



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106251005 A

(43)申请公布日 2016.12.21

(21)申请号 201610579651.X

(22)申请日 2016.07.21

(71)申请人 南京工程学院

地址 211167 江苏省南京市江宁科学园弘景大道1号

(72)发明人 杨志超 陆文伟 葛乐 马寿虎  
陆文涛 顾佳易 王蒙

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

代理人 董建林

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

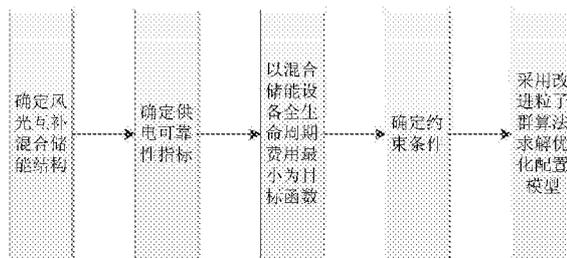
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,属于微网储能系统配置优化技术领域。本发明采用蓄电池和超级电容器作为风光互补系统混合储能装置,以其全生命周期费用最小为目标函数,以系统的缺电率等运行指标为约束条件,建立了一种混合储能容量优化配置模型,通过优化不对称加速因子进而改进了粒子群算法,并采用改进粒子群算法求解优化配置模型,最后在Matlab中进行了仿真与求解,结果表明,该方法不仅优化了蓄电池的工作状态,降低了储能系统的全生命周期费用,而且加快了收敛速度。



1. 一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,其特征在于,包括如下步骤:

- 1) 确定风光互补混合储能结构;
- 2) 确定供电可靠性指标;
- 3) 确定以混合储能设备全生命周期费用最小为目标函数;
- 4) 确定约束条件;
- 5) 采用改进粒子群算法求解优化配置模型。

2. 根据权利要求1所述的一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,其特征在于:所述步骤1)中将蓄电池和超级电容器混合作为储能装置,风光互补混合储能结构由风力发电机组、光伏阵列、蓄电池组、超级电容器组、变流器和负载组成。

3. 根据权利要求1所述的一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,其特征在于:所述选取负荷缺电率作为供电可靠性指标,负荷缺电率 $f_{LPSP}$ 定义为负荷缺电量 $E_{1ps}$ 与负荷总需求量 $E_L$ 的比值,即:

$$f_{LPSP} = \frac{\sum_{k=1}^K E_{1ps}(k)}{\sum_{k=1}^K E_L(k)}$$

其中, $k$ 表示时刻, $K$ 为时刻数, $E_{1ps}(k)$ 为 $k$ 时刻的负荷缺电量, $E_L(k)$ 为 $k$ 时刻的负荷需求量。

4. 根据权利要求3所述的一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,其特征在于:所述负荷缺电率 $f_{LPSP}$ 的计算过程如下:

$$4-1) \text{ 记 } \Delta E = (E_w(k) + E_s(k))\eta_c - E_L(k)$$

其中, $E_w(k)$ 、 $E_s(k)$ 、 $E_L(k)$ 分别为 $k$ 时刻风能需求量、太阳能需求量、负荷需求量; $\eta_c$ 是逆变器的功率转换效率;

4-2) 当风光互补发电量满足负荷需求,即 $\Delta E > 0$ 时,负荷缺电量 $E_{1ps} = 0$ ,混合储能装置充电;

当风光互补发电量不足时,混合储能装置放电补充电源功率的缺额,此时令 $E_{1ps} = -\Delta E$ ,即:

$$E_{1ps} = E_L(k) - (E_w(k) + E_s(k))\eta_c$$

5. 根据权利要求1所述的一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,其特征在于:所述目标函数为:

$$\min LCC = C_I + C_0 + C_M + C_D = (1 + f_{ob} + f_{mb} + f_{db})N_b P_b + (1 + f_{oc} + f_{mc} + f_{dc})N_c P_c$$

其中: $LCC$ 为全生命周期费用; $C_I$ 为设备的购买费用; $C_0$ 为设备的运行费用; $C_M$ 为设备的维护费用; $C_D$ 为设备的处理费用; $N_b$ 、 $N_c$ 分别为蓄电池、超级电容器的个数; $P_b$ 、 $P_c$ 分别为蓄电池、超级电容器的单价; $f_{ob}$ 、 $f_{oc}$ 分别为蓄电池、超级电容器的运行系数; $f_{mb}$ 、 $f_{mc}$ 分别为蓄电池、超级电容器的维护系数; $f_{db}$ 、 $f_{dc}$ 分别为蓄电池、超级电容器的处理系数。

6. 根据权利要求1所述的一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,其特征在于:所述约束条件包括:

6-1) 供电可靠性约束条件:

$$f_{LPSP} \leq f_{LPSP_{max}}$$

其中: $f_{LPSP}$ 为负荷缺电率, $f_{LPSP_{max}}$ 为负荷允许的最大缺电率;

6-2) 储能系统的储能量约束条件:

$$E_{b\min} < E_b(k) < E_{bn}$$

$$E_{c\min} < E_c(k) < E_{cn}$$

其中:  $E_{b\min}$ 、 $E_{bn}$  分别为蓄电池的最小剩余储能量和额定储能量;  $E_{c\min}$ 、 $E_{cn}$  分别为超级电容器的最小剩余储能量和额定储能量;  $E_b(k)$  为蓄电池的剩余储能量;  $E_c(k)$  为超级电容器的剩余储能量;

6-3) 蓄电池的剩余储能量满足:

$$E_b(k) \leq \mu \cdot \Delta E$$

其中:  $\mu$  为蓄电池所承担储能量占  $\Delta E$  的比重。

7. 根据权利要求1所述的一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法, 其特征在于: 所述改进粒子群算法是指设计加速因子  $C_1$  和  $C_2$ , 公式如下:

$$C_1 = C_{1s} + \lambda(C_{1e} - C_{1s}) / \lambda_{\max}$$

$$C_2 = C_{2s} + \lambda(C_{2e} - C_{2s}) / \lambda_{\max}$$

其中:  $C_{1e}$ 、 $C_{2e}$  为加速因子  $C_1$ 、 $C_2$  的终值;  $C_{1s}$ 、 $C_{2s}$  为加速因子  $C_1$ 、 $C_2$  的初值;  $\lambda$  是当前迭代次数,  $\lambda_{\max}$  是最大迭代次数;

则速度更新公式为:

$$V_{id}^{k+1} = \omega V_{id}^k + C_1 r_1 (P_{id}^k - X_{id}^k) + C_2 r_2 (P_{gd}^k - X_{id}^k)$$

其中:  $V_{id}^{k+1}$  表示第  $\lambda+1$  次迭代的粒子速度,  $V_{id}^k$  表示第  $\lambda$  次迭代的粒子速度,  $X_{id}^k$  表示第  $\lambda$  次迭代的粒子位置,  $\omega$  为惯性权重,  $\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\lambda_{\max}} \lambda$ ;  $P_{id}^k$  表示  $k$  次迭代的粒子最优位置;

$P_{gd}^k$  表示  $k$  次迭代的种群最优位置;  $r_1$ ,  $r_2$  表示介于  $(0, 1)$  之间的随机数。

8. 根据权利要求7所述的一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法, 其特征在于: 所述改进粒子群算法选择不对称的加速因子  $C_1$  和  $C_2$ 。

## 一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,属于微网储能系统配置优化技术领域。

### 背景技术

[0002] 由于其优良的节能减排价值,风力发电和光伏发电近年来发展迅速,在风、光资源等较为充足的地区,设立了一些风光互补发电系统。但是由于风、光存在不稳定性和间歇性等特点,需要在风光互补发电系统中配置储能系统来平抑功率的波动。常用的储能装置包括电容器和蓄电池,蓄电池的能量比高,方便长时间存储电能,能增加整个发电系统的能量调节范围,但蓄电池的功率密度低、循环寿命短、有一定的环境污染,并且风、光的不稳定和间歇性等问题会加大系统中储能部分的费用;超级电容器功率密度大、充放电速度快、循环寿命长,有助于抑制系统的短时功率波动。为优化蓄电池充放电状态,显著减少蓄电池充电和放电次数,延长其使用寿命,可将蓄电池和超级电容器混合作为储能装置,实现互补,称之为混合储能系统。

[0003] 为了进一步提高储能系统的经济性,国内外很多学者开展了储能系统容量配置的大量研究,但是大部分只是考虑了储能器件的初次购置费用,而未考虑储能装置使用过程中的安装、维护以及废弃等方面所需费用,即全生命周期费用。因此,以储能装置的全生命周期费用为优化目标,通过算法改进,合理配置蓄电池和超级电容器的个数,优化容量配置,成为风光互补发电混合储能系统的研究方向之一,特别是以全生命周期费用最小为目标,建立风光互补混合储能系统容量优化配置模型和算法研究。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是克服现有技术的缺陷,提供一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,优化容量配置。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提供一种基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法,包括如下步骤:

[0006] 1)确定风光互补混合储能结构;

[0007] 2)确定供电可靠性指标;

[0008] 3)确定以混合储能设备全生命周期费用最小为目标函数;

[0009] 4)确定约束条件;

[0010] 5)采用改进粒子群算法求解优化配置模型。

[0011] 前述的步骤1)中将蓄电池和超级电容器混合作为储能装置,风光互补混合储能结构由风力发电机组、光伏阵列、蓄电池组、超级电容器组、交流器和负载组成。

[0012] 前述的选取负荷缺电率作为供电可靠性指标,负荷缺电率 $f_{LPSP}$ 定义为负荷缺电量 $E_{Lps}$ 与负荷总需求量 $E_L$ 的比值,即:

$$[0013] \quad f_{LPSP} = \frac{\sum_{k=1}^K E_{Ips}(k)}{\sum_{k=1}^K E_L(k)}$$

[0014] 其中,  $k$ 表示时刻,  $K$ 为时刻数,  $E_{Ips}(k)$ 为 $k$ 时刻的负荷缺电量,  $E_L(k)$ 为 $k$ 时刻的负荷需求量。

[0015] 前述的负荷缺电率 $f_{LPSP}$ 的计算过程如下:

$$[0016] \quad 4-1) \text{记 } \Delta E = (E_w(k) + E_s(k))\eta_c - E_L(k)$$

[0017] 其中,  $E_w(k)$ 、 $E_s(k)$ 、 $E_L(k)$ 分别为 $k$ 时刻风能需求量、太阳能需求量、负荷需求量;  $\eta_c$ 是逆变器的功率转换效率;

[0018] 4-2)当风光互补发电量满足负荷需求,即 $\Delta E > 0$ 时,负荷缺电量 $E_{Ips} = 0$ ,混合储能装置充电;

[0019] 当风光互补发电量不足时,混合储能装置放电补充电源功率的缺额,此时令 $E_{Ips} = -\Delta E$ ,即:

$$[0020] \quad E_{Ips} = E_L(k) - (E_w(k) + E_s(k))\eta_c。$$

[0021] 前述的目标函数为:

$$[0022] \quad \min LCC = C_I + C_0 + C_M + C_D = (1 + f_{ob} + f_{mb} + f_{db})N_b P_b + (1 + f_{oc} + f_{mc} + f_{dc})N_c P_c$$

[0023] 其中:  $LCC$ 为全生命周期费用;  $C_I$ 为设备的购买费用;  $C_0$ 为设备的运行费用;  $C_M$ 为设备的维护费用;  $C_D$ 为设备的处理费用;  $N_b$ 、 $N_c$ 分别为蓄电池、超级电容器的个数;  $P_b$ 、 $P_c$ 分别为蓄电池、超级电容器的单价;  $f_{ob}$ 、 $f_{oc}$ 分别为蓄电池、超级电容器的运行系数;  $f_{mb}$ 、 $f_{mc}$ 分别为蓄电池、超级电容器的维护系数;  $f_{db}$ 、 $f_{dc}$ 分别为蓄电池、超级电容器的处理系数。

[0024] 前述的约束条件包括:

[0025] 6-1)供电可靠性约束条件:

$$[0026] \quad f_{LPSP} \leq f_{LPSP_{max}}$$

[0027] 其中:  $f_{LPSP}$ 为负荷缺电率,  $f_{LPSP_{max}}$ 为负荷允许的最大缺电率;

[0028] 6-2)储能系统的储能量约束条件:

$$[0029] \quad E_{bmin} < E_b(k) < E_{bn}$$

$$[0030] \quad E_{cmin} < E_c(k) < E_{cn}$$

[0031] 其中:  $E_{bmin}$ 、 $E_{bn}$ 分别为蓄电池的最小剩余储能量和额定储能量;  $E_{cmin}$ 、 $E_{cn}$ 分别为超级电容器的最小剩余储能量和额定储能量;  $E_b(k)$ 为蓄电池的剩余储能量;  $E_c(k)$ 为超级电容器的剩余储能量;

[0032] 6-3)蓄电池的剩余储能量满足:

$$[0033] \quad E_b(k) \leq \mu \cdot \Delta E$$

[0034] 其中:  $\mu$ 为蓄电池所承担储能量占 $\Delta E$ 的比重。

[0035] 前述的改进粒子群算法是指设计加速因子 $C_1$ 和 $C_2$ ,公式如下:

$$[0036] \quad C_1 = C_{1s} + \lambda(C_{1e} - C_{1s}) / \lambda_{max}$$

$$[0037] \quad C_2 = C_{2s} + \lambda(C_{2e} - C_{2s}) / \lambda_{max}$$

[0038] 其中:  $C_{1e}$ 、 $C_{2e}$ 为加速因子 $C_1$ 、 $C_2$ 的终值;  $C_{1s}$ 、 $C_{2s}$ 为加速因子 $C_1$ 、 $C_2$ 的初值;  $\lambda$ 是当前迭代次数,  $\lambda_{max}$ 是最大迭代次数;

[0039] 则速度更新公式为:

$$[0040] \quad V_{id}^{k+1} = \omega V_{id}^k + C_1 r_1 (P_{id}^k - X_{id}^k) + C_2 r_2 (P_{gd}^k - X_{id}^k)$$

[0041] 其中： $V_{id}^{\lambda+1}$ 表示第 $\lambda+1$ 次迭代的粒子速度， $V_{id}^{\lambda}$ 表示第 $\lambda$ 次迭代的粒子速度， $X_{id}^{\lambda}$ 表示第 $\lambda$ 次迭代的粒子位置， $\omega$ 为惯性权重， $\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\lambda_{\max}} \lambda$ ； $P_{id}^k$ 表示k次迭代的粒子最优位置； $P_{gd}^k$ 表示k次迭代的种群最优位置； $r_1, r_2$ 表示介于(0,1)之间的随机数。

[0042] 前述的改进粒子群算法选择不对称的加速因子 $C_1$ 和 $C_2$ 。

[0043] 本发明所达到的有益效果：

[0044] 本发明以系统全生命周期费用最小为目标，以缺电率等运行指标为相应约束条件，对蓄电池和超级电容器混合储能器件进行了容量配置优化设计，采用不对称加速因子改进了粒子群算法，合理配置蓄电池和超级电容器的个数，优化容量配置。

## 附图说明

[0045] 图1基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法流程图；

[0046] 图2风光互补混合储能结构；

[0047] 图3负荷缺电率计算流程图；

[0048] 图4是本发明的实施例中风能发电量；

[0049] 图5是本发明的实施例中太阳能发电量；

[0050] 图6是本发明的实施例中负荷消耗的电量；

[0051] 图7是本发明的实施例中权重改进粒子群算法的优化结果图；

[0052] 图8是本发明的实施例中采用对称加速因子和不对称加速因子的粒子群算法的优化结果图。

## 具体实施方式

[0053] 下面结合附图对本发明作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案，而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0054] 本发明的基于改进粒子群算法的混合储能容量优化配置方法，如图1所示，包括如下步骤：

[0055] 步骤一：确定风光互补混合储能结构；

[0056] 步骤二：确定供电可靠性指标；

[0057] 步骤三：以混合储能设备全生命周期费用最小为目标函数；

[0058] 步骤四：确定约束条件；

[0059] 步骤五：采用改进粒子群算法求解优化配置模型。

[0060] 具体实施过程如下：

[0061] 为了调高风光互补发电储能系统的经济性，减少其运行费用，本发明提出风光互补发电储能系统的容量优化配置模型：采用蓄电池和超级电容器作为风光互补系统混合储能装置，以其全生命周期费用最小为目标，以系统的缺电率等运行指标为约束条件，建立了一种混合储能容量优化配置模型，其次，通过优化不对称加速因子进而改进粒子群算法，最后利用改进粒子群算法求解优化配置模型。具体如下：

[0062] 1)确定风光互补混合储能结构

[0063] 风光互补发电系统中，将蓄电池超级电容器混合作为储能装置，系统构成如图2所

示,由风力发电机组、光伏阵列、蓄电池组、超级电容器组、变流器、负载等组成。

[0064] 2)确定供电可靠性指标

[0065] 作为风光互补发电系统的重要运行指标,负荷缺电率 $f_{LPSP}$ 定义为负荷的缺电量 $E_{Lps}(k)$ 与负荷需求量 $E_L(k)$ 的比值。即:

$$[0066] \quad f_{LPSP} = \frac{\sum_{k=1}^K E_{Lps}(k)}{\sum_{k=1}^K E_L(k)}$$

[0067] 其中, $k$ 为时刻, $K$ 为时刻数。

[0068] 负荷缺电率 $f_{LPSP}$ 的计算流程如图3所示,具体如下:

[0069] 记 $\Delta E = (E_w(k) + E_s(k))\eta_c - E_L(k)$ ,

[0070] 式中, $E_w(k)$ 、 $E_s(k)$ 、 $E_L(k)$ 分别为 $k$ 时刻风能需求量、太阳能需求量、负荷需求量; $\eta_c$ 是逆变器的功率转换效率。

[0071] 当风光互补发电量满足负荷需求即 $\Delta E > 0$ 时,缺电量 $E_{Lps} = 0$ ,混合储能装置充电,当

$\Delta E \geq (E_{bn} + E_{cmax}) \cdot \eta_c$ 时,蓄电池以额定充电,超级电容器以最大值充电,当 $\Delta E \geq E_{bn} \cdot \eta_c$ 时蓄电池能额定充电,当 $\Delta E \geq E_{cmax} \cdot \eta_c$ 时,只有超级电容器充电,蓄电池不充电;

[0072] 当风光互补发电量不足时,混合储能装置放电,补充电源功率的缺额,此时令 $E_{Lps} = -\Delta E$ ,即:

$$[0073] \quad E_{Lps} = E_L(k) - (E_w(k) + E_s(k))\eta_c$$

[0074] 当 $\Delta E \geq (E_{bn} + E_{cmax}) \cdot \eta_c$ 时,蓄电池以额定充电,超级电容器以最大值充电,当 $\Delta E \geq E_{bn} \cdot \eta_c$ 时蓄电池以额定充电,超级电容器以不平衡量与蓄电池放电量的差值放电,当 $\Delta E \geq E_{cmax} \cdot \eta_c$ 时,只有超级电容器充电,蓄电池不充电。

[0075] 蓄电池的额定储能量为 $E_{bn}$ (单位MWh),蓄电池的最小剩余储能量为 $E_{bmin}$ ,即:

$$[0076] \quad E_{bn} = N_b \cdot C_b \cdot U_b / 10^6$$

$$[0077] \quad E_{bmin} = N_b \cdot C_b \cdot U_b \cdot (1 - DOD) / 10^6$$

[0078] 式中: $N_b$ 为蓄电池个数; $U_b(V)$ 为蓄电池的额定电压; $C_b(Ah)$ 为额定电容量; $DOD$ 为最大放电深度。

[0079] 在实际情况中,超级电容器的工作电压有一个范围,记为 $U_{cmin} \sim U_{cmax}$ ,则该超级电容器组的最大储能量为:

$$[0080] \quad E_{cmax} = 0.5 \cdot N_c \cdot C_c \cdot U_{cmax}^2 / 3.6 \times 10^9$$

[0081] 最小值为:

$$[0082] \quad E_{cmin} = 0.5 \cdot N_c \cdot C_c \cdot U_{cmin}^2 / 3.6 \times 10^9$$

[0083] 式中: $N_c$ 为超级电容器的个数; $U_c$ 为超级电容器的端电压; $C_c$ 为电容值。从图3可以看出蓄电池以额定值进行充放电,这样就减少了蓄电池的充放电次数和放电深度,延长了蓄电池使用寿命。

[0084] 3)以混合储能设备全生命周期费用最小为目标函数

[0085] 全生命周期费用是指在设备的生命周期内,从设备的规划、制造、安装、使用、维护、废弃等过程中所支付的所有费用之和。混合储能设备的全生命周期费用模型为:

$$[0086] \quad \min LCC = C_I + C_0 + C_M + C_D = (1 + f_{ob} + f_{mb} + f_{db})N_b P_b + (1 + f_{oc} + f_{mc} + f_{dc})N_c P_c$$

[0087] 式中： $LCC$ 为全生命周期费用； $C_i$ 为设备的购买费用； $C_0$ 为设备的运行费用； $C_M$ 为设备的维护费用； $C_D$ 为设备的处理费用（残值费用和报废费用）； $N_b$ 、 $N_c$ 分别为蓄电池、超级电容器的个数； $P_b$ 、 $P_c$ 分别为蓄电池、超级电容器的单价； $f_{ob}$ 、 $f_{oc}$ 为蓄电池和超级电容器的运行系数； $f_{mb}$ 、 $f_{mc}$ 为蓄电池和超级电容器的维护系数，一般情况下，超级电容器免维护，所以  $f_{mc} = 0$ ； $f_{db}$ 、 $f_{dc}$ 为蓄电池和超级电容器的处理系数。

[0088] 4)确定约束条件

[0089] (1)供电可靠性是由负荷缺电率表征，负荷的缺电率  $f_{LPSP}$  在一个可承受的范围，即：

$$[0090] \quad f_{LPSP} \leq f_{LPSPmax}$$

[0091] 式中： $f_{LPSPmax}$ 为负荷允许的最大缺电率。

[0092] (2)储能系统的储能量约束

$$[0093] \quad E_{bmin} < E_b(k) < E_{bn}$$

$$[0094] \quad E_{cmin} < E_c(k) < E_{cn}$$

[0095] 式中： $E_{bmin}$ 、 $E_{bn}$ 分别为蓄电池的最小剩余储能量和额定储能量； $E_{cmin}$ 、 $E_{cn}$ 分别为超级电容器的最小剩余储能量和额定储能量； $E_b(k)$ 为蓄电池的剩余储能量； $E_c(k)$ 为超级电容器的剩余储能量。

[0096] (3)  $\Delta E$ 主要有两部分组成，基本部分和波动部分，蓄电池主要承担其中的基本部分，即要满足：

$$[0097] \quad E_b(k) \leq \mu \cdot \Delta E$$

[0098] 其中： $\mu$ 为基本部分占  $\Delta E$ 的比重。

[0099] 5)采用改进粒子群算法求解优化配置模型

[0100] 为了让粒子在搜索初期尽最大的可能飞跃整个搜索空间，实现多样性，避免过早收敛于局部极值。为此，在初始搜索时使用比较大的加速因子  $C_1$ ，比较小的加速因子  $C_2$ ，这样就使得粒子能够比较自由的分散到搜索空间中去，以此使得粒子的多样性得到增加；随着迭代次数的增加，让  $C_1$  线性递减，而  $C_2$  线性递增，那么随着迭代次数的增加， $C_1$  变小，而  $C_2$  增大，加强了粒子全局最优的收敛能力。它的公式如下：

$$[0101] \quad C_1 = C_{1s} + \lambda(C_{1e} - C_{1s}) / \lambda_{max}$$

$$[0102] \quad C_2 = C_{2s} + \lambda(C_{2e} - C_{2s}) / \lambda_{max}$$

[0103] 其中： $C_{1e}$ 、 $C_{2e}$ 为加速因子  $C_1$ 、 $C_2$ 的终值； $C_{1s}$ 、 $C_{2s}$ 为加速因子  $C_1$ 、 $C_2$ 的初值； $\lambda$ 是当前迭代次数， $\lambda_{max}$ 是最大迭代次数；

[0104] 因此，改进的粒子群算法，其速度更新公式为：

$$[0105] \quad V_{id}^{\lambda+1} = \omega V_{id}^{\lambda} + C_1 r_1 (P_{id}^{\lambda} - X_{id}^{\lambda}) + C_2 r_2 (P_{gd}^{\lambda} - X_{id}^{\lambda})$$

[0106] 其中： $V_{id}^{\lambda+1}$ 表示第  $\lambda+1$  次迭代的粒子速度， $V_{id}^{\lambda}$ 表示第  $\lambda$  次迭代的粒子速度， $X_{id}^{\lambda}$ 表示第  $\lambda$  次迭代的粒子位置， $\omega$ 为惯性权重， $\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\lambda_{max}} \lambda$ ； $P_{id}^k$ 表示  $k$  次迭代的粒子最优位置； $P_{gd}^k$ 表示  $k$  次迭代的种群最优位置； $r_1$ 、 $r_2$ 表示介于  $(0, 1)$  之间的随机数。

[0107] 为了进一步说明本发明方法的准确性和可靠性，以某风光互补发电系统为例，图4是风机全年的发电量，图5则是太阳能的发电量，图6是负荷全年消耗的电量。设定逆变器的

效率 $LPSP_{max}$ 为0.95,系统供电缺电率为0.05。蓄电池和超级电容器的参数分别如表1所示。

[0108] 表1 蓄电池和超级电容器的参数

[0109]

|         | 蓄电池  | 超级电容器  |
|---------|------|--------|
| 额定电压/V  | 12   | 2.7    |
| 额定容量/Ah | 100  |        |
| 充电效率    | 0.75 | 0.98   |
| 放电效率    | 0.85 | 0.98   |
| 放电深度    | 0.4  |        |
| 运行系数    | 0.1  | 0.01   |
| 维护系数    | 0.02 |        |
| 循环寿命/次  | 1500 | 500000 |
| 单价/元    | 400  | 350    |
| 处理系数    | 0.08 | 0.04   |

[0110] 根据前面所确定的目标函数、约束条件和各项参数,分别应用权重改进的粒子群算法和加速因子改进的粒子群算法进行求解,在Matlab中进行仿真。

[0111] (1)权重改进的粒子群算法

[0112] 此时种群的规模是100,最大迭代次数是400, $C_1=C_2=1.49445$ ,而权重的最大值为0.9最小值是0.4,得到最优个体适应度值变化图形如图7。可以看出大约要迭代300次左右收敛,而优化后得到全生命周期费用等见表2。

[0113] 表2三种情况的优化结果

[0114]

| 优化参数    | 权重改进    | 对称加速因子  | 不对称加速因子 |
|---------|---------|---------|---------|
| 蓄电池/个   | 37012   | 46627   | 40688   |
| 超级电容器/个 | 5801400 | 5632400 | 5681300 |
| LPSP    | 0.0379  | 0.0337  | 0.0355  |
| 最小费用/元  | 159760  | 158180  | 157730  |

[0115] (2)加速度因子改进的粒子群算法

[0116] 对 $C_1$ 、 $C_2$ 的取值范围主要有两种:对称的取值 $C_1 \in [2.5, 0.5]$ 、 $C_2 \in [0.5, 2.5]$ 和非对称的取值自 $C_1 \in [2.75, 1.25]$ 、 $C_2 \in [0.5, 2.25]$ 。

[0117] (a)当 $C_1 \in [2.5, 0.5]$ 、 $C_2 \in [0.5, 2.5]$ ,  $\omega = 0.9$ 时,种群规模是100,最大迭代次数是400。仿真结果见图8左和表2。从图中可以看出,收敛速度加快了,它的生命周期费用变小了。

[0118] (b)当 $C_1 \in [2.75, 1.25]$ 、 $C_2 \in [0.5, 2.25]$ ， $\omega = 0.9$ 时，种群规模是100，最大迭代次数是400。仿真结果见图8右和表2。

[0119] 从仿真结果可以看出，采用线性递减的惯性权重粒子群算法时，它的收敛速度比较慢，大约需要迭代300次左右，寻得近似最优点；而采用加速因子改进的粒子群算法时，收敛速度有明显的加快，大约50次左右就收敛了。并且采用三种方法得到的结果都满足最小负荷缺电率的要求，采用加速因子改进的粒子群算法的优化效果要优于线性递减的惯性权重改进的粒子群算法。

[0120] 比较对称加速因子改进的粒子群算法和非对称的加速因子改进的算法，可以看出采用对称的加速因子时，需要蓄电池46627个，超级电容器5632400个，此时的最小生命周期费用是158180元，负荷缺电率是0.0337；而采用不对称的加速因子时，需要配置40688个蓄电池，5681300个超级电容器，此时的最小生命周期费用是157730元，负荷缺电率是0.0355。因此，采用不对称的加速因子时，全生命周期费用减少了0.284%，需要配置的蓄电池的个数减少了12.7%，不对称加速因子的粒子群算法具有更好的寻优能力。

[0121] 以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明技术原理的前提下，还可以做出若干改进和变形，这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

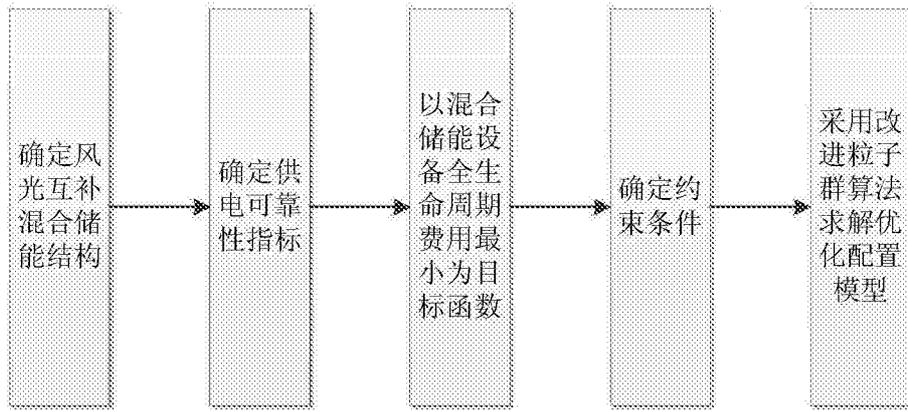


图1

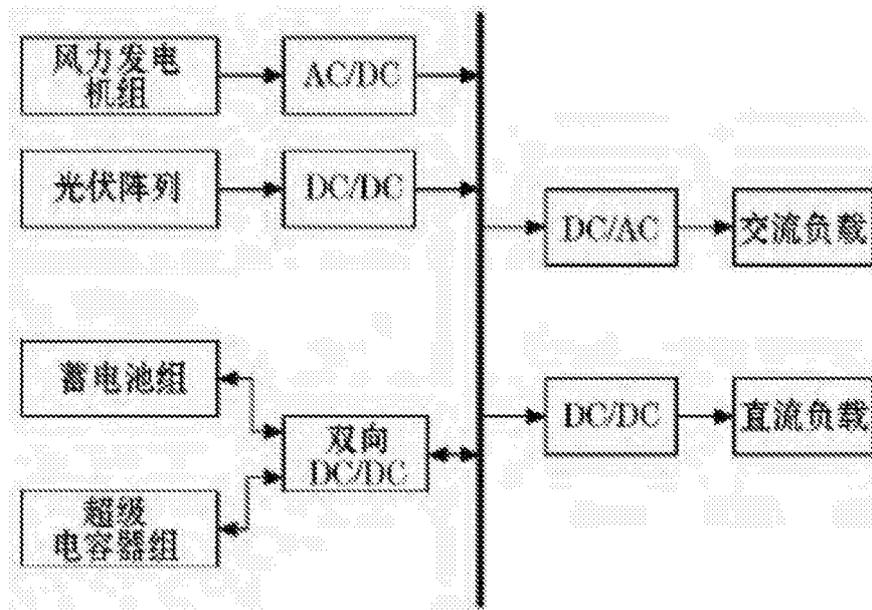


图2

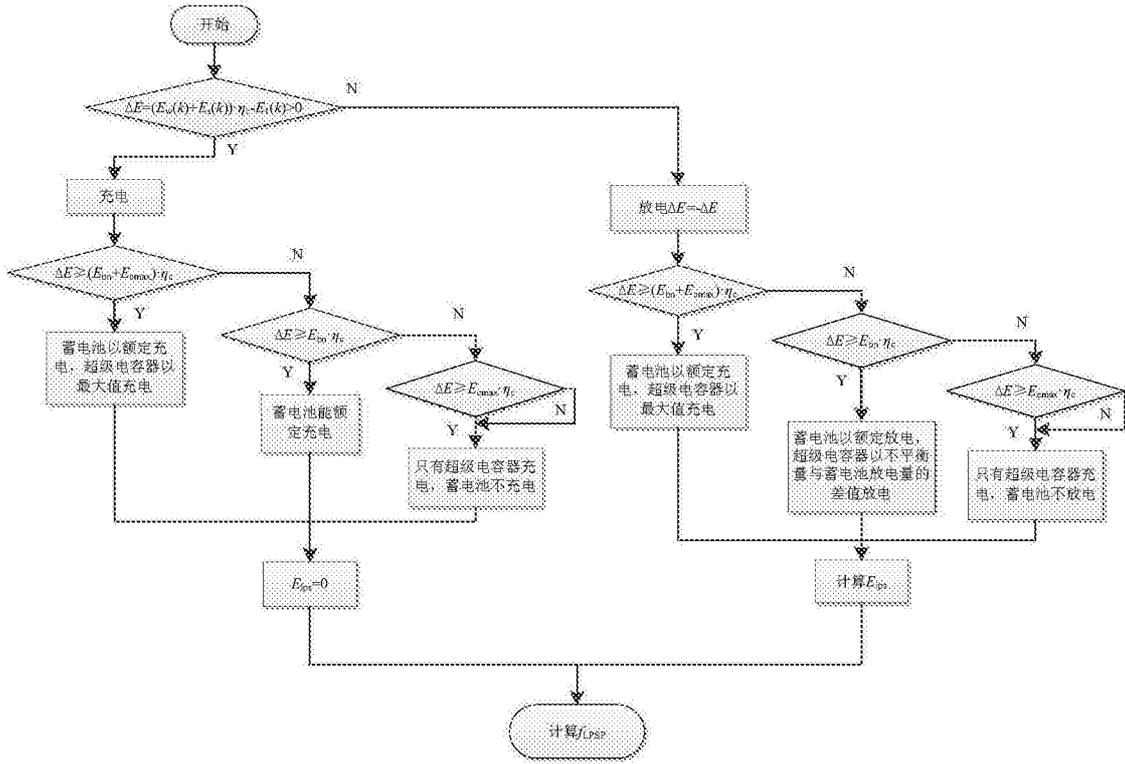


图3

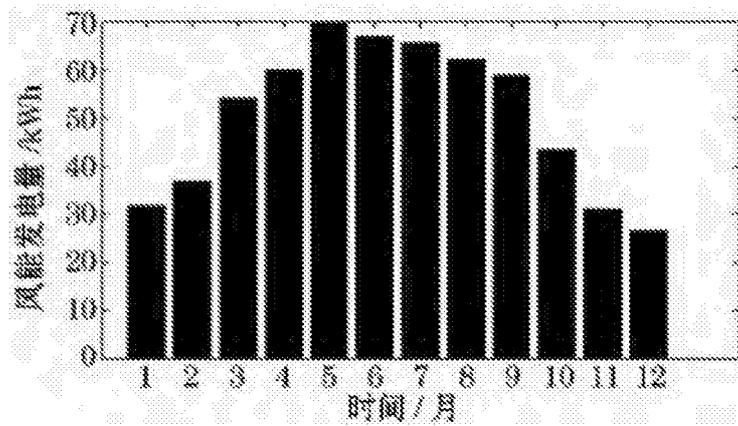


图4

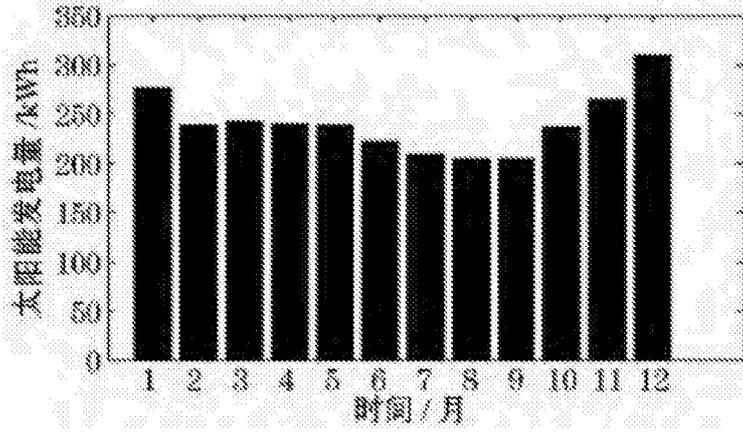


图5

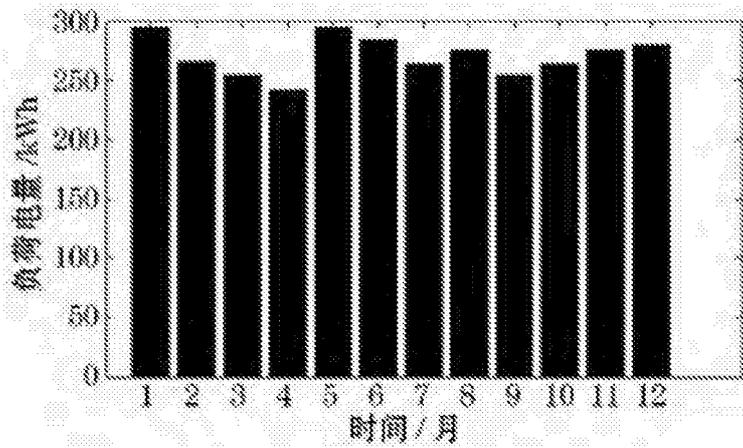


图6

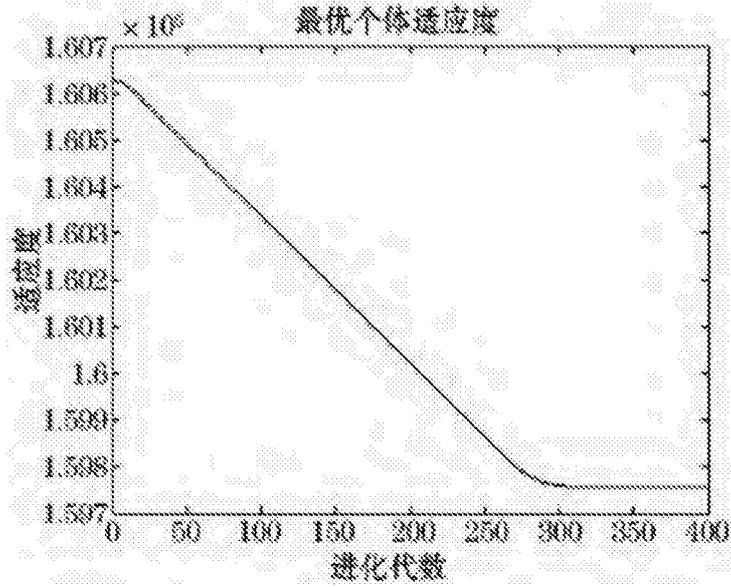


图7

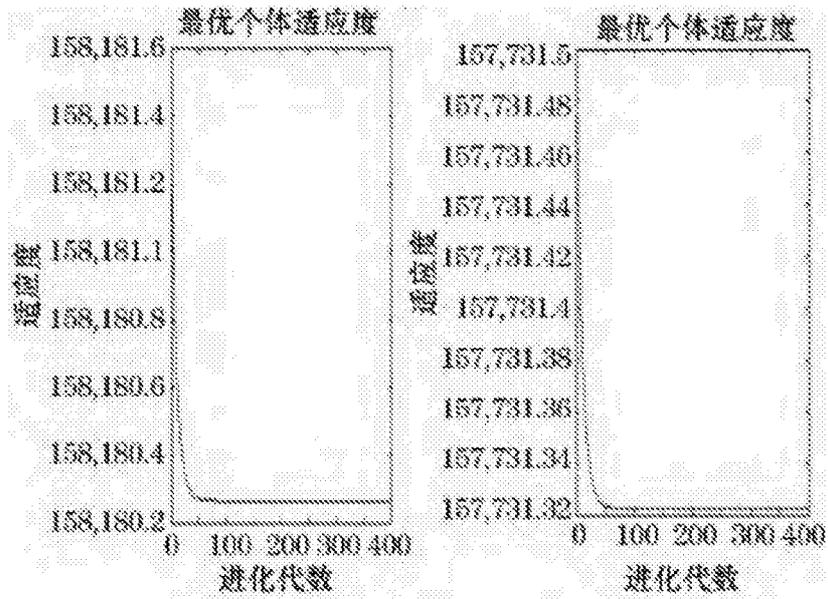


图8