

电子技术培训教材

微电机原理及工艺

(下 册)

电子元件专业技术培训教材编写组

电子工业出版社

电子工业技术培训教材

微电机原理及工艺

(下册)

电子元器件专业技术培训
教材编写组

电子工业出版社

内 容 简 介

本书是微电机专业工人技术培训的专业理论教材《微电机原理及工艺》的下册。本书专述工艺部分，以控制微电机为主，讲述微电机专业的有关工艺原理、工艺特点及其工艺技术知识。本书包括概述，铁芯制造，换向器，集电器制造，线圈和绕组制造，电机绝缘浸渍处理，电机主要零件的机械加工，电机装配等章节。内容全面，富于实用性、科学性及先进性。

本书适于微电机厂、技校、科研单位及使用部门的技工使用，可根据各工种的不同专业要求，选学本教材的适当章节，使工人掌握本工种的专业基础知识，提高执行工艺规程并解决生产技术问题的能力。

本书亦适于微电机专业各类管理人员及技次人员参考。

微电机原理及工艺(下册)

电子元器件专业技术培训教材编写组

责任编辑 焦根顺

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京顺义燕山印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：11.125 字数：280千字

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数：4700册 定价：2.20元

统一书号：15290·38

出版说明

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，提高电子工业职工技术素质，按照电子工业部的统一分工，参照部颁《电子工业元器件、机电组件、电表专业工人初级技术理论教学计划、教学大纲》并考虑到企业管理现代化对管理干部的要求，由电子工业部元器件工业管理局组织有关单位编写了《磁学知识》、《铁氧体工艺》、《永磁合金工艺》、《磁性材料及器件测量》、《实用电子陶瓷》（上、下册）、《电阻器与电位器》、《微电机原理及工艺》（上、下册）、《电声器件》、《电子敏感元件》、《继电器技术基础》、《接插件工艺学》、《电容器》、《压电石英晶体及元器件》、《化学电源》（上、下册）和《物理电源》共十八册专业技术培训统编教材。这套教材可作为电子工业工人的技术培训和管理人员的业务进修用书，也可作为技工学校、职业高中的教材和中等专业学校的参考书。

这套教材由董元昌、王乃增、陈兴信、刘联宝、杨臣华、张熙、池玉清、展发祥、张志远、丁光未、焦桐颀、王志昌等同志组成编委会，负责组稿和技术协调。董元昌同志任主任，王乃增、张志远、丁光未同志任副主任。在编写过程中，我们力求在内容上适合电子工业职工技术培训的需要，文字叙述上简明扼要，通俗易懂。但由于电子元器件和机电组件门类杂、专业多，涉及科学技术知识十分广泛，加之时间仓促，书中难免有不足之处，恳切希望广大读者提出宝贵

意见。

《微电机原理及工艺》下册，由赖钧钰主编，并负责编写第十六章，温优生、钟子仪负责编写第十七章，阎秀珍负责编写第十八章，苏荣志负责编写第十九章、第二十章，于俊昌负责编写第二十一章，陈绍忠负责编写第二十二章。柯上龙担任主审，陈继生、梁万森、陈隆兴等参加了审稿。

本书编写过程中，得到了成都电机厂、重庆微电机厂及上海微电机研究所、青峰电机厂的大力支持，在此表示感谢。

电子工业部元器件工业管理局
技术培训教材编委会

一九八四年三月

目 录

第十六章	微电机的结构与工艺特点	1
第一节	微电机的结构型式及其特点	2
第二节	微电机的工艺特点	7
第三节	微电机的生产特点	10
第四节	工艺文件的作用与工艺纪律	13
第十七章	铁芯制造	20
第一节	铁芯冲片的制造工艺	20
第二节	冲片热处理	56
第三节	冲片绝缘处理	78
第四节	铁芯叠压	93
第十八章	换向器、集电器制造	131
第一节	换向器在电机中的作用和技术要求	131
第二节	换向器的结构类型及工艺特点	134
第三节	换向片和云母片	142
第四节	换向器制造	154
第五节	集电器制造	166
第十九章	线圈和绕组的制造	176
第一节	常用导电材料及绝缘材料	176
第二节	线圈和绕组的制造	181
第三节	绕组制造的主要设备	191
第四节	线圈和绕组的质量检查	195
第五节	特殊绕组的制造	199
第二十章	电机绕组的绝缘处理	212

第一节	绕组绝缘处理的目的	211
第二节	浸漆工艺及其设备	214
第三节	滴浸工艺及其设备	224
第四节	环氧浇注工艺	230
第五节	熔焊绝缘工艺	241
第二十一章	微电机主要零部件的机械加工	247
第一节	零部件加工的基本要求	248
第二节	零部件机械加工中的常用夹具	253
第三节	端盖加工	271
第四节	转轴加工	279
第五节	金属空心转子杯加工	248
第六节	转子(电枢)加工	289
第七节	机壳及定子的加工	298
第二十二章	微电机装配	307
第一节	微电机装配的基本要求	307
第二节	轴承及其安装	310
第三节	旋转体的静平衡与动平衡	318
第四节	永磁铁芯的充磁、退磁和稳磁	322
第五节	电刷及其安装	339
第六节	机械阻尼器和机械稳速器	337
第七节	微电机的总装配	344
参考文献		361

第十六章 微电机的结构与工艺特点

微电机是现代科学技术、现代工业设备和现代军事电子装备、国防尖端工程中不可缺少的元件，同时又广泛应用于国民经济的各个领域，乃至大量应用于电子音响、视听装置和家用电器中，成为现代生活中不可缺少的机电元件之一。

由于微电机的使用如此广阔，其使用要求和微电机本身工作特点各异，构成了品种、规格极为繁多，既有需要技术难度大、高可靠、高精度、长寿命、快速响应等性能特殊的要求和能耐恶劣环境的多品种小批量生产或成批生产的产品，如火箭、导弹、人造卫星、宇宙飞船的航天技术、雷达、通讯、导航、火炮控制，电子计算机外部设备以及大规模集成电路工艺、检验设备中使用的各类控制用电机和专用电机；也有需要大规模专业化集中生产的产品，如各种自动化工业设备、电子音响、视听设备和各种家用电器中使用的电机。

微电机的应用如此广泛，所以品种、规格繁多。其主要类型详见《微电机原理与工艺》(上册)第一章所述。

本册是以控制用微电机为主，讲述微电机的结构特点、有关工艺原理、工艺特点及其生产特点。

第一节 微电机的结构型式及其特点

微电机结构较一般中小型电机更为复杂，且结构紧凑、精巧、独特。在很大程度上，电机结构又基本上决定了微电机制造的工艺特点，所以应首先认识微电机的结构特点。

一、微电机结构型式

微电机从结构上看，一般都由固定部分的定子组件和转动部分的转子组件加上端盖(组件)等三大部分组成。定、转子组件又都由若干零部件按一定要求加工、装配而成。在这些零部件中，专用件多于通用件。

总的讲来，微电机按结构型式可分为：

1. **装配式结构** 大多数微电机采用此结构。其轴承室内圆与定子铁心内圆尺寸不同，端盖、定子上的轴承室和定子内圆是分别加工的，最后定、转子通过轴承、端盖装配联接、端盖与定子采用止口配合、加上螺钉可卸连接或其它卡箍式连接、铆接等型式完成电机的总装配。如图 16-1 所示

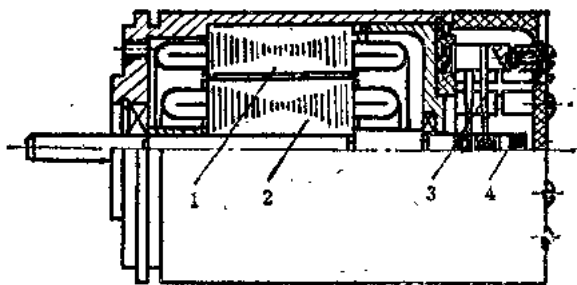


图 16-1 装配式旋转变压器结构图

1—定子； 2—转子； 3—电刷， 4—泥环； 5—端盖

的装配式旋转变压器结构及图 16-2 所示装配式的空心杯电机直流伺服电动机结构。

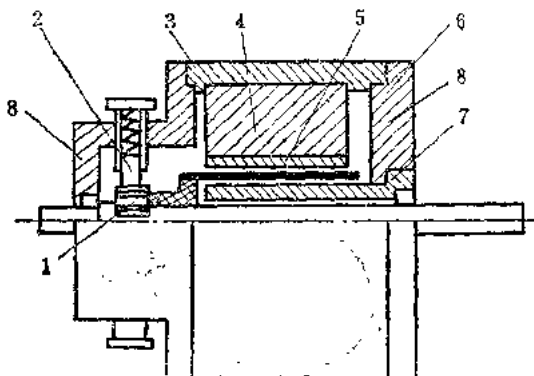


图 16-2 装配式的空心杯电机直流伺服电动机结构图
1—换向器； 2—电刷； 3—机壳； 4—磁钢； 5—磁极；
6—空心杯电枢板； 7—内定子； 8—端盖

2. 通孔式结构 电机定子、机壳和端盖组装后用环氧树脂封装灌注成一体，定子铁心内圆和轴承室内圆是同一尺寸的通孔、便于一次装夹后，一次走刀加工完成，以提高定子内圆和转子外圆的同心度，保证电机气隙的均匀性，从而有利于保证电机良好的运行性能。这种结构主要用于小机座号的交流伺服电动机、交流测速发电机、自整角机、旋转变压器中。图 16-3 所示为通孔式结构的鼠笼转子交流伺服电动机。

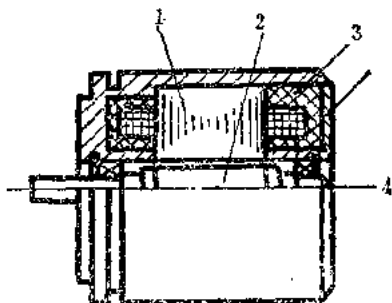


图 16-3 通孔式结构的鼠笼转子交流伺服电动机
1—定子； 2—鼠笼转子；
3—机壳； 4—端盖

3. 分装式结构 这种结构的电机只有定子和转子两大件，无轴承和端盖。定子和转子分别装到这类电机装置的固定部分和旋转部分上。像部分交直流力矩电机，多极旋变，感应整步机以及空调电机等部分专用电机采用这种结构。如图16-4所示为分装式力矩电动机；图16-5中的(b)所示为分装式的共磁路双通道多极旋转变压器。

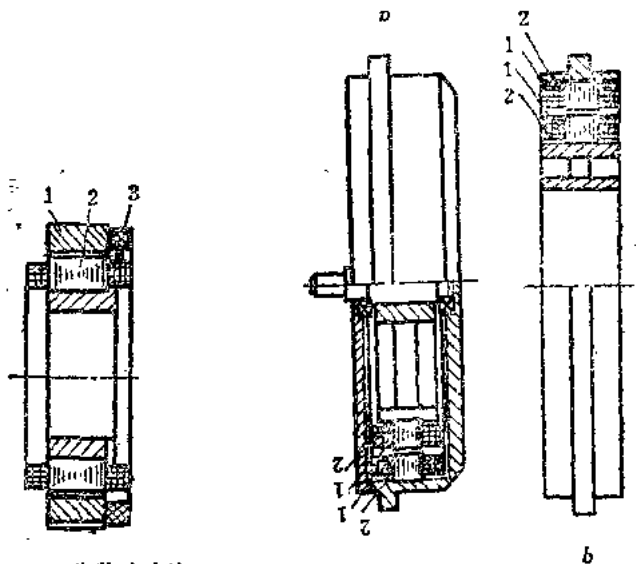


图16-4 分装式直流力矩电动机

1—定子； 2—电枢；
3—刷架

a. 组装式； b. 分装式

图16-5 共磁路双通道多极旋转变压器

1—粗机绕组； 2—精机绕组

二、微电机的结构特点

1. 体积小、重量轻 一般来讲，微电机的外形尺寸在160毫米以下。控制用微电机的外径，绝大多数在12~130毫

米之间，有的微电机外径仅几毫米，重量仅十几克。特别是在航天、航空、计算机外部设备及视听设备中、小型家用电器中，电子钟表制造业中，体积小、重量轻是十分重要的使用要求。所以，只要能在保证微电机要求的机械强度下，零部件尺寸要小，重量要轻。在结构材料方面采用轻合金件、塑料件较多；在结构形状上采用薄壁件多（如端盖、机壳、转子杯等）。

2. 结构紧凑、精密、气隙小 由于微电机的尺寸小、工作灵敏且精度高，则在电机结构设计上要求紧凑、精巧。零部件均有较高的尺寸精度和较严的形位公差要求，电机安装处的尺寸精度要求也较高。同时，内部的磁路和电路结构要求尽可能平衡对称，以保证所要求的电机特性及高的工作精度。电机定转子间的气隙也较小，并应均匀分布，一般在0.2~0.5毫米范围内，小机座号的交流伺服电动机定转子间的单边气隙小至0.025毫米。

日益发展的各种组合电机、分系统，其结构更为复杂，更为紧凑、精巧、独特。

3. 结构上要可靠稳定 由于微电机产品微小、结构紧凑、使用条件复杂，材料特殊、性能指标要求又高，所以结构上必需可靠稳定。

对电机上的电刷——换向器（或电刷——集电器、滑环）等滑动接触；机械离心调速装置等的触头接触；轴承的结构；电机各部分的耐环境要求（冷热引起的收缩、膨胀；耐振动、冲击、加速度；耐潮湿等），电机各部分的绝缘结构要求，组装中的粘结要求，机械联接要求等均要保证使用中的稳定可靠。

4. 结构各异、复杂新颖，变化较大 由于电机品种多，

性能要求特殊，带来了微电机结构各异、复杂新颖，且在同一种类的系列电机中结构差别也较大。

如低惯量电机的出现，结构上采用杯形转子)无槽转子，盘形电枢等转子结构。

信号电机中高精度的要求，就采用了各种多极电机。如从一般的旋转变压器到多极旋转变压器并发展到感应整步机等，其结构变化较大、制造难度也增大。

从连续转动的电机发展到间隙转动的电机；从完成旋转运动的电机发展至能完成直线运动、平面运动的电机以及有特殊功能的电机，其结构也是变化大，制造工艺也截然不同。

从有刷电机到各种无刷电机的出现，就变成了电机与线路技术的组合，其电机内部结构也相应有所变化。

从每分钟几转、几十转的低速电机到每分钟30万转以上的高速电机、其结构差异也较大。

从外径仅5毫米的手表步进电机到外径为1米的多极旋转变压器、到大尺寸的力矩电机、不仅尺寸范围变化大，结构上更加奇异、新颖独特了。

还有各种永磁电机、包括稀土永磁材料构成的电机，结构更是多样。

随着新原理，新材料，新技术的发展，电机在结构上突破了传统电机的概念，把电机制造工艺扩展到了新的领域。

此外，还必须认识到决定微电机结构的主要因素，除满足电机的工作要求和性能外，还应考虑结构工艺性，也就是在该产品的生产类型、加工条件及材料供应，工艺水平等因素下，应确保结构设计的经济性好，即能达到优质、低消耗、

高效率生产。

第二节 微电机的工艺特点

微电机的设计特点、结构特点就决定了微电机应有的工艺特点。微电机制造有与一般中小型电机相似的加工工艺，此外还具有精密机械、仪器制造的工艺特点，再加上其特殊专业工艺，就构成了微电机制造的工艺内容和工艺特点。

一、微电机的工艺特点

1. 要保证电机气隙的均匀性和磁路的对称、电路的平衡要求 微电机的高精度、高灵敏度、高稳定度，要求保证气隙的高度均匀性和磁路对称、电路的平衡。所以，在加工及装配上要保证定、转子的高同轴度。为此，端盖件、定转子等主要件需精密加工，最后需精密装配。大部分机械加工零部件的尺寸精度高于一般中小型电机1-2级，其配合表面的尺寸精度要达6-7级。转子轴承位等处还要求微米级的尺寸精度及形位精度，以及高光洁度的加工。

定转子冲片的槽分度误差和累积误差要小于几个角分和十几角分；绕组匝数准确；不仅电阻、电感有数值要求，同时还要求相间电阻平衡。

2. 要保证电机运行的可靠性，绝缘处理及热处理工艺要求高且工艺规范严格 由于微电机耐环境条件恶劣，则要求电机的绝缘结构可靠，绝缘处理工艺严格。一般中小型电机常采用普通常压浸渍，微电机中多采用真空压力浸渍，真空环氧浇注及相应良好的工艺装置。对导磁材料(软磁材料)的热处理及绝缘处理，不仅要求一般的密封退火，蒸汽氧化膜处理，

还要求真空退火、氢气退火等特殊处理，以及配备相应的工艺装置。对其金属电刷片等接触、弹性元件，要保证接触可靠性也多采用真空热处理等措施。对细长轴件及其它精密件，也多采用保护气氛下的热处理和多次严格的热处理来达到质量要求。

3. 必须采用专门工艺 微电机的性能、结构要求，决定了特殊材料用得更多，而制造工艺又与材料的品种及材料的特性密切相关。微电机中使用的特殊材料有高导磁材料、耐高温绝缘材料，各类永磁材料，半硬磁的磁滞材料；精密微型轴承，低噪音的含油轴承，接触件所用的稀贵金属材料；电刷及换向片所用的复合金属材料；表面镀钨、钼、镀金的要求等，带来了制造中的复杂性和特殊工艺要求。

4. 工艺内容广泛、复杂，要求较高 微电机本身就是机、电、磁的组件，再加上品种规格多，结构复杂，使用材料品种也多。这样在微电机制造中涉及的工艺内容、工艺专业广泛、复杂，同时加工要求较高。在涉及的工艺专业中，有压铸、黑色铸造、粉末冶金、冲压、一般机械切削加工、塑压、电加工、热处理、电镀、表面涂覆、焊接、粘结等通用工艺；还有精密铸造、精冲、精密小模数齿轮加工、精密机械切削加工、精密切割等工艺。在微电机专门工艺方面，有绕组制造、冲片铁心制造、永磁铁心制造、换向器(集电器)制造、绝缘浸渍及环氧浇注工艺技术、鼠笼转子及空心杯转子制造、电机总装、调试技术以及专门的微电机测试技术。除此之外，还发展到集成、光刻、腐蚀和电子线路技术等工艺领域。

5. 模具制造精密、技术复杂，要求高 微电机制造的一个特点是定转子冲片结构形状复杂、齿细长、冲片的同轴度

及槽分度精度要求特别高，是中小型电机冲片不能比拟的。且有的微电机零部件中，冲压件所占比重大，要求模具多（如各种冲裁模，拉深、打弯、挤压模以及压铸、塑压、粉末冶金等型腔模等），制造难度大。上述模具不仅要求精度高，还要求使用寿命长，如定、转子冲片使用的硬质合金模具，正常情况下总寿命应至少达三千万次以上，一般应达八千万次左右，高者可达一亿次以上。所以微电机的模具制造技术是电子工业模具制造中要求最高的技术，这也是微电机制造专业中一个重要的基础工艺。

6. 工艺装备系数高 由于微电机结构复杂，精度要求又高，在整个制造中所用工装多，构成工艺装备系数高的特点。在大批量生产中，微电机专业工艺使用的专用设备也多。

7. 工序间的运输和传递所用工位器具多 要保证各种形状的零部件加工的尺寸精度和形位公差稳定不变，特别应防止薄壁件、弹性件的变形；要防止永磁件的碎裂和应力敏感的磁性件的磁性变坏；并应注意绕组件、带引线的定子件等的保护；要防止绝缘、涂覆层的损伤，以及其它精密件的保护，所以工序间的运输和传递应使用合理的、科学的传递盒（箱）及防震的运输工具。应针对不同类型的电机及各类零部件的特点，对工位器具进行细心设计、及时制造、保证供应并正确使用。

8. 有较高的整洁生产要求 为保证零部件制造质量及产品装配质量，特别在线圈绕制、铁芯嵌线，精密加工，装配试验场地，应有恒温恒湿的空调要求和高度清洁的环境要求。

二、微电机制造的基本工艺内容

微电机制造与一般机械制造，一般电机的专业制造相

比，有其特殊的专业的基本工艺，它包括：

1. **微电机零部件的机械加工工艺** 包括电机主要件，端盖、机壳、定子，转子杯，轴、转子、电枢上的换向器等件的加工。特点是薄壁零件的加工多，不锈钢件的加工多，有色金属的加工多；高精度、高光洁度件加工多。

2. **铁芯制造工艺** 包括冲片制造，冲片的热处理、表面绝缘处理、铁芯叠压等工艺。

3. **绕组制造工艺** 包括定、转子铁芯的槽绝缘绕线、嵌线等。

4. **绝缘与表面涂覆工艺** 包括线卷及绕组的绝缘浸渍，环氧浇注等工艺；铁芯外圆，定子、端盖的表面涂覆及其它件的化学处理，表面涂覆等专业工艺。

5. **非线绕转子的制造工艺** 包括鼠笼转子铸造；铜条转子嵌、焊工艺；永磁及磁滞材料转子制造工艺；空心杯转子制造工艺等。

6. **换向器、集电器及刷盒(架)制造工艺**

7. **精密模具制造工艺** 特别是定、转子冲片、电刷片、换向片等件所用高精度、长寿命模具的制造工艺。

8. **装配、调试工艺** 包括分装、总装、装配质量检查、调试等以及永磁铁芯的充磁工艺，旋转件的较平衡工艺等。

第三节 微电机的生产特点

微电机的多品种性以及结构、工艺特点，再加上生产规模的不同等因素，决定看它的生产特点。

按生产规模的大小，一般分为五种生产类型(见