



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106815660 B

(45) 授权公告日 2021.05.04

(21) 申请号 201710049133.1

G06Q 50/06 (2012.01)

(22) 申请日 2017.01.23

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106056264 A, 2016.10.26

申请公布号 CN 106815660 A

CN 103001259 A, 2013.03.27

CN 103956732 A, 2014.07.30

(43) 申请公布日 2017.06.09

US 2016036226 A1, 2016.02.04

(73) 专利权人 东南大学

审查员 李耀声

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72) 发明人 王颖 程天石 胡杰 徐璐

陶秋岑

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所

(普通合伙) 32249

代理人 唐绍焜

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04 (2012.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图5页

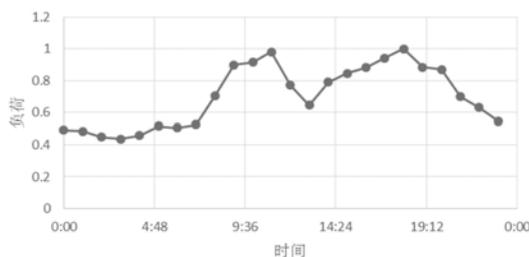
(54) 发明名称

基于模拟退火算法的用户负荷组合优化方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于模拟退火算法的用户负荷组合优化方法,通过分析各个行业用户负荷的特性,基于电力用户负荷特性模型,提出了以变压器负载的峰谷差率和平均负载率综合最优为优化目标的用户负荷组合优化模型,并基于模拟退火算法实现了组合优化算法,用于规划求解较为合理的用户负荷接入方案。可以在进行配电网规划和用户业扩报装时提供数据支撑,辅助负荷接入的决策,提高变电站的利用率,均衡各变压器负载率,同时减小峰谷差,从而提高配电网运行的经济学和可靠性。

曲线⑤:农业、居民及教育行业的日负荷曲线



1. 基于模拟退火算法的用户负荷组合优化方法, 其特征在于: 包括步骤:

步骤1: 对日负荷进行处理并进行聚类分析, 得到不同用户类型的日负荷曲线;

步骤2: 建立组合优化模型:

$$\text{Min}F = c_1 \cdot \text{Max}(\{f\}) + c_2 \cdot \text{Max}(\{|L_1 - L_0|\})$$

其中,  $c_1$  和  $c_2$  为权重系数,  $\{f\}$  为各变压器负荷峰谷差率的集合,  $L_1$  为各变压器平均负载率,  $L_0$  为变压器的理想运行负载率,  $\{|L_1 - L_0|\}$  为变压器平均负载率与理想负载率偏差绝对值的集合;

约束条件包括:

(1) 容量约束:  $l_{\max} < S_{\max}$ ; 其中,  $l_{\max}$  表示变压器上所有日负荷曲线叠加后得到的最大值,  $S_{\max}$  表示变压器的最大容量;

(2) 最大和最小接入量约束:  $h_{\min} < \sum_{j=1}^m H_{ij} < h_{\max}$ ;  $j$  表示第  $j$  个用户,  $H_{ij}$  表示第  $i$  个变压器与第  $j$  个用户是否有连接, 数值为 0 或 1,  $m$  表示用户总量,  $h_{\min}$  和  $h_{\max}$  表示变压器上接入用户的数量的最小值和最大值;

(3) 用户负荷的可移动性约束: 配电网系统中有些重要负荷和大用户不宜移动, 此类用户设置为不参与优化; 在优化过程中, 忽略网络结构的影响及无功损耗;

步骤3: 采用模拟退火算法求解组合优化模型, 得到用户负荷组合优化结果; 包括步骤:

a、初始化负荷数据及退火温度; 随机生成矩阵  $H$  作为系统的初始状态记为  $w_1$ , 并计算目标函数值  $g(w_1)$ ;

b、对初始状态  $w_1$  扰动产生新解  $w_2$  并计算目标函数值  $g(w_2)$ ;

c、计算  $dU = g(w_2) - g(w_1)$  并判断  $dU < 0$  是否成立; 若成立, 则接受新解,  $w_1 = w_2$ ,  $g(w_1) = g(w_2)$ ; 否则按 Metropolis 准则接受新解;

d、判断是否达成迭代次数; 若是, 则判断是否满足终止条件; 否则返回步骤 b;

e、若满足终止条件, 则结束算法, 得到最优解; 否则缓慢降低温度至预先设定的阈值温度, 重置迭代次数并返回步骤 b。

2. 根据权利要求 1 所述的用户负荷组合优化方法, 其特征在于: 所述步骤 1 中具体为: 以日负荷数据为样本, 先用 spss 编程, 对数据进行筛选, 剔除错误数据, 得到初步的数据; 再采用 K-means 聚类算法, 将日负荷数据进行聚类分析。

## 基于模拟退火算法的用户负荷组合优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明是基于行业用电特性深度挖掘的用户报装容量的饱和度分析,具体来说就是,基于模拟退火算法的用户负荷组合优化。

### 背景技术

[0002] 随着社会经济的持续发展,用户用电需求不断增长,用户报装容量增长迅猛,部分房地产项目、大型商业项目的单个项目报装容量即达到新建变电站的要求,使得我国新建变电站规模一直处于较高水平。但另一方面,电网容载比仍略高于导则规定要求,变电站利用效率不高,主变容量未能得到充分释放,部分变电站间隔已开放完毕却长期处于轻载运行状态。实际上,许多用户目前的报装容量远超实际负荷,造成变电站供电方案相对较为粗放,变电站出线间隔利用率过低。我们将对实际负荷与报装容量之间存在的差异进行分析,研究电力负荷的发展趋势,为未来业扩报装的合理定容提供指导。

[0003] 模拟退火算法是基于Monte-Carlo迭代求解策略的一种随机寻优算法,它是从某一较高初温出发,伴随温度参数的不断下降,结合概率突跳特性在解空间中随机寻找目标函数的全局最优解,即在局部最优解能概率性地跳出并最终趋于全局最优,目前已在工程中得到了广泛应用。模拟退火算法是通过赋予搜索过程一种时变且最终趋于零的概率突跳性,从而可有效避免陷入局部极小并最终趋于全局最优的串行结构的优化算法。

### 发明内容

[0004] 发明目的:本发明所要解决的技术问题是:

[0005] 1、电力用户的负荷随时间变化的特性具有一定规律,需要有一定的指标来分析不同电力用户的负荷特性;

[0006] 2、根据大量用户近几年的实际负荷发展状况分析不同行业的用电趋势分析行业,为用户报装容量提供指导;

[0007] 3、我们的项目目的是要使得日负荷曲线更加平缓,从而来提高变电站利用率和电网经济性及稳定性。

[0008] 技术方案:

[0009] 基于模拟退火算法的用户负荷组合优化方法,包括步骤:

[0010] 步骤1:对日负荷进行处理并进行聚类分析,得到不同用户类型的日负荷曲线;

[0011] 步骤2:建立组合优化模型:

$$[0012] \quad \text{Min}F = c_1 \cdot \text{Max}(\{f\}) + c_2 \cdot \text{Max}(\{|L_1 - L_0|\})$$

[0013] 其中, $c_1$ 和 $c_2$ 为权重系数, $\{f\}$ 为各变压器负荷峰谷差率的集合, $L_1$ 为各变压器平均负载率, $L_0$ 为变压器的理想运行负载率, $\{|L_1 - L_0|\}$ 为变压器平均负载率与理想负载率偏差绝对值的集合;

[0014] 约束条件包括:

[0015] (1) 容量约束: $l_{\max} < S_{\max}$ ;

[0016] (2) 最大和最小接入量约束： $h_{\min} < \sum_{j=1}^m H_{ij} < h_{\max}$ ； $H_{i,j}$ 表示第i个变压器与第j个用户是否有连接，数值为0或1，j表示第j个用户，m表示用户总量， $h_{\min}$ 和 $h_{\max}$ 表示变压器上接入用户的数量的最小值和最大值；

[0017] (3) 用户负荷的可移动性约束：配电网系统中有些重要负荷和大用户不宜移动，此类用户设置为不参与优化；在优化过程中，忽略网络结构的影响及无功损耗；

[0018] 步骤3：采用模拟退火算法求解组合优化模型，得到用户负荷组合优化结果。

[0019] 所述步骤1中具体为：以日负荷数据为样本，先用spss编程，对数据进行筛选，剔除错误数据，得到初步的数据；再采用K-means聚类算法，将日负荷数据进行聚类分析。

[0020] 所述步骤3中的模拟退火算法具体为：包括步骤：

[0021] a、初始化负荷数据及退火温度；随机生成矩阵H作为系统的初始状态记为w1，并计算目标函数值g(w1)；

[0022] b、对初始状态w1扰动产生新解w2并计算目标函数值g(w2)；

[0023] c、计算 $dU = g(w2) - g(w1)$ 并判断 $dU < 0$ 是否成立；若成立，则接受新解， $w1 = w2$ ， $g(w1) = g(w2)$ ；否则按Metropolis准则接受新解；

[0024] d、判断是否达成迭代次数；若是，则判断是否满足终止条件；否则返回步骤b；

[0025] e、若满足终止条件，则结束算法，得到最优解；否则缓慢降低温度，重置迭代次数并返回步骤b。

[0026] 有益效果：与现有技术相比，本发明的技术方案具有以下有益效果：

[0027] 通过对行业用户负荷特性的研究，证明了基于用户负荷波动的“互补性”进行负荷组合优化是可行的。可以为电网规划建设提供更好的科学指导，提高了电网建设、运行的经济性和可靠性。

## 附图说明

[0028] 图1为日负荷数据的聚类结果。

[0029] 图2为模拟退火算法的程序流程图。

[0030] 图3为算例中的待优化的变压器负载组合。

[0031] 图4为算例中优化后的变压器负载组合。

## 具体实施方式

[0032] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0033] 1、负荷数据分析

[0034] 以南京某市的日负荷数据为样本，先用spss编程，对数据进行筛选，剔除错误数据，并对一些必要数据进行补充，得到初步的数据。再采用K-means聚类算法，将日负荷数据进行聚类分析。将所有的用户分成五类，不同的聚类结果体现了不同用户类型的日负荷曲线特点，聚类结果如图1所示。

[0035] 负荷的分配，实际上就是这5种类型负荷曲线排列组合。

[0036] 2、基于用户负荷波动特性的组合优化模型

[0037] 2.1配电网系统的建立与描述

[0038] 假设有一n个变压器的配电网系统,系统包含m个用户负荷。现需要将这m个用户接入配电网系统,并使变压器负载的峰谷差率达到最小,变压器的平均负载率达到理想运行负载率。

[0039] m个用户接入配电网系统的接入方法可以用变压器和用户之间连接关系矩阵H表示,矩阵H是一个的矩阵,矩阵元素的值为0或1。0表示第i个变压器与第j个用户之间无连接,1则表示有连接。改变矩阵H即可改变负荷接入系统的方式,同时会导致变压器负载的峰谷差率和变压器的平均负载率发生变化。

[0040] 其中,变压器峰谷差率的表达式为:

$$[0041] \quad f = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{l_{\max}} \quad (1)$$

[0042] 式中: $l_{\max}$ 和 $l_{\min}$ 分别表示变压器上所有日负荷曲线叠加后得到的最大值和最小值。

[0043] 变压器平均负载率的表达式为:

$$[0044] \quad L = \frac{l_{ave}}{S_{\max}} \quad (2)$$

[0045] 式中: $l_{ave}$ 表示变压器上所有日负荷曲线叠加后计算得出的平均值, $S_{\max}$ 表示变压器的最大容量。

[0046] 2.2组合优化模型的建立

[0047] 模型的优化目标为变压器负载峰谷差率和平均负载率的综合最优,所以我们实际上要建立的是一个多目标的优化模型,其优化目标函数可表示为:

$$[0048] \quad \text{Min}F = c_1 \cdot \text{Max}(\{f\}) + c_2 \cdot \text{Max}(\{|L_1 - L_0|\}) \quad (3)$$

[0049] 式中: $c_1$ 和 $c_2$ 为权重系数, $\{f\}$ 为各变压器负荷峰谷差率的集合, $L_1$ 为各变压器平均负载率, $L_0$ 为变压器的理想运行负载率, $\{|L_1 - L_0|\}$ 为变压器平均负载率与理想负载率偏差绝对值的集合,F为系统中变压器个数。

[0050] 目标函数需满足的约束条件如下:

[0051] (1) 容量约束

[0052] 变压器上所有日负荷曲线叠加后得到的最大值需小于变压器的最大容量:

$$[0053] \quad l_{\max} < S_{\max} \quad (4)$$

[0054] (2) 最大和最小接入量约束

[0055] 变压器上接入用户的数量应在最大值与最小值之间:

$$[0056] \quad h_{\min} < \sum_{j=1}^m H_{ij} < h_{\max} \quad (5)$$

[0057]  $H_{ij}$ 表示变压器上接入用户的数量, $h_{\min}$ 和 $h_{\max}$ 表示变压器上接入用户的数量的最小值和最大值;

[0058] (3) 用户负荷的可移动性约束

[0059] 配电网系统中有些重要负荷和大用户不宜移动,此类用户可设置为不参与优化。在优化过程中,忽略网络结构的影响及无功损耗。

[0060] 2.3模型求解

[0061] 2.3.1模拟退火算法

[0062] 采用了模拟退火算法对用户负荷的组合优化问题进行求解。此算法模拟了晶体退火过程,将目标函数类比于晶体的内能。

[0063] 在晶体的退火过程中,熔化的固体会现在一定的温度T下达到热平衡状态,而后固体的温度会缓慢地降低,固体的能量也随之降低,并在每个温度下保持一定的时间,最后形成晶体。

[0064] 类似的,模拟退火算法在算法运行过程的每一步中会对控制变量进行微小的改变(本文中既是对变压器和用户之间连接关系矩阵H进行改变),然后对目标函数值进行重新计算,得到目标函数的改变量。通过包含波尔曼算子的判别式做出判断:

[0065]  $\exp(\Delta G/T) > P$  (6)

[0066] 式中: $\Delta G$ 是波尔曼算子,T是等效的系统温度,P是在区间(0,1)上均匀分布的随机数。

[0067] 若上式成立,则认可矩阵H的这一改变,否则不认可。接着,对系统进行重复的修正与计算,直到获得最优解为止。

[0068] 2.3.2计算步骤

[0069] 变压器和用户之间连接关系矩阵H作为算法中的控制变量,目标函数作为内能E,等效的系统温度T作为控制参数控制算法的模拟时间。则算法的步骤如图2所示,包括步骤:

[0070] a、初始化负荷数据及退火温度;随机生成矩阵H作为系统的初始状态记为 $w_1$ ,并计算目标函数值 $g(w_1)$ ;

[0071] b、扰动产生新解 $w_2$ 并计算目标函数值 $g(w_2)$ ;

[0072] c、计算 $dU = g(w_2) - g(w_1)$ 并判断 $dU < 0$ 是否成立;若成立,则接受新解, $w_1 = w_2, g(w_1) = g(w_2)$ ;否则按Metropolis准则即式(6)接受新解;

[0073] d、判断是否达成迭代次数;若是,则判断是否满足终止条件;否则返回步骤b;

[0074] e、若满足终止条件,则结束算法,得到最优解;否则缓慢降低温度,重置迭代次数并返回步骤b。

[0075] 3、算例分析

[0076] 以吴江市60个行业用户典型日负荷曲线为用户负荷样本。

[0077] 大部分用户负荷的容量都很小,而有少数大用电客户。各个用户的负荷特性各不相同。由ABC三台变压器供给这些负荷,每个变压器输送容量为20MW,初始的变压器负载情况如表1:

[0078] 表1待优化的变压器负载组合

变压器	平均负载率 L	峰谷差率 f	目标函数值 h
<b>A</b>	0.7157427	0.251980 3	
<b>B</b>	0.4747738	0.636097 6	1.195384
<b>C</b>	0.8737146	0.252715 5	

[0080] 如图3所示。

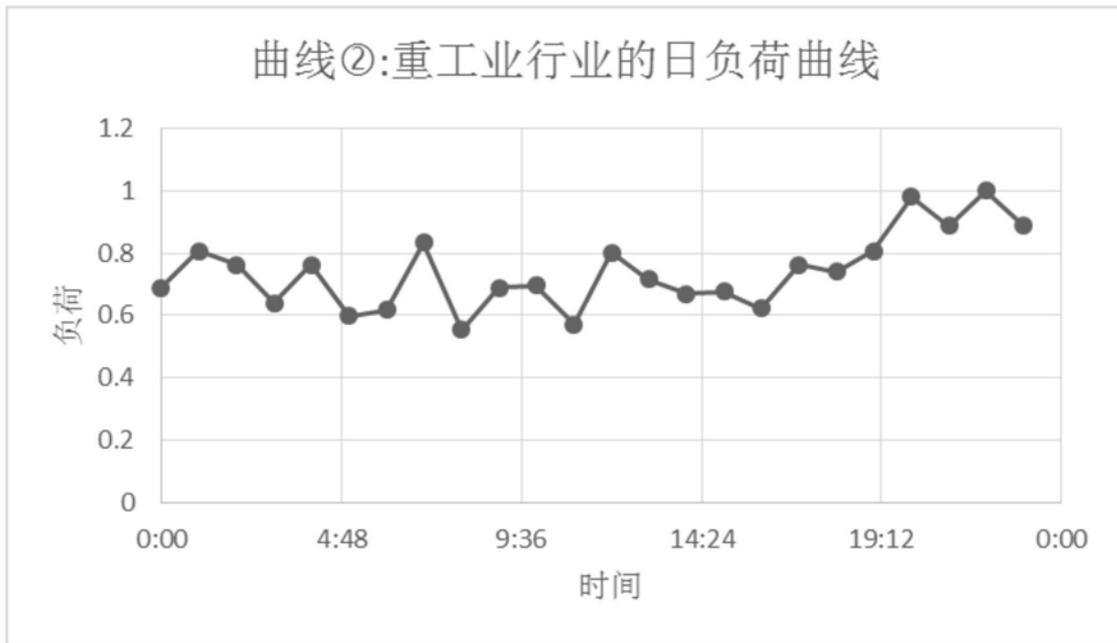
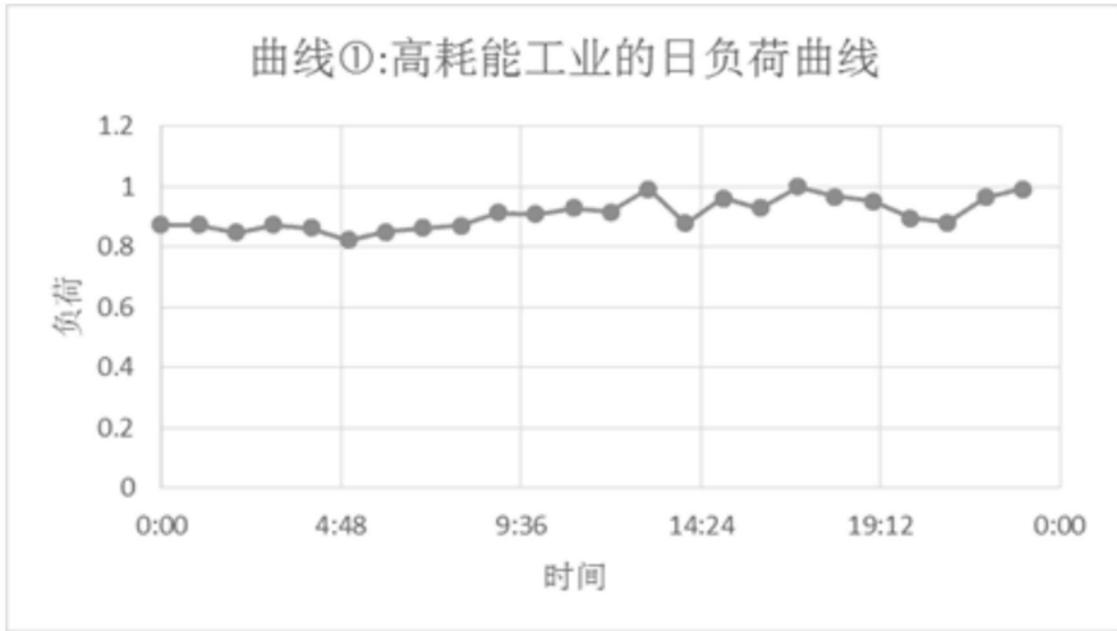
[0081] 通过我们的优化算法的计算,得到了优化的用户负荷组合,新组合下的变压器负载情况如表2所示:

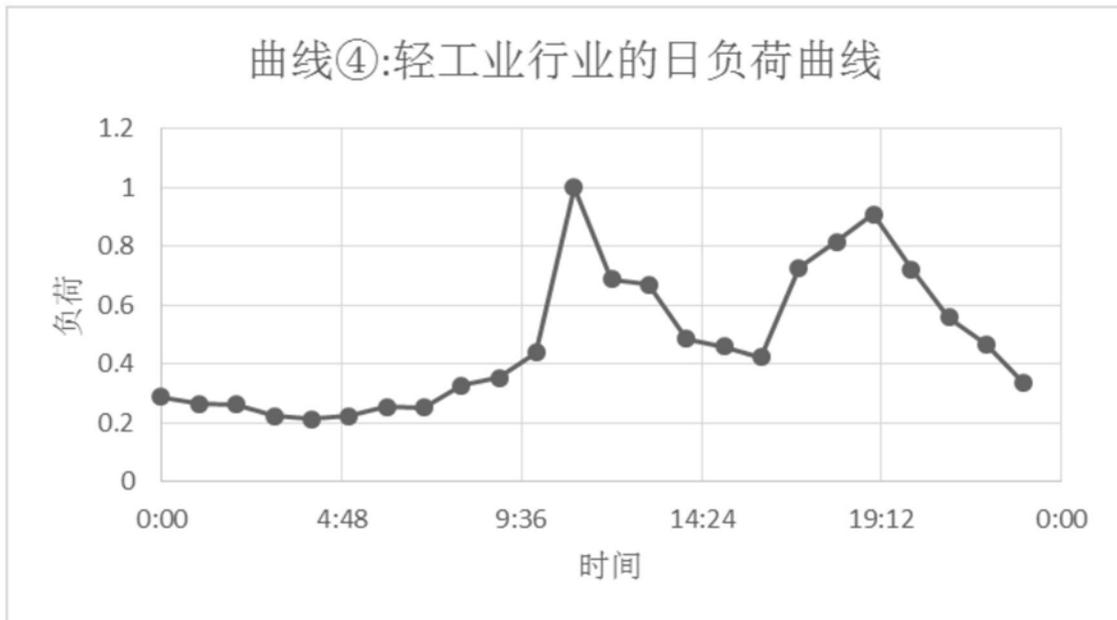
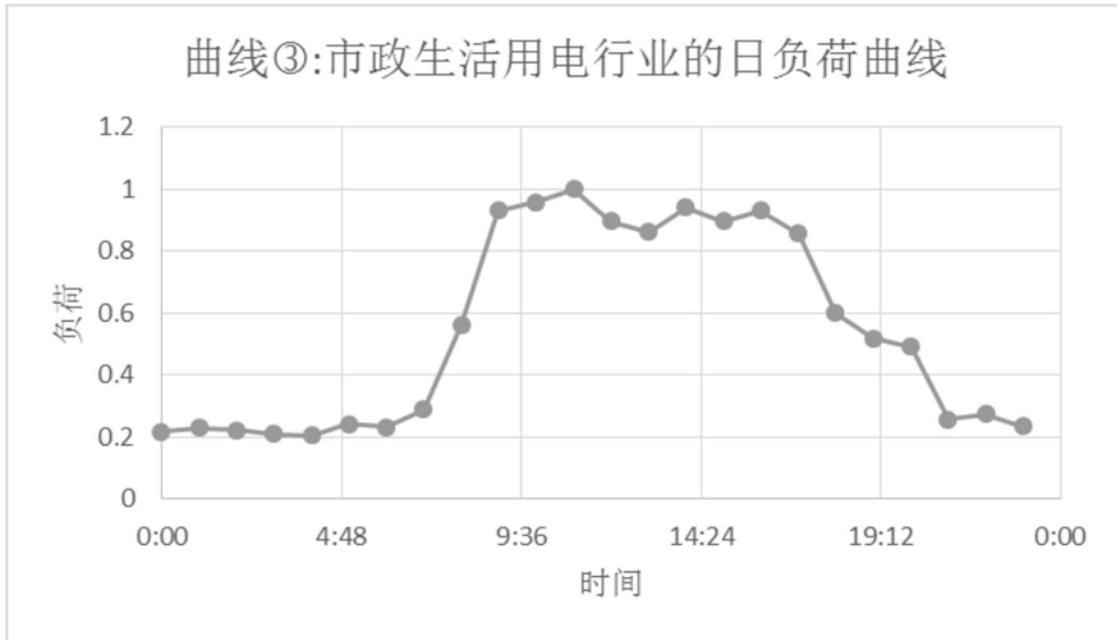
[0082] 表2优化后的变压器负载组合

变压器	平均负载率 L	峰谷差率 f	目标函数值 h
<b>A</b>	0.7746365	0.257556 1	
<b>B</b>	0.7240042	0.505239 9	0.8168311
<b>C</b>	0.6279175	0.25014	

[0084] 图4优化后的变压器负载组合。如图4所示,A、B、C整体来看,三者负荷率都要比优化之前均衡得多,靠近我们设定的最佳负荷率65%,峰谷差率也减小了,证明算法是有效的。

[0085] 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,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。





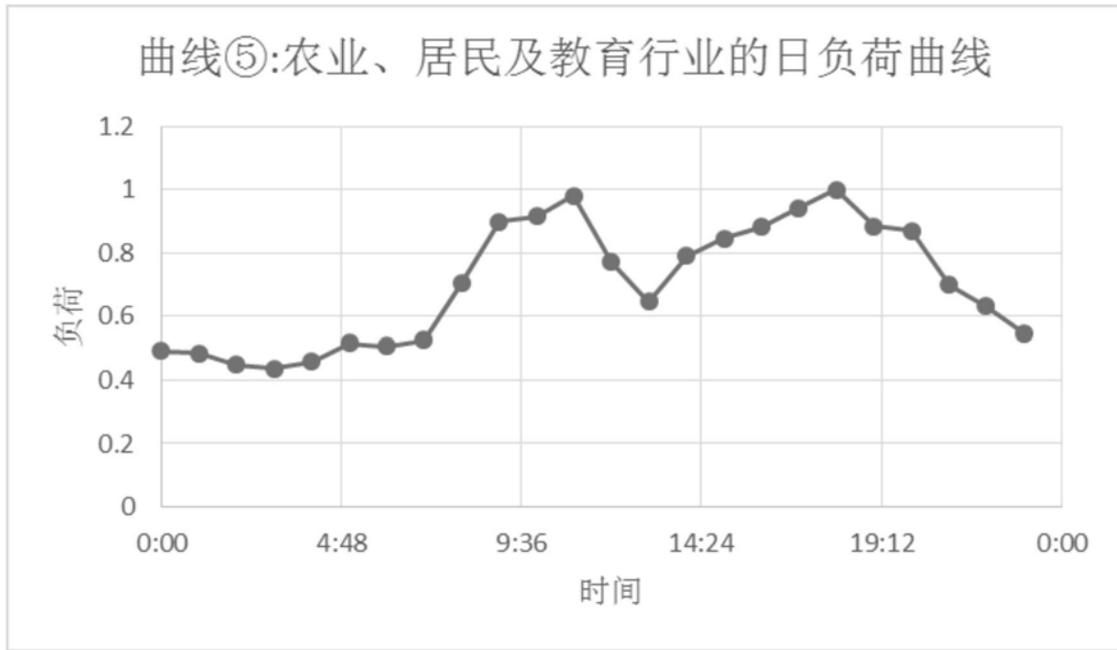


图1

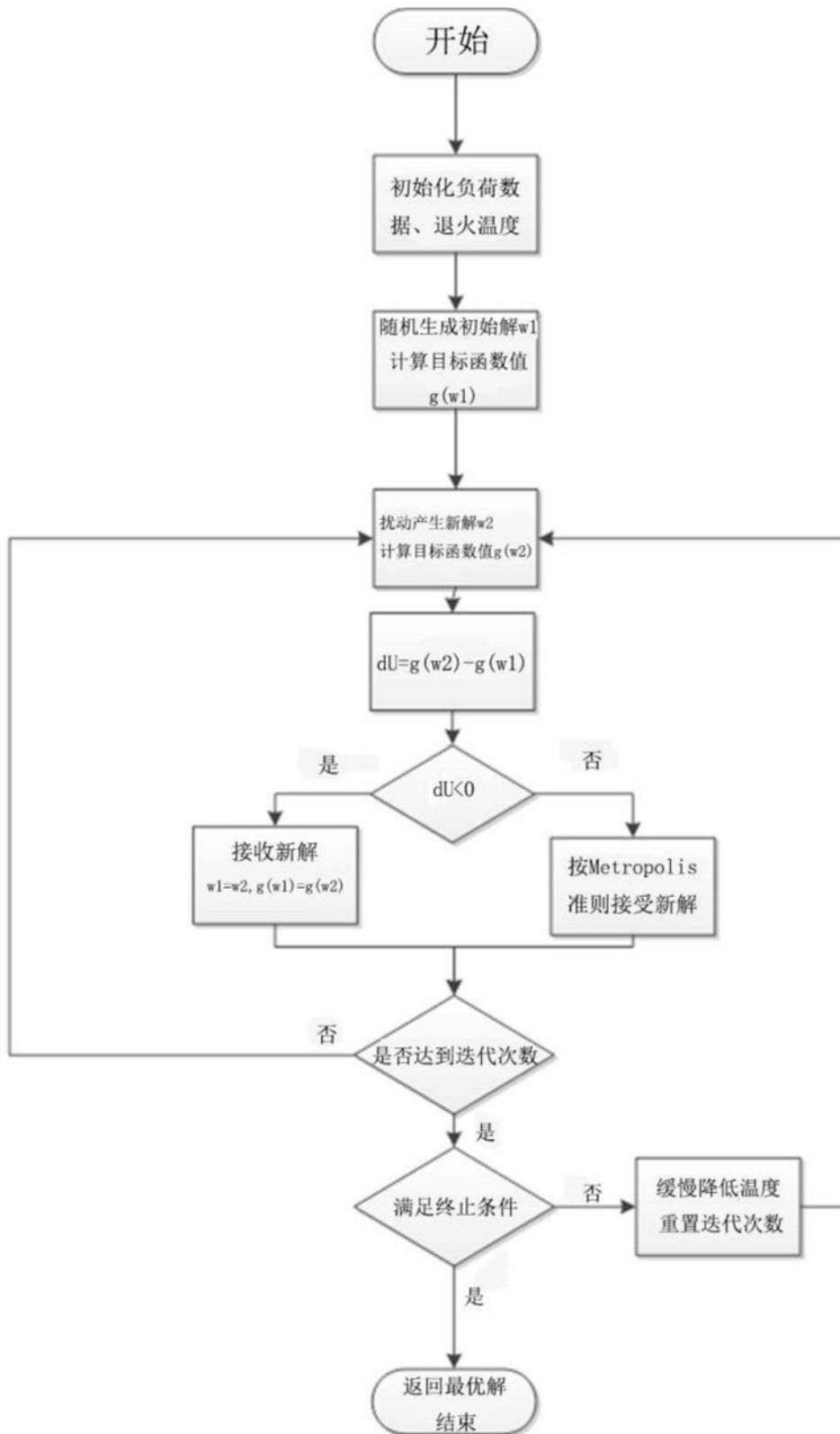


图2

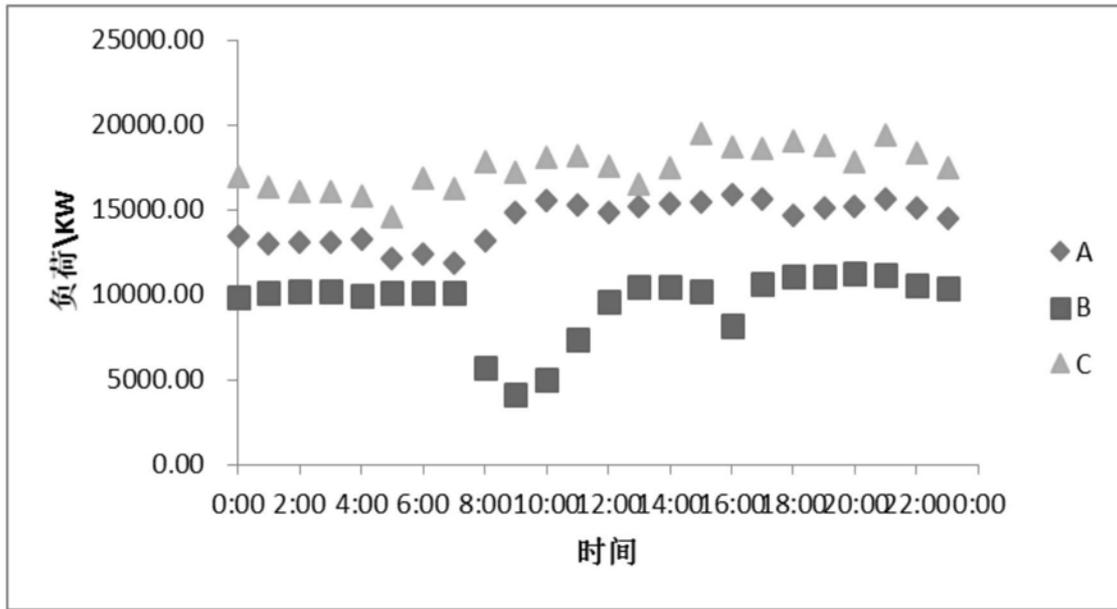


图3

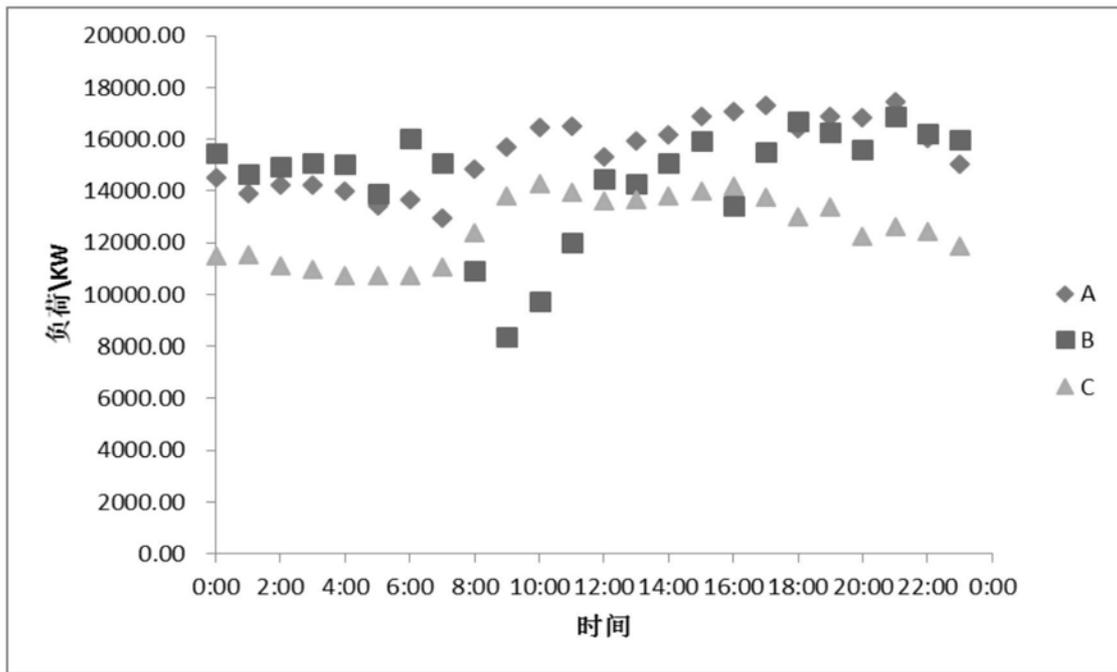


图4