



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 13462—200×  
代替 GB/T 13462—1992

## 电力变压器经济运行

Economical operation for power transformers

(征求意见稿)

200×-××-××发布

200×-××-××实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 前 言

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会提出。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会合理用电分委员会归口。

本标准负责起草单位：

本标准主要起草人：

# 电力变压器经济运行

## 1 范围

本标准规定了电力变压器经济运行的原则与技术要求,以及确定经济运行方式的计算方法和管理要求。

本标准适用于发、供、用电企业运行中的电力变压器以及企业新建、改建中的电力变压器经济运行管理。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,但鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB 1094 (所有部分) 电力变压器
- GB/T 6451 三相油浸式电力变压器技术参数和要求
- GB/T 10228 干式电力变压器技术参数和要求
- GB 20052 三相配电变压器能效限定值及节能评价
- DL/T 985 配电变压器能效及技术经济评价导则

## 3 术语和定义

本标准采用下列术语和定义

### 3.1

#### 变压器经济运行

在确保安全可靠运行及满足供电量需求的基础上,对变压器运行方式进行优化选择,对变压器负载实施经济调整,对变电站(所)进行合理改造,从而最大限度地降低变压器的电能损耗。

### 3.2

#### 综合功率损耗

$$\Delta P_z$$

变压器运行中有功功率损耗与因无功功率消耗使其受电网增加的有功功率损耗之和。

### 3.3

#### 综合功率损耗率

$$\Delta P_{z\%}$$

变压器综合功率损耗与其输入的有功功率之比的百分数。

### 3.4

#### 综合功率损耗的动态计算

变压器综合功率损耗的动态计算,是指为提高计算的精确度而在计算过程中既考虑负载波动损耗系数,又考虑变压器组合技术参数与组合额定容量的一种计算方式。

### 3.5

#### 无功经济当量

$$K_q$$

变压器每减少1 kvar的无功功率消耗引起其受电网所减少有功功率损耗。

3.6

**平均负载系数**

$\beta$

一定时间内，变压器平均输出的视在功率与变压器额定容量之比。

3.7

**负载波动损耗系数**

$K_T$

一定时间内，变压器负载波动条件下的负载功率损耗与平均负载条件下的负载功率损耗之比。

3.8

**相间不平衡负载损耗系数**

$K_{Bb}$

变压器负载三相不平衡条件下的负载功率损耗与三相平衡条件下的负载功率损耗之比。

3.9

**组合额定容量**

$S_{\sigma N}$

短路阻抗相同的变压器，并列运行的组合额定容量等于各台变压器额定容量之和；短路阻抗不同的变压器，并列运行的组合额定容量确定为，当短路阻抗小的变压器满载时的最大允许容量。

3.10

**组合技术参数**

$P_{\sigma 0}$ 、 $P_{\sigma K}$

短路阻抗相同的变压器，并列运行的组合技术参数等于各台变压器技术参数之和；短路阻抗不同的变压器，由于短路阻抗不同，并列运行时直接影响变压器间负载分配，所以计算组合技术参数时应考虑阻抗电压的影响。

3.11

**临界综合负载视在功率**

$S_{Lz}$

两种经济运行方式的综合功率损耗特性曲线交点处的负载视在功率。

3.12

**经济运行区间**

综合功率损耗率等于或低于变压器额定负载时得综合功率损耗率的负载区间。

3.13

**最佳运行区间**

综合功率损耗率接近变压器经济负载系数时的综合功率损耗率的负载区间。

3.14

**非经济运行区间**

综合功率损耗率高于变压器额定负载综合功率损耗率对应的低负载运行区间。

3.15

**视在负荷率**

一定时间内，负载平均视在功率与最大视在功率之比的百分率。

3.16

**削峰填谷**

一定时间内，把变压器的高峰负载移到低谷时段运行。

3.17

**负载经济分配**

分列运行变压器总损耗达到最小时的变压器间的负载分配。

### 3.18

#### 基准容量

常规设计按负载的需求所选取的变压器容量。

### 3.19

#### 经济容量

以基准容量为基础，把变压器容量增大，在诸多方案中选取变压器寿命期内经济效益最佳的变压器容量。

### 3.20

#### 经济台数

以单台变压器为基础，把变压器台数增多，在诸多方案中选取变压器寿命期内经济效益最佳的变压器台数。

## 4 基本要求

4.1 选用或更新的变压器应符合GB 1094（所有部分）、GB/T 6451和GB/T 10228的要求，变压器空载损耗和负载损耗应符合相关能效标准，如配电变压器应符合GB20052的要求。

4.2 变压器应合理选择组合的合理容量和台数。

4.3 变压器应优化选择综合功率损耗最低的经济运行方式。

4.4 变压器应合理调整负载，在综合功率损耗最低的经济运行区间运行。

## 5 经济运行方式选择

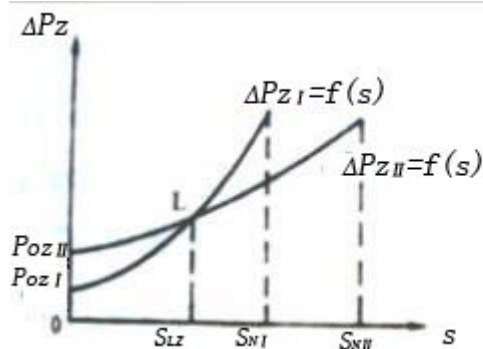
5.1 企业应通过比较变压器不同运行方式间的优劣，优选损耗最低的运行方式，以降低变压器的综合功率损耗。

### 5.2 并列运行的双绕组变压器经济运行方式的选择

#### 5.2.1 选择方法

并列运行的双绕组变压器在选择经济运行方式前，要比较不同组合运行方式间组合技术参数的优劣，确定出组合（含单台）变压器经济运行方式。

并列运行的双绕组变压器总平均视在功率 $S$ 与临界综合负载视在功率 $S_{LZ}$ 对比，临界综合负载视在功率按公式（1）进行计算，按图（1）选择综合功率损耗最小的运行方式：



图（1）变压器间综合功率损耗特性曲线图

当负载视在功率 $S$ 小于 $S_{LZ}$ 时，应选用综合功率空载损耗值较小的变压器组合方式运行；

当负载视在功率 $S$ 大于 $S_{LZ}$ 时，应选用综合功率负载损耗值较小的变压器组合方式运行。

$$S_{LZ} = \sqrt{\frac{(P_{\sigma 0Z})_I - (P_{\sigma 0Z})_{II}}{K_T \left[ \left( \frac{P_{\sigma KZ}}{S_{\sigma N}^2} \right)_{II} - \left( \frac{P_{\sigma KZ}}{S_{\sigma N}^2} \right)_I \right]}} \quad (1)$$

式中：

$S_{LZ}$ ——并列运行的双绕组变压器经济运行方式的临界综合负载视在功率，kVA；

I, II——代表变压器两种不同的运行方式；

$P_{\sigma 0Z}$ ——运行方式 I 与 II 的综合功率空载损耗的组合参数，kW；

$P_{\sigma KZ}$ ——运行方式 I 与 II 的综合功率额定负载损耗的组合参数，kW；

$S_{\sigma N}$ ——运行方式 I 与 II 的组合变压器额定容量，kVA。

注：式（1）也适用于单台双绕组变压器间技术特性优劣的分析。

### 5.2.2 经济运行方式降低综合功率损耗的计算式

$$\Delta \Delta P_Z = \Delta P_{Zy} - \Delta P_{Zj} = (P_{\sigma 0Z})_y - (P_{\sigma 0Z})_j + K_T S^2 \left[ \left( \frac{P_{\sigma KZ}}{S_{\sigma N}^2} \right)_y - \left( \frac{P_{\sigma KZ}}{S_{\sigma N}^2} \right)_j \right] \quad (2)$$

式中：

$\Delta \Delta P_Z$ ——并列运行的双绕组变压器经济运行方式降低的综合功率损耗；

y——原运行方式；

j——经济运行方式；

$K_T$ ——负载波动损耗系数；

S——负载视在功率，kVA；

## 5.3 分列运行的双绕组变压器经济运行方式的选

### 5.3.1 选择方法

分列运行的双绕组变压器在选择经济运行方式前，要比较不同组合运行方式间组合技术参数的优劣，对二次侧有联络线的分列运行的双绕组变压器，在总供电负载不变情况下，比较选择共用一台和两台分列运行方式。

在采用一台变压器满足总供电负载的情况下，比较两台分列运行变压器技术参数（比较方法可参考 5.2.1），确定共用哪台变压器。

再将选定的共用变压器运行方式与两台变压器分列运行方式比较，选择出综合功率损耗最小的运行方式。

### 5.3.2 共用变压器经济运行降低综合功率的计算

$$\Delta \Delta P_Z = P_{0Zb} + K_T S_b^2 \left( \frac{P_{KZb}}{S_{Nb}^2} - \frac{P_{KZg}}{S_{Ng}^2} \right) - 2K_T \frac{S_b S_g P_{KZg}}{S_{Ng}^2} \quad (3)$$

式中：

$\Delta \Delta P_Z$ ——共用变压器经济运行降低的综合功率，kW；

g——共用变压器的技术参数；

b——不共用变压器的技术参数；

$S_b, S_g$ ——分别为分列运行变压器的负载视在功率，kVA。

## 5.4 并列运行的三绕组变压器经济运行方式的选择

### 5.4.1 选择方法

并列运行的三绕组变压器在选择经济运行方式参照 5.2.1，临界综合负载视在功率按公式（4）进行计算。

$$S_{LZ1} = \sqrt{\frac{(P_{\sigma 0Z})_I - (P_{\sigma 0Z})_{II}}{K_{T1} \left[ \left( \frac{P_{\sigma K1Z}}{S_{\sigma 1N}^2} \right)_{II} - \left( \frac{P_{\sigma K1Z}}{S_{\sigma 1N}^2} \right)_I \right] + K_{T2} C_2^2 \left[ \left( \frac{P_{\sigma K2Z}}{S_{\sigma 2N}^2} \right)_{II} - \left( \frac{P_{\sigma K2Z}}{S_{\sigma 2N}^2} \right)_I \right] + K_{T3} C_3^2 \left[ \left( \frac{P_{\sigma K3Z}}{S_{\sigma 3N}^2} \right)_{II} - \left( \frac{P_{\sigma K3Z}}{S_{\sigma 3N}^2} \right)_I \right]}} \quad (4)$$

式中：

I, II——变压器两种不同运行方式；

$C_2$ ——变压器二次侧负载分配系数；

$C_3$ ——变压器三次侧负载分配系数。

#### 5.4.2 并列运行的三绕组变压器经济运行方式降低综合功率的计算

$$\begin{aligned} \Delta \Delta P_Z = & (P_{\sigma 0Z})_y - (P_{\sigma 0Z})_j + S_1^2 \left\{ K_{T1} \left[ \left( \frac{P_{\sigma K1Z}}{S_{\sigma 1N}^2} \right)_y - \left( \frac{P_{\sigma K1Z}}{S_{\sigma 1N}^2} \right)_j \right] \right. \\ & \left. + K_{T2} C_2^2 \left[ \left( \frac{P_{\sigma K2Z}}{S_{\sigma 2N}^2} \right)_y - \left( \frac{P_{\sigma K2Z}}{S_{\sigma 2N}^2} \right)_j \right] + K_{T3} C_3^2 \left[ \left( \frac{P_{\sigma K3Z}}{S_{\sigma 3N}^2} \right)_y - \left( \frac{P_{\sigma K3Z}}{S_{\sigma 3N}^2} \right)_j \right] \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

式中：

$\Delta \Delta P_Z$ ——并列运行的三绕组变压器经济运行方式节约的综合功率，kW；

$S_1$ ——变压器电源侧负载视在功率，kVA；

y——原运行方式；

j——经济运行方式。

## 6 经济负载系数与经济运行区

6.1 企业应计算变压器经济负载系数，确定变压器的经济运行区间，以评价变压器经济运行状况。

6.2 双绕组变压器经济运行负载系数与经济运行区

### 6.2.1 经济负载系数

双绕组变压器在运行中，其综合功率损耗率随负载系数变化而呈非线性变化，在其非线性曲线中，最低点为综合功率经济负载系数，其计算式

$$\beta_{JZ} = \sqrt{\frac{P_{0Z}}{K_T P_{KZ}}} \quad (6)$$

### 6.2.2 经济运行区

变压器在额定负载运行为经济运行区上限，与上限额定综合功率损耗率相等的另一点为经济运行区下限。

经济运行区上限负载系数为

$$\beta_{JZI} = 1 \quad (7)$$

经济运行区下限负载系数为

$$\beta_{JZII} = \beta_{JZ}^2 \quad (8)$$

### 6.2.3 最佳经济运行区

变压器在 75% 负载运行为最佳经济运行区上限，与上限综合功率损耗率相等的另一点为经济运行区下限。

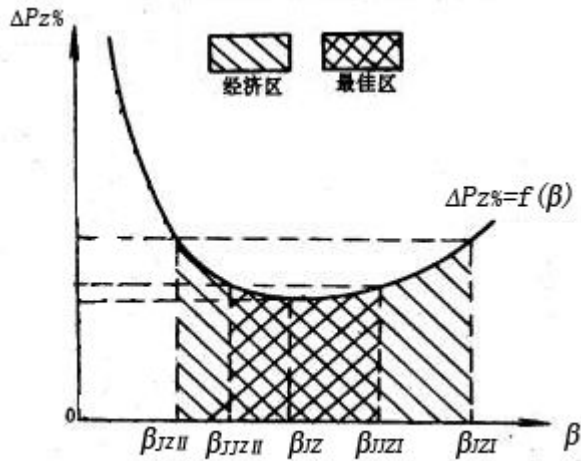
最佳经济运行区上限负载系数为

$$\beta_{JZ1} = 0.75 \quad (9)$$

最佳经济运行区下限负载系数为

$$\beta_{JZ11} = 1.333\beta_{JZ}^2 \quad (10)$$

### 6.2.4 经济运行区间划分



图（2） 变压器综合功率运行区间划分图

## 6.3 三绕组变压器经济负载系数、最佳经济负载系数与经济运行区

### 6.3.1 经济负载系数

当三绕组变压器二次侧与三次侧绕组的负载是任意分配时，所对应变压器综合功率损耗率最低点即为综合功率经济负载系数。

三绕组变压器电源侧综合功率经济负载系数计算式

$$\beta_{JZ1} = \sqrt{\frac{P_{0Z}}{K_{T1}P_{K1Z} + K_{T2}C_2^2 \left(\frac{S_{1N}}{S_{2N}}\right)^2 P_{K2Z} + K_{T3}C_3^2 \left(\frac{S_{1N}}{S_{3N}}\right)^2 P_{K3Z}}}} \quad (11)$$

### 6.3.2 最佳经济负载系数

当三绕组变压器二次侧与三次侧绕组的负载是经济分配时，所对应变压器综合功率损耗率最低点即为综合功率最佳经济负载系数。

二次侧与三次侧绕组的负载经济分配系数计算式

$$C_{J2} = \frac{K_{T3} \frac{P_{K3Z}}{S_{3N}^2}}{K_{T2} \frac{P_{K2Z}}{S_{2N}^2} + K_{T3} \frac{P_{K3Z}}{S_{3N}^2}} \quad (12)$$

$$C_{J3} = \frac{K_{T2} \frac{P_{K2Z}}{S_{2N}^2}}{K_{T2} \frac{P_{K2Z}}{S_{2N}^2} + K_{T3} \frac{P_{K3Z}}{S_{3N}^2}} \quad (13)$$



三绕组变压器电源侧综合功率最佳经济负载系数计算式

$$\beta_{JJZ1} = \sqrt{\frac{P_{0Z}}{K_{T1}P_{K1Z} + \frac{K_{T2}K_{T3}S_{1N}^2 P_{K2Z} P_{K3Z}}{K_{T2}S_{3N}^2 P_{K2Z} + K_{T3}S_{2N}^2 P_{K3Z}}}} \quad (14)$$

### 6.3.3 经济运行区

电源侧经济运行区上限负载系数为

$$\beta_{JZ1I} = 1 \quad (15)$$

电源侧经济运行区下限负载系数为

$$\beta_{JZ1II} = \beta_{JZ1}^2 \quad (16)$$

### 6.3.4 最佳经济运行区

三绕组变压器综合功率损耗率不超过 1.2% 的运行区为最佳经济运行区。

电源侧最佳运行区上限负载系数为

$$\beta_{JJZ1I} = 1.865\beta_{JZ1} \quad (17)$$

电源侧最佳运行区下限负载系数为

$$\beta_{JJZ1II} = 0.537\beta_{JZ1} \quad (18)$$

## 7 变压器负载经济调整

### 7.1 变压器间负载经济调整

#### 7.1.1 双绕组变压器间负载经济调整

双绕组变压器分列运行时，应通过变压器间负载的合理分配，使变压器总综合功率损耗最小。

分列运行的任意一台双绕组变压器综合功率的负载经济分配系数计算式

$$J_{Zr} = \frac{\frac{S_{Nr}^2}{K_{Tr}P_{KZr}}}{\sum_{i=1}^m \frac{S_{Ni}^2}{K_{Ti}P_{KZi}}} \quad (19)$$

式中：

r——第r台变压器。

分列运行的任意一台双绕组变压器综合功率的经济负载功率计算式

$$S_{JZr} = J_{Zr} \times S_{\sigma} \quad (20)$$

式中：

$S_{\sigma}$ ——各台变压器的总负载视在功率，kVA。

分列运行的双绕组变压器负载经济调整后降低的综合功率损耗计算式

$$\Delta\Delta P_Z = \sum_{i=1}^m \frac{K_{Tyi}S_{yi}^2 - K_{Tji}(J_{Zi} \sum_{i=1}^m S_{yi})^2}{S_{Ni}^2} P_{KZi} \quad (21)$$

式中：

$S_r$ ——各台变压器原工况负载视在功率, kVA。

### 7.1.2 三绕组变压器间负载经济分配

三绕组变压器分列运行时, 应通过变压器间负载的合理分配, 使变压器总综合功率损耗最小。分列运行的任意一台三绕组变压器电源侧综合功率的负载经济分配系数计算式

$$J_{1Zr} = \frac{S_{1r}}{S_1} = \frac{\frac{1}{K_{T1r} \frac{1}{S_{1Nr}^2} P_{K1Zr} + K_{T2r} C_{2r}^2 \frac{1}{S_{2Nr}^2} P_{K2Zr} + K_{T3r} C_{3r}^2 \frac{1}{S_{3Nr}^2} P_{K3Zr}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{K_{T1i} \frac{1}{S_{1Ni}^2} P_{K1Zi} + K_{T2i} C_{2i}^2 \frac{1}{S_{2Ni}^2} P_{K2Zi} + K_{T3i} C_{3i}^2 \frac{1}{S_{3Ni}^2} P_{K3Zi}}} \quad (22)$$

式中:

r——第r台变压器。

分列运行的三绕组变压器负载经济分配后降低的综合功率损耗计算式

$$\Delta\Delta P_Z = \sum_{i=1}^m \left[ K_{Ty1i} \frac{P_{K1Zi}}{S_{1Ni}^2} + K_{Ty2i} C_{2i}^2 \frac{P_{K2Zi}}{S_{2Ni}^2} + K_{Ty3i} C_{3i}^2 \frac{P_{K3Zi}}{S_{3Ni}^2} \right] S_{1yi}^2 - \sum_{i=1}^m \left[ K_{Tj1i} \frac{P_{K1Zi}}{S_{1Ni}^2} + K_{Tj2i} C_{2i}^2 \frac{P_{K2Zi}}{S_{2Ni}^2} + K_{Tj3i} C_{3i}^2 \frac{P_{K3Zi}}{S_{3Ni}^2} \right] \left( J_{1Zi} \sum_{i=1}^m S_{1yi} \right)^2 \quad (23)$$

式中:

$S_{1y}$ ——各台变压器原工况电源侧负载视在功率, kVA;

$K_{Ty1}$ 、 $K_{Ty2}$ 、 $K_{Ty3}$ ——各台变压器原工况三个绕组侧的负载波动损耗系数;

$K_{Tj1}$ 、 $K_{Tj2}$ 、 $K_{Tj3}$ ——各台变压器经济负载分配后三个绕组侧的负载波动损耗系数。

### 7.1.3 三绕组变压器二次侧和三次侧绕组间负载经济分配

对于单独运行的三绕组变压器, 应通过变压器二次侧和三次侧绕组间负载的合理分配, 使变压器总的综合功率损耗最小。

二次侧与三次侧绕组的负载经济分配系数计算式同式(12)、式(13)。

三绕组变压器二次侧和三次侧绕组间负载经济分配后降低的综合功率损耗计算式

$$\Delta\Delta P_Z = S_1^2 \left[ K_{T2} \frac{P_{\sigma K2Z}}{S_{\sigma 2N}^2} (C_2^2 - C_{J2}^2) + K_{T3} \frac{P_{\sigma K3Z}}{S_{\sigma 3N}^2} (C_3^2 - C_{J3}^2) \right] \quad (24)$$

## 7.2 提高负荷率和削峰填谷

7.2.1 企业应调整变压器负载曲线, 提高负荷率, 降低综合功率损耗率。

7.2.1.1 在总用电量不变的情况下, 双绕组变压器降低的综合功率损耗计算式

$$\Delta\Delta P_Z = (K_{T1} - K_{T2}) \frac{S^2 P_{\sigma KZ}}{S_{\sigma N}^2} \quad (25)$$

式中:

$\Delta\Delta P_Z$ ——提高负荷率降低的综合功率损耗, kW;

$K_{T1}$ ——变压器提高负荷率前的负载波动损耗系数;

$K_{T2}$ ——变压器提高负荷率后的负载波动损耗系数。

7.2.1.2 在总用电量不变的情况下，三绕组变压器降低综合功率损耗计算式

$$\Delta\Delta P_Z = (K_{T1y} - K_{T1j}) \frac{S_1^2 P_{\sigma K1Z}}{S_{\sigma 1N}^2} + (K_{T2y} - K_{T2j}) \frac{S_2^2 P_{\sigma K2Z}}{S_{\sigma 2N}^2} + (K_{T3y} - K_{T3j}) \frac{S_3^2 P_{\sigma K3Z}}{S_{\sigma 3N}^2} \quad (26)$$

式中：

y——原负荷率的负载波动损耗系数；

j——提高负荷率后的负载波动损耗系数。

7.2.2 企业应削峰填谷，降低综合功率损耗率。

7.2.2.1 双绕组变压器削峰填谷降低综合功率损耗计算式

$$\Delta\Delta P_Z = 2\Delta S (S_H - S_l - \Delta S) \frac{P_{\sigma KZ}}{S_{\sigma N}^2} \quad (27)$$

式中：

$\Delta\Delta P_Z$ ——削峰填谷降低的综合功率损耗，kW；

$S_H$ ——变压器原高峰负载的视在功率，kVA；

$S_l$ ——变压器原低谷负载的视在功率，kVA；

$\Delta S$ ——调整负载的视在功率，kVA。

7.2.2.2 三绕组变压器削峰填谷降低综合功率损耗计算式

$$\begin{aligned} \Delta\Delta P_Z = & 2\Delta S_1 (S_{1H} - S_{1l} - \Delta S_1) \frac{P_{\sigma K1Z}}{S_{\sigma 1N}^2} + 2\Delta S_2 (S_{2H} - S_{2l} - \Delta S_2) \frac{P_{\sigma K2Z}}{S_{\sigma 2N}^2} \\ & + 2\Delta S_3 (S_{3H} - S_{3l} - \Delta S_3) \frac{P_{\sigma K3Z}}{S_{\sigma 3N}^2} \end{aligned} \quad (28)$$

### 7.3 调整变压器相间不平衡负载

企业应平衡变压器各相间负载，降低变压器总综合功率损耗。

变压器总负载不变情况下，降低的综合功率损耗计算式

$$\Delta\Delta P_Z = (K_{Bby} - K_{Bbj}) \frac{3S_{\varphi}^2 P_{KZ}}{S_N^2} \quad (29)$$

式中：

$K_{Bby}$ ——原变压器相间负载不平衡度的损耗系数；

$K_{Bbj}$ ——降低变压器相间负载不平衡度的损耗系数；

$S_{\varphi}$ ——变压器单相平均负载视在功率，kVA。

## 8. 变压器合理配置

### 8.1 变压器更新

8.1.1 超过寿命期服役的变压器、国家规定淘汰的老旧变压器应更新，所选用的变压器应符合国家相关能效标准。

8.1.2 对变压器进行经济运行评估，需更换的低效变压器可分阶段进行，按本标准相关条款进行节电效果和经济效益计算，优先更换节电效果大、经济效益好、投资回收期短的变压器。

8.1.3 配电变压器更新的技术经济评价应按照 DL/T 985；电力变压器更新的技术经济评价可参照 DL/T 985。

### 8.2 变压器选择

8.2.1 变压器应选择寿命期内经济效益最佳的容量和台数。

8.2.2 配电变压器选型的技术经济评价应按照 DL/T 985。

8.2.3 电力变压器选型按本标准相关条款进行计算，对不同变压器的节电效果和经济效益进行比较，确定最佳节能变压器。

## 9 变压器经济运行管理与评价

### 9.1 经济运行管理

9.1.1 企业应配置变压器的电能计量仪表，完善测量手段。

9.1.2 企业应记录变压器日常运行数据及典型代表日负荷，为变压器经济运行提供数据。

9.1.3 企业应健全变压器经济运行文件管理，保存变压器原始资料；变压器大修、改造后的试验数据应存入变压器档案中。

9.1.4 定期进行变压器经济运行分析，在保证变压器安全运行和供电质量的基础上提出改进措施，有关资料应存档。

9.1.5 企业应按月、季、年做好变压器经济运行工作的分析与总结，并编写变压器的节能效果与经济效益的统计与汇总表。

### 9.2 经济运行评价

变压器的空载损耗和负载损耗应达到能效标准所规定的节能评价值，且运行在最佳经济运行区，经济运行管理应符合9.1的要求，则认定变压器运行经济；

变压器的空载损耗和负载损耗应达到能效标准所规定的能效限定值，且运行在经济运行区，经济运行管理应符合9.1的要求，则认定变压器运行合理；

变压器的空载损耗和负载损耗未能达到能效标准所规定的能效限定值，且运行在非经济运行区，则认定变压器运行不经济。

## 附录 A

(规范性附录)

## 基础计算式

## A.1 双绕组变压器功率损耗的动态计算

## A.1.1 双绕组变压器平均负载系数计算式

$$\beta = \frac{S}{S_N} = \frac{P_2}{S_N \cos \varphi} \quad (\text{A1})$$

式中:

 $\beta$ ——变压器的平均负载系数; $S$ ——一定时间内变压器平均输出的视在功率, kVA; $S_N$ ——变压器的额定容量, kVA; $P_2$ ——一定时间内变压器平均输出的有功功率, kW; $\cos \varphi$ ——一定时间内变压器负载侧平均功率因数。

## A.1.2 有功功率损耗计算式

$$\Delta P = P_0 + K_T \beta^2 P_K \quad (\text{A2})$$

式中:

 $\Delta P$ ——有功功率损耗, kW; $K_T$ ——负载波动损耗系数; $P_0$ ——变压器空载功率损耗, kW; $P_K$ ——变压器额定负载功率损耗, kW。

## A.1.3 无功功率消耗计算式

$$\Delta Q = Q_0 + K_T \beta^2 Q_K \quad (\text{A3})$$

式中:

 $\Delta Q$ ——无功功率消耗, kvar; $Q_0$ ——变压器空载励磁功率, kvar; $Q_K$ ——变压器额定负载漏磁功率, kvar。

## A.1.4 综合功率损耗计算式

$$\Delta P_Z = \Delta P + K_Q \Delta Q = P_{0Z} + K_T \beta^2 P_{KZ} \quad (\text{A4})$$

式中:

 $K_Q$ ——无功经济当量, kW/kvar; $P_{0Z}$ ——变压器综合功率的空载损耗, kW; $P_{KZ}$ ——变压器综合功率的短路损耗, kW。

## A.1.5 变压器综合功率空载损耗计算式

$$P_{0Z} = P_0 + K_Q Q_0 \quad (\text{A5})$$

## A. 1. 6 变压器综合功率短路损耗计算式

$$P_{KZ} = P_K + K_Q Q_K \quad (\text{A6})$$

## A. 2 三绕组变压器功率损耗的动态计算

## A. 2. 1 有功功率损耗计算式

$$\Delta P = P_0 + S_1 \left( K_{T1} \frac{P_{K1}}{S_{1N}^2} + K_{T2} C_2^2 \frac{P_{K2}}{S_{2N}^2} + K_{T3} C_3^2 \frac{P_{K3}}{S_{3N}^2} \right) \quad (\text{A7})$$

式中：

$K_{T1}$ ,  $K_{T2}$ ,  $K_{T3}$ ——分别为变压器一、二、三次侧的负载波动损耗系数；

$S_1$ ——变压器电源侧的工况负载，kVA；

$P_{K1}$ ,  $P_{K2}$ ,  $P_{K3}$ ——分别为变压器一、二、三次侧绕组的额定负载损耗，kW；

$S_{1N}$ ,  $S_{2N}$ ,  $S_{3N}$ ——分别为变压器一、二、三次侧绕组的额定容量，kVA；

$C_2$ ——变压器二次侧负载分配系数， $C_2 = S_2 / S_1 = \beta_2 / \beta_1$ ；

$C_3$ ——变压器二次侧负载分配系数， $C_3 = S_3 / S_1 = \beta_3 / \beta_1$ ， $C_2 + C_3 = 1$ 。

## A. 2. 2 无功功率消耗计算式

$$\Delta Q = Q_0 + S_1 \left( K_{T1} \frac{Q_{K1}}{S_{1N}^2} + K_{T2} C_2^2 \frac{Q_{K2}}{S_{2N}^2} + K_{T3} C_3^2 \frac{Q_{K3}}{S_{3N}^2} \right) \quad (\text{A8})$$

式中：

$Q_{K1}$ ,  $Q_{K2}$ ,  $Q_{K3}$ ——分别为变压器一、二、三次侧绕组额定负载的漏磁功率，kvar。

## A. 2. 3 综合功率损耗计算式

$$\Delta P_Z = P_{0Z} + S_1 \left( K_{T1} \frac{P_{K1Z}}{S_{1N}^2} + K_{T2} C_2^2 \frac{P_{K2Z}}{S_{2N}^2} + K_{T3} C_3^2 \frac{P_{K3Z}}{S_{3N}^2} \right) \quad (\text{A9})$$

式中：

$P_{K1Z}$ ,  $P_{K2Z}$ ,  $P_{K3Z}$ ——分别为变压器一、二、三次侧绕组额定负载的综合功率损耗，kW。

## A. 3 变压器损耗率的计算

变压器有功功率损耗率、无功功率消耗率及综合功率损耗率计算式

$$\Delta P_{\%} = \frac{\Delta P}{P_1} \times 100\% \quad (\text{A10})$$

$$\Delta Q_{\%} = \frac{\Delta Q}{P_1} \times 100\% \quad (\text{A11})$$

$$\Delta P_{Z\%} = \frac{\Delta P_Z}{P_1} \times 100\% \quad (\text{A12})$$

式中：

$\Delta P_{\%}$ ——变压器有功功率损耗率，%；

$\Delta Q_{\%}$ ——变压器无功功率消耗率，%；

$\Delta P_{Z\%}$ ——变压器综合功率损耗率，%；

$P_1$ ——变压器电源侧有功功率，kW，对双绕组变压器  $P_1 = P_2 + \Delta P$ ，对三绕组变压器  $P_1 = P_2 + P_3 + \Delta P$ 。

## A. 4 变压器经济运行节电效果的计算

变压器经济运行降低的有功功率、无功功率及综合功率计算式

$$\Delta\Delta P = \Delta P_y - \Delta P_j \quad (\text{A13})$$

$$\Delta\Delta Q = \Delta Q_y - \Delta Q_j \quad (\text{A14})$$

$$\Delta\Delta P_z = \Delta P_{zy} - \Delta P_{zj} \quad (\text{A15})$$

式中：

$\Delta\Delta P$ ——变压器经济运行降低的有功功率，kW；

$\Delta\Delta Q$ ——变压器经济运行降低的无功功率，kvar；

$\Delta\Delta P_z$ ——变压器经济运行降低的综合功率，kW；

y——原运行方式；

j——经济运行方式。

## 附录 B

(资料性附录)

无功经济当量 ( $K_q$ )

## B.1 计算法

穿越电网的视在功率  $S$  (kVA) 所引起的电网功率损失  $\Delta P_U$  (kW) 为

$$\Delta P_U = \left( \frac{S}{U} \right)^2 R \times 10^{-3} \quad (\text{B1})$$

如分别用穿越电网的有功功率  $P$  (kW) 及无功功率  $Q$  (kvar) 来表示电网的功率损耗, 式 (B1) 可写成

$$\Delta P_U = \left( \frac{P}{U} \right)^2 R \times 10^{-3} + \left( \frac{Q}{U} \right)^2 R \times 10^{-3} \quad (\text{B2})$$

式 (B2) 可分解成下列两式

$$\Delta P_{UP} = \left( \frac{P}{U} \right)^2 R \times 10^{-3} \quad (\text{B3})$$

$$\Delta P_{UQ} = \left( \frac{Q}{U} \right)^2 R \times 10^{-3} \quad (\text{B4})$$

式中:

$\Delta P_{UP}$ ——由穿越电网的有功功率  $P$  所引起电网的功率损耗, kW;

$\Delta P_{UQ}$ ——由穿越电网的无功功率  $Q$  所引起电网的功率损耗, kW。

由上两式可知, 电网的功率损耗可视为由两部分组成, 一部分是由有功功率  $P$  所引起的  $\Delta P_{UP}$ , 另一部分是由无功功率  $Q$  所引起的  $\Delta P_{UQ}$ 。如穿越电网的有功功率  $P$  保持不变, 则电网的功率损耗  $\Delta P_{UP}$  部分是个定值; 如穿越电网的无功功率  $Q$  发生变化, 则电网的功率损耗  $\Delta P_{UQ}$  部分是个变值。

如有 A、B 两台变压器, 按变压器技术特性进行优化, 变压器 A 比 B 节约的无功功率为:  $\Delta \Delta Q = \Delta Q_B - \Delta Q_A$ 。若变压器负载侧无功功率为  $Q_2$ , 则变压器 A 和 B 的电源侧无功功率为  $Q_A = Q_2 + \Delta Q_A$ ,  $Q_B = Q_2 + \Delta Q_B$ 。因此又可写成如下关系式:

$$\Delta \Delta Q = Q_B - Q_A \quad (\text{B5})$$

根据式(B1)可得变压器 A 和 B 分别运行时, 由无功功率  $Q_A$  和  $Q_B$  所引起的电网的功率损耗  $\Delta P_{UQA}$  及  $\Delta P_{UQB}$  为

$$\Delta P_{UQA} = \left( \frac{Q_A}{U} \right)^2 R \times 10^{-3} \quad (\text{B6})$$



$$\Delta P_{UQB} = \left( \frac{Q_B}{U} \right)^2 R \times 10^{-3} \quad (\text{B7})$$

变压器经济运行的无功功率节约所引起的电网有功功率损耗下降值 $\Delta\Delta P_Q$  (kW)，由上两式互减得出

$$\Delta\Delta P_Q = \Delta P_{UQB} - \Delta P_{UQA} = \frac{Q_B^2 - Q_A^2}{U^2} R \times 10^{-3} \quad (\text{B8})$$

式 (B8) 被式 (B5) 除，可以得出无功经济当量  $K_Q$  计算式

$$K_Q = \frac{\Delta\Delta P_Q}{\Delta\Delta Q} = \frac{Q_B + Q_A}{U^2} R \times 10^{-3} \quad (\text{B9})$$

式 (B9) 中  $Q_A + Q_B \approx 2Q$ ，式 (B9) 可写成

$$K_Q \approx \frac{2Q}{U^2} R \times 10^{-3} \approx \frac{2\Delta P_{UQ}}{Q} \quad (\text{B10})$$

## B.2 查表法

当变压器连接系统的电阻  $R$  值无法取得时，即不能用式 (B10) 进行无功经济当量  $K_Q$  计算时，可按变压器在电网中的受电位置（变压次数）及功率因数查表 B.1 取得无功经济当量  $K_Q$  值。

表 B.1 无功经济当量

变压器受电位置	$K_Q$
发电厂母线直配	0.04
二次变压	0.07
三次变压	0.10
当功率因数已补偿到 0.9 及以上时	0.04

注：发电厂母线直配指系统的一次变电所及发电厂的直配用户；二次变压指系统的二次变电所；三次变压指配电变压器；当功率因数已补偿到 0.9 及以上时指变压器全年受入端功率因数。

## 附录 C

(资料性附录)

## 负载波动损耗系数

## C.1 计算法

C.1.1 负载波动损耗系数 $K_T$ 与形状系数 $K_f$ 的关系式:

$$K_T = K_f^2 \quad (C1)$$

C.1.2 形状系数

$$K_f = \sqrt{T} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^T A_i^2}}{\sum_{i=1}^T A_i} \quad (C2)$$

式中:

 $T$  —— 统计期(工作代表日、月工作日或年工作日)时间, h; $A_i$  —— 每小时记录的电量, kWh。

## C.2 查表法

首先用 $T$ 小时的有功负荷率 $\gamma_{TP\%}$ 、平均功率因数 $\cos\varphi_{cp}$ 和最大负荷时功率因数 $\cos\varphi_m$ 计算出视在负荷率 $\gamma_{T\%}$

$$\gamma_{T\%} = \gamma_{TP\%} \frac{\cos\varphi_{cp}}{\cos\varphi_m} \quad (C3)$$

式中:

$\gamma_{T\%}$  —— 为 $T$ 小时的视在负荷率, %。即 $T$ 小时负载的平均视在功率与最大视在功率之比的百分数。根据 $T$ 小时内出现95%以上最大负载的小时数 $T_m$ , 计算出最大负载运行时间的百分率 $T_{m\%}$

$$T_{m\%} = \frac{T_m}{T} \times 100\% \quad (C4)$$

式中:

$T_{m\%}$  —— 最大负载运行时间百分数, %。即 $T$ 小时内出现95%以上的最大负载的时间所占的百分数。根据 $\gamma_{T\%}$ 和 $T_{m\%}$ 值, 可在表C.1中查出对应的 $K_T$ 值。

表 C1 负载波动损耗系数表

$T_{\text{eff}}$ Y T%	$\frac{1}{T}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	99.03	(100.0)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	49.00	(50.00)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	32.34	(33.33)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	24.01	(25.00)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	19.01	20.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	15.68	16.510	(16.670)	—	—	—	—	—	—	—	—
7	13.31	14.010	(14.286)	—	—	—	—	—	—	—	—
8	11.53	12.140	(12.500)	—	—	—	—	—	—	—	—
9	10.14	10.680	(11.111)	—	—	—	—	—	—	—	—
10	9.037	9.519	10.000	—	—	—	—	—	—	—	—
11	8.132	8.568	9.004	(9.091)	—	—	—	—	—	—	—
12	7.379	7.777	8.174	(8.333)	—	—	—	—	—	—	—
13	6.742	7.107	7.473	(7.692)	—	—	—	—	—	—	—
14	6.197	6.535	6.873	(7.143)	—	—	—	—	—	—	—
15	5.725	6.039	6.353	6.667	—	—	—	—	—	—	—
16	5.313	5.606	5.899	6.191	(6.250)	—	—	—	—	—	—
17	4.951	5.225	5.499	5.772	(5.882)	—	—	—	—	—	—
18	4.629	4.887	5.144	5.402	(5.556)	—	—	—	—	—	—
19	4.341	4.584	4.826	5.069	(5.263)	—	—	—	—	—	—
20	4.083	4.312	4.542	4.771	5.000	—	—	—	—	—	—
21	3.851	4.068	4.285	4.502	4.719	(4.762)	—	—	—	—	—
22	3.639	3.845	4.051	4.257	4.463	(4.545)	—	—	—	—	—
23	3.447	3.643	3.839	4.035	4.230	(4.348)	—	—	—	—	—
24	3.272	3.458	3.645	3.831	4.018	(4.167)	—	—	—	—	—
25	3.111	3.289	3.467	3.644	3.822	4.000	—	—	—	—	—
26	2.963	3.133	3.303	3.472	3.642	3.812	(3.846)	—	—	—	—
27	2.827	2.989	3.152	3.314	3.477	3.639	(3.704)	—	—	—	—
28	2.701	2.856	3.012	3.167	3.322	3.478	(3.571)	—	—	—	—
29	2.584	2.733	2.882	3.031	3.180	3.329	(3.448)	—	—	—	—
30	2.476	2.619	2.762	2.905	3.047	3.190	3.333	—	—	—	—
31	2.376	2.513	2.650	2.787	2.924	3.061	3.199	(3.226)	—	—	—
32	2.282	2.414	2.545	2.677	2.809	2.941	3.072	(3.125)	—	—	—
33	2.194	2.321	2.447	2.574	2.701	2.827	2.954	(3.030)	—	—	—
34	2.113	2.235	2.357	2.478	2.600	2.722	2.844	(2.941)	—	—	—
35	2.037	2.154	2.271	2.388	2.506	2.623	2.740	2.857	—	—	—
36	1.965	2.078	2.191	2.304	2.417	2.530	2.643	2.755	(2.778)	—	—
37	1.898	2.007	2.116	2.224	2.333	2.442	2.551	2.659	(2.703)	—	—
38	1.836	1.941	2.045	2.150	2.255	2.360	2.464	2.569	(2.632)	—	—
39	1.777	1.878	1.979	2.080	2.181	2.281	2.382	2.483	(2.564)	—	—

40	1.722	1.819	1.917	2.014	2.111	2.208	2.306	2.403	2.500	—	—
41	1.671	1.765	1.858	1.952	2.046	2.139	2.233	2.327	2.420	(2.439)	—
42	1.622	1.712	1.803	1.893	1.983	2.074	2.164	2.255	2.345	(2.381)	—
43	1.577	1.664	1.751	1.838	1.925	2.012	2.100	2.187	2.274	(2.326)	—
44	1.535	1.619	1.703	1.787	1.870	1.954	2.038	2.122	2.206	(2.273)	—
45	1.495	1.576	1.657	1.737	1.818	1.899	1.980	2.060	2.141	2.222	—
46	1.458	1.536	1.614	1.691	1.769	1.847	1.925	2.003	2.081	2.158	(2.174)
47	1.423	1.498	1.573	1.648	1.723	1.798	1.873	1.948	2.023	2.098	(2.128)
48	1.391	1.463	1.535	1.607	1.679	1.751	1.824	1.896	1.968	2.040	(2.083)
49	1.361	1.430	1.500	1.569	1.639	1.708	1.777	1.847	1.916	1.985	(2.041)
50	1.333	1.400	1.466	1.533	1.600	1.667	1.733	1.800	1.867	1.933	2.000
51	1.308	1.370	1.431	1.493	1.554	1.616	1.677	1.739	1.800	1.862	1.923
52	1.284	1.341	1.398	1.454	1.511	1.568	1.625	1.682	1.738	1.795	1.852
53	1.262	1.314	1.367	1.419	1.472	1.524	1.576	1.629	1.681	1.734	1.786
54	1.242	1.290	1.339	1.387	1.436	1.484	1.532	1.581	1.629	1.678	1.726
55	1.223	1.268	1.312	1.357	1.401	1.446	1.491	1.535	1.580	1.624	1.669
56	1.206	1.247	1.288	1.329	1.370	1.412	1.453	1.494	1.535	1.576	1.617
57	1.190	1.228	1.266	1.304	1.342	1.380	1.417	1.455	1.493	1.531	1.569
58	1.175	1.210	1.245	1.280	1.315	1.350	1.384	1.419	1.454	1.489	1.524
59	1.161	1.193	1.225	1.258	1.290	1.322	1.354	1.384	1.419	1.451	1.483
60	1.148	1.178	1.207	1.237	1.266	1.296	1.326	1.355	1.385	1.414	1.444
61	1.136	1.163	1.191	1.218	1.245	1.273	1.300	1.327	1.354	1.382	1.409
62	1.125	1.150	1.175	1.200	1.225	1.251	1.276	1.301	1.326	1.351	1.376
63	1.115	1.138	1.161	1.184	1.207	1.230	1.253	1.276	1.299	1.322	1.345
64	1.105	1.126	1.147	1.168	1.189	1.211	1.232	1.253	1.274	1.295	1.316
65	1.097	1.116	1.136	1.155	1.174	1.194	1.213	1.232	1.251	1.271	1.290
66	1.088	1.106	1.123	1.141	1.159	1.177	1.194	1.212	1.230	1.247	1.265
67	1.081	1.097	1.113	1.130	1.146	1.162	1.178	1.194	1.211	1.227	1.243
68	1.074	1.089	1.103	1.118	1.133	1.148	1.162	1.177	1.192	1.206	1.221
69	1.067	1.081	1.094	1.108	1.121	1.135	1.148	1.162	1.175	1.189	1.202
70	1.061	1.073	1.086	1.098	1.110	1.123	1.135	1.147	1.159	1.172	1.184
71	1.056	1.067	1.078	1.089	1.100	1.112	1.123	1.134	1.145	1.156	1.167
72	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.101	1.111	1.121	1.131	1.141	1.151
73	1.046	1.055	1.064	1.073	1.082	1.092	1.101	1.110	1.119	1.128	1.137
74	1.041	1.049	1.057	1.066	1.074	1.082	1.090	1.098	1.107	1.115	1.123
75	1.037	1.044	1.051	1.059	1.067	1.074	1.081	1.089	1.096	1.104	1.111
76	1.033	1.040	1.046	1.053	1.060	1.067	1.073	1.080	1.087	1.093	1.100
77	1.030	1.036	1.042	1.048	1.054	1.060	1.065	1.071	1.077	1.083	1.089
78	1.027	1.032	1.038	1.043	1.048	1.054	1.059	1.064	1.069	1.075	1.080
79	1.024	1.029	1.033	1.038	1.043	1.048	1.052	1.057	1.062	1.066	1.071
80	1.021	1.025	1.029	1.034	1.038	1.042	1.046	1.050	1.055	1.059	1.063
81	1.018	1.022	1.025	1.029	1.033	1.037	1.040	1.044	1.048	1.051	1.055
82	1.016	1.019	1.022	1.026	1.029	1.032	1.035	1.038	1.042	1.045	1.048

83	1.014	1.017	1.020	1.022	1.025	1.028	1.031	1.034	1.036	1.039	1.042
84	1.012	1.014	1.017	1.019	1.022	1.024	1.026	1.029	1.031	1.034	1.036
85	1.010	1.012	1.014	1.016	1.018	1.021	1.023	1.025	1.027	1.029	1.031
86	1.009	1.011	1.013	1.014	1.016	1.018	1.020	1.022	1.023	1.025	1.027
87	1.007	1.009	1.010	1.012	1.013	1.015	1.016	1.018	1.019	1.021	1.022
88	1.006	1.007	1.009	1.010	1.010	1.013	1.014	1.015	1.016	1.018	1.019
89	1.005	1.006	1.007	1.008	1.009	1.010	1.011	1.012	1.013	1.014	1.015
90	1.004	1.005	1.006	1.006	1.007	1.008	1.009	1.010	1.010	1.011	1.012
91	1.003	1.004	1.004	1.005	1.006	1.007	1.007	1.008	1.009	1.009	1.010
92	1.003	1.004	1.004	1.005	1.005	1.006	1.006	1.007	1.007	1.008	1.008
93	1.002	1.002	1.003	1.003	1.004	1.004	1.004	1.005	1.005	1.006	1.006
94	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.003	1.003	1.003	1.003	1.004	1.004
95	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.003	1.003	1.003
96	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002
97	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
98	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
99	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
100	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

注：括号（ ）内的值，系该负荷率出现最大负载运行时间百分数的极限值。例如：负荷率23%的 $K_f$ 值（4.238）不是 $T_{m\%}=25\%$ 的值，而是 $T_{m\%}=23\%$ 的值。

附录 D  
(资料性附录)

变压器相间不平衡负载的损耗系数 ( $K_{Bb}$ )

D.1 计算法

D.1.1 变压器相负载不平衡度的计算式

$$F_{\phi} = \frac{S_m - S_x}{S_{\phi}} \quad (D1)$$

式中:

$F_{\phi}$ ——相间负载不平衡度;

$S_m$ ——三相中的最大负载视在功率, kVA;

$S_x$ ——三相中的最小负载视在功率, kVA;

$S_{\phi}$ ——三相平衡负载的视在功率, kVA。

D.1.2 相间最小负载不平衡度的计算

$$F_x = \frac{S_x - S_{\phi}}{S_{\phi}} \quad (D2)$$

式中:

$F_x$ ——相间最小负载不平衡度。

D.1.3 变压器相间不平衡负载损耗系数 $K_{Bb}$ 计算式

$$K_{Bb} = 1 - 2 \left( \frac{1}{3} F_{\phi} + F_{\phi} F_x + F_x^2 \right) \quad (D3)$$

D.2 查表法

在表D1中首先查找三相负载不平衡度(表中纵坐标),再查找相间最小负载不平衡度(表中横坐标),找出横、纵坐标对应的变压器相间不平衡负载的损耗系数( $K_{Bb}$ )。

表 D1 变压器相间不平衡负载损耗系数  $K_{Bb}$

$F_{\phi} \backslash F_x$	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0
3.0	3.000										
2.9	2.807										
2.8	2.627	2.807									
2.7	2.460	2.620									
2.6	2.307	2.447	2.627								
2.5	2.167	2.287	2.447								
2.4	2.040	2.140	2.280	2.460							
2.3	1.927	2.007	2.127	2.280							
2.2	1.827	1.887	1.987	2.127	2.287						
2.1	1.740	1.780	1.860	1.980	2.140						
2.0	1.667	1.687	1.747	1.847	1.987	2.167					
1.9	1.607	1.607	1.647	1.727	1.847	2.007					

1.8	1.560	1.540	1.560	1.620	1.720	1.860	2.040				
1.7	1.527	1.487	1.487	1.527	1.607	1.727	1.887				
1.6	1.507	1.447	1.427	1.447	1.507	1.607	1.747	1.927			
1.5	1.500	1.420	1.380	1.380	1.420	1.500	1.620	1.780			
1.4	1.507	1.407	1.347	1.327	1.347	1.407	1.507	1.647	1.827		
1.3	1.527	1.407	1.327	1.287	1.287	1.327	1.407	1.527	1.687		
1.2	1.560	1.420	1.320	1.260	1.240	1.260	1.320	1.420	1.560	1.740	
1.1	1.607	1.447	1.327	1.247	1.207	1.207	1.247	1.327	1.447	1.607	
1.0	1.667	1.487	1.347	1.247	1.187	1.167	1.187	1.247	1.347	1.487	1.667
0.9		1.540	1.380	1.260	1.180	1.140	1.140	1.180	1.260	1.380	1.540
0.8			1.427	1.287	1.187	1.127	1.107	1.127	1.187	1.287	1.427
0.7				1.327	1.207	1.127	1.087	1.087	1.127	1.207	1.327
0.6					1.240	1.140	1.080	1.060	1.080	1.140	1.240
0.5						1.167	1.087	1.047	1.047	1.087	1.167
0.4							1.107	1.047	1.027	1.047	1.107
0.3								1.060	1.020	1.020	1.060
0.2									1.017	1.007	1.017
0.1										1.007	1.007
0											1.000

附录 E  
(资料性附录)  
案 例

### E.1 案例分析

案例：某变电所有三台可并列运行的双绕组变压器，其技术参数如表 E.1：

表 E.1 技术参数 1

	$S_N$ (kVA)	$P_0$ (kW)	$P_k$ (kW)	$I_0$ (%)	$U_k$ (%)
变压器 A	10000	27.7	80.5	2.8	7.7
变压器 B	15000	36.4	139.2	3.01	7.84
变压器 C	20000	24.2	131.3	0.87	7.54

根据  $Q_0 = I_0 \% S_N \times 10^{-2}$ 、 $Q_k = U_k \% S_N \times 10^{-2}$ 、式 (A4)、式 (A5) 及  $K_q$  取 0.04，分别计算出各台变压器的技术参数如表 E.2：

表 E.2 技术参数 2

	$Q_0$ (kvar)	$Q_k$ (kvar)	$P_{0z}$ (kW)	$P_{kz}$ (kW)
变压器 A	280	770	38.9	111.3
变压器 B	452	1176	54.5	196.5
变压器 C	174	1508	31.2	191.6

采用本标准介绍的变压器经济运行方式的选择方法，分析计算变电所的经济运行方式的步骤如下：

步骤一：单台变压器间经济运行方式的确定

根据式 (1) 分别计算出并列运行的双绕组变压器经济运行方式的临界负载功率

a) 变压器 A 与 B 之间  $S_{Lz}^{A-B} = 7410$  (kVA)

b) 变压器 A 与 C 之间  $S_{Lz}^{A-C} = j\alpha$

c) 变压器 B 与 C 之间  $S_{Lz}^{B-C} = j\alpha$

根据以上的计算结果，结合相应判定原则，可确定单台变压器运行时 C 优于 A 和 B。

步骤二：单台与两台间经济运行方式的确定

由于单台变压器 C 是运行经济的，因此单台和两台间的经济运行方式只存在着 C 和 AC 对比及 C 和 BC 对比两种情况。

根据式 (1) 分别计算出并列运行的双绕组变压器经济运行方式的临界负载功率

a) 变压器 C 与 AC 之间  $S_{Lz}^{C-AC} = 16525$  (kVA)

b) 变压器 C 与 BC 之间  $S_{Lz}^{C-BC} = 17886$  (kVA)

步骤三：两种两台间经济运行方式的确定

同上方法计算出变压器 AC 和 BC 间  $S_{Lz}^{AC-BC} = 23645$  (kVA)

步骤四：两台与三台间经济运行方式的确定

同上方法计算出变压器 AC 与 ABC 之间  $S_{Lz}^{AC-ABC} = 23967$  (kVA)、变压器 BC 与 ABC 之间  $S_{Lz}^{BC-ABC} = 24100$  (kVA)

步骤五：按综合功率损失最小，本例变电所的经济运行方式的负载区间如表 E.3。

表 E.3 经济运行方式的负载区间

运行方式	C	AC	BC	ABC
负载 S (kVA)	0~16525	16525~23645	23645~24100	24100~45000



根据上述对变电所的经济运行方式分析计算,不仅要依据变压器的技术参数和容量来选择变压器运行台数,同时还必须充分考虑到相同台数运行方式之间也存在着经济运行方式。而且只有全面分析相同台数与不同台数运行方式之间的临界条件,才能全面准确地确定变压器的经济运行方式。

---