

中等专业学校试用教材

电机制造工艺学

哈尔滨电机制造学校 主编

机械工业出版社

编 者 的 话

《电机制造工艺学》是根据第一机械工业部 1977 年 12 月在北京召开的中等专业学校教材座谈会和今年初在湘潭召开的电机制造专业教材编写会议所订的教学计划和教材大纲编写的。

本书以介绍中小型三相异步电动机的制造工艺为主，并介绍直流电机和控制电机的工艺特点。还结合当前国内的生产技术水平，着重介绍工艺方案的分析方法、常用工艺装备的结构和 design 方法、以及工艺波动对产品质量的影响。

本书为中等专业学校电机制造专业的试用教材。也可供部分专业院校和中小型电机制造厂的工人和工程技术人员参考。

本书由哈尔滨电机制造学校石允初同志主编。河北机电学院沈鸿生同志、湘潭电机制造学校贺湘炎同志和哈尔滨电机制造学校王永昌同志参加编写。

在编写过程中，曾得到有关研究单位、工人和工程技术人员的大力支持。在此，表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，诚恳地欢迎读者批评指正。

1978 年 11 月

目 录

绪 论	1
第一章 电机零部件的切削加工	5
§ 1-1 公差与配合的基本知识	5
§ 1-2 电机同心度及其工艺措施	11
§ 1-3 转轴和转子的加工	15
§ 1-4 端盖的加工	24
§ 1-5 机座的加工	27
§ 1-6 夹具设计的基本知识	34
§ 1-7 典型专用夹具的设计举例	45
第二章 定子铁心制造	53
§ 2-1 硅钢片	53
§ 2-2 冲压设备	55
§ 2-3 铁心冲片的冲制工艺	61
§ 2-4 冲片的绝缘处理	72
§ 2-5 定子铁心压装	74
§ 2-6 冲模结构	83
§ 2-7 冲模设计的基本知识	90
§ 2-8 冲模制造的基本知识	101
第三章 转子铸铝	114
§ 3-1 概述	114
§ 3-2 离心铸铝	115
§ 3-3 压力铸铝	125
§ 3-4 低压铸铝	127
§ 3-5 各种铸铝方法的比较	129
§ 3-6 减少铸铝转子附加损耗的几项工艺措施	131
第四章 绕组制造	133
§ 4-1 常用绝缘材料	133
§ 4-2 常用导电材料	140
§ 4-3 散嵌绕组的制造	143
§ 4-4 高压定子绕组的制造	165
§ 4-5 绕线转子绕组的制造	171
§ 4-6 定子绕组的绝缘处理	174
第五章 电机的结构与装配	185
§ 5-1 电机的发热与通风	185
§ 5-2 尺寸链在电机装配中的应用	191
§ 5-3 静平衡与动平衡	194

IV

§ 5-4	电机部件装配的工艺分析	200
§ 5-5	电动机的机械检查	206
§ 5-6	小型异步电动机技术发展概况	208
第六章	三相异步电动机工艺波动对产品质量的影响	212
§ 6-1	定转子冲片制造	212
§ 6-2	定子铁心压装	213
§ 6-3	转子铸铝	215
§ 6-4	定子绕组制造	218
§ 6-5	绝缘处理	218
§ 6-6	零部件机械加工	220
§ 6-7	定转子装配	222
§ 6-8	总装配	223
第七章	直流电机制造工艺特点	224
§ 7-1	概述	224
§ 7-2	换向器的结构形式和技术要求	227
§ 7-3	拱形换向器的制造工艺	230
§ 7-4	塑料换向器的制造工艺	241
§ 7-5	主极线圈和换向极线圈制造工艺	244
§ 7-6	直流电机的装配工艺要点	247
第八章	控制电机制造工艺特点	256
§ 8-1	概述	256
§ 8-2	铁心制造工艺特点	259
§ 8-3	绕组制造工艺特点	262
§ 8-4	零部件加工工艺特点	266
§ 8-5	装配工艺特点	270

绪 论

一、电机制造工艺的特点

电机除了具有和一般机器类似的结构部分外，还具有特殊的导电、导磁和绝缘部分。因此，电机制造工艺除了具有一般机器制造中所共有的铸、锻、焊、金工加工和装配等工艺之外，还具有电机制造所特有的工艺如冲片制造、铁心压装、转子铸铝、换向器制造以及绕组的绕制、成型、绝缘、嵌线和浸渍等。这些工艺具有下述特点：

第一、这些工艺过程完成的质量对电机的性能及其工作的可靠性有密切的关系。例如，电枢（或定子）铁心是由许多硅钢片经过冲制和绝缘后，再叠压在一起的。因此铁心制造中的尺寸准确性、形状规则性、绝缘可靠性和装配牢固性等，都有很重要的意义。如果质量不好，将使电机的激磁电流和铁耗增大，并产生振动、噪声和扫膛等。又如换向器是由许多铜片、云母片和金属（或压塑料）固定件组成的，在运行中受到机械的和热的综合作用。因此换向器制造的工艺过程和采用的工艺参数（温度、压力、时间等）是否合理，将直接影响换向器长期运行中形状的稳定和绝缘的可靠，而换向器的变形常常是导致火花严重的主要原因之一。又如绕组是由铜线和绝缘材料组合而成，绝缘的可靠性是保证电机使用寿命的关键，即使是制造过程中的一点疏忽，也会引起绝缘质量的下降，甚至引起绝缘的击穿，致使电机报废。

第二、铁心制造、转子铸铝、换向器制造和绕组制造等特殊工艺，机械化和自动化水平还较低，手工劳动比重很大，因此这些工艺的机械化、自动化，有待于大力研究解决。

第三、这些特殊工艺的完善还和所用的材料有很大的关系。例如，新型绝缘材料的逐步推广使用，使得绕组制造工艺发生了重大的改革；压塑料在换向器上的应用，也使得它的制造工艺大为简化。因此材料的供应情况和质量的好坏，常常影响新技术和先进工艺的迅速和有效的应用。

第四、为了完成这些特殊的工艺过程，还要具备大量的非标准设备（专用设备）。例如，在绕组制造中，就需要绕线机、张型机、包带机、浸渍设备等，它们中许多是由电机制造厂自行设计和制造的。

电机制造的另一特点是品种复杂，规格繁多，电机的容量、电压、转速、几何尺寸等的变化范围很大，其用途、安装方法、冷却方式、防护形式等又是多种多样的，因此它们在制造工艺上也不尽相同而各有其特点。

二、生产类型

电机的生产类型，对于制造工艺和生产经济性有很密切的关系。根据电机生产规模的大小，可以分为单件、成批和大量等几种生产类型。生产类型不一样，所采用的工艺方法和生产设备也应有所不同。工艺方法应与生产规模相适应，才能获得好的经济效益。

在单件生产时,使用万能设备,一般情况下,仅制造一些必不可少的专用装备和工具,而且力求简单和利用旧的。例如在铁心冲片的制造方面,就仅制造最简单的落料冲模和单槽冲模,使用半自动冲槽机来完成。在成批生产时,使用较多的工艺装备、工具和专用设备。如在铁心冲制方面,要制造比较复杂的复式冲模。用高效率的六角车床和仿形车床,使用多刀切削、多头钻,采用半自动涂漆机等。批量越大,工艺步骤就可以划分得越细,工艺文件也就制定得越多、越详细。

通常,当电机的生产是小批时,零件的生产也是可能大批的,所以也要注意采用先进的工艺,配备高效率的设备和工具。

在大量生产时,常采用大量的专用设备和工具、工艺装备等,以提高生产效率;采用各种专用量具以进行检查;组织流水作业,并尽可能采用机械化、自动化生产。如采用转轴、机座等自动流水生产线;采用多冲床的自动流水线,或采用级进式冲模和带料连续冲制的工艺。

三、主要工艺文件

电机制造厂用的工艺文件大体上分为两类。一类是一般机械加工通用工艺卡片和过程卡片,一类是电工专用的工艺守则。

工艺卡片是技术指导性的,规定工件的加工顺序,同时规定各工序的切削规范,如进给量、切削速度和切削深度等技术条件。过程卡片是组织生产用的,每种零件一份,注明工序安排的顺序,如车、铣、磨等。

在电机制造中有许多工艺过程对相似类型的产品都基本相同,如绕组的浸渍干燥、硅钢片的涂漆、轴承的装配及总装配、高压线圈的绝缘、浸胶等。这些工艺过程的内容比较复杂,在操作上要求能够稳定,才能保证产品质量。这种工艺过程采用文字叙述,编制成“工艺守则”。因此“工艺守则”是现行工艺的总结性文件,起着指导生产的作用。

还有一种文件,如绝缘规范是说明各种绝缘结构的指导文件。

编制这种文件的原则应从自己工厂的技术水平和设备条件出发,切实保证产品质量,并有一定的先进性和最大的经济性。

四、中小型异步电动机的工艺流程

异步电动机同直流电机和同步电机相比,结构比较简单,零部件的种类也比较少。但是,一些基本的零部件(如机座与定子、轴和转子、冲片与铁心、线圈和绕组等)的加工过程及技术条件和一些关键性的工序(如铁心压装工艺、绕组绝缘处理工艺、转子校动平衡等)都有类似的要求和相近的工艺方法。

上述工艺分析和工艺方法的介绍,都以异步电动机为典型产品来进行分析,对于直流电机、控制电机的一些特殊工艺则另行介绍。

图0-1为小型三相异步电动机的工艺流程简图,是以鼠笼式转子为例,采用“两不光”工艺方案(详见第一章)。图0-2为中型绕线式转子异步电动机的工艺流程简图,采用“内压装”工艺。当采用不同的工艺方案时,上述工艺流程图需作相应的改变。

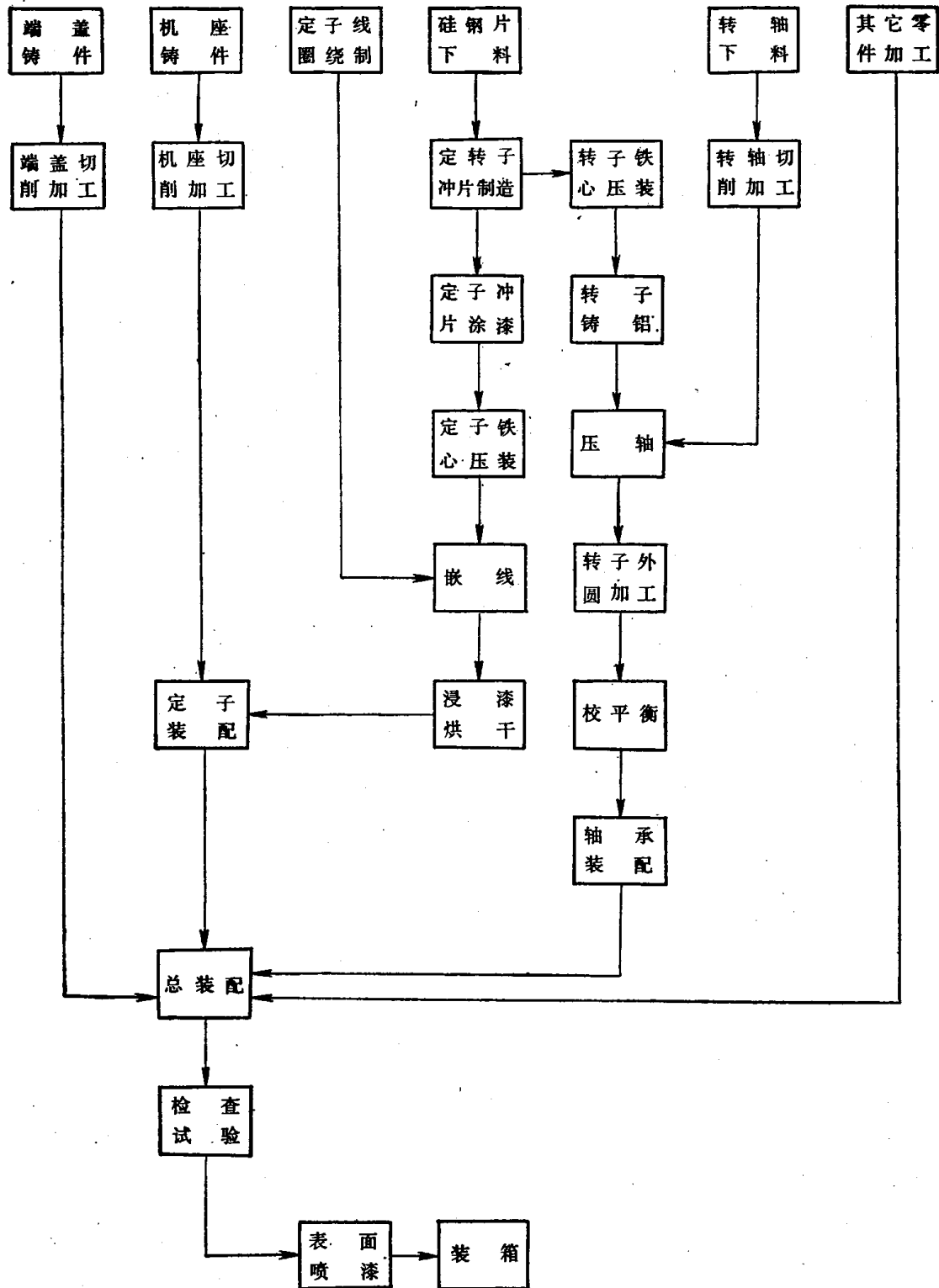


图0-1 小型三相异步电动机（鼠笼式）工艺流程

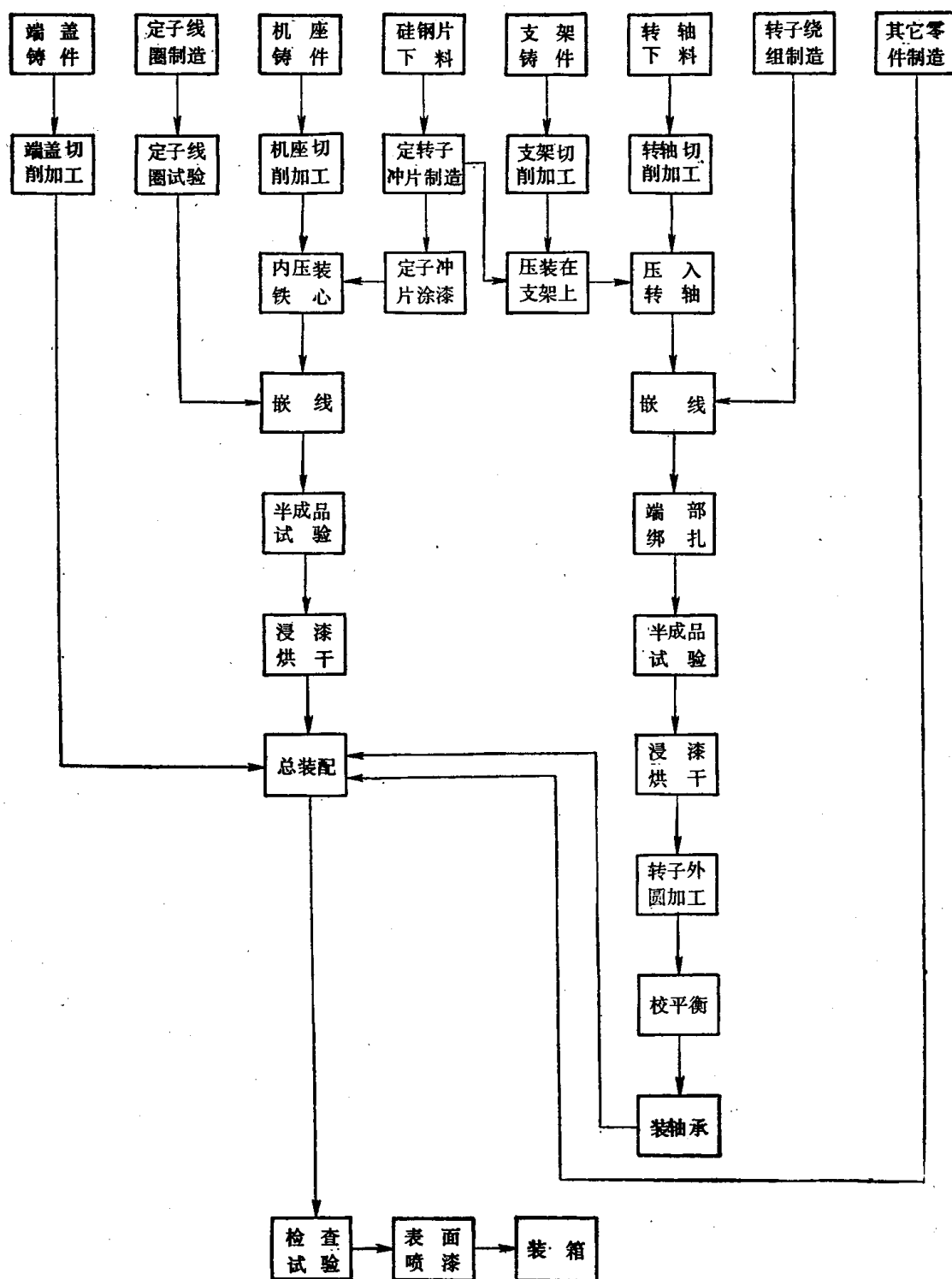


图0-2 中型三相异步电动机（绕线式）工艺流程

第一章 电机零部件的切削加工

在整个电机制造过程中, 金属切削加工占有很重要的位置。电机的一些主要零部件——机座与定子、端盖、轴与转子的加工质量, 直接影响电机的电气性能和安装尺寸。切削加工工时在电机制造总工时中占有相当的比重。所以, 尽量采用先进工艺、广泛应用专用的工艺装备、不断提高机械化和自动化水平、不断提高产品及其零部件的加工质量, 提高劳动生产率、缩短生产周期、降低成本, 是电机制造厂的经常性任务。

这一章主要分析讨论电机零部件的切削加工方面的有关问题:

1. 分析电机的同心度问题, 提出在切削加工方面保证同心度的工艺措施。
2. 分析电机主要零部件切削加工的技术要求及其工艺方案的选择原则, 了解其基本的工艺方法。
3. 了解切削加工工艺中典型工艺装备(专用夹具)设计的基本方法。

为了阐述上面这些问题, 需先了解有关互换性、公差、形位公差和尺寸链等方面的基本知识。

§ 1-1 公差与配合的基本知识

一、零件的互换性

任何机器(包括电机)都是由一定数量的零件组成和装配起来的, 除了一些特殊的、专用的、大型的零件外, 大部分零件都是成批的或大量的组织生产。因此生产出来的零件要装到部件或机器中去时, 要求不经挑选和修配就能装上, 并完全符合规定的技术要求。零件的这种性质, 称为具有互换性。

为了使零件具有互换性, 最好使每个零件的尺寸大小都完全一样, 但事实上是不可能做到的。影响零件尺寸精度的因素很多, 其中多半还是变动的(例如机床本身存在的精度误差、刀具的磨损、装夹力变化和切削热造成工件尺寸的变形等), 所以, 即使在同一台机床, 由同一个工人用同一把刀具加工相同的工件, 加工出来的尺寸和形状还是不可能完全相同。

但是, 当零件的尺寸控制在一定范围内变化时, 并不影响装配的性能要求, 也就是说允许零件有一定的偏差, 并不妨碍零件的互换性。

二、尺寸公差的基本概念

当两个零件装配在一起的时候, 按照它们配合表面的相互位置不同, 可分为包容面和被包容面。在公差制度中, 将包容面统称为“孔”, 将被包容面统称为“轴”。

在图纸上标注的基本尺寸, 是根据结构和工艺要求而确定的, 称为公称尺寸(或名义尺寸)。同一配合面中包容面和被包容面的公称尺寸是相同的。

在加工中获得的实际尺寸, 不可能同公称尺寸一样, 但须限制实际尺寸在一个变动范围内, 这个范围有上下两个边界, 相当于这两个边界的尺寸叫极限尺寸, 大的叫最大极限尺寸(D_{max}), 小的叫最小极限尺寸(D_{min}), 如图 1-1 所示。

极限尺寸和公称尺寸之差称为偏差。对应两个极限尺寸的偏差分别为上偏差 Δ_s 及下偏差 Δ_x 。如用 D 表示孔的公称尺寸，用 d 表示轴的公称尺寸，则：

$$\left. \begin{aligned} \text{对孔 } \Delta_s &= D_{\max} - D \\ \Delta_x &= D_{\min} - D \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{对轴 } \Delta_s &= d_{\max} - d \\ \Delta_x &= d_{\min} - d \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

偏差可以是正值，负值或零。

公差 Δ 是最大极限尺寸和最小极限尺寸之差，即：

$$\left. \begin{aligned} \text{对孔 } \Delta &= D_{\max} - D_{\min} \\ \text{对轴 } \Delta &= d_{\max} - d_{\min} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

把式 (1-1) 及式 (1-2) 代入上式得：

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= (D + \Delta_s) - (D + \Delta_x) = \Delta_s - \Delta_x \\ \Delta &= (d + \Delta_s) - (d + \Delta_x) = \Delta_s - \Delta_x \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

或

上式说明，零件的尺寸公差等于该零件的上偏差和下偏差之差。

当孔的实际尺寸大于轴的实际尺寸时，两者之差叫做间隙（代号为 X ）。由于孔和轴都有公差，因此间隙数值将随着孔和轴的实际尺寸大小而发生变化。由图 1-2 可知：

$$\left. \begin{aligned} \text{最大间隙 } X_{\max} &= D_{\max} - d_{\min} \\ \text{最小间隙 } X_{\min} &= D_{\min} - d_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

有间隙的配合，称为动配合。

间隙有着很重要的作用，它可以贮存润滑油，补偿由温度变化而引起的变形和弹性变形等。

当孔的实际尺寸小于轴的实际尺寸时，装配后孔胀大而轴缩小，在装配前，两者的尺寸差叫做过盈（代号为 Y ）。过盈的大小决定结合的牢固程度和结合件传递扭矩的能力。有过盈的配合，称为静配合。由图 1-3 知：

$$\left. \begin{aligned} \text{最大过盈 } Y_{\max} &= d_{\max} - D_{\min} \\ \text{最小过盈 } Y_{\min} &= d_{\min} - D_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

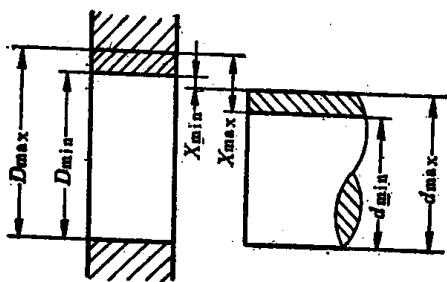


图1-2 有间隙配合的示意图

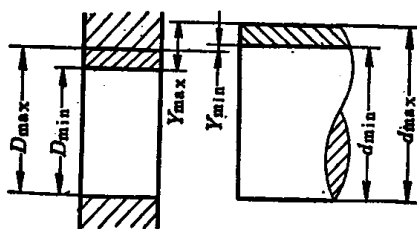


图1-3 有过盈配合的示意图

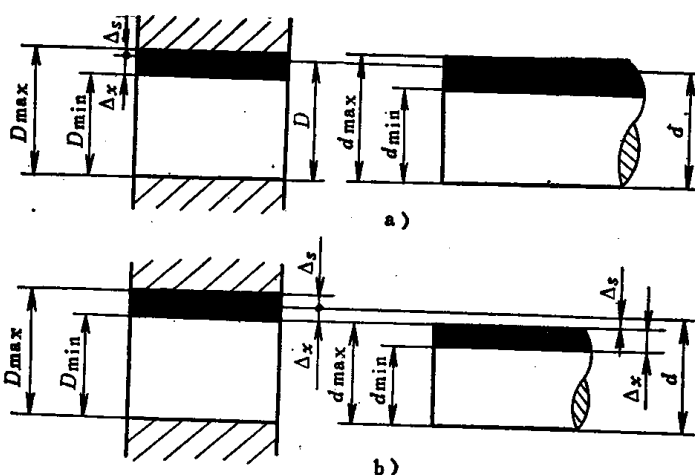


图1-1 极限尺寸、偏差、公差的两情形

当配合件在允许公差范围内时,有可能产生间隙(例如孔最大轴最小时),也可能产生过盈(例如轴最大孔最小时),这种配合称为过渡配合。

上述配合公差计算,也可用图解的方法获得,公称尺寸用零线表示。零线是计算偏差的起点,由零线向上的偏差值是正值,由零线向下的偏差值是负值。上下偏差之间的宽度叫做公差带。例如 $\phi 200 \frac{D}{dd}$ 配合的公差带分布图如图 1-4 所示。

三、公差制度

成系列的尺寸公差与配合制度,我国颁布的国家标准是 GB 159-59 至 174-59。标准中规定有两个平行的系统——基孔制与基轴制。

基孔制的特点是:在同一公称尺寸和同一精度等级的所有配合中,孔的极限尺寸不变,依靠改变轴的极限尺寸得到各种配合。在基孔制中,孔是基准零件,轴是配合零件(见图 1-5)。

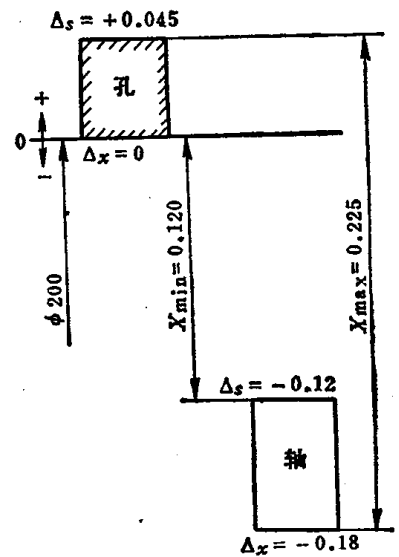


图 1-4 $\phi 200 \frac{D}{dd}$ 配合的图解

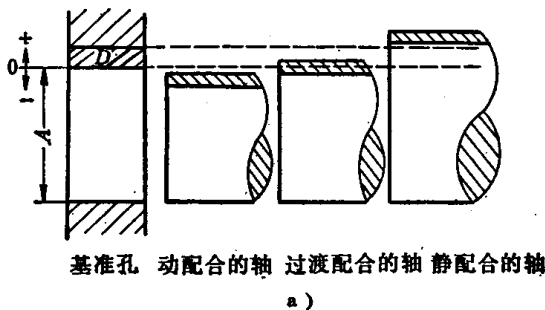
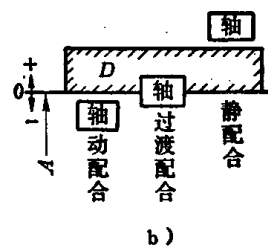


图 1-5 基孔制配合



基轴制的特点是:在同一公称尺寸和同一精度等级的所有配合中,轴的极限尺寸不变,依靠改变孔的极限尺寸得到各种配合。在基轴制中,轴是基准零件,孔是配合零件(见图 1-6)。

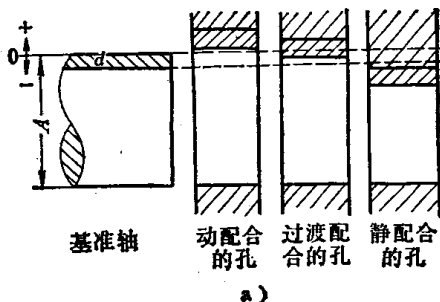
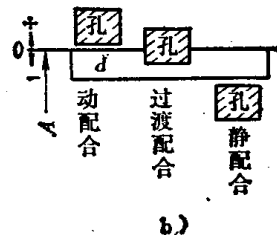


图 1-6 基轴制配合



在国家标准中规定,基准孔代号为“D”,基准轴代号为“d”。基准件的公差带对零线的位置是不变的。基准孔的下偏差为零,基准轴的上偏差为零。

从工艺上看,加工一定精度的孔所需要的劳动量比加工同样精度的轴所需劳动量要多,改变轴径比改变孔径要方便得多。因此在实际生产中,基孔制应用最普遍,仅在特殊场合下

(如电机中滚动轴承外圈同端盖轴承室的配合等)才采用基轴制。

在尺寸公差制度中规定每一公称尺寸可按 12 个精度等级制成, 其中一级精度最高, 其公差最小, 其余的精度依次降低, 公差依次加大。在 12 级中, 1~7 级用于配合尺寸, 8~12 级用于非配合尺寸 (或称自由尺寸)。

精度等级的选择, 应根据零件配合面尺寸的作用和重要性, 同时考虑工艺设备条件, 加工费用高低等因素。选择的原则是: 在保证产品性能要求的条件下选择较低的精度。

表 1-1 概略说明某种精度等级必须采用的工序。

表 1-1 各级精度的加工方法

精度等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
孔加工方法	钻、铰、精铰、研磨或铰磨、研磨	钻、粗铰、精铰、或铰磨	钻、粗铰、精铰	钻、铰	钻、扩	钻、扩	钻	钻	钻	铸、锻
轴加工方法	车、粗磨、精磨、研磨	车、粗磨、精磨	车、磨	粗车、半精车、精车	粗车、半精车	粗车、半精车	粗车	粗车	粗车	铸、锻

零件精度规定得高, 会使生产成本显著增加。由图 1-7 可知, 加工同一公称尺寸的轴时, 不同精度的加工成本相差好几倍。所以, 必须进行全面的技术经济分析, 依据大量的生产实践资料, 才能正确选定精度等级。

在公差制度中, 为了得到不同松紧程度的配合, 在各类配合中又可分为若干种。

各类配合的代号为 J、j (静配合); G、g (过渡配合); D、d (动配合)。大写字母 J、G、D 表示配合孔, 用在基轴制中。小写字母 j、g、d 表示配合轴, 用于基孔制。松紧程度用 a、b、c、d、e、f 顺序表示, 依次渐松。在配合代号后面, 用数字标注其精度等级。为了简化, 第一种动配合不写 a 字, 2 级精度不写 2 字。

有时为了经济地得到更适当的配合性质, 可以采用混合配合。即不同基制或不同精度等级的孔和轴相配。

零件图纸上除了给定尺寸和公差以外, 还要给定它的形状和位置要求。由于零件表面不可能做成理想的形状和位置, 因此其实际的形状和位置允许偏离理想的形状和位置多少, 就必须给予明确规定, 这就是表面形状公差和位置公差, 统称形位公差。

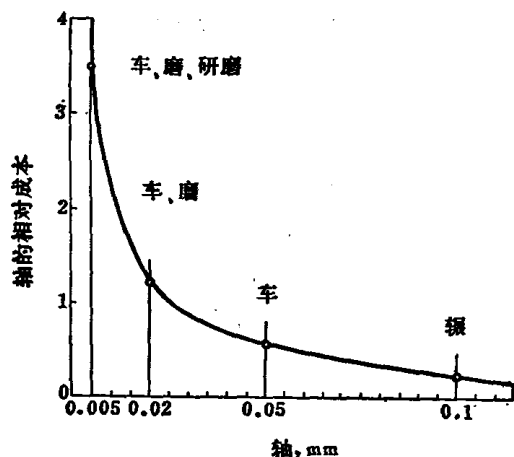


图1-7 加工精度与成本的关系

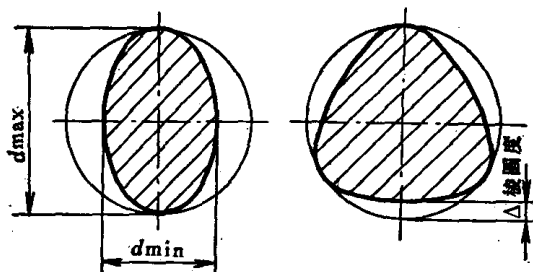


图1-8 椭圆度与棱圆度

表面形状公差是指零件的实际形状对理想形状的最大允许变动量。在电机制造工艺中最常用的有:

不平度——在给定平面内, 实际平面与理想平面之间的允许距离。

椭圆度——圆柱面同一横剖面内, 允许的最大与最小直径之差。

不圆度——包容同一横剖面实际轮廓且半径差为最小的两同心圆间的允许距离。当由于测量仪器等困难因而不圆度不易测量时, 允许以椭圆度公差数值的一半作为不圆度的公差。棱圆度是不圆度的一种特殊情况。

不柱度——圆柱面的同一轴剖面内允许的最大与最小直径之差, 以各剖面上所测得的数值中的最大值为该圆柱面的不柱度。不柱度控制了圆柱面的总的形状, 可以代替鼓形度、鞍形度和锥形度。

锥形度——直径由一端向另一端逐渐增大或减小的形状偏差。所以, 锥形度 $\Delta = d_{\max} - d_{\min}$

零件的位置公差是指实际位置对理想位置的最大允许变动量。电机工艺中常用的有:

不平行度——包容被测表面并平行于基准平面且距离为最小的两平行平面的距离。

不垂直度——包容被测表面并垂直于基准平面且距离为最小的两平行平面之间的距离。

不同轴度——被测轴线与基准轴线的最大距离。

径向跳动——旋转的物体实际表面上各点与基准轴心线之间允许的最大距离与最小距离之差。径向跳动包含了实际轮廓的位置误差和形状误差。

当被检验的实际表面与基准轴心线同心, 但实际表面是一个棱圆时 (图 1-9 a), 径向跳动为:

$$\Delta_{\text{径向}} = r_{\max} - r_{\min} = \Delta_{\text{棱圆}}$$

当被检验的实际表面是正圆形, 但它与基准轴心线不同心时 (图 1-9 b), 径向跳动为:

$$\Delta_{\text{径向}} = r_{\max} - r_{\min} = \left(\frac{D}{2} + \Delta_{\text{不同轴}} \right) - \left(\frac{D}{2} - \Delta_{\text{不同轴}} \right) = 2\Delta_{\text{不同轴}}$$

在一般情况下, 某一截面内的径向跳动, 既可反映不同轴度误差, 又可反映不圆度误差, 而其中不同轴度使径向跳动双倍增大, 即:

$$\Delta_{\text{径向}} = r_{\max} - r_{\min} = \Delta_{\text{不圆}} - 2\Delta_{\text{不同轴}} \quad (1-7)$$

端面跳动——旋转物体的端面在给定直径的圆周上, 实际各点与垂直于基准轴线的平面之间的最大距离与最小距离之差。

位移度——指被测的点、线或面到其理想位置的最大允许距离。位移度大都用来规定孔和孔组的位置。利用位移度来代替用尺寸公差控制孔或孔组的位置, 既能充分利用公差带, 又可以避免误差积累。

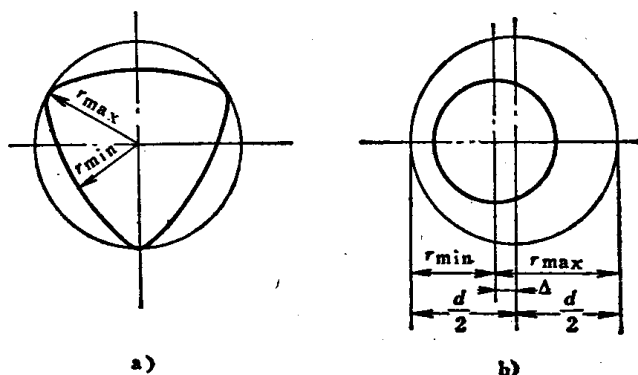


图1-9 径向跳动的两种特例

表面形状公差和位置公差的规定符号及标注方法, 可参阅 GB 1182-74 的有关内容。

四、尺寸链基本概念

一个零件或一个装配体, 都是由一些彼此连接的尺寸构成一个封闭形式, 这些相互连接

而又组成封闭形式的尺寸总体，称为尺寸链。

图 1-10 为一个小轴的长度尺寸，在图纸上注有尺寸 A_1 及 A_2 ，而尺寸 N 在图纸上不注，但尺寸 N 的数值却是一定的，并由尺寸 A_1 及 A_2 所确定。

为了分析方便，常不画出零件的具体结构而只依次画出各个尺寸，每个尺寸用单向箭头表示。所有组成尺寸的箭头均沿着回路顺时针（或逆时针）方向旋转，而把各个尺寸连成一个封闭回路的尺寸（即封闭尺寸），其箭头方向则与之相反，如图 1-10 所示。

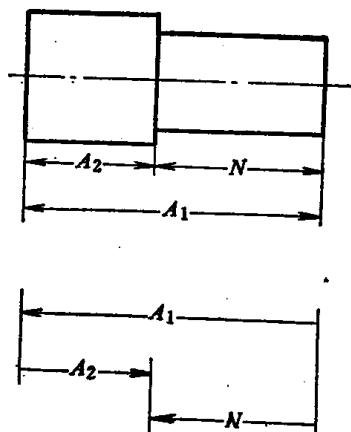


图1-10 尺寸链简图

整个尺寸组成一个封闭形式，用单向箭头依次首尾相接，绘出尺寸链简图（见图 1-10）。

在尺寸链中每个尺寸都称为环，其中有一个尺寸必须依附于其他尺寸而最后形成，如图 1-10 中的尺寸 N ，称为封闭环，其他各个尺寸都称为组成环。

在图 1-10 中，组成环 A_1 及 A_2 对封闭环 N 有不同的影响。尺寸 A_1 的变化与 N 的变化是同向的，但尺寸 A_2 的变化则与 N 的变化反向（ A_2 增大，使 N 减小）。 A_1 称为增环， A_2 称为减环。

由图 1-10 知，封闭环的公称尺寸

$$N = A_1 - A_2 = A_+ - A_-$$

如令增环 A_+ 有 m 个，减环 A_- 有 n 个，则：

$$N = \sum_{1}^m A_+ - \sum_{1}^n A_- \quad (1-8)$$

每个组成环都有两个极限尺寸。封闭环的最大极限尺寸就是当增环为最大极限尺寸（ A_{+max} ），减环为最小极限尺寸（ A_{-min} ）时的尺寸。即：

$$N_{max} = \sum_{1}^m A_{+max} - \sum_{1}^n A_{-min} \quad (1-9)$$

同理，封闭环最小极限尺寸按下式计算：

$$N_{min} = \sum_{1}^m A_{+min} - \sum_{1}^n A_{-max} \quad (1-10)$$

所以，封闭环的公差：

$$\Delta_N = N_{max} - N_{min} = \sum_{1}^m \delta A_+ + \sum_{1}^n \delta A_- = \sum_{1}^{m+n} \delta A \quad (1-11)$$

式中 δA 指组成环 A 的公差。式 1-11 说明封闭环公差等于各组成环公差之和。封闭环是在加工或装配过程中最后得到的尺寸，每个组成环的精度都直接影响到封闭环的精度。

五、电机的互换性

在成套的机器设备中，电机常被作为一个附件（或部件）来使用，因此同样要有互换性。电机互换性要求规定统一的安装尺寸及其公差。

不同的安装结构型式有不同的安装尺寸。小型异步电动机的安装结构型式如图 1-11 所

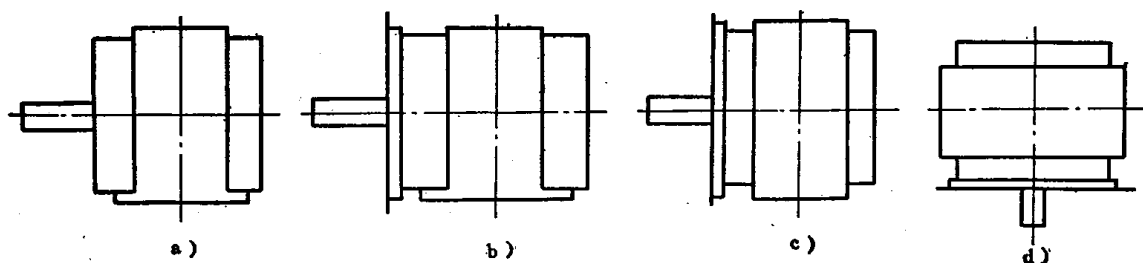


图1-11 小型异步电机安装结构型式

a) A101型 b) A201型 c) A301型 d) A302型

示。图 a 为 A101 型，卧式，机座带底脚，是最常用的安装结构；图 b 为 A201 型，机座带底脚，一个端盖上带凸缘（法兰盘）；图 c 为 A301 型，无底脚，端盖带凸缘；图 d 为 A302 型，立式使用，传动轴向下，靠凸缘端盖与机器相连。

各种安装结构型式的安装尺寸及其公差在相应的电机技术条件中规定。

§ 1-2 电机同心度及其工艺措施

一、电机的气隙及其均匀度

要使定转子间形成的间隙（空气隙）在整个圆周上获得一个均匀的指定数值，就要保证电机的同心度。

电机气隙的名义尺寸是由电机的电磁性能决定的。小型异步电动机的气隙都很小，例如 J₂、JO₂ 系列 1~9 号机座的气隙值如表 1-2 所示。

表1-2 J₂、JO₂系列电机气隙值

(mm)

机 座 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 极	0.3	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	0.95	1.25
4 极	0.25	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.65	0.85
6 极	—	0.25	0.3	0.35	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6
8 极	—	—	—	0.35	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6
10 极	—	—	—	—	—	—	—	0.5	0.6

为了保证电机磁路的对称，不引起太大的单边磁拉力使电机的运行恶化，必须规定气隙的均匀度。由于气隙是在电机总装以后才形成的，所以气隙均匀度的保证主要取决于电机零部件的加工质量，首先是切削加工的质量。

根据 JB742-66 的规定，J₂、JO₂ 系列异步电动机气隙不均匀度的允许偏差与气隙的公称值有关，其值如表 1-3 所示。表中 δ 代表气隙公称值， ϵ 代表气隙的不均匀值，其定义为：

表1-3 J₂、JO₂ 系列电机的 $[\epsilon/\delta]$ 值

δ (mm)	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
$\frac{\epsilon}{\delta}$ (%)	26.5	25.5	24.5	23.5	23.0	22.0	21.0	20.5	19.7	19.0	18.5	18.0
δ (mm)	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	>1.4
$\frac{\epsilon}{\delta}$ (%)	17.5	17.0	16.0	15.5	15.0	14.5	14	13.5	13	12.5	12	10

$$\varepsilon = \frac{2}{3} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 - \delta_1\delta_2 - \delta_2\delta_3 - \delta_3\delta_1} \quad (1-12)$$

式中 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ ——相距 120° 三点测得的气隙值。

二、气隙均匀度的影响因素

当定转子之间存在着如图 1-12 所示的偏心 e 时, 就使电机的气隙不均匀。令其不均匀值为 ε , 如转子半径为 r , 平均 (或均匀) 气隙为 δ_m , 过 A 作 AB 线平行于 OO' , 过 B 点作 BC 线垂直于 AE , 则由图 1-12 可知:

$$\delta_1 = AC + CD + DE$$

而 $AC = AB \sin \varphi = e \cdot \sin \varphi$

$$DE = \delta_m$$

$$CD = OD - OC = r - \sqrt{r^2 - e^2 \cos^2 \varphi}$$

代入气隙公式

$$\delta_1 = \delta_m + e \sin \varphi + CD = \delta_m + e \sin \varphi + r - \sqrt{r^2 - e^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

$$\because r \gg e \quad \therefore \delta_1 \approx \delta_m + e \sin \varphi$$

同样可得

$$\delta_2 = \delta_m + e \sin(120^\circ + \varphi) = \delta_m + e \sin(60^\circ - \varphi)$$

$$\delta_3 = \delta_m + e \sin(240^\circ + \varphi) = \delta_m - e \sin(60^\circ + \varphi)$$

将 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ 值全部代入式 (1-12) 得:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{2}{3} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 - \delta_1\delta_2 - \delta_2\delta_3 - \delta_3\delta_1} \\ &= \frac{2}{3} e \sqrt{\sin^2(60^\circ - \varphi) + \sin^2(60^\circ + \varphi) + \sin^2 \varphi -} \\ &\quad \frac{\sin \varphi \sin(60^\circ - \varphi) + \sin \varphi \sin(60^\circ + \varphi) + \sin(60^\circ - \varphi) \sin(60^\circ + \varphi)}{2} \\ &= \frac{2}{3} e \sqrt{\frac{9}{4} (\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi)} = e \end{aligned}$$

上式说明, 气隙不均匀值 ε 与偏心值 e 在数值上是相等的。所以, 解决气隙不均匀度的问题, 主要就是解决转子的不同心问题。

由图 1-13 可知, 异步电机定子偏心 e , 主要取决于定子 (即机座与带绕组铁心一起组成的部件)、端盖、轴承、转子四大零部件的形位公差以及这些零部件的配合间隙。

机座与定子铁心外圆的配合, 既要考虑到在电磁力作用下保证两者不能相对移动或松动, 因而必须是一种过盈配合 (静配合), 又要考虑到机座是一个薄壁零件, 过大的过盈将使机座止口圆周面变形, 甚至在装配时压裂。因此通常按 jf 配合的过盈量来规定机座与定子铁

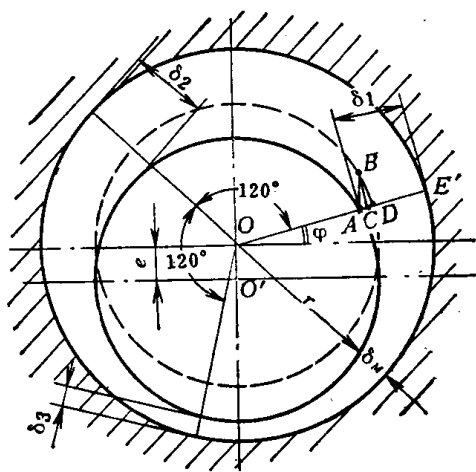


图1-12 偏心 e 与 ε 的关系

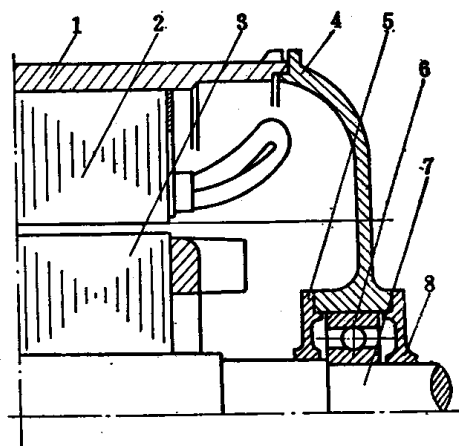


图1-13 异步电机的1/4剖视

- 1—机座 2—定子铁心 3—转子铁心
4—端盖 5—轴承内盖 6—轴承
7—轴 8—轴承外盖

心外圆的公差（详细分析见第二章）。

为了能够可靠地传递扭矩，轴与转子铁心内孔的配合必须采用具有较大过盈的静配合（计算见部件装配工艺）。

采用上述两种配合，不会有间隙产生，因而不会引起定转子偏心。

机座与端盖止口圆周面采用 $\frac{D3}{gd3}$ 过渡配合，轴承内圈与转轴以及端盖轴承室与轴承外圈的配合采用具有过盈的配合，这些配合不会引起间隙或间隙是非常小的，因而对定转子不同心造成的气隙不均匀的影响也是非常小的。

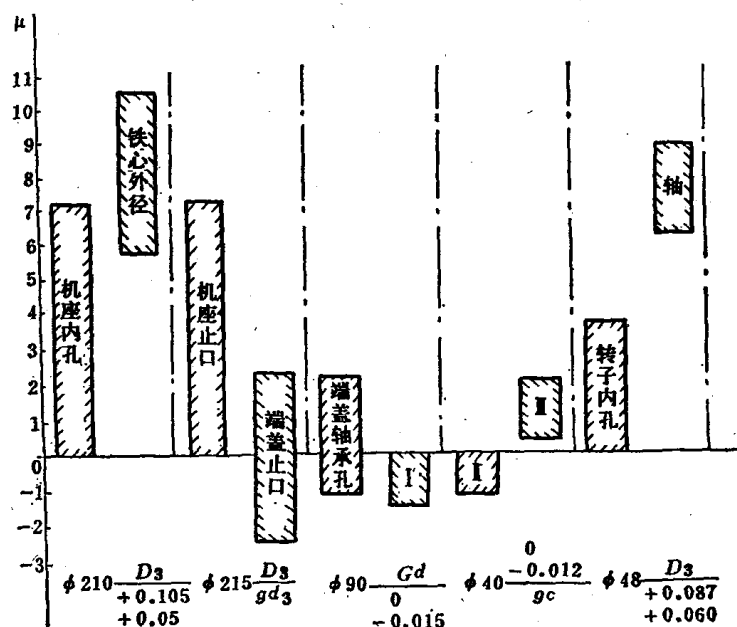


图1-14 JO₂系列4号电机主要零部件配合图解

I—轴承外圈 II—轴承内圈 III—轴外径

以JO₂系列4号机座异步电动机为例，各主要零部件配合的情况如图1-14所示。

在加工电机各个零部件时，由于机床精度、装夹次数、夹具定位表面质量、夹紧力等因素，使零件表面产生形位误差。由图1-13可见，影响气隙均匀度的主要形位误差有：

J1——定子铁心内圆对两端口中心连线的径向跳动；

J2——转子铁心外圆对两端轴承挡的径向跳动；

J3——端盖轴承孔对止口的径向跳动；

J4——滚动轴承内圈对外圈的径向跳动；

Z1——机座止口端面对两端口中心连线的不垂直度（即端面跳动）。

为了使电机气隙均匀度不超过允许值，必须控制上述形位误差在一定范围内。例如，JO₂1~5号电机的形位公差值见表1-4。

表1-4 JO₂系列1~5号电机形位公差

(mm)

代 号	内 容	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
		90	100	112	132	160
J1	定子铁心内圆对两端口中心连线	0.08	0.08	0.10	0.11	0.11
J2	转子外圆对两端轴承挡	0.036	0.036	0.036	0.04	0.04
J3	端盖轴承孔对止口	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
J4	轴承内圈对外圈	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Z1	机座止口端面对两端口中心连线	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06

三、定子同心度是保证气隙均匀的关键

影响电机气隙均匀度的上述五种形位公差，其影响的程度不同，现分析如下：

轴承是一种标准的精密部件，由专门的工厂生产。表1-4中的J4值，是轴承合格产品的保证值，因此尽管其公差较小，外购的轴承都能保证这个要求。