

电力市场条件下地市级电网优化购电模型

庄丽蓉¹, 蔡金锭¹, 李天友²

(1. 福州大学 电气工程与自动化学院, 福建省 福州市 350002;

2. 福建省电力有限公司, 福建省 福州市 350002)

Research on Optimized Model of Electric Power Purchased by Regional Power Network in Electricity Market Environment

ZHUANG Li-rong¹, CAI Jin-ding¹, LI Tian-you²

(1. School of Electric Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, Fujian Province, China;

2. Fujian Electric Power Company Limited, Fuzhou 350002, Fujian Province, China)

ABSTRACT: In order to reduce the cost for purchasing electric power, a new mathematical model of power purchase optimization is proposed. In this model, minimized total cost of purchasing electric power from regional power plants is taken as objective function; the balance between power supply and demand, maximum outputs of power plants, restraint of maximum transmission capacity of transmission lines, maximum sustaining ability of main transformers in substations and network loss are taken as constraint conditions. The correctness and feasibility of the proposed model are validated by calculation examples. The proposed model is applied to practical power purchase in a regional power network.

KEY WORDS: regional power plant; optimization of power purchasing model; electricity market

摘要: 为了通过优化购入地方发电厂的电量来降低购电成本, 提出了一种新的购电优化数学模型。该模型以从多个地方发电厂购入电量总成本最小化为目标, 以供求平衡、发电厂最大出力、输电线路最大传输容量限制、变电站主变压器最大承受能力以及网损等因素为约束条件。该模型已应用于福建省某地区电网的实际购电过程中, 实际算例分析验证了该模型的正确性和可行性。

关键词: 地方发电厂; 优化购电模型; 电力市场

0 引言

我国正处于电力市场改革初期, 电力市场总体结构主要分为三层, 即国家电网电力市场、区域电网电力市场及省网电力市场^[1]。在目前厂网分开的环境下, 许多地方发电厂还不具备参与省级电力市场竞争的能力, 它们一般由所在地区的供电公司进

行计划调度。因此, 在追求购电成本最小化的市场环境^[2-6], 地区电网公司如何优化购入地方发电厂的电量以降低购电成本成为一个值得研究的课题。在国内外有关购电优化的文献中, 迄今为止其研究主要集中在区域或省级电网^[7-9], 而对于电力市场初级阶段的地区电网购电优化问题的研究则较少。文献[10-11]主要研究了输配分离的电力市场阶段供电公司的购电优化问题。文献[12]对地方发电厂的竞价上网进行了研究。文献[13]以京津唐地区电网为例, 研究验证了以购电费用最小为目标进行调度比以燃料费用最小为目标进行调度更经济。文献[14]研究了面向地区电网的模拟电力市场运营调度系统, 但文中没有给出具体的购电模型。

我国现阶段正处于厂网分开的电力市场初级阶段, 地市级电网仍然按照传统的计划调度方法购买本地区小电厂的发电量, 而没有以上网电价为杠杆进行发供企业之间的市场运作, 这样显然不利于电力市场的发展以及资源的优化配置。随着社会主义市场经济的不断完善, 发电厂与电网之间以上网电价为纽带结成了卖方和买方关系。电网公司希望上网电价尽可能低, 电厂则要尽量降低发电成本, 以优质、低价的电能参与市场竞争, 这样有利于降低地区电网公司的购电成本并促进地方发电企业提高效率, 从而达到买卖双方双赢的目标。文献[3,6]提出的购电优化模型只考虑了上网电价和出力约束, 本文针对地区电网的特点, 综合考虑发电厂上网电价、发电厂最大出力、输电线路最大传输容量、变电站主变最大承受能力以及各电厂网损的

影响等因素,提出一种适用于地区电网优化购电的数学模型。

1 购电优化模型的建立

假设某地区电网公司要从多个地方发电厂购入电量,优化目标是在总购电量固定的情况下如何在各发电厂之间合理购买电量使得购电成本最小化。这就必然要求从电价低的电厂多买电,从电价高的电厂少买电,同时还要满足系统供求平衡约束、发电厂最大出力约束、输电线路最大传输容量限制及变电站主变最大承受能力约束等。地方发电厂一般经 10 kV 和 35 kV 线路接入电网,因此可按照发电厂接入电网的电压等级把交易电厂分为 2 类:①经 10 kV 线路接入电网的电厂;②经 35 kV 线路接入电网的电厂。假设有 m 个①类电厂及 t_2 个②类电厂,35 kV 线路共有 t_1+t_2 条,110 kV 线路共有 t 条,如图 1 所示。

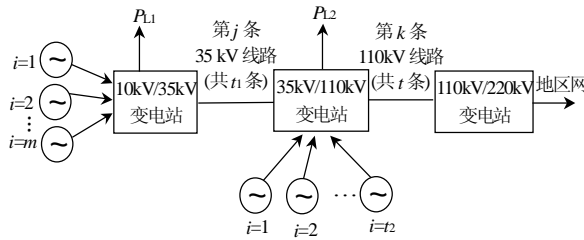


图 1 功率传输模型

Fig.1 Power transmission model

电能供购双方一般通过关口计量点的读数进行结算,关口计量点的设置由双方协定。当关口计量点设置在地区电网侧时,网损由发电厂承担;否则由地区电网承担。由于在电网中所处的位置不同,不同发电厂的网损率也不同。例如,同样是发电 1 kWh,甲厂可能有 0.98 kWh 真正为供电公司所用,而乙厂可能仅有 0.90 kWh 为供电公司所用。设甲、乙两厂的竞标电价分别为 c_1 和 c_2 ($c_1 > c_2$),如果仅按照上述低价优先的原则,供电公司应向电价低的发电厂乙购买电能。但是由于甲厂的网损率 ΔP_1 小于乙厂的网损率 ΔP_2 使得供电公司向乙厂购电的成本大于向甲厂购电的成本,即向电价高的电厂买电反而更经济。因此,当关口计量点设置在发电厂侧时,从地区电网公司的角度出发,模型中还要考虑各电厂分摊的网损对总购电成本的影响,于是,在目标函数中采用“实际电价”^[15]的概念,即

$$c'_i = \frac{c_i}{1 - \Delta P_i} \quad (1)$$

式中: c'_i 为发电厂 i 的实际电价; c_i 为发电厂 i 的上

网电价; ΔP_i 为发电厂 i 所发的每单位电能导致的损耗值,按以下公式进行计算:

$$\Delta P_i = \frac{P_{i,loss}}{P_i} \quad (2)$$

式中: $P_{i,loss}$ 为发电厂 i 分摊到的网损; P_i 为发电厂 i 的出力。

结合图 1 可推导出购电优化的数学模型:

(1) 目标函数。

当关口计量点设置在发电厂侧时应考虑网损的影响,目标函数为

$$\min f(r_{kji}, r_{kj}) = \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^{t_1} \sum_{i=1}^m (r_{kji} P t c'_{kji}) + \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^{t_2} (r_{kj} P t c_{kj}) \quad (3)$$

当关口计量点设置在地区电网侧时不考虑网损的影响,目标函数为

$$\min f(r_{kji}, r_{kj}) = \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^{t_1} \sum_{i=1}^m (r_{kji} P t c_{kji}) + \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^{t_2} (r_{kj} P t c_{kj}) \quad (4)$$

式中: $f(r_{kji}, r_{kj})$ 为购电成本函数; r_{kji} 为第①类电厂中的第 i 个电厂的购电分配率; r_{kj} 为第②类电厂中的第 j 个电厂的购电分配率; P 为小电厂的出力, t 为年利用小时数, $P t$ 为所有小电厂的总购电量; c'_{kji} 、 c_{kji} 分别表示第①类电厂中的第 i 个电厂的实际电价和原始电价; c'_{kj} 、 c_{kj} 分别表示第②类电厂中的第 j 个电厂的实际电价和原始电价;

(2) 约束条件。

系统供求平衡约束为所有电厂的购电量分配率之和为 1, 即

$$\sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^{t_1} \sum_{i=1}^m g_{kji} + \sum_{k=1}^t \sum_{j=1}^{t_2} g_{kj} = 1 \quad (5)$$

各发电厂机组的容量约束为

$$\begin{cases} 0 \leq r_{kji} P \leq P_{Gi} \\ 0 \leq r_{kj} P \leq P_{Gj} \end{cases} \quad (6)$$

式中 P_{Gi} 、 P_{Gj} 分别表示第 i 个①类电厂和第 j 个②类电厂的总装机容量。

第①、②类电厂 35 kV 线路的限流约束分别为

$$\sum_{i=1}^m r_{kji} P - P_{L1} \leq \sqrt{3} \times 35 I_j \cos \theta_{kj} \quad (j \in [1, t_1]) \quad (7)$$

$$r_{kj} P \leq \sqrt{3} \times 35 I_j \cos \theta_{kj} \quad (j \in [t_1 + 1, t_1 + t_2]) \quad (8)$$

式中: P_{L1} 表示 35 kV 变压器承受的负荷; I_j 表示第 j 条 35 kV 线路的限流值; $\cos \theta_{kj}$ 表示 35 kV 线路的功率因数。

110 kV 线路限流约束为

$$\sum_{j=1}^{i_1} (\sum_{i=1}^m r_{kji} P) - P_{L1} + \sum_{j=1}^{i_2} (r_{kj} P) - P_{L2} \leq \sqrt{3} \times 110 I_k \cos j_k \quad (9)$$

式中： P_{L2} 表示 110 kV 变压器承受的负荷； I_k 表示第 k 条 110 kV 线路的限流值； $\cos j_k$ 表示第 k 条 110 kV 线路的功率因数。

35 kV 变压器的最大承受能力限制为

$$\sum_{i=1}^m r_{kji} P - P_{L1} \leq b S_{kj} \cos j \quad (10)$$

式中： b 表示 35 kV 变压器的最大负载率； S_{kj} 表示第 j 个 35 kV 变电站的容量； $\cos j$ 表示 35 kV 变压器的功率因数，由变压器负载水平决定。

110 kV 变压器的最大承受能力限制为

$$\sum_{j=1}^{i_1} (\sum_{i=1}^m r_{kji} P) - P_{L1} + \sum_{j=1}^{i_2} (r_{kj} P) - P_{L2} \leq b' S_k \cos j' \quad (11)$$

式中： b' 表示 110 kV 变压器的最大负载率； S_k 表示第 k 个 110 kV 变电站的容量； $\cos j'$ 表示 110 kV 变压器的功率因数，由变压器负载水平决定。

2 算例分析

2.1 概述

福建省某地区为全省电网的负荷中心，主要由省网和所在地区的小型水火电供电。这些小水电大部分是径流式电站，一般经 10 kV 和 35 kV 线路接入电网。目前，地方电站的上网电量由省公司在年初经全省平衡后下达指标。在未实行竞价上网之前，购入地方水火电站的购电费是由平均购电均价

与实际上网电量相乘得出，购电均价主要取决于各小水火电的上网电价、小水电站的峰谷电价等因素。因此，不能达到在完成相同购入电量的基础上通过有效调节来控制购电成本。

2.2 算例结果分析

现将购电优化模型应用于上述地区从 7 个电厂购入电量的计算中，并与优化前的购电结果对比，以证明本文提出模型的正确性。由于关口计量点均设置在该地区供电局管辖的变电站内，故可以不计网损。上述购电模型中的目标函数是一个与购电量分配系数成线性关系的函数，其等式约束和不等式约束都是线性的，故可以采用线性规划方法进行优化。考虑到该地区电网地理接线图、线路限流值及变电站最大承受能力等约束(由于篇幅限制，在此不一一列出)，应用式(4)~(11)并采用线性规划的方法进行优化计算，结果如表 1 所示。从表 1 可以看出：

(1) 在总购电量相同的情况下，2004 年的实际购电费为 2338.09 万元，利用本文方法优化后的购电费是 1961.86 万元，节省了 376.23 万元。2005 年的实际购电费为 11677.78 万元，采用本文方法优化计算的购电费是 9911.46 万元，节省了 1766.32 万元。因此采用本文算法可大大节约购电成本。

(2) 在满足各种约束和总购电量一定的情况下，应优先向上网电价较低的电站购买电量，这样符合安全性和经济性要求。

表 1 某地区购入地方电厂电量的优化结果

Tab.1 Optimized result of purchasing electric power from regional power plants

水电厂 装机容量/MW	购电方法	上网电价/(元/kWh)	2004 年		2005 年	
			购电量/GWh	购电费用/万元	购电量/GWh	购电费用/万元
1 60	优化前	0.161 6	8.66	139.95	54.97	888.32
	优化后		26.25	424.20	132.6	2 142.82
2 16	优化前	0.161 6	2.31	37.33	14.658 8	236.89
	优化后		6.999 9	113.12	35.36	571.42
3 50.8	优化前	0.34	7.34	249.56	46.541 3	1 582.40
	优化后		22.225	755.65	112.268	3 817.11
4 25	优化前	0.32	24.30	777.60	106.52	3 408.64
	优化后		10.937 5	350.00	55.25	1 767.80
5 52	优化前	0.35	31.42	1 099.7	157.24	5 503.4
	优化后		8.765 3	306.79	44.318 6	1 551.15
6 0.32	优化前	0.161 6	0.43	6.95	0.80	12.93
	优化后		0.14	2.26	0.707 2	11.43
7 1.125	优化前	0.20	1.35	27.00	2.26	45.20
	优化后		0.492 2	9.84	2.486 2	49.73
合计 205.356	优化前	0.31	75.81	2 338.09	382.99	11 677.78
	优化后		0.26	1 961.86	382.99	9 911.46

3 结束语

与传统的计划调度方法相比, 供电企业从多个发电厂优化购入电量方案的优越性在于当购电量一定时最小化总的购电成本, 符合以总成本为杠杆的市场经济条件下的电网电量调度原则^[7]。本文结合电网的实际情况提出了地区电网优化购电数学模型, 以总购电成本最小化为目标, 综合考虑了发电厂上网电价、发送能力和网损等因素, 上述模型对于指导供电公司合理收购地方发电厂的电量具有指导意义。目前我国正处于厂网分离的电力市场初级阶段, 本文对地市级电网优化购入电量的研究可为供电公司参与未来输配分离电力市场的研究奠定基础。

在本文算例中, 由于关口计量点设置在该区供电局管辖的变电站内, 故可不计网损并采用线性规划方法进行计算。如果计及网损则将使本文提出的购电模型变为非线性, 因此将其他更精确的优化方法引入本文提出模型的优化计算中将是下一步的研究重点。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 于尔铿, 谢开, 韩放, 等. 电力市场概述[J]. 电网技术, 1995, 19(3): 58-62.
Yu Erkeng, Xie Kai, Han Fang, et al. A preliminary introduction to electricity power market[J]. Power System Technology, 1995, 19(3): 58-62(in Chinese).
- [3] 陈松波, 丁振华, 张崇见. 利用拉格朗日松弛法解决电网优化购入电量[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(1): 76-78.
Chen Songbo, Ding Zhenhua, Zhang Chongjian. Solving bidding model by using Lagrangian relaxation method for power market [J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(1): 76-78(in Chinese).
- [4] Xia Qing, Shen Yu, Kang Chongqing, et al. The review of Chinese generating market competition[C]. APSCOM'2000 - International Conference On Advances In Power System Control, Operation And Management, Hongkong, 2000.
- [5] 于尔铿, 韩放, 谢开, 等. 电力市场[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [6] 段树乔. 电网优化购入电量的方法[C]. 2000 年上海国际大电网会议论文集, 上海, 2000.
- [7] Zhou Ping, Zhou Jiaqi. Power purchase strategies under the condition of power market[C]. PowerCon'2002 - International Conference on Power System Technology, Kunming, China, 2002.
- [8] 谭忠富, 张立辉, 李晓军, 等. 区域电力市场环境下电网公司的多级购电优化模型分析[J]. 电力学报, 2004, 19(4): 273-275.
Tan Zhongfu, Zhang Lihui, Li Xiaojun, et al. On multilevel purchasing electricity model for electricity grid company in region electricity market[J]. Journal of Electric Power, 2004, 19(4): 273-275(in Chinese).
- [9] 蒋东荣, 刘学军, 李群湛. 电力市场环境下载网日发电计划的电量经济分配策略[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 90-94.
Jiang Dongrong, Liu Xuejun, Li Qunzhan. Economically distributing strategies for daily generation scheduling in a power system under power market environment[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 90-94(in Chinese).
- [10] 郭金, 江伟, 谭忠富. 风险条件下供电公司最优购电问题研究[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 18-22.
Guo Jin, Jiang Wei, Tan Zhongfu. Research on optimized power purchasing of power suppliers under risk condition[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 18-22(in Chinese).
- [11] 陈星莺, 谢俊. 计及风险的输配分离电力市场供电公司最优竞价策略[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(1): 13-17.
Chen Xingying, Xie Jun. Risk-constrained optimal bidding strategies for distribution companies in transmission and distribution separated electricity market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(1): 13-17(in Chinese).
- [12] 孙志能. 地方电厂竞价上网研究[J]. 电力自动化设备, 1999, 19(6): 55-57.
Sun Zhineng. On competitive bid for regional power plant to the grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, 19(6): 55-57(in Chinese).
- [13] 蒋晓荣, 刘军, 李小彬. 京津唐电网按购电费用经济调度方案的分析论证[J]. 电网技术, 2000, 24(12): 24-26.
Jiang Xiaorong, Liu Jun, Li Xiaobin. Analysis of commitment strategy for Beijing-Tianjin-Tangshan power network according to power purchasing cost[J]. Power System Technology, 2000, 24(12): 24-26(in Chinese).
- [14] 陆达, 宋人杰, 李秋丹. 面向地区电网的模拟电力市场调度运营系统[J]. 电网技术, 2002, 26(5): 69-71.
Lu Da, Song Renjie, Li Qiudan. A regional power network oriented simulating system for dispatching and marketing in electricity market [J]. Power System Technology, 2002, 26(5): 69-71(in Chinese).
- [15] 谭伦农, 张保会, 周亦山. PX 市场中交易电量的优化确定[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(6): 19-22.
Tan Lunnong, Zhang Baohui, Zhou Yishan. Economic Determination of market clearing quantity of electricity in power exchange [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(6): 19-22(in Chinese).

收稿日期: 2007-03-09。

作者简介:

庄丽蓉(1982—), 女, 硕士研究生, 研究方向为人工智能在电力系统中的应用和电力系统自动化, E-mail: zlr0100407@163.com;

蔡金锭(1954—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力网络、电力电子线路故障的人工智能诊断研究和教学;

李天友(1962—), 男, 高级工程师, 硕士生导师, 福建省电力有限公司副总工, 主要从事电网运行研究及管理工作。

(责任编辑 王金芝)