

# 离网型海岛综合能源微电网架构设计与实现

岳付昌<sup>1</sup>, 王博<sup>1</sup>, 杜云虎<sup>1</sup>, 伏祥运<sup>1</sup>, 邵林<sup>2</sup>

(1. 国网连云港供电公司, 江苏 连云港 222000; 2. 国网盐城供电公司, 江苏 盐城 224006)

**摘要:** 传统的海岛微电网能源形式单一, 考虑柔性负荷参与能量调节较少, 网架结构简单。设计海岛综合能源微电网功能架构, 充分利用波浪能、风能、太阳能等清洁能源, 通过虚拟同步发电机技术提高分布式能源发电的稳定性, 以能源路由器作为控制核心, 灵活调节海水淡化装置、电转气装置等柔性负荷, 实现源荷互动控制, 研究能源路由器、虚拟同步发电机、源荷互动、信息物理融合系统在海岛微电网中的实现方式, 并应用到车牛山岛微电网示范工程。

**关键词:** 海岛微电网; 能源路由器; 虚拟同步发电机; 源荷互动; 信息物理融合

**中图分类号:** TM62

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2016)05-0044-04

能源问题逐渐成为世界关注的焦点<sup>[1,2]</sup>。2016年3月, 全球能源互联网大会提出全球能源互联网每年能带动国内投资增长2万亿元。在实体经济发展乏力的情况下, 新能源产业无疑能够刺激国内经济增长。2015年, 国家电网公司全面解决了大电网覆盖范围无电人口用电问题, 然而对于450个有人居住的沿海岛屿<sup>[3]</sup>, 普遍采用柴油发电机发电带来的供电稳定性和环境污染问题日益突出, 由于海上资源匮乏, 定期补给耗费大量人力物力财力。

传统的海岛微电网网架结构简单, 多采用交流母线、直流母线和交直流混合微电网结构<sup>[4]</sup>, 供电供能多样性不足, 弃风弃光问题严重。随着能源互联网的发展、新能源产业相关技术的不断成熟以及智慧岛屿服务多样性的提升, 未来海岛将不仅局限于电网, 而是以电力网为核心, 天然气网、热力网、交通网协调应用的综合能源互补生态系统<sup>[5,6]</sup>。能源路由器、虚拟同步发电机(VSG)等技术的深入研究和逐步试点应用将改变传统微电网功能架构<sup>[7,8]</sup>, 将对未来海岛微电网规划设计、新能源发电、运行控制及能量管理、储能配置与储能优化等产生影响。文中设计了未来智慧岛屿建设基本功能架构, 研究能源路由器、VSG、源荷互动及信息物理融合系统(CPS)的实现方式, 并应用到车牛山岛示范工程, 为分布式电源、柔性负荷在海岛上大规模高效率应用提供思路, 实现能源的综合高效利用。

## 1 国内海岛微电网技术现状

国内海岛微电网工程建设起步较晚, 近年来, 海岛微电网试点工程发展迅速, 已建的海岛微电网主要集中在珠三角、浙江沿海以及山东半岛海域<sup>[9]</sup>。各试点工程分布式电源渗透率高, 实现风-光-柴-储多能互补, 波浪能、海流能逐渐得到开发利用, 海水淡化负荷参与系统功率调节。电力物联网技术、先进电力电

子技术、电动汽车充换电技术、蓄电池多体混合调配技术等得到试点应用。一些岛屿微电网装机容量突破兆瓦级, 实现了多种能源的协调控制和并离网灵活切换。然而, 微电网规划设计主要集中在分布式电源、储能配置研究<sup>[10]</sup>, 微电源容量设计多以经济成本、回收成本配置, 优化目标不尽相同<sup>[11]</sup>。分布式发电除风能、太阳能以外, 抽水蓄能、海洋能、生物质能等受环境影响较大, 波浪发电、海流发电装置多由高校和科研机构研发, 尚无成熟的商业化产品。运行控制主要采用主从控制和下垂控制策略, 恶劣天气弃风弃光严重, “即插即用”功能难以实现。储能大都采用铅酸蓄电池储能、磷酸铁锂电池储能以及混合储能3种方式<sup>[12]</sup>, 以成本、效率、使用寿命等作为多目标进行优化设计, 但是大规模储能成本高昂, 环境负担重。

## 2 基本功能架构设计

传统的海岛微电网网架结构简单, 如图1所示。交流母线和直流母线结构设计简单, 交直流转换设备较多, 投资较大。交直流混合母线结构能够合理分配交直流电源和负荷, 减少单一母线交直流转换设备成本, 然而并不适用于分区自治的微电网群, 恶劣天气下能源利用率低。

文中设计一种以能源路由器为核心的控制设备, 考虑综合能源高效互补利用的新型海岛微电网基本功能架构如图2所示。

能源路由器作为核心设备连接分布式电源、储能及柔性可调负荷, 具有变压调节、交直流转换、无功补偿、限制故障电流、改善电能质量等功能, 为多能互补微电网和微电网群提供标准化接口, 与能量管理系统(EMS)灵活双向互动, 实时响应系统运行情况, 制定分布式电源、柔性负荷投切计划, 实现微电网安全稳定。储能系统通过含VSG特性的储能逆变器连接到能源路由器。海岛微电网由于DG具有随机性、间歇性及不

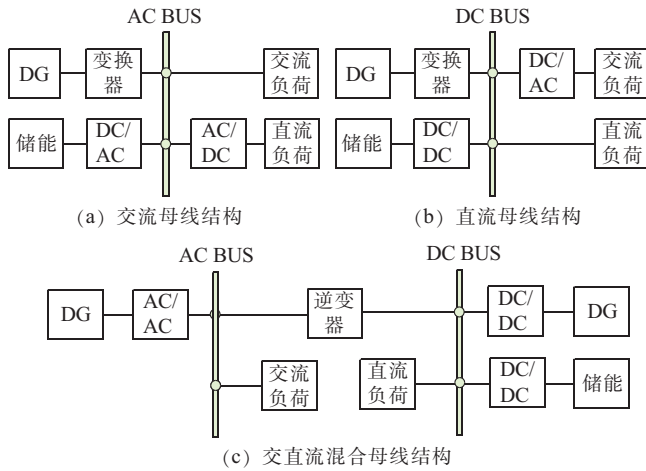


图1 传统海岛微电网基本架构

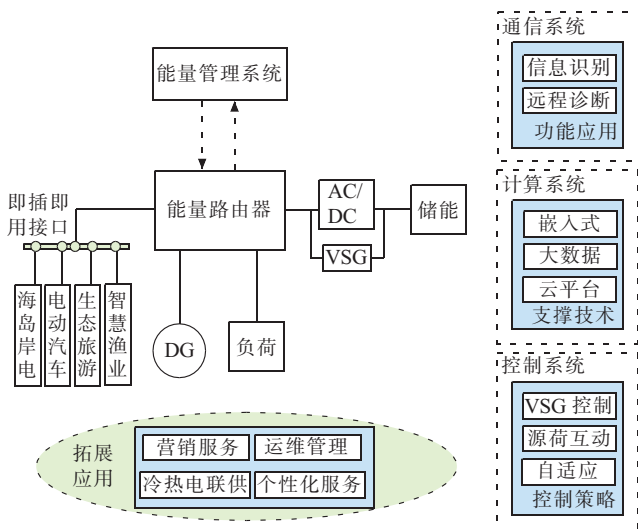


图2 综合能源海岛微电网基本功能架构

可控性等特点,频率稳定性差,电压支撑能力弱,并网逆变器转动惯性及阻尼几乎可以忽略,通过VSG控制策略增强系统机械惯性和阻尼,模拟同步发电机频率控制和电压控制特性,抑制频率和电压快速波动,从而提高电网稳定性和功率分配能力。

DG包括风力发电、光伏发电、海洋能发电等,多种能源形式互补发电,提高供电可靠性。海岛微电网提供多个即插即用接口,便于开展海岛岸电建设,降低能源损耗,实现生态旅游和智慧渔业。对于大型离网海岛微电网,适宜建设电动汽车充换电设施,实现电动汽车在海岛上的推广应用。

负荷包括常规负荷及柔性可调负荷,常规负荷包括照明、空调、居民生活用电等,海岛微电网须保障常规负荷稳定供电。柔性负荷包括电动汽车、海水淡化、电转气(P2G)及储能等,此类负荷可在适当范围灵活调整,与分布式电源互动响应,制定灵活投切计划参与功率调节,平抑间歇性能源波动,通过源荷互动,实现功率实时动态平衡。

CPS实现通信系统、计算系统与控制系统3C有

效协同。通信系统通过传感器、探测器等感知海岛微电网实时运行信息,海量监测数据依托计算系统的嵌入式、大数据和云平台先进技术支撑,实现物理域与信息域的融合。控制系统根据计算系统传输的数据,制定智能控制策略,实现离网型海岛微电网的VSG控制、自适应控制和源荷互动。

拓展应用包括营销服务、运维管理、冷热电联供、个性化服务等。未来智慧岛屿将逐渐丰富能源形式,开展智能家居、智能用电等个性化服务,实现海岛综合能源微电网成熟运作模式并推广应用。

### 3 智能新技术的实现

基本功能架构设计中增加多种智能新技术。重点介绍4种新技术在未来海岛微网架构中的实现方式。

#### 3.1 能源路由器

能源路由器为多端口拓扑结构,实现方式可分为2种,如图3所示。

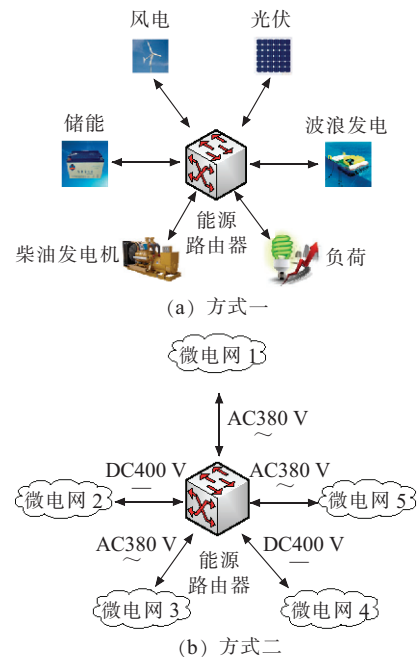


图3 能源路由器实现方式

方式一:连接多个DG、储能系统和负荷,设置交流直流多端口,实现含波浪能的风-光-柴-储多能互补,此方式适用于离网型独立海岛微电网建设。

方式二:作为核心控制单元,连接多个不同架构微电网,实现区域各个微电网的整体能量流协调控制,此方式适用于距离较近的海岛微电网群。

离网型海岛微电网群可以综合考虑方式一与方式二,各微电网之间通过总能源路由器连接,单个微电网通过子能源路由器连接,实现能量流的单个微电网局部自愈及整个微电网群的系统平衡。

能源路由器在海岛微电网中的应用还需要考虑多微电网联合运行的电压稳定控制问题以及“即插即用”的成组化设计问题。

### 3.2 VSG

VSG技术以下垂控制特性为基础,实现方式如图4所示,储能系统经过含VSG功能的储能逆变器连接到交流母线,能源路由器提供多端口连接交直流两个微电网。储能电源假设为理想的直流电压源,VSG从外特性上等效于受控电压源,稳定微电网主要负荷的母线电压。

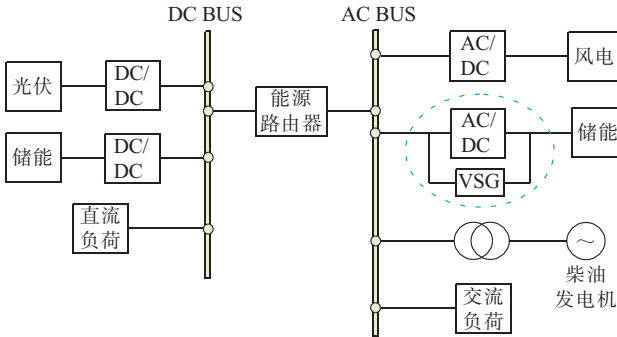


图4 VSG实现方式

系统发生有功波动时,VSG由于惯性和阻尼,抑制频率变化,无功发生波动时,通过调节励磁,实现电压的缓慢变化,从而改善微电网的运行特性,提高新能源消纳能力。此种方式下,如何在电压和频率出现较大波动情况下为电网提供惯性支撑,减小冲击性负荷及短路冲击负荷对电网的影响,是实现VSG功能的难点。另外,多机情况下的并联均流、并联带载运行以及并离网切换过程中的协调控制等问题是VSG实现过程中研究的热点。

### 3.3 源荷互动

传统海岛微电网负荷侧缺乏弹性,电网调度需考虑实时平衡负荷用电需求。基于需求侧响应技术对负荷进行调节能够提升新能源消纳能力。

离网型海岛微电网源荷互动控制可通过灵活调节DG出力,制定柔性负荷投切计划实现。图5为源荷互动的一种实现方式。“源”是指分布式电源,包括风电、光伏、柴油发电机,“荷”是指能够参与功率平衡调度的柔性负荷,包括储能、海水淡化装置、电动汽车以及P2G装置。能源路由器采用智能协调控制算法,实现分布式能源梯级利用和负荷精细化管控。

研究分析DG、储能、负荷在不同时间、空间尺度下的机理模型和功率输出特性,考虑多类型能源源荷特性匹配,实现多重约束条件、多种运行目标的非线性复杂系统能量优化是实现源荷互动控制的基础。

### 3.4 CPS

CPS系统在离网型综合能源海岛微电网中的技术实现如图6所示。海岛微电网采用智能传感技术采集大量现场数据信息,通过先进的通信系统传输到计算中心,计算中心依托大数据、云平台对采集的海量数据进行处理分析,能量管理系统根据接收到的分析结果,

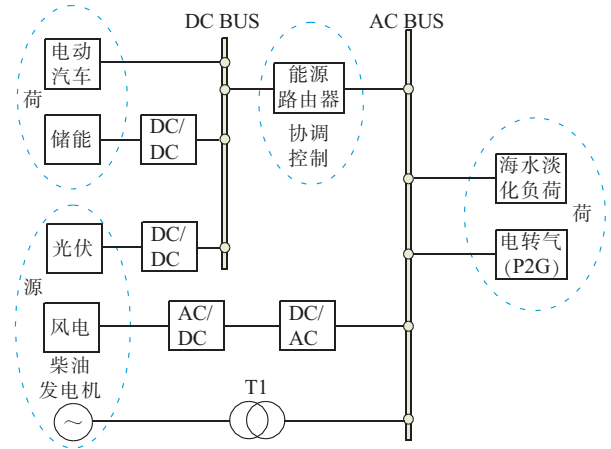


图5 源荷互动实现方式

结合智能优化算法和协调控制策略,实时响应海岛微电网运行情况。

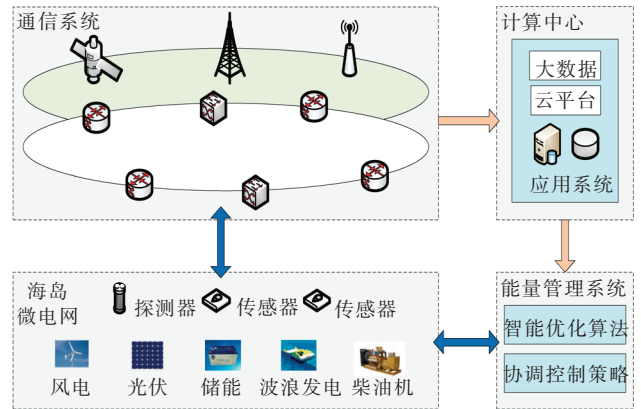


图6 CPS实现方式

实施过程中,可采用先进无线通信技术实现偏远海岛视频、语音信号传输,通过设置中继等手段保障远距离信息传输,通过数据分析与挖掘实现海岛微电网故障诊断分析并进行全景化展示。

海岛微电网引入CPS系统,能够提高偏远海岛的信息处理、远程通信、故障诊断和精细化协调控制能力,使整个海岛微电网具有更高的灵活性、可靠性和安全性。

## 4 示范工程应用

连云港供电公司拟将此海岛微电网架构设计方法应用于车牛山岛微电网建设。车牛山岛地理位置如图7所示,该岛位于黄海海州湾内,距离陆地50 km,总面积0.06 km<sup>2</sup>。

岛上目前有武警边防支队、海事局航标处及中国移动基站三方面负荷,各自拥有独立的发电设备。具体情况如表1所示。

由于资源匮乏,每半个月须由连云港港口配送物资,岛上驻军饮水、洗澡问题突出。随着海岛旅游业的发展,岛上宾馆用电紧张,牵制海岛开发进程。为了解决岛上能源问题,现拟在车牛山岛上建设一个能源综



图7 车牛山岛地理位置

表1 车牛山岛负荷情况

用户	网架结构	分布式电源	负荷
武警边防支队	交流母线	光伏 30 kW、柴油发电 30 kW、铅酸电池 100 kW·h	空调、照明、雨水净化器,全负荷运行预计 40 kW
海事局航标处	交流母线	风电 4×10 kW、铅酸电池 60 kW·h	航标设备、照明
中国移动	直流母线	光伏 20 kW、铅酸电池 40 kW·h	通信设备

合利用的海岛微电网。

考虑到高昂的海底电缆建设和维护成本,车牛山岛微电网工程规划建设为离网型海岛微电网。岛上用电量小,可再生能源丰富,适合能源路由器试点应用。武警边防支队、海事局航标处、中国移动视为3个独立微电网,能源路由器作为核心设备,提供交直流多端口,将3个独立微电网组成海岛微电网群,试点应用VSG实现高渗透率情况下海岛微电网的稳定运行。

项目计划试点应用1套3 kW点吸式波浪发电装置,建设含波浪能的风、光、柴、储多能互补系统;1套30 kW海水淡化装置,作为柔性负荷参与功率调节;1套2 kW电转气装置,试点解决能量过剩时的弃风、弃光现象;1套100 kW能源路由器,实现源荷协调互动;1套50 kW含VSG功能的储能逆变器,稳定系统电压和功率;1套能量管理系统,实现能源梯级利用及负荷精细化管控;1套在线监测和远程诊断系统,试点建设CPS系统,实现远程运行维护,另外考虑海岛旅游业发展,增加30 kW光伏薄膜发电设备。拟建成的离网型能源互联海岛微电网如图8所示。

车牛山岛微电网工程通过能源路由器实现边防微电网、海事微电网和移动微电网的协调控制,能源路由器与能量管理系统、在线监测与远程诊断系统双向互动,VSG为整个微电网提供电压支撑,风电、光伏、波浪发电等多种DG与海水淡化负荷、P2G负荷等多种柔性负荷实现源荷互动,整个系统融入到CPS系统,依托大数据、云平台及智能控制策略,实现整个车牛山岛能源的综合利用。

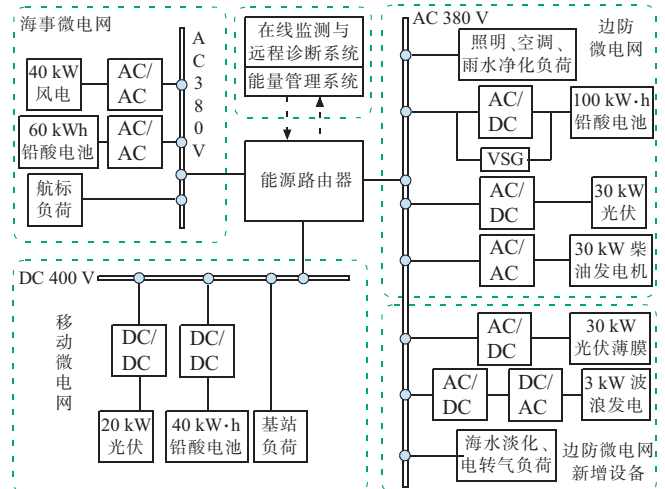


图8 车牛山岛微电网示意图

## 5 结束语

在传统海岛微电网建设基础上,提出了一种以能源路由器为核心控制装置,考虑波浪能、风能、太阳能等多种可再生能源综合利用的离网型海岛微电网基本功能架构。该结构基于先进通信技术,实现多微电网互联、能量合理调配及负荷侧互动响应,提高新能源消纳能力及系统运行稳定性。文中研究了能源路由器、虚拟同步发电机、源荷互动、信息物理融合系统等智能新技术在海岛综合能源微电网架构下的实现方式,并应用到车牛山岛微电网示范工程。在后续工作中,还须对系统综合建模仿真、能量最优调度、协调运行控制以及电网稳定性等方面进行研究。

### 参考文献:

- [1] 沈洲,周建华,袁晓冬,等.能源互联网的发展现状[J].江苏电机工程,2014,33(1):81-84.
- [2] 张先勇,舒杰,吴昌宏,等.一种海岛分布式光伏发电微电网[J].电力系统保护与控制,2014,42(10):55-61.
- [3] 王坤林,游亚戈,张亚群.海岛可再生独立能源电站能量管理系统[J].电力系统自动化,2010,34(14):13-16.
- [4] 欧阳丽,葛兴凯.海岛智能微电网技术综述[J].电器与能效管理技术,2014(10):56-59.
- [5] 董朝阳,赵俊华,文福拴,等.从智能电网到能源互联网:基本概念与研究框架[J].电力系统自动化,2014,38(15):1-11.
- [6] 田世明,栾文鹏,张东霞,等.能源互联网技术形态与关键技术[J].中国电机工程学报,2015,35(14):3482-3494.
- [7] 马钊,周孝信,尚宇炜,等.能源互联网概念、关键技术及发展模式探索[J].电网技术,2015,39(11):3014-3022.
- [8] 孟建辉,石新春,王毅,等.改善微电网频率稳定性的分布式逆变电源控制策略[J].电工技术学报,2015,30(4):70-79.
- [9] 杨欢,赵荣祥,辛焕海,等.海岛电网发展现状与研究动态[J].电工技术学报,2013,28(11):95-105.
- [10] 张丹,王杰.国内微电网项目建设及发展趋势研究[J].电网技术,2016,40(2):451-458.

- [5] 王亮, 裴愉涛, 李力, 等. 广域同步测量技术在智能电网保护与控制中的应用[J]. 江苏电机工程, 2015, 35(2): 43-46.
- [6] 任雁铭, 操丰梅. IEC 61850 新动向和新应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2): 1-6.
- [7] IEC/TR 61850-90-5 Communication Networks and Systems for Power Utility Automation - Part 90-5: Use of IEC 61850 to Transmit Synchrophasor Information According to IEEE C37.118[S]. 2012-01.
- [8] Communication Networks and Systems for Power Utility Automation. Use of IEC 61850 to Transmit Synchrophasor Information According to IEEE C37.118[S].
- [9] 许勇, 王慧铮, 李倩, 等. 智能变电站同步相量测量装置研制[J]. 电网技术, 2010, 34(11): 1-5.
- [10] 朱超, 王锐, 顾小宇, 等. 智能电站中电子式互感器数字接口的设计[J]. 电器与能效管理技术, 2015(11): 28-32.
- [11] 王义军, 刘斌, 陈樨. 智能变电站全站统一式通信网络研究[J]. 电测与仪表, 2014, 51(14): 27-31.
- [12] 王保义, 王民安, 张少敏. 一种基于 GCM 的智能变电站报文安全传输方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(3): 87-92.

作者简介:

朱超(1987), 男, 江苏南京人, 博士, 从事变电站自动化与嵌入式系统设计研究工作;

张兆君(1977), 男, 江苏金坛人, 工程师, 从事变电运行工作;

倪玉玲(1990), 女, 江苏盐城人, 硕士, 从事智能变电站自动化研究工作;

缪晓刚(1988), 男, 江苏南通人, 硕士, 从事特高压变电运行工作;

吴兴泉(1989), 男, 广东中山人, 硕士, 从事特高压变电运行工作。

## Research on Communication Service Structure of PMU in Intelligent Substation

ZHU Chao<sup>1</sup>, ZHANG Zhaojun<sup>1</sup>, NI Yuling<sup>2</sup>, MIAO Xiaogang<sup>1</sup>, WU Xingquan<sup>1</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Maintenance Branch, Nanjing 211102, China;

2. State Grid Yancheng Power Supply Company, Yancheng 224005, China)

**Abstract:** The existing object model of PMU cannot meet the requirement of computing the frequency variation or provide safe routable communication protocol. So in this paper, a PMU information model based on IEC 61850-90-5 is proposed after analyzing the similarities and differences between IEC 61850-90-5 and IEEE C37.118. The communication service used for synchronous phasor exchange is studied according to 90-5 protocol. And new transmission and control blocks are configured to improve the existing PMU object model. As a result, this method improves transforming ability from IEEE C37.118 to IEC 61850-90-5, and achieves better performance of synchronous measurement. It also lays the theoretical foundations for establishing a unified communication model between PMU and master station.

**Key words:** synchronized phasor measurement unit (PMU); object model; IEC 61850-90-5; communication service structure

(上接第 47 页)

[11] 郑秀玉, 黄娜, 余建华, 等. 海岛微电网多种分布式电源定容研究[J]. 电源技术, 2014, 38(10): 1913-1916.

[12] 张翼. 电力储能技术发展和应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(4): 81-84.

作者简介:

岳付昌(1985), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事智能微电网及主动配电网等研究工作;

王博(1988), 男, 河北安平人, 工程师, 从事电力系统节能、城市配电网智能化改造等研究工作;

杜云虎(1974), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事电力营销及用电管理等研究工作;

伏祥运(1977), 男, 江苏连云港人, 高级工程师, 从事电网经济调度、运行及主动配电网等研究工作;

邵林(1987), 男, 江苏盐城人, 工程师, 从事电网经济调度与运行等研究工作。

## Architecture Design and Implementation of Off-grid Multi-energy Micro-grid in Marine Areas

YUE Fuchang<sup>1</sup>, WANG Bo<sup>1</sup>, DU Yunhu<sup>1</sup>, FU Xiangyun<sup>1</sup>, SHAO Lin<sup>2</sup>

(1. State Grid Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222000, China;

2. State Grid Yancheng Power Supply Company, Yancheng 224006, China)

**Abstract:** Traditional micro-grids in marine areas have the disadvantages of single energy, less participating in energy regulation of flexible loads, and simple grid structure. Against these disadvantages the functional architecture of multi-energy micro-grid in marine areas was designed in this paper. The micro-grid made full use of the characteristics of clean energy such as wave, wind and solar, and took advantage of VSG technology, to improve the stability of distributed energy generation. Energy router was treated as the control center of the micro-grid to realize controlling source-load interaction by adjusting flexible loads such as seawater desalination device and P2G device. Implementations of energy router, VSG, source-load interaction, CPS in micro-grid in marine areas were studied and applied to the micro-grid demonstration project in Cheniushan island.

**Key words:** micro-grid in marine areas; energy router; VSG; source-load interaction; CPS