



供水技术系列教材
GONGSHUI JISHU XILIE JIAOCAO

GONGSHUI ZIDONGHUA YU YIBIAO

供水 自动化与仪表

主 编 杨士发 吴 强 常 颖

副主编 杨妙娟 尹昭华 麦永晖



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



供水技术系列教材
GONGSHUI JISHU XILIE JIAOCAO

GONGSHUI ZIDONGHUA YU YIBIAO

供水自动化与仪表

主 编 杨士发 吴 强 常 颖

副主编 杨妙娟 尹昭华 麦永晖



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内容简介

本书共八章,前四章为第一篇,主要内容是阐述自动控制系统基本知识,介绍作为主流控制产品的可编程序控制器的基本知识及实例,列举自动控制系统在给水处理工程中的应用及实例,包括辅助监控系统;后四章为第二篇,主要内容是阐述仪表与计量的基本知识以及水厂在线水质监测仪表的检测原理、日常维护、故障处理、校准等知识,介绍水厂常用测量仪表,包括电工仪表以及流量、物位、温度、压力等测量仪表。

图书在版编目(CIP)数据

供水自动化与仪表/杨士发,吴强,常颖主编. —广州:华南理工大学出版社,2014.6
供水技术系列教材
ISBN 978-7-5623-4230-4

I. ①供… II. ①杨… ②吴… ③常… III. ①给水系统-自动化-技术-教材 ②给水设备-计量仪器-技术-教材 IV. ①TU991.62 ②TU991.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 089392 号

供水自动化与仪表

杨士发 吴 强 常 颖 主编

出 版 人:韩中伟

出版发行:华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail:scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话:020-87113487 87111048 (传真)

策 划:林起提 吴兆强

责任编辑:吴兆强

印 刷 者:广州市穗彩印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.75 字数:276 千

版 次:2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~1500 册

定 价:22.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

序

在一个城市里，给水系统是命脉，是保障人民生活和社会发展必不可少的物质基础，是城市建设的重要组成部分。近年来，我国已成为世界城市化发展进程最快的国家之一，今后一个时期，城市供水行业发展也将迎来新的机遇、面临更大的挑战，城市发展对供水行业提出了更高的要求，我们必需坚持以人为本，不断提高人员素质，培养一批优秀的专业技术人员以推动供水行业的进步，从而使整个供水行业能适应城市化发展的进程。

广州市自来水公司，作为国内为数不多的特大型百年供水企业，一直秉承“优质供水、诚信服务”的企业精神，同时坚持“以科技为先导，以人才为基础”的发展战略，通过各类型的职工专业技能培训，不断提高企业职工素质，以适应行业发展需求。

为了进一步提高供水行业职工素质和技能水平，从2011年起，广州市自来水公司组织相关专业技术人员，历经3年时间，根据《城市供水行业2010年技术进步发展规划及2020年远景目标》要求，针对我国城市供水行业现状、存在问题及发展趋势，以“保障安全供水、提高供水质量、优化供水成本、改善供水服务”为总体目标，结合广州市中心城区供水的具体特点，按照“理论适度、注重实操、切合实际”的编写原则，编制了本系列丛书，主要包括净水、泵站操作、自动化仪表、供水调度、水质检验、抄表收费核算、管道、营销服务、水表装修等九个专业。

本次编写的教材可以用于供水行业职工的岗前培训、职业技能素质提高培训，同时也可作为职业技能鉴定的参考资料。

王建平

2014年10月

前 言

近年来,随着国民经济的持续、高速发展,城市水资源普遍受到污染,自来水厂原有取水水源水质进一步恶化。同时,水源突发污染事故频发及人们生活水平的不断提高,促使公众对饮用水水质安全给予越来越多的关注。为此,国家卫生部和标准委员会于2006年12月联合发布了新国标——《生活饮用水卫生标准》GB5749—2006,水质指标由原来的35项增加至106项,全部指标于2012年7月1日实施。

新国标对饮用水水质提出了更高要求,国内相当数量的供水企业由于水源水质变化、生产工艺水平落后、设施陈旧老化、处理能力不足、设计建造不够合理、自动化程度不高等多种原因,供水水质难以满足新国标要求。于是,自新国标发布以来,我国自来水行业迎来了技术改造的新高潮。

新国标的实施使自来水行业迎来了历史性的发展契机,加快了自来水企业升级改造的步伐,使得近年来在净水工艺、自动化控制、水质仪表、水泵设备以及管道技术等向新工艺、新技术、新设备方面发展迅猛,各企业的技术改造的实施,已使自来水厂的生产管理发生变化,为适应新形势发展,确保自来水企业从业人员熟练掌握水厂改造后的新技术和新工艺而编写了本教材,教材结合生产实际,便于自来水厂从业人员学习和使用,对职工在日常运行操作与管理过程中解决生产实际问题具有一定的指导作用。

本书的编写,可加强职工净水、生产运行管理以及设备维护培训,提高员工素质和技术水平,结合生产全过程监控体系,建立标准化的运营机制,对确保安全、稳定、优质、低耗供水起到积极的作用。

本书第一篇由杨妙娟、麦永晖编写,第二篇由尹昭华、胡跃华、温琦亮、李凡玉、杨妙娟、麦永晖编写。在编写过程中,参考了有关文献和教材,在此向这些文献及教材的作者一并致以诚挚的谢意。

《供水自动化与仪表》编写组
2014年3月

目 录

第一篇 自动控制系统

第一章 自动控制系统基本知识.....	2
第一节 自动控制系统概述.....	2
一、自动控制系统的组成.....	2
二、控制系统的发展概况.....	2
三、我国水厂自动控制系统的发展过程.....	2
第二节 自动控制系统的分类方法.....	3
一、根据有无反馈作用分.....	3
二、按输入量的特征分.....	6
三、按系统中传递信号的性质分.....	7
第三节 自动控制系统的控制方法.....	7
一、自适应控制 (Adaptive Control)	7
二、模糊控制 (Fuzzy Control)	8
三、神经网络控制 (Neural Network Control)	8
四、智能控制 (Intelligent Control)	8
五、计算机控制 (Computer Control)	9
第四节 控制系统的要求及性能指标.....	9
一、对控制系统的要求	10
二、性能指标	10
第五节 常用低压控制电器介绍	12
一、接触器	12
二、起动机	14
三、继电器	14
四、主令电器	22
五、电磁铁	28
六、其他	29
第二章 可编程序控制器基本知识.....	31
第一节 可编程序控制器概述	31

一、PLC 的定义	31
二、PLC 的分类	31
三、PLC 控制系统的类型	32
四、PLC 的特点	33
五、PLC 的应用	33
六、PLC 发展趋势	34
第二节 PLC 的基本组成和工作原理	36
一、PLC 的基本组成	36
二、PLC 工作原理	45
三、PLC 的 I/O 响应时间	46
四、PLC 的软件	46
五、上位机监控组态软件	47
六、触摸屏	48
第三节 PLC 实例介绍	51
一、网络架构	51
二、PLC 系列产品	56
第四节 自动化软件实例介绍	59
一、通信软件	59
二、组件软件	60
三、设计软件	61
四、诊断软件	61
五、人机界面软件	61
六、编程软件	62
七、培训教程等其他软件	63
第五节 PLC 系统设计	64
一、PLC 的选型	65
二、PLC 控制系统硬件设计	66
三、PLC 软件设计及调试	68
四、提高 PLC 控制系统可靠性的措施	70
第三章 自动控制系统在给水处理工程中的应用	73
第一节 取水泵站控制系统	73
一、主要控制对象	73
二、信号采集	73
三、主要控制内容	73
第二节 反应沉淀池控制系统	74
一、斜管沉淀池	74
二、平流沉淀池	75

第三节 滤池控制系统	75
一、V 形滤池	75
二、虹吸滤池	76
三、移动罩滤池	77
第四节 投加控制系统	78
一、投矾系统	78
二、投氯系统	79
三、投氨系统	80
四、石灰投加系统	81
五、次氯酸钠投加系统	82
六、粉末活性炭和高锰酸钾投加系统	83
第五节 送水泵房	83
一、主要控制对象	83
二、信号采集	83
三、主要控制内容	83
第六节 污泥处理控制系统	84
一、主要控制对象	84
二、信号采集	84
三、主要控制内容	84
第七节 新工艺控制系统介绍	86
一、生物预处理系统	86
二、臭氧-炭滤池系统	87
三、膜处理控制系统	88
第八节 中控室子系统	90
一、概述	90
二、监控及管理的软件平台	90
第九节 原水管网监测	93
一、原水管压力和流量监测系统	93
二、管线重点区域实时视频监控辅助系统	94
第十节 水厂自动化系统建设综合案例	94
一、PLC 自动控制系统	94
二、原水管压力监测系统	96
 第四章 辅助监控系统	 98
第一节 视频监控系统	98
一、系统组成	98
二、基本要求	101
三、常见故障问题及解决办法	101

第二节 入侵报警系统	102
一、系统组成	102
二、基本要求	103
三、常见故障问题及解决办法	104
第二篇 水质监测仪表及水厂常用测量仪表	
第五章 仪表与计量基础知识	106
第一节 仪表的分类与组成	106
一、仪表的分类	106
二、仪表的组成	106
第二节 仪表的主要性能与技术指标	107
一、仪表的性能和性能特性	107
二、仪表的技术指标	108
第三节 测量误差及误差分析	109
第四节 仪表的检定与校准	110
一、检定	110
二、校准	111
三、校准与检定的异同	111
第六章 在线水质监测仪表	112
第一节 pH 检测仪	112
一、仪器的构成和检测原理	112
二、仪器的日常维护	113
三、仪器的故障处理	113
四、仪器的校准	114
第二节 浊度检测仪	114
一、浊度的表示方式和测量方法	114
二、散射式浊度仪（低量程浊度仪）	115
三、表面散射式浊度仪（高量程浊度仪）	116
四、仪器的校准	117
第三节 余氯/总氯分析仪	118
一、仪器的检测原理	118
二、仪器的日常维护	118
三、仪器的故障处理	119
四、仪器的校准	120

第四节 溶解氧分析仪	121
一、仪器的构成和检测原理	121
二、仪器的日常维护注意事项	121
三、电化式式和光学式溶解氧仪的差异	122
四、仪器的校准	122
第五节 氨氮分析仪	122
一、仪器的检测原理	122
二、仪器的日常维护	123
三、仪器的故障处理	124
四、仪器的校准	124
五、试剂的配置(纳氏试剂法)	125
第六节 其他在线分析仪	126
一、电导率仪	126
二、固体悬浮物浓度计	126
三、在线生物毒性监测仪	127
四、在线重金属仪	128
五、COD 在线分析仪	128
六、总磷分析仪	129
第七章 电工仪表	130
第一节 电工仪表的基本知识	130
一、电工测量基本概念	130
二、常用电工测量方法	130
三、常用电工仪表的分类	131
四、电工仪表的基本组成	132
第二节 电工仪表的技术要求	132
第三节 常用电工仪表介绍	134
一、直流电流、电压的测量	134
二、交流电流、电压的测量	134
三、电阻的测量	135
四、电功率的测量	136
五、电能的测量	136
六、转速的测量	137
七、功率因数的测量	137
第八章 其他常用仪器设备	139
第一节 流量检测及仪表	139
一、流量检测的定义与分类	139

二、电磁流量计·····	139
三、超声波流量计·····	144
第二节 物位检测及仪表·····	145
一、物位测量方法·····	145
二、压力式液位计·····	146
三、超声波式液位计·····	146
第三节 温度检测及仪表·····	147
一、温度测量的基本概念·····	147
二、热电偶温度计·····	147
三、热电阻温度计·····	149
第四节 压力检测及仪表·····	150
一、压力的分类·····	150
二、压力表的常见故障及处理方法·····	150
三、压力变送器·····	151
附件1 主要在线水质仪器管理维护规程·····	153
附件2 便携式水质检测仪器使用维护操作规程·····	155
参考文献·····	159

第一篇 自动控制系统

第一章 自动控制系统基本知识

第一节 自动控制系统概述

一、自动控制系统的组成

自动控制系统是指能够对被控制对象的工作状态进行自动控制的系统。它一般由控制装置和被控对象构成。

1. 控制装置

控制装置是指对被控对象起控制作用的设备总体。例如，有用来测量温度、压力、流量或运动物体（如飞行器）姿态等物理量的测量设备；有对位移、速度、加速度或电流、电压等物理量进行变换和放大的变换、放大设备；有操纵被控对象的执行设备。

2. 被控对象

被控对象是指要求实现自动控制的机器、设备或生产过程，例如机床、机器人、飞行器以及工业生产过程等。

二、控制系统的发展概况

工业控制系统的发展经历了简单仪表系统、电动单元组合仪表系统、集中控制系统和集散控制系统几个阶段。20 世纪 80 年代中期以后，可编程控制器（Programmable Logic Controller, PLC）进入工业控制领域并逐渐发展，出现了将控制技术、计算机技术和网络技术结合的新一代控制技术——现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）。FCS 的出现标志着工业控制技术领域新时代的开始。

近年来，先进过程控制（Advanced Process Control, APC）由于可使生产过程在最佳技术经济状态下运行而颇受企业青睐。APC 控制策略主要有变量预测控制、推理控制及软测量技术、自适应控制、鲁棒控制以及智能控制等。

现代控制技术的另一延伸是故障检测与诊断技术，通过对系统或主要设备运行状态实时监测数据的分析发现异常状态，判别异常状态的产生原因，辨识故障点，对潜在故障源和不安全因素实现预测和预警。

三、我国水厂自动控制系统的 processes

我国水厂自动控制系统的发展过程可分为三个阶段：第一阶段是分散控制阶段，该时期水厂对被控对象分别进行自动控制，各个子系统独立运行；第二阶段是水厂综合自动化阶段，整个水厂建立一个综合的自动控制系统，各个子系统可以独立工作，形成集中管理、分散控制的控制模式；第三阶段是供水系统的综合自动化阶段，该阶段要求在一个区域的供水企业共享信息，实现整个城市或地区供水系统的自动控制。目前我国中小型水

厂大部分处于第一或第二阶段，只有很少大型水厂达到了第三阶段。在国外，如加拿大、美国等发达国家基本实现了供水系统的全自动化，而且开始进行分质供水，同时对水厂内部的自控系统也在不断地改进和提高。

当前水厂采用的自动控制系统的结构形式，从自控的角度可以划分为：数据采集与监视控制系统（Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA）；集散型控制系统（Distributed Control System, DCS）；IPC + PLC（Industrial Personal Computer & Programmable Logic Controller）系统，即工业个人计算机与可编程逻辑控制器构成的系统等。

SCADA 系统组网范围大，通信方式灵活，但实时性较低，对大规模和复杂的控制实现较为困难。DCS 系统则采用分级分布式控制，在物理上实现了真正的分散控制，且实时性较好，但应用程序的编程工作量较大，对开发和维护人员要求较高，开发周期较长。IPC + PLC 系统既可实现分级分布控制，又可实现集中管理、分散控制。而且 PLC 本身可靠性高，组网、编程和维护方便，开发周期短，系统内的配置和调整又非常灵活，可与工业现场信号直接相连，易于实现机电一体化。因此，IPC + PLC 系统成为当今水厂自动控制系统的主要结构形式。

第二节 自动控制系统的分类方法

自动控制系统有多种分类方法，常见有以下几种。

一、根据有无反馈作用分

（一）开环控制系统

如果系统只是根据输入量和干扰量进行控制，而输出端和输入端之间不存在反馈回路，这样的系统称为开环控制系统，如图 1-1 所示。



图 1-1 开环控制系统框图

开环控制系统是由前馈通路构成，由一定的输入量产生一定的输出量，控制系统的输出量就是被控制量，它的期望值一般是系统输入量的函数。如果由于某种干扰作用使输出量偏离原始值，它没有自动纠偏的能力。如果要进行补偿，就必须再借助人工改变输入量。所以开环系统的控制精度较低。但是如果组成系统的元件特性和参数值比较稳定，而且外界的干扰也比较小，则这种控制系统也可以保证一定的精度。开环控制系统的最大优点是系统简单，成本低廉。一般都能稳定可靠地工作，因此对于要求不高的系统可以采用。

在图 1-2 所示的液位控制系统中， H 为液面高度（又称液位），控制目标是保持液面高度不变。当阀门 V_1 的开度变化时，输出流量发生变化，液位 H 变化，为了保持 H 不变，必须控制阀门 V_2 的开度来改变输入液体的流量。但在开环系统中，系统的输出量没有反馈回来与输入量进行比较，液位 H 的变化不会自动使阀门 V_2 开度发生变化，也就是

说系统的输出量（液位）对系统的控制作用（输入液体流量）没有任何影响。开环控制中对于被控系统的每一个输入信号必有一个系统的固定的工作状态和输出量与之对应，如上述液位系统，如果输入流量一定，液位高度就有一个固定值与之对应。因此，开环系统无法减小或消除由于扰动（上例中的液体输出流量）的变化而引起输出量（实际液位）与其希望值（设定液位）之间的误差。

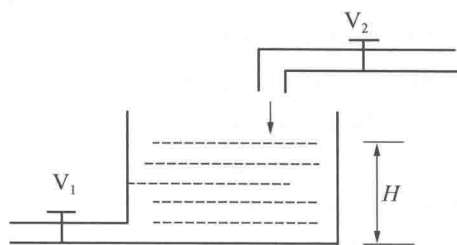


图 1-2 液位控制系统示意图

（二）闭环控制系统

如果系统的输出端和输入端之间存在反馈回路，输出量对控制过程产生直接影响，这种系统称为闭环控制系统，如图 1-3 所示。闭环控制系统是由前馈通路和反馈通路构成，这里，闭环的作用就是应用反馈来减少偏差。因此，反馈控制系统必是闭环控制系统。

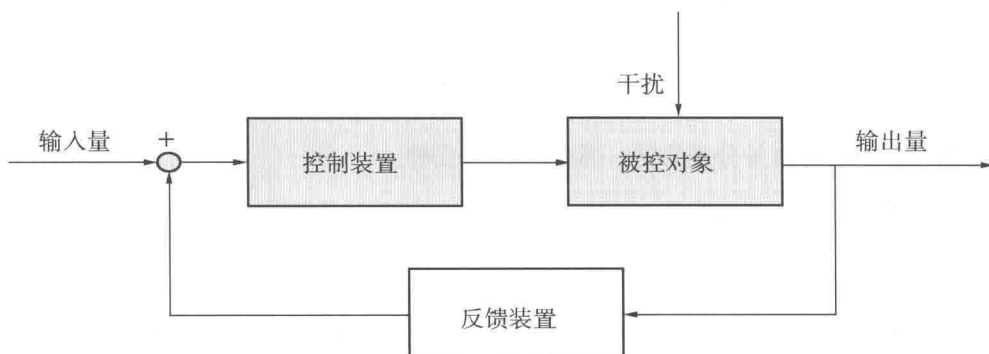


图 1-3 闭环控制系统框图

闭环控制系统的突出优点是控制精度高，抗干扰能力强，只要被控制量的实际值偏离给定值，闭环控制就会产生控制作用来减小这一偏差。闭环控制系统也有它的缺点，这类系统是靠偏差进行控制的，因此，在整个控制过程中始终存在着偏差，由于元件的惯性（如负载的惯性），若参数配置不当，很容易引起振荡，使系统不稳定而无法工作。所以，在闭环控制系统中精度和稳定性之间总会存在着矛盾，必须合理地解决。

一般来说，闭环控制系统由以下几部分组成：

（1）给定元件：用来产生给定信号或输入信号，是进行物理量大小和性质变换的元件。

（2）反馈元件：它测量被控制量或输出量，产生主反馈信号。一般，为了便于传输，主反馈信号多为电信号。因此，反馈元件通常是一些用电量来测量非电量的元件。例如，用电位器或旋转变压器将机械转角换为电压信号；用测速发电机将转速变换为电压信号；用热电偶将温度变换为电压信号和用光栅测量装置将直线位移变换为数字电信号等。

（3）比较元件：用来接收输入信号和反馈信号并进行比较，产生反映两者差值的偏差信号。例如电压比较器、运算放大器等。

(4) 放大元件：对偏差信号进行放大的元件。例如，电压放大器、功率放大器、电液伺服阀、电气比例/伺服阀等。放大元件的输出一定要有足够的能量，才能驱动执行元件，实现控制功能。

(5) 执行元件：直接对受控对象进行操纵的元件。例如，伺服电动机、液压（气）马达、伺服液压（气）缸等。

(6) 校正元件：为保证控制质量，使系统获得良好的动、静态性能而加入系统的元件。校正元件又称校正装置。串接在系统前馈通路上的称为串联校正装置；并接在反馈回路上的称为并联校正装置。

尽管一个控制系统是由许多起着不同作用的元件所组成，但从总体来看，比较元件、放大元件、执行元件和反馈元件等共同起着控制作用，而剩余部分就是受控对象。因此，任何控制系统也可以说仅由控制部分和受控对象两部分组成。一般认为扰动信号不是由控制部分产生的，而是由系统的外部环境或内部因素造成的，它集中地表现在控制量与被控制量之间的偏差上。而闭环控制系统就是按偏差进行自动调节的，所以，闭环控制的一个核心思想就是反馈。

闭环控制是自动控制系统工作的主要方式。用它可以实现准确控制，例如在上述液位控制系统中如果加上一个液位 H 的自动测量与比较装置，如图 1-4 所示，阀门 V_1 开度变化引起输出液体流量和液位变化时，通过对液位的测量和比较，可得到实际液位与给定值的偏差，这个偏差信号通过执行部件

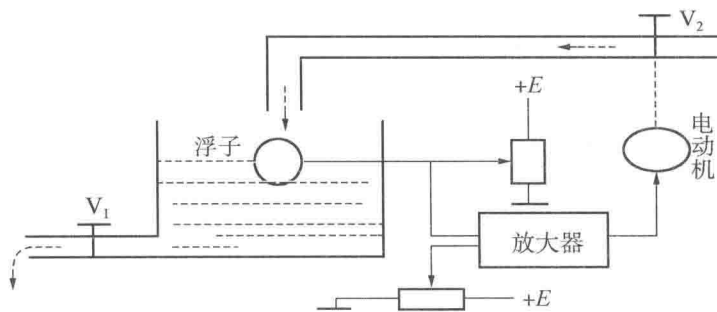


图 1-4 液位控制闭环系统示意图

（图中的伺服电动机）反过来使控制输入液体流量的阀门 V_2 开度作相应的变化，从而把液位又调整到原来的高度。当然这种调整需要一个过程和一定的时间，一般这个时间不会太长。显然，这是一种利用偏差进行控制的系统。

按偏差控制的闭环系统，需要控制的是控制对象中的被控量，而需要测量的是被控量与给定值之间的偏差。因此不论这种偏差是由扰动造成的还是由于结构参数的变化引起的，只要被控量出现偏差，系统便自行纠偏。这种系统从原理上提供了实现高精度控制的可能性。在闭环控制系统中，控制信号往复循环，沿前馈通路和反馈通路不断传送，所以按偏差控制的系统又称反馈控制系统。这是自动控制系统中最基本的系统。

（三）复合控制系统

当要求实现复杂且精度较高的控制任务时，可将开环控制系统和闭环控制系统适当地结合起来，组成一个比较经济且性能较好的复合控制系统。如图 1-5 所示。

由图 1-5 可见，复合控制是开环控制与闭环控制相互配合的系统。系统按开环进行粗调，而以闭环进行细调（或称校正），兼有开环控制动作迅速、闭环控制精度高的优点。复合控制系统实质上是在闭环控制系统的基础上，附加一个输入量或干扰作用的前馈

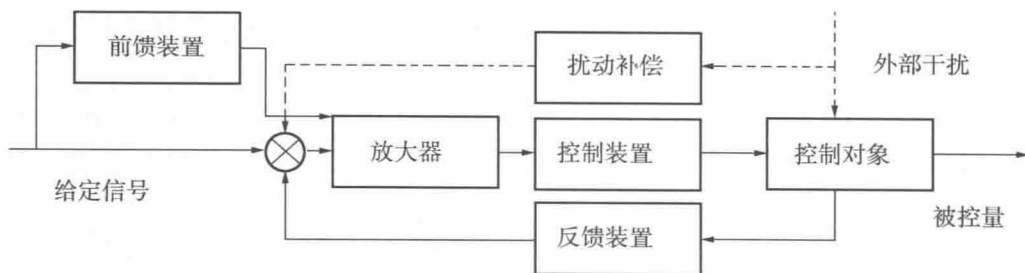


图 1-5 复合控制示意图

通路来提高控制精度。前馈通路通常由对输入量的补偿装置或对干扰作用的补偿装置组成，分别称为按输入补偿和按干扰作用补偿的复合控制系统。复合控制系统中的前馈通路相当于开环控制，因此，对补偿装置的参数稳定性要求较高，否则，会由于补偿装置的参数漂移而减弱其补偿效果。此外，前馈通路的引入，对闭环系统的性能影响不大，但却可以大大提高系统的控制精度。

水厂最常见的复合环控制是氯气投加复合环控制，即按照水流量和余氯进行的复合控制，或双重余氯串级控制等。它是双信号前馈控制，一个流量信号和一个余氯信号由 PLC 提供给控制器，根据水的流量随时对传感器的位置进行调整，同时 PLC 把余氯分析仪的反馈信号给控制器，并与设定好的余氯值进行比较，经过一定的滞后时间后作出调节，直到实际值和设定值符合为止。前馈反馈复合环控制就是按前馈流量比例和余氯反馈进行复合调节，前馈比例调节可以迅速地调整由于处理水量变化产生的氯需求变化；反馈调节可以对余氯偏差进行更准确的修正，调整特性较简单，反馈控制有所改善。

二、按输入量的特征分

（一）定值控制系统

这种控制系统的输入量是一个恒定值，一经给定，在运行过程中就不再改变（但可定期校准或更改输入量）。定值控制系统的任务是保证在任何扰动下系统的输出量为恒定值。

目前，水处理工艺过程中的 pH 值、余氯、浊度、溶解氧以及流程工业常用的温度、液位、流量、压力等参数的控制，均属此类。这类系统是工业自动化系统的主流。

（二）程序控制系统

这种系统的输入量不是一个恒定值，但其变化规律是预先知道和确定的。可以预先将输入量的变化规律编成程序，由该程序发出控制指令，在输入装置中再将控制指令转换为控制信号，经过全系统的作用，使被控对象按指令的要求而运动。在色谱仪等大型精密分析测试仪器中的程序升降温控制系统就是典型应用。

近年来，程序控制系统应用日益广泛，一些定型的或非定型的程控装置越来越多地被应用到生产中，微型计算机的广泛应用也为程序控制提供了良好的技术改进与有利条件。

（三）随动控制系统

这种系统的特点是给定值不断地变化，而且是随机变化。随动系统的目的是使所控制