

普通高等教育机电类规划教材

过程控制系统及仪表

东南大学 邵裕森 主编
浙江丝绸工学院 巴筱云

机械工业出版社



普通高等教育机电类规划教材

过程控制系统及仪表

东南大学	邵裕森	主编
浙江丝绸工学院	巴筱云	
浙江工学院	王光云	主审



机械工业出版社

本书在介绍生产过程中自动检测、自动控制仪表的工作原理/使用要求后,重点介绍了各种过程控制系统的分析、设计、参数整定及系统应用问题。书中除叙述了常用过程控制系统外,还对时间滞后、多变量解耦等控制问题进行了较详尽的分析与讨论。计算机控制是控制系统的发展方向,书中介绍了工业控制机的特点及应用,并较全面地阐述了集散控制系统(DCS)的几种典型结构形式。

为加强工程实用性,本书各章均介绍了一定数量的工程应用实例。通过实例把过程控制理论与生产实践中的问题紧密地结合起来。为帮助读者掌握各章内容,在各章之后留有一定量的思考题与习题。全书内容新颖、丰富、注重应用。

本书是高等工科院校工业电气自动化专业必修课教材,也可供电力、化工、冶金、炼油、造纸、纺织、食品等部门从事过程控制工作的广大工程技术人员和大专院校有关专业师生参考。

过程控制系统及仪表

(重排本)

东南大学 邵裕森 主编
浙江丝绸工学院 巴筱云

*
责任编辑:林勇 贡克勤 版式设计:胡金瑛
封面设计:郭景云 责任校对:申春香
责任印制:路琳

*
机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)
邮政编码:100037
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)
北京市密云县印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*
开本 787mm×1092mm¹/₁₆·印张 19.75·插页 1·字数 484千字
1999年5月第1版第4次印刷
印数 14 701—18 700 定价:25.00元

*
ISBN 7-111-04018-X/TP·201 (课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

本书是根据 1991 年 8 月和 1992 年 12 月全国高等工业学校工业电气自动化专业教学指导委员会第四次、第五次全委会的精神和《过程控制系统及仪表》课程基本要求所确定的编写大纲编写的。它是工业电气自动化专业的一门必修课教材。也可供各工业部门从事过程控制工作的工程技术人员和大专院校其它相关专业的师生参考。

本书根据工业生产过程的特点,联系国内生产实际和国内外先进技术,贯彻了应用自动控制理论分析和设计过程控制系统的原则,以及理论密切结合工程实际的基本问题,注意前后课程的衔接,内容上突出重点,在叙述过程检测控制仪表内容时,以新为主。全书以过程控制系统为主体,重点介绍了系统分析、设计、参数整定方法,以及工业应用中必须注意的问题。

计算机控制是控制系统的发展方向。本书在介绍了控制机的特点、系统构成、典型应用方式、控制算法的工程实现内容后,较全面地介绍了集散控制系统(DCS)的几种典型结构形式。本书除叙述了常用的过程控制系统内容外,还较详尽地介绍了时间滞后控制系统、多变量控制系统等内容。因此它反映了过程控制技术的先进性、工程性和实用性。

本书内容除绪论外共分十一章。其中包括:第一章过程参数检测仪表和变送器,第二章过程控制仪表,第三章被控过程的数学模型,第四章单回路控制系统设计,第五章串级控制系统,第六章前馈及复合控制系统,第七章时间滞后控制系统,第八章多变量过程控制系统,第九章其它过程控制系统,第十章过程控制系统实例简介,第十一章过程控制系统中的计算机应用。每章后均列有思考题与习题。其中绪论、第二、三、四、五、九、十一章由东南大学邵裕森副教授编写;第一、六、七、八、十章由浙江丝绸工学院巴筱云副教授编写。

全书由浙江工学院王光云副教授主审,参加审稿的还有浙江大学陶志良副教授和陕西机械学院侯志林副教授。他们提出了许多宝贵意见,对提高本教材的质量起了重要作用,对此表示衷心的感谢。

在本书编写过程中得到了专业教学委员会副主任委员陈伯时教授和委员潘铁宝教授、赵家璧教授的热情关怀和指导,特此一并致谢。

本书规定的教学时数为 70 学时,其中包括 5 学时实验。

由于编者水平有限,对于书中存在的缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

1993 年 5 月

目 录

前言		
绪论	1	
第一节 过程控制系统的组成及分类	1	
第二节 过程控制的特点	3	
第三节 控制系统的控制质量指标	4	
第四节 过程控制的发展简况	6	
思考题与习题	7	
第一章 过程参数检测仪表和 变送器	8	
第一节 自动检测仪表的原理性组成	8	
第二节 测量误差与仪表的精度等级	10	
第三节 温度的检测与变送	15	
第四节 压力、流量、液位的检测与 变送	37	
第五节 成份自动分析仪表	52	
第六节 可观测性分析用于检测点的 选取	57	
思考题与习题	60	
第二章 过程控制仪表	63	
第一节 概述	63	
第二节 DDZ-III型调节器	63	
第三节 执行器	72	
第四节 数字式控制仪表	82	
思考题与习题	105	
第三章 被控过程的数学模型	107	
第一节 概述	107	
第二节 建立机理模型	109	
第三节 试验建模——过程辨识与参数 估计	114	
第四节 被控过程动态特性的计算机 仿真	136	
思考题与习题	137	
第四章 单回路控制系统设计	139	
第一节 概述	139	
第二节 选择被控参数和控制参数	140	
第三节 系统设计中的测量变送问题	146	
第四节 调节阀(执行器)的选择	149	
第五节 调节器的选择	150	
第六节 单回路控制系统投运	152	
第七节 调节器参数整定	153	
第八节 单回路控制系统设计原则应用 举例	160	
思考题与习题	163	
第五章 串级控制系统设计	165	
第一节 基本概念	165	
第二节 串级控制系统的特点与分析	167	
第三节 串级控制系统的工业应用及 示例	172	
第四节 串级控制系统的设计	175	
第五节 串级控制系统调节器参数的 整定	177	
思考题与习题	179	
第六章 前馈及复合控制系统	181	
第一节 前馈控制的基本概念	181	
第二节 前馈控制系统的几种结构 形式	185	
第三节 前馈控制系统的稳定性	192	
第四节 前馈控制的选用原则	193	
第五节 前馈控制系统的工程整定	197	
第六节 前馈控制系统工业应用举例	199	
思考题与习题	203	
第七章 时间滞后控制系统	204	
第一节 改进型常规控制方案	205	
第二节 大滞后过程预估补偿方案	207	
第三节 采样控制方案	219	
第四节 时间滞后系统三种控制方案的 综合比较	221	
思考题与习题	222	
第八章 多变量过程控制系统	223	
第一节 多变量系统中的耦合与解耦	223	
第二节 相对增益	226	
第三节 耦合控制系统的解耦设计方法	235	
第四节 多变量解耦控制系统实现中的 问题	245	

第五节 应用举例	247	第四节 常规控制算法在工程实现中的 有关问题	281
思考题与习题	251	第五节 集散控制系统 (DCS)	285
第九章 其它过程控制系统	252	第六节 计算机应用举例	293
第一节 比值控制系统	252	思考题与习题	298
第二节 均匀控制系统	255	附录	300
第三节 分程控制系统	259	附录 A 铂铑 ₁₀ -铂热电偶分度表 (自由端 温度为 0℃) (S)	300
第四节 选择性控制系统	263	附录 B 镍铬-考铜热电偶分度表 (自由端 温度为 0℃) (E)	300
思考题与习题	266	附录 C 铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶分度表 (自 由端温度为 0℃) (B)	301
第十章 过程控制系统实例简介	269	附录 D 镍铬-镍硅 (镍铝) 热电偶分度表 (自由端温度为 0℃) (K)	301
第一节 电厂燃煤锅炉的控制	269	附录 E 关于执行器 (调节阀) 的型号编制 及选型	302
第二节 精馏塔控制系统	273	参考文献	307
第十一章 过程控制系统中的计算机 应用	278		
第一节 控制机的特点	278		
第二节 微机过程控制系统的构成	279		
第三节 微机过程控制系统典型的应用 方式	280		

绪 论

第一节 过程控制系统的组成及分类

一、过程控制系统的组成

过程控制系统一般指工业生产过程中自动控制系统的被控变量是温度、压力、流量、液位、成份等这样一些变量的系统。

在冶金、机械、石油、化工、电力、轻工等工业部门中，锅炉是一种不可缺少的动力设备。下面以发电厂锅炉过热蒸汽温度控制为例，介绍过程控制系统的组成。

图 0-1 所示，在发电厂里，从锅炉锅筒出来的饱和蒸汽经过过热器继续加热成为过热蒸汽。通常过热蒸汽温度达到 460°C 左右时再去推动汽轮机工作。每种锅炉与汽轮机组都有一个规定的运行温度，在这个温度下运行机组的效率最高。如果过热蒸汽温度过高，会使汽轮机的寿命大大缩短；如果温度过低，当蒸汽带动汽轮机作功时，会使部分蒸汽变成小水滴，冲击汽轮机叶片，易造成生产事故。因此过热蒸汽温度是其生产过程中的一个重要的工艺参数，是保证汽轮机组正常运行的一个重要条件，必须对其进行控制。通常是在过热器之前或中间部分串接一个减温器，通过控制减温水流量的大小来改变过热蒸汽的温度，故设计了图示温度控制系统。本系统采用 DDZ - III 型电动单元组合仪表。即用热电阻温度计 1 检测过热蒸汽的温度，经温度变送器 2 将测量信号送至调节器 3 的输入端，并与代表过热蒸汽温度的给定值进行比较得到偏差，调节器按此偏差以某种控制规律进行运算后输出控制信号，来控制调节阀 4 的开度，从而改变减温水的流量，以达到控制过热蒸汽温度的目的。

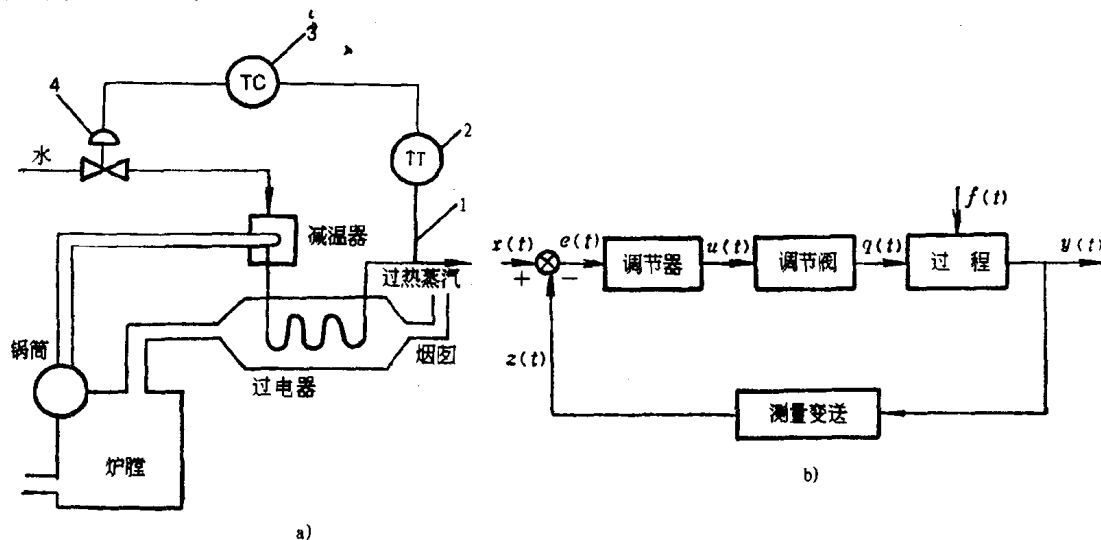


图 0-1 过热蒸汽温度控制系统

a) 控制流程图 b) 方框图

1—热电阻温度计 2—温度变送器 3—调节器 4—调节阀

为了便于应用控制理论分析过程控制系统，需将图 0-1a 所示的控制流程图画成方框图 b。图中每个方框表示组成该系统的一个环节，两个方框之间的一条带有箭头的连线表示信号传递方向，但不表示方框之间的物料联系。图中测量元件、变送器、调节器、调节阀等各环节是单向作用的。即环节的输入信号只能影响输出信号，但输出信号不会反过来去影响输入信号。

图 0-1b 中的“过程”方框表示检测温度的热电阻到调节阀之间的管道设备。 $y(t)$ 表示过热蒸汽的温度，是本过程控制系统中的被控参数，即“过程”的输出信号。在本例中进入过热器的烟道气温度以及环境变化(如刮风、降温)情况都是引起被控参数波动的外来因素，在过程控制中称为扰动作用，用 $f(t)$ 来表示。它也是“过程”的输入变量。减温水流量的改变是由于调节阀动作所致，它也是影响过热蒸汽温度变化的因素，调节阀方框的输出信号，用 $g(t)$ 表示。可称其为操作变量(也称控制参数)，它体现终端控制作用。调节器的输出 $u(t)$ 称为控制作用。它也是调节阀的输入信号。测量元件和变送器的作用是把被控参数 $y(t)$ 转换为测量值 $z(t)$ 。

由图 0-1b 所示的系统方框图可知，过热蒸汽温度控制系统是由测量元件、变送器、调节器、调节阀、被控过程等环节组成。如果把测量元件、变送器、调节器和调节阀统称为过程检测控制仪表，则一个简单的过程控制系统是由被控过程和过程检测控制仪表两部分组成。

在生产过程中，由于扰动是不断发生的，控制作用也在不断地进行。如因某种扰动使过热蒸汽温度下降时，测量元件(热电阻)和变送器将温度测量出来，送至调节器的输入端，并与给定值进行比较得到偏差，调节器按此偏差并以某种控制规律发出相应的控制信号，去关小调节阀的开度，使减温水流量减小，从而使过热蒸汽温度逐渐上升，并趋向于给定值。

二、过程控制系统的分类

过程控制系统的分类方法很多，若按被控参数的名称来分，有温度、压力、流量、液位、成份等控制系统。按系统完成的功能来分，有比值、均匀、分程和选择性控制系统。按被控变量的多少来分，有单变量和多变量控制系统。按采用常规仪表和计算机来分，有常规过程控制系统和计算机过程控制系统等。但是最基本的分类方法有下列几种。

(一) 按系统的结构特点来分

1. 反馈控制系统

反馈控制系统是根据系统被控量与给定值的偏差进行工作的，偏差值是控制的依据，最后要达到减小或消除偏差的目的。图 0-1 所示的过热蒸汽温度控制系统就是一个反馈控制系统。因为该系统由被控量的反馈构成一个闭合回路，所以又称为闭环控制系统。反馈控制系统是过程控制系统中的一种最基本的控制形式。另外，反馈信号也可能有多个，从而可以构成多个闭合回路，称为多回路控制系统。

2. 前馈控制系统

前馈控制系统是根据扰动量的大小进行工作的，扰动是控制的依据。由于前馈控制没有被控量的反馈，因此也称为开环控制系统。

图 0-2 所示为前馈控制系统方框图。扰动 $f(t)$ 是引起被控量 $y(t)$ 变化的原因，通过前馈控制可以及时消除扰动 $f(t)$ 对被控量 $y(t)$ 的影响。但是，由于前馈控制是一种开

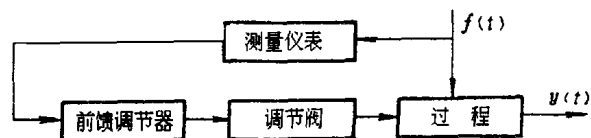


图 0-2 前馈控制系统方框图

环控制，最终无法检查控制的效果，所以在实际生产过程中是不能单独采用的。

3. 复合控制系统(前馈-反馈控制系统)

图 0-3 所示为复合控制系统方框图。前馈控制的主要优点是能及时迅速克服主要扰动对被控变量的影响。反馈控制又能检查控制的效果。所以，在反馈控制系统中引入前馈控制，构成复合控制系统，从而可以提高控制质量。

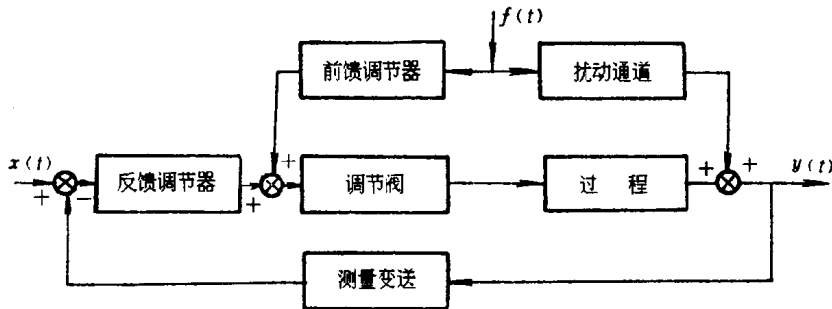


图 0-3 复合控制系统方框图

(二) 按给定值信号的特点来分

1. 定值控制系统

定值控制系统是工业生产过程中应用最多的一种过程控制系统。在运行时，系统被控量(温度、压力、流量、液位、成份等)的给定值是固定不变的。有时根据生产工艺要求，被控量的给定值保持在规定的范围附近不变。如图 0-1 所示的过热蒸汽温度控制系统就是一个定值控制系统。对于定值控制系统来说，由于 $\Delta x = 0$ ，所以系统的输入是扰动信号。

2. 随动控制系统

随动控制系统是一种被控量的给定值随时间任意变化的控制系统。它的主要作用是克服一切扰动，使被控量随时跟踪给定值。例如，在锅炉燃烧控制系统中，要求空气随燃料量的变化而成比例变化，保证燃料经济地燃烧，而燃料量则随负荷而变，其变化规律是任意的，这就是随动控制系统。

3. 顺序控制系统

顺序控制系统是被控量的给定值按预定的时间程序来变化的控制系统。例如，机械工业中的退火炉的温度控制系统，其给定值是按升温、保温和逐次降温等程序变化的，这就是顺序控制系统。

第二节 过程控制的特点

与其它自动控制系统相比，过程控制的主要特点是：

一、系统由过程检测控制仪表组成

由上所述，过程控制系统是由被控过程和过程检测控制仪表组成的。过程控制主要是利用气动仪表、电动仪表、组装式仪表，智能仪表和计算机等自动化技术工具来实现生产过程的自动化。包括计算机(把计算机看成一台仪表)在内的这些仪表都是工业上系列生产的。在现代工业生产过程中，其被控过程十分复杂，特性各异。为了设计系统方便并能达到预期的控制效果，必须根据生产工艺要求，应用控制理论和控制技术，通过选用过程检测控制仪表

构成过程控制系统。同时通过对系统调节器参数的整定,使其运行在最佳状态,实现对生产过程的最佳控制。

二、被控过程的多样性

在工业生产过程中,由于生产规模大小不同,工艺要求各异,产品品种多样,因此,过程控制中的被控过程的形式很多,有些生产过程是在较大的设备中进行,它们的动态特性一般具有惯性大、滞后大的特点,而且具有非线性特性。例如,石油化工过程中的精馏塔、化学反应器、流体传输设备;热工过程中的锅炉、热交换器、动力核反应堆;机械工业中的热处理炉;冶金过程中的平炉、转炉等。这些过程的工作机理比较复杂,很难用解析方法求得其精确的动态数学模型,要设计能适应各种不同过程的过程控制系统是比较困难的。

三、控制方案的多样性

随着现代工业生产的迅速发展,生产工艺的条件变得越来越复杂,对过程控制的要求也越来越高。同时由于被控过程的多样性,而且多半属多变量、非线性变量、分布参数和时变参数,因此过程控制中应用的控制方案的种类和内容十分丰富,有单变量控制系统,也有多变量控制系统;有常规仪表控制系统,也有计算机过程控制系统。本书就要介绍单回路、串级、前馈-反馈、比值、均匀、分程、选择性、时滞、多变量、数字和计算机过程控制系统。

四、过程控制的控制过程属慢过程、多半属参量控制

由于被控过程具有大惯性和大滞后的特点,所以决定了控制过程是一个慢过程。另外,在一些生产过程中(如石油、化工、冶金、电力、轻工、建材等),通常是用一些物理量和化学量来表征其生产过程是否正常,因此需要对表征生产过程的温度、压力、流量、液位、成份等过程参量进行控制。过程控制多半为参量控制。

五、定值控制是过程控制的一种主要控制形式

在石油、化工、冶金、环保、轻工等工业部门中,控制的主要目的是在于如何减小或消除外界扰动对被控量的影响,使生产稳定。定值控制是一种主要的过程控制形式。

第三节 控制系统的控制质量指标

一个控制性能良好的过程控制系统,在受到外来扰动作用或给定值发生变化后,应平稳、迅速、准确地回复(或趋近)到给定值上。在衡量和比较不同的控制方案时,必须定出评价控制性能好坏的性能指标。控制性能指标是要根据生产工艺过程的实际需要确定的,通常采用以下两种性能指标:

一、系统阶跃响应曲线的性能指标

图 0-4 和图 0-5 分别为定值控制系统和随动控制系统的阶跃响应过渡过程曲线。常用的主要性能指标有:

(一) 余差(静态偏差) C

余差是指系统过渡过程终了时给定值与被控参数稳态值之差。它是一个重要的静态指标,一般要求余差不超过预定值或为零。

(二) 衰减率 Ψ

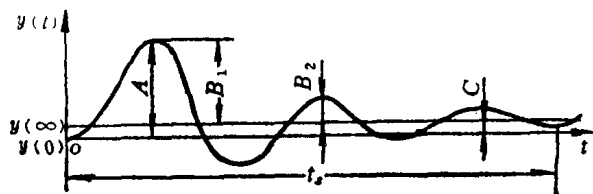


图 0-4 定值系统阶跃扰动的响应曲线

衰减率是衡量系统过渡过程稳定性的一个动态指标。它可定义为

$$\Psi = \frac{B_1 - B_2}{B_1} = 1 - \frac{B_2}{B_1} \quad (0-1)$$

根据 Ψ 的定义可知, Ψ 值的大小可确定系统的稳定程度。在工程实践中, 应根据生产过程的特点来确定适宜的 Ψ 值。为了保持系统足够的稳定程度, 一般取衰减率 $\Psi = 0.75 \sim 0.9$ 。

(三) 最大偏差 A (或超调量 σ)

对于定值系统来说, 最大偏差是指被控参数第一个波的峰值与给定值的差, 如图 0-4 中的 A ; 随动系统通常采用超调量指标, 即

$$\sigma = \frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} 100\% \quad (0-2)$$

最大偏差 (或超调量) 是表示被控参数偏离给定值的程度, 所以是衡量系统质量的一个重要指标。

(四) 过渡过程时间 t_s

过渡过程时间是指系统从受扰动作用时起, 直到被控参数进入新的稳定值 $\pm 5\%$ 的范围内所经历的时间。过渡过程时间的大小, 表示过程控制系统的过渡过程的快慢, 是衡量控制快速性的指标。通常要求 t_s 愈短愈好。

应该说明, 上述性能指标之间是相互矛盾的。当一个系统的稳态精度要求很高时, 可能会引起动态不稳定; 解决了稳定问题之后, 又可能因反应迟钝而失去快速性。所以对于不同的控制系统, 这些性能指标各有其重要性。要高标准地同时满足这些指标的要求是很困难的。因此, 应根据工艺生产的具体要求, 分清主次, 统筹兼顾, 保证优先满足主要的质量指标要求。

二、偏差积分性能指标

偏差积分性能指标是以目标函数形式表示的。常用的有:

(一) 偏差绝对值积分 (IAE)

$$J = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \rightarrow \min \quad (0-3)$$

(二) 偏差绝对值与时间乘积的积分 (ITAE)

$$J = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \rightarrow \min \quad (0-4)$$

(三) 偏差平方值积分 (ISE)

$$J = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min \quad (0-5)$$

(四) 时间乘偏差平方积分 (ITSE)

$$J = \int_0^{\infty} t e^2(t) dt \rightarrow \min \quad (0-6)$$

上述各种积分性能指标都有一定的局限性。例如:

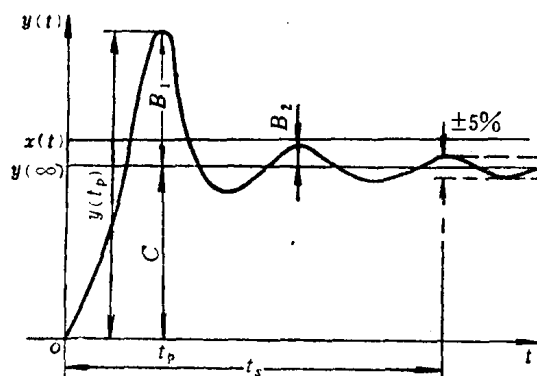


图 0-5 随动系统阶跃给定的响应曲线

① 式(0-3)表示, 当这个积分为最小值时, 系统为最优。

式(0-3)所示性能指标只能适用于衰减和无静态偏差的控制系统。不易用分析方法来求值, 但用计算机运算是很方便的。

② 式(0-4)表示偏差积分面积用时间来加权。对于同样的偏差积分面积, 由于过渡过程中出现对时间 t 的差异, J 值是不同的。出现时间 t 越早, J 越小; 反之亦然。阶跃响应曲线的超调量较小, 过渡过程时间较短, 但用分析法求值是很困难的。

③ 式(0-5)不受式(0-3)那种应用限制。但往往使调节过程出现偏差小、波动次数多的情况。用分析和实验方法来计算该积分比较容易。

④ 式(0-6)着重权衡瞬态响应后出现的误差, 比式(0-5)准则有较好的选择性。

在实际工作中具体选用何种性能指标, 必须根据系统的性能和生产工艺要求进行综合后确定。

第四节 过程控制的发展简况

在现代工业生产过程自动化中, 作为自动控制技术的过程控制是极其重要的组成部分。根据过程的特点与生产工艺要求, 实现过程控制的目的与要求可归纳为: 抑制外界扰动的影响; 确保过程的稳定性; 使生产过程的工况最优化。

回顾工业生产过程自动化的发展历程, 在 20 世纪 40 年代前后, 大多数工业生产过程均处于手工操作状态。当时人们主要是凭经验由人工去控制生产。生产过程中的关键参数靠人工观察, 生产过程的执行靠人工去执行。那时的劳动条件很差, 生产效率很低。

40 年代后, 工业生产过程控制经历了下述几个阶段。

一、仪表化与局部自动化(50~60年代)阶段

这一阶段的主要特点是: 采用的过程检测控制仪表为基地式仪表和部分单元组合式仪表, 而且多数是气动仪表。

过程控制系统的结构方案绝大多数是单输入-单输出的单回路定值控制系统, 逐步开发应用串级控制系统。

过程控制的主要工艺参数为温度、压力、流量、液位等热工参数。

过程控制的主要目的是保持工业生产过程的稳定, 减少或消除生产过程中的主要扰动。

过程控制系统设计、分析的理论基础是经典控制理论中的根轨迹法和频域法。

二、综合自动化(60~70年代中期)阶段

在这一阶段中, 工业生产过程出现了一个车间甚至于一个工厂的综合自动化, 其主要特点是: 采用的过程检测控制仪表是单元组合式仪表(QDZ 和 DDZ 仪表)和组装式仪表, 并逐步采用数字计算机以及以微处理器为基础的集散控制系统。

在过程控制系统结构方案的开发和应用方面, 相继出现了各种复杂的常规控制系统和计算机控制系统, 如均匀控制、比值控制、前馈控制、分程控制、选择性控制、多变量控制和 DDC 控制等。

过程控制的主要目的是提高控制质量, 或实现特种要求。

过程控制系统设计的理论基础, 由经典控制理论发展到现代控制理论。

在这一时期，数字计算机开始应用于过程控制领域，如闭环计算机监控系统(SCC)、DDC系统、SPC系统，从而引起了过程控制技术的重大变化，实现了局部最优化，推动了过程控制的新发展。

三、全盘自动化(70年代中期至今)阶段

在这一阶段里，现代工业生产过程自动化的程度很高，实现了全车间、全厂、甚至全企业无人或很少人参与操作管理，实现了过程控制最优化与现代化的集中调度管理相结合的方式。其主要特点是：

新型过程检测控制仪表的开发和应用，如成份在线检测与数据处理；智能化仪表的开发和应用；微型计算机的开发和应用等。

新型过程控制系统的研究、开发和应用，由单变量控制系统发展到多变量控制系统；由PID控制规律发展到各种特殊的控制规律；由生产过程的定值控制发展到最优控制、自适应控制；由仪表控制系统发展到智能化的计算机分布式控制系统等。

在控制理论的应用方面，现代控制理论移用到过程控制领域。如状态空间分析，系统辨识与状态估计，最优滤波与预报等。

有人预言，如果80年代过程控制是以分散控制、局部高级控制和局部最优控制为代表的话，则90年代将以开发多变量动态模型和多变量动态分析为中心，向着实现高级控制、最优控制发展。在最优控制方法方面，分散控制系统会全面应用。在各种控制中将普遍使用微机。到2000年，将以系统化为主，实现超自动化，过程模型、控制方法等实现高度结合。在过程控制中将实现在线自动检测动态特性，自动构成控制模型，自动决定控制参数，自动调整软件，自动诊断检查和安全处理异常事故，自动开车、停车等。

思考题与习题

1. 什么是过程控制系统？
2. 试举例说明过程控制系统的组成。
3. 过程控制系统最基本的分类方法有哪几种？什么是定值控制系统？其输入量是什么？
4. 与其他自动控制系统相比，过程控制有哪些主要特点？
5. 在某生产过程中，要求其流量控制在某一个值上，故设计图0-6所示系统。试画出流量控制系统的方框图，并指出被控过程，被控参数和控制参数。
6. 试述评价过程控制系统的控制质量指标。
7. 简述过程控制的发展简史。

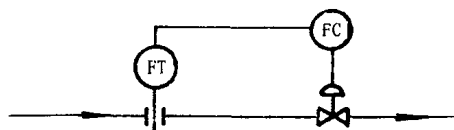


图 0-6 流量控制

第一章 过程参数检测仪表和变送器

在人们认识客观事物本质的过程中，“测量”是首先遇到的问题之一。所谓测量，就是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。这种实验过程，是利用一个已知的单位或基准量值与被测同类量进行比较的过程，通过比较，确定出被测量是已知单位量的若干倍或几分之几，从而使人们对事物获得定量的概念，以此判定事物的状态差别，进而发现事物运动的规律性。

由此可见，测量过程应该包括三个重要内容：一是确定测量单位；二是确定测量方法，即被测量与其单位进行比较的最佳实施方法；三是选取合适的测量仪器、设备。这三个方面将是本章重点介绍的内容。

众所周知，为了指导生产的正确操作，确保生产过程安全、可靠和经济地运行，因而，准确、及时地掌握描述生产过程特性的各种参数是十分重要的。通常，把这种对生产过程含有检查、了解等比较广义的测量叫做检测。然而“测量”、“检测”以及“计量”等词的含义，在工程实际中，并无严格的区别。它们均对应着英文“measure”一词。

有必要对测量单位(基准值)做一说明：数值为1的某量就被称为是该量的测量单位。测量单位是人为定义的，因而它带有一定的地区性和习惯性。例如，质量的单位有千克、斤、磅、克、盎司、克拉等；长度的单位有米、市尺、英尺、海里、码等。单位的不统一和混乱，不仅在世界各国，就是在一个国家的内部也是存在的，它给人们的生活、生产和科学技术的发展带来极大的不便和困难。因此，测量单位必须予以统一。我国从1986年起已在公开出版的书刊中统一使用了法定计量单位，即“国标”。并于1990年1月1日起在中华人民共和国境内将一切生产、生活中使用的计量单位均统一到国标上来，同时废止过去习惯上所沿用的旧计量单位。本书在各章节中，均统一采用国标单位及符号。

第一节 自动检测仪表的原理性组成

几乎所有过程参数(如温度、压力、流量、气体成分……)的大小是不能通过人的感官直接感觉出来的。如人体对很高或很低的温度及压力的感觉，均近似为指数规律。为了把它们变成人们能定量判断的信息，就必须借助于一系列的转换机构，即通过自动检测仪表来进行参数的检测。只有精确、及时地将生产过程中各参数检测出来，并转换成容易传送和便于处理、显示的信号，整个自动化系统才能正常地工作。因此，自动检测是自动化技术不可缺少的重要内容之一。由此，自动化仪表又常被称之为“工业的眼睛”。

自动化仪表种类繁多、功能各异，其构成原理、线路也各不相同，有的结构甚至相当复杂。但从其各部分的作用入手来剖析仪表的原理性组成，对我们了解所有自动检测仪表的组成是极为有益的，同时也将简化对仪表工作原理的了解并易于掌握仪表维修、安装方法等知识。

从原理上分析，自动检测仪表大多由三个部分组成，如图1-1所示。

一、传感器

传感器是检测仪表中的首要部件，它直接与被测对象发生联系(但不一定直接接触)。它

的作用是感受被测参数的变化，并发出与之相适应的信号。

传感器有时也被叫做“感受件”、“一次仪表”或“敏感元件”。

从图 1-1 可以看出，由于仪表的原理性组成属于串联结构。因此，其中任何一部分的性能均直接影响到仪表的性能。传感器也不例外，其动态及静态特性的好坏，直接影响着检测仪表的质量。

在选择传感器时，一般有 被测参数 → 传感器 → 中间部件 → 显示器 → 参数显示 如下三个要求：

图 1-1 自动检测仪表的原理性组成框图

(一) 高准确性

传感器应准确地感受并发出被测参数变化的信号。故传感器的输出信号与被测参数间必须呈严格的单值函数关系。

(二) 高稳定性

传感器的输出与被测参数间的单值函数关系不随时间或环境温度而变化，工艺上易于复制。

(三) 高灵敏度

当被测参数有微小变化时，传感器即有较明显的输出变化。

二、显示器

显示器是检测仪表的“显示部件”，工程上常叫做“二次仪表”。它的功能是将来自传感器的信号，以所需要的形式向观察者反映被测参数的数量变化。它的形式有：

(一) 指示式仪表

该仪表的读数反映被测参数的瞬时值。通常又有模拟显示及数字显示仪表之分。

(二) 记录式仪表

该仪表能自动地记录被测参数随时间的变化规律。

(三) 积算式仪表

该仪表的读数反映被测参数在一段时间内的累积量。

(四) 信号式仪表

该仪表反映被测参数是否处于允许限值内的工作情况，当参数越限时，及时发出声、光报警信号。

(五) 调节式仪表

该仪表是自动控制仪表中最简单的一种，也称“基地式仪表”。它不但给出被测参数的变化，而且根据参数的偏差直接发出控制命令，通过执行机构去干预生产的进行，以纠正被测参数的偏差。

有时一台仪表同时具有几种功能，如有的仪表既能指示又带记录、信号等功能；有时一台仪表能接受多个传感器传来的信号，轮流给予显示、记录等，如巡回检测仪。

三、中间部件

这里中间部件也就是指“连接件”或“变换器”。它的作用是直接将传感器(一次仪表)发出的信号，按规定的规范要求传输给显示器(二次仪表)。

中间件按其作用的不同，分为如下三种：

(一) 单纯的传递作用

当传感器发出的信号可以直接通过显示器显示时，中间件只起单纯的信号传递作用。如

信号管道或电缆等。

(二) 按比例传递

为满足远距离测量要求及提高信号功率，在驱动记录笔、打印架等工作时，需将传感器发出的信号，按比例放大后再进行传递。

(三) 信号形式的转换

当传感器所发出的信号与显示仪表所要求的输入信号形式不同时，需把传感器所发出的信号进行形式上的转换。此时的中间件又叫做“变送器”。

随着生产过程自动化水平的提高，尤其是集中控制的实现，远距离传送已成了检测中的普遍问题，所以中间件在仪表组成中的重要性变得越来越突出，结构与越来越复杂。通过中间件，可将不同类型的过程参数(温度、压力、流量、液位、角度、速度、位移等)的测量，均转换成统一的电动(或气动)信号，再远距离传送出去，此时可使用同一只或同种型号的二次仪表，显示出不同的被测参数。现代智能仪表功能的主要部分也正是在中间件实现的。

为了解仪表的上述三个原理性组成，现以图 1-2a、b、c 三种测量仪表为例，予以说明。

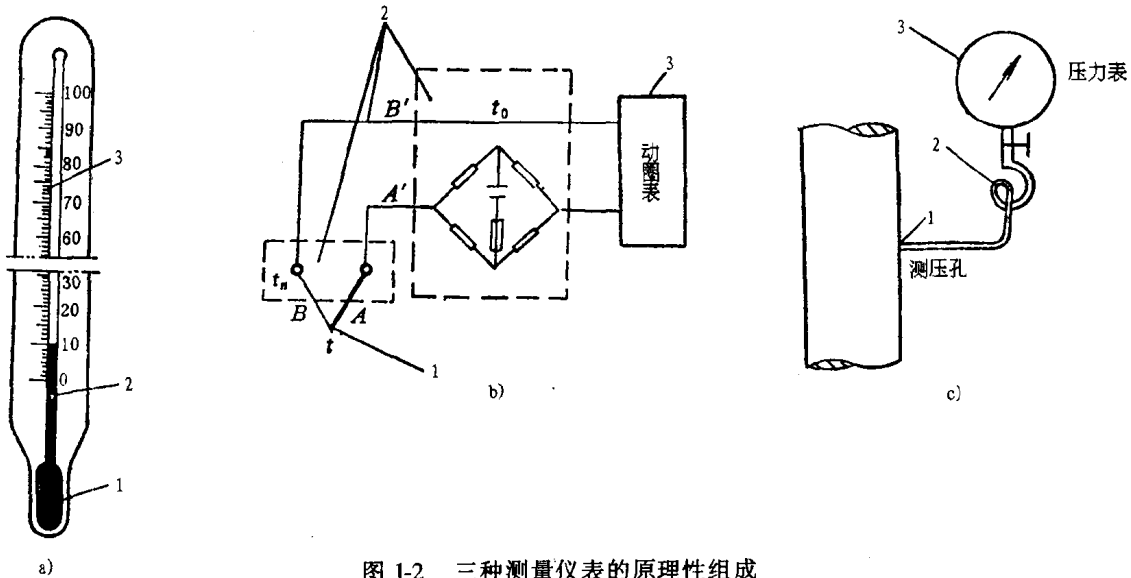


图 1-2 三种测量仪表的原理性组成

a) 玻璃液体温度计 b) 热电偶测温系统 c) 管道介质压力测量系统
1—传感器 2—中间件 3—显示件

由图 1-2 可见，无论实际的仪表(测量系统)是繁或简，其原理性组成均包含这三个部分无一例外。其区别仅在于各部分的内部结构不同。

第二节 测量误差与仪表的精度等级

在工程技术或科学研究中，对一个参数进行测量时，人们总要提出这样一个问题：所获得的测量结果是否就是被测参数的真实值？它的可信赖程度究竟如何？

诚然，测量的最终目的是为求得被测量的真值。可是人们对被测参数真值的认识，虽然随着实践经验的积累以及科学技术的发展会越来越接近，但是绝对达不到完全相等的地步，只能以不同的精度逼近真值。因而，测量值与真实值之间总是存在着一定的差别，这个差别就是测量误差。

目前有少数科技工作者在研究测量误差理论,其目的,一方面是要在认识和掌握误差规律的基础上,设计、制造出更准确的测量仪表;另一方面是为了指出测量仪表的正确使用方法,以指导测试工作的正确进行。

一、测量误差的分类

① 按误差出现的规律来分,可分为系统误差、随机误差、缓变误差、疏忽误差及粗大误差。

② 按误差出现的原因来分,可分为工具误差、方法误差。它们同属于系统误差。

③ 按误差本身因次来分,可分为绝对误差、相对误差和归算误差。

④ 按被测量与时间的关系来分,可分为静态误差、动态误差。

⑤ 按仪表使用条件来分,可分为基本误差、附加误差。

深入地了解误差理论,就能找到减小误差的方法,从而设计、制造出精度满足要求的仪表。但是针对一只已出厂的合格仪表来说,选表不当或使用有误,也同样达不到预期的测量效果。下面我们将结合给定的测量任务,讨论如何选取合适的仪表及怎样合理使用仪表的问题。

二、仪表的基本误差、精度等级及分度标准

仪表的基本技术指标是衡量仪表质量好坏的标准,也是正确选择和使用仪表所必须具备与了解的知识。下面仅讨论工业上最常用的一些指标。

(一) 仪表读数误差

为什么仪表的读数存在误差?除前面所提到的从被测参数到仪表读数间要经过传递、转换等过程可能造成读数与真实参数不一致,而存在读数误差外;还因为仪表都是批量生产、统一刻度的。但是,每个传感器及其使用条件又不可能完全一样,所以每只仪表均会在读数上出现不同的误差。这正是每只仪表在使用前必须进行校验的原因。

读数误差的实质,是仪表读数与被测参数真实值之差。但真实参数值也只有通过测量才能知道。所以,仪表的读数误差只能是读数与标准测量值之差,如式(1-1)所示。标准值将随科技水平的发展而更接近被测参数的真实值。

$$\Delta = M - A \quad (1-1)$$

式中 Δ ——读数绝对误差;

M ——仪表读数;

A ——读数的标准值。

仪表读数误差的求法是:用精确度高的标准仪表和实用测量仪表,在相同的条件下,对同一参数进行测量,然后进行数据的比较。这项工作就叫做仪表的校验。

实践证明,仅使用绝对误差往往无法给出合理的评断。因为若不考虑具体的使用情况,只知道了一读数上的绝对误差值,这对我们的工作不会有什么实际的指导意义,甚至会带来错误的结论。例如,读数的绝对误差是 $+5^{\circ}\text{C}$,由此并不能得出这只仪表测量是否准确的结论。如果这个 $+5^{\circ}\text{C}$ 的误差是在测量 540°C 的过热蒸汽温度时出现的,那么这只仪表的测量值是足够准确的,此时的误差对生产的影响不大;而如果这个 $+5^{\circ}\text{C}$ 的误差发生在人体温度的测量中,可想而知,将给病情的诊断带来多么大的混乱,这将是不能允许的。

因此,在实用中常采用更具有实际意义的相对值的概念,即

$$\delta = \frac{\Delta}{A} 100\% \quad (1-2)$$