



# 航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 电机电器工艺 ·

航空工业出版社

# 航空制造工程手册

## 电机电器工艺

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1994

(京)新登字 161 号

## 内 容 提 要

本手册科学地、系统地总结了近 40 年航空电机、电器、火花塞制造专业的丰富经验,它对军、民用飞机的电机、电器、火花塞生产有广泛的实用价值和指导意义。

本手册分 3 篇 23 章,分别阐述了航空电机、电器、火花塞典型产品制造工艺的方法和参数、生产过程和操作、常见质量故障的特征及解决措施,内容翔实而简洁。

本手册不仅对从事航空电机、电器、火花塞制造专业的广大工程技术人员和科研生产管理人员具有重要的参考作用,而且可供其它行业从事这些专业的技术人员和中、高等院校的师生参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

航空制造工程手册:电机电器工艺//《航空制造工程手册》  
总编委会主编;国岩主编.-北京:航空工业出版社,1994.11  
ISBN 7-80046-870-4

I. 航… II. ①航…②国… III. ①航空器-制造-工艺-手册②  
航空电气设备-电机-技术-手册③航空电气设备-电器-技术-手  
册 IV. V 26-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 11488 号

责任编辑 史晋蕾

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

1994 年 11 月第 1 版

1994 年 11 月第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16

印张:39.375 字数:983 千字

印数:1—2000

定价:75.00 元

# 序

我国航空工业已走过了四十余年的历程,从飞机的修理、仿制到自行研制,航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中,航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业,就其行业性来讲,属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况,是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平,对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础,要发展航空工业、并有效地占领市场,不仅要不断地更新设计,开发新产品,更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中,均优先发展航空制造工程,很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的,因此必须从战略高度予以重视,并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》,就是为实现航空制造工程现代化的战略目标,在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来,我国航空工业积累了大量经验,取得了丰硕的成果,特别是改革开放以来,开扩了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来,使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富,是一项具有重大实用价值和长远意义的任务,为此航空航天部决定组织全行业的力量,统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感,从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者,经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造

工程手册》。

编好这套手册是一项十分艰巨的工作。大家始终坚持求实、求新、求精、求是的原则,在确保鲜明航空特色的前提下,在总体内容上强调实用性、综合性、成套性;在表达形式上,以技术数据、图形表格、曲线公式为主;阐述扼要,结论严谨,力求使手册成为一部概念准确、数据可靠、文字简洁、编排合理、查阅方便,能为广大从事航空制造工程的科技人员提供有益指导和参考的工具书。

首次组织编纂大型手册,缺乏经验,还由于过去资料积累基础比较薄弱,新技术发展迅速和深度广度不断增加,使这项工作带有相当程度的探索性,因之错误与不足之处实为难免,恳切希望广大读者给予指正。对在这套手册编写过程中给予支持的单位和付出辛勤劳动,提供资料,参与编写,评审,出版的同志们表示衷心感谢。由于我国航空制造工程与世界水平尚存在较大差距,这套手册出版之后,还有不断求新、完善的必要,《航空制造工程手册》总编委会及其办公室是常设机构,将努力收集新的科技信息及这套工具书使用的情况和意见,为今后的修订提供依据,以求进一步完善和提高。

何文治

1992年8月28日

# 《航空制造工程手册》

## 各分册名称

- |             |               |
|-------------|---------------|
| 《通用基础》      | 《非金属结构件工艺》    |
| 《热处理》       | 《飞机结构工艺性指南》   |
| 《特种加工》      | 《发动机机械加工》     |
| 《表面处理》      | 《发动机装配与试车》    |
| 《焊接》        | 《发动机叶片工艺》     |
| 《特种铸造》      | 《燃油泵与调节器装配试验》 |
| 《金属材料切削加工》  | 《弹性元件工艺》      |
| 《齿轮工艺》      | 《电连接器工艺》      |
| 《工艺检测》      | 《机载设备精密加工》    |
| 《计算机辅助制造工程》 | 《光学元件工艺》      |
| 《飞机钣金工艺》    | 《框架壳体工艺》      |
| 《飞机机械加工》    | 《武器系统装配》      |
| 《飞机装配》      | 《电机电器工艺》      |
| 《飞机工艺装备》    | 《救生装备工艺》      |
| 《飞机模线样板》    | 《电子设备装配》      |
| 《金属结构件胶接》   | 《机载设备环境试验》    |

# 《航空制造工程手册》

## 总编委会、顾问及办公室组成名单

**总编委员会主任** 何文治

**总编委会副主任**(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	王敬堂	方裕成	刘多朴
朱伯贤	任家耕	李成功	李哲浩	李章由
吴复兴	易志斌	郑作棣	杨彭基	张彤
张士元	张钟林	周家骐	周砥中	周晓青
金德琨	姚克佩	顾元杰	徐秉铨	徐培麟
郭景山	程宝渠	屠德彰		

**总编委会常务副主任** 马业广

**总编委会顾问**(按姓氏笔划排列)

马世英	于欣	于志耕	于剑辉	王英儒
冯旭	杨墉	杨光中	陆颂善	枉云汉
罗时大	荣科	邴少安	董德馨	程华明
廖宗懋	颜鸣皋	戴世然		

**总编委会委员**(按姓氏笔划排列)

马业广	王广生	王云机	王国成	王喜力
王敬堂	方学龄	方裕成	刘多朴	刘树桓
刘盛东	刘瑞新	关桥	朱伯贤	孙国壁
任家耕	严世能	何文治	何恽晋	李成功
李秋娥	李哲浩	李章由	李德澄	杜昌年
沈昌治	陈于乐	陈进	陈积懋	陈德厚
余承业	杨彭基	吴志恩	吴复兴	张彤
张夏	张士元	张幼楨	张灵雨	张纯正
张钟林	张增模	周家骐	周砥中	周晓青

易志斌	郑作棣	林更元	林泽宽	林敦仪
金慧根	金德琨	国 岩	赵仲英	胡四新
胡建国	姜淑芳	姚永义	姚克佩	郝命麒
顾元杰	郭景山	晏海瑞	唐荣锡	唐瑞润
徐秉铨	徐培麟	常荣福	戚道纬	崔连信
屠德彰	程宝渠	熊敦礼	戴 鼎	

**总编委会常委**(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	何恽晋	李成功	李哲浩
吴复兴	郑作棣	周家骐	戚道纬	崔连信
屠德彰	戴 鼎			

**总编委会办公室主任**

戚道纬

**总编委会办公室副主任**(按姓氏笔划排列)

刘树桓 姜淑芳 崔连信

**总编委会办公室成员**(按姓氏笔划排列)

丁立铭	王偲鹏	刘树桓	刘瑞麟	邵 箭
陈 刚	陈振荣	宋占意	张士霖	林 森
段文斌	贺开运	姜淑芳	莫龙生	徐晓风
戚道纬	崔正山	崔连信		



## 《电机电器工艺》分编委会组成名单

**主编** 国岩

**副主编**(按姓氏笔划排列)

王希隽 张佑实 林泽宽 谢国权 裴毓颖

**委员**(按姓氏笔划排列)

王连生 孙大举 刘 硕 陈振荣 李国芳

张盛棠 吴兆祥 国庆余 郑鸿棕 郭体功

赵素琳 蔡振铭 薛继周

## 《电机电器工艺》其他编写和统稿人员名单

**编写人员**(按姓氏笔划排列)

卜清华 王 玉 王承琴 王为发 王德春

王汝瀛 平 凡 田长丰 冯劲松 史庆铎

朱 东 孙仁智 孙家祺 孙保国 刘 宇

刘跟东 米淑敏 李金栋 张立文 张耕莘

张乃榕 沈乃新 余景宽 苏兆玲 何庆华

吴秀丽 杜泗洲 周立华 周应秋 杨金玉

杨晓虎 杨华年 陶楚善 郭劲涛 范志福

梁远楷 徐 杰 徐永生 徐吉生 高喜林

粟海凌 康 健 楚海涛 黎华清

**统稿人员**(按姓氏笔划排列)

张佑实 国庆余 赵素琳 薛继周 裴毓颖

## 目 录

**第 1 篇 航空电机制造技术****第 1 章 航空电机产品概述**

- 1.1 概述 ..... 1
- 1.2 航空电机产品的分类 ..... 1
  - 1.2.1 电源电机分类 ..... 1
  - 1.2.2 驱动电机分类 ..... 1
  - 1.2.3 控制微电机分类 ..... 1
- 1.3 航空电机系列产品和工艺关键 ..... 1
  - 1.3.1 电源电机系列产品和工艺关键 ..... 1
  - 1.3.2 驱动电机系列产品和工艺关键 ..... 6
  - 1.3.3 电动机系列产品和工艺关键 ..... 7
  - 1.3.4 控制微电机系列产品和工艺关键 ..... 7
- 1.4 航空电机制造技术的发展方向 ..... 9

**第 2 章 电机零件毛坯的选择**

- 2.1 航空电机零件毛坯的分类、特点和成形方法 ..... 10
  - 2.1.1 毛坯分类 ..... 10
    - 2.1.1.1 锻造毛坯的常用材料分类 ..... 10
    - 2.1.1.2 铸造毛坯按成形方法分类 ..... 10
  - 2.1.2 毛坯结构特点及成形方法比较 ..... 11
    - 2.1.2.1 毛坯结构特点 ..... 11
    - 2.1.2.2 毛坯成形方法比较 ..... 11
- 2.2 零件毛坯设计和工艺性的关系 ..... 13
  - 2.2.1 合金材料的工艺性 ..... 13
    - 2.2.1.1 可锻性 ..... 13
    - 2.2.1.2 铸造性 ..... 14
  - 2.2.2 分型面的影响 ..... 14
  - 2.2.3 壁厚的影响 ..... 16
    - 2.2.3.1 确定最小壁厚 ..... 16
    - 2.2.3.2 合金的影响 ..... 17
    - 2.2.3.3 充型能力的影响 ..... 18
    - 2.2.3.4 型壁摩擦力的影响 ..... 18

- 2.2.3.5 铸型内气体的影响 ..... 18
- 2.2.4 细孔的影响 ..... 18
  - 2.2.4.1 铸件上的内孔通道 ..... 18
  - 2.2.4.2 无内衬和有内衬两种内孔通道 ..... 19
  - 2.2.4.3 可溶型芯 ..... 19
- 2.2.5 尺寸精度和表面粗糙度的影响 ..... 19
  - 2.2.5.1 尺寸精度的影响 ..... 19
  - 2.2.5.2 表面粗糙度的影响 ..... 21
- 2.2.6 变形的影响 ..... 22
- 2.2.7 热处理、表面处理工艺的影响 ..... 22
  - 2.2.7.1 热处理工艺的影响 ..... 22
  - 2.2.7.2 表面处理工艺的影响 ..... 22
- 2.2.8 机械加工和质量要求的影响 ..... 22
  - 2.2.8.1 流水线生产对毛坯的要求 ..... 22
  - 2.2.8.2 加工余量和保证余量 ..... 22
- 2.3 电机零件毛坯的选择及其总体经济性 ..... 23
  - 2.3.1 总体选择原则 ..... 23
  - 2.3.2 影响毛坯成本的因素 ..... 23
  - 2.3.3 毛坯工艺改进实例 ..... 24

**第 3 章 航空电机零件的冲压**

- 3.1 电机铁芯冲片制造 ..... 25
  - 3.1.1 电机铁芯冲片分类 ..... 25
  - 3.1.2 铁芯冲片制造要点 ..... 27
  - 3.1.3 航空电机冲片的冲压方法 ..... 28
  - 3.1.4 电机冲片条料的下料 ..... 28
  - 3.1.5 电机冲片所需冲裁力的计算与设备的选用 ..... 29
    - 3.1.5.1 电机冲片冲裁力的计算 ..... 29
    - 3.1.5.2 电机冲片冲裁所需设备的选择 ..... 30
  - 3.1.6 电机冲片毛刺的去除 ..... 31
- 3.2 电机空心零件的冲压 ..... 33

3.2.1 球顶筒形罩子零件的深拉延 .....	36	4.2.1.4 壳体的公差配合、形位公差 和表面粗糙度要求 .....	75
3.2.2 电机壳体的电刷窗口的冲裁 .....	37	4.2.1.5 壳体零件工艺过程和工艺过 程分析 .....	77
3.3 电机零件的冷挤压 .....	38	4.2.1.6 壳体加工典型工装 .....	81
3.3.1 冷挤压变形程度与挤压力 .....	40	4.2.2 端盖零组件的加工 .....	84
3.3.2 轴零件挤筋代替滚花 .....	44	4.2.2.1 端盖的结构(含毛坯) .....	85
3.3.3 冷挤压件质量分析及防止措施 .....	45	4.2.2.2 端盖的热处理和表面处理 .....	88
3.4 航空电机零件的精冲 .....	49	4.2.2.3 端盖加工工艺过程和典型工 艺分析 .....	88
3.4.1 模具刃口带圆弧的精冲 .....	50	4.2.2.4 端盖加工推荐的加工余量及 切削参数 .....	93
3.4.2 小孔的精冲 .....	51	4.2.2.5 端盖加工常用工装 .....	93
3.4.2.1 凸模固定端面抗压强度的计 算 .....	51	4.3 刷盒加工 .....	95
3.4.2.2 凸模最小剖面抗压强度的计 算 .....	51	4.3.1 刷盒的分类 .....	95
3.4.2.3 凸模纵向弯曲稳压性的验算 .....	51	4.3.2 刷盒孔加工方法和加工余量的 选择 .....	97
3.5 微薄零件的冲压 .....	52	4.3.2.1 基本要求 .....	97
3.5.1 毛坯尺寸的确定 .....	54	4.3.2.2 刷盒方孔的加工方法 .....	98
3.5.2 冲裁力的确定 .....	55	4.3.2.3 刷盒方孔加工余量及偏差 .....	98
3.5.3 切割模板高度的确定 .....	55	4.3.3 典型零件加工工艺 .....	99
<b>第4章 电机零件的机械加工</b>		4.3.4 常见故障分析 .....	100
4.1 轴类零件的加工 .....	57	4.3.5 刷盒方孔表面质量控制 .....	101
4.1.1 轴类零件的结构与功能 .....	57	4.4 磁极加工(整体) .....	101
4.1.2 轴类零件毛坯的选择与加工 余量 .....	58	4.4.1 换向极 .....	101
4.1.2.1 毛坯的选择 .....	58	4.4.2 整体磁极 .....	102
4.1.2.2 毛坯加工余量 .....	58	4.5 杯形转子加工 .....	102
4.1.2.3 工序间加工余量 .....	58	4.5.1 功能和结构 .....	102
4.1.3 轴类零件典型部位的加工 .....	60	4.5.1.1 轴的功能和结构 .....	102
4.1.3.1 螺纹加工 .....	60	4.5.1.2 杯子的功能和结构 .....	103
4.1.3.2 圆弧和锥体加工 .....	60	4.5.1.3 杯形转子的功能和结构 .....	105
4.1.3.3 圆柱直齿渐开线花键加工 .....	62	4.5.2 轴和杯子的加工 .....	105
4.1.3.4 对数曲线型面加工 .....	62	4.5.2.1 轴的加工 .....	105
4.1.3.5 螺旋轴加工 .....	63	4.5.2.2 杯子的加工 .....	107
4.1.3.6 表面强化处理 .....	64	4.5.3 杯形转子组件加工 .....	107
4.1.4 轴的特种检测 .....	67	4.5.3.1 杯形转子组件加工 .....	107
4.1.4.1 磨削烧伤检查 .....	67	4.5.3.2 杯形转子组件的压装工具 .....	108
4.1.4.2 磁粉探伤 .....	68	4.5.3.3 库存应注意的事项 .....	109
4.1.4.3 扭力试验 .....	68	<b>第5章 永磁体加工</b>	
4.1.5 典型零件工艺过程 .....	69	5.1 铸造磁钢零件的制造 .....	110
4.2 电机壳体和端盖零组件的加工 .....	72	5.1.1 化学成分和磁性能 .....	110
4.2.1 壳体零组件的加工 .....	72	5.1.2 熔模铸造磁钢零件 .....	111
4.2.1.1 壳体零组件的结构 .....	72	5.1.2.1 磁钢零件的结构分类 .....	111
4.2.1.2 壳体毛坯的选择 .....	73		
4.2.1.3 壳体的热处理及表面处理 .....	73		

5.1.2.2 铸造磁钢的工艺流程及制 造工艺 .....	113	6.2.1 铁芯码片与迭压 .....	133
5.1.2.3 磁钢合金的真空熔炼 .....	116	6.2.2 各种铁芯的典型工艺 .....	134
5.1.3 铸造磁钢零件的加工 .....	118	6.2.2.1 圆(方)铆钉紧固铁芯 .....	134
5.1.3.1 铸造磁钢的加工工艺特性 .....	118	6.2.2.2 套筒外壳收口铁芯 .....	135
5.1.3.2 铸造磁钢毛坯热处理前的初磨 加工 .....	118	6.2.2.3 电子束焊铁芯 .....	135
5.1.3.3 按铸造磁钢用途不同划分 的机械加工艺 .....	119	6.2.2.4 铆钉扩铆定子铁芯 .....	136
5.1.3.4 磁钢零件的磨削加工 .....	119	6.2.2.5 转子铁芯 .....	136
5.1.3.5 电极加工和电化学加工方 法 .....	121	6.3 电机铁芯 V 型扣铆 .....	139
5.1.4 磁钢零件的质量检验 .....	122	<b>第 7 章 换向器制造</b>	
5.1.4.1 磁性能检验 .....	122	7.1 换向器结构、分类及特征 .....	141
5.1.4.2 外观及尺寸检验 .....	122	7.1.1 换向器结构 .....	141
5.1.4.3 静平衡和超速试验 .....	122	7.1.2 换向器分类 .....	141
5.1.5 印记、搬运、油封包装 .....	123	7.1.3 换向器结构特征 .....	141
5.2 稀土钴永磁体的制造 .....	123	7.1.3.1 塑料换向器结构特征 .....	141
5.2.1 烧结稀土钴永磁体的制造 .....	123	7.1.3.2 钢套换向器结构特征 .....	142
5.2.1.1 烧结稀土钴永磁体主要材 料 .....	123	7.2 换向片拉制 .....	143
5.2.1.2 烧结稀土钴永磁体的制造 工艺 .....	123	7.2.1 换向片拉制工艺 .....	144
5.2.2 粘接稀土钴永磁体的制造 .....	125	7.2.1.1 换向片拉制工艺过程 .....	144
5.2.2.1 Sm <sub>2</sub> TM <sub>17</sub> 类粘接磁体的 制备工艺 .....	125	7.2.1.2 换向片变形过程工艺尺寸 确定 .....	144
5.2.2.2 粘接稀土钴永磁体的成形 方法 .....	126	7.2.2 换向片拉制模具 .....	145
5.2.3 化学成分及磁性能 .....	127	7.2.2.1 固定式拉模 .....	145
5.2.4 稀土钴永磁体的机械加工 .....	127	7.2.2.2 可调式拉模 .....	145
5.2.4.1 坯件要求 .....	128	7.2.3 换向片缺陷分析 .....	146
5.2.4.2 装夹方式 .....	128	7.2.4 换向片检验 .....	146
5.2.4.3 线切割加工的注意事项 .....	128	7.3 锥形绝缘圈制造 .....	147
5.2.5 可加工稀土钴永磁体 .....	129	7.3.1 锥形绝缘圈典型工艺过程 .....	147
5.2.5.1 可加工稀土钴原材料纯度 及合金成分 .....	129	7.3.2 主要工艺参数的选择 .....	147
5.2.5.2 可加工稀土钴永磁体的定向 凝固工艺和热处理工艺 .....	129	7.3.2.1 下料尺寸的计算 .....	149
5.2.5.3 可加工稀土钴永磁体的磁 性能 .....	129	7.3.2.2 烘压工序烘烤参数 .....	149
<b>第 6 章 航空电机铁芯的制造</b>		7.4 塑料换向器制造 .....	150
6.1 电机铁芯种类 .....	131	7.4.1 塑料换向器典型工艺 .....	150
6.2 电机铁芯制造 .....	133	7.4.2 塑料换向器主要工艺参数选 择 .....	151
		7.4.2.1 片间绝缘总厚度 $K_S$ 的计 算 .....	151
		7.4.2.2 装环烘烤参数 .....	152
		7.4.2.3 塑压及烘烤参数 .....	152
		7.4.2.4 接地介电强度 .....	152
		7.4.2.5 挂锡及预热参数 .....	152
		7.4.2.6 动力定型及超速试验烘烤 参数 .....	153
		7.4.3 典型工装 .....	153

7.4.3.1 整体压环组 .....	153	8.3.3.1 套入式集电环组件的加工 工艺过程 .....	169
7.4.3.2 塑压模 .....	154	8.3.3.2 微型电机集电环组件加 工工艺过程 .....	170
7.5 钢套换向器制造 .....	154	8.3.3.3 带轴的集电环组件加工工 艺过程 .....	170
7.5.1 钢套换向器典型工艺过程 .....	154	8.3.3.4 集电环模塑工艺典型操作 要点 .....	171
7.5.2 钢套换向器工艺参数选择 .....	157	8.3.4 集电环组件模具主要设计结 构 .....	172
7.5.2.1 换向器毛坯外径的确定 .....	157	8.3.4.1 套入式集电环组件的典型 模具结构 .....	172
7.5.2.2 装环工序压力计算 .....	157	8.3.4.2 带轴的集电环组件的典型 模具结构 .....	173
7.5.2.3 扩铆、拧螺母压力计算 .....	157	8.4 集电环组件的质量检测 .....	174
7.5.2.4 拧螺母烘烤参数 .....	158	8.5 集电环组件常见缺陷及解决措 施 .....	175
7.5.2.5 铣接线槽形位误差 .....	158		
7.5.2.6 动力定型、超速试验时间的 确定 .....	158		
7.5.3 钢套换向器典型工装结构 .....	159		
7.5.3.1 活压环结构 .....	159		
7.5.3.2 工艺衬套结构 .....	159		
7.5.3.3 分瓣夹具结构 .....	159		
7.5.3.4 拧螺母夹具结构 .....	159		
7.5.3.5 开合式支座结构 .....	159		
7.6 换向器质量检验 .....	161		
7.6.1 几何形状检验 .....	161		
7.6.2 绝缘强度检验 .....	161		
7.6.3 片间短路检验 .....	161		
7.7 换向器缺陷修复 .....	162		
7.8 换向器零件形位误差对组件质 量的影响 .....	162		
<b>第8章 集电环组件制造</b>			
8.1 集电环组件的分类及结构 .....	164		
8.1.1 集电环组件的分类及特点 .....	164		
8.1.2 集电环的分类及特点 .....	165		
8.2 集电环组件选用的材料 .....	166		
8.2.1 集电环材料 .....	166		
8.2.2 引出线材料 .....	166		
8.2.3 绝缘体材料 .....	166		
8.3 集电环组件的制造与工装 .....	166		
8.3.1 集电环和衬套的加工 .....	166		
8.3.1.1 集电环的加工 .....	168		
8.3.1.2 衬套的加工 .....	169		
8.3.2 集电环分组件的加工 .....	169		
8.3.2.1 集电环分组件加工工艺过 程 .....	169		
8.3.2.2 集电环分组件加工技术要 求 .....	169		
8.3.3 集电环组件的加工 .....	169		
		8.3.3.1 套入式集电环组件的加工 工艺过程 .....	169
		8.3.3.2 微型电机集电环组件加 工工艺过程 .....	170
		8.3.3.3 带轴的集电环组件加工工 艺过程 .....	170
		8.3.3.4 集电环模塑工艺典型操作 要点 .....	171
		8.3.4 集电环组件模具主要设计结 构 .....	172
		8.3.4.1 套入式集电环组件的典型 模具结构 .....	172
		8.3.4.2 带轴的集电环组件的典型 模具结构 .....	173
		8.4 集电环组件的质量检测 .....	174
		8.5 集电环组件常见缺陷及解决措 施 .....	175
		<b>第9章 定子、转子部件制造</b>	
		9.1 绕线与嵌线 .....	176
		9.1.1 常用电磁线种类 .....	176
		9.1.2 线圈制造 .....	177
		9.1.2.1 主极线圈的制造工艺 .....	177
		9.1.2.2 换向极线圈与补偿线圈制 造工艺 .....	178
		9.1.2.3 线圈电泳涂漆 .....	180
		9.1.2.4 电枢硬元件制造工艺 .....	181
		9.1.3 嵌线 .....	184
		9.1.3.1 嵌线前的准备 .....	184
		9.1.3.2 交流定子绕组的嵌线 .....	185
		9.1.3.3 转子绕组嵌线 .....	186
		9.1.4 转子绕组端部绑扎工艺 .....	191
		9.1.4.1 钢丝绑扎工艺要点 .....	191
		9.1.4.2 套钢环的工艺要点 .....	192
		9.2 绕组焊接工艺 .....	192
		9.2.1 航空电机绕组焊接特点及分 类 .....	192
		9.2.1.1 航空电机绕组焊接特点 .....	192
		9.2.1.2 电机绕组焊接的分类 .....	193
		9.2.1.3 电机绕组焊接常用焊料 .....	193
		9.2.2 定子绕组接线头的焊接工艺 .....	194
		9.2.2.1 定子绕组接线头的软钎焊 工艺 .....	194
		9.2.2.2 定子绕组接线头的硬钎焊	

工艺 .....	194	10.1 航空电机绝缘处理方法及工	
9.2.3 直流电机换向器焊接工艺 .....	194	艺特点 .....	213
9.2.3.1 换向器浸渍钎焊焊接工艺 .....	194	10.1.1 绝缘处理的目的是 .....	213
9.2.3.2 换向器电阻钎焊焊接工艺 .....	194	10.1.2 绝缘漆的选择原则 .....	214
9.2.3.3 换向器氩弧焊焊接工艺 .....	195	10.1.3 绝缘处理方法及其工艺特	
9.2.3.4 换向器点焊(热压焊)焊接		点 .....	214
工艺 .....	197	10.1.3.1 零组件浸漆 .....	214
9.3 定子装配 .....	198	10.1.3.2 工艺方法及特点 .....	214
9.3.1 直流电机定子装配 .....	198	10.1.4 常用的绝缘处理设备 .....	216
9.3.1.1 直流小电机定子装配 .....	198	10.2 绝缘处理工艺技术 .....	217
9.3.1.2 直流大电机定子装配 .....	199	10.2.1 工艺过程 .....	217
9.3.2 变流机定子装配 .....	199	10.2.2 工艺参数的确定 .....	217
9.4 转子精加工 .....	199	10.2.2.1 预烘温度、时间的确定 .....	217
9.4.1 转子精加工工艺流程 .....	199	10.2.2.2 固化温度、时间的确定 .....	218
9.4.2 转子精加工工艺要点 .....	200	10.2.2.3 浸漆次数与粘度的确定 .....	219
9.4.2.1 加工余量的确定 .....	200	10.2.2.4 浸漆真空度、压力的确定 .....	222
9.4.2.2 转子精加工前的检查工作 .....	200	10.2.2.5 滴落浸漆工艺参数的确	
9.4.2.3 铁芯轴径磨削加工工艺 .....	200	定 .....	222
9.4.2.4 铣云母槽加工工艺 .....	201	10.2.3 工艺操作要点 .....	223
9.4.2.5 换向器车削加工工艺 .....	201	10.2.3.1 沉浸操作要点 .....	223
9.4.2.6 软轴装配工艺 .....	202	10.2.3.2 滴浸操作要点 .....	226
9.5 转子平衡试验 .....	202	10.2.3.3 涂漆操作要点 .....	226
9.5.1 转子不平衡的类型及校正方		10.2.3.4 绝缘漆的使用及贮存 .....	227
法 .....	202	10.2.4 绝缘处理中的常见故障及	
9.5.1.1 转子平衡条件及不平衡现		排除方法 .....	227
象 .....	202	10.2.5 绝缘处理中的安全技术措	
9.5.1.2 静平衡与动平衡 .....	203	施 .....	228
9.5.1.3 不平衡量的表达方式 .....	203	10.2.5.1 常见溶剂、稀释剂的特性 .....	228
9.5.2 转子平衡试验方法 .....	203	10.2.5.2 安全技术措施 .....	229
9.5.2.1 静平衡试验方法 .....	203	10.3 绝缘处理质量检查 .....	229
9.5.2.2 动平衡试验方法 .....	205	10.3.1 绝缘漆的质量检查 .....	229
9.5.2.3 不平衡量的校正 .....	206	10.3.2 绝缘处理工艺过程中的质	
9.6 质量检查 .....	207	量检查 .....	230
9.6.1 主要检查项目的设置 .....	207	10.3.3 绝缘电阻的测量 .....	230
9.6.2 直流电机转子换向器焊接质		10.4 绝缘材料的相容性 .....	231
量检查 .....	208	10.4.1 电机绝缘结构的基本组成 .....	231
9.6.3 主要检查项目的检测原理及		10.4.2 相容性试验方法及应用 .....	231
方法 .....	208	10.4.2.1 相容性试验方法 .....	231
9.6.3.1 短路检测原理及方法 .....	208	10.4.2.2 电磁线与绝缘漆的相容性	
9.6.3.2 圈数检验工具的原理及使		试验 .....	232
用方法 .....	210	10.4.2.3 绝缘结构中各组份间的相	
9.6.3.3 绝缘介电强度试验 .....	211	容性试验 .....	233
第10章 绝缘处理		10.4.3 电机绝缘结构相容性可靠性	

试验程序 .....	235	11.5.2.2 永久磁钢稳磁工艺要点 .....	263
<b>第 11 章 电机的总装</b>		11.5.3 永久磁钢的退磁 .....	264
11.1 电刷组件制造 .....	236	11.5.3.1 旋转退磁工艺 .....	264
11.1.1   组装 .....	236	11.5.3.2   静止退磁工艺 .....	265
11.1.1.1   电刷的功能 .....	236	11.6   电机总装配 .....	265
11.1.1.2   电刷的分类 .....	236	11.6.1   总装工艺 .....	265
11.1.1.3   组装 .....	236	11.6.1.1   总装工艺技术要求 .....	265
11.1.2   焊接 .....	239	11.6.1.2   电机总装工艺过程 .....	266
11.1.3   弧度加工的要求 .....	239	11.6.1.3   电机总装的压装工艺 .....	267
11.1.3.1   电刷弧度加工的要求 .....	239	11.6.1.4   电机总装的螺装工艺 .....	271
11.1.3.2   电刷弧度的加工方法 .....	239	11.6.1.5   电机总装的销装工艺 .....	275
11.2   刷握装配 .....	240	11.6.1.6   收口工艺 .....	278
11.2.1   装配工艺 .....	240	11.6.1.7   电机装调质量故障特征、	
11.2.1.1   刷握装配工艺原则 .....	240	排除方法 .....	279
11.2.1.2   刷握结构 .....	240	11.6.2   工艺要点 .....	281
11.2.1.3   刷握装配工艺过程 .....	242	11.6.2.1   电机的磨合 .....	281
11.2.1.4   刷握装配工艺要点 .....	243	11.6.2.2   电机的轴向间隙检查 .....	284
11.2.1.5   刷握装配工具 .....	244	11.7   电机调整试验 .....	286
11.2.2   弹簧压力调整 .....	245	11.7.1   直流电动机的调速 .....	286
11.2.2.1   弹簧压力调整的工艺方法 .....	245	11.7.1.1   调节电枢回路电阻改变转	
11.2.2.2   弹簧压力调整工具 .....	246	速 .....	287
11.3   端盖装配 .....	247	11.7.1.2   调节励磁电流改变转速 .....	287
11.3.1   装配工艺 .....	247	11.7.1.3   移动电刷方向改变转速 .....	288
11.3.1.1   端盖装配的工艺过程 .....	247	11.7.2   直流电机换向火花和直	
11.3.1.2   前端盖装配工艺要点 .....	249	流电动机输入电流的调整 .....	288
11.3.1.3   后端盖装配工艺要点 .....	250	11.7.2.1   直流电机换向火花、电动机	
11.3.1.4   端盖装配常用辅助材料 .....	254	输入电流的调整方法、要点 .....	288
11.3.1.5   端盖装配工具 .....	254	11.7.2.2   直流电机电刷位移对电机	
11.3.2   刷盒校正 .....	255	性能的影响 .....	289
11.4   减速器及离合器装配 .....	257	11.7.3   直流电机几何中性线的调整 .....	289
11.4.1   减速器装配 .....	257	11.7.3.1   移动刷握位置确定几何中	
11.4.1.1   减速器结构特点 .....	257	性线 .....	290
11.4.1.2   减速器装配工艺 .....	258	11.7.3.2   测量仪表沿换向器圆周表	
11.4.2   离合器装配 .....	259	面移动确定几何中性线 .....	290
11.4.2.1   离合器结构特点 .....	259	11.7.3.3   调整要点 .....	290
11.4.2.2   离合器装配工艺 .....	260	<b>第 12 章 电机试验</b>	
11.5   永久磁钢充磁、稳磁、退磁 .....	261	12.1   试验目的和要求 .....	291
11.5.1   永久磁钢的充磁 .....	261	12.1.1   试验目的 .....	291
11.5.1.1   永久磁钢的充磁工艺 .....	261	12.1.2   试验要求 .....	291
11.5.1.2   永久磁钢充磁的工艺要		12.2   试验类型 .....	291
点 .....	262	12.2.1   检查试验项目 .....	291
11.5.2   永久磁钢的稳磁 .....	262	12.2.2   型式试验项目 .....	295
11.5.2.1   永久磁钢的稳磁工艺 .....	262	12.3   型式试验项目的技术要求和试	

验方法 .....	296	算 .....	335
12.3.1 电气性能试验项目的技术要求和试验方法 .....	296	14.1.3.3 圆筒形拉深件的工艺计算 .....	337
12.3.2 机械性能试验项目的技术要求和试验方法 .....	298	14.1.3.4 高矩形(正方截面)拉深件的工艺计算 .....	341
12.3.3 环境性能试验项目的技术要求和试验方法 .....	299	14.1.3.5 拉深过程中的润滑与热处理 .....	349
12.3.4 其它性能试验项目的技术要求 .....	300	14.1.4 冷挤压件加工工艺 .....	350
12.3.5 电机的寿命试验 .....	300	14.1.4.1 冷挤压件的技术要求 .....	350
<b>第 2 篇 航空电器制造技术</b>		14.1.4.2 小矩形外罩冷挤压加工工艺 .....	351
<b>第 13 章 概 述</b>		14.1.4.3 小矩形外罩冷挤压的许用变形程度和冷挤压压力计算 .....	353
13.1 航空电器产品的分类 .....	301	14.1.4.4 其他典型冷挤压零件加工工艺 .....	355
13.2 航空电器产品系列简介 .....	302	14.2 精密零件的切削加工工艺 .....	356
13.2.1 电源控制电器 .....	302	14.2.1 细长杆形零件的加工工艺 .....	356
13.2.2 推进控制电器 .....	302	14.2.1.1 工件的装夹方法 .....	356
13.2.3 防火电器 .....	303	14.2.1.2 细长轴用的车刀 .....	358
13.2.4 断路器 .....	304	14.2.1.3 切削用量 .....	358
13.2.5 开关 .....	304	14.2.1.4 实例:心杆加工工艺方法 .....	358
13.2.6 灯具 .....	304	14.2.2 薄壁筒形零件的加工工艺 .....	359
13.2.7 电能变换电器 .....	305	14.2.2.1 工件的装夹方法 .....	359
13.3 航空电器制造技术的发展趋势 .....	305	14.2.2.2 刀具及切削用量 .....	359
<b>第 14 章 电器零件制造</b>		14.2.2.3 实例:衬筒加工工艺方法 .....	360
14.1 冲压制造工艺 .....	307	14.3 特殊热处理 .....	361
14.1.1 精密冲压件 .....	307	14.3.1 银镁镍合金簧片的内氧化热处理 .....	361
14.1.1.1 弹性零件的精密冲压 .....	308	14.3.1.1 银镁镍合金材料的性能 .....	361
14.1.1.2 典型弹性零件冲压 .....	309	14.3.1.2 银镁镍合金软化退火处理 .....	362
14.1.1.3 小间隙光洁冲切 .....	309	14.3.1.3 银镁镍合金内氧化热处理 .....	362
14.1.1.4 典型零件的级进冲切 .....	311	14.3.1.4 内氧化温度、时间对银镁镍合金性能的影响 .....	363
14.1.2 弯曲件加工工艺 .....	311	14.3.2 钎银铜镍合金强化热处理工艺 .....	367
14.1.2.1 弯曲件展开长度计算 .....	312	14.3.2.1 钎银铜镍合金接点制造 .....	367
14.1.2.2 弯曲件模具凸模与凹模尺寸的确定 .....	326	14.3.2.2 PdAgCuNi40-18-2 合金的热处理 .....	367
14.1.2.3 提高弯曲零件质量的措施 .....	327	14.3.2.3 常见的缺陷及解决措施 .....	368
14.1.2.4 典型弯曲件加工工艺示例 .....	328	14.3.3 铁镍软磁合金的热处理 .....	368
14.1.3 拉深件加工工艺 .....	334	14.3.3.1 热处理工艺的种类及目的 .....	368
14.1.3.1 拉深件的类型及工艺特点 .....	334		
14.1.3.2 拉深件的拉深工艺及计			



14.3.3.2 热处理前的准备 .....	369	14.7.3 塑料制件的后处理 .....	418
14.3.3.3 热处理规范及其选择 .....	369	14.7.4 塑料制件的修整 .....	419
14.3.3.4 零件热处理后的故障及 排除方法 .....	373	14.8 标记工艺 .....	420
14.4 玻璃封接工艺 .....	374	14.8.1 移印工艺 .....	420
14.4.1 玻璃封接件的技术要求 .....	374	14.8.1.1 油墨的选择及调配 .....	420
14.4.2 玻璃封接的分类 .....	375	14.8.1.2 工艺规范的选择 .....	421
14.4.3 玻璃封接对材料的要求 .....	376	14.8.1.3 移印模制造 .....	421
14.4.3.1 封接用玻璃的基本要求 和技术指标 .....	376	14.8.1.4 印制操作要求 .....	421
14.4.3.2 封接用金属材料的基本 要求和技术指标 .....	377	14.8.1.5 常见移印质量问题及排 除方法 .....	421
14.4.4 玻璃封接工艺 .....	377	14.8.2 丝网印刷工艺 .....	423
14.4.4.1 封接前金属件的准备 .....	381	14.8.2.1 丝网的制造 .....	423
14.4.4.2 封接玻璃毛坯制造 .....	382	14.8.2.2 油墨的选择和调配工艺 .....	424
14.4.4.3 封接件的封接技术 .....	382	14.8.2.3 工艺要点及质量要求 .....	425
14.4.4.4 封接件的后处理 .....	383	14.8.3 光学腐蚀工艺 .....	425
14.4.4.5 封接件的表面处理 .....	383	14.8.3.1 铭牌工艺方法 .....	425
14.4.5 玻璃封接件的检测 .....	384	14.8.3.2 信号牌、指示牌的工艺 方法 .....	425
14.5 陶瓷金属化工艺 .....	385	14.8.4 刻字工艺 .....	426
14.5.1 陶瓷金属化工艺过程 .....	385	<b>第 15 章 电器组件制造</b>	
14.5.2 陶瓷金属化配方 .....	385	15.1 触点的制造 .....	427
14.5.3 钎—锰法陶瓷金属化工艺 要点 .....	386	15.1.1 航空电器的触点材料 .....	427
14.5.4 陶瓷金属化的缺陷及处理 方法 .....	387	15.1.2 触点的种类 .....	428
14.6 特种零件的电镀 .....	388	15.1.3 触点的制造 .....	430
14.6.1 双金属元件电镀 .....	388	15.1.4 触点表面的润滑与保护 .....	432
14.6.2 金钴合金电镀 .....	390	15.1.5 触点制造中产生的缺陷及 解决方法 .....	432
14.7 塑料制件工艺 .....	393	15.2 线圈的制造 .....	433
14.7.1 塑料制件的设计 .....	393	15.2.1 绕组的绕制方法 .....	433
14.7.1.1 塑料制件结构及其工艺 性要求 .....	394	15.2.2 线圈的加工技术 .....	434
14.7.1.2 金属嵌件结构及其工艺性 要求 .....	397	15.2.3 绕线设备的选择 .....	440
14.7.1.3 塑料制件、金属嵌件结构 的工艺尺寸及要求 .....	398	15.2.4 灌注 .....	441
14.7.2 塑料制件的成型工艺 .....	400	15.3 双金属元件的制造 .....	443
14.7.2.1 热固性塑料成形 .....	400	15.3.1 双金属元件的分类 .....	443
14.7.2.2 热塑性塑料注射成形工 艺 .....	410	15.3.2 双金属元件制造的工艺过 程 .....	447
14.7.2.3 热塑性塑料双色注射成 形工艺 .....	414	15.3.3 典型元件的成形 .....	447
		15.3.4 双金属元件的热处理 .....	448
		15.3.4.1 热处理参数的选择 .....	448
		15.3.4.2 典型热处理工艺曲线 .....	449
		15.3.5 双金属元件的焊接 .....	449
		15.3.6 常见缺陷及排除方法 .....	450
		15.4 热敏元件的制造 .....	451