

中小型风能设备与应用



主办：中国农机工业协会风力机械分会

2018年6月·第1期（总第27期）



特别关注 > P04

关于落实和增加小风电新技术、新产品补贴政策的建议

- > P12 国家电网关于促进分布式电源并网管理工作的意见
- > P17 孤岛运行模式下的低压微电网控制策略
- > P44 风能发电加热取暖及余电上网系统技术方案

该来的一定会来

□ 文/祁和生

中小风电行业自 2012 年以来，已有 6 年多的间隔，产业发展仍处于不断萎缩状态。对于期盼已久的行业政策一直以来得不到政府有关部门的关注和支持。时到今日，制造行业申请政策无望并已疲惫，不再向上申请要政策了。就在我们处于干渴无助的时候，在制造业面临无米下锅的时候，用户撑不住了。

其他可再生能源行业光伏、大型风电都得到了国家政策的大力支持，唯独中小风电得不到国家扶持。大量需求中小风电的地域用户，迎面吹拂着无量资源，想通过建立中小风电供电系统为自己获取清洁电力，改善一下其生活质量，却无法得到补贴。其中包括国家重点工程中的，以中小风电作为互补的项目也无法得到政策的落实，这样的现实让人无法理解。但人民代表代表人民不干了。

近日，我们得到由农业农村部协办的《关于落实和增加小风电新技术、新产品补贴政策建议》。《建议》是由人民代表提出的议案，要求国家有关部门以议案解决中小型风电补贴问题。提案强调：“在我国，包括光伏技术及产业、大型风电技术及产业在内的清洁能源能够发展起来并领跑世界，并能够不断的降低成本和电价增加竞争力，就是因为起步与发展过程中有国家的补贴与扶持。而中小型风电技术及产品之所以越来越艰难，就是没有国家的补贴与扶持。但是，在我国的“高海边无”偏远地区，需要离网型小风电电源，只用光伏发电不能满足需要，在阴雨天、雾霾天和冬季下雪覆盖的日子里，还是特别需要中小型风电来供热、供电的。”

提案同时建议：

1. 首先要限期落实 2016 年 11 月国务院印发的《全国农业现代化规划（2016-2020 年）》和国家发改委发布的《全国农村经济发展“十三五”规划》中的 33 个重大农业工程项目，对小风电扶持与补贴限期出台细则，在 2018 年上半年前落实到具体的单位和

项目。

2. 借鉴光伏补贴政策和推广政策，加快出台适合“高海边无”地区的军警、通讯、农牧民、森林防火、交通设施等都需要的小风电为主的风光互补电源政策，培植壮大相关产业，降低产品成本，满足这些用户“离网型、智能型、独立型、安全型、可靠型”的供热、供电的需要，确保国家“高海边无”地区的安全稳定。

3. 建议政府大力扶持和支持小风电新技术、新产品的研究，对新产品在确保安全的前提下敢于先行先试，培植民族企业成长壮大、领跑世界。

4. 建议国务院建立各项制度落实情况回访机制，主动搜集和推进政策落实情况。

本期《中小型风能设备与应用》敬请关注“特别关注”栏目，《关于落实和增加小风电新技术、新产品补贴政策的建议》。

目 录

【卷首语】	
该来的一定会来.....	1
【特别关注】	
关于落实和增加小风电新技术、新产品补贴政策的建议.....	4
2017年我国中小型风能设备行业发展概况.....	6
【产业综述】	
国家电网关于促进分布式电源并网管理工作的意见.....	12
【技术交流】	
孤岛运行模式下的低压微电网控制策略.....	17
主动配电网中分布式发电系统接入技术研究及其进展.....	27
【产品应用】	
风能发电加热取暖及余电上网系统技术方案.....	44
【专题报道】	
南京欧陆电气 一季度多次中标内蒙偏远农牧区用电升级工程项目.....	51
国内多能互补微电网示范工程开启了建设热潮.....	53
【行业动态】	
IEC TC82 JWG1 工作组 2018 年芝加哥会议简报.....	57
关于 IEA T27 工作组第 12 次专家会议情况汇报.....	60
【行业资讯】	
分布式光伏管理办法或发生七大变化!	71

提要：全国人大代表在两会期间提出了《关于落实和增加小风电新技术、新产品补贴政策建议》提案，编号为“第 5831 号”。为落实人大代表提案，现已提交给有关部门。目前是由能源局主办，农业农村部协办。如果人大代表提案得到落实，中小风电将迎来发展的利好。提案全文如下：

第 5831 号

关于落实和增加小风电新技术、新产品补贴政策的建议

案由：

在我国，包括光伏技术及产业、大型风电技术及产业在内的清洁能源能够发展起来并领跑世界，并能够不断的降低成本和电价增加竞争力，就是因为在起步与发展过程中有国家的补贴与扶持。而中小型风电技术及产品之所以越来越艰难，就是没有国家的补贴与扶持。但是，在我国的“高海边无”偏远地区，需要离网型小风电电源，只用光伏发电不能满足需要，在阴雨天、雾霾天和冬季下雪覆盖的日了里，还是特别需要中小型风电来供热、供电的。

现在，小风电已经应用到“高海边无”地区的军警、农牧民、森林防火、交通设施等各个角落，但又饱受诟病。

1、现在的小风电技术不先进、不安全、不可靠、捕风效率低、基本发电少、成本高。立轴风机功率小、质量差，水平轴风机叶片易断裂。

2、光伏产业和大风电产业都受到国家大力支持与推广，所以成本在逐渐降低，增加了社会与国际的竞争力。而小风电补贴呼吁至今一直没有得到国家补贴与扶持。

3、包括拥有自主知识产权的创新性“框架圆风电机组技术”及其小型产品在内的小风电新技术虽然在国际上有认证和大奖，但在国内起步困难、推广困难。

4、2016 年 11 月国务院印发的《全国农业现代化规划（2016-2020 年）》和国家发改委发布的《全国农村经济发展“十三五”规划》，一年多过去了，地方的发改委与农

业部门都不知道，其中的 33 个重大农业工程项目截止到现在，没有一个落到实处，其中 6 个涉及小风电的项目，没有一个能够获得政府扶持。

建议：

1、首先要限期落实 2016 年 11 月国务院印发的《全国农业现代化规划（2016-2020 年）》和国家发改委发布的《全国农村经济发展“十三五”规划》中的 33 个重大农业工程项目，对小风电扶持与补贴限期出台细则，在 2018 年上半年前落实到具体的单位和项目。

2、借鉴光伏补贴政策 and 推广政策，加快出台适合“高海边无”地区的军警、通讯、农牧民、森林防火、交通设施等都需要的小风电为主的风光互补电源政策，培植壮大相关产业，降低产品成本，满足这些用户“离网型、智能型、独立型、安全型、可靠型”的供热、供电的需要，确保国家“高海边无”地区的安全稳定。

3、建议政府大力扶持和支持小风电新技术、新产品的研究，对新产品在确保安全的前提下敢于先行先试，培植民族企业成长壮大、领跑世界。

4、建议国务院建立各项制度落实情况回访机制，主动搜集和推进政策落实情况。

2017 年我国中小型风能设备行业发展概况

□ 文/中国农业机械工业协会风力机械分会

在中小型风能设备制造行业发展过程中，前几年形成了一个下降的趋势。2015 年、2016 年在低端运行了两年，2017 年平行的发展趋势没能保持住，又下了一个台阶。近几年中，所统计的企业数目也在不断减少，从前几年的 30 多家，逐步锐减到目前的十五六家。究其原因，是因为近几年来我国中小型风能设备利用方面无法有效跟进，市场对中小风能设备的需求在不断下降，部分企业不得不停产，并把业务转入其他新能源利用领域维持生存，少量的生产保留着他们在本行业的存在而不离不弃。在国内市场缺少有力支撑，只靠国际市场半条腿走路的情况下，行业新增装机数据减少是很自然的事。

一、2017 年行业发展数据

1. 通过各企业统计数据而评估的晴雨指标

2018 年初，中国农业机械工业协会风力机械分会对 2017 年我国中小型风能设备制造行业进行了数据统计，共有 15 家企业上报了材料，另外还有四家生产关键部件的企业也上报了材料。经过对这 15 家企业上报的数据的分析，并针对整个行业经济数据进行的评估，形成了一组反映 2017 年行业发展数据的晴雨表（详见表 1）。

评估后的 2017 年中小型风能设备制造行业，全年生产量约为 6.3 万台，与 2016 年同比减少 24.7%，生产容量为 49.7MW，同比减少 35.8%；生产总值 6.14 亿元，同比减少 26.9%；产品出货量 6.26 万台，同比下降 19.9%，出货容量为 41.7MW，同比下降 36.0%；出货额 5.42 亿元，同比下降 32.8%；整个行业亏损面加大，上缴税额减少，从业人员也有所减少。

表 1: 2017 年中小型风能设备行业发展指标以及与 2016 年的比较

指 标	2016 年	2017 年	同比增长率 (%)
生产台数 (万台)	8.37	6.3	-24.7
生产容量 (MW)	77.38	49.7	-35.8
生产总值 (亿元)	8.4	6.14	-26.9
出货台数 (万台)	7.81	6.26	-19.9
出货容量 (MW)	65.16	41.7	-36
出货额度 (亿元)	8.06	5.42	-32.8
出口台数 (万台)	0.48	0.51	6.4
出口容量 (MW)	20.2	14.0	-30.7
出口额度 (万美元)	4090	3279	-19.8

另有四家中小风能设备部件生产企业也报出了数据。统计结果为：四家配套企业为行业提供永磁发电机为 2280 台，销售额为 1292 万元，出口量达 2100 多台，出口额 133 万美元；控制器、逆变器和控制逆变一体机提供量为 10400 台，销售额为 1710 万元，出口量达到 1240 台，出口额 58 万多元。

2017 年产品应用市场结构基本未发生变化，1 千瓦以下小型机组销售仍是产品主流机型。

2. 海关总署统计的产品出口数据

从我国海关总署统计的数据看，2017 年全年中小风电设备出口到 116 个国家和地区，出口量约为 1.5 万台（件），3100 万美元，接近两亿人民币。与 2016 年的 1.68 万台（件）【注：该指标不反映真实情况，应以金额为准】、2600 万美元相比，台（件）数减少了 10.7%，而金额增长了 19.2%，说明出口数量增加了，台数的减少说明机组的功

率增加了。

2017年出口的主要国家排名为：日本 10,635,432 美元，意大利 6,584,273 美元，加拿大 3,145,359 美元，美国 1,961,197 美元，英国 1,873,601 美元，土耳其 877,440 美元，澳大利亚 518,042 美元，法国 491,695 美元，西班牙 353,170 美元，泰国 327,399 美元。

从全球市场分布看，2017年出口到亚洲 31 个国家和地区，出口额 1,289 万美元，比去年的 860.7 万美元增长 50.8%。亚洲市场主要是受日本市场的拉动；欧洲 32 个国家，出口额 1,074.5 万美元，比 2016 年的 1293 万美元减少 20.3%；北美 2 个国家约 510.6 万美元，南美 25 个国家，114.6 万美元，澳洲 5 个国家 57.8 万美元，非洲 21 个国家，533 万美元。

国内自营出口量较大的企业有上海致远绿色能源股份有限公司，出口额为 17,092,011 美元，约合 1.1 亿元人民币，致远一家出口量就占整个海关出口总额的 55.1% 的份额；其次安徽蜂鸟电机有限公司 778,655 美元，约合 498 万多元人民币。

从近几年海关总署数据和企业统计数据比较表明，中小风电产品出口正在向优势企业集中。

二、产业发展特征

根据行业数据统计结果进行的分析认为。2017 年本行业的发展呈现以下特征。

1. 产业产值继续下降，生产更加集中

从 2017 年中小型风能设备制造行业统计数据可以看出，整个行业的发展指标再次下滑，迫使转产企业数目继续扩大，转产是本行企业维持生存的一项必要手段，一旦条件成熟他们会继续组织生产，参与市场竞争。在减少了恶性竞争的前提下，产品生产力更是集中到了少数能力较强的企业，产品更凸显出其内在质量和品牌效应。

2. 强者恒强，各有方略

2017 年，中小风能设备行业的发展形成了强者恒强的态势。能力较强的公司在产品质量把控、技术研发投入、开创市场能力等方面都显示出其各自的经营方略。

其中上海致远成为中小风电行业的翘楚，除了在技术研发中不断进行投入和产品技术改进外，品牌效应突出，市场开拓也取得很大进步。2017年已经有三款产品获得日本 Class NK 国际认证，另有一个型号的产品获得了北美 CWCC、CSA 和 ETL 国际认证，两个产品获得了意大利 CEI 和 CE 认证；产品出货量达到 270 多台，功率为 4400 多千瓦；前后开辟了日本、意大利、加拿大等多国市场，在整个行业中业绩优秀，发展后劲强劲，为企业的发展奠定了坚实基础。

南京欧陆 2017 年有不俗表现，全年出货数量超过 3 万台，在行业中出货数量最大。在保持了内蒙古“送电工程”较大市场份额之外，也把目光投向国际市场，业绩持续增长。2017 年 6 月，“欧陆电气”实现在国内“新三板”挂牌上市，在行业中树立了榜样。与此同时，呼和浩特博洋公司在内蒙古“送电工程”招标中也取得不俗的成绩。

青岛安华变桨距风力发电机组质量优势进步明显，2017 年进入日本市场，其中有一款产品已获得了日本 ClassNK 认证，还有两款产品正在日本进行测试，有希望获得新的认证。而在丹麦、意大利、德国、波兰、澳大利亚、新西兰等市场也较好表。

新高能源科技（昆山）有限公司在四年前就投到日本这个潜在市场，同期开始进行布局，在过硬质量的支撑下，DS3000 机组获得日本 ClassNK 产品认证，轻松取得日本市场青睐。2017 年迎来了收获的季节。

3. 国内以分布式应用为切入点，已开始星点布局

可再生能源以分布式发展应用的形式，得到国家重点发文支持，形成新型能源发展的方向，光伏占据重要地位。2017 年，国内中小风能设备的应用已开始星点布局，但在国内市场中安装应用的风电分布式设备的大部分项目还都是以试验为主，成规模的应用远没到来。光伏分布式应用对中小风电形成覆盖，进而把风电设备作为多能互补的补充能源利用。

4. 内蒙古和移动基站，招标项目犹存

内蒙古“送电工程”和通讯基站是小型风力发电机组的传统市场，2017 年内蒙古东

西两个地区延续了项目的招投标而数量不减；移动通讯基地的招投标同样在小型风力发电设备方面给予关照，虽然数量在光伏的冲击下不断减少，但项目犹存。这两个传统市场领域的存在为国内小型风电的发展撑起一块天地。让人忧虑的是风光互补路灯项目的逐渐减少，这是本行业所面临的一大缺憾。

5. 墙内开花，墙外飘香

中小风能设备制造在我国的应用已有 30 多年，而在 40 年的研发历程中，产品技术不断进步，制造业地位在全球得到巩固，现已成为全球中小风电制造大国。但在国内的市场终究处于萎缩状态，而在国际市场上是平稳上升的，形成了“墙内开花墙外香”的局面。国际市场虽也有一定波动，但在全球寻求降低大气污染，减少碳排放，应对温室效应，发展绿色生态和充分、有效利用风能资源的大背景下，局部的利好政策为我国中小风电制造业留出一块发展空间。这是维持我国中小风能设备制造行业生存的根本源泉，靠着这一片天，中小风能设备制造行业才保持了发展的动力。

6. 国际市场要求严苛，促进了企业对标准和质量的强化意识

众所周知，中小风电设备制造企业把目光都投向国际市场，并把国际市场定位于培育自身发展的肥沃土壤。2017 年从各企业了解的情况看，我国产品拿到进入国外市场准入证并非一帆风顺。国际上的产品质量认证要求严苛，任何瑕疵都会被阻揽在一国市场门外。运输中的表皮有磕碰都需要理赔，产品安装的位置公差有一点点儿不符合要求都不能被认可。严苛的质量要求促进了我国制造企业对产品质量的设计高度和加工精度，并迫使我国制造商花大力气把产品质量做强。过去企业对产品标准并不太重视，2017 年就有不少企业在按照国际标准要求进行生产制造和测试，这种自觉促使自身强化产品质量的意识是前所未有的推动。

为配合国内中小风电产品有标准可依，2017 年我国颁布了四项中小型风力发电机组新的国家标准，分别为《GB/T 17646-2017 小型风力发电机组》，是同等采用 IEC61400-2 ed3，替代 GB/T 17646-2013 版本；《GB/T 10760.1-2017 小型风力发电机组用发电机 第 1

部分：技术条件》和《GB/T 10760.2-2017 小型风力发电机组用发电机 第 1 部分：试验方法》，替代 GB/T 10760.1/2-2003；还有《GB/T 34521-2017 小型风力发电机组用控制器》。

同时我国新颁布的《GB/T33593-2017 分布式电源并网技术要求》《GB/T33592-2017 分布式电源并网运行控制规范》和《GB/T34129-2007 微电网接入配电网测试规范》对中小风能设备制造企业参与开展分布式电源项目的建设具有指导意义。

三、2018 年市场预测

国际市场需求依然强劲，客户对风力发电机组供应商的选择越来越慎重，越来越严苛。尤其是日本市场，在清洁、安全用能的驱动下，需求在不断增加。但据了解，日本政府 2018 年的补贴力度将有所减少，补贴标准可能会从 55 日元/千瓦时降至 25 日元/千瓦时，这对销往日本的产品会构成一定压力，对亚洲市场的拉动将会减小力度。国际市场上，一直以来其政策都是在变动的，与我国在可再生能源发展政策是一致的。但总趋势是向上发展的。国内大部分企业对国际市场仍然看好。

从近几年国内市场发展动态来看，政府在中小风电产业方面不会有太多利好政策。2018 年，我国在内蒙古市场和通讯基站项目会保持依旧，在风光互补路灯建设方面不会有多大进展。在分布式电站领域的应用前景是被看好的，就 2018 年初的一些正面消息上看让本行业眼前一亮，有了解中小风电情况的，也有寻求合作的，这是往年没有过的看点。但行业生产能力过剩，真正的需求有限，供货商之间的竞争仍异常激烈，雷声大雨点小的结局可能会随时发生，企业不必为其抱有过大期望值。

不论哪个行业都有其自然发展法则，而市场是消费者的话语权更大些，消费者订出的规则看起来有霸气的一面。用行业中人士的一句名言来概括：“无论哪个行业，老手都在求质量，新手都在拼价格，专业的现在越来越贵了，如果你问的价格很便宜，不是捡到便宜了，而是你被新手练手了。”但愿 2018 年，这种情况有所改变，行业会有健康的发展。

国家电网关于促进分布式电源并网管理工作的意见

一、总则

1、为深入贯彻落实公司“四个服务”要求，促进分布式电源加快发展，完善分布式电源并网管理，提高并网服务水平，制定本意见。

2、本意见在《国家电网公司关于做好分布式电源并网服务工作的意见》基础上，明确分布式电源并网全过程管理的职责分工、流程衔接和工作要求。

3、国家电网公司所属各相关单位应按照本意见开展相关工作。

二、适用范围

4、本意见所指分布式电源，是指在用户所在场地或附近建设安装、运行方式以用户侧自发自用为主、多余电量上网，且在配电网系统平衡调节为特征的发电设施或有电力输出的能量综合梯级利用多联供设施。包括太阳能、天然气、生物质能、风能、地热能、海洋能、资源综合利用发电(含煤矿瓦斯发电)等。

5、本意见适用于以下两种类型分布式电源(不含小水电)：

第一类：10千伏及以下电压等级接入，且单个并网点总装机容量不超过6兆瓦的分布式电源。

第二类：35千伏电压等级接入，年自发自用电量大于50%的分布式电源；或10千伏电压等级接入且单个并网点总装机容量超过6兆瓦，年自发自用电量大于50%的分布式电源。

6、接入点为公共连接点(附件1)、发电量全部上网的发电项目，小水电，除第一、二类以外的分布式电源项目，本着简便高效原则做好并网服务，执行公司常规电源相关管理规定。

三、接入申请受理

7.地市或县级公司营销部(客户服务中心)负责受理分布式电源(附件 2)接入申请,协助项目业主填写接入申请表(附件 3),接收相关支持性文件和资料。

8.地市公司营销部(客户服务中心)负责将接入申请资料存档,报地市公司发展部。地市公司发展部通知地市经研所(直辖市公司为经研院,下同)制订接入系统方案。工作时限为 2 个工作日。

四、接入系统方案确定

9.地市经研所负责研究制订接入系统方案。接入系统研究内容深度按国家和公司有关要求(附件 4)执行,参考《分布式电源接入系统典型设计》。工作时限第一类项目为 30 个(其中分布式光伏发电单点并网项目 10 个工作日,多点并网项目 20 个)工作日,第二类项目为 50 个工作日。

10.地市公司营销部(客户服务中心)负责组织相关部门审定 380 伏接入项目接入系统方案,出具评审意见。工作时限为 5 个工作日。

11.地市公司发展部负责组织相关部门审定 35 千伏、10 千伏接入项目(对于多点并网项目,至少一个并网点为 35 千伏、10 千伏接入)接入系统方案,出具评审意见和接入电网意见函。工作时限为 5 个工作日。

12.地市或县级公司营销部(客户服务中心)负责将 380 伏接入项目的接入系统方案确认单(附件 5),或 35 千伏、10 千伏接入项目的接入系统方案确认单(附件 5)、接入电网意见函(附件 6)告知项目业主,工作时限为 3 个工作日。负责受理并安排接入系统方案咨询。

13.380 伏接入项目,项目业主确认接入系统方案后,营销部负责将接入系统方案确认单及时抄送地市公司发展部、财务部、运检部。项目业主根据确认的接入系统方案开展项目核准(或备案)和工程建设等工作。

14.35 千伏、10 千伏接入项目,项目业主确认接入系统方案后,地市公司发展部负

责将接入系统方案确认单、接入电网意见函，及时抄送地市公司财务部、运检部、营销部、调控中心、信通公司，并报省公司发展部备案。项目业主根据接入电网意见函开展项目核准(或备案)和工程设计等工作。

15.公司为自然人分布式光伏发电项目提供项目备案服务。对于自然人利用自有住宅及其住宅区域内建设的分布式光伏发电项目，地市公司发展部收到项目接入系统方案确认单后，根据当地能源主管部门项目备案管理办法，按月集中代自然人项目业主向当地能源主管部门进行项目备案，备案文件抄送地市公司财务部。

五、接入系统工程建设

16.地市(县)公司负责公共电网改造工程建设(包括随公共电网线路架设的通信光缆及相应公共电网变电站通信设备改造等)。

17.公司为公共电网改造工程建设开辟绿色通道(附件 7)。

18.35 千伏、10 千伏接入项目，项目业主在项目核准(或备案)后、在接入系统工程施工前，将接入系统工程设计相关资料(附件 8)提交地市或县级公司营销部(客户服务中心)。地市公司营销部(客户服务中心)负责将接入系统工程设计相关资料存档，组织发展部、运检部、调控中心等部门(单位)审查接入系统工程设计，出具答复意见(附件 9)并告知项目业主、抄送调控中心，工作时限为 10 个工作日。项目业主根据答复意见开展接入系统工程建设等后续工作。若审查不通过，提出修改方案。

六、并网验收与调试

19.地市或县级公司营销部(客户服务中心)负责受理项目业主并网验收及并网调试申请，协助项目业主填写并网验收及并网调试申请表(附件 10)，接收相关资料(附件 11)。

20.地市公司营销部(客户服务中心)负责并网验收及并网调试申请资料存档，并报地市公司财务部、调控中心、运检部。工作时限为 2 个工作日。

21.并网验收及并网调试申请受理后，地市公司营销部(客户服务中心)负责安装关口计量和发电量计量装置。工作时限为 8 个工作日。

22.并网验收及并网调试申请受理后，380 伏接入项目，地市公司营销部(客户服务中心)负责办理与项目业主(或电力用户)关于购售电、供用电和调度方面的合同签订工作，签订的合同抄送地市公司财务部、调控中心，报省公司交易中心备案。35 千伏、10 千伏接入项目，购售电合同与调度协议同步签署，地市公司营销部(客户服务中心)商调控中心确定签署日期，地市公司营销部(客户服务中心)负责办理与项目业主(或电力用户)关于购售电和供用电方面的合同签订工作，签订的合同抄送地市公司财务部，报省公司交易中心备案，地市公司调控中心负责办理与项目业主(或电力用户)关于调度协议方面的签订工作。工作时限为 8 个工作日。

23.电能计量装置安装、合同与协议签订完毕后，380 伏接入项目，地市公司营销部(客户服务中心)负责组织相关部门开展项目并网验收及并网调试，出具并网验收意见(附件 12)，并网调试通过后直接转入并网运行。35 千伏、10 千伏接入项目，地市公司调控中心负责组织相关部门开展项目并网验收工作，出具并网验收意见(附件 12)，开展并网调试有关工作，调试通过后直接转入并网运行。若验收或调试不合格，提出整改方案。工作时限为 10 个工作日。

24.分布式电源涉网设备，应按照并网调度协议约定，纳入地市公司调控中心调度管理。分布式电源并网点开关(属用户资产)的倒闸操作，须经地市公司和项目方人员共同确认后，由地市公司相关部门许可。其中，35 千伏、10 千伏接入项目，由地市公司调控中心确认和许可;380 伏接入项目，由地市公司营销部(客户服务中心)确认和许可。

七、国家补贴资金管理

25.地市或县级公司财务部门每年 9 月 30 日前，负责将属地下年度可再生能源补助资金年度预算报送省公司财务部门。省公司财务部门审核汇总后于每年 10 月 10 日前报总部财务部。

26.公司总部财务部负责按季向财政部请求拨付补助资金，并在收到财政部拨付补助资金后，及时拨付给省公司。省公司财务部收到资金后及时拨付地市或县级公司。地市

或县级公司财务部门负责在收到补助资金后，按照结算周期及时向项目业主(或电力用户)支付补助资金。

八、并网信息管理

27.发展部(公司新能源和分布式电源领导小组办公室)负责分布式电源并网信息归口管理(附件 13)。

九、并网咨询服务

28.营销部(客户服务中心)负责分布式电源并网咨询服务(附件 14)归口管理，提供并网咨询服务包括 95598 服务热线、网上营业厅、地市和县公司营销部(客户服务中心)。

(来源：2018-02-02 北京国际能源专家俱乐部 摘编自：国家电网)

孤岛运行模式下的低压微电网控制策略

□ 文/盛德刚、徐运兵、王晓丹、徐大可 南京大全电气研究院有限公司

摘要：该文采用了主从控制方式对多微源低压微电网进行控制，以提高微电网的供电可靠性。微电网孤岛运行下，源荷平衡策略首先保证重要负荷不断电运行；其次，在微源状态允许的情况下，尽量保证负荷少停电。使用 MATLAB 建立仿真模型，通过对孤岛模式下投切负荷等情况进行仿真分析，验证了低压孤岛微电网下所设计控制策略的可靠性及有效性。

近年来随着能源与环保问题的日益突出，微电网技术受到人们越来越多的关注。微电网系统由分布式电源（Distributed Generation, DG）、储能系统、能量转换装置以及负荷等组成。其中 DG 既可以包含光伏电池、燃料电池等静止型电源，又可以包含风力发电机、微型燃气轮机等旋转型电源^[1-2]。

微电网处于孤岛状态时，每个微电源需快速响应用电侧需求并实时反映微电网运行情况、自主实现并网切换，是微电网控制的重点和难点^[3-5]。为此，国内外的学者进行了大量的研究。

文献^[6]建立了微电网基础模型，提出了储能系统与微电网电源协调控制策略，对并网运行和孤岛运行状态进行了仿真分析，但未对 DG 的随机性与间歇性问题提出解决方案。

文献^[7]介绍了基于小型屋顶光伏的微电网的实现方法，设计了稳定可靠的主从型微电网系统，具有很好的推广价值，但未涉及多种微源并列运行的情况。文献^[8]研究了微电网在孤岛模式下 DG 和储能系统的协调控制策略，但未涉及 DG、储能系统与负荷的互动控制。

并网运行模式下，微电网系统对微源的可靠性要求不高；孤岛运行模式下，则需要

依靠可靠的 DG 和储能系统来保证微电网平稳运行。为此，本文以风光储多种微源低压微电网作为研究对象，采用基于主从控制的源荷平衡控制策略，确保在孤岛运行模式下微电网功率保持平衡、电压和频率保持稳定。

通过 MATLAB 建立微电网模型，仿真结果验证了低压微电网在孤岛运行模式下，采用该控制策略的可行性和有效性。

1. 低压微电网的系统组成

本文的研究对象是风光储低压微电网系统，该系统如图 1 所示。

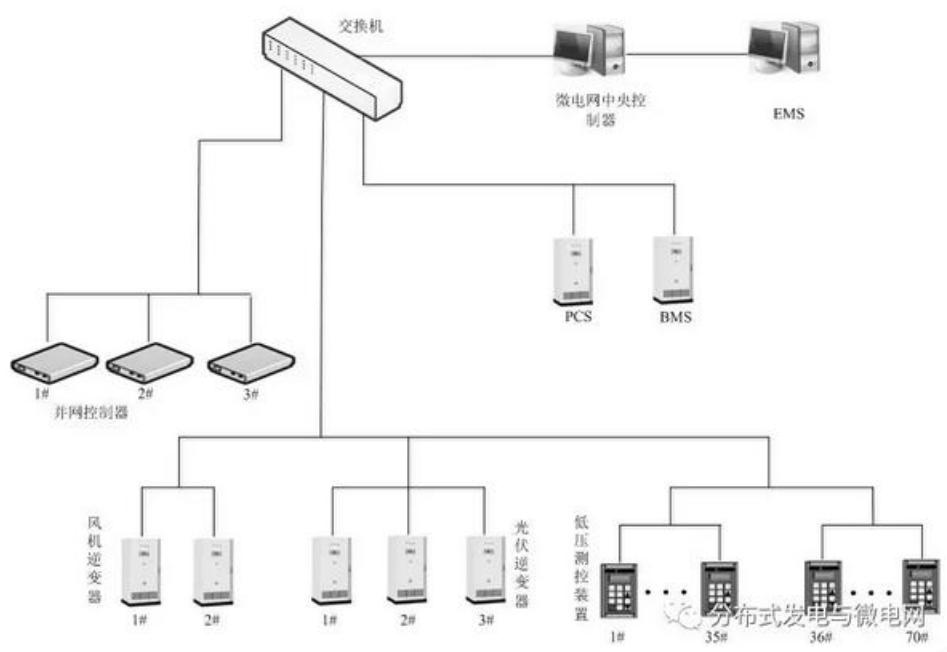


图 1: 低压微电网系统图

微电网系统由风机、光伏电源、储能电池、变流器、负荷、配电网控制系统等组成。发电侧包含风机、光伏电源、储能电池等，通过变流器将微源的输出转换为满足并网条件的电能；用电侧根据负荷优先级的不同，分为重要负荷与可控负荷。

为了能与配电网友好融合，微电网包含三个层级的控制系统，即配网级的能量管理系统（EMS）、微电网级的微电网中央控制器（Micro Grid Central Controller, MGCC）单元级的微源和负荷的就地控制器，三者互为联系协调配合，保障微电网稳定运行。

微源控制器包含在逆变器中，将微源的运行状况实时地送往 MGCC；负荷控制器为低压测控装置，一方面可将负荷用电情况送往 MGCC，另一方面可根据 MGCC 的指令投切负荷；MGCC 根据单元级控制系统上送的电气信息对微电网进行统一协调控制，同时接收 EMS 下发的调控指令。

另一方面，微电网的运行与各微源特性、负荷特性密切相关，为了平抑 DG 的出力波动以及负荷的需求波动，对储能系统进行有效的能量管理至关重要。同时，微电网的孤岛运行亟需解决电压和频率的管理、微源和负荷的平衡等问题，因此，需要可靠的储能系统充放电策略和源荷协调控制策略保证微电网的平稳运行。

2. 孤岛模式下低压微电网的控制策略

2.1 微源控制策略

光伏、风力机、储能电池等 DG 经过电能变换装置接入微电网，其基本控制方法包括 V/f（恒压/恒频）控制、PQ（恒功率）控制和 Droop（下垂）控制等[9]。

恒压/恒频控制的微源输出恒定的频率和电压，为微电网系统提供频率和电压的参考，孤岛运行模式下的微电网常采用该控制方法；恒功率控制的微源依据给定的功率参考值输出恒定的有功功率和无功功率；下垂控制的微源模拟发电机出口特性，电压和频率根据检测到的有功功率和无功功率来调节，最终使各 DG 合理分配负荷。微电网处于不同的运行状态时，可采取不同的控制策略。

微电网的运行控制除了发电侧的 DG 控制，还包括系统级的多微源协同控制，其基本控制方法为主从控制、对等控制、分层控制模式。

微电网处于孤岛状态时，其中一个微源采取 V/f 控制（称为主微源），为微电网系统提供电压和频率参考，其他微源采用恒功率控制（称为从微源），该控制方法即为主从控制。

对等控制的微电网中各 DG 在控制上具有同等的地位，不存在主从之分，按照预先设定的功率调节方案根据本地信息自主控制。

分层控制一般设有 MGCC，MGCC 首先对微电网内的微源和负荷进行预测，然后拟定运行计划，并根据采集的网内电气量对运行计划实时调整，保证微电网的稳定运行。

综上所述，低压微电网对经济性、稳定性等要求较高，主从控制在通信的实时性、系统级别的统筹控制上有较大优势，因而本文选择以主从控制方式搭建微电网模型进行控制策略研究。

2.2 储能系统充放电策略

储能系统是微电网的重要组成部分。光伏、风机等 DG 的输出功率难以满足微电网对供电质量以及供电可靠性的要求，为保证微电网正常运行，通常会配置一定容量的储能电池作为补充。根据微电网规划架构中储能系统的需求，本文选择锂电池作为微电网储能系统的主要研究对象。

对于锂电池而言，不能无限制的充电或放电，完善电池充放电控制策略以减少充放电次数可有效增加电池寿命[10]。本章提出一种针对锂电池充放电的控制策略，以实现孤岛运行下低压微电网的稳定运行。

1) 电池充放电切换问题分析

①当微电网系统电能过剩时，需要储能系统吸收电能。当电池剩余电量（State of Charge, SOC）较小时，由电池管理系统（Battery Management System, BMS）加大充电倍率，提高充电效率；当电池 SOC 较大时，BMS 则减小充电倍率。

②当微电网系统电能不足时，需要储能系统提供电能。当电池 SOC 较大时，由 BMS 加大放电倍率，快速向微电网补充电能；当电池 SOC 较小时，BMS 则减小放电倍率。

2) 孤岛微电网中电池的充放电策略

储能系统充放电控制策略在风光储多微源低压微电网控制中有着重要作用，极大改善了微电网的稳定性与可靠性。

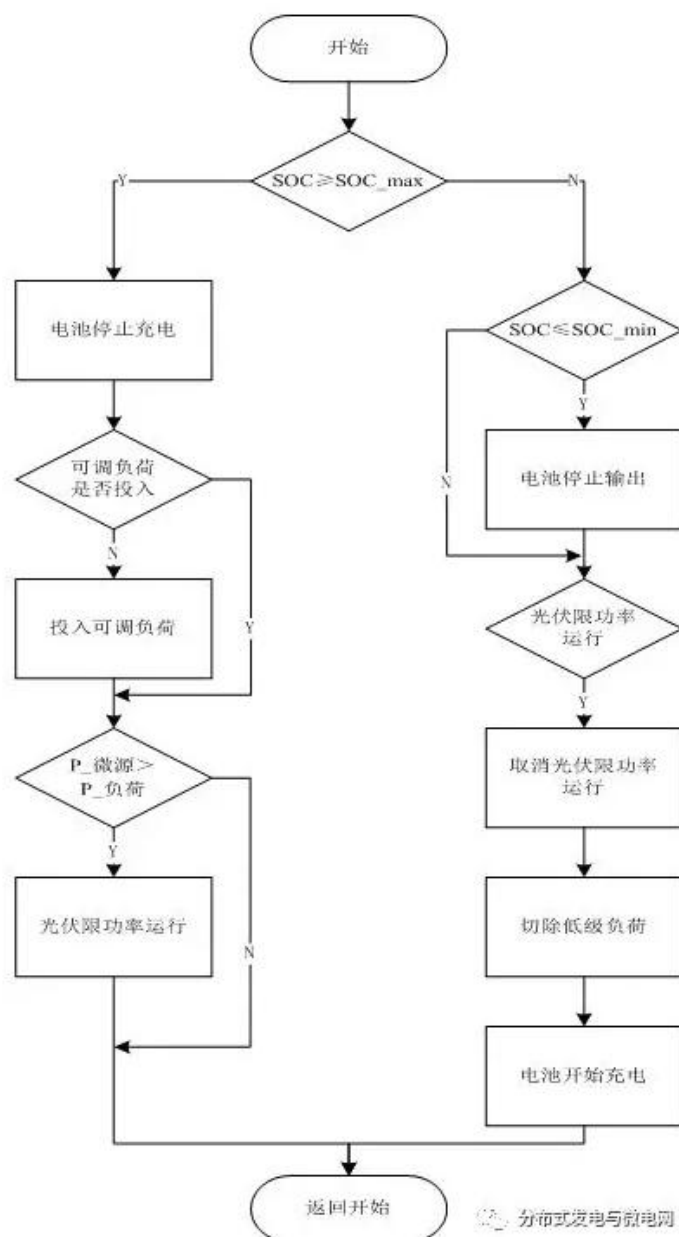


图 2：孤岛模式储能系统充放电控制策略流程图

2.3 微电网源荷协调控制策略

微电网中的电源与负荷具有多样性和分散性的特点，其空间分布广泛，动态特性各异。但总体来看，各 DG 又具有一定的互补性。通过多源互补可弥补单一 DG 的随机性与间歇性问题，从而增强微电网的自主调节能力，减少系统备用容量，有效提高可再生能源的利用率。

微电网不仅发电侧的微源可控，用电侧的负荷也可调节。微电网的源荷协调运行是将微电网用电侧的可控负荷参与到微电网有功功率的调节中，实现用电侧与发电侧之间的协调运行，以应对微电网中 DG 的间歇性问题，达到微电网内资源的优化配置。

与自发的无序运行不同，微电网源荷协调运行具有有效的约束机制，以微电网系统优化可靠运行为总体目标并遵循微电网内部相关策略，实现微电网用电侧与发电侧的良性有序协调运行。

作为电力系统的需求方，负荷的动态特性对微电网的稳定性有着不可忽略的影响。对于微电网的供电可靠性，不同负荷因为优先级的不同对供电可靠性要求也有所不同。对于重要负荷，保证其不断电；对于可控负荷，微源条件允许的情况下，保证其少断电，即实现断电时间最少和断电次数最少。

微电网孤岛运行时，控制策略的选用主要考虑在微电网持续稳定运行的情况下，如何保证重要负荷不断电、可控负荷少断电。微电网实施源荷平衡的过程主要包括：

- ①通过测控装置实时采集全微电网的电气量，包括功率因数、电压、电流以及频率；
- ②根据采集到的电气量判断微电网是否源荷平衡；
- ③若网内源荷平衡，转到①；若网内源荷失衡，计算失衡量，转到④；
- ④判断储能系统剩余电量是否低于最小剩余电量；
- ⑤若储能系统剩余电量大于最小剩余电量，转到⑥，否则转到⑨；
- ⑥根据③中计算所得的源荷失衡量调节储能系统出力；
- ⑦根据采集到的电气量判断微电网是否源荷平衡；
- ⑧若网内源荷平衡，转到①；若网内源荷失衡，计算失衡量，转到⑨；
- ⑨根据计算所得的失衡量投切负荷；转到②。

根据上述控制策略对孤岛状态下的低压微电网的微源和负荷进行统一协调控制，不仅可以有效提高各微源的利用效率，还能提高微电网的供电可靠性，减小平均停电损失。

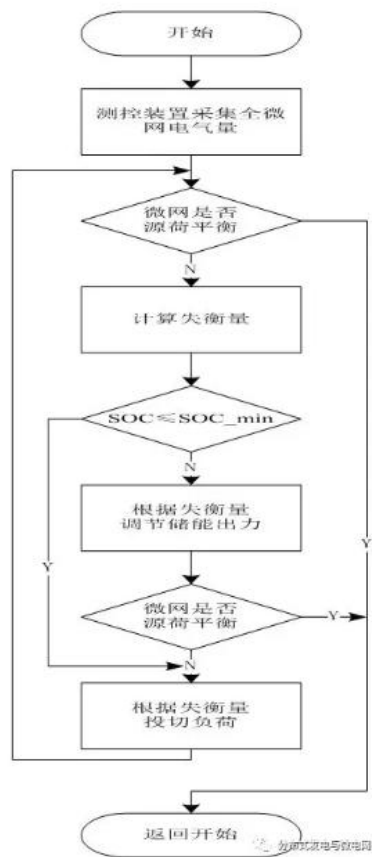


图 3：孤岛模式下低压微电网源荷平衡流程图

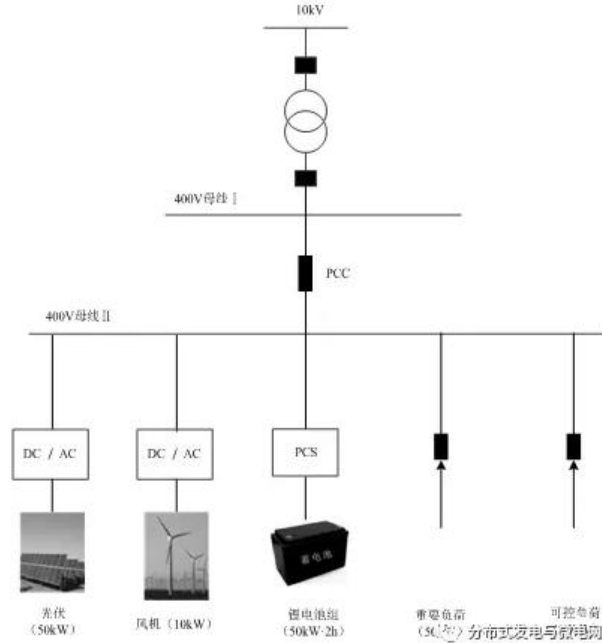


图 4：风光储微电网主接线示意图

如图 4 所示风光储微电网，包含光伏 50kW、风机 10kW、锂电池组 50kW、重要负荷 50kW、可控负荷 60kW。当 PCC 开关断开，微电网处于孤岛状态时，根据本文所述控制策略，以锂电池组作为主微源，以 V/f 控制模式运行，为微电网提供电压和频率参考，其余 DG 为从微源，以 PQ 控制模式运行。

当光伏电源出力发生波动，由 50kW 突降为 30kW 时，MGCC 根据监测到的电气量计算功率失衡量，并将结果下发至储能系统，若锂电池组容量足以补充 20kW 的功率差额，则储能系统增加 20kW 出力；若锂电池组不具备增加出力的条件（SOC < SOCmin）或增加的出力不足以补充功率差额，则由 MGCC 计算功率失衡量，统一调配锂电池组出力并切断部分可控负荷。

3. 算例仿真

基于上述微电网运行方案和控制策略，搭建了含光伏、风机、储能及负荷的微电网 MATLAB 电磁暂态模型。微电网仿真模型系统如图 5 所示：

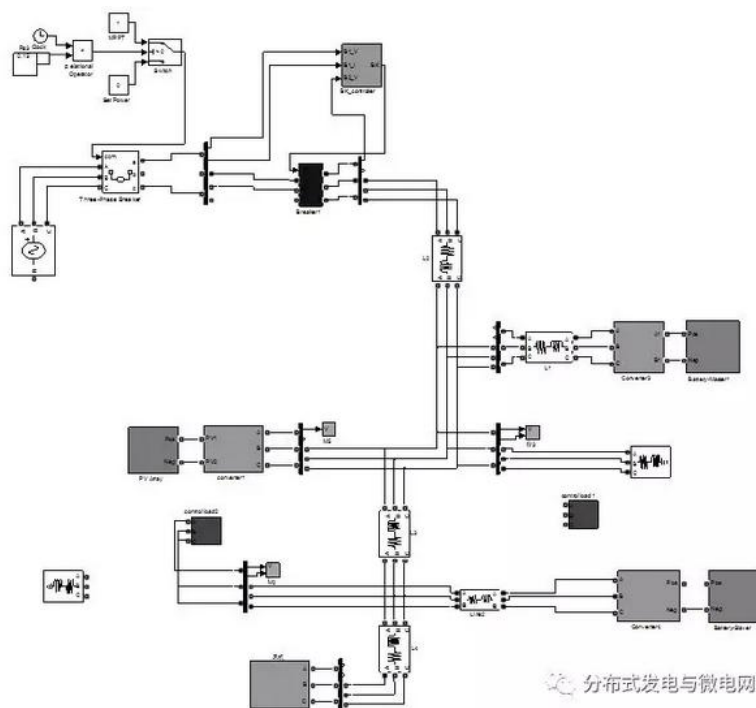


图 5：微电网系统仿真示意图

仿真模型中，光伏最大功率设为 45kW，风机为 5kW，主储能采用锂电池组，容量为 14000Ah，PCS 额定容量为 50kW；从储能锂电池容量为 100000Ah，PCS 额定容量为 50kW；重要负荷 30kW，可控负荷 1 为 50kW，可控负荷 2 为 20kW。仿真参数为：求解器 ode23tb，求解步长：50us。

测试步骤：

- 1) 初始状态下，光伏、风机满发，从储能浮充，主储能作为主电源提供稳定的电压及频率，敏感负荷投入 30kW，可控负荷 1 投入，共 80kW；
- 2) 0.06s 后启动 MGCC，从储能运行于 PQ 控制，按照上层 EMS 的指令放电（5kW）；
- 3) 0.16s 后敏感负荷增加 35kW，整体仿真波形如图 6 所示：

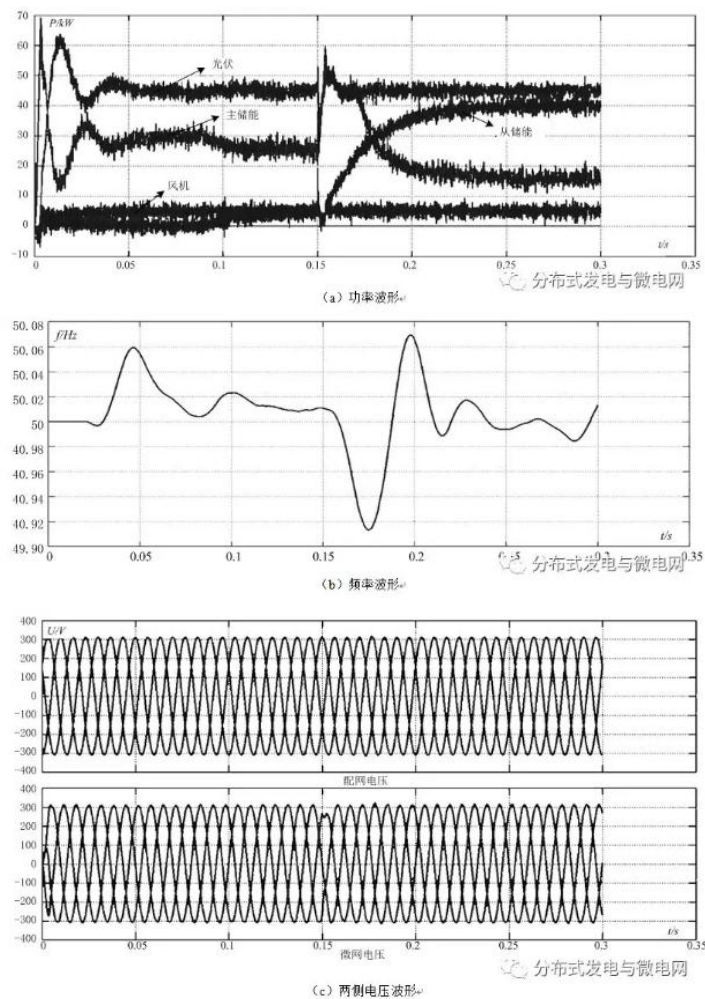


图 6：微电网仿真波形

从图 6 中可以看出，0.16s 突增负荷后，由于主电源的输出功率接近额定容量，影响了孤岛微电网运行的可靠性，因此 MGCC 采取切负荷的策略，切负荷数量及从储能的功率支持如图 7 所示，从这两张图可知，整个控制过程较为平稳，可控负荷总量少了 10kW，从储能尽可能输出最大功率以支持主电源，最终保持孤岛微电网的稳定运行。

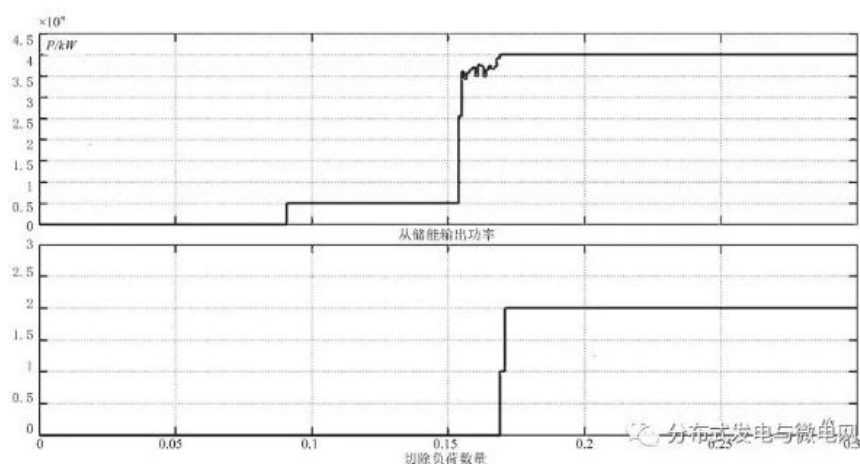


图 7：切负荷过程

4. 结论

对微电网内的发电侧与用电侧特性进行分析，风光发电由于其自身出力的随机性与间歇性，增加了微电网运行的复杂度，降低了微电网运行的可靠性。同时，对于用电侧而言，负荷的动态特性各异和重要程度有别，减少微电网用户停电损失的难度较大。

针对这些问题，提出储能系统充放电策略以及微电网源荷协调控制策略，以储能系统为主电源，采用 V/f 方式控制，其余各微源全部采用 PQ 控制，实现微电网中的源源互动、源荷互动，完成 DG、负荷、储能的全局优化分配及安全可靠运行。

本文使用 MATLAB 搭建了低压微电网模型，并对其进行仿真分析，仿真结果表明，微电网系统能够有序地进行增减储能系统出力以及投切负荷。在微电网孤岛运行过程中，系统的电压和频率始终处于合格范围内并保持较小波动。对储能系统充放电策略和微电网源荷协调控制策略提高了低压微电网在孤岛模式下的稳定性与可靠性进行了有效验证。（来源：分布式发电与微电网 摘编：《电气技术》2018 年第 1 期）

主动配电网中分布式发电系统接入技术研究及其进展

摘要：大量分布式可再生能源的接入给现代配电网的运行控制带来了巨大的挑战。主动配电网是智能配电网技术发展的高级阶段,是内部具有大量分布式电源,具有主动控制和运行能力的有源配电网,其核心是解决配电网中分布式电源接入消纳问题。针对分布式电源的特点,结合主动配电网的定义及其特征,从分布式发电系统接入电网的拓扑方式、控制策略方面,分析总结了配电网下分布式电源接入并参与电网运行关键问题与技术,并对未来的研究方向进行了探讨和展望。

关键词：配电网、可再生能源、分布式发电、控制策略、拓扑方式

电能的低碳化生产和利用已成为未来电网发展方向，大力发展分布式电源(Distributed Generation, DG)尤其是可再生能源已经成为必然的选择。根据国家能源局公布的数据，截至2016年第一季度，全国风电累计并网容量达到1.34亿千瓦，累计光伏发电装机容量达到5031万千瓦。

大量风力发电机、光伏等分布式可再生能源在配电网中的涌现，在带来巨大的经济效益和环境效益的同时，由于其随机、间歇、波动、难以控制的特点，也对其接入的配电网运行控制提出了挑战。如何确保大量分布式电源安全可靠地接入配电网，是一个极具挑战性的课题。

目前，为了应对高渗透率、大规模分布式可再生能源的接入，国内外已经深入开展了主动配电网技术研究及示范工程建设^[1,2]。文献^[3,4]针对配电网面临的问题，进一步阐述了主动配电网ADN(Active Distribution Network)的核心技术，从电网侧角度提出了主动规划、主动管理、主动控制与主动服务理念，强调分布式电源与配电网之间的有机协调。

ADN 为欧盟 FP6 项目资助下的开展较早的示范工程。该示范工程利用电力电子技术、自动化及通信等技术实现了对大规模接入 DG 的配电网进行主动管理，主要涉及电网侧的保护、电压控制以及基于静态同步补偿器的电能质量控制技术方案。

中国于 2014 年启动了国家高技术研究发展计划课题“主动配电网关键技术研究及示范”的研究，并将在北京、厦门进行示范应用。该示范工程主要技术涉及主动配电网一体化规划、态势感知、安全合环以及基于多时间尺度递进的协调优化调度等技术，目前正处于示范工程实施阶段。

具有可控可调的分布式电源是主动配电网的重要特征之一，主动配电网是智能配电网未来的发展模式和方向，其主要目的之一旨在解决配电网中分布式电源接入消纳问题，提高电网的绿色能源利用率。

为了解决分布式电源消纳问题，除了电网侧的主动控制和主动管理技术之外，分布式电源也应主动参与和适应电网运行，向智能友好型转变。分布式电源主动参与电网运行的前提是需要经济可靠的硬件系统将其与电网连接，在此基础上还需要灵活的控制策略保证分布式电源安全接入并有效支持电网的安全运行。

风力发电机、光伏等分布式电源需要利用多级电力电子变流装置，通过交直变换、电压变换环节接入到配电网中。由分布式电源和电力电子变流装置构成的分布式发电系统是未来主动配电网中非常重要的响应单元。

由于分布式发电类型不同，其功率输出形式也不尽相同，如光伏电池、燃料电池等输出为直流电，而风力发电机为非工频交流电，因此分布式可再生能源必须通过电力电子装置与电网相连，进行功率的输送。考虑到分布式电源类型、其接入电网电压等级和用户需求等因素，分布式电源接入电网所采用的变换器拓扑、连接方式和控制策略也不完全相同。

目前，针对于分布式电源接入配电网技术开展了深入研究，尤其是并网逆变器的拓扑和控制策略方面^[5,6]，而分布式发电系统并非只有逆变器，其他变换环节涉及的变流器的拓扑和控制方式也各不相同。本文针对分布式电源的特性，分析总结了分布式发电系

统接入配电网运行所涉及的拓扑方式、控制策略技术，并结合已有的研究，对该技术进行探讨和展望。

1、分布式电源及其特点

风力发电、光伏发电等新型发电形式出现在配电网时，不同的国家和地区对于这一新的发电形式称谓并不统一，主要有“嵌入式发电”(Embedded Generation)、“分散式发电”(Dispersed Generation)、“非集中式发电”(Decentralized Generation)几种称谓^[7,8]。

目前，术语“分布式发电”(Distributed Generation)得到了工业界和学术界的广泛接受，由于各国国情和电网特点不同，分布式发电的定义也不尽相同，一般来说，其主要特征为装机规模小，通常发电功率从几千瓦到几十兆瓦之间^[9]，连接在中低压配电网。文献[1]给出了分布式发电的构成，其主要为可再生能源，包括光伏发电、风能发电等。

在我国，国家能源局在“分布式发电管理办法”中定义了分布式发电系统的概念：分布式发电系统是指位于用户附近，不以大规模远距离输送电力为目的，所生产的电力除由用户自用和就近利用外，多余电力送入当地配电网的发电设施、发电系统或有电力输出的能量综合梯级利用多联供系统^[10]。

主动配电网下分布式可再生能源除了提供绿色清洁的能源之外，还可以给电网提供辅助服务。其中包括无功功率补偿、电压和频率支撑、谐波补偿等。DG的无功输出与其并网逆变器容量有关，充分发挥DG的无功补偿能力，有助于提高配电网的运行水平。

文献^[11]通过对光伏逆变器的无功控制改善并网点电压越限情况。此外，电网故障情况下，DG可以通过输出有功功率和无功功率支撑并网点的电压^[12]。对于大电力系统来说，分布式电源对于频率的影响微乎其微。但是在小型孤岛或者微电网中，分布式电源可以承担起频率支撑的角色。

分布式电源可通过其电力电子接口实现谐波补偿功能。其工作原理是通过采样电路测得基波电流，进而求得谐波电流，利用其输出来补偿谐波电流，提高配电网的电能质量^[13]。充分利用分布式电源所能带给电网的辅助服务，不仅可以有效减轻配电网系统负

担，还能提高其运行和控制能力。

2、关键问题与相关技术

目前，我国的配电网还处于快速发展阶段。大量风力发电机、光伏等分布式电源接入配电网后，一方面改变了配电网的潮流分布，其输出波动性导致了电网电压的频繁波动，增大了配电网电压的调节难度；另一方面分布式电源通过电力电子装置接入电网，这些装置的共性是应用脉宽调制技术，加之器件的非线性，会给配电网造成谐波超标和谐振问题，严重时，导致分布式电源的脱网。因此分布式电源的上述特性导致其接入的配电网面临着巨大挑战。

如何保证分布式可再生能源可靠、安全地接入配电网，实现配电网安全、可靠和经济运行，是当前研究的重点。本文从分布式发电系统的拓扑方式、控制策略对分布式可再生能源接入电网运行的关键技术进行分析和探讨。

2.1 分布式电源接入电网拓扑方式

图 1 为一个典型的分布式电源并网系统拓扑图，分布式电源的电能量输出形式主要分为交流和直流。由于风速的变化，风力发电机的输出为非工频交流电，无法直接接入电网，因此风力发电机和输出为直流电的光伏、燃料电池等分布式电源需要通过电力变换系统将能量转变为合格电能接入电网。

一般来说，电力变换系统可以分为 AC-DC、DC-DC 和 DC-AC 三个变换环节。其中 AC-DC 环节针对于风力发电系统，而输出为直流电的光伏、燃料电池等发电系统则不需要该环节。下面分别以风力发电机和光伏为例，介绍它们接入电网的不同拓扑方式。

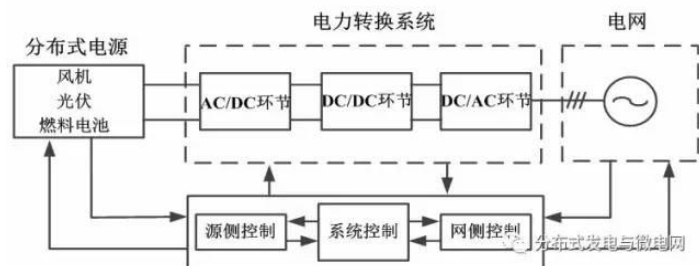


图 1：典型分布式电源并网系统拓扑图

2.1.1 单台分布式电源并网系统

1) 风力发电系统

风力发电机根据转速的不同可分为定速^[14]、限速^[15]和变速风力发电机^[16,17]。不同类型的风力发电机拥有不同的拓扑和发电机类型.目前,变速风力发电机由于其高风能利用效率以及柔性的传动系统成为风力发电的主力机型,主要包括双馈风力发电机(DFIG)和永磁同步风力发电机(PMSG)两种类型。

双馈风力发电机采用异步发电机,其定子侧直接连接电网,转子侧常通过背靠背电压型变流器(AC-DC-DC-AC)接入电网。发电机可通过定子和转子侧的变流器输出功率到电网。其拓扑结构如图 2 所示。

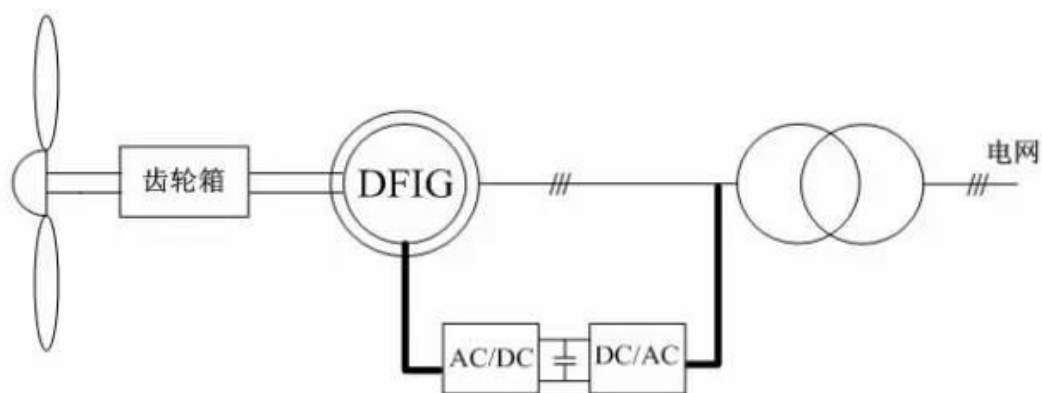


图 2：双馈风力发电系统拓扑图

永磁同步风力发电机的输出为非工频交流电,无法直接接入电网,常常采用整流-逆变的方式。当接入电网的电压等级相对于风力发电机电压输出端较高时,其接入电网可以通过两种拓扑方式。一种拓扑方式是采用背靠背变流器和工频变压器组合的方式来提升其逆变器输出电压,其拓扑图如图 3a 所示。

该方式的优点是电压升高相对容易,缺点是工频变压器体积大、重量重,对于海上风电,会增加海上平台建设费用^[18]。另外一种拓扑方式是在整流和逆变环节中间加入DC-DC变换器实现电压泵生,其拓扑图如图 3b 所示。

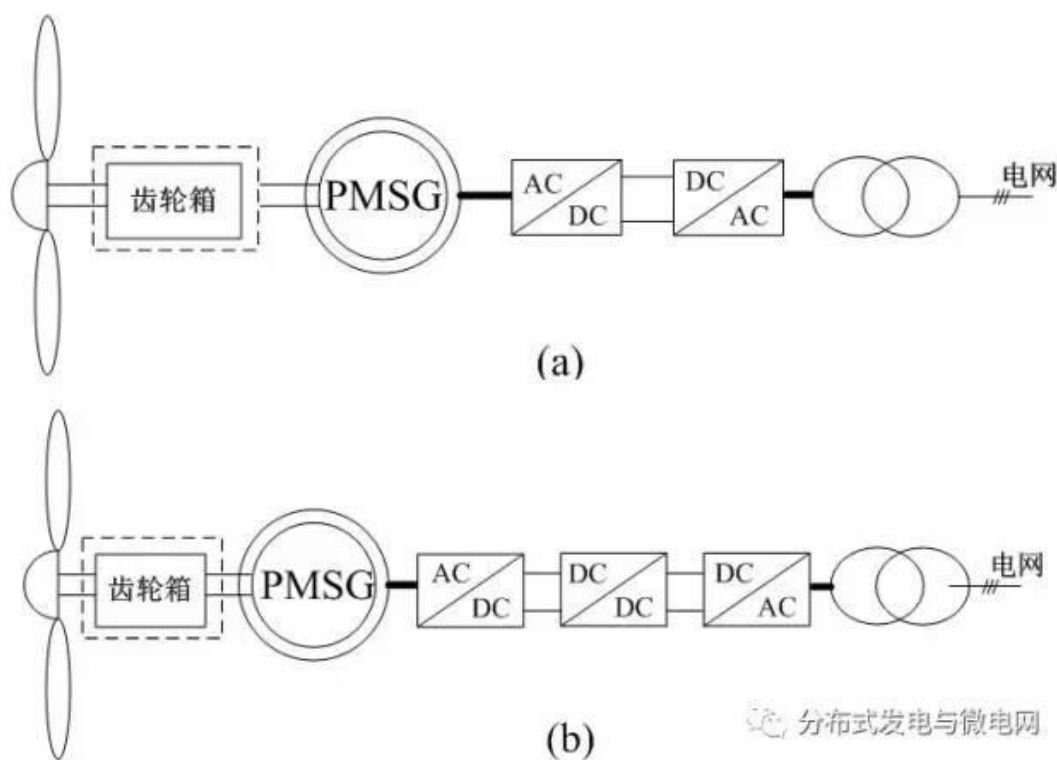


图 3：永磁风力发电系统拓扑图

图 3 中的 AC-DC 环节主要分为可控和不可控整流电路。不可控整流电路中采用的器件为二极管，其优点为拓扑简单、费用低和损耗低，但是会造成发电机的谐波电流和扭矩震动^[19]。可控整流电路器件常采用 IGBT 和晶闸管，由于其控制系统中电流环的存在，发电机中谐波电流含量较低，然而可控整流电路的造价较高，其控制系统较复杂。

DC-DC 环节中常用的变换器主要包括 Boost 变换器、非隔离/高频隔离直流变换器等。传统的 Boost 变换器由于其拓扑和控制简单，常用于小型的风力发电机和光伏系统^[20]。然而受器件特性和输出二极管的反向恢复电流的影响，其电压抬升能力和功率等级有限，无法应用于高电压大功率的系统^[21]。

为克服上述问题，一些文献提出了级联式的 Boost 变换器，但该拓扑增加了元件的数量和控制的难度^[22]。近年来,非隔离/高频隔离直流变换器也引起了大量的关注。

文献^[23]提出一种非隔离谐振变换器用于大型风力发电机接入电网的 DC-DC 环节，其通过中间环节的电容器来提升电压，可获得比较高的电压增益，但其控制方式需采用变

频率方式，增加了滤波器的设计难度。

高频隔离直流变换器采用中间高频变压器来提升电压，具有电气隔离的功能。其根据电路形式，可分为全桥式和半桥式。对于较大功率转换场合，常常采用全桥式的直流变换器。用于风电/光伏等分布式电源的全桥直流变换器主要包括全桥(Full Bridge, FB)变换器，单有源桥式(Single Active Bridge, SAB)变换器和谐振变换器（串联谐振、并联谐振和串并联谐振）。

文献^[24]从不同控制策略角度比较了 FB、SAB 和 LCC 变换器三者的损耗和造价。LCC 谐振变换器虽然具有较高的转换效率，但其相对于前两者增加了电容、电感谐振器件。文献^[25]利用 LCC 变换器电压增益特性与风力发电机电压功率特性相互匹配的原理，设计了基于 LCC 谐振变换器的风电系统。

DC-AC 环节中逆变器根据其直流侧采用的无功器件类型（电容或者电感），可分为电压型逆变器(Voltage Source Inverter, VSI)和电流型逆变器(Current Source Inverter, CSI)。由于 VSI 采用可关断型器件（IGBT 等），可实现有功和无功的解耦，目前分布式电源大多采用电压型逆变器，其拓扑如图 4a 所示。

电流型逆变器可采用不可关断器件（晶闸管）或者可关断器件（IGBT）。晶闸管可用于较大功率逆变器，由于其属于半控型器件，无法实现有功、无功解耦控制。随着电力电子器件技术的发展，基于 IGBT 器件的电流型逆变器受了广泛关注^[26]，其拓扑如图 4b，其同样具有有功和无功的解耦控制。

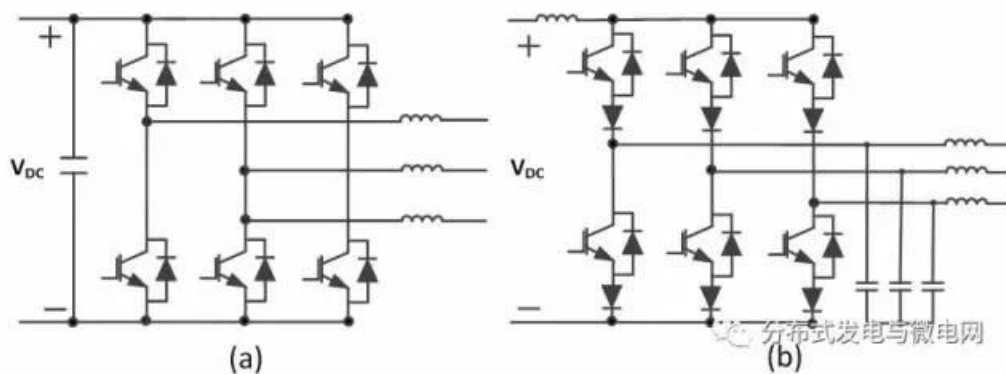


图 4：基于 IGBT 逆变拓扑 (a)电压源型 (b)电流源型

文献^[27]从电路拓扑、器件承受能力、损耗和造价以及动态性能比较了电压型逆变器 and 电流型逆变器的优缺点。上述逆变器常采用两电平脉宽调制，对于高电压大功率并网逆变器，也可采用多电平拓扑用于提高系统的运行性能^[28]。

根据系统容量、造价和控制保护方式的要求，图 3 风力发电系统中不同变换环节采用的拓扑结构及其组合方式各不相同。工程应用方面，对于图 3a 两级式系统，基本拓扑常采用背靠背电压型 PWM 变流器，对于图 3b 三级式系统，整流和逆变部分常采用电压型 PWM 变流器，DC/DC 环节采用 boost 变换器。对于小型风电系统，上述两系统中 AC-DC 环节常采用不控整流。

2) 光伏发电系统

光伏发电并网系统中，太阳能电池板输出为低压直流电，因此其接入电网的方式通常需要通过 DC-DC 环节进行电压泵生，进而通过 DC-AC 环节逆变^[29]。光伏系统中 DC-DC 环节和 DC-AC 环节中变流器的类型与上述风力发电机系统所采用的变换器类型一样，该部分不做过多的讨论。

2.1.2 多台分布式电源发电系统

上述介绍了单台分布式电源接入电网的拓扑结构。对于含多台分布式电源的发电系统，其可以通过分布式电源各自的逆变器或者共用的逆变器并入电网。当分布式电源并入配电网低压侧时，其可通过各自的逆变器并联在该交流低压母线，如果并联处电压较高，还需通过升级变压器进行并联。

当采用共用的逆变器时，不同的发电单元通过直流方式连接到逆变器的直流侧，根据直流汇集方式的不同，拓扑可以分为直流串联和并联。

①串联拓扑结构如图 5 所示，不同的发电单元在直流侧通过串联的方式连接，该拓扑通过串联的方式提高了直流侧的电压，适用于单个发电单元输出电压相对于电网电压较低的情况^[30]。然而当该拓扑中某发电单元发生故障时，系统需要一旁路电路来隔离故障，增加了系统的控制难度和费用。当系统中的发电单元维修时，其接入和去除具有一定的困难。

②并联拓扑结构比较常用，根据直流侧的联结点方式，直流并联可以分为星型和串型^[31]。其拓扑结构如图 6 所示。图 6a 中，不同发电单元通过各自的线路和开关连接到直流母线，当系统故障和维修时，发电单元较容易从系统中增加或者移除，从而提高了系统可靠性。图 6b 中，各个发电单元通过相似的线路以并联串型的方式连接到直流母线。该拓扑的缺点是当某一发电单元发生故障时，位于故障点下游的发电单元则被切除。

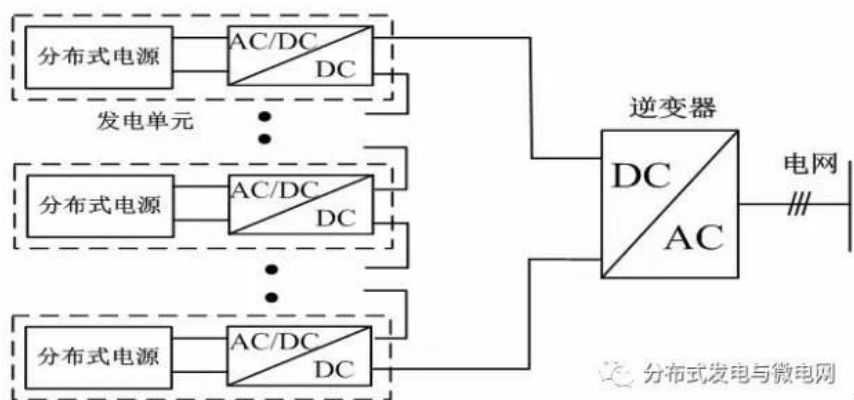


图 5：串联拓扑

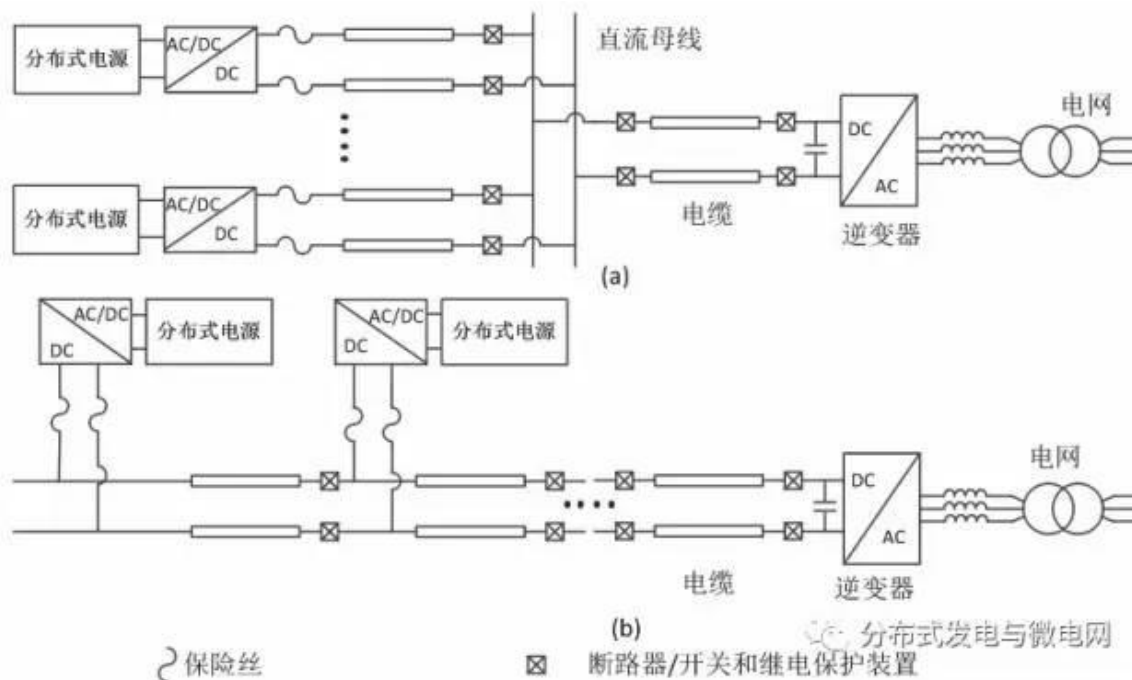


图 6：并联拓扑(a)星型 (b) 串型

2.2 分布式电源发电系统控制策略

控制系统是分布式可再生能源发电系统重要部分。本文根据控制对象的不同，将系统控制分为源侧控制和网侧控制两部分。源侧控制的对象主要针对 AC-DC 和 DC-DC 环节，网侧控制对象指的是并网逆变器。本文将从上述两部分阐释分布式可再生能源发电系统控制策略。

2.2.1 源侧控制策略

源侧控制策略主要涉及分布式可再生能源（风能、太阳能等）最大功率追踪和源侧系统保护等。

1) 一般来说，风力发电（变速风力发电机）和光伏发电常常采用最大功率追踪（Maximum PowerPoint Tracking，MPPT）的方法来获取更多的能量。通常 MPPT 集成在系统的前端 AC-DC 变换环节，当 AC-DC 环节采用不可控整流电路时，系统采用 DC-DC 环节来追踪最大功率。

对于两级式系统，基本拓扑常采用背靠背 PWM 变换器，前端 AC-DC 变换器用来最大功率追踪或者源侧的无功控制，网侧 DC-AC 变换器用来控制直流侧电压和网侧无功。对于三级式系统，当前端 AC-DC 为可控变换器，MPPT 集成在该环节，DC-DC 变换器用来控制其输出电压的恒定。当前端 AC-DC 为不可控变换器时，MPPT 集成在 DC-DC 环节，其输出直流电压由网侧逆变器来控制。

2) 目前风电中最大功率追踪方法主要有功率曲线法^[32]、叶尖速比法^[33]和爬山法^[34]，其中应用较广泛的为前两种方法，它们都需要风力发电机的特性曲线和机械传感器（风速仪和转速传感器），常采用功率和叶尖速比作为控制目标。

文献^[35]提出一种单点功率法用来追踪最大功率，该方法适用于基于 Boost 变换器的风电系统，主要通过风力发电机最大功率曲线某一点的电压和电流之间的关系来计算 Boost 变换器的占空比，不需要机械传感器。爬山法不依赖电源的功率曲线，其原理是给系统一个扰动，待系统稳定后对功率进行采样和比较，然后进行下一次扰动，逐步地向最大功率点趋近。对于大型风力发电机来说，由于其系统惯性较大，该方法的追踪速

度较慢，常用于小型的风电系统。

文献^[36]采取变步长的方式对该方法进行了改善，但是爬山法控制结果是在最大功率点处来回振荡，影响系统的稳定性。光伏发电中最大功率追踪的方法常采用恒定电压法^[37]、导纳增量法^[38]和爬山法^[39]。一些文献也提出了几种改进的方法，如开路电压法和最优梯度法等^[40]。

3) 源侧系统保护主要包括发电机转速保护和前端输入变换器装置保护。风速增加和电网故障都会直接或者间接地导致风力发电机转速增加。为避免转速超过限值，系统常常采用桨距角控制和发电机转矩控制。桨距角控制是利用液压伺服系统来改变桨叶节距角，进而控制风力发电机的转速和功率^[41]。发电机转矩控制利用参考信号转速变量，控制转子电流来控制风力发电机的转速。

由于伺服系统时间常数较大（秒级），桨距角控制反应速度慢于转矩控制^[42]。输入变换器装置保护通常采用增加可控卸荷电路来抑制变换器的输入过电压^[43]。文献^[44]利用变换器控制、直流斩波电路控制以及桨距角控制联合控制方式，实现了多端直流风电系统的输入变换器保护以及转速保护。

2.2.2 网侧控制策略

目前网侧控制策略主要涉及有功控制、无功控制和逆变器直流侧电压控制等，并没有完全考虑分布式电源对于电网的支撑功能。2014年5月，IEEE标准委员会批准了对标准1547TM-2003的修订，主要内容是分布式电源可允许主动参与电网电压、频率调节等，这意味着分布式电源在电网运行中将扮演主动参与的角色，电网可充分利用可再生能源所能提供的辅助服务。

由于分布式电源的类型以及并网控制的目标不同，其需要采取不同的并网控制策略。目前应用较多的是双环控制方式。双环控制系统具有两个控制通道，每个控制通道包括外环控制器和内环控制器。并网控制策略的不同主要体现在逆变器的外环控制。外环控制用于产生内环的参考信号，其动态响应速度较慢。

常用的外环控制方法有恒功率控制、恒压恒频控制和下垂控制。其中恒压恒频控制

方式主要应用于微网孤岛运行模式，其利用分布式电源为微网系统提供电压和频率支撑。内环控制主要针对电流进行调节，其控制系统带宽较大，动态响应较快，用于改善系统的运行性能。文献^[6]详细介绍了并网逆变器的控制原理以及控制器（外环和内环）的典型结构，该部分内容不在此处做过多的讨论。

分布式电源通过网侧逆变器并网运行，在实际的运行中，并网逆变器中电力电子装置的开关运行和非线性会导致配电网并网点谐波问题，其不仅会恶化电网电能质量，严重时会导致逆变器脱网，无法利用可再生能源产生的电能，因此网侧逆变器控制策略需要考虑自身并网运行带来的不利影响。

文献^[45]提出了两相同步旋转坐标系下基于比例-积分-谐振控制器的电压、电流双闭环逆变器控制策略，该方法对指定次谐波具有良好的抑制效果，当谐波频率发生变化时，该方法具有一定的局限性。

文献^[46]提出了一种基于重复 PI 控制的逆变器控制策略来抑制输出电流的周期性扰动。文献^[47]分析比较了两种不同结构的重复控制与 PI 控制相结合控制方法的优缺点，该种复合控制方案可以有效地提高并网逆变器谐波抑制能力，但控制系统相对复杂一些。

文献^[48]提出了一种基于负反馈及奈奎斯特稳定性判据的系统振荡分析方法，利用并网逆变器和电网的宽频阻抗之间的关系来解释谐波电流的产生机理。文献^[49]提出了一种能重塑光伏并网逆变器高频输出阻抗的控制策略来抑制网络内的高频谐波振荡。

基于上述分析，谐波的产生与分布式电源逆变器和配电网都有关系，单单从电网侧角度无法解决问题（如加装滤波器），还需要充分考虑分布式发电侧控制。

此外，目前分布式电源并网标准要求其具有低电压穿越能力，国内外研究学者也对电网故障情况下分布式电源的低电压穿越(Low Voltage Ride Through-LVRT)技术进行了研究。LVRT 指在分布式电源并网点跌落时，分布式电源能够保持并网，甚至向电网提供一定的无功功率，支撑电网电压^[50]，这正体现了分布式电源主动参与的重要性。

由于不同类型分布式电源并网拓扑不同，其对电网电压扰动的抵御能力不同。变速

恒频风力发电机组的主流机型之一双馈感应发电机的拓扑如图 2 所示。DFIG 的定子与电网直接相连，导致机组对于电网电压故障比较敏感，低电压穿越时，需采用主动式或被动式 Crowbar 来抑制风力发电机变换器的过电压和过电流^[51]。

采用永磁直驱同步发电机的变速恒频风力发电机组（拓扑图如图 3）和光伏通过全功率变换器并入电网，由于变换器的隔离作用，其在低电压穿越方面较 DFIG 更具优势^[52]。实现基于全功率变换器的分布式电源的低电压穿越的关键在于维持逆变器直流侧电容电压的稳定^[53]。

当电网电压骤降时，分布式电源产生的电能无法全部送出，导致了直流侧电压的抬升，传统的控制方案通常在直流侧安装卸荷电路（如 Crowbar 或者储能装置超级电容等消纳多余的能量）。

考虑到外部硬件电路的增加及其带来的系统空间安装及散热设计等问题，文献^[54]中的 PMSG 系统的机侧变换器采用直流电压控制策略，将电压跌落过程中产生的不平衡功率转换为转子的动能，实现了低电压穿越。

3、探讨和展望

结合当前分布式电源接入配电网技术研究现状的分析，针对上述两个方面，分析和探讨下一步亟待研究以下问题：

1) 在电网拓扑方面，主动配电网下的分布式发电系统需要通过基于电力电子装置的变换器，采用经济、灵活、可靠的方式接入电网。目前大部分智能电网综合示范工程中，分布式电源接入主要涉及系统的典型设计，包括分散接入模式、支线接入、专线接入方式，而分布式发电系统采用比较成熟的商业拓扑结构。

由于分布式电源的输出形式不同，单纯的交流汇集方式不是最佳的选择，交直流混合汇集方式是未来发展的方向。其中直流汇集环节中，DC-DC 变换器扮演着重要的角色，其不仅可作为直流汇集的输入端，也可实现直流汇集输出端的直流电压泵生。

分布式发电系统中 DC-DC 变换器常采用 Boost 变换器，对于大功率系统，通常采用

Boost 模块的并联方式。近年来，我国也开始了基于直流电压变换的风电集群直流分布并网关键技术的研究，主要涉及直流电网以及高压大功率的 DC-DC 变换器的拓扑和控制技术，欧洲在这方面研究起步较早，但基本上还停留在实验室样机阶段。

考虑到基于 SiC 材料的开关器件技术的发展以及 DC-DC 变换器拓扑种类繁多，用于可再生能源的大功率直流变换器拓扑及接入方式研究还需要综合考虑经济成本和电气性能（效率、可靠性）等因素，这是未来研究发展的一个重要方向。

再者，与电网接口的并网逆变器具有不同的类型，通常采用两电平电压型逆变器。随着电力电子技术的发展，近几年来，基于可关断器件的电流型逆变器受到了广泛的关注，其灵活的控制特性与电压型逆变器相同，不仅能为电网提供灵活的无功支持，还具有较强的抗直流侧短路故障能力。对于中高压大容量场合，多电平逆变器也是不错的选择，但是控制系统的复杂性也随之增加，并且会带来电压不平衡等问题。

基于上述讨论，分布式发电系统需要综合考虑电源和接入电网特征、用户需求和经济成本等因素，采用合适的变换器装置和经济可靠的连接方式将分布式电源接入电网。模块化、智能化、高效化是未来分布式发电系统的发展目标。

2) 在控制策略方面，应依托硬件电路拓扑，开发先进智能的系统控制和协调策略，充分发挥分布式电源主动参与角色的能力，利用分布式电源提供辅助服务。此外，由于具有固定参数的逆变器的控制设计当用于不同的电网中，或者随着电网特性的变化，其不能满足设计要求及可靠运行，因此需要对控制进行鲁棒性优化设计，提高分布式电源在不同电网工况条件下的自适应能力。

其中，源侧控制策略和网侧的控制策略并非独立运行，需要两者的协同配合。一方面，在电网正常运行工况下，保证分布式电源的最佳运行状态，最大程度地利用分布式可再生能源提供的电力；另一方面，在电网不正常运行工况下，充分利用分布式电源向配电网提供辅助服务，如谐波补偿、无功补偿、电网电压和频率调节等，结合分布式发电系统中额外的保护装置（斩波电路、储能等）的控制策略，保证分布式电源和电网的安全运行，实现分布式电源与配电网之间的相互支撑，提升主动配电网对可再生能源的

容纳能力。

4、结论

解决主动配电网下分布式电源消纳问题需要先进的分布式发电系统拓扑方式以及与电网相互协调的智能控制策略。先进的分布式电源主动接入技术可以有效地提高分布式电源对于配电网的辅助能力，改善配电网的控制运行水平。

本文从电源的角度对分布式电源接入配电网关键技术进行了分析和研究，其涉及接入拓扑方式、控制策略，分析和比较了分布式可再生能源风力发电机、光伏接入电网的不同拓扑和连接方式以及采用的控制策略。本文的研究成果对分布式电源接入配电网设计以及其运行控制具有一定的参考价值。

参考文献：

- [1] 范明天,张祖平,苏傲雪,等.主动配电系统可行技术的研究[J].中国电机工程学报,2013,33(22):12-18.
- [2] Mocci S,Celli G,Ghiani E,et al.From passive to active distribution networks:methods and models for planning network transition and development[C]//42nd International Conference on Large High Voltage Electric Systems,CIGRE 2008,Paris,France,2008:1-11.
- [3] 赵波,王财胜,周金辉,等.主动配电网现状与未来发展[J].电力系统自动化,2014,38(18):125-135.
Zhao Bo,Wang Caisheng,Zhou Jinhui,et al.Present and future development trend of active distribution network[J].Automation of Electric Power Systems,2014,38(18):125-135.
- [4] 刘广一,黄仁乐.主动配电网的运行控制技术[J].供用电,2014(1):30-32.
- [5] 曾正,赵荣祥,汤胜清,等.可再生能源分散接入用先进并网逆变器研究综述[J].中国电机工程学报,2013,33(24):1-12.
- [6] 王成山,李琰,彭克.分布式电源并网逆变器典型控制方法综述[J].电力系统及其自动化学报,2012,24(2):12-20.
- [7] 钱科军,袁越.分布式发电技术及其对电力系统的影响[J].继电器,2007,35(13):25-29.
- [8] 赵豫,于尔铿.电力零售市场研究(六)分散式发电对电力系统的影响[J].电力系统自动化,2003,27(15):25-28.
- [9] 李琼慧,黄碧斌,蒋莉萍.国内外分布式电源定义及发展现状对比分析[J].中国能源,2012,34(8):31-34.
- [10] 国家能源局.分布式发电管理办法[Z].2011.
- [11] 王颖,文福拴,赵波,等.高密度分布式光伏接入下电压越限问题的分析与对策[J].中国电机工程学报,2016,36(5):1200-1206.
- [12] 江玲,刘邦银,段善旭.电网对称短路故障时分布式电源功率注入对并网点电压的支撑作用[J].电网技术,2014,38(3):669-674.
- [13] 赵耀,赵庚申,陈曦.一种分布式电源并网谐波电流补偿方法[J].南开大学学报(自然科学版),2015,48(2):92-98.
- [14] Blaabjerg F,Chen Z,Kjaer S B.Power electronics as efficient interface in dispersed power

generation systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2004, 19(5):1184-1194.

[15] Hansen L H, Helle L, Blaabjerg F, et al. Conceptual survey of generators and power electronics for wind turbines[R]. Campus Ris , 2001.

[16] 刘新宇, 姚致清, 陈铁军. 变速恒频双馈风力发电机结构分散化并网控制[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(4):97-104.

[17] 刘海营, 管萍. 双馈风力发电系统优化控制[J]. 电气技术, 2016(3):13-17.

[18] Fan Shixiong, Liu Guangyi, Yang Zhanyong, et al. Current source converter based multi-terminal dc wind energy conversion system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(11):13-19.

[19] Xia Yuanye, Ahmed K H, Williams B W. Different torque ripple reduction methods for wind energy conversion systems using diode rectifier and boost converter[C]//2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference, Niagara Falls, ON, 2011:729-734.

[20] 许颇, 张兴, 张崇巍, 等. 基于 BOOST 变换器的小型风力机并网逆变控制系统设计[J]. 太阳能学报, 2007, 28(3):274-279.

[21] Mohan N, Undeland T M. Power electronics: converters, applications, and design[M]. New York: John Wiley & Sons, 2007.

[22] Yaramasu V, Wu Bin. Predictive control of a three-level boost converter and an NPC inverter for high-power PMSG-based medium voltage wind energy conversion systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(10):5308-5322.

[23] Jovcic D, Ooi B T. High-power, resonant DC/DC converter for integration of renewable sources[C]//2009 IEEE PowerTech, Bucharest, 2009:1-6.

[24] Max L, Lundberg S. System efficiency of a DC/DC converter-based wind farm[J]. Wind Energy, 2007, 11(1):109-120.

[25] Fan Shixiong, Ma Weiwei, Lim T C, et al. Design and control of a wind energy conversion system based on a resonant DC/DC converter[J]. IET Renewable Power Generation, 2013, 7(3):265-274.

[26] Dai Jingya, Xu Dewei, Wu Bin, et al. Dynamic performance analysis and improvements of a current source converter based PMSM wind energy system[C]//IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2008:99-105.

[27] Azmi S A, Ahmed K H, Finney S J, et al. Comparative analysis between voltage and current source inverters in grid-connected application[C]//IET Conference on Renewable Power Generation, 2011:1-6.

[28] 吴春华, 陈国呈, 丁海洋, 等. 一种新型光伏并网逆变器控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(33):103-107.

[29] 刘国海, 吴犇, 金科, 等. 光伏发电系统中高升压比 DC-DC 变换器[J]. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(1):25-31.

[30] Nishikata S, Tatsuta F. A new interconnecting method for wind turbine/generators in a wind farm and basic performances of the integrated system[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(2):468-475.

[31] Yang J, Fletcher J E, O' Reilly J. Multiterminal DC wind farm collection grid internal fault analysis and protection design[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(4):2308-2318.

[32] 陈杰, 陈家伟, 龚春英. 变速风力发电系统统一功率控制策略研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(10):256-265.

[33] Thiringer T, Linders J. Control by variable rotor speed of a fixed-pitch wind turbine operating in a wide speed range[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1993, 8(3):520-526.

[34] Wai R J, Lin C Y, Chang Y R. Novel maximum-power-extraction algorithm for PMSG wind generation system[J]. IET Electric Power Applications, 2007, 1(2):275-283.

- [35] Zhang H B, Fletcher J, Greeves N, et al. One-power-point operation for variable speed wind/tidal stream turbines with synchronous generators[J]. IET Renewable Power Generation, 2011, 5(1):99-108.
- [36] 钟沁宏, 阮毅, 赵梅花, 等. 变步长爬山法在双馈风力发电系统最大风能跟踪控制中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(9):67-73.
- [37] 余世杰, 何慧若, 曹仁贤. 光伏水泵系统中 CVT 及 MPPT 的控制比较[J]. 太阳能学报, 1998, 19(4):394-398.
- [38] Hussein K H, Muta I, Hoshino T, et al. Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions[J]. IEEE Proceedings- Generation, Transmission and Distribution, 1995, 142(1):59-64.
- [39] Femia N, Petrone G, Spagnuolo G, et al. Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method[J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 2005, 20(4):963-973.
- [40] 闵江威. 光伏发电系统的最大功率点跟踪控制技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [41] Ali M H, Wu Bin. Comparison of stabilization methods for fixed-speed wind generator systems[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(1):323-331.
- [42] Miao Zhixin, Fan Linging, Osborn D, et al. Wind farms with HVDC delivery in inertial response and primary frequency control[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2010, 25(4):1171-1178.
- [43] Yang J, Fletcher J E, O' Reilly J. Permanent magnet synchronous generator based wind power generation system fault protection schemes[C]//IET Conference on Renewable Power Generation, 2011:1-5.
- [44] Fan Shixiong, Yang Jin, Ma Weiwei, et al. A coordinated control scheme for power demand changes in a PMSG based multi-terminal DC wind farm[C]//39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013:5224-5229.
- [45] Han Ying, Chen Weirong, Li Qi, et al. Harmonic suppression methods for grid-connected inverter of distributed generation[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2014, 26(9):1-6.
- [46] 马兆彪, 惠晶, 潘建. 基于重复 PI 控制的光伏并网逆变器的研究[J]. 电力电子技术, 2008, 42(3):25-27.
- [47] Wang Siran, Lu Zhengyu. Research on repetitive control method applied to grid-connected inverter with LCL filter[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(27):69-75.
- [48] Sun Jian. Impedance-based stability criterion for grid-connected inverters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(11):3075-3078.
- [49] Zeng Zheng, Zhao Rongxiang, Lu Zhipeng. Impedance reshaping of grid-tied inverters to damp the series and parallel harmonic resonances of photovoltaic systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(27):4547-4558.
- [50] 张明光, 陈晓婧. 光伏并网发电系统的低电压穿越控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(11):28-33.
- [51] 严干贵, 侯延鹏, 王健, 等. 抑制超速脱网的双馈感应风电机组低电压穿越控制策略研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(23):146-154.
- [52] Li Jianlin, Zhu Ying, He Xiangtao, et al. Study on low voltage ride through characteristic of full power converter direct-drive wind power system[C]//IEEE 6th International Conference on Power Electronics and Motion Control, 2009:331-340.
- [53] Banham-Hall D D, Taylor G A, Smith C A, et al. Towards large-scale direct drive wind turbines with permanent magnet generators and full converters[C]//IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010:1-8.
- [54] 李和明, 董淑慧, 王毅, 等. 永磁直驱风电机组低电压穿越时的有功和无功协调控制[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5):73-81.

(来源: 分布式发电与微电网 摘编: 《电气技术》)

风能发电加热取暖及余电上网系统技术方案

□ 文/上海致远绿色能源股份有限公司

一、项目背景

事关人类健康和生存的环境问题，一直是人们关心和科学研究的热点课题。自从2011年开始，城市雾霾天气越来越严重，越来越厉害，由大城市逐步向中小城市发展，甚至蔓延到部分农村。雾霾天气已经严重影响到了人们的生活质量和身心健康。

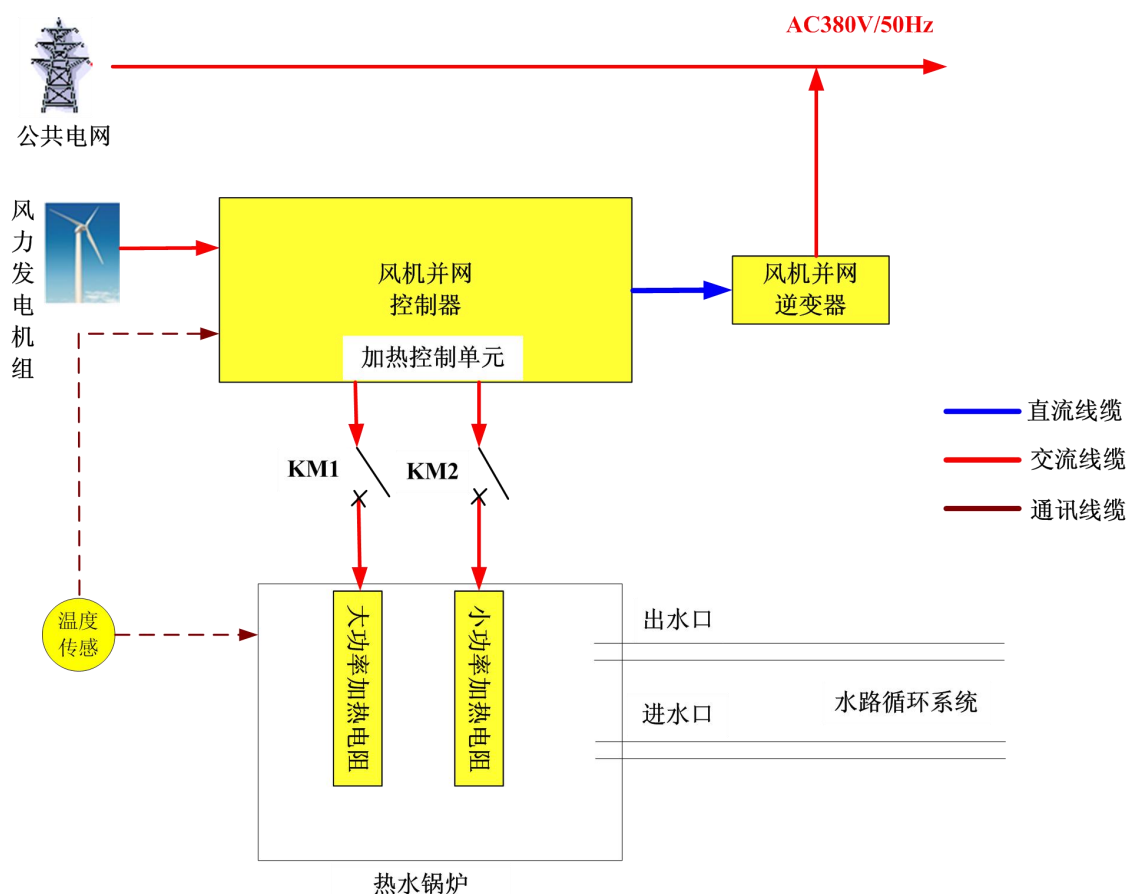
有关研究表明，大部分城市的PM2.5约60%来源于燃煤、机动车燃油、工业用燃料等燃烧过程，23%来源于扬尘，17%来源于溶剂使用及其他。特别是在冬季，供暖等内部排放量明显增多。

在农村，冬季取暖方式大部分通过烧煤、树枝等方式取暖，大大增加了二氧化碳、一氧化碳等气体的排放量。而且经常会发生煤气中毒等严重事件。

采用风能发电加热取暖系统，余电上网，坚持走清洁能源发展战略，降低了煤烟型污染。同时还避免了农村煤炭取暖的弊端。

二、风能发电加热/余电上网系统

风能发电加热属于间接电热转换技术。风能发电电阻加热系统利用风力发电机组所产生的变频率变幅值的不稳定电能直接供给电阻加热管，间歇式加热，无蓄电池，有风时加热，大风时大功率加热，系统简洁可靠。且根据探测加热后室内温度达到较热时，系统将自动切断加热线路转而将余电上网，能更有效利用风能发电电能。系统原理如下图所示：



1. 风能发电加热

风能发电系统采用永磁风力发电机组作为发电设备，将风能转换为三相交流电能。风电加热控制器采用微处理器技术，根据风速状况自动控制两个电阻加热管的切入与切出，风速较小时只切入电阻加热管 1，风速较大时只切入电阻加热管 2，风速进一步增大时同时切入电阻加热管 1 和电阻加热管 2，相当于电阻负载的分段投切。从有效利用风能的角度出发，仅采用一个电阻加热管时加热系统适应的风速范围很窄，合理选择两个电阻加热管的阻值可使整个系统的利用效率提高，控制也相对简洁，系统工作可靠安全。在电阻加热管的选型上，针对风能发电相对不稳定的特点，电阻加热管选用通用加热管，额定参数采用较大的降额使用标准。加热系统采用可控硅作为投切电阻加热管的电子开关，与机械式开关相比，具有使用寿命长的特性，非常适合风能发电中频繁投切的工况。另外，风电加热控制器配置了温度传感器检测加热温度，当加热温度超过设定

值时，风电加热控制器将两个电阻加热管同时切出而停止加热。

通用电阻加热管非常便宜，因此，对于供热稳定性要求较高的场合，可以采用市电供电的加热管另组一套加热系统供长时间无风的情况下使用。

风能发电加热系统具有如下突出特点：

风能转换设备采用目前应用最为广泛和成熟的风力发电机组，与针对特殊用途的风力机组如风能制热机组、风能提水机组等相比，应用普遍灵活，维护量小，可靠性高。

- 2) 采用电阻加热管加热方式，加热器成本低，通用性强，不需特殊设计。
- 3) 采用微处理器技术，实现加热系统的数字化控制。
- 4) 采用电阻分段投切，较好地拟合风能发电最大功率曲线，风能热能转化效率高。

2. 风能发电余电上网

系统根据温度传感测量结果，当加热温度超过设定值时双电源切换装置将切断风力发电加热回路，同时接通风力发电并网回路，将余电发电上网。当检测室温低至加热启动值时双电源切换装置又将供电回路切至加热回路。

三、风能发电加热/余电上网系统配置

风能发电加热系统需要根据风力发电机组的特性合理选择电阻加热管的阻值，通过电阻分段投切拟合风能发电最大功率曲线，同时考虑减少电阻加热管种类，风能加热系统选用 3 个同型号加热管，其中 1 个做为小负荷电阻使用，另 2 个并联后做为大负荷电阻使用，随着风速的增大，风能加热系统的电阻阻值逐级减小，即 $R \rightarrow 1/2R \rightarrow 1/3R$ 。

100kW 风能发电加热系统标准配置方案如下所示。

100kW 风能发电电阻加热/余电上网系统配置清单

名称	型号	单位	数量	单价	总价	备注
100kW 风力机	FD21-100/12	套	1			
塔架	独杆 36m	套	1			

风机并网控制器	ZK380-100	套	1			内含加热控制单元
风机并网逆变器	GNW60k3G	套	2			
电阻加热管	380V/40kW (星接)	个	3			1 个连接小负荷端 2 个连接大负荷端

四、风能发电加热系统主要产品介绍

1、风力发电机组

100kW 风力发电机组主要有以下各部分：

- 发电机及机舱
- 风轮
- 塔架

风力发电机性能参数如下表：

型号	FD21-100/12
额定功率(kW)	100
风轮直径(m)	21
叶片数量	3
叶片材料	玻璃钢
切入风速(m/s)	3
额定风速(m/s)	12
工作风速范围(m/s)	3~25
额定转速 (rpm)	60
调速方式	主动变桨、主动偏航
发电机形式	永磁三相交流
额定电压(V)	400VAC

FD21-100/12 风力发电机组主要机构

(1) 永磁直驱：永磁风力发电机组风轮主轴直接驱动发电机，无齿轮箱，少维护，效率高。

(2) 主动变桨机构：根据风速、系统输出功率和转速可以主动变桨，实现最大功率获取；通过断电顺桨，保证系统的安全。

(3) 主动偏航机构：风机组在大风时除了正常机械刹车外，还要求停机后和风向偏离 90 度背风保护风机，满足大风环境安全。无尾舵机构风机配置有偏航电机，可以主动控制风机偏航实现安全要求，而带尾舵机型不能实现。

(4) 主动刹车机构：可根据系统运行状况进行主动或远程刹车，具备主动刹车机构及远程控制。

(5) 润滑机构：具有主轴等润滑机构，满足风力发电机长时间工作需要。

FD21-100/12 风力发电机组主要功能特点

(1) 主动对风：当风速在额定风速以下时，风力机自动对风，提高风力发电机发电效率。

(2) 大风躲风：当风速超出额定风速时，风力机处于躲风状态，保证风力发电机正常工作，确保系统安全。

(3) 自动解缆功能：控制器能防止扭缆并具有自动解缆功能，防止输电电缆扭断。

(4) 状态显示：运行参数和运行状态通过仪表和液晶屏显示。

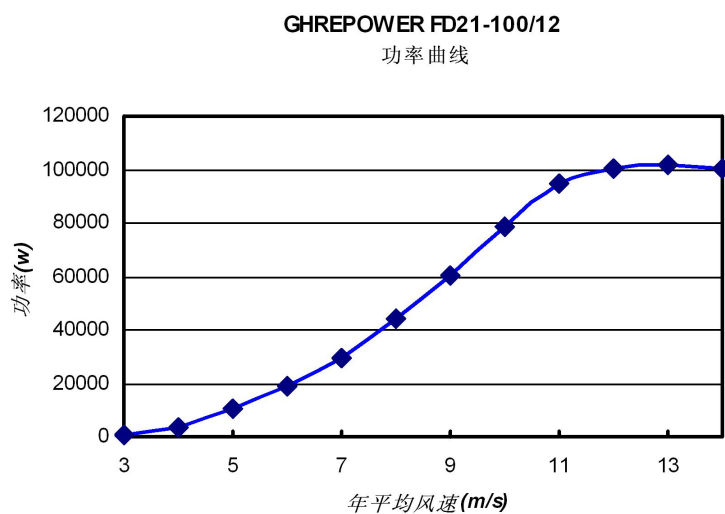
(5) 多重保护：过载、短路、超速、过压、电网故障等多种保护。

(6) 故障报警：系统出现故障时，控制器发出报警信号，以便及时检修或者脱离危险区。

(7) 远程控制：具备在中央监控室启动、停止每台风力发电机的功能，只有风机具备主动偏航、主动刹车机构才能实现远程监控。

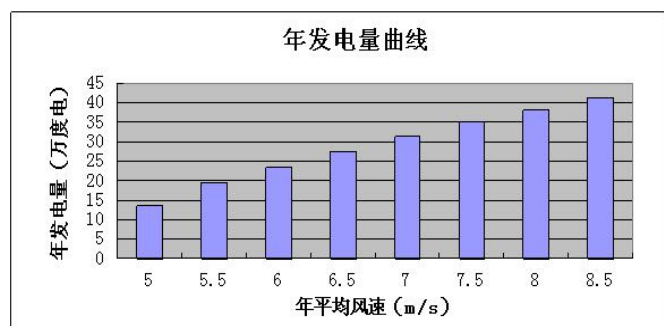
2、功率曲线和年发电量计算

FD21-100/12 风力发电机组的功率曲线和不同风速下的年发电量如图：



FD21-100/12 Power Curve

不同风速下的年发电量，按 Rayleigh 分布计算：



3、风力发电机组的参考照片



四、风能发电加热系统应用总结

由于风能发电加热系统的使用周期具有季节性，一般加热系统会在寒冷的冬季使用，而在其他季节就不要加热系统了。所以，为了提高风能的利用率，建议在其他季节采用风能并网供电系统，可提高整个系统的使用率，等效降低系统的投资成本。

假设陕西长武县地区平均风速 5m/s 计算，每年发电量约为 13 万度电，按照每度电平均耗标煤 330 克，每消耗 1 吨标煤，要排放约 2.6 吨的二氧化碳、22 公斤的二氧化硫和 280 公斤的灰渣，则 1 台 100kW 风力发电机组每年可节约 42.9 吨标煤的消耗，并且可减少 111.5 吨的二氧化碳、0.94 吨的二氧化硫排放。按照风力发电机组的使用寿命 15 年计算，共可节约 643.5 吨标煤的消耗，并且可减少 1673.1 吨的二氧化碳、14.1 吨的二氧化硫排放，节能减排效果显著。为城市的雾霾治理工作提供有力的支持。

南京欧陆电气

一季度多次中标内蒙偏远农牧区用电升级工程项目

南京欧陆电气股份有限公司消息：根据公司运营部门初步统计，南京欧陆电气凭借过硬的产品质量、雄厚的技术力量、完善的售后服务、诚信的经营方式、良好的信誉以及丰富的项目工程实施经验，2018年1-4月已中标内蒙地区风光互补供电系统项目3个，中标项目金额约：4000万元。为客户配套小型风电机组、控制逆变器产品2500套，销售合同金额约2200多万元。一季度新能源项目销售合同金额约6200万元，较往年同期增长100%。

2018年度一季度中标的三个项目包括：

(1) 2018年1月中标乌拉特中旗偏远农牧区用电升级工程（分包一）风光互补系统项目。

(2) 2018年2月中标阿拉善左旗偏远农牧区用电升级工程风光互补系统项目。

(3) 2018年3月中标科右前旗第一批偏远农牧区用电升级工程及设备安装工程风光互补系统项目。

一季度中标的两大核心产品：风力发电机、风光互补控制逆变一体机，均为南京欧陆自主研发生产，且通过国家级检测机构的检测并取得了产品检验报告。公司自主研发的FD系列风力发电机，其发电量大，体积轻巧，重量轻，机身特有的散热鳞片设计，在满负荷工作情况下长时间有效工作。独特的尾舵偏航设计，自动精确对准迎风方向，提高输出功率同时兼顾调整和强风保护，起到很好的机械偏航保护作用；而本项目所供的风光互补控制逆变器，则是一款通用高性能风光互补控制逆变一体机，OL-WS风机控制器、OL-SOLAR光伏控制器及OLI系列逆变器三款产品基础上进行升级改造，模块化设计，系统分为风光互补控制模块，正弦波逆变控制模块，两个模块相互独立，又相辅相存，

同时带有 RS485 通信功能，用户可以通过本公司的监控平台对本产品的工作状态进行监视控制，整体设计结构简单、功能强大，选用工业级的优质元器件，及严格的生产工艺制造，从而适合于低温等恶劣的工作环境并具有可靠的性能和使用寿命。

公司在以往内蒙的工程项目中，绝大多数旗县地区都承建过众多类似项目，如：乌拉特中旗、达茂旗、四子王旗、鄂托克旗、二连浩特、乌拉盖、阿拉善左旗、正蓝旗、东珠穆沁旗、苏尼特右旗、锡林浩特市、中共西乌珠穆沁旗、苏尼特右旗、中共西乌珠穆沁旗、苏尼特左旗、内蒙古东部的鄂温克自治旗、陈巴尔虎旗、额济纳旗、科右前旗等，且各地区均有完整售后服务保障体系。自 2010 年至今，仅内蒙地区所供设备已过万套，公司在内蒙地区市场占有率达 60%以上，仅乌拉特中旗已供货两千多台套，产品稳定性好，维修率低，深得牧民欢迎。

针对本次项目，我公司保证以更优于其他同行的质量，更好的服务于广发牧民，并承诺对系统的核心设备更长的质保服务。

一季度三个项目的中标对公司以后业务推广具有重要的意义，进一步建立了欧陆电气成套品牌形象，这不仅展示了公司的实力，同时也展示了我公司的核心竞争力。对公司 2018 年的跨越式发展及持续开拓西部市场奠定了坚实的基础!

国内多能互补微电网示范工程开启了建设热潮

青岛安华新元风能股份有限公司报道：2018年2月，由新疆金风科技股份有限公司（下称“金风科技”）自主开发的GW154/6700海上风力发电机组，在福建省重点项目——福建三峡兴化湾海上试验风电场顺利完成安装。该机组系目前国内最大容量海上风电机组，已获得机组设计认证和台风适应性认证。

近段时间，由安华新元参建的3个风光储多能互补微电网项目陆续并网运行，项目分布在中东部工业开发区。降低用电电费、提高绿色用能，发展智慧用电这三个示范项目的要达到的主要目的。从另一个角度来看，也是贯彻落实党的十九大精神加快生态文明体制改革和建设美丽中国的切实行动。

近几年国家能源局、电网公司，个别省市政府部门制定出台了一些促进行业发展的政策指引，受此激励，民营资本也开始纷纷涌入，促进了多能互补集成优化示范工程的大量建设，2017年开始更是掀起了热潮。

风光储多能互补微电网系统一般由风力发电系统、光伏发电系统、生物质发电、柴油发电机（燃气发电机）等电能发生装置，储能变流器、微网中控系统、储能单元，用电负载等组成。充分利用新能源之间的互补性，大大提高系统能量的连续性，重点解决供电电网质量差、偏远地区无电少电等用电问题，还广泛应用于峰谷价差大的地区节省企业用电电费。

多能互补打破了单一的能源供应模式，实现多种能源之间相互补充和梯级利用，为用户提供综合能源服务，从而提升能源系统的综合利用效率，缓解能源供需矛盾，同时获得较好的环境效益，是未来能源发展的大势所趋，对于调整能源结构、提高整个能源系统的能效均具有较大意义。

1. 武汉项目

(1) 项目简介：利用企业车间屋顶安装光伏发电系统，空地安装风力发电系统，中控系统智能控制新能源发电，储能系统充放电，保证新能源电动车在白天或夜晚利用充电桩充电时能够首先用到绿色能源。在新能源发电不足时通过峰谷电价差，实现削峰填谷，降低电费支出。

(2) 项目时间：2018 年 1 月

(3) 系统配置：

设备名称	技术参数	数量
变桨距风力发电机	10kW/DC400V	1 套
独立塔杆	25 米	1 套
风力机并网控制器	10kW/DC400V	1 套
风力机并网控制器	10kW/DC400V/AC380V	1 套
光伏组件	400kW	1 套
光伏并网逆变器	0.4MW	1 套
双向变流系统	250kW	1 套
储能系统	1MWh 锂电	1 套
输配电和控制集成系统		1 套

(4) 项目照片：



2. 吕梁项目

(1) 项目简介：该项目是分布式可再生能源和智能微电网多能协同供应和能源综合梯级利用示范项目，通过优化新能源多能互补系统集成技术提高能源综合利用效率。

(2) 项目时间：2016 年 11 月

(3) 系统配置：

设备名称	技术参数	数量
变桨距风力发电机	10kW/DC400V	5 套
折叠塔杆	12 米	5 套
风力机并网变流器	10kW/DC400V/AC380V	5 套
光伏组件	550kW	1 套
光伏并网逆变器	50kW	11 套
双向变流系统		1 套
储能系统	2MW 锂电	1 套
输配电和控制集成系统		1 套

(4) 项目照片：



3. 无锡项目

(1) 项目简介：项目通过风力发电和光伏车棚发电部分供给厂区日常办公和生产用电，并配备储能系统，智能控制各发电单元的出力模式和运行策略。达到用户侧配电系统的智能化、精细化和无人值守等配电要求！

(2) 项目时间：2017 年 12 月

(3) 系统配置：

设备名称	技术参数	数量
变桨距风力发电机	5kW/DC400V	2 套
独立塔杆	12 米	2 套
风力机并网控制器	5kW/DC400V	2 套
风力机并网控制器	5kW/DC400V/AC380V	2 套
光伏组件	150kW	1 套
光伏并网逆变器	50kW	3 套
双向变流系统		1 套
储能系统	锂电	1 套
输配电和控制集成系统		1 套

(4) 项目照片：



IEC TC82 JWG1 工作组 2018 年芝加哥会议简报

□ 文/都志杰

IEC TC82（国际电工委员会太阳能光伏能源系统技术委员会）2018 年上半年第一次会议，4 月 30 日至 5 月 4 日在美国伊利诺伊州芝加哥的 UL（Underwriters Laboratory）召开。

为了促进小型可再生能源及互补系统在农村电力建设中的应用，TC82 成立了与风能合作的联合工作组 JWG1，制定相关标准系列 IEC62257 《RECOMMENDATIONS FOR SMALL RENEWABLE ENERGY AND HYBRID SYSTEMS FOR RURAL ELECTRIFICATION》系列（农村电力建设中小型可再生能源互补系统建议）。

IEC62257 标准是一个系列标准，目前包括：

IEC 62257-1 Part 1: General introduction to IEC 62257 series and rural electrification
IEC62257 系列标准和农村电力建设介绍

IEC 62257-2 Part 2: From requirements to a range of electrification system 农村电力建设范围的要求

IEC 62257-3 Part 3: Project development and management 项目开发和管理

IEC 62257-4 Part 4: System selection and design 系统选择和设计

IEC 62257-5 Part 5: Protection against electrical hazards 电气危险保护

IEC 62257-6 Part 6: Acceptance, operation, maintenance and replacement 验收、运行、维护和更换

IEC 62257-7 Part 7: Generators 发电设备

IEC 62257-8 Part 8: Battery 蓄电池

IEC 62257-9 Part 9: 微型电网

IEC 62257-10 Part 10: 技术参数: 能源管理

IEC 62257-11 Part 11: 技术参数: 能源管理微型电网互联

IEC 62257-12 Part 12: 电气设备

IEC 62257-12 Part 13: 其它议题。

其中 IEC 62257-7 子系列包括:

IEC 62257-7: Generators 发电设备是专门制定互补系统中关于发电设备的子标准组, 具体包括太阳能光伏、小型风力发电机、燃料发电机等的发电设备:

IEC 62257-7-1: Generators – Photovoltaic generators 第一部分: 太阳能光伏

IEC 62257-7-2: Generator set – Off-grid wind turbines 第二部分: 离网风力发电机

IEC 62257-7-3: Generator set – Selection of generator sets for rural electrification systems 第三部分: 燃料发动机

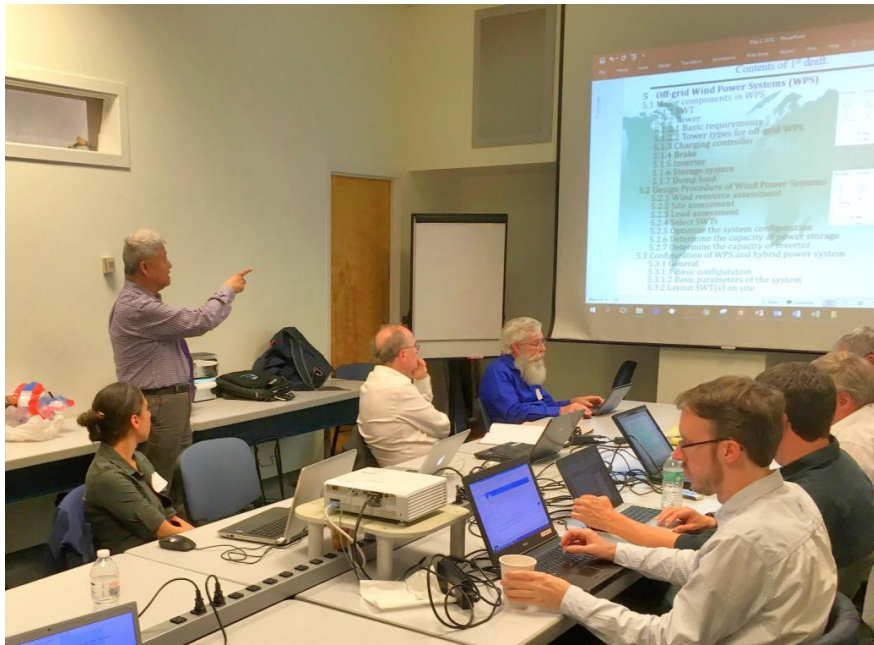
IEC 62257-7-4 Part 7-4: Generation - Integration and management of different generators within hybrid power systems 系统中不同发电机的集成和管理

中国农业机械工业协会风能设备分会 (CWEEA, 中国风能设备协会) 承担了该委员会 IEC62257-7-2 编写的组织工作, 由都志杰教授负责具体编写, 内蒙古工业大学副教授贾彦博士参与共同编写; 编写工作还得到宁波锦浪新能源科技有限公司、上海致远绿色能源有限公司和合肥为民电源有限公司的大力支持。

目前标准起草工作以及完成初稿。在 5 月 3 日召开的联合工作组会议上, 都志杰教授介绍了标准初稿的内容, 并与与会专家代表讨论了几个关键问题: 如小风电界定的范围以及离网型和并网型小风电的区别等问题。联合工作组赞赏中国风能设备协会和标准编写团队在这个标准编制方面所做的贡献。

根据联合工作组提出的意见, 编写团队将再用约一个月的时间完成对初稿的修改, 形成第一个征求意见稿, 争取 6 月份在国内小风电行业的有关单位内征求意见, 7 月份根据反馈意见再进行修改, 八月份召开一个小范围的专家会议, 讨论标准起草中的关键问题, 然后争取在下半年会议前后把初稿递交给 TC82 的联合工作组。

IEC 制定一个新标准共分七个阶段：预备阶段 PWI、提案阶段 NP、准备阶段 WD、委员会阶段 CD、询问阶段 ISO/DIS IEC/CDV、批准阶段 FDIS 和出版阶段 ISO、IEC 或 ISO/IEC。目前编写团队正与 TC82 联合工作组的专家将这个标准推进到 IEC 制定新标准的第二阶段：NP 阶段（提案阶段 新工作项目建议）。



图为今年 5 月召开的 IEC TC82 联合工作组会议现场

关于 IEA T27 工作组第 12 次专家会议情况汇报

□ 文/都志杰



IEA Task27 工作组第 12 次专家会议，于 2018 年 4 月 9 日至 4 月 14 日在美国明尼苏达州的明尼阿波利斯召开，会议共进行了 6 天。按照会议的安排，最先两天（4 月 9～10 日）各国出席 Task27 会议的专家出席了美国小风电年会，并应邀做了各自国家小风电产业和市场情况的报告。这些国家包括丹麦、爱尔兰、奥地利、比利时、西班牙、中国、波兰、韩国和美国。我国都志杰教授出席了会议，内蒙古工业大学的汪建文教授在 12 日做了视频发言。

后面四天 Task27 会议在明尼阿波利斯的圣托马斯大学召开，主要讨论 Task27 即将做出的最终成果。

一、各国小风电产业和市场概括

在 4 月 9 日至 4 月 10 日召开的美国小风电年会上，丹麦、爱尔兰、奥地利、比利时、西班牙、中国、波兰、韩国和美国的代表应用就本国的小风电产业和现状做了报告。下面是各国的报告摘要（中国部分略）。

1. 丹麦

丹麦小风电是个人消费行为，是自我投资（不是给投资商的），能源自我供给。他们不买游船、不买第二辆车或者改造厨房，而买小风电。丹麦把小型风电分成一下几个类别：

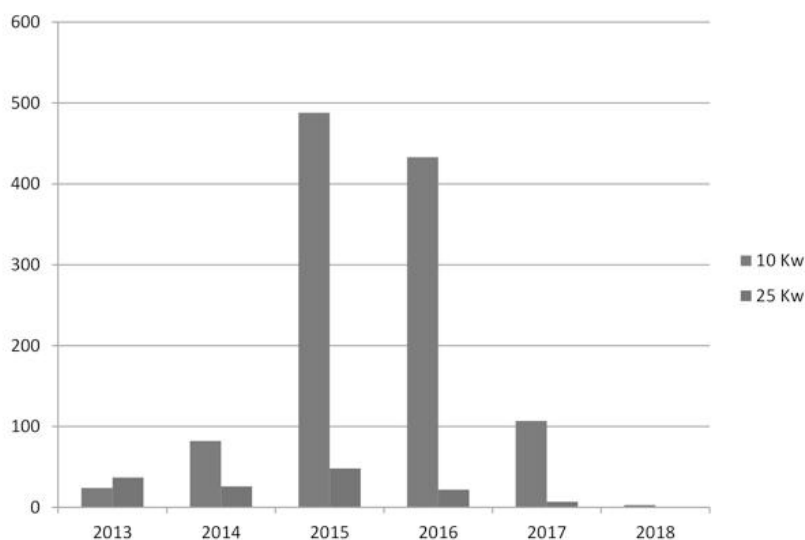
(1) 小于 5 平方米，(2) 5~40 平方米，(3) 40~200 平方米。

另外，叶轮直径最大的 25 米，发电机功率最大 25 千瓦，并且在现有建筑物附近安装并连接到现有建筑物。大多数安装在农村地区，自给自足的私人住宅。

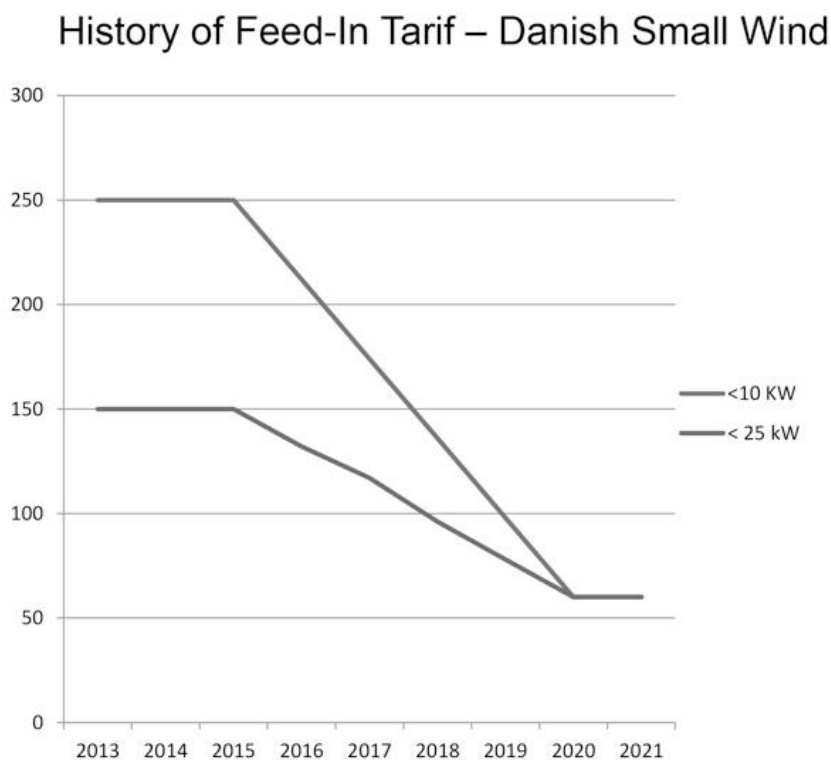
丹麦认为，和大型风力发电机相比，小型风力发电机至今仍深受高成本和可靠性较差的影响。原因有很多。最重要的是，设计和制造小型风力发电机的小公司只有非常有限的资金用于产品测试和改进。结果，几乎所有的小型风力发电机都被引入了市场。小型风力发电机制造商实际上是利用他们的客户使用来测试他们的产品。这导致客户不满。丹麦建议有一个专业的国际测试中心来为小型风电机组提供免费的测试，或者仅仅是收取一个名义的费用，这将为小型风力发电机组制造商提供一个机会来测试他们的产品，并获得关于性能和可靠性的反馈，使他们能够改进他们的产品。

丹麦小风电安装量如下图：

Installations 2013 - 2018



丹麦的 FIT 如下图，2016~2019 总的补贴量每年 1MW:



在丹麦，目前没有小风电市场。

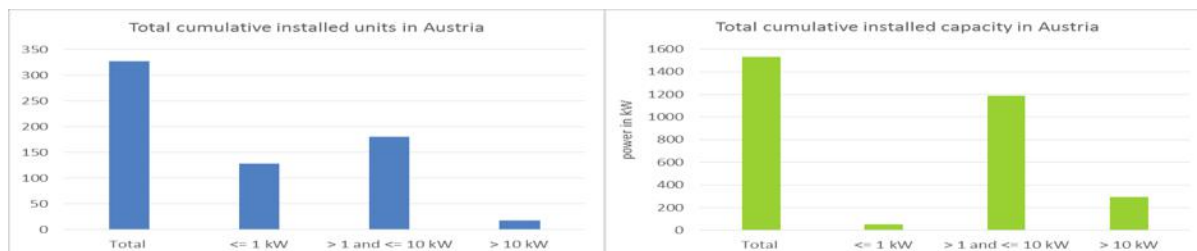
2. 爱尔兰

爱尔兰小型和微型发电试点现场试验开始 2009~2012，在用户现场实施。这包括小型风能、太阳能光伏、微型水力和微型中心热站。主要是评估技术、金融和监管问题。政府给参与者 50%的补贴。最初大约有 4000 个参与者。上网电价给最初的 3000 千瓦时按 0.19 欧元/千瓦时(约 0.23 美元/千瓦时)补贴。2014 年 12 月试点计划对新申请者关闭。现有客户将继续从电网接收 0.10 欧元/千瓦时。大约安装了 900 台并网小型风电系统，总装机容量约 4.0 兆瓦，机组大多数小于 11 千瓦，平均安装功率为约 6 千瓦。

爱尔兰小型风电的未来：逐步走向分布式和智能电网；鼓励用户成为“产销者 prosumers”；或者成为大风电项目利益相关者；小风电可能在更完整的能源系统中和太阳能光伏和存储一起扮演某种角色；农村农业部门最有可能最终成为小风电的用户。而在城市，可能性不大。

3. 奥地利

奥地利到 2016 年 12 月大约安装了 330 台小型风力发电机，总容量 1,530 千瓦，平均大小功率 4.7 千瓦。对于大多数风力发电机没有效果评估。



激励政策和 FIT：上奥地利州和卡林西亚在 2014 年提供税收返还机制。FIT 8.95 美分/千瓦时（和大风电一样）。自发自用是经济可行的唯一途径。

许可：国家层面没有全面许可批准程序、风电机组不需要认证、机组质量不考核、小风电项目指南提供了，但大多数不执行，许可由市政机构管理，不同州和市政府的要求和成功的机会不一样。

4. 比利时

比利时总共安装量不到 20 台小型风力机。监管问题是主要障碍，市政当局非常不愿意给予许可。激励并不太糟糕，但是在过去的几年中减少了。

在西佛兰德省有小风电的试点项目。风速 5 米/秒以及 15 米。省里有一个监管框架，一个好的空间规划，预期年发电量（AEP）是给予许可的关键条件，用运行结果来评估安装的系统。

该国部分地区的风速还可以。中小企业和农业对小风电有兴趣。至少有一个省有良好的监管框架。人口密度较大，不是有很多的自由空间，原则上，这对小型风电机组是个机会。小风电没有一个良好的声誉，对太多的 750 千瓦~100 千瓦的风力机可供选择。

5. 西班牙

目前对小风电的政策：2015 年 10 月法律规定补贴标准为 RD 900。这个新的自发自

用条例给出了技术和经济条件，定义了两种类型的自发自用：

1) 小风电额定功率低于 10 千瓦的，按总发电量支付过网费，不允许风力发电机向电网馈送电量；

2) 10 千瓦~100 千瓦所有的安装设备必须注册，可以向电网送电。

西班牙推出的小风电标识：

Resultados de ensayos Test Results	
Fabricante Manufacturer	Fabricante Manufacturer
Aerogenerador Model	Modelo y versión Model and version
Energía anual de referencia A una velocidad de viento media de 5 m/s La producción actual puede variar dependiendo de las condiciones del lugar Reference anual Energy At 5 m/s average wind speed, Actual production will vary depending on site conditions	XXX kWh/año XXX kWh/year
Nivel de ruido acústico declarado A 8 m/s Declared Sound Power Level At 8 m/s	XX dB(A)
Clase de ensayos de turbina (I-IV o 5 para Especial) Turbine test class (I-IV or 5 for Special)	II
Ensayos realizador por Tested by	Organismo (más sello) Test organisation
Fecha de emisión: Date of issue:	DD/MM/AAAA DD/MM/YYYY
Fecha de expiración de la validez: Expiration Date:	DD/MM/AAAA DD/MM/YYYY
	Nº Etiqueta: Label number: AAAA/NNN
Para más información: For more information:	www.idae.es

西班牙累计安装了 7250 台小型机组，装机容量 7400 千瓦。

政府对小风电的新项目：

欧盟资助公共实体小型风力发电机基金

为当地实体的可持续增长计划 POCS 2014~2020

低碳经济 LCE

小型风能自发自用项目

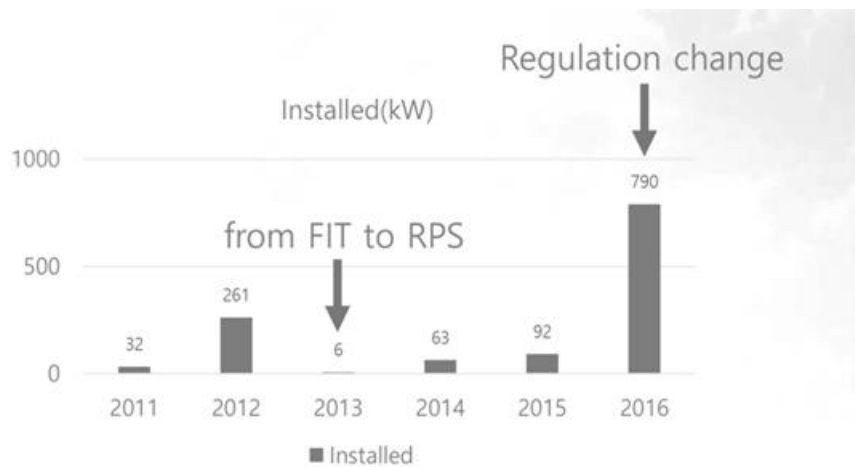
合格费用: 6 欧元/瓦

6. 波兰

到 2015 年，波兰总共安装了 5100 兆瓦大型发电。小风电市场不乐观。

7. 韩国

韩国 2011~2016 年小风电累计装机 3.71 兆瓦， 2016 年新增小风电 790 千瓦。



Year	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Installed	32kW	261kW	6kW	63kW	92kW	790kW
Accu.	3.01 MW	3.27 MW	3.77 MW	3.83 MW	0.92 MW	4.71MW

大环境对小风电不友好。FIT 专注于兆瓦级风电机组、法律要求安装小型风电机组要周围 50 米范围内的人达成协议、顾虑噪音和结构性破坏、觉得性能不佳，可靠性差，缺少 O&M 支持和认证。

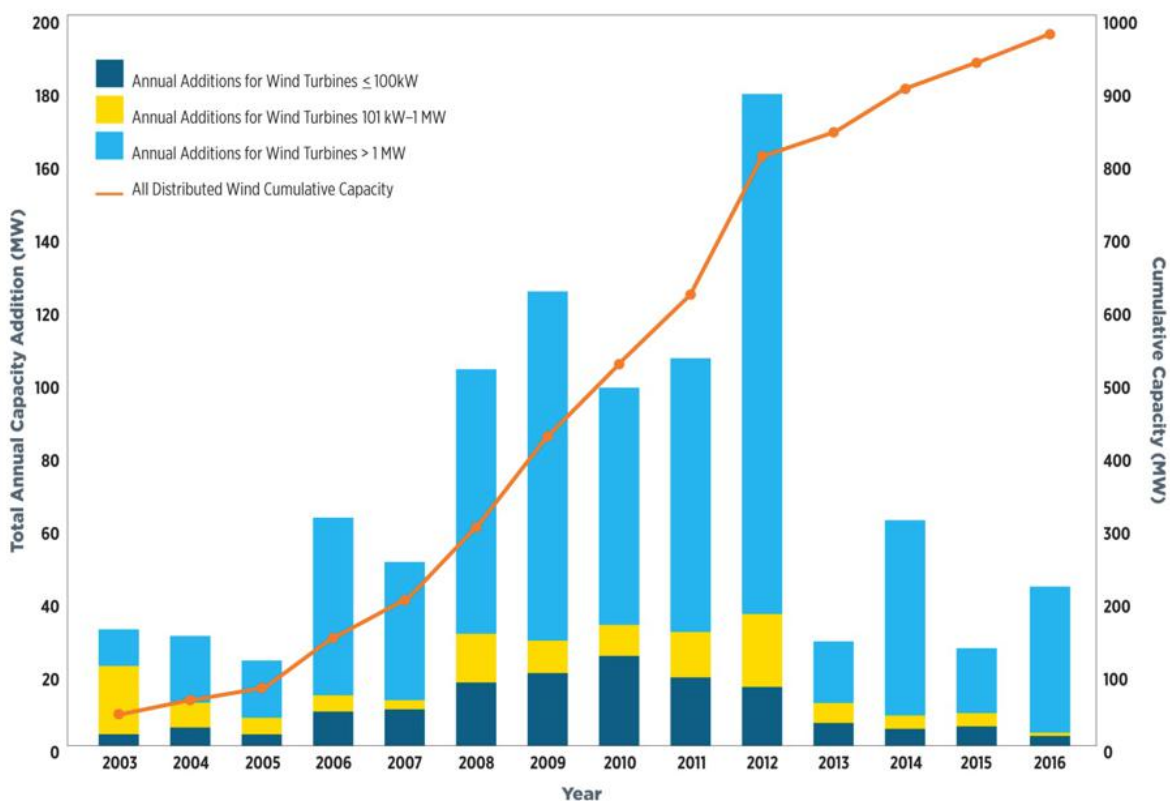
政府支持发展互补系统，中央政府和地方政府各支持 50%。2017 年 USD54M 投资 67 个项目(2018 年投 USDM)，PV 25.6 兆瓦，小风电才 80 千瓦,地热 17.3 兆瓦，ESS 1.55 兆瓦。

韩国政府设定的可再生能源目标：

	~'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
Renewables ratio (%)	10	11	12	15	18	21	24	27	30

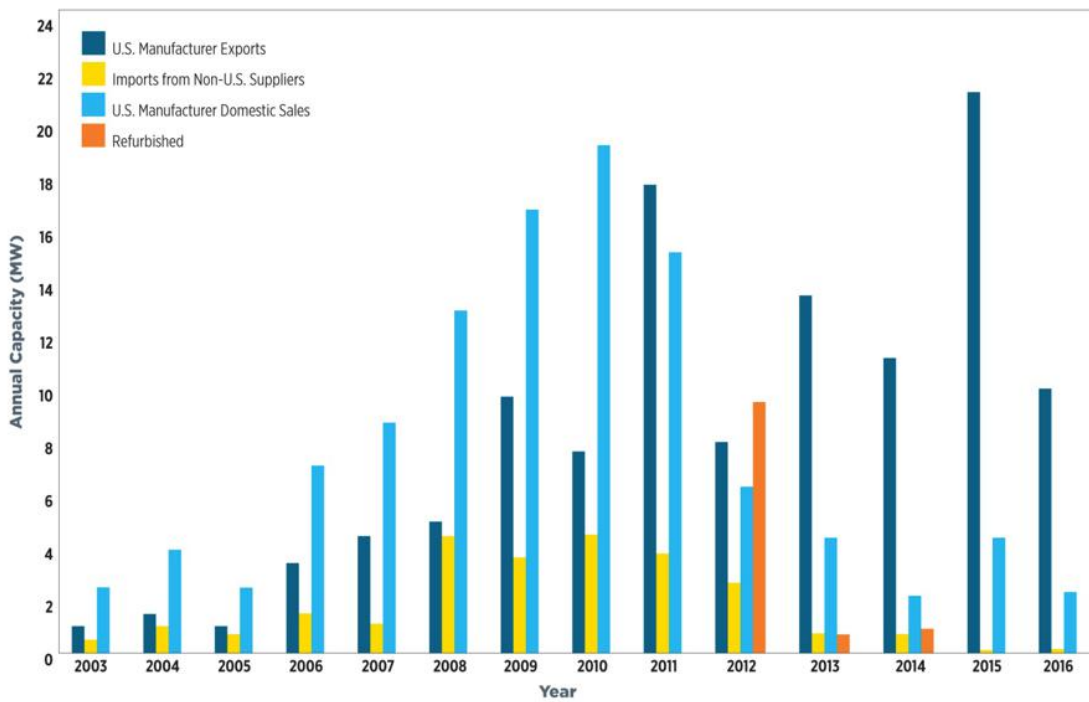
8. 美国

美国不论大、中、小风力发电机，并网还是离网，只要不是风力发电场的，都归入分布式发电。2003 年到 2016 年的美国分布式发电年新增装机和累计见下图。



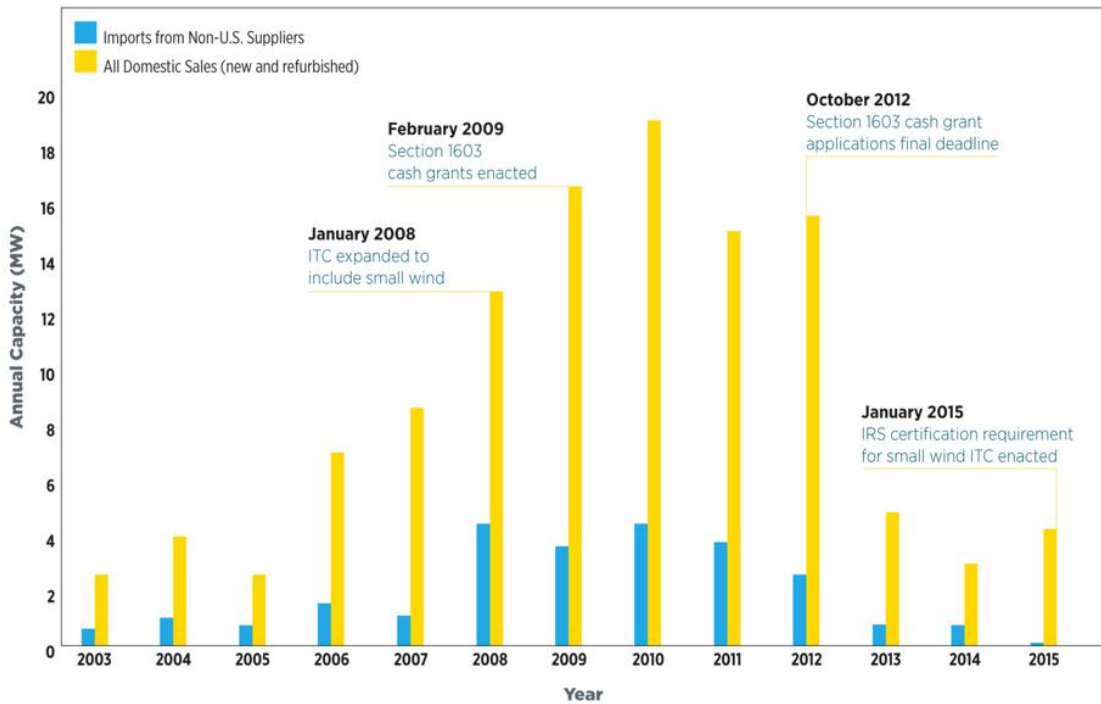
2017 年小型的安装了 1.7 兆瓦，中型的安装了 4 兆瓦，大型的安装了 78 兆瓦。累计分布式 1,076 兆瓦。从上图深蓝色部分（小风电）可以看出，美国小风电的市场和中国一样，从 2012 年开始下滑。

美国小风电的销售和出口如下图：

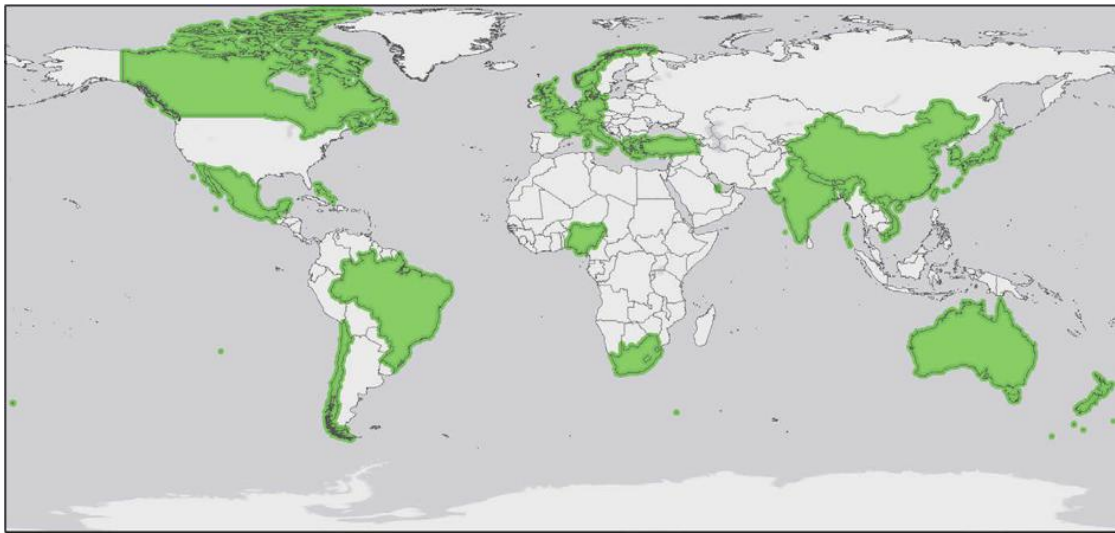


2017 出口 5.5 兆瓦， 进口约 100 千瓦，美国国内销售 1.5 兆瓦。

美国联邦政府对小风电的激励政策：



2012~2017 年美国小风电出口区域:



2016 年, 美国居民用小型风电 (0-20 千瓦) 系统价每千瓦平均成本为 12,000 美元, 商用 (21~100 千瓦) 每千瓦成本约 7,500 美元。

二、Task27

Task27 的第 12 次专家会议 4 月 11~14 日在美国明尼阿波利斯的圣托马斯大学 (University of St. Thomas) 召开。

Task27 今年是计划中的最后一年。目前正在对课题的最终成果做最后冲刺。最后成果包括:

- 1) 对在强湍流环境下风力发电机安装微选址的实践指南;
- 2) 对 IEC61400-2 第四版修改的建议 (基于 Task27 的研究成果)

会议室专家对《微观指导原则》草案中的逐章内容和细节进行了深入的讨论, 讨论内容包括:

- 障碍物
- 地形的影响
- U^* , 垂直速度, 风切变和位移。

- 风向
- 频率分布
- 能源玫瑰图
- 湍流强度作为风速的函数。
- 空气密度和温度
- 理查森数
- 损失
- 年与年之间的变化
- 以及其他

会后各国专家都在紧锣密鼓地工作，以期在今年下半年的会议上圆满结束本课题。

三、“分布式和社区风能 Distributed and Community Wind”课题和 TEM90 会议

这次会议还专门花了半天多的时间讨论了最近一直在讨论的拟提出的新课题 Distributed and Community Wind（下面简称“分布式和社区风能项目”）。作为这个新项目的筹备，3月26~28在丹麦DTU召开了IEA Wind的技术专家会议（TEM90#）内容。目前这个项目的协调者是美国能源部NREL的Ilan Baring-Gould（Ilan）。

可能涉及的工作范围

- 提出一项新的IEA工作的努力方向，以配合Task27的结束/继续/组合；
- 修改IEC 61400-2的需要
- 关注若干个关键挑战，如：
 - o 标准
 - o 分布式和社区风能性能预测(资源评估)
 - o 系统集成
 - o 数据和工具共享和门户开发。

o 发展

- 这个项目的代表要与 IEA Wind 的其他 Task 进行协调和利用各种知识;
- 项目的执行单位和项目代表与其他课题的融合。

这个课题目前正在筹备阶段，希望知道有多少国家对这个课题有兴趣，制造商想从这个课题得到什么东西等等。

分布式和社区风能项目项目将覆盖大型、中型和小型风力发电机，也包括并网和离网应用。另一方面，分布式和社区风能与湍流会有很大的关联，因此各方都希望 Task27 的团队能过渡到分布式和社区风能项目。也希望我国的小型风电设备制造企业和研究单位（大学和电网研究所）能积极参与到分布式和社区风能项目中。

分布式光伏管理办法或发生七大变化!

提示:

对分布式光伏发电项目的重新定义

6MW 以下项目可以自发自用、余电上网, 6~20MW 仅能全部自用;

除户用外的分布式项目全部纳入规模指标管理, 并参与竞争性电价;

禁止项目投产前的业主变更;

.....

据专家介绍, 2月2日, 国家能源局新推出的《分布式光伏发电项目管理办法》(讨论稿)与目前的规定相比, 或将发生包含上述几项内容的七项重大变化, 每一项对分布式光伏项目、对光伏行业的发展都将重大影响!

一、旧管理办法简介

目前执行的《分布式光伏发电项目管理暂行办法》是国家能源局在 2013 年 11 月 18 日印发的“国能新能〔2013〕433 号”文, 对于分布式光伏的定义为:

分布式光伏发电是指在用户所在场地或附近建设运行, 以用户侧自发自用为主、多余电量上网且在配电网系统平衡调节为特征的光伏发电设施。

该文件在实施过程中又做过几次重要的修订:

重要修订 1: 范围大幅扩大

2014 年 9 月 2 日, 国家能源局印发《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》, 做了两个重要修订:

- 1) 将并网模式在“自发自用、余电上网”的基础上增加了“全额上网”;
- 2) 电压等级由 10kV 扩展到 35kV, 单点并网容量由 6MW 扩展到 20MW

具体是在文件第七条提出：

七、完善分布式光伏发电发展模式。利用建筑屋顶及附属场地建设的分布式光伏发电项目，在项目备案时可选择“自发自用、余电上网”或“全额上网”中的一种模式。“全额上网”项目的全部发电量由电网企业按照当地光伏电站标杆上网电价收购。已按“自发自用、余电上网”模式执行的项目，在用电负荷显著减少（含消失）或供用电关系无法履行的情况下，允许变更为“全额上网”模式，项目单位要向当地能源主管部门申请变更备案，与电网企业签订新的并网协议和购售电合同，电网企业负责向财政部和国家能源局申请补贴目录变更。在地面或利用农业大棚等无电力消费设施建设、以 35 千伏及以下电压等级接入电网（东北地区 66 千伏及以下）、单个项目容量不超过 2 万千瓦且所发电量主要在并网点变台区消纳的光伏电站项目，纳入分布式光伏发电规模指标管理，执行当地光伏电站标杆上网电价。

重要修订 2：不限规模指标

2015 年 3 月 16 日，国家能源局印发《关于下达 2015 年光伏发电建设实施方案的通知》（国能新能[2015]73 号）提出：

对屋顶分布式光伏发电项目及全部自发自用的地面分布式光伏发电项目不限制建设规模，各地区能源主管部门随时受理项目备案，电网企业及时办理并网手续，项目建成后即纳入补贴范围。

并在 2016 年及后期的实施方案中延续的这一规定。

在范围扩大、不限规模指标的刺激下，2017 年分布式光伏装机一举达到 19.44GW，创历史新高！

二、新管理办法讨论稿简介

2017 年 11 月 17 日，国家能源局综合司下发了关于征求《分布式光伏发电项目管理暂行办法》修订意见的函，提出根据新形势对原来的管理办法进行修订。

国家能源局综合司

国家能源局综合司关于征求《分布式光伏发电 项目管理暂行办法》修订意见的函

各省（区、市）及新疆生产建设兵团发展改革委（能源局），各派出能源监管机构，国家电网公司、南方电网公司、内蒙古电力公司，华能、大唐、华电、国能投、国电投、三峡、中核、中广核、中节能集团公司，水电总院、电规总院，各光伏行业协会、学会，国家可再生能源中心：

2013年11月我局印发了《分布式光伏发电项目管理暂行办法》（国能新能〔2013〕433号，以下简称《办法》），《办法》的出台对推动分布式光伏发电应用，规范分布式光伏发电项目管理发挥了积极作用。此外，发展改革委于2013年7月印

2018年2月2日，国家能源局针对《分布式光伏发电项目管理暂行办法》（讨论稿）进行了讨论。据介绍，本次更新的《分布式光伏发电项目管理暂行办法》与之前有改变：

变化 1：分布式光伏发电项目的定义

明确分布式光伏项目主要包括两种：

一种是自发自用余电上网（上网比例不超过50%）且单点并网，总装机容量不超过6MW的小型光伏发电设施；

一种是全部自发自用，总装机容量大于6MW但不超过20MW的小型光伏电站。

变化 2：上网模式改变

户用项目：可选择全额上网、自发自用余电上网和全部自发自用三种模式；

自发自用余电上网（上网比例不超过50%）且单点并网，总装机容量不超过6MW的小型光伏发电设施：只能选择全部自发自用和自发自用余电上网两种模式，不能选择全额上网；

装机容量大于 6MW 但不超过 20MW 的小型光伏电站：只能选择全部自发自用。

变化 3：纳入规模指标管理

除户用项目外，需要国家补贴的分布式光伏发电项目均需纳入规模管理。

变化 4：参与竞争性电价

鼓励各级地方政府通过市场竞争方式降低分布式光伏发电的补贴标准，优先支持低于国家补贴标准的小型分布式光伏电站建设。

变化 5：对屋顶租赁要求更严格

项目单位与项目所依托的建筑物、构筑物及附属场所所有人非同一主体时，项目单位应与所有人签订建筑物、构筑物及附属场所的使用或租用协议。使用或租用期限一般不少于 15 年。

变化 6：禁止项目开发投机行为

享受可再生能源补贴的项目开发企业应以自主投资开发为目的，禁止转让项目备案文件及相关权益，项目投产前，不得擅自将项目转让其他投资主体。

变化 7：鼓励分布式光伏发电项目以各种方式参与市场化交易

上述七大变化的实施，无疑会对分布式光伏市场造成巨大的影响，装机量也会应声下跌！

（来源：2018-02-10 分布式能源）

CHINA
WINDPOWER
2018 17-19 October
Beijing, China

www.chinawind.org.cn

CHINA
WIND
POWER



2018 北京
国际风能大会暨展览会
CHINA WIND POWER 2018

2018年10月17-19日 中国国际展览中心（新馆）
October 17-19, Beijing, China
China International Exhibition Center(New Venue)