

电器结构、工艺 及计算机 辅助工艺规程 设计

主编 孟庆龙 金克遑

电器结构、工艺及 计算机辅助工艺程序设计

主编 孟庆龙 金克遼

主审 陆首群 方文楷



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书内容包括：我国电器制造工艺发展新趋势的介绍，覆盖了高、低压电器，小型继电器、静态电器及高低压开关柜的通用零部件与专业制造工艺的主要内容；重点介绍了计算机数控制造系统在电器中的应用和计算机辅助工艺规程设计（CAPP）的应用前景，并在各章节介绍了相关的新工艺的应用与发展。该书的读者对象为：大中小电器工厂企业广大工程技术人员，高等学校、职工大学电器专业师生，从事运行与维修工作的电器工程技术人员。

图书在版编目（CIP）数据

电器结构、工艺及计算机辅助工艺规程设计/孟庆龙、金克逵主编。—北京：机械工业出版社，1994。11

ISBN 7-111-04244-1

I. 电…

II. 孟…

III. 电器-计算机辅助设计-计算机辅助制造

IV. TM 5

中国版本图书馆CIP数据核字（94）第01895号

出版人：马九荣（北京市百万庄南街1号 邮政编码100037）

责任编辑：贡克勤 版式设计：王 颖 责任校对：肖新民

封面设计：郭景云 责任印制：卢子祥

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

1994年11月第1版·1994年11月第1次印刷

787mm×1092mm¹/32·39.25印张·963千字

0 001—7 000册

定价：34.00元

《电器结构与工艺设计编程》编委会

主编	孟庆龙	金克遼		
主审	陆首群	方文楷		
顾问	周鹤良	王季梅	高庆荣	龙汉河
编委	丁明道	方文楷	王力人	白佑同
	田 衡	周 涛	金克遼	刘茂恺
	夏天伟	唐荣成	陆首群	徐懋生
	钱豫圭	张永文	张春林	杨介琪
	黄守礼	赵秋林	虞志勇	刘继汉
	陈宝山	何瑞华	王仁甫	王克勤
	姜伟谟	孙盛典	邹海峰	孟昭忠
	孟庆龙	季明诗	马志清	张云峰
	梁秀霞			

序

我们越来越认识到：编写一些理论联系实际的工艺学图书并配以相应的录象片，辅以实习或实践是一条能够快速、大量培养优质技术人才的有效途径。而这样做也是我们社会主义现代化建设的迫切需要。

事实说明，当前是一个竞争激烈的时代。人与人之间，企业与企业之间，国家与国家之间的竞争，归根到底是人才的竞争。在公平基础上的竞争可以促使人们进步，可以促使企业兴旺发达，可以促使国家繁荣富强。因此，人才问题是个生死攸关的问题。

现在国际上许多新技术公司和新型产品大量拥入我国，同时世界上也将不断地研制出种类繁多的更为先进的技术和产品。如果我们没有大量的优秀人才，没有多品种和优品质^①的产品，没有高水平的经营管理能力，如果我们总是落在后面，只是技术引进而不能消化提高，则我们所希望的繁荣富强，肯定是难以实现的。此外，我国有大量的人力资源，如果他们有机会在我国扩大开放促进发展的过程中迅速得到技术上的培养，我们就会有很多的生力军。这足以说明迅速培养大量优质的技术人才，是我国抓住机遇、深化改革、扩大开放、促进发展、保持稳定方针中的一项重要事业。由此，我们可以得出一个结论：可以说，没有人才就没有竞争力，没有竞争力就是死路一条。所以我们必须找到一条快速培养高质量技术人才的道路。这是每个人，每个企业，整个国家的迫切需要。

综观世界工业发展的历史，培养技术人才有两种方法。一种是在工业发展的初期所采用的，从实践中摸索，积累经验，并辅之以师傅带徒弟的方法。但这种方法时间太长，速度太慢，而成才的人数也有限。另一种方法是利用图书和相应的录象片并辅之以实习或实践的实际联系理论的方法。这种方法，才是最有效的方法。

可是这第二种培养技术人才的方法也是不容易做到的。你看，世界上有几本写得好的工艺学图书？为什么没有？这可能有以下几种原因：一是因为工艺的保密性强。产品的技术保密，主要在工艺方面。但从现在的情况看来，专利法已推广到世界各地，同时需要保密的工艺内容，也只是极小的一部分。所以事到如今，这也不成其为原因了。二是因为工艺学是一种综合性技术知识。它牵涉到：设计结构、材料知识、测试技术、使用要求、设备条件、工人素质、产品品质^②、产品成本等等，所以写起来很有困难。三是因为有理论与实际脱节的现象。学校老师多精于理论，疏于实践；企业人员又偏于重视生产而忽视理论，往往是知其然而不尽知其所以然。所以能够写好工艺学的人，不是很多。四是工艺技术具有多样性和多变性。一种产品或零件可以有数种工艺方案来实现；同时工艺技术的改进也比较迅速和零碎，因此工艺书籍的编写就需要一方面以共性为主，兼顾特性；另一方面也需根据工艺技术的新进展而及时改版。这又在出版方面产生困难。五是因为国外的出版物中，工艺学的图书几乎是空白。我们也就无从借鉴了。六是因为缺少工艺方面的研究机构，像孟庆龙教授这样潜心研究工艺技术的人也是少数。

在这许多困难条件下河北工学院的孟庆龙教授所主编的电器制造方面的工艺学图书，竟

^① 我国科学名词审定委员会的电工名词审定委员会将产品质量一词改为产品品质。有关名词有：品质quality，（又称质量），品质管理、品质保证、品质控制、全面品质控制（又称全面质量管理）、品质指标等。

在12年之内出版了三次，不断增补了新工艺技术内容，同时他还编制了与此相应的录象片。这确是难能可贵的。这当然是孟教授的多年的工厂实践，多年的教学、科研实践，多年的参加企业的技术开发工作而取得的可观的成绩，同时也是很多个热心于电器制造工艺技术的专家学者共同努力的结果。

这本书的特点是：一是理论联系实际；二是随着形势的发展，补充了很多新的技术内容；三是具有系统性、先进性和实用性。而且图文并茂，内容较全，概念明确，文理通顺。四是与此书相配合，还积极发展了录象片，可说是相得益彰。这些工作是很不容易的，因而也受到了社会的欢迎。我们在编辑《电机工程手册》中的《电工产品制造工艺》篇时，参考了这本书，也得益匪浅。

有了好的工艺学的图书和相应的录象片，不但可以用以教学，也可用于继续教育。从经验来说，脱离了“理论联系实际”这个原则而学习到的知识，容易遗忘，容易误解，难以分辨轻重，也难以应付新的变化，那将是事倍功半的。而理论与实际相联系的学习，则是印象比较深刻的，且易于提高技术人员的素质，从而增长接收新技术的能力和不断改进创新的本领。这将有利于发展新的产品，提高产品的品质，而有利于我国的社会主义现代化建设。因此，希望大家共同努力，在机械、电工、仪表、电子等等方面多多出版这种图书和录象片。同时也希望广大读者热心地对这些图书和录象片提出宝贵意见，使它们不断革新，日臻完善。

高庆荣

1994.8.28

前 言

为了促进我国电器制造技术水平的提高,加速我国电器工业技术的改造,以及吸收消化引进技术,需要提高从事电器工程技术人员的结构与工艺的素质,牢固地把握结构与工艺相互依从和促进的关系,在这样的思想指导下,组织了本书的编写。

编写本书时,我们以系统性、先进性和实用性相结合的原则作为指针。从电器制造工艺学的系统性出发,我们按零部件制造的通用工艺、专业工艺和特殊工艺相结合的原则,拟定了编写提纲;为了能使本书能基本反映我国最近十余年间的电器制造技术水平,重点介绍了计算机数控制造系统在电器中的应用和计算机辅助工艺规程设计(CAPP)的应用前景,并在各章节介绍了相关的新工艺的应用与发展;为了保证内容的实用性,组织二十余名长期从事电器生产实践的工程技术专家参与编审工作,并且极大地丰富了书稿的内容。有许多内容在其他文献都未曾介绍过。作者深信,本书的出版,必将对我国电器行业的制造工艺技术产生广泛而深刻的影响。

本书是为满足大中小电器工厂企业广大工程技术人员对电器结构与工艺的基本知识和经验要求而编写的;同时亦可作为高等学校(含职工大学)电器专业师生的教学参考书;也为从事运行与维修电器的工程技术人员提供了极有价值的参考资料。

本书编写分工如下:孟庆龙、孟凡中、梁秀霞(第一章),黄守礼(第二章),唐荣成(第三章),赵秋林(第四章),杨介琪(第五章),白佐同、张春林(第六章),张永文(第七章),孙盛典、孟跃进(第八章),季明诗、王力人、邹海峰(第九章),孙盛典、周涛(第十章),丁明道(第十一章),钱豫圭(第十二章),田蘅(第十三章),周涛、张云峰(第十四章)。

本书由河北工学院孟庆龙教授和金克遼副教授任正副主编。由北京市电子办主任陆首群高级工程师和许昌继电器研究所总工程师方文楷教授任主审,编审委员和秘书组同志都参与了有关章节的审阅工作,作者对他们在审阅过程中付出的辛勤劳动和提出的宝贵意见表示深切的谢意,并对编审过程中提出过宝贵意见的各位顾问和有关同志表示由衷的感谢。

书中不当和错误之处,在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1993年5月

目 录

序

前言

第一章 电器制造工艺的新发展1

第一节 我国电器制造业的发展1

第二节 生产系统与机电制造系统8

第三节 机电制造系统自动化及其发展10

第四节 CAM与CIMS技术13

第五节 电器制造计算机辅助工艺规程设计 (CAPP)17

第六节 零件信息描述和分类编码31

第七节 零件的计算机辅助分类方法59

第八节 计算机数控制造系统62

第九节 数控机床的程序编制74

第二章 冲压件结构与工艺94

第一节 概述94

第二节 板材剪裁97

第三节 冲裁件结构与工艺98

第四节 冲裁件冲压排样与搭边103

第五节 冲裁模结构105

第六节 弯曲件结构与工艺114

第七节 弯曲件展开的计算123

第八节 弯曲力计算126

第九节 弯曲模典型结构127

第十节 拉伸工艺分析131

第十一节 拉伸件结构与工艺性132

第十二节 拉伸件毛坯尺寸134

第十三节 筒形件拉伸工艺137

第十四节 有凸缘筒形件拉伸工艺139

第十五节 拉伸力的计算140

第十六节 拉伸模典型结构141

第十七节 翻边及模具结构144

第十八节 冲压技术发展动态148

第三章 塑料件结构与工艺149

第一节 概述149

第二节 塑料件的结构与工艺性156

第三节 塑料成型的工艺方法165

第四节 塑料成型模具177

第五节 塑料成型机及选择183

第四章 弹簧制造工艺190

第一节 概述190

第二节 弹簧材料193

第三节 弹簧的结构型式与参数195

第四节 弹簧制造工艺201

第五节 弹簧的检验与质量控制210

第六节 弹簧设备及生产自动化211

第五章 热双金属元件结构与工艺215

第一节 概述215

第二节 热双金属元件的分类、组成及其主要性能215

第三节 热双金属元件的结构221

第四节 热双金属元件的设计225

第五节 热双金属元件的制造与处理工艺238

第六章 触点系统的结构与工艺246

第一节 概述246

第二节 触点与灭弧室的典型结构248

第三节 各类型电器触点结构与工艺的综合分析262

第四节 常用触点材料及其性能268

第五节 真空触点封接工艺283

第六节 触点组件的连接工艺285

第七节 小容量触点组件的自动生产线298

第八节 高压断路器自力型触点制造工艺299

第七章 铁心结构与工艺301

第一节 概述301

第二节 磁性材料301

第三节 铁心结构型式317

第四节 直流铁心制造工艺321

第五节 交流铁心制造工艺322

第六节 叠片式铁心加工线337

第七节 铁心常见故障和处理方法339

第八章 线圈结构与工艺343

第一节 线圈的用途与分类343

第二节	线圈用材料	344	第六节	大电流母线的栓接	459
第三节	线圈的绕制	349	第七节	接触导电膏	460
第四节	线圈的绝缘浸渍处理	354	第八节	母线栓接工艺	463
第五节	线圈的技术要求及检验	358	第九节	母线连接的试验方法	468
第六节	线圈绕制设备	364	第十二章	高压电器绝缘结构与绝缘工艺	470
第九章	继电器的基本结构与特殊工艺	367	第一节	高压电器的特点以及我国高压电器的制造概况	470
第一节	概述	367	第二节	油断路器结构	473
第二节	密封继电器的结构与工艺	371	第三节	真空断路器结构	477
第三节	塑封继电器的结构与工艺	391	第四节	气体断路器结构	479
第四节	有可靠性要求的密封继电器的制造工艺	396	第五节	高压电流互感器结构	487
第五节	小型磁保持继电器的制造工艺	399	第六节	瓷绝缘件结构	489
第六节	舌簧管及其继电器的制造工艺	405	第七节	绝缘件制造工艺	493
第十章	静态电器制造工艺	413	第十三章	机柜结构与工艺	504
第一节	概述	413	第一节	对机柜结构的一般要求	504
第二节	静态电器的抗干扰	414	第二节	机柜典型结构	505
第三节	静态电器的介质强度	428	第三节	机柜制造工艺及设备	509
第四节	筛选工艺	429	第四节	机柜配线工艺	553
第五节	静态电器的制造工艺流程	433	第五节	国内外机柜结构及工艺的对比和发展展望	568
第六节	静态电器的生产流水线	434	第十四章	电器的装配工艺	572
第七节	元器件的安装工艺	435	第一节	装配质量保证体系	572
第八节	印制电路板部件的锡焊工艺	438	第二节	装配尺寸链	586
第九节	印制电路板部件的清洗	442	第三节	装配方式及其工艺性	592
第十节	防静电工艺	444	第四节	装配工艺文件的编制	595
第十一节	导线绕接工艺	446	第五节	装配常用工具器具和专用设备	598
第十二节	静态电器的微机检测	447	第六节	连接工艺	601
第十一章	母线连接的结构与工艺	448	第七节	锡焊工艺	607
第一节	接触理论简介	448	第八节	装配的组织形式和生产流水线	611
第二节	母线焊接接触连接	451	第九节	成品的自动检验	614
第三节	母线胶接接触连接	453	参考文献		615
第四节	搭接区内的电流分布与搭接长度	455			
第五节	母线的可卸连接(栓接)	456			

第一章 电器制造工艺的新发展

第一节 我国电器制造业的发展

高压电器、低压电器、继电器、通信用机电元件以及家用电器等，都属于电器的范畴。这些电器在电能的生产、输送、分配和电力使用的各种过程和环节中，起着开关、控制、保护、调节、信息传递的重要作用。所谓“电器”也随着科学技术的发展，其内涵不断丰富和更新，从构成原理和结构上，已和30年前大不一样。有许多元件或装置实际上由机电元件与微电子技术相结合而构成的成套装置系统所代替。电器元件及其成套装置是电站、电力网、工矿企业、国防、交通运输以及尖端科学技术等部门实现电气化和自动化的重要技术装备。随着工业现代化、农业电气化、国防科技现代化、以及家用电器普及化，已使电力的应用日益普及到国民经济和人民生活等各个领域，促进了我国电力事业的飞速发展。我国电力系统装机容量不断扩大，电压等级不断提高，同时也带动了我国的高低压电器制造技术水平和规模的同步增长。

一、我国电力工业和电器制造业同步增长

回顾一下我国电力工业的发展历史和预测今后的发展前景，对于了解我国电器工业发展的历史和前景是很有好处的，同时也有助于理解国民经济各部门协调发展和同步增长的规律。

1882年，我国在上海的第一座电厂投产，至今已有110余年的历史。解放前，装机容量仅为185万 kW，年发电量43亿 kW·h，分别居世界第25位和21位，人均占有发电量不足10 kW·h。

同样，旧中国的电工器材制造业的基础也十分薄弱，技术十分落后，没有独立发展的电器制造工业。截止1948年所统计的各类电工器材制造工厂（包括无线电厂在内）有国家经营和私人资本经营的共652家，电工器材制造业职工人数总计仅为31712人。1938年~1948年间累计生产了发电机共69077 kW·A。火力发电设备最大容量为1500 kW，变压器最大容量为8000 kW·A，电动机最大容量为224 kW，累计生产开关设备为21105件，这些开关类产品主要有刀开关、起动机、限流器、熔断器、7.5 kV和69 kV的高压开关和隔离开关，以及开关板等产品，但这些电器开关设备的产量都没有在历史资料中留下具体记录。

解放后随着我国国民经济大规模建设的开始，电力工业也得到了飞速的发展，电力网的建设和投产的装机容量速度也快速地发展。50年代平均年投产装机容量77万 kW；60年代117万 kW；70年代365万 kW。“七五”期间，5年共增装机容量4813万 kW，近几年则以接近年装机容量1000万 kW的速度增长，年发电量平均以8.6%的速度递增。

1949年，交流220 kV输电线路仅有765 km，到1990年底已有71116.9 km。1972年建成了交流330 kV输电线路（从刘家峡水电站到陕西汤峪变电所）全长534 km。1981年建成交流550 kV超高压输电线路（从平顶山姚孟电厂到湖北凤凰山变电所）全长595 km，到1990年底，交流500 kV输电线路已达7340 km。1987年，100 kV直流输电线路（舟山跨海直流输电

工程)投入运行。1990年,500kV超高压直流输电线路(由葛洲坝到上海)全长1051km交付运行,输送功率可达120万kW,形成华东、华中两大电网交直流混合型联合电力系统。

新中国成立前,我国最大的电力系统——东北电网装机仅有64.6万kW。到1991年统计,全国装机容量已达1.4246亿kW,1990年发电量已达6213亿kW·h,仅次于美、苏、日居世界第4位。如今,我国已形成华东、华中、东北、华北、西北、西南、华南7个跨省区域电力系统的装机容量均超过1600万kW,我国目前最大的电力系统——华东电网已有装机容量2198万kW。

“八五”期间,到1995年全国装机容量预计可达1.948亿kW,发电量预计可达8700亿kW·h。计划到本世纪末,即2000年,全国装机容量将达到2.4亿kW,发电量将达到12000亿kW·h。

到1990年底,我国投入运行的30万kW及以上的机组已超过50台,已有装机100万kW以上的大电厂17座;全国最大的火电厂——炼壁电厂装机为162.5万kW,最大的水电站——葛洲坝电站装机已达到271.5万kW。

解放以后40余年,随着我国社会主义经济建设各个方面获得的巨大发展,整个国民经济现代化技术水平不断提高和规模的日益扩大,高低压电器工业也得到了突飞猛进的发展。从1949年到1985年,原机械委系统的电工设备制造工厂已累计为国家提供了78864MW的发电设备。现在中国各大电站安装的发电设备中,约80%是国产机组。交流电动机已累计生产了约498MW,变压器790MV·A,高压断路器82万台,电力电缆为112万km。从60年代初开始为我国提供220kV输电线路的成套高压电器设备,70年代初又为刘家峡至关中的330kV输电线路,80年代初开始为辽西到沈阳的500kV的超高压线路提供了成套超高压电器设备。此外,还为两万多个35kV以上的变电站提供了成套设备。我国的电器工业已具有较高的制造水平和能力,比较有代表性的产品,如额定电压为500kV、额定电流为3150A,分断电流为63kA的六氟化硫断路器以及其它相应的高低压开关、电瓷、电缆、避雷器等设备及器材。电器工业还为煤矿井下供电提供了3kV级的成套综合机械化采煤所需的防爆电器设备;为千万吨级露天矿山提供108t电动轮自卸车和大型电铲的电器设备。

新中国成立后,电器工业及时地以种种方法促进科学技术进步。50年代,在自力更生为主的基础上,对接管的工厂企业进行了技术改造,并逐步建立了各类型的电器科学研究基地,高等学院设计了电器专业,培养和锻炼了大批科研、设计和技术队伍,并从前苏联、东欧引进技术,使电器工业技术水平有了显著的提高,填补了许多产品制造能力的空白,生产总值成倍增长,形成了独立的开关电器工业的制造体系。虽然有过曲折,但我国电器工业还是不断迅速地发展。最近10年来,我国电器工业进入了一个新的发展时期,第二次从国外引进先进的设备和技术,对原有电器工厂进行了技术改造,电器科学技术和制造技术有了很大进步,从1978年到1985年,我国电器工业生产增加的产值,靠技术进步的占2/3以上。表1-1中列举了我国主要电器设备从新中国成立以来的产品生产情况。

我国高低压电器工厂企业,据80年代中期不完整的统计,已经拥有近1500余家专业的和兼营生产的工厂企业,估计约有近30万的职工队伍,这些企业中,全民企业约占1/3,遍布全国30个省市。高低压电器行业形成了一批代表我国制造技术水平、开发研究水平的骨干企业和研究所。高压电器有:沈阳高压开关厂、西安高压开关厂、上海华通开关厂、河南平顶山高压开关厂、北京开关厂和西安高压电器研究所。此外还有4个有一定规模的高压电器试验站。我国高压电器制造行业已形成一支具有自行开发、设计制造、成批生产和成套供应

表1-1 历年电工产品产量增长情况

产 品	单 位	1949	1952	1957	1966	1975	1986	1991
发电设备	MW	—	5.4	197.1	13022.6	4965.4	7090	
交流电动机	MW	6.1	63.9	1455	6152	27992	32776.4	
其中：大中型	MW	—	—	71.3	1066	6140	5828.2	
变压器	MVA	119	1172	4200	13033	40969	70560	
其中7500kV·A以上	MVA	—	30	1613	4625	14830	35000	
高压断路器	万台	0.03	0.27	1.10	1.42	3.44	8.44	
其中110kV以上	台	—	—	44	239	728	2426	
高压隔离开关	万组	—	1.71	2.43	2.89	6.94	13.75	
其中110kV以上	组	—	—	—	—	2519	12092	
高压开关柜	千面	—	2.27	7.358	10.52	29.792	45.600	60.00
低压电器	万件	—	—	—	—	—	3922	
防爆电器	万件	—	—	—	—	—	16.1	
船用电器	万台	—	—	—	5.2	—	8.0	
机床电器	万件	—	—	—	210	—	1500	
保护继电器	万只	—	—	9.06	33.38	—	122.78	
低压开关柜	千面	—	—	—	—	103.38	136.8	190.0

500kV 及以下的各种高压电器产品的生产能力的职工队伍。机械工业部所属的低压电器重点或骨干企业有沈阳低压开关厂、上海华通开关厂、北京低压电器厂、上海人民电器厂等30余个，并形成了辽宁、上海、京津、遵义和天水等五大低压电器生产基地，正在形成的有浙江、佛山、湘潭、山东等低压电器的生产基地。其中骨干企业和定点企业的产量占全行业的70%，据1985年统计，全国生产的低压电器共13大类，359个系列，1242个品种，其中达到国际80年代水平的品种约占17%，低压电器元件年产量可达3922万件。此外，还形成了以上海电器科学研究所为中心的13个低压电器研究所，它们已成为我国低压电器开发新产品的试验研究基地。

我国继电器及保护装置制造业，也拥有19家继电器专业工厂，重点骨干企业有阿城继电器厂、许昌继电器厂和上海继电器厂。作为全国继电器行业的归口所，还有许昌继电器研究所。若将国防工业系统生产继电器和接插件的工厂企业包括在内，估计约有50余家工厂，职工人数可达5万余人。

我国机床电器行业已形成了以成都机床电器研究所为技术中心的、独立的电器行业的一个分支，这个行业的生产厂已发展到100多家，其中定点生产厂53家，拥有职工近3万人，生产机床电器元件180多个系列，6000多个规格，年产量为2000多万件。机床电器面临发展第四代产品的阶段，要突破传统电器元件的范畴，加速研制数显、可编程序控制器（PC）及成套控制装置，以适应迅速发展的高效率、高精度、高度自动化机床的需要。

综上所述，我国高低压电器、继电器制造行业，已经形成具有30余万职工和科学技术队伍、并具有较高技术水平的生产能力，为我国社会主义建设事业提供了成套的开关电器设备，继电保护装置、控制装置，以及通讯装置等先进设备。但是，我国电器行业和国外同行业相比，差距还不小，面临着企业技术改造和开发新产品的艰巨任务，也面临着如何采用世界最新科学技术来推动我国电器工业发展生产的任务。

二、科学技术进步促进了电器制造技术的提高

我们知道，世界科学技术的巨大进步，大大推动了社会生产力的发展。在机电制造工业

领域,个体手工劳动生产方式迅速地由大规模机械化、自动化生产所代替。过去产品的质量和性能,完全依赖于劳动者个人的经验和手艺,而现在已经可以应用先进的微电子技术对生产过程进行自适应控制,生产出优质低成本的产品。人类在自己的生产实践和科学试验活动中,不断地总结经验和采用最新的科学技术来推动生产向前发展;同时,在生产发展过程中,又不断地向科学技术提出新的课题,促进科学技术的不断进步。

首先,工程材料的发展是与产品发展密切联系的。随着对产品性能和结构要求的提高,也对工程材料性能提出了愈来愈高的要求。例如,为了适应我国500~750kV超高压电力系统发展的需要,从1977年开始,国家制订了500~750kV超高压输变电设备研制计划,相继研制成功机电破坏强度分别为210kN和300kN的悬式绝缘子,同时电瓷企业还研制成500kV/8kN的耐污型户外棒形支柱绝缘子,500kV电流互感器瓷套,500kV耐污型电容式变压器套管,以及500kV加强型油纸电容式电抗器套管等,保证了我国研制额定电压为500kV的SF₆断路器、变压器、互感器等超高压输变电设备,为辽西至沈阳、平顶山至湖北以及葛洲坝至上海的超高压电力系统的建成起到了保证作用。为了提高我国发电机单机容量,以及促进研制高效节能的电机、变压器和电磁开关等电工产品的发展,我国从70年代开始,先后有计划地研制成功冷轧取向硅钢片;为了适应高能加速器和军事工业的需要,先后又研制成功高磁感应低铁损无取向硅钢片(如W9, W8等)和特种硅钢片(如高、中、弱磁场,恒导磁和高导磁)的磁性材料;同时,研制成功电机、电器用的F、H级漆包线所需要的耐热性、高介电性能、高机械强度、耐化学腐蚀、耐紫外线和耐辐射和其它特殊性能的电工绝缘材料。随着高分子合成材料和硅酸盐新型材料的发展,也大大推动了我国电器和电子工业的发展,例如聚酰亚胺玻璃纤维塑料、氨基玻璃纤维塑料、氨基石棉耐电气塑料、酚醛注射塑料、三聚氰胺改性酚醛塑料等材料的研制成功,也有力地促进了低压电器和仪表行业的更新换代新产品的开发研究。

为了提高我国高低压电器的分断能力和电寿命,从70年代我国先后研制出CuW80/Cu整块触头、AgZnO、AgWC、WNiCu、内氧化AgZnO₂InO等高性能的触头材料,为了节银还研制出Ag/Cu、AgNi/Cu、AgFe/Cu等复合材料和复合铆钉等触头材料。从70年代开始,我国进行研制真空开关,同时也必须相应的研制成CuBi、CuBiCe、CuBiAg、CuFeCoBi等真空触头材料,从而促进了我国真空开关技术的推广应用。

综上所述,我国电器产品的发展和电工绝缘材料、电工合金材料的发展是密不可分的,而且是相互促进和互为因果的。新材料的应用不仅使电工设备的单机输出功率大大提高,同时也极大地缩小了体积和减少了重量,也改善和提高了产品性能。

工程材料的发展不仅促进了新产品的开发和提高了产品的性能指标,同时也促进了制造技术的发展和提高。随着材料机械性能的提高,加工方法也必须作相应的改进。当出现了高强度合金钢以后,用传统的机械加工方法,已很难对新材料进行加工,于是相继推出了电火花、电化学、电子束和激光切割等新的加工方法。在电器制造行业中,为了广泛采用硬质合金级进模,要求采用先进的数控电火花机床和线切割机床。从80年代开始,为了提高我国电器行业模具制造水平,先后引进了许多数控线切割和电火花机床等先进的加工设备。

随着产品性能要求的不断提高,加工方法的不断改进,制造精度也不断提高。最近几十年电器制造业大量采用高速冲床、级进模、精冲等加工方法和自动生产加工线,使电器制造精度有了显著的提高。制造精度的提高,对测量仪器的测量精度提出更高的要求,要求采用

先进的自动检测手段。

由此可见,工程材料、加工方法、制造精度和测量技术是随着产品性能的不不断提高而发展的,同时由于工程材料、加工方法、制造精度和测量技术的发展,又促进了产品性能的不不断提高,它们之间是相互依赖、互相促进的辩证关系。

国内外机械工业统计表明,批量为10~100件的零件约占生产零件种类总数的70%。从产值来说,单件、小批量生产所占的比例也很大,约占全部零件产值的60%。电器制造工业要区别不同情况,例如高压电器和航天航空电器多属小批量生产,其它类型的电器生产企业,小批量生产的零件比例,也越来越占更多的比例。随着科学技术和制造技术的进步,产品更新换代的周期越来越短,同时由于市场竞争的需要,以及人类生活需要的多样化,产品的品种规格将会越来越多。因此,多品种、小批量生产在今后不仅不会减少,而且还有迅速增长的趋势。

为了提高生产率和降低生产成本,已对如何组织各种批量的零件的生产,进行了许多研究和实践。研究表明,对于大批量生产,应尽可能采用专用机床设备、专用工装,并按流水线组织生产;而对大量生产,则应组织机械化、自动化生产线。自动化生产线是按节拍自动地、连续地进行的,这不仅大大减少了工件的装卸、换刀、测量等辅助时间,而且减少了工序之间的运输和等待时间。此外,还减少了生产工人数量和对工人体力和技能的依赖。

至于单件、小批生产,传统的生产方式的效率是很低的。据统计,小批量生产中工件在机床上的时间仅占车间停留时间的5%,其余的95%时间花在材料、工件的运送和等待时间上。现在,由于计算机技术在机械制造业中的应用,已经能够借助于计算机控制,把若干台数控机床连接在一起,组织成柔性制造系统(Flexible Manufacturing System)。这种制造系统可使工件在机床上的时间比例扩大到70%~80%,这是小批量生产的一大进步。

制造技术和生产方式也是随着产品的需要而变化发展的,同时又是建立在科学理论发展的基础之上的。产品、生产方式和科学理论三者之间的关系是密切相关和互相促进的关系。产品设计和制造技术的发展是以科学理论为基础的,而科学理论的研究课题又是来源于生产实际,并从新产品的设计和制造中提取抽象出来的。

产品的发展和需求量的增加,要求提高劳动生产率实现自动化生产,从而使生产方式有了很大的变化。19世纪末,生产方式由手工劳动发展成为机械化生产,这是由于汽车工业飞速发展的需要;20世纪初,美国人亨利·福特(H. Ford)在底特律运用劳动分工原理建立了汽车的自动化生产系统。这是机械制造自动化生产的开端。同时,在劳动分工的原理指导下,也建立了专业化生产形式。专业化生产有利于保证及时采用新工艺和新技术,有利于提高加工设备的机械化和自动化水平,以及实现装配作业的自动化,以期达到提高产品质量,降低产品成本,大幅度提高劳动生产率的目的。从此以后,自动机床、组合机床、自动生产线就不断地发展起来。到了50年代,由于计算机技术的发展,第一台数控机床的问世,使数控机床得到了日益广泛的应用。最近30年来,国外机械制造大量采用数控技术,使劳动生产率成倍提高。到70年代数控技术已发展到采用计算机数控(称CNC),并进一步发展到采用计算机对机械加工过程进行直接控制,即群控(或称DNC)。随着群控技术的发展,计算机不仅控制机械加工系统中的加工信息,还可进一步控制工件和刀具的传递,控制工序加工的程序和精度,这就形成一条由计算机控制的数控自动线,这就是所谓计算机控制加工系统(即CAM系统)。近年来,计算机控制加工系统的功能不断扩充,该系统还参与了编制工艺规

程、选择工装、控制和检验工艺过程,进一步发展成为新型的自动化制造系统——柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, 简称FMS),它是一种灵活、可调、能适应加工多种产品零件的自动生产系统。该系统能够适应多品种、小批量零件的生产,使得原来是单件、小批量生产有可能利用成组技术组织自动化成批生产,从而可以实现高度自动化的无人化辅助制造系统。

从70年代开始,我国有些电器工厂企业也开始采用数控机床、数控冲床等自动化设备。最近10年,我国相继引进了先进的数控线切割和电火花加工机床,数控转塔冲床、剪板机,以及数控铁心自动生产线等。

为了加速电器工厂企业的技术改造,积极推广应用数控技术和数显装置改造原有的机械加工设备,无疑是一条多快好省地改造行业面貌的重要途径。

在产品结构工艺性方面,从减少零件加工工时,减少材料消耗、提高产品质量和效率出发,应尽量采用少切削或无切削加工,而冲压加工正是一种很好的少切削加工工艺。国外,低压电器、继电器等机电元件,正向着结构零件的冲压化、塑料化和装配自动化方向发展。

产品和生产方式的发展,与科学理论的发展是分不开的,在各个发展阶段,都出现了相应的理论基础,指引着当时产品更新和生产技术的发展。进入本世纪以来,控制论、信息论、方法论、非线性规划理论的出现,都对现代产品的开发和生产自动化技术的发展,起了重大的推动作用。

三、电器结构和工艺的特点

电器制造从某种意义上说是属于机械制造的范畴,但也有它自身的特点。和机械制造比较,它们之间最显著的共同点有两个:第一,电器的主体结构也是由金属材料制成的机械构件,用以完成支承、传动等机械功能。很多电器产品中有色金属和黑色金属的比重很大,约占总重量的70%~80%;第二,很多电器零件的加工方法主要是采用切削加工和压力加工等金属加工工艺,而冷冲压工艺在电器制造中又占有十分重要的地位。

电器根据其性能要求、结构造型和体积大小等因素,又有其自己的结构造型和制造工艺方面的特点:结构复杂和工艺涉及面广;机电性能结合于一体的产品和因而材料致使品种规格多;几何精度与物理精度并重;工艺装备多等特点。

(一) 结构复杂和工艺涉及面广

高低压电器产品中的零件,有许多是由板料制成,尤其是低压电器、继电器和各种自动化元件,由于其结构造型的特点,绝大部零件是由薄板冲压成型的。因此,冷冲压工艺,常用的工艺方法如:剪切、冲压、延伸、弯曲、卷边等,在电器制造中占有十分重要的地位。

模压成型的塑料零件在电器制造中占有十分重要地位,因此塑料压制、注射、绝缘处理、线圈绕制等工艺也很重要。

真空断路器、SF₆断路器和小型密封继电器,为了改善其触头分断能力,提高其工作可靠性,都采用局部密封或全密封的结构。因此封结工艺也日益成为电器制造工艺的一个重要方面。

电器绝大部分零件暴露在大气中工作,零件的防腐占有十分重要的地位。另外,在市场竞争的环境中,产品造型应美观雅致,因此零件的表面处理工艺,如电镀、静电喷涂等都广泛采用。有些有色金属零件为了改善导电性能和提高耐磨性,也要进行电镀。

弹性元件是电器产品的重要零件,有螺旋形和片状两种结构形式。它对制造工艺要求,严

格,因为它直接影响到电器产品性能的稳定性。弹性元件、双金属元件常采用回火和稳定处理。磁性材料除了采用一般退火工艺外,还采用氢气退火和真空退火等特殊的热处理工艺。各种模具的热处理工艺也是电器制造厂的关键工艺之一。

高压电器壳体和高低压开关柜,广泛采用焊接工艺,如机柜门采用角钢作骨架的结构,可采用点焊面板的简便制造方法,也可采用卷板作门架,内焊加强肋,边缘方直圆滑,平面性好,如采用先进的激光焊,外观更为美观。电器触头的连接、部件的组合和电器的装配,也常常采用气体保护焊、钎焊和火焊等焊接工艺。

(二) 产品的机电性能结合于一体因而材料品种规格多

电器是集机电性能要求于一体的产品,其产品结构必须满足产品的电磁性能和机械性能。因此,电器对所采用材料的性能有多方面的要求,有些材料不仅要有良好的机械性能,还应有良好的导磁、导电和导热等性能;对有的材料还要求有较高的绝缘强度和耐电弧性能;有的还对材料提出耐磨损、耐化学腐蚀的要求。产品结构造型和材料又与制造工艺密切相关,制造工艺又是影响结构造型的重要因素,故各种材料也应有良好的工艺性。

在电器制造中,采用的材料品种规格可达数千种,其中大量地采用的是有色金属、贵重和稀有金属。银和铜的用量最多,是必不可少的材料;继电器、接插件等机电元件常采用金、铂、铑、镍、钯等贵金属做电接触(包括触头)的导电材料。在高低压电器中,常用黑色金属制造结构件,用工程纯铁、硅钢片、铁镍合金和稀土永磁等制成各种导磁零件。弹簧零件多采用碳素弹簧钢丝制成,继电器簧片大都采用磷青铜、德银和铍青铜,小型密封继电器还采用银镁镍合金作簧片。工程塑料不仅给电器产品提供了优良的绝缘零件,同时还可以制成耐磨损和耐腐蚀的结构件,例如,用它制成轴套和齿轮零件等。

电器中所采用的各种金属材料,大部分以压延型材供应。例如,据统计自动开关中压延型材约占金属材料的55%以上,为了实现冲压送料自动化,坯料以成卷带料供货的逐渐增多。

如上所述,电器制造中用了大量的有色、贵金属、绝缘材料、电工钢等特殊材料,其价格都比较贵,在产品成本中材料费用要占60%~80%。因此,在电器制造中,节约和采用代用材料是一项十分重要的任务。

(三) 几何精度与物理精度并重

电器在工作过程中,不仅有简单的机械运动,同时还伴随着一系列光、电、热、磁等能量转换。因此,电器产品的许多零件,不仅要求有一定的几何形状、尺寸和相互位置的精度,还应考虑材料的导电、导热、导磁和灭弧性能对产品特性的影响。而且,零部件的精度等级也必须与电器的技术参数相匹配,如触头的压力、接触电阻、动作和释放参数、动作时间、允许温升等都与几何形状、尺寸、表面粗糙度有关系。否则,可能由于这些参数不合格而造成严重的故障。在电器制造中,某些零件的尺寸精度并不一定是影响产品性能的主要因素,但对影响产品电磁特性的零件相互间的位置、几何形状精度以及热处理规范等却提出较高的要求。在电器制造中,精度的概念,应在广义的基础上理解,在保证几何形状尺寸精度的基础上,应重视电器物理参数的容差分析,应进一步研究某些零件几何形状尺寸精度、材料性能等对物理参数的影响程度。现代电器制造日益对零件尺寸精度和原材料尺寸公差提出严格的要求,这只是为适应日益发展的生产自动化和高劳动生产率的需要。因此,在选择各种工艺方案时,还应考虑各种工艺方案对零件导电、导磁、绝缘以及产品动作性能的影响程度等因素。

(四) 工艺装备多

由电器产品结构的特点,在电器制造中,工艺装备在保证产品质量和降低生产成本方面起重要的作用。工艺装备是指除主要加工机床外,还包括工、卡、量具和模具。但是,采用工艺装备的多少,应根据生产规模的大小和产品性能要求来决定。例如,一般工业用的低压电器的生产批量都比较大,采用的工艺装备也多,通常低压控制电器的工艺装备系数取 $k = 1.6 \sim 3.0$;又如有些特殊用途的电器,生产批量虽小,但为了保证产品质量,也采用了大量的工模具。

在电器制造中,模具的作用占有突出的地位,这一点在低压电器、继电器和自动化元件生产中尤为重要。模具设计和制造的水平 and 能力,往往成为衡量某些电器制造工厂企业的生产水平和能力的重要标志。因此,在电器制造中,将计算机技术应用于模具的设计与制造,推广模具 CAD/CAPP/CAM 技术,具有十分重要的现实意义。

第二节 生产系统与机电制造系统

机械制造业是国民经济最重要的部门之一,而电器制造业又是机械工业的重要组成部分。它不仅直接提供人民生活所需要的产品,而且也为民济经济各部门提供电器技术装备。一个国家的机械制造业水准直接关系着这个国家的工农业发展和国防现代化水平。机电制造业状况是衡量一个国家综合国力的重要标志。当前,在国际和国内市场竞争十分激烈的情况下,机械制造对于保证产品质量、缩短生产周期、降低成本和提高经济效益都起着关键作用。工业化国家都把加速机械制造业的发展看成是具有长远战略意义的现实任务。在我国,尽快提高电器制造业的生产技术和管理水平,提高产品质量,提高经济效益,提高劳动生产率,已成为重要而艰巨的任务。

在传统的狭义定义中,制造是指由原材料变成需要的最终产品的变换过程,是通过一系列适当的方法和能量的作用,使材料发生规定的变化而成为所需要的产品的变换过程。

50年代以后,随着生产的发展和科学技术的进步,以及人们认识的不断深化,制造的概念有了新的内涵。1983年国际生产工程研究会(International Institution for Production Engineering Research: CIRP)对制造赋予新的定义:制造是制造工业内的一系列有关活动和过程,其中包括产品设计、材料选择、规划、加工生产、质量保证、管理和销售等。该研究会还确定了制造系统的定义:制造系统是“制造工业内为进行生产而形成的一种组织。在机械和电器工业中,制造系统一般为许多功能的集成组合,这就是设计、制造销售和发运等功能。研究功能可以为其它一种或数种功能提供服务”。我们应当从系统的概念研究制造系统,或称生产系统。

一、生产系统

人类生产活动和科学试验,无不由几个相互作用或相互制约的因素所构成,以推动人类生产活动不断发展。因此,我们应当应用系统的观点来研究国家的、工厂的生产活动和制造过程。任何一个系统都应当看成两个或更多要素(因素)的集合,而且这些要素是相互联系和相互制约的,从而推动系统完成既定的功能,并且随环境的变化而向前发展。

我们所研究的工厂生产活动,就是以工厂作为总体的生产系统。每个工厂根据国家的生产计划、市场调查和生产条件,以决定工厂生产的产品和产量,制订生产计划,进行产品的