

过程自动检测 与 控制技术

孙洪程 魏杰 王俭 编



化学工业出版社

TP274

112

2007

过程自动检测 与 控制技术



王俭 编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

过程自动检测与控制技术/孙洪程, 魏杰, 王俭编.
北京: 化学工业出版社, 2006.10
ISBN 978-7-5025-9332-2

I. 过… II. ①孙…②魏…③王… III. ①自动
检测②自动控制 IV. TP27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 125872 号

责任编辑: 刘 哲 宋 辉 装帧设计: 韩 飞
责任校对: 洪雅姝

出版发行: 化学工业出版社
(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京市兴顺印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张 9½ 字数 244 千字
2007 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在过程工业生产过程中，物料以流体形态在密闭的管路和容器中进行各种物质、能量的变化，生产过程中各个参数的变化是不能直接感受到的，因此，需要通过自动检测技术来获得生产过程中各种参数的变化。同时，生产过程中各个环节相互关联，有比较大的容量滞后存在，生产参数随时间连续变化。由于这些特点，生产过程中某个局部变化，往往影响其上、下游其他生产环节。如果只靠手工操作，显然不能满足生产需要，因此就需要采取自动控制技术对生产过程进行控制。

现代工业生产中自动检测技术与自动控制技术非常重要，没有这些技术保证，生产过程难以正常进行。这要求从事过程生产的技术人员，特别是工艺专业、设备专业技术人员要具备一定的自动化知识。尤其是在设计生产过程的时候，工艺人员需要考虑参数自动检测与自动控制问题，需要提出生产过程的整体控制方案，显然自动检测与自动控制技术是必不可少的。

过程自动化是自动化一个分支学科，需要了解控制理论、检测技术、自动化装置、计算机技术。本书中自动检测技术以介绍基本测量原理为主，辅以常见的传感器与变送器介绍。自动控制装置中介绍自动控制器、DCS 系统和 PLC 系统。书中还介绍了过程工业中常见的控制阀。过程控制系统以介绍基本控制方案为主，同时用一定篇幅介绍了自动控制工程设计过程，重点介绍设计标准、图例符号、设计过程、专业设计文件

交换等内容。

本书可作为具有初级水平的自控技术人员、非自动化专业技术人员的参考书，也可作为化学工程、环境工程、生物工程等专业的本科生教学参考。

由于编者水平所限，难免有不妥之处，请读者予以指正。

编者
2007. 1

目 录

第一章 概述	1
第一节 过程自动检测技术概述	2
第二节 过程自动控制概述	7
思考题	11
第二章 自动检测技术	13
第一节 温度检测与仪表	14
第二节 压力检测与仪表	23
第三节 物位检测与仪表	32
第四节 流量检测与仪表	40
思考题	54
第三章 自动控制装置	55
第一节 基本控制规律	55
第二节 自动控制器	67
第三节 集散控制系统	71
第四节 可编程控制器	76
思考题	84
第四章 显示仪表	86
第一节 动圈式显示仪表	87
第二节 自动电子电位差计	91
第三节 自动电子平衡电桥	95
第四节 组合式显示记录仪表	98
第五节 新型显示记录仪表	100
思考题	104
第五章 控制阀	105

第一节	控制阀结构与流量特性	105
第二节	气动控制阀	116
第三节	电动控制阀	119
第四节	电-气阀门定位器	121
思考题		123
第六章	简单控制系统	124
第一节	控制系统的基本概念	124
第二节	简单控制系统的结构与组成	132
第三节	被控变量的选择	137
第四节	操纵变量的选择	139
第五节	控制器参数对系统控制质量的影响及控制规律的选择	147
第六节	测量变送装置的选择	153
第七节	控制器参数的工程整定	154
思考题		157
第七章	复杂控制系统	159
第一节	串级控制系统	159
第二节	比值控制系统	174
第三节	前馈控制系统	182
第四节	选择性控制系统	190
第五节	分程控制系统	199
思考题		205
第八章	典型化工单元的控制方案	207
第一节	流体输送设备的控制方案	207
第二节	传热设备的自动控制	221
第三节	精馏塔的自动控制	242
第四节	化学反应器的自动控制	249
思考题		267
第九章	自动化工程设计基础	271
第一节	工程设计的基本概念	271

第二节	自控工程设计的任务	273
第三节	自控工程设计的方法和程序	275
第四节	图例符号的统一规定	282
第五节	管道仪表流程图	285
第六节	控制方案的确定	286
思考题		288
参考文献		289

第一章 概 述

工业生产过程中会发生物质的流转，例如冶金生产过程中会对矿石中的金属成分加以提取、浓缩、变性等；化学反应过程会利用几种物料，通过触媒，反应生成新的物质；机加工过程会改变物质的形态、特性等。

伴随生产过程的继续，还会发生能量的传递，例如冶金过程会消耗能量；化学反应过程需要加热来引发反应；化工生产过程中的热量回收利用等。

生产过程中需要对物料流、能量流进行管理，但是仅仅有这些还是不够的，生产过程中还有一种流，那就是信息流。

可用图 1-1 表示生产过程中的信息流。

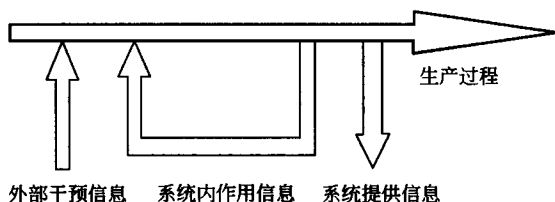


图 1-1 生产过程中的信息流

要实现生产信息的实时、在线管理，就需要实时地获得信息，实时地处理信息，实时地干预生产过程。要想实现自动化，首先要实时地获得生产信息，这就离不开自动检测问题。自动检测实际上是通过一定的技术手段，使得生产过程信息转化为便于处理的信号，这些信号可进一步被其他自动化装置采

用，或者被操作人员阅读。

第一节 过程自动检测技术概述

信息的提取过程实际上是一个测量过程。假定用一个装置进行测量，将测量装置看作一个环节，该装置的输入是被测取的物理量，输出是信号。用 x 表示被测变量，用 y 表示测量信号，则可用图 1-2 来表示信息提取过程。

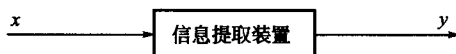


图 1-2 信息提取过程示意图

被测量 x 是生产过程中需要关注的量，例如温度、压力、位移、速度等。测量信号 y 是能够表征被测量的、能够方便进行处理、记录、阅读的另外一种物理量，例如电压、电流、电阻、气压、指针偏转、液柱高度、电位开关等。这里需要注意，信号不仅仅指一些物理信号，一些可由人感官观察到的量也是信号。

测量过程可以是连续的，也可以是断续的。断续测量过程通常是定时采样测量，或是不定时采样测量。这种测量方式通常是离线的，所获得的信息也是非实时信息，例如实验室对产品质量的定时采样分析，产品的抽检等。连续测量通常是在线的实时测量，例如加热炉温度测量，反应釜压力测量等。

测量过程中通常比较关注几个方面的问题。

1. 测量基本关系

被测变量的变化范围叫作测量范围，与之相对应的信号变化范围叫作信号范围。信号变化范围所对应的被测变量变化范围也叫作测量装置的量程。被测变量的最小数值叫做量程下限，被测变量的最大数值叫做量程上限。信号的最小数值叫做

信号的下限（或零点），信号的最大数值叫做信号的上限（或满度）。显然，测量的基本要求是输出信号与被测变量在测量范围内有单值对应关系，即有一点测量信号数值，就有一点被测变量数值对应。这种对应关系可以是线性的也可以是非线性的函数关系。测量的基本关系可用图 1-3 来表示。

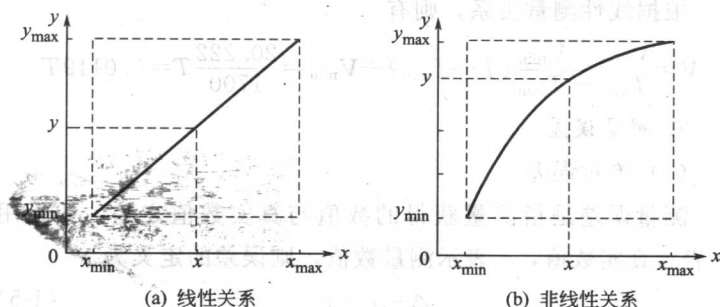


图 1-3 测量的基本关系

测量关系中，一般是指被测变量的相对变化与信号相对变化之间的关系，即变化量相对于全量程的比例。

对于图 1-3 中 (a) 所示的线性关系，则有

$$\frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1-1)$$

经整理可得

$$y = (y_{\max} - y_{\min}) \times \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} + y_{\min} \quad (1-2)$$

对于图 1-3 中 (b) 所示非线性函数关系，则有

$$\frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} = f\left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}\right) \quad (1-3)$$

经整理可得

$$y = (y_{\max} - y_{\min}) \times f\left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}\right) + y_{\min} \quad (1-4)$$

式(1-2) 和式(1-4) 是分析测量关系的两个重要公式。工

业上所用的测量装置大部分是线性关系的，所以式(1-2)用得最多。

例题 已知热电偶测量范围 $0\sim 1700^{\circ}\text{C}$ ，对应的毫伏信号为 $0\sim 20.222\text{mV}$ 。忽略热电偶测量的非线性，写出毫伏与温度之间的表达式。

根据线性测量关系，则有

$$V = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}(T - T_{\min}) + V_{\min} = \frac{20.222}{1700}T = 0.0119T$$

2. 测量误差

(1) 绝对误差

测量误差是指测量获得的数值与真实数值之差，如果用 x_0 表示真实数值， x 表示测量数值，则误差的定义为

$$\Delta = x - x_0 \quad (1-5)$$

生产过程中变量的真实数值是无法知道的，要获得真实数值还必须进行测量。式(1-5)是无法实现的，那只是误差的概念性定义。为此，将式(1-5)进行修改，用标准测量数值[●] x_s 来代替真实数值 x_0 ，则式(1-5)变为

$$\Delta = x - x_s \quad (1-6)$$

(2) 相对误差

式(1-5)和式(1-6)表示的是一点上的绝对误差。假定某个测量温度的装置，其绝对误差都为 2°C ，如果在被测温度 50°C 时偏差了 2°C ，在 500°C 偏差了 2°C ，显然其测量准确度有很大差异，为此可采用相对误差来表示。相对误差 y 的定义为

$$y = \frac{x - x_s}{x_s} = \frac{\Delta}{x_s} \quad (1-7)$$

● 标准测量数值是指在规定的标准条件下，使用标准的测量工具，采用标准的测量方法所获得的数值。

式(1-7) 的含义是测量点的绝对误差与该测量点之比。
50℃时偏差为 2℃的相对误差为 4%。500℃时的相对误差为 0.4%。显然后者的准确度要大大高于前者。

(3) 最大相对百分误差

测量过程中,在整个测量范围内各点的测量误差是不一样的。为了表示这个性能,选取测量范围内的最大绝对误差与测量范围进行比较,所获得的百分比即为最大相对百分误差。其公式为

$$\delta = \frac{\pm \Delta_{\max}}{\text{测量上限} - \text{测量下限}} \times 100\% \quad (1-8)$$

式(1-8) 给出了整个测量范围内最大误差的相对百分比,整个测量范围内的所有误差都不会超过这个数值。

3. 测量的时间响应

上面所讲的是测量的静态性能,即经过一定时间之后,测量获得的信号稳定之后与被测量之间的关系。当被测量发生变化时,测量信号是如何变化的呢? 即要经过多长时间信号才会出现响应,经过多长时间信号才能稳定,这些是测量的时间响应问题。

为了描述这个问题,假定被测量在某个时刻 t_0 发生一个跳变,其幅度为 A ,则测量信号的变化形式如图 1-4 所示。

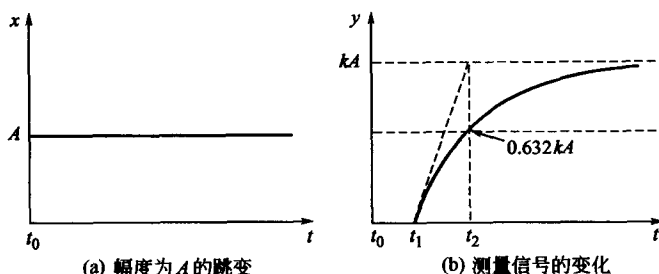


图 1-4 测量输入、输出的时间关系

若被测量在 t_0 时刻发生变化, 输出信号在 t_1 时刻才出现响应, 则从 t_0 到 t_1 的时间叫作测量的纯滞后时间, 记为 $\tau = t_1 - t_0$ 。然后信号以初始速度改变, 随着时间的延续, 变化速度越来越慢, 直到经过一段时间之后, 信号稳定在 kA 处。为了描述信号反应的快慢, 规定如果信号以初始速度变化, 达到新的稳定数值 kA 的时间为测量的时间常数, 即时间常数 $T = t_2 - t_1$ 。时间常数也可采用这样的定义, 即当信号变化到新的稳定数值 kA 的 0.632 倍时所对应的时间为其时间常数 T 。

对于测量过程, 滞后时间 τ 越小越好, 时间常数 T 越小越好。滞后时间 τ 越小, 表明测量的开始响应越快, 时间常数越小, 表明信号稳定的时间越短。

图 1-4 的 k 表示的是测量的灵敏度, 适当的灵敏度是测量的一个基本要求。

4. 有关装置测量的性能指标

(1) 精度

精度的定义来自于仪表的最大允许百分误差。仪表的最大允许百分误差定义为

$$\delta_{\text{允}} = \frac{\pm \Delta_{\text{允}}}{\text{测量上限} - \text{测量下限}} \times 100\% \quad (1-9)$$

式(1-9)规定, 在正常使用条件下该测量装置的所有误差都不超过 $\Delta_{\text{允}}$ 数值。式(1-8)的 Δ_{max} 所表示的是具体仪表实际测量的最大误差, 测量过程中应当满足 $\Delta_{\text{允}} \geq \Delta_{\text{max}}$ 。这里需要注意, $\Delta_{\text{允}}$ 是国家标准规定的数值, Δ_{max} 是具体仪表的实测数值。

将式(1-9)去掉百分号和 $\pm$ 号后, 该数值即为测量装置的精度。精度是国家标准规定的数值, 目前我国常用仪表精度有 0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等。

(2) 灵敏度

灵敏度是指测量信号输出的变化量与被测量的变化量之

比，即被测量的单位变化可引起多少信号变化量，即

$$s = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-10)$$

该数值越大，则灵敏度越高，表示单位被测量的变化可引发比较大的信号变化。

对于数字技术的测量装置，常常会用另外一个叫做分辨率的名词。分辨率的确切含义是指该测量装置所能分辨被测量的最小数值。如果被测量的变化小于该数值，则该测量装置不能分辨这个变化。数字化测量装置会将被测量的整个变化范围转换为若干位二进制数字。位数的多少叫做字长，一定字长的二进制数对应一定的十进制数，例如有一个 8 位字长的测量装置，8 位二进制所表示的数字范围是 0~255，如果该装置将 0~1000℃ 转换为 0~255，那么 8 位字长的最后一位所代表温度为

$$\text{分辨率} = \frac{1000 - 0[\text{度}]}{255 - 0[\text{字}]} = 3.92 \text{ 度/字} \quad (1-11)$$

如果测量装置具有 12 位字长，12 位二进制所表示的数字范围是 0~4095，则最后一位所代表的温度为

$$\text{分辨率} = \frac{1000 - 0[\text{度}]}{4095 - 0[\text{字}]} = 0.24 \text{ 度/字} \quad (1-12)$$

有关测量装置的误差性能指标，除了基本的最大允许百分误差之外，还有一些误差指标，例如变差（回差）、线性度（线性误差）等。这是仪表专业方面的指标，对于使用者来说，只要把握住测量精度（即最大允许百分误差）就够了，因为所有误差都不能超过精度所定义的最大允许百分误差。

第二节 过程自动控制概述

自动控制是一个内容非常广泛的领域，过程自动控制是该

领域的一个分支。顾名思义，过程控制是针对过程工业的自动控制。

一、过程工业特点

过程工业 (Process Industry) 是指随时间的延续，连绵不断地发生连续变化的生产过程。这样的生产过程中，物料通常是以流体形态（气态、液态、多相混合流体）在密闭的管路和容器中进行物质的、能量的传递与交换。这样的工业过程具有下面一些特点：

① 物质形态与能量形态的改变是不可见的，因此自动检测就成为过程工业中不可或缺的技术手段；

② 生产环节之间关联很强，生产过程中一点的变化可向上游、下游扩散，如果不能及时调整，其影响范围会扩大，有可能使得整个生产变得不正常；

③ 由流体形态下物质、能量的传递与交换的特点所决定，过程工业具有时间滞后特点；

④ 生产过程状态具有多样性，例如化学反应过程，主反应进行的同时还伴随有若干副反应，例如换热过程，根据温差的不同，热量会有不同的流动方向；

⑤ 现代过程工业常常在大负荷、高强度下生产，加上过程工业的时间滞后特性，所以正常状况的反映既有不及时的特点，同时又变化剧烈，人力难以控制。

根据过程工业，特别是现代过程工业的这些特点，靠人为观察、人的操作是难以控制生产过程的。所以自动检测与自动控制已经变成了现代过程工业的一个不可缺少的组成部分。

二、过程自动控制的特点

自动控制是用一些自动化装置，采取一定的控制策略对生产过程加以控制。当前的自动化装置大量地采用计算机技术、微处理器技术、网络技术、通信技术，以及嵌入式系统、光电

一体化技术等，例如集中分散式控制系统（DCS：Distributed Control System）、现场总线控制系统（FCS：Fieldbus Control System）、可编程控制器（PLC：Programmable Logic Controller）、工业控制计算机（IPC：Industries PC）、智能控制器（Smart Controller）等。这就要求从事自动控制的人员有足够的自动化装置知识。

过程自动控制是控制学科，因此自动控制原理是基础。

从工程角度来看，过程自动控制实施过程中，需要与工艺专业、电气专业、机械设备专业、土建专业等发生协作关系，所以要求自动控制人员对这些专业有所了解。

三、自动控制系统分类

1. 自动检测系统

为了掌握生产过程的各种参数，了解生产过程的状况，必须对生产过程中的参数、状态进行检测，自动检测系统就是对工艺生产参数进行不间断的连续检测，然后自动进行指示或记录的系统。图 1-5 是换热器的连续检测系统。为了掌握换热器的工作情况，图 1-5 中检测记录了物料出口温度，这是换热器的生产指标；检测指示了载热体入口温度，了解为换热器提供热源的情况；检测指示了物料入口流量，这是换热器的生产负荷情况。

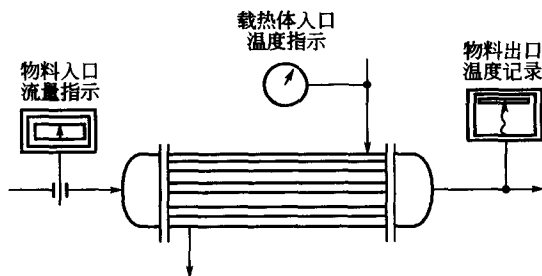


图 1-5 换热器的连续检测系统