

# 基于网络追踪法的区域电网统计损耗分摊

徐英辉<sup>1</sup>, 杨本渤<sup>2</sup>, 杨湘江<sup>1</sup>, 白静芬<sup>1</sup>, 王猛<sup>1</sup>

(1. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192; 2. 国家电网公司, 北京市 西城区 100031)

## Network Loss Allocation of Regional Power Grid Based on Network Tracing

XU Ying-hui<sup>1</sup>, YANG Ben-bo<sup>2</sup>, YANG Xiang-jiang<sup>1</sup>, BAI Jing-fen<sup>1</sup>, WANG Meng<sup>1</sup>

(1. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;

2. State Grid Corporation of China, Xicheng District, Beijing 100031, China)

**ABSTRACT:** From the viewpoint of cost analysis and drafting loss objective for regional power grid, a loss allocation scheme based on active electricity quantity and network tracing is proposed, and the thinking that the loss in power plants and substations are brought into the allocation to reduce the influences of metering device error is put forward. The common characters in loss allocation are analyzed. Based on the connected relations among transmission lines within regional power grid, the loss in power plants and substations are allocated by active electricity quantities in transmission lines, and according to the connected relations among transmission lines the allocation coefficients, by which the objective transmission line undertakes the loss in other transmission lines, are traced and the electricity loss to be allocated to the objective transmission line are calculated. The calculation does not concern operational parameters and impedance parameters of regional power grid, so the calculation is rapid; and the algorithm is intuitionistic, clear and easy to grasp. Results of calculation case shows that the proposed algorithm is correct and rational and conform to the practical situation of regional power grid.

**KEY WORDS:** regional power grid; loss allocation; network tracing; active power

**摘要:** 从区域电网成本分析和制定损耗指标计划的角度出发, 提出了基于有功电量及网络追踪法的损耗分摊方案, 提出厂站损耗参与分摊以减少计量装置误差影响的思路, 对损耗分摊中共性问题进行了分析。以电网线路之间的连接关系为基础, 按线路有功电量分摊厂站损耗, 按线路之间连接关系追踪计算目标线路承担其他线路损耗的分摊系数和损耗电量。计算过程不涉及电网运行参数和阻抗参数, 计算速度较快; 算法直观、清晰, 容易理解掌握。算例分析结果表明, 该算法正确、合理, 符合电网运行客观实际。

**关键词:** 区域电网; 损耗分摊; 网络追踪; 有功电量

## 0 引言

在电力市场运营环境下, 电网损耗分摊结果体

现了电力交易的公平、公正性, 决定了贸易各方应承担的损耗份额, 已成为市场各方普遍关注的问题。常用的损耗分摊方法主要有潮流追踪迭代法<sup>[1-2]</sup>、邮票法<sup>[3]</sup>、电流分解追踪法<sup>[4]</sup>、灵敏度解析法<sup>[5-7]</sup>、图论法<sup>[8-9]</sup>等。这些方法都是在电网阻抗参数齐全的条件下, 针对某一特定运行工况对应的电量、电流或功率等电网运行参数, 按照既定算法进行分析计算<sup>[10-12]</sup>, 基本反映了特定工况对应的损耗分摊结果, 一定程度上满足了电力市场交易的实际需要。

电网损耗分摊的另一个重要用途是制定线损指标计划, 此时单一运行工况对应的损耗分摊结果往往不能体现复杂多变的电网运行方式, 难于真实反映市场交易各方应该承担损耗的变化趋势, 据此制定损耗指标计划可能有失偏颇。

本文采用贸易结算用的有功电量数据, 分析区域电网的特点, 确定电量冲抵的方法, 研究厂站损耗、线路损耗分摊的算法, 提出基于网络追踪<sup>[13]</sup>的损耗分摊方案, 直接将计量装置带来的误差体现在损耗中, 真实反映电力交易的客观实际。同时, 本文方案将避免实时数据和电网阻抗参数难于收集的困难。实际电网计算结果表明, 该方法简单、有效。

## 1 基于网络追踪法的区域电网损耗分摊

### 1.1 区域电网的特点

区域网络中联络线两端都安装了关口电能计量装置, 其关口电能表都具有正向、反向双向计量有功、无功电量的功能, 而且均实现了电量数据的远程采集, 从而保证了电量数据采集的同时性; 再加上这类关口电能计量装置均安装在大型发电厂或变电站(下文简称厂站)内, 不存在窃电行为, 而不必考虑由于营业管理不善带来的线损异常。

## 1.2 分摊原则

按照谁使用谁承担网络损耗的原则, 损耗由电量使用方承担, 电源提供商和电网运营商不承担网络损耗; 因此, 电网损耗最终由贸易各方承担。在损耗分摊过程中还需考虑以下因素:

1) 传统的损耗计算中, 厂站是一个无损节点, 实际上由于厂站不同进线、出线计量装置的计量特性存在差异, 实际电量平衡反映厂站应该是一个有损的节点。因此, 考虑分摊厂站的实际损耗有利于减少计量装置误差带来的影响。

2) 线路交换的正向、反向电量都直接对站内损耗造成影响, 因此厂站相关线路都应该根据其交换电量大小分摊厂站损耗。

3) 由于贸易各方是以有功电量进行结算的, 分摊的损耗也是以有功电量方式体现和结算的。因此, 采用有功电量计算电量损耗分摊更合理。

4) 在一段时期内, 由于运行方式的变化, 联络线交换电量会同时存在正向和反向有功电量, 因此线路损耗具有明显的方向特征, 进行损耗分摊时应加以考虑。

5) 通常发电厂计量装置只计量上网电量, 无法计算厂站实际损耗, 其损耗由发电厂承担; 经发电厂穿越的电量带来的厂站损耗也由发电厂承担(往往忽略不计), 穿越线路损耗由相关各方承担。

## 1.3 网络追踪的思路

网络追踪法是以厂站为基本单元, 按线路正、反向有功电量计算厂站损耗分摊系数, 并将厂站损耗分摊到联络线不同方向的损耗电量上。按线路送出有功电量计算线路分摊同一厂站内其它线路接受有功电量时对应线路损耗的损耗分摊系数。以某一厂站为起点, 按照电网实际连接情况, 通过关联线路损耗系数相乘的方式, 逐段追踪计算某交易方联络线承担其它有损线路的损耗分摊系数, 得到其应承担的损耗电量。以此类推, 计算出所有贸易各方应承担的损耗电量及损耗率。

## 1.4 电量冲抵

电量冲抵主要是针对同一厂站内某个贸易方同时具有多条线路, 而且不同线路之间具有电量互送的情况。在这种情况下, 冲抵电量由于不通过其它线路, 所以不应承担其它线路的损耗; 但该部分电量需要通过厂站母线进行传输, 因此应该参与厂站的损耗分摊。电量冲抵的原则如下: 按采集的最小时段电量(如日电量、时段电量等)考虑, 在保证

与该厂站相关联络线电量交互的基础上, 将某贸易主体某条线路的反向(正向)电量由同一厂站该贸易主体其它线路的正向(反向)电量进行合理冲抵。

## 1.5 电量平衡

电量平衡反映了厂站实际损耗情况, 其计算方法是通过对厂站接受电量减去厂站送出电量, 得到厂站实际损耗, 再用厂站实际损耗除以厂站接受电量得到厂站电量不平衡率。

## 1.6 损耗分摊系数计算

损耗分摊系数分为厂站损耗分摊系数和线路损耗分摊系数, 以图 1 所示简单供电系统为例阐述损耗分摊系数的计算方法。图中:  $i$ 、 $j$ 、 $k$  表示厂站;  $i$ - $j$ 、 $j$ - $k$  表示线路;  $ij$  表示厂站  $i$  第  $j$  个计量点。

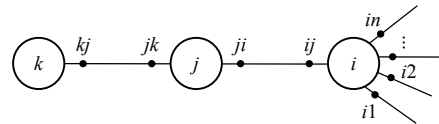


图 1 简单供电系统

Fig. 1 A simple power system

厂站损耗分摊系数是按线路电量占线路所在厂站交换电量比例进行分摊计算, 由于线路正反向交换电量, 因此线路分摊厂站损耗也分正反 2 个方向。计算公式如下:

$$\begin{cases} \lambda_{ij}^+ = P_{ij}^+ / \sum_{k=1}^n (P_{ik}^+ + P_{ik}^-) \\ \lambda_{ij}^- = P_{ij}^- / \sum_{k=1}^n (P_{ik}^+ + P_{ik}^-) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $\lambda_{ij}^+$  表示线路  $i$ - $j$  从  $i$  到  $j$  方向电量对厂站  $i$  的损耗分摊系数;  $\lambda_{ij}^-$  表示线路  $i$ - $j$  从  $j$  到  $i$  方向电量对厂站  $i$  的损耗分摊系数;  $P_{ij}^+$ 、 $P_{ik}^+$  分别表示计量点  $ij$ 、 $ik$  计量的正向有功电量;  $P_{ij}^-$ 、 $P_{ik}^-$  分别表示计量点  $ij$ 、 $ik$  计量的反向有功电量。

将线路厂站损耗分摊系数与厂站实际损耗相乘, 得出线路应分摊的厂站损耗, 并将该损耗加到对应的线路实际损耗上, 得到分摊后的线路损耗。同一厂站内线路之间损耗分摊系数是指同一厂站内甲线路分摊乙线路的损耗比例, 等于甲线路送出电量占扣除乙线路之外所有线路送出电量之和的比例, 如线路  $i1$  分摊线路  $ij$  的损耗分摊系数  $K_{i1-ij}$  可由下式表示:

$$K_{i1-ij} = P_{i1}^+ / \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n P_{ik}^+ \quad (2)$$

不同厂站线路之间的损耗分摊系数是根据线路之间网络连接关系逐级追踪计算, 再由式(2)求取

的损耗系数连乘求得，如线路  $i1$  分摊线路  $jk$  的损耗分摊系数可由下式求取：

$$K_{i1-jk} = K_{i1-ij} K_{ij-jk} \quad (3)$$

根据损耗分摊系数计算结果，可形成损耗分摊系数矩阵。为降低矩阵维数、减少运算量，损耗分摊系数矩阵可以只考虑与损耗分摊相关的联络线。

### 1.7 计算步骤

1) 确定需要分摊目标，将贸易各方相关联络线作为分摊电网损耗的目标线路向量。

2) 建立网络关联矩阵。根据电网线路连接情况确定目标线路与其它线路之间的关联关系，建立相应的网络关联矩阵。

3) 获取电量数据。导入或录入各个计量点接受、输出电量数据。

4) 计算厂站实际损耗。按照 1.5 节的方法计算厂站实际损耗。

5) 计算线路实际损耗。按正反 2 个方向分别计算线路实际损耗，计算方法是线路起始节点输出电量减去终止节点接受电量。

6) 计算冲抵电量。按照电量冲抵计算方法，对需要冲抵的线路进行电量冲抵。

7) 计算损耗分摊系数。按照 1.6 节的方法，计算厂站损耗分摊系数、线路损耗分摊系数，形成分摊后的线路损耗和损耗分摊系数矩阵。

8) 计算分摊的损耗电量。通过矩阵相乘，计算贸易各方目标线路分摊的电网损耗电量，计算贸易各方应承担的损耗分摊电量。

9) 计算各方分摊后损耗率。分摊后的损耗率 = [分摊后的损耗电量 / (出线电量之和 + 分摊后的损耗电量)] × 100%。

## 2 算例结果与分析

图 2 是某实际区域电网系统。图中：节点 1 为发电厂，无法进行电量平衡，该节点存在一定的功率穿越；节点 2、3、4、5 具有发电和负荷 2 种特性，即有时接受电量，有时输出电量；节点 5 只是展现了 5-4、5-1 这 2 条线路，无法进行厂站电量平

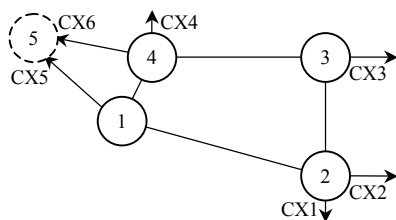


图 2 实际电网系统接线

Fig. 2 Connection diagram of the actual power network

衡，但这 2 条线路与贸易方直接相关，需要分摊线损，故表 1 中按目标线路进行表示，并分别用 CX5、CX6 标识；箭头方向为 CX1~CX6 的正方向。一段时期内计量点有功电量通常具有正、反 2 个方向，因此线路上的损耗按双向考虑。该系统的运行电量见表 1。表中极小的电量数据是计量结果受运行工况影响的结果。

表 1 某实际电网有功电量

Tab. 1 Active power data of the actual power network

线路	方向	起始节点有功电量/ 终止节点有功电量/ MW·h		贸易方
		MW·h	MW·h	
1-4	1 到 4	1 374 425.20	1 367 914.50	电网
	4 到 1	0.00	0.00	电网
3-4	4 到 3	507 577.50	507 250.69	电网
	3 到 4	0.24	0.00	电网
2-3	3 到 2	60 386.31	59 897.18	电网
	2 到 3	50 509.76	50 090.53	电网
1-2	1 到 2	903 332.04	898 136.00	电网
	2 到 1	0.00	0.00	电网
4-5	5 到 4	10.50	7.00	电网
	4 到 5	212 104.00	209 281.64	乙方
1-5	1 到 5	201 664.64	199 489.36	乙方
	5 到 1	0.45	0.00	电网
CX4	正向	647 805.41	—	丙方
	反向	0.00	—	丙方
CX3	正向	525 644.04	—	乙方
	反向	26 926.64	—	乙方
CX2	正向	491 269.06	—	乙方
	反向	0.00	—	乙方
CX1	正向	415 501.82	—	甲方
	反向	0.00	—	甲方

根据有功电量，采用网络追踪法进行线损统计分析和损耗分摊，厂站损耗分摊结果、线路间损耗分摊结果、贸易各方分摊后的损耗率分别见表 2~4。由表 2、3 可知：个别厂站存在自发电现象，即厂站损耗数据是负值，这主要是由于进线和出线计量装置误差不一致造成的。通过厂站损耗分摊可以规避计量装置误差带来的技术损耗。表 4 的损耗电量之和、表 3 的损耗合计之和与表 2 的分摊后损耗小计之和完全一致，证明该算法是正确的。表 4 中贸

表 2 厂站损耗分摊结果

Tab. 2 Loss allocation results of substations

线路	方向	实际损耗/MW·h	分摊的厂站损耗/MW·h	分摊后损耗/MW·h
3-4	4 到 3	326.81	-683.39	-356.58
	3 到 4	0.24	0.00	0.24
1-4	1 到 4	6 510.70	217.33	6 728.03
	4 到 1	0.00	0.00	0.00
4-5	5 到 4	3.50	0.00	3.50
	4 到 5	2 822.36	33.70	2 856.06
1-5	5 到 1	0.45	0.00	0.45
	1 到 5	2 175.28	0.00	2 175.28
1-2	1 到 2	5 196.04	352.88	5 548.92
	2 到 1	0.00	0.00	0.00
2-3	2 到 3	419.23	-55.60	363.63
	3 到 2	489.13	-67.42	421.71
合计		17 943.74	-202.50	17 741.24

表3 线路间损耗分摊结果

被分摊 线路 方向		CX3 损 耗/MW·h	CX4 损 耗/MW·h	CX2 损 耗/MW·h	CX1 损 耗/MW·h	CX5 损 耗/MW·h	CX6 损 耗/MW·h
3-4	4 到 3	-36.74	0.00	-173.28	-146.56	0.00	0.00
	3 到 4	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.06
1-4	1 到 4	257.33	3 187.20	1 213.56	1 026.39	0.00	1 043.55
	4 到 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-5	5 到 4	0.16	1.96	0.75	0.63	0.00	0.00
	4 到 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2 856.06
1-5	1 到 5	0.00	0.00	0.00	0.00	2 175.28	0.00
	5 到 1	0.02	0.13	0.14	0.12	0.00	0.04
1-2	1 到 2	292.78	0.00	2 847.67	2 408.48	0.00	0.00
	2 到 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2-3	2 到 3	363.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3 到 2	0.00	0.00	228.47	193.24	0.00	0.00
线路损耗/ MW·h		877.17	3 189.47	4 117.30	3 482.30	2 175.28	3 899.71
厂站损耗/ MW·h		-832.29	102.92	193.02	163.25	0.00	0.00
损耗合计/ MW·h		44.88	3 292.39	4 310.33	3 645.55	2 175.28	3 899.71

表4 贸易各方分摊后的电量和损耗率

贸易方	分摊后电量/MW·h	分摊前电量/MW·h	损耗电量/MW·h	损耗率
乙方	1 436 114.29	1 425 684.10	10 430.19	0.73
丙方	651 097.80	647 805.41	3 292.39	0.51
甲方	419 147.37	415 501.82	3 645.55	0.87

易各方分摊后损耗率与调度部门长期统计结果基本吻合,与电网输送电量远近程度基本相符,这表明该分摊方案是合理的。

### 3 结论

1) 基于电能表有功电量数据及网络追踪的损耗分摊方法无需潮流计算,计算量相对较小。

2) 厂站损耗分摊体现了计量装置误差对损耗的影响,避免了实时数据和电网阻抗参数难于收集的困难,对于电力公司各相关部门分析和更好地掌握自身输电成本、制定切实可行的损耗指标计划具有十分重要的意义。

3) 实际电网损耗分摊结果表明,该方法切实可行,具有较强的推广运用价值。

### 参考文献

- [1] 李卫东,孙辉,武亚光,等.潮流追踪迭代算法[J].中国电机工程学报,2001,21(11):38-42.  
Li Weidong, Sun Hui, Wu Yaguang, et al. An iterative load flow tracing method[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(11): 38-42(in Chinese).
- [2] 何仰赞,温增银.电力系统潮流计算[M].3版.武汉:华中科技大学出版社,2002:20-30.
- [3] 许汉平,刘斌,喻崇利,等.华中区域电网网损分摊的实用研究[J].华中电力,2007,20(1):6-8.  
Xu Hanping, Liu Bin, Yu Chongli, et al. Research on allocation of transmission losses in the central China power grid[J]. Central China Electric Power, 2007, 20(1): 6-8(in Chinese).
- [4] 吴晓蓉,谢开贵,周家启.基于电流分解的输电损耗分摊双向追

踪方法[J].中国电机工程学报,2005,25(21):24-29.

- Wu Xiaorong, Xie Kaigui, Zhou Jiaqi. Transmission loss allocation method based on current decomposition and bi-directional trace[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(21): 24-29(in Chinese).
- [5] 鲁广明,鲍海,杨以涵,等.输电网损分摊方法的比较研究[J].华东电力,2008,36(5):36-40.  
Lu Guangming, Bao Hai, Yang Yihan, et al. Study of transmission loss allocation methods[J]. East China Electric Power, 2008, 36(5): 36-40(in Chinese).
  - [6] 张集,张粒子,刘文颖,等.区域电网过网损耗实用化分摊方法的研究[J].中国电力,2005,38(9):56-60.  
Zhang Ji, Zhang Lizi, Liu Wenyong, et al. Research on practical method for wheeling loss allocation in interconnected power grid[J]. Electric Power, 2005, 38(9): 56-60(in Chinese).
  - [7] 王立华,陈继来,王景元.甘肃330kV电网过网损问题的研究[J].电网技术,1998,22(10):68-70.  
Wang Lihua, Chen Jilai, Wang Jingyuan. Power losses in Gansu 330kV power network caused by wheeling[J]. Power System Technology, 1998, 22(10): 68-70(in Chinese).
  - [8] 魏萍,倪以信,吴复立,等.基于图论的输电线路功率组成和发电机与负荷间功率输送关系的快速分析[J].中国电机工程学报,2000,20(6):21-29.  
Wei Ping, Ni Yixin, Wu Fuli, et al. Power transfer allocation for open access using graph theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(6): 21-29(in Chinese).
  - [9] 李卫东,孙辉,武亚光.功率损耗向量图及其在潮流追踪研究中的应用[J].哈尔滨工业大学学报,2003,35(2):242-243.  
Li Weidong, Sun Hui, Wu Yaguang. Power loss vector diagram and its application to power flow tracing study[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(2): 242-243(in Chinese).
  - [10] 余卫国,熊幼京,周新风,等.电力网技术线损分析及降损对策[J].电网技术,2006,30(18):54-57.  
Yu Weiguo, Xiong Youjing, Zhou Xinfeng, et al. Analysis on technical line losses of power grids and countermeasures to reduce line losses[J]. Power System Technology, 2006, 30(18): 54-57(in Chinese).
  - [11] 施流忠,罗毅芳,刘巍,等.电力网电能损耗计算分析中的几项功能设计[J].电网技术,1999,23(2):26-30.  
Shi Liuzhong, Luo Yifang, Liu Wei, et al. Principles of calculation and analysis of network line losses[J]. Power System Technology, 1999, 23(2): 26-30(in Chinese).
  - [12] 张大力.过网电量电能损耗计算方法的探讨[J].电网技术,1995,19(8):55-58.  
Zhang Dali. Exploration of computation method for power consumption in interconnected power system[J]. Power System Technology, 1995, 19(8): 55-58(in Chinese).
  - [13] 王涛,张坚敏,李小平.计划线损率的计算及其评价[J].电网技术,2003,27(7):40-42.  
Wang Tao, Zhang Jianmin, Li Xiaoping. Calculation of scheduled loss ratio and its assessment[J]. Power System Technology, 2003, 27(7): 40-42(in Chinese).



徐英辉

收稿日期:2010-05-22。

作者简介:

徐英辉(1972—),男,硕士,高级工程师,从事关口电能计量装置现场检测和损耗统计分析工作,

E-mail: xcfw@epri.sgcc.com.cn;

杨本渤(1966—),男,本科,高级工程师,从事电网生产运行管理方面的工作;

杨湘江(1965—),男,本科,高级工程师,从事关口电能计量装置检测和损耗分析工作。

(责任编辑 杜宁)