

高 等 学 校 教 材

过程装备控制技术及应用 典型题解析

张早校 王毅 侯雄坡 编




化学工业出版社

高等学校教材

过程装备控制技术应用 典型题解析

张早校 王毅 侯雄坡 编



 化学工业出版社

·北京·

本书为《过程装备控制技术的应用》的配套图书，每章介绍了该章的重点、难点，概述了基本知识点，列举了大量典型例题并补充了部分练习题。附录中给出了本书练习题的解答、《过程装备控制技术的应用》教材课后习题解答以及常用术语中英文对照表。

本书可供过程装备与控制工程专业本科和研究生使用，也可作为有关院校的石油、化工、能源、动力、环境工程等专业的学生使用，同时还可供从事过程设备与控制行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备控制技术应用典型题解析/张早校,王毅,
侯雄坡编. —北京:化学工业出版社,2007.11

高等学校教材

ISBN 978-7-122-01365-1

I. 过… II. ①张…②王…③侯… III. 过程控制-
高等学校-教学参考资料 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第161761号

责任编辑:程树珍 金玉连

文字编辑:鲍晓娟

责任校对:蒋宇

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张10¼ 字数253千字 2008年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

《过程装备控制技术及应用》作为过程装备与控制工程专业的核心课教材，越来越受到人们的重视。国内已经有近百所院校设置了过程装备与控制工程专业，如何配合《过程装备控制技术及应用》专业核心课程的教学，使大多数学生在对控制理论知识了解不多的情况下，比较好地掌握过程控制及其应用的基本内容，成为国内同行值得探索的教学研究与改革的重要课题。

为了帮助本科生、报考研究生的读者学好这门课程，加强能力培养，拓展知识面，弥补由于教材篇幅所限而无法更详细介绍的知识点，编者根据多年的教学经验和体会编写了《过程装备控制技术及应用典型题解析》。

本书的章节划分与《过程装备控制技术及应用》教材相同。前5章每章均分为四个部分。

(1) 重点和难点

给出了读者应该加以注意和重点学习的内容要点。

(2) 基本知识点概述

给出了各章基本内容的归纳和总结，包括名词术语以及基本概念，并补充了部分解题需要的相关知识。

(3) 例题

列举了大量的典型例题，通过例题的解答过程，使读者加深对基本概念的理解，掌握解题思路。

(4) 练习题

这一部分和典型例题配合，给出了除教材练习题以外的补充练习题，以加深读者对相应章节知识的掌握。

在第6章应用设计部分给出了部分过程控制应用专题设计的例题分析。最后在附录中给出了补充练习题和教材中课后练习题的参考解答。

为了帮助熟悉相关英文词汇，在附录中还给出了常用术语的中英文对照。

参加本书编写工作的有张早校、王毅、侯雄坡。在编写过程中，研究生陈晓文、陈二峰、杨福胜、郭权发、兰清敏、姚丙东、白菲菲、陶伟、杨博、贾太洲、郑菲菲等收集和解答了部分习题。本书的大部分例题已经在西安交通大学过程装备与控制工程系的本科生教学中使用过。

由于编者的学识水平、对教学改革的研究深度和认识水平有限，本书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2007年6月10日

目 录

1 控制系统的基本概念	1
1.1 重点和难点	1
1.2 基本知识点概述	1
1.3 例题	2
1.4 练习题	7
2 过程装备控制基础	10
2.1 重点和难点	10
2.2 基本知识点概述	10
2.3 例题	11
2.4 练习题	20
3 过程检测技术	22
3.1 重点和难点	22
3.2 基本知识点概述	23
3.3 例题	27
3.4 练习题	35
4 过程控制装置	38
4.1 重点和难点	38
4.2 基本知识点概述	38
4.3 例题	40
4.4 练习题	46
5 计算机控制系统	48
5.1 重点和难点	48
5.2 基本知识点概述	48
5.3 例题	52
5.4 练习题	55
6 典型过程控制系统应用方案	57
6.1 重点和难点	57
6.2 基本知识点概述	57

6.3 过程控制应用设计例题.....	57
7 先进过程控制系统简介.....	79
7.1 重点和难点.....	79
7.2 基本知识点概述.....	79
7.3 例题.....	80
附录1 练习题解答	82
附录2 《过程装备控制技术及应用》(第二版) 教材思考题与习题解答	109
附录3 常用术语的中英文对照	149
参考文献.....	158

I 控制系统的基本概念

1.1 重点和难点

- i. 生产过程自动化所包含的内容；
- ii. 过程装备控制的任务和要求；
- iii. 控制系统的组成；
- iv. 控制系统的方框图；
- v. 控制系统的分类；
- vi. 开环控制；
- vii. 闭环控制、反馈和反馈控制的概念、反馈控制系统的特点；
- viii. 控制系统的过渡过程及其性能指标。

1.2 基本知识点概述

1.2.1 名词术语

本章概括介绍了自动控制系统的的基本概念。因此要通过学习，熟练掌握自动控制的常用术语。例如：自动控制、自动控制系统、被控对象、测量元件和变送器、调节器（控制器）、执行器、被控变量、给定值、测量值、操纵变量（控制变量）、干扰（外界扰动）、偏差信号、控制信号、定值控制系统、随动控制系统、程序控制系统、闭环控制、开环控制、反馈控制系统、发散振荡过程、等幅振荡过程、衰减振荡过程、非振荡的单调过程、最大偏差（或超调量）、衰减比、回复时间、余差、振荡周期等。

1.2.2 闭环控制

闭环控制是指在控制系统中，系统输出信号的改变会返回影响操纵变量，所以操纵变量不是独立的变量，它依赖于输出变量。闭环控制系统的最常见形式为负反馈控制系统。

1.2.3 对控制系统的基本要求

对控制系统要求首先必须稳定，即稳定性。在绝对稳定的基础上，控制系统还必须具有一定的相对稳定性。其次，控制系统应具有恰当的响应速度，即快速性。同时，控制系统也应能使稳态误差减小到某一允许的最小值范围内，即准确性要求。

1.2.4 控制系统的分类

自动控制系统按照给定值的特点，可分为定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。按照系统输出信号对操纵变量的影响，可分为开环控制系统和闭环控制系统。按系统的复杂程度，可分为简单控制系统和复杂控制系统。按照系统克服干扰的方法，可分为反

馈控制系统、前馈控制系统以及前馈反馈控制系统。按照控制装置的不同，可分为常规控制系统和计算机控制系统。

1.3 例题

【例 1-1】 自动控制系统按照其基本结构形式可分为几类？简述每一类型的基本含义。

答 自动控制系统按其基本结构形式，可根据系统输出信号对操纵变量的影响，分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。

开环控制系统是指控制器与被控对象之间，只有顺向控制而没有反向联系的自动控制系统。即操纵变量通过被控对象去影响被控变量，但被控变量并不通过自动控制装置去影响操纵变量。从信号传递关系上看，未构成闭合回路。

开环控制系统分为两种，一种按设定值进行控制，如图 1-1(a) 所示。这种控制方式的操纵变量（蒸汽流量）与设定值保持一定的函数关系，当设定值变化时，操纵变量随之变化进而改变被控变量。另一种是按扰动进行控制，即所谓前馈控制系统，如图 1-1(b) 所示，图中的 FT 为流量变送器。这种控制方式是通过扰动信号的测量，根据其变化情况产生相应的控制作用，进而改变被控变量。

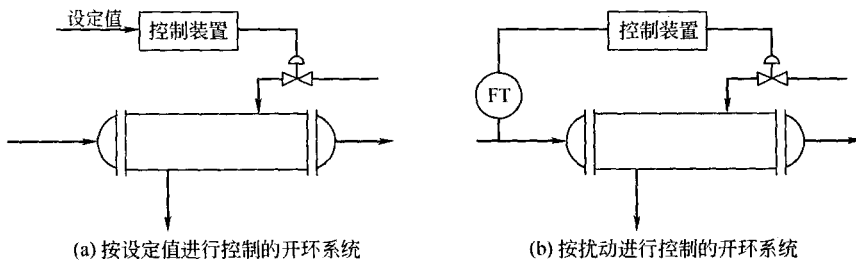


图 1-1 开环控制系统基本结构

开环控制系统不能自动地觉察被控变量的变化情况，也不能判断操纵变量的校正作用是否符合实际需要。

闭环控制系统则是指控制器与被控对象之间，既有前向控制又有反向联系的自动控制系统。如图 1-2(a) 即是一个闭环自动控制系统。图中控制器接受检测元件及变送器送来的温度测量信号，并与设定值相比较得到偏差信号，再根据偏差的大小和方向，调整蒸汽阀门的开度，改变蒸汽流量，使热物料出口温度回到设定值上。从图 1-2(b) 所示的控制系统方框图可以清楚看出，操纵变量（蒸汽流量）通过被控对象去影响被控变量，而被控变量又通过自动控制装置去影响操纵变量。从信号传递关系上看，构成了一个闭合回路。

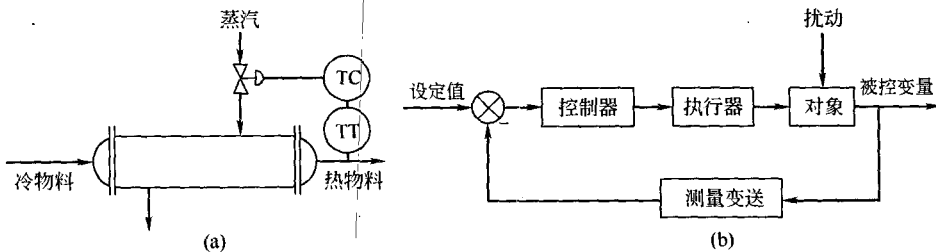


图 1-2 闭环自动控制系统

【例 1-2】 自动控制系统中的闭环控制系统按设定值的不同形式可分为几种类型？

答 在闭环控制系统中，按照设定值的不同形式可分为以下类型。

① 定值控制系统 定值控制系统是指设定值恒定不变的控制系统。定值控制系统的作用是克服扰动对被控变量的影响，使被控变量最终回到设定值或其附近。

② 随动控制系统 随动控制系统的设定值是不断变化的。随动控制系统的作用是使被控变量能够尽快地、准确无误地跟踪设定值的变化。

③ 程序控制系统 程序控制系统的设定值也是变化的，但它是一个已知的时间函数，即设定值按一定的时间程序变化。

【例 1-3】 什么是反馈？负反馈在自动控制系统中有什么重要意义？

答 在自动控制系统中，将系统（或环节）的输出信号直接或经过一些环节重新引回到输入端的做法称为反馈。反馈信号的作用方向与设定值信号相反，即偏差信号为两者之差，这种反馈叫做负反馈；反之若偏差信号为两者之和，则为正反馈。

在控制系统中采用负反馈，是因为当被控变量受到扰动作用后，若使其升高，则反馈信号升高，经过比较，偏差信号将降低，此时控制器将发出信号而使执行器动作，施加控制作用，其作用方向与扰动作用方向相反，致使被控变量下降，这样就达到了控制的目的。

【例 1-4】 衰减振荡过程的品质指标有哪些？各自的含义是什么？

答 衰减振荡过程的品质指标主要包括：最大偏差、衰减比、余差、过渡时间、振荡周期等。其各自的含义如下。

① 最大偏差 指过渡过程中被控变量偏离设定值的最大数值。最大偏差描述了被控变量偏离设定值的程度，最大偏差愈大，被控变量偏离设定值就愈远，这对于工艺条件要求较高的生产过程是十分不利的。

② 衰减比 n 指过渡过程曲线上同方向第一个波的峰值与第二个波的峰值之比。对于衰减振荡而言， n 总是大于 1 的。若 n 接近 1，控制系统的过渡过程曲线接近于等幅振荡过程；若 n 小于 1，则为发散振荡过程； n 越大，系统越稳定，当 n 趋于无穷大时，系统接近非振荡衰减过程。根据实际操作经验，通常取 $n=4\sim 10$ 为宜。

③ 余差 指过渡过程终了时，被控变量所达到的新的稳态值与设定值之间的差值。余差是一个重要的静态指标，它反映了控制的精确程度，一般希望它为 0 或在一预定的允许范围内。

④ 过渡时间 指控制系统受到扰动作用后，被控变量从原稳定状态回复到新的平衡状态所经历的最短时间。从理论上讲，对于具有一定衰减比的衰减振荡过程，要完全达到新的平衡状态需要无限长的时间，所以在实际应用时，规定从控制系统受到扰动作用开始到被控变量进入新稳态值的 $\pm 5\%$ （或 $\pm 2\%$ ）的范围内且不再越出时为止所经历的时间。过渡时间短，说明系统回复稳定快，即使干扰频繁出现，系统也能适应；反之，过渡时间长说明系统稳定慢，在几个同向扰动作用下，被控变量就会大大偏离设定值而不能满足生产工艺的要求。一般希望过渡时间愈短愈好。

⑤ 振荡周期 指过渡过程同向两波峰（或波谷）之间的间隔时间。在衰减比相同的条件下，周期与过渡时间成正比。一般希望振荡周期短些好。

【例 1-5】 什么是自动控制系统的过渡过程？在阶跃扰动作用下，控制系统的过渡过程有哪些基本形式？哪些过渡过程能基本满足自动控制的要求？

答 对于任何一个控制系统，扰动作用是不可避免地客观存在的，系统受到扰动作用

后，其平衡状态被破坏，被控变量就要发生波动，在自动控制作用下，经过一段时间，使被控变量回复到新的稳定状态。系统从一个平衡状态进入另一个平衡状态之间的过程称为系统的过渡过程。

过渡过程中被控变量的变化情况与干扰的形式有关。在阶跃扰动作用下，其过渡过程曲线有以下几种形式。

① 发散振荡过程 图 1-3(a) 所示。它表明当系统受到扰动作用后，被控变量上下波动，且波动幅度逐渐增大，即被控变量偏离设定值越来越远，以致超越工艺允许范围。

② 非振荡发散过程 图 1-3(b) 所示。它表明当系统受到扰动作用后，被控变量在设定值的某一侧作非振荡变化，且偏离设定值越来越远，以致超越工艺允许范围。

③ 等幅振荡过程 图 1-3(c) 所示。它表明当系统受到扰动作用后，被控变量作上下振幅恒定的振荡，即被控变量在设定值的某一范围内来回波动，而不能稳定下来。等幅振荡是系统稳定与不稳定的分界。

④ 衰减振荡过程 图 1-3(d) 所示。它表明当系统受到扰动作用后，被控变量上下波动，且波动幅度逐渐减小，经过一段时间最终能稳定下来。

⑤ 非振荡衰减过程 图 1-3(e) 所示。它表明当系统受到扰动作用后，被控变量在给定值的某一侧做缓慢变化，没有上下波动，经过一段时间最终能稳定下来。

在上述五种过渡过程形式中，衰减振荡过程 (d) 和非振荡衰减过程 (e) 都属于稳定过程，能基本满足控制要求。但由于非振荡衰减过程中被控变量达到新的稳态值的进程过于缓慢，致使被控变量长时间偏离给定值，所以一般不采用。只有当生产工艺不允许被控变量振荡时，才考虑采用这种形式的过渡过程。

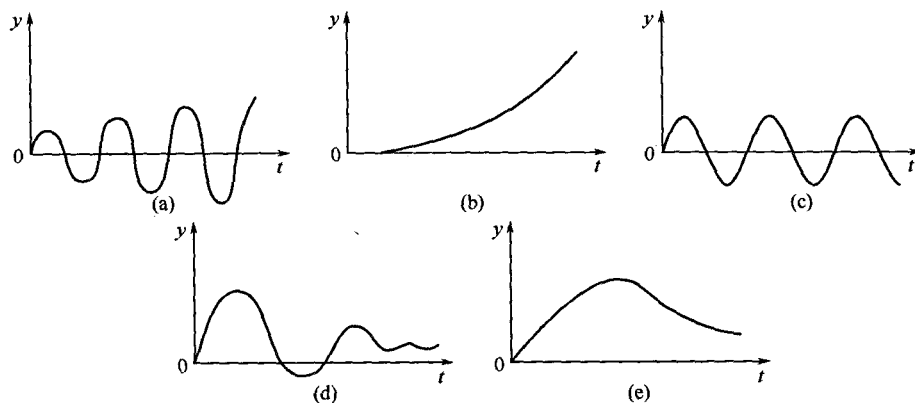


图 1-3 过渡过程的基本形式

【例 1-6】 什么是自动控制系统的方框图？它与工艺管道及控制流程图有什么区别？

答 自动控制系统的方框图是由传递方框、信号线（带有箭头的线段）、综合线、分支点构成的表示控制系统组成和作用的图形。其中每一个方框代表系统中的一个组成部分，方框内填入表示其自身特性的数学表达式；方框间用带有箭头的线段表示相互间的关系及信号的流向。采用方框图可直观地显示出系统中各组成部分以及它们之间的相互影响和信号的联系，以便对系统特性进行分析和研究。而工艺管道及控制流程图则是在控制方案确定以后，根据工艺设计给出的流程图，按其流程顺序标注有相应的测量点、控制点、控制系统及自动信号、联锁保护系统的图。在工艺管道及控制流程图上，设备间的连线是工艺管线，表示物料流动的方向，与方框图中线段的含义截然不同。

【例 1-7】 图 1-4 所示为自力式储槽水位控制系统。

- (1) 指出该系统中被控对象、被控变量、操纵变量各是什么？
- (2) 试画出该系统的方框图；
- (3) 试分析当出水量突然增大时，该系统是如何实现水位控制的？

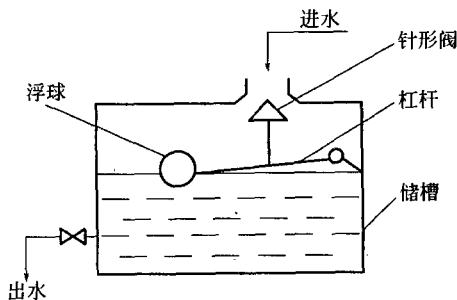


图 1-4 储槽水位控制系统

答 (1) 该系统中储槽为被控对象；储槽中水的液位为被控变量；进水流量为操纵变量。

(2) 储槽水位控制系统方框图如图 1-5 所示。

(3) 当储槽的出水量突然增大时，出水量大于进水量，使水位下降，浮球下移，通过杠杆装置带动针形阀下移，增大了进水量，使出水量与进水量之差随之减小，水位下降变缓，直至进水量与出水量又相等，水位停止下降，重新稳定在某一位置，从而实现水位控制。

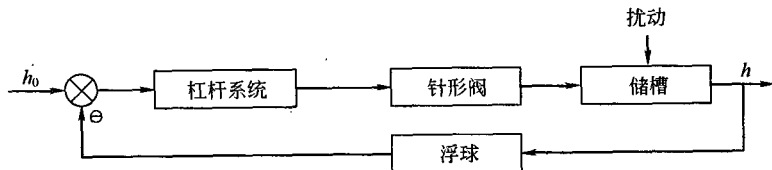


图 1-5 储槽水位控制系统方框图

h —储槽水位； h_0 —储槽希望保持的水位

【例 1-8】 某化学反应器工艺规定操作温度为 $(800 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。为确保生产安全，在控制过程中温度最高不得超过 850°C 。现运行的温度控制系统，在最大阶跃扰动下的过渡过程曲线如图 1-6 所示。

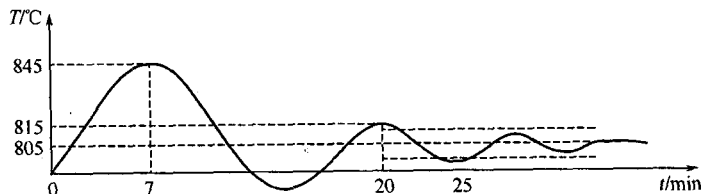


图 1-6 化学反应器温度控制系统的过渡过程曲线

- (1) 试求出该过渡过程的最大偏差、余差、衰减比、过渡时间（温度按进入 $\pm 2\%$ 新稳态值即视为系统已稳定来确定）和振荡周期；
- (2) 说明此温度控制系统是否满足工艺要求。

答 根据过渡过程有关定义, 在该温度控制系统的过渡过程中, 有

最大偏差: $A=845-800=45$ ($^{\circ}\text{C}$)

余差: $C=805-800=5$ ($^{\circ}\text{C}$)

衰减比: $n=(845-805)/(815-805)=4:1$

过渡时间: $T_s=25$ (min)

振荡周期: $T=20-7=13$ (min)

由此可知, 该温度控制系统可以满足工艺要求。

【例 1-9】 在石油化工生产过程中, 常常利用液态丙烯汽化吸收裂解气体的热量, 使裂解气体的温度下降到规定的数值上。图 1-7 是一个简化的丙烯冷却器温度控制系统。被冷却的物料是乙烯裂解气, 其温度要求控制在 $(15\pm 1.5)^{\circ}\text{C}$ 。如果温度太高, 冷却后的气体会包含过多的水分, 对生产造成有害影响; 如果温度太低, 乙烯裂解气会产生结晶析出, 堵塞管道。

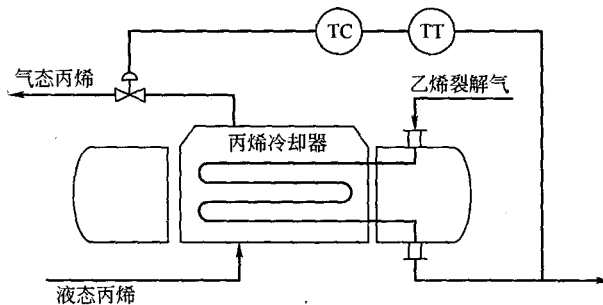


图 1-7 丙烯冷却器温度控制系统图

- (1) 指出系统中被控对象、被控变量和操纵变量各是什么?
- (2) 试画出该控制系统的组成方框图;
- (3) 试比较图 1-7 及它的方框图, 说明操纵变量的信号流向与物料实际流动方向的不同。

答 (1) 在丙烯冷却器温度控制系统中, 被控对象为丙烯冷却器; 被控变量为乙烯裂解气的出口温度, 操纵变量为气态丙烯的流量。

(2) 该系统方框图如图 1-8 所示。

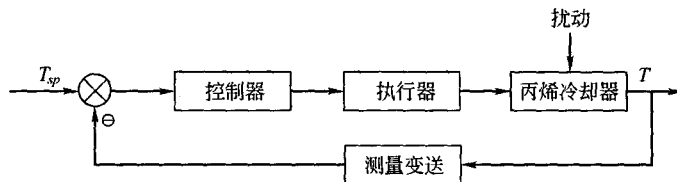


图 1-8 丙烯冷却器温度控制系统方框图

(3) 在图 1-7 中, 气态丙烯的流向是由丙烯冷却器流出的。而在方框图图 1-8 中, 气态丙烯作为操纵变量, 其信号的流向是指向丙烯冷却器的。

【例 1-10】 锅炉是化工、炼油等企业常见的主要设备。汽包水位是影响蒸汽质量及锅炉安全的一个十分重要的参数。水位过高, 会使蒸汽带液, 降低了蒸汽的质量和产量, 甚至会损坏后续设备; 而水位过低, 轻则影响汽液平衡, 重则烧干锅炉甚至引起爆炸。因此, 必须对汽包水位进行严格的控制。图 1-9 是一类简单锅炉汽包水位控制示意图。

(1) 画出该控制系统方框图;

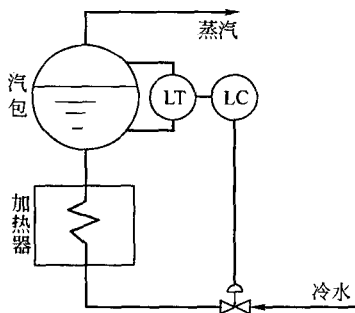


图 1-9 锅炉汽包水位控制示意图

(2) 指出该系统中被控对象、被控变量、操纵变量、扰动变量各是什么？

(3) 当蒸汽负荷突然增加时，试分析该系统是如何实现自动控制的。

答 (1) 锅炉汽包水位控制系统方框图如图 1-10 所示。

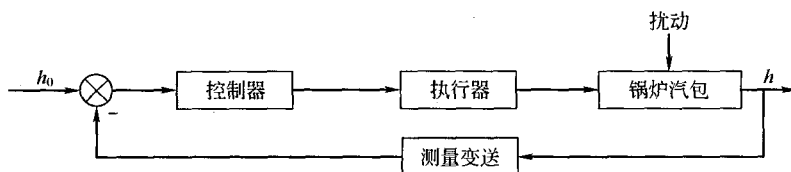


图 1-10 锅炉汽包水位控制系统方框图

(2) 被控对象为锅炉汽包。

被控变量为锅炉汽包水位。

操纵变量为锅炉给水量。

扰动量为冷水温度、压力、蒸汽压力、流量、燃烧状况等。

(3) 当蒸汽负荷增加时，通过 LT 得出液位，然后把信号传送至液位调节器 LC，并与预先设定的水位信号进行比较得到两者的偏差，然后根据一定的控制算法对该偏差加以计算得到相应的控制信号，将该信号传送给执行器，执行器根据控制信号的大小调节给水阀，改变给水量。

1.4 练习题

1-1 举例说明过程控制的任务。

1-2 简述被控对象、被控变量、操纵变量、扰动（干扰）量、设定（给定）值和偏差的含义？

1-3 一个简单控制系统主要由哪些环节组成？它们的作用是什么？

1-4 试说明控制作用与干扰作用两者的关系。

1-5 图 1-11 所示是一反应器温度控制系统示意图。A、B 两种物料进入反应器进行反应，通过改变进入夹套的冷却水流量来控制反应器内的温度保持不变。图中 TT 表示温度检测变送器，TC 表示温度控制器。试画出该温度控制系统的方框图，并指出该控制系统中的被控对象、被控变量、操纵变量及可能影响被控变量变化的扰动各是什么？

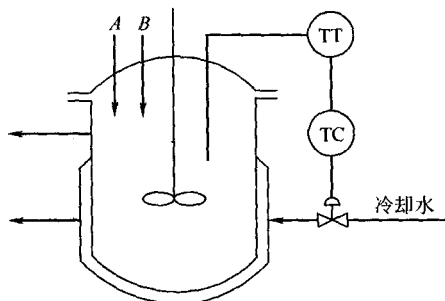


图 1-11 反应器温度控制系统示意图

1-6 在下列过程中，哪些是开环控制？哪些是闭环控制？为什么？

- (1) 人驾驶汽车；
- (2) 电冰箱温度控制；
- (3) 浴室用电热水器的温度控制；
- (4) 投掷铅球。

1-7 设热水电加热器如图 1-12 所示。为了保持所希望的温度，由温控开关接通或断开电加热器的电源。在使用热水时，水箱中流出热水并补充冷水。试说明该系统的被控对象、输出量、输入量、工作原理，并画出系统原理方框图。

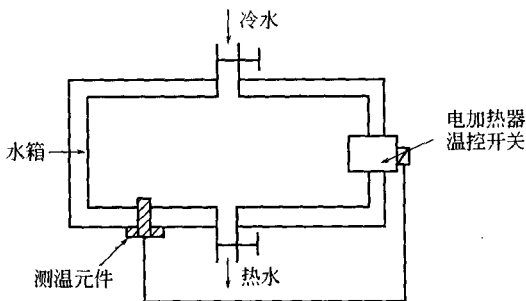


图 1-12 热水电加热器系统

1-8 仓库大门的自动控制原理示意图如图 1-13 所示。试说明自动控制大门开关的工作原理，并画出方框图。

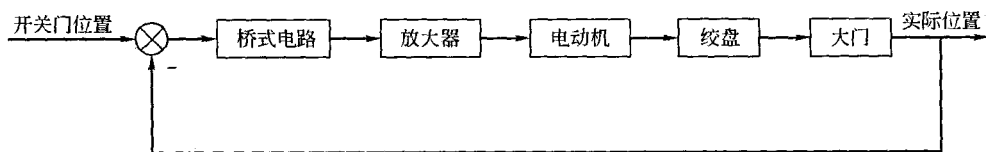


图 1-13 大门自动开闭控制系统

1-9 乙炔发生器是利用电石和水来产生乙炔气的装置。为了降低电石消耗量，提高乙炔气的收率，确保生产安全，规定操作温度为 $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。控制过程中温度偏离给定值最大不能超过 5°C ，现设计一定值控制系统，在阶跃扰动作用下的过渡过程曲线如图 1-14 所示。试确定该系统的最大偏差、衰减比、余差、过渡时间（按被控变量进入 $\pm 2\%$ 新稳态值即达到稳定来确定）和振荡周期等过渡过程指标，并判断该系统能否满足工艺要求。

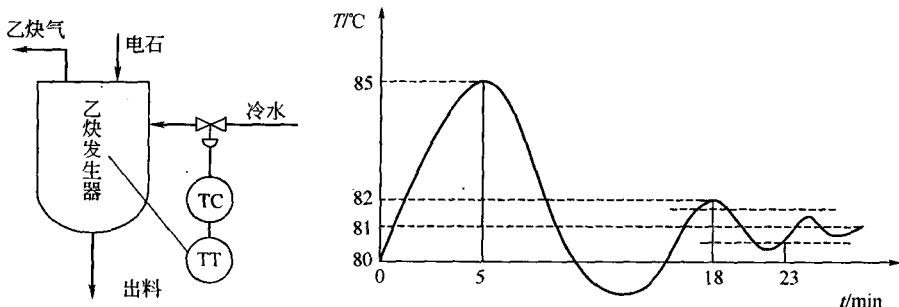


图 1-14 乙炔发生器及反应曲线示意图

1-10 如图 1-15 所示压力自动控制系统。试指出该系统中的被控对象、被控变量、操纵变量和扰动变量，画出该系统的方框图。

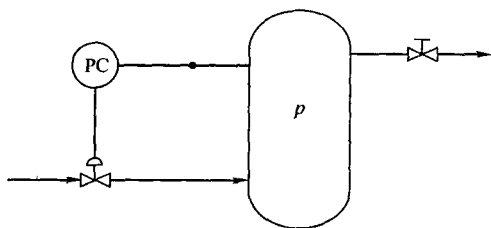


图 1-15 压力控制系统

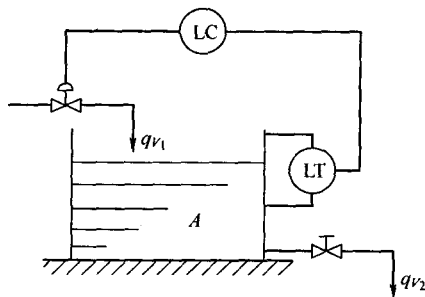


图 1-16 液位控制系统示意图

1-11 简述图 1-16 所示液位控制系统的工作原理，并画出控制系统的方框图。

1-12 某一电压表在稳定时能够准确显示被测电压值。在被测电压突然变化时，指针来回摆动，最后能够稳定在被测数值上。假定指示系统的衰减比为 4:1。当电压突然由 0 上升到 220V 后，指针最高能摆到 252V。问经过三次摆动，指针能到多少伏（即第三个波峰值）。

2 过程装备控制基础

2.1 重点和难点

- i. 被控对象的特性；
- ii. 被控对象的数学描述：单容液位对象和双容液位对象；
- iii. 被控对象的特性参数：放大系数、时间常数、滞后时间；
- iv. 对象特性的实验测定：响应曲线法、脉冲响应法；
- v. 单回路控制系统；
- vi. 调节器的调节规律：位式调节规律、比例调节规律、积分调节规律、微分调节规律、比例积分调节规律、比例积分微分调节规律；
- vii. 调节器参数的工程整定：经验试凑法、临界比例度法、衰减曲线法；
- viii. 复杂控制系统：串级控制系统、前馈控制系统、比值控制系统、选择性控制系统、均匀控制系统、分程控制系统。

2.2 基本知识点概述

(1) 名词术语

本章主要讲述简单控制系统以及一些工业常用复杂控制系统的结构特性，因此要掌握简单控制系统的常用术语，包括被控对象的静态特性和动态特性，被控对象的特性参数（如放大系数、时间常数、滞后时间等）、响应曲线法、脉冲响应法、比例调节规律、比例度、积分调节规律、微分调节规律、经验试凑法、临界比例度法、衰减曲线法等。

(2) 被控对象的特性

被控对象的特性是指当被控对象的输入变量发生变化时，其输出变量随时间的变化规律，分为静态特性和动态特性。被控对象的特性可以用微分方程、图形、表格等表示。

(3) 单回路控制系统

单回路控制系统又称为简单控制系统，是指由一个被控对象、一个检测元件及变送器、一个调节器和一个执行器所构成的闭合系统，是研究自动控制的基本形式。

(4) 调节器的调节规律

调节器的输出信号随输入信号变化的规律称为调节器的调节规律。调节器的作用就是将测量变送信号与给定值相比较产生偏差信号，然后按一定的运算规律产生输出信号，推动执行器，实现对生产过程的自动控制。

(5) 复杂过程控制系统

① 串级控制系统 是指由两个调节器、一个调节阀、两个变送器和两个对象组成的控制系统。其最主要的特点是两个调节器控制一个调节阀，适用于当对象的滞后较大，干扰比较剧烈、频繁的对象。

② 前馈控制系统 通过测量干扰的变化，并经控制器的控制作用直接克服干扰对被控变量的影响，即可使被控变量不受干扰或少受干扰影响的控制方式组成的控制系统，称为前馈控制系统。

③ 分程控制系统 单回路控制系统是由一个调节器的输出带动一个调节阀动作的。在生产过程中，有时为了维持一个被控变量的工艺要求，需要改变几个控制变量。这种由一个调节器的输出信号分别去控制两个或两个以上调节阀动作的系统称为分程控制系统。

④ 选择性控制系统 选择性控制是把生产过程中的限制条件所构成的逻辑关系，叠加到正常的自动控制系统上去的一种组合控制方法。即在一个过程控制系统中，设有两个调节器（或两个以上的变送器），通过高、低值选择器选出能适应生产安全状况的控制信号，实现对生产过程的自动控制。当生产过程趋近于危险极限区，但还未进入危险区时，一个用于控制不安全情况的控制方案通过高、低选择器将取代正常生产情况下工作的控制方案（正常调节器处于开环状态），直至使生产过程重新恢复正常，然后，又通过选择器使原来的控制方案重新恢复工作。

⑤ 均匀控制系统 能使被控量与控制量在一定范围内均匀缓慢变化的控制系统。其特点是在工艺允许的范围内，前后装置或设备供求矛盾的两个参数都是变化的，且其变化是均匀缓慢的。

⑥ 比值控制系统 即实现两个或两个以上参数符合一定比例关系的控制系统。

2.3 例题

【例 2-1】 描述简单对象特性的参数有哪些？各有何物理意义？

答 描述简单对象特性的参数分别是放大系数 K 、时间常数 T 和滞后时间 τ 。

① 放大系数 K 放大系数 K 在数值上等于对象处于稳定状态时输出的变化量与输入的变化量之比，即

$$K = \frac{\text{输出的变化量}}{\text{输入的变化量}}$$

由于放大系数 K 反映的是对象处于稳定状态下的输出和输入之间的关系，所以放大系数是描述对象静态特性的参数。

② 时间常数 T 时间常数是指当对象受到阶跃输入作用后，被控变量如果保持初始速度变化，达到新稳态值所需的时间。或当对象受到阶跃输入作用后，被控变量达到新稳态值的 63.2% 所需的时间。时间常数是反映被控对象动态特性的参数。

③ 滞后时间 τ 滞后时间 τ 是纯滞后时间 τ_0 和容量滞后 τ_c 的总和。

输出变量的变化落后于输入变量变化的时间称为纯滞后时间。纯滞后的产生一般是由于介质的输送过程或热的传递需要一段时间引起的。容量滞后一般是因为物料或能量的传递需要通过一定的阻力而引起的。

滞后时间 τ 也是反映对象动态特性的重要参数。

【例 2-2】 什么是被控对象特性？什么是被控对象的数学模型？研究被控对象特性有