

电磁铁设计

(D)

电磁铁设计		P1/15	P1~15	P95-109
实例 1	大型立式平面磨床核心部件 -----磁力吸盘线包计算	P1/3	16~18	P110-112
实例 2	大 功 率 磁 疗 机 -----磁 路 计 算	P1/6	19~24	P113-118
附录	1、第一代（ZLM-1 型）外形图 2、第三代（KYS-3 型）总装外形图		P119-120	

编著：姚文生 2006 年 1 月 上饶

电磁铁设计

一、磁路与电磁机构

1、概述：开路导磁体电磁铁——空心轴管电磁铁

闭路导磁体电磁铁——带磁轭的甲壳式磁铁

电磁机构——直动式：a、盘式(a) b、双Π形(r,e) c、合拍式(β) d、回转式(δ)

材料——都是铁磁材料做成：磁轭（固定部份）一线圈常装在磁轭上

衔铁（运动部份）

直流电磁铁的铁芯材料——铸钢、软钢、工程纯铁

交流电磁铁的铁芯材料——硅钢片

电磁机构的线圈称激磁（磁）线圈[并联(i)，串联 $i=V.f\varphi$ (r,L)]

设计电磁铁的首要问题：用最少的材料获得最大的吸力和最大输出功率

(1) 电磁吸力——电磁铁能量转换

(2) 磁路的计算方法

(3) 线圈的计算方法

(4) 动作时间的计算

2、电磁铁能量转换：

衔铁在进行元位移 ds 时（或 $d\delta$ ）所做的功（原机械功）是 dw_{max}

$$F_\delta = dw_{max}/d\delta \quad (1)$$

$$u = ir + d\varphi/dt \quad \text{等式} \times idt, \text{ 并取积分} \quad (2)$$

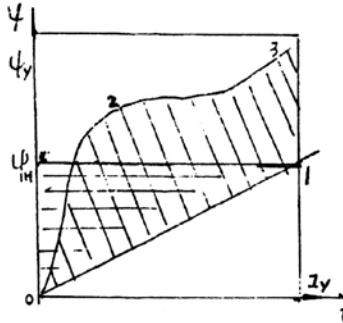
$$\int_o^t (iudt - i^2 rdt) = \int_o^t id\varphi \rightarrow \int_o^t (iu - i^2 r) dt = \int_o^t id\varphi \dots (3)$$

(3) 表示在 t 时间内，从电路引入的电能减去电阻的发热损耗，

转化为 $\int_o^t I d\varphi$ （磁能电流达到稳定值：

(1) 电不能再变化，磁通也不再变化（磁能不再储集）此时，从电流上引入能量全部转化发热。

(2) 衔铁移动，储能开始变化——这种情况的能量平衡关系



T-1 电磁铁磁化过程中能量关系

(1) 衔铁开始运动释放储存的磁能 $W_{m1} = \int_o^\varphi id\varphi = \text{曲线面积 } S_{01}\varphi_H$

(2) 衔铁开始运动到运动终结, 从电源新引入的能量:

$$\Delta W_L = I_Y \varphi_Y - I_Y \varphi_H = S_{4134}$$

(3) 运动终了时, 最后储存的磁能:

$$W_{m2} = \int_o^\varphi id\varphi = S_{0234y0}$$

因此, 作功能量

$$W_M = S_{01320} (\text{阴影面积}) = S_{01}\varphi_H + S_{13}\varphi_Y \cdot \varphi_H - S_{0234y0} \quad (4)$$

即 $W_M = W_{M1} + \Delta W_L - W_{M2}$

从图中又看出, 要使电能充分转化为机械能, 必须使 S_{opy} 与 S_{0234y0} (空心部分) 越小越好这时, 做功的效率就高

$$\text{磁能有效率 } X_M = \frac{W_M}{W_{M(\text{npeB})-\text{极限}}} = \frac{W_M}{\varphi_y \cdot I_y} = 0.4 \sim 0.7 \quad \text{通常为 } 0.5$$

提高 X_M 途径:

(1) 在一定衔铁位置, 电磁铁应具有较小的电感 L , 当磁化曲线处于直线段时

$$L = \varphi_i \quad \downarrow L \text{ 可使曲线 “01” 斜率 } \downarrow$$

(2) 在衔铁吸合位置时, 具有很小的磁阻和很大的电感, 这时, 很明显当 $L \rightarrow \infty$
曲线 0-2-3 将变成 0- φ_Y -3 折线

设计时, 必须统一这两个矛盾的要求 (选一个最佳 L 值)

(3) 应用好的导磁材料加快 i 从 0— I_y 的过渡过程

(4) 减少非工作气隙

3、电磁铁的吸力:

方便, 我们把曲线 0、2、3—一线性化

$$\text{这样: } W_M = S_{\text{阴影}} = I_y \varphi_Y - \frac{1}{2} \varphi_H I_y - \frac{1}{2} I_y \cdot \varphi_Y = \frac{1}{2} I_y \varphi_Y - \frac{1}{2} \varphi_H I_y \quad (5)$$

$$\text{电磁吸力 } F_\Theta = dw_M/d\delta = \frac{1}{2} [I_y \frac{d\varphi_Y}{d\delta} - \varphi_H \frac{dI_y}{d\delta}] \quad (6)$$

在直流磁化下, 在衔铁的各个气隙位置上, 电磁铁的稳定, 电流决定于并激励线圈的电压和电阻, 理论上与位置 δ 无关, 即 $dI_y/d\delta = 0$

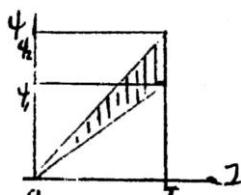
$$F_\Theta = \frac{1}{2} I_y \frac{d\varphi}{d\delta} \quad (7)$$

交流磁化下: 可认为衔铁各个位置时的衔铁基本上保持不变

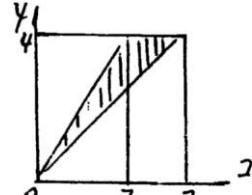
$$\text{即 } \frac{d\Psi_y}{d\delta} \rightarrow 0$$

$$\therefore F_\Theta = -\frac{1}{2} \Psi \int \frac{dI}{d\delta}$$

(8)



a) 当 I 不变



b) 当 Ψ 不变

$$\text{直流: } F_\Theta = \frac{1}{2} I \Psi \frac{dI}{d\delta}$$

$$\text{交流: } F_\Theta = -\frac{1}{2} \Psi \int \frac{dI}{d\delta}$$

T2 磁化过程中二种状态的能量平衡

设 Ψ 与 I 是线性关系，具有 $\Psi = LI$

$$\text{则直流电磁吸力: } F_\Theta = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\delta} \quad (\text{焦尔/厘米}) = \frac{10.2}{2} I^2 \frac{dL}{d\delta} \quad (\text{kg}) = 5.1 \times I^2 \frac{dc}{d\delta} \quad (9/10)$$

使 (7) 式 $\Psi = W\Phi$ (磁通链)，而磁通 $\Phi = IW \cdot G_\delta$ (IW 产生磁通的磁势， G_δ 气隙磁导)

$$\text{这时 (7) 式变为: } F_\Theta = \frac{1}{2} IW \frac{d\Phi}{d\delta} = \frac{1}{2} (IW)^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} \quad (\text{焦尔/厘米}) \quad (11)$$

$$= 5.1 (IW)^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} \quad (\text{kg}) \quad (12)$$

(10)、(12)式是在很多简化条件得出的，仅适用电磁铁不饱和的情况下

例：电磁铁在释放位置时 (δ 最大)，它的铁芯柱是不饱和的。

若电磁铁工作在非浅性部分，则按下式计算吸力

$$F_\Theta = 5.1 U_\delta^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} \quad (13a)$$

$$F_\Theta = 5.1 \left(\frac{\Phi_\delta}{G_\delta} \right)^2 \cdot \frac{dG_\delta}{d\delta} \quad (13b)$$

$$H = \frac{IW}{l_c} \quad U_\delta = H l_c = H \delta = IW \delta$$

$$\text{衔铁中气隙中的磁势降落 } U_\delta = IW \delta = \frac{\Phi}{G_\delta} \times \delta \quad \text{磁阻} = \frac{\Phi}{G_\delta}$$

电磁吸力，还可以从马克斯韦尔公式求得：

$$F_\Theta = \frac{1}{2U_\delta} \oint_S B^2 dS \quad (14)$$

如果沿吸力的圆积分面上的磁通是均匀的，而且磁力线的反方向都垂直于衔铁表面，那么上式可以简化：

$$F_\Theta = \frac{1}{2U_\delta} B^2 S = \frac{10 \times 2}{2 \times 0.4 \pi \times 10^{-8}} B^2 S = \left(\frac{B}{5000} \right)^2 \cdot S \quad (GS^2 \cdot CM^2) \quad (15)$$

上式无论对稳态暂态都是适用的

对交流： $\because B$ 常用幅值表示， \therefore 它的电磁吸力为最大值

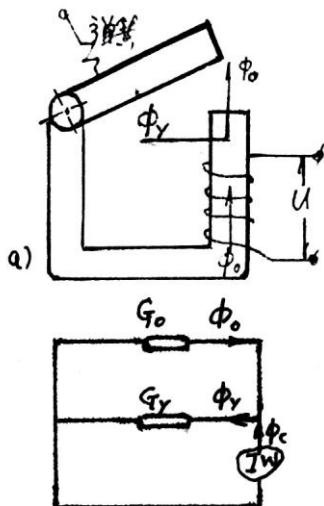
$$F_{\Theta_{\max}} = \left(\frac{B_{\max}}{5000} \right)^2 \cdot S \quad \text{平均值: } F_{\Theta_{\text{av}}} = \frac{1}{2} \left(\frac{B_{\max}}{5000} \right)^2 \cdot S \quad (16)$$

若已知吸力端面处的磁通分布时，例如在衔铁处于吸合位置或接近于吸合位置时人们常用马克斯韦尔方程。

当已知气隙磁导 G_δ 和气隙距离正确关系以及已知 IW ，通常采用能量平衡公式。

4、电磁铁的等值图及磁计算基本定律：

上述得到公式 (12) (15) 式，首先必须根据电磁铁的结构 R 寸求出 B 或 Φ 以及 IW 。这就需要将电磁铁的电磁关系化简成一个磁铁等值图，然后去解。



$\Phi_0 \sim$ 工作磁通 (已知) 电路: $U \cdot I \cdot r \cdot G$

$$\Phi_y \sim \text{漏磁通 (未知) 磁路 } IW \cdot \Phi \cdot R_\mu = \frac{1}{G_\delta} \cdot G_\delta$$

$$\Phi_c \sim \text{总磁通} \quad V=IR \quad IW=\Phi R_\mu$$

$\Phi_y \sim$ 不产生能量损耗, $\frac{\Phi_y}{\Phi_0}$ 占的比例大 (比较漏电流)

但 Φ_y 的存在使 $\Phi_0 \downarrow$ ——造成 $IW \downarrow$

磁通计算的基本定律:

$$① \text{磁通定律: } \sum \Phi = 0$$

$$② \text{全电流定律: } \oint_C H dl = IW_1$$

(17)

(T-3) 拍合式电磁铁

及其等值图 (不考虑 R_μ) $\Phi R_\mu + \Phi R_\delta = IW$

R_μ 一个导磁体磁阻 (1/亨)

(18)

$$\Phi \frac{1}{G_\mu} + \Phi \frac{1}{G_\delta} = IW$$

R_δ 气隙磁阻

$$\Phi \left(\frac{1}{G_\mu} + \frac{1}{G_\delta} \right) = IW$$

(19)

已知 $G_\mu \cdot G_\delta$ 则 Φ , I , W , 任一值得知, 便可求出另一值

5、铁芯磁导与气隙磁导

$$G_\mu = \mu \cdot \frac{S}{1cp} = \frac{B}{H} \times \frac{S}{1cp} = \frac{\Phi}{H \cdot 1cp} \quad (20)$$

$$R_\mu = \frac{1}{G_\mu} = \frac{H \cdot 1cp}{\Phi} \quad (21)$$

决定气隙 δ 磁导的方法, 有分析法、图解法、图析法, 还有经验方式

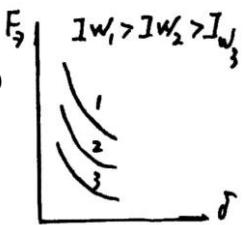
$$\text{两平板平行间电容: } C = \epsilon \frac{S}{\delta} \quad (\text{法拉 F}) \quad (22)$$

$$\text{两平板平行间磁导: } G = \mu_0 \frac{S}{\delta} \quad \mu_0 = 0.4 \pi \times 10^{-8} (\text{h/cm}) \quad (23)$$

记住下面两公式:

$$1、F_0 = 5.1 U^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} = 5.1 \left(\frac{d_\delta}{G_\delta} \right) \times \frac{dG_\delta}{d\delta} = 5.1 (IW)^2 \cdot \frac{dG_\delta}{d\delta} \quad (\text{kg}) \quad (12/13)$$

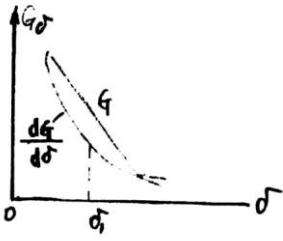
$$2、F_0 = \left(\frac{B}{5000} \right)^2 \cdot S \quad (15)$$



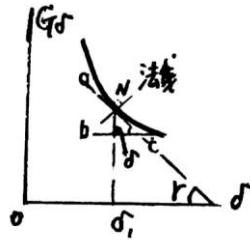
NO	气隙磁导 G_δ	表 1
1		磁导(平行板端面)不计扩散 (1) $G_1 = \mu_0 \frac{ab}{\delta}$, $\frac{dG_1}{d\delta} = -\mu_0 \frac{ab}{\delta^2}$
2		(2) $G_2 = \mu_0 \times \frac{\pi d^2}{4 \delta}$, $\frac{dG_2}{d\delta} = -\mu_0 \frac{\pi d^2}{4 \delta^2}$
3		不平行磁板端面的磁导 (3) $G_3 = \mu_0 \frac{b}{Q} \ln \frac{R_2}{R_1}$
4		平行圆柱体磁导 (4) $G'_4 = \mu_0 \frac{2\pi l'}{1n(k + \sqrt{k^2 - 1})}, k = \frac{b^2 - 2R^2}{R_1}$ 当 $b = 8R$ 时 (4)' $G'_4 = \mu_0 \cdot \frac{\pi l}{1n(b/R)}$
5		圆柱体与平面图之磁导 (5) $G'_5 = \mu_0 \cdot \frac{2\pi l}{1n[(b + \sqrt{b^2 - R^2}) / R]}$
6		同心圆柱体间的磁导 (6) $G_b = \mu_0 \frac{2\pi l}{1n(R/r)}$
7		圆柱体与同心圆柱面间之磁导 (7) $G_\delta = \mu_0 \cdot \frac{Qb}{1n(R/r)}$

表 2

NO	磁通管 形 状	磁 通 管 图 (T 1 - 5)	磁 导 公 式	备 注
1	长方体		$G_\delta = \mu_0 \frac{ab}{\delta}$	长度为 b 的磁导
2	半环形		$G_\delta = \mu_0 \frac{0.64a\Delta}{\delta + \Delta}$ $G_\delta = \mu_0 \frac{a}{\pi} \ln(\frac{1+2\Delta}{\delta})$ $G_\delta = \mu_0 \frac{2a}{\pi} \ln[\frac{1+2\Delta}{\delta}]$	$\delta > 3\Delta$ $\delta < 3\Delta$ $\delta < 3\Delta$
3	半圆柱体		$G_\delta = \mu_0 \times 0.26a$ $G_\delta = \mu_0 \times 0.52a$	当 $\frac{1}{2}$ 半圆柱体
4	球壳象限		$G_\delta = \mu_0 \frac{\Delta}{4}$ $G_\delta = \mu_0 \frac{\Delta}{2}$	当 $\frac{1}{2}$ 半球壳象限
5	球象限		$G_\delta = \mu_0 \cdot 0.077 \delta$ $G_\delta = \mu_0 \times 0.0308 \delta$	当 $\frac{1}{2}$ 半象限时



(T-11) $G_\delta = F(\delta)$ 曲线

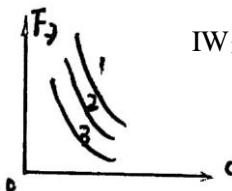


(T-12) $\frac{dG_\delta}{d\delta}$ 的作图法

$$\frac{dG_\delta}{d\delta} = f(\delta)$$

$$tgr = \frac{ab}{bc} = \frac{dG_\delta}{m} / \frac{d\delta}{n} = \frac{n}{m} \times \frac{dG_\delta}{d\delta}$$

$m:n$ 是纵 (m-ab), 横 (n-bc) 坐标的比例尺



$$IW_1 > IW_2 > IW_3$$

$$\therefore \frac{dG_\delta}{d\delta} = \frac{m}{n} tgr \text{ 但首先必须作 } G_\delta = F(\delta) \text{ 曲线}$$

$$\begin{aligned} \text{按公式 (12) 求出 } F_\delta = f(\delta) \text{ 曲线} \quad &\text{如长方柱体 } G_\delta = \mu \frac{ab}{\delta} \\ \text{则 } \frac{dG_\delta}{d\delta} = \mu_0 \frac{ab}{\delta^2} \end{aligned} \quad (25)$$

6、直流磁路计算:

$$F_\delta = 5.1 (IW)^2 \frac{dG}{d\delta} \text{ (kg)}$$

磁铁处于不饱和即在释放位置 (δ 大) $\rightarrow G_\delta \downarrow = \mu_0 \frac{S}{\delta}$ (变小)

则 $\Phi \downarrow = IW \cdot G_\delta \downarrow$ ($\because IW = \Phi R_\mu = Hl$) 即表明流过衔铁磁通量 Φ 少了, 这样我们就有可能不考虑铁芯磁阻只考虑 Φ_y 漏磁通, 来计算磁路。

计算顺序:

- ① 在衔铁气隙为最大时, 即 $\delta = \delta_{max}$ 下, 求出它的气隙磁导 G_δ
- ② 求出铁芯柱与对面磁轭间的单位高度的漏磁导 g
- ③ 求出铁芯柱的漏磁通 Φ_y —— 沿铁芯柱高度 Φ_y 分布是不同的。

$$\therefore \Phi_{yx} = \int_0^X g X \cdot dx = IW \cdot g \frac{X^2}{21} \quad (26)$$

$$\text{任一高度 } X \text{ 的铁芯磁通为: } \Phi_x = \Phi_\delta + (\Phi_y - \Phi_{yx}) = IW (G_\delta + g \frac{1-X^2}{21})$$

g —— 单位漏磁导 (高/厘米), G_δ 气隙磁导 (亨)

l —— 线圈与铁芯高度 (厘米), IW 线圈磁势 (安匝)

$$\text{当 } X=l \text{ 归算漏磁通 } g \frac{X^2}{21} = \frac{1}{2} (g l)$$

- ④ 把气隙磁导 G_δ 和归算漏磁导 G_{yn} 合并成单回路

$$\text{总磁通 } \Phi_c = IW (G_0 + G_{yn})$$

$$\text{两工作磁通 } \Phi_0 = \Phi c \times \frac{G_0}{G_0 + G_y}$$

⑤再找出几个中间位置 $\delta_2 < \delta_1 < \delta_{\max}$ 推上述步骤，求出有关各点之 Φ ，

画出 $\Phi_0 = f(\delta)$ 的曲线 $(\Phi_0 = IW \cdot G_\delta)$

$$⑥ \text{按 (12) 式求出 } F_0 = f(\delta) \text{ 曲线 } F_0 = 5.1 (IW)^2 \times \frac{dG}{d\delta} (\text{kg})$$

在衔铁处于闭合位置或接近闭合位置，此时磁阻较大，而漏磁很小，这种只计 $R\mu$ ，而不计 Φ_y 的计算方法如下——即已知 Φ ，求出 IW 。

①求出气隙磁导 G 。

②求出衔铁芯柱，磁轭部分的磁势降落——

\because 不考虑漏磁， \therefore 沿铁芯导磁体的磁通都是相同的， \because 各段的铁芯材料及截面积可能不同，

因此，有必要求出各段 B 值，然后按 $B-H$ 曲线，求出 H ($\frac{B}{\mu}$)

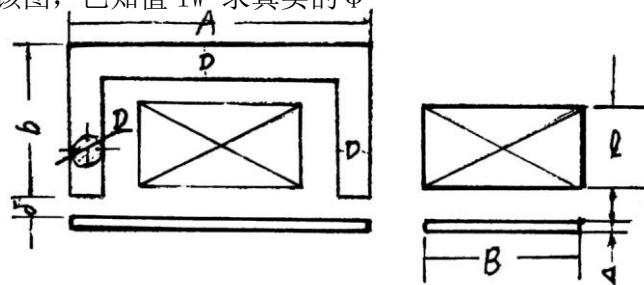
$$③ \text{总的磁势是磁芯磁压降和气隙磁位降之和 } IW = \sum Hl + \Phi \times \frac{1}{G_0}$$

如果已知 IW ，求 Φ 可用猜试法

任意给定 Φ_δ 得值 IW ，画出 $IW=f(\Phi)$

然后按该图，已知值 IW 求真实的 Φ

例一：



(T-15) 电磁铁尺寸

$A=15\text{cm}$

$D=1.6\text{cm}$

$R=0.50=0.8\text{cm}$

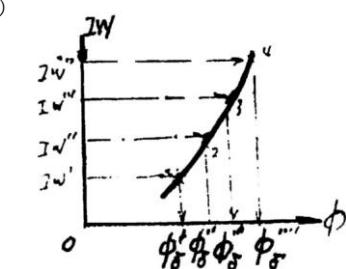
$1\text{cp}=46.5\text{cm}$

$B=10\text{cm}$

$\delta=0.15\text{cm}$

$$\Delta=0.5\text{cm}$$

$$S_c = \frac{\pi D^2}{4} = 2\text{cm}^2$$



T14 $IW=f(\Phi)$ 曲线图

线圈高度： $l=8\text{cm}$

线圈宽度： $B=4\text{cm}$

已知安匝数 (IW) = 2000，[铁芯和衔铁材料为工程纯铁 $\mu = 2000$ ρ 低，只用于直流磁化]

求在气隙中产生的磁通和作用衔铁上总的吸力

$H=2.5$ 安匝/厘米

$$(1) \text{计算气隙磁导： } G_\delta = \mu_0 \times \frac{S}{\delta} = \mu_0 \times \frac{\pi d^2}{4 \delta} = \mu_0 \times \frac{3.14 \times 1.6^2}{4 \times 0.25} = 8 \mu_0$$

这时有两个工作气隙的总气隙为： $G_\delta = \frac{1}{2} G_{\delta_1} = 4 \mu_0$

(2) 求铁芯柱之间漏磁导：

$$\text{所求单位长度的漏磁导} - g = \frac{G}{1} = \mu_0 \frac{\pi}{\ln(b/R)} = \mu_0 \frac{\pi}{\ln(A-2D/0.5D)} = \mu_0 \frac{\pi}{\ln(11.8/0.8)} \rightarrow q = 1.2 \mu_0$$

$$(3) \text{求总的归化漏磁导} —— G_{yn} = \frac{1}{2} \times g l = \frac{1}{2} \times 1.2 \mu_0 \times 8 = 4.8 \mu_0$$

(4) 用逐步近似法:

$$(a) \text{只计漏磁, 不计 } R\mu \text{ --- } \Phi_c = IW(G_\delta + G_{yn}) = 2000(4\mu_0 + 4.8\mu_0) = 22000 \text{ Mx}$$

在衔铁处的气隙磁通 (工作磁通):

$$\Phi_\delta = \Phi_c \frac{G_\delta}{G_\delta + G_{yn}} = 22000 \text{ (Mx)} \times \frac{4\mu_0}{4\mu_0 + 4.8\mu_0} = 10000 \text{ Mx}$$

(b) 计漏磁, 计磁阻 $R\mu$: (*另次近似磁阻 $R\mu^0$ 与另次近似磁通 Φ_c^0 与磁密 B_c^0)

$$R\mu^0 = \frac{Hlcp}{\Phi_c^0} = \frac{2.5 \times 46.8}{22000} = 0.005 * B_c^0 = \frac{\Phi_c^0}{S_c} = \frac{22000}{2} = 11000 \text{ Gs} \quad (R\mu^0 \text{ 很小, 可忽略不计})$$

(c) 一次近似的铁芯磁通:

$$IW = \Phi_c^0 (R\mu^0 + \frac{1}{G_\delta + G_{yn}}) \quad \therefore \Phi_c^0 = \frac{2000}{(10^8/185) + (1/8.8\mu_0)} = 21800 \text{ Mx}$$

$$\therefore \Phi_\delta = 21800 \left(\frac{4\mu_0}{8.8\mu_0} \right) = 9980 \text{ Mx}$$

(5) 考虑“另次”近似与一次近似的 Φ_δ 值很接近, \therefore 考虑铁芯与考虑磁阻后, 气隙磁通可取 $\Phi_c = 10000 \text{ Mx}$

$$(6) \text{吸力 } F_s = 2 \left(\frac{B}{5000} \right)^2 S = 2 \left(\frac{\Phi_c/S_c}{5000} \right)^2 \cdot S = 2 \left(\frac{10^4}{5000} \right)^2 \times \frac{1}{S_c} = 2 \times 4 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ (kg)}^*$$

考虑两个气隙都产生吸力作用 (16)

7、交流磁路计算:

$$(1) \text{铁心柱上平均磁通: } \Phi_m = \frac{E}{4.44fW} \times 10^8 \quad (28)$$

$$(2) \text{电势} \quad E = \sqrt{\mu^2 - (Ir)^2} \quad (29)$$

$$(3) \text{线圈中的激励电流: } I = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2WG\delta}} \quad (30)$$

三式联立解:

$$I = \frac{u}{\omega^2 f^2 W^4 G_\delta^2 + r^2} \quad I = \frac{u}{\omega^2 f^2 W^4 G_\delta^2 + r^2} \quad \Phi_m = \frac{*K\mu \times 10^8}{4.44fW} \quad (31/32)$$

$$\text{不计线阻 } r_1, \text{ 则 } K=1 \quad \Phi_m = \frac{u \times 10^8}{4.44fW} \quad \text{当无漏磁时 } \Phi_\delta = \Phi_{cp} = \Phi_m \quad (34)$$

若给定吸力 F , 电源频率 $f=50$ 和电源电压 u , 则

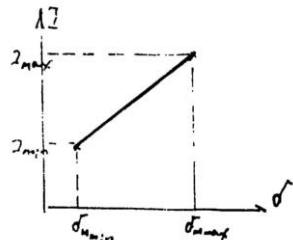
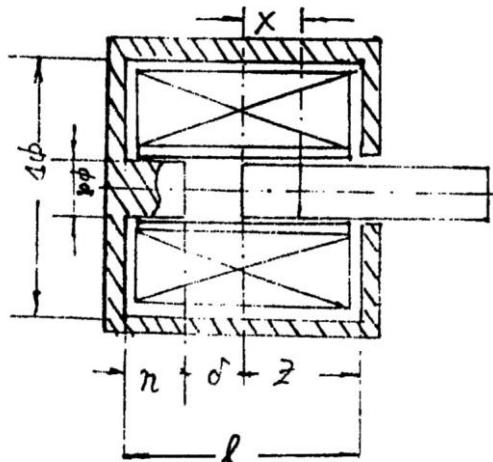
$$W = U \times 10^4 / 111 \sqrt{\frac{F}{S}} \quad \text{F(Kg)} \quad S(\text{CM}^2) \quad (35) \text{ 其中: } *K = \sqrt{\frac{\omega^2 W^4 \cdot f^2 \cdot G_\delta^2}{\omega^2 W^4 f^2 G_\delta^2 + r^2}} \quad (33/35)$$

上式不计: 漏磁 $R\mu \cdot r$

对 (31) 式, 当 $G_\delta \downarrow (\delta \uparrow) \rightarrow I \uparrow$

(即释放位置放开 $\delta \uparrow$, 接通电源有较快的互动电流)

工作过程中, 交流电磁铁 H1 磁势是变化的。



设磁势沿 1 均匀分布, 则 \times 处的磁势差

$$U_{\mu x} = \sqrt{2} IW \frac{Z-X}{1}$$

在 dx 高度上, 漏磁:

$$d\Phi_x = U_{\mu x} dx = \sqrt{2} IW g \frac{Z-X}{1} dx$$

积分后, 得铁芯高度 X 处的漏磁:

$$\Phi_s = \sqrt{2} \frac{IW}{1} \cdot g \left(Z - \frac{X^2}{2} \right)$$

于是可得在 X 处衔铁内的总磁通:

$$T17 \text{ 甲壳式电磁铁} \quad \Phi_x = \Phi_s + \Phi_s = \sqrt{2} (IW) G_s + \frac{2IW}{1} g \left(Z - \frac{X^2}{2} \right) \quad (36a)$$

同样: 在磁合 n 上的 y 处的磁通应有

$$\Phi_y = \Phi_s + \Phi_s = \sqrt{2} (IW) G_s + \frac{\sqrt{2}IW}{1} g \left(n - \frac{y^2}{2} \right) \quad (36b)$$

线圈上的总磁通链:

$$\Psi = \frac{W}{1} \left[\int_0^2 \Phi_x dx + \Phi_s \cdot \delta + \int_0^n \Phi_y \cdot \Phi_y \right] \quad (37)$$

用 (36a) 与 (36b) $\Phi_x \cdot \Phi_y$ 代入 (37) 式中得

$$\Psi = \sqrt{2} IW \left[G_s + \frac{g}{3l^2} (Z^3 + n^3) \right] \quad \because l = n + \delta + Z \quad (38)$$

已知线圈匝数 W 和外加电压, 则 $I = \frac{E \times 10^8}{\omega W^2 [G_s + \frac{g}{3l^2} (Z^3 + n^3)]}$ (39)

若不计线阻 r , 则 $E = U$, 则 $I = \frac{U \times 10^8}{\omega W^2 [G_s + \frac{g}{3l^2} (Z^3 + n^3)]}$ (40)

它的气隙磁通等于 $\Phi_s = \sqrt{2} IW G_s$ 给定 F_ϕ , 则

$$(IW) = \sqrt{\frac{F_\phi}{5.1 \frac{dq}{d\delta}}} \quad W = \left\{ \mu \times 10^8 / \omega [G_s + \frac{g}{3l^2} (Z^3 + n^3)] \times \frac{F_\phi}{5.1 dG/d\delta} \right\} \quad (41)$$

考虑铁损 $P_c = 2 \gamma B_c \cdot V_c \cdot r_c \times 10^5 \quad \gamma = 6_r \left(\frac{f}{100} \right) + 6_b \left(\frac{f}{100} \right)^2$ (49/50)

复数磁阻: $Z_\mu = R_\mu + jX_\mu = \frac{\sqrt{2}HI}{B_m \cdot S} = \frac{\sqrt{2}HI}{\Phi^2 m}$ (43)

$$X_\mu = \omega \frac{W^2}{r} = \frac{2P_c}{\omega \Phi^2 m} \quad (\because X = \omega L)$$

例二：现有甲壳式交流电磁铁用来产生 27kg 的吸力，电磁铁形状“见 T-17”所示。

它的 R 尺寸： $l=8.7\text{cm}$, $R=10\text{cm}(D=20\text{cm})$, $r=4\text{cm}(d=8\text{cm})$, $Z=3.3\text{cm}$, $n=3.4\text{cm}$

$b=2.6\text{cm}$, 铁芯材料是 3-11 是电工钢, $S_c=11.6\text{cm}^2$, 交流电源电压 $U=110\text{V}$

要求衔铁在最大气隙 $\delta=2\text{cm}$ 时，必须产生 27kg 的吸力，试计算的电磁铁所需要的匝数及最大气隙 $\delta=2\text{cm}$ 时的电流。

$$\textcircled{1} G_\delta = \mu_0 \times \frac{S}{\delta} = \mu_0 \cdot \frac{11.6}{2} = 5.8 \mu_0 \quad g = \mu_0 \cdot \frac{2\pi}{ln b/R} = 7.5 \mu_0$$

$$\textcircled{2} F_\Theta = \left(\frac{\Phi c}{5000} \right)^2 \times \frac{1}{S} \rightarrow \Phi c = 5000 \sqrt{F_\Theta \cdot S} = 5000 \sqrt{27 \times 11.6} = 7000 \text{Mx} \rightarrow \Phi_m = \sqrt{2} \Phi c = 10 \times 10^4 \text{Mx}$$

$$\textcircled{3} \text{不计线阻, 求匝数, } W = \frac{\mu \times 10^8}{4.44 f \Phi c} = \frac{110 \times 10^8}{222 \times 10^5} = 500 \text{ 匝}$$

④激励电流（由 40 式得）： $\delta=2\text{cm}$

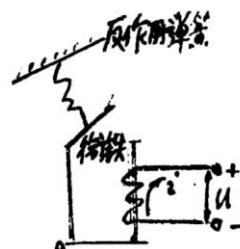
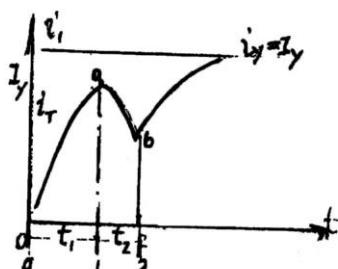
$$I = \frac{\mu \times 10^8}{\omega W^2 [G_\delta + g(n^3 + Z^3)/3l^2]} = \frac{110 \times 10^8}{100 \pi \times 500 [5.8 \mu_0 + 7.5 \mu_0 (3.3^3 + 3.4^3)/3 \times 8.7^2]} = 14(\text{A})$$

⑤闭合电流

$$IW = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} \left(\frac{1}{G_\delta} + Z \mu \right), \text{ 磁化电流 } I_\mu = 0.36\text{A}, \text{ 有功电流 } I_m = \frac{P_m}{E_m} = \frac{10}{110} = 0.1\text{A}$$

$$I = \sqrt{0.36^2 + 0.1^2} = 0.365 \text{A}$$

9、电磁铁的过渡过程：



t_1 线圈充电时间（准备时间） $i - i_a$

T-23 线圈中 i 的变化过程

t_2 衔铁运动时间 $i_a - i_b, i_b - i_y (i_y)$

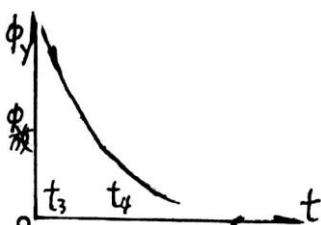
$$i = i_y (1 - e^{-t/T}) \quad T = \frac{L}{R} \quad (\text{电磁时间常数}) \quad (53)$$

当电流等于触动电流时（衔铁开始移动 i 电流）

所需的时间为触动时间即

$$t_r = T \ln \frac{K}{K-1} \quad \because K = \frac{i_y}{i_t} \quad (54)$$

$$t_r = T \ln \frac{1}{1 - i_t/i_y} \quad \text{要使 } t_r \text{ 加快 (即 } i_t \downarrow \text{ 小) 则 } i_t \downarrow \text{ (相应 } i_y \uparrow \text{)}$$



T-24 释放过程中磁通的变化过程

固有释放时间：(1) 释放时间 t_3 ——从 $\phi_y \rightarrow$ 释放即到 ϕ_f 所需时间
 ϕ_f ——当 $\phi_y \downarrow$ 时， $F_e <$ 弹簧反作用力时，衔铁才开始释放磁通。
(2) 恢复运动时间 t_4 ——从衔铁开始释放起，到衔铁恢复运动完毕为止。

8、电磁机构的线圈——磁机构的心脏

按激磁要求分 (a) 串联——电流线圈，匝数少，而电流大

(b) 并联——电压线圈、匝数多，电阻大，电流小。

按激磁必须保证足够的安匝和电流，以产生足够的磁通与吸力。

a、在串联线圈中——已知 IW 和 I ，则 W 很容易求得 $W = \frac{IW}{I}$

b、对并联线圈中——

$$(1) \text{ 激磁电压 } V = Ir_k = \frac{IW}{W} \left[\rho \cdot \frac{\pi D_{cp} \cdot W}{S_{Mo}} \right] \quad \therefore S_{Mo} = \frac{\rho \pi D_{cp}(IW)}{V}$$

$$D_{cp} = \frac{D_2 + D_1}{2} \rightarrow d_o = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{\rho \pi D_{cp} \cdot W}{V}} = \sqrt{\frac{16 \rho D_{cp}(IW)}{\pi V}} \quad (56)$$

通常在直流并联线圈的激磁电压为 110V、220V、24V、48V。

长期工作选 $j=2 \sim 4 \text{ A/mm}^2$ 长期工作持续率 $\Pi B=100\%$

短期重复工作 $J=5 \sim 12 \text{ A/mm}^2$

短期工作 $J=13 \sim 30 \text{ A/mm}^2$ 允许通过的电流 $I=JS_{Mo}$

线圈的匝数： $W = \frac{(IW)}{I} = \frac{(IW)}{JS_{Mo}}$ 电源电压不变并联线圈的安匝数亦不变。

核定发热情况 $\Delta \tau = \frac{P}{\alpha_k F_o} = \frac{I^2 R_k}{\alpha_k \times (\pi D^2 H)}$ 散热系数 $\alpha_k = 1 \sim 1.2 (\text{W}/\text{厘米}^2 \text{C})$

散热表面积 $F_o = (\pi D_2) H$ H 为线圈高度

有骨架线圈只考虑外部表面散热，环形表面积 $F_o = (\pi D_2) H$

无骨架线圈还应考虑内部表面散热，

考核窗口：窗口面积 $Q = H \left(\frac{D_2 - D_1}{2} \right) > \frac{W_s}{K_y}$ 线圈填充系数 $K_y = 0.4 \sim 0.7$

(2) 交流： $I \cdot W$ 都是经过磁路计算得来

已知： d_1 和 V_1 的直流线圈，改为用 V_2 的电压，而匝数不变。

$$dx = d_1 \frac{V_1}{V_2} \quad (60)$$

但在交流线圈内， $V \uparrow \rightarrow \phi \uparrow \rightarrow F_e \uparrow$ 要使 F_e 不变，则必须改变 V 同时，

$$\text{改变匝数。} W_2 = W_1 \times \frac{U_1}{U_2}$$

$$\text{电阻: } r_1 = \rho \cdot \frac{l_1}{S_{M1}} = \frac{4 \rho \cdot D_{cp1} \cdot W_1}{D_1^2} \quad \text{若 } D_{cp1} = D_{cp2} \quad \text{则有 } \frac{r_1 d_1^2}{4 \rho W_1} = \frac{r_1 d_2^2}{4 \rho W_2} \quad \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \frac{r_1 W_2}{r_2 W_1}$$

$$r_2 = \rho \cdot \frac{l_2}{S_{M2}} = \frac{4 \rho \cdot D_{cp2} \cdot W_2}{D_2^2} \quad d_2 = d_1 \sqrt{\frac{r_1 W_2}{r_2 W_1}} = d_1 \sqrt{\frac{r_1 \cdot V_2}{r_2 V_1}} \quad (61)$$

工作持续率 Π_B 改变: ①状态 \rightarrow 状态 ② (保持 $\tau_{y_{max}}$ 不变)

$$\text{①线圈改变为 } d_2 = d_1 \sqrt{\frac{\Pi B_1}{\Pi B_2}} = 110V \sqrt{\frac{0.4}{1.00}} = 70V$$

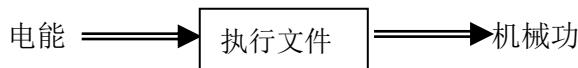
②电压改变 $V_2 = V_1 \frac{\Pi B_1}{\Pi B_2}$, 即说明短期工作状态变为长期工作 100%, 则 $V \downarrow = 70V$ 负载加重了,

而原来电压 110V 就应当减至 70V, 条件是 $r_1 = r_2$

若 $V=110V$ $W=500$ 匝 $I=0.36A$ 改为 220V, 供电, 应采取什么办法!

$$\text{改变匝数 } W_2 = W_1 \frac{U_2}{V_1} = 500 \times \frac{220V}{110V} = 1000 \text{ 匝}$$

9、电磁铁工程实用计算法



合理确定电磁铁各种结构参数的一般方法:

给定参数: ①行程 δ ②吸力 F_ϑ ③直流供电 V ④线圈接法 a、串联 b、并联 ⑤工作状态 [长期 短期]

(1) 选择电磁铁结构类型——

参见图 3-2a、Γ、δ 直动式 (β) 拍合式 (g) 旋律式

根据电磁铁的结构系数 K_Φ 来校验选型是否合适!

$K_\Phi = \sqrt{\frac{F}{\delta}}$ ——表示铁心直径与长度之比, 它决定材料消耗指标是否合适

(2) 初步确定铁芯尺寸与 $F \cdot \delta$ 关系, 机械功很大, 则铁心尺寸也越大, 磁能:

(表—5)

$$W_M(\text{opeg}) = \Psi y \cdot I_y = \Psi \cdot I_0$$

$$\Psi = \frac{W}{1} \int_0^l \Phi x \cdot dx = W \Phi \delta \left(1 + \frac{g_1}{3G}\right) = W \Phi \delta \cdot \epsilon$$

$$\text{漏磁系数 } \epsilon = 1 + \frac{g_1}{3G} \quad \therefore \Psi = W \Phi \delta \cdot \epsilon$$

$$\therefore F_\vartheta = \frac{\Phi^2 \delta}{2 \mu_0} \times \frac{1}{S} \quad (15) \quad \Phi \delta = \sqrt{2 \mu_0 S F_\vartheta}$$

$$\therefore F_\vartheta = \frac{1}{2} (IW)^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} \quad (\text{焦尔/厘米}) \quad \text{而令 } G_\delta = \mu_0 \frac{S}{\delta} \quad \frac{dG_\delta}{d\delta} = \mu_0 \frac{S}{\delta^2}$$

$$\therefore IW = \sqrt{\frac{2F_\vartheta \delta^2}{\mu_0 S}} \quad \therefore W_M(\text{opeg}) = \epsilon \sqrt{4F_\vartheta^2 \cdot \delta^2} = 2F_\vartheta \cdot \delta \cdot \epsilon \quad (64)$$

$$\text{众所周知: } W_M(\text{opeg}) = HB \cdot V_c \quad \therefore HBV_c = 2F_\vartheta \cdot \delta \cdot \epsilon$$

$$\therefore H = \frac{IW}{l_{cp}} = \frac{(Q_m j) \cdot f_3}{l_{cp}} \rightarrow \frac{Q_m \cdot V_c}{l_{cp} \cdot \epsilon} = \frac{2 F_\vartheta \cdot \delta}{jB f_3} \quad (65)$$

δ 衔铁行程 (厘米), f_3 导线填充系数, Q_m 线圈占空面积=窗口面积, 电流密度 $J=A/mm^2$

F_ϑ 电磁吸力 (焦尔/厘米)

B 磁通密度 (韦伯/厘米²)

转换(65)式

$$F_\vartheta \cdot \delta = \frac{\pi (D_K - d_R) d_R^2 \cdot l_K \cdot J \cdot B f_3}{16 \varepsilon} \quad (66)$$

令 $J=3.5 \text{A/mm}^2$ $B=1.5 \times 10^{-4} \text{韦伯/厘米}^2$ $f_3=0.5$ 代入

$$\varepsilon F \delta = 5(D_K - d_R) d_R^2 \cdot l_K \times 10^{-3} \quad (67)$$

其中: D_K 线圈直径 (cm) d_R 铁芯直径(cm) l_K 线圈高度 (cm) $\varepsilon = 1.2 \sim 1.5$, δ 行程 (cm)

当 F_ϑ 以 kg 计, 则

$$F \cdot \delta \cdot \varepsilon = 5(D_K - d_R) \cdot d_R^2 \cdot l_K \times 10^{-2} \text{ 令 } \beta = \frac{2l_K}{D_K d_R} \quad \alpha_K = \frac{d_R}{D_K} \quad (68)$$

$$\text{则有 } F \cdot \delta \cdot \varepsilon = \frac{5}{2} \beta \alpha_K^2 \cdot D_K^4 (1 - \alpha_K)^2 \times 10^{-2} \quad (69)$$

根据电磁铁吸收功率最小原则, 可推出 $\alpha_K = 0.62$

$$\text{则有 } F \cdot \delta \cdot \varepsilon = 14 \beta \cdot D_K^4 \times 10^{-4} \quad (70)$$

表 6

T-2	结构类型	B	
		直流电磁铁	交流电磁铁
(β)式	拍合式	带极靴	4~6
		不带极靴	5~7
(γ)式	盘双Π式 (大行程+吸力)	带极靴	5~7
		不带极靴	6~8
(α)式	盘式小行程+吸力		2~4
(δ)式	甲壳式螺管式		7~8
			3~4

铁芯材料:

A、直流电磁铁—
3#、10 工程纯铁

B、交流电磁铁—:
D42—0.35 硅钢片
D310—0.35 硅钢

$$(3) \text{已知 } F \cdot \delta \text{ 及全部铁芯 } R \text{ 寸, 要求 } (IW) = K \sqrt{\frac{F_\vartheta}{5.1(dG_\delta/d\delta)}} \quad (71)$$

$K=1.25 \sim 1.5$ (后备系数) 直流下, U_C 不变, 并联安匝不变, ∴ 衔铁合闸前后 IW 不变

$$\text{Lcp 分磁环周边长} \quad \text{交流下分环形载面积 } S_{K3} = \frac{\rho \cdot l_{cp}}{r_{k3}} \quad (73)$$

$$r_{k3} = (2-4)S \times 10^{-4}$$

$$S_B = \frac{2}{3} S \quad \Psi = 45^\circ \sim 60^\circ, \quad \delta = 0.005 \sim 0.008 \text{cm} \quad S \text{ 铁芯端面积 } \text{CM}^2 \left[\begin{array}{l} \text{含有分磁环面积} + \\ \text{不含有分磁环面积} \end{array} \right]$$

(4) 设计线圈

$$\text{A 直流: 已知 } IW \text{ 利用 (56) 式求线径 } d = \sqrt{\frac{4\rho \cdot D_{cp} \cdot IW}{V}} \quad (57)$$

$$(57) \text{式求匝数 } W = \frac{IW}{I} = \frac{IW}{J \cdot S_{MO}} \quad (\text{m/m})^2$$

$$(58) \text{式考核温升与窗口余量: } \Delta \tau = \frac{P}{a_K \cdot F_O} = \frac{I^2 R_M}{a_K F_O} \quad Q \geq \frac{W \cdot S_{MO}}{f_3}$$

$$\text{B、交流: 按 (35) 求 } W = \frac{U \times 10^4}{111 \sqrt{F/S}} \quad [f=50 \text{HZ}, \quad F/S \text{ (kg/cm}^2\text{)}]$$

$$\text{由 (A) 式或 } W = (u \cdot 10^{+8}) / \left\{ \omega [G_\delta + g \cdot (Z^3 + n^3) / 31^2] \times [F_\vartheta / 5.1 (dG_\delta / d\delta)]^{0.5} \right\}$$

在衔铁闭合时不计 G_s , 计铁芯 $R\mu$, 求出它的激磁安匝, 然后求出激磁电流 (例二)

$$\text{求 } S_{MO} = \frac{I}{j} \rightarrow d_0 \rightarrow \text{作发热校验}$$

(5) 进行磁路计算:

①对直流: 已知 IW 求 Φ_s 和 F_s ②对交流: 已知 $U_1 W_1$ 求 $\Phi_s \cdot F_s$ 计算 F_s 满足工作要求。

(6) 其他补充计算:

$$(1) \text{ 电磁铁的剩余释放计算剩磁产生电动势 } F_s = \left(\frac{Br}{5000} \right)^2 \cdot S = \left(\frac{\Phi_r}{5000} \right)^2 \frac{1}{S}$$

如果该力 > 衔铁的恢复力, 衔铁便不释放, 这不行!

必须在闭合后的磁阻来限制磁通 Φ_r , 这习惯采用一增加铁芯非磁性垫片的办法,

即 ↑ 气隙 δ

$$\Phi_r = \frac{H_c \cdot l_{cp}}{R_\mu + R_B} \quad H_c \text{——矫顽力 (At/cm)}, R_\mu \text{——铁芯磁阻}.$$

l_{cp} ——平均磁路长 cm, R_B ——空心磁阻

对软磁: B_c 小, H_c 小, 对释放问题, 由于 R_μ 决定了 Φ_r , ∴计算时应用猜试法。

$$(2) \text{ 电磁铁的动作时间计算: } t_T = T \ln \frac{1}{1 - \frac{I_T}{I_y}} \quad T = \frac{L}{R}$$

当衔铁质量, δ 等参数不变, ↑ P_{bx} 可以提高衔铁动作时间

$$\left(\text{吸合动作时间之比} \right) \frac{t_{cp1}}{t_{cp2}} = \frac{P_{cp2}}{P_{cp1}} \quad (\text{动作功率之比})$$

已知铁芯尺寸: 8×150 , 吸力 $F_s = 13 \text{ kg/cm}^2$

100×200

150×300 采用方形铁芯

选 QQ——0.29 (0.34)

10#材料

绕 $W=3100$ 线圈

铁芯尺寸: $65 \times 60 \times 35$

$I_o = 0.2 \text{ A}$

线圈尺寸: $68 \times 63 \times 31$

$V = 36 \text{ V}$

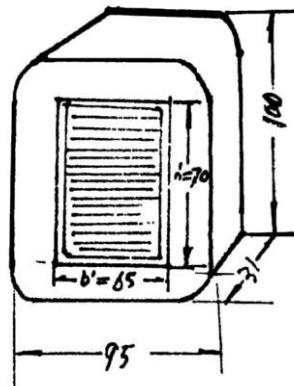
$P = 70 \text{ W}$

$$IW = 0.2 \times 3100 = 620 \quad \text{安匝}$$

$$IW = K \sqrt{\frac{F_s}{5.1 \frac{dG\delta}{d\delta}}} \quad F_s = \left(\frac{IW}{K} \right)^2 \times 5.1 \times \frac{dG}{d\delta} = \left(\frac{620}{1.3} \right)^2 \times 5.1 \times \left(\mu \times \frac{a \cdot b}{\delta^2} \right) = 22.5 \times 10^4 \times 5.1 \times 13.5 \times 10^{-6}$$

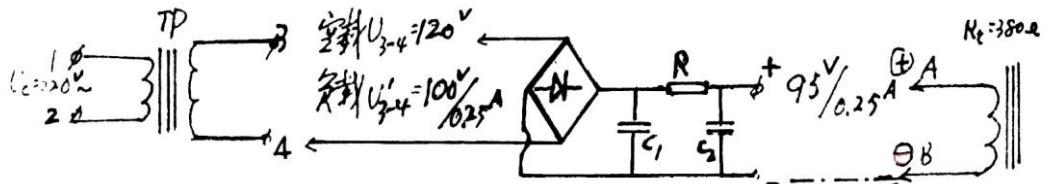
$$= 1.15 \times 13.5 = 15.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$* \text{ 平板型磁导 } \frac{dG}{d\delta} = \mu_0 \cdot \frac{ab}{\delta^2} = 0.4 \pi \times 10^{-8} \text{ 亨/厘米} \times \frac{68 \times 63}{2^2} = 13.5 \times 10^{-6} \text{ 亨/厘米}$$



实例 1, 磁力吸盘 (A、B、C、D)

(69.11.27 修复)



电磁铁直流电源由变化器 (TP) 产生交流电压整流滤波为直流电压供给。

$$W_{AB}=?$$

修理时折开知变压器初级 $W_{1-2}=5500$ 匝 $d_{1-2}=0.3\text{m/m}$ 选定 $j=\frac{0.25^A}{0.075} = 3.3\text{A/mm}^2$ ($\Delta \tau$ 允许)

一) 初步核算: $F_0 = \frac{1}{4} \left(\frac{5500}{1.3} \right)^2 \times 5.1 \times [(0.4\pi \times 10^{-8} \text{亨/厘米}) \times \frac{ab}{4^2}] = \frac{1.6}{4} \times (ab) \times 10^{-2} = 14\text{kg}$

求得 $a \times b = 50 \times 70$ 同时令 $\delta = 4\text{m/m}$

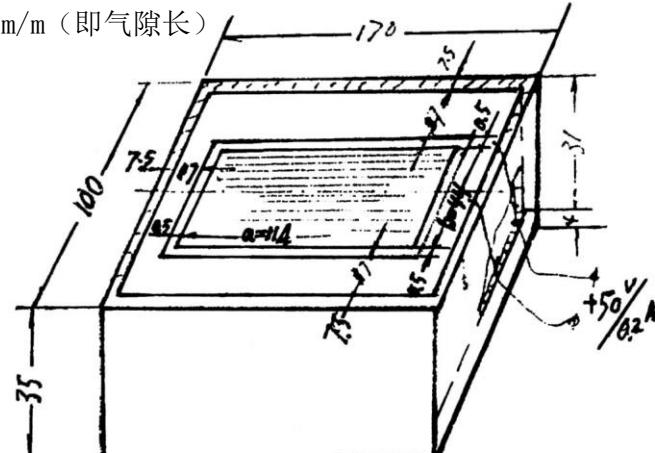
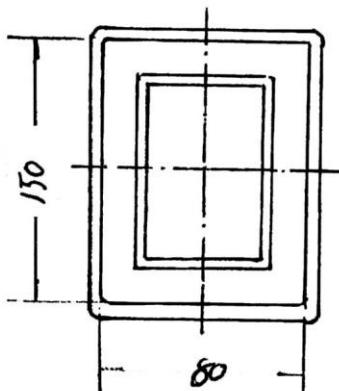
二) 重新计算磁力盘:

规格要求:

(A) $150 \times 80 \times 35 \rightarrow$ 实际尺寸为 $170 \times 100 \times 35$

$$F_0 = 13\text{kg/cm}^2$$

盖板厚 $\delta = 2\text{m/m}$ (即气隙长)



线圈尺寸: $115 \times 45 \times 30 \rightarrow 117 \times 44 \times 31$

$$\frac{dG}{d\delta} = -\mu \frac{ab}{\delta^2} = 0.4\pi \times 10^{-8} \text{亨/厘米} \times \frac{114 \times 44}{2^2} = 1.57 \text{亨/厘米}$$

$$\text{校核: } F_0 = \left(\frac{IW}{K} \right)^2 \times 5.1 \times \frac{dG}{d\delta} = \left(\frac{0.2 \times 2600}{1.3} \right)^2 \times 5.1 \times 1.57 \times 10^{-5} = 16 \times 10^4 \times 8 \times 10^{-5} = 12.8\text{kg/cm}^2$$

$$W_3 = \frac{K}{I_0} \sqrt{\frac{F_0}{5.1} \frac{dG}{d\delta}} = \frac{1.3}{I_0} = \sqrt{\frac{13}{5.1} \frac{1.3}{I_0}} \times 1.6 = \frac{1}{\sqrt{0.314 \times 10^{-8} \times (ab)}} = \frac{3.72 \times 104}{I_0 \sqrt{ab}}$$

$$\text{若 } I_0 = 0.2\text{A} \quad ab = 114 \times 44 \quad \text{则有 } W_3 = \frac{7.22 \times 10^4}{0.2 \sqrt{114 \times 4.4}} = \frac{18.6 \times 10^4}{\sqrt{50}} = 2540 \text{ 匝 (取 2600 匝)}$$

$$I_0 = 0.2\text{A} \rightarrow S_M = \frac{0.2^A}{3\text{A/mm}^2} = 0.066(\text{mm}^2) \quad \text{选 } d_{1-2} = 0.29(0.34) \rho_{20} = 265 \quad (\Omega/\text{km})$$

$$N_3 = \frac{31.2 \times 2}{1.07 \times 0.32} = 69 \text{ (匝/层)} \rightarrow N = \frac{2600}{69} = 38 \text{ 层}$$

$$A = 38 \times 0.34 \times 1.05 + 37 \times 0.05 = 15.45 \quad \text{骨架厚 } 1\text{m/m} \quad \Sigma \beta' r + \beta o_i = 1.24 + 0.1 = 1.34$$

$$A_K = \Sigma A + \Sigma \beta r + \beta o_i = 15.45 + 1.34 = 16.85 < 17 \text{ m/m} \quad R_{o3} = 0.24 + \frac{14.2}{2} = 7.3$$

$$l_{M3} = [(125 + 45) + 4 \times 1.25] + 6.28 \times 7.3 = 32.5 + 46 = 361 \text{ (mm)} \quad I_3 = 361 \times 2600 \times 10^{-3} = 935 \text{ (m)}$$

$$r_3 = 935 \times 265 \times 10^{-3} > 248 \Omega \quad V_o = 0.2A \times 248 \Omega = 50W$$

规格: B 200×100×35 → $F_3 = 13 \text{ Kg/cm}^2$

$$I_o = 0.2A \quad d = 0.29(0.34) \quad \rho = 265 \Omega/\text{km} \quad \text{若 } a \times b = 156 \times 56$$

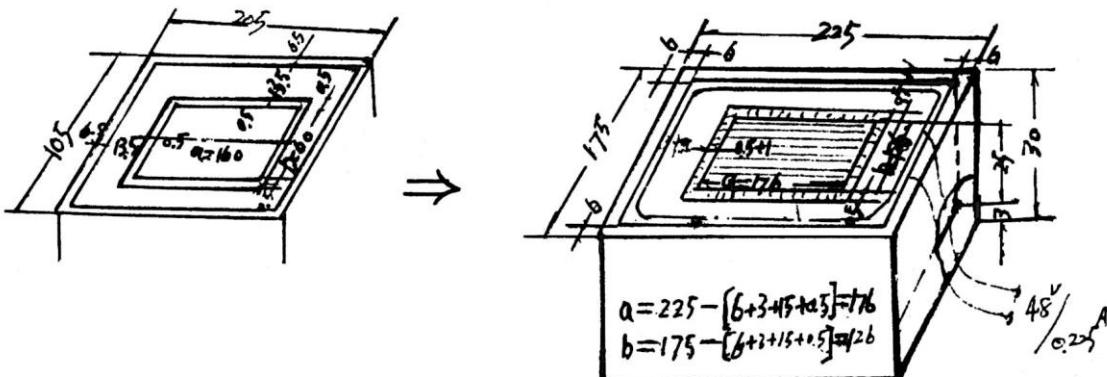
$$W_2' = \frac{3.72 \times 10^4}{I_o \sqrt{ab}} = \frac{18.6 \times 10^4}{\sqrt{156 \times 56}} = \frac{18.6 \times 10^3}{\sqrt{87.2}} = \frac{18.6}{9.33} \times 10^3 = 2000 \text{ 匝}$$

$$n_2 = \frac{31 - 2 \times 3}{1.07 \times 0.34} = 69 \rightarrow N_2 = \frac{2000}{69} = 29 \quad \Sigma \beta' r + \beta o_i = 1.6$$

$$\Sigma A_{K2} = 11.7 + 1.6 = 13.7 > 13.5 \text{ m/m} \quad \text{实际也没有窗口余量, 应重新计算}$$

$$R_{o2}' = 0.24 + \frac{4.7}{2} = 5.7 \rightarrow l_{m02}' = [(1.60 + 60) \times 2 + 4 \times 1.25] + 6.28 \times 5.74 = 481$$

$$\rightarrow l_2' = 481 \times 2000 \text{ 匝} \times 10^{-3} = 962 \text{ (M)} \rightarrow r_{2-20}' = 962 \times 265 \times 10^{-3} = 255 \Omega \rightarrow V_o = 51V$$



仍取 0.29(0.34), $\rho = 265 \Omega/\text{km}$

$$W_2 = \frac{3.72 \times 10^4}{I_o \sqrt{ab}} = \frac{18.6 \times 10^2}{\sqrt{2.23}} = 1240 \text{ 匝} \quad a \times b = 176 \times 126$$

$$n_2 = \frac{25 - 2 \times 3}{1.07 \times 0.34} = 52 \text{ (匝/层)} \rightarrow N_2 = \frac{1240}{52} = 24 \text{ (层)} \rightarrow A_2 = 7 \rightarrow A_K = 11.3 \rightarrow \beta o = 3 \text{ m/m}$$

$$R_{o2} = 0.24 + \frac{9.7}{2} = 5 \rightarrow l_{m2} = [2(176 + 126) + 4 \times 1.5] + 6.28 \times 5 = 641 \text{ (m/m)}$$

$$l_2 = 641 \times 1240 \times 10^{-3} = 800 \text{ (M)} \rightarrow r_2 = 800 \times 265 \times 10^{-3} = 213 \Omega \rightarrow \Delta V = 6.2 \times 213 = 42.6V$$

现在有 48V/0.2A 输出整流器, 运用该吸力盘, 实际的磁化电流应为 $I_o = \frac{48V}{213 \Omega} = 0.225A$

$$\therefore \text{实际磁化力为 } F_3 = \left(\frac{0.225 \times 1240}{1.3} \right)^2 \times 5.1 \times 0.314 \times 10^{-8} = 16.3 \text{ kg} \quad \text{满足要求}$$

规格

C300×150×35

T29

$$I_o = 0.85A \text{ 选 } 0.59 \text{ (0.68)}$$

$$S_{MO} = 0.27 \text{ mm}^2$$

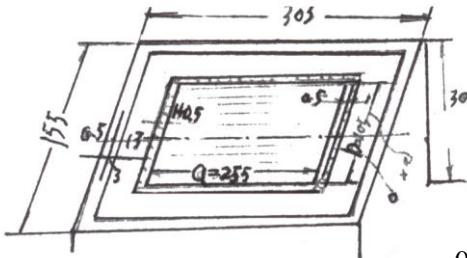
$$J = \frac{0.85}{0.27} = 3.2 \text{ A/mm}^2 \quad \rho = 64.1 \Omega / \text{km}$$

$$\text{骨架厚 } 1 + \text{气隙 } 0.5 = 1.5$$

$$a \times b = 255 \times 105$$

$$a = 305 - 2(5 + 3 + 13 + 1.5) = 255$$

$$b = 155 - 2(5 + 3 + 13 + 1.5) = 105$$



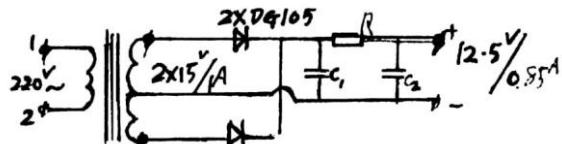
$$W_1 = \frac{3.72 \times 10^4}{I_o \sqrt{ab}} = \frac{3.72 \times 10^{4-2}}{0.85 \sqrt{2.55 \times 1.05}} = \frac{4.37}{\sqrt{2.68}} \times 10^2 = 265 \rightarrow \text{取 } 300 \text{ 匝}$$

$$n_1 = \frac{31 - 2 \times 4}{1.07 \times 0.68} = 30 \text{ (匝/层)} \rightarrow N_1 = \frac{300}{30} = 10 \text{ 层} \rightarrow A_l = 8.23 \rightarrow A_K = 10 \quad \beta_o = 2.5$$

$$R_{01} = 0.24 + \frac{8.27}{2} = 4.2 \rightarrow l_{m1} = [(255 + 105) \times 2 + 4 \times 1.5] + 628 \times 4.2 = 751 \text{ (m/m)}$$

$$l_1 = 75 \times 300 \times 10^{-3} = 226 \text{ (M)} \rightarrow r_1 = 226 \times 64.1 \times 10^{-3} = 14.5 \Omega \rightarrow \Delta V = 0.85 \times 14.5 = 12.3^V$$

$$F_3 = \left(\frac{0.85 \times 300}{1.3} \right)^2 \times 5.1 \times 0.314 \times 10^{-8} (255 \times 105) \times 10^2 = 17.2 \text{ kg} \quad \text{满足要求但过于富余}$$



由图所示整流器供
直流电 12.5V/0.85A

此题重新计算：

$$a \times b = 260 \times 110 \quad a = 305 - (6 + 3 + 13 + 0.5) = 260 \quad I_o = 0.85^A \text{ 选 } do = 0.59(0.68)$$

$$b = 155 - (6 + 3 + 13 + 0.5) = 110$$

$$W'_1 = \frac{3.72 \times 10^{4-2}}{0.85 \sqrt{2.6 \times 1.1}} = 260 \rightarrow n'_1 = \frac{25 - 2 \times 3}{1.07 \times 0.68} = 26 \rightarrow N'_1 = \frac{260}{26} = 10 \text{ 层}$$

$$A'_l = 8.23 \quad \Sigma \beta'_r + \beta o_i = 1.8 \quad A_K = 10 \rightarrow \beta o = 2.5$$

$$R'_{01} = 4.2 \rightarrow l'_{m1} = 771 \rightarrow l'_1 = 201 \text{ (m)} \rightarrow r_1 = 13 \Omega \rightarrow \Delta V_1 = 11^V$$

$$\text{实际 } F_3 = \left(\frac{0.85 \times 260}{1.3} \right)^2 \times 5.1 \times 3.14 \times 10^{-8} (2.6 \times 1.1) \times 104 = 13.8 \text{ kg} \quad \text{正好!}$$

线包大小：(255 + 2A_K) × (105 + 2A_K) × 35 - 底厚 Δ = 275 × 125 × 30

$$\text{规格 } D\Phi 200 \times h \quad d' = 200 - 2(6 + 3 + 13 + 0.5) = 151 \quad \text{令 } \delta = 2 \quad G = \mu_o \cdot \frac{\pi d'^2}{4 \delta} \cdot \frac{dG}{d\delta} = -\mu_o \frac{\pi d'^2}{4 \delta^2}$$

$$\frac{dG}{d\delta} = 0.4 \pi \times 10^{-8} \times \frac{\pi \times 1.51^2 \times 10^4}{4 \times 2^2} = 0.56 \times 10^{-4}, \quad W = \frac{K}{I_o} \sqrt{\frac{F_g}{5.1 \frac{dG}{d\delta}}} = \frac{1.3}{0.2} = \sqrt{\frac{13}{5.1 \times 0.56 \times 10^{-4}}} = 1390 \text{ 匝}$$

$$n'_1 = 52 \rightarrow N_1 = 27 \rightarrow A_l = 11 \rightarrow A_K = 12.6 \rightarrow \beta o = 2 \quad \text{取 } W = 1400 \text{ 匝}$$

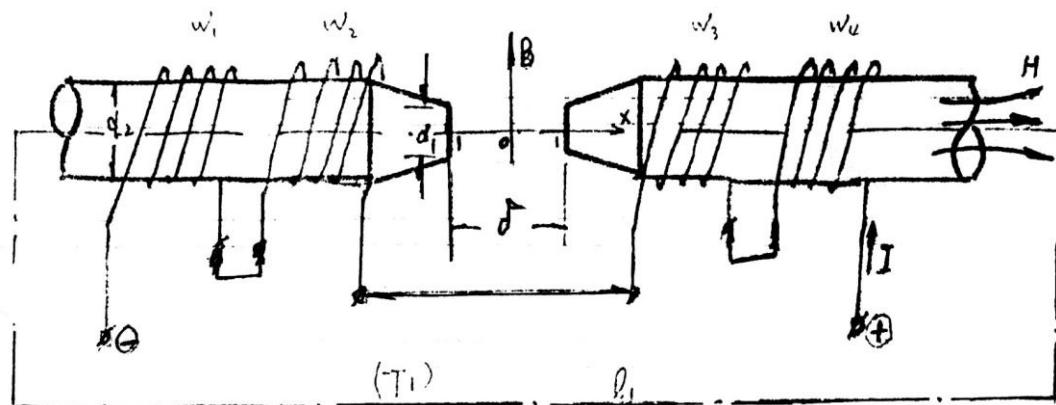
$$I_1 = 715 \text{ (M)} \rightarrow r_1 = 195 \Omega \rightarrow I_1 = \frac{48^V}{195 \Omega} = 0.245^A$$



$$\text{实际 } F_3 = \left(\frac{IW}{K} \right)^2 \times 5.1 \times \frac{dG}{d\delta} = \left(\frac{0.245 \times 1400}{1.3} \right)^2 \times 5.1 \times 0.56 \times 10^{-4} = 19.6 \text{ kg}$$

实例 2，磁疗机磁路计算

$$W=W_1+W_2+W_3+W_4=4W_1 \quad (W_1=W_2=W_3=W_4)$$



一、设计要求：

通过人体“适当剂量”的磁通密度，经若干疗程，对某些常见病与个别疑难症状进行临床治疗。同时要求治疗面积大于“病灶面积”。

1、磁极芯直径 $d_1=11\text{cm}$ $d_2=13\text{cm}$

$$\text{治疗面积: } S_1=\frac{1}{4} \pi d^2=\frac{1}{4} \times 3.14 \times 11^2=94.5\text{cm}^2$$

2、气隙长（即治疗距离或高度） $\delta \geqslant 25\text{cm}$ ，要满足人体治疗要求

3、要求其中心平均磁密度为 $B_0=800\sim 1500\text{ Gs}$

要求磁极端面平均磁密度为 $B_1=2000\sim 3000\text{Gs}$

二、设计依据：

1、根据第一台（ZLM—1 型）实验试用机及第二台（DCJ—82）科研实验型的磁疗机，应用于人体 500 例临床观察的实际疗效的最佳治疗参数（磁场剂量）即在 $\delta =25\text{cm}$ 的中心处，平均磁密 $B_0=1500\text{GS}$ 为最佳实用磁密，从此为依据，可计算出需要的磁势（即安匝数）。

由第 1 台得 $IW=25A \times (2 \times 1530 \text{ 匝})=7.65 \times 10^4 \text{ 安匝}$

第 2 台得 $IW=25A \times (1581+2 \times 784)=25 \times 3149=7.87 \times 10^4 \text{ 安匝}$

但第二台实际使用为 $IW=20A \times 3149=6.3 \times 10^4$ 安匝 $IW=15A \times 3149=4.73 \times 10^4$ 安匝

可按第二台实际使用的 $I=15 \sim 20A$ $IW=(4.7 \sim 6.3) \times 10^4$ 安匝数进行修改

a、 $IW=20A \times 3000$ 匝 $=6 \times 10^4$ 安匝

b、 $IW=15A \times 3000$ 匝 $=4.5 \times 10^4$ 安匝

即按 $I=15 \sim 20A$ 时, $W=3000$ 匝 $=4W_1=4 \times 750$ 匝进行设计

$IW=(15 \sim 20)$ 安 $\times 3000$ 匝 $=(4.5 \sim 6) \times 10^4$ 安匝, 即可满足人体治疗的磁密的要求。

但线包总匝数 3000 匝, 应分四个小线包 ($W=3000=4 \times 75$ 匝) 加工制作, 两个小线包一是考虑线圈散热及大线径线包绕制有一定难度, 二是磁通密度分布均匀, 更能满足治疗要求, 两个小线包为一组, 各组成上、下两个大线包。

组装时, 可顺向串接为一个整体 (T_1)

三、磁路设计:

1、根据设计要求: 通过人体“病灶”区的磁通即气隙磁通密度为

$$\Phi_s = B_1 \cdot S_1 = 3000G_s \times 94.5\text{cm}^2 = 28.5 \times 10^4 \text{ 马克斯韦尔 (MX)}$$

2、气隙磁导 G_s

当 $\delta \geq 0.2d_1$, 磁路总长 $l=d_1+l_1$, 同时 $0.1 > \delta$ 时

有经验公式 (*参看电磁铁设计)

$$G_s = \frac{\mu_0}{\delta} \left(1.77 \times \frac{d_1}{2} + \frac{0.307}{2} \times d_1 \right)^2 = \frac{0.4\pi \times 10^{-8}(\text{h/cm})}{25(\text{cm})} \times \left(1.77 \times \frac{11}{2} + \frac{0.307}{2} \times 11 \right)^2$$

$$= \frac{1.256}{25} (9.74 + 1.68)^2 \times 10^{-8}(\text{h}) = 6.53 \times 10^{-8}(\text{h})$$

$$[\mu_s = 0.4\pi \times 10^{-8}(\text{h/cm}), d_1 = 11(\text{cm}), \delta = 25\text{cm}]$$

3、根据磁路定律——计算需要的总磁势：

磁路的总磁势是各部分的磁位降之和 $\oint H dl = IW$

$$\text{即 } IW = \Phi R_\mu = \Phi \frac{1}{G} = \Phi \left(\frac{1}{G_{\text{铁}}} + \frac{1}{G_{\text{气}}} \right) = (IW)_{\text{铁}} + (IW)_{\text{气}}$$

$$\textcircled{1} \text{ 气隙磁势 } (IW)_{\text{气}} = \Phi_s \times \frac{1}{G_s} = 28.5 \times 10^4 \text{ (Mx)} \times \left(\frac{1}{6.53 \times 10^{-8} \text{ (h)}} \right)$$

$$= \frac{2.85}{6.53} \times 10^{(4+8)} \text{ (马克斯韦尔/亨)} = 4.63 \times 10^4$$

$$(\because 1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx}, \quad 1 \text{ Wb/h} = \text{安匝})$$

$$\textcircled{2} \text{ 磁轭安匝数: } (IW)_{\text{铁}} = \Phi \times \frac{1}{G_{\text{铁}}} = (IW)_{\text{气}} \times 10\% = 0.436 \times 10^4 \text{ 安匝}$$

③ 总安匝数（总磁势）

$$(IW)_{\text{总}} = 4.36 \times 10^4 + 0.436 \times 10^4 \text{ 安匝} = 4.8 \times 10^4 \text{ 安匝}$$

改变磁轭制造（多为翻砂制品）难免造成气隙磁阻及漏磁损失使需要的总磁通应适当增加，通常为 $\Delta = 50 \sim 100\%$

$$\text{即 } (IW)_{\text{总}} = 4.8 \times 10^4 \times 1.5 = 7.2 \times 10^4 \text{ 安匝}$$

考虑磁轭加工方法有改进， R_s 损失少些，也可考虑 $\Delta = 20\%$ ，即

$$(IW)_{\text{总}} = 4.8 \times 10^4 \times 1.2 = 5.76 \times 10^4 \text{ 安匝}$$

即第二台磁疗机实际计算得 $(IW)_{\text{总}} = 5.76 \times 10^4 \text{ 安匝}$

$$\text{按 } 20A \quad \text{则 } W_{\text{总}} = \frac{5.76}{20} \times 104 = 2880 \text{ 匝}$$

$$15A \quad W_{\text{总}} = \frac{5.76}{15} \times 10^4 = 3840 \text{ 匝}$$

$$\text{若不考虑损耗 } W_{1\text{总}} = \frac{4.8 \times 10^4}{20A} = 2400 \text{ 匝} \sim W_{2\text{总}} = \frac{4.8}{15} \times 10^4 = 3200 \text{ 匝}$$

取近似平均值 $W_{\text{总}} = 3000 \text{ 匝}$

$$\text{即 } IW = (15 \sim 20) \times 3000 = (4.5 \sim 6) \times 10^4 \text{ 安匝}$$

④材料选择：

a、铁芯材料：因磁疗机设计，实际使用条件为直流电流供电，产生恒定磁场，考虑工作状态是直流，铁芯材料应是“工程纯铁”，也可以用性能相近的类似 A₃或 10#低炭钢代用。实际选用活动的上磁轭为“工程纯铁”其余为 10#钢。

b、线包材料的选择——

①改变线包的发热及人体能承受的温度，选导线的电流密度 $j=2\sim3A/mm^2$ 为宜，可选

$$J=2A/mm^2 \text{ 即导线的铜截面积 } S_{MO} = \frac{20^A}{2^A/mm^2} = 10mm^2$$

②查线材参数表，可选 SBECB 双玻丝漆包扁线 $a \times b = 1.81 \times 5.6$

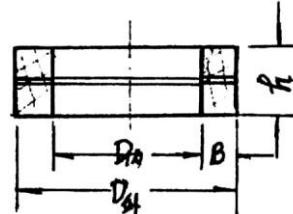
带漆包扁线 $(a' \times b' = 2.2 \times 6)$

③查表得相应的 $g=90kg/km$ $\rho_{20}=1.7\Omega/km$ ($\rho_{75}=2.1\Omega/km$)

四、线圈计算：

①线包绕制参数计算——

线包内径按磁极芯 $d_2=13cm$ 可选定 $D_{内}=14.5cm$



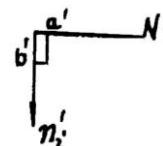
线包外径，由磁疗机结构空间决定

参数第一台实验机给的外形尺寸可选定： $D_{外} \times D_{内} \times h = 480 \times 145 \times 300(mm)$

所绕制的线包的外径与高度，不得超过，暂选定 $385 \times 145 \times 140$

$$\text{线包厚: } B = \frac{D_{外}-D_{内}}{2} = \frac{385-145}{2} = \frac{240}{2} = 120mm$$

线径： $a \times b = 1.81 \times 5.6 \rightarrow a' \times b' = 2.2 \times 6$



取叠绕系数 $K_2'=1.2$, 排绕系数 $K_1'=1.1$

(取端空“留下”裹札空间取 $\Delta=10m/m$ 或 $\Delta'=5m/m$)

实际制作时（见施工图）考虑上线包是滑动的，为减轻上下活动的负荷，上线包绕制匝数少些，重量轻些。

$$ni = \frac{h-2\Delta}{K_1 \times b'} = \frac{140-2 \times 10}{1.1 \times 6} = 18 \text{ 匝/层}$$

$$N = \frac{B-2\Delta'}{K_2 \times a'} = \frac{120-2 \times 5}{1.2 \times 2.2} = \frac{110}{2.6} = 40 \text{ 层}$$

$$W_1 = ni \cdot N = 18 \times 40 = 720 \text{ 匝}$$

绕制时层向绝缘为 2×0.12 电缆纸，同时绕制 4 只，每两只小线包用青壳纸绝缘纸板裹扎，最后浸清漆烘干。

使用时，两只小线包顺向串接（*注意磁力线量叠加，不是抵消）分别组成上线包和下线包，两只小线包的外形 R 寸为：

$D_{\text{外}} \times D_{\text{内}} \times h = 385 \times 145 \times 140 \rightarrow$ 裹扎后为 $395 \times 135 \times 150$ 两个小线包，

组合为上（下）线包的尺寸为：

$D'_{\text{外}} \times D'_{\text{内}} \times h' = 395 \times 135 \times 300$ （符合内径 $D'_{\text{内}} > d_2 = 130$ 及高度长要求即认可）。

② 绕组线包电阻及耗铜量计算：

$$\text{线包平均匝长 } l_{\text{cp}} = \pi D_{\text{cp}} = \frac{\pi (D_{\text{外}} + D_{\text{内}})}{2} = 3.14 \times \frac{385 + 145}{2} = 3.14 \times 265 \times 10^{-3} = 0.832 \text{ M}$$

导线总长 $L = \Sigma l_{\text{cp}} \times W = 4 \times 0.832 \times 720 \times 10^{-3} = 4 \times 0.599 = 2.396 \text{ km}$

导线总重 $G_M = 4 \times 0.599 \times 90 \text{ (kg/km)} = 4 \times 53.9 \text{ kg} = 215.64 \text{ kg}$

20°C 线包电阻 $R_{20} = 4 \times 0.599 \times 1.7 \text{ (\Omega/km)} = 4 \times 1.0183 \Omega = 4.073 \Omega$

75°C 线包电阻 $R_{75} = 4 \times 0.599 \times 2.1 \text{ (\Omega/km)} = 4 \times 1.258 \Omega = 5.032 \Omega$

$I = 20 \text{ A}$ 时，线包压降 $\Delta V_{20} = 20 \text{ A} \times 4.073 \Omega = 81.46 \text{ V}$

线包压降 $\Delta V_{75} = 20 \text{ A} \times 5.032 \Omega = 100.64 \text{ V}$

$I = 15 \text{ A}$ 时，线包压降 $\Delta U_{20} = 15 \text{ A} \times 4.073 \Omega = 61.1 \text{ V}$

线包压降 $\Delta U_{75} = 15 \text{ A} \times 5.032 \Omega = 75.48 \text{ V}$

\therefore 选购配套的整流器：电流连续可调 $0 \sim 15 \sim 20 \text{ A}$

电压连续可调 $0 \sim 61 \sim 75 \text{ V} \sim 100 \text{ V}$

③ 线包成本：（若取单位 40 元/kg 计算）

a、 $4 \times (53.9 \text{ kg} \times 40 \text{ 元/kg}) = 4 \times 2156 \text{ 元} = 8624 \text{ (万元)}$

b、辅助材料 100 元

c、浸漆材料 150 元

d、绕制加工费 15% $\rightarrow 1300 \text{ 元}$ 总成本约 $\Sigma 8624 + (0.01 + 0.015 + 0.13 + 0.13) = 1.0 \text{ (万元)}$

④ 线包温升计算（略）

(五) 线包施工图（见 P24 页）

① 上线包

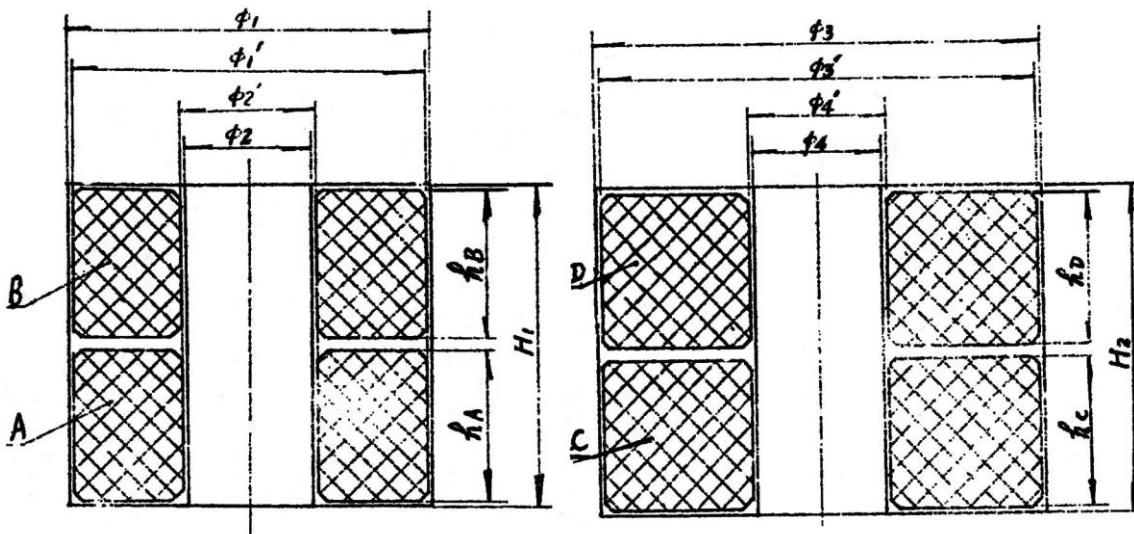
② 下线包

上、下线包施工图

项目 线包名		外形尺寸			工艺绕制参数				制作 数量	备注
		外径	内径	厚度	匝层	层数	匝数	线径 SBECB		
上线包		Φ 335	Φ 135	H ₁ =300			1080		72	1
其 中	A	Φ 325	Φ 2145	h _A =140	18	30	540	1.81×5.6	36	1
B		Φ 325	Φ 2145	h _B =140	18	30	540	1.81×5.6	36	1

说明：

- 1、线包 A、B 层间绝缘用 K-12 二层电缆纸，线包上下端面（环形）用厚 2 毫米的电工绝缘纸板作衬垫，并用斜纹白布带裹扎。
- 2、线包 A、B 为外部顺向串接，仍由白布带裹扎，组成上线包。
- 3、绝缘处理。
- 4、绝缘检查，绕组与上磁极机体绝缘电阻≥ MΩ，热态≥ MΩ。

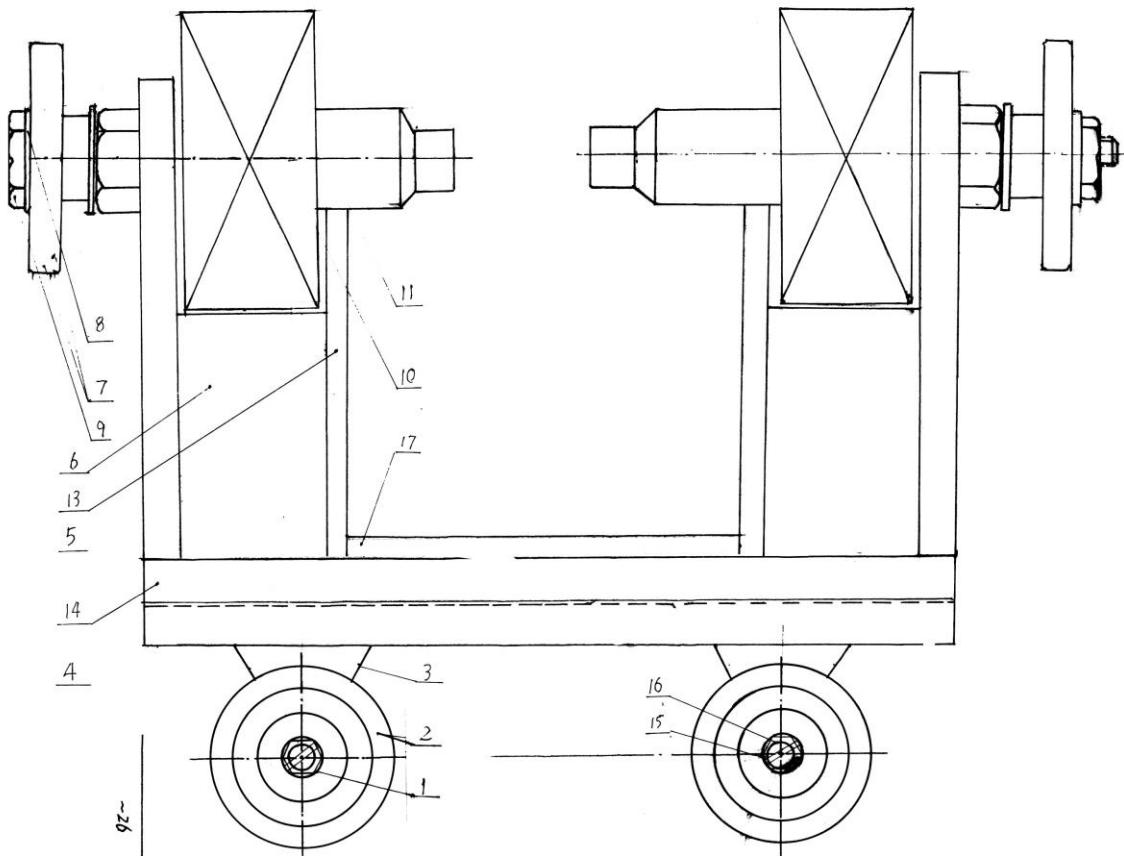


项目 线包名		外形尺寸			工艺绕制参数				制作 数量	备注
		外径	内径	厚度	匝层	层数	匝数	线径 SBECB		
下线包		Φ 335	Φ 4135	H ₂ =300			1764		140.2	1
其 中	C	Φ 325	Φ 4145	h _C =140	18	49	882	1.81×5.6	70.1	1
D		Φ 325	Φ 4145	h _D =140	18	49	882	1.81×5.6	70.1	1

说明：

- 1、线包 C、D 层间绝缘用 K-12 二层电缆纸，线包上下端面（环形）用厚 2 毫米的电工绝缘纸板作衬垫，并用斜纹白布带裹扎。
- 2、线包 C、D 为外部顺向串接，仍由白布带裹扎，组成上线包。
- (3、4) 按上线包处理。

附录 (1) “ZLM—1” 磁疗机总装图

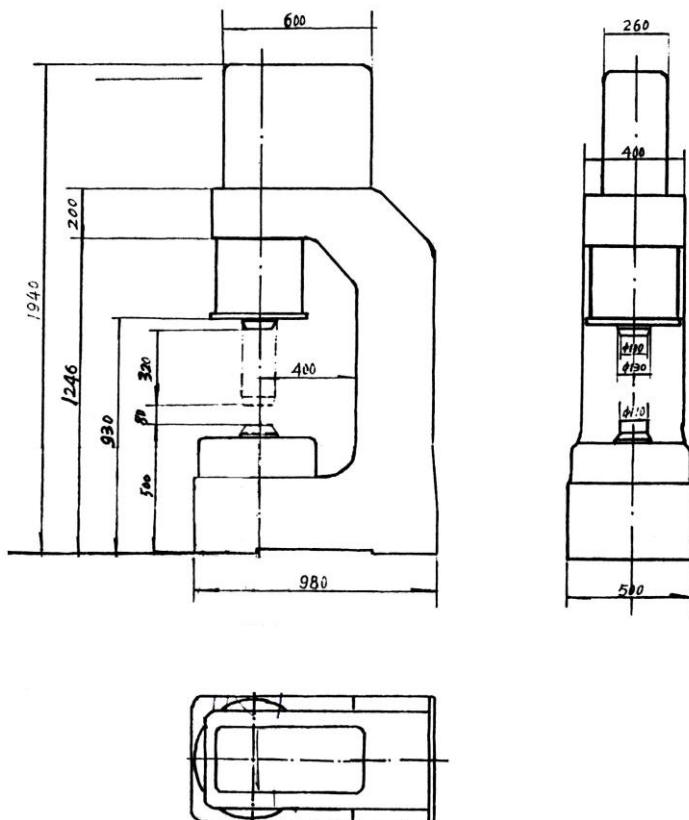


T35

NO	代号	名称	数 量	NO	代号	名称	数 量
18	GCX-001	外罩 铝板)	2	9	GCX-009	螺母 (A ₃)	2
17	GCX-002	垫板 (胶木)	1	8	GCX-010	垫圈 (10#)	2
16	GCX-003	轴 (45#)	2	7	GCX-011	手轮	2
15	GB45-66	螺母 (M20)	4	6	GCX-012	V形垫块 (硬木)	2
14	GCX-004	横极板 (10#)	1	5	GCX-013	端极板 (10#)	2
13	GCX-005	支架 (硬木)	2	4	GCX-014	木架 (L80×20)	1
12	GCX-006	轴套	2	3	GCX-015	撑块 (315#)	4
11	GCX-007	极芯 (10#)	2	2	GCX-016	铁芯橡胶轮 (10#)	4
10	GCX-008	线包 (Cu)	2	1	GB97-66	垫圈	4

附录(3)

KyS—3型磁疗机总装图



T 36

36			NO	说 明
35	GB30-76	六角螺栓 M5×10	6	件 24 电动机 AO ₂ —562, 90W/380V/14.80 转/分。
34	Ky53-000-16	圆盖板		
33	Ky53-000-25	磁极平衡铁	1	
32		行程开关	2	
31		绳卡	2	
30	Ky53-000-14	滚动座	2	
29	Ky-040-00	电动机座	1	
28	GB95-76	弹簧垫圈 5	10	件 21, 钢丝绳穿越机体质顶灰 GB, 面板或与传动箱相碰时, 临时开设孔槽, 使钢丝绳通过并不得相碰磨损。
27	GB92-76	六角螺母 M5	4	
26	Ky30-76 M5×20	六角头螺栓	4	件 29 电动机座, 件 30 滚动轮座在组装时, 调好位置, 焊接在机上。
25	Ky53-000-13	键 3×6	1	
24		电动机 AO2-5624	1	
23	Ky53-000-12	皮带轮 φ65	1	
22	GB24-1171-74	三角胶带 0~900	1	
21	GB1102-74	钢丝绳 φ 4.7	1	
20	GB30-00	滚动	6	
19	Ky-000-11	极罩	1	
18	Ky53-020-00	传动箱	1	
17	GB33-76	弹簧垫圈 8	4	
16	GB30-76 M8×25	六角头螺栓	4	件 31 绳卡, 图示 2 件, 另一件图中未显示, 设在传动箱内上磁极上部压板下, 传动螺母与导套的中间, 组装时钢丝绳在此折叠后夹住。
15	GB95-70	垫圈	4	
14	Ky53-000-09	木盖板	1	
13	Ky53-000-08	上线包罩	1	
12	Ky53-000-07	上线包	1	
11	Ky53-000-06	垫板	1	
10	Ky226-000-05	线包托板	1	
9	Ky226-000-04	下线包罩	1	
8	Ky226-000-03	下线包	1	
7	Ky226-000-02	下磁极	1	
6	Ky226-000-01	垫板	1	配控制柜一台, 磁床(Ky53-050-000)一台。
5	GB	圆锥销 30×120	1	
4	Ky58-80-06	机体	1	整体总功率, 额定为 1.2KW, 最大为 3KW。
3	GB95	弹簧垫圈 12	4	
2	GB92	六角螺母 M12	4	
1	GB	内六角螺钉 M12×50	4	搬运时, 磁极及其平衡铁固定(上下磁极间可以顶紧, 吊装位置准确)。
序号	图 号	名 称	数量	结构设计: 邱榕 磁路设计: 姚文生