

海岛独立微电网多时间尺度能量调度方法研究^{*}

张惠臻¹, 王刚¹, 夏立¹, 付立军¹, 李长乐^{1,2}

[1. 海军工程大学 舰船综合电力技术国防科技重点实验室, 湖北 武汉 430000;
2. 上海电器科学研究所(集团)有限公司, 上海 200063]

摘要: 海岛独立微电网是一个复杂信息物理系统, 其能量调度是非线性、多约束、多时间尺度的动态性问题。针对这一问题, 研究了改进自适应粒子群算法的多时间尺度优化调度模型, 并给出了目前多目标调度模型和日内滚动优化修正模型。目前多目标调度基于改进自适应粒子群算法进行多目标优化, 确保微电网系统的经济性和稳定性; 日内滚动优化调度采取滚动优化方式修正日前调度, 确保日前调度的有效性。仿真算例验证了所提方法的有效性和可行性。

关键词: 海岛独立微电网; 能量调度; 多时间尺度; 自适应粒子群算法; 滚动优化

中图分类号: V 242.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2018)12-0113-08

Multi-Time-Scale Energy Management of Island Independent Microgrid^{*}

ZHANG Huizhen¹, WANG Gang¹, XIA Li¹, FU Lijun¹, LI Changle^{1,2}

[1. National Key Laboratory of Science and Technology on Vessel Integrated Power System, Naval University of Engineering, Wuhan 430000, China;
2. Shanghai Electrical Apparatus Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200063, China]

Abstract: Island independent microgrid was a complex cyber-physical system, and its energy management was a nonlinear, multi-constraint and multi-time-scale dynamic problem. For such a problem, the multi-time-scale optimal scheduling model based on improved adaptive particle swarm optimization algorithm was studied. A multi-objective scheduling model and an intraday rolling optimization correction model were proposed. The daily scheduling model was based on the improved adaptive particle swarm algorithm for multi-objective optimization so as to ensure the microgrid economy and stability. And the rolling optimization model rectified the deviation of the former to guarantee the effectiveness of the daily prediction. Simulation results showed that the proposed strategy could effectively enhance the economy and reliability of island independent microgrid systems.

Key words: island independent microgrid; energy management; multi-time-scale; particle swarm optimization; rolling optimization

0 引言

中国拥有 400 多常驻居民的岛屿, 这些岛屿周围海域海洋资源十分丰富, 但由于其远离大陆, 主要依靠单一柴油机供电的方式, 严重制约了供电质量和供电经济性的提高, 也制约了岛屿的持续健康

发展^[1-3]。随着海岛保护与开发越来越受重视, 众多海岛建立了由风机、光伏、柴油发电机、分布式储能系统及智能负载组成的独立微电网, 不仅解决了海岛化石燃料短缺、运输困难等问题, 还可以提高海岛电网电能质量, 促进节能减排^[4-6]。

能量管理系统是独立微电网系统的中枢, 主

* 基金项目: 湖北省自然科学基金青年基金项目(2018CFA291)

作者简介: 张惠臻(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为微电网多时间尺度建模。

王刚(1970—), 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析与控制。

夏立(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为船舶电力自动化。

要负责协同微电网内部各种可控单元以实现系统的稳定、可靠运行，并制订经济性调度计划^[7-8]。由于风光等输出功率依赖于气候条件，具有较强的间歇性和不可控性，高渗透率的风光等可再生能源接入，给系统稳定、经济运行带来了巨大挑战^[9-10]。

文献[11]针对含光储并网型微电网优化调度问题，提出含日前优化与日内实时调整的两阶段优化调度模型，但该系统模型较为简单。文献[12]提出包括中长期计划、日前计划和实时计划的含大规模风电的电力系统多时间尺度滚动协调调度方法，但该模型仍然研究的是传统的机组组合问题，未考虑储能系统的重要作用以及储能充放电控制问题。文献[13]提出“多级协调、逐级细化”的多时间尺度源-荷协调调度架构，通过协调柔性负荷的响应能力，有效平衡风电输出的不确定性。文献[14]研究了并网微电网多时间尺度优化调度方法，通过引入缓冲边界约束、储能荷电状态惩罚项等改进传统的多时间尺度优化模型，但其各时间尺度仅考虑单目标，且其算例中可再生能源渗透率较低。文献[15]研究了考虑风电输出不确定性的并网微电网随机两阶段优化调度方法，日前调度采用随机规划方法确定各机组的运行状态，实时调度阶段根据各设备实际运行状态优化调整输出。

文献[16]构建了含风柴储的独立微电网优化调度模型，考虑风功率削减因数、发电机节点电压、电池充放电功率以及功率变换器无功补偿功率等优化变量，但未考虑可再生能源输出的不确定性。文献[17]提出一种保证蓄电池容量恒定在其最大荷电量状态的独立微电网优化调度策略，但未考虑可再生能源输出的不确定性影响。文献[18]针对含可再生能源的独立微电网运行优化问题，构建了日前调度与日内调度相结合的两阶段优化调度方法，但其日前调度中仅考虑经济性因素，未考虑其他优化目标。

本文针对风机、光伏、柴油发电机、分布式储能系统的典型微电网，研究了多时间尺度、多阶段递进分解的能量优化调度方法。日前优化阶段以小时为时间粒度，综合考虑系统运行成本、系统稳定性等多个目标；日内优化阶段采用以分钟为时间粒度的滚动优化方法，以最小运行成本为代价

修正由于预测误差引起的日前调度偏差。

1 独立型微电网系统和能量管理结构

本文以课题组参加的远海多能源微电网系统项目为基础^[19-20]。独立微电网系统结构如图1所示。

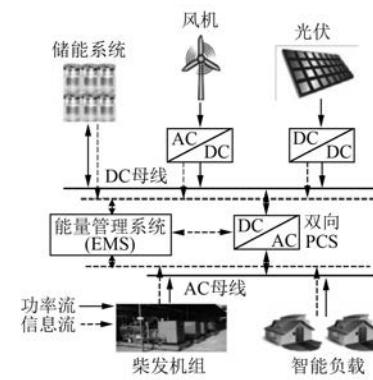


图1 独立微电网系统结构

该微电网为交直流混合微电网系统。新能源发电通过变流器/逆变器接入直流母线，直流母线电压由锂离子电池储能系统侧电压钳制，并通过双向可控 PCS(DC/AC) 接入交流母线，负载与柴发机组均接入交流母线。柴发机组作为微电网系统的主控电源，提供稳定电压和频率参考，通过双向 DC/AC 接入的直流分系统作为重要的可控单元参与系统调节。

能量管理系统 (Energy Management System, EMS) 作为微电网的运行调度与控制中心，协调控制微电网内所有可控单元。其目的是根据光伏、风机出力和负荷预测数据，储能容量水平、柴发机组运行状态等约束信息，运行优化目标等信息，综合微电网运行在经济费用、环境污染、负荷需求、供电可靠性、电能质量等方面的目标需求情况，制订日前生产调度方案；并在实际运行过程中，根据超短时预测的光伏、风机出力和负荷预测数据，实时调整生产计划，以滚动优化的方式降低预测不确定性带来的影响。微电网 EMS 结构如图 2 所示。

2 多时间尺度优化调度建模

2.1 日前调度

日前调度的优化模型是运行成本最小的经济性模型。运行成本包括机组的运行维护成本和燃

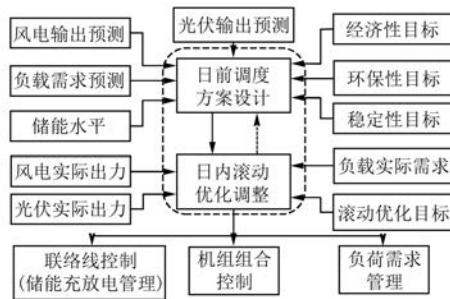


图 2 微电网 EMS 结构

料成本。由于风光机组是利用自然界中无需耗费成本的风能和光能进行发电,故风光机组无燃料成本。

2. 1. 1 目标函数

日前调度优化模型主要包含运行维护成本和燃料成本,如式(1)所示:

$$\min C = C_{\text{OM}} + C_{\text{fuel}} = \sum c \cdot P_t \quad (1)$$

式中: $\min C$ —日前优化调度最小经济成本;

c —柴油机的成本系数,单位为元/kWh;

C_{OM} —各机组的运行维护成本;

C_{fuel} —燃料费用;

P_t —各机组的有功出力,是本次优化的决策变量。

C_{fuel} 主要是柴油机运行所耗费燃料的成本:

$$C_{\text{fuel}} = c_d \cdot F \quad (2)$$

式中: c_d —柴油的单价,单位为元/kg;

F —燃料消耗量。

运行维护成本 C_{OM} 是风电、光伏、储能系统、柴油发电机等运行维护所耗费的成本:

$$C_{\text{OM}} = \sum K_{\text{OM}} \cdot P_t \quad (3)$$

式中: K_{OM} —各机组的运行维护成本;

K_{OM} —柴油机的维护成本系数,单位为元/kWh。

2. 1. 2 约束条件

在微电网系统运行时,必须遵循基本电路原理和各子设备固有特性,目标函数优化需满足下列约束。

(1) 功率平衡约束。微电网系统的供求功率必须保持平衡,因此系统需要满足:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{wt},t} + \sum P_{\text{pv},t} + \sum P_{\text{de},t} + \\ P_{\text{bc},t} - P_{\text{bd},t} = P_{\text{LD},t} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $P_{\text{wt},t}$ 、 $P_{\text{pv},t}$ 、 $P_{\text{de},t}$ —风机、光伏机组、柴油机的输出功率;

$P_{\text{bc},t}$ 、 $P_{\text{bd},t}$ —蓄电池的充电、放电功率;

$P_{\text{LD},t}$ —总负载功率。

(2) 发电容量约束。为了保证微电网系统的安全、稳定的运行,微电网中的每个分布式发电单元的实际输出功率必须要有严格的上下限约束,如式(5)所示:

$$\begin{cases} 0 \leq P_{\text{wt},t} \leq P_{\text{wt},\text{max}} \\ 0 \leq P_{\text{pv},t} \leq P_{\text{pv},\text{max}} \\ P_{\text{de},\text{min}} \leq P_{\text{de},t} \leq P_{\text{de},\text{max}} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $P_{\text{wt},\text{max}}$ —风机的最大出力,即每个时刻对应风速下的最大跟踪功率;

$P_{\text{pv},\text{max}}$ —光伏最大出力,即每个时刻对应光照下的最大跟踪功率;

$P_{\text{de},\text{max}}$ —柴油机的额定功率;

$P_{\text{de},\text{min}}$ —柴油机的最小输出功率,一般设定为 $P_{\text{de},\text{min}} = 0.3P_{\text{de},\text{max}}$ 。

(3) 柴油机的爬坡率限制:

$$\begin{cases} P_t \leq P_{t-1} + \Delta P_{t,\text{up}} \\ P_t \geq P_{t-1} - \Delta P_{t,\text{dn}} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $\Delta P_{t,\text{up}}$ 、 $\Delta P_{t,\text{dn}}$ —柴油机从 $t-1$ 时段到 t 时段允许的上升、下降出力的最大值。

(4) 柴油机的起停时间限制:

$$\begin{cases} t_{\text{on}} \geq M \\ t_{\text{off}} \geq N \end{cases} \quad (7)$$

式中: t_{on} —柴油机的连续运行时间;

M —柴油机允许的最小持续运行时间;

t_{off} —柴油机的连续停运时间;

N —柴油机允许的最小停运时间。

(5) 蓄电池的充放电约束。本文主要考虑蓄电池的荷电状态与最大充放电电流来限制蓄电池的充放电能力。故日前调度蓄电池的充放电能力需要受到限制,如式(8)所示:

$$P_{\text{bc},\text{min}} \leq P_{\text{bc},t} \leq P_{\text{bc},\text{max}} \quad (8)$$

式中: $P_{\text{bc},\text{min}}$ —蓄电池的最小充电功率;

$P_{\text{bc},\text{max}}$ —蓄电池的最大充电功率。

$$P_{\text{bd},\text{min}} \leq P_{\text{bd},t} \leq P_{\text{bd},\text{max}} \quad (9)$$

式中: $P_{\text{bd},\text{min}}$ —蓄电池的最小放电功率;

$P_{\text{bd},\text{max}}$ —蓄电池的最大放电功率。

$$\text{SOC}_{\text{b},t+1} = \text{SOC}_{\text{b},t} - P_{\text{bc},t} \cdot \Delta t - P_{\text{bd},t} \cdot \Delta t \quad (10)$$

式中: $SOC_{b,t+1}$ — $t+1$ 时段蓄电池充电容量;
 $SOC_{b,t}$ — t 时段蓄电池充电容量;
 $P_{bc,t} \cdot \Delta t$ — t 时段蓄电池充电功率;
 $P_{bd,t} \cdot \Delta t$ — t 时段蓄电池放电功率。
 $SOC_{min} \leq SOC_{b,t} \leq SOC_{max}$ (11)

式中: SOC —蓄电池的荷电状态;
 SOC_{min} —蓄电池正常运行时的最小容量,一般可取 20%~30%;
 SOC_{max} —蓄电池正常运行时的最大容量,一般可取 80%~100%。

2.2 日内滚动优化调度

日内滚动优化调度是在日前调度的基础上,提高预测精度,采用如图 3 所示的滚动优化机制对日前调度计划进行调整与修正。

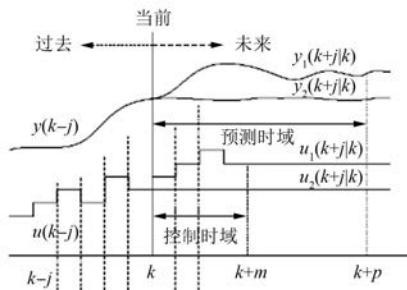


图 3 滚动优化机制

日内调度计划中的时间分辨率为 15 min, 控制时段为 m 。假设 k 为当前时间点, 在 k 时段预测 $[k, k+p]$ 时段的负荷和新能源有功出力的平均值。综合考虑 $[k, k+p]$ 时段负荷和新能源的出力情况, 根据微电网能量管理模型得到该时段的最优调度计划, 但仅对 $[k, k+m]$ 时段进行控制, 并将该时刻得到的微电网元件状态作为 $[k+m-1, k+m]$ 时段的初始值输出。同理在 $k+1$ 时段计算得到 $[k, k+p]$ 时段内的能量管理状态, 但只对 $[k+m-1, k+m]$ 时段进行控制, 以此类推向后滚动优化。该滚动策略可有效减少由于日前运行计划中的短期预测误差对于能量管理策略制订所带来的影响。

日内滚动优化中, 柴油机起停状态、新能源工作模式的切换、负荷工作状态以及储能设备的充放电状态均由日前调度计划给定。

2.2.1 日内优化目标函数

$$\min f_{dev} = (P_{wt,t} - P_{wt,h})^2 -$$

$$(P_{pv,h} + P_{pv,t})^2 - (P_{bc,h} + P_{bd,t})^2 \quad (12)$$

式中: h —15 min 时间尺度;
 t —1 h 时间尺度;
 $P_{wt,t}, P_{wt,h}$ — t 和 h 时刻风机输出功率;
 $P_{pv,t}, P_{pv,h}$ — t 和 h 时刻光伏输出功率;
 $P_{bc,t}, P_{bd,h}$ — t 和 h 时刻蓄电池充放电功率。

2.2.2 约束条件

日内滚动优化调度与日前调度相比只是时间尺度不同, 其约束条件与日前调度一致, 即满足式(4)~式(11)的约束。

3 多时间尺度模型求解算法

3.1 粒子群算法

粒子群算法与其他进化算法一样, 在一群随机产生的初始解中, 通过不断的迭代过程, 最终搜寻到最优解。粒子群算法初始化为一群随机粒子(随机解), 然后通过迭代找到最优解。在每一次迭代中, 粒子通过跟踪两个极值来更新自己: 第一个就是粒子本身所找到的最优解, 称为个体极值; 另一个极值是整个种群目前找到的最优解, 即全局极值。另外, 也可以不用整个种群而只是用其中一部分作为粒子的邻居, 那么在所有邻居中的极值就是局部极值。

粒子群算法具有高效的搜索能力, 有利于得到多目标意义下的最优解; 通过代表整个解集种群, 按并行方式同时搜索多个非劣解, 也即搜索到多个 Pareto 最优解。同时, 粒子群算法的通用性比较好, 适合处理多种类型的目标函数和约束, 并且容易与传统的优化方法结合, 从而克服自身的局限性。

3.2 基于随机权重的改进粒子群算法

目前大多采用的非线性动态惯性权重系数式为

$$w = w_{\min} - \frac{(w_{\max} - w_{\min}) \times (f - f_{\min})}{f_{\text{avg}} - f_{\min}}, \\ f \leq f_{\text{avg}} \quad (13)$$

式中: w_{\min}, w_{\max} —设定的惯性权重最大值和最小值;

f —粒子实时的目标函数值;

f_{avg} —当前所有粒子的平均值;

f_{\min} —当前所有粒子的最小目标值。

从式(13)可以看出, 惯性权重随着粒子目标

函数值的改变而改变。当粒子目标值分散时,减小惯性权重;当粒子目标值一致时,增加惯性权重。随机权重算法的原理是将标准粒子群算法中的惯性权重 w 设定为随机数。这种处理的优势在于:(1)当粒子在起始阶段就接近最好点时,随机产生的 w 可能产生相对较小的值,由此可以加快算法的收敛速度。(2)克服 w 线性递减造成的算法不能收敛到最好的局限。

惯性权重的修改公式为

$$\begin{cases} w = \mu + \sigma N(0, 1) \\ \mu = \mu_{\min} + (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \text{rand}(0, 1) \end{cases} \quad (14)$$

式中: $N(0, 1)$ —标准状态分布的随机数;

w —惯性权重;

μ —更新权重;

σ —修正系数;

μ_{\min}, μ_{\max} —更新权重最小值、最大值;

rand —随机权重方差。

由于柴发开机台数、输出功率和设备容量等优化变量均为整数,采用 $x_i+1 = \text{round}(x_i+v_i+1)$ 对变量做整数处理,改进的自适应粒子群算法速度约束满足式(14)。算法的流程图如图 4 所示。

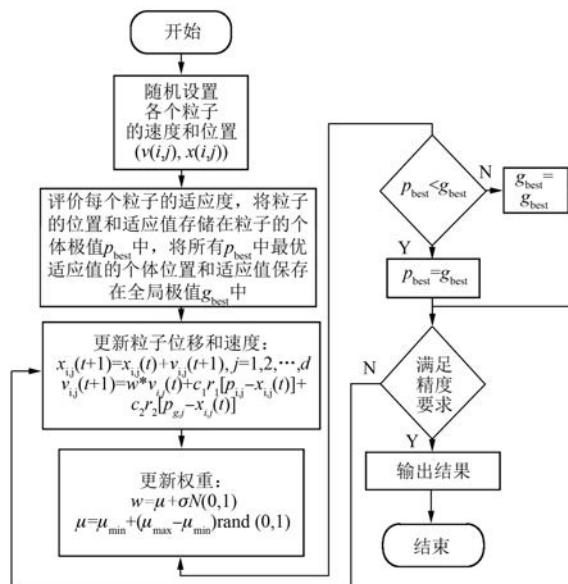


图 4 改进粒子群算法流程图

4 算例参数

本文采用图 1 的典型独立微电网系统,其中:光伏系统总容量 400 kW(50 kW/组×8 组),风机总容量 100 kW(50 kW/台×2 台),蓄电池总容量

500 kWh,柴发总容量 1 600 kW(400 kW/台×4 台)。各个子设备具体参数配置如表 1~表 4 所示。

表 1 风机和光伏机组参数

风机参数名称	参数值	光伏参数名称	参数值
切入风速/(m·s ⁻¹)	2	最佳工作电压/V	575
额定风速/(m·s ⁻¹)	12	最佳工作电流/A	280
切出风速/(m·s ⁻¹)	16	最大功率/kW	320
额定功率/kW	50×2	额定功率/kW	300

表 2 柴油发电机参数

参数名称	参数值
额定功率/kW	400×4
最大爬坡率限制(上升率)/(kW·min ⁻¹)	190
最大爬坡率限制(下降率)/(kW·min ⁻¹)	240
最小开机时间/min	25
最小停机时间/min	15

表 3 蓄电池参数

参数名称	容量/kWh	端电压/V	个数	η_c	η_d
蓄电池	500	45	400	0.95	0.95

表 4 各分布式电源的成本系数

参数名称	维护成本/(元·kWh ⁻¹)	燃料成本系数/(元·kWh ⁻¹)
风力发电	2.0	0
光伏发电	2.6	0
柴油机发电	2.6	5.23

5 仿真与试验验证

5.1 日前调度优化结果

经过典型一日风光资源和负荷预测分析,采用改进粒子群算法进行多目标优化。以提高系统运行的经济性为首要目标。以典型天气为例(其他天气的工况方法相同),通过 MATLAB 软件编写 S 函数实现改进粒子群多目标优化算法。在满足约束公式的前提下,完成经济性的最优化。其中以 1 h 为步长,设置最大迭代次数不超过 30,可得日前调度的波形图如图 5~图 9 所示。

根据海岛风光资源丰富的特点,通过历史数据的对比分析,可以将风光资源进行典型化分析,从而提高预测的有效性,降低算法的复杂性。

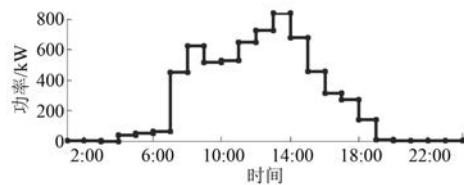


图 5 日前调度光伏输出功率

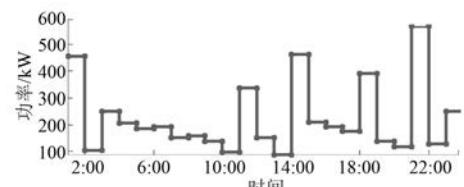


图 6 日前调度风机输出功率

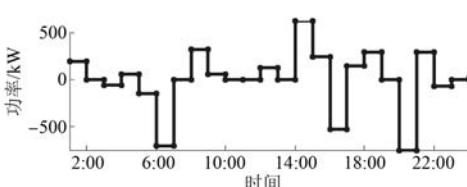


图 7 日前调度蓄电池输出功率

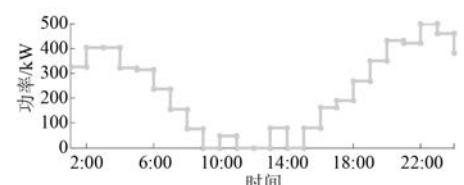


图 8 日前调度柴发输出功率

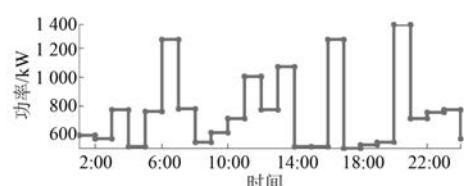


图 9 日前调度负载功率

(1) 柴发与光伏和风机相比,发电成本较高。因此,在孤岛型微电网系统中,柴发主要作为备用机组使用,当光伏和风机的出力足以满足负载供电时(如 11:00—15:00),柴发应处于停机状态。

(2) 光伏电池和风机机组的发电成本较低,无论从经济角度还是从充分利用可再生能源角

度,都应该将其作为主用机组使用,而且应该以最大功率发电。若其出力大于负载消耗功率时,则除了给负载供电外,还应给蓄电池充电(如 7:00—19:00)。

(3) 0:00—7:00 及 19:00—24:00,光伏电池不工作或者发电功率较低,此时光伏电池和风电机组的发电功率不能满足负载用电的需要,应让蓄电池组放电或者柴发进行出力。

(4) 当蓄电池初始剩余容量较高时,微电网的经济运行成本要低于初始剩余容量较低时的情况,这也证明了蓄电池的充放电成本和蓄电池的充放电深度有很大的关系。

(5) 夜晚时刻(22:00—24:00),负载用电功率开始下降,而此时蓄电池的放电深度较深,应主要利用柴发和风机的出力给负载供电。

蓄电池组的使用寿命与充放电的深度关联紧密,而使用寿命的长短又影响着微电网系统的经济成本。因此,整个运行周期内,蓄电池组需坚持“浅充浅放”的原则。

5.2 日内调度优化结果

光伏、风机、蓄电池、柴油发电机及负荷日内调度优化结果如图 10~图 14 所示。

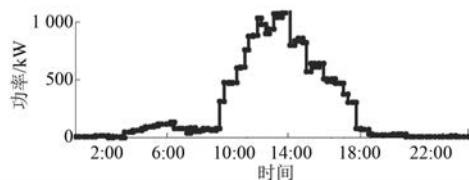


图 10 日内调度光伏输出功率

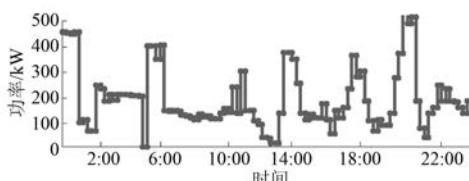


图 11 日内调度风机输出功率

对以上结果分析可知:

(1) 日内滚动优化调度是在日前调度的基础上,对预测时间尺度进行调整,以获取精度更高的预测调度计划,并启动修正计划对日前调度计划进行调整。

(2) 日内滚动优化调度的精度明显高于日前

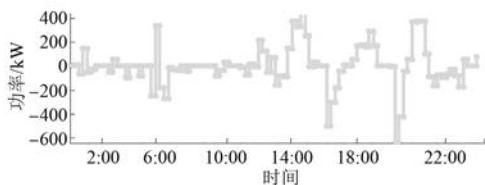


图 12 日内调度蓄电池功率

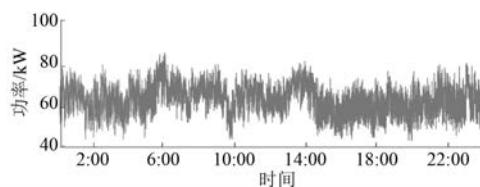


图 15 风机输出功率

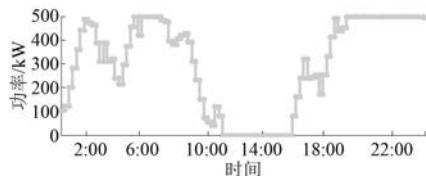


图 13 日内调度柴发功率

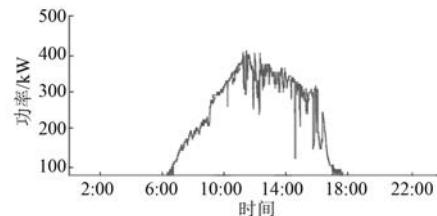


图 16 光伏输出功率

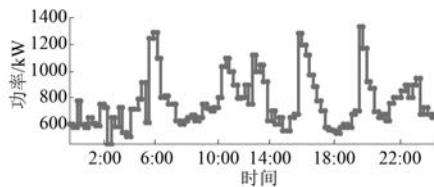


图 14 日内调度负载功率

调度, 日内滚动优化调度值与日前调度值产生较大偏差时, 启动修正计划, 修正日前调度计划, 在保持系统运行经济性情况下, 调整子设备出力计划, 确保系统稳定。

6 试验结果

通过调整修正计划可有效避免柴发输出剧增剧减造成的损耗增加, 同时也可避免备用柴发反复起停带来的成本增加。因此仅仅依赖日前调度还不够, 必须采取多时间尺度的能量管理调度策略, 并及时采取修正计划, 才能有效保证系统运行经济性和稳定性。

日前调度有效地保证了系统运行的经济性, 日内调度的修正计划改善了日前调度的精度, 实时调度则是在执行日前调度基础上, 更加注重维持系统的稳定性。在南海某海岛进行了实时调度测试, 选取典型晴天天气, 风速为持续小风, 太阳光照好。图 15 所示为当日风机输出功率曲线。图 16 所示为当日光伏逆变器输出功率曲线。

测试时, 全天风速维持在 5~9 m/s, 风机相对

稳定地保持约 60 kW 的输出功率。海岛稳定风资源是风力发电持续出力的前提, 风机输出功率优先给负载供电, 输出功率过剩时可通过直流母线给蓄电池充电。约 14:30 时, 实时数据的光照强度有短时跌落现象, 这是短时云层遮挡造成的, 由图 16 中可看出光伏逆变器输出功率出现骤降现象。为了避免功率突降引起柴发输出功率突增, 甚至造成备用柴发起动, 修正计划调整蓄电池输出, 消纳功率波动, 如图 17 所示, 约 14:30 时系统采取了修正计划, 蓄电池有效消纳光照强度骤降造成的功率波动。

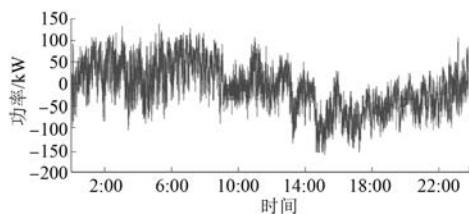


图 17 蓄电池功率

图 17 和图 18 所示为实时蓄电池出力和柴发出力曲线。为保证系统运行的经济性, 光伏尽量保持在最大功率输出, 柴发每小时内输出功率波动在 200 kW 以内, 尽量避免备用柴发起动(单台柴发输出功率超过 320 kW, 则起动备用柴发)。柴发输出功率保持在 200~300 kW, 输出波动相对平稳。有效避免轻载造成的柴发低效运行, 通过修正计划的调整, 风机和光伏的间歇性功率波动主要由蓄电池来消纳。在蓄电池不提升成本的

前提下,消纳光资源的间歇性,可看出蓄电池输出功率有较明显波动性。这样有效避免柴发输出骤增骤减造成的损耗增加,同时也避免了备用柴发反复起停带来的成本增加。由此可得,仅仅依赖日前调度来进行系统调度还不够,必须采取多时间尺度的能量管理调度策略,并及时采取修正计划,才能在有效保证系统运行经济性的前提下,同时保证稳定性。

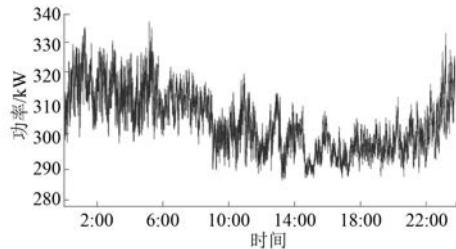


图 18 柴发功率

7 结语

本文采用多时间尺度的能量管理策略,基于改进的自适应粒子群算法进行多目标优化,通过理论分析、仿真验证和某海岛的实机测试,得到如下结论。

(1) 多时间尺度能量管理是在保证系统经济性的前提下,又能保证系统稳定性的有效方法。该方法结合自适应粒子群多目标优化算法,能够预测和规划各个设备出力,提升系统智能性。

(2) 采用精度更高的日内滚动优化调度,对日前调度进行修正,是提高日前调度可行性的有效途径。

【参考文献】

- [1] 王成山,武震,李鹏.微电网关键技术研究[J].电工技术学报,2014,29(2): 1-12.
- [2] 邢鹏翔,张世泽,曾梦迪,等.多能源混合微网容量优化配置研究综述[J].武汉大学学报(工学版),2017,50(3):375-383.
- [3] 郭力,王蔚,刘文建,等.风柴储海水淡化独立微电网系统能量管理方法[J].电工技术学报,2014,29(2): 113-121.
- [4] 韩培洁,张惠娟,李贺宝,等.微电网控制策略分析研究[J].电网清洁与能源,2012,28(10): 25-30.
- [5] 丁明,张颖媛.微网研究中的关键技术[J].电网技术,2009,32(11): 6-11.
- [6] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微电网研究综述[J].电力系统自动化,2007,31(19): 100-107.
- [7] 赵宏伟,吴涛涛.基于分布式电源的微网技术[J].电力系统及其自动化学报,2008,20(1): 100-107.
- [8] 张涛,张福兴,张彦.面向能源互联网的能量管理系统研究[J].电网技术,2016,40(1): 146-155.
- [9] ZHANG Y, ZHANG T, WANG R, et al. Optimal operation of a smart residential microgrid based on model predictive control by considering uncertainties and storage impacts [J]. Solar Energy , 2015, 122: 1052-1065.
- [10] ASTOLFI M, MAZZOL S, SILV P, et al. A synergic integration of desalination and solar energy systems in stand-alone microgrids [J]. Desalination , 2017 , 419: 169-180.
- [11] 谢伟,李官军,方陈,等.含钠硫电池储能系统的微网多时间尺度能量管理策略[J].电网与清洁能源,2016,32(10): 160-166.
- [12] 王魁,张步涵,闫大威,等.含大规模风电的电力系统多时间尺度滚动协调调度方法研究[J].电网技术,2014,38(9): 2434-2442.
- [13] 杨胜春,刘建涛,姚建国,等.多时间尺度协调的柔性负荷互动响应调度模型与策略[J].中国电机工程学报,2014,34(22): 3664-3673.
- [14] 窦晓波,徐恣慧,董建达,等.微电网改进多时间尺度能量管理模型[J].电力系统自动化,2016,40(9): 48-55.
- [15] 徐立中,易永辉,朱承治,等.考虑风电随机性的微网多时间尺度能量优化调度[J].电力系统保护与控制,2014,42(23): 1-8.
- [16] 张德举,郭力,王成山.高风电渗透率下的独立型微网优化调度方法[J].电力系统及其自动化学报,2016,28(9): 1-8.
- [17] 马晓娟,吕智林,卢子广,等.独立运行的风/光/蓄微电网系统能量动态优化研究[J].广西大学学报(自然科学版),2013,38(2): 431-440.
- [18] 郭思琪,袁越,张新松,等.多时间尺度协调控制的独立微网能量管理策略[J].电工技术学报,2014,29(2): 122-130.
- [19] 刘路辉,付立军,江汉红,等.海岛微电网集成技术[J].电器与能效管理技术,2016(11): 45-48.
- [20] WANG Y, JIANG H H, XING P X. Strategy for seamless mode transfer of the inverter in a master-slave control independent micro grid [J]. Journal of Power Electronics , 2018, 18(1): 251-265.

收稿日期: 2018-07-01