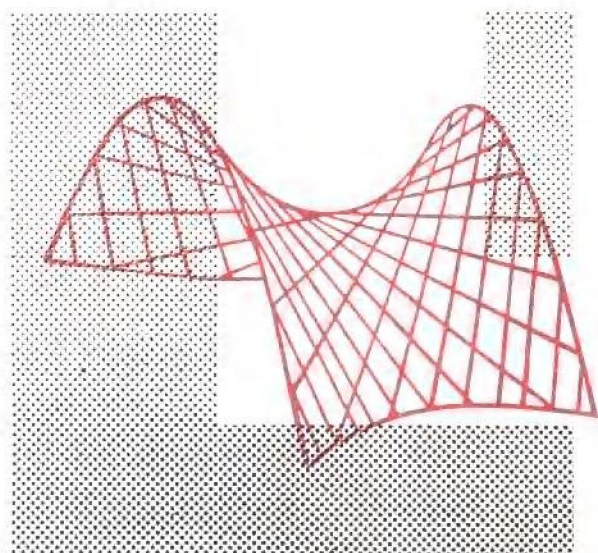


高等学校给水排水工程专业系列教材

给水排水工程 仪表与控制

崔福义 彭永臻 编著

● 中国建筑工业出版社



高等学校给水排水工程专业系列教材

给水排水工程仪表与控制

崔福义 彭永臻 编著

1050134

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

给水排水工程仪表与控制/崔福义, 彭永臻编著. -北京: 中国建筑工业出版社, 1999
高等学校给水排水工程专业系列教材
ISBN 7-112-03886-3

I. 给… I. ①崔… ②彭… II. ①给排水系统-流量仪表②给排水系统-自动控制 N. TU991.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 07659 号

责任编辑 俞辉群

本书以讲授给水排水系统自动化仪器仪表设备、常用控制技术与方法为主, 适当地介绍自动控制的基础知识。内容包括: 自动控制基础知识, 给水排水自动化常用仪表与设备, 水泵及管道系统的控制调节, 给水处理系统控制技术, 污水处理系统的专用检测仪表与检测技术, 污水处理系统的控制技术等。

本书可作为高等学校给水排水工程专业和环境工程专业的本科生教材, 亦可供相关专业的研究生教学使用, 也可作为有关工程技术人员的参考用书。

* * *

高等学校给水排水工程专业系列教材

给水排水工程仪表与控制

崔福义 彭永臻 编著

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 349 千字

1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月第一次印刷

印数: 1—8,000 册 定价: 14.90 元

ISBN 7-112-03886-3

TU·3019(9250)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着科学技术的发展, 给水排水工程技术也在不断进步。特别是近一二十年来, 随着微电子、仪器仪表与自动化技术设备的令人瞩目的进步, 许多现代科技新成就已越来越多地渗透到给水排水工程技术的各个领域, 给水排水工程的仪表化、设备化、自动化有了迅速发展, 使之逐步由土木工程型向设备型转化, 由传统走向现代化。各种先进的自动监测、自动控制技术设备已在给水排水工程的各个工艺环节以至全系统上获得不同程度的应用, 并逐渐成为给水排水工程设施不可缺少的组成部分, 成为给水排水系统高效优质运行的重要保障, 在生产上取得了十分显著的技术经济效益。

面向 21 世纪, 伴随我国社会经济的持续发展, 在传统给水排水工程的基础上, 一个新兴产业——水工业已经形成。水工业源于给水排水工程, 又不同于给水排水工程, 它在内涵与外延上都有了很大的扩展。水工业是以城市及工业为对象, 以水质为中心, 从事水资源的可持续开发利用, 以满足社会经济可持续发展所需求的水量作为生产目标的特殊工业。水工业是随着水的商品化和产业化生产而逐步形成和完善的新兴工业, 它是水的开采、加工、输送、回收及利用的综合产业。水工业科学技术的基本框架是给水排水工程技术的发展和继承, 并赋予了社会可持续发展及市场经济的丰富内涵。仪器仪表与自动化系统是构成水工业体系不可缺少的重要内容。可以预言, 水工业仪器仪表、自动化系统的发展与应用将成为 21 世纪水工业工程技术的一个主要增长点。

给水排水工程仪表与自动化技术水平的提高, 促进了行业的技术进步, 推动了水工业的成熟与发展, 同时也对这一领域的工程技术人员提出了更高的要求。作为 21 世纪的水工业工程技术人员, 仅仅掌握本行业的工艺技术(水的加工与输送, 即传统的给水排水工程技术)已不能适应形势发展的需要。当前在工程设计、工程施工、运行管理等领域, 往往有这样的现象: 有的企业盲目照搬国外的方案, 花费大量资金建立庞大的自动化系统, 但其功能却不符合实际需要, 不适合中国的国情, 不能解决最迫切需要解决的生产问题; 有的企业自动化系统设计、施工等存在诸多问题, 达不到预期的要求, 只能将耗费大量资金建立的自动化系统束之高阁, 仍用传统的人工方式进行生产控制; 有的企业不掌握仪表设备的维护技术, 错误地认为自动化仪表设备就可以将人彻底解放出来, 不需要人来维护, 使得这些仪表设备长期以来故障频繁, 难以正常工作。凡此种种现象, 原因是多方面的, 其中一个重要原因是给水排水工艺技术人员不熟悉自动化监控仪表与控制技术, 不懂得如何使用、管理这些设备, 妨碍了这些技术设备的应用; 而仪表与自控专业人员也不了解给水排水工程, 不知道在该领域对仪表与自控有哪些需要及适当的解决办法, 也就是缺乏给水排水工艺技术同自动化仪表与控制技术的结合, 缺乏这两部分专业技术人员的“接口”与交叉。科学技术的进步和发展, 多学科交叉渗透, 水工业工程覆盖面的扩展, 需要更多的知识面广博的综合型专业人才。水工业工程技术人员掌握一定的现代仪表与控制知识, 将有助于促进现代控制新技术、新装备在本工程技术领域的应用, 有助于在应用中取得更好

的效果、更高的效益,有助于加速水工业工程仪表化、自动化、现代化进程。

在高等教育领域,作为传统的给水排水工程专业,担负着为本行业培养高级专门人才的重任,面对水工业迅速发展的需求,必须积极调整专业设置,进行课程体系、教学内容的改革,努力拓宽学生的知识面,使之建立较为完整的知识体系,才能适应科学技术飞速发展的新形势,迎接 21 世纪的挑战。加强仪器仪表与自动化系统知识教育,使学生掌握一定的现代控制原理与技术,就是应该采取的措施之一。为此,全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会决定编写出版《给水排水工程仪表与控制》一书,供高校有关专业开设相应课程使用。

此次出版的《给水排水工程仪表与控制》,是作者在总结多年教学经验的基础上编写的。从 1990 年起,作者在哈尔滨建筑大学的给水排水工程和环境工程专业陆续开设了“给水排水控制技术”课程,编写了教学讲义。随着该领域技术的发展和我们对课程认识的逐渐深入,教学内容也在逐年丰富与完善。此次出版,作者在内容上又作了较大的调整与充实。在内容选取和编写方法上,作者从给水排水工程专业学生的实际需要及具备的相关知识基础出发,力图站在给水排水工程(水工业工程)工艺技术的角度来介绍相关仪表与控制知识,目的是使本专业学生通过该课程的学习,能够了解有关的仪器仪表的基本原理、特点与应用技术,了解有关的技术概况与特点,了解本专业各个工艺环节需要的监测与控制内容、能够采取的技术方法、目前的现状与发展趋势,从而为他们在以后的工作中与相关专业人员的协调与合作提供一个“接口”,为他们从事相关的工作或进一步学习奠定一定基础。

本教材以供给水排水工程专业本科生使用为主,也可以供环境工程专业本科生使用,还兼顾了相关专业研究生学习的需要,根据不同的情况讲授内容可酌情选取。学习本课程之前,要求学生已具备基本的物理学、电工学、电子学、流体力学以及水泵与水泵站、给水工程、排水工程、建筑给水排水工程等技术基础课与专业课的知识。

应当指出,以微电子技术为核心的现代控制技术的发展,各种现代水质及工艺参数监测仪表的发展是日新月异的,现代控制技术在给水排水工程领域的应用更是新兴的、初步的、迅速发展的。《给水排水工程仪表与控制》的编写,亦是一项全新的、具有探索性的工作,没有前人的经验可以借鉴,还需要在使用中不断地完善。特别是限于作者的水平,书中定会有不少不足、不完善之处,恳请有关专家和使用本教材的同志们批评指正。

本书由中国工程院院士、中国市政工程东北设计研究院张杰教授和湖南大学姜乃昌教授初审,由张杰院士主审。两位初审人对本书的初稿进行了认真的审阅、并提出了许多极有价值的意见。在本书定稿过程中,张杰院士又再次进行认真的审阅并赐教,这些意见对该书的修改出版起到了指导性作用。作者在编写、修改该书及讲授相应课程的过程中,还得到了中国工程院院士李圭白教授等老师的热情指教,使作者受益匪浅。在此向上述专家表示由衷的感谢。书中的素材相当部分来源于作者多年的研究成果,也有许多内容取自多部有关的著作和大量的论文,对这些论著的作者也一并表示感谢。

本书由崔福义主编。具体的编写分工是:第 1~4 章由崔福义执笔,第 5、6 章由彭永臻执笔。封莉同志绘制了第 1~4 章的插图,许燕青同志为第 5、6 章的编写做了许多工作,谨致谢意。

崔福义

1998 年 9 月于哈尔滨建筑大学

目 录

第 1 章 自动控制基础知识	1
1.1 自动控制系统的作用与构成	1
1.1.1 自动控制系统的作用	1
1.1.2 自动控制系统的构成	2
1.1.3 自动控制系统的分类	5
1.1.4 自动控制系统的應用	7
1.2 传递函数与环节特性	8
1.2.1 方块图和传递函数	8
1.2.2 典型环节的动态特性及传递函数	10
1.3 自动控制系统的过渡过程	15
1.3.1 自动控制系统的静态与动态	15
1.3.2 对过渡过程的要求	15
1.3.3 过渡过程的质量指标	16
1.4 自动控制系统的调节规律	17
1.4.1 常规调节作用与人工调节方法	17
1.4.2 双位调节	18
1.4.3 比例调节	19
1.4.4 比例积分调节	23
1.4.5 比例积分微分调节	25
1.4.6 调节作用的实现方法	28
1.5 双位逻辑控制系统	28
1.5.1 逻辑代数初步	28
1.5.2 真值表	32
1.5.3 卡诺图	33
1.5.4 双位逻辑系统的结构与实现方法	36
1.5.5 逻辑控制系统的建立	39
1.6 计算机控制系统概述	41
1.6.1 计算机控制系统的组成	41
1.6.2 计算机控制系统的典型应用方式	42
第 2 章 给水排水自动化常用仪表与设备	45
2.1 常用过程参数检测仪表	45
2.1.1 浊度在线测量仪表	45
2.1.2 pH 在线测量仪表	48
2.1.3 溶解氧在线测量仪表	51
2.1.4 余氯在线测量仪表	52
2.1.5 电导在线测量仪表	54
2.1.6 流动电流原理与检测技术	55
2.1.7 透光脉动原理与检测技术	58

2.1.8	流量检测仪表	61
2.1.9	压力检测仪表	68
2.1.10	液位检测仪表	72
2.2	常用过程控制仪表	76
2.2.1	调节控制装置的基本类型	77
2.2.2	传统调节器的简单介绍	77
2.2.3	以微处理器为核心的智能化调节与控制装置	78
2.2.4	可编程序控制器	80
2.3	执行设备	83
2.3.1	计量泵及其调节	83
2.3.2	离心泵及其调节	84
2.3.3	调节阀的基本特性	88
第3章	水泵及管道系统的控制调节	92
3.1	调节的内容与意义	92
3.2	水泵-管路的双位控制系统	92
3.3	水泵的调速控制	95
3.3.1	水泵调节的类型	96
3.3.2	水泵的调速方法	97
3.3.3	水泵调速运行的方式	99
3.4	恒压给水系统控制技术	99
3.4.1	变频调速恒压给水技术	99
3.4.2	恒压给水系统压力控制点的位置	101
3.4.3	气压给水系统的控制问题	103
3.5	污水泵站的变速运行	105
3.5.1	控制系统的构成	105
3.5.2	系统软件设计	106
3.5.3	运行效益分析	107
3.6	计算机在城市供水系统自动监控与调度中的应用	108
3.6.1	系统结构和功能	108
3.6.2	数据管理和应用	109
3.6.3	中心调度室的设施	109
3.7	城市供水系统计算机监控的应用实例	110
3.7.1	计算机系统的技术功能	110
3.7.2	数学模型分析及水泵并联特性动态显示	112
3.7.3	抗干扰问题	113
第4章	给水处理系统控制技术	114
4.1	混凝投药工艺的控制技术	114
4.1.1	混凝与混凝控制	114
4.1.2	混凝控制技术分类	115
4.1.3	几种典型的混凝控制技术简介	116
4.1.4	流动电流混凝控制技术	121
4.1.5	高浊度水混凝控制技术	125
4.1.6	混凝控制技术的发展趋势	129
4.2	沉淀池运行控制技术	131
4.2.1	技术概况与分类	131

4.2.2	应用实例 1	132
4.2.3	应用实例 2	132
4.2.4	应用实例 3	133
4.2.5	应用实例 4	134
4.3	滤池的控制技术	135
4.3.1	滤池控制的基本内容与基本方式	135
4.3.2	虹吸滤池的运行控制实例	135
4.3.3	移动罩滤池的自动控制	137
4.4	氯气的自动投加与控制技术	140
4.4.1	氯投加系统与设备	140
4.4.2	氯气投加的自动控制	142
4.4.3	应用中的一些问题	144
4.5	水厂自动监控系统	144
4.5.1	水厂自动监控系统的组成与形式	144
4.5.2	水厂自控系统的网络结构	146
4.5.3	水厂自控系统的功能	147
第 5 章	污水处理厂的检测	149
5.1	概述	149
5.1.1	安装仪表设备的目的	150
5.1.2	设计与安装仪表设备的要点	150
5.2	污水处理厂的检测项目与取样	151
5.2.1	常规检测项目	151
5.2.2	检测的取样	153
5.3	检测仪表与方法的选择	155
5.3.1	仪表的安装位置与检测对象	155
5.3.2	检测仪表与方法的选择	159
5.4	污水处理厂常用的检测方法 with 仪表设备	164
5.4.1	流量的检测方法 with 设备	164
5.4.2	污泥浓度的检测方法 with 仪表	167
5.4.3	污泥界面的检测方法 with 仪表	168
5.4.4	有机物的检测方法 with 仪表	168
5.4.5	检测信号的变换方法	171
5.4.6	信号的接收及其仪表设备	173
5.4.7	仪表设备的设置	174
第 6 章	污水处理厂的监视控制与自动控制	176
6.1	监视控制方式与项目的选择	176
6.1.1	监视控制方式	176
6.1.2	监视控制项目	179
6.2	监视控制仪表设备的选择	180
6.2.1	监视操作仪表设备	180
6.2.2	控制设备	183
6.3	污水处理厂的计算机控制系统	185
6.3.1	计算机控制系统的基本组成与特点	185
6.3.2	计算机控制系统的分类	188
6.3.3	计算机控制系统的规划与设置	192

6.3.4 计算机控制系统的设备选择	194
6.4 污水泵站的自动控制及其设备	195
6.4.1 污水泵站的自动控制	195
6.4.2 污水泵站的远距离监视控制	200
6.4.3 排水泵站计算机控制与管理系统的應用	204
6.5 污水处理厂的自动控制及应用	207
6.5.1 污水预处理设施	208
6.5.2 初次沉淀池	208
6.5.3 曝气池	209
6.5.4 二次沉淀池	213
6.5.5 加氯消毒混合池	215
6.5.6 污泥浓缩池	215
6.5.7 厌氧消化池	216
6.5.8 污泥脱水预处理设施	216
6.5.9 脱水机	217
主要参考文献	219

第 1 章 自动控制基础知识

1.1 自动控制系统的作用与构成

1.1.1 自动控制系统的作用

应用自动控制系统的基本目的有两点：一是在人类的生产生活中，应用自动控制技术可以解脱繁重的、单调的、低效的人类劳动，以便提高生产效率和提高生活水平；二是对现代生产中很复杂的或极精密的工作，用人力不能胜任时，应用自动控制技术就可以保证高质量地完成任务。

自动控制的基本概念来源于人工控制。人体本身，包括眼、耳等感觉器官，脑子和神经等控制器官以及肩、手、脚等操作执行器官，就是天生的一个具有高度控制能力的系统。举如下一个例子。

在给水处理工程中，贮液容器是最常见的设备。图 1.1 是一个贮水池，水由上部进入，由底部流出。当水池出水量和进水量相等时，液位将保持在某一正常位置。一旦生产发生变化而使水池出水量改变，液位就相应变化。为保持液位恒定，操作人员必须密切注视液位的变化情况，一经发现实际的液位高度与应该维持的正常液位值之间出现偏差时，就要马上进行调节，即开大进水阀门或关小进水阀门，使之恢复到正常位置。

上述过程归纳起来，操作人员所进行的工作是：

- (1) 观察玻璃液位计的指示值；
- (2) 将指示值与规定液位数值比较，并算出两者的差值；
- (3) 根据液位变化的方向（偏高还是偏低）和大小作出判断，按一定的规律去调节阀门。当指示偏高时，关小进水阀；反之开大进水阀。

将上述三步工作不断重复进行，直至液位回到要求的高度为止。这个过程就叫做人工控制，图 1.2 (a) 对此进行了形象的描述。

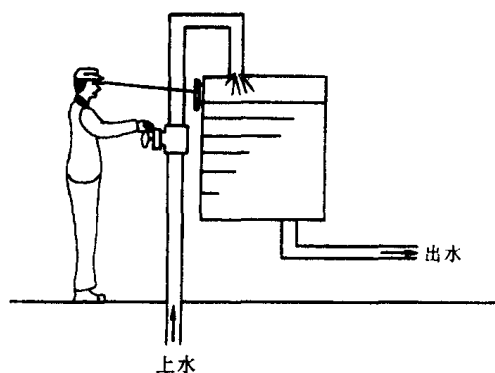


图 1.1 人工控制水池示意图

如果使用自动化装置来代替上述人工操作，就叫做自动控制。如图 1.2 (b) 所示。

从图 1.3 中可以更清楚地看出自动化等装置代替人工操作的过程。在这个水池液位自动控制系统中，首先用变送器代替了人眼的观察。控制的对象是水池，被控制的参数是水池的液位。在人工操作时，水池液位的高低是通过人眼的观察得到的。现在使用一个差压变送器来代替人的观察，随时把液位的高低变成相应的标准信号送给控制器和色带指示仪。

其次，控制器接受差压变送器发出的测量信号和按工艺要求预先给定的信号，并进行比较。两个信号若相等，反映了当时的实际液位正是规定的液位值。如果两个信号不相等，

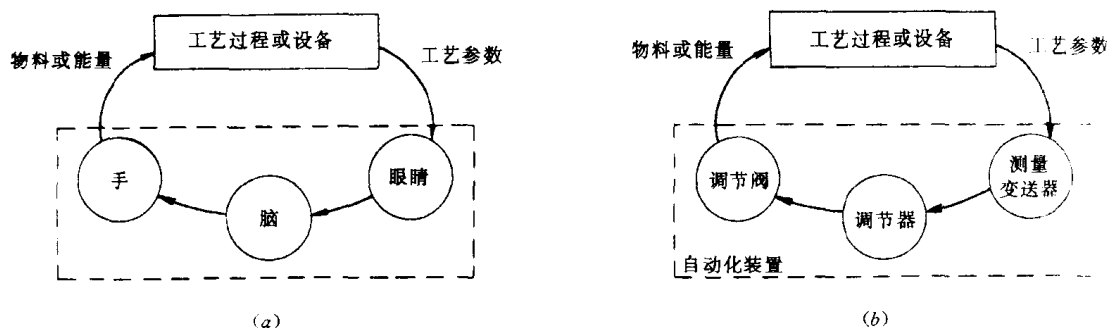


图 1.2 自动控制示意图

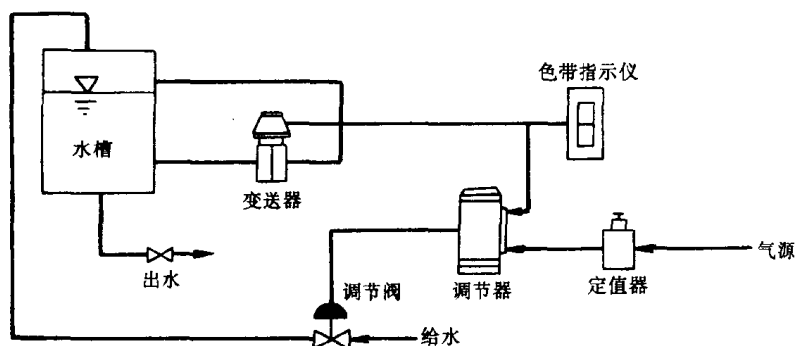


图 1.3 水池液位自动控制示意图

就说明实际的液位值和规定值有偏差，这就需要进行调节。于是控制器发出相应的调节信号去控制阀门，这就是调节作用，相当于人的大脑。这个比较环节装在控制器内。

上例说明了自动控制的基本概念。所谓自动控制，就是利用机械的、电气的、光学的等装置代替人工控制器官的作用，在不用人工直接参与的情况下，可以自动地实现预定的控制过程。

虽然自动控制的基本概念来源于人力控制，但是由于科学技术的飞速发展，使各种自动控制装置的性能远远超过人力控制器官的能力。最初的光学镜头是模仿人的眼睛而做成的，但用新技术做成的光学装置却远远比人眼的能力强得多。例如天文望远镜看得很远，显微镜看到极微小的东西，航空照相机在几百公里高空对地面摄影十分精确清晰。这些都是凭人的眼力不能做到的事。光电敏感元件和快速电子线路的作用也比人的视神经系统灵敏得多。由此可见，从模仿自然界生物的功能所获得的控制概念，通过科学技术的作用，人们可以创造性地做成更灵敏的、更精确的、更有能力的自动控制装置。

1.1.2 自动控制系统的构成

从上面简单的实例中，可以总结出一般自动控制系统是由控制对象、测量变送器、控制器、执行装置几部分组成的。为了更清楚地表达一个自动控制系统各个组成环节的相互影响和信号联系，常用方块图来表示。图中每一个方块表示组成系统的一个部分，称之为环节，用带箭头的直线表示信号的相互联系和传递方向。如图 1.4 所示。

图 1.4 中的每一个方块都代表一个具体的实物，具有单方向作用的性质，方块的输入信号直接影响输出信号，但输出不会反过来影响输入。变送器、控制器、执行装置都是这

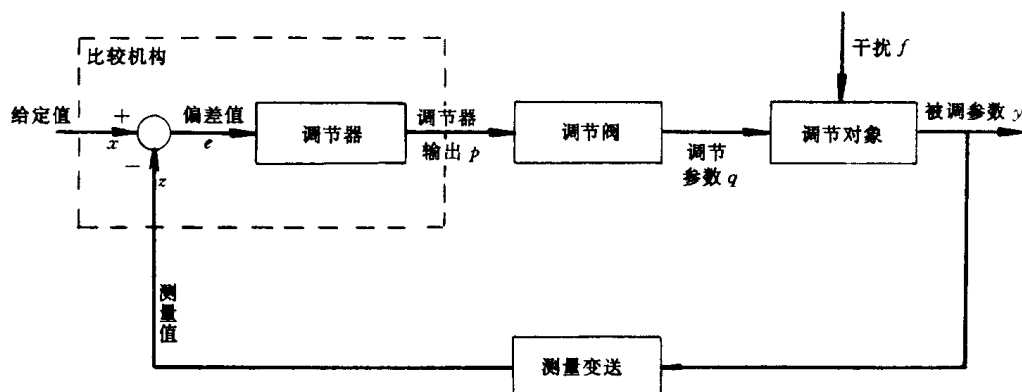


图 1.4 自动控制系统方块图

样。在一个自动控制系统中，只要有一个方块是单向作用的，那么整个系统就具有单向作用性。自动控制系统都是不能逆向动作的。还应注意，方块与方块之间的连接线，只代表方块间的信号联系，连接线的箭头也只代表信号作用的方向，与工艺流程图上设备间的连线不同，并不代表实物之间的物料联系。

结合液位调节的例子，下面再分析一下方块图的意义，并对控制系统中一些常用概念进行简单介绍。

控制对象：就是生产过程中被控制的设备或机器。在水池液位调节的例子中，控制对象就是水池。

被控参数 y ：按照工艺要求，某些参数应该保持在预定的变化幅度之内，并对它们进行调节，它们就叫做被控参数。在上例中，液位就是被控参数。

干扰 f ：干扰是指破坏系统平衡状态、引起被控参数变化的外界因素。由于外界的干扰作用，破坏了生产的平衡，改变了工艺要求保持的定值参数，使正常的生产过程产生波动。生产的每一个工序都可能出现干扰，一个工序失去相对平衡状态，又会导致其它工序产生波动。在水池液位调节的例子中，影响被控参数的因素有下一工序需水量的变化，或是进水压力变化，都称为干扰。在分析控制系统时，常假设一些特定的干扰形式，其中最常用的是阶跃干扰作用，如图 1.5 所示。阶跃干扰可用如下数学式表示：

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ A_0 = \text{const} & t \geq t_0 \end{cases} \quad (1.1)$$

我们把 $F(t)=1$ 叫单位阶跃干扰。

阶跃干扰是一种突变作用，而且一经产生就持续下去不再消失。它对被控参数的影响最大，为最不利于控制的干扰作用形式。若一个自动控制系统能够很好地克服阶跃形式的干扰，那么其它形式的干扰就不难克服了。

控制作用 q ：为了克服干扰，利用阀门去改变物料的进料量，这种手段就叫做控

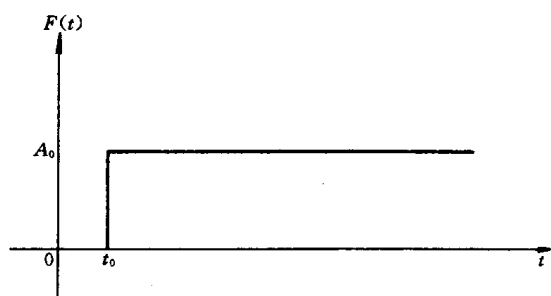


图 1.5 阶跃干扰形式

制作用。所用的介质叫控制介质。在水池液位控制的例子中，注入的水就是控制介质，而进水流量的改变就是控制作用。

测量元件及变送器：感受并测量被控参数的变化，并将其转变为标准信号输出的仪表称测量元件及变送器。如本例中所用的差压变送器。测量元件及变送器又称为传感器。

测量值 z ：变送器的输出值。对于气动单元组合仪表， z 为输出气压，一般为 $20\sim 100\text{kPa}$ ；对于电动单元组合仪表，有直流电流 $0\sim 10\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 、电压 $0\sim 10\text{V}$ 等。

给定值 x ：自动控制系统中，设定的与工艺预期的被控参数相对应的信号值。

偏差值 e ：给定值与测量值之差。

控制器输出 p ：在控制器内，将给定值与测量值进行比较，得出偏差值，并按一定的控制规律，发出相应的输出信号 p 去推动执行器。为了突出比较机构，用一个圆圈表示在控制器之前。

执行装置：完成控制器的指令，实施控制调节的装置。在给水排水控制系统中常见的有泵、阀门等。

通过以上对自动控制系统方块图各组成部分的分析，各个环节之间的相互关系更加清楚了。概括来讲每个自动控制系统都包含这些基本环节，每个环节之间都有这样的相互关系，即输出与输入之间的关系，它反映了这个环节自身的特点和规律性，即这个环节的特性。

在生产过程中，由于干扰的客观存在，它会不断地破坏生产平衡，通过控制作用新的平衡又不断地建立起来，这就构成了控制过程。在水池水位控制的例子中，由于干扰作用使水位变化，测量元件及变送器将水位变化测量出来，与给定值进行比较，控制器依据偏差发出相应的控制信号驱动调节阀改变水池进水量，使水池水位向给定值靠拢并稳定在给定值上。

从图 1.4 的方块图看出，自动控制系统中被控参数 y 由变送器测出变成统一信号的测量值 z 送进控制器；在控制器内与给定值比较得到偏差 e ，并进行一定运算得到控制信号 p ， p 送到调节阀；调节阀依据控制信号 p 产生一个控制作用 q ； q 作用到对象上又去影响被控参数 y 。信号传递过程为 $y \rightarrow z \rightarrow e \rightarrow p \rightarrow q \rightarrow y$ 。从信号传递的角度来看，形成了一个闭合回路，称为控制回路或闭环系统。

控制系统的输出参数也就是被控参数 y ，要通过显示仪表显示在工艺过程中，但它同时经过测量变送器又回到系统的输入端与给定值相比较。这种把系统的输出信号以一定方式又引回到输入端叫做反馈。控制回路就是通过反馈作用形成的。

从图 1.4 还可以看到，在反馈信号 z 旁有一个负号“ $-$ ”，而在给定值信号 x 旁有一个正号“ $+$ ”，这表示两个信号通过比较机构进行比较时作用方向相反，控制器的偏差 $e = x - z$ ，通常称这种反馈作用为“负反馈”。若反馈信号与系统的输入信号作用方向相同，即比较结果是两个信号之和，即偏差 $e = x + z$ 时，则称为“正反馈”。在自动控制系统中，目的是为了消除偏差稳定输出，总是要求引入负反馈。例如前面介绍的水池，被控参数液位受到干扰而波动，如偏高，即 $z > x$ ， $e = x - z < 0$ ，控制器发出信号，使装在进水管的调节阀关小，水池液位下降，直至 $z = x$ ，即 $e = x - z = 0$ ，调节作用停止，系统保持稳定。负反馈在定值调节的特定情况下也可以这样简单理解，偏差是给定值与测量值之差，自动调节的目的是使偏差为零，只有给定值和测量值做减法才能实现。闭环系统正是利用负反馈获得的

偏差进行调节，使系统达到稳定。否则，如果引用了正反馈， $e=x+z$ ，只要被控参数稍微有点变化，控制作用不仅不能克服干扰的影响，反而助长干扰作用，破坏正常生产。因此自动控制系统必须构成负反馈回路，决不能单独采用正反馈。

在自动控制系统中，有一点要注意。一般规定偏差值 $e=x-z$ 。但在仪表制造部门，习惯上是取偏差 $e'=-e=z-x$ 。就是说在仪表校验时常把 $z>x$ 称为正偏差， $z<x$ 称为负偏差。

在各种自动控制系统中，测量变送装置的形式多种多样，它们能够敏感各种物理量（例如敏感温度、压力、力矩和加速度等），并有传送信号的作用。所以，这些敏感装置也叫做传感器。

各种传感器在自动控制系统中都起着十分重要的作用。有了精确的传感器做基础，就容易组成各种不同用途的自动控制系统。因此，研究和发展各种新型传感器，是搞好自动控制系统最重要的基础工作。多了解各类传感器的作用，也有助于灵活运用自动控制系统。

除了传感器之外，控制器的发展也起着很重要的作用。微型计算机和微处理器的发展，已经使它们成为现代控制系统中不可缺少的组成部分。计算机就是更完善的控制器。

1.1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法很多，其中最基本的分类方法有如下两类。

1.1.3.1 按给定值的形式不同分类

(1) 定值控制系统

定值控制系统的特点是给定值恒定。生产工艺中要求控制系统的被控参数保持在一个技术指标上，这个技术指标就是给定值。在生产过程中大多数是这种类型的系统。当然，有时根据工艺要求，给定值也可以从某一值改变到另一值。

(2) 随动控制系统

这类系统的特点是给定值在不断地、任意地变化，并要求系统的输出跟着变化。它的主要作用是克服一切扰动，使被控量随时跟踪给定值。随动系统也称跟踪系统。

(3) 程序控制系统

这类系统的给定值也是变的，但它是按一定的时间程序变化。如水处理工艺中滤池的反冲洗过程控制就是这类系统。程序控制系统的给定值可用特定的凸轮或曲线板来实现。图 1.6 就是一个例子，图 1.6 (a) 曲线是工艺要求的参数变化规律，图 1.6 (b) 是特定凸轮

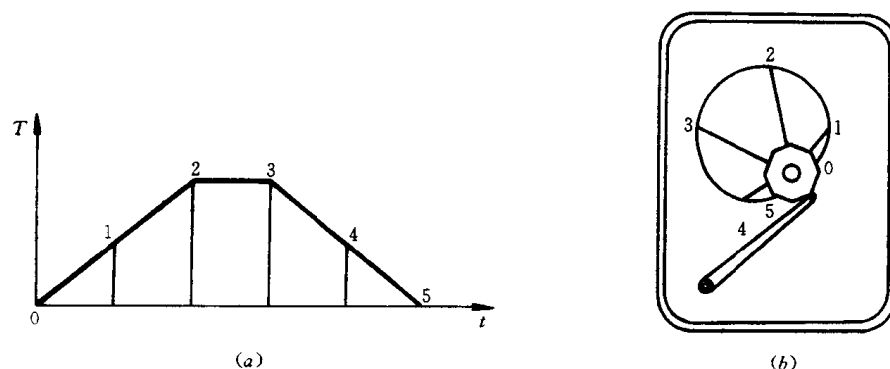


图 1.6 程序给定示意图

(a) 时间程序曲线；(b) 时间程序给定凸轮

的形状。

1.1.3.2 按系统的结构特点分类

(1) 反馈控制系统

反馈控制系统是根据系统被控量与给定值的偏差进行工作的，最后达到消除或减小偏差的目的，偏差值是控制的依据，图 1.4 所示的液位控制系统，就是一个反馈控制系统。因为该系统由被控量的反馈构成一个闭合回路，所以又称为闭环控制系统，这是过程控制系统中最基本的一种。另外，反馈信号也可能有多个，从而可以构成一个以上的闭合回路，称为多回路反馈控制系统。

(2) 前馈控制系统

前馈控制是直接根据扰动进行工作的，扰动是控制的依据，由于它没有被控量的反馈，所以不构成闭合回路，故也称为开环控制系统。

图 1.7 所示为前馈控制系统方块图。扰动 $f(t)$ 是引起被控量 $y(t)$ 变化的原因，前馈控制器是根据扰动 $f(t)$ 进行工作的，可以及时抵消扰动 $f(t)$ 对被控量 $y(t)$ 的影响。但是，由于前馈控制是一种开环控制，无法检查控制的效果，所以在实际生产过程中是不能单独应用的。

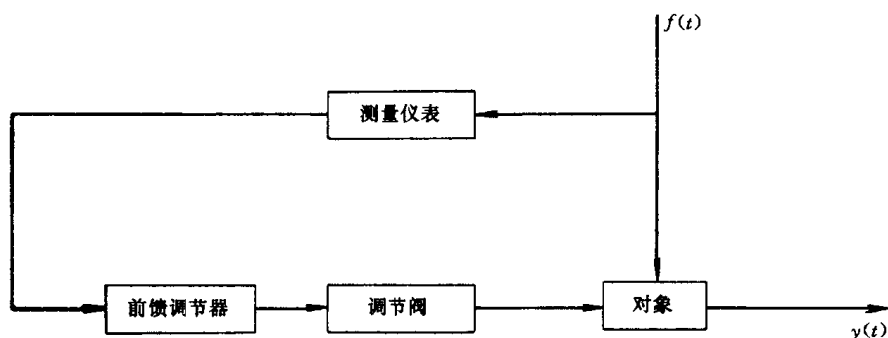


图 1.7 前馈控制系统方块图

(3) 复合控制系统（前馈-反馈控制系统）

前馈开环控制的主要优点是能针对主要的扰动迅速及时地改变控制量，克服扰动对被控量的影响。所以，在反馈控制系统中加入对于主要扰动的前馈控制，构成复合控制系统，

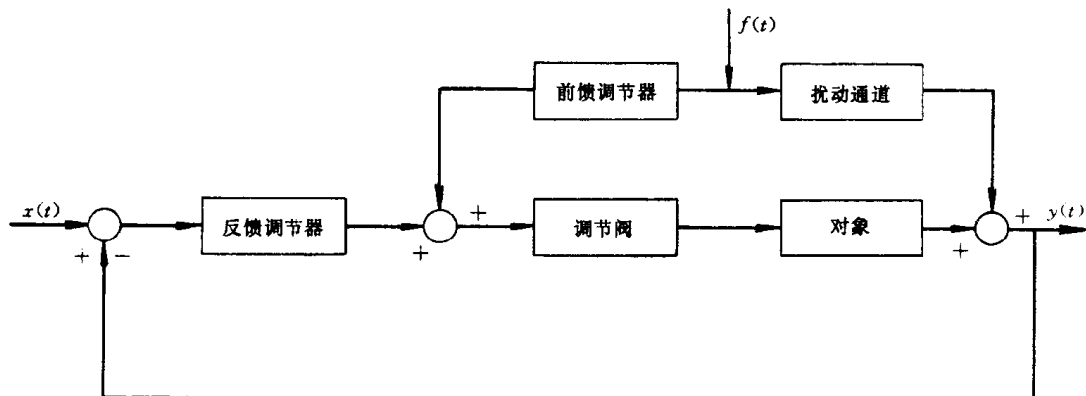


图 1.8 复合控制系统方块图

可以提高控制质量。图 1.8 所示为复合控制系统方块图。

除上述分类方法之外，还可分为简单控制系统、复杂控制系统等等，不再详述。

1.1.4 自动控制系统的应用

随着各种传感器技术的发展，特别是电子计算机技术的发展，自动控制技术已日益广泛地应用于各行各业和人民日常生活中。大至航天飞船，小至家用电器，无处不有自动控制系统的应用。

以机器人为例。人们感到厌烦的工作或危险环境下的工作，由机器人来承担是非常合适的。例如，在有放射性爆炸可能性的原子炉中进行的组装、检修作业，以及在可能爆发事故的煤矿中进行挖掘工作等。另外，还有在医院或康复院中的所谓看护机器人。由于患者及身残者在多数情况下需要看护人抱着移动，因此，看护人会发生腰痛等职业病，如果使用机器人，就可以避免。图 1.9 所示是日本研制的抱起搬运辅助机器人 MELKONG 的示意图。

另外，使用机器人，很容易实现 24h 工作的无人工厂。但是，这些机器人多数是用来进行加工、组装、检验等，属于生产用的自动机械。

今后还将研制各种智能机器人，具有判断能力，从而与人更接近一步。在这里，起重要作用的是物体检测传感器，特别是视觉传感器和触觉（压觉、滑动觉）传感器。机器人中，作为视觉传感器，有代表性的是利用摄像管和 CCD（电荷耦合器件）的图像传感器。另外，在用手臂抓物的时候，过紧则损坏，过松则落下，因此触觉传感器的调节作用是非常重要的。作为执行机构，为了能进行规定的精密操作，需要多关节的臂及多关节的机械手。

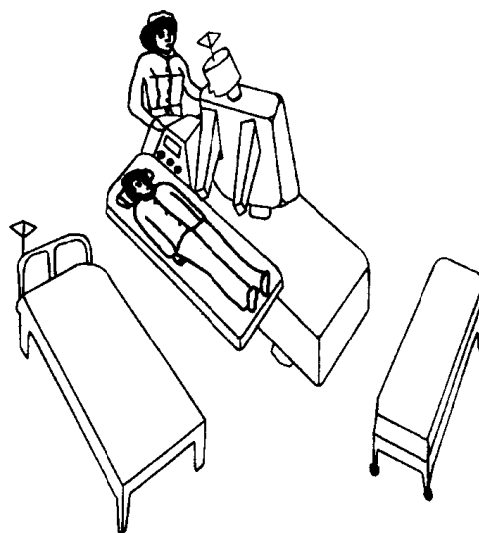


图 1.9 患者抱起搬运辅助机器人 MELKONG 的示意图

高级智能机器人的实现将是很久以后的事。可是，智能机器人一旦普及，不仅特殊作业，而且一般生产和事务乃至家务，也许全部由机器人处理。因此，也有人担心，人们无事可做，会发生严重的社会问题。确实是这样，不能任何工作都由机器人承担，最好在渴望提高人性的领域采用机器人。

在给水排水工程中，自动控制技术的应用也在日益发展。在西方发达国家已出现无人值班的全自动化水厂，节省了大量的人力。在供水管网上采用遥测技术，自动收集各节点的工作参数，可以实现全供水系统自动调度调节，实现运行优化。在给水排水工程中各个局部环节，自动控制技术则有着更为广泛的应用，如建筑内的恒压给水系统，供水、排水泵站的自动控制系统，水处理单元环节的自动控制系统等，比比皆是。但就整体而言，自动控制技术在给水排水工程中的应用仍是初步的。随着自动控制技术与给水排水工程技术的不断进步，给水排水工程自动化的水平必将不断提高，它将推动水工业技术现代化的进程，并带来更大的社会效益与经济效益。

1.2 传递函数与环节特性

1.2.1 方块图和传递函数

自动控制系统中每个组成环节的特性将对控制过程起什么影响？为了达到预定的控制要求，应构成怎样的控制回路，应选择怎样的控制器特性？为了解决这些问题，常应用方块图和传递函数作为分析的基本手段，对自动控制系统进行进一步的分析。方块图和传递函数是自动化理论的重要基础。

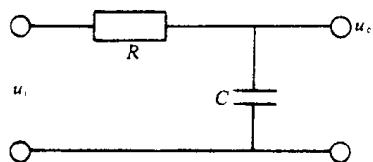


图 1.10 阻容电路

在自动控制理论中，常以微分方程的方式描述输出信号与输入信号的关系。例如图 1.10 所示的阻容电路，在输出电压 u_c 与输入电压 u_i 之间有如下关系：

$$\frac{du_c}{dt} = \frac{1}{RC}(u_i - u_c) \quad (1.2)$$

式中 R ——电阻；

C ——电容。

用微分方程来描述环节或系统的关系，不仅复杂，而且求解十分麻烦。为此，更常见的是进行拉普拉斯变换（简称拉氏变换）。

拉氏变换是一种积分变换，将微分积分函数转化为代数函数形式，将微分方程转化为代数方程，是一种简化运算的手段。关于拉氏变换的详细内容可参考有关的数学书籍。在此仅简单介绍它的应用方法。

拉氏变换把一个时间函数 $f(t)$ 变换为另一个复变量 s 的函数 $F(s)$ 。也正像对于一个数可以找出它的对数值一样，对于一个时间 t 域内的函数 $f(t)$ ，可以找出它的复变量 s 域的变换式 $F(s)$ 。例如，对于阶跃函数 $f(t)=A$ ，它的拉氏变换式是 $F(s)=\frac{A}{s}$ ， $f(t)$ 与 $F(s)$ 是一一对应的，可以认为 $F(s)$ 是 $f(t)$ 的映象， $f(t)$ 称原函数， $F(s)$ 为象函数。

拉氏变换表示为： $F(s)=L[f(t)]$

拉氏反变换表示为： $f(t)=L^{-1}[F(s)]$

用拉氏变换进行计算时，有现成的变换表可查，见表 1.1。

拉 氏 变 换 表

表 1.1

$f(t)=\begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ f(t) & t > 0 \end{cases}$	$F(s)=\int_0^{\infty} f(t)e^{-st}dt$	$f(t)=\begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ f(t) & t > 0 \end{cases}$	$F(s)=\int_0^{\infty} f(t)e^{-st}dt$
A	A/s	$e^{-at}t^n$	$n! / (s+a)^{n+1}$
t	$1/s^2$	$e^{-at}\sin\omega t$	$\omega / [(s+a)^2 + \omega^2]$
t^n	$n! / s^{n+1}$	$e^{-at}\cos\omega t$	$s+a / [(s+a)^2 + \omega^2]$
e^{-at}	$1/s+a$	$\frac{df(t)}{dt}$ [即 $f'(t)$]	$sF(s)$
$\frac{1}{T}e^{-\frac{t}{T}}$	$\frac{1}{Ts+1}$	$\frac{d^2f(t)}{dt^2}$ [即 $f''(t)$]	$s^2F(s)$
$\sin\omega t$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$	$\int f(t)dt$	$\frac{F(s)}{s}$
$\cos\omega t$	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$	$f(t-\tau)$	$e^{-s\tau}F(s)$