## 内 容 提 要

这本小册子是大連全民办电現場会議的一个資料。它介紹了大連造船厂在全民办电运动中，如何因陋就簡地用土办法制造400瓩发电机。書中敘述了发电机的設計、結構选擇、制造和試驗，并有比較詳細的設計計算。

本書可作为各生产單位土法制造发电机时的参考讀物。

中国科学技术大学
图书馆藏

**400瓩土发电机的設計和制造**

大連造船厂著

*

1862D530

水利电力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印　　新华書店发行

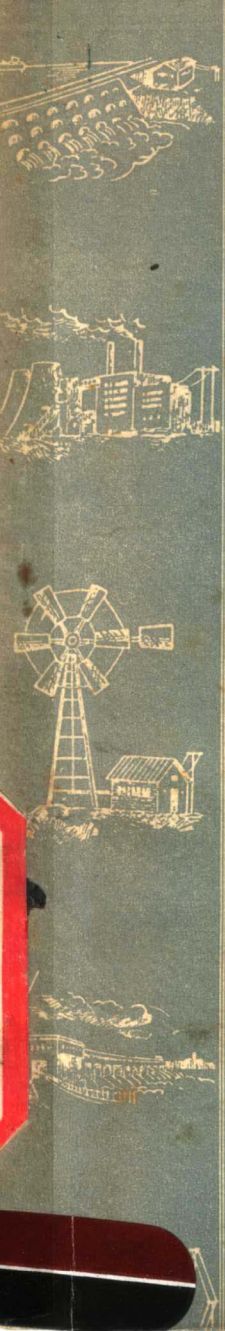
*

787×1092 1/32开本 * 1 5/16印張 * 33千字

1959年1月北京第1版

1959年1月北京第1次印刷(0001—8,100册)

統一書号：15143·1464　　定价(第8类)0.17元



全民办电丛書之十八

# 400瓩土发电机的設計和制造

大連造船厂著

水利电力出版社

# 目　录

第一节　发电机的設計……3

第二节　发电机的結构选擇与制造……28

第三节　发电机的試驗……43

## 第一节　发电机的設計

利用我厂船用柴油机作为原动机。根据其容量和轉速确定制造三相凸极同期发电机：

| | |
|---|---|
| 容量：500千伏安 | 电压：3,300伏 |
| 功率：400瓩 | 电流：88安 |
| 功率因数：0.8 | 連接：Y |
| 轉速：500轉/分 | 开启式連續运行 |

設計的原則为土洋結合，以土为主；經过簡单而比較完整的計算。在結构工艺、材料上要用些土办法。材料尽量利用庫存的，或易于購买加工的，或者用代用品。結构型式要尽量簡单，以求用料省、加工方便。在这基础上要保証电机質量。

### 一、設計时考虑的問題

(一)定子鉄心用鉄片代替矽鋼片。对其电磁性能討論如下：

1.导磁性能方面：

(1)在鉄片中含碳量較多，因此导磁性能差，需要磁化力大，且容易飽和。而对于鉄片內含有的其他成分如微量的錳、鎳对鉄的性質无多大影响。硫、磷及氧对磁性有害处，尽可能減少。

(2)矽鋼片中因含有矽的关系，导磁性能好，需要的磁化力小，飽和点比鉄片高。

2.損耗方面：

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

（1）在鉄片中含碳量0.07%～0.16%，其电阻倍数为10～40微欧-公分。在矽鋼片中电阻系数随着含矽量的增加而增加。含1～4%的矽鋼片的电阻系数为25～60微欧-公分。又根据"电世界"杂志报导：0.3公厘軟鋼片的渦流損耗为0.5公厘矽鋼片的50%，因此認为鉄片厚度和成分相当的話，其渦流損耗应相仿。

（2）在鉄損中磁滞損耗占大部分，約为渦流損耗的2～4倍。因此我們比較了鉄片和矽鋼片中的磁滞損耗：

| 性能 / 材料 | 剩磁通密度（千高斯） | 矯磁力（奥斯特） | 磁滞損失（尔格/立方公分/周） | $\eta\times10^3$ |
|---|---|---|---|---|
| 0.16% 碳鋼 | 7.75 | 1.51 | 4,600 | 1.83 |
| 4 % 矽鋼 | 7.46 | 0.555 | 1,563 | 0.641 |

磁滞損耗$W_h$与材料性質$\eta$、磁通密度$B$有关，列式如下：

$$W_h=\eta B^{1.6}$$

式中 $\eta$ 为常数，由材料性質决定。在上表中0.16%碳鋼的$\eta$为$1.83\times10^3$；而4%矽鋼的$\eta$为$0.64\cdot10^3$，因此碳鋼比矽鋼損耗大3倍。从另一方面講，虽然他們的剩磁通密度接近，但碳鋼的矯磁力却要比矽鋼大3倍，即磁滞回綫面积約大3倍，因此損耗应大这些倍数。

3.为了减少損耗所应采取的措施：

（1）降低鉄心中磁通密度，以减少損耗。这台电机比矽鋼片的約降20%。

（2）为减少渦流損耗，鋼片越薄越好，且两面涂漆。压装后，槽口与內外圓不鏟不磨。

（3）为减少磁滞損耗（渦流損耗亦可改善些），鉄片应經退

火处理。在700～800°C炉子內燜6小时，逐漸冷却，磁滞損耗約可降低到30～50%。这样仅比矽鋼片損耗大20～30%。

（4）为使鉄心中热量易于散出，鉄心多設徑向通风道，并且寬些。

（二）綫負載$A$作一般选擇。若为减低磁負載$B$而增加綫負載，因电樞反应去磁效应增加，使电压調整率变坏。若减低綫負載而提高磁負載（$B$）为不希望，在磁負載不增加情况下而增加磁通$\Phi$还是可以的。

（三）若鉄心中的磁通密度太低，則电机将运行在不飽和状态下，即在空載特性曲綫直綫部分，因此电压不稳定，电压調整率变坏。

（四）由于对所采用的鉄片的电磁性質了解不够，所以磁化力按一般鋼片計算。为保証一旦磁化力不够时可以增补起見，在磁极繞組中电流密度取得較低。这样，如不够时可增加电流以增大安匝数，加强磁势，增加磁通。

（五）定子槽寬与槽深应比洋办法放大些，因为①冲头尺寸有誤差；②槽与槽間中心距离不一样，鉄片交錯迭装，槽口有效寬度就变得狹小；③对于繞組絕緣材料选用或代用可方便些，且在包扎时要求不必很严，在允許厚度內就可；④下綫方便，輕微敲打，絕緣不致遭受損伤。

（六）轉子磁极采用整块鑄鋼制成，这样免得做冲模，施工时間可縮短。这是根据我厂有鑄造和机械加工能力决定的。但是极掌和极心为一整体，因此极掌表面損耗比鋼片者增加10～12倍，导致温升很高；准备用軸向强力通风散热。

（七）由于阻尼繞組对发电机作用不大，省去阻尼繞組，以使磁极結构更为簡单。

（八）容量較大电机的磁极繞組系采用扁而寬的銅带单层

繞，为了施工方便，应采用較小的銅帶多层繞。

(九)励磁机不制造，利用厂內原直流发电机稍加修理作为励磁机用。

(十)电樞繞組对地絕緣試驗应能承受电压 7,500 伏，历时 1 分鐘；磁极繞組对地絕緣試驗应能承受电压 1,500 伏，历时 1 分鐘。

## 二、計　　算

发电机由柴油机拖动运轉，开启式，有徑向通风，激磁由独立直流发电机供給。

額定数据：$P_n=500$ 千伏安，$U_{n.л}=3,300$ 伏，$\cos\varphi=0.8$ (滞后)，$f=50$ 赫芝，$n_n=500$ 轉/分。

A) 額定数值

1.計算用額定容量　$P'=P_n=500$ 千伏安。

2.額定有效功率　$P_{a.n}=P_n\cos\varphi_n=500\cdot0.8=400$ 瓩。

3.定子繞組接成星形时額定相电压

$$U_n=\frac{U_{n.л}}{\sqrt{3}}=\frac{3300}{\sqrt{3}}=1,905\text{伏}.$$

4.額定电流(相电流)

$$I_n=\frac{P_n\cdot10^3}{\sqrt{3}U_{n.л}}=\frac{500\cdot10^3}{\sqrt{3}\cdot3300}=87.5\text{安}.$$

5.极对数　$p=\frac{60f}{n_n}=\frac{60\cdot50}{500}=6.$

Б) 主要尺寸

$$\tau=c_\tau\left(\frac{P'}{p^{1.5}}\right)^{0.29}=9\left(\frac{500}{6^{1.5}}\right)^{0.29}=25\text{公分}$$

(取 $c_\tau=9$，$P'=500$ 千伏安，$p=6$ 极对数)

6. 定子內徑 $D=\frac{2p\tau}{\pi}=\frac{2\cdot6\cdot25}{3.14}=95.5$ 公分，取 100 公分.

7. 极距 $\tau=\frac{\pi P}{2p}=\frac{3.14\cdot100}{2.6}=26.2$公分.

8. 定子的計算長度:

$A=350$安 $B_\delta=8,400$ 高斯为減少齿中磁通密度，降低齿中損耗，防止发热，取 $B_\delta=6,800$高斯

选用$a_p=\frac{b_p}{\tau}=0.74$。与此相对应的$a_\delta=0.65$，$k_s=1.123$。

初步取 $k_w=0.92$。

定子計算長度第一近似值:

$$L_\delta=\frac{6.1\cdot P'\cdot10''}{a_\delta k_s k_w AB_\delta D^2 n_{ll}}$$

$$=\frac{6.1\cdot500\cdot10''}{0.65\cdot1.123\cdot0.92\cdot350\cdot6800\cdot100^2\cdot500}$$

$$=38.5\text{公分}.$$

9. 方案表:

方　案　表

| 方案編号 | $D_a$ | $O$ | $\tau$ | $A$ | $B_\delta$ | $L_1$ | $L_{nab}$ | $n_B b_B$ | $L$ | $L_3$ | $\lambda=\frac{L_3}{\tau}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 100 | 26.2 | 350 | 6,800 | 39.6 | 4.8 | 6×1 | 33.6 | 38.5 | 1.47 |

定子的实际長度　$L_1\approx1.03L_\delta=1.03\cdot38.5=39.6$ 公分

选擇徑向通风槽　$n_a=6$，　寬 $b_n=1$ 公分

則得定子全部鋼迭片長度

$$L=L_1-n_a b_a=39.6-6\cdot1=33.6\text{ 公分}$$

定子迭片組的寬度

$$L_{nak}=\frac{L}{n_g+1}=\frac{33.6}{6+1}=4.8 \text{ 公分}$$

定子外徑在以后計算定子軛时确定。

B) 定子的繞組、槽和軛

10.定子选用双层繞組。每极每相槽数

$$q=2\frac{1}{2}.$$

11.全部槽数 $z=2Pqm=2\cdot6\cdot2\frac{1}{2}\cdot3=90$.

12.定子齿距 $t_s=\frac{\pi D}{2}=\frac{3.14\cdot100}{90}=3.49$ 公分.

$p=6$, $z=90$, 最大公約数为 $t=6$, 因 $\frac{z}{t\cdot m}=\frac{90}{6\cdot3}=5$ 为一整数，所得到繞組为对称的。

繞組节距 $y=6$ (从第 1 槽到第 7 槽)。

繞組节距表为极距的标么值时

$$\beta=\frac{y}{3q}=\frac{6}{3\cdot2\frac{1}{2}}=0.8.$$

空气隙中磁通(初步值)

$$\Phi=a_\delta\tau l_\delta B_\delta=0.65\cdot26.2\cdot38.5\cdot6800=4.45\cdot10^6 \text{ 馬}.$$

13.繞組系数 (附录×表 2) $k_w=0.907$

每相匝数 $w=\frac{E\cdot10^8}{4\cdot k_s\cdot f\cdot k_w\Phi}$

$$=\frac{1905\cdot10^8}{4\cdot1.123\cdot50\cdot0.907\cdot4.45\cdot10^6}=210.$$

14.选用每相的匝数 $w=210$,

整个繞組全部有效导体数 $2mw=2\cdot3\cdot210=1260$.

15.每槽中的导体数为 $\frac{1260}{90}=14$.

16.空气隙中磁感应

$B_\delta=6800$ 高斯.

17.空气隙中磁通

$\Phi=4.45\cdot10^6$馬.

18.綫負載$A=\dfrac{2m\omega I_n}{\pi D}$

$=\dfrac{1260\cdot88}{\pi\cdot100}$

$=353$安/公分.

19.槽尺寸选用槽寬$b_n=15.5$公分,电流密度$\Delta_s=4.89$,导綫截面$S_s=\dfrac{I_n}{\Delta_s}=\dfrac{88}{4.89}=17.9$平方公厘,选用$10.8\times1.68$扁銅綫,沿槽寬上放一个导体,沿槽高放14导体,每一繞組元件边中有7导体。

头部弯曲半徑 $R=1.2$公分,

头部长度 $N=3.5$公分.

端接部分支綫段的长度

$M=4.5$公分.

$h_2=5.15$ 公厘,

$h_3=2.1$ 公厘,

$h_4=4.5$ 公厘;

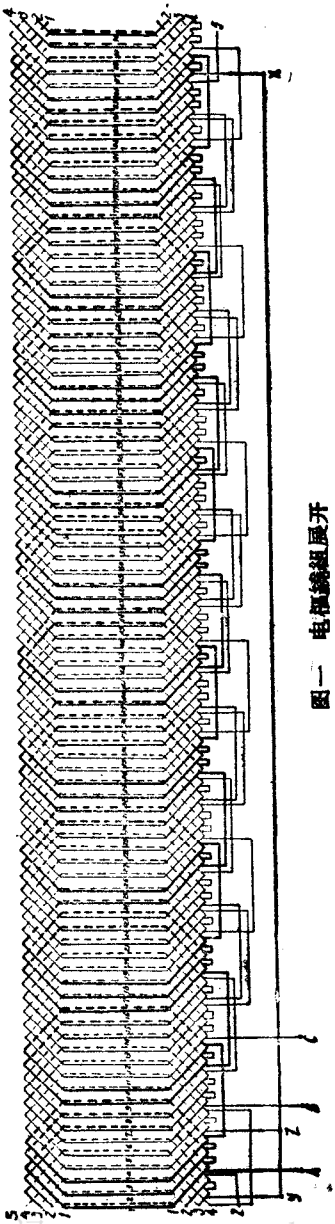
$a_1=0.935$ 公分,

$a_2=2(h_3+h_4)$

$=2(2.1+4.5)$

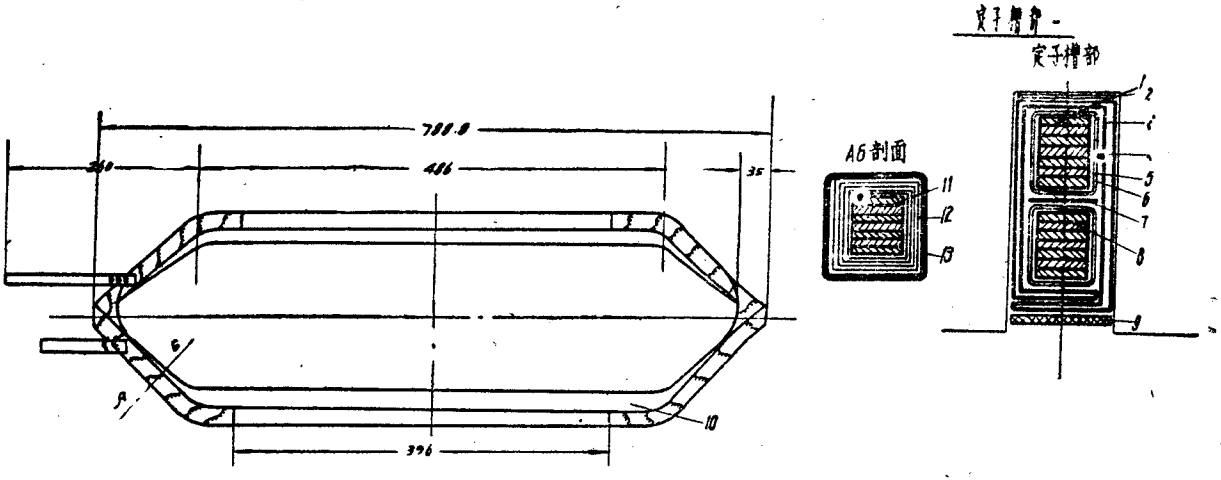
$=13.2$ 公厘$=1.32$ 公分.

$a_3=1.45+2\cdot h_4=1.45$



图一 电枢繞組展开

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com




图二　定子繞組

*1*—扁銅带 19.8×1.68；*2*—云母紙墊二层，厚 0.4；*3*—青壳紙套一层，厚0.15；*4*—云母紙套一层，厚0.8；*5*—漆布带二层半迭繞，厚0.13；*6*—絲布带一层，半迭繞，厚0.17；*7*—云母紙墊三层，厚0.4；*8*—匝間絲布带一层，半迭繞，厚0.17，繞后浸漆干燥；*9*—胶木板楔，厚 3；*10*—已制成的定子須浸漆干燥；*11*—匝間絲布带，厚0.17，一层半迭繞，繞后浸漆干燥；*12*—漆布带，厚0.13，五层半迭繞；*13*—絲布带，厚0.17，一层半迭繞。

$+2\cdot0.45=2.35$ 公分；

$H=7(1.68+4\times0.17)=7(2.36)=16.5$公厘$=1.65$公分，

$B=10.8+4\times0.17=11.48$ 公厘$=1.15$ 公分.

槽及絕緣尺寸見(图二)

槽寬$b_n=1.15+4=1.55$公分，

槽深$h_n=2\cdot1.65+0.45+1.25=50$公分.

20.定子齿冠寬度 $b_{21}=t_s-b_n=3.49-1.55=1.94$ 公分.

21.齿冠中磁感应

$$B_{21}=\frac{B_\delta L_i t_s}{LK_c b_{21}}=\frac{6800\cdot38.5\cdot\overset{3.49}{\cancel{3.94}}}{33.6\cdot0.93\cdot1.94}=15,100 \text{ 高斯}.$$

22.定子繞組端接部分長度 $L_d$

按4-7 $\tau_y=\dfrac{\pi(D+2H+a_3)}{2p}\beta$

$$=\frac{3.14(100+2\cdot1.65+2.35)}{2.6}0.8=22.1\text{公分},$$

4-9 $t_c=\dfrac{\pi(D+a_2)}{2}=\dfrac{3.14(100+1.32)}{90}=3.54$公分，

4-10 $f_c=B+a_1=1.15+0.935=2.085$ 公分，

4-13 $A=\dfrac{\tau_y-R-0.5H}{\sqrt{1-\left(\dfrac{f_c}{t_c}\right)^2}}=\dfrac{22.1-1.2-0.5\cdot1.65}{\sqrt{1-\left(\dfrac{2.085}{3.54}\right)^2}}$

$=24.65$ 公分，

4-12 $L_d=A+1.57H+2M+N=24.65+1.57\cdot1.65$

$+2\cdot4.5+3.5=39.2$ 公分.

23.定子繞組半匝平均長度

$L_{cp}=L_1+L_d=39.6+39.2=78.8$ 公分.

24.端接部分的伸出長度(沒有接綫的一边)

$$f \approx 0.5A\frac{f_c}{t_c}+M+N=0.5\cdot 24.65\frac{2.085}{3.54}+4.5+3.5$$

$=15.17$ 公分.

在有綫圈間接綫和各組接綫的一边

$f'=f+4B+6=15.17+4\cdot 1.15+6=25.77$ 公分.

25.整个繞組导体总长度

$$L=2mwL_{cp}=1260\cdot 0.788=994 \text{ 公尺}.$$

26. 75°C 时每相的欧姆电阻

$$r=1.24\frac{994}{57\cdot 3\cdot 17.9}=0.403 \text{ 欧姆};$$

化为标么值时

$$[r]=\frac{I_n r}{U_n}=\frac{88\cdot 0.403}{1900}=0.01865.$$

27.定子繞組銅重

$G_m=\gamma_M LS_s\cdot 10^{-3}=8.9\cdot 994\cdot 17.9\cdot 10^{-3}=158.5$ 公斤;

每千伏安的銅重 $\frac{G_m}{P_n}=\frac{158.5}{500}=0.317$ 公斤/千伏安.

28.定子外徑 $D_a$

选用 $B_s=7,900$ 高斯时，定子軛的高度

$$h_s=\frac{\Phi}{2\cdot 0.98\cdot LK_cB_s}=\frac{4.45\cdot 10^6}{2\cdot 0.98\cdot 33.6\cdot 0.95\cdot 7900}=9 \text{ 公分};$$

取 0.98 系考虑到用螺釘紧固鉄心时截面縮小，$K_c=0.95$,

$D_a=D+2h_n+2h_s=100+2.5+2.9=128$ 公分.

Г) 空 气 隙

29.极心下空气隙长度

$$\delta\approx\frac{0.36A\cdot\tau}{K'(x_d-0.1)B_\delta}=\frac{0.36\cdot 353\cdot 26.2}{1.1(1.6-0.1)6800}=2.96\doteq 3 \text{ 公厘}.$$

$$(K'=1.1 \qquad x_d=1.6)$$

Д) 轉子磁极与軛

磁极采用整块鑄鋼鑄成。

估計磁极的漏磁通为空气隙20%，磁极磁通为

$$\Phi_m = 1.2\Phi = 1.2 \cdot 4.45 \cdot 10^6 = 5.33 \cdot 10^6 \text{ 馬};$$

取 $B_m = 12{,}000$ 高斯，

$$S_m = \frac{\Phi_m}{B_m} = \frac{5.33 \cdot 10^6}{12000} = 445 \text{ 公分}^2.$$

30. 极心长度 $L_m = L_1 = 39.6$ 公分.

31. 极掌长度 $L_p = L_m = 39.6$ 公分.

32. 极心寬度 $b_m = \frac{S_m}{L_m} = \frac{445}{39.6} = 11.2$ 公分.

33. 极心截面 $S_m = 11.2 \times 39.6 = 445$ 公分$^2$.

34. 极弧长度 $b_p = a_p \cdot \tau = 0.74 \cdot 26.2 = 19.4$ 公分.

极掌尖下的最大空气隙

$$\delta_m = 1.5\delta = 1.5 \cdot 0.3 = 0.45 \text{ 公分};$$

极掌外形采用弧形，弧半徑

$$R_p = \frac{D}{2 + \frac{8D(\delta_m - \delta)}{b_p^2}} = \frac{100}{2 + \frac{8 \cdot 100(4.5-3)}{19.4}} = 43.2 \text{ 公分}.$$

磁极上未备有阻尼繞組，采用 $h_p' = 3$ 公分.

35. 极掌高度 $h_p = h_p' + R_p - \sqrt{R_p^2 - \left(\frac{b_p}{2}\right)^2}$

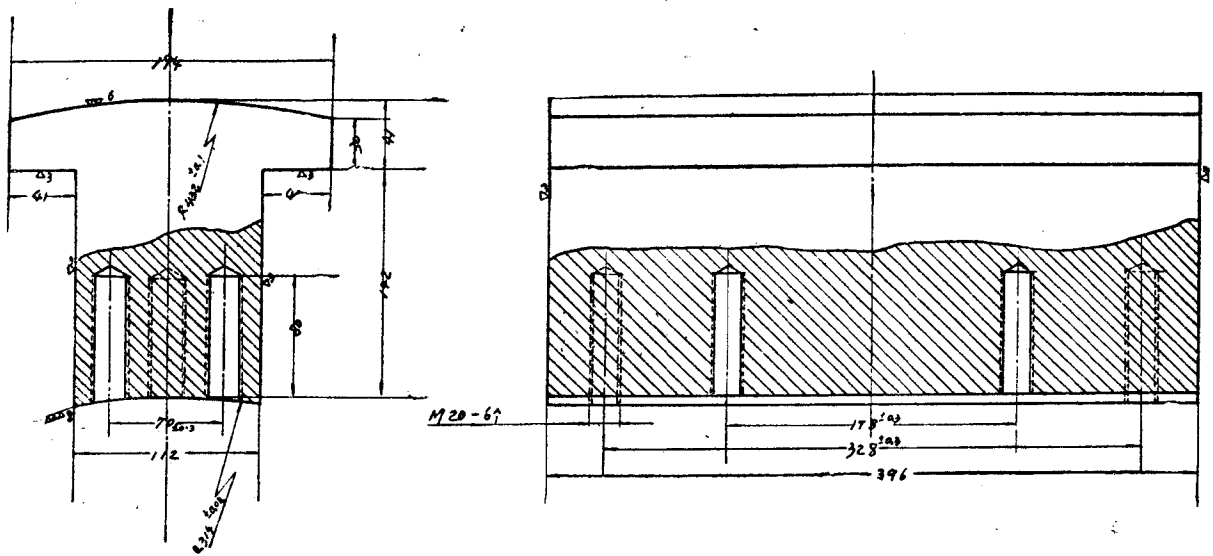
$$= 3 + 43.2 - \sqrt{43.2^2 - \left(\frac{19.4}{2}\right)^2}$$

$$= 4.1 \text{ 公分}.$$

36. 极心高度(考虑到綫圈上下部絕緣时)

$$h_m = h_m' + 2 = 12.2 + 2 = 14.2.$$

37. 轉子軛截面：軛由鑄鋼制成取 $B_r = 10{,}000$ 高斯




图三　做板

$$S_r=\frac{\Phi_m}{2B_r}=\frac{5.33\cdot10^6}{2\cdot10000}=266\text{ 公分}^2.$$

38.轭的高度 $h_r=\frac{S_r}{L_m+5.4}=\frac{266}{39.6+5.4}=59.2=60$公分.

轉子磁极表示于图三。

E) 無載特性曲綫的計算

准确的定子計算长度

$$L_\delta=\frac{L_1'+L_p'}{2}-b_s'n_s=\frac{39.6+39.6}{2}-0.4\cdot6=37.2\text{ 公分}.$$

39.空气隙中磁通：在額定电压的无載情况下（$E_0=U_n$）

$$\Phi=4.45\cdot10^6\text{ 馬}.$$

40.空气隙中磁感应（$E_0=U_n$）

$$B_\delta=\frac{\Phi}{a_\delta\tau L_\delta}=\frac{4.45\cdot10^6}{0.65\cdot26.2\cdot37.2}=7{,}020\text{ 高斯}.$$

41.空气隙系数

当$\frac{a_s}{b_{21}}=\frac{b_1}{b_{21}}=\frac{15.5}{19.4}=0.798$，$\frac{a_s}{\delta}=\frac{b_n}{\delta}=\frac{15.5}{3}=5.17$时，

$K_\delta=1.285$.

42.空气隙磁势：

$$F_\delta=1.6\delta K_\delta B_\delta=1.6\cdot3\cdot1.285B_\delta=0.616B_\delta;$$

当 $E_0=U$ 时 $F_\delta=0.616\cdot7{,}020=4{,}330$ 安.

43.定子齿的磁势

离最小齿截面⅓齿高处的理論磁感应为

$$B_{2\frac{1}{3}}=\frac{B_\delta L t_s}{LK_\delta b_{2\frac{1}{3}}}=\frac{37.2\cdot3.49\cdot B_\delta}{33.6\cdot0.95\cdot2.07}=1.96B_\delta,$$

其中 $t_{s\frac{1}{3}}=\frac{\pi(D+\frac{2}{3}h_s)}{2}=\frac{3.14\left(100+\frac{2}{3}\cdot5\right)}{90}=3.62;$

$$b_{2\frac{1}{3}}=t_{s\frac{1}{3}}-b_n=3.62-1.55=2.07.$$

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com