

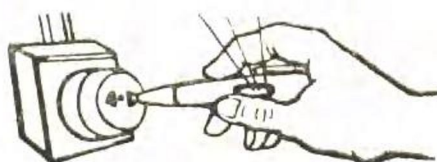
机械工人学习材料
JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

交流电机 绕组的嵌装与接线

刘云 编著

电工

0.51



机械工业出版社

前 言

随着工农业的发展,交流电机的使用范围越来越广泛,数量与日俱增,因而使用电机与制造电机的人也越来越多,为此,特编写本书,以适应社会需要。

本书取材于生产现场实践经验,以帮助解决实际问题为主。全书对中小型交流电机定子广泛采用的双层迭绕组的嵌装与接线作了较详细的叙述,兼顾到知识的系统性,对线圈制造也作了简单的介绍。为了帮助电机检修人员做好检修工作,书中对电机绕组的故障检修及空壳电机重绕作了介绍。在编写过程中,力求做到取材先进、实用性强,重点突出,内容密切联系生产实际,通俗易懂,表达形式新颖,并对有些地方作了新的探讨。

在编写过程中,得到王维俭等同志的大力支持,特此表示感谢。

由于本人水平有限,书中难免有错误和不当之处,希广大读者批评指正。

作者

一九八四年八月

B 352841

目 录

前言

一、交流电机线圈制造	1
1 交流电机绕组	1
2 线圈制造的技术要求	5
3 散嵌线圈的制造	6
4 成型线圈的制造	8
二、绕组嵌装	18
1 嵌装前的准备工作	18
2 软绕组嵌装	20
3 硬绕组嵌装	31
4 绕组的绝缘处理	56
三、绕组接线	71
1 用槽电势星形图分析绕组	71
2 分数槽绕组的联接法	80
3 分数槽绕组的对称条件和并联支路	81
4 线圈组轮换数及确定轮换数的实用方法	83
5 工厂实用接线图的画法	87
6 二极至十四极双层迭绕组接线图	100
7 单绕组双速电机的接线	100
四、绕组故障的检修	138
1 绕组接地故障的检修	138
2 绕组短路故障的检修	142
3 绕组断路故障的检修	145
4 绕组嵌反与接错时的检修	148
5 交流电机的试验	151

五、交流电机绕组的重绕	163
1 定子绕组的拆除	163
2 空壳电机绕组重绕计算程序	164
3 空壳电机绕组重绕的简易计算	179
附录	184
附录一 电机用硅钢片典型磁化曲线数据	184
附录二 电机用导线的规范	186

一、交流电机线圈制造

1 交流电机绕组 绕组是电机的“心脏”，是实现电磁能量转换的关键部件。电机的使用寿命与运行的可靠性，主要决定于绕组。因此，正确掌握电机线圈的制造过程，对提高线圈的质量和延长电机的使用寿命有很重要的作用。

为了便于说明交流电机线圈的制造及连接规律，下面先介绍交流电机的几个基本概念及交流电机绕组的分类。

一、交流电机的几个基本概念

1. 线匝 导线在定子或转子的两个铁心槽中绕过一圈称为一个线匝。平时所讲的匝间短路或叫匝间碰线，就是指线匝与线匝之间因绝缘损坏而造成的短路。

2. 线圈 由若干个几何形状相同、截面相同的线匝串绕在一起，最后留出一根线头和一根线尾（并绕时则不只一根）的组合物，称为线圈。

3. 绕组 由许多个线圈按照一定的规律通过串、并联连接起来的线圈整体。构成绕组的元件是线圈，绕组是由许多线圈组成的，是线圈的总称。

4. 极距 两个磁极间的跨距，用 τ 表示即

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2p}$$

式中 τ ——极距（厘米）；

D_i ——定子铁心内径（厘米）；

p ——磁极对数。

通常是以两个磁极在定子（或转子）铁心上所跨过的槽数作

为极距，则极距等于槽数除以磁极个数，即

$$\tau = \frac{Z}{2p}$$

式中， Z 为定子（或转子）铁心的总槽数。

5. 节距 指一个线圈的两个有效边在定子或转子铁心上所跨过的距离（槽数）。若线圈的两个有效边所跨过的距离正好等于极距，则称为全节距；如果线圈的两个有效边所跨过的距离小于极距，则称为短节距，简称为短距；若线圈的两个有效边所跨过的距离大于极距，则称为长节距，简称长距。

6. 每极每相槽数 在三相电机的每个磁极中，都有三相互相绝缘的极相组，因此，每相绕组在每个磁极下所分配到的槽数，叫做每极每相槽数，用字母 q 表示，即

$$q = \frac{\tau}{3} = \frac{Z}{6p}$$

7. 极相组 在三相电机中，每一极距范围内有三相互相绝缘的一个或若干个线圈串在一起的线圈组，称为极相组。例如线头与线头、线尾与线尾连接的三相四极电机就有 $3 \times 4 = 12$ 个极相组，三相六极电机就有 $3 \times 6 = 18$ 个极相组。

8. 电角度 计量电磁关系的角度单位叫做电角度。在机械学中把圆等分成 360 度，而在电工学中把交流电量中的每个一周波在横坐标上等分成 360 度，即经过空间一对磁极时，电磁上相应变化了 360 度。因此，电角度与机械角的关系为：

$$\text{电角度} = \text{极对数} \times \text{机械角度}$$

电机铁心上的槽和齿都是等分在定子铁心的内圆或转子铁心的外圆上，因此，我们把每个铁心槽所占的电角度，即相邻两槽所跨过的电角度叫做槽距角，用 α 表示，则

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z}$$

式中, α 为每槽电角度。

9. 相带 每相每一个绕组区段的宽度称为相带。如果把处在每一对磁极下的绕组平均分成六个区段, 由于槽距角 $\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z}$, 故每相每区段的宽度为 $q\alpha = \frac{Z}{6p} \cdot \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = 60^\circ$, 此种绕组的绕法称为 60° 相带。若把处在每一对磁极下的绕组平均分为三个区段, 则每相每区段的宽度为 $q\alpha = \frac{Z}{3p} \cdot \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = 120^\circ$, 此种绕组的绕法称为 120° 相带。我们从电势星形的合成可以看出, 具有相同数量的线圈(同样多的用铜量), 绕成 60° 相带的绕组的电势是绕成 120° 相带的绕组的电势的 1.16 倍。因此, 现在三相绕组通常都绕成 60° 相带。

10. 电枢 在电机里, 导体产生感应电势并流通电流以进行机械能和电磁能转变的部分通称为电枢。

二、交流电机绕组的分类

交流电机绕组按其用途分为电枢绕组与磁极绕组。

(一) 电枢绕组

电枢绕组安装在定子铁心(或电枢铁心)槽内, 根据其结构和制造上的差别, 分为软绕组和硬绕组两大类。

1. 软绕组

软绕组由绝缘圆导线绕成。常用于具有半闭口槽的小型电机, 工作电压不超过 500 伏。绕组可以做成单层的或双层的, 单层的每个槽内嵌放一个线圈边; 双层的每个槽内则嵌放两个线圈边。从工艺方面来考虑, 10 千瓦以下的小型交流电机宜采用单层绕组, 因为它的槽内不用层间绝缘, 嵌线方便, 槽空间利用率高, 但绕组端部相互交叠, 不易整形。10 千瓦以上的电机, 铁心内径较大, 宜采用双层绕组, 因为它可以选择合适的短节距, 以削弱谐波磁

势，而且绕组端部排列整齐。

按嵌装方法的不同，软绕组又可分为：

(1) 嵌入式软绕组 一般为多匝散下线圈，由手工将线圈分散经槽口嵌入铁心槽内。多用于小型交流电机的定子和绕线型转子上。

(2) 绕入式软绕组 一般用手工将绝缘圆导线直接绕入铁心槽内。多用于交流电机的转子上。

(3) 穿入式软绕组 导线为绝缘圆线或多股绞线，由槽的两端逐匝穿入。用于铁心为闭口槽或半闭口槽，其槽口宽度小于所嵌的线径。

2. 硬绕组

硬绕组由绝缘扁导线或由导条制造的成型线圈组成。按其不同的嵌装方法，可以分为嵌入式和插入式两种。

(1) 嵌入式硬绕组 绕组元件为多匝或单匝成型线圈。用于铁心为开口槽或半开口槽。多匝成型线圈一般已包好对地绝缘，并已经绝缘处理。单匝成型线圈分为全圈式和半圈式两种。

(2) 插入式硬绕组 绕组元件为半圈式线棒，用于铁心为闭口槽或半闭口槽。对于异步电动机绕线型转子，线圈导体由裸铜条弯制，先弯好一端，另一端待插入槽内后再弯形。

(二) 磁极绕组

磁极绕组安装在磁极铁心上。按照所用材料及绕制方法的不同，可分为由绝缘导线绕制的绕组（圆导线或扁导线）和由带状导线绕制的绕组两种。由带状导线绕制的绕组又可分为平绕（宽边弯绕）和扁绕（窄边弯绕）两种。

三、三相交流绕组的构成原则

在三相交流电机中，其三相绕组中每相线圈数（匝数）相等，布置情况相同，相与相之间的空间间隔为 120° 电角度，按上述两

个原则绕成的绕组，称为三相对称绕组。只有在三相对称绕组中感应产生的电动势才是三相均衡电动势。本书中所说的三相绕组都是指三相对称绕组。

2 线圈制造的技术要求 绕组制造主要包括线圈制造、绕组嵌装和绝缘处理。在绕组制造过程中，手工操作较多，劳动强度较大，质量不易掌握稳定，是电机制造中的关键工艺。要得到良好的线圈，除选择正确的线圈结构、尺寸和合理的绝缘材料外，在制造工艺上要符合下列技术要求：

一、匝数准确

电机绕组的每个线圈必须匝数准确。因为匝数错误会产生电磁不平衡，导致电机振动，甚至造成严重事故。匝数错误容易发生在匝数较多的散嵌线圈中。因此，在绕制这类线圈时，必须配备可靠的匝数指示装置和测试设备。

二、尺寸和形状须符合图纸要求

所有线圈须保证尺寸准确。成型线圈的几何形状必须符合图纸要求。

如果成型线圈两边的距离（或弦长）以及所构成的角度不准确，会造成嵌装困难，在嵌装时线圈绝缘就易受损伤；嵌到槽内后将使线圈和槽楔的接触面积减小，运行时由于线圈受电磁力作用而产生振动，易使线圈主绝缘磨损而影响其使用寿命。线圈尺寸过短（主要是端部过短）会造成嵌线困难，过长会影响线圈端部与挡风板或端盖的绝缘距离。

三、绝缘良好

绝缘材料必须符合规定要求。线圈对地绝缘和匝间绝缘都应该良好可靠，对高压线圈还要求具有低的介质损耗和良好的耐电晕性能。

成型线圈大部分在嵌线前要包扎好对地绝缘和进行绝缘处

理，并要求在电气强度上有一定的裕度。

多匝线圈匝间绝缘是电机绝缘结构中的薄弱环节。受线圈尺寸的限制，匝间绝缘不宜过厚，而在线圈制造、嵌线及电机运行中，匝间绝缘容易损伤。因此，在线圈制造中，必须采用正确的工艺方法，以防止匝间绝缘受损，并及时查出匝间绝缘有缺陷的线圈，加以剔除或对其进行修补。

3 散嵌线圈的制造 多匝线圈在一般中小型电机中应用最为普遍。它分为软绕组和硬绕组两类：软绕组采用散下线圈；硬绕组采用成型线圈。下面介绍散下线圈的绕制方法。

散下线圈采用绝缘圆导线绕制。线圈尺寸和形状由绕线模来保证。线模必须做得大小适当。若尺寸太短，则端部长度不足，嵌线发生困难；尺寸过长，浪费电磁线，并使绕组电阻和端部漏抗增大，影响电磁性能，还可能造成电机装配困难。

绕线模尺寸尚无完善的计算公式，因各厂的工艺不同，线模尺寸略有差异。因此，应结合本单位情况，经过试绕试嵌，进行合理调整，当各方面指标达到要求后，再正式投入生产。

绕线模一般用干燥硬木制造，使其不容易变形。如果线圈系大批量生产，其绕线模宜用铝合金或层压板制造。绕线模可以根据每极每相线圈数来制作，图 1-1 为每极每相三个线圈联绕的菱形绕线模。模心 1 分成两半，分别固定在相邻的两块夹板 2 上，以便于卸模。夹板上端开有过线槽 3，两侧开有扎线槽 4。这种绕线模结构简单，但线圈绕成后，须将模板拆开，方能取出线圈。

为节省装拆模板时间，采用张缩式绕线模。如图 1-2 所示，整个绕线模的上、下、左、右四块模心 1 和 3 靠链板 2 与转轴 4 相联。当四块链板在圆周上相互垂直时，四块模心所组成的尺寸正好与线圈几何尺寸（图中实线所示）相吻合时，线模则处于工作状态。当线圈绕成之后，用手柄将转轴转动一定角度，上、下、

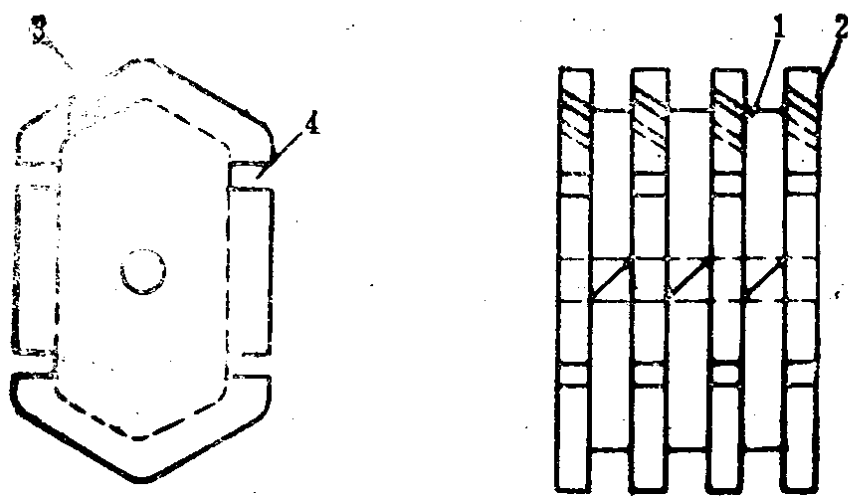


图1-1 棱形联绕线模($q=3$)

1—模心 2—夹板 3—过线槽 4—扎线槽

左、右四块模心同时收缩 (图中点划线所示),即可取出线圈。取下线圈后,用手柄将转轴转回到原位,模心张开,即可重新绕线。

散下线圈的绕线,可以在简单的手绕线机上进行,一般制造工厂则用机动绕线机绕制,绕线模安装在绕线机心轴上。绕线机上必须装有可靠的转速计,以便计算匝数。为了提高工效,对于生产量较大的小型电机,有的还装有自动计匝、跳槽和停车装置。

绕线时,导线拉力应根据绕线速度、导线直径进行调整。尤其在绕制铝线时,拉力不宜超过 4kgf/mm^2 ,

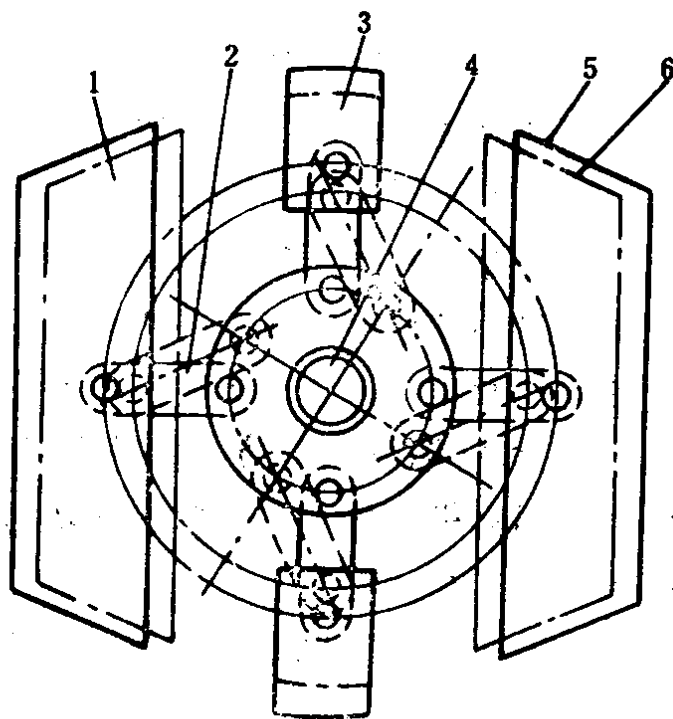


图1-2 铰链联动结构张缩式绕线模示意图

1—左右模心 2—链板 3—上下模心 4—转轴
5—工作状态 6—卸线圈状态

($1\text{kgf/mm}^2=10\text{N/mm}^2$,下同)一般应控制在 $2.2\sim3.2\text{kgf/mm}^2$ 范围内,否则会将电磁线拉细,影响线圈电阻和导线绝缘强度,绕线机速度一般为 $150\sim200$ 转/分。

导线直径大于1毫米时,应注意导线在线模中排列整齐。不整齐的线圈会给嵌线造成困难,并且由于线圈交叉过多,容易造成匝间短路,对槽满率高的线圈,这点尤为重要。槽满率表示槽内导线的填充程度,是导线所占面积与槽有效面积之比,即:槽满率 $=\frac{Nnd^2}{S_{\text{有效}}}\times100\%$,一般中小型电机的槽满率为 $75\sim80\%$ 左右,槽满率越高,槽的利用率越高。

铜线的最大线径不应超过1.68毫米,最好在1.45毫米以下。导线太粗,嵌线困难,且槽的空间利用率不高,应改为几根导线并绕。采用多根导线并绕时,要它们的拉力都一样,必须仔细排列。每绕完一层应使这几根导线同时转入第二层,不应分散在两层之中,以保证排列整齐。

在绕线过程中,导线一般不允许有接头,在不可避免的情况下,导线若要接头,其接头也应在端部斜边部位,不允许接头在线圈直线部位(即嵌线后应在铁心槽外面),而且接头不宜太多。联绕线圈,极相组间联线应注意套上绝缘管。线圈绕成后,先用扎线将线圈扎好,然后从线模中取出来。

4 成型线圈的制造 成型线圈的制造比散下线圈复杂,当电压等级和绝缘结构不相同,制造方法也不相同。表1-1为一般成型线圈工艺过程。

图1-3为多匝成型线圈结构尺寸,其制造中的有关问题,分述如下:

一、绕线模的制造

成型线圈一般都采用绝缘扁导线,一般都平绕。线圈常绕成

表1-1 多匝成型线圈工艺过程

序号	主要工序及说明	主要设备及工装	备 注
1	绕 线 绕成梭形、棱形或梯形线圈	绕线机,绕线模,对焊机等	
2	包保护带	包带机	
3	搪锡	刮头机, 锡锅	
4	张形	张形机	
5	整形	整形模	
6	匝间绝缘胶化处理	烘压模、冷压模	高压线圈
7	检查试验	匝间短路检查设备	高压线圈
8	包引出线绝缘		
9	包对地绝缘 a) 连续式绝缘 b) 复合式绝缘	包带机 热滚卷机	高压线圈
10	热压成型		高压线圈
11	检查试验 尺寸检查、绝缘试验、介质 损耗角正切(tgδ)测量	试验设备	
12	防电晕处理		6千伏以上线圈

梭形、棱形和梯形三种。其绕线模是根据线圈结构尺寸用算法或作图法求得的。

1. 梭形线模尺寸的计算

根据图1-3成型线圈结构，其模端尺寸按下式计算，即

$$M_0 = \sqrt{f_d^2 + \frac{1}{4} \tau_y^2 + (H - R - h_1)^2} \tag{1-1}$$

$$M_1 = \frac{1}{90} \pi R_1 \sin^{-1} \left(\frac{M_0}{2R_1} \right) \tag{1-2}$$

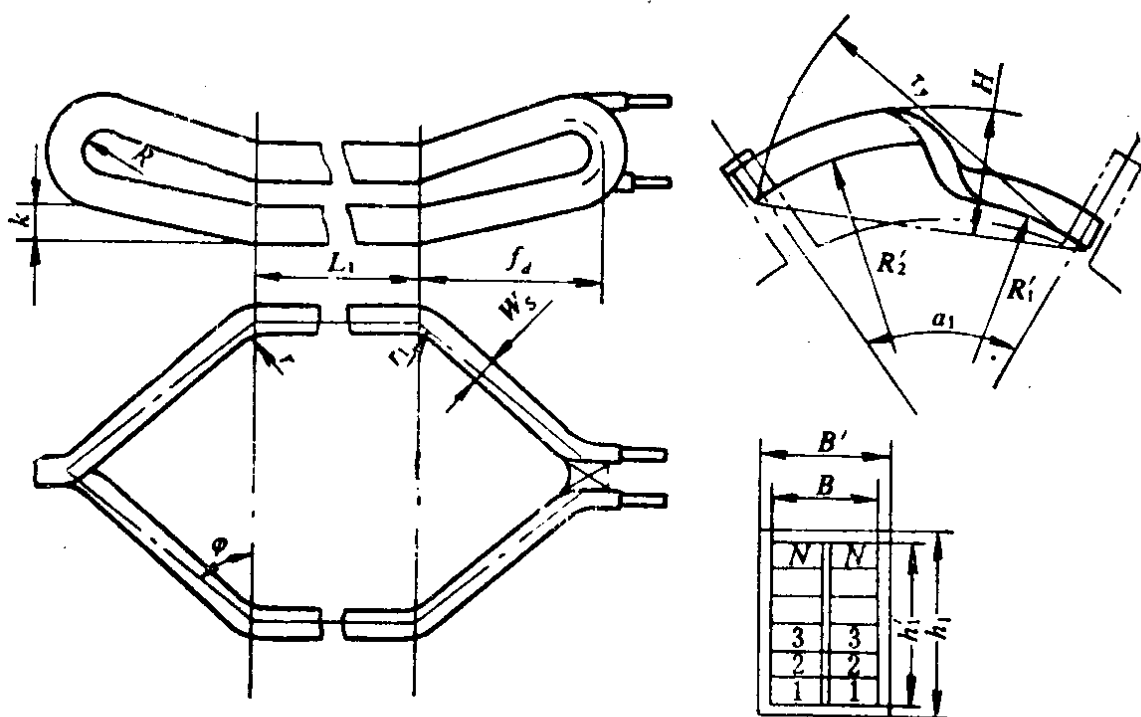


图1-3 多匝成型线圈结构尺寸

式中 f_d ——端部伸长；
 τ_y ——线圈平均宽度；
 H ——成型绝缘后，线圈放在平面上所测得的高度；
 R ——鼻部圆弧半径；
 h_1 ——线圈直线部分绝缘后的高度；
 R_1 ——上层边端部圆弧实际半径，它与其投影半径 R'_1 的关系是： $R'_1 = R_1 / \cos^2 \varphi$ ， φ 为直线边与斜边夹角。

图1-4 a 棱形模心总长为：

$$M = L_1 + 2M_1 \quad (1-3)$$

式中 $L_1 = l_1 + 2d_1$ ；
 l_1 ——铁心长度；
 d_1 ——线圈伸出铁心直线段的长度。

当 R_1 很大, 即上层端部近似直线时, 可认为 $M_1 \approx M_0$, 则式 (1-3) 为

$$M = L_1 + 2M_0 \tag{1-4}$$

2. 棱形线模尺寸的计算

见图1-4, 棱形线模尺寸计算与梭形相似, 即

$$M = L_1 + 2M_2 \tag{1-5}$$

式中, $M_2 = \sqrt{M_1^2 + \frac{1}{4}K^2}$, M_1 和 M_0 的计算与梭形相同。

同样, 当 R_1 很大, 即端部斜边近似直线时, 也认为 $M_1 \approx M_0$, 其中, K 为棱形模宽度, 一般取 $K = 80$ 毫米。

在采用棱形线模, 且线圈匝间垫绝缘条时, 则

$$M_0 = \sqrt{(f_d - \delta_i N)^2 + \frac{1}{4}\tau_y^2 + (H - R - h_1 - \delta_i N)^2} \tag{1-6}$$

式中 δ_i ——绝缘条
厚度;
 N ——线圈单
排数。

3. 梯形线模尺寸的确定

梯形线模尺寸用作图法确定比较简单, 如图1-5所示。由于线圈的两半所跨的弧度相等, 且端部弧

形的半径 $R'_2 > R'_1$, 因此, $A_2 > A_1$, $S_2 > S_1$ 。画梯形线模的模心时, 模心下边的长度等于线圈内层半个线圈边的展开长, 即: $(L_1 + 2d_1 + 2S_1)$ 的尺寸之和, 从点 B_1 、 B'_1 、 B_2 、 B'_2 作垂直于模子底

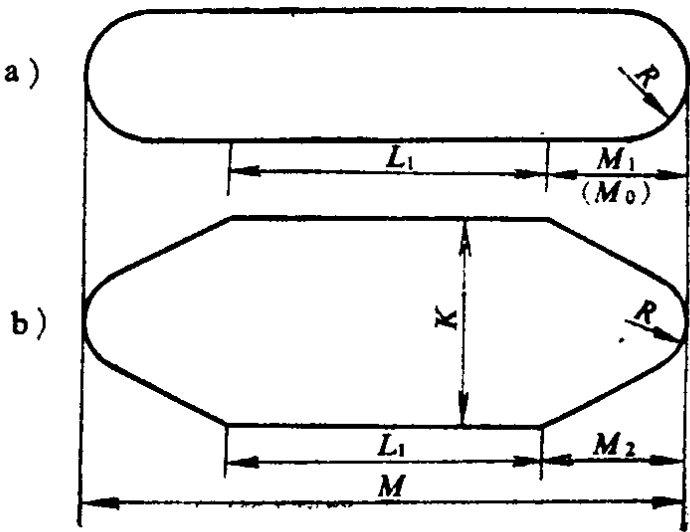


图1-4 梭形和棱形线模尺寸
a) 梭形 b) 棱形

边的直线；以 O 、 O' 为圆心，以线圈（线圈在图中未画出）鼻部圆弧内半径 R 为半径画圆弧；以 C 和 C' 为圆心， S_2 为半径画圆弧，与 BB' 的垂直线相交于 D 、 D' ，连接 DD' ，即构成梯形模心的轮廓。

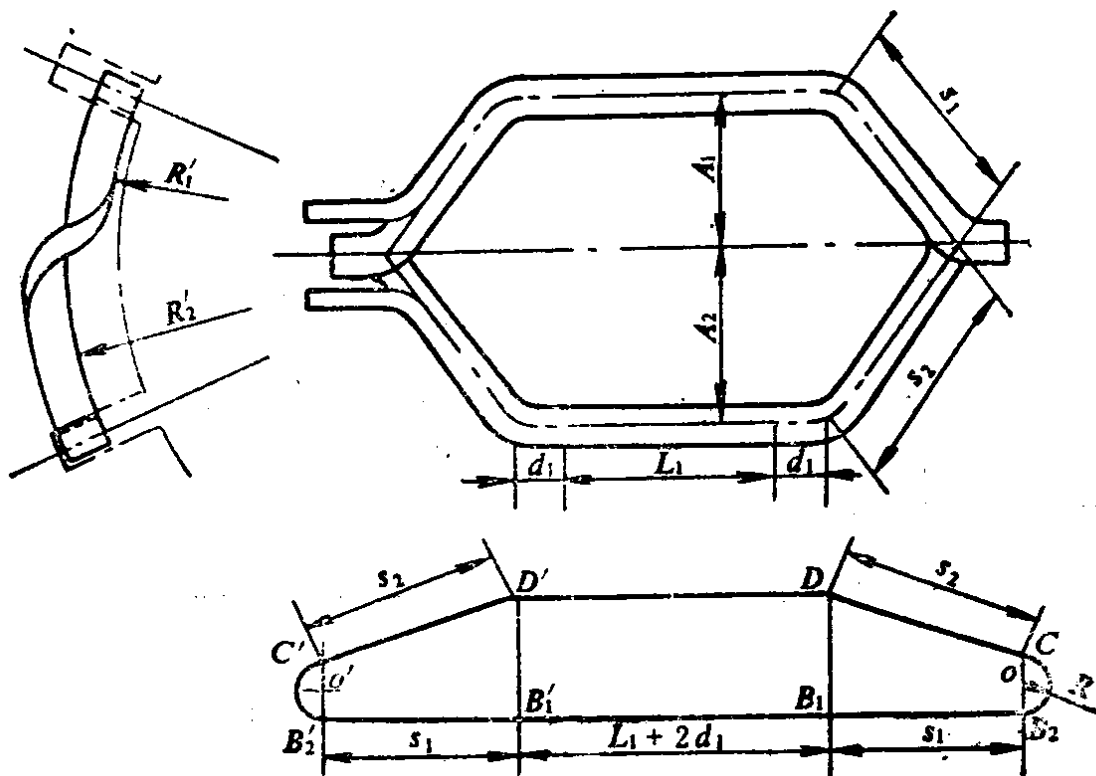


图1-5 梯形线模尺寸的确定

二、绕线

成型线圈绕制时，导线由导线夹紧装置拉紧，导线头嵌在模心引线槽内，引线长度须符合图纸要求，并将头部导线敲平，紧贴于线模侧面。按技术要求垫好匝间绝缘条或包扎好匝间绝缘。单排导线间只有匝间绝缘，对于双排导线，还应有排间绝缘。为了提高匝间绝缘的可靠性及槽的有效利用率，采用高强度绝缘电磁线，匝间就可以不用绝缘垫条或包扎带。线圈在绕制过程中，应防止线匝之间存在间隙，还得特别注意导线绝缘损伤情况，发

现导线绝缘损伤，要随即用同级绝缘修补好，导线中间断头采用对焊机焊牢，并修补平整、包好绝缘。线圈绕到规定匝数后，在模子上用扎绳扎牢，将线圈从模子上卸下。

三、搪锡

线圈端部接头若采用铜焊（或银铜焊）只需刮头；若采用锡焊，还必须预先将线头搪锡，以便于焊接。刮头时，先把引线头整平直，单个生产可用手工刮，成批生产时，用刮头工具或在钢丝轮刮头机上清除纤维绝缘层，漆包线线头可采用化学药剂除去漆膜。

搪锡的焊剂采用松香酒精溶液（严禁使用酸性焊剂）。先把所需搪锡的部分（比焊接部分加长5~15毫米）浸在焊剂内，然后放入锡锅，锡液的温度保持在250~300℃，浸搪5~20秒钟（较粗的导线浸搪时间较长），取出后立即揩去多余焊锡，使导线仅留很薄的一层光亮锡层。如果一次搪不上，可以重复几次，必要时可将未搪上部分用砂纸打磨干净后再搪，直到完全搪上为止。

四、张形和整形

张形和整形是成型线圈制造的关键工序。张形是在张形机上进行。张形机类型很多，手动式的结构简单，如图1-6所示，把梭形（或梭形）线圈的直线部分夹于夹钳上，线圈端部装于两端的鼻尖上，将张臂拉开到所需要的角

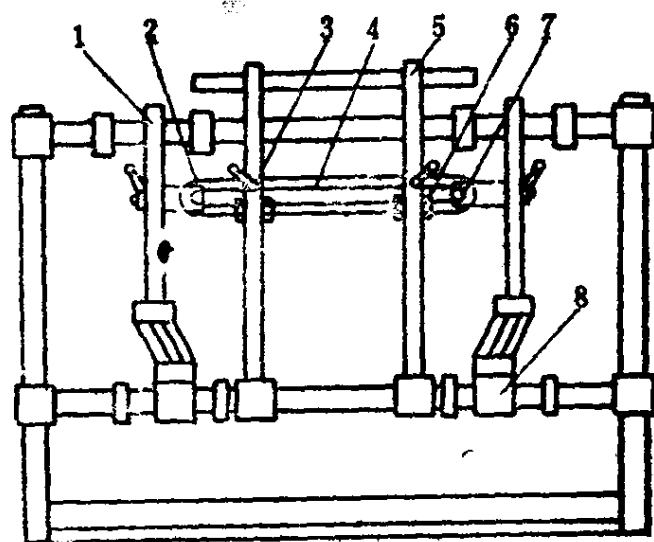


图1-6 手动式张形机示意图
1—端夹支架 2—插销 3—前夹头 4—线圈
5—拉臂 6—后夹头 7—端夹头 8—端夹底座