

中等职业学校教材

化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

第三版

▶ 乐建波 主编



化学工业出版社

中等职业学校教材

化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

第三版

乐建波 主编



化学工业出版社

·北京·

本书针对工艺操作专业人员在实际中的操作问题,精选了有关内容,避免了过多的理论阐述,注重实际应用。书中主要介绍了化工自动化装置及化工自动化的基础知识。具体内容包
括:化工生产过程中的压力、流量、物位、温度、成分的测量及相应的常见仪表的结构、
特点和使用,并以工艺操作为出发点,重点介绍了简单、复杂、集散型控制系统在化工生
产过程中的应用。书中配有习题,根据内容的要求安排有技能训练。

本书适用于二、三年制化工技工学校 and 中等职业学校工艺类专业的学生选作教材,也可
作为化工、炼油、冶金、轻工等行业工艺专业职工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

化工仪表及自动化(工艺类专业适用)/乐建波主编. —3版.
北京:化学工业出版社,2010.1
中等职业学校教材
ISBN 978-7-122-07502-4

I. 化… II. 乐… III. ①化工仪表-专业学校-教材②化工过程-
自动控制系统-专业学校-教材 IV. TQ056

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第242501号

责任编辑:张建茹

装帧设计:于兵

责任校对:徐贞珍

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12 $\frac{3}{4}$ 字数308千字 2010年2月北京第3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:20.00元

版权所有 违者必究

第三版前言

《化工仪表及自动化》是化工、石油、医药、冶金等专业的必修课程之一，本次再版按照 2004 年 12 月全国化工高级技校教指委电仪组在重庆召开的会议精神进行了修订。本书自 1997 年出版以来，一直受到教学单位和学生的好评，随着社会不断发展的需要以及科学技术的不断进步，书中有些内容显得跟不上时代的变化，也是本书再版修订的一个原因。

本书共分六章。第一章介绍过程变量的测量方法，通过典型仪表结构和工作原理的分析，培养学生分析认识仪表的能力。第二章介绍常用的工业在线分析仪器的分析方法和使用。第三章重点介绍自动控制仪表的基本概念及其控制规律。第四章以气动薄膜调节阀为例介绍控制系统中执行器的功能。第五章以简单控制系统的操作系统为核心，介绍控制系统的相关知识，其他方案仅作为了解，以拓宽学生的知识视野。第六章考虑到计算机应用技术的迅猛发展，以目前较为流行的集散型控制系统的体系结构为重点，介绍了计算机控制的相关知识及现场总线的内容。

本书坚持教学内容应吐故纳新的原则，继承了传统教材中的精华部分，在讲解经典内容的同时，注意渗透最新的发展动向，力求做到通俗易懂，避免过多的理论阐述，不但将难点分散，而且始终围绕着“系统”这个中心来分析阐述，思路清晰，内容精练。每一章新概念的引入循序渐进，使学生学起来易于接受。本书每章配有习题，并根据需要安排有技能培训内容。

本次修订主要有四方面的增加。考虑到工业在线分析仪器的使用越来越广泛，增添了部分常用工业在线分析仪表；在集散型控制系统的组态和投运方面增加了案例，将组态这个难于理解的概念具体化，易学易做；增加了 PLC 控制器的知识；增补了现场总线控制系统的案例，以便进一步理解和认识现场总线控制系统。

本书由乐建波主编，王黎明主审。参加编写的还有纪绍青，李昕利，刘慧敏，芦建伟，李保健，解西钢，李璟。在编写和审稿的过程中得到了全国化工技校教学指导委员会电仪专业组及王新庄副校长的大力支持，并得到了许多同志的帮助，在编写过程中参考了大量的资料（主要参考资料附后），在此一并表示衷心的感谢。

由于编写者水平有限，难免有不足之处，殷切希望广大读者批评指正。

编者

2009 年 11 月于西安

第一版前言

《化工仪表及自动化》一书是以 1997 年 12 月化学工业部颁布的《全国化工技工学校教学计划》及与其配套的“化工仪表及自动化教学大纲”为依据进行编写的。

本书继承了传统教材中的精华部分，同时增加了计算机控制的新知识。力求做到通俗易懂，避免过多的理论阐述，不但将难点分散，而且始终围绕着“系统”这个中心来分析阐述，思路清晰，内容精炼。每一章新概念的引入循序渐进，使学生学起来易于接受。本书每章配有习题，书后附有实验和附录。

本书共分六章。第一章介绍过程变量的测量方法，通过典型仪表结构和工作原理的分析，培养学生分析认识仪表的能力。第二章介绍分析仪表的分析方法和特点。第三章介绍自动控制仪表的基本概念及 DDZ-III 型控制仪表的面板功能。第四章以气动薄膜调节阀为例介绍控制系统中执行器的功能。第五章以简单控制系统的操作为核心，介绍控制系统的相关知识，其他方案仅作为了解，以拓宽学生的知识视野。第六章考虑到计算机应用技术的迅猛发展，以目前较为流行的集散型控制系统的体系结构为重点，介绍了计算机控制的一般知识。

本书由乐建波编写，徐皓主审，苏靖林，付士元，张大欣，李保健等参加了审稿工作。在编写和审稿过程中得到了全国化工技校教学指导委员会电仪专业组及郑国义校长的大力支持，并得到了许多同志的帮助，编写过程中参考了大量的资料（主要参考资料附后），在此一并表示衷心的感谢。

由于编写者水平有限，难免有缺点和疏漏，殷切希望广大读者批评指正。

编者

1998 年 9 月于西安

第二版前言

《化工仪表及自动化》是化工、石油、医药、冶金等专业的必修课程之一，本书自 1997 年出版以来，一直受到许多学校老师和学生的好评，为了适应社会的不断发展和科学技术的不断进步，按照 2004 年 12 月全国化工高级技校教指委电仪组在重庆召开的会议精神对此书内容组织了修订。

本次修订坚持教学内容应吐故纳新的原则，继承了传统教材中的精华部分，在讲解经典内容的同时，注意渗透最新的发展动向，力求做到通俗易懂，避免过多的理论阐述，不但将难点分散，而且始终围绕着“系统”这个中心来分析阐述，思路清晰，内容精练。每一章新概念的引入循序渐进，使学生易于接受。本书每章后配有习题，并根据需要安排有技能培训内容。

本书共分六章。第一章介绍过程变量的测量方法，通过典型仪表结构和工作原理的分析，培养学生分析认识仪表的能力。第二章介绍几种典型的分析仪器的分析方法和特点。第三章重点介绍自动控制仪表的基本概念及其控制规律。第四章以气动薄膜调节阀为例介绍控制系统中执行器的功能。第五章以简单控制系统的操作系统为核心，介绍控制系统的相关知识，其他方案仅作为了解，以拓宽学生的知识视野。第六章考虑到计算机应用技术的迅猛发展，以目前较为流行的集散型控制系统的体系结构为重点，介绍了计算机控制的一般知识，增添了现场总线的内容。

本书由西安化工医药技工学校乐建波编写，王黎明主审。李保健、张爱辉参加了书稿的审定工作。在编写和审稿的过程中得到了全国化工技校教学指导委员会电仪专业组及郭养安校长的大力支持和其他许多同志的帮助，编写过程中参考了大量的资料（主要参考资料附后），在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免有缺点和疏漏，殷切希望广大读者批评指正。

编者

2005 年 3 月于西安

目 录

绪论	1	四、无纸记录仪表	49
一、化工自动化的意义	1	习题	52
二、化工仪表及自动化的发展过程	1	第二章 自动成分分析仪表	54
三、化工仪表及自动化系统的分类	2	第一节 概述	54
四、本课程的内容及要求	3	第二节 热导式气体分析器	55
习题	3	一、基本知识	55
第一章 化工测量仪表	4	二、热导式气体分析器的测量原理	56
第一节 测量仪表的基础知识	4	三、RD-004 型热导式 H ₂ 分析器	57
一、测量及测量过程	4	第三节 氧化锆分析仪	59
二、测量误差	4	一、氧化锆探头	59
三、测量仪表的品质指标	6	二、温度调节器与显示仪表	60
四、测量仪表的构成和分类	7	三、氧化锆安装注意事项	61
第二节 压力测量	7	第四节 原子吸收分光光度计	61
一、压力测量的基本知识	7	一、原子吸收光谱法	61
二、弹性式压力计	9	二、原子吸收分光光度计的结构及原理	61
三、电接点信号压力表	11	三、单色器	63
技能训练：弹簧管压力表的校验	12	四、检测器及放大器读数装置	64
第三节 流量测量	14	第五节 傅里叶变换红外光谱仪	64
一、流量测量的基本知识	14	一、基本知识	64
二、差压式流量计	15	二、傅里叶变换红外光谱仪	64
三、转子流量计	21	第六节 气相色谱分析仪	66
四、其他流量计测量原理简介	23	一、基本知识	66
第四节 液位测量	25	二、气相色谱仪的组成及工艺流程	67
一、物位测量的基本知识	25	第七节 工业 pH 值酸度计	69
二、差压式液位计	25	一、pH 计的测量原理	69
三、其他液位计简介	28	二、电极的结构	70
第五节 温度测量	32	三、pHG-2026B 型工业 pH 计	71
一、温度测量的基本知识	32	第八节 微量水分析仪	72
二、简单测温仪表	33	一、基本知识	72
三、测温元件	34	二、微量水分析仪	74
四、温度变送器	39	三、特点与注意事项	74
五、测温仪表的选用及安装	40	第九节 有害气体报警器	74
第六节 显示仪表	40	一、有害气体检测报警器的分类	75
一、概述	40	二、有害气体报警器的结构	75
二、平衡式显示仪表	41	三、常用检测器	76
技能训练：电子自动电位差计的示值校验	46	四、有害气体报警器特点	77
三、数字式显示仪表	48	五、有害气体检测报警器选用原则	78

习题	78	二、均匀控制系统	123
第三章 自动控制仪表	80	三、比值控制系统	124
第一节 控制器原理及面板功能介绍	80	四、多冲量控制系统	126
一、基型控制器的原理	81	第四节 典型控制系统方案介绍	127
二、DDZ-Ⅲ型控制器的外形结构图	81	一、流体传送设备的自动控制方案	127
三、DDZ-Ⅲ型控制器的操作	83	二、传热设备的自动控制方案	128
技能训练：DDZ-Ⅲ型基型控制器的使用	84	三、精馏设备的自动控制方案	130
第二节 控制规律	87	四、反应器的自动控制方案	131
一、双位控制	88	习题	133
二、比例控制	89	第六章 集散型控制系统与智能仪表	134
三、积分控制	91	第一节 集散型控制系统概述	134
四、微分控制	92	一、集散型控制系统的基本概念	134
第三节 单元组合仪表的基本知识	94	二、集散型控制系统的特点	136
一、单元组合仪表与自动控制系统	94	三、集散型控制系统的发展概况	137
二、单元组合仪表的分类	94	第二节 集散型控制系统的体系结构	138
三、DDZ-Ⅲ型仪表的特点	95	一、集散型控制系统的体系结构	138
四、DDZ-Ⅲ型仪表的命名法	97	二、集散型控制系统体系结构中各层的 功能	139
习题	98	三、集散型控制系统体系结构示例	140
第四章 执行器	99	第三节 集散型控制系统的构成	141
第一节 气动薄膜调节阀	99	一、DCS系统的构成	142
一、气动薄膜调节阀的结构及工作原理	99	二、人-机接口的构成	142
二、调节阀的种类	102	第四节 集散型控制系统的组态	149
第二节 阀门定位器	103	一、DCS控制系统组态的概念	149
一、配薄膜执行机构的气动阀门定 位器	104	二、DCS控制系统组态的过程	149
二、配薄膜执行机构的电-气阀门 定位器	104	第五节 集散型控制系统的组态案例 分析	150
习题	105	一、【工艺分析】	150
第五章 化工自动化基础	106	二、【DCS硬件组成】	151
第一节 化工自动化的基础知识	106	三、【组态】	151
一、人工调节和自动控制	106	第六节 集散型控制系统的投运操作	165
二、自动控制系统的组成及分类	107	一、DCS控制系统的投运操作	165
三、自动控制系统的过渡过程及品质 指标	108	二、投运操作记录表格	166
四、影响控制系统的过渡过程的主要 因素	110	技能训练：集散型控制系统的组态及仿真 运行	168
第二节 简单控制系统	116	第七节 智能仪表	170
一、简单控制系统的组成	116	一、智能化测量控制仪表	170
二、简单控制系统的投运	116	二、智能压力变送器	171
三、控制系统中常见问题及处理方法	118	三、智能控制仪表	172
技能训练：简单控制系统的投运和参数 整定	119	第八节 可编程控制器	175
第三节 复杂控制系统	121	一、PLC的特点	175
一、串级控制系统	121	二、PLC的应用领域	176
		三、PLC的硬件构成	177
		四、PLC软件系统及常用编程语言	181

五、PLC 的工作过程	181	附录二 标准化热电偶电势-温度对照简表 ...	189
六、S7 系列可编程控制器简介	182	一、铂铑 ₁₀ -铂热电偶分度表	189
第九节 现场总线控制系统	183	二、镍铬-镍硅热电偶分度表	190
一、现场总线的概念	183	附录三 热电阻欧姆-温度对照简表	190
二、现场总线的实质和优点	184	一、铂热电阻 (Pt50) 分度表	190
三、现场总线控制系统的结构	184	二、铂热电阻 (Pt100) 分度表	191
四、主流现场总线简介	186	三、铜热电阻 (Cu100) 分度表	191
习题	188	四、铜热电阻 (Cu50) 分度表	191
附录	189	附录四 常用图形符号	192
附录一 常用弹簧管压力表规格	189	参考文献	193

绪 论

一、化工自动化的意义

随着科学技术的不断进步，自动化技术已广泛应用于工业、农业、国防、交通、通讯等各个领域。国民经济能否稳定和高速发展，在很大程度上取决于科学技术的发展，取决于控制与自动化水平的高低。

自动化的应用能够提高工厂的技术水平，节能、降耗、提质、增益，提高劳动生产率和产品的市场竞争能力，有利于保护环境和安全生产。因此，工业自动化是促进企业实现现代化生产和集约化经营的有力工具。

工业自动化根据生产过程的特点可分为三种类型：过程控制自动化、制造工业自动化和各种间隙过程工业自动化。过程控制自动化是以流程工业为对象，如化工、炼油等。制造工业自动化是以离散型制造过程为对象，如汽车、飞机、机床等制造工业。混合型制造工业自动化（即间隙过程工业）则以冶金、食品、玻璃、纸制品、半导体等工业为对象。

化工自动化是化工生产过程自动化的简称。指在化工生产（或管理）设备上，用一些自动化装置，部分或全部取代人的劳动。这种用自动化装置管理化工生产过程的方式，叫化工生产过程自动化。

化工生产的整个过程都是在密闭的管道和设备中进行的，生产条件比较复杂，如高温、高压、低温、深冷、真空、易燃、易爆、有毒、腐蚀等。从整体管理到局部管理，从技术设计到工艺执行，都要严格认真，一丝不苟，因此，实现自动化是改善劳动条件，防治环境污染，保证安全生产，提高管理水平、技术水平、产量质量的有效途径。同时，还有助于提高劳动者的文化修养和技术素质，有利于社会主义的精神文明建设。

二、化工仪表及自动化的发展过程

随着科技的进步，特别是电子工业的飞速发展，化工仪表及自动化也经历了一个由简单到复杂的发展过程。

20世纪40年代，化工生产非常落后，生产以手工操作为主。当时出现了基地型的测量控制。50年代后生产规模不断地扩大，对控制提出各种各样的要求，单元组合仪表应运而生。特别是晶体管及集成电路的问世，使仪表体积缩小，精度提高，单元功能越来越丰富，对生产过程可以实现集中监视、操作、控制。控制水平也由简单到复杂，串级控制系统，比值控制系统，均匀控制系统，多冲量控制系统，前馈控制，解耦控制等相继出现。

70年代，由于大规模集成电路问世，仪表的体积越来越小，成本越来越低，组装柜式的仪表很快出现。特别是微处理器和单板机在仪表和控制方面的应用，使自动化技术有了迅猛的发展，新型电子仪表、智能化测量控制仪表、可编程控制器等新技术新产品层出不穷。

电子、计算机技术的飞速发展把自动化技术提到了一个更高的水平，70年代，计算机开始应用于控制，早期有DDC直接数字控制和SCC监督计算机控制。1975年，美国的霍尼韦尔（Honeywell）公司推出TDC2000集散型控制系统DCS。此后集散型控制系统不断走向成熟，现已推出了第三代产品。集散型控制系统DCS正以高可靠性、高性能、分散控

制、集中监视和管理的功能以及合理的价格而得到工业界广大用户的青睐。

自动化技术在本世纪将以前所未有的速度迅猛发展，同时也迅速向其他科技领域渗透，并不断吸取其他科学技术领域的丰富营养，向着智能自动化方向发展。智能控制包括学习控制、自适应控制、神经网络控制、知识基础控制、以遗传算法为核心的进化控制等。控制的智能化已成为自动化技术向智能自动化过渡和发展的必经之路，智能控制必将成为本世纪的热门控制技术。

目前，在中国的化工生产过程中，集散型控制系统的应用越来越多。众多企业根据自身实际情况，使用各种仪表，形成了各种自动化控制系统。目前，从总的情况来看，单元组合仪表等常规仪表组成的化工自动化系统仍然是最基本、最普遍的自动化系统。

三、化工仪表及自动化系统的分类

仪表按其功能可分为四种：测量变送仪表，控制仪表，显示报警保护仪表，执行器。这四类仪表在生产过程中承担不同的任务。以它们为核心，构成了四种不同类型的自动化系统，这四种自动化系统有机地联系在一起，形成一个生产过程的自动化。这些自动化系统的内容如下。

1. 自动检测系统

化工生产过程是连续的，各种物料在密闭的容器或管道内不断地进行着化学和物理变化。为了掌握生产的状况，就必须对生产中的各种工艺变量（温度、压力、流量、物位、成分）进行自动检测，并将结果自动地指示或记录下来，以代替人工操作对工艺变量的观察和记录，这样自动检测系统就相当于人的“眼睛”。

2. 自动信号联锁保护系统

生产过程中，由于一些偶然的因素，会导致工艺变量超出允许的变化范围，严重时会造成设备或人身危害。例如造汽锅炉汽包水位过高，蒸汽将夹带水滴而危害下一设备，水位过低时，锅炉会烧干裂。为了确保安全，就必须对水位实行报警并设置联锁装置，在事故发生前系统自动地报警，告诫人们注意。报警时，联锁系统立即采取措施，必要时紧急停车，以防止事故的发生或扩大。因此自动信号联锁保护系统是生产过程中的一种安全装置。

3. 自动操纵系统

自动操纵系统是根据预先规定好的步骤，自动地对生产设备进行某种周期性的操作。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。利用自动操纵机构就可以自动地按照一定的程序扳动空气和水蒸气的阀门，使它们交替接通煤气发生炉，从而代替人工操作，大大地减轻了操作工人重复性的体力劳动。因此，自动操纵系统相当于人的“手脚”。

4. 自动控制系统

化工生产过程大多是连续的生产过程，各设备之间联系紧密。其中某一设备中的工艺条件变化时，可能引起其他设备中某些工艺变量波动，使工艺变量偏离规定的指标。为了保证生产的正常进行和产品质量的稳定，就需要用一些自动控制装置，对生产中的工艺变量进行控制，使它们受到外界扰动而偏离工艺变量指标后，能尽快地回复到工艺变量的允许范围之内。所以，自动控制系统相当于人的“大脑”。

仪表及各系统间的关系如图 0-1 所示。

一个简单的自动化生产过程可以描述为：测量仪表对生产过程中的工艺变量进行测量，测量结果一方面送显示仪表进行显示，另一方面送控制仪表进行控制，控制后的信号送执行

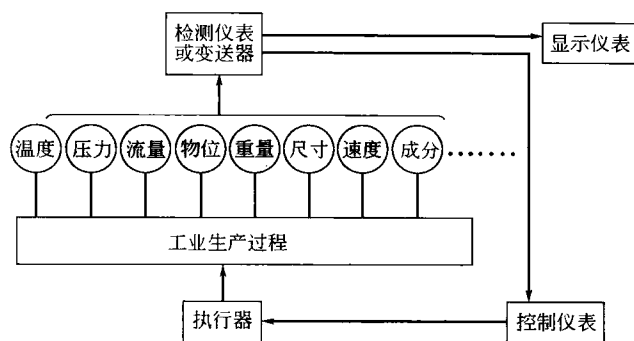


图 0-1 各类自动化仪表之间的关系

器来改变工艺变量，使工艺变量保持在规定的变化范围之内，这样就完成了对生产过程的控制。

四、本课程的内容及要求

本课程是专门为培养和培训工艺操作人员开设的综合性较强的一门专业基础课。

任何化工生产过程都是由一些设备和自动化装置组成。工艺操作人员要完成生产指标，必须通过操作自动化装置来实现。所以，工艺操作人员学习和掌握仪表及自动化知识是非常重要的。

本课程的内容主要以自动化为核心，介绍自动化系统中必需的一些仪表，包括测量仪表、分析仪表、控制仪表、执行器等。同时还介绍了自动化基础理论、简单控制系统、复杂控制系统的知识及集散型控制系统的基本概念。

通过本课程的学习，要求学生了解化工变量的测量方法，熟悉常用仪表的结构、原理和使用方法，掌握化工自动化的基础知识，了解集散型控制系统的基本概念，能协助仪表及自动化技术人员分析和解决仪表在运行中的一些实际问题。

习 题

1. 仪表按其发展过程来分，有几种类型？
2. 化工自动化系统包含哪几部分内容？

第一章 化工测量仪表

化工生产要实现优质、高产、安全和低耗，就必须对生产过程中的工艺变量进行测量和控制。测量这些工艺变量的仪表叫化工测量仪表。

化工生产过程中的工艺变量包括四个热工量，即压力、流量、温度和物位。这四个变量都不是生产的最终指标，但控制它们可以保证产品质量。所以对这四个工艺变量的测量控制叫间接控制。随着科学技术的发展，在化工生产中，已开始应用工业自动成分分析仪表，它把分析与产品质量有关的物性和物质成分作为变量，实现对产品质量的直接控制。

在现代化的工厂中，化工测量仪表已不再局限于自动测量工艺变量，而是与控制器和执行器配合起来，完成对生产过程的自动控制。特别是微电子技术的发展，单片机的出现，引起了仪表结构的根本性变革，以单片机为主体取代传统仪表的常规电子线路，可以很容易地将计算机技术与测量控制技术结合在一起，组成新一代的所谓“智能化测量控制仪表”。

本章将介绍传统的压力、流量、温度和物位的测量仪表。

第一节 测量仪表的基础知识

一、测量及测量过程

测量就是用试验的方法求取某个量的大小，例如：用米尺量取身高，其过程是用测量工具米尺做单位，与身高进行比较，得出身高的测量数值。这种用测量工具与被测量物直接进行比较的方法叫直接测量法。而有些变量不便使用直接测量法，例如，用体温计测量人的体温，温度信号的变化先通过水银转换为水银体积的变化，然后再将水银液面与玻璃管外的刻度进行比较得出体温的数值，人们把这种测量方法称为间接测量法。可见间接测量法有一个能量转换的过程。

由此可见，不管是直接测量还是间接测量，它们的共性在于被测变量都要经过一次或多次能量形式的转换，然后与刻度尺进行比较。所以，测量过程的实质是被测变量进行能量形式的转换和比较的过程。测量仪表就是实现这种能量形式转换和比较的工具。

二、测量误差

测量的目的是为了获得真实值。但是由于人们对客观事物认识的局限性，无论采用什么样的测量方法和测量工具，都无法获得真实值。通常所说的真实值，是指用更高一级精度的仪表测量出的值，作为被测量变量的真实值来使用，这样，在测量值与真实值之间就存在着一个差值，这个差值叫测量误差。

测量误差按产生的原因不同，可分为三类：系统误差、疏忽误差和偶然误差。

(1) 系统误差 这种误差是指对同一变量进行反复多次的测量，出现的大小和方向均不改变的误差，或者虽然改变，但变化有一定的规律性的误差，因此系统误差也叫规律误差。

系统误差是由于仪表的使用不当或测量过程中单因素等变化引起的。所以单纯的增加测量次数，无法减小系统误差，只有找出产生系统误差的真正原因之后，才能对测量结果中的

系统误差进行修正或消除。例如，测量反应器内的温度时，压力变化就会引起系统误差，如果知道了压力与温度变化的关系，就可以对温度测量的结果进行修正，从而消除系统误差。

(2) 疏忽误差 由于工作人员在读取或记录测量数据时，疏忽大意所造成的误差，这类误差的数值很难估计，因此在工作中一定要认真、仔细，避免这类误差的发生。

(3) 偶然误差 在对同一变量进行反复多次的测量中，出现的大小和方向均不相同的误差，叫偶然误差。这种误差产生的原因主要是客观事物内部的矛盾运动非常复杂，由于人类认识的局限性，使之无法掌握这种误差产生的真正原因。加之其变化的无规律性，因此，偶然误差不宜消除。

在测量结果中，必须对误差进行分析，消除疏忽误差和系统误差，使测量值尽可能地接近真实值。

测量误差常用绝对误差和相对误差来表示。

绝对误差指仪表的测量值与真实值之差，可表示为

$$\Delta = X_{\text{测}} - X_{\text{真}}$$

式中 Δ ——绝对误差；

$X_{\text{测}}$ ——仪表的测量值；

$X_{\text{真}}$ ——表示被测变量的真实值。

工程上，要知道被测变量的真实值是很困难的。因此，仪表的绝对误差，一般指在其标尺范围内，用标准表和被校表同时对同一变量测量所得到的两个数值之差，可用下式表示。

$$\Delta = X_{\text{指}} - X_{\text{标}}$$

式中 Δ ——绝对误差；

$X_{\text{指}}$ ——被校表读数值；

$X_{\text{标}}$ ——标准表读数值。

相对误差指绝对误差和真实值之比。可表示为

$$E = \frac{\Delta}{X_{\text{真}}} = \frac{X_{\text{指}} - X_{\text{标}}}{X_{\text{标}}}$$

式中 E ——相对误差；

Δ ——绝对误差；

$X_{\text{真}}$ ——被测变量的真实值；

$X_{\text{指}}$ ——被校表读数值；

$X_{\text{标}}$ ——标准表读数值。

表示一台仪表的测量误差，仅用绝对误差和相对误差是不足以说明问题的，因为没有结合仪表的标尺范围。例如，两只温度计，一只测温范围 $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，另一只为 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，用来测体温，假定真实体温都是 37°C 而测量结果都一样，为 37.5°C 。计算绝对误差和相对误差，结果是一样的， $\Delta = 0.5^{\circ}\text{C}$ ， $E = 0.013$ 。那么，两次温度计测量的结果，是不是真的一样可信呢？这样为了衡量仪表的误差，引入了相对百分误差的概念。将绝对误差折合成仪表标尺范围的百分数来表示。即

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

式中 S ——相对百分误差；

Δ_{max} ——标尺范围内最大的绝对误差。

上例中两只仪表的相对百分误差为

$$0\sim 50^{\circ}\text{C} \quad S = \frac{0.5}{50-0} \times 100\% = 1\%$$

$$0\sim 100^{\circ}\text{C} \quad S = \frac{0.5}{100-0} \times 100\% = 0.5\%$$

显然，标尺范围大的比标尺范围小的更准确一些。

三、测量仪表的品质指标

1. 仪表的精度

精度也叫准确度，是仪表制造加工的精密程度和指示的准确程度的合称。衡量一台仪表的误差大小，不能用绝对误差和相对误差，而必须用相对百分误差，精度就是取相对百分误差的分子值，即

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

国家对精度等级制定了统一的标准，常用仪表的精度等级大致有：

← 高精度	→ 低精度	
0.005、0.02、0.05	0.1、0.2、0.5	1.0、1.5、2.5、4.0
I 级精度	II 级精度	工业测量仪表

关于精度的几点说明。

① 精度数值越小，精度越高。反之，数值越大，精度越低。

② 精度等级常以圆圈或三角内的数字标明在仪表面板上，如①.5表示1.5级精度的仪表。

③ 选表和校验表时，计算出的数值不可能都正好是精度等级中有的数值，这时要归档，选表时精度归高，校验时精度归低。例如：计算结果为1.8，如果是选表，要选1.5级精度的表。如果是校验表，则此表应定为2.5级精度。

仪表的误差还受工作条件的影响。仪表在正常工作条件（如正常的介质温度、湿度、振动、电源电压和频率等）下的最大相对百分误差叫仪表的基本误差。如果仪表不在规定的正常工作条件下工作，由于外界条件变动引起的额外误差，叫附加误差。有时，附加误差是很大的，所以使用仪表时应注意尽量避免附加误差的产生。

2. 测量仪表的变差

外界条件不变，用同一仪表测量时，由小到大的正行程和由大到小的反行程中对同一变量却得出不同的数值，两数值之差称为该点的变差。

造成仪表变差的原因很多。如传动机构间隙过大，运动部件不够光洁，或配合过紧形成摩擦，弹性元件的弹性滞后等。

测量仪表变差的表示法是，用仪表标尺范围内上下行程间的最大绝对误差的绝对值与仪表标尺范围之比的百分数来表示。

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

式中 Δ_{\max} ——仪表标尺范围内上下行程间最大绝对误差。

工业测量仪表变差规定不得超过该仪表本身基本误差，否则应予检修。

仪表的品质指标除精度和变差之外，还有灵敏度与灵敏限、反应时间、周期等，各品质之间互相都有影响。所以，衡量一台仪表的好坏，不能单纯的看某一项指标，要综合考虑。而且品质越高的仪表，制造工艺越复杂，成本越高。对于重要的变量，选

用高品质的仪表；对于次要的变量，应采用较低品质的仪表，照顾到生产的合理性和经济性。

四、测量仪表的构成和分类

1. 测量仪表的构成

化工生产过程中工艺变量种类繁多，生产条件又各不相同，化工测量仪表更是琳琅满目，但所有测量仪表的构成，一般都包括：检测环节、传送放大环节和显示环节三个组成部分，如图 1-1 所示。

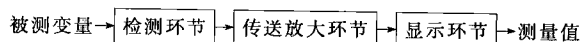


图 1-1 测量仪表的构成框图

检测环节直接感受被测变量的变化，并将其转换成便于测量的信号，经传送放大环节对信号放大，最后送显示部分显示，或送控制仪表进行控制。

这三部分在实际的仪表中有多种组合，有的三部分在一体，有的两部分在一体，有的分别独立。不管怎样组合，工作中处于现场的叫一次仪表，处于控制室的叫二次仪表。控制室装在控制柜表盘上的，叫盘装仪表，装在控制柜后架子上的叫架装仪表。

2. 测量仪表的分类

测量仪表的分类方法也有很多，常见的分类方法如下。

(1) 按被测变量的性质分类 可分为压力测量仪表、温度测量仪表、流量测量仪表和物位测量仪表。

(2) 按仪表显示方式分类 可分为指示型、记录型、累积型、信号型、远传指示型。

(3) 按仪表安装场合分类 可分为就地指示型、远传型。

(4) 按使用场合分类 可分为工业用仪表、范型仪表和标准仪表。

(5) 按精度等级分 如 1.5 级精度表、2.5 级精度表等。

第二节 压力测量

一、压力测量的基本知识

1. 压力测量的意义

化工生产过程都是在一定的压力条件下进行的，有的需要比大气压高得多的高压，如高压聚乙烯要在 147MPa 的压力下反应；有的需要在一定的真空下进行，例如液体烧碱需在几十千帕的真空度下蒸发。压力过高或过低都将影响产品的质量和生产的安全，所以压力测量在化工生产中具有十分重要的意义。

2. 压力的基本概念

一般说来，压力就是垂直作用在单位面积上的力，也称为压强。它的工程定义为：介质垂直作用在单位面积上的力。即

$$p = \frac{F}{S}$$

式中 p ——压力，Pa；

F ——垂直作用力，N；

S ——受力面积， m^2 。

3. 压力的单位及不同单位制的换算

中国法定计量单位，以国际单位制为准，但工厂所用仪表中也有其他的单位制。为了便于学习和工作参考，表 1-1 中列出了不同单位制及相互间的换算关系。

表 1-1 压力单位换算表

单位名称	帕斯卡 Pa	标准大气压 atm	工程大气压 kgf/cm ²	毫米水柱 mmH ₂ O	毫米汞柱 mmHg	磅力/英寸 ² lbf/in ²
1 帕 Pa	1	9.86924×10^{-6}	1.01972×10^{-5}	1.01972×10^{-1}	7.50064×10^{-3}	1.45044×10^{-4}
1 标准大气压 atm	1.01325×10^5	1	1.03323	10332.3	760	1.4686×10
1 工程大气压 kgf/cm ²	9.80665×10^4	0.967841	1	10000	735.562	1.42239×10
1 毫米水柱 mmH ₂ O	9.80665	9.67841×10^{-5}	1×10^{-4}	1	0.735562×10^{-1}	1.4239×10^{-3}
1 毫米汞柱 mmHg	133.322	1.31579×10^{-3}	1.35951×10^{-3}	13.5951	1	1.934×10^{-2}
1 磅力/英寸 ² lbf/in ²	6.8949×10^3	0.6805×10^{-1}	0.70307×10^{-1}	703.07	0.51715×10^2	1

国际单位制中，压力的单位是帕斯卡，简称帕（符号为 Pa），这是一个由基本单位导出的单位，定义为

$$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$$

即 1N（牛顿）的力垂直均匀作用在 1m² 的面积上所形成的压力值叫 1Pa（帕）。它的基本单位表示如下

$$1\text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kgms}^{-2}}{\text{m}^2} = 1\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$$

4. 压力的表示

过去，提到的压力，是指介质所受的实际压力，即绝对压力。但是任何仪器、仪表和设备都处在大气压之下，本身受大气压力的作用，仪表所测出的压力也是在大气压力基础之上的压力，即表压力或真空度（负压）。

当被测压力高于大气压时，用表压力表示，表压力是指绝对压力与大气压力之差，用公式表示为

$$p_{\text{表}} = p_{\text{绝}} - p_0$$

当被测压力低于大气压时，用负压或真空度表示，负压是指大气压力与绝对压力之差，用公式表示为

$$p_{\text{负}} = p_0 - p_{\text{绝}}$$

以后提到压力，不做特别说明时，均指表压力或负压力。

图 1-2 所示为大气压力、表压力、绝对压力、负压或真空度之间的关系。

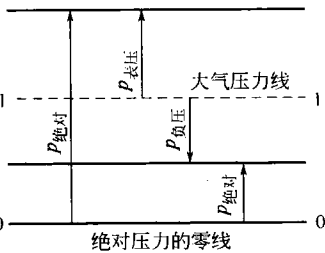


图 1-2 大气压表压、绝压和负压的关系

5. 压力测量仪表的分类

为了适应工业生产和科学研究的需要，压力测量仪表的品种、规格较多，分类方法也不少，常用的比较合理的分类方法是按仪表的工作原理来分类，大致可分三类。

① 用已知压力去平衡未知压力的方法，把被测压力转换成液柱高度来测量压力的仪表。有液柱式和活塞式压力计。