

火电机组经济负荷分配中环境税的影响

周英彪, 贺广中, 邬田华

(华中科技大学能源学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 环境税作为火力发电厂成本的重要部分, 越来越受到关注。为了了解经济负荷分配中环境税对火电机组负荷分配的影响, 建立了考虑环境税的火电机组经济负荷分配问题的数学模型, 根据环境税按污染物排放量多少的征收方式提出了一个假设, 即假设在机组运行时排放量与成本成二次函数关系和在机组启停机过程时排放量和成本成指数关系, 并基于这个假设对新模型进行简化处理。使用 lingo 软件, 通过简单的仿真计算, 得出了环境税在火电机组优化调度中对效率低、污染严重和效率高、污染小的两类机组影响较小; 反之, 对其他类型机组影响较大。

关键词: 经济负荷分配; 环境税; 影响; 火电机组

Effect of environmental taxation in units economic load dispatch

ZHOU Ying-biao, HE Guang-zhong, WU Tian-hua

(College of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: As an important part of cost in power plants, environmental taxation attracts much more attention. To solve economic load dispatch with environmental taxation, a new model is given and simplified under a precision improved in this paper based on the charging system of the discharge of air pollution, the precision is that there is a secondary functional relationship between the discharge and the cost when the unit is in stable operation and an exponential functional relationship in start-up and shutdown. Through simulation analysis using the tool of LINGO, it concludes that environmental taxation has a little effect on two types of the units which is the lower efficiency and severe pollution units and the high efficiency and light pollution units in units economic load dispatch. On the contrary, there is a great effect on the other types of the units.

Key words: economic load dispatch; environmental taxation; effect; fossil fired power units

中图分类号: TM734

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)04-0061-03

0 引言

为了保护生态环境, 西方国家自上世纪 70 年代以来, 就将课征税收作为保护环境的一项措施, 并且许多国家都把环境税引入税收的制度中。纵观这些国家征收的环境税, 都是依据“谁污染、谁付费”的原则设置的, 其课征范围极为广泛, 涉及到大气、水资源、生活环境、城市环境等诸多方面^[1]。而我国环境税法律比较薄弱, 严格来说, 我国并不存在纯粹法律意义上的环境税, 只是在我国税收中包括一些与环境有关的税种, 而且征收的税很低, 例如能源税就只相当于美国的 1/4。提高被过度使用的环境产品的税率和价格, 可以使我国的发展更加节约资源。这方面的研究也越来越受到学者的重视^[2,3]。

经济负荷分配 ELD (Economic Load Dispatch) 是电力系统中一类典型的优化问题, 其目标是在组合满足电力系统运行约束条件的基础上使发电成本为最低^[4]。燃烧化石燃料的火力发电企业, 排放大量的污染物, 必须承担一定的环境税。虽然环境税已经成为了发电成本的一部分, 但是现有的火电机组经济负荷分配模型中几乎没有考虑它。本文将原有的模型改进, 并将其简化, 最后通过仿真例子说明环境税对火电机组优化调度的影响。

1 机组优化调度的数学模型

1.1 目标函数

(1) 根据文献[5, 6], 考虑环境税后, 目标函数如下:

$$\min F = \sum_{k=1}^{NS} \sum_{i=1}^N \{u_{i,k} \cdot [F_i(P_{i,k}) + \Phi_i] + u_{i,k} \cdot (1 - u_{i,k-1}) \cdot [Stu_i(zz_{i,k-1}) + \Psi_i]\} \quad (1)$$

式中: NS 为研究周期内所划分的时段数; N 为系统中可用发电机组总数; $u_{i,k}$ 为发电机组的组合状态, 0 表示停运, 1 表示运行; $P_{i,k}$ 为发电机组 i 在时段 k 的输出功率; $zz_{i,k-1}$ 为发电机组 i 在时段 $k-1$ 连续停运的时间; $F_i(P_{i,k})$ 为发电机组 i 的成本特性, 本文取 $F_i(P_{i,k}) = a_i \cdot P_{i,k}^2 + b_i \cdot P_{i,k} + c_i$, a_i 、 b_i 和 c_i 为给定常数, Φ_i 为发电机组在运行中的环境税; $Stu_i(zz_{i,k-1})$ 为发电机组 i 在时段 k 投入运行时的启动成本, 本文取 $Stu_i(zz_{i,k-1}) = K_i + B_i \cdot (1 - e^{-\frac{zz_{i,k-1}}{\tau_i}})$, K_i 、 B_i 和 τ_i 为给定常数, Ψ_i 为发电机组 i 在投入运行时的环境税。

(2) 简化目标函数

假设 Φ_i 、 Ψ_i 与机组输出功率之间的关系为 $\Phi_i(P_{i,k})$ 、 $\Psi_i(P_{i,k})$, 且设为

$$\Phi_i(P_{i,k}) = a_i' \cdot P_{i,k}^2 + b_i' \cdot P_{i,k} + c_i',$$

$$\Psi_i(P_{i,k}) = K_i' + B_i' \cdot (1 - e^{-\frac{zz_{i,k-1}}{\tau_i}}).$$

那么目标函数简化为:

$$\min F = \sum_{k=1}^{NS} \sum_{i=1}^N [u_{i,k} \cdot F_i^*(P_{i,k}) + u_{i,k} \cdot (1 - u_{i,k}) \cdot Stu_i^*(zz_{i,k-1})] \quad (2)$$

1.2 约束条件

(1) 功率平衡约束

$$\sum_{i=1}^N P_{i,k} \cdot u_{i,k} = P_{d,k} + P_{L,k}, k = 1, 2, \dots, NS \quad (3)$$

式中: $P_{d,k}$ 为时段 k 系统总负荷; $P_{L,k}$ 为时段 k 系统总网损, 网损本文取为常数。

(2) 旋转备用约束

$$\sum_{i=1}^N S_{i,k} \cdot u_{i,k} \geq S_{r,k}, k = 1, 2, \dots, NS \quad (4)$$

式中: $S_{i,k}$ 为发电机组 i 在时段 k 提供的旋转备用;

$S_{r,k}$ 为时段 k 要求的旋转备用总量。

上述两种约束为系统的耦合约束。

(3) 发电机组输出功率的上下限约束

$$\underline{P}_i u_{i,k} \leq (P_{i,k} + S_{i,k}) \cdot u_{i,k} \leq \overline{P}_i u_{i,k}, \\ i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, NS \quad (5)$$

式中: \overline{P}_i 和 \underline{P}_i 为发电机组 i 输出功率的上下限。

(4) 最小运行时间和最小停运时间的约束

$$(rr_{i,k-1} - M_{upi})(u_{i,k-1} - u_{i,k}) \geq 0, \\ i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, NS \quad (6)$$

$$(rr_{i,k-1} - M_{dpi})(u_{i,k} - u_{i,k-1}) \geq 0, \\ i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, NS \quad (7)$$

式中: $rr_{i,k-1}$ 为发电机组 i 在时段 $k-1$ 连续运行的时间; M_{upi} 和 M_{dpi} 为发电机组 i 的最小运行时间和最小停运时间。

(5) 发电机组输出功率速度约束

$$-r_{di} \cdot \Delta t \leq P_{i,k} - P_{i,k-1} \leq r_{ui} \cdot \Delta t, \\ i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, NS \quad (8)$$

式中: r_{di} 和 r_{ui} 为发电机组 i 每分钟输出功率所允许的最大下降和上升速度; Δt 为每一时段所延续的时间。

(6) 发电机组旋转备用速度约束

$$S_{i,k} \cdot u_{i,k} \leq S_{imax} \cdot \Delta t, \\ i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, NS \quad (9)$$

式中: S_{imax} 为发电机组 i 每分钟提供旋转备用的最大响应速度, 本文取 $S_{imax} = r_{ui}$ 。

2 模型的特点

本模型在目标函数中考虑了环境税, 并将其分为两部分: Φ_i 和 Ψ_i , 分别表示在火电机组运行时排放的污染物造成的环境成本和火电机组在启停过程中排放的污染物造成的环境成本。这样分配与实际相符, 机组稳定运行燃料的消耗和机组在启停过程中的燃料消耗不同, 导致运行的成本函数 $F_i(P_{i,k})$ 与 $Stu_i(zz_{i,k-1})$ 不同, 同样他们排放的污染物也不尽相同, 环境成本也可以分为两部分。另外, 根据这个实际情况, 两部分环境成本的计算式假设为与两部分成本相一致的函数式。这样的结果是将环境成本放到了成本目标函数中去, 最后目标函数和改进前形式一样。而函数的系数可以看作是改进后机组的新特性数据。

3 仿真计算

以文献[7]中的5台机组为特性数据, 文献[8]中的标准征收环境税, 并直接在 lingo 程序中键入目

标函数和约束条件来进行仿真计算。表 1 为假设的负荷需求情况; 表 2 为不考虑环境税的负荷优化调度情况; 表 3 为考虑环境税后的负荷优化调度情况。

表 1 负荷需求情况

Tab.1 Demand data

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P_{d,k}$	540	570	600	630	660	690	720	750	780	810	840	850

表 2 不考虑环境税的负荷调度情况

Tab.2 Simulation results without considering environmental taxation

k	$P_{1,k}$	$P_{2,k}$	$P_{3,k}$	$P_{4,k}$	$P_{5,k}$
1	455	0	85	0	0
2	455	0	115	0	0
3	455	0	125	20	0
4	455	0	130	45	0
5	455	20	130	55	0
6	455	90	109	35	0
7	455	115	130	20	0
8	455	130	130	35	0
9	455	130	130	65	0
10	455	130	130	70	25
11	455	130	130	80	45
12	455	130	130	80	55

表 3 考虑环境税的负荷调度情况

Tab.3 Simulation results considering environmental taxation

k	$P_{1,k}$	$P_{2,k}$	$P_{3,k}$	$P_{4,k}$	$P_{5,k}$
1	455	60	25	0	0
2	455	90	25	0	0
3	455	115	30	0	0
4	455	125	50	0	0
5	455	130	45	30	0
6	455	130	68	36	0
7	455	130	90	45	0
8	455	130	118	48	0
9	455	130	125	70	0
10	455	130	130	75	20
11	455	130	130	80	45
12	455	130	130	80	55

对比表 2 和表 3, 不难看出, 当考虑环境税后, 机组 1 和机组 5 在优化调度中负荷分配差别不大, 而机组 2、3 和 4 差别就很明显了。随着负荷需求的变动, 表 2 中机组 3 首先启动并很快达到最大负荷, 其次是机组 2 和 4, 而在表 3 中, 机组 2 较机组 3 先达到满负荷。从这里可以看出环境税对于效率高, 污染小的机组 1 (效率很低, 污染很严重的机组 5) 影响很小, 在负荷分配中, 依旧分配较多负荷 (分配负荷很少), 而对于那些效率一般, 污染不太严重的机组 2 和 3 负荷分配影响很大。这说

明通过对火电机组征收环境税可以加快淘汰低效率、高污染的机组, 这与实际情况吻合。

4 结论

1) 本文以机组优化调度为线索, 专门分析了环境税在火电机组经济调度中对机组负荷分配的影响, 作为发电成本一部分的环境成本可以加快低效率、高污染的火电机组, 仿真计算的结果表明这种影响符合实际情况。

2) 本模型不仅可以在火电机组中应用, 也可作为水火电机组混合调度以及整个电力行业经济调度分析的手段。征收环境税对整个电力行业的影响将会是优先淘汰那些高污染的发电企业, 减少对环境有害的火力发电在整个电力行业中的比重, 这将有利于我国电力行业向无污染的方向健康发展。

参考文献

- [1] 李挚萍. 西方国家环境税的发展及中国的对策[A]. 2002 年中国法学会环境资源法学研究会年会论文集[C].2002.
LI Zhi-ping. The Development of Environmental Taxes in Western Countries and Recommendations in China[A]. In: A Collection of Environmental Resources Research of China Law Society[C]. 2002.
- [2] 杨金田, 葛察忠. 环境税的新发展: 中国与 OECD 比较[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
YANG Jing-tian, GE Cha-zhong. Environmental Taxes: Recent Developments in China and OECD Countries [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000.
- [3] 武亚军, 宣晓伟. 环境税经济理论及对中国的应用分析[M]. 北京: 经济科学出版社, 2002.
WU Ya-jun, XUAN Xiao-wei. Environmental Taxation Economic Theory and Application Analysis to China [M]. Beijing: Economic Science Press, 2002.
- [4] 骆济寿, 张川. 电力系统优化运行[M]. 武汉: 华中理工大学出版社. 1990.
LUO Ji-shou, ZHANG Chuan. Optimal Operation of Power Systems [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1990.
- [5] 韩学山, 柳焯. 考虑发电机组输出功率速度限制的最优机组组合[J]. 电网技术, 1994, 18(6): 11-16.
HAN Xue-shan, LIU Zhuo. Optimal Unit Commitment Considering Unit's Ramp-Rate Limits [J]. Power System Technology, 1994, 18(6): 11-16.
- [6] Wood A J, Wollenberg B F. Power Generation, Operation and Control[M]. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [7] Kazariis S A, Bakirtzis A G, Petridis V. A Genetic Algorithm Solution to the Unit Commitment Problem[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(1): 83-91.

(下转第 69 页 continued on page 69)

从计算结果可看出:

- 1) 三种模式下均满足年、月发电一负荷平衡。
- 2) 三种模式下每台火电机组(除去新投运机组)发电量曲线都和全网负荷曲线保持一致, 发电量曲线叠加后依然保持一致。
- 3) 在三种模式下, 从综合水火电联合优化的角度看, 参与年合同市场的火电机组都起到了削峰填谷作用, 调峰任务有很大缓解。

4 结束语

针对我国电力工业不断深化改革, 电力市场逐步建立和完善的特点, 提出了一种在不同模式下火电机组年合同电量编制与分解算法, 并给出完整详细的算法流程。依照该算法设计的经济调度系统已在现场试运行, 证明切实可行。

通过本文, 需要进一步讨论的问题:

- 1) 水火电配合的问题。特别是在丰水期、枯水期水文特性差别较大的时候, 如何进一步考虑水火电联合优化中机组电量的编制与分解。
- 2) 在保证顺利完成年合同电量的基础上, 按照预测负荷曲线, 如何将年合同电量进一步分解到每一天的每一时段, 以达到削峰填谷的作用。
- 3) 如何建立月合同市场和日合同市场, 并如何综合年合同电量得到日发电计划以及实时发电计划(48或96个交易日)。
- 4) 算法与机组实际发电量的配合问题, 即如何对发电计划进行滚动修正。

参考文献

- [1] 余志文, 郭晓忠, 于尔铿, 等. 发电侧电力市场中合同电量的一种实现方法[J]. 中国电力, 2000, 33(11): 76-78.
YU Zhi-wen, GUO Xiao-zhong, YU Er-keng, et al. A Method to Implement Contracts in Generation Deregulated Power Market[J]. Electric Power, 2000, 33(11): 76-78.
- [2] 于尔铿, 韩放, 谢开, 等. 电力市场[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

- [3] 尚金成, 黄永皓, 夏清, 等. 电力市场理论研究与应
用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
SHANG Jin-cheng, HUANG Yong-hao, XIA Qing, et al. Research on Electricity Market Theory and Its Applications[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [4] 于尔铿, 周京阳, 张学松. 电力市场竞价模型与原理[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(1): 24-27.
YU Er-keng, ZHOU Jing-yang, ZHANG Xue-song. Bidding Model and Bidding Principle for Power Markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(1): 24-27.
- [5] Steinberg M J, Smith T H. Economic Loading of Steam Power Plants and Electric Systems[M]. New York: John Wiley and Sons Inc, 1943.
- [6] 王锡凡. 关于我国电力市场的研究[J]. 中国电力, 2000, 33(1): 6-8, 97.
WANG Xi-fan. Study Topics of Power Market in China[J]. Electric Power, 2000, 33(1): 6-8, 97.
- [7] 戴铁潮, 张丹. 确定性合约电量分解算法在浙江发电市场的应用[J]. 华东电力, 2000(10): 7-9, 59.
DAI Tie-chao, ZHANG Dan. Application of Resolving Computation of Decisive Contract Electric Energy in Zhejiang Generation Power Market[J]. East China Electric Power, 2000(10): 7-9, 59.
- [8] 沈瑜, 夏清, 康重庆. 中国电力市场模式的探讨[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(4): 6-9.
SHEN Yu, XIA Qing, KANG Chong-qing. A Novel Model for Restructuring of Electric Power Industry in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(4): 6-9.
- [9] 李其智, 任震, 余志文. 基于合同电量滚动分解算法的合同管理系统[J]. 广东电力, 2000, 15(3): 76-78, 81.
LI Qi-zhi, REN Zhen, YU Zhi-wen. The Contract System Basing Contract Rolling Method[J]. Guangdong Electric Power, 2000, 15(3): 76-78, 81.

收稿日期: 2006-10-13

作者简介:

张 力(1982-), 男, 硕士研究生, 从事电力市场等方面研究; E-mail: zhangli.xhu@163.com
刘俊勇(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事电力市场等领域的研究。

(上接第 63 页 continued from page 63)

- [8] 朱法华, 王志轩. 经济手段在火电厂 SO₂ 污染控制中的应用[J]. 电力环境保护, 2001, 17(2).
ZHU Fa-hua, WANG Zhi-xuan. Application of Economical Measures to the SO₂ Pollution Control in Coal-fired Power Plants [J]. Electric Power Environmental Protection, 2001, 17(2).

收稿日期: 2006-09-25; 修回日期: 2006-10-13

作者简介:

周英彪(1968-), 男, 副教授, 从事煤燃烧领域的应用基础研究;
贺广中(1981-), 男, 硕士, 从事机组启停优化研究。
E-mail: heguangzhongmail@163.com