

高职高专规划教材



GUOCHENG CELIANG
JI YIBIAO

过程测量及仪表

郭剑花 王锁庭 主编



化学工业出版社

高职高专规划教材

过程测量及仪表

郭剑花 王锁庭 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统地阐述了检测仪表的基本理论和应用。全书共分八章。前五章介绍了检测技术的基础知识,介绍了压力、流量、液位、温度检测仪表的结构、工作原理、特点以及仪表的选择、安装、使用和维护。后三章介绍了分析仪表、显示仪表以及新型检测仪表的性能及使用。本书每章后附有练习题,书末给出的两个附录,可供读者在学习本书的过程中查询参考。

书中深入浅出地介绍了各种检测仪表的基本理论知识,并在理论知识的基础上添加了实训的内容,详细介绍了仪表的选择、安装、校验及常见故障案例等应用型内容。本书内容丰富,取材新颖,重点突出,重视知识的应用及实践技能的培养,可作为高职高专院校仪表类专业教材,也可供从事检测技术、自动控制和仪器仪表的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程测量及仪表/郭剑花,王锁庭主编. —北京:
化学工业出版社, 2010.6
高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-08428-6

I. 过… II. ①郭… ②王… III. ①化工过程-测
量-高等学校:技术学校-教材②化工过程-测量仪表-
高等学校:技术学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 084167 号

责任编辑:廉 静 刘 哲
责任校对:周梦华

文字编辑:徐卿华
装帧设计:王晓宇

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:北京市彩桥印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数436千字 2010年7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:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

现代高等职业教育的根本任务是培养适合我国现代化建设和经济发展的高技能人才。高等职业教育在对电气自动化技术、工业仪表自动化技术、生产过程自动化技术、应用电子技术、机电一体化技术等专业的高技能人才培养过程中,不仅要使学生掌握工业生产过程测量及检测仪表的基本理论和基本知识,而且要加大对学生进行过程检测技术的实际技能训练,使学生获得工程技术人员所必需的实践技能,因此实践教学已成为现代高等职业教育极其重要的环节。《过程测量及仪表》是编者根据多年的教学经验、积累和收集的资料整理汇编,大篇幅增添了实践技能性知识,并在化学工业出版社的统一组织下编写的。通过本教材的学习,可使学生打下良好的理论和实践基础,并能在今后的生产实践中灵活地应用过程检测技术解决实际问题。

本书内容包括检测技术基础、压力测量及仪表、流量测量及仪表、液位测量及仪表、温度测量及仪表、分析仪表、显示仪表、测量仪表的新技术等。本书按仪表功能结合工作过程组织教材,主要介绍了检测仪表的基本技术指标,系统地阐述了过程检测仪表的结构和工作原理、性能特点,在此基础上详细介绍了仪表的选择安装校验及常见故障案例等应用型内容。在对教材深度、广度处理上,对部分公式的繁琐推导过程和电子线路工作过程的分析进行了简化,而加强了生产过程中常用仪表的选择、安装、校验和故障维护等方面的实践内容。各部分内容均从应用角度进行阐述,注重理论联系实际,通过典型应用实例进行原理分析,强化对学生职业技能的培养与训练。通过本课程的学习使学生对生产过程(化工、石油、冶金、电力等)中五大参数的主要测量方法及相应的仪表能够建立较完整的思路,并掌握上述常用仪表的选择、安装、校验和维护等基本技能。

本教材在编写过程中以实际应用和便于教学为目标,内容编排力求简洁明快、层次分明、实例丰富、目标明确,利于促进学生的求知欲和学习的主动性。内容叙述力求深入浅出,详略得当,将知识点与能力点有机结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。本教材可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院的相关专业的教学用书,也适用于五年制高职相关专业,并可作为相关社会从业人员的业务参考书及培训用书。

本教材按60~80课时编写,各学校根据不同的教学课时可以选择重点的章节进行讲解。

本书由内蒙古化工职业技术学院郭剑花、天津石油职业技术学院王锁庭担任主编并统稿。参加编写的有:内蒙古化工职业技术学院郭剑花编写绪论、第三章、第四章、第

五章及附录一、附录二，郑艳楠编写第一章、第二章，天津中国电子科技集团公司第十八研究所高级工程师郭琦编写第二章第九节二、三，第五章第五节、第六节，天津石油职业技术学院王锁庭编写第六章，郭素娜编写第七章，徐奔编写第八章。天津大学刘鲁源教授担任该书的主审，他在百忙中仔细、认真地审阅了全书，提出了许多宝贵意见。在编写过程中，编者参阅了许多同行、专家们的论著和文献，得到了内蒙古化工职业技术学院教务处、职教处和天津石油职业技术学院教务处、科研处以及相关系部的大力支持和帮助，在此一并真诚致谢。

限于时间和编者的学术水平和实践经验，书中疏漏及不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 2 月

目 录

绪论	1	第八节 液位测量仪表实训	110
第一章 检测技术基础	3	习题与思考题	113
第一节 测量的基本概念	3	第五章 温度测量及仪表	115
第二节 检测仪表的基础知识	6	第一节 温度测量的基本知识	115
习题与思考题	9	第二节 膨胀式温度测量仪表	118
第二章 压力测量及仪表	10	第三节 热电偶温度测量仪表	121
第一节 压力测量的基本知识	10	第四节 热电阻温度测量仪表	137
第二节 弹性式压力表	11	第五节 温度测量仪表的应用	141
第三节 霍尔式压力传感器	13	第六节 温度测量仪表实训	150
第四节 应变式压力传感器	14	习题与思考题	153
第五节 扩散硅式压力传感器	16	第六章 分析仪表	155
第六节 电容式压力(差压)传感器	19	第一节 分析仪表的基本知识	155
第七节 膜盒式压力(差压)变送器	21	第二节 原油含水分析仪	156
第八节 压力测量仪表的应用	22	第三节 密度计	162
第九节 压力测量仪表实训	30	第四节 烟气分析仪	167
习题与思考题	34	第五节 气相色谱分析仪	171
第三章 流量测量及仪表	35	第六节 危险气体报警仪	174
第一节 流量测量的基本知识	35	第七节 含油污水分析仪	180
第二节 差压式流量测量仪表	36	习题与思考题	182
第三节 转子式流量测量仪表	44	第七章 显示仪表	183
第四节 靶式流量计	47	第一节 概述	183
第五节 电磁式流量计	49	第二节 动圈式显示仪表	185
第六节 漩涡流量计	51	第三节 电子电位差计	191
第七节 涡轮流量计	56	第四节 自动平衡电桥	201
第八节 容积式流量计	59	第五节 数字式显示仪表	210
第九节 微动流量计	62	第六节 微机化仪表	219
第十节 流量测量仪表的应用	66	习题与思考题	220
第十一节 流量测量仪表实训	82	第八章 测量仪表的新技术	221
第十二节 差压流量计的设计	83	第一节 概述	221
习题与思考题	87	第二节 光电传感器	222
第四章 液位测量及仪表	88	第三节 光纤传感器	229
第一节 物位测量的基本知识	88	第四节 超声波传感器	232
第二节 恒浮力式液位计	89	习题与思考题	235
第三节 变浮力式液位计	91	附录	236
第四节 静压式液位测量仪表	92	附录一 常用热电偶分度表(ITS-90)	236
第五节 电容式液位测量仪表	98	附录二 常用热电阻分度表	250
第六节 其他液位测量仪表	101	参考文献	254
第七节 液位测量仪表的应用	104		

绪 论

一、过程测量及仪表在工业生产过程中的作用和地位

检测是指利用各种物理和化学效应，将物质世界的有关信息通过测量的方法赋予定性或测量结果的过程。在生产过程中，完成工艺参数检测处理的仪表称为过程检测仪表。检测是生产过程自动化的一个重要组成部分。在自动化系统中，所用的检测仪表是自动控制系统的“感觉器官”。只有感知生产过程的状态和工艺参数，才能由控制仪表进行自动控制。

在工业生产、科学研究中，几乎所有的参数获取都依靠检测仪表和传感器，一条生产流水线通常使用很多温度、压力、流量、物位、重量、成分检测仪表和传感器。据介绍，2台300MW机组的检测仪表和传感器总数不少于2000。

下面举例说明检测在自动控制系统中的作用和地位。

如图0.1所示的热交换器是利用蒸汽来加热冷液的，冷液经加热后的温度是否达到要求，可用测温元件配上平衡电桥来进行测量、指示和记录；冷液的流量可用孔板上流量计进行检测；蒸汽压力可用压力表来指示。这些就是检测系统。

检测系统中主要的装置为敏感元件、传感器与显示仪表。

敏感元件亦称检测元件，它的作用是对被测的变量作出响应，把它转换为适合测量的物理量。图0.1所示系统中可用孔板将流量转换为差压信号，用热电阻将温度转换为电（毫伏）信号。

传感器可以对检测元件输出的物理量信号作进一步信号转换，当转换后的信号为标准的统一信号（例0~10mA、4~20mA、0.02~0.1MPa等）时，此

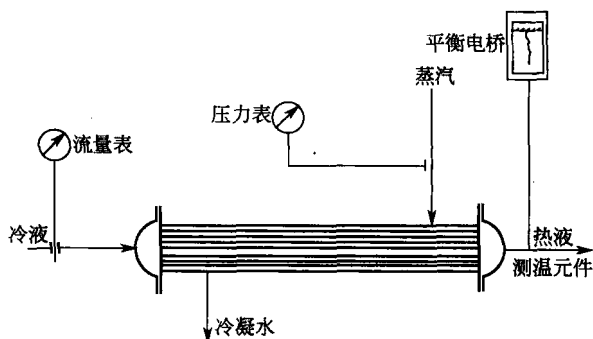


图 0.1 热交换器参数检测系统示意图

时的传感器一般称为变送器。例如流量变送器常采用差压变送器。

显示仪表的作用，是将检测结果以指针位移、数字、图像等形式准确地指示、记录或储存，使操作人员能正确了解工艺操作情况和状态。例如，图0.1所示系统中的平衡电桥就属于显示记录仪表。

虽然压力、物位、流量和温度四个参数对各类工业生产过程是必不可少而又极其重要的，但是对保证产品质量来说，还是间接控制的参数。随着科学技术和输出的发展，在生产过程中已经在采用工业自动分析仪表，自动地、连续地给出与产品质量直接有关的物性和物质成分等参数，并直接地去控制产品质量。某些工业部门已开始将工业分析仪表与计算机联用，这对生产的发展将发挥更大的作用。

二、过程检测的内容

工业过程检测涉及的内容广泛，一般分为：热工量（温度、压力、流量、物位等），机械量（重量、尺寸、力、速度、加速度等），物位和成分量（介质的成分浓度、密度、黏度、

湿度、酸度等), 电工量(电压、电流、功率、电阻)。本书主要介绍在工业生产过程中的热工量和成分量的测量方法和仪表。

三、检测仪表的发展

随着生产的发展, 不断地提出新的检测任务, 而科学技术的发展, 特别是新材料、新技术的出现, 以及微处理机的广泛应用, 极大地加快了检测仪表的发展, 在提高检测系统的测量精度、扩大测量范围、延长使用寿命、提高可靠性的同时, 使检测技术向智能化的方向发展, 检测仪表的应用领域得到拓展。

1. 功能上不断扩展

最早的传感器都是在就地检测并显示, 像弹簧管压力表、水银温度计等, 因为需要报警功能, 就在显示部分增加了电接点, 因为需要远传显示功能, 弹簧管压力表中增加了电阻远传器件、电感远传器件, 成为远传压力表。目前的传感器和显示仪表在很多情况下仍延续了这种趋势, 如为了使测温仪表具有远传功能, 可输出电信号的热电偶、热电阻使用非常普遍, 但这两类仪表又不具备现场显示功能, 所以几年前某仪器仪表公司产品中就有双金属测量元件与热电阻测量元件安装在用一根测量管内的产品, 它可以是带现场指示, 又带热电阻 Pt100 信号输出一表两用形式的产品; 也可以是带现场指示, 又带热电阻 Pt100 信号就地转换成 $4\sim 20\text{mA}$ 的温度变送器输出以及报警控制接点输出一表三用的产品。

2. 原理上不断创新

最早的压力、差压检测仪表应该是水银浮子式和双波纹管式, 随后才出现带输出电信号或气动信号的变送器, 其结构形式为机械力平衡式, 其精确度仅为 $\pm 1\%$ 左右。20 世纪 70 年代, 变送器从原理上有了大的创新, 微位移式变送器出现, 如电容式、电感式、电阻式等, 精确度提高到 $\pm 0.25\%$ 左右。20 世纪 80 年代, 智能变送器出现, 精确度又提高到 $\pm (0.1\sim 0.075)\%$ 。

物位计也有类似的情况, 早期的机械式直接接触测量的居多, 如重锤式、阻旋式、浮子式、电阻式、电容式等, 但在实际使用过程中, 因液体介质腐蚀、黏滞或固体介质块度大、埋料等原因, 直接接触测量的效果均不理想, 而随后出现的超声波式、雷达式等非接触测量原理的物位仪表能较好地解决上述问题, 其用量也大大增加。

超声波流量计是一种发展非常迅速的新型流量计, 当采用多普勒法时, 其精确度较低, 常常不能满足现场测量要求, 后来采用时差法, 精确度提高到 $\pm 0.5\%$, 量程比也扩大了, 在大管径的情况下可以替代电磁流量计, 而费用却节省了很多。

四、本课程的特点及学习方法

过程测量及仪表是工业仪表及自动化专业的一门重要的专业课。涉及到多门课程的内容, 物理概念是讨论各种检测变换的基础, 熟悉和掌握相应的物理现象, 分析有关物理效应是对检测仪表工作原理和结构进行讨论的前提。电工电子及计算机技术在完成信号转换、数据处理和显示的基本方法上起着重要的作用。

本课程是与生产过程密切相关的实践性较强的课程, 强调工程技术和实践技能的训练, 只有理论与实践相结合才能学好本课程。

第一章 检测技术基础

测量仪表广泛应用于工业生产、农业生产、国防建设、科学研究、对外贸易以及人民生活的各个领域之中，在石油生产中，从石油的开采、运输、加工直至贸易销售，测量仪表贯穿于全过程中，任何一个环节都离不开测量仪表，否则将无法保证石油工业的正常生产和贸易往来，在化工行业中，测量仪表失准，将造成各化学成分比例失调，无法保证产品质量，可能发生安全事故。例如，锅炉瞬间给水流量减少或中断，可能造成严重的事故，这就要求流量测量装置不但应做到准确计量，而且要及时发出报警信号。在轻工业、食品加工、纺织等各行各业也都离不开测量仪表。在国防建设方面，随着空间技术的发展，对测量仪表提出了相当高的要求。

第一节 测量的基本概念

一、测量过程

在工业生产过程中，虽然所应用的测量方法及仪表种类很多，但从测量过程的实质来看，却都有相同之处。例如，水银温度计之所以能用来测量温度，是由于水银受热后体积膨胀，利用玻璃的毛细管构造将水银的体积变化转换为高度的变化，然后再通过被测介质温度与水银高度（或体积）之间的关系式将高度量值换算成温度量值并在玻璃管上刻上温度量值和温度单位。

各种测量方法及仪表不论采用哪一种原理，它们都有共性，即被测变量都要经过信号能量形式的一次或多次转换，最后获得便于测量的信号能量形式（如位移），再利用转换后的最终信号（如位移）与被测变量的关系式将最终信号换算成被测变量的量值与单位，然后进行刻度并指示。简言之，各种测量仪表的测量过程，实质上包括两个过程，就是被测参数信号能量形式的一次或多次不断变换过程，以及将被测参数与其相应单位进行比较的过程。前者是实验过程，后者是计算过程，而过程测量仪表就是实现变换的工具。

二、测量误差

1. 误差的概念

在测量过程中，由于被测参数能量形式转换过程存在各种各样的干扰因素造成能量损失，以及检测技术水平的限制（如观测者的技术熟练程度不同）等原因，必然使测量值和真实值之间存在着一定的差值，这个差值称为测量误差。

测量误差也称为绝对误差，测量结果与真值之差也称为真误差。

真实值是一个理想的概念，因为任何可以得到的数据都是通过测量得到的，它受到测量条件、人员素质、测量方法和测量仪表的影响。

2. 误差的分类

（1）根据误差的表示方式分

① 绝对误差：被测参数的测量值与被测量真值之间的差值，即

$$\Delta = X - T \quad (1.1)$$

绝对误差直接说明了仪表测量值偏离实际值的大小。对同一个实际值来说，测量产生的

绝对误差小,则直观地说明了测量结果准确。但绝对误差不能作为不同量程的同类仪表之间测量质量好坏的比较尺度,也不能作为不同类型仪表之间测量质量好坏的比较尺度,因不同量程的绝对误差无法比较。

② 相对误差:用被测参数的绝对误差 Δ 与被测量真值(或测量值)比值的百分数来表示,即

$$\delta = \frac{\Delta}{I} \times 100\% \quad (1.2)$$

$$\approx \frac{\Delta}{X} \times 100\%$$

③ 引用误差:用绝对误差 Δ 与仪表量程比值的百分数来表示,即

$$\delta_{引} = \pm \frac{\Delta}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% = \pm \frac{\Delta}{M} \times 100\% \quad (1.3)$$

量程 $M = X_{\max} - X_{\min}$

式中, $X_{\max}$ 为仪表指示上限值; $X_{\min}$ 为仪表指示下限值。

最大引用误差也称最大相对百分误差,还称基本误差,常被用来确定仪表的精度等级。

(2) 根据误差的出现是否有规律分

① 系统误差:在同一测量条件下,多次重复测量同一量时,测量误差的绝对值和符号都保持不变,或在测量条件改变时按一定规律变化的误差,称为系统误差。

系统误差主要是由于测量装置本身在使用中变形、未调到理想状态或电源电压波动等原因造成的。

系统误差的特征是误差出现的规律和产生原因是可知的,因此可以通过分析、预测加以消除。

② 随机误差:在同一测量条件下(指在测量环境、测量人员、测量技术和测量仪器都相同的条件下),多次重复测量同一量值时(等精度测量),每次测量误差的绝对值和符号都以不可预知的方式变化的误差,称为随机误差或偶然误差。

随机误差的存在主要是由于客观事物内部的矛盾运动非常复杂,平常一般只注意认为对测量影响较大的那些因素,其他还有一些尚未认识的或无法控制(如电子线路中的噪声干扰),而这些因素正是造成随机误差的原因。

随机误差的特征是由于偶然因素所引起的综合结果,其引起的原因不尽可知,其大小和符号的变化是随机性的,无法排除和修正。它导致了重复观测中数据的分散性。

③ 疏忽误差:是一种明显与实际值不符的误差,又称粗大误差。

它是由于仪器产生故障、操作者的失误或重大的外界干扰所引起的测量值的偏差。例如读错数据、充水的差压信号管路中偶然存在气泡等。

这种测量值与真值有较大的差异,一般称为坏值,它应根据一定的规则加以判断后剔除。

(3) 根据误差来源分

① 仪器误差:是由于测量仪器及其附件的设计、制造、检定等环节不完善,以及仪器使用过程中老化、磨损、疲劳等因素而使仪器带有的误差。

② 影响误差:是指由于各种环境因素(温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等)与测量要求的条件不一致而引起的误差。

③ 理论误差和方法误差:由于测量原理带来的(如数字化测量的量化误差),或者由于测量计算公式的近似,致使测量结果出现的误差称为理论误差。

④ 人身误差：是由于测量人员感官的分辨能力、反应速度、视觉疲劳、固有习惯、缺乏责任等所造成的。

(4) 根据被测量随时间变化的速度分

① 静态误差：是指在测量过程中，被测量随时间变化很缓慢或基本不变时的测量误差。

② 动态误差：是指在被测量随时间变化很快的过程中，测量所产生的附加误差。

三、测量方法

测量是一项实验工作，为了获得准确可靠的数据，必须根据被测对象特点，选择合适的测量方法。如果方法不当，即使有精密度的测量仪器和设备也不能得到理想的结果。测量方法的分类有许多种，随着研究问题的不同而采用不同的分类。

1. 根据获得测量结果的程序不同分

① 直接测量：即用被测量直接与标准量比较而得到测量值的测量方法。简言之，仅包含测量的第二个过程；如用尺测量长度，用玻璃管水位计测量水位等。此法简单迅速。

② 间接测量：这是已知被测量与某一个或若干个其他量具有一定的函数关系，通过直接测量这些量值，用函数关系式计算出被测量值的测量方法。从测量的过程来说，既包括第一个过程，也包括第二个过程；例如，通过测量水银的高度求温度，通过测量导线电阻、长度及直径求电阻率，则温度和电阻率都是间接的测量结果。

2. 根据测量原理分

① 偏差法：用测量仪表的指针相对于刻度起始点的位移（偏差）来直接表示被测量的大小。指针式仪表是最为常用的一种类型，如弹簧秤。在用此法测量的仪表中，分度是预先用标准仪器标定的，如弹簧秤用砝码标定（见图 1.1）。

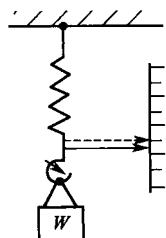


图 1.1 弹簧秤

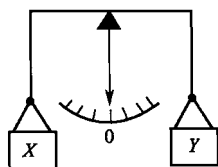


图 1.2 天平

偏差法的优点是直观、简便、相应的仪表结构简单；缺点是精度较低、量程窄。

② 零位法：将被测量与标准量进行比较，二者的差值为零时，标准量的读数就是被测量的大小。这就要有一灵敏度很高的指零机构。如天平称重（见图 1.2）及电位差计测量电势。

零位法的优点是测量精度很高，缺点是响应慢，测量时间长，不能用来测量快速变化的信号。

③ 微差法：是将偏差法和零位法组合起来的一种测量方法。测量过程中将被测变量的大部分用标准信号去平衡，仅剩余的小部分采用偏差法测量。

微差法的特点是准确度高，不需要微进程的可变标准量，测量速度快；指零机构用一个有刻度可指示偏差量的指示机构所代替。如不平衡电桥测量电阻的变化量。桥路中被测电阻的基本部分（静态电阻）使电桥处于平衡，而变化的电阻将使电桥失去平衡产生相应的输出电压。这样，桥路输出电压的变化，只反映电阻的变化，而被测电阻是基本部分及输出电压测出的电阻变化部分之和。

这种方法可以使测量精度大大提高。这是因为电阻的主要部分采用了零位法测量，保证了很高的测量精度，尽管偏差法测量剩余部分时造成了一定的误差，但这部分误差相对于整个被测量而言是非常微小的。该法在工程测量中得到大量应用。

第二节 检测仪表的基础知识

一、测量仪表的品质指标

一台仪表的品质好坏是由它的基本技术指标来衡量。常用的指标如下。

1. 测量范围和量程

测量范围：指测量仪器的误差处在规定极限内的一组被测量的值。

量程：指测量范围的上限和下限值的代数差。

例如：测量范围为 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时，量程为 100°C ；测量范围为 $20 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时，量程为 80°C ；测量范围为 $-20 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 时，量程为 120°C 。

量程的选择是仪表使用中的重要问题之一。一般规定：正常测量值在满刻度的 $50\% \sim 70\%$ ，若为方根刻度，正常测量值在满刻度的 $70\% \sim 85\%$ 。

2. 精确度（简称精度）

精度：是描述仪表测量结果准确程度的一项综合性指标。精度高低主要由系统误差和随机误差的大小决定，因此精度包含了准确度和精密度两个方面的内容。

准确度：表示系统误差的大小。系统误差越小，则准确度越高，即测量值与实际值符合的程度越高。

精密度：表示随机误差的影响。精密度越高，表示随机误差越小。随机因素使测量值呈现分散而不确定，但总是分布在平均值附近。

仪表的精度用仪表的最大引用误差 $\delta_{\max}$ 来表示。

$$\delta_{\max} = \pm \frac{\Delta_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中， $\Delta_{\max}$ 为仪表在测量范围内的最大绝对误差。

为了方便仪表的生产和使用，一般用精度等级来划分仪表精度的高低。根据国家标准 GB/T 13283—91，仪表精度等级 a （去掉仪表基本误差的“ $\pm$ ”和“ $\%$ ”号）规定如表 1.1 所示。

表 1.1 仪表精度等级

等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 5.0\%$

$a = \underline{0.005, 0.02, 0.05}$ ； $\underline{0.1, 0.2, (0.4), 0.5}$ ； $\underline{1.0, 1.5, 2.5, (4.0)}$ 等

I 级标准表

II 级标准表

工业用表

3. 线性度

如图 1.3 所示，线性度是指实际测得的输出-输入特性曲线（称为校准曲线）与理论直线（拟合直线）的最大偏差与测量仪表的量程之比的百分数，即

$$\delta_f = \pm \frac{\Delta'_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\% \quad (1.5)$$

式中， δ_f 为线性度（又称非线性误差）； $\Delta'_{\max}$ 为校准曲线对于理论直线的最大偏差。

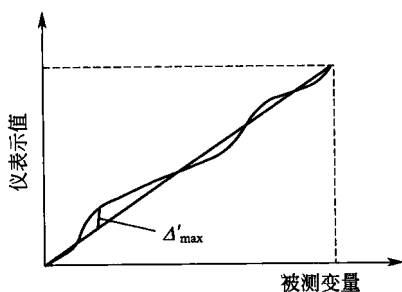


图 1.3 测量仪表的线性度

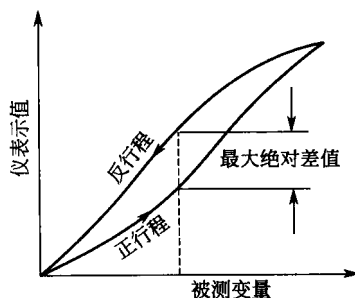


图 1.4 测量仪表的变差

4. 变差（又称回差）

如图 1.4 所示，变差是指仪表在正（上）行程和反（下）行程的测量过程中，同一被测变量所指示的两个结果之间的最大偏差与测量仪表的量程之比的百分数。

$$\delta_b = \pm \frac{\Delta''_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\% \quad (1.6)$$

式中， δ_b 为变差； $\Delta''_{\max}$ 为上行程和下行程测量的最大偏差。

变差产生的原因：在机械结构的检测仪表中，由于运动部件的摩擦，弹性元件的滞后效应，两个相互啮合的齿轮之间的间隙，都将使测量结果出现变差。

例 1.1 某一标尺为 0~500℃ 的温度计出厂前经校验，其刻度标尺各点测量值如表 1.2 所示。

表 1.2 刻度标尺各点测量值

被校表读数/℃		0	100	200	300	400	500
标准表读数/℃	上行程	0	103	198	303	406	495
	下行程	0	101	201	301	404	495

- ① 求仪表最大绝对误差；
- ② 确定仪表的精度；
- ③ 确定仪表的变差。

解 ① 从数据表中可知，最大绝对误差发生在 400℃ 测温点处

$$\Delta_{\max} = 400 - 406 = -6^\circ\text{C}$$

$$\textcircled{2} \delta_{\max} = \pm \frac{\Delta_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\% = \pm \frac{6}{500} \times 100\% = \pm 1.2\%$$

$$\textcircled{3} \delta_b = \pm \frac{\Delta''_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\% = \pm \frac{3}{500} \times 100\% = \pm 0.6\%$$

5. 灵敏度和灵敏限

灵敏度：是指输入量的单位变化所引起的输出量的变化。它表示仪表对被测变量变化反应的敏感程度，可表示为

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (1.7)$$

式中， S 为仪表的灵敏度； $\Delta\alpha$ 为仪表指针的线位移或角位移； Δx 为引起 $\Delta\alpha$ 的被测参数变化量。

当灵敏度在各测量点均相同时，则该仪表为线性特性；而对于非线性仪表，灵敏度则不为常数。

仪表灵敏度的调整通常通过改变仪表放大系数来进行。需要注意的是,仪表灵敏度高,会引起系统不稳定,使检测或控制系统品质指标下降。因此规定仪表标尺分格值不能小于仪表允许的绝对误差。

灵敏限:能引起仪表指针发生动作的被测参数的最小变化量。通常仪表的灵敏限的数值应不大于仪表允许绝对误差的一半。

6. 反应时间

反应时间表示仪表对被测量变化响应的快慢程度。表示方法如下。

时间常数:当仪表的输入信号突然变化一个数值(阶跃变化)后,仪表的输出信号(即示值)由开始变化到新稳态值的 63.2% 所用的时间,也可称为仪表的时间常数。如图 1.5 所示。

仪表指示不能立即反映被测量实际变化,又称仪表的滞后现象。因此,时间常数小的仪表滞后就小,即反应时间短;反之,时间常数大,滞后就大,反应时间长。

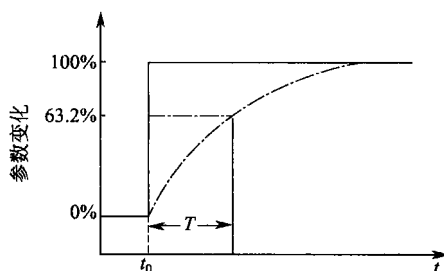


图 1.5 测量仪表的时间常数

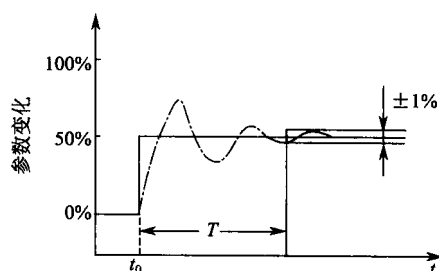


图 1.6 测量仪表的阻尼时间

阻尼时间:是指从给仪表突然输入其标尺一半的相应被测量开始,到仪表指示与被测量值之差为该标尺范围 $\pm 1\%$ 时为止的时间间隔。如图 1.6 所示。

它反映了仪表示值跟随输入量变化从一个稳定工作点到另一个稳定工作点所需的时间长短。当阻尼时间短时,仪表示值的稳定时间短,说明系统稳定性好。

二、仪表的分类与组成

1. 仪表的分类

检测仪表分类方法很多,根据不同原则可以进行相应的分类。例如按检测仪表所使用的能源分类,可以分为气动检测仪表、电动检测仪表和液动检测仪表(很少见)。按检测仪表安装形式,可以分为现场检测仪表、盘装检测仪表和架装检测仪表。随着微处理机的蓬勃发展,根据检测仪表是否引入微处理机(器)又可分为智能检测仪表与非智能检测仪表。根据检测仪表信号的形式可分为模拟检测仪表和数字检测仪表。显示仪表根据记录和指示、模拟与数字等功能,又可分为记录检测仪表和指示检测仪表、模拟仪表和数显仪表,其中记录检测仪表又可分为单点记录和多点记录(指示亦可以有单点和多点),其中又分有纸记录和无纸记录,有纸记录又分笔录和打印记录。

因为仪表覆盖面也比较广,任何一种分类方法均不能将所有仪表分门别类地划分得井井有序,它们中间互有渗透,彼此沟通。例如变送器具有多种功能,温度变送器可以划归温度检测仪表,差压变送器可以划归流量检测仪表,压力变送器可以划归压力检测仪表,若用差压法测液位可以划归物位检测仪表,因此很难确切划归哪一类。

2. 仪表的组成

由于生产过程参数种类繁多,生产条件各有不同,过程检测仪表也是多种多样。但是,

从过程检测仪表的组成来看,基本上是由三部分组成,即检测环节;传送、放大环节和显示部分,如图 1.7 所示。检测环节直接感受被测量,并将它变换成适于测量的信号,经传送、放大环节对信号进行放大、传送,最后由显示部分进行指示或记录。

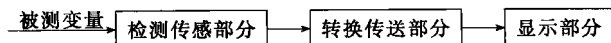


图 1.7 检测仪器的组成

习题与思考题

- 1.1 检测仪器的作用是什么? 测量包括哪两个过程?
- 1.2 什么叫测量误差? 仪表的误差分类有哪些?
- 1.3 说明测量结果产生误差的原因, 如何消除或减少误差?
- 1.4 仪表的测量方法有哪些? 各有什么特点?
- 1.5 什么是仪表的灵敏度、灵敏限?
- 1.6 仪表的动态特性用什么指标来表示? 其定义是什么?
- 1.7 试述仪表灵敏度与量程的关系。
- 1.8 检测仪器的组成有哪几部分? 试述各部分作用。
- 1.9 一台电子自动电位差计, 精度等级为 0.5 级, 测量范围为 $0\sim 500^{\circ}\text{C}$, 经校验发现最大绝对误差为 4°C , 问该表合格吗? 应定为几级?
- 1.10 被测温度为 400°C , 现有量程范围为 $0\sim 500^{\circ}\text{C}$, 精度为 1.5 级的表和量程为 $0\sim 1000^{\circ}\text{C}$, 精度为 1.0 级的温度表各一块, 问选哪一块仪表测量更准确? 并说明原因。
- 1.11 量程为 $0.2\sim 1.0\text{MPa}$, 精度为 1.0 级的压力表在规定工作条件下使用时在 $0.6\sim 1.0\text{MPa}$ 的范围内测量, 实际测量结果最大的可能误差是多少? 如果仪表量程改为 $0\sim 1.0\text{MPa}$, 精度等级和测量范围不变, 其结果是否相同?

第二章 压力测量及仪表

压力和差压是工业生产过程中常见的过程参数之一。在许多场合需要直接检测、控制压力的参数，如锅炉的汽包压力、炉膛压力、烟道压力；化学生产中的反应釜压力、加热炉压力等。此外，还有一些不易直接测量的参数，如液位、流量等参数往往需要通过压力或差压的检测来间接获取。因此，压力和差压的测量在各类工业生产领域中如石油、电力、化工、冶金、航天航空、环保、轻工等占有很重要的地位。

第一节 压力测量的基本知识

一、概述

在工程上将垂直而均匀作用在单位面积上的力称为压力，两个测量压力之间的差值称为压力差或压差，工程上习惯叫差压。

在国际单位制和我国的法定计量单位中，压力的单位采用牛顿/米² (N/m²)，通常称为帕斯卡或简称帕 (Pa)，这个单位在实际应用中太小，不方便，目前我国生产的各种压力表都统一用 kPa (10³ Pa) 或 MPa (10⁶ Pa) 为压力或差压的基本单位。我国在试行法定计量单位以前还常用工程大气压 (kgf/cm²)、毫米水柱 (mmH₂O) 和毫米汞柱 (mmHg) 等单位。另外，在英美等西方国家的一些变送器中还常用 bar (巴) 作压力的单位。

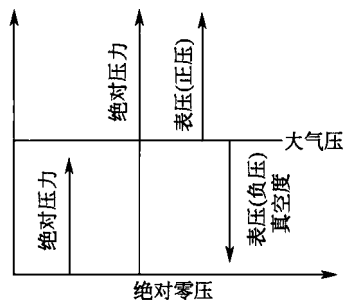


图 2.1 绝对压力、表压、
负压（真空度）关系

在工程上，被测压力通常有绝对压力、表压和负压（真空度）之分，三者关系如图 2.1 所示。绝对压力是指作用在单位面积上的全部压力，用来测量绝对压力的仪表称为绝对压力表。地面上空气柱所产生的平均压力称为大气压力，高于大气压的绝对压力与大气压力之差称为表压，低于大气压力的被测压力称为负压或真空度，其值为大气压力与绝对压力之差。由于各种工艺设备和检测仪表通常是处于大气之中，本身就承受着大气压力，因此工程上通常采用表压或者真空度来表示压力的大小，一般的压力检

测仪表所指示的压力也是表压或者真空度。除特殊说明之外，本书以后所提及的压力均指表压。

二、压力的检测方法和检测仪表

目前工业上常用的压力检测方法和压力检测仪表很多，根据敏感元件和转换原理的不同，一般分为四类。

① 液柱式压力检测 液柱测压法是以流体静力学理论为基础的压力测量方法，将被测压力 p 转换成液柱高度 h 进行测量的（可用符号表示为 $p \rightarrow h$ ）。一般采用充有水或汞等液体的玻璃 U 形管或单管进行测量。

以此原理构造的液柱压力计结构简单，使用方便，测量精度高，但不便于读数和远传，测量量程也受到一定的限制，一般在实验室或工程实验上使用。

② 弹性式压力检测 它是根据弹性元件受力变形的原理,将被测压力 p 转换成位移 X 进行测量的 ($p \rightarrow X$)。常用的弹性元件有弹簧管、膜片和波纹管等。

弹性式压力仪表种类繁多,在工业上的应用也相当广泛。

③ 电气式压力检测 随着生产的不断发展,对压力检测仪表的测量精度、测量范围、动态性能及远距离传送等,都提出了更高的要求,为了满足上述要求,各种电测式压力表得到广泛应用。

电气式压力表是利用某些机械或电气元件将压力 p 转换成电信号,如电压 U 、电阻 R 、电容 C 等信号来进行测量的仪表 ($p \rightarrow U$ 、 $p \rightarrow R$ 或 $p \rightarrow C$ 等),如霍尔式压力变送器、应变片式压力计、电阻式压力表等。这类压力计因其检测元件动态性能好、耐高温,因而适用于测快速变化、脉动压力和超高压等场合。

④ 活塞式压力检测 它是根据液压机液体传送压力的原理,将被测压力 p 与活塞面积上所加平衡砝码的质量 W 来进行比较测量的。

活塞式压力计的测量精度较高,允许误差可以小到 $0.05\% \sim 0.02\%$,普遍被用作标准仪器对压力检测仪表进行检定。

第二节 弹性式压力表

一、弹性元件

弹性元件是弹性式压力表的测压敏感元件,弹性压力表的测量性能主要取决于弹性元件的弹性特性,与弹性元件的材料、形状、工艺等有关。不同的弹性元件测压范围也不同,工业上常用的弹性式压力表所使用的弹性元件主要有膜片、波纹管、弹簧管等,如图 2.2 所示。

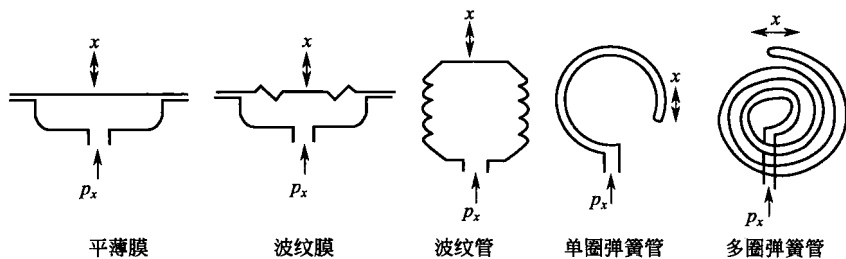


图 2.2 弹性元件示意图

① 膜片 是一种圆形薄板或薄膜,周边固定在壳体或基座上。将膜片成对地沿着周边密封焊接,就构成了膜盒。当膜片两边的压力不等时就会产生位移,位移可直接带动传动机构指示。但是膜片的位移较小,灵敏度低,指示精度不高,一般为 2.5 级。膜片更多的是和其他转换元件合起来使用,通过膜片和转换元件把压力转换成电信号。

② 波纹管 是一种具有同轴环状波纹,能沿轴向伸缩的压力弹性元件。当它受到轴向力作用时能产生较大的伸长和收缩位移。一般可在其顶端安装传动机构,带动指针直接读数。其特点是灵敏度高(特别是在低压区),常用于检测较低的压力 ($1.0 \sim 10^6 \text{ Pa}$),但波纹管迟滞误差较大,精度一般只能达到 1.5 级。

③ 弹簧管 是一根弯曲成圆弧形、横截面呈椭圆形或扁圆形的空心管。它的一端焊接在压力表的管座上固定不动,并与被测压力的介质相连通,管的另一端是封闭的,称为自由端。被测压力介质从开口端进入并充满弹簧管的整个内腔,由于弹簧管的非圆横截面,使它变成圆形并伴有伸直的趋势而产生力矩,其结果使弹簧管的自由端产生位移。弹簧管有单