

优化居民小区家庭安科瑞电能管理系统的设计与应用-分时电价多目标优化 改进的粒子群算法 优化调度

产品名称	优化居民小区家庭安科瑞电能管理系统的设计与应用-分时电价 多目标优化 改进的粒子群算法 优化调度
公司名称	安科瑞电气股份有限公司
价格	.00/件
规格参数	品牌:安科瑞 型号:电能管理系统 产地:江苏江阴
公司地址	上海市嘉定区育绿路253号
联系电话	19821750213 19821750213

产品详情

摘要：现如今，分时电价的盛行改变了原来的用电模式，不仅要保证用电费用降低，更要保证用户用电的舒适度。因此提出了基于分时电价和多目标优化的家庭电能管理系统。首先，将常用的家用设备按照家用设备的用电特性进行了分类。然后，家庭电能管理系统优化调度模型的建立以家庭用电成本的优化，用户舒适度的提升和碳排放量的追踪为目标。对家庭电能管理系统模型使用改进的粒子群算法进行优化验证。通过使用 Matlab 进行仿真实验，验证该方法在降低用电成本提高用户舒适度和追踪碳排放量方面有显著的优化效果。

关键词：家庭电能管理；分时电价；多目标优化；改进的粒子群算法；优化调度

0 引言

从目前国内外的研究来看，对于家庭微电网优化调度问题有大量的研究，提出如何将居民用电设备进行分类。本文在没有光伏发电与风力发电等能源装置，结合了已有的家庭电能管理系统研究基础，考虑优化目标用户舒适度、电价成本和碳排放量的追踪建立在分时电价下的多目标模型，以保证不同家用电器行为下的调度。因此提出了基于分时电价和多目标优化的家庭电能管理系统的优化模型，该模型对家用电器进行了分类，并对设备进行监控，管理使其合理的运行达到的运行状态。*后通过Matlab仿真算例验证该模型对家庭用电设备有较好的适应性，也保证用户舒适度。

1 家庭电能管理系统架构

家庭电能管理系统是电网在用户消费侧的重要组成部分，它利用一定的技术手段来实现用户对家庭用电设备的检测、管理和减少电费开支。在分时电价的大环境下合理地使用电器来达到减少电费，控制以家庭为主的碳排放，起到保护环境的作用。利用多目标优化算法使用户舒适度、电能消耗和碳排放达到其架构如图 1 所示。

系统主要包括智能插座，智能电表。智能电表可以把家庭的用电情况上传给国家能源网），电网通过智能电表给用户家庭提供电能和提供分时电价的价格。智能插座连接用户的用电设备，获取用电设备的基本数据，例如功率，电压和用电时长等，并且通过电闸进一步来控制设备。收集到的数据通过智能插座上传给多目标优化器来进行分析。多目标优化控制器将得到的数据结合三个优化条件（用户舒适度碳排放量和电能的消耗）和电网公布的分时电价及用户对设备的使用意向来进行优化，并把优化的结果传送给智能插座来控制设备的使用。

2 家庭电能管理系统优化模型

家庭电能管理系统是针对拥有多个家居用电设备的单个用户，这些设备通过智能插座全部与管理系统相连。当HEMS开始运行后，这些设备就会立即作出反应，在整个优化过程里，系统会将优化的时间划分为长度相同的子时间段。

2.1 用电负荷模型

在日常生活里，每个用电设备都有不同的用电方式，本文依据设备间的用电特性将所有家用设备分为刚性设备柔性设备和 HVAC 设备。刚性设备表示用电设备的使用时间不会根据优化系统而改变，例如冰箱、电灯等。柔性设备又根据设备使用时间在平移过程中可否中断分为两类：可平移不可中断设备，如洗碗机、洗衣机，其运行时段可以进行移动、调整，但工作期间设备不可中断；可平移可中断设备，表示此类家用设备的使用时间根据优化系统而发生变化，并且在运行期间可中断使用，如电动车，热水器。HVAC 设备表示此类设备的使用情况只与温度有关，如空调。

2.1.1 刚性设备

该类设备直接影响着用户的正常生活，不会随着优化发生改变，例如电冰箱，电灯等。

刚性设备模型：

2.1.2 柔性设备

该类设备的用电时间较为灵活，依据用电特性和用电过程中可否中断分为可平移不可中断设备和可平移可中断设备。

可平移可中断设备模型：

2.1.3 HVAC 设备

暖通空调系统（heating, ventilation and airconditioning, HVAC）是包含温度、湿度、空气清净度以及空气循环的控制系统，因此室内外温度，以及用户自行设置的*佳温度值和房屋的热参数决定了该类设备的运行时间。

2.2 优化调度目标函数

2.2.1 经济目标函数

经济目标函数是把家庭用电费用作为优化目标。优化后的值越小表示优化效果越好。

2.2.2 用户舒适度函数

用户舒适度函数是将用户对用电设备优化后的使用时间段的满意度作为优化目标。优化后的数值越大，表示用户对于优化后的设备使用时间满意度越高。

2.2.3 碳排放量函数

家庭侧碳排放有很多种，例如汽车尾气排放，煤气灶生活做饭等，本文选择煤炭发电导致的碳排放，根据市场调查每消耗一度电的碳排放量是 0.785 kg。就目前国内的情况，小区没有安装光伏发电装置，碳排放量与用电量消耗的线性关系如下：

在以后的发展中，小区里有了光伏发电装置后，碳排放量与光伏发电的使用效率有关，当光伏发电的用电效率达到碳排放量；反之当光伏发电的用电效率达到，碳排放量达到*大。在光伏发电装置中，需要有发电、储电的过程。本文不再赘述。

2.3 约束条件

2.3.1 功率对等约束条件

在家庭系统中电能需要守恒，即生产的电能与消耗的电能应该保持平衡。功率平衡约束如下：

2.3.2 温度设备约束条件

用户对于温控设备的运作时间与工作时段并不关心，关心的是在特定的时间内由温控设备控制的温度有没有达到要求。所以对温控设备来说不存在时间约束，只存在温度约束。其温度约束如下：

2.3.3 工作时间约束条件

对某一电器设备来说，需要工作的时间片数为 N ，HEMS需要保证每一个电器设备都能够完成工作。所以每个电器设备工作的时间片数应该与 N 相等，即：

2.4 多目标优化调度策略

2.4.1 多目标优化算法

在 2.2 节介绍的 3 个目标（用电费用用户舒适度和碳排放量）中，如果仅将用电费用优化到低，在电价较低时才使用电，不可避免地会引起用户的不满。同样，当一个目标达到佳时，会对其他两个优化目标产生一定的影响。本文的多目标优化调度策略综合考虑用电费用用户舒适度以及碳排放量的因素，使得达到优。

传统多目标优化方法都是根据对不同目标的不同要求，将目标通过某种方式转变为单目标优化可以求解的问题。缺点是仅能求出优化问题的局部优解，求解的结果强烈依赖于初始值。智能优化算法的提出改

善了这方面的问题。目前的智能算法就是粒子群算法。

2.4.2 粒子群算法

粒子群 (particleswarm optimization , PSO) 算法从随机触发, 通过迭代寻找到优解。粒子群的标准算法容易陷入局部优, 导致结果不准确, 且不能解决离散及组合优化问题。因此本文使用改进的多目标粒子群算法, 在该算法中每个粒子的速度和位置按照如下方程来更新:

2.4.3 算法比较

图2是标准的粒子群算法流程图, 图3是改进的粒子群算法流程图。比对图2与图3能看出, 改进的粒子群算法, 在标准的粒子群算法基础上, 改变了权重因子 w 和学习因子 c 的取值方法, 提高了粒子群算法的全局搜索能力, 避免陷入局部优。

3 家庭电能管理系统

家庭电能管理系统运作流程如下:

- (1) 在优化前, 多目标优化控制器获取到设备的所有参数, 其包括用电设备的额定功率和工作时长, 以及用户希望设备工作的时间段。
- (2) 智能电表将获取到的分时电价信息上传给多目标优化控制器。
- (3) 多目标优化器通过平移柔性设备的运行时间来节省电费, 通过每一天的电量使用检测追踪用户侧的碳排放量, 通过使设备在用户理想的时间段运行来保证用户满意度, 后结合约束条件, 制订各柔性负荷的调度计划。
- (4) 多目标优化控制器把调度计划上传给智能插座, 使其在相应的时间段运行各用电设备。

调度流程图如图 4 所示。

4 实例分析

4.1 算例参数

本文以某一家庭数据为例进行分析。该用户家庭安装有智能电表和多目标优化控制器, 根据设备的特性不同, 其家庭用电负荷情况不同, 刚性负荷如表1所示, 柔性负荷如表2所示。

家居设备优化的目的在于保证各设备完成既定工作的前提下, 尽可能压缩用户的电能成本, 同时保证负荷曲线峰谷差不致过大; 用户可以根据各自的习惯在HEMS中设置设备优化参数, 根据这些参数以及电网提供的分时电价信息, HEMS可对家居用电设备进行运行优化。例如, 用户可设置在晚上回家后的18:00至次日7:00之间对电动车进行充电操作, 为了不影响用户在第二天对电动自行车的正常使用

须保证充电结束时充电量达到其总容量的90%以上, HEMS会根据电网提供的分时电价信息选择合适的充电时段, 达到压缩电能成本的目标。其次对于空调的使用, 全时段待机等候命令, 当室内温度不在规定

的温度范围时，空调开始运作，直到温度达到用户设定的温度则停止运作。空调的参数设置如表 3 所示。

4.2 仿真结果

在对整个数据进行分析的过程中，使用了Matlab软件，并将得到的结果以图的方式表现出来。从图 5 可以看出，当室外温度大于室内温度时，空调开始运作，直到室温保持在温度设定范围内则停止工作当空调处于待机状态时消耗的电量可忽略不计。图 6 是标准的粒子群算法下的优化调度结果，图7是改进的粒子群算法优化后调度结果。从两幅图可知，将负荷从峰时段平移到谷时段或者平时段，来减少电费。

图8为使用多目标优化系统前后各个时段的电量费用对比，家庭电能管理系统负荷优化调度结果充分说明了系统策略调度的经济性电费大部分都产生在峰时段，而优化后HEMS系统 将一部分负荷转移到平时段和谷时段，从而减少了峰时段电量的高运作。图9多目标优化系统前后各个时段的电量总费用对比，可以看出优化后的费用增加平缓，并低于优化前电费。从两幅图中能够明显地对比出，峰时段和平时段购电支出都有所降低，谷时段略有升高。从图8和图9能看出，使用标准的粒子群算法和改进的粒子群算法都能够减少电费，标准的粒子群算法比优化前减少了7.2%，改进的粒子群算法减少了4.3%。

图10 为使用多目标优化系统前后各个时段的功率对比图，使用优化系统之前，大部分的柔性设备都集中在在了峰时段，也就是11：00—13：00，19：00—21：00；在优化后，将一部分设备从峰时段移动到谷时段，有效避开了峰值电价时间段，达到了设备平移的目的起到了有效的削峰填谷作用。

表 5 为优化前后关于电费、满意度和碳排放量的数据对比。从表中可以清晰地看出使用了优化算法后电费都减少了，但用户对设备的使用时间满意度，改进的粒子群算法比标准的粒子群算法要高，标准的粒子群算法的电费降低了7.2%，满意度降低了23.9%，改进的粒子群算法电费降低了4.3%，满意度降低了11.8%，从数据能够看出，标准的粒子群算法容易陷入局部的优化结果不是很理想。

5 安科瑞电能管理系统

5.1 概述

用户端消耗着整个电网百分之八十的电能，用户端智能化用电管理对用户可靠、节约用电有十分重要的意义。构建智能用电服务体系，推广用户端智能仪表、智能用电管理终端等设备用电管理解决方案，实现电网与用户的双向良性互动。用户端急需解决的研究内容主要包括：表计，智能楼宇、智能电器、增值服务、客户用电管理系统、需求侧管理等课题。

Acrel-3000WEB电能管理解决方案通过对用户端用电情况进行细分和统计，以直观的数据和图表向管理人员或决策层展示各分项用电的使用消耗情况，便于找出高耗能点或不合理的耗能习惯，节约电能，为用户进一步节能改造或设备升级提供准确的数据支撑。

5.2 应用场所

- (1) 办公建筑（商务办公、大型公共建筑等）；
- (2) 商业建筑（商场、金融机构建筑等）；

(3) 旅游建筑（宾馆饭店、娱乐场所等）；

(4) 科教文卫建筑（文化、教育、科研、医用卫生、体育建筑等）；

(5) 通信建筑（邮电、通信、广播、电视等）；

(6) 交通运输建筑（机场、车站、码头建筑等）。

5.3系统结构

5.4系统功能

1) 实时监测

系统人机界面友好，以配电一次图的形式直观显示配电线路的运行状态，实时监测各回路电压、电流、功率、功率因数、电能等电参数信息，动态监视各配电回路断路器、隔离开关、地刀等合、分状态，以及有关故障、告警等信号。

2) 电能统计报表

系统以丰富的报表支撑计量体系的完整性。系统具备定时抄表汇总统计功能，用户可以查询自系统正常运行以来任意时间段内各配电节点的用电情况，即该节点进线用电量与各分支回路耗电量的统计分析报表。该功能使得用电可视透明，并在用电误差偏大时可分析追溯，维护计量体系的正确性。

3) 详细电参量查询

在配电一次图中，当鼠标移动到每个回路附近时，鼠标指针变为手形，鼠标单击可查看该回路详细电参量，包括三相电流、三相电压、三相总有功功率、总无功功率、总功率因数、正向有功电能，并可以查看24小时相电流趋势曲线及24小时电压趋势曲线。

4) 运行报表

系统具有实时电力参数和历史电力参数的存储和管理功能，所有实时采集的数据、顺序事件记录等均可保存到数据库，在查询界面中能够自定义需要查询的参数、指定时间或选择查询更新的记录数据等，并通过报表方式显示出来。用户可以根据需要定制运行日报、月报，支持导出Excel格式文件，还可以根据用户要求导出PDF格式文件。

5) 变压器运行监视

系统对配电系统总进线、主变压器、重要负荷出线的运行状态进行在线实时监视，用曲线显示电流、变压器运行温度、有功需量、有功功率、视在功率、变压器负荷率等运行趋势，分析变压器负荷率及损耗，方便运行维护人员及时掌握运行水平和用电需求，确保供电可靠。

6) 实时提醒

系统具有实时提醒功能，系统能够对配电回路断路器、隔离开关、接地刀分、合动作等遥信变位，保护动作、事故跳闸，以及电压、电流、功率、功率因数越限等事件进行实时监测，并根据事件等级发出告警。系统提醒时自动弹出实时提醒窗口，并发出声音提醒。

7) 历史事件查询

系统能够对遥信变位，保护动作、事故跳闸，以及电压、电流、功率、功率因数越限等事件记录进行存储和管理，方便用户对系统事件和提醒进行历史追溯，查询统计、事故分析。

8) 电能质量监测

系统可以对整个配电系统范围内的电能质量进行持续性的监测，运行维护人员可以通过谐波分析棒图、报表掌握进线、变压器、重要回路的电压、电流谐波畸变率、谐波含量、电压不平衡度等，及时采取相应的措施，降低谐波损耗，减少因谐波造成的异常和事故(该功能需要选配带谐波监测功能的电力仪表，不需要可删除)。

9) 遥控操作

系统支持对断路器、隔离开关、接地刀等进行分、合遥控操作。系统具有严格的保护和操作权限管理功能，对于每次遥控操作，系统自动生成操作记录，记录内容包含操作人、操作时间、操作类型等。实现该功能需要断路器本身具有电操机构及保护测控装置具备遥控功能等硬件设备的支持。

10) 用户权限管理

系统为保障系统安全稳定运行，设置了用户权限管理功能。通过用户权限管理能够防止未经授权的操作（如配电回路名称修改等）。可以定义不同级别用户的登录名、密码及操作权限，为系统运行、维护、管理提供可靠的安全保障。

11) 通讯状态图

系统支持实时监视接入系统的各设备的通讯状态，能够完整的显示整个系统网络结构；可在线诊断设备通讯状态，发生网络异常时能自动在界面上显示故障设备或元件及其故障部位。从而方便运行维护人员实时掌握现场各设备的通讯状态，及时维护出现异常的设备，保证系统的稳定运行。

12) 画面监控

画面监控展示了当前实时画面（画面直播），选中某一个变配电站，即可查看该变配电站内画面信息。

13) 用户报告

用户报告页面主要用于对选定的变配电站自动汇总一个月的运行数据，对变压器负荷、配电回路用电量、功率因数、报警事件等进行统计分析。

14) APP支持

电力运维手机支持“监控系统”、“设备档案”、“待办事项”、“巡检记录”和“缺陷记录”五大模块，支持一次图、需量、用电量、视频、曲线、温湿度、同比、环比、电能质量、各种事件报警查询，设备档案查询、待办事件处理、巡检记录查询等。

5.5系统硬件配置

应用场合

型号

图片

功能

电能管理软件

Acrel-3000WEB

Acrel-3000WEB电能管理软件全方监视用户配电系统的运行状态和电量数据，为用户提供更好的运维服务。平台提供用户概况、电力数据监测、电能质量分析、用电分析、日/月/年用能数据报表、异常事件报警和记录、运行环境监测等功能，并支持多平台、多终端数据访问。

智能网关

Anet-2E8S1

8路RS485串口，光耦隔离，2路以太网接口，支持ModbusRtu、ModbusTCP、DL/T645-1997、DL/1645-2007、CJT188-2004、OPC UA等协议的数据接入，ModbusT-c(主、从)、104(主、从)、建筑能耗、SNMP、MQTT等协议上传，支持不同协议向多平台转发数据;输入电源:AC/DC 220v，导轨式安装。

ANet-2E4SM

4路RS485串口，光耦隔离，2路以太网接口，支持ModbusRtu、ModbusTCP、DL/T645-1997、DL/T645-2007、CJT188-2004、OPC UA、ModbusTCP(主、从)、104(主、从)、建筑能耗、SNMP、MOTT;(主模块)输入电源:DC 12V~36V.支持4G扩展模块，485扩展模块。

ANet-485

M485模块:4路光耦隔离RS485

ANet-M4G

M4G模块:支持4G全网通

35kV/10kV/6kV微机保护装置

AM6系列

35kV及以下配电系统线路、主变、配电变压器、电动机、电容器、PT监测/PT并列、母联/备自投等保护。

35kV/10kV/6kV弧光保护

ARB5-M

主控单元，可接20路弧光信号或4个扩展单元，弧光保护（8组）、失灵保护(4组)、TA断线监测（4组）、非电量保护、装置故障告警

ARB5-E

扩展单元，每个扩展插件可以采集5路弧光信号

ARB5-S

弧光探头，建议安装地点包括（但不限于）断路器室、电缆室、母线室，可面板开孔安装，亦可支架式安装。弧光探头的检测范围是一个角度为180°，半径0.5m的扇形区域。

35kV/10kV/6kV进线柜电能质量在线监测

APView500

装置1024点波形采样，集谐波分析、波形采样、电压暂降/暂升/中断、闪变监测、电压不平衡度监测、事件记录、测量控制等功能为一体，能够满足110kV及以下供电系统电能质量监测的要求。

35kV/10kV/6kV间隔智能操控、节点测温

ASD500

液晶屏显示一次回路动态模拟图、弹簧储能指示、高压带电显示及闭锁、验电、核相、3路温湿度控制及显示、远方/就地、分合闸、储能旋钮、预分预合闪光指示、分合闸完好指示、分合闸回路电压测量、人体感应、柜内照明控制、1路以太网、2路RS485、1路USB接口、GPS对时、高压内电气接点无线测温、全电参量测温、脉冲输出、4~20mA输出

35kV/10kV/6kV传感器

ATE400

合金片固定，CT感应取电，启动电流大于5A，测温范围-50-125℃，测量精度±1%；传输距离空旷150米

35kV/10kV/6kV间隔电参量测量

APM830

三相(I、u、kW、kvar、kWh、kvarh、Hz、cos)，零序电流In，四象限电能，电流、电压不平衡度，66种报警类型及外部事件(SOE)各16条事件记录，支持SD卡扩展记录，2-63次谐波，2DI+2DO,RS485/Modbus，LCD显示

高压重要回路

或低压进线柜

APM810

三相(I、U、kW、kvar、kWh、kvarh、Hz、cos ϕ)，零序电流In，四象限电能，电流、电压不平衡度，负载电流柱状图显示，66种报警类型及外部事件(SOE)各16条事件记录，支持SD卡扩展记录，2-63次谐波，2DI+2DO,RS485/Modbus，LCD显示

AEM96

三相电参量U、I、P、Q、S、PF、F测量，总正反向有功电能统计，正反向无功电能统计;2-31次分次谐波及总谐波含量分析、分相谐波及基波电参量(电压、电流、功率);电流规格3 \times 1.5(6)A，有功电能精度0.5S级,无功电能精度2级

ADW300/4G

三相电压、电流、功率、功率因数、频率测量;电压电流相角、电压电流不平衡度测量;电压电流2-31次分次谐波及总畸变测量当月及上三月的电压、电流、功率记录;上十二月历史需量记录;事件记录、复费率、四象限电能及历史电能记录;支持4路开关量输入、2路开关量输出;支持4路测温;支持1路剩余电流测量;支持本地显示及按键设置;有功电能精度1级。通讯方式:支持RS485通讯、Lora无线通讯、4G通讯;WIFI通讯

0.4kV出线

AEM72

三相电参量U、I、P、Q、S、PF、F测量，总正反向有功电能统计，正反向无功电能统计;2-31次分次谐波及总谐波含量分析、分相谐波及基波电参量(电压、电流、功率);电流规格3 \times 1.5(6)A，有功电能精度0.5S级.无功电能精度2级

DTSD1352

三相电参量u、I、P、Q、s、PF、F测量，分相正向有功电能统计，总正反向有功电能统计，总正反向无功电能统计;红外通讯;电流规格:经互感器接入3 \times 1(6)A.直接接入3 \times 10(80)A，有功电能精度0.5S级，无功电能精度2级。

ACR120EL

LCD显示、全电参量测量(U、I、P、Q、PF、F);四象限电能计量;RS485/Modbus;可选复费率电能统计;4DI+2DO;RS485通讯接口、Modbus 协议

照明箱

DDSD1352

单相电参量U、I、P、Q、S、PF、F测量，正反向电能计量;红外及RS485通讯;电流规格:10(60)A，有功电能精度1级，无功精度2级;可选配复费率

DDS1352

单相电参量U、I、P、Q、S、PF、F测量，正反向电能计量;RS485通讯;电流规格:10(60)A，有功电能精度1级，无功精度2级;尺寸:1P

电流互感器

AKH-0.66/K型

开口式电流互感器

6 结语

本文在构建家庭电能管理系统架构，家庭用电负荷模型的基础上，提出了一种基于实时电价和多目标优化的家庭电能管理系统的调度与实现。以某一个家庭用户为例，在Matlab平台下进行了数据的仿真模拟。通过数据的仿真结果，我们可以得出：本文提出的家庭电能管理系统能够更好地兼顾用户侧的用电成本和用户对用电设备的舒适度，也从家庭方面针对碳排放做了检测与追踪，对环境保护起到一定的作用，对以后减少碳排放做出贡献。在未来，以小区为单位有了光伏发电装置之后，可进一步优化电费，同时对碳排放量的减少也可进行优化，来增加HEMS的经济效益。并且小区的所有用户都使用了能量管理系统后，与qukuailian技术相结合，以此来共享发电成本。每个家庭都采用其*佳策略来*小化能源消耗成本，用户可以维护自己的能源消耗隐私。此外，能量管理系统分布在qukuailian上，为参与者提供一个可信的通信媒介。稳固智能合约旨在交易的执行，无需智能社区第三方的参与。