含多类储能的并网型微电网优化运行策略研究

为了稳定并网型微电网输出功率，需要平滑并网型微电网的输出功率曲线。含多类储能的并网型微电网因其储能形式的多样化，在应对各种恶劣的条件下亦能稳定地输出功率，保证敏感负荷供电，因而对含多类储能的并网型微电网的优化运行研究日渐成为热点。微电网优化运行需要根据微电网的特性研究具有针对性地优化运行控制策略，并且尽可能多地利用新能源。目前，国外对于含多类储能微电网优化运行理论的研究较多，而国内还处于起步阶段。基于一个含多类储能的微电网项目，在现有实验数据基础上，设计了一种并网运行模式下的优化控制方案。结合储能的实时状态和实时电价，对含多类储能的并网型微电网能量优化提出了一套经济的解决方案。仿真分析表明，该优化控制方案可实现良好的经济效益。

陈　飞　姜　维　林　晨　赵艳艳/联合光伏深圳有限公司

陈　飞/工程师

关键词/Keywords
微电网·
优化运行·
并网型·
多类储能·

0　引言

随着能源危机加重和可再生能源的发展，以微电网形式将分布式电源接入大电网越来越受到重视[1]。微电网是实现众多优越性能的重要保证，与传统电网在发电方式、储能装置以及所利用的能源等方面具有较大的差异，因而其优化运行方面也存在一定的差异。针对并网型微电网的优化运行方式的研究目前也越来越多，主要目标是高效率地利用绿色能源，实现在各个用电时段均能以最经济的方式运行。

目前，微电网优化运行的主要研究重点是静态调度方面。文献[2]建立以运行费用为最小的单目标优化模型。文献[3]提出了一种关于微电网经济运行的策略。文献[4]对含多种类型微电源的并网型微电网进行优化，确定每种微电源的容量等参数，比较和评估不同方案下微电网的经济性、运行性能及环境效益，经分析后得到并网型微电网的经济平衡点和最优解。文献[5]建立了各种分布式电源稳态模型，建立了集中控制模式下的微电网优化调度模型，提出了运行和折旧成本最低、环境和综合效益最高等优化目标函数。文献[6]针对微电网并网期间的经济运行问题，建立了微电网系统的经济性模型。文献[7]建立了包含冷、热电联供系统的微电网系统经济运行优化模型，将发电机组的优化组合、储能单元的智能管理以及节能环保调度等问题综合为统一的优化问题。文献[8]综合考虑经济成本、环境效益和网络损耗等多个运行指标对微电网的优化运行进行数学建模。文献[9]介绍了基于改进多目标粒子群算法的微电网并网优化调度，选取微电网案例的日负荷数据进行了优化调度计算。

目前，国内的研究比较少针对含多类储能的微电网系统运行的能量优化调度控制。本文基于风能、太阳能和储能技术三位一体而构成的微电网系统，构建了微电网并网运行模式下能量管理系统仿真模型，解决了微电网系统并网时优化运行的各电源能量分配问题。

深圳市南山区技术研发和创意设计项目（KC2013JSCX0052A）。

1　微电网拓扑概况

综合考虑了常用的供电方式、用户的负荷特性，采用如图1所示的微电网拓

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

扑结构。

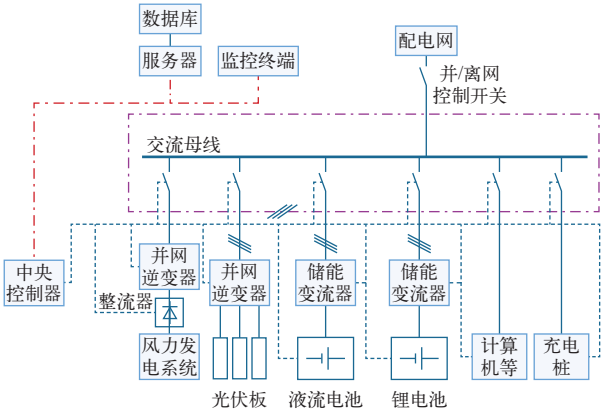

图1 微电网系统拓扑图

对于微电网项目功能构架图，从功能模块上分析，分为不同业务板块功能需求。主要功能模块包括微电网中央控制器、微电网能量管理系统、微电网监测系统和人机交互系统[10]。

1.1 微电网中央控制器

微电网中央控制器对整个微电网进行集中控制，协调多微电源发电功率。其主要功能如下。

1）微电网能量调度，在离网模式下实现微电源与负荷功率平衡，在能量波动下进行动态调压、调频，实现系统稳定。

2）针对微电网系统进行并离网控制，在切换过程中保持微电网系统的稳定性。

3）接受微电网能量管理系统的调度指令，在保证微电网稳定的前提下，执行优化发电控制。

1.2 微电网能量管理系统

微电网能量管理系统实现分布式电源运行约束条件设定、多类型电源互补经济运行控制和配合配电网的优化调度。

1.3 微电网监控系统

监控系统提供电网和电气设备的电量参数和气象信息，为微电网的控制和能量管理提供数据；监测功能包括：线路监测、母线监测、光伏监测、风机监测、储能监测和气象监测；监测量包括：电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率、开关状态和设备状态等；综合气象站监测量包括：风向、风速、光照强度、温度和湿度等。

1.4 人机交互系统

1）人机交互以组态界面的形式实现各种监测数据的图形化显示。

2）事件记录与告警信息的显示、处理和查询。

3）统计报表、曲线的显示、查询及管理。

4）手动控制指令的输入与下发。

2 并网控制优化算法

微电网不能往大电网中输送电能的系统为不可逆流系统，不可逆流系统微电网控制系统的主要目标如下。

1）通过控制使得微电网系统无逆流。

2）微电网运行效益最大化。

3）充分利用微电网内微源的无功输出能力对微电网系统的电压进行控制。

不可逆流系统微电网并网运行能量优化调度控制策略如图2～图5所示。

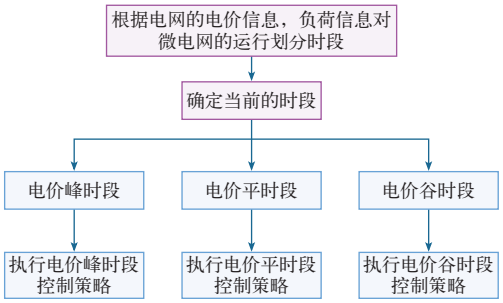

图2 不可逆流系统微电网并网运行能量优化调度框图

图3中，P_{net}为微电网的净负荷，等于微电网的负荷减去微电网中风/光发电系统的功率；$P_{max.VR}$为液流电池的最大放电功率，取决于液流电池实时能量状态；$P_{min.VR}$为液流电池的最大充电功率，取决于液流电池实时能量状态；$P_{max.Li}$为锂电池的最大放电功率，取决于锂电池实时能量状态；$P_{min.Li}$为锂电池的最大充电功率，取决于锂电池实时能量状态。

图4中，$SOC_{max,VR}$为液流电池储能系统的最大允许能量状态，为100%；$SOC_{max,Li}$为锂电池储能系统的最小允许能量状态，设为90%；$P_{ch,VR}$为液流电池的实时充电功率；$P_{ch,Li}$为锂电池的实时放电

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

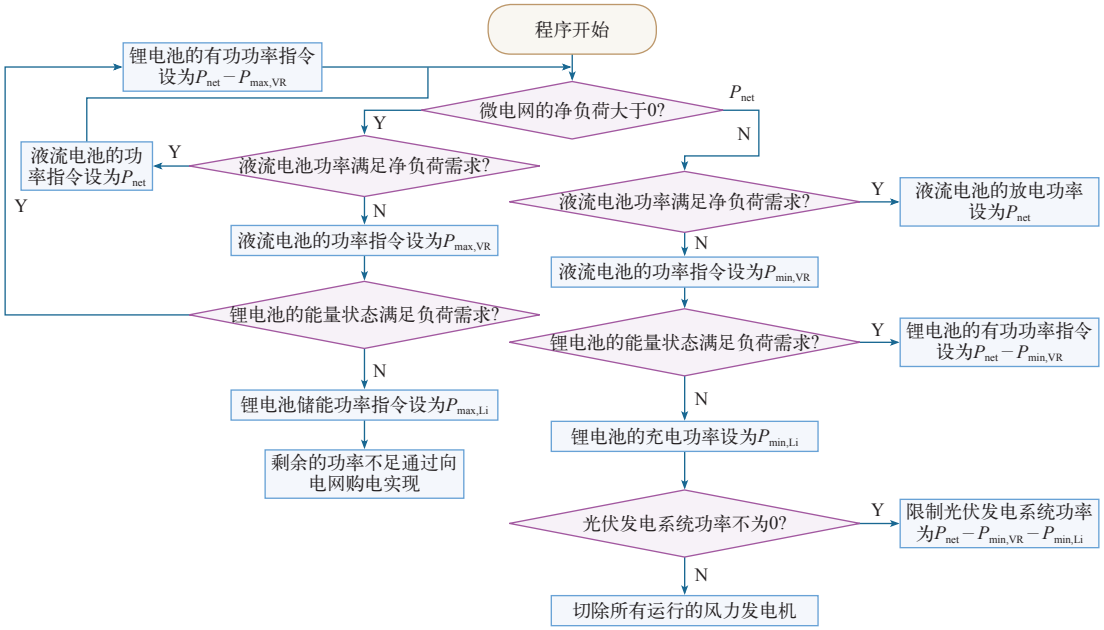

图3　微电网在电价峰时段的能量优化调度流程图

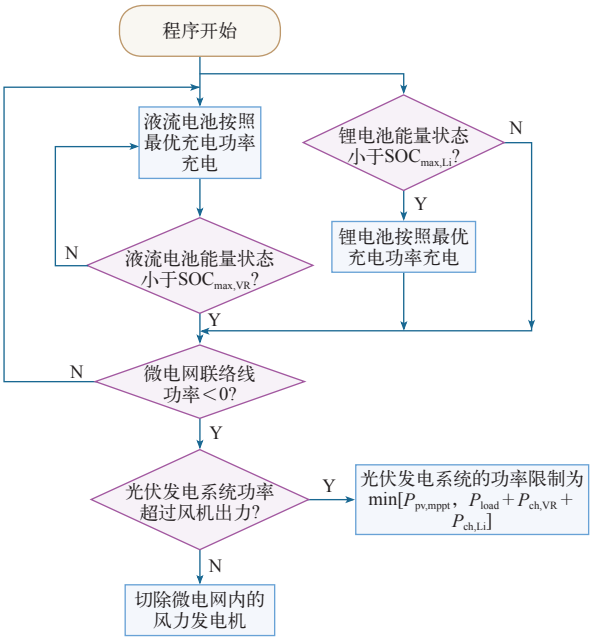

图4　微电网在电价谷时段的能量优化调度流程图

功率；$P_{pv,mppt}$为光伏发电系统的最大功率输出，由微电网的实时光照条件决定。

微电网在电价平时段的优化调度策略则需要分情况考虑，若是该电价平时段的下一时段是微电网的电价谷时段，则微电网的能量优化采用电价峰时段的优化策略，以降低微电网从电网中的购电成本。

若是电价平时段的下一时段是微电网的电价峰时段，需要保证微电网中储能系统的能量状态，仍采用微电网在峰时段的能量管理策略，需要调整储能系统允许放电的能量状态（SOC）设定值。微电网在电价平时段的能量管理策略如图5所示。

图5中，$SOC_{min,VR}$为电价平时段微电网液流电池允许放电的最低能量状态，若下一时段为峰时段，根据下阶段的光伏发电估计以及负荷确定，可设为70%，若下一时段为电价谷时段，可以设为10%；$SOC_{min,Li}$为电价平时段微电网锂电池允许放电的最低能量状态，若下一时段为为电价峰时段，可设为80%，若下一时段为电价谷时段，可以设为10%；$SOC_{max,VR}$为电价平时段微电网液流电池允许充电的最大能量状态；$SOC_{max,Li}$为电价平时段微电网锂电池允许充电的最大能量状态。

3　并网控制优化算法仿真

考虑到并网状态下微电网的能量优化调度是较长时间尺度的，一般以24 h为一个周期。因此，该状态下能量管理系统采用的是24 h的调度周期，需要的数据包括：

1）每个微电源的模型，储能系统在给定初始SOC值的情况下能够实时计算其SOC值。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

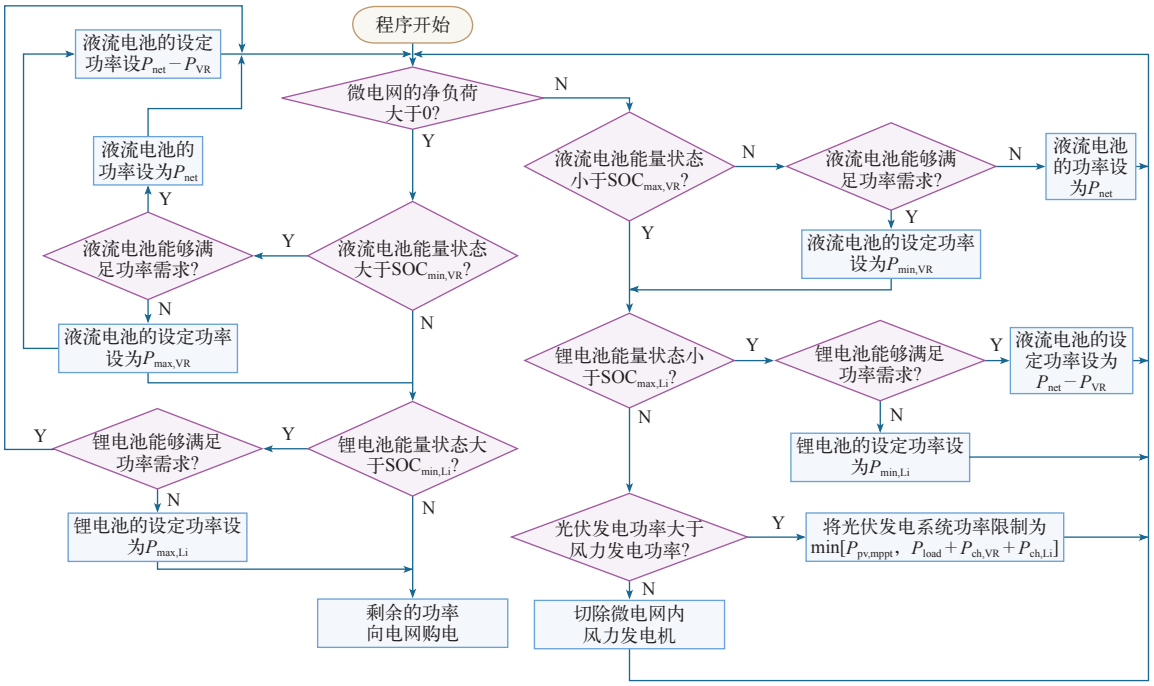

图5 微电网在电价平时段的能量优化调度流程图

2）光照强度曲线（15 min一个点，取其典型曲线）。

3）风速曲线（15 min一个点，取其典型风速曲线），考虑到风力发电机功率较小，可以利用功率源替代。

4）负荷曲线（15 min一个点，取办公室典型的日负荷曲线）。

5）分时电价信息（或者是电网的峰谷信息）。

输出包括：每个微电源的输出功率曲线；联络线功率曲线；锂电池和全钒液流电池的SOC变化曲线。

4 仿真分析

图6为微电网并网运行模式下的能量优化管理仿真结果，即24 h仿真结果。在仿真系统中，2 s的仿真时间代表1个h。0 s时刻代表早上7点。在0～2 s内，微电网处于电价谷时段，由于锂电池和液流电池能量状态还未达到系统规定的最大能量状态，故两者都进入充电状态。经过一段时间后，锂电池达到最大能量状态，即SOC为90%，故锂电池停止充电，输出功率为零，而液流电池由于未达到最大能量状态，则继续进行充电。在2～4 s内，系统处于电价平时段，因为下一时段为电网电价峰时段，锂电池允许放电的最低能量状态SOC为80%，液流电池允许放电的最低能量状态SOC为70%，故锂电池在放电达到80%时停止放电，而液流电池由于未到达最低能量状态，则一直处于放电状态。在4～10 s内，电网电价为峰时段，储能系统将对负载供电，但是由于光伏发电系统输出功率的不断增大，储能系统先逐渐减少功率输出，然后变为充电状态，对多余的太阳能进行储存，一段时间后，锂电池和液流电池能量状态都达到最大值，此时光照还在增大，为了维持系统的不可逆流性，对光伏发电系统进行限功率运行。在10～20 s内，前大半段时间内，系统由光伏发电系统对负荷进行供电，当到达下午时，由于光照强度的减小，光伏出力小于系统负荷需求，此时储能系统将变为放电状态，对额外负荷进行供电。在18：30后，光伏系统处于待机状态，不能向外供电，故在20～30 s内，储能系统将处于放电状态，对负荷进行供电，直到储能系统能量达到最小允许值，不足的电能则直接向电网取电。在30～32 s内，系统处于电价平时段，由于上一时

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

段储能系统能量已经最小，故在这一时段负荷将向电网取电。在32～48 s内，系统处于电价谷时电价段，储能系统将进行充电处理，直到电池能量状态达到最大允许值，负荷则直接向电网取电。由图6可知，微电网系统24 h内功率都处于不可逆允许状态，达到了系统性能要求。

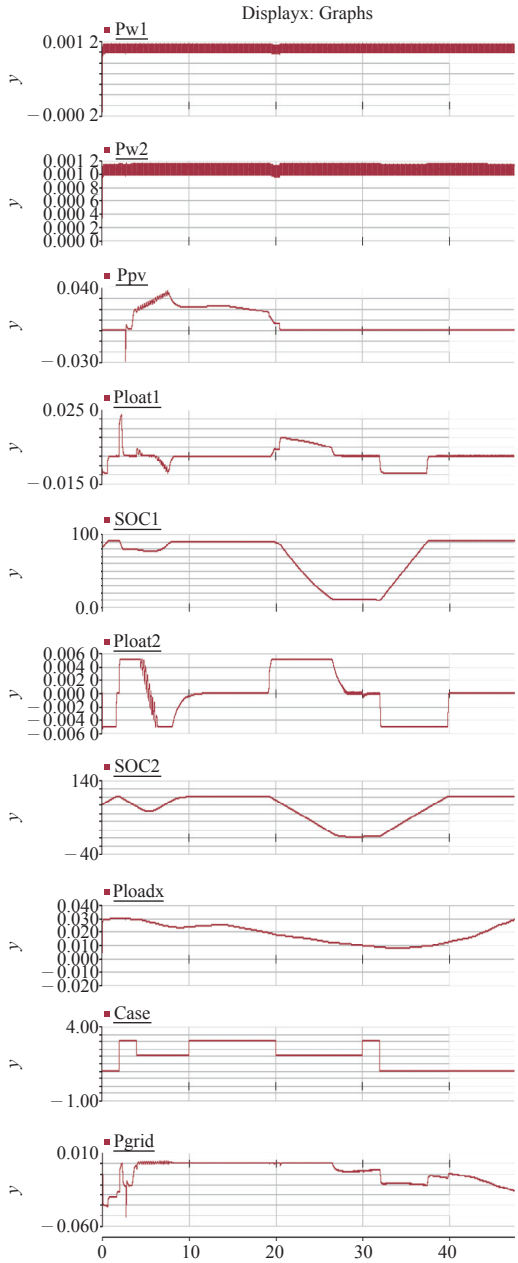

图6 微电网并网运行能量管理仿真结果

5 结束语

基于一个含多类储能的微电网项目，提出了一种并网运行模式下的优化控制方案。通过仿真分析，可以看出微电网系统24 h内功率都处于不可逆允许状态，达到了优化运行的系统性能要求。该控制方案的设计参照了实时电价信息，具有良好的经济效益。

参考文献

[1] 张建华，黄伟．微电网运行控制与保护技术 [M]．北京：中国电力出版社，2010．

[2] 王锐，顾伟，吴志含．可再生能源的热电联供型微电网经济运行优化 [J]．电力系统自动化，2011，35 (18)：22-28．

[3] 薛迎成，郜能灵，刘立群，等．微电网孤岛运行模式下的协调控制策略 [J]．中国电力，2009，42 (7)：36-40．

[4] 陶思钰，葛晓慧，陈健．含混合能源的并网型微电网优化配置 [J]．浙江电力，2014 (2)：1-6．

[5] 丁明，张颖媛，等．集中控制式微电网系统的稳态建模与运行优化 [J]．电力系统自动化，2009，33 (24)：78-82．

[6] 牛铭，黄伟，郭佳欢，等．微电网并网时的经济运行研究 [J]．电网技术，2010，34 (11)：38-42．

[7] 张美霞，陈洁，杨秀，等．微电网经济运行研究综述 [J]．华东电力，2012 (9)：1480-1485．

[8] 李鹏，徐伟娜，周泽远，等．基于改进万有引力搜索算法的微电网优化运行 [J]．中国电机工程学报，2014，34 (19)：3073-3079．

[9] 苗雨阳，卢锦玲，朱国栋．基于改进多目标粒子群算法的微电网并网优化调度 [J]．电力科学与工程，2012，28 (7)：15-20．

[10] 汪少勇．基于分布式电源的微电网的设计与运行 [J]．电力自动化设备，2011，31 (4)：120-123．

（收稿日期：2015－10－20）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net