



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

# 给排水工程仪表与控制

(第三版)

崔福义 彭永臻 南 军 杨 庆 编 著  
张 杰 主 审

中国建筑工业出版社  
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

# 给排水工程仪表与控制

(第三版)

崔福义 彭永臻 南 军 杨 庆 编著  
张 杰 主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

给排水工程仪表与控制/崔福义等编著. —3 版.  
北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 2

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-20413-7

I. ①给… II. ①崔… III. ①给排水系统-自动化仪表-高等学校-教材②给排水系统-自动控制-高等学校-教材 IV. ①TU991.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 027522 号

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, 给排水自动化仪表与设备, 水泵及管道系统的控制调节, 给水处理系统控制技术, 污水处理厂的检测与仪表, 污水处理厂的监视操作与自动控制等。

本书可作为高等学校给排水科学与工程专业(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, 还可以供有关工程技术人员参考。

责任编辑: 王美玲 齐庆梅

责任设计: 韩蒙恩

责任校对: 李欣慰 李美娜

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材  
**给排水工程仪表与控制**

(第三版)

崔福义 彭永臻 南 军 杨 庆 编著  
张 杰 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

大厂回族自治县正兴印务有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{1}{4}$  字数: 601 千字

2017年5月第三版 2017年5月第二十五次印刷

定价: 47.00 元(含光盘)

ISBN 978-7-112-20413-7

(29784)

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)

## 第三版前言

该书第三版继续作为国家“十二五”规划教材出版。第一版曾获得国家优秀教材二等奖。第二版为国家“十五”规划教材。在第二版使用期间，教育部将我国的给水排水工程专业名称正式更名为“给排水科学与工程”，专业定位与专业内涵更加明晰；高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会组织编写的《高等学校给排水科学与工程本科指导性专业规范》中，对仪表与控制的知识有了明确的要求，构成本专业学生必修的核心知识的重要组成部分。该书第三版为了更好地满足相关教学要求，在第二版的基础上又进行了较大幅度的修订。

第三版教材除了更正第二版中的个别文字错误外，主要结合近年水质在线检测技术的新发展和水厂单元控制的新技术，进行了修订和充实。给水排水工程相关的仪表与控制技术发展很快，虽然在修订中不断更新，仍不能跟上技术与应用的进展。因此建议使用该教材的学校在教学中参考教材的基本结构，具体内容不必拘泥于教材素材，要注意补充最新的技术进展和工程实例用于教学。

各校相关课程的教学计划学时不同，考虑到各校不同需要，本书的内容较多，各校在使用时要适当取舍，但是应该全面覆盖专业规范规定的核心知识点内容。

作者再次强调，该书不是一本单纯的讲述自动化知识的教材，而是将自动化与给水排水工程密切结合的、站在给水排水工艺技术的角度了解和认识自动化仪表与监控技术的教材，是此方面的一本入门教材。在教学安排上，建议在学习完水质工程学、给水排水管道系统、建筑给水排水等主要专业课程后，安排本课程。也建议在教学的实践性环节中，如实习、设计等，适当安排相关的教学内容，以加深对本课程知识的认识与理解。希望给排水科学与工程专业学生在学习了此课程后，能对仪表与自动控制相关知识有基本的了解与认识，能初步达到与相关专业沟通、提出对工艺系统的监控要求的目的，或者为在自动化方面的进一步深造奠定基础。

本书由哈尔滨工业大学教授张杰院士主审。作者诚挚感谢张杰院士的认真审阅与赐教。本教材各版的使用和编写，都得到了高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会的大力支持，也得到了全国许多相关院校的支持并获得了很多富有价值的建议，作者对此表示衷心的感谢。书中的素材有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，在参考文献中难以一一列举，对这些论著的作者也一并表示感谢。本书的出版得到了中国建筑工业出版社的大力支持，在此也对本书编辑的辛勤工作与奉献表示衷心感谢。

本书由崔福义主编。具体的编写分工是：第1~4章由崔福义、南军执笔，第5、6章由彭永臻、杨庆执笔。

限于作者的水平，书中仍会有不少不足、不完善之处，恳请有关专家和使用本教材的老师和同学们批评指正。

崔福义

2016年10月于哈尔滨工业大学

## 第二版前言

该书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。其第一版曾获得国家优秀教材二等奖。在1998年第一版面世之后，我国的给水排水工程专业进行了大规模的改革，提出了将给水与排水相统一的新专业名称“给排水科学与工程”，专业指导委员会颁布了新的本科培养方案，专业的内涵得到扩大、培养内容更加充实、课程体系更加合理，体现了社会发展和科技进步对本专业的要求。新培养方案强调以水质为中心，建立系统、宽广的知识结构，以水质在线检测仪表与监控技术为主要内容的自动化知识就是其中重要的组成部分，而且随着本领域自动化、数字化水平的不断提高，其重要性还在不断加强。为此，在新的培养方案中，将“给排水工程仪表与控制”列为10门主干课程之一，本书就是与之配套的专用教材。根据专业指导委员会关于专业名称的意见，本次再版将书名更改为《给排水工程仪表与控制》。

近年来，给排水在线检测仪表与监控技术得到了快速的发展，应用更加普遍。能实现在线检测的水质参数仪表种类在增加，控制方法与技术在发展，新建水厂几乎无一例外地都要考虑设置不同程度的在线监控系统；不仅水处理过程监控技术得到普遍应用，而且水源水质预警、管网水质监控与管网优化调度技术等都有越来越多的研究与应用。特别是随着水污染的加剧与水质突发事件的频发，水质在线监控技术更加引起人们的重视，这些技术与设备在保障水质安全中发挥着不可替代的作用。在线监控技术与设备已成为给排水系统中不可缺少的组成部分。

正是在此背景下，作者对该书进行了修订。此次再版，除了订正第一版中个别文字错误外，主要充实更新了许多内容。近年来该领域技术与应用的进步，为教材编写提供了较丰富的素材；同时，在内容的选取上，作者也注意进一步加强教材内容的系统化，以便教与学；在内容的深度上，主要考虑本专业本科教学的需要，适当兼顾研究生教学，根据不同的情况讲授内容可酌情选取。作者仍然强调，该书不是一本单纯的讲述自动化知识的教材，而是将自动化与给排水工程密切结合的、站在给排水工艺技术的角度了解和认识自动化监控技术的教材，是此方面的一本入门教材。在教学安排上，建议在学习完水质工程学、给排水管道系统、建筑给排水等主要专业课程后，安排本课程。也建议在教学的实践性环节中，如实习、设计等，适当安排相关的内容，以加深对本课程知识的认识与理解。希望给排水科学与工程专业学生在学习了此教材后，能对相关知识有基本的了解与认识，能初步达到与相关专业沟通、提出对工艺系统的监控要求的目的，或者为在自动化方面的进一步深造奠定基础。

限于作者的水平，书中还会有不少不足、不完善之处，恳请有关专家和使用本教材的老师和同学们批评指正。

本书由中国工程院院士、哈尔滨工业大学张杰教授主审。作者诚挚感谢张杰院士的认真审阅与赐教。在本教材第一版的使用和第二版的编写中，得到了专业指导委员会的大力

支持，也得到了全国许多相关院校的支持并获得了许多富有价值的建议，作者对此表示衷心的感谢。书中的素材有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，在参考文献中难以一一列举，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、南军执笔，第5、6章由彭永臻执笔。

# 第一版前言

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，一个新兴的产业——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，多学科的交叉渗透，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，了解有关的控制技术概况与特点，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、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，马勇同志为第 5、6 章的编写做了许多工作，谨致谢意。



# 目 录

<b>第 1 章 自动控制基础知识</b> .....	1
1.1 自动控制系统的概念、构成与分类 .....	1
1.1.1 自动控制系统的概念与构成 .....	1
1.1.2 自动控制系统的分类 .....	5
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 .....	11
1.3 自动控制系统的过渡过程及品质指标 .....	16
1.3.1 典型输入信号 .....	16
1.3.2 自动控制系统的静态与动态 .....	18
1.3.3 自动控制系统的过渡过程 .....	18
1.3.4 自动控制系统的品质指标 .....	20
1.4 自动控制的基本方式 .....	22
1.4.1 位式控制 .....	23
1.4.2 比例控制 .....	24
1.4.3 比例积分控制 .....	27
1.4.4 比例积分微分控制 .....	30
1.4.5 控制方式的选择 .....	33
1.4.6 控制参数整定 .....	34
1.5 双位逻辑控制系统 .....	37
1.5.1 逻辑代数初步 .....	38
1.5.2 真值表 .....	42
1.5.3 卡诺图 .....	43
1.5.4 双位逻辑系统的结构与实现方法 .....	46
1.5.5 逻辑控制系统的建立 .....	49
1.6 计算机控制系统 .....	50
1.6.1 计算机控制系统的组成 .....	50
1.6.2 计算机控制系统的典型应用方式 .....	52
1.7 智能控制技术 .....	54
1.8 控制科学与技术的发展 .....	55
1.8.1 控制科学与技术的发展状况 .....	56
1.8.2 大数据时代智慧城市中的控制科学 .....	57

思考题与习题 .....	60
<b>第2章 给排水自动化仪表与设备 .....</b>	<b>61</b>
2.1 检测技术基础 .....	61
2.1.1 检测的基本概念 .....	61
2.1.2 检测仪表的组成 .....	62
2.1.3 仪表的性能指标 .....	64
2.1.4 检测仪表的发展方向 .....	69
2.2 典型水质检测仪表 .....	70
2.2.1 pH 检测仪表 .....	70
2.2.2 碱度检测仪表 .....	72
2.2.3 电导率/酸碱盐浓度检测仪表 .....	76
2.2.4 氧化还原电位检测仪表 .....	79
2.2.5 溶解氧检测仪表 .....	82
2.2.6 浊度检测仪表 .....	84
2.2.7 颗粒计数检测仪表 .....	88
2.2.8 生化需氧量 (BOD) 检测仪表 .....	90
2.2.9 化学需氧量 (COD) 检测仪表 .....	91
2.2.10 紫外 UV 在线分析仪表 .....	94
2.2.11 总有机碳 (TOC) 检测仪表 .....	95
2.2.12 消毒剂在线检测仪表 .....	96
2.2.13 水中油分析仪 .....	102
2.2.14 氟离子在线检测仪表 .....	103
2.2.15 氯离子在线检测仪表 .....	105
2.2.16 硝氮在线检测仪表 .....	106
2.2.17 氨氮在线检测仪表 .....	108
2.2.18 总磷和正磷酸盐在线检测仪表 .....	111
2.3 水质生物毒性检测技术 .....	114
2.3.1 生物毒性检测技术 .....	115
2.3.2 发光细菌在线毒性监测仪 .....	116
2.3.3 微生物法在线水质预警仪 .....	117
2.4 水质自动监测系统 .....	118
2.4.1 水质自动监测站 (点) 的设置 .....	118
2.4.2 自动站水样的采集 .....	120
2.4.3 自动监测的项目和仪器的选定 .....	121
2.4.4 多维矢量水质综合预警系统 .....	123
2.4.5 数据的传输及处理 .....	126
2.5 工作参数在线检测仪表 .....	127
2.5.1 流量检测仪表 .....	127
2.5.2 压力检测仪表 .....	142

2.5.3 液位检测仪表 .....	146
2.6 可编程控制仪表 .....	149
2.6.1 PLC 概述 .....	150
2.6.2 PLC 控制系统与电器控制系统的比较 .....	153
2.6.3 PLC 的基本组成 .....	155
2.6.4 PLC 的工作原理 .....	161
2.6.5 PLC 在集散控制系统中的作用及其发展趋势 .....	162
2.7 执行设备 .....	165
2.7.1 往复泵及其调节 .....	166
2.7.2 离心泵及其调节 .....	168
2.7.3 调节阀的基本特性 .....	173
思考题与习题 .....	176
<b>第3章 水泵及管道系统的控制调节 .....</b>	<b>178</b>
3.1 调节的内容与意义 .....	178
3.2 水泵—管路的双位控制系统 .....	178
3.3 水泵的调速控制 .....	182
3.3.1 水泵调节的类型 .....	182
3.3.2 水泵的调速方法 .....	183
3.3.3 水泵调速运行的方式 .....	185
3.4 恒压给水系统控制技术 .....	185
3.4.1 变频调速恒压给水技术 .....	186
3.4.2 恒压给水系统压力控制点的位置 .....	187
3.4.3 变频调速给水系统中水泵的组合优化 .....	190
3.4.4 气压给水系统的控制问题 .....	192
3.5 污水泵站组合运行系统 .....	194
3.5.1 控制系统的构成 .....	194
3.5.2 系统软件设计 .....	195
3.5.3 运行效益分析 .....	197
3.6 城市供水管网工作状态的在线监测 .....	197
3.6.1 组成特点 .....	198
3.6.2 城市供水管网水质在线监测 .....	199
3.6.3 城市供水管网在线压力监测点布设 .....	201
3.6.4 城市供水管网漏损控制 .....	203
3.7 给水监控与调度系统 .....	204
3.7.1 系统结构和功能 .....	205
3.7.2 数据管理和应用 .....	205
3.7.3 中心调度室的设施 .....	206
3.7.4 城市供水监控与调度系统应用实例 .....	206
思考题与习题 .....	209

<b>第 4 章 给水处理系统控制技术</b> .....	210
4.1 混凝投药单元的控制技术 .....	210
4.1.1 混凝与混凝控制 .....	210
4.1.2 混凝控制技术分类 .....	212
4.1.3 几种典型的混凝控制技术简介 .....	212
4.1.4 流动电流混凝控制技术 .....	218
4.1.5 透光率脉动混凝投药控制技术 .....	225
4.1.6 絮体影像混凝投药控制技术 .....	232
4.1.7 混凝投药智能复合控制技术 .....	236
4.2 沉淀池运行控制技术 .....	243
4.2.1 技术概况与分类 .....	243
4.2.2 高密度沉淀池的运行控制 .....	244
4.2.3 应用实例 1 .....	246
4.2.4 应用实例 2 .....	246
4.2.5 应用实例 3 .....	249
4.3 滤池的控制技术 .....	249
4.3.1 滤池控制的基本内容与基本方式 .....	249
4.3.2 虹吸滤池的运行控制实例 .....	250
4.3.3 均质滤料滤池运行控制技术 .....	252
4.4 氯气的自动投加与控制技术 .....	258
4.4.1 氯投加系统与设备 .....	258
4.4.2 氯气投加的自动控制 .....	260
4.4.3 某水厂加氯系统应用实例 .....	261
4.4.4 应用中的一些问题 .....	265
4.5 基于 PLC 的集散控制系统在水厂的应用 .....	265
4.5.1 生产过程自动化控制的结构 .....	266
4.5.2 生产现场控制单元智能控制终端的选择 .....	266
4.5.3 数据通信网络的设计 .....	267
4.5.4 系统检测及控制功能 .....	267
4.5.5 中控室 .....	269
思考题与习题 .....	269
<b>第 5 章 污水处理厂的检测与仪表</b> .....	270
5.1 概述 .....	270
5.1.1 安装仪表设备的目的 .....	271
5.1.2 设计与安装仪表设备的要点 .....	271
5.2 污水处理厂的检测项目与取样 .....	272
5.2.1 常规检测项目 .....	272
5.2.2 检测的取样 .....	273
5.3 检测仪表与方法的选择 .....	276

5.3.1	仪表的安装位置与检测对象	276
5.3.2	检测仪表与方法的选择	276
5.4	污水处理厂常用的检测方法与仪表设备	284
5.4.1	流量的检测方法与设备	284
5.4.2	污泥浓度的检测方法与仪表	287
5.4.3	污泥界面的检测方法与仪表	288
5.4.4	有机物的检测方法与仪表	289
5.4.5	呼吸仪的检测原理及其测量方法	291
5.4.6	营养物在线传感器	293
5.4.7	采样系统	294
5.4.8	检测信号的变换方法	295
5.4.9	信号的接收及其仪表设备	297
5.4.10	仪表设备的设置	298
	思考题与习题	298
<b>第6章</b>	<b>污水处理厂的监视操作与自动控制</b>	<b>300</b>
6.1	监视操作	300
6.1.1	监视操作方式	300
6.1.2	监视操作项目	303
6.1.3	监视操作仪表设备	304
6.2	污水处理厂自动控制系统的分类组成与特点	307
6.2.1	污水处理厂控制系统的分类	307
6.2.2	污水处理厂控制系统的组成与特点	312
6.3	污水泵站的自动控制及其设备	317
6.3.1	污水泵站的自动控制	317
6.3.2	污水泵站的远距离监视控制	323
6.3.3	排水泵站计算机控制与管理系统的应	325
6.4	污水一级处理的过程控制	329
6.4.1	污水预处理设施	329
6.4.2	初次沉淀池	329
6.5	污水二级处理的过程控制	330
6.5.1	A <sup>2</sup> /O的控制与优化	330
6.5.2	SBR的控制与优化	341
6.5.3	生物膜法的控制与优化	348
6.5.4	厌氧生物处理的控制与优化	353
6.6	污水三级处理的过程控制	359
6.6.1	化学除磷	359
6.6.2	加氯消毒混合池	360
6.7	污泥处理的过程控制	361
6.7.1	污泥浓缩池	361

---

6.7.2 厌氧消化池 .....	361
6.7.3 污泥脱水预处理设施 .....	362
6.7.4 脱水机 .....	363
6.8 污水处理系统 ICA 技术及其现状 .....	364
6.8.1 ICA 技术及其运行目标 .....	364
6.8.2 ICA 技术的限制性和促进性因素 .....	365
6.8.3 ICA 技术在国内外的应用现状 .....	366
6.8.4 污水处理控制系统的发展方向 .....	369
思考题与习题 .....	371

# 第 1 章 自动控制基础知识

## 1.1 自动控制系统的概念、构成与分类

### 1.1.1 自动控制系统的概念与构成

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，在人力不能胜任时，应用自动控制技术就可以保证高质量地完成任务。

#### 1. 基本概念

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，大脑和神经等控制器官，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。所谓自动控制是在人不直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（称自动控制装置）使整个生产过程或工作机械（称被控对象）自动地按预定规律运行，或使其某个参数（称被控量）按预定要求变化。现以水池水位控制系统为例，说明自动控制的基本概念。

在给排水工程中，贮液容器是最常见的设备。在图 1.1 水池中，水源源不断地经阀门流进水池，而由出水管道流出供用户使用。若要求在出水量随意改变的情况下，保持水位高度不变，则可由人工操作实现。操作人员首先测量水池实际水位，并将它与要求值比较，得出偏差，然后根据偏差大小调节进水阀门的开启程度，通过改变进水量使水池水位达到要求值，这是人工操作的过程。由人工完成控制任务的系统叫做人工控制系统。在图 1.1 中，水池是被控对象，水池水位是被控量。

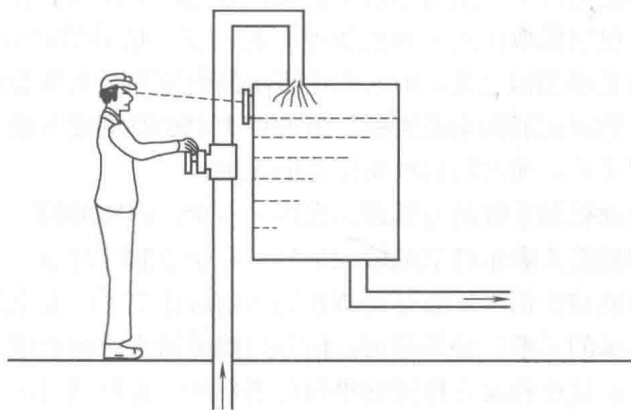


图 1.1 人工控制水池示意图



若用自动控制装置代替操作人员完成人工操作过程，则可构成自动控制系统。自动控制装置一般应包括以下几部分：

- (1) 测量元件。测量被控量的实际值或对被控量进行物理量的变换；
- (2) 比较元件。将测量结果和要求值进行比较，得到偏差；
- (3) 调节元件。根据偏差大小产生控制信号，调节元件通常包括有放大器和矫正装置，它能放大偏差信号并使控制信号和偏差具有一定关系（称调节规律）；
- (4) 执行元件。由控制信号产生控制作用，从而使被控量达到要求值。

图 1.2 是水池水位自动控制系统的一种形式。这里，浮子是测量元件，连杆起比较作用。电位器输出电压反映水位偏差。放大器、伺服电动机、减速器和阀门等起调节和执行作用。由此可见，自动控制系统是由被控对象和自动控制装置按一定方式连接起来的、完成一定自动控制任务的总体。

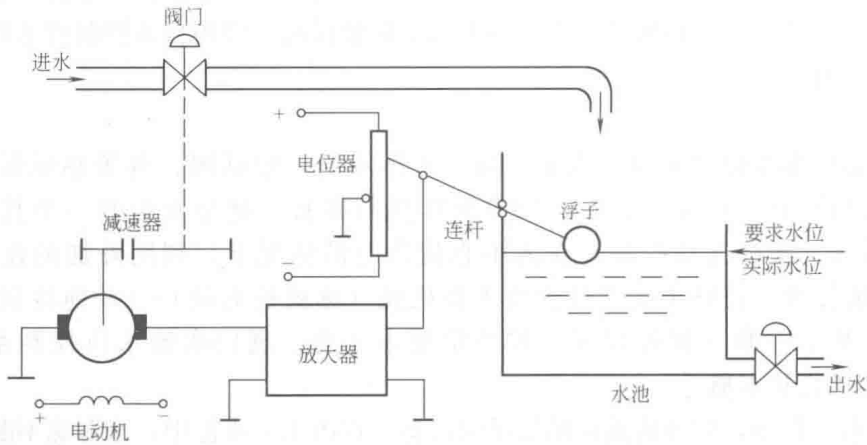


图 1.2 水位自动控制系统示意图

为了更清楚地表示控制系统的组成以及各组成部分信号传送的关系，常画出控制系统的元件作用图，简称方框图。在方框图中，每个组成部分用一个方框表示，并标上该组成部分的名称，一个方框可以对应于一个元件或一个设备，或几个设备的组合，或一个局部的生产过程，通常称之为环节。信号用箭头表示。方框图中还包含有信号的分支点（表示信号分成多路输出，也叫做取出处）和相加点（表示多个信号的代数相加）。方框图和生产流程图在形式上有某些相似之处，但它们所表示的内容却有本质的区别。生产流程图中的各个线条，表示了物料流通的来龙去脉，但方框图中的联络线条则表示两个环节之间的信号传递和相互作用关系，而与物料的实际流向无关。

图 1.3 为水位自动控制系统的方框图。在图 1.3 中，图中的箭头方向表示相互作用的因果关系。指向方框的箭头表示环节的输入信号，它是引起该环节变动的原因，背离方框的箭头，表示该环节的输出信号，它是环节在输入信号作用下的变化结果，所以输入信号和输出信号是前因后果的关系。必须指出，信号只能沿箭头方向行进，不能逆行，否则将使输入输出关系紊乱，这也就是方框图的单向传递特性。方框图是研究自动控制系统的有力工具，任何一个自动控制系统都可以用方框图简明扼要地表示出来。

用方框图表示自动控制系统的优点是：只要依照信号的流向，便可将表示各元件或设

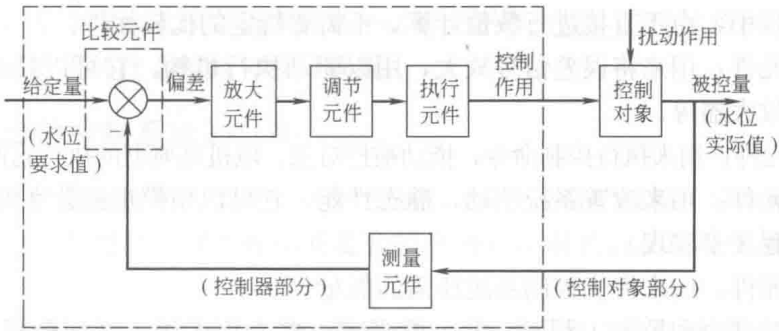


图 1.3 水位自动控制方框图

备的方框连接起来，很容易组成整个系统；与纯抽象的数学表达式相比，它还能比较直观、形象地表示出组成系统的各个部分间的相互作用关系及其在系统中所起的作用；与物理系统相比，它能更容易地体现系统运动的因果关系。需要指出的是：方框图只关心与系统动态特性有关的信息，而不管组成该系统的各元件、设备的具体结构细节。因此，许多完全不同的系统可以用同一个方框图表示。当然，对于同一个系统，其方框图的表示也并非唯一的，按照分析研究的目的、角度不同，同一个系统完全可以画出若干种不同的方框图。在以后的学习中，还将看到方框图中列有数学表达式，这是定量地表征该环节特性的数学形式，称为传递函数。

通常，把控制系统的被控量叫做系统输出量。而把影响系统输出的外界输入叫做系统的输入量。一般系统的输入有两类，即给定输入和扰动输入。给定输入决定系统输出量的变化规律或要求值。扰动输入则是系统不希望的外作用，它影响给定输入量对系统被控量的控制。在水池水位控制系统中，水位要求值是给定输入量，而用水量为扰动输入。整个控制系统也可用一个大方框图表示，如图 1.4 所示。



图 1.4 控制系统简图

## 2. 自动控制系统的构成

一个自动控制系统主要由以下基本元件构成。

(1) 整定元件：也称给定元件，给出了被控量应取的值。在图 1.2 系统中是通过一个电位器实现的。

(2) 测量元件：检测被控量的大小，如流量计、热电偶、测速电机等。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。