

基于等值电阻和回归分析的配电网降损潜力研究

顾 江¹, 陆 涟¹, 杨 江², 柴连营²

(1.无锡供电公司,江苏 无锡 214061;2.天地电研(北京)科技有限公司,北京 102206)

摘 要:以配电网中 10 kV 线路层和 0.4 kV 台区层为研究对象,综合运用等值电阻法和回归分析法,构建配电网线损计算模型。利用此模型对配电网不同降损措施的降损潜力进行计算分析,进而优选出降损潜力大、经济效益好的降损措施,能有助于电力企业的项目决策。

关键词:配电网;线损;线损理论计算;降损潜力

中图分类号:TM744

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2015)03-0061-03

在电力网的电能损耗中,配电网线损所占比例最大,因此,研究配电网的降损潜力对电力企业运营效益的提升具有重要意义。按照线损性质,配电网的实际线损分为技术线损和管理线损。分析配电网的技术降损潜力,需要找出影响配电网线损的技术因素,即配电网技术线损的薄弱环节,根据统计供电量和售电量,用其差值求得统计线损。因为含有部分不明损失(管理线损),故不能有针对性地制定最有效的降损措施。现有文献大都集中在配电网线损计算方法的理论研究,或者是对单条 10 kV 线路(单个低压台区)理论线损率的实际计算上,而对于某一地区整体配电网线损率计算以及降损措施的优选,并没有给出行之有效且简便易行的方法和流程。为此,文中在配电网常规理论计算方法的基础上,构建了基于等值电阻和回归分析的配电网线损计算模型,并优选出适合本地区的最优降损措施。

1 配电网降损措施

根据配电网元件(线路或变压器)中的功率损耗的关系式:

$$\Delta P = 3I^2 R \quad (1)$$

式中: I 为通过各元件的电流; R 为元件的电阻。可以看出,降低电力网的线损有 2 种途径:减小流过元件中的电流和减少元件的电阻。在用电负荷一定的情况下:(1)减小流过元件中的电流,所采取的措施是提高供电电压和负载的功率因数,提高供电电压可将高电压引入负荷中心,避免较低电压等级的线路长距离供电;提高负载的功率因数则能是将电网中大量存在的无功负荷就地平衡掉。(2)减小元件的电阻,所采取的途径是:加大导线的截面面积;对于变压器和计量设备,要采取新型、节能型的设备^[1-3]。

因此,降低配电网的技术损耗,可采取以下措施:

(1) 优化网络结构;(2)合理选择导线截面;(3)平衡

配电网的三相负荷;(4)调整负荷做好削峰填谷工作;(5)变压器经济运行;(6)配电网无功补偿;

对于某一地区的配电网,不同降损措施的降损潜力各不相同。为了优选出降损潜力大的降损措施,需计算不同降损措施实施前后整体配电网的理论线损率。

2 配电网线损计算模型

2.1 配电网线损计算范围

配电网包括 10 kV 电网层和 0.4 kV 电网层。因此文中将分别构建 10 kV 电网层和 0.4 kV 电网层的线损计算模型,运用此模型评估不同配电网降损措施的降损潜力大小。其中,10 kV 电网层线损计算范围包括 10 kV 线路和公用配电变压器;0.4 kV 电网层线损计算范围为 0.4 kV 线路。

2.2 配电网线损计算方法

目前较为实用的线损计算方法包括传统计算方法和潮流计算方法两大类,其中传统计算方法有均方根电流法、平均电流法、最大电流法、最大负荷损失小时法、等值电阻法、回归分析法等。

传统计算方法和潮流计算方法在计算配电网线损时各有优缺点。潮流计算方法能够比较精确的计算出配电网线损,但是配电网复杂的自身特点,使得潮流计算所需的基础数据很难获得,因此潮流计算的实用性不高。传统计算方法在原理上采用了对配电网网络和运行数据的一些等效、简化,在满足一定精度要求的情况下,能够快速、方便的计算出配电网线损。

2.3 10 kV 电网层线损计算模型

2.3.1 10 kV 线路损耗计算模型

运用等值电阻法推导 10 kV 线路损耗计算模型。

(1) 线路节段的定义。配电网阶段划分如图 1 所示。将配电网中从母线(或 T 接点)到配电变压器或从一台配电变压器到另一台配电变压器之间的那段线路称为配电网线路的节段^[4]。假设全网有 n 个节段, m 台配电变压器,第 i 个节段的电阻为 R_i ,后面挂 j 台配电

变压器。则流经此节段的负荷电流为:

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{3} U} \sum_{j=1}^{m_i} k_j S_j \quad (2)$$

式中: k_j 为第 j 台配变的平均负荷率; S_j 为第 j 台配电变压器的额定容量。第 i 个节段线路的可变损耗为:

$$\Delta P_{Li} = 3 I_{\text{eff}}^2 R_i = \frac{R_i}{U^2} \left(\sum_{j=1}^{m_i} k_j S_j \right)^2 \quad (3)$$

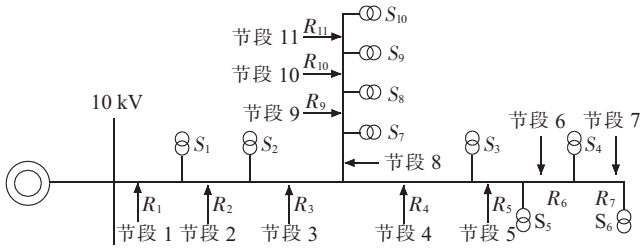


图1 配电网节段划分示意图

(2) 线路等值电阻的定义。当配电网总电流流过某一电阻 R_{Leq} 所引起的电能损耗等于配电网所有节段可变损耗总和时,则称此电阻 R_{Leq} 为线路等值电阻^[5]。

(3) 线路等值电阻的推导。根据线路等值电阻的定义,可得下式:

$$\Delta P_L = 3 I_{\text{eff}}^2 R_{\text{Leq}} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{R_i}{U^2} \left(\sum_{j=1}^{m_i} k_j S_j \right)^2 \right] \quad (4)$$

式中: I_{eff} 为线路总负荷电流,可有全网配电变压器负载率表示:

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{3} U} \sum_{j=1}^{m_i} k_j S_j \quad (5)$$

将式(5)带入式(4),可推导出配电网 R_{Leq} 为:

$$R_{\text{Leq}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \left(\sum_{j=1}^{m_i} S_j \right)^2}{\left(\sum_{j=1}^m S_j \right)^2} \quad (6)$$

(4) t 时段内配电网 10 kV 线路电能损耗为:

$$\Delta W_L = 3 I_{\text{eff}}^2 R_{\text{Leq}} t \quad (7)$$

2.3.2 配电变压器损耗计算模型

配电变压器损耗分为铁损(空载损耗)和铜损(负载损耗)两部分。铁损对某一型号变压器来说是固定的,与负载电流无关;铜损与变压器负载率的平方成正比^[6]。配电变压器损耗计算公式为:

$$\Delta W_T = \Delta P_0 T + \beta^2 \Delta P_k \tau_{\text{max}} \quad (8)$$

式中: P_0 为变压器空载损耗,与变压器型号、容量有关; β 为变压器负载率; P_k 为变压器额定功率下的负载损耗,同样与变压器型号有关; T 为变压器运行小时数; τ_{max} 为最大负荷损耗小时数,可根据 T_{max} 大小查表取得。 P_0, P_k 两参数均可在变压器参数表中查得。

由式(8)可以看出:变压器损耗的主要影响因素为变压器型号、容量和变压器负载率。但是,配电网中变压器型号、容量复杂多样,变压器的负载率也不等,若要逐一计算每台变压器的损耗电量显然是不现实的。为解决上述问题,引入概率统计中的回归分析法。

(1) 选取同一型号、不同容量配电变压器的空载损耗和短路损耗作为回归分析的样本;(2) 对不同型号的配电变压器所选样本进行回归分析;(3) 分别建立不同型号配电变压器的空载损耗和短路损耗的回归方程;(4) 统计配电网中同一型号配电变压器的平均容量,并带入回归方程,求得此型号变压器平均空载损耗和短路损耗;(5) 将不同型号配电变压器损耗代数求和,可求得配电网中所有配电变压器的损耗。

假设某一配电网包含配电变压器型号有 S9 型、S11 型、SBH15 型,则其电能损耗为:

$$\Delta W_T = \Delta W_{\text{TS9}} + \Delta W_{\text{TS11}} + \Delta W_{\text{TSBH15}} \quad (9)$$

其中, $\Delta W_{\text{TS9}}, \Delta W_{\text{TS11}}, \Delta W_{\text{TSBH15}}$ 分别为 S9 型、S11 型、SBH15 型变压器电能损耗。

2.3.3 10 kV 电网层损耗计算模型

在分别推导出 10 kV 线路和配电变压器的损耗计算模型后,将两者代数相加,即可构建 10 kV 电网层的损耗计算模型。

10 kV 电网层电能损耗计算模型为:

$$\Delta W_{10} = \Delta W_L + \Delta W_T \quad (10)$$

2.4 0.4 kV 电网层线损计算模型

0.4 kV 电网层理论线损计算的计算范围为配电变压器低压侧出线端至用户电表进线端之间的低压线路。同样运用等值电阻法推导其电能损耗计算模型,表达式如下:

$$\Delta W_{0.4} = N I_f^2 R_{\text{eq}} T \quad (11)$$

式中: N 为电力网结构系数,单相两线制供电时取 2.0,三相三线制供电时取 3.0,三相四线制供电时取 3.5; I_f 为线路首端均方根电流; R_{eq} 为低压线路等值电阻。

3 实例计算分析

以无锡市配电网为案例,对其 10 kV 电网的不同降损措施进行降损潜力分析。

3.1 无锡市配电网及其线损现状概述

至 2013 年底,无锡市 10 kV 配电线路 3 609 条,线路总长度 22 194.53 km;配电变压器 65 487 台,总配变容量 33 908.955 MV·A;中压架空线导线截面积分布有 70 mm², 95 mm², 120 mm², 185 mm² 和 240 mm²,中压电缆导线截面积分布有 185 mm², 240 mm², 300 mm² 和 400 mm²;配电变压器型号主要包括 S9 型、S11 型、SBH11 型和 SBH15 型。

无锡市供电公司 2013 年供电量 606.41 亿 kW·h, 售电量 593.82 亿 kW·h, 供电最高负荷 10 155 MW。10 kV 电网线损率 2.69%。

3.2 无锡市配电网降损潜力分析

配电网降损潜力分析流程如图 2 所示。首先,运用线损计算模型计算出无锡市配电网现状理论线损率;其次,计算每项降损措施实施后的配电网理论线损率;然后,由降损措施实施前后的线损率求得此项措施的降损潜力;最后,对比每项降损措施的降损潜力大小,优选出适合无锡市配电网的最优降损措施。

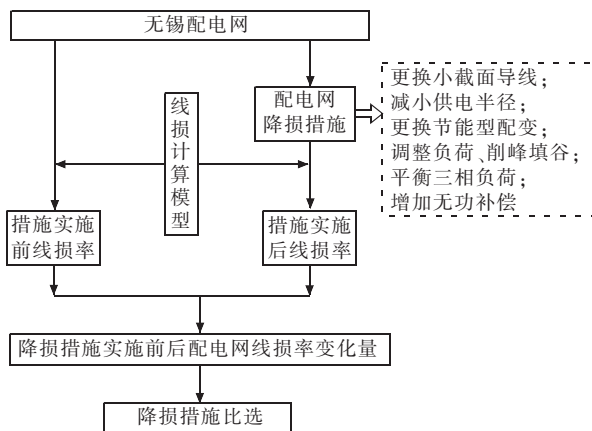


图 2 配电网降损潜力分析流程

根据 2.2 节 10 kV 电网层线损计算模型,结合无锡市 2013 年配电网运行参数和设备参数,10 kV 电网层现状的理论线损率为 2.63%,比实际统计值低了 0.06 个百分点。实施不同降损措施后,无锡公司 10 kV 电网层理论线损率的计算结果如表 1 所示。

表 1 不同降损措施降损潜力一览

措施	措施说明	理论线损率/%	线损变化率/%
更换小截面导线	120 mm ² 及以下导线更换为 240 mm ²	2.01	23.57
减小供电半径	供电半径减小 10%	2.32	11.79
更换节能型配变	S9 型配变更换为 S13 型	2.53	3.80
削峰填谷	负荷波动减小 5%	2.46	6.46
增加无功补偿	功率因数提高到 0.95	2.25	14.45

注:线损变化率以 2.63% 为基准。

由上述计算结果可知:对于无锡市 10 kV 配电网,更换小截面导线的降损潜力最大,后面依次为增加无功补偿、减小供电半径、削峰填谷、更换节能型配变。

不同地区的配电网设备水平、结构、运行方式等均不同,因此其不同降损措施的降损潜力亦不相同。同时,通过营销稽查对用户违约用电(超容)、窃电查处等工作的加强也是降低管理线损的主要途径。

4 结束语

在传统线损计算方法的基础上,综合运用等值电阻法和回归分析法,构建了配电网线损计算模型。利用此模型不仅可以计算单条 10 kV 线路或单个低压台区的理论线损率,而且可以计算某一地区整体配电网的理论线损率。另外,通过此模型,能够计算不同降损措施实施后,配电网理论线损率的减小量,进而评估不同降损措施的降损潜力,优选降损潜力大、经济效益高的降损措施,为电力企业的项目决策提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 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):54-57,63.
- [2] 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):18-23.
- [3] 唐华轩. 南宁市区 10 kV 及以下配网线损管理存在问题及对策[J]. 广西电力,2009(1):47-48.
- [4] 王向新. 用平均电流等值电阻法计算配网线损时线路等值电阻的计算[J]. 宁夏电力,1994(3):88-90.
- [5] 陈海涵,程启诚. 等值电阻法计算配电网损耗的理论和实践[J]. 广东电力,2004,17(3):5-8.
- [6] 刘 俊,田英杰. 理论线损分析系统在上海电网的实现和应用[J]. 华东电力,2009,37(1):28-30.

作者简介:

顾 江(1975),男,江苏无锡人,助理工程师,从事电网线损管理工作;

陆 涟(1967),女,江苏无锡人,工程师,从事电网管理工作;

杨 江(1982),男,江西南昌人,工程师,从事电网规划与自动化等工作;

柴连营(1989),男,河北沧州人,工程师,从事电网规划与自动化等工作。

Loss Reduction Potential of Distribution Network Based on Equivalent Resistance and Regression Analysis

GU Jiang¹, LU Lian¹, YANG Jiang², CHAI Lianying²

(1. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China; 2. Beijing T&D Power Research Co. Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: Taking the 10 kV line layer and 0.4 kV interval in distribution network as research objects and using the equivalent resistance method and regression analysis method, this paper proposes a model for distribution network line losses calculation. With the proposed calculation model, different measures for loss reduction in distribution network are calculated and analyzed. Based on the analysis, the best measure in terms of loss reduction potential and economic benefit can be selected. The proposed model can support electric power enterprises' project decision.

Key words: power distribution network; line loss; calculating losses; loss reduction potential