

电力市场初期供电公司优化错峰避峰计划的研究

董博,张粒子,程瑜,王伟

(华北电力大学,北京 102206)

摘要: 目前供电公司针对电力高峰时期的错峰避峰计划主要是从安全的角度凭经验制定的。该文提出了我国电力市场过渡时期错峰避峰优化模型,模型以供电公司错峰避峰计划时的利润损失最小为目标,考虑用户安全等级、用户拖欠电费情况、不同用户的负荷率等因素,并用改进遗传算法完成求解,使原有的遗传算法部分地处理了连续变量并且发挥了遗传算法的全局寻优能力,并用算例验证了该方法的有效性。

关键词: 错峰计划; 避峰计划; 遗传算法; 电力市场

中图分类号: TM73; F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2006)13-0072-05

0 引言

近几年随着电力需求的增长、电源建设的滞后,全国大部分地区都出现了不同程度的电力供需紧张局面。各地纷纷制定了峰谷电价来指引电力合理消费,改变负荷曲线形状以期移峰填谷。但从实施效果来看,并不能完全依赖价格杠杆来调节高峰负荷,各供电公司相继制定了错峰避峰计划方案,保证高峰时期电网的安全稳定。在负荷高峰期,供电公司基本上是按照用电缺口制定几个等级,通过行政命令来错峰避峰,制定错峰计划,安排各用户错峰让电。但是在进行这部分工作时,例如哪些用户应进行错峰让电,让多少,各地区的电力部门除了考虑安全等级等一些客观因素外,在很大程度上是很随意的。

见于文献中对电力市场下的错峰避峰问题的探讨,文献[1,2]针对可中断合同来安排的错峰避峰计划,文献[3~9]阐述了电力市场下实施需求侧管理对错峰避峰问题的解决方法,但这些都要依赖于负荷控制装置,文献[10~12]对我国现阶段的错峰避峰给予了详细的阐述,但并没有提出在电力市场化改革的大环境下,错峰避峰计划问题应该如何适应电力改革而进行相应的配套改革。因此,制定优化错峰避峰计划既要符合我国当前市场化改革的实际进程,又不能墨守陈规,本文从供电公司角度出发综合考虑其经济效益和错峰避峰时的利润损失,提出了一种在满足电力用户用电安全等级的基础上使供电公司在实行错峰避峰计划时利润损失最小的

最优错峰避峰计划模型,并用改进遗传算法完成求解。

1 我国电力市场中电力供不应求下错峰避峰计划的安排

1.1 概述

错峰避峰计划优化问题就是使供电公司在不同电力用户之间合理分配错峰避峰量填补电力缺口,从而使自己的企业利润损失最小。长期以来这个问题并没有得到应有的重视,调度安排错峰避峰也是先让大工业用户先错峰避峰,原因是它的用电量大,压负荷的效果明显。

当前我国大部分地区出现电力供不应求局面,但电力改革的脚步不会停止,一些地区供电公司成为独立法人一定会考虑自身的经济利益,对于错峰避峰计划优化问题,以供电公司的利润损失最小为目标,综合考虑用户负荷率、销售电价水平、负荷特性、承受能力以及拖欠电费情况安排错峰避峰计划,并且应该优先安排拖欠电费用户,因为对供电公司来讲优先安排其进行错峰避峰是催促其缴纳电费的一种方式。所建模型表现为带有0-1变量的混合整数优化问题,遗传算法具有全局搜索的特性和容易收敛的良好品性,适合求解混合整数组合优化问题,但对连续变量的求解在基因编码时有局限性,本文在错峰避峰优化问题的基础上对遗传算法进行改进使求解过程分为两层,使其能够巧妙地处理连续变量,推进了遗传算法的研究。

从长远考虑,这种错峰理念是有其局限性的。因为它是从电力部门利益出发,以其利润损失最小为目标制定错峰避峰计划,很少考虑用户意愿,各类

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50577022)

用户在系统高峰用电时减负荷对系统所作的贡献没有得到应有的补偿,所以本文解决的问题是当前电力市场改革的过渡时期供不应求的电力大环境下供电公司的错峰避峰优化。在成熟的电力市场中,针对错峰避峰计划问题调度中心应该给予错峰用户一定的补偿,通常有给用户一定的电价折扣、出台可中断电价等,为用户营造一个“公平、公正、公开”的竞争性平台,使社会效益最大化,这也正是我国电力市场改革所期望和追求的。

1.2 避峰问题数学模型

$$\text{Min} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I r_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s t} \quad \int_{h_1}^{h_2} p_{ij}(h) \cdot P_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot u_{ij} dh = r_{ij} + (P_{ij} \cdot \alpha_{ij} + P_{ij}) \cdot c_j \cdot H \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J \int \sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot \alpha_{ij} = D - \sum_{k=1}^K P_k \cdot k \quad (3)$$

$$\min_{ij} \alpha_{ij} \leq \alpha_{ij} \leq \max_{ij} \alpha_{ij} \quad (4)$$

式中: D 为避峰缺口 (kW); Q_k 为依据欠费用户拖欠电费情况切电力 (kW); α_{ij} 为避峰比例因子 $0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$, α_{ij} 体现了用户依据自己实际生产对于避峰容量的承受能力; \min_{ij} 为用户最小避峰比例因子,一般情况下 $\min_{ij} = 0$; \max_{ij} 为用户最大避峰比例因子; $p_{ij}(h)$ 为第 i 类第 j 级电压 h 时段销售电价 (元/kWh); P_{ij} 为电力用户正常时额定负荷 (kW); $u_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{代表该用户不进行避峰} \\ 1 & \text{代表该用户进行避峰} \end{cases}$; c_j 为 j 级电压供电公司的供电成本 (元/kWh); H 为电力尖峰用电缺口时间跨度,即负荷曲线上需要避峰的负荷时段 (h), $H = h_2 - h_1$; r_{ij} 为供电公司在每个用户身上的利润损失; P_{ij} 是电力用户产生的网损, $P_{ij} = P_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \mu_{ij}$, l_{ij} 为线路长度, μ_{ij} 为负荷网损率 (%/km)。

该模型的目标函数是供电公司的利润损失最小,电力部门在实行避峰计划安排时,使用电高峰期实行避峰时间段里供电公司损失的售电利润最小化。供电公司的利润损失为某一时段用电量的减少而导致的回收电费的减少与这部分电量的供电成本之差。约束条件 (2) 表达了成本和收益的平衡关系, (3) 表达了欠费用户需要优先安排避峰, (4) 表达了用户的避峰能力约束。待求的解变量是 u_{ij} 和

α_{ij}

1.3 错峰问题数学模型

错峰问题和避峰问题不同,不但要考虑削峰,还要考虑填谷,削峰时供电公司期望损失电量的利润最小和填谷时期望获得用电量的最大,其综合效益最好。

$$\text{min} \quad R = R^F - R^G \quad (5)$$

$$\text{s t} \quad \int_{h_1}^{h_2} p_{ij}(h) \cdot P_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot u_{ij} dh = r_{ij}^F + (P_{ij} \cdot \alpha_{ij} + P_{ij}) \cdot c_j \cdot (h_2 - h_1) \quad (6)$$

$$\int_{h_3}^{h_4} p_{ij}(h) \cdot P_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot u_{ij} dh = r_{ij}^G + (P_{ij} \cdot \alpha_{ij} - P_{ij}) \cdot c_j \cdot (h_4 - h_3) \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^J \int \sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot \alpha_{ij} = D - \sum_{k=1}^K P_k \cdot k \quad (8)$$

$$\min_{ij} \alpha_{ij} \leq \alpha_{ij} \leq \max_{ij} \alpha_{ij} \quad (9)$$

其中: R^F 为供电公司在高峰时段损失的利润, $R^F = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I r_{ij}^F$; R^G 为供电公司在低谷时段重新获得的利润, $R^G = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I r_{ij}^G$; $(h_2 - h_1)$ 为电力尖峰用电缺口时间跨度,即负荷曲线上需要错峰的负荷时段 (h); $(h_4 - h_3)$ 为错峰电力在低谷时填谷时间跨度 (h); 网损 $P_{ij} = P_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot l_{ij} \cdot \mu_{ij}$ 。

目标函数 (5) 是供电公司的综合效益最好,约束 (6)、(7) 分别表达了峰时段和谷时段的成本收益的平衡, (8) 错峰缺口约束,并剔除了欠费用户的错峰能力, (9) 表达了用户的避峰能力约束。

1.4 关于削峰量和填谷量的计算

负荷曲线 $p = f(h)$, p_0 电网的最大容量,利用 $p_0 = f(h_1)$ 和 $p_0 = f(h_2)$ 求出 h_1 、 h_2 , 削峰量 $Q_{12} = \int_{h_1}^{h_2} f(t) dt$, 削峰时段 $HF = h_2 - h_1$, 填谷量等于削峰量, 即 $Q_{12} = \int_{h_3}^{h_4} f(t) dt$

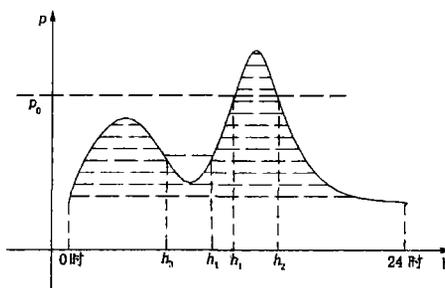


图 1 削峰量和填谷量的计算图

Fig 1 Calculating the peak and vale

1.5 基于改进遗传算法的错峰避峰计划

无论是避峰问题还是错峰问题其数学模型是单目标带有的混合优化问题,遗传算法的显著特点是全局解空间搜索和对 0-1 变量的完全解决。把各级电压所有用户作为遗传算子的二进制编码的一个位。改进遗传算法分为两层:第一层是常规遗传算法处理 u_{ij} ,第二层是处理连续变量 i_{ij} 。

第一层:

1) 染色体的编码

每一个染色体的一个位代表一个用户染色体的长度是所有代选避峰用户数,染色体编码采用二进制,0代表用户没有被选上不进行避峰,1代表用户被选上进行避峰。

2) 初始群体

随机从所有用户中抽取用户避峰,直到满足负荷缺口 D ,产生 N 个染色体的初始种群。

3) 染色体的适应值

适应值 (fitness) 是避峰数学模型的目标函数,它是指导搜索方向的依据。把所有等式约束加入目标函数中,并使不满足约束的目标函数尽可能大,采用极大数 M 引入硬性等式约束 (4),其它等式约束融入目标函数。

$$fitness = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \int_{h_1}^{h_2} i_{ij}(h) \cdot P_{ij} \cdot u_{ij} dh - (P_{ij} - P_{ij}) \cdot i_{ij} \cdot c_j \cdot H + M \{ D - \sum_{k=1}^K P_k \cdot k - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot i_{ij} \} \quad (10)$$

4) 交叉

一定的概率 (交叉概率为 p_c) 对染色体进行交叉操作,得到一个有 N 个染色体的种群。

5) 变异

以一个较小的概率 p_m ,使得一个染色体的一个基因发生变异,形成新的一个染色体。

第二层:

在计算适应值时,首先只要染色体的基因位上的值为 1 的用户,在计算 $fitness$ 时,均按最大错峰避峰比例 i_{ij}^{max} 计算。

把等式约束加入目标函数中,以避峰模型 (4) 为例,避峰遗传算法的微调量取染色体的任意为 1 的基因位的用户,其 i_{ij} 的值可以在 $i_{ij}^{min} \sim i_{ij}^{max}$ 可调,但每个染色体只能调节一个基因位。按此思路,问题成为嵌套连续变量的遗传算法,先按常规遗传算法作交叉、变异操作,然后计算 $fitness$,然后对基因

位为 1 的用户,逐个调整 i_{ij} 的值,但只能调节一个,使 $fitness$ 最小的那个适应值,作为第一层操作的适应值记为 $fitness(1)$ 。

再转入第一层,重复上述步骤,交叉、变异,寻求模型的最优解。

2 算例分析

某地区典型日负荷曲线,网供最大能力 130 MW,销售电价如表 1,峰平谷电价比为 1.5 : 1 : 0.5。

表 1 电网销售电价表

Tab 1 Electricity price

分类	电压等级	/(元 /kWh)
大工业用电	1 ~ 10 kV	0.51
	35 kV 及以上	0.495
	110 kV 及以上	0.485
	220 kV 及以上	0.48
非、普工业用电	不满 1 kV	0.708
	1 ~ 10 kV	0.688
	35 kV 及以上	0.673
商业用电	不满 1 kV	0.899
	1 ~ 10 kV	0.879
	35 kV 及以上	0.864

表 2 1 000 kVA 及以上的大用户数据

Tab 2 Data of consumer capacity upwards of 1 000 kVA

用户号	电压等级 /kV	类型	主变容量 /kVA	正常额定有功 /MW	错峰最大承受能力 / (%)
1	35	炼钢	8 000	6.80	0.5
2	35	炼钢	6 400	5.44	0.5
3	35	炼钢	9 600	8.16	0.5
4	10	纺织	2 850	2.42	0.5
5	10	水泥	4 250	3.61	0.7
6	10	造纸	5 700	4.85	0.7
7	10	造纸	4 900	4.17	0.7
8	10	纤维	2 500	2.13	0.3
9	10	纤维	2 000	1.70	0.3
10	10	化学产品	1 000	0.85	0.2
11	10	其它金属	1 500	1.28	1
12	10	卫生	1 800	1.53	0
13	10	电子元件	1 000	0.85	1
14	10	石材	1 000	0.85	1
15	10	石材	1 000	0.85	1
16	10	造纸	2 600	2.21	0.7
17	10	造纸	2 800	2.38	0.7
18	10	磁电	1 600	1.36	0.5
19	10	纺织印染	1 600	1.36	0.5
20	10	纺织	1 430	1.22	0.5
21	10	纤维	1 000	0.85	0.3
22	10	商业	1 000	0.85	1
23	10	塑料	1 260	1.07	1
24	10	商业	1 600	1.36	1
25	10	自行车	1 315	1.12	1

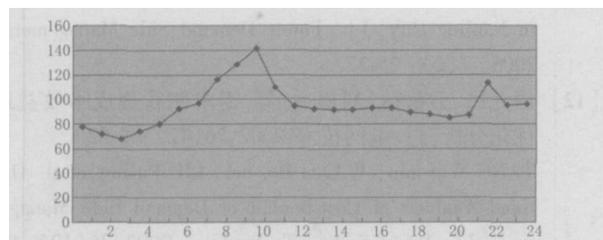


图 2 典型日负荷曲线

Fig 2 Load curve of a typical day

用 Matlab 编制改进遗传算法程序,并对算例计算,计算结果错峰避峰计划安排见表 3。从上午 9 点到 11 点,预测负荷超过系统网供负荷,必须采取错峰方案,缺口 11MW,并把错峰负荷安排在 17:00~21:00 用电,按原来的错峰方案,一般选择 1~4 号大用户,因为它们对错峰效果明显,三四个用户压负荷就可以把负荷缺口补上,但这样供电公司的利益损失达到 78.89 万元,用本文提出的改进遗传算法的错峰计划安排如表 3,24 号用户是商业用户虽然电价中利润较大,但其属于欠费用户,首先错峰,还有 13 号欠费用户优先安排错峰,供电公司的利润损失为 58.37 万元。可见,在用本文方法安排错峰计划后,虽然参与错峰用户增加,但供电公司的利润损失的减小也是极为明显的。若缺口进一步加大,则不但要错峰,还必须进行避峰,若网供最大能力为 115 MW,错峰缺口又增加了 15 MW,当天对于这片地区来说是严重缺电,错峰之后要进行避峰,按照对供电公司利润损失最小原则,在表 3 顺序的基础上,接下来的错峰顺序如表 4 (用户 4 还有 0.2 的错峰能力,表 4 中首先安排了用户 4 的剩余错峰能力),供电公司错峰避峰总利润损失为 152.19 万元;若按照原来方式挑选大用户安排错峰,应选 1~7、16、17、23、25、8 安排错峰,此时的利润损失为 168.74 万元。在低谷时段 (17:00~21:00 和 23:00~6:00) 安排 1~8 用户重新用电时,其它用户作为避峰用户,当日停电,不在其它时段安排用电。

表 3 错峰避峰计划表

Tab 3 Plan of peak shifting and averting

顺序号	用户号	错峰量	值
1	24	1.36	1
2	13	0.85	1
3	14	0.85	1
4	5	2.53	0.7
5	15	0.85	1
6	23	1.07	1
7	8	0.64	0.3
8	10	0.17	0.2
9	11	1.28	1
10	18	0.68	0.5
11	4	0.72	0.3

表 4 错峰避峰计划表 (续)

Tab 4 Plan of peak shifting and averting (continued)

顺序号	用户号	错峰量	值
11	4	0.49	0.2
12	2	2.72	0.5
13	1	3.4	0.5
14	3	4.08	0.5
15	6	3.395	0.7
16	7	0.915	0.22

3 结论

本文模型针对传统的用户单一电价水平和目前部分地区已经实施的峰谷电价,考虑电力部门在制定错峰避峰计划时的利润损失,以供电公司的利润损失最小为目标,同时考虑用户安全等级、用户拖欠电费情况、不同用户的负荷率等因素安排最优错峰避峰计划,并用改进遗传算法完成求解,改进后的遗传算法充分体现了全局收敛性并且可以针对错峰避峰优化问题本身处理连续变量,为电力市场中错峰避峰问题研究提供了新的解决方法。

参考文献:

- [1] 曾鸣. 电网削峰最优计划与调度数学模型及其应用 [J]. 中国电力, 1997, 30(1): 58-60, 75.
ZENG Ming. Optimal Planning for Peak Levelling, Dispatching Mathematical Model and Its Application [J]. Electric Power, 1997, 30(1): 58-60, 75.
- [2] 吴集光, 刘俊勇, 牛怀平, 等. 调峰电价与可中断负荷联动机制研究 [J]. 中国电力, 2003, 38(2): 59-63.
WU Ji-guang, LIU Jun-yong, NIU Huai-ping, et al. Study of Linking Mechanism Between Peak Load Price and Interruptible Load [J]. Electric Power, 2003, 38(2): 59-63.
- [3] Jore H, Antunes C H, Martins A G A Multiple Objective Decision Support Model for the Selection of Remote Load Control Strategies [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 7(2): 430-436.
- [4] Lohman J M B. Investigating DSM Cost and Benefit options [J]. IEEE Computer Application, 1995, 6(3): 567-578.
- [5] Fabriole M, Alvarado F L. Designing Cost Effective Demand Management Contracts Using Game Theory [A]. Proceedings of the IEEE PES Winter Meeting 1999. 427-432.
- [6] Majumdar S, Chattopadhyay D, Parikh J. Interruptible Load Management Using Optimal Power Flow Analysis [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(2): 715-720.

- [7] Bhattacharya K, Bollen M H J, Daalder J E. Real Time Optimal Interruptible Tariff Mechanism Incorporating Utility-customer Interactions[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15 (2): 700-706
- [8] Sanghvi A P. Flexible Strategies for Load/demand Management Using Dynamic Pricing[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1989, 4 (1): 83-93.
- [9] Fabrioglu M, Alvarado F L. Using Utility Information to Calibrate Customer Demand Management Behavior Models [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16 (2): 317-322
- [10] 李保平. 云南实行错峰让峰优惠电价成效显著 [J]. 电力需求侧管理, 2002, 4 (5): 14-16, 29.
LI Bao-ping. Electricity Price Policies Implemented in Yunan Gotten Evident Effect on Avoiding Peak and Staggering Peak [J]. Power Demand Side Management, 2002, 4 (5): 14-16, 29.
- [11] 蒋斌. 南京市错峰限电方法分析与研究 [J]. 电力需求侧管理, 2005, 7 (2): 25-27.
JIANG Bin. Analysis and Research of Peak Load Shifting in Nanjing City [J]. Power Demand Side Management, 2005, 7 (2): 25-27.
- [12] 唐为民, 王蓓蓓, 刘福斌, 等. 需求侧管理成本效益最优化分析 [J]. 电网技术, 2002, 26 (12): 49-52
TANG Wei-min, WANG Bei-bei, LIU Fu-bin, et al. Optimal Analysis of Cost-benefit of Demand Side Management [J]. Power System Technology, 2002, 26 (12): 49-52

收稿日期: 2005-12-10; 修回日期: 2006-03-10

作者简介:

董博 (1982-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力市场、销售电价、需求侧管理; E-mail: wangwei_tl@sohu.com

张粒子 (1963-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 从事电力市场、电力系统规划与运行优化等领域的研究;

程瑜 (1977-), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为电力市场、销售电价。

Research on the plan and optimization of peak shifting and averting based on modified genetic algorithm in the electricity market

DONG Bo, ZHANG Li-zi, CHENG Yu, WANG Wei
(North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Nowadays, the electric power companies implements different plans of peak shifting and averting which mainly considers the aspects of safety and experience. An optimal model for the plans of peak shifting and averting is proposed in this paper. The goal of this model is to minimize the losing profit of electric power companies according to the safe grades of the consumers, practical situations of the consumers who default the charge, different load rates of consumers and so on. This model is based on modified genetic algorithm to partly manage the consecutive variables by primary genetic algorithm and exert genetic algorithm's ability of seeking the optimal goal when all comes to all. The proposed measure is effective according to the calculative illustration.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50577022).

Key words: peak shifting plan; peak averting plan; genetic algorithm; electricity market

(上接第 49 页 continued from page 49)

the power flow. Based on breadth-first search, through the Breadth-First search and the ADT stack, the layer structure and the node order of back/forward sweep are formed. Then a practical power flow algorithm has come into being completely. The new algorithm can process radial network with multiple branches, without complex network labeling or admittance matrix calculating. Furthermore, its loop is few and its result is precise. The algorithm has been applied in the distribution network of the city zone and run in good conditions up to now.

Key words: power flow computation; distribution network; breadth-first; backward/forward sweep method