

测量仪表与 自动化

主编 杜 鹃

石油大学出版社

测量仪表与自动化

(修订本)

主编 杜 鵬

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量仪表与自动化/杜鹃主编. —东营:石油大学出版社,2002.11

ISBN 7-5636-0945-8

I. 测… II. 杜… III. ①石油化工-测量仪表
②石油化工-自动化仪表 IV. TQ056.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第085142号

测量仪表与自动化

主 编:杜鹃

出 版 者:石油大学出版社(山东东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com>

电子信箱: upcpres@mail.hdpu.edu.cn

排 版 者:石油大学出版社照排中心

印 刷 者:泰安开发区成大印刷厂印刷

发 行 者:石油大学出版社(电话:0546-8392583)

开 本:185×260 1/16 印张:19.625 字数:498千字

版 次:2000年1月第1版第1次印刷 2003年1月第2版第2次印刷

印 数:5000—10000册

定 价:26.00元

前 言

本书从工程技术管理型、应用型人才的要求出发,较系统全面地介绍了过程测量仪表、过程控制仪表和过程控制系统的基本知识。书中融会了编者多年教学、科研和生产经验,从实际应用角度考虑,内容新颖、实用,充分反映了该领域的最新进展。本书可作为石油化工、石油储运、热工、轻工等领域的相关专业学习自动化知识的教材,还可作为高等职业教育、网络教育、函授、电大等成人教育相关专业教材使用,也可作为科技人员、管理人员的参考书。

本书共分三篇计十七章。第一篇过程测量仪表部分(第一章到第七章),以讲解检测原理与方法为主,分别介绍了测量的基本概念及仪表性能指标;压力、物位、流量、温度等参数的测量与变送;对显示仪表、成分分析仪表也进行了介绍。第二篇过程控制仪表(第八章到第十一章),介绍了控制规律、控制器、集散控制系统、现场总线和执行器的作用、原理和构成;对电气仪表的防爆也进行了介绍。第三篇过程控制系统(第十二到第十七章),讲述了利用上两篇所介绍的仪表构成自动控制系统的方法,包括控制对象特性、系统品质指标、简单和复杂控制系统的设计与投运;并介绍了石油加工、集输等方面自动控制的应用实例和最新的一些控制方法。各章后附有习题和思考题可供读者参考。

本书自1997年出版以来,被多个院校和单位所采用。随着自动化技术发展的需要,在全书总体结构不变的情况下,此次出版对原书内容进行了较大改动,删除了原书中某些已显陈旧的内容(如气动仪表或某些老型号仪表),增添了反映当前自动化水平的新内容,特别是对一些新型仪表、计算机控制、集散控制及新型控制系统的内容进行了补充。

原书曾由石油大学赵玉珠主编,杜鹃、徐莉苹、张朝晖、山东轻工学院的张培荣参加编写。此次修订由石油大学杜鹃负责全书的统稿、修改,并编写修改绪论、第一、四、五、六、七章;张伟勇编写修改第三篇(第十二、十三、十四、十五、十六、十七章);张朝晖编写修改第二篇(第八、九、十、十一章),第五章第七节;山东轻工学院的张培荣编写修改第二、三章。

此次修订过程中得到了长期从事检测技术与自动控制方面的专家、教师的帮助,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中错误、不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2002年10月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 过程测量仪表

第一章 概述	6
第一节 测量方法	6
第二节 仪表的性能指标	8
习题与思考题	13
第二章 压力测量及变送	14
第一节 引言	14
第二节 弹性式压力计	15
第三节 压力、差压变送器	17
第四节 其他压力检测仪表	24
第五节 压力仪表的选用、安装与校验	27
习题与思考题	30
第三章 物位测量及变送	31
第一节 引言	31
第二节 浮力式液位计	32
第三节 差压式液位计	39
第四节 储罐液体称量仪	45
第五节 其他物位计	47
习题与思考题	55
第四章 流量测量及变送	57
第一节 引言	57
第二节 差压式流量计	58
第三节 靶式流量计	64
第四节 容积式流量计	67
第五节 转子流量计	71
第六节 其他流量计	75
习题与思考题	87
第五章 温度测量及变送	89
第一节 引言	89
第二节 膨胀式温度计	90
第三节 热电偶温度计	93
第四节 热电阻温度计	101
第五节 热辐射温度计	105

第六节 测温元件的安装	106
第七节 温度变送器	108
习题与思考题	110
附表 I 常用热电偶分度表	111
附表 II 常用热电阻分度表	121
第六章 显示仪表	124
第一节 自动电位差计	124
第二节 自动平衡电桥	128
第三节 数字式显示仪表	130
第四节 无纸记录仪	133
习题与思考题	136
第七章 成分分析仪表	137
第一节 氧量分析仪	137
第二节 含水分析仪	145
第三节 气相色谱分析仪	150
第四节 密度计	157
习题及思考题	161

第二篇 过程控制仪表

第八章 控制规律	162
第一节 比例控制规律(P)	163
第二节 积分(I)和比例积分(PI)控制规律	164
第三节 微分(D)和比例微分(PD)控制规律	165
第四节 比例积分微分三作用控制规律(PID)	166
习题与思考题	167
第九章 控制器	168
第一节 模拟式控制器	168
第二节 可编程逻辑控制器和数字控制器	172
第三节 集散控制系统	176
第四节 现场总线	179
习题与思考题	181
第十章 执行器	182
第一节 执行机构	182
第二节 调节机构	187
第三节 执行器的选择和使用	197
习题及思考题	200
第十一章 电器仪表的防爆	201
第一节 防爆基本知识	201
第二节 本质安全设备和系统	206
习题与思考题	208

第三篇 过程控制系统

第十二章 被控对象动态特性	209
第一节 对象特性及描述方法.....	209
第二节 描述对象特性的参数.....	212
习题与思考题.....	214
第十三章 自动控制系统的基本概念	216
第一节 自动控制系统的组成及分类.....	216
第二节 自动控制系统的过渡过程及品质指标.....	219
第三节 对象特性对控制质量的影响.....	222
习题及思考题.....	223
第十四章 简单控制系统	225
第一节 简单控制系统的设计.....	225
第二节 控制器参数的工程整定.....	232
第三节 控制系统的投运.....	234
习题与思考题.....	235
第十五章 复杂控制系统	236
第一节 串级控制系统.....	236
第二节 均匀控制系统.....	244
第三节 比值控制系统.....	247
第四节 分程控制系统.....	251
第五节 前馈控制系统.....	253
第六节 预测控制系统.....	256
习题及思考题.....	261
第十六章 典型操作单元的控制方案	263
第一节 流体输送设备的控制.....	263
第二节 传热设备的控制.....	269
第三节 锅炉设备的控制.....	274
第四节 精馏塔的控制.....	279
第五节 化学反应器的控制.....	285
第六节 调合作业的自动控制.....	287
习题与思考题.....	290
第十七章 计算机控制系统的应用	292
第一节 计算机在控制系统中的典型应用方式.....	292
第二节 热媒炉微机控制系统.....	294
第三节 小型工业控制机在油品自动装车中的应用.....	297
第四节 计算机直接数字控制的调合系统.....	299
第五节 预测控制在常压塔上的应用.....	301
习题与思考题.....	304
主要参考文献	305

绪 论

测量仪表与自动化是一门有着广泛社会需求和技术基础的综合性技术学科,其水平是一个国家技术先进程度、生产力发达程度与生产关系相适应程度的标志。

测量仪表与自动化同生产过程有着紧密的联系。现代化生产过程中的科技人员,除了要求懂工艺和设备外,还要求具有过程检测仪表、过程控制仪表及过程控制系统等方面的知识。这样,才能在生产岗位和科学研究部门充分发挥作用。

近年来,由于自动化技术的迅猛发展,自动化技术不仅仅限于生产过程,而且已被广泛地用于生产工艺、设备、管理与控制等各个领域。因此对于从事石油化工、储运、轻工、机械等方面的技术人员,除了必须深入了解和熟悉生产工艺外,还必须学习和掌握自动化仪表方面的知识,这对于管理或开发现代化工业生产过程是十分必要的。通过测量仪表及自动化的课程学习,能够了解测量仪表的基本工作原理、自动控制系统的组成;了解自动化的基本知识,提出合理的自动控制方案;在生产管理与调度中,能正确地使用或选用常用仪表;在出现生产事故或技术问题时,能正确地做出选择和判断,及时予以排除,使仪表与自动化技术成为工艺技术或管理人员的一种得心应手的工具,以便能够更好地在工业生产中发挥应有的作用。

一、生产过程自动化的基本概念

生产过程自动化就是在生产设备上配备一些自动化仪表,来检测、显示或记录生产过程中的重要工艺参数;无论是否受到外界干扰的影响,使整个生产过程尤其是某些重要的参数,都能自动地维持正常状态,控制在规定的数值范围内。

生产过程自动化系统可分为以下几类:

1. 自动检测系统

在生产过程中,为了及时准确地了解与掌握生产过程运行的情况,需要采用各种自动检测仪表,不断地对工业生产过程的各个参数进行检测,并将测量结果自动显示或记录下来,以代替操作者对各个参数的不断观察和记录。因此,自动检测系统又称为生产过程的“眼睛”。

2. 自动控制系统

生产过程中各种工艺条件不可能是一成不变的,生产过程大多属连续生产过程,各个设备都相互关联着,其中某一设备中的工艺条件发生变化时,都可能引起其他设备中某些参数波动,为了保证生产能按预定生产技术指标的要求正常进行,需要采用自动控制装置,对生产中某些重要的参数进行自动控制,使它在受到外界干扰而偏离正常状态时,能自动地恢复到规定的数值范围内。

3. 自动信号连锁保护系统

当生产过程由于某一偶然因素,如仪表失灵或工艺原因引起生产过程不正常时,就有引起爆炸、燃烧或其他事故的可能。为了确保生产安全,保证产品质量,常对关键参数设有信号自动连锁装置。在事故即将发生前,信号系统能自动地发出声、光报警信号,提醒操作人员注意。如果工况过程接近危险状态时,连锁系统立即采取紧急措施,打开安全阀或切断某些通路,必要时紧急停车,以防事故的发生和扩大。这是生产过程中的一种安全保护装置。

4. 自动操纵系统

自动操纵系统可以根据预先规定的步骤,自动对生产设备进行某种周期性操作。它利用自动操纵装置可以自动地启动、停运设备,或进行交替动作。如果指挥系统是一个程序发生器,则构成了程序控制系统。

因后两种自动化系统相对前两种使用较少,本教材主要介绍自动检测和自动控制系统。

自动控制系统是用自动化仪表装置模仿人的操作系统。由于自动控制系统的的使用,保证了生产的高效率,保证了产品的质量、产量和人身及设备的安全。

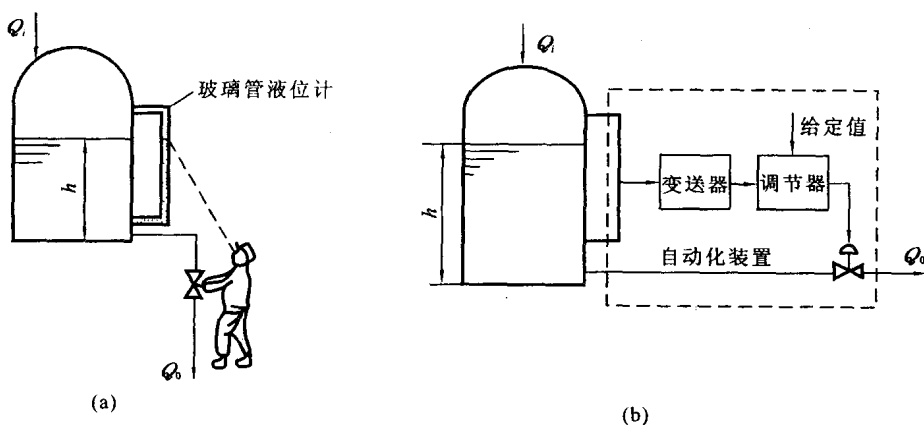


图1 储罐液位的人工控制与自动控制

我们不妨以中间储罐液位所进行的控制与人工操作的过程进行对比。如图1所示。

图1(a)是人工控制储罐液位的示意图。从前一个工序来的物料连续不断地流入储罐中,而储罐中的液体又送至下一个工序进行加工。当人工操作时,首先必须观测出储罐中液位的高度,这就需要有一个液位检测仪表。根据液位检测仪表的指示,操作人员把实际储罐中的液位高度(测量值)与所要求的液位高度(给定值)进行比较,若储罐中液位升高,可将储罐流出阀门开大;若储罐中液位降低,则将阀门关小。如此不断的操作使实际液位与要求的液位高度大体相同。因此,人工控制时,就是借助人的眼、大脑、手这三个器官。眼睛用来观察实际液位的高低,是感测部分;大脑用来分析、比较、判断发出控制命令,决定流出阀门的开或关,是指挥机构;手是执行机构,执行大脑的命令。显然由于操作人员的经验不同,控制的效果会各不相同。

自动控制就是用自动化仪表来模仿上述人工操作过程。为此,必须有一个能自动检测液位高度的测量仪表(即传感器或变送器);一个能将实际液位高度与要求液位高度进行比较,然后根据二者之间的差值按一定规律去进行指挥的控制仪表(即控制器);还必须有一个能自动开启的阀门去代替人工操作的阀门(即执行器)。这样便构成了图1(b)所示的自动控制系统。测量变送的作用相当于人的眼睛完成检测任务;控制器的作用相当于人的大脑完成分析、判断并发出控制命令;而执行器则完成人的手及阀门的作用。

二、自动控制系统的方块图

自动控制系统因为控制的对象及参数(如温度、压力、流量等)的不同,在实际系统图中的表示方法有所不同。但是各种不同参数的控制系统的基本结构和组成,均可用形式相同的方块图来表示。采用方块图用来分析自动控制系统,则更为方便清楚。

图1(b)中的自动控制系统可用图2所示的方块图来表示。一般说来,自动控制系统均由被

控对象、测量变送、控制器和执行器这些基本环节组成,这些环节既相互联系又相互影响。下面对方块图的画法及有关环节进行说明。

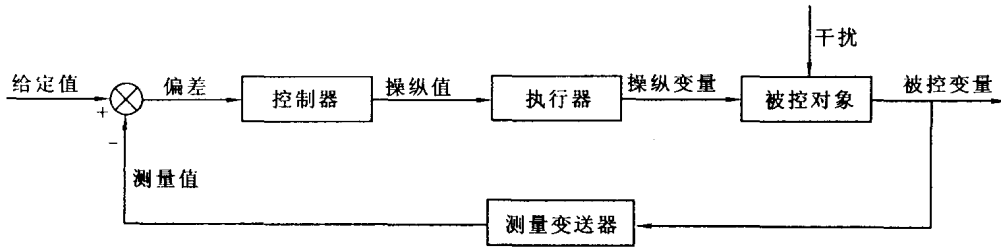


图2 自动控制系统的方块图

方块图中每一个方块代表组成自动控制系统的—个部分,或称—个环节。它代表—个具体的实物。方块之间信号的传递用—条带箭头的线段表示,箭头指向方块,表示该量为这个方块的输入;箭头离开方块,表示该量为这个方块的输出。方块图中的信号传递只能沿箭头方向进行。图中:

被控变量——生产中需要保持不变或按要求变化的工艺指标(如储罐的液位高度),即生产中需要控制的工艺参数。

给定值——工艺上希望保持的被控变量数值。

测量值——被控变量的实测数值,即仪表的显示值。

偏差——测量值与给定值之差。

操纵变量——用以实现控制作用的参数,一般是执行器控制的物理量(如图1中的流量 Q_0)。

测量变送——测量被控变量的检测元件,并将检测元件的信号转换成容易远距离传送的信号(如电流、电压、电阻等)。

控制器——也称调节器。根据测量值与给定值比较所得偏差,按—定的数学运算规律输出操纵值(也称控制信号),并采用标准信号去操纵执行器。

执行器——通常指调节阀,也可以是变频调速机构等。它接受控制器的输出信号(改变阀门开启度或电机转速),控制操纵变量去克服干扰。

被控对象——自动控制系统中被控制的工艺生产设备(如容器、管路、加热炉、塔、换热器等)。如上例中的储罐。有时也简称为对象。

干扰——引起被控变量发生变化的各种因素。

有了上述说明后,再来分析方块图。图中的“⊗”是比较机构,实际上是控制器的—个部分,不是独立的元件。图中将它单独画出来,是为了能更清楚地说明其比较作用。被控对象的输出是被控变量,应作为测量变送的输入,测量变送的输出是被控变量的测量值;测量值与给定值在比较机构中进行比较,得出偏差作为控制器的输入,控制器通过对偏差进行—定的运算,其输出即控制信号;控制信号作为执行器的输入信号,改变操纵变量的大小;操纵变量作用于被控对象,从而影响被控变量。所以操纵变量是被控对象的输入,而干扰作用也是通过被控对象来影响被控变量的,因此也是被控对象的输入。方块图中各个方块的位置是由自动控制系统中各个环节之间信号的相互关系所确定的,不能任意调换。

需要指出的是,方块之间的连线,只代表方块之间的信号传递关系,是—种因果关系,并不代表方块之间的物料关系。被控对象的输出以及执行器的输出不能与工艺流程上物料的流入

流出相混淆。被控对象的输出是从自动控制系统的角度出发,指的是对象中要控制的物理量,即被控变量,而不是流出对象的物料量;执行器的输出(操纵变量)从工艺上讲,可能是流入对象的(如图1中的 Q_i),也可能是流出对象的(如图1中的 Q_o),但从控制作用看,都是将其施加于对象来影响被控变量的,因此执行器的输出只是代表施加到对象的控制作用,而不是具体流入或流出对象的流体,即控制作用始终是对象的输入。

按照上述方块图的画法规则,各种不同参数(温度、压力、流量、物位等)的控制系统均可用图2所示的方块图形式来表示。它代表了自动控制系统的共同结构,具有一般性,能更简洁地表达自动控制系统的结构以及各环节之间的相互关系。利用它能研究自动控制系统的共性,而控制流程图(如图1(b))只能表达一个具体的控制系统。

三、自动化仪表的分类

随着自动化技术的迅速发展,自动化仪表的种类五花八门,不胜枚举。因此仅从几个主要方面加以分类。

(一) 按仪表工作能源分

可分为三类:

1. 气动仪表

以干燥、清洁的压缩空气为能源,其压力一般为0.14 MPa;各仪表之间的信号传递,采用0.02~0.1 MPa的标准信号。其结构简单、工作可靠、价格便宜,且在石化易燃易爆场合无点火隐患,较为安全,但气动信号传递速度慢,不宜实现远距离大范围的集中显示和控制,不便与计算机联用。

2. 电动仪表

目前大多采用24 V直流电为能源,输出为4~20 mA DC(直流标准信号);但也有少量采用220 V交流供电,输出为4~20 mA DC的仪表,因此使用时须特别注意,以免损坏仪表。这类仪表适于远距离传送和集中显示控制,便于与计算机联用。

3. 液压仪表

是以液体压力为工作能源的仪表。一般在执行器中应用,特点是功率大,但结构复杂,只在一些特殊场合使用。

(二) 按组成结构分

有基地式仪表、单元组合式仪表和分散型综合控制系统等。

1. 基地式仪表

基地式仪表是将测量变送、显示、控制器等各部分全部组装在一个壳体內的仪表。它是专为某种被控变量在特定的测量范围内使用的仪表,比较适于在现场就地检测和控制,但不能实现多种参数的集中显示与控制。

2. 单元组合式仪表

单元组合式仪表按照自动控制系统中各组成部分的功能和现场使用要求,分成若干个独立的工作单元(如变送单元、显示单元、控制单元、计算单元等)。各单元之间采用标准信号联系。使用时可按不同要求,任意将各单元进行组合,适用性和灵活性较好。

3. 分散型综合控制装置

分散型综合控制装置是20世纪70年代发展起来的控制装置。它融合了计算机技术、控制技术、通信技术和图像显示技术等内容,它的设计思想是对生产过程分散控制、集中管理,具有

微机智能技术、局部网络通信技术、高可靠性,并具有丰富的功能软件包,用户只需根据系统设计要求进行组态,使用程序模块便可实现不同的显示或控制系统,使用、操作较为灵活,目前有取代常规控制仪表的趋势。

(三) 按防爆能力分

在石油化工自动化中,对电气仪表的防爆能力非常重视,除气动仪表早期用于易爆、易燃场合外,电动仪表的设计者也考虑了各种防爆措施。现场仪表的防爆能力已成为仪表性能的重要指标。按防爆能力分为普通型、隔爆型和安全火花型等,有关电气仪表的防爆知识将在本教材第二篇第十一章内容中进行介绍。

第一篇

过程测量仪表

第一章 概 述

在石油加工生产过程中,为了正确地指导生产操作,保证安全生产,保证产品质量和实现生产过程自动控制,需要对工艺生产过程中的压力、物位、流量、温度等变量进行自动测量。用来测量这些变量的仪表称为过程测量仪表。

第一节 测量方法

一、测量的概念

测量是用实验的方法或专门的设备,将被测物理量与该变量的已知测量单位(标准量)进行比较,以求得二者比值,进而求得被测物理量的量值。被测变量量值与测量单位的关系可用式(1-1)表示:

$$g \approx \frac{A}{U_x} \quad (1-1)$$

式中 A ——被测量;

U_x ——测量单位;

g ——比值。

比值与测量单位的大小有关。为了准确地表达被测变量的测量值,在其比值结果上均须乘以测量单位,即:

$$A \approx gU_x$$

上式取近似相等是因为任何测量都必然存在误差。

二、测量方法

测量方法就是实现被测变量与其单位比较的方法。对某一变量的测量来说,测量方法的选择十分重要。若方法不当,即使有精密的测量仪表和设备,也往往不能得到理想的结果。

测量方法从不同的角度出发,有不同的分类方法。

(一) 按测量方式分类

1. 直接测量

将被测变量与标准量(测量单位)直接进行比较或用预先按标准量定度好的仪器直接得出测量值的方法。例如:用尺子量长度,用温度计测体温等。

2. 间接测量

对几个与被测变量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后通过函数关系式求得被测变量的结果。例如求矩形面积 $A=L(\text{长})\times B(\text{宽})$,只要将直接测得的 L 和 B 代入算式就可得到面积 A 的值。

(二) 按接触方式分类

1. 接触式测量

在测量过程中测量的敏感元件直接与被测介质接触,得到测量结果的方法。例如用水银温度计测量温度。此类方法一般精度较高,测量范围广,使用方便。

2. 非接触式测量

在测量过程中测量仪表的任何部分都不与被测介质接触便可得到测量结果的方法。例如光学、超声波、放射线等仪表。它不干扰被测对象,特别是在一些接触式测量方法不能胜任的场合,例如运动对象的参数测量、腐蚀性介质及危险场合下的参数测量等,使用非接触测量方法就更为方便、安全和准确。

三、测量仪表的组成

测量仪表是进行测量的基本工具之一。

由于工业生产过程被测变量种类繁多,生产条件各有不同,应用的各种测量仪表工作原理和结构也各有不同。但是,从测量仪表的组成结构来看,无论是模拟量仪表还是数字量仪表,基本上是由检测(传感)元件、传送放大和显示三个基本部分组成。检测元件直接感受被测变量的变化,并将它变换成便于测量的位移、电量或其他物理量信号;传送放大是对检测信号进行转换、放大,以推动后续显示部分;显示部分将测量结果以指示、记录或图像的形式显示出来。而各部分往往是由若干个环节按一定方式连接而成,根据连接方式有两种结构形式。

1. 开环结构

如图1-1所示。开环结构仪表的特点是前一个环节的输出是后一个环节的输入,首尾衔接成一串,信号从仪表的输入端到其输出端经过各个环节全部沿着一个方向传递。

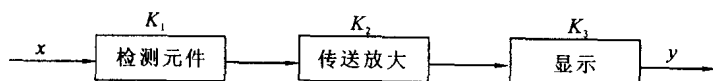


图1-1 开环式测量仪表

设各部分的传递系数分别为 K_1 、 K_2 和 K_3 ,则对整个仪表而言,有下列关系:

$$y = K_1 K_2 K_3 x = Kx \quad (1-2)$$

式中: x 和 y 为整个仪表的输入和输出, K 为整个仪表的传递系数或灵敏度,它是各环节传递系数的乘积。

由式(1-2)可见,各个环节的传递系数变化均会引起整个仪表传递系数 K 的变化,而且各个环节受到干扰时,同样均会改变输出与输入的关系。除非各个环节的稳定性和抗干扰能力较好,否则开环结构的仪表很难获得较高的精度。因此精度较高的仪表应当采用下述闭环结构。

2. 闭环结构

如图1-2所示,它是在某几个串联环节上又并联了一个反馈环节。所以,闭环式仪表也称反馈式仪表。

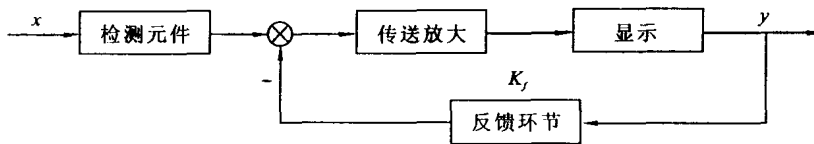


图1-2 闭环式测量仪表

设反馈环节的传递系数为 K_f ,其他环节的传递系数同上图1-1所示。整个仪表输出 y 与输入 x 之间的关系为:

$$y = \frac{K_1 K_2 K_3}{1 + K_2 K_3 K_f} x = \frac{K_1 K'}{1 + K' K_f} x \quad (1-3)$$

当 $K' \gg 1$ 时,则

$$y \approx \frac{K_1}{K_f} x \quad (1-4)$$

由式(1-4)可知,对于闭环结构的仪表,只要保证传递系数 K' 足够大,则闭环结构仪表的特性仅取决于反馈环节及检测元件的传递系数,而与其他环节的特性无关,或者说在很大程度上消除了其他环节的影响。因此,与开环结构仪表相比,闭环结构仪表的性能、测量精度都大大得到了提高。

综上所述,测量仪表无论采用哪一种原理和结构,它们的共性在于被测变量都要经过一次或多次的信号能量形式变换,最后由指针的位移或数字、图像形式显示出来。所以各种测量仪表的测量过程,实质上就是将被测变量的信号形式经一次或多次的不断变换和传送,并将被测变量与其相应的测量单位进行比较的过程。而测量仪表就是实现这种变换和比较的工具。

第二节 仪表的性能指标

一、测量误差

(一) 误差的概念

所谓误差就是某一量值的给出值与客观真实值之差。测量的目的是希望能正确地反映被测参数的真实值。但是无论怎样努力(包括测量原理、方法、精确度等方面的努力),因在测量过程中始终存在着各种各样的影响因素,使得测量结果不可能绝对准确,而只能尽量接近真实值。测量值与真实值之间始终存在着一定差值,这一差值称为测量误差。一个测量结果,只有当知道它的测量误差或指明其误差范围时,这种测量结果才有意义。

(二) 误差分类

在测量过程中,测量误差按其产生的原因不同,可以分为三类。

1. 系统误差

在同一条件下,多次测量同一被测参数时,测量结果的误差大小与符号均保持不变或在条件变化时按某一确定规律变化的误差。它是由于测量过程中仪表使用不当或测量时外界条件变化等原因所引起的。

必须指出,单纯地增加测量次数是无法减少系统误差对测量结果的影响的,但在找出产生误差的原因之后,便可通过对测量结果引入适当的修正值而加以消除。系统误差大小体现了测量结果偏离真实值的程度,即决定测量结果的准确程度。

2. 随机误差

在相同条件下,对某一参数进行重复测量时,测量结果的误差大小与符号均不固定,且无一定规律的误差。产生随机误差的原因很复杂,是由许多微小变化的复杂因素共同作用的结果所致。

对单次测量来说,随机误差是没有任何规律的,既不可预测,也无法控制,但对于一系列重复测量结果来说,它的分布服从统计规律。因此,可以取多次测量结果的算术平均值作为最终的测量结果,以算术平均值均方根误差的2~3倍作为随机误差的置信区间,相应的概率作为置信概率,可减小误差对测量结果的影响。随机误差的大小表明对同一测量值多次重复测量结果的分散程度,即决定测量结果的精密度。

3. 疏忽误差

测量结果显著偏离被测实际值的误差,没有任何规律可循。产生的主要原因是由于工作人员在读取或记录测量数据时的疏忽大意所造成的,带有这类误差的测量结果毫无意义,因此应加强责任感,细心工作,避免发生这类误差。

二、仪表的性能指标

仪表的性能指标是评价仪表性能好坏、质量优劣的主要依据,也是正确地选择仪表和使用仪表以进行准确测量所必需具备和了解的知识。若仪表选择和使用不当,即使选用性能好,质量高的仪表,也不能得到准确的测量结果。相反,如果选择、使用得当,精度稍差的仪表往往也可以满足测量要求。因此,掌握了解反映仪表性能的主要指标,根据要求正确地选择和使用仪表,对于使用人员来说是十分重要的。

仪表的性能指标很多,概括起来不外乎技术、经济及使用方面的指标。

仪表技术方面的指标有:基本误差、精度等级、回差、灵敏度、反应时间等。

仪表经济方面的指标有:功耗、价格、使用寿命等。

仪表使用方面的指标有:操作维修是否方便、能否安全可靠运行以及抗干扰与防护能力的强弱、重量体积的大小、自动化程度的高低等。

显然,上述性能指标的划分也是相对的。在未加说明的情况下,有关性能指标一般指仪表在规定的正常工作条件下而言。正常工作条件即电源电压、频率、温度、压力、湿度、振动、外界磁场、安装位置等等,应符合仪表出厂时的规定要求。下面对仪表的一些重要性能指标分别进行介绍。

(一) 绝对误差和相对误差

1. 绝对误差

仪表的测量值与真实值之间的代数差称为绝对误差。可表示为:

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

式中 a ——绝对误差;

x ——被测变量的测量值;

x_0 ——被测变量的真实值。

在工程上,要知道被测变量的真实值是困难的。一般采用标准表(精确度较高的仪表)的指

示值作为测量的“真实值”。应注意绝对误差不是误差的绝对值。

2. 相对误差

测量值的绝对误差与其真实值之百分比称为相对误差。即

$$r = \frac{x - x_0}{x_0} 100\% \quad (1-6)$$

式中 r ——相对误差；其他参数意义同式(1-5)。

因为相对误差随被测量值的变化而变化，故相对误差可反映测量值在某一点上的准确度，而不能全面反映仪表在整个测量范围内的准确度。事实上，仪表的准确度不仅与绝对误差有关，而且还与仪表的测量范围有关，工业上一般采用引用误差来衡量仪表的准确度。

(二) 引用误差

测量值的绝对误差与测量仪表的量程之比的百分数称为引用误差。

$$q = \frac{a}{L} 100\% = \frac{x - x_0}{I_{\max} - I_{\min}} 100\% \quad (1-7)$$

式中 q ——引用误差；

L ——仪表的量程，即仪表测量范围的上限值 I_{\max} 与下限值 I_{\min} 之差。

显然，具有相同绝对误差的两台仪表，量程大的仪表的引用误差要小于量程小的仪表。

通常在规定的工作条件下，当被测量值平稳地增加或减少时，仪表测量范围内各点绝对误差的最大值 a_{\max} 与量程 L 之比的百分数称为该仪表的最大引用误差 q_{\max} ，即：

$$q_{\max} = \frac{a_{\max}}{L} 100\% \quad (1-8)$$

最大引用误差是仪表基本误差的主要形式，常称为仪表的基本误差。它也是仪表的主要性能指标之一，可以比较确切地反映仪表的测量精度。

(三) 回差(又称变差)

在外界条件不变的情况下，使用同一仪表对某一变量进行正、反行程(被测参数由小到大和由大到小)测量时，所得仪表示值之间的差值，称为回差的绝对值。回差的大小，一般用在同一被测变量数值下，正、反行程时仪表示值之间的最大绝对误差值与仪表量程之比的百分数表示。即

$$h = \frac{\Delta_{\max}}{L} 100\% \quad (1-9)$$

式中 h ——回差；

Δ_{\max} ——仪表的正、反行程最大绝对误差值。

造成回差的原因很多，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。回差的大小反映了仪表的精密程度，因此要求仪表的回差不能超出仪表精度等级所限定的允许误差。测量仪表的回差示意图见图 1-3。

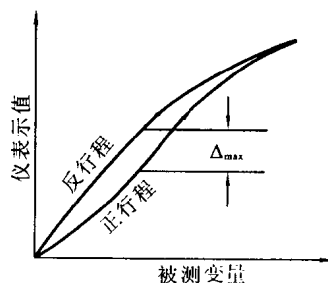


图 1-3 测量仪表的回差

(四) 灵敏度及分辨力

1. 灵敏度

灵敏度反映了仪表示值变化对被测量变化的灵敏程度。一般用于模拟量仪表。它是指仪表到达稳态后，输出增量与输入增量之比，一般用仪表的输出变化量(例如指针的线位移或角位移)与引起此变化的被测变量变化量之比来表示，即：