

# 基于负荷实测的配电网线损理论计算

张宗伟, 张 鸿

(唐山供电公司, 河北 唐山 063000)

**摘要:** 给出一种基于负荷实测的线损理论计算方法, 利用配电网各个负荷节点功率、电压数据, 精确地求出负荷节点与其上级节点之间线路上的损耗以及上级节点的电压、输出功率, 再按照线路损耗的可计算条件, 依次回代计算出所有剩余线路的损耗, 之后再运用等值电阻法将计算结果进行修正。该方法充分考虑了线路阻抗、实际负荷分布、节点电压等对线损计算精度有影响的因素。通过对某 10 kV 配电系统进行实例计算, 表明了该算法的可行性。

**关键词:** 线损计算; 配电网; 负荷实测; 等值电阻; 回代计算

## Theoretical calculation on distribution network line loss based on measurement-based load

ZHANG Zong-wei, ZHANG Hong

(Tangshan Electrical Power Supply Company, Tangshan 063000, China)

**Abstract:** This paper presents a theoretical calculation method for line loss based on measurement-based load. Using the active power, reactive power, and voltage of each load node, their above load node's voltage and the line loss between load node and its above node can be calculated accurately. Then according to the condition of the line's loss calculation, all the remained line's loss can be calculated in turn. Finally, the equivalent resistance method is used to amend the line loss results. The method considers the line impedance, factual load distribution and node voltage which can influence the precision of the line loss calculation. In the end, one 10 kV distribution network's line loss is calculated, which indicates the method proposed is feasible.

**Key words:** line loss calculation; distribution network; measurement-based load; equivalent resistance; backward calculation

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)14-0115-04

## 0 引言

线损率是电力生产中的一个重要技术经济指标, 降低线损是提高电力企业经济效益和社会效益的主要途径之一, 而理论线损计算是做好线损管理以及有效实施降损工作的基础。10 kV 及以下配电网的损耗在整个电网损耗中占据着相当大的比重, 以北京地区 220 kV 及以下电网为例, 在 2006 年的代表日理论线损计算中, 10 kV 及以下配电网的损耗合计 5 532 MWh, 占 220 kV 及以下全网总损耗的 62.1%, 可见研究配电网的理论线损计算, 做好配电网降损工作, 具有很强的现实意义。

目前进行配电网理论线损计算的方法有很多种, 文献[1]介绍了均方根电流法、平均电流法、最大电流法、损失因数法、等值电阻法等传统方法; 文献[2-5]讨论了配电网线损计算的潮流算法; 文献[6-7]用人工神经网络来计算线损; 文献[8-9]对利用某些负荷数据的配电网线损计算进行了研究。但是

这些方法不同程度地存在着一些局限性, 例如没有准确考虑负荷曲线变化的差异、各负荷节点的实际功率、节点电压、线路电抗, 以及有时计算不能可靠收敛、计算工作量很大、实际应用还不成熟等。

随着配电网自动化水平的不断提高, 各种自动数据采集系统不断出现, 它可以实时远方采集到各个负荷节点的电压、电流、有功、无功等数据, 这就为配电网的理论线损计算提供了更充足的数据, 使得精确计算配电网的线损成为可能。而且由于数据采集的自动化, 采集效率很高, 为此可以通过增加线损计算次数以尽量反映负荷曲线对线损计算的影响。同时还可以实现配电网理论线损的自动在线计算, 以更好地监测配电网运行情况, 反映线路具体损耗情况, 以指导降损工作的开展。

基于上述情况, 有必要对可以采集到完整负荷数据情况下的配电网线损理论计算进行探讨。本文给出一种基于负荷实测的线损计算方法, 充分利用负荷实测数据, 逐步回代精确计算各条线路损耗,

并最后给出实例计算。

### 1 本文算法的基本原理

根据文献[10],在线路阻抗参数已知的情况下,只要测量到负荷节点的有功、无功、电压有效值,就可以很精确地求出负荷节点与其上级节点之间线路上的损耗,以及上级节点的电压,而且计算线路损耗和节点电压都避免了复数乘除。

如图1所示,节点2到3之间线路 $l_{2-3}$ 每相阻抗为 $Z_{2-3} = R_{2-3} + jX_{2-3}$ , (在配电网计算中一般忽略掉线路导线),同时测量到节点3的三相输出功率为 $P_3 + jQ_3$ ,线电压有效值为 $U_3$ 。

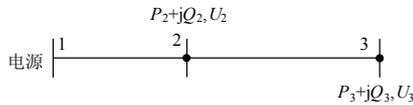


图1 配电线路的电压和功率

Fig.1 Voltage and power of the distribution line

根据文献[10]中的推导,线路 $l_{2-3}$ 上的有功功率损耗为

$$\Delta P_{2-3} = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} R_{2-3} \quad (1)$$

无功功率损耗为

$$\Delta Q_{2-3} = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} X_{2-3} \quad (2)$$

节点2的输出功率为

$$\tilde{S}_2 = \tilde{S}_{(2-3)} = (P_3 + \Delta P_{2-3}) + j(Q_3 + \Delta Q_{2-3}) \quad (3)$$

节点2的电压有效值 $U_2$ 为

$$U_2 = \sqrt{(U_3 + \Delta U_{2-3})^2 + (\delta U_{2-3})^2} \quad (4)$$

其中: 
$$\Delta U_{2-3} = \frac{P_3 R_{2-3} + Q_3 X_{2-3}}{U_3} \quad (5)$$

$$\delta U = \frac{P_3 X_{2-3} - Q_3 R_{2-3}}{U_3} \quad (6)$$

### 2 利用负荷实测数据进行线损计算的实现

假设某一10 kV配电系统,其结构如图2所示。该系统共有12个节点,已知各个结点之间的电阻、电抗,并且通过数据采集系统已经得到了各个负荷节点的有功功率、无功功率、电压有效值。

算法的具体实现步骤如下:

(1) 首先进行节点分类并编号,分清电源节点、

末端负荷节点、中间负荷节点、分支节点。

以图2为例,0是电源节点,1、2、3、4、5是末端负荷节点,6、7是中间负荷节点,8、9、10、11是分支节点。

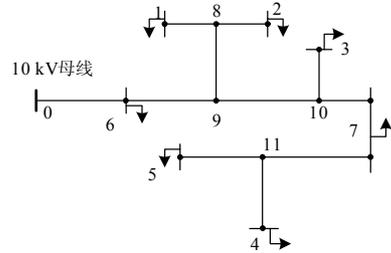


图2 辐射状配电网简化图

Fig.2 Radial distribution network plans

(2) 利用各个末端负荷节点的实测数据,分别计算与其相连的上级节点之间线路的损耗,以及上级节点的电压有效值、功率输出值。若上级节点电压有实测值,则取实测值;若没有,则进行回代计算,且当多个末端负荷节点对应同一个上级节点时,上级节点电压取均值。

如图2所示,可以求得线路 $l_{1-8}$ 、 $l_{2-8}$ 、 $l_{3-10}$ 、 $l_{4-11}$ 、 $l_{5-11}$ 的有功、无功损耗,节点8、11的功率输出值,节点8、10、11的电压有效值(以节点8为例,由于1、2节点都对同一上级节点8,故将由1、2节点分别求得的节点8电压有效值取均值)。

(3) 搜寻未知损耗的线路,列为集合A。

(4) 将A集合中可以计算损耗的线路进行计算,同时也求得线路的始端输出功率、电压有效值(只要线路末端功率输出值、电压有效值已知,就可以计算,对于有实测或已计算电压的节点不计算节点电压),随后将这些线路对应上级节点中可以计算输出功率的节点计算出节点输出功率。再将计算完成的线路从集合A中移出。

以图2为例,可以对线路 $l_{8-9}$ 、 $l_{11-7}$ 进行计算。并得到节点7的输出功率(即线路 $l_{7-10}$ 的末端输出功率)。

(5) 重复步骤(4),直到所有线路的损耗都已计算出来为止,即直到A集合为空集。

以图2为例,对线路 $l_{7-10}$ 进行计算,接着是线路 $l_{10-9}$ ,然后是线路 $l_{9-6}$ ,最后是线路 $l_{6-0}$ 。

(6) 计算所有公用变压器的损耗,计算时,利用实测的节点负荷、电压值计算变压器的铜损和铁损。这样一来,变压器损耗计算就充分考虑到了负荷、电压的影响。

(7) 利用节点 6 的已知数据, 计算通过线路  $l_{6-0}$  的电流  $I_{0-6}$ :

$$I_{0-6} = \frac{\sqrt{P_6^2 + Q_6^2}}{\sqrt{3}U_6} \quad (7)$$

其中:  $P_6$ 、 $Q_6$ 、 $U_6$  分别为节点 6 的有功、无功、电压有效值。再记节点 0 处的电流实测值为  $I_0$ , 则文献[1]中所述计算配电网线损的等值电阻法, 对线损计算结果进行修正, 将各条线路的损耗和各个公用变压器的铜损乘以修正系数  $K$ , 此处  $K = I_0^2 / I_{0-6}^2$ 。

(8) 统计各种线损率, 并将各条线路、各个变压器的损耗情况排序, 便于及时发现卡脖子线路、重损变压器等, 可以更好地指导降损工作。

该方法利用负荷实测数据由各个末端负荷节点逐步回代计算, 最终计算出所有线路的损耗。

### 3 实例计算

以图 2 所示配电系统为例, 其线路阻抗及负荷实测功率、电压如图 3 所示。

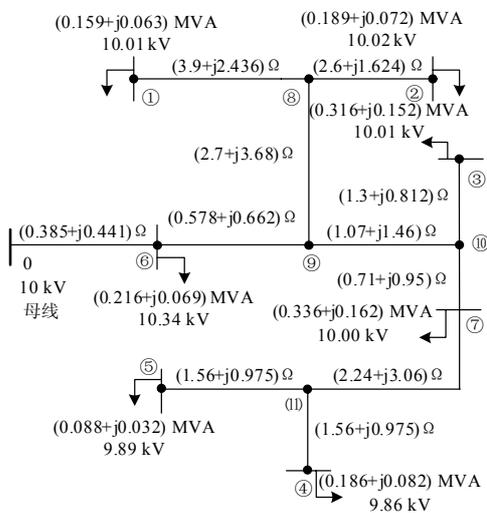


图 3 某 10 kV 配电网网络结构图

Fig. 3 A 10 kV distribution network structure

其中, 0 节点实测电流有效值为 95 A, 导线型号如下:  $l_{6-0}$ 、 $l_{9-6}$ ——YJV22-3\*240;  $l_{8-9}$ 、 $l_{10-9}$ 、 $l_{7-10}$ 、 $l_{11-7}$ ——LGJ-120;  $l_{1-8}$ 、 $l_{2-8}$ 、 $l_{3-10}$ 、 $l_{4-11}$ 、 $l_{5-11}$ ——LGJ-50。

运用本文 2 节中步骤(2)所述方法进行计算, 得到的数据如表 1。

表 1 末端负荷回代计算后得到的数据

Tab.1 Terminal load backward calculated data

节点电压/kV	线路损耗/MVA	节点或线路输出功率/MVA
$U_8 = 10.084$	$\Delta\tilde{S}_{l(1-8)} = 0.00113+j0.000711$	$\tilde{S}_8 = 0.350197+j0.136333$
$U_{10} = 10.06$ 3	$\Delta\tilde{S}_{l(2-8)} = 0.001059+j0.000622$	$\tilde{S}_{11} = 0.274803+j0.114501$
$U_{11} = 9.903$	$\Delta\tilde{S}_{l(3-10)} = 0.001595+j0.000996$	$\tilde{S}_{10-3} = 0.317595+j0.152996$
	$\Delta\tilde{S}_{l(5-11)} = 0.000140+j0.000087$	
	$\Delta\tilde{S}_{l(4-11)} = 0.000663+j0.000414$	

下面搜寻未知损耗的线路如下:  $l_{6-0}$ 、 $l_{9-6}$ 、 $l_{8-9}$ 、 $l_{10-9}$ 、 $l_{7-10}$ 、 $l_{11-7}$ , 将它们列为集合 A。

接着结合表 1 中得到的数据, 依照步骤 (4), 初次将 A 集合中可以计算损耗的线路进行计算, 计算结果如表 2。

表 2 初次对 A 集合线路进行计算得到的数据

Tab.2 Data of first calculating the line's loss in collection A

节点电压/kV	线路损耗/MVA	节点或线路输出功率/MVA
$U_9 = 10.228$	$\Delta\tilde{S}_{l(8-9)} = 0.003750+j0.005111$	$\tilde{S}_7 = 0.612827+j0.279266$
	$\Delta\tilde{S}_{l(11-7)} = 0.002024+j0.002765$	$\tilde{S}_{9-8} = 0.353947+j0.141444$

继续依照步骤 (5), 再结合表 2 中数据, 按照线路损耗的可计算条件, 依次计算出线路  $l_{7-10}$ 、 $l_{10-9}$ 、 $l_{9-6}$ 、 $l_{6-0}$  的损耗, 计算结果如表 3。

表 3 依次对 A 集合其它线路计算得到的数据

Tab.3 Data of calculating the line's loss remained in collection A in turn

计算次序	线路损耗/MVA	节点输出功率/MVA
1	$\Delta\tilde{S}_{l(7-10)} = 0.003220+j0.004309$	$\tilde{S}_{10} = 0.933642+j0.436571$
2	$\Delta\tilde{S}_{l(10-9)} = 0.011224+j0.015315$	$\tilde{S}_9 = 1.298813+j0.593330$
3	$\Delta\tilde{S}_{l(9-6)} = 0.011266+j0.012903$	$\tilde{S}_6 = 1.526079+j0.675233$
4	$\Delta\tilde{S}_{l(6-0)} = 0.010028+j0.011486$	$\tilde{S}_0 = 1.536107+j0.686719$

再根据 2 节中步骤 (7), 经过计算可得通过线路  $I_{6-0}$  的电流  $I_{0-6} = 94 \text{ A}$ , 则修正系数  $K = 1.021$ , 将各条线路的损耗乘以修正系数, 便得到最终的线路损耗情况。

#### 4 结论

本文给出的配电网线损理论计算方法原理简单, 思路清晰, 同时充分考虑了线路电抗、实际负荷分布、节点电压等对理论线损计算精度有影响的因素, 而且不需进行循环计算, 也就不存在收敛性的问题。随着配电网综合自动化水平的不断提高, 各种远方自动数据采集系统的逐渐应用, 配电网测量数据也将会越来越完整、准确, 为此改进传统的配电网理论线损计算方法, 提高计算精度将是必要的, 在这里也希望本文可以为以后的深入研究提供一个参考。

#### 参考文献

- [1] 虞忠年, 陈星莺, 刘昊. 电力网电能损耗[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995: 12-30.
- [2] 卫志农, 鞠平, 董峰, 等. 基于潮流计算的电力网线损理论计算[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2000, 28(6): 43-46.  
WEI Zhi-nong, JU Ping, DONG Feng, et al. Calculation of theoretical transmission energy loss based on load flow[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2000, 28(6): 43-46.
- [3] 孙健, 江道灼, 刘志华. 基于前推回代的配电网潮流改进算法[J]. 电力系统自动化设备, 2004, 3(21): 13-16.  
SUN Jian, JIANG Dao-zhuo, LIU Zhi-hua. Modified power flow algorithm of distribution network based on forward/backward sweep method[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 3(21): 13-16.
- [4] 马瑾, 徐建源, 王胜辉, 等. 辐射状配电网的潮流计算[J]. 沈阳工业大学学报, 2004, 26(1): 37-40.  
MA Jin, XU Jian-yuan, WANG Sheng-hui, et al. Power flow calculation for radial distribution networks[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2004, 26(1): 37-40.
- [5] 丁心海, 罗毅芳, 刘巍, 等. 配电网线损理论计算的实用方法—改进迭代法[J]. 电网技术, 2000, 24(1):

39-42.

- DING Xin-hai, LUO Yi-fang, LIU Wei, et al. A new practical method for calculating line loss of distribution network-improved iteration method[J]. Power System Technology, 2000, 24(1): 39-42.
- [6] 黄训诚, 何方国, 齐欢. 基于支持向量回归的配电网线损计算模型[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 51-54.  
HUANG Xun-cheng, HE Fang-guo, QI Huan. Calculation of energy losses in distribution system based on a support vector regression model[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 51-54.
  - [7] 李秀卿, 汪海, 许传伟, 等. 基于免疫遗传算法优化的神经网络配电网线损计算[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 36-39.  
LI Xiu-qing, WANG Hai, XU Chuan-wei, et al. Calculation of line losses in distribution systems using artificial neural network aided by immune genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(11): 36-39.
  - [8] 陈得治, 郭志忠. 基于负荷获取和匹配潮流方法的配电网理论线损计算[J]. 电网技术, 2005, 29(1): 80-84.  
CHEN De-zhi, GUO Zhi-zhong. Distribution system theoretical line loss calculation based on load obtaining and matching power flow[J]. Power System Technology, 2005, 29(1): 80-84.
  - [9] 杨霖, 王卫东, 陈得治, 等. 基于测量的中压配电网线损计算研究[J]. 继电器, 2005, 33(3): 28-33.  
YANG Lin, WANG Wei-dong, CHEN De-zhi, et al. A Research on theoretical energy loss of medium-voltage distribution networks based on measurements[J]. Relay, 2005, 33(3): 28-33.
  - [10] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 73-76.

收稿日期: 2009-08-12

作者简介:

张宗伟 (1981-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统理论线损计算和状态估计研究工作; E-mail: zzw330@126.com

张鸿 (1974-), 男, 高级工程师, 从事电网理论线损计算和线损管理工作。