

普通高等教育智能建筑规划教材

# 过程控制系统及其应用

主 编 居滋培  
副主编 左为恒  
参 编 许伟明 王芳卿  
主 审 秦永烈



机械工业出版社

本书为电气工程及其自动化专业的专业课教材,系智能建筑系列教材之一,是在学完电子技术基础(模拟电子,数字电子)、传感器原理、微机原理及自动控制理论课程后开设的后续课程。目的是培养该专业的学生以自动控制为基础,能以自动化仪表或以工业控制计算机构成过程控制系统及有关的电气自动控制系统,并能进行工程设计、安装、调试,从而对过程控制系统有更全面的认识。

本书重点讲解过程控制系统的电气设计以及自动控制的实现,如何进行控制参数的工程调试及整定,即从应用的角度出发,使学生在过程中,对过程控制系统的构成、设计和应用有一个全面的理解。对检测仪表和过程控制仪表,本书也作了较全面的介绍。在内容上,本书避免与自动控制原理课程过多重叠。本书偏重实用性的训练,使学生能学到一定的实际系统的设计、使用、调试的知识。本书还单列一章介绍工程实例。

计算机过程控制系统和监控网络系统已广泛应用于众多行业和领域,因此本书也加强了该部分的有关内容。

本书可供电气工程、电气自动化专业本科生教学之用,也可供有关的技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

过程控制系统及其应用 杨滋培主编 北京:机械工业出版社, 2006

普通高等教育智能建筑规划教材

ISBN 7-111-17000-0

I ①过 ②居 ③过过程控制—自动控制系统  
—高等学校—教材 IV ④

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 000000 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:张静 责任印制:陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 印张·170 千字

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68995199

封面无防伪标均为盗版

## 智能建筑规划教材编委会

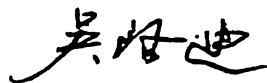
主 任	吴启迪		
副主任	徐德淦	温伯银	陈瑞藻
委 员	程大章	张公忠	王元凯
	龙惟定	王 忱	张振昭

## 序

21世纪，电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展，并渗透到各个领域，深刻地影响着人类的生产方式和生活方式，给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外，智能化建筑便是在这一背景下走进人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术，并加以研发和整合成智能装备，为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境，并日益成为主导现代建筑的主流。近年来，人们不难发现，凡是按现代化、信息化运作的机构与行业，如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等，他们所建造的新建筑物，都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了宽广的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统，更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用，使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为其设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场，促进了社会对智能建筑技术专业人才的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求，调整教学计划、更新课程内容，致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才，以适应国民经济高速发展的需要。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现，参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 100 所姊妹学校，不论是主编或是主审，均是这个领域有突出成就的专家。因此，我深信这套系列教材将会反映各姊妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明一个问题，时代需要协作精神，时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者，是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园

2006年 9月 8日

# 前 言

《过程控制技术及其应用》是机械工业出版社组织编写的电气工程与自动化本科专业智能建筑系列教材之一。

随着教育部本科专业新目录的实施，全国高等院校电气工程与自动化专业课程互相渗透、互相融合，电气工程专业的控制工程课程由以运动控制、程序控制为主扩大到了过程控制，相继开设了与过程控制、自动化仪表与装置相关的课程。本教材就是在这样的课程改革背景下组织编写的。本书第一章主要讲述过程控制系统的特点、组成和品质指标；第二~四章介绍了过程控制的仪表与装置，包括检测仪表、变送器、控制器、执行器、控制阀。第五~七章讲述了过程控制系统的系统特性和控制方法，包括单回路控制和多回路的复杂控制，介绍了各种系统的特性、设计方法以及参数整定方法等。第八章介绍计算机控制系统，包括常规的计算机控制、集散控制系统(DCS)和现场总线控制系统(FCS)。最后一章是介绍过程控制的应用实例。

本课程的工程实践性很强，本书在编写中注重学生工程能力的培养和知识的应用。在编写中专门开设一章，安排应用实例。在本教材的教学中应配以相应的实验，力求理论和实践的密切结合。本教材每章附有与内容相关的思考题和习题，以消化和巩固上课的内容。

本书在内容上既介绍了典型的传统控制方法和装置，使学生建立基本的概念，使知识能渐进衔接，同时又介绍了新技术、新方法，使知识结构适应现代科学技术发展和生产的需要。

本书由上海理工大学居滋培教授主编，重庆大学左为恒副教授任副主编，上海理工大学秦永烈教授主审。本书第一、六章由居滋培老师编写，第二、三、四章由左为恒老师编写，第五、七章由许伟明老师编写，第八章由左为恒和王芳卿老师共同编写，第九章由王芳卿老师编写。

在编写过程中得到了中国电工技术学会电气工程教育专业委员会和相关各高校的大力支持和帮助，担任主审的秦永烈教授更以极其严谨的作风，对书稿作了逐句的推敲和修改，并对总体安排提出了宝贵的意见。

在编写的过程中得到了上海航天局 863 研究所袁丰高级工程师、上海 缘 智能化系统有限公司丁浩工程师、上海理工大学姜琳琳老师的支持和帮助，编者对所有给予本书以帮助的老师表示衷心的感谢。

尽管全体编者都尽了很大努力，但缺点和错误在所难免，在此恳请广大读者给予批评和指正。

编 者

圆 圆 年 圆 月

# 目 录

序	
前言	
第一章 过程控制的基本概念 .....	员
第一节 过程控制的发展概况 .....	员
第二节 过程控制系统的组成 .....	圆
一、被控对象 .....	猿
二、传感器和变送器 .....	猿
三、控制器 .....	猿
四、执行器 .....	猿
五、控制阀 .....	源
第三节 过程控制的分类 .....	源
一、各种分类方法 .....	源
二、设定值分类 .....	源
第四节 生产对过程控制的要求和指标 .....	源
一、生产对过程控制的要求 .....	源
二、过程控制系统的品质指标 .....	缘
习题 .....	远
第二章 过程检测仪表 .....	愿
第一节 温度检测仪表 .....	愿
一、概述 .....	愿
二、热电偶温度计 .....	怨
三、热电阻温度计 .....	员
四、辐射测温方法 .....	圆
第二节 压力(差压)检测仪表 .....	圆
一、概述 .....	圆
二、弹性式压力测量元件 .....	圆
三、压力(差压)变送器 .....	圆
第三节 流量检测仪表 .....	圆
一、差压式流量计 .....	猿
二、电磁流量计 .....	猿
三、涡街流量计 .....	猿
四、超声波流量计 .....	猿
五、质量流量计 .....	猿
第四节 物位检测仪表 .....	猿
一、物位仪表种类 .....	猿
二、静压式液位变送器 .....	猿
三、超声波液位计 .....	猿
习题 .....	源
第三章 过程通道信号处理及调节仪表 ...	源
第一节 温度变送器 .....	源
一、概述 .....	源
二、放大单元工作原理 .....	源
三、热电偶温度变送器量程单元 .....	源
四、变送器的信号调试方法 .....	源
五、铠装型温度变送器的型号表示 .....	源
六、铠装型温度变送器 .....	源
第二节 铠装型全刻度指示调节器 .....	源
一、概述 .....	源
二、基型调节器的工作原理 .....	源
三、可编程序数字调节器 .....	源
习题 .....	源
第四章 执行器 .....	源
第一节 电动执行器 .....	源
一、概述 .....	源
二、电动执行单元组成及工作原理 .....	源
第二节 气动执行器 .....	源
一、控制阀概述 .....	源
二、控制阀的选择 .....	源
三、阀门定位器 .....	源
习题 .....	源
第五章 过程控制对象的动态特性 .....	源
第一节 有自平衡对象的动态特性 .....	源
一、单容对象的动态特性 .....	源

二、多容对象的动态特性 .....	页	五、串级控制系统的投运与整定 .....	页
三、具有纯滞后对象的动态特性 .....	页	第二节 前馈及复合控制 .....	页
第二节 无自平衡能力对象的动态特性 .....	页	一、前馈及复合控制的基本概念 .....	页
一、单容对象的动态特性 .....	页	二、前馈控制系统的几种典型结构形式 ...	页
二、双容对象的动态特性 .....	页	三、前馈控制规律的实施 .....	页
第三节 时域法辨识对象的动态特性 .....	页	四、前馈控制系统的参数整定 .....	页
一、阶跃响应曲线的测定 .....	页	五、前馈控制系统的选用原则 .....	页
二、由阶跃响应曲线求对象的传递函数 ...	页	第三节 大时延控制 .....	页
习题 .....	页	一、概述 .....	页
第六章 单回路控制系统 .....	页	二、常规控制方案 .....	页
第一节 系统组成和设计概述 .....	页	三、采样控制系统方案 .....	页
一、单回路控制系统的组成 .....	页	四、杂项预估补偿方案 .....	页
二、单回路控制系统的设计概述 .....	页	第四节 比值控制系统 .....	页
第二节 被控量和操纵量的选择 .....	页	一、基本概念 .....	页
一、被控量的选择 .....	页	二、常见的比值控制方案 .....	页
二、操纵量的选择 .....	页	三、比值控制系统设计中的几个问题 ...	页
三、过程静态特性分析 .....	页	四、比值控制系统的参数整定 .....	页
四、过程动态特性分析 .....	页	习题 .....	页
第三节 比例、积分、微分控制及控制器的选型 .....	页	第八章 计算机过程控制系统 .....	页
一、比例、积分、微分控制规律 .....	页	第一节 计算机控制技术概述 .....	页
二、控制器的选型 .....	页	一、概述 .....	页
三、控制器的正反作用选择 .....	页	二、过程计算机控制系统的组成 .....	页
第四节 控制器的参数整定 .....	页	三、过程计算机控制系统的分类 .....	页
一、过渡过程参数整定 .....	页	第二节 过程输入输出通道基本原理 .....	页
二、经验法 .....	页	一、等时采样通道 .....	页
三、稳定边界法 .....	页	二、等时采样通道 .....	页
四、衰减曲线法 .....	页	三、变时采样通道 .....	页
五、响应曲线法 .....	页	第三节 过程计算机常规控制技术 .....	页
六、衰减频率特性法 .....	页	第四节 闭环控制系统的仿真算法 .....	页
习题 .....	页	一、单元单元的离散描述 .....	页
第七章 复杂控制系统 .....	页	二、保持器的传递函数 .....	页
第一节 串级控制系统 .....	页	三、离散闭环控制系统数字仿真编程的递推求解法 .....	页
一、串级控制系统的概念 .....	页	四、确定采样周期 裁需注意的问题 .....	页
二、串级控制系统的工作过程及特点 ...	页	第五节 工业控制组态软件 .....	页
三、串级控制系统的应用范围 .....	页	一、概述 .....	页
四、串级控制系统的设计 .....	页	二、组态软件的系统结构与功能 .....	页

第六节 集散控制系统(阅读) .....	页码	第一节 恒压供水控制系统.....	页码
一、集散控制系统在工业中的应用 .....	页码	一、概述 .....	页码
二、集散控制系统的结构与功能 .....	页码	二、恒水压控制装置 .....	页码
三、集散控制系统发展 .....	页码	三、其他方案 .....	页码
第七节 现场总线技术 .....	页码	第二节 楼宇设备管理和监控系统 .....	页码
一、现场总线技术及其产生的背景 .....	页码	一、概述 .....	页码
二、现场总线的工作原理 .....	页码	二、系统组成及工作原理 .....	页码
三、现场总线的技术特点 .....	页码	三、系统软件 .....	页码
四、几种典型的现场总线 .....	页码	四、系统的优点 .....	页码
习题 .....	页码	参考文献 .....	页码
第九章 过程自动化控制系统的			
应用实例 .....	页码		

# 第一章 过程控制的基本概念

## 第一节 过程控制的发展概况

自 20 世纪 50 年代以来，由于计算机技术的发展，带来了自动化发展的惊人成就。自动化已在工业生产、科学技术和人民生活的各个领域中起到了关键的作用。自动化程度高低已成为现代化程度的重要标志。

自动化的发展首先从工业生产领域开始，而工业自动化的发展又与工业生产过程本身的发展有着密切的联系。随着生产从简单到复杂，从局部到全局，从低级到智能的发展，工业生产自动化也经历了一个不断发展的过程。

第一阶段，大概在 20 世纪 50 年代以前。这个阶段以经典控制理论为基本方法，即用传递函数进行数学描述，对系统进行分析的基本方法为根轨迹法和频率法。在这个阶段，对系统的一般处理方法是将一个复杂过程分解为若干个简单的过程，然后采用单输入、单输出的控制系统。在这个阶段的控制目标主要是保持整个生产的正常平稳和安全，自动化水平处于比较低级的阶段，实现控制的手段主要是单个传感器、控制器和执行器。

20 世纪 50 年代以后，工业自动化进入了第二阶段。由于生产的发展，生产过程向着大型化、连续性方向发展，而控制对象的要求也日趋复杂，原有简单控制的模式已不能满足要求，而在这个阶段，研究出了现代控制理论，这为新的控制技术提供了理论基础。它以状态空间为分析基础，包括以最小二乘法为基础的系统辨识，以极大值原理和动态规划为基础的优化控制和以卡尔曼滤波理论为核心的最优估计三个部分。因此使分析系统的方法从外部现象深入到揭示系统的内在规律，从局部控制发展到了全局最优控制。而自动控制的工具也产生了直接数字控制(DDC)和计算机控制(CCC)和计算机控制(CCC)。

第三个阶段大约从 20 世纪 70 年代以后，这个阶段工业领域的一个最大成就是大规模集成电路和微处理器的产生，这大大加速了工业计算机的商品化和计算机技术的普及和发展。为了满足工业计算机可靠性和灵活性的需要，作为一种全新的工业控制工具，集散控制系统(DCS)产生了。它是集计算机技术、控制技术、通信技术和图形显示技术于一体的计算机系统。而另一方面，控制理论和其他学科相互渗透，从而形成了以大系统理论和智能控制理论为代表的所谓第三代控制理论。直到现在，尽管它还处于发展和完善过程中，但已受到极大的重视和关注，也取得了很大的进展。

20 世纪 80 年代以后的十几年里，计算机技术产生了突飞猛进的发展，并以计算机为工具产生了信息技术和网络技术。它在自动化技术领域产生极大的影响和推动作用，引起自动化系统结构的变革，逐步形成了以网络集成化系统为基础的企业信息控制管理系统。而自动化的实现工具也由 DDC 系统发展到了现场总线控制系统(FCS)。

## 第二节 过程控制系统的组成

过程控制通常用于各工业部门生产过程的自动化，过程控制系统是指自动控制系统的被控量是温度、流量、压力、液位等这样一些过程变量的系统。

下面以供热锅炉液位控制系统为例，介绍过程控制系统的组成。

供热锅炉是生产供热蒸汽的设备，因此是整个供热系统中最重要的设备。锅炉在工作时必须将水位保持在一定的高度，水位过低，锅炉有可能烧干而酿成事故，如果水位过高，产生的蒸汽含水量太高，不成为过热蒸汽，造成供热管道积水。因此必须根据锅炉蒸汽负荷的大小调整锅炉的给水量，使水位始终维持在允许的范围内。

锅炉水位控制的人工方法是靠人眼观察玻璃液位计，根据水位的变化，凭经验而去改变供水阀门的开度，使水位保持在规定的位置上(见图 1-10a)。而采用自动控制，则用仪表作为控制工具来代替人眼和手，使水位保持在规定范围内(见图 1-10b)。水位的变化首先由液位变送器测量得到，并转换成规定的信号输入到控制器中，控制器将输入的信号和水位设定的标准值信号相比较，当二者的偏差超出规定的范围时，它将经运算后发出控制命令，通过执行器改变阀门的开度以增减给水量，从而达到锅炉水位的平衡。这样就实现了水位的自动控制。

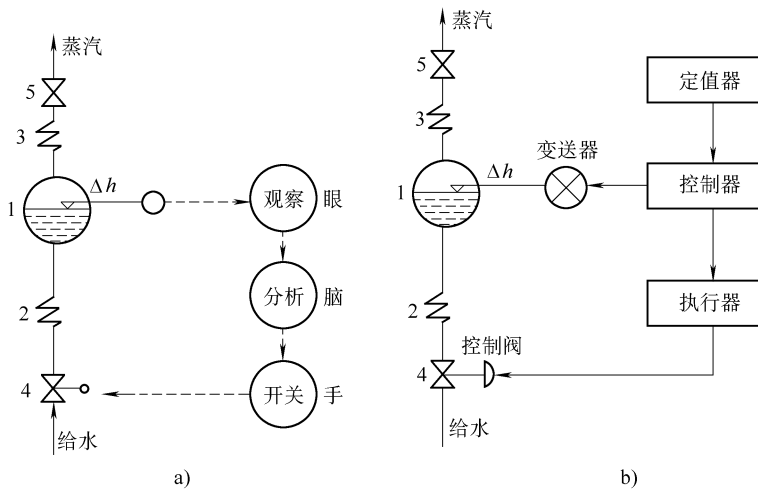


图 1-10 锅炉水位控制原理图

员-锅筒 圆-省煤器 猿-过热器 源-给水阀门 缘-蒸汽阀门

从以上例子中可以看出，要实现水位控制需要以下装置：

员 测量水位变化的传感器或变送器。

圆 能将水位测量值和水位设定值进行比较并进行控制运算的控制器。

猿 设定水位的定值器(可能包括在控制器内)。

源 执行控制命令的执行器。

缘 调节给水量控制阀。

这些装置和被控对象锅炉本身组成了一个过程控制系统，如图 1-10 所示。在这样的过程

控制系统中应该包括以下几个部分：

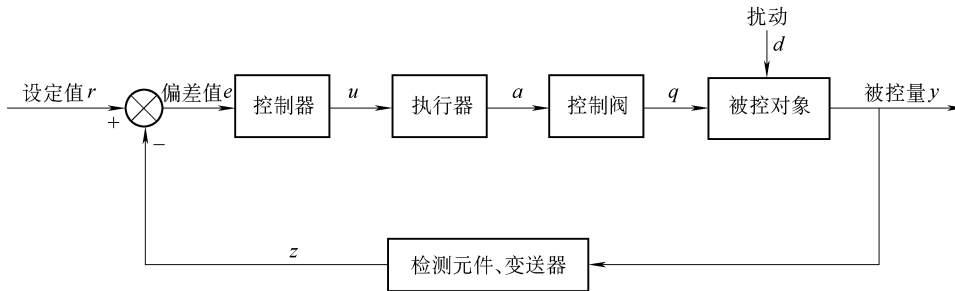


图 1-1 过程控制系统原理框图

### 一、被控对象

被控对象是指生产过程被控制的工艺设备或装置，例如上述例子中的锅炉。当被控对象中所需控制的参数仅有一个，例如锅炉的水位控制，则工艺设备与被控对象的特性是一致的。当工艺设备的被控参数为两个以上，例如锅炉水位控制实际上决定于给水量、蒸汽流量和压力等参数，则往往会使其特性相互制约，这时应有一套可能是互相关联的控制系统，这样的工艺设备作为被控对象，应对其中不同的过程作不同的分析。

### 二、传感器和变送器

按生产工艺要求，被控对象的有关控制参数应通过自动检测以获得可靠的信息。信息的获得依靠传感器或变送器来完成。被控的工艺参数一般为非电量物理量，通过传感器将其变成相对应的电信号。而变送器还会将此信号转换为标准信号。目前的标准电信号主要有两种：一种为Ⅱ型的标准电信号，即 4~20mA 直流电流信号；另一种为Ⅲ型的电信号，是 0~5V 的直流电压信号或 0~5V 的直流电压信号。也可转换成 0.02~0.1MPa 的标准气压信号。传感器或变送器的输出也就是被控量的测定值  $z$ 。

### 三、控制器

传感器或变送器输出的信号符合工艺要求，则控制器的输出不变，反之，控制器将输出控制信号对系统进行控制。使被控量发生变化的任何作用均称为扰动。在控制通道内，在控制阀未动情况下，由于通道内质量或能量等因素变化造成的扰动称为内扰。而其他来自外部的影响统称为外扰。无论是内扰或外扰，一经产生，控制器就会发出控制命令对系统实行控制。

工艺要求规定的被控量的参数值称为设定值  $r$ 。在系统中，传感器或变送器的测量值  $z$  反馈到输入端和设定值  $r$  比较，从而得到了一个偏差值  $e$ 。当  $z < r$  时称为负偏差， $z > r$  时称为正偏差。控制器根据  $e$  的大小，根据控制器规定的控制算法（如 PID）进行运算，输出一个相对应的控制信号  $u$  去推动执行器。

### 四、执行器

执行器接收控制器的控制信号  $u$ ，经变换或放大后推动控制阀。目前的执行器有气动执行器和电动执行器，如控制器是电动的，而执行器是气动的，则在控制器与执行器之间要有电气转换器。如用电动执行器，则控制器输出需经伺服放大器放大才能驱动执行器以推动控制阀。此为试读，需要完整PDF请访问：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

源

## 五、控制阀

控制器输出控制信号，经气动或电动执行器驱动控制阀，改变输入对象的操纵量，使被控量受到控制。

## 第三节 过程控制的分类

### 一、各种分类方法

由于划分过程控制类别的方式不同，有各种不同的名称。

① 按被控量分类，有温度控制系统，压力控制系统，流量控制系统，液位控制系统等。

② 按控制系统回路来分，有开环控制系统及闭环控制系统，单回路控制和多回路控制。

③ 按控制器的控制算法来分，有比例控制系统，比例积分控制系统，比例积分微分控制系统及位式控制系统等。

④ 按控制系统的模式来分，有比值控制系统，均匀控制系统，前馈控制系统及自适应控制系统等。

⑤ 按控制器信号来分，有常规的仪表控制系统，计算机控制系统，集散控制系统和现场总线控制系统等。

以上是人们视具体情况所采用的不同的分类，并没有什么严格的规定。而作为过程控制而言，主要是分析反馈控制的特性，这就和设定值有密切关系，因此按设定值来分类则更有意义。

### 二、设定值分类

#### ① 定值控制系统

将系统被控量的设定值保持某一定值(或在某一很小范围内不变)的控制系统称为定值控制系统。这样的系统是过程控制中应用最多的一种控制系统。前面所述的锅炉水位控制系统就是这样的定值控制系统。在定值控制系统中，设定值固定不变，引起系统变化的只是扰动信号。

#### ② 随动控制系统

随动控制系统是被控量的设定值随着时间任意变化的控制系统。其主要作用是克服一切扰动，使被控量及时跟踪设定值变化。

#### ③ 程序控制系统

程序控制系统被控量的设定值是按预定的时间程序变化的。控制的目的是使被控量按规定的程序自动变化。如工业热处理炉等周期作业的加热设备，一般都有升温、保温和降温等按时间变化的规律，设定值按此程序进行控制，以达到控制的目的。

## 第四节 生产对过程控制的要求和指标

### 一、生产对过程控制的要求

过程控制涉及工业生产的各个领域，不同的工艺过程控制有不同的要求。但归纳起来总的有三个方面的要求，这三个要求是：安全性、经济性和稳定性。

#### ① 安全性

安全性指的是在生产的整个过程中，确保人身安全和设备的安全，这是最重要的要求。特别是对于化工、发电、炼油等生产企业特别要注意系统的安全问题。因此在这样的系统中都要采用参数越限报警、事故报警和连锁保护等措施加以保证。在化工等易燃易爆环境中使用的仪表都必须是防爆仪表。为了保护大型设备的安全，系统可设计在线故障预测和诊断系统、容错控制系统等，以进一步提高系统运行的安全性。

### 经济性

过程控制的经济性旨在使系统在生产相同质量和产量的条件下，所消耗的能源和材料最少，做到生产成本低，生产效率高。随着市场竞争的日益加剧和我国加入 宰籍以后所面临的国际市场竞争，经济性受到了极大的重视。

### 稳定性

稳定性即要求系统具有抑止外部干扰，保持生产过程长期稳定运行的能力。工业生产过程的生条件不可能完全不变，例如生产工况的变化、原料的改变或生产量的起落、设备的老化和污染都会对生产造成一定的影响。特别是大型的复杂的系统其影响因素就更多，这就要求过程控制系统在诸多因素干扰的情况下能保持系统的稳定。

## 二、过程控制系统的品质指标

过程控制系统在运行时有两种状态：一种称为稳态，系统的设定值保持不变，也没有受到整个外来的任何干扰，因此被调量也保持不变，整个系统处于平衡稳定状态；而另一种为动态，系统的设定值发生了变化，或者是系统受到了外来的干扰，原来的稳定遭到了破坏，系统的各部分也将作出相应的调整，改变操纵量的大小，使被控量重新回复到设定值，使系统稳定下来。这种从前一个稳定状态到另一个稳定状态的过程称为过渡过程。实际上大多数系统被控对象总是不断地受到外来的各种干扰的影响，系统经常处于动态过程中。因此评价一个系统的品质，不能单纯评价其稳态，更重要的是应该考虑它在动态过程中被调量随时间变化的情况。

在阶跃信号输入的情况下，整个过渡过程可能有不同的状态，如图 图所示，图中曲线 葬为发散振荡过程，曲线 遭为等幅振荡过程，曲线 糟为衰减振荡过程，曲线 啮为非周期过程。一般希望过渡过程为衰减振荡过程。显然，控制过程就是克服和消除干扰的过程。系统受到一个扰动以后能否在控制器的控制作用下再稳定下来，克服扰动回到设定值的准确性和快慢程度是评价系统的重要标志。通常可以用以下几个指标来衡量。

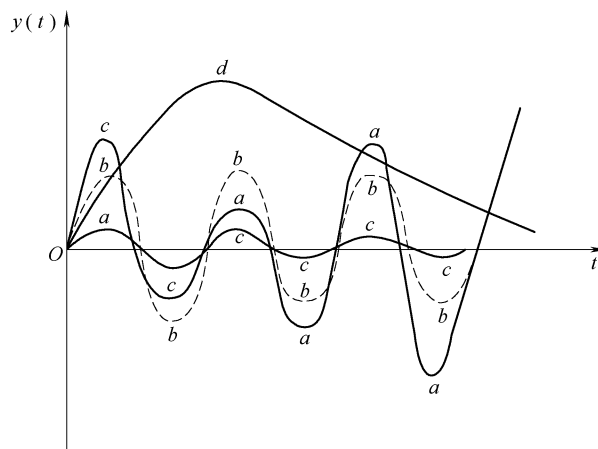


图 图 几种不同的过渡过程

### 衰减比

由图 图可以看出，第一、二两个周期的振幅  $M_1$  与  $M_2$  的比值充分反映了振荡衰减的程度，称为衰减比  $\lambda$ ，即  $\lambda = M_1 / M_2$ 。

衰减比  $\lambda$  表示曲线变化一个周期后的衰减快慢，一般用  $\lambda$  表示。在实际控制中，衰

远

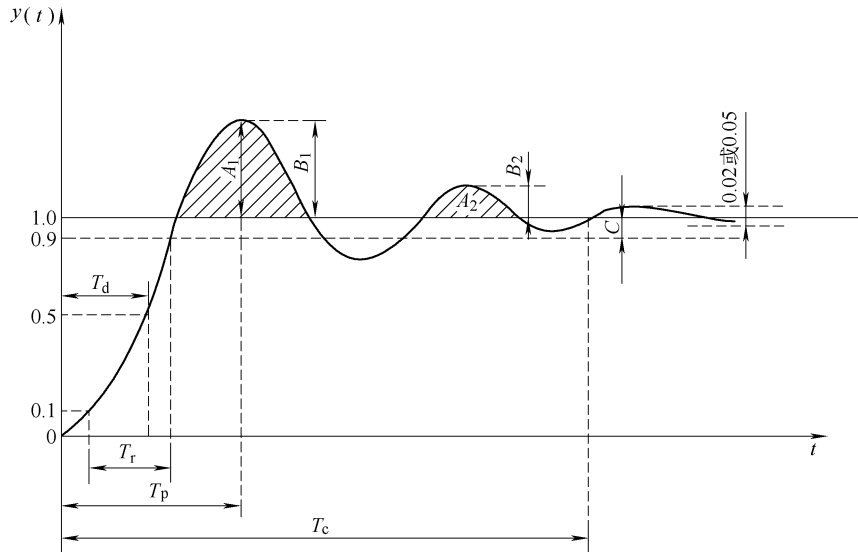


图 1-1 过渡过程的品质指标

比习惯采用衰减比，但对于像温度控制这样变化缓慢的过程，衰减比的衰减比显得振荡过甚，是不适宜的，而采用衰减比，效果可能会更好一些，因此衰减比需根据不同的对象来选取。

### 动态偏差

扰动发生后，被控量偏离稳定值或设定值的最大偏差称为动态偏差，也称为最大过调量，见图 1-1 中第一波峰  $B_1$ 。过渡过程到达此峰值的时刻称为峰值时间  $T_p$ 。如果动态偏差比较大，峰值时间又较长，这样的系统是不允许的。

### 调整时间 $T_c$

系统受到扰动后平衡状态被破坏，经控制器作用后，被控量返回到允许的范围之内。通常在稳定值的  $\pm 5\%$  (或  $\pm 2\%$ ) 以内，达到新的平衡状态所经历的时间，称为调整时间  $T_c$ ，也称为过渡过程时间或稳定时间。对于过阻尼系统，一般以响应曲线由稳定值的  $5\%$  上升到稳定值  $95\%$  所经历的时间称为上升时间  $T_r$ ，其中  $5\%$  一般为  $0.05$  或  $0.02$ ， $95\%$  一般取  $0.95$  或  $0.98$ 。对于欠阻尼的系统，一般从  $0$  算起，上升到  $95\%$  所经历的时间为上升时间。响应曲线第一次达到稳定值的  $5\%$  的时间称为延迟时间  $T_d$ 。响应曲线达到第一个峰值的时间称为峰值时间  $T_p$ 。

### 静态偏差

经控制器控制以后，系统被控量将在规定的小范围内波动，被控量与最大稳定值或设定值之差称为静态偏差或残余偏差，简称余差，见图 1-1 中的  $C$ ，它是系统的一个静态指标，它的大小根据生产工艺过程的实际需要制订。从控制质量而言，自然是余差越小越好，但余差订得过小，对系统要求就提高了，系统投资将增加。

## 习 题

1. 过程控制系统应该由哪些部分组成？

2. 什么是定值控制系统？什么是随动控制系统？以生产过程的实际例子说明两者的主要区别是什么？

罐生产对过程控制的要求是什么？其中什么是最重要的要求？

源图 题源所示为一简单的锅炉汽包水位控制系统的示意图。通过调节冷却水的流量来控制汽包水位保持不变。试画出该控制系统的功能图？并指出该系统中被控对象、被控变量和可能引起被控变量变化的干扰是什么？

缘某温度控制系统的给定值为 题源，在单位阶跃干扰下的过渡过程曲线如图 题源所示，试分别求出该过程的各项品质指标(最大偏差, 衰减比, 余差, 过渡时间)？

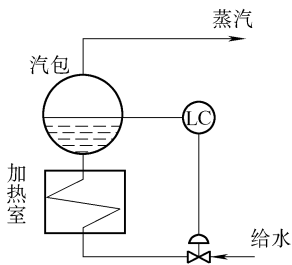


图 题源 习题 源图

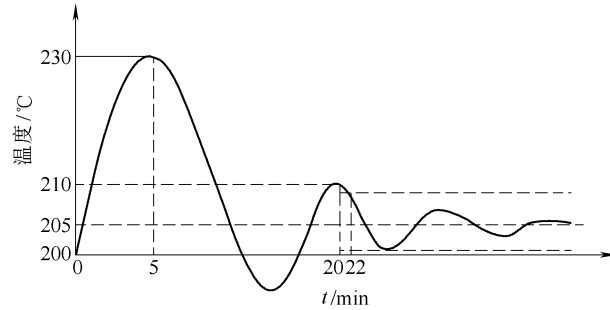


图 题源 习题 缘图

## 第二章 过程检测仪表

1958年 国际电工委员会(IEC)通过的标准规定,过程控制系统的模拟信号为直流电流源,电压信号为直流电压。我国的模拟型仪表规定采用国际标准信号制,现场传输信号用源,控制室内各仪表间的联络信号用电压。

使用单元组合仪表必须有统一的联络信号,目前我国电动单元组合仪表中并存着两种标准信号制度,在模拟型和数字型仪表中采用电压作为标准信号,而在数字型仪表中,采用目前国际上统一的源直流电流作为标准信号。电流传送,电压接收的并联制传输工作方式。采用直流信号的优点是传输过程中不受传输线中电感及负载电阻变化的影响,适于信号的远距离传送。对于要求电压输入的受信仪表和元件,只需在电流回路中串联电阻便可得到电压信号,故使用比较灵活。因为最小信号电流不为零,也为现场变送器实现两线制创造了条件。两线制是指现场变送器和控制室仪表联系仅用两根导线。这两根线既是电源线,又是信号线。这样不但节省了大量电缆线和安装费用,而且还有利于安全防爆。

在仪表过程检测、信号变送及调节系统中,可将其分为放置在现场的检测仪表(俗称一次仪表)与放置在仪表控制室内的过程通道信号处理及调节仪表(俗称二次仪表)。本章将介绍常见的检测仪表的工作原理。

### 第一节 温度检测仪表

温度是一个很重要的物理量,是工业生产、设备运行中的主要工艺参数。物体的许多物理现象和化学性质都与温度有关,大多数生产过程均是在一定温度范围内进行的。温度的正确测量是保证生产正常进行、确保产品质量和安全生产的关键环节。

#### 一、概述

##### 温度标

温度是表示物体冷热程度的物理量。用来度量物体温度高低的标尺叫做温度标尺,简称温标,温标是将温度数值化的一套规则和方法,它规定了温度的起点和测量温度的基本单位。

历史上曾有过许多温标,至今仍被各国使用的有华氏、摄氏和热力学温标。

它们的符号、单位与定点温度值列于表 2-1 中。

表 2-1 常用的温度及单位

温标名称	符号	单位	绝对零点	冰融点	水沸点	水沸点与冰融点间的等分
华氏	F	°F	273.15	32	212	180
摄氏	°C	°C	273.15	0	100	100
热力学	K	K	0	273.15	373.15	273.15

### 温度检测仪表的分类

根据测温方式，可将测温仪表分为接触式与非接触式两大类。

(员) 接触式测温仪表 任意两个冷热程度不同的物体接触时，必然发生热交换。热量将由温度较高的物体传向温度较低的物体，直到两物体的冷热程度达到热平衡状态。根据这一原理，可选择某一物体同被测物体相接触来测量该物体的温度。而所选物体的某一物理性质必须是连续地、单值地随温度变化而变化，并且复现性好。

接触法测温的准确性较高，应用广泛，但因感温部件与被测物体之间产生的热传递会存在一定的测量时滞，快速响应方面受到一定的限制，对于一些热容量较小的被测对象，还会因传热而破坏被测对象原有的温度场。测温上限也受到感温材料耐温性能的限制。

(圆) 非接触式测温 非接触式测温目前在工业上还是以辐射式测温为主。这种测温方法使测温元件不与被测温物体直接接触，由于它是通过热辐射来测温，所以不会破坏被测物质原有的温度场，反映速度快。但它受被测物体热辐射率及环境因素，如被测物体与仪表间的距离、烟尘、水汽和测温范围等因素限制，当使用不当时，会引起额外的测量误差。

工业测温仪表的分类及特性见表 圆圆

表 圆圆 常用测温仪表的分类及性能

测温方式	测温计类型	测温原理	常用测温范围 轳	主要特点
接触式	膨胀式温度计： 液体膨胀式 固体膨胀式	利用液体(水银、酒精等)或固体(金属片)受热时产生热膨胀的特性	原圆圆~ 圆圆	结构简单，指示清楚，读数方便、适用于就地测量、不能远传
	压力表式温度计： 气体式 液体式 蒸汽式	利用封闭在一定容积中的气体、液体在受热时体积或压力变化的性质	原圆圆~ 圆圆	结构简单，具有防爆性，适宜近距离传送，时间滞后较大。
	热电阻温度计	利用导体或半导体的电阻值随温度变化的性质	一般 原圆圆~ 圆圆	准确度高，能远距离传送，适用于低、中温测量，需外加电源
	热电偶温度计	利用金属的热电效应	一般 原圆圆~ 圆圆	测温范围大、能远距离传送，适用于中、高温测量
非接触式	辐射式温度计	利用物体辐射能随温度变化的性质	一般 圆圆以上	适用于不宜直接接触测温的场合

## 二、热电偶温度计

热电偶外观如图 圆圆所示。热电偶温度计是以热电效应为基础的测温仪表。它用热电偶作为传感器，把被测的温度信号转换成电动势信号，经连接导线再配以毫伏级电压信号的显示仪表或变送仪表实现温度的测量与变送。

热电偶温度计能测量较高的温度，测量范围宽；便于远距离传送；性能稳定、准确可靠；结构简单、维护方便；热容量和热惯性较小，可用来测量点的温度。所以，在工业生产和科学研究中应用非常广泛。