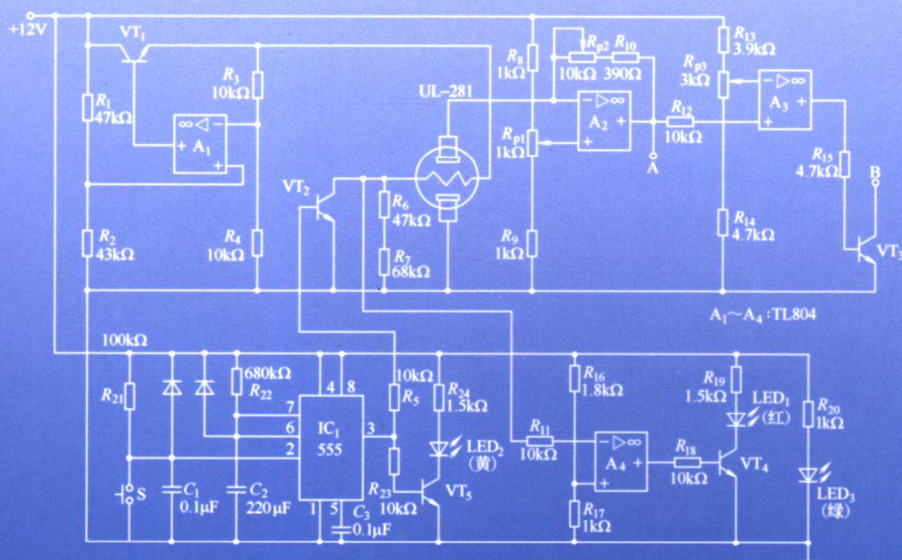




教育部高职高专规划教材

自动检测技术与控制装置

王永红 刘玉梅 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

自动检测技术与控制装置

王永红 刘玉梅 主编

吕廉克 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

《自动检测技术与控制装置》共分九章,对生产过程中检测技术及控制装置进行了系统叙述。第一章介绍了生产过程中检测及误差的基本概念,传感器(变送器)的基础知识等。第二~七章,介绍了生产过程中压力、流量、温度、物位和成分等传感器(变送器)的结构、原理、基本技术参数及安装使用和维护防护等知识。第八章介绍了生产过程中应用的基本控制方法及目前常用的控制、执行装置。第九章介绍了新技术在生产过程检测及控制中的应用。书中对国内外新型的智能传感器、智能控制器和智能执行机构,也作了相应的介绍。

本书除作为高职高专生产过程自动化、工业自动化及仪表等专业的教材外,也可供从事其他相关类型行业(石油化工、轻工、林业、电厂等)的自动化工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术与控制装置/王永红,刘玉梅主编. —北京:化学工业出版社,2006.6

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-7278-3

I. 自… II. ①王…②刘… III. ①自动检测-高等学校:技术学院-教材②自动控制装置-高等学校:技术学院-教材 IV. TP27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 070996 号

教育部高职高专规划教材 自动检测技术与控制装置

王永红 刘玉梅 主编

吕廉克 主审

责任编辑:张建茹 唐旭华

文字编辑:李玉峰

责任校对:宋 玮

封面设计:关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 442 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7278-3

定 价:27.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

高职高专电仪类专业规划教材 编审委员会

主 任 王爱广

副主任 邓 允 王黎明

委 员 (排名不分先后)

厉鼎熙	吕廉克	汤光华	于占河	郝万新	马应魁
张 虎	王永红	董 力	蔡夕忠	马克联	刘玉梅
樊明龙	任丽静	国海东	吕铁男	开 俊	王 琦
吴明亮	殷 刚	邓素萍	徐咏东	刘江彩	戴焰明
李世伟	宋 涛	郑 怡	张国华	陆建遵	黎洪坤
陈昌涛	夏鸿儒	黄 杰	王 磊	耿淑芹	何亚平

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

为了适应社会经济和科学技术迅速发展及教育教学改革的需要,全国化工高职电仪类专业教学指导委员会组织有关院校经过广泛深入的调查研究和讨论,制定了高职高专电仪类专业新一轮的教材建设规划。新的规划教材根据“以市场需求为导向,以职业能力为本位,以培养应用型高技能人才为中心”的原则,注重以先进的科学发展观调整和组织教学内容,增强认知结构与能力结构的有机结合,强调培养对象对职业岗位(群)的适应程度,对电仪类专业教材的整体优化力图有所突破,有所创新。

本书是根据全国化工高职电仪类专业教学指导委员会 2004 年石家庄会议制定的教学计划和北京会议制定的《自动检测技术与控制装置》教材编写大纲而编写的。

根据高等职业教育培养目标的要求,本书力图使学生学习完本书后获得作为生产一线的技术、管理、维护和运行人员所必须掌握的检测技术与控制装置的基本知识和基本技能。

本书以介绍各种检测、控制执行的方法及装置为主,突出其基本构成、原理、选用方法、基本安装及使用等,对维护、检修、系统安装等,由相关课程及实训环节完成。

在考虑取材深度和广度时,主要着眼于提高高职高专学生的应用能力和知识水平,因此在介绍各种仪表工作原理的基础上,突出了应用实例。同时,为了适应自动检测技术与控制装置日新月异的发展,反映自动检测技术与控制装置在近年来的技术进步及应用成果,本书舍弃了一些过时或少用的检测与控制装置,尽量多地介绍近年来广泛应用的检测技术与控制装置,并且专门介绍了新技术在生产过程检测及控制中的应用。

本书可作为高职高专“生产过程自动化技术(工业自动化及仪表)”专业的教材,亦可供从事其他相关类型行业(石油化工、轻工、林业、电厂等)的电类、自动化类、仪表仪器类等自动化工程技术人员阅读参考。参考学时为 80~100 学时。

本书内容已制作成用于多媒体教学的 PowerPoint 课件,并将免费提供给采用本书作为教材的高职高专院校使用。如有需要可联系:zjru68@263.net。

参加本书编写的人员都是在各高职高专院校从事自动检测技术与控制装置教学和研究的一线教学人员。本书由王永红、刘玉梅任主编,夏鸿儒、刘慧敏、丁炜参与编写。其中第 1 章、第 6 章、第 9 章由王永红编写,第 2 章由刘慧敏编写,第 3 章、第 4 章由夏鸿儒编写,第 5 章由丁炜编写,第 7 章、第 8 章由刘玉梅编写。全书由王永红统稿,吕廉克主审。

本书在编写过程中,得到了相关学院及单位的大力支持,并提出了许多宝贵意见,编者在此表示感谢。同时在编写过程中,参考和引用了大量的文献,对这些参考文献的作者和单位表示感谢。

由于自动检测技术与控制装置发展较快,本书内容难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2006 年 4 月

目 录

绪论	1
0.1 检测与控制装置在工业生产过程中的作用	1
0.2 检测技术与控制装置的发展	2
0.3 本课程的特点及学习方法	3
1 检测与控制基础	4
1.1 检测仪表的基本概念	4
1.2 控制装置的基本概念	5
1.3 测量与误差的基本概念	6
1.4 仪表的质量指标	8
1.5 现场仪表使用中的防护	9
习题	11
2 压力检测	12
2.1 概述	12
2.2 弹性式压力表	14
2.3 电测式压力表	18
2.4 压力检测仪表的使用	30
习题	32
3 物位检测及仪表	34
3.1 概述	34
3.2 静压式液位检测仪表	35
3.3 浮力式液位检测仪表	40
3.4 超声波液位计	45
3.5 雷达物位计	47
3.6 物位仪表的选用	49
习题	51
4 流量检测及仪表	53
4.1 概述	53
4.2 差压式流量检测仪表	54
4.3 转子流量计	61
4.4 电磁流量计	65
4.5 涡街流量计	71
4.6 微动质量流量计	75
4.7 总量测量及计量表	79
4.8 流量仪表的选择	84
习题	86

5 温度检测	88
5.1 温度与温标	88
5.2 热电偶温度仪表	91
5.3 电阻式测温仪表	102
5.4 温度变送器	108
5.5 非接触式测温	114
5.6 温度检测仪表的选用	117
习题	119
6 成分检测	120
6.1 成分检测的基本知识	120
6.2 生产过程在线分析仪表	123
6.3 环保监测仪表	131
习题	138
7 显示装置	139
7.1 模拟显示	139
7.2 数字显示	143
7.3 屏幕显示	155
习题	167
8 控制与执行装置	169
8.1 自动控制系统的基本概念	169
8.2 控制装置	171
8.3 气动执行装置	185
8.4 电动执行装置	195
8.5 执行装置的选用	198
8.6 辅助装置	215
习题	221
9 新技术应用	223
9.1 光电式检测仪表	223
9.2 光纤式检测仪表	230
9.3 软测量技术	235
9.4 虚拟仪器技术	238
习题	240
附录	241
附录一 控制阀选择资料	241
附录二 常用热电偶、热电阻分度表	254
参考文献	257

绪 论

生产过程的自动控制是指在石油、化工等连续性工业生产中对生产过程中的温度、压力、流量、物位及物性等变量按生产要求进行自动调整的物理过程。它是自动化技术的重要组成部分。石油化工生产过程的主体一般是化学反应过程，其特点是产品从原料加工到产品完成，流程都较长而复杂，并伴有副反应；工艺内部各变量间关系复杂，操作要求高；关键设备停车会影响全厂生产；大多数物料是以液体或气体状态，在密闭的管道、反应器、塔与热交换器等内部进行各种反应、传热、传质等过程，这些过程经常在高温、高压、低温、低压、易燃、易爆、有毒、有腐蚀、有刺激性臭味等条件下进行。自动化是保证生产处于最佳工作状态、优质、高产、低耗的必要条件；在减轻劳动强度、改善劳动条件、提高劳动生产率和设备利用率等方面起着越来越重要的作用；自动化程度的高低是衡量企业现代化水平的一个重要标志。而自动化仪表是在工业生产过程中，对工艺参数进行检测、显示、记录及控制的仪表，自动化仪表是实现生产过程自动化所必需的工具，是生产过程自动控制的基础，因此又称为过程检测与控制装置。

0.1 检测与控制装置在工业生产过程中的作用

自动化系统由生产装置和自动化装置两大部分构成。

0.1.1 生产装置

在自动化系统中，将需要控制其工艺参数的生产设备或机器叫做被控对象。如化工生产中的各种塔器、反应器、换热器、泵和压缩机以及各种容器、储槽都是常见的被控对象，而输送流体用的管道也可以是一个被控对象。在复杂的生产设备中，如精馏塔、吸收塔等，在一个设备上可能有多个控制系统。这时在确定被控对象时，就不一定是生产设备的整个装置。如一个精馏塔，往往塔顶需要控制温度、压力，塔底又需要控制温度和塔釜液位等，而塔中部还需要控制进料量，在这种情况下，就只有将塔的某一与控制有关的相应部分作为该控制系统的被控对象。

0.1.2 自动化装置

自动化装置是实现化工生产过程自动化的主要工具，它包括现场仪表和控制装置两大部分。

(1) 现场仪表

现场仪表指安装在生产装置上的检测仪表和执行器。

检测仪表是获得生产过程中各种信息的工具，利用声、光、电、磁、热辐射等手段来实现对温度、压力、流量、物位、成分等工艺参数的测量，包括各种变量的传感器和变送器。

执行器是执行改变生产变量信息的工具。它依据控制仪表的调节信息或操作人员的指令，将信号或指令转换成位移，以实现生产过程中某些参数的控制。执行器由执行机构与调节阀两部分组成，执行机构按能源划分有气动执行机构、电动执行机构和液动执行机构。

(2) 控制装置

控制装置是生产过程信息处理的工具。它将检测仪表获得的信息，根据工艺要求进行各

种运算,然后输出控制信号。控制装置包括气动电动模拟量控制器、可编程调节器、可编程控制器、计算机控制装置等多种类型。

(3) 显示装置

显示装置是显示被测变量数据信息的工具。它通过图表、数字、指示等方式将被测变量显示出来,供操作人员了解生产过程状态。由于显示仪表处于控制系统的闭环回路之外,所以在分析、描述及绘制自动化系统时,常常不涉及。

显示装置根据功能不同,可以分为记录装置和指示装置;模拟装置、数字装置和计算机显示器。记录装置又分为有纸记录与无纸记录等。

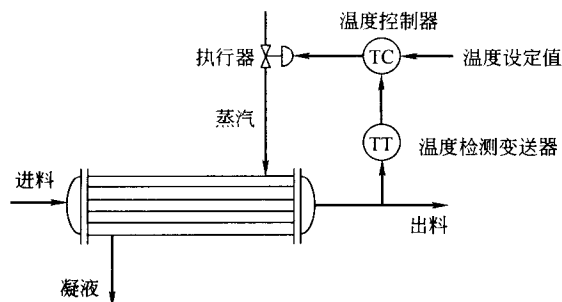


图 0-1 蒸汽加热器温度控制系统

如图 0-1 所示的自动化系统为蒸汽加热器温度控制系统。图中蒸汽加热器为生产装置,温度检测变送器、温度控制器、执行器等构成自动化装置。当进料流量或温度等因素引起出口物料温度变化时,通过温度检测变送器将该温度变化测量后送至温度控制器,温度控制器根据出口物料温度变化的特性输出一个控制信号给执行器,以改变加热蒸汽量来维持出口物料的温度不变。

为了便于形象地研究自动化系统,系统各环节之间的联系可用方框图形式表示出来。自动化系统的方框图是由传递方块、信号线(带有箭头的线段)、综合点、分支点构成的表示自动化系统组成和作用的图形。因此,如图 0-1 所示的蒸汽加热器温度控制系统可用图 0-2 的方框图表示。可见,自动化装置是自动化系统中不可缺少的组成部分。

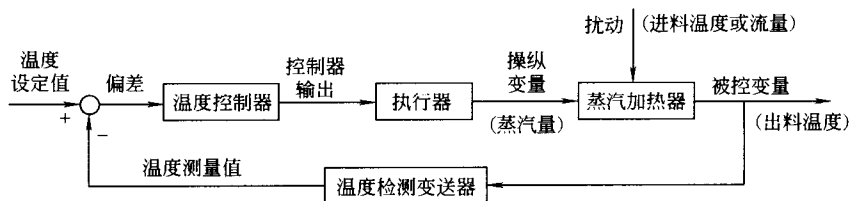


图 0-2 蒸汽加热器温度控制系统方框图

0.2 检测技术与控制装置的发展

随着现代化工业生产和微型计算机的开发应用,工业生产对检测与控制不断提出新的要求;而科学技术的发展,特别是新材料,以及光纤传感技术的日益成熟,使得检测技术与控制装置的发展也达到了一个新的水平。以微处理器为核心的新型智能仪表的问世,使仪表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,具有自校准、自调零、自选量程、自动测试及信息变换、统计处理数据等多种功能,仪表与计算机之间的直接联系极为方便,计算机在自动化中发挥越来越巨大的作用。逐步出现了整个车间,甚至整个企业无人或很少有人参与操作管理、过程控制最优与现代化的集中调度管理相结合的全盘自动化方式。目前,利用现代计算机技术、通信技术、图像显示技术及自动控制技术等,把工业控制计算机、微机、顺序控制装置、过程输入输出装置、现场仪表等有机融

合在一起的集散型控制系统（DCS）、现场总线控制系统（FCS）已广为应用，因其具有直接数字控制、顺序控制、批量控制、数据采集与处理、多变量相关控制及最佳控制等功能，兼有常规模拟仪表和计算机系统的优点，以其先进性、可靠性、灵活性、适应性、智能化、操作简便及良好的性价比引起了人们的密切关注，已成为大型工业企业的主流自动化控制系统。同时，与机械制造系统中的计算机集成制造系统（CIMS）类似的计算机集成过程系统（CIPS）的出现，将计划优化、生产调度、经营管理和决策引入计算机过程控制系统中，使市场意识与优化控制相结合，管理与控制相结合，促使计算机过程控制系统更加完善，将产生更大的经济效益和技术进步。

0.3 本课程的特点及学习方法

《自动检测技术与控制装置》是生产过程自动化技术专业的一门重要的专业课，涉及多门课程的内容。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、显示以及控制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，只有理论与实际的结合才能学好本课程。

1 检测与控制基础

1.1 检测仪表的基本概念

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定量结果的过程。在生产过程中，完成工艺参数检测处理的仪表，称为检测仪表。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。

1.1.1 自动检测系统的构成

自动检测系统中主要的自动化装置为传感器、显示器及数据处理装置，如图 1-1。

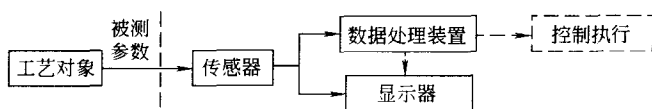


图 1-1 自动检测系统的组成

传感器是用来感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，它可以将被测参数转换成一定的便于传送的信号（如电信号或气压信号）。当传感器的输出信号为规定的标准信号时（如 $4\sim 20\text{mA DC}$ ），通常称为变送器。由于传感器的基本功能就是“检测”，所以也称为检测仪表。

显示器又称二次仪表，是自动检测系统显示或输出被测量数值的装置。它的显示方式可以是指针式（模拟式）、数字式、图形显示等多种。

数据处理装置用来对测量数据进行处理、运算、逻辑判断、线性变换、相关分析等。完成这些工作通常要采用计算机技术。数据处理的结果要送到显示器和控制执行机构中。

此外，自动检测系统还有一个连接输入、输出各环节的通道，即传输通道。它是导线（电信号通道）、导管（气信号通道）以及信号所通过的空间。尽管比较简单，但在系统设计、安装时如不按照规范要求布置、匹配和选择，则易造成失真或引入干扰等。将影响整个自动控制系统的控制目标，进而影响生产过程。

1.1.2 检测仪表的构成

检测仪表一般包括敏感元件、传感元件（转换元件）和测量转换电路三部分。其中敏感元件是直接感受被测量的元件，习惯上称之为检测元件，其作用是对被测量做出响应，把它转换为适合测量的物理量。如热电偶可将温度转换成毫伏信号；孔板可将流量转换为差压信号。敏感元件的输出信号再经传感元件转换成电（或气压）参数。测量转换电路的作用是将传感元件输出的电（或气压）参数转换成易于处理的电压、电流、频率量或气压等，常用的有电桥电路等。并不是所有的传感器都有敏感元件和传感元件之分，有些传感器，敏感元件就是

传感元件,如热电偶,它可以将被测温度直接转换成热电势,本身自成一个温度传感器。

1.1.3 检测仪表分类

根据被测变量的种类可分为以下几种。

① 过程量检测仪表:温度检测仪表、压力检测仪表、物位检测仪表、流量检测仪表、成分分析仪表等。

② 电工量检测仪表:电压表、电流表、惠斯顿电桥等。

③ 机械量检测仪表:荷重传感器、加速度传感器、应变仪、位移检测仪表等。

也可分为接触式检测仪表、非接触式检测仪表,还可以分为标准仪表、实验室用仪表、工业用仪表等。

1.2 控制装置的基本概念

控制装置是生产过程信息处理的工具。自动控制系统是由生产装置、检测变送器、控制器(装置)、执行器等环节构成,如图 0-1、图 0-2 所示。自动控制系统是由生产装置、检测变送器、控制器、执行器等环节构成。

控制装置的控制过程,根据检测仪表获得的测量值与控制系统的设定值比较后产生的偏差的正负、大小及变化情况,按预定的 PID 运算控制规律对执行机构实施控制作用,达到生产过程自动化的目的。

1.2.1 控制装置的分类

控制装置按所使用的能源分为液动控制仪表、气动控制仪表、电动控制仪表。

气动控制装置采用 0.14MPa 的压缩空气为能源,它的特点是结构简单、价格便宜、性能稳定、工作可靠、安全防爆、易于维修。

电动控制装置包括模拟量控制器、数字量控制器、可编程控制器、计算机控制装置等多种类型。主要特点是电能源选取方便,信号传送快、无滞后,传输距离远;是实现远距离集中控制的理想仪表,并易于与计算机等现代技术工具联用。

1.2.2 电动控制装置的信号制与传输方式

为了满足生产要求而构成的各种控制系统,需要有统一的标准信号将各类现场仪表与控制室内的仪表装置连接起来,进行联络和信号传输,以方便有效地达到控制的目的。因为采取了统一的标准信号,从而扩大了仪表的应用范围,常规仪表与控制用计算机系统的连接也直接方便。

在成套仪表系列中,各个仪表的输入、输出之间采用何种统一的标准信号进行联络和传输的问题称为信号制。国际上自动化系统的统一标准信号为:气动控制装置采用 0.14MPa 的压缩空气为能源,信号范围为 0.02~0.1MPa 的标准信号;电动控制装置目前多采用 24V 直流供电,现场传输信号范围为 4~20mA DC、控制室联络信号为 1~5V DC 的标准信号,信号电流与电压的转换电阻为 250Ω。

对于电信号而言,信号传输采用电流传送—电压接收的并联制方式。即进出控制室的传输信号为电流信号,该信号通过电阻转换成相应的电压信号,并联地传输给控制室各仪表装置。并联制传输方式的示意图如图 1-2 所示。

这种信号制和传输方式的优点如下。

① 信号的下限为 4mA DC,且不与机械零点重合,很容易识别断电、断线等故障。

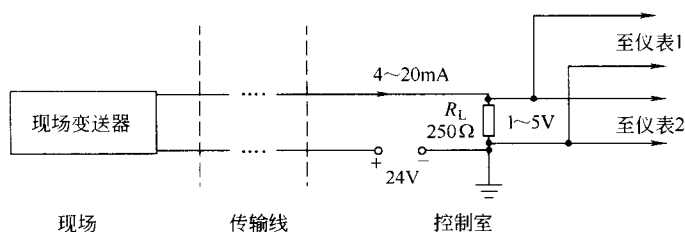


图 1-2 并联制传输方式示意图

② 采用并联制传输方式，仪表可以有公共接地点，便于各种仪表装置的配套使用。

③ 因为仪表负载较小，变送器功率级的供电电压可大大降低，解决了功率管的耐压问题，从而提高了仪表的可靠性。又因为最小电流不为零，现场变送器可以实现两线制。

④ 采用 24V 直流电源，没有工频电源进入仪表，省掉了电源变压器，解决了仪表发热问题，为仪表的防爆提供了有利条件。

两线制是指现场变送器和控制室仪表装置连接联系仅用两根线。这两根线既是电源线又是信号线，这样不但节省了大量的电缆线和安装费用，而且由于现场变送器不需要 220V 交流电源供电，有利于安全防爆。

1.3 测量与误差的基本概念

石油化工生产过程大多具有规模大、流程长、连续化、自动化的特点。为了有效地进行工艺操作和生产控制，需要用各种类型的仪表去测量生产过程中各种变量的具体量值。虽然进行测量时所用的仪表和测量方法不同，但测量过程的机理是相同的。就是借助于专用技术工具将研究对象的被测变量与同性质的标准量进行比较并确定出测量结果准确程度的过程，各种测量仪表就是实现这种比较的技术工具。

被测变量的变化范围就是测量范围，而仪表能够接收的输入信号范围就是仪表的量程。

测量是一个过程，若要测量被测变量 X ，先选定测量单位 X_0 ，然后求出二者的比值 $K \approx \frac{X}{X_0}$ ，则被测量就可表示为

$$X \approx K X_0 \quad (1-1)$$

式中 X ——被测量；

X_0 ——标准量（基准单位）；

K ——被测量所包含的基准单位数。

对于在生产装置上使用的各种测量仪表，总是希望它们测量的结果准确无误。但是在实际测量过程中，往往由于测量仪表本身性能、安装使用环境、测量方法及操作人员疏忽等主客观因素的影响，使得测量结果与被测量的真实值之间存在一些偏差，这个偏差就称为测量误差，其表示为

$$\Delta = X - T \quad (1-2)$$

式中 X ——测量值，即被变量的仪表示值；

T ——真实值，在一定条件下，被测量实际应有的数值。

在工程应用中，常把标准仪器的相对真值、多次测量结果的算术平均值定为真实值。

真实值是一个客观存在的量，是一个理想的概念。因此，一个真实的结果，是实际测量值加上修正量得到的，其表示为

$$T = X + \alpha \quad (1-3)$$

式中 α ——测量结果的修正值。

比较式 (1-2) 与式 (1-3) 可见, 修正值 α 实际上是对测量误差 Δ 的一个补偿。

1.3.1 误差的分类

误差的分类方法多种多样, 如按误差出现的规律来分, 可分为系统误差、随机误差和疏忽误差; 按仪表使用的条件来分, 有基本误差、附加误差; 按被测变量随时间变化的关系来分, 有静态误差、动态误差; 按与被测变量的关系来分, 有定值误差、累计误差。测量仪表常用的绝对误差、相对误差和引用误差是按照误差的数值表示来分类的。

(1) 绝对误差

绝对误差是指仪表的测量值与被测变量真实值之差, 用公式表示为

$$\Delta = X - T$$

绝对误差直接说明了仪表显示值 (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和不同类型仪表之间测量质量好坏的比较尺度, 且不同量纲的绝对误差无法比较。

为了更准确地描述测量质量的好坏, 明确测量结果的可信程度, 通常将绝对误差与被测值的大小做一比较, 从而引入相对误差的概念。

(2) 相对误差

相对误差是被测变量的绝对误差与实际值 (或测量值) 比较的百分数。

$$\delta = \frac{\Delta}{T} \times 100\% \approx \frac{\Delta}{X} \times 100\% \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 可见, 相对误差 δ 是一个比值, 它能够客观地反映测量结果的准确度, 通常以百分数表示。如其化学反应釜中物料实际温度为 300°C , 仪表的示值为 298.5°C , 则可依据式 (1-2) 和式 (1-4) 求得测量的绝对误差

$$\Delta = 298.5 - 300 = -1.5 (^\circ\text{C})$$

测量的相对误差

$$\delta \approx \frac{\Delta}{X} \times 100\% = \frac{-1.5}{300} \times 100\% = -0.5\%$$

测量结果准确度的高低, 不仅与测量时产生的绝对误差有关, 还与测量点的实际数值大小有关。在仪表的整个测量范围内, 靠近下限值附近, 测量的实际值小, 产生的相对误差就大, 说明测量结果不够准确; 而在上限附近, 测量的实际值高, 产生的相对误差小, 测量结果的准确度随之得到提高。但是作为一台仪表, 测量的准确程度只能用一个数值来表示, 这就是引用误差。

(3) 引用误差

引用误差是绝对误差与仪表量程比值的百分数, 如果是在规定的工作条件下产生的误差, 也称为仪表的基本误差, 其表示为

$$\delta_{\text{引}} = \frac{\Delta}{X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}} \times 100\% = \frac{\Delta}{M} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 X_{MAX} ——仪表标尺上限刻度值;

X_{MIN} ——仪表标尺下限刻度值;

M ——仪表的量程。

实际应用时, 采用最大引用误差来描述仪表实际测量的质量, 并被定义为确定仪表精度的基准, 其表达式为

$$\delta_{引M} = \frac{\Delta_M}{M} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 Δ_M ——在测量范围内产生的绝对误差的最大值。

引用误差与测量仪表的量程有关。如上例被测介质的实际温度为 300°C ，用一台量程为 $0\sim 400^\circ\text{C}$ 的仪表测量，示值为 298°C ，则可求得测量的绝对误差

$$\Delta = 298 - 300 = -2.0 (^\circ\text{C})$$

测量的引用误差

$$\delta_{引} = \frac{\Delta}{X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}} \times 100\% = \frac{\Delta}{M} \times 100\% = \frac{-2}{400} \times 100\% = -0.5\%$$

现用另一块量程为 $200\sim 400^\circ\text{C}$ 的仪表，如引用误差仍要保持 -0.5% ，则该测量点允许的绝对误差为

$$\Delta = (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \delta_{引} = (400 - 200) \times (-0.5\%) = -1.0 (^\circ\text{C})$$

可见，大大提高了仪表的测量准确度。

1.3.2 测量系统的误差

在石油化工装置中大量应用着由多个仪表装置组成的测量系统或控制系统。通常采用以下两种方法求得每个系统的测量误差。

一种用方和根计算方法来求得，因为各环节误差不可能同时按相同的符号出现最大值，有时会互相抵消，因此必须按照概率统计的方法求取，即

$$\delta_{\text{总}} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{引i}^2} \quad (1-7)$$

式中 $\delta_{引i}^2$ ——系统中各单元仪表的最大引用误差的平方；

n ——系统中单元仪表数。

【例 1-1】 有一流量测量系统，采用孔板、差压变送器、开方器、数字显示仪，基本误差 $\delta_1 = 1\%$ ， $\delta_2 = 0.25\%$ ， $\delta_3 = 0.3\%$ ， $\delta_4 = 0.2\%$ 。这一流量测量系统的误差为

$$\delta_{\text{总}} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{引i}^2} = \pm \sqrt{1^2 + 0.25^2 + 0.3^2 + 0.2^2} = 1.1\%$$

另一种用系统联校方法求得，即在一次元件端加入标准信号值，通过中间各单元仪表的信号传递，最终在二次仪表读取示值来计算引用误差，在各校验点中选择最大的引用误差，作为该测量仪表系统误差。

1.4 仪表的质量指标

仪表的质量优劣，经常用它的质量指标来衡量。仪表的质量指标有以下几项。

1.4.1 精度

仪表的精度是用基本误差来表示的。在规定的工作条件下，仪表基本误差的允许界限称为允许误差。某台仪表的基本误差小于或等于该表规定的允许误差时，为合格；否则，为不合格。允许误差去掉百分号后的值就是国家规定的电工仪表的精度等级。

中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 $0.5\sim 4.0$ 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。精确度等级表明了该仪表的最大相对百分误差不能超过的界限。如果某仪表为 A 级精度，则表明该仪表

最大相对百分误差不能超过 $\pm A\%$ 。在选表和仪表校验后重新定级时应予注意。

对于数字显示仪表,误差表示方式在基本误差的基础上,还应该表示出显示位数的影响。

1.4.2 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。

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之比的百分数表示,即

$$\epsilon = \pm \frac{(X_{\text{正}} - X_{\text{反}})_{\text{max}}}{\text{标尺上限} - \text{标尺下限}} \times 100\% \quad (1-8)$$

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。

1.4.3 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 $\Delta\alpha$ 与引起此输出信号变化的输入信号(被测参数)变化量 ΔX 之比表示为灵敏度 S ,即

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X} \times 100\% \quad (1-9)$$

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。一般地,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。

1.4.4 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 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)和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,即

$$\epsilon_L = \pm \frac{(X_{\text{标定}} - X_{\text{理论}})_{\text{max}}}{\text{标尺上限} - \text{标尺下限}} \times 100\% \quad (1-10)$$

1.4.5 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缓慢变化,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。

1.5 现场仪表使用中的防护

石油化工生产具有易燃、易爆、高温、高压和有毒等特点,仪表在这些特殊条件下工