

电感线圈计算

(F)

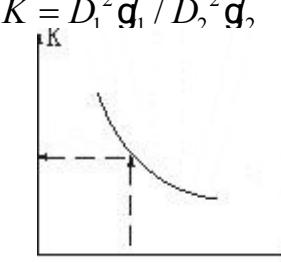
1	计算公式（资料）	P1~1/4	P153-157
2	电磁炉发热盘计算解析	P2~1/7	P158-165
3	萤光灯镇流器简易计算	P3~1/3	P166-168
4	电流互感器计算	P4~1/1	P169
5	“磁耦合器— 电磁能量转换为光能新装置	P5~1/14	P170-183

编著：姚文生 2006年1月 上饶

电感线圈计算公式

1	单层线圈电感量	$L = FN^2 D \times 10^{-3}$ (μ h)	线圈长度 l (cm)
2	单层线圈电感量(近似值)	细线密绕 $L = \frac{N^2 D^2}{100l + 44D}$ (μ h) 粗线间绕 $L' = L - nND(A+B) \times 10^{-3}$	线圈直径 D (cm ²) 形状系数 F $\frac{l}{D} > 0.1$ 准确度高
3	多层线圈电感量 多层线圈电感量(近似公式)	$L = FN^2 D \times 10^{-3}$ (μ h) $L = \frac{0.08D^2 cp g N^2}{3Dcp + 9l + 10^t}$	修正系数 A, B F 决定 $\frac{l}{D}, \frac{t}{D}$ t —线圈厚 D_{cp} 平均直径

	两个单层线圈互感量		φ 互感系数
4	(a) 平行同轴线圈的互感 (b) 同心圆线圈的互感	$M_a = \frac{1}{2} \varphi \sqrt{D_1 D_2} \times 10^{-3}$ $M_b = D_2 \cdot \varphi \times 10^{-3}$	N 匝数 n 股数
5	固有电容对线圈参数影响	$L' = \frac{L}{1 - \omega^2 L C_0} = \frac{L}{1 - (\omega / \omega_0)^2}$	$\omega_0 = 1 / \sqrt{LC_0}$
6	两个同轴多层次线圈的互感	$M = N_1 N_2 \cdot M_{\text{二单匝}}$	
7	两个尺寸相同，匝数相同的线圈的间距 b_2	$b_2 = \frac{b_2}{b_1} D / \sqrt{1 - (\frac{b_2}{b_1})^2}$	
8	二线圈互相套合时的互感系数 φ	$\varphi = \frac{2M \times 10^3}{N^2 \mu D}$	

9	分段多层次线圈中各段系数耦合	$K = D_1^2 q_1 / D_2^2 q_2$  已知 $\frac{b}{D_{cp}}$ → 由曲线查出, 出分段电感 L	“直角△性质” D_1 、 l_1 一线圈内径与长度 D_2 、 l_2 一线圈外径与长度
10	分段线圈的电感	$L = SL_c + 2(S-1)M_{11} + 2(S-2)M_{12} + L$ $\approx SL_c + 2(S-1)M_{11}$	$M_{11} = KL_c$ $M_{12} \ll M_{11}$
11	每段应有的电感量	$L_c = \frac{L}{S + 2K(S-1)}$ $L_c = \frac{L}{(2S-1)} \quad (\text{当 } b, l \text{ 很小时})$	S —分段数 $b=2l$ 则 $K=0.5$
12	回路的频率覆盖系数	$\gamma = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}}$	
13	电感线圈的品质因素	$Q = \frac{\omega L}{r}$	L (h)
14	铜导线的直流电阻	$r_0 = \frac{7ND_{cp}}{d^2} \times 10^{-6} \quad (\Omega)$	d (cm) 线径
15	平绕多股胶合线的合成导线的直流电阻	$r_0 = \frac{7aN D_{cp}}{nd_1^2} \times 10^{-6} \quad (\Omega)$ $n=3, 9, 10$ $a=1.02, 1.04, 1.$	n 心线股数 a 多股线绞扭系数

16	蜂房式绕组成线圈的直流电阻	$r_0 = \frac{7ND_{cp}}{d^2 \mathbf{C}_o \varphi_{cp}} \times 10^{-6} \text{ } (\Omega)$	
17	集肤效应使导线电阻 (等效导电层) 增大电流渗入深度 (当 $\mu=1$ 时)	$X = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho \times 10^9}{\mu f}}$ $X = 6.6 / \sqrt{f}$	ρ 导体电阻系数 铜导体 $\rho = 1.75 \times 10^{-6} (\Omega \cdot \text{cm})$
18	高 频 电 阻	$r_f = r_o [F(z) + (\frac{KNd_0}{2D})^2 \mathbf{G}(z)]$ 其中: 邻近形状系数 $Z = \sqrt{2\pi d} \sqrt{\frac{\mu f \times 10^{-3}}{p}}$ 对铜线的形状系数 $Z = 0.106d \sqrt{f}$	$F(z)$ —集肤效应增大系数 $G(z)$ —邻近效应影响增加系数
19	高 频 电 阻 (n股胶线)	$r_f = r_0 \{ F_{(Z)} + [(\frac{nd_1}{\sum d_1})^2 \mathbf{C} + (\frac{KNnd_1}{2p})^2] \mathbf{G}_{Z_1} \}$	C —计算系数 $C=1.82, 1.84$ $n=7, 9$
20	高 频 电 阻 (非环形磁芯的损耗电阻)	$r_c = r_F + r_B + r_n$ 其中: 磁滞损耗 $= \delta_r \mathbf{g} \omega L_c \mathbf{H}$ 涡流损耗 $= \delta_B \mathbf{g} \omega L_c \mathbf{f}$ 后效损耗 $= \delta_n \mathbf{g} \omega L_c$	

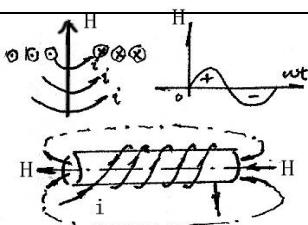
21	磁芯线圈的高频Q值	$Q_c = \frac{\omega L_c}{r_f + r_c} = \frac{\omega \mu_c \mathbf{g} L_0}{r_f} = \mu_l \mathbf{g} S_0$	
22	磁心线圈的电感Lc	$L_c = \mu_c \mathbf{g} L_0$ $K_\mu = \frac{\mu_c}{\mu}$ $K_u = \frac{\mu_c}{\mu_0} = 1$ (对环形磁芯)	μ_c — 磁芯的有效导磁系数 μ_0 — 材料的环导磁率 K_μ — 磁芯利用系数
23	环形磁芯的电感量	$L_c = 4\pi\mu_c N^2 \frac{S}{l_{cp}} \times 10^{-3}$ $(\mu_c = K_\mu \mu_0)$ $L_c = 4\mu_c N^2 \frac{S}{D_{cp}} \times 10^{-3}$ $(l_{cp} = \pi D_{cp})$	l_{cp} — 磁路平均长度

电磁炉发热盘计算解析

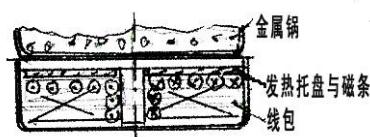
姚文生 2005 年 5 月 常州

1800W 电磁炉

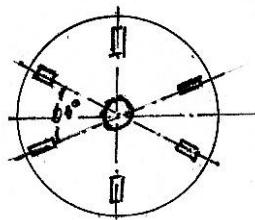
一)



T(1) 右手定则（手指方向为电流方向，大拇指方向为磁场方向）——有电就有磁，即线圈通电，线圈周围就有磁力线存在，结构合理，就能形成有实用价值的磁路



T(2) 每秒变化 50 次的磁力线，在金属锅内形成“涡流”——涡流发热→转化为热能



T(3) 六块磁条 $B5 \times 15 \times 60$ ，相隔 60° 置放均匀，使金属锅底受热均匀，热转化率高

从图(1)→图(3)说明：根据电磁学原理，有电就有磁，有磁就有电。通电线圈（或单根导线），电流方向为手指方向，则产生磁力线方向为大拇指方向，符合右手原则。合理设计线圈与磁条、磁芯结构组合，则形成有实用价值的磁路，这里电磁炉的金属锅本身就是磁回路的一部分，通电线圈的市电变化为 50 次/秒（即频率为 $f=50$ 次/秒），则产生的磁力线也反复变化 50 次/秒，其磁路也变化 50 次/秒，在金属锅内产生“涡流”，“涡流”很快转化为热能（没有明火），金属锅内盛的菜汤、煮的米饭等食物受热，达到食用的目的。1800W 电磁炉为 6 块磁条 $B5 \times 15 \times 60$ （或电炒锅 6 块弯磁条 $B5 \times 15 \times 59$ ）相隔 60° 均匀放置在一个硬塑料（非金属、非磁体，不受热）的托盘架中，使金属锅底受热均匀，热转化效率高，使之更为实用，一般家庭选用 1800W 电磁炉为最佳选择。

二)

磁芯与线包主要参数，耗铜计算：

图号	名称	材料	尺寸	数量	重量(Kg)	单价(元)	占电磁炉单价比
1	磁条	MXO-400	$B5 \times 15 \times 60$	6	0.0215	0.25	0.56%
2	磁芯	MXO-400	*Y25×12	1		0.20	
3	线包	Q-0.27	(0.27×30 股)×30t	1	0.162	6.48	2.16%
4	金属锅	AI 或不锈钢		1			
5	壳盘	硬塑料		1			

中心柱磁芯尺寸确定： $S_{c1}=0.5 \times 1.5 = 0.75 \text{cm}^2$
 $S_{c2}=6S_{c1}=6 \times 0.75 = 4.5 \text{cm}^2$ 即 $1/4 \pi d_{02}^2 = 4.5 \text{cm}^2$

$$d_{02}=\sqrt{4 \times 4.5 / \pi} \approx 2.3 \text{cm} \text{ 取 } d_{02}=25 \text{mm}$$

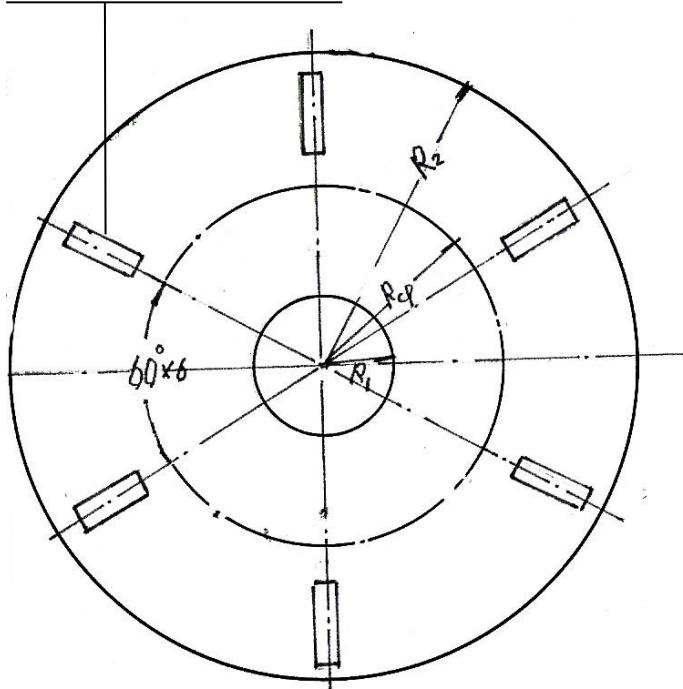
(即 Y25×h) → Y25×12

$h=30$ 股 $\times 0.31$ (0.27 漆包线径带漆皮的外径)

+ 托盘的底厚 + 气隙厚

$$=9.3+1+1.5=11.8 \text{mm} \text{ 取 } h=12 \text{mm}.$$

6 槽尺寸：B5.6×16.4×63



T5 磁条与安装托盘位置图

可以计算出来：选 $d_0=0.27$ (0.31)、 $S_m=0.057 (\text{mm})^2$ 、 $\rho_{20}=306 \Omega/\text{km}$ 、 $g=0.52 \text{kg}/\text{km}$

$$I=W I_{cp}=30 \text{匝} \times (3.14 \times 110) \times 10^{-3}=10.36 (\text{m}) \text{ 按平均匝长计算铜耗较合理}$$

$$30 \text{股总长 } L=\sum I=30 \text{股} \times 10.36 \times 10^{-3}=0.312 (\text{km})$$

$$20^\circ \text{线阻 } r_{20}=0.312 (\text{km}) \times 306 \Omega/\text{km}=91.8 \Omega; \text{ 工作时升温了计 } 75^\circ \text{ 电阻 } r_{75}=1.22 \times 91.8=112 \Omega$$

计算功耗时按 100°C 计， $r_{100}=1.32 \times 91.8=121.2 \Omega$

最大工作电流 $I_{max}=\sqrt{P/r_{75}}=\sqrt{16.07}=4.00 \text{A}$ ；这时电流密度 $\delta_1=4.00/0.057=70.2 \text{A/mm}^2$

$I_{min}=\sqrt{300W/112\Omega}=1.63 \text{A}$ ， $\delta_1=1.63/0.057=28 \text{A/mm}^2$ ；这时 30 股 $\delta_1=28.5/30=0.95 \text{A/mm}^2$

这时线包肯定不会发热了。

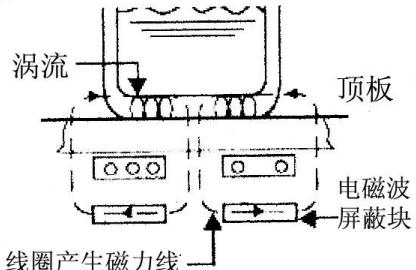
用电磁扁铜线，铜芯截面积必须有 $S_{Mo}=5 \times 6$ 或 4×6 否则 δ_1 大了，线包发热

所以这里是 30 股 0.27 高强度漆包线，同时绕制工艺容易，这时 $\delta_1=70.2/30=2.34 \text{A/mm}^2$

这样不感到线包有发热情况。

耗铜量 $G_m=0.312 \text{km} \times 0.52 \text{kg}/\text{km}=0.162 \text{kg} \rightarrow$ 若价位 40 元/kg=6.48 元/只 \rightarrow 价比占 2.16%

铁芯消耗 $G_c=(6 \times 21.5) \times 10^{-3}=0.130 \text{kg} \rightarrow$ 若价位 $6 \times 0.25+0.2=1.70$ 元/只 \rightarrow 价比占 0.56%



T4 电磁炉结构示意图

得： $R_2-R_1=65$ 导线绕的匝数

$$2R_1=45 \text{ W}=30 \text{ 匝}$$

$$\text{有: } R_1=45/2=22.5$$

$$R_2=65+22.5=87.5$$

$$\begin{aligned} \text{均直径 } D_{cp} &= (D_2+D_1)/2 \\ &= 2(87.5+22.5)/2 \\ &= 110 \end{aligned}$$

$$\text{算周长 } l_{cp}=\pi D_{cp}=3.14 \times 110$$

导线 (0.27×30 股) 沿内圆 D_1 连续绕至圆 D_2 共绕 (一层) W 匝，所需铜导线长
、耗铜量 ($W=30$ 匝)

三)	<p>使用说明:</p> <p>该机考虑使用情况不同,开关设计按使用功率分为5档:如开始使用时,食物、汤料是冷的,为求快速加热,可先使用最强档,即最大功率为P=1800W,其导线通过的电流密度为$\delta_5=2.17A/mm^2$,这时线圈还不会过热,使用是安全的,隔着不锈钢锅内的食物、汤料以至沸腾,这时可逐步依次改为第四强档(P=1200W),第三中档(P=600W),第二弱档(P=300W),直至保温第一微档(P=120W),具体数据如下:</p> <table border="1" data-bbox="282 691 1376 988"> <thead> <tr> <th>第一档</th><th>第二档</th><th>第三档</th><th>第四档</th><th>第五档</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>微</td><td>弱</td><td>中</td><td>强</td><td>最强</td></tr> <tr> <td>P=120^W</td><td>P=300^W</td><td>P=600^W</td><td>P=1200^W</td><td>P=1600~1800^W</td></tr> <tr> <td>线圈通过电流 $I_{01}=1A$</td><td>$I_{02}=0.63A$</td><td>$I_{03}=2.3A$</td><td>$I_{04}=3.26A$</td><td>$I_{05}=3.62~4A$</td></tr> <tr> <td>导线的电流密度 $\delta_1=0.58A/mm^2$</td><td>$\delta_2=0.95A/mm^2$</td><td>$\delta_3=1.36A/mm^2$</td><td>$\delta_4=1.9A/mm^2$</td><td>$\delta_5=2.17~2.5A/mm^2$</td></tr> </tbody> </table> <p>改变电热线圈托盘形状,变平面为弧形,磁条也为弧形,这样电磁炉就变为电磁炒锅了。</p>	第一档	第二档	第三档	第四档	第五档	微	弱	中	强	最强	P=120 ^W	P=300 ^W	P=600 ^W	P=1200 ^W	P=1600~1800 ^W	线圈通过电流 $I_{01}=1A$	$I_{02}=0.63A$	$I_{03}=2.3A$	$I_{04}=3.26A$	$I_{05}=3.62~4A$	导线的电流密度 $\delta_1=0.58A/mm^2$	$\delta_2=0.95A/mm^2$	$\delta_3=1.36A/mm^2$	$\delta_4=1.9A/mm^2$	$\delta_5=2.17~2.5A/mm^2$										
第一档	第二档	第三档	第四档	第五档																																
微	弱	中	强	最强																																
P=120 ^W	P=300 ^W	P=600 ^W	P=1200 ^W	P=1600~1800 ^W																																
线圈通过电流 $I_{01}=1A$	$I_{02}=0.63A$	$I_{03}=2.3A$	$I_{04}=3.26A$	$I_{05}=3.62~4A$																																
导线的电流密度 $\delta_1=0.58A/mm^2$	$\delta_2=0.95A/mm^2$	$\delta_3=1.36A/mm^2$	$\delta_4=1.9A/mm^2$	$\delta_5=2.17~2.5A/mm^2$																																
四)	<p>电磁炉与微波炉、燃气灶使用对比:</p> <table border="1" data-bbox="282 1212 1376 1549"> <thead> <tr> <th></th><th>对比项目</th><th>电磁炉</th><th>微波炉</th><th>燃气灶</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>节能情况</td><td>热效率90%</td><td>热效率50%</td><td>热效率低</td></tr> <tr> <td>2</td><td>安全与环保性能</td><td>无明火无辐射 使用安全</td><td>无明火有高频泄漏 有微波辐射</td><td>明火煤气可能泄漏 有安全隐患</td></tr> <tr> <td>3</td><td>使用性能</td><td>方便热得快</td><td>热得快但加热方式少</td><td>方便</td></tr> <tr> <td>4</td><td>经济快</td><td>适中</td><td>价格较贵</td><td>便宜</td></tr> <tr> <td>5</td><td>体积</td><td>小</td><td>较大</td><td>大</td></tr> <tr> <td>6</td><td>重量</td><td>小</td><td>较重</td><td>较重</td></tr> </tbody> </table>		对比项目	电磁炉	微波炉	燃气灶	1	节能情况	热效率90%	热效率50%	热效率低	2	安全与环保性能	无明火无辐射 使用安全	无明火有高频泄漏 有微波辐射	明火煤气可能泄漏 有安全隐患	3	使用性能	方便热得快	热得快但加热方式少	方便	4	经济快	适中	价格较贵	便宜	5	体积	小	较大	大	6	重量	小	较重	较重
	对比项目	电磁炉	微波炉	燃气灶																																
1	节能情况	热效率90%	热效率50%	热效率低																																
2	安全与环保性能	无明火无辐射 使用安全	无明火有高频泄漏 有微波辐射	明火煤气可能泄漏 有安全隐患																																
3	使用性能	方便热得快	热得快但加热方式少	方便																																
4	经济快	适中	价格较贵	便宜																																
5	体积	小	较大	大																																
6	重量	小	较重	较重																																
五)	<p>市场前景:</p> <p>电磁炉目前火爆市场,正在成为家电系列的新成员,它的环保节能特性、没有明火、没有微波高频辐射、快速加热等优势,越来越为广大家庭青睐,成为家庭“主妇”的首选,逐步取代其它加热电器。</p> <p>目前,1800W电磁炉的成本在80元左右,金坛家电市场的参考价格为300元左右,说明每台利润空间在200元左右,年产万台能力的小厂,每年利润可达200万元。市场前景看好。</p>																																			

六、建议（有可能改进得意见）

1.	<p>增加中心柱磁芯“磁力线”更易集中，而不散失，从而提高磁能转换热能的效率。中心柱磁芯尺寸的确定：$Yd_{02} \times h \rightarrow Y25 \times 12$</p> <p>a. 直径：因中心柱磁芯截面积应该是六根磁条（以 $B5 \times 15 \times 50$ 为例）截面积的总和，则有 $S_{c_2} = 6S_{c_1} = 6 \times (0.5 \times 1.5)$</p> $= 6 \times 0.75 = 4.5 \text{ cm}^2, S_{c_2} = 1/4 \pi d_{02}^2$ $\therefore d_{02} = \sqrt{4 \times 4.5 / \pi} = \sqrt{5.73} = 2.39 \quad \text{取 } d_{02} = 2.5 \text{ cm} = 25 \text{ mm}$ <p>b. 中心柱高度（或长）：$h_{\max} = 30$ 股 $\times 0.31$ (0.27 漆包线外径) $+ \text{发热盘厚 } 1^{+0.5} + \text{气隙厚 } 1^{+0.5}$ $= 9.3 + 3 = 12.3$ 取 $h = 12$</p>
2.	<p>磁条置放在发热盘上方，以缩短磁路，减少漏磁，以提高热效率。 发热盘结构，磁条位置有变动的可能，请结构设计人员想点办法，调节磁条位置，这可能给模具设计和加工带来困难！为了提高热效率也值一试。</p>
3.	<p>提高磁条材质质量及磁条截面积，不提高磁条成本，而实际上可以降低发热盘成本，降低铜耗（以 $B5 \times 15 \times 50$ 为例）</p> <p>A. 原铜耗（以 $B5 \times 15 \times 50$ 为例）0.162 Kg， 若价位 $34 \text{ 元/Kg} \rightarrow 5.5 \text{ 元/只}$ 价比占 $5.5 / 300 = 0.018$，即 1.8%</p> <p>B. 若改磁条材质与尺寸： 以现有 $MX-2000$， $B-(1) : B5 \times 17 \times 49$ 为例，$S_{B1} = 5 \times 17 = 85 \text{ mm}^2 = 0.85 \text{ cm}^2$ $B-(2) : B6 \times 17 \times 49$ 为例，$S_{B2} = 6 \times 17 = 102 \text{ mm}^2 = 1.02 \text{ cm}^2$ $B-(3) : B7 \times 17 \times 49$ 为例，$S_{B3} = 7 \times 17 = 119 \text{ mm}^2 = 1.19 \text{ cm}^2$ $\Delta S_1 = 0.85 / 0.75 = 1.133$ 即增加 13.3% $* \Delta Br = 150 - 100 / 100 = 50\%$ $\Delta S_2 = 1.02 / 0.75 = 1.36$ 增加 36.0% $\Delta Bs = 510 - 310 / 510 = 39\%$ $\Delta S_3 = 1.19 / 0.75 = 1.586$ 增加 58.6% 即 $\Delta B \uparrow = 1.5 \sim 1.39$ (取 $\Delta B = 1.40$)</p> <p>*参见“天通”公司目录：</p> <p>TP4 $\mu_i = 2300 \pm 25\%$ 当 $H = 1.194 \text{ KA/M}$ $Br_2 = 100 \text{ mt} = 1000 \text{ Gs}, Bs_2 = 510 \text{ mt} = 5100 \text{ Gs}$，比重 $d_2 = 4.8 \text{ g/cm}^3$</p> <p>TN50 $\mu_i = 500 \pm 25\%$ 当 $H = 24 \text{ KA/M}$ $Br_1 = 150 \text{ mt} = 1500 \text{ Gs}, Bs_1 = 310 \text{ mt} = 3100 \text{ Gs}$，比重 $d_1 = 4.5 \text{ g/cm}^3$</p> <p>通常 $L = W \Phi_B / I$ (1 亨 = 1 韦伯/安)</p>

$$\begin{aligned} \text{保持 } L \text{ 不变, 若 } \Phi_B &= BS \quad W \downarrow \\ \Delta \Phi_B &= \Delta B \uparrow \times \Delta S \uparrow \quad W \downarrow \end{aligned}$$

$$\Delta \Phi_1 = \Delta B_1 \times \Delta S_1 = 1.4 \times 1.133 = 1.58$$

$$* \Delta \Phi_1 \uparrow - 1.58 \rightarrow W_1 \downarrow = 30 \text{ 匝} / 1.58 = 19 \text{ 匝} \quad \Delta W_1 = 11 \text{ 匝}$$

$$\Delta \Phi_2 = \Delta B_1 \times \Delta S_2 = 1.4 \times 1.36 = 1.90$$

$$\Delta \Phi_3 = \Delta B_1 \times \Delta S_3 = 1.4 \times 1.58 = 2.2$$

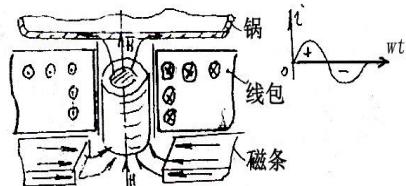
$$\sqrt{\Delta \Phi_1} \uparrow - \sqrt{1.58} = 1.25 \rightarrow W_1' = 30 \text{ 匝} / \sqrt{1.58} = 24 \text{ 匝} \quad \Delta W_1 = 6 \text{ 匝}$$

考虑实际磁条电感变化:

对 $B5 \times 17 \times 49$ 实测 $L_2 = 50 \mu H$

原磁条 $B5 \times 15 \times 50 \quad L_1 = 44 \mu H$

$$* \Delta L = 50 - 44 / 50 = 0.12$$



即在 W 不变时, 则 $\Delta \Phi \uparrow = 0.12$ 有同样变化

若考虑多层电感线圈:

$$L = FW^2D \times 10^2 = 0.08Dcp^2 \times W^2 / 3Dcp + 9L + 10$$

$$W \propto \sqrt{L}$$

$$\text{当 } W \text{ 不变时 } L = W \Phi / I \quad L \propto \Phi$$

$$\therefore W \propto \sqrt{\Phi}$$

故看出了 $\Delta W \propto \sqrt{\Delta \Phi}$ 它们的变化关系

在此例中 $* \sqrt{\Delta \Phi_1} = \sqrt{1.58} = 1.25$ 与实际测得的电感变化十分接近

$$* 2 \sqrt{\Delta L} = \sqrt{1.12} = 1.05$$

故可按上述变化, 修正磁通变化值,

$$\text{即 } \Delta \Phi_1 \rightarrow \sqrt{\Delta \Phi_1} = \sqrt{1.58} = 1.25 \rightarrow W_1' = 30 \text{ 匝} / 1.25 = 24 \text{ 匝}, \quad \Delta W_1' = 6 \text{ 匝}$$

$$\text{即 } \Delta \Phi_2 \rightarrow \sqrt{\Delta \Phi_2} = \sqrt{1.90} = 1.36 \rightarrow W_2' = 30 \text{ 匝} / 1.36 = 22 \text{ 匝}, \quad \Delta W_2' = 8 \text{ 匝}$$

$$\text{即 } \Delta \Phi_3 \rightarrow \sqrt{\Delta \Phi_3} = \sqrt{2.20} = 1.58 \rightarrow W_3' = 30 \text{ 匝} / 1.58 = 19 \text{ 匝}, \quad \Delta W_3' = 11 \text{ 匝}$$

上述分析计算表明——换了新磁芯, 发热盘线包绕线匝数可减少
 $\Delta W' = 6 \text{ 匝} \sim 11 \text{ 匝}$

这时耗铜与成本下降了:

平均匝数 $L_{cp} = \pi D_{cp} = 3.14 \times 110$, 这时用铜量:

$$\text{其长度 } L' = W_1' \times L_{cp} = 24 \times (3.14 \times 110) \times 10^3 = 8.28(\text{m})$$

$$30 \text{ 股总长度 } L = \sum L' = 30 \times 8.24 \times 10^3 = 0.249 (\text{KM})$$

耗铜量 $G_M = 0.249 \text{KM} \times 0.52 \text{Kg/Km} = 0.129 \text{Kg}$,
 若铜线单价为 34 元/Kg, 则现价为 $0.129 \times 34 = 4.39$ 元/Kg
 即每只发热盘线包成本节省了 $5.5 - 4.39 = 1.11$ 元/只
 除去增加中心柱磁芯成本 $Y25 \times 12$ 单价 0.30 元,
 线包成本实际降低了 $1.11 - 0.30 = 0.81$ 元/只
 发热盘六个凹槽尺寸为 $B5.6 \times 16.4 \times 52$ 六凹槽新尺寸应改为 $B5.6 \times 18.0 \times 52$

 原磁条尺寸为 $B5 \times 15 \times 50$ ——> 改为新磁条尺寸为 $B5 \times 17 \times 49$
 可见宽度方向尺寸只要加宽 2mm 就可以了
 即 $16.4^{+2.0} = 18.0^{+0.4}$

建议：

其一：通过上述计算分析，改变价格较便宜的磁体尺寸可以减少较贵的铜线材，总体效果会有收获，产量大效果更好。

其二：改用导磁率较高的磁材(虽然成本高一些)，即 $\Delta B \uparrow$ ，也可以减少铜线材，两者成本相抵差不多，但同样尺寸的磁条，磁密 $\Delta B \uparrow$ 增加了，磁条表面就不易发热，电磁炉的发热盘寿命却大大增加了，这提升了该产品的质量，一定会赢得上线客户的市场。

这里附上：“电感线圈计算公式” 供发热盘厂家的技术人员参考选用。

发热盘专用磁条

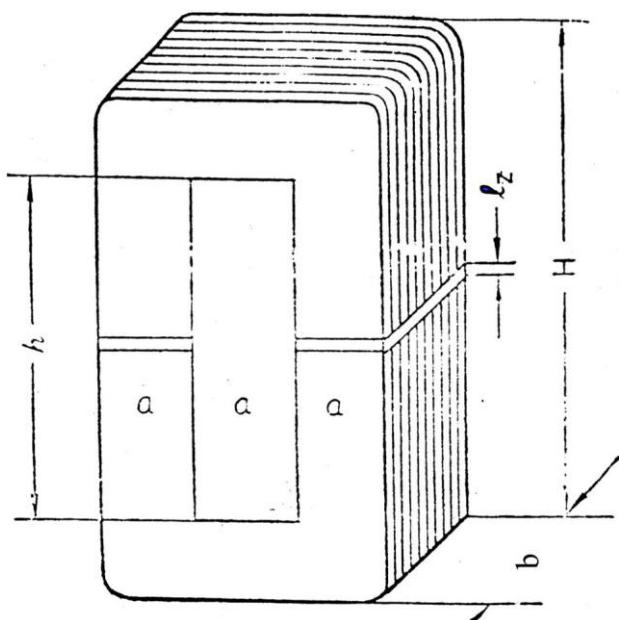
材料	锰锌铁氧体 MXO-400 $\mu_i = 400 \pm 20\%$				品种名称	规格
	电磁炉磁条					
A 电磁炒锅弧形磁条					弦长 L	$\overline{CD} = 59^{+0.10}_{-0.05}$
B 电磁炉专用磁条					宽度 H	$15^{+0.40}_{-0.50}$
					厚度 B	$5^{-0.10}_{-0.50}$
B	长度 L	宽度 H	厚度 B	要求电感值	测 试 条 件	
1	$60^{+1.0}_{-1.0}$	$15^{+0.6}_{-0.3}$	$5^{+0.1}_{-0.3}$	$L=48_0^{+4.0}$	B5×16 骨架 $1 \times 0.31 \times 26$	测试仪器： TH2773A 型 电感测试仪
2	$50^{+1.0}_{-1.0}$	$15^{+0.6}_{-0.4}$	$5^{+0.1}_{-0.3}$	$L=44_0^{+2.0}$		
3	$40^{+0.8}_{-0.8}$	$15^{+0.6}_{-0.4}$	$5^{+0.1}_{-0.3}$	$L=38_0^{+2.0}$		
4	$54^{+1.0}_{-0.5}$	$20^{+0.4}_{-0.3}$	$4.5^{+0.1}_{-0.3}$	$L=49^{+2.0}$		
5	$67^{+1.0}_{-1.0}$	$20^{+0.4}_{-0.3}$	$4.0^{+0.1}_{-0.3}$	$L=53^{+2.0}$	B5×21 骨架 $1 \times 0.31 \times 24$	测试频率： $f=1\text{KC}$
6	$60^{+1.0}_{-1.0}$	$17^{+0.4}_{-0.2}$	$5^{+0.3}_{-0.3}$	$L=52^{+2.0}$		
A	$59^{+1.0}_{-0.5}$	$15^{+0.1}_{-0.3}$	$5^{+0.1}_{-0.5}$	$L=48_0^{+2.0}$	B5×16 骨架 $1 \times 0.31 \times 26$	

3、萤光灯镇流器简易计算

关于萤光灯整流器典型计算还不多见，这里向电工及业余爱好者推荐一种简易计算方法。

业余爱好者应该学会利用手头现有的铁芯进行计算而后绕制线圈。

例如手中现有一叠片铁芯（见图）可否用来作 8 瓦萤光灯镇流器，并计算出镇流器的线圈数据。



1、铁芯几何尺寸为：

$$a=15.6$$

$$b=14.0$$

$$h=42.6$$

$$H=79.0$$

$$Sc=0.9ab \times 10^{-2}=2.14$$

2、硅钢片材料为

D42—0.35

(一) 考核手头现有铁芯大小是否合用

实际需要的铁芯截面 S^1 的经验方式。

$$S^1c = K \sqrt{\frac{p_n V_c}{V_n}} \text{ 通常系数 } K=0.4 \sim 0.7$$

业余爱好者常考虑的是经济实用可令 $K=0.4$

$$S^1c = K \sqrt{\frac{8 \times 220}{60}} = 2.1 \text{ cm}^2$$

(其中：电源电压 $V_c=220v$ 8w 灯管工作电压 $V_n=60v$)

可见手头现有的铁芯是合用的。(其截面积 $S^1 c \approx S_c$)

(二) 镇流器工作电压

$$V_p = \sqrt{\frac{V_c^2 - 1.5V_n^2}{1.15}} = \sqrt{\frac{220^2 - 1.5 \times 60^2}{1.15}} = 193 \text{ V}$$

(三) ∵采用硅钢片材料为 D42—0.35 可选 $B_M=10^4$ GS

而对 D310—0.35 叠绕铁芯 可选 $B_M=12000$ GS

对 D310—0.35 带叠绕铁芯可选 $B_M=15000$ GS

(四) 线卷匝数的计算:

$$W = \frac{V_p}{B_m S_o} \div 4.5 \times 10^5 = \frac{193}{10^4 \times 2.14} \div 4.5 \times 10^5 = 4000 \text{ 匝}$$

因为是心式铁芯, 可采用双线包绕制, 每一线包为 2000 匝

(五) 线径选择

1、按启动时最大电流选取线径则有:

$$d_{01}=0.56 \quad I_n=0.56 \sqrt{0.22}=0.264$$

2、按工作电流选取线径则有:

$$d_{02}=0.56 \quad I_p=0.56 \sqrt{0.16}=0.224$$

业余爱好者, 从经济考虑, 可选取 d_{02} 相近的线径,

$$\text{今选取 } d=0.21 \text{ (0.235)} \quad \rho_{20}=506 \Omega/\text{km}$$

(六) 考核窗口温升:

可参阅本书“整流平滑滤波扼流圈典型计算。用 0.21m/m 导线, 分两个线包共绕 4000 匝, 窗口可以容下, 则可继续考核温升, 通过线圈平均匝长, 线圈直流电阻, 可算出线包的铜耗, 同时考虑铁耗, 计算发热情况若不超过允许的温升, 则上述计算是可行的。否则, 重新选择铁芯与线径进行重复计算。

(七) 镇流器实际上是一个低频扼流圈, 它主要是限制日光灯的电流以及控制起辉器放电熄灭后随即引起线路电流的突然变化, 而调整镇流器铁芯对插之磁路间隙 L_z 可以达到控制线路电流的突然变化的程度, 从而可以借助调整气隙来达到调整日光灯启动时间并可使其在较低电源电压下启动。单边气隙厚度的经验公式:

$$L'z=1.9 \times 10^{-8} I_p W=1.9 \times 10^{-3} \times 0.16 \times 2000=0.61 \text{ m/m}$$

从附表可见, 灯管工作电压, 工作电流相近的镇流器不是不可以通用的, 例如 30W 与 40W, 15W 与 20W 就可以混用, 业余爱好者可以通过调整气隙厚度即可达到一物多用的目的, 而市场购买的镇流器多是浇灌了沥青的, 无法调整气隙, 所以无法相互混用, 业余爱好者, 可以通过调整气隙大小可以在较低电压下启动, 同时也可以改变日光灯启动时间。

上面举出了 8W 镇流器的计算实例, 由于编者实践不多, 尚望同志们多多提出改进意见, 这里推荐的计算方法和数据都不是先进的, 但是简易可行的。

15~40W 镇流器数据。

灯管功率 (W)	铁芯数据				绕组数据		气隙
	铁芯片 材 料	磁密 (B) GS	铁 芯 型 号	铁芯截面 积 (Sc)	经径 (m/m)	匝数 (匝)	Lz (m/m)
8	D42-0.35	10000	见图	2.14 cm ²	0.21	2×2000	2×0.61
15-21	D310-0.35	12000	E16×25	3.64	0.35	2000	1.3
30-40	D310-0.35	12000	E16×25	3.64	0.41	1670	0.54

附表

序号	型号	额定 功率 Pn(W)	灯管尺寸 (m/m)	灯管工 作电压 Vo (V)	灯管工 作电流 (A)	启动预 热电流 In (A)	灯管压降 △V _L (V)
1	RR-8	8	Φ15×301	60±6	0.16	0.22	
2	RR-10	10	Φ25×344	45±5	0.25	0.35	
3	RR-15	15	Φ38×450	50±6	0.33	0.50	202
4	RR-20	20	Φ38×603	60±6	0.35	0.50	186
5	RR-30	30	Φ38×908	98±10	0.40	0.62	180
6	RR-40	40	Φ38×1213	108±10	0.41	0.65	135

参阅：农村电工手册 4.52 表

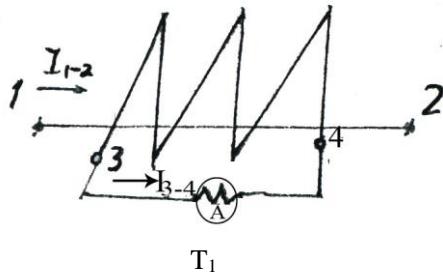
NO	镇流器计算实例		
	(× × 4.750.A90/04)	P _H =2W L=2h	
1	计算阻抗	Z $\sqrt{(2\pi fL)^2 + r^2} \approx 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 2 = 628$ Ω	
2	计算启动电流	I _o =U/Z=220/628=0.35A；估计灯管压降为 30v ($\Delta U = I_o Z = 0.35 \times 628 = 30$ v)	
3	计算工作电流	I _{paδ} =P/V=8/30=0.30A	
4	选铁芯	K _E =16×25 S _c =3.64cm ² I _c =13.7cm	
5	计算匝数	$W = \sqrt{\frac{LI_c}{\mu \sim S_c 4\pi \times 10^9}} = \sqrt{\frac{2 \times 13.7}{150 \times 12.56 \times 10^9}} = 2230$ t, H~ $\sim \frac{I \sim W}{I_c} = \frac{0.3 \times 2230}{13.7} = 49$ At/cm	
6	窗口计算(略)	n=84 匝/层，共 N=26 层，查图表一可得 μ~≈150	
7	扼流圈 (P _{DP})	P _{DP} =2π (3f) × 2 × 0.32 ² =4π×150×0.09=170 VA	
8	变压器 (P _{TP})	P _{TP} =0.5×P _{DP} $\sqrt{\frac{f}{f_H}} = 0.5 \times 170 \sqrt{\frac{1}{3}} = 49$ VA	
9	L	$L = \frac{W^2 S_c}{I_c} \times \mu \sim \times 4\pi \times 10^{-9} = \frac{2230^2 \times 3.64}{13.7} \times 150 \times 12.56 \times 10^{-9} = 2.46$ h	

4、电流互感器计算

初级 W_{1-2} 少，电流 I_{1-2} 大

次级 W_{3-4} 多，电流 I_{3-4} 小

用途：A 电流表在电流过大时，不能直接接入
(串入) 电路，否则烧毁。



$$\text{若采用 } 100: 5 \text{ 电流互感器即 } \frac{I_{1-2}}{I_{3-4}} = \frac{W_{3-4}}{W_{1-2}} = \frac{100}{5} = \frac{20}{1}$$

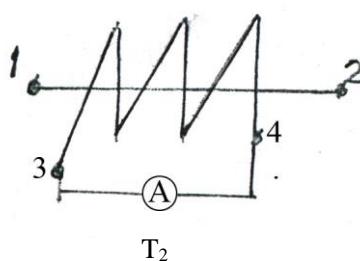
$$150: 5 \text{ 电流互感器, } \frac{I_{1-2}}{I_{3-4}} = \frac{W_{3-4}}{W_{1-2}} = \frac{150}{5} = \frac{30}{1}$$

$$75: 5 \text{ 电流互感器, } \frac{I_{1-2}}{I_{3-4}} = \frac{W_{3-4}}{W_{1-2}} = \frac{75}{5} = \frac{15}{1}$$

$$50: 5 \text{ 电流互感器, } \frac{I_{1-2}}{I_{3-4}} = \frac{W_{3-4}}{W_{1-2}} = \frac{50}{5} = \frac{10}{1}$$

当电流比很大时，即互感器次级 W_{3-4} 很大，则次级电压很高，这时不允许开路，否则互感器因高压而击穿，这时应将次级短接。

若互感器是 $50:5=10:1$ ，那次级通以 $50A$ 电流，则次级串入表测量出 $5A$ ，反之，在次级量出 $5A$ 互感器是 $50: 5$ ，则初级电流是 $50A$ ，如果现有 $100A$ 量程的表头，



$$\frac{100^A}{50} = \frac{40^A}{X} \quad X=20A$$

泡形低频无极灯——磁耦合器装置

(一种电磁能量转化为光能的新装置)

NO	目 录 内 容	图表页号	页次
(一)	无极灯发光原理与磁材选择要求	图一(a)、(b)、(c)	2~5
	(1) 无极灯发光原理		
	(2) 无极灯磁耦合器装置对磁材的基本要求		
(二)	正确选择、评估，使用优质磁材	图三/四；图七/八； 图二；图五/六； 图九/十； 图十一/十二	5~10
	(1) 正确认识(日)TDK _{C0} 的优质磁材“PC95”		
	(2) 重视对国产优质磁材的选用		
(三)	低频无极灯磁耦合器装置配套专用磁环		11
(四)	150W 泡灯；几种常用磁耦合器装置	图十三	12
(五)	“磁耦合器” — 无极灯之能量转换装置重要论述		13
(六)	结束语		14

磁耦合器

【引言】无极灯是一种没有灯丝的新型电光源，各种技术参数，明显优于市场上三代节能灯，正引起各界人士的高度关注。“无极灯”是电子技术应用、磁学应用，电光源三方面最新科技成果的结晶。作者借“无极灯”这个新技术、新产品平台。对“电能、磁能、光能”三方面能量转换的关键核心装置——“磁耦合器”装置作一介绍，通过对优质磁材的分析、比对，深入了解磁材各重要参数作用，影响大小，进而正确使用它。文章引出若干重要警示^{*1~6}以增加印象，引起人们重视。文章又推出若干重要结论 1~4，要求磁路设计人员必须按规律办。文章还给出了大量实验图表与重要试验数据。这更体现文章的实用价值与依据，这里还推荐非常实用，全套的专用磁环。最后还对几种常见的典型磁耦合器装置 A、B、C 装置进行比对，B 装置我们已完成专利申请，但还是将对 B 装置公开展示，“雄邦_{co}”已做成 150W 泡形低频无极灯的正式产品，这一突破将预示着对本行业有更大的突破。本文公开了 B 装置，抛砖引玉，期待同行有识之士，对大功率泡形灯有更大的突破。

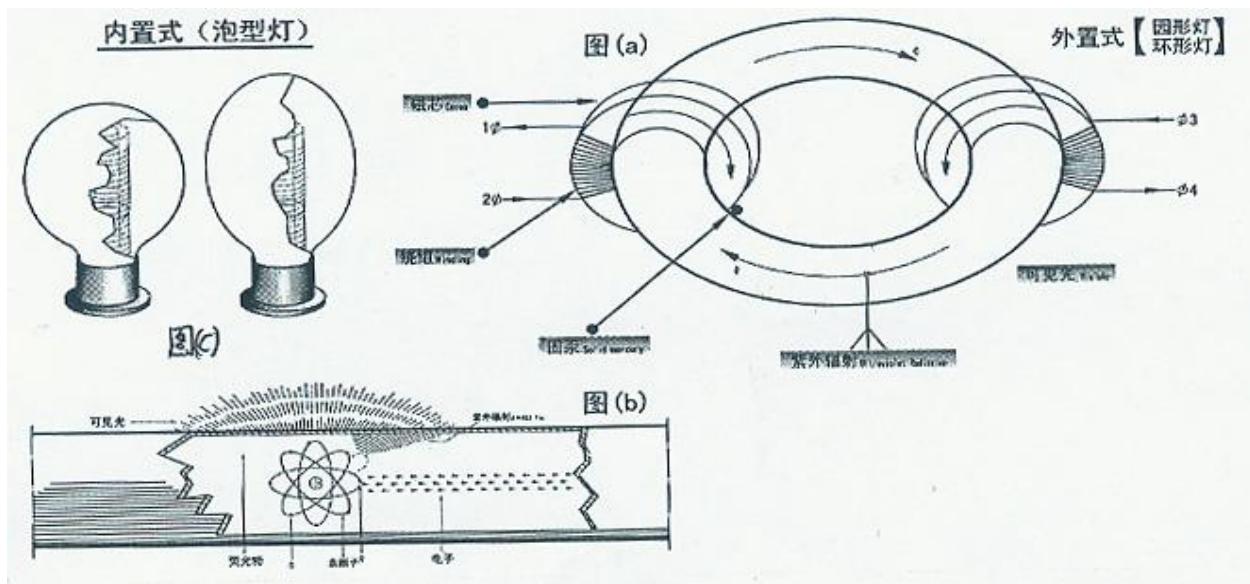
（一）无极灯发光原理与磁材选择要求：

（1）无极灯发光原理

磁力线具有穿透性是人们早已熟知的道理，但用高频磁力线，穿过玻管，激发汞原子为等离子体而转化为可见光，则是上世纪七十年代的事。转化为产业，则是近十年的事。

磁耦合器装置可以将高频电能高效率转换为能量很强的磁力线，这磁力线具有穿透一切非磁性物体（玻璃、陶瓷、塑料、木材等）的能力，这磁力线穿过玻管，不断激发固态汞原子核外电子为汞离子，

离原子核较远的第六层核外电子有二个 ($6S^2$)，处在高能位而且不稳定，连续不断激发，瞬间管内形成汞的等离子体，产生波长 253.7 nm 很强紫外线辐射，进而不断作用于管内的荧光粉，而有效转变为高能量的可见强光。参见下面图一 (a)、(b)、(c)



(2) 对无极灯磁耦合器磁材的基本要求

A、能产生高能量磁通量，而体积不大的磁材，必须是高导磁率的磁材。

B、电磁能量转化为光能，要求效率高，得到高能量光效，必须是低功耗的磁材。

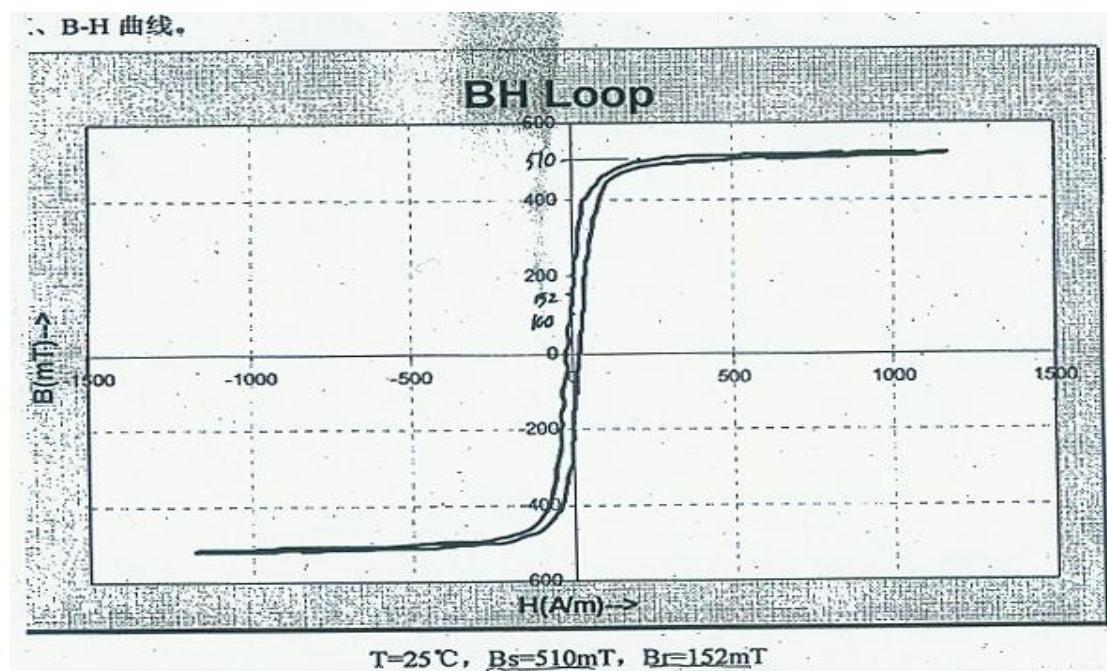
C、对大负荷的无极灯可在充许温区内，连续可靠工作，必须是居里温度高，具有高饱和磁感应密度的磁材。

即三高一低的磁材（高 μ_e 、 θ_c 、 B_s 和低 P_{cv} ）

作为开关功耗磁芯，该配套磁体其磁材首先是锰锌铁氧体（亦可以是镁锌铁氧体），其主要成份是 $Fe_2O_3+M_nO+Z_nO+多种微量“杂质”$ 。可以满足 150~250KHZ 频段工作的电子设备，功率可以做到几百瓦，其工作温度可以做到 $-45^{\circ}C \sim +250^{\circ}C$ 左右。

随着科技进步，电子设备数字化、小型化。要求开关电源，工作频率不断提高，目前使用的开关电源频率已超过 100KHZ，承担电磁转换的铁氧体器件的高频变压器或磁耦合器。磁损大，导致发热温度，达到磁材的居里温度时（这时的导磁率或电感量为零值），致使磁耦合器不工作了，耦合转化功能丧失，不起作用失效了。

图二为南京精研公司提供的一种磁材的磁化曲线



我们说这款磁材具有高饱和磁感应密度与低剩磁，而且 $\frac{B_s}{B_r} = 3.55 > 3$ 。其 $B_s = 510\text{mT}$ 与（日）TDK_{co}“PC95”，PC44 的 B_s 相同，是一款相当不错的优质磁材。可以满足选材的一个必备的条件。

结论 1：南京精研 C0 提供上述一款优质磁材“FP2G”可以入选作低频无极灯专用磁材。

*1 高 B_s 低 B_r 且 $\frac{B_s}{B_r} \geq 3$ 的磁材是可以作开关功耗磁芯的磁材

从图二还可看出 H_c 很小，同时 B_r 低对工作频率在 150KHZ 左右

的低频无极灯的磁体，对减少磁滞损耗是非常有利的。

图二解读：当 H 很小时， B 与 H 关系是一个线性关系，

当 H 逐步加大（即电流加大）， B 与 H

是一个非线性关系。

当 H 很大（达到 $H=1194A/M$ ），则完全达到饱和状态，即 B_s 值不再增加，这时对铁芯器件表现出发热非常厉害，而烧坏器件。所以安全可靠的工作磁密 B ， $B << B_s$ ，通常选择在 $B=100\sim 200$ mT。

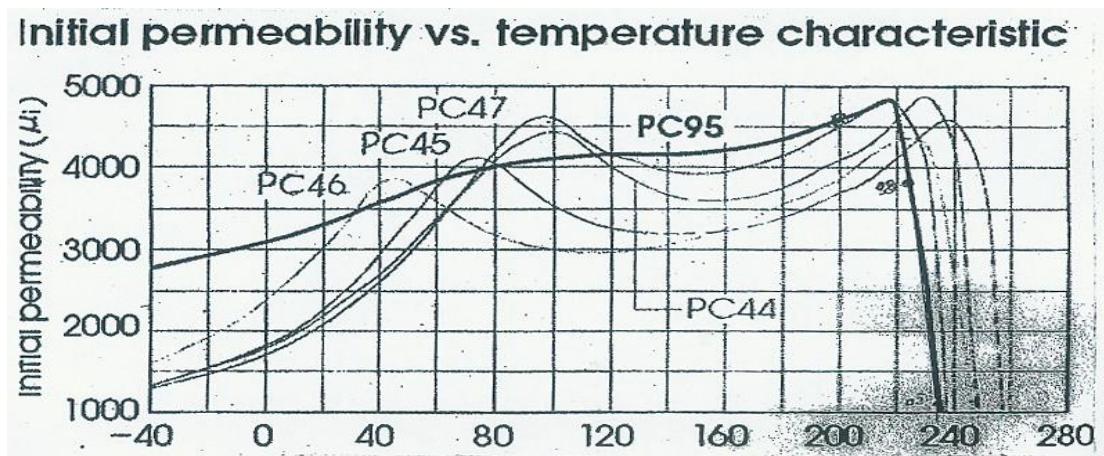
但在特殊要求的环境下工作的泡形低频负荷较大的无极灯磁耦合器磁体的 B 值最好选择在 $50\sim 100$ mT。

（二）正确选择、评估、使用、优质磁材

（1）正确认识（日）TDK_{co} 优质磁材“PC95”

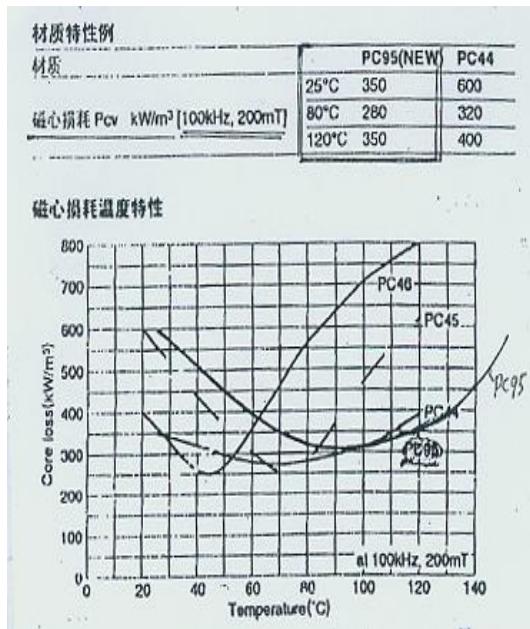
（日）TDK_{co} 是世界上公认的本行业的磁材专业生产，研发最优秀的企业之一，它研发生产的“PC95”优质磁材，凝聚了 TDK_{co} 所拥有铁氧体技术。

它具有 PC44 同样的 $B_s=510mT$ 的特性，还实现了 $25\sim+120^{\circ}C$ 温区内低于 $350mw/cm^3$ 的低损耗，可在最佳状态下使用，可用于各种开关电源作主变压器。



图三 导磁率 μ_i 与温度 $T^{\circ}C$ 的关系

图三表明：在较宽温区内， μ_i 变化不大，而居里温度为 $T_c=+240^{\circ}C$

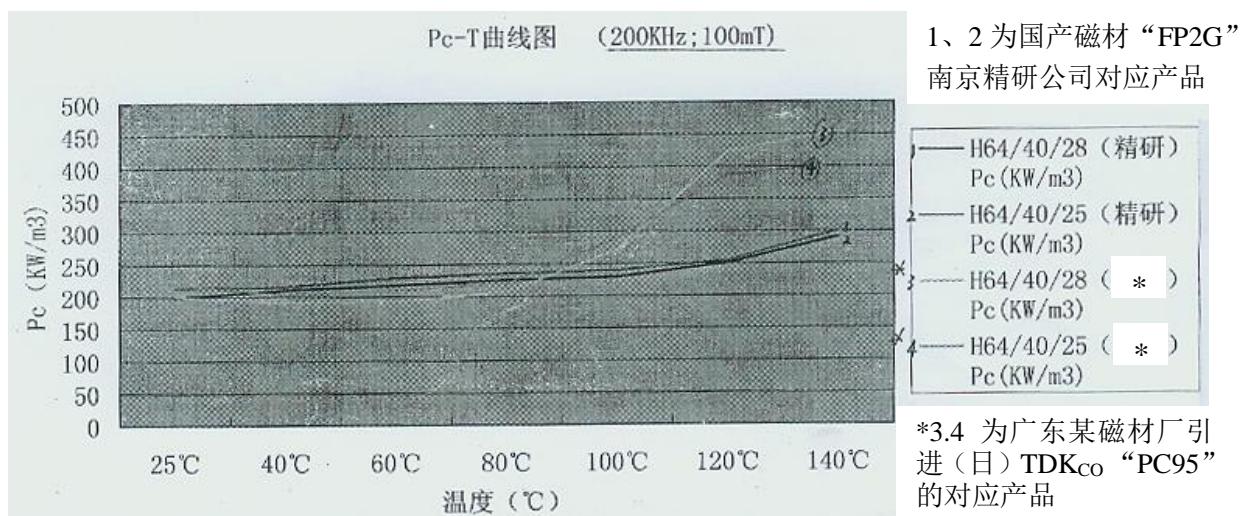


图四为(日)TDK_{Co}若干磁材的磁耗 P_{cv} 与温度关系曲线。

图中也表明优质磁材“PC95”在 $25 \sim 120^\circ\text{C}$ 温区内 $P_{cv} \leq 350\text{mw}/\text{cm}^3$, 且在 $+80^\circ\text{C}$ 有 $P_{cv\min} = 280\text{mw}/\text{cm}^3$ 。测试条件为 $f = 100\text{KHZ}$, $B = 200\text{mT}$ 。同时还表明在 $+140^\circ\text{C}$, $+160^\circ\text{C}$ 高温区其功能 P_{cv} 上升斜率加大, 这意味着磁损加大, 发热转化为温升也大。

(2) 重视对国产磁材的选用

近十年来, 我国电子工业的基础行业得到骄人的进步, 笔者对此与南京精研公司“FP2G”材质及其相应产品, 作过对比试验。在同等条件下, 在 100°C , 120°C 时, 从图五表明, 引进(日)TDK_{Co}“PC95”对应的产品(图六)其磁损都不如南京精研的对应的产品。

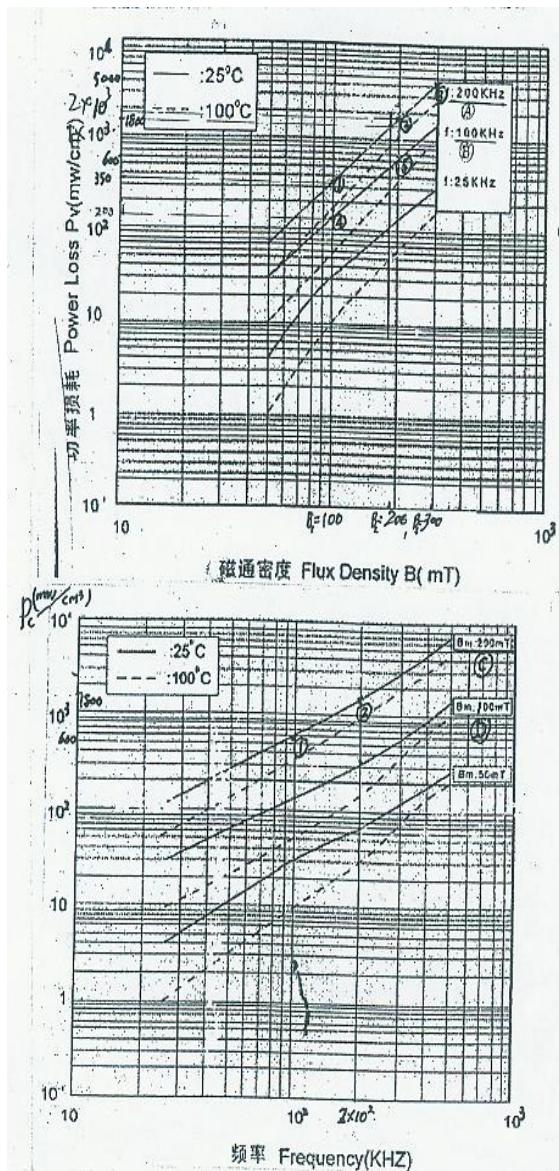


HLA 磁 环 测 试 结 果 对 比	国产 磁 材	1、 $64 \times 40 \times 28$	2、 $64 \times 40 \times 25$	3、 $64 \times 40 \times 28$	4、 $64 \times 40 \times 25$	*广东某磁材厂引 进(日)TDK _{Co} “PC95”
		P_c (mw/cm^3)				
25°C		198	213	200	218	
40°C		210	215	191	203	
60°C		217	229	192	209	
80°C		225	235	206	220	
100°C		229	239	271	289	
120°C		250	254	423	386	
140°C		291	300	454	403	

结论 3: (日) TDKco “PC-95” 不愧为一款优秀磁材, 用作外置式低频无极灯较佳; 考虑居里温度偏低, 同时高于+140°C 温区, P_{cv} 上升斜率较快, 不易作泡形低频无极灯。建议南京精研产品“FP2G”磁材, 可作为泡形低频无极灯的配套磁体更为合适。但低温性能略差, 有待进一步改进, 而居里温度 $\theta_c=270^\circ\text{C}$ 较高, 优势明显。

(3) 观察优质磁材重要技术参数, 比对温度、工作磁密 B 及工作频率对磁损耗的影响, 正确选择工作磁密, 工作频率及最佳工作温区, 发挥优质磁材的潜能与优势。磁路设计人员的专业水准将充分得到展示与发挥:

还是以(日) TDKco “PC95” 磁材为例, 作如下分析:



图七: P_c (mw/cm³) 与 B (mT) 的关系

Ⓐ $f=200\text{ KHZ}$

当 $B_1=100\text{ mT}$ 则 $P_{c1}=350 \text{ mw/cm}^3$

当 $B_2=200\text{ mT}$ 则 $P_{c2}=1800 \text{ mw/cm}^3$

$$\Delta P_c = \frac{1800}{350} = 5.14 \text{ 倍}$$

$B_3=300\text{ mT}$ 则 $P_{c3}=5000 \text{ mw/cm}^3$

$$\Delta P_c = \frac{5000}{350} = 14 \text{ 倍}$$

Ⓑ $f=100\text{ KHZ}$

当 $B_4=100\text{ mT}$ 则 $P_{c4}=200 \text{ mw/cm}^3$

$B_5=200\text{ mT}$ 则 $P_{c5}=600 \text{ mw/cm}^3$

$$\Delta P_c = \frac{600}{200} = 3 \text{ 倍}$$

图八: P_c (mw/cm³) 与 f (KHZ) 关系

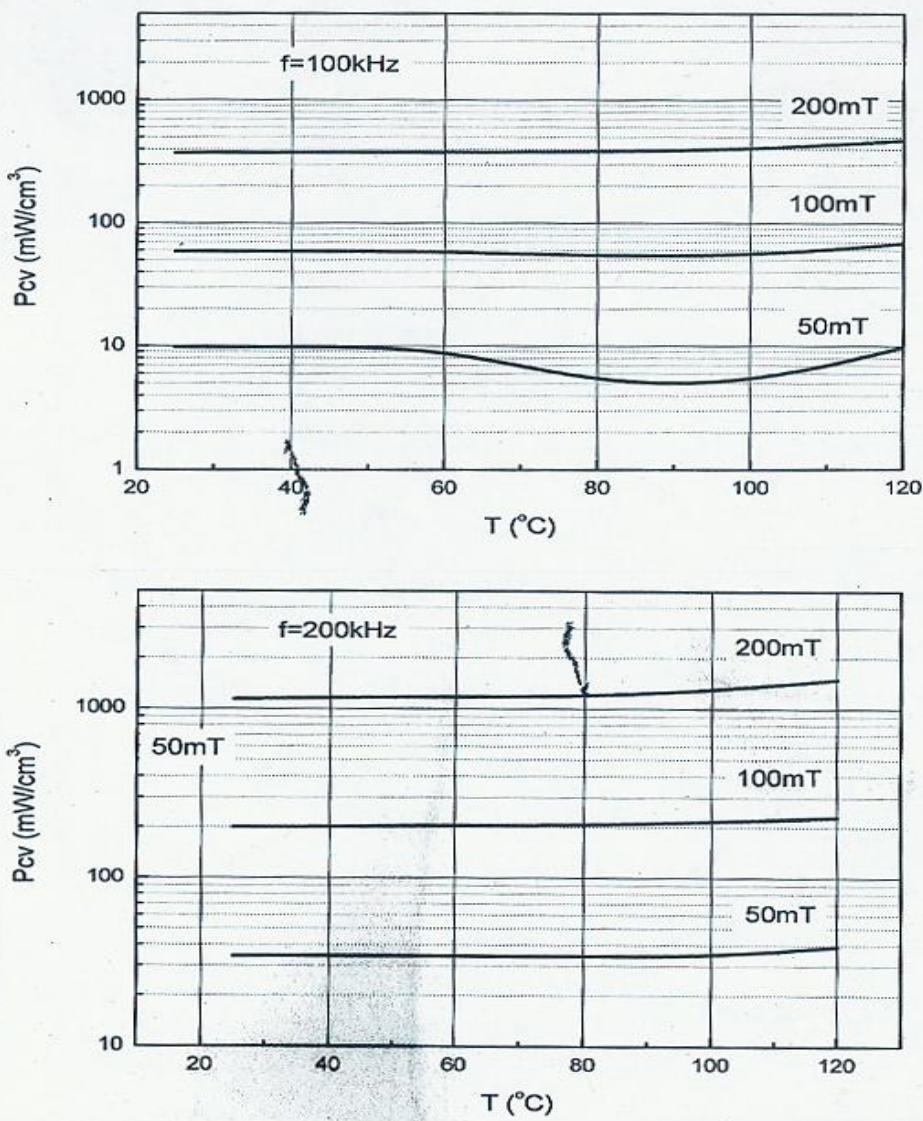
Ⓒ 在同一工作磁密时

当 $f_1=100\text{ KHZ}$ 则 $P_{c1}=600 \text{ mw/cm}^3$

$f_2=200\text{ KHZ}$ 则 $P_{c2}=1800 \text{ mw/cm}^3$

$$\text{这时 } \Delta P_c = \frac{1800}{600} = 3 \text{ 倍}$$

Pcv-T 曲线, 25°C-140°C, 测试条件: f=100kHz、200kHz, B=50mT、100mT、200mT。[(2)h]



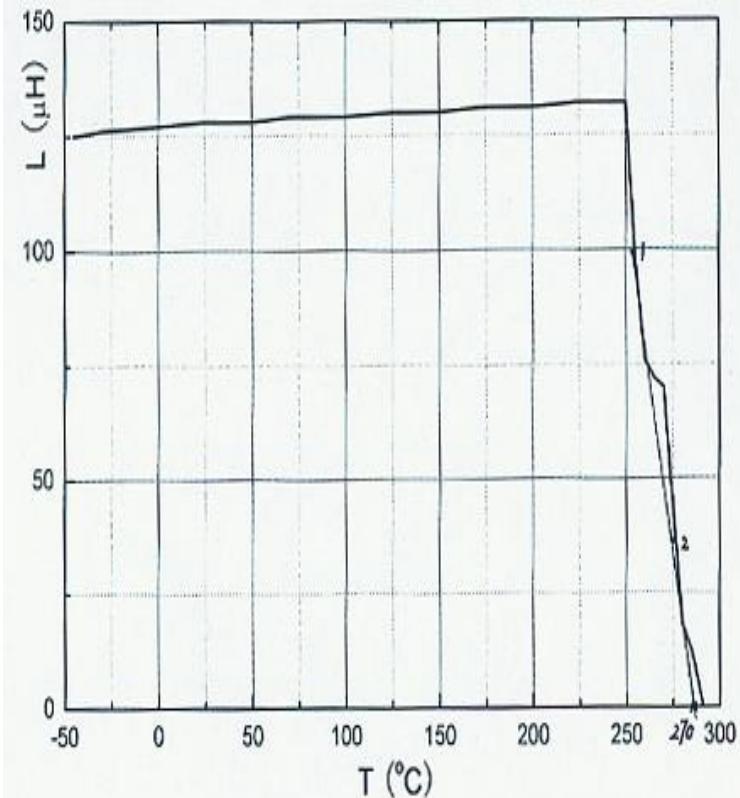
结论 3: 通过上述分析, 对 P_c (mw/cm³) 的影响最大是工作磁密 B (mT), 其次是工作频率 f (KHZ)

有公式表达 P_c (mw) = $K \cdot f^m \cdot B^N \cdot V_e$ → 或 P_{cv} (mw/cm³) = $K \cdot f^m \cdot B^N$
当 $f > 100\text{KHZ}$ $m > 1.3$ $N = 2.5$ K —常数 即 $P_{cv} = K \cdot f^{1.3} \cdot B^{2.5}$ (mw/cm³)

因此, 对正确选择工作磁密相当重要, 千方百计把 B 值降低到安全可靠充许值范围, 笔者经验认为 $B = 50 \sim 100\text{mT}$ 之间为宜, 对环境恶劣条件下, 尤为重要!

办法是合理给出磁体工作截面积与绕线的匝数。

FP2G电感温度曲线 图十一



温度 (°C)	电感 (μH)
-45	125
-30	126
0	127
25	128
50	128
70	129
100	129
125	130
150	130
175	131
200	131
225	132
250	132
255	97
260	76
265	72
270	70
280	18
285	12
291	0

连接 (0.8~0.2) $L_{1.2}$ 与 t^0_c 轴交点为 $\theta_c = +270^0C$

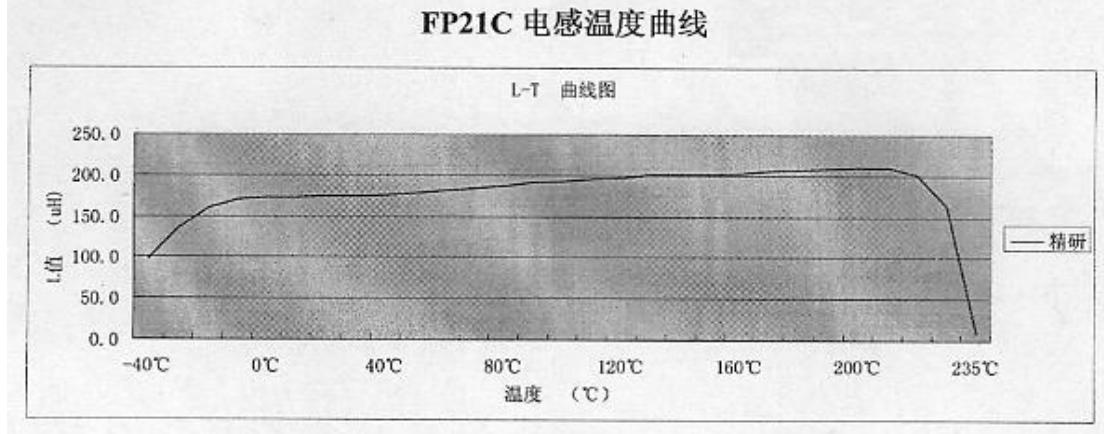
其次温度对 P_{cv} 也有不小的影响。从图七、八看出 20^0C 时 P_c 比 100^0C P_c 要大些。从图五、六看出，温度升高通常 “P_c95” 磁材，在 80^0C 其 $P_{cvmin} = 280 \text{ mw/cm}^3$ ；其实每一种磁材，都有一个最低功耗的温区，不同磁材有点差异但不大。可谓是最佳工作温区。 $+80^0C \sim +100^0C$ 正是变压器最佳工作温区。从磁学来讲，该温区内有最小的各向异性常数 $K=0$ ；雄邦公司设计的 150W 泡形灯磁耦合器，经过精心调试，耦合器装置在最佳匹配工作时，装置磁体顶部最高温度为 96^0C ($t_A = 96^0C < 100^0C$) 这是非常理想的结果，必须努力达到的！

“FP2G” 不同测试条件重测一次高、低温 $L \sim T^0C$ 数据列表如下

t^0C	-45^0C	-40^0C	-30^0C	-20^0C	-10^0C	0^0C	$+25^0C$	\leftrightarrow	$+250^0C$	$+260^0C$	$+270^0C$	$+280^0C$
	62.1	64.2	68.9	74.8	79.5	85.2	97.4	\leftrightarrow	61.5	60.7	53.2	0

实验再次证明 “FP2G” 磁材的居里温度为 $\theta_c = +270^0C$

FP21C 电感温度曲线



温度 (°C)	电感 (μH)	温度 (°C)	电感 (μH)
-40	97.5	100	193.0
-30	134.9	110	195.4
-20	159.3	12	197.0
-10	170.0	130	200.6
0	172.8	140	201.0
10	171.8	150	201.8
20	174.0	160	203.1
30	174.2	170	205.0
40	175.6	180	206.7
50	177.9	190	208.5
60	181.0	200	210.4
70	184.0	210	209.6
80	187.5	220	201.1
90	190.4	230	162.5
		235	9.2

结论 3:

- 1、南京精研公司磁材“FP21C”的磁环产品，适合作外置式低频无极灯（40W~400W）， $\theta_c=230^{\circ}\text{C}$ 。
- 2、南京精研公司磁材“FP2G”的磁环产品更适合作内置式泡形低频无极灯（300W 以下均可）， $\theta_c=+270^{\circ}\text{C}$ 。

(三) 低频无极灯磁耦合器装置配套专用磁环

A 外 置 式 1、环形 2、矩形 磁 环	NO	负荷功率	推荐的专用磁环	工作截面 (cm ²)	有效体积 (cm ³)	净重 (g)	磁路平均长 (cm)	环厚 (mm)
1、环形 2、矩形 磁 环	1	40W	H52×30×20	S _c =2.2	V _e =28.9	G=138	L _{cp} =129	b=11
	2	80~120W	H64×46×25	3.0	49	236	163	12
	3	150W	H64×46×25	3.0	49	236	163	12
	4	200W	H64×40×28	3.36	54.8	250	163	12
	5	300W	H78×52×25	3.25	66.3	318	203	13
	6	400W	H78×52×40 ⁺²	5.20	106.2	504	203	13
B 内 置 式 泡 形 磁 环	1	300W	待定					
	2	200W	A 磁环×3					
	3	150W	A 磁环×2					
	4	100W	Φ 20×10×(40×3)	2.35			12.0	5.0
	5	40~60W	Φ 20×10×(40×2)	2.35			8.0	5.0
	6	20~30W	Φ 16×10×32	1.22			3.2	3.0
	7	10~15W	Φ 14×10×25	0.75			2.5	2.0
	8	5W	Φ 14×10×15	0.75			1.5	2.0

150W泡灯:几种常见磁耦合器装置 (图十三)

(1) 原装置A 2x3条形磁体组合	(2) $\phi 25 \times 16 \times [40_{40}]$ 试验装置C 三环叠加组合	(3) $\phi 25 \times 12 \times [46_{46}]$ 实施新装置B 二环叠加
1. $f=200\sim250\text{kHz}$ 2. $W=40\sim30^t$ 3. $L=200\sim130\mu_h$ 4. $S_c=3\text{--}4\text{ cm}^2$ 5. $t_a=185^\circ\text{C}$	1. $f=145\text{ kHz}$ 2. $W=55^t$ 3. $L=380\sim390\mu_h$ 4. $S_c=2\text{--}89\text{ cm}^2$ 5. $t_a=124^\circ\text{C}$	1. $f=145\text{ kHz}$ 2. $W=35\sim45^t$ 3. $L=170\sim220\mu_h$ 4. $S_c=3\text{--}77\text{ cm}^2$ 5. $t_a=96^\circ\text{C}$

(五) “磁耦合器”——无极灯之能量转换装置重要论述

*1、高 B_s 、低 B_r 、 $\frac{B_s}{B_r} \geq 3$ 的磁材可作开关功耗磁芯的磁材；

*2、具有三高（高 B_s 、 μ_0 、 θ_c ）低 P_{cv} 的磁材，才是大功率泡形低频无极灯的优质磁材。在恶劣环境下泡形灯的磁耦合器磁材的 B 值最好选 $50\sim 100\text{mT}$ ， B 值对 P_c 影响最大。

*3、“PC95”具有 $B_s=510\text{mT}$ ，同时还实现了 $+25\sim+120^\circ\text{C}$ ，低于 350mw/cm^3 的低损耗，可用于开关电源主变压器。

*4、“PC95”在较宽温区内， μ_i 变化不大，居里温度为 $\theta_c=+240^\circ\text{C}$ ；

*5、在 $25\sim 120^\circ\text{C}$ 温区内 $P_{cv} \leq 350\text{mw/cm}^3$ ，且在 $80\sim 100^\circ\text{C}$ 温区内 $P_{cv} \leq 280\text{mw/cm}^3$ ，功耗最小。测试工作条件 $f = 100\text{KHZ}$, $B=200\text{mT}$ ；

*6、在 $+120^\circ\text{C}$ 、 $+140^\circ\text{C}$ 更高温区，其功耗 P_{cv} 上升斜率加大，这意味着磁损加大，发热温升高。

结论：

1、南京精研公司提供一款优质磁材“FP2G”，可以作为低频无极灯磁耦合器装置磁体，而且更合适作泡形低频无极灯磁耦合器装置磁体，其 $\theta_c=+270^\circ\text{C}$ 优势更明显。

2、 $P_c=Kf^{1.3}B^{2.5}(\text{mw/cm}^3)$ ， B 值对 P_c 影响最大，其次是 f 值。工作磁密选择使 $B=50\sim 100\text{mT}$ 为最好，而保持光效的同时，尽可能降低工作频率。

3、南京精研公司另一款磁材“FP21C”与“PC95”，作外置式低频无极灯磁耦合器装置磁环，它们的 $\theta_c=+230^\circ\text{C}\sim 240^\circ\text{C}$ 。

4、制作同一功率的能量转换装置，环形磁体比条形磁体磁能损失小，更适合功率较大的内置式泡形灯无极灯装置。

(六) 结束语:

雄邦公司 150W 泡形低频无极灯优质产品率先进军市场，主要原因有四个方面：

首先重视国产磁材的选用，通过比对南京精研公司研发的新磁材“FP2G”是一款具有“三高一低”的优质磁材，居里温度高（ $\theta_c = +270^{\circ}\text{C}$ ）优势尤为明显，低温（ -45°C ）还可以瞬间启动；其次是我们的创新思路，不走人家老路，正确选择“型材”，首选“型材”是环形磁体，是因为用它制成的耦合器的功耗比条形磁体，制成的耦合器功耗要低许多。实验证明，C 装置的 $t_A=124^{\circ}\text{C}$ 比 A 装置低了许多。虽然 C 装置的工作截面还小些，只有 $S_c=2.89\text{cm}^2$ ，此后实验还证明 C 装置还通过了 150W 密封灯箱连续 12 小时可靠试验。原因是选对了“型材”。比较 B 装置，就更优秀了，B 装置不仅有正确的型材，还具有足够的工作磁截面 $S_c=3.77\text{ cm}^2$ ，使 $t_A=96^{\circ}\text{C}$ ，从而保证该装置在最佳工作温区（ 100°C ）连续可靠工作，“雄邦公司”产品，还保证在供给足够标准光效条件下，还降低了工作频率。这些高指标，使“雄邦产品”更胜一筹。

我有幸第一个使用了国产磁材——南京精研公司的优质磁材“FP2G”，并全过程参与了该磁耦合器新装置 B 的试验，并在雄邦公司完成了 150W 泡形正式产品定型。整个工作告一段落。但我永远忘不了支持我的朋友们！工作还未结束，本装置将进一步完善，以迎接更大挑战。

浙江雄邦公司技术顾问

姚文生

2009 年 4 月于杭州