

GUOCHENG
KONGZHI

过程控制

(第二版)

林锦国 主编



东南大学出版社

TP273
388

过 程 控 制

(第二版)

林锦国 主编

东南大学出版社

内 容 提 要

全书共由三篇组成:第一篇过程控制系统,包括控制系统概述、控制系统分析、简单控制系统、复杂控制系统、新型控制系统和典型过程单元控制,共六章;第二篇过程控制仪表,包括检测元件及变送器、调节器和执行器,共三章;第三篇计算机控制,包括过程计算机控制系统、集散控制系统、可编程控制器和现场总线控制技术与工业以太网,共四章。各部分均附有例题与习题,最后还有综合测试卷四套及答案。

本教材适用于石油、化工、制药、冶金、电力、材料、食品和轻工等工艺类和设备制造类本专科专业学生,电气信息类非过程自动化方向学生,可以作为自学考试同类专业的教材,也可以供各类工程技术人员作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制/林锦国主编. 2版. --南京:东南大学出版社, 2006. 3

ISBN 7-5641-0218-7

I. 过... II. 林... III. ①过程控制—控制系统
②过程控制—自动化仪表 IV. ①TP273 ②TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 156176 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 江苏省地质测绘院印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19.5 字数:493 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

印数:1~4000 册 定价:30.00 元

(凡有印装质量问题,可直接与我社读者服务部联系调换。电话:025—83792328)

前 言

南京工业大学(原南京化工大学与南京建筑工程学院)自 1960 年起开始编写“化工仪表及自动化”课程讲义并开课,是国内最早开设该课程的高校之一;中国药科大学自 20 世纪 80 年代起开设该门课程。几十年来,为适应自动化技术的发展,我们多次修订教材和实验指导书。1980 年南京化工大学与北京化工大学等高校联合编写了全国通用教材《化工仪表及自动化》,该教材由化学工业出版社出版,在近 20 年中被全国广泛采用。2001 年我们编写出版了《过程控制——系统·仪表·装置》,几年来,许多学校采用该教材,受到好评,同时大家也提出很多宝贵的改进意见。因此,根据教学需要我们决定修订再版本教材。

21 世纪,自动化与信息技术的日新月异使得过程自动化领域已经发生了重大变革。与此同时,我国高等教育正开始从精英教育向大众教育过渡,高校学生人数迅猛增加,高校各类专业需要开设该课程的学生人数大增,对教材的期望与要求各有不同,需要有多种风格与特色的教材供老师与学生选择。多种教材的出现,也有利于教学经验的交流和教学水平的提高。本教材在编写中考虑到如下两类学生的需要:一是工科非自动化专业学生,目前各行各业的自动化程度愈来愈高,已经成为工科各专业必须面对的重要课题;二是电气信息类专业中非过程自动化方向的学生,自动化学科类课程众多,由于总学时所限,通常这部分学生只能选修过程控制课程。

在石油、化工、制药、冶金、电力、材料、食品、轻工和建筑等行业领域中,以温度、流量、物位、压力和成分为主要被控变量的控制系统都归类为“过程控制”;大学里原来的“热工自动化”、“化工自动化”和“轻工自动化”等同类专业也在多年前合并为“生产过程自动化”专业。本教材第一版取名为《过程控制——系统·仪表·装置》,第二版改称为《过程控制》。由于生产工艺和设备越来越复杂,自动化程度越来越高,非自动化专业的工程技术人员需要了解和掌握更多的自动化技术,以利于他们对控制系统的设计能提出更好的建议,对系统的运行与优化能更好地把握;对系统的维护与故障分析能有更多的发言权。因此,本教材把控制系统部分的介绍作为重中之重,力求把控制系统的基本概念和基本原理讲清楚并贯穿于全书。相对而言,我们认为,如果学时少,仪表部分的介绍可以简单些。实际上,在本教材中,已经将原教材里“气动仪表”的大部分内容删去,仅保留“气动执行器”。另外,为适应当前大中型企业已基本实现计算机控制的现状,增加了“生产过程计算机控制”、“集散控制系统”、“可编程

控制器”和“现场总线技术”等四个部分的内容。

为了便于老师组织教学和学生的学习,本书每篇后面都有配套的案例与习题,包括各主要章节的例题、习题,提供多套适应不同教学要求的综合测试卷并附有全部参考答案。

本教材的编排顺序与许多老教材也有显著的不同。将控制系统集中在第一部分讲,而不是像以前那样先讲控制系统概论,紧接着讲控制仪表与装置,然后再回过去讲控制系统。这样集中安排,有利于把控制系统的基本概念和基本原理讲得比较清楚,有利于在后续章节中应用自动控制思想与方法分析问题和解决问题。因此,建议基本按照本书章节顺序讲解,如果学时少,可不讲第5、6章,第10~13章也可简要介绍。第4章的内容很有意义,尽量不要压缩。如果希望基本按照传统顺序讲,将各章的讲课顺序调整为1—7—8—9—2—3—4—10—11—12—13即可。

本教材适用于各类工科学生,重点是石油、化工、制药、热工、材料、冶金、食品和轻工等工艺类和设备制造类本专科专业,电气信息类非过程自动化方向的学生,可以作为自学考试相关专业的教材,也可以作为工程技术人员的参考资料。

新版教材共13章内容。其中,第1~6章由南京工业大学林锦国修订编写,第7~9章由中国药科大学张利修订编写,第10~13章由南京工业大学李丽娟修订编写,例题、习题与综合测试卷由李丽娟、张利修订编写。陈静、浦晨岚、沈朦、姚静、戴小明等同志提出了若干好的修改意见。谢谢各位的精诚合作。本书能够及时地出版,也归功于第一版教材各位作者所做的贡献,对这些老师的辛勤劳动再次表示谢意。

在书稿的编写过程中,还参考了大量文献,对这些参考文献的作者,在此表示感谢。由于编者水平所限等原因,教材中仍然会存在一些疏漏及不足之处,欢迎老师和同学与我们交流,提出批评改进意见。

林锦国

2006年3月于南京

目 录

第一篇 过程控制系统

1 控制系统概述	2
1.1 自动控制基本概念	2
1.1.1 生活环境中的自动控制系统	2
1.1.2 工业生产中的自动控制系统	3
1.1.3 信息处理	4
1.1.4 生物系统	5
1.1.5 社会经济系统	5
1.2 反馈原理	5
1.2.1 反馈	5
1.2.2 负反馈系统	6
1.2.3 正反馈系统	7
1.3 基本概念及术语	7
1.3.1 控制系统常用术语	7
1.3.2 基本概念	8
1.4 控制系统分类	8
1.4.1 多种分类	8
1.4.2 按给定值分类	9
1.5 自动化技术简要发展史	9
1.5.1 工匠技巧阶段	9
1.5.2 技术化和理论化阶段	10
1.5.3 系统化和智能化阶段	10
2 控制系统分析	12
2.1 传递函数	12
2.1.1 传递函数概念	12
2.1.2 拉普拉斯变换	13
2.2 方块图	15
2.2.1 方块图的基本单元	15
2.2.2 方块图的应用	16

2.3 数学模型.....	17
2.3.1 概述.....	17
2.3.2 机理建模.....	18
2.3.3 实验建模.....	23
2.3.4 过程特性参数 K 、 T 、 τ	24
2.4 瞬态响应法.....	29
2.4.1 瞬态响应分析方法.....	29
2.4.2 控制系统的过渡过程.....	29
2.4.3 过渡过程的品质指标.....	31
3 简单控制系统.....	33
3.1 系统组成原理及分析.....	33
3.1.1 系统组成原理.....	33
3.1.2 调节过程分析.....	34
3.2 简单控制系统的设计.....	35
3.2.1 控制系统设计概述.....	35
3.2.2 被控变量的选择.....	36
3.2.3 调节变量的选择.....	38
3.2.4 被控变量的测量.....	38
3.2.5 调节器及调节规律的选择.....	39
3.2.6 调节器作用方向的选择.....	41
3.2.7 执行器正反作用的选择.....	43
3.3 控制系统的投运与参数整定.....	43
3.3.1 投运步骤.....	43
3.3.2 调节器参数整定.....	44
4 复杂控制系统.....	48
4.1 串级控制系统.....	48
4.1.1 组成原理.....	48
4.1.2 调节过程.....	50
4.1.3 系统特点.....	51
4.1.4 系统设计.....	52
4.2 均匀控制系统.....	55
4.2.1 均匀控制原理.....	55
4.2.2 均匀控制的实现方案.....	56
4.3 比值控制系统.....	56
4.3.1 比值控制原理.....	56

4.3.2	比值控制系统类型	57
4.4	分程控制系统	59
4.4.1	分程控制原理	59
4.4.2	分程控制的应用	60
4.4.3	分程控制系统设计	62
4.5	选择性控制系统	62
4.5.1	选择性控制原理	62
4.5.2	选择性控制系统的类型	63
4.5.3	积分饱和问题	65
4.6	前馈控制系统	66
4.6.1	前馈控制原理	66
4.6.2	前馈控制与反馈控制的比较	66
4.6.3	前馈控制的应用	67
4.6.4	多冲量控制系统	70
5	新型控制系统	72
5.1	解耦控制	72
5.2	时滞补偿控制系统	74
5.3	软测量技术和推断控制	76
5.4	自适应控制	78
5.5	预测控制	81
5.6	智能控制	84
6	典型过程单元控制	92
6.1	流体输送设备的控制	92
6.1.1	离心泵的控制方案	93
6.1.2	往复泵的控制方案	94
6.1.3	压气机的控制方案	95
6.2	精馏塔的自动控制	96
6.2.1	工艺要求和约束条件	97
6.2.2	精馏塔的干扰因素	98
6.2.3	精馏塔的控制方案	99
6.3	化学反应器的自动控制	105
6.3.1	化学反应器的控制要求	105
6.3.2	釜式反应器的自动控制	106
6.3.3	固定床反应器的自动控制	107
6.3.4	流化床反应器的自动控制	108

6.3.5	管式热裂解反应器的自动控制	109
6.4	传热设备的自动控制	111
6.4.1	传热设备的控制目标	111
6.4.2	一般传热设备的控制方案	111
6.4.3	载热体进行冷凝的加热器自动控制	113
6.4.4	冷却剂进行汽化的冷却器自动控制	115
6.4.5	管式加热炉的控制方案	116

第二篇 过程控制仪表

7	检测元件及变送器	128
7.1	测量误差和测量仪表的性能指标	128
7.1.1	测量误差	128
7.1.2	测量仪表的性能指标	130
7.2	温度的检测及变送	133
7.2.1	温度测量的基本方法	133
7.2.2	热电偶温度计	136
7.2.3	热电阻温度计	141
7.2.4	温度变送器	142
7.2.5	测温元件的安装和使用	148
7.2.6	温度显示仪表	148
7.3	压力的测量及变送	154
7.3.1	测压仪表	154
7.3.2	压力变送器	155
7.3.3	压力计的选用和安装	158
7.4	流量的检测及变送	159
7.4.1	差压式流量计	160
7.4.2	转子流量计	163
7.4.3	涡轮流量计	165
7.4.4	电磁流量计	166
7.4.5	漩涡流量计	167
7.4.6	椭圆齿轮流量计	167
7.4.7	质量流量计	168
7.5	物位的检测及变送	168
7.5.1	物位检测仪表	168
7.5.2	差压式液位变送器	169
7.5.3	电容式物位计	171

7.5.4	液罐称重仪	172
7.5.5	检测仪表的发展趋势	173
8	调节器	176
8.1	电动控制仪表概述	176
8.2	调节器的调节规律	176
8.2.1	位式调节	177
8.2.2	PID 调节规律	178
8.3	模拟式调节器	182
8.3.1	DDZ-II 型和 DDZ-III 型仪表的比较	182
8.3.2	DDZ-II 型电动调节器	183
8.3.3	DDZ-III 型电动调节器	185
8.4	数字式调节器	186
8.4.1	单回路可编程数字调节器的特点	186
8.4.2	单回路可编程数字调节器的基本组成	187
8.4.3	单回路可编程数字调节器的功能	188
9	执行器	189
9.1	概述	189
9.2	气动执行器	190
9.2.1	气动调节阀的结构	190
9.2.2	气动薄膜调节阀的类型	191
9.2.3	调节阀的静态特性	194
9.2.4	调节阀的动态特性和变差	198
9.2.5	调节阀的选择	199
9.3	电动执行器	200
9.4	电-气转换器及电-气阀门定位器	202
9.4.1	电-气转换器	202
9.4.2	电-气阀门定位器	203

第三篇 计算机控制

10	过程计算机控制系统	215
10.1	概述	215
10.2	过程计算机控制系统的特点	215
10.3	过程计算机控制系统的组成	216
10.4	过程计算机控制系统的基本类型	218

10.5 数字式 PID 控制 219

10.6 计算机控制系统设计的一般步骤..... 223

11 集散控制系统..... 226

11.1 概述..... 226

11.2 集散控制系统的基本构成..... 228

11.3 TDC 3000 系统概况 230

11.4 集散控制系统的组态..... 238

12 可编程控制器..... 240

12.1 概述..... 240

12.2 可编程控制器的组成原理..... 242

12.3 可编程控制器的工作原理..... 248

12.4 可编程控制器应用系统设计方法..... 249

13 现场总线控制技术与工业以太网..... 251

13.1 现场总线概述..... 251

13.2 工业以太网..... 253

13.3 基金会现场总线..... 256

13.4 现场总线控制系统的应用..... 260

试卷一..... 270

试卷二..... 275

试卷三..... 281

试卷四..... 286

参考答案..... 291

参考文献..... 300

第一篇 过程控制系统

自动化是信息化的主要目的与功能,它在当今世界的各个领域正发挥着越来越重要的作用。过程控制等工程领域自动控制的理论基础是工程控制论,其奠基性著作是钱学森先生于1954年发表的《工程控制论》。工程控制是控制论的应用领域之一,控制论的另外三个重要应用领域是生物控制、经济控制和社会控制。它们共同的理论基础是控制论,其奠基性著作是N.维纳于1948年发表的《控制论》。维纳认为“一切有目的的行为都是需要负反馈的行为”,即机器、生物、社会和经济系统都是通过负反馈来达到控制目的的。因此,控制论、控制理论和控制系统的学习对于人们从事任何领域的工作都具有不同程度的指导意义。

在本篇共六章的内容中,首先在第1章用人们在日常生活中常见的自动控制系统实例引入控制系统的基本概念,然后介绍反馈原理等内容。掌握好这些内容将为后续的学习打下良好的基础。

第2章是控制系统分析方法,这些方法在后续各章中都有应用,而且每一块仪表、每一个元部件都可以应用这些方法。

第3章是简单控制系统,这是工厂中应用得最多的控制系统。能够进行简单控制系统的设计与分析,表明已具备基本的自动化知识和能力。

第4章是复杂控制系统,介绍了目前工厂中常见的用常规仪表就能实现的复杂控制系统,如串级控制、比值控制、前馈控制、分程控制、选择性控制、均匀控制等。各种各样的复杂控制系统原理引人入胜。在工厂里,这类控制系统数量较少,但往往是一些重要工段或关键岗位。能够进行复杂控制系统的设计与分析,表明已具备较高的自动化知识水平和应用能力。

第5章新型控制系统,分别介绍了解耦控制、时滞补偿控制、推断控制、自适应控制、预测控制和智能控制等控制方法,可以解决工厂中遇到的特殊控制难题,进一步提高控制水平和生产水平。

第6章典型过程单元控制系统,介绍了流体输送设备、精馏塔、化学反应器和传热设备的自动控制。

本篇各章的内容都很重要,即使是难度较大的第5章,最好也花些时间就其控制思想做些简要介绍。

1 控制系统概述

1.1 自动控制基本概念

生产与生活的自动化是人类长久以来所梦寐以求的目标。然而,直到 18 世纪,由于自动控制系统在作为工业革命标志的蒸汽机的诞生过程中发挥了无可替代的作用,才产生现代意义上的自动控制系统。因此,蒸汽机的诞生同时也标志着自动化技术时代的开始。

经过 20 世纪后半叶的快速发展,特别是计算机技术的广泛应用,进入 21 世纪的今天,自动控制的应用已相当普遍,人们正在追求更广泛领域和更高层次的自动化。本节通过介绍几个工业生产和日常生活中常见的自动控制系统,引入自动控制的基本概念。

1.1.1 生活环境中的自动控制系统

今天,在人们的日常生活中几乎处处都可见到自动控制系统存在。如房间温度调节、湿度调节、自动洗衣机、汽车、自动售货机、自动电梯等等。它们都在一定程度上代替或增强了人类身体器官的功能。但人们对日常生活环境自动化的追求是无止境的,这仅仅是一个初步自动化阶段。

1) 空气调节器

空调是一个典型的温度控制系统。夏天,当室温高于用户所设定或期望的温度时,启动空调制冷装置,就可使室内温度下降;当室温低于用户所设定或期望的温度时,空调就关闭制冷装置。冬天,当室内温度低于用户所设定或期望的温度时,启动空调加热装置,可使室内温度上升;当室温高于用户所设定或期望的温度时,空调就关闭加热装置。如此,使室温保持恒定。室温采用空气调节器进行控制时,温度变化曲线如图 1-1 所示。图中,26℃是人们所期望的室内温度,可通过调节空调上相应的按钮来设定。实际的室温,在进入稳态后,围绕期望温度,在一定范围内来回波动。实现这种温度调节功能的是空调中的温度控制系统。首先,它需要有一个温度计,用来测量室温;其次,需要一个控制器,判断室温是否高于或低于用户设定的温度;还需要一个切换开关和控制作用的实施装置,这里是加热装置和制冷装置;最后,是被控制的装置或对象,这里就是装了

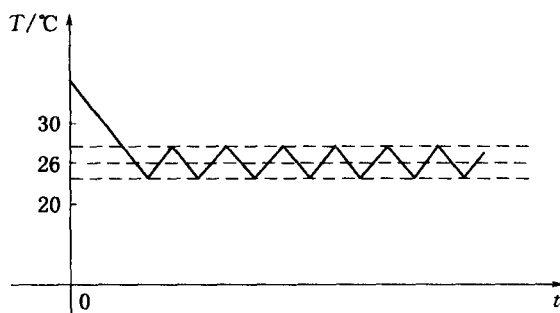


图 1-1 室温调节过程温度曲线

空调的房间。上述就是一个完整的自动控制系统的四个基本组成部分。

2) 电冰箱

电冰箱相当于一个“小房间”的温度控制系统,但它仅有制冷装置而没有加热装置。

空调和电冰箱的设定温度一旦调整好,在相当长的一段时间里不需要再调整,这是该类控制系统的一个重要特征。

3) 电饭煲

电饭煲也是一个温度控制系统,高级电饭煲的设定温度是可以按人工设定的程序自动变化的。例如可将它的温度设定为如图 1-2 所示曲线。

电饭煲一切准备就绪后,启动,开始加热,达到约 100°C 后,进入恒温阶段,恒温阶段结束后进入保温段,保温段结束后,自动降温,整个温度控制周期完成。它是按照事先设定好的几个步骤来进行控制的,这是此类控制系统的一个重要特征。

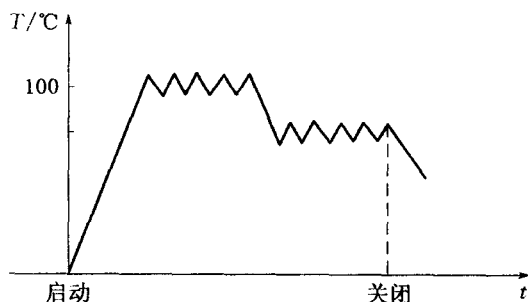


图 1-2 电饭煲温度控制曲线

4) 洗衣机

现在的全自动洗衣机也是按照事先设定好的几个步骤进行工作的,但它的控制过程比较复杂,一个大周期中又包含了几个基本相同的小周期。完整的洗衣机控制系统还包括进水控制、出水控制和平衡控制等等。

5) 其他

应该说随着生活水平的提高,人们投入到自动化上的费用越来越多,自动化系统也日益随处可见。如电梯、自动门、自动路灯、自动洁具、保安系统等等。

1.1.2 工业生产中的自动控制系统

现代工业按所加工的物品对象可划分为两大类。一类是气体、液体或粉体,这是石油、化工、制药、冶金、轻工、食品、建材、楼宇和农业等行业的主要工况,主要控制温度、压力、液位、流量、成分等参数,这是本课程的主要内容;另一类是对成型材料的进一步加工、对多种成型材料(各种元器件)的装配或对整机系统的控制,这是机械、电子、冶金、轻工、制药、交通和楼宇等行业的主要工况,主要控制位移、速度、角度等参数。

早期的工业生产中,控制系统较少。随着生产装置的大型化、集中化和生产过程的连续化,自动控制系统越来越多,越来越重要。

1) 液位控制

工业生产中有许多贮罐和容器(如油罐、水箱、锅炉气包等)需要控制液位。图 1-3 是一个水槽的人工液位控制系统。假设工人可以看到液位的高低变化,那么,根据液位的高低变化,工人手动操作阀门,可以使槽中液位保持基本恒定。

如果用一个浮球代替人的眼睛“观测”液位,用一个杠杆系统代替人的手臂和大脑,则可构成一个液位自动调节系统,如图 1-4 所示。其工作原理是:当液位受干扰上升时,浮球上升,杠杆 a 端上升, b 端下降,阀门的阀芯下降,使水槽的进水量 Q_i 减少。 Q_i 的减少使液位下降,最终达到一个稳定的平衡点,实现控制的目的。当液位受干扰下降时,调节过程相反,同样能使液位稳定在平衡点。

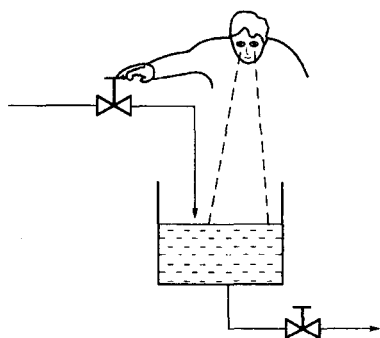


图 1-3 人工液位控制

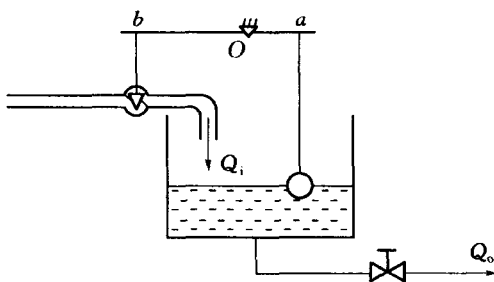


图 1-4 机械式液位控制

图 1-4 已经是一个实用的液位控制系统,但当需要将液位信号传送到远方的控制室或经理室时,就需要改为电动式的。用一个能送出电信号的液位测量仪表代替浮球,用一个电动调节器代替杠杆,阀门也换成可接受电信号的阀门,就构成了一个目前常见的液位控制系统。如图 1-5 所示,LT 表示液位测量及信号变换装置,LC 表示液位控制器。

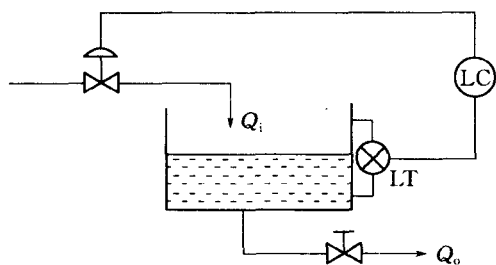


图 1-5 液位控制系统

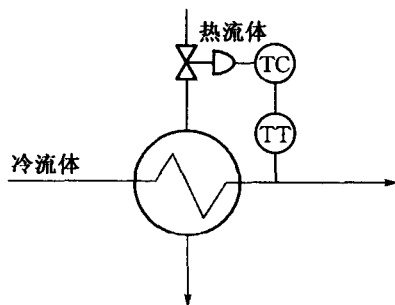


图 1-6 换热器温度控制系统

2) 温度控制

工业生产中存在大量的加热炉,一般是通过控制燃料的量来保证被加热物料达到或保持在所需要的温度。换热器是常见的工业设备,它通过冷热流体的热量交换实现对冷流体加热的目的,控制手段通常是调节热流体的流量,如图 1-6 所示。图中,TT 表示温度测量仪表,TC 表示温度调节器。另外,化学反应器中化学反应的温度,也要求进行温度控制。

1.1.3 信息处理

信息化时代最常用的也是最基本的工具就是计算机,而计算机本身就是一台进行信息处理的具有一定智能的复杂自动化设备。计算机一接通电源,它的各种内部程序就不停地进行工作,实施各种控制工作。键盘相当于测量仪表,它时刻准备接受各种输入信息,一旦接受到信息,计算机就按照事先设定的各种控制功能进行信息处理,输出控制信号或显示控制结果。简单的如打印一份文稿、显示一个画面等。如果键盘在设定的时间区间内没有接受到任何键盘信号,显示器也没有需要封锁屏幕保护程序的播放等任务,则屏幕变暗,显示屏幕保护程序画面,直至又有键盘输入信号。又如查询,计算机从键盘接收到查询任务的信

息/命令,就启动有关的程序,到数据库中找出用户所要的数据,再表达成用户所要求的形式,保存在某个区域,显示在屏幕上或打印在纸上等等。计算机就是由若干个类似的程序控制系统组合而成的复杂的自动化装置。

1.1.4 生物系统

生物个体特别是高级生物中存在着许多比计算机还要复杂得多的综合智能自动化系统。以人为例,人体的体温就被比较精确地控制在 37℃ 左右;人体运动时保持平衡;可以认为人体的所有活动都存在着相应的自动控制系统。人类目前对生物控制机理的了解很有限,能够施加影响的更少。这是一个很有前景的领域,医学上已经有一些自动控制应用的实例。

生物群体内部和群体之间的许多关系也可以用控制理论加以描述和施加控制。

1.1.5 社会经济系统

这方面的应用很多,但有许多工作由非自动化专业的人员在进行。就像工业界的早期,控制很少,就由各类工艺和机械类专业人员附带而为,等到这方面的工作越来越多,越来越重要,才分化出自动化专业。尽管如此,在许多国家,自动控制仍由各类工艺专业、电子电气专业和机械类专业人员附带进行,或工艺和机械类人员改行进行。

经济系统中的物价控制就有许多调节手段,如印发钞票量的增减、货物供应的增减、工资的增减、基建的增减、税率的调整、银行利率的调整等等,其控制过程与工业过程控制运用的是基本类似的理论和方法。当然,每一种类型的控制系统都有其自身的特点。社会经济控制系统最鲜明的特点就是被控制系统中包含了人这个高级生物,由此带来许多复杂性和特殊性。

证券市场、人口控制、环境保护等都是便于运用控制理论来加以分析和控制的领域。

1.2 反馈原理

上一节中列举了若干个自动控制系统的案例,它们应用于非常广泛且性质截然不同的领域。那么,它们有什么共同的基础和原理呢? 这就是反馈原理。

1.2.1 反馈

反馈分为正反馈和负反馈两种类型。反馈就是把系统的输出信号回送到系统的输入端并添加到输入信号中,如图 1-7 所示。输入信号 x 是系统的给定值, z 是输出信号 y 的测量值。如果由于反馈的存在,使得系统的输出信号单调地朝着某一个方向变化,这样的反馈称为正反馈,这样的系统称为正反馈系统。如炸药的爆炸、军备竞赛、电子振荡过程等。如果由于反馈的存在,使得系统的输出信号趋于稳定在原来的水平上,或者更严格地说,使输出信号与给定值的差趋于减小,这样的反馈称为

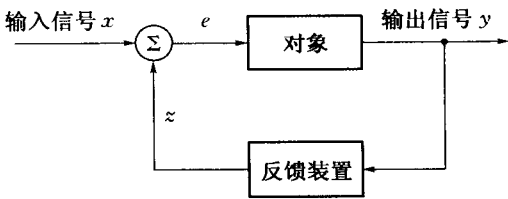


图 1-7 反馈原理示意图

负反馈,这样的系统称为负反馈系统。几乎所有的自动控制系统都是一个负反馈控制系统。

1.2.2 负反馈系统

以图 1-5 所示液位控制系统为例,画出它的原理示意图,如图 1-8 所示。这是水槽液位控制系统的方块图,较为完整的方块图知识见第 2 章。

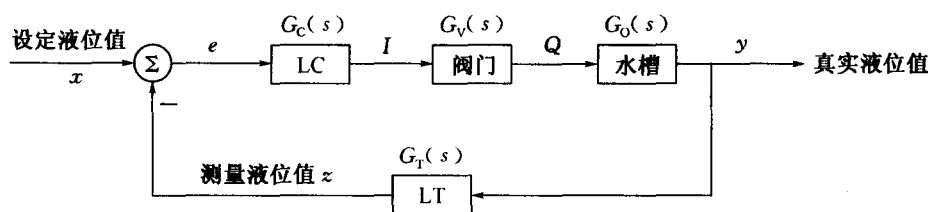


图 1-8 水槽液位负反馈控制系统

图中各方块的输入信号与输出信号的关系是

$$\begin{cases} I = G_C(s) \cdot e \\ Q = G_V(s) \cdot I \\ y = G_O(s) \cdot Q \\ z = G_T(s) \cdot y \end{cases} \quad (1-1)$$

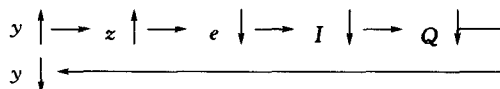
可推得, $y = G_C(s) \cdot G_V(s) \cdot G_O(s) \cdot e$ 。

图中, $\bigcirc$ 表示比较器,每个信号线旁标明相应的符号 $+/ -$,未标的是 $+$,本例中:

$$e = x - z \quad (1-2)$$

根据上述约定,分析系统的控制过程如下:

当液位 y 由于某种干扰而上升时,导致液位测量值 z 上升,由于 $e = x - z$, z 上升则 e 下降,继而 I 下降, Q 下降,最后使 y 下降,抑制了干扰引起的 y 波动。这就是负反馈的作用。这个调节过程也可简洁地表示为



从方程(1-1)和(1-2),还可推导出控制系统输出量 y 和输入量 x 之间的定量关系为

$$y = \frac{G_C(s) \cdot G_V(s) \cdot G_O(s)}{1 + G_C(s) \cdot G_V(s) \cdot G_O(s) \cdot G_T(s)} x \quad (1-3)$$

方程(1-3)可改写为

$$\frac{y}{x} = G(s) = \frac{G_C(s) \cdot G_V(s) \cdot G_O(s)}{1 + G_C(s) \cdot G_V(s) \cdot G_O(s) \cdot G_T(s)} \quad (1-4)$$

从方程(1-4)可推出负反馈原理的一个有趣而又非常重要的结论,即当下式成立时

$$G_C(s) \cdot G_V(s) \cdot G_O(s) \cdot G_T(s) \gg 1 \quad (1-5)$$