高职高专智能建筑规划教材

过程控制技术及其应用

主编　张李冬
参编　吴　锋　龚　彦　王寒栋
主审　薛鹏骞

机 械 工 业 出 版 社

本书主要介绍了检测技术与仪表、过程控制技术及其在楼宇相关系统中的应用。全书共分六章，内容包括：绪论、过程控制参数测量仪表、过程控制参数显示仪表、过程控制系统、计算机在过程控制中的应用、过程控制技术的应用。教材以强调实用性、应用性为指导思想，教材中涉及的无论是具体部件或仪表还是具体系统都力求与实际情况相一致，并紧扣智能建筑这一主题，使学生能够做到学以致用。在突出重点的同时兼顾教材的通用性，使得本书成为一本应用性较强又具有一定通用性的教材。

本教材适用于高职、高专、成教学院中智能建筑、楼宇、建筑电气、电气、自动化等相关专业的学生使用，也可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

过程控制技术及其应用／张李冬主编．—北京：机械工业出版社，2004.1

高职高专智能建筑规划教材

ISBN 7-111-13359-5

Ⅰ.过… Ⅱ.张… Ⅲ.智能建筑-过程控制-高等学校：技术学校-教材 Ⅳ.TU243

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 100818 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：贡克勤 周 娟

责任编辑：王玉鑫 版式设计：张世琴 责任校对：程俊巧

封面设计：张 静 责任印制：闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·15.5 印张·379 千字

0 001—4 000 册

定价：22.00 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）68993821、88379646

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

20 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需求的急速增加。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 20 个兄弟学校，不论是主编者或是主审者，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兄弟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。

吴启迪

写于同济园

2002 年 9 月 28 日

前　言

本书涉及到检测与控制有关内容的基础课程，是与智能建筑相关的机电类专业的必修课程，是在学完电子技术基础课程后开设的应用型专业基础课程，是楼宇自动化等后续课程。本书正是为满足这一教学需要而编写的。

通过对本书的学习可使学生掌握过程控制中具体参数的测量方法及仪表；掌握过程控制相关的基础知识；掌握过程控制系统相关的技术及具体装置与仪表；掌握过程控制技术在智能建筑中的具体应用。

在本书的编写过程中，考虑到高职教育的特点："课程内容是面向实际，是分具体职业的，主要目的是让学生获得某个职业或行业，或某类职业或行业所需的实际技能和知识，完成这一级学业的学生一般具备进入劳务市场所需的能力与资格。"因此在教材编写中我们遵从强调实用性、应用性的指导思想，具体体现以下指导原则：

1. 科学性：概念的说明、原理的论证、公式的推导都必须正确；数据的引用和现象的叙述，都要有充分可靠的依据。

2. 基本内容的系统性：根据本门学科的内在联系，使各部分之间紧密配合，前后呼应。

3. 教学性：在总结教学经验的基础上，做到循序渐进、由浅入深、突出重点、避免繁琐。

4. 实用性：无论是具体部件或仪表还是具体系统的讲解，力求与实际情况相一致。

通过多年高职教学经验的总结，我们力争使本书具有以下特色：

1. 理论与实际紧密结合。理论知识的讲解与相关的实际内容紧密结合，紧扣智能建筑这一主题，在具体编写过程中充分考虑楼宇中设备与系统的实际情况，使学生能够做到学以致用。

2. 教材内容有一定的通用性，以适合高职、高专、成教的教学以及工程技术人员的使用。

3. 尽量将国内外最新相关技术编入教材中，以体现内容的先进性。

在内容安排上，在讲参数测量时，将检测仪表按照与智能建筑实际情况相关的原则予以选用，在突出重点的基础上照顾到一定的通用性，使得本教材可作为一般检测技术与仪表课程的选用教材。在过程控制技术相关内容安排上，贯彻同样的原则，在紧密联系实际的基础上注意其一定的通用性，在具体系统的讲解上，紧扣楼宇中的实际情况，使本书成为一本应用性较强又具有一定通用性的教材。

本书共分六章，由张李冬主编，吴锋、龚彦、王寒栋参编。其中第一、二章，第六章的第三节由张李冬编写；第三、四章，第六章的第四节由吴锋编写；第五章的第一、三节，第六章的第一、二、五、六节由龚彦编写，另外第五章的第二、四节由王寒栋编写。

薛鹏骞教授为本书审稿工作付出了辛勤的劳动，提出了大量的宝贵意见，编者在此表示

衷心感谢！另外，在本书的编写过程中，我们引用了国内部分编者和研究者的成果，由于时间关系，未能一一与原作者取得联系，只能在书后的参考文献中列出，希望能得到原作者的原谅，同时也在此对他们表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免有这样或那样的不妥之处，敬请读者批评指正。联系方式：zhanglid@oa．szpt．net。

编　者

目　录

序
前言
第一章　绪论 …… 1
第一节　过程控制系统的组成和分类 …… 1
第二节　测量的基本知识 …… 4
第三节　测量仪表的品质指标 …… 8
习题与思考题 …… 9
第二章　过程控制参数测量仪表 …… 11
第一节　温度测量仪表 …… 11
第二节　湿度测量仪表 …… 29
第三节　压力测量仪表 …… 36
第四节　流量测量仪表 …… 48
第五节　物位测量仪表 …… 68
习题与思考题 …… 80
第三章　过程控制参数显示仪表 …… 82
第一节　动圈式显示仪表 …… 83
第二节　自动平衡式显示仪表 …… 87
第三节　数字式显示仪表 …… 92
习题与思考题 …… 95
第四章　过程控制系统 …… 96
第一节　过程控制系统基本概念 …… 96
第二节　过程控制系统的特性与调节规律 …… 105
第三节　过程控制仪表 …… 119
第四节　简单控制系统的设计 …… 142
习题与思考题 …… 151
第五章　计算机在过程控制中的应用 …… 153
第一节　过程控制用计算机及相关技术 …… 153
第二节　计算机在过程控制中的典型应用 …… 167
第三节　计算机在参数测量中的应用 …… 178
第四节　计算机在过程控制中的应用 …… 180
习题与思考题 …… 188
第六章　过程控制技术的应用 …… 189
第一节　空气调节的过程控制 …… 189
第二节　制冷装置的过程控制 …… 207
第三节　消防控制系统 …… 212
第四节　锅炉自动控制系统 …… 221
第五节　给排水系统过程控制 …… 229
第六节　楼宇自动化系统简介 …… 233
习题与思考题 …… 236
参考文献 …… 238

第一章　绪　　论

过程控制一般是指冶金、石油、化工、机械、电力、轻工、建材等工业部门生产过程的自动化，即通过采用各种自动化仪表、电子计算机等自动化技术工具，对生产过程中的某些物理参数进行自动测量和控制，以达到最优的技术经济指标，提高经济效益和生产率，节约能源，改善劳动条件和保护环境等目的。随着经济的发展，高层楼宇不断涌现，楼宇中的供热通风、空调及燃气供应、给排水、消防等系统中过程控制技术得到了广泛的应用。

第一节　过程控制系统的组成和分类

过程控制系统是指自动控制生产过程中的温度、压力、流量、料位等这样一些变量，且使这些变量稳定在某一范围或按预定的规律变化的系统。

一、过程控制系统的组成

自动控制是在人工控制的基础上产生、发展起来的，所以，在介绍自动控制时，首先分析人工控制，并与自动控制加以比较，能更好的理解和分析自动控制。

图 1－1 为室温人工控制示意图，图中送风经过热水加热器 1 加热后送入室内，用以控制室内温度（简称室温）。为了使室温保持在设定（要求）的数值上或在一定的范围内变化，必须在室内设置一个温度计 2，操作人员根据温度计的指示，不断地改变调节阀 3 的开度，控制进入加热器的热水量，从而使室温维持在某个要求的范围内。例如，当操作人员从温度计上观察到的数值低于设定值时，则开大热水阀门，增大加热量，使室温上升到设定的数值；当发现室温高于设定值时，则关小阀门，减少加热量，使室温下降到设定数值。归纳起来，操作人员所进行的工作是：

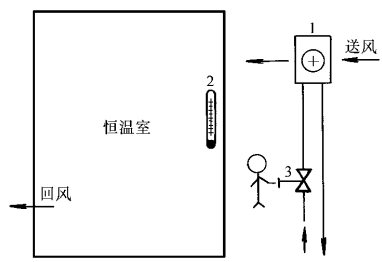


图 1－1　室温人工控制示意图

1—热水加热器　2—温度计　3—调节阀

⑴ 用眼　观察温度计的指示值。

⑵ 用脑　将室温指示值与室温设定值加以比较，并算出两者的差值，规定设定值减去指示值为偏差。

⑶ 用手　当偏差为正时，用手开大热水阀门，从而使偏差减小；当偏差为负时，则关小热水阀门，也使偏差减小。阀门开大、关小的程度与偏差大小有关。

将上述三步工作不断重复下去，直至温度指示值回到设定的数值上。这种由人工来直接进行的控制称人工控制。

从上述可知，要进行人工控制，必须有测量仪表和一个由人工操作的器件（如上例中的调节阀门），由人来判断偏差的大小与方向，然后根据这个偏差进行控制，使偏差得以纠正。

人在控制过程中就起到了观测、比较、判断和控制的作用。简单说就是“检测偏差、纠正偏差”的过程。

众所周知，人工控制往往是比较紧张和繁琐的工作，而且容易出现差错；另外，由于人眼的观察和手的操作动作，受到人的生理机能的限制，所以无法达到高精度和节能控制的要求。假如由一些自动控制装置来完成上述人工操作，就可以实现室温的自动控制。

采用一些自动装置代替人工操作，可组成室温自动控制系统，如图 1－2 所示。控制器 3 将传感器（或变送器）2 反映的室温测量值与设定值进行比较和运算，用以控制执行器 4，使流入室内的热量与流出到室外的热量相平衡，以实现室温的自动控制。上述执行器由执行机构和调节机构（阀门）组成，称为电动调节阀。

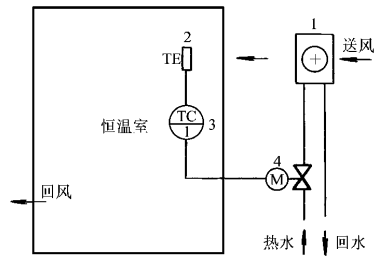


图 1－2　室温自动控制系统示意图
1—热水加热器　2—传感器或变送器
3—控制器　4—执行器（电动执行机构＋调节机构）

所谓自动控制就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置使被控对象（如设备或生产过程等）自动地按照预定的规律运行或变化的手段。

从上述人工控制与自动控制过程分析来看，相当于用测温传感器（或变送器）代替人工控制中的温度计和人眼；控制器代替人脑，对室温实际值与设定值进行比较和运算；用执行机构代替人手的作用，从而可以使被控量（即温度）自动稳定在预先设定的数值。在人工控制中，人是凭经验支配双手操作的，其效果在很大程度上取决于其经验的正确与否。而在自动控制中，控制器是根据偏差信号，按一定规律去控制调节阀的，其效果在很大程度上决定于控制器的控制规律的选用是否恰当。

二、过程控制系统的框图

为了能更清楚地表示一个自动控制系统各组成部分（或称环节）之间的相互影响和信号联系，一般都用框图来表示控制系统的组成。例如，上例室温自动控制系统可用图 1－3 的框图表示。每一方框表示系统的一个环节，用带箭头的线条表示各环节之间的联系和信号的传递方向，在线上用字母表示作用信号。

图 1－2 中的恒温室和热水加热器这个广义对象可用一个方框表示，室温就是工艺上要求恒定（或按要求变化）的参数，在自动控制系统中称被控变量，被控变量就是系统的输出信号，用 y 表示。对被控变量规定的数值称设定值（或称给定值），设定值用 x_0 表示。

在上例中，室外温度的变化、室内热源的变化、加热器前送风温度的变化及热水温度的变化等，都会使室温发生变化，使室温的实际值与设定值之间产生偏差。这些引起室温变化的外界因素，在自动控制系统中称为干扰（或称扰动），用 f 表示。上例中导致室温变化的另一个因素是加热器热水流量的变化，它往往是调节阀动作的结果，是自动控制系统赖以补偿干扰作用而进行操作的量，故称操作量或控制量。操作量与干扰量对被控对象的作用是相反的。

一般，控制系统受到两种作用，即给定作用（设定值）和干扰作用，它们都称为系统的

输入信号。系统的设定值决定系统被控变量的变化规律。干扰作用在实际系统中是难于避免的，而且它可以作用于系统中的任意部位。通常所说的系统的输入信号是指设定值信号，而系统的输出信号是指被控变量。设定值这一端称为系统的输入端，输出被控变量这一端称为输出瑞。

图 1－3 中用符号表示的比较元件，往往是控制器的一个组成部分，在图中把它单独画出来为的是说明其比较作用。在这种元件上常常作用着几个输入量和一个输出量，输出量等于输入量的代数和。被控变量实测值可以由传感器直接输出，但当传感器输出信号与控制器要求的信号不相符合时，则需通过变送器输出信号与设定值进行比较。在控制系统中，规定设定值 x_0 减去实测值 x 为偏差，用 e 表示，则有 $e = x_0 - x$，即设定值取正值，用“＋”表示，反馈信号进入比较元件时取负值，用“－”表示。偏差信号 e 作用在控制器输入端，使控制器输出一个控制信号 m，而 m 作用在执行器上，改变调节阀的开度，从而控制操作量 q，使室温恢复到设定值。

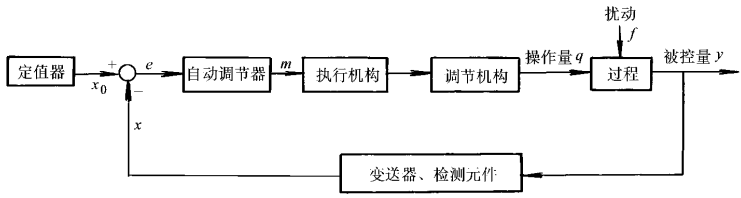


图 1－3　自动控制系统框图

x_0—设定值　x—测量值　e—偏差　m—调节器输出（控制信号）　y—对象输出（被控量）　f—扰动

由图 1－3 可以看出，从信号传送的角度来说，自动控制系统是一个闭合的回路，所以又称闭环系统。应强调说明，这种闭环系统的输出信号——被控变量经过传感器（或变送器）又返回作用到系统的输入端。这种把系统的输出信号又引到系统的输入端的措施称为反馈。自动控制系统中采用的反馈是负反馈。所谓负反馈就是输入量与反馈量是相减的，由于采用负反馈控制，才能使被控量与设定值之差消除或减小，即使被控量变化减小。

框图中各部分的具体解释如下：

⑴ 被控对象　简称对象，指自动控制系统中要进行控制的设备或生产过程的一部分或全部。例如，空调房间、锅炉等。

⑵ 被控变量　被控对象中要求实现自动控制的物理量，例如温度、湿度、压力等。

⑶ 设定值　又称给定值，即通过控制作用，使被控变量达到要求的数值。

⑷ 传感器（或变送器）　传感器是将被测（控）量（包括物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成便于处理和传输的另一种物理量（一般为电量）的元件。例如热电阻、热电偶等。变送器的作用是将传感器测出的被控量，变换成统一标准信号形式（电流或气压信号）的测量值输入控制器，如温度变送器、差压变送器等。

⑸ 控制器　又称调节器，它是将被控变量的实测值信号与设定值信号相比较，检测偏差并对偏差进行运算，按照预定的规律发出控制指令的部件。因此，它一般具有设定、比较、指示、运算和操作功能。

⑹ 执行器　它是将来自控制器的控制信号，转变为操作量的部件，它由执行机构和调节机构组成。例如，电动调节阀是由电动执行机构（电动机、减速器）和调节阀组成。

⑺ 操作量　它是为使被控变量受到干扰后，再恢复到新稳定值而需要通过调节机构向对象输入（或从对象中输出）的物料量或能量。例如，图 1－2 中的热水量。

⑻ 干扰　也称扰动是引起被控量发生变化的外部原因。例如，外界环境温度的变化引起室温的变化，环境温度变化称干扰。

三、过程控制系统的分类

过程控制系统有多种分类方法，每一种方法都只反映控制系统某一方面特点。按被控制量来分，有温度控制系统、流量控制系统等；按控制系统的任务来分，有比值控制系统、前馈控制系统等；按控制器的控制规律来分，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；按控制装置处理的信号的不同来分，有模拟控制系统及数字控制系统；按是否采用计算机来分，有常规仪表控制系统及计算机控制系统，按控制回路来分有，有简单（单回路）控制系统、复杂（多回路）控制系统等。

过程控制主要分析反馈控制的特性，按系统设定值的不同，可将过程控制系统分为如下三类：

⑴ 定值控制系统　设定值保持不变（为一恒定值）的控制系统为定值控制系统。例如，燃气压力恒定控制系统、恒温恒湿控制系统、锅炉汽包水位控制系统等，均为定值控制系统。定值控制系统在楼宇中供热、供燃气、通风及空调等系统中的应用最为广泛。

⑵ 程序控制系统　设定值按已知的时间函数变化。例如，人工气候室中的温度、湿度按给定的时间规律变化，满足某些产品例行实验的要求。

⑶ 随动控制系统　系统的设定值是另一变量的函数，事先不知道其准确变化规律，要求系统的输出（被控量）随之变化而变化。例如，舒适空调系统的室外温度补偿控制系统，其室温的设定值是室外温度的函数。这类系统的任务是保证输出以一定的精度跟随输入变化而变化。

第二节　测量的基本知识

一、测量的概念

通过第一节的分析我们可以看出，要实现过程控制，最基本也是最重要的一个环节是必须将被控量（参数）测量（检测）出来，因此本书将在第二章中对各种参数测量予以介绍，下面仅叙述测量的一般概念。

楼宇中的供热、供燃气、通风、空调以及消防、给排水等系统中，都需要对若干物理量、化学量进行测量，获得必要的信息，以便进行过程监测与控制。

测量技术可分为若干分支，如力学测量、电学测量、热工测量等。其中热工测量是指温度、湿度、压力、流量、液位等参数的测量，楼宇中供热、供燃气及通风空调以及消防、给排水等系统中的参数测量，多属于热工测量的范畴，将在第二章中介绍。

测量是人们对客观事物取得数量观念的一种认识过程。在这一过程中，人们借助于专门

工具，通过试验和对试验数据的分析计算，求得被测量的值，获得对客观事物的定量的概念和内在规律的认识。

测量就是用实验的方法，把被测量与相同性质的标准量进行比较，确定被测量与标准量的比值，从而得到被测量的量值。欲使测量结果有意义，测量必须满足以下要求：用来进行比较的标准量应该是国际上或国家公认的；进行比较所用的方法和仪器必须经过验证。

测量方法就是实现被测量与标准量比较的方法，一般分为直接测量、间接测量和组合测量等方法。这种分类方法有利于研究测量误差。

⑴ 直接测量　使被测量直接与选用的标准量进行比较，或者用预先标定好的测量仪表进行测量，从而直接求得被测量数值的测量方法，称为直接测量。例如，用压力表测量容器内介质压力，用温度计测量介质温度等。

⑵ 间接测量　通过直接测量与被测量有确定函数关系的其他某个变量，然后将所测得的数值代入函数关系式进行计算，从而求得被测量数值的方法，称为间接测量。例如，用测压管测出管道中流体的动压值，以此计算出管道中流体的流速与流量。

⑶ 组合测量　测量中使各个未知量以不同的组合形式出现（或改变测量条件以获得这种不同的组合），根据直接测量或间接测量所获得的数据，通过解联立方程组以求得未知量的数值，这类测量称为组合测量。

除上述按测量结果产生的方式对测量方法分类外，还可以根据测量中的其他因素分类。例如按不同的测量条件，可分为等精度测量与非等精度测量。在测量条件完全相同的情况下，进行的一系列重复测量称为等精度测量。反之，在多次测量中，测量条件不尽相同，此种测量称非等精度测量。所谓测量条件，一般指测量者水平，仪器、仪表精度，测量方法，环境条件等。

按被测量在测量过程中的状态不同，又可分为静态和动态测量。在测量过程中，被测量不随时间而变化，称为静态测量。若被测量随时间而具有明显的变化，则称为动态测量。例如，恒温房间稳定的温度、风速等，在测量过程中不随时间而发生明显的变化，因而对此量的测量属静态测量。压力容器在升压或降压过程中的压力测量、人工气候室在升温或降温过程中的温度测量，则属动态测量。相对于静态测量来说，动态测量更为困难，这时测量系统的动态特性对测量的影响是很复杂的。

二、测量系统的组成

测量设备与被测对象组合成测量系统。任何一次有意义的测量都必须由测量系统来实现。当然，由于测量原理不同，测量精度要求不同，测量系统的构成会有很大差别。它可能是仅有一个测量仪表与被测对象构成的简单测量系统；也可能是由计算机数据采集和处理系统构成的复杂测量系统。对任何一个测量系统都是由若干具有一定基本功能的测量环节组成的。所谓环节是指建立输出与输入量之间某种函数关系的一个基本部件。

测量系统中的测量设备一般由传感器、变送器或变换器、传输通道和显示装置组成，图 1－4 是测量系统的组成框图。

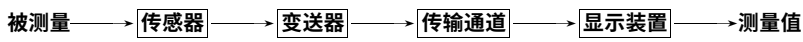


图 1－4　测量系统框图

⑴ 传感器　传感器又称敏感元件，因它是与被测对象直接发生联系的部分，故又称一

次仪表。它是将被测量（包括物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成便于处理和传输的另一物理量（一般多为电量）的元件；它是实现测量与自动控制的首要环节。对其转换要求是将被测量以单值函数关系，稳定而准确地变成另一种物理量，以便提供后续环节变换、比较、运算与显示记录被测量，例如温度传感器中的热电偶、热电阻等。

传感器能否精确、快速地产生与被测量相应的信号，对测量系统的测量质量有着决定性的影响。一个完善的、理想的传感器是十分难得的。首先，要找到一个选择性很强、以单值函数关系转换的元件并非易事。这时，只好限制无用信号在全部信号中的成分，可采用线路补偿等方法提高选择性。其次，传感器总要从被测介质中取得能量，或多或少总要对被测介质有所干扰。一个良好的传感器，只能是尽量减少这种干扰。

⑵ 变送器与变换器　它是将传感器输出的信号变换成显示装置易于接受的信号的部件。传感器输出的物理量有机械位移、电阻、电势、电容量等。在多数情况下，它们在性质上、信号强度上总是与显示装置所能接受的信号有所差异。通过变送器将传感器输出的信号进行变换，此变换可能是物理性质的变换，如通过测量电桥将电阻信号变成电压信号；也可能是将相同性质的物理量加以放大，如通过机械联杆机构将微小位移量变成放大了的位移量，以带动显示装置中的指针。

现代的自动指示、记录与调节仪表，除了可直接接受传感器信号外，为了标准化，有的仪表接受标准信号（如 DC 0～10mA、DC 4～20mA、DC 0～10V 等）。为此需要将传感器转换来的信号变换到标准信号。将传感器输出信号变换到标准信号的器件即为变送器，它在自动检测与自动控制中广泛应用。

⑶ 传输通道　是仪表各环节间输入、输出信号的连接部分，它分为电线、光导纤维和管路等。它应按规定要求进行选择和布置，否则会造成信息损失，信号失真或引入干扰。

⑷ 显示装置　它是与观测者直接发生联系的部分，又称显示仪表。分为模拟式、数字式和屏幕式三种。模拟式仪表最常见的为指针式仪表，结构简单、价格低廉，容易产生视差，但仍是目前主要的显示仪表。数字式仪表是以数字形式给出被测量值，不会产生视差，记录时可以打出数据。显示仪表存在量化误差，量化误差的大小取决于模－数转换器的位数，直观性不如模拟仪表。屏幕式显示仪表是电视技术在测量中的应用，它既可以按模拟方式给出曲线，也可以给出数字，或者两者同时显示，具有形象性和易于读数的优点，并能在屏幕上显出大量的数据，便于比较判断，它是目前最先进的显示方式。

三、测量误差

在测量过程中，由于测量工具准确性、观测者的主观性、外界环境条件的变化以及某些偶然因素等的影响；使得测量结果与被测量的真值之间总有一定的差值，这一差值称为测量误差。它反映了测量质量的好坏。一个测量结果，只有当知道它的测量误差或指明误差范围时，这种测量结果才有意义。因此，我们必须认识和掌握测量误差，并设法估计它、减小它。测量误差可从不同的角度进行分类。

⑴ 绝对误差和相对误差　误差表示方式可分为绝对误差和相对误差。绝对误差是指测量结果与被测量的真值之间的差值。它既表明误差的大小，又指明其正负方向，即：绝对误差＝测量值－真值。应注意：绝对误差与误差的绝对值必须严格区分。

严格地说，真值是一个理想概念。自然界任何物体都处在永恒的运动之中，一个量随所

处时间和空间不同而发生变化，真值常常是不知道的，从而在现实中引入了“实际值”的概念。这是一个接近真值并用来代替真值使用的量值。作为实际值并不是任意的，要求它在一定限度上接近真值，即满足规定的准确度，与真值的差可忽略不计。通常把检定中高一等级的计量标准所测得的量值作为实际值。这时，绝对误差是指用标准仪表（准确度较高）与被校仪表（准确度较低）同时对同一量进行测量，所得两个测量结果之差。绝对误差乘以（-1）就称为修正值，即修正值与误差相等但符号相反，它是消除系统误差用代数法加到测量结果上的值。

相对误差是指测量的绝对误差与约定值之百分比，是一个无量纲的值。随着采用的约定值不同，相对误差常见有三种表示方式：

1）实际相对误差。表示测量的绝对误差与被测量的实际值（真值）之百分比。

2）标称相对误差。表示测量的绝对误差与仪表示值之百分比。

3）引用相对误差。实际（或标称）相对误差随被测量的变化而变化，当被测量从零变到无穷大时各有不同，于是又引出了引用相对误差。它是指测量的绝对误差与仪表的量程之百分比。所谓仪表的量程，是指仪表测量范围的上限值与下限值之差。引用相对误差 δ 表示为：

$$\delta=\frac{\text{测量的绝对误差}}{\text{仪表的量程}}\times 100\%=\frac{x-x_0}{a-b}\times 100\% \qquad (1-1)$$

式中 x_0、x——被测量的实际值（真值）和仪表的测量值；

a、b——仪表测量范围的上限值和下限值。

⑵ 系统误差、随机误差和粗大误差　测量误差按本身的性质可分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类。在偏离测量规定条件时或由于测量方法引入的因素所引起的、按某确定规律变化的误差，称为系统误差。它反映了测量结果对实际值的偏离程度。这种误差的大小和方向有确定的变化规律，一般可以进行修正或通过测量方法来消除它。

在实际测量条件下，多次测量同一个量时，如果误差的绝对值和符号以不可预定方式变化，则这类误差称为随机误差。产生随机误差的因素多种多样，又互不相关，没有规律，它反映了测量结果的分散性。这种误差无法修正，只能用统计理论来估计其影响。

粗大误差是指超出在规定条件下预期的误差，例如错误的读取示值，错误的测量方法等导致的误差，它明显地歪曲测量结果。这种误差在测量中不允许存在，应予剔除。

⑶ 基本误差、附加误差和允许误差　按仪表工作条件的不同，误差分为基本误差和附加误差。仪表在规定的正常工作条件下（例如电源电压和频率、环境温度和湿度等）所具有的误差，称为基本误差。通常在正常工作条件下的示值误差就是指基本误差。由于仪表超出规定的正常工作条件时所增加的误差，称为附加误差。例如，仪表工作温度超过规定时，将引起温度附加误差等。如果不注意仪表的正确安装和使用，附加误差可能很大，甚至超过基本误差，故不可忽视。仪表所允许的误差界限称为允许误差，它指某一仪表的示值或性能不允许超过某个误差范围。基本误差并不是允许误差，前者是指仪表各点示值的实际误差值，后者是一个许可的误差界限。

⑷ 静态误差和动态误差　按与被测量的变化速度的关系区分，误差分为静态误差和动态误差。与被测量的变化速度无关的称为静态误差，因此，上述几种误差皆属这种误差。在测量系统中，当被测量随时间变化时，在测量信号的转换和传递过程中，会遇到各种运动惯

性和时间上的滞后，使得仪表示值（输出量）在时间上不能与被测量的实际值（输入量）精确吻合。这种在被测量的信息处于变动状态下仪表示值与被测量的实际值之间的差异称为动态误差。动态误差反映仪表动态特性的好坏，通常用时间常数和滞后时间来表达。例如，热电偶保护管的热惯性，表现为长达几分钟的时间常数。

第三节　测量仪表的品质指标

一台测量仪表的质量好坏，可用它的品质指标来衡量。由于测量的目的不同，仪表种类繁多，仪表的品质指标也是多方面的，这里仅举其中最常见的几个指标来讨论。

一、量程

仪表能够测量的最大输入量与最小输入量之间的范围称做仪表的量程，在数值上等于仪表上限值减去仪表下限值。

选用仪表时，首先应对被测量的大小有一初步估计，务必使被测量的值都在仪表的量程之内，如果被测量在满刻度的 $2/3$ 左右，则能提高测量精度。

二、准确度（又称精确度）

使用测量仪表对生产过程中的工艺参数进行测量，不但需要知道仪表示值是多少，且还要知道测量结果的准确程度。准确度是指测量结果与实际值相一致的程度，它是测量的一个基本特征。

绝对误差不能作为仪表准确度的尺度，因为仪表准确度不仅与绝对误差有关，且还与仪表的量程有关。例如，两台量程不相同的同一类仪表，如果它们的绝对误差相同，则量程大的仪表准确度较量程小的要高。因此，为了正确地反映仪表的准确程度，准确度采用引用相对误差来表示，即仪表的准确度是指仪表的允许误差与仪表量程之百分比，表示为：

$$\text{准确度}=\frac{\text{仪表允许误差}}{\text{仪表的量程}}\times 100\%\frac{(x-x_0)_{\max}}{a-b}\times 100\% \qquad (1-2)$$

式中　x_0、x——被测量的实际值（真值）、仪表的测量值；

a、b——仪表测量范围的上限值和下限值。

例如，一台测温仪表，测量范围为 $0\sim1100^{\circ}C$，如果允许误差为 $\pm11^{\circ}C$，则这台测温仪表的准确度为 $\pm1\%$，或者准确度等级为 1 级。

仪表的准确度是按照国家规定的允许误差的大小划分成若干等级的。我国的自动化仪表准确度等级有下列几种：0.005、0.02、0.1、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5、4。一般工业用的仪表准确度等级为 0.5～4。仪表的准确度等级通常都用一定符号形式标志在仪表标尺面板上，方便识别，如 ⓪.⑤ 或 △0.5 等。

同理，当校验上述测温仪表的示值时，如果在其测量范围 $0\sim1100^{\circ}C$ 内，各校验点的绝对误差最大值不超过 $\pm11^{\circ}C$ 时，则这台仪表的准确度符合 1 级的要求，即其示值误差没有超过准确度为 1 级的仪表所规定的允许误差。

由于仪表的准确度包含了允许误差和仪表量程两个因素，故在选用仪表时，为了获得合理的实际测量准确度，应该使仪表在接近测量范围上限的区域工作。例如，上述测温仪表测

量 1000℃ 时，标称相对误差为 $\pm 11/1000\times 100\% = \pm 1.1\%$，而测量 550℃ 时，标称相对误差为 $\pm 11/550\times 100\% = \pm 2\%$。因此，应该避免用测温上限高的仪表去测量低的温度。

在选择仪表准确度等级时，应根据工艺上的实际需要，不能片面追求高准确度，以免造成浪费，因为准确度高的仪表，价格也高，且维护技术也要求高。

三、变差

测量仪表的恒定度用变差（又称来回差）表示。它是指在外界条件不变的情况下，使用同一仪表对某一个量进行正、反行程（即逐渐由小到大和由大逐渐到小）测量时，所得的仪表示值是不相同的，两者之间的差值称为变差。变差的大小，用同一仪表测量同一个量时，正、反行程测量的指示值之间绝对误差的最大值与仪表量程之百分比表示（如图 1－5 所示），即：

$$\text{变差} = \frac{(x_{正} - x_{反})_{\max}}{\text{仪表的量程}} \times 100\% \qquad (1-3)$$

式中，$x_{正}$、$x_{反}$ 分别为正行程和反行程测量的示值。

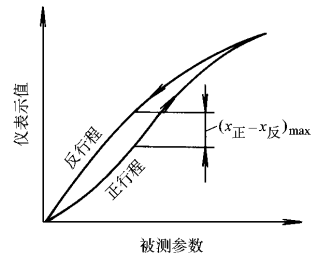


图 1－5　测量仪表的变差

造成变差的原因很多，例如传动机构的间隙、运动部件的摩擦、弹性元件的弹性滞后的影响等。通常要求仪表的变差不超过仪表准确度等级所允许的误差。

四、灵敏度与灵敏限

测量仪表的灵敏度反映仪表指示值变化对被测量变化的灵敏程度，一般用仪表的输出变化量（例如指针的线位移或角位移）$\Delta\alpha$ 与引起此变化的被测量的变化量 Δx 之比来表示，即：

$$\text{灵敏度} = \Delta\alpha/\Delta x \qquad (1-4)$$

如果被测量的变化很小，仪表指示值改变很大，则该仪表的灵敏度高。测量仪表的灵敏度可以用增大放大系统（电子的或机械的）的放大倍数的办法来提高。但是，必须指出，仪表的性能主要取决于仪表的基本误差，如果单纯地加大仪表灵敏度来企图达到更准确的读数，这是不合理的，反而可能出现似乎灵敏度很高，但准确度实际上却下降的虚假现象。为了防止虚假灵敏度，通常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

仪表的灵敏限（又称始动灵敏度）是指能引起指示值发生变化的被测量的最小变化量。仪表的灵敏度越高，灵敏限就越小。通常仪表的灵敏限数值应不大于仪表允许误差的一半。

习题与思考题

1－1　过程控制系统中，传感器及变送器、控制器、执行器各起什么作用？它们相当于代替人工控制中人的什么部位？

1－2　过程控制系统由哪些环节组成？

1－3　什么是被控对象、被控变量、设定值、操作量、偏差值、操作量？

1－4　什么是正反馈？什么是负反馈？要保证系统稳定，应采用何种反馈？

1－5　什么是干扰（作用）？什么是控制信号（作用）？试说明两者之间的关系。

1－6　过程控制系统按设定值的不同，可分为哪几类？各有何特点？

1－7　**什么是测量？通常有哪些测量方法？**

1－8　**测量系统通常有哪几部分组成？**

1－9　**测量与控制有何关系？**

1－10　**什么是真值、引用相对误差、允许误差？**

1－11　**测量仪表的品质指标有哪些？**

1－12　**有两台测量仪表，其测量范围分别为** 0～800℃ **和** 600～1100℃**，已知其绝对误差的最大值均为** ±6℃**，试求它们的准确度等级。**

1－13　**某设备被测温度** 400℃ **左右，现有两支温度计，一支测量范围** 0～1000℃**，准确度等级为** 1.0**，另一支测量范围** 0～600℃**，准确度等级为** 1.5**，应选择哪一支温度计进行测量？为什么？**