



普通高等教育“十二五”规划教材

Measurement and Control Apparatus

(双语教学适用)

测控仪表及装置

主 编 许 秀

副主编 王 莉 杨轶璐

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

测控仪表及装置

Measurement and Control Apparatus

(双语教学适用)

主 编 许 秀
副主编 王 莉 杨轶璐

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了有关过程参数检测和自动控制装置的基础理论和应用技术。全书共分为九章, 主要内容包括: 检测仪表的基本知识和基本概念; 生产过程中常用的温度、压力、流量、物位和成分等参数的测量方法及常用检测仪表; 仪表系统及控制装置, 包括仪表发展概况, 常用仪表分类, 各种仪表信号制, 模拟控制器、数字控制器、PLC、DCS 和现场总线技术; 执行器。

本书适合于渗透式双语教学。全书对重要的技术概念、术语加注了英文解释, 每章末都有重要技术术语的中英文对照表, 还加入了一定数量的英文习题。使学生在学习本课程的同时, 提高阅读本专业英文书籍和文献的能力, 切实提高高校双语教学水平。

本书可作为高等院校自动控制类专业本科生教材, 也可作为相关专业的研究生及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

测控仪表及装置: 汉、英 / 许秀主编. —北京:
中国石化出版社, 2012. 10
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1814 - 2

I. ①测… II. ①许… III. ①过程控制 - 检测仪表 -
高等学校 - 教材 - 汉、英 IV. ①TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 243837 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 17.75 印张 445 千字

2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

定价: 29.80 元

前 言

自动控制技术已经广泛应用于国民经济的各个领域，尤其在工业生产过程中。任何一个工业控制系统都必须应用检测仪表和控制装置，过程参数检测仪表和自动控制装置是实现自动控制的基础。

本书系统地介绍了有关过程参数检测和自动控制装置的基础理论和应用技术。全书共分为九章。第1章绪论介绍了本课程的意义及内容；第2章对检测仪表的基本知识和基本概念进行了介绍；第3、4、5、6、7章分别介绍了生产过程中常用的温度、压力、流量、物位和成分等参数的测量方法及常用仪表；第8章介绍仪表系统及控制装置，包括仪表发展概况，常用仪表分类，各种仪表信号制，模拟控制器、数字控制器、PLC、DCS和现场总线技术；第9章介绍了执行器。

为了适应当前我国高等教育跨越式发展的需要，培养应用型复合人才，更好地和国际接轨，满足双语教学的需求，全书对重要的技术概念、术语加注了英文解释，每章末都有重要技术术语的中英文对照表，还加入了一定数量的英文习题。这样，教师在讲授本课程的过程当中，可以方便地把本专业领域的英文词汇渗透给学生，使学生在学本课程的同时，增加专业词汇量，提高阅读本专业英文书籍和文献的能力，切实提高高校双语教学水平。目前国内尚没有有关本专业领域的适合于双语教学的教材。

本书由辽宁石油化工大学许秀主编，王莉、杨轶璐副主编。其中许秀编写了第1、2、3、7、9章，王莉编写了第4、5、6章，杨轶璐编写了第8章。

本书可作为高等学校自动控制类专业本科生教材，也可作为相关专业的研究生及工程技术人员的参考书。

由于时间及作者水平有限，书中难免有错误不当之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

1 绪 论(Introduction)	(1)
1.1 测控仪表系统(Measurement and Control Instrument System)	(1)
1.2 本课程的意义及所讨论的内容(Significance and Content of the Course)	(2)
关键词(Key Words and Phrases)	(3)
习题(Problems)	(3)
 2 测控仪表基本概念及性能指标(Basic Concept and Performance Index of Measurement and Control Instrument)	(4)
2.1 测量范围、上下限及量程(Measuring Range, Upper and Lower Range Limit, Span)	(4)
2.2 零点迁移和量程迁移(Zero Shift and Span Shift)	(5)
2.3 灵敏度和分辨率(Sensitivity and Resolution)	(6)
2.4 测量误差(Measurement Error)	(7)
2.5 线性度(Linearity)	(8)
2.6 精度和精度等级(Accuracy and Accuracy Grade)	(9)
2.7 死区、滞环和回差(Dead Band、Hysteresis error、Hysteresis of Instrument) ...	(12)
2.8 反应时间(Response Time)	(14)
2.9 重复性和再现性(Repeatability and Reproducibility)	(14)
2.10 可靠性(Reliability)	(16)
2.11 稳定性(Stability)	(17)
关键词(Key Words and Phrases)	(17)
习题(Problems)	(19)
 3 温度检测及仪表(Temperature Measurement and Instruments)	(22)
3.1 温度及温度测量(Temperature and Temperature Measurement)	(22)
3.2 接触式测温仪表(Instruments of Contact Temperature Measurement)	(27)
3.3 非接触式测温仪表(Instruments of Non – contact Temperature Measurement)	(58)
3.4 光纤温度传感器(Optical – fiber Temperature Sensors)	(64)

3.5 测温仪表的选用及安装(Selection and Installation of Temperature Measuring Instruments)	(66)
关键词(Key Words and Phrases)	(70)
习题(Problems)	(72)
4 压力检测及仪表(Pressure Measurement and Instruments)	(91)
4.1 压力及压力检测方法(Pressure and Pressure Measurement Methods)	(91)
4.2 常用压力检测仪表(Pressure Measurement Instruments in General Use)	(93)
4.3 测压仪表的使用及压力检测系统(Use of Pressure Instrument and Pressure Measurement System)	(109)
关键词(Key Words and Phrases)	(114)
习题(Problems)	(115)
5 流量检测及仪表(Flow Measurement and Instruments)	(118)
5.1 流量检测的基本概念(Basic Concept of Flow Measurement)	(118)
5.2 体积流量检测及仪表(Volumetric Flow Measurement and Instruments)	(119)
5.3 质量流量检测及仪表(Mass Flow Measurement and Instruments)	(142)
5.4 流量标准装置(Calibration Devices for Flow Measurement)	(146)
5.5 流量测量仪表的选型(Selection of Flow Measurement Instruments)	(149)
关键词(Key Words and Phrases)	(149)
习题(Problems)	(150)
6 物位检测及仪表(Level Measurement and Instruments)	(152)
6.1 物位的定义及物位检测仪表的分类(Definition and Classification of Level Measurement Instruments)	(152)
6.2 常用物位检测仪表(Level Measurement Instruments in General Use)	(153)
6.3 影响物位测量的因素(Influence Factors of Level Measurement)	(167)
6.4 物位测量仪表的选型(Type Selection of Level Measurement Instruments)	(167)
关键词(Key Words and Phrases)	(168)
习题(Problems)	(168)
7 成分分析仪表(Analytical Instruments)	(171)
7.1 成分分析方法及分类(Composition Analytical Methods and Classification)	(171)

7.2	自动分析仪器的基本组成(Basic Composition of Automatic Analyzers)	(172)
7.3	工业常用自动分析仪器(Industrial Automatic Analyzers in General Use)	(172)
	关键词(Key Words and Phrases)	(193)
	习题(Problems)	(195)
8	控制仪表及装置(Control Instruments and Devices)	(196)
8.1	概述(Introduction)	(196)
8.2	模拟式控制仪表(Analog Control Instruments)	(202)
8.3	数字式控制仪表及装置(Digital Control Instruments and Devices)	(206)
	关键词(Key Words and Phrases)	(244)
	习题(Problems)	(245)
9	执行器(Actuator)	(246)
9.1	概述(Introduction)	(246)
9.2	执行机构(Actuator)	(248)
9.3	调节机构(Valve)	(251)
9.4	执行器的选择和计算(Selection and Calculation of Actuator)	(263)
9.5	气动执行器的安装和维护(Installation and Maintenance of Pneumatic Actuator)	(267)
9.6	电气转换器及阀门定位器(Electric Pneumatic Converter and Valve Positioner)	(268)
9.7	数字调节阀与智能调节阀(Digital Valve and Intelligent Valve)	(273)
	关键词(Key Words and Phrases)	(274)
	习题(Problems)	(275)
	参考文献(Reference)	(276)

1 绪论 (Introduction)

任何一个工业控制系统 (Industrial Control System) 都必然要应用一定的测量及控制仪表 (Measurement and Control Instruments)，它们是控制系统的重要基础。检测仪表完成对各种过程参数 (Process Parameters) 的测量，并实现必要的数据处理 (Data Process)；控制仪表是实现各种作用的手段和条件，它将检测得到的数据进行运算处理 (Operation Process)，实现对被控变量 (Controlled Variable) 的调节。

1.1 测控仪表系统 (Measurement and Control Instrument System)

下面以一个简单的储槽液位控制系统为例来说明典型的测控仪表系统，如图 1.1 所示。在生产过程中液体储槽常用来作为一般的中间容器，从前一个工序来的流体以流量 (Flow rate) Q_{in} 连续不断地流入储槽中，槽中的液体又以流量 Q_{out} 流出，送入下一工序进行加工。当 Q_{in} 和 Q_{out} 平衡时，储槽的液位会保持在某一希望的高度 H 上，但当 Q_{in} 或 Q_{out} 波动时，液位就会变化，偏离希望值 (Desired Value) H 。为了维持液位在希望值上，最简单的方法是以储槽液位为操作指标，以改变出口阀门开度 (Valve Openness) 为控制手段，如图 1.1 (a) 所示。用玻璃管液位计 (Level Meter) 测出储槽的液位 h ，当液位上升时，即 $h > H$ 时，将出口阀门开大，液位上升越多，阀门开得越大。反之，当液位下降时，即 $h < H$ 时，将出口阀门关小，液位下降越多，阀门关得越小，以此来维持储槽液位 $h = H$ 。这就是人工控制系统 (Manual Control System)，操作人员所进行的工作包括三方面：

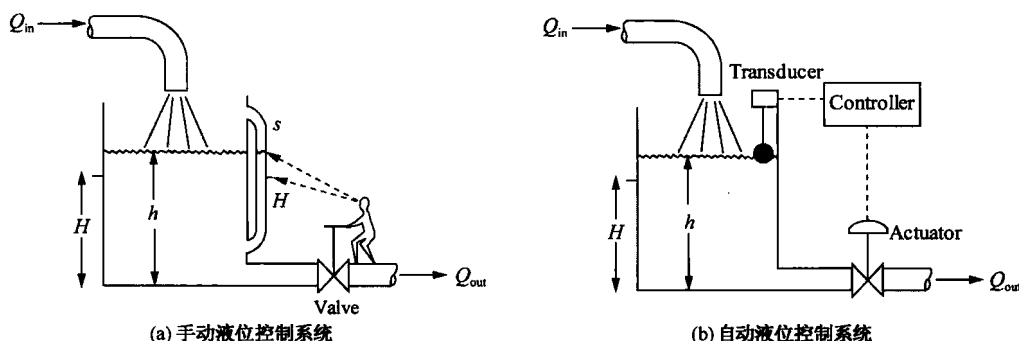


图 1.1 液位控制系统

① 检测 (Measurement)——眼睛 用眼睛观察玻璃管液位计中液位的高低 h ，并通过神经系统告诉大脑。

② 思考、运算、命令 (Think、Operation、Command)——大脑 大脑根据眼睛看到的液位高度 h ，进行思考并与希望的液位值 H 进行比较，得出偏差的大小和正负，根据操作经验决策后发出命令。

③ 执行 (Actuation)——手 根据大脑发出的命令，用手去改变阀门的开度，以改变流出流量 Q_{out} ，使液位保持在所希望的高度 H 上。

眼睛、大脑和手分别担负了检测、运算和执行三项工作，完成了测量、求偏差(Error)、操纵阀门来纠正偏差的全过程。用自动化装置来代替上述人工操作，人工控制就变成自动控制(Automatic Control)了，如图 1.1(b)所示。

为了完成眼睛、大脑和手的工作，自动化装置一般至少包括三个部分，分别用来模拟人的眼睛、大脑和手的功能，这三个部分分别是：

① 测量变送器(Transducer) 测量液位 h 并将其转化为标准、统一的输出信号。

Transducer—Senses the value of the controlled variable and converts it into a standard and uniform signal.

② 控制器(Controller) 接受变送器送来的信号，与希望保持的液位高度 H 相比较得出偏差，并按某种运算规律算出结果，然后将此结果用标准、统一的信号发送出去。

Controller—Computes the difference (error) between measured value which comes from transducer and desired value (or setpoint), converts the error into a control action or controller output that will reduce the error according to some algorithm.

③ 执行器(Actuator) 自动地根据控制器送来的信号值来改变阀门的开度。

Actuator—Regulate the manipulated variable automatically according to controller output.

一般情况下，常规测控仪表系统的构成基本相同，只是各子系统被控变量不同，所采用的变送器和控制器的控制规律不同。其结构框图如图 1.2 所示。

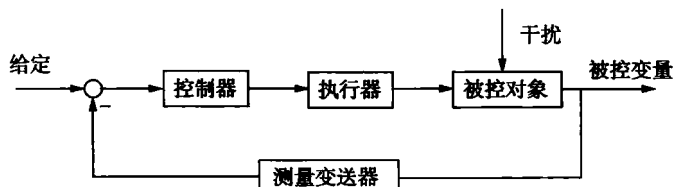


图 1.2 典型测控仪表系统方块图

从图中可看出，一个典型的测控仪表系统所包含的自动控制装置有测量变送器、控制器和执行器。

1.2 本课程的意义及所讨论的内容 (Significance and Content of the Course)

自动控制技术已经广泛应用于国民经济的各个领域，尤其在工业生产过程中。为了保证产品的产量和质量，工业生产过程需要在规定的工艺条件下进行，对有关参数都有一定的要求。为了保持这些参数不变，或稳定在某一范围内，或按预定的规律变化，就需要对它们进行控制。为了加快生产速度，降低生产成本，提高产品的产量和质量，同时减轻劳动强度，改善劳动条件，保证安全生产，必须用自动化仪表取代人工操作来进行自动控制。

自动控制仪表是实现生产过程自动化必不可少的工具，任何一个自动控制系统都需要应用自动化仪表。自动控制系统要达到预期的控制效果，性能优良、质量可靠的自动化仪表是基础。因此，对于从事自动控制的人员来说，了解并学习构成自动控制系统的常用测控仪表，不仅是非常重要的而且是必要的。

本课程以典型工业测控仪表系统为主线，系统讲授生产过程自动化领域经常使用的各种测控仪表及装置，主要内容包括：测控仪表基本概念、仪表的基本性能指标，各种常用温

度、压力、流量、物位及成分分析仪表的基本结构、工作原理、基本性能指标、特点、适用范围、安装使用注意事项和调校方法，仪表系统及常用控制装置、执行器等。

关键词(Key Words and Phrases)

(1) 测量及控制仪表	Measurement and Control Instrument
(2) 过程参数	Process Parameter
(3) 数据处理	Data Process
(4) 被控变量	Controlled Variable
(5) 操纵变量	Manipulated Variable
(6) 希望值	Desired Value
(7) 阀门开度	Valve Openness
(8) 人工控制系统	Manual Control System
(9) 自动控制	Automatic Control
(10) 变送器	Transducer
(11) 控制器	Controller
(12) 执行器	Actuator

习题(Problems)

- 1-1 测控仪表在控制系统中起什么作用？
- 1-2 典型测控系统由哪些环节构成？
- 1-3 典型测控系统中各环节的作用是什么？

2 测控仪表基本概念及性能指标

(Basic Concept and Performance Index of Measurement and Control Instrument)

在了解了本课程的内容和重要意义之后，我们来讨论和介绍测控仪表基本概念以及常用的评价仪表性能优劣的指标，包括测量范围、上下限及量程，零点迁移和量程迁移，灵敏度和分辨率，误差，线性度，精度和精度等级，死区、滞环和回差，反应时间，重复性和再现性，可靠性，稳定性等。

2.1 测量范围、上下限及量程 (Measuring Range, Upper and Lower Range Limit, Span)

每台用于测量的仪表都有测量范围，定义如下：

测量范围 (Measuring Range) 就是指仪表按规定的精度进行测量的被测量的范围。

Measuring Range: The region between the limits within which a quantity is measured, received, or transmitted according to instrument's specified accuracy, expressed by stating the lower and upper range values.

测量范围的最大值称为测量上限值，简称上限 (Upper Range Limit)。

Upper Range Limit: The highest value of the measured variable that a device can be adjusted to measure.

测量范围的最小值称为测量下限值，简称下限 (Lower Range Limit)。

Lower Range Limit: The lowest value of the measured variable that a device is adjusted to measure.

仪表的量程 (Span) 可以用来表示其测量范围的大小，是其测量上限值与下限值的代数差，即

$$\text{量程} = \text{测量上限值} - \text{测量下限值}$$

The measuring instrument can measure any value of a measured variable within its range of measurement according to specified accuracy. The range is defined by the lower range limit and the upper range limit. As the names imply, the range consists of all values between the lower range limit and the upper range limit. The span is the algebraic difference between the upper range limit and the lower range limit.

$$\text{Span} = \text{upper range limit} - \text{the lower range limit}$$

例 2-1 一台温度检测仪表的测量上限值是 500°C ，下限值是 -100°C ，则其测量范围和量程各为多少？

解：该仪表的测量范围为 $-100 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。

$$\text{量程} = \text{测量上限值} - \text{测量下限值} = 500^{\circ}\text{C} - (-100^{\circ}\text{C}) = 600^{\circ}\text{C}$$

Example 2-1 A temperature measuring instrument, its upper range limit is 500°C and low-

er range limit is -100°C , then, what is its measuring range and span?

Solution: Its measuring range is $-100 \sim 500^{\circ}\text{C}$.

$$\begin{aligned}\text{Span} &= \text{upper range limit} - \text{the lower range limit} \\ &= 500^{\circ}\text{C} - (-100^{\circ}\text{C}) = 600^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

仪表的量程在检测仪表中是一个非常重要的概念，它与仪表的精度、精度等级及仪表的选用都有关。

仪表测量范围的另一种表示方法是给出仪表的零点(Zero)及量程。仪表的零点即仪表的测量下限值。由前面的分析可知，只要仪表的零点和量程确定了，其测量范围也就确定了。这是一种更为常用的表示方法。

例 2-2 一台温度检测仪表的零点是 -50°C ，量程是 300°C ，则其测量范围为多少？

解: 零点是 -50°C ，说明其测量下限值为 -50°C 。

由 量程 = 测量上限值 - 测量下限值

有 测量上限值 = 量程 + 测量下限值 = $300^{\circ}\text{C} + (-50^{\circ}\text{C}) = 250^{\circ}\text{C}$

这台温度检测仪表的测量范围为 $-50 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

Example 2-2 A temperature measuring instrument, its zero is -50°C and span is 300°C , then, what is its measuring range?

Solution: Span = upper range limit - the lower range limit

$$\begin{aligned}\text{Then Upper range limit} &= \text{span} + \text{the lower range limit} \\ &= 300^{\circ}\text{C} + (-50^{\circ}\text{C}) = 250^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

So, its measuring range is $-50 \sim 250^{\circ}\text{C}$.

2.2 零点迁移和量程迁移 (Zero Shift and Span Shift)

在实际使用中，由于测量要求或测量条件的变化，需要改变仪表的零点或量程，可以对仪表的零点和量程进行调整(Adjustment)。通常将零点的变化称为零点迁移(Zero Shift)，量程的变化称为量程迁移(Span Shift)。

以被测变量相对于量程的百分数为横坐标，记为 X ，以仪表指针位移或转角相对于标尺长度的百分数为纵坐标，记为 Y ，可得到仪表的输入输出特性曲线(Input - Output Characteristic Curve) $X - Y$ 。假设仪表的特性曲线是线性的，如图 2.1 中线段 1 所示。

单纯零点迁移情况如图 2.1 中线段 2 所示。此时仪表量程不变，其斜率亦保持不变，线段 2 只是线段 1 的平移，理论上零点迁移到了原输入值的 -25% ，上限值迁移到了原输入值的 75% ，而量程则仍为 100% 。

Zero Shift: Means provided in an instrument to produce a parallel shift of the input - output curve.

单纯量程迁移情况如图 2.1 中线段 3 所示。

此时仪表零点不变，线段仍通过坐标系原点，但斜率发生了变化，上限值迁移到了原输入值的 140% ，量程变为 140% 。

Span Shift: Means provided in an instrument to change the slope of the input - output curve.

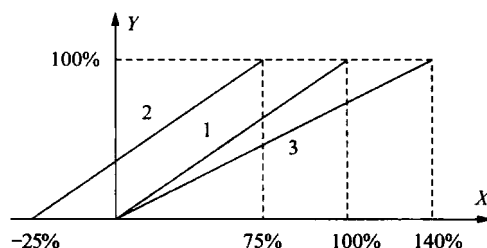


图 2.1 零点迁移和量程迁移示意图

零点迁移和量程迁移可以扩大仪表的通用性。但是，在何种情况下可以进行迁移，以及能够有多大的迁移量，还需视具体仪表的结构(Structure)和性能(Performance)而定。

2.3 灵敏度和分辨率(Sensitivity and Resolution)

2.3.1 灵敏度(Sensitivity)

灵敏度 S 是表示仪表对被测量(Measured Variable)变化的灵敏程度，常以在被测量改变时，经过足够时间仪表指示值达到稳定状态(Steady State)后，仪表输出(Output)的变化量 Δy 与引起此变化的输入(Input)变化量 Δx 之比，即

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2-1)$$

Sensitivity: The ratio of the change in output magnitude to the change of the input that causes it after the steady-state has been reached. It is expressed as a ratio with the units of measurement of the two quantities stated.

由上面的定义可知，灵敏度实际上是一个有量纲的放大倍数。在量纲相同的情况下，仪表灵敏度的数值越大，说明仪表对被测参数的变化越灵敏。

若为指针式仪表，则灵敏度在数值上等于单位被测参数变化量所引起的仪表指针移动的距离(或转角)。

灵敏度即为图 2.1 中的斜率，零点迁移灵敏度不变，而量程迁移则意味着灵敏度的改变。

2.3.2 分辨率(Resolution)

分辨率又称灵敏限，是仪表输出能响应和分辨的最小输入变化量。

Resolution: The least interval between two adjacent discrete details that can be used to distinguish one from the other.

通常仪表的灵敏限不应大于允许绝对误差的一半。从某种意义上讲，灵敏限实际上是死区。

分辨率是灵敏度的一种反映，一般说仪表的灵敏度高，其分辨率也高。在实际应用中，希望提高仪表的灵敏度，从而保证其有较高的分辨率。

上述指标适用于指针式仪表，在数字式仪表中常常用分辨力来描述仪表灵敏度(或分辨率)的高低。

2.3.3 分辨力(Resolution)

对于数字式仪表而言，分辨力是指该表的最末位数字间隔所代表的被测参数变化量。

如数字电压表末位间隔为 $10\mu\text{V}$ ，则其分辨力为 $10\mu\text{V}$ 。

对于有多个量程的仪表，不同量程的分辨力是不同的，相应于最低量程的分辨力称为该表的最高分辨力，对数字仪表而言，也称该表的灵敏度。如，某表的最低量程是 $0 \sim 1.00000\text{V}$ ，六位数字显示。末位数字的等效电压为 $10\mu\text{V}$ ，则该表的灵敏度为 $10\mu\text{V}$ 。

数字仪表的分辨率为灵敏度与它的量程的相对值。上述仪表的分辨率为 $10\mu\text{V}/1\text{V} = 10^{-5}$ ，即十万分之一。

2.4 测量误差 (Measurement Error)

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

人们对被测参数真实值的认识，虽然随着实践经验的积累和科学技术的发展会越来越接近，但绝不会达到完全相等的地步，这是由于测量过程中始终存在着各种各样的影响因素。例如，没有考虑到某些次要的、影响小的因素，对被测对象本质认识的不够全面，采用的检测工具不十分完善，以及观测者技术熟练程度不同等，均可使获得的测量结果与真实值之间总是存在着一定的差异，这一差异就是误差。可见在测量过程中自始至终存在着误差。

测量过程就是将被测物理量转换为转角、位移、能量等的过程，而测量仪表就是实现这一过程的工具。仪表指示的被测值称为示值 (Indication Value)，它是被测量真值 (True Value) 的反应。被测量真值是指被测物理量客观存在的真实数值，严格地说，它是一个无法得到的理论值，因为无论采用何种仪表测到的值都有误差。实际应用中常用精度较高的仪表测出的值，称为约定真值 (Conventional True Value) 来代替真值。例如使用国家标准计量机构标定过的标准仪表 (Standard Instrument) 进行测量，其测量值即可作为约定真值。由仪表读得的被测值和被测量真值之间，总是存在一定的差距，这一差距就是测量误差 (Error)。

测量误差通常有两种表示方法，即绝对误差和相对误差。

2.4.1 绝对误差 (Absolute Error)

绝对误差是指仪表指示值与公认的约定真值之差，即

$$\Delta = x - x_0 \quad (2-2)$$

式中 Δ ——绝对误差；

x ——示值，被校表的读数值 (Calibrated Instrument Reading)；

x_0 ——约定真值，标准表 (精度高) 的读数值 (Standard Instrument Reading)。

绝对误差又可简称为误差。绝对误差是可正可负的，而不是误差的绝对值，当误差为正时表示仪表的示值偏大，反之偏小。绝对误差还有量纲，它的单位与被测量的单位相同。

Error: In process instrumentation, the algebraic difference between the indication and the ideal value of the measured signal. It is the quantity that, algebraically subtracted from the indication, gives the ideal value.

Note: A positive error denotes that the indication of the instrument value is greater than the ideal value.

仪表在其测量范围内各点读数绝对误差的最大值称为最大绝对误差 (Maximum Absolute Error)，即

$$\Delta_{\max} = (x - x_0)_{\max} \quad (2-3)$$

2.4.2 相对误差 (Relative Error)

为了能够反映测量工作的精细程度，常用测量误差除以被测量的真值，即用相对误差来表示。相对误差也具有正负号，但无量纲，用百分数表示。由于真值不能确定，实际上是用

约定真值来代替真值。在测量中，由于所引用真值的不同，相对误差有以下两种表示方法：

(1) 实际相对误差 (True Relative Error)

True Relative Error: Error expressed in terms of the true value.

$$\delta_{\text{实}} = \frac{\Delta}{x_0} \times 100\% = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (2-4)$$

(2) 示值相对误差 (Indication Relative Error)

Indication Relative Error: Error expressed in terms of the indication value.

$$\delta_{\text{示}} = \frac{\Delta}{x} \times 100\% = \frac{x - x_0}{x} \times 100\% \quad (2-5)$$

示值相对误差也称为标称相对误差。

2.4.3 基本误差与附加误差 (Basic Error and Additional Error)

任何测量都与环境条件 (Environment Condition) 有关。这些环境条件包括环境温度、相对湿度、电源电压和安装方式等。仪表应用时应严格按照规定的环境条件即参比工作条件 (Reference Operating Condition) 进行测量，此时获得的误差称为基本误差。在非参比工作条件下测量所得的误差，除基本误差外，还会包含额外的误差，称为附加误差，即

$$\text{误差} = \text{基本误差} + \text{附加误差} \quad (2-6)$$

Basic Error: Error caused in reference operating condition.

Additional Error: Error caused by a change in a specified operating condition from reference operating condition.

以上讨论都是针对仪表的静态误差 (Static Error)，即仪表静止状态时的误差，或变化量十分缓慢时所呈现的误差，此时不考虑仪表的惯性 (Inertia Factors) 因素。仪表还有动态误差 (Dynamic Error)，动态误差是指仪表因惯性延迟所引起的附件误差，或变化过程中的误差。

2.5 线性度 (Linearity)

线性度又称为非线性误差 (Nonlinear Error)，也称为非线性度 (Nonlinearity)。

对于理论上具有线性特性的检测仪表，往往由于各种因素的影响，使其实际特性偏离线性，如图 2.2 所示。线性度是衡量实际特性偏离线性程度的指标，其定义为：仪表输出一输入校准曲线 (Calibration Curve) 与理论拟合直线之间的绝对误差的最大值 $\Delta'_{\max}$ 与仪表的量程之比的百分数，即

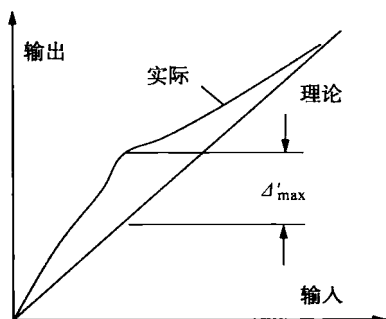


图 2.2 线性度示意图

$$\text{非线性误差} = \frac{\Delta'_{\max}}{\text{量程}} \times 100\% \quad (2-7)$$

Linearity: The closeness to which a curve approximates a straight line.

Note 1: It is usually measured as a nonlinearity and expressed as linearity; e. g., a maximum deviation between an average curve and a straight line. The average curve is determined after making two or more full range traverses in each direction. The value of linearity is referred to the output un-

less otherwise stated.

Note 2: As a performance specification, linearity should be expressed as independent linearity, terminal based linearity, or zero – based linearity. When expressed simply as linearity, it is assumed to be independent linearity.

2.6 精度和精度等级 (Accuracy and Accuracy Grade)

既然任何测量过程中都存在测量误差，那么在应用测量仪表对工艺参数进行测量时，不仅需要知道仪表的指示值，还应知道该测量仪表的精度，即所测量值接近真实值的准确程度，以便估计测量误差的大小，进而估计测量值的大小。

测量仪表在其测量范围内各点读数的绝对误差，一般是标准表(Standard Instrument)和被校表(Calibrated Instrument)同时对一个参数进行测量时所得到的两个读数之差。由于仪表的精确程度(准确程度)不仅与仪表的绝对误差有关，还与仪表的测量范围有关，因此不能采用绝对误差来衡量仪表的准确度。例如，在温度测量时，绝对误差 $\Delta = 1^{\circ}\text{C}$ ，对体温测量来说是不允许的，而对测量钢水温度来说却是一个极好的测量结果。又例如，有一台金店用的秤，其测量范围为 $0 \sim 100\text{g}$ ，另一台人体秤，测量范围为 $0 \sim 100\text{kg}$ ，如果它们的最大绝对误差都是 $\pm 10\text{g}$ ，则很明显人体秤更准确。就是说，采用绝对误差表示测量误差，不能很好地说明测量质量的好坏。两台测量范围不同的仪表，如果它们的最大绝对误差相等的话，测量范围大的仪表较测量范围小的精度高。

那么是否可以用相对误差来衡量仪表的准确度呢？相对误差可以用来表示某次测量结果的准确性，但测量仪表是用来测量某一测量范围内的被测量，而不是只测量某一固定大小的被测量的。而且，同一仪表的绝对误差，在整个测量范围内可能变化不大，但测量值变化可能很大，这样相对误差变化也很大。因此，用相对误差来衡量仪表的准确度是不方便的。为方便起见，通常用引用误差来衡量仪表的准确性能。

2.6.1 引用误差 (Quote Error)

引用误差又称为相对百分误差(Relative Percentage Error) δ ，用仪表的绝对误差 Δ 与仪表量程之比的百分数来表示，即

$$\delta = \frac{\Delta}{\text{量程}} \times 100\% \quad (2-8)$$

Quote Error: Error expressed in terms of percent of span.

2.6.2 最大引用误差 (Maximum Quote Error)

用仪表在其测量范围内的最大绝对误差 $\Delta_{\max}$ 与仪表量程之比的百分数来表示，即

$$\delta_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{\text{量程}} \times 100\% \quad (2-9)$$

2.6.3 允许的最大引用误差 (Permissible Maximum Quote Error)

根据仪表的使用要求，规定一个在正常情况下允许的最大误差，这个允许的最大误差就称为允许误差， $\Delta_{\max\text{允}}$ 。允许误差与仪表量程之比的百分数表示就是仪表允许的最大引用误

差,是指在规定的正常情况下,允许的相对百分误差的最大值,即

$$\delta_{允} = \frac{\Delta_{max允}}{\text{量程}} \times 100\% \quad (2-10)$$

2.6.4 精度 (Accuracy)

精度又称为精确度或准确度,是指测量结果和实际值一致的程度,是用仪表误差的大小来说明其指示值与被测量真值之间的符合程度。通常用允许的最大引用误差去掉正负号(±)和百分号(%)后,剩下的数字来衡量。其数值越大,表示仪表的精度越低,数值越小,表示仪表的精度越高。

Accuracy: In process instrumentation, degree of conformity of an indicated value to a recognized accepted standard value, or ideal value. It is the maximum positive and negative deviation observed in testing a device under specified conditions and by a specified procedure. It is typically expressed in terms of percent of span.

2.6.5 精度等级 (Accuracy Grade)

按照仪表工业的规定,仪表的精度划分为若干等级,称精度等级。我国常用的精度等级有

0.005, 0.01, 0.02, 0.05	0.1, 0.2, (0.4), 0.5	1.0, 1.5, 2.5, (4.0)
I 级标准表	II 级标准表	工业用表

括号内等级必要时采用。所谓 1.0 级仪表,即该仪表允许的最大相对百分误差为 ±1%,其余类推。

仪表精度等级是衡量仪表质量优劣的重要指标(Index)之一。精度等级的数字越小,仪表的精度等级就越高,也说明该仪表的精度高。

仪表精度等级一般可用不同符号形式标志在仪表面板或铭牌上,如 1.0 级仪表表示为⑩、△或 ±1.0% 等。

下面两个例题进一步说明了如何确定仪表的精度等级。

例 2-3 有两台测温仪表,测温范围分别为 0 ~ 100℃ 和 100 ~ 300℃,校验时得到它们的最大绝对误差均为 ±2℃,试确定这两台仪表的精度等级。

解:

$$\delta_{max1} = \frac{\pm 2}{100 - 0} \times 100\% = \pm 2\%$$
$$\delta_{max2} = \frac{\pm 2}{300 - 100} \times 100\% = \pm 1\%$$

去掉正负号和百分号,分别为 2 和 1。因为精度等级中没有 2 级仪表,而该表的误差又超过了 1 级表所允许的最大误差,取 2 对应低等级数上接近值 2.5 级,所以这台仪表的精度等级是 2.5 级,另一台为 1 级。

Example 2-3 There are two temperature measuring instruments, their ranges are 0 ~ 100℃ and 100 ~ 300℃ separately. The maximum absolute error Δ_{max} of both instruments are all 2℃ from calibration, please determine the accuracy grade of these two instruments.

Solution:

$$\delta_{max1} = \frac{\pm 2}{100 - 0} \times 100\% = \pm 2\%$$