

配电网降低线损的误区研究

贺先豪¹, 彭建春¹, 龚演平²

(1. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 广东电网公司惠州供电局, 广东 惠州 516001)

摘要: 传统上认为提高配电网运行电压可以降低线损。首先分析了线路损耗和运行电压之间的关系, 并得出了以下结论: 配电变压器处于重载运行时, 提高运行电压可以降低线路损耗; 配电变压器处于轻载运行时则相反。然后推导了确定最小线损运行电压的方法。最后通过现场试验验证了此方法的有效性和实用性。

关键词: 配电网; 线损计算; 最佳运行电压

Research on the misunderstandings on reducing line losses of distribution network

HE Xian-hao¹, PENG Jian-chun¹, GONG Yan-ping²

(1. College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 2. Huizhou Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corp., Huizhou 516001, China)

Abstract: Traditional theory regards that line losses can be reduced by increasing running voltage in distribution network. Firstly, the relation between line losses and running voltage are analyzed in the paper and a conclusion is drawn that when the distribution transformer is under the condition of heavy-load operation, improving running voltage can decrease line losses while the result is opposite when the distribution transformer is under the condition of light-load operation. Then, the method of determining running voltage with the least line loss is derived. Finally, dynamic power system experimentations are carried out. Experimentation results show that the proposed method is efficiency and applicable.

Key words: distribution network; line loss calculation; optimum running voltage

中图分类号: TM734 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)01-0096-04

0 引言

线损是电网电能损耗的简称。线损率是电网中损耗的电量与供应的电量的百分数, 是反映电网规划设计、技术装备和经济运行水平的综合性技术经济指标, 是电网经营企业衡量电能损耗的经济技术指标^[1-2]。电力企业一直都高度重视线损工作, 降低线损对实现配电网的经济运行、提高供电企业的经济效益具有重要的意义^[2-14]。传统上认为, 在电网输送的有功功率不变的情况下, 升高电网的运行电压, 通过电网的电流就会相应的减小, 负载的损耗也会相应的降低, 从而可以降低电网的线损率。本文结合生产实际, 首先分析了线路损耗和运行电压之间的关系得出: 配电变压器处于重载运行时, 提高运行电压可以减低损耗, 而配电变压器处于轻载运行时则相反。然后推导了确定最小线损运行电压的方法。现场试验验证了该方法的有效性和实用性。

1 配电网降低线损的误区研究

1.1 配电网线损的构成

配电网线损包括固定损耗、可变损耗和其他损耗^[3,5]。

固定损耗, 它与通过元件的负荷功率的电流无关, 而与电力网元件上所加的电压有关。只要设备带有电压, 就要消耗电能, 就有损耗。固定损耗主要包括变压器、调相机、调压器、电抗器、消弧线圈等设备的铁损等。

可变损耗, 其大小随着负荷的变动而变化, 它与通过电力网各元件中的负荷功率或电流的二次方成正比, 电流越大, 损失越大。它主要包括: 线路、变压器、调相机、调压器、电抗器、互感器、消弧线圈等设备的铜损等。

其他损耗是指由于管理工作不善, 规章制度不健全或执行不力。以及其他不明因素在供用电过程中的造成的损耗, 也称为管理线损或不明损耗。主要包括指抄表差错、计量仪表不准、偷窃电等管理

不妥引起的损耗。

1.2 降低线损的误区研究

总的来说, 配电网的线损主要由配电线路和配电变压器的能量损耗两部分组成。其中线路和变压器的可变损耗与运行电压的平方成反比, 变压器的铁耗与运行电压的平方成正比。

一般地认为, 在电网输送的有功功率不变的情况下, 提高主变电压, 线路电流会相应减少, 线路损耗会随之降低^[4]。因此在允许范围内适当提高主变运行电压可以降低配电网的线损, 收到良好的经济效益。当变压器处于重负荷运行时, 由于铜耗所占的比重大于铁耗, 此时提高配电网的运行电压可以有效地降低线损。但运行电压并非越高越好。因为当配电网轻载时, 由于铁耗所占的比重大于铜耗, 此时若提高运行电压反而会增加配电网线损。可见, 在保证配电网电压质量的前提下, 提高主变运行电压并不一定能够降低配电网线损, 有时反而会升高线损。根据以上分析, 只有根据配电网负荷的大小使配电网在最佳运行电压下运行, 才可以达到降低线损的目的。

2 最小线损运行电压的确定方法

2.1 建立电压与线损的目标函数

理论线损的计算依据是: 整个电网的电能损耗的计算建立在各个电网元件的电能损耗计算基础上。电网的电能损耗是电网内同一时段内各元件电能损耗的总和。

35 kV及以上电网为多电源的复杂电力网的电能损耗, 一般采用潮流计算方法。而10 kV及以下中低压配网在满足实际工程计算精度的前提下, 可采用均方根电流法及等值电阻法进行计算^[6]。

假设配电网中有 n 回出线, m 台配电变压器, 在没有进行电压调节前各配电变压器在额定电压 U_N 下运行。并假设:

(1) 每台配电变压器的运行电压近似看作相等;

(2) 电网频率近似看作不变;

(3) 配电网稳定运行。

m 台配电变压器的铁耗为:

$$\Delta P_{Fe} = \sum_{j=1}^m \Delta P_{Fej} = (U/U_N)^2 \sum_{j=1}^m P_{Fej} \quad (1)$$

其中: ΔP_{Fe} 为配电变压器的总铁耗; ΔP_{Fej} 为第 j 台配电变压器的铁耗; P_{Fej} 为第 j 台配电变压器的空载损耗; U_N 为第 j 台配电变压器的额定电压。

线路的总损耗为:

$$\Delta P_1 = 3I_{11}^2 R_{11} + 3I_{12}^2 R_{12} + \dots + 3I_{1n}^2 R_{1n} =$$

$$\frac{S_1^2 R_{11}}{U^2} + \frac{S_2^2 R_{12}}{U^2} + \dots + \frac{S_n^2 R_{1n}}{U^2} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i^2 R_{1i}}{U^2} \quad (2)$$

其中: R_{1i} 为第 i 回线的等值电阻; ΔP_1 为线路的损耗; U 为配电变压器运行电压; S_i 为第 i 回线路的总的视在功率。 I_{1i} 为第 i 回线路的总电流。

m 台配电变压器的铜耗为:

$$\Delta P_{cu} = \sum_{j=1}^m \Delta P_{cu j} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{U_N}{U} \right)^2 \left(\frac{S_j}{S_{Nj}} \right)^2 P_{cu j} \quad (3)$$

其中: ΔP_{cu} 为配电变压器的总铜耗; $\Delta P_{cu j}$ 为第 j 台配电变压器的铜耗; S_j 为第 j 台配电变压器的视在功率; S_{Nj} 为第 j 台配电变压器额定视在功率; $P_{cu j}$ 为第 j 台配电变压器的短路损耗。

固定损耗变化的百分率为:

$$\Delta P_{Fe} \% = \frac{\sum_{j=1}^m P_{Fej} \left(\frac{U}{U_N} \right)^2 - \sum_{j=1}^m P_{Fej} \left(\frac{U_N}{U_N} \right)^2}{\sum_{j=1}^m P_{Fej} \left(\frac{U_N}{U_N} \right)^2} \times 100\% = \left[\left(\frac{U}{U_N} \right)^2 - 1 \right] \times 100\% \quad (4)$$

线路损耗变化的百分率为:

$$\Delta P_1 \% = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 R_{1i} \frac{1}{U^2} - \sum_{i=1}^n (S_i')^2 R_{1i} \frac{1}{U_N^2}}{\sum_{i=1}^n (S_i')^2 R_{1i} \frac{1}{U_N^2}} \times 100\% = \left[\left(\frac{U_N}{U} \right)^2 - 1 \right] \times 100\% \quad (5)$$

其中: S_i' 为电压为 U_N 时第 i 回线配电变压器总的视在功率。电网电压的变动会导致线路的视在功率发生变化, 但在满足电能质量的前提下, 电网电压变动很小, 因而视在功率的变化也很小, 近似认为: $S_i' = S_i$ 。

变压器铜耗变化的百分率为:

$$\Delta P_{cu} \% = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{U_N}{U} \right)^2 \left(\frac{S_j}{S_{Nj}} \right)^2 P_{cu j} - \sum_{j=1}^m \left(\frac{U_N}{U_N} \right)^2 \left(\frac{S_j}{S_{Nj}} \right)^2 P_{cu j}}{\sum_{j=1}^m \left(\frac{U_N}{U_N} \right)^2 \left(\frac{S_j}{S_{Nj}} \right)^2 P_{cu j}} \times 100\% \quad (6)$$

其中： S'_j 为电压为 U_N 时第 j 台配电变压器的视在功率；近似认为： $S'_j = S_j$ 。

总损耗变化的百分率为：

设固定损耗占总损耗的百分率为 C ，则可变损耗占总损耗的百分率为 $1-C$ ，总损耗变化的百分率为：

$$\Delta P\% = \left\{ C \left[\left(\frac{U}{U_N} \right)^2 - 1 \right] + (1-C) \left[\left(\frac{U_N}{U} \right)^2 - 1 \right] \right\} \times 100\% \quad (7)$$

本文旨在通过改变运行电压，减小线损。目标函数建立要使总损耗变化为最小，由以上的分析可以得到目标函数为：

$$\text{Min}(\Delta P\%) = \text{Min} \left\{ C \left[\left(\frac{U}{U_N} \right)^2 - 1 \right] + (1-C) \left[\left(\frac{U_N}{U} \right)^2 - 1 \right] \right\} \times 100\% \quad (8)$$

2.2 最佳运行电压的确定

由公式(7)可知，总损耗变化是运行电压的函数，总损耗变化对运行电压求微分，并令其导数为0，解得总损耗变化最小时的最佳运行电压 U' 和总损耗变化的最小值 $\text{Min}(\Delta P\%)$ ，即：

$$U = U_N \sqrt[4]{\frac{1-C}{C}} \quad (9)$$

将由公式(9)得到的 U 值代入到公式(7)中，得到总损耗变化的最小值：

$$\text{Min}(\Delta P\%) = 2\sqrt{C(1-C)} - 1 \quad (10)$$

由公式(9)可知，固定损耗在总损耗中的比重大于50%时，降低电压，可使线损减小；固定损耗在总损耗中的比重小于50%时，提高电压，可使线损减小。在公式(10)中，由于 $C(1-C) \leq \frac{1}{4}$ ，因此 $\text{Min}(\Delta P\%) \leq 0$ 。总损耗变化最小时的电压值也是线损最小时的电压值。根据由公式(9)得到的电压值是否满足负荷对电压的要求，最佳运行电压的确定方法如下：

(1) 如果由公式(9)得到的电压 U 满足负载对电压的要求，即 $U_{\min} \leq U \leq U_{\max}$ ，此电压为最佳运行电压，最佳运行电压 $U' = U$ 。则总损耗变化的最小值：

$$\text{Min}(\Delta P\%) = 2\sqrt{C(1-C)} - 1 \quad (11)$$

(2) 如果电压 $U \leq U_{\min}$ ，则最佳运行电压 $U' = U_{\min}$ 。则总损耗变化的最小值：

$$\text{Min}(\Delta P\%) =$$

$$\left\{ C \left[\left(\frac{U_{\min}}{U_N} \right)^2 - 1 \right] + (1-C) \left[\left(\frac{U_N}{U_{\min}} \right)^2 - 1 \right] \right\} \times 100\% \quad (12)$$

(3) 如果电压 $U \geq U_{\max}$ ，则最佳运行电压 $U' = U_{\max}$ 。则总损耗变化的最小值：

$$\text{Min}(\Delta P\%) = \left\{ C \left[\left(\frac{U_{\max}}{U_N} \right)^2 - 1 \right] + (1-C) \left[\left(\frac{U_N}{U_{\max}} \right)^2 - 1 \right] \right\} \times 100\% \quad (13)$$

3 现场实验

为验证上述最佳运行电压确定方法的正确性，作者在某变电站在电网输送的有功功率不变的情况下进行了现场试验，其主变配电网相关数据见表1，配电变压器的额定电压为10.5 kV。不同运行电压下的线损率如表2所示。

表1 主变配电网参数

Tab.1 Distribution network parameters

线路名称	长路线	铁岭线	金岭线	银岭线	树木线
有功电量/(kWh/24 h)	35 864	48 240	28 800	4 320	14 800
变压器铜损/kWh	67	38	46	31	9
变压器铁损/kWh	181	184	146	151	210
线路损耗/kWh	294	250	81	10	121

表2 不同运行电压下的线损率

Tab.2 Line loss ratio under different running voltage

运行电压/kV	线损率/(%)
10.5	6.832
10.7	6.750
10.8	6.803

根据该变电站主变配电网的实际运行情况，由表一中的数据可得到总的固定损耗为872 kWh，总的可变损耗为947 kWh，总损耗为1 819 kWh，固定损耗的百分率 $C=0.4794$ ，可变损耗的百分率 $1-C=0.5206$ ，将有关数据代入公式(9)中，得到的运行电压为10.72 kV，由于此电压值大于我分公司满足电能质量的最高电压值10.8 kV，最佳运行电压确定为10.72 kV，但在生产现场通过调节主变压器的分接头调节到最靠近10.72 kV的档位即10.7 kV档位运行，表2就是不同运行电压下的线损率，由表2可以看出，在最佳运行电压以下，线损率随着电压的升高而降低，在最佳运行电压以上，线损率随着运行电压的升高而降低。与额定电压相比在最佳运行电压下，线路损耗降低了0.082%，将表1分析的数

据代入公式(10)可以得到理论上运行在最佳电压下比运行在额定电压下的线损低0.084908%,基本上和现场数据相符合。按此标准计算,该变电站的配电网2005年年消耗的有功功率为383 662 500 kWh,一年内少损失的电量为: $383662500 \times 0.00082 = 314603.25$ kWh。如果每度电按0.58元计算,一年内可以减少的损失为: $0.58 \times 314603.25 = 182470$ 元。

4 总结

本文通过分析线路损耗和运行电压之间的关系得出:配电变压器处于重载运行时,提高运行电压可以减低损耗,配电变压器处于轻载运行时则相反。通过建立电压与线损的目标函数,推导了确定最小线损运行电压的方法,并通过现场试验验证了此方法的有效性和实用性。

参考文献

- [1] DL/T 686—1999. 电力网电能损耗计算导则[S]. 中华人民共和国电力行业标准, 1999.
- [2] 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 Jian-min, LI Xiao-ping. Calculation of Scheduled Loss Ratio and Its Assessment[J]. Power System Technology, 2003, 27(7): 40-42.
- [3] 柯青峰. 配电网线损分析法[J]. 东北电力技术, 2006, 27(6): 31-33.
KE Qing-feng. Line Loss Analysis of Power Distribution Network[J]. Northeast Electric Power Technology, 2006, 27(6): 31-33.
- [4] 朱发国. 基于现场监控终端的配网线损计算[J]. 电网技术, 2001, 25(5): 38-40.
ZHU Fa-guo. Loss Calculation Method for Distribution Network with Information from Field Terminal Units[J]. Power System Technology, 2001, 25(5): 38-40.
- [5] 江北, 刘敏, 陈建福, 等. 地区电网降低电能损耗的主要措施分析[J]. 电网技术, 2001, 25(4): 62-65.
JIANG Bei, LIU Min, CHEN Jian-fu, et al. Methods to Reduce Line Losses in Regional Network[J]. Power System Technology, 2001, 25(4): 62-65.
- [6] 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 Da-li . Exploration of Computation Method for Power Consumption in Interconnected Power System[J]. Power System Technology, 1995, 19(8): 55-58.
- [7] 辛开远, 杨玉华, 陈富. 计算配电网线损的 GA 与 BP 结合的新方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(2): 79-82.
XIN Kai-yuan, YANG Yu-hua, CHEN Fu. An Advanced Algorithm Based on Combination of GA with BP to Energy Loss of Distribution System[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(2): 79-82.
- [8] 崔凤亮. 电力网电能损耗在线管理系统的应用[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(3): 73-75.
CUI Feng-liang. On-line Management System for the Line Loss of Power Network and Its Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(3): 73-75.
- [9] 袁慧梅, 郭喜庆, 于海波. 中压配电网线损计算新方法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(11): 50-53.
YUAN Hui-mei, GUO Xi-qing, YU Hai-bo. New Method for Calculating Energy Losses in Medium-voltage Distribution Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(11): 50-53.
- [10] 张伏生, 李燕雷, 汪鸿. 电网线损理论计算与分析系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(4): 19-23.
ZHANG Fu-sheng, LI Yan-lei, WANG Hong. The Theoretical Energy Loss Calculating & Analysis System for Electric Network[J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(4): 19-23.
- [11] 罗毅芳, 刘巍, 施流忠, 等. 电网线损理论计算与分析系统的研制[J]. 中国电力, 1997, 30(9): 37-39.
LUO Yi-fang, LIU Wei, SHI Liu-zhong, et al. Development of Theoretical Calculating and Analysis System for Line Losses of Power Network[J]. Electric Power, 1997, 30(9): 37-39.
- [12] 段德文, 李韶山. 京津唐电网 2000 年 110 kV 及以上系统线损理论计算与分析[J]. 华北电力技术, 2001,(7): 47-50.
DUAN De-wen, LI Shao-shan. Theoretical Calculation and Analysis on Line Losses of 110 kV and Above System in Beijing-Tianjin-Tangshan Power Network in 2000[J]. North China Electric Power, 2001,(7): 47-50.
- [13] 范荻, 陈宁, 李群炬. 京津唐电网线损理论计算与分析[J]. 华北电力技术, 2002,(6): 16-24.
FAN Di, CHEN Ning, LI Qun-ju. Line Loss Computation in Theory&Analysis of Beijing-Tianjin-Tangshan Power Network[J]. North China Electric Power, 2002,(6): 16-24.
- [14] 邓伟, 陈宁. 2002 年京津唐电网 110 kV 线损理论计算结果与分析[J]. 华北电力技术, 2003,(2): 1-6.
DENG Wei, CHEN Ning. Result Review and Analysis 110 kV Transmission Line Loss Theoretical Calculation for Beijing-Tianjin-Tangshan power Network[J]. North China Electric Power, 2003, (2): 1-6.

收稿日期: 2009-01-16; 修回日期: 2009-03-04

作者简介:

贺先豪(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力市场的优化运行; E-mail:hxx8111@163.com

彭建春(1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电力市场, 电力系统优化运行与控制的研究;

龚演平(1983-), 男, 工程师, 主要从事电力系统运行与控制方面的工作。