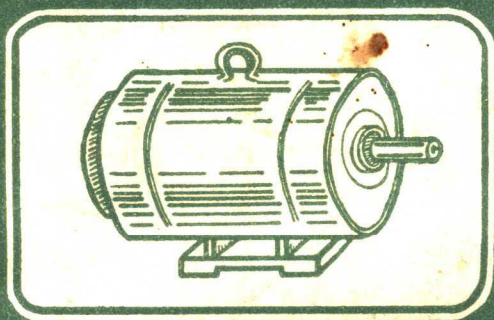


怎样制造感应电动机

石家莊热电厂附属电机制造厂著



水利电力出版社

前 言

党中央提出“全党全民办工业”的口号以后，在全国立即出现了一个生产大跃进的新局面。在这个时代里，不论在工业或农业上，电动机都显得特别重要。为了贯彻党的指示和适应当前大跃进对电动机的需要，我们厂党委决定兴办一个以职工家属为主要劳动力的电机制造厂。电机厂从7月份成立以来，遇到的困难是很多的，最突出的是没有机器设备、技术力量薄弱和材料供应不足这几方面。由于党的正确领导，特别是受了党提出的鼓足干劲、力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线的鼓舞，在党的领导下，遵循着依靠群众、发动群众的工作方法，我们终于克服了一切困难，使生产基本上走上了正轨。

没有机器设备，就不能正规和大规模地生产。因此，我们首先抓住了这个关键。党委发动了全体职工和家属，日夜苦战，经过几天的努力，基本上使用废旧材料，做成了几台冲床和简易车床以及拔丝机、打纱机等设备，初步打开了局面。有些工序，如铁片下料等，由于来不及制造设备，我们就采用了人工剪裁的办法。

为了克服技术力量薄弱的困难，我们抓紧了对家属们的技术培训。首先是务虚，使他(她)们提高思想觉悟，树立较明确的专业思想，先学一门专业。并且，采用了拖车式的培训方法，大徒弟带小徒弟，先来的带后来的。这样，只经过一段短短的时间，家属们就基本上掌握了独立工作的能力，奠定了正规生产的基础。

生产以后，材料供应不足的問題，就突出的表現出来。这时一方面是挖、找、省；另一方面，我們大胆的采用代用品，例如用馬口鉄，破煤油桶皮、烟筒皮等来代替矽鋼片，用牛皮紙来代替隔电紙等，这样基本上使材料供应赶上了生产的需要。同其他單位协作，也是解决材料問題的一个方法，例如我們要求用戶自己供給軸承，就基本上克服了軸承供不应求的困难。

白手起家，各种大小困难当然很多，但是，事在人为，紧紧的依靠党的領導，依靠羣众，就沒有克服不了的困难。总的說来，我們厂就是这样从手工逐步走向机械化、由簡陋逐步走向正規化慢慢办起来的。現在，虽然正式生产了，我們也还在不断的改进。

有些同志對我們这种做法感到兴趣，要我們介紹經驗。可是，我們实在談不上什么經驗，只能將我們的具体做法，真实地作一簡單介紹。就这样，我們写成了这本小冊子。

在編写的过程中，我們还陸續收到各地兄弟厂矿的来信，他們對我們的工作給予了很高的評價，同时也提出了很多問題要求答复，这些更鞭策着我們把这本小冊子写得更完整些、丰富些、实用些。可是我們制造电动机沒有經驗，写文章就更沒有經驗。因此，尽管我們已經作了很大的努力，仍然不免凌乱和不够充实。对那些寄予我們很大期望的同志們，我們感到深深的歉意。此外，我們也希望通过这个小冊子的出版，能得到来自各方面的對我們工作的批評和意見，以便改进我們的工作，为祖国的电气化事业而奋斗。

目 录

第一章 电动机的設計和計算.....	5
第1节 引言.....	5
第2节 計算实例.....	6
第3节 几点討論.....	12
第二章 电动机的制造方法和生产过程.....	15
第1节 定子鉄心.....	15
第2节 轉子鉄心.....	24
第3节 鉄心的絕緣处理.....	29
第4节 制綫.....	31
第5节 繞綫圈和下綫圈.....	34
第6节 干燥和浸漆.....	43
第7节 制造外壳.....	44
第8节 組裝和試驗.....	46
第三章 生产电动机和几个主要設備.....	47
第1节 拔絲机.....	47
第2节 打紗机.....	50
第3节 冲床.....	55
第4节 簡易車床.....	66

第一章 电动机的設計和計算

第1节 引 言

設計工作是制造过程中很重要的一环。在我們收到的来信中，几乎普遍的問到我們是如何設計的，由此可見，这是大家最关心的一个問題。

我們的技术力量极其薄弱，根本沒有力量自己設計。我們是从比着葫蘆画瓢开始进行制造的。六月下旬，为了向七一献礼，我們試制了一台4.5瓩的电动机，这几乎完全是仿照苏联A51-4型电动机做的。只有下列几点变动：1) 考虑到我們不是用矽鋼片，將鉄心長度由原来的9厘米增加到11厘米；2) 也是为了降低磁通密度，將原来的槽加深了一点，每槽导体数由原来的32根增加到44根；3) 由于沒有鑄鋁設備，轉子采用了嵌銅条的方法来做；4) 为了繞綫圈方便，將原来的同心繞組改为双层短节距繞組。由于試驗設備的限制，我們沒有作負荷試驗，只作了一下空載和短路試驗，証明基本上还能用。这次成功，大大的鼓舞了我們。

七月份正式建厂以后，第一批任务也是生产4.5瓩的电动机，我們就完全按七一試制那一台来做，沒有作过新的計算。只是后来有了鑄鋁設備，才改用了鑄鋁轉子。

八月份以后，上級指示我們生产10馬力(7.5瓩)电动机，这一回因为手边沒有現成的样子可以抄，于是就在一批4.5瓩电动机的生产中获得的生产常識和經驗的基础上，自己摸索着进行設計。

我們是根据这两本書来进行設計的：一本是科学技术出版

社出版的“感应电动机文集(第二集)”，根据它，我們选定了定子內徑和鉄心長度；另一本是丁士鈞編的“感应电动机的設計与制造”，虽然他講的是正規生产的情况，对我們不完全合适，但我們采用了他介紹的公式，进行鉄心和綫圈的計算，最后决定了机槽、机齿和齿背的尺寸，确定出定子外圓的大小。

用鉄片(最初是大張的馬口鉄，后来是煤炉烟筒，再后来是旧煤油桶皮，以后用什么还不一定)来代替矽鋼片，是一件有意义的工作。但是，也就存在着很多困难，使我們不知如何下手。首先遇到的是鉄片比矽鋼片的电磁性能到底差多少，用鉄片作鉄心，各部磁通密度取多少为合适，这些都找不到現成的曲綫图表或資料。在这里，我們沒有过多的躊躇，先选定一个較低的空气隙磁通密度——5,000高斯(一般电动机用7,000高斯左右)进行計算，决定出鉄心各部的尺寸。反正是小量生产，不行了可以随时改，就这样进行試制，根据試驗結果，再回头来修改設計。这个办法看起来有些盲目，但我們觉得不干是不会知道的。由后来試驗結果来看，也基本上令人滿意。因此我們觉得，規模小，生产任务小的厂子不妨大胆的进行各种試驗，边試，边作，边改，最后求得完善。

我們只作过这么兩种电动机，不能对小型电动机的設計問題作全面的分析和敘述。下面就根据我們的7.5瓩电动机的实际例子，講一下我們是从哪里下手，如何計算的。前面已經講过我們的主要参考書，大家不清楚的話，可以找这些書看看。

第2节 計算实例

1. 规范： 容量：7.5瓩 电压：380/220伏 接法人/△
 相数：3 同步轉速：1500轉/分
 型式：防滴式鼠籠型 周率：50赫

2. 选定导线:

$$\text{额定相电流 } I = \frac{7500}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8 \times 0.8} = 17.8 \text{ 安,}$$

式中两个0.8是假定的功率因数和效率,一般用0.85或更高些,我們考虑到材料和制造技术不佳,选得較低。

假定电流密度为6安/毫米²(按苏联电工手册),要求导线截面 $= \frac{17.8}{6} = 2.97 \text{ 毫米}^2$ 。

为了繞綫圈和下綫方便,不选一根粗綫而用兩根細綫并联,我們取用兩根直徑为1.4毫米的銅綫,导线实际截面为 $2 \times 1.54 = 3.08 \text{ 毫米}^2$ 。

$$\text{实际电流密度} = \frac{17.8}{3.08} = 5.8 \text{ 安/毫米}^2 \text{。}$$

3. 决定每槽导线数:

先根据容量,轉速(极数)决定定子腔的内徑和鉄心長度。“感应电动机文集(第二集)”中介绍了图解法,也介绍了两个计算公式,現在抄在这里:

$$\text{定子内徑 } D = 6.27 P^{0.04} \cdot KW^{0.27} \text{ 厘米,}$$

$$\text{鉄心長度 } L = \sqrt{2} D \div P^{\frac{1}{2}} \text{ 厘米,}$$

式中 P ——磁极对数,当周率为50赫时, $P = 3,000 \div \text{同步轉速(轉/分)}$;

KW ——电动机的容量,以瓩計。

我們的定子内徑取为17厘米;鉄心長度取为15厘米。为了利用做4.5瓩电动机用的冲床,槽数未变,即定子36槽,轉子26槽。

有了这些数据,就可以进行計算:

定子内腔表面积(空气隙面积)

$$A = 15 \times 17\pi = 802.5 \text{ 厘米}^2,$$

取空气隙磁通密度 $B = 5,000$ 高斯。

按书上介绍的公式，当线圈接成星形时，

$$\text{每槽导体数 } z_1 = \frac{V \times 10^8}{0.007 \times n \times S_1 \times BA};$$

当线圈接成三角形时，

$$\text{每槽导体数 } z_1 = \frac{V \times 10^8}{0.004 \times n \times S_1 \times BA},$$

现在 $n = 1,500$ 转/分， $S_1 = 36$ 槽，

所以，按第一公式，

$$z_1 = \frac{380 \times 10^8}{0.007 \times 1500 \times 36 \times 5000 \times 802.5} = 25.6 \text{ 根}.$$

实际上，取用 24 根，实际磁通密度

$$B = \frac{380 \times 10^8}{0.007 \times 1500 \times 36 \times 24 \times 802.5} = 5,240 \text{ 高斯},$$

总磁通 $\Phi = 5,240 \times 802.5 = 4.2 \times 10^6$ 线。

4. 初步决定机槽、机齿和齿背的尺寸：

(1) 机槽：

槽内铜导线面积 $= 24 \times 3.08 = 74$ 毫米²，假定占空系数取用 0.3，

$$\text{要求的槽面积} = \frac{74}{0.3} = 247 \text{ 毫米}^2.$$

选取如图 1-1 的机槽尺寸，槽有效面积（不包括楔条占的面积）是：

$$\text{槽面积} = \frac{9 + 13}{2} \times (30 - 1 - 3) = 11 \times 26 = 286 \text{ 毫米}^2.$$

$$\text{实际占空系数} = \frac{74}{286} = 0.258.$$

在这里，我们有一点体会，选择槽的形状和尺寸（包括静

以后，鉄心有效長占总長的百分数。以后凡是計算鉄心都要用它。

$$\text{齿的磁通密度} = \frac{4.2 \times 10^6}{308} \times 0.92 = 12,600 \text{ 高斯},$$

式中0.92是机齿饱和系数。

(2) 齿背:

$$\text{齿背的截面积} = 15 \times 0.85 \times 2 = 25.5 \text{ 厘米}^2,$$

通过齿背的磁通，是每极磁通的一半，所以

$$\text{齿背磁通} = \frac{4.2 \times 10^6}{4} \times \frac{1}{2} \times 0.636 = 334,000 \text{ 綫},$$

式中0.636是最大值化成平均值的系数。

$$\text{齿背磁通密度} = \frac{334000}{25.5} = 13,100 \text{ 高斯}.$$

齿背磁通密度到了13,100高斯，不算很高（一般矽鋼片的电动机到15,000高斯左右），但也不太低。为了不使机身尺寸太大，暂时这样定下来，若試驗結果証明齿背應該加厚时，可以再改。

6. 計算轉子导綫:

(1) 端环: 端环电流按下面的公式計算:

$$I_{er} = \frac{0.955 S_f Z_f I_f \cos \varphi C_f}{2P\pi},$$

式中 C_f 是定子繞組的短节距系数，我們 $y = \frac{8}{9} \tau$ ，所以

$$C_f = \sin(90^\circ \times \frac{8}{9}) = \sin 80^\circ = 0.985,$$

$$I_{er} = \frac{0.955 \times 36 \times 24 \times 17.8 \times 0.8 \times 0.985}{2 \times 2\pi} = 925 \text{ 安}.$$

假設电流密度为2.1安/毫米² (按苏联电工手冊)，

要求的端环截面积 $= \frac{925}{2.1} = 440 \text{ 毫米}^2$ 。

实际上, 采用如图 2 a 的截面形状, 实际端环截面积 $= 410 \text{ 毫米}^2$, 实际电流密度 $= \frac{925}{410} = 2.26 \text{ 安}$ 。

(2) 铜(铝)条: 计算铜条电流的公式是:

$$I_b = \frac{29\pi}{S_2} \times I_{cr},$$

现在 $S_2 = 26$, 所以

$$I_b = \frac{2 \times 2\pi}{26} \times 925 = 448 \text{ 安}.$$

假设电流密度为 3 安/毫米²
(按苏联电工手册), 要求铜条截面积 $= \frac{448}{3} = 149.3 \text{ 毫米}^2$ 。

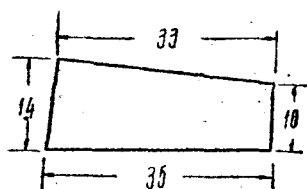
选用如图 1-2b 的截面形状(即转子槽的形状), 实际铜条截面积 $= 156 \text{ 毫米}^2$, 实际电流密度 $= \frac{448}{156} = 2.87 \text{ 安/毫米}^2$ 。

7. 计算转子铁心各部磁通密度:

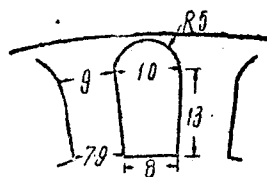
(1) 齿: 槽高 1.8 厘米, 全封闭槽, 故齿高按 1.9 厘米计算。

$$\text{齿根宽} = \frac{(169.4 - 2 \times 1.9)\pi}{26} - 0.8 = 0.79 \text{ 厘米},$$

$$\text{端部宽} = \frac{(169.4 - 2 \times 0.6)\pi}{26} - 1.0 = 0.9 \text{ 厘米},$$



(a)



(b)

图 1-2 转子铜条和端环截面

$$\text{計算寬度} = \frac{2 \times 0.79 + 1 \times 1}{3} = 0.82 \text{ 厘米},$$

$$\text{齒總面積} = 0.82 \times 26 \times 15 \times 0.85 = 272 \text{ 厘米}^2,$$

$$\text{磁通密度} = \frac{4.2 \times 10^6}{272} \times 0.92 = 14,200 \text{ 高斯}.$$

(2) 鐵心本体: 軸孔直徑 = 4.8 厘米,

$$\text{厚度} = (169.4 - 2 \times 1.9 - 4.8) \div 2 = 4.17 \text{ 厘米},$$

$$\text{鐵心截面} = 4.17 \times 15 \times 0.85 = 531 \text{ 厘米}^2,$$

$$\text{磁通密度} = \frac{334000}{531} = 6,300 \text{ 高斯}.$$

由上面的計算可以看到，轉子齒部磁通密度高達 14,200 高斯。按理講，應將機槽改窄來加寬機齒，但考慮到機槽過於狹長，沖頭容易損壞；並且，轉子鐵心組裝後是不經過加工就鑄鋁的，要是槽很窄，則稍微有些沒對准就可能把槽堵死，這樣，我們就不再进行修改了。

轉子鐵心從磁的要求來看，完全不必要這麼厚，但是若做成空心的，又必須加輻條才能安裝機軸，並且沖下中間那個小圓片也沒什麼用，所以就讓它是這個樣子算了。

第 3 節 幾點討論

第 2 節的計算，實際上還沒有完全結束。但是，有了這几步計算，我們已經知道了鐵心的尺寸，槽孔的形狀和尺寸，銅綫的截面大小和綫圈圈數等主要數據，對鐵心各部的磁通密度也大致上摸了一個底。到這時，就可以進行試制了。

剩下的計算工作應該是根據矽鋼片的損失曲綫和磁化曲綫，找出在我們使用的磁通密度下的損失和激磁安匝，計算電動機的空載電流、空載損失等參數；再根據接綫方式、極數等

求出电动机的阻抗，計算起動(短路)电流、短路功率、短路功率因数等参数；最后再根据这些計算銅損、总損失、效率、轉差率、額定功率因数等运行指标。

这些計算要以正确的矽鋼片特性曲綫为基础。我們用的材料很杂，沒有这种曲綫，因此不能計算。要是以矽鋼片的曲綫作根据来計算，虽然能得到一組完整的数字，却沒有任何实用意义，因此，我們可以暂时不作这些計算。

这样，我們就只有依靠試驗来考核我們設計是否合格了。好在作一个空載試驗和短路試驗方法很簡單，也不要什么專門的器具。作得精确的話，也能得到一些重要的資料，由圓图来推算电动机的特性。假如我們把要求放得不太高，往往也能得到令人滿意的結果。实在不行的話再作一些必要的修改，总能做出合乎要求的产品来。

我們对生产出来的电动机，抽出一台作过較为全面的試驗。現在將試驗結果抄录出来，供大家参考：

1. 直流电阻： $R_1 = 0.72\Omega$ ， $t = 28^\circ\text{C}$ ，三相平衡。

2. 空載試驗： $V_1 = 380$ 伏，三相平衡。

空載电流： $I_a = 8.5$ 安， $I_b = 8.8$ 安，
 $I_c = 8.9$ 安，平均 = 8.7 安。

功率： $W_1 = -1,280$ 瓦， $W_2 = 2,080$ 瓦， $W_0 = 800$ 瓦。

功率因数： $\cos\varphi_0 = 0.136$ 。

3. 短路試驗： $V_1 = 98.5$ 伏，三相平衡。

短路电流： $I_a = 14.6$ 安， $I_b = 14.8$ 安，
 $I_c = 15$ 安，平均 = 14.8 安。

換算到額定电压时的短路电流 = $14.8 \times \frac{380}{98.5} = 57$ 安。

功率： $W_1 = -600$ 瓦， $W_2 = 4,800$ 瓦， $W_k = 4,200$ 瓦。

換算到額定电压下 $W_k =$

$$4,200 \times \left(\frac{380}{98.5} \right)^2 = 62,500$$

瓦。

功率因数: $\cos\varphi_k = 0.41$ 。

4. 用直流发电机作負荷試驗:

試驗結果見表 1-1, 根据这些結果, 可以得到如图 3 的一組特性曲綫。

由图 3 的曲綫看到, 这台电动机的額定电流 = 18.5 安, 額定功率因数 = 0.790, 額定效率 = 79.6%, 額定轉速 = 1,420 轉/分。

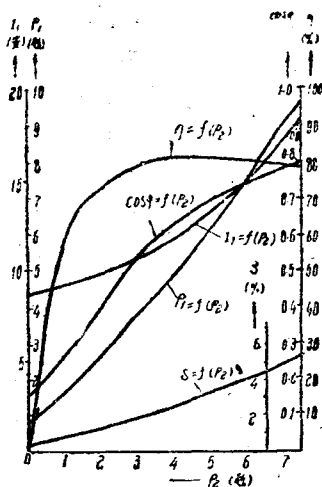


图 1-3 电动机特性曲綫

表 1-1 7.5 瓩电动机負荷試驗記錄

点 数	电压 V_1 (伏)	电流 I_1 (安)	輸入功率 P_1 (瓦)	功率因数 $\cos\varphi$	发电机輸出 P_r (瓦)	发电机 輸入功率 P_2 (瓦)	效率 η (%)	轉速 n (轉/分)	附 注
1	380	8.7	800	0.136	0	0	0	1,490	空載試驗
2	388	9.2	1,360	0.226	0	535	39.4	1,480	靠背輪已偶 合, 发电机 空載
3	388	9.4	1,380	0.31	640	1,252	66.5	—	
4	386	10	3,000	0.45	1,530	2,238	74.5	—	
5	386	11.5	4,600	0.595	2,880	3,723	80.8	1,460	
6	386	14.2	6,930	0.715	4,625	5,642	80.5	—	
7	380	15.4	7,640	0.75	5,200	6,100	79.8	—	
8	380	18.8	9,520	0.79	6,550	7,567	79.4	1,420	

說明: (1) V_1 高于額定电压, 并且略有变动。但仍当作稳定的額定电压看待, 假設电动机的鉄損不变,

(2) 三相电流的算术平均值，实际上三相电流约差2%。

(3) 电动机输入功率是电动机输出功率 P_2 ，计算方法是：第一步，由第一点，求出电动机结构的固定损失（铁损和机械损失），第二步，由第二点，求出发电机的空载损失，为简单起见，假定他永远保持不变，第三步，将发电机输出功率加上发电机固定损失，再加当时发电机的铜损 ($I^2 R$)，得到发电机输入功率。

这些数值比正式生产的电动机差得多，比我们计算时的假定值也差一点。这就是说，还不够理想，还有待改进。

抽试的这一台不是最好的，也不是最坏的。我们逐台作过空载和短路试验，发现有的空载电流高到9.4安，有的则只有6.5安，其他数据也有不同程度的差别。这就说明，由于我们使用的原材料太杂，生产过程中有些工作也作得不规矩，例如空气隙有的超过了设计规定的60丝而到了1毫米（双边总和），使得产品质量还不稳定。这些因素，都不是设计时能够预料到或是能够用几个简单的系数加以矫正的。

第二章 电动机的制造方法和生产过程

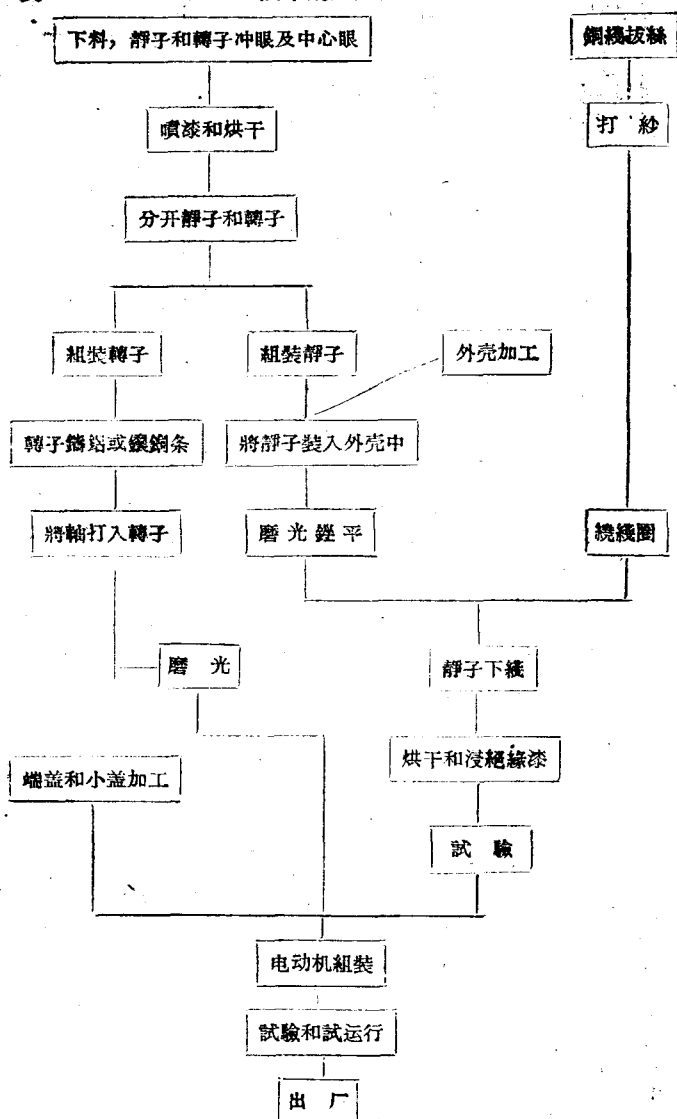
这里用一张图表简单的来表示一下我们厂制造电动机的生产过程和各个工序之间的相互关系。但必须指出，由于人力和机器设备的不足和新建厂时生产又不熟练，所以有些地方并未严格的分工。同时图上也没有表示出那些看起来极琐碎而又不能不作的工作，例如修理冲床，制造冲头，削楔条，裁绝缘纸等。这些工作都需要费不少人力和时间。

第1节 定子铁心

我厂生产的电机，有4.5瓩和7.5瓩两种，以后的叙述以

表 2-1

簡單的生产程序



7.5瓩为主。电机鉄心是用厚度0.25、0.40、0.50毫米的馬口鉄和一些破煤油桶、烟筒皮等經过絕緣处理后迭压而成。虽然馬口鉄的电磁性能(損失系数、导磁系数等)都不如矽鋼片,但用来制造小容量的电机鉄心,影响还不大。事实上,从产品試驗結果看,完全証实了这一点。这样,不但降低了电机的造价,同时也解决了目前矽鋼片不足的問題。

众所周知,电机鉄心是整个电机中的主要部分。它的質量优劣、槽孔的均匀程度、槽孔內平滑程度和鉄片的絕緣处理的質量,都直接影响到电机的下綫、寿命和效率。所以,鉄心的制造是整个电机制造过程中最細致而麻煩的过程。在刚开始生产的小型制造厂中,尤其应考虑到这一点。不然,很容易产生人員分配不当而造成生产过程中的忙乱現象。

根据設計,我厂生产的7.5瓩电机是4极的,轉速为1,420轉/分。定子鉄心的內徑170毫米,外徑270毫米,厚度150毫米。定子鉄心的槽孔为平行齿型,总共36个槽孔。整个定子鉄心制造过程可分以下几部分:

(1) 冲片(即定子外圈)及冲中心孔

我厂开始生产时設備簡陋,定子外圈用人工一片片剪下,然后放在冲轉子軸孔的工具中,冲出中心孔(軸孔)。軸孔上应帶有鍵槽,目的并非用来組裝轉子軸,而是为了便于以后鉄片的冲槽和組裝。冲軸孔所用的專用工具如图2-1所示。图中底盤是一块厚鉄板鑄成的圓板,外徑为350毫米。圓盤上焊有三个螺絲,構成一个定子冲片外圓,直徑270毫米。圓盤中間的圓孔,直徑48毫米。鍵槽寬7毫米,長5毫米。圓板底上焊有一个厚50毫米、直徑90毫米的圓鉄。圓鉄鑄有大于48毫米直徑的孔,以便冲下的鉄片容易掉下。套筒是用几根扁鉄固定在圓盤上的。套筒中軸的大小,等于圓盤上孔的直徑(同样也等于