

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

计算机控制技术

刘川来 胡乃平 等编著



机械工业出版社

本书系统地讲述了计算机控制技术及其应用,主要内容包括计算机控制系统的概念、组成、分类及发展,计算机控制系统中常用的设备,计算机总线的概念、分类、过程通道与人机接口,计算机控制中常用的数据处理方法与控制策略,计算机控制中的网络与通信技术,计算机控制系统软件技术,典型计算机控制系统,计算机控制系统中的抗干扰技术,计算机控制系统的设计与实施,计算机控制系统的实例。

本书可以作为高等学校自动化、计算机及相关专业的本专科学生的教材,也可以作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制技术/刘川来,胡乃平等编著. —北京:机械工业出版社,2007.1
(21世纪高等院校电气信息类系列教材)

ISBN 978-7-111-20712-2

I. 计... II. ①刘...②胡... III. 计算机控制—高等学校—教材
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 001964 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:时 静

责任编辑:赵丽欣

责任印制:

印刷厂印刷·

2007年2月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·17印张·420千字

0001— 册

标准书号:ISBN 978-7-111-20712-2

定价: .00 元

凡购本书,如有缺页,倒页,脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379839

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业材料。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

计算机控制技术是研究自动控制理论和计算机控制技术如何应用于工业生产自动化过程的一门专业技术。工业控制是计算机应用的一个重要领域，计算机控制是为适应这一领域的需要而发展起来的一门专业技术。

本书系统地介绍了计算机控制技术及工业计算机控制系统的设计和实现的基本原理与技术。

全书共分 11 章：第 1 章是绪论，主要介绍计算机控制系统的概念、组成、分类及发展；第 2 章介绍了计算机控制系统中常用的设备；第 3 章介绍了计算机总线的概念、分类，着重介绍了目前比较流行的总线；第 4 章介绍了过程通道与人机接口；第 5 章介绍了计算机控制中常用的数据处理方法与控制策略；第 6 章介绍了计算机控制中的网络与通信技术；第 7 章介绍了计算机控制系统软件技术；第 8 章介绍了典型的计算机控制系统；第 9 章介绍了计算机控制系统中的抗干扰技术；第 10 章介绍了计算机控制系统的设计与实施；第 11 章介绍了几个计算机控制系统的实例。

本书注重工程应用与基础知识的衔接和内容的系统性，同时又照顾到不同层次的读者需要。一方面力求做到内容全面、系统，另一方面突出重点，从实际应用的角度把握内容。本书可以作为高等学校自动化、计算机及相关专业的本专科学生的教材，也可以作为工程技术人员参考书。

本书内容丰富，教师可以根据不同的要求和学生的基础情况灵活安排。本书每章的内容自成一体，读者可以根据自己的知识结构和需要选择学习。

本书由青岛科技大学刘川来教授主编，参加编写的人员有刘川来（第 1 章），胡乃平（第 8 章），周艳平（第 5 章、第 7 章、第 10 章），宋廷强（第 3 章、第 9 章），陈显利（第 4 章、第 6 章），单宝明（第 2 章、第 11 章）。

刘文超、王丽、徐启蕾、段利亚、冯红梅等研究生为本书的编写也做了大量工作，在此，向他们表示诚挚的感谢。为方便教学，本书配有电子教案，需要者可从 www.cmpbook.com 上下载。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，希望读者批评指正。

编 者

第 1 章 绪 论

本章将对计算机控制系统、计算机控制系统的组成及分类、计算机控制研究的课题与发展方向进行简要介绍。

1.1 计算机控制系统概述

计算机控制是计算机应用的一个非常大的分支,涉及国防、工业、农业、商业等不同领域。利用信息技术改造传统产业是信息化带动工业化的基础工作,计算机控制是这项工作的主要手段。

计算机控制,是将计算机技术应用于工农业生产、国防等行业自动控制的一门综合性学科与技术。计算机控制是以计算机、自动控制理论、自动控制工程、电子学和自动化仪表为基础的综合学科。简单地说,计算机控制系统就是以计算机替代了原模拟控制系统中由控制器(控制仪表)组成的自动控制系统,但是这种取代决不是一种简单的替代,而是一种升华。

古典控制理论是 20 世纪 40 年代发展起来的,直到目前,许多工程仍然采用古典控制理论进行分析和设计,这些方法用来处理单输入—单输出的线性定常系统是卓有成效的。但随着科学的发展、技术的进步,控制对象越来越复杂多样,对控制的要求不断提高,出现了多输入—多输出的多变量控制系统、非线性控制系统、时变和分布参数控制系统,这些系统使用常规的控制方法和手段来实现是十分困难的。随着计算机尤其是微型计算机应用于自动控制领域,自动控制水平产生了巨大的飞跃。

自 1946 年世界上第一台可以由程序控制的计算机(称为电子数字器与计算器)ENICA 诞生以来,人们就试图将这种运算速度快,既能存储又能进行算术和逻辑计算的机器应用于自动控制系统中。然而这种昂贵的运算机器作为控制器来说是大材小用,于是人们希望用计算机来完成许多回路的数据采集与控制,而当时计算机的可靠性却难以胜任作为控制器所需要的高可靠性。因此,在计算机诞生后的近二十年中,计算机还是主要应用于科学计算与实际生产过程的数据采集与数据处理。

20 世纪 50 年代初,美国首先用计算机完成了对生产过程进行的巡检数据采集和数据处理,后来在实验的基础上完成了开环和闭环的控制。1959 年美国 TRW 航空公司和 Texaco 公司合作成功地在得克萨斯州的一家炼油厂将一台计算机投入在线控制。该控制系统从综合指标出发确定了热水循环系统的最佳参数,同时也揭开了计算机控制的辉煌一页。该项成果的取得激发了从事计算机制造与自动控制研究者的兴趣,他们纷纷投入人力、物力进行这方面的研究和开发。20 世纪 60 年代计算机控制系统已成功地应用于化工、钢铁和电力等不同领域,但这些系统还都是以数据的采集和处理为主。1962 年英国帝国化工公司制造出一套可以取代常规仪表对生产过程直接进行控制的计算机控制系统,开创了直接进行数字控制的新时期。

自 1971 年世界上第一片四位微处理器出现以来,微型计算机得以快速发展,1993 年 Pentium 处理器的出现更使微型计算机在运算速度等诸多方面得以长足发展,同时也使计算机控

制技术得以飞速发展。微处理器和微型计算机的诞生与发展为实现分散控制创造了良好的条件。由于其价格低廉,可以把计算机分散到各个生产装置中去实现小范围的局部控制,功能分散后,技术上比较容易实现,这不仅使计算机出现故障的危险得到分散,使控制的速度得以提高,同时也给系统的数字建模带来了方便。1975年美国 Honeywell 公司成功研制出世界上第一套集散型控制系统 TDC - 2000 并投入使用,开创了计算机应用于实际生产过程控制的新纪元。随后一直到 20 世纪 80 年代末,集散控制系统迅速发展,有几万套集散系统投入运行。随着 3C 技术和网络技术的发展,现场总线控制系统和网络控制系统应运而生,可编程控制器的综合应用已打破了原工业控制的格局,并共同融入到计算机控制系统的大门类之中。

1.2 计算机控制系统的组成及分类

1.2.1 计算机控制系统

自动控制是指在非人工直接参与的前提下,应用自动控制装置自动地、有目的地控制设备和生产过程,使之具有一定的状态和性能,完成相应的功能,实现预定的目标。自动控制系统一般可以分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。

1. 开环控制系统

图 1.1 所示的系统为开环控制系统。所谓开环控制系统是指控制器按照先验的控制方案对对象或系统进行控制,使被控制的对象或系统能够按照约定来运动或变化。开环控制是很好的一种控制方案,但是开环系统必须在实施控制之前确定准确的被控对象的数学模型和控制方案。开环控制由于在控制过程中得不到被控参数的信息,所以开环控制系统只能适应于那些控制对象明确且定常无扰动系统;若系统是时变的,则必须在控制之前明确其时变的准确规律;若有扰动,其扰动量必须可测,并且使其扰动通道的时间常数大于控制通道的时间常数。



图 1.1 开环控制系统

2. 闭环控制系统

闭环控制系统的结构如图 1.2 所示。很明显,闭环控制系统较开环控制系统增加了一个比较环节和一个来自被控参数的反馈信号,由于控制器得到被控对象的信息反馈,因此便可实时地对其控制的结果进行检测,并且及时调节其控制量,从而使之达到预期的效果。

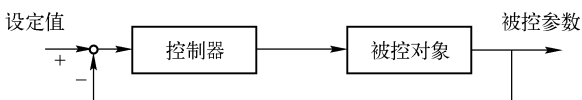


图 1.2 闭环控制系统

闭环控制可以适当降低对对象数学模型的准确了解,可以有效地解决一些不确定的随机问题。需要注意的是,由于反馈的存在,一些闭环系统在控制参数和结构设置不合理的情况

现对被控对象的控制,实现人机对话和网络通信。形象一点讲,就是完成对数据存取的控制,对采集的数据进行滤波和线性化处理,进行运算和决策,控制控制量的输出等。由于 CPU 技术的发展和广泛应用及网络技术的发展和广泛应用,主机还要完成对一些含 CPU 设备和网络设备的控制。

2. 过程控制通道

过程控制通道是被控对象与主机进行信息交换的通道。根据信号的方向和形式,过程控制通道可分为以下四种。

(1) 模拟量输入通道

完成过程和被控对象送往主机的模拟信号通过模拟量输入通道转换为计算机能够接收的标准数字信号。模拟信号转换为数字信号的准确性和速度反映为 A/D 转换的精度、位数和采样的时间。

(2) 模拟量输出通道

目前,大多数执行机构仍只能接收模拟信号,而计算机运算决策的最终结果是数字信号。通过模拟量输出通道将数字量转换为模拟量。

(3) 数字量输入通道

数字量输入通道的主要作用是把过程和被控对象的开关量或通过传感器已转换的数字量以并行或串行的方式传给计算机。

(4) 数字量输出通道

数字量输出通道的主要作用是将计算机运算、决策之后的数字信号以串行或并行的方式输出给被控对象或外部设备。应该强调的是数字量输出通道输出的信号有时直接驱动外部设备,其功率和阻抗的匹配问题应该特别注意。

过程控制通道应该说是计算机与被控对象及外部设备连接的桥梁。为了提高计算机的可靠性和安全性,在许多场合应该充分考虑过程控制通道的信号隔离问题。

3. 操作控制台

操作控制台是计算机控制系统人机交互的关键设备。通过操作控制台,操作人员可以及时了解被控过程的运行状态、运行参数,对控制系统发出各种控制的操作命令,并且通过操作控制台修改控制方案和程序。操作控制台一般应完成以下功能。

(1) 信息的显示

一般采用 CRT 显示屏或一些状态指示灯、声光报警器对被控参数、状态和计算机的运行情况进行显示或报警。

(2) 信息的记录

一般采用打印机、硬拷贝机、记录仪等设备对显示或输出的信息进行记录。

(3) 工作方式状态的选择

采用多种人机交互方式,如电源开关、数据段地址、选择开关、操作方式等操作,可以实现对工作方式的选择,并且可以完成手动 - 自动转换、手动控制(遥感)和参数的修改与设置。

(4) 信息输入

利用键盘或其他输入设备可以完成人对机的控制功能。操作控制站的各组成部分都通过对应的接口电路与主机相连,由主机实现对各个部分的相应管理。

4. 通信设备

企业信息化的需求要求生产过程的数据和企业管理信息系统之间的信息实时交换,计算机控制系统作为网络上的一个节点的方案已经被广泛采纳。通信设备已成为计算机控制系统的一个重要部分,这些设备可以完成计算机控制系统的信息交换。

1.2.3 计算机控制系统的软件组成

计算机控制系统除了硬件之外,还必须有软件。控制系统的功能和性能在很大程度上依赖于软件水平的高低。所谓软件是指完成各种功能的计算机程序和数据的总和,它分为系统软件和应用软件两大部分。

系统软件是维持计算机运行操作的基础,用于管理、调度、操作计算机的各种资源,实现对系统的监控与诊断,提供各种开发的支持程序。这些系统软件包括操作系统、监控管理程序、故障诊断程序、各种计算机语言及解释、编译工具。系统软件一般由供应商提供或专业人员开发,用户不需自己设计开发。

应用软件是根据控制对象、控制要求,为实现高效、可靠、灵活的控制而开发的各种程序。应用软件包括数据采集、数字滤波、标度变换、键盘处理、过程控制算法、输出与控制等程序。用于应用软件开发的程序设计语言,一般有汇编、C#、C++、VB、VC等。目前也有一些专门用于控制的引用组态软件,这些软件功能强,使用方便,组态灵活,具有很强的应用前景。

1.2.4 计算机控制系统的分类

计算机控制系统有很多分类方法。按计算机的参与形式不同,可以分为开环和闭环控制系统;按采用的控制方案的不同,可以分为程序和顺序控制、常规控制、高级控制(最优、自适应、预测、非线性等)、智能控制(模糊控制、专家系统和神经网络等)。

根据计算机控制系统的发展历史和在实际应用中的状态计算机控制系统一般分为操作指导控制系统、直接数字控制系统、计算机监督控制系统、集散控制系统、现场总线控制系统和计算机集成制造系统六大类。

1. 操作指导控制系统

操作指导控制系统(Operation Guide Control,简称 OGC 系统)是基于生产过程数据直接采集的非在线的闭环控制系统,如图 1.5 所示。

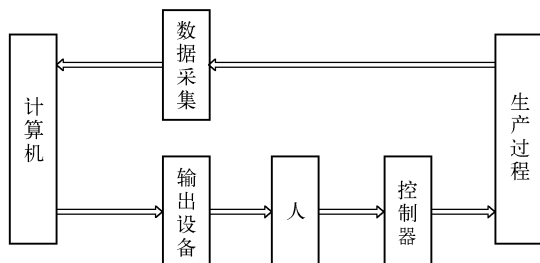


图 1.5 操作指导控制系统

计算机通过数据输入通道对生产过程各项参数进行采集,根据工艺和生产的需求进行最优化计算,计算出优化的操作条件和参数,利用其输出设备,将其结果显示或打印。操作人员

根据计算机提供的结果改变控制器的参数或设定值,实现对生产过程的控制,这属于计算机离线最优控制的一种形式。

该系统结构简单,控制安全、灵活,由于人的介入使该系统可以应用于一些复杂的不便由计算机进行直接控制的场合,如设备的调试阶段、计算机控制系统的调试阶段等。

2. 直接数字控制系统

直接数字控制系统(Direct Digital Control,简称 DDC 系统)是计算机控制系统的最基本形式,也是应用最多的一类计算机控制系统。其一般结构如图 1.6 所示。

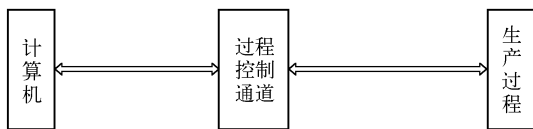


图 1.6 直接数字控制系统

这类控制系统是计算机通过过程通道对生产过程进行在线实时控制。该系统是典型的计算机替代控制器系统,可实现对多回路多参数的控制,系统灵活性大、可靠性高,能实现各种从常规到先进的控制方式。

3. 计算机监督控制系统

计算机监督控制系统(Supervisory Computer Control,简称 SCC 系统)是一种两级的计算机控制系统,如图 1.7 所示。



图 1.7 计算机监督控制系统

该类系统类似于计算机操作指导控制系统。两者的区别在于 SCC 计算机输出不通过人去改变,而是直接控制控制器,改变控制的设定值或参数,从而完成对生产过程的控制。SCC 计算机可以利用有效的资源去完成生产过程控制的参数优化,协调各直接控制回路的工作,而不直接参与直接控制,所以计算机监督控制系统是安全性、可靠性较高的一类计算机控制系统,同时又是计算机集散系统最初、最基本的模式。

4. 集散控制系统

集散控制系统(Distributed Control System,DCS)又称为分散控制系统。该系统采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治、综合协调形成具有层次化体系结构的分级分布式控制,一般分为四级,即过程控制级、控制管理级、生产管理级和经营管理级。

过程控制级是集散控制系统的基础,用于直接控制生产过程。在过程控制级参与直接控制的可以是计算机,也可以是 PLC 或专用的数字控制器。由于生产过程的控制分别由独立的控制器进行,可以分散控制器故障,局部的故障不致影响整个系统的工作,从而提高了系统工作的可靠性。

5. 现场总线控制系统

现场总线控制系统(Fieldbus Control System,FCS)是20世纪90年代兴起并得以迅速应

用的新型计算机控制系统,已广泛应用在工业生产过程自动化领域。现场总线控制系统是利用现场总线将各智能现场设备、各级计算机和自动化设备互联,形成一个数字式全分散双向串行传输、多分支结构和多点通信的通信网络。现场总线控制系统结构如图 1.8 所示。

在现场总线控制系统中,生产过程现场的各种仪表、变送器、执行机构控制器都配有分级处理器,属智能现场设备。每台设备都具有通信能力,严格地讲,也属于集散控制中的一类,不过系统的组成已更加独立、分散,由于其采用了总线式的结构模式,使各控制单元的组合变得更加灵活。现场总线可以直接连接其他的局域网,甚至 Internet。现场总线控制系统可以构成不同层次的复杂控制网络,它已经成为今后工业控制体系结构发展的方向之一。

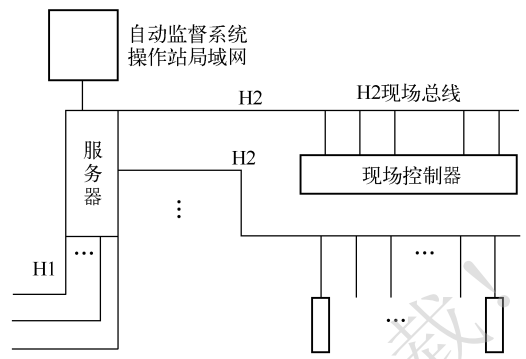


图 1.8 现场总线控制系统

6. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)的概念是 20 世纪 70 年代美国一位叫哈灵顿的人提出的,随着计算机和信息技术的发展最终得以实施。计算机集成制造是将工业生产的全过程集成由计算机网络和系统在统一模式(包括从设计、工艺、加工制造到产品的检验出厂一体化的模式)进行,并提出了并行工程(即将传统串行流程部分改为并行流程)的概念,大大加快了产品从设计到出厂的周期。随着现代市场的需求和企业模式的现代化,计算机集成制造已经将制造集成转换为信息集成,并融入了企业的全面管理和市场营销。CIMS 是一项庞大的系统工程,它需要许多基础的应用平台的支持,它实现的是企业物流、资金流和信息流的统一。由于其涉及面广,应用存在的困难较多,所以许多 CIMS 工程在规划实施中都提出了整体规划分步实施的策略。尽管目前 CIMS 工程在企业的推广存在许多困难,但是它确实是企业真正走向现代化的方向。

1.3 计算机控制研究的课题与发展方向

计算机控制系统中的计算机不是简单地取代了一般控制系统的控制器,特别是计算机网络技术的发展促进了企业管理控制一体化的进程,控制的概念也远远超出了以往生产设备和生产线的控制范畴。

1.3.1 计算机控制研究的课题

计算机控制研究的课题主要涉及控制理论及其在工程中的应用与实现。

1. 控制理论方面涉及的课题

(1) 数字描述和分析方法

计算机控制系统的外特性应该同模拟系统是一样的,但严格地讲,在实际的处理过程中计算机控制系统是离散系统,所以计算机控制系统的设计和分析多年来一直存在模拟和离散两种分析方法。

离散系统的描述通常会用差分方程和 Z 传递函数以及离散状态空间方法来进行。

(2) 采样周期的选取

模拟系统离散化过程中一个非常关键的问题就是计算机控制系统采样周期的选择。严格地讲计算机控制系统的采样周期分为信号采样周期和计算机控制输出周期。信号采样将模拟信号采样为离散信号,采样周期越小越好,采样周期取决于计算机的运算速度,过小的采样周期,计算机很难胜任。为了保证采样信号在采样后能够正确地反映模拟信号,信号采集的采样周期选取要满足 SHANNON 采样定理,采样的最低频率须大于信号最高变化频率的两倍。众所周知,离散系统的控制周期与控制系统质量的稳定性是密切相关的。

有些人认为,离散系统的控制周期越小,越接近于模拟系统,其控制质量越好。但其实不然。对一般的系统来说离散系统的控制周期越小系统的控制质量越好,系统越稳定。但对一些纯滞后环节的系统来讲,一般取控制周期等于纯滞后时间,这样可以补偿纯滞后时间,从而取得较好的控制效果。

(3) 现代控制系统的研究

由于计算机技术的发展使现代控制理论的许多设想得以实现,智能控制、模糊控制、人工神经网络等近代控制方法的研究也变得越来越热。计算机 CPU 技术的发展和并行处理可以大大提高计算机的运算速度,使复杂运算应用于实时控制变为可能。

2. 计算机控制系统硬件技术的研究

随着计算机控制系统逐渐取代常规的模拟控制系统,计算机硬件技术的发展成为研究的重要课题。

为了适应不同行业、不同工艺设备的需求,计算机制造厂家已研究出多种典型的标准化机型。

(1) 可编程序控制器

可编程序控制器(PLC)过去被称为可编程序逻辑控制器,它最初是利用电子器件替代了继电器,实现了过去由硬件完成的逻辑控制。随着计算机控制系统的发展,PLC 大大地改变了以往主要用于开关量逻辑控制的用途,许多专用的过程控制模块和网络通信模块已经结合 PLC 成为计算机控制系统中的主力军。

(2) 可编程序调节器

可编程序调节器实际上是一台仪表化的微型计算机,它可以广泛地应用于计算机控制系统中的单元控制,尤其是一些分散性能很强的系统或一些独立的控制系统。可编程调节器的研究也随着计算机控制系统研究的发展而快速发展。

(3) 单片微型计算机

随着微电子技术与超大规模集成技术的发展,单片机在控制系统的应用也越来越广泛,并被作为计算机控制研究的一个分支。由于系统与设备的智能化需求,嵌入式系统的研究已成为当今计算机控制系统研究的重要课题。

(4) 总线式工控机

随着计算机设计的日益科学化、标准化和模块化,一种总线系统和开放式体系结构的概念应运而生。总线是一种标准信号线的集合,一种传递信息的公共通道。按照统一标准总线计算机生产厂可以开发设计出若干有特定功能的模板以满足不同用户的需求,这种系统结构的开放性大大方便了用户的选用。研究开发更小小巧玲珑化、模板化、组合化和标准化的总线式工

控机也是今后计算机控制系统硬件方面研究的课题。

(5) 新型微型控制单元

伴随超大规模集成电路的发展和无线通信的进一步开拓和普及应用,研究一种微型的监测控制单元,已经进入到可行性阶段。微型和超微型无线智能传感器已进入了实用阶段。该控制单元的研究和开发,又使人类对自然的控制能力大大加强。

3. 计算机控制系统软件的研究与开发

软件是计算机的灵魂,伴随着硬件技术的研究,计算机控制系统软件的研究也从未放松过。新型的系统设计、仿真软件越来越得到控制工程师的青睐,嵌入式系统的大量应用又为嵌入式操作系统的研究带来了大量的课题。随着计算机控制系统的普及应用,计算机控制系统应用软件的研究和开发带给用户的是一种更开放、更简单易操作的应用系统。

1.3.2 计算机控制系统的发展方向

目前,计算机控制技术在深度和广度方面都在发展。在广度方面,向着大系统或系统工程的方向发展,向着管理控制一体化的方向发展。从单一过程、单一对象的局部控制,发展到对整个工厂、整个企业,甚至对社会经济、国土利用、生态平衡、环境保护等大规模复杂对象和系统进行综合控制。在深度方面,则向着智能化方向发展,人们逐步地引入了自适应、自学习等控制方法,并且模拟生物的视觉、听觉和触觉,能够自动地识别图像、文字、语言并进一步根据感知的信息进行推理分析,直观判断,自行解决故障和问题。计算机在控制系统中的应用,不但带动了计算机技术的发展,同时也推动了自动控制理论和工程的发展。

习题

1. 计算机控制系统的硬件主要包括哪几个部分?
2. 什么是过程控制通道? 过程控制通道主要有哪几种?
3. 根据计算机控制系统的发展历史和在实际应用中的状态,计算机控制系统可分为哪 6 类,各有何特点?
4. 从深度和广度两方面论述计算机控制系统的发展趋势。

第 2 章 计算机控制系统中的 检测设备和执行机构

在计算机控制系统中,为了正确地指导生产操作、保证生产安全和产品质量以及实现生产过程自动化,一项必不可少的工作是准确而及时地检测生产过程中的各个有关参数,例如压力、流量、物位及温度等。用于将这些参数转换为一定的便于传送的信号(例如电信号或气压信号)的仪表通常称为传感器。当传感器的输出为单元组合仪表中规定的标准信号时,通常称为变送器。变送器输出的标准信号送到调节器中,与给定值相比较,调节器按照比较后得出的偏差,以一定的调节规律发出控制信号。执行器接收来自调节器的控制信号,由执行机构将其转换成相应的角位移或直线位移,去操纵调节机构(调节阀),改变控制量,使被控变量符合预期要求。此外,计算机控制系统中还经常用到其他类型的检测设备和执行元件。

2.1 传感器和变送器

传感器是能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置。传感器的输出信号有多种形式,如电压、电流、频率、脉冲等,输出信号的形式由传感器的原理确定。变送器在控制系统中起着至关重要的作用,它将工艺变量(如温度、压力、流量、液位、成分等)和电、气信号(如电流、电压、频率、气压信号等)转换成该系统统一的标准信号。因此,变送器的性能、精度等指标对控制系统影响重大。本节将主要介绍有关压力、温度、流量、物位、成分等参数的检测方法、检测仪表及相应的传感器或变送器。

2.1.1 信号传输及供电的四线制与两线制

通常,变送器安装在现场,它的气源或电源从控制室送来,而输出信号送到控制室。气动变送器用两根气动管线分别传送气源和输出信号。电动模拟式变送器采用二线制或四线制传输电源和输出信号。

四线制指仪表的信号传输与供电用四根导线,其中两根作为电源线,另两根作为信号线。

两线制指仪表的信号传输与供电共用两根导线,即这两根导线既从控制室向变送器传送电源,变送器又通过这两根导线向控制室传送现场检测到的信号。两线制变送器的应用已十分流行,它与非两线制仪表相比,节省了导线,有利于抗干扰及防爆。

智能式变送器采用双向全数字量传输信号,即现场总线通信方式。目前广泛采用一种过渡方式,即在一条通信电缆中同时传输 4 ~ 20 mA 电流信号和数字信号,这种方式称为 HART 协议通信方式。智能式变送器的电源也由通信电缆传输。

HART(Highway Addressable Remote Transducer)通信协议是数字式仪表实现数字通信的一种协议,具有 HART 通信协议的变送器可以在一条电缆上同时传输 4 ~ 20 mA(DC)的模拟信号和数字信号。HART 通信协议是依照国际标准化组织(ISO)的开放式系统互连(OSI)参考模型,简

化并引用其中三层(物理层、数据链路层、应用层)而制定的。物理层规定了信号的传输方法和传输介质;数据链路层规定了数据帧的格式和数据通信规程;应用层规定了通信命令的内容。

2.1.2 压力检测及变送

工业生产中许多生产工艺过程经常要求在一定的压力或一定的压力变化范围内进行,这就需要测量和控制压力,以保证工艺过程的正常进行。通过测量压力和压差可间接测量其他物理量,如温度、液位、流量、密度与成分量等,差压变送器就是将差压、流量、液位等被测参数转换为标准的统一信号,以实现对这些参数的显示、记录或自动控制。

按照检测元件分类,差压变送器主要有膜盒式差压变送器、电容式差压变送器、扩散硅式差压变送器、振弦式差压变送器和电感式差压变送器等。

1. 压力检测的主要方法和分类

压力检测的方法很多,按敏感元件和转换原理的特性不同,一般分为以下几类:

① 液柱式压力检测。它是依据流体静力学原理,把被测压力转换成液柱高度来实现测量的。利用这种方法测量压力的仪器主要有 U 型管压力计、单管压力计、斜管微压计、补偿微压计和自动液柱式压力计等。这类压力计结构简单、使用方便,但其精度受工作液的毛细管作用、密度及视差等因素的影响,测量范围较窄,一般用来测量较低压力、真空度或压力差。

② 弹性式压力检测。它是根据弹性元件受力变形的原理,将被测压力转换成位移来实现测量的,常用的弹性元件有弹簧管、膜片和波纹管等。

③ 负荷式压力检测。它是基于静力平衡原理进行压力测量的,典型仪表有活塞式、浮球式和钟罩式三大类。它普遍被用作标准仪器对压力检测仪表进行标定。

④ 电气式压力检测。它是利用敏感元件将被测压力转换成各种电量,如电阻、电感、电容、电位差等。该方法具有较好的动态响应特性,量程范围大,线性好,便于进行压力的自动控制。

其他压力检测仪表还有弹性振动式压力计、压磁式压力计等。弹性振动式压力计是利用弹性元件受压后其固有振动频率发生变化这一原理制成的,其本质是将被测压力转换成频率信号加以输出,所以抗干扰性强。压磁式压力计是利用铁磁材料在压力作用下会改变其磁导率的物理现象而制成的,可用于测量频率高达 1000Hz 的脉动压力。

2. 电容式差压变送器

电容式差压变送器采用差动电容作为检测元件,是目前工业上普遍使用的一种变送器,系统构成框图如图 2.1 所示。电容式差压变送器主要包括两部分:测量部分和放大部分。

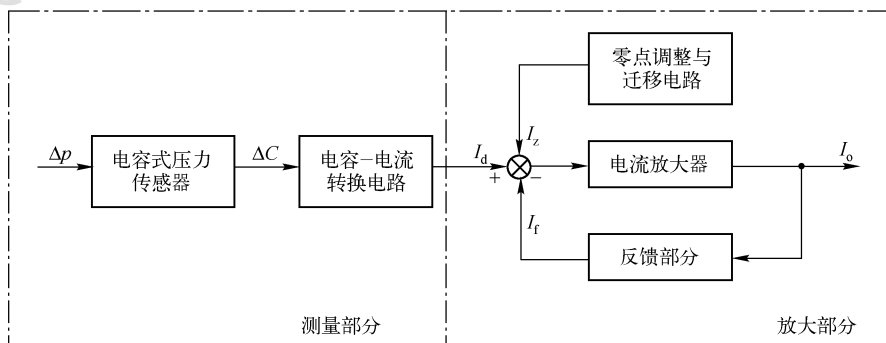


图 2.1 电容式差压变送器结构框图

输入差压 Δp 作用于传感器的感压膜片,从而使感压膜片与两固定电极所组成的差动电容的电容发生变化,该变化量由电容/电流转换电路转换成电流信号 I_d , I_d 和调零与零迁移电路产生的调零信号 I_z 和反馈信号 I_f 进行比较,其差值送入放大器,经放大后得到整机的输出电流 I_o 。

测量部分的作用是通过电容式压力传感器及相关电路把被测差压 Δp 成比例地转换为差动电流信号 I_d 。差动电容测量的原理如图 2.2 所示。

中心感压膜片和正压侧弧形电极构成电容为 C_{i1} , 中心感压膜片和负压侧弧形电极构成电容为 C_{i2} , 在输入差压为零时, $C_{i1} = C_{i2} = 15 \text{ pF}$ 。

当正、负压室引入的被测压力 p_1 、 p_2 作用于正负压侧隔离膜片上时,由于差压 Δp ,使得中心膜片产生位移 δ ,从而使得中心感压膜片与正负压侧弧形电极的间距发生变化, C_{i1} 的电容减小, C_{i2} 的电容增大。

当被测差压 $\Delta p = 0$ 时, $S_1 = S_2 = S_0$ 。

当被测差压 $\Delta p \neq 0$ 时,中心感压膜片在 Δp 的作用下产生位移 δ ,则有:

$$S_1 = S_0 + \delta, S_2 = S_0 - \delta$$

中心感压膜片与其两边弧形电极构成的电容 C_{i1} 和 C_{i2} 在不考虑边缘电场影响的情况下,可近似地看成是平板电容器,电容分别为:

$$C_{i1} = \frac{\epsilon_1 A_1}{S_1} = \frac{\epsilon A}{S_0 + \delta} \quad (2.1)$$

$$C_{i2} = \frac{\epsilon_1 A_2}{S_2} = \frac{\epsilon A}{S_0 - \delta} \quad (2.2)$$

ϵ_1 、 ϵ_2 分别为两个电容极板间的介电系数,由于两电容中灌充介质相同,故 $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon$; A_1 、 A_2 分别为两个弧形电极板的面积,制造时面积相等,即 $A_1 = A_2 = A$ 。

由式(2.1)、(2.2)知:

$$\frac{C_{i2} - C_{i1}}{C_{i2} + C_{i1}} = \frac{\epsilon A \left(\frac{1}{S_0 - \delta} - \frac{1}{S_0 + \delta} \right)}{\epsilon A \left(\frac{1}{S_0 - \delta} + \frac{1}{S_0 + \delta} \right)} = \frac{\delta}{S_0} \quad (2.3)$$

又由于中心感应膜片的位移 δ 与输入差压 Δp 的关系可表示为:

$$\delta = K_1 \Delta p \quad (2.4)$$

式中, K_1 是由膜片预张力、材料特性和结构参数确定的系数(传感器制造好后即为常数)。将式(2.4)代入式(2.3)可得:

$$\frac{C_{i2} - C_{i1}}{C_{i2} + C_{i1}} = \frac{K_1}{S_0} \Delta p = K \Delta p \quad (2.5)$$

式中, K 为比例系数,为一常数,上式可以看出差动电容的相对变化值 $\frac{C_{i2} - C_{i1}}{C_{i2} + C_{i1}}$ 与被测差压 Δp 成线性关系。

差动电容的相对变化量再通过电容/电流转换电路,成比例地转换为差动电流信号 I_d ,经

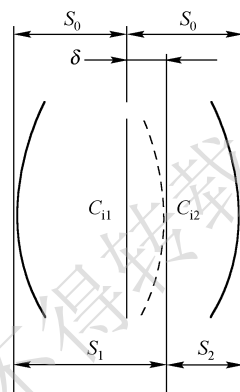


图 2.2 差动电容原理示意图

放大后转换成 4~20 mA 电流输出。

3. 智能型差压变送器

随着集成电路的广泛应用,其性能不断提高,成本大幅度降低,使得微处理器在各个领域中的应用十分普遍。智能型压力或差压变送器就是在普通压力或差压传感器的基础上增加微处理器电路而形成的智能检测仪表。例如,用带有温度补偿的电容传感器与微处理器相结合,构成精度为 0.1 级的压力或差压变送器,其量程范围为 100:1,时间常数在 0~36 s 间可调,通过手持通信器,可对 1500 m 之间的现场变送器进行工作参数的设定、量程调整以及向变送器加入信息数据。

图 2.3 给出了 Rosemount 公司的 3051C 差压变送器的原理框图。它由传感器件和电子组件两部分组成,其工作原理与模拟电容式差压变送器基本相同,变送器检测元件采用电容式压力传感器,同时还配置了温度传感器,用以补偿热效应带来的误差。两个传感器信号经 A/D 转换后送到微处理器,然后由微处理器完成对输入信号的线性化、温度补偿、数字通信、故障诊断等处理,最后得到一个与被测差压信号相对应的 4~20 mA 直流电流信号和基于 HART 协议的数字信号,作为变送器的输出。

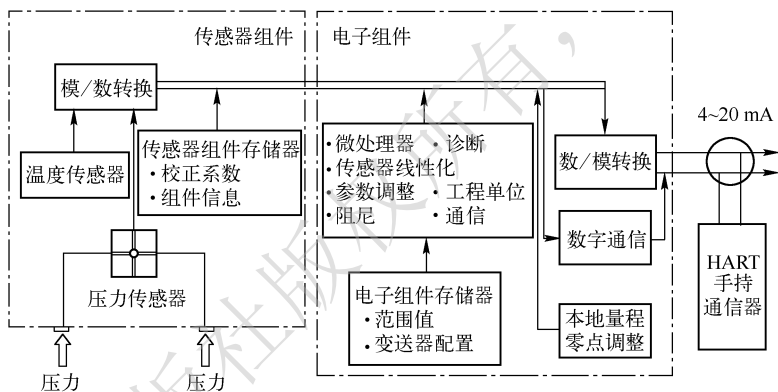


图 2.3 3051C 差压变送器原理框图

智能型差压变送器的特点是可进行远程通信。利用手持通信器,可对现场变送器进行各种运行参数的选择和标定;其精度高,使用与维护方便。通过编制各种程序,使变送器具有自修正、自补偿、自诊断等多种功能,因而提高了变送器的精确度,简化了调整、校准与维护过程,促使变送器与计算机、控制系统直接对话。

2.1.3 温度检测及变送

温度是各种工艺生产过程和科学实验中非常普遍、非常重要的热工参数之一。许多产品的质量、产量、能量和过程控制等都直接与温度参数有关,因此实现准确的温度测量具有十分重要的意义。温度变送器与测温元件配合使用,将温度或温差信号转换为标准的统一信号,以实现温度或温差信号的显示和记录。温度变送器分为模拟式温度变送器和智能式温度变送器两大类。

1. 测温方法分类

根据测量方法,可将温度测量划分为接触式测温和非接触式测温两大类。

接触式测温是基于物体的热交换原理设计而成的。其优点是:较直观、可靠;系统结构相对简单;测量准确,精度高。其缺点是:测温时有较大的滞后(因为要进行充分的热交换),在接触过程中易破坏被测对象的温度场分布,从而造成测量误差;不能测量移动的或太小的物体;测温上限受到温度计材质的限制,故所测温度不能太高。接触式测温仪表主要有:基于物体受热膨胀原理制成的膨胀式温度检测仪表;基于密闭容积内工作介质随温度升高而压力升高的性质制成的压力式温度检测仪表;基于导体或半导体电阻值随温度变化而变化的热电阻温度检测仪表;基于热电效应的热电偶温度检测仪表。

非接触式测温是基于物体的热辐射特性与温度之间的对应关系设计而成的。其优点是:测温范围广(理论上没有上限限制);测温过程中不破坏被测对象的温度场分布;能测运动的物体;测温响应速度快。缺点是:所测温度受物体发射率、中间介质和测量距离等的影响。目前应用较广的非接触式测温仪表有:辐射温度计、光学高温计、光电高温计、比色温度计等。

其他测温技术,如光纤测温技术、集成温度传感器测温技术等也在不同领域得到应用。

2. 热电偶测温原理

热电偶温度计是利用不同导体或半导体的热电效应来测温的。如图 2.4 所示,将两种不同的导体或半导体 A 和 B 接成闭合回路,接点置于温度为 t 及 t_0 的温度场中,设 $t > t_0$,则在该回路中会产生热电动势:接触电势 $e_{AB}(t)$ 和 $e_{AB}(t_0)$,温差电势 $e_A(t, t_0)$ 和 $e_B(t, t_0)$,它们与 t 及 t_0 有关,与两种导体材料的特性有关。可以导出回路总电势:

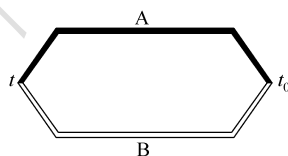


图 2.4 热电偶回路

$$E_{AB}(t, t_0) = \frac{k}{e} \int_{t_0}^t \ln \frac{N_A}{N_B} dt \quad (2.6)$$

即

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (2.7)$$

式中, k 为波尔兹曼常数, e 为电荷单位, N 为各材料电子密度。在实际应用中,保持冷端温度 t_0 不变,则总热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 只是温度的单值函数:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - c \quad (2.8)$$

为使 t_0 恒定,且从经济性角度考虑,常采用补偿导线(或称延伸导线)将冷端从温度变化较大的地方延伸到温度变化较小或恒定的地方。

工业上常用的各种热电偶的温度 - 热电势关系曲线是在冷端温度保持为 0°C 的情况下得到的,与它配套使用的仪表也是根据这一关系曲线进行刻度的。由于操作室的温度往往高于 0°C ,而且是不恒定的,因此这时利用热电偶测温时产生的热电势必然偏小,且测量值随着冷端温度的变化而变化,测量的结果就会产生误差。所以在使用热电偶测温时,只有将冷端温度保持为 0°C ,或者是进行一定的修正才能得出准确的测量结果。这样做,就称为热电偶的冷端温度补偿,一般采用的方法有:冷端温度保持为 0°C 的方法(冰浴法)、冷端温度修正法、校正仪表零点法、补偿电桥法及补偿热电偶法。

工业上常用的(已标准化)热电偶有:铂铑₃₀ - 铂铑₆ 热电偶(分度号为 B)、铂铑₁₀ - 铂热电偶(分度号为 S)、镍铬 - 镍硅(镍铬 - 镍铝)热电偶(分度号为 K)等。

3. 热电阻测温原理

热电阻温度计是利用导体或半导体的电阻值随温度变化的性质来测量温度的。其电阻值

与温度的关系为

$$R_t = R_{t_0} [1 + \alpha(t - t_0)] \quad (2.9)$$

$$\Delta R_t = \alpha R_{t_0} \cdot \Delta t \quad (2.10)$$

式中, R_t 为温度为 t 时的电阻值, R_{t_0} 为温度为 t_0 (通常为 0°C) 时的电阻值, α 为电阻温度系数, Δt 为温度的变化值, ΔR_t 为电阻值的变化量。

可见, 由于温度的变化, 导致了金属导体电阻的变化。这样只要设法测出电阻值的变化, 就可以达到温度测量的目的。

虽然导体或半导体材料的电阻值对温度的变化都有一定的依赖关系, 但是它们并不都能作为测温用的热电阻。作为热电阻的材料一般要求是: 有尽可能大且稳定的电阻温度系数; 电阻率大; 在电阻的使用温度范围内, 其化学和物理性能稳定, 有良好的复制性; 电阻随温度变化要有单值函数关系, 最好呈线性关系; 材料价格便宜, 有较高的性能价格比。目前应用最广泛的是铂电阻 (WZP) 和铜电阻 (WZC)。

热电阻是把温度变化转换为电阻值变化的一次元件, 通常要把电阻信号通过引线传递到计算机控制装置或者其他二次仪表上。热电阻引线对测量结果有较大的影响, 现在常用的引线方式有两线制、三线制和四线制三种。

两线制: 在热电阻的两端各连一根导线的引线形式为两线制。这种引线方式简单、费用低, 但由于连接导线必然存在引线电阻 r , r 的大小与导线的材质和长度等因素有关。因此两线制适用于引线不长、测温准确度要求较低场合。

三线制: 在热电阻根部的一端连接一根引线, 另一端连接两根引线的方式称为三线制。这种方式通常与电桥配套使用, 可以较好地消除引线电阻的影响, 是工业过程中最常用的引线方式。如图 2.5 所示。

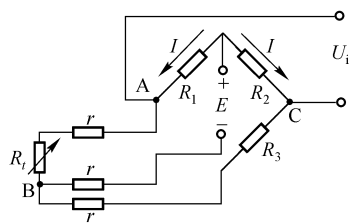


图 2.5 热电阻的三线制

事实上电桥上 $R_1 = R_2 \gg R_t, R_3$, 经过设计可以使两个桥臂上的电流相等, 均为 I , 且 I 几乎不受 R_t 的影响, 三线制的连接, 每根线上同样也存在导线电阻 r 。

$$\text{此时, } U_i = U_{AC} = U_{AB} - U_{CB} = I(R_t + r) - I(R_3 + r) = I(R_t - R_3)$$

R_3 可以起调零的作用。

四线制: 在热电阻的两端各连接两根引线的接法称为四线制。这种方式主要用于高精度温度检测。其中两根引线为热电阻提供恒流源 I , 在热电阻上产生的压降通过另两根引线引至电位差计进行测量, 因此它能完全消除引线电阻对测量的影响, 而与引线的电阻无关。

4. 模拟式温度变送器

典型的模拟式温度变送器是气动和电动单元组合仪表变送单元的主要品种, 大都经历了从 I 型到 II 型再到 III 型的发展过程。以 DDZ-III 型为例, 它可以和热电阻或热电偶配合使用, 将温度信号转换成统一标准信号; 它也可以作为直流毫伏转换器来使用, 将其他能够转换成直流毫伏信号的工艺变量也变成统一的标准信号。模拟式温度变送器主要由测量部分和放大部分组成, 如图 2.6 所示。

检测元件把被测温度 T_i 或其他工艺参数 X 转换为变送器的输入信号 $X_i (E_i, R_t \text{ 或 } E_i)$, 送入输入回路。经输入回路转换成直流毫伏信号 U_i 后, U_i 和零点调整与迁移零电路产生的

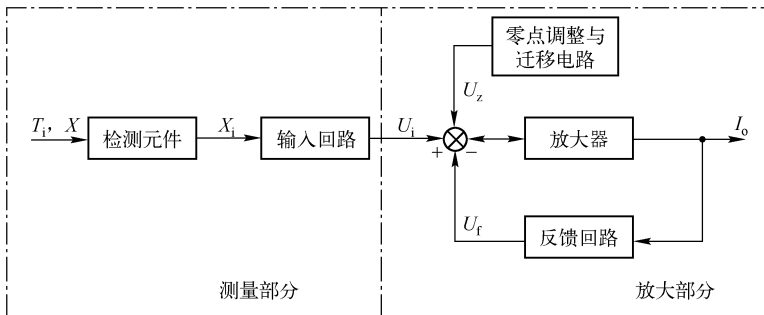


图 2.6 模拟式温度变送器原理框图

调零信号 U_z 的代数和同反馈电路产生的反馈信号 U_f 进行比较,其差值送入放大器,经放大后得到整机的输出信号 I_o 。

5. 智能式温度变送器

智能式温度变送器有的采用 HART 协议通信方式,有的采用现场总线通信方式。智能式变送器通用性强,使用灵活,具有各种补偿功能、控制功能、通信功能和自诊断功能,有模拟式温度变送器所不能比拟的优点。

下面以 SMART 公司的 TT302 温度变送器为例进行介绍。

TT302 温度变送器是一种符合 FF 通信协议的现场总线智能仪表,可以与各种热电阻 (Cu10、Ni120、Pt50、Pt100、Pt500)或热电偶 (B、E、J、K、N、R、S、T、L、U) 配套使用;也可以和其他具有电阻或毫伏 (mV) 输出的传感器配合使用。具有量程范围宽、精度高、环境温度和振动影响小、抗干扰能力强、重量轻以及安装维护方便等优点。还可接收两个测量元件的信号,具有双通道输入,并具有现场控制的功能。

TT302 温度变送器的硬件系统组成如图 2.7 所示,主要由输入板、主电路板和液晶显示器三部分组成。

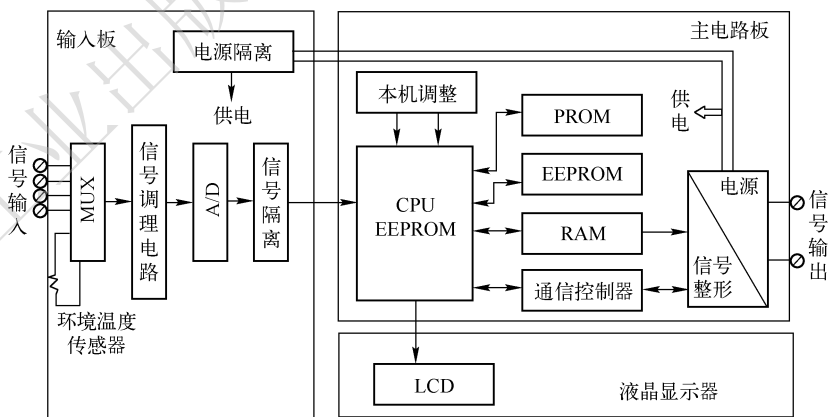


图 2.7 智能温度变送器 TT302 构成框图

(1) 输入板

输入板主要包括多路转换开关、信号调理电路、A/D 转换电路和隔离电路,其作用是将输

入的模拟量信号转换成数字量信号,送给 CPU。

输入板上的环境温度传感器用于热电偶测量时的冷端温度补偿;隔离电路包括信号的隔离和电源的隔离两部分。

(2) 主电路板

主电路包括 CPU、通信控制器、信号整形电路、电源电路等,它是变送器的核心部分。CPU 控制整个仪表各部分协调工作,完成数据的运算、处理、传递和通信等功能。通信控制器和信号整形电路与 CPU 共同完成数据的通信功能。

TT302 温度变送器由现场总线电源通过通信电缆供电,供电电压为 9 ~ 32VDC。

(3) 液晶显示器

液晶显示部分通过一个低功耗的显示器实现数据的显示功能。

TT302 温度变送器的软件分为系统程序和功能模块两部分。系统程序保证变送器各硬件电路的正常工作并实现所规定的各项功能,同时完成各组成部分之间的管理。功能模块提供了各种功能,用户可以选择所需要的功能模块以实现用户所要求的功能。用户可以通过上位管理计算机或手持式组态器,对变送器进行远程组态,调用或删除功能模块。

2.1.4 流量检测及变送

生产过程中大量的气体、液体等流体介质的流量需要准确检测与控制,以保证设备在合理负荷和安全状态下运行。所谓流量大小,指单位时间内流过管道某一截面的流体数量,即瞬时流量,常用体积流量 Q_V ($m^3/h, l/h$) 和质量流量 Q_M (kg/h) 表示。由于检测手段受温度、粘度、腐蚀性及导电性等因素影响,所以流量检测原理有很多,分类方法也有很多。

- ① 按测量的单位分,有质量流量计和体积流量计;
- ② 按测量流体运动的原理分,有容积式、速度式、动量式和质量流量式;
- ③ 按测量方法分,有直接测量式和间接测量式。

下面主要介绍卡曼涡街流量计及电磁式流量计。

1. 卡曼涡街流量计

涡街流量计又称为漩涡流量计,是利用有规则的漩涡剥离现象来测量流体流量的仪表。如图 2.8 所示,在管道轴线上放置与管道轴线相垂直的障碍柱体(不管是圆柱、方柱,还是三角柱),管道中会产生有规律的漩涡序列。漩涡成两列而且平行,像街灯一样,故称“涡街”。又因此现象首先被卡曼(Karman)发现,也称作“卡曼涡街”。每个漩涡间距离为 l ,两列漩涡间距离为 h 。实验和研究表明,当 $h/l = 0.281$ 时,涡街将表现出稳定的周期现象,其涡街频率 f 与管道内障碍柱体两侧介质流速 v_1 之间的关系为

$$f = S_t \frac{v_1}{d} \quad (2.11)$$

式中, S_t 为“斯特拉哈尔数”,与障碍物形状和雷诺数有关。当障碍物形状以及管道都确定后,可以导出体积流量 Q_V 与频率 f 成正比,即 $Q_V = kf$ 。

当涡街频率稳定时, S_t 对于圆柱、三角柱和方形柱障碍物分别是 0.21、0.16、0.17。对于方柱,雷诺数的范围不同, S_t 不是常数(如雷诺数 $Re = 5 \times 10^3 \sim 2 \times$

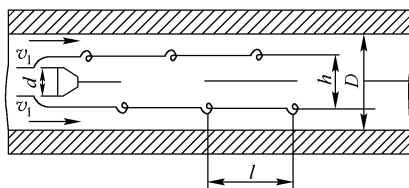


图 2.8 三角柱卡曼涡街

10^4 时), 但 S_t 与雷诺数仍有对应关系, 仍可得出体积流量的正确结果。

只要测出涡街的频率 f , 就能得到流过流量计管道的流体的体积流量。涡街频率有许多种可行的测量方法, 如热敏检测法、电容检测法、压力检测法等, 这些方法原理相似, 即利用漩涡得到局部压力、流速等的变化, 并作用于敏感元件, 产生周期性电信号, 再经整形放大, 得到方波脉冲。

涡街流量计以脉冲频率的方式输出与被测流量成正比的信号, 而且障碍物柱体与传感器的压力损失比孔板节流装置小, 表现出简单而优良的特性, 因而呈飞速发展的趋势。美国费希尔-罗斯蒙特公司推出的 8800 型卡曼涡街流量变送器就是其中代表。这种变送器又称灵巧型 (Smart) 涡街流量变送器, 它集模拟与数字技术于一体, 输出 4 ~ 20 mA 标准化模拟信号, 又具有数字通信功能。

2. 电磁式流量计

电磁式流量计是基于电磁感应原理来测量流量的仪表, 它能测量具有一定电导率的液体的体积流量。由于它测量的准确度不受被测液体的粘度、密度、温度以及电导率(在允许最低限以上)变化的影响, 测量管中没有任何阻碍被测液体流动的部件, 所以几乎没有压力损失。适当选用测量管中绝缘内衬和测量电极的材料, 就可以测量各种腐蚀性(酸、碱、盐)溶液的流量, 尤其是在测量含有固体颗粒的溶液(如泥浆、纸浆、矿浆或纤维液体)的流量时, 更显示出其优越性。

电磁式流量计通常由变送器和转换器两部分组成。被测介质的流量经变送器转换成感应电势后, 再经转换器把电势信号转换成统一的 4 ~ 20 mA 或 0 ~ 10 mA 直流信号作为输出, 以便进行指示、记录或与电动单元组合仪表配套使用。电磁流量计原理图如图 2.9 所示。在一段用非导磁材料制成的管道外面, 安装有一对磁极 N 和 S, 用以产生磁场。当导电液体流过管道时, 因流体切割磁力线而产生了感应电势。此感应电势由与磁极成垂直方向的两个电极引出。当磁感应强度不变、管道直径一定时, 这个感应电势的大小仅与流体的流速有关, 而与其他因素无关。将这个感应电势经过放大、转换, 传送给显示仪表, 就能在显示仪表上读出流量来。

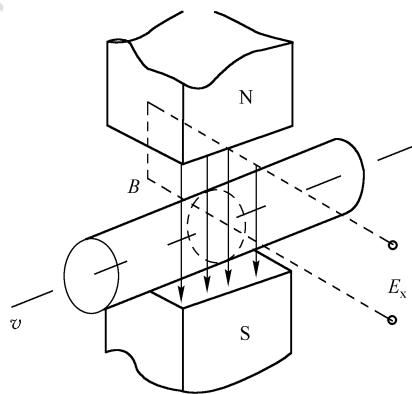


图 2.9 电磁流量计原理图

感应电势的方向由右手定则判断, 其大小由下式决定:

$$E_x = K'BDv \quad (2.12)$$

式中, E_x 为感应电势, K' 为比例系数, B 为磁感应强度, D 为管道直径(即垂直切割磁力线的导体长度), v 为垂直于磁力线方向的液体速度。

体积流量 Q_V 与流速 v 的关系为

$$Q_V = \frac{1}{4} \pi D^2 v \quad (2.13)$$

将式(2.13)代入式(2.12), 便得

$$E_x = \frac{4K'B}{\pi D} Q_V = KQ_V \quad (2.14)$$

式中

$$K = \frac{4K'B}{\pi D} \quad (2.15)$$

K 称为仪表常数,在磁感应强度 B 、管道直径 D 确定不变后, K 就是一个常数。这时感应电势的大小与体积流量之间具有线性关系,因而仪表具有均匀刻度。

2.1.5 物位检测及变送

在生产过程中常需要对容器中储存的固体(块料、粉料或颗粒)、液体的储量进行测量,以保证生产工艺正常运行及进行经济核算。这种测量通过检测储物在容器中的堆积高度来实现,储物的堆积高度就叫做物位。容器、河道、水库中液体的表面位置(相对于某一指定位置)叫液位;容器、堆场、仓库等所储固体颗粒、粉料等的堆积高度叫料位;同一容器中储存的两种密度不同且互不相溶的液体之间或两种介质之间的分界面位置称为相界面位置。物位的测量就是指以上三种位置的测量,测量固体物位的仪表称为料位计,测量液体物位的仪表称为液位计,测量相界面位置的仪表称为界面计。

通过物位的测量,可以正确获知容器设备中所储物质的体积或质量,监视或控制容器内的介质物位,使它保持在一定的工艺要求的高度,或对上、下限位置进行报警,以及根据物位来连接监视或调节容器中流入与流出物料的平衡。所以,一般测量物位有两种目的,一种是对物位测量的绝对值要求非常准确,借以确定容器或储料库中的原料、辅料、半成品或成品的数量;另一种是对物位测量的相对值要求非常准确,要能迅速准确反映某一特定水准面上的物料相对变化,用以连续控制生产工艺过程,即利用物位仪表进行监视和控制。

1. 物位仪表的分类

物位测量方法很多,但无论是哪一种测量方法,一般都可以归结为测量某些物理参数,如测量高度、压力(压差)、电容、 γ 射线强度和声阻等。物位仪表按工作原理可分以下几种。

① 直读式物位测量仪表。它是最原始但应用仍较多的物位测量仪表,主要有玻璃管液位计、玻璃板液位计等。

② 浮力式物位测量仪表。它利用浮子高度随液位变化而改变或液体对沉浸于液体中的浮子(或称沉筒)的浮力随液位高度而变化的原理来工作。它也是一种应用范围很广的物位测量仪表。

③ 静压式物位测量仪表。它是利用液柱或物料堆积对某定点产生压力,测量该点压力或测量该点与另一参考点的压差而间接测量物位的仪表。

④ 电磁式物位测量仪表。它是将物位的变化转换为电量的变化,进行间接测量物位的仪表。它可以分为电阻式(即电极式)、电容式和电感式物位仪表等,还有利用压磁效应工作的物位仪表。

⑤ 核辐射式物位仪表。它是利用核辐射透过物料时,其强度随物质层的厚度而变化的原理而工作的,目前应用较多的是 γ 射线。

⑥ 声波式物位测量仪表。物位的变化可以引起声阻抗的变化、声波的遮断和声波反射距离的不同,测出这些变化就可测出物位。所以声波式物位测量仪表可以根据它的工作原理分为声波遮断式、反射式和阻尼式。

⑦ 光学式物位测量仪表。它利用物位对光波的遮断和反射原理工作,可利用的光源有普

通白炽灯光或激光等。

还有一些其他形式的物位测量仪表,如射流式、称重式、热敏式、音叉式等多种类型,而新原理、新品种仍在不断发展之中。

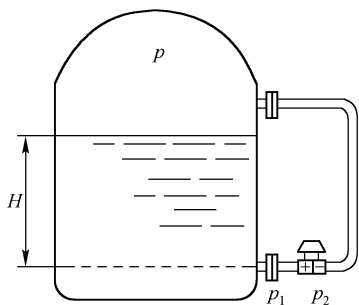


图 2.10 差压式液位变送器原理

因此可得

$$\Delta p = p_1 - p_2 = H\rho g \quad (2.18)$$

式中, H 为液位高度, ρ 为介质密度, g 为重力加速度, p_1 、 p_2 为分别为差压变送器正、负压室的压力。

通常,被测介质的密度是已知的。差压变送器测得的差压与液位高度成正比,这样就把测量液位高度问题转换成测量差压的问题了。当测量容器是敞口的,气相压力为大气压力时,只需将差压变送器的负压室通大气即可。在实际应用过程中, H 和 Δp 之间的对应关系不像式(2.18)那么简单,通常还存在着正、负迁移的问题,在应用时要加以注意。

3. 电容式物位传感器

在电容器的极板之间,充以不同介质时,电容量的大小也有所不同。因此可通过测量电容量的变化来检测液位、料位和两种不同液体的分界面。如图 2.11a 所示,由两个同轴圆柱极板组成的电容器,当两极板之间的介质为空气时,两极板间的电容量为

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_1 L}{\ln \frac{D}{d}} \quad (2.19)$$

式中, L 为两极板相互遮盖部分的长度, d 为圆筒形内电极的外径, D 为圆筒形外电极的内径, ϵ_1 为空气的介电系数。

当极板之间一部分介质被介电常数为 ϵ_2 的另一种介质填充时,如图 2.11b 所示,可推导出电容量变为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_2 H}{\ln \frac{D}{d}} + \frac{2\pi\epsilon_1 (L - H)}{\ln \frac{D}{d}} \quad (2.20)$$

可知电容量的变化为

$$C_x = C - C_0 = \frac{2\pi(\epsilon_2 - \epsilon_1)H}{\ln \frac{D}{d}} = K_1 H \quad (2.21)$$

因此,电容量的变化与液位高度 H 成正比。式

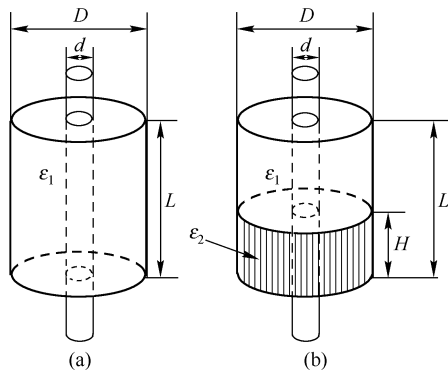


图 2.11 电容式物位传感器原理图

(2.21)中 K_1 为比例系数。 K_1 中包含 $(\epsilon_2 - \epsilon_1)$, 也就是说, 该方法是利用被测介质的介电系数 ϵ_2 与空气介电系数 ϵ_1 不等的原理工作的。 $(\epsilon_2 - \epsilon_1)$ 值越大, 仪表越灵敏; D 与 d 越接近, 即两极板距离越小, 仪表灵敏度越高。

2.1.6 其他检测仪表和装置

除去上面介绍的压力、温度、流量和物位传感器和变送器外, 工业现场还使用大量其他类型的检测装置。例如, 用于开关量信号检测的行程开关、接近开关、光电开关等; 用于速度检测的测速发电机、光电旋转编码器等; 用于位移检测的计量光栅、光电编码器等; 用于质量检测的称重仪表; 用于厚度测量的涡流式测厚仪、射线式测厚仪等。

1. 行程开关、接近开关、光电开关

行程开关、接近开关主要将机械位移变为电信号, 以实现系统的控制, 广泛应用于在机电一体化设备上, 作为电路自动切换、限位保护、行程控制等装置。

行程开关示意图如图 2.12 所示。它通过机械力使触点动作, 可分为快速动作、非快速动作及微动三种。

接近开关是一种无触点的电子开关, 如图 2.13 所示。当被检测的物体接近到一定距离时, 不需要接触接近开关就能发出开关动作信号。它是一种在一定距离内, 检测有无金属的传感器, 它给出的是开关信号(高电平或低电平), 具有一定驱动负载的能力(如继电器等)。根据工作原理接近开关可分为高频振荡型、差动线圈型和磁吸型。振荡型接近开关一般有感应头、电子振荡器、电子开关电路、电源等几部分组成。它的工作原理是: 装在机械运动部件上的铁磁体, 在机械运动到位时靠近感应头, 使感应头的参数值发生变化, 影响振荡器的工作, 而使晶体管开关电路导通或关断, 从而输出相应的信号。接近开关的特点是非接触动作、不损伤检测对象, 因而可靠性高、寿命长, 而且可以高速动作。但它只能检测金属体, 且易受周围金属或外部磁场的影响。接近开关的检测距离有多种不同的规格, 可根据实际需要选用。

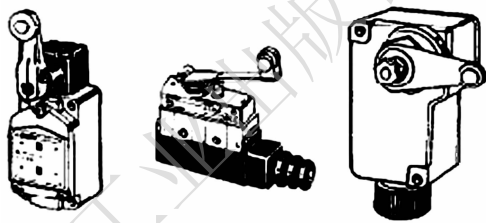


图 2.12 行程开关



图 2.13 接近开关

光电开关也是一种常用的开关型检测元件, 如图 2.14 所示。它由投光器、受光器和电源组成, 投光器常用发光二极管, 受光器常用光敏二极管或光敏晶体管。其工作原理为: 使投光器和受光器相对, 当被测物体挡住从投光器发射出的光线时, 受光器就输出相应的控制信号。光电开关按检测方式可分为反射式、对射式两种类型。对射式检测距离远, 可检测半透明物体的密度(透

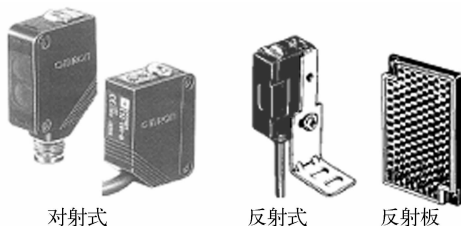


图 2.14 光电开关

光度)。反射式的工作距离被限定在光束的交点附近,以避免背景影响,其中镜面反射式的反射距离较远,适宜作远距离检测,也可检测透明或半透明物体。

光电开关按结构可分为放大器分离型、放大器内藏型和电源内藏型三类。放大器分离型是将放大器与传感器分离,并采用专用集成电路和混合安装工艺制成。由于传感器具有超小型和多品种的特点,而放大器的功能较多,因此,该类型采用端子连接方式,并可交、直流电源通用。放大器分离型具有接通和断开延时功能,可设置亮、暗动切换开关,能控制 6 种输出状态,兼有接点和电平两种输出方式。放大器内藏型是将放大器与传感器一体化,采用专用集成电路和表面安装工艺制成,使用直流电源工作;其响应速度快,能检测狭小和高速运动的物体;改变电源极性可转换亮、暗动,并可设置自诊断稳定工作区指示灯;兼有电压和电流两种输出方式,能防止相互干扰,在系统安装中十分方便。电源内藏型是将放大器、传感器与电源装置一体化,采用专用集成电路和表面安装工艺制成。它一般使用交流电源,适用于在生产现场取代接触式行程开关,可直接用于强电控制电路。

2. 测速发电机

测速发电机是一种专门用来测量转速的微型电机,其本质是一种微型发电机。测速发电机有直流和交流两种,直流测速发电机输出电压和转速有较好的线性关系,并且直流的极性可以反映出转动的方向,应用方便。由于直流测速发电机有电刷、换向器等接触装置,使它的可靠性变差,精度也受到影响。交流测速发电机的输出频率与转速严格对应,输出信号可经放大整形变换电路转换成标准的电压或电流信号。它不需要电刷和换向器,结构简单,不产生干扰火花,但是输出特性随负载性质(电阻、电感、电容)变化而变化。

3. 光电编码器

作为一种传感器,光电编码器具有精度高、耗能低、非接触无磨损、稳定可靠等优点。尤其是它以数字量输出,具有与计算机容易联机的优点。根据所测量的物理量的性质不同,光电编码器可对运动机械的直线位移、角位移、速度、相位等进行测量,也可间接地对能变换成这些量的,例如温度、压力、流量等物理量进行测量,并给出相应的电学量输出。在自动化系统中,它可作为敏感检测元件组成自动检测系统,也可作为检测反馈元件组成闭环或半闭环的自动控制系统。工业发达的国家,光电编码器已深入产业机械自动化(FA)、商场自动化(SA)、办公室自动化(OA)、家庭自动化(HA)。美国、日本、德国等国都有百万台以上的光电编码器的市场,在长度测量、角度测量、速度测量和相位测量方面应用极其广泛。

随着工业自动化和计算机控制技术的发展,编码器的应用领域也在不断扩大,市场上不断涌现出新技术原理、新结构型式的光电编码器。编码器根据其工作原理、结构及其输出信号的不同,其品种规格也有所不同。

(1) 按工作原理分类

编码器作为检测传感器件应能将输入的信号(被测物理量)转换成便于显示、传输、放大和比较的信号,以供人们观察或为自控系统所接受,通常是将非电量转变为电学量。进行信号转换的介质可以是电磁波、光波、磁力线等。转换介质不同,工作原理也不同。编码器按工作原理分类表如图 2.15 所示。

(2) 按输出信号特征分类

根据信号的输出特征,通常分为增量式光电编码器和绝对式光电编码器。增量式光电编码器输出轴转角被分成一系列位置的增量,敏感元件对这些增量响应,每当出现一个单位增量

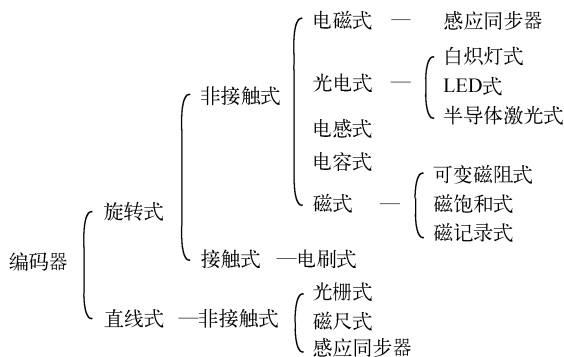


图 2.15 编码器分类表

时,敏感元件就向计数器发出一个脉冲,计数器把这些计数脉冲累加起来,并以各种进制的代码形式在输出端给出所需要的输入角度瞬时值的信息。当前,这种光电编码器的用量极大,约占光电编码器总量的 80%。这种光电编码器的最大优点是结构简单、价格低廉;缺点是无固定零位,遇到停电等故障所有信息全部丢失,为避免这个缺点,又研制出一种带固定零位的增量式光电编码器。绝对式光电编码器的转角的代码是由一个多圈同心码道的码盘给出的,具有固定零位,对于一个转角位置,只有一个确定的数字代码。其优点是具有固定的零位,角度值的代码单位化,无累计误差,抗干扰能力强,缺点是敏感件多,码盘图案、制造工艺复杂,成本也高。

4. 测厚仪表

厚度测量属于长度测量范畴,但它是一种特殊的长度测量。目前常用的厚度测量一般属于运动物体厚度的连续测量,而对于非连续测量则多用一般简单机械式测量仪。

从 20 世纪 40 年代开始,测厚仪已用在生产工艺流程上进行材料厚度(包括涂、镀层厚度)的自动检测,也用于各种金属与非金属板材的轧制过程。按检测方式不同,测厚仪分为接触式和非接触式两大类;按其变换原理分为射线式、电涡流式、微波式、激光式、电容式、电感式等。

处于交变磁场中的金属,由于电磁感应的作用,在金属内部会产生感应电势并形成许多闭合回路电流,即涡流。涡流测厚仪正是利用涡流来测量厚度的。涡流测厚仪分为高频反射式和低频透射式两种,前者的频率为 $1 \sim 10^4$ MHz,后者的频率为 100 Hz ~ 2 kHz。

射线式测厚仪按照射线源的种类可分为 X 射线测厚仪和核辐射线测厚仪两类;按射线与被测板材的作用方式又可分为透射式和反射式两类。X 射线测厚仪是基于射线被板材吸收的原理制成的。

2.2 过程控制中常用的执行器

执行器是过程计算机控制系统中的一个重要组成部分。执行器的作用是接收控制器送来的控制信号,改变被控介质的流量,从而将被控变量维持在所要求的数值上或一定的范围内。

执行器的动作是由调节器的输出信号通过各种执行机构来实现的。执行器由执行机构与调节机构构成,在用电信号作为控制信号的控制系统中,目前广泛应用以下三种控制方式,如图 2.16 所示。

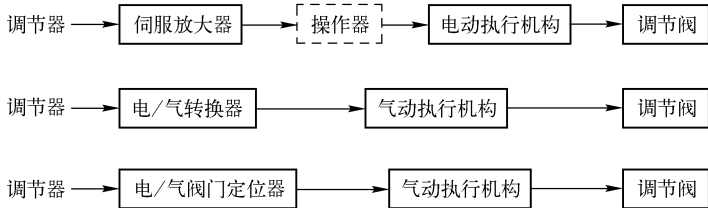


图 2.16 执行器的构成及控制形式

执行器有各种不同的分类方法,介绍如下:

① 按动力能源分类,可分为气动执行器、电动执行器、液动执行器。气动执行器利用压缩空气作为能源,其特点是结构简单、动作可靠平稳、输出推力较大、维修方便、防火防爆,而且价格较低。它可以方便地与气动仪表配套使用,即使是采用电动仪表或计算机控制时,只要经过电/气转换器或电/气阀门定位器,将电信号转换为 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 的标准气压信号,仍然可用气动执行器。

② 按动作极性分类,可分为正作用执行器和反作用执行器。

③ 按动作行程分类,可分为角行程执行器和直行程执行器。

④ 按动作特性分类,可分为比例式执行器和积分式执行器。

在自控系统中,为使执行机构的输出满足一定精度的要求,在控制原理上常采用负反馈闭环控制系统。即将执行机构的位置输出作为反馈信号,和电动调节器的输出信号作比较,将其差值经过放大用于驱动和控制执行机构的动作,使执行机构向消除差值的方向运动,最终达到执行机构的位置输出和电动调节器的输出信号成线性关系。

在应用气动执行机构的场合下,当采用电/气转换器和气动执行机构配套时,由于是开环控制系统,只能用于控制精度要求不高的场合。当需要精度较高时,一般都采用电/气阀门定位器和气动执行机构相配套,执行机构的输出位移通过凸轮杠杆反馈到阀门定位器内,利用负反馈的工作原理,大大提高气动调节阀的位置精度。因此,目前在自控系统中应用的气动调节阀大多数都与阀门定位器配套使用。

智能电动执行器将伺服放大器与操作器转换成数字电路,而智能执行器则将所有环节集成,信号通过现场总线由变送器或操作站发来,可以取代调节器。

2.2.1 气动执行器

气动执行器又称为气动调节阀,由气动执行机构和调节阀(控制机构)组成,如图 2.17 所示。执行器上有标尺,用以指示执行器的动作行程。

1. 气动执行机构

常见的气动执行机构有薄膜式和活塞式两大类。其

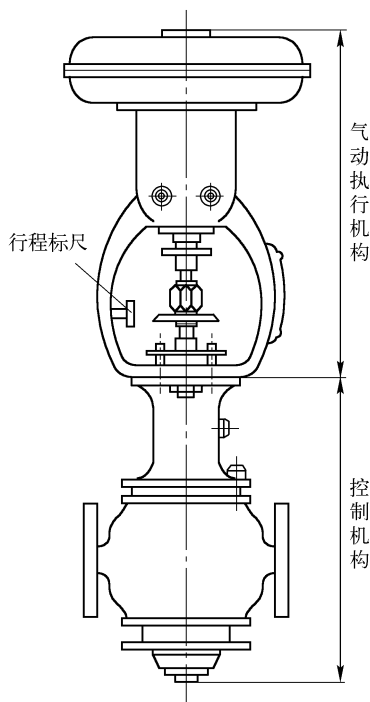


图 2.17 气动执行器

中薄膜式执行机构最为常用,它可以用作一般控制阀的推动装置,组成气动薄膜式执行器。气动薄膜式执行机构的信号压力 p 作用于膜片,使其变形,带动膜片上的推杆移动,使阀芯产生位移,从而改变阀的开度。它结构简单、价格便宜、维修方便,应用广泛。气动活塞执行机构使活塞在气缸中移动产生推力,显然,活塞式的输出力度远大于薄膜式。因此,薄膜式适用于输出力较小、精度较高的场合;活塞式适用于输出力较大的场合,如大口径、高压降控制或蝶阀的推动装置。除薄膜式和活塞式之外,还有一种长行程执行机构,它的行程长、转矩大,适用于输出角位移和大力矩的场合。气动执行机构接收的信号标准为 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 。

气动薄膜执行机构输出的位移 L 与信号压力 p 的关系为

$$L = \frac{A}{K} p \quad (2.22)$$

式中, A 为波纹膜片的有效面积, K 为弹簧的刚度。推杆受压移动,使弹簧受压,当弹簧的反作用力与推杆的作用力相等时,输出的位移 L 与信号压力 p 成正比。执行机构的输出(即推杆输出的位移)也称行程。气动薄膜执行机构的行程规格有 10 mm 、 16 mm 、 25 mm 、 60 mm 、 100 mm 。气动薄膜执行机构的输入、输出特性是非线性的,且存在正反行程的变差。实际应用中常用上阀门定位器,可减小一部分误差。

气动薄膜执行机构有正作用和反作用两种形式。当来自控制器或阀门定位器的信号压力增大时,阀杆向下动作的叫正作用执行机构(ZMA型);当信号压力增大时,阀杆向上动作的叫反作用执行机构(ZMB型)。正作用执行机构的信号压力是通入波纹膜片上方的薄膜气室;反作用执行机构的信号压力是通入波纹膜片下方的薄膜气室。通过更换个别零件,两者就能互相改装。

气动活塞执行机构的主要部件为气缸、活塞、推杆,气缸内活塞随气缸内两侧压差的变化而移动。根据特性分为比例式和两位式两种。两位式根据输入活塞两侧操作压力的大小,活塞从高压侧被推向低压侧。比例式是在两位式基础上加以阀门定位器,使推杆位移和信号压力成比例关系。

2. 控制机构

控制机构即控制阀,实际上是一个局部阻力可以改变的节流元件。阀杆上部与执行机构相连,下部与阀芯相连。由于阀芯在阀体内移动,改变了阀芯与阀座之间的流通面积,即改变了阀的阻力系数,被控介质的流量也就相应改变,从而达到控制工艺参数的目的。控制阀由阀体、阀座、阀芯、阀杆、上下阀盖等组成。控制阀直接与被控介质接触,为适应各种使用要求,阀芯、阀体的结构、材料各不相同。

控制阀的阀芯有直行程阀芯与角行程阀芯两种。常见的直行程阀芯有:平板形阀芯,具有快开特性,可作两位控制;柱塞型阀芯,可上下倒装,以实现正反调节作用;窗口形阀芯,有合流型与分流型,适宜作三通阀;多级阀芯,将几个阀芯串联,起逐级降压作用。角行程阀芯通过阀芯的旋转运动改变其与阀座间的流通截面,常见的角行程阀芯形式有:偏心旋转阀芯、蝶形阀芯、球形阀芯。

根据不同的使用要求,控制阀的结构形式很多,如图 2.18 所示。

① 直通单座控制阀。这种阀的阀体内只有一个阀芯与阀座。其特点是结构简单、泄露量小,易于保证关闭,甚至完全切断。但是在压差大的时候,流体对阀芯上下作用的推力不平衡,这种不平衡力会影响阀芯的移动。这种阀一般用于小口径、低压差的场合。

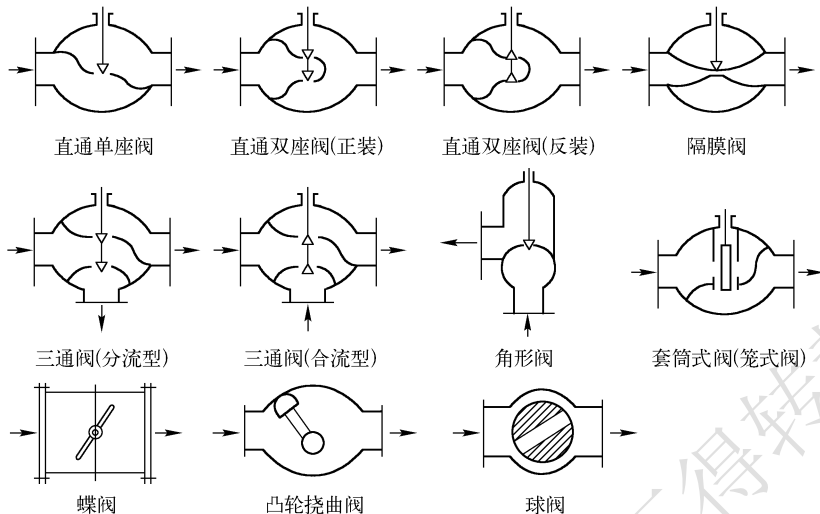


图 2.18 控制阀的结构形式

② 直通双座控制阀。阀体内有两个阀芯和阀座,这是最常用的一种类型。由于流体流过的时候,作用在上、下两个阀芯上的推力方向相反而大小近于相等,可以互相抵消,所以不平衡力小。但是由于加工的限制,上下两个阀芯阀座不易保证同时密闭,因此泄露量较大。根据阀芯与阀座的相对位置,这种阀可分为正作用式与反作用式(或称正装与反装)两种形式。当阀体直立、阀杆下移时,阀芯与阀座间的流通面积减小的称为正作用式。如果阀芯倒装,则当阀杆下移时,阀芯与阀座间的流通面积增大,称为反作用式。

③ 隔膜控制阀。它采用耐腐蚀衬里的阀体和隔膜。隔膜阀结构简单,流阻小,流通能力比同口径的其他种类的阀要大。由于介质用隔膜与外界隔离,故无填料,介质也不会泄露。这种阀耐腐蚀性强,适用于强酸、强碱等腐蚀性介质的控制,也能用于高粘度及悬浮颗粒状介质的控制。

④ 三通控制阀。三通阀共有三个出入口与工艺管道连接。其流通方式有合流(两种介质混合成一路)型和分流(一种介质分成两路)型两种。这种阀可以用来代替两个直通阀,适用于配比控制与旁路控制。

⑤ 角形控制阀。角形阀的两个接管成直角形,一般为底进侧出。这种阀的流路简单、阻力较小,适用于现场管道要求直角连接,介质为高粘度、高压差和含有少量悬浮物和固体颗粒的场合。

⑥ 套筒式控制阀。又名笼式阀,它的阀体与一般的直通单座阀相似。笼式阀内有一个圆柱形套筒(笼子)。套筒壁上有几个不同形状的孔(窗口),利用套筒导向,阀芯在套筒内上下移动,由于这种移动改变了笼子的节流孔面积,就形成了各种特性并实现流量控制。笼式阀的可调比大、振动小、不平衡力小、结构简单、套筒互换性好,更换不同的套筒(窗口形状不同)即可得到不同的流量特性,阀内部件所受的气蚀小、噪声小,是一种性能优良的阀,特别适用于要求低噪声及压差较大的场合,但不适用于高温、高粘度及含有固体颗粒的液体。

⑦ 蝶阀。又名翻板阀。蝶阀具有结构简单、重量轻、价格便宜、流阻极小的优点,但泄露量大,适用于大口径、大流量、低压差的场合,也可以用于含少量纤维或悬浮颗粒状介质的

控制。

⑧ 球阀。球阀的阀芯和阀体都呈球形体,转动阀芯使其与阀体处于不同的相对位置时,就具有不同的流通面积,以达到流量控制的目的。

⑨ 凸轮挠曲阀。又名偏心旋转阀。它的阀芯呈扇形球面状,与挠曲臂及轴套一起铸成,固定在转动轴上。凸轮挠曲阀的挠曲臂在压力作用下会产生挠曲变形,使阀芯球面与阀座密封圈紧密接触,密封性好。同时它的重量轻、体积小、安装方便,适用于高粘度或带有悬浮物的介质流量控制。

除以上所介绍的阀以外,还有一些特殊的控制阀。例如小流量阀适用于小流量的精密控制,超高压阀适用于高静压、高压差的场合。

若口径为 $A(\text{cm}^2)$,流通密度为 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$,在前后压差为 $\Delta P(\text{kPa})$ 时,流过的流体流量 $Q_c(\text{m}^3/\text{h})$ 为

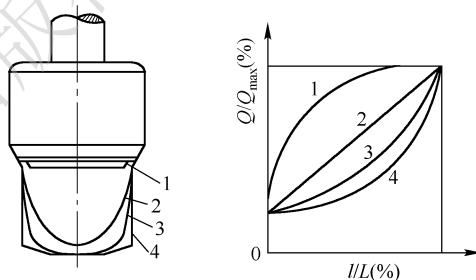
$$Q_c = 16.1 \frac{A}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (2.23)$$

式中, ξ 为控制阀阻力系数,与阀门结构形式、开度和流体的性质有关。在上式中, A 一定,在 ΔP 和 ρ 不变的情况下,流量 Q 仅随阻力系数 ξ 变化(即阀的开度增加,阻力系数 ξ 减小,流量随之增大)。控制阀就是通过改变阀芯行程调节阻力系数 ξ ,来实现流量调节的。

控制阀的流量特性是指介质流过控制阀的相对流量 Q/Q_{\max} 与相对位移(即阀芯的相对开度) l/L 之间的关系,即

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right) \quad (2.24)$$

由于控制阀开度变化时,阀前后的压差 ΔP 也会变,从而流量 Q 也会变。为分析方便,称阀前后的压差不随阀的开度变化的流量特性为理想流量特性;阀前后的压差随阀的开度变化的流量特性为工作流量特性,如图 2.19 所示。不同的阀芯形状,具有不同的理想流量特性:



1—快开 2—直线 3—抛物线 4—等百分比

图 2.19 理想流量特性

- 直线流量特性。虽为线性,但小开度时,流量相对变化值大、灵敏度高、控制作用强、易产生振荡;大开度时,流量相对变化值小、灵敏度低、控制作用弱、控制缓慢。
- 等百分比流量特性。放大倍数随流量增大而增大,所以开度较小时,控制缓和、平稳;大开度时,控制灵敏、有效。
- 抛物线流量特性。在抛物线流量特性中,有一种修正抛物线流量特性,这是为了弥补直线特性在小开度时调节性能差的特点,在抛物线特性基础上衍生出来的。它在相对位

移 30% 及相对流量 20% 以下为抛物线特性,在以上范围为线性特性。

- 快开流量特性。快开特性的阀芯是平板形的。它的有效位移一般是阀座的 $1/4$, 位移再大时, 阀的流通面积就不再增大, 失去了控制作用。快开阀适用于迅速启闭的切断阀或双位控制系统。

如图 2.18 所示的各种控制阀, 其特性都不过零(即都有泄漏), 为此, 常接入截止阀。

在实际生产中, 控制阀前后压差总是变化的, 控制阀一般与工艺设备并用, 也与管道串联或并联。压差因阻力损失而变化, 致使理想流量特性畸变为工作流量特性。综合串、并联管道的情况, 可得如下结论:

串、并联管道都会使阀的理想流量特性发生畸变, 串联管道的影响尤为严重。

串、并联管道都会使控制阀的可调范围降低, 并联管道尤为严重。

串联管道使系统总流量减少, 并联管道使系统总流量增加。

串、并联管道会使控制阀的放大系数减小, 即输入信号变化引起的流量变化值减少。

3. 电/气转换器和电/气阀门定位器

在实际系统中, 电与气两种信号常是混合使用的, 这样可以取长补短。因而有各种电/气转换器及气/电转换器把电信号($0 \sim 10 \text{ mA DC}$ 或 $4 \sim 20 \text{ mA DC}$) 与气信号($0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$) 进行转换。电/气转换器可以把电动变送器送来的信号变为气信号, 送到气动控制器或气动显示仪表; 也可把电动控制器的输出信号变为气信号去驱动气动调节阀, 此时常用电/气阀门定位器, 它具有电/气转换器和气动阀门定位器两种作用。

电/气转换器简化原理图如图 2.20 所示。它是基于力矩平衡的工作原理。输入信号为电动控制系统的标准信号 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 或 $0 \sim 10 \text{ mA}$, 转换为 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 气动信号再驱动气动执行器。电流流过线圈产生电磁场, 电磁场将可动铁心磁化, 磁化铁心在永久磁钢中受力, 相对于支点产生力矩, 带动铁心上的挡板动作, 从而改变喷嘴挡板间的间隙, 喷嘴挡板可变气阻发生改变, 使图中气阻与喷嘴挡板机构的分压系数发生变化, 有气压信号 P_B 输出, P_B 通过功率放大器放大, 输出气动执行器的标准气信号。输出气信号通过波纹管相对于支点给铁心加一个反力矩, 信号力矩与反力矩相等时, 铁心绕支点旋转的角度达到平衡。

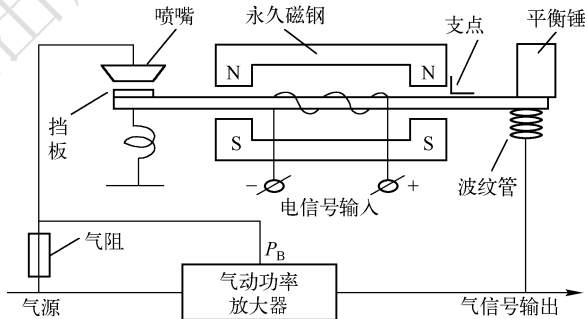


图 2.20 电/气转换器简化原理图

电/气阀门定位器具有电/气转换器与阀门定位器的双重功能, 它接收电动调节器输出的 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 直流电流信号, 输出 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 或 $0.04 \sim 0.2 \text{ MPa}$ (大功率) 气动信号驱动执行机构。由于电/气阀门定位器具有追踪定位的反馈功能, 电信号的输入与执行机构的位移输

出之间的线性关系比较好,从而保证调节阀的正确定位。

电/气阀门定位器原理如图 2.21 所示。来自调节器或输出式安全栅的 4~20 mA 直流电流信号送入输入绕组,使杠杆极化,极化杠杆在永久磁钢中受力,对应于杠杆支点产生一个电磁力矩,杠杆逆时针旋转。杠杆上的挡板靠近喷嘴,使放大器背压升高,放大后的气压作用在执行机构上,使执行机构的输出阀杆下移。阀杆的位移通过反馈拉杆转换为反馈轴与反馈压板间的角位移,以量程调节件为支点,作用于反馈弹簧。反馈弹簧对应于杠杆支点产生一个反馈力矩,当反馈力矩与电磁力矩平衡时,阀杆就稳定在某一位置,从而实现了阀杆位移与输入信号电流之间的线性关系。普通定位器的定位精度约为全行程的 20%,显然还不够高。目前,国外一些大公司(如西门子、费希尔—罗斯蒙特等)相继推出了智能型电/气阀门定位器,使定位精度优于全行程的 0.5%,且符合现场总线标准,同时,其他性能也有提高。

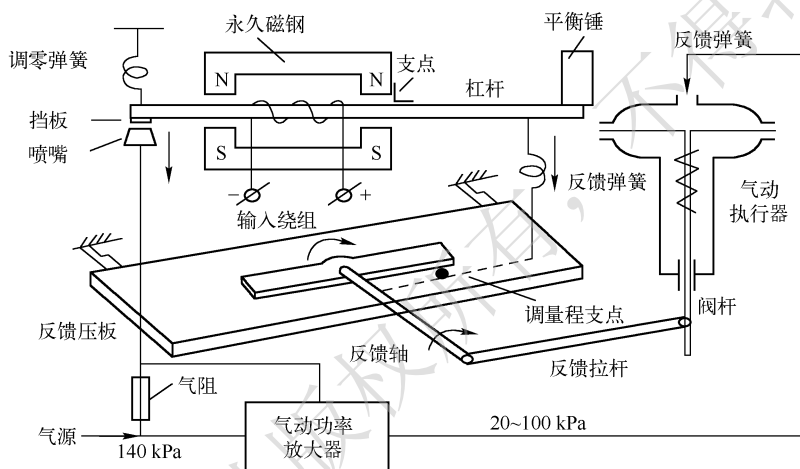


图 2.21 电/气阀门定位器原理图

智能型电/气阀门定位器的构成如图 2.22 所示。它以微处理器为核心,采用的是数字定位技术,即将从调节器传来的控制信号(4~20 mA)转换成数字信号后送入微处理器,同时将阀门开度信号也通过 A/D 转换后反馈回微处理器。微处理器将这两个数字信号按照预先设定的性能、关系进行比较,判断阀门开度是否与控制信号相匹配(即阀杆是否移动到位)。如果正好匹配即偏差为零,系统处于稳定状态,则切断气源,使两阀(可以是电磁阀或压电阀)均处于切断状态(只有通和断两种状态)。否则,应根据偏差的大小和类别(正偏差或负偏差)决定两阀的动作,从而使阀芯准确定位。

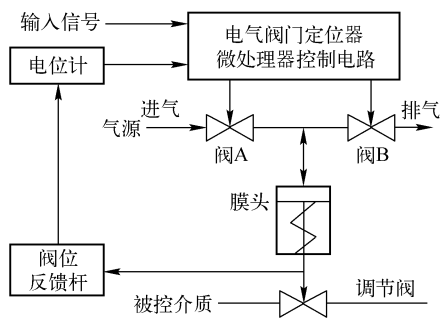


图 2.22 智能型电/气阀门定位器的构成

智能型电/气阀门定位器的先进性在于:控制精度高,能耗低,调整方便,可任意选择流量阀的流量特性、故障报警,并通过接口与其他现场总线用户实现通信。

2.2.2 电动执行器

电动执行器和气动执行器一样,是控制系统中的一个重要部分。它接收来自控制器的 $4\sim 20\text{ mA}$ 或 $0\sim 10\text{ mA}$ 直流电流信号,并将其转换成相应的角位移或直行程位移,去操纵阀门、挡板等控制机构,以实现自动控制。

电动执行器有直行程、角行程和多转式等类型。角行程电动执行机构以电动机为动力元件,将输入的直流电流信号转换为相应的角位移($0^\circ\sim 90^\circ$),这种执行机构适用于操纵蝶阀、挡板之类的旋转式控制阀。直行程执行机构接收输入的直流电流信号后使电动机转动,然后经减速器减速并转换为直线位移输出,去操纵单座、双座、三通等各种控制阀和其他直线式控制机构。多转式电动执行机构主要用来开启和关闭闸阀、截止阀等多转式阀门,由于它的电机功率比较大,最大的有几十千瓦,一般多用于就地操作和遥控。

这三种类型的执行机构都是以两相交流电动机为动力的位置伺服机构,三者电气原理完全相同,只是减速器不一样。

角行程电动执行机构的主要性能指标:

3 端隔离输入通道,输入信号 $4\sim 20\text{ mA(DC)}$,输入电阻 $250\ \Omega$;

输出力矩: $40、100、250、600、1000\text{ N}\cdot\text{m}$;

基本误差和变差小于 $\pm 1.5\%$;

灵敏度 $240\ \mu\text{A}$ 。

电动执行器主要由伺服放大器和执行机构组成,中间可以串接操作器,如图 2.23 所示。伺服放大器接收控制器发来的控制信号(1~3 路),将其同电动执行机构输出位移的反馈信号 I_f 进行比较,若存在偏差,则差值经过功率放大后,驱动两相伺服电动机转动。再经减速器减速,带动输出轴改变转角 θ 。若差值为正,则伺服电动机正转,输出轴转角增大;若差值为负,则伺服电动机反转,输出轴转角减小。当差值为零时,伺服放大器输出接点信号让电动机停转,此时输出轴就稳定在与该输入信号相对应的转角位置上。这种位置式反馈结构可使输入电流与输出位移的线性关系较好。

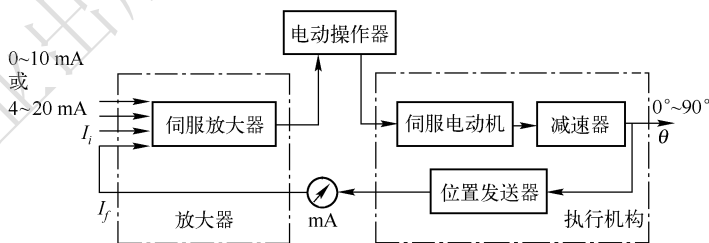


图 2.23 电动执行机构方框图

电动执行机构不仅可以与控制器配合实现自动控制,还可通过操作器实现控制系统的自动控制和手动控制的相互切换。当操作器的切换开关置于手动操作位置时,由正、反操作按钮直接控制电动机的电源,以实现执行机构输出轴的正转或反转,进行遥控手动操作。

(1) 伺服电动机

伺服电动机是电动调节阀的动力部件,其作用是将伺服放大器输出的电功率转换成机械转矩。伺服电动机实际上是一个二相电容异步电动机,由一个用冲槽硅钢片叠成的定子和鼠

笼转子组成,定子上均匀分布着两个匝数、线径相同而相隔 90° 电角度的定子绕组 W_1 和 W_2 。

(2) 伺服放大器

其工作原理如图 2.24 所示。伺服放大器主要包括放大器和两组晶闸管交流开关 I 和 II。放大器的作用是将输入信号和反馈信号进行比较,得到差值信号,并根据差值的极性和大小,控制晶闸管交流开关 I、II 的导通或截止。晶闸管交流开关 I、II 用来接通伺服电动机的交流电源,分别控制伺服电动机的正、反转或停止不转。

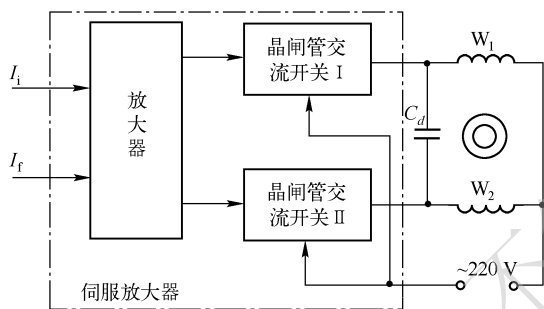


图 2.24 伺服放大器工作原理示意图

(3) 位置发送器

位置发送器的作用是将电动执行机构输出轴的位移线性地转换成反馈信号,反馈到伺服放大器的输入端。

位置发送器通常包括位移检测元件和转换电路两部分。位移检测元件用于将电动执行机构输出轴的位移转换成毫伏或电阻等信号,常用的位移检测元件有差动变压器、塑料薄膜电位器和位移传感器等;转换电路用于将位移检测元件输出信号转换成伺服放大器所要求的输入信号,如 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 或 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 直流电流信号。

(4) 减速器

减速器的作用是将伺服电动机高转速、小力矩的输出功率转换成执行机构输出轴的低转速、大力矩的输出功率,以推动调节机构。直行程式的电动执行机构中,减速器还起到将伺服电动机转子的旋转运动转变为执行机构输出轴的直线运动的作用。减速器一般由机械齿轮或齿轮与皮带轮构成。

2.2.3 现场总线执行器

近年来,随着现场总线的出现和发展,在国际上一些有影响的生产工业阀门和执行器的专业化大公司相继开发设计出符合现场总线通信协议的阀门和执行器产品,如表 2.1 所示。

表 2.1 符合现场总线的执行器类型

公司名称	阀门执行器产品及类型	总线类型	推出年代
Keystone(美国)	Electrical Actuators(电动执行器)	Modbus	1985
Limitorque(美国)	DDC-100TM(电动执行器)	BITBUS Modbus	1989
AUMA(美国)	Matic(电动执行器)	Profibus	1991
Siemens(德国)	SIPART PS2(阀门定位器)	HART	1995

公司名称	阀门执行器产品及类型	总线类型	推出年代
Masoneilan(美国)	Smart Valve Positioner(阀门定位器)	HART	1996
Jordan(美国)	Electric Actuators(电动执行器)	HART	1998
ElsagBailey(德国)	Contract(电动执行器)	HART	1998
FisherRosmount(美国)	DVC5000f Series Digital(调节阀)	FF	1998
Flowserve(美国)	Logix14XX(阀门定位器)	FF	1999
	BUSwitch(离散型调节阀)	FF	1999
Yokogawa(日本)	YVP(阀门定位器)	FF	1999
Yamatake(日本)	SVP3000AlphaplusAVP303(阀门定位器)	FF	1999
Rotork(英国)	FF-01 Network Interface(电动执行器)	FF	2000

符合现场总线的智能执行器由传统的执行器、含有微处理器的控制器以及可与 PC 或 PLC 双向通信的硬件及软件组成,具有与上位机或控制系统通信的功能,大致具有以下特点:

① 智能化和高精度的系统控制功能。控制运算任务由传统的控制器转为由执行器的微处理器来完成,即执行器直接接收变送器信号,按设定值自动进行 PID 调节、控制流量、压力、压差和温度等多种过程变量。在一般情况下,阀门的特性曲线是非线性的,对执行器组态,定义 8 至 32 段折线可对输出特性曲线进行补偿,提高了系统的控制精度。

② 一体化的结构。智能执行器包含了位置控制器、阀位变送器、PID 控制器、伺服放大器以及电动的和气动的模块,即将整个控制装在一台现场仪表里,减少了因信号传输中的泄漏和干扰等因素对系统的影响,提高了系统的可靠性。

③ 智能化的通信功能。由于通信符合现场总线的通信协议,执行器与上位机或控制系统之间可通过总线进行双向数字通信,极大地提高了系统的控制精度和稳定性。这是与以往的执行器最大的区别。由于符合现场总线的通信协议,所以,可与任何其他符合现场总线的系统相互集成,构成控制系统。

④ 智能化的系统保护和自身保护功能。当外电源掉电时,能自动利用后备电池驱动执行机构,使阀门处于预先设定的安全位置。当电源、气动部件、机械部件、控制信号、通信或其他方面出现故障时,都有自动保护措施,以保证系统本身及生产过程的安全可靠。另外,自启动和自整定功能使启动变得极为简易。

⑤ 智能化的自诊断功能。自诊断功能可帮助快速识别故障的原因。对于执行器的任何故障,智能执行器均可尽早、尽快识别,在执行器发生损坏前就采取有效措施,这会增加系统的可靠性,并延长设备寿命,避免工厂停车维修。

⑥ 灵活的组态功能。可以自由组态的智能执行器具有较高的灵活性,因此,只需要少量类型的执行器就可以满足多变的工业现场要求。这对于制造商和用户都是极有益的。例如,对于输入信号,可以通过软件组态来选择合适的信号源,而不必更换硬件,也可以任意设置执行器的运行速度和行程。

2.3 运动控制中常用的执行机构

在计算机控制的运动控制系统中,还经常用到一些驱动执行机构运动的其他驱动元件,如

交流伺服电动机、直流伺服电动机、步进电动机等。这些电动机的主要任务是将电信号转换成轴上的角位移或角速度以及直线位移或线速度,所以统称为控制电动机。控制电动机和一般的旋转电动机没有本质的区别,但一般旋转电动机的作用是完成能量的转换,对它们的要求是具有高的能量指标,而由于控制系统的要求,控制电动机的主要任务是完成控制信号的传递和转换。

伺服电动机又称执行电动机,它具有按照控制信号的要求而动作的职能。在信号来到之前,转子静止不动;信号来到之后,转子立即转动;当信号消失时,转子能及时自行停转。按照在自动控制系统中的功能要求,伺服电动机必须具备可控性好、稳定性高和速度性强等基本性能。可控性好是指信号消失后,能立即自行停转;稳定性高是指转速随转矩的增加而均匀下降;速度性强是指反应快、灵敏。常用的伺服电动机有两大类:以交流电源工作的伺服电动机称为交流伺服电动机;以直流电源工作的伺服电动机称为直流伺服电动机。

步进电动机又称为脉冲电动机,其功用是将电脉冲信号转换成相应的角位移或直线位移的开环控制元件,在非超载的情况下,电动机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数,而不受负载变化的影响,即给电动机加一个脉冲信号,电动机则转过一个步距角。这一线性关系的存在,加上步进电动机只有周期性的误差而无累积误差等特点,使得在速度、位置等控制领域用步进电动机来控制变得非常简单。

2.3.1 交流伺服电动机

1. 基本结构

交流伺服电动机的基本结构和异步电动机相似。定子铁心通常用硅钢片叠压而成,定子铁心表面的槽内嵌有两相绕组,其中一相绕组是励磁绕组,另一相绕组是控制绕组,两相绕组在空间位置上互差 90° 电角度。这两种绕组可有相同或不同的匝数。常用的转子结构有两种形式,一种为笼形转子,这种转子的结构和三相异步电动机的笼形转子完全一样;另一种是非磁性杯形转子。非磁性杯形转子交流伺服电动机的结构如图 2.25 所示。

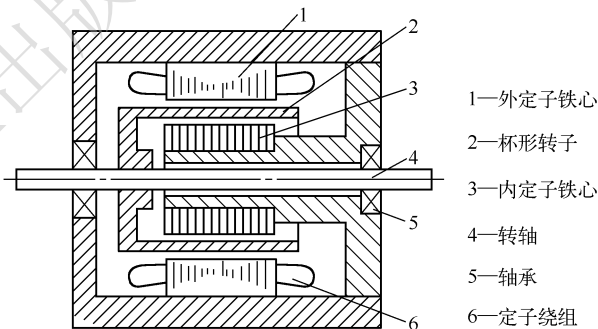


图 2.25 杯形转子伺服电动机结构

交流伺服电动机中除了有和一般异步电动机一样的定子外,还有一个内定子,内定子是一个由硅钢片叠成的圆柱体,通常在内定子上不放绕组,只是代替笼形转子铁心作为磁路的一部分,在内外定子之间有一个细长的、装在转轴上的杯形转子。杯形转子通常用非磁性材料(铝或铜)制成,壁厚 0.3 mm 左右。杯形转子可以在内外定子之间的气隙中自由旋转。电动机靠杯形转子内感应的涡流与主磁场作用而产生电磁转矩。杯形转子交流伺服电动机的优点为:

转动惯量小,摩擦转矩小,因此适应性强;另外运转平滑,无抖动现象。其缺点是由于存在定子,气隙较大,励磁电流大,所以体积也较大。

2. 工作原理

交流伺服电动机的原理图如图 2.26 所示,图中 f 和 C 表示装定子上的两个绕组,它们在空间相差 90° 电角度。绕组 f 有定值交流电压励磁,称为励磁绕组,绕组 C 是由伺服放大器供电而进行控制的,故称为控制绕组。转子为笼形。

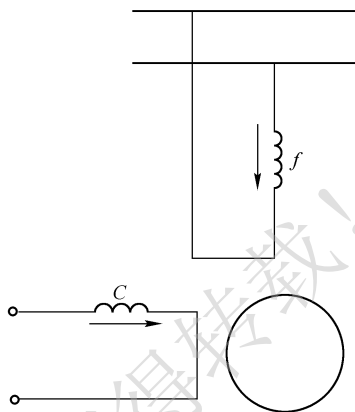


图 2.26 交流伺服电动机原理图

交流伺服电动机的工作原理与单相异步电动机相似,当它在系统中运行时,励磁绕组固定地接到交流电源上,当控制绕组上的控制电压为零时,气隙内磁场为脉振磁场,电动机无起动转矩,转子不转;若有控制电压加在控制绕组上,且控制绕组内流过的电流和励磁绕组的电流不同相,则在气隙内会建立一定大小的旋转磁场。此时,就电磁过程而言,就是一台分相式的单相异步电动机,因此电动机就有了起动转矩,转子就立即旋转。但是,这种伺服性仅仅表现在伺服电动机原来处于静止状态下。伺服电动机在自动控制系统中起执行命令的作用,因此不仅要求它在静止状态下能服从控制电压的命令而转动,而且要求它在受控起动以后,一旦信号消失,即控制电压除去,能立即停转。

如果伺服电动机的参数设计和一般单相异步电动机差不多,它就会和单相异步电动机一样,电动机一经转动,即使在单相励磁下,也会继续转动,这样电动机就会失去控制。伺服电动机的这种失控而自行旋转的现象称为“自转”。

自转现象显然不符合可控性的要求。那么,怎么样消除“自转”这种失控现象呢?

从单相异步电动机理论可知,单相绕组通过电流产生的脉振磁场可以分解为正向旋转磁场和反向旋转磁场,正向旋转磁场产生正转矩 T_+ ,起拖动作用,反向旋转磁场产生负转矩 T_- ,起制动作用,正转矩 T_+ 和负转矩 T_- 与转差率 s 的关系如图 2.27 虚线所示,电动机的电磁转矩 T 应为正转矩 T_+ 和负转矩 T_- 的合成,在图中用实线表示。

如果交流伺服电动机的电机参数与一般的单相异步电动机一样,那么转子电阻较小,其机械特性如图 2.27a 所示,当电机正向旋转时, $s_+ < 1$, $T_+ > T_-$,合成转矩即电机电磁转矩 $T = T_+ - T_- > 0$,所以,即使控制电压消失后,即 $U_c = 0$,电机在只有励磁绕组通电的情况下运行,仍有正向电磁转矩,电机转子仍会继续旋转,只不过电机转速稍有降低,于是产生“自转”现象而失控。

“自转”的原因是控制电压消失后,电机仍有与原转速方向一致的电磁转矩。消除“自转”的方法是消除与原转速方向一致的电磁转矩,同时产生一个与原转速方向相反的电磁转矩,使电机在 $U_c = 0$ 时停止转动。可以通过增加转子电阻的办法来消除“自转”。

增加转子电阻后,正向旋转磁场所产生的最大转矩 T_{m+} 时的临界转差率 s_{m+} 为

$$s_{m+} \approx \frac{r'_2}{x_1 + x'_2}$$

其中 x_1 为定子绕组漏电抗, x'_2 为归算过的转子绕组漏电抗, r'_2 为归算过的转子绕组的电阻。 s_{m+} 随转子电阻 r'_2 的增加而增加,而反向旋转磁场所产生的最大转矩所对应的转差率

$s_{m+} = 2 - s_{m-}$ 相应减小,合成转矩即电机电磁转矩则相应减小,如图 2.27b 所示。如果继续增加转子电阻,使正向磁场产生最大转矩时的 $s_{m+} \geq 1$,使正向旋转的电机在控制电压消失后的电磁转矩为负值,即为制动转矩,使电机制动到停止;若电机反向旋转,则在控制电压消失后的电磁转矩为正值,也为制动转矩,也使电机制动到停止,从而消除“自转”现象,如图 2.27c 所示,所以要消除交流伺服电动机的“自转”现象,在设计电机时,必须满足:

$$s_{m+} \approx \frac{r'_2}{x_1 + x'_2} \geq 1$$

即: $r'_2 \geq x_1 + x'_2$ 。增大转子电阻 r'_2 ,使 $r'_2 \geq x_1 + x'_2$ 不仅可以消除“自转”现象,还可以扩大交流伺服电动机的稳定运行范围。但转子电阻过大,会降低起动转矩,从而影响快速响应性能。

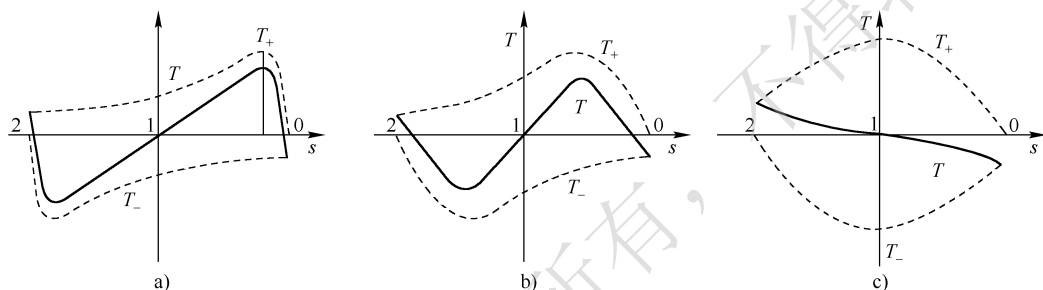


图 2.27 交流伺服电动机自转的消除

3. 控制方法

伺服电动机不仅须具有起动和停止的伺服性,而且还须具有转速大小和方向的可控性。

如果将交流伺服电动机的控制电压 U_c 的相位改变 180° ,则控制绕组内的电流以及由该电流所建立的磁动势在时间上的变化也改变 180° ,若控制绕组内的电流原来为超前于励磁电流,则相位改变 180° 后,即变为滞后于励磁电流。由旋转磁场理论可知,旋转磁场的旋转方向是由电流超前相的绕组转向滞后相的绕组,于是电动机的旋转方向也改变了,所以控制电压 U_c 的相位改变 180° ,可以改变交流伺服电动机的旋转方向。如果控制电压 U_c 的相位不变而大小改变,气隙内旋转磁场的幅值大小也会作相应的改变。从异步电动机的电磁转矩为 $T_{em} = C_T \Phi_m I_2 \cos \varphi_2$ 的性质可知,电磁转矩的大小与气隙内旋转磁场的幅值 Φ_m 成正比,电磁转矩改变了,电动机的转速也就会改变,所以改变控制电压 U_c 的大小和相位,就可以控制电动机的转速和方向。交流伺服电动机的控制方法有以下三种:

- ① 幅值控制。即保持控制电压 U_c 的相位不变,仅仅改变其幅值来控制。
- ② 相位控制。即保持控制电压 U_c 的幅值不变,仅仅改变其相位来控制。
- ③ 幅-相控制。同时改变 U_c 的幅值和相位来控制。

这三种方法的实质和单相异步电动机一样,都是利用改变正转与反转旋转磁动势大小的比例,来改变正转和反转电磁转矩的大小,从而达到改变合成电磁转矩和转速的目的。

2.3.2 直流伺服电动机

直流伺服电动机的结构和普通小型直流电动机相同,由定子、转子(电枢)、换向器和机壳

组成。定子的作用是产生磁场,它分永久磁铁活铁心、线圈绕组组成的电磁铁两种形式;转子由铁心、线圈组成,用于产生电磁转矩;换向器由整流子、电刷组成,用于改变电枢线圈的电流方向,保证电枢在磁场作用下连续旋转。

直流伺服电动机的工作原理和普通直流电动机相同,给电动机定子的励磁绕组通以直流电流,会在电动机中产生磁通,当电枢绕组两端加直流电压并产生电枢电流时,这个电枢电流与磁通相互作用而产生转矩就使伺服电动机投入工作。这两个绕组其中一个断电时,电动机立即停转。它不像交流伺服电动机那样有“自转”现象,所以直流伺服电动机也是自动控制系统中一种很好的执行元件。

下面介绍直流伺服电动机的控制方式及其特性。

交流伺服电动机的励磁绕组与控制绕组均装在定子铁心上。从理论上讲,这两种绕组的相互作用互相对换时,电动机的性能不会出现差异。但直流伺服电动机的励磁绕组和电枢绕组分别装在定子和转子上,由直流电动机的调速方法可知,改变电枢绕组端电压或改变励磁电流进行调速时,特性有所不同。在直流电动机的结构和计数参数确定后,其输出电磁转矩 M 是磁通 Φ 和电枢电流 I_a 的函数。直流伺服电动机电磁转矩和速度控制有两种方法,一种是改变电枢电压即改变电枢电流的方法,另一种是改变励磁电流即改变磁通的方法。

采用调节励磁电流来调节电动机电磁转矩和转速的方法,又称弱磁调速。由于励磁线圈匝数多,电感大,对应励磁电压的变化,电流变化慢,即响应速度慢,所以,这一方法在直流伺服系统中常作为辅助方法来使用。在大多数情况下,直流电动机的速度控制都采用调节电枢电压的方法,即保持励磁电流不变。电磁转矩是电枢电流的一元函数,不仅控制方便,而且时间常数小、响应速度快、输出转矩大、线性较好。

1. 机械特性

在输入的电枢电压 U_c 保持不变时,电动机的转速随电磁转矩 M 变化而变化的规律称为直流电动机的机械特性。如图 2.28 所示, n_0 为电磁转矩 $M = 0$ 时的转速,称为理想空载转速; M_d 是转速 $n = 0$ 时的电磁转矩,称为电动机的堵转转矩。斜率反映了电动机电磁转矩变化引起电动机转速变化的程度。斜率越大,电动机的机械特性越软;斜率越小,电动机的机械特性越硬。在直流伺服系统中,总是希望电动机的机械特性硬一些,这样,当带动的负载变化时,引起的电动机速度的变化小,有利于提高直流电动机的速度稳定性。

2. 调节特性

直流电动机在一定的电磁转矩 M (或负载转矩)下,其稳态转速 n 随电枢的控制电压 U_c 变化而变化的规律,称为直流电动机的调节特性,如图 2.29 所示,其中 $n = K(U_c - U_{c0})$ 。

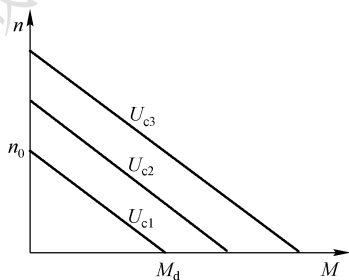


图 2.28 直流伺服电动机机械特性曲线

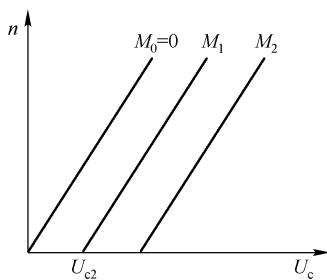


图 2.29 直流伺服电动机调节特性曲线

U_{c0} 为起动电压,即电动机处于待转动而未转动的临界状态的控制电压。当负载越大时,其起动电压越大,直流电动机起动时,控制电压从零到 U_{c0} 的这段范围内,电动机不转动,这一区域称为电动机的死区。斜率 K 反映了电动机转速 n 随控制电压 U_c 的变化而变化的关系,其大小与负载大小无关,仅取决于电动机本身的结构和计数参数。

从上述分析可知,电枢控制时的直流伺服电动机的机械特性和调节特性都是线性的,而且不存在“自转”现象,在自动控制系统中是一种很好的执行元件。

2.3.3 步进电动机

步进电动机也是计算机控制系统中常用的一种执行元件。其作用是将脉冲电信号转换成相应的角位移或直线位移,即给一个脉冲信号,电动机就转动一个角度或前进一步,故称为步进电动机或脉冲马达。

步进电动机的角位移量 θ 或线位移量 s 与脉冲数 k 成正比;它的转速 n 或线速度 v 与脉冲频率 f 成正比。在负载能力范围内这些关系不因电源电压、负载大小、环境条件的波动而变化,因而可适用于开环系统中作为执行元件,使控制系统大为简化。步进电动机可以在很宽的范围内通过改变脉冲频率来调速;能够快速起动、反转和制动。它不需要变换能直接将数字脉冲信号转换为角位移,很适合采用计算机控制。步进电动机作为控制执行元件,是机电一体化的关键产品之一,广泛应用在各种自动化控制系统和精密机械等领域。随着微电子和计算机技术的发展,步进电动机的需求量与日俱增,在各个国民经济领域都有应用。

步进电动机种类很多,按照结构和工作原理可分为反应式步进电动机、永磁式步进电动机、混合式步进电动机和特种步进电动机。虽然四种形式的电动机结构各有不同,但其基本工作原理是相同的。下面以三相反应式步进电动机为例介绍步进电动机的基本结构和工作原理。

1. 结构

图 2.30 为三相反应式步进电动机的结构示意图,它的定子、转子用硅钢片或其他软磁材料制成,定子上有 6 个等分的磁极,相邻磁极间的夹角为 60° 。相对的两个磁极组成一相,磁极对数为 3。定子每对磁极上有一相绕组,每个磁极上各有 5 个均匀分布的矩形小齿。电动机转子上没有绕组,而是有 40 个矩形小齿均匀分布在圆周上,相邻两个齿之间的夹角为 9° 。定子和转子上的矩形小齿的齿距、齿宽相等。

2. 工作原理

图 2.31 为一台三相六拍反应式步进电动机,定子上有三对磁极,每对磁极上绕有一相控制绕组,转子有四个分布均匀的齿,齿上没有绕组。

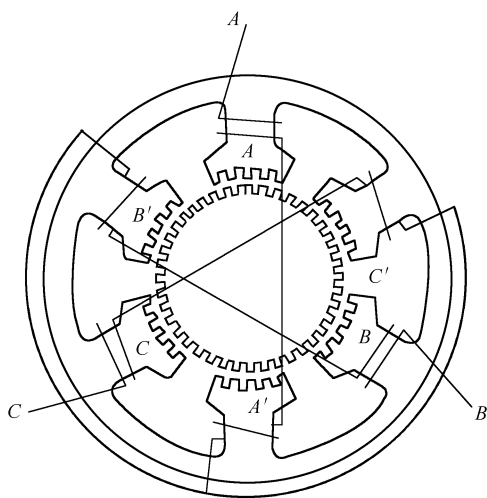


图 2.30 步进电动机结构示意图

当 A 相控制绕组通电,而 B 相和 C 相不通电时,步进电动机的气隙磁场与 A 相绕组轴线重合,而磁力线总是力图从磁阻最小的路径通过,故电动机转子受到一个反应转矩,在步进电

动机中称之为静转矩。在此转矩的作用下,使转子的齿 1 和齿 3 旋转到与 A 相绕组轴线相同的位置上,如图 2.31a 所示,此时整个磁路的磁阻最小,转子只受到径向力的作用而反应转矩为零。如果 B 相通电, A 相和 C 相断电,那转子受反应转矩而转动,使转子齿 2 齿 4 与定子极 B、B' 对齐,如图 2.31b 所示,此时,转子在空间上逆时针转过的空间角为 30°,即前进了一步,转过的这个角叫做步距角。同样的,如果 C 相通电, A 相、B 相断电,转子又逆时针转动一个步距角,使转子的齿 1 和齿 3 与定子极 C、C' 对齐,如图 2.31c 所示。如此按 A - B - C - A 的顺序不断地接通和断开控制绕组,电动机便按一定的方向一步一步地转动;若按 A - C - B - A 的顺序通电,电动机则反向一步一步转动。

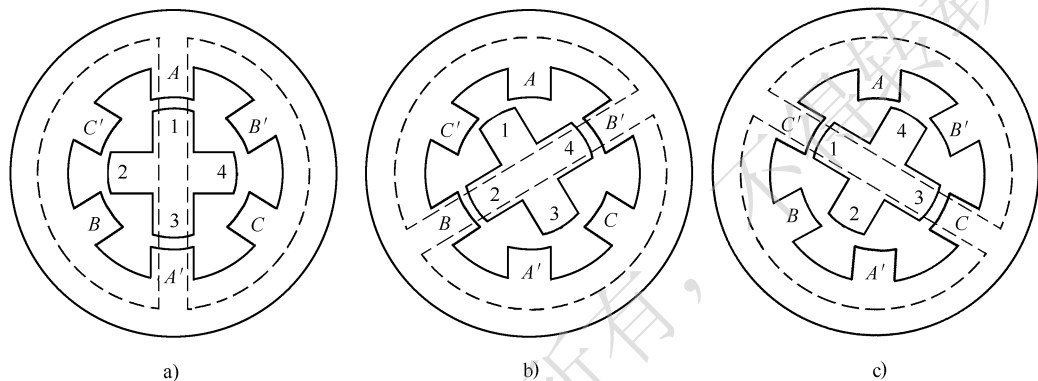


图 2.31 三相反应式步进电动机的工作原理图

在步进电动机中,控制绕组每改变一次通电方式,称为一拍,每一拍转子就转过一个步距角,上述的运行方式每次只有一个绕组单独通电,控制绕组每换接三次构成一个循环,故这种方式称为三相单三拍。若按 A - AB - B - BC - C - CA - A 顺序通电,每次循环需换接六次,故称为三相六拍,因单相通电和两相通电轮流进行,故又称为三相单、双六拍。

三相单、双六拍运行时步距角与三相单三拍不一样。当 A 相通电时,转子齿 1、3 和定子磁极 A、A' 对齐,与三相单三拍一样,如图 2.32a 所示。当控制绕组 A 相、B 相同时通电时,转子齿 2、4 受到反应转矩使转子逆时针方向转动,转子逆时针转动后,转子齿 1、3 与定子磁极 A、A' 轴线不再重合,从而转子齿 1、3 也受到一个顺时针的反应转矩,当这两个方向相反的转矩大小相等时,电动机转子停止转动,如图 2.32b 所示。当 A 相控制绕组断电而只由 B 相控制绕组通电时,转子又转过一个角度使转子齿 2、4 和定子磁极 B、B' 对齐,如图 2.32c 所示,即三相六拍运行方式两拍转过的角度刚好和三相单三拍运行方式一拍转过的角度一样,也就是说三相六拍运行方式的步距角是三相单三拍的一半,即为 15°。接下来的通电顺序为 BC - C - CA - A,运行原理、步距角与前半段 A - AB - B 一样,即通电方式每变换一次,转子继续按逆时针转过一个步距角($\theta_s = 15^\circ$)。如果改变通电顺序,按 A - AC - C - CB - B - BA - A 顺序通电,则步进电动机顺时针一步一步转动,步距角 θ_s 也是 15°。

由上面的分析可知,同一台步进电动机,其通电方式不同,步距角可能不一样,采用单、双拍通电方式,其步距角 θ_s 是单拍或双拍的一半;采用双极通电方式,其稳定性比单极要好。

上述结构的步进电动机无论采用哪种通电方式,步距角要么为 30°,要么为 15°,都太大,无法满足生产中对精度的要求,在实践中一般采用转子齿数很多、定子磁极上带有小齿的反应

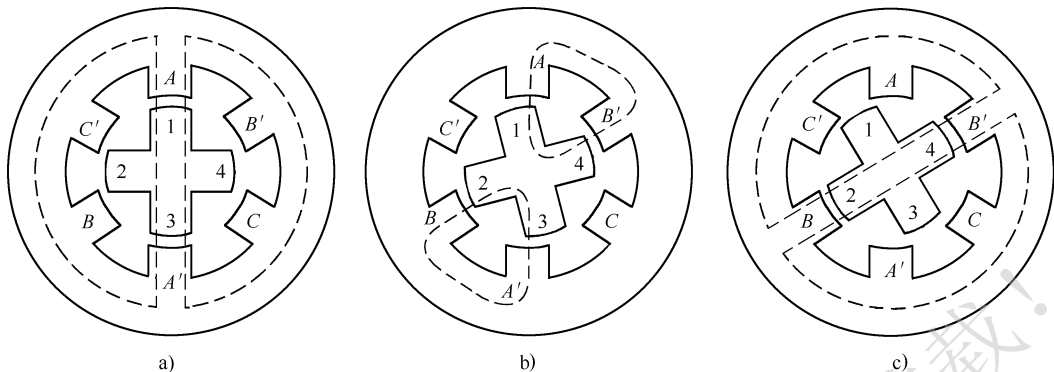


图 2.32 步进电动机的三相单、双六拍运行方式

式结构,转子齿距与定子齿距相同,转子齿数根据步距角的要求初步决定,但准确的转子齿数还要满足自动错位的条件。

3. 驱动电源

步进电动机的控制绕组中需要一系列的有一定规律的电脉冲信号,从而使电动机按照生产要求运行。这个产生一系列有一定规律的电脉冲信号的电源称为驱动电源。

步进电动机的驱动电源主要包括变频信号源、脉冲分配器和脉冲放大器三个部分,其方框图如图 2.33 所示。



图 2.33 步进电动机驱动电源方框图

4. 步进电动机的应用

步进电动机是用脉冲信号控制的,步距角和转速大小不受电压波动和负载变化的影响,也不受各种环境条件诸如温度、压力、振动、冲击等影响,而仅仅与脉冲频率成正比,通过改变脉冲频率的高低可以大范围地调节电动机的转速,并能实现快速起动、制动、反转,而且有自锁的能力,不需要机械制动装置,不经减速器也可获得低速运行。它每转过一周的步数是固定的,只要不丢步,角位移误差不存在长期积累的情况,主要用于数字控制系统中,精度高,运行可靠。如采用位置检测和速度反馈,亦可实现闭环控制。

步进电动机已广泛地应用于数字控制系统中,如数模转换装置、数控机床、计算机外围设备、自动记录仪、钟表等之中,另外在工业自动化生产线、印刷设备等中亦有应用。

2.3.4 液压阀

液压阀的种类很多,按不同的分类方法可有许多种类型。

按功能分,液压阀可分为:

- ① 压力控制阀,如溢流阀、减压阀、顺序阀等;
- ② 方向控制阀,如单向阀、电磁换向阀、电液换向阀等;
- ③ 流量控制阀,如节流阀、调速阀、溢流节流阀、分流阀等。

按液压系统的压力分,所使用的液压阀可分为低压阀、中压阀、高压阀等。

- ① 低压阀,其允许使用压强 ≤ 6 MPa;
- ② 中压阀,其允许使用压强 ≤ 16 MPa;
- ③ 高压阀,其允许使用压强 > 16 MPa。

按阀的工作方式分,液压阀可分为开关型和模拟量两种。开关型液压阀工作在开和关两种工作状态,通过控制电磁铁的通断来实现。模拟量阀连续控制液压系统的压力、流量的变化,通过对比例电磁铁输入连续变化的模拟量信号来实现,如比例阀、伺服阀。

习题

1. 什么叫传感器及变送器?
2. 简述压力检测的主要方法和分类。
3. 简述温度检测的主要方法和分类。
4. 简述热电偶测温的原理。
5. 物位仪表分为哪几类?
6. 简述电容式差压变送器的工作原理。
7. 简述常用执行机构和执行器的工作原理。
8. 简述 TT302 温度变送器的结构和工作原理。
9. 简述交流、直流伺服电动机的工作原理。
10. 简述步进电动机的工作原理。

第3章 计算机总线技术

微处理器技术的飞速发展,使得计算机的应用领域不断扩大,与之相应的总线技术也得到不断创新,总线的种类也日益增加,先后出现了ISA、MCA、EISA、VESA、PCI、AGP、IEEE1394、USB等总线技术。应用于芯片内部的总线技术也在不断发展,AMBA、Core Connect、CoreRAM等已经形成集成电路内部十分具有竞争力的总线标准,应用于工业控制的PROFIBUS等现场总线技术也得到不断提高。同时,总线的数据传输速率也不断提升。目前,AGP局部总线数据传输速率可达528 MB/s,PCI-X可达1 GB/s,系统总线传输速率也由66 MB/s提高到100 MB/s甚至更高的133 MB/s、150 MB/s、200 MB/s。

本章主要讨论总线的分类及其结构,并介绍几种常用的内部总线和外部总线。

3.1 总线的基本概念

随着计算机设计的日益科学化、合理化、标准化和模块化,计算机总线的概念也逐渐形成和完善起来。一般来说,总线就是一组线的集合,它定义了各引线的电气、机械、功能和时序特性,使计算机系统内部的各部件之间以及外部的各系统之间建立信号联系,进行数据传递。采用总线标准的目的是主要有两个:一是生产厂能按照统一的标准设计制造计算机;二是用户可以把不同生产厂制造的各种型号的模板或设备用一束标准总线互相连接起来,因而可方便地按各自需要构成各种用途的计算机系统。

采用总线标准设计、生产的计算机模板和设备具有很强的兼容性,其中接插件的机械尺寸、各引脚的定义、每个信号的电气特性和时序等都遵守统一的总线标准。按照统一的总线标准设计和生产出来的计算机模板和设备,经过不同的组合,可以配置成各种用途的计算机系统,在此基础上设计的软件具有很好的兼容性,便于系统的扩充和升级。另外,采用总线标准设计的系统便于故障诊断和维修,同时也降低了生产和维护成本。这些都促进了计算机系统的开发和应用。

3.1.1 总线的分类

总线技术应用十分广泛,从芯片内部各功能部件的连接,到芯片间的互联,再到由芯片组成的板卡模块的连接,以及计算机与外部设备之间的连接,甚至现在工业控制中应用十分广泛的现场总线,都是通过不同的总线方式实现的。下面仅对微机系统中目前比较流行的部分总线技术分别加以介绍。

总线的分类方法比较多,按照不同的分类方法,总线有不同的名称。按照总线内部信息传输的性质,总线可以分为数据总线、地址总线、控制总线和电源总线;按照总线在系统结构中的层次位置,一般把总线分为片内总线、内部总线和外部总线;按照总线的数据传输方式,总线可以分为串行总线和并行总线;根据总线的传输方向又可以分为单向总线和双向总线。

1. 数据总线、地址总线、控制总线和电源总线

按照总线中信息传输的性质,通常可以把总线分为数据总线 DB、地址总线 AB、控制总线 CB 和电源总线 PB 四部分,如图 3.1 所示。

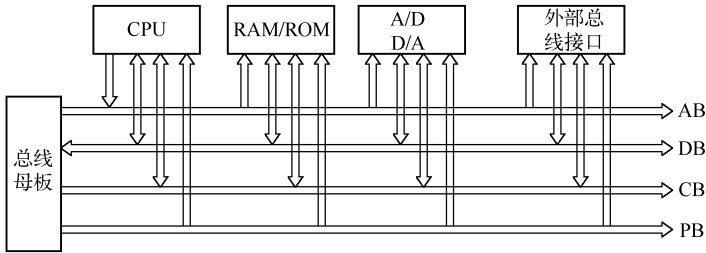


图 3.1 内部总线的结构

① 数据总线 DB 用于传送数据信息。数据总线是双向三态形式的总线,既可以把 CPU 的数据传送到存储器或 I/O 接口等其他部件,也可以将其他部件的数据传送到 CPU。数据总线的位数是微型计算机的一个重要指标,通常与微处理器的字长相一致。例如 Intel 8086 微处理器字长 16 位,其数据总线宽度也是 16 位。

② 地址总线 AB 是专门用来传送地址的。由于地址只能从 CPU 传向 I/O 端口或外部存储器,所以地址总线总是单向三态的,这与数据总线不同。地址总线的位数决定了 CPU 可直接寻址的内存空间大小,比如 16 位微型机的地址总线为 20 位,其可寻址空间为 1MB。

③ 控制总线 CB 包括控制、时序和中断信号线,用于传递各种控制信息,如读/写信号、片选信号、中断响应信号等由 CPU 发出的信号,以及中断请求信号、复位信号、总线请求信号等发给 CPU 的信号。因此,控制总线的传送方向由具体控制信号而定,一般是双向的,控制总线的位数要根据系统的实际控制需要而定。实际上控制总线的具体情况主要取决于 CPU。

④ 电源总线 PB 用于向系统提供电源。电源线 and 地线数目的多少取决于电源的种类和地线的分布与用法。

2. 片内总线、内部总线和外部总线

(1) 片内总线

片内总线是在集成电路的内部,用来连接各功能单元的信息通路。由于受芯片面积及对外引脚数的限制,片内总线大多采用单总线结构,这有利于芯片集成度和成品率的提高,而对于内部数据传送速率要求较高的,也可采用双总线或三总线结构。例如,CPU 芯片内部的总线是连接 ALU、寄存器、控制器等部件的信息通路,这种总线一般由芯片生产厂家设计,计算机系统设计者并不关心。但随着微电子学的发展,出现了 ASIC 技术,用户也可以按照自己的要求借助于适当的 EDA 工具,选择适当的片内总线,设计自己的芯片。

(2) 内部总线

广义上,内部总线又称为系统总线或板级总线,是用于计算机系统内部的模板和模板之间进行通信的总线。系统总线是微机系统中最重要总线,人们平常所说的微机总线就是指系统总线,如 STD 总线、PC 总线、ISA 总线、PCI 总线等。在计算机内部,微机主板以及其他一些插件板、卡(如各种 I/O 接口板/卡),它们本身就是一个完整的子系统,板/卡上包含有 CPU、RAM、ROM、I/O 接口等各种芯片,这些芯片间也是通过总线来连接的。通常把各种板、

卡上实现芯片间相互连接的总线称为片总线或元件级总线。相对于一台完整的微型计算机来说,各种板/卡只是一个子系统,是一个局部,故又把片总线称为局部总线。因此,可以说局部总线是微机内部各外围芯片与处理器之间的总线,用于芯片一级的互连;而系统总线是微机中各插件板与系统板之间的总线,用于插件板一级的互连。

各种标准的内部总线数目不同,但按各部分性质可以分为数据总线、地址总线、控制总线和电源总线,完成对存储器或外设数据等的寻址与传送。

采用内部总线主板结构,母板上各插座的同号引脚连在一起,组成计算机系统的各功能模板插入插座内,由总线完成系统内各模板间的信息传送,从而构成完整的计算机系统。内部总线标准的机械要素包括模板尺寸、接插件尺寸和针数,电气要素包括信号的电平和时序。

(3) 外部总线

计算机系统与系统之间或计算机系统与外设之间的信息通路,称为外部总线,如 RS-232C 总线,IEEE-488 总线等。外部总线标准的机械要素包括接插件型号和电缆线,电气要素包括发送与接收信号的电平和时序,功能要素包括发送和接收双方的管理能力、控制功能和编码规则等。

图 3.2 给出了一般计算机总线结构示意图。可以看出,过程计算机控制系统的构成除了需要各种功能模板之外,还需要内部总线将各种功能相对独立的模板有机地连接起来,完成系统内部各模板之间的信息传送。计算机系统与系统之间通过外部总线进行信息交换和通信,以便构成更大的系统。

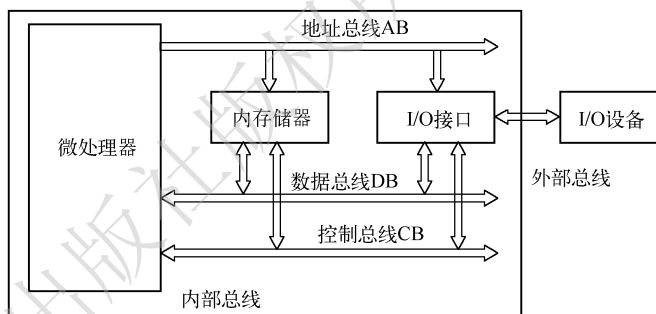


图 3.2 计算机总线结构示意图

3. 并行总线和串行总线

计算机的内部总线一般都是并行总线,而计算机的外部总线通常分为并行总线和串行总线两种。比如 IEEE-488 总线为并行总线,RS-232C 总线为串行总线。并行总线的优点是信号线各自独立,信号传输快,接口简单;缺点是电缆数多。串行总线的优点是电缆线数少,便于远距离传送;缺点是信号传输慢,接口复杂。

3.1.2 总线主要性能指标

尽管各种总线在设计上有许多不同之处,但从总体原则上,一种总线性能的高低可以通过一些性能指标来衡量的。一般从如下几个方面评价一种总线的性能高低:

① 总线时钟频率,指总线的工作频率,以 MHz 表示,它是影响总线传输速率的重要因素之一。

② 总线宽度,又称总线位宽,是总线可同时传输的数据位数,用 bit(位)表示,如 8 位、16 位、32 位等。显然,总线的宽度越大,它在同一时刻就能够传输更多的数据。

③ 总线传输速率,又称总线带宽,是指在总线上每秒钟传输的最大字节数,MB/s 表示,即每秒多少兆字节。影响总线传输速率的因素有总线宽度、总线频率等。一般有

$$\text{总线带宽(MB/s)} = 1/8 \times \text{总线宽度} \times \text{总线频率} \quad (3.1)$$

如果总线工作频率为 8 MHz,总线宽度为 8 位,则最大传输速率为 8 MB/s。如果工作频率为 33.3 MHz,总线宽度为 32 位,则最大传输速率为 133 MB/s。

有的地方也用 Mbit/s 作为总线带宽的单位,但此时在数值上应等于公式 3.1 计算数值乘以 8。以上公式主要是针对并行总线,而串行总线与并行总线的计算方式稍有不同。并行总线一次可以传输多位数据,但它存在并行传输信号间的干扰现象,频率越高、位宽越大,干扰就越严重,因此要大幅提高现有并行总线的带宽是非常困难的;而串行总线可以凭借高频率的优势获得高带宽。而为了弥补一次只能传送一位数据的不足,串行总线常常采用多条管线(或通道)的做法实现更高的速度。对这类总线,带宽的计算公式就等于“总线频率×管线数”,例如,PCI Express 就有×1、×2、×4、×8、×16 和×32 等多个版本,在第一代 PCI Express 技术当中,单通道的单向信号频率可达 2.5GHz。

④ 总线数据传输的握手方式。主模块与从模块之间数据传输过程的握手方式主要有同步方式、异步方式、半同步方式和分离方式。在同步方式下,总线上主模块进行一次传输所需的时间(即传输周期或总线周期)是固定的,并严格按系统时钟来统一定时主、从模块之间的传输操作,只要总线上的设备都是高速的,总线的带宽便可允许很宽。在异步方式下,采用应答式传输技术,允许从模块自行调整响应时间,即传输周期是可以改变的,故总线带宽减少。

⑤ 多路复用。通常地址总线与数据总线在物理上是分开的两种总线。地址总线传输地址码,数据总线传输数据信息。为了提高总线的利用率及优化设计,将地址总线 and 数据总线共用一条物理线路,只是某一时刻该总线传输地址信号,另一时刻传输数据信号或命令信号,这种方式就叫总线的多路复用。若地址线 and 数据线是物理分开的,就属非多路复用。采用多路复用技术,可以减少总线的数目。

⑥ 总线控制方式,如传输方式(猝发方式)、并发工作、设备自动配置、中断分配及仲裁方式。

⑦ 其他性能,如负载能力、电源电压等级、能否扩展总线宽度等指标。

表 3.1 给出了几种流行总线的性能参数,从表中可以看出微机总线技术的发展。

表 3.1 几种微型计算机总线性能参数

名称	ISA(PC-AT)	EISA	STD	MCA	PCI
适用机型	80286, 386, 486 系列机	386, 486, 586 IBM 系列机	Z-80, IBM-PC 系列机	IBM 个人机与工作站	P5 个人机, PowerPC, Alpha 工作站
最大传输速率	16 MB/s	33 MB/s	2 MB/s	33 MB/s	133 MB/s
总线宽度	8/16 位	32 位	8/16 位	32 位	32 位
总线频率	8 MHz	8.33 MHz	2 MHz	10 MHz	20 ~ 33 MHz
同步方式	半同步	同步	异步	异步	同步
地址宽度	24	32	24	32	32/64

名 称	ISA(PC-AT)	EISA	STD	MCA	PCI
负载能力	8	6	无限制	无限制	3
信号线数	98	143	56	109	120
64 位扩展	不可	无规定	不可	可	可
多路复用	非	非	非	—	是

3.1.3 总线标准与规范

不同用户对微型计算机系统功能的要求是各不相同的。计算机厂商为了满足用户的需要,除了以整机形式向用户出售微型计算机系统外,更多的则是以芯片组装成的各种插件板/卡形式(即微机零部件)出售,用户可以购买相应的计算机零部件组装成满足自己需要的微机系统。这就要求各厂家生产的芯片和插件板/卡能相互兼容,而要互相兼容,必然要求插件板/卡的几何尺寸相同,引线信号的数目和时序相同,这就要求微机系统总线采用统一的标准,以便各计算机零部件生产厂商生产面向总线标准的计算机零部件。

1. 总线的标准

所谓总线标准就是对系统总线的插座尺寸、引线数目、信号和时序所作的统一规定。在采用标准总线的系统中,底板上各插座的对应引脚都是并联在一起的,不同的插件板/卡只要满足该总线标准,就可以插在任意插座上,为用户进行功能扩充或升级提供方便。同时,计算机的各部件采用模板化结构,再通过总线把各模板连接起来,其核心是设计若干块通用的功能模板。

一般的,总线标准主要包括以下几方面的特性。

(1) 机械特性

机械特性规定模板、插头、连接器等的形状、尺寸、规格、位置等。如插头与插座的几何尺寸、形状、引脚的个数以及排列的顺序等。

(2) 电气特性

电气特性规定信号的逻辑电平、最大额定负载能力、信号传递方向及电源电压等。通常规定由 CPU 发出的信号叫输出信号,送入 CPU 的信号叫输入信号。并规定总线中有效的电平范围。

(3) 功能特性

功能特性规定每个引脚名称、功能、时序及适用协议,如地址总线用来指出地址;数据总线传递数据;控制总线发出控制信号等。

(4) 时间特性

时间特性是指总线中的任一根线在什么时间内有效。每条总线上的各种信号,互相存在着一种有效时序的关系,因此,时间特性一般可用信号时序图来描述。

2. 总线的模板化结构

工业控制计算机是面向工业生产过程的。不同行业的生产过程使用不同的原料,生产不同的产品,即使生产同一产品的生产过程,也有设备和工艺的区别。因此,不可能设计出多种固定配置的计算机来应用于各种不同的生产过程。为了解决这一难题,就需要对计算机和各

种控制对象进行分析与综合,针对其共性,设计若干通用功能部件,并把这些部件按功能划分为几块,再按总线标准设计成模板。常用的模板有 CPU、RAM/ROM、A/D、D/A、DI、DO、PIO(并行输入输出)、SIO(串行输入输出)等。

通过对模板品种和数量的选择与组合,就可以方便地配置成不同生产过程所需要的过程控制计算机。采用模板化结构可以方便用户的选用。如果生产过程要扩大规模,改进工艺,并相应要求改变计算机的配置或增加功能,会得益于模板化结构的开放性设计。所以模板化设计的总线结构提高了系统的灵活性、通用性和扩展性。

模板化设计也为系统的维修提供了方便。由于每块模板功能比较单一,一旦出现故障,也容易判断是哪一块模板的问题。在有备用模板的情况下,立即就可以把坏的模板换下来,系统仍能正常工作。由于模板的总线端都加了驱动和隔离,故障不会扩散到系统中的其他模板上。所以采用模板化设计的总线结构也大大提高了系统的可靠性和可维护性。

模板的布局设计也要按功能合理地进行。总线缓冲模块接近总线插脚端,功能模块在中央,I/O 接口模块靠近引线连接器。对于那些没有 I/O 引线连接器的模板,如 CPU、RAM/ROM 等,都用作功能模块。这样使功能模板内信号流向几乎呈直线,形成了最短传输途径,减少了分布参数影响,降低了信号线间的相互干扰,提高了模板的可靠性,也便于故障的诊断和维修。

3.1.4 总线控制与总线传输

1. 总线控制

由于在总线上存在多个设备或部件同时申请占用总线的可能性,为保证同一时刻只能有一个设备获得总线使用权,需要对请求使用总线的设备或部件设置优先级。总线上所连接的设备,按其总线有无控制功能可分为主设备和从设备两种。主设备对总线享有控制权,从设备只能响应由主设备发来的总线命令。总线上信息的传送是由主设备启动的,如某个主设备欲与另一个设备(从设备)进行通信时,首先由主设备发出总线请求信号,若多个主设备同时要使用总线时,就由总线控制器的判优、仲裁逻辑按一定的优先等级顺序,确定哪个主设备能使用总线。只有获得总线使用权的主设备才能开始传送数据。

总线判优控制可分集中式和分布式两种,前者将控制逻辑集中在一处(如在 CPU 中),后者将总线控制逻辑分散在与总线连接的各个部件或设备上。集中控制是单总线、双总线和三总线结构计算机主要采用的方式,常见的集中控制方式主要有链式查询方式、计数器定时查询方式和独立请求总线控制方式。

2. 总线传输

系统总线的最基本任务就是传送数据,这里的数据包括程序指令、运算处理的数据、设备的控制命令、状态字以及设备的输入输出数据等。在系统中,众多部件共享总线,在争夺总线使用权时,只能按各部件的优先等级来解决。总线上的数据在主模块的控制下进行传送,从模块没有控制总线的能力,但它可对总线上传来的地址信号进行译码,并接收和执行总线主模块的命令。而在总线传输时间上,按分时方式来解决,即哪个部件获得使用,此刻就由它传送,下一部件获得使用,接着在下一时刻传送。一般的,总线在完成一次传输周期时,可分为以下四个阶段。

① 申请分配阶段:由需要使用总线的主模块(或主设备)提出申请,经总线仲裁机构决定

在下一传输周期是否能获得总线使用权；

② 寻址阶段:取得了使用权的主模块,通过总线发出本次打算访问的从模块(或从设备)的存储地址或设备地址及有关命令,启动参与本次传输的从模块；

③ 数据传输阶段:主模块和从模块进行数据交换,数据由源模块发出并经数据总线流入目的模块；

④ 结束阶段:主模块的有关信息均从系统总线上撤除,让出总线使用权。

总线通信控制主要解决通信双方如何获知传输开始和传输结束,以及通信双方如何协调与配合。一般常用的四种传送方式为同步通信、异步通信、半同步通信和分离式通信。

3.2 常用内部总线

内部总线是计算机内部各功能模板之间进行通信的通道,是构成完整的计算机系统的内部信息枢纽。由于历史原因,目前存在有多种总线标准,国际上已正式公布或推荐的总线标准有 STD 总线、PC 总线、VME 总线、MULTIBUS 总线、UNIBUS 总线等。这些总线标准都是在一定的历史背景和应用范围内产生的。限于篇幅,本节只对部分总线作简要介绍。

3.2.1 STD 总线

STD 总线是美国 PRO-LOG 公司 1978 年推出的一种工业标准微型计算机总线,STD 是 STANDARD 的缩写。该总线结构简单,全部 56 根引脚都有确切的定义。STD 总线定义了一个 8 位微处理器总线标准,其中有 8 根数据线、16 根地址线、控制线和电源线等,可以兼容各种通用的 8 位微处理器,如 8080、8085、6800、Z80、NSC800 等。通过采用周期窃取和总线复用技术,定义了 16 根数据线、24 根地址线,使 STD 总线升级为 8 位/16 位微处理器兼容总线,可以容纳 16 位微处理器,如 8086、68000、80286 等。

1987 年,STD 总线被国际标准化会议定名为 IEEE961。随着 32 位微处理器的出现,通过附加系统总线与局部总线的转换技术,1989 年美国的 EAITECH 公司又开发出对 32 位微处理器兼容的 STD32 总线。

3.2.2 PC 系列总线

PC 总线是 IBM PC 总线的简称,PC 总线因 IBM 及其兼容机的广泛普及而成为全世界用户承认的一种事实上的标准。PC 系列总线是在以 8088/8086 为 CPU 的 IBM/XT 及其兼容机的总线基础上发展起来的,从最初的 XT 总线发展到 PCI 局部总线。由于 PC 系列总线包括 XT 总线、ISA 总线、MCA 总线、EISA 总线、PCI 总线等多种总线结构,在此仅能对 PC 系列总线的发展和特点进行简要介绍。

1. ISA 总线

IBM PC 问世初始,就为系统的扩展留下了余地,设置了 I/O 扩展槽。该 I/O 扩展槽是在系统板上安装的系统扩展总线与外设接口的连接器。通过 I/O 扩展槽,用 I/O 接口控制卡实现主机板与外设的连接。当时 XT 机的数据位宽度只有 8 位,地址总线的宽度为 20 根。在 80286 阶段,以 80286 为 CPU 的 AT 机一方面与 XT 机的总线完全兼容,另一方面将数据总线扩展到 16 位,地址总线扩展到 24 根。IBM 推出的这种 PC 总线成为 8 位和 16 位数据传输的

工业标准,被命名为 ISA(Industry Standard Architecture)。

ISA 总线的数据传输速率为 8 MB/s,最大传输速率为 16 MB/s,寻址空间为 16MB。它是在早期的 62 线 PC 总线的基础上再扩展一个 36 线插槽形成的,分成 62 线和 36 线两段,共计 98 线。其 62 线插槽的引脚排列及定义与 PC 机兼容。ISA 总线 98 芯插槽引脚分布,如图 3.3 所示。

98 根总线分成 5 类:地址线、数据线、控制线、时钟线和电源线,简要介绍如下。

(1) 地址线

地址线有 SA0 ~ SA19 和 LA17 ~ LA23。SA0 ~ SA19 是可锁存的地址信号,LA17 ~ LA23 为非锁存信号,由于没有锁存延时,因而给外设插板提供了一条快捷途径。SA0 ~ SA19 和 LA17 ~ LA23 一起可以实现 16MB 的寻址(其中,SA17 ~ SA19 和 LA17 ~ LA19 是重复的)。

(2) 数据线

数据线有 SD0 ~ SD7 和 SD8 ~ SD15,其中 SD0 ~ SD7 是低 8 位数据线,SD8 ~ SD15 是高 8 位数据线。

(3) 控制线

① AEN:地址允许信号,输出线,高电平有效。AEN = 1,表明处于 DMA 控制周期;AEN = 0,表明处于非 DMA 控制周期。此信号用来在 DMA 期间禁止 I/O 端口的地址译码。

② BALE:允许地址锁存,输出线,该信号由总线控制器 8288 提供,作为 CPU 地址的有效标志。当 BALE 为高电平时,将 SA0 ~ SA19 接到系统总线,其下降沿用来锁存 SA0 ~ SA19。

③ IOR:I/O 读命令,输出线,低电平有效,用来把选中的 I/O 设备的数据读到数据总线上。在 CPU 启动的 I/O 周期,通过地址线选择 I/O;在 DMA 周期,I/O 设备由 DACK 选择。

④ IOW:I/O 写命令,输出线,低电平有效,用来把数据总线上的数据写入被选中的 I/O 端口。

⑤ SMEMR和SMEMW:存储器读/写命令,低电平有效,用于 A0 ~ A19 这 20 位地址寻址的 1 MB 内存的读/写操作。

⑥ MEMR和MEMW:低电平有效,存储器读/写命令,用于对 24 位地址线全部读写空间的读/写操作。

⑦ MEM CS16和I/O CS16:它们是存储器 16 位片选信号和 I/O16 位片选信号,分别指明当前数据传送是 16 位存储器周期和 16 位 I/O 周期。

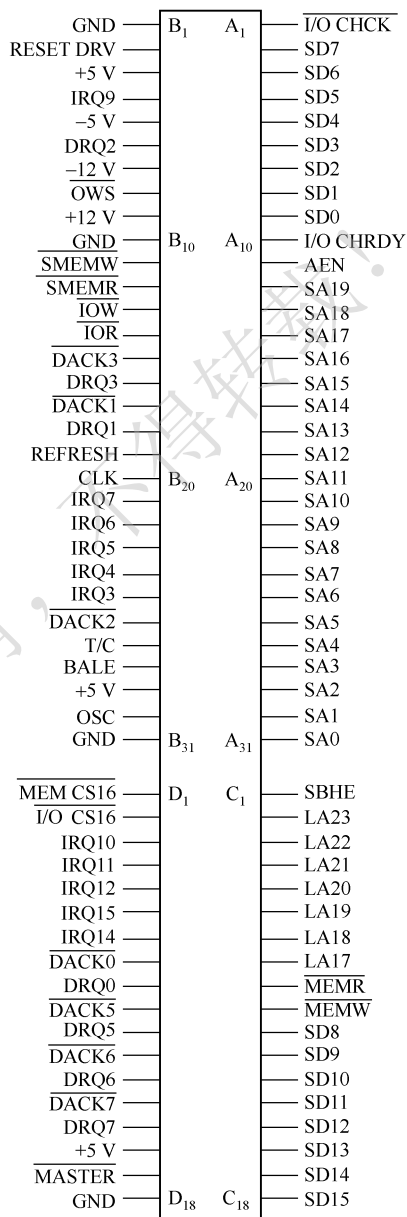


图 3.3 ISA 总线 98 芯插槽引脚

⑧ SBHE: 总线高字节允许信号, 该信号有效时, 表示数据总线上传输的是高位字节数据。

⑨ IRQ3 ~ IRQ7 和 IRQ10 ~ IRQ15: 用于作为来自外部设备的中断请求输入线, 分别连到主片 8259A 和从片 8259A 中断控制器的输入端。其中, IRQ13 留给数据协处理器使用, 不在数据总线上出现。这些中断请求线都是边沿(上升沿)触发, 三态门驱动器驱动。优先级排队是 IRQ0 最高, 依次为 IRQ1, IRQ8 ~ IRQ15, 然后是 IRQ3 ~ IRQ7。

⑩ DRQ0 ~ DRQ3 和 DRQ5 ~ DRQ7: 来自外部设备的 DMA 请求输入线, 高电平有效, 分别连接到主片 8237A 和从片 8237A DMA 控制器输入端。DRQ0 优先级最高, DRQ7 优先级最低, DRQ4 用于级联, 在总线上不出现。

⑪ $\overline{\text{DACK0}} \sim \overline{\text{DACK3}}$ 和 $\overline{\text{DACK5}} \sim \overline{\text{DACK7}}$: DMA 应答信号, 低电平有效。有效时, 表示 DMA 的请求被接受, DMA 控制器占用总线, 进入 DMA 周期。

⑫ T/C: DMA 终止/计数结束, 输出线。该信号是一个正脉冲, 表明 DMA 传送的数据已达到其程序预置的字节数, 用来结束一次 DMA 数据块传送。

⑬ MASTER: 输入信号, 低电平有效。它由要求占用总线的有主控能力的外设卡驱动, 并与 DRQ 一起使用。外设的 DRQ 得到确认(DACK 有效)后, 才使 MASTER 有效, 从此, 该设备保持对总线的控制直到 $\overline{\text{MASTER}}$ 无效。

⑭ RESET DRV: 系统复位信号, 输出线, 高电平有效。此信号在系统电源接通时为高电平, 当所有电平都达到规定后变低, 即上电复位时有效。用它来复位和初始化接口和 I/O 设备。

⑮ $\overline{\text{I/O CHCK}}$: I/O 通道检查, 输出线, 低电平有效。当它为低电平时, 表明接口插件的 I/O 通道出现了错误, 它将产生一个非屏蔽中断。

⑯ I/O CHRDY: 通道就绪, 输入线, 高电平表示通道“就绪”。该信号线可以让低速 I/O 设备或存储器请求延长总线周期。当低速设备被选中, 并且收到读或写命令时, 便将该信号线拉成低电平, 表示未就绪, 以便在总线周期加入等待状态 T_w , 但最多不能超过 10 个时钟周期。

⑰ $\overline{\text{OWS}}$: 零等待状态信号, 输入线。该信号为低电平时, 无须插入等待周期。

除以上信号外, 还有时钟 OSC/CLK 及电源 12 V、5 V、地线等。

2. MCA 总线

在 CPU 性能不断提高的情况下, 由于 ISA 标准的限制, 使系统总的性能没有根本改变。系统总线上的 I/O 和存储器的访问速度没有很大的提高, 因而在强大的 CPU 处理能力与低性能的系统总线之间形成了一个瓶颈。为了打破这一瓶颈, IBM 公司推出第一台 386 微机时, 便突破了 ISA 标准, 创造了一个全新的与 ISA 标准完全不同的系统总线标准——MCA(Micro Channel Architecture)标准, 即微通道结构。该标准定义系统总线上的数据宽度为 32 位, 并支持猝发(burst mode)方式, 使数据的传输速率提高到 ISA 的 4 倍, 达 33Mbit/s, 地址总线的宽度扩展为 32 位, 支持 4GB 的寻址能力, 满足了 386 和 486 处理器的处理能力。

MCA 在一定条件下提高了 I/O 的性能, 但它不论在电气上还是在物理上均与 ISA 不兼容, 导致用户在扩展总线为 MCA 的微机不能使用已有的 I/O 扩展卡。另一个问题是为了垄断市场, IBM 没有将这一标准公诸于世, 因而 MCA 没有成为公认的标准。

3. EISA 总线

随着 486 微处理器的推出, I/O 瓶颈问题越来越成为制约计算机性能的关键问题。为冲破 IBM 公司对 MCA 标准的垄断, 以 Compaq 公司为首的 9 家兼容机制造商联合起来, 在已有的 ISA 基础上, 于 1989 年推出了 EISA (Extension Industry Standard Architecture) 扩展标准。EISA 具有 MCA 的全部功能, 并与传统的 ISA 完全兼容, 因而得到了迅速的推广。

EISA 总线主要有以下技术特点:

① 具有 32 位数据总线宽度, 支持 32 位地址通路。总线的时钟频率是 33 MHz, 数据传输速率为 33 Mbit/s, 并支持猝发传输方式。

② 总线主控技术 (Bus Master)。扩展卡上有一个称为总线主控的本地处理器, 它不需要系统主处理器的参与而可以直接接管本地 I/O 设备与系统存储器之间的数据传输, 从而能使主处理器发挥其强大的数据处理功能。

③ 与 ISA 总线兼容, 支持多个主模块。总线仲裁采用集中式的独立请求方式, 优先级固定。提供了中断共享功能, 允许用户配置多个设备共享一个中断。而 ISA 不支持中断共享, 有些中断分配给某些固定的设备。

④ 扩展卡的安装十分容易, 自动配置, 无须 DIP 开关。EISA 系统借助于随产品提供的配置文件能自动配置系统的扩展板。EISA 系统把各个插槽都规定了相应的 I/O 地址范围, 使用这种 I/O 端口范围的插件不管插入哪个插槽中都不会引起地址冲突。

⑤ EISA 系统能自动地根据需要进行 32、16、8 位数据间的转换, 这保证了不同 EISA 扩展板之间、不同 ISA 扩展板之间以及 EISA 系统扩展板与 ISA 扩展板之间的相互通信。

⑥ 具有共享 DMA, 总线传输方式增加了块 DMA 方式、猝发方式, 在 EISA 的几个插槽和主机板中分别具有各自的 DMA 请求信号线, 允许 8 个 DMA 控制器, 各模块可按指定优先级占用 DMA 设备。

⑦ EISA 还可支持多总线主控模块和对总线主控模块的智能管理。最多支持 6 个总线主控模块。

4. PCI 局部总线

微处理器的飞速发展使得增强的总线标准如 EISA 和 MCA 也显得落后。这种发展的不同步, 造成硬盘、视频卡和其他一些高速外设只能通过一个慢速而且狭窄的路径传输数据, 使得 CPU 的高性能受到很大影响。而局部总线打破了这一瓶颈。从结构上看, 局部总线好像是在 ISA 总线和 CPU 之间又插入一级, 将一些高速外设如图形卡、网络适配器和硬盘控制器等从 ISA 总线上卸下, 直接通过局部总线挂接到 CPU 总线上, 使之与高速 CPU 总线相匹配。

PCI 总线 (Peripheral Component Interconnect, 外围设备互连总线) 是 1992 年以 Intel 公司为首设计的一种先进的高性能局部总线。它支持 64 位数据传送、多总线主控模块和线性猝发读写和并发工作方式。

(1) PCI 局部总线的主要特点

① 高性能。PCI 总线标准是一整套的系统解决方案。它能提高硬盘性能, 可出色地配合影像、图形及各种高速外围设备的要求。PCI 局部总线采用的数据总线为 32 位, 可支持多组外围部件及附加卡。传送数据的最高速率为 133 MB/s。它还支持 64 位地址/数据多路复用, 其 64 位设计中的数据传输速率为 266 MB/s。而且 PCI 插槽能同时插接 32 位和 64 位卡, 实

现 32 位与 64 位外围设备之间的通信。

② 线性猝发传输。PCI 总线支持一种称为线性猝发的数据传输模式,可以确保总线不断满载数据。外围设备一般会由内存某个地址顺序接收数据,这种线性或顺序的寻址方式,意味着可以由某一个地址自动加 1,便可接收数据流内下一个字节的数据。线性猝发传输能更有效地运用总线的带宽传送数据,以减少无谓的地址操作。

③ 采用总线主控和同步操作。PCI 的总线主控和同步操作功能有利于 PCI 性能的改善。总线主控是大多数总线都具有的功能,目的是让任何一个具有处理能力的外围设备暂时接管总线,以加速执行高吞吐量、高优先级的任务。PCI 独特的同步操作功能可保证微处理器能够与这些总线主控同时操作,不必等待后者的完成。

④ 具有即插即用(Plug Play)功能。PCI 总线的规范保证了自动配置的实现,用户在安装扩展卡时,一旦 PCI 插卡插入 PCI 槽,系统 BIOS 将根据读到的关于该扩展卡的信息,结合系统的实际情况,自动为插卡分配存储地址、端口地址、中断和某些定时信息,从根本上免除人工操作。

⑤ PCI 总线与 CPU 异步工作。PCI 总线的工作频率固定为 33 MHz,与 CPU 的工作频率无关,可适合各种不同类型和频率的 CPU。因此,PCI 总线不受处理器的限制。加上 PCI 支持 3.3 V 电压操作,使 PCI 总线不但可用于台式机,也可用于便携机、服务器和一些工作站。

⑥ PCI 独立于处理器的结构形成一种独特的中间缓冲器设计,将中央处理器子系统与外围设备分开。用户可随意增设多种外围设备。

⑦ 兼容性强。由于 PCI 的设计是要辅助现有的扩展总线标准,因此它与 ISA、EISA 及 MCA 完全兼容。这种兼容能力能保障用户的投资。

⑧ 低成本、高效益。PCI 的芯片将大量系统功能高度集成,节省了逻辑电路,耗用较少的线路板空间,使成本降低。PCI 部件采用地址/数据线复用,从而使 PCI 部件用以连接其他部件的引脚数减少至 50 以下。

(2) PCI 总线的主要性能

- 总线时钟频率:33.3 MHz/66.6 MHz
- 总线宽度:32 位/64 位
- 最大数据传输速率:133 MB/s 或 266 MB/s
- 支持 64 位寻址
- 适应 5 V 和 3.3 V 电源环境

(3) PCI 总线的应用

PCI 局部总线已形成工业标准。它的高性能总线体系结构满足了不同系统的需求,低成本的 PCI 总线构成的计算机系统达到了较高的性能/价格比水平。因此,PCI 总线被应用于多种平台和体系结构中。

PCI 总线的组件、扩展板接口与处理器无关,在多处理器系统结构中,数据能够高效地在多个处理器之间传输。与处理器无关的特性,使 PCI 总线具有很好的 I/O 性能,能最大限度地使用各类 CPU/RAM 的局部总线、各类高档图形设备和各类高速外部设备,如 SCSI、HDTV、3D 等。

PCI 总线特有的配置寄存器为用户使用提供了方便。系统嵌入自动配置软件,在加电时

自动配置 PCI 扩展卡,为用户提供了简便的使用方法。

(4) PCI 总线计算机系统

用 PCI 总线构建的计算机系统结构框图如图 3.4 所示。CPU/Cache/DRAM 通过一个 PCI 桥连接。外设板卡,如 SCSI 卡、网卡、声卡、视频卡、图像处理卡等高速外设,挂接在 PCI 总线上。基本 I/O 设备,或一些兼容 ISA 总线的外设,挂接在 ISA 总线上。ISA 总线与 PCI 总线之间由扩展总线桥连接。典型的 PCI 总线一般仅支持 3 个 PCI 总线负载,由于特殊环境需要,专门的工业 PCI 总线可以支持多于 3 个的 PCI 总线负载。外插板卡可以是 3.3 V 或 5 V,两者不可通用。3.3 V、5 V 的通用板是专门设计的。在图 3.4 所示系统中,PCI 总线与 ISA 总线,或者 PCI 总线与 ESIA 总线,PCI 总线与 MCA 总线并存在同一系统中,使在总线换代时间里,各类外设产品有一个过渡期。

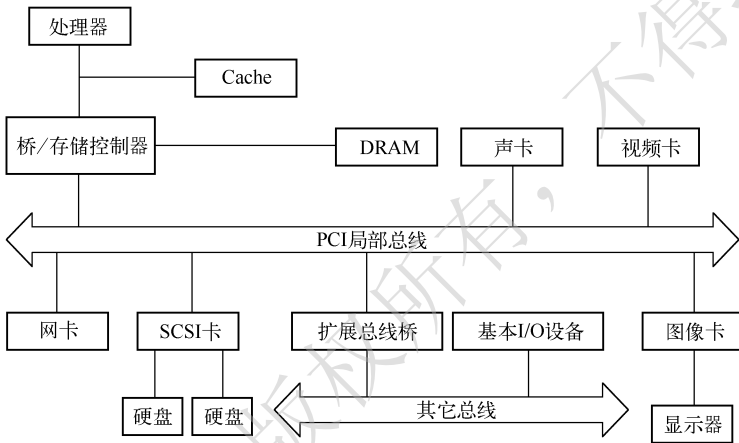


图 3.4 PCI 计算机系统结构图

3.3 常用外部总线

外部总线又称为通信总线,用于计算机之间、计算机与远程终端、计算机与外部设备以及计算机与测量仪器仪表之间的通信。该类总线不是计算机系统已有的总线,而是利用电子工业或其他领域已有的总线标准。外部总线又分为并行总线和串行总线,并行总线主要有 IEEE-488 总线,串行总线主要有 RS-232C、RS-422、RS-485、IEEE1394 以及 USB 总线等。下面主要介绍 IEEE-488 并行总线、RS-232C 和 RS-485 串行总线。

3.3.1 IEEE-488 总线

IEEE-488 总线是一种并行外部总线,专门用于计算机与测量仪器、输入输出设备,以及这些仪器设备之间的并行通信。当用 IEEE-488 总线标准建立一个由计算机控制的测试系统时,不用再加一大堆复杂的控制电路,IEEE-488 总线以机架层叠式智能仪器为主要器件,构成开放式的积木测试系统。因此 IEEE-488 总线是当前工业上应用最广泛的通信总线之一。

1. IEEE-488 总线的使用约定

- ① 数据传输速率 $\leq 10 \text{ Mbit/s}$ 。
- ② 连接在总线上的设备(包括作为主控器的微型机) ≤ 15 个。
- ③ 设备间的最大距离 $\leq 2 \text{ m}$ 。
- ④ 整个系统的电缆总长度 $\leq 20 \text{ m}$,若电缆长度超过 20 m ,则会因延时而改变定时关系,从而造成可靠性变差。这种情况应增加调制解调器加以解决。
- ⑤ 所有数据交换都必须是数字化的。
- ⑥ 总线规定使用 24 线的组合插头座,并采用负逻辑,即用小于 $+0.8\text{V}$ 的电平表示逻辑“1”,用大于 2V 的电平表示逻辑“0”。

2. IEEE-488 总线设备的工作方式

IEEE-488 总线上所连接的设备可按控者、讲者和听者三种方式工作,这三种设备之间是用一条 24 线的无源电缆互连起来的。该总线的连接情况如图 3.5 所示。

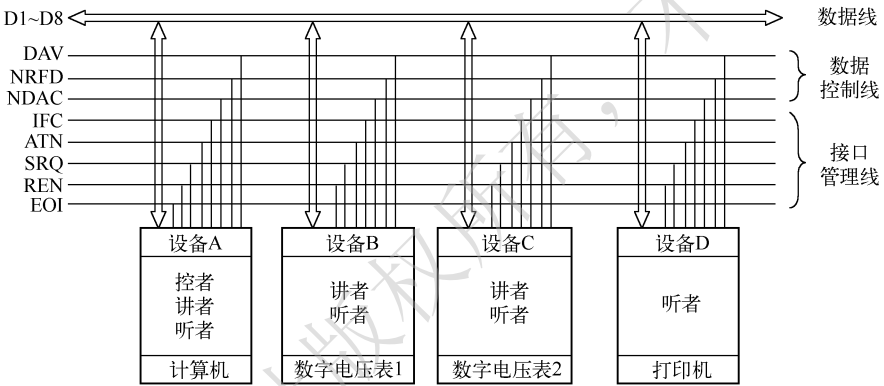


图 3.5 IEEE-488 总线的连接示例

该总线系统中的控者一般是计算机,用于管理整个系统的通信。比如,启动系统中的设备,使之进入受控状态;指定某个设备为讲者,某个设备为听者,并让讲者和听者之间直接通信;处理系统中某些设备的服务请求等。

该总线系统中的讲者功能是通过总线发送信息,而听者功能则是接收别的设备通过总线发送来的信息。

一种设备可以具备几种接口功能,但不一定要包括所有的功能。例如,在图 3.5 中数字电压表既有从控者那里接收选择工作状态命令的功能(听功能),又有把测量结果送给打印机的功能(讲功能);而打印机只要有能够从总线上接收要打印信息的功能(听功能)。

3. IEEE-488 总线的引脚定义

为了实现系统中各仪器设备之间的互相通信,IEEE-488 总线对系统的基本特性、接口功能、异步通信联络的方式、接口消息的编码等都作了规定,如表 3.2 所示。按照这些规定,不同厂家生产的仪器设备就可以简便地用一条 24 线的无源电缆互连起来,组成一个自动测试和数据处理系统。

表 3.2 IEEE-488 总线引脚定义

引 脚	符 号	说 明	引 脚	符 号	说 明
1	D1	低 4 位数据输入/输出	13	D5	高 4 位数据输入/输出
2	D2		14	D6	
3	D3		15	D7	
4	D4		16	D8	
5	EOI	结束或识别	17	REN	远程控制
6	DAV	数据有效	18	GND	地
7	NRFD	未准备好接收数据	19	GND	
8	NDAC	数据未接收完毕	20	GND	
9	IFC	接口清零	21	GND	
10	SRQ	服务请求	22	GND	
11	ATN	监视	23	GND	
12	GND	机壳地	24	GND	

IEEE-488 总线定义了 16 条信号线和 8 条地线。这 16 条信号线按功能可分 3 组,其中有 8 条双向数据线、3 条数据传输控制线、5 条接口管理线。各引线功能如下:

(1) 数据线 D1 ~ D8

这 8 条线用来并行传输数据、地址、状态字和命令等信息。

(2) 数据传输控制线 DAV, NRFD 和 NDAC

① 数据有效线 DAV 由讲者操纵,当为低电平时,表示讲者已经把有效数据准备好了,听者可以接收。

② 未准备好接收数据线 NRFD 由听者操纵,当为低电平时,表示总线上至少有一个听者还没有准备好接收讲者的数据。

③ 未接收完数据线 NDAC 由听者操纵,当为低电平时,表示总线上至少有一个听者还没有接收完讲者的数据。

这三条控制线用来使仪器设备之间彼此了解信息传输情况,从而协调信息的传输,实现三线挂钩的异步传输方式,图 3.6 给出了信息交换的时序图。

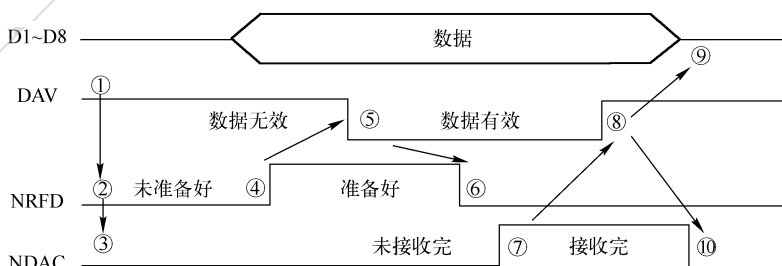


图 3.6 三线挂钩时序图

下面结合图 3.6 来分析三线挂钩的工作过程。从①开始,讲者测试 NRFD 与 NDAC 两线的状态,如果同时为低电平,则将数据送到数据总线上,并将 DAV 置成高电平。当听者测得 DAV 为高电平时,就把 NRFD 置成高电平作为回答。如果总线上有多个听者,则要等到最后

一个听者把 NRFD 置成高电平,才能使 NRFD 线成为高电平,见图中④。当讲者测得 NRFD 线为高电平时,说明全部听者都已准备好接收讲者的数据,讲者使 DAV 变为低电平,表示数据线上的数据有效,见图中的⑤。当听者测得 DAV 为低电平时,便立即将 NRFD 拉回到低电平,见图中的⑥,这意味着在结束处理此数据之前不准备接收别的数据。听者一旦接收完数据就把 NDAC 置成高电平作为对讲者的回答,如果总线上有多个听者,则要等到最后一个接收完数据的听者把 NDAC 置成高电平,才能使 NDAC 线为高电平,见图中⑦。当讲者测得 NDAC 为高电平时,说明全部听者都已接收完讲者的数据,便立即使 DAV 变为高电平,见图中⑧;并撤销数据线上的信息,见图中的⑨;同时所有的听者把各自的 NDAC 拉回低电平,见图中⑩。至此,一次三线挂钩工作完成,完成了一个字节数据的传输工作。此后,按此定时关系重复进行,直至全部数据传输完毕。三线挂钩方式是一种适应性很强的异步确认工作方式,允许快速和慢速设备同时连接在 IEEE-488 总线上。

(3) 接口管理线 IFC、SRQ、ATN、EOI 和 REN

① 接口清除线 IFC 由控者操纵,当为低电平时,所有讲者停止发送,所有听者不接收信息,系统进入初始状态,停止总线工作。

② 服务请求线 SRQ 由讲者或听者发出,当为低电平时,要求控者对它的事件进行处理。但请求能否得到控制器的响应,完全由程序安排,当系统中有计算机时,SRQ 是发向计算机的中断请求。

③ 监视线 ATN 由控者操纵,它决定了 8 条数据线的使用方式。当 ATN = “0”时,表示命令方式,由控者使用数据线;当 ATN = “1”时,表示数据发送,由听者或讲者使用数据线。

④ 结束或识别线 EOI 有两种用途。在数据方式(ATN 为高电平),当 EOI 为低电平时,表示发送数据结束;在命令方式(ATN 为低电平),当 EOI 为低电平时,表示控者开始执行并进行点名识别操作,以确定哪台设备可优先获得服务。

⑤ 远程选择线 REN 由控者发出,当为低电平时,控者对系统中的听者寻址,使听者处于远程控制状态;当为高电平时,则使系统中的设备回到本地控制状态。

3.3.2 RS-232C 总线

RS-232C 总线是一种串行外部总线,专门用于数据终端设备 DTE 和数据通信设备 DCE 之间的串行通信,是 1969 年由美国电子工业协会(EIA)从 CCITT 远程通信标准中导出的一个标准。当初制定该标准的目的是为了使不同生产厂家生产的设备能够达到接插的“兼容性”。

RS-232C 总线分别定义了机械特性标准和电气特性标准。

1. RS-232C 总线的机械特性

RS-232C 总线的接口连接器采用 DB-9 插头和插座,其中阳性插头(DB-9-P)与计算机相连,阴性插座(DB-9-S)与外设相连,有的设备上也使用 DB-25 连接器,图 3.7 a 是 DB-9 连接器的 9 针引脚编号,图 3.7 b 是 DB-25 连接器的 25 针引脚编号。

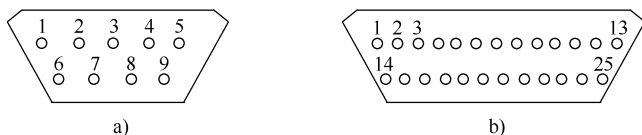


图 3.7 DB-9 和 DB-25 引脚编号

a) DB-9 引脚图 b) DB-25 引脚图

表 3.3 给出了 RS-232C 总线引脚的分配情况,RS-232C 25 个引脚只定义了 20 个。通常使用的 RS-232C 接口信号只有 9 根引脚,即常用的 9 针串口引线,其插头插座 在 RS-232C 的机械特性中都有规定。其中,最基本的三根线是发送数据线 2、接收数据线 3 和信号地线 7,一般近距离的 CRT 终端、计算机之间的通信使用这三条线就足够了。其余信号线通常在应用 MODEM(调制解调器)或通信控制器进行远距离通信时才使用。

表 3.3 RS-232C 总线引脚分配

DB-25 引脚	DB-9 引脚	功 能	名 称	方 向
1		保护地		
2	3	发送数据	TXD	DCE
3	2	接收数据	RXD	DTE
4	7	请求发送	RTS	DCE
5	8	允许发送	CTS	DTE
6	6	数据通信设备准备好	DSR	DTE
7	5	信号地(公共回线)	GND	DTE
8	1	数据载体检测	CD	DTE
9		保留		
10		保留		
11		保留		
12		次信道载波检测		
13		次信道清除发送		
14		次信道发送数据		
15		发送时钟	TXC	DCE
16		次信道接收数据		
17		接收时钟	RXC	DTE
18		保留		
19		次信道请求发送		
20	4	数据终端准备好	DTR	DCE
21		信号质量检测		
22	9	振铃指示	RI	DTE
23		信号速率检测		
24		发送时钟	TXC	DCE
25		保留		

常用的 9 根引脚分为两类:一类是基本的数据传送引脚,另一类是用于调制解调器(MODEM)的控制和反映其状态的引脚。

基本数据传送引脚包括 TXD、RXD 和 GND(2、3、7 引脚)。TXD 为数据发送引脚,数据发送时,发送数据由该引脚发出,在不传送数据时,异步串行通信接口维持该引脚为逻辑“1”。RXD 为数据接收引脚,来自通信线的数据信息由该引脚进入接收设备。GND 为信号地,该引

脚为所有电路提供参考电位。

MODEM 控制和状态引脚分为两组,一组为 DTR 和 RTS,负责从计算机通过 RS-232C 接口送给 MODEM,其中 DTR 数据终端准备好引脚,用于通知 MODEM 计算机准备好了,可以通信了;RTS 请求发送引脚,用于通知 MODEM 计算机请求发送数据。另一组为 DSR、CTS、CD 和 RI,负责接收从 MODEM 通过 RS-232C 接口送给计算机的状态信息。其中,DSR 为数据通信设备准备好引脚,用于通知计算机,MODEM 准备好了;CTS 为允许发送引脚,用于通知计算机 MODEM 可以接收数据了;CD 为数据载体检测引脚,用于通知计算机 MODEM 与电话线另一端的 MODEM 已经建立了联系;RI 为振铃信号指示引脚,用于通知计算机,有来自电话网的信号。

2. RS-232C 总线的电气特性

RS-232C 标准的电气性能主要体现在电气连接方式、电气参数及通信速率等方面。

(1) 电气连接方式

EIA 的 RS-232C 及 CCITT(国际电话电报咨询委员会)的 V.28 建议采用如图 3.8 所示的电气连接方式。



图 3.8 RS-232C 电气连接方式

这种连接方式的主要特点是:

① 非平衡的连接方式,即每条信号线只有一条连线,信道噪声会叠加在信号上并全部反映到接收器中,因而会加大通信误码率,但却最大限度降低了通信成本。

② 采用点对点通信,只用一对收发设备完成通信工作,其驱动器负载为 $3 \sim 7 \text{ k}\Omega$ 。

③ 公用地线,即所有信号线公用一条信号地线,在短距离通信时有效地抑制了噪声干扰;但不同信号线间会通过公用地线产生干扰。

(2) 电气参数

电气连接方式决定了其电气参数。电气参数主要有:

① 引线信号状态。RS-232C 标准引线状态必须是以下三种之一,即 SPACE/MARK(空号/传号)、或 ON/OFF(通/断)、或逻辑 0/逻辑 1。

② 引线逻辑电平。在 RS-232C 标准中,规定用 $-3 \sim -15 \text{ V}$ 表示逻辑 1;用 $+3 \sim +15 \text{ V}$ 表示逻辑 0。可以看出,从逻辑 1 到逻辑 0 之间有 $-3 \sim +3 \text{ V}$ (6 V) 的过渡区,这说明即使信号线受到干扰,其信号逻辑也很难发生变化。此外,RS-232C 标准还规定发送端与接收端之间必须保证 2 V 的噪声容限。噪声容限是指发送端必须达到的逻辑电平绝对值下限与接收端识别输入所需绝对值下限之差。由于 RS-232C 接收绝对值下限为 $| -3 | = 3 \text{ V}$,噪声容限为 2 V ,则发送端下限绝对值必须为 $3 \text{ V} + 2 \text{ V} = 5 \text{ V}$ 。也就是说,在发送端,其逻辑电平分别为: $+5 \sim +15 \text{ V}$ 表示逻辑 0; $-5 \sim -15 \text{ V}$ 表示逻辑 1。

③ 旁路电容。RS-232C 终端一侧的旁路电容 C 小于 2500 pF 。

④ 开路电压。RS-232C 的开路电压不能超过 25 V。

⑤ 短路抑制性能。RS-232C 的驱动电路必须能承受电缆中任何导线短路,而不至于损坏所连接的任何设备。

(3) 通信速率

RS-232C 标准的电气连接方式决定其通信速率不可能太高。非平衡连接及公用地线都会使信号质量下降,通信速率也因此受到限制(最高通信速率为 19200 bps)。除此之外,由于受噪声的影响,RS-232C 标准规定通信距离应小于 15 m。

3. RS-232C 总线的通信结构

RS-232C 的典型数据通信结构如图 3.9 所示。图 3.9a 是具有 MODEM 设备的远距离通信线路。数据终端设备 DTE,如计算机、终端显示器,通过 RS-232C 接口和数据通信设备 DCE(如调制解调器)连接起来,再通过电话线和远程设备进行通信。电话线的两端都有 MODEM 设备。MODEM 除具有调制和解调功能外,还必须具有控制功能和反映状态的功能。这些控制功能用来完成与 RS-232C 接口以及电话线另一端的 MODEM 进行信息交换和联络控制。

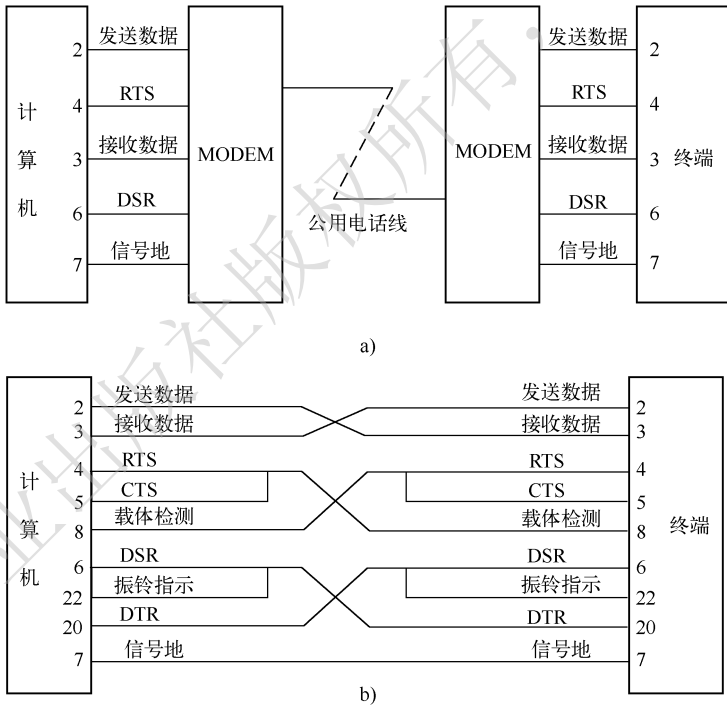


图 3.9 RS-232C 的典型数据通信结构

图 3.9a 使用了最常用的 5 根信号线,提供了两个方向的数据线(发送和接收数据)和一对控制数据传输的握手线 RTS 和 DSR。

图 3.9b 是不用 MODEM 的直接通信线路。在实际使用中,若进行近距离通信(即不通过电话线进行远距离通信),则不需要使用 DCE,而直接把 DTE 连接起来,称为零调制解调器连接,因为此时调制解调器已经退化成了一个线路交叉。两个 DTE 之间可以利用表列出的常用

9 根线进行通信双方的握手联络。

还有一种最简单的连接线路,如图 3.10 所示,仅用 3 根基本的数据传送线:发送数据线 2、接收数据线 3 和信号地线 7。一般近距离 CRT 终端与计算机之间的通信使用这 3 根线就足够了,例如 PC 机向单片机开发装置传送目标程序时,采用这种简单的连接线路即可。

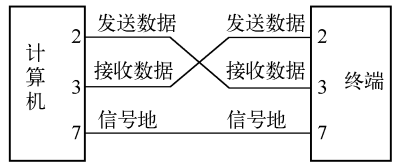


图 3.10 最简单的 RS-232C 数据通信

4. RS-232C 总线的接口电路

一般 CRT 终端和计算机采用 TTL 输入/输出电平,为了满足 RS-232C 信号电平,采用集成电路 MC1488 发送器和 MC1489 接收器,进行 TTL 电平与 RS-232C 电平的相互转换,如图 3.11 所示。

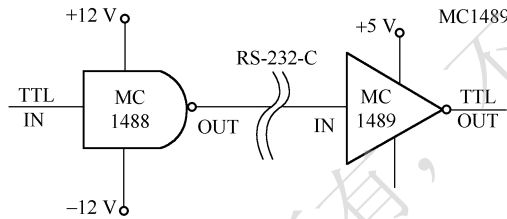


图 3.11 RS-232C 发送和接收电路

由于采用单端输入和公共信号地线,容易引进干扰。为了保证数据传输的正确性,RS-232C 总线规定 DTE 与 DCE 之间的通信距离不大于 15 m,传送信号速率不大于 20 kbit/s。全双工通信的接口电路如图 3.12 所示,每个信号使用一根导线,DTE 与 DCE 之间公用一根信号地线。由于采用单端输入公共信号地线,所以容易引进干扰。

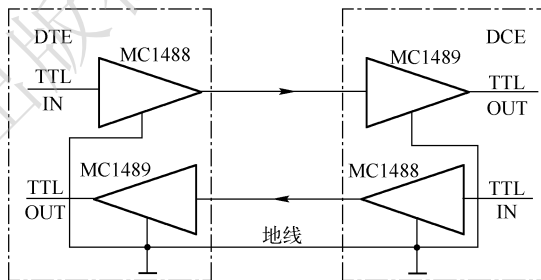


图 3.12 RS-232C 的接口电路示例

3.3.3 RS-422 和 RS-485 总线

RS-232C 虽然应用很广,但因其推出较早,在现代网络通信中已暴露出明显的缺点,如数据传输速率慢、通信距离短、未规定标准的连接器、接口处各信号间易产生串扰等。鉴于这些原因,EIA 先后推出了 RS-449、RS-422 以及 RS-485 等新的总线标准。这些标准除了与 RS-232C 兼容外,在加快传输速率、增大传输距离、改进电气性能等方面都有了明显提高。

1. RS-422A 标准接口

RS-422 由 RS-232C 发展而来。为改进 RS-232C 通信距离短、速度低的缺点,RS-422 定义了一种平衡通信接口,将传输速率提高到 10 Mbit/s。在此速率下电缆允许长度为 120 m,并允许在一条平衡总线上连接最多 10 个接收器。如果采用较低传输速率,如 9000 bit/s 时,最大距离可达 1200 m。RS-422 是一种单机发送、多机接收的单向、平衡传输的总线标准。

RS-422 标准规定了双端电气接口形式,使用双端线传送信号。它通过传输线驱动器,把逻辑电平变换成电位差,完成始端的信息传送;通过传输线接收器,把电位差转变成逻辑电平,实现终端的信息接收,如图 3.13 所示。在电路中规定只能有一个发送器,可以有多个接收器,可以支持点对多的通信方式。该标准允许驱动器输出为 $\pm 2 \sim \pm 6$ V,接收器可以检测到的输入信号电平可低到 200 mV。



图 3.13 RS-422 电气连接图

RS-422 的数据信号采用差分传输方式传输。RS-422 有 4 根信号线,两根发送、两根接收,RS-422 的收与发是分开的,支持全双工的通信方式。由于接收器采用高输入阻抗,以及发送驱动器比 RS232 更强的驱动能力,故允许在相同传输线上连接多个接收节点,最多可接 10 个节点。一个为主设备 (Master),其余为从设备 (Salve),从设备之间不能通信,所以 RS-422 支持点对多的双向通信。RS-422 四线接口由于采用单独的发送和接收通道,因此不必控制数据方向,各装置之间任何必需的信号交换均可以按软件方式 (XON/XOFF 握手) 或硬件方式 (一对单独的双绞线) 实现。RS-422 的最大传输距离为 1200 m,最大传输速率为 10 Mbit/s。其平衡双绞线的长度与传输速率成反比,在 100 kbit/s 速率以下,才可能达到最大传输距离。只有在很短的距离下才能获得最高速率传输。RS-422 需要连接一个终端电阻,要求其阻值约等于传输电缆的特性阻抗。在短距离传输 (300 m 以内) 时可不需连接终端电阻,终端电阻需接在传输电缆的最远端。为了满足 RS-422A 标准,采用集成电路 MC3487 发送器和 MC3486 接收器,如图 3.14 所示。

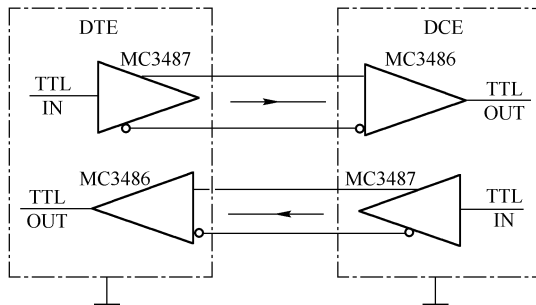


图 3.14 RS-422A 接口电路示意图

2. RS-485 标准接口

RS-485 是一种多发送器的电路标准,它是 RS-422A 性能的扩展,是真正意义上的总线标准。它允许在两根导线(总线)上挂接 32 台 RS-485 负载设备。负载设备可以是发送器、被动发送器、接收器或组合收发器(发送器和接收器的组合)。图 3.15 给出了 RS-485 的接口示意图,从图中可以看出,它也是差分驱动(发送器)电路,在发送控制允许(高电平)的情况下,TXD 端的 TTL 电平经发送器转换成 RS-485 标准的差分信号,送至 RS-485 总线。同样 RS-485 总线上的差分信号,在接收允许(低电平)的情况下,经接收器转换后变成 TTL 电平信号,供计算机或设备接收。

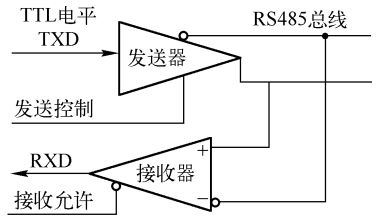


图 3.15 RS-485 接口示意图

RS-485 具有以下特点:

① RS-485 的电气特性。逻辑“1”以两线间的电压差为 $+2\text{ V} \sim +6\text{ V}$ 表示;逻辑“0”以两线间的电压差为 $-2\text{ V} \sim -6\text{ V}$ 表示。接口信号电平比 RS-232C 降低了,就不易损坏接口电路的芯片,且该电平与 TTL 电平兼容,可方便与 TTL 电路连接。

② RS-485 的数据最高传输速率为 10 Mbit/s 。

③ RS-485 接口是采用平衡驱动器和差分接收器的组合,抗共模干扰能力增强。

④ RS-485 接口的最大传输距离为 1200 m ,在总线上允许连接多达 128 个收发器,即具有多站能力和多机通信功能,这样用户可以利用单一的 RS-485 接口方便地建立起半双工通信网络。可以说 RS-485 是一个真正意义上的总线标准。

RS-485 接口具有良好的抗噪声干扰性、长的传输距离和多站能力,上述优点使其成为首选的串行接口。RS-485 接口组成的网络,一般只需两根连线,所以 RS-485 接口均采用屏蔽双绞线传输。

RS-485 与 RS-422 的区别在于:

① 硬件线路上,RS-422 至少需要 4 根通信线,而 RS-485 仅需 2 根;RS-422 不能采用总线方式通信,但可以采用环路方式通信,而 RS-485 两者均可。

② 通信方式上,RS-422 可以全双工,而 RS-485 只能半双工。

③ 两者的其他差异如表 3.4 所示。

表 3.4 RS-485 与 RS-422 比较

比较项目		RS-422	RS-485
驱动方式		平衡	平衡
可连接的台数		L 台驱动器,10 台接收器	32 台驱动器,32 台接收器
最大传输距离		1200 m	1200 m
最大传输速率	12 m	10 Mbit/s	10 Mbit/s
	120 m	1 Mbit/s	1 Mbit/s
	1200 m	100 kbit/s	100 kbit/s
驱动器输出电压	无负载时	$\pm 5\text{ V}$	$\pm 5\text{ V}$
	有负载时	$\pm 2\text{ V}$	$\pm 1.5\text{ V}$

比较项目		RS-422	RS-485
驱动器负载电阻	100 Ω	54 Ω	
驱动器输出电流	上电	无规定	$\pm 100 \mu\text{A}$ 最大 ($-7 \text{ V} \leq V_{\text{com}} \leq 12 \text{ V}$)
	断电	$\pm 100 \mu\text{A}$ 最大 ($-0.25 \text{ V} \leq V_{\text{com}} \leq 6 \text{ V}$)	$\pm 100 \mu\text{A}$ 最大
接收器输入电压		$-7 \sim +12 \text{ V}$	$-7 \sim +12 \text{ V}$
接收器输入灵敏度		$\pm 200 \text{ mV}$	$\pm 200 \text{ mV}$
接收器输入电阻		$> 12 \text{ k}\Omega$	$> 12 \text{ k}\Omega$

3.3.4 串行总线协议转换器

在计算机控制系统中,主机通常提供 RS-232C 标准接口。但在控制系统分布较远的情况下,单独由 RS-232C 不能实现远距离的通信任务,这时需要进行与 RS-485 或 RS-422 的转换。完成这种转换的器件很多,分为有源和无源两种,有源转换器须提供标准电源,无源转换器利用 RS-232C 内部的电源信号供电。下面以一种型号为 JMW1801 的 RS-232/RS-485 转换器为例说明其使用。

JMW1801 无源转换器支持半双工通信,利用串口窃电技术供电,无须外供电源;支持远程通信(大于 1.2 km)和多机通信(128 接点),DB9/DB9 结构,速率:0 ~ 115.2 kbit/s 自适应。

利用 JMW1801 可以方便地实现 RS-232C 与 RS-485 的转换,并搭建起 RS-485 通信网络,如图 3.16 所示。

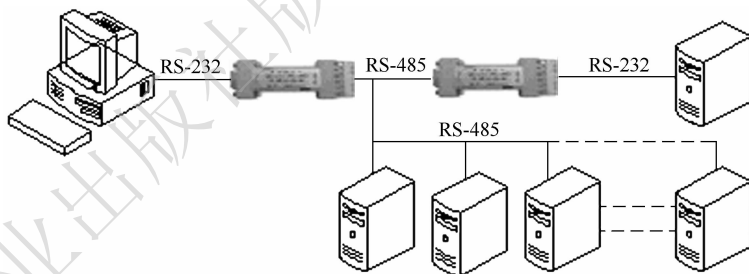


图 3.16 由 RS-232C/RS-485 协议转换器实现的串行通信结构

3.3.5 通用串行总线(USB)

通用串行总线 USB 的规范是由 IBM、Compaq、Intel、Microsoft、NEC 等多家公司联合制定的。先后推出了 USB1.0、USB1.1、USB2.0 和 USB On-The-Go (OTG) 总线标准。现在最为流行的是 USB1.1 和 USB2.0 标准。在 USB 1.1 版本中定义了两种速率的传输工作模式——低速 (Low Speed) 模式和全速 (Full Speed) 模式。低速模式下数据传输速率为 1.5 Mbit/s, 全速模式下 USB 的传输速率峰值达到了 12 Mbit/s。在 USB2.0 版本中推出了高速 (High Speed) 模式将 USB 总线的传输速率提高到了 480 Mbit/s 的水平。

1. USB 设备的主要特点

目前,USB 协议已经得到广泛应用,计算机系统的外设几乎都已经支持 USB 协议,PC 机、服务器、数码类产品几乎都把 USB 接口作为其基本配置,这主要得益于 USB 本身所具有的特点。采用 USB 接口的设备支持热拔插,使用户在开机状态时即可将设备连接到主机上,免除了使用户感到厌烦的重新启动过程。USB 接口可以同时连接 127 台 USB 设备。速率方面,USB 1.1 总线规范定义了 12 Mbit/s 的带宽,足以满足大多数(诸如键盘、鼠标、Modem、游戏手柄以及摄像头等)设备的要求,而 USB2.0 所提供的 480 Mbit/s 的传输速率,更是满足了硬盘、音像等需要高速数据传输的场合。同时总线能够提供 500 mA 的电流,可以免除一些耗电量比较小的设备连接外接电源。表 3.5 给出了 USB 协议提供的三种速率及其适用范围。

表 3.5 USB 传输速率及其适用范围

传输模式	速率	适用类别	特性	应用
低速	10 kbit/s~1.5 Mbit/s	交互设备	低价格、热拔插、易用性	键盘、鼠标、游戏杆
全速	500 kbit/s~12 Mbit/s	电话、音频、压缩视频	低价格、易用性、热拔插、限定带宽和延迟	ISDN、PBX、POTS
高速	25 Mbit/s~480 Mbit/s	视频、磁盘	高带宽、限定延迟、易用性	音视频处理、磁盘

2. USB 设备及其体系结构

USB 总线是一种串行总线,支持在主机与各式各样即插即用的外设之间进行数据传输。它由主机预定传输数据的标准协议,在总线上的各种外设上分享 USB 总线带宽。当总线上的外设和主机在运行时,允许自由添加、设置、使用以及拆除一个或多个外设。

USB 总线系统中的设备可以分为三种类型。一是 USB 主机,在任何 USB 总线系统中,只能有一个主机。主机系统中提供 USB 总线接口驱动模块,称作 USB 总线主机控制器。二是 USB 集线器(HUB),类似于网络集线器,实现多个 USB 设备的互连,主机系统中一般整合有 USB 总线的根(节点)集线器,可以通过次级的集线器连接更多的外设。三是 USB 总线的设备,又称 USB 功能外设,是 USB 体系结构中的 USB 最终设备,如打印机、扫描仪等,接受 USB 系统的服务。

USB 总线连接外设和主机时,利用菊花链的形式对端点加以扩展,形成了如图 3.17 所示的金字塔型的外设连接方法,最多可以连接 7 层,127 台设备,有效地避免了 PC 机上插槽数量对扩充外设的限制,减少了 PC 机 I/O 接口的数量。

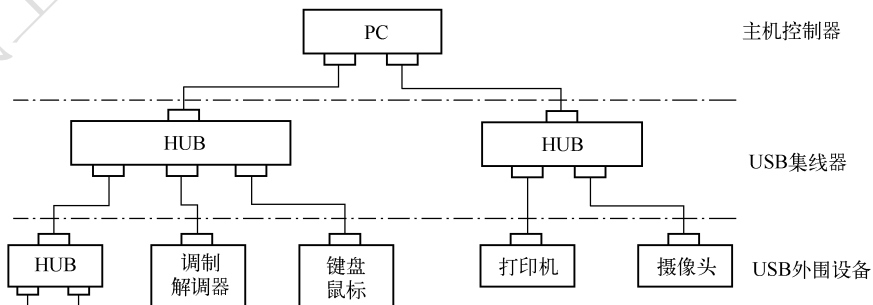


图 3.17 基于 USB 总线的外设连接

3. USB 的传输方式

针对设备对系统资源需求的不同,在 USB 规范中规定了四种不同的数据传输方式。

(1) 控制(Control)传输方式

该方式用来配置和控制主机到 USB 设备的数据传输方式和类型。设备控制指令、设备状态查询及确认命令均采用这种传输方式。当 USB 设备收到这些数据和命令后,将依据先进先出的原则处理到达的数据。

(2) 中断(Interrupt)传输方式

虽然该方式传送的数据量很小,但这些数据需要及时处理,以达到实时效果。此方式主要用在键盘、鼠标以及操纵杆等设备上。

(3) 同步(Isochronous)传输方式

该方式用来连接需要连续传输数据且对数据的正确性要求不高,而对时间极为敏感的外部设备,如麦克风、喇叭以及电话等。同步传输方式以固定的传输速率,连续不断地在主机与 USB 设备之间传输数据,在传送数据发生错误时,USB 并不处理这些错误,而是继续进行新数据的传送。

(4) 批(Bulk)传输方式

该方式用来传输要求正确无误的大批量的数据。通常打印机、扫描仪和数码相机以这种方式与主机连接。

4. USB 设备的电气连接

USB 连接分为上行连接和下行连接。所有 USB 外设都有一个上行的连接,上行连接采用 A 型接口,而下行连接一般则采用 B 型接口,这两种接口不可简单地互换,这样就避免了集线器之间循环往复的非法连接。一般情况下,USB 集线器输出接口为 A 型口,而外设及 HUB 的输入口均为 B 型口。所以 USB 电缆一般采用一端 A 口、一端 B 口的形式。USB 电缆中有四根导线:一对互相绞缠的标准规格线,用于传输差分信号 D+ 和 D-,另有一对符合标准的电源线 VBUS 和 GND,用于给设备提供 +5 V 电源。USB 连接线具有屏蔽层,以避免外界干扰。USB 电缆如图 3.18 所示,USB 连接线定义见表 3.6。

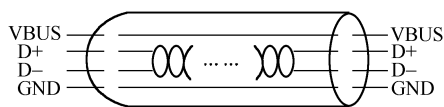


图 3.18 USB 的电缆

表 3.6 USB 连接线定义

连接序号	信号名称	典型连接线
1	VBUS(电源正)	红
2	D-(负差分信号)	白
3	D+(正差分信号)	绿
4	GND(电源地)	黑
外层	屏蔽层	-

图 3.19 中,两根双绞的数据线 D+、D- 用于收发 USB 总线传输的数据差分信号。低速模式和全速模式可在用同一 USB 总线传输的情况下自动地动态切换。数据传输时,调制后的时钟与差分数据一起通过数据线 D+、D- 传输出去,信号在传输时被转换成 NRZI 码(不归零

反向码)。为保证转换的连续性,在编码的同时还要进行位插入操作,这些数据被打包成有固定时间间隔的数据包,每一数据包中附有同步信号,使得收方可还原出总线时钟信号。USB 对电缆长度有一定的要求,最长可为 5 m。终端设备位于电缆的尾部,在集线器的每个端口都可检测终端是否连接或分离,并区分出高速或低速设备。

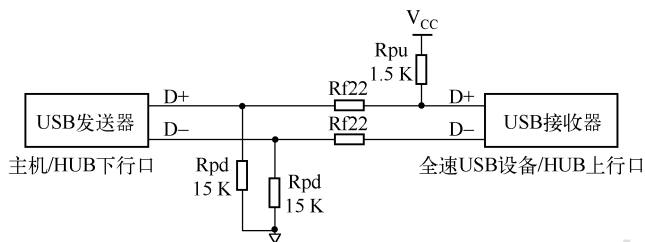


图 3.19 全速 USB 总线设备连接

图 3.19 和图 3.20 分别给出了 USB1.1 中全速 USB 设备、低速 USB 设备与 USB 主机的连接方法。全速和低速连接方法的主要区别在于设备端。全速连接法需要在 D+ 上接一个 1.5 kΩ 的上拉电阻,而低速接法是将此电阻接到 D- 上。在进行信息传输之前,数据无论是发送给 USB 设备还是来自给定的 USB 设备,主机软件首先都必须检测 USB 设备是否存在,同时还要检测该设备是一个全速设备还是一个低速设备。USB 集线器通过监视差分数据线来检测设备是否已连接到集线器的端口上,当没有设备连接到 USB 端口时, D+ 和 D- 通过下拉电阻 Rpd 电平都是近地的。而 USB 设备必须至少在 D+ 和 D- 线的任意一条上有一个上拉电阻 Rpu,由于 Rpu 的阻值为 1.5 kΩ, Rpd 的阻值为 15 kΩ,所以当 USB 设备连接到集线器上时,数据线上会有 90% 的 V_{cc} 电压,当集线器检测到一条数据线电压接近 V_{cc} 的时候,而另一条保持近地电压,并且这种情况超过 2.5 μs 时,就认为设备已经连接到该端口上。集线器再通过检测是哪根数据线电压接近 V_{cc} 来判别是哪一类 USB 设备连接到其端口上,如果 D+ 电平接近 V_{cc} , D- 近地,则所连设备为全速设备,而如果 D- 电平接近 V_{cc} , D+ 近地,则所连设备为低速设备,当 D+ 和 D- 的电压都降到 0.8 V 以下,并持续 2.5 μs 以上的话,就认为该设备已经断开连接。

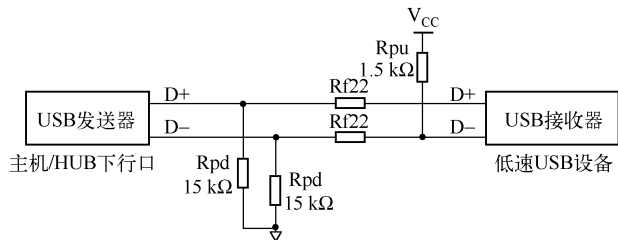


图 3.20 低速 USB 总线设备连接

5. USB 设备的总线枚举(Bus Enumeration)

当有 USB 设备从 USB 总线上连接或拆除时,USB 主机采用一种称为总线枚举的过程来识别和管理必要的设备状态改变。当 USB 设备连接到 USB 总线上,会执行以下的总线枚举

过程:

① USB 设备连接到 HUB 上, HUB 通过其状态管道(Pipe)给主机发送一个状态改变事件。USB 设备此时处于供电状态(Powered State), 此时其内部的端口地址处于无效状态。

② 主机通过查询(Query)HUB 来确定所连 USB 的属性。

③ 现在主机已经知道在 HUB 的某端口上有 USB 设备连接, 主机至少等待 100ms 来完成该过程, 并且达到电源的稳定。接着, 主机向该端口发送复位命令(Reset Command)。

④ HUB 执行所请求的复位过程。当复位信号结束时, 连接 USB 设备的端口就有效了。USB 设备便处于默认状态(Default State), 可以从电源线的 VBUS 获得不超过 100 mA 的电流。它所有的寄存器都被复位, 并且可以使用默认地址。

⑤ 主机对所连接的 USB 设备分配一个惟一的地址, 并将设备状态转为地址状态。

⑥ 在 USB 设备接到其惟一地址之前, 其默认的控制管道(Default Control Pipe)通过默认地址依然有效。主机读取设备描述符来决定 USB 设备默认管道能够使用的实际最大数据载荷。而在默认状态下, 设备都是以低速进行通信, 在设备配置完成后主机通过读取设备描述符, 设置设备传输特性, 如全速和高速。

⑦ 主机用几个毫秒的时间读取 USB 设备的配置信息。

⑧ 主机基于所获得的配置信息完成对 USB 设备的配置。USB 设备便进入了已配置状态(Configured State), 该配置下其所有端点(Endpoint)都具有了其所描述的特性。USB 设备可以从 USB 总线的 VBUS 上获得其描述符所描述的电流, 并且, 可以按照描述符描述的速度进行与主机的通信。

6. USB 协议的发展

现在使用 USB 的外设越来越多, 例如可移动硬盘、各种 U 盘、MP3 播放器、数码相机、数码摄像机、机顶盒、数码录音笔等, 并且厂商对于 USB 硬件和软件的支持也越来越完备, 现在开发一个 USB 外设产品, 所需投入的时间和成本大为降低。但是, 随着 USB 应用领域的扩大, 人们对于 USB 的期望也越来越高。希望 USB 设备能够摆脱协议中居于核心地位的主机控制, 直接进行两个 USB 设备的互连。鉴于这种需求, 早在 2001 年就正式推出了 USB On-The-Go 协议 1.0 版本, 简称 OTG1.0。USB OTG 协议是对 USB2.0 的补充协议, 基本上符合 USB2.0 规范。与以前 USB 协议所不同的是符合 USB OTG 协议的设备完全抛开了 PC, 既可以作为主机, 也可以作为外设使用, 与另一个符合 OTG 协议的设备直接实现点对点的通信。相信随着 USB 协议的不断完善, 其功能将更加强大, 应用领域也必将更加广阔。

习题

1. 什么叫总线? 为什么要制定计算机总线标准?
2. 计算机总线可以分为哪些类型?
3. 评价总线的性能指标有哪些?
4. STD 总线有哪些特点?
5. 常用的 PC 总线有哪些? 各有什么特点?
6. 简述 PCI 总线的性能特点。

7. 简述 IEEE-488 总线的工作过程。
8. 详述 RS-232C、RS-485 和 RS-422 总线的特点和性能。
9. RS-232C 总线常用的有哪些信号？如何通过该接口实现远程数据传送？
10. 什么是平衡方式和不平衡传输方式？试比较两种方式的性能。
11. USB 数据传输方式有哪几种？USB 协议中是如何区分高速设备和低速设备的？
12. 简述 USB 总线的枚举过程。

机械工业出版社版权所有，不得转载！