

21  
世纪

普通高等教育电气信息类  
规划教材

# 仪表与自动化

## 第二版

何道清 谌海云 张禾 编



化学工业出版社

21 世纪普通高等教育电气信息类规划教材

# 仪 表 与 自 动 化

第二版

何道清 谌海云 张 禾 编  
厉玉鸣 胡 泽 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书系统讲解了生产自动化过程中各类检测仪表、显示仪表、控制仪表和执行仪器的结构原理、工作特性、选用方法以及自动控制系统的组成类型、控制特性、设计方法和运行管理,并对近年来生产自动化过程中发展起来的新型仪表、先进控制系统和计算机控制系统作了简要介绍。每章末附有相当数量的习题与思考题供选用。书后附有部分习题的参考答案。

本书可作为高等院校学生学习仪表自动化课程的教材,亦可供高职高专自动化技术类专业教学使用及从事仪表自动化的工程技术人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

仪表与自动化/何道清, 湛海云, 张禾编. —2版.  
北京: 化学工业出版社, 2011. 3  
21世纪普通高等教育电气信息类规划教材  
ISBN 978-7-122-10531-8

I. 仪… II. ①何…②湛…③张… III. 自动化仪表-  
高等学校-教材 IV. TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 021482 号

---

责任编辑: 唐旭华 郝英华 金 杰

装帧设计: 尹琳琳

责任校对: 边 涛

---

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: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$  字数 452 千字 2011 年 4 月北京第 2 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: 33.00 元

版权所有 违者必究

## 第二版前言

《仪表与自动化》一书自2008年出版以来,被许多高等院校和工程技术人员采用,已连续两次印刷。随着仪表自动化技术的不断发展,根据近几年的教学经验和科研成果,并采纳广大读者的建议,对本书第一版内容进行了一次修订。修订中,本着加强基础、更新内容、满足教学和工程实际要求的宗旨,删去内容比较陈旧和应用不甚广泛的章节,充实仪表自动化的基础理论知识和基本应用技术,增加新型仪表和现代控制技术内容,进一步规范计量单位、工程符号和图表,较全面、深入、系统地介绍工业自动化仪表与自动控制系统的理论和技术。但由于仪表的种类、规格繁多,自动化技术应用广泛,有限的篇幅不可能面面俱到。鉴于此,充分利用现代电子技术,配以相当丰富的电子课件光盘(可通过 [cipedu@163.com](mailto:cipedu@163.com) 索取),介绍仪表新品种和生产过程自动化的新技术、新成就和新发展,提供仪表自动化课程的全部教学资料和仪表自动化课程学习的解题指导,以便读者能深入地掌握自动控制系统的基本理论和工业自动化仪表应用的基本技能。

仪表自动化技术涉及学科较多,鉴于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者  
2010年12月

## 第一版前言

生产过程自动化就是用自动化仪表来控制生产过程的方法,它是一门综合性的技术学科,应用仪器仪表学科、自动控制学科及计算机学科的理论与技术服务于现代各类生产设备与生产过程。随着科学技术的迅速发展,现代生产过程的自动化程度越来越高,对仪器仪表及自动化技术的依赖性越来越大,特别是在生产过程连续性、大型化、复杂化的石油、化工、冶金、电力等行业,生产工艺、设备、控制与管理已逐渐成为一个有机的整体,仪表自动化技术显得尤为重要。一方面,从事生产过程控制的技术人员必须深入了解和熟悉生产工艺与设备;另一方面,各行业工艺技术人员必须具有相应的仪表与自动控制的知识。现在,越来越多的工艺技术人员认识到:学习仪表与自动化方面的知识,对于现代自动化生产过程的设计开发、运行管理是十分重要的。通过仪表与自动化知识的学习,能了解主要工艺参数(温度、压力、流量及物位)的基本测量方法;掌握生产自动化过程中各类检测仪表、显示仪表、控制仪表和执行仪器的结构原理、工作特性、选用方法;理解自动控制系统的组成原理、控制特性及各环节的作用;能根据工艺要求在生产过程自动化的设计或技术改造中与自动控制设计人员密切合作,综合考虑工艺与控制两个方面因素,为自动控制设计人员提供正确的工艺条件与工艺数据,共同讨论和提出合理的自动控制方案;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参数的工程整定;能在自动控制系统运行过程中,发现和分析出现的一些问题和现象,以便提出正确的解决办法。对于熟悉工艺的工程技术人员,学习和掌握一些仪表与控制系统方面的知识,必能在推进现代工业生产自动化事业中,起到事半功倍的作用。

本书根据编者多年讲授仪表及自动控制类课程的教学经验并结合工程实际编写而成。本书系统地讲解生产自动化过程中各类检测仪表、显示仪表、控制仪表和执行仪器的结构原理、工作特性、选用方法以及自动控制系统的组成类型、控制特性、设计方法和运行管理,并对近年来生产自动化过程中发展起来的新型仪表、先进控制系统和计算机控制系统作了简要介绍。书中带\*的章节,可根据不同的专业或学时作为选讲或自学内容。本书主要作为高等院校学生学习仪表自动化课程的教材,同时可供高职高专自动化技术类专业教学使用及从事仪表自动化的工程技术人员参考。

本书由何道清教授负责全书统稿并编写第1~4章,第7~9章由湛海云副教授编写,第5、6、10章由张禾副教授编写。在编写过程中,力求做到取材广泛、概念清楚、深入浅出、通俗易懂、便于学习;并注重理论与工程实际相结合,尽可能反映仪表与自动化的发展水平。每章末附有相当数量的习题与思考题供使用,以便加深理解、巩固知识。编写时参考了国内外有关仪表、自动控制类书籍和资料,谨向其作者表示感谢。本书由厉玉鸣教授、胡泽教授审定,在此一并致谢。

本书相关教学电子课件及习题详解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。

鉴于编者水平有限,恳请读者对书中不妥之处给予批评指正。

编者  
2007年12月

# 目 录

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 0 绪论 .....                                                      | 1   |
| 1 自动控制系统基本概念 .....                                              | 3   |
| 1.1 工业自动化的主要内容 .....                                            | 3   |
| 1.2 自动控制系统的组成和分类 .....                                          | 4   |
| 1.3 自动控制系统方块图 .....                                             | 8   |
| 1.4 工艺管道及控制流程图 .....                                            | 10  |
| 1.5 自动控制系统的过渡过程和品质指标 .....                                      | 12  |
| 习题与思考题 .....                                                    | 18  |
| 2 被控对象的数学模型 .....                                               | 20  |
| 2.1 对象的特性及其描述方法 .....                                           | 20  |
| 2.2 对象数学模型的建立 .....                                             | 21  |
| 2.3 描述对象特性的参数 .....                                             | 28  |
| 习题与思考题 .....                                                    | 35  |
| 3 检测仪表与传感器 .....                                                | 36  |
| 3.1 概述 .....                                                    | 36  |
| 3.2 压力检测及仪表 .....                                               | 41  |
| 3.3 流量检测及仪表 .....                                               | 53  |
| 3.4 物位检测及仪表 .....                                               | 74  |
| 3.5 温度检测及仪表 .....                                               | 80  |
| 习题与思考题 .....                                                    | 95  |
| 本章附录 流量基本方程推导 .....                                             | 98  |
| 附表 3-1 常用压力表规格及型号 .....                                         | 100 |
| 附表 3-2 工业用铂热电阻 (分度号为 Pt100) 分度表 .....                           | 100 |
| 附表 3-3 工业用铜热电阻 (分度号为 Cu100) 分度表 .....                           | 101 |
| 附表 3-4 铂铑 <sub>10</sub> -铂热电偶 (分度号为 S) 分度表 .....                | 102 |
| 附表 3-5 铂铑 <sub>30</sub> -铂铑 <sub>6</sub> 热电偶 (分度号为 B) 分度表 ..... | 102 |
| 附表 3-6 镍铬-铜镍热电偶 (分度号为 E) 分度表 .....                              | 102 |
| 附表 3-7 镍铬-镍硅 (镍铝) 热电偶 (分度号为 K) 分度表 .....                        | 103 |
| 4 显示仪表 .....                                                    | 104 |
| 4.1 动圈式显示仪表 .....                                               | 104 |
| 4.2 自动电子电位差计 .....                                              | 107 |
| 4.3 自动电子平衡电桥 .....                                              | 112 |
| * 4.4 数字式显示仪表 .....                                             | 113 |
| * 4.5 新型显示记录仪表 .....                                            | 122 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 习题与思考题 .....                       | 126        |
| <b>5 自动控制仪表 .....</b>              | <b>128</b> |
| 5.1 概述 .....                       | 128        |
| 5.2 控制规律及其特点 .....                 | 129        |
| 5.3 模拟式控制器 .....                   | 137        |
| * 5.4 数字式控制器 .....                 | 145        |
| 习题与思考题 .....                       | 155        |
| 本章附录 1 集成运算放大器在信号运算方面的几种基本应用 ..... | 156        |
| 本章附录 2 有源校正电路 .....                | 157        |
| <b>6 执行器 .....</b>                 | <b>159</b> |
| 6.1 概述 .....                       | 159        |
| 6.2 气动执行器 .....                    | 159        |
| 6.3 电动执行器 .....                    | 169        |
| 6.4 电-气转换器及电-气阀门定位器 .....          | 170        |
| 6.5 控制阀的选择 .....                   | 175        |
| 习题与思考题 .....                       | 178        |
| <b>7 简单控制系统 .....</b>              | <b>180</b> |
| 7.1 简单控制系统的结构与组成 .....             | 180        |
| 7.2 被控变量的选择 .....                  | 181        |
| 7.3 操纵变量的选择 .....                  | 183        |
| 7.4 测量元件特性的影响 .....                | 186        |
| 7.5 控制器的选择 .....                   | 188        |
| 7.6 控制器参数的工程整定 .....               | 191        |
| 习题与思考题 .....                       | 195        |
| <b>8 复杂控制系统 .....</b>              | <b>197</b> |
| 8.1 串级控制系统 .....                   | 197        |
| 8.2 均匀控制系统 .....                   | 208        |
| 8.3 比值控制系统 .....                   | 210        |
| 8.4 前馈控制系统 .....                   | 213        |
| 8.5 选择性控制系统 .....                  | 217        |
| 8.6 分程控制系统 .....                   | 223        |
| 8.7 多冲量控制系统 .....                  | 227        |
| 8.8 新型控制系统 .....                   | 229        |
| 习题与思考题 .....                       | 230        |
| <b>9 典型设备控制方案 .....</b>            | <b>233</b> |
| 9.1 流体输送设备的自动控制 .....              | 233        |
| 9.2 传热设备的自动控制 .....                | 239        |
| 9.3 精馏塔的自动控制 .....                 | 244        |
| 9.4 化学反应器的自动控制 .....               | 248        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 习题与思考题.....               | 255        |
| <b>* 10 计算机控制系统 .....</b> | <b>257</b> |
| 10.1 计算机控制系统的原理与组成.....   | 257        |
| 10.2 计算机控制系统的分类与特点.....   | 260        |
| 习题与思考题.....               | 272        |
| <b>部分习题参考答案 .....</b>     | <b>273</b> |
| <b>参考文献 .....</b>         | <b>276</b> |

# 0 绪 论

## (1) 仪表自动化的概念

生产过程自动化,就是在生产过程中,采用自动化仪表及装置来检测、显示、记录和控制生产过程中的重要工艺参数,以代替操作人员的直接操作,使整个生产过程能自动地维持正常状态,当受到外界干扰的影响而偏离正常状态时,又能自动地调回到规定的数值范围内。这种用自动化仪表来控制生产过程的方法,就称为生产过程自动化。

仪表自动化技术是一门综合性的技术学科,它应用自动控制学科、仪器仪表学科及计算机学科的理论和技术服务于各类生产过程,以实现生产过程的自动化。随着科学技术的迅速发展,现代生产过程的自动化程度越来越高,对仪器仪表及自动化技术的依赖性越来越大,特别是在生产过程连续性、大型化、复杂化的石油、化工、冶金、轻工等行业,生产工艺、设备、控制与管理已逐渐成为一个有机的整体,仪表自动化技术显得尤为重要,仪表与自动化已成为生产过程中必不可少的重要技术手段。仪表自动化技术的研究开发和应用水平已成为衡量一个国家发达程度的重要标志,也是现代化社会的一大标志。

生产过程或设备的自动控制,实现了生产工艺参数从测量、显示、记录到控制以及对生产设备的操作和保护等环节,都用自动化仪表及装置按设定的工艺过程来自动完成,从而使生产质量得以提高,并大大地减轻工人的劳动强度,同时,也更好地保证生产安全,延长设备使用寿命,降低能量消耗和生产成本,为生产企业带来了良好的经济效益和社会效益。

## (2) 仪表自动化技术的发展概况

仪表自动化技术的发展是基于生产的需要、理论的开拓和技术手段的进展这三者的相互推动、相互促进。

工业社会机器生产需要自动化,自动化技术在工业上的应用,一般以瓦特的蒸汽机调速器作为正式起点;控制理论的发展为生产过程自动化提供了自动控制系统的结构理论基础,PID 控制规律就是经典控制理论最辉煌的成就之一;工业自动化仪表技术的发展为生产过程自动化提供了必要的物质技术条件。特别是计算机技术、通信技术、微电子技术在自动化领域中的应用,提高了自动化系统和仪表的性能,提供了更有效的控制手段。

从自动控制系统结构来看,仪表自动化技术已经历了如下四个阶段。

20 世纪 50 年代是以基地式控制器等组成的控制系统,像自力式温度控制器、就地式液位控制器等,它们功能往往限于单回路控制。时至今日,这类控制系统仍没有被淘汰,而且有了新的发展,但所占的比重大为减少。

20 世纪 60 年代出现单元组合仪表组成的控制系统,单元组合仪表已延续 40 多年,目前国内还广泛应用。由单元组合仪表组成的控制系统,控制策略主要是 PID 控制和常用的复杂控制系统(例如串级、均匀、比值、前馈、分程和选择性控制等)。

20 世纪 70 年代出现计算机控制系统,最初是直接数字控制(DDC)实现集中控制,代替常规控制仪表。由于集中控制的固有缺陷,未能普及与推广就被集散控制系统(DCS)所

替代。DCS 在硬件上将控制回路分散化（分散控制），数据显示、实时监督等功能集中化（集中管理），有利于安全平稳生产。就控制策略而言，DCS 仍以简单 PID 控制为主，再加上一些复杂控制算法，并没有充分发挥计算机的功能和控制水平。

20 世纪 80 年代以后出现二级优化控制，在 DCS 的基础上实现先进控制和优化控制。在硬件上采用上位机和 DCS 或电动单元组合仪表相结合，构成二级计算机优化控制。随着计算机及网络技术的发展，DCS 出现了开放式系统，实现多层次计算机网络构成的管控一体化系统（CIPS）。同时，以现场总线为标准，实现以微处理器为基础的现场仪表与控制系统之间进行全数字化、双向和多站通讯的现场总线网络控制系统（FCS），它将对控制系统结构带来革命性变革，开辟控制系统的新纪元。

当前自动控制系统发展的一些主要特点是：生产装置实施先进控制成为发展主流；过程优化受到普遍关注；传统的 DCS 正在走向国际统一标准的开放式系统；综合自动化系统（CIPS）是发展方向。

### （3）仪表自动化课程的性质、任务与要求

本课程为石油、化工、冶金、轻工等专业的必修课。与物理学、电工及电子学、流体力学、油气集输工程、化学工程与工艺等课程有密切联系，是一门综合性、实践性较强的专业技术课。通过本课程的学习，应能掌握生产自动化过程中各类检测仪表、显示仪表、控制仪表和执行仪器的基本结构与工作原理，了解仪表的特性、安装及应用特点，以便在实际生产过程中能正确选择、使用常用仪表，并具备简单仪表故障的分析、处理能力。同时，应熟悉自动控制系统的结构组成、控制特性、设计方法和运行管理，使仪表自动化技术能够更好地在工业生产中发挥应有的作用。

仪表与自动化知识结构图如图 0-1 所示，可供学习参考。

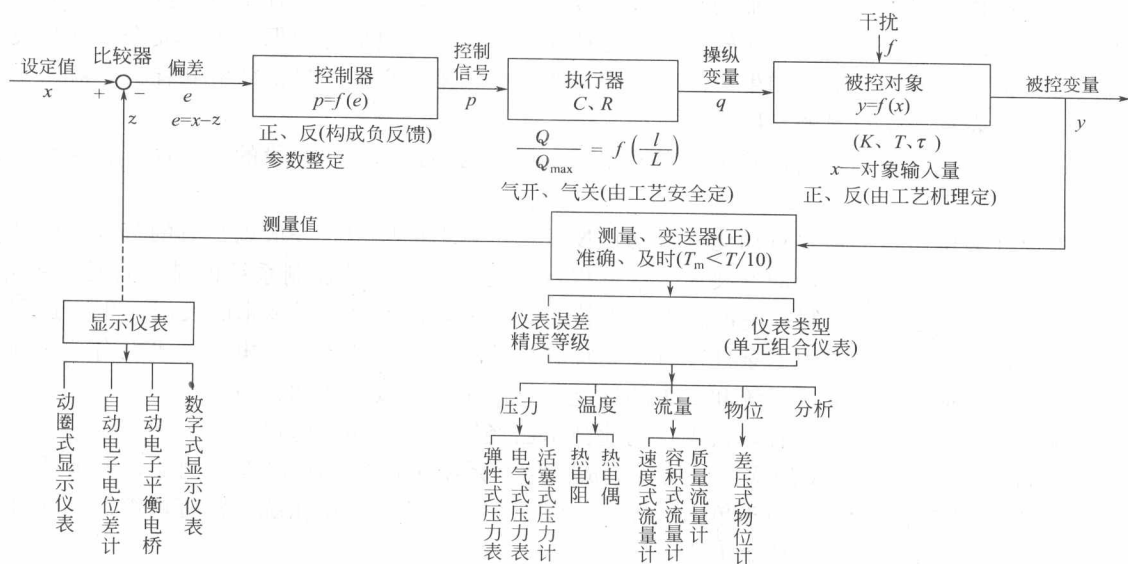


图 0-1 仪表与自动化知识结构

# 1 自动控制系统基本概念

## 1.1 工业自动化的主要内容

实现工业生产过程自动化，一般要包括自动检测、自动保护、自动操纵和自动控制等方面的内容，现分别予以介绍。

### 1.1.1 自动检测系统

利用各种检测仪表对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，因此起到人的眼睛的作用。

### 1.1.2 自动信号和联锁保护系统

生产过程中，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，就有引起事故的可能。为此，常对某些关键性参数设有自动信号联锁装置。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报警信号，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时，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便及时处理生产事故。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。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。

### 1.1.3 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工人的重复性体力劳动。

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。

### 1.1.4 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。特别是石油、化工生产，大多数是连续性生产，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地波动，偏离正常的工艺条件，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（扰动）的影响而偏离正常状态时，能自动地控制而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；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，以避免生产事故的发生；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，是学习的重点。

## 1.2 自动控制系统的组成和分类

自动控制系统是在人工控制的基础上产生和发展起来的，下面通过分析人工操作，并与自动控制比较，从而了解和分析一般的自动控制系统，掌握其在生产中的应用。

### 1.2.1 人工控制与自动控制

图 1-1 所示是一个液体贮槽，在生产中常用来作为一般的中间容器或成品罐。从前一个工序来的物料连续不断地流入槽中，而槽中的液体又送至下一工序进行加工或包装。当流入量  $Q_i$ （或流出量  $Q_o$ ）波动时会引起槽内液位的波动，严重时会导致溢出或抽空，而生产要求液位控制在某一高度  $h_0$ 。解决这个问题的最简单办法就是以贮槽液位为操作指标，以改变出口阀门开度为控制手段，如图 1-1(a) 所示。当流入量  $Q_i$  等于流出量  $Q_o$  时，整个系统处于平衡状态，液位  $h = h_0$ 。如  $Q_i$  发生变化，液位  $h$  也变化。当  $Q_i$  增大，使液位  $h$  上升时，超过要求的液位值  $h_0$ ，操作人员应将出口阀门开大，液位上升越多，出口阀门开得越大；反之，当  $Q_i$  减小使液位下降时，将出口阀门关小，液位下降越多，出口阀门关得越小。为了使贮槽液位上升和下降都有足够的余地，选择玻璃管液位计中间的某一点为正常工作时的液位高度，通过控制出口阀门开度而使液位保持在这一高度上，这样贮槽中就不会出现因液位过高而溢流至槽外，或液位过低而抽空事故。

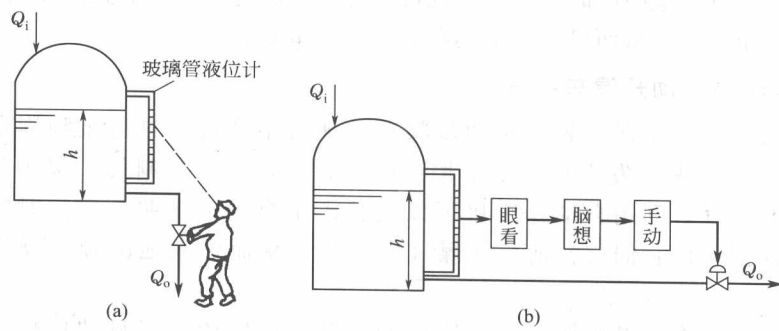


图 1-1 液位人工控制

#### (1) 人工控制

上述控制过程如果由人工来完成，则称人工控制。图 1-1 是液位人工控制的过程。在贮槽上可装一只玻璃管液位计，随时指示贮槽的液位。当贮槽受到外界的某些扰动，液位发生变化时，操作人员实施的人工控制的步骤如下。

① 观察（检测） 用眼睛观察玻璃液位计中液位高度，并将信息通过神经系统传递给大脑中枢。

② 思考（运算）、命令 大脑将观测到的液位与工艺要求的液位加以比较，计算出偏差；然后根据此偏差的大小和正负以及操作经验，经思考、决策后发出操作指令。

③ 执行 根据大脑发出的指令，通过手去改变出口阀门的开度，以改变出口流量，进而改变液位。

上述过程不断重复，直到液位回到所规定的高度为止。以上这个过程叫做人工控制过程。在上述控制过程中，控制的指标是液位，所以也称为液位控制。

在人工控制中，操作人员的眼、脑、手三个器官分别担负了检测、运算和执行三个任务，完成了控制全过程。但由于受到生理上的限制，人工控制满足不了现代化生产的需要，为了减轻劳动强度和提高控制精度，可以用自动化装置来代替上述人工操作，从而使人工控制变为自动控制。

## (2) 自动控制

为了完成人工控制过程中操作人员的眼、脑、手三个器官的任务，自动化装置主要包括三部分，分别用来模拟人的眼、脑、手功能，如图 1-2 所示。

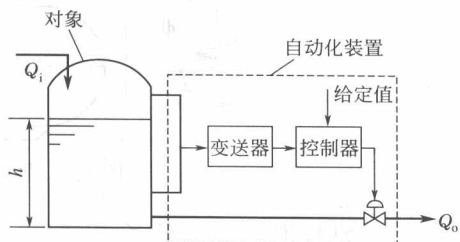


图 1-2 液位自动控制

① 测量元件与变送器 用于测量液位，并将测得的液位转化成统一的标准信号（气压信号或电流、电压信号）输出。

② 控制器 接受测量变送器送来的信号，并与工艺要求的液位高度进行比较，计算出偏差的大小，并按某种运算规律算出结果，再将此结果用标准信号（即操作指令信号）发送至执行器。

③ 执行器 通常指控制阀。它接受控制器传来的操作指令信号，改变阀门的开度以改变物料或能量的大小，从而起到控制作用。

在自动控制过程中，贮槽液位可以在没有人的参与下自动地维持在规定值。这样，自动化装置在一定程度上代替了人的劳动，但必须指出，在自动控制过程中，自动化装置只能按照人们预先的安排来动作，而不能代替人的全部劳动。

### 1.2.2 自动控制系统的组成

图 1-2 所示的贮槽、液位变送器、控制器及执行器构成了一个完整的自动控制系统。从图中可以看出，一个自动控制系统主要是由两大部分组成：一部分是起控制作用的全套仪表，称为自动化装置，包括测量元件及变送器、控制器、执行器等；另一部分是自动化装置所控制的生产设备。在自动控制系统中，将需要控制其工艺参数的生产设备或生产过程称为被控对象，简称对象。图 1-2 所示的贮槽就是这个液位控制系统的被控对象。石油、化工生产中，各种分离器、换热器、塔器、泵与压缩机以及各种容器、贮罐都是常见的被控对象，甚至一段被控制流量的管道也是一个被控对象。一个复杂的生产设备上可能有好几个控制系统，这时确定被控对象时，就不一定是整个生产设备。例如，一个精馏塔、吸收塔往往塔顶需要控制温度、压力等，塔底又需要控制温度、塔釜液位等，有时中部还需要控制进料流量，在这种情况下，就只有塔的某一与控制有关的相应部分才是该控制系统的被控对象。

在一个自动控制系统中，以上两部分是必不可少的，除此之外，还有一些附属（辅助）

装置,如给定装置、转换装置、显示仪表等。

图 1-3 是石油天然气生产过程中,进行油、水或气、液分离的分离器液位控制系统结构示意图。

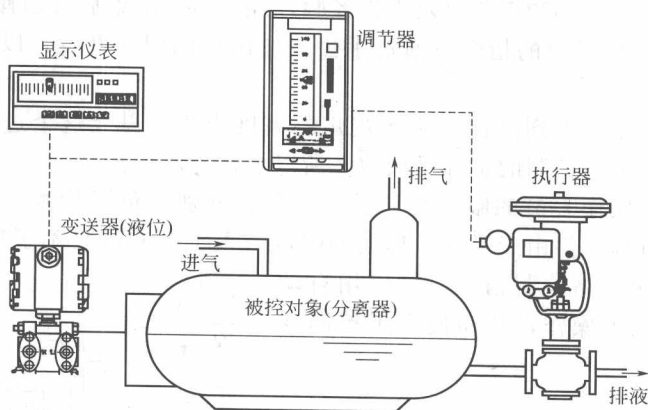


图 1-3 简单液位控制系统组成示意图

### 1.2.3 自动控制系统的分类

自动控制系统种类很多,其分类方法主要有:按被控变量来分类,如温度、流量、压力、液位等控制系统;按控制规律来分类,如比例、比例积分、比例微分、比例积分微分等控制系统;按基本结构分类,有开环、闭环等控制系统;在分析自动控制系统特性时,最常用的是将控制系统按照工艺过程需要控制的参数(即给定值)是否变化和如何变化来分类,有定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统三类。

#### (1) 定值控制系统

所谓“定值”就是给定值恒定的简称。工艺生产中,如果要求控制系统使被控制的工艺参数保持在一个生产技术指标上不变,或者说要求工艺参数的给定值不变,那么就需要采用定值控制系统。图 1-2 所讨论的贮罐液位控制系统就是定值控制系统的例子,这个控制系统的目的是使贮罐的液位保持在给定值上不变。在石油、化工生产自动控制系统中要求的大都是这种类型的控制系统。因此后面所讨论的,如果未加特别说明,都是指定值控制系统。

#### (2) 随动控制系统(自动跟踪系统)

这类系统的特点是给定值不断地变化,而且这种变化不是预先规定好的,也就是说,给定值是随机变化的。随动控制系统的目的就是使所控制的工艺参数准确而快速地跟随给定值的变化而变化。在油田自动化中,有些比值控制系统就属于随动控制系统。例如要求甲流体的流量和乙流体的流量保持一定的比值,当乙流体的流量变化时,要求甲流体的流量能快速而准确地随之变化。原油破乳剂是油田和炼油厂必不可少的化学药剂之一,通过表面活性作用,降低乳状液的油水界面张力,使水滴脱离乳状液束缚,再经聚结过程,达到破乳、脱水的目的。为了取得好的脱水效果,在确定最佳加药比之后,破乳剂的用量就与处理液的量成比例,处理量越大,加入的破乳剂就相应成比例地增加。由于生产中原油处理量可能是随机变化的,所以相对于破乳剂用量的给定值也是随机的,故属于随动控制系统。

#### (3) 程序控制系统(顺序控制系统)

这类系统的给定值也是变化的,但它是一个已知的时间函数,即生产技术指标需按一定的时间序列变化。这类系统在间歇生产过程中应用比较普遍,如冶金工业上金属热处理温度

的控制。近年来,程序控制系统应用日益广泛,一些定型的或非定型的程序装置越来越多地被应用到生产中,微型计算机的广泛应用也为程序控制系统提供了良好的技术工具与有利条件。

#### 1.2.4 工业自动化仪表的分类

工业自动化仪表是生产过程自动化必要的物质技术基础——自动化装置。工业自动化仪表种类繁多,一般分类如下。

(1) 按仪表使用的能源分类

① 电动仪表(电能);②气动仪表(压缩空气);③液动仪表(少用)。

(2) 按信息的获得、传递、反映和处理的过程分类

① 检测仪表;②显示仪表;③集中控制装置;④控制仪表;⑤执行器。

(3) 按仪表的组成形式分类

① 基地式仪表 基地式仪表集变送、显示、控制各部分功能于一体,单独构成一个固定的控制系统。

② 单元组合仪表 单元组合式仪表将变送、控制、显示等功能制成各自独立的仪表单元,各单元间用统一的输入、输出信号相联系,可以根据实际需要选择某些单元进行适当的组合、搭配,组成各种测量系统或控制系统,因此单元组合仪表使用方便、灵活。单元组合仪表按工作能源的不同,可分为气动单元组合仪表和电动单元组合仪表两大类。单元组合仪表命名与性能:

a. QDZ (“气”、“单”、“组”)——气动单元组合仪表

统一标准气源压力:0.14MPa;

统一标准信号:0.02~0.1MPa (20~100kPa);

气路导管:φ6×1紫铜管、塑料管、尼龙单管和管箍;

精度:1.0级、1.5级。

b. DDZ (“电”、“单”、“组”)Ⅱ——Ⅱ型电动单元组合仪表

统一标准电源:交流220V;

统一标准信号:现场传输信号0~10mA;控制室联络信号0~2V;

精度:0.5级、1.0级、1.5级。

c. DDZ (“电”、“单”、“组”)Ⅲ——Ⅲ型电动单元组合仪表

统一标准电源:24V直流;

统一标准信号:现场传输信号4~20mA;控制室联络信号1~5V;

精度:0.2级、0.5级、1.0级、1.5级。

电动单元组合仪表采用直流电流为传输信号的主要优点:传输过程中易于与交流感应干扰相区别,且不存在相移问题,可不受传输线路中电感、电容和负载性质的限制;可以不受传输线及负载电阻变化的影响,适于信号的远距离传送;由于电动单元组合仪表很多是采用力平衡原理构成的,使用电流信号可直接与磁场作用产生正比于信号的机械力;对于要求电压输入的受信仪表和元件,只要在电流回路中串联适当的取样电阻便可得到所需的电压信号,故使用比较灵活。

此外,DDZ-Ⅲ型仪表信号制式符合1973年4月国际电工委员会(IEC)通过的过程控制系统用模拟信号标准,其优点:采用4~20mA.DC信号,现场仪表就可实现两线制传输,这两根导线既是电源线,又是信号线,不仅可节省大量电缆线和安装费用,而且还便于使用安全栅,有利于安全防爆;4mA.DC的仪表电气“活零点”,不仅为变送器提供了静态工作

电流，而且不与机械零点重合，有利于识别断电和断线等故障。

#### (4) 按防爆能力分类

在石油、化工生产过程中，广泛存在着各种易燃、易爆物质，这些生产环境对仪表的防爆能力尤为重视，现场仪表的防爆能力已成为仪表性能的重要指标。除气动仪表已应用在易燃、易爆场合外，电动仪表的设计者也考虑了各种防爆措施。按防爆能力分类，有普通型、隔爆型和安全火花型等类仪表。

① 普通型 凡是未采取防爆措施的仪表，只能应用在非危险场所。

② 隔爆型 采取隔离措施以防止引燃引爆事故的仪表。例如最普通的办法是采用足够厚的金属外壳，其连接处采用符合规定的螺纹。有的情况下对壳体的材质和壳内空间的尺寸也有规定。这样的仪表，当表内电路出现故障时，其破坏范围被限制在密闭的壳体内，不至于将周围易燃气体引燃引爆。

也有采用充入惰性气体或将电路浸在油中的办法隔离的。其用意是靠惰性气体或油熄灭电火花，并帮助散热降温。同时，使周围易燃物与电路隔离。

③ 安全火花型仪表 这类仪表采用低压直流小功率电源供电，并且对电路中的储能元件（例如电容、电感）严加限制，使电路在故障下所产生的火花微弱到不足以点燃周围的易燃气体。此外，危险区以外发生电路的混触，也有可靠的措施，使高电压、大电流不能进入危险区。安全火花型仪表是电动仪表中防爆性能最好的一类。

## 1.3 自动控制系统方块图

在研究自动控制系统时，为了能更清楚地表示出一个自动控制系统中各个组成环节之间的相互影响和信号联系，便于对系统分析研究，一般都用方块图来表示控制系统的组成和作用。例如图 1-2 所示的液位自动控制系统可以用图 1-4 的方块图来表示。每个方块表示组成系统的一个部分，称为“环节”。两个方块之间用一条带有箭头的线条表示其信号的相互关系，箭头指向方块表示为这个环节的输入，箭头离开方块表示为这个环节的输出。线旁的字母表示相互间的作用信号。

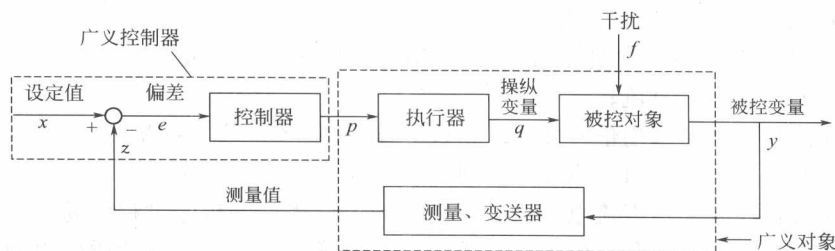


图 1-4 自动控制系统方块图

图 1-2 的贮槽在图 1-4 中用一个“被控对象”方块来表示，其液位就是生产过程中所要保持恒定的变量，在自动控制系统中称为被控变量（被调参数），用  $y$  来表示。在方块图中，被控变量  $y$  就是对象的输出。影响被控变量  $y$  的因素来自进料流量的改变，这种引起被控变量波动的外来因素，在自动控制系统中称为干扰作用（扰动作用），用  $f$  表示。干扰作用是作用于对象的输入信号。与此同时，出料流量的改变是由于执行器（控制阀、调节阀）动作所致，如果用一方块表示控制阀，那么，出料流量即为“控制阀”方块的输出信号。出料流量  $q$  的变化也是影响液位变化的因素，所以也是作用对象的输入信号。出料流量

信号  $q$  在方块图中把控制阀和对象连接在一起。

贮槽液位信号  $y$  是测量、变送器的输入信号，而变送器的输出信号  $z$  进入比较机构与工艺上希望保持的被控变量数值，即给定值（设定值） $x$  进行比较，得出偏差信号（ $e = x - z$ ），并送往控制器。比较机构实际上只是控制器的一个组成部分，不是一个独立的仪表，在图中把它单独画出来（一般方块图中是以  $\bigcirc$  或  $\otimes$  表示），为的是能更清楚地说明其比较作用。控制器（调节器）根据偏差信号的大小，按一定的规律运算后，发出信号  $p$  送至控制阀，使控制阀的开度发生变化，从而改变出料流量以克服干扰对被控变量（液位）的影响。控制阀的开度变化起着控制作用。具体实现控制作用的变量叫做操纵变量，如图 1-2 中流过控制阀的出料流量就是操纵变量。用来实现控制作用的物料一般称为操纵介质或操纵剂，如上述的流过控制阀的流体就是操纵介质。

用同一种形式的方块图可以代表不同的控制系统。例如图 1-5 所示的蒸汽加热器温度控制系统，当进料流量或温度变化等因素引起出口物料温度变化时，可以将该温度变化测量后送至温度控制器 TC。温度控制器的输出送至控制阀，以改变加热蒸汽量来维持出口物料的温度不变。这个控制系统同样可以用图 1-4 的方块图来表示。

这时被控对象是加热器，被控变量  $y$  是出口物料

的温度。干扰作用可能是进料流量、进料温度的变化、加热蒸汽压力的变化、加热器内部传热系数或环境温度的变化等。而控制阀的输出信号即操纵变量  $q$  是加热蒸汽量的变化，在这里，加热蒸汽是操纵介质或操纵剂。

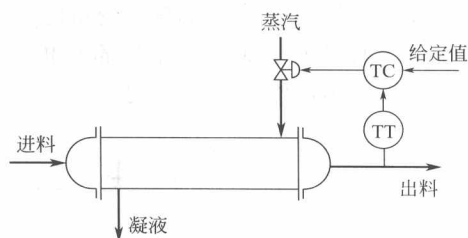


图 1-5 蒸汽加热器温度控制系统

必须指出，方块图中的每一个方块都代表一个具体的装置。方块与方块之间的连接线，只是代表方块之间的信号联系，并不代表方块之间的物料联系。方块之间连接线的箭头也只是代表信号作用的方向，与工艺流程图上的物料线是不同的。工艺流程图上的物料线是代表物料从一个设备进入另一个设备，而方块图上的线条及箭头方向有时并不与流体流向相一致。例如对于控制阀来说，它控制着操纵介质的流量（即操纵变量），从而把控制作用施加于被控对象去克服干扰的影响，以维持被控变量在给定值上。所以控制阀的输出信号  $q$ ，任何情况下都是指向被控对象的。然而控制阀所控制的操纵介质却可以是流入对象的（例如图 1-5 中的加热蒸汽），也可以是由对象流出的（例如图 1-2 中的出口流量）。这说明方块图上控制阀的引出线只是代表施加到对象的控制作用，并不是具体流入或流出对象的流体。如果这个物料确实是流入对象的，那么信号与流体的方向才是一致的。

对于任何一个简单的自动控制系统，只要按照上面的原则去作它们的方块图，就会发现，不论它们在表面上有多大差别，它们的各个组成部分在信号传递关系上都形成一个闭合的环路。其中任何一个信号，只要沿着箭头方向前进，通过若干个环节后，最终又会回到原来的起点。所以，自动控制系统是一个闭环系统。

再看图 1-4 中，系统的输出变量是被控变量，但是它经过测量元件和变送器后，又返回到系统的输入端，与给定值进行比较。这种把系统（或环节）的输出信号直接或经过一些环节重新返回到输入端的做法叫做反馈。从图 1-4 还可以看到，在反馈信号  $z$  旁有一个负号“-”，而在给定值  $x$  旁有一个正号“+”（正号可以省略）。这里正和负的意思是在比较时，以  $x$  作为正值，以  $z$  作为负值，也就是到控制器的偏差信号  $e = x - z$ 。因为图 1-4 中的反馈信号  $z$  取负值，所以叫负反馈，负反馈的信号能够使原来的信号减弱。如果反馈信号取正