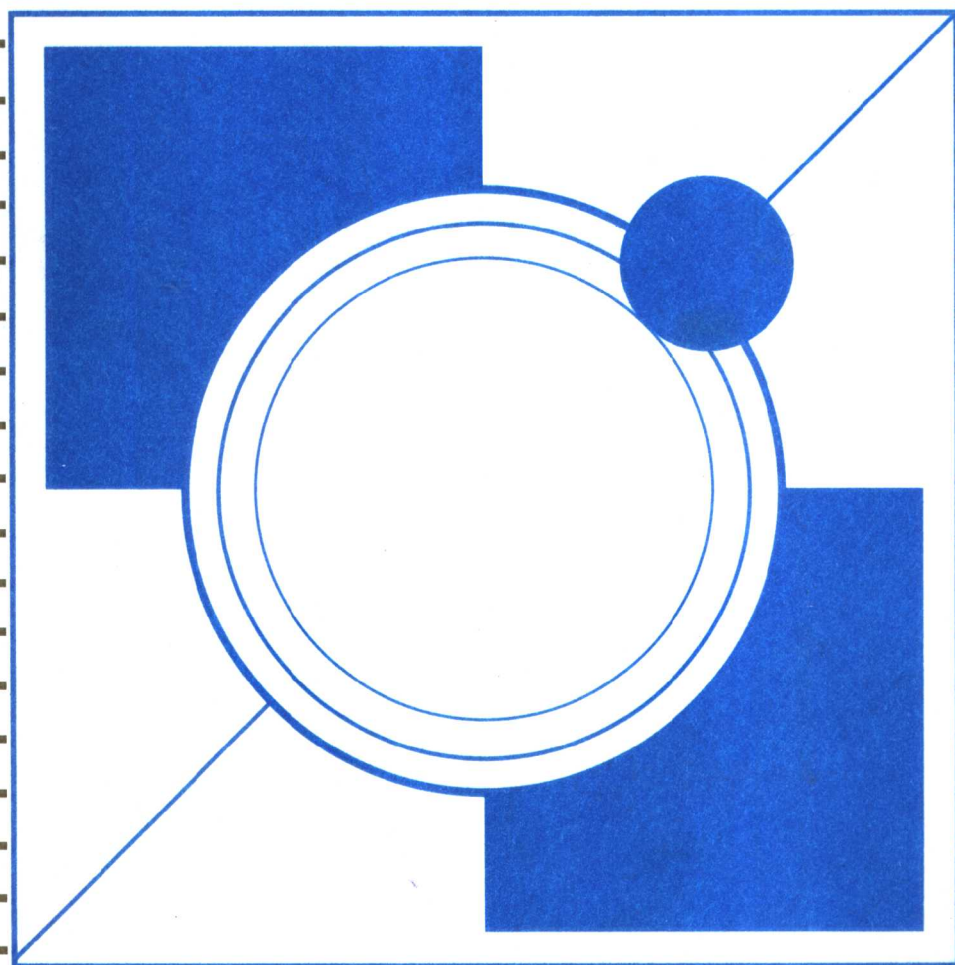


高职高专给水排水工程专业系列教材

给水排水自动控制与仪表

刘自放 龙北生 李长友 编

崔福义 主审



63

6



高职高专给水排水工程专业系列教材

给水排水自动控制与仪表

刘自放 龙北生 李长友 编
崔福义 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

给水排水自动控制与仪表/刘自放等编. -北京: 中国
建筑工业出版社, 2001.6

(高职高专给水排水工程专业系列教材)

ISBN 7-112-04398-0

I. 给... II. 刘... III. ①给排水系统: 自动控制
系统②给排水系统—仪表 IV. TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 033133 号

本书作为高职高专给水排水工程专业系列教材之一, 以给水排水工程
系统中所应用的参数测量技术与自动控制技术为主要内容, 介绍了压力、
温度、流量、液位、浊度、pH 值、溶解氧、余氯等参数的测量原理、测
量方法与常用测量仪表; 介绍了自动控制的基本概念、基本原理、控制系
统的组成及过程的基本控制方法, 以及自动控制系统的常用设备及给水排
水工程常见工艺的自动控制方法。

本书可作为给水排水工程、环境工程及其他相关专业的教材或教学参
考书, 也可供从事给水排水工程建设、系统运行与管理的工程技术人员以
及相关专业的工程技术人员参考。

高职高专给水排水工程专业系列教材

给水排水自动控制与仪表

刘自放 龙北生 李长友 编

崔福义 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 11 字数: 263 千字

2001 年 6 月第一版 2001 年 6 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 13.70 元

ISBN 7-112-04398-0

TU·3912 (9860)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

本书是高职高专给水排水工程专业系列教材之一。它根据全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会专科组 1996 年春季会议通过的《给水排水自动控制与仪表》课程教学基本要求,按 40 学时编写。

为适应给水排水工程自动化程度越来越高、自动控制系统应用越来越广泛的发展需要,根据目前的给水排水工程专业高职高专教育培养目标,在新教学思想体系的指导下,我们参考了自动控制与仪表的书籍及相近专业的有关教材,编写了本高职高专教材。

本书共分五个部分。绪论部分介绍了自动控制理论与技术的发展状况及其在本专业中的应用;第 1 章主要介绍自动控制的基础知识;第 2 章主要介绍过程参数检测仪表;第 3 章主要介绍自动控制系统中常用的控制设备;第 4 章内容为自动控制技术在给水排水工程典型工艺中的应用。

本书的绪论、第 1 章、第 3 章由长春工程学院刘自放编写;第 2 章 1~5 节由长春工程学院龙北生编写;第 2 章 6~10 节、第 4 章由长春工程学院李长友编写。

本书由哈尔滨工业大学崔福义教授主审;在本书的出版过程中,哈尔滨工业大学张杰院士、哈尔滨工业大学崔福义教授对本书初稿进行了详尽的审阅和修改,提出了许多宝贵的指导性意见与建议;全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会专科组对本书初稿进行了认真的评审;在此,对他们表示衷心地感谢!

由于编者水平有限,本书的编写难免存在一些缺陷和疏漏,在此,恳请广大读者不吝赐教。

编 者

目 录

绪论	1
第 1 章 自动控制基础	7
1.1 自动控制系统及其分类	7
1.1.1 自动控制系统及其作用	7
1.1.2 自动控制系统的组成	10
1.1.3 自动控制系统的分类	11
1.2 自动控制系统的过渡过程	13
1.2.1 系统的静态与动态	13
1.2.2 对自动控制系统的的基本要求	14
1.2.3 过渡过程的品质指标	14
1.3 受控对象的动态特性	15
1.3.1 概述	15
1.3.2 受控对象的容量特性	16
1.3.3 受控对象的平衡特性	18
1.3.4 受控对象的时间特性	20
1.4 过程控制基本规律	22
1.4.1 双位控制	22
1.4.2 比例调节	23
1.4.3 比例积分调节	24
1.4.4 比例积分微分调节	27
1.4.5 比例积分微分调节规律	29
1.4.6 比例积分微分调节参数的整定	29
1.4.7 程序控制	32
1.5 数字控制系统	33
1.5.1 数字控制系统的组成	33
1.5.2 数字控制系统数据处理的特点	34
1.6 分布式计算机控制系统	36
1.6.1 分布式计算机控制系统的组成	36
1.6.2 分布式计算机控制系统的特点	37
1.6.3 分布式计算机控制系统的运行与管理	38
思考题	39
第 2 章 过程参数检测仪表	40
2.1 测量的基本知识	40
2.1.1 测量的概念与测量系统的组成	40
2.1.2 测量误差	41
2.1.3 测量仪表的基本技术性能	44

2.2	压力检测仪表	46
2.2.1	概述	46
2.2.2	液柱式压力计	47
2.2.3	弹性式压力表	49
2.2.4	电气式压力表	51
2.2.5	压力表的选择、安装与校验	56
2.3	温度检测仪表	59
2.3.1	概述	59
2.3.2	膨胀式温度计	59
2.3.3	热电偶温度计	64
2.3.4	电阻式温度计	70
2.4	流量检测仪表	73
2.4.1	概述	73
2.4.2	差压式流量计	73
2.4.3	浮子流量计	79
2.4.4	涡轮流量计	84
2.4.5	水表	86
2.4.6	电磁流量计	89
2.4.7	椭圆齿轮流量计	91
2.4.8	超声波流量计	93
2.5	液位检测仪表	96
2.5.1	静压式液位计	96
2.5.2	浮力式液位计	99
2.5.3	电容式液位计	101
2.6	浊度检测仪表	102
2.6.1	概述	102
2.6.2	浊度测量原理与基本方法	103
2.6.3	浊度测量仪表的构造与性能	103
2.6.4	浊度在线测量仪表	105
2.7	pH 值检测仪表	107
2.7.1	pH 测量原理与基本方法	107
2.7.2	pH 值测量仪表的构造与性能	108
2.7.3	pH 值在线测量仪表	109
2.8	溶解氧检测仪表	110
2.8.1	溶解氧测量原理	110
2.8.2	溶解氧测量仪表的性能	111
2.8.3	溶解氧在线测量仪表	112
2.9	余氯检测仪表	112
2.9.1	余氯测量原理与基本方法	112
2.9.2	余氯测量仪表的构造性能与在线测量	112
2.10	流动电流检测仪表	114
2.10.1	流动电流原理	114
2.10.2	流动电流检测器	116

思考题与习题	117
第 3 章 过程控制仪表与执行设备	119
3.1 常用过程控制仪表	119
3.1.1 概述	119
3.1.2 自立式调节器	119
3.1.3 基地式调节器	119
3.1.4 位式调节仪表	120
3.1.5 单元组合仪表	121
3.1.6 智能型测控仪表	123
3.2 常用过程控制执行设备	128
3.2.1 执行器	128
3.2.2 调节阀	129
3.2.3 变频器	137
思考题	141
第 4 章 自动控制在给水排水工程中的应用	142
4.1 水泵及管道系统的位式控制	142
4.1.1 水池水箱水泵联合供水位式控制系统	142
4.1.2 水池水箱水泵联合供水位式控制系统实验	144
4.2 消防给水系统的自动控制	146
4.2.1 消防给水自动控制系统的组成	146
4.2.2 消防给水联动控制	149
4.3 管道系统的 PID 控制	150
4.3.1 水箱恒水位调节阀比例调节系统	150
4.3.2 水泵变频调速控制供水系统	152
4.4 城市给水管网计算机监控系统简介	155
4.5 水厂自动控制技术基础	156
4.5.1 混凝投药工艺的自动控制	157
4.5.2 沉淀池运行的自动控制	159
4.5.3 滤池运行的自动控制	160
4.5.4 氯气投加自动控制	163
4.5.5 水处理厂自动监控系统	163
思考题	166
主要参考文献	167

绪 论

1. 自动控制技术

自动控制技术是 21 世纪高科技重要领域之一，也是我国科技强国战略中需要大力发展的领域。随着自动控制技术的不断发展，它已从单一装置自动控制发展为综合系统自动控制。目前，自动控制技术不仅可以替代人的部分体力劳动，而且已经在取代人的部分脑力劳动的尝试中取得了可喜的成绩。目前，自动控制技术不仅在工业、农业、国防、科学技术等方面取得了巨大的成功，而且已经渗透到了人们生活与社会活动的各个领域。

在现今的大型设备与装置中，自动控制系统已成为不可缺少的重要组成部分。可以说，如果不配置合适的自动控制系统，目前很多现代化的生产过程，如飞机、船舶、汽车、计算机、彩色电视机等产品的生产将无法进行。实际上，自动控制技术研究开发与应用水平的高低，已成为衡量一个国家发达程度的重要标志。与之类似，一个行业自动控制技术的发展程度如何，无疑是其现代化水平的重要标志。因此，作为 21 世纪的工程技术人员，了解和掌握一些自动控制的基本知识是非常必要的。

自动控制技术推动工业生产的飞速发展，对促进产业革命起着十分重要的作用。1787 年瓦特发明了离心式调速器，实现了蒸汽机转速的自动调节，使蒸汽机作为转速稳定、安全可控的动力机，并得到了广泛应用，从而引发了第一次工业革命。

现代生产过程自动控制技术的出现被认为是第二次工业革命的重要标志。美国福特汽车公司为提高生产率和降低汽车成本，首先研制出能自动将发动机气缸组送进和移出的传送机，以及从冲压机中取出大量的冲压件的自动控制生产流水线，在国际上开创了大批量制造机械产品的现代自动控制技术。福特汽车公司应用这种自动生产流水线创立了单一品种的大批量生产方式，大大提高了生产率，从而使汽车进入了普通家庭。

汽车工业的发展，又进一步带动了冶金、化工、石油等工业相继有了新的发展。采用自动控制技术和大规模自动控制系统，进行连续的自动化规模生产，大大提高了钢铁、化工、石油的产量和质量。

20 世纪 70 年代以来，随着超大规模集成电路及微处理器的出现，为自动控制技术提供了先进的装备，使自动控制技术在工业中的应用范围越来越广，同时也使综合自动控制技术得到了很大程度的发展。机械制造业在单机自动控制的基础上，进一步采用了综合自动控制技术，开发出了柔性制造系统和计算机集成制造系统。这种采用综合自动控制技术的制造系统所产生的社会效益，大大超过了单机自动控制系统所产生的效益。据统计，从 1936 ~ 1976 年的 40 年间，由于自动控制技术的发展，使劳动生产率提高了 3.8 倍。而预期 1978 ~ 2018 年的 40 年间，全世界劳动生产率将提高 8 倍。当今发达国家在制造业中的竞争十分激烈，纷纷加强、加速综合自动化技术应用的投入，以求进一步提高产品的质量和数量，从而适应市场快速变化的需要。1988 年美国工厂自动控制设备的市场规模

是 600 亿美元，1992 年扩展到 1000 亿美元。据估计，过去 10 年中，美国、西欧和日本投入工厂自动控制方面的资金超过 1.5 万亿美元。1989 年工业自动控制设备的世界总销售额为 444 亿美元，而 1991 年则达到了 571 亿美元，今后仍将以每年 8.3% 的速率递增。以美国通用汽车公司为例，1986 ~ 1990 年它投入了 600 亿美元推动工厂设备的自动化，至 1990 年该公司已使用了 20 万台微型计算机和 6000 台机器人。

自动控制技术不仅在制造业中起到关键性作用，在其他工业部门也同样使劳动生产率大大提高。例如日本的钢产量 20 世纪 50 年代只有几百万吨，由于广泛采用自动控制技术，目前日本的钢产量已达 1 亿多吨，而且质量很高。日本鹿岛制铁所采用 34 台计算机实现了生产过程控制和管理的最优化，使其产量提高了 30%，减少多余板坯 30%，减少职工 700 ~ 900 人。

现代农业正在向高科技农业的方向发展，在这方面自动控制技术也同样起着重要的作用。以现代种植业和养殖业为例，就需要依靠现代控制技术和自动化技术，以形成一个适合于现代种植业和养殖业发展的人造环境和工厂。日本九州电力公司从 1990 年起同三菱重工工业公司和熊本技术财团共同开发了自动控制蔬菜工厂，使蔬菜生长不受季节和场所的影响，既大幅度地节省了人力，又可实现不使用农药的蔬菜生产。据九州电力公司估算，自动控制蔬菜工厂与露天栽培相比，生产率可提高 8 倍，蔬菜生长速度可提高 3 倍。另据报道，西方将在饲养业中采用机器人，以此为基础的无人饲养场将很快会出现。

军备竞赛推动着军事自动化技术的高速发展。现代武器正好像是科幻小说中幻想的真实再现。1992 年海湾战争使世人对现代军用自动控制技术的奇效惊愕不已。用自动控制技术武装起来的炮弹就像有了“头脑”、长了“眼睛”，能自动搜寻目标并有极高的命中精度。现代“灵巧”炸弹由飞机投出后，利用激光束制导可自动寻找目标，几乎百发百中。现代巡航导弹由几百公里以外发射后，可接近地面飞行，依靠导弹上的控制设备随时随地观测地形，可自动躲避山峰、高楼等障碍物，按预定航线飞行，直至命中目标。为了摧毁一个建筑物中的地下工事，可先用一枚导弹在建筑物上炸开一个洞，第二枚导弹从此洞穿入攻击地下目标。导弹之所以能达到如此高的精确程度，全靠其自身安装的自动控制系统。这些武器上的控制系统有很高的自主能力，它能观察环境，做出判断并采取正确的行动。这是综合利用包括计算机在内的各种自动控制技术的结果。除上述应用于武器的自动控制技术外，还必须强调综合自动控制在军事中的重要作用。现代战争是海、陆、空立体战争，战场上情况瞬息万变，所以要具有能运筹于万里之外、决策于瞬息之间的超常规能力，就必须依靠具有高度自动控制技术水平的指挥、通信、控制和情报综合控制系统。

自动控制技术的发展，极大地推动了现代科学的研究与技术的进步。现代控制技术为现代科学技术加速发展的创造了优越的环境和有利的条件。许多科学仪器离不开自动控制技术。现代大规模的实验研究所用的装备非常复杂，其本身就是一个十分庞大的系统。要使这种设备能够正常运行并完成任务，全要靠自动控制技术。举例来说，美国人实现了登月计划，全靠精密的控制。1983 年，前苏联的“宇宙 - 1443”号卫星在轨道上与运行的“礼炮 - 7”航天站成功地实行对接，在茫茫太空之中完成这样的操作，没有高超的自动控制技术是不可能办到的。我国曾在 1999 年 11 月成功地发射了第一艘模拟载人太空飞船——“神州一号”，这标志着我国自动控制理论与控制在航天领域方面的应用，已经达到世界先进水平。

自动控制技术也在日常工作和家庭生活中发挥着重要的作用。各种自动化的办公设备及家用电器都装有自动控制系统，它们减轻了人们在办公与家务中的劳动，改善了办公与生活的环境。目前办公与家用自动控制技术正朝着“智能化”、“网络化”方向发展。在我国，越来越多的“智能大厦”出现在全国各地，其内采用计算机自动控制系统进行着楼宇各系统的智能控制与日常管理，为人们提供了更为安全可靠、舒适方便的办公与生活环境。从长远和经济的角度来看，发展办公与家庭自动化是大势所趋。这种趋势对未来的办公设备与家用电器的更新换代将产生深远的影响。

工农业生产中的自动控制、科学技术研究与国防现代化中的自动控制、办公乃至家庭自动化已成为现代化社会的标志。目前，自动控制技术正在人们的一切社会活动中起着越来越重要的作用，而且这种发展趋势越来越快。各行各业所采用的自动控制系统虽然有所不同，但概括起来说，自动控制系统具有以下一些重要特点，一是自动控制系统的应用范围不断扩大、控制精度不断提高、智能化程度日益增加；另一个是自动控制技术不仅仅能代替人无法完成的体力劳动，而且在大量地代替着人的脑力劳动；对于后者，其发展的空间将会更为广阔。

自动控制技术向着综合化的方向发展，其社会效益越来越大，应用的领域也越来越大，因此，在自动控制系统中引用系统的观点，是十分必要的。自动控制技术发展的本身，显示出知识密集化、高技术集中化的特点，它是许多种技术科学、多种工程技术结合的产物。

发展自动控制技术会不会造成大量失业，这种疑虑在国外曾经出现过。美国在 20 世纪 50 年代就有不少人反对发展自动控制，这些人认为到 1970 年将使 700 万人失业。而事实相反，随着自动控制的发展，许多企业得到飞速发展，到 1970 年前后，美国反而增加了 700 万人的就业机会。在发达国家中，日本机器人最多，但失业率却最低。这说明自动控制与失业没有必然的联系，更没有因果关系。在中国，发展适用的自动控制技术，可以大大提高劳动生产率，促进经济发展，从而给更多的企业创造机遇，使大量的劳动力有新的就业机会。同时，社会经济的发展与进步，将促使更多的劳动者去提高自身的科学文化素质，也将进一步繁荣科学文化教育事业，这将形成一个劳动力素质提高的良性循环。

过程参数检测与控制仪表是自动控制系统中重要的组成部分。尤其是在工业生产过程的自动控制系统中，如果没有过程参数检测与控制仪表的不断更新换代及其所形成的标准化、系列化产品，过程自动控制系统与技术的广泛应用将是不可能的。随着自动控制技术的不断发展和领域不断拓宽，过程参数检测与控制仪表也必将会有更大的发展。当前，计算机技术的发展为智能化仪表的发展提供了强有力的技术支持，越来越多的智能型仪表在自动控制系统中运用，充分显示了他们的适应性强、使用灵活、安全可靠的优点。

近些年来，过程参数检测仪表发展迅速，新的检测手段与方法不断被研究开发成功，如光纤传感器、表面弹性波传感器、离子敏感场效应管传感器、生物传感器等等。新的检测方法手段的出现，不仅扩大了检测仪表能够检测的参数类型范围、还提高了参数检测的精度与可靠性、同时还为参数的综合检测开辟了新的途径。随着新理论，新方法、新材料的不断出现，尤其是纳米技术、计算机技术、网络技术的日新月异，必将促使过程参数检测仪表趋向微型化、智能化、网络化。

2. 自动控制技术的发展概况

回顾自动控制技术的发展史可以看到，它与生产过程本身的大发展有着密切的联系，是一个从简单形式到复杂形式，从局部自动控制到全局自动控制，从低级智能到高级智能的发展过程。自动控制技术的发展，大致经历了三个阶段。

20 世纪 50 年代以前，可以归结为自动控制技术发展的第一阶段。在这一时期，自动控制的理论基础是使用传递函数对控制过程进行数学描述，其控制理论以根轨迹法和频率法为基本方法，因而带有明显地依靠人工和经验进行分析和综合的色彩。在设计过程中，一般是将复杂的生产过程人为地分解成若干个简单的过程，最终实现单输入单输出的控制系统。其控制目标也就只能满足于保持生产的平稳和安全，属于局部自动控制的范畴。当时，也出现了一些如串级、前馈补偿等十分有效的复杂系统，相应的控制仪表也从基地式发展到单元组合式。但总的来说自动控制的技术水平还处于低级阶段。

20 世纪 50 ~ 60 年代，是自动控制技术发展的第二个阶段。50 年代末，由于生产过程迅速向大型化、连续化的方向发展，原有的简单控制系统已经不能满足要求，自动控制技术面临着工业生产的严重挑战。幸运的是，为适应空间探索的需要而发展起来的现代控制理论已经产生，并已在某些尖端技术领域取得了惊人的成就。值得注意的是，现代控制理论在综合和分析系统时，已经从局部控制进入到在一定意义下的全局最优控制，而且在结构上已从单环控制扩展到多环控制，其功能也从单一因素控制向多因素控制的方向发展，可以说现代控制理论是人们对控制技术在认识上的一次质的飞跃，为实现高水平的自动控制奠定了理论基础。与此同时，电子数字计算机技术的发展与普及为现代控制理论的应用开辟了新的途径，为进一步推进工业自动化提供了十分有效的技术手段。在 60 年代中期，已出现了用计算机代替模拟调节器的直接数字控制（Direct Digital Control, DDC）和由计算机确定模拟调节器或 DDC 回路最优设定值的监督控制（Supervisory Computer Control, SCC），并有一些成功的报道。在我国，也曾在发电厂和炼油厂进行了计算机控制的试验研究。当时，由于电子计算机不但体积大、价格昂贵，而且在可靠性和功能方面还存在着不少问题，致使这种自动控制的研究基本停留在试验阶段。此外，由于生产过程极其复杂、被控对象的性能指标不易确定，控制模型建立困难、控制策略相对缺乏，现代控制理论与工程实际之间还存在着一定的差距，使得现代控制理论一时还难以大量应用于生产过程。尽管如此，在这一时期，无论是在现代控制理论的应用，还是在工业过程控制系统中引入计算机，都使得自动控制技术有了新的开端和有益的尝试。

进入 20 世纪 70 年代，工业自动化的发展表现出两个明显的特点，这正是工业过程控制进入第三个阶段的标志。

其一，70 年代初，大规模集成电路的成功制造和微处理器的问世，使计算机的功能丰富多彩，可靠性大为提高，而价格却大幅度下降，极大地促进了适用于工业自动控制的控制计算机系列商品面世。尤其是工业用控制器，在采用了冗余技术，软硬件的自诊断功能等措施后，其可靠性已提高到基本上能够满足工业控制要求的程度。值得指出的是，从 70 年代中期开始，针对工业生产规模大、过程参数和控制回路多的特点，为了满足工业用过程控制计算机应具有高度可靠性和灵活性的要求，出现了一种分布式控制系统（Distributed Control System, DCS），又称集散式控制系统。它是集计算机技术、控制技术、通信

技术和图形显示技术于一体的计算机控制系统。该系统一经问世，就受到了工业界的青睐。目前，世界上已有 60 余家公司先后推出了各自开发的自动控制用计算机系统。在我国，一些单位也在研制自己的计算机系统。这种分布式控制系统结构分散，将控制计算机分布到车间和装置一级，不仅大大减少了引起全局性故障的节点，分散了系统的危险性，增加了系统的可靠性，而且还可以灵活方便地实现各种新型控制规律和算法，便于系统的分期调试、投运和功能改型。显然，这种分布式系统的出现，为实现高水平的自动控制提供了强有力的技术支持，给生产过程自动控制的发展带来了深远的影响。可以说，从 70 年代开始，工业生产自动控制已进入了计算机时代。

其二，控制理论与其他学科相互交叉、相互渗透，向着纵深方向发展，从而开始形成了第三代控制理论，即大系统理论和智能控制理论。众所周知，一类复杂的工艺过程，如反应过程、冶炼过程和生化过程等，本身机理十分复杂，还没有被人们充分认识，而且这类过程往往还受到众多随机因素的干扰和影响，难以建立精确的数学模型以满足闭环最优控制的要求。同时，这类过程的控制策略亦有待进一步研究。就目前已有的策略而言，或是过于复杂难以实行在线控制，或者过于粗糙不能满足高水平的控制。解决这类问题的重要途径之一就是将人工智能、控制理论和运筹学三者相结合的智能控制。在我国，已出实现了利用控制系统所纳入的知识和系统的推理判断能力进行实时控制的专家控制系统，该系统可在控制过程中自动进行系统的诊断、预报、决策和控制。

另外，70 年代以来，由于世界范围内出现的能源危机和剧烈的市场竞争，工业生产的规模更趋庞大，一些超大型生产系统相继建成。设备的更新换代，虽能较大地提高了生产率，但要进一步提高产量，降低成本，节约原材料和减少能源消耗并非易事，必须在分散控制的基础上，从全局最优的观点出发对整个大系统进行综合协调。可以说，工业生产实际提出的以优质、高产、低消耗为目标的控制要求，从客观上促进了第三代控制理论的形成和发展。尽管到目前为止，它还处在发展和完善的过程中，但已受到了极大的重视和关注，并取得了很大的进展。在现代控制理论中，非线性系统、分布参数系统、学习控制、容错控制等控制问题在理论上和实践中均得到了发展。总之，在这个阶段中，工业自动化控制正在发生着巨大的变革，它已突破了局部控制的模式，进入到了全局控制。这种全局控制既包含了若干子系统的闭环控制，又有大系统协调控制、最优控制以及决策管理，即人们称之为控制管理一体化的新模式。它的出现，使工业自动化控制系统在大量获取生产过程和市场信息的基础上，科学合理地安排调度生产，以最佳的方式发挥设备的生产能力，最终达到优质、高产、低消耗的控制目标。

从工业自动化的发展进程中，可以得出如下结论：

(1) 工业自动化控制的发展与工业生产过程本身的发展有着极为密切的联系。工业生产本身的发展，如工艺流程的变革、设备的更新换代、生产规模的不断扩大等促进了自动控制技术的发展进程，而自动控制在控制理论和控制手段方面的新成就，又进一步保证了现代工业生产在安全平稳的前提下高效运行，充分地发挥了设备的潜力，提高了生产效率，获取了最大限度的经济和社会效益。

(2) 自动控制技术已进入计算机时代。面对琳琅满目的计算机系统，尽管有不少现成的先进的控制理论，却缺乏行之有效的控制方法以满足工业生产不断提出的更高要求，因此，加强控制理论与生产实际的密切结合，注意引入智能控制、专家系统，逐步形成不同

形式的既简单又实用的控制结构和算法，是今后过程控制领域的主要研究内容。

3. 自动控制技术在给水排水工程中的应用

20 世纪 70 年代以来，随着自动化技术、计算机控制与网络技术、水质与水系统工程理论与应用技术的不断发展，给水排水工程的各个领域越来越多地引进了这些先进技术，使自身的自动化程度较之过去有了很大的发展，各种先进的自动监测、自动控制设备已在给水排水工程中得到了较为广泛的应用。如在建筑给水工程中，水泵水箱联合供水系统几乎全部采用了自动控制；各种给水排水系统中，水泵变频调速控制系统的应用也越来越普遍；消防给水系统的自动控制已跨入系统化、智能化的时代；水处理厂中水质的自动监测，给水处理过程中混凝剂、消毒剂的自动投加，水厂运行控制的微机化与信息管理的网络化，已成为当今水厂建设与运行管理的主流趋势；城市给水管网运行的优化控制，需要最现代的控制理论、控制技术与控制系统；自动化纯水制备装置；小区与楼宇的中水处理与供给系统的自动控制；水环境的自动监测等等。可以预言，21 世纪给水排水工程自动控制技术将会得到更为广泛的应用。作为 21 世纪的专业技术人员，不可避免地会在工程中遇到有关过程自动控制方面的问题。因此，了解自动控制的基本原理，懂得实现过程自动控制的基本方法，掌握自动控制技术在本专业范围内应用的基本知识，是十分必要的。

第1章 自动控制基础

1.1 自动控制系统及其分类

1.1.1 自动控制系统及其作用

一般的产品生产都要经过一系列工艺才能最终完成，其中每一个工艺的完成，都必须有一个过程，我们称之为生产过程。与产品的生产类似，为了保持室内的温度能够在一定的范围内，一个空气调节系统所进行的温度调节工作，也可以称之为空气调节过程；为了保证室内的给水系统水压能够满足用户的使用压力，一个室内给水系统所进行的水压控制工作，同样也可以称之为水压控制过程；与之类似，还可例举出很多相似的过程。如果某一设备装置系统，为了某一目的而完成了一系列的动作，都可以类似的将这一系列的动作称为某一过程。众所周知，在产品的生产过程中，其生产工艺过程进行状态的好坏，将直接影响产品生产的数量与质量。如果能够对生产工艺过程进行控制调节，使其始终处于正常的工作状态，就能够保证所生产产品的数量与质量。同样，对任何一个过程，进行必要的控制和调节，就是要使该过程运行的结果达到预期的目的。

对一个过程进行控制，可以采用手动操作的方法完成，也可以依靠由仪器设备装置组成的系统自动进行操作来完成。由手动操作完成的过程控制，称为人工过程控制；由仪器设备系统自行完成的过程控制，则称为自动过程控制。在对一个过程进行控制时，无论是人工控制还是自动控制，都要从能反映过程状态变化的某些特征量中，及时了解过程状态是否处于正常。如果特征量值出现异常，则可针对过程当前的状态采取相应的控制操作，对过程状态进行控制和调整，以使整个过程重新回到人们所希望的状态。这些能反映过程状态或需要及时进行调整的特征量值，往往被称为过程参数。要及时了解生产过程的运行状态，就需要从正在运行的生产过程中快速、准确、连续地检测这些特征量的值，即从过程中提取过程参数，这就是过程参数的实时监测。如果能使用某些操作人为地改变过程中的某些特征量，使过程按照预期的状态正常进行，这就是过程参数控制，也称作过程参数调节。在一个生产过程自动控制系统中，用于完成生产任务且需要进行控制的设备装置，称为受控对象；用于参数监测和过程状态控制调整的设备装置，称为控制系统。

如在净水厂的给水处理过程中，经常需要对水在各工艺环节中的浊度、流量、液位等过程参数进行检测，并根据水质情况对水处理过程加以控制，使其最终达到规定的水质标准。如果当浊度、流量、液位的变化偏离了所允许的正常值时，使用手动方法对过程参数进行调整，使其恢复正常值，则该过程为人工过程控制；若上述过程是由仪器仪表装置系统自行控制并使其恢复到正常值，则该过程为自动过程控制；水处理过程就是受控过程，用于对水处理过程进行自动控制的浊度、流量、液位等一整套仪表与控制设备装置，称为

自动控制系统。

自动控制系统就是用仪表与控制设备装置来代替人的感官、大脑与动作的功能，完成对生产过程进行控制的系统。由于自动控制系统具有准确，可靠、快速，不易产生主观误差等优点，所以得到了广泛地应用。采用自动控制技术，不但减轻了人的劳动强度，改善了工作环境，而且还能提高产品质量，降低生产成本，增加经济效益。因此，自动控制理论及其技术得到了广泛的应用。

举例来说，对于一个由自动控制系统控制的室内温度调节系统，同样可以将整个系统分为受控对象和自动控制系统两大部分。一是受控对象，就是指可以使室内温度升高的加热装置或使室内温度降低的制冷装置，它们的作用主要是升高或降低室内温度；二是自动控制系统，就是指主要由监测室内温度的传感器、比较室内实际温度与所需控制温度并给出调节命令的控制器、接受调节命令并使电热装置或制冷装置动作的执行器所组成的控制系统。

图 1.1 所示，为蒸汽加热容积式热交换器热水出口水温人工控制系统。现以该系统为例，介绍过程控制的基本概念。图中的受控过程是保持热水出口温度在一定范围内的控制过程；受控对象是热交换器；受控参数是容积式热交换器热水出口的热水温度，受控过程的影响因素有：冷水进水温度；热水、冷水流量；热媒蒸汽进口压力、流量；热交换器表面散热等。自动控制系统的任务，是保证热水出口的热水温度在某规定温度范围内，其中需要监测的主要过程参数是热水出口水温，需要控制的主要过程参数是蒸汽流量。

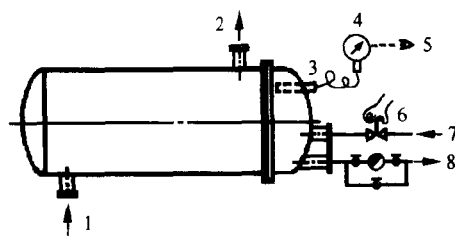


图 1.1 蒸汽加热容积式热交换器热水出口水温人工控制系统

1—冷水进口；2—热水出口；3—温度传感器；
4—温度显示表；5—人眼；6—手动蒸汽调节阀；
7—热媒蒸汽进口；8—蒸汽回水出口

容积式热交换器的工作过程是：蒸汽作为热媒进入容积式热交换器的加热盘管，其携带的热量通过加热盘管管壁间接传递给管壁外的冷水使其温度升高，释放了热量的蒸汽凝结为热水，然后通过疏水器流出加热盘管；在不断的换热过程中，进入容积式热交换器的冷水逐渐升温成为热水，然后从容积式热交换器的热水出口送出。容积式热交换器工作时，一般要求其热水出口的水温必须满足在一定的温度范围内，水温高于或低于所要求的温度范围都不能满足使用要求，这种供水方式可以称之为恒温热水供应方式。在恒温热水的供应过程中，假如进入热交换器的冷水流量、冷水进口温度以及加热蒸汽的压力、流量等过程参数都保持恒定不变，根据热平衡原理可知，热交换器热水出口的热水温度也将保持恒定不变。但实际上，以上所述的过程参数往往是不断变化的。如冷水进口温度的变化、热水出口流量的变化、加热蒸汽压力与流量大小的波动等，都会直接影响热交换器热水出口的热水温度。为了保证热交换器热水出口的热水温度稳定在既定范围内，就必须根据热交换器热水出口实际水温与既定水温的偏差情况，随时开大或者是关小蒸汽进口阀门，改变热媒蒸汽的流量，使热交换器热水出口温度满足既定范围的限值要求。这就是蒸汽加热容积式热交换器热水出口温度的控制过程。从热交换器热水出口温度的检测，热交换器热水出口水温与既定水温的比较，控制指令的发出，到控制蒸汽阀的开度，这中间所

涉及的设备装置都属于容积式热交换器的温度控制系统。以上热交换器蒸汽进口阀门的控制如果由手动操作来完成，则称为人工控制（或手动控制）；如果由仪表及必要的自动控制设备来完成，则称为自动控制。

图 1.1 即为人工控制的实例。首先由人的眼睛去观察加热器热水出口附近的温度显示表并读出热水温度值；接着温度信息传入大脑，由大脑将观测温度与既定温度进行比较，然后计算偏差量；再由大脑根据温度偏差的大小及可能的变化趋势，做出应把热媒蒸汽阀门的开度作何种调整的决定；最后由大脑发出控制命令，指挥手去开大和关小阀门，将热交换器热水出口的水温控制到所要求的既定温度范围内；这就是容积式热交换器热水出口水温恒温过程的人工控制。

虽然很多过程的控制可以依靠人工去完成，但是，人工控制在很多方面有难以克服的缺陷。例如，在一些状态变化频繁的过程中，控制调节者的劳动强度过大，有时控制的速度往往难以达到过程控制的要求；再如，如果生产过程处于高温、高压、有毒等恶劣环境下，这就可能危及操作者的身体健康；又如，有些过程的控制调节操作地点，甚至让操作者根本无法接近；还有，由于人所能提供的操作量有限，导致有一定规模的过程需要操作者的人数很多，这样不仅占用大量劳动力，对过程的整体经济效益并无好处，而且有可能由于人为因素比例增大，使得过程的安全可靠性降低。于是，人们尝试着采用各种仪表和设备装置来减轻或替代人的部分劳动，并逐渐将控制水平加以提高。最终这种技术发展为：在很多方面人们可以借助于仪表与设备装置系统，完全替代人的眼、脑、手进行的人工操作，自动对过程进行控制，这就形成了过程控制技术。过程控制技术专门研究如何采用过程自动控制系统完成对受控过程的控制，也可称作过程的自动化。

蒸汽加热容积式热交换器热水出口水温自动控制系统如图 1.2 所示。图中热交换器热水出口水温采用自动控制系统进行控制，该系统采用温度传感器来测量并传递热水出口水温信号，以此代替温度显示仪表与人眼的作用；接着将测得的温度信号送至自动控制设备，由自动控制设备把得到的温度测量信号与要求的温度范围值作比较，计算出偏差的大小、方向、变化趋势并发出控制指令，起着人脑的作用；最后用一个控制执行机构，这里是一种电动调节阀门，它接受自动控制设备发出的控制指令，自动按控制指令去开大和关小蒸气调节阀，控制进入热交换器的蒸汽量，代替人手的作用；各环节紧密联系，最终完成对容积式热交换器热水出口水温恒温供水的自动控制。

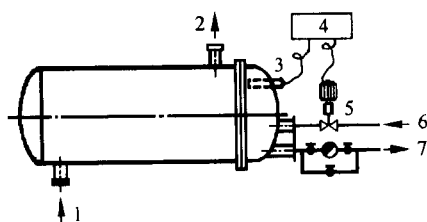


图 1.2 蒸汽加热容积式热交换器热水出口水温自动控制系统

- 1—冷水进口；2—热水出口；3—温度传感器；
4—自动控制设备；5—电动蒸汽调节阀；
6—热媒蒸汽进口；7—蒸汽回水出口

上述自动控制系统的工作过程可用框图形式表示，如图 1.3。其控制流程为：容积式加热器热水出口温度变化——温度传感器将变化情况转变为相应的电信号——来自温度传感器的电信号与反映温度既定值的电信号（给定值）进行比较——将温度传感器信号与给定值相比的偏差信号送入温度调节器——由温度调节器根据偏差信号的大小及其变化情况计算得出输出量并向执行器发出调节指令——位移执行器根据温度调节器的指令进行位移操作——蒸汽调节阀按照位移执行器给出的位移量改变阀门的开启度——在蒸汽调节阀的

调节下热媒蒸汽量改变——进入容积式热交换器的热量改变——出口热水温度得到控制。在上述控制过程中，热媒蒸汽及其回水流量作为受控对象温度改变的调控物质，是受控对象的输入量；热水温度作为调控目标是受控对象的输出量；冷水温度变化、热水流量变化、蒸汽压力波动等为受控对象控制过程中的主要干扰量。

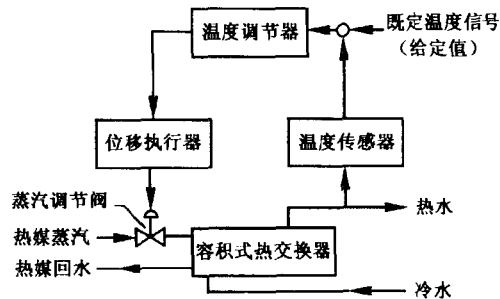


图 1.3 容积式加热器热水出口水温
自动控制系统工作原理框图

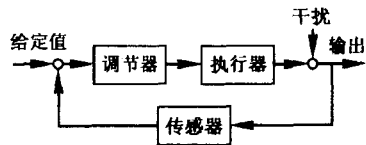


图 1.4 自动控制系统工作基本原理

对于一般的自动控制系统，虽然所采用的仪器、仪表、设备等不尽相同，但它们的工作原理基本相同，如图 1.4 所示。图 1.4 中，传感器从受控过程中提取状态参数并将其反馈至调节器；调节器比较反馈信号与给定值的偏差然后根据调节规律计算给出调节指令；执行器根据调节指令调整受控对象的状态，最终使得受控对象的受控参数输出值在所允许的范围内。

1.1.2 自动控制系统的组成

在自动控制系统中，无论是工艺过程中需要被控制的设备，还是自动控制系统中所需要的仪表、设备、装置等，一般可按照它们在系统中的功能分为几部分，下面分别介绍自动控制系统的组成及各组成部分的作用。

1.1.2.1 受控对象

在自动控制系统中，完成特定的工艺过程且需要被控制的设备称为受控对象，简称对象。例如，净水厂中各种水处理设备、建筑给水排水工程中的水泵及其管道系统等都可称作受控对象。

受控对象的运行状态，可以通过反映运行状态的过程参数的变化来了解。过程参数中，一些过程参数的改变可决定受控对象的运行状态。因此，要想控制受控对象的运行状态，可以通过调整受控过程中的过程参数来实现，以达到使受控过程按照人们的意愿正常运行的目的。在给水处理工程中，经常需要对液体的温度、压力、流量、液位等过程参数进行控制，以使给水处理工程系统按照人们的意愿运行。一个自动控制系统能够控制的对象，可以是某一工艺过程中需要控制的所有设备，也可以是该中工艺过程中需要控制的某一局部的设备，还可以具体到一个设备需要控制的某个局部环节。一般情况下，受控对象是指一个独立的自动控制系统所控制的对象。

1.1.2.2 传感器

能够感受过程参数的变化，并能将变化情况转变成可传递信号的仪器称为传感器。传