

# 浅谈低频电抗器开发设计

## Development of Reactor for Low Rector design

聂应发

田村（中国）企业管理有限公司（惠州分室）

**摘要** 随着电源产业迅速发展起来的提高效率的电抗器,在省电力日益要求下,电抗器需求也发展较快,开发这种电抗器,需要丰富的理论和实际知识,因此本文拟对以上具体深入地探讨,对于电抗器的铁心选用,线圈设计,磁路间隙,铜损和铁损的概算,温升的测算方法适用高频电抗器开发者,有一定的参考价值。

**关键词** :单相交流电抗器,铁心,线圈,磁路间隙,铜损 高周波铁损概算,温升测算

中图分类号: TM4 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517(2016)06-6-121

电抗器应用范围极为广泛,是电机启动,整流,变频不间断电源等设备和系统中的不可或缺的部件之一。尤其是在变频和不间断电源系统中,电抗器的品质优劣可能直接决定了系统的性能和成本。应该根据不同的要求来设计和制造电抗器,从而设计和计算的方法也各有差别。本文仅就不间断电源装置中交流电抗器的设计方法进行说明。

不间断电源的交流电抗器中通过的电流,既有基本频率的额定工作电流,又有进行调制的高频电流,还有相对应的各次高频谐波电流;在保证额定工作电流下的电抗值的同时,还要求保证在过负荷电流和饱和电流下的电抗;同时对电抗器的绝缘级别,体积,重量,尤其是负荷温升都有严格的规定。

交流电抗器的设计和计算大致可按以下步骤进行:

- 1) 根据对电抗器的基本电气参数要求,进行容量计算,选择铁心;
- 2) 根据铁心及工作磁通密度,计算线圈的匝数和铁心的磁路间隙;
- 3) 确定绕组的连接方式,选择绕组的线径(或载流面积),确定线圈的结构和尺寸;
- 4) 计算绕组的铜损和铁心的铁损,判断绕组负荷温升和铁心负荷温升;
- 5) 电抗器的整体结构设计和外形尺寸的检查。

以上的设计步骤是相互关联的,在步骤和步骤之间,

如果发现不合,应随时加以调整。例如,当发现铁心窗口容纳不下绕组时,就要适当调整铁心的窗口尺寸;又如,当发生绕组铜损过大,线圈温升超出要求时,就必须调整绕组的导线载流面积,减小铜损,降低温升;等等。

大家都知道,电抗器铁心磁路中所加的磁路间隙,根据使用的铁心形式的不同,所加间隙的方式也不同。间隙板可以使用环氧玻璃板, Nomex 纸板或其他耐温,耐压不变形材料;在组装时用耐温高强度胶将间隙板粘固在铁心端面上。

1) 对于 CD 型卷绕铁心,一般将磁路间隙平均加在铁心的研磨端面上(如图所示),并建议磁路间隙不大于铁心平均磁路长度的 8%。可以采取增加铁心截面,减少匝数的方法来减小间隙尺寸;也可以增加铁心的窗口高度来增加磁路长度。

2) 也可以将铁心的切断方式变化如图 2,但会使铁心制造和组装难度增加,成本也会加大,非特殊情况不建议采用。

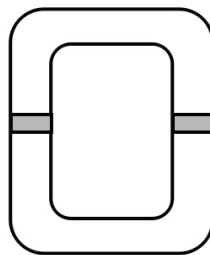


图 1 中间间隙

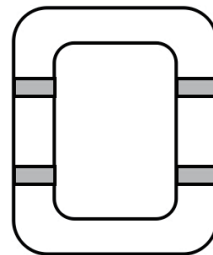


图 2 分布间隙

3) 对于 EI 形铁心, 可以将间隙板加在 E 片和 I 片之间, 也可以在 E 片的中足开磨间隙, 如图 3; 要注意的是, EI 叠片必须要夹紧, 不能松动, 以防止工作时的噪音; 可以塞加绝缘板(片)将铁心片夹紧, 也可以将 E 片的中足用氩弧融焊成一体, 必要时 I 片也进行氩弧融焊(图 4)。

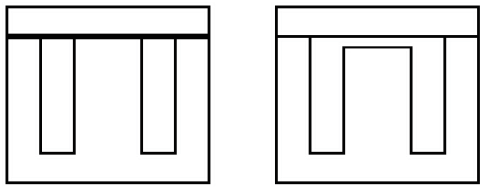


图 3 EI 铁心加间隙的方法

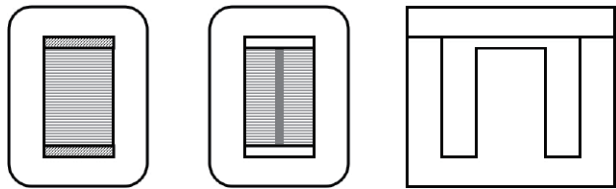


图 4 塞加绝缘片; 铁心中足端部和 I 片分别融焊

4) 对于叠片铁心, 由于铁心的尺寸是由计算得出的, 可以根据间隙的情况决定铁心的分割。例如, 以每片间隙板的厚度不超过 4mm 为限度时, 如果每边的间隙为 7mm, 则分为 3.5mm 的两片, 加在如图的铁心上(图 5); 如果每边间隙为 14mm 时, 则应分为 4 等份, 既每片约 3.5mm, 加在如图的铁心上(图 6); 依次类推。同样, 为了防止铁

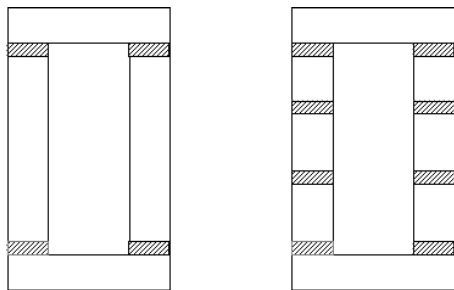


图 5 间隙片的分布

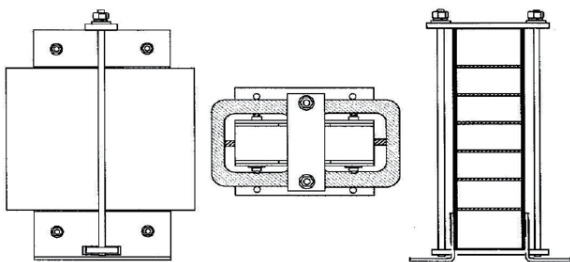


图 6 有间隙片铁心的紧固

心松动产生噪音, 除用粘胶粘接间隙片和铁心外, 还要用不导磁材料板(铝板, 不锈钢板, 环氧玻璃板等)将铁心夹紧, 并将铁心用螺杆拉固(图 7)。

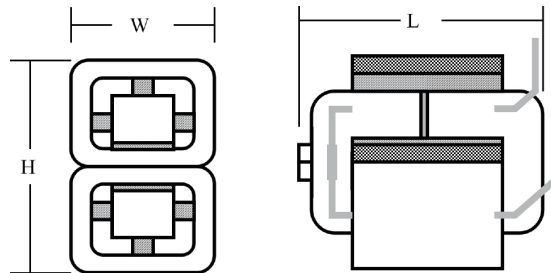
为了防止增加铁心涡流损耗, 在用螺丝杆紧固铁心时, 凡是穿过铁心的螺杆, 必须穿上绝缘套管, 端部加上绝缘垫片, 使螺杆和铁心绝缘。

电抗器的组装:

电抗器组装时, 要特别注意磁路间隙的调整。在铁心的中间加入计算尺寸的间隙板, 将铁心插入, 对齐后压紧, 加额定电流测试; 当电感量不足时, 适当减薄间隙板厚度, 当电感量过大时, 适当增加间隙板的厚度, 直到电感量合适为止。

为防止电抗器在工作时发出噪声, 正式组装时, 要在间隙板的两侧涂布耐高温的强力胶将间隙板和铁心端面牢固粘接。

装入铁心的线圈内侧置入环氧板, 然后用专用不锈钢紧箍带将铁心紧固, 铁心两侧和外侧用环氧撑条将线圈撑固; 再次进行各项电气检查, 外观检查, 预烘后进行 H 级漆浸渍, 安装出线端子, 最后进行各项检查, 完成。



组装示意图: 线包和铁心撑固; 间隙板粘接; 铁心紧固; 线圈联接。

以下就某型 30KVA 不间断电源中使用的单相交流电抗器为例, 说明单相交流电抗器的简易工程设计方法。

30KVA 不间断电源中对使用的单相交流电抗器的要求:

基本工作频率:  $f_0=50\text{Hz}$ ; 额定工作电流:  $I=55.0\text{A}$ ;

额定工作电流时的电感量:  $L=1.277\text{mH} \pm 3\%$ ;

饱和电流(最大电流):  $I_p=128.0\text{A}$ ;

饱和电流时的电感量:  $L_{pm} = L \times 99\%$ ;

调制开关频率和电流:  $f=8\text{kHz}$ ;  $I_t=3.84\text{Arms}$ ;

高次谐波频率和电流:

$f \pm 2 \times 50$	$2 \times f \pm 50$	$2 \times f \pm 3 \times 50$	$3 \times f$	$3 \times f \pm 2 \times 50$
0.71Arms	0.91Arms	0.19Arms	0.18Arms	0.35Arms

绝缘耐压 :AC 3.0 kV 1 分钟 ;绝缘等级 :H 级 ;  
 负荷状态 :100% 连续 ;使用的回路电压 :AC 415V  
 安装,使用环境和温度 :室内机柜中,电抗器平均周  
 温 40 ;

冷却条件和允许温升 :温升 105K 以下 (电抗器温度  
 最高 120 ) ;

根据以上给出的电抗器的各项电气参数值和温升等指  
 标要求,按照所列步骤进行选择 and 计算 :

1 电抗器的功率容量:

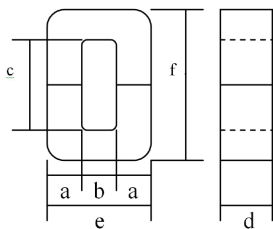
$$P=2 \times \pi \times f \times L \times I^2=2 \times 3.14 \times 50 \times 1.277 \times 55^2=1.213\text{KVA} \quad (1)$$

2 铁心的选择

2-1 根据电抗的用途和体积要求,初选铁心为 Z90-  
 0.27mm 低损耗硅钢片卷制的 CD 形铁心,双线圈方式,即  
 铁心的每一边承担功率容量的一半,铁心的截面积大致为:

$$\begin{aligned} S_c &= k \times \sqrt{P/2} \quad (k \text{取} 1 \text{时}) \\ &\approx 1 \times \sqrt{P/2} \\ &\approx 24.63\text{cm}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

2-2 铁心的形状尺寸和参数 :



材质 :Z90-0.27mm

a	b	c	d	e	f	r
40	35	90	60	115	170	2

占积率 :0.96

有效截面积 : $S_c = a \times d \times 0.96 = 23.04 \text{ (cm}^2\text{)}$

平均磁路长度 : $L_e = 37.57 \text{ (cm)}$

比重 :7.65 铁心重量 :~6.62 kg

(注意 :如果在以下步骤的设计计算中发生铁心尺寸不  
 合,应以于调整。)

3 线圈绕组匝数的计算

为了不使铁心在通过最大电流 (饱和电流) 时发生  
 磁饱和,额定电流下的铁心磁通密度应适当的低,并使计  
 算出的匝数尽可能为整数匝 ;本例初选工作磁通密度为

$B_m=0.684\text{T}$ , 绕组匝数的计算可按下式进行 :

$$\begin{aligned} N &= \frac{E \times 10^4}{4.44 \times B_m \times f \times S_c} \\ &= \frac{2 \times \pi \times f_o \times L \times I \times 10^4}{4.44 \times B_m \times f \times S_c} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 50 \times 1.277 \times 55 \times 10^4}{4.44 \times 6.84 \times 50 \times 23.04} \\ &= 63.1(\text{Ts}) \end{aligned} \quad (3)$$

取  $N=64(\text{Ts})$  ;

采用串联方式,每个线圈 32 匝。

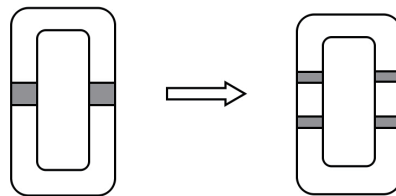
4 铁心磁路间隙的计算:

4-1 为避免铁心在大电流流过线圈时发生磁饱和,要  
 在铁心的磁回路中加入间隙,增加回路的磁阻 ;需要加入  
 的磁路间隙利用下式进行概算 :

$$\begin{aligned} L_g l &= \frac{0.4 \times \pi \times N^2 \times S_c \times 10^{-8}}{L} \\ &= \frac{0.4 \times 3.14 \times 64^2 \times 23.04 \times 10^{-8}}{1.277 \times 10^{-3}} \\ &= 0.923(\text{mm}) \end{aligned}$$

为使磁路对称,将磁路间隙平均分置于铁心的中间。

加入磁路间隙后,磁阻增大,在间隙部分的磁场力相  
 应增强,如果要加入的磁路间隙过大,会使电抗器的工作  
 噪声增加,同时对电抗器的机械强度也会产生不利的影  
 响;当需要加入的磁路间隙很大时,可以将铁心要加入磁路  
 间隙的部分适当分割,将间隙均分成相应等份加入的方式  
 进行改善,如下图所示。



但是,上述方法同时也增加了铁心的制作难度和成本。  
 一般情况下,建议选择较高饱和磁通的铁心及调整铁心的  
 截面积等来适当提高工作磁通,减少匝数,从而降低所需  
 的磁路间隙。

4-2 磁路间隙调整系数 :

在 4-1 计算出的磁路间隙  $L_g$ , 由于磁路间隙效应的存  
 在,实际组装时将相应增大。可以通过下式进行磁路间隙  
 调整系数  $F$  的计算,得到基本准确的实际需要的磁路间隙 :

$$F = 1 + \frac{L_g}{\sqrt{S_c}} \times \ln \left( 2 \times \frac{c}{L_g} \right) \quad (5)$$

式中 :c 为铁心的窗口高度,来用于约等于绕组线圈的长度,单位 -cm。

将数据代入,则有 :

$$F \approx 1 + \frac{0.923}{\sqrt{23.04}} \times \ln \left( 2 \times \frac{9}{0.923} \right) = 1.571$$

实际磁路间隙为 :

$$L_g = F \times L_0 = 1.46(\text{cm})$$

均分后,铁心每一边的中间需加的磁间隙为 :0.75cm。

### 5 绕组线圈的设计和有关数值的计算

线圈绕组的设计主要要满足绝缘和散热要求,线圈的体积越大,散热性能越好;但体积增大,用线长度加长,铜损也越大,温升也要增高;在线圈的匝数已经确定,又规定了电抗器的空间体积的情况下,上述因素必须综合考虑。

#### 5-1 确定线圈尺寸的原则 :

为了利于散热,线圈的内部和铁心间应该留有足够大的空间(过风道),外部尺寸也要在允许的规格内。

#### 5-2 线圈的长度和导线的选择 :

由铁心窗口高度和磁路间隙而知,铁心窗口允许的最大卷线长度为 :

$$L_a = c + L_g / 2 = 90 + 7.5 = 97.5\text{mm}, \text{取 } L_a = 95\text{mm};$$

为保证线圈和铁心间的绝缘强度,线圈两端保持和铁心间最少 8mm 的空间绝缘距离,则线圈的容线长度为 :

$$L_b = L_a - 2 \times 8 = 79\text{mm};$$

通常情况下,电流密度的范围可以为 :

$$J = 2.5\text{A} \sim 3.0\text{A}/(\text{mm}^2)$$

选用标称宽度 6mm,厚度 3.5mm 的 H 级 Nomex410 双层 0.05mm 纸包绝缘扁线(截面积为  $20.37\text{mm}^2$ ,电抗器额定电流时电流密度  $2.7\text{A}/\text{mm}^2$ )绕制,每层的容线匝数为 :

$N_c = L_b / (6\text{mm} + 0.45\text{mm}) = 12.2$  匝;(注 :0.45mm 为扁线的绝缘层厚度)

每个绕组 32 匝,需要 3 层,匝数的分配为底层 11 匝,第二层 11 匝,第三层 10 匝。计入层间绝缘后,卷线的厚度为 :

$$H_d = 3 \times (3.5\text{mm} + 0.45\text{mm}) + 2 \times 0.13 = 13.11\text{mm};$$

考虑到卷线底筒,层间绝缘,外包绝缘和卷线工艺余量后,线圈的厚度约为 : $H_e = 14.6\text{mm}$

由以上可知,在考虑卷线余量(卷线时所用固定胶带的大约厚度,一般为线高的 1/2)时,可以满足电抗器外形尺寸要求的最大线包外尺寸为 :

长 : $L_a = 95\text{mm}$  ;宽 : $W_a = 100\text{mm}$  ;高 : $H_a = 80\text{mm}$  ;

内截面尺寸为 :

宽 : $W_a' = 100\text{mm} - 2 \times 14.6\text{mm} = 70\text{mm}$  ;

高 : $H_a' = 80\text{mm} - 2 \times 14.6\text{mm} = 50\text{mm}$  ;

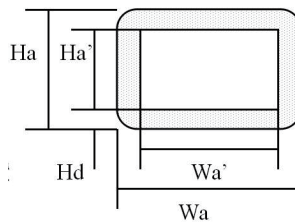
线圈的内截面尺寸即是卷线芯的截面尺寸,线圈的长度即是卷线芯的长度。

#### 5-3 绕组电阻和铜线用量的计算 :

由以上数据,计算每个线圈的线长,重量和铜阻 :

绕组的平均匝长 :

$$\begin{aligned} l_c &= 2 \times (H_a' + W_a') + \pi \times H_d \\ &= 2 \times (50 + 70) + \pi \times 10.61 \\ &= 273.3(\text{mm}) \end{aligned}$$



考虑到电抗器的串接和引出需要约 0.7m 线长,绕制线圈需要的导线总长度为 :

$$\begin{aligned} L_c &= l_c \times N + 0.7 \\ &= 17.92(\text{m}) \end{aligned}$$

查 3.5mm × 6.5mm 的纸包扁线的规格表,每米电阻为  $R = 0.824\text{m} / \text{at}20$ ,每米重量约为 0.190kg。则线圈绕组的电阻为 :

$$R_c = 15.24\text{m} / \text{at}20$$

铜线用量约 3.54kg。

### 6 铜损

电流通过线圈会产生损耗,使铜线的温度上升,铜线的温度上升会使铜线电阻加大,又会使损耗进一步增加,所以,线圈通过电流时,温度会逐步升高;由于散热机制的存在,当发热和散热能力相当时,线圈的温度不再升高,达到热平衡状态。

本例电抗器的温升( )在周围温度 45 时,为 75 以下;以此为限,计算绕组达到热平衡状态(铜线温度  $T_1$  达到 120 )的线圈铜损,既热态铜损 :

$$\begin{aligned} P_c &= I^2 \times R_c \times (1 + 0.00393 \times (T_1 - 20)) \\ &= 552 \times 15.24 \times 10^{-3} \times (1 + 0.00393 \times 100) \\ &= 64.2(\text{W}) \end{aligned} \quad (6)$$

(式中 :0.00393 为铜线温度每升高一度时的电阻的变化率。)

## 7 铁损

铁心在交变磁场中产生磁滞损耗和涡流损耗,统称为铁心产生的铁损。

一般情况下,磁滞损耗的通用计算式是:

$$P_h = K_h \times f \times B_m^{1.6} \times V$$

式中 : $P_h$  磁滞损耗 (W) ; $f$  频率 (Hz) ; $B_m$  最大磁感应强度 (T) ;

$V$  铁心的体积 ( $m^3$ ) ;1.6 常数 (史坦梅茨系数) ;

$K_h$  磁滞常数和铁心材料有关 就硅钢而言在  $2.5 \sim 1.5 \times 10^2$  之间。

涡流损耗的计算式为:

$$P_e = K_e \times f^2 \times B_m^2 \times V$$

式中 : $P_e$  涡流损耗 (W) ; $f$  频率 (Hz) ; $B_m$  最大磁感应强度 (T) ;

$V$  铁心的体积 ( $m^3$ ) ;

$K_e$  涡流系数和材料的电阻系数,截面大小及形状等有关,由实验确定。

通常情况下,生产厂家会给出所生产的电磁钢板的不同材质,不同规格(厚度),不同测试条件下的相关数据表或曲线。我们可以利用其中的有关数据曲线来概算铁损。

假定铁心的铁损  $W(W/kg)$ ,磁通密度  $B(T)$  和交变频率  $f(Hz)$  间存在以下的基本关系:

$$W = k \times f^x \times B^y \quad (7)$$

我们可以通过厂家给出的电磁硅钢片的高频铁损曲线,用一定的方法来导出上述关系式中  $k$  ;  $x$  ;  $y$  的近似值,代入计算式计算铁心在某一频率,某一磁通密度时的铁损(注:推算方法举例见附件 2)。

例如,我们利用厂家给出的 Z9-0.30mm 硅钢片的高频损耗曲线,得到铁损的计算式为:

$$W = 0.4291 \times 10^{-3} \times f^{1.68} \times B^{1.86} \quad (\text{经验算,误差在 } \pm 5\% \text{ 以内}) \quad (8)$$

磁通的概算利用下式进行:

$$B = ((0.4 \times \pi \times I_f \times N) / L_g') \times K_b \quad (9)$$

式中 : $I_f$  对应频率时的电流 ;

$N$  线圈匝数 (T)

$L_g'$  磁路间隙 (cm)

$K_b$  磁路间隙效应系数

$$K_b = (a + L_g' / 2) \times (b + L_g' / 2) / (a \times b) \quad (10)$$

式中 : $a$  ; $b$  铁心截面的边长和边宽 (cm)

将基本频率,调制频率和各高次谐波频率的电流代入(9)式,得到各电流下的  $B$  值,再利用(8)式求出相应频率下的铁损,各铁损值相加的和,即为单位重量全铁损值 ( $W/kg$ ),全铁损值和铁心的质量相乘,概算出电抗器铁心的铁损  $P_c$  来。

铁心单位重量全铁损值 :7.0W / kg

铁心质量 :6.62 kg

铁心铁损 : $P_c = 7.00 \times 6.62 = 46.4$  (W)

## 8 饱和电流下铁心的磁通密度

将电抗器的饱和电流值代入(9)式,可以得到饱和电流下铁心的磁通密度:

$$B_{mp} = ((0.4 \times \pi \times I_p \times N) / L_g') \times K_b$$

$$1.42 \text{ (T)}$$

铁心未饱和。

## 9 电抗器的温升和温升的计算

### 9-1 电抗器的温升:

由于电抗器工作时产生铜损和铁损,这部分被消耗了的能量几乎全部转换成了热能,造成线圈绕组和铁心的发热。线圈或铁心所积聚的热量,可以通过辐射和对流的方式,由电抗器暴露在空气中的表面消散;当热量积聚的速率和消散的速率相当时,进入热平衡状态,电抗器的线圈和铁心的温度处于基本稳定的状态,不再上升。

电抗器的温升取决于铁铜损耗,铁心和线圈的散热面积,散热能力和环境条件;多数情况下只能予以概算,最后的结果要由实际测试得到。当计算得出的温升过高时,则需要对电抗器重新设计;比如:选用铁损更低的铁心,增加导线截面积以降低铜损,加大线圈尺寸以增加散热面积,加装散热板等;必要时可以采取吹风等进行强制冷却。

### 9-2 预计温升的计算:

假设热能是通过铁心或线圈绕组的暴露表面均匀消散的,当绕组或铁心的温度高于周围环境的空气温度时,热量就将通过热辐射的方式和热对流的方式向周围传递。

热辐射方式的散热能力为:

$$W_r = K_r \times \varepsilon \times (T_r^4 - T_0^4) \quad (11)$$

式中 : $W_r$  :表面的辐射散热能力 ( $W/cm^2$ )

$K_r$  : $5.70 \times 10^{-12}$

$\varepsilon$  : 辐射系数, 一般情况下  $\varepsilon = 0.95$

$T_r$  : 物体表面绝对温度 (K)

$T_o$  : 周围环境的温度 (K)

热对流方式的散热能力为 :

$$W_c = K_c \times F \times t \times P^{0.5} \quad (12)$$

式中 :  $W_c$  : 表面的对流散热能力 (W/cm<sup>2</sup>)

$K_c$  :  $2.17 \times 10^{-4}$

$F$  : 相对空气摩擦系数, 对垂直  $F = 1.0$

$t$  : 物体表面温升 (K)

$\eta$  : 指数值, 1.0 ~ 1.25, 取决于表面形状和位置

$P$  : 相对大气压力 (海平面处 = 1, 低海拔处 = 1.0)

总的散热能力为两种散热能力相加 :

$$W_s = k_r \times W_r + k_c \times W_c \\ = k_r \times [K_r \times (T_r^4 - T_o^4)] + k_c \times [K_c \times F \times t \times P^{0.5}] \quad (13)$$

式中 :  $k_r$  辐射散热比率,  $k_c$  对流散热比率

实际上, 以上计算的是物体处于垂直的表面的散热能力, 并且即使是在垂直表面, 辐射散热和对流散热的能力也不是平均的。并且, 就对流方式的散热而言, 物体的上水平表面的散热能力还要比垂直表面大 15%~20%, 下水平表面的对流散热能力取决于表面面积和传热率。

设周围环境温度为 45 ( $T_o = 273 + 45 = 318K$ ),  $\varepsilon = 0.90$ ,  $\eta = 1.20$ , 并将物体的全部暴露面作为散热表面, 对计算进行简化。

如上, 则仅考虑热辐射散热时 :

$$T_r = [(W_r + K_r \times \varepsilon \times T_o^4) / (K_r \times \varepsilon)]^{0.25}$$

所控制的对应温升为 :

$$r = T_r - T_o$$

仅有对流散热时所控制的对应温升为 :

$$t = [(W_c / (K_c \times F \times P^{0.5}))]^{1/1.2}$$

一般情况下, 对同一物体而言, 单位表面积需要发散的热功率按 55% 的热辐射和 45% 的热对流组合实现 (既  $W_s = 0.55 \times W_r + 0.45 \times W_c$ ), 将已知数值代入, 可以得到如下的发热物体在周围环境空气温度为 45 时的预测温升计算式 :

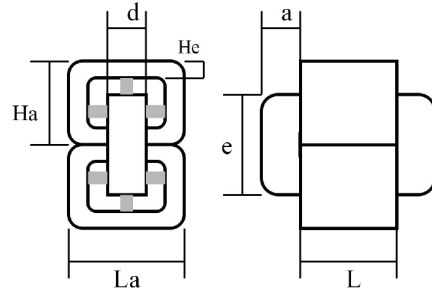
$$= (0.55 \times r + 0.45 \times t) / 2 \\ = (0.55 \times ((W_s + 0.05246) / (5.13 \times 10^{-12}))^{1/4} - 318) \\ + 0.45 \times (W_s / (2.7 \times 10^{-4}))^{1/1.2} / 2 \quad (14)$$

可以预设环境温度, 物体单位表面积需要耗散的热功率数值, 利用 (14) 式计算出预测的温升, 将结果列表或作

出单位表面积的散热功率和对应的预测温升曲线, 便于快捷查找。

9-3 线圈预计温升的计算 :

根据以上绕组线圈的尺寸, 计算线圈的表面积。



线圈的端面积 :

$$S_d = (2 \times (L_a + H_a) - 4 \times H_c) \times H_c + \pi \times H_c^2$$

总端面积 :

$$S_d' = 4 \times S_d$$

线圈的侧面积 :

$$S_c' = 4 \times ((H_a - 2 \times H_c) + \pi \times H_c) \times L + (L_a - 2 \times H_c) \times L$$

将  $H_a$ ,  $H_c$ ,  $L_a$ ,  $L$  的数值代入, 计算

$$S_c = S_d' + S_c' = 633.85 \text{ (cm}^2\text{)}$$

线圈单位表面积耗散的热功率为 :

$$W_{sc} = P_c / S_c = 0.131 \text{ (W/cm}^2\text{)}$$

将  $W_{sc}$  代入 (14) 式, 则有线圈在 45 环境下的预计温升为 :

$$\text{coil } 85.8 \text{ ( )}$$

9-4 铁心预计温升的计算 :

根据以上铁心的尺寸和电抗器的组装方式, 计算铁心暴露的表面积。

$$S_e = 4 \times ((e - 2 \times a) \times a + 0.5 \times \pi \times a^2) + 2 \times (e - 2 \times a + \pi \times a) \times d$$

将  $e$ ,  $a$ ,  $d$  的数值代入, 计算

$$S_e = 349.2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

铁心单位表面积耗散的热功率为 :

$$W_{se} = P_e / S_e = 46.4 / 349.2 = 0.133 \text{ (W/cm}^2\text{)}$$

将  $W_{se}$  代入 (14) 式, 则有铁心在 45 环境下的预计温升为 :

$$\text{core } 87.9 \text{ ( )}$$

9-5 电抗器整体预计温升的计算 :

可以将电抗器看作是一个整体, 来计算整体的预计温升。

下转133页