

高等学校教学用书

化工仪表及自动化
例题习题集

化工仪表及自动化 例题习题集

(化学工程与工艺专业适用)

厉玉鸣 主编

化学

Q056

1

4

版
社

化学工业出版社



高等学校教学用书

化工仪表及自动化 例题习题集

(化学工程与工艺专业适用)

厉玉鸣 主编

化学工业出版社
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工仪表及自动化例题习题集/厉玉鸣主编. —北京:
化学工业出版社, 1999 (2000.10 重印)
高等学校教学用书·化学工程与工艺专业适用
ISBN 7-5025-2497-5

I. 化… II. 厉… III. ①化工仪表-高等学校-习题
②自动化仪表-高等学校-习题 IV. TQ056

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 34095 号

高等学校教学用书
化工仪表及自动化例题习题集
(化学工程与工艺专业适用)

厉玉鸣 主编
责任编辑: 唐旭华
责任校对: 洪雅姝
封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市燕山印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 250 千字
1999 年 10 月第 1 版 2000 年 8 月北京第 2 次印刷
印数: 5001—8000

ISBN 7-5025-2497-5/G·664

定 价: 16.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

高等学校教材《化工仪表及自动化》(化学工程与工艺专业适用)一书已由化工出版社前后出版了三版,并多次印刷,印刷总数达二十多万册。该书被全国许多高校与厂矿选用,受到广大师生与读者的欢迎和支持。在使用过程中,作者收到一些意见与建议,特别是许多师生与读者来信或来函,希望有一本与之配套的例题习题集,以帮助大家更深入地理解教材内容,掌握重点,克服难点,得到更多的练习与解题训练,培养大家运用所学知识解决实际问题的能力。基于上述情况,我们几所高校决定联合编写《化工仪表及自动化例题习题集》,此举得到了化工出版社的大力支持,使该书能在较短的时间内就与读者见面了。

本习题集主要与《化工仪表及自动化》(第三版)配套使用,因此在章节编排上尽量与教材相对应。全书共分十一章,每章都有基本要求、问题解答、例题分析、习题、参考答案五个部分。基本要求部分主要是指出该章需要重点掌握的内容及一般了解的内容;问题解答部分实际上是该章的内容提要,以问题解答的形式对该章的主要内容作出必要的提示、归纳与总结;例题分析部分是列举一些在理论和实践教学上有代表性的例题,并对各题作比较详尽的分析与讨论,以帮助大家能更深入地理解教材内容,并得到一定的解题技巧与能力的训练;习题部分是提供大量在教学上及实际应用中常见的习题,留待学生或读者自己完成,以培养大家独立解题的能力,并巩固课堂所学的知识,以达到编写本习题集的目的;参考答案部分只给出部分习题的计算结果或结论,而解题步骤、解题过程及一些叙述性的内容则省略了,答案仅供大家参考。

本习题集由北京化工大学厉玉鸣教授主编,并编写了其中的第七、八章。参加编写的还有河北科技大学孟华副教授,编写了第一、二章,河北理工学院吴继增教授编写了第三章的一、二节,北京服装学院陈亚男老师编写了第三章的三、四节与第六章,北京服装学院李慧老师编写了第四、五章,中国电力信息中心吴凯峰博士编写了第九、十章,北京林业大学张谦副教授编写了第十一章。另外,河北科技大学黄正慧副教授对本习题集的编写给予了很大的支持与帮助,在此特表谢意。

本习题集由北京化工大学沈承林教授主审,他对全书作了详细的审阅,并提出许多宝贵的修改意见,在此深表感谢。

本习题集的编写得到了“北京化工大学化新教材建设基金”的资助。

厉玉鸣

1999年1月

内 容 提 要

本习题集的主要内容为化工检测仪表、自动控制装置及过程控制系统等。共分十一章，每章都包括基本要求、问题解答、例题分析、习题和参考答案五部分。书中收集了大量的例题与习题，对加深理解教材内容、掌握重点、克服难点、提高分析问题与解决问题的能力是十分有益的。

本习题集主要作为化学工程与工艺专业广大师生学习《化工仪表及自动化》课程的辅助教材，也可供工业自动化、检测技术及仪表专业的本科生，函大、夜大、职大的师生及有关的工程技术人员参考。

目 录

第一章 自动控制系统基本概念	1
基本要求.....	1
问题解答.....	1
例题分析.....	7
习 题.....	9
参考答案.....	12
第二章 被控对象的数学模型	14
基本要求.....	14
问题解答.....	14
例题分析.....	16
习 题.....	19
参考答案.....	20
第三章 检测仪表与传感器	22
基本要求.....	22
问题解答.....	22
例题分析.....	35
习 题.....	55
参考答案.....	58
第四章 显示仪表	60
基本要求.....	60
问题解答.....	60
例题分析.....	66
习 题.....	72
参考答案.....	73
第五章 自动控制仪表	74
基本要求.....	74
问题解答.....	74
例题分析.....	78
习 题.....	86
参考答案.....	86
第六章 执行器	87
基本要求.....	87
问题解答.....	87
例题分析.....	90
习 题.....	96

参考答案	97
第七章 简单控制系统	98
基本要求	98
问题解答	98
例题分析	100
习 题	106
参考答案	107
第八章 复杂控制系统	108
基本要求	108
问题解答	108
例题分析	112
习 题	124
参考答案	128
第九章 新型控制系统	132
基本要求	132
问题解答	132
例题分析	134
习 题	138
参考答案	138
第十章 计算机控制系统	140
基本要求	140
问题解答	140
例题分析	143
习 题	145
参考答案	145
第十一章 典型化工单元的控制方案	147
基本要求	147
问题解答	147
例题分析	150
习 题	160
参考答案	162
参考书目	165

第一章 自动控制系统基本概念

基 本 要 求

1. 掌握自动控制系统的组成，了解各组成部分的作用以及相互影响和联系。
2. 理解自动控制系统中常用的各种术语，掌握方块图的意义及画法。
3. 熟悉管道及控制流程图上常用符号的意义。
4. 了解控制系统的几种分类形式，掌握系统的动态与静态。
5. 掌握闭环控制系统在阶跃干扰（扰动）作用下，过渡过程的几种基本形式及过渡过程品质指标的含义。

问 题 解 答

1. 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？

答 自动控制系统中常用的几个术语其含义是：

被控对象 自动控制系统中，工艺参数需要控制的生产过程、设备或机器等。

被控变量 被控对象内要求保持设定数值的工艺参数。

操纵变量 受控制器操纵的，用以克服干扰的影响，使被控变量保持设定值的物料量或能量。

扰动量 除操纵变量外，作用于被控对象并引起被控变量变化的因素。

设定值 被控变量的预定值。

偏差 被控变量的设定值与实际值之差。

2. 自动控制系统按其基本结构形式可分为几类？其中闭环控制系统中按设定值的不同形式又可分为几种？简述每种形式的基本含义。

答 自动控制系统按其基本结构形式可分为闭环自动控制系统和开环自动控制系统。

闭环自动控制是指控制器与被控对象之间既有顺向控制又有反向联系的自动控制。如图 1-1 (a) 即是一个闭环自动控制。图中控制器接受检测元件及变送器送来的测量信号，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 1-1 (b) 所示的控制系统方块图可以清楚看出，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。

在闭环控制系统中，按照设定值的不同形式又可分为：

(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。以后无特殊说明控制系统均指定值控制系统而言。

(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而变化。

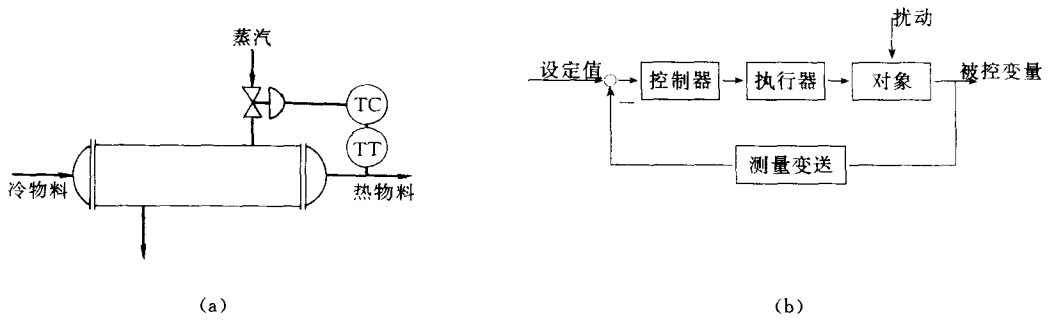


图 1-1 闭环自动控制基本结构

(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。

开环控制系统是指控制器与被控对象之间只有单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 1-2 (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 1-2 (b) 所示。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控制作用,进而改变被控变量。

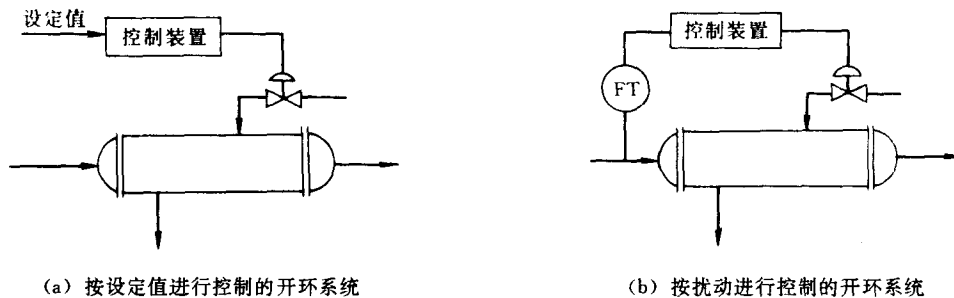


图 1-2 开环控制系统基本结构

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适合实际需要。

3. 自动控制系统主要由哪些环节组成? 各部分的作用是什么?

答 自动控制系统主要由两大部分组成。一部分是起控制作用的全套自动化装置,对于常规仪表来说,它包括检测元件及变送器、控制器、执行器等;另一部分是受自动化装置控制的被控对象。

在自动控制系统中,检测元件及变送器用来感受被控变量的变化并将它转换成一种特定的信号(如气压信号或电压、电流信号等)。控制器将检测元件及变送器送来的测量信号与工艺上需要保持的设定值信号进行比较得出偏差,根据偏差的大小及变化趋势,按预先设计好的控制规律进行运算后,将运算结果用特定的信号(如气压信号或电流信号)发送给执行器。

执行器能自动地根据控制器送来的信号值相应地改变流入（或流出）被控变量的物料量或能量，克服扰动的影响，最终实现控制要求。

4. 什么是自动控制系统的过渡过程？在阶跃扰动作用下，其过渡过程有哪些基本形式？哪些过渡过程能基本满足控制要求？

答 对于任何一个控制系统，扰动作用是不可避免的客观存在。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。把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 如图 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，以至超越工艺允许范围。

②非振荡发散过程 如图 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，以至超越工艺允许范围。

③等幅振荡过程 如图 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。

④衰减振荡过程 如图 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 如图 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作缓慢变化，没有上下波动，经过一段时间最终能稳定下来。

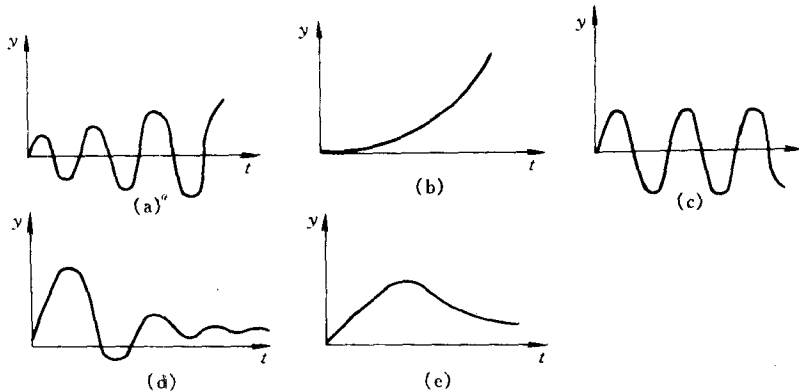


图 1-3 过渡过程的几种基本形式

在上述五种过渡过程形式中，非振荡衰减过程和衰减振荡过程是稳定过程，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。

5. 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有：最大偏差、衰减比、余差、过渡时间、振荡周期（或频率）等。其各自的含义是：

最大偏差 是指过渡过程中被控变量偏离设定值的最大数值。图 1-4 中 A 表示最大偏

差。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。

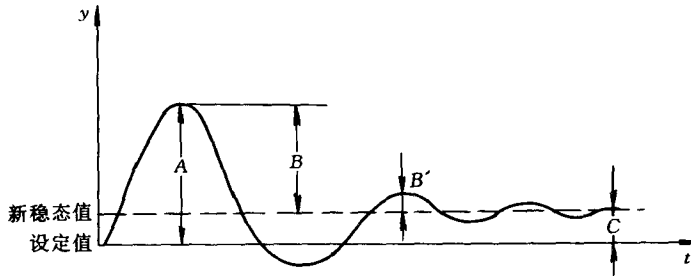


图 1-4 过渡过程品质指标示意图

衰减比 是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。图 1-4 中衰减比 $n=B:B'$ 。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。

余差 是指过渡过程终了时，被控变量所达到的新的稳态值与设定值之间的差值。图 1-4 中 C 表示余差。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。

过渡时间 是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，规定只要被控变量进入新的稳态值的 $\pm 5\%$ （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，说明系统恢复稳定快，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工艺生产的要求。一般希望过渡时间愈短愈好。

振荡周期（或频率） 振荡周期是指过渡过程同向两波峰（或波谷）之间的间隔时间，其倒数为振荡频率。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。

6. 什么是自动控制系统的方块图？它与工艺管道及控制流程图有什么区别？

答 自动控制系统的方块图是由传递方块、信号线（带有箭头的线段）、综合点、分支点构成的表示控制系统组成和作用的图形。其中每一个方块代表系统中的一个组成部分，方块内填入表示其自身特性的数学表达式；方块间用带有箭头的线段表示相互间的关系及信号的流向。采用方块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、连锁保护系统的图。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，与方块图中线段的含义截然不同。

7. 什么是控制系统的静态与动态？为什么说研究控制系统的动态比其静态更有意义？

答 在自动化领域内，把被控变量不随时间而变化的平衡状态称为控制系统的静态。在这种状态下，自动控制系统的输入（设定值和干扰）及输出（被控变量）都保持不变，系统内各组成环节都不改变其原来的状态，它们输入、输出信号的变化率为零。而此时生产仍在进行，物料和能量仍然有进有出。因此，静态反映的是相对平衡状态。

系统的动态是被控变量随时间而变化的不平衡状态。当一个原来处于相对平衡状态的系统，受到扰动作用的影响，其平衡状态受到破坏，被控变量偏离设定值，此时，控制器就会改变原来的状态，产生相应的控制作用，改变操纵变量克服扰动的影响，力图恢复平衡状态。从扰动发生，经过控制，直到系统重新建立平衡，在这段时间中整个系统都处于变动状态中。

在自动化工作中，了解、研究控制系统动态比其静态更为重要。因为在生产过程中，干扰是客观存在的，是不可避免的。在扰动引起系统变动后，就需要通过控制装置不断地施加控制作用去消除干扰作用的影响，使被控变量保持在工艺生产所规定的技术指标上，以满足过程控制的要求。一个正常工作的自动控制系统，时时刻刻都受到扰动的频繁作用，总是处在一种频繁的、不间断的动态过程中。因此说研究控制系统的动态比其静态更有意义。

8. 在进行控制系统研究中，典型的输入信号形式有哪些？为什么常采用阶跃信号作为系统的输入信号？

答 在进行控制系统研究中，为了便于分析和比较不同系统的性能，通常以阶跃函数、斜坡（速度）函数、抛物线（加速度）函数、脉冲函数等时间函数信号作为典型的输入信号。

(1) 阶跃函数 阶跃函数的数学表达式为：

$$r(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ A & t \geq 0 \end{cases}$$

电源的突然接通，负荷的突然变化，以及其他突变形式的信号均可视为阶跃函数。若阶跃幅值 $A=1$ ，则是单位阶跃函数。如图 1-5 (a) 所示。

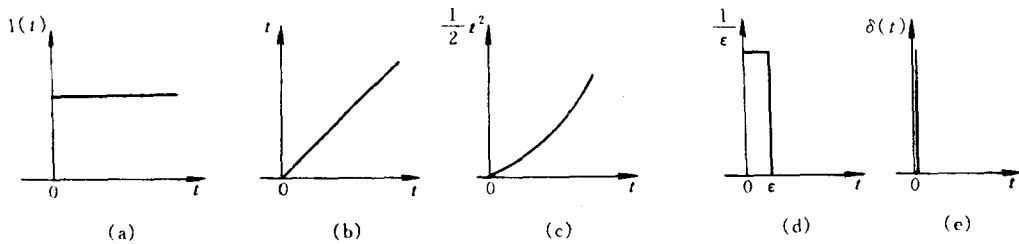


图 1-5 典型输入信号

斜坡函数

斜坡函数的数学表达式为：

$$r(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ At & t \geq 0 \end{cases}$$

一切等速变化的信号，例如恒电流充电的电容器两端的电压信号，等速升温的温度信号等均可视为斜坡函数。若速度 $A=1$ ，则是单位斜坡函数。如图 1-5 (b) 所示。

(2) 抛物线函数 抛物线函数的数学表达式为：

$$r(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{1}{2}At^2 & t \geq 0 \end{cases}$$

一切等加速变化的信号均属抛物线函数。若加速度 $A=1$ ，则是单位抛物线函数。如图 1-5 (c) 所示。

单位脉冲函数

单位脉冲函数的数学表达式为：

$$r(t) = \delta(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ \infty & t = 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$$

如图 1-5 (d) 所示。宽度为 ϵ ，高度为 $1/\epsilon$ 的矩形脉冲，当 ϵ 趋于 0 时，就是单位脉冲函数。理想的单位脉冲函数实际上是不存在的。但在控制理论中它却是一个重要的数学工具。一些持续很短的脉冲信号，可视为理想脉冲函数。

在分析、研究自动控制系统时，常采用阶跃信号作为系统的输入信号。因为，阶跃信号具有突发性，且持续时间较长，对被控变量的影响较大。另外，阶跃信号的数学表示形式简单，容易实现，便于分析、实验和计算。如果一个控制系统能够有效地克服这种扰动的影响，那么对于其他比较缓和的扰动也一定能取得很好的校正效果。

9. 什么是反馈？什么是正反馈和负反馈？负反馈在自动控制中有什么重要意义？

答 把系统（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作法叫做反馈。

反馈信号的作用方向与设定信号相反，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。

10. 仪表位号由哪几部分组成，各表示什么意义？

答 在自动控制系统中，构成一个回路的每一个仪表（或元件）都有自己的仪表位号。仪表位号由字母代号组合和回路编号两部分组成。仪表位号中的第一位字母表示被测变量，后续字母表示仪表的功能。常用的字母代号含义如下表所示。回路编号中第一位数表示工序号，后续数字（二位或三位）表示顺序号。

字母	第一位字母		后续字母
	被测变量	修饰词	功能
A	分析		报警
C	电导率		控制
D	密度	差	
E	电压（电动势）		检测元件
F	流量	比（分数）	
H	手动		
I	电流		指示
K	时间或时间程序	变化速率	自动-手动操作器
L	物位		灯
M	水分或湿度		
P	压力或真空		连接点、测试点
Q	数量或件数	累积、积算	
R	核辐射		记录
S	速度、频率	安全	开关、联锁
T	温度		传送
V	振动、机械监视		阀、风门、百叶窗
W	重量、力		套管
Y	事件、状态	Y 轴	继动器、计算器、转换器
Z	位置、尺寸	X 轴	驱动器、执行机构或未分类的最终执行元件

例 题 分 析

1. 图 1-6 所示为一自力式贮槽水位控制系统。

- (1) 指出系统中被控对象、被控变量、操纵变量是什么？
- (2) 试画出该系统的方块图。
- (3) 试分析当出水量突然增大时，该系统如何实现水位控制的？

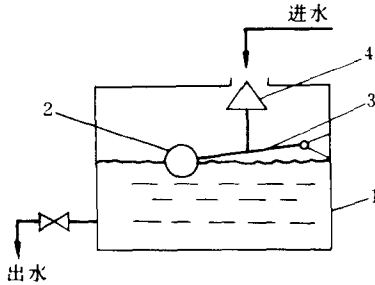


图 1-6 贮槽水位控制系统

1—贮槽；2—浮球；3—杠杆；4—针形阀

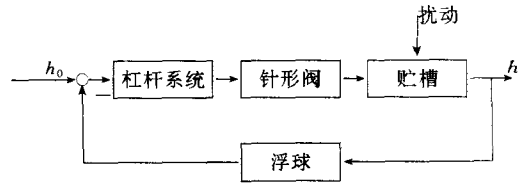


图 1-7 贮槽水位控制系统方块图

注： h 为贮槽水位； h_0 为贮槽希望保持的水位。

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

(2) 贮槽水位控制系统方块图如图 1-7 所示。

(3) 当贮槽的出水量突然增大，出水量大于入水量，使水位下降，浮球随之下移，通过杠杆装置带动针形阀下移，增大了进水量，使出水量与入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，实现了水位控制。

2. 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 1-8 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。

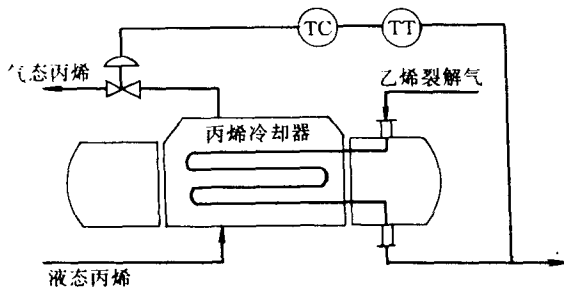


图 1-8 丙烯冷却器温度控制系统示意图

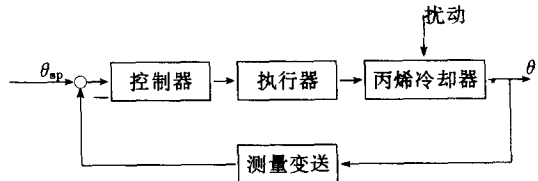


图 1-9 丙烯冷却器温度控制系统方块图

注： θ 为乙烯裂解气的出口温度；

θ_{sp} 为乙烯裂解气的出口温度设定值。

(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块图。

(3) 试比较图 1-8 及它的方块图，说明操纵变量的信号流向与物料的实际流动方向不同。

解 (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) 该系统方块图如图 1-9 所示。

(3) 在图 1-8 中，气态丙烯的流向是由丙烯冷却器流出。而在方块图中，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。

3. 图 1-10 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 表示温度变送器，TC 表示温度控制器。试画出该温度控制系统的方块图，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？

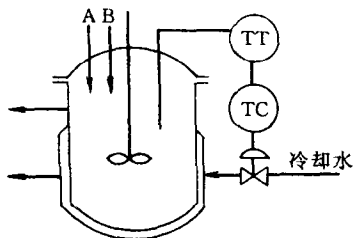


图 1-10 反应器温度控制系统

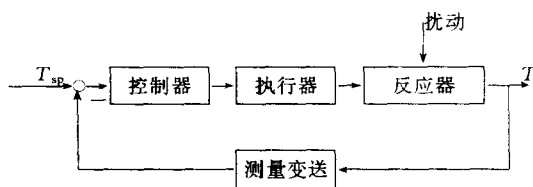


图 1-11 反应器温度控制系统方块图

注： T 为反应器内温度； T_{sp} 为反应器内温度设定值。

解 反应器温度控制系统中被控对象为反应器；被控变量为反应器内温度；操作变量为冷却水流量；干扰为 A、B 物料的流量、温度、浓度、冷却水的温度、压力及搅拌器的转速等。

反应器的温度控制系统的方块图如图 1-11 所示。

4. 某发酵过程工艺规定操作温度为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。考虑到发酵效果，控制过程中温度偏离给定值最大不能超过 6°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 1-12 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，并回答该系统能否满足工艺要求？

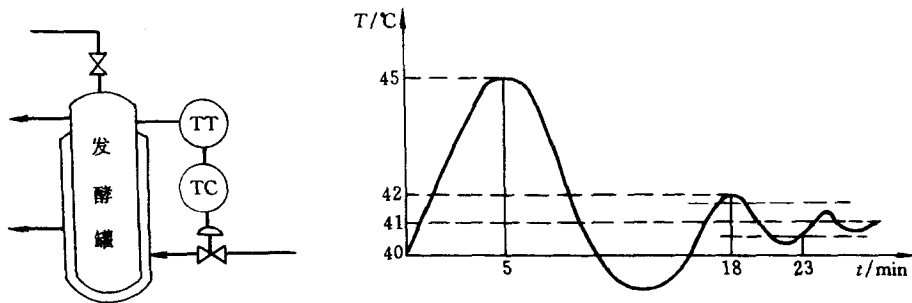


图 1-12 发酵罐及反应曲线示意图

解 由反应曲线可知：

$$\text{最大偏差 } A = 45 - 40 = 5 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\text{余差 } C = 41 - 40 = 1 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\text{衰减比 第一个波峰值 } B = 45 - 41 = 4 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\text{第二个波峰值 } B' = 42 - 41 = 1 \quad ^\circ\text{C}$$

$$n = B/B' = 4 : 1$$

过渡时间 由题要求,被控变量进入新稳态值的±2%就可以认为过渡过程已经结束,那么限制范围应是 $41 \times \pm 2\% = \pm 0.82 \text{ } ^\circ\text{C}$

由图可看出,过渡时间 $T_s = 23 \text{ min}$

振荡周期 $T = 18 - 5 = 13 \text{ min}$

5. 图 1-13 是硫酸生产中的沸腾炉。请说明图中位号和图形的含义。

解 仪表位号 TI-101、TI-102、TI-103 表示为第一工序第 01、02、03 个温度检测回路。其中:

T 表示被测变量为温度;

I 表示仪表具有指示功能;

$\frac{\text{TI}}{\text{XXX}}$ 表示该温度指示仪表安装于主要位置,操作员监视用(仪表盘正面)。

仪表位号 PI-101 表示为第一工序第 01 个压力检测回路。其中:

P 表示被测变量为压力;

I 表示仪表具有指示功能;

$\frac{\text{PI}}{\text{XXX}}$ 表示该压力指示仪表安装在现场。

仪表位号 PRC-102 表示为第一工序第 02 个压力控制回路。其中:

P 表示被测变量为压力;

RC 表示仪表具有记录、控制功能。

仪表位号 AR-101 表示为第一工序第 01 个成分分析回路。其中:

A 表示被测变量为成分;

R 表示仪表具有报警功能。

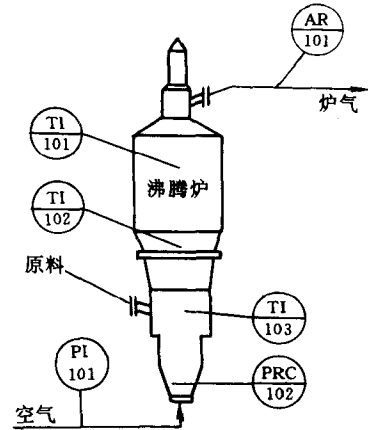


图 1-13 沸腾炉示意图

习 题

1. 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,设计了如图 1-14 所示温度控制系统。工艺要求发生器温度控制在 $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。试画出该温度控制系统的方块图,并指出图中的被控对象、被控变量、操纵变量以及可能存在的扰动。

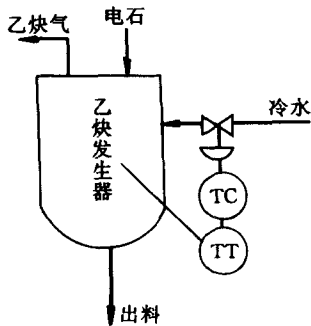


图 1-14 乙炔发生器温度控制系统示意图

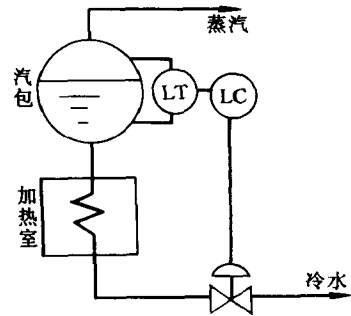
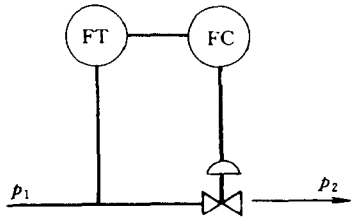


图 1-15 锅炉汽包水位控制示意图

2. 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 1-15 是一类简单锅炉汽包水位控制示意图，要求：

- (1) 画出该控制系统方块图；
- (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，试分析该系统是如何实现自动控制的。

3. 图 1-16 所示为离心泵出口流量控制系统。控制的目的是保持泵流量恒定。



(1) 指出系统中被控对象、被控变量、操纵变量及干扰各是什么？

(2) 画出流量控制系统方块图；

(3) 结合本题，试说明该流量控制系统是一个具有负反馈的闭环控制系统。

4. 图 1-17 所示为一列管式换热器。工艺要求出口物料

温度保持恒定。经分析如果保持物料入口流量和蒸汽流量基本恒定，则温度的波动将会减小到工艺允许的误差范围之内。现分别设计了物料入口流量和蒸汽流量两个控制系统，以保持出口物料温度恒定。

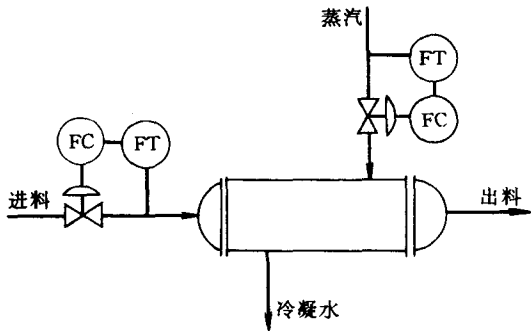


图 1-17 列管式换热器控制系统示意图

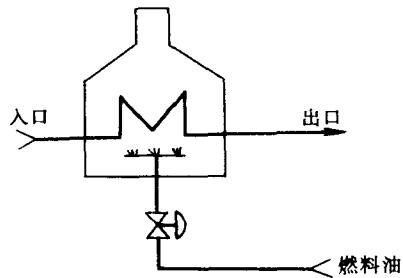


图 1-18 加热炉示意图

- (1) 试画出对出口物料温度的控制系统方块图；
- (2) 指出该系统是开环控制系统还是闭环控制系统，并说明理由。

5. 某炼油厂常减压装置加热炉如图 1-18 所示。工艺要求严格控制加热炉出口温度 T ， T 可以通过改变燃油量来控制。据此设计一个定值温度控制系统，其中被控变量为加热炉出口物料温度，操纵变量为燃料油流量。要求：

- (1) 画出工艺管道及控制流程图；
- (2) 试画出该控制系统的方块图。

6. 图 1-19 为一组在阶跃扰动作用下的过渡过程曲线。

- (1) 指出每种过程曲线的名称；
- (2) 试指出哪些过程曲线能基本满足控制要求？哪些不能？为什么？
- (3) 你认为哪个过渡过程最理想，试说明其理由。