

城市楼宇风光储充综合能源应用接入研究

马玲¹, 鲍聪颖¹, 陆凯¹, 余彪²

¹宁波永耀电力投资集团有限公司, 浙江 宁波

²国网浙江宁波供电有限公司, 浙江 宁波

Email: changtaiqs@vip.sina.com, 510255845@qq.com

收稿日期: 2020年11月17日; 录用日期: 2020年12月21日; 发布日期: 2020年12月28日

摘要

随着可再生能源大规模开发应用, 由于其发电出力特性对电网的影响, 综合能源系统及服务, 成为当前研究的重要内容。本论文在国内外研究成果基础上, 研究了风光储充微电网模型, 结合城市综合能源资源特点和办公楼宇多元化负荷需求, 开展了综合供能应用接入研究, 探索综合能源应用发展新模式, 为后续综合能源建设和应用提供参考和借鉴。

关键词

风光储充, 微电网, 综合能源, 应用接入

Research on Integrated Energy Application Access of Urban Building Wind and Wind Storage

Ling Ma¹, Congying Bao¹, Kai Lu¹, Biao Yu²

¹Ningbo Yongyao Power Corporation, Ningbo Zhejiang

²State Grid Zhejiang Ningbo Power Supply Co., Ltd., Ningbo Zhejiang

Email: changtaiqs@vip.sina.com, 510255845@qq.com

Received: Nov. 17th, 2020; accepted: Dec. 21st, 2020; published: Dec. 28th, 2020

Abstract

With the large-scale development and application of renewable energy, due to the impact of its power generation characteristics on the grid, integrated energy systems and services have become

an important content of current research. Based on the research results at home and abroad, this paper studies the wind and solar storage and charging microgrid model, combining the characteristics of the city's comprehensive energy resources and the diversified load demand of office buildings, and conducts a comprehensive energy application access study to explore new development models for comprehensive energy applications, to provide reference for subsequent comprehensive energy construction and application.

Keywords

Wind and Solar Storage and Charging, Microgrid, Integrated Energy, Application Access

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 太阳能发电、风能发电、生物质能发电越来越大规模开发和应用。电网企业进入了以电为中心, 综合能源发展的新阶段。世界各国学者专家对综合能源系统及服务研究, 涵盖到诸多方面, 包括微电网优化配置技术、储能容量算法仿真模型、电能质量调节、运行控制策略、多目标约束求解、经济效益评估方法等, 并取得了一定的研究成果。

文献[1] [2] [3]针对风光储的微电网电源配置优化问题, 建立了计及多目标的非线性规划模型, 以多条件约束为限制, 系统总投资成本最少为目标, 以气温、光照强度、年风速等为输入, 采用细菌觅食算法实现单目标模型求解, 得到微电网配置的最优方案。

文献[4] [5] [6]针对综合能源系统设备利用问题, 以及对综合能源系统的协同规划问题, 提出计及风、光、荷不确定性因素的不同规划方法, 构建包含多种能源设备的园区综合能源系统随机规划模型, 以及引入碳交易机制, 构建奖惩阶梯型碳交易成本模型等。

文献[7] [8] [9]针对综合能源的配置问题, 分别考虑多类典型场景、多类电力柔性负荷, 构建基于谈判博弈的多微网利益交互模型, 构建区域综合能源系统储电、储热设备优化配置模型, 以全寿命周期总成本最低为目标函数优化求解, 提出多目标联合优化配置策略等。

文献[10]-[15]针对综合能源销售商、新能源冷热电联供运营商、负荷聚合商、园区等不同主体的角色和位置, 基于电力负荷与热力负荷, 考虑不同阶段、不同规划、设计需求, 构建多种负荷综合需求响应的园区微网综合能源系统优化模型, 求解各方在追求目标最优时的交互策略。

本论文在国内外专家学者理论研究基础上, 研究了风力发电出力模型、光伏发电出力模型、储能装置功率及容量选择模型, 结合城市分布式能源资源特点和办公楼宇多元化负荷需求, 开展了综合供能应用模式及接入技术应用研究, 探索综合能源应用发展新模式, 为后续综合能源建设和应用提供参考和借鉴。

2. 风光储微电网模型

2.1. 风力发电模型

1、风速概率密度函数

风力发电机组出力由风速引起, 具有较强的随机性。风速变化规律模型, 目前普遍采用 Weibull 分布, 其概率密度函数为:

$$f(v) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{v}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (1)$$

式(1)中： v 为风速； α 为风速形状参数； β 为平均风速尺度参数。

2、风力发电特性曲线

风力发电特性曲线，如图 1 所示。

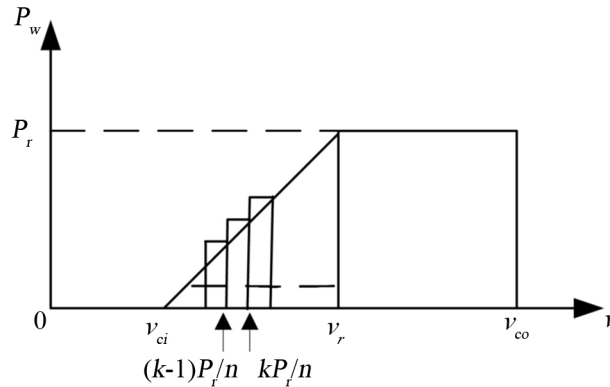


Figure 1. The relationship curve between wind turbine output and wind speed

图 1. 风力发电机出力与风速关系曲线

图 1 中： P_r 为风机额定输出功率； V_{ci} 为切入风速； V_r 为额定风速； V_{co} 为切出风速。

风速概率与风机出力 P_w 的关系概率表达式如下：

1) $P_w = 0$ 时， $0 < V \leq V_{ci} \cup V > V_{co}$

$$P(P_w = 0) = \int_0^{V_{ci}} f(v) dv + \int_{V_{co}}^{\infty} f(v) dv \quad (2)$$

则有零出力情况下，风机出力概率为：

$$P(P_w = 0) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V_{ci}}{\beta}\right)^\alpha\right] + \exp\left[-\left(\frac{V_{co}}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (3)$$

2) $0 < P_w < P_r$ 时， $V_{ci} < V < V_r$ 第 k 段概率为：

$$P\left(\frac{(k-1)P_r}{n} < P_w < \frac{kP_r}{n}\right) = \int_{(k-1)P_r/n}^{kP_r/n} f(P_w) d \quad (4)$$

概率密度函数可由式得到：

$$f(P_w) = \frac{\alpha}{k_1\beta} \left(\frac{P_w - k_2}{k_1\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{P_w - k_2}{k_1\beta}\right)^\alpha\right] \quad (5)$$

3) $P_w = P_r$ 时， $V_r < V < V_{co}$ 。

$$P(P_w = P_r) = \exp\left[-\left(\frac{V_r}{\beta}\right)^\alpha\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_{co}}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (6)$$

3、风力年理论发电量

年度理论发电量公式为：

$$E_{pw} = H_A \times P_w \times K_w \quad (7)$$

式中： E_{pw} 为风机年平均发电量，单位 kWh；

H_A 为地区年平均有效风力利用小时数，单位小时；

P_w 为风电机组容量，单位 kW；

K_w 为综合效率系数。

2.2. 光伏发电模型

1、屋顶光伏发电系统

屋顶光伏发电系统包含光伏电池组件、光伏逆变器、储能装置、配电系统，其所发电力既可供建筑物使用，也可并入电网。

对于家庭、小的商业楼，发电功率为 1~15 kW，可用 PV-蓄能电池 - 永磁电机组成系统；

大商业楼和小工业用户，发电功率为 15~50 kW，可用 PV-DC-AC 逆变器驱动三相感应电机系统。

2、光伏发电出力

光伏发电的出力模型，如下式所示。

$$P_{PV}(t) = A_{PV} * G(t) * \eta_{PV} * \eta \quad (8)$$

式中， $P_{PV}(t)$ 为光伏发电的出力功率；

A_{PV} 为光伏面板接收太阳光照辐射的面积， m^2 ；

$G(t)$ 为光照辐射数值， W/m^2 ；

η_{PV} 为光伏组件能量转换效率；

η 为 DC/DC 变换器转换效率。

3、光伏年理论发电量

光伏上网年平均理论发电量为：

$$E_p = H_A \times P_{AZ} \times K \quad (9)$$

式中： E_p 为光太年平均发电量，单位 kWh；

H_A 为地区年平均有效光照利用小时数，单位小时；

P_w 为风电机组容量，单位 kW；

K 为综合效率系数。

2.3. 储能配置模型

1、储能电池选择

目前国内市场上的主要储能电池有铅酸电池、铅炭电池、锂离子电池和全钒液流电池。四种类型储能电池的技术特点比较如表 1 所示

Table 1. Comparison of technical characteristics of various energy storage systems

表 1. 各类储能系统的技术特性比较

储能类型	存放时间	循环寿命(年)	循环次数	能量密度(Wh/kg)	成本元/kWh	
电化学储能	铅酸电池	分钟~数天	2~5	>1000 (80%DOD)	30~50	500
	铅炭电池	分钟~数天	5~10	>5000 (50%DoD)	40~60	1200
	锂离子电池	分钟~数天	5~15	>5000 (90%DOD)	75~250	2500
	全钒液流电池	小时~数月	5~10	>10,000 (100%DOD)	40~50	3000

2、储能装置容量计算

储能装置是微网的重要组成部分，对微网的运行特性以及运行能力影响较大。当前，由于储能装置的高成本因素，合适的容量选择是微电网系统设计的关键，以保证系统稳定性、可靠性。

储能容量选择可根据工程设计法，采用如下公式计算：

$$C_b = \frac{W_b n R_b}{U_{bat} \eta F_D L_b} \quad (10)$$

其中， C_b ：储能电池容量；

W_b ：储能电池每天供电量，一般为其最大功率、持续小时的乘积；

n ：储能电池持续供电时间，天；

R_b ：储能电池修正系数，取值范围为 1.01~1.05；

U_{bat} ：储能电池端额定电压；

η ：变换器效率，取 0.92；

F_D ：储能电池放电深度，取 0.75；

L_b ：储能电池维修保养率，取 0.9。

3. 综合能源各部分接入

宁波风力资源属于 III 类地区，风能资源较为丰富，近海海域、海岛、沿海滩涂及高山上，适宜建设风电项目。风电的年发电小时数约在 2000 小时左右，风电资源风功率密度约在 250~320 W/m²。

宁波地处太阳能资源比较丰富地区，太阳年总辐射量除山区以外约 4390~4710 MJ/m²，多年平均日照时数约为 1855.6 h，属我国太阳能资源四类区域地区，较为适合建设光伏项目。

该项目为风光储充一体化示范工程，座落于城市中某楼宇建筑物周围。根据项目现场，光伏组件布置于充电设施雨棚顶部，可利用面积约 150 m²。建筑物西部为道路，长度 40 米。现拟根据现场条件，配置风-光-储-充联合微网系统，满足楼宇建筑负荷供电。

3.1. 总体方案构成

针对项目地点的具体情况，本工程微电网系统包括以下部分：

- 1) 光伏发电系统：包含 10 kW 棚顶光伏发电系统；
- 2) 风力发电系统：包含 6 kW 小型风力发电系统；
- 3) 蓄电池储能系统：配置 25 kW/50 kWh 磷酸铁锂蓄电池一组，用于改善风光发电输出的稳定性，提高系统的供电可靠性；
- 4) 电动汽车充电设施：包括 1 台 7 kW 交流充电桩，可同时为 2 辆电动汽车充电；
- 5) 照明负荷：包括照明负荷约 5 kW；
- 6) 能量管理系统：系统配置 1 套能量管理系统，全面监视整个微电网设备的运行情况，对微电网的运行情况实时分析，并实时计算、更新、调整微电网优化、经济运行结果。

3.2. 风力发电系统接入

考虑地形地势，为充分发挥生态电网特色，利用可再生能源，拟采用为“自发自用，余电上网”模式，建设一套 6 kW 垂直轴小型风电系统，布置在环城西路，周边障碍物较少，对风机影响较小。

根据道路现场长度及城市小型发电机组参数，单机直径 1 米，间隔 5 米，拟采用额定功率 1 kW 垂直轴式风力发电机 6 台，单只风机并网电压等级为交流 220 V，并入 380V 交流电网发电(图 2)。

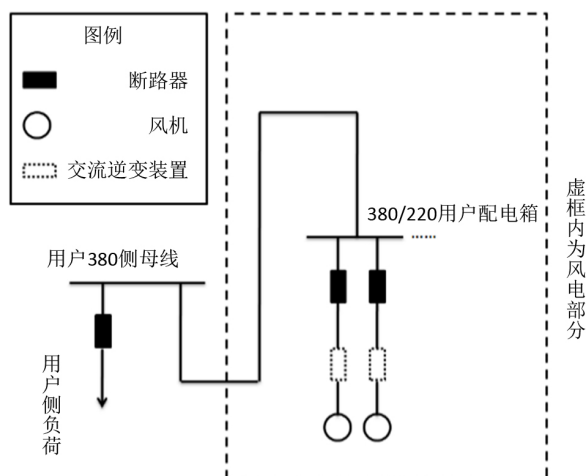


Figure 2. Wiring diagram of wind power generation system
图 2. 风电发电系统接线示意图

3.3. 光伏发电系统接入

根据项目所处的纬度及现场情况，利用 PVsyst 软件，综合考虑总装机容量和发电效率，使光伏电站整体投资和发电收益最佳，且全年各月光伏组件表面获取的太阳辐射量比较均衡，设计光伏阵列最佳倾角为 24 度，以最大限度利用太阳能，使系统全年发电量最大。

本工程太阳能电池组件安装在屋顶上，采用按最佳倾角斜铺方式，通过与屋面混凝土基础相连的钢结构支架固定安装。最佳倾角选择，根据安装地点的地理条件，光辐射条件、负载供电要求和特定的场地条件等因素相关。

工程采用“自发自用，余电上网”模式接入。可利用面积约 150 m²。考虑采用 40 块 250 W_p 多晶硅组件，通过串联、并联组成并网发电单元，接入微电网 380 V 直流母线，实现并网发电功能，装机容量为 10 kW_p。光伏发电系统接线示意如图 3 所示。

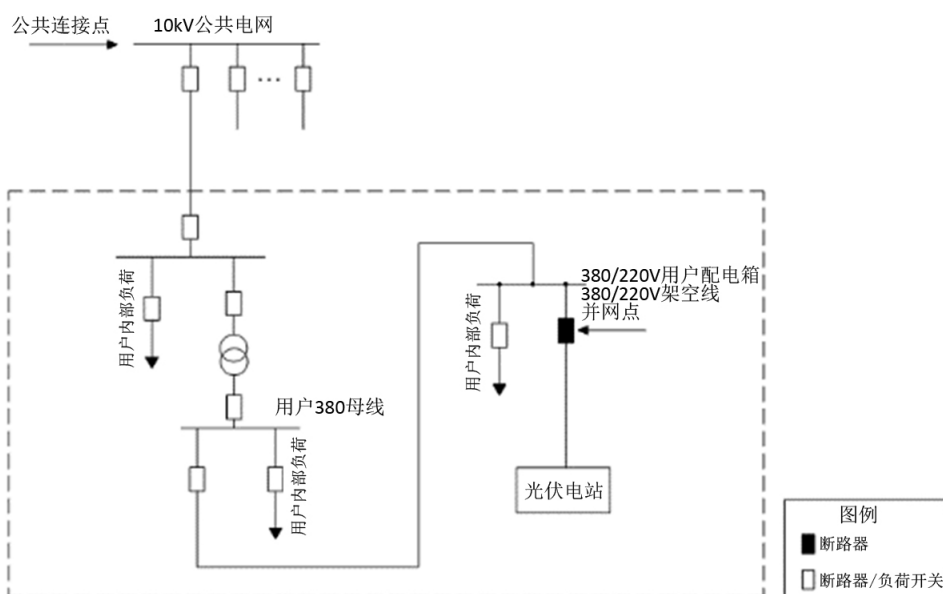


Figure 3. Schematic diagram of photovoltaic power generation system wiring
图 3. 光伏发电系统接线示意图

3.4. 储能装置系统接入

在风光互补发电系统中加入储能装置，通过对风电和光伏的存储与释放，改善风光联合发电功率输出特性，提高可再生能源的消纳能力，同时可以为变电站敏感性负荷供电，提高系统的供电可靠性。

本工程微电网系统中的配置电源有 10 kW 的光伏和 6*1 kW 的风电，以及 10 kW 的常规负荷和 7 kW 的电动汽车充电桩负荷。通过电力电量平衡分析结果，拟选择储能电池容量为 20 kW*2 h，直流负荷最大为 20 kW，交流负荷为 2*8 kW 的充电桩。

工程考虑配置 25 kW/50 kWh 磷酸铁锂蓄电池一组，用于改善风光发电输出的稳定性，增加电网对可再生能源的吸纳程度，同时可以为办公楼宇等敏感性负荷供电，实现微电网并孤网的无缝切换。

在并网状态时，当风能和光能不在满发状态时，电网可以补偿微网中的电能需求，储能电池容量可以满足微电网正常运行；在孤岛运行时，考虑到项目建设地点位于负荷中心，孤岛时间按 2 小时计算，同时切除充电桩负荷，储能电池能够满足微电网孤岛运行要求。

3.5. 电动汽车充电设施接入

本工程拟将电动汽车充电设施接入微电网系统分散布置，可有效减轻集中充电对电网的影响，提高清洁能源利用率及电能质量。设置 1 台 7 kW 交流充电桩，接入微电网 0.4 kV 交流母线，可同时为 2 辆电动汽车充电。主接线示意如图 4 所示。

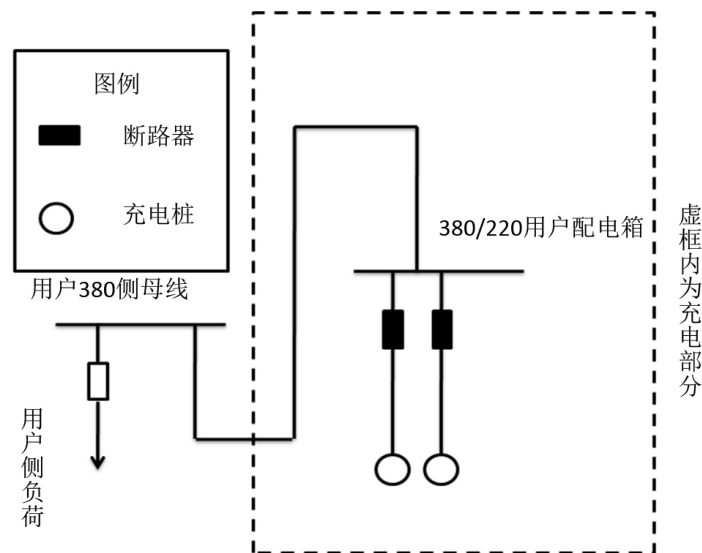


Figure 4. Schematic diagram of the primary system of the charging part
图 4. 充电部分一次系统示意图

4. 结论

本论文在国内外微电网研究技术上，研究了风光储微电网系统出力模型，结合城市分布式能源资源特点和办公楼宇多元化负荷需求，根据现场条件，因地制宜地设计了基于办公楼宇的多种分布式能源互补的微电网综合能源配置方案。其主体理念和设计方案如下：

- 1) 风力发电系统：包含 6*1 kW 的小型风力发电系统；
- 2) 光伏发电系统：包含 10 kW 棚顶光伏发电系统；
- 3) 蓄电池储能系统：配置 25 kW/50 kWh 磷酸铁锂蓄电池一组，用于改善风光发电输出的稳定性，

提高系统的供电可靠性;

4) 电动汽车充电设施: 包括 1 台 7 kW 交流充电桩, 可同时为 2 辆电动汽车充电;

5) 其它负荷: 包括楼宇办公负荷约 10 kW。

在以上配置基础上, 分析了其投资效益, 项目为可行的。另外, 可考虑配置一套能量管理控制系统, 用于实时采集光伏、风能、储能设备、充电桩运行参数, 监控分析整个微电网优化、经济运行结果。

参考文献

- [1] 曾鸣, 杨雍琦, 刘敦楠, 等. 能源互联网“源-网-荷-储”协调优化运营模式及关键技术[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 114-124. <http://dx.chinadoi.cn/10.13335/j.1000-3673.pst.2016.01.016>
- [2] 于婧, 孙宏斌, 沈欣炜. 考虑储热装置的风电-热电机组联合优化运行策略[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(6): 139-145. <http://dx.chinadoi.cn/10.16081/j.issn.1006-6047.2017.06.019>
- [3] 王晶, 黄越辉, 李驰, 项康利, 林毅. 考虑空间相关性和天气类型划分的多光伏电站时间序列建模方法[J]. 电网技术, 2020, 44(4): 1376-1383.
- [4] 赵瑾, 雍静, 郇嘉嘉, 余梦泽, 王晓静, 曾诚玉. 基于长时间尺度的园区综合能源系统随机规划[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(3): 62-67. <http://dx.chinadoi.cn/10.16081/j.epae.202003008>
- [5] 张晓辉, 刘小球, 钟嘉庆. 考虑奖惩阶梯型碳交易和电-热转移负荷不确定性的综合能源系统规划[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(19): 6132-6141.
- [6] 胡迪, 丁明, 毕锐, 张晶晶, 潘静. 光伏和风电互补性对高渗透率可再生能源集群接入规划影响分析[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(3): 821-835. <http://dx.chinadoi.cn/10.13334/j.0258-8013.pcsee.182308>
- [7] 吴仁光, 郑立, 李凯鹏, 林明河, 王刚, 徐园, 顾忠先. 面向综合能源配电网的储能系统优化配置方法[J]. 广东电力, 2020, 33(3): 42-50. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1007-290X.2020.003.006>
- [8] 许周, 孙永辉, 谢东亮, 王建喜, 钟永洁. 计及电/热柔性负荷的区域综合能源系统储能优化配置[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(2): 53-59. <http://dx.chinadoi.cn/10.7500/AEPS20190620005>
- [9] 李鹏, 吴迪凡, 李雨薇, 殷云星, 方晴, 陈博. 基于谈判博弈的多微网综合能源系统多目标联合优化配置[J]. 电网技术, 2020, 44(10): 3680-3688.
- [10] 孙强, 谢典, 聂青云, 张立辉, 陈倩, 陈杰军. 含电-热-冷-气负荷的园区综合能源系统经济优化调度研究[J]. 中国电力, 2020, 53(4): 79-88.
- [11] 黄子硕, 何桂雄, 闫华光, 唐艳梅. 园区级综合能源系统优化模型功能综述及展望[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(1): 10-18. <http://dx.chinadoi.cn/10.16081/j.epae.202001013>
- [12] 方绍凤, 周任军, 许福鹿, 冯剑, 程远林, 李斌. 考虑电热多种负荷综合需求响应的园区微网综合能源系统优化运行[J]. 电力系统及其自动化学报, 2020, 32(1): 50-57.
- [13] 王海洋, 李珂, 张承慧, 马昕. 基于主从博弈的社区综合能源系统分布式协同优化运行策略[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(17): 5435-5445. <http://dx.chinadoi.cn/10.13334/j.0258-8013.pcsee.200141>
- [14] 李雪, 孙霆锴, 侯恺, 姜涛, 陈厚合, 李国庆, 贾宏杰. 地震灾害下海岛综合能源系统韧性评估方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(17): 5476-5493.
- [15] 赵波, 张雪松, 李鹏, 汪科, 陈健, 李逢兵. 储能系统在东福山岛独立型微电网中的优化设计 and 应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(1): 161-167. <http://dx.chinadoi.cn/10.7500/AEPS201208166>