

# Research on the Method of Calculation for Wheeling Cost of Power Flow Based on Power Markets

Zhiming Li<sup>1</sup>, Yang Yu<sup>2</sup>, Weite Zou<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Songyuan Power Supply Company of State Grid Jilin Electric Power Corporation Ltd., Songyuan

<sup>2</sup>Baicheng Power Supply Company of State Grid Jilin Electric Power Corporation Ltd., Baicheng

<sup>3</sup>Jilin Power Supply Company of State Grid Jilin Electric Power Corporation Ltd., Jilin

Email: [zhiming\\_0504@163.com](mailto:zhiming_0504@163.com), [irllsf641@163.com](mailto:irllsf641@163.com), [zouweite@163.com](mailto:zouweite@163.com)

Received: Dec. 9<sup>th</sup>, 2013; revised: January 10<sup>th</sup>, 2014; accepted: January 17<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 Zhiming Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Zhiming Li et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** In this paper, on the basis of the power market conditions caused by transshipment business practical algorithms require the wheeling cost of power flow; a loss increment method is proposed to calculate for transport business causing a loss of power flow. Combined with inherent characteristics, a calculation model is established on the basis of the power grid operation cost, considering network loss, blocking Internet fee and the reliability of the system. The influence of unimportant factors is eliminated in this model, not only is the balance of payments achieved, but also the linkage of the various economic entities and risk-sharing are completed in the electricity market. With the complex power calculated, the rationality and availability of the model are checked by the result of example for the IEEE-14 buses system.

**Keywords:** Electricity Market; Wheeling Losses; Loss Increment Method; Wheeling Rates; Wheeling Transaction

## 基于电力市场的过网费用计算方法研究

李治明<sup>1</sup>, 于洋<sup>2</sup>, 邹巍特<sup>3</sup>

<sup>1</sup>国网吉林省电力有限公司松原供电公司, 松原

<sup>2</sup>国网吉林省电力有限公司白城供电公司, 白城

<sup>3</sup>国网吉林省电力有限公司吉林供电公司, 吉林

Email: [zhiming\\_0504@163.com](mailto:zhiming_0504@163.com), [irllsf641@163.com](mailto:irllsf641@163.com), [zouweite@163.com](mailto:zouweite@163.com)

收稿日期: 2013年12月9日; 修回日期: 2014年1月10日; 录用日期: 2014年1月17日

**摘要:** 本文依据因转运业务引起的过网费用的实用化算法要求, 在电力市场条件下, 提出了损耗增量法计算转运业务引起的过网损耗。结合其自身固有特点, 在电网运行成本的基础上建立了同时考虑网损、阻塞以及系统可靠性的过网费计算模型。该模型消除了不重要因素的影响, 不仅达到了年收支平衡, 而且做到了电力市场中的各经济实体的联动及风险共担。以复功率进行计算, 算例 IEEE-14 节点系统进行了验算, 其结果表明了该模型的合理性和可用性。

**关键词:** 电力市场; 过网损耗; 损耗增量法; 过网费用; 转运业务

### 1. 引言

随着电网建设的不断加强, 省间电网乃至区域电

网之间的联系不断加强, 为了合理有效的利用外部资源, 克服本地区资源相对劣势, 最大程度上实现经济

效益, 各省网之间的功率交换日趋频繁, 大量的转运业务随之出现。同时由于电力市场的建立以及厂网的分开, 电厂生产的电能不能像过去一样由电网无偿或义务传输, 电网公司和各电力公司成为独立的法人实体<sup>[1]</sup>, 如何收取由转运业务引起的过网费用问题成为省级电力市场的主要问题之一。收费过高, 不利于电力工业的长期发展; 收费过低, 也难以使电网企业健康发展。因此, 如何建立一个完整的过网费用体系, 受到个市场成员和学者的普遍关注。只有解决好这一课题, 才能为建立公平合理的电力转运市场行为规则提供技术支持。

目前, 已有多篇文献对过往费用的计算方法进行的详细的研究, 如合同路径法<sup>[2]</sup>、功率距离法<sup>[3]</sup>及潮流追踪法<sup>[4]</sup>等。但上述方法并没有有效的计及电力市场的条件。

本文建立了以电网运行成本为基础, 同时考虑电网运行约束条件的过网费用模型。提出了损耗增量法计算转运业务引起的过网损耗, 该模型消除了不重要因素的影响, 不仅达到了收支平衡, 而且做到了电力市场中的各经济实体的联动及风险共担。以复功率进行计算, 算例 IEEE-14 节点系统进行了验算, 其结果表明了该模型的合理性和可用性。

## 2. 过网费的定义及计算时遵循的原则

所谓的过网费指电网公司由于提供输电设备, 为其它的电力供、用方输送电能从而向电力供、用方收取的费用。在此过程中, 提供转运服务的是电网公司, 接受服务的是签订了购电合同的供电企业和用户的共同代表, 他们在经济上与电网公司是相互独立的。电网公司既不能电能从供电企业那里“买进”, 也不将电能向用户“卖出”, 只是收取“运费”, 即过网费用<sup>[5]</sup>。

过网费用的制订始终是各国电力部门普遍关心的问题, 它的发展随管理模式的改变而不同。一般来讲, 过网费用的计算应基于以下几条原则:

1) 以电网的运行成本为主。由于电网的自然垄断特性, 电网所有者的行为不能以利润最大化为目标。在计算过网费用时应首先计算出电网为完成过网服务所付出的成本。

2) 过网费用应该能在使用电网的各经济实体间

公平、公正和清晰地分摊。各用户间不能有补贴。

3) 过网费用的计算应考虑到电网健康发展所需要的适当利润。

4) 过网费用的计算和分摊应该为供需各方提供正确的经济、技术信号, 促使电网的各方使用者更有效地利用电网资源。

5) 在满足社会电力电量需求的前提下, 应致力于节约使用电网资源, 降低过网费用, 促进全社会效益的最大化。

## 3. 过网损耗的计算

如何合理准确的计算转运业务引起的过网损耗引, 是进行电力市场过网费用计算的首要问题和关键问题。目前, 关于转运业务引起的过网损耗的计算主要有“邮票”法<sup>[6]</sup>、合同路径法<sup>[2]</sup>、功率距离法<sup>[3]</sup>及潮流追踪法<sup>[4]</sup>等方法。当提供转运业务的电网公司作为一个实体向电力供、用方收取的费用, 而无需考虑将其收取的过网费用分摊到其内部的各个元件(发电方和用电方)时。可采用损耗增量法计算出转运业务引起的过网总损耗。

损耗增量法是针对转运业务提出的, 比较符合人的常规思维, 此方法是基于“影响”的方法, 通过计及和取消转运交易这两种状态下系统损耗的变化来确定该转运交易所承担的网损。

损耗增量法其实质是基于损耗灵敏度法的改进方法, 属于边际/增量类的灵敏度方法<sup>[7]</sup>。灵敏度法是根据系统总损耗对输电服务用户功率的灵敏度作为损耗分摊的依据<sup>[8,9]</sup>。该方法是一种基于边际潮流的网络损耗计算方法, 其目的通过计及和取消某一电力交易的两种状态下网络损耗的变化来确定该电力交易所引起的损耗。该方法反映了电力交易对网络的边际影响<sup>[10]</sup>。

采用损耗增量法计算过网损耗时, 首先计算计及转运交易时提供转运服务电网的潮流, 得到此时的网络总损耗, 然后将联络线功率取消, 计算在该状态下提供转运服务电网的潮流及输电损耗。两次网损之差即为转运交易经过提供转运服务电网所产生的损耗。其具体计算过程如下:

计算所有转运业务存在于网络时的网络损耗, 此损耗即为网络总损耗  $\Delta S$ ;

计算取消其中某一转运业务  $i$  的网络损耗  $\Delta S_i$ ;

1) 两次网络损耗之差  $(\Delta S - \Delta S_i)$  即为转运业务  $i$  引起的过网损耗;

2) 重复以上三步骤, 计算所有转运业务的过网损耗  $\Delta \sum_{k=1}^N S_k$ , 其中:  $N$  为所有转运业务的个数。

#### 4. 过网费用模型

影响过网费的因素很多, 建立一个包括各种因素的数学模型是不可能的, 也是没有必要的。以电网运行成本为主, 并抓住电网运行中潮流计算能得到的电压、相角和输电容量几个关键参数, 对其进行限制, 以倒数形式构造惩罚函数。于是电网的转运费用  $Cost$  可以表示为:

$$Cost = MC_T + F_L(P, Q, S) \quad (1)$$

式中:  $MC_T$  为浮动费用部分, 由电网的运行状况决定。考虑到电网在运行中至少满足 3 个约束<sup>[11]</sup>, 即:

电压幅值约束:

$$U_{i\min} \leq U_i \leq U_{i\max} \quad (i=1, 2, 3, \dots, N) \quad (2)$$

式中:  $U_i$  为母线  $i$  的电压幅值;  $U_{i\max}$ 、 $U_{i\min}$  分别为母线  $i$  的上、下限;  $N$  为整个系统的节点总数。

电压相角约束:

$$|\delta_i| \leq \delta_{i\max} \quad (i=1, 2, 3, \dots, N) \quad (3)$$

式中:  $\delta_i$  为母线  $i$  的电压相角;  $\delta_{i\max}$  为母线  $i$  的电压相角上限;  $N$  为整个系统的节点总数。

输电线容量限制:

$$I_l \leq I_{l\max} \quad (l=1, 2, 3, \dots, L) \quad (4)$$

式中:  $I_l$  为流经支路  $l$  的实际电流;  $I_{l\max}$  为允许流经支路  $l$  的最大电流值;  $L$  为整个系统的输电线路总数。

于是浮动费用部分  $MC_T$  可以表示为:

$$MC_T = \sum_{i=1}^N \frac{b}{U_{i\max} - U_i} \xi_1(U_i) + \sum_{i=1}^N \frac{a}{U_i - U_{i\min}} \xi_2(U_i) + \sum_{i=1}^N \frac{c}{\delta_{i\max} - |\delta_i|} + \sum_{l=1}^L \frac{d}{X_{l\max} - X_l} \quad (5)$$

式中:  $N$  为整个系统的节点总数;  $L$  为整个系统的输电线路总数;  $a$ 、 $b$  分别表示母线  $i$  最小、最大电压幅值的惩罚系数, 按照电压稳定的重要程度确定;  $c$  为母线电压相角偏移的惩罚系数, 根据电压相角的重要

程度确定;  $d$  为线路  $l$  最大功率潮流的惩罚系数, 根据系统输电容量的大小确定;  $\xi_1(U_i)$ 、 $\xi_2(U_i)$  分别为电压上下限启发因子。

考虑到电压允许有一定程度的波动, 在小范围  $(U_1, U_2)$  内电压波动不受惩罚。则  $\xi_1(U_i)$  与  $\xi_2(U_i)$  的取值满足:

当  $U_{i\min} \leq U_i \leq U_1$  时:  $\xi_1(U_i) = 1$ ;

当  $U_{i\max} < U_i$  或  $U_1 < U_{i\min}$  时:  $\xi_1(U_i) = \infty$ ;

当  $U_1 < U_i \leq U_{i\max}$  时:  $\xi_1(U_i) = 0$ 。

当  $U_2 < U_i \leq U_{i\max}$  时:  $\xi_2(U_i) = 1$ ;

当  $U_{i\max} < U_i$  或  $U_i < U_{i\min}$  时:  $\xi_2(U_i) = \infty$ ;

当  $U_{\min} \leq U_i < U_2$  时:  $\xi_2(U_i) = 0$ 。

$F_L(P, Q, S)$  为电网的运行成本函数, 可以表示为:

$$F_L(P, Q, S) = \left( C_P \Delta \sum_{k=1}^N P_k + C_Q \Delta \sum_{k=1}^N Q_k \right) \times S \quad (6)$$

式中:  $C_P$ 、 $C_Q$  分别为有功电价和无功电价, 由当时的实时电价决定;  $S$  为转运业务的转运时间;  $\Delta \sum_{k=1}^N P_k$ 、 $\Delta \sum_{k=1}^N Q_k$  分别为  $N$  个转运业务引起的总的有功损耗和无功损耗, 即为  $\Delta \sum_{k=1}^N S_k$  的实部和虚部。

#### 5. 算例

为了验证在实际系统中的实用性, 以及不同的转运业务对转运费的影响, 本节以 IEEE-14 节点系统进行了验算。系统接线图和系统参数分别如图 1 和表 1 所示。假设从 1 节点到 13 节点有一转运业务。其中转运费公式中的参数分别为  $a = 1$ ;  $b = 1$ ;  $c = 1000$ ;  $d = 100$ ;  $S = 1\text{h}$ ;  $C_P = 300$  元/MWh;  $C_Q = 6$  元/MVarh。电网运行约束为:

$$U_{i\min} = 0.8; \quad U_{i\max} = 1.2;$$

$$U_1 = 0.97; \quad U_2 = 1.03; \quad \delta_{\max} = 5。$$

母线 8 的电压为  $1.05 \angle 0^\circ$ 。以上所有参数皆为标么值,  $S_B = 100$  MVA;  $U_B = 110$  KV。

从 1 母线到 13 母线的转运费用计算结果如表 2 所示; 模型中各部分所占的比率和过网定价如表 3 所示。

从计算结果可以看出转运业务不同时, 计算模型中各部分所占的比率也不尽相同。过网定价并非相同, 而是随着转运量的增大而增大, 由于受有功实时电价  $C_P$  和无功实时电价  $C_Q$  的取值不同等多方面的原因,

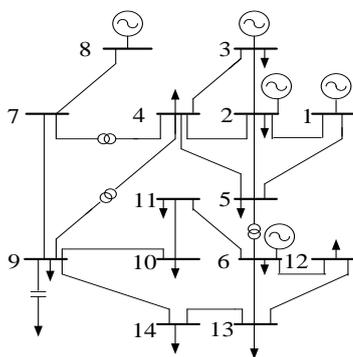


Figure 1. The system of IEEE 14-bus  
图 1. IEEE14 节点系统

Table 1. Branch parameters of IEEE 14-bus system  
表 1. IEEE-14 节点支路参数

I 侧母线	J 侧母线	R	X	B/2	$I_N$
1	2	0.0193	0.0592	0.0264	$1.7100 \times 2$
2	3	0.04699	0.1980	0.0219	1.7100
2	4	0.05811	0.1763	0.0187	1.7100
1	5	0.05403	0.2230	0.0246	1.7100
2	5	0.05695	0.1739	0.0170	1.7100
3	4	0.06701	0.1770	0.0173	1.7100
4	5	0.01335	0.0421	0.0064	1.7100
5	6	0.0000	0.2520	0.0000	0.6500
4	7	0.0000	0.2091	0.0000	0.6500
7	8	0.0000	0.1762	0.0000	0.5000
4	9	0.0000	0.5562	0.0000	0.4000
7	9	0.0000	0.1100	0.0000	0.6500
9	10	0.0318	0.0845	0.0000	0.5000
6	11	0.0950	0.1989	0.0000	0.5000
6	12	0.1229	0.1558	0.0000	0.5000
6	13	0.0662	0.1303	0.0000	0.5000
9	14	0.1271	0.2704	0.0000	0.5000
10	11	0.0821	0.1921	0.0000	0.5000
12	13	0.2209	0.1999	0.0000	0.5000
13	14	0.1709	0.3480	0.0000	0.5000

其增大比率并非和转运量的增大比率成正比。

## 6. 结论

本文所提出的过网费用模型在电网运行成本的基础上, 考虑了电网自身运行的 3 个基本约束条件,

Table 2. Results of wheeling cost in different wheeling transactions  
表 2. 不同转运业务的过网费用计算结果

转运业务 (MVA)	转运费用(元)			运行成本	总计
	浮动费用				
	电压偏移	电压相角	输电容量		
10 + 3i	5.1133	92.5772	81.0051	99.4242	278.1198
16 + 5i	8.2494	158.5725	132.9076	168.5725	468.3020
18 + 9i	8.2577	207.0311	163.9734	223.5701	602.8323
20 + 8i	11.4446	263.2252	172.2437	251.2968	698.2103
22 + 6i	13.7809	316.9609	195.3647	259.1393	785.2458

Table 3. Wheeling price and ratio of all part  
表 3. 过网定价及各部分所占比率

转运业务 (MVA)	浮动费用部分所占比率(%)			运行成本所占比率 (%)	过网定价 (元)/(MVAh)
	电压偏移	电压相角	输电容量		
10 + 3i	1.8385	33.2868	29.1260	35.7487	26.6390
16 + 5i	1.7616	33.8612	28.3807	35.9965	27.9366
18 + 9i	1.3698	34.3431	27.2005	37.0866	29.9550
20 + 8i	1.6391	37.7000	24.6693	35.9916	32.4136
22 + 6i	1.7550	40.3645	24.8794	33.0010	34.4353

不仅使得电网年收支平衡得到了保证, 而且由于把电能质量、系统失稳和网络阻塞所带来的额外费用转嫁到过网费用中, 做到了电力市场中的各经济实体的联动及风险共担。从模型及计算结果可以看出不同的转运量其模型中各部分和过网定价都不尽相同。体现了模型定价的时间性及动态性。

由于电网成本函数是虚拟函数且模型中各参数无法在线检测而需人为设定, 这就使得计算结果的精度受到人为主观因素的影响。如何进一步改进电网成本函数以及准确选取模型中各个参数将是下一步工作的重点。

## 参考文献 (References)

- [1] 郑斌, 王锡凡 (1999) 中国省间电力市场探讨. *电力系统自动化*, **23**, 17-23.
- [2] 张集, 张粒子, 刘文颖等 (2005) 区域电网过网损耗实用化分摊方法研究. *中国电力*, **9**, 56-60.
- [3] 顾乃炎, 凌晓波, 侯志俭 (1999) 用改进的功率距离方法计算转运费用中固定成本的定价方法. *电网技术*, **23**, 66-68,71.
- [4] 蔡兴国, 郭从松 (2000) 基于跟踪潮流法的转运费用研究. *电机与控制学报*, **4**, 122-124.
- [5] 乔振宇, 陈学允, 张粒子等 (2003) 基于电流共轭的转运网

- 损成本分摊方法. *电网技术*, **27**, 76-79.
- [6] 王立华, 陈继来, 王景元 (1998) 甘肃 330KV 电网过网网损问题的研究. *电网技术*, **22**, 68-70.
- [7] 杨松, 魏立明 (2005) 省级电力市场过网损耗的实用化算法比较. *吉林电力*, **2**, 13-15,18.
- [8] Rudnick, H., Palma, R. and Fernandez, J.E. (1995) Marginal pricing and supplement cost allocation in transmission open access. *IEEE Transactions on Power Systems*, **10**, 1125-1132.
- [9] Baran, M.E., Banunaryanan, V. and Garren, K.E. (1995) A transaction assessment method for allocation of transmission services. *IEEE Transactions on Power Systems*, **14**, 920-928.
- [10] Kirschen, D.S. and Strbac, G. (1999) Tracing active and reactive power between generators and loads using real and imaginary currents. *IEEE Transactions on Power Systems*, **14**, 1312-1318.
- [11] 杨华春, 马千, 宋天祥 (2001) 电力市场中转运费模型的研究. *电力系统自动化*, **24**, 7-11.