

979937

普通高等教育机电类规划教材

电机制造工艺学

湖南大学 方日杰 主编

机械工业出版社

05
4

普通高等教育机电类规划教材

电机制造工艺学

湖南大学 方日杰 主编



机械工业出版社

(京) 新登字054号

本书论述电机制造工艺的特点、电机制造工艺的制订原则、工艺方案的经济评价法、中小型通用电机主要零部件的加工与装配、产品装配、大型电机和微特电机制造的工艺特点,以及电刷装置主要零件制造、永磁体制造和金属零件表面涂覆等工艺,较全面地阐明电机的制造工艺。

本书取材新颖、精炼,深浅适度。由于电机结构、电工材料与电机制造工艺的关系极为密切,书中适当地介绍电机结构和常用的电工材料。本书系高等工业院校电机及其控制专业的规划教材,也可作为专科学校电机制造工艺学的教材,并可供有关工程技术和管理人员参考。

电机制造工艺学

湖南大学 方日杰 主编

*

责任编辑:赖尚元 版式设计:霍永明

封面设计:姚毅 责任校对:肖新民

责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜城门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 13.25·字数 321 千字

1995年5月北京第1版·1995年5月北京第1次印刷

印数 0'001—4 400 定价:8.10元

*

ISBN 7-111-04363-4/TM·541 (课)

前 言

本书是根据1990年10月在湖南大庸召开的全国高等工业学校电机专业教学指导委员会第四次全体（扩大）会议所制订的《电机制造工艺学》教学大纲进行编写的。电机制造工艺学是电机及其控制专业的专业必修课之一。因篇幅所限，我们在编写本书时尽力贯彻理论联系实际和“少而精”两个教学原则。

本书研究的对象以中批量生产的、常用的中小型电机制造工艺为主，兼顾大型电机和微特电机的制造工艺和大批量生产的小型电机制造工艺。在内容上，既阐明工艺原理，又介绍工艺方法。在工艺方法上，既介绍电机制造中的传统工艺，又介绍近代的新工艺。考虑到永磁电机的应用不断扩大，以及电机金属零件防护的重要性，书中还对这两方面的制造工艺进行了基本论述。由于电机制造工艺与原材料的关系极为密切，因此，书中也介绍常用的电工材料。

本书的任务是使学生掌握电机（中小型通用电机为主，大型和微特电机为辅）的结构、常用电工材料、制造工艺原理和工艺方法的基本知识，培养学生分析电机主要零部件的结构工艺性、选择工艺方案、正确编制工艺规程以及分析电机主要零部件质量问题的初步能力，并树立电机设计的工艺观点，为将来从事电机工艺、设计和科学研究工作打好扎实基础。

本书为高等工业学校电机及其控制专业电机制造工艺学的规划教材，也可作为专科学校电机专业电机制造工艺学的教材或参考书，并可供有关工程技术和管理人员参考。为使学生更生动和更好地学习电机制造工艺学，另备有一套电机制造工艺系列电视教学片作为辅助学习教材。

本书由湖南大学方日杰主编，邓菊初参加编写，由哈尔滨工业大学张子忠主审。邓菊初编写第四章绕组制造工艺和第六章电机装配工艺，方日杰编写其余部分，并对全书进行统稿。

多年来，得到机械工业部教育司和全国高等工业学校电机专业教学指导委员会的关怀与支持，使我们能够顺利完成对有关研究院所和工厂的调研任务。在编写本书时，得到机械工业部第八设计院、上海电器科学研究所，以及湘潭电机厂、上海电机厂、哈尔滨电机厂、大连电机厂、北京电机总厂、天津市电机总厂和长沙电机厂等众多企业的大量帮助。电机界前辈周汝潢先生（清华大学）和高庆荣先生（机械工业部科技信息研究院）也关心和指导本书的编写工作。本书承蒙张子忠教授仔细审阅，并提供不少宝贵意见。在此谨向上述各单位和人员表示衷心感谢。

由于编者学识有限，书中缺点和错误在所难免，欢迎教师、专家和读者批评指正。

编 者

1993年12月

目 录

前言

绪论	1
第一节 电机结构与制造工艺的特点	1
第二节 电机的生产类型	2
第三节 电机工艺规程的制订原则	2
第四节 电机的工艺流程	3
第五节 工艺方案的经济评价法	5
第六节 本课程的性质、任务和学习方法	7
复习题	7
第一章 电机零部件的机械加工	8
第一节 电机零部件机械加工的一般问题	8
第二节 保证异步电机定子同轴度的几个工艺方案	11
第三节 机座的加工工艺	12
第四节 机座的结构工艺性	22
第五节 端盖的加工工艺	23
第六节 端盖的结构工艺性	28
第七节 轴的加工工艺	29
第八节 轴的结构工艺性	36
第九节 转子的精加工	37
第十节 机械加工与电机质量的关系	39
复习题	40
第二章 铁心的制造工艺	41
第一节 铁心冲片材料的种类及应用	41
第二节 冷冲压工艺的一般问题	44
第三节 铁心冲片的类型与技术要求	49
第四节 铁心冲片的冲剪工艺	50
第五节 冲片的冲制自动化及其发展趋势	55
第六节 冲片的绝缘处理	57
第七节 冲片的结构工艺性	59
第八节 铁心的结构类型及压装技术要求	60
第九节 铁心的压装工艺	61
第十节 铁心的质量检查与分析	64
复习题	66

第三章 笼型转子的制造工艺	67
第一节 笼型转子的结构类型、导电材料及技术要求	67
第二节 铝的熔化与清化处理	68
第三节 离心铸铝	70
第四节 压力铸铝	73
第五节 低压铸铝	74
第六节 铸铝工艺对电机性能的影响	77
第七节 焊接笼型转子的制造工艺	79
第八节 焊接笼型转子的质量分析	81
复习题	82
第四章 绕组的制造工艺	83
第一节 电机绕组的类型	83
第二节 电机绕组常用的电磁线	85
第三节 电机绕组常用的绝缘材料	87
第四节 交流低压电机绕组的绝缘结构	94
第五节 交流高压电机绕组的绝缘结构	97
第六节 直流电机绕组的绝缘结构	102
第七节 线圈的制造	108
第八节 绕组的嵌装	118
第九节 电机绕组的焊接	123
第十节 绕组的绝缘处理	126
第十一节 绕组的质量检查与试验	133
复习题	136
第五章 换向器与集电环的制造工艺	137
第一节 换向器的结构类型、材料与技术要求	137
第二节 拱形换向器的制造工艺	140
第三节 塑料换向器的制造工艺	145
第四节 换向器的质量检查与分析	146
第五节 换向器的结构工艺性	148
第六节 集电环的结构类型、材料与技术要求	149
第七节 集电环的制造工艺	150
第八节 集电环的质量检查与分析	151
复习题	152
第六章 电机的装配工艺	153
第一节 电机装配的技术要求与装配工	

艺规程的制订	153	特点	186
第二节 电机装配尺寸链的分析与应用	155	第六节 驱动微电机的工艺特点	187
第三节 电机转动部件的平衡	157	第七节 控制微电机的工艺特点	189
第四节 中、小型电机的装配工艺	163	复习题	190
第五节 电机外表的修饰	171	第八章 电机制造工艺中的若干	
第六节 装配工艺对电机质量的影响	172	专题	191
第七节 小型电机的装配自动化	173	第一节 电刷装置主要零件的制造	
复习题	174	工艺	191
第七章 大型电机与微特电机的		第二节 永磁体与磁滞材料铁心的	
工艺特点	175	制造工艺	194
第一节 汽轮发电机的工艺特点	175	第三节 金属零件的表面涂覆工艺	199
第二节 水轮发电机的工艺特点	178	第四节 电机制造工艺的发展趋势	204
第三节 中频发电机的工艺特点	183	复习题	205
第四节 潜水异步电动机的工艺特点	184	参考文献	206
第五节 井用潜油异步电动机的工艺			

绪 论

电机制造工业为电力工业提供发电设备,又为其他各种工业、交通运输业和农业提供动力机械。因此,电机制造工业的发展程度已成为衡量一个国家工业技术水平的重要标志之一。

电机制造过程可以概括分为两个阶段:第一阶段是各种零件的加工,第二阶段是将若干零件装配成部件,并且进一步将若干零件和部件装配成电机。

实践证明,即使采用相同的产品图样,各厂所制造的产品质量也是有差异的。这是由于各厂所用的工艺方法不同造成的。建国以来,我国电机制造工业的规模和技术水平都取得巨大的成就,但与工业发达国家相比,我国某些电机质量不高的原因,主要在于工艺方面。其中尤以机床和工艺装备的差距较大。我国自实行改革开放政策以来,从国外引进、吸收了许多先进机床和先进技术,使电机产品质量有很大提高,从而提高了国产电机在国际市场上的竞争能力。

工艺是工厂活动的基础,是提高劳动生产率、节省能源和原材料、确保安全生产、发展生产、提高经济效益的重要手段。工艺工作不仅是工艺部门的专职工作,而且是涉及工厂各部门都须密切配合的工作。只有将工艺工作做好,工厂才能走上健康发展的道路。因此,工厂要建立和健全工艺管理机构,充实工艺队伍,使工艺工作得到加强。这就充分说明电机制造工艺在电机制造工业中的重要性。

第一节 电机结构与制造工艺的特点

电机结构与制造工艺之间有极其密切的关系。电机结构是制造工艺进行的依据,而制造工艺则是电机结构实现的条件。电机结构对加工工时和生产成本影响很大。在设计电机结构时,除要满足运行性能要求外,还应考虑生产的经济效果。在确定结构方案时,应力求缩短生产周期,加速资金周转,同时应尽量采用标准件、通用件、标准工艺装备和现有的工艺装备等,以期获得最大的经济效果。

随着国民经济与科学技术的发展,对电机的品种和规格要求日益增多,对电机的质量要求越来越高。与一般机械相比,电机结构具有以下许多特点:品种和规格繁多;所用的材料品种多;电机的容量、电压、转速、几何尺寸等变化范围广;冷却方式、防护形式、安装方式多种多样;定子与转子之间的同轴度要求高;零部件之间除有机械联系外,还有电、磁、热的相互联系和相互作用。

电机是一种电力机械,其制造属于机械制造范畴。因电机结构上的许多特点,所以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、处理和压装,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、笼型转子铸铝模、冲片冲模和塑料件压模等。有的由电工机械厂制造,多数则由电机生产厂自己制造。

③ 加工精度要求高。为使电机运行可靠和安装方便,零部件的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,对转轴的轴承挡和推力轴承的镜板等表面粗糙度数值要求达到较低或很低。

④ 手工劳动量较大。除大批量生产的驱动微电机外,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。

⑤ 贵重材料用量大。制造铁心需要大量的硅钢片;制造绕组和换向器等需要大量的铜、铝和绝缘材料。因此,在电机制造中应尽量避免这些贵重材料的浪费。

第二节 电机的生产类型

电机的生产类型对制造工艺影响很大。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的。

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,大多数生产地点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,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。

第三节 电机工艺规程的制订原则

电机的制造过程一般包括生产准备(如原材料的运输和保管等)、毛坯制造、机械加工、铁心制造、绕组制造、装配、检试、油漆和包装等几个过程。这种将原材料变为产品的全过

程，称为生产过程。

在生产过程中，凡是改变生产对象的形状、尺寸、相互位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程，称为工艺过程。其余过程则称为辅助过程，例如运输、保管、设备维修、动力供应等。

将零件制造工艺过程的有关内容，或将部件制造、装配工艺过程的有关内容写成的文件，称为工艺规程。工艺规程的格式较多，大体上可分为两类：一类是各种工艺卡片，如铸造工艺卡片、焊接工艺卡片、机床调整卡片、机械加工工艺过程卡片、机械加工工艺卡片、机械加工工序卡片等；另一类是各种工艺守则，如硅钢片涂漆工艺守则、转子铸铝工艺守则、绕组浸漆干燥工艺守则、环氧树脂粉末涂敷工艺守则等。

在电机制造中，工艺规程的作用有以下几方面：第一，工艺规程是指导生产的主要技术文件。因为工艺规程是在总结工程技术人员和工人的实践经验基础上，依据科学理论和必要的工艺试验制订的，因此只有按照工艺规程进行生产，才能达到优质、高产和低消耗的目的。第二，工艺规程是生产管理和组织工作的依据。在产品投入生产之前，就可根据工艺规程进行一系列准备工作，例如原材料和毛坯的供应；机床的准备和调整；工艺装备的设计和制造；作业计划的编排；劳动组织；生产技术力量的配备和成本核算等。在产品生产期间，根据工艺规程进行调度、检查测试和进行安全检查等，使生产均衡且顺利地进行。第三，工艺规程是新建和扩建工厂或车间的基本技术文件。在新建和扩建工厂或车间时，只有根据年产量和工艺规程才能正确地确定下列问题：生产所需要的机床种类和数量；车间和工厂的面积；机床布置；生产工人的工种、技术等级和数量，以及各辅助部门的设置等。

对工艺规程的基本要求是，在一定的生产条件下，以最少的劳动消耗和最低的费用，按照规定的进度可靠地制造出合格的零件、部件和产品。为此，制订工艺规程时，应遵循以下几个原则：第一，技术上先进。工艺规程应能全面满足产品图样的技术要求，保证产品质量稳定可靠。在选择加工方案和加工方法时，要采用正确的工序安排和适当的工艺装备，以达到规定的技术要求。一般不宜过份依赖工作者的技术水平，从而使工艺规程具有技术先进性。第二，经济上合理。要用最经济的手段达到图样所规定的技术要求。要从本厂现有的生产条件（设备、工艺装备、人员、毛坯等）出发，制订符合生产实际的工艺规程。不可盲目追求贵重的专用机床和专用工艺装备，以免造成浪费。第三，劳动条件安全和良好。制订工艺规程时，应特别注意技术安全和改善劳动条件，不能采用损害工作人员健康或加大劳动强度的工艺方法，去猎取经济效果和达到技术要求。第四，提高工厂的技术水平。工艺人员除应熟悉已有的工艺方法外，还应注意新结构、新材料、新技术、新工艺的研究和推广，努力提高工厂的技术水平，以便进一步提高产品质量、提高劳动生产率和降低生产成本。

在单件和小批量生产中，制订的工艺规程较少且概略。在机械加工方面仅制订工艺过程卡片即可。在中批量生产中，要求制订较完善的工艺规程。在机械加工方面要求制订工艺过程卡片和工艺卡片。在大批量和大量生产中，要求制订完善的工艺规程。在机械加工方面除上述两种卡片外，还要制订工序卡片。

第四节 电机的工艺流程

一台电机的零部件较多，电机的全部工艺过程很难用文字描述清楚。为能简明扼要地掌

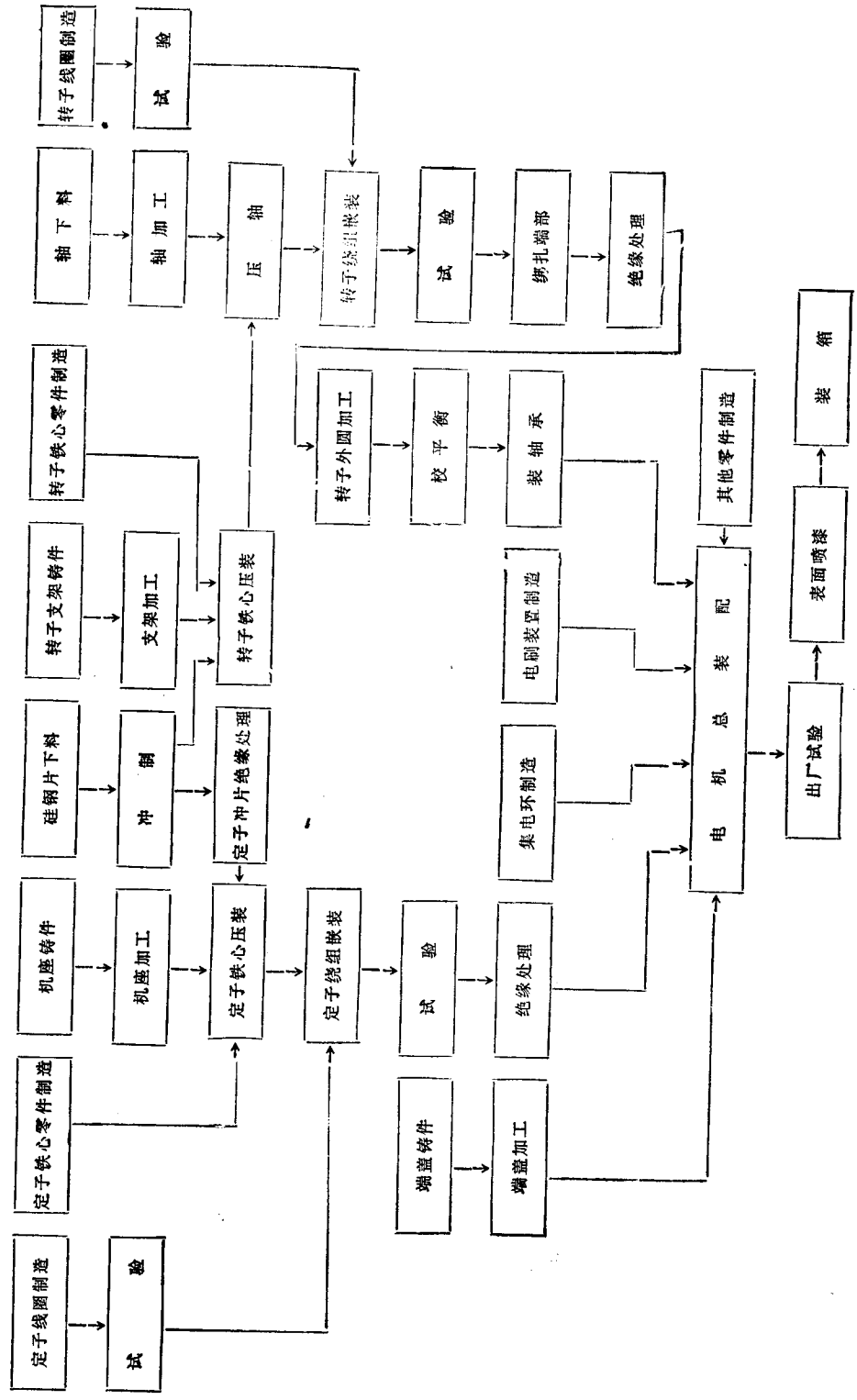


图0-1 三相绕线转子异步电动机的工艺流程图

握电机的全部工艺过程，常将电机的基本结构件机座、端盖、轴、转子支架、定子铁心、定子绕组、转子铁心、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，在电机总装配前，有定子和转子两条主要工艺流程。在总装配后，便是出厂检查试验、油漆和装箱。图 0-1 示出三相绕线转子异步电动机的一种工艺流程图，其集电环和电刷装置均为外购件。

工艺流程图是工厂内查找产品工艺过程的依据，并可供管理、研究、设计、分析和改进工艺流程使用。

第五节 工艺方案的经济评价法

在制订零件加工的工艺规程时，一般可拟定出几个不同的方案，都能满足零件加工的质量要求，但是它们的经济性可能不相同，因此要进行工艺方案的经济分析与评价，从中选择一个符合生产规模的最佳方案。

工艺方案的经济分析就是分析与计算各种方案的工艺费用。在一定的生产规模下，工艺费用最少的工艺方案就是最佳方案。

为便于进行经济分析，常将零件加工的工艺费用分为两类，即可变费用与不变费用。可变费用是与年产量成正比的费用，用 V 表示。它包括材料费、工人的工资、通用机床与通用夹具的折旧费和维修费、以及刀具费等。不变费用是与年产量无直接关系的费用，用 C 表示。它包括专用机床调整工人的工资、专用机床的折旧费和维修费、专用夹具的设计制造费和维修费等。下面先介绍单件工艺费用与零件年产量工艺费用的计算方法，然后讨论工艺方案的经济评价法。

单件工艺费用为

$$S_d = V + \frac{C}{N} \quad (0-1)$$

式中 S_d ——一个零件或某一工序的工艺费用（元/件）；

V ——可变费用（元/件）；

C ——不变费用（元/年）；

N ——年产量（件/年）。

全年工艺费用为

$$S_y = VN + C \quad (0-2)$$

式中 S_y ——一种零件或某一工序的全年工艺费用（元/年）。

上述两式的图解分别为双曲线和直线，如图 0-2 所示。

由图 0-2 a 可见，单件工艺费用 S_d 随年产量 N 的增加而降低。可以认为 A 为单件小批量生产区，其单件工艺费用较高，但随年产量的增加，单件工艺费用显著减少。 B 为中批量生产区，其工艺费用次之。 C 为大批量生产区，其工艺费用更低，但随年产量的增加，其工艺费用无明显变化。

由图 0-2 b 可见，全年工艺费用 S_y 随年产量 N 的增加成正比上升。

因为 $S_d = f_1(N)$ 是双曲线函数，而 $S_y = f_2(N)$ 是简单的直线函数，因此，在实践中用

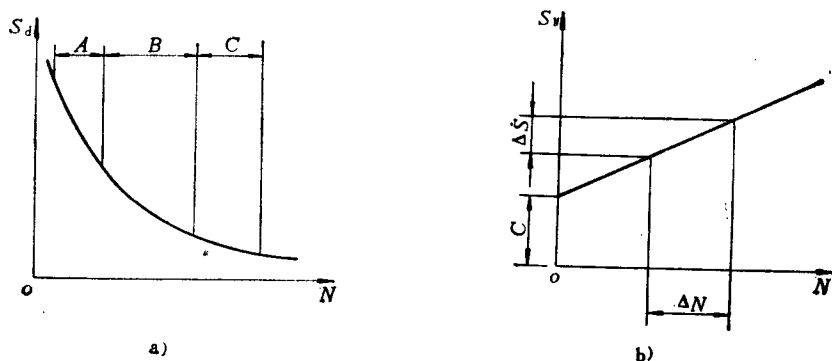


图0-2 随年产量变化的工艺费用

a) 单件工艺费用 b) 全年工艺费用

$S_y = f_2(N)$ 进行工艺方案的经济评价, 既直观又方便。

对两种工艺方案进行经济评价时, 一般分为两种情况:

一、两种工艺方案的基本投资相近, 或在现有设备条件下, 工艺费用即可作为衡量两种工艺方案经济性的依据

假设两种工艺方案全年工艺费用分别为

$$S_{y1} = V_1 N + C_1$$

$$S_{y2} = V_2 N + C_2$$

两种工艺方案全年工艺费用与年产量的关系, 如图0-3中的直线所示。由两直线的交点 c 便可确定两种工艺方案在全年工艺费用相等条件下的年产量 N_0 。若设上述两种工艺方案的全年工艺费用相等, 即 $S_{y1} = S_{y2}$, 则可由解析法求出年产量 N_0 , 其值为

$$N_0 = \frac{C_1 - C_2}{V_2 - V_1}$$

由图0-3可看出: ①各工艺方案的优劣与零件的年产量有密切关系。②当年产量为 N_0 时, 两种工艺方案的工艺费用相等。③当年产量小于 N_0 时, 第一种工艺方案比较经济。④当年产量大于 N_0 时, 第二种工艺方案比较经济。

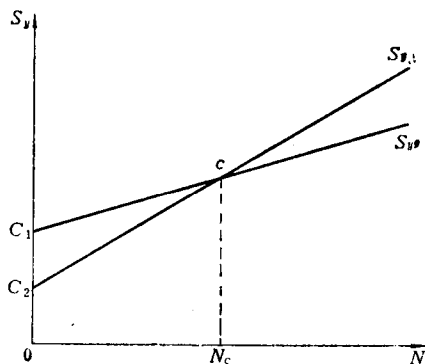


图0-3 两种工艺方案全年工艺费用的比较

二、两种工艺方案的基本投资额相差较大时

假设第一种工艺方案采用生产效率较高、价格较贵的机床和工艺装备, 其基本投资额 K_1 大, 而工艺费用 S_{y1} 则较低; 第二种工艺方案采用生产效率较低、价格较便宜的机床和工艺装备, 其基本投资额 K_2 小, 而工艺费用 S_{y2} 则较高。就是说, 这时工艺费用的降低是由于增加基本投资而获得的。在这种情况下, 单纯比较工艺费用显然是不合理的, 必须同时考虑两种方案基本投资差额的回收期限。回收期限是指第一种方案多花费的投资由工艺费用降低收回所需的时间。回收期限可用下式计算

$$\tau = \frac{K_1 - K_2}{S_{y2} - S_{y1}} = \frac{\Delta K}{\Delta S_y} \quad (0-3)$$

式中 τ ——回收期限(年);

ΔK ——基本投资差额(元);

ΔS_y ——全年工艺费用差额(元/年)。

回收期限愈短,则经济性愈好。当回收期限小于所用机床或工艺装备的使用年限且小于国家规定的标准回收期限时,第一种工艺方案才是比较经济的。新夹具的标准回收期限为2~3年,新机床的标准回收期限为4~6年。

对三种以上工艺方案进行经济评价时,可用与上述类似的图解法进行。

第六节 本课程的性质、任务和学习方法

电机制造工艺学是研究电机零部件制造和装配工艺过程的科学。本课程的内容以中批量生产的、常用的中小型电机制造工艺为主,兼顾大型电机和微特电机的制造工艺特点。

电机制造工艺学是电机及其控制专业的必修课之一。本课程的任务是使学生熟悉电机结构;熟悉常用电工材料的性能和用途;掌握电机主要零部件制造的基本工艺原理和制造方法;掌握电机装配的工艺理论和方法;学会编制电机主要零部件的工艺过程和电机工艺流程图;学会分析电机主要零部件的制造质量问题,以及树立电机设计和生产管理中所需的正确工艺观点。

电机制造工艺学中既有工艺理论,又有工艺实践。因此,本课程的学习方法除需要一般课程所共有的发奋学习和精勤思考外,还应做到以下几点:第一,理论联系实际。学习时要联系金工实习和生产实习中所见到的工艺过程,并适当地再去某些工厂参观电机结构和制造工艺,才能有的放矢,调动积极性,避免枯燥无味,达到学以致用。第二,要结合电机制造工艺系列电视教学片进行学习。由于电机品种多,经常换批生产,有些工艺在下厂实习或参观时未必能见到,还有些工艺在下厂时未必能看清楚。这些工艺基本上都可通过电视教学片进行学习,并使学习更生动、更有成效。第三,电机工艺涉及面广,在对电机工艺全面了解的基础上,应有重点地学习一些典型工艺过程,做到触类旁通,举一反三。第四,要有耐心,电机制造中所采用的设备和工艺装备大多结构复杂,结构件较多,需要耐心、全面、反复地阅读和思考后才能领会其动作原理和工作要领,不能以一次过目了之。第五,由于某些工艺专著对某些工艺理论阐述透彻,工艺方法叙述详细,以及工艺上经常不断地进行技术革新,因此,要多读一些工艺参考书和期刊,以丰富电机制造的工艺知识。

复 习 题

1. 电机结构具有哪些特点?电机制造工艺具有哪些特点?
2. 电机的生产类型有哪几种?它们对电机制造工艺有何影响?
3. 工艺规程有哪些作用?其制订原则有哪些?
4. 试画出小型三相笼型异步电动机的工艺流程图。
5. 试画出小型直流电机的工艺流程图。
6. 何谓最佳工艺方案?如何进行工艺方案的经济评价?

第一章 电机零部件的机械加工

电机零部件的制造质量对电机质量的影响很大。机械加工的任务就是使零部件具有规定的加工精度和表面粗糙度。在中小型异步电机制造厂的全部机床设备中, 机械加工设备占40%~50%, 在制造电机所需要的总劳动量中, 机械加工占30%~50%。因此, 机械加工是电机制造工艺中一个重要的组成部分。电机中需要进行机械加工的零部件有机座、端盖、轴、转子、定子、换向器和集电环等。

如何选择定位基准、夹紧方法和加工方案以达到技术要求, 是机械加工中的基本问题。这些问题将以中小型异步电机的机座、端盖和轴三个典型零部件的加工进行较详细的讨论, 对其他机械加工问题只作简要介绍。

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

在成批生产和大量生产的零部件中, 不经过选择和修配, 任意取出一个同样规格的零件或部件, 就能顺利地装配到产品上去, 并能保证产品的质量。这种同样规格的零件或部件可以相互替换使用的性质, 称为零件或部件的互换性。

具有互换性的零部件便可由专门车间或工厂进行专业化生产, 采用先进的制造方法, 从而大大地提高劳动生产率和降低产品成本, 同时, 能缩短装配工时, 提高装配质量。在修理方面, 当某一零件或部件损坏时, 可迅速地用新的零件或部件去替换。生产规模越大, 零部件的互换性便显得越重要。

就使用单位来说, 电机本身常被作为一个元器件或部件使用, 首先要求同规格的电机能够互换, 其次要求可拆卸的零部件具有互换性。为此, 除保证电机的电气性能外, 还应严格控制电机的安装尺寸, 才能保证电机的互换性。

不同的安装结构形式有不同的安装尺寸。图1-1示出一种最常用的、机座带底脚、端盖

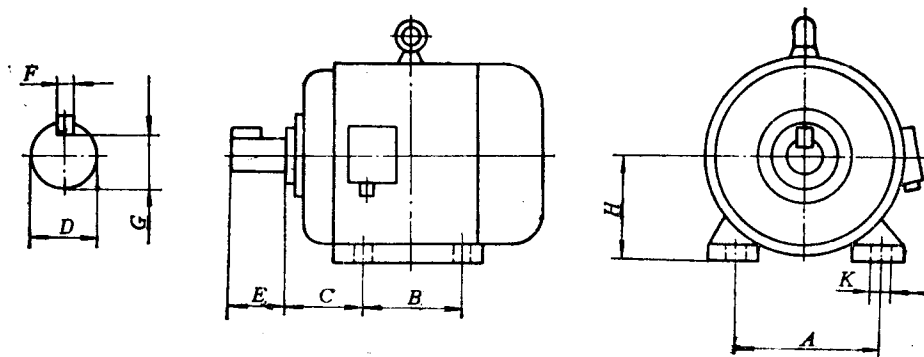


图1-1 最常用的卧式小型笼型异步电动机的安装结构形式

上无凸缘的卧式小型笼型异步电动机的安装结构形式，其安装尺寸项目有：底脚孔的横向中心距离 A 及其对中心线的距离 $A/2$ ，底脚孔的轴向中心距离 B ，轴伸肩至第一个底脚孔的距离 C ，轴伸的直径 D 和长度 E ，轴伸的键槽宽度 F 、轴伸由键槽底至对面外圆表面的距离 G ，电机轴线至底脚支承面的高度（即中心高） H ，底脚孔直径 K 。

二、公差、配合与表面粗糙度

零部件机械加工的质量是以尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度衡量的。公差的数值依据基本尺寸和精度等级而定。电机零部件的尺寸精度一般为IT6~IT11。

零部件之间配合的性质随使用要求不同而异。在电机中间隙配合、过渡配合和过盈配合都有采用。例如，小型异步电动机中，轴承盖与轴的配合为间隙配合；端盖与机座止口的配合为过渡配合；转子铁心与轴的配合为过盈配合。

基准制有基孔制和基轴制两种，基准孔的代号为 H ，基准轴的代号为 h 。基准孔的下偏差为零，上偏差为正值。基准轴的上偏差为零，下偏差为负值。与机械制造一样，在电机制造中也优先采用基孔制。这是因为孔的加工与量度都比轴困难些，保持孔的极限尺寸稳定，能给生产带来方便。例如在小型异步电动机中，机座止口与端盖止口的配合为 $H8/js7$ 。但是，有时使用基轴制却较方便，例如端盖轴承室内径与滚动轴承外径的配合，因滚动轴承是标准件，因此改为基轴制。此外，如有特殊需要，也可将任一孔与轴的公差带组成配合，例如端盖轴承室内径与轴承盖止口外径的配合为 $J7/f9$ ，即轴承室内径用基轴制，而轴承盖止口外径用基孔制。

电机制造中常用的形状精度有平面度、圆度和圆柱度等几种。常用的位置精度有平行度、垂直度、同轴度、公称度、位置度和圆跳动等几种。

生产表明，任何一种加工方法都不能将零件做得绝对准确，另一方面，从电机的使用性能来看，也无需将零件做得绝对准确。零件在加工后的实际几何参数与理想零件的差别，称为加工误差。只要加工误差的大小不影响电机的使用性能，便容许它存在。加工误差的大小表明加工精度的高低。加工误差越小，零件的加工精度便越高。

表面粗糙度对零件的性能影响也很大。首先，较低的表面粗糙度可提高零件间配合的稳定性。其次，较低的表面粗糙度还能提高零件的疲劳强度、耐磨性和耐腐蚀性。因此，某些零部件的尺寸精度虽然不高，却要求相当低的表面粗糙度，例如换向器和集电环的工作表面等。

零件的加工精度要求越高，表面粗糙度要求越低，都会使生产成本显著增加。一般应在满足性能要求的前提下，尽量选用较低的加工精度和较高的表面粗糙度值。工艺师应善于选择适当的加工方法，以求经济地达到所规定的加工精度和表面粗糙度。

三、工艺尺寸链

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1-2 a 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，便是尺寸链简图，如图1-2 b 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 1-2 中的尺寸 A_0 , 称为封闭环。其他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, 常以在该尺寸代表符号上加一向右的箭头表示, 如 $\overrightarrow{A_1}$ 。图 1-2 中 A_1 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, 常以在该尺寸代表符号上加一向左的箭头表示, 如 $\overleftarrow{A_2}$ 。图 1-2 中 A_2 为减环。

由图 1-2 可知, 封闭环的基本尺寸为

$$A_0 = \overrightarrow{A_1} - \overleftarrow{A_2}$$

如果增环 $\overrightarrow{A_i}$ 有 m 个, 减环 $\overleftarrow{A_i}$ 有 n 个, 则有

$$A_0 = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=1}^n \overleftarrow{A_i} \quad (1-1)$$

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, 即

$$A_{0\max} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i\max}} - \sum_{i=1}^n \overleftarrow{A_{i\min}} \quad (1-2)$$

同理, 封闭环的最小极限尺寸为

$$A_{0\min} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i\min}} - \sum_{i=1}^n \overleftarrow{A_{i\max}} \quad (1-3)$$

故封闭环的公差为

$$\Delta A_0 = A_{0\max} - A_{0\min} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{\Delta A_i} + \sum_{i=1}^n \overleftarrow{\Delta A_i} = \sum_{i=1}^{m+n} \Delta A_i \quad (1-4)$$

式中 ΔA_i ——组成环 A_i 的公差。

上式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。

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。例如, 上述半联轴器若图样要求尺寸为 $A_1 = 112^{+0.87}_{-0.87} \text{ mm}$, $A_0 = 22 \pm 0.87 \text{ mm}$ 。加工时以 B 面为基准, 按尺寸 A_2 加工以达到尺寸 A_0 的要求, 则 A_2 的计算步骤如下:

基本尺寸

$$A_0 = A_1 - A_2$$

$$22 = 112 - A_2$$

故

$$A_2 = 90 \text{ mm}$$

极限尺寸

$$A_{0\max} = A_{1\max} - A_{2\min}$$

$$22.87 = 112.87 - A_{2\min}$$

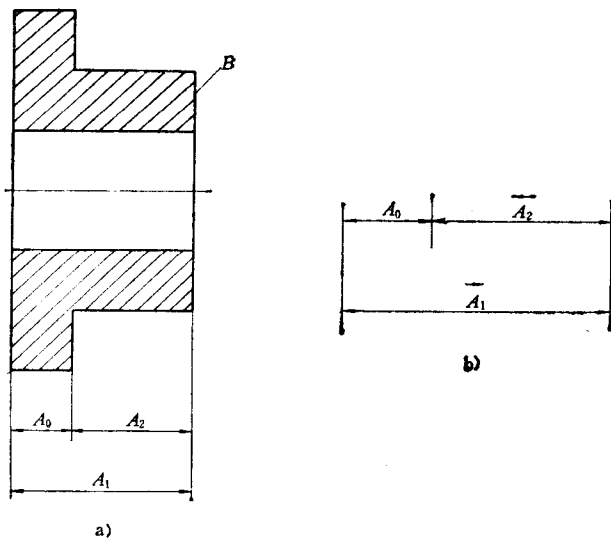


图 1-2 半联轴器的长度尺寸及尺寸链简图

a) 长度尺寸 b) 尺寸链简图

故

$$A_{2\min} = 90\text{mm}$$

又

$$A_{0\min} = A_{1\min} - A_{2\max}$$

$$21.13 = 112 - A_{2\max}$$

故

$$A_{2\max} = 90.87\text{mm}$$

尺寸 A_2 的上偏差ES和下偏差EI分别为

$$ES = A_{2\max} - A_2 = 90.87 - 90 = 0.87\text{mm}$$

$$EI = A_{2\min} - A_2 = 90 - 90 = 0$$

故

$$A_2 = 90^{+0.87}_0\text{mm}$$

四、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。但是，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，电气绝缘性能容易变坏等，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，必须装设除尘装置；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，切削应力不应过大，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 保证异步电机定子同轴度的几个工艺方案

异步电机气隙的均匀度在很大程度上取决于定子的同轴度，即定子铁心内圆对机座两端止口中心连线的径向跳动量。制造工艺稍有不当，便会导致电机气隙不均匀。

对采用外压装定子铁心（定子铁心放在机座之外压装）的小型电机，保证定子同轴度的工艺方案有下列三种：

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、外圆的同轴度均由压装后精车外圆达到。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。由于铁心压入机座后，不再进行加工，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