



普通高等教育规划教材

# 电子电气设备 工艺设计与制造技术

胡俊达 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

# 电子电气设备工艺设计 与制造技术

主 编 胡俊达  
副主编 曹白杨 华 容  
参 编 杨跃龙 吴铁铮 李利森  
石东海 王书林 李永坚  
主 审 吴新开



机械工业出版社

本书全面介绍了电子电气设备的结构设计、制造安装工艺、组装调试工艺及工艺管理等。全书分为十三章, 主要内容包括: 电子电气设备(产品)结构设计基础, 人机工程学在电子电气设备结构设计中的应用, 电子电气设备的机柜机箱设计, 电子电气设备的电磁兼容性与抗干扰措施, 电子电气设备(产品)的防护措施, 印制电路板制造工艺技术, 表面组装与微组装技术, 电子产品的组装与调试工艺, 电气设备的装配技术与检测调试技术, 电力电子设备特殊工艺问题的处理, 电子产品及设备的质量控制与质量管理与工艺管理等, 并介绍了相应的新工艺和新技术。

根据现代电子电气设备(产品)生产企业的要求, 产品设计师既要掌握产品结构设计方面的专业技术, 又要懂得制造工艺技术, 这给高等教育提出了新的培养要求。本书就是为了弥补电气类专业学生对电子电气设备(产品)结构及制造工艺方面的知识不足而编写的。

面对电子产品与电气设备产业对结构与工艺知识的新需求, 编者根据电子电气设备(产品)自身技术发展趋势和高校目前宽口径专业设置与注重应用能力培养的现状, 结合多年的工厂实践和教学经验而编写成本教材。

本书既可用作高等工科院校自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、通信工程、电子科学与技术、电子信息科学与技术、测控技术与仪器等电气类专业的教学用书, 也适用于职业技术学院、职工大学、业余大学和函授大学的有关专业, 亦可供从事电子电气设备结构设计、现场工艺、工艺管理等工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子电气设备工艺设计与制造技术/胡俊达主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.7

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-14692-1

I. 电... II. 胡... III. ①电气设备—工艺设计—高等学校—教材②电气设备—生产工艺—高等学校—教材③电子设备—工艺设计—高等学校—教材④电子设备—生产工艺—高等学校—教材 IV. ①TN05②TM92

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第05846号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 王保家 苏颖杰

责任编辑: 苏颖杰 版式设计: 霍永明 责任校对: 贾卫东

封面设计: 姚毅 责任印制: 李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·18.25印张·448千字

定价: 25.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 普通高等教育应用型人才培养规划教材

## 编 审 委 员 会

主 任：刘国荣 湖南工程学院  
副主任：左健民 南京工程学院  
陈力华 上海工程技术大学  
鲍 泓 北京联合大学  
王文斌 机械工业出版社

委 员：（按姓氏笔画排序）

刘向东 华北航天工业学院  
任淑淳 上海应用技术学院  
何一鸣 常州工学院  
陈文哲 福建工程学院  
陈 峻 扬州大学  
苏 群 黑龙江工程学院  
娄炳林 湖南工程学院  
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）  
童幸生 江汉大学

## 自动化专业分委员会

主 任：刘国荣 湖南工程学院  
副主任：汤天浩 上海海事大学  
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）

委 员：（按姓氏笔画排序）

刘启中 上海工程技术大学  
刘国繁 湖南工程学院  
陈 虹 扬州大学  
宋丽蓉 南京工程学院  
钱同惠 江汉大学  
黄家善 福建工程学院

# 序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本学科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

## 1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

## 2. 突出特色, 强化应用

围绕培养目标, 以工程应用为背景, 通过理论与工程实际相结合, 构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针: 知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为: “精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上, 挑选出最基本的内容、方法及典型应用; “新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容, 以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容, 并将这些按新的教学系统重新组织; “广”指在保持本学科基本体系下, 处理好与相邻以及交叉学科的关系; “用”指注重理论与实际融会贯通, 特别是注入工程意识, 包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

## 3. 抓住重点, 合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设, 并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设, 力争做好与之配套的电子教材的建设。

## 4. 精选编者, 确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验, 又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务, 以确保教材质量。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国工程应用型人才培养质量的提高, 必将产生积极作用, 会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光, 高瞻远瞩, 及时提出并组织编写这套系列教材, 他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作, 并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件, 在此深表衷心感谢!

编委会主任 刘国荣教授  
湖南工程学院院长

# 前 言

高等工程教育的培养目标是培养德智体诸方面全面发展、受到工程师基本素质与技能训练的高等技术应用性人才。就我国目前现况,电气类专业毕业的学生,工作于工厂车间、从事工艺工作的为数很多,为适应电气类专业教学的需要,为加强工艺实践环节,特组织编写本书。本书由全国普通高等教育应用型人才培养规划教材编审委员会组织审定并推荐出版。

“一个好的产品设计师,首先应该是一个好的工艺师。”随着科学技术的进步,工艺技术的不断发展,要求产品设计师既要掌握产品设计方面的专业技术,又要懂得工艺技术,这是有一定困难的。“电子电气设备工艺设计与制造技术”课程就是为了弥补电气类专业学生对电子电气设备(产品)结构及制造工艺方面的知识不足而开设的。

本书是一本以讨论电子电气设备结构设计、组装、调试等方面的工艺性问题和制造技术为主要内容的实用教科书。全书共十三章,主要内容包括:电子电气设备结构设计的一般问题,机柜机箱设计,人机工程学在结构设计中的应用,电子电气设备的电磁兼容性设计、防护措施、制造、组装、调试工艺,电力电子设备特殊工艺问题的处理以及工艺管理基本内容介绍等。

本书适合作为高等工科院校电气类专业,特别是自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、通信工程、电子科学与技术、电子信息科学与技术、测控技术与仪器等专业教学用书,也适用于职业技术学院、职工大学、业余大学和函授大学的有关专业,亦可供从事电子电气设备结构设计、现场工艺、工艺管理等工程技术人员参考。

本书由湖南工程学院胡俊达担任主编,华北航天工业学院曹白杨和上海应用技术学院华容担任副主编,湖南科技大学吴新开教授担任主审。

本书的第二章第一~五节由湖南工程学院李永坚编写,第三章由湖南工程学院杨跃龙、李永坚编写,第五、七章由华容编写,第六、八章由曹白杨编写,第九章由南京工程学院王书林编写,第十章由杨跃龙编写,第十二章第一、二、七节由西安电力整流器厂高级工程师(教授级)吴铁铮编写,第十二章第三、四节由西安电力整流器厂高级工程师李利森编写,第十二章第五、六节由西安电力整流器厂高级工程师石东海编写,绪论及其余章节及附录由胡俊达编写;第五、六、七、八章由曹白杨协助统稿,全书由胡俊达负责统稿。

在本书编写过程中,有关工厂、院校、科研单位与有关专家给予了大力支持和帮助,特别是上海大学的陈伯时教授、上海交通大学的陈敏逊教授对本书的编写结构和内容提出了非常中肯的建设性意见,原西电集团副总工程师、西安电力整流器厂总工程师吴铁铮高工,及李利森高工,石东海高工在百忙之中,亲自撰写了有关章节,在此一并表示衷心的感谢和崇高的敬意。

限于编者的业务水平,加之近年来新技术、新工艺的不断出现,书中有很多不足之处,希望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 序                          |     |
| 前言                         |     |
| 绪论                         | 1   |
| 第一章 电子电气设备结构设计的一般问题        | 4   |
| 第一节 电子电气设备结构设计的主要内容        | 4   |
| 第二节 电子电气设备结构设计所需考虑的问题      | 5   |
| 第三节 人机工程学在电子电气设备结构设计中的应用   | 13  |
| 思考题                        | 35  |
| 第二章 电子电气设备的机柜机箱设计          | 36  |
| 第一节 概述                     | 36  |
| 第二节 机架机柜结构设计               | 39  |
| 第三节 机箱结构                   | 49  |
| 第四节 底座设计                   | 53  |
| 第五节 面板设计                   | 56  |
| 第六节 导轨及附件                  | 57  |
| 第七节 工业计算机集中控制操作台结构设计       | 57  |
| 思考题                        | 62  |
| 第三章 电子电气设备的电磁兼容性与抗干扰措施     | 63  |
| 第一节 概述                     | 63  |
| 第二节 电磁干扰及干扰途径              | 63  |
| 第三节 屏蔽原理及屏蔽措施              | 66  |
| 第四节 滤波器                    | 73  |
| 第五节 电子电气设备的接地系统            | 77  |
| 第六节 电子电气设备的电路隔离技术          | 78  |
| 思考题                        | 84  |
| 第四章 电子电气设备(产品)的防护措施        | 85  |
| 第一节 气候因素的防护                | 85  |
| 第二节 电子电气设备(产品)散热及防护        | 88  |
| 第三节 电子电气设备的减振与缓冲           | 97  |
| 思考题                        | 102 |
| 第五章 印制电路板制造工艺技术            | 103 |
| 第一节 印制电路板的类型与特点            | 103 |
| 第二节 印制电路板的设计基础             | 107 |
| 第三节 印制电路板的印制与制造工艺          | 113 |
| 第四节 印制电路板的质量检查及控制          | 117 |
| 第五节 印制电路的新发展               | 119 |
| 思考题                        | 120 |
| 第六章 表面组装与微组装技术             | 121 |
| 第一节 概述                     | 121 |
| 第二节 表面组装元器件                | 123 |
| 第三节 表面组装技术                 | 128 |
| 第四节 微组装技术                  | 138 |
| 思考题                        | 140 |
| 第七章 电子电路的焊接工艺技术            | 142 |
| 第一节 焊接技术的一般问题              | 142 |
| 第二节 焊接工艺技术                 | 148 |
| 第三节 焊接的可靠性及质量要求            | 156 |
| 思考题                        | 160 |
| 第八章 电子产品的组装与调试工艺           | 161 |
| 第一节 电子产品的组装生产线和组装工艺        | 161 |
| 第二节 电子产品的调试技术              | 165 |
| 第三节 电子产品的检验                | 171 |
| 思考题                        | 175 |
| 第九章 电子产品及设备的质量控制与质量管理      | 176 |
| 第一节 设计审查                   | 176 |
| 第二节 系统可靠性管理                | 179 |
| 第三节 系统维修性管理                | 185 |
| 第四节 电子元器件的质量、电子元器件的选用与老化方法 | 186 |
| 第五节 产品试验项目与试验方法            | 190 |

|                                    |            |                          |            |
|------------------------------------|------------|--------------------------|------------|
| 第六节 电子产品与电子设备的质量反馈 .....           | 196        | 第五节 电力电子器件的散热设计 .....    | 247        |
| 第七节 简易质量管理图 .....                  | 198        | 第六节 柜体设计与生产工艺 .....      | 250        |
| 思考题 .....                          | 199        | 第七节 保护环节的设计与工艺问题 .....   | 251        |
| <b>第十章 电工电气设备的装配技术</b> .....       | <b>200</b> | 思考题 .....                | 254        |
| 第一节 一次母线制作设计与制造工艺 .....            | 200        | <b>第十三章 工艺管理</b> .....   | <b>255</b> |
| 第二节 开关柜的二次回路接线 .....               | 211        | 第一节 工艺工作在企业中的作用和地位 ..... | 255        |
| 思考题 .....                          | 221        | 第二节 工艺管理体系 .....         | 256        |
| <b>第十一章 电工电气设备的检测调试与出厂试验</b> ..... | <b>222</b> | 第三节 生产技术准备过程中的工艺管理 ..... | 258        |
| 第一节 高压开关柜的出厂试验与调试 .....            | 222        | 第四节 生产现场的工艺管理 .....      | 266        |
| 第二节 低压开关柜的出厂试验 .....               | 229        | 第五节 工艺文件的完整性 .....       | 267        |
| 第三节 控制屏(台)的出厂检查试验 .....            | 233        | 第六节 工艺纪律管理 .....         | 268        |
| 思考题 .....                          | 237        | 第七节 工艺验证 .....           | 270        |
| <b>第十二章 电力电子设备特殊工艺问题的处理</b> .....  | <b>238</b> | 第八节 ISO9000 系列标准简介 ..... | 270        |
| 第一节 概述 .....                       | 238        | 第九节 3C 认证知识简介 .....      | 275        |
| 第二节 电力电子元器件的选择 .....               | 239        | 思考题 .....                | 277        |
| 第三节 整流变压器的设计与安装工艺 .....            | 242        | <b>附录 部分有关标准编号</b> ..... | <b>278</b> |
| 第四节 设备的联线安装工艺 .....                | 244        | <b>参考文献</b> .....        | <b>280</b> |

# 绪 论

随着科学技术的迅速发展,近几十年来,在基础理论、材料、工艺、生产技术等方面取得了一系列重大突破后,电子电工技术进入了一个新的发展阶段。当前电子电工技术已经广泛地应用于国防、国民经济和人民生活等各个领域。

人们把利用电子学原理制成的设备、装置、仪器、仪表等统称为电子设备,如通信设备、电视机、收音机、电子计算机、电子测量仪器等。电子设备又由于产生、变换、传输和接收的电磁信号的不同,一般分为模拟电子设备和数字电子设备,二者在组成功能上有相同之处,但在组成方法上有着本质的区别。利用电工学原理制成的设备、装置等则统称为电工设备或电气设备。例如各种高低压开关柜、电气控制柜等。应用在不同的额定电压范围内的电气设备,又分为高压电气设备和低压电气设备,按有关规定把用于额定电压 1kV 以上的电气设备称之为高压电气设备;而把用于额定电压 1kV 以下的电气设备称之为低压电气设备。习惯上,又把电子设备称为“弱电”设备,把电气设备称为“强电”设备。事实上,电子、电工技术相互渗透应用到这两类设备的设计制造中。这两类设备的发展,依赖于电子电工技术的进步。这两类设备在制造过程中既存在着差别,又有很多共性之处。

## 一、电子电气设备的生产和工艺

任何电子电气设备从原材料进厂到成品出厂,往往要经过千百道工序的生产过程;而在这一过程中,有 80%~90%是具有一定技能的人操作一定工艺装备(设备),按照特定的工艺规程方法制造产品,这些活动都是工艺要素的有机的结合。因此生产企业的活动有 80%~90%是属于工艺活动。

工艺工作就是对这一生产过程的客观规律作了正确的反映,成为企业进行计划管理、技术准备、生产调度、原材料供应、劳动调配乃至经济核算的技术依据;又是加工操作、安全生产、计量检验的技术指导。因此,工艺工作是解决企业的产品怎样制造,采用什么方法、采用什么生产资料去制造的综合性活动。故此,工艺工作水平的高低,直接决定在一定设计条件下,能制造什么水平的产品。市场上产品的竞争,实质上是企业生产能力、工艺水平的竞争。

工艺工作的内容又可分为工艺技术和工艺管理两个方面。工艺技术是生产实践劳动技能及应用和应用科学研究成果的积累和总结,提高工艺技术水平是工艺工作的中心。众所周知,任何先进的技术又都是通过管理工作的保证才得以实现和发展,工艺管理是对工艺工作的计划、组织、协调与实施,是保证工艺技术在生产实践中贯彻和不断发展的管理科学。

生产实践证明,无论产品多么复杂,劳动技能要求多么高,任何装配操作都可以分解成一些简单操作动作的组合。因此,采用先进的技术(先进的加工方法、先进的工装设备等),拟定良好的工作方法和措施,改善工作环境,以使每项工作的操作简单、流畅、高效率、低强度。这不仅是生产发展的必然规律,亦是工艺工作的着眼点。

产品的技术保密,主要在工艺方面;在国外,生产工艺是极其保密的。国内自行设计制造的一些产品与工业发达国家生产的同类产品相比尚有一定差距,其原因大多不在设计方

面,而在于制造工艺水平的差异。这也与多年来国内重视设计轻视工艺的倾向和作法无不有关。近年来,这种倾向和作法已经改变。对整机生产厂而言,工艺人员与设计人员至少要按2:1的比例配置,而元器件生产厂要达到3:1的比例。

电子电气设备的生产,牵涉到元器件筛选工艺、印制板制造工艺、元器件焊接工艺、机箱机柜制作工艺、组装装配工艺、调试与检测工艺等等,本书对此一一作了介绍。

## 二、本书所涉及的有关工艺术语

(1) 工艺 劳动者利用生产工具对各种原材料、半成品进行加工或处理,最后使之成为产品的方法。是人类在劳动中积累起来并经过总结的操作技术经验。

(2) 工艺规程 规定生产中合理加工方法的技术文件,如机电产品制造厂的过程卡、工艺卡、工序卡(操作卡)、工艺守则和检验卡等。在这些技术文件中,规定产品的工艺路线、所用机器设备和工夹模具的种类、产品的技术要求和检验方法、工人技术水平和工时定额、所用材料的规格和消耗定额等。工艺规程内容的繁简,视产品的技术要求、生产数量而定。它是组织生产和工人进行生产操作的重要依据。

(3) 工艺性能 对材料使用某种加工方法或过程以获得优质制品的可能性或难易程度,如铸造性能、切削性能等。

(4) 工艺装备 制造产品所用的刀具、夹具、量具、模具等工具的总称。它可分为:

1) 标准工艺装备。适用于制造不同产品,有利于缩短工艺准备时间、降低工艺准备费用。

2) 专用工艺装备。只适用于制造特定的产品,有利于提高劳动生产率和产品质量。

(5) 工艺设计 工艺规程设计和工艺装备设计的总称,是工业企业工艺准备工作的主要组成部分。工艺规程设计工作的主要内容包括:决定产品制造和质量检验的过程与方法,选择设备,确定必要的工艺装备,制订工时定额和原材料消耗定额,拟定劳动组织和生产组织等。工艺装备设计工作的内容根据工艺规程的要求,设计各工序所需要的专用工具,如冲模、压模、夹具和刀具等。

(6) 工艺过程 亦称“工艺技术过程”。利用劳动工具改变劳动对象的形状、大小、成分、性质、位置或表面状况,使其变成预期产品的过程,如机器制造过程中的铸造、锻压、机械加工、热处理、焊接、装配、油漆过程。工艺过程是劳动过程的主要组成部分。

(7) 工艺原则 亦称“机群制”原则,是按一定工艺设置车间(工段、班组)的原则。在这一原则下,车间(工段、班组)集中着同种类型的工艺设备和同工种的工人,设备或工艺的名称往往就是车间(工段、班组)的名称。如电气设备制造厂划分为(机柜)钣金(冷作)加工车间、装配车间、油漆车间等等。钣金加工车间又划分为下料工段(班组)、弯板工段(班组)、冲压工段(班组)、电焊工段(班组)等。在生产专业化程度不高,产品品种经常变换的条件下,适用工艺原则。

(8) 工艺流程 亦称“加工流程”或“生产流程”。从原料投入到成品出产,按顺序连续地通过特定的加工工序(或者是设备或管道)进行的加工过程,如电子工业中制造印制板的加工流程、化学工业中的天然原油加工流程等。

## 三、本课程的内容、任务和学习方法

“一个好的产品设计师,首先应该是一个好的工艺师。”一个不懂工艺技术的设计人员不可能设计出一个好的产品。要成为一名优秀的设计师,其必要条件之一,是应具备比较全面

的工艺知识。因为任何一种产品在设计时，不仅要考虑满足用户的要求，同时还应满足制造工艺及调试工艺的要求，即具有良好的工艺性，否则难以达到预期的技术经济效益，致使缺乏市场竞争能力。

我国工业技术水平与世界工业发达国家比较，尚有不小的差距，工艺技术水平差距更大。实践证明，一个好的设计，如果没有先进的工艺技术，就不可能按设计要求生产制造出高质量的产品，因此，提高工艺水平的任务十分迫切。设备（产品）的结构设计，在很大程度上决定了采用何种工艺手段，这就对设备（产品）设计必须具有良好结构工艺性提出了更高的要求。本课程所要讨论的主要内容是有关电子电气设备结构设计、组装、调试等方面的工艺性问题。全书共十三章，介绍了电子电气设备结构设计的一般问题，机柜机箱设计制造，人机工程学在结构设计中的应用，电子电气设备的制造、组装、调试工艺以及工艺管理基本内容等。

在实际工作中，电气设计与结构设计的关系十分密切，甚至密不可分，因此电气设计人员掌握和了解设备的结构工艺、制造工艺的知识，不仅对电气设计有益，而且也是为进一步妥善解决在设计中可能出现的电气和结构的矛盾找到解决途径。

本课程所涉及的知识面较广，涉及到设计结构、材料知识、测试技术、人机工程学、设备条件、产品品质、产品成本等。在学习本课程之前，应具备理化基本知识、机械基础、金属工艺、元器件材料、电子技术、电工技术等有关专业方面的知识。限于篇幅，有关内容本书没有详细论述或者没有编入，读者可参阅其他专门的论著。由于本课程是一门实践性较强的课程，故此，在学习过程中，要深入工厂多接触生产实际，多了解各类设备构造及使用特点，多了解电子电气设备制造的工艺过程，把工厂现场实际知识与书本知识结合起来，这样才有利于这门课程的学习和进一步研讨。

# 第一章 电子电气设备结构设计的一般问题

## 第一节 电子电气设备结构设计的主要内容

在电子电气设备的设计中，需要进行结构设计，电子电气设备的结构设计所包括的内容，大致有以下几个方面。

### 一、整机组装结构设计

整机组装结构设计也称整机总体结构设计，它包含以下内容：

(1) 结构总体布局设计 确立整机结构形式和尺寸，进行元器件布局、布线和组装设计。

(2) 结构件设计 包括机柜、机箱（或插入单元）、机架、机壳、底座、面板、导轨及其他附件的设计。

(3) 机械传动装置设计 在设备使用和控制过程中，对某些参数（电或机械）的调节和控制所必需的各种机械传动组件或执行元件进行设计。

(4) 机、电连接结构设计 各种接插件、开关元件等活动连接件的选用，以及互连结构的设计。

(5) 环境保护设计 包括元器件、组件及整机的热设计，防腐、防潮、防霉设计，振动与冲击隔离设计、屏蔽接地设计等。

(6) 总体造型与色彩设计 人机关系处理，装饰美工设计等。

### 二、组件的结构设计

(1) 电气组件结构设计 主要是保证电性能的合格和良好的工艺性，如整流电源组件、高频组件设计等。

(2) 机械组件设计 包括各种调谐、调节、控制、显示机构设计，主要考虑机、电协调和精度。

### 三、热设计

电子电气设备的热设计，是指对电子电气元器件、组件及整机的温升控制。温升控制的方法有自然空冷、强迫空冷、强迫液冷、蒸发冷却、温差电致冷、热管传热等。

### 四、隔振与缓冲设计

为了减少设备在使用和运输途中外界机械因素对其的影响，需进行隔振与缓冲设计。其内容包括：机械力引起材料疲劳应力分析，结构谐振对电性能的影响，结构的强度、刚度和稳定性问题，减振系统设计及选用，结构耐冲振设计。

### 五、电磁兼容性设计与抗干扰措施

电子电气设备的电磁兼容性设计，可以提高电子电气设备的抗干扰能力，以保证设备电性能指标的实现，包括屏蔽设计与接地设计等。

### 六、连接设计

电子电气设备中存在着大量的固定、半固定以及活动的电气接点，实践证明这些接点的

接触可靠性对整机和系统的可靠性有很大的影响。因此,必须正确地设计、选用连接工艺,如钎焊、压接、熔接等;正确选用各种接插件、开关件等。

### 七、结构试验

根据技术要求和设备的特殊用途,对模拟设备或试制产品进行各种结构试验,以考核设计的正确性和可靠性。结构试验包括环境适应性试验、可靠性试验、寿命试验、结构刚强度试验、结构电性能试验、机构的机械性能和精度分析试验等。

上述各个结构设计内容是相互关联的,不能把它们截然分开,在设计时需进行综合考虑。

综上所述,电子电气设备的结构设计包含着相当广泛的技术内容。它是一门边缘学科,包括有力学、机械学、化学、电学、热学、光学、工程心理学、环境科学等多门基础学科的综合利用。本课程仅是扼要地介绍电子电气设备结构设计、人机工程学在其中的应用、制造工艺、装备与调试工艺、工艺管理等基础知识,以赋予设计人员、工艺人员以及工艺管理人员等必备的基础知识,如需进一步研究,可参阅其他专门的论著。

## 第二节 电子电气设备结构设计所需考虑的问题

现代电子电气设备的结构设计问题是与提高产品质量和生产效率的任务结合在一起的。为此,电子电气设备的结构设计必须考虑下列三个方面的问题。

### 一、电子电气设备的工作环境

电子电气设备所处的环境,可分为自然环境和使用环境。

自然环境包括温度、湿度、气压、风沙、辐射、盐雾、降水、生物危害等自然条件所形成的因素。

使用环境是设备在工作、运输、储存中所处的环境。使用环境时常受自然环境诸因素的影响,由于电子电气设备用途广泛和运输工具的不同,其使用环境相当的复杂,其中包括一般室内环境、一般室外环境、恶劣的工业环境、地面车辆环境、水域舰船环境、地下坑道环境、空间飞行环境、原子辐射环境。

电子电气设备所处的环境是复杂多样的,但对其影响而言,可主要归结于三个方面:气候因素影响,机械因素影响,电磁干扰影响。在进行结构设计时,既要考虑一般的自然条件(自然环境),又要考虑使用条件(使用环境),确定其主要影响因素,根据自然环境和环境中各个因素可能出现的最恶劣情况进行结构设计,以保证设备在受到多种环境因素的长期综合作用下,仍能稳定而可靠地工作。

#### (一) 气候因素的影响

我国疆域辽阔,南北跨温、热两大气候带,大部分地区属东亚季风气候,由于各地海拔、距海远近的差异和多种地形错综分布的影响,形成了全国气候复杂多样的特点。根据我国地理位置以及电子电气设备金属腐蚀与防护要求,电子电气产品的气候带分为热带、亚热带、温带和寒带四个气候带;其气候区分为湿热区、亚湿热区、亚干热区、高原区、温和区和干燥区六个气候区。

#### 1. 温度因素的影响

高温对处于工作状态的电子电气设备有严重影响,表现为设备散热困难、电参数变化、

元器件热击穿、稳定性与可靠性下降等。情况严重时,设备无法工作或造成损坏。低温对处于储存状态的电子电气设备有不良影响,主要表现为材料变质、元器件性能改变或损坏、出现凝露受潮现象等等。某些功率较小,工作于极低温度下的电子电气设备电性能也会变坏。

温度的剧烈交变对于电子电气设备有极大的危害。主要表现为电参数变化、热应力损坏和凝露受潮使材质变质损坏。在昼夜温差达  $30^{\circ}\text{C}$  以上的地区(如沙漠地带)使用的电子电气设备应进行温度交变试验。

运载工具中的电子电气设备的环境温度往往高于自然环境温度,应引起足够重视。

## 2. 干燥和湿热气候的影响

高温和湿热气候对电子电气设备有极大的危害,主要表现为材料受潮变质,绝缘性能下降,元器件电参数变化、短路、腐蚀和霉菌、昆虫侵蚀,特别是湿热剧烈交变对其影响更为严重。对工作于湿热地区的电子电气设备必须进行湿热交变试验。

干燥使纤维材料和塑料、橡胶等有机材料变干发脆,从而导致某些部件(如绝缘件、密封件、弹性件等)失效。

## 3. 气压的影响

随着高度增加,气压降低,电子电气元器件抗电强度下降,导致飞弧、击穿。试验表明:在海拔  $5000\text{m}$  以下,每升高  $100\text{m}$  抗电强度下降  $1\%$ ;在  $30000\text{m}$  高空抗电强度为地面的  $9.9\%$ 。同时由于大气密度减小,设备对流散热能力变差。测试表明:在  $5000\text{m}$  以下,每升高  $100\text{m}$ ,设备温度升高  $0.4\sim 1^{\circ}\text{C}$ ;在  $1000\text{m}$  高空,对流散热能力约为地面的  $50\%$ 。

## 4. 盐雾和大气中有害物质的影响

海上和沿海大气中含有盐分而形成盐雾。盐雾使设备的绝缘性能大大降低,盐雾沉积在设备或元器件、零部件上会加速腐蚀,特别是当盐雾和高温、高湿结合在一起时,造成的影响更为严重。故沿海和海用设备应进行盐雾试验。

在部分工业环境中,大气中存在着工业生产排放的污染物质,如二氧化硫、氯化氢以及各种化学反应形成的烟雾。这些含有酸、碱、盐成分的雾,引起电子电气设备金属部件的腐蚀,并使有机材料变质。

工业环境中所存在的工业粉尘、生物碎屑、霉菌孢子,随气流四处传播,它们侵入电子电气设备,加速设备运动部件的磨损,破坏绝缘,形成危害,应予以重视。

## 5. 其他因素的影响

湿热、亚湿热地区温湿度适宜,易繁殖昆虫和滋生霉菌,对电子电气设备造成危害。

日光直接照射会引起电子电气设备过热,引起光化学反应,使有机材料老化、变质并导致元器件绝缘强度下降,甚至造成损坏。

各种气候因素对电子电气设备元器件、材料的影响见表 1-1。

## (二) 机械因素的影响

电子电气设备在使用和运输过程中,要经受各种机械因素的作用。其所经受的机械作用可分为两类:一是设备工作时固有的正常的机械磨损,如设备中运动部件长期工作所产生的磨损,使设备寿命缩短。二是设备在运输过程中和在运载工具中工作时,受到外界的动力作用,虽然是随机性地产生,但终将可能对设备造成严重破坏性后果。我们在此所讨论的机械因素对电子电气设备的影响,是指外界对电子电气设备所施加的各种动力作用,包括:振

动、冲击、碰撞和离心力等。

表 1-1 气候条件对电子电气元器件、材料的主要影响

| 气候条件 |             | 影 响                                                    | 结 果                                                                                                                                          |
|------|-------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 温 度  | 高温          | 材料软化<br>化学分解和老化<br>设备过热<br>润滑油粘度降低<br>金属膨胀不同<br>金属氧化加速 | 结构的强度减弱<br>元器件材料电性能变化, 甚至损坏<br>元器件损坏、着火、低熔点焊锡缝开裂或焊点脱开<br>轴承损坏<br>活动部分卡住, 紧固装置出现松动、接触不良<br>接地接触电阻增大, 金属材料表面电阻增大                               |
|      | 低温          | 材料变脆<br>润滑油、脂粘度增大<br>材料收缩不同<br>元器件的性能变化<br><br>密封橡胶硬化  | 结构的强度减弱, 电缆损坏, 蜡变硬, 橡皮发裂<br>轴承、开关等产生“粘滞”现象<br>活动部分被卡住, 插头、插座、开关片等接触不良<br>铝电解电容损坏, 石英晶体不振荡, 蓄电池容量降低, 继电器接点烧结<br>气密设备的泄漏率增大                    |
|      | 高低温<br>循环变化 | 剧烈的膨胀与收缩产生内应力, 交替的凝露、冻结与蒸烤                             | 加速元器件材料的机械损伤和电性能变化                                                                                                                           |
| 湿 度  | 高湿          | 水蒸气沉积<br><br>吸收水分<br>金属腐蚀<br><br>化学性质变化<br>水在半密封设备中凝聚  | 绝缘电阻降低, “导电小路”的飞弧出现, 介电常数增大, 介质损耗增大<br>某些塑料零件隆起和变形, 电性能变化, 结构破坏<br>结构强度减弱, 活动部分被卡住, 表面电阻增大, 电接触不良, 其他元器件材料受到腐蚀物的沾污<br>材料发生溶解和变化<br>上列故障均可能发生 |
|      | 干燥          |                                                        | 木材、皮革和纤维织物之类的材料变干而发脆                                                                                                                         |
|      | 湿热交<br>替变化  | 材料毛细管的“呼吸作用”                                           | 加速材料的吸潮和腐蚀过程                                                                                                                                 |
| 气 压  | 高气压         | 气密设备中的应力                                               | 结构损坏、漏泄                                                                                                                                      |
|      | 低气压         | 空气抗电强度降低<br>空气介电常数减小<br>气密设备中的应力增大<br>散热困难<br>冷焊       | 容易产生击穿, 高压点的飞弧、电晕现象增加<br>元器件电参数发生变化<br>密封外壳变形, 焊缝开裂, 结构损坏、泄漏<br>设备温度升高<br>机械动作困难                                                             |
| 盐雾   |             | 金属腐蚀<br><br>绝缘材料电阻下降                                   | 对含镁量高和具有相互接触的不相同金属腐蚀尤为严重, 结构强度减弱<br>产生凹点, 表面电阻和抗电强度降低                                                                                        |
| 大气污染 |             | 金属腐蚀<br>化学性质的变化                                        | 某些塑料膨胀, 介质损耗增大                                                                                                                               |