

绪 论

一、电机与电器制造在国民经济中的重要性

电机与电器制造是机电工业中的一个重要组成部分，电机与电器工业的发展同国民经济和科学技术的发展有着密切的联系。电机与电器制造为电力工业提供发电和输变电设备，又为各种工业、农业和交通运输业制造动力机械，还为日常生活提供各种家用电器和办公自动化设备。随着科学技术的不断进步和电机与电器制造工业的不断发展，它的发展程度已成为一个国家工业技术水平的重要标志之一。

二、电机与电器制造工业发展概况

解放前，我国电机与电器制造工业十分落后。当时仅有一些小型电机或电器厂，基础薄弱，技术落后，产品型式混乱，技术标准不统一，主要原材料依靠国外供应，且大都属于修配性质。

解放后，我国电机与电器制造工业得到了迅速发展，产品从无到有、从小到大、从仿制到自行设计，并已初具规模与自成体系。在发展产品品种和提高产品质量等方面，取得了很大成绩，为我国电机与电器制造工业的发展奠定了良好的基础。近年来，在发展新产品、新材料、新工艺及推行标准化等方面，又取得了许多新的成就，适应了我国建设与改革开放新形势的需要。

电机制造方面：三相异步电动机由 J、JO 系列→J2、JO2 系列→Y、Y-L 系列完成了三次统一设计，Y、Y-L 系列的功率等级与安装尺寸符合国际电工标准，它的大量生产标志着我国电机制造工业向世界先进水平迈出了一大步。近年来，我国又统一设计了 Y2 系列三相异步电动机，产品达到 90 年代国际先进水平，它是 Y 系列电动机的更新产品，目前正在推广与生产。直流电机由 Z 系列→Z2 系列→Z4 系列，并采用了叠片机座和 F 级绝缘等新结构。大中型电机发展速度更快，先后制造了 60 万 kW 汽轮发电机、30 万 kW 水轮发电机、中型高压异步电动机和多绕组多速异步电动机等新产品。电机生产中采用各种自动加工线、多工位专用机床和数控机床、多工位高速自动级进冲床及绕组制造自动化等先进工艺，促进了我国电机制造工业生产技术水平的不断提高。

电器制造方面，低压电器中完成了交直流接触器和断路器等 17 个系列 104 个品种的统一设计，高压电器中完成了少油断路器 SN10 系列等产品的统一设计，不断发展新产品、新材料与新工艺，并实行了标准化、系列化和通用化。近年来，分多批淘汰了许多老系列低压电器，引进国产化后又发展了许多电器新品种，如 CJ20、B 系列交流接触器，CZ17、CZ18 系列直流接触器，CKJ5 系列真空接触器，JR20、3UA、T 系列热继电器，DZ20、DW15 系列断路器及 ME 系列断路器等。随着微电子和电力电子技术的飞速发展，固态继电器、晶闸管开关、真空开关、SF6 断路器等新产品逐步推广使用。高压电器从 330kV 发展到 500kV，并为电力系统和其它行业生产与提供各种成套高压电气设备。同时，还广泛采用了数控机床和加工中心、数控线切割机床、热固性塑料注射机、电泳涂漆、静电喷漆、精铸、精锻、精冲和冷挤等新设备与新工艺，使我国电器制造工业向世界先进水平迈出了一大步。

三、电机与电器制造工业发展方向

随着改革开放与引进技术的不断深入，电机与电器制造工业将有较大的发展。如采用计算机优化设计，不断发展新产品、新材料与新工艺，生产工艺向机械化、自动化发展，不断提高产品质量与劳动生产率等。

电机制造方面：

1) 进一步采用计算机优化设计，力求电机的体积小、材料省、结构新及质量高，以便不断提高产量与降低成本，适应国内外市场的需要。

2) 不断发展新产品、新材料与新工艺，在引进国产化的基础上不断发展新品种，采用新型的导磁材料与绝缘材料，推广高速多工位级进冲、高速自动冲槽机、压合铁心、绕组机械化嵌线及滴浸、连续沉浸等新工艺。

3) 加速生产工艺的机械化与自动化，如可快速调整的加工自动线、数控机床进行群控的柔性加工系统在机械加工中广泛应用，多工位高速自动级进冲床、高速自动冲床在铁心制造中广泛应用，拉入式自动下线机、插槽绝缘机、插槽楔机、端部绑扎机等在绕组制造中的广泛应用。

4) 加强计算机在电机测试中的应用，提高测试技术与手段，确保电机产品质量的不断提高。

5) 加强技术、生产与经营管理，节约原材料，降低生产成本，提高劳动生产率，为企业创造更多的经济效益。

电器制造方面：

1) 在引进技术的基础上进一步优化设计，力求电器的体积小、款式新、功能多及质量高，以适应国内外市场的需要。

2) 迅速采用新技术使电器企业实现生产集成化、技术现代化和管理科学化，积极推广数控和数显技术、可编程序控制器及微机控制技术，加强计算机辅助工艺规程设计——CAD、CAM及CAPP技术的发展，以达到提高产品质量、降低产品成本及提高劳动生产率。

3) 提高产品结构工艺性，促进结构零件向冲压化、塑料化和装配自动化方向发展。冲压机床沿着高速化、自动化、数控化、精密化以及适应多品种和小批量生产方向发展，塑料成型采用注塑、传递成型和全自动压型，装配工艺采用传送带式装配自动线、配有微机检测装置并向计算机控制方向发展。

4) 加速生产工艺的机械化和自动化，如高速冲床与多工位级进冲模、自动绕线机、自动绕簧机、静电粉末喷涂自动线、电镀自动线及装配自动线等广泛应用。

5) 加强计算机在电器测试中的应用，提高测试技术与手段，实现电器产品检验自动化，确保电器产品质量的不断提高。

四、学习本课程的方法和要求

电机与电器制造工艺学是与生产实际密切相结合的专业课程，学习中必须理论联系实际，并通过实物、图片、录像及参观生产工艺现场提高教学效果。通过本课程的学习，使学生掌握产品结构工艺性的概念、常用电机与电器典型工艺的基本理论知识以及工艺方案的分析方法、常用工艺装备结构和设计的原理和方法。

在本课程学习中，必须与专业劳动、教学实习、生产实习和毕业设计相密切结合，并通过阶段性的大型作业、课程设计和毕业设计不断提高分析和解决问题的实际能力。

第一篇 电机制造工艺

第一章 电机制造工艺特征

第一节 电机制造工艺的多样性

电机是一种实现机电能量传递和转换的电磁机构。它除了具有和一般机器类似的机械结构之外，还具有特殊的导电、导磁和绝缘结构。因此，在电机制造的工艺过程中，除了具有一般机器制造中所共有的锻、铸、焊、机械加工和装配等工艺外，还具有电机制造所特有的工艺，如铁心的冲制和压装、绕组的制造以及换向器的制造等。所以，尽管电机制造是属于机械制造范畴，但电机制造工艺与一般机械制造工艺相比具有以下几个特点：

- 1) 工种多，工艺涉及面广。除一般机械制造中所共有的铸、锻、焊、机械加工、冲压、表面被覆和装配等工艺外，还有铁心的冲制和压装，绕组的绕制、成形、嵌线和浸漆，换向器制造，集电环制造，电刷装置制造，磁钢充磁，印制绕组制造，塑料件制造等多种专业工艺。
- 2) 非标准设备和非标准工艺装备多。除标准的金属切削机床和压力机床外，还采用大量的非标准设备和非标准工艺装备。非标准设备如冲片涂漆机、离心铸铝机、绕线机、线圈张形机、浸漆设备等。非标准工艺装备如机座止口胎具、冲片冲模、笼型转子铸铝模和塑料件压模等。有的由电工机械厂制造，多数则由电机生产厂制造。
- 3) 制造材料的种类多。电机制造中不但要用到一般的金属及其合金材料，如钢、铸铁、铜、铝、硅钢片，还大量地应用各种不同种类的绝缘材料以及工程塑料。因此，在电机制造中应尽量避免这些贵重材料的浪费。
- 4) 加工精度要求高。为使电机运行可靠和安装方便，零部件配合尺寸和安装尺寸的精度要求较高。同时要求电机磁路对称，旋转平稳，对定子与转子的同轴度要求较高。为降低磨损和摩擦损耗，对转轴的轴承档和推力轴承的镜板等表面粗糙度方面要求较高。
- 5) 手工劳动量较大。除大批量生产的小型或微电机外，由于铁心、绕组和换向器等结构的特殊性，使这些部件的制造工艺机械化和自动化水平仍然很低，手工劳动量较大。

第二节 电机结构和制造工艺间的关系

电机的结构和制造工艺之间有着极其密切的关系。可以说，电机的结构是制造工艺进行的基础，而制造工艺是结构实现的条件。所以，在设计电机时，对电机的结构工艺性必须给予充分的考虑。所谓结构工艺性问题，是指在研究确定电机结构时，既考虑产品运行性能的要求，又要重视其生产条件和经济效果。当产品的运行性能和生产条件之间出现矛盾时，应作具体分析，合理地把它们统一起来，确定出最合理的结构方案。当电机结构不够适宜时，

即使采用了极复杂昂贵的工艺装备也经常不能保证电机的性能及生产效率。以拱形换向器和楔形换向器作比较，虽然后者具有变形小、运行性能可靠等优点，但由于加工困难，所以还是拱形换向器得到了广泛的应用。还应指出，电机结构中的某些难点，有时因为出现了合理的工艺方法而得到了解决。例如，由于塑料压制工艺在换向器上的应用，出现了塑料换向器，因而使得形状复杂的 V 形云母环和精度要求很高的 V 形槽和 V 形压圈的加工可以省略。又如以铸铝工艺代替铜条焊接工艺来制造异步电动机的笼型绕组，因而获得了高质量、高效率的生产效果。

在考虑电机结构时，除要考虑如何满足运行性能的要求外，还应考虑电机生产的经济效益。电机的结构对电机的加工工时和生产成本影响很大。每一个零件都可以有几种不同的结构方案，即使在一种方案中，其加工精度、表面粗糙度、加工余量、材料选择、零件形状的确定等，都对生产工时和制造成本有很大影响。在确定结构方案时还应考虑到尽量缩短生产周期，同时应尽量采用标准件、通用件、标准工艺装备以及利用现有的工艺装备等，以期获得更好的经济效果。因为在电机结构确定的同时，常常是工艺方案也随之而定了。所以在设计一台电机（特别是大电机）时，设计人员的工作和工艺人员的工作应该是自始至终密切配合，平行交叉地进行。如果设计人员仅仅考虑到所设计电机的运行性能的优越而忽视了电机结构工艺性；或者工艺人员仅仅注意到工艺方法而并不了解所设计电机的结构意图，这些对电机的生产都是不利的。既有优良的运行性能又有优越的工艺性的产品设计，才是一个成功的设计。因此设计人员和工艺人员都应该深入生产实际，结合工厂的生产条件确定切实可行的工艺原则，作为设计和工艺的指导思想。决不可生硬地照搬，哪怕是别人的成功经验，如果不结合本厂实际情况，也可能给生产带来损失。

第三节 生产类型

电机的生产类型对制造工艺和生产经济性影响很大。按照一种电机年产量的多少，可分为单件生产、成批生产和大量生产三种类型。

单件生产：年产量只有一台或几台。制造以后便不再重复生产，或者即使再生产，也是不定期的。例如大电机制造、新产品试制等都是属于单件生产。

成批生产：年产量较大且成批地制造，每隔一定时间重复生产。成批生产是电机制造中最常见的生产类型。按照产品结构的复杂程度和年产量的多少，成批生产又可分为小批量生产、中批量生产和大批量生产三种。小批量生产的工艺情况类似单件生产，大批量生产的工艺情况类似大量生产。

大量生产：年产量很大，大多数零部件的制造和装配经常用固定的工艺进行生产。

由于生产类型不同，所采取的工艺差别较大。各种生产类型采用的工艺及对操作人员的要求如下：

单件生产和小批量生产：一般零部件的加工均采用通用机床和通用工艺装备，仅制造一些必需的专用设备和工具。为保证电机质量，操作人员必须具备较高的技术水平。

中批量生产：一般零部件的加工采用通用机床和专用工艺装备，或采用程控机床与数控机床进行加工，既可保证产品质量，又有较高的生产率；对操作人员的技术水平要求可适当降低，使生产成本下降。

大批量生产和大量生产：零部件采用专用机床组成的自动或半自动流水线进行生产，以进一步提高生产率，对操作人员技术水平的要求较低；产品质量稳定，成本较低，具有更大的经济效益。

第四节 电机制造的技术准备和工艺准备工作

电机制造的准备工作是按照一定的计划和一定的生产程序进行的。其目的是为了产品能顺利地进行生产，以及改善现有制造技术。电机制造的准备分为技术准备工作和工艺准备工作。

一、加工工艺过程的组成

电机生产过程中，存在大量的机械加工。机械加工工艺过程是指用机械加工方法直接改变毛坯的形状和尺寸，使之成为成品。将比较合理的机械加工工艺过程确定下来，写成作为施工依据的文件，即为机械加工工艺规程。

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序所组成，毛坯依次通过这些工序变为成品。

(1) 工序 一个（或一组）工人在一台机床上（或一个工作位置）对一个或几个工件所连续完成的工艺过程的一部分，称为工序。工序是工艺过程的基本单元，也是生产计划的基本单元。划分工序的主要依据是零件加工过程中工作地点是否变动。

(2) 安装与工位 在同一道工序中，有时需要对零件进行一次或多次装卸加工，每装卸一次零件称为一次安装。工件加工中应尽可能减少安装次数。因为安装次数越多，安装误差愈大，而且安装工件的辅助时间也愈多。为减少安装次数，常采用各种回转夹具，使工件在一次安装中先后处于几个不同的位置进行加工。此时，在一次安装过程中，工件在机床上占据的每一个加工位置称为工位。工件在每个工位上完成一定的加工工作。

(3) 工步 当加工表面、切削刀具和切削用量中的转速和进给量都保持不变时所完成的那一部分工作称为工步。一道工序包括一个或若干个工步。构成工步的任一因素（加工表面、刀具或规范）改变后，一般即成为另一新的工步。但对于那些连续进行的若干个相同的工步（如对 4 孔 $\phi 10\text{mm}$ 的钻削），为简化工艺，习惯上多看作为一个工步。采用复合刀具或多刀加工的工步称为复合工步。在工艺文件上，复合工步应视为一个工步。

二、电机生产的技术准备工作

电机生产的技术准备工作是依据电机设计过程中所给出的设计图纸来进行的。一般情况下，生产中的技术准备包括以下几个方面，它们之间互成平行作业关系。

1. 产品的结构设计与改进

保证生产中所需要的图纸、技术条件、说明书、规范以及其它设计资料。

2. 编制工艺规程

工艺规程是反映比较合理的工艺过程的技术文件。它是指导生产、管理工作以及设计新建或扩建工厂的依据。合理的工艺规程是在总结广大工人和技术人员的实践经验的基础上，依据科学理论和必要的科学试验而制定的。按照它进行生产，可以保证产品质量和较高的生产效率与经济性。因此生产中一般应严格执行既定的工艺规程。实践证明，不按科学的工艺进行生产，往往会引起产品质量的严重下降及生产效率显著降低，甚至使生产陷入混乱状

态。

但工艺规程并不是一成不变的。它应不断地反映工人的革新创造，及时地汲取国内外先进工艺技术，不断予以改进和完善，以便更好地指导生产。

制定工艺规程的基本原则，是在一定的生产条件和规模下，保证以最低的生产成本及最高的劳动生产率，可靠地加工出符合图纸要求的零件。为此，必须正确处理质量与数量、人与设备之间的辨证关系，在保证加工质量的前提下，选择最经济合理的加工方案。制定工艺规程时，工艺人员必须认真研究原始资料，如产品图样、生产纲领（年产量）、毛坯资料以及现场的设备和工艺装备的状况等，然后参照国内外同行业工艺技术发展状况，结合本部门已有的生产实践经验，进行工艺文件的编制。为了使所拟工艺符合生产实际，工艺人员要深入现场，调查研究，虚心听取工人师傅的意见，集中群众的智慧。对于先进工艺技术的采用，应先经过必要的工艺试验。在制定工艺规程时，尤其应注意技术上的先进性、经济上的合理性及具有良好的劳动条件。

编制工艺规程的内容及步骤如下：

1) 研究分析电机产品的装配图和零件图，从加工和制造角度对零件工作图进行分析和工艺审查，检查图纸的完整性和正确性，分析图纸上尺寸公差、形位公差及表面粗糙度等技术要求是否合理；审查零件的材料及其结构工艺性等，如发现有缺点和错误，工艺人员应及时提出，并会同设计人员进行研究，按照规定的审批手续对图纸作必要的补充和修改。

2) 确定生产类型，并将零件分类分组和划分工段，按生产纲领确定生产组织形式。首先制定其中有代表性零件的工艺过程（其它零件的工艺过程可能只需增减或更换个别工序），此时要考虑机床和工艺装备的通用性。根据生产组织形式的不同，对大批生产应注意采用流水作业，尽量采用高效率的加工方法及广泛应用专用的工艺装备；同时还要求严格地平衡各工序的时间，使之按规定的节奏进行生产。对单件和小批量生产则采用万能机床和通用工艺装备，不需平衡各工序的时间，只需考虑各机床的负荷率。

3) 确定毛坯的种类和尺寸，选择定位基准和主要表面的加工方法，拟定零件加工工艺路线。

4) 确定加工工序及其公差。

5) 选择机床、工艺装备。

6) 确定切削用量、工时定额及工人等级。

7) 填写工艺文件。

3. 先进技术定额的制定

主要是材料消耗定额、劳动消耗量、设备及工装的需要量等。

4. 工艺装备的设计与制造

包括生产中所需要的模具、工夹具、刀具及量具等。

5. 检查与调整

深入车间生产现场，检查调整所设计的工艺过程，以便掌握与贯彻工艺规范中所规定的最合理的工序、制度和办法。要求按图纸、工艺及技术标准生产，同时检查与调整设备与工艺装备。

三、电机生产的工艺准备工作

电机生产的工艺准备工作包括：

①工艺规程的编制和推行；②有关工具设备的设计、制造与调整；③编制先进工具及设备使用的定额；④编制材料消耗、工时消耗定额；⑤设计与贯彻先进的生产技术、合理的检验方法。

下面仅就工艺文件的格式及其应用加以叙述。

工艺规则制定后，以表格或卡片的形式确定下来，作为生产准备和施工依据的技术文件，称为工艺文件。工艺文件大体上分为两类：一类是一般机械加工通用的工艺过程卡片、工艺卡片及工序卡片；另一类是电工专用的工艺守则。

1. 工艺过程卡片（亦称路线单）

工艺过程卡片主要列出了整个零件加工所经过的路线，包括毛坯加工、机械加工、热处理等过程，按加工先后顺序注明工序安排次序、加工车间、所用设备及工艺装备等。它是制定其它工艺文件的基础，也是生产技术准备、编制生产作业计划和组织生产的依据。在单件和小批量生产中，一般零件仅编制工艺过程卡片作为工艺指导文件。其格式见表 1-1。

表 1-1 工艺过程卡片

_____工厂		简明工艺过程卡片			产品型号	零件图号	零件名称	共 页	
								第 页	
毛坯种类			材料		材料定额			工时定额	
序 号	工 序	操 作 内 容			车 间	设 备	工艺装备	准备终结	单 件
编制		日期		审查		日期	车间会签	日期	

2. 工艺卡片

工艺卡片是局限在某一加工车间范围内，以工序为单元详细说明整个工艺过程的工艺文件。它是用来指导工人进行生产和帮助车间领导和技术人员掌握整个零件加工过程的一种最主要的文件，广泛应用于成批生产和小批生产中比较重要的文件。卡片不仅标出工序顺序、工序内容，同时对主要工序还要表示出工步内容、工位和必要的加工简图或加工说明。此外，还包括零件的工艺特征（材料、重量、加工表面及其公差等级和表面粗糙度要求等）。对于一些重要零件还应说明毛坯性质和生产纲领。其格式见表 1-2。

3. 工序卡片

工序卡片是根据工艺卡片为每个工序制定的，主要用来具体指导工人进行生产的一种工艺文件。工序卡片中详细记载了该工序加工所必需的资料。如定位基准选择、安装方法、机床、工艺装备、工艺尺寸、公差等级、切削用量及工时定额等。其格式见表 1-3。由于电机制造的自动化水平不断提高，各种自动或半自动机床加工时的操作简单化，而机床（或流水线）的调整比较复杂，所以还要编制调整卡片，而不编制工序卡片。此外在大批量生产中还要编制技术检查卡片和检验工序卡片，这类卡片是技术检查员用的工艺文件。在卡片中详细填写出检查项目、允许误差、检查方法和使用的工具等。

表 1-2 工艺卡片

工厂				产品型号			零件名称				零件号			
机械加工工艺卡片				每台件数		下料方式	每料	件	毛重	kg	第 页		共 页	
				材料		毛坯尺寸			净重	kg	责任车间			
工序号	安装	工步号	工序内容	加工车间	机床设备名称、编号	工艺装备名称与编号				工时定额/min				
						夹具	刀具	量具	辅助工具	准备终结		操作时间		
更改内容														
编制				审核		会签			批准					

4. 工艺守则

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，如绕组浸漆干燥、硅钢片涂漆、转子铸铝、轴承装配及总装配等，这些工艺过程的内容比较复杂，在操作上要求稳定，以便保证产品质量。这种工艺过程的说明较难用卡片、表格的形式表示，常采用文字加以叙述而编成工艺守则。工艺守则是现行工艺的总结性文件，起着指导生产的作用。

表 1-3 工序卡片

机械加工工序卡							产品型号		零件名称		零件号	
车 间	工段	工序名称					工 序 号					
工序简图							材 料		机 床			
							牌 号	硬 度	名 称	型 号	编 号	
							夹 具		定 额			
							夹具名称	代 号	每批件数	准备终结	单件时间	工人级别
工序号	工步内容	走刀次数	每分钟转数或往复次数	每分钟进给量	机动时间/min	辅助时间	工具种类	工具代号	工具名称	工具尺寸	数 量	
							工艺员			主管工艺员		
							定额员			车间主任		
更改	页数	日期	签字	页数	日期	签字	页数	日期	签字	技术科长		
										第 页	共 页	

第五节 电机制造过程概述

电机的零部件较多，其制造过程也较为复杂。为能简明扼要地掌握电机的全部工艺过程，常将电机的基本结构件机座、端盖、转轴、转子支架、定子铁心、转子铁心、定子绕

组、转子绕组等的加工、制造、试验、装配、油漆、装箱等的工艺过程用框图表示。这种表示电机全部工艺过程的框图，称为电机的工艺流程图。电机是由定子和转子两大部分组成的，在电机装配前，有定子和转子两条主要工艺过程。在总装配后，便是出厂检查试验、油漆和装箱。图 1-1 表示了三相异步电动机的一种工艺流程图。电机制造计算机辅助工艺规程设计，内容包括 CAPP 及其现状、发展 CAPP 技术的意义、CAPP 系统设计的基本原理及 CAPP 在计算机辅助工艺规程设计中的应用与发展趋势，参阅第二篇第九章第四节有关内容。

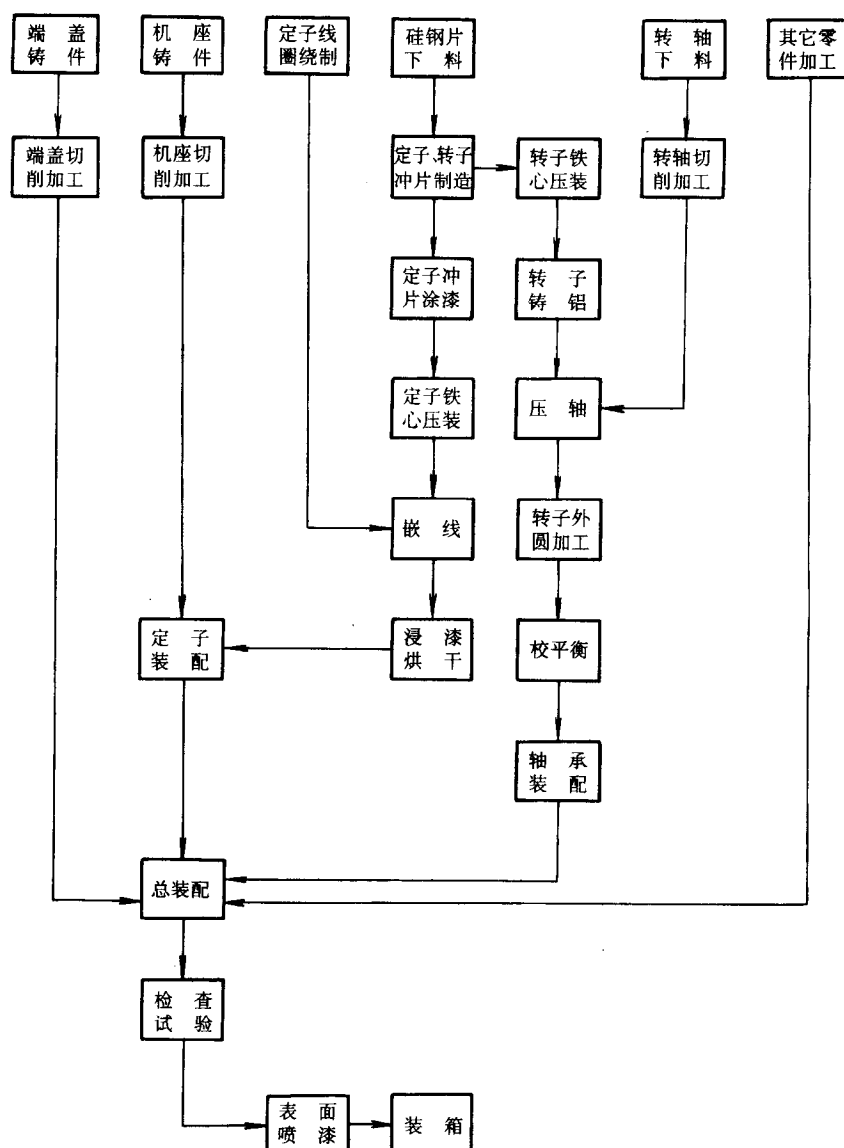


图 1-1 三相异步电动机工艺流程图

第二章 电机零部件机械加工

在整个电机制造过程中，机械加工占有很重要的地位。电机的一些主要零部件——机座、端盖、转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。机械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。

第一节 电机零部件机械加工的一般问题

一、电机零部件的互换性

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、大型的零部件外，大部分零件都是成批或大量的组织生产。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和大小都完全一样，但事实上是不可能的。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的范围内变化时，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

在图纸上标注的基本尺寸，是设计零件时按照结构和性能要求，根据材料强度、刚度或其它参数，经过计算或根据经验确定的。形成配合的一对结合面，它们的基本尺寸是相同的。

在加工中通过测量所得到的实际尺寸，不可能同基本尺寸相同，但需限制实际尺寸在一定范围内，这个范围有上下两个界限值，称为极限尺寸。两个界限值中较大的一个称为最大极限尺寸（ $D_{\max}$ ），较小的一个称为最小极限尺寸（ $D_{\min}$ ）。最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差（ ES 、 es ），最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差（ EI 、 ei ）。上偏差与下偏差统称为极限偏差。极限偏差可以是正值、负值和零。为加工方便起见，图纸上标注极限偏差而不标注极限尺寸。

允许尺寸的变动量称为尺寸公差（简称公差）。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之差（也等于上偏差与下偏差之差）。对于同一基本尺寸来说，其公差值的大小标志着精度的高低和加工的难易程度。在满足产品质量的条件下，尽量采用最大公差。

基本尺寸相同的互相结合的轴和孔之间的关系称为配合关系。当孔的实际尺寸大于轴的实际尺寸时，两者之差叫做间隙。具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合称为间隙配合。

这类配合的特点是保证具有间隙，这样便能保证互相结合的零件具有相对运动的可能性。同时它可以贮存润滑油，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。装配前两者的尺寸差叫做过盈，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。具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合称为过盈配合。这类配合的特点是保证具有过盈。当配合件在允许公差范围内，有可能具有间隙也有可能具有过盈的配合叫做过渡配合。它是介于间隙配合与过盈配合之间的一种配合。即孔的公差带和轴的公差带互相重叠。这种配合产生的间隙与过盈量也是变动的。当孔做成最小极限尺寸，轴做成最大极限尺寸时，配合后将产生最大过盈。在过渡配合中，平均配合的性质可能是间隙，也可能是过盈。

允许间隙或过盈的变动量叫做配合公差。它表示配合精度的高低，是由产品的性能要求和装配精度所决定的。对于间隙配合，其配合公差等于最大间隙与最小间隙代数差的绝对值；对于过盈配合，其配合公差等于最小过盈与最大过盈代数差的绝对值；对于过渡配合，其配合公差等于最大间隙与最大过盈之差的绝对值。

由上可知，三种类型的配合公差都等于相互配合的孔公差和轴公差之和。这说明装配精度与零件加工精度有关，零件加工公差的大小将直接影响间隙或过盈的变化范围。

三、公差、配合与表面粗糙度

1. 公差与配合

新国标公差等级（即确定尺寸精度的等级）分为 20 级，并用标准代号 IT 和阿拉伯数字表示，即 IT01、IT0 及 IT1 至 IT18。其中 IT01 级精度最高，IT18 级精度最低。成系列的尺寸公差与配合制度，我国颁布的国家标准是 GB1800~1804—79。根据基准制的不同，国家标准中规定了基孔制和基轴制两种基准制。

基孔制的特点是：基本尺寸与公差等级一定，孔的极限尺寸保持一定（公差带位置固定不变），改变轴的极限尺寸（改变轴的公差带位置）而得到各种不同的配合。在基孔制中，孔是基准零件，称为基准孔，代号为 H。上偏差 ES 为正值，即为基准孔的公差，下偏差 EI 为零。轴为非基准件。

基轴制的特点是：基本尺寸与公差等级一定，轴的极限尺寸保持一定（改变孔的公差带位置），而得到各种不同的配合。在基轴制中，轴是基准件，称为基准轴，代号为 h。其上偏差 es 为零，下偏差 ei 为负值，其绝对值即为基准轴的公差。孔为非基准件。

为了满足机械中各种不同性质配合的需要，标准中对孔和轴分别规定了 28 个基本偏差。按公差与配合标准中提供的标准公差和基本偏差，将任一基本偏差与任一公差等级组合，可以得到大量不同大小与位置的轴孔公差带，以满足各种使用需要。但是在生产中如果这么多的公差带都使用，不但不经济，也不利于生产。因此，国家标准中根据生产实际需要，并考虑到减少定值刀具、量具和工艺装备的品种和规格，分别对于轴和孔提出了优先选用的公差带、常用公差带和一般用途公差带若干种。

2. 形位公差

零件的实际与理想的几何形状之间所容许的最大误差，称为形状公差。在一定尺寸下，形状公差的大小表征零件表面形状准确度的高低。

零件各表面间、各轴线间或表面与轴线的实际位置与理想的相对位置之间所容许的最大误差，称为位置公差。在一定的尺寸下，位置公差的大小表征零件各表面间、各轴线间或各

表面与轴线之间相对位置准确度的高低。

形状和位置公差统称为形位公差。按国家标准 GB1182—80 规定，形位公差共有 14 个项目。电机制造中常用的形状公差有平面度、圆度、圆柱度和直线度等。位置公差有平行度、垂直度、同轴度、对称度、位置度、圆跳动和全跳动等。其表示方法和标注方法见表 2-1 及图 2-1。

表 2-1 形位公差符号

类 别	名 称	符 号	类 别	名 称	符 号
形 位 公 差	平面度		形 位 公 差	同轴度	
	圆 度			对称度	
	圆柱度			位置度	
	直线度			圆跳动	
	平行度			垂直度	

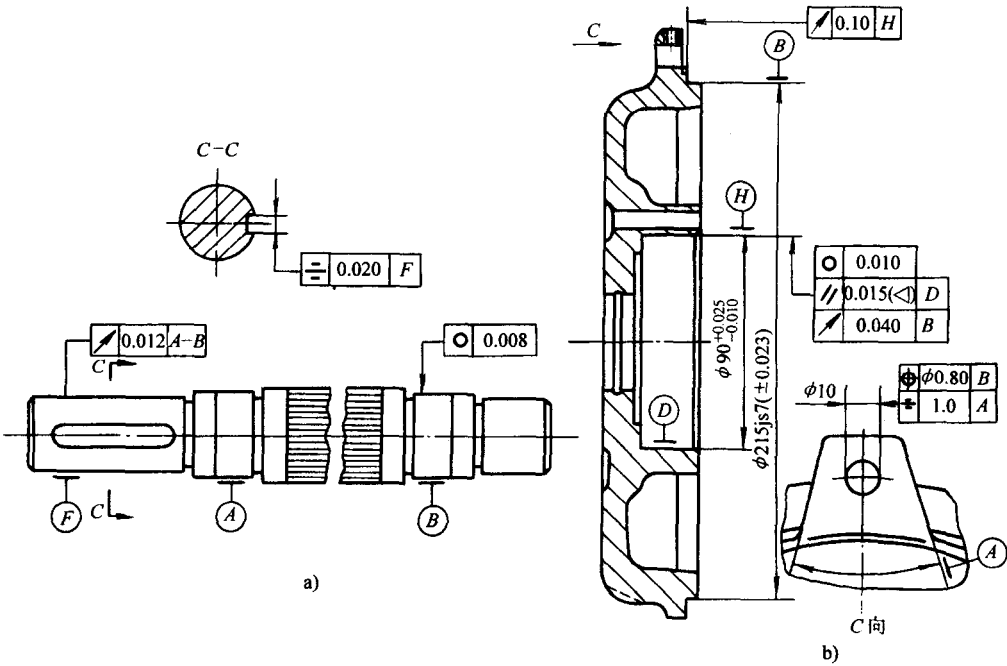


图 2-1 形位公差的标注方法

3. 表面粗糙度

表面粗糙度是指加工表面上具有的较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特征，一般由所采用的加工方法和其它因素形成。按照国家标准 GB1031—83 规定，表面粗糙度有 14 个优先选用值。零件的表面粗糙度要求是同公差等级、配合间隙或过盈有关的；另一方面，表面粗糙度决定于加工方法和零件的材料。

表 2-2 是 Y 系列三相异步电动机（Y160～Y280）主要零件公差配合、表面粗糙度及

形位公差。

表 2-2 Y 系列三相异步电动机主要零件公差配合表面粗糙度及形位公差

零部件及部位		配合制	公差代号	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	形位公差要求
机座	止口内径	基孔	H8	3.2	1) 机座铁心档内圈对两端止口公共基准轴线的同轴度公差为 8 级 2) 机座止口端面对止口基准轴线的端面圆跳动为 8 级和 9 级公差值之和的 1/2 3) 机座止口内径和铁心档内径的圆度公差为相应直径公差带的 75%，而且其平均直径应在公差带内 4) 机座轴向中心线对于底脚支承面的平行度公差为 H80~250、0.16；H280~315、0.30；平面度公差为 H80~112、0.125；H132~200、0.15；H225~280、0.20；H315、0.25
	铁心档内径	基孔	H8	3.2	
	总长度	基孔	h11	6.3	
	底脚孔直径	—	H14	—	
	中心高	—	H80~250, $-\frac{0.10}{0.40}$ H280~315, $-\frac{0.20}{0.80}$	—	
	底脚孔中心至轴伸端止口平面距离	—	JS14	—	
	A/2	—	H80~132, ± 0.4 H160~225, ± 0.6 H250~315, ± 0.8	—	
端盖	止口直径	基孔	js7	6.3 3.2	1) 轴承室内圆对止口基准轴线的径向圆跳动公差为 8 级 2) 与机座配合的止口平面对轴承室内圆基准轴线的端面圆跳动公差为 8 级和 9 级公差值之和的 1/2 3) 凸缘端盖的凸缘止口对端盖止口的径向圆跳动公差为 8 级和 9 级公差之和的 1/2 4) 轴承室内圆的圆柱度公差为 7 级
	轴承室内径	基轴	$>30\sim 50$ $+\frac{0.020}{0}$ $>50\sim 80$ $+\frac{0.022}{0}$	1.60	
	轴承室深度	—	h11	6.3	
	止口平面对轴承室内平面距离	基孔	H11	6.3	
转轴	全长	—	JS14	—	1) 轴伸档外圆（磨削尺寸）对两端轴承档公共基准轴线的径向圆跳动公差为 7 级 2) 轴的两端轴承档外圆的圆柱度公差为 6 级 3) 轴的轴伸端键槽对称度公差为 8 级和 9 级公差值之和的 1/2
	铁心档直径（热套）	基孔	$>24\sim 50$ t7 $>50\sim 120$ t8	3.2	
	轴伸档直径	基孔	≤ 28 j6 ≤ 55 m6 $\geq 32\sim 48$ k6	6.3	
	轴承档直径	基孔	k6	0.80	
	轴承盖档直径	基孔	b11	0.80	
	风扇档直径	基孔	h7	—	
	轴承档距离	—	h11	6.3	
	键槽宽	—	N9	1.60	
定子冲片	外径	基孔	自定公差	—	定子冲片外圆对内圆的同轴度公差为 8 级
	内径	基孔	H8	—	
	槽形	基孔	H10	—	
	槽口宽	基孔	H12	—	
	扣片槽宽	基孔	H11	—	
	槽底直径	基孔	H10	—	

(续)

零部件及部位		配合制	公差代号	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	形位公差要求
转子冲片	内径(热套)	基孔	H8	—	—
	槽形	—	H10	—	
	槽底直径	—	h10	—	
	键槽宽	—	H9	—	
	槽口宽	—	H12	—	

四、尺寸链基本概念

一个零件或一个装配体，都有由若干彼此连接的尺寸组成一个封闭的尺寸组，这种封闭的尺寸组称为尺寸链。在零件加工过程中所遇到的尺寸链，称为工艺尺寸链。

图 2-2a 示出一个半联轴器的长度尺寸，在零件图上注有尺寸 A_1 和 A_2 ，而尺寸 A_0 在图样上不注出。但尺寸 A_0 的数值却是一定的，并由 A_1 和 A_2 所确定。

为便于分析，常不画出零件的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）方向作出，而把各个尺寸连成封闭回路的那一尺寸（即封闭尺寸）箭头反向作出后所得的图形，便是尺寸链图，如图 2-2b 所示。

在尺寸链中，每个尺寸都称为环，其中必有一个尺寸依附于其他尺寸而最后形成，如图 2-2 中的尺寸 A_0 ，称为封闭环。其它各个尺寸都称为组成环。当某个组成环增大时，引起封闭环也增大的，该组成环称为增环。若某个组成环增大时，引起封闭环减小的，则该组成环称为减环。

由图 2-2 可知，封闭环的基本尺寸为尺寸链中全部增环的基本尺寸减去全部减环的基本尺寸。封闭环的最大极限尺寸等于全部增环的最大极限尺寸与全部减环的最小极限尺寸之差。封闭环的最小极限尺寸为全部增环的最小极限尺寸与全部减环的最大极限尺寸之差。

进一步分析可知：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。

解工艺尺寸链，主要是计算封闭环与组成环的基本尺寸、公差及极限偏差之间的关系。

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。小型异步电动机的基本安装结构型式如图 2-

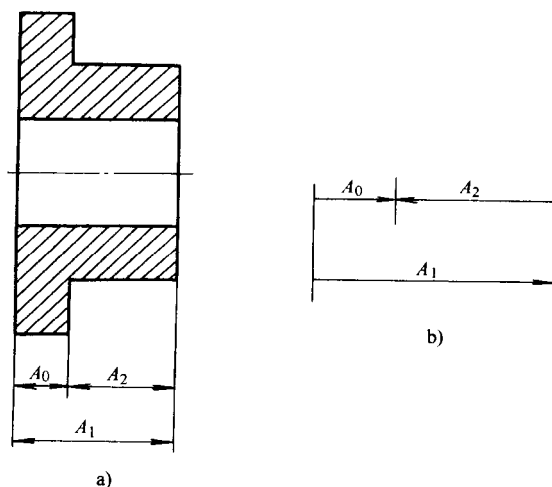


图 2-2 半联轴器的长度尺寸及尺寸链简图

a) 长度尺寸 b) 尺寸链简图

3 所示, 图 2-3a 为 B3 型, 它是卧式、机座带底脚、端盖上无凸缘的结构型式, 是最常用的安装结构; 图 b 为 B5 型, 它是机座不带底脚、端盖上带有大于机座的凸缘的结构型式; 图 c 为 B35 型, 它是机座带底脚、端盖上带大于机座的凸缘的结构型式。此外, 在基本安装结构型式的基础上, 还有派生的安装结构型式。

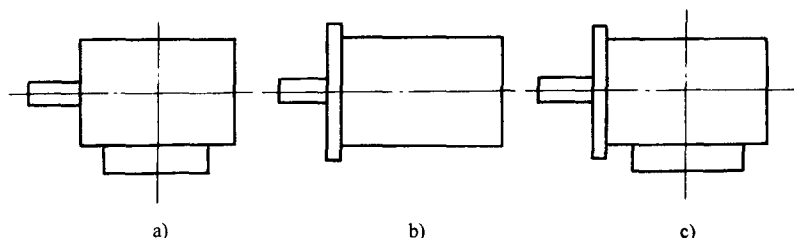


图 2-3 小型异步电动机安装结构型式

各种安装结构型式的安装尺寸及其公差均在相应的电机技术条件中规定。

六、电机零部件机械加工的特点

电机零部件机械加工时所采用的机床和切削刀具与一般机器制造并无多大差异, 但由于电机结构上的某些特殊性, 在电机零部件机械加工中存在以下几个特点:

1) 气隙对电机性能的影响很大, 制订电机零部件的加工方案时, 应充分注意零部件的同轴度、径向圆跳动和配合面的可靠性, 以保证气隙的尺寸大小和均匀度。

2) 机座和端盖大多采用薄壁结构, 刚性较差, 装夹和加工时容易产生变形或振动, 影响加工精度和表面粗糙度。

3) 与金属材料相比, 绝缘材料的硬度较低, 弹性较大, 导热性差, 吸湿性大, 电气绝缘性能易变坏等, 使绝缘零件的机械加工具有特殊性。绝缘零件机械加工时会产生大量粉尘, 须装设除尘装置; 为减少摩擦热, 刀具必须锋利; 不能采用切削液, 以免绝缘性能变坏。

4) 对带有绝缘材料的部件, 如定子、转子、换向器和集电环等, 机械加工时, 既不能使用切削液, 又要防止切屑损伤绝缘材料。

5) 对于导磁零部件, 切削应力不能过大, 以免降低导磁性能和增大铁耗。

6) 对于叠片铁心, 机械加工时应防止倒齿。根据电机的电磁性能要求, 定子铁心内圆应尽量避免机械加工。

第二节 电机同轴度及其工艺措施

一、电机的气隙及其均匀度

电机定、转子间的间隙称为电机气隙, 它是电机磁路的重要组成部分。电机气隙的基本尺寸是由电机的电磁性能决定的。通常要求电机气隙必须是均匀的。若电机气隙不均匀会使电机磁路不对称, 引起单边磁拉力使电机的运行恶化。对于直流电机而言, 主极和电枢间的气隙不均匀, 将引起均压线电流沿均压线和电枢绕组循环, 增加电机的发热和损耗; 换向极和电枢之间气隙不均匀常是换向不良、火花严重的原因。所以必须规定电机气隙的均匀度。由于气隙是在电机装配以后才形成的, 所以气隙均匀度的保证主要取决于电机零件的加工质

量，首先是机械加工的质量。按 Y 系列（IP44）三相异步电动机技术条件规定，电动机气隙不均匀度数 $\epsilon/\delta(\%)$ 应不大于表 2-3 的规定。

表 2-3 Y 系列电动机的 $[\epsilon/\delta]$ 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	14.0	13.5	13	12.5	12.0	10.0

表种 δ 值代表气隙公称值， ϵ 代表气隙的不均匀值，其定义为：

$$\epsilon = \frac{2}{3} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 - \delta_1 \delta_2 - \delta_2 \delta_3 - \delta_3 \delta_1} \tag{2-1}$$

式中 $\delta_1、\delta_2、\delta_3$ —— 在相隔 120° 的三点间测得的气隙值。

二、气隙均匀度的影响因素

当电机定子内圆和转子外圆之间存在着如图 2-4 所示的偏心 e 时，就会使电机的气隙不均匀。通过几何分析可以得出：气隙不均匀值与偏心值 e 在数值上相等。所以，解决气隙不均匀度的问题，主要是解决定转子不同轴问题。由图 2-5 可知异步电动机定转子偏心 e ，主要取决于定子、端盖、轴承、转子四大零部件的形位公差及这些零部件的配合间隙。

机座与定子铁心外圆的配合，既要考虑到在电磁拉力作用下保证两者不能相对移动或松动（须过盈配合）；又要考虑到机座是一个薄壁件，过大的过盈将使机座圆周面变形，甚至在装配时压裂。因此，通常按较小过盈量的过盈配合来确定机座与定子铁心外圆的公差。

为了能够可靠地传递扭矩，转轴与转子内孔的配合必须采用具有较大过盈的配合。采用上述两种过盈配合，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也采用过渡配合，一般不会引起间隙或间隙非常小，因而对定转子不同轴造成的气隙不均匀的影响也是非常小的。

三、定子同轴度是保证气隙均匀度的关键

影响电机气隙均匀度有以下五种形位公差：

J1 —— 定子铁心内圆对定子两端止口公共基准线的径向圆跳动；

J2 —— 转子铁心外圆对两端轴承档公共基准线的

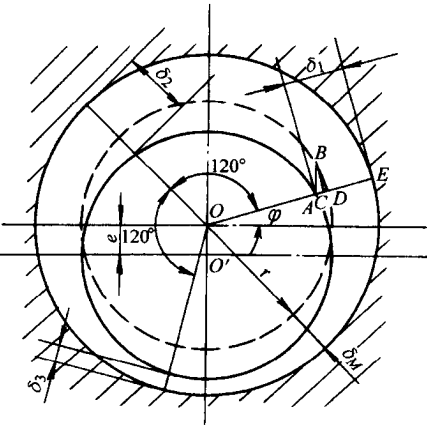


图 2-4 偏心 e 与 ϵ 的关系

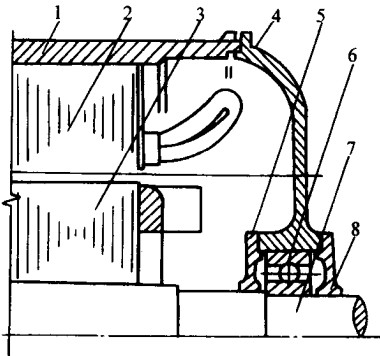


图 2-5 异步电动机的 1/4 剖视

- 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

径向圆跳动；

J3 ——端盖轴承孔对止口基准轴线的径向圆跳动；

J4 ——滚动轴承内圆对外圆的径向圆跳动；

Z1 ——机座两端口端面对两端口公共基准轴线的端面圆跳动（即垂直度）。

为了使电机气隙不均匀度不超过允许值，必须控制上述形位公差在一定范围内。以上五种形位公差对电机气隙均匀度的影响程度是不同的，现分析如下：

轴承是一种标准的精密零件，由专门的工厂生产，尽管轴承合格品的保证值公差 J4 较小，但外购的轴承都能保证这个要求。

J2 与 J3 值工艺上也是比较容易保证的（在工艺上相应采取的措施在以后几节中分析）。

机座两端口端面对两端口公共基准轴线的端面圆跳动 Z1 对于气隙均匀度的影响也是不大的。

对气隙均匀度影响最大的因素是定子铁心外圆对定子两端口公共基准轴线的径向圆跳动（或称定子同轴度）。这是由定子的结构工艺特点决定的。定子铁心是由冲片一片片叠压而成的，各道工序都会造成形位误差积累。机座是一种薄壁零件，铁心压入后止口极易造成形位误差。根据电机的电磁性能要求，定子铁心内圆通常是不准加工。因此要保证气隙的均匀度，主要是应保证定子的同轴度。

四、保证定子同轴度的工艺方案

在我国，保证定子同轴度的工艺方法主要有以下三种不同的方案：

光外圆方案 ——以铁心内圆为基准精车铁心外圆，压入机座后，不精车机座止口。其特点是铁心外圆的尺寸精度和内、外圆的同轴度均由叠压后精车外圆达到。可放松对冲片外圆精度和内、外圆同轴度的要求。铁心外圆加工时，切削条件较差，用单刃车刀加工，刀具寿命较短。且铁心压入机座后，不再加工，所以对机座的尺寸精度和同轴度要求都较高。

光止口方案 ——定子铁心内、外圆不进行机械加工，压入机座后，以铁心内圆定位精车机座止口。其特点是以精车止口消除机座加工、铁心制造和装配所产生的误差，从而达到所要求的同轴度。因此，定子的同轴度主要取决于精车止口时所用胀胎工具的精度和定位误差。在机座零件加工时，对止口与内圆的同轴度和精度可放低些，有利于采用组合机床或自动线加工。但这样多一道光止口工序，以致多占用一次机床。

两不光方案 ——定子铁心的内、外圆不进行机械加工，压入机座后，机座止口也不再加工。其特点是定子的同轴度完全取决于机座和定子铁心的制造质量，对冲片、铁心和机座的制造质量要求都较高；但能简化工艺过程，流水作业线无返回现象，易于合理布置车间作业线，因而获得广泛应用。

对采用内压装定子铁心（定子铁心放在机座内压装）的中大型电机，主要是在压装过程中设法使机座止口与铁心内圆保持一定的同轴度。压装后，以机座止口定位精车或磨削铁心内圆，虽可提高同轴度，但将影响电机性能。为此，很多工厂采用内压装外压法，以确保其同轴度。

第三节 转轴和转子加工

一、转轴的类型及其技术要求

转轴是电机的重要零件之一，它支撑各种转动零部件的重量并确定转动零部件对定子的