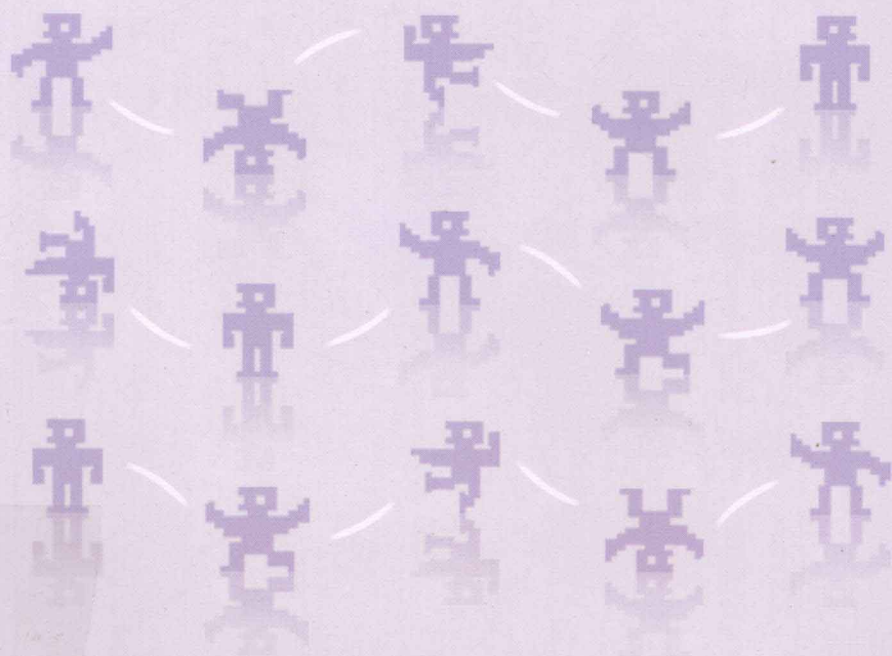




高等职业教育“十二五”规划教材  
高职高专自动化类专业系列教材

# 过程控制系统的分析与调试

孙慧峰◎主编



科学出版社



高等职业教育“十二五”规划教材

高职高专自动化类专业系列教材

# 过程控制系统的分析与调试

孙慧峰 主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了过程控制系统常用的控制方案结构、特点、分析与设计方法、参数整定等内容,使学生通过本书的学习,能够掌握过程控制系统的组成、工作原理、基本概念、系统分析方法与方案设计等基本知识,具备对过程控制系统进行分析、调试、运行与维护的核心能力,以及综合运用知识的工程实践能力。

本书不仅可以作为高职高专电气自动化技术、自动化生产设备与应用、生产过程自动化技术等相关专业的教材,也可供相关专业其他层次的职业技术学院以及企业的工程技术人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

过程控制系统的分析与调试/孙慧峰主编. —北京:科学出版社, 2010  
(高等职业教育“十二五”规划教材·高职高专自动化类专业系列教材)  
ISBN 978-7-03-029565-1

I. ①过… II. ①孙… III. ①过程控制—自动控制系统—系统分析  
②过程控制—自动控制系统—调试方法 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 227033 号

责任编辑:孙露露/责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100071

<http://www.sciencep.com>

北京鑫丰华彩印有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 8 月第一次印刷 印张:14 3/4

印数:1—3000 字数:316 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈鑫丰华〉)

销售部电话 010-62142126 编辑部电话 010-62135763-8212

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

# 前 言

本书是在国家示范性高等职业院校建设中，为了顺应高职人才培养的需要，主要针对电气自动化技术及其相关专业的职业岗位所涉及的过程控制系统的应用、运行与维护、分析与调试等职业能力，以高技能应用型人才培养为目标而编写的。

在内容选取上，本着源于现场技术应用，又服务于现场生产实际的原则，以现场技术应用为教学案例，承载相关的知识与技能；在内容安排上，以“学为做所用、做为岗位生产练兵”的思想为指导，以简单→复杂→综合应用的顺序，设计出了五个学习单元；每个学习单元下，又以任务驱动的形式，设计出了若干知识、技能递进的学习任务；每个学习任务，又以职业行动能力为导向，设有任务导入、相关知识、任务布置和相关习题四个部分，使学生在学时明确为什么学、学什么、用于什么场合以及怎么应用等，以提高学生学习的积极性和目的性。

本书不仅可以作为高职高专院校电气自动化技术、自动化生产设备与应用、生产过程自动化技术等相关专业的教材，也可供相关专业其他层次的职业技术学院以及企业的工程技术人员参考使用。

参加本书编写的人员都是从事电气自动化或机电一体化教学和研究的一线人员。

本书由平顶山工业职业技术学院的孙慧峰担任主编，平顶山工业职业技术学院的熊旭平和河南城建学院的王广担任副主编，平顶山工业职业技术学院的郑扬参编。其中，孙慧峰编写了单元三，熊旭平编写了单元一和单元四的任务二，王广编写了单元四的任务三、任务四和单元五，郑扬编写了单元二和单元四的任务一。

由于编者水平有限，书中定有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作者联系方式：shf4998055@yahoo.com.cn。

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 单元一 过程控制系统的认识 .....         | 1  |
| 任务一 过程控制系统的识读 .....         | 1  |
| 一、任务导入 .....                | 1  |
| 二、相关知识 .....                | 2  |
| (一) 自动控制及自动控制系统的基本概念 .....  | 2  |
| (二) 过程控制的定义及组成 .....        | 3  |
| (三) 过程控制系统控制流程图 .....       | 9  |
| (四) 过程控制系统的分类与特点 .....      | 13 |
| (五) 过程控制的主要内容及发展概况 .....    | 16 |
| 三、任务布置 .....                | 17 |
| 四、相关习题 .....                | 22 |
| 任务二 过程参数的检测及仪表装置 .....      | 23 |
| 一、任务导入 .....                | 23 |
| 二、相关知识 .....                | 23 |
| (一) 检测过程及误差 .....           | 23 |
| (二) 检测仪表的基本技术性能指标 .....     | 24 |
| (三) 过程控制仪表与装置 .....         | 26 |
| (四) AI 系列智能调节仪简介 .....      | 41 |
| 三、任务布置 .....                | 45 |
| 四、相关习题 .....                | 45 |
| 单元二 被控对象数学模型的建立 .....       | 47 |
| 任务一 机理分析法建模 .....           | 47 |
| 一、任务导入 .....                | 47 |
| 二、相关知识 .....                | 47 |
| (一) 机理分析法建模的概念及数学模型分类 ..... | 47 |
| (二) 过程数学模型的建立 .....         | 48 |
| 三、任务布置 .....                | 60 |
| 四、相关习题 .....                | 60 |
| 任务二 实验测试法建模 .....           | 61 |
| 一、任务导入 .....                | 61 |
| 二、相关知识 .....                | 61 |
| (一) 实验测试法建模的概念及特点 .....     | 61 |
| (二) 控制工程中的常见典型输入信号 .....    | 61 |
| (三) 典型环节的阶跃响应 .....         | 63 |
| (四) 对象的自衡特性 .....           | 65 |
| (五) 阶跃响应法建模 .....           | 65 |



|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 三、任务布置 .....                       | 76         |
| 四、相关习题 .....                       | 78         |
| <b>单元三 单回路过程控制系统的分析与调试 .....</b>   | <b>80</b>  |
| <b>任务一 过程控制系统过渡过程的分析与测调 .....</b>  | <b>80</b>  |
| 一、任务导入 .....                       | 80         |
| 二、相关知识 .....                       | 80         |
| (一) 过程控制系统的过渡过程 .....              | 80         |
| (二) 对过程控制系统的基本要求 .....             | 82         |
| (三) 控制系统过渡过程的几种基本形式 .....          | 83         |
| (四) 过程控制系统过渡过程的质量指标 .....          | 83         |
| (五) 过程控制系统的过渡过程分析 .....            | 86         |
| 三、任务布置 .....                       | 90         |
| 四、相关习题 .....                       | 90         |
| <b>任务二 控制器控制规律对过程控制质量的影响 .....</b> | <b>91</b>  |
| 一、任务导入 .....                       | 91         |
| 二、相关知识 .....                       | 91         |
| (一) 控制器的控制规律 .....                 | 91         |
| (二) 常规控制器的控制规律 .....               | 92         |
| (三) PID 控制规律对控制过程的影响 .....         | 96         |
| 三、任务布置 .....                       | 101        |
| 四、相关习题 .....                       | 103        |
| <b>任务三 单回路控制系统的设计 .....</b>        | <b>104</b> |
| 一、任务导入 .....                       | 104        |
| 二、相关知识 .....                       | 104        |
| (一) 简单控制系统(单回路控制系统)的组成 .....       | 104        |
| (二) 过程控制系统设计概述 .....               | 105        |
| (三) 控制方案的设计 .....                  | 107        |
| (四) 单回路控制系统设计原则应用举例 .....          | 120        |
| 三、任务布置 .....                       | 123        |
| 四、相关习题 .....                       | 124        |
| <b>任务四 单回路控制系统的工程整定与投运 .....</b>   | <b>126</b> |
| 一、任务导入 .....                       | 126        |
| 二、相关知识 .....                       | 127        |
| (一) 单回路控制系统参数的整定 .....             | 127        |
| (二) 控制系统间的相互关联及对控制质量的影响 .....      | 133        |
| (三) 单回路控制系统的投运 .....               | 135        |
| 三、任务布置 .....                       | 137        |
| 四、相关习题 .....                       | 138        |
| <b>单元四 复杂控制系统的分析与调试 .....</b>      | <b>139</b> |
| <b>任务一 串级控制系统的分析与调试 .....</b>      | <b>139</b> |
| 一、任务导入 .....                       | 139        |



|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 二、相关知识 .....                 | 140 |
| (一) 串级控制系统的基本概念 .....        | 140 |
| (二) 串级控制系统的特点分析 .....        | 144 |
| (三) 串级控制系统的工业应用及示例 .....     | 146 |
| (四) 串级控制系统的设计 .....          | 149 |
| (五) 串级控制系统的整定方法 .....        | 155 |
| (六) 串级控制系统的投运 .....          | 156 |
| 三、任务布置 .....                 | 157 |
| 四、相关习题 .....                 | 159 |
| 任务二 比值控制系统的分析与调试 .....       | 161 |
| 一、任务导入 .....                 | 161 |
| 二、相关知识 .....                 | 162 |
| (一) 比值控制的基本概念 .....          | 162 |
| (二) 常用的比值控制方案 .....          | 162 |
| (三) 比值控制系统设计 .....           | 169 |
| (四) 比值系数 $K$ 的计算 .....       | 170 |
| (五) 比值控制系统的投运和控制器参数的整定 ..... | 174 |
| 三、任务布置 .....                 | 175 |
| 四、相关习题 .....                 | 177 |
| 任务三 前馈-反馈控制系统的分析与调试 .....    | 179 |
| 一、任务导入 .....                 | 179 |
| 二、相关知识 .....                 | 180 |
| (一) 前馈控制系统 .....             | 180 |
| (二) 前馈-反馈复合控制系统 .....        | 184 |
| (三) 前馈-串级复合控制系统 .....        | 185 |
| (四) 静态前馈控制系统的工程整定 .....      | 188 |
| (五) 选用前馈-反馈控制的原则 .....       | 189 |
| 三、任务布置 .....                 | 190 |
| 四、相关习题 .....                 | 192 |
| 任务四 其他控制系统的分析 .....          | 193 |
| 一、任务导入 .....                 | 193 |
| 二、相关知识 .....                 | 194 |
| (一) 均匀控制系统 .....             | 194 |
| (二) 分程控制系统 .....             | 200 |
| (三) 选择性控制 .....              | 206 |
| 三、任务布置 .....                 | 213 |
| 四、相关习题 .....                 | 213 |
| 单元五 典型单元的控制方案分析与设计 .....     | 214 |
| 任务 锅炉设备的基本控制方案分析与设计 .....    | 214 |
| 一、任务导入 .....                 | 214 |
| 二、相关知识 .....                 | 214 |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| (一) 锅炉设备的生产工艺流程及控制要求 ..... | 214 |
| (二) 锅炉汽包水位控制 .....         | 216 |
| (三) 过热蒸汽温度控制 .....         | 219 |
| (四) 锅炉燃烧过程的控制 .....        | 220 |
| 三、任务布置 .....               | 221 |
| 四、相关习题 .....               | 221 |
| 附录 .....                   | 224 |
| 参考文献 .....                 | 225 |

## 过程控制系统的认识

**过**程控制是生产过程自动控制的简称，通常是指石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能等工业生产中连续的或按一定周期与程序进行的生产过程自动控制。过程控制是自动化技术的一个重要组成部分。在现代工业生产过程中，过程控制技术正在为实现各种最优的技术经济指标、提高经济效益和劳动生产率、改善劳动条件、保护生态环境等方面起着越来越大的作用。

### 任务一 过程控制系统的识读



#### 知识教学目标

1. 掌握过程控制的基本概念、组成及过程控制流程图、方框图的绘制方法。
2. 熟悉过程控制系统分类、特点及过程控制系统的主要内容。
3. 熟悉实训装置中的对象、水泵、变频器和所用控制组件的名称、作用及其所在位置。

#### 技能培养目标

1. 认识控制流程图的图形符号，能读懂控制流程图。
2. 能根据实际系统的接线绘制出相应的方框图。

### 一、任务导入

工业生产的自动化，改善了劳动条件，增加了产量，提高了产品质量。随着国民经济和国防建设的发展，自动控制技术在工业、农业、国防和科学技术现代化中的应用日益广泛，特别是计算机技术的发展和广泛应用，使自动控制技术在宇宙航行、机器人控制、导弹制导以及核动力等高新技术领域中更具有特别重要的作用。以宇宙飞船为例，要把重达数吨的宇宙飞船准确地送入预先计算好的轨道，并一直保持它的姿态正确，要保持它的太阳能电池一直朝向太阳，要保持它的无线电天线一直指向地球，要保持飞船内的温度和气压不变，要使它所携带的大量测量仪器自动、准确地工作，等等，所有这一切都是以高度的自动控制技术为前提的。

随着人们生活水平的提高，自动控制技术已深入到人们的日常生活中，如各种空调、自动洗衣机、电热锅、电冰箱、自动售货机、自动电梯、自动门、自动路灯等，



都体现了自动控制的成果，它们都在一定程度上代替或增强了人类身体器官的功能，提高了人们的生活质量。不仅如此，自动控制技术的应用范围现已扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多社会生活领域中，自动控制已成为现代社会活动中不可缺少的重要组成部分。人们正在追求更广泛领域和更高层次的自动化。

总之，各行各业应用自动控制技术的完善程度，已是衡量一个国家工业发展水平的重要标志之一，自动控制技术已经成为具有一定知识水平、从事现代化生产技术工作者的基本知识之一。

## 二、相关知识

### （一）自动控制及自动控制系统的基本概念

在许多工业生产过程或生产设备运行中，为了保证正常的工作条件，往往需要对某些物理量（如温度、压力、流量、液位、电压、位移、转速等）进行控制，使其尽量维持在某个数值附近，或使其按一定规律变化。

所谓自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（称控制装置或控制器），对生产过程、工艺参数、目标要求等进行自动的控制与调节，使生产机械（设备）或生产过程（统称被控对象）的某个工作状态或某些物理量（即被控量）自动地按照预定的规律运行，达到要求的指标。

例如，数控车床按照预定程序自动地切削工件，化学反应炉的温度或压力自动地维持恒定，雷达和计算机组成的导弹发射和制导系统自动地将导弹引导到敌方目标，无人驾驶飞机按照预定航迹自动升降和飞行，人造卫星准确地进入预定轨道运行并回收等，等等，这一切都是以应用高水平的自动控制技术为前提的。

空调是一个典型的温度自动控制系统。夏天，当室温高于用户所设定或期望的温度时，空调就启动制冷装置，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，空调就启动加热装置，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，如此来使室温保持恒定。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、制冷装置；最后是被控制的装置或对象，即装了空调的房间。这就是一个完整的自动控制系统的4个基本组成部分。

根据自动控制系统的工作过程可知，一个典型的自动控制系统应由测量装置、控制装置、执行装置和被控对象4个基本部分组成。图1.1.1所示为典型的自动控制系统功能图。图中，系统的基本元件和被控对象用方块表示；信号的传输方向用箭头表示，该传输方向是单向不可逆的，完成控制作用的测量装置、控制装置和执行装置的组合称为控制器。因此，自动控制系统一般由控制器和被控对象组成。

测量装置：对系统输出量进行测量。

控制装置：对系统输出量与输入量进行加减运算，给出误差信号，并按照预定的规律发出控制指令。

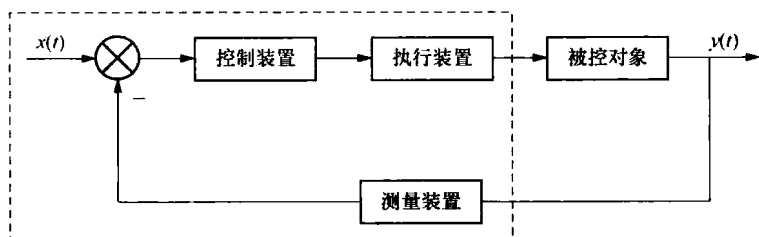


图 1.1.1 典型的自动控制系统方框图

执行装置：对被控对象执行控制，使被控制量趋于希望值。

被控对象：自动控制系统所控制的机器、设备或生产过程。

由此例可知，自动控制系统只不过是能够完成一定任务的某些装置有机地组合在一起，以代替人的职能而已。

## （二）过程控制的定义及组成

### 1. 过程控制的定义

现代工业所加工的原材料可划分为两大类：一类是气体、液体和粉体，这是石油、化工、制药、轻工、食品、建材等行业的主要工况，主要控制温度、压力、物位、流量、成分等参数，这些都是属于慢过程对象的被控量，相应的自动控制系统即为过程控制系统，这是本课程涉及的主要内容；另一类是对已成型材料的进一步加工或对多种已成型材料（各种元器件）的装配，用电动机直接拖动工作机械，主要控制位移、速度、角度等参数，这些都是属于变化反应迅速的被控对象的被控量，相应的自动控制系统即为运动控制系统。

以表征生产过程的参数为被控制量，使之接近给定值或保持在给定范围内的自动控制系统，即为过程控制系统。表征过程的主要参数有温度、压力、流量、液位、成分、浓度等。因此，过程控制，也即生产过程自动控制，是自动控制在石油、化工、电力、冶金、机械、轻工、纺织等生产过程的具体应用，是自动化技术的重要组成部分。

这里，“过程”是指在生产装置或设备中进行的物质和能量的相互作用和转换过程。例如，锅炉中蒸汽的产生、分馏塔中原油的分离等。通过对过程参数的控制，可使生产过程中产品的产量增加、质量提高和能耗减少。

蒸汽锅炉的液位控制系统是过程控制系统的一个例子，如图 1.1.2 所示。当产生蒸汽的耗水量与锅炉进水量相等时，液位保持在给定的正常标准值。蒸汽量的增加或减少即引起液位的下降或上升。差压传感器将液、汽间的压差（代表实际液位）与给定压差（代表给定液位）比较，得到两者的差值，称为偏差（代表实际液位与给定液位之差）。控制器根据偏差值按照指定规律发出相应信号，控制控制阀的阀门，使液位恢复到给定的标准位置，从而实现对液位的自动控制。

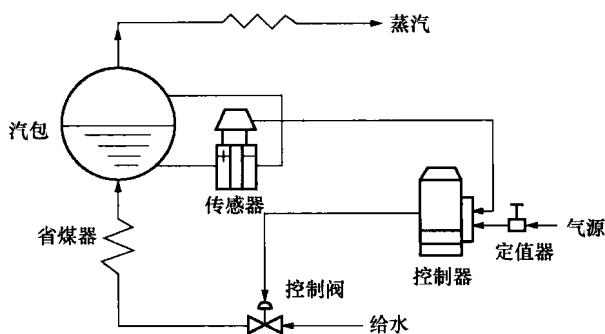


图 1.1.2 锅炉液位自动控制示意图

## 2. 过程控制系统的组成

现以工矿企业中常用的生产蒸汽的锅炉汽包水位控制系统为例，分析说明过程控制系统的组成。

图 1.1.3 所示是发电厂、化工厂里常见的生产蒸汽的锅炉设备。锅炉汽包水位过低会影响蒸汽产生量，并很容易将汽包中的水烧干而发生严重事故。汽包水位过高将使蒸汽带水滴并有溢出的危险。因此，维持锅炉汽包水位在设定的标准高度值上是保证锅炉正常运行的重要条件。

### (1) 人工控制

图 1.1.3 (a) 所示为人工控制。工人用眼睛观察玻璃液位计中水位的高低，并将该信号通过神经系统传递给大脑；大脑将眼睛看到的水位高度与要求的水位标准值进行比较，得出偏差大小和方向，并根据经验作出决策，确定进水阀门的调节方向与幅度，然后发出命令给手，用手去改变进水阀门开度进行调节，使蒸汽的产生量与给水量相等，最终使水位保持在设定的标准值上。只要水位偏离了期望值，工人便要重复上述调节过程。人的眼、脑、手 3 个器官分别起到了检测、判断与运算、执行 3 个作用，来完成测量、求偏差、再控制以纠正偏差的过程，保持汽包水位的恒定。

显然，在负载变化较慢的情况下，采用人工控制是可以完成任务的。但若负载变化较快，人就会跟不上变化而达不到控制的目的，也就不能准确（准）和迅速（快）地进行控制了。

随着科学技术和国防工业的发展，对“准”和“快”的要求愈来愈高，而且一些特殊场合，例如需要在高温、真空、原子反应堆中进行控制，人就不能直接去进行控制。这样，人工控制就不能满足生产实际的需要，就要用一些设备来代替人的功能，进行自动控制。另外，在某些场合，即使人工控制可以满足要求，但工作十分繁重、单调，而且工作条件差，为了提高生产率，提高产品质量，改善劳动条件，亦要求将人从这些单调、繁重的劳动中解放出来，去从事更高级的创造性的劳动。

### (2) 自动控制

图 1.1.3 (b) 所示为自动控制。用一个能送出电信号的液位测量仪表代替人的眼睛“观测”液位，用来测量水位高低；用一个电动控制器代替人的手臂和大脑，用来

进行比较、计算误差并实施控制；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自动调节系统。图中，LT 表示液位测量及信号变换装置；LC 表示液位控制器。其工作原理是：液位测量变送器将汽包水位高低的物理量测量出来并转换为工业仪表间的标准统一信号（气动仪表为  $0.02\sim 0.1\text{MPa}$ ，电动Ⅱ型仪表为  $\text{DC } 0\sim 10\text{mA}$ ，电动Ⅲ型仪表为  $\text{DC } 4\sim 20\text{mA}$ ）。控制器接受液位测量变送器送来的标准统一信号，与锅炉工艺要求保持的标准水位高度信号相比较得出偏差，按某种运算规律输出标准统一信号。控制阀接受控制器的控制信号改变阀门的开度控制给水量，最终达到控制汽包水位稳定，实现控制的目的，大大提高了控制精度。

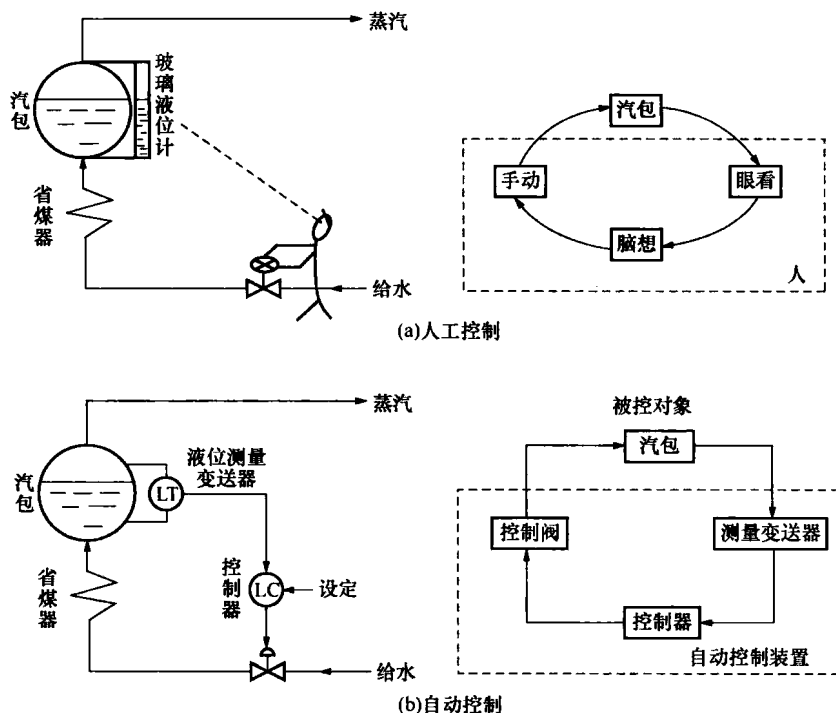


图 1.1.3 锅炉汽包水位控制示意图

锅炉汽包中的水位是被控制的物理量，简称被控量。锅炉汽包这个设备是控制的对象，简称被控对象。

由此可见，一般过程控制系统是由被控对象和自动控制装置两大部分或由被控对象、测量变送器、控制器、执行器（控制阀）4 个基本环节所组成的。

### 3. 过程控制系统的原理方框图

为了能清楚地说明过程控制系统的结构及各环节之间的相互关系和信号联系，常将系统原理图简化成系统原理方框图来表示，如图 1.1.4 所示。方框图是控制系统或系统中每个环节的功能和信号流向的图解表示，是控制系统进行理论分析、设计中常用到的一种形式。

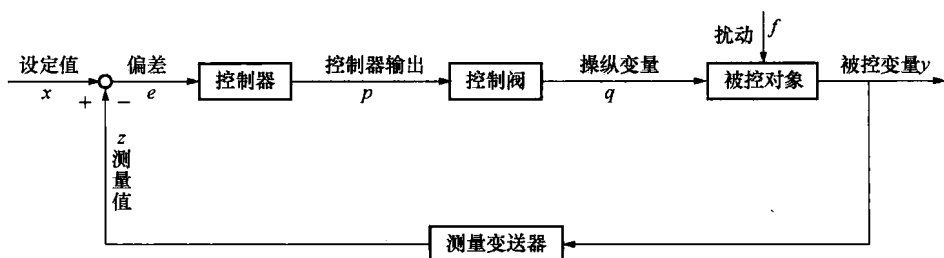


图 1.1.4 过程控制系统原理方框图

### (1) 方框图的基本组成单元

过程控制系统原理方框图包含 4 种基本单元，如图 1.1.5 所示。

引出点 [如图 1.1.5 (a) 所示]：表示信号的引出或信号的分支，箭头表示信号的传递方向，线上标记信号为传递信号的时间函数。为书写方便，省去变量  $t$ ，如  $u(t)$  一般简写成  $u$ 。从同一位置引出的信号在数值和性质方面完全相同。

比较点 [如图 1.1.5 (b) 所示]：表示两个或两个以上信号进行加或减的运算。“+”号表示信号相加（“+”号可省去不写）；“-”号表示信号相减。

元件方框 [如图 1.1.5 (c) 所示]：每一个方框表示系统中的一个组成部分（也称为环节），方框内填入表示其自身特性的数学表达式或文字说明，进入箭头表示其为输入信号，引出箭头表示其为输出信号。

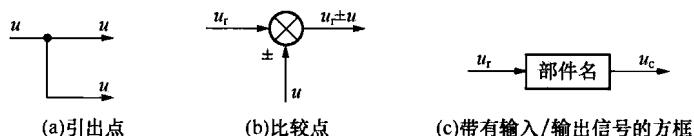


图 1.1.5 方框图的基本组成单元示意图

信号线：信号线是带有箭头的直线段，用来表示环节间的相互关系和信号的流向，线上字母说明传递信号的名称；作用于方框上的信号为该环节的输入信号，由方框送出的信号称为该环节的输出信号。另外，箭头还具有单向性，即方框的输入只能影响输出，而输出不能影响输入。

### (2) 绘制方框图应注意的问题

在绘制方框图时应注意以下几点：

1) 方框图中每一个方框表示一个具体的实物。

2) 方框之间带箭头的线段表示它们之间的信号联系，与工艺设备间物料的流向无关。方框图中信号线上的箭头除表示信号流向外，还包含另一种方向性的含义，即所谓单向性。对于每一个方框或系统，输入对输出的因果关系是单方向的，只有输入改变了才会引起输出的改变，输出的改变不会返回去影响输入。例如，冷水流量会使汽包水位改变，但反过来，汽包水位的变化不会直接使冷水流量跟

着改变。

3) 比较点不是一个独立的元件，而是控制器的一部分。为了清楚地表示控制器比较机构的作用，故将比较点单独画出。

**例题 1.1.1** 画出图 1.1.3 (b) 所示锅炉汽包水位控制系统方框图。

**解：**图 1.1.3 (b) 所示锅炉汽包水位控制系统方框图如图 1.1.6 所示。给水流量变化会引起汽包水位的变化，因此给水流量（操纵变量）作为输入信号作用于被控对象，而汽包水位（被控变量）则作为被控对象的输出信号；引起被控变量（汽包水位）偏离设定值的因素还包括蒸汽负荷的变化和给水管压力的变化等扰动量，它们也作为输入信号作用于被控对象。

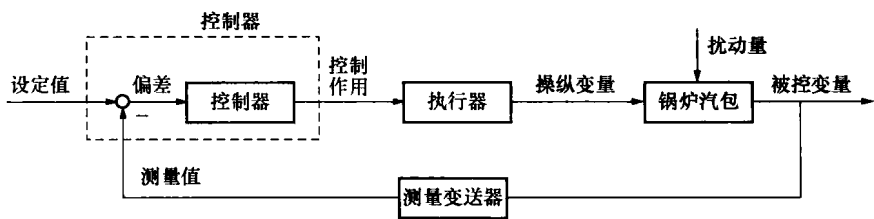


图 1.1.6 锅炉汽包水位控制系统方框图

**例题 1.1.2** 图 1.1.7 所示是一个液位控制系统的原理示意图，试画出相应的系统方框图。

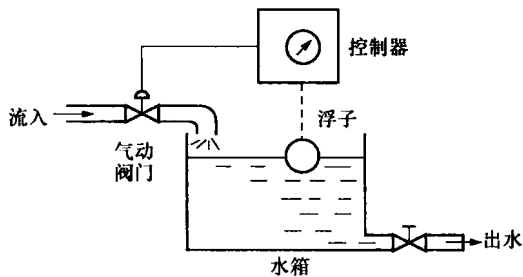


图 1.1.7 液位控制系统示意图

**解：**控制器通过比较由浮球测量到的实际水位高度与希望水位高度的偏差，发出一控制信号，调整控制阀的开度，对偏差进行修正，从而保证水位高度不变。液位控制系统的方框图如图 1.1.8 所示。

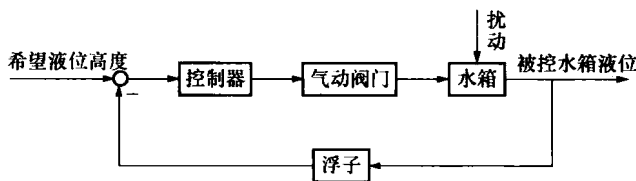


图 1.1.8 液位控制系统方框图

#### 4. 过程控制系统的术语

##### (1) 反馈控制系统

由系统原理方框图可见,把系统输出信号通过测量变送器又引回到系统输入端,信号的传递形成一个闭合回路,且被控量返回输入端和输入信号(设定值)进行比较,我们称这种联系为反馈。这样的过程控制系统又称反馈控制系统。

若反馈信号与输入信号极性相反,则为负反馈;反之,则为正反馈。过程控制系统一般采用的是负反馈,只有采用负反馈才能达到控制的目的。若采用正反馈,将使偏差越来越大,导致系统发散而无法工作。

信号从输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称为前向通路;系统输出量经由测量装置反馈到输入端的传输通路称为反馈通路。

##### (2) 闭环控制系统与开环控制系统

开环控制系统:开环控制是指控制器与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程,如图 1.1.9 所示。例如,自动售货机、产品生产自动线、数控机床、交通指挥的红绿灯转换和洗衣机等,一般都是开环控制系统。

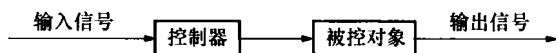


图 1.1.9 开环控制系统方框图

一般来说,开环控制系统结构简单,容易构成,成本较低,稳定性不是重要问题。开环控制系统的缺点是控制精度不高,抑制干扰能力差,而且对系统参数变化比较敏感。一般用于可以不考虑外界影响或精度要求不高的场合,如洗衣机、步进电动机控制及水位调节等。

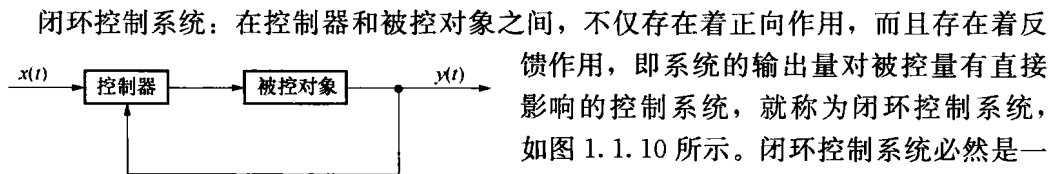


图 1.1.10 闭环控制系统方框图

闭环控制系统:在控制器和被控对象之间,不仅存在着正向作用,而且存在着反馈作用,即系统的输出量对被控量有直接影响的控制系统,就称为闭环控制系统,如图 1.1.10 所示。闭环控制系统必然是一个反馈控制系统,是最常用的控制方式。

闭环控制系统使系统的输出信号受外来扰动和内部参数影响变化小,具有一定的抑制扰动以提高控制精度的特点,但采用反馈装置需要添加元部件,造价较高,同时也增加了系统的复杂性。另外,如果系统的结构参数选取不适当,控制过程可能变得很差,甚至出现振荡或发散等不稳定的情况,因此稳定性始终是一个重要问题。

复合控制:复合控制就是将开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式。实质上,它是在闭环控制回路的基础上,附加一个输入信号或扰动作用的顺馈通路,来提高系统的控制精度,如图 1.1.11 所示。

##### (3) 过程控制系统中常用术语及其意义

被控对象(过程):它是被控制的工艺设备、机器或生产过程。在图 1.1.3 中,被

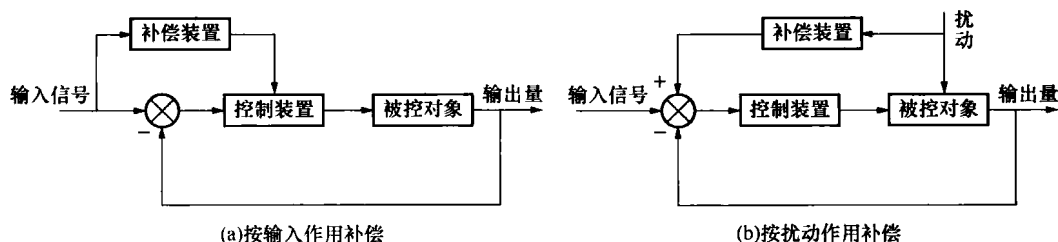


图 1.1.11 复合控制典型方框图

控对象就是锅炉汽包。

被控变量  $y$ : 它是表征生产设备或过程运行是否正常而需要加以控制的物理量。在图 1.1.3 中, 汽包水位就是被控变量。过程控制系统的被控变量通常有温度、压力、流量、液位、成分等。

操纵变量  $q$ : 受控制装置(控制器)操纵, 用以克服扰动的影响使被控变量保持在设定值的物料量或能量, 被称为操纵变量。在图 1.1.3 中, 往锅炉汽包中注入的给水量就是操纵变量。

扰动  $f$ : 在生产过程中, 凡是影响被控变量的各种外来因素都叫扰动(又称干扰)。在图 1.1.3 中, 给水压力变化而引起水位波动是一种扰动, 蒸汽负荷变化而引起水位波动是一种扰动。通常, 控制系统有两种外作用, 即有用信号和扰动。系统的有用输入信号决定系统被控制量的变化规律; 而扰动是系统所不希望的外作用, 它破坏有用信号对系统输出量的控制。在实际系统中, 扰动通常是不可避免的, 它可以作用于系统中的任何部位。电源电压的波动、环境温度的变化、飞行中气流的扰动以及负载的变化等, 都是现实中存在的扰动。通常我们所说的系统输入信号, 一般是指有用信号。

设定值  $x$ : 它是一个与要求的(期望的)被控变量相对应的信号值, 也即被控变量的预定值。

偏差  $e$ : 在过程控制系统中, 规定偏差是设定值与测量值之差, 即  $e = x - z$ 。但在仪表制造厂中, 习惯取偏差  $e' = -e = z - x$ , 即把  $z > x$  称为正偏差,  $z < x$  称为负偏差。

测量值  $z$ : 它是测量变送器的输出信号。利用测量元件对被控变量进行测量, 并转换成一定的标准信号输出。在图 1.1.3 中, 液位测量变送器的输出就是测量值。

### (三) 过程控制系统控制流程图

过程控制系统控制流程图是自控设计的文字代号、图形符号在工艺流程图上描述生产过程控制的原理图, 是控制系统设计、施工中采用的一种图示形式。该图在工艺流程图的基础上, 按其流程顺序标出相应的测量点、控制点、控制系统及自动信号与连锁保护系统等。在控制流程图的绘制过程中所采用的图形符号、文字代号应按照有关的技术规定进行。下面结合化工部《过程检测和控制系统用文字代号和图形符号》(HG 20505—92), 介绍一些常用的图形符号和文字代号。

图 1.1.12 为反应器反应温度自动控制系统(简化)控制流程图。它是由控制专业