

# 浅谈电力变压器的经济运行

万 泉

通用技术集团沈阳机床有限责任公司 辽宁沈阳 110142

**摘 要:** 变压器是电力系统中广泛应用的设备, 变压器是否可节能运行, 关系到用电企业的经济效益。加强对变压器的管理, 充分发挥变压器的能效, 所起到的节约电能降低运行成本起到非常重要的作用, 对变压器的经济运行进行了优化, 以从根本上降低变压器的电能损耗, 提高我国企业的经济效益。

**关键词:** 变电所; 变压器; 经济运行

## 引言

在当今社会, 电力已成为驱动现代文明与进步的核心动力。作为电力系统的关键设备, 电力变压器在电能传输与分配中扮演着至关重要的角色。其经济运行不仅关乎电力系统的稳定性与可靠性, 更直接影响到能源利用效率和环境保护。随着能源需求的不断增长和环保意识的日益增强, 如何实现电力变压器的经济运行已成为业界关注的点。本文旨在探讨电力变压器的经济运行, 分析变压器经济运行的节能原理, 希望通过本文的研究, 能为电力行业的节能减排和可持续发展提供有益的参考与借鉴。

## 一、概述

变压器是电能转换过程中的重要的电器设备, 变压器在电压转换和传递的过程中, 其自身要产生有功功率和无功功率消耗。我公司供电系统由4条10kV供电线路组成, 从10kV总配电站到各个部位变电所由变压器转换为380V, 其中有33台变压器, 根据相关数据统计, 变压器的损耗约占电力系统电能损耗的7-10%。因此变压器的经济运行效益很可观。

## 二、节能原理

变压器经济运行, 是在保证线路安全供电的前提下, 满足供电电量和供电质量, 优化组合技术措施, 在输电量相同的条件下, 通过优化理论及定量计算的方法相结合的一项技术。能有效的提高电力的使用效率和经济效益。本文从理论角度结合我公司实际使用情况进行论述。

(一) 变压器的有功损耗计算公式:

$$\Delta P = P_0 + \beta^2 P_K$$

式中:  $\Delta P$ —有功功率损耗 kW

$P_0$ —变压器空载损耗 kW

$P_K$ —变压器短路损耗 kW

$\beta$ —变压器负载率 %

一台10kV的SGB10-1000kVA干式变压器为例, 查铭牌参数得 $P_0=1770W$ ,  $P_K=8130W$

1. 当此变压器空载运行时  $\Delta P=P_0=1.77$  (kW), 每年电损为  $1.77 \times 24 \times 360=15292.8$  (kWh), 按每度电0.76元计算, 约损失11622.53元。

2. 当此变压器以50%负载运行时  $\Delta P=P_0+0.5^2 \times P_K=1.77+0.25 \times 8.13=3.8$  (kW), 每年电损为  $3.8 \times 24 \times 360=32832$  (kWh), 按每度电0.76元计算, 约损失24952.32元。

3. 当此变压器满负荷运行时  $\Delta P=P_0+P_K=1.77+8.13=9.9$  (kW), 每年电损为  $9.9 \times 24 \times 360=85536$  (kWh), 按每度电0.76元计算, 约损失65007.36元。

由此可见变压器的每年损耗带来的费用是相当可观的, 空载变压器显然易见会造成能源的浪费; 因为铜损随着电流的增加呈指数上升趋势, 满载时变压器的损耗也是相当大, 当变电所安装设有2台以上变压器时, 在满足生产用电前提下, 随着变电所的负荷变化, 经常需要投入或切除变压器。电力变压器运行负荷为额定容量( $S_e$ )的70%-90%左右为经济运行状态。如运行中, 如实测负荷经常小于50%时, 应改变电力变压器的运行方式, 如变电所内有两台并联运行可通过母联供电切除一台, 合理使用所需容量变压器。充分发挥变压器的效能使变压器电能损失达到最低, 选择最合理地运行方式降低用电单耗, 这种运行方式称为变压器的经济运行。

(二) 变压器的经济运行方式即电能损耗最小, 运行费用最低。电力变压器在传输电能过程中功率损失相对于实际输入功率的损失率为最低值时, 实际输出功率于额定容量之比, 为电力变压器经济运行的负载率。

1. 电力变压器的有功损耗为

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 \text{ kW}$$

式中:  $\Delta P$ —有功损耗

$\Delta P_{Fe}$ —空载损耗(铁损)

$\Delta P_{Cu}$ —空载损耗(铜损)

$S_e$ —变压器额定容量

$S$ —变压器实际输入容量

$$K = \frac{\Delta P}{S} = \frac{\left[\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2\right]}{S}$$

$$\frac{dk}{ds} = \frac{\Delta P_{Cu}}{S_e^2} - \frac{\Delta P_{Fe}}{S^2}$$

$$\text{令 } \frac{dk}{ds} = 0, \text{ 得 } S = \sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} \cdot S_e$$

所以, 电力变压器处于经济运行状态时, 有功容量

为  $\sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} \cdot S_e$ , 经济运行负载率为  $\sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}}$

2. 无功经济运行负载率: 电力变压器无功损耗由两部分组成, 一部分无功功率用来产生主磁通:

$$\Delta Q = \frac{I_0\%}{100} \cdot S_e$$

另一部分无功功率消耗在线圈的漏电抗上, 额定负载下这部分无功损耗用  $\Delta Q_e$  表示, 即

$$\Delta Q_e = \frac{U_d\%}{100} \cdot S_e$$

$I_0\%$ —空载电流占额定电流百分数

$U_d\%$ —短路电压(阻抗电压)占额定电压的百分数

因此电力变压器损耗为:

$$\Delta Q = \Delta Q_0 + \Delta Q_e \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 \text{ (kvar)}$$

$$= \frac{I_0\%}{100} \cdot S_e + \frac{U_d\%}{100} \cdot S_e \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2$$

变压器的无功损失率 KQ 为:

$$KQ = \frac{\Delta Q}{S} = \frac{\frac{I_0\%}{100} \cdot S_e + \frac{U_d\%}{100} \cdot S_e \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2}{S}$$

$$\frac{d_{KQ}}{d_s} = \frac{I_0\%}{100} \cdot S_e \cdot S^{-2} + \frac{U_d\%}{100} \cdot S_e \cdot S^{-1}$$

$$\text{令 } \frac{d_{KQ}}{d_s} = 0, \text{ 得 } S = \sqrt{\frac{I_0\%}{U_d\%}} \cdot S_e$$

即当变压器处于无功运行状态时, 无功容量为

$$\sqrt{\frac{I_0\%}{U_d\%}} \cdot S_e, \text{ 无功经济运行负载率为 } \sqrt{\frac{I_0\%}{U_d\%}}。$$

(三) 确定电力变压器运行的切换点, 应从有功损失和无功损失两个方面分别考虑。

1. 有功损失: 切换点上单台运行有功损失和两台运行的有功损失应是相等的。

$$\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 = 2 \cdot \left[\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{\frac{1}{2}S}{S_e}\right)^2\right]$$

$$S = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} \cdot S_e$$

即负荷增加到  $S = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} \cdot S_e$  时, 应切换为两台运行。

2. 无功损失: 切换点上单台运行无功损失和两台运行的无功损失应是相等的。

$$\begin{aligned} & \frac{I_0\%}{100} \cdot S_e + \frac{U_d\%}{100} \cdot S_e \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 \\ &= 2 \cdot \left[ \frac{I_0\%}{100} \cdot S_e + \frac{U_d\%}{100} \cdot S_e \cdot \left(\frac{\frac{1}{2}S}{S_e}\right)^2 \right] \end{aligned}$$

$$S = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{I_0\%}{U_d\%}} \cdot S_e$$

即负荷增加到  $S = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{I_0\%}{U_d\%}} \cdot S_e$  时, 应切换为两台运行。

(四) 由变压器样本参数中查得:

| 型号                     | $I_0\%$ | $U_d\%$ | $\Delta P_{Fe} \text{ (W)}$ | $\Delta P_{Cu} \text{ (W)}$ |
|------------------------|---------|---------|-----------------------------|-----------------------------|
| SIL-1000               | 2.0     | 4.5     | 4100                        | 13450                       |
| SJL <sub>1</sub> -1000 | 0.30    | 6       | 1880                        | 13760                       |

SJL-1000 电力变压器: 有功经济运行负载率:

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} = 55\%$$

无功经济运行负载率:

$$\sqrt{\frac{I_0\%}{U_d\%}} = 67\%$$

有功经济运行由单台切换到二台运行的切换点符合率:

$$\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} = 78\%$$

无功经济运行由单台切换到二台运行的切换点符合率:

$$\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{I_0\%}{U_d}} = 95\%$$

设负载为1000kVA, 单台运行及两台运行的有功损耗量和无功损耗量为:

单台运行:

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 = 13.8(\text{kW})$$

$$\Delta Q = \frac{I_0}{100} \cdot Se + \frac{U_d\%}{100} \cdot Se \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 = 52.5(\text{k var})$$

二台运行:

$$\Delta P = 2 \cdot \left[ \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{\frac{1}{2}S}{S_e}\right)^2 \right] = 13(\text{kW})$$

$$\Delta Q = 2 \cdot \left[ \frac{I_0}{100} \cdot Se + \frac{U_d\%}{100} \cdot Se \cdot \left(\frac{\frac{1}{2}S}{S_e}\right)^2 \right] = 56.25(\text{k var})$$

SJL<sub>1</sub>-1000电力变压器: 有功经济运行负载率:

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} = 37\%$$

无功经济运行负载率:

$$\sqrt{\frac{I_0\%}{U_d}} = 21\%$$

有功经济运行由单台切换到二台运行的切换点符合率:

$$\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu}}} = 52\%$$

无功经济运行由单台切换到二台运行的切换点符合率:

$$\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{I_0\%}{U_d}} = 30\%$$

设负载为1000kVA, 单台运行及两台运行的有功损耗量和无功损耗量为:

单台运行:

$$\Delta P = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 = 11.8(\text{kW})$$

$$\Delta Q = \frac{I_0}{100} \cdot Se + \frac{U_d\%}{100} \cdot Se \cdot \left(\frac{S}{S_e}\right)^2 = 50(\text{k var})$$

二台运行:

$$\Delta P = 2 \cdot \left[ \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \cdot \left(\frac{\frac{1}{2}S}{S_e}\right)^2 \right] = 8.7(\text{kW})$$

$$\Delta Q = 2 \cdot \left[ \frac{I_0}{100} \cdot Se + \frac{U_d\%}{100} \cdot Se \cdot \left(\frac{\frac{1}{2}S}{S_e}\right)^2 \right] = 29.5(\text{k var})$$

显然, 以负载为1000kVA为例, SJL-1000电力变压器单台运行时,  $\Delta P=13.8\text{kW}$ ,  $\Delta Q=52.5\text{kvar}$ , 二台运行时,  $\Delta P=13\text{kW}$ ,  $\Delta Q=56.25\text{kvar}$ , SJL<sub>1</sub>-1000电力变压器单台运行时,  $\Delta P=11.8\text{kW}$ ,  $\Delta Q=50\text{kvar}$ , 二台运行时,  $\Delta P=8.7\text{kW}$ ,  $\Delta Q=29.5\text{kvar}$ , SJL<sub>1</sub>-1000电力变压器节能效果较SJL-1000明显。

(五) 另外还有最劣运行区(非经济运行区, 过去俗称的“大马拉小车”区): 它的范围一般在10%—20%以下, 在此区间效率低。按有功损失率确定临界负载系数, 其计算公式为:

$$\Delta P_d\% = (P_0 + 2P_k) / (\text{Secos}\varphi + P_0 + 2P_k) \cdot 100\%$$

设有功临界负载系数为 $L_1$ , 则有功功率的临界损失率为:

$$\Delta P_{L_1}\% = \frac{P_0 + L_2 P_k}{L \text{Secos}\varphi + P_0 + L_2 P_k} \times 100\%$$

临界损失率与最低损失率的关系式为:

$$\Delta P_{L_1}\% = K L_1 \cdot \Delta P_d\%$$

$K L_1$ —为变压器“大马拉小车”临界有功损失率系数

$$\text{解得: } L_1 = \frac{K L_1 \pm (K L_2 - 1)}{2}$$

可见变压器实际负载系数 $\leq L_1$ , 则变压器运行在“大马拉小车”区间内。

## 结束语

如上所述, 我公司产业园区2006年投入使用, 其中供电系统中共有变压器33台, 由于近年来产品转型而发生产能变化, 各部位均有“大马拉小车情况发生”及空载运行变压器如调整带来的经济效益可观。为保证供电安全性, 可在运行过程中调整以下问题:

(一) 构建“安全经济优质型电网”, 对新型变压器电动机优中选优, 优选变压器经济运行容量与经济运行

台数,优选供电线路的经济截面积与经济运行条数,优选用电设备型号与容量,对变压器与供电线路进行优化组合。

(二)充分利用现有设备条件,无需投资,择优汰劣,选用节能型变压器可较大幅度降低电能损耗。值班人员根据实际情况选择单台运行和并列运行。

(三)通过公司智慧能源管控平台监控,通过详细分析和严密计算,选择技术参数好的变压器和经济运行方式运行避免空载运行及“大马拉小车”的变压器。及时调整变压器运行台数,在保证安全的前提下停用空载变压器或低负载变压器。

(四)采用新型无功补偿设备有源滤波低压静止无功发生器提高功率因数不同的功率因数引起的变压器有功和无功消耗不同,2022年我公司购置两台低压动态滤波补偿装置至今,使用效果显著改善。一是在功率因数上有明显提升,由更换前的0.65-0.7增加到0.93-0.97。二是成本上得到了节约,可以节省更换电容、熔断器、可

控硅等配件的费用,预估为15万元。三是电网奖励补助,预估十台装置每年可获得奖励金额8万元。四是成本回收期相对较短,2024年预计继续购置十台低压动态滤波补偿装置,该设备设计使用年限为20年,每年节省的费用为23万元,预估5年可以收回成本。六是设备老化问题,现使用的低压电容补偿柜已经使用了18年,补偿效果不佳,维修频率和费用都较高,这表明确实需要更新设备。

#### 参考文献

- [1]董德明,彭新荣.电力变压器的经济运行分析[J].煤炭工程,2009(10):87-89.
- [2]张恩芳.电力变压器的经济运行[J].现代工业经济和信  
息化,2015(14):37-38.
- [3]易文飞,王鑫.基于电力电子变压器的交直流混合配电网日前经济运行策略研究[J].现代电力,2021,38(3):339-345.