

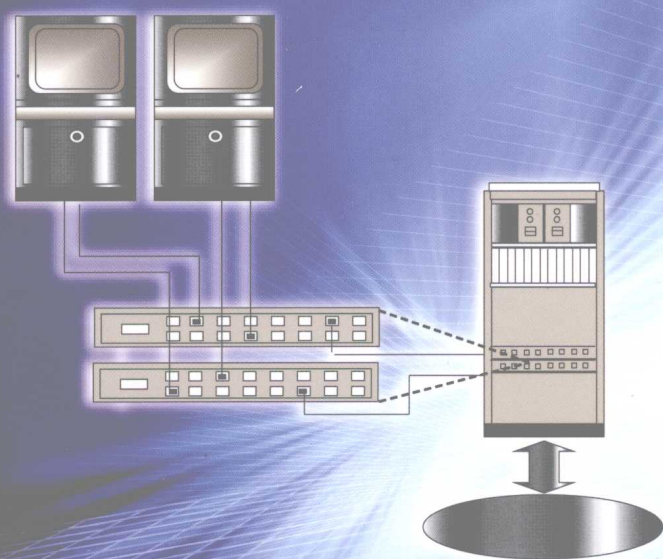
中等职业学校规划教材·化工中级技工教材

ZHONGDENG ZHIYE XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI
HUAGONG ZHONGJI JIGONG JIAOCAI

化工自动化

HUAGONG ZIDONGHUA

李京 主编 付志刚 主审



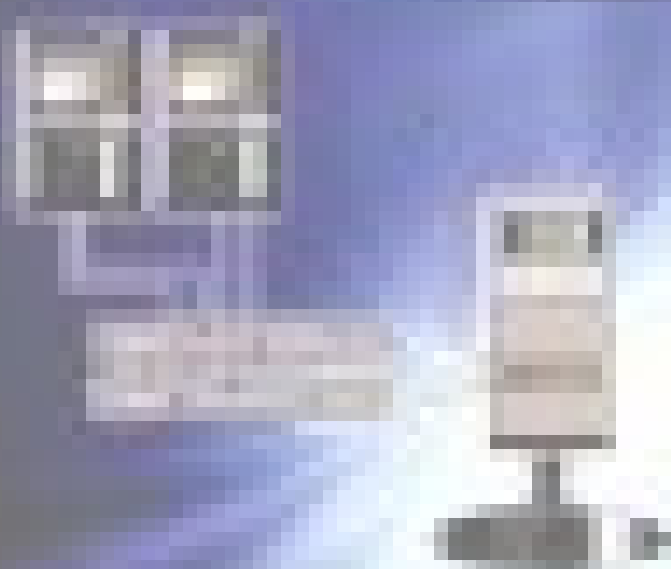
化学工业出版社

中国矿业大学(北京)教材·化工学院化工类专业

化工自动化

HUAGONG ZIDONGHUA

王 强 编 王 强 主审



中国矿业大学(北京)出版社

中等职业学校规划教材·化工中级技工教材

化工自动化

李 京 主编

付志刚 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书在引入化工自动化基本概念的基础上,通过电加热炉温度控制系统、恒压供水控制系统、精馏塔自动控制系统三个具体项目的实施,介绍自动控制系统的组成、设计、安装、调试、投运、参数整定和系统维护等方面的理论知识和实际操作技能。本书优化知识结构,注重知识内容的实用性和针对性,以工作任务为中心开展理论与实践的一体化教学。

本书可作为中等职业学校化工仪表与自动化及相关专业的教材,也可作为相关领域技术人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工自动化/李京主编. —北京:化学工业出版社,
2008.8
中等职业学校规划教材·化工中级技工教材
ISBN 978-7-122-03242-3

I. 化… II. 李… III. 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 (2008) 第 102183 号

责任编辑:张建茹
责任校对:郑捷

文字编辑:孙科
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:化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张10¼ 字数260千字 2008年9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:19.00 元

版权所有 违者必究

**中等职业学校规划教材
全国化工中级技工教材编审委员会**

主 任 毛民海

副主任（按姓氏笔画排列）

王黎明 刘 雄 苏靖林 张文兵 张秋生
律国辉 曾繁京

委 员（按姓氏笔画排列）

马武颢 王 宁 王跃武 王黎明 毛民海
刘 雄 米俊峰 苏靖林 李文原 李晓阳
何迎建 宋易骏 张 荣 张文兵 张秋生
陈建军 林远昌 周仕安 郑 骏 胡仲胜
律国辉 郭养安 董吉川 韩 谦 韩立君
程家树 曾繁京 雷 俊

前言

本书是根据中国化工教育协会批准颁布的《全国化工中级技工教学计划》，由全国化工高级技工教育教学指导委员会领导组织编写的全国化工中级技工教材，也可作为化工企业工人培训教材使用。

本书共分四个部分。第一部分为化工自动化基本概念，在本部分中，笔者用通俗易懂的语言，配合图示，按照由整体到局部，再到整体应用的思路，深入浅出地对化工自动化的整体概况、自动控制系统的基本作用和组成、影响控制质量的因素等实际应用问题进行介绍。第二部分以电加热炉温控制系统的搭建为项目驱动，以项目设计、项目安装、项目调试等工作任务为引领，采用学做一体化的教学方式完成简单温度控制系统的安装、调试与投运等工作，具体学习温度变送器、控制器和可控硅调压模块等自动化仪表的应用与维护等方面的相关知识和技能。第三部分为恒压供水控制系统的设计、安装及调试，以任务引领方式完成压力变送器、PLC 和变频器等自动化仪表在顺序控制系统中的应用与维护等职业综合能力的培训。第四部分以 DCS 系统在精馏生产过程中的应用为工作任务，介绍 DCS 系统、执行器、安全栅等自动化装置的相关知识，培养学生从事 DCS 系统安装、调试和维护等方面工作的综合职业能力。

《化工自动化》的特点如下。

1. 项目驱动——通过完成典型工程项目所获得的成果，激发学生的学习动机，获得完成任务所需的综合职业能力。
2. 任务引领——以工作任务为教学目标，使学生在完成工作任务的过程中学习相关知识，培养学生综合职业能力。
3. 优化知识结构——紧紧围绕工作任务完成的需要来定位课程内容和知识结构，不强调知识的系统性，而注重知识内容的实用性和针对性。
4. 学做一体化——打破长期以来的教育理论与实践二元分离的局面，以工作任务为中心开展理论与实践的一体化教学。

本教材由李京主编，付志刚主审。参加《化工自动化》编写的人员都是从事教学研究的一线教学人员。其中：概述、项目三由李京执笔；项目一和项目二分别由崔玲和贺世才编写。全书由李京统稿。

本教材在编写过程中得到中国化工教育协会、全国化工高级技工教育教学指导委员会、化学工业出版社及相关学校领导和同行们的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、不完善和欠妥之处在所难免，敬请读者和同行们批评指正。

编者
2008 年 5 月

目录

化工自动化的基本概念	1
一、化工自动化概述	1
二、化工自动化仪表及分类	2
三、化工自动化仪表及系统的发展	3
四、自动控制系统的组成	3
五、自动控制系统的分类	5
六、自动控制系统的工作过程	7
七、自动控制系统的质量指标	8
八、被控对象的特性	10
九、控制器的特性	13
习题与思考题	21
项目一 电加热炉单回路温度控制系统	23
任务一 项目分析	23
一、电热设备介绍	23
二、电阻炉温度自动控制方案	26
三、控制任务及要求	28
习题与思考题	29
任务二 控制设备认识	29
一、温度变送器	29
二、控制器	33
三、可控硅交流调压器	35
习题与思考题	37
任务三 项目设计	38
一、系统控制方案	38
二、控制器组态操作	39
三、控制系统接线图	43
习题与思考题	44
任务四 项目实施	44
一、测温元件的安装	44
二、连接导线与补偿导线的安装	46
三、安装样例	47
四、系统校验内容及方法	47
五、项目调校	49

习题与思考题	49
任务五 系统投运	50
一、投运前的工作	50
二、系统投运	51
三、项目投运	52
习题与思考题	52
任务六 简单控制系统控制器参数整定	53
一、PID 参数对控制质量的影响	53
二、简单控制系统控制器参数的整定	56
习题与思考题	58
任务七 项目考核	59
项目二 恒压供水控制系统	61
任务一 项目分析	61
一、供水系统结构及基本工作原理	61
二、控制方案	62
三、系统控制任务及要求	64
习题与思考题	65
任务二 控制设备认识	65
一、PLC 可编程控制器	65
二、变频器	70
三、测量仪表	72
四、流体输送设备	74
习题与思考题	76
任务三 恒压供水控制系统的设计	76
一、系统控制方案确定	76
二、系统的设计	77
习题与思考题	86
任务四 系统安装与调试	87
一、变频器的安装与调试	87
二、PLC 的安装与调试	90
三、系统联机调试与 PID 参数整定	92
习题与思考题	94
项目三 精馏塔自动控制系统	96
任务一 项目分析	96
一、精馏设备介绍	96
二、控制任务及要求	101
习题与思考题	102
任务二 控制设备认识	103
一、集散型控制系统	103
二、执行器	107
三、安全栅	115
习题与思考题	118

任务三 项目设计.....	119
一、系统配置.....	119
二、I/O 分配.....	120
三、控制联锁方案设计.....	122
四、操作画面设计.....	123
* 五、组态.....	125
任务四 DCS 控制系统安装	128
一、信号电缆敷设.....	128
二、接地.....	131
三、控制站安装.....	135
四、通信网络安装.....	144
任务五 系统调试.....	146
一、上电.....	146
二、网络调试.....	146
三、I/O 通道测试.....	147
四、系统模拟联调.....	150
任务六 系统维护.....	151
一、日常维护.....	151
二、预防维护.....	153
三、故障维护.....	153
参考文献.....	155

化工自动化的基本概念

一、化工自动化概述

所谓化工自动化就是用自动化装置（自动化仪表、自动装置、计算机等）来代替人，对化工生产过程进行控制和管理的措施（办法），如图 0-1、图 0-2 所示。

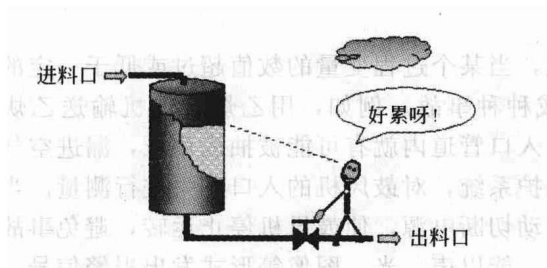


图 0-1 人工对贮罐液位进行控制

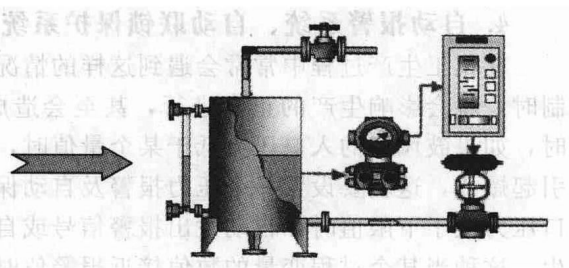


图 0-2 自动化装置对贮罐液位进行控制

化工自动化的基本内容概括起来大致有以下几个方面，如图 0-3 所示。

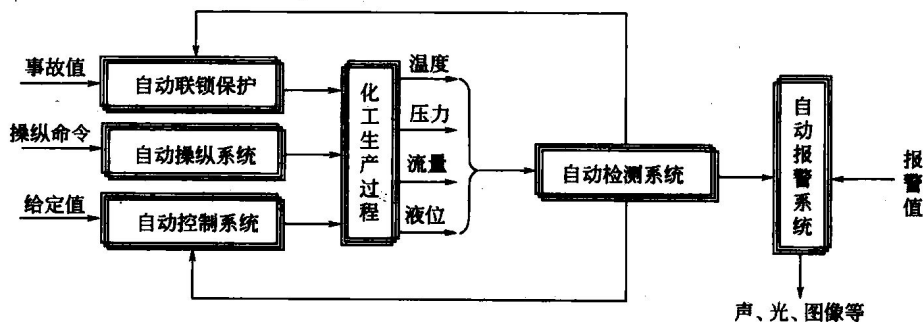


图 0-3 化工自动化的基本内容

1. 自动检测系统

在化工生产过程中，人们要想知道生产过程状况进行的如何，是通过了解反映生产过程状况的某些物理量的大小来实现的。通常把这些物理量称为过程变量。化工生产中常常通过温度、压力、流量、液位、物料、成分等过程变量的大小来反映生产过程状况的好坏。这种能够对各种生产过程变量自动地进行检测，并且把检测的结果随时指示或记录下来的自动化系统称为自动检测系统。

2. 自动操纵系统

在化工生产过程中，往往会有一些周期循环重复的操作，这种操作单调乏味容易使人疲劳。例如用煤造气的生产过程中，有吹风、上吹、下吹、回收这四个步骤组成一组单调的、

周期重复的操作,为了摆脱这种单调的重复操作,人们设置了由自动机(顺序控制器)和执行器组成的自动操纵系统去自动地完成这组操作。这种能够按照人们事先规定好的操作顺序,自动地进行单调、周期性重复操作的自动化系统称为自动操纵系统(也称顺序控制系统)。

3. 自动控制系统

化工生产过程是连续的生产过程,各种过程变量都是连续变化的模拟量。在化工生产中,常常要求通过操作使得某些表征化工生产过程状况的、重要的过程变量,相对地稳定在生产工艺要求的数值上。例如在精馏塔的操作中,提馏段的温度是否稳定在某个量值上,将直接影响到精馏塔工作状况的好坏和产品质量的优劣,通常设置一个自动控制系统对提馏段温度进行自动操作。这种操纵某种物料量或能量的大小,使得某个过程变量保持在生产工艺要求的给定值上的自动化系统称为自动控制系统。

4. 自动报警系统、自动联锁保护系统

在化工生产过程中常常会遇到这样的情况,当某个过程变量的数值超过或低于一定的限制时,就会影响生产的正常进行,甚至会造成种种事故。例如,用乙炔鼓风机输送乙炔气时,如果鼓风机的入口压力低于某个量值时,入口管道内就有可能被抽成负压,漏进空气而引起爆炸,这就要设置一个压力报警及自动保护系统,对鼓风机的入口压力进行测量。当入口压力低于下限值时,自动发出报警信号或自动切断电源,使鼓风机停止运转,避免事故发生。这种当某个过程变量的数值接近报警值时,能以声、光、图像等形式发出报警信号,提醒操作人员注意的自动化系统称为自动报警系统;当过程变量的数值接近事故值时,能自动采取保护措施,开启或关停某些生产设备,以保证人身和设备安全,防止事故发生的自动化系统称为自动联锁保护系统。

二、化工自动化仪表及分类

用来实现化工生产过程自动化的仪器、仪表、自动装置和计算机等设备统称为化工自动化仪表。

由于化工自动化仪表种类繁多,分类方法也较多,现分别从化工自动化仪表的使用功能、使用能源和组成形式三个方面对其进行分类。

1. 按化工自动化仪表的使用功能分类

(1) 检测仪表 充当人的感觉器官功能,获取化工生产过程变量的自动化仪表。按化工生产过程变量的类型分为压力检测仪表、流量检测仪表、液位检测仪表和温度检测仪表等。

(2) 显示、记录仪表 充当人脑的记忆功能,实时显示或记录化工生产过程变量的自动化仪表。按显示方式可分为指示仪、记录仪、信号报警器;按显示类别可分为模拟式显示、数字式显示和字符图形显示三大类。

(3) 控制器 充当人脑的控制决策功能,对生产过程变量进行分析处理,并做出控制决策的自动化仪表。目前,在化工生产中使用的主流控制器有单回路数字智能控制器、可编程控制器(PLC)、集散型控制系统(DCS)等。

(4) 执行器 充当人的手、脚功能,直接改变化工生产过程变量的自动化仪表。执行器由执行机构和调节阀两大部分组成。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;按结构形式可以分为薄膜式、活塞式(气缸式)和长行程执行机构。调节阀

根据其结构特点和流量特性不同进行分类,按结构特点划分通常有直通单座、直通双座、三通、角形、隔膜、蝶形、球阀、偏心旋转、套筒(笼式)、阀体分离调节阀等;按流量特性分为直线、对数(等面积比)、抛物线、快开调节阀等。

2. 按化工自动化仪表使用能源分类

(1) 气动仪表 以清洁的压缩空气为动力能源。对于国产气动仪表,气源压力为 140kPa,统一信号压力为 20~100kPa。

(2) 电动仪表 以电能为动力能源。对于国产电动仪表,DDZ-I、DDZ-II 型电源为交流 220V、50Hz,统一信号为 0~10mA DC;DDZ-III 型电源为直流 24V,统一信号为 4~20mA DC、1~5V DC。

(3) 液动仪表 以高压液体为动力能源。对于国产液动仪表,高压液体为 800kPa,工作液体通常为变压器油和锭子油。

3. 按化工自动化仪表组成形式划分

(1) 基地式仪表 集检测、控制、显示和执行等功能于一体,组成仪表的各功能部件不能严格划分归属的就地安装式仪表。

(2) 单元组合仪表 仪表按检测、控制、显示和执行等功能独立装配,自成一个功能独立的单元。各单元之间采用统一信号进行联系。根据组成检测系统或控制系统的需要,可以将这些独立的单元组合起来,构成一个整体,共同完成检测或控制任务。

(3) 集散型控制系统 集计算机技术、网络技术、显示技术和控制技术于一体,对化工生产过程实现集中监视管理和分散控制的计算机系统。它由分散在生产现场的过程控制站和集中在控制室的操作站、工程师站和管理计算机等通过通信网络连接成一个整体,实现管控一体化。

三、化工自动化仪表及系统的发展

随着化工生产的发展,化工自动化仪表及系统也得到了发展,大体经历了三个阶段。

第一阶段 20 世纪 40 年代至 50 年代,以基地式仪表为典型设备,实现就地单体安装的局部自动化,主要是维持温度、压力、流量、液位等参数一定,以保证产品的产量和质量稳定。

第二阶段 20 世纪 50 年代至 60 年代,相继采用了气动单元组合仪表、电动单元组合仪表及巡回检测装置,实现了集中监视,集中操作、集中控制,强化生产,提高了产品的质量。

第三阶段 20 世纪 70 年代至今,特别是近十几年来,微电子技术的迅猛发展把自动化技术及自动化仪表推向了一个新阶段,即化工控制计算机时代。它不仅要检测控制多参数的物流信息,还要经营管理各种生产产品信息,已从车间、分厂控制发展到全厂自动化(CIMS),即按国际 ISO 标准划分的基础自动化、过程自动化、管理自动化系统。

四、自动控制系统的组成

图 0-4 所示为一个贮气罐压力自动控制系统实例,通过操纵进气量,控制贮罐内压力为定值。图 0-5 为离心泵的出口流量自动控制系统实例,通过对回流量的操纵,控制泵的出口流量为定值。

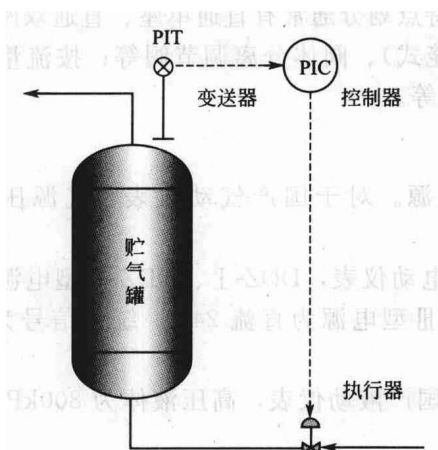


图 0-4 压力控制系统

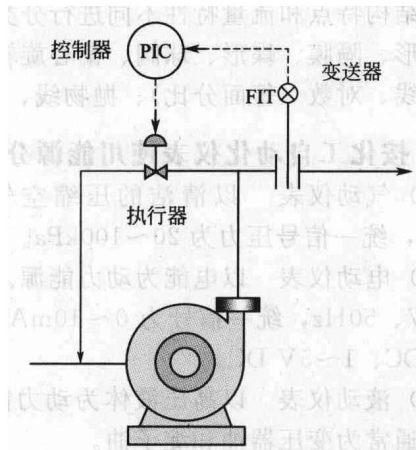


图 0-5 流量控制系统

由上述两个不同的自动控制系统实例可以看出，自动控制系统在组成上有共同的特点，即它们都由被控对象、变送器（或测量元件）、控制器和执行器四个部分组成。如果用方块表示自动控制系统的四个组成部分，用细实线表示信号传递路径，用箭头表示信号传递方向，那么，按照信号传递过程可以把图 0-4 和图 0-5 所示的自动控制系统抽象表示成图 0-6。

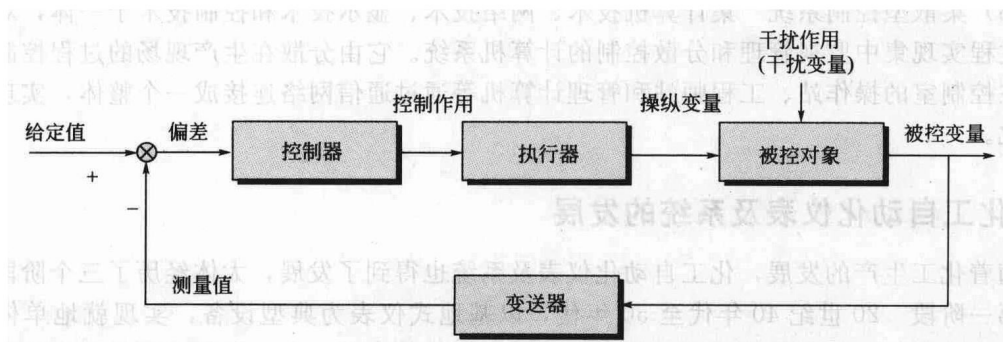


图 0-6 自动控制系统组成方块图

图 0-6 表示的是简单自动控制系统的基本组成，更复杂的自动控制系统可以用同样的方法做出类似的方块图来进行分析和研究。图中的每个方块称为一个环节，指向方块的箭头表示环节的输入信号，背离方块的箭头表示环节的输出信号。每个环节都有一个输出信号，至少有一个输入信号。如被控对象有一个输出信号——被控变量，有两种输入信号——操纵变量和干扰变量，操纵变量只有一个，而干扰变量可以不止一个。通常把环节的输出信号随着输入信号变化的规律称为这个环节的特性。

在讨论和研究自动控制系统中的问题时会经常遇到一些专用的名词术语，下面结合贮水罐水位控制的例子，对这些常用的名词和术语作一简单介绍。

图 0-7 是贮水罐水位自动控制系统示意图。

(1) 被控对象 自动控制系统中被控制的工艺管道、设备或机器等都称为被控对象。在贮水罐控制系统中，贮水罐就是被控对象。

(2) 被控变量 能反映生产设备或生产过程运行特征的，并且需要进行控制的过程变量。在贮水罐水位控制系统中的贮水罐水位即是被控变量。

(3) 给定值 生产过程中，生产工艺要求被控变量达到的指标值称为给定值。

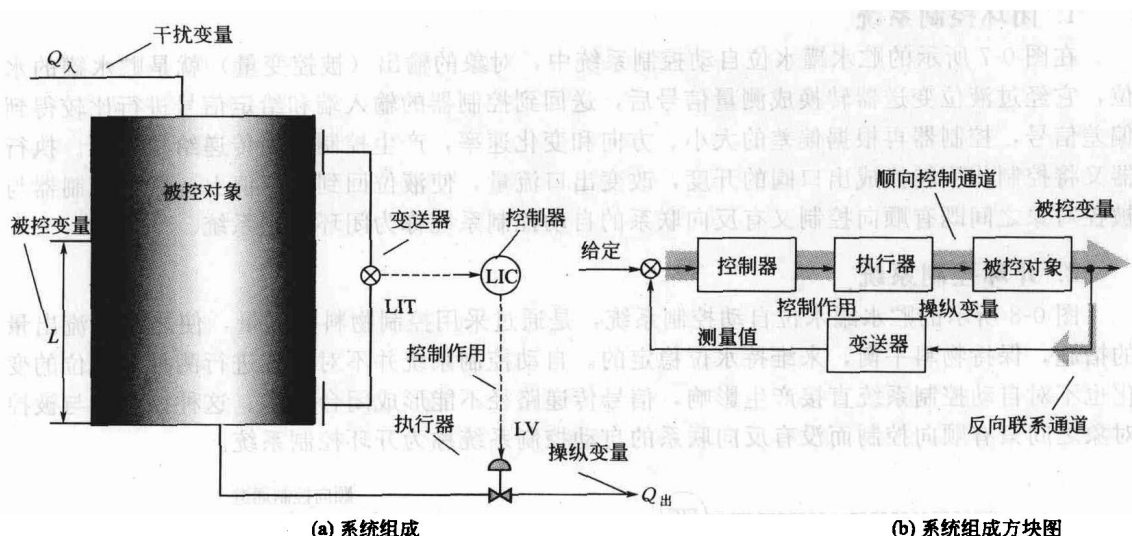


图 0-7 水位自动控制

(4) 测量值 与被控变量相对应的测量元件、变送器的输出值称为测量值。

(5) 偏差 测量值与给定值之差称为偏差，它有大小、方向和变化速率三个基本要素。

(6) 干扰作用 在生产过程中，破坏生产过程平衡状态，引起被控变量偏离给定值的各种因素，都可视为干扰作用。而具体产生干扰作用的变量叫干扰变量。在贮水罐水位控制系统中，进水量的变化、进水阀前压力的变化或出水阀后压力的变化，都会破坏生产的平衡状态，引起贮水罐内水位的变化，所以它们都是干扰变量。

(7) 控制作用 被控对象受到干扰作用影响以后，被控变量偏离给定值，自动控制系统就对被控对象施加影响，使被控变量回到给定值上来。自动控制系统使被控变量回到给定值而对被控对象施加的影响作用叫控制作用。自动控制系统用来施加控制作用的变量叫操纵变量。自动控制系统用来施加控制作用的介质称为控制介质。在化工生产中，流过控制阀的物料或能量即为操纵变量。在贮水罐水位控制系统中，出口流出的水就是控制介质，出水流量就是操纵变量，出水流量的改变对贮水罐水位的影响作用就是控制作用。

(8) 变送器 把一定变化范围的被控变量线性地转换成 4~20mA DC（或其他数字通信协议）的自动化仪表。

(9) 控制器 根据偏差的方向、大小和变化速度进行比例、积分和微分控制运算，并将运算结果转换成 4~20mA DC（或其他数字通信协议）的自动化仪表。

(10) 执行器 把控制器输出的 4~20mA DC（或其他数字通信协议）对应转换成在一定范围变化的机械位移或转角的自动化装置。

五、自动控制系统的分类

对自动控制系统，从不同的使用角度，可以有不同的分类方法。从生产工艺的角度看，常把自动控制系统按被控变量的种类分为压力控制系统、流量控制系统、液位控制系统、温度控制系统等。从化工生产过程自动控制的角度看，常把自动控制系统按其结构分为闭环控制系统和开环控制系统，或简单控制系统和复杂控制系统。从给定信号形式的角度看，自动控制系统又可分为定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

1. 闭环控制系统

在图 0-7 所示的贮水罐水位自动控制系统中, 对象的输出 (被控变量) 就是贮水罐的水位, 它经过液位变送器转换成测量信号后, 送回到控制器的输入端和给定信号进行比较得到偏差信号, 控制器再根据偏差的大小、方向和变化速率, 产生控制作用传递给执行器。执行器又将控制作用转换成出口阀的开度, 改变出口流量, 使液位回到给定值上。这种控制器与被控对象之间既有顺向控制又有反向联系的自动控制系统称为闭环控制系统。

2. 开环控制系统

图 0-8 所示的贮水罐水位自动控制系统, 是通过采用控制物料流入量, 使之等于流出量的措施, 保持物料平衡, 来维持水位稳定的。自动控制系统并不对水位进行测量, 水位的变化也不对自动控制系统直接产生影响, 信号传递路径不能形成闭合回路。这种控制器与被控对象之间只有顺向控制而没有反向联系的自动控制系统称为开环控制系统。

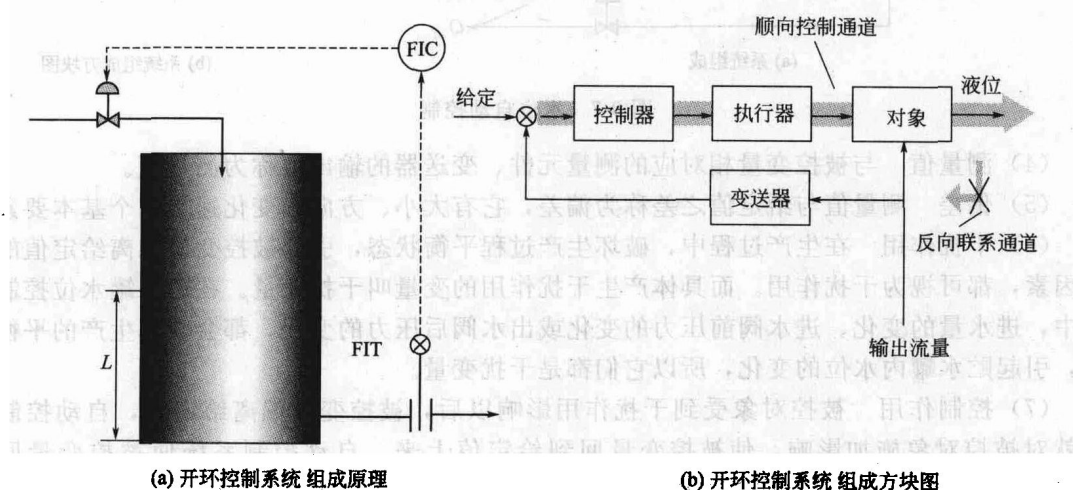


图 0-8 开环控制系统

3. 定值控制系统

自动控制系统的给定信号是一个恒定不变的信号, 也就是说生产工艺要求被控变量保持在一个恒定值的自动控制系统称为定值控制系统, 例如图 0-7 所示的贮水罐水位控制系统。化工生产过程的自动控制系统绝大多数是定值控制系统。定值控制系统的给定信号通常都是由控制器内部设定的。

4. 随动控制系统

给定信号是一个事先不能确定的, 随着另外一个有关变量的变化而变化的自动控制系统称为随动控制系统。例如图 0-9 所示的合成氨生产中合成塔进料 N_2 和 H_2 的比值控制系统, 它控制 N_2 的流量以近似 1:3 的比例随 H_2 流量值变化, 即控制器的给定信号是随着 H_2 流量的变化而变化的。显然, 随动控制系统的给定信号是由外部的专用装置把另一有关变量的信号转换而来的。

5. 程序控制系统

自动控制系统的给定信号按着事先设置好的规律变化的自动控制系统称为程序控制系统。如锦纶生产中长丝定形锅熟化罐温度控制系统就是一个程序控制系统, 它控制被控变量——熟化罐内温度按事先设定好的规律变化, 如图 0-10 所示。程序控制系统的设定信号

是由控制器外部的专用装置发生的。

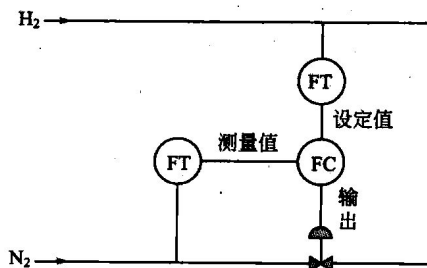


图 0-9 随动控制系统

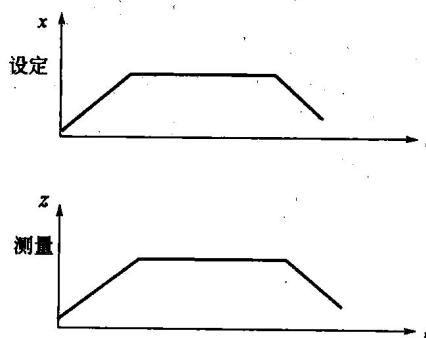


图 0-10 程序控制系统的设定值与测量值

六、自动控制系统的工作过程

自动控制系统的工作过程可以用图 0-11 来形象描述。在自动控制系统中，干扰作用与控制作用是一对矛盾，干扰作用使被控变量偏离给定值，而控制作用使被控变量回到给定值。干扰作用是控制作用的起因，控制作用是干扰作用的补偿，其目的就是要使被控变量与给定值保持一致。控制作用对干扰作用的补偿越好，自动控制系统的控制质量就越高。

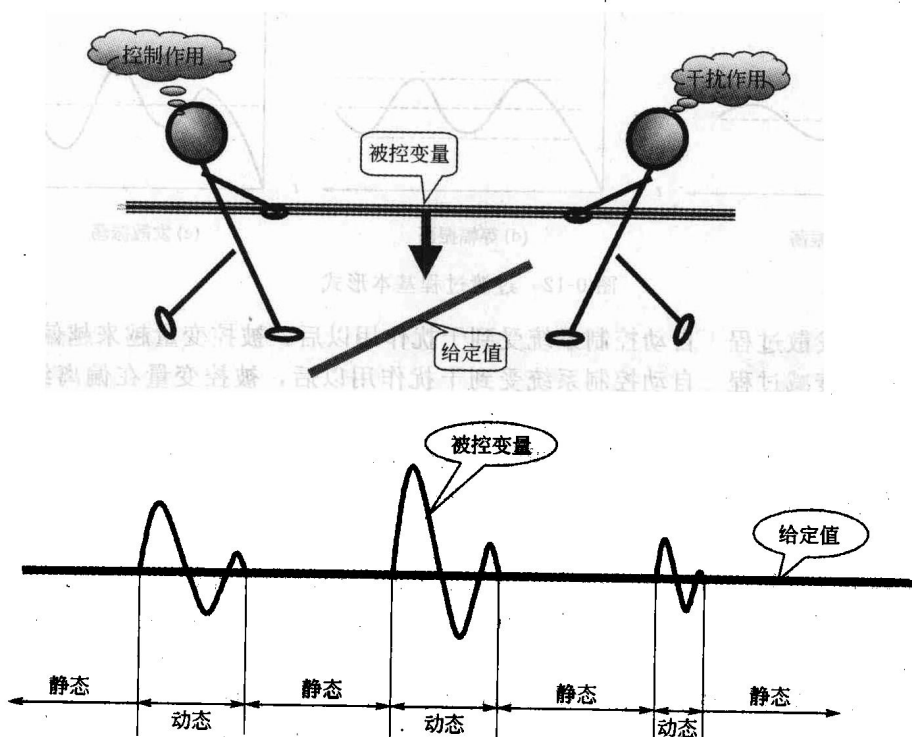


图 0-11 自动控制系统工作过程示意

在自动控制系统的整个工作过程中，可出现两种工作状态：一种是静态，另一种是动态。

(1) 静态 被控变量与给定值相一致的工作状态。此状态下，控制作用与干扰作用对被控变量的影响相互抵消，被控对象的物料或能量处于平衡状态。

(2) 动态 被控变量与给定值不一致的工作状态。此状态下, 控制作用与干扰作用对被控变量的影响不对称, 被控对象的物料或能量平衡还未建立起来。

由于干扰作用是随机的、不可预计的, 所以, 自动控制系统的静态是短暂的和相对的。自动控制系统处于静态时, 被控变量与给定值已相等, 控制任务已完成。所以, 静态对自动控制系统的控制质量没有影响。那么, 影响自动控制系统控制质量的主要因素就来自于自动控制系统的动态过程。

在阶跃干扰的作用下, 自动控制系统的动态 (也称过渡过程) 过程有五种基本形式, 如图 0-12 所示。

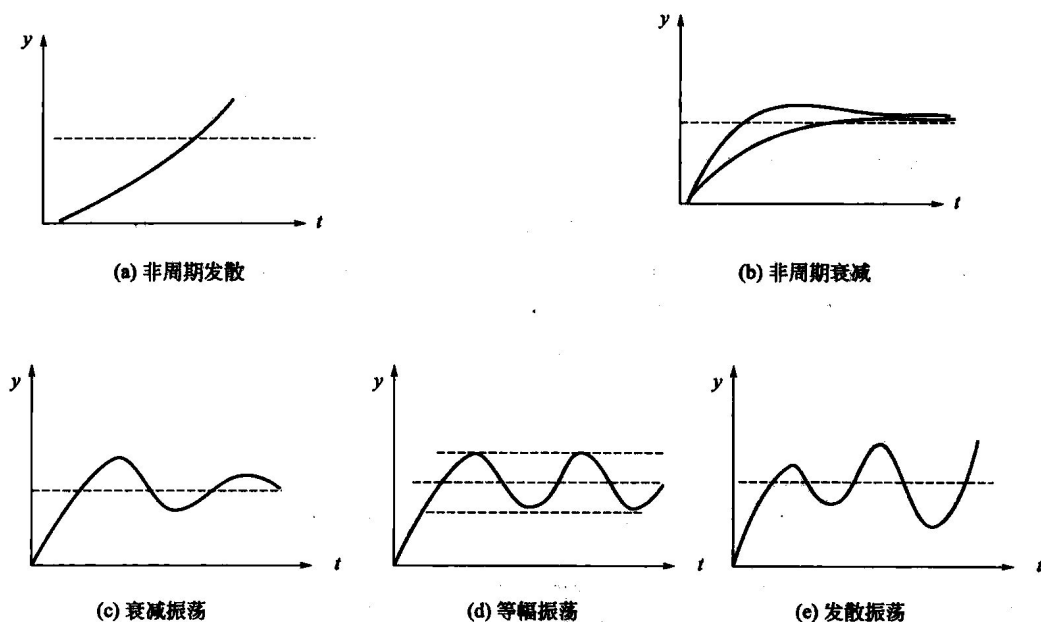


图 0-12 过渡过程基本形式

(1) 非周期发散过程 自动控制系统受到干扰作用以后, 被控变量越来越偏离给定值。

(2) 非周期衰减过程 自动控制系统受到干扰作用以后, 被控变量在偏离给定值以后, 又逐渐趋向新的稳定值, 但不一定等于原来的给定值。

(3) 衰减振荡过程 自动控制系统受到干扰作用以后, 被控变量在给定值上下来回波动 (即振荡), 但振荡幅度逐渐减小, 最后稳定在新的稳态值上 (这个稳态值不一定等于给定值)。

(4) 等幅振荡过程 被控变量在给定值上下来回等幅波动的过程。

(5) 发散振荡过程 被控变量在给定值上下来回波动, 且波动的幅度越来越大。

在上述五种过渡过程形式中, 只有非周期衰减和衰减振荡过程的被控变量最终能够稳定在某一个新的稳态值上, 所以称其为稳定的过渡过程, 其他三种过渡过程都是不稳定的过渡过程。不稳定的过渡过程对于化工生产是不利的。由于非周期衰减过程的过渡过程相当缓慢, 只有生产工艺不允许被控变量发生振荡的情况下, 不得已而采用, 通常都希望自动控制系统具有衰减程度适当的衰减振荡过程。

七、自动控制系统的质量指标

自动控制系统控制质量的优劣, 并没有一个绝对的标准, 主要根据生产工艺的具体要求