

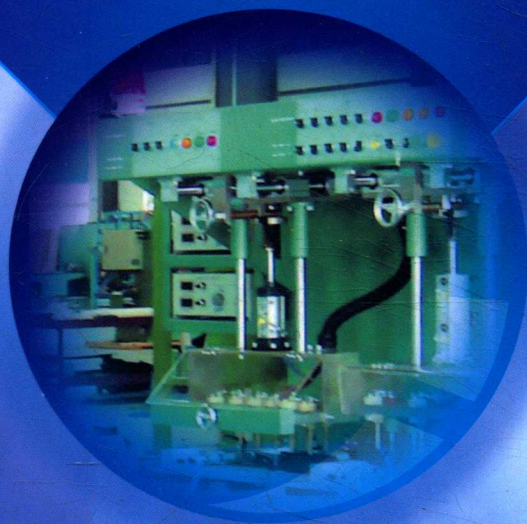
高职高专“十二五”规划教材

GUOCHENG JIANCE YU KONGZHI YIBIAO
YITI HUA JIAOCHENG

过程检测与控制仪表 一体化教程

邵联合 主编

黄桂梅 李金文 副主编



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

过程检测与控制仪表 一体化教程

邵联合 主编

黄桂梅 李金文 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从实用角度出发,以检测与控制仪表任务式课程开展为向导,以过程检测与控制系统为教学载体,以仪表安装检修维护所需常见实训内容为主线,面向实践应用,采用任务驱动方式编写,体现教、学、做一体化的教学设计,突出能力培养为核心的教学理念,引入国家标准、行业标准和职业规范。本书体现了理论教学和实践教学并重的宗旨,主要介绍了过程检测与控制仪表结构、工作原理、安装、使用、校验、调试、检修等方面的相关知识,反映了近年来检测控制领域中的新技术、新方法和新发展。

本书可作为高职高专电力技术类相关专业的教学用书,同时也可作为生产过程自动化等方面工程技术人员的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

过程检测与控制仪表一体化教程/邵联合主编. —北京:化学工业出版社,2013.8
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-17944-9

I. ①过… II. ①邵… III. ①自动检测-检测仪表-高等职业教育-教材②过程控制-检测仪表-高等职业教育-教材 IV. ①TP216

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第157789号

责任编辑:王听讲
责任校对:吴静

文字编辑:吴开亮
装帧设计:韩飞

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:三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数505千字 2013年10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:36.00元

版权所有 违者必究

前言

过程检测与控制仪表是火电厂实现热工自动化的重要工具,是保证单元机组安全经济运行不可缺少的技术措施。本教材是编者在深入生产企业一线调研的基础上,结合高职高专教育教学的特点以及学生的认知规律,根据检测与控制仪表安装与检修工职业技能培训与鉴定的需要,与企业专家共同研讨后合作开发,是具有工学结合特色的教改教材。

本教材打破了传统的以讲授原理性知识为主的学科式体系,完全以工作任务为核心,基于工作过程系统化设计情境,每一类仪表的安装检修任务就是一个教学情境,每一学习情境依据实际工作顺序(仪表认知与选型、校验、安装、调试、检修)设计任务,每个任务融合了相关知识和技能,同时注重知识拓展和工程素养的培养,便于学生自学。教材引进了企业标准和操作规范,结合校内实训环境,便于开展项目化教学。

依据教学安排,将教材内容分为上下两篇:上篇主要介绍检测仪表的安装与检修相关知识和操作技能,由七个学习情境组成,分别为检测系统的认知与检定、温度检测仪表的安装与检修、显示仪表的使用、压力测量仪表的安装与检修、流量测量仪表的安装与检修、液位测量仪表的安装与检修、其他参量检测仪表安装与使用;下篇主要介绍控制装置的安装与检修相关知识和操作技能,由五个学习情境组成,分别为控制系统的认知、数字式调节器的使用、执行机构的安装与检修、调节机构的安装与检修、单回路检测控制系统设计与投运。每个学习情境分别由七大板块构成,即学习情境描述、教学目标、情境学习重点、情境学习难点、学习任务、小结、复习思考;每一学习任务又包括任务引领、任务要求、任务准备、任务实施、知识导航、请你做一做六个教学环节。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案和教学资源,需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本教材由保定电力职业技术学院邵联合副教授担任主编,保定电力职业技术学院黄桂梅教授、承德石油高等专科学校李金文讲师担任副主编。黄桂梅编写了学习情境一、学习情境三和学习情境五,邵联合编写了学习情境二、学习情境四、学习情境六、学习情境七和学习情境十~十二,李金文编写了学习情境八和学习情境九,康艳新和梁浩然也参加了本书的编写工作。全书由邵联合负责统稿。

本书编写过程中,参阅了相关资料,在此对各位作者一并表示感谢。由于编者水平有限,加之编写时间仓促,搜集的资料有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2013年6月

目 录

上篇 检测仪表

学习情境一 检测系统的认知与检定	(2)
任务一 自动检测系统的认知	(2)
任务二 检测仪表的质量检定	(5)
复习思考	(12)
学习情境二 温度检测仪表的安装与检修	(13)
任务一 温度测量仪表的认知与选型	(14)
任务二 温度测量仪表的示值检定	(28)
任务三 温度测量仪表的安装	(32)
任务四 温度测量仪表的检修	(35)
复习思考	(39)
学习情境三 显示仪表的使用	(40)
任务一 显示仪表的认知	(40)
任务二 显示仪表的使用	(47)
复习思考	(57)
学习情境四 压力测量仪表的安装与检修	(58)
任务一 弹簧管压力表的安装与检修	(59)
子任务一 弹性式压力表的认知与选用	(59)
子任务二 弹簧管压力表的校验与调整	(66)
子任务三 压力测量仪表的安装与投运	(70)
任务二 电容式压力(差压)变送器的安装与检修	(76)
子任务一 电容式压力(差压)变送器的认知与选用	(76)
子任务二 电容式压力(差压)变送器的调校	(80)
子任务三 电容式压力(差压)变送器的安装与投运	(84)
复习思考	(89)
学习情境五 流量测量仪表的安装与检修	(93)
任务一 流量测量仪表的认知与选型	(94)
任务二 差压式流量计的安装与检修	(107)
任务三 电磁流量计的安装与检修	(115)
任务四 涡街流量计的安装与检修	(119)
复习思考	(122)
学习情境六 液位测量仪表的安装与检修	(124)
任务一 液位测量仪表的认知与选型	(124)
任务二 差压式水位测量系统的安装与检修	(137)

任务三 其他液位测量仪表的安装与使用·····	(142)
复习思考·····	(148)
学习情境七 其他参量检测仪表的安装与使用·····	(150)
任务一 氧化锆氧量的安装与使用·····	(150)
子任务一 氧化锆氧量的认知·····	(150)
子任务二 氧化锆氧量的安装、调试与运行维护·····	(155)
任务二 电子皮带秤的安装与使用·····	(160)
任务三 转速测量仪表的安装与使用·····	(165)
任务四 振动量与机械位移量测量仪表的安装与使用·····	(168)
复习思考·····	(173)

下篇 控制仪表

学习情境八 控制系统的认知·····	(176)
任务一 过程控制装置的认知·····	(176)
任务二 过程控制装置的干扰抑制·····	(182)
复习思考·····	(191)
学习情境九 数字式调节器的使用·····	(193)
任务一 数字式PID调节器的认知·····	(193)
任务二 数字式PID调节器的使用·····	(201)
复习思考·····	(210)
学习情境十 执行机构的安装与检修·····	(211)
任务一 执行机构的认知·····	(211)
任务二 执行机构的检查与校验·····	(222)
任务三 执行机构的安装与故障处理·····	(226)
复习思考·····	(232)
学习情境十一 调节机构的安装与检修·····	(233)
任务一 调节阀的认知·····	(234)
任务二 调节阀的选择·····	(238)
任务三 调节阀的安装与检修·····	(249)
复习思考·····	(253)
学习情境十二 单回路检测控制系统设计与投运·····	(254)
任务一 单回路控制系统综合设计·····	(254)
任务二 单回路控制系统的投运与故障处理·····	(261)
复习思考·····	(265)
附录 热电偶、热电阻分度表·····	(266)
参考文献·····	(269)

上篇 检测仪表

学习情境一 检测系统的认知与检定

● 学习情境描述

人们为了检查、监督和控制某个生产过程或运动对象使之处于人们选定的最佳状况下时,就必须随时掌握这种最佳状况的各种参数,为此,就要求随时检查和测量这些参数的大小、变化等情况。因而,自动检测技术就是对生产过程和运动对象实施定性检查和定量测量的技术。

自动检测技术是自动化技术的四大支柱之一,在现代生产过程自动化中起着十分重要的作用,是构成自动控制系统不可缺少的重要组成环节。人们常把它称为实现生产过程自动化的“耳目”。因为它在自动控制系统中是与控制对象相联系,利用物理、化学和生物的方法来获取被测对象的组分、状态、运动和变化的信息,通过转换和处理,使这些信息成为易于人们阅读和识别的量化形式,送入存储、显示或控制器,以实现过程参数的自动控制,使生产过程按预定要求正常进行。

本学习情境主要完成两个学习性工作任务:

- 任务一 自动检测系统的认知;
- 任务二 检测仪表的质量检定。

● 教学目标

- (1) 了解自动检测系统的组成及各组成部分的作用。
- (2) 能说明检测信号的类型及传递方式。
- (3) 了解测量的含义及测量方法有哪些。
- (4) 了解测量误差的种类及测量误差的产生原因。
- (5) 知道误差的表示方法,会计算误差。
- (6) 了解检测仪表的质量指标主要有哪些,会计算各主要的质量指标。
- (7) 会检定检测仪表的优劣,判断其是否合格。

● 本情境学习重点

- (1) 自动检测系统组成。
- (2) 检测仪表的质量检定。

● 本情境学习难点

检测仪表的校验方法。

任务一 自动检测系统的认知

● 任务引领

1. 检测的目的及意义

在生产过程中,为了正确指导生产操作,提高产品质量,保证安全生产,实现生产过程的自动控制,需要对工艺生产过程中的压力、物位、流量、温度等参数和产品的成分进行自动检测。

2. 什么是自动检测系统

利用各种检测仪表对生产过程中的各种工艺变量自动、连续地进行测量、显示或记录,以供操作者观察或直接自动监督生产情况的系统,称为自动检测系统。它代替了操作人员对工艺参

数的不断观察与记录,起到对过程信息的获取与记录作用,这在生产过程自动化中是最基本的也是十分重要的内容。

任务要求

- (1) 正确描述自动检测系统的结构组成及各部分的作用。
- (2) 能说出过程检测与控制情境教学实训装置上各种检测仪表的名称。
- (3) 能说明检测信号的类型和信号传递的形式。

任务准备

问题引导:

- (1) 试说明检测仪表在控制过程中起什么样的作用?
- (2) 自动检测系统由哪几部分组成?各部分有何作用?
- (3) 检测环节的信号有哪几种类型?
- (4) 检测信号传递形式有哪几种?

任务实施

- (1) 教师对过程检测与控制情境教学实训装置进行实物演示与操作示范。
- (2) 教师启动实训装置,观察检测仪表、显示仪表参数变化情况。
- (3) 学生归纳并进行小组总结。
 - ①实训中都有哪几类检测仪表?
 - ②结合实物归纳自动检测系统的组成。
 - ③描述自动检测系统各组成部分的作用。
 - ④说明检测环节中检测信号的类型和信号传递的形式。
- (4) 举例说出发电厂应用到的检测仪表有哪些。

知识导航

首先进行系统演示,启动过程检测与控制情境教学实训装置,实训装置如图 1-1 所示,具体检测控制设备说明见表 1-1。

表 1-1 实训装置检测控制设备一览表

序号	设备编号	设备名称	序号	设备编号	设备名称
1	罐 01	储水罐	11	FI03	差压式流量计
2	罐 02、罐 03	工作罐	12	T01	热电阻
3	LIC01	罐 02 差压式液位检测仪表	13	T02	热电偶
4	LIC02	罐 03 差压式液位检测仪表	14	PI02	泵 02 出口压力检测仪表
5	LI01	罐 01 磁翻板式液位计	15	PI01 - 1	泵 01 压力检测 (弹簧管压力表)
6	LI02	罐 03 磁翻板式液位计	16	PI01 - 2	泵 02 压力检测 (弹簧管压力表)
7	LI03	罐 01 浮球式液位计	17	CV01	电动调节阀
8	LI04	罐 02 超声波液位计	18	CV02	气动调节阀
9	FI01	电磁流量计	19	V01~V12	手动阀
10	FI02	涡街流量计			

一、自动检测系统的组成

由于工业生产过程中的被测参数有很多,各种检测仪表的测量原理及结构不同,但组成检测仪表的基本环节有共同之处,如感受部件、传输变换部件及显示部件,如图 1-2 所示。

1. 感受部件

感受部件也称一次仪表,它是测量仪表的感受部分直接与被测对象相联系 (但不一定直接接触)。它的作用是感受被测参数的大小和变化,并且必须随着被测参数变化产生一个相应的信

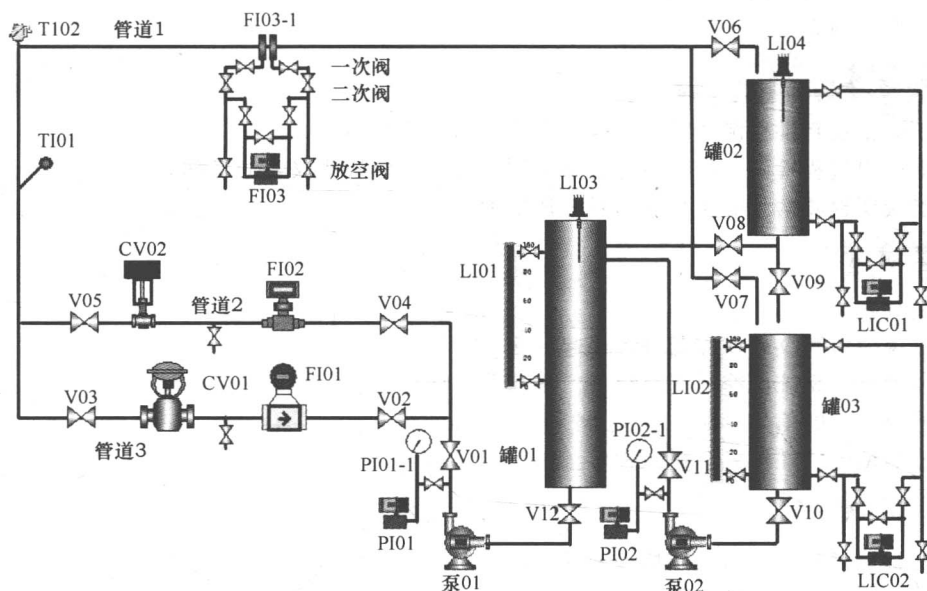


图 1-1 过程检测与控制情境教学实训装置



图 1-2 测量仪表组成方框图

号输出到传输变换部件。

仪表能否快速、准确地反映被测参数的大小，很大程度上取决于感受部件。对感受部件的具体要求如下。

- ①输出信号与被测参数的变化之间呈单值函数关系，最好呈线性关系，并有较高的灵敏度。
- ②对非被测量的变化，感受部件应不受影响或受影响极小。
- ③反应快、迟延小。

2. 传输变换部件

传输变换部件也称中间部件，作用是将感受部件输出的信号根据显示部件的要求传送给显示部件。因此有的中间部件只是单纯起传递作用；有的则可放大感受部件发出的信号；还有的在感受部件输出信号不便于远距离传送或者因某些特定要求需要变为某种统一的信号时，中间部件可以根据要求将感受部件的输出信号变换为相应的其他输出量，如电流、电压等，再送到显示部件。这种传输变换部件往往构成独立完整的器件，通称为变送器。

3. 显示部件

显示部件也称二次仪表，其作用是接受传输变换部件送来的信号并将其转换为测量人员可以辨识的信号。

根据显示方式不同，仪表一般分为模拟显示仪表、数字显示仪表、屏幕显示仪表。有些测量仪表根据不同的需要，还具有记录、累计、报警及调节等功能，有些还可以巡回检测多个不同的参数。

二、检测环节的信号传递

1. 检测环节信号的类型

检测技术涉及的内容很广，但在电厂热工过程中，常见的被测量有温度、压力、液位、流量、机械量（位移、转速、振动等）、成分等。

为了便于传输、处理和显示，对于非电量的被测参数通常将其转换成电气、压力、光等信号类型。

①常用的电气信号有电压信号、电流信号、阻抗信号和频率信号等。电气信号传送快、滞后小,可以远距离传送,便于和计算机连接,其应用越来越广泛。目前,大多数传感器是将被测参数的变化转换为电信号,发展非常迅速。

②压力信号包括气压信号和液压信号。液压信号多用于控制环节。在气动检测系统中,以净化的恒压空气为能源,气动传感器或气动变送器将被测参数转换为与之相应的气压信号,经气动功率放大器放大,可以进行显示、记录、计算、报警或自动控制。

③光信号包括光通量信号、干涉条纹信号、衍射条纹信号等。随着激光、光导纤维的发展,光学检测技术正发挥着越来越重要的作用。

2. 检测环节中的信号传递形式

检测环节中传递信号的形式可分为以下几种。

(1) 模拟信号 在时间上是连续变化的,即在任何瞬时都可以确定其数值的信号,称为模拟信号。模拟信号可以变换成电信号,即平滑的、连续的、变化的电压或电流信号。

(2) 数字信号 数字信号是一种以离散形式出现的不连续信号,通常以二进制的0和1组合的代码序列来表示。数字信号变换成电信号就是一连串的窄脉冲和高低电平交替变化的电压信号。

(3) 开关信号 用两种状态或两个数值范围表示的不连续信号叫开关信号。在自动检测技术中,利用开关式传感器可以将模拟信号变换成开关信号。



请你做一做

- (1) 过程检测与控制实训装置中所检测的参数有哪些?
- (2) 选用了哪些检测仪表? 安装在什么位置?
- (3) 信号采用何种传递形式?
- (4) 模拟式测量系统与数字式测量系统在组成上有什么不同?

任务二 检测仪表的质量检定



任务引领

在检测过程中,不同的检测技术、检测方法、检测工具,不同的人员操作,或多或少会产生不同的测量误差。如何提高测量的准确性,减小测量误差,如何评价和检定检测仪表的质量优劣呢?这将是本任务要解决的问题。



任务要求

- (1) 正确描述不同分类方法中的自动测量方法及其特点。
- (2) 能表述测量误差的分类和表示方法,说明测量误差的产生原因。
- (3) 能说明评价检测仪表的质量指标。
- (4) 能正确进行检测仪表的质量检定。



任务准备

问题引导:

- (1) 测量的定义及测量的三要素是什么?
- (2) 测量有哪些分类方式及类型?
- (3) 测量误差有哪几种类型? 产生原因是什么?
- (4) 测量误差的表示方法有哪几种? 各有什么特点?
- (5) 检测仪表的质量指标主要有哪些?
- (6) 仪表检定的具体方法步骤是什么?



任务实施

(1) 教师根据任务提出问题, 引入知识点。采用反推法: 要检定仪表质量必须了解质量指标, 质量指标涉及误差计算; 检定仪表不合格(误差过大)则需要想办法减小误差。如何减小误差呢? 可以通过改进测量原理、认真正确操作、采用不同测量方法等手段实现。

(2) 学生根据教师提出问题的反逻辑依次解答问题。

(3) 分组讨论, 准备仪表设备进行仪表检定。

(4) 学生归纳并进行小组总结。

①简述仪表检定的步骤。

②结合实物说明各仪表设备的名称和用途。

③描述评价仪表质量的指标有哪些。

④说明误差的表示方法有哪些。

⑤说明减小误差的方法有哪些。

(5) 举例说出各种测量方法的具体应用。



知识导航

一、测量过程与测量方法

1. 测量过程

各种检测仪表的测量过程, 其实质就是被测变量信号能量的不断变换和传递, 并与相应的测量单位进行比较的过程, 而检测仪表就是实现这种比较的工具。例如, 对炉温的检测常常利用热电偶的热电效应, 把被测温度(热能)变换成直流毫伏信号(电能), 然后经过毫伏检测仪表转换成仪表指针位移, 再与温度标尺相比较而显示被测温度的数值。

2. 测量方法

为了及时获得准确可靠的数据, 必须根据行业的要求及被测对象的特点, 选择合理的测量方法。

(1) 直接测量 就是将被测量直接与所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, 从而直接得出测量值的方法。如用尺测长度, 用玻璃管水位计测水位等。

(2) 间接测量 通过直接测量与被测量有确定函数关系的其他变量, 然后将所得的数值代入函数式进行计算, 从而求得被测量值的方法称为间接测量。例如, 用平衡容器测量汽包水位, 通过测量导线电阻、长度及直径求电阻率等。

(3) 组合测量 组合测量是在测量出几组具有一定函数关系的量值的基础上, 通过解联立方程来求取被测量的方法。例如, 在一定温度范围内铂电阻与温度的关系为

$$R_t = R_{t_0}(1 + At + Bt^2)$$

式中 R_{t_0} ——铂电阻在 t_0 时的电阻值;

R_t ——铂电阻在 t 时的电阻值;

A, B ——温度系数(常数)。

为了求出温度系数 A, B , 可以分别直接测出 0°C 、 $t_1^\circ\text{C}$ 、 $t_2^\circ\text{C}$ 三个不同温度值及相应温度下的电阻值 R_{t_0} 、 R_{t_1} 、 R_{t_2} 然后通过解联立方程来求得 A, B 的数值。

根据检测装置的动作原理不同, 测量方法可分为以下几种。

(1) 直读法 被测量作用于仪表比较装置, 使比较装置的某种参数按已知关系随被测量发生变化, 由于这种变化关系已在仪表上直接刻度, 故直接可由仪表刻度尺读出测量结果。例如, 用玻璃管水银温度计测量温度时, 可直接由水银柱高度读出温度值。

(2) 零值法(平衡法) 将被测量与一个已知量进行比较, 当二者达到平衡时, 仪表平衡指示器指零, 这时已知量就是被测量值。例如, 用天平测量物体的质量、用电位差计测量电势, 都采用了零值法。

(3) 微差法 当被测量尚未完全与已知量相平衡时,读取它们之间的差值,由已知量和差值可求出被测量值。用不平衡电桥测量电阻就是用微差法测量的例子。零值法和微差法测量对减小测量系统的误差很有利,因此测量准确度高,应用较为广泛。

根据仪表是否与被测对象接触,测量方法可分为以下两种。

(1) 接触测温法 指仪表的一部分与被测对象相接触,受到被测对象的作用才能得出测量结果的测量方法。例如用玻璃管水银温度计测温度时,温度计的温包应该置于被测介质之中,以感受温度的高低。

(2) 非接触测量法 指仪表的任何部分都不必与被测对象直接接触就能得到测量结果的测量方法。例如用光学高温计测温,是通过被测对象所产生的热辐射对仪表的作用而实现测温的,因此仪表不必与对象直接接触。

二、测量误差产生的原因分析

在测量过程中,由于所使用的测量工具本身不够准确、受观测者的主观性和周围环境的影响等,使得测量的结果不可能绝对准确。仪表测量值与被测参数的真实值之间总是存在着一定的差距,这种差距称为测量误差。研究误差的目的是为了尽可能减少误差,正确处理误差,以提高测量结果的准确性。

1. 测量误差的分类

根据误差出现的规律,测量误差分为系统误差、随机误差和疏失误差三类。

(1) 系统误差 在相同条件下,对同一被测参数进行多次重复测量时,误差的大小和符号保持不变,或在条件改变时,按一定规律变化的误差称为系统误差。如仪表本身的缺陷,温度、湿度、电源电压等单因素环境条件的变化等所造成的误差均属于系统误差。

系统误差的特点是测量条件一经确定,误差即为一确切数值。用多次测量取平均值的方法,并不能改变误差的大小。系统误差是有规律的,可针对其产生的根源采取一定的技术措施进行修正,但不能完全消除。

(2) 随机误差(偶然误差) 在相同条件下,对同一被测参数进行多次重复测量时,误差的大小和符号均以不可预定方式变化的误差称为随机误差。如电磁场干扰和测量者感觉器官无规律的微小变化等引起的误差均为随机误差。

随机误差在多次测量时,其总体服从统计规律,大多服从正态分布,具有对称性、有界性、抵偿性和单峰性等特点。可以通过对多次测量值取算术平均值的方法削弱随机误差对测量结果的影响。

(3) 疏忽误差 在一定的测量条件下,由于人为原因造成的测量值明显偏离实际值所形成的误差称为疏忽误差。

产生疏忽误差的主要原因有:观察者过于疲劳、缺乏经验、操作不当或责任心不强而造成的读错刻度、记错数字或计算错误等失误;测量条件的突然变化,如机械冲击等引起仪器指示值的改变。

疏忽误差可以克服,而且和仪表本身无关,凡确定是疏失误差的测量数据应剔除不用。

2. 测量误差的表示方法

(1) 绝对误差 绝对误差是仪表的测量值与被测量的真值之间的差值。因真值是一个理想的概念,无法得到,所以一般用标准仪表的读数作为约定真值。绝对误差可表示为

$$\Delta = X - X_0$$

式中 Δ ——绝对误差;

X ——被校表的读数(测量值);

X_0 ——标准表的读数(约定真值)。

由于仪表在各检测点的绝对误差不一定相同,一般绝对误差是指整个测量过程中的最大绝对误差。

(2) 相对误差 相对误差是某点的绝对误差与该点标准表的读数之比,一般以百分数表示。

可表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_0} \times 100\%$$

式中 γ —— X_0 点处的相对误差。

对于大小不同的测量值,相对误差比绝对误差更能反映测量的准确程度,相对误差越小,测量的准确性越高。

(3) 引用误差 绝对误差和相对误差的表示形式都不能用于判断测量仪表的质量,因为,两只仪表如果绝对误差相同,但仪表的量程不同,显然量程范围大的那只仪表准确度更高些。所以,判断仪表的质量时,一般不采用绝对误差和相对误差,而采用引用误差。

引用误差是指仪表的绝对误差与该仪表的量程范围之间的百分比,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\%$$

式中 $A_{\max} - A_{\min}$ ——仪表的量程。

无论如何,误差的存在对于测量工作来说都是不利的。为了减小测量误差,得到更接近于真实值的测量结果,有必要对测量误差产生的原因及变化规律进行分析。

三、检测仪表的质量指标

检测仪表的质量优劣,经常用它的质量指标来衡量。检测仪表的质量指标有以下几项。

1. 精度

仪表的精确度(准确度)简称精度,反映了仪表测量值接近真值的准确程度,一般用相对百分误差表示。

相对百分误差是由仪表的绝对误差与该表量程的百分比表示,即

$$\delta = \frac{\Delta_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\% = \frac{\Delta_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

式中 δ ——仪表的相对百分误差;

$\Delta_{\max}$ ——仪表的最大绝对误差;

仪表量程——标尺上限值与下限值之差。

仪表的精确度通常用精度等级来表示,精度等级就是仪表的最大相对百分误差去掉“±”和“%”后的数字,但必须与国家标准相一致。

我国统一规定的仪表精度等级有 0.005, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.35, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0 等。其中, 0.5~4.0 级表为常用的工业用仪表。精度通常以圆圈或三角内的数字标注在仪表刻度盘上。数字越小,说明仪表的精确度越高,其测量结果越准确。精确度等级标明了该仪表的最大相对百分误差不能超过的界限。如果某仪表精度为 0.5 级,则表明该仪表最大相对百分误差不能超过 ±0.5%。在选表和仪表校验后重新定级时应予注意。

2. 回差

在相同使用条件下,同一仪表对同一被测变量进行正、反行程测量时(即被测变量从小到大和从大到小全行程范围变化),被测变量从不同方向到达同一数值时,仪表指示值的最大差值称为该表的回差或变差。其示意图如图 1-3 所示。

回差 ϵ 用同一被测参数值下的仪表正、反行程指示值的最大差值与仪表量程的百分数表示。即

$$\epsilon = \pm \frac{(X_{\text{正}} - X_{\text{反}})_{\max}}{\text{标尺上限} - \text{标尺下限}} \times 100\%$$

回差是反映仪表恒定度的指标。正常仪表的回差应小于其允许误差,否则,应及时检修。回差是由仪表传动机构的间隙、运动部件的摩擦、弹性元件的滞后等原

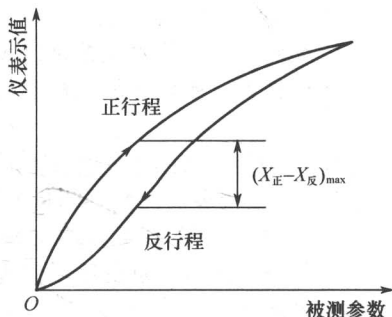


图 1-3 回差

因造成的,由于智能型仪表全电子化、无可动部件,所以这个指标对智能型仪表而言已不重要了。

3. 灵敏度

灵敏度是反映仪表对被测变量变化灵敏程度的指标。当仪表达到稳态时,仪表输出信号变化量 Δy 与引起此输出信号变化的输入信号(被测参数)变化量 Δx 之比表示灵敏度 S ,见图 1-4,即

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times 100\%$$

仪表的灵敏限是指能够引起仪表指针动作的被测参数的最小变化量。一般仪表灵敏限的数值应不大于仪表所允许的绝对误差的一半。

对同一类仪表,标尺刻度确定后,仪表测量范围越小,灵敏度越高。但灵敏度越高的仪表精度不一定高。

4. 线性度

线性度反映了检测仪表输出量与输入量的实际关系曲线偏离直线的程度。线性度如图 1-5 所示。

线性度 ϵ_L 又称为非线性误差,通常用实际测得的输入-输出曲线(标定曲线)与理论拟合直线之间的最大偏差与测量仪表量程范围之比的百分数来表示。

$$\epsilon_L = \pm \frac{(X_{\text{标定}} - X_{\text{理论}})_{\max}}{\text{标尺上限} - \text{标尺下限}} \times 100\%$$

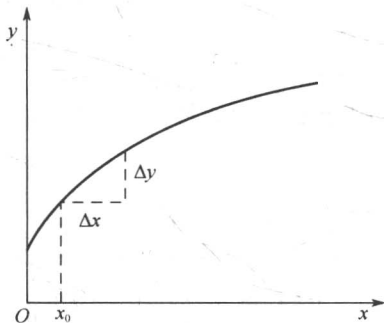


图 1-4 灵敏度

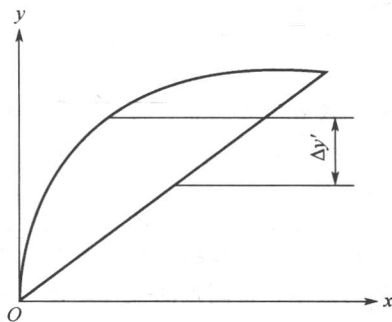


图 1-5 线性度

5. 测量范围与量程

检测仪表的测量范围是指按其标定的精确度可进行测量的被测量的变化范围,而测量范围的上限值 $A_{\max}$ 与下限值 $A_{\min}$ 之差就是检测仪表的量程。

有的检测仪表一旦过载(即被测量超出测量范围)就将损坏,而有的检测仪表允许一定程度的过载,但过载部分不作为测量范围,这一点在使用中应加以注意。

6. 稳定性

稳定性是指检测仪表在规定的条件下保持其检测特性恒定不变的能力。通常在不明确影响量时,稳定性是指检测仪表不受时间变化影响的能力。

检测仪表的检测特性随时间的慢变化,即输入量不变但输出量随时间的变化而缓慢变化的现象,称为漂移。产生漂移的主要原因有两个方面:一方面是仪器自身结构参数的变化;另一方面是周围环境的变化对输出的影响。最常见的漂移是温漂。

四、检测环节对控制品质的影响

检测变送环节在控制系统中起获取和传送信息的作用。准确、及时性地获取被控变量变化的信息是提高系统控制质量的前提条件。检测仪表的精度等级、稳定性和可靠性等性能指标,会直接影响测量结果的准确性和精密性。由于目前使用的变送器大多数是线性的,其输出与输入成比例关系,变送器的惯性小,出厂时又经过严格的调校,所以检测变送环节对控制系统的影响

主要集中在检测元件的滞后和信号传递的滞后问题上。因此,分析研究检测元件本身的特性、安装位置、信息传递等问题,是提高系统控制质量的重要方面。

1. 稳定性与可靠性

在实际使用中,往往强调仪表的稳定性和可靠性。检测仪表与执行器(调节阀)大部分安装在工艺管道、各类设备装置上。设备中工艺介质的物理、化学性质复杂,变化也相对较大,在这种环境中,仪表的某些部件随时间保持不变的能力会降低,仪表的稳定性会下降,其造成的影响往往比仪表精度下降对生产过程的影响还要大。而且仪表稳定性不好,仪表的维护量也大;仪表可靠性越高,其维护量越小。因此,从保证工业生产稳定安全和仪表维护人员人身安全的角度出发,要求仪表可靠性越高越好。

仪表的电磁兼容性的好坏也直接影响到测量的准确性。电磁兼容性是指电子或电气设备在规定的电磁环境中能正常工作,而不对该环境或其他设备造成不允许的扰动的能力,包括抗电磁干扰能力与发射电磁干扰的极限值。

绝大部分检测及控制仪表是由电子线路组成的,对电磁干扰十分敏感,而各类开关装置、继电器、电焊机、无线通信工具以及某些设备产生的电磁辐射等,都会成为电磁干扰源,干扰源通过仪表的电源线、信号输入输出线或外壳,以电容耦合、电感耦合、电磁辐射的形式导入,也可通过公共阻抗直接导入。显然,仪表的抗电磁干扰能力越强,发射电磁干扰的极限值越小,仪表的测量准确性越高。

检测环节的防护能力也对控制质量有较大的影响。防护能力包括气象环保能力,如对灰尘、潮湿、腐蚀、温度波动等恶劣环境条件的防护能力;防爆性能,如使用在易燃易爆环境中是否有安全防护措施;机械特性,如对振动、撞击、加速度和挤压等的承受能力;电气特性,如耐压、绝缘性、抗电气干扰的能力。

另外,仪表的安装是否合理、使用和操作是否正确以及维护与检修是否方便等,都会影响到检测环节的检测特性,从而进一步影响到系统的控制质量。

2. 纯滞后

检测元件在工艺设备上的安装位置必须正确,安装方式必须符合规范,否则将引入纯滞后,使测量信号不能及时反映被控变量的实际值,从而降低了控制系统的控制质量。但某些系统因工艺条件的限制,检测点的位置设置不理想,如图 1-6 所示 pH 控制系统,由于测量电极不能放置在流速较大的主管道,只能安装在流速较小的支管道上,这样就使 pH 值的测量引入纯滞后时间 τ 。 l_1 和 l_2 分别为主管道、支管道的长度, v_1 和 v_2 分别为主管道、支管道内流体的流速,则

$$\tau = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}$$

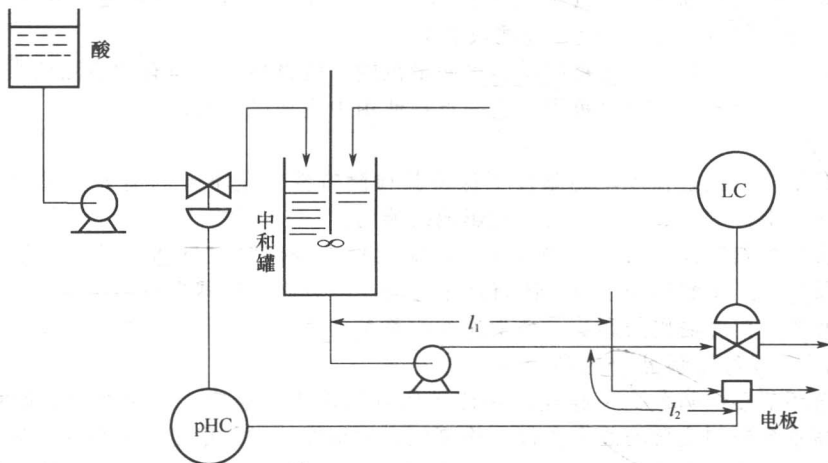


图 1-6 pH 控制系统

由于检测元件的安装位置所引入的纯滞后有时是不可避免的,但必须尽可能地减小。当检测元件的纯滞后太大、采用简单控制系统无法满足工艺要求时,应考虑采用复杂控制等方案。

3. 测量滞后

这里的测量滞后是指由检测元件时间常数所引起的动态误差,它是由检测元件本身的特性所决定的。例如,测温元件测量温度时,由于存在着热阻和热容,即其本身具有一定的时间常数 $T_m = RC$,因而测温元件的输出总是滞后于被控变量的变化,从而引起幅值的降低和相位的滞后。如果调节器接受的是一个幅值降低的、相位滞后的失真信号,它就不能正常发挥校正作用,因此控制系统的控制质量也将随之下降。测量滞后固然存在,但可通过正确选择快速检测元件、正确使用微分环节等途径来克服测量滞后。

五、仪表的检定

在工业生产中,为了确保测量结果的真实性和可靠性,对使用了一定时间之后以及检修过的仪表,都应进行检定,以确保仪表是否合格。仪表校验的步骤一般包括外观检查、内部机件性能检查、绝缘性能检查以及示值校验等。示值校验一般是判断仪表的基本误差、变差等是否合格。示值校验方法通常有两种。

1. 示值比较法

用标准仪表与被校仪表同时测量同一参数,以确定被校仪表各刻度点的误差。校验点一般选取被校表上的整数刻度点,包括零点及满刻度点不得少于5点(校验精密仪表时校验点不得少于7点),校验点应基本均匀分布于被校仪表的整个量程范围。各校验点的误差不超过该仪表准确度等级规定的允许误差则认为合格。

校验仪表时所用的标准仪表,其允许误差应不大于被校表允许误差的三分之一(绝对误差值),量程应等于或略大于被校仪表的量程。

2. 标准状态法

利用某些物质的标准状态来校验仪表。例如利用一些物质(如水、各种纯金属)的状态转变点温度来校验温度计,利用空气中含氧量一定的特性来校验工程用氧量计等。

请你做一做

(1) 以下测量过程使用了哪种测量方法?

①通过公式 $P=UI$ 测量功率。

②用铂电阻温度计测量温度,电阻值与温度的关系是 $R_t = R_{t_0} (1 + at + bt^2)$ 。

③用水银温度计测量介质温度。

(2) 下列误差属于哪类误差?

①用一块普通万用表测量同一电压,重复测量20次后所得结果的误差。

②观测者抄写记录时错写了数据造成的误差。

③在流量测量中,流体温度、压力偏离设计值造成的流量误差。

(3) 某测温仪表的准确度等级为1.0级,绝对误差为 $\pm 1^\circ\text{C}$,测量下限为负值(下限的绝对值为测量范围的10%),试确定该表的测量上限值、下限值和量程。

(4) 用测量范围为 $-50 \sim 150\text{kPa}$ 的压力表测量 140kPa 压力时,仪表示值为 142kPa ,求该示值的绝对误差、实际相对误差和引用相对误差。

(5) 识读仪表标签,查阅检测仪表产品手册,说明每种检测仪表的特点,思考一下实训装置中为何选择这些检测仪表?了解当前检测技术的进展情况。

小结

(1) 热工测量是指在热工过程中对各种热工参数,如温度、压力、流量、物位、烟气的含氧量以及各种机械量的测量。

(2) 热工测量一般通过测量仪表来进行,测量仪表根据各组成部分的功能不同可分为感受部