

# 微电网项目方案设计与仿真验证

钱君霞<sup>1</sup>, 宋鹏程<sup>1</sup>, 马鸿娟<sup>1</sup>, 梅建春<sup>1</sup>, 徐晶<sup>1</sup>, 孙子雯<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>江苏科能电力工程咨询有限公司, 江苏 南京

<sup>2</sup>南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京

Email: \*61204@njnu.edu.cn

收稿日期: 2020年11月23日; 录用日期: 2020年12月22日; 发布日期: 2020年12月29日

---

## 摘要

微电网通过有效利用分布式发电单元, 能够满足用户多样化的用电需求, 具有广泛的应用前景。本文针对实际微电网建设工程项目, 在系统方案以及静态参数设计基础上, 综合考虑风、光、储微电源的模型, 组网运行以及并网控制策略, 构建对应的微电网仿真平台, 通过观察电压波动、谐波等电能质量特性验证系统参数设计。该研究为微电网的实际建设和推广提供参考。

## 关键词

微电网, 静态参数, 电能质量, 仿真验证

---

# Scheme Design and Simulation Verification of a Microgrid Project

Junxia Qian<sup>1</sup>, Pengcheng Song<sup>1</sup>, Hongjuan Ma<sup>1</sup>, Jianchun Mei<sup>1</sup>, Jing Xu<sup>1</sup>, Ziwen Sun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Jiangsu Keneng Electric Power Engineering Consulting Co. LTD, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

Email: \*61204@njnu.edu.cn

Received: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2020; accepted: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2020; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Microgrids can meet the diversified power needs through effective use of distributed power generation units, and have a wide range of application prospects. For an actual microgrid construc-

\*通讯作者。

文章引用: 钱君霞, 宋鹏程, 马鸿娟, 梅建春, 徐晶, 孙子雯. 微电网项目方案设计与仿真验证[J]. 电气工程, 2020, 8(4): 171-178. DOI: 10.12677/jee.2020.84019

tion project, after the system scheme and static parameter designing, this paper comprehensively considers the wind, solar, and storage distributed power models, network operation and grid control strategies, and builds a corresponding microgrid simulation platform. Through observation of power quality characteristics such as voltage fluctuations and harmonics, the system parameter design is verified. The research provides reference for the actual construction and promotion of microgrid.

## Keywords

Microgrid, Static Parameters, Power Quality, Simulation Verification

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

随着环境污染、化石能源日渐枯竭及能源供应安全等问题的出现,以太阳能、风能、地热等可再生能源的开发及利用越来越受到国际社会的重视[1] [2]。新能源构建的分布式发电系统相比于传统大电网,具有绿色无污染,安装地点灵活,能量利用率高,减少长距离输电损耗等优点[3]。此外,中共中央国务院《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》明确提出允许拥有分布式电源的用户或微电网系统参与电力交易[4],新能源微电网有着广阔的发展前景。

近年来,我国各大高校及科研院所均对微电网开展了深入研究,国内已建成和在建的微电网示范工程多达数十个。2011年中新天津生态城智能电网综合示范工程投入运营,2014年厦门大学投运我国第一个太阳能建筑一体化的直流微电网,浙江温州鹿西岛微电网示范工程建成,2015年河北电力科技园风、储、热一体化示范工程建成,许多技术达到国际先进水平[5]。文献[6]针对海岛用电采用微电网模式设计技术路线,根据负荷曲线和分布式电源出力特性分别计算了风力发电、光伏和储能系统的容量,为提高供电质量构建了有备用环形微电网输配电网络,对海岛用电环境和微电网推广具有参考价值。文献[7]根据使用场景特点研究了海岛盐雾环境对微电网电气系统中各种设备、材料耐候性的影响,对微电网电气系统和结构系统进行了设计,研究了适用于海岛环境电站的具体运行模式,并展开运行控制策略研究,最后,设计了适用于岛屿环境的微电网系统,该系统具有成本较低、节能环保、便于推广的特点。文献[8]阐述了湖南某公司综合大楼微电网工程项目设计方案,以实际用电需求为基础,设计以交流微电网为主、直流网络为辅的网架结构,构建风光储一体化混合微电网系统,能够实现并离网自动切换,停电时保障关键负荷运行,电网正常供电时以经济性为目标实现用电成本最小化。

上述研究结果为未来新能源发电技术发展及工程推广提供了重要参考,此外分布式电源的随机性是影响并网电能质量的主要原因,为了保证电网良好的电能质量,需要在系统静态参数配置基础上,对其接入大电网系统后的稳定性进行初步分析。本文针对实际微电网建设工程项目,在系统方案以及静态参数设计基础上,综合考虑微电源的模型,微电源的组网控制策略以及现有微电网并网运行与控制的策略,构建微电网的仿真平台,可为开发一款微电网性能分析软件提供条件,为微电网的实际建设和推广提供参考。

## 2. 系统设计

项目实施地戴场岛,岛上居民用电现由徐州新沂公司 10 kV 棋戴 114 线供电,岛上配变容量 3000 (小

学变 400 + 鱼塘变 400 + 马口变 400 + 马口南变 200 + 马口北变 400 + 新庄变 200 + 村变 400 + 村部 2#变 400 + 青墩村部 2#变 200) kVA; 专变 3 台, 容量 270 (刘琪文变 80 + 农村合作社变 80 + 新沂市利民水产变 80) kVA。目前全岛高峰负荷约 1000 kW, 戴场岛高峰负荷 500 kW, 负荷包含村民生活用电、鱼类养殖氧泵、水泵、通信基站及路灯等, 且未来负荷增长可能性低。

本期微电网设计由蓄电池储能系统和太阳能与风力发电系统组成。新建一座 10 kV 微电网一次设备预制舱, 将戴场岛 2 台变压器(村变 400 + 村部 2#变 400)接入新建 10 kV 一次设备预制舱 10 kV 母线, 将构成一个戴场岛范围内的微电网系统。新建 10 kV 一次设备预制舱以一回 10 kV 线路 T 接至 10 kV 棋沟 114 线。微电网建设分布见图 1, 主要包含: 光伏发电系统, 安装于戴场岛南侧岛屿, 装机容量为 400 kWp。风力发电系统, 安装于戴场岛东南(备选)、西北角及戴场岛南侧岛屿东南角, 共 2 台 50 kW 低风速风机。蓄电池储能系统, 安装于戴场岛南侧岛屿, 蓄电池储能系统容量为 320 kW × 5 h。

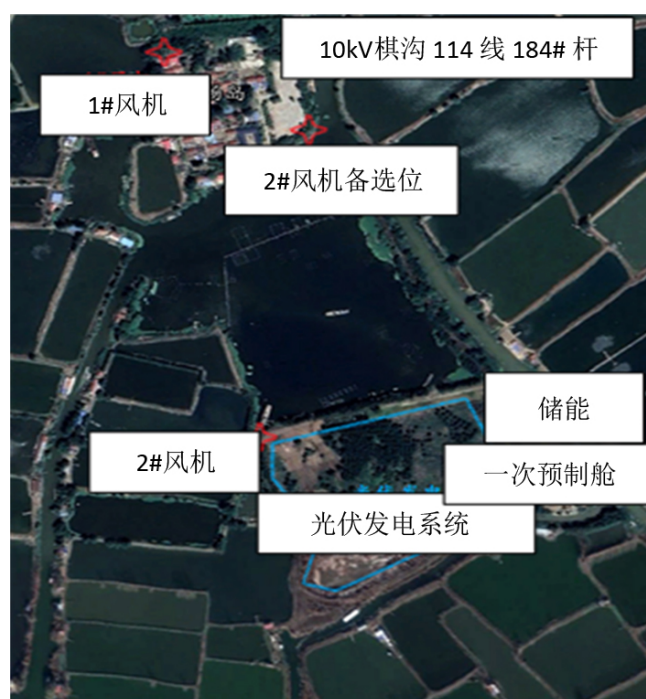


Figure 1. Distribution map of microgrid construction  
图 1. 微电网建设分布图

## 2.1. 方案选择

### 2.1.1. 方案一：全岛离网型微电网

#### 1) 全岛离网型微电网配置

全岛全年用电量, 根据宿迁供电公司资料, 全岛 2019 年用电量约为 190 万 kWh。储能系统, 目前岛上高峰负荷约 1000 kW, 负荷包含村民生活用电、鱼类养殖氧泵、水泵、通信基站及路灯等, 且未来负荷增长可能性低。考虑极端天气下, 储能对全岛 1000 kW 高峰负荷 24 小时供电, 即配置 1000 kW × 24 h 储能系统。考虑 1000 kW × 8 h 作为备用电源, 另外 1000 kW × 16 h 参与日常微电网供电; 光伏发电系统, 参考宿迁当地光伏年利用小时数暂按 1200 小时考虑, 参考当地风电资源的典型年利用小时数, 风电年利用小时数暂按 1500 小时考虑。根据表 1, 为满足全岛负荷电量平衡的需求, 若微电网仅配置光伏, 则需容量 1500 kW。故在戴场岛附近地面安装 1500 kWp 太阳能光伏发电系统。

**Table 1.** Capacity demand of micro-grid over the island  
**表 1.** 全岛微电网容量需求

序号	项目	出力	年利用小时数	全年能量(万 kW·h)
1	负荷			-190
2	光伏	1500 kW	1200 h	180
3	风电	150 kW	1500 h	22.5

风力发电系统,为提高供电可靠性,充分利用骆马湖风资源,根据戴场岛土地资源,考虑在湖边观光带安装 3 台 50 kW 风机。所发出的电送入新增的 10 kV 微电网电站。

#### 2) 全岛离网型微电网优劣势

**优势:** 改变了宿迁戴场岛上居民用电由徐州新沂公司主供电的配电网模式,运行、维护等服务界限更加清晰。光伏、风电及储能系统均在戴场岛,距用户更近,供电半径大幅缩短,线路损耗有效减少,减少了能源浪费。

**劣势:** 如当地光照连日晴好,全岛负荷无法消纳且蓄电池已充满,光伏及风电多发电量无法向公网输送,造成能源浪费。如连续多天天气较差,光伏、风电及蓄电池能量无法对满足全岛负荷用电,需及时评估用电情况,适时提早投入 10 kV 棋沟 114 线,如操作不及时或开关拒动后检修不及时,将造成岛上微电网长时间停电,对岛上居民生产生活造成影响,供电可靠性差。

### 2.1.2. 方案二: 全岛非离网型微电网

#### 1) 全岛非离网型微电网配置

储能系统,考虑极端天气下,公网线路发生故障,储能对全岛 500 kW 重要负荷 8 小时供电,即考虑  $500 \text{ kW} \times 8 \text{ h}$  储能作为备用电源,为运行抢修提供必要时间;光伏发电系统,根据戴场岛附近岛屿地面资源,安装 1500 kWp 太阳能光伏发电系统,所发出的电送入新增的 10 kV 微电网电站;风力发电系统,为提高供电可靠性,充分利用骆马湖风资源,根据戴场岛土地资源,考虑在湖边观光带安装 3 台 50 kW 风机。所发出的电送入新增的 10 kV 微电网电站。

#### 2) 全岛非离网型微电网优劣势

**优势:** 公网仍然实时参与全岛的电力供应,作为强大的供电保障,用电可靠性更高。光伏、风电及储能系统均在戴场岛,距用户更近,供电半径大幅缩短,线路损耗有效减少,减少了能源浪费。如不需要向公网倒送电,可以设置防逆流装置,或在能源系统策略中进行控制。如当地光照连日晴好,全岛负荷无法消纳且蓄电池已充满。光伏及风电多发电量可以向公网输送,能源得以有效利用。

**劣势:** 未改变宿迁戴场岛上居民用电由徐州公司供电的配电网模式。

### 2.1.3. 方案三: 戴场岛非离网型微电网

#### 1) 戴场岛非离网型微电网配置

全岛全年用电量,根据宿迁供电公司资料,戴场岛 2019 年用电量约为 63 万 kWh;储能系统,考虑极端天气下,公网线路发生故障,储能对全岛 320 kW 重要负荷 5 小时供电,即考虑  $320 \text{ kW} \times 5 \text{ h}$  (1600 kW·h) 储能作为备用电源,为运行抢修提供必要时间;风力发电系统,为提高供电可靠性,充分利用骆马湖风资源,根据戴场岛土地资源,考虑在湖边观光带安装 2 台 50 kW 风机。所发出的电送入新增的 10 kV 微电网电站;光伏发电系统,参考宿迁当地光伏年利用小时数暂按 1200 小时考虑,参考当地风电资源的典型年利用小时数,风电年利用小时数暂按 1500 小时考虑。根据表 2,为满足全岛负荷电量平衡的需求,则需光伏容量 400 kW。故在戴场岛附近地面安装 400 kWp 太阳能光伏发电系统。

**Table 2.** Capacity demand of micro-grid of Daishan island**表 2.** 戴场岛微电网容量需求

序号	项目	出力	年利用小时数	全年能量(万 kW·h)
1	负荷			-63
2	光伏	400 kW	1200 h	48
3	风电	100 kW	1500 h	15

## 2) 戴场岛非离网型微电网优劣势

**优势:** 公网仍然实时参与全岛的电力供应, 作为强大的供电保障, 用电可靠性更高。光伏、风电及储能系统均在戴场岛, 距用户更近, 供电半径大幅缩短, 线路损耗有效减少, 减少了能源浪费。如当地光照连日晴好, 全岛负荷无法消纳且蓄电池已充满。光伏及风电多发电量可以向公网输送, 能源得以有效利用。如不需要向公网倒送电, 可以设置防逆流装置, 或在能源系统策略中进行控制。

**劣势:** 未改变宿迁戴场岛上居民用电由徐州公司供电的配电网模式。

### 2.1.4. 方案比选

本工程三个方案投资估算对比表如下表 3。综上所述, 非离网型微电网能暂时解决戴场岛由徐州供电的配电网模式, 但是无法完全脱离徐州电网, 仍需由徐州电网作为后备电源, 以保证岛上居民生产生活用电的可靠性。另外, 由上表可见, 戴场岛非离网型微电网投资远低于全岛非离网型微电网。

**Table 3.** Comparison of micro-grid investment estimation**表 3.** 微电网投资估算对比表

序号	项目名称	方案一		方案二		方案三	
		数量	投资估算(万元)	数量	投资估算(万元)	数量	投资估算(万元)
1	光伏发电系统	1500 kW	600	1500 kW	600	400 kW	160
2	风力发电系统	150 kW	300	150 kW	300	100 kW	200
3	储能系统	24,000 kW·h	5520	4000 kW·h	1000	1600 kW·h	400
4	配电系统	1 套	50	1 套	50	1 套	30
5	控制系统	1 套	120	1 套	100	1 套	40
6	原电网改造	1 项	50	1 套	50	1 套	20
7	总投资估算		6640		2060		850

## 2.2. 微电网建设方案

1) 光伏建设方案, 因戴场岛面积较小, 拟在岛南侧岛屿上安装 1500 kWp 光伏发电系统。戴场岛地处北纬 34°11'21", 东经 118°11'21", 根据 PVsyst 光伏软件计算得出当地的 Meteonorm 光资源情况如图 2。当地年平均太阳辐射量 4889.88 MJ/m<sup>2</sup>/a, 属我国第三类太阳能资源区域, 具有利用太阳能发电, 实施光伏发电工程的有利条件。

2) 风力发电建设方案, 因戴场岛面积较小, 且岛东北角立有电力杆塔, 岛西南角立有通信杆塔。故拟主要在岛东南角及西北角安装风机。另外, 因戴场岛水域复杂, 大型风机无法由水路进入岛屿, 本次考虑低风速风机。19.8 kW、30 kW 及 50 kW 风机参数如表 1 所示, 考虑到戴场岛可建设风机地块有限, 拟用 2 台 50 kW 风机。

3) 储能建设方案, 对储能电池类型进行比选, 铅炭相比传统铅蓄电池的成本较低, 但其能量密度和充放电倍率低, 不能满足本项目要求。全钒液流电池能量密度低, 成本高、占地面积大。磷酸铁锂作为政府重点推广的电池类型, 是将来储能电池的主流技术路线, 具备安全可靠、放电深度和充放电倍率高等优势, 故采用磷酸铁锂电池。蓄电池储能系统容量按照保证 320 kW 负荷功率进行配置, 容量备用时间为 5 小时, 综合考虑目前储能变流器的容量, 本项目中将储能电池的容量设计为 320 kW × 8 h。

### 3. 仿真验证

#### 3.1. 仿真平台建立

根据上述建设方案, 基于 Matlab/Simulink 建立风光储微电网仿真平台。如图 2 所示, 其中风力发电系统采用风机平均模型与双馈发电机模块, 光伏发电系统采用光伏模块、最大功率跟踪控制, 储能系统采用磷酸铁锂电池模块, 微电网为交流并网方式, 并网控制采用 PQ 控制策略。系统参数为: 储能系统, 磷酸铁锂电池 320 KW × 5 h (1600 kw-h), 风力发电系统共 2 台 50 KW 装机容量双馈风机, 光伏发电系统地面安装 400 kw p 太阳能发电系统, 一次设备预制舱将两台变压器接入预备舱 10 KV 母线, 并网电压等级 10 kV, 双向变流器额定容量为 320 kW。

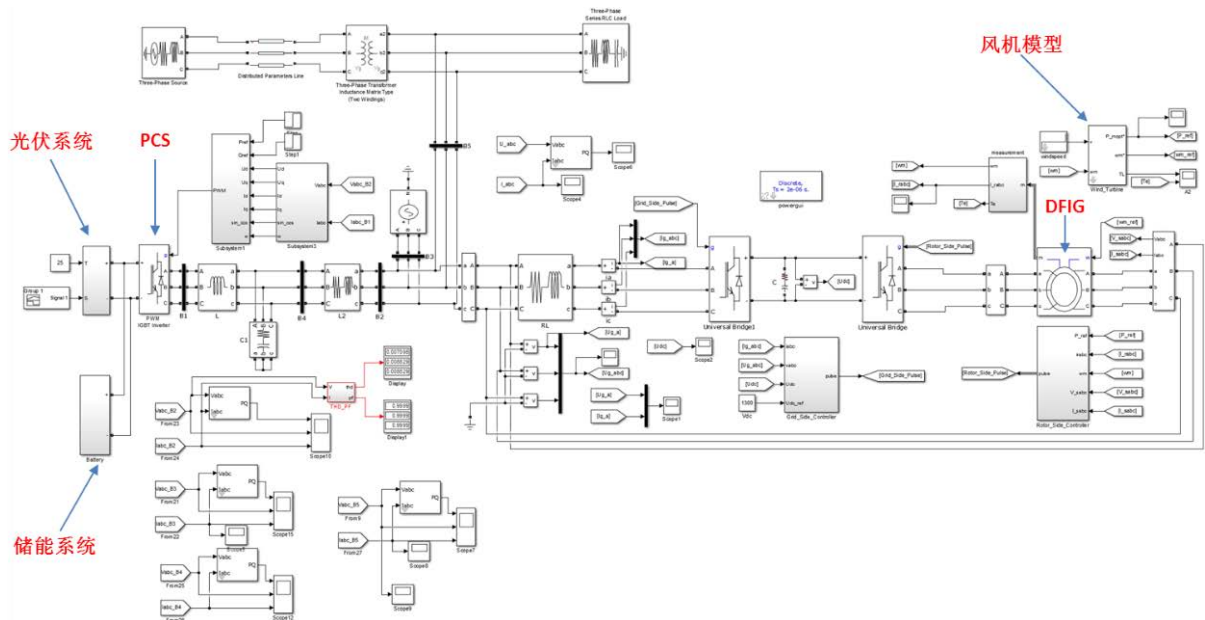


Figure 2. Schematic diagram of microgrid simulation platform  
图 2. 微电网仿真平台示意图

#### 3.2. 电能质量分析

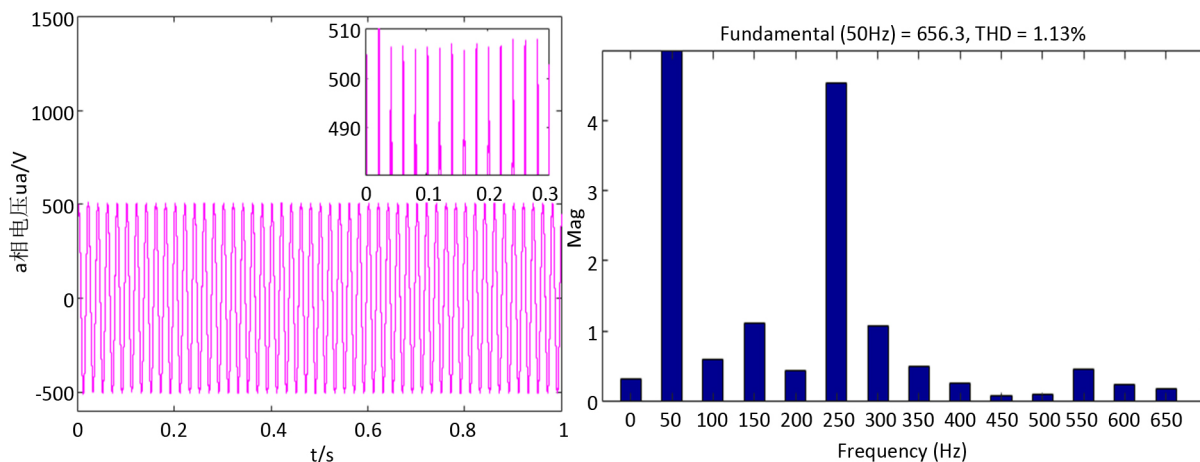
在常规负载下, 分别观察并网点电压偏差, 电压波动以及谐波特性, 如图 3、图 4 所示采用快速傅里叶变换对各次谐波分量进行分析, 表达式如下:

$$F(\omega) = \hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

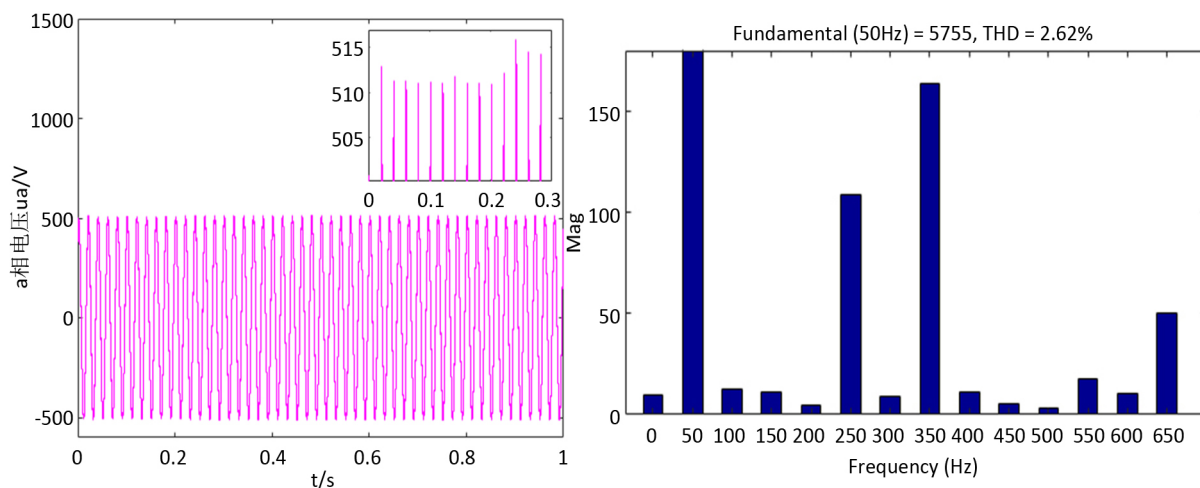
其反变换为

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2)$$

结果表明光伏电压波动、风机输出电压波动以及 10 kV 并网点电压波动都很小，并网点电压、频率偏差均小于 0.3%，电压波动值为 0.1%，PCS 处的总谐波畸变率(THD)为 0.8%，一方面验证了建立的仿真平台正确性，同时也表明系统参数设计合理，能够满足设计需求并确保系统稳定运行。



**Figure 3.** PV A phase voltage and grid-connected harmonic component  
**图 3.** 光伏 a 相输出电压曲线和光伏并网谐波含量



**Figure 4.** Wind power A- phase voltage and grid-connected harmonic component  
**图 4.** 风机 a 相输出电压曲线和风机并网谐波含量

## 4. 结论

本文设计的微电网发电系统装机容量 400 kW 光伏及 100 kW 风电，年平均发电量 630 MWh，与相同发电量的火电相比，每年可为电网节约标煤约 205 t (火电煤耗按 326 g/kWh 计)。同时相应每年可减少燃煤所造成的多种有害气体的排放，减少相应的水力排灰废水和温排水等对水环境的污染，具有明显的环境效益和节能效益，同时，本文对照建立的仿真平台，验证了系统方案与容量配置的正确性。

## 基金项目

本文研究获得江苏省研究生实践创新项目“基于多能互补的综合能源利用技术及建模仿真研究，SJXC20\_0440”、企业横向项目“微电网系统建模仿真与平台开发，科技开发 20-016”资助。

## 参考文献

- [1] 章激扬, 李达, 杨苹, 许志荣, 周少雄. 光伏发电发展趋势分析[J]. 可再生能源, 2014, 32(2): 127-132.
- [2] 丁明, 王伟胜, 王秀丽, 宋云亭, 陈得治, 孙鸣. 大规模光伏发电对电力系统影响综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 1-14.
- [3] 沈瑶. 多能互补微网综合建模及运行特性分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [4] 连维良. 加大推进力度加快改革步伐全面深化认真落实电力体制改革[J]. 宏观经济管理, 2017(5): 4-8.
- [5] 甘梓宁. 微电网研究综述[J]. 科技资讯, 2020, 18(5): 43-44.
- [6] 梁栋, 段晨东, 张彦宁. 基于风/光/储互补的海岛微电网电气系统设计[J]. 电气自动化, 2019, 41(5): 27-30.
- [7] 王金玉, 潘阳阳, 钱勇. 适用于岛屿环境的微电网发电系统设计[J]. 电力学报, 2019, 34(4): 395-398+410.
- [8] 刘松, 聂明林. 综合楼宇场景下的混合微电网应用设计[J]. 电力系统装备, 2020(7): 82-84.