



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



教育部高职高专规划教材

# 化工仪表及自动化

(化工类专业适用)

第四版

▶ 厉玉鸣 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
教育部高职高专规划教材

# 化工仪表及自动化

(化工类专业适用)

第四版

厉玉鸣 主 编  
刘慧敏 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是在基本保持第三版的体系结构基础上,对其内容进行除旧添新,适当修改而成的。本书内容分为两篇。第一篇是化工检测仪表,讲述检测仪表的基本知识,重点介绍工业生产过程中的压力、流量、物位、温度的检测原理及相应的仪表结构选用,并介绍了工厂中常用的显示仪表。第二篇是化工自动化基础,除介绍工业生产过程中的自动控制系统方面的知识,还分别介绍了构成自动控制系统的被控对象、控制仪表及装置,在简单、复杂控制系统的基础上,介绍了高级控制系统与计算机控制系统,最后结合生产过程介绍了典型化工单元操作的控制方案。

本书可作为高等职业技术学院、大专和成人继续教育的化工类专业相关课程的教材,也可作为化工、炼油、冶金、轻工、林业等院校及有关企业、单位的职工教育学校、函大、夜大等的教材,并可供广大化工行业中的工艺技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

化工仪表及自动化(化工类专业适用)/厉玉鸣主编.  
4版. —北京:化学工业出版社,2010.3  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
教育部高职高专规划教材  
ISBN 978-7-122-07580-2

I. 化… II. 厉… III. ①化工仪表-高等学校:  
技术学院-教材②化工过程-自动控制系统-高等学校:  
技术学院-教材 IV. TQ056

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第003584号

---

责任编辑:唐旭华  
责任校对:宋夏

文字编辑:郝英华  
装帧设计:刘亚婷

---

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张17 $\frac{3}{4}$  字数474千字 2010年5月北京第4版第2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:29.80元

版权所有 违者必究

# 前 言

1985年根据教育部审定的教学大纲而编写的《化工仪表及自动化》适用于职工高等专科学校化工类专业，并同时被选定为中央电视广播大学该课程的教学用书。该书自1987年2月出版以来，多次印刷，被许多学校及单位选用。20世纪末及21世纪初，对该书进行了两次修订，作为高职高专的适用教材出版了该书的第二版、第三版。在使用过程中，得到广大师生及读者的好评，并提出了许多宝贵的意见。在此向广大师生及读者表示衷心的感谢。

近年来，由于教育事业的发展与改革，以及社会主义市场经济的发展，社会对人才的需求呈现多层次、多规格、多样化的局面。为了更好地为高等职业技术教育服务，满足高等职业技术学院及高等专科学校的教学需求，在听取了有关学校老师的意见与要求后，决定对该书再次进行修订，编写第四版《化工仪表及自动化》。

这次修订的总体思路是在基本保持原书体系结构的基础上，对内容进行了删减。改写了原书中某些显得烦琐或工艺类人员较少接触的内容，增加了大量反映当前自动化水平的新内容，如删除了目前较少使用的DDZ-Ⅲ型力矩平衡式差压变送器，丰富了智能差压变送器的内容；增加了智能终端HART375的内容，减少了目前较少使用的KMM可编程调节器的内容；增加了数字控制器的内容，以中控C3000为例详细介绍其功能及使用；将现场总线控制系统的内容进行了更新，力求简明扼要、深入浅出，使工艺类人员对工业自动化的新发展、新技术有比较全面的了解，以满足培养21世纪工艺类人才的需要。

全书共分两篇。第一篇是化工检测仪表（第一章到第六章），第二篇是化工自动化基础（第七章到第十七章）。为了帮助广大师生与读者学习，在该书的每章中都有“例题分析”及“习题与思考题”。另外，我们与北京服装学院、北京林业大学、河北科技大学、河北理工学院等院校联合编写出版了《化工仪表及自动化例题习题集》（第二版）。该书收集了大量的例题与习题，给出了例题分析、题解与习题答案，欢迎广大师生及读者选用，相信会对学习化工仪表及自动化课程有很大的帮助。

本书相关电子课件可免费提供给采用本书作为教材的大专院校使用，如有需要请联系：[txh@cip.com.cn](mailto:txh@cip.com.cn)。

本书由北京化工大学厉玉鸣教授担任主编，由河北化工医药职业技术学院刘慧敏副教授担任副主编。编写分工如下：张谦老师编写第二章、第七章、第九章，李慧老师编写第六章、第十章，陈亚男老师编写第五章、第十一章，黄玉洁老师编写第三章、第四章，蔡夕忠老师编写第十五章、第十六章，厉玉鸣老师编写其余章节，并与刘慧敏老师进行了全书的统稿及审定。参加本书修订的还有辽宁石化职业技术学院的刘玉梅老师、兰州石油化工职业技术学院的丁炜老师等。

本书在此次及上次修订过程中，得到了许多院校的支持。此次修订，湖南石油化工职业技术学院的周哲民老师，兰州石油化工职业技术学院的邹益民老师，天津渤海职业技术学院的朱凤枝老师等；上次修订，南京化工职业技术学院王永红老师、湖南石油化工职业技术学院厉鼎熙老师、辽宁石化职业技术学院王琦老师等都提出了许多宝贵的意见，对他们的支持和帮助深表感谢。

本书的第一版、第二版分别由华东理工大学章先楼教授和北京化工大学沈承林教授担任主审，他们对本书的编写和出版付出了辛勤的劳动，并提出了许多宝贵的意见，在此我代表本书编者对他们深表感谢。

厉玉鸣  
2009年12月

# 目 录

绪论 .....	1	一、工作原理 .....	37
一、化工自动化的意义及目的 .....	1	二、电远传式转子流量计 .....	38
二、化工自动化的发展概况 .....	1	第三节 漩涡流量计 .....	39
三、化工仪表及自动化系统的分类 .....	2	第四节 质量流量计 .....	40
第一篇 化工检测仪表		一、直接式质量流量计 .....	41
第一章 检测仪表基本知识 .....	5	二、补偿式质量流量计 .....	42
一、测量过程与测量误差 .....	5	第五节 其他流量计 .....	43
二、检测仪表的品质指标 .....	6	一、靶式流量计 .....	43
三、检测系统中的常见信号类型 .....	8	二、椭圆齿轮流量计 .....	43
四、检测系统中信号的传递形式 .....	9	三、涡轮流量计 .....	45
五、检测仪表与测量方法的分类 .....	10	四、电磁流量计 .....	45
六、化工检测的发展趋势 .....	10	例题分析 .....	46
例题分析 .....	11	习题与思考题 .....	47
习题与思考题 .....	13	第四章 物位检测 .....	48
第二章 压力检测 .....	14	第一节 物位检测的意义及主要类型 .....	48
第一节 压力单位及测压仪表 .....	14	第二节 差压式液位计 .....	49
第二节 弹性式压力计 .....	15	一、工作原理 .....	49
一、弹性元件 .....	15	二、零点迁移问题 .....	49
二、弹簧管压力表 .....	16	三、用法兰式差压变送器测量液位 .....	50
第三节 电气式压力计 .....	17	第三节 其他物位计 .....	51
一、应变片式压力传感器 .....	17	一、电容式物位计 .....	51
二、压阻式压力传感器 .....	18	二、核辐射物位计 .....	53
三、电容式压力传感器 .....	19	三、雷达式液位计 .....	54
第四节 智能式变送器 .....	19	四、称重式液罐计量仪 .....	55
一、智能变送器的特点 .....	20	例题分析 .....	56
二、智能变送器的结构原理 .....	20	习题与思考题 .....	58
三、HART375 智能终端 .....	21	第五章 温度检测 .....	60
第五节 压力计的选用及安装 .....	26	第一节 概述 .....	60
一、压力计的选用 .....	26	一、测温仪表的分类 .....	60
二、压力计的安装 .....	27	二、温度检测的基本原理 .....	60
例题分析 .....	28	第二节 热电偶温度计 .....	62
习题与思考题 .....	29	一、热电偶 .....	62
附录 常用弹簧管压力表型号与规格 .....	30	二、补偿导线与冷端温度补偿 .....	67
第三章 流量检测 .....	31	第三节 热电阻温度计 .....	70
第一节 差压式流量计 .....	31	一、测温原理 .....	70
一、节流现象与流量基本方程式 .....	32	二、常用热电阻 .....	70
二、标准节流装置 .....	33	第四节 温度变送器 .....	71
三、差压变送器 .....	34	一、电动温度变送器 .....	71
四、差压式流量计的测量误差 .....	35	二、一体化温度变送器 .....	72
第二节 转子流量计 .....	37	三、智能式温度变送器 .....	72
		例题分析 .....	73

习题与思考题 .....	75	一、一阶对象 .....	115
附录一 铂铑 <sub>10</sub> -铂热电偶分度表 .....	75	二、积分对象 .....	117
附录二 镍铬-铜镍热电偶分度表 .....	78	三、时滞对象 .....	118
附录三 镍铬-镍硅热电偶分度表 .....	78	第三节 描述对象特性的参数 .....	119
附录四 铂电阻分度表 .....	81	一、放大系数 $K$ .....	119
附录五 铜电阻分度表(一) .....	83	二、时间常数 $T$ .....	121
附录六 铜电阻分度表(二) .....	84	三、滞后时间 $\tau$ .....	123
<b>第六章 显示仪表</b> .....	85	第四节 实测建模 .....	124
第一节 模拟式显示仪表 .....	85	例题分析 .....	126
一、自动平衡电子电位差计 .....	85	习题与思考题 .....	127
二、电子自动平衡电桥 .....	87	<b>第九章 基本控制规律</b> .....	128
第二节 数字式显示仪表 .....	89	第一节 位式控制 .....	128
一、数字式显示仪表的原理及其特点 .....	89	一、双位控制 .....	128
二、模-数变换器 .....	90	二、具有中间区的双位控制 .....	129
三、电子计数器 .....	90	三、多位控制 .....	130
四、显示器 .....	90	第二节 比例控制 .....	130
五、数字式显示仪表的基本组成 .....	91	一、比例控制规律及其特点 .....	131
第三节 新型显示仪表 .....	92	二、比例度及其对控制过程的影响 .....	132
一、无纸记录仪 .....	92	第三节 积分控制 .....	135
二、虚拟显示仪表 .....	93	一、积分控制规律及其特点 .....	135
例题分析 .....	94	二、比例积分控制规律与积分时间 .....	136
习题与思考题 .....	94	三、积分时间对系统过渡过程的影响 .....	137
<b>第二篇 化工自动化基础</b>			
<b>第七章 自动控制系统概述</b> .....	96	第四节 微分控制 .....	138
第一节 自动控制系统的组成 .....	96	一、微分控制规律及其特点 .....	138
第二节 自动控制系统的方块图 .....	98	二、实际的微分控制规律及微分时间 .....	139
一、信号和变量 .....	98	三、比例微分控制系统的过渡过程 .....	140
二、自动控制系统方块图 .....	99	四、比例积分微分控制 .....	141
三、反馈 .....	100	例题分析 .....	142
四、自动控制系统的分类 .....	101	习题与思考题 .....	143
第三节 过渡过程和品质指标 .....	101	<b>第十章 控制器</b> .....	145
一、控制系统的静态与动态 .....	101	第一节 模拟式控制器 .....	145
二、控制系统的过渡过程 .....	102	一、概述 .....	145
三、控制系统的控制指标 .....	104	二、DDZ-III型电动调节器 .....	145
四、影响控制指标的主要因素 .....	106	第二节 数字式控制器 .....	147
第四节 工艺管道及控制流程图 .....	107	一、数字式控制器的主要特点 .....	148
一、图形符号 .....	107	二、数字式控制器的基本构成 .....	148
二、字母代号 .....	108	三、KMM型可编程序调节器 .....	150
三、仪表位号 .....	108	四、C3000数字控制器 .....	151
例题分析 .....	109	例题分析 .....	160
习题与思考题 .....	110	习题与思考题 .....	160
<b>第八章 对象特性和建模</b> .....	112	<b>第十一章 执行器</b> .....	162
第一节 数学模型及描述方法 .....	112	第一节 气动执行器 .....	163
一、被控对象数学模型 .....	112	一、气动执行器的组成与分类 .....	163
二、数学模型的主要形式 .....	113	二、控制阀的流量特性 .....	165
第二节 机理建模 .....	115	三、控制阀的选择 .....	169
		四、控制阀的安装和维护 .....	171
		第二节 阀门定位器与电-气转换器 .....	171

一、电-气阀门定位器 .....	172	第五节 模糊控制系统 .....	214
二、智能式阀门定位器 .....	172	第六节 最优控制系统 .....	215
三、电-气转换器 .....	173	第七节 控制管理一体化 .....	217
第三节 电动执行器 .....	173	习题与思考题 .....	218
一、概述 .....	174	<b>第十五章 计算机控制系统</b> .....	219
二、角行程电动执行机构 .....	174	第一节 计算机控制概述 .....	219
三、直行程电动执行机构 .....	175	一、过程计算机控制系统的组成 .....	219
例题分析 .....	175	二、过程计算机控制系统的分类 .....	220
习题与思考题 .....	175	第二节 集散控制系统概述 .....	223
<b>第十二章 简单控制系统</b> .....	176	一、集散控制系统的基本构成 .....	223
第一节 概述 .....	176	二、集散控制系统的特点 .....	224
第二节 被控变量的选择 .....	177	第三节 <b>CENTUM-CS</b> 集散控制系统 .....	225
第三节 操纵变量的选择 .....	179	一、CENTUM-CS 系统的构成 .....	225
第四节 控制器控制规律的选择及参数		二、ICS 的组成及功能 .....	226
整定 .....	180	三、CRT 显示画面的显示格式 .....	228
一、控制规律的选择 .....	180	四、CENTUM-CS 系统中的字母代号 .....	229
二、控制器参数的工程整定 .....	180	五、基本操作方法 .....	229
第五节 控制系统的投运及操作中的常见		六、显示画面及操作 .....	231
问题 .....	184	第四节 现场总线控制系统 .....	235
一、控制系统的投运 .....	184	一、现场总线系统的产生和特征 .....	235
二、控制系统操作中的常见问题 .....	186	二、现场总线国际标准化 .....	237
例题分析 .....	189	三、几种有影响的现场总线技术 .....	237
习题与思考题 .....	190	四、以现场总线为基础的控制系	239
<b>第十三章 复杂控制系统</b> .....	192	例题分析 .....	241
第一节 串级控制系统 .....	192	习题与思考题 .....	241
一、串级控制系统概述 .....	192	<b>第十六章 可编程控制器</b> .....	242
二、串级控制系统的特点及应用 .....	194	第一节 可编程控制器概述 .....	242
三、主、副控制器控制规律的选择 .....	197	一、可编程控制器 (PLC) 的发展	
四、主、副控制器正反作用的选择 .....	197	过程 .....	242
五、控制器参数整定与系统投运 .....	197	二、可编程控制器的功能与特点 .....	242
第二节 其他复杂控制系统 .....	199	第二节 可编程控制器的基本构成及工作	
一、均匀控制系统 .....	199	原理 .....	243
二、比值控制系统 .....	201	一、可编程控制器的基本组成 .....	243
三、前馈控制系统 .....	202	二、可编程控制器的软件系统 .....	245
四、取代控制系统 .....	203	三、可编程控制器的分类 .....	247
五、分程控制系统 .....	204	第三节 <b>OMRON C</b> 系列 PLC .....	248
六、多冲量控制系统 .....	205	一、简介 .....	248
例题分析 .....	206	二、OMRON PLC 指令 .....	249
习题与思考题 .....	208	第四节 应用示例 .....	252
<b>第十四章 高级控制系统</b> .....	209	一、水箱液位控制 .....	252
第一节 自适应控制系统 .....	209	二、变量超限报警控制 .....	252
一、参考模型自适应控制系统 .....	209	三、自动包装机控制 .....	254
二、具有被控对象数学模型在线辨识的		习题与思考题 .....	256
自适应控制系统 .....	210	<b>第十七章 典型化工单元的控制方案</b> .....	257
第二节 预测控制系统 .....	211	第一节 流体输送设备的自动控制 .....	257
第三节 智能控制系统 .....	212	一、离心泵的自动控制方案 .....	257
第四节 神经网络控制 .....	213	二、往复泵的自动控制方案 .....	258



三、压气机的自动控制方案 .....	259	要求 .....	265
第二节 传热设备的自动控制 .....	260	二、精馏塔的控制方案 .....	267
一、两侧均无相变化的换热器控制		第四节 化学反应器的自动控制 .....	269
方案 .....	261	一、化学反应器的控制要求 .....	269
二、载热体进行冷凝的加热器自动		二、釜式反应器的温度自动控制 .....	270
控制 .....	263	三、固定床反应器的自动控制 .....	271
三、冷却剂进行汽化的冷却器自动		四、流化床反应器的自动控制 .....	272
控制 .....	264	例题分析 .....	273
第三节 精馏塔的自动控制 .....	265	习题与思考题 .....	274
一、精馏塔的干扰因素及对自动控制的		参考文献 .....	276

# 绪 论

## 一、化工自动化的意义及目的

化工生产过程自动化,就是在化工设备、装置及管道上,配置一些自动化装置,替代操作工人的部分直接劳动,使生产在不同程度上自动地进行。这种部分地或全部地用自动化装置来管理化工生产过程的办法,就称为化工生产过程自动化,简称为化工自动化。

自动化是提高社会生产力的有力工具之一。实现化工生产过程自动化的主要目的如下。

① 加快生产速度、降低生产成本、提高产品产量和质量。在人工操作的生产过程中,由于人的五官、手、脚,对外界的观察与控制的精确度和速度是有一定限度的。而且由于体力关系,人直接操纵设备的力量也是有限的。如果用自动化装置代替人的操作,则以上情况可以得到避免和改善,并且通过自动控制系统,使生产过程中最佳条件下进行,从而可以大大加快生产速度、降低能耗、实现优质高产。

② 减轻劳动强度、改善劳动条件。多数化工生产过程是在高温、高压或低温低压下进行,还有的是易燃、易爆或有毒、有腐蚀性、有刺激性气味。实现了化工自动化,工人只要对自动化装置的运转进行监控,而不需要再直接从事大量而又危险的现场操作。

③ 能够保证生产安全,防止事故发生或扩大,达到延长设备使用寿命、提高设备利用率、保障人身安全的目的。

④ 生产过程自动化的实现,能根本改变劳动方式,提高工人文化技术水平,以适应当代信息技术革命和信息产业革命的需要。

## 二、化工自动化的发展概况

在化工生产过程自动化的发展初级阶段,首先是应用一些自动检测仪表来监视生产。在20世纪40年代以前,绝大多数化工生产处于手工操作状况,操作工人根据反映主要工艺参数的仪表指示情况,用人工来改变操作条件,生产过程单凭经验进行。对于那些连续生产的化工厂,在进出物料彼此联系中装设了大的贮槽,起着克服干扰(扰动)影响及稳定生产的作用,显然生产的效率很低,花在设备上的投资很大。

20世纪50年代至60年代,人们对化工生产的各种单元操作进行了大量的开发工作,使得化工生产过程朝着大规模、高效率、连续生产、综合利用方向迅速发展。因此,要使这类工厂生产运行正常,如果没有先进的自动检测仪表和控制系统,几乎是不可能的事。此时,在实际生产中应用的自动控制系统主要是压力、流量、液位和温度四大参数的简单控制。同时,串级、比值、多冲量等复杂控制系统也得到了一定程度的发展。所应用的自动化技术工具主要是基地式电动、气动仪表及膜片式的单元组合仪表。此时期由于对化工对象的动态特性了解不够深入,因此,半经验、半理论的设计准则和整定公式,在自动控制系统设计和参数整定中起了相当重要的作用,解决了许多实际问题。

20世纪70年代以来,化工自动化技术水平得到了很大的提高。在自动化技术工具方面,新产品像雨后春笋,气动Ⅱ型和电动Ⅱ型单元组合式仪表刚投入生产不久,气动Ⅲ型和电动Ⅲ型单元组合式仪表就相继问世,并已进一步发展到具有多功能的组装仪表、智能式仪表,为实现各种特殊控制规律提供了条件。新型智能传感器和控制仪表的问世使仪表与计算机之间的直接联系极为方便。在自动控制系统方面,由于控制理论和控制技术的发展和进步,给自动控制系统的发展创造了各种有利的条件,各种新型控制系统相继出现,控制系统的设计与

整定方法也有了新的发展。近年来,科学技术的发展与革新极为迅速,特别是电子计算机在自动化中发挥越来越巨大的威力,这对常规仪表产生了一系列的影响,促进常规仪表不断变革,以满足生产过程中对能量利用、产品质量、收率等各个方面的越来越高的要求。

20世纪70年代,计算机开始用于控制生产过程,出现了计算机控制系统。最初是用计算机代替常规控制仪表,实现集中控制,这就是直接数字控制系统(DDC)。由于集中控制的固有缺陷,很难取得显著的社会效益和经济效益,因此很快就被集散控制系统(DCS)所代替。集散控制系统一方面将控制回路分散化,另一方面又将数据显示、实时监督等功能集中化,这种既集中又分散的控制系统在20世纪80年代得到了很快的发展和广泛的应用。DCS不仅可以实现许多复杂控制系统,而且在DCS的基础上还可以实现许多先进控制和优化控制。随着计算机及网络技术的发展,DCS还可以实现多层次计算机网络构成的管控一体化系统(CIPS)。

20世纪80年代末至90年代,现场总线和现场总线控制系统得到了迅速的发展。现场总线是顺应智能现场仪表而发展起来的一种开放型的数字通信技术,它是综合运用微处理器技术、网络技术、通讯技术和自动控制的产物。采用现场总线作为系统的底层控制网络,构造了新一代的网络集成式全分布计算机控制系统,这就是现场总线控制系统(FCS)。FCS的最显著特征是它的开放性、分散性和数字通讯,较DCS而言,更好地体现了“信息集中,控制分散”的思想,因此有着更加广泛的应用基础。

化工生产过程自动化是一门综合性的技术学科。它是利用自动控制学科、仪器仪表学科及计算机学科的理论和技术服务于化学工程学科。随着现代科学技术的进步,本学科将不断发展并日益被人们所重视。在化工生产过程中,由于实现了自动化,人们通过自动化装置来管理生产,自动化装置与工艺及设备已结合成为有机的整体。因此,越来越多的工艺技术人员认识到:学习仪表及自动化方面的知识,对于管理与开发现代化化工生产过程是十分必要的。

### 三、化工仪表及自动化系统的分类

在化工生产过程中,需要测量与控制的参数是多种多样的,但主要的有热工量(压力、流量、液位、温度等)和成分(或物性)量。因而化工自动化仪表按其功能不同,大致分成四个大类:检测仪表(包括各种参数的测量和变送)、显示仪表(包括模拟量显示和数字量

显示)、控制仪表(包括气动、电动控制仪表及数字式控制器)和执行器(包括气动、电动、液动等执行器)。这四大类仪表之间的关系如图0-1所示。

利用上述各类仪表,可以构成自动检测、自动操纵、自动保护和自动控制这样四种自动化系统。它们的主要作用如下。

#### 1. 自动检测系统

利用各种仪表对生产过程中主要工艺参数进行测量、指示或记录的,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,因此起到对过程信息的获取与

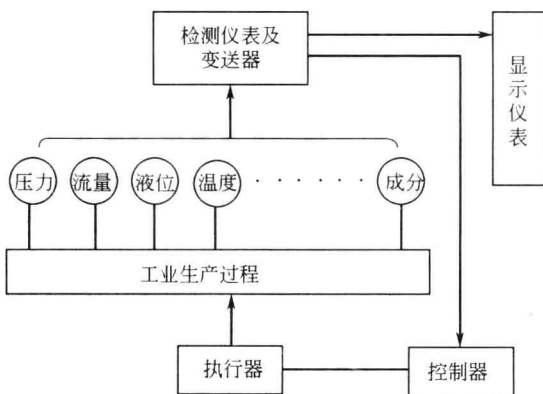


图 0-1 各类仪表之间的关系

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。

图 0-2 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;冷液的流量可以用孔板配上流量计进行检

测；蒸汽压力可以用压力表来指示。这些就是自动检测系统。

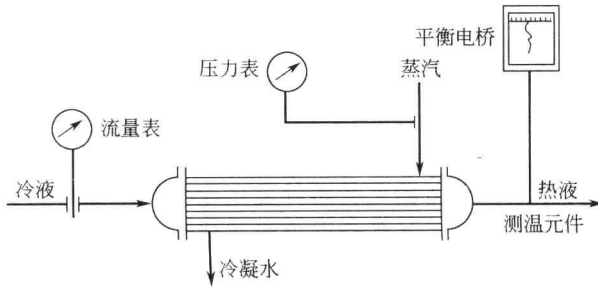


图 0-2 热交换器自动检测系统示意图

自动检测系统中主要的自动化装置为敏感元件、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 0-2 所示系统中可用孔板将流量转换为差压信号，用热电偶将温度转换为电（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  $0\sim 10\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 、 $0.02\sim 0.1\text{MPa}$  等）时，此时的传感器一般称为变送器。例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。例图 0-2 所示系统中的平衡电桥就属于显示记录仪表。

## 2. 自动信号和联锁保护系统

生产过程中，有时由于一些偶然因素的影响，导致工艺参数超出允许的变化范围而出现不正常情况时，就有可能引起事故。为此，常对某些关键性参数设有自动信号联锁保护装置。当工艺参数超过了允许范围，在事故即将发生以前，信号系统就自动地发出声光信号警报，告诫操作人员注意，并及时采取措施。如工况已到达危险状态，联锁系统立即自动采取紧急措施，打开安全阀或切断某些通路，必要时紧急停车，以防止事故的发生和扩大。它是生产过程中的一种安全装置。例如某反应器的反应温度超过了允许极限值，自动信号系统就会发出声光信号，报警给工艺操作人员以及及时处理生产事故。由于生产过程的强化，往往靠操作人员处理事故已成为不可能，因为在一个强化的生产过程中，事故常常会在几秒钟内发生，由操作人员直接处理是根本来不及的。而自动联锁保护系统可以圆满地解决这类问题。如当反应器的温度或压力进入危险限时，联锁系统可立即采取应急措施，加大冷却剂量或关闭进料阀门，减缓或停止反应，从而可避免引起爆炸等生产事故。

自动信号联锁保护电路按其主要构成元件的不同，可分为有触点式和无触点式两类（有时可采用混合式）。有触点式电路是由各种继电器、按钮、开关等电器组成的继电线路，它是依靠各种电器的触点开合来完成电路的通断和切换。无触点式电路是利用由二极管、晶体管以及集成电路等电子器件构成具有一定功能的电子线路，利用电子器件的导通或阻断特性来实现自动信号的报警和联锁保护作用的。随着电子技术和计算机技术的不断发展，自动信号联锁保护系统可以利用更为先进的可编程控制器（PLC）来实现，比起传统的电路来说，它具有操作方便、应用灵活、安全可靠和维修简单等优点。

## 3. 自动操纵及自动开停车系统

自动操纵系统可以根据预先规定的步骤自动地对生产设备进行某种周期性操作。例如合

成氨造气车间的煤气发生炉，要求按照吹风、上吹、下吹制气、吹净等步骤周期性地接通空气和水蒸气，利用自动操纵机可以代替人工自动地按照一定的时间程序扳动空气和水蒸气的阀门，使它们交替地接通煤气发生炉，从而极大地减轻了操作人员的重复性体力劳动。

自动开停车系统可以按照预先规定好的步骤，将生产过程自动地投入运行或自动停车。

#### 4. 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。特别是化工生产，大多数是连续生产，各设备相互关联着，当其中某一设备的工艺条件发生变化时，都可能引起其他设备中某些参数或多或少的波动，偏离了正常的工艺条件。为此，就需要用一些自动控制装置，对生产中某些关键性参数进行自动控制，使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时，能自动地调回到规定的数值范围内，为此目的而设置的系统就是自动控制系统。

由以上所述可以看出，自动检测系统只能完成“了解”生产过程进行情况的任务；自动信号联锁保护系统只能在工艺条件进入某种极限状态时，采取安全措施，以免发生生产事故；自动操纵系统只能按照预先规定好的步骤进行某种周期性操纵；只有自动控制系统才能自动地排除各种干扰因素对工艺参数的影响，使它们始终保持在预先规定的数值上，保证生产维持在正常或最佳的工艺操作状态。因此，自动控制系统是自动化生产中的核心部分。

本门课程重点介绍自动检测系统与自动控制系统。

本课程分为两篇，第一篇是化工检测仪表，第二篇是化工自动化基础。实际上，第一篇是研究如何获取化工生产过程中的“信息”；第二篇是研究如何对化工生产过程进行有效的“控制”。所以，从这个意义上来说，“化工仪表及自动化”课程是研究生产过程的“信息与控制”的。

通过本门课程的学习，应能了解主要工艺参数（温度、压力、流量及物位）的检测方法及其仪表的工作原理及特点；能根据工艺要求，正确地选用和使用常见的检测仪表及控制仪表；能了解化工自动化的初步知识，理解基本控制规律，懂得控制器参数是如何影响控制质量的；能根据工艺的需要，和自控设计人员共同讨论和提出合理的自动控制方案；能为自控设计提供正确的工艺条件和数据；能在生产开停车过程中，初步掌握自动控制系统的投运及控制器的参数整定；能了解检测技术和控制技术的发展趋势和最新发展动态。

# 第一篇 化工检测仪表

在化工生产过程中，为了有效地进行生产操作和自动控制，需要对工艺生产中的一些主要参数进行自动检测。用来检测这些参数的仪表称为化工检测仪表。本篇将在介绍有关检测和检测仪表的基本知识的基础上，介绍有关压力、流量、液位、温度等参数的检测方法及其相应的检测仪表。

## 第一章 检测仪表基本知识

### 一、测量过程与测量误差

所谓测量，就是用实验的方法，求出某个量的大小。比如我们要测量一段导线的长度，就需要用一把米尺与它比试一下，看它有多长，即可测知该段导线的长度。用数学式子表示如下

$$Q=qV$$

式中  $Q$ ——被测值；

$q$ ——测量值，即被测量与所选测量单位的比值；

$V$ ——测量单位。

上述这种测量方法，通常叫做直接测量，除此之外，还有间接测量的测量方法。

无论采用哪种方法进行测量的过程，实质上都是将被测参数与其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。各种检测仪表不论采用哪一种原理，它们都是要将被测参数经过一次或多次的信号能量的转换，最后获得便于测量的信号能量形式，并由指针位移或数字形式显示出来。例如各种炉温的测量，常常是利用热电偶的热电效应，把被测温度转换成直流毫伏信号（电能），然后变为毫伏检测仪表上的指针位移，并与温度标尺相比较而显示出被测温度的数值。

在测量过程中，由于所使用的测量工具本身不够准确、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。由仪表读得的被测值（测量值）与被测参数的真实值之间，总是存在一定的差距，这种差距就称为测量误差。

测量误差按其产生原因的不同，可以分为三类。

(1) 系统误差（又称规律误差） 这种误差的大小和方向（即符号）均不随测量过程而改变。产生这种误差的原因，主要有仪表本身的缺陷，观测者的习惯或偏向，外界因素环境条件的变化等。由于这种误差是有一定规律的，所以在测量过程中是容易消除或加以修正的。

(2) 疏忽误差 产生这种误差的原因，是由于测量者在测量过程中疏忽大意所致的。它比较容易发觉，并应将它从测量结果中去掉。只要我们在测量过程中认真、仔细，就可以避免产生这类误差。

(3) 偶然误差 是指在同样的测量条件下，反复多次，每次结果都不重复的误差。这种误差是由一些随机的偶然原因引起的，亦称随机误差。它不易被发觉和修正。偶然误差的大小反映了测量过程的精度。

测量误差通常有两种表示方法，即绝对表示法和相对表示法。

绝对误差在理论上是指仪表指示值  $x_1$  和被测量的真实值  $x_t$  之间的差值，可表示为

$$\Delta = x_1 - x_t$$

在工程上，要知道被测量的真实值  $x_t$  是困难的。因此，所谓检测仪表在其标尺范围内各点读数的绝对误差，一般是指用被校表（准确度较低）和标准表（准确度较高）同时对同一参数测量所得到的两个读数之差，可用下式表示

$$\Delta = x - x_0$$

式中  $\Delta$ ——绝对误差；

$x$ ——被校表的读数值；

$x_0$ ——标准表的读数值。

测量误差还可以用相对误差来表示。某一被测量的相对误差等于这一点的绝对误差  $\Delta$  与它的真实值  $x_t$ （或  $x_0$ ）之比。可用式子表示

$$\Lambda = \frac{\Delta}{x_0} = \frac{x - x_0}{x_0} \quad \text{或} \quad \frac{x_1 - x_t}{x_t}$$

式中  $\Lambda$ ——仪表在  $x_0$  处的相对误差。

求取测量误差的目的在于判断测量结果的可靠程度。

## 二、检测仪表的品质指标

一台仪表的优劣，可用它的品质（性能）指标来衡量。现将几项常见的指标简介如下。

### 1. 检测仪表的准确度（习惯上称精确度）

前面已经说过，仪表的测量误差可以用绝对误差  $\Delta$  来表示。但是，必须指出，仪表的绝对误差在测量范围内的各点上是不相同的。因此，我们常说的“绝对误差”指的是绝对误差的最大值  $\Delta_{\max}$ 。

事实上，由于仪表的准确度不仅与绝对误差有关，而且还与仪表的标尺范围有关。例如，两台标尺范围（即测量范围）不同的仪表，如果它们的绝对误差相等的话，标尺范围大的仪表准确度较标尺范围小的为高。因此，工业仪表经常将绝对误差折合成仪表标尺范围的百分数表示，称为相对百分误差  $\delta$ ，即

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

仪表的标尺上限值与下限值之差，一般称为仪表的量程（Span）。

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叫允许误差。允许误差一般用相对百分误差来表示，即某一台仪表的允许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

$$\delta_{\text{允}} = \pm \frac{\text{仪表允许的最大绝对误差值}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

仪表的  $\delta_{\text{允}}$  越大，表示它的准确度越低；反之，仪表的  $\delta_{\text{允}}$  越小，表示仪表的准确度越高。

事实上，国家就是利用这一办法来统一规定仪表的准确度（精度）等级的。将仪表的允许相对百分误差去掉“ $\pm$ ”号及“ $\%$ ”号，便可以用来确定仪表的准确度等级。目前，我国生产的仪表常用的准确度等级有 0.005, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0 等。如果某台测温仪表的允许误差为  $\pm 1.5\%$ ，则认为该仪表的准确度等级符合 1.5 级。为了进一步说明如何确定仪表的准确度等级，下面再举一个例子。

**【例 1-1】** 某台测温仪表的测温范围为  $200 \sim 700^\circ\text{C}$ ，仪表的最大绝对误差为  $\pm 4^\circ\text{C}$ ，试确定该仪表的相对百分误差与准确度等级。

**解：**仪表的相对百分误差为



$$\delta = \frac{\pm 4}{700 - 200} \times 100\% = \pm 0.8\%$$

如果将仪表的  $\delta$  去掉“ $\pm$ ”号与“ $\%$ ”号，其数值为 0.8。由于国家规定的精度等级中没有 0.8 级仪表，同时，该仪表的误差超过了 0.5 级仪表所允许的最大误差，所以，这台测温仪表的精度等级为 1.0 级。

仪表准确度等级是衡量仪表质量优劣的重要指标之一。一般数值越小，仪表准确度等级越高，仪表的准确度也越高。工业现场用的测量仪表，其准确度大多是 0.5 级以下的。

必须指出：在工业上应用时，对检测仪表准确度的要求，应根据生产操作的实际情况和该参数对整个工艺过程的影响程度所提供的误差允许范围来确定，这样才能保证生产的经济性和合理性。

仪表的准确度等级一般可用不同的符号形式标志在仪表面板上，如  $\textcircled{0.5}$   $\triangle 1.0$  等。

## 2. 检测仪表的恒定度

检测仪表的恒定度常用变差（又称来回差）来表示。它是在外界条件不变的情况下，用同一仪表对某一参数值进行正反行程（即被测参数逐渐由小到大和逐渐由大到小）测量时，仪表正、反行程指示值之间存在的差值，此差值即为变差，如图 1-1 所示。

造成变差的原因很多，例如传动机构的间隙、运动件间的摩擦、弹性元件弹性滞后的影响等。变差的大小，用仪表测量同一参数值，正、反行程指示值间的最大绝对差值与仪表标尺范围之比的百分数表示，即

$$\text{变差} = \frac{\text{最大绝对差值}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

必须注意，仪表的变差不能超出仪表的允许误差，否则应及时检修。

## 3. 灵敏度与灵敏限（也叫灵敏阈）

仪表指针的线位移或角位移，与引起这个位移的被测参数变化量的比值称为仪表的灵敏度，用公式表示如下

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

式中  $S$ ——仪表的灵敏度；

$\Delta\alpha$ ——指针的线位移或角位移；

$\Delta x$ ——引起  $\Delta\alpha$  所需的被测参数变化量。

所以，仪表的灵敏度，在数值上就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）。例一台测量范围为  $0 \sim 100^\circ\text{C}$  的测温仪表，其标尺长度为 20mm，则其灵敏度  $S$  为  $0.2\text{mm}/^\circ\text{C}$ ，即温度每变化  $1^\circ\text{C}$ ，指针移动了 0.2mm。

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

值得注意的是，上述指标一般只适用于指针式仪表。在数字式仪表中，往往用分辨率来表示仪表灵敏度（或灵敏限）的大小。数字式仪表的分辨率就是在仪表的最低量程上最末一位改变一个数所表示的被测参数变化量。以七位数字电压表为例，在最低量程满度值为 1V 时，它的分辨率则为  $0.1\mu\text{V}$ 。数字式仪表能稳定显示的位数越多，则分辨率越高。

## 4. 反应时间

当用仪表对被测量进行测量时，被测量突然变化以后，仪表指示值总是要经过一段时间

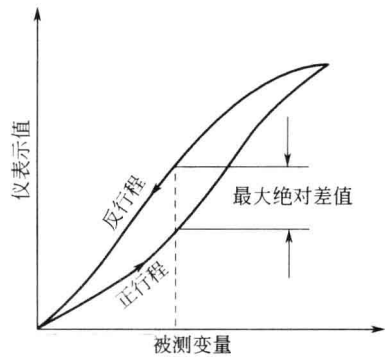


图 1-1 检测仪表的变差



后才能准确地显示出来。反应时间就是用来衡量仪表能不能尽快反映出参数变化的品质指标。反应时间大,说明仪表需要较长时间才能给出准确的指示值,那就不宜用来测量变化频繁的参数。因为在这种情况下,当仪表尚未准确显示出被测值时,参数本身却早已改变了,使仪表始终指示不出参数瞬时值的真实情况。所以,仪表反应时间的长短,实际上反映了仪表动态特性的好坏。

仪表的反应时间有不同的表示方法。当输入信号突然变化一个数值后,输出信号将由原始值逐渐变化到新的稳态值。仪表的输出信号(即指示值)由开始变化到新稳态值的63.2%所用的时间,可用来表示反应时间,也有用变化到新稳态值的95%所用的时间来表示反应时间的。

### 5. 线性度

线性度用来说明输出量与输入量的实际关系曲线偏离直线的程度。通常我们总是希望检测仪表的输出与输入之间呈线性关系。因为在线性情况下,模拟式仪表的刻度就可以做成均匀刻度,而数字式仪表就可以不必采取线性化措施。此外,当线性的检测仪表作为控制系统的—个组成部分时,往往可以使整个系统的分析设计得到简化。

线性度通常用实际测得的输入—输出特性曲线(称为标定曲线)与理论拟合直线之间的最大偏差与检测仪表满量程输出范围之比的百分数来表示(如图1-2所示),即

$$\delta f = \frac{\Delta f_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\%$$

式中  $\delta f$ ——线性度(又称非线性误差);

$\Delta f_{\max}$ ——标定曲线对于理论拟合直线的最大偏差(以仪表示值的单位计算)。

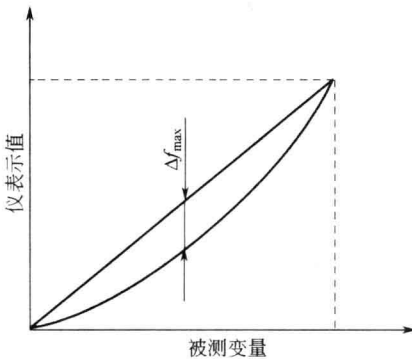


图 1-2 线性度示意图

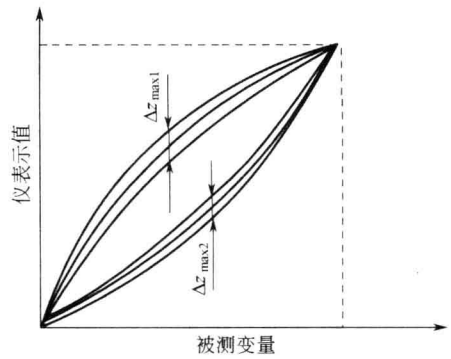


图 1-3 重复性示意图

### 6. 重复性

重复性表示检测仪表在被测参数按同一方向作全量程连续多次变动时所得标定特性曲线不一致的程度。若标定的特性曲线一致,重复性就好,重复性误差就小。如图1-3所示,分别求出沿正反行程多次循环测量的各个测试点仪表示值之间的最大偏差 $\Delta z_{\max 1}$ 和 $\Delta z_{\max 2}$ ,再取这两个最大偏差中之较大者为 $\Delta z_{\max}$ 。重复性误差 $\delta z$ 通常用 $\Delta z_{\max}$ 与测量仪表满量程输出范围之比的百分数来表示,即

$$\delta z = \frac{\Delta z_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\%$$

式中  $\delta z$ ——重复性误差;

$\Delta z_{\max}$ ——同方向多次重复测量时仪表示值的最大偏差值(以仪表示值的单位计算)。

## 三、检测系统中的常见信号类型

作用于检测装置输入端的被测信号,通常要转换成以下几种便于传输和显示的信号