

文章编号: 2096-1472(2017)-11-33-04

基于改进粒子群算法的削峰填谷用储能系统经济运行策略

李盟盟, 王育飞, 薛 花

(上海电力学院, 上海 200090)

摘 要: 本文以蓄电池损耗最低、购电费用最低和削峰填谷后负荷曲线的方差值最小为目标建立削峰填谷用储能系统运行优化模型。利用多目标粒子群优化算法进行寻优, 求解过程中针对粒子超出可行域的问题提出了一种改进的多目标粒子群算法, 使该算法能求解线性约束多目标优化问题, 并采用TOPSIS法从最优Pareto解集中选取最优方案。最后建立负荷与削峰填谷用储能系统模型进行仿真, 结果表明该方法的有效性。

关键词: 削峰填谷; 多目标粒子群算法; 储能系统; TOPSIS法

中图分类号: TP919 **文献标识码:** A

Economic Operation Strategy of the Energy Storage System for Peak Shaving and Valley Filling Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm

LI Mengmeng, WANG Yufei, XUE Hua

(Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The paper establishes the operation optimization model of the energy storage system for peaking shaving and valley filling, aiming to achieving the minimum battery loss, the lowest power purchase cost and the minimum variance value of load curves after peak shaving and valley filling. Based on Multiple Objective Particle Swarm Optimizer (MOPSO), the paper proposes an improved MOPSO to solve the problem of particle going beyond the feasible region. The algorithm is effective in the multi-objective optimization with linear constraints. The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is applied to select the optimal scheme from the optimal Pareto solution set. Finally, the energy storage system model with load peak shaving and valley filling is constructed, and the simulation results have verified the effectiveness of the proposed method.

Keywords: peak shaving and valley filling; Multiple Objective Particle Swarm Optimizer (MOPSO); energy storage system; the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

1 引言(Introduction)

电能不能大规模存储, 电能供应时必须保证供需平衡。通过增加发电设备来满足负荷高峰时的电能需求不仅使建设成本增加, 还会降低电能的利用率。在负荷侧加入储能系统, 不仅可以有效抑制负荷的波动、提高供电质量^[1], 还可以起到削峰填谷作用并获得一定的经济效益^[2,3]。目前, 国内外对削峰填谷用储能系统已有了相关研究, 主要以削峰填谷效果、经济性等作为目标。文献[4]建立了考虑不同费率结构和风能、太阳能、天然气、储能互补发电的冷热电联供优化协调模型。文献[5]提出了采用区间控制的蓄电池储能电站调峰运行控制策略。文献[6]建立了变电站扩容和储能系统容量配置的协调规划模型, 通过储能系统有序充放电获得电价差。文献[7]针对电力市场环境, 建立了考虑发电侧、供电侧、大规模储能系统及用户响应的实时电价动态博弈联动模型。

目前对削峰填谷用储能系统的研究多考虑单目标储能

系统优化运行, 优化效果较为单一。对综合考虑削峰填谷效果最好、购电费用最低和蓄电池损耗最低的多目标优化运行研究较少。多目标粒子群算法(Multiple Objective Particle Swarm Optimizer, MOPSO)采用高效的群集并行地对非劣解进行搜索, 并且每次迭代过程中可以产生多个非劣解。同时粒子群算法具有记忆功能, 粒子通过跟踪自身历史最优解和种群全局最优解来进行搜索, 这就使粒子群算法在寻优过程中具有很好的收敛性和全局搜索能力^[8]。因此可以采用多目标粒子群算法进行削峰填谷用储能系统多目标优化问题的求解。

首先在短期负荷预测基础上, 以综合考虑蓄电池损耗最低、购电费用最低和削峰填谷效果最好为优化目标, 建立削峰填谷用储能系统多目标运行优化模型。针对多目标粒子群算法在求解过程中粒子超出可行域的问题进行改进, 通过调整惯性权重与随机系数对超出可行域的粒子修正。最后采

用改进多目标粒子群优化算法对模型进行求解。通过算例分析,证明所提方法的有效性。

2 多目标运行优化模型(Multi-Objective operation optimization mode)

2.1 目标函数

蓄电池的循环寿命取决于温度、峰值电流和充电放电循环等因素的影响。蓄电池的循环寿命与蓄电池的放电深度(Depth Of Discharge, DOD)相关,DOD越大循环寿命越短。为了精确地计算SB的循环周期,通过雨流计数法来进行统计,如式(1)所示:

$$N = -3278D_{OD}^4 - 5D_{OD}^3 + 12823D_{OD}^2 - 14122D_{OD} + 5112 \quad (1)$$

系统运行时从电网购电的费用与电网电价的关系,如式(2)所示:

$$J_g = \sum_{t=1}^n C(t)(P(t) + P_b(t)) \quad (2)$$

式中, n 为一天中负荷点的个数,例如时间尺度为1小时,则 n 取24; $C(t)$ 为电网在 t 时刻的实时电价, $P(t)$ 为 t 时刻的负荷功率, $P_b(t)$ 为 t 时刻蓄电池的网侧功率。不加说明,下文中储能系统功率均指网侧功率,规定储能系统的充电功率为正,放电功率为负。 J_g 为系统从电网购电产生的费用。

由蓄电池损耗及购电费用确定优化模型目标函数,目标有三个。

目标1: 蓄电池损耗最低

$$\min f_d = \sum_{i=1}^N [1/N(D_{OD}^i)] \times C_{bat} \quad (3)$$

式中, N 为用雨流计数法所统计出来的循环数, i 为第 i 个循环, D_{OD}^i 为第 i 个循环时的放电深度, $N(D_{OD}^i)$ 为 D_{OD}^i 所对应的等效循环寿命, C_{bat} 为蓄电池的投资成本。

目标2: 购电费用最低,如式(4)所示:

$$\min J_g = \sum_{t=1}^n C(t)(P(t) + P_b(t)) \quad (4)$$

目标3: 削峰填谷后负荷曲线的方差值最小

选取削峰填谷后负荷曲线的方差为削峰填谷的效果,如式(5)所示:

$$\min D = \frac{1}{n} \left[P(t) + P_b(t) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P(j) + P_b(j)) \right]^2 \quad (5)$$

式中, D 为削峰填谷后负荷曲线的方差值。

2.2 约束条件

考虑的约束条件主要包括使储能系统稳定运行的荷电状态约束、使储能系统连续运行的充放电电量约束和使负荷和储能系统安全、稳定运行的功率约束。

(1)储能系统荷电状态约束

对于既定的储能系统,系统的容量是有限的,在运行过程中需要保证荷电状态在额定范围内,过充或过放可能导致储能系统故障或加速老化。为保证储能系统可靠运行,容量

约束如式(6)所示:

$$\gamma S < \sum_{t=1}^n P_b(t) \eta \Delta t + E_{rem} < \lambda S \quad (6)$$

式中, E_{rem} 为储能系统初始状态时储存的电能, S 为储能系统容量, γ 为保证储能系统不过放的可靠性系数, λ 为保证储能系统不过充的可靠性系数。

(2)电网额定功率约束

在低压配电网中,为保证配电网稳定运行,电网功率必须在规定的范围内,如式(7)所示:

$$0 \leq P(t) + P_b(t) \leq P_{gmax} \quad (7)$$

式中, P_{gmax} 为使电网安全运行的负荷功率最大值。电网功率大于0代表电量不会从用户流入电网中。

(3)储能系统功率约束

为保证储能系统安全运行,储能系统充放电功率须在规定的范围内,如式(8)所示:

$$P_{bmin} \leq P_b(t) \leq P_{bmax} \quad (8)$$

其中, P_{bmin} 和 P_{bmax} 为使储能系统安全运行的放电最大功率和充电最大功率。

3 多目标粒子群优化算法(Multi-Objective particle swarm optimization algorithm)

粒子群算法在求解多目标问题时,常规的方法是将Pareto排序机制和基本粒子群算法相结合,通过粒子之间的支配关系来确定粒子的历史最优解并更新非劣解集。常规多目标粒子群算法在求有线性约束优化问题解过程中存在对超出可行域的粒子进行修正的问题。在基于Pareto排序的多目标粒子群算法基础上做了如下改进,粒子移动速度和位置通过式(9)和式(10)确定:

$$v_{id}^{(k+1)} = \omega v_{id}^{(k)} + c_1 r_1 (p_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) + c_2 r_2 (p_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}) \quad (9)$$

$$x_{id}^{(k+1)} = x_{id}^{(k)} + v_{id}^{(k+1)} \quad (10)$$

多目标粒子群算法的基本思想是让种群中的粒子向种群中适应度最好的粒子学习。根据粒子移动路径中和种群中的适应度最好的粒子确定全局最优值可能出现的区域,即式(9)中的第2和第3部分。定义此区域为 W 。同时粒子保留原来的移动速度,即式(9)中的第1部分。粒子搜索范围沿粒子原来速度的方向平移,定义平移后的搜索区域为 W_t 。惯性权重因子 ω 的引入平衡了粒子的全局搜索能力和局部搜索能力。多目标粒子群算法中,对超出可行域的粒子进行重置,使新的粒子更新后位置在可行域内成为多目标粒子群算法解决有约束问题的关键。提出一种新的粒子重置方法,通过调整式(9)中的惯性系数 ω 和随机数 r_1 、 r_2 ,在保证粒子在可行域内的同时保留粒子的局部搜索能力。

假设更新后的粒子 $x_i^{(k+1)}$ 超出可行域,粒子 $x_i^{(k)}$ 在可行域内,则区域 W 与可行域交集一定非空,但速度计算公式(9)中含有惯性权重,可能使得区域 W_t 与可行域没有交集。如图

1(a)所示。此时需要调整惯性权重因子对粒子进行重置，惯性权重因子调整如式(11)所示：

$$\omega_{adj} = r_{adj} \tau \omega \quad (11)$$

其中， r_{adj} 为在区间[0, 1]内均匀分布的随机数。 τ 的定义如式(12)所示：

$$\tau = \frac{\|bp_i - x_i^{(k)}\|}{\|v_i^{(k)}\|} \quad (12)$$

式中， bp_i 为 $x_i^{(k)} + v_i^{(k+1)}$ 与可行域边界的交点。调整惯性权重因子后区域 Wt 转移到 Wt^1 ，如图1(b)所示。

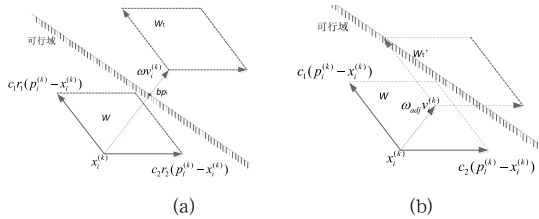


图1 惯性权重因子调整示意图

Fig.1 Schematic diagram of adjustment of the inertia weight factor of inertia weight factor

利用相似的方法调整随机数 r_1 、 r_2 。最终使粒子在可行域内。具体算法流程如下：

- (1)初始化种群参数，生成各粒子的初始位置和速度。
- (2)计算每个粒子的目标函数值，当满足停止准则时，停止计算，否则转到步骤(3)。
- (3)根据多目标粒子群算法速度计算式(9)和式(10)，更新粒子速度和位置。
- (4)检查所有粒子是否超出可行域，对超出可行域的粒子 i ，利用提出的方法对粒子进行重置。
- (5)生成新的种群转到步骤(2)。
- (6)当迭代次数到达最大迭代次数，输出结果。

4 削峰填谷储能运行优化策略(Optimization strategy of energy storage operation for peak shaving and valley filling)

4.1 基于TOPSIS法的多属性决策

多目标粒子群算法的最终优化结果是一组Pareto解，决策者需要根据偏好信息从中选出最优解，其实质上是一个多属性决策问题。采用序数偏好法(TOPSIS)法来进行最优解的选取。TOPSIS法实质是通过计算备选方案与理想方案、负理想方案之间的距离来进行决策，使所选方案与理想方案的距离最小，与负理想方案的距离最大。

由Pareto解集中的非劣解构成 N 个备选方案 $x_1, x_2, \dots, x_N$ ，方案的属性数为 n ，即目标函数个数，则方案 x_i 的第 m 个属性值为 $f_m(x_i)$ 。由于各属性之间存在量纲差异，因此首先应对其进行规范化处理，将不同的属性转换成量纲一属性。处理后的方案 x_i 的各属性值为 $[f_1'(x_i), f_2'(x_i), \dots, f_n'(x_i)]$ 。各属性值的表达式为

$$f_m'(x_i) = \frac{f_m(x_i)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N f_m^2(x_j)}} \quad (m = 1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

方案 x_i 的相对距离 $d(x_i)$ 可通过下式计算：

$$d(x_i) = \frac{d_+(x_i)}{d_+(x_i) + d_-(x_i)} \quad (14)$$

$$d_+(x_i) = \sqrt{\sum_{m=1}^n [\lambda_m f_m'(x_i) - \lambda_m f_{m+}']^2} \quad (15)$$

$$d_-(x_i) = \sqrt{\sum_{m=1}^n [\lambda_m f_m'(x_i) - \lambda_m f_{m-}']^2} \quad (16)$$

式中， $d_+(x_i)$ 、 $d_-(x_i)$ 分别指方案 x_i 到理想方案、负理想方案的距离， λ_m 是属性 f_m 对应的权重， $0 < \lambda_m < 1$ ，且 $\sum_{m=1}^n \lambda_m = 1$ ， f_{m+}' 、 f_{m-}' 分别为所有方案中属性 f_m 规范化后的最优值和最差值。

TOPSIS法在计算过程中需要给各目标赋决策权重，若解集中各Pareto解的第 m 个目标的重要性较小，则说明该目标值对最终决策的影响较小，相应的其决策权重也应较小。

具体算法的实现流程如图2所示。

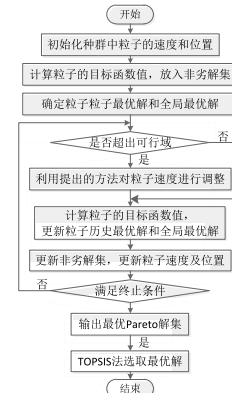


图2 算法实现流程图

Fig.2 Algorithm implementation flow chart

4.2 算例分析

为了对提出的运行策略进行仿真验证，搭建负荷和削峰填谷用储能系统仿真模型，模型参数见表1。

表1 模型数据

Tab.1 Model data

参数	数值
系统基准电压	10.5kV
变压器T1容量	2000kW
储能系统容量	2MW · h
储能系统投资成本	10万元
储能系统最大充放电功率	700kW
初始荷电状态	20%

选取我国某地区电能价格表，图3所示为峰谷分时电价及日负荷预测曲线，每日的电能价格随时间段变化情况见表2。某型号铅酸蓄电池在放电深度下的循环寿命见表3。

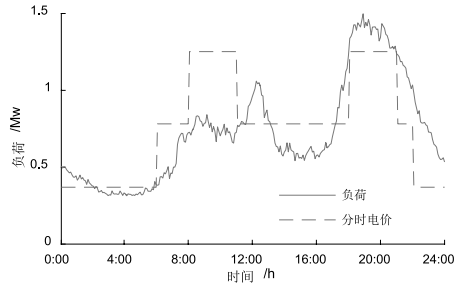


图3 峰谷分时电价及日负荷预测曲线

Fig.3 Peak valley time price and daily load forecasting curve

表2 分时电价表

Tab.2 TOU electricity pricing

时间段	电价/元/(kW·h)
0:00—6:00	0.370
6:00—8:00	0.782
8:00—11:00	1.252
11:00—18:00	0.782
18:00—21:00	1.252
21:00—22:00	0.782
22:00—23:00	0.370

表3某型号铅酸电池放电深度与循环寿命

Tab.3 The depth of discharge and cycle life for a type of lead-acid battery

放电深度/%	循环寿命/次	放电深度/%	循环寿命/次
10	3800	60	900
20	2850	70	750
30	2050	80	650
40	1300	90	600
50	1050	100	550

为了验证提出的方法的有效性，选取以下三种方法进行比较

方法1：以削峰填谷后负荷曲线方差最小为目标的传统削峰填谷控制策略。

方法2：基于多目标粒子群算法的削峰填谷用储能系统控制策略。其中目标1、目标2和目标3的决策权重分别为0.1、0.6和0.3。

方法3：基于多目标粒子群算法的削峰填谷用储能系统控制策略。其中目标1、目标2和目标3的决策权重分别为0.2、0.3和0.5。

不同方法得到的削峰填谷后得到的负荷曲线和蓄电池核

电状态曲线如图4所示，不同方法通过削峰填谷节省的电费及电池损耗如图5所示

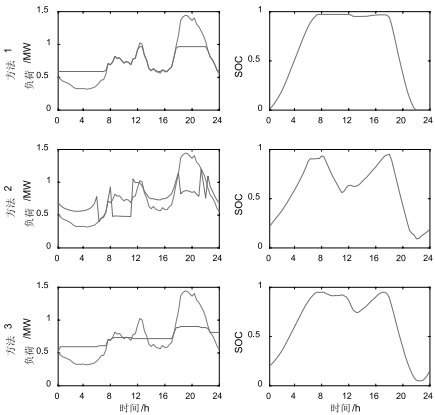


图4 不同方法的计算结果

Fig.4 Calculation results of different methods

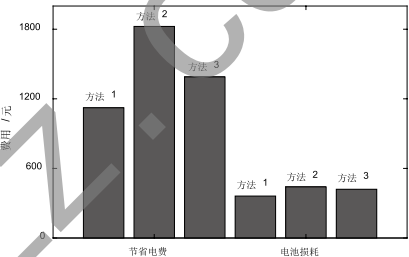


图5 不同方法节省电费及电池损耗

Fig.5 Saved electricity and the loss of the battery under different methods

对比不同方法得到的结果可以得出以下结论：

利用传统方法得到的蓄电池损耗比较低，削峰填谷效果比较理想。但由于并未考虑到峰谷分时电价的因素，由削峰填谷节省的电费较低。

方法2利用削峰填谷节省的电费比较高，但是蓄电池损耗较高，且削峰填谷效果不理想，这是由方法2中目标2的权重较高导致的。

方法3中削峰填谷消费比较理想且利用削峰填谷节省的电费较高，但蓄电池的损耗比方法1略高。通过合理配置目标权重，多目标优化综合协调了三个优化目标。

5 结论(Conclusion)

本文针对削峰填谷用储能系统经济运行策略问题进行了研究，提出了以蓄电池损耗最低、购电费用最低和削峰填谷效果最好为目标的削峰填谷用储能系统多目标优化问题，利用多目标粒子群算法对问题进行了求解。在求解过程中针对粒子群搜索时超出可行域的情况，采用调整惯性权重及随机系数进行改进。对多目标粒子群算法形成的最优Pareto解，采用TOPSIS法求解最优方案。建立负荷与削峰填谷用储能系统仿真模型，结果表明：

(1)通过合理配置目标权重，多目标粒子群算法能很好地优化协调削峰填谷用储能系统的多目标。

(2)对多目标粒子群算法的改进能很好地控制粒子超出可

行域情况的出现,同时保证多目标粒子群算法在可行域边界的局部搜索能力。

参考文献(References)

- [1] 靳小龙,穆云飞,贾宏杰,等.融合需求侧虚拟储能系统的冷热电联供楼宇微网优化调度方法[J].中国电机工程学报,2017,37(2):581-590.
- [2] 卫志农,张思德,孙国强,等.计及电转气的电-气互联综合能源系统削峰填谷研究[J].中国电机工程学报,2017,37(16):4601-4609.
- [3] Giovanna Oriti,Alexander L.Julian,Nathan J.Peck.Power-Electronics-Based Energy Management System With Storage[J].IEEE Transactions on Power Electronics,2016,31(1):452-460.
- [4] 崔强,王秀丽,刘祖永.市场环境计及储能电站运行的联机电价研究及其效益分析[J].中国电机工程学报,2013,33(13):62-68.
- [5] Baichao Chen,Chenmeng Zhang,Cuihua Tian,et al.A Hybrid Electrical Magnetic Power Quality Compensation System With Minimum Active Compensation Capacity for V/V Cophase Railway Power Supply System[J].IEEE Transactions On Power Electronics,2016,31(6):4159-4170.
- [6] 王鹏,王晗,张建文,等.超级电容储能系统在风电系统低电压穿越中的设计及应用[J].中国电机工程学报,2014,34(10):1528-1537.
- [7] Wang Peng,Wang Han,Zhang Jianwen,et al.Design and application of supercapacitor energy storage system used in low voltage ride through of wind power generation system[J].Proceedings of the CSEE,2014,34(10):1528-1537(in Chinese).
- [8] 包宇庆,李扬,杨斌,等.基于PSO-BP神经网络的入侵检测技术优化算法的研究[J].软件工程,2017,20(9):49-51.

作者简介:

李盟盟(1992-),男,硕士生.研究领域:电力储能应用技术.
王育飞(1974-),男,博士,副教授.研究领域:电能质量分析与控制,电力储能应用技术,混沌理论与应用.
薛花(1979-),女,博士,副教授.研究领域:电能质量分析与控制.

(上接第53页)

5 人事管理信息平台在高校中的构建和应用 (Construction and application of personnel management information platform in colleges and universities)

近几年以来,互联网信息技术快速发展,各大高校逐渐开始构建和应用人事管理信息平台,并且结合高校自身需求和特色来构建完善的ASP.NET系统。在构建系统时,为了从大局上出发,通过运用Myeclipse来当作开发工具,并且运用Oracle来成立数据库,这样能够为高校设计SOA架构的、B/S模式的人事管理信息平台。通过应用信息平台,能够满足高校人事管理的一系列需求。为了让系统打破平台的限制,在设计系统时主要应用J2EE技术,这样能够随时移植进入Linux和UNIX等操作平台,而且可以按照实际需求来配置合适的硬件平台。在构建系统的过程中,通过应用J2EE架构和SOA结构,能够有效分离各个接口,从而根据需求来修改系统,促进系统升级。其中的对外接口主要应用Web Service,从而实现了信息的随时交流和应用,而且能够使各个系统之间的信息共享。

应用人事管理信息平台,能够给高校人事管理带来极大的便利,使高校人事管理的数据核算更加准确,而且有效提升工作效率和水平,节省了大量的人力、物力和精力。在检索信息时速度更快,而且具有较大的储存量、良好的保密性,使用寿命比较长,运行成本比较低,能够满足现代化高校人事管理的无纸化办公要求。

6 结论(Conclusion)

总而言之,在高校发展进步过程中,必须及时更新和转变传统的人事管理方式,加强应用互联网信息技术,利用

SOA架构人事管理信息平台,根据实际需求及时优化和升级,节约使用成本,完善人事管理业务流程,提高高校人事管理效率和质量,从而促进高校组织健康、稳定发展。

参考文献(References)

- [1] Wei H,Xian Medical School.The information management platform of hospital based on SOA architecture design[J].Electronic Design Engineering,2015,23(20):47-48.
- [2] Moedjiono S,Lewenusa I,Kusdaryono A.Integration of management information system using business process management(BPM)and service oriented architecture(SOA)in the service cloud[J].International Journal of Applied Business & Economic Research,2017,15(7):299-307.
- [3] Dick G D,Degtyarev A B.Model for formation of IT services composition of information system on the basis of SOA and fuzzy sets theory[J].St Petersburg State University,2015,2(1):123-133.
- [4] Weber H,Harbarth J,Frühlich A,et al.Method,SOA registry and SOA repository for granting a user secure access to resources of a process:U.S.Patent 9,009,852[P].2015-4-14.
- [5] 聂俊航.基于SOA架构的交通科技项目查新检索系统的设计[J].软件工程,2015(5):35-37.
- [6] 刘甜,张少轩.基于移动互联网的高职院校顶岗实习监控管理平台研究与实现[J].软件工程,2017,20(4):40-42.

作者简介:

肖红菊(1979-),女,本科,讲师.研究领域:计算机应用技术,人事管理系统.