

# 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6月·第2期（总第22期）



特别报道 > P04

## 农村可再生能源助推美丽乡村

集装箱替代单体建筑物时强扰流下小风机微观选址建议 > P21

上帝关上一扇门，同时也会为你打开一扇窗 > P39

IEA Wind T27第八次专家会议简报 > P55



[www.chinawind.org.cn](http://www.chinawind.org.cn)

CHINA  
WIND  
POWER

# 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）

## 小风电藏于民间 行业需把握机遇

□ 祁和生

由于受多种因素的影响，在整个“十二五”后半期，中小型风力发电设备制造行业发展状况令人担忧，从2011年的历史经济最高点一路下滑，使得整个行业产业经济发展回到了2008年以前原点。

在过去的几年间，我国国民经济的发展领跑全球。国家重点支持的可再生能源产业发展表现尤其令全世界瞩目。截止2015年底，大型风电产业继续保持强劲增长势头，迄今累计装机9万多台，并网装机容量达到1.29亿千瓦，装机容量连年创历史新高，风电已占到全部发电装机容量的8.6%；中国光伏发电的发展速度更为迅猛，在整个“十二五”期间，光伏发电装机容量年均增长177%，2015年新增装机容量1513万千瓦，累计装机容量达到4318万千瓦，使我国成为全球光伏发电装机容量最大的国家。其中，光伏电站3712万千瓦，分布式606万千瓦，年发电量392亿千瓦时。

反观中小风电产业，同样是国家可再生能源发展战略框架下，与其他可再生能源产业发展形成了较大反差。截止2015年底，中小型风电机组新增装机数量已连续四年下跌，年销售量约为67500台，全年机组容量仅为78.6MW；自2010年以来，中小风电累计装机仅为64万台，累计容量仅为547MW。

在国内市场偏向于光伏应用情况下，中小风电的应用技术只好委屈再转向国际市场。然而，国际市场也不总是专为我国企业敞开大门，虽略好于国内市场，但也挽救不了消费颓势，暂时也回复不到5年前的需求容量。

在当前形势下，中小风电行业是否就此要沉浸于国家政策的支持？其实答案是否定的。

近几年来，中小风电设备市场随着可再生能源应用技术、应用领域和应用形势的变化，其市场消费也在发生着一定程度的迁移。国家政策上虽未对中小风电给予有效补贴扶持，但在可再生能源的多能互补、分布式微电网并网应用项目方面则潜藏于民间，其技术正在我国悄无声息地布局。如此，以减少碳排放的新能源利用项目、农业生态和资源保护的可再生能源利用项目、风光互补充电桩项目以及建筑节能项目不断出现在某一隅。只不过，中小风电产品和企业及行业由于宣传不到位，广大民间用户对我们知之甚少，在其他行业找不到替代产品情况下，光伏则成了唯一的新能源应用产品。

在当前形势下，中小风电行业需要树立信心，广泛宣传自己，把握历史机遇，把中小风电产品融入其他新能源行业，努力提高产品性能和质量，使本行业在国家大力发展可再生能源事业中发挥最大作用。





**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@cwwea.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@cwwea.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.cwwea.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

04 小风电藏于民间 行业需把握机遇

## 特别报道

- 04 农村可再生能源助推美丽乡村 李景明
- 06 政策与产业发展 俞红鹰
- 07 南南合作过程中的一点体会 鲁中间

## 产业综述

- 09 中华人民共和国工业和信息化部令
- 12 国家发改委《关于做好风电、光伏发电全额保障性收购管理工作的通知》
- 15 合同能源管理 (EPC) 模式知识普及
- 19 我国储能发展方向

## 技术交流

- 21 集装箱替代单体建筑物时强扰流下小风机微观选址建议 汪建文 等
- 24 分布式光伏发电如何与配电网协调发展
- 27 储能技术分类及特点



### 35 LED 路灯配光要求及方案分析

## 产品应用

### 39 上帝关上一扇门，同时也会为你打开一扇窗 庄锭强

——华鹰在“多样式智能微电网等示范项目建设”经验心得

### 43 小型离网型风光互补供电系统在内蒙古无电地区的应用 任君 等

### 48 计及峰谷电价和启发式运行策略的风光储联合发电用户容量优化

### 54 光伏逆变器有何神奇之处

## 专题报道

### 55 IEA Wind T27 第八次专家会议简报 都志杰

### 58 上海致远两种风电机组分别获得北美 SWCC 和日本 CLASS NK 认证证书

### 59 安华小塔杆，大智慧！——ANE 专利技术折叠塔杆的应用

### 61 首座将风电机组与大楼融为一体的摩天大楼

## 行业资讯

### 62 家用光伏电站投资收益分析

### 64 各省最新脱硫标杆电价

**编者按：**2015年12月17-18日，中小型风力发电行业年会在北京召开。时间匆匆走过半年，行业的发展并没有太大改观。半年前的年会上，我们邀请的业内专家学者就为行业如何发展、如何定位、如何改变现状，行业行走路线怎样展开等交流了各自的经验，表述了各自的观点。他们对行业发展走向指点迷津，到目前仍然在行业中产生着深刻的影响力。为增加记忆，本刊在2016年第二期，我们将另一部分嘉宾演讲的内容呈现于此，供读者进一步学习和参考。

# 农村可再生能源助推美丽乡村

□ 农业部农业生态与资源保护总站 李景明

## 一、提出的背景

- 落实党的十八大精神，推进生态文明建设；
- 加强农业生态环境保护，推进农业农村经济科学发展
- 改善农村人居环境，提升社会主义新农村建设水平。

## 二、定义与内涵

美丽乡村：经济、政治、文化、社会和生态文明协调发展，规划科学、生产发展、生活宽裕、乡风文明、村容整洁、管理民主，宜居、宜业的可持续发展乡村（包括建制村和自然村）。

## 三、配套的政策

• 国务院农村综合改革工作小组发布了《关于开展农村综合改革示范试点工作的通知》（国农改〔2012〕12号），决定开展以美丽乡村建设等十项主要改革重点的示范试点；

• 财政部发布了《关于发挥一事一议财政奖补作用，推动美丽乡村建设试点的通知》（财农改〔2013〕3号），决定将美丽乡村建设作为一事一议财政奖补工作的主攻方向，并启动美丽乡村建设试点；

• 农业部发布了《关于开展“美丽乡村”创建活动的意见》（农办科〔2013〕10号），在全国各地全面拉开美丽乡村的建设。

## 四、建设的内容

- 加大农业生态环境保护力度；
- 推动农村可再生能源发展；
- 大力发展健康向上的农村文化；
- 强化“美丽乡村”创建的科技支撑；
- ……

## 五、推动农村可再生能源发展

坚持“因地制宜、多能互补、综合利用、讲求效益”的方针，结合不同区域的资源禀赋、气候特点、经济条件、生活习俗，根据农民需求，集成推广农村沼气、省柴节煤灶、高效低排生物质炉、架空炕连灶、太阳能热水器、太阳灶、小型风电等技术和产品，系统解决炊事、采暖、洗浴、照明等需求，增加清洁能源供应，提升生活用能品位，保护和改善农村生态环境，推进农村生态文明建设。

## 六、开展的活动

- “美丽乡村”创建活动；
- 与“本山传媒”集团开展大篷车下乡活动；
- 编印10本书；
- 主办展览、论坛、书画展等
- ……



## 七、取得的成果

- 在全国创建了 1100 个美丽乡村；
- 编印颁布了国家标准《美丽乡村建设规范》（GB/T 32000-2015），2015 年 6 月 1 日实施；
- 探索了浙江安吉、福建长泰、贵州余庆等美丽乡村建设先进典型；
- 建设十大模式  
产业发展型、生态保护型  
城郊集约型、社会综治型  
文化传承型、渔业开发型  
草原牧场型、环境整治型  
休闲旅游型、高效农业型  
（2014 年 2 月农业部发布）



- 清洁能源使用（7.2.3.3）：应科学使用并逐步减少木、草、秸秆、竹等传统燃料的直接使用，推广使用电能、太阳能、风能、沼气、天然气等清洁能源，使用清洁能源的农户数比例 $\geq 70\%$ 。

## 八、存在的问题

- 经费投入不足：没有建立起财政专项；
- 顶层设计不清：缺乏有效的部门协调；
- 社会意识不强：不少人的认识还比较片面；
- 整体参与不够：企业参与的积极性不高；

## 九、未来的计划

- 农业部将在全国选取部分县市，捆绑部分项目进行倾斜性支持，在农村能源综合建设、农业生态环境保



护、新型职业农民培育、基层农技推广体系建设等方面进行全面扶持。

- 结合农业部“一控、二减、三基本”和国家面源污染防治攻坚战，进一步推动美丽乡村建设。

- 出台了美丽乡村建设国家标准，使美丽乡村建设从此有规可依，走上了标准化的轨道，这对美丽乡村建设来讲具有里程碑的意义，将用标准指导各地规范性开展美丽乡村建设。

- 组织各行业专家和单位，开展包括小风电在内的相关行业标准“十三五”发展规划和标准体系建设，希望有计划、按步骤、分阶段地开展标准制修订工作，逐步建立健全有关行业、领域和专业的标准体系。



## 十、几点结论

- 农村可再生能源是美丽乡村建设的组成部分；
- 鼓励因地制宜在开展试点中开展小风电推广与应用；
- 农业部将继续配合小风电行业扩大推广与应用，支持产业发展壮大。

# 政策与产业发展

□ 中国农业机械工业协会风力机械分会副理事长 俞红鹰

国家的产业政策对产业的发展影响巨大，这几年，国家对光伏产业出台了一系列鼓励、扶持政策，各地方政府也相继出台了配套的扶持政策，这对光伏产业的健康发展起到了极大的促进作用。特别是在分布式能源发展领域，光伏屋顶、农光互补、光伏扶贫等一系列扶持政策为光伏产业奠定了长期发展的基础，也为我国能源结构的优化开创了全新的局面。但是，同样属于新能源的风力发电机却被排斥在扶持政策的支持之外，这是无法理解的，本文将从以下几个方面谈谈风力发电在分布式能源系统的作用：

## 一、从自然资源的角度

风能实际上是太阳能的另一种表现形式，风能是由地球的自转和太阳照射地球表面引起地表温度的变化所形成的空气流动而形成的，所以，地球表面无处没有风。而且，风能和太阳能在时间上、季节上都有很强的互补性，白天太阳光强、晚上风力大；夏天光照强、秋、冬天风大；这种资源的互补性可以优化分布式能源结构。光伏屋顶计划是从日本和欧洲开始实行的，当光伏屋顶达到较大规模时，电网的平衡就成为一个问题，晚上必须有足够的备用电源进行电网平衡。目前，德国和日本都在出台鼓励政策，支持用电户安装风力发电机，利用晚上风能资源好的优势来提高电网系统的发电量，这是一种补救的措施。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。

## 二、从资源利用的效率角度

我国的东北、西北、华北、沿海及湖泊地区，风能发电的利用效率并不比光伏发电的效率低，建设投资

也不会比光伏发电系统高，而且，利用田间道路边沿安装风力发电机比农光互补的占地面积要小得多，土地利用率高。特别是种植喜阳植物，就不适合建设农光互补，但是可以建设风力发电并网系统。2013年，上海光明农场就计划在吴淞口广大的农田机耕道上安装风力发电机并网发电，后因为没有补贴政策支持，投资回报率无法保证而放弃。对风力发电机实行同等的扶持政策，对促进风力发电机在分布式能源系统的应用有非常积极的意义。

## 三、从产业发展的角度

风力发电机是我国新能源产业中发展最早的产业，无论是产品的技术水平、产品制造水平和生产能力都处于世界领先的地位。目前，我国风力发电机的产品认证体系正在完善，产品质量可以得到保证。2011年，法国对家庭安装风力发电机实施补贴政策，2012年，我国的风力发电机产品在法国占了65%以上的市场份额，这充分说明了我国风力发电机产品的质量水平。作为并网发电系统的产品，投资人一定是从建设成本和发电量保证两方面来对产品提出要求的，这对风力发电机的品质提出了极高的要求，可以促进高品质的风力发电机产品快速健康发展。从产品的生产过程来看，风力发电机产品的单位生产能耗远低于光伏产品的单位生产能耗，能源的投入产出比远优于光伏产业。

综上所述，无论从促进分布式能源体系发展，优化分布式能源结构，到促进新能源产业发展，凸显我国新能源产业优势和特点，都应该让风力发电机产业享受光伏产业同等的鼓励和扶持政策。我国新能源产业的发展不能总是跟在国外技术水平的后面，应该发挥自主技术优势，使我国的新能源技术走在世界的前列，为促进我国新能源产品推广到全世界打下坚实的基础。



# 南南合作过程中的一点体会

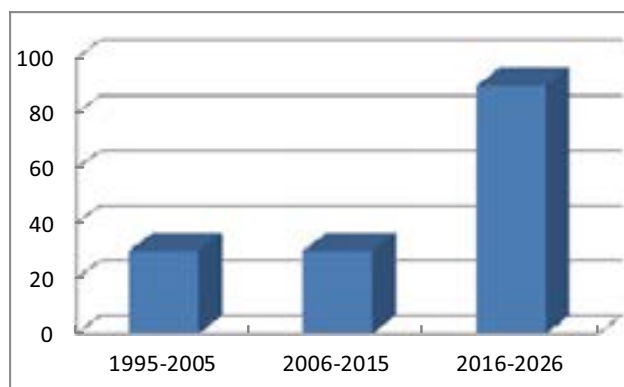
## ——小风电需要炼内功打铁还需自身硬

□ 青岛安华新元能源股份有限公司 鲁中间

### 一、小风电发展

小风电的发展经过了几个重要的阶段。

- 1995 年到 2005 年：10 年快速增长期，海外需求增加迅速；
- 2006 年到 2015 年：10 年深度调整期，海外需求增长放缓；
- 2016 年到 2026 年：10 年稳步增长期，环保意识提升，黄金增长期。



### 二、从小风电发展几点思考

整个 20 年的小风电的中国近期发展史，自 1995 年至 2005 年的快速增长，我们看到增长背后的隐患开始积累；

中国这 10 年的低成本的产品，与海外高价格的产品形成强烈的反差，价格的诱惑使全球从事小风电贸易的集成推广商纷纷从国内找寻小风电产品，从而实现了这 10 年的快速增长；在这个时期部分企业的产品质量确实很差，导致安装的产品状况百出，因此销售快速增

长的 10 年也是客户信心快速下降的 10 年。

正是因为以上原因，导致了 2005 年到 2015 年这 10 年间，中国小风电进行了深度调整期，部分企业已经死掉，部分优质企业艰难的生存下来。但在这 10 年，尽管我们增长乏力，我们还是看到中国小风电部分优秀企业的成长；从产品的研发、质量控制、企业产品定位以及企业战略上都还上了一个新的台阶。

### 三、南南合作过程中的体会

南南合作中我们有四大体会

**体会之一：**缺电是困扰民众生活的大问题

• 风光互补的微网系统或小型的独立离网电站市场需求大，譬如尼泊尔全国有 40% 的地区严重缺电；菲律宾和印度尼西亚岛屿也是缺电甚至没电；



菲律宾

尼泊尔

**体会之二：**终端用户对我们的期望值很高，他们相信我们能提供给他们持续稳定的电能供给；



斐济

• 我们小风电行业所有企业要目标一致：生产性能最优的产品！创造最优的解决方案！他们期许的眼神不允许我们伤害！

**体会之三：**低价竞争是死路。转变思路，从单独的价格竞争转变为价值竞争；

• 价值竞争能促进整个行业的增长，不能再重复1995年到2015年的老路；

• 价值竞争力体现在：专业性、稳定性、投入产出优。

**体会之四：**市场需求类别多，中小型风电应用的范围广，企业没有必要什么型号都做，将产品先做精再做广是上上策；



伊朗

土耳其

#### 四、进入黄金增长期，我的一点建议

进入2016年到2025年的这个黄金增长期，我们小风电企业应集中各家优势互相借力，共同应对不断增长的市场需求。

（一）建议互通有无，实现强强联合；首先是产品的联合推广；每个企业找出自己最优的产品型号进行详细沟通，可以进行小规模交流讨论出来一个共赢的价值模式。

（二）分布式微电网，智能微网是趋势，系统整合优势互补，共同推进。

（三）国家小风电的补贴政策需要在座的各位与协会一起发挥各自影响力，在不同的媒体和互联网上发出强有力的声音，共同大声呼吁。🙏



# 中华人民共和国工业和信息化部令

## 第 33 号

《工业节能管理办法》已经 2016 年 4 月 20 日工业和信息化部第 21 次部务会议审议通过，现予公布，自 2016 年 6 月 30 日起施行。

部长 苗圩

2016 年 4 月 27 日

## 工业节能管理办法

### 第一章 总则

第一条 为了加强工业节能管理，健全工业节能管理体系，持续提高能源利用效率，推动绿色低碳循环发展，促进生态文明建设，根据《中华人民共和国节约能源法》等法律、行政法规，制定本办法。

第二条 本办法所称工业节能，是指在工业领域贯彻节约资源和保护环境的基本国策，加强工业用能管理，采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施，在工业领域各个环节降低能源消耗，减少污染物排放，高效合理地利用能源。

第三条 本办法适用于中华人民共和国境内工业领域的用能及节能监督管理活动。

第四条 工业和信息化部负责全国工业节能监督管理工作，组织制定工业能源战略和规划、能源消费总量控制和节能目标、节能政策和标准，组织协调工业节能新技术、新产品、新设备、新材料的推广应用，指导和组织工业节能监察工作等。

县级以上地方人民政府工业和信息化主管部门负责本行政区域内工业节能监督管理工作。

第五条 工业企业是工业节能主体，应当严格执行节能法律、法规、规章和标准，加快节能技术进步，完善节能管理机制，提高能源利用效率，并接受工业和信息化主管部门的节能监督管理。

第六条 鼓励行业协会等社会组织在工业节能规划、节能标准的制定和实施、节能技术推广、能源消费统计、节能宣传培训和信息咨询、能效水平对标达标等方面发挥积极作用。

### 第二章 节能管理

第七条 各级工业和信息化主管部门应当编制并组织实施工业节能规划或者行动方案。

第八条 各级工业和信息化主管部门应当加强产业结构调整，会同有关部门制定有利于工业节能减排的产业政策，综合运用阶梯电价、差别电价、惩罚性电价等价格政策，以及财税支持、绿色金融等手段，推动传统产业绿色化改造和节能产业发展。

各级工业和信息化主管部门应当推动高效节能产品和服务纳入政府采购名录，在政府性投资建设项目招标中优先采用。

第九条 工业和信息化部建立工业节能技术、产品的遴选、评价及推广机制，发布先进适用工业节能技术、高效节能设备（产品）推荐目录，以及达不到强制性能效标准的落后工艺技术装备淘汰目录。加快先进工业节能技术、工艺和设备的推广应用，加强工业领域能源需求侧管理，培育工业行业能效评估中心，推进工业企业节能技术进步。



鼓励关键节能技术攻关和重大节能装备研发,组织实施节能技术装备产业化示范,促进节能装备制造业发展。

第十条 工业和信息化部依法组织制定并适时修订单位产品能耗限额、工业用能设备(产品)能源利用效率等相关标准以及节能技术规范,并组织实施和监督。

鼓励地方和工业企业依法制定严于国家标准、行业标准的地方工业节能标准和企业节能标准。

引导行业协会等社会组织 and 产业技术联盟根据本行业特点制定团体节能标准。

第十一条 工业和信息化部组织编制工业能效指南,发布主要耗能行业产品(工序)等工业能效相关指标,建立行业能效水平指标体系并实行动态调整。

第十二条 各级工业和信息化主管部门根据工业能源消费状况和工业经济发展情况,研究提出本行政区域工业能源消费总量控制目标和节能目标,实行目标管理。

第十三条 各级工业和信息化主管部门应当依据职责对工业企业固定资产投资节能评估报告开展有关节能审查工作。对通过审查的项目,应当加强事中事后监管,对节能措施落实情况进行监督管理。

第十四条 各级工业和信息化主管部门应当定期分析工业能源消费和工业节能形势,建立工业节能形势研判和工业能耗预警机制。

第十五条 各级工业和信息化主管部门应当建立工业节能管理岗位人员和专业技术人员的教育培训机制,制定教育培训计划和大纲,组织开展专项教育和岗位培训。

各级工业和信息化主管部门应当开展工业节能宣传活动,积极宣传工业节能政策法规、节能技术和先进经验等。

第十六条 各级工业和信息化主管部门应当培育节能服务产业发展,支持节能服务机构开展工业节能咨询、设计、评估、计量、检测、审计、认证等服务,积极推广合同能源管理、节能设备租赁、政府和社会资本合作模式、节能自愿协议等节能机制。科学确立用能权、碳排放权初始分配,开展用能权、碳排放权交易相关工作。

### 第三章 节能监察

第十七条 工业和信息化部指导全国的工业节能监察工作,组织制定和实施全国工业节能监察年度工作计划。

县级以上地方人民政府工业和信息化主管部门应当结合本地区实际情况,组织实施本地区工业节能监察工作。

第十八条 各级工业和信息化主管部门应当加强节能监察队伍建设,建立健全节能监察体系。

节能监察机构所需经费依法列入同级财政预算,支持完善硬件设施、加强能力建设、开展业务培训。实施节能监察不得向监察对象收取费用。

第十九条 各级工业和信息化主管部门应当组织节能监察机构,对工业企业执行节能法律法规情况、强制性单位产品能耗限额及其他强制性节能标准贯彻执行情况、落后用能工艺技术设备(产品)淘汰情况、固定资产投资节能评估和审查意见落实情况、节能服务机构执行节能法律法规情况等开展节能监察。

各级工业和信息化主管部门应当明确年度工业节能监察重点任务,并根据需要组织节能监察机构开展联合监察、异地监察等。

工业和信息化部可以根据需要委托地方节能监察机构执行有关专项监察任务。

第二十条 工业节能监察应当主要采取现场监察方式,必要时可以采取书面监察等方式。现场监察应当由两名以上节能监察人员进行,可以采取勘察、采样、拍照、录像、查阅有关文件资料和账目,约见和询问有关人员,对用能产品、设备和生产工艺的能源利用状况进行监测和分析评价等措施。

第二十一条 节能监察机构应当建立工业节能监察情况公布制度,定期公开工业节能监察结果,主动接受社会监督。

### 第四章 工业企业节能

第二十二条 工业企业应当加强节能减排工作组织领导,建立健全能源管理制度,制定并实施企业节能计划,提高能源利用效率。

第二十三条 工业企业应当设立可测量、可考核的年度节能指标，完善节能目标考核奖惩制度，明确岗位目标责任，加强激励约束。

第二十四条 工业企业对各类能源消耗实行分级分类计量，合理配备和使用符合国家标准的能源计量器具，提高能源计量基础能力，确保原始数据真实、准确、完整。

第二十五条 工业企业应当明确能源统计人员，建立健全能源原始记录和统计台账，加强能源数据采集管理，并按照规定报送有关统计数据和资料。

第二十六条 工业企业应当严格执行国家用能设备（产品）能效标准及单位产品能耗限额标准等强制性标准，禁止购买、使用和生产国家明令淘汰的用能设备（产品），不得将国家明令淘汰的用能工艺、设备（产品）转让或者租借他人使用。

第二十七条 鼓励工业企业加强节能技术创新和技术改造，开展节能技术应用研究，开发节能关键技术，促进节能技术成果转化，采用高效的节能工艺、技术、设备（产品）。

鼓励工业企业创建“绿色工厂”，开发应用智能微电网、分布式光伏发电、余热余压利用和绿色照明等技术，发展和使用绿色清洁低碳能源。

第二十八条 工业企业应当定期对员工进行节能政策法规宣传教育和岗位技术培训。

## 第五章 重点用能工业企业节能

第二十九条 加强对重点用能工业企业的节能管理。重点用能工业企业包括：

（一）年综合能源消费总量一万吨标准煤（分别折合 8000 万千瓦时用电、6800 吨柴油或者 760 万立方米天然气）以上的工业企业；

（二）省、自治区、直辖市工业和信息化主管部门确定的年综合能源消费总量五千吨标准煤（分别折合 4000 万千瓦时用电、3400 吨柴油或者 380 万立方米天然气）以上不满一万吨标准煤的工业企业。

第三十条 工业和信息化部加强对全国重点用能工业企业节能管理的指导、监督。

省、自治区、直辖市工业和信息化主管部门对本行政区域内重点用能工业企业节能实施监督管理。

设区的市和县级人民政府工业和信息化主管部门在上级工业和信息化主管部门的指导下，对重点用能工业企业实施属地管理，并可以根据实际情况，确定重点用能工业企业以外的工业企业开展节能监督管理。

第三十一条 重点用能工业企业应当根据能源消费总量和生产场所集中程度、生产工艺复杂程度，设立能源统计、计量、技术和综合管理岗位，任用具有节能专业知识、实际工作经验及中级以上技术职称的企业高级管理人员担任能源管理负责人，形成有岗、有责、全员参与的能源管理组织体系。

重点用能工业企业能源管理岗位设立和能源管理负责人任用情况应当报送有关的工业和信息化主管部门备案。

第三十二条 鼓励重点用能工业企业开展能源审计，并根据审计结果制定企业节能规划和节能技术改造方案，跟踪、落实节能改造项目的实施情况。

第三十三条 重点用能工业企业应当每年向有关的工业和信息化主管部门报送上年度的能源利用状况报告。能源利用状况报告包括能源购入、加工、转换与消费情况，单位产品能耗、主要耗能设备和工艺能耗、能源利用效率，能源管理、节能措施、节能效益分析、节能目标完成情况以及能源消费预测等内容。

第三十四条 重点用能工业企业不能完成年度节能目标的，由有关的工业和信息化主管部门予以通报。

第三十五条 重点用能工业企业应当积极履行社会责任，鼓励重点用能工业企业定期发布包含能源利用、节能管理、员工关怀等内容的企业社会责任报告。

第三十六条 重点用能工业企业应当开展能效水平对标达标活动，确立能效标杆，制定实施方案，完善节能管理，实施重大节能技术改造工程，争创能效“领跑者”。

第三十七条 鼓励重点用能工业企业建设能源管控中心系统，利用自动化、信息化技术，对企业能源系统的生产、输配和消耗实施动态监控和管理，改进和优化能源平衡，提高企业能源利用效率和管理水平。

（转下页）

# 国家发改委《关于做好风电、光伏发电全额保障性收购管理工作的通知》

各省（自治区、直辖市）、新疆生产建设兵团发展改革委（能源局）、经信委（工信委、工信厅），国家能源局各派出机构，国家电网公司、南方电网公司、内蒙古电力（集团）有限责任公司，华能、大唐、华电、国电、国电投、神华、三峡、华润、中核、中广核、中国节能集团公司：

为做好可再生能源发电全额保障性收购工作，保障风电、光伏发电的持续健康发展，现将有关事项通知如下：

一、根据《可再生能源发电全额保障性收购管理办法》（发改能源〔2016〕625号），综合考虑电力系统消纳能力，按照各类标杆电价覆盖区域，参考准许成本加合理收益，现核定了部分存在弃风、弃光问题地区规划内的风电、光伏发电最低保障收购年利用小时数（详见附件）。最低保障收购年利用小时数将根据新能源并

网运行、成本变化等情况适时调整。

二、各有关省（区、市）能源主管部门和经济运行主管部门要严格落实规划内的风电、光伏发电保障性收购电量，认真落实《国家能源局关于做好“三北”地区可再生能源消纳工作的通知》以及优先发电、优先购电相关制度的有关要求，按照附表核定最低保障收购年利用小时数并安排发电计划，确保最低保障收购年利用小时数以内的电量以最高优先等级优先发电。已安排2016年度发电计划的省（区、市）须按照附表核定最低保障收购年利用小时数对发电计划及时进行调整。

各省（区、市）主管部门和电网调度机构应严格落实《关于有序放开发用电计划的实施意见》中关于优先发电顺序的要求，严禁对保障范围内的电量采取由可再生能源发电项目向煤电等其他电源支付费用的方式来获取发电权，妥善处理好可再生能源保障性收购、调峰机

（接上页）

第三十八条 重点用能工业企业应当建立能源管理体系，采用先进节能管理方法与技术，完善能源利用全过程管理，促进企业节能文化建设。

## 第六章 法律责任

第三十九条 各级工业和信息化主管部门和相关主管部门依据职权，对有下列情形之一的工业企业，依照《中华人民共和国节约能源法》等法律法规予以责令限期改正、责令停用相关设备、警告、罚款等，并向社会公开：

- （一）用能不符合强制性能耗限额和能效标准的；
- （二）能源统计和能源计量不符合国家相关要求的；
- （三）能源数据弄虚作假的；
- （四）生产、使用国家明令淘汰的高耗能落后用能产品、设备和工艺的；

（五）违反节能法律、法规的其他情形。

第四十条 各级工业和信息化主管部门及节能监察机构工作人员，在工业节能管理中有下列情形之一的，依法给予处分；构成犯罪的，依法追究刑事责任：

- （一）泄露企业技术秘密、商业秘密的；
- （二）利用职务上的便利谋取非法利益的；
- （三）违法收取费用的；
- （四）滥用职权、玩忽职守、徇私舞弊的。

## 第七章 附则

第四十一条 县级以上地方人民政府工业和信息化主管部门可以依据本办法和本地实际，制定具体实施办法。

第四十二条 本办法自2016年6月30日起施行。



组优先发电和辅助服务市场之间的关系，并与电力交易方案做好衔接。

三、保障性收购电量应由电网企业按标杆上网电价和最低保障收购年利用小时数全额结算，超出最低保障收购年利用小时数的部分应通过市场交易方式消纳，由风电、光伏发电企业与售电企业或电力用户通过市场化的方式进行交易，并按新能源标杆上网电价与当地煤电标杆上网电价（含脱硫、脱硝、除尘）的差额享受可再生能源补贴。

地方政府能源主管部门或经济运行主管部门应积极组织风电、光伏发电企业与售电企业或电力用户开展对接，确保最低保障收购年利用小时数以外的电量能够以市场化的方式全额消纳。

四、保障性收购电量为最低保障目标，鼓励各相关省（区、市）提出并落实更高的保障目标。目前实际运行小时数低于最低保障收购年利用小时数的省（区、市）应根据实际情况，制定具体工作方案，采取有效措施尽快确保在运行的风电、光伏电站达到最低保障收购年利用小时数要求。具体工作方案应向全社会公布并抄送国家发展改革委和国家能源局。

除资源条件影响外，未达到最低保障收购年利用小时数要求的省（区、市），不得再新开工建设风电、光伏电站项目（含已纳入规划或完成核准的项目）。

未制定保障性收购要求的地区应根据资源条件按标杆上网电价全额收购风电、光伏发电项目发电量。未经国家发改委、国家能源局同意，不得随意设定最低保障收购年利用小时数。

五、各省（区、市）有关部门在制定发电计划和电量交易方案时，要充分预留风电和光伏发电保障性收购电量空间，不允许在月度保障性收购电量未完成的情况下结算市场交易部分电量，已经制定的市场交易机制需落实保障月度保障性电量的要求。

电网企业（电力交易机构）应将各风电、光伏发电项目的全年保障性收购电量根据历史和功率预测情况分解到各月，并优先结算当月的可再生能源保障性收购电量，月度保障性收购电量结算完成后再结算市场交易部分电量，年终统一清算。

六、风电、光伏发电企业要协助各省级电网企业或地方电网企业及电力交易机构按国家有关规定对限发电量按月进行统计。对于保障性收购电量范围内的限发电量要予以补偿，电网企业协助电力交易机构根据《可再生能源发电全额保障性收购管理办法》（发改能源〔2016〕625号）的要求，按照风电、光伏发电项目所在地的标杆上网电价和限发电量明确补偿金额，同时要确定补偿分摊的机组，相关报表和报告按月报送国家能源局派出机构和省级经济运行主管部门备案并公示。电网企业应保留限电时段相关运行数据，以备监管机构检查。

各电网企业于2016年6月30日前与按照可再生能源开发利用规划建设、依法取得行政许可或者报送备案、符合并网技术标准的风电、光伏发电企业签订2016年度优先发电合同，并于每年年底前签订下一年度的优先发电合同。

七、国务院能源主管部门派出机构会同省级能源主管部门和经济运行主管部门要加强对可再生能源发电全额保障性收购执行情况的监管和考核工作，定期对电网企业与风电、光伏发电项目企业签订优先发电合同和执行可再生能源发电全额保障性收购情况进行专项监管，对违反《可再生能源发电全额保障性收购管理办法》（发改能源〔2016〕625号）和本通知要求的要按规定采取监管措施，相关情况及时报国家发展改革委和国家能源局。

落实可再生能源发电全额保障性收购制度是电力体制改革工作的一项重要任务，也是解决弃风、弃光限电问题和促进可再生能源持续健康发展的重要措施。各部门要按照上述要求认真做好可再生能源发电全额保障性收购工作，确保弃风、弃光问题得到有效缓解。

附件1：风电重点地区最低保障收购年利用小时数核定表

附件2：光伏发电重点地区最低保障收购年利用小时数核定表

国家发展改革委  
国家能源局  
2016年5月27日

附件 1: 风电重点地区最低保障收购年利用小时数核定表

| 资源区      | 地区  | 保障性收购利用小时数 |
|----------|---|------------|
| I 类资源区   | 内蒙古自治区除赤峰市、通辽市、兴安盟、呼伦贝尔市以外其他地区            | 2000       |
|          | 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市、伊犁哈萨克族自治州、克拉玛依市、石河子市        | 1900       |
| II 类资源区  | 内蒙古自治区赤峰市、通辽市、兴安盟、呼伦贝尔市                   | 1900       |
|          | 河北省张家口市                                   | 2000       |
|          | 甘肃省嘉峪关市、酒泉市                               | 1800       |
| III 类资源区 | 甘肃省除嘉峪关市、酒泉市以外其他地区                        | 1800       |
|          | 新疆维吾尔自治区除乌鲁木齐市、伊犁哈萨克族自治州、克拉玛依市、石河子市以外其他地区 | 1800       |
|          | 吉林省白城市、松原市                                | 1800       |
|          | 黑龙江省鸡西市、双鸭山市、七台河市、绥化市、伊春市，大兴安岭地区          | 1900       |
|          | 宁夏回族自治区                                   | 1850       |
| IV 类资源区  | 黑龙江省其他地区                                  | 1850       |
|          | 吉林省其他地区                                   | 1800       |
|          | 辽宁省                                       | 1850       |
|          | 山西省忻州市、朔州市、大同市                            | 1900       |

附件 2: 光伏发电重点地区最低保障收购年利用小时数核定表

| 资源区     | 地区                    | 保障性收购利用小时数 |
|---------|-----------------------|------------|
| I 类资源区  | 宁夏                    | 1500       |
|         | 青海海西                  | 1500       |
|         | 甘肃嘉峪关、武威、张掖、酒泉、敦煌、金昌  | 1500       |
|         | 新疆哈密、塔城、阿勒泰、克拉玛依      | 1500       |
|         | 内蒙除赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔以外地区 | 1500       |
| II 类资源区 | 青海除 I 类外其他地区          | 1450       |
|         | 甘肃除 I 类外其他地区          | 1400       |
|         | 新疆除 I 类外其他地区          | 1350       |
|         | 内蒙古赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔     | 1400       |
|         | 黑龙江                   | 1300       |
|         | 吉林                    | 1300       |
|         | 辽宁                    | 1300       |
|         | 河北承德、张家口、唐山、秦皇岛       | 1400       |
|         | 山西大同、朔州、忻州            | 1400       |
|         | 陕西榆林、延安               | 1300       |

# 合同能源管理 (EPC) 模式知识普及

## 一、合同能源管理商业模式类型

合同能源管理可分为节能量保证型、节能效益分享型、能源费用托管型、融资租赁型、项目证券化。

### 1. 节能量保证型

业主投资。服务商向业主提供节能服务并承诺保证项目节能效益。项目实施完毕，经双方确认达到承诺的节能效益，用户一次性或分次向节能服务公司支付服务费，如达不到承诺的节能效益，差额部分由节能服务公司承担。

| 产权归属 | 合同期内 | 合同到期后 |
|------|------|-------|
|      | 业主   | 业主    |

### 2. 节能效益分享型

服务商投资或共同投资。服务商对项目进行建设。项目建设施工完成，经双方共同确认节能量后，双方按合同约定比例分享节能效益。项目合同结束后，节能设备所有权无偿移交给用户，以后所产生的节能收益全归用户。节能效益分享型是我国政府大力支持的模式类型。

| 产权归属 | 合同期内           | 合同到期后 |
|------|----------------|-------|
|      | 服务商 / 服务商 + 业主 | 业主    |

### 3. 能源费用托管型

服务商投资。业主与服务商签订托管合同，约定能源费用，定期向服务商付费。服务商对大楼进行节能改

造和运营管理，盈亏自负。项目合同结束后，服务商改造的节能设备无偿移交给用户使用，以后所产生的节能收益全归用户。

| 产权归属 | 合同期内 | 合同到期后 |
|------|------|-------|
|      | 服务商  | 业主    |

### 4. 融资租赁型

租赁公司投资。融资公司购买服务商的节能设备和服务，并租赁给业主使用，根据协议定期向用户收取租赁费用。服务商负责对用户的能源系统进行改造，并在合同期内对节能量进行测量验证，担保节能效果。项目合同结束后，节能设备由融资公司无偿移交给用户使用，以后所产生的节能收益全归用户。

| 产权归属 | 合同期内 | 合同到期后 |
|------|------|-------|
|      | 租赁公司 | 业主    |

### 5. 项目证券化

服务商投资。服务商与业主签订分享型合同。服务商将分享型合同出售给投资公司。投资公司将项目证券化(如债券)出售给投资者。服务商获得资金后进行建设。项目建设施工完成，经双方共同确认节能量后，双方按合同约定比例分享节能效益。服务商获得的节能收益，按照合同约定给予投资公司，投资公司再按合同约定给各个投资人。项目合同结束后，节能设备所有权无偿移交给用户，以后节能收益全归用户。



| 产权归属 | 合同期内 | 合同到期后 |
|------|------|-------|
|      | 投资人  | 业主    |

此模式与常规模式差异在于：常规模式是向银行或投资机构进行抵押贷款、信用贷款、贸易融资，产权归服务商所有。而此模式是将合同进行出售，产权归投资人所有。

二、合同能源管理

1.EPC( 合同能源管理 )

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。

2. 合同能源管理的实质

- 是一种面向市场的节能投资新机制
- 是一种以减少的能源费用来支付节能项目全部成本的投资方式
- 允许客户使用未来的节能收益实施节能项目
- 能够帮助企业排除节能项目的资金和技术障碍

3. 业务流程

**与用能单位接触。**节能服务公司与用能单位进行初步接触，了解用能单位的经营现状和用能系统运行情况。向用能单位介绍本公司的基本情况、节能技术解决方案、业务运作模式及可给用能单位带来的效益等。向用能单位指出系统具有节能潜力，解释合同能源管理模式有关问题，初步确定改造意向。

**节能诊断。**针对用户的具体情况，对各种耗能设备和环节进行能耗评价，测定企业当前能耗水平，通过对能耗水平的测定。此阶段 ESCO 为用户提供服务的起点，由公司的专业人员对用户的能源状况进行测算，对所提的节能改造的措施进行评估，并将结果与客户进行沟通。

**改造方案设计。**在节能诊断的基础上，由公司向用户提供节能改造方案的设计，这种方案不同于单个设备的置换、节能产品和技术推销，其中包括项目实施方案和改造后节能效益的分析及预测，使用户做到“心中有数”，以充分了解节能改造效果。

**谈判与签署。**在节能诊断和改造方案基础上，ESCO 与客户进行节能服务合同的谈判。在通常情况下，由于 ESCO 为项目承担了大部分风险，因此在合同期（一般 3-10 年）ESCO 分享项目大部分的经济效益，小部分的经济效益留给用户。待合同期满，ESCO 不再和用户分享经济效益，所有经济效益全部归用户。

**项目投资。**合同签订后，进入了节能改造项目实际实施阶段。由于接受的是合同能源管理节能服务新机制，用户在改造项目的实施过程中，不需要任何投资，公司根据项目设计负责原材料和设备采购，其费用由 ESCO 支付。

**全过程服务。**合同签署后，节能服务公司提供项目设计、项目融资、原材料和设备采购、施工安装和调试、运行保养和维护、节能量测量与验证、人员培训、节能效果保证等全过程服务。

**培训。**在完成设备安装和调试后即进入试运行阶段，ESCO 还将负责培训用户的相关人员，以确保能够正确操作及保养、维护改造中所提供的先进的节能设备和系统。在合同期内，设备或系统的维修由 ESCO 负责，并承担有关的费用。

**能耗基准、节能量监测。**改造工程完工前后，ESCO 与用户共同按照合同约定测试、验证方案对项目能耗基准和节能量、节能率等相关指标进行实际监测，必要时可委托第三方机构完成节能量确认。节能量作为双方效益分享主要依据。

**效益分享。**由于对项目的全部投入（包括节能诊断、设计、原材料和设备的采购、土建、设备的安装与调试、培训和系统维护运行等）都是由 ESCO 提供的，因此在项目的合同期内，ESCO 对整个项目拥有所有权。用户将节能效益中应由 ESCO 分享的部分按月或季支付给 ESCO。在根据合同所规定的费用全部支付完毕以后，ESCO 把项目交给用户，用户即拥有项目所有权。

### 三、商业模式

合同能源管理不是某一种具体的产品或技术，而是通过整合各方面资源，向客户销售一系列的节能“服务”。合同能源管理是市场经济下的节能服务商业化实体，在市场竞争中谋求生存和发展，与我国从属于地方政府的节能服务中心有根本性的区别。ESCO 所开展的 EPC 业务具有以下特点：

#### 1. 商业性

ESCO 是商业化运作的公司，以合同能源管理机制实施节能项目来实现赢利的目的。

#### 2. 整合性

节能业务不是一般意义上的推销产品、设备或技术，而是通过合同能源管理机制为客户提供集成化的节能服务和完整的节能解决方案，为客户实施一揽子专业化节能服务；ESCO 不是金融机构，但可以为客户的节能项目提供资金；ESCO 不一定是节能技术所有者或节能设备制造商，但可以为客户选择提供先进、成熟的节能技术和设备；ESCO 也不一定自身拥有实施节能项目的工程能力，但可以向客户保证项目的工程质量。对于客户来说，ESCO 的最大价值在于：可以为客户实施节能项目提供经过优选的各种资源集成的工程设施及其良好的运行服务，以实现与客户约定的节能量或节能效益。

#### 3. 多赢性

EPC 业务的一大特点是：一个该类项目的成功实施将使介入项目的各方包括：ESCO、客户、节能设备制造商和银行等都能从中分享到相应的收益，从而形成多赢的局面。对于分享型的合同能源管理业务，ESCO 可在项目合同期内分享大部分节能效益，以此来收回其投资并获得合理的利润；客户在项目合同期内分享部分节能效益，在合同期结束后获得该项目的全部节能效益及 EPC 投资的节能设备的所有权，此外，还获得节能技术和设备建设和运行的宝贵经验；节能设备制造商销售了其产品，收回了货款；银行可连本带息地收回对该项目的贷款，等等。正是由于多赢性，使得 EPC 具有持续发展潜力。

#### 4. 风险性

ESCO 通常对客户的节能项目进行投资，并向客户承诺节能项目的节能效益，因此，ESCO 承担了节能项目的大多数风险。可以说，EPC 业务是一项高风险业务。EPC 业务的成败关键在于对节能项目的各种风险分析和管理。



商业模式结构

### 四、关键要素

合同能源管理实现过程中的几大关键控制点：

**第六大关键控制点：财务评审。**与常规项目的收款方式不同。合同能源管理将一次性收款变为每年收款。因此需要计算资金占用的时间费用和机会成本，以选择合适的融资方式。同时，在财务做账时，也需要注意不同处理方法对利润表的影响。



五大关键控制点

## 五、风险管控

合同能源管理项目主要分为技术风险,信用风险和财务风险:



## 六、成功经验

ESCO 按照合同能源管理机制实施节能项目获得了成功,取得了经验,主要有以下几点:

**真诚合作:**项目实施成功是 ESCO 与客户双方共同的目标,客户的利益是不投入或少投入资金即可得到优良的节能设备和长期的节能和环境效益,ESCO 则要从项目成功中赚得利润。许多案例证明,双方的真诚合作是最重要的,ESCO 在项目全过程中进行优质服务,客户在项目全过程中密切配合是项目成功保障。

**经济风险防范:**为了达到 ESCO 与客户双赢的目的,ESCO 需要客户帮助防范经济风险。客户要向 ESCO 提供企业的经营管理、财务状况、产品营销与发展前景、可供选择的担保和抵押措施等方面的详实情况,以建立和增强 ESCO 投资的信心;ESCO 要以诚信精神对待客户,并为客户保守商业秘密,最终达到客户获得节能效益,赚得利润。

**技术风险防范:**项目是否成功与改造方案的确定和节能技术与配套设备的选型直接相关,也与原始运行状况和耗能情况关系密切。ESCO 要在客户的坦诚帮助下,弄清原始运行和耗能情况,并在专家指导下选好改造方案 and 所有技术与配套设备。这是防范技术风险的有效措施,也是项目成功的基础。

## 七、EPC 缺陷

但是凡事有两面,合同能源管理在实施的过程中,也存在着许多弊端。

第一,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。

第二,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。

第三,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。

第四,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。

在这样的背景下,低品质、同质化的竞争加剧。最终对于整个节能产业也带来了损害,限制了节能产业健康有序的发展。

## 八、小结

合同能源管理不是某一种具体的产品或技术,而是通过整合各方面资源,向客户销售一系列的节能“服务”。合同能源管理项目 50% 为商务与技术,50% 为金融把控能力。由于一般工程、产品企业缺乏金融人才,对“投资与融资”并不关注。因此,当合同能源管理项目做多了以后就会影响到公司资金占用,负债率上升,财务报表变的难看等问题。相关企业需要特别注意。

(来源:分布式能源微信)

# 我国储能发展方向

国家发改委、国家能源局近日下发了《能源技术革命创新行动计划（2016–2030 年）》，并同时发布了《能源技术革命重点创新行动路线图》。其中关于储能路线如下：

## 先进储能技术创新

### （一）战略方向

1. 储热 / 储冷。重点在太阳能光热的高效利用、分布式能源系统大容量储热（冷）等方面开展研发与攻关。

2. 物理储能。重点在电网调峰提效、区域供能的物理储能应用等方面开展研发与攻关。

3. 化学储能。重点在可再生能源并网、分布式及微电网、电动汽车的化学储能应用等方面开展研发与攻关。

### （二）创新目标

1. 2020 年目标。突破高温储热的材料筛选与装置设计技术、压缩空气储能的核心部件设计制造技术，突破化学储电的各种新材料制备、储能系统集成和能量管理等核心关键技术。示范推广 10MW/100MWh 超临界压缩空气储能系统、1MW/1000MJ 飞轮储能阵列机组、100MW 级全钒液流电池储能系统、10MW 级钠硫电池储能系统和 100MW 级锂离子电池储能系统等一批趋于成熟的储能技术。

2. 2030 年目标。全面掌握战略方向重点布局的先进储能技术，实现不同规模的示范验证，同时形成相对完整的储能技术标准体系，建立比较完善的储能技术产业链，实现绝大部分储能技术在其适用领域的全面推广，整体技术赶超国际先进水平。

3. 2050 年展望。积极探索新材料、新方法，实现

具有优势的先进储能技术储备，并在高储能密度低保温成本热化学储热技术、新概念电化学储能技术（液体电池、镁基电池等）、基于超导磁和电化学的多功能全新混合储能技术等实现重大突破，力争完全掌握材料、装置与系统等各环节的核心技术。全面建成储能技术体系，整体达到国际领先水平，引领国际储能技术与产业发展。

### （三）创新行动

1. 储热 / 储冷技术。研究高温（ $\geq 500^{\circ}\text{C}$ ）储热技术，开发高热导、高热容的耐高温混凝土、陶瓷、熔盐、复合储热材料的制备工艺与方法；研究高温储热材料的抗热冲击性能及机械性能间关系，探究高温热循环动态条件下材料性能演变规律；研究 10MWh 级以上高温储热单元优化设计技术。开展 10~100MWh 级示范工程，示范验证 10~100MWh 级面向分布式供能的储热（冷）系统和 10MW 级以上太阳能光热电站用高温储热系统；开发储热（冷）装置的模块化设计技术，研究大容量系统优化集成技术、基于储热（冷）的动态热管理技术。研究热化学储热等前瞻性储热技术，探索高储热密度、低成本、循环特性良好的新型材料配对机制；突破热化学储热装置循环特性、传热特性的强化技术；创新热化学储热系统的能量管理技术。

2. 新型压缩空气储能技术。突破 10MW/100MWh 和 100MW/800MWh 的超临界压缩空气储能系统中宽负荷压缩机和多级高负荷透平膨胀机、紧凑式蓄热（冷）换热器等核心部件的流动、结构与强度设计技术；研究这些核心部件的模块化制造技术、标准化与系列化技术。突破大规模先进恒压压缩空气储能系统、太阳能热源压

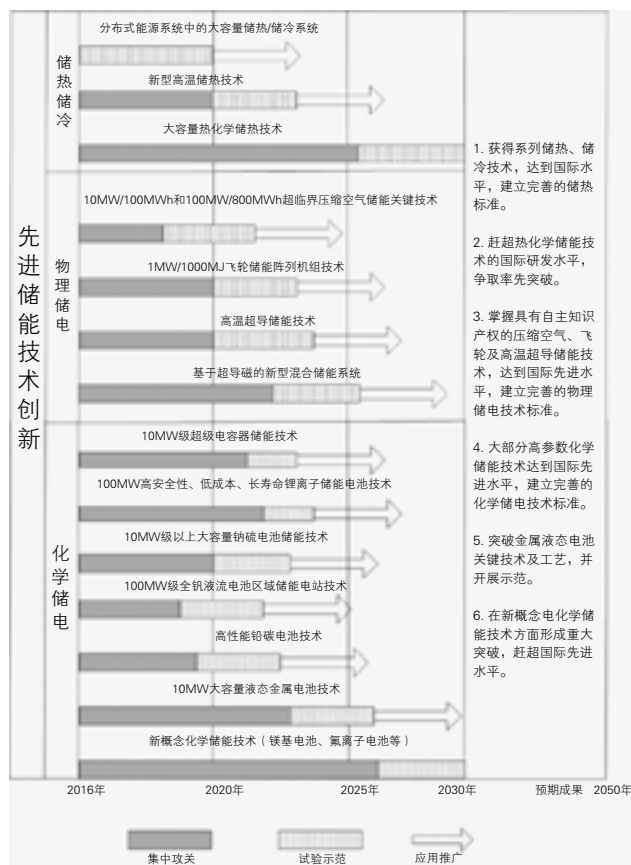


压缩空气储能系统、利用 LNG 冷能压缩空气储能系统等新型系统的优化集成技术与动态能量管理技术；突破压缩空气储能系统集成及其与电力系统的耦合控制技术；建设工程示范，研究示范系统调试与性能综合测试评价技术；研发储能系统产业化技术并推广应用。

**3. 飞轮储能技术。**发展 10MW/1000MJ 飞轮储能单机及阵列装备制造技术。突破大型飞轮电机轴系、重型磁悬浮轴承、大容量微损耗运行控制器以及大功率高效电机制造技术；突破飞轮储能单机集成设计、阵列系统设计集成技术；研究飞轮单机总装、飞轮储能阵列安装调试技术；研究飞轮储能系统应用运行技术、检测技术、安全防护技术；研究飞轮储能核心部件专用生产设备、总装设备、调试设备技术和批量生产技术。研究大容量飞轮储能系统在不同电力系统中的耦合规律、控制策略；探索飞轮储能在电能质量调控、独立能源系统调节以及新能源发电功率调控等领域中的经济应用模式；建设大型飞轮储能系统在新能源的应用示范。

**4. 高温超导储能技术。**探索高温超导储能系统的设计新型原理，突破 2.5MW/5MJ 以上高温超导储能磁体设计技术；研究高温超导储能系统的功率调节系统 PCS 的设计、控制策略、调制及制造技术；研究高温超导储能低温高压绝缘结构、低温绝缘材料和制冷系统设计技术；研究高性能在线监控技术、实时快速测量和在线检测控制技术。布局基于超导磁和电化学及其它大规模物理储能的多功能全新混合储能技术，重点突破混合储能系统的控制技术 & 多时间尺度下的能量匹配技术。开发大型高温超导储能装置及挂网示范运行。

**5. 大容量超级电容储能技术。**开发新型电极材料、电解质材料及超级电容器新体系。开展高性能石墨烯及其复合材料的宏量制备，探索材料结构与性能的作用关系；开发基于钠离子的新型超级电容器体系。研究高能量混合型超级电容器正负电极制备工艺、正负极容量匹配技术；研发能量密度 30Wh/kg、功率密度 5000W/kg 的长循环寿命超级电容器单体技术。研究超级电容器模块化技术，突破大容量超级电容器串并联成组技术。研究 10MW 级超级电容器储能装置系统集成关键技术，突破大容量超级电容器应用于制动能量回收、电力系统



先进储能技术创新路线图

稳定控制和电能质量改善等的设计与集成技术。

**6. 电池储能技术。**突破高安全性、低成本、长寿命的固态锂电池技术，以及能量密度达到 300Wh/kg 的锂硫电池技术、低温化钠硫储能电池技术；研究比能量 >55Wh/kg，循环寿命 >5000 次（80%DOD）的铅炭储能电池技术；研究总体能量效率 ≥ 70% 的锌镍单液流电池技术；研究储能电池的先进能量管理技术、电池封装技术、电池中稀有材料及非环保材料的替代技术。研究适用于 100kW 级高性能动力电池的储能技术，建设 100MW 级全钒液流电池、钠硫电池、锂离子电池的储能系统，完善电池储能系统动态监控技术。突破液态金属电池关键技术，开展 MW 级液态金属电池储能系统的示范应用。布局以钠离子电池、氟离子电池、氯离子电池、镁基电池等为代表的新概念电池技术，创新电池材料、突破电池集成与管理技术。

（来源：分布式能源微信）

# 集装箱替代单体建筑物时强扰流下小风机微观选址建议

□ 内蒙古工业大学 风能太阳能利用技术教育部省部共建重点实验室

汪建文 王强 侯亚丽 张立茹

**摘 要：**根据国际能源署 IEA Wind Task 27 项目要求，为探寻城市（强扰动）环境下小型风电机组适宜安装的场地，本文针对置于张北国家风电研究检测中心的集装箱替代建筑物进行建模，并引入中性平衡大气边界层（NE-ABL）理论，分析箱顶垂直方向上的湍流特性及箱顶风力机合适的安装位置及高度，结果表明：年盛行风向及平均风速条件下，箱顶 1.17 倍箱高高度范围为非高湍流区，且 1.17 至 1.60 倍箱高高度范围为风力机的适宜安装高度、前沿点为适宜安装位置。

**关键词：**强扰动 小型风电机组 湍流特性 微观选址 建议

## 引言

随着政府补助及城镇绿色建筑的发展，合理利用城市建筑环境中的风能，在城市建筑环境安装小型风力机的现象逐年增加。城市建筑环境复杂，具有风速较低、湍流强度较大等特征；欲在城市环境下应用小型风电机组，其首要任务即对城市（强扰动）环境下风能湍流特征分析及进行小型风力机的微观选址<sup>[1]</sup>。

国际能源署 IEA Wind Task 27 是唯一专门研究小型风力发电机组的课题，在完成既定课题任务（小风电标识制定）后对课题研究进行了延伸，主要进行城市（强扰动）环境下小风电安装指南的编写工作<sup>[2]</sup>。

国内外很多单位致力于该课题在 CFD 方面的研究。西班牙 Francisco 的 TOJA，找寻了建筑屋顶边缘形状对风能潜力的影响规律；美国 NREL 的 Sang LEE，进行了陆上风能应用仿真器的研究；内蒙古工业大学的汪建文团队针对屋顶风力机微观选址 CFD 进行了大量的工作：建筑物顶面形状、建筑群布局方式及建筑密度对屋顶风力机安装位置及高度的影响规律的研究<sup>[3]</sup>。

基于此，结合国际能源署 Task27 项目，本文利用

CFD 软件对置于河北张北国家风电研究检测中心的集装箱进行数值模拟，预测年盛行风向及平均风速条件下箱顶的风湍流特征，并进行箱顶风力机微观选址工作，为箱顶架设风力机提供必要的依据。

## 1. 模型参数

本研究拟用废弃的海运集装箱替代建筑物进行建模分析，着重分析集装箱顶各位置的湍流特性，从而预测建筑屋顶小型风力机的功率输出特性。本文采用 ANSYS 模块 Design Modeler 建立集装箱模型，具体尺寸： $L \times W \times H = 12.4 \times 2.4 \times 3$ ，单位 m，如图 1 所示。



图 1：集装箱

为方便箱顶风力机微观选址,将集装箱顶布置3行5列共15个点,分析各点在垂直方向上湍流参数的变化规律,避开强湍流区的扰动,找寻最佳的安装位置及高度。图2为箱顶布点及尺寸。

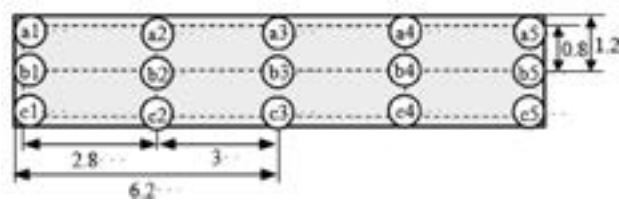


图2: 集装箱顶分析点分布图(俯视图,单位: m)

## 2. 计算方法

### 2.1 雷诺平均方程及湍流模型

雷诺平均方程(RANS)就是把N-S方程中的瞬时变量分解成平均量和脉动量,对速度有:  $u_i = \bar{u}_i + u'_i$ , 其中  $\bar{u}_i$  和  $u'_i$  分别是平均速度和脉动速度。那么有:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

上式:  $\rho$ 、 $p$ 、 $\mu$ 、 $u_i$ 、 $\delta_{ij}$  分别为空气密度、压力、粘性系数、脉动速度分量、 $\delta$  函数( $i=j$ 时,  $\delta_{ij}=1$ ; 否则  $\delta_{ij}=0$ );  $-\rho \overline{u'_i u'_j}$  为雷诺应力, 表征湍流附加量。为封闭方程, 应用 Boussinesq 假设, 认为雷诺应力与平均速度梯度成正比, 即:

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} (\rho k + \mu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \quad (3)$$

考虑计算成本及精度要求, 采用应用最广的标准  $k-\epsilon$  湍流模型, 它能较准确地描述准稳态数值解。地面采用标准壁面函数, 设置 Roughness Height=0.02m, Roughness Constant=0.5。

### 2.2 中性平衡大气边界

同济大学顾明<sup>[4]</sup>提出中性平衡大气边界(Neutral Equilibrium Atmospheric Boundary Layer, 记为 NE-ABL), 即采用对数风剖面、将湍动能  $k$  及湍流扩散率  $\epsilon$  中的速度项进行对数修正。本文采用 UDF 编制 NE-

ABL 入流条件:

$$U_z = \frac{U_*}{k} \ln \left( \frac{Z-Z_0}{Z_0} \right) \quad (4)$$

$$k = \frac{U_*^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad (5)$$

$$\epsilon = \frac{U_*^3}{\kappa(Z-Z_0)} \quad (6)$$

上式:  $U_z$  为高度  $Z$  处的平均速度,  $U_*$  为摩擦速度,  $Z_0$  为空气动力学粗糙度;  $\kappa$  为 Karman 常数(0.40~0.42);  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_\mu$  为常数, 分别取 -0.17、1.62、0.028; 由  $\kappa^2 = (C_{\epsilon 2} - C_{\epsilon 1}) \sigma_\epsilon \sqrt{C_\mu}$ ,  $C_{\epsilon 1}=1.5$ 、 $C_{\epsilon 2}=1.92$ 、 $\sigma_\epsilon=2.51$  确定  $\kappa=0.42$ , 以上常数参考文献[4]中的实验值得到。

### 2.3 计算域及计算网格

考虑计算精度和计算量, 确定计算域: 入流边界到集装箱迎风面取  $8H$ , 背风面到出口边界取  $15H$ , 集装箱两侧到边界等距取  $8H$ , 箱顶距顶部边界取  $4H$ ; 阻塞率为 1%, 保证流动的充分发展。充分利用了 ICEM-CFD 在绘制结构化网格的优势, 并在集装箱附近进行加密。图3为计算域尺寸及网格划分结果。

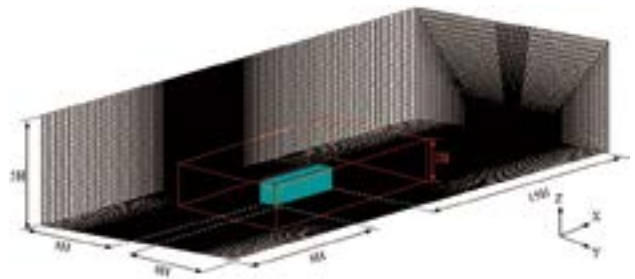


图3: 计算域尺寸示意图及网格划分

## 3. 计算结果与分析

本文针对上述模型、采用 NE-ABL 入流边界及上述计算方法, 以当地年平均风速(6.2m/s)、盛行风向(西风,  $270^\circ$ )为工况变量, 分别从湍流强度、风加速因子等特征参数分析箱顶湍流特性, 分析了风力机的适宜安装位置及高度。

### 3.1 湍流强度

风遇到集装箱的阻挡, 产生强扰流现象, 在集装箱

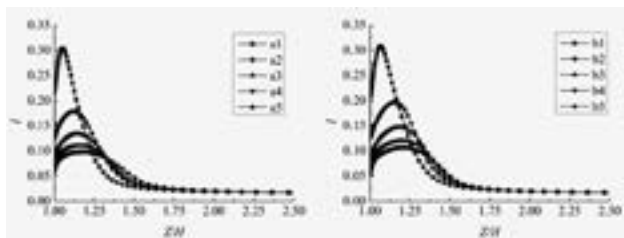


图 4: 箱顶 a、b 两行各点 I 分布规律

顶附近产生强湍流。湍流强度是脉动速度和平均速度的比值, 衡量箱顶风湍流的程度。根据 IEC 61400-12 风场的要求:  $I < 0.25$ 。图 4 为 a、b 两行各分析点的 Z-I 曲线。

根据湍流的定义,  $I \leq 0.10$  表征湍流较小,  $0.10 \leq I \leq 0.25$  表征中等程度湍流,  $I \geq 0.25$  表征湍流过大。由图 2 可知, 箱顶 15 个点中前沿点 a1、b1 和 c1 在  $Z \in (H, 1.17H)$  时  $I \geq 0.25$ , 其中最大湍流强度在 b1 处取得  $I_{\max} = 0.308$ , 属于强湍流区; 对于箱顶后 4 列在  $Z \in (H, 1.35H)$  时  $0.10 \leq I \leq 0.25$ , 属于中等湍流区; 当  $Z \geq 1.35H$  时, 箱顶所有点垂直方向上的湍流强度均满足  $I \leq 0.10$ , 属于低湍流区。综上所述,  $Z \geq 1.17H$  高度范围属于非高湍流区, 原则上可作为适宜风力机安装的高度范围。

### 3.2 风加速因子

为明确箱顶风力机的安装位置, 引入风加速因子 CV 来衡量箱顶风加速效果。

$$C_v = V/V_0 - 1 \quad (7)$$

式中:  $V$  为高度  $Z$  处的风速,  $V_0$  为  $Z$  处未受扰动的风速。 $C_v$  越大, 表明集装箱对风的加速效果越好。由于箱顶分布点对称, 故分析 a、b 两行箱顶各点的  $C_v$  随垂直高度的变化规律。

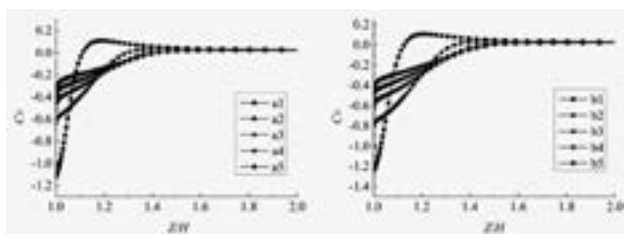


图 5: 箱顶 a、b 两行各点  $C_v$  分布规律

由图 5 可知, 箱顶的阻滞作用使得箱顶附近区域  $Z \in (H, 1.1H)$  产生风流体滞留, 甚至发生低速回流现象, 该区域风加速因子迅速增大, 但仍比未干扰区域风速小、没有加速效果。当  $Z \geq 1.12H$  时, 前沿点 a1、b1 和 c1 的风加速因子显著增加, 且在  $Z = 1.2H$  处达到最大值约为 0.11, 随后  $C_v$  减小直至趋于稳定; 当  $Z \geq 1.3H$  时, 靠近前沿点 a2、b2 和 c2 的  $C_v > 0$ , 开始出现加速效果, 且加速效果不如前沿点; 当  $Z \geq 1.60H$  时, 中间点及其后各点的加速效果才有所体现, 且加速效果明显低于前沿点。综合 3.1 分析,  $Z \in (1.17H, 1.60H)$  高度范围内前沿点的加速效果明显优于其它各点, 所以选择该区域为风力机安装位置。

## 4. 结论

通过对废弃的海运集装箱替代建筑物进行数值模拟, 探寻了年盛行风向及平均风速条件下, 集装箱顶 15 个点的湍流强度  $I$ 、风加速因子  $C_v$  随高度的变化规律, 研究表明: 集装箱顶部 1.17 倍箱高高度范围为非高湍流区, 原则上可作为适宜风力机安装的高度范围; 1.17 至 1.60 倍箱高高度范围内前沿点的加速效果明显优于其它各点, 选择该区域为风力机安装位置。

目前建筑屋顶风力机的微观选址还未制定相关标准, 本文初探性地为屋顶风力机的微观选址提供新思路及分析方法, 并为后期集装箱顶风力机的安装测试工作提供依据。

### 参考文献:

- [1] 袁行飞, 张玉. 建筑环境中的风能利用研究进展[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 891-898
- [2] 侯亚丽, 汪建文, 王强, 王鑫. 平顶建筑物顶面风力机安装位置和高度研究[J]. 太阳能学报, 2015, 37(1): 236-242
- [3] 都志杰. IEA T27、SWAT 和国际小风电[J]. 中小型风能设备与应用, 2016, 3: 26-29.
- [4] Yang Y, Gu M, Chen S. New inflow boundary conditions for modeling the neutral equilibrium atmospheric boundary layer in computational wind engineering[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2009, 97: 88-95.



# 分布式光伏发电如何与配电网协调发展

## 一、总述

能源和环境的危机,促进了太阳能等新型可再生能源的开发利用。分布式光伏发电充分发挥了光伏发电与分布式两种技术的综合优势,成为了新型可再生能源开发利用的重要方式。但分布式光伏发电的接入,给配电网的安全稳定运行带来了潜在的威胁。为保证配电网的可靠运行,一般采用严格限制分布式光伏发电接入容量,并对接入实施严格规范的方法。例如,我国目前分布式电源接入电网的技术规范规定,“分布式电源总容量原则上不宜超过上一级变压器供电区域内最大负荷的 25%”。这类方法虽能避免分布式光伏发电接入可能对配电网产生的不利影响,但也从根本上限制了分布式光伏发电的发展。

主动配电网(active distribution network, ADN)作为一个新的概念,于 2008 年由国际大电网会议(CIGRE)提出,其核心是分布式可再生能源从传统的被动消纳转变为主动引导与利用。主动配电网通过对分布式光伏发电、储能以及负荷进行联合调控,减小分布式光伏发电对配电网造成的不利影响,从而提高配电网接纳分布式光伏发电的能力,被认为是解决分布式光伏发电接入问题的有效途径。

主动配电网已经成为国内外学术和工程应用技术研究的重点领域,其在为分布式光伏发电发展创造广阔空间的同时,也为传统配电网带来全新的技术和管理变革,是提升电力系统智能化水平的重要手段。分布式光伏发电和主动配电网技术虽然有着密切的内在联系,但在发展进程以及关注点上也有一些区别,相互协调则更有利于促进二者的共同发展。

## 二、分布式光伏发电

光伏发电可分为输电侧并网和配电侧并网两种基本模式(独立供电系统可以看作是配电侧并网模式的特例)。输电侧并网技术一般应用于大规模电站,发电装置产生的电能集中并入电网,由电网统一调度使用;在配电侧并网系统中,发电装置规模较小,就近接入配电网,产

生的电能一般被就地消纳。容量相对较小的配电侧并网发电,更习惯被称为分布式发电。

分布式光伏发电具有简便灵活、适用区域广、维护简单等优点,更可以因地制宜,充分利用建筑屋顶和闲置土地进行设计和建设,对土地资源的消耗以及生态环境的影响相对较少。由于就近接入既有配电网,对接入要求相对比较简单,加上产生的电能一般供本地负荷使用,避免了输电线路长距离传输的损耗,电能的利用效率也更高。正是由于这些优点,分布式光伏发电受到了国家政策层面的重视。与此同时,由于分布式光伏发电的一些固有特性,也给配电网带来了以下影响与挑战。

首先,与传统配电网负荷的单向潮流不同,分布式光伏发电装置的接入将在配电网中形成双向潮流;另外,太阳能辐射强度的随机波动性,直接决定了分布式光伏发电装置输出功率的可预测性和可调度性差。因此,分布式光伏发电将对配电网的电压特性、继电保护、短路特性等产生影响,对配电网是一个潜在的不稳定因素。

其次,分布式光伏发电产生的电能,一般都需要利用电力电子装置进行电能变换后才能并入电网,而电力电子装置工作产生的谐波,可能对电网的电能质量产生不利影响。另外,电力电子装置在动态调节和控制惯性、过载能力、故障穿越能力等方面,与传统发电机有很大的差异,也被看作是电网稳定运行的潜在风险。当分布式光伏发电接入容量的比例较小时,这些特性差异对电网的影响可以忽略,而随着接入容量比例的不断增加,其对电网稳定性的威胁也越来越显著,并终将达到电网难以耐受的程度。

最后,分布式光伏发电在投资和产权主体,以及建设位置分布上更倾向于分散,应用环境以及客户的需求也更加多样化,调度和控制的要求更加简便灵活和多变。如果沿用传统电力系统相对集中的规划、设计建设以及管控模式,将在很大程度上限制分布式光伏发电技术优势的发挥。因此,分布式光伏发电的推广应用,给配电网运营管理以及相关行业技术标准和规范的制定与执行

都提出了新的要求。

为了充分发挥分布式光伏发电在新型可再生能源开发利用战略中的重要作用,就必须解决分布式光伏发电大规模接入可能对配电网规划建设、安全稳定运行以及运营管理等产生各种不利影响,这不仅需要政策的支持,更离不开新技术的支撑。

### 三、主动配电网关键技术

主动配电网是一个可以综合控制分布式资源(分布式电源、负荷和储能装置等)的配电网,它使用一个灵活的网络拓扑控制系统潮流,并且在合适的监管环境和准入协议下,使得分布式资源能在一定程度上为配电系统提供支持,体现为“主动规划、主动控制、主动管理、主动服务与全面感知”。主动配电网可以被看作是一个“智能配电系统”,其推广应用,将对于提高电力系统整体的调度控制性能具有积极的作用。

主动配电网的关键技术涉及电力系统、电力电子、储能、自动控制以及网络通讯等多个领域,包括:

(1) 柔性组网技术:结合配电网连接方式及设备型式,利用各种电力电子装置,通过柔性变压、双向潮流控制、电能质量治理、不间断供电等多种柔性控制技术,为电网提供灵活调节能力,使交流、直流、交直流混合等多种网络结构发挥各自优势,互联共存,提升分布式光伏发电接纳能力、供电可靠性和供电能力。

(2) 保护技术:基于模式识别、多信源、大数据等技术,通过直流保护、自适应保护、网络保护等技术,实现故障的准确判断、可靠隔离和故障区段的准确识别。

(3) 储能技术:根据不同储能形式在规模、功率密度、能量密度、转换效率、速率、寿命、成本、可用性、技术成熟等方面的优缺点,针对规模化储能系统,将不同的储能介质结合使用,通过对不同储能方式配比优化设计和功率协调控制,发挥各自优势,实现混合储能系统的高效、经济和可靠运行。

(4) 能量管理技术(energy management system, EMS):通过先进传感器网络 and 智能终端技术,实现对电网运行状态、电源及负荷特性的识别,在单元层面预测电源出力、充放电需求、负荷需求,达到配电网系统完全可观可控;基于多源大数据平台,通过协同优化技术,

实现主动配电网“区域自治、全局优化”。

(5) 即插即用技术:基于标准化接口,结合感知元件和信息交互技术,管理本地与配网间的信息和电力双向流动,具有自检测、自诊断、自保护功能,能够被配电网自动识别,并在线自动纳入管理。

(6) 新能源接入电压控制技术:新能源接入增大了电压调节难度。通过本地和全局电压协调控制,一方面对本地电压控制环节和控制能力进行实时跟踪和实时预测,向系统预报本地无功需求和无功可调节量,由系统进行全局优化;另一方面根据系统指定的电压控制值,通过本地各无功电压控制环节的联合控制,保证接入点新能源接入的电压安全。

(7) 可再生能源高渗透区域谐波治理技术:为了适应大量间歇波动性可再生能源、电力电子装置、不平衡和非线性负载接入,需解决这些单元之间引起的谐波超标和谐振问题。利用可再生能源并网变流器、有源滤波器等电力电子装置吸收谐波,并为系统提供一定的阻尼抑制谐振,保证配电网的安全稳定运行和高质量供电。

基于以上技术特征,主动配电网可按照稳定和可靠运行的要求,将内部的分布式发电装置、储能装置、负荷等的特性进行统一规范和设计,并通过联合调度和控制,在确保系统稳定运行的基础上,实现分布式光伏发电的宽限接入;通过主动管理和控制,鼓励各种不同的电力用户积极参与电网互动,同时可以接受大电网统一调度,实现内部负荷及多种能源的优化配置,为电力用户提供安全、可靠、优质、经济和环保的电力供应。正是主动配电网的上述特点,使其在分布式光伏发电装置与电力系统之间建立起一个“政策、规范和控制的缓冲层”,较好地平衡主动配电网内部分布式光伏发电与外部传统电力系统在管控模式、技术标准以及利益格局方面的差异,提高电网接纳分布式光伏发电的能力。

### 四、分布式光伏发电与主动配电网的协调发展

传统电力系统作为高度复杂系统的代表,习惯采用集中统一的规划和运营管理模式,并强调通过对涉网线路、设备、用户、政策以及标准等的统一管控,确保电力系统的安全稳定。与此形成鲜明对比的是,分布式光伏发电的特点和优势却体现在“分散独立、灵活自治”。

将分布式光伏发电当作“不稳定因素”加以严格限制，或是当作“劣质电源”“另眼相看”，对其接入设置过多技术门槛和附加条件，有可能严重制约分布式光伏发电应用的发展；而要求电网无条件宽限接纳分布式光伏发电的接入，对分布式光伏发电装置的技术性能缺乏必要的约束，势必会大大增加电网升级改造的投资，反过来还是会阻碍分布式光伏发电的应用推广。因此，需分布式光伏发电与主动配电网协调发展，方可达到相互促进的目的。

(1) 政策规划：考虑到二者的特点，分布式发电与主动配电网的协调离不开政策法规的支持，并应该在规划设计阶段予以充分全面的考虑。结合不同地区的特点和需求，因地制宜制定分布式光伏发电和配电网发展规划，并鼓励针对不同的应用特点和需求，有针对性地开展技术攻关。

根据需求特点不同，目前分布式光伏发电与主动配电网有三种典型的应用模式：在电网架构薄弱或者是缺电地区，以提高供电能力为主，重点解决提高电压稳定性、分布式光伏发电高渗透率接入、电压自适应控制、并离网切换和微网运行控制等技术；在城镇地区，以分布式光伏发电高密度、多点分散接入为主，重点解决电能质量治理、潮流特性优化控制、利用储能提高能量利用效益等技术；在工业区等区域，以分布式光伏发电大规模连片开发为主，重点解决远程调度、功率预测、继电保护等技术。

(2) 技术规范：在分布式光伏发电与主动配电网协调发展的过程中，技术规范扮演着至关重要的角色。

在发展的早期阶段，技术特征集中体现为防止分布式光伏发电可能对电网带来的不利影响；研究的重点在于提高改善分布式发电装置的性能，使其能够更好地适应配电网对稳定性和可靠性的要求，包括电能质量、电网适应性、故障穿越等，以减小分布式光伏发电对配电网的不利影响；技术规范则更倾向于对分布式光伏发电系统（包括并网发电装置以及接入等）进行严格的约束，包括并网电能质量、对电网异常和故障的耐受性、故障穿越等。

随着分布式光伏发电的应用推广，单方面利用技术规范约束分布式光伏发电系统的弊端越来越显著。通过引入主动配电网技术对传统配电网进行升级，则可以在系统层面，从根本上解决分布式光伏发电对配电网的不

利影响，使得分布式光伏发电的宽限接入成为可能，为分布式光伏发电的大规模推广应用创造必要的条件。在这个发展阶段，主动配电网将真正成为电网中一个智能节点（微网），并通过电网系统对主动配电网的集中调度，提高整个电力系统的可调度性及可靠性。

在主动配电网发展的高级阶段，技术特征集中体现在主动配电网内部负荷、分布式发电装置、储能装置以及能量管理系统之间的联合调控。而技术规范则更应重视引导传统配电网向主动配电网的进步，比如集中式储能装置的配置、通讯规约、功率调度控制策略以及故障保护等。

(3) 实验示范：借助实验示范项目，对分布式光伏发电和主动配电网的一些核心关键技术进行验证和演示，不仅可以促进关键技术的研究，同时也能为相关技术的推广应用奠定基础，积累经验。在上面提及的分布式光伏发电和主动配电网三个典型应用中，结合各个应用的关键技术，可以有针对性地设计不同的实验示范项目。

在电网架构比较薄弱和电网供电能力不足的地区，重点实验功率和电压的实时控制，在外部电网出现较大异常和事故的情况下，甚至采用离网独立运行（微网），使得局部配电网的供电可靠性和供电能力可以相对独立地得到改善。

在城镇中，重点实验主动配电网借助储能和负荷管理，充分考虑分布式发电装置灵活接入和分散运行管理的实际情况，基于整体要求设计电压和谐波控制策略，通过调节负荷、分布式光伏发电和储能装置的功率，控制配电网内部以及公共连接点（PCC点）的功率和电压在允许范围内，从而确保配电网的安全、稳定和高效运行。

对于大规模连片分布式光伏发电，国内的工程应用案例较多，但功能比较简单，远没有充分开发。对此，可以依托已有项目，实验功率预测、光储互补等技术。

## 五、总结

借助主动配电网技术的支撑，分布式光伏发电可实现宽限接入，并通过与储能装置、负荷的联合调控，发挥更大作用，具有更广阔的发展前景。主动配电网关键技术的研究是当前的热点，为了更好地促进分布式光伏发电和主动配电网的协调发展，应该在政策规划、技术规范和实验示范等多个方面，结合双方特点和要求，合理设计发展路径。（来源：光伏标准及技术）

# 储能技术分类及特点

## 1. 储能定义

什么是储能：特指通过机械的、电磁的、电化学生电等方法，将能量存储起来，在需要的时候，再通过机械的、电磁的、电化学的方法转变为电能，为用电设备提供电能，从而调节能量供求在时间和强度上的不匹配问题。

### 1.1 储能装置的分类



### 1.2 储能设备的分类

| 储能设备分类                           |                                  |        |                     |
|----------------------------------|----------------------------------|--------|---------------------|
| 功率等级                             | 能量等级                             | 设备类型   | 用户举例                |
| $\leq 1\text{W}$                 | MWh                              | 便携储能设备 | 电子表、手机              |
| $1\text{W} \sim 100\text{W}$     | Wh                               |        | 电子设备、电动工具           |
| $\leq 500\text{W}$               | $\leq 500\text{Wh}$              | 移动储能设备 | 电动自行车               |
| $10\text{kW} \sim 200\text{kW}$  | $25\text{Wh} \sim 250\text{kWh}$ |        | 节能与新能源汽车            |
| $100\text{kW} \sim 100\text{MW}$ | $\sim 500\text{kWh}$             |        | 铁路机车、城市轨道交通         |
| $1\text{kW}$                     | $5\text{kWh}$                    | 固定储能设备 | 家用储能设备              |
| $10\text{kW} \sim 100\text{kW}$  | $30\text{kWh}$                   |        | 小型工业和商业设施           |
| 兆瓦、吉瓦                            | MWh、GWh级                         |        | 智能电网、风能、光伏、移峰填谷储能电站 |

## 2. 机械储能

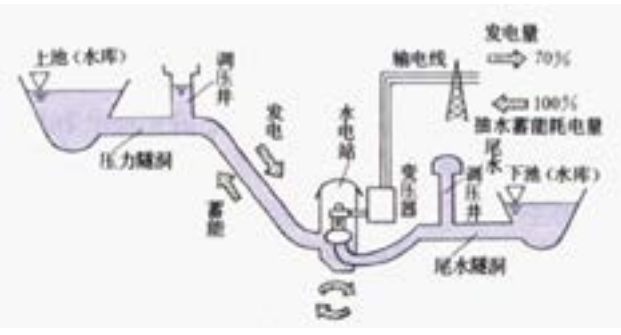
机械储能指电能通过转换为机械能的形态储存起来，在需要时，可再由机械能转换为电能为用电设备提供电能。

- 抽水储能
- 压缩空气储能
- 飞轮储能

### 2.1 抽水储能

#### (1) 原理与分类

1) 原理：抽水蓄能是集抽水与发电于一体的的一种蓄能方式，实现的是势能与电能的转换。在满足地质和水文等条件的前提下，分别在上下游设置水库；在电力负荷低谷时，将低地势的下水库的水抽到高地势的上水库中，将电能转换为势能；在用电高峰时，再将上水库的水释放，驱动水轮发电机组发电，将势能转换为电能。



抽水蓄能电站工作原理图

#### (2) 抽水蓄能电站的类型

按开发方式可分为：纯抽水蓄能电站、混合式抽水蓄能电站和调水式抽水蓄能电站；

按水头分为：高水头和中低水头；



按机组类型分为：四机分置式、三机串联式和二机可逆式；

按布置装点分为：地面式、地下式和特殊布置式（人工地下水库）。

### （3）抽水蓄能的特点

1）优点：抽水蓄能技术比较成熟，储存能量巨大，设备的使用寿命较长（一般可达 30~40 年），综合效率高（一般可达 70~85%）。

2）不足：建造受地理条件限制，需合适落差的高低水库，远离负荷中心；抽水 and 发电中有相当数量的能量被损失，储能密度较差；建设周期长，投资大。



## 2.2 压缩空气储能

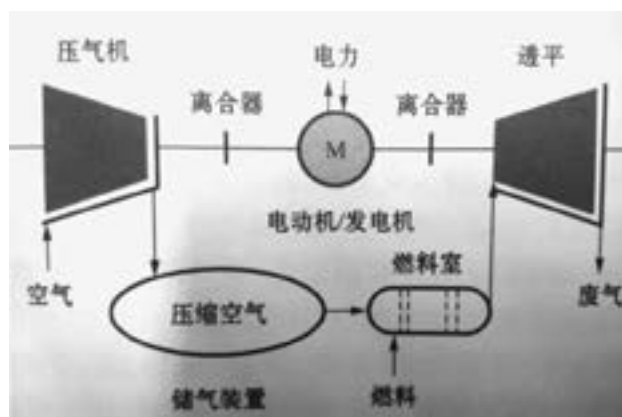
### （1）压缩空气储能的原理特点及分类

1）原理：压缩空气储能一般包括 5 个主要部件。压气机、燃烧室及换热器、涡轮（透平）机、储气装置、发电机等。在储能时，压缩空气储能系统耗用电能将空气压缩并存于储气室中；在释能时，高压空气从储气室释放，进入燃气轮机燃烧室同燃料一起燃烧后，驱动涡轮机带动发电机输出电能。

#### 2）特点

A. 规模上仅次于抽水蓄能，适合建造大型电站。压缩空气储能系统工作时间长，可以持续数小时乃至数天工作；

B. 建造成本和运行成本较低。低于钠硫电池和液流电池，也低于抽水蓄能电站，具有很好的经济性。其次，



压缩空气储能系统工作原理图

由于使用高性能绝热材料，仅使用少量或不使用天然气或石油等燃料即可实现对压缩空气的加热，从而降低燃料成本占比；

C. 场地限制小；

D. 寿命长。通常维护可以达到 40~50 年，并且其效率可以达到 60% 左右，接近抽水蓄能电站；

E. 安全性和可靠性高。压缩空气储能使用的原料是空气，不会燃烧，不产生任何有毒有害气体，也没有爆炸的危险。

### 3）分类

A. 根据热源不同分为：燃烧燃料的、带储热的和无热源的压缩空气储能系统；

B. 根据规模不同可分为：大型（单台机组规模为 100 兆瓦级）、小型（10 兆瓦级）和微型（100 千瓦级）；

C. 根据能否和其他热力循环系统耦合可分为：传统压缩空气储能系统、燃气轮机耦合系统、燃气蒸汽联合循环耦合系统、内燃机耦合系统、制冷循环耦合系统和可再生能源耦合系统。

### （2）优点和缺点

1）优点：有调峰功能，适合用于大规模风场，因为风能产生的机械功可以直接驱动压缩机旋转，减少了中间转换成电的环节，从而提高效率。

2）缺点：需要大的洞穴以存储压缩空气，与地理条件密切相关，适合地点非常有限；需要燃气轮机配合，并要一定量的燃气作燃料，适合于用作能量管理、负荷调平和削峰；以往开发的是一种非绝热（diabatic）压缩

空气储能技术。空气在压缩时所释放的热，并没有储存起来，通过冷却消散了，而压缩的空气在进入透平前还需要再加热。因此，全过程效率较低，通常低于 50%。

2.3 飞轮储能

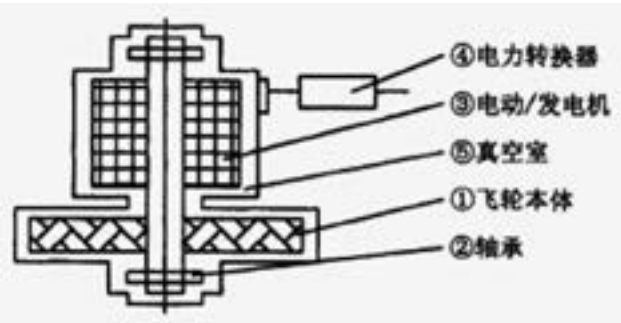
(1) 飞轮储能的原理

1) 原理：将能量从外界输入后，电动机将在电子电力输入设备的驱动下带动飞轮高速旋转，这一过程相当于给飞轮储能系统充电；当飞轮转子达到一定工作转速时，电力电子输入设备停止驱动电动机，系统完成充电；当外界需要能量输出时，高速旋转的飞轮转子降低转速，通过发电机的发电功能将动能转化成电能释放，通过给负载提供能量，完成系统的放电过程。

2) 其结构组成：飞轮、轴承、发电机、真空容器、电力电子装置。

(2) 飞轮储能的工程应用

- 1) 智能电网的应用
- 2) 交通运输的应用



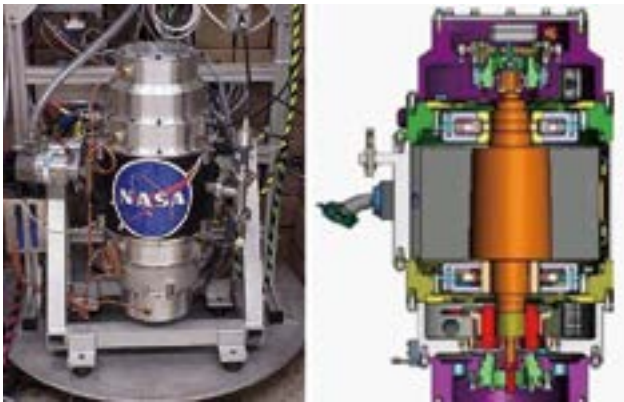
飞轮储能装置结构示意图



飞轮储能装置的内部结构



Active Power 生产的 UPS 飞轮储能系统



NASA 研制的飞轮储能系统

3) CPS 电源的应用

4) 新能源电力的储存

(3) 飞轮储能的优点及缺点

优点：寿命长（15~30 年）；效率高（90%）；少维护、稳定性好；较高的功率密度；响应速度快（毫秒级）。

缺点：能量密度低，只可持续几秒到几分钟；由于轴承的磨损和空气的阻力，具有一定的自放电作用。

3. 电磁储能技术——超导储能

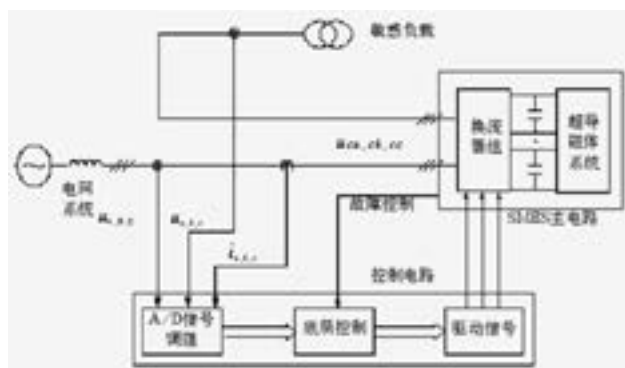
3.1 超导储能的原理及特点

超导体：许多金属和合金都具有低温下失去电阻的特性，这种特殊的导电性能被称为“超导态”，处于超导态的导体称之为“超导体”。

零电阻效应：超导体的直流电阻率在一定的低温下突然消失，被称为“零电阻效应”。用超导体导线制成

螺旋形线圈，线圈通电产生磁场，其所储能量与电流的平方和电感的乘积成正比。

若线圈导体有电阻，能量会以焦耳热的形式消耗，而超导体在深冷状态下电阻为零，不存在焦耳热损耗，将螺旋线圈两端短接，磁能可被永久储存。需要时将线圈两端外接负载，即可将储存于线圈内的磁能转化为电能，随时取出。



超导储能系统控制及功率线路布局

### 3.2 超导储能的优缺点

（1）优点：

- 1）可长期无损耗地储存能量，转换效率超过 90%；
- 2）可通过采用电力电子器件的变流技术实现与电网的连接，响应速度快（毫秒级）；
- 3）由于其储存能量与功率调节系统的容量可独立地在大范围内选取，因此可将超导储能系统建成所需的大功率和大能量系统；
- 4）除了真空和制冷系统外，没有转动部分，使用寿命长；

5）建造时不受地点限制，维护简单，污染小。

（2）缺点：

- 1）超导材料的临界温度有待提高；
- 2）超导材料的价格比较高，有的比常规材料高几十倍甚至上百倍；
- 3）超导技术所应用的低温制冷系统的制备还比较复杂，且制冷机的免维护寿命较短；
- 4）超导装备的低温高压绝缘技术、实时监测技术、集成技术以及与常规系统的匹配协调运行等也需要进一步研究。

## 4. 化学储能

化学储能包括铅酸电池、镍系电池、锂系电池、液流电池和钠硫电池等。

### 4.1 铅酸电池



（1）构成铅酸蓄电池之主要成分如下

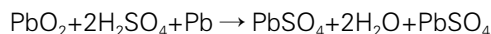
- 阳极板（过氧化铅  $\text{PbO}_2$ ）→活性物质；
- 阴极析（海绵状铅  $\text{Pb}$ ）→活性物质；
- 电解液（稀硫酸）→硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ）+ 水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）；
- 电池外壳；
- 隔离板；
- 其它（液口栓、盖子等）。

（2）原理

铅蓄电池内的阳极（ $\text{PbO}_2$ ）及阴极（ $\text{Pb}$ ）浸到电解液（稀硫酸）中，两极间会产生 2V 的电力。

放电状态，阴阳极及电解液即会发生如下变化：

（阳极）（电解液）（阴极）



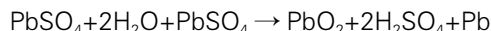
（放电反应）

（过氧化铅）（硫酸）（海绵状铅）

蓄电池连接外部电路放电时，稀硫酸即会与阴、阳极板上的活性物质产生反应，生成新化合物“硫酸铅”。

充电，则阴阳极及电解液即会发生如下变化：

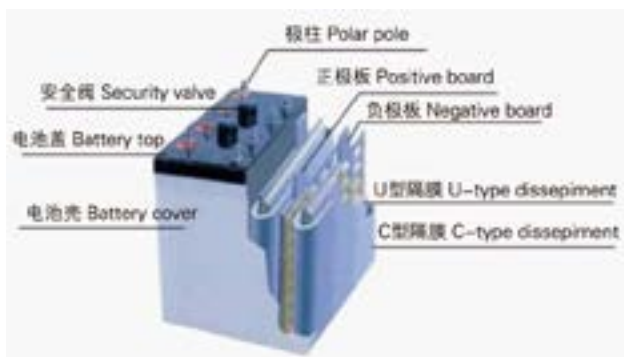
（阳极）（电解液）（阴极）



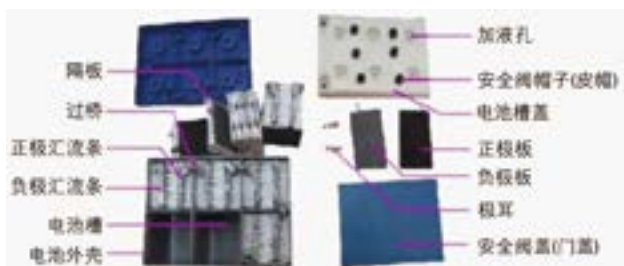
（充电反应）

（硫酸铅）（水）（硫酸铅）

由于放电时在阳极板，阴极板上所产生的硫酸铅会在充电时被分解还原成硫酸，铅及过氧化铅。



铅酸电池的结构图



铅酸电池内部解剖图

充电到最后阶段时，电流几乎都用在水的电解，而阴极板就产生氢，阳极板则产生氧。

### (3) 铅酸电池的优缺点

优点：寿命长、价格低、可以大电流放电；

缺点：铅有污染，能量密度低，过于笨重。

## 4.2 镍系电池

### 4.2.1 镍镉电池 (Ni-Cd, Nickel-Cadmium Batteries, Ni-Cd, Rechargeable Battery)

镍镉电池是最早应用于手机、笔记本电脑等设备的电池种类。 $Cd + 2NiO(OH) + 2H_2O = 2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$

优点：良好的大电流放电特性，耐过充放电能力强，维护简单；

缺点：镉是有毒的，环境污染，在充放电过程中如果处理不当，会出现严重的“记忆效应”，使得使用寿命大大缩短。

### 4.2.2 镍氢电池

优点：具有能量密度高、充放电速度快、重量轻、寿命长、无环境污染等优点，镍氢电池能量密度比镍镉



镍镉电池

电池大两倍；

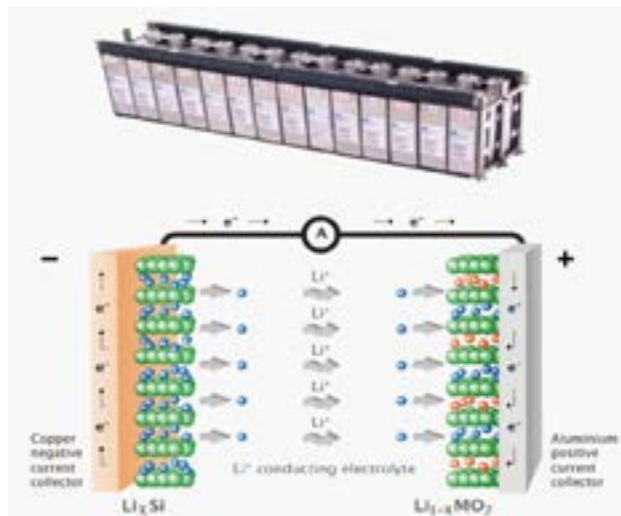
缺点：轻微记忆效应，串联电池组的管理问题比较多，一旦发生过充以后，就会形成单体电池隔板熔化的问题，导致整组电池迅速失效。



镍氢电池

## 4.3 锂电池

所谓锂离子电池是指分别用两个能可逆地嵌入与脱嵌锂离子的化合物作为正负极构成的二次电池。人们将这种靠锂离子在正负极之间的转移来完成电池充放电工作的，独特机理的锂离子电池形象地称为“摇椅式电池”，俗称“锂电”。



锂离子电池原理



优点：具有能量密度高、充放电速度快、重量轻、寿命长、无环境污染等优点。循环寿命一般均可达到500次以上，甚至1000次；

缺点：锂离子电池主要的问题是在过充电和过放电状态电池会发生爆炸，手机电池都是使用的单体电池，需要良好的保护电路来配合使用。

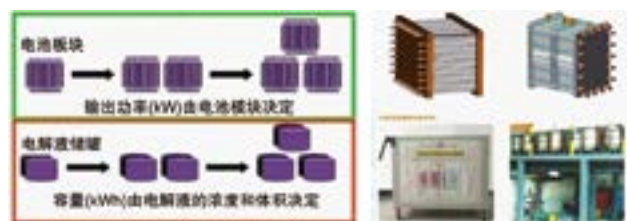
#### 4.4 液流电池

液流电池电解质溶液（储能介质）存储在电池外部的电解液储罐中，电池内部正负极之间由离子交换膜分隔成彼此相互独立的两室（正极侧与负极侧），电池工作时正负极电解液由各自的送液泵强制通过各自反应室循环流动，参与电化学反应。



液流电池工作原理

液流储能电池是一类适合于固定式大规模储能（蓄电）的装置，相比于目前常用的铅酸电池、镍镉电池等二次蓄电池，具有功率和储能容量可独立设计（储能介质存储在电池外部）、效率高、寿命长、可深度放电、环境友好等优点，是规模储能技术的首选技术之一。



液流电池系统

#### 4.5 钠硫电池

钠硫电池是美国福特（Ford）公司于1967年首先发明公布的。钠硫电池是一种以金属钠为负极、硫为正极、陶瓷管为电解质隔膜的二次电池。在一定的工作温度下，钠离子透过电解质隔膜与硫之间发生的可逆反应，形成能量的释放和储存。

基本的电池反应是： $2\text{Na} + x\text{S} = \text{Na}_2\text{S}_x$

优点：

钠硫电池的理论比能量高达760Wh/kg，且没有自放电现象。放电效率几乎可达100%；钠硫电池的基本单元为单体电池，用于储能的单体电池最大容量达到650Ah，功率120W以上。将多个单体电池组合后形成模块，模块的功率通常为数十千瓦，可直接用于储能；钠硫电池在国外已是发展相对成熟的储能电池，其寿命可达到10~15年。

缺点：高温350℃溶解硫和钠。

### 5. 超级电容储能

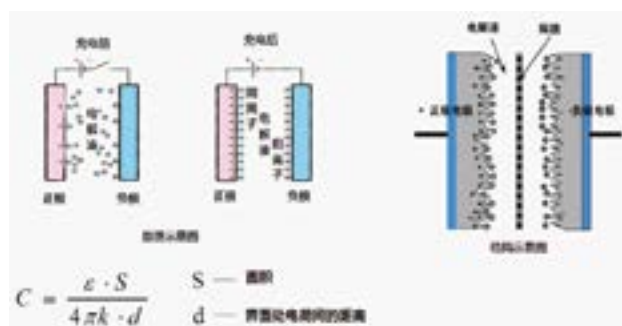
#### 5.1 基本原理与分类

超级电容器是以多孔性材料为电极，由正负电荷层形成的可实现可逆充放电的高静容量电容器，与普通电容器相比，它具有更高的介电常数，更大的耐压能力和更大的存储容量，有保持了传统电容器释放能量快的特点，逐渐在储能领域中被接受。根据工作原理不同分为双电层电容器和赝电容器两种。

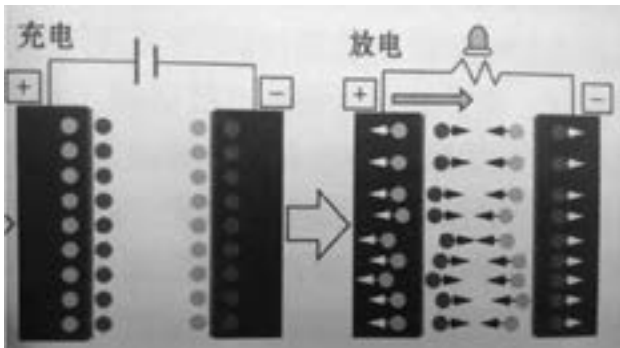
#### 5.2 赝电容器（也称法拉第电容）

原理：电极表面发生了氧化还原反应。

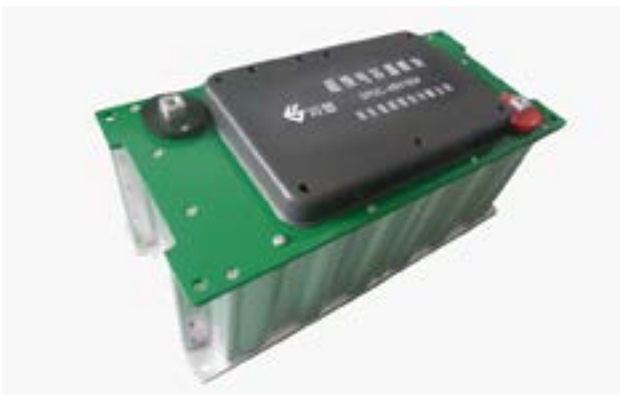
反应方程式： $\text{NiO} + \text{OH}^- \longleftrightarrow \text{NiOOH} + \text{e}^-$



超级电容器示意图



超级电容器充放电示意图



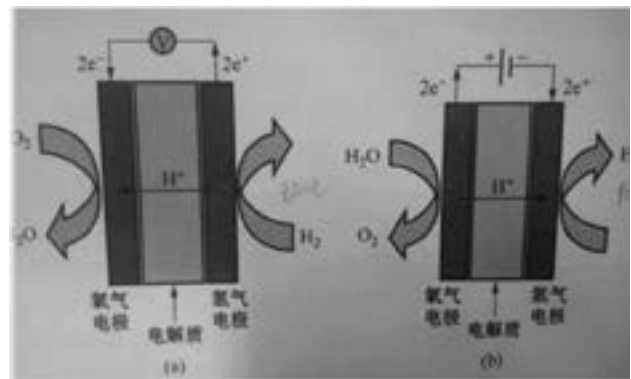
与电池中的电化学反应不同，赝电容中的电荷转移反应只发生在电极材料的表面，其充放电过程要远快于普通电池。

优点：在很小的体积下达到法拉级的电容量，无须特别的充电电路和控制放电电路，和电池相比，过充、过放都不对其寿命构成负面影响，超级电容可焊接，不存在像电池接触不牢固等问题。

缺点：使用不当会造成电解质泄露等现象，和铝电解质相比，内阻较大，因而不可以用于交流电路，储能密度也不如蓄电池高。

## 6. 制氢储能

在所有的能源中，氢能被认为是最环保的能源。如使用燃料电池技术，将其与氧气反应将化学能转化为电能过程中，仅有水生成，没有任何污染物和有害气体排除；另一方面，当将其进行储存时，利用电能或太阳能将水分解制氢或者高压储氢均不会产生其他有害的气体或污染物。



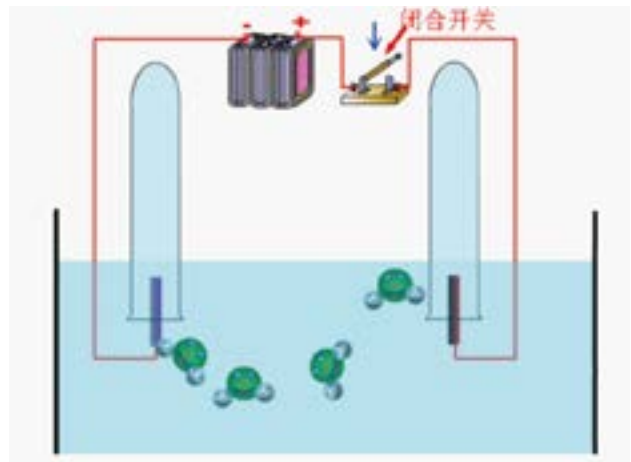
基于燃料电池的氢能储能技术  
(a) 燃料电池 (b) 电解池

### 6.1 电能及热能向氢能的转化

#### (1) 电解水制氢（电能－氢能系统）

原理：阴极反应为  $4e^- + 4H_2O = 2H_2 + 4OH^-$

阳极反应为  $4OH^- = O_2 + 2H_2O + 4e^-$



电解水制氢的过程原理图



50m<sup>3</sup>/h 电解水制氢设备

## (2) 热和光化学制氢 (可再生能源 - 氢能系统)

利用可再生能源制氢的方式有以下几种:

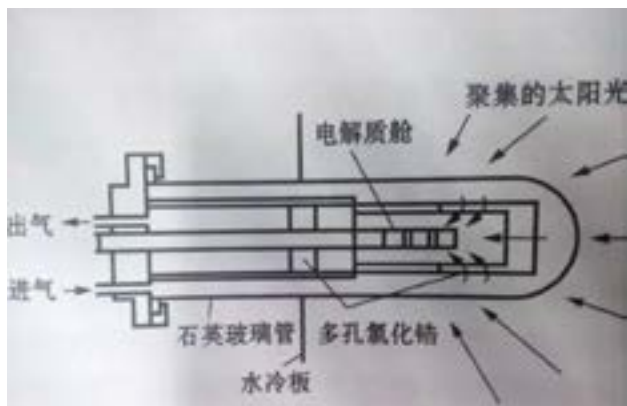
太阳能、风能电解水制氢、热化学制氢、热解水制氢、光催化制氢以及光合作用制氢等。

可再生能源制氢包括两种工作模式: 一种是将风能和太阳能转化成电能, 再将电能用于电解水制氢, 称为间接电解水制氢; 另一种是将太阳能直接电解制氢, 主要是基于光化学电池和半导体光催化法, 它的特别之处是阳极与传统电极不同, 多为光电半导体材料, 可以感光并吸收太阳能并将太阳能转化为电能, 从而制备出氢气。

热化学制氢认为是最有可能率先实现规模化应用的太阳能制氢技术。

## 6.2 燃料电池

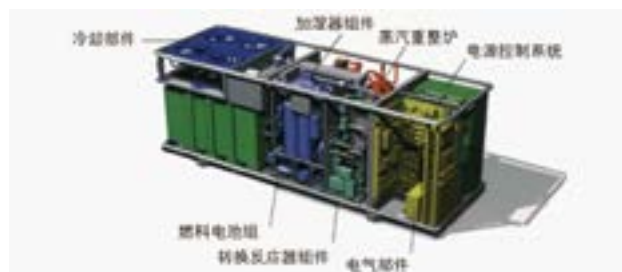
### (1) 氢能向电能及热能的转化



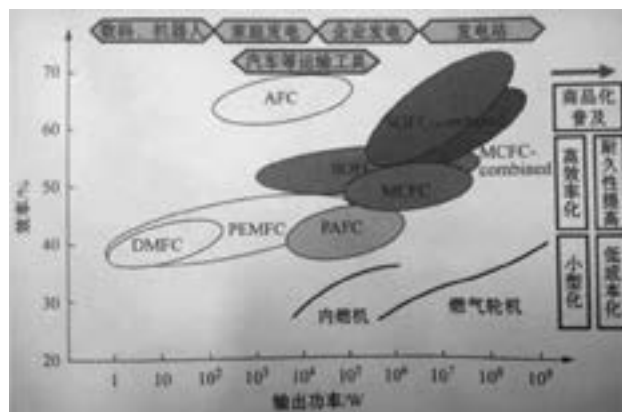
太阳能为热源的热化学法制氢示意图

氢能的使用, 一般来说是以燃料电池的工作方式转化为电能和热能, 也即氢气和氧气的燃烧反应过程。根据温度或者电解质种类可将燃料电池分为: 碱性燃料电池 (AFC)、质子交换膜燃料电池 (PEMFC)、磷酸燃料电池 (PAFC)、熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC) 和固体氧化物燃料电池 (SOFC)。

如下图为质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 的典型结构示意图及不同燃料电池的特点和应用范围。



质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 典型结构示意图



不同类型燃料电池的特点及应用范围

### (2) 燃料电池特点

- 1) 能量转换效率高, 可达 60%~80%;
- 2) 环境友好;
- 3) 可靠性高, 维护方便;
- 4) 比能量高。由于系统不封闭, 燃料不断供给, 随时间的延长能量越高;
- 5) 可用于特殊场合。如航空航天电源, 军事电源等。

(下接第 38 页)

# LED 路灯配光要求及方案分析

LED 路灯配光是使光线尽可能投射到被照路面各个区域，获得符合道路照明要求的光分布，LED 路灯配光设计是否准确到位是其能否替代传统路灯的关键因素之一。

## 1. LED 路灯配光的特点和要求

### 1.1 LED 路灯配光形状特点

在道路照明中，如果没有对 LED 路灯光源配光，照射在路面上的光型为面积较大的圆形光斑，会有部分光散落到路面之外而没有被利用，如图 1(a) 所示。

为了满足对路面的亮度、照度、均匀度的要求，且尽可能使得大部分光都分布在道路面上以提高灯光的利用率，减少不必要的浪费，通常需要对 LED 路灯进行配光，LED 路灯输出的光线照射在路面上所形成的光型或

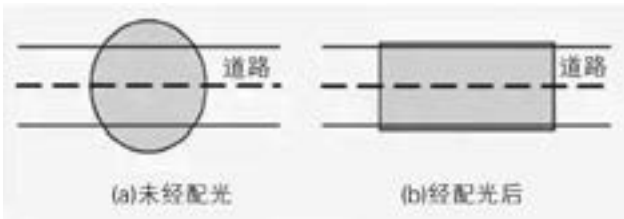


图 1：LED 路灯配光示意图

光斑以矩形为佳，如图 1(b) 所示。

### 1.2 道路照明标准配光要求

根据《城市道路照明设计标准》要求，道路照明中道路分为快速路与主干路、次干路、支路，LED 道路照明配光要求标准值应符合表 1、表 2 的规定。

表 1：机动车交通道路照明标准值

| 级别  | 道路类型   | 路面亮度                            |                |                 | 路面照度            |               | 眩光限制<br>阈值增量<br>T1(%) 最大<br>初始值 | 环境比 SR<br>最小值 |
|-----|--|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------------------|---------------|
|     |  | 平均亮度<br>Lav(cd/m <sup>2</sup> ) | 总均匀度<br>Uo 最小值 | 纵向均匀度<br>UL 最小值 | 平均照度<br>Eav(lx) | 均匀度 UE<br>最小值 |                                 |               |
| I   | 快速路、主干路（含迎宾路、通向政府机关和大型公共建筑的主要道路，位于市中心或商业中心的道路） | 1.5/2.0                         | 0.4            | 0.7             | 20/30           | 0.4           | 10                              | 0.5           |
| II  | 次干路  | 0.75/1.0                        | 0.4            | 0.5             | 10/15           | 0.35          | 10                              | 0.5           |
| III | 支路   | 0.5/0.75                        | 0.4            |                 | 8/10            | 0.3           | 15                              | —             |

表 2：人行道路照明标准值

| 夜间行人流量 | 区域  | 路面平均照度 Eav(lx)，<br>维持值 | 路面最小照度 Emin(lx)，<br>维持值 | 最小垂直照度 Evmin(lx)，<br>维持值 |
|--------|-----|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 流量大的道路 | 商业区 | 20                     | 7.5                     | 4                        |
|        | 居住区 | 10                     | 3                       | 2                        |
| 流量中的道路 | 商业区 | 15                     | 5                       | 3                        |
|        | 居住区 | 7.5                    | 1.5                     | 1.5                      |
| 流量小的道路 | 商业区 | 10                     | 3                       | 2                        |
|        | 居住区 | 5                      | 1                       | 1                        |



### 1.3 LED 路灯的配光曲线

发光强度的空间分布通常称为配光曲线。在路灯的下方，光强应是最小，随着仰角  $\theta$  增加，光强  $I$  增加。

函数关系为：

$$I_{\theta} = \frac{I_0}{\cos^3 \theta}$$

即配光曲线表达式。道路照明单一灯具的理想配光曲线示意图如图 2 所示。

由于光学设计复杂性，配光形状难以完全符合函数关系，可以减小  $\theta$  角的投射范围，减少灯具的间距来得到均匀照度。

一般来说，希望在配光后能实现宽角度的“蝙蝠翼”形配光。

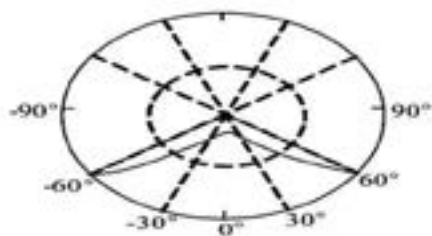


图 2：理想配光曲线

## 2. LED 路灯配光方案及分析

LED 路灯的配光方案在道路照明要求的基础上进行，同时要考虑控制眩光和考虑环境系数。对道路照明来说，光效和配光曲线是两个重要参数，目前 LED 路灯配光的方案主要有以下基本形式。

### 2.1 LED 路灯的一次配光

在功率型 LED 制造过程中，封装时采用透镜工艺可提高光效率、减少光输出损失、改变光输出特性，LED 的封装透镜工艺与大功率的 LED 路灯照明一次配光有一定的关系。通过良好的封装透镜的设计，LED 可以获得较好的光输出特性。

采用双头透镜封装的 LED 配光，可以将单粒 LED 的光强输出曲线改造成“蝙蝠翼”形，以便进一步实现整个路灯整体光强输出曲线的“蝙蝠翼”形配光。

双头透镜一次配光结构和配光曲线如图 3(a) 和图 3(b) 所示，该透镜的设计成为其一次配光核心。



图 3：双头透镜封装的 LED 配光结构和配光曲线示意图

### 2.2 LED 路灯的二次配光

对 LED 路灯中的大功率 LED 采用透镜或反光器进一步改变输出光特性，即为 LED 路灯的二次配光。

LED 路灯的二次配光主要有以下情况。

采用全反射透镜的 LED 二次配光。光由相对光密介质射向相对光疏介质，当入射角大于临界角时可发生全反射，利用这一原理设计轴对称全反射透镜。例如，使得光束角改变为  $\pm 30^\circ$  范围内，有利于进一步的配光设计。全反射透镜如图 4 所示。

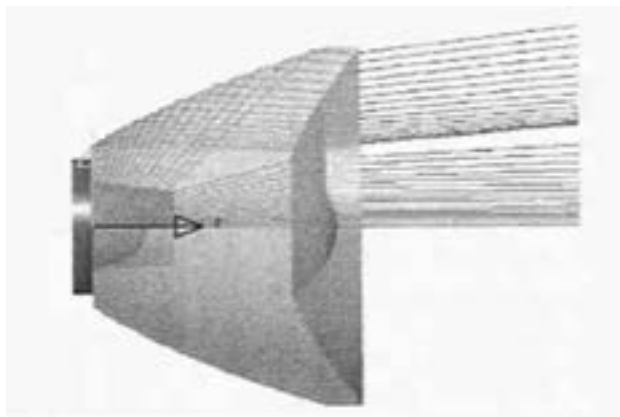


图 4：全反射透镜

采用自由曲面透镜的 LED 二次配光。该设计中，采用了 XY 轴方向上非对称长方形配光的自由曲面光学元件。例如，在 X 轴上产生  $\pm 60^\circ$  的均匀分布的配光，满足道路的长度方向的照明要求，在 Y 轴上产生  $\pm 30^\circ$  均匀分布的配光，得到具有矩形光照效果的 LED “蝙蝠翼”形配光。

自由曲面设计中通过包括有微分方程法、多参数优化法、多表面同时设计法和剪切法来获得光源光线分布与照明目标面光线分布匹配。自由曲面透镜如图 5 所示。

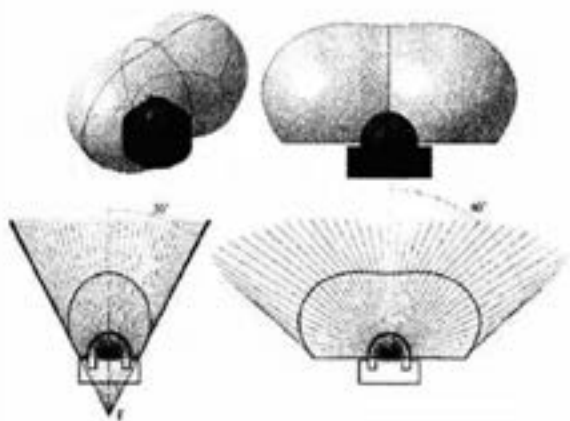


图 5：自由曲面透镜

采用外置透镜和反光器的 LED 二次配光。选择合适的透镜和抛物面的反光器，使出射光线满足一定的要求。外置透镜和反光器结合如图 6 所示。



图 6：外置透镜和反光器的 LED 示意图

### 2.3 LED 路灯的三次配光

LED 路灯的三次配光是在大功率 LED 一、二次配光完成的基础上，通过对多个 LED (单元模组) 叠加和空间排列实现，以满足道路照明平均亮度、平均照度和均匀度的要求。

## 3. 三次配光有以下几种方式

### 3.1 平面式配光

LED 路灯设计时采用 XY 方向非对称的矩形配光的自由曲面光学元件 (透镜或反光杯)，由于矩形配光在单个 LED 光学元件上已完成，所以整个 LED 路灯只需将该 LED 模组排列在平板上即可。图 7(a) 为 LED 路灯的平面式配光示意。

### 3.2 弧面式配光

多个 LED 排列组成一个 LED 模组，LED 模组上的 LED 是采用轴对称的全反射的透镜或反光杯进行配光的，

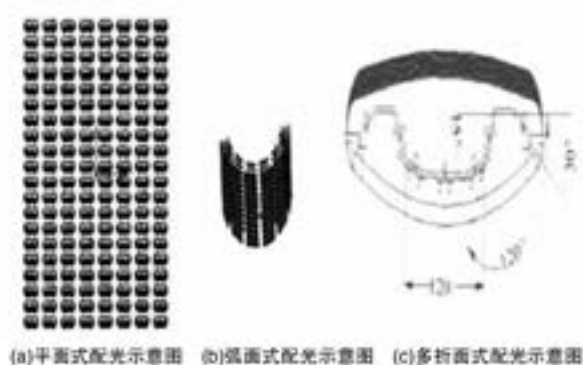


图 7：LED 路灯的三次配光示意图

通过透镜或反光杯配光的辐射角宽度足以覆盖道路宽度。

将 LED 模组排列在弧面上，如图 7(b) 所示，通过调整弧面可以在道路方向上产生近乎于矩形光型。

### 3.3 多折面式配光

LED 光线具有良好的方向性，为获得较好的道路配光，分别设计各组的 LED 投射方向负责照射各自区域，较为简单的方式是采用 V 字型面方式。

在多折面式配光设计时，路灯中各组的大功率 LED 分别安装在不同平面上，通过调整各组相对角度来获得路灯的光输出特性和近似矩形照明效果，满足道路照明标准中的要求。图 7(c) 为多折面式 LED 路灯示意图。

### 3.4 反光杯式配光

通过 LED 反射器的设计来获得路灯灯光的输出特性。为单个 LED 单独设计 XY 轴方向非对称的反射器，此方案类似于平面式配光，不同的是使用自由曲面反光器，使其获得光输出接近于“蝙蝠翼”形，设计多个反射器并排列同样可以得到较好的道路照明效果。

## 4. LED 路灯配光方案分析

无论采取何种技术手段或方案，就 LED 路灯配光来说，其光输出特性满足夜间道路照明标准要求，该技术或方案具有良好的使用价值。上述配光各有优缺点，如表 2 所示。

一种 LED 路灯配光方案往往需要进行多次配光的组合和反复设计，以达到道路照明的标准。

如 LED 一次配光 (透镜封装) 和灯具的二次配光的

表 2：配光方案的对比

|      | 配光方案       | 优点                      | 缺点          |
|------|------------|-------------------------|-------------|
| 一次配光 | 采用双头透镜封装   | 蝠翼形配光曲线良好               | 封装透镜特殊通用性差  |
|      | 采用全反射透镜    | 元件设计、加工较简单              | 多粒组合、均匀度一般  |
| 二次配光 | 采用自由曲面透镜   | 均匀度、蝠翼形配光曲线较好           | 元件设计、加工较复杂  |
|      | 采用外置透镜和反光器 | 元件设计、加工较简单              | 光输出损失相对较多   |
| 三次配光 | 采用平面式      | 机械结构、散热、电源控制较简单，整体均匀度较好 | 道路差异较大时不易通用 |
|      | 采用弧面式      | 调节弧面曲率调整配光              | 散热、灯头设计较繁琐  |
|      | 采用多折面式     | 散热平面与安装弧面的结合良好，减小了工艺难度  | 不易调整角度      |
|      | 采用反光杯式     | 充分利用周边泄露光线，光输出率高，与平面式类似 | 自由曲面反光杯设计   |

组合、LED 的二次配光单元和灯具的三次配光的组合、LED 路灯的反射器二次配光等。

目前，功率型白光 LED 正朝着单片大功率的方向发展，由于芯片散热瓶颈制约，采用多芯片组合封装的单片大功率 LED 的散热相对困难，光效相对较低。

综合考虑封装、散热、光效、显色等因素，通常选择单个 LED 功率在 1 瓦至数瓦，光效为 90~100lm/W 的产品，通过多粒阵列混联方式来达到总体功率要求，

LED 路灯配光方面则通过在同一平面合理排列具有较好一次配光的 LED，并对该平面的 LED 整体应用自由曲面光学元件（透镜或反光杯）进行二次配光，以达到道路照明配光要求。

该方案减少了 LED 路灯总体的配光次数，即减少了 LED 输出光的损失，提高了灯具的效率；简化了灯具的相对设计、加工难度；保证了路面均匀度、照度、光型；便于整体设计。

（上接第 34 页）

7. 储能技术的归纳

| 储能类别 | 能量类别 |    | 储能技术    | 主要原理                  | 主要特点                |
|------|------|----|---------|-----------------------|---------------------|
| 物理形式 | 机械能  | 势能 | 抽水储能    | 由可逆水轮机实现电能和上水库势能转化    | 容量大，技术成熟，受地理环境限制    |
|      |      |    | 压缩空气储能  | 空气压缩机和涡轮机实现电能和空气势能的转化 | 容量大，受地理环境限制         |
|      |      | 动能 | 飞轮储能    | 电动机（发电机）实现电能和飞轮动能转化   | 功率高，能量密度低，成本高，技术需完善 |
|      | 电磁能  | 电感 | 超导线圈储能  | 将直流电以磁场形式储存于超导螺旋管中    | 功率高，能量密度低，成本昂贵      |
|      |      | 电容 | 双电层电容储能 | 利用电容器储存电场能            | 效率高，寿命长，能量密度低，放电时间短 |
| 化学形式 | 化学能  |    | 超级电容器储能 | 也叫化学电容器，通过极化电解质实现储能   | 效率高，寿命长，能量密度低，放电时间短 |
|      |      |    | 蓄电池储能   | 可逆的电化学反应实现化学能、电能的转化   | 设计灵活，应用范围广，成本较高     |
|      |      |    | 制氢储能    | 电解水和燃料电池实现化学能和电能的转化。  | 储能密度高，无污染，技术不够成熟    |

（来源：能源圈微信）

---

**编者按：**由于大环境不利因素的负面影响，国内尚未建立完善的小型风力发电补贴机制，国外各国政府电价补贴下降及认证门槛提高，行业内大部分同行都感觉日子不好过，前景渺茫。小风电行业进入冬眠期。坚持不下去的小规模企业要么转行、要么停产关闭，真正还在坚持从事小型风力发电机组营生的华鹰风电算是为数不多的厂家之一，其他同行更多的都在产业调整，转向光伏或其他行业。难道真如这些转行或者关闭企业抱怨的那样，小风电行业已经穷途末路了吗？其答案则是另一种结果。

从另一个思维角度看，严冬中的飞雪也净化和过滤了一些质量低下、口碑不佳的企业，重新洗牌使得留下来的企业更具备市场竞争力。浙江华鹰就是在这一净化过程坚守的一家企业，他们另辟蹊径，以校企、政企“共研共创”的新能源项目新路子，用“微电网+物联网+低碳节能环保这样的组合模式”，建树起的是又一次创业信心。

---

## 上帝关上一扇门，同时也会为你打开一扇窗 ——华鹰在“多样式智能微电网等示范项目建设中的”经验心得

□ 浙江华鹰风电设备有限公司 庄锭强

### 一、“十二五”小风电行业从“井喷式”发展到“寒冬”萧条的转变

近几年，由于大环境不利因素的负面影响，以及国内尚未建立完善的小风机补贴机制、国外各国政府电价补贴下降及认证门槛提高，行业内大部分同行都感觉日子不好过，前景渺茫。坚持不下去的小规模企业要么转行、要么停产关闭，真正还在坚持从事小型风力发电机组营生的华鹰风电算是为数不多的厂家之一，其他同行更多的都在产业调整，转向光伏或其他行业。难道真如这些转行或者倒闭企业抱怨的那样，小风电行业已经穷途末路了吗？

### 二、换个角度看问题，换种思维去对待面临的困难

冬天在此，春天还会远吗？

一个成功的企业家，除了具备刻苦坚持的精神外，还需具备独特的思维角度和立场看待问题。它像沙漠中

的一眼清泉，冬天里的一缕阳光，黑夜里的一丝光明，都会给你更多的惊喜。华鹰风电自2009年起，便响应国家微电网建设的号召，与国内微电网项目建设大鳄如南方电网、蒙东电力、浙江省电力试验研究院、云南省电力试验研究院、黑龙江省电力试验研究院合作，成为微电网建设供应单位的排头兵，耕耘在国家分布式风光储微网项目上，积累了丰富的经验和成果。这2年国家颁布一系列指导性政策文件的和对新能源、互联网建设的鼓励和支持，使得国内诸多高校兴起智能微网和物联网实验室建设，同时很多基层县市级地方企业开发新能源环保示范基地。华鹰风电利用自身具备的优势，开辟出一条校企、政企“共研共创”的新能源项目新路子。顺利完成并验收无锡职院物联网智能控制风光发电示范项目、天津工业大学风光储智能微网教学实验室项目、海盐中丹（中国与丹麦）能源学校“零碳屋”风光供电示范项目等等工程。





海盐中丹（中国与丹麦）能源学校“零碳屋”风光供电示范项目

### 三、中丹能源学校“零碳屋”风光供电示范项目 建设经验

#### 1. 洞悉社会需求的“痛点”

面对雾霾、地下水污染、温室效应加剧等一系列困扰人们生活的问题，大家逐渐对节能、环保需求增强，促使高校和地方政府对综合新能源和新型环保节能技术应用在市场上得意推广。

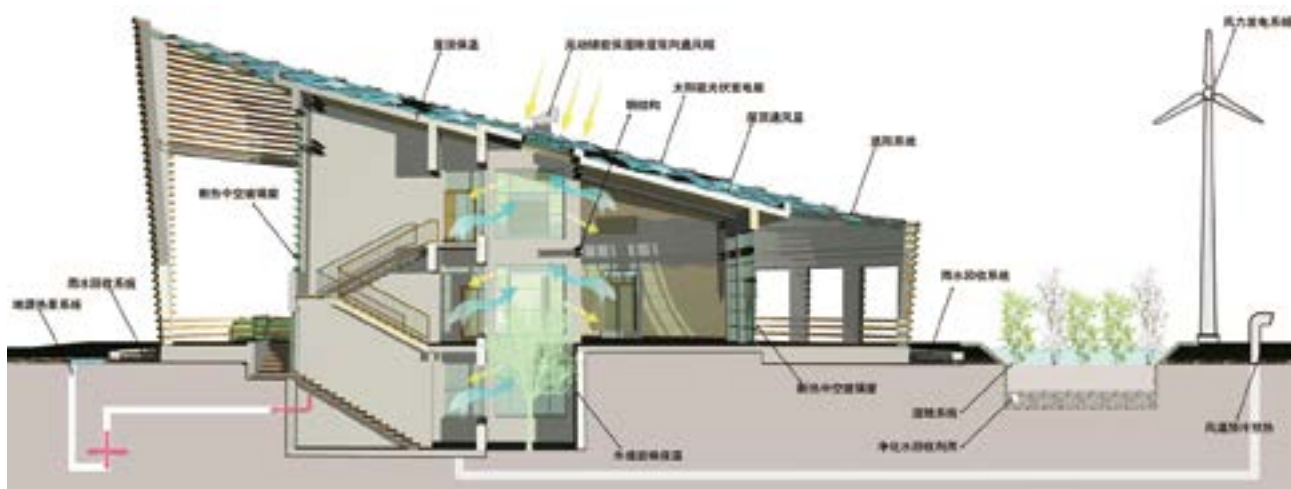
海盐县地处东海之滨，有着优质的风光资源，地方政府在城市建设时考虑更多的是节能环保和新能源的利用，打造中式“欧洲小镇”。于是引入丹麦松德堡市政府有关零碳工程技术，双方合作建设一个能源学校（由“零碳屋”和“绿色低碳展示馆”两部分组成）。其中丹麦松德堡市政府提供零碳工程技术，培训低碳技术），浙江华鹰风电和嘉兴嘉科新能源负责提供风/光新能源系统。

#### 2. “低碳生活”从理念推广逐渐走入真实生活

零碳屋通过了国家绿色建筑最高级别中的设计标识三星认证，成为目前嘉兴地区唯一的三星绿色建筑。能源学校拒绝使用常规污染性能源（煤、气、油、柴），而是采用低碳技术来建造与保障正常运行，它勇敢地对化石能耗说“NO”，是未来我们家园的一个雏形。

“小能”的零碳屋在建造施工阶段，地上主体结构采用型钢材料，构件的制作、安装过程更节能（工地制作、现场安装），钢材本身也是可回收材料。还采用新型墙体材料、中空 low-e 玻璃、保温材料、钢结构、预拌混凝土等的组合满足绿色、节能要求。同时，采用土建与装修工程一体化设计与施工，避免拆除破坏、重复装修。

零碳屋结构示意图零碳屋用风电和光伏发电保证电力，以减少火电对空气的污染。室内空调采用地源热泵和中央空调系统。地源热泵是一种利用清洁可再生能源



零碳屋结构示意图

的技术，利用地热能资源降低空调能耗。这样高效的空调使用可以减少产生不必要的氟利昂对大气臭氧的破坏吧。在这里，水也不会浪费。零碳屋运用雨水回收和中水利用技术，使水资源利用最大化。所以，她对环境的贡献不只在于大气，还有水环境。零碳屋设有室内智能采光系统，不仅利于保护人们的视力，并且可以最大限度地合理利用电源。通过传感器和控制器根据光照射强度控制电动百叶窗开合、导光筒和照明灯的工作，为室内提供最合适的采光和照明效果，也可根据预设的场景需求控制室内照度。

### 3. 我们在用智慧为地球“植树”

零碳屋采用的风光互补发电系统将绿色能源的利用达到了最优化。其总装机容量 56KW，预计年平均发电

5.98 万千瓦时，而年耗电计算量在 2.2 万千瓦时左右，“自发自用，余电上网”可实现节约煤 7.23 吨，减少碳排放量 55 吨，相当于种植 2990 棵树。

**智能建筑管理系统建筑智能化的代表。**伴随着物联网技术应用的浪潮，建设智慧城市已成为未来的发展方向，零碳屋可以称为建筑智能化的代表，融合了设备智能自控的 BA 系统、多重监控的安防系统、实时监测预警的能耗管理及自诊断系统、多设备融合的智能化综合操控界面、多系统联动的信息发布系统等。

**智能光线调节系统。**整个建筑南北倾斜达到 15 度，外部铝板幕墙则向外倾斜 5 度，可以减少太阳光对东西外墙的辐射。自动感应风、光、雨水等的电动百叶帘，会根据光线的强弱自动调节叶片角度来满足零碳馆对室内的光线要求。在建筑中心部位，利用透光中庭为各层建筑用房最大化的提供柔和的自然光。屋顶设置了导光筒进行采光，补充局部光线不足。室内则通过光感、红外远程控制等光系统，调节光线强度，在人体感知最舒适的光照范围内。零碳屋较普通建筑物减少了 80% 的照明能耗。

**智能空调系统。**空调系统的主机主要采用的是一台 14.7KW 高温涡旋地源热泵热回收机组。该系统 1KW 电能可以获得 5KW 以上冷量或 4KW 以上热能，效率远远高于其他中央空调供暖供冷形式。在空调系统的供冷末端，采用的是冷辐射吊顶及冷梁系统。而供暖末端，采用的事加热地板采暖。另外还配备一台热回收型溶液调



海盐县长章剑（右）与丹麦松德堡市副市长艾西尼嘉达（左）揭牌

湿新风机组，实现对空气湿度的调节。

在通风方面，采用主被动通风，主动式通风即预冷预热地道通风，在建筑周围建有地道通风井，利用地道恒温，夏季冷却空气，冬季加热空气。与人工制冷相比可省电能约 80%。而被动式通风则利用中庭天窗的无动力风帽，引导室内空气流动，并用风速调节器调节风速大小。

**高效保温系统。**通过屋顶（300 厚岩棉板保温），外墙（240 厚加气混凝土砌块 +160 厚岩棉板保温层 + 铝板幕墙）及外窗（Low-E6+12（氩）+6 玻璃 + 断桥隔热铝合金型材）组成了建筑外围护的高效节能。与一般公用建筑外围护保温系统节能 60% 相比，本系统节能约 75%。

**可循环中、雨水系统。**根据“海绵城市”建设理念，建筑周围建有雨水回收带（屋面蓄水、雨水花园、低冲击）来组织排水，预计年雨水回收量 151.2 吨，雨水回收利用率为 30.4%（生活用水、绿化灌溉、水系补水）。通过中水回收系统，将生活污水处理后回用。预计年中水回收量 142.7 吨，中水回收利用率为 28.8%（厕所冲洗、绿化灌溉、道路保洁）。

#### 四、逆境中工匠精神 + 新思路方可造就凤凰涅槃

虽然微电网尚不是“主角”，但可看出微电网已经得到政府越来越多的重视。预计随着各地微电网示范工程的展开，微电网的应用价值得到本土化验证，更有力的支持性政策会相应出台。结合当下环保和节能降耗的组合实施，一些沿海城市现代化建设中已经开始引入物联网智能、多样式新能源智能控制等新技术。这样的潜在市场中，华鹰风电坚持做专做精的工匠精神，致力于打造出与欧洲、北美比肩的小风电产品，沉心静气在小风电领域摸索新领域。凭借着在微电网项目中的丰富经验，将其结合到高校微电网模拟实验室及地方政府新能源城市建设中去，走出一条有自己特色的销售新模式。

#### 五、塞翁失马焉知非福

小风电行业进入冬眠期，从另一个思维角度看，也净化和过滤了一些质量低下、口碑不佳的企业，重新洗牌使得留下来的企业更佳具备市场竞争力。同时在深度



调整中，企业自身也开始思考如何提升自身品质和产品竞争力，无形中提升了整体水平。俗话说只有倒闭的企业，没有倒闭的行业。眼下我们坚持下来的企业更多的是需要勤练内功，待到商机出现时，出手即可。国家战略布局催生国内高校微电网项目建设 国内大能源和电网企业积极参与微电网的示范工程建设以及相关技术的研究，布局意味明显。相应的国家为培养微电网行业中阶梯式人才，各大高校也逐步进入微电网试点、实验室项目的建设和发展。这几年来华鹰风电也有幸参与了许多如天津大学 863 微电网项目、红河学院微电网项目、北方民族大学微网项目、东北电力大学微网项目的建设，收获了许多宝贵的经验。

#### 六、总结

当下市场已经不单纯只是客户寻找生产商，而是生产商需要开发出迎合市场需求的综合性产品。如果华鹰风电没有几年前在国家微网项目上积累的经验；没有与国内高校合作（无锡职院技术学院）首家物联网智能控制项目的参与；没有过硬的质量口碑的话，此次中丹零碳屋能源学校的项目很难被甄选中。我们做风电的也需要与时俱进，而不只是把风、光简单的结合。微电网 + 物联网 + 低碳节能环保这样的组合模式将是未来市场很有潜力的一块蛋糕。华鹰可以在困境中看清并寻找出自己的路，相信您也一定可以，只需要你停下匆忙的脚步，回头看看自己。🌱



# 小型离网型风光互补供电系统 在内蒙古无电地区的应用

□ 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院 任君 孙娇 徐晨 乌云高娃

**摘要：**本文介绍了风光互补供电系统的构成、工作原理及其特点，分析了内蒙古自治区的风能、太阳能资源和二者之间的互补性，详细说明了风光互补供电系统在内蒙古无电地区的应用情况：介绍了系统应用的类型、典型配置及基本用电负载，实例分析了系统的运行情况。实践证明风光互补供电系统是解决内蒙古无电地区电力供应的有效途径。

**关键词：**风光互补 供电系统 无电地区 应用

## 1. 引言

我国是一个发展中国家，地域辽阔，目前还有很多边远地区和经济不发达地区都存在用电问题，远离电网，居住分散，在短时间内靠常规电力解决用电难题存在难度，而这些地区一般都是太阳能资源、风能资源的丰厚地区，具备使用风光互补供电系统的条件。

内蒙古自治区地域广阔，偏远无电地区人口居住分散且用电负荷小，通过常规电网的延伸来解决这些地区的用电问题很不现实。但内蒙古自治区的风能、太阳能资源十分丰富，适宜采用风光互补发电技术解决这些常规电网难以覆盖的无电地区的用电问题。

## 2. 风光互补供电系统的常用配置简介

风光互补供电系统按其用电负荷大小分为户用型和集中型两类应用模式。户用型风光互补供电系统适用于一家一户式的用电需求，集中型风光互补供电系统适用于用户比较集中的村、镇等的用电需求，用户数量一般为几户至数百户。

### 2.1 户用型风光互补供电系统的配置与用电负载

户用型风光互补供电系统最常用、最典型的配置，是以1台300W或500W或1kW风力发电机组为基础，与一定容量的太阳能光伏组件构成系统的发电设备。以

表 1：户用型风光互补供电系统典型配置

| 设备名称   | I 型           | II 型          | III 型         |
|--------|---------------|---------------|---------------|
| 风力发电机组 | 300W/DC 28V   | 500W/DC 56V   | 1kW/DC 56V    |
| 光伏组件   | 300Wp         | 400Wp         | 200Wp         |
| 充电控制器  | 30A/DC 24V    | 35A/DC 48V    | 40A/DC 48V    |
| 逆变器    | 600VA/DC 24V  | 1kVA/DC 48V   | 1kVA/DC 48V   |
| 蓄电池组   | 4 × 150Ah/12V | 4 × 200Ah/12V | 4 × 200Ah/12V |
| 用电负载   | 生活类电器         | 生活类电器，潜水泵     | 生活类电器，潜水泵     |



表 2：户用型风光互补供电系统用电负载及基本要求

| 负载类型  | 功率 (W)  | 数量  | 每天使用时间 (h) | 备注                           |
|-------|---------|-----|------------|------------------------------|
| 节能灯   | 11      | 3~5 | 5~6        | 功率较大的感性负载（冰柜、洗衣机、潜水泵）不能同时使用。 |
| 收录机   | 10~80   | 1   | 2          |                              |
| 彩色电视机 | 100~150 | 1   | 5~6        |                              |
| 卫星接收器 | 10~20   | 1   | 5~6        |                              |
| 节能冰柜  | 120~160 | 1   | 24         |                              |
| 电熨斗   | 400     | 1   | 0.5        |                              |
| 电风扇   | 40      | 1   | 3~5        |                              |
| 洗衣机   | 220~280 | 1   | 0.5        |                              |
| 电鼓风机  | 25      | 1   | 2          |                              |
| 潜水泵   | 360~500 | 1   | 1          |                              |

几百安时的阀控密封式蓄电池组构成系统的储能设备，以 1 台 600VA 或 1kVA 或 2kVA 逆变器构成系统的逆变控制设备。最典型的系统配置有三种类型，如表 1。对于用户的特殊用电需求，系统配置需进行具体设计。用户常用的用电负载和基本要求，如表 2。

2.2 集中型风光互补供电系统的配置与用电负载

（1）系统配置。集中型风光互补供电系统的配置，需根据系统安装地点的风能和太阳能资源、用电负荷大小及用户的用电要求进行设计。通常风力发电机组配置 1 台至数台，额定功率为 500W~50kW，光伏组件配置几百瓦至几百千瓦。具体风力发电机组和光伏组件的容量需根据用户日均用电量设计，蓄电池组容量根据无风、无光时系统仍需供电的天数设计，逆变器容量根据同时运行负载的总功率设计。

（2）用电负载。集中型风光互补供电系统的用电负载较户用型风光互补供电系统的用电负载范围广，包括功率较大、数量较多的生活类电器、潜水泵，还有厨房用设备、通讯设备等。

3. 风光互补供电系统的介绍和工作原理

风光互补供电系统是指将风能和太阳能结合起来，利用两种能源在时间上的互补特性进行发电供电的风

能、太阳能利用模式。风能、太阳能是可再生的清洁能源，取之不尽、用之不竭，因此风光互补发电是一种新型的绿色环保且可持续的发电方式。

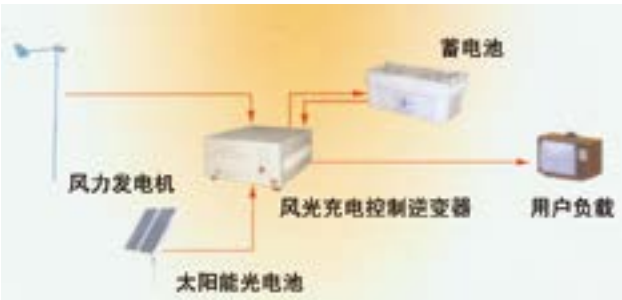


图 1：户用型风光互补供电系统

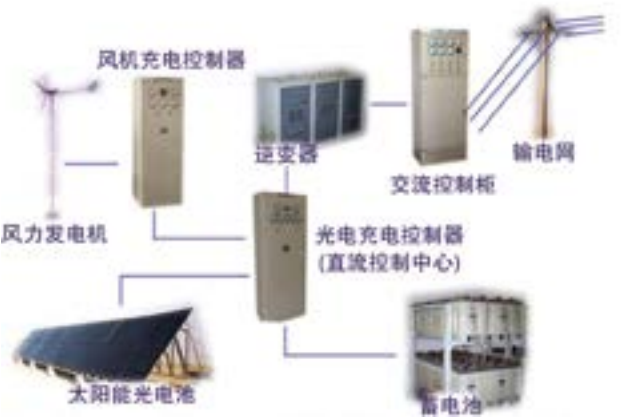


图 2：集中型风光互补供电系统

风光互补供电系统主要由风力发电机组、光伏阵列、充电控制器、蓄电池组、逆变器构成。系统构成如图 1、图 2 所示。

系统工作原理：风力发电机组产生与系统电压相适应的交流电，通过充电控制器转换成与系统电压相适应的直流电，连接到蓄电池组和逆变器；光伏阵列产生与系统电压相适应的直流电，通过充电控制器连接到蓄电池组和逆变器。逆变器将风力发电机组和光伏阵列输入的直流电转换为 220V、50Hz 交流电供给交流负载。蓄电池组将负载未能消耗的多余电能储存备用。当风力发电机组和光伏阵列发电不足时，负载消耗的电能由蓄电池组补充；当风力发电机组和光伏阵列不发电时，储存在蓄电池组中的直流电通过逆变器转换为 220V、50Hz 交流电供给交流负载。本文详细介绍风光互补系统中常用的 300W 小型风力发电机组和 600W 逆变器的设计。

### 3.1 风光互补供电系统中主要部件的设计

#### 3.1.1 逆变器（600W）的设计

本逆变器（600W）的总体结构原理框图如图 3 所示。系统主要由 PIC16F684 单片机、单相电压型全桥逆变电路（逆变电路功率管为 MOSFET）、驱动电路、工频升压变压器、LC 滤波器、电压反馈电路以及保护电路等环节构成。其工作原理为：采用 PIC16F684 单片机作为系统控制的核心器件，利用其内部 ECCP 模块的 PWM 功

能，根据正弦脉宽调制技术的规则采样法，通过软件程序实现数字控制，使 PIC16F684 的 ECCP 模块生成正弦脉宽调制 (SPWM) 波，然后将其作为控制信号，经过驱动电路放大后驱动控制逆变电路功率管的导通或关断，从而使逆变电路进行逆变，输出 SPWM 波，之后经工频变压器升压、LC 滤波器滤波后输出正弦波。逆变器交流输出电压的稳压控制采用数字 PI 控制算法实现。为了稳定输出电压，对输出电压进行隔离反馈，再将电压反馈信号送单片机，经过 A/D 采样转换后与输出电压给定值（即要求输出的稳定电压值）进行比较，对比较结果采用 PI 控制算法，通过改变调制比来调节 ECCP 模块产生的 SPWM 波脉冲宽度，从而使逆变电路开关管的导通时间发生变化，最终输出电压稳定的正弦波。

#### 3.1.2 风力发电机组 (300W) 的设计

(1) 风轮的设计。机组风轮由三只叶片和轮毂构成，采用水平轴安装，上风向式运行，直接驱动发电机。风轮叶片采用非常适合小型风电机组使用的翼型，叶片由重量轻、强度高、成本低的玻璃纤维增强塑料复合材料（玻璃钢），采用先进的拉伸挤压工艺加工制成，这种工艺生产效率高，叶片的互换性好。轮毂由上下两圆盘（叶片座、叶片盖）组成，加工工艺简单。与传统的机组风轮相比，本机组风轮性能特点主要表现为运转平稳，机械振动小。

(2) 机头的设计。从简化加工工艺的角度出发，

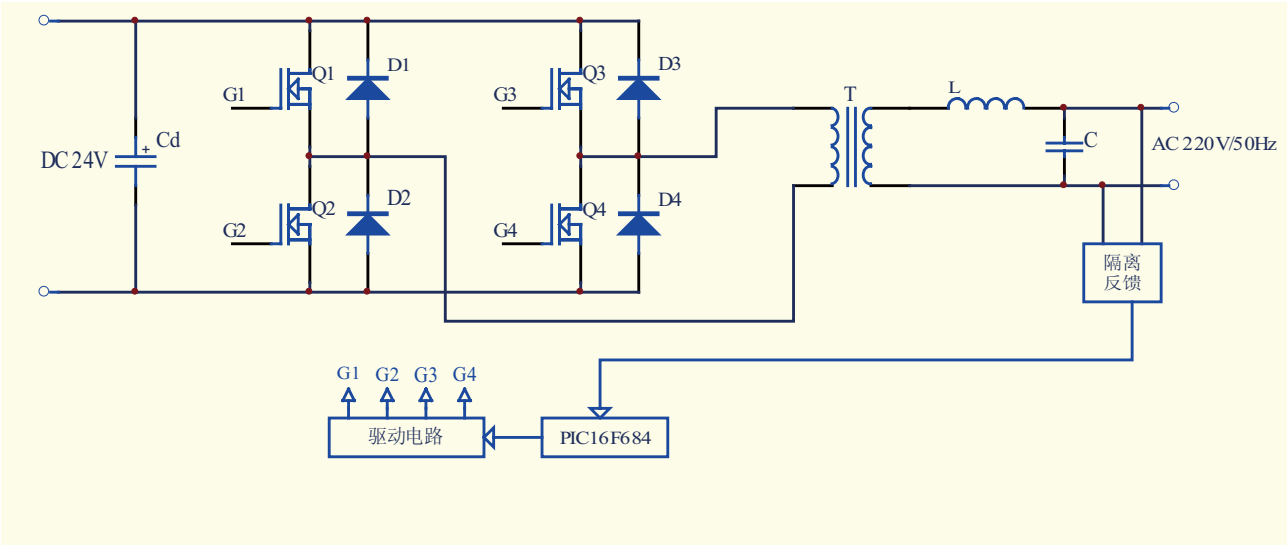


图 3 正弦波逆变器总体结构原理框

机头分成发电机和回转体两部分。考虑到电机的性能指标、使用寿命及可靠性，发电机型式为永磁三相交流发电机。发电机磁钢采用稀土永磁材料，使发电机重量轻、效率高、超载能力强、启动力矩小，从而降低了启动风速，提高了风能的利用率，增加了发电量，节约了发电成本。与传统铸铁机壳相比，本发电机外形采用铝合金流线型，不仅外形美观，而且质量减轻 30% 左右，便于安装，对风轮周围的空气流有一定的改善作用。发电机引出线采用封闭式输电滑环，可以避免传统风力发电机出线口电缆缠绕问题。

根据总体设计方案以及机组的调速、调向性能以及并尾关车等因素，确定了主要的相关尺寸，设计了电机外壳、后端盖和关键部件回转体。

(3) 尾翼调速机构的设计。为了使风电机组在超过额定功率的情况下实现自动限速，根据力学原理，采用了尾翼轴斜置方式。通过对作用在风轮上的气动力、尾翼上的气动力以及由于尾翼重力而产生的回位力的分析，以及材料的选择、材料的机械性能、加工工艺、外观和制造成本，确定了风轮轴线至回转轴线、尾翼销轴至回转体轴线的相关尺寸。与传统尾翼调速系统相比，本尾翼斜置式调速机构，反应灵敏，调速及时，有效的避免了风力发电机因风速过大造成的损坏。

考虑到整体效果和美观，在不影响调速性能的基础上，并使整机减少振动，确定了尾翼板的特殊结构。

#### 4. 小型离网型风光互补供电系统在内蒙古无电地区的应用

风光互补供电系统广泛应用于内蒙古无电地区的农牧民分散住户和集中住户、边防连队和哨所、边防武警派出所以及通讯基站等用电场所，为用户提供生活用电和通讯设施等的用电。

##### 4.1 风光互补供电系统运行情况分析

以内蒙古四子王旗安装的 1 套 I 型户用型风光互补供电系统为例，分析系统运行情况。

四子王旗系统安装地点位于北纬 42°、东经 111°，该地点的月均风速和太阳能各月的日均辐射曲线显示，该地点的风能和太阳能资源具有很好的互补性。

系统主要设备配置及其技术参数：

系统额定直流电压：24V DC

系统交流输出额定电压：220V AC/50Hz，正弦波

风力发电机组：300W/DC 28V

光伏组件：300Wp

充电控制器：30A/DC 24V

蓄电池组（阀控密封式）：4×150Ah/12V

逆变器：600VA/DC 24V，220V AC/50Hz，正弦波

300W 风力发电机组各月的平均日发电量如表 3 所示。300Wp 光伏组件的安装方向为正南，且与水平面的夹角为 40°，各月的平均日发电量如表 4 所示。

表 3：300W 风力发电机组各月的平均日发电量

| 月份         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 月均风速（m/s）  | 4.73 | 4.79 | 5.08 | 5.7  | 5.2  | 4.90 | 4.59 | 4.50 | 4.65 | 4.98 | 5.38 | 4.91 |
| 日均发电量（kWh） | 2.49 | 2.50 | 3.07 | 4.16 | 3.50 | 2.81 | 1.80 | 1.32 | 2.09 | 2.92 | 3.74 | 2.82 |

表 4：300Wp 光伏组件各月的平均日发电量

| 月份   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 水平面太阳能日辐射量<br>（kWh/m <sup>2</sup> /d）      | 2.21 | 3.01 | 4.32 | 5.65 | 6.52 | 6.75 | 6.26 | 5.31 | 4.51 | 3.30 | 2.42 | 1.92 |
| 倾斜面太阳能日辐射量（40°）<br>（kWh/m <sup>2</sup> /d） | 4.31 | 4.76 | 5.60 | 5.98 | 6.10 | 6.00 | 5.69 | 5.28 | 5.21 | 4.68 | 4.45 | 3.77 |
| 日均发电量（kWh）                                 | 1.96 | 2.17 | 2.55 | 2.72 | 2.78 | 2.73 | 2.59 | 2.40 | 2.37 | 2.13 | 2.03 | 1.72 |

表 5：系统各月的日平均供电量

| 月份                      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 风力发电机组和光伏组件日发电量 ( kWh ) | 4.45 | 4.67 | 5.62 | 6.88 | 6.28 | 5.54 | 4.39 | 3.72 | 4.46 | 5.05 | 5.77 | 4.54 |
| 系统日供电量 ( kWh )          | 3.35 | 3.48 | 4.06 | 4.84 | 4.47 | 4.02 | 3.31 | 2.90 | 3.35 | 3.71 | 4.16 | 3.40 |

表 6：用户基本用电情况

| 负载名称       | 功率 ( W ) | 数量 | 日均用电时数 ( h ) |        | 日均用电量 ( kWh ) |        |
|------------|----------|----|--------------|--------|---------------|--------|
|            |          |    | 4~10 月       | 11~3 月 | 4~10 月        | 11~3 月 |
| 节能灯        | 11       | 5  | 5.0          | 6.0    | 0.275         | 0.330  |
| 录像机        | 40       | 1  | 0.5          | 0.6    | 0.020         | 0.024  |
| 收录机        | 65       | 1  | 1.0          | 1.0    | 0.065         | 0.065  |
| 25 英寸彩色电视机 | 150      | 1  | 5.0          | 6.0    | 0.750         | 0.900  |
| 卫星接收器      | 20       | 1  | 5.0          | 6.0    | 0.100         | 0.120  |
| 电冰柜        | 160      | 1  | 24.0         | 24.0   | 0.740         | 0.740  |
| 电熨斗        | 400      | 1  | 0.2          | 0.1    | 0.060         | 0.040  |
| 洗衣机        | 280      | 1  | 0.3          | 0.3    | 0.084         | 0.084  |
| 电鼓风机       | 25       | 1  | 2.0          | 3.0    | 0.050         | 0.075  |
| 电风扇        | 40       | 1  | 5.0          | 0.0    | 0.200         | 0.000  |
| 治疗仪        | 100      | 1  | 0.5          | 0.5    | 0.050         | 0.050  |
| 潜水泵        | 360      | 1  | 1.0          | 1.0    | 0.360         | 0.360  |
| 日合计        |          |    |              |        | 2.754         | 2.788  |

考虑到系统各个环节的能量损耗，系统实际供给用电负载的日供电量等于系统发电设备的日发电量乘以系统的能量转换效率。在该系统中，蓄电池的能量效率为 80%，充电控制器效率为 95%，逆变器效率为 85%，线路损耗为 5%，因此，系统能量转换效率为 61.4%，系统各月的日平均供电量如表 5 所示。

用户基本用电情况如表 6。根据用户实际用电要求，在进行系统设计时，对用电负载的同步使用情况进行了合理的调配，具体为：①节能灯、录像机、收录机、25 英寸彩色电视机、卫星接收器、电冰柜、电鼓风机、电风扇、治疗仪可同时使用；②使用电熨斗时，除电冰柜以外不能使用其它用电负载；③洗衣机和潜水泵须分别单独使用，不能与其它用电负载同时使用。该系统同时使用的用电负载总功率最大为 600W，符合逆变器的技术要求。

系统经过几年的实际运行，用户反映能够满足他们的用电需求，除照明、看电视、使用电冰柜等日用电器外，每天的人畜饮水基本由小功率系统电力泵水，不再用人力提水。充分证明系统配置合理如图 4，运行效果良好。

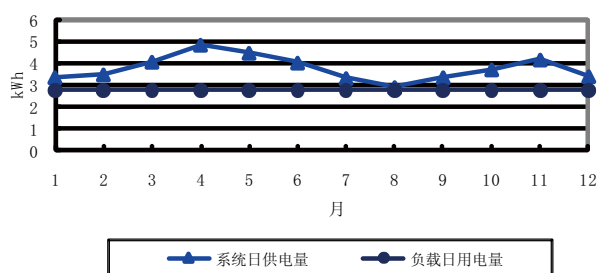


图 4：系统日供电量与负载日用电量的对比曲线

## 5. 结论

内蒙古地区有丰富的风能和太阳能资源，且二者具有很好的互补性，具备风光互补供电技术应用的基本条件。

风光互补供电系统利用可再生的清洁能源供电，对环境无污染，且可持续发展。它投资少、见效快，且占地面积小，应用灵活便捷。一个家庭、一个村庄、一个区域，无论个人、集体均可采用。

迄今风光互补供电系统已普遍应用于内蒙古无电地区，基本解决了内蒙古无电地区的基本用电问题。实践证明，采用风光互补供电是解决内蒙古无电地区电力供应的有效途径。



# 计及峰谷电价和启发式运行策略的风光储联合发电用户容量优化

福州大学电气工程与自动化学院、国网福建省电力有限公司宁德供电公司的人员翁桂萍、潘夏、邵振国，在 2016 年第 5 期《电气技术》杂志上撰文，为优化配置小区屋顶风光储联合发电用户的设备容量，本文提出一种计及峰谷电价和启发式运行策略的容量配置方法。

建立了优化目标函数和约束函数模型，采用粒子群优化算法分别在统一电价和峰谷电价下对小区屋顶风光储联合发电用户的各电源容量进行优化配置。利用美国 NASA 气象网站气象数据和 HOMER 软件居民负荷数据验证了方法的有效性。

随着化石燃料资源在全球范围内的逐步枯竭，风能和太阳能等可再生能源受到世界各国的重视<sup>[1]</sup>。单一风能或太阳能发电具有很强的随机性和间歇性，对电网的安全性、稳定性以及电能质量影响较大<sup>[2]</sup>。利用风能和太阳能在时间和空间上的天然互补特性，并加以配置适当的储能组成风光储联合发电系统，具有更优运行指导<sup>[3-4]</sup>。

合理配置风 / 光 / 储容量，是风光储联合发电系统在规划设计阶段需要解决的一个重要课题。近几年来，以屋顶为载体的风光发电项目越来越多，有望成为未来新能源装机容量增长的一个主要方向。然而现阶段对居民屋顶风光发电的经济运行研究还比较少。随着居民用电峰谷电价在全国范围内的推行，研究不同电价对居民屋顶风光储用户的容量优化配置影响具有重要意义。

基于此，本文将居民用电电价因素考虑到屋顶风光储用户的容量配置中，提出一种计及峰谷电价和启发式运行策略的容量优化配置方法。首先建立了考虑蓄电池循环寿命<sup>[5]</sup>的用户综合成本函数和约束函数模型，然后以华东沿海某小区为例，采用粒子群优化算法分别在统

一电价和峰谷电价下配置了用户的风 / 光 / 储容量，最后对用户的经门口运行进行分析，验证所提方法的有效性，对居民屋顶风光储用户的电价选择提供参考。

## 1. 风光储联合发电系统

### 1.1 风光储联合发电系统结构

本文研究的风光储联合发电系统结构如图 1 所示。其中，系统的直流母线电压为 24V，交流母线电压为 220V，系统与电网可以自由双向交换功率。

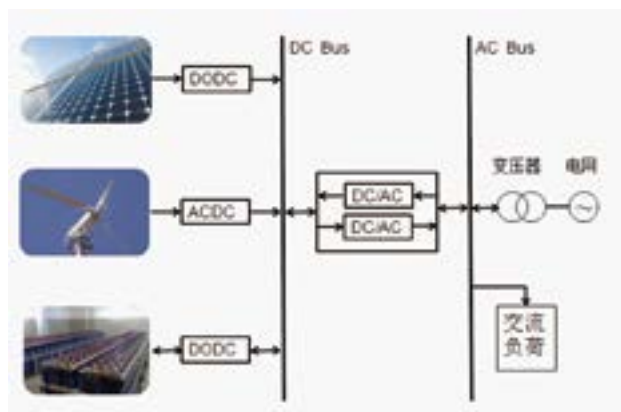


图 1：风光储联合发电系统结构

### 1.2 居民负荷特性

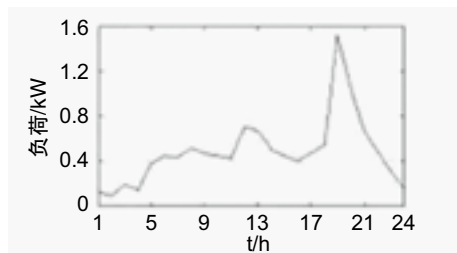


图 2：居民用户典型日负荷曲线

图 2 所示为我国东部沿海基本地区（北纬  $26^{\circ} 14'$ ，东经  $119^{\circ} 22'$ ）居民用户的秋季典型日负荷曲线。居民负荷呈现早、中、晚三个高峰时段，负荷的巨大变化使得发电厂经常性调整机组发电量，增加了运行费用。通过实施峰谷分时电价，可以利用电价的杠杆作用，抑制高峰时期用电量的快速增长，提高低谷时段的用电量，实现“削峰填谷”。

### 1.3 储能

对于并网运行的风光储联合发电系统，储能除了平滑入网功率波动之外，还可以实现负荷时间尺度的转移。如：①在电网负荷低谷时期，储存剩余风能和光能，或者从电网购买价格较低的电能，以供峰时负荷使用；②在电网负荷高峰时期，释放储能单元储存的电能供给负荷，以缓解电网的供电压力。

## 2. 联合发电用户运行策略

居民现行用电电价有统一电价和峰谷电价两种，不同电价方式下，用户的运行策略有所不同。

本文将用户发电功率与其负荷需求的差称为用户的净功率。记作  $\Delta P(t)$ ，即  $\Delta P(t) = P_w(t) + P_{pv}(t) - P_{load}(t)$ 。其中， $P_w(t)$  和  $P_{pv}(t)$  表示风力和光伏发电系统出力。

### 2.1 统一电价运行策略

$\Delta P(t) < 0$  时，首先由储能系统放电供给负荷，其后再向电网购电； $\Delta P(t) > 0$  时，首先向储能系统充电，其后再向电网卖电。

### 2.2 峰谷电价运行策略

峰谷电价方式下，考虑到峰谷价差、发电特性及负荷特性，用户可以根据不同工况调整与电网的功率交换，实现经济效益最大化。

根据电价时段、净功率  $\Delta P(t)$  和储能设备荷电状态 SOC 的不同可分为 SA1 ~ SA10 共 10 种运行策略，如表 1 所示。其中 SOC=0.1 表示储能处于安全容量下限，SOC=0.9 表示储能处于安全容量上限； $P_{BCmax}$ 、 $P_{BDmax}$  分别为储能最大充/放功率允许值。

## 3. 联合发电用户容量优化模型及配置方法

### 3.1 目标函数

风光储联合发电用户进行容量优化配置的目的是在考虑初始投资成本、运行维护费用、新能源发电补贴、购电费用、售电收益以及切负荷损失等因素下取得最小的综合成本。

用户的初始投资成本主要包括风电机组、光伏组件、

表 1：用户运行策略划分

| 编号   | 电价时段 | $\Delta P(t)$    | SOC     | 运行策略        |
|------|------|------------------|---------|-------------|
| SA1  | 谷    | $< 0$            | $< 0.9$ | 购电用于负荷与储能充电 |
| SA2  | 谷    | $> 0$            | 0.9     | 售电          |
| SA3  | 谷    | $(0, P_{BCmax})$ | $< 0.9$ | 购电用于储能充电    |
| SA4  | 谷    | $> P_{BCmax}$    | $< 0.9$ | 售电并且储能充电    |
| SA5  | 峰    | $> 0$            | 0.9     | 售电          |
| SA6  | 峰    | $(0, P_{BCmax})$ | $< 0.9$ | 储能充电        |
| SA7  | 峰    | $> P_{BCmax}$    | $< 0.9$ | 售电并且储能充电    |
| SA8  | 峰    | 0                | 0.1     | 购电          |
| SA9  | 峰    | $(P_{BDmax}, 0)$ | $> 0.1$ | 储能放电        |
| SA10 | 峰    | $< P_{BDmax}$    | $> 0.1$ | 购电并且储能放电    |

蓄电池组和并网逆变器的初始投资费用，表达式为：

$$C_C = \sum_{i=1}^3 N_i C_i \frac{r(1+r)^{L_i}}{(1+r)^{L_i}-1} + P_{inv} C_{inv} \frac{r(1+r)^{L_{inv}}}{(1+r)^{L_{inv}}-1} \quad (1)$$

式中， $i(i=1,2,3)$  表示不同的电源类型，此处指风力机、光伏电池和蓄电池； $N_i$  为电原的单位价格（元）； $L_i$  为电源的使用年限（蓄电池的使用年限为其实际寿命损坏期与浮充寿命的取小值，具体计算见文献 [5]； $r$  为贴现率； $P_{inv}$  为并网逆变器的容量（kW）； $C_{inv}$  为单位容量并网逆变器的价格（元/kW）； $L_{inv}$  为并网逆变器的使用年限。

运行维护费用为

$$C_{dow} = \left( \sum_{i=1}^{3760} \sum_{i=1}^3 K_i P_i(t) \times \Delta t \right) + K_{inv} P_{inv} \quad (2)$$

式中， $t$  为采样时刻； $\Delta$  为采样间隔，取 1h； $K_i$  和  $P_i(t)$  ( $i=1,2,3$ ) 分别为风力机、光伏电池、蓄电池的维护成本系统（元/千瓦时）和（ $t$ ）时刻的功率（kW）； $K_{inv}$  为并网逆变器的维护成本系统（元/千瓦安）

新能源发电补贴为

$$C_{sub} = \sum_{i=1}^{3760} (K_{sub} P_{sup}(t)) \Delta t \quad (3)$$

式中， $K_{sub}$  为补贴电价（元/千瓦时）； $P_{sup}(t)$  为  $t$  时刻的新能源供电功率（kW）。

购电费用为

$$C_{pur} = \sum_{i=1}^{365} \sum_{K_i=1}^N K_i \sum_{t=1}^{n_i} U_p^t P_{pur,i}(t) \Delta t \quad (4)$$

式中， $j$  表示某一天； $N$  为峰谷电价划分的时段个数，执行统一电价时， $N=1$ ； $K_i$  为第  $i$  个时段的电价（元/千瓦时）； $n_i$  为第  $i$  个时段的时间长度  $h$ ，执行统一电价时  $n_i=24$ ； $U_p^t$  为  $t$  时刻用户的购电状态，0 表示不购电，1 表示购电； $P_{pur,i}(t)$  为第  $i$  时段  $t$  时刻的购电功率（kW）。

售电收益如式（5）和式（6）所示，其中式（5）为用户  $t$  时刻的售电收益，式（6）为用户全年售电收益。

$$C_{sell}(t) = U_s^t P_{sell}(t) \Delta t \left[ P_{sell,w} \times \frac{P_{sw}(t)}{P_{sw}(t)+P_{pv}(t)} + P_{sell,pv} \times \frac{P_{pv}(t)}{P_{sw}(t)+P_{pv}(t)} \right] \quad (5)$$

$$C_{sell} = \sum_{t=1}^{3760} C_{sell}(t) \quad (6)$$

式中， $U_s^t$  为  $t$  时用户的售电状态，0 表示不售电，1 表示售电； $P_{sell,w}$ 、 $P_{sell,pv}$  分别为风电和光电上网电价（元/千瓦时）； $P_{sell}(t)$  为  $t$  时刻用户的售电功率（kW）。

风光储系统因不满足用户负荷需求而造成的切负荷

损失为

$$C_{loss} = \sum_{t=1}^{3760} (K_{loss} P_{out}(t) \Delta t) \quad (7)$$

式中， $K_{loss}$  为切负荷损失系数（元/千瓦时）； $P_{out}(t)$  为  $t$  时刻切除的负荷（kW）。

综上所述，优化目标函数为

$$mmC = C_c + C_{om} + C_{pur} + C_{loss} - C_{sell} - C_{sub} \quad (8)$$

### 3.2 约束函数

3.2.1 风光储容量约束根据用户场地面积约束，风力发电机组、光伏电池组件和蓄电池的最大安装数应满足式（9）。

$$\begin{cases} N_{wmax} \leq [L/6d+1] \cdot [W/6d+1] \\ N_{pvmax} \leq [S/S_{pv}] \\ N_{Bmax} \leq [S/S_d] \\ N_w S_w + N_{pv} S_{pv} + N_B S_B \leq S \end{cases} \quad (9)$$

式中， $[x]$  为取整函数，表示不超过  $x$  的最大整数值； $D$  为风力机的风轮直径； $S$  为屋顶可利用场地的面积； $L$  为屋顶可利用场地的长度； $W$  为屋顶可利用场地的宽度； $S_w$ 、 $S_{pv}$ 、 $S_B$  分别为单台风力机、单块光伏电池和单节蓄电池的占地面积。

3.2.2 蓄电池电量约束<sup>[6]</sup> 以荷电状态 SOC (State of Charge) 表示蓄电池当前的电量状态。蓄电池充放电时的荷电状态分别如工（10）和（11）所示。

$$\begin{cases} SOC(t) = SOC(t-1) + P_{BC}(t) \Delta t \eta_c / E_B \\ P_{BC}(t) > 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} SOC(t) = SOC(t-1) + P_{ED}(t) \Delta t / E_{Bn} \eta_d \\ P_{ED}(t) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

式中， $P_{BC}(t)$ 、 $P_{ED}(t)$  分别为蓄电池在  $t$  时刻的充放电功率（kW）， $E_{Bn}$  为蓄电池的额定容量（kWh）， $\eta_c$ 、 $\eta_d$  分别为蓄电池的充、放电效率，分别取 0.9215（工厂提供）和 1；用  $SOC_{min}$  和  $SOC_{max}$  表示单个蓄电池的最小荷电状态和最大荷电状态，那么单个蓄电池的电量约束为

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (12)$$

3.2.3 蓄电池充放电功率约束<sup>[7]</sup> 为了防蓄电池的过

充电和过放电，蓄电池的充放电功率约束为

$$\begin{cases} P_{BC}(t) \leq P_{BCmax}(t) \\ |P_{BD}(t)| \leq |P_{BDmax}(t)| \end{cases} \quad (13)$$

式中， $P_{BCmax}(t)$ 、 $P_{BDmax}(t)$  分别为蓄电池在  $t$  时刻的最大充、放电功率允许值（kW）。

蓄电池的最大充、放电功率允许值由其物理特性和当前剩余电量决定。本文假设蓄电池以标准充放电电流和电压进行工作，则蓄电池的最大充放电功率允许值为

$$\begin{cases} P_{BCmax}(t) = \min \left\{ P_{maxBC} \frac{[SOC_{max} - SOC(t-1)]E_{BN}}{\eta_c \Delta t} \right\} \\ P_{BDmax}(t) = \max \left\{ P_{maxBD} \frac{[SOC(T-1)]E_{BD}\eta_d}{\Delta t} \right\} \end{cases} \quad (14)$$

式中， $P_{maxBC}$ 、 $P_{maxBD}$  分别为蓄电池最大持续充放电功率（kW）。

#### 3.2.4 交换功率约束

风光储用户与电网之间的交换功率约束为

$$P_{gridmin} \leq P_{grid}(t) \leq P_{gridmax} \quad (15)$$

式中， $P_{gridmin}$  和  $P_{gridmax}$  为联合发电用户与配电网之间允许交换功率的最小值和最大值，该值根据联合发电用户与所并入电网达成的供求协议来确定<sup>[8]</sup>。

入网功率波动约束为

$$\Delta P_{min} \leq \Delta P_{grid}(t) \leq \Delta P_{max} \quad (16)$$

式中， $\Delta P_{grid}(t)$  为  $t$  时刻的入网功率波动量， $\Delta P_{grid}(t) = P_{grid}(t) - P_{grid}(t-1)$ ； $\Delta P_{min}$  和  $\Delta P_{max}$  为功率波动量的下限和上限，该值同样根据联合发电用户与所并入电网达成的供求协议来确定。

#### 3.2.5 用户购电状态互斥约束

$$U_p^t + U_s^t \leq 1 \quad (17)$$

#### 3.2.6 供电可靠性约束

风光储用户在各个阶段的能量分配过程中，不能满足负荷需求的功率与负荷总需求量的比值称为节负荷率。本文以节负荷率  $\lambda_{CUT}$  表征用户负荷的供电可靠性，表达式为

$$\lambda_{CUT} = \frac{\sum_{t=1}^{8760} P_{cut}(t)}{\sum_{t=1}^{8760} P_{load}(t)} \quad (18)$$

式中， $P_{cut}(t)$  为  $t$  时刻切除的负荷； $P_{load}(t)$  为  $t$  时刻负荷的需求。

则供电可靠性约束为

$$\lambda_{CUT} \leq \lambda_{CUTmax} \quad (19)$$

式中， $\lambda_{CUTmax}$  为用户的切负荷率上限。

### 3.3 容量配置优化

粒子群优化算法 [9–10] (Particle Swarm Optimization PSO) 是模拟鸟群捕食过程的一种智能寻优算法，具有实现简化、鲁棒性好、收敛速度快等优点，适合工程应用。PSO 算法中的粒子通过跟踪个体极值  $P_{best}$  和全局极值  $G_{best}$  来更新自己的速度和位置，并逐步逼近最优解，粒子更新过程见文献 [10]。

本文以风力机、光伏电池和蓄电池的数量作为优化变量，以目标函数的倒数作为适应度函数（不满足要求的配置，其适应度值为 0），找出适应度值最大的组合作为风光储联合发电用户的最优容量配置，并输出相应配置下的用户综合成本。本文取种群规模  $P_{size}=60$ ，迭代次数  $N_{genmax}=200$ ，具体算法流程如下：

- (1) 读入风/光/储系统的相关参数，以及单位数量风力机、光伏组件和负荷的全年功率数据；
- (2) 根据约束随机生成满足条件的初始种群速度；
- (3) 计算种群中每个粒子的适应度值，确定种群的个体极值  $P_{best}$  和全局极值  $G_{best}$ ；
- (4) 更新粒子的速度和位置；
- (5) 计算更新后的粒子的适应度值，并更新个体极值  $P_{best}$  和全局极值  $G_{best}$ ；
- (6) 判断迭代次数是否满足要求，若满足迭代次数，则退出迭代，转到步骤 (7)，否则返回步骤 (4)；
- (7) 输出优化配置结果及对应的综合成本。

## 4. 算例分析

### 4.1 算例介绍

#### 4.1.1 气象及负荷数据

以我国华东沿海某小区（北纬  $26^\circ 14'$ ，东经  $119^\circ 22'$ ）为模拟安装地点，采用 NASA 提供的该地区月平均气象统计数据和 HOMER 软件居民负荷数据。通过 HOMER 软件离散得到的全年数据如图 3 所示。

#### 4.1.2 电源选型

风光储型号参数见表 2 垂直轴风力发电机组、光伏



组件和蓄电池的维护成本系数，蓄电池荷电状态 SOC 的变化范围取 0.1 ~ 0.9，初始荷电状态取 0.5。并网逆变器的单位价格参照目前市场平均价 3.5 元 / 瓦，运行维护成本和平均使用年限分别取 51 元 / 千瓦安和 20 年<sup>[5]</sup>。

4.1.3 电价

居民用电峰时段为 8:00 ~ 22:00，电价为 0.5783 元 / 千瓦时；谷时段为 22:00 ~ 8:00，电价为 0.3483 元 / 千瓦时。不申请峰谷分时电价时的统一电价为 0.5483 元 / 千瓦时。

采用国家发改委于 2013 年和 2014 年制定的分布式光伏发电和陆上风电标杆上网电价，该地区处于风能第Ⅳ类资源区，风电标杆上网电价为 0.61 元 / 千瓦时；分布式光伏发电用户的上网电价为当地燃煤机组脱硫标杆上网电价 0.4075 元 / 千瓦时。

4.2 优化配置结果及分析

小区供电点短路容量取 700kVA，两种电价方式下用户容量的优化配置结果与各项主要技术经济指标如表 3 所示。

从表 3 可以看出，峰谷电价方式下，虽然用户的初始投资成本更高，但综合成本却更低且供电可靠性更高。这是由于峰谷电价方式的运行策略虽然提高了蓄电池的利用率，但也缩短了蓄电池的循环寿命，同时风光配置容量也比统一电价高，因此，峰谷电价方式下用户的初始投资成本更高。然而，蓄电池深度充放电给用户带来了巨大的峰谷电价差收益，使得用户不仅降低了购电费用，而且也增加了售电收益，因此用户的综合成本显得更低。

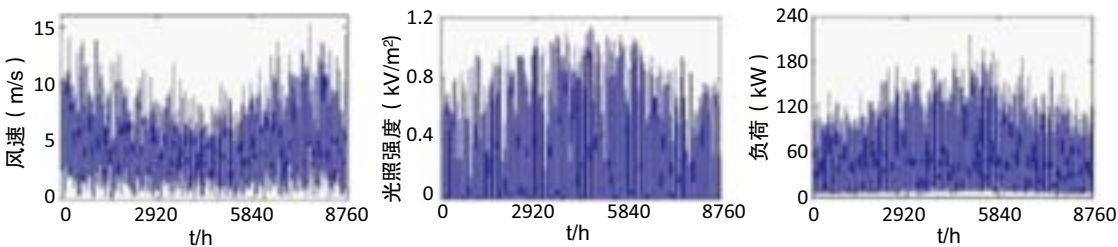


图 3：小区所在地的气象及全年负荷数据

表 2：风光储型号参数

| 参数       | 数值             | 参数      | 数值             | 参数       | 数值                   |
|----------|----------------|---------|----------------|----------|----------------------|
| 风力机型号    | NE-300(垂直轴)    | 光伏型号    | S-210C         | 蓄电池型号    | LCPA100-12           |
| 风轮直径     | 800mm          | 尺寸 (mm) | 1482*992*46    | 尺寸 (mm)  | 407*174*209          |
| 额定电压     | 24V            | 最大功率    | 210W           | 额定容量     | 100Ah                |
| 额定功率     | 300W           | 工作电压    | 27.1V          | 额定电压     | 12V                  |
| 启动风速     | 1.3m/s         | 工作电流    | 7.75A          | 最大充电电流   | 0.2C <sub>10</sub> A |
| 额定风速     | 13m/s          | 开路电压    | 33.8V          | 最大放电电流   | 0.2C <sub>10</sub> A |
| 安全风速     | 45m/s          | 短路电流    | 8.37A          | 充 / 放电效率 | 0.9215/1             |
| 单价 (含塔架) | 2300 元         | 单价      | 1050 元         | 单价       | 600 元                |
| 维护成本系数   | 0.0187 元 / 千瓦时 | 维护成本系数  | 0.0079 元 / 千瓦时 | 维护成本系数   | 0.008 元 / 千瓦时        |
| 使用年限     | 20 年           | 使用年限    | 20 年           | 浮充使用寿命   | 6 年                  |

表 3：两种电价方式下的配置结果

| 电价方式     |           | 统一电价   | 峰谷电价   |
|----------|-----------|--------|--------|
| 优化配置结果   | 风力机（台）    | 76     | 80     |
|          | 光伏（块）     | 559    | 562    |
|          | 蓄电池（节）    | 180    | 80     |
| 各项       | 蓄电池寿命（年）  | 3.78   | 1.56   |
| 主要技术经济指标 | 切负荷率（%）   | 9.00   | 8.98   |
|          | 初始投资成本（元） | 132547 | 134694 |
|          | 运行维护费用（元） | 9431   | 6928   |
|          | 发电补贴（元）   | 59892  | 59643  |
|          | 购电费用（元）   | 92995  | 88373  |
|          | 售电收益（元）   | 3001   | 13744  |
|          | 综合成本（元）   | 205663 | 192827 |

表 4 为两种电价方式下用户的购 / 售电量及费用。

从表 4 可以看出，与统一电价相比，峰谷电价下的优化结果具有以下优势：①用户的峰时购电量低而谷时购电量高，并且用户的峰时售电量也比统一电价方式高，说明峰谷电价方式比统一电价更有利于调动用户主动参

与“削峰填谷”；②用户的购电费用更低。由于谷时电价与统一电价的差价是峰时电价与统一电价的近 7 倍，用户可以将电价较低的谷时电能储存起来，于电价较高的峰时电价时段使用，从而进一步降低了总购电费用。

5. 结论

风光储电源的选型和定容是屋顶风光储用户在规划设计阶段需要解决的首要问题。本文以华东沿海某小区屋顶风光储联合发电用户为例，研究了不同居民用电电价下的风光储容量优化配置问题。文中考虑了蓄电池充放电深度对其循环寿命的影响，建立了全面反映用户综合成本的目标函数模型。包括初始投资成本、运行维护费用、新能源发电补贴、购电费用、售电收益和切负荷损失等经济指标，并采用 PSO 算法分别在统一电价和峰谷电价下对屋顶风光储用户的各电源容量进行优化配置。仿真结果表明，采用本文提出的计及峰谷电价和启发式运行策略的容量优化配置方法，虽然缩短了蓄电池的循环寿命，但有效提高了蓄电池的利用率。不仅降低了用户的综合成本，提高了用户的供电可靠性，而且还进一步帮助电网“削峰填谷”，减轻了电网的运行压力。

接下来将继续研究峰谷电价因素对风光储用户的用电行为和电网运行的影响，为电网公司制定合理的峰谷电价政策提供参考。

（来源：《电气技术》杂志）

表 4：两种电价方式下用户的购 / 售电量及费用

| 运行策略指标     | 统一电价 |      |       | 峰谷电价 |       |       |
|------------|------|------|-------|------|-------|-------|
|            | 峰    | 谷    | 总和    | 峰    | 谷     | 总和    |
| 购电量（万千瓦时）  | 9.60 | 7.36 | 16.96 | 8.95 | 10.51 | 19.46 |
| 购电费用（万千瓦时） | 5.26 | 4.04 | 9.30  | 5.18 | 3.66  | 8.84  |
| 售电量（万千瓦时）  | 0.71 | 0    | 0.71  | 3.25 | 0.02  | 3.27  |
| 售电收益（万千瓦时） | 0.30 | 0    | 0.30  | 1.36 | 0.01  | 1.37  |

# 光伏逆变器有何神奇之处

逆变器又称电源调整器、功率调节器，是光伏系统必不可少的一部分。通常，物理上把将直流电能变换成交流电能的过程称为逆变，把实现逆变过程的装置称为逆变设备或逆变器。逆变器的名称由此而来。光伏逆变器最主要的功能是把太阳能电池板所发的直流电转化成家电使用的交流电。

逆变器是光伏系统的核心，太阳能电池板所发的电全部都要通过逆变器的处理才能对外输出，逆变器对于整套系统的运行起着重要的作用，下面小编给大家介绍一下为什么逆变器这么神奇。

## 最大功率跟踪功能，保证输出功率最大化

太阳能电池板的电流和电压是随太阳辐射强度和太阳电池组件自身温度而变化的，因此输出的功率也会变化，为了保证输出电力最大化，就要尽可能的获取电池板的最大输出功率。逆变器的 MPPT 跟踪功能就是针对这一特性设计的。

MPPT ( Maximum Power Point Tracking ) 叫做最大功率点跟踪，据测算，配置了 MPPT 跟踪的系统比没有安装 MPPT 跟踪的系统发电量可以高出 50%。所以，想要光伏系统发更多的电，不要只看太阳能电池板，太阳能电池板所发的电最后能够有多少被有效输出，还是要看逆变器。

## 防单独运行功能，保障电网的安全

很多人在安装光伏系统时，都抱着“即使电网停电，自己家也能用上电”的心态，殊不知，电网停电时，自

己家的光伏系统也会停止运转。


造成这一现象的原因在于现在逆变器中一般配置了防孤岛装置，当电网电压为 0 时，逆变器就会停止工作。听到这，是不是有种被坑的感觉？先别急，听小编给你解释一下，防孤岛装置是光伏所有并网逆变器的必备装置，之所以这样做，主要是为了电网的安全考虑，试想，电网停电，电网工作人员已经披挂上阵对电路进行检修，而你家的光伏系统还在源源不断地上传电力…很容易造成安全事故有没有。

如果真的很想在电网停电时自己家也能用电，可以考虑安装光伏离网系统，这样平时太阳能电池板所发的电就会被存储起来，当用户有需要的时候，可以拿来使用。

## 根据太阳能电池板的输出功率，自动运行和停机

早晨日出后，太阳辐射强度逐渐增强，太阳电池的输也随之增大，当达到逆变器工作所需的输出功率后，逆变器即自动开始运行。进入运行后，逆变器便时时刻刻监视太阳电池组件的输出，只要太阳电池组件的输出功率大于逆变器工作所需的输出功率，逆变器就持续运行；直到日落停机，即使阴雨天逆变器也能运行。当太阳电池组件输出变小，逆变器输出接近 0 时，逆变器便形成待机状态。

以上给大家介绍的只是逆变器的一些基本性能，逆变器是光伏系统中重要且复杂的一环，靠谱的光伏系统，需要一个靠谱的逆变器。

(来源：低压电器杂志社) 

# IEA Wind T27 第八次专家会议简报

□ 特约专家 都志杰

国际能源总署风能第 27 研究课题 (IEA Wind T27) 专家团队于 2016 年 4 月 25-27 在台湾召开了第 8 次面对面会议。会议由台湾中小型风力发电机协会协办, 地点为台北大学会议厅。美国、西班牙、韩国、爱尔兰和中国的专家代表出席了会议, 其它国家的代表如南非 (观察员)、日本、丹麦、奥地利、和我国内蒙古工业大学汪建文教授及其团队的专家视频出席会议。

按惯例, 会议第一天由各国代表做关于本国中小风电的国家报告 (Country Report) :



中国: 本人代表 CWEA / CWEEA 做了中国中小风电产业的国家发展报告。

美国: 2015 年在本土新增 1,695 台中小风机, 装机容量 4.3MW, 销售额 2100 万美元 (2014 年为 3.7 MW, 大约 1,600 台, 销售额 2000 万美元)。本土安装平均成本为 \$5,760/kW, 略有下降。6 家主要中小风电制造商出口 21.5MW, 出口额 1, 22 亿美元, 主要出口到意大利、英国和日本;

韩国: 没有 2015 年数据。2014 年安装了 63kW, 累计安装了 3.84MW。韩国主要介绍了国家认证方案 (National Certification Scheme) 和用户标识;

西班牙主要介绍了到 2020 年小风电的安装目标、认证和可能的经济上的支持;

台湾: 没有 2015 年数据。2014 年, 台湾本土销售 264 台, 装机容量 0.1MW, 销售额 50 万美元。出口 6,113 台, 3.7MW, 销售额 970 万美元。台湾实施自愿认证程序, 并一直呼吁政府支持项目应当采用有认证的风力发电机设备;

丹麦: 受 FiT 政策利好的影响, 2015 年的小风电装机容量比 2014 年增加了 446%;

奥地利: 主要在研究在都市环境下推广小型风机的可行性。

会议的学术讨论部分主要有以下若干报告:

台湾核研院的苏博士汇报了对垂直轴风力发电机简化负载模型的研究, 这将成为 IEC61400-2 第四版的一部分基础;

南非 Nelson Mandela Metropolitan University 的 Sean Poole 做了关于《小型风机叶片 Reynolds (雷诺兹) 数值优化》的研究报告;

我国内蒙古工业大学的赵元星博士生做了《在不同负载条件下风力发电机应力分布数值仿真》的研究报告;

美国 DoE 的 Bert Barker 做了关于《在建筑物环境下风力发电机最佳实践的发现》的研究报告;

台湾金属工业研究发展中心的 long Pei-tat (容丕达) 博士做了关于《七股与建筑物相关的测试场的现场标定》的研究报告;





韩国能源技术评估个规划研究所的 Seok-woo Kim 博士做了关于《屋顶扰流强度变化风资源测量》的研究报告；

我国内蒙古工业大学汪建文教授及其团队（都志杰代为报告）做了关于《不同屋顶类型建筑物群的屋顶流场湍流特征研究》的研究报告；

爱尔兰 Dundalk 大学的 Raymond Byrne 做了关于《SEAI 现场试验数据分析——发电不佳》的研究报告；

西班牙 CIEMAT 的 Luis Cano 做了关于《地面核建筑物屋顶测量比较分析》的研究报告；

西班牙 CIEMAT 的 Francisco Toja 做了关于《建筑物屋顶利用都市风能的优化》的研究报告；

丹麦技术大学的 Davide Conti 做了关于《利用篱笆障碍物模拟扰动的试验》的研究报告；

丹麦技术大学的 Davide Conti 还做了关于《利用 WASp 对小风机进行微选址》的研究报告；

美国 DoE 的 Bert Barker 还做了关于《分布式利用的风资源评估概括》的研究报告。

这些报告都具有相当的深度，代表着当前小发电应用和理论研究，尤其是在强扰动环境下小型风力发电机

的运行和安全特性。值得特别提到的是以下两个研究报告：一是我国内蒙古工业大学汪教授团队的《不同屋顶类型建筑物群的屋顶流场湍流特征研究》报告和爱尔兰 Dundalk 大学 Raymond Byrne 的《SEAI 现场试验数据分析——发电不佳》报告。

汪教授团队的研究主要涵盖两个方面：等高建筑群内流场湍流特征的 CFD 研究和校园某建筑流场湍流特征的实证研究。前者主要探寻等高建筑群内建筑物屋顶形状对屋顶风力机安装位置和高度影响，研究的屋顶类型是我国常见的四种屋顶，即有平屋顶、斜屋顶、金字塔屋顶及三角形屋顶；后者主要对实际建筑流场湍流特征的实证研究，探寻某实际建筑屋顶风力机可行的安装位置及高度。

他们的 CFD 仿真研究，是 T27 团队中第一次针对多栋建筑物构成的、且建筑物具有不同类型的屋顶的建筑物群进行 CFD 研究，并给出了非常有意义的结果，得到与会专家的高度肯定。另一方面，他们的实证研究，总结了 3 种平屋顶类型，即统一大区域类平屋顶、含镂空类平屋顶及小凸起类平屋顶（包括上游凸起和下游凸

起)等的轴向速度、湍流动能的分布规律,并揭示了现象形成的机理。

汪教授团队的研究揭示了在建筑物屋顶上安装小型风力发电机的可能性,以及对不同的屋顶小型风力发电机应该安装在什么地方,以及扰流对小型风力发电机运行的影响。

另一个非常有意义的研究报告是爱尔兰 Dundalk 大学的报告。他们比较了两台完全一样的但是安装在不同位置的小型风力发电机运行结果:风力发电机为 Skystream 3.7,额定风速 11m/s,额定功率 2.1kW,塔高 10 米,同一安装者。

对第一个安装现场的检测数据的分析表明,现场有较大的扰动,在 15 个月的时间内实际运行时间为 11,664 小时,平均风速 3.3m/s,一分钟最大风速 18.4m/s,有效工作时间 79.8%,总发电量 2014kWh;第二个安装现场属于传统的开阔地,在 14 个月时间内的实际运行时间为 10,968 小时,平均风速 4.7m/s,一

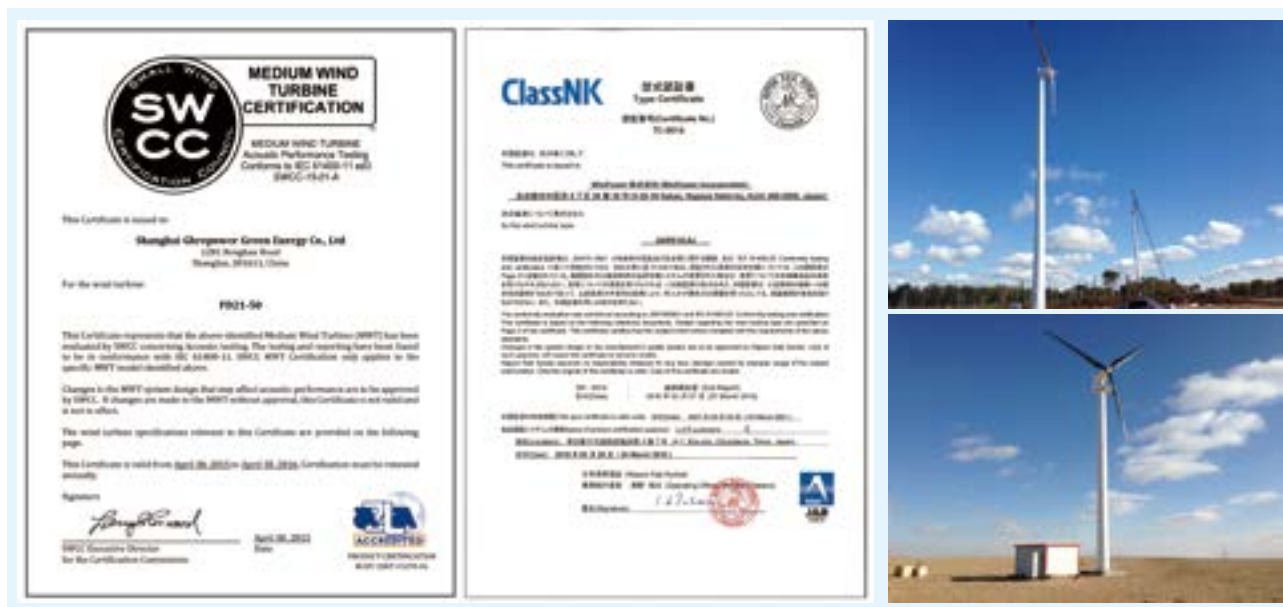
分钟最大风速 20.2m/s,有效工作时间 82%,总发电量 3,927kWh。数据分析表明,第一现场的扰动强度 TI 在 5m/s 时达到 22%,15m/s 时达到 20%;而第二现场的扰动强度 TI 在 5m/s 时达到 19%,15m/s 时达到 18%。第一现场的扰动强度明显大于第二现场,而发电量减少将近一半。

这个实际数据分析充分表明了扰动对风力发电机运行输出的影响,是值得风力发电机系统推广使用的单位个人高度关注的。

根据本课题的进度安排,接下来将进入最终研究报告《强扰动环境下小风电的微选址和电力输出特性 (Micrositing and Power Output of SWT in High Turbulence)》的撰写阶段。

会后,全体代表还赴台南七股参观考察了七股中小型风力机系统测试平台。该测试场位于海边盐场,盐雾对风电机组的影响非常严重,其机组的控制箱在一年之内产生严重锈蚀。





## 上海致远两种风电机组分别获得北美 SWCC 和日本 CLASS NK 认证证书

上海致远通讯员报道：上海致远绿色能源股份有限公司 2015 年 6 月，其生产 FD21-50 机型通过了美国 small wind certification corporation(SWCC) 认证委员会审核，并顺利获得了 SWCC 认证证书，拿到了北美市场并网许可证，并同期签订了首批 6 台 FD21-50 机型的订单。

上海致远是目前中国首家获得 SWCC 证书的中小型风力发电机组生产厂商，为我们开拓美国市场打下坚实的基础。作为全球风电市场政策最好的北美地区，对所使用的风电设备都有非常严格的入网标准。目前，获得同类设备入网资质的只有加拿大 1 家企业。经过两年的反复审查和现场验证、测试，SWCC 给予上海致远 FD21-50 机型高度的评价。

SWCC 认证覆盖了风电机组所有测试项目，包括功率曲线、机械载荷、噪音、电能质量、安全功能、以及专门针对于风电机组的耐久测试。

2016 年 3 月，上海致远的又一款机型 GHRE19.8J 机组获得日本船级社 ClassNK（位列世界十大船级社之一）颁发的认证证书。

上海致远 GHRE19.8J 机型所获此项编号为 TC-0014 的证书是目前中国唯一一个获得日本销售许可的机组。

GHRE19.8J 机 型 严 格 按 照 JSWTA0001 以 及 IEC61400-22 的标准进行测试，并且完全满足日本 20kW 以下机型的严格生产需求，是符合日本 FIT 补贴政策（55 日元 /kWh）的最佳机型。

ClassNK 认证覆盖了风力发电机组所有测试项目，包括功率曲线、机械载荷、噪音、电能质量、安全功能、以及专门针对于风电机组的耐久测试。

上海致远 GHRE19.8J 机型获得日本 CLASS NK 认证，拿到日本并网许可，为上海致远开拓日本市场奠定了基础。

# 安华小塔杆，大智慧！

## ——ANE 专利技术折叠塔杆的应用

安华品牌业界熟知！安华公司风力发电机组全部采用自主研发技术，公司拥有变桨距、变动安全保护系统、偏航保护、永磁电机等十几项专利。在十几项专利当中，其中有一项专利技术虽为外界所不详，但是用户给出了高度赞誉！那就是独立起落的杠杆式塔杆，通常我们也称其为“折叠塔杆”！

塔杆是风力发电机组的支撑结构，是整个风力发电系统不可或缺的重要组成部分！常用的小型风力发电机塔杆主要分为以下几种：

### 1. 涨线拉锁式塔杆

涨线拉锁塔杆安装繁琐，地基成本高。风力机维护需要放倒塔杆，还需要配置相应的支架进行维护，相对麻烦，遇到地形复杂的地方也困难重重！如下图。



### 2. 独立塔杆

独立塔杆塔杆以混凝土基础和塔杆为支撑，受力均匀，坚固耐用，但安装、维护都需要吊车进行！所以安装和维护的成本较高！如下图。



### 3. 钢架式塔杆

钢架塔杆与独立塔杆一样以混凝土基础和塔杆为支撑，受力均匀，坚固耐用。同样，此塔杆安装和维护不仅需要吊车，有些情况下还要人爬到塔顶协助，不仅安装和维护成本高，也有一定的人身安全隐患！如下图。





#### 4.ANE 专利技术之折叠塔杆

安华风能股份公司研发的折叠塔杆（见下图）较以上三种塔杆优势显著！具体优势体现在以下几个方面：



（1）不需要重型起吊设备一样能完成风力发电机的安装

我们经常会遇到一些客户不具备提供起吊机械设备的的能力，尤其是生产力落后，经济基础差的发展中国家和地区。这种情况下使用安华设计制造的折叠塔杆就发挥出至关重要的作用，为整个项目的安装和维护解决了难题！



（2）风力机安装不受地形的影响！

我们经常会遇到一些项目是这样的，安装地点比较特殊，要么在偏远的海岛上，要么在山顶上或者在山坡上，这些特殊地区和地形重型设备无法进入！但是根据地型选址，风力发电机组又必须安装在此！怎么办呢？安华设计制造的折叠塔杆就能迎刃而解！



（3）风力发电机组维护简便，维护成本低

风力发电机定期的维护和保养是确保风力发电机组健康运行的保障，想要风力发电机有较长的使用寿命，定期的维护保养必不可少！普通塔杆维护起来很麻烦，将机组放倒需要吊车等重型设备，及其不便！维护的成本也大大增加了！维护的不便和高成本导致维护工作不能及时进行！进而为风力发电机组的安全运行埋下了隐患！

如果应用安华设计的折叠塔杆，安装及后期的维护工作就相当轻松简便，不需要什么重型设备，不要太多的人力，一人就能轻松解决！应用安华折叠塔杆维护简便易操作，也就保证了风力发电机组的健康运行，增加了系统的寿命周期！👍

# 首座将风电机组与大楼融为一体的摩天大楼

巴林世贸中心，屹立在波斯湾岸，是世界上首座将风力发动机组与大楼融为一体的摩天大楼，在理论上，各种结合是个绝佳的创新点子，但这也是前所未有的尝试，身处全球石油蕴藏最丰富的地区，设计师和工程师们把愿景变成了真实，展望未来，采用再生能源，成就了这一伟大工程。

巴林世界贸易中心是一座高 240 米、双子塔结构的建筑物。大楼位于巴林首都麦纳麦的费萨尔国王大道，可以一览无遗地欣赏巴林湾景色。这座楼高 50 层的建筑耸立在 King Faisal 公路旁，与众多的地标相邻，如巴林金融港、巴林国家银行、Abraj Al Lulu 和著名景点珍珠塔等。建筑物的高度在全国排名第二，仅次于巴林金融港中的巴林金融港塔。

巴林世贸中心主体包括两座 50 层的双子塔，底部是一个三层的基座，其两座三角形的大厦高度达 240 米。在两座大厦之间设置了水平支持的 3 座直径 29 米的风力涡轮。风帆一样的楼体形成两座楼之前的海风对流，加快了风速。风电机组预计能够支持大厦所需用电的 11%–15%。

综合本地主要英文传媒 (2008 年) 11 月 27 日消息，巴林世界贸易中心大厦荣获芝加哥高层建筑和城市住区理事会 (CHICAGO-baseD COUNCIL ON TALL BUILDING AND URBANHABITAT) 评定的 2008 年度中东北非地区高层建筑最佳奖。

巴林世贸中心是世界上首座将风电机组与大楼融为一体的摩天大楼。

设计师在双塔之间 16 层 (61m)、25 层 (97m) 和 35 层 (133m) 处分别设置了一座重达 75 吨的跨越桥梁，三个直径达 29m 的水平轴风电机组和与其相连的发电机被固定在这三座桥梁之上。完工时间为 2008 年 4 月。

巴林世贸中心耗资 9600 万美元 (耗资 3500 万巴林第纳尔，约 7 亿元人民币)，总建筑面积 120961 平方米，



除设置有办公空间和商务设施外，还有酒店、商场、咖啡屋、饭馆和健身俱乐部，并设有 1700 个停车位。

巴林世贸中心由两座外观完全相同的塔楼组成，双子塔高 240 多米，共 50 层，平面为椭圆形，外形呈帆状，线条流畅，具有强烈的视觉震撼力，深绿宝石色的玻璃和白色的外表皮使大厦与周边沙漠景观和海上风光融为一体。

更令人瞩目的，是在 50 层、高 240 米的办公塔楼之间安装了 3 台水平轴风电机组，使世贸中心成为世界上首先为自身持续提供可再生能源的摩天大楼。这 3 台风机每年约能提供 1200 兆瓦时 (120 万度) 的电力，大约相当于 300 个家庭的用电量。

风电机组在满负荷时的转子速度为每分钟 38 转，通过安置在引擎舱的一系列变速箱，让发电机以每分钟 1500 转的转速运行发电。设计的最佳发电状态在风速 15–20 米/秒时，约为 225 千瓦。

风轮直径为 29 米，是用 50 层玻璃纤维制成的。在风力强劲，或需要转入停顿状态时，翼片的顶端会向外推出，增加了风轮的阻力矩，达到减速目的。风机能承受的最大风速是每秒 80 米，能经受 4 级飓风 (风速每秒 69 米以上)。(来源：互联网) 🌱

# 家用光伏电站投资收益分析

近年来，国家出台了一系列的政策来扶持光伏行业的发展，但由于前期投资大，回收期长，光伏投资中最受关注的还是光伏补贴政策和能产生的经济效益。下文是知乎上的一篇回答，比较详尽的分析了光伏发电的收益，具体如下。

## 一、国家对家庭光伏发电的补贴政策

### 1. 电价补贴

现在国家对光伏行业的补贴为 2013 年 8 月份出台的政策，《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》（发改价格[2013]1638 号），其中规定了分布式发电的补贴政策，即 0.42 元/千瓦的价格补贴，执行期限原则上为 20 年。国家将根据光伏发电规模、成本等变化，逐步调减电价和补贴标准。

各省市又根据政策制定了有不同的补贴标准，基本为：国家补贴 + 省补贴 + 市补贴 + 县级补贴（后三者如果有的话）= 最终的光伏上网电价

### 2. 增值税减免

（1）增值税减半（文号：财税[2013]66 号）

自 2013 年 10 月 1 日至 2015 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。

（2）小项目免增值税（文号：国家电网[2014]1515 号）

自 2014 年 10 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日，月销售额 3 万元以内的项目（大约 200kW~250kW）免收增值税。

（3）费用减免（文号：财综[2013]103 号）

对分布式光伏发电自发自用电量免收可再生能源电

价附加、国家重大水利工程建设基金、大中型水库移民后期扶持基金、农网还贷资金等 4 项针对电量征收的政府性基金。

### 3. 简化各种手续（文号：国能新能[2013]433 号）

（1）免办支持性文件。免除发电业务许可、规划选址、土地预审、水土保持、环境影响评价、节能评估及社会风险评估等支持性文件。

（2）一站式服务。鼓励地市级或县级政府结合当地实际，建立与电网接入申请、并网调试和验收、电费结算和补贴发放等相结合的分布式光伏发电项目备案、竣工验收等一站式服务体系，简化办理流程。

（3）并网免费更简单。由地市级或县级电网企业按照简化程序办理相关并网手续，并免费提供并网咨询、电能表安装、并网调试及验收等服务。

## 二、光伏发电设备需要的成本以及产生的经济效益

这里，赚多少钱看你采用什么样的售电模式了，自发自用余量上网还是全额上网。

自发自用电价 = 基础电价 + 0.42 + 地方补贴（如果有）

余电上网电价 = 0.42 + 地方补贴（如果有）+ 当地脱硫煤电价。

### 1. 投资及回收情况：

首先，初始投资。户用发电的价格基本在 10 元/瓦，含组件、逆变器、支架各种设备。100m<sup>2</sup> 的屋顶，根据采用的组件容量，安装角度不同，安装容量有很大的区别。估计能安装 3 ~ 10kW 的规模。成本投入就是 3 ~ 10 万元左右。

其次，发电等效小时。看当地的光照资源，以下举



例说明，请带入当地的电价、安装容量等即可算出收益。

如果能有一年 1000h 左右的等效小时，如果安装容量 10kW，那年发电量就是  $10\text{kW} \times 1000\text{h} = 10000\text{kWh}$  的电量。

如果当地补贴电价全部上网算下来能有 1 元 / 瓦，那每年收益就是  $10000\text{kWh} \times 1 \text{ 元} / \text{W} = 10000 \text{ 元}$ 。

不考虑电池衰减 10 年能收回投入的 10 万元成本，之后就是净收益了。

这里还需要考虑的是组件电池有衰减，另一个需要考虑到国家补贴可能会持续 20 年，也可能持续 10 年，省、市的补贴就因地区而异，有的是补贴五年，有的补贴 3 年，变动还是很大的。

## 2. 以某地为例说明分布式光伏的收益

以上海为例，根据 2014 年 5 月 4 日公布的新版《上海市可再生能源和新能源发展专项资金扶持办法》，光伏及风电两类新能源项目将根据发电量获得为期 5 年的奖励。分布式光伏的“度电补贴”金额为工商业用户 0.25 元 / 千瓦时，个人用户 0.4 元 / 千瓦时。

若在上海个人投资太阳能电站，7 年左右即可回本；而目前太阳能技术可确保电站 25 年寿命，等于回本后“还可净收益再赚 18 年”。年投资收益率超过 10%，远高于余额宝。

如有个 100 平方的屋顶，安装了 20KW 左右的太

阳能光伏电站，具体的成本回收和受益影响的因素非常的多。其中包括：日照时间的长短、自身的用电量（用电量越大越划算，可以抵消阶梯电价中价格较高的那一段）、地方政策等，想了解详细还需具体问题具体分析。如果只是了解大概的话上面的答案应该也够了。

## 三、光伏的环保帐

光伏不单算经济帐，还要算环保帐，可以粗略计算“环境效益”如下：

① 每度电耗煤：目前我国发电耗煤为平均 390g 标煤 / 千瓦时（能源基础数据汇编，国家计委能源所，1999.1,p16）

② 每发度电排放二氧化碳约为 1.4kg

③ 每瓦光伏组件平均每年发 2kWh。

④ 每瓦光伏组件平均每年相当减排二氧化碳 2.8kg

按照 EPIA 的估计，光伏发电取代柴油发电机的  $\text{CO}_2$  减排效果为  $1\text{kg/kWh}$ ；

光伏并网发电的平均减排效果为  $0.6\text{kg/kWh}$ 。到 2020 年，全世界光伏发电的累计安装量将达到 195GWp，其中大约 50% 为光伏并网发电。2000 ~ 2020 年通过光伏发电达到的  $\text{CO}_2$  的减排量将是 7 亿吨，仅 2020 年当年  $\text{CO}_2$  的减排将达到 1.64 亿吨，相当于 4400 万辆汽车或 75 个大型火力发电厂的排放量，对抵制雾霾十分有效。（来源：湖北英利绿色新能源有限公司）





# 各省最新脱硫标杆电价

本文按照对光伏标杆电价三类资源区的划分，根据 2015 年 12 月 30 日国家发改委颁布的各省份最新的脱硫标杆电价进行了统计，供查询使用。

说明：若某省部分地区为Ⅰ类资源区、部分地区为Ⅱ类资源区，则将其归到Ⅰ类资源区中。

表 1：Ⅰ类资源区省份最新脱硫标杆电价

| 序号 | 省份 | 电价（元 /kWh） |
|----|----|------------|
| 1  | 新疆 | 0.25       |
| 2  | 宁夏 | 0.2595     |
| 3  | 蒙西 | 0.2772     |
| 4  | 甘肃 | 0.2978     |
| 5  | 青海 | 0.3247     |

表 2：Ⅱ类资源区省份最新脱硫标杆电价

| 序号 | 省份  | 电价（元 /kWh） |
|----|-----|------------|
| 1  | 蒙东  | 0.3035     |
| 2  | 山西  | 0.3205     |
| 3  | 陕西  | 0.3346     |
| 4  | 云南  | 0.3358     |
| 5  | 天津  | 0.3514     |
| 6  | 北京  | 0.3515     |
| 7  | 冀北  | 0.3634     |
| 8  | 辽宁  | 0.3685     |
| 9  | 吉林  | 0.3717     |
| 10 | 黑龙江 | 0.3723     |
| 11 | 四川  | 0.4012     |

表 3：Ⅲ类资源区省份最新脱硫标杆电价

| 序号 | 省份 | 电价（元 /kWh） |
|----|----|------------|
| 1  | 贵州 | 0.3363     |
| 2  | 冀南 | 0.3497     |
| 3  | 河南 | 0.3551     |
| 4  | 安徽 | 0.3693     |
| 5  | 山东 | 0.3729     |
| 6  | 福建 | 0.3737     |
| 7  | 江苏 | 0.378      |
| 8  | 重庆 | 0.3796     |
| 9  | 湖北 | 0.3981     |
| 10 | 江西 | 0.3993     |
| 11 | 上海 | 0.4048     |
| 12 | 广西 | 0.414      |
| 13 | 浙江 | 0.4153     |
| 14 | 海南 | 0.4198     |
| 15 | 湖南 | 0.4471     |
| 16 | 广东 | 0.4505     |

来源：王淑娟

## 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。

# 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：[yaoxw@cweea.com.cn](mailto:yaoxw@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>