机及控制系统，用于风光互补路灯工程，供货周期45天；在内蒙古东部

“户户通电”工程招标采购项目中，中标1089套，为同行中标企业配套风力机及控制逆变器1300套；在锡林郭勒盟9个地区新能源“通电工程”招标项目中，中标2kw,3kw功率供电系统900余套，为其他中标企业配套600余套。公司通过自身努力不断为偏远地区送去光明。目前本公司新能源产品销售额达7000万元，为公司以后在内蒙古地区进一步发展打下坚实基础。

“节能于心、高效于行”，南京欧陆电气将坚守“团队协作、持续创新、责任立业、合作共赢”的价值观，专注于电气节能与新能源事业，为客户创造价值，为员工创造机会，为社会承担责任，与客户、与员工、与社会共同发展，共创美好生活。



拓展风光互补综合应用新领域

本刊中科恒源通讯员报道：从湖南永州冷水滩驱车至零陵，全长 15 公里的永州大道上，1652 杆风光互补路灯分四列整齐排列，宛如四条长龙，随地势起伏，蔚为壮观。

与普通路灯不同，这些路灯完全依靠风能和太阳能发电，无污染，零排放。路灯顶端的“风扇”，在微风中积蓄能量；“风扇”下方的太阳能板，在晴天吸收阳光。夜晚，璀璨的灯光护送着行人车辆来来往往。

据制造商中科恒源科技股份有限公司计算，永州大道上的风光互补路灯，10 年可节约用电 1809 万千瓦时，节约标准煤 6150 吨，减少二氧化碳排放量 18035 吨，减少二氧化硫排放量 543 吨，减少灰尘、炉灰、颗粒物等大气污染物排放量 4920 吨。

数字是单调的，却描绘着色彩缤纷的未来！

风光互补路灯，是风能太阳能小型化综合应用的“代表作”。随着两型社会建设的风生水起，风能太阳能的小型化综合应用，逐渐走进人们的生活，为节能减排助力加油。

风能太阳能小型化综合应用

今年 4 月末，湖南省委、省政府出台了《绿色湖南建设纲要》，其中重要的一条是“积极开发新能源和清洁能源。因地制宜加快风能、太阳能、生物质能等替代能源技术研发和综合利用”。

能源的可持续发展是国民经济可持续发展的战略基础。“十二五”规划纲要明确提出，“推动能源生产和利用方式变革，构建安全、稳定、经济、清洁的现代能源产业体系”。

基于当前我国能源缺乏的现状和发展趋势，我国近几年出台了大量政策，促进以风能太阳能为主的新能源

产业，其关键是要最大化地应用风能太阳能。

但目前，在风能太阳能利用方面，国家政策导向尚以强调其产业的相关部件制造为主。在应用方面，以发展大型风电、大型光伏电站为主。大型电站建设占地面积广、用地需求大，多位于远离用电负荷的西北、华北、东北等工业基础薄弱、电网支撑体系较差的地区，所发电力无法就地消纳；远距离输送又面临并网技术、长途损耗等短时期内无法破解的难题。

作为国家两型社会试验区，湖南积极开发新能源和清洁能源，是缓解国家能源压力的责任之举，也是寻求自身可持续发展的战略之举。然而，尴尬的是，湖南的生物质能、核能等新能源的开发尚处于初级阶段。在风能和太阳能方面，湖南身处内陆，属于低风能地区，梅雨季节较长，在发展大型风电、大型光伏电站方面难以发力。

如何采用新的思路和技术途径，最大化利用我国风能、太阳能资源，成为促进新能源产业发展的新课题。

寻求突破，必须另辟蹊径。“在发展大型风电、大型光伏电站面临重重困境的情况下，只有大力推广风能、太阳能小型化综合应用，才能使风能和太阳能成为新能源发展的新增长极，在国民经济领域和社会发展中起到巨大的推动作用。”中科恒源负责人表示。

风光互补：低风速地区的“破冰”之器

风能、太阳能小型化综合应用，是指中小型风力机分布式发电和光伏分布式发电的综合应用。系统集成风力发电和光伏发电，通过智能控制等技术，成为独立可再生供电系统，实现对负载供电。

目前发展较快且应用前景较广的是风光互补离网储能供电系统。该系统通过风能、太阳能的综合应用，很

好地解决了单独使用风力发电或太阳能发电受季节和天气等因素制约的问题，使得风、光在昼夜变化和季节变化上形成了很强的互补性，提高了供电系统的稳定性和可靠性。

作为一家专业从事清洁能源开发与利用的高科技企业，中科恒源一直专注于风能和太阳能发电系统集成产品的开发制造，如零电费、零排放的风光互补路灯、风光互补发电系统等。

2006年，中科恒源与中国科学院广州能源研究所等共同研发了微风发电技术，解决了微风不能发电的难题。

传统的风力发电机通常在风速达到3米/秒时才能启动，3.5米/秒至4米/秒时才能发电，无法应用于国土面积四分之三的低风速区。而微风启动技术由于大大降低了机械摩擦阻力，使电机的启动风速降到1.5米/秒以下，发电风速降到2米/秒，且在同等风速下比同型号风力发电机增加发电输出功率20%。

魅力藏于细节之间。1.5米/秒的电机启动风速，突破了风电领域的技术“天花板”，也突破了湖南风能资源不足的坚冰。据中科恒源负责人介绍，采用这一技术，我国80%以上低风速地区的风能资源都能得到有效利用与开发。这项成果荣获第35届日内瓦国际发明博览会特别金奖、中国第16届发明博览会金奖，被评为“世界十大绿色能源发明”之首。

从海南三亚，到甘肃金昌，从黄河湿地，到云南昆明……我们看到，中科恒源的风光互补发电系统在路灯、景观灯、监控、道路指示等方面的广泛应用。风光互补新能源，正描绘出更多靓丽的风景。

由于传统风电、光电产品制造成本高，销售价格高，于是有人就问，既然风光互补新能源适用性这样强、又节能环保，那么成本应该怎样算？

中科恒源负责人给我们算了一笔“经济账”：以中科恒源在湖北武汉光谷建设的一条路为例，以一公里40杆路灯计算，常规供电路灯，包括灯体材料、电缆铺设、配电设备和土建安装，大约需要100.4万元；风光互补路灯，可省去电缆铺设和配电设备安装，总造价108.6万元。一次性投入，风光互补路灯略高。

但若以10年投资期计算，常规路灯维修及电费高达60多万元，风光互补路灯则省去了这两项费用。两者相比，后者节约60多万元。

从经济角度考虑，后者替代前者将带来巨大的市场空间。2010年，全国路灯耗电量约占全国总发电量的4%至5%，相当于三峡水力发电站的年发电量（1000亿千瓦时），是2011年全国风力发电总量（501亿千瓦时）的2倍。如能实现全国路灯的新能源改造，实现全网“零耗电”，则相当于每年新建一个三峡水电站。

除替代传统路灯外，风能、太阳能小型化综合应用还将催生出全新的、更大的市场空间。从农村基础设施建设，到交通、市政建设领域，再到通信领域等，若风能太阳能小型化综合应用实现在国民经济中第一二三产业领域的广泛应用，到2020年，至少可带来1.8万亿元的市场空间。

算了经济账，再算一笔生态账。

一杆风光互补路灯，一年可节约用电1000度（千瓦时）以上。按火电折算，一年节约标准煤400公斤以上，减少二氧化碳排放量1000公斤以上，减少二氧化硫排放量30公斤以上，减少灰尘、炉灰等大气污染物排放量270公斤以上。

一项调查表明，如果在全国范围大力推行风能、太阳能小型化综合应用供电方式，综合测算各领域应用前景，保守估计每年新增装机容量可达60GW，年发电量可达600亿千瓦时，每年可节约标准煤达2200万吨、每年减少二氧化碳排放约6000万吨，节能减排效应十分明显。

两笔账一算，个中高下，已见分晓。

去年春天，湖南郴州市4093户偏远地区的无电户点上了白炽灯，看上了彩电。这得益于财政部、科技部、国家能源局联合实施的“金太阳”示范工程。

然而，与这些无电户的喜悦相比，作为新能源产业的重要组成部分，风能、太阳能小型化综合应用当前还面临着孤立无援的处境。

当前，我国在风能、太阳能应用方面，仍大多以发展大型风电、大型光伏电站为主，导致行业竞争度小、行业发展欠活力等情况。2012年“两会”期间，许多人

大代表呼吁提升风能、太阳能小型化综合应用在我国新能源产业发展中的战略地位，建议将其列入国家相关新能源产业发展规划。

2010年上海世博会上，有“零碳馆”之称的伦敦馆备受世人瞩目。在这所“中国目前惟一零排放的房子”里，中科恒源占据着一席之地，其离网型风光互补发电技术为零排放提供了可能。

我们期盼着这样的无限“风光”早日到来，真正广泛运用到人们生活中。

风能太阳能小型化综合应用领域广泛：

(1) 边远无电地区居民生活领域：照明、电视、洗衣机等生活用电供电系统；

(2) 筑领域：别墅独立供电系统、公共建筑屋顶用户侧并网供电系统；

(3) 交通领域：路灯供电系统、道路监控供电系统、航标灯供电系统、交通/铁路信号灯供电系统、交通警

示/标志灯供电系统、加油站供电系统、收费站供电系统；

(4) 市政建设领域：路灯供电系统、景观灯供电系统、户外广告牌照明供电系统、公交候车亭供电系统；

(5) 通信领域：通信基站供电系统、微波中继站供电系统、光缆维护站供电系统等；

(6) 石化领域：油气管网安全监控系统的电源供电；石油钻井平台应急备用电源；

(7) 海洋领域：渔船生活用电供电系统、船用通信供电系统、小型海水淡化设备供电系统、近海养殖供电系统；

(8) 气象环保领域：气象监控站供电系统、水文观测设备供电系统等；

(9) 农林水利领域：太阳能杀虫灯、森林防火监控供电系统、湿地保护监测站供电系统、防洪堤道路及景观照明供电系统、提水灌溉供电系统；

(10) 国防领域：边防监控供电系统、雷达、导航站供电系统、边防哨所供电系统。👍

(上接第30页)

7. 结语

目前国内尚有7656万无电人口，16个无电县，828个无电乡，9783个无电村。由于无电，制约了这些地区经济的发展，农牧民的脱贫。如果采用架设高压电网的方案解决这些地区的供电问题，按目前的价格(4万元/公里)则需巨额资金。这些年来，随着风能被人们普遍认识，对风力发电机的需求也在不断增加，仅内蒙古就有160个无电乡、2000个自然村没有通电，而这些地区大多地处偏远、交通不便、自然条件恶劣，但具有非常好的风能资源。根据这些地区的实际情况、用电特性分析，很适合采用以5kW风力机为基础的村落级风力集中供电系统解决供电，其可行性和经济性要比架设常规电网具有更大的现实意义。

随着农牧民的经济水平的不断提高，使用各类电器的用户将会越来越多。该机组以其良好的性能指标、可靠性、在低风速地区，也能获得较高的年发电量的优势，一定会受到边远地区农牧民的欢迎，因而，具有较大的推广价值。👍

作者简介：任君(1983-)，男，汉族内蒙古呼和浩特市人，工程师，现在中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院工作。

投资合作公告

诚招有识之士，共铸美好未来。清新张家口能源科技有限公司创建于2014年，主要研究制造框架圆风力发电机组设备。该产品拥有32项专利，是具有绿色、环保、可持续发展的朝阳产品，符合国家绿色环保、绿色冬奥的要求。

框架圆风力发电机组是以框架保护风叶，风叶没有自由端，很好地解决了风叶断裂引起的人身、设备安全事故。由清新公司研发的这一独特技术取得国内外专利，为国内增添了一款清新风电产品。与传统风电机组相比，本产品具有六多一强一化的特点，尤其是具有在满负荷发电不停机的特点，能够增加一倍以上的收益。

为了尽快把框架圆型风力发电机组市场做大，造福人类，清新张家口能源科技有限公司在此郑重面向全国寻求合作伙伴，希望共同开拓此技术和各型号新产品，把专利产品尽快转化为生产力，进军风电行业，共创辉煌业绩。🌱



市场极度萎缩 制造企业转型

中小型风机何去何从？

我国风电产业始于中小型风机。

随着国家对可再生能源的重视，风电行业获得长足发展。截至 2015 年底，我国大型风电产业继续保持强劲增长势头，累计装机 8 万多台，并网装机容量达 1.29 亿千瓦，装机容量连年创历史新高。

但同样是在国家可再生能源发展战略框架下，中小风电发展却形成了巨大反差。继 2014 年国内外市场大幅萎缩之后，2015 年更是遇到前所未有的寒冬。

中国农业机械工业协会风能设备分会近日发布的数据显示，2015 年，我国中小型风电机组销量连续第五年下跌，销售量约为 6.75 万台，同比减少了 11.3%。

多位行业专家对《中国能源报》记者表示，财政补贴政策缺乏、制造成本高企、“中国资质”难以得到认可等诸多原因，导致中小型风机国内市场持续大幅度下滑、国际市场销路不畅。内忧外患之下，我国中小型风能产业或将面临自生自灭宿命。

市场极度萎缩

中小型风机包括微型风机（1 千瓦以下）、小型风机（1 千瓦—50 千瓦）和中型风机（50 千瓦—300 千瓦）三种，其从七十年代开始起步，并得到了相应发展。目前，中小型风电机组在我国许多地方还存在发展空间，是电网的有力

补充，能在国家提倡和鼓励的分布式可再生能源项目方面起到重要作用。

虽然前景看好，但近几年来，我国中小型风电市场却呈现极度萎缩态势。

农业机械工业协会风能设备分会提供的数据显示，2011 年，我国中小型风力发电行业产销量达到高峰，生产达到 18 万台，产品销售量达到 16 万多台，同比增长 23%。然而好景不长，2012 年以来，我国中小型风电行业的产销量开始持续下滑。2012 年生产机组 12 万台，同比下降了 25%，产品销售 10.6 万台，同比下降 33.7%。2013 年，行业 15 家骨干企业的产销量均同比下滑 15% 以上。至 2015 年，中小型风电机组产销量已连续五年下跌。

农业机械工业协会风能设备分会高级工程师姚修伟告诉本报记者，今年上半年，中小型风力发电行业情况仍在进一步恶化，除了极少数企业产销量与去年同期持平外，其他企业都有不同程度的下降，下降水平约 20%—30% 左右。

市场持续萎缩，导致风机制造企业运营难度陡增。据本报记者了解，目前业内部分企业已经倒闭，剩下的多数企业不得不从事太阳能光伏服务或其他产业运营，以维持企业生存。

“当前，国内市场持续大幅度下滑，市场缺少行业监管，企业缺少相应的自律措施，生产以及人力成本加大，融资渠道不畅，一些企

业关门了，一些企业转型了。”姚修伟说，“此外，由于欧美国家已经实施了产品认证制度，设立了技术门槛，使我国多数产品进入原有市场受到限制。过去我国产品出口市场一直很好，现在没那么热火朝天了，路子几近断了。”

内外交困

对于行业遭遇寒冬的原因，多位行业人士表示，中小风电产品没有国家财政补贴政策，影响了国内市场需求；其次，近几年来光伏发展迅猛，对中小风电产业冲击严重。

据了解，中小风电产品生产的系统成本平均不低于15元/瓦，在缺乏政府政策补贴的情况下，一般产品的成本回收都需要10年以上，回收率17%左右，用户没有经济效益，市场难以打开。而光伏行业由于近年来生产技术得到发展，成本有较大下降，系统成本价大约为10元/瓦甚至更低。近两年，分布式光伏又得到国家政策上的扶持，国家规定光伏的上网电价补贴为0.42元/千瓦时，余电可以售予国家电网，结算价格为当地脱硫煤电价格，这对其发展起到了积极的推动作用。

“中小型风力发电系统没有像分布式光伏发电系统一样的上网电价补贴，离网机组也没法享受投资补贴。由此，多数地区在发展新能源电站或分布式电源系统中，都选择了光伏建设计划，而中小风电却因没有补贴而遭到了冷落，限制了产业发展。”姚修伟说。

姚修伟说，“实际上，小型风力发电机组由于安装占地小，在很多地方比建设太阳能电站有优势。小风电和太阳能发电都是在用电侧并网，都是利用清洁能源，并网控制技术也一样，为什么不能享受同等待遇？”

据了解，此前某家小风电生产企业与一家上海农场商谈利用现代农业周边空地安装小型风力发电机组并网发电项目，因为上网电价不能参照太阳能上网电价补贴，项目最终搁浅。这样的例子在行业内屡见不鲜。

国内市场受政策牵制，国际市场也不容乐观。由于欧美各发达国家已实施产品认证制度，设立了技术门槛，致使我国多数中小风电产品进入原有市场受到限制，出口数量也在减少。

“中小风机制造企业多为民企，而每个产品在国外的认证费用超过100万元人民币，因



此，做认证的企业很少。”一位企业人士告诉本报记者。

国家海关总署数据显示，2010年，我国中小风电产品出口装机容量为62兆瓦，2015年这一数据已跌至30兆瓦。

据农业机械工业协会一位专家介绍，从行业自身来讲，中小型风电产品也存在质量缺陷，为规范产品市场、打破认证壁垒，相关部门曾组织建成了山东东营（沿海）和内蒙古赛罕塔拉（内陆）中小风电野外测试场。两个测试场都具备了正式试验条件，但由于市场萎缩，企业经营困难，小风电的认证和测试工作目前仍处于停滞搁浅状态。

亟需政策扶持

据了解，中小型风电在国家新能源布局中已发挥出不可替代的作用。2007年至2013年，内蒙古自治区实施了无电地区农牧民送电工程，采用的风光互补发电系统实现了全内蒙古无电牧民用电全覆盖。而今，多领域应用、多能互补和分布式微网更是成为中小型风电经济增长的支点。

国家可再生能源中心副主任任东明表示，中小型风力发电机组具有应用范围广、能够实现本地产能就地消纳的特点，与未来新能源系统的特征相吻合。国家正在推行的农业生态和资源保护、新型城镇化和城乡用能方式变革，都提倡大力发展分布式可再生能源，这些都为中小型风电机组发展提供了良好的机遇。

从行业自身角度而言，自2013年以来，中小型风能产业已开始向批量大、品质优的品牌企业集中。目前企业与行业最关注的问题，仍是国家能否给与政策扶持。

多位行业人士建议，国家应参考分布式光伏发电在我国的发展经验，给予中小型风电机组政策支持。包括：尽快出台中小型风电上网电价补贴政策，实现分布式自发自用、余电上

网；对于无电地区的离网型风力发电系统，给予投资补贴方面的支持和优惠政策；对小型风电产品的检测和认证给予适当资金补贴等。

据了解，目前美国、英国、意大利、加拿大、德国、法国、丹麦、澳大利亚、新西兰、日本等国家都出台了支持中小型风力发电的激励政策，比如英国在2010年引入上网电价强制回购（Feed-in Tariff）补贴政策，每度电的补贴为0.267英镑，美国针对100千瓦以下的小风电给予了30%投资税收优惠等。各国的激励机制缩短了风力发电机的投资回收期，大大促进了中小型风力发电的发展。

“我国正在大规模推广屋顶光伏、农光互补和光伏扶贫计划，应该采取同等的扶持政策同步推行风光互补发电系统在分布式能源系统中的应用，而不是以后再补救。”广州红鹰能源科技董事长俞红鹰表示。

“除了政策支持外，未来中小风能产业的发展还应把建立标准、检测体系和认证制度作为实现技术发展的重要手段。”姚修伟说，检测和认证制度能全面提升小型风力发电机组技术、质量和安全，对于行业发展至关重要。

姚修伟认为，补贴政策与检测认证配套，才能真正促进行业健康发展。未来应强化产品品质与认证制度，只有通过产品认证的机型才能享受国家政策，国家相关部门与行业协会成立专门机构，负责产品检测、产品认证，并向社会公布。

据本报记者了解，目前国家能源局正在酝酿出台中小型风电分布式应用的指导意见，以加快推动中小型风电分布式应用，发挥中小型风电技术解决特定区域供电的作用。

（注：《中国能源报》资深记者肖蔷于2016年07月11日在该报发表有关中小风电文章，当日，《人民日报》经济版转载了这篇稿件，内容有删减，读者可关注）

基于成本和效益分析的 并网光储微网系统电源规划

华北电力大学控制与计算机工程学院、国网吉林省电力有限公司长春供电公司、中国电力科学研究院的研究人员韩晓娟、王丽娜、高僮、修晓青，在2016年第14期《电工技术学报》上撰文指出，随着微网的迅速发展，电源规划对微网的建设具有重要指导意义。

针对并网光储微网系统电源规划问题，提出基于成本和效益分析的并网微网系统电源规划方法。在考虑光伏补贴政策与两部制用户分时电价基础上，根据成本和效益分析理论，建立以生命周期净收益最大为目标的微网电源规划模型，分别采用粒子群算法、人工鱼群算法与量子遗传算法对模型进行求解。

通过对上海某地区实际负荷数据仿真分析，给出该地区并网光储微网系统的电源规划结果及其经济效益，以及三种算法的对比结果。仿真结果表明粒子群算法在该微网电源规划模型求解中具有优越性。

引言

光伏(PV)发电因其经济、清洁、环保等优点，应用范围与规模逐渐扩大，技术更加成熟，成为微网中常用的电源形式。由于光伏发电具有间歇性，为减少其并网时对大电网的冲击，分布式光伏以微网形式接入电网是光伏并网的主要形式之一，分布式电源与微网的发展使光伏系统在微网中所占的比例也越来越高。而储能系统是微网必不可少的一部分，是微网改善电能质量、安全可靠运行的关键。

储能系统根据负荷变化向电网释放或吸收电能，具有削峰填谷、平滑负荷、降低供电成本、提高经济利益等特点。在微网建设前期，需要进行电源规划，即根据负荷需求，确定投建机组的类型、容量等，使微网满足特定的优化目标。微网的电源规划研究可以为微网的建设提供理论指导，使微网能够满足一定的经济性、可靠性和环保性。

目前，国内外学者针对微网电源规划取得了一定的研究成果。以综合成本最低作为规划目标，考虑初始投

资成本、年运行维护成本以及停电损失等，以能量平衡、负荷缺电率等为约束条件，建立孤岛微网电源规划模型。针对并网型风光混合发电系统，给出一种基于发电效率衰减、分时电价和负荷逐年增长等条件的并网型分布式发电系统容量优化配置方法。基于成本效益分析原理，以综合最佳投资经济性(净效益最大化)为目标，建立并网型微网电源容量优化配置模型。

综上所述，现有微网电源规划研究多从经济性角度出发，以成本最小或净收益最大为目标，但没有充分考虑光伏发电的补贴政策、多少实行的峰谷分时电价以及两部制分时电价。此外，微网的最重要目标是实现对低碳分布式能源的优化利用，与低碳经济的发展要求相吻合。因此，将低碳因素考虑到微网电源规划中有重要意义。本文充分考虑光伏补贴与两部制分时电价，结合并网光储微网系统成本和效益分析，建立以生命周期净收益最大为目标的电源规划模型，采用粒子群算法对模型进行求解。通过对上海某地区负荷数据进行算例仿真，得到地区并网光储微网系统的规划结果及其经济效益。

1. 并网光储微网系统成本和效益

1.1 分时电价与用电负荷

目前,一些地区采用两部制分时电价,把电价分成基本电价与电量电价两部分,且电量电价部分的峰时电价和谷时电价不同。其中,基本电价又称容量电价,在计算每月基本电费时,以客户用电设备容量或最大需量进行计算;电量电价又称电能电价,在计算每月电量电费时,以客户每月实际用电量进行计算。两部制电价的等效电价为

$$P = \frac{aM}{H} \div d \quad (1)$$

式中, a 为基本电价; M 为用户变压器容量 (kVA) 或最大需用量 (kW); d 为电量电价; H 为耗电量 (kWh)。

将式 (1) 变形可得电费计算式为

$$\begin{aligned} F_1 &= aM \\ F_2 &= dH \quad (2) \\ F &= F_1 F_2 \end{aligned}$$

式中, F_1 、 F_2 分别为基本电费、电量电费和总电费。

某地负荷、光伏出力和分时电价曲线如图 1 所示,分时电价是指根据电网的负荷变化情况,将每天 24h 划分为高峰、平段、低谷等多个时段,对各时段分别制定不同的电价水平。由图 1 可知,负荷高峰时电价高,负荷低谷时电价低,且光伏高峰与负荷高峰不一致。

1.2 并网光储微网系统结构与储能出力策略

并网光储微网系统结构示意图如图 2 所示,其中,

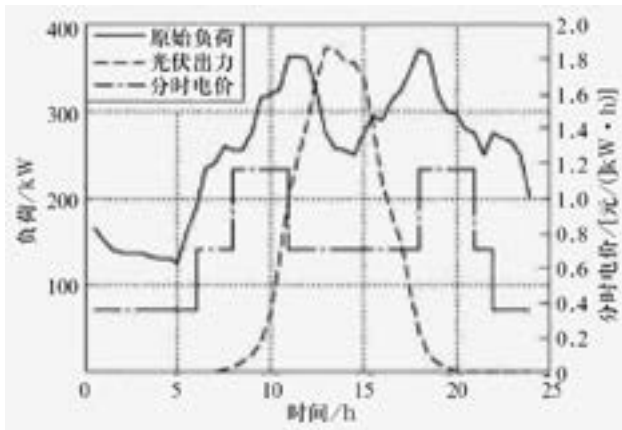


图 1: 负荷、光伏出力与分时电价曲线

$P_{PG}(t)$ 为光伏发电输出功率, $P_{ESS}(t)$ 为储能系统输出功率, $P_{load}(t)$ 为原始负荷功率, $P_{grid}(t)$ 为光储微网系统与大电网能量交换。当 $P_{ESS}(t) > 0$ 时, 储能系统放电; 当 $P_{ESS}(t) < 0$ 时, 储能系统充电。当 $P_{grid}(t) > 0$ 时, $P_{grid}(t) = P'_{load}(t)$, $P'_{load}(t)$ 为微网内负荷供电后所需负荷功率, 称其为合成负荷功率; 当 $P_{grid}(t) < 0$ 时, $P_{grid}(t) = P_{out}(t)$, $P_{out}(t)$ 为微网系统输出功率, 即向大电网售电功率。忽略系统各部分的能量损耗, 根据能量守恒定律以及微网运行约束可得

$$P_{load}(t) = P_{PG}(t) + P_{ESS}(t) - P_{grid}(t) \quad (3)$$

当 $P_{grid}(t) < 0$ 时, 即微网向大电网售电, 微电网系统输出功率为

$$P_{out}(t) = P_{PG}(t) + P_{ESS}(t) - P_{load}(t) \quad (4)$$

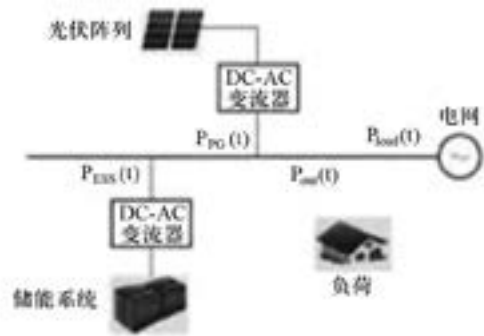


图 2: 并网光储微网系统结构示意图

针对分时电价与用电负荷特点, 储能出力策略基本原则为在谷值电价时充电, 在峰值电价时放电, 降低用电费用, 原始负荷与加入储能后合成负荷对比曲线如图 3 所示, 由图 3 可知, 微网中储能系统可以降低峰值, 从而降低容量, 节省基本电费; 同时, 可以将峰值电价时期所需电量转移到谷值电价时期购买, 节省电量电费。

基于上述储能出力策略, 以储能系统净收益为目标函数, 以储能输出功率、储能荷电状态为约束条件, 建立非线性规划模型, 求解得到储能系统最优运行方式, 非线性规划模型如下。

1) 目标函数

$$\max f(x) = \sum_{i=1}^L P_i(t) X(i) \Delta T D + R_c [\max(P_{load}) - \max(P_{load} - X)] \quad (5)$$

式中, $f(x)$ 为每月储能系统收益; L 为时长; X 为一天内时间内的储能出力; $X(i)$ 为第 i 时刻的储能出力,

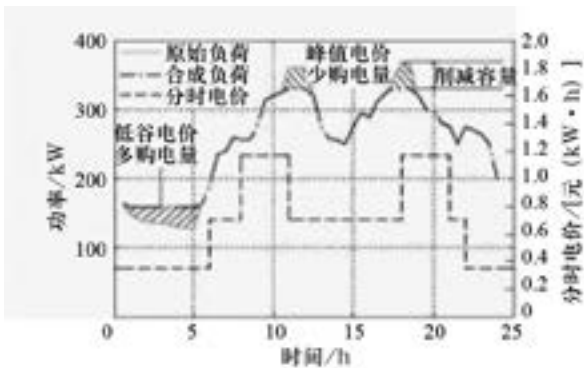


图 3: 原始负荷与加入储能后合成负荷对比曲线

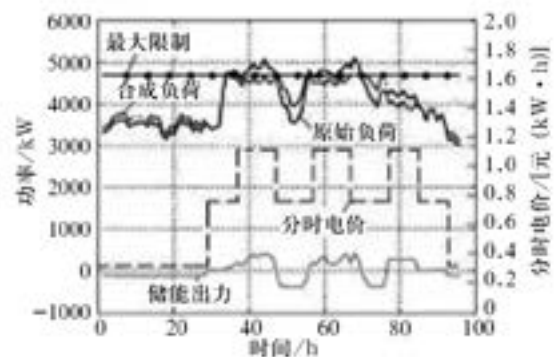


图 4: 储能最优出力与负荷曲线

当 $X(i) > 0$ 时储能系统放电, 当 $X(i) < 0$ 时储能系统充电; $P_t(i)$ 为分时电价; R_t 为容量电价; ΔT 为时间间隔; D 为一个月的天数。

2) 约束条件

储能出力约束为储能功率。

$$-P_t \leq X(i) \leq P_t \quad (6)$$

式中, P_t 为储能功率。

储能荷电状态 (State Of Charge, SOC) 约束

$$SOC_{\min} \leq SOC \leq SOC_{\max} \quad (7)$$

式中, SOC 表征储能系统电量与储能容量的百分比;

SOC_{\min} 、 SOC_{\max} 分别为 SOC 的上下限。

充放电平衡约束

$$\sum_{i=1}^L X(i) \Delta T \eta \frac{1 - \min(X(i))}{2} = 0 \quad (8)$$

式中, η 为充放电效率。

负荷最大功率上限约束

$$P_{\text{load}}(i) - X(i) \leq P_{\max} \quad (9)$$

式中, P_{\max} 为负荷上限值, 表征在储能作用下用户负荷最大值要低于此值, 从而达到容量电费的减少, 且 $P_{\max} = \max(P_{\text{load}}) - \min(P_t, P_{te})$, $P_{te} = E_N(SOC_1 - SOC_2)/T_e$ 。

T_e 为峰值时段持续时间, E_N 为储能系统统的额定容量, 且 $E_N = P_e T_e$, T_e 为储能系统充放电时间, 即储能系统以额定功率 P_e 完全充电或放电所需时间。

针对上海地区某区域的负荷, 在配置功率为 500kW, 充入电时间 $T_e=3h$ 的储能系统情况下, 采用上述非线性规划模型可得储能最优出力与负荷曲线, 如图 4 所示, 储能系统 SOC 曲线如图 5 所示。

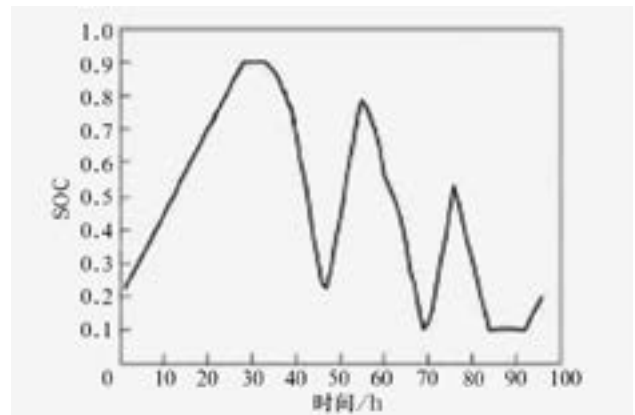


图 5: 储能系统 SOC 曲线

储能系统的生命周期净收益即收益与成本之差。

其中, 收益为节省电费收益, 成本包括初始投资成本与运行维护成本。配置不同, 功率容量的储能系统并对储能系统收益进行对比分析、净收益与储能系统充放电时间关系如图 6 所示。由图 6 可知, 当储能系统功率小于 700kW 时, 充放电时间为 $T_e=3h$, 净收益最大; 当储能系统功率大于 700kW 时, 充放电时间为 $T_e=2h$ 净收益最大。

图 7 为净收益与储能系统额定功率 P_N 的关系。由图 7 可知, 当储能系统大于 1000kW 时, 在任意充放电时间下, 净收益均为负。因此为减少计算量, 可设置储能系统额定功率上限为 1000kW。

1.3 成本和效益分析理论

成本效益分析是通过比较项目的全部成本和效益来

评估项目价值的一种方法，是经济系统分析的手段之一。本文选择净现值法对并网光储微网系统进行成本效益分析。净现值法是评价投资方案的一种方法，净现值大于零，则方案可行，且净现值越大，方案越优，投资效益越好。净现值计算式为

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_1(n) - C_0(n)}{(1+r)^n} \quad (10)$$

式中，N为生命周期年限；r为折现率(基准收益率)，一般为8%；C₁(n)为第n年的现金流入；C₀(n)为第n年的现金流出。

1.4 并网光储微网系统成本

并网光储微网系统的成本由以下三部分构成。

1) 初始投资成本

$$C_d = P_{pv} + n_{p,p} + P_N n_{e,p} + E_N n_{e,e} \quad (11)$$

式中，P_{pv}、n_{p,p}分别为光伏发电系统的装机容量、功率单价；n_{e,p}为储能变流器的单价；n_{e,e}为储能系统的容量单价。

2) 运维成本

$$C_m = C_{m1} + C_{m2} \quad (12)$$

式中，C_{m1}、C_{m2}分别为光伏系统运维成本与储能系统运维成本，计算式为

$$\begin{aligned} C_{m1} &= P_{pv} W_p \\ C_{m2} &= R_{out} W_e \end{aligned} \quad (13)$$

式中，P_{pv}、W_p分别为光伏系统装机容量、维护单位；R_{out}、W_e分别为储能系统放电量、维护单位。

3) 设备更换成本

由于光伏发电系统生命周期长于储能系统，因此需要更换储能系统，更换成本为

$$C_c = E_N n_{e,e} \quad (14)$$

1.5 并网光储微网系统收益

并网光储微网系统的收益由削减电费收益、向大电网售电收益、光伏补贴收益以及低碳收益四部分构成。

1) 削减电费收益

并网光储微网系统降低了向大电网购电成本，从而获得收益。削减电费收益计算式为

$$I_{dr} = I_{rl} + I_{dl} \quad (15)$$

其中

$$I_{rl} = (M - M') a \quad (16)$$

$$I_{dl} = \sum_{t=1}^{t_2} (P_{load}(t) - P'_{load}(t)) d(t) \Delta T \quad (17)$$

式中，I_{rl}为削减基本电费效益；I_{dl}为削减电量电费收益；M为原始负荷最大功率，即负荷原始最大需用量；a为基本电价；d(t)为电量电价；ΔT为时间间隔。

2) 向大电网售电收益

并网微网与大电网之间存在能量双向互动，因此，微网可以向大电网输出多余电力而获得收益。计算式为

$$I_{grid} = \sum_{t=1}^{t_2} P_{out}(t) u_{pv}(t) \Delta T \quad (18)$$

式中，u_{pv}(t)为光伏上网电价。

3) 光伏补贴收益

国家对光伏发电的支持力度不断加大，实行分布式光伏补贴政策，光伏在补贴收益计算式为

$$I_{pb} = R_{pv} b_{pv} \quad (19)$$

式中，R_{pv}为光伏发电量；b_{pv}为光伏补贴标准。

4) 低碳收益

碳排放交易(简称碳交易)是为促进全球温室气体减排、减少二氧化碳排放所采用的市场机制，是发展低碳经济、实现可持续发展的重要途径。因此，可通过碳交易将低碳效益量化，将低碳收益考虑在微网收益中。低碳收益计算式为

$$I_{lc} = R_c P_c \quad R_c = R_{pv} r_c \quad (20)$$

式中，R_c为碳减排量；P_c为碳交易单价；r_c为单位光伏发电量可以减少的碳排放量。

2. 并网光储微网系统电源规划模型

2.1 目标函数

为了使并网光储微网系统更具经济性，本文基于收益成本分析，建立以生命周期净收益最大为目标的微网电源规划模型，其目标函数为

$$f = \max[NPV] \quad (21)$$

式中，NPV根据式(10)计算，且有

$$C_1(n) = \begin{cases} 0 & n=0 \\ I_{dr} + I_{grid} + I_{pb} & 1 \leq n \leq N \end{cases} \quad (22)$$

$$C_D(n) = \begin{cases} C_d & n = 0 \\ C_m & 1 \leq n \leq N \quad n \neq n_0 \\ C_c + C_{m1} & n > n_0 \end{cases} \quad (23)$$

式中， n_0 代表此年内需要进行的设备更换。

2.2 约束条件

微网电源规划模型须满足微网运行的以下约束条件。

功率平衡约束

$$P_{load}(t) = P_{PG}(t) + P_{ESS}(t) + P_{grid}(t) \quad (24)$$

电源出力上、下限约束

$$\begin{cases} P_{PG}(T) \leq P_{PV} \\ -P_N \leq P_{ESS}(t) \leq P_N \end{cases} \quad (25)$$

储能荷电状态约束

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (26)$$

装机容量约束

$$\begin{cases} P_{PV} \leq P_{PV,max} \\ P_N \leq P_{N,max} \end{cases} \quad (27)$$

式中， $P_{pv,max}$ 为光伏最大允许装机容量； $P_{N,max}$ 为储能系统最大额定功率限制，根据 1.2 节可取值为 1000kW。

2.3 模型求解

所建立并网光储微网系统电源规划模型为非线性规划模型，所需数据量大，常规非线性规划方法求解困难，本文采用人工智能方法粒子群算法进行求解，算法流程如图 8 所示。

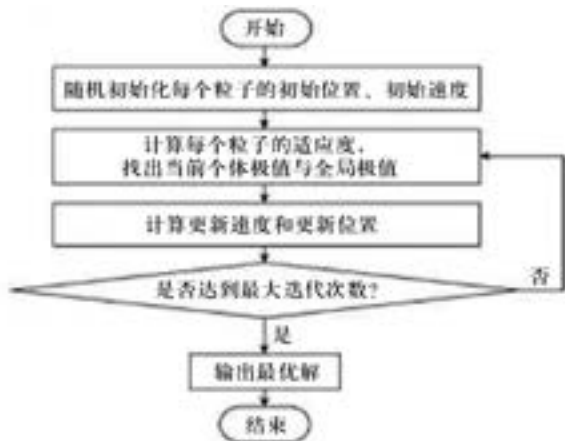
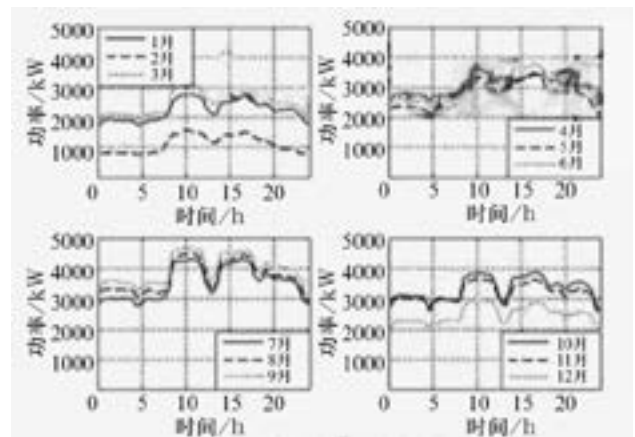


图 8: 粒子群算法流程

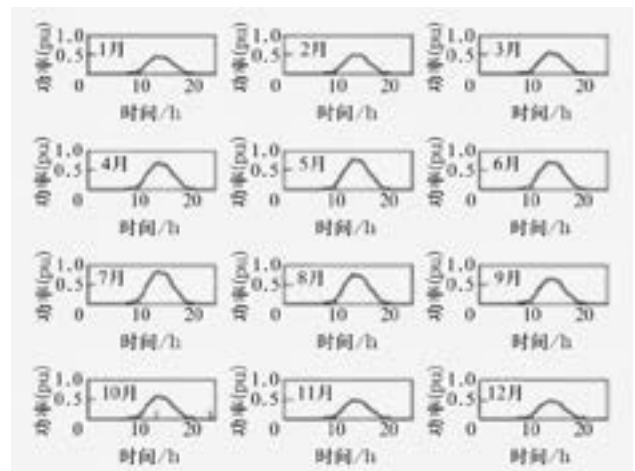
3. 算例分析

3.1 负荷情况与光伏出力

本文以上海地区某区域为例，典型负荷与光伏出力曲线如图 9 所示。



(a) 各月典型负载



(b) 各月光伏典型出力

图 9: 典型负荷与光伏出力曲线

3.2 边界条件与计算参数

算例采用上海市 2015 年最新两部制分时电价；储能系统 SOC 上、下限分别为 0.8、0.2；数据采样周期为 15 分钟

光伏设备寿命按 20 年考虑，储能设备寿命按 10 年考虑，成本参数见表 1。

表 1: 成本参数

	光伏	储能	
		变流器	电池
初始成本	8500 元 /kW	1000 元 /kW	2500 元 /kWh
运维成本	500 元 /kW/ 年	0.05 元 /kWh	

根据欧洲光伏产业协会 (European Photovoltaic Industry Association, EPIA) 的测算, 考虑到多晶硅的冶炼等环节消耗能源, 综合测算后 1kWh 的光伏发电大约可以减排 0.6kg 二氧化碳, 约减排 0.16kg “碳”, 根据“中国碳排放交易网”中数据取上海地区碳交易价格为 15 元 / 吨。

3.3 并网光储微网系统规划结果

根据并网光储微网系统电源规划模型, 得到生命周期净收益与光伏装机容量、储能系统功率的关系, 如图 10 所示。

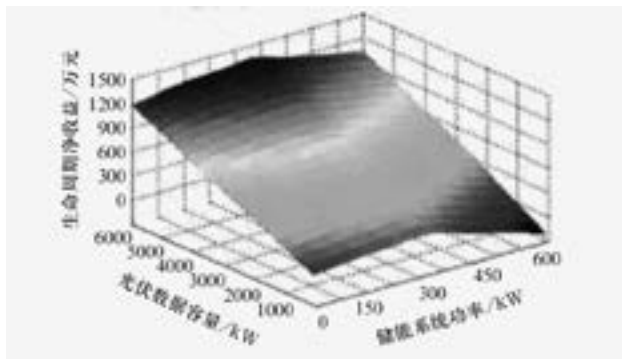
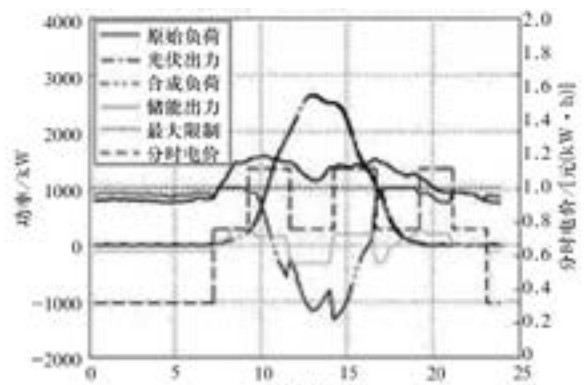


图 10: 净收益与光伏装机容量、储能功率关系

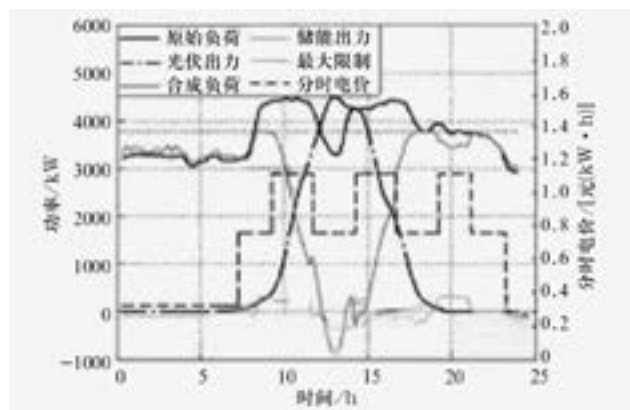
由图 10 可知, 随着光伏装机容量的增加, 微网系统净收益呈增加趋势, 即光伏装机容量越大, 微网系统的净收益越大。而随着储能系统功率的增加, 微网系统净收益没有一直增加。由于储能系统成本高, 且储能带来的收益单一, 当储能功率达到一定值时, 削减电费收益的增长低于成本的增长, 净收益增长变负。因此, 当光伏装机容量一定时, 随着储能功率的增加, 微网净收

益先增加后减少。

采用粒子群算法对并网光储微网电源规划模型求解可得, 当光伏装机为 6000kW、储能系统为 330kW/3h 时, 对应的净收益最大, 20 年累计 NPV 为 1326 万元。2 月份、8 月份出力曲线如图 11 所示, 各项收益和成本见表 2, 净现金流量见表 3。



(a) 2 月



(b) 8 月

图 11: 2 月份和 8 月份出力曲线

表 2: 收益和成本

	项 目	金 额
成本	初始投资成本 (万元)	5380.5
	运维成本 (万元/年)	303.4
	设备更换成本 (万元)	280.5
收益	削减电费收益 (万元/年)	645.8
	售电收益 (万元/年)	44.6
	光伏补贴收益 (万元/年)	306.6
	低碳收益 (万元/年)	1.8

表 3: 净现金流量 (单位: 万元)

年份	现金流入	现金流出	净现金流量	净现金流量折现值	累计 NPV
0	0	5380.5	-5380.5	-5380.5	-5380.5
1	998.7	303.4	695.3	643.8	-4736.7
2	998.7	303.4	695.3	596.1	-4140.6
3	998.7	303.4	695.3	552	-3588.6
4	998.7	303.4	695.3	511.1	-3077.5
5	998.7	303.4	695.3	473.2	-2604.3
6	998.7	303.4	695.3	438.2	-2116.1
7	998.7	303.4	695.3	405.7	-1760.4
8	998.7	303.4	695.3	375.7	-1384.8
9	998.7	303.4	695.3	347.8	-1036.9
10	998.7	303.4	695.3	322.1	-714.9
11	998.7	303.4	695.3	177.9	-537
12	998.7	303.4	695.3	276.1	-260.9
13	998.7	303.4	695.3	255.7	-5.2
14	998.7	303.4	695.3	326.7	231.5
15	998.7	303.4	695.3	219.2	450.7
16	998.7	303.4	695.3	203	653.7
17	998.7	303.4	695.3	187.9	841.6
18	998.7	303.4	695.3	174	1015.6
19	998.7	303.4	695.3	161.1	1176.7
20	998.7	303.4	695.3	149.2	1326

表 4: 净现金流量 (单位: 万元)

年份	现金流入	现金流出	净现金流量	净现金流量折现值	累计 NPV
0	0	5380.5	-5380.5	-5380.5	-5380.5
1	692.1	303.4	388.7	359.9	-5020.6
2	692.1	303.4	388.7	333.2	-4687.4
3	692.1	303.4	388.7	308.6	-4378.8
4	692.1	303.4	388.7	285.7	-4093.1
5	692.1	303.4	388.7	264.5	-3828.6
6	692.1	303.4	388.7	244.9	-3583.7
7	692.1	303.4	388.7	226.8	-3356.9
8	692.1	303.4	388.7	210	-3146.9
9	692.1	303.4	388.7	194.4	-2952.4
10	692.1	303.4	388.7	180	-2772.3
11	692.1	303.4	108.2	46.4	-2725.9
12	692.1	303.4	388.7	154.4	-2571.6
13	692.1	303.4	388.7	142.9	-1428.6
14	692.1	303.4	388.7	132.3	-2296.3
15	692.1	303.4	388.7	122.5	-2173.7
16	692.1	303.4	388.7	113.5	-2060.3
17	692.1	303.4	388.7	105.1	-1955.2
18	692.1	303.4	388.7	97.3	-1858
19	692.1	303.4	388.7	90.1	-1767.9
20	692.1	303.4	388.7	83.4	-1684.5

如若不考虑光伏补贴政策, 收益中光伏补贴收益一项将不存在, 此时, 净现金流量见表 4。在缺少光伏补贴的情况下, 由于成本高、收益低, 以致整个生命周期净收益累计为 -1648.5 万元, 不具经济性。因此, 在光伏成本降低之前, 光伏发电的推广需要政策的鼓励与支持。

3.4 粒子群算法与其他算法的对比

本文分别采用粒子群算法、人工鱼群算法和量子遗传算法三种优化算法对微网电源规划模型进行求解, 计算结果见表 5, 收敛曲线如图 12 所示。仿真结果表明,

在微网电源规划问题中, 粒子群算法更具优势, 该算法具有并行搜索、搜索全局最优等优点, 相比其他两种算法, 收敛速度快且能够找到更优解。

4. 结论

1) 以生命周期净收益最大为目标, 考虑光伏补贴政策与分时电价, 建立基于并网光储微网系统成本/收益分析的电源规划模型, 较全面地考虑了功率平衡约束、电源出力约束和储能荷电状态约束等。

2) 以上海地区某区域负荷数据为例, 根据其负荷

表 5: 计算结果

算法	光伏功率 (kW)	储能功率 (kW)	储能容量 (kWh)	净收益 (万元)
粒子群算法	6000	330	990	1326.0
人工鱼算法	5930	330	990	1314.4
量子遗传算法	5930	330	990	1314.8

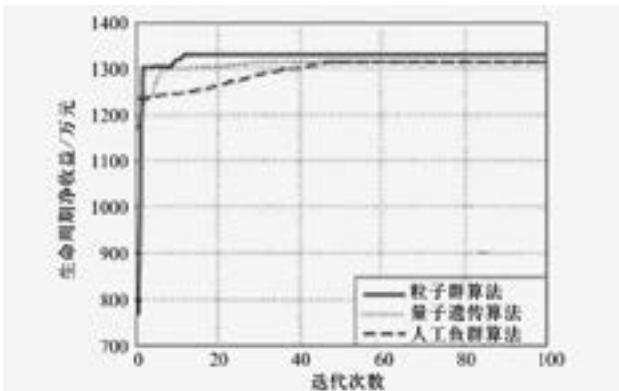


图 12: 收敛曲线

需求与光伏出力，进行并网光储微网系统电源规划。算例分析结果表明，随着光伏装机容量的增大，微网系统净收益呈增加趋势；当光伏装机容量一定时，随着储能系统功率的增加，微网净收益先增加后减少。

3) 相比人工鱼群算法与量子遗传算法，粒子群算法在微网电源规划问题中，具有收敛速度快、更易找到全局最优解的优越性。

4) 所提出的并网光储微网系统电源规划模型考虑了经济性，可以得到较合理的规划方案，能够为微网投资提供科学的决策支持。来源：《电工技术学报》



功率曲线测试国际标准 IEC61400-12-1 最新修订终稿将于近期公布

2016年5月17日~19日，国际电工委员会（IEC）风力发电机组技术委员会 TC88 下的 MT12-1 第 16 次标准修订组会议在德国法兰克福召开。来自 7 个国家的 20 多位专家针对 200 多条技术性意见，经过 3 天的讨论和修改，完成了 IEC61400-12-1 的最终稿国际标准（Final Draft International Standard），并将于近期发布。作为工作组的成员，北京鉴衡认证中心的专家参与了本次会议。

功率测试标准在技术发展和行业需求的推动下不断演化，新版标准在 2005 版标准的基础上进行增加和修改了大量内容。在本篇文章中，我们将总结 IEC61400-12 系列标准的发展历程，并概况最新的标准动态。对于技术细节，我们将在随后的文章中分专题进行展开。

1. IEC61400-12：功率曲线测试系列标准发展概况

IEC 第一版有关功率曲线测试的标准发布于 1998 年，即 IEC61400-12，但是由于当时的版本并不完善，仅是 IEC 在商业压力之下发布的标准，修订工作仍在持续。工作组随后将功率曲线测试分为 3 个部分，并分别开展了相关修订工作：

- 整机功率曲线测试
- 功率曲线验证
- 风电场功率曲线测试

第一部分修订工作的最终成果就是 2005 年发布的 IEC61400-12-1 第一版。该版的修订过程主要关注方面包括：风速的定义、数据库筛选原则、场地标定、障碍物评估以及风速计标定。

在沉寂了 2 年之后，2007 年工作组重新启动了修订工作。当时行业中在使用 2005 版标准时面临的问题主要包括：

- 由于风轮直径的增大，风剪切对功率测试的影响必须考虑
- 激光雷达等新测风技术的出现在标准中没有涉及
- 障碍物评估及场地标定中有一些情况没有清晰的定义
- 风速计分级和标定的方法不明确
- 不同的气象条件对功率曲线的影响

工作组将整机功率曲线测试的修订工作单独分离出来，成立了 MT-12-1 工作组，并在此之后的近 10 年里针对这些问题进行了全面系统的修订工作，并完成了 IEC61400-12-1 2016 版的终稿。而由于种种原因，原定的 2、3 部分的修订工作并未能按计划完成，但是 MT12-2 小组在 2013 年发布了 IEC61400-12-2：使用机舱风速计进行功率曲线测试。

2. IEC61400-12-1 更新摘要

风轮等效风速

2016 版的标准中提出了风轮等效风速（Rotor Equivalent Wind Speed, REWS）的概念。其想法是将整个风轮平面进行“分层”，利用通过风轮面风速产生的总能量相等这个假定推算出一个“等效风速”。

激光雷达

新版标准中加入了激光雷达进行风速测试的内容，

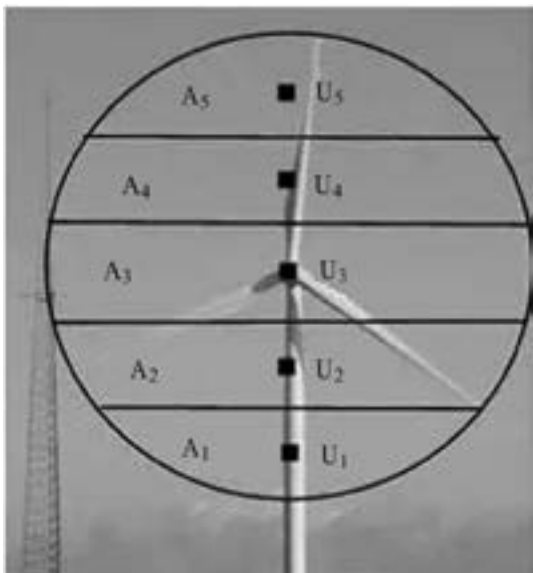


图 1：每一层不同高度的风速根据该层的面积进行权重分配，累加起来得到风轮等效风速

对激光雷达的使用条件进行了描述，在附录 L 中详细介绍了激光雷达的分级和标定要求。

障碍物评估、场地评估和场地标定

相比 2005 版标准，新版标准附录 A、B、C 的内容更加详细。附录 A（障碍物评估）中加入了对于延展性障碍物（例如森林）的描述。附录 B（地形评估）中提出了地形图的解析度的要求，增加了 8L~16L 范围的要求，并且对地形的坡度和高差给出了更加清晰的定义。

附录 C（场地标定）的改动相对较大。首先在风速对比的基础上增加了风剪切的对比；其次对风速修正方法上增加了线性回归的方式；此外还对不确定度计算，一致性校验等作出了相应的改动，并增加了数据处理的例子。

风速计标定、分级和安装

新版标准中关于风速计的改动主要包括：风洞尺寸要求以及标定流程更加详细；风速计分级和评价的描述更加详细；测风塔尺寸改变，要求更加详细；风速计现场标定中，更正了 2005 版标准中的描述，并增加了更

加详细的内容。

空气密度以及其他气象条件的标准化

新版标准中关于空气密度标准化的描述做了 2 处调整：取消了以海平面空气密度为参考空气密度的要求；修改了场地平均空气密度按照 0.05kg/m^3 近似的要求。

增加了附录 M：湍流度标准化，以及附录 P：风剪切标准化

不确定度

在标准修订的最后，不确定度是工作组中讨论的焦点。新版标准中增加了大量不确定度的内容，对影响测试的因素进行了全面的考虑。

除了上文提到新增内容之外，新版标准增加了风向标风洞标定以及低温环境条件下功率曲线测试等内容。

（来源：IEC 标准）



关于燃料电池产业化发展的几点思考

□ 中国电器工业协会标准化工作委员会 卢琛钰

以信息技术为核心的新一轮科技革命正在兴起，伴随着信息技术的发展，新材料技术、新能源技术、生物技术、高端制造技术等广泛渗透到几乎所有领域，各类技术交相融合、不断突破，并与互联网下的各种创新商业模式结合，推动产业发展的急剧更替和领域重构，其中一些颠覆性技术的发展使得社会生产力得到大幅度的飞跃发展，为人们的生活带来的理念性变化，也使得我们对未来充满了更多期待和憧憬。其中，氢能和燃料电池技术，是这些颠覆性技术中的最值得期待的发展方向之一。



随着我国关于能源发展“两个革命、一个合作”和“建设清洁低碳、安全高效能源体系”的总体战略部署和要求，相对照以日本和美国为代表的发达国家在燃料电池技术方面的快速发展，也促使我国氢能和燃料电池的发展到了一个政策不能再摇摆、技术和产业亟需阶跃、资本投入和应用示范大幅增加的重要阶段。近两年，燃料电池从业群体不断壮大，各类活动频繁且丰富，作为一个产业正在逐渐形成。结合当前燃料电池产业发展的几个问题，笔者尝试提出如下建议：

一、国家层面应尽快建立氢能和燃料电池发展的部级联席议事机构和机制，统筹协调各部门、各地方的各类政策和规划。

今年以来，国家发改委、工业和信息化部、国家能源局在《中国制造 2025—能源装备实施方案》、《能源技术革命创新行动计划 2016—2030 年》等文件中对于燃料电池技术仅仅是点到为止，即推动了产业界和资本界对燃料电池技术的重视和青睐，而今年是我国“十三五”规划第一年，各部门、各地方势必在各类规划中浓墨重彩地推出燃料电池产业（近日“十三五国家科技创新规划”已正式发布，氢能和燃料电池也有相关内容），且随着电动汽车市场的不断成熟和各方更加清醒的认识，对于燃料电池技术的政策扶持力度也势

必会逐步加大（目前出台的一些文件中明显有各说各话的痕迹）。而我国规划制定的特点是国家层面规划一旦做出部署，各部门、各区域、各地方、各行业的各类规划就会纳入其中，多数的规划都会带有项目、资金和产业布局，而过往的一些新兴产业发展轨迹告诉我们，脱离了技术发展水平的理性分析的一些规划布局，必将导致一个新的产业快速膨胀式发展，在短时间内缺乏技术的来源和储备，就会按照资本运营的轨迹去发展，造成企业还没成长就被甩卖，产业还没成熟就过剩，如同过山车般地发展，造成国家资金和资源的大量浪费，产业发展也命运多舛。

而氢能和燃料电池现在就上升到国家层面去设立议事机构是否必要？个人认为非常必要！凡是预则立，只要大家对于方向认可，高层次的提前布局，胜过像现在某些产业发展到市场出现诸多难以协调的问题，国家资源造成了极大浪费，各关联行业山头林立无法协调之后，国务院层面才出手，建立协调机制，高层亲自挂帅。扁鹊虽是神医，但扁鹊大哥却更为高明。因此笔者建议，氢能和燃料电池作为未来战略性的发展产业，国家安全部都认为是“涉及我国经济安全和国防安全的产业”，国家应在国务院层面尽快组织建立部级联席议事机构和机制，对于科研项目、应用示范、标准检测、产业布局、市场监管等重大问题做出统筹协调，避免各部门、各地方的政策之间缺乏沟通，各扫院雪，各养各孩，甚至重复矛盾，资源浪费。

二、政府、行业、企业、资本、用户等各方应统一思想，提高共识，共同优化市场环境，保护市场主体的技术创新和商业模式创新的积极性。

移动互联网时代，新的技术、新的产业孕育的是新的企业和新的商业模式，正如中国经济日报出版社韩文高社长所说，我们创造了世界上36%的商业模式，但我们把创新的精力放到了服

务领域，而且把创新的资本也放到了服务领域，于是支撑中国经济的实体产业出现了前所未有的艰难。氢能和燃料电池作为新兴产业中的实体产业，我们需要商业模式的创新，但我们最需要的还是产业共性和产品研发方面的科技创新。氢能和燃料电池产业的发展，需要行业主管部门和地方政府能有管有放，管放结合，加大科技项目支持力度，加大知识产权保护力度；加大财税支持，有序推进减税降费，落实新技术新产业税收优惠政策，购置先进技术装备提升研发和生产能力的，能按规定给予企业享受所得税优惠；依托国家和地方重大项目，推动国产氢能和燃料电池技术装备应用；完善承保理赔机制，降低企业财务成本，支撑国企、央企采购国产燃料电池系统和设备，加大政府支持和示范项目采购力度。也希望行业、企业、资本和用户能充分发挥市场在科技和产业创新资源配置中的决定性作用，推动协同创新，主动去培育技术市场，拓展燃料电池新技术、新产品的市场应用空间；同时产业发展之初，各方也需要携手加强行业自律，防止学术耗子、产业骗子和狸猫太子骗取政府和市场资源，扰乱氢能燃料电池产业发展的新秩序，过早消费一个新技术、新产业发展在用户和社会中的预期声誉，伤及产业忠良。

当然，现在也有一个现实问题，科技创新与引进技术的问题。我国的燃料电池技术研发真正开展有近二三十年了，但主要依靠国家科技项目支持，缺乏大企业介入和大资本投入，一直进展缓慢。而国外发达国家已经从政府到私人企业、公司研发几十年，很多技术已经成熟，现在基本不需要支持基础研发了，需要的是产业化、商业化、市场化。我国资本界和产业界的很多有识之士，看到了当前发达国家的高成本使得私人企业、公司无法进行有效产业推进，而我国又缺乏有效的核心技术，就开始循着其他产业的历程，走引进消化吸收的路径。这自然也是一个思路，之前和毛宗强教授在群里也聊到：“引进当来源，消

化很关键，吸收当自主，创新可实现”。“现在引进技术的时机无疑是很好的，但是也要防止鱼目混珠，有些所谓的先进技术不经辨别或没有经过市场的考验会推到中国来。中国已经不是 10 年前的那么低成本以牺牲很多其它方面的利益，如环境、资源、产业自主等，所谓低成本的加工制造时代，所以一定要合理明智地引进国外的先进和国内空白的技术”瑞典皇家工学院朱斌教授给我的邮件中如是说。所以我们既要避免思想保守，固步自封，也要防止大跃进式地盲目引进发展。套用总设计师的一句话：“当前我们要警惕右，但主要是防止左”。

三、产学研用相结合，共同推进制约我国燃料电池发展的关键技术点面突破，建立燃料电池工程化的技术和产业供应链体系。

说到自主创新技术，目前国内研发单位在燃料电池电催化剂、质子交换膜、碳纸、膜电极组件、双极板等关键材料方面已经取得技术突破，采用自主生产的材料已经能够组装燃料电池电堆，基本性能已经达到或超过进口材料水平。但还有一些关键技术问题，需要产学研用共同努力，点面结合，重点突破。比如：燃料电池发电系统的可靠性与耐久性，近年来国内一些机构的主要研究工作集中在分析燃料电池衰减机理，进而从材料创新与系统控制策略等方面着手，确实提高了燃料电池耐久性，但距商业化的要求还有一段距离，建立寿命考核平台，研究与制定快速寿命评价方法，通过实验掌握影响寿命的敏感因素，从而为延长寿命制定应对策略。再比如：如何降低 Pt 催化剂用量，尤其是车用燃料电池要求在有限空间输出较高功率，且运行环境不可避免地承受空气污染，这需要各方持续投入，支持降低 Pt 用量燃料电池技术开发，研制低 Pt 催化剂、低 Pt 膜电极组件（MEA），提高催化剂利用率，保证大电流密度下电池输出性能。还有，目前国内一些机

构和企业打造的样品，性能方面不输于国外技术先进企业，但产业化需要的不光是样品，“一木葱茏不是林”，产业发展需要形成带质量控制的批量生产线，产品的质量与均一性能得到很好控制，形成批量生产能力；燃料电池的发展需要燃料供应链的安全、稳定和持续性，而我国目前在储氢技术和设备、加氢站建设等方面都还有很多亟待解决的问题（上述问题，衣宝廉院士在多个场合的报告中都有提到，侯明老师曾给我一个建议报告中也展开阐述了上述内容）。

氢能和燃料电池技术是未来国际间战略竞争的关键技术之一，我们可以走一些引进技术或者收购企业的曲线，但工业化最终目标一定要是解决上述关键问题，实现自有技术和国产化，因为“这个世界从来不是自由市场经济，仍然是典型的丛林法则。任何时候，只有你能造的出来，别人才和你谈自由市场。当你造不出来，面对的或者是高价倾销，或者是禁运”。而如何以企业为主体，打造全产业链的技术创新和工程应用，笔者建议：一是角色归位，大学、科研机构、企业、用户，在基础研究、共性技术、工程化、应用技术、人才培养等工作上各司其职，莫要走太远了忘了出身；产业链上各类企业立足本身，发挥优势，加强互补，做足做精，莫要趋利趋热，跳过肉案吃豆腐；二是要从政策和产业两个层面，推动资源和能源巨头企业（尤其是一些央企）进军燃料电池领域，结合自身产业优势，或做煤炭化工转型制氢，或做窝电弃风弃光氢储能，或做燃料电池和不同发电系统互补，或为燃料电池示范应用提供机会等等，既实现企业产业转型，又助推国家战略竞争；三是企业和产业规划要理性，企业家内心要端正，头脑要清醒，吸取光伏、风电、电动汽车等新兴产业发展过程中的企业预期太高、资本冲昏头脑、骗补充利等方面的教训，认真打造核心技术为主的竞争力，少编故事，多干实事；四是企业家还是要多找钱，会花钱，要切实提高一线产品研发人员和试验检测人员的待

遇，创造宽松创造环境，专业技术人员也要目光长远，积蓄未来，避免人人围着资本转，产业变成空心钻。

四、燃料电池行业社会团体组织应尽快完成改革，发展壮大，为政府提供技术咨询和支持，为行业发展提供真实可靠信息，逐步推动建立完善的公共服务体系。

随着社会组织在我国的发展，社会组织参与社会事务和行业发展的能力不断增强，党的十八大报告明确提出，要“加快形成政社分开、权责明确、依法自主的现代社会组织体制”，“引导社会组织健康有序发展”。尤其是十八届三中全会以来，在国务院不断推动政府简政放权改革的推动下，国家出台了不少促进社会组织发展的有利措施，在一定程度上促进了社会组织治理体系朝现代化的方向发展。近期民政部又公布了《社会团体登记管理条例》（修订草案征求意见稿），引起了广泛关注。一个新的产业发展，必然伴随着一些新的行业组织的发展，而产业发展也确实离不开一些良性、权威的行业组织，因为有太多的事情需要他们去做，包括贯彻政府的政策、反应企业的诉求、加强技术信息交流、推动共性技术研究、组织行业标准的制定和检测认证服务等，这一点上，风电等行业的协会组织，值得我们学习。

近几年来，尤其是今年以来，随着市场对氢能和燃料电池产业的预期提高，各相关联行业组织都纷纷部署燃料电池行业工作，而一些新的组织也在孕育和发展之中，目前针对氢能和燃料电池领域，依法依规成立且在行业具有一定影响力的学术组织和行业组织包括：国家标准化管理委员会批准成立的标准化机构——全国氢能标委会、全国燃料电池及液流电池标委会（均为非法法人机构）；按照民政部相关要求成立的行业协（学）会组织——中国可再生能源学会氢能专委会、中国电器工业协会燃料电池分会、中国电工技术学

会氢能发电装置专委会；其他一些行业组织也涉及到一些氢能和燃料电池方面的工作，包括中国汽车工业协会、中国汽车工程学会、中国通信标准化协会、中国化学与物理电源协会等，但并未有专门的分支机构，有的以储能的分支机构或储能联盟来开展相应工作。值得一提的是全国汽车标委会下设电动车辆分标委会，燃料电池汽车相关标准由该标委会组织制定，中国能源研究会近期也在筹划组建燃料电池专委会。近两年来，由于国家推进社会团体组织的全面改革，尤其党中央和国务院部署的2015-2017三年脱钩试点改革，对一些行业组织的管理渠道、管理模式、机构职能、财务人事制度等都在做出一些调整，所以一些行业组织近两年改革任务较重，或者高层因人事资格问题而动荡，业务活动方面会受到一些影响，但随着改革的深化，有实力的机构必将走向正轨。

当然，产业成为热点，就会有草台班子和山寨机构乘机敛钱和获取资源，至于近期一些打着“中国”、“中华”、“国际”旗号的所谓燃料电池领域的一级协会组织，不必多说，可以在民政部、中国科协网站搜索，以辨真伪，前期就有一个所谓“能源科技产业”方面的组织，在广泛联系会员，封分职位，敛取“会费”，经查其为香港注册的山寨组织。而一些联盟，有些是上下游上几个企业自发形成，为了抱团打造产业链，这无可厚非，也值得鼓励；但有些联盟，则是没有技术来源和产业背景，为了尽快进入这个领域，由一两家发起，拉拢一些不明是非的企业和机构聚拢在一起，自封职位，私刻印章，其目的是为了忽悠国家和地方资源，或者骗取一些企业缴纳会费来搞活动，请辨识其工作主旨以及机构成立的合法性和法人资质（据了解目前仅中关村和部分地方放开联盟注册法人机构）。氢能和燃料电池相关协会、学会组织，应按照国家改革部署，做好内部治理，同时应加强对行业服务和组织协调，尤其是在推广先进技术和管理模式，全产业

链信息统计发布，加强行业自律，抑制行业泡沫公司扰乱秩序，树立行业良好形象，产业化进程中任重而道远。

五、充分利用现有氢能和燃料电池领域国家扶持的基础研究和产业研发平台，提高科技资源配置效率，加大各级各类人才培养力度。

“科技创新能力主要取决于人才，所谓创新驱动说到底还是人才驱动。”氢能和燃料电池产业现在要蓬勃发展、创新发展、可持续发展，说到底，最关键的还是要看有没有足够的人才队伍。记得几年前，一位江苏做电线电缆的企业老总，也是多年的朋友，跟我说他准备投入新产业方向——做锂离子动力电池，我当时带他与863国家动力电池检测中心王子冬主任做了沟通。王主任提出三个问题：一是你准备投多少钱，是否能够支撑你和巴菲特、中信、中航、中海油等大的投资人或机构支持的企业竞争一段时期；二是你现有的客户，有多少是跟动力电池相关的，有直接的市场渠道；三是你有多少锂离子电池的人才储备？前面两个问题在此不细说，单就第三个问题，当那位老总听到王主任说：“目前国内懂锂离子电池设计和测试的专业技术人员也就30多人，你想挖都挖不到”时，又考虑其他因素，他就决定放弃了。当然，现在的锂离子电池行业技术发展和人才队伍不可同日而语，但当时，确实是人才队伍的短缺限制了很多企业在这个领域的拓展，现在，燃料电池产业面临同样的问题。

现在氢能和燃料电池在资本市场很热，导致很多新进入的资本机构和企业，头脑发热，脑海里都是：“我国的燃料电池乘用车虽然不行，但大巴和物流车技术已经可以了，我们可以走这个方向”，“我们除了电堆技术，系统集成已经没有问题了，电堆嘛，可以买”这样的概念，但也许他们忘了，即便是买，也需要真正懂技术的人帮你鉴别真伪，买来了还需要专业人员进行系统

集成，否则，一旦出现一些安全事故，毁灭的将是行业的未来。而专业技能人才的培养并不简单，合格的技能人才在培养中除了知识的灌输，更为重要的是实际操作能力的培养，在这一点上，中科院的大连化物所及其他专业所，清华、同济、武汉理工等具有较强实力的高等院校，具备强大的技术储备和实验室能力，也责无旁贷，希望能通过校企合作，共同制定教学计划，共同教学，共同评价，产业和教育双驱动，让机构、人才、装置、资金、项目都充分活跃起来，加快加大我国氢能和燃料电池专业人才群体的培养。

当然，人才培养还有另外两个重要问题：一是对于燃料电池科技开发型企业的主要负责人在企业管理方面的高端培养，储备我国氢能燃料电池产业的未来。因为新兴产业的发展，多数的企业领袖都是技术起家，有些企业技术方面本来很有前途，但由于带头人缺乏现代的管理能力，导致企业早期夭折；有些企业赶上好机遇，企业过快地做大，技术出身的企业带头人由于管理不善，导致企业过山车般发展，命运多舛，甚至盛极而衰（这一点，在太阳能和风电领域很具有典型案例）。二是要加强燃料电池行业技术人才的流动，促进技术和人才的杂交融合。现在国内的主要研发企业，多是依托研究院所和大学的技术孵化而来，门第之见甚强，或者是为了技术的保密，或者是因为母体单位不舍培养的英才，导致了我们一些企业的技术团队近亲繁殖，技术囿于师承，企业的视野和技术多元化收到制约。燃料电池行业要想健康发展，就要加速人才的流动，在不损害企业核心利益的情况下，无论国际国内还是国内企业之间，请进来，走出去，优势互补，技术交融，方能产业共进。

后记：根据近期参加一次会议的发言，延展而仓促成文，不成系统，谨代表个人观点，敬请批评指正。

（本文作者是中国电器工业协会燃料电池分会和全国燃料电池及液流电池标委会秘书长）

2016 年中国智慧路灯应用现状分析

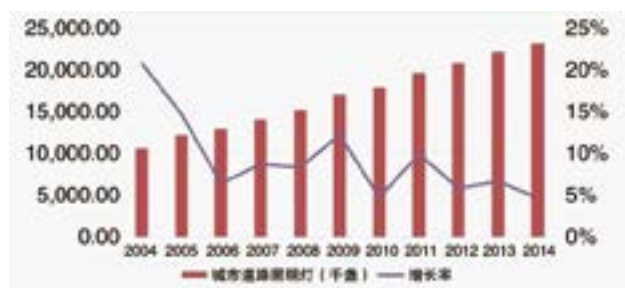
城市道路照明是城市公共设施的重要组成部分，而随着城镇化建设的推进，城市道路照明路灯的数量越来越多，能耗越来越高，供电趋于紧张。此外，城市照明的维护工作和高昂的维护成本（人工控制、路灯巡查等），给城市管理造成了巨大的困难。



一、我国路灯市场现状

1. 路灯存量巨大且稳定增长

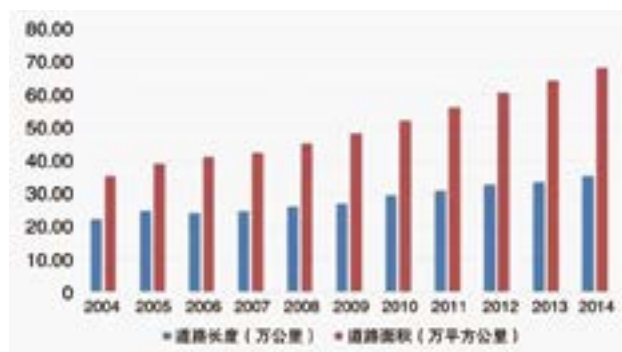
作为城市照明的主体，城市道路照明伴随着我国城市建设的高速发展，获得了快速的增长。国家统计局数据显示，从2004年至2014年，我国城市道路照明灯数量由1053.15万盏增加到3000万盏以上，年均复合增长率超过11%，城市道路照明行业保持持续快速发展的趋势。



2004-2014 年中国城市道路照明灯 (千盏) 及增速

2. 我国城市道路建设推进路灯建设

城市道路照明工程属于城市基础设施建设，是国家投资的公共设施建设的一部分。近些年来，随着国家对道路建设的持续投入，我国城市年末道路长度和面积连续多年增加。国家统计局数据显示，从2004至2014年，我国城市实有道路长度从22.3万公里增加到33.6万公里，年均增长率4.25%。



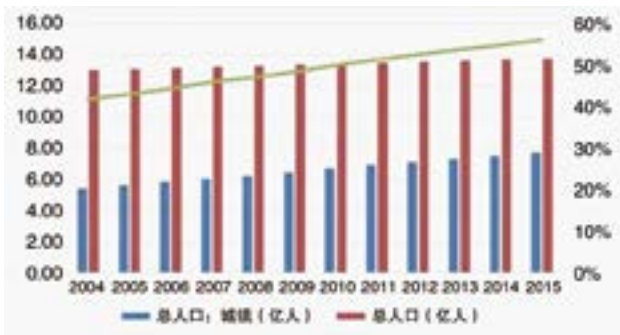
2004-2014 年末我国城市实有道路长度及面积

3. 城镇化的持续推进，加快路灯的基础设施建设

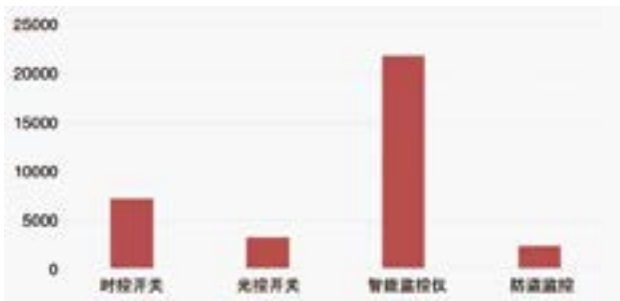
作为城市公共市政建设的一部分，城镇化的建设将直接推动城市照明行业的发展。近年来，我国城镇化进程快速推进，城镇化率逐步提高，在2005-2015年，我国的城镇人口从5.62亿增长到7.71亿，城镇化率从42.99%增长到56.1%，年均增长2.45%。我国的城镇化还将不断推进，国家对城镇化建设的投入会继续加大。因此，国家对城市道路照明等基础设施建设将持续投入。

4. 照明能源消耗巨大，效率有待提高

2013年全社会用电量为5.32万亿千瓦时、同比增长7.5%。2013年道路照明用电量占全部照明用电量的29%，约占全社会用电量的9%，位居各领域照明用电



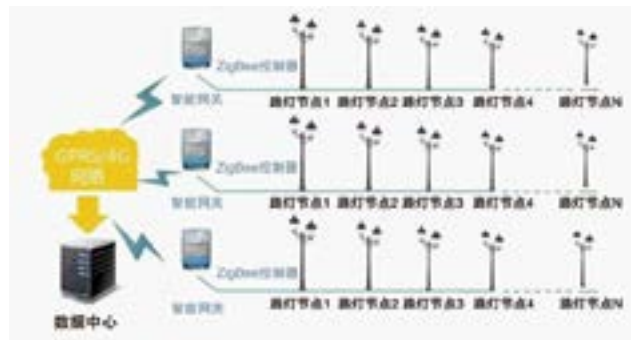
2004-2015年我国城镇化情况



道路照明控制系统情况

路灯控制系统从最初的开关控制功能，逐渐演化到了监控节能控制功能，同时，各种新技术被用于路灯监控系统中。在路灯控制领域，主要有 PLC 技术（电力载波通信技术）和 ZigBee 无线通信技术以及、RS485 串口通讯技术三种方式实现对路灯的控制。

ZigBee 是一种近年来才兴起的无线网络通信技术标准。虽然它出现的时间较短，但是相对于 PLC 技术和 RS485，基于 ZigBee 的无线通信产品和应用得到了迅速的普及和越来越广泛的应用，上升势头十分明显。



ZigBee 路灯控制系统

量之首。

从上述路灯市场现状来看，管理部门需要推出更有效率的管理和节能方案，来推进城市照明的科学管理和绿色节能。目前，根据道路照明专业委员会的统计，在全国 811 座城市中已有 263 座城市的道路路灯管控采用了“无线三遥（遥控、摇信、遥测）智能化控制系统”。

随着物联网、下一代互联网、云计算等新一代信息技术的广泛应用，智慧城市已成为必然趋势。智慧路灯作为智慧城市建设中的重要组成部分，未来发展空间巨大，路灯的智能化改造势在必行。

二、智慧照明技术比较和效益分析

1. ZigBee 与 PLC、485 技术对比分析

目前无论是在国家层面，还是在普通用户这里，大家对于智能控制的 LED 照明灯具接受越来越广泛。在 LED 路灯方面，拥有智能控制系统的 LED 路灯一直是行业发展的主流方向。

顺舟智能专注于物联网无线通信技术，是 ZigBee 智能控制领域的领导厂商。拥有十二年的 ZigBee 研发经验，在 ZigBee 道路照明行业耕耘超过 7 年，总共有超过 30 万数量灯具在不同国家、不同城市被点亮。同时，更有超过 500 万的 ZigBee 设备应用于各个行业。

通过顺舟科技对 ZigBee 与 PLC、485 三者之间的技术比较得知，ZigBee 特点明显，其中，PLC 技术是通过现有的电力线实现对路灯的控制，无需布线，但由于 PLC 技术控制任务复杂，点数过多，各站之间的模拟量、数字量信号需要交叉联锁，因此施工起来的成本会相对较大；对于 485 技术而言，其 485 技术对路灯的控制需使用通讯线来实现设备之间的数据传输，这种通讯技术不仅需要布线，而且施工成本方面相于 PLC 技术而言也会更大；而 ZigBee 技术利用的是现有的网络平台实现对路灯的控制，无需布线，另外，ZigBee 技术采用自组网络，其网络拓扑机构可以随意变动，这一特点对降低施工成本起到很好的作用。

	ZigBee	PLC	485
通信方式	无线	电力线	有线
是否需要布线	不需要	不需要	需要
施工成本	小	大	很大
运营维护	简单	复杂	复杂
通讯速率	高	低	高
传输距离	远	近	近
抗干扰能力	强	弱	强
负载干扰	无	有	无
安全性	高	低	高
稳定性	好	差	好

ZigBee与PLC、485技术对比分析

城市智慧照明系统中，PLC通过电线传输数据，方便快捷，但运营维护复杂，通讯速率低，传输距离近，抗干扰能力弱，负载干扰有，安全性低，稳定性差；485虽然抗干扰能力强、安全性高，无负载干扰，稳定性好，但其运营维护复杂，通讯速率低，传输距离近；而ZigBee技术具有运营维护简单，通讯速率高，传输距离远，抗干扰能力强，负载干扰无，安全性高，稳定性好的优点。

2. 城市道路智慧照明效益明显

使用以ZigBee技术为核心的顺舟科技城市智能道路照明控制系统前后对比：



凌晨一点到三点：车少人少，可采用隔一盏灯亮，时长为2小时

凌晨三点到五点：车人几乎没有，可采用隔两盏灯亮，时长为2小时

凌晨五点到七点：车人逐渐增多，可恢复隔一盏灯亮，时长为2小时

400瓦高压钠灯使用顺舟智能城市智能道路照明控制系统前后对比（按照一元/kWh）：

功率降至70%，每年每10万盏灯可节约费用3212万元

150瓦LED灯使用以ZigBee技术为核心的顺舟科技城市智能道路照明控制系统前后对比（按照一元/kWh）：

功率按时间降至50%—70%，每年每10万盏灯可节约费用25%

以上是最基本的节电方式，除此之外开关方式与降功率组合控制路灯照明，能够更加到达人性化，更加节能的效果，能够使城市用电节约15%—25%，达到了高效节能的目的。

另外，从路灯控制系统的成本、可靠性、信息化、应用前景等方面考虑，顺舟科技的ZigBee无线自组网网络技术可对全部路灯进行实时监控和管理，集中控制、监视、检查，大大减少了后期人力、物力、财力的投入，同时提高了巡查设备和路灯的工作效率。

（来源：圣未来V享天下 物联网）

日本小型风力发电机认证介绍

□ 上海天祥质量技术服务有限公司 刘磊

1. 引言

2011年福岛核电站事故后，日本的去核化呼声日益强烈，能源结构调整的需求使得日本政府决心大力发展可再生能源，以减少对核能的依赖。2012年，日本通过了《可再生能源特别措施法案》，可再生能源FIT（Feed-in Tariff，固定价格收购）政策于2012年7月1日正式开始实施。政策的刺激带动了日本可再生能源特别是光伏的高速增长，使日本一跃成为全球第三大光伏应用市场。

作为一个政策敏感型行业，政府补贴政策的变化对于产业的影响至关重要。日本FIT政策自2012年开始实施至今已有将近5年的时间，而日本FIT政策的调整方向，也将指引着日本新能源市场未来的发展。目前，日本可再生能源装机容量中，光伏占比超过90%。为了平衡各类可再生能源的发展，日本政府需要对抑制光伏的快速膨胀。

为此，日本产业经济省（METI）对光伏的FIT价格逐年下调，如表1所示：

而对于风力发电机组，额定容量小于20kW的小型风力发电机组，可再生能源FIT将继续维持自2012年以来制定的收购价格，即55日元/千瓦时（不含税）。

鉴于以上原因，日本小型风力发电机自2015年下半年以来迎来了全面普及期。与其他可再生能源相比，较高的电力收购价格对普及起到了推动作用。以前打算进入日本光伏发电系统的个人和企业开始对小型风力发电机产生兴趣。

2. 日本 ClassNK 认证

目前，适用FIT出售电力的条件之一是，该小型风力发电机组必须通过日本海事协会（ClassNK）的小型风力发电机型式认证。截止2016年9月7日，通过认证的产品共有14款，如表2所示：

表1：日本光伏FIT价格历年变化情况

系统规模	大于等于 10kW	小于 10kW
收购期限	20 年	10 年
2012.07-2013.03	40 日元 / 千瓦时（不含税）	40 日元 / 千瓦时（含税）
2013.04-2014.03	36 日元 / 千瓦时（不含税）	38 日元 / 千瓦时（含税）
2014.04-2015.03	32 日元 / 千瓦时（不含税）	37 日元 / 千瓦时（含税）
2015.04-2015.06	29 日元 / 千瓦时（不含税）	无需安装输出控制设备的地区，33 日元 / 千瓦时（含税） 需要安装输出控制设备的地区，35 日元 / 千瓦时（含税）
2015.07-2016.03	27 日元 / 千瓦时（不含税）	
2016.04-2017.04	24 日元 / 千瓦时（不含税）	

表 2

Type Certification No.	Name of Applicant	Name of Manufacturer	Date of Initial Certification	Type Number of Certified Product	Reference Annual Energy Production (kWh)	Reference Power (kW)	Reference Sound Level (dB(A))	Date of Suspension
TC-0001	ZEPHYR CORPORATION	ZEPHYR CORPORATION	20120628	Ardaghin GTQ / Z-1000-050	795	0.59	54.55	—
TC-0002	ZEPHYR CORPORATION	Evance Wind Turbines Ltd	20130220	Z-6000	9,167	4.7	55	—
TC-0003	HAWAII Technology Corp.	HAWAII Technology Corp.	20130903	DS0000	2,860	1.8	50	—
TC-0004	Japank Co., Ltd	SONHYO ENERGY	20130716	WINDSPCT3.5kW	4,819	3.2	45	—
TC-0005	NIKKO COMPANY	NIKKO COMPANY	20131122	NW5-1K	1,435	0.91	40	—
TC-0006	Beiyu WindPower Co.	Beiyu WindPower Co.	20141212	SHRE-10	10,840	6.9	60	20160528
TC-0007	KAWAIND	KAWAIND	20140717	RW5K-JK-01	1,479	1.6	55	—
TC-0008	Xipens Corp	Xipens Corp	20140910	Xipens 4425R	16,860	10.4	67	—
TC-0009	CAF Green Energy Ltd	CAF Green Energy Ltd	20140926	CF20	41,064	19.5	62	—
TC-0010	SeaWind Ltd.	SeaWind Ltd.	20141014	SW103	27,850	13.7	62	—
TC-0011	Emers Energy and Mobility S.L.	Emers Energy and Mobility S.L.	20150226	Windes 3	9,179	3.1	49	—
TC-0012	TECO Electric & Machinery Co., Ltd.	TECO Electric & Machinery Co., Ltd.	20151019	H3000	4,609	2.9	44	—
TC-0013	Long In	TECO Electric & Machinery Co., Ltd.	20151019	LFH3000	4,609	2.9	44	—
TC-0014	ShPower Incorporated	Shanghai Shpower Green Energy Co., Ltd	20160324	SHRE19.8J	65,400	19.7	67	—

2.1 认证流程

小型风力发电机厂家如果想要通过日本海事协会的小型风力发电机认证，具体的工作流程可以参考 ClassNK 官网关于认证流程的说明，如图 1 所示：

2.2 认证标准

日本 ClassNK 认证参照的流程标准为 IEC61400-22 Wind turbines-Part 22: Conformity testing and certification，参照的技术标准为 JSWTA0001 Small Wind Turbine Performance and Safety Standard。

对于测试过程中参照的技术标准如表 3：

2.3 认证及测试现状

由 Intertek 天祥集团在内蒙古苏尼特右旗的小型风力发电机合作测试场提供型式测试服务的上海致远绿色能源股份有限公司的小型风力发电机组于 2016 年初获得日本船级社 ClassNK 颁发的型式认证证书。获得认证的机组型号是 GHRE19.8J，型式认证证书编号为 TC-0014，该机型是目前中国唯一一个获得日本销售许可的机型。截止目前仍有三个厂家的七种机型在苏尼特右旗测试场进行 ClassNK 型式测试。



图 1

表 3

功率曲线测试	JIS C 1400-12-1 Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines IEC 61400-12-1 Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (IDT)
噪声测试	JIS C 1400-11 Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques IEC 61400-11 Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques (IDT)
安全功能测试	JIS C 1400-2 Wind turbines – Part 2: Design requirements for small wind turbines IEC 61400-2 Wind turbines – Part 2: Small wind turbines
耐久性测试	
叶片测试	
发电机测试	JEC 2130 Synchronous machines JEC 2137 Induction machines



3. 结语

中国小型风力发电机组制造商一直苦于国内市场缺乏政策支持，国际市场出口乏力的窘境，此次日本市场新能源政策的调整为广大制造商开启了一个适宜出口的海外市场，目前已经有多款小型风力发电机正在进行认证或者已经拿到了认证，制造商不仅仅需要依靠具有竞争力的价格，同时还需要了解目标市场的法规，提前是做好准备工作。只有这样，制造商才能够在国际贸易市场中获得更强的主动权，更好的安全性以及更多的商业机会。🌱

美国能源部 AMO 用 3D 打印制造出 13 米长风力涡轮叶片模具

由于风电叶片的长度动辄超过 40 英尺，AMO 为此打算先分成 6 英尺长的部件分别 3D 打印出来，然后组合成称模具，使其可以浇铸出完整的叶片。

具体来说，这个巨型的 3D 打印风电叶片模具是由风电 & 水电技术办公室（WWPTO）、美国橡树岭国家实验室（ORNL）、美国桑迪亚国家实验室（SNL）和企业合作伙伴 TPI Composites 共同合作开发的，并试图将一种全新、清洁的制作方法带给风电产业。

据悉，这个项目正好在 2016 年 6 月 15 日的世界风能日完成。当然你可能会问：这种 3D 打印的风电叶片模具有什么好处呢？据 AMO 团队解释说，这个项目引入 3D 打印技术是为了降低原型和制造下一代风电机组所需的成本和能源。“我们可以通过制造清洁能源技

术提高我们国家的竞争力。3D 打印技术的优势在于它能够减少浪费、缩短生产周期，并为设计带来更多的灵活性。而且随着技术的发展，3D 打印系统的能力也不断提升。”他们认为。不过，像这种巨大的涡轮叶片同样需要超大的 3D 打印机，幸运的是 ORNL 的制造示范中心（MDF）提供了大幅面增材制造（BAAM）3D 打印机。

这款 3D 打印机比市场上大多数的工业 3D 打印机速度快 500 到 1000 倍，它的打印尺寸也是其它竞争对手的数倍以上。在这里，打印尺寸是相当重要的，因为一个完整的研究叶片就足有 42 英尺长（约合 13 米）。

如此长的叶片，即使是 BAAM 3D 打印机也不能一次打印出来。为此，开发团队做了一下变通。首先，研究人员开发出了该研究叶片的一个 CAD 模型，这个模型基本上是一个典型的叶片设计，可以被倒进模具里的那种；然后人们将其分割成割可 3D 打印的部分，并加上装配孔和加热空气管道系统的设计。最后这些部件被分别以 6 英寸左右的大小 3D 打印了出来。一旦完成了这些工作，他们会在叶片上面覆盖一层玻璃纤维层压板，并进行光滑处理。

“每个模具段都被安装在一个框架上，并配备一个热空气鼓风机、温度控制器和热电偶。这个创新的空气加热技术可以节省能源，并消除了用人工铺设嵌入模具的电热丝这一非常麻烦的步骤。而且，这种空气鼓风机在以后的模具中也可以再次使用。”AMO 的研究人员说。一旦组装完成，这巨大的 3D 打印模具就具有非常平整、光滑的表面，而且具有气密性，非常适合铸造风力叶片——而且比传统的风力叶片便宜得多。据研究人员称，他们的几个研究叶片都是用这个 3D 打印的模具制造的。（来源：搜狐网）



丹麦小风电和太阳能入网 评价流程简化



丹麦小风电和太阳能发电项目（装机在5万千瓦以下）入网评价将不再通过丹麦国家电网公司，而是由丹麦能源协会协助办理。此举是为了缩短和简化用户在丹麦国家电网公司申请多个项目或大批量设备入网的流程。

在申请接入丹麦公共电网之前，项目业主和关键设备制造商如风力发电机和太阳能逆变器厂家，可以通过丹麦能源协会办理入网评价，申请加入“白名单”。

首先，项目业主及厂家向丹麦能源协会提出入网评价申请，丹麦能源协会代表丹麦国家电网公司对项目及零部件相关材料进行检查，符合电网公司入网的技术特性和性能要求的将被列入“白名单”。

接下来，项目业主及厂家向丹麦国家电网公司提

出入网申请，丹麦国家电网公司会基于丹麦能源协会给出的“白名单”进行评估，大部分项目可以顺利通过入网批准。如果项目需要，丹麦国家电网公司会通过丹麦能源协会做进一步审核。

入网评估只是参考性的。“白名单”并不等同于入网资格预审，列入“白名单”也不等同于拿到入网资质。但是如果申请入网的小风电和太阳能发电项目所使用的主要零部件被列入“白名单”，会更容易通过丹麦国家电网公司入网审核。

入网评价不是强制的，在通过评价之后，小风电和太阳能发电业主仍需通过丹麦国家电网公司的入网审核。（来源：丹麦风能简报 编译：Lijun）

引领中小型风力发电产业 发展的信息服务平台

“中国风能产业网”、《中小型风能设备与应用》杂志是由中国农机工业协会风能设备分会主办的风能领域专业杂志和网站，旨在宣传贯彻国家有关风能产业的方针政策，加强行业之间的合作交流，进一步促进我国风能产业的健康发展。即是了解行业趋势、掌握最新资讯的重要窗口，也是行业沟通交流与合作贸易的最佳平台，更是厂商宣传企业形象、推广产品及服务的纽带和桥梁。



欢迎踊跃投稿：yaowxw@cweea.com.cn

地址：北京市西城区月坛南街26号院1号楼2012-2018室 邮编：100825

电话：010-68596008 68517467 传真：010-68596006 <http://www.cweea.com.cn>



www.chinawind.org.cn



2016北京 国际风能大会暨展览会

CHINA WIND POWER 2016

October 19-21, Beijing, China

China International Exhibition Center(New Venue)

2016年10月19-21日 中国国际展览中心（新馆）