

# 微电网能量管理系统功能结构研究\*

崔琼<sup>1,2</sup>, 舒杰<sup>1,2</sup>, 吴志锋<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640; 2. 江苏省光伏科学与工程协同创新中心, 江苏 常州 213164)

**摘要:**微电网系统包含多种微电源和不同类型的负荷,受自然条件的限制,微电源的波动幅度和速度常常大于负荷的变化,因此微电源对电网稳定性的扰动也常大于其负荷,从而使得传统的能量管理系统不再适用。为了充分发挥微电网低碳、经济的优势,需要优化微电网的能量调度以使微电源得到最大利用。针对微电网系统的特点,提出了一套较为完善的微电网能量管理系统,并对其各功能模块的主要任务及其完善的特色进行了详细阐述,该系统能够实现预报、实时、历史信息的全面监测、微电网系统状态的同步监控、预报警和预防控制以及微电网的能量多目标优化运行综合协调控制功能。提出的微电网能量管理系统进一步完善了微电网的控制功能,提高了微电网的控制精度和有效性,为原型系统的开发及工程应用提供重要支持。

**关键词:**微电网;能量管理系统;同步监控;预报信息;预报警;预防控制;多目标优化运行;综合协调控制

中图分类号:TM933

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2015)05-0118-05

## Research on functional structure in micro-grid energy management system

Cui Qiong<sup>1,2</sup>, Shu Jie<sup>1,2</sup>, Wu Zhifeng<sup>1,2</sup>

(1. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China. 2. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Photovoltaic Science and Engineering, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

**Abstract:** Micro-grid system contains variety of power sources and loads. Restricted by the natural condition, as the fluctuation range and speed of power sources is more rapidly than that of loads, the power source has greater impact on the disturbance of micro-grid stability than load. Therefore, traditional system for energy management does not work anymore. In order to make full extent of its advantages such as low-carbon and economic benefits, much optimization should be imposed on energy management system. The paper put forward a novel energy management system suitable for micro-grid system concerned. The main mission and characteristics of each function is elaborated in detail. The system could achieve all-round monitor, synchronous monitor, pre-alert and multiple-target energy optimization. Compared to the original energy management system, the proposed micro-grid energy management systems could further improve the micro-grid control function, control accuracy, and provide important support to the development and application of the prototype system.

**Keywords:** micro-grid, energy management system, monitor synchronized, forecast information, prediction of alarm, preventive control, multi-objective optimization, integrated coordination control

### 0 引言

微电网以分布式发电(微电源)小型化和数量多特点,各微电源的发电特性不同,发电量与环境温度、风速、日照辐射量等条件密切相关,使输出有很

大的随机性和波动性。微电网中的负荷也会随着时间、天气和经济等因素而不断变化。这使得分布式发电设备的故障率也随环境条件和时间变化,微电源和负荷之间的能量交换过程也变得更为复杂。传统的能量管理系统中,只采用侧重于监测系统稳态运行情况的 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)进行信息采集与监控,无法实现整体动态分析、同步监测。

\* 基金项目:广东省高新区产业化引导项目(2112B0900023);中科院佛山市合作项目(2012HY1006551);国家自然科学基金资助项目(51206170)

对于多能源微电网,其能量管理系统需要从微电网的系统安全、供电品质、经济环保等多方面进行综合调控。目前,国内外的研究主要针对微电网系统网络结构框架、调度控制策略以及单元级发电/储能的控制,对微电网系统级的能量管理系统的研究还处于理论起步阶段<sup>[1]</sup>。文献[2]主要对微电网能量管理系统的人机界面设计进行了优化。文献[3]提出了一种基于中央控制器分层控制的微电网能量管理策略,分析微电网运行的两种市场政策。文献[4-5]主要对微电网经济运行的能量调度策略的研究以及人机界面的设计。文献[6]通过研究基于 PQ 控制的逆变器仿真模型和基于下垂特性控制的逆变器数学建模,进行微电网控制策略的分析。微电网

研究领域目前对微电网系统级能量管理体系的研究文献很少。

综上所述,针对微电网自身特点,在传统能量管理系统的基础上,提出了一种较为完善的微电网能量管理系统,该系统能够实现预报、实时、历史信息的全面监测、系统同步监控、预报警和预防控制以及多目标优化运行综合协调控制功能。下面从系统功能和系统结构两个方面进行介绍,并着重介绍信息采集与数据预处理、网络分析、能量优化功能模块的主要任务及其完善特色。

### 1 系统功能

微电网能量管理系统功能体系结构见图 1,分为信息采集与数据预处理、网络分析和能量优化,共 3 个单元。

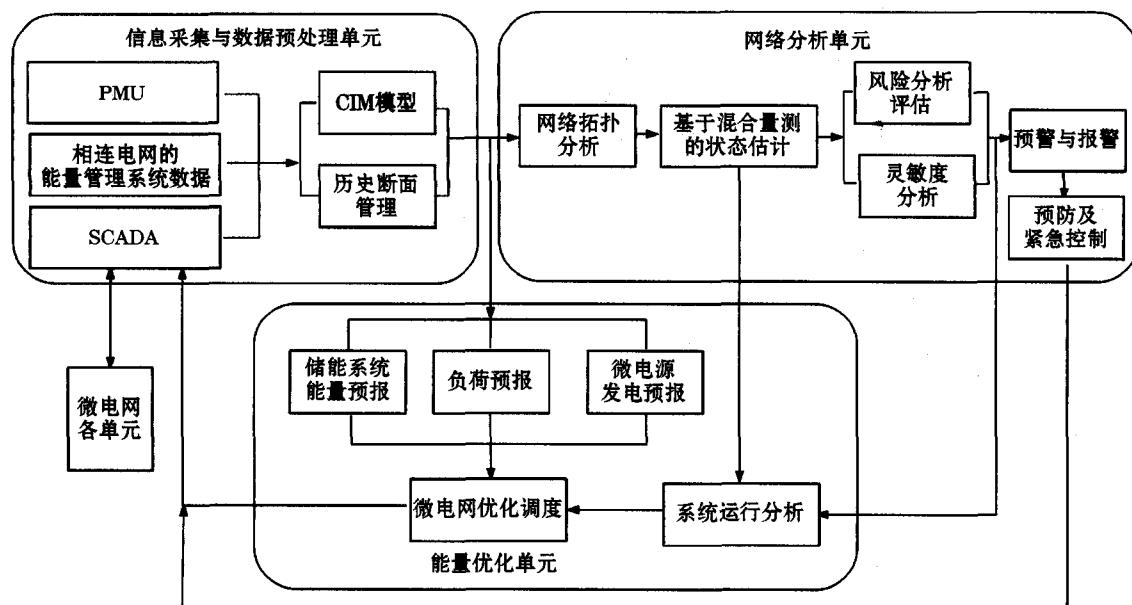


图 1 系统功能图

Fig. 1 System function diagram

#### 1.1 信息采集与数据预处理

主要任务是采集微电网各单元模拟量和开关量数据、天气信息、相量数据,以及相连电网的能量管理系统数据;结合 CIM 模型,管理微电网历史断面信息,进行数据挖掘预处理,为下一步的应用提供整合的模型、图形和参数。

采用 SCADA 与 PMU 混合量测<sup>[7]</sup>,实现对微电网系统状态进行同步监测,克服了 SCADA 监测过程中,由于监测地点不同造成的监测结果之间缺乏准确的统一时标,难以对全系统进行整体动态分析,系统仿真模型也只能通过离线方式进行校正的问题。

以 SCADA 和 PMU 模块为能量管理系统与微电网各单元之间数据上传下达的传输控制模块,建立

一套基于 CIM 模型<sup>[8]</sup>的 PI (Plant Information) 实时数据库为系统数据的交换存储基地,通过 CIM 模型,可以在微电网能量管理系统内部以及不同的能量管理系统之间进行数据共享和交换,进而实时监测微电网和其他电网相连节点的电参数信息,保证微电网和相连电网之间能量交换的安全稳定性。

利用历史断面管理模块<sup>[9]</sup>,进行模型匹对关联,数据合并、数据修饰、数据补招等数据挖掘预处理功能,实现了所采集信息的集成,以构成历史断面,供系统下一步的高级应用功能模块分析所用。

#### 1.2 网络分析

用于结合上一单元中整合的模型、图形和参数,进行基于混合量测的微电网状态估计,求取微电网

状态变量;根据微电网状态变量以及控制变量,并结合微电网各单元设备的健康状态,进行风险分析评估和灵敏度分析<sup>[10-11]</sup>,预测潜在的故障,量化消除潮流越限故障的调整因素;通过预警与报警模块,将危险、故障情况以声、光方式警示,并迅速地采取相应的预防措施或者进行紧急控制。

采用基于混合量测的状态估计,在网络拓扑分析的基础上,依据 SCADA 模块采集的模拟量数据,以及 PMU 模块采集的相量数据,求取电网状态变量。

系统中融入了风险分析评估和灵敏度分析功能。利用风险分析模块,进行微电网系统中引起随机性故障的因素的量化,建立能表征系统风险的量化指标并进行计算、分析。经过灵敏度计算得出随控制变量发生微小变化而变化的状态变量两者之间的关系,计算得到关于潮流越限支路的微电源、负荷灵敏度,在此基础上分析计算得出快速消除越限的微电源有功功率的调整量,能够以较小的调整,实现更快更好的效果,用于对危险情况的预防控制提供快速的指导。

综合分析风险评估及灵敏度分析结果,实现安全性分析,将预测出的可能出现的危险状况以及故障情况以声、光方式报警,同时预防措施及紧急控制模块动作,可以自动或者人工干预处理微电网系统的危险情况或者紧急故障,其优先级别高于微电网优化调度模块。

### 1.3 能量优化

其主要任务是在微电网系统网络分析确保系统安全的基础上,根据微电网状态估计信息,结合微电源发电预报、负荷预报、储能单元能量状态预报以及系统运行分析<sup>[12-14]</sup>,实现微电网的能量多目标优化运行和综合协调控制。根据微电网不同的运行方式和系统控制目标,在预报信息和系统运行分析的基础上,分析并网/孤网运行模式下微电网的系统状态、微电源和储能系统的控制策略、系统的运行分析指标之间的关系,对微电网各单元给出具体的调度指令,进行联合最优协调控制<sup>[15-16]</sup>,实现微电网的闭环运行。同时根据系统的状态和预测信息,按照预先制定的控制目标,在线调整控制策略。系统的运行分析主要包括可靠性分析、电能质量分析和经济环保性分析。

可靠性分析是在基于风险分析评估和灵敏度分析输出的系统安全状况的基础上,针对微电网孤岛

运行模式,分析微电网系统不能满足的负荷需求与评估分析期内总的负荷需求的比值。电能质量分析是根据当前电能质量检测数据,对电能质量进行评估分析,主要包括:对电网电压的影响、对电网谐波的影响、对电网电压三相不平衡的影响、对无功平衡的影响、及光伏并网注入的直流分量对电网的影响;制定电能质量在线补偿控制的策略。经济环保性分析是在满足负荷需求的前提下,分析微电网的经济效益、环境效益及其综合效益。综合效益是指经济效益与环境效益的总和。经济效益用经济性指标表示,包括各微电源的发电功率及其运行成本、储能装置的功率及其运行成本、网损功率及单位网损经济成本。环境效益用环保指标表示,函数关系式为各微电源以及储能装置与相同功率的传统发电源环境成本的比值。

系统控制目标主要有:经济环保性最优、可靠性最优。在经济不发达地区,侧重于选择经济性最优的控制目标;在敏感性负荷相对较多的微电网,侧重于选择可靠性最优的控制目标。所述优化结果包括微电源功率、储能单元充/放功率、微电网与大电网间的交互功率、可控型负荷投/切功率。多目标优化运行和综合协调控制的流程图见图2。

## 2 系统结构

如图3所示,微电网能量管理系统,通过 PLC、传感器等硬件设备与微电网各单元相连,其结构包括支撑平台层、建模分析层、应用功能层、人机界面层,共四个层次。

底层支撑平台层包括操作系统、数据库管理、网络通信、安全管理,为上层提供提供通用的公共系统服务。建模分析层是由微电网状态估计模型综合灵敏度分析和风险分析评估模型库,提供关于微电网系统网络分析的一系列安全评定方式,实现微电网系统控制预决策,以提高系统安全性;通过预测模型获取预测信息,协同实时信息,对不同的能量调度方式通过优化调度模型库进行模拟仿真,针对系统不同的运行模式和控制目标,选择最优调度方式。应用功能层是基于建模分析层建立各模型基础上开发的,在支撑平台的支持下完成相关功能。在人机界面上能够全面监测微电网系统状态,实现对各微电源、储能装置以及负荷的实时控制、优化调度,微电网各单元危险、故障情况预报警以及紧急控制。

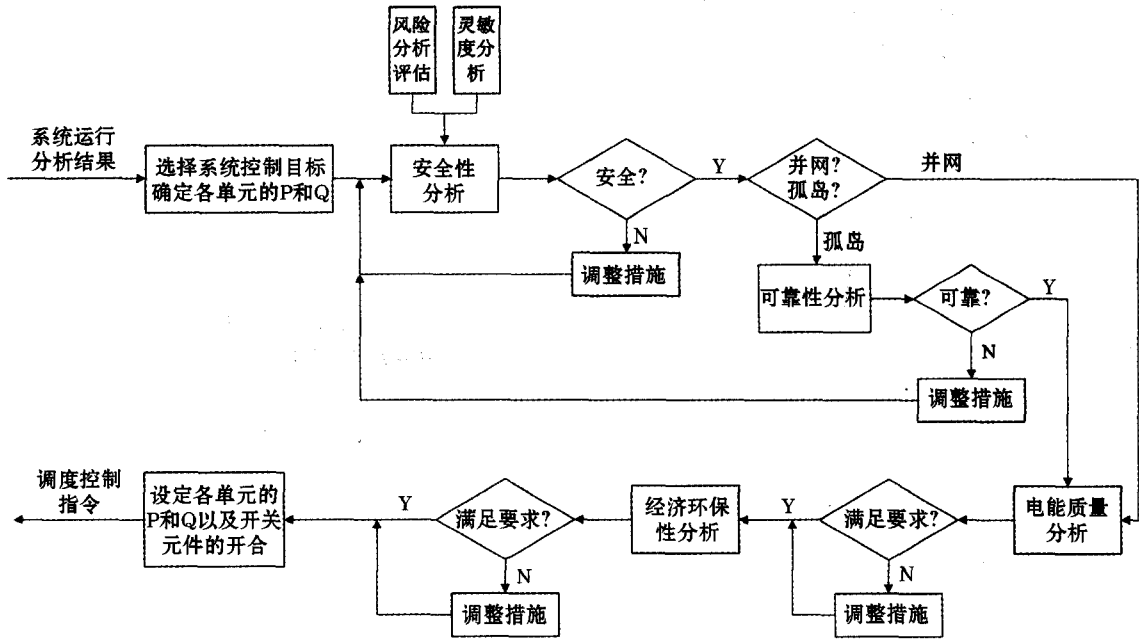


图 2 多目标优化运行和综合协调控制流程图

Fig. 2 Flow chart of multi-objective optimization and integrated coordination control

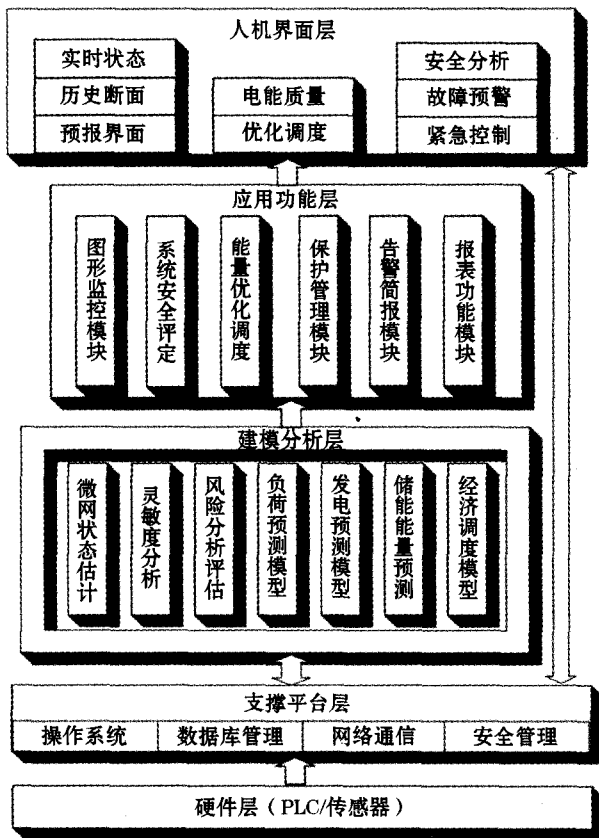


图 3 系统结构图

Fig. 3 System structure diagram

### 3 工程应用

采用图模一体化技术,将系统各单元运行的预报、实时、历史数据和状态在监控界面显示,进行微电网系统状态的同步监控。

按上述设计微电网能量管理系统,并应用于试点工程。该试点工程的微电源主要包含 50kW 的风力发电、1000kW 的光伏发电、1000kW 的燃油发电以及 1600kWh 的储能系统。通过微电网能量管理系统的有效管理,根据负荷大小、微电源发电情况及储能装置的能量状态,分配微电源的出力、管理储能装置的充放电、投切负荷,保持微电网内微电源发电与负荷用电的平衡。在出现故障时切除一般负荷,确保重要负荷的供电。在该试点工程建设完成至目前的一年内,实现了系统的安全可靠运行,且提高了微电网运行的经济性,使可再生能源发电在总发电量的贡献率超过 80%。

### 4 结束语

针对微电网这个复杂的分布式系统,提出了一种较为完善的微电网能量管理系统,与传统的能量管理系统相比:系统中增加 PMU 量测单元,实现对微电网系统状态的同步监测;添加数据预处理功能,为系统的高级应用功能模块分析提供整合的模型、图形和参数;提出网络分析单元,实现微电网系统的安全性分析、可靠性分析、电能质量分析、经济环保性

分析,具有预报警和预防控制功能;基于预测信息和系统运行分析进行能量的多目标优化调度。经受了工程实例的验证,为今后原型系统的开发及微电网工程应用提供重要支持。

### 参考文献

[1] 牛焕娜, 黄秀琼, 等. 微电网能量管理系统功能结构体系研究与设计[J]. 可再生能源, 2013, 31(6): 47-51.  
Niu Huanna, Huang Xiuqiong, et al. Research and design of functional architecture system in microgrid energy management system [J]. Renewable Energy Resources, 2013, 31(6): 47-51

[2] 张华威, 刘莉. 智能微电网能量管理系统设计[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2012, 8(3): 201-203.  
Zhang Huawei, Liu Li. Design of smart micro grid energy management system[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering(Natural Science), 2012, 8(3): 201-203.

[3] C. S. Wang, and S. X. Wang. Research of the problem of distributed generation function system[J]. Automation of Electric Power System, vol. 32, pp1-4, 2008.

[4] 秦青. 微电网能量管理系统经济优化的研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2013.  
Qin Qing. Optimal operation of micro-grid energy management and economic research[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2013.

[5] 瞿超杰. 独立新能源微电网能量管理系统的设计与实现[D]. 湖南: 湖南大学, 2012.  
Qu Chaojie. Design and implementation of energy management system for independent new energy micro-grid[D]. Hunan: Hunan University, 2012.

[6] 王宁. 微网系统能量管理技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.  
Wang Ning. Research on energy management technology of micro-grid [D]. Beijing: Beijing Jiao Tong University, 2011.

[7] 王宪吉. 智能电网状态估计系统的研究及实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.  
Wang Xianji. Research and implementation of state estimation method of smart grid [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.

[8] 张文杰. 基于 CIM 模型的电力系统可视化研究与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.  
Zhang Wenjie. The research and realization of electrical power system visualization based on CIM[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009.

[9] 安磊, 徐孝忠, 娄一挺, 等. 基于实时历史数据的配网历史断面管理系统实现[J]. 华东电力, 2013, 41(6): 1264-1267.

An Lei, Xu Xiaozhong, Lou Yiting, et al. Implementation of distribution network history section management system based on real-time/historical data[J]. East China Electric Power, 2013, 41(6): 1264-1267.

[10] 郭磊. 考虑输电设备可靠性的电网风险分析研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2012.  
Guo Lei. Power Grid Risk Analysis and Research Considering Transmission Components Reliability[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2012.

[11] 孟绍良, 吴军基, 王虎. 电网脆弱性评价的灵敏度分析法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(5): 89-93.  
Meng Shaoliang, Wu Junji, Wang Hu. Power grid vulnerability assessment based on sensitivity analysis[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2011, 23(5): 89-93.

[12] 李钟煦. 电力系统分布式多目标无功优化研究[D]. 山东: 山东大学, 2009.  
Li Zhongxu. Studies on distributed multi-objective research power optimization in power systems[D]. Shandong: Shandong University, 2009.

[13] 赵山, 文黎星, 等. 基于微电网的电能质量问题研究[J]. 广东电力, 2012, 25(10): 61-64.  
Zhao Shan, Wen Lixing, et al. Power quality research based on micro power grid[J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(10): 61-64.

[14] 郭佳欢. 微网经济运行优化的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2010.  
Guo Jiahuan. Study on economic operation optimization of microgrid [J]. Beijing: North China Electric Power University, 2010.

[15] 陈洁, 杨秀, 等. 微网多目标经济调度优化[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(19): 57-65.  
Chen Jie, Yang Xiu, et al. Microgrid multi-objective economic dispatch optimization[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(19): 57-65.

[16] 杨为. 分布式电源的优化调度[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2010.  
Yang Wei. Optimal scheduling for distributed energy resource [D]. Anhui: Hefei University of Technology, 2010.

### 作者简介:



崔琼(1982—),女,通信作者,工程硕士,助理研究员,主要研究方向:可再生能源分布式发电微网技术。Email:ciqq0716@163.com

舒杰(1969—),男,博士,研究员,主要研究方向:太阳能热发电技术、可再生能源分布式发电、微网技术等。

吴志锋(1976—),男,工学硕士,高级工程师,主要研究方向:可再生能源发电与微电网技术研究。

收稿日期:2014-07-11;修回日期:2014-10-18

(于灏 编发)