文章编号: 1006 -4729(2007)02 -0109 -04

户用风力发电与电网联合供电模式浅析*

邬振武[1], 李永光[2], 吕欣欣[1]

(1.同济大学, 上海 201804; 2.上海电力学院, 上海 200090)

摘 要: 在分析风力发电发展现状, 以及目前几种小型风力发电常用供电模式的基础上, 指出了"户用风力发电与电网联合供电"模式具有更大的发展潜力, 并将其与"风光互补"模式在经济性方面进行了详细的对比分析. 介绍了这种模式在节能、环保, 以及安全性等方面的突出优点和国内外研究现状, 认为在电网覆盖地区, 为了减少消耗不可再生能源、保护环境、降低电网负荷, 值得推广"户用风力发电与电网联合供电"模式.

关键词: 风力发电; 供电模式; 电网; 分布式; 可再生能源

中图分类号: TM 614 文献标识码: A

Analysis of the Power Supply Modes of Household Wind Power Generation Combined with the Grid

WU Zhen-wu[1], LI Yong-guang[2], LV Xin-xin[1]

(1 *Tongji University, Shanghai 201804, China*;
2 *Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China*)

Abstract: Based on the analysis of the development of wind power generation and the typical power supply modes in common use at present, it is indicated that a new power supply mode— the required power supplied by the household wind power generation combined with the grid, is more promising. This mode is compared with wind /photovoltaic hybrid in detail in terms of economic performances, and the advantages in energy efficiency, environment protection and safety performance of the new mode are introduced, together with the relevant researches in the world. Through the analysis, it is concluded that: for retrenching the consumption of non-renewable energy resources, protecting the environment, reducing the load of grid, this mode should be popularized in districts which are covered by the grid.

Key words: wind power generation; power supply mode; grid; distribution; renewable energy

随着世界经济的飞速发展, 能源与环境成为人类生存和发展需要解决的紧迫课题. 当今大量使用的不可再生能源, 不仅可供开采的数量急剧减少, 而且使得地球环境遭到了严重破坏, 给人类生存与发展带来了严重威胁. 因此, 可再生能源的开发和利用受到世界各国的普遍关注. 风能作为一种清洁的可再生能源, 在开发过程中不会对环境造成损害. 正因为如此, 风力发电技术受到了人们极大的关注. 但是, 由于受季节、气候, 以及地理位置等因素的影响, 风力发电是不稳定的. 为了弥

收稿日期: 2007 -03 -05

基金项目: 上海市自然科学基金项目(04ZR14076); 上海市教委重点资助项目(05ZZ55); 上海市重点学科建设项目(P1302).

补这一缺陷,当今使用的要么是大型风电场并网发电模式,要么就是风力发电与其他发电源配合的供电模式,如在电网到达不了的地区使用风光互补、风柴互补等.随着公共电网覆盖面积的增大,以及风能开发利用力度的增强,我们认为:户用风力发电与电网联合供电这种供电模式,必将受到更多的关注.当今国内对于这种模式尚无相关的研究,而国外已有学者作过初步的分析,但是相关的后续工作并没有开展,本文对这种供电模式进行了初步探讨.

1 风力发电的发展现状

全世界的风能资源十分丰富,目前各国开发利用的风能资源不到全世界风能资源的 20%.调查表明,只要在占国土面积 0.6%的地方安装风力发电机,就会满足 20%的电力供应,从而大大降低环境污染和破坏.正因为如此,世界各国都把风能资源作为主要开发的能源之一.对风能的开发利用现状,可以归结为以下两种发展趋势.

1.1 大型风电场并网发电

丹麦和德国居于世界大型风电场并网发电的前列.丹麦 1996年制定的《21世纪能源战略报告》中[1],设定 2005年风力发电的目标是实现装机容量 1 500 MW.事实上,2000年其风电装机容量就达到了 2 140MW,这也预示着丹麦成了风电产业的强国.德国是拥有风力机数量最多的国家,并且装机容量位居世界第一.我国的大型风电机发展起步较晚,与国际先进水平还有很大差距,目前,我国风电机绝大部分的关键零件还需要进口,这已成为大规模发展风力发电事业的瓶颈.

随着国家对风电的重视以及相关政策的扶持,我国的风力机国产化程度也越来越高,出现了一批风电制造方面的大企业,实现了我国自主生产兆瓦级风力机零的突破.但是大型风电场并网发电也存在一些问题,如:风力发电成本过高;风电场的选择位置要求高,只有少数地区满足有很好的风能资源这一条件;风力机本身的出力具有随机性,在风电容量比例高的电网中,可能产生电压波动和闪变、频率偏差、谐波等电能质量问题;风电场一般都处于偏远地区,在长距离输电时输电量损耗大;风力机组尺寸大,安装运输困难,且使用寿命达不到设计值,叶片断裂、控制系统失灵等事件时有发生,事故产生的后果也十分严重.

1.2 分布式风力发电系统

分布式发电是指直接将发电设施布置在配电网或负荷附近的一种风力发电.它能经济、高效、可靠地发电[2].大型电站与分散电源相结合可以减少在输配线路上的投资与损耗,使得电力系统更加安全可靠;分散式电源能够就近负荷安装,因而能适应电力需求的变化;有利于克服大电网 6% ~8%的长距离输电损失,同时有利于调峰[3,4].其中户用风力发电是一种很好的分布式电源,特别是在风力资源丰富地区的城市周边,用户用电量较大,应该充分开发利用.

在分布式风力发电系统的开发利用方面,许多学者都做过研究.如中国科学院电工研究所李爽利用遗传算法对混合发电系统优化设计问题提出了具体的解决方法,并设计了应用软件以实现其功能[5];清华大学贾要勤等研究出了一套风力、太阳能以及电网联合发电的控制系统[6],可以根据需要,在离网以及并网条件下分别正常工作,并能够在其间自动平滑转换;四川大学李蓓研究了小型风力发电(分布式电源并网)对电网造成的网损、潮流、电压及电能的影响,并介绍了针对这些影响提出的一些控制策略[7].这些研究对小型风力发电事业的发展产生了积极的影响.

目前我国使用的小型风力发电供电模式主要有风光互补、风柴互补等,这些模式的用户负荷都比较小.为了充分利用风能,城市或城市周边等负荷中心采用户用风力发电与电网联合供电模式.

2 风力机输出特性

风力机是将风能转化为电能的装置.由于风速具有随机性,产生的电能也具有时间上的随机性,通过以下的分析可以看出这种随机性的影响.

如果风场的风频模型使用韦布尔双参模型,风力发电机的输出功率函数使用幂函数模型,那么在一定的风速条件下,风力机产生的电能的计算公式为[8]

$$P_{w.\,ave}(v)=nP_R\left\{\frac{\exp\left[-\left(\frac{v_c}{c}\right)^k\right]-\exp\left[-\left(\frac{v_R}{c}\right)^k\right]}{\left(\frac{v_R}{c}\right)^k-\left(\frac{v_c}{c}\right)^k}-\exp\left[-\left(\frac{v_F}{c}\right)^k\right]\right\} \tag{1}$$

式中: $P_{w.ave}(v)$——风力发电机的平均输出功率;

P_R——风力发电机额定功率;

v_c, v_R, v_F——启动风速、额定风速、截止风速;

n——风力机的台数.

韦布尔双参模型表达式

$$f(v)=\frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{K-1}\exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right] \quad v\geqslant 0$$

$$f(v)=0 \quad v\leqslant 0$$

式中: k——形状参数无量纲;

c——尺度参数;

v——风速, m/s

因此, 只要知道了风速全年分布资料和风力机的相关资料, 就可以由逐小时风速平均值和分布标准偏差计算出逐小时风速频率韦布尔分布函数的参数值 k 与 c. 将其值代入式(1)可计算出风力发电机逐小时输出功率值, 进一步计算得到风力发电机全年逐小时输出功率分布图. 引用前人以上海市崇明岛上的东望沙气象站 1999 年全年风速条件及内蒙古动力机厂生产的 FD7-5K 型风力发电机(额定功率为 5 kW; 启动风速为 4.5 m/s; 额定风速为 9 m/s; 截止风速为 21 m/s)为例, 得出风力发电机全年输出功率图[9], 见图 1.

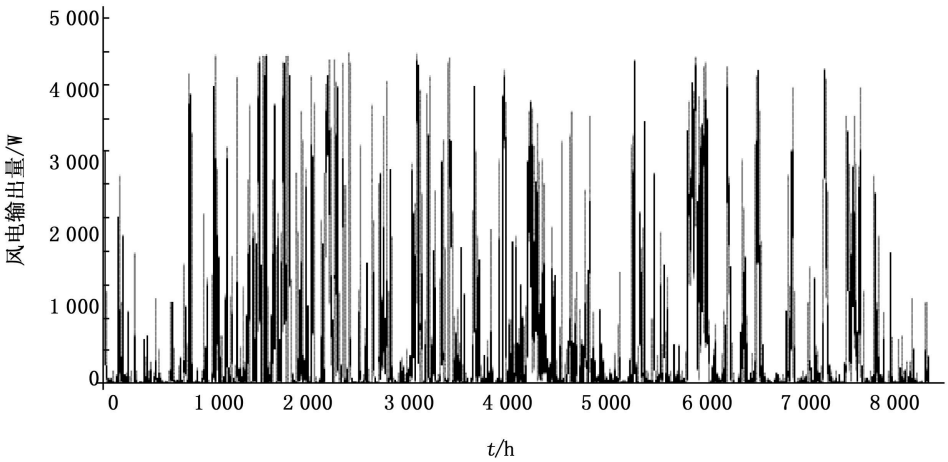


图 1 风力发电机全年输出功率

由图 1可知, 风力机的输出功率分布极为不均衡, 输出功率为零的情况有时甚至持续了几十小时, 而有的时间段输出连续处于高峰期, 远远超出了用户的需求量. 如果采用大量蓄电池蓄电, 则在经济上会给用户造成很大负担, 因为蓄电池价格昂贵, 使用寿命短, 而且大量使用蓄电池也将对环境造成破坏. 这就使发展直接运用风力机供电的模式受到很大限制. 因此, 现今的小型风力发电一般采用风光互补等供电模式, 以解决偏远地区居民的用电问题.

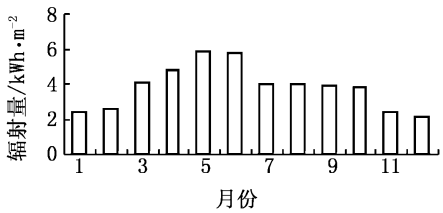
3 户用风力发电与电网联合供电模式的特点

户用风力发电与电网联合供电模式, 就是采用小型风力发电机供电, 以满足住宅楼、宾馆等用户的用电需求. 电网作为备用电源供电: 当风力机在发电高峰时, 产生的多余电量送到电网出售, 使得用户有一定的收益; 当风力机发电量不足时, 不足部分从电网取电.

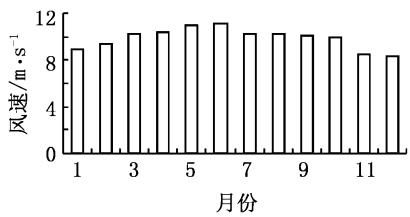
这种模式由于免去了蓄电池等设备, 使得系统价格可以大幅度下调, 经济性要远大于风光互补等模式. 以山东长门岛的气象条件为例, 对比分析这种模式与风光互补模式的经济性, 见图 2. 假定用户每天的平均负载为 88 kWh, 全年负载为 32 120 kWh, 当地电网售电价格为 0.551 元/kW, 在保持与风力机、电网联合供电模式相同的情况下, 其负载损失概率优化计算后得到如下配置[9]: 风力机功率为 10 kW; 太阳能电池功率为 15.82 kW; 蓄电池为 440 kW.

10 kW 的风力发电机价格为 68 000元, 光伏电池价格取 38元/W, 蓄电池价格取 0.8元/W, 额定寿命为 10年, 则系统总投资为 102 116万元. 若采用风力机与电网联合供电模式, 假定选用 30 kW 的风力机, 且风力机所发电量满足用户 60%

的电力需要,风力机发电高峰时,发出的多于用户需求量的电量可以出售给电网.按照 10年的使用寿命计算,从电网取电总量约为 128 480 kW,购电所需金额为 70 792元,再加上风力机价格,则总投资为 27.479万,远远小于风光互补系统的投资额.由于在大多数气象条件下,选用的风力机都不会满足 60%的用电需求量,因而风力机的功率可以相应降低,则系统的总投资还要降低.



a 太阳能分布



b 风速分布

图 **2** 山东长门岛月平均太阳能和风速分布

我们也可以从希腊学者 20世纪 80年代末的研究看出户用风力发电与电网联合供电模式的经济性[10].如果平均负荷为 15 kW,平均风速为 5.4 m/s,电网售电价格为 8.94美分/kW·h,只要风力机发出的多余电量以电网售电价格出售给电网,用户就能在一定的投资期内有所收益.不仅如此,这种模式在其他很多方面也具有突出的优点:

(1)在节能和环保上具有很高的收益,风能是取之不尽、用之不竭的,运用生命周期分析法(LCA)可以得出[11],与燃煤发电相比,只要风力发电每发 10^4 kW的电量,就可以节省 3.731 t标煤,同时,可以减少向大气排放粉尘 0.498 87 t,CO_2 9.935 t,NO_x 0.049 987 2 t,SO_2 0.078 85 t;

(2)由于一般的公共电网的负载损失概率(Lost Of Load Probability,LOLP)大约为 10^{-3}的数量级[12],而户用风力发电与电网联合供电模式只有在电网和风力机都没有电能输出时,负载才会缺电,因此,其 LOLP比单独使用电网供电还要低,因而具有很高的供电安全性;

(3)风力机的尺寸相对于风电场安装的大型风力机尺寸要小,安装运输灵活,而且对于安装位置的选址条件也远没有风电场要求严格;

(4)风力机安装位置靠近负荷中心,可以减少输电损失.

4 户用风力发电与电网联合供电模式研究动态

正是由于户用风力发电与电网联合供电模式具有以上许多优点,关于这方面的研究也是方兴未艾.最近,西欧一些国家对于这种供电模式也进行了积极的尝试.在荷兰的几个城市,专门应用于城市的风车样品已经成功地得到测试.这些风车的设计,与私人家庭房屋相比,更适合于公共或商务建筑.现在的风车模型,最小的重量大约为 200 kg,而且不用起重机在几个小时内就可以将它安装在房顶上.德国、英国和丹麦也已经进行有关方面的研究,英国 3家机构和德国斯图加特大学最近开始着手试验高层建筑群间的风力发电技术.两楼之间墙体垂直,风到这里不会被吹散,且直接吹入涡轮机.用这种方法可比普通风力发电机多发 25%的电能.如果研究成功,它将大大促进户用风力发电与电网联合供电这一模式的发展.

我国也有学者进行了相关研究,如上海电力学院王津等,就设计出了一套经济可行的控制装置.所研制出的这种控制装置的发电量部分,从发电机处采用发电机转矩转速信号采样;家庭用电量部分,从家庭进线处采用线路上电流信号采样,经过一系列处理后,形成两组输出控制信号,以控制两条线路的通断,并在两条线路上按照不同的方向接单向导通二极管,控制线路单向导通.还在电路上接入电能计量表,进行电能计量.

户用风力发电与电网联合供电模式在节能、环保、经济性、安全性等方面的突出优点,以及各国在政策上的保护与技术上的不断创新,使其日益成为重要的分布式发电源,在电网覆盖地区,其开发潜力将越来越大.当然,要大规模开发使用这种模式,还要解决好风电机并网对电网电压产生的冲击等问题.

5 结束语

笔者在对风力发电现状以及目前几种小型风力发电常用的供电模式的研究基础上,探讨了户

(下转第 **118**页)

(6)图 6的用户站目前已经成为标准的双电源用户站系统,特别是在商业办公楼、商务中心使用较多,不仅使用户用电变得可靠,而且也符合大楼消防对电源的要求.

(7)图 7用户站每回路多变压器的设置,可以方便用户将变压器分开布局,使得变压器更加靠近负荷中心,损耗减少,运行成本降低.此外,一般配变变压器的单台容量不超过 3 000 kVA,实际使用中以 1 000 kVA, 1 250 kVA, 1 600 kVA, 2 000 kVA居多.因此,在 5 000 ~6 000 kVA的使用负荷下,可以配备 2 ~4台变压器以满足单回路大容量负荷的要求,这也是图 7用户站系统存在的一个现实要求.

4 结束语

上海配电网中的用户站系统大致就是上述几种,在未来相当长的一段时间内,新建用户站将根据本身的容量,按图 3,图 4,图 6,图 7的布局配置,而老用户站也将改造成这 4种用户站系统.

此外,在用户故障中,发生在进线仓的故障占很大比例,2004年和 2005年沪南供电分公司 2年用户事故统计中,进线仓发生故障比例高达 75%.因此,把断路器放在第一仓位可以起到很好的保护作用,避免扩大事故,但带来的其他缺点也是明显的.因为断路器放在第一仓,除了使计量不够精确外,还对用户在维修使用上造成诸多不便和安全隐患,并在运行上对用户电工提出更高的要求.因而对此存在一定的争议.

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家标准. 3 ~ 110 kV 高压配电装置设计规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 1993: 2-19.
[2] 严健勇. 上海市中心城区配电网建设与改造[J]. 供用电, 2005, (3): 22.
[3] 中华人民共和国电力行业标准. 电能计量装置技术管理规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002, (5): 7-11.
[4] 蓝流俊. 现代城市电网规划设计与建设改造[J]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 129.

(上接第 112页)

用风力发电与电网联合供电模式.利用山东长门岛风速、太阳辐射强度资料,对这种供电模式与风光互补模式在经济上的优劣进行了对比分析.采用风光互补系统,总投资为 102 116万元,而采用风力机与电网联合供电系统,总投资仅为风光互补系统的 1/4左右.不仅如此,笔者还在环保、节能,以及供电安全性等方面具体介绍了这种模式的优点.通过分析认为,户用风力发电与电网联合供电模式适用于在电网覆盖地区大规模推广使用,它能大大降低电网负荷,减少对不可再生能源的消耗以及对环境的破坏,随着电网覆盖面积的不断增大,其开发的潜力也将越来越大.

参考文献:

[1] 张希良. 风能开发利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 67-72.
[2] 梁有伟, 胡志坚, 陈允平. 分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 71-75.
[3] 李德孚. 户用小型风力发电系统的现状与发展(上)[J]. 节能与环保, 2005, (6): 14-16.
[4] 李德孚. 户用小型风力发电系统的现状与发展(下)[J]. 节能与环保, 2005, (7): 18-20.
[5] 李爽. 风/光互补混合发电系统优化设计[EB/OL]. http://wanfang.lib.sjtu.edu.cn/wfrs_mirror/cddbn/cddbnArticles/Y383000/PDF/index.htm.
[6] 贾要勤, 杨仲庆, 曹秉刚. 分布式可再生能源发电系统研究[J]. 电力电子技术, 2005, 39(4): 1-4.
[7] 李蓓, 李兴源. 分布式发电及其对配电网的影响[J]. 电网技术, 2005, 9(3): 45-48.
[8] 顾超. 风光互补电站计算机仿真优化设计的研究. 上海交通大学. http://wanfang.lib.sjtu.edu.cn/wfrs_mirror/cddbn/cddbnArticles/Y326499/PDF/index.htm. 2004.
[9] 茆美琴, 何慧若. 风光复合发电系统的优化设计[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2005, 24(6): 1 036-1 039.
[10] Bakirtzis A G, Dokopoulos P S, Ketselides M A. A probabilistic costing method for the evaluation of the performance of grid-connected wind arrays[J]. IEEE Transaction on energy conversion, 1989, 4(1): 34-40.
[11] 邹治平, 马晓茜. 风力发电的生命周期分析[J]. 中国电力, 2005, 36(9): 85-86.
[12] Klein S A. Loss of load probabilities for stand alone photovoltaic systems[J]. Solar Energy, 1987, 39: 499-512.