

高等学校适用教材

电气控制设备工艺学

(设计 制造 装配 调试)

李 及 主编

吉林科学技术出版社

[吉]新登字03号

内 容 介 绍

本书以电子电控设备设计、装配调试维修等方面必备知识为基础,结合多年从事这方面工作的工程技术人员所积累的成熟经验组织编写的。通过对该门课程的学习,使学生不仅具备工程技术的应用能力,而且增强对有关工艺问题的处理能力,以及在工程实际中贯彻执行国家标准的意识。

本书共十二章,除介绍了人机工程学的基本概念和电子电控设备的机箱机柜的结构与制作外,着重介绍了印刷电路板的计算机辅助设计、制作以及元件的排放、布线、扎线规格要求等,同时对电子电控设备防护和电磁兼容性设计,电子电控设备安装调试和质量控制等问题也作了深入的讨论。

本书可用作高等工科院校自动化专业、工业电子专业以及电器与控制专业教材,也可供从事电子电控设备设计制造、通讯工程等方面的工程技术人员参考。

电气控制设备工艺学

李 及 刘祖润 陈金玉 主编

责任编辑:赵玉秋

封面设计:赵利民

出版
发行 吉林科学技术出版社

787×1092毫米16开本 11.5印张

277千字

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

印数1—2000册 定价:15.00

印刷 北京市朝阳区文兴印刷厂

ISBN 7-5384-0837-1/TM·10

前 言

本书是根据全国高等工科大学电气类专业协会电子电控设备工艺学教学大纲编写的。目的是对该专业学生加强工程技术应用能力的培养。

从小的电子元件，到制造一台大型的电子电控设备，不仅要有电路设计及逻辑设计的本领，还要有可靠的实现手段和方法。也就是说要充分利用先进的科学成果，通过加工、制作等多方面处理达到设计预期的性能指标。为达到这一目的，不仅要有电路的知识，还要有物理的、化学的、机械的、电气的、甚至大气的、生物的、人机工程、美学等方面的知识，尤其是材料学，包括金属材料、塑料、化工产品的性能及使用加工等方面知识，所以对工程设计来说从构思到出图，直至某种产品或一项工程的完成，是运用各种知识综合性学问。这门学问就是该项制造业的工艺学。从事这方面生产活动的工程技术人员称为工艺工程师。实践证明，再好的设计，若没有科学的工艺处理，就不会有质量较高的产品。工艺方面的管理贯穿着整个生产过程。对于工业控制设备的制造也是一样，没有大批的电子电控方面高级工艺人才，不断的提高电子电控设备制造工艺水平，使我国的电子电控设备能在国际市场上有稳固的地位是困难的。然而恰恰在这个环节上许多大专电子电气专业的教学安排是薄弱的。本书的编写是为了在电子、电气工程专业加强工艺实践环节。期盼在今后的教学中，根据各兄弟学校的经验不断修改充实和完善，使其成为适用于提高电子电气工程类专业工程实践教学质量的教材。

全书共十二章，主要内容包括人机工程学的基本概念，机柜机箱选型与制造，印刷电路板材料及印刷电路的设计与制造工艺、元件组装，分布与连接，装配与调试，电磁兼容性设计及防护，电子电控设备的质量控制与维修技术，并选编了常用的国家标准作为附录供查阅。

本书绪论及前四章由李及编号，中间四章由刘祖润编写，后四章由陈金玉编写。

由于近年新技术、新工艺不断出现，书中必有一些陈旧和不足之处，希各位有经验的同志能及时转告所发现的问题，以利于再版时改正。来函请寄：130022长春市卫星路一号，长春大学电子工程学院赵文忠 电话0431—5640272。

编 者

1995年5月

第一章 人机工程学的基本概念	1
第一节 人机工程学概述	1
第二节 人机工程学的基本概念	1
第三节 人机工程学的基本原理	1
第二章 机柜机箱选型与制造	1
第一节 机柜机箱的概述	1
第二节 机柜机箱的选型	1
第三节 机柜机箱的制造	1
第三章 印刷电路板的设计与制造工艺	1
第一节 印刷电路板概述	1
第二节 印刷电路板的设计	1
第三节 印刷电路板制作的后期处理	1

目 录

(10)	前言	
(11)	绪论	(1)
(12)	第一章 机柜机箱结构设计造型的基本知识	(8)
(13)	第一节 机柜机箱结构设计概述	(8)
(14)	第二节 机柜机箱的结构设计	(12)
(15)	第三节 机箱造型与色彩	(20)
(16)	第二章 机箱机柜制造	(27)
(17)	第一节 钣金规格种类	(27)
(18)	第二节 钣金裁剪与加工	(34)
(19)	第三节 焊接工艺	(37)
(20)	第三章 人机工程学概述	(44)
(21)	第一节 人的生理特征	(44)
(22)	第二节 与整机设计相关的人体参数	(47)
(23)	第三节 操作环境的设计	(50)
(24)	第四节 整机设计中的操作控制	(52)
(25)	第四章 印制电路板	(55)
(26)	第一节 印制电路板的材料与制作	(55)
(27)	第二节 印制电路板的类型	(56)
(28)	第三节 印制电路板上的元件布局	(59)
(29)	第四节 印制电路板布线原则	(63)
(30)	第五节 印制电路板的制作	(65)
(31)	第五章 印制电路板的计算机辅助设计	(71)
(32)	第一节 SMARTWORK软件	(71)
(33)	第二节 TANGO V1.13~V3.12系统	(78)
(34)	第三节 PROTEL软件	(81)
(35)	第六章 印刷电路板的制造工艺	(85)
(36)	第一节 印刷电路板的制作	(87)
(37)	第二节 印刷电路板的机械加工工艺	(89)
(38)	第三节 印刷电路板制作的后期处理	(89)

第四节	双面印刷电路板的连接	(91)
第五节	多层印刷电路板简介	(93)
第六节	印刷电路板的质量检验	(93)
第七章	元件组装工艺	(99)
第一节	组装前准备工作	(99)
第二节	电子元器件的插装	(100)
第三节	焊接与清洗	(101)
第八章	电子电气设备组装作业	(106)
第一节	典型单元组装布局的原则	(106)
第二节	布线与扎线作业	(107)
第三节	连接技术	(110)
第九章	整机调试	(114)
第一节	测试仪表的正确选择和使用	(114)
第二节	整机调试的基本内容	(117)
第三节	整机调试方案的制订	(121)
第四节	故障的查找和排除方法	(122)
第五节	现代测试设备简介	(125)
第十章	电子电气设备的防护	(130)
第一节	对不利环境的防护	(130)
第二节	电子设备的防腐设计	(132)
第三节	振动和冲击的防护	(137)
第十一章	电气设备的电磁兼容器	(140)
第一节	电磁干扰及其干扰途径	(140)
第二节	屏蔽原理与设计	(145)
第三节	馈线与地线干扰的抑制	(149)
第四节	电气设备的接地系统	(154)
第十二章	电子产品的质量的控制	(158)
第一节	电子产品的质量的标准	(158)
第二节	产品试验项目与试验方法	(159)
参考文献		(162)
附录		(163)

绪 论

卷图封麻图卷封.11

随着科学技术的发展,工程现场对控制水平要求越来越高,集中表现在控制速度、精度可靠性、先进性、经济性诸方面。因此一台先进的电子电控设备的出现:第一是工程现场为提高产品质量或数量的实际需求。第二是有可利用的科学技术发展的新成果(包括新技术、新器件等)。第三是有确保实现设备性能指标的工艺和调试手段。

下面我们就大家已熟悉的KGPS100—1用于中频感应加热的可控硅变频器为例,说明一台新的电子电气控制设备的研制过程及所应提供的技术文件。

过去中频感应加热设备都是依赖于笨重的发电机组,由于可控硅变流技术的发展,便提出用可控硅变频器取代中频发电机组。由于可控硅变频装置无传动部件、无轴承、电刷、滑环等磨损部分,因此可控硅变频器无论在可靠性还是先进性、经济性方面都优于中频发电机组。

设计者根据工程现场提供的技术指标或参数选择方案并论证。例如:

主要参数:

输入: 电压	380V
电流	200A
频率	50HZ
相数	三相
输出: 频率	1000HZ (频率变化范围800HZ~1200HZ)
功率	100KW
电流	250A
电压	750V
效率	≥90%

方案选择(论证略):

1. 整流回路采用可控硅三相桥式全控电路。
2. 逆变器采用自激振荡工作方式。
3. 谐振槽路采用并联振荡回路。
4. 逆变器起动采用他激启动方式。
5. 装置保护方式采用脉冲封锁。

方案确定后便可进行具体的设计计算。设计结束后,应提供的技术文件和图纸有:

1. 设计计算书(含整流、逆变元件参数选择计算)。
2. 元件焊接筛选工艺(为了确保整机的质量)。
3. 分板的调试工艺(用于局部电路调试)。
4. 整机安装调试工艺(或调试说明书)。
5. 使用说明书。
6. 系统方框图。
7. 电气原理图。

8. 电气元件安装位置图

9. 接线图和接线表

10. 电气元件一览表

11. 机箱机柜及其它有关的接插件、印刷电路底板图等。

KGPS100—1变频器生产过程中的主要图纸和有关文件分述如下：

工程图纸被称为“工程界的语言”。在设计和改进电子电气设备时，设计者要通过图纸来表达设计思想和要求；在装配和调试过程中，无论是元器件的安装、焊接、布线、装配和调试等各个工艺环节，都要以图纸为依据；在使用和维护设备时，也要通过图纸和有关文件来了解设备的结构和性能指标。因此，工程图纸是表达和交流技术思想的重要工具，是工程技术领域里的一项重要技术文件。

一、系统方框图

系统方框图用于概略表示系统的基本组成、主要特征及其功能关系，例如图1所指为KGPS100—1系统方框框图。方框图的作用是为了进一步编制详细的技术文件提供依据，同时也供操作和维修时参考。图中每个方框相当于一个电路单元，每一电路单元在设备中有它特定的功能。

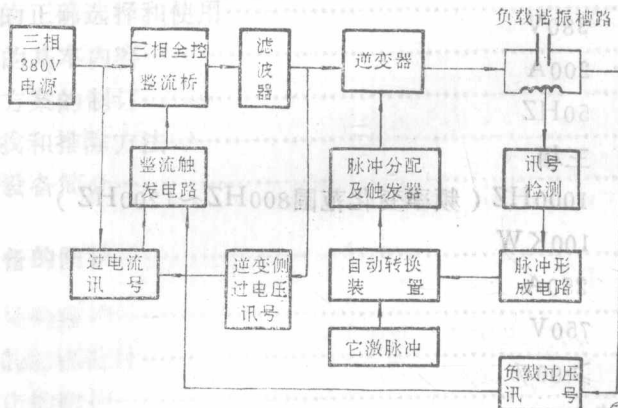


图1 KGPS100—1变频器方框图

系统方框图采用符号或带有注释的方框绘制。框内的注释可采用符号、文字或同时采用符号与文字来表示。方框间可采用带箭头的连线清晰地标明信息的流向，连接上可标注信号名称、电子、频率、波形等。

二、电气原理图

电气原理图用于详细表示电路的组成，各元器件连接关系，详细了解电路工作原理，为测试和寻找故障提供信息并作为编制接线图的依据。

在一般情况下，原理图都附加有关电气元件参数值，插脚号码和开关等数字标志。为了说明问题图2仅画出KGPS100—1主电路电气原理图（其它部分略）。

在绘制电气原理图时，有时可采用简化画法。如多个相同的支路并联时，可用标有公共连接线符号的一个支路来表示，此时仍应标上全部项目代号和并联的支路数。在较复杂的电气原理图中，相同的电路重复出现时，可以详细地表示出其中一个，其余的电路可用适当的

说明来代替，如KGPS100—1六块相同的整流触发电路画法如图3（其它五块画法同）。

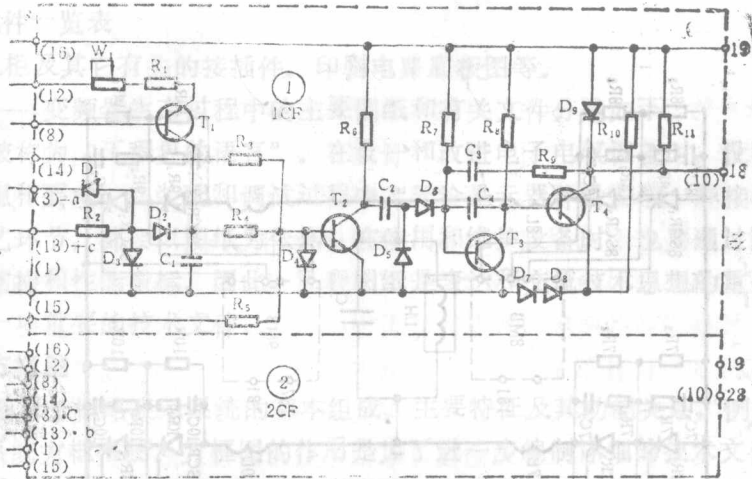


图3 KGPS—1变频器整流触发电路原理图

三、位置图

位置图用于表明设备中各个元器件的位置。例如：一台设备通过面板位置图表明安装于面板上的电表、指示灯、调节旋钮以及接线柱等元器件的具体安装位置；通过底板位置图表明变压器、印制电路板、线孔以及电容、电阻、晶体管的安装；再如印制板上各种元件也要通过位置图表明它们的位置以便于装配、调试和维修之用。图4为KGPS100—1整流触发电路印刷电路板及元件位置图。

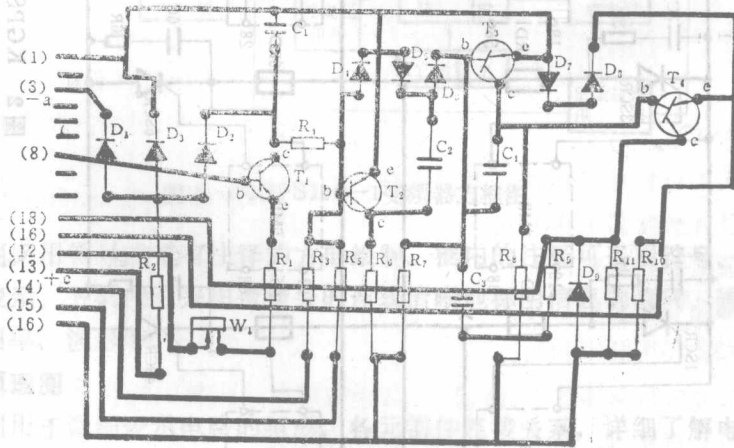


图4 KGPS100—1变频器整流电路印刷电路图及元件位置图

四、接线图和接线表

接线图（表）是电气装备进行施工配线、敷线和校线时的依据。它必须符合电气装备的“电气原理图”、“位置图”和“施工图”的要求，并清晰地表示出各个电器元件和装备的相对安装位置，以及它们相互间的电连接关系。

接线图(表)中,一般需表明:项目的相对位置;项目代号;端子号;导线号;导线的类型、截面积和特征(包括屏蔽、接地、绞合等);电连接关系及其行线路径;以及需补充指明的其它内容。

接线图中的元件、器件、部件、组件等项目应采用简化外形(如正方形、矩形、圆形)表示,必要时也可用图形符号表示,符号旁应标注项目代号并应与电路图中标注一致。

单元接线图和互连接线图可采用连续线或断开线表示,中断线在中断处必须标明导线的去向,如图5所示。

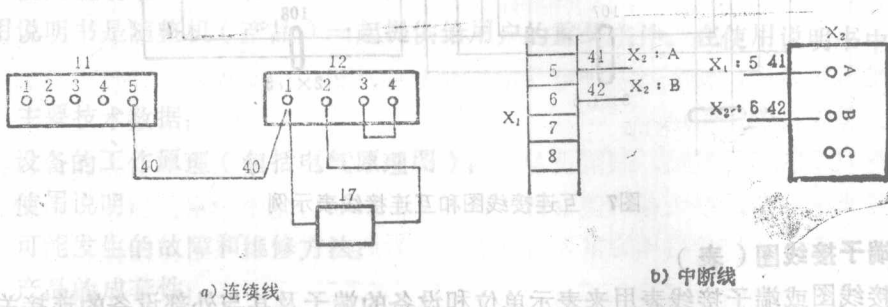


图5 接线图中导线的表示方法

接线图中导线组、电缆、线孔等可用加粗的线条表示。在不致引起误解的情况下也可部分加粗,如图6所示。当同一个单元包括几个导线组或线孔时,它们之间的区分标记可采用数字或文字。

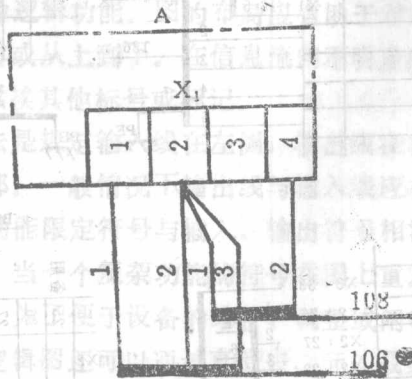


图6 导线组、线孔的表示方法

接线表中一般应包括线缆号、线号、导线的型号、规格、长度、连接点号,所属项目的代号和其它说明等内容。

五、互连接线图和互连接线表

互连接线图或互连接线表是通过各单元的外接端子板间的互连接线,以表示单元间的连接接线关系,但不包括单元内部的连接。必要时,可给出与之相关的电路图或单元接线图(表)的代号,以便了解单元内部电路的连接状况。图7是互连接线图和互连接线表的表示方法。

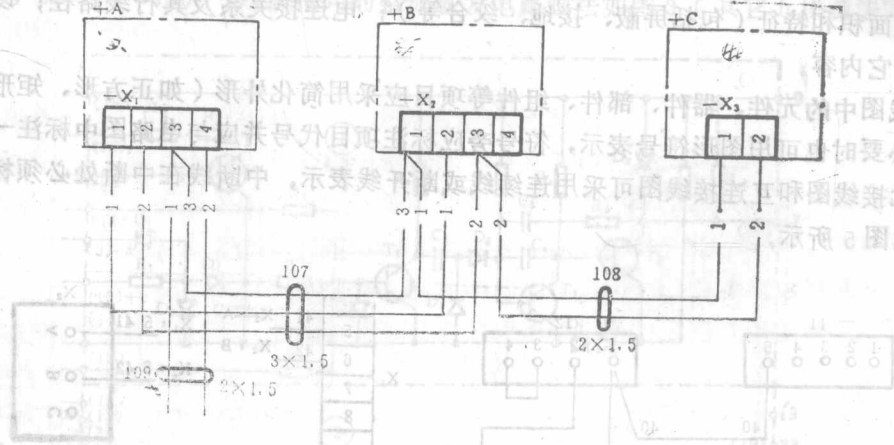


图7 互连线图和互连接线表示例

六、端子接线图(表)

端子接线图或端子接线表用来表示单位和设备的端子及其与外部设备的连接关系，通常不包括单元或设备的内部连接，但可以提供与之有关的图号。端子接线表一般包括线缆号、

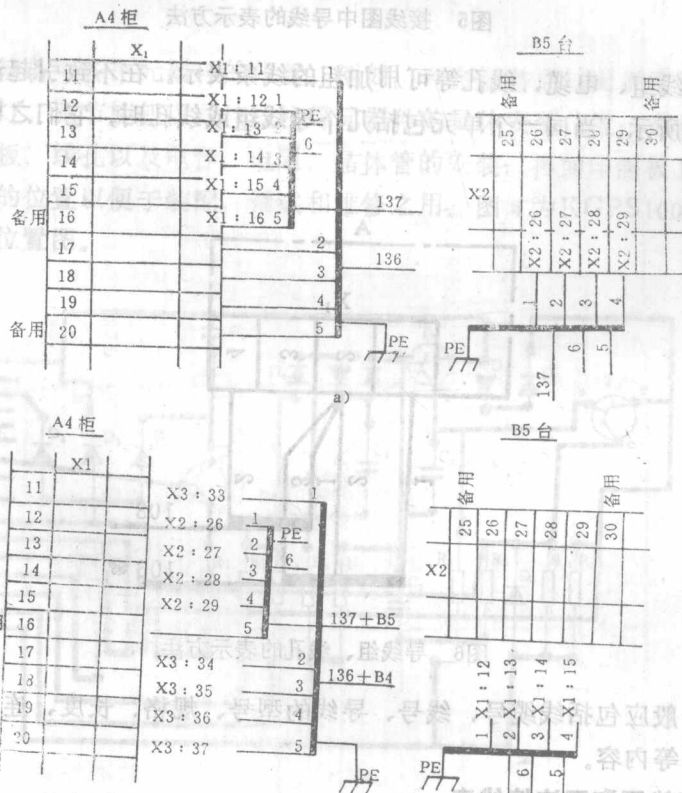


图8 端子接线图表

线图、端子代号等内容，在端子接线表中电缆应按单元（例如柜或屏）集中填写。图8a是带有本端标记的端子接线图，而图8b是带有远端标记的端子接线图。

七、调试说明书

调试说明书是供调试人员进行整机调试时使用的文件。文件中列出了各种性能参数的调试方法、使用仪表以及系统连接图和测试数据。

八、使用说明书

使用说明书是随整机（产品）一起提供给用户的重要主件。在使用说明书中一般包括以下内容：

1. 主要技术数据；
2. 设备的工作原理（包括电气原理图）；
3. 使用说明；
4. 可能发生的故障和维修方法；
5. 产品的成套性；
6. 产品的元器件总表；
7. 设备的保养和存放方法等等。

使用说明书是提供给用户的一份唯一文件。要力求简单扼要，全面而使用方便。

九、逻辑图

若系统中有数字电路，则往往采用逻辑图以及相关的波形图和表格化资料来说明其工作原理。逻辑图逻辑单元的符号应按国家有关标准绘制。逻辑图应能清楚地表示每种组件或几个组件组成的组合体所具备的逻辑功能。图的布局应有利于对逻辑图的理解。图面的位置应使信息的基本流向为从左到右或从上到下。在信息流向不明显的地方，应在载信息的线上加一箭头标记，箭头标记不得紧挨其他标号或标记。

逻辑符号的第一优选方法是规定输入线在左侧，输出线在右侧。符号的第二优选方位是输入线在上部、输出线在下部。一般情况下输出线与输入线应在符号的相对两边。逻辑符号间应有足够的间隔，以避免功能限定符号与输入、输出符号相混，每个输入或输出的标记应与相应的输入或输出线对准。当一个复杂功能的符号在图上重复出现时，重复部分可用附有适当说明的简单矩形来表示。为了便于设备的维护、调整或阐明电路的功能，在逻辑图上还可画出波形定时图。此外，逻辑图还可以通过真值表、元件或组件的功能等表格化资料来补充说明。

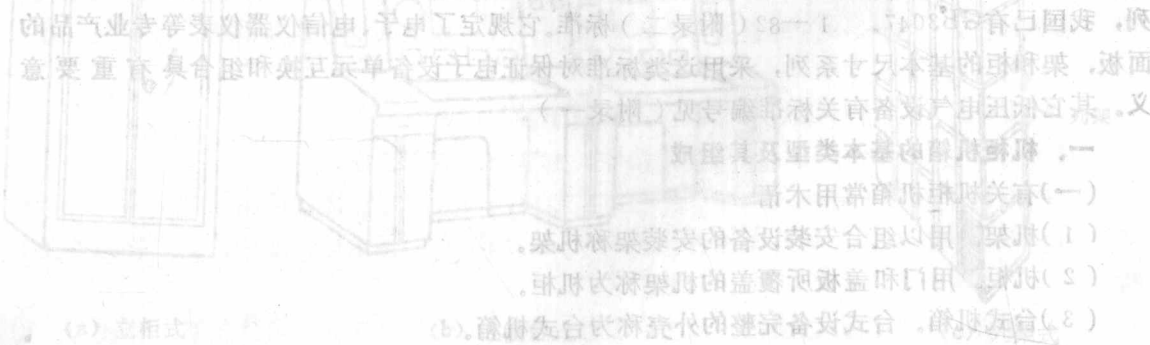


图1. 端子接线图 (a) 立柜式 (b) 带远端标记的端子接线图

第一章 机柜机箱结构设计造型的基本知识

第一节 机柜机箱结构设计概述

在电子电气设备中，安装有各种电子电气元器件及机械传动机构，使设备成为一个整体的基础结构，称为机柜机箱结构。

由于科学技术的迅猛发展，组成设备的元器件越来越多，使用范围越来越广，设备所处的工作环境越来越复杂，对设备的使用精度和可靠性要求也越来越高。因此，机柜机箱的结构设计已成为实现产品技术指标的重要组成部分，为此对机柜机箱结构设计提出下列基本要求。

a. 机柜机箱内部布局合理

能综合考虑处理设备内各单元电子器件的电磁干扰和热影响，以提高电性能参数的稳定性。

b. 机柜机箱要有足够的强度和刚度

机柜机箱要有抗振措施，有足够的强度和刚度，以保证长途运输、移动、长期运行时不变形，及其机械传动部分的设计精度。

c. 便于安装、维修及操作方便

机柜机箱结构合理，在场地安装维修方便，对内部单元安装维修方便，有符合人的心理和生理特点的人机联系设施及安全措施。

d. 机柜机箱结构有相应良好工艺措施保证

机柜机箱的体积要尽量小，重量要轻。

e. 造型美观、色彩和谐

要符合当代的审美观点，造型色彩不但反映产品功能特点，还要使整个环境相协调。

f. 采用标准化设计

标准化是一项主要技术经济政策及管理措施，对降低生产成本、提高产品质量及劳动生产率有重要作用，在机柜机箱的结构设计中要尽量采用标准化、规格化的零部件及尺寸系列，我国已有GB3047. 1—82（附录二）标准。它规定了电子、电信仪器仪表等专业产品的面板、架和柜的基本尺寸系列，采用这类标准对保证电子设备单元互换和组合具有重要意义。其它低压电气设备有关标准编号见（附录一）。

一、机柜机箱的基本类型及其组成

（一）有关机柜机箱常用术语

（1）机架。用以组合安装设备的安装架称机架。

（2）机柜。用门和盖板所覆盖的机架称为机柜。

（3）台式机箱。台式设备完整的外壳称为台式机箱。

（4）插箱。用于在机架上组合安装的机箱称为插箱。

(5) 插件 插入插箱、台式箱或直接插入机架、机柜的具有独立面板的单元结构称为插件。

(二) 台式机箱

台式机箱其外形往往为矩形，由于尺寸较小和结构简单，故用做中、小型电子、电气设备的外壳。它主要由底座、面板和箱壳等部分组成。如图 1-1 所示。它具有体积小，重量轻，使用方便等特点。

近年来，标准化工作的开展，已有台式机与插箱相互通用的趋势。一般按面板、架和柜的基本尺寸系列制造台式机箱，只要在台式机箱上增、减一些附件就成为插箱，可直接在机架柜上使用。

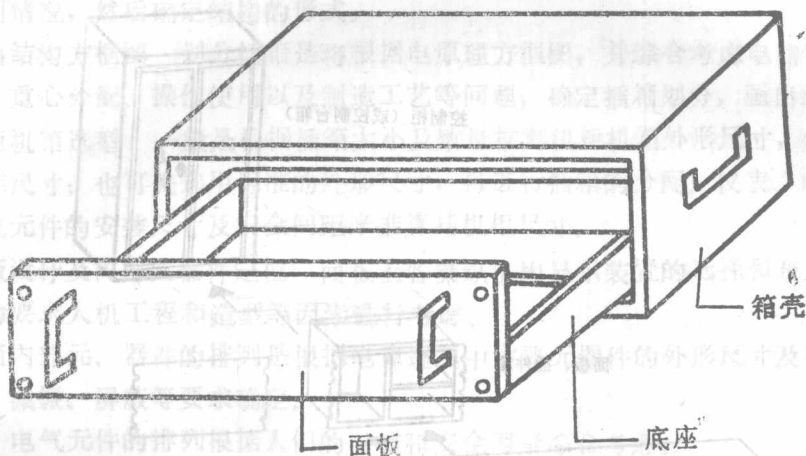
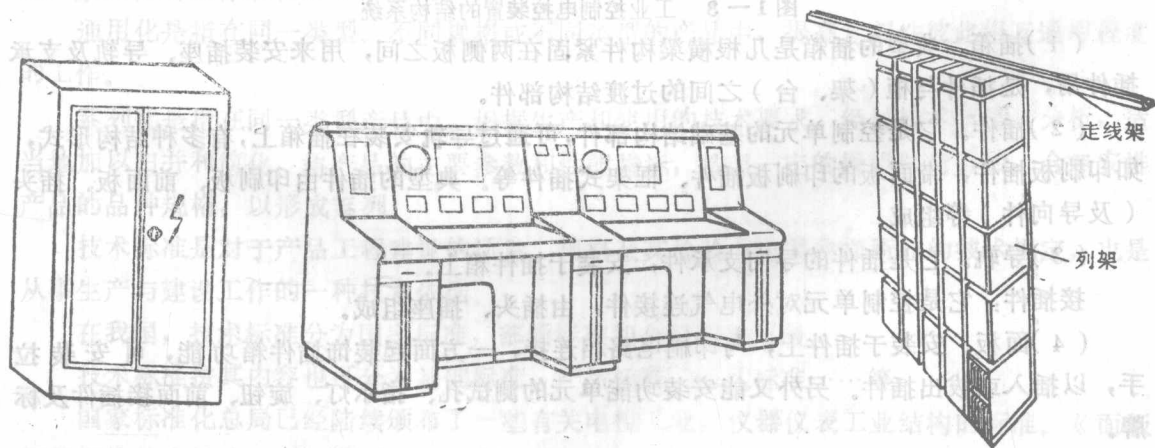


图 1-1 机箱及其组成

(三) 机架机柜

对于结构复杂，尺寸较大的电子电气设备及仪表、高低压供电设备，为了便于装配、检修和操作，往往把设备分成具有独立结构形式的机柜或若干插箱，安置在机架机柜上。机架按其外形可分为立柜式、控制台式及列架式三种结构，如图 1-2 所示。



(a) 立柜式

(b) 控制台式

(c) 列架式

图 1-2 机架、机柜的基本型式

目前绝大多数大中型设备均采用立柜式结构。电子设备多采用带有插箱的立柜结构，根据设备的复杂程度，使用场合和插箱数目的不同，可将整个设备分成数个机柜，而设备的各个插箱集中地安装在相应的机架机柜上。仪表电控柜一般采用不带插箱的立柜式结构。

控制台式机架便于观察和操纵、外形美观，而且带有工作台，因此操作人员工作时不易疲劳。但是，它的结构复杂，制造成本高，体积重量也较大，因此它常用做机动性差的大型电子设备或化工、冶金企业的仪表控制台。

无论机架机柜的结构形式如何，电子设备的机柜机箱都是由机架、门、盖板、插箱底座、导轨、接插件、面板及各种附件（如接插附件、安装附件、面板附件、测试连接附件及锁紧机构等）组成。如图 1—3 所示。

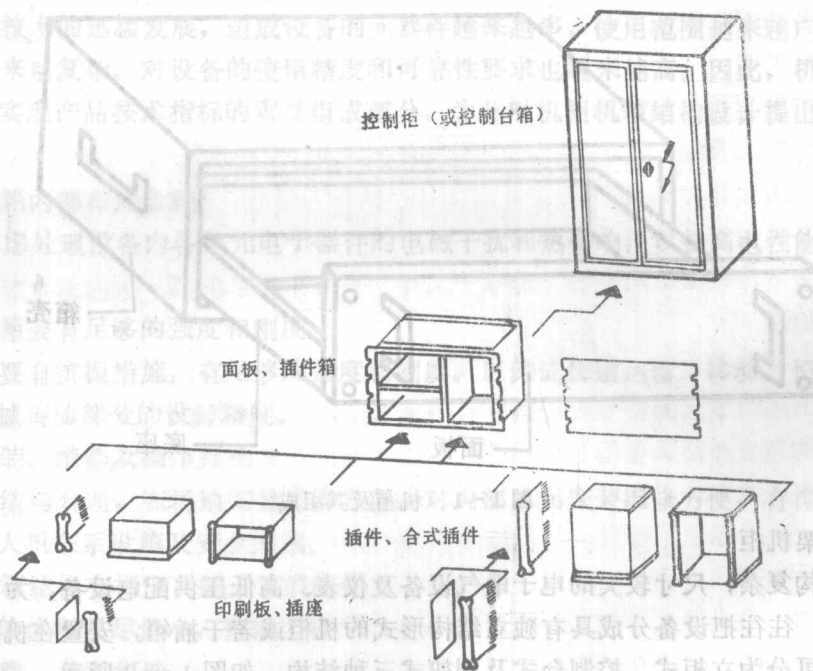


图 1—3 工业控制电控装置的结构系统

(1) 插箱。典型的插箱是几根横梁构件紧固在两侧板之间，用来安装插座、导轨及支承插件用，是插件与柜（架、台）之间的过渡结构部件。

(2) 插件。它是控制单元的基础结构部件，可通过导轨安装在插箱上，有多种结构形式，如印刷板插件，带面板的印刷板插件、框架式插件等。典型的插件由印刷板、前面板、插头（及导向件）等组成。

(3) 导轨。它是插件的导向支承件，安装于插件箱上。

接插件：它是控制单元对外电气连接件，由插头、插座组成。

(4) 面板。安装于插件上，与印刷电路相连接，一方面起装饰插件箱功能，可安装拉手，以插入或拔出插件。另外又能安装功能单元的测试孔、指示灯、旋钮、前面接插件及标牌。

(5) 附件。连接附件指插接、后接、绕接、焊接用的接线零件、接线工具、接线片、焊接片、连接支架、短接片和电流分配器等。

(6) 安装附件指电阻、电容、晶体管等元件的安装支架、安装座、卡子等。

(7) 测试连接附件指电缆附加连接器、带状缆连接器及测试转接器等。

(8) 锁紧机构指对插件进行锁紧的卡板、压板、锁杆螺钉等构件。

电气仪表柜的组成较电子设备机柜的组成略为简化，它主要由机架、门、盖板、面板、电气接插件等组成。

二、机柜机箱设计

工业控制电子装置的结构设计直接关系到产品功能体现、可靠性、可维修性和实用美观等方面。其设计步骤大致为如下五步。

1. 充分掌握资料 产品的技术指标是设计、制造与使用的唯一依据，亦是检验产品质量的客观标准。应详细了解研究产品的各项技术指标，了解国内外同类产品或相近类型产品的结构和使用情况，然后确定结构的形式。

2. 画出结构方框图 划分插箱是根据电原理方框图，并综合考虑电路特性、抗干扰、通风散热、重心分配、操作使用以及制造工艺等问题，确定插箱划分，画出结构方框图。

3. 机柜机箱选型 一般是根据插箱大小及数量推算机柜机箱外形尺寸，然后根据外形尺寸选用标准尺寸；也可先选用标准的外形尺寸，再进行插箱的分配。仪表、电气柜可根据选定仪表电气元件的安装尺寸及安全间距来推算其机柜尺寸。

4. 面板设计及内部元器件定位 面板上各操纵机构显示装置的选择和布置，一般应根据电原理图的要求人机工程和造型等因素进行考虑。

各插箱内部元、器件的排列是根据电原理图中主要元器件的外形尺寸及其相互关系，并考虑通风、减振、屏蔽等要求确定。

仪表、电气元件的排列根据人们的习惯和安全因素综合考虑。

5. 机柜机箱设计 首先要确定机柜及其零件、部件的结构形式，绘制结构草图，再进行结构设计。

三、标准化设计

标准化是指使用要求相同的产品和工程，按照统一的标准进行投产。标准化就是制定和实施技术标准的工作过程。一般将标准化、通用化、系列化三者统称为“三化”，而通用化、系列化均属标准化的工作范畴。

通用化是指在同一类型、不同规格或不同类型的产品中，提高零部件彼此相互通用程度的工作。

系列化是指在同一类型产品中，根据生产和使用的技术要求，经过技术和经济分析，适当地加以归并和简化，将产品的主要参数和性能指标，按照一定的规律进行分档，合理安排产品的品种规格，以形成系列。

技术标准是对于产品工程建设的质量、规格及其检验方法等方面所作的技术规定，也是从事生产与建设工作的一种技术依据。

在我国，技术标准分为国家标准，部颁标准和企业标准三级。

技术标准按其内容也可分为基础标准，产品标准，工艺标准……等。

国家标准化总局已经陆续颁布了一些有关电控工业，仪器仪表工业结构的标准。《面板架和柜的基本尺寸系列》的国家标准GB—3047.1—82已发布并于83年开始试行。标准规定了插箱、面板和插件面板的高度、宽度尺寸、规定了架、柜的宽、高、深三维尺寸及插件