

Multi-Objective Day-Ahead Optimization Scheduling Method for Islanded Micro-Grid with PV, Wind Turbine, Diesel Generation and Batteries

Jiakai Nan, Zhaoxia Xiao

Tianjin Key Laboratory of Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, Tianjin Polytechnic University, Tianjin
Email: 820263947@qq.com

Received: Mar. 5th, 2018; accepted: Mar. 20th, 2018; published: Mar. 27th, 2018

Abstract

The day-ahead optimization scheduling optimization method for islanded micro-grid operation is investigated in this paper. The non-important load as the translatable load, the pollution cost of diesel engine and the cost of battery discharge cycle loss are considered; it employs the minimum running cost and the maximum load satisfaction as the objective function. According to the output power forecast of the important load and non-important load, wind generation, photovoltaic generation, the constraints of the objective function are the balance of the supply and consumption, the maximum and minimum battery charge and discharge power and SOC range, the maximum power of wind generation and photovoltaic, and the maximum and minimum generation power of diesel engine. A mixed integer linear optimization method is used to solve the multi-objective optimal dispatch model. The simulation results show that the optimal scheduling method can minimize the battery usage and give full play to the role of renewable energy.

Keywords

Microgrid, Day-Ahead Optimization, Multi-Objective Function, Mixed-Integer Linear Optimization, Translatable Load

风光柴蓄微电网多目标日前优化调度研究

南佳凯, 肖朝霞

天津工业大学电工电能新技术天津市重点实验室, 天津
Email: 820263947@qq.com

摘要

针对孤岛微电网的优化调度问题进行研究, 在考虑一般负荷作为可平移负荷, 柴油机的治污成本和蓄电池放电循环损耗成本的基础上, 采用以运行成本最低和负荷满意度最大为目标函数。通过对风电机组、光伏发电和微电网内重要负荷及一般负荷的日前预测, 在满足系统供需平衡的前提下, 记及蓄电池充放电功率及SOC范围、风电和光伏最大发电功率、柴油机最大最小发电功率等约束条件。采用混合整数线性优化方法对多目标日前优化调度模型进行求解。仿真结果表明采用该日前优化调度方法, 可最小化蓄电池的使用量并充分发挥可再生能源的作用。

关键词

微电网, 日前优化, 多目标优化函数, 混合整数线性优化, 可平移负荷

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 随着微电网技术的不断发展, 如何正确管理微电网内部的分布式电源和储能的运行, 实现微电网经济性和环境友好性成为重要的研究课题。环境友好性一般通过利用可再生能源发电来保证。经济性则通过微电网经济运行优化来实现[1]。微电网内部的控制方式、能源结构、分布式电源结构的多样性, 决定了微电网安全稳定运行离不开完善的能量优化调度。微电网能量优化调度是在对分布式电源发电预测、负荷预测基础之上, 充分发挥储能单元的重要作用, 妥善管理微电网的能量流动, 实现微电网经济效益最大化[2] [3] [4]。由于风、光等可再生能源在系统中的比重越来越大, 它们所具有的随机性和间歇性特点给微电网的优化调度带来了极大的困难, 使微电网的经济运行优化变成一个多目标、多变量、多约束的非线性问题。

当前国内外关于微电网的优化调度已进行了很多研究, 主要研究内容包括优化问题的分析、优化目标的选择、约束条件的设定以及优化算法的选择这四个主要方面。优化问题分析主要根据优化对象的特征分析该优化调度属于静态优化还是动态优化。优化目标的制定分为单目标函数优化和多目标函数优化, 目标函数可以选择经济、技术、环境某一指标或其集合。当前微电网优化调度研究大多集中在多目标函数优化。目标函数的制定要结合相应的约束条件, 微电网优化调度的约束条件包括系统运行约束和设备出力约束。当前约束条件的设定大部分没有考虑优化调度与协调控制相统一的问题, 也未考虑在优化调度过程中约束条件会随着微电网的拓扑结构、控制方式以及运行状态的改变而变化, 因此可能无法达成系统真正的最优运行。优化调度模型的求解通常采用数学规划方法和智能算法进行求解。数学规划根据问题类型可分为线性规划和非线性规划。智能算法包括遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法等, 一般更为灵活通用, 能解决各类非凸、非线性和不可导的数学优化问题, 甚至对于无法用数学表达式表达的数学优化问题, 只要掌握优化变量和优化结果的一一对应关系, 即可从概率意义上找到问题的最优解。文献[5]对风力发电机、光伏阵列和柴油发电机三种分布式电源以及蓄电池构建了不同的模型, 以经济性

为目标,对微电网进行优化。蓄电池储能运行时不直接产生运行费用,但其每一次充放电都会损耗使用寿命,文献[6][7]通过实验详细分析了蓄电池充放电深度和充放电速率对其寿命的影响。就微电网优化时间尺度方面,微电网优化必须要对可再生能源的出力进行预测,预测的准确度和预测的时间尺度有直接联系,受到云层的影响,导致对光伏阵列的日前预测出力误差通常为20%左右[8],短期预测出力的误差可以降低到10%。对优化目标的研究,如电能质量[9]、经济效益[10]、环境效益[11]等,提出了很多新颖的方法。最后,对于优化问题的求解,由于微电网优化是个多目标、多变量、多约束、非线性问题,文献[12][13]的方法应用于单目标问题时都取得了很好的效果,应用于多目标问题时将每个目标赋予权重转换成单目标问题进行求解[14][15]。现已有的粒子群算法、改进微分进化算法、细菌觅食算法等非线性和智能算法进行求解。但是,运用智能算法求解微电网优化模型时,由于可再生能源发电出力以及负荷功率的随机性,所列出的等式约束实际上是难以满足要求的。

本文将针对含风光柴蓄的微电网系统建立日前经济优化调度模型,考虑到风光等新能源出力以及预测负荷的随机性,一般负荷作为可平移负荷,柴油机的治污成本和蓄电池放电循环损耗成本的基础上,采用以运行成本最低和负荷满意度最大为目标函数。通过对风电机组、光伏发电和微电网内重要负荷及一般负荷的日前预测,在满足系统供需平衡的前提下,记及蓄电池充放电功率及SOC范围、风电和光伏最大发电功率、柴油机最大最小发电功率等约束条件。本文第二部介绍了风光柴蓄微电网的结构和各部分成本模型;第三部分日前优化调度的目标函数和约束条件;第四部分在风电、光伏和负荷预测数据的基础上采用混合整数线性优化方法对多目标日前优化调度模型进行求解;最后一部分给出了本文的结论。

2. 风光柴蓄微电网结构及各部分成本模型

风光柴蓄微电网结构如图1所示,包括风力发电单元、光伏发电单元、柴油机发电单元、蓄电池、重要负荷和非重要负荷。

2.1. 光伏阵列模型

光伏出力模型为了实现光伏阵列最大功率点跟踪,满足光伏阵列工作在最大功率点,功率特性表达式为

$$P_{PV} = P_{STC} G_{AC} [1 + k(T_C - T_r)] / G_{STC} \quad (1)$$

式中: P_{PV} 为输出功率; P_{STC} 为标准测试条件下的最大测试功率, G_{AC} 为光照强度, G_{STC} 标准测试条件的光照强度,其值取 1 kW/m^2 , k 为功率温度系数,其值为 $-0.0047/\text{K}$, T_C 为光伏阵列的实际工作温度; T_r 为参考温度,取 298.15 K 。

约束条件:光伏阵列的实际输出功率最小为零,最大为对应光照强度和温度下的最大允许输出功率。费用方面,光伏阵列包括固定投资与维修费用。

2.2. 风机

风力发电机常见参数包含:切入风速、额定风速、切出风速和额定功率。对风力发电机进行建模:

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v \leq v_{ci} \\ av^3 - bP_r & v_{ci} < v \leq v_r \\ P_r & v_r < v \leq v_{co} \\ 0 & v > v_{co} \end{cases} \quad (2)$$

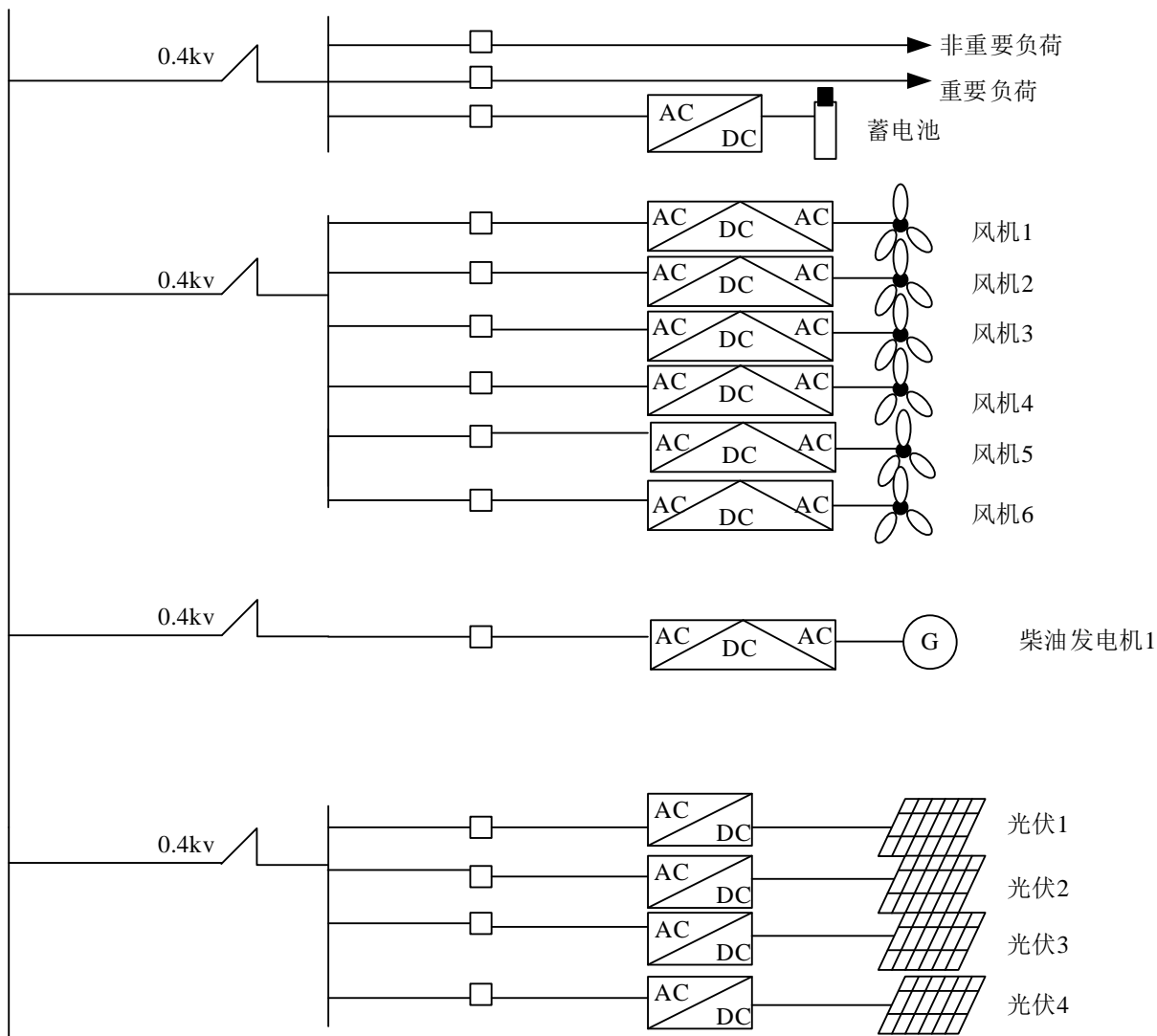


Figure 1. Typical micro grid structure
图 1. 典型微电网结构图

其中： P_{WT} 为输出功率； v_{ci} 为切入速度，m/s； v_{co} 为切出速度，m/s； v_r 为额定风速，m/s； P_r 为额定输出功率，kW； $a = P_r / (v_r^3 - v_{ci}^3)$ ， $b = v_{ci}^3 / (v_r^3 - v_{ci}^3)$

约束条件为：风力发电机的实际输出功率最小为零，最大为对应风速下的最大允许输出功率。可以表示为 $0 < P_{WT} < P_{max}$ 。费用方面，风机包括固定投资与维修费用。

2.3. 蓄电池

蓄电池充放电损耗按 90% 计算，出力模型需要满足的条件是，铅酸蓄电池每小时的最大充电电量和最大放电电量不能超过蓄电池额定容量 0.2 倍。蓄电池的放电深度不能太深，必须留有余量用于实时调度，故本文设定蓄电池在提前优化时最大放电深度为 0.6，即 $SOC \geq 0.4$ ，实际计算中，忽略蓄电池自放电。

蓄电池的运行损耗费用和放电深度有直接关系。蓄电池放电深度越深，最大循环次数越少，运行损耗费用越高。所以蓄电池的损耗费用可以表示如下：

$$g(soc) = \int_{SOC_{start}}^{SOC_{end}} (308.66soc^3 - 473.55soc^2 - 129.54soc + 307.99) d(soc) \quad (3)$$

式中: 蓄电池的损耗与放电的初始和最后的荷电状态有关。并认为蓄电池损耗是由放电引起的, 充电过程无损耗。

2.4. 柴油发电机

约束条件: 柴油发电机运行时的最大输出功率不能超过额定功率, 最小输出功率不能低于 0.3 倍额定功率。

柴油发电机损耗包括固定投资、维修费用、燃油费用和环境成本。

燃油费用计算:

$$cost_{DG} = k_1 c_i + k_2 P_{DG-rated} \quad (4)$$

额定功率为 30 kw 时, $k_1 = 0.52173$, $k_2 = 1.5252$, c_i 为发电量, $P_{DG-rated}$ 为额定功率。

环境成本有两个部分构成: 1) 消耗环境资源所带来的环境损失; 2) 污染物排放的罚款。环境成本为 0.0441065 元/kw·h。

综上, 可以给出各设备单元费用总结如表 1 所示。

3. 多目标优化调度的数学模型

3.1. 目标函数

日前优化是等时间步长激发优化, 将未来的一天划分为 24 个时间段, 每个时间段 1 小时, 提前一定时间对 24 个时间段各设备单元的出力情况进行计划; 对微电网进行日前优化时, 本文考虑了两个目标: 一是微电网的运行费用最低。二是尽可能满足负荷需求, 即负荷满意度最大。

如图 1 所示微电网, 日前调度优化目标所指运行费用包含: 微电网初始的固定投资费用、柴油发电机燃油费用与环境成本、各分布式电源运行维护费用、蓄电池运行损耗等。可以表示为:

$$COST_{sum1} = COST_{invest} + COST_{PV} + COST_{DG} + COST_{WT} + COST_{bat} \quad (5)$$

$COST_{invest}$ 为所有设备的初始投资费用; $COST_{PV}$, $COST_{DG}$, $COST_{WT}$, $COST_{bat}$ 分别为光伏、柴油发电机、风机、蓄电池的运行总费用。

负荷满意度体现了微电网中负荷日所需功率的满足程度大小。可以表示为

$$COST_{LOSS} = A \frac{W_{LOSS}^2}{W_a + W_b} + B W_{LOSS} \quad (6)$$

$W_a + W_b$ 表示总的需求电量, W_a 为重要负荷, W_b 为可中断负荷, 系统必须保证重要负荷的供给, 而可中断负荷如果无法完全满足, 就会产生一定的赔偿, 这里用(6)式来求解由于缺少电量 W_{LOSS} 所引起的

Table 1. The cost of the equipment

表 1. 设备单元运行费用

设备类型	风力发电机	光伏	柴油发电机	蓄电池
燃油费用(元)	-----	-----	$cost_{DG}$	-----
维护系数	0.0296	0.0096	0.0946	0.0832
环境成本(元/kw)	-----	-----	0.0441065	-----
损耗(元)	-----	-----	-----	$g(SOC)$

费用损失。这里取 $A = 10$, $B = 0.5$ 。 W_{LOSS} 为总的需求电量与实际供给电量之差。

3.2. 约束条件

1) 对风机、光伏阵列的最大功率约束, 需要满足约束条件

$$0 \leq a_i \leq a'_i, \quad 0 \leq b_i \leq b'_i \quad (7)$$

这里 a_i 和 b_i 分别表示每时段风、光的出力, a'_i, b'_i 分别表示各自最大功率。

2) 柴油发电机功率约束

$$P_{\text{Cimin}} \leq P_{\text{Ci}} \leq P_{\text{Cimax}} \quad \text{or} \quad P_{\text{Ci}} = 0 \quad (8)$$

柴油发电机一般有最小运行功率限, 因此柴油机运行时有最大和最小功率约束, 停止运行时功率为零。 a_i 表示每时段柴油发电机的出力。

3) 蓄电池充放电功率约束和 SOC 范围约束

$$-0.2E_C \leq e_i \leq 0.2E_C \quad (9)$$

其中, E_C 表示蓄电池的总容量, e_i 表示每时段蓄电池的出力。

放电深度过大, 会影响蓄电池的寿命, 所以对蓄电池 SOC 约束

$$0.4 \leq \text{SOC}_i \leq 1 \quad (10)$$

SOC_i 为第 i 时段蓄电池组荷电状态。

4) 系统功率平衡约束

独立微电网系统在运行过程中需满足功率平衡:

$$G_i \leq a_i + b_i + c_i + e_i \leq S_i \quad (11)$$

其中, G_i, S_i 分别为每时段重要负荷和总负荷。

3.3. 求解方法

数学规划是应用数学的一个重要分支, 根据问题类型可分为线性规划和非线性规划。线性规划方法能较容易地处理所求解问题之间的联系, 这种方法必可以把优化问题表现的更为直观, 目标函数和约束条件更为明确。使用线性规划方法需要对具有非线性特征的目标函数和约束条件做相应的线性化处理, 这里用的是 MATLAB 中的混合整数线性优化方法正是线性规划的一种, 针对于多目标求解, 尤其这里针对新能源与负荷预测不确定性进行的调度, 这种方法是一种行之有效的方法。

4. 算例分析

如图 1 所示结构, 微网中包括风机六台、光伏四台、30 kW 柴油发电机一台、总容量为 96 kW·h 的铅酸蓄电池, 普通负荷与重要负荷。表 2 和表 3 分别给出风机和光伏的参数。

Table 2. Wind turbine structure parameters

表 2. 风机结构参数

风力发电机	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	总计
切入风速(m/s)	4	4	3	3	3	3	—
额定风速(m/s)	12	12	10	10	8	8	—
切出风速(m/s)	24	24	25	24	20	20	—
额定功率(kW)	10	10	8	8	7	7	50

优化过程如下:

1) 输入未来 24 个小时的预测温度 T_i 、光强 P_i 、风速 V_i 、重要负荷 G_i 、总负荷 S_i 。

Table 3. Photovoltaic array parameter

表 3. 光伏阵列参数

光伏阵列	1 号	2 号	3 号	4 号	总计
额定功率	12	10	8	10	40

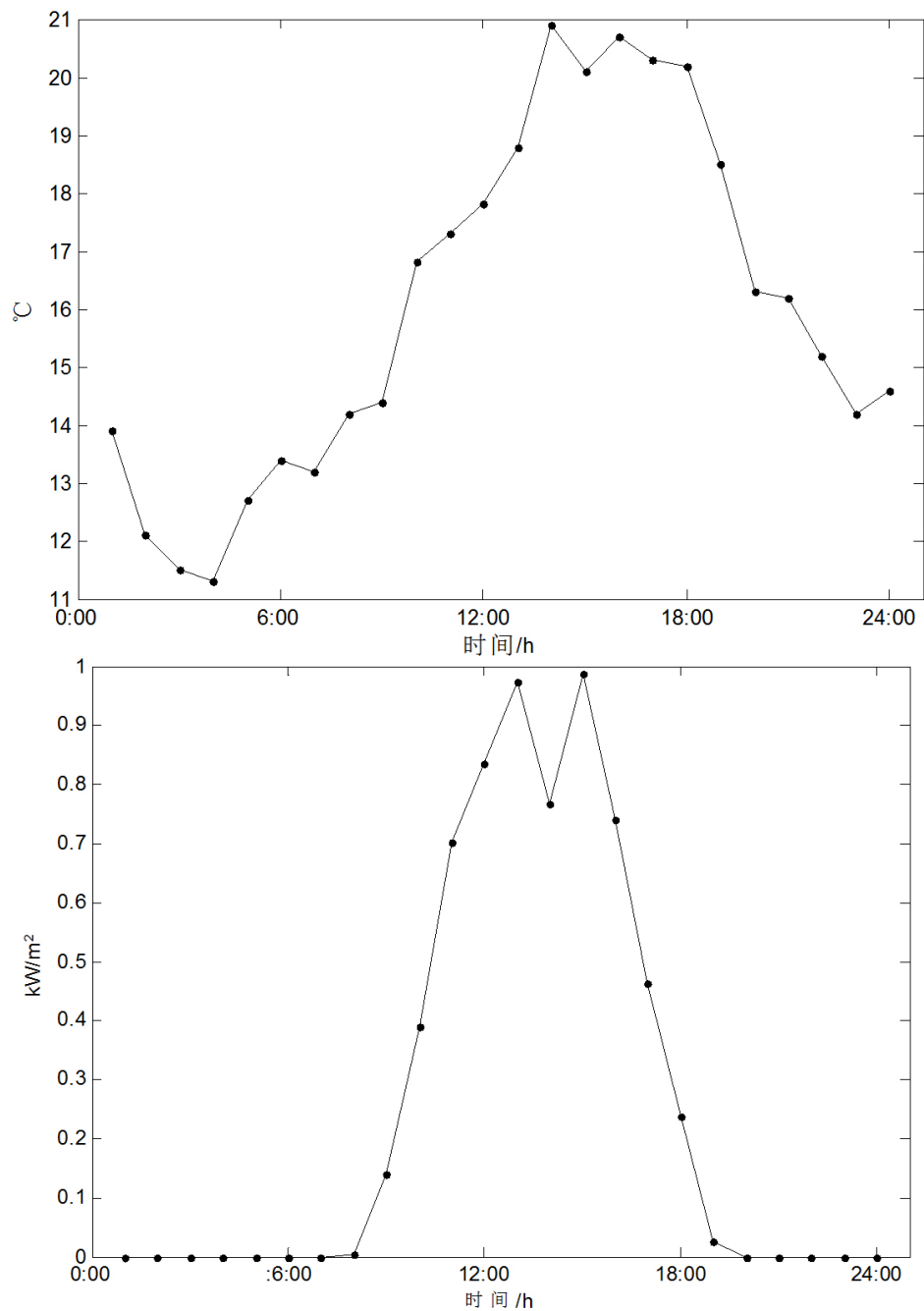


Figure 2. Temperature and light intensity of the next day's forecast curve

图 2. 温度和光照强度未来一天的预测曲线

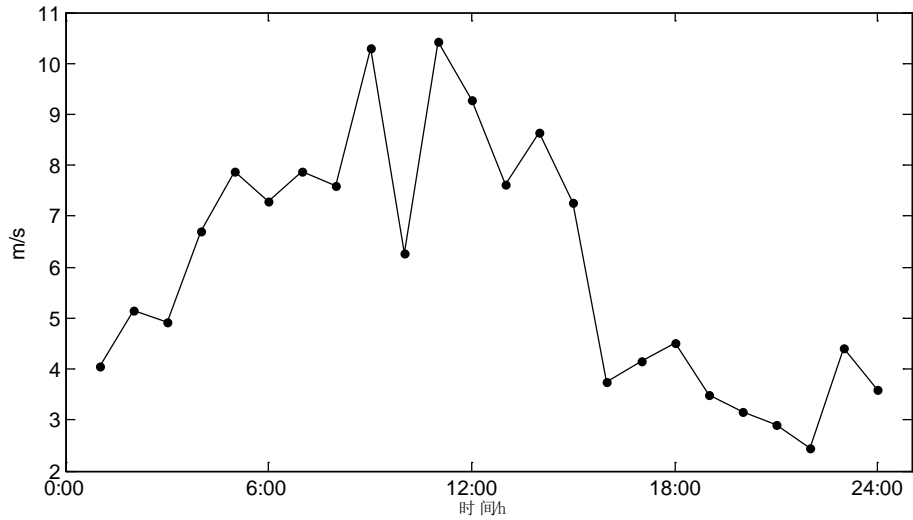


Figure 3. Wind speed of the next day's forecast curve
图 3. 风速未来一天的预测曲线

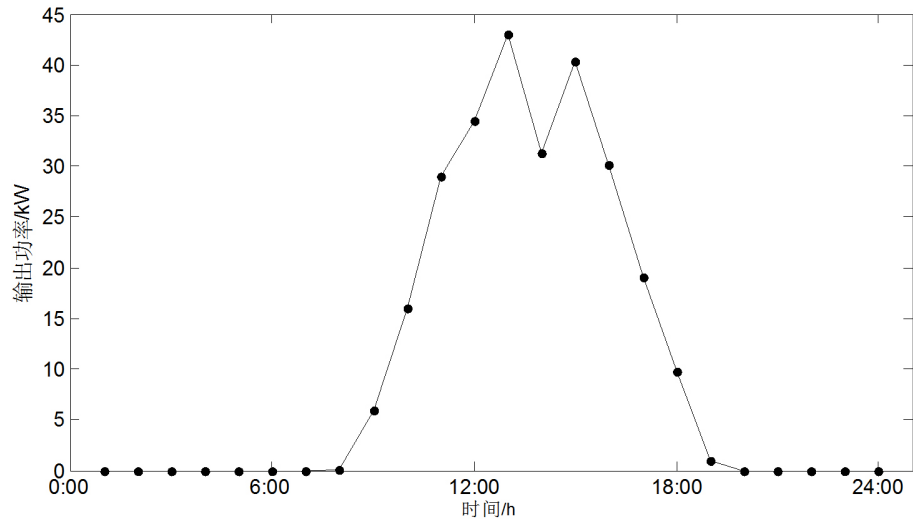


Figure 4. Photovoltaic power output 24 hours
图 4. 光伏 24 小时出力

通过预测数据(图 2、图 3), 可以得到风机和光伏每台每小时的最大出力, 这里对光伏和风机均求其每时段的总和, 用于统一调度, 通过已知出力模型进行计算, 得到光伏和风机的最大出力值。

四台光伏 24 小时的出力见图 4、图 5。

2) 输入目标函数与约束条件, 可以归纳如下:

$$\text{目标函数} = f_1 + \sum_{i=1}^{24} (a_i) * M_1 + \sum_{i=1}^{24} (b_i) * M_2 + \sum_{i=1}^{24} c_i * (M_3 + E_3) + \sum_{i=1}^{24} (k_1 c_i + k_2 P_{\text{DG-rated}}) + f_{\text{soc}} + \text{COST}_{\text{LOSS}} \quad (12)$$

其中

$$\begin{cases} f(\text{soc}) = \sum_{i=1}^{24} \beta e_i M_4 + \sum_0^{23} \int_{\text{SOC}_i}^{\text{SOC}_{i+1}} \lambda (308.66 \text{soc}^3 - 473.55 \text{soc}^2 - 129.54 \text{soc} + 307.99) d(\text{soc}) \\ \text{SOC}_{i+1} = \text{SOC}_i + \alpha \frac{e_{i+1}/90\%}{96} + (1-\alpha) \frac{e_{i+1} * 90\%}{96} \end{cases} \quad (13)$$

$$COST_{LOSS} = A \frac{W_{LOSS}^2}{S_i} + BW_{LOSS} \quad (14)$$

式中, f_1 表示每天的固定投资, 初始投资费用 150 万元, 再加上银行借款利率等, 折算到每一天的固定投资为 483 元, M1~M4 分别为风机、光伏、柴油发电机、蓄电池的维修系数, E3 为环境成本对应系数, 这些值在费用模型中已经给定, α, β, γ 的值决定设备单元充放电, 具体参数设定如下:

$c_i \neq 0$ 时, $k_2 = \text{定值}$, $c_i = 0$ 时, $k_2 = 0$;

$e_i \geq 0$ 时, $\alpha = 0$; $e_i < 0$ 时, $\alpha = 1$

$e_i \geq 0$ 时, $\beta = 0$; $e_i < 0$ 时, $\beta = -1$

充电过程不计损耗, 可以对此约束为:

$SOC_i \geq SOC_{i+1}$ 时, $\lambda = -1$; $SOC_i < SOC_{i+1}$ 时, $\lambda = 0$

蓄电池初始电池容量: $SOC_0 = 0.6$

从用电方的角度进行考虑: 用电方所必须承担的费用包括微电网的运行费用和电量不足引起的损失。 $COST_{LOSS}$ 是负荷不能完全供应引起的赔偿, W_{LOSS} 表示缺电量, 每一时间段的价值均不同, 与各个时间段的总负荷 S_i 一一对应, $W_{LOSS} = S_i - a_i + b_i + c_i + e_i$

3) 运用混合整数线性优化方法对多目标问题求解, 一是运行费用最低; 二是负荷满意度最大。根据目标函数与约束条件, 在给定范围内线性优化, 得到费用最低时的解。这里已经将多目标转化为单一目标, 总费用=运行费用+电量不足的损失。最后求得最优解为最终一天 24 小时的总费用为 1302.8 元, 为日前优化的最优解, 对算例进行分析:

i) 对应表 4 和表 5, 可以总结出实际的出力总是介于该时段重要负荷和总负荷之间, 也就是不可中断负荷的需求必须满足, 在电量提供不充足时, 可以适当选择让可中断负荷停止电量供给, 如图 6 所示。

ii) 从前三个小时就可以观察到, 当风光能源供应不足时, 若蓄电池在满足其出力约束和 SOC 剩余约束的情况下, 让蓄电池供电, 若蓄电池输出功率最大, 仍旧不能满足负荷需求, 就将启动柴油发电机供电, 柴油发电机 24 小时供电情况如图 7 所示。

24 小时内, 柴油发电机尽量不投入使用, 因为其较其它供电单元的投资成本更多, 可是若不满足重要负荷或者缺电损耗太大, 柴油发电机就要供电了。

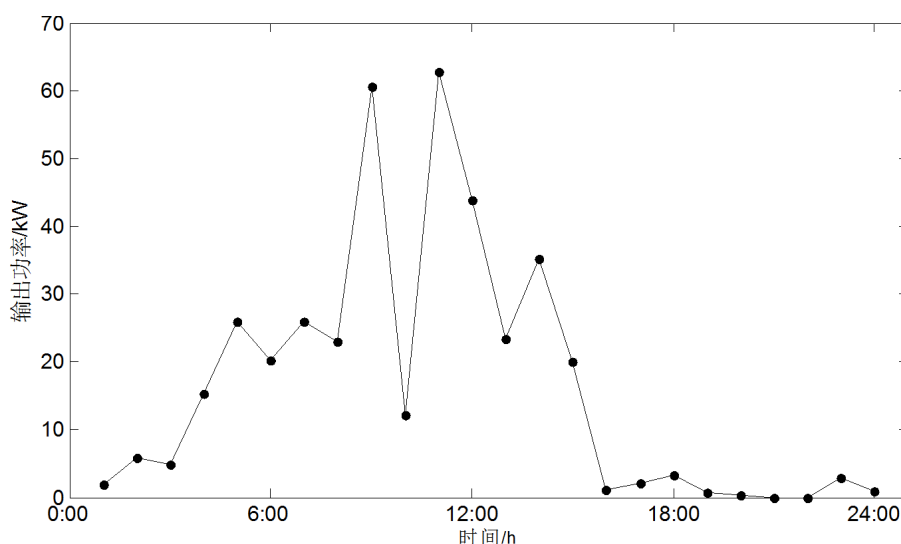


Figure 5. Wind power generator 24 hours output
图 5. 风机 24 小时出力

Table 4. The next day forecast data
表 4. 未来一天预测数据

时间	温度(°C)	光照强度(kW/m ²)	风速(m/s)	总负荷(kW)	重点负荷(kW)
0:00~1:00	13.9	0	4.05	23.9	15.2
1:00~2:00	12.1	0	5.16	19.8	12.4
2:00~3:00	11.5	0	4.92	16.9	12.6
3:00~4:00	11.3	0	6.71	13.8	8.6
4:00~5:00	12.7	0	7.88	11.6	8.5
5:00~6:00	13.4	0	7.3	11.1	8.4
6:00~7:00	13.2	0	7.87	18.9	13.7
7:00~8:00	14.2	0.004	7.6	31.4	20.5
8:00~9:00	14.4	0.1406	10.3	60	50
9:00~10:00	16.8	0.3899	6.28	35	20.5
10:00~11:00	17.3	0.7029	10.42	83	70
11:00~12:00	17.8	0.8345	9.29	74.9	40.2
12:00~13:00	18.8	1.044	7.63	65.4	39.9
13:00~14:00	20.9	0.7673	8.65	60.2	35.4
14:00~15:00	20.1	0.9872	7.27	75.1	37.7
15:00~16:00	20.7	0.7392	3.75	60.9	33.8
16:00~17:00	20.3	0.4633	4.15	48.3	31.1
17:00~18:00	20.2	0.2378	4.52	46.9	32.9
18:00~19:00	18.5	0.0259	3.48	40	31
19:00~20:00	16.3	0	3.17	40	30
20:00~21:00	16.2	0	2.9	30	21
21:00~22:00	15.2	0	2.44	30	20
22:00~23:00	14.2	0	4.41	38	15
23:00~24:00	14.6	0	3.59	29.5	14.8

Table 5. The final optimization solution
表 5. 算例最终的优化解

时间	风机出力(kW)	光伏出力(kW)	柴油发电机(kW)	蓄电池(kW)	实际出力(kW)	投资费用(元)
0:00~1:00	1.8158	0	21	-0.2	23.0158	81.4150
1:00~2:00	5.8837	0	0	-13.2	19.0837	46.3180
2:00~3:00	4.8350	0	11	-0.2	16.0350	75.3700
3:00~4:00	15.3272	0	0	1.8	13.5272	20.7520
4:00~5:00	26.0588	0	0	14.8	11.2588	21.2430
5:00~6:00	20.3094	0	0	9.8	10.5094	21.8390
6:00~7:00	25.9521	0	0	7.8	18.1521	22.0300
7:00~8:00	23.1735	0.1681	0	-7.2	30.5417	29.5080
8:00~9:00	60.6526	5.9042	0	6.8	59.7568	22.0033
9:00~10:00	12.2063	16.1971	0	-6.2	34.6034	27.7980
10:00~11:00	62.8677	29.1335	0	9.8	82.2012	22.7710
11:00~12:00	43.9719	34.5096	0	3.8	74.6815	21.7610
12:00~13:00	23.4727	42.9769	0	1.8	64.6496	21.7410
13:00~14:00	35.1117	31.2843	0	6.8	59.5951	21.8240
14:00~15:00	20.0356	40.3974	0	-14.2	74.6330	32.6070
15:00~16:00	1.1661	30.1656	29	-0.2	60.5316	85.7020
16:00~17:00	2.1049	18.9414	27	-0.2	48.2463	84.0810
17:00~18:00	3.3015	9.7266	30	-3.2	46.2281	90.1610
18:00~19:00	0.6862	1.0676	30	-7.2	38.9538	97.2000
19:00~20:00	0.2200	0	30	-9.2	39.4200	102.9200
20:00~21:00	0	0	29	-0.2	29.2000	86.3600
21:00~22:00	0	0	29	-0.2	29.2000	86.3620
22:00~23:00	2.9243	0	30	-4.2	37.1243	95.8490
23:00~24:00	0.8730	0	28	-0.2	29.0730	85.1300

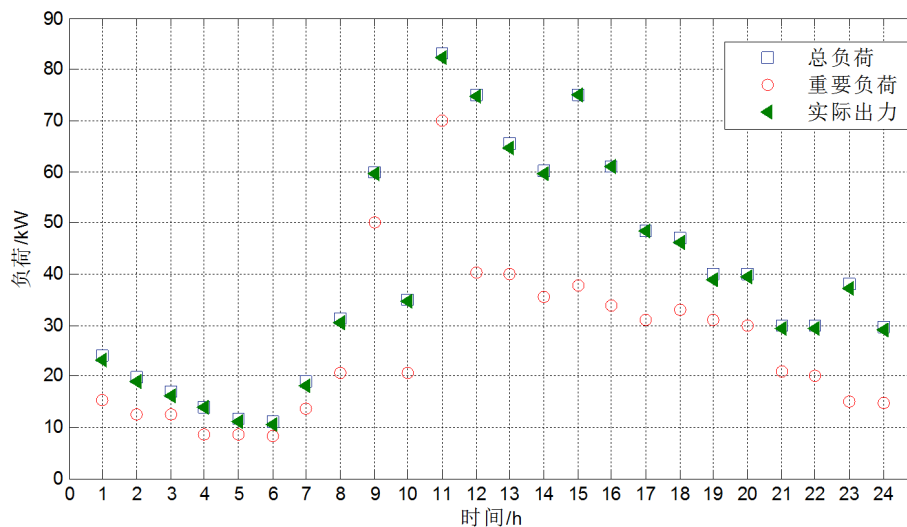


Figure 6. Micro-grid in the total load and important load 24 hours a day

图 6. 微网中 24 小时的总负荷与重要负荷

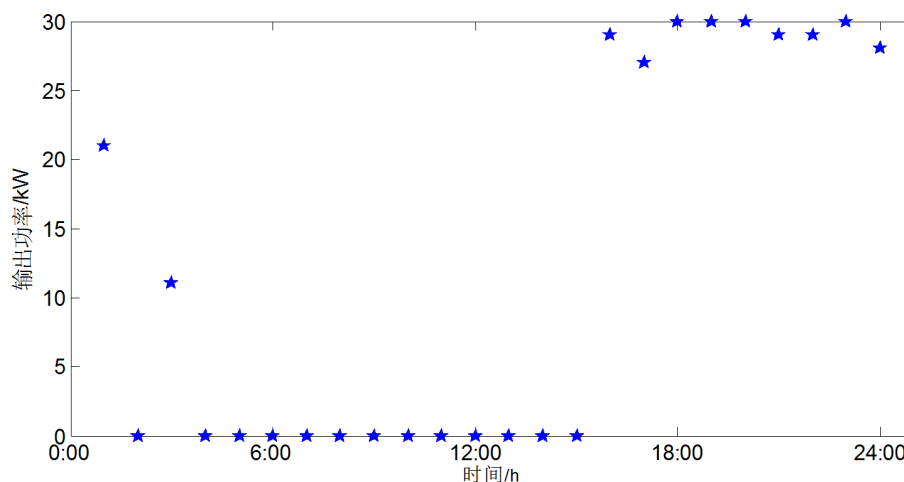


Figure 7. Micro-grid in the diesel generator output 24 hours a day

图 7. 微网中 24 小时柴油发电机出力

iii) 这里可以考虑改变蓄电池的容量, 算例优化结果表明, 微电网中蓄电池容量至关重要, 这里是限制蓄电池一次充放电功率不能超过 0.2 倍的蓄电池额定容量, 即 19.2 kW, 这种限制是很有必要的, 因为考虑到蓄电池使用寿命, 且留有一定容量以备实时调度, 若容量选择不够大, 将导致风光的弃用, 对能源造成很大浪费。我们可以猜想, 如果将蓄电池容量增大两倍甚至三倍, 相对于这个算例, 再综合考虑各部分的成本花费情况, 可能会得到更加理想的结果。

通过优化结果中各设备出力的讨论, 验证了所述方法对多目标多约束的不确定性优化问题求解的快速有效性。

5. 结论

本文利用混合整数线性优化方法来进行日前优化调度研究, 在考虑一般负荷作为可平移负荷, 柴油机的治污成本和蓄电池放电循环损耗成本的基础上, 采用以运行成本最低和负荷满意度最大为目标函数。通过对风电机组、光伏发电和微电网内重要负荷及一般负荷的日前预测, 在满足系统供需平衡的前提下,

记及蓄电池充放电功率及 SOC 范围、风电和光伏最大发电功率、柴油机最大最小发电功率等约束条件。仿真结果表明采用该日前优化调度方法, 可最小化蓄电池的使用量并充分发挥可再生能源的作用。

参考文献

- [1] 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(19): 100-107.
- [2] 丁明, 张颖媛, 茆美琴, 等. 包含钠硫电池储能的微网系统经济运行优化[J]. 中国电机工程学报, 2011(4): 7-14.
- [3] 张建华, 苏玲, 陈勇, 等. 微网的能量管理及其控制策略[J]. 电网技术, 2011(7): 24-28.
- [4] Katiraei, F., Iravani, R. and Hatziargyriou, N. (2008) Microgrids Management. *IEEE Power and Energy Magazine*, **6**, 54-65. <https://doi.org/10.1109/MPE.2008.918702>
- [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]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [6] Drouilhet, S. and Johnson, B.L. (1997) A Battery Life Prediction Method for Hybrid Power Applications. *AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. <https://doi.org/10.2514/6.1997-948>
- [7] 卢静, 翟海青, 刘纯, 等. 光伏发电功率预测统计方法研究[J]. 华东电力, 2010, 38(4): 563-567.
- [8] Schiffer, J., Sauer, D.U., Bindner, H., et al. (2007) Model Prediction for Ranking Lead-Acid Batteries According to Expected Lifetime Inrenewable Energy Systems and Autonomous. *Journal of Power Sources*, **168**, 66-78.
- [9] Siddiqui, A.S., Firestone, R., Ghoshm S., et al. (2003) Distributed Energy Resources Customer Adoption Modeling with Combined Heat and Power Applications. *Office of Scientific & Technical Information Technical Reports*, **3**, 322-330.
- [10] Tsikalakis, A.G. and Hatziargyriou, N.D. (2011) Centralized Control for Optimizing Microgrids Operation. *Power and Energy Society General*, San Diego, 1-8. <https://doi.org/10.1109/PES.2011.6039737>
- [11] Faisal, A., Mohamed and Heikki, N.K. (2007) Online Management of Micro Grid with Battery Storage Using Multi Objective Optimization. *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Setubal, 231-236.
- [12] Som, T., Raha, S. and Chakraborty, N. (2011) Economic Assessment of Indian Distributed Power Delivery System by Hybrid Genetic-Simulated Annealing Technique. *International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2011)*, Chennai, 12-17. <https://doi.org/10.1049/cp.2011.0327>
- [13] 马溪原, 吴耀文, 方华亮, 等. 采用改进细菌觅食算法的风/光/储混合微电网电源优化配置[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(25): 17-25.
- [14] 徐冬冬. 微电网多时间尺度优化算法研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [15] 洪博文, 郭力, 王成山, 等. 微电网多目标动态优化调度模型与方法[J]. 电力自动化设备, 2013(3): 100-107.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org