

# 孤岛式柴油机混合能源系统优化配置研究

王荣杰<sup>1~3</sup>, 詹宜巨<sup>4</sup>, 周海峰<sup>1</sup>

(1. 集美大学轮机工程学院, 厦门 361021; 2. 福建省船舶与海洋工程重点实验室, 厦门 361021;  
3. 农业部渔业装备与工程技术重点实验室, 上海 200092; 4. 中山大学工学院, 广州 510006)

**摘 要:** 考虑孤岛式柴油机混合能源系统供电的特点, 提出一种基于人工蜂群优化机理的混合能源系统优化配置方法。首先建构基于柴油机混合能源系统的数学模型和配置优化的目标函数, 然后利用人工蜂群算法优化其目标函数获得系统最优的配置。光伏/储能电池/柴油机、风电机/储能电池/柴油机、光伏/风电机/储能电池/柴油机3种混合模式能源的系统配置实验结果表示该方法具有良好的优化配置效果和性能, 在解决微电网系统配置问题上有很好的工程实用价值。

**关键词:** 孤岛式; 混合能源系统; 人工蜂群算法; 柴油机; 优化配置

**中图分类号:** TM715

**文献标识码:** A

## 0 引 言

低成本、低排放、高效能地为偏远地区或移动电力平台供电是微电网系统的一个重要概念。在偏远地区或移动电力平台负载需要柴油机发电才能满足其电力功率的需求。柴油机发电机理是由石油产生电能的, 这种机理是以消耗昂贵的燃料和增加污染物排放量为代价的。为了尽量改善空气恶化情况, 独立于电网的集成多种绿色能源和柴油机的孤岛式混合能源供电系统得到广泛的应用<sup>[1~3]</sup>。在混合能源系统中, 不同形式的绿色能源如太阳能、风能、电池储能将和柴油机一起为负载供电。由于太阳能和风能的间歇性和负载的波动性, 因此混合能源系统不仅应具有在任何时刻满足负载对能源的需求外, 还应保证在紧急情况下具有充足的储能。优化的系统配置和能源管理策略可以保证这种特殊的应用。本文主要讨论孤岛式混合能源系统的优化配置。为了解决这个问题, 文献[4]采用一种确定性算法来确定最小成本代价的最佳光

伏、风电机和柴油机的数量和类型; 文献[5, 6]采用多目标进化优化机理来优化含有电池储能的光伏/风电机/柴油机混合系统的配置; 文献[7, 8]提出一类基于离散优化算法的配置方法。虽诸多此类优化配置方法被提出, 但能有效优化基于柴油机的孤岛式混合能源系统配置却很少。因此, 本文利用人工蜂群算法来优化基于柴油机的孤岛式混合能源系统的配置。

## 1 孤岛式柴油机混合能源系统描述

孤岛式光伏/风电机/储能电池/柴油机混合能源系统结构如图1所示, AC和DC分别表示交流(alternating current)和直流(direct current)。系统包含太阳能和风能可再生能源发电机, 它们也是主供电能源; 而柴油机为后备能源, 电池组用于存储过剩的电能。该混合能源系统工作原理: 当主供电能源的功率高于负载需求的功率时, 则由光伏和风电机共同供电, 并且根据情况为电池组充电; 当主供电能源的功率低于负载需求的功率时, 则启动柴油机辅助供电。

收稿日期: 2016-10-08

基金项目: 国家自然科学基金(51309116; 51879118); 农业部渔业装备与工程技术重点实验室基金(2016002; 2018001); 福建省自然科学基金(2016J01736); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划(B17159)

通信作者: 王荣杰(1981—), 男, 博士、副教授、硕士生导师, 主要从事智能信息处理和电力电子电路故障诊断方向的研究。  
roger811207@163.com



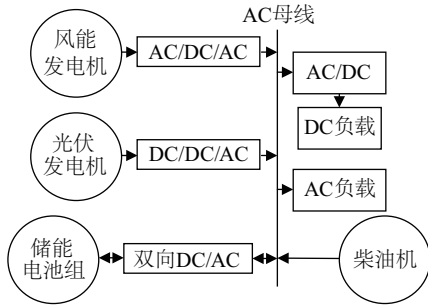


图1 孤岛式光伏/风/储能电池/柴油机混合能源系统

Fig. 1 Schematic of stand-alone hybrid PV/wind/battery/diesel system

### 1.1 光伏发电子系统

设一个光伏发电单元在时刻  $t$  受太阳辐射激励下产生的功率为  $p_{t,PV}$ , 它可由式(1)计算得到:

$$p_{t,PV} = I_t \times A \times \eta_{PV} \quad (1)$$

式中,  $I_t$  ——  $t$  时刻的太阳辐射量,  $W/m^2$ ;  $A$  —— 太阳能板面积,  $m^2$ ;  $\eta_{PV}$  —— 太阳能板电能转换率。记光伏发电单元数为  $N_{PV}$ , 则光伏发电系统在  $t$  时刻产生的电能功率为  $P_{t,PV} = N_{PV} \times p_{t,PV}$ 。

### 1.2 风电机系统

对于风电机, 若风速高于输入截止速度, 启动开始产生电能; 当风速达到额定速度时, 风电机将输出一个恒定功率; 当风速高于输出截止速度, 出于保护风电机的目的, 风电机将停止工作。一个风电机发电单元在  $t$  时刻的输出功率  $p_{t,WT}$  的计算可由式(2)描述:

$$p_{t,WT} = \begin{cases} 0, & \nu_t \leq \nu_{cut\_in} \text{ 或 } \nu_t \geq \nu_{cut\_out} \\ P_r \frac{\nu_t - \nu_{cut\_in}}{\nu_r - \nu_{cut\_in}}, & \nu_{cut\_in} < \nu_t < \nu_r \\ P_r, & \nu_r < \nu_t < \nu_{cut\_out} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $\nu_{cut\_in}$  —— 风电机输入截止速度;  $\nu_{cut\_out}$  —— 风电机输出截止速度;  $\nu_t$  ——  $t$  时刻的风速;  $\nu_r$  —— 风电机的额定风速;  $P_r$  —— 风电机的额定输出功率。记风电机发电单元数为  $N_{WT}$ , 则风电机发电系统在  $t$  时刻产生的电能功率为  $P_{t,WT} = N_{WT} \times p_{t,WT}$ 。

### 1.3 电池组储能系统

由于太阳辐射量和风速的间歇性, 那么  $t$  时刻电池组的充电状态取决于该时刻的光伏和风能的电能总和。  $t$  时刻电池组在充放电过程电能储存量

计算如下:

1) 如果  $t$  时刻的光伏系统和风电机的输出电能高于负载的需求时, 电池组进行充电, 此时电池组的储能由式(3)计算得到:

$$E_{t,Batt} = E_{t-1,Batt} + \left( E_{t,PV} + E_{t,WT} - \frac{E_{t,L}}{\eta_{Inv}} \right) \times \eta_{Batt} \quad (3)$$

式中,  $E_{t,Batt}$ 、 $E_{t-1,Batt}$  —— 电池组在  $t$  时刻和  $(t-1)$  时刻的储能;  $E_{t,PV}$ 、 $E_{t,WT}$  —— 光伏系统和风电机在  $t$  时刻的输出电能;  $E_{t,L}$  —— 负载需求量;  $\eta_{Inv}$ 、 $\eta_{Batt}$  —— 逆变器转换率和电池组充电效率。

2) 如果  $t$  时刻的光伏系统和风电机的输出电能低于负载的需求时, 电池组进行放电, 此时电池组的储能由式(4)计算得到:

$$E_{t,Batt} = E_{t-1,Batt} + \left[ \frac{E_{t,L}}{\eta_{Inv}} - (E_{t,PV} + E_{t,WT}) \right] \times \eta_{Batt} \quad (4)$$

### 1.4 柴油机

柴油机主要在光伏系统、风电机和电池组能量不足时, 作为后备能源为负载提供电能, 以保证负载供电的可持续性。柴油机的燃料消耗量  $F_{t,D}$  (L/h) 计算表达式为式(5):

$$F_{t,D} = B_D P_N + A_D P_{t,D} \quad (5)$$

式中,  $P_N$  —— 柴油机的额定输出功率;  $P_{t,D}$  —— 柴油机在  $t$  时刻的输出功率;  $A_D = 0.246$  L/kWh;  $B_D = 0.0845$  L/kWh。

柴油机每小时的燃料消费成本由式(6)得到:

$$C_{t,D}^F = P_F \times F_{t,D} \quad (6)$$

式中,  $C_{t,D}^F$  —— 柴油机在  $t$  时刻的时燃料消费成本;  $P_F$  —— 燃料的单价。

## 2 利用人工蜂群算法优化能源系统配置的方法

### 2.1 目标函数

本文将孤岛式柴油机混合能源系统优化配置的目标函数  $C_T$  定义为式(7):

$$C_T = C_C + C_M + C_F \quad (7)$$

式中,  $C_T$  —— 系统的年使用成本;  $C_C$ 、 $C_M$  和  $C_F$  —— 年投入费用、年维护费用和年燃料消耗成本。



$$C_c = \frac{i(1+i)^{n_{WT}}}{(1+i)^{n_{WT}}-1} N_{WT} C_{WT} + \frac{i(1+i)^{n_{PV}}}{(1+i)^{n_{PV}}-1} N_{PV} C_{PV} + \frac{i(1+i)^{n_{Batt}}}{(1+i)^{n_{Batt}}-1} N_{Batt} C_{Batt} + \frac{i(1+i)^{n_D}}{(1+i)^{n_D}-1} C_D \quad (8)$$

式中,  $i$  ——设备的年折旧率;  $n_{WT}$ 、 $n_{PV}$ 、 $n_{Batt}$ 、 $n_D$  ——风电机、太阳能板、电池、柴油机的寿命, 以年为单位;  $C_l$  ( $l=WT, PV, Batt$ ) ——设备的每个单元初始投入成本;  $C_D$  ——柴油机的初始投入成本。

$$C_M = N_{WT} C_{WT}^{min} + N_{PV} C_{PV}^{min} + C_D^{min} \quad (9)$$

式中,  $C_{WT}^{min}$  ——每个风电机的年维护费用;  $C_{PV}^{min}$  ——太阳能板单元的年维护费用;  $C_D^{min}$  ——柴油机的年维护费用,  $C_D^{min} = \sum_{t=1}^{8760} P_{D,t}^{min} \times P_{t,D}$ ,  $P_{D,t}^{min} = 0.01258 \text{ \$/kWh}$ 。

柴油机的年燃料消耗费用  $C_F$  由式(10)得到:

$$C_F = \sum_{t=1}^{8760} C_{t,D}^F \quad (10)$$

在混合能源系统, 式(7)的目标函数约束条件为式(11)~式(14):

$$0 \leq N_{WT} \leq N_{WT}^{max} \quad (11)$$

$$0 \leq N_{PV} \leq N_{PV}^{max} \quad (12)$$

$$0 \leq N_{Batt} \leq N_{Batt}^{max} \quad (13)$$

$$E_{Batt}^{min} \leq E_{t,Batt} \leq E_{Batt}^{max} \quad (14)$$

式中,  $E_{Batt}^{min}$ 、 $E_{Batt}^{max}$  ——电池充放电过程中电能储存量的上下限, 通常  $E_{Batt}^{max}$  取电池的额定最大容量, 而  $E_{Batt}^{min} = (1 - DoD) \times E_{Batt}^{max}$ , 其中  $DoD$  为最大放电深度。

## 2.2 能源系统配置方法的实现

人工蜂群算法 (artificial bee colony, ABC) 是由土耳其学者 Karaboga 于 2005 年提出模拟蜜蜂寻觅花蜜过程的一种群体智能优化算法<sup>[9,10]</sup>。ABC 是模拟蜂群分工寻找花蜜的机理来解决多维优化问题的群集智能算法, 若将待优化的参数视为花蜜源的话, 那么蜜蜂寻找一次新的花蜜的过程就相当于对于待求解的参数完成一次优化迭代。模拟蜂群寻找花蜜来进行一次参数的优化迭代需要完成 3 个阶段: 1) 工蜂 (employ bee, EB) 阶段, 根据上次优化过程得到的解的邻近中寻找下一个新的解; 2) 观察蜂 (onlooker bee, OB) 阶段, 在工蜂阶段产生的解的基础上产生新解, 并进行优选; 3) 侦察蜂 (scout bee,

SB) 阶段, 放弃连续几次迭代过程中未得到更新的解, 并产生一个新解。众多的文献和数值优化分析实例都验证了 ABC 比差分进化、遗传算法和粒子群算法等群体优化算法具有更好的优化机理和收敛性能<sup>[11~13]</sup>, 这就是本文选用 ABC 算法的原因。

利用人工蜂群算法优化孤岛式柴油机混合能源系统配置的思想: 是以式(7)中定义的系统的年使用成本作为目标函数, 然后利用 ABC 算法进行优化得到式(7)函数的全局最优值, 从而获得系统设备最佳的配置类型和数量。如果将人工蜂群算法中待优化的解记为  $\theta$ , 则  $\theta = [N_{WT}, N_{PV}, N_{Batt}]$ , 考虑到实际情况下系统能量的裕量, 迭代过程中需要对  $\theta$  的元素逐个进行取离它最近的大整数运算。利用人工蜂群算法优化孤岛式柴油机混合能源系统配置方法的实现步骤为:

### 步骤 1 初始化

设定最大迭代次数  $k_{max}$  和允许连续没有得到更优解的最大次数  $k_{limit}$ ; 给定蜂群规模  $N_F$  和待优化的维数  $D$ , 并根据式(11)~式(14)的取值限制范围, 利用文献[12]的混沌映射技术产生  $\theta(l, d)$  的初始值,  $l=1, 2, \dots, NF$ ,  $d=1, 2, \dots, D$ 。

### 步骤 2 优化迭代阶段

#### 步骤 2.1 EB 优化阶段

首先在  $[1, D]$  之间随机产生  $d$ , 然后由式(15)更新  $\theta_{EB}(l, d)$ , 对  $\theta_{EB}(l, d)$  元素逐个进行取离它最近的大整数运算, 最后将它们代入式(7)计算得到  $\theta_{EB}(l)$  的目标函数  $F_{EB}(l)$ 。如果  $F_{EB}(l) < F(l)$ , 则将  $\theta_{EB}(l)$  的元素赋值予  $\theta(l)$ , 置  $k_{count}(l)$  为 0; 否则将  $k_{count}(l)$  赋值为  $k_{count}(l) + 1$ 。

$$\theta_{EB}(l, d) = \theta(l, d) + \phi_{ld} [\theta(l, d) - \theta(r_l, d)] \quad (15)$$

式中,  $\phi_{ld}$  ——  $[-1, 1]$  之间的随机数;  $r_l$  ——  $[1, N_F]$  之间的随机整数, 且  $r_l \neq l$ 。

#### 步骤 2.2 计算优化解的概率

从  $\theta$  中选取至目前为止最优的可能解  $\theta_{best}$ ; 由式(16)计算  $p_l$ :

$$p_l = \frac{F(l)}{\sum_{l=1}^{N_F} F(l)}, \quad l=1, 2, \dots, N_F \quad (16)$$



### 步骤 2.3 OB 优化阶段

首先由式(17)更新  $\theta_{OB}(l, d)$ , 对  $\theta_{OB}(l, d)$  元素逐个进行取离它最近的大整数运算, 然后计算  $\theta_{OB}(l)$  的目标函数  $F_{OB}(l)$ 。如果  $F_{OB}(l) < F(l)$ , 则将  $\theta_{OB}(l)$  的元素赋值予  $\theta(l)$ , 置  $k_{count}(l)$  为 0; 否则, 将  $k_{count}(l)$  赋值为  $k_{count}(l) + 1$ 。

$$\theta_{OB}(l, d) = \begin{cases} \theta_{best}(d) + \phi_{ld}[\theta(l, d) - [\theta(r_1, d)]] & p_l \geq \bar{p} \\ \theta(r_1, d) + \phi_{ld}[\theta(l, d) - [\theta(r_2, d)]] & p_l < \bar{p} \end{cases} \quad (17)$$

式中,  $r_1$  和  $r_2$  ——  $[1, N_F]$  之间随机产生与  $l$  相邻的

整数序号, 且  $r_1 \neq l$  和  $r_1 \neq r_2 \neq l$ ;  $\bar{p} = \frac{\sum_{l=1}^{N_F} p_l}{N_F}$ 。

### 步骤 2.4 SB 优化阶段

如果  $k_{count}(l) \geq k_{limit}$ , 则由式(18)更新  $\theta_{SB}(l)$  后, 再对  $\theta_{SB}(l, d)$  元素逐个进行取离它最近的大整数运算, 最后计算  $\theta_{SB}(l)$  的目标函数  $F_{SB}(l)$ 。如果  $F_{SB}(l) < F(l)$ , 则将  $\theta_{SB}(l)$  的元素赋值予  $\theta(l)$ , 置  $k_{count}(l)$  为 0。

$$\theta_{SB}(l, d) = \theta_{best}(d) + \phi_{ld}[\theta(l, d) - \theta(r_2, d)] \quad (18)$$

### 步骤 2.5 更新迭代条件

如果达到预设的收敛条件, 则跳至步骤 III; 否则更新迭代次数  $k = k + 1$ , 跳至步骤 II.1。

### 步骤 3 更新迭代条件

从  $\theta$  中选取全局最优的  $\theta_{best}$ , 即它的元素为最优系统配置  $N_{WT}$ 、 $N_{PV}$  和  $N_{Batt}$ 。

## 3 实验分析

为了验证第 2.2 节的孤岛式柴油机混合能源系统优化配置方法的有效性和合理性, 本节分别对美国爱达荷州某边沿地区的光伏/储能电池/柴油机、风电机/储能电池/柴油机和光伏/风电机/储能电池/柴油机 3 种模式的混合能源系统进行优化配置, 这里选择美国爱达荷州是基于数据可获得性的原因, 该地区的 2014 年 1 月 ~ 2014 年 12 月, 负载用电量如图 2 所示, 气象站采集到的风速和太阳辐射量分别如图 3 和图 4 所示, 数据源自文献[14]。在仿真实验中, 光伏发电系统的相关参数如式(19)所示, 风电机发电系统的相关参数如式(20)所示, 储能电池组相关参数如式(21)所示,

柴油机相关参数如式(22)所示。此外, 逆变器转换率  $\eta_{inv}$  为 95%, 所有设备的年折旧率  $i$  为 5%。利用本文的方法对 3 种模式进行优化配置的结果如表 1 所示。不同混合模式的能源系统的污染物排放量和治理费用如表 2 所示, 计算依据具体可参考文献[15]。

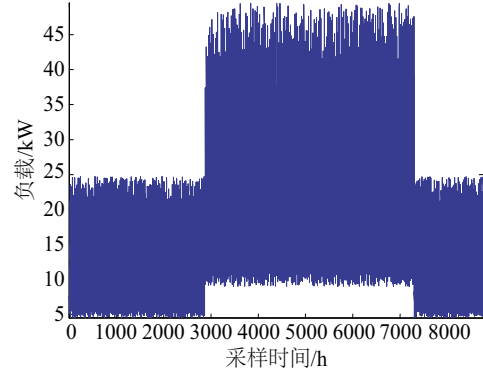


图2 负荷曲线

Fig. 2 Hourly load profile

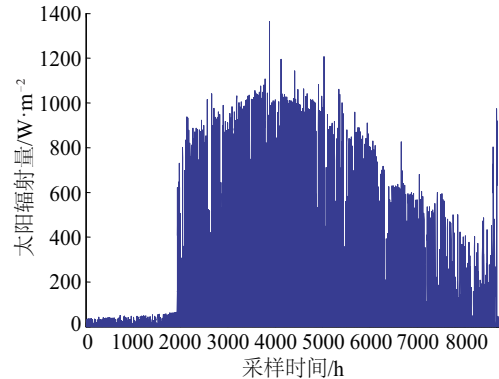


图3 采样时间与太阳辐射量曲线

Fig. 3 Hourly profile of insolation

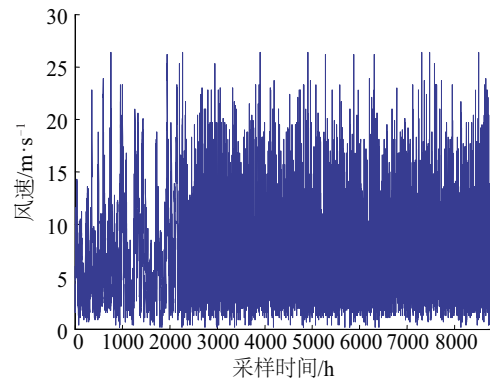


图4 采样时间与风速曲线

Fig. 4 Hourly profile of wind speed



$$\begin{cases} P_r = 120 \text{ W} \\ A = 1.07 \text{ m}^2 \\ C_{PV} = 614 \$ \\ C_{PV}^{min} = 0 \\ \eta_{PV} = 12\% \\ n_{PV} = 20 \text{ a} \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} E_{Batt}^{max} = 1.35 \text{ kWh} \\ \eta_{Batt} = 85\% \\ C_{Batt} = 130 \$ \\ DoD = 0.8 \\ n_{WT} = 5 \text{ a} \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} P_r = 1 \text{ kW} \\ v_{cut\_in} = 2.5 \text{ m/s} \\ v_{cut\_out} = 13 \text{ m/s} \\ v_r = 13 \text{ m/s} \\ C_{WT} = 3200 \$ \\ C_{WT}^{min} = 100 \$ \\ n_{WT} = 20 \text{ a} \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} P_N = 1.9 \text{ kWh} \\ C_D = 1713.15 \$ \\ C_D^{min} = 0.2 \$/\text{h} \\ P_F = 1.24 \$/\text{L} \\ n_{WT} = 5 \text{ a} \end{cases} \quad (22)$$

表 1 不同模式的混合能源系统优化配置结果比较

Table 1 Result comparison of optimal sizing for different hybrid energy system

系统配置	混合能源系统模型			
	光伏/储能电池/柴油机	风电机/储能电池/柴油机	光伏/风电机/储能电池/柴油机	柴油机单独工作
$N_{PV}$	393	—	1	—
$N_{WT}$	—	79	79	—
$N_{Batt}$	105	120	119	—
燃料费/\$	$3.3605 \times 10^4$	$9.0618 \times 10^3$	$9.0472 \times 10^3$	$5.2125 \times 10^4$
$C_i$ /\$	$6.8913 \times 10^4$	$4.5174 \times 10^4$	$4.5174 \times 10^4$	$7.1309 \times 10^4$

注:—表示无此项。

表 2 不同模式的混合能源系统污染物排放比较

Table 2 Comparison of emission pollutants of different hybrid energy systems

污染物		混合能源系统模型			
		光伏/储能电池/柴油机	风电机/储能电池/ 柴油机	光伏/风电机/ 储能电池/柴油机	柴油机单独工作
NO <sub>x</sub>	排放量/lb	$2.2770 \times 10^3$	522.9753	521.9324	$3.6005 \times 10^3$
	治理费用/\$	$9.5632 \times 10^3$	$2.1965 \times 10^3$	$2.1921 \times 10^3$	$1.5122 \times 10^4$
SO <sub>2</sub>	排放量/lb	47.4192	10.8913	10.8696	74.9836
	治理费用/\$	46.9450	10.7824	10.7609	74.2338
CO <sub>2</sub>	排放量/lb	149.5691	34.3532	34.2847	236.5123
	治理费用/\$	2.0940	0.4809	0.4800	3.3112

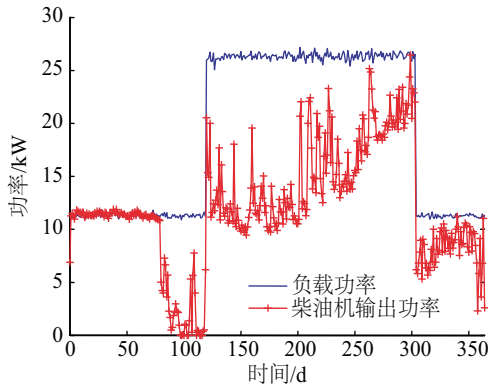
从表 1 和表 2 的比较结果可知,利用第 2.2 节的方法能有效地为不同孤岛式混合能源系统提供优化配置方案,即为混合能源系统配置最佳的设备数量和类型。此外,无论在设备成本费用,还是环境污染物排放量,配置后的混合系统都优于柴油机独立供电的模式。

为了更好地分析不同混合能源模式系统的性能,图 5~图 7 描述了柴油机为负载提供的输出功率

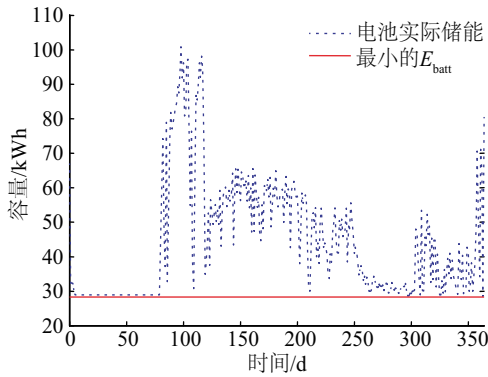
和储能电池容量的曲线。这里为获得更好的显示效果,纵坐标为日平均值。在光伏/储能电池/柴油机混合模式的能源系统中,柴油机为负载提供的功率如图 5a 所示,工作过程中储能电池容量的变化如图 5b 所示。在风电机/储能电池/柴油机混合模式的能源系统中,柴油机为负载提供的功率如图 6a 所示,工作过程中储能电池容量的变化如图 6b 所示。在光伏/风电机/储能电池/柴油机混合模式的能



源系统中,柴油机为负载提供的功率如图 7a 所示,工作过程中储能电池容量的变化如图 7b 所示。比较图 5~图 7 可得,风电机/储能电池/柴油机混合能源系统和光伏/风电机/储能电池/柴油机混合能源系统的工作性能很接近,并且都优于光伏/储能电池/柴油机混合能源系统,实际上,表 2 和表 3 的比较结果进一步说明这个结论。



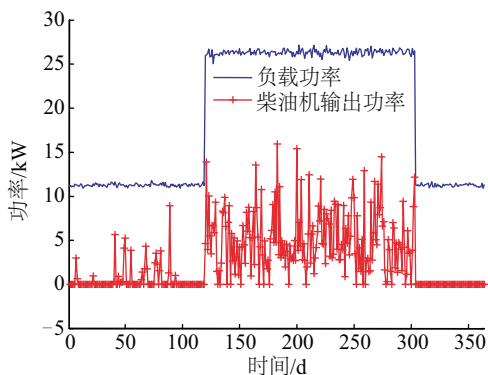
a. 柴油机的输出功率



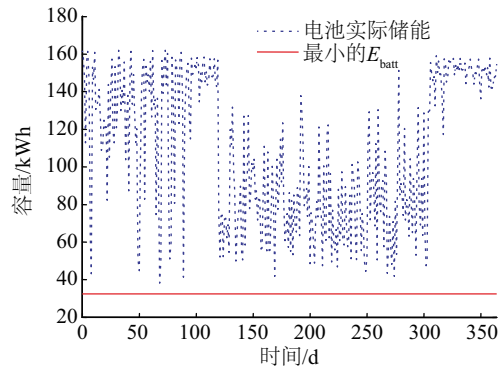
b. 电池储能

图5 光伏/储能电池/柴油机混合能源系统

Fig. 5 Stand-alone hybrid PV/battery/diesel system



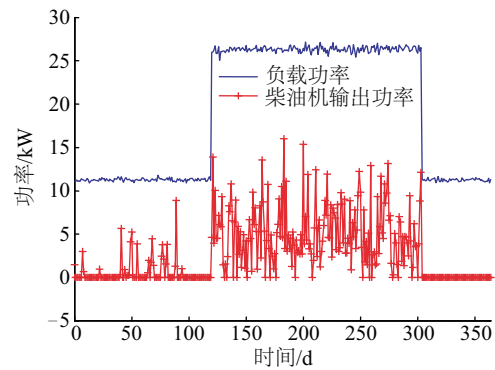
a. 柴油机的输出功率



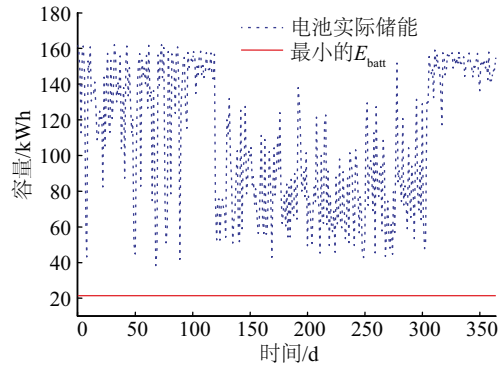
b. 电池储能

图6 风电机/储能电池/柴油机混合能源系统

Fig. 6 Stand-alone hybrid wind/battery/diesel system



a. 柴油机的输出功率



b. 电池储能

图7 光伏/风电机/储能电池/柴油机混合能源系统

Fig. 7 Stand-alone hybrid PV/wind/battery/diesel system

## 4 结论

考虑太阳能和风能的间歇性和负载的波动性,本文提出一种利用人工蜂群算法优化柴油机混合能源系统的配置。主要内容如下:首先建构基于柴油机混合能源系统的数学模型和优化配置的目标函数;然后提出采用人工蜂群算法优其目标函数获



得混合能源系统最优配置的思路,并给出实现的步骤;最后进行光伏/储能电池/柴油机、风电机/储能电池/柴油机和光伏/风电机/储能电池/柴油机 3 种混合模式的能源系统配置的仿真实验,优化配置的效果和性能结果验证了本方法的有效性。同时,该方法也可推广至其他形式混合能源供电系统中。

### [参考文献]

- [1] Mehdi B, Farhad H. Techno-economic feasibility of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for non-residential large electricity consumers under southern Iran climate conditions[J]. *Energy Conversion and Management*, 2016, 127(11): 233—244.
- [2] Yahiaoui A, Benmansour K, Tadjine M. Control and analysis of hybrid PV-diesel-battery systems for isolated rural city in Algeria[J]. *Solar Energy*, 2016, 137(1): 1—10.
- [3] Aireza H M, Sebastian A V E, Behzad N. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia[J]. *Renewable Energy*, 2016, 97(11): 293—205.
- [4] Belfkira R, Zhang L, Barakat G. Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit [J]. *Solar Energy*, 2011, 85(1): 100—110.
- [5] Rodolfo D L, Jose L B, Jose M Y. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage. *Applied Energy*, 2011, 88(11): 4033—4041.
- [6] Aireza M. Multi-objective design optimisation of standalone hybrid wind-PV-diesel systems under uncertainties [J]. *Renewable Energy*, 2014, 66(6): 650—661.
- [7] Akbar M, Alieza A. Optimal sizing of a PV/wind/diesel system with battery storage for electrification to an off-grid remote region: A case study of Rafsanjan[J]. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2014, 7: 147—55.
- [8] Askarzadeh A. A discrete chaotic harmony search-based simulated annealing algorithm design of PV/wind hybrid system[J]. *Solar Energy*, 2013, 97(5): 93—101.
- [9] Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization [R]. Kayseri, Turkey: Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.
- [10] Karaboga D, Akay B. A comparative study of artificial bee colony algorithm[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2009, 214(1): 108—132.
- [11] Liu G Q, Niu P F, Xiao X J. Development and investigation of efficient artificial bee colony algorithm for numerical function optimization[J]. *Applied Soft Computing*, 2012, 12(1): 320—332.
- [12] 王荣杰, 詹宜巨, 周海峰. 人工蜂群优化算法在复数盲源分离中的应用[J]. *中国科学: 信息科学*, 2014, 44(2): 199—220.
- [12] Wang Rongjie, Zhan Yiju, Zhou Haifeng. Application of artificial bee colony optimization algorithm in complex blind source separation[J]. *Scientia Sinica Informations*, 2014, 44(2): 199—220.
- [13] Wang Rongjie, Zhan Yiju, Zhou Haifeng. PID based on artificial bee colony algorithm controlled AVR system [J]. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 2015, 11(6): 2051—2061.
- [14] Pacific northwest cooperative agricultural weather network. AgriMet historical dayfile data access, Deer Lodge, MT (DRLM) [OL]. <http://www.usbr.gov/pn/agrim-et/webaghrread.html>, 2016-09-23.
- [15] Faisal A, Heikki N. System modelling and online optimal management of MicroGrid using mesh adaptive direct search [J]. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2010, 32(5): 98—407.



## RESEARCH ON OPTIMAL SIZING OF STAND-ALONE DIESEL-BASED HYBRID ENERGY SYSTEMS

Wang Rongjie<sup>1-3</sup>, Zhan Yiju<sup>4</sup>, Zhou Haifeng<sup>1</sup>

( 1. Marine Engineering Institute, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Naval Architecture and Ocean Engineering, Xiamen 361021, China;

3. Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture, Shanghai 200092, China;

4. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Considering the electrification characteristics of stand-alone diesel-based hybrid energy systems, we proposed a novel method based on artificial bee colony for optimal sizing of hybrid energy systems. Firstly, the model and optimal sizing cost function of stand-alone diesel-based hybrid energy systems were constructed. Then artificial bee colony algorithm was used to minimize the function to determine the optimally system size. The effectiveness of the proposed method was validated through the simulations of stand-alone hybrid PV/battery/diesel, wind/battery/diesel and PV/wind/battery/diesel systems. Therefore, it is quite practically valuable in the solution to the optimal sizing for hybrid energy or microgrid systems.

**Keywords:** stand-alone; hybrid energy system; artificial bee colony; diesel; optimal sizing