

高等学校教材

GUOCHENG ZHUANGBEI
KONGZHI JISHU

过程装备控制技术

曾 胜 顾超华 编著



化学工业出版社

高等学校教材

过程装备控制技术

曾 胜 顾超华 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要对过程装备与控制工程专业所涉及的自动控制和顺序控制的理论、实现过程和实现方法等内容以及其他相关知识进行介绍。

本书突出过程装备与控制工程的专业特点,既要求掌握控制相关基础知识,又立足于实践与应用。全书内容是,绪论讲述过程装备控制的内容、举例和目的;第1章自动控制系统;第2章顺序控制系统;第3章过程检测技术;第4章执行器与控制器;第5章计算机控制系统;第6章可编程控制器(PLC);第7章过程装备控制系统实例,主要讲述双容液位槽液位控制、啤酒发酵工艺控制系统设计和物料输送系统;附录,ART2005数据采集卡说明书和ART2003数据采集卡使用说明书。

本书可供过程装备与控制工程专业本科生和研究生使用,也可作为相关院校的石油、化工、能源、动力工程、环境工程等专业的学生使用,同时还可供从事过程设备、控制行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备控制技术/曾胜,顾超华编著. —北京:化学工业出版社,2015.3
高等学校教材
ISBN 978-7-122-22716-4

I. ①过… II. ①曾…②顾… III. ①过程控制-高等学校-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第002951号

责任编辑:程树珍 李玉晖
责任校对:王 静

装帧设计:孙远博

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 字数392千字 2015年6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:40.00元

版权所有 违者必究

前言

2000 年“化工设备与机械”本科专业调整更名为“过程装备与控制工程（简称过控）”专业。新的过控专业要求专业学生在掌握原机械类专业知识的同时，还要掌握控制工程方面的知识，使学生能够将过程机械、自动测试、控制、自动化等方面的知识有机地结合在一起，成为掌握多学科知识与技能的复合型人才。这也是本书的指导思想和定位。

专业更名后的十多年来，各高校的过控专业根据各自的专业特点，选用了不同的教材，引导专业师生逐步向专业新的指导思想靠拢。然而笔者经过调查发现选用的教材大多脱胎于“过程控制”，过分注重对温度、压力、液位和组分等的检测和控制等内容的介绍，相关的执行器也仅限于阀门，对检测过程参数的智能传感器鲜有提及，对其中非常重要的可编程控制器（PLC）的内容介绍过于简单。

笔者认为过程装备控制应包含两方面的内容，一方面是传统的过程控制，是对传统过程模拟量参数的控制，其主要发展方向为围绕工控机和 PLC 的数字化过程控制；另一方面是对过程装备的顺序控制，包含机器设备的启停、物料的传递或输送、阀门开闭和工件的夹紧与放松等，其中涉及检测位置的各种接近开关传感器、气动执行器、步进电动机和伺服电动机等电动执行器、电磁阀、继电器、接触器等。另外主流 PLC 在书中应占有较大的份额。

本书的讲述内容有过程装备控制所包含的控制原理、检测方法、自动化仪表、控制元件和控制装置等。

为此，笔者在十多年的课堂和实践教学的基础上，结合科研实践经验，在撰写本书时注重实用性和知识广度，注重过程装备控制的整体实现。对过程控制中的控制规律讲透；对检测传感器则从原理上讲清及在应用上讲清如何选用；对各种执行器如阀门、气动元件和电动元件等，除了讲清原理，还说明如何选择和使用；对于控制器，则以 PLC 为重点，详细讲解其原理和使用方法。

总之，本书将使机械类的过控专业的学生，在不增加更多的基础知识的情况下，比较好地掌握过程控制和自动化等方面的专业内容，符合专业教指委的指导思想，可为过控专业的学生提供更为广阔的过程装备控制视野。

本书在编写过程中，始终得到郑津洋教授的关心和大力支持，冯毅萍、仲玉芳对控制案例提供了帮助，同时还得到了石小英、罗迪威、刘桂强和莫锦涛等的帮助，在此一并表示衷心地感谢。书中还参考了一些网络资料，在此向不知名的同仁们表示衷心地感谢。

由于笔者水平有限，加之时间仓促，书中的不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2014 年秋于求是园

目录

绪论	1
0.1 过程装备控制的内容	1
0.2 过程装备控制的举例	2
0.3 过程装备控制的目的	3
第1章 自动控制系统	4
1.1 自动控制系统的组成及分类	4
1.1.1 人工控制与自动控制	4
1.1.2 自动控制系统的基本方式	5
1.1.3 自动控制系统的组成	6
1.1.4 自动控制系统的分类	8
1.2 自动控制系统运行的基本要求	8
1.3 自动控制系统的过渡过程及控制性能指标	9
1.3.1 自动控制系统的静态与动态	9
1.3.2 自动控制系统的过渡过程	10
1.3.3 自动控制系统的控制性能指标	11
1.4 被控对象的特性	13
1.4.1 被控对象的数学描述	13
1.4.2 描述被控对象的特性参数	16
1.4.3 被控对象特性的实验测定	18
1.5 自动控制系统的方框图及其化简	20
1.5.1 系统方框图	20
1.5.2 方框图的等效变换与化简	21
1.6 常规控制规律及其对系统控制质量的影响	23
1.6.1 位式控制	23
1.6.2 比例控制 (P)	25
1.6.3 积分控制 (I)	28
1.6.4 微分控制 (D)	30
1.7 控制器参数的工程整定方法	32
1.7.1 临界比例度法	32
1.7.2 衰减曲线法	32
1.7.3 响应曲线法	33
1.7.4 经验试凑法	34
思考与练习	34

第 2 章 顺序控制系统	37
2.1 顺序控制的基本概念	37
2.1.1 顺序控制	37
2.1.2 顺序控制方式	37
2.1.3 顺序控制分类	38
2.1.4 顺序控制系统的组成	38
2.2 顺序控制规律	39
2.2.1 概述	39
2.2.2 基本逻辑概念	39
2.2.3 基本逻辑运算	39
2.2.4 复合逻辑运算	42
2.3 顺序控制器	43
2.3.1 顺序控制器	43
2.3.2 继电器顺序控制器	44
2.3.3 晶体管顺序控制器	44
2.3.4 可编程顺序控制器	44
2.3.5 计算机顺序控制系统	44
2.3.6 顺序控制系统的应用	44
思考与练习	45
第 3 章 过程检测技术	46
3.1 过程检测的基本概念	46
3.1.1 检测	46
3.1.2 检测的基本方法	46
3.1.3 检测仪表的组成	47
3.1.4 检测仪表的性能指标	47
3.1.5 检测仪表的分类	49
3.2 测量误差及处理方法	49
3.2.1 测量误差	49
3.2.2 误差分类	50
3.2.3 系统误差的分析与处理	50
3.2.4 粗大误差的分析与处理	51
3.2.5 随机误差的分析和处理	53
3.3 温度测量	54
3.3.1 概述	54
3.3.2 温度测量的分类	55
3.3.3 热电阻	55
3.3.4 热电偶	58
3.3.5 精密集成电路温度传感器 LM35	63
3.3.6 数字温度传感器	64
3.4 压力测量	67
3.4.1 概述	67

3.4.2	液柱式压力表	68
3.4.3	弹性式压力表	69
3.4.4	电容式压力传感器	70
3.4.5	扩散硅压力传感器	71
3.4.6	压力测量仪表的选择和使用	72
3.5	流量测量	73
3.5.1	概述	73
3.5.2	差压式流量计	73
3.5.3	容积式流量计	76
3.5.4	浮子式流量计	77
3.5.5	电磁流量计	78
3.5.6	流量计选用	79
3.6	液位测量	79
3.6.1	概述	79
3.6.2	静压式液位计	80
3.6.3	浮子式液位计	81
3.6.4	电容式物位计	82
3.6.5	其他液位（物位）测量仪表	83
3.6.6	液位测量仪表的选用	83
3.7	湿度测量	84
3.7.1	概述	84
3.7.2	湿度测量方法	84
3.7.3	氯化锂湿敏电阻	85
3.7.4	半导体陶瓷湿敏电阻	86
3.7.5	湿度测量方案的选择	87
3.8	成分分析仪器	88
3.8.1	概述	88
3.8.2	热导式气体分析器	88
3.8.3	红外线气体分析仪	90
3.8.4	氧化锆氧量分析仪	92
3.9	工业 pH 计	94
3.9.1	pH 值测量原理	94
3.9.2	pH 发送器	95
3.9.3	测量仪器原理	95
3.10	接近开关	96
3.10.1	概述	96
3.10.2	无源接近开关	96
3.10.3	电感式接近开关	97
3.10.4	电容式接近开关	97
3.10.5	霍尔接近开关	97
3.10.6	光电式接近开关	98

3.10.7 接近开关的术语	98
3.11 仪表防爆技术	99
3.11.1 概述	99
3.11.2 仪表防爆原理	99
3.11.3 爆炸性危险场所的分级	99
3.11.4 爆炸性物质的分类、分级与分组	100
3.11.5 仪表设备的常用防爆型式及适用范围	101
3.11.6 防爆仪表设备	101
思考与练习	104
第4章 执行器与控制器	106
4.1 调节阀	106
4.1.1 概述	106
4.1.2 气动执行机构	106
4.1.3 电动执行机构	108
4.1.4 调节机构	109
4.1.5 常用调节机构及特点	110
4.2 步进电机	112
4.2.1 概述	112
4.2.2 步进电机分类	112
4.2.3 工作原理	113
4.2.4 驱动器	114
4.2.5 步进电机的指标	115
4.2.6 步进电机的特点	116
4.2.7 步进电机和驱动器的选型	116
4.2.8 步进电机的应用场合	117
4.2.9 步进电机与交流伺服电机的性能比较	117
4.3 滚珠丝杆与直线导轨	118
4.3.1 滚珠丝杆	118
4.3.2 直线导轨	120
4.3.3 滑台模组	123
4.4 气动执行器	123
4.4.1 概述	123
4.4.2 气动系统的组成	124
4.4.3 空气压缩机	125
4.4.4 冷却器	126
4.4.5 储气罐	126
4.4.6 压缩空气净化装置	127
4.4.7 气动执行元件	127
4.4.8 气动控制元件	134
4.4.9 气动的基本回路	141
4.5 继电器与接触器	143

4.5.1	继电器概述	143
4.5.2	电磁继电器	143
4.5.3	固态继电器	144
4.5.4	时间继电器	145
4.5.5	磁簧继电器	146
4.5.6	光继电器	147
4.5.7	接触器	147
4.5.8	继电器与接触器的区别	148
4.6	控制器	148
4.6.1	概述	148
4.6.2	DDZ-Ⅲ型电动控制器	148
4.6.3	数字控制器	150
	思考与练习	151
第5章	计算机控制系统	152
5.1	计算机控制系统概述	152
5.2	计算机控制系统的组成和类型	153
5.2.1	计算机控制系统的组成	153
5.2.2	计算机控制系统的类型	154
5.3	计算机控制系统的输入输出通道	158
5.3.1	数字量输入通道	158
5.3.2	模拟量输入通道	158
5.3.3	数字量输出通道	160
5.3.4	模拟量输出通道	161
5.3.5	多功能IO模板	161
5.3.6	采样定理	162
5.4	数字PID控制算法	163
5.4.1	模拟PID控制器控制规律	163
5.4.2	基本数字PID控制	164
5.4.3	改进的数字PID算法	165
5.4.4	数字PID算法中的参数整定和采样周期的选择	168
5.5	计算机控制系统的基本设计原则与方法	169
5.5.1	设计原则	169
5.5.2	设计方法	170
5.6	提高计算机控制系统可靠性的措施	174
5.6.1	计算机控制系统的干扰源分析	174
5.6.2	计算机控制系统的抗干扰措施	175
5.6.3	提高计算机控制系统可靠性的措施	179
	思考与练习	180
第6章	可编程控制器 (PLC)	182
6.1	可编程控制器概述	182
6.1.1	可编程控制器的产生	182

6.1.2	可编程控制器的特点	183
6.1.3	可编程控制器生产厂家	184
6.1.4	可编程控制器发展趋势	185
6.1.5	可编程控制器的类型	185
6.1.6	PLC 的基本结构	186
6.1.7	PLC 的工作原理	187
6.1.8	PLC 的编程语言	188
6.2	西门子 S7-200 系列可编程控制器	188
6.2.1	概述	188
6.2.2	西门子 S7-200 中央处理器 (CPU) 和扩展模块	189
6.2.3	西门子 S7-200 系列 PLC 系统连接	191
6.3	西门子 S7-200 系列 PLC 内部资源及寻址方式	193
6.3.1	S7-200 系统中的数据类型及其格式	193
6.3.2	S7-200CPU 存储区域的直接寻址	194
6.3.3	用指针对 S7-200CPU 存储区域的间接寻址	195
6.3.4	S7-200CPU 的集成 I/O 和扩展 I/O 寻址	196
6.4	西门子 S7-200 系列可编程控制器指令系统	197
6.4.1	位操作指令	197
6.4.2	数据处理指令	204
6.4.3	运算指令	207
6.4.4	转换指令	210
6.4.5	程序控制指令	210
6.5	STEP 7-Micro/WIN 编程软件简介	212
6.5.1	STEP 7-Micro/WIN 的窗口组件	212
6.5.2	简单 PLC 控制程序例子	213
思考与练习		217
第 7 章 过程装备控制系统实例		219
7.1	双容液位槽液位控制	219
7.1.1	概述	219
7.1.2	系统硬件设计	219
7.1.3	系统软件设定	222
7.1.4	参数整定	222
7.1.5	运行效果	222
7.2	啤酒发酵工艺控制系统设计	223
7.2.1	概述	223
7.2.2	系统总体方案的设计	223
7.2.3	系统硬件设计	224
7.2.4	系统软件设计	225
7.2.5	系统的安装调试运行及控制效果	226
7.3	物料输送控制系统设计	226
7.3.1	概述	226

7.3.2 总体方案设计 226

7.3.3 硬件设计 227

7.3.4 软件设计 230

思考与练习 232

附录 A ART2005 数据采集卡使用说明书 233

附录 B ART2003 数据采集卡使用说明书 238

参考文献 245

绪 论

社会经济过程中的产品分为四类，即硬件产品、软件产品、过程性材料产品和服务型产品。硬件产品指以实物形式存在的产品，如桌子椅子、汽车发动机和电脑硬件等；软件产品指以虚拟形式存在的产品，如计算机程序、电子字典和操作手册等；过程性材料产品指以气液粉等流体形式存在的产品，如汽油、润滑油和液化气等；服务型产品指以服务形式的输出，如管理咨询、运输等。一个产品由不同类别的产品构成，例如，汽车是由硬件（发动机、金属车身和轮胎等）、过程性材料产品（润滑油和燃料等）、软件（发动机控制软件和驾驶员手册等）和服务（如销售人员所做的操作说明）所组成。

四类产品分属不同的产业。过程工业是加工制造四类产品之一的过程性材料产品的产业。过程工业的基本组成部分是过程设备和过程机器。这些设备和机器按照一定的流程方式，用管道和阀门等连接起来，组成一个独立的密闭系统，配以必要的控制仪表和设备后，就能平稳连续地把以流体为主的过程性材料产品，经历必要的物理化学反应，制造出人们需要的新的过程性材料产品。其中的过程设备包含塔、换热器、反应器和储罐等为静设备；过程机器则包含压缩机、离心机和泵等，需要用电机等作为动力驱动源的设备，所以过程机器为动设备。过程装备是过程设备和过程机器的统称。

过程装备控制是生产过程自动化的一个重要分支。过程装备控制是指在过程装备上，配上必要的自动化装置和自动控制系统，使按照一定的程序周期运行的（过程）工业过程，能够在输送、混合、反应、换热、蒸馏、萃取、造粒和包装等关键生产环节自动地进行。

0.1 过程装备控制的内容

过程装备控制包含生产过程自动化在过程装备领域中的所有内容。其中不但包含传统意义上的自动控制，还包含过程检测、顺序控制和信号连锁等系统。

① 过程检测系统 为使过程装备中的各种物理化学变化能够顺利进行，必须了解其中各过程参数，如温度、压力、流量和液位等的变化情况。为此，采用各种检测仪表，如热电偶、热电阻、压力传感器、流量传感器和液位传感器等，连续自动地对各过程参数进行测量，并将测量结果用仪表指示出来或记录下来，供操作人员观察和分析，或将测量到的信息传送给自动控制系统，作为自动控制的依据。

② 自动控制系统 利用一些自动控制仪表及装置，对过程装备中某些重要的过程参数，如温度、压力、流量和液位等进行自动调节，使这些参数在受到外界干扰影响而偏离正常状态时，能够自动地重新回复到规定的范围之内，从而保证过程装备的正常运行，保证生产的顺利进行。自动控制系统是过程装备控制的最重要的内容，上述的自动控制系统也称过程控制系统。

③ 顺序控制系统 在没有人工的直接干预下，根据预先规定的程序，对过程装备自动地进行顺序操作的控制装置称为顺序控制系统。顺序控制系统与自动控制系统有很大的差别，前者不以维持某一过程参数在设定值上下波动为目的，而是根据预先规定的程序进行操作。顺序控制系统可以极大地减轻操作人员的繁重或重复性体力劳动。例如，合成氨造气车

间煤气发生炉的操作就是按照预先规定的操作程序进行的, 这些程序包括吹风、上吹、下吹、制气和吹净等步骤。顺序控制系统在过程装备控制中也称为装备控制系统。

④ 信号连锁系统 信号连锁系统是过程装备控制中的一种附属安全装置。在生产过程中, 有时由于一些偶然因素的影响会导致某些过程参数超出允许的变化范围, 使生产不能正常运行, 严重时甚至会引起燃烧、爆炸等事故。为了确保安全生产, 常对这些关键的过程参数设置信号报警或连锁保护装置。其作用是在事故发生前, 也就是过程参数超过信号的报警值时会自动地发出声光报警信号, 引起操作员的注意以便及早采取措施; 若工况已接近危险状态, 信号连锁系统将启动: 打开安全阀, 切断某些通路或紧急停车, 从而防止事故的发生或扩大。

0.2 过程装备控制的举例

以图 0-1 所示的工业生产中常见的锅炉汽包为例, 来说明过程装备控制的内容及其相互关系。

锅炉是生产蒸汽的设备, 是工业生产中不可缺少的过程装备。锅炉运行中有多个重要的工艺参数。首先锅炉汽包内的水位(液位)高度是一个重要的工艺参数, 若水位过低, 则会影响产汽量, 更为危险的是锅炉易烧干而发生安全事故; 若水位过高, 生产的蒸汽含水量高, 会影响蒸汽质量, 因此必须对汽包水位这一工艺参数进行控制。锅炉汽包内的压力是另一重要工艺参数, 过低的压力对生产不利, 过高的压力会危及设备安全。加热炉炉膛的温度也是一个非常重要的工艺参数, 炉膛温度的稳定程度, 对汽包内水位的控制与锅炉汽包内压力的高低有很大的影响。其他的工艺参数, 如给水流量、蒸汽流量、能源供给速度(煤或气的供给速度)等都或多或少地会影响锅炉的运行特性。

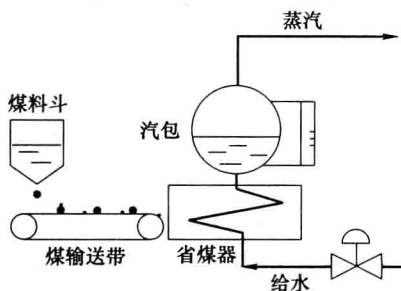


图 0-1 锅炉汽包示意图

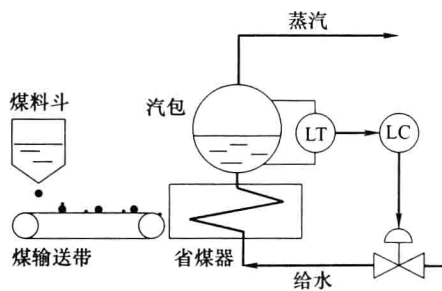


图 0-2 锅炉汽包液位自动控制示意图

为了维持锅炉的正常运行, 首先需要设计一过程检测系统, 将上述的各种工艺参数, 包括锅炉汽包内的水位高度、锅炉汽包内的压力、加热炉炉膛的温度、给水流量、蒸汽流量和能源供给速度等, 进行检测、记录和显示出来供操作人员观察和分析。

对于一些关键的运行参数, 如锅炉汽包内的水位高度和加热炉炉膛的温度, 则需要自动控制系统, 使这些工艺参数在受到干扰偏离设定值时, 能够自动地回复到设定值附近。以锅炉汽包内的水位高度为例来说明自动控制系统。如果一切条件(包括给水流量、蒸汽流量等)都近乎恒定不变, 只要将进水阀置于某一适当开度, 则汽包水位能保持在一定高度。但实际生产过程中这些条件是变化的, 如进水阀前的水压力变化、蒸汽流量的变化等, 此时若不进行控制, 即不去改变进水阀门开度, 则液位将偏离规定高度。因此, 为保持液位恒定, 操作人员应根据液位高度的变化情况, 控制进水量, 这就是人工控制。如上述过程由自动化

装置来完成，就是自动控制。图 0-2 为锅炉汽包液位自动控制示意图。

上述系统中的锅炉，用煤作为燃料，为此设计了煤的自动输送装置，装置中有加料斗和皮带输送机。燃料煤由其他装置送至加料斗存储，当料斗的阀门打开，燃料煤就在加料螺旋杆的作用下落到皮带输送机上，由皮带输送机送至锅炉。因此自动输送装置至少有加料螺旋电机、料斗阀门和皮带输送机电机三个控制点，它们按照预先规定的时序接通和关闭，属于顺序控制。

虽然系统中采用了自动控制系统，但总有异常情况会使锅炉的液位或压力超出极限范围。为此必须设计独立于自动控制系统的信号连锁系统，在事故发生前，自动地发出声光报警信号，引起操作员的注意以便及早采取措施。

综上所述，过程检测系统、自动控制系统、顺序控制系统和信号连锁系统相辅相成，保证了锅炉汽包这一过程装备的正常运行。

0.3 过程装备控制的目的

过程装备控制是保持生产稳定、降低消耗、降低成本、改善劳动条件、保证生产安全、提高劳动生产率和促进文明生产的重要手段。过程装备控制的主要目标应包括以下几个方面：

- i. 保障生产过程的安全和平稳；
- ii. 达到预期的产量和质量；
- iii. 尽可能地减少原材料和能源消耗；
- iv. 把生产对环境的危害降低到最低程度；
- V. 降低操作人员的劳动强度。

第 1 章 自动控制系统

本章主要讲述自动控制系统的基础知识，包括自动控制系统的组成和分类，自动控制系统运行的基本要求，以及描述自动控制系统控制质量的品质指标；介绍用理论分析法和实验测试法求取被控过程数学模型的一般步骤及主要注意事项；最后讨论常规控制器的基本控制规律及其对控制质量的影响。

1.1 自动控制系统的组成及分类

1.1.1 人工控制与自动控制

自动控制是在人工控制的基础上发展起来的。以下仍以绪论中的锅炉汽包液位控制为例，将人工控制与自动控制进行分析比较，从而归纳出自动控制系统的特点及组成。

图 1-1 为锅炉汽包液位控制示意图。图 (a) 中，如果进水量、进水阀前的水压力和后续工序的蒸汽用量等运行条件都维持不变，只要将进水阀维持在某一适当开度，则汽包的液位就能保持在所期望的高度范围内。实际生产过程中，运行条件是变化的，如进水阀前水压力的变化和后续工序的蒸汽用量变化等，此时如不对进水阀门的开度进行调节和控制，则液位高度将变化，可能会偏离期望值。为将汽包液位维持在所期望的高度范围内，操作人员应依据液位高度的变化情况，改变进水阀的开度，以改变进水量。

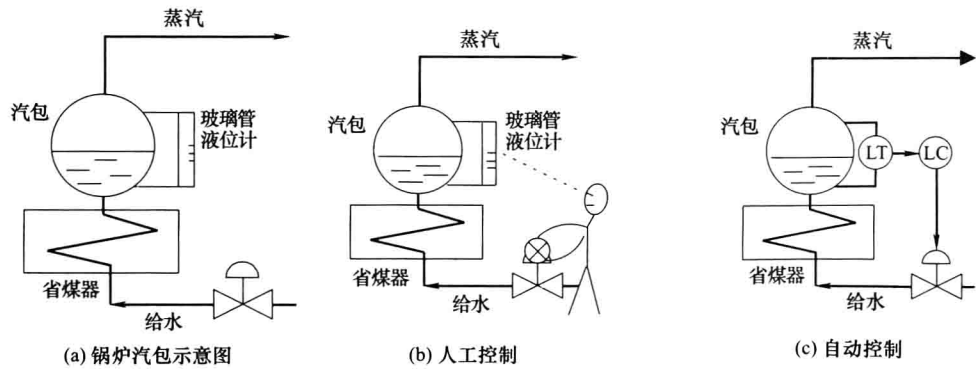


图 1-1 锅炉汽包液位控制示意图

将工艺所期望的汽包液位高度称为设定值，将需要控制的液位参数称为被控变量或输出变量，影响被控变量使其偏离设定值的因素，如进水阀前的水压力和后续工序的蒸汽用量变化等，称为干扰作用，将被控变量维持在设定值一定范围内的作用，称为控制作用。

图 1-1 (b) 为人工控制示意图。为了维持汽包液位在设定值附近，操作人员需要依据液位高度的变化情况，手工改变进水阀门的开度，以控制进水量。其操作过程包含三个步骤：

- i. 用眼睛来观察玻璃液位计中的液位高低，获取汽包液位的实际值；
- ii. 大脑根据眼睛看到的液位实际值，与期望值（即设定值）比较，得出偏差，然后根据经验确定操作指令；

iii. 根据大脑确定的操作指令, 手工改变进水阀的开度, 使进水量与后续工序的蒸汽用量相等, 使汽包的液位维持在工艺要求的期望值附近。

人工控制过程中, 操作人员的眼睛、大脑和手三个器官, 分别承担了检测、判断运算和执行的三个作用, 以完成测量、求偏差和施加控制操作的过程, 最终达到纠正偏差, 维持汽包液位高度在设定值的目的。

如果以液位测量仪表代替操作人员的眼睛, 以自动控制器来代替操作人员的大脑, 以控制阀代替普通手工阀, 就成为自动控制系统, 图 1-1 (c) 为锅炉汽包液位自动控制系统示意图, 以下以此为例说明自动控制系统的工作原理。

当用汽量 (系统) 受到干扰后, 液位 (被控变量) 发生变化, 通过液位测量仪表 (测量变送器) 得到其测量值; 自动控制器接受液位测量仪表送来的测量信号, 与设定值比较得到偏差, 按某种控制规律进行运算并输出控制信号; 控制阀接收上述控制信号, 按控制信号的大小改变阀门开度, 调整给水量, 以克服干扰的影响, 使被控变量趋近于设定值, 最终达到控制汽包液位稳定的目的。可以看出这是一个由自动控制装置和被控的工艺设备组成的没有人工直接参与的自动控制系统。

自动控制系统中, 设定值是系统的输入变量, 而被控变量是系统的输出变量。系统的输出变量通过测量变送器引回到系统输入端, 与输入的设定值进行比较, 这种做法称为“反馈”, 其中测量变送器输出的信号称为反馈信号。当设定值与反馈信号相减时, 称为负反馈, 而当设定值与反馈信号相加时, 称为正反馈。输入变量与输出变量之间的差值称为偏差。自动控制器根据偏差的符号、大小和变化趋势等进行控制, 使偏差减小或消除。检测偏差后消除偏差, 就是反馈控制的基本原理。利用这一原理组成的控制系统称为反馈控制系统, 通常也称为自动控制系统。

在自动控制系统中, 实现自动控制的装置可以不同, 但反馈控制的基本原理却是相同的。存在反馈并按偏差进行控制, 是自动控制系统最主要特点。

1.1.2 自动控制系统的基本方式

按照是否有反馈环节, 自动控制系统有两种基本控制方式。没有反馈环节的, 称为开环控制系统; 反之, 有反馈环节的, 称为闭环控制系统。此处的“环”, 是指反馈环节构成的回路。

(1) 开环控制系统

开环控制系统中, 输出信号不反馈到输入端, 不形成信号传递的闭合环路, 即控制系统的输出信号 (被控变量) 对控制作用没有影响, 控制装置与被控对象之间只有顺向作用而无反向联系。如图 1-2 所示的数控加工机床中的定位控制系统, 是一个没有反馈环节的开环控制系统。其工作流程为: 控制器根据预先设定的加工程序, 产生相应的脉冲, 去驱动步进电机, 通过传动机构带动工作台上的刀具进行加工。该系统的被控对象是工作台, 加工程序指令是输入量, 工作台位移是被控变量。系统中不对被控变量进行测量, 故无反馈环节, 输出量 (工作台位移) 不返回来影响控制部分, 因此这个定位控制系统是开环控制系统。

开环定位控制系统结构简单, 但不能保证消除误差。图 1-2 中的步进电机是一种由“脉冲数”驱动的控制电机, 理论上每一个输入脉冲, 都使电机转过一固定的角度, 称为“步距角”, 所以可根据工作台期望移动的距离, 计算出需要给步进电机的脉冲数目。如果由于外界干扰, 步进电机多走或少走几个“步距角”, 造成“失步”, 系统是不能“觉察”的, 从而造成定位误差。所以该系统中, 应选用功率大、抗干扰能力强的步进电机以保证系统的定位

精度。



图 1-2 定位控制系统方框图

开环控制系统的原理方框图如图 1-3 所示。开环控制方式不对被控变量进行测量，只根据输入信号进行控制，所以开环控制方式具有无反馈环节、系统结构简单、控制过程容易实现、操作方便和成本低等特点。开环控制系统不存在对被控变量偏离设定值时的偏差消除机制，所以其缺点是抗干扰能力差，控制精度不高。一般情况下，开环控制系统只适用于对控制性能要求不高的场合。

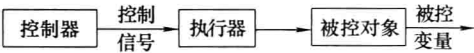


图 1-3 开环控制系统的原理方框图

(2) 闭环控制系统

若控制系统的输出信号（被控变量）对控制作用有直接影响，则称为闭环控制系统。在闭环控制系统中，系统的输出信号通过反馈环节返回到输入端，形成闭合环路，所以又称为反馈控制系统。

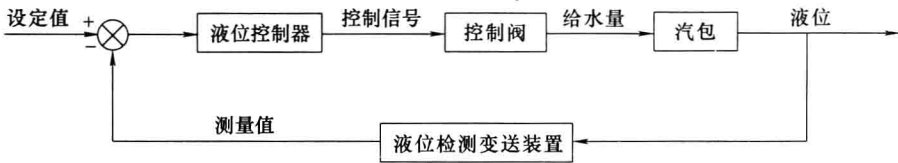


图 1-4 锅炉汽包液位闭环控制系统的原理方框图

图 1-1 (c) 所示的锅炉汽包液位自动控制系统，是一个具有反馈功能的闭环控制系统，其原理方框图如图 1-4 所示。图中，为使被控变量（液位）维持在工艺要求的设定值附近波动，采用负反馈方式。系统中，将被控变量通过反馈环节送回输入端，与设定值进行比较，根据偏差控制来控制被控变量，从而实现控制作用。测量被控变量、计算偏差、按偏差进行控制是闭环控制系统的最大优点。无论何种干扰引起被控变量偏离设定值，只要出现偏差，就会产生控制作用，力图减小或消除偏差，这使得闭环控制系统具较强的抗扰动能力。正是这一显著的优点，实际生产过程中大量采用闭环控制。

闭环控制系统也存在如下缺点：

- i. 闭环控制会使系统的稳定性变差，这是由于闭环控制按偏差进行控制，也就是说必须有偏差出现后才有控制作用，这会使控制不够及时；
- ii. 如果系统内部各环节的参数选取失当，则可能会引起振荡，严重的使系统失去控制功能（这种情形应该避免）；
- iii. 闭环控制需要增加检测和反馈比较等部件，这会使系统的复杂性和成本提高。

1.1.3 自动控制系统的组成

在自动控制系统中，一般采用方框图来说明控制系统各环节的组成、特性和相互间的信号联系。方框图是自动控制系统中的一个重要概念和常用工具。

图 1-5 为自动控制系统原理方框图，结合方框图说明如下。