

Wind, Solar and Storage Integrated Intelligent Microgrid—Taking Shanghai University of Electric Power as An Example

Ning Wang Ouqi Xue Yuan Yao Yiran Qiu Xiao Pan Dongsheng Chen

Shanghai University of Electric Power, Shanghai, 200090, China

Abstract

This paper introduces the smart campus demonstration project, Shanghai University of Electric Power (Lingang Campus), which is the only “new energy smart microgrid demonstration project” applied to universities in China today. The campus is characterized by “green and energy-saving buildings”, combined with wind power generation, photovoltaic power generation and energy storage system, to build a “green, energy-saving and low-carbon” intelligent campus. According to the equipment operation mode and the actual operation data collected for analysis and research.

Keywords

wind power generation; photovoltaic power generation; air source heat pump; solar collector junction; microgrid

Fund Project

Innovation and Entrepreneurship Project of College and University Students in Shanghai.

风光储一体化智能微网——以上海电力大学为例

王宁 薛欧琦 姚源 邱亦然 潘肖 陈东生

上海电力大学, 中国·上海 200090

摘要

论文介绍了智慧校园示范项目——中国上海电力大学（临港校区），它是现今中国仅有的应用于大学的“新能源智能微电网示范项目”。校区以“绿色节能建筑”为特色，结合风力发电、光伏发电和储能系统，建设“绿色、节能、低碳”的智慧型校园。根据设备运行模式及实际运行采集的数据进行分析研究。

关键词

风力发电；光伏发电；空气源热泵；太阳能集热器结；微电网

基金项目

上海市大学生创新创业项目。

1 引言

智能微网是“智能电网”与“微电网”的结合。它是一个自动化的供电网络，能够通过传感器来对供电与用电设备起到实时监控与收集整合，由控制系统来对电力系统起到优化的作用^[1]。“微电网”是指由分布式能源、储能装置、能量转换装置、相关负荷及监控组合而成的小型发电配电系统。

2 中国上海电力大学临港新校区概况

中国上海电力大学临港新校区在 2018 年 9 月被中国国家

发改委、国家能源局列为“新能源微电网示范项目”。同时，它也是中国 28 个示范项目在上海市的唯一一个中国仅有的大学校园示范项目。上海电力大学的能耗比一般的校园能耗低四分之一。

上海电力大学与国家电网节能服务公司合作，铺设了一张新能源微电网。它主要包括：1 套智慧能源管理系统；装机容量 2061 千瓦光伏发电系统；300 千瓦风力发电系统，10 套太阳能 + 空气源热水系统和总容量 500 千瓦时多类型储能系统等，其系统结构如图 1 所示。该智能微网能与城市大电网并网运行，它能够承担起新校区约六分之一的供电。在遇到紧急断电情况时，智能微电网可以迅速转换成孤岛模式独

立运行，并保存重要数据。

为了实现能源智慧化，其设计的管控系统结合需求响应和电能质量控制等技术，实现了用电信息自动采集、供电故障快速响应、综合节能管理、智慧办公互动、电动汽车充电服务、新能源接入管理等功能。

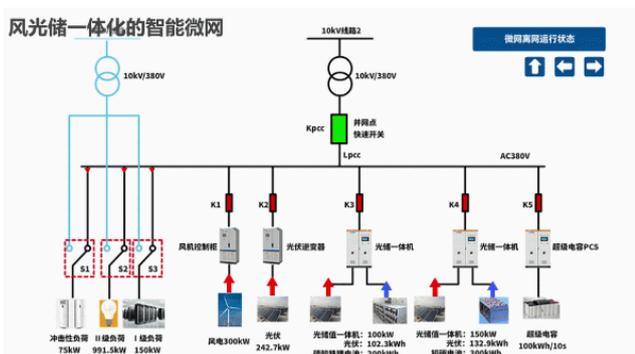


图1 风光储一体化智能微网结构

3 风力发电原理及数据

临港处于东海大桥附近海域，陆上风力资源非常丰富，风能蕴藏量约 11.3×10^4 kW。年风功率密度在 $200W/M^2$ 米以上。大于或等于 $6m/s$ 的风速也有 $4000h$ 左右^[2]。

风能是空气流动所产生的动能，空气流扫过风力发电机的叶片时，叶轮就会转动，从而将风能转化为机械能，然后通过发电机将机械能转化为电能，此时空气流的质量流量为 ρvA ，由此可以得出空气流每秒携带的能量为：

$$P_w = \frac{1}{2} \rho v A v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

式中： ρ 为空气密度， kg/m^3 ； A 为叶轮的面积， m^2 ； v 为风速， m/s 。

在学校的西北侧树立着一个 300 千瓦的微风力发电系统，为了研究该风光储一体化系统的性能，以 2019 年 1 月 1 日为例，当天风速约为 $3-4$ 级。根据系统所提供的风机发电数据，一天中其发电总量随时间是逐渐增加的，如图 2 所示。由图中可以看出：

(1) 与光伏发电相比，风力发电不受时间的限制，不论白天还是黑夜，只要有风就能发电。

(2) 发电总量从 0 点的 27750 Kwh，增加到 24 点的 28508 Kwh。一天的发电总量约为 758 Kwh。因此，年发电量约为 286525 Kw，接近设计的 300 Kw。

3.1 度新能源发的电，可以减少约 0.997 Kg 二氧化碳，所

以一台风力发电机一天可减少 755.2 Kg 二氧化碳，一年可减少 275648 Kg 二氧化碳。

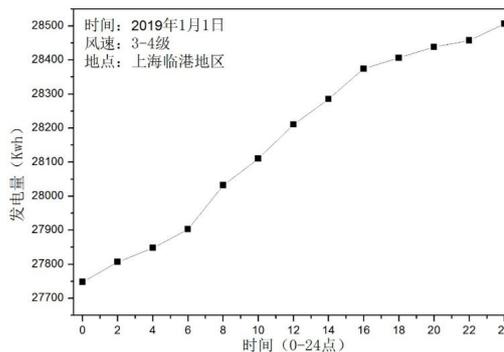


图2 风力发电机组一天所发的电量与时间的关系

为了更详细地了解每个时间段风机的发电情况，每选取 2 个小时作为一个时间段，其不同时间段风机发电增量的关系如图 3 所示。由图可知：

(1) 不同时间段，风机发电增量上下振荡较为严重，最小发电量为 25 度 / 2 小时，最高发电量为 124 度 / 2 小时。这种差异性是由于不同时间段，风速不同而遭成的。

(2) 峰时段，发电总量为 523 Kwh；谷时段，发电总量为 235 Kwh。

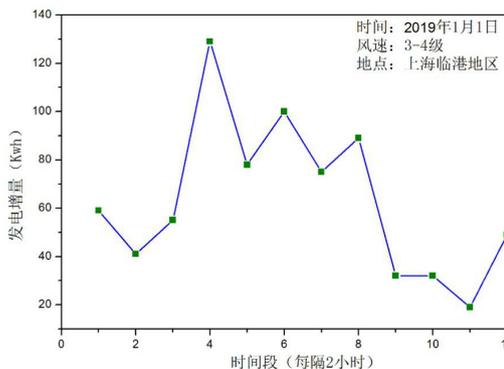


图3 风力发电机组每相差2小时所发电的增量

为了研究其经济效益，按表 1 进行电费的计算。根据上海地区分段收费原则，可以发现峰值电费为 323 元左右，谷低电费约为 72 元左右。一天可以节省电费约为 400 元，一年可以节省 14.6 万元左右。

表1 不同时间段发电量及费用表

时间段	电费 (元/度)	发电量 (度/小时)	费用 (元)
峰时	0.617	523	322.691
谷时	0.307	235	72.145

风力发电部分有机结合了临港校区较为丰富的风力资源，有效合理地利用了风力资源，对整个风光储一体化发电系统的

稳定性起到了重要作用。该风机可随时调控、检测，为整个发电系统的发电功率的稳定性起到很好的调节作用。

4 太阳能发电原理及数据

太阳电池 (solar cell) 是以半体制成的，将太阳光照射在其上，太阳电池吸收太阳光后，能透过 p 型半导体及 n 型半导体使其产生电子 (负极) 及电洞 (正极) ，同时分离电子与电洞而形成正压降，再经由导线传输至负载^[3]。

除去风力发电外，光伏发电是风光储一体化当中最重的一部分。上海地区七月总辐射量最多，其次是 8 月和 5 月，6 月正午太阳高度角虽然最大，但天空遮蔽度比五月、七月、八月大，因此总辐射量比五月、七月、八月要少^[4-5]。

学校 23 个建筑屋面的 2 万平方米楼宇屋顶采用 PERC、BHPV、单晶、多晶等多种组件形式，产生清洁能源的同时，还为学校师生免费提供研究新能源技术的场所。其年发电总量为 2 兆瓦。数理学院屋顶上装有 102KW 容量的光伏发电系统，如图 4 所示。



图 4 屋顶光伏电路板

选取某一部逆变器对应的数据，数据是从早上 6:00 到下午 18:00 这一时间段，其余时间段内由于太阳辐射量为零或较少，故数据采集器所获得的数据值皆为 0.00。分析时间与输出功率的关系做出图 5。

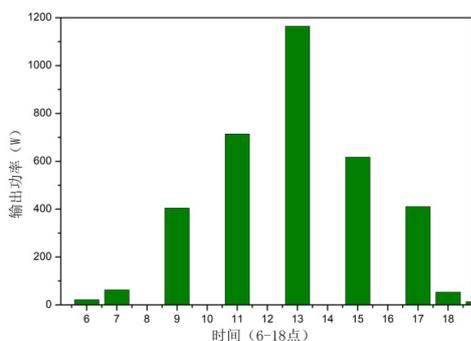


图 5 系统局部输出功率与时间的关系

由图可知：局部光伏系统在 13 点左右能达到输出功率最

大值。在一天内系统效率约有 8 小时能达到约 90%，日发电量达到 10.28 Kwh，符合效益标准，有效节约资源能源，达到节能环保目的。

5 储能系统

由于风能和太阳能的间歇性，目前普遍附加蓄电池来平衡供电，组成风光储系统，规模较小的情况下即为风光储微网系统^[6]。蓄电池充放电效率高，能够适应负荷动态变化特性。风光储系统同时配有容量为 100 千瓦 × 2 小时的磷酸铁锂电池、150 千瓦 × 2 小时的铅碳电池和 100 千瓦 × 10 秒的超级电容储能设备等总容量 500 千瓦时储能系统等。

学校的风光储一体化发电用电系统是绿色能源、智慧能源、综合能源的有机结合体。整个风光一体储能新能源发电系统已累计发电 100 万千瓦时。

6 结论

作为中国首批、上海唯一的“新能源微电网示范项目”和教育部能效领跑者示范项目，上海电力大学临港新校区综合能源服务示范项目具有环保，创新及前瞻性。该项目的实施不仅是对学校自身的能耗缩减起到重要作用，而且还可以让学生更加全面地了解各类新能源发电技术，有利于培养高质量的电力人才，推动新能源事业的发展。同时，该项目涵盖面广、模式创新，是国网节能在先进技术集成化、能源信息融合化，运营管理智慧化等方面深入探索的成果。

参考文献

- [1] 蓝澜. 新能源发电特性与经济性分析研究 [J]. 实用新型专利, 2014, 06
- [2] 王晓亮, 孙同美, 徐晶晶, 等. 上海沿海风能资源评估 [J]. 海洋技术, 第 2012, 31(01).
- [3] 苏剑, 周莉梅, 李蕊. 分布式光伏发电并网的成本 / 效益分析 [J]. 大学物理, 2013, 33(34).
- [4] 郝国强, 高伟文, 丰雷等. 光伏建筑一体化并网发电在上海世博会中的应用 [J]. 太阳能建筑, 2009(04):36-38.
- [5] 刘宏, 陈慧玲等. 光伏并网电站数据采集监测系统 [J]. 实用技术, 2006(05):74-76.
- [6] 朱兰, 严正, 杨秀, 等. 风光储微网系统蓄电池容量优化配置方法研究 [J]. 电网技术, 2012, 36(12).