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）

第二版

厉玉鸣　孙自强　张光新　主编

化学工业出版社
高等教育教材出版中心

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）

第二版

厉玉鸣　孙自强　张光新　主编

化学工业出版社
高等教育教材出版中心
·北京·

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、习题和参考答案五个部分。书中收集了许多相关教材的例题与习题，其中包括厉玉鸣主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《化工仪表及自动化》（第四版），俞金寿主编的《过程自动化及仪表》，杨丽明、张光新编著的《化工自动化及仪表》，厉玉鸣主编的教育部高职高专规划教材《化工仪表及自动化》（第三版）等。

本习题集主要作为化学工程与工艺等相关专业广大师生学习《化工仪表及自动化》课程的辅助教材，也可供自动化、测控技术与仪器专业的本科生、函大、夜大、职大的师生及相关的工程技术人员参考。书中列举的大量例题与习题，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。

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，孙自强，张光新主编．—2版．北京：化学工业出版社，2006.5

高等学校教学用书

ISBN 7-5025-8757-8

Ⅰ．化…　Ⅱ．①厉…②孙…③张…　Ⅲ．化工仪表-高等学校-习题　Ⅳ．TQ056-44

中国版本图书馆CIP数据核字（2006）第058693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）

第二版

厉玉鸣　孙自强　张光新　主编

责任编辑：唐旭华

文字编辑：陈　敏

责任校对：陈　静　宋　夏

封面设计：郑小红

*

化学工业出版社
高等教育教材出版中心 出版发行

（北京市朝阳区惠新里3号　邮政编码100029）

购书咨询：(010)64982530

(010)64918013

购书传真：(010)64982630

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本787mm×1092mm　1/16　印张10　字数235千字

2006年7月第2版　2006年7月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8757-8

定　价：18.00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

由厉玉鸣主编的《化工仪表及自动化例题习题集》自1999年出版以来，被全国许多大专院校选用，受到了广大师生与读者的欢迎和支持。

现在我们编写出版的是该书的第二版。其改版的原因主要出于两点考虑：一是由于生产过程自动化水平的提高，仪器仪表的更新，使得原书中的部分内容显得陈旧，需要删旧增新；二是由于这几年新书的不断出版，使得有必要出版一本例题习题集，能够覆盖较多教材的内容，目前化学工业出版社已经出版的有厉玉鸣主编的化学工程与工艺类专业适用的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《化工仪表及自动化》（第四版），俞金寿主编的非自动化专业适用的《过程自动化及仪表》，杨丽明、张光新编著的工艺类专业适用的《化工自动化及仪表》，厉玉鸣主编的教育部高职高专规划教材《化工仪表及自动化》（第三版）。我们这次编写的例题习题集就是针对以上几本书所涉及到的主要习题给出较为详细的题解。考虑到原书的书名连续性，该书仍定名为《化工仪表及自动化例题习题集》，但其内容已远远超出原书的范围。

该书的体系结构基本上与第一版相同，全书共分十一章，每章都有基本要求、问题解答、例题分析、习题和参考答案五个部分。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；问题解答部分主要针对各章的思考题，以问题解答的形式对该章的主要内容做出必要的提示、归纳与总结；例题分析部分主要针对各章的习题，做出比较详细的分析与讨论，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；习题部分是提供一些在教学上与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、华东理工大学孙自强、浙江大学张光新主编。北京化工大学王建林、北京服装学院李慧、陈亚男，北京林业大学张谦等老师参与了本书部分章节的编写工作。

编者

2006年4月

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 …… 6
习题 …… 13
参考答案 …… 15
第二章　过程特性及其数学模型 …… 18
基本要求 …… 18
问题解答 …… 18
例题分析 …… 21
习题 …… 27
参考答案 …… 29
第三章　检测仪表与传感器 …… 30
基本要求 …… 30
问题解答 …… 30
例题分析 …… 42
习题 …… 51
参考答案 …… 52
第四章　显示仪表 …… 54
基本要求 …… 54
问题解答 …… 54
例题分析 …… 56
习题 …… 58
参考答案 …… 59
第五章　自动控制仪表 …… 60
基本要求 …… 60
问题解答 …… 60
例题分析 …… 64
习题 …… 69
参考答案 …… 71
第六章　执行器 …… 73
基本要求 …… 73
问题解答 …… 73
例题分析 …… 77

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

习题 …… 82
参考答案 …… 83
第七章　简单控制系统 …… 85
基本要求 …… 85
问题解答 …… 85
例题分析 …… 87
习题 …… 93
参考答案 …… 94
第八章　复杂控制系统 …… 96
基本要求 …… 96
问题解答 …… 96
例题分析 …… 102
习题 …… 111
参考答案 …… 114
第九章　新型控制系统 …… 119
基本要求 …… 119
问题解答 …… 119
例题分析 …… 123
习题 …… 127
参考答案 …… 127
第十章　计算机控制系统 …… 129
基本要求 …… 129
问题解答 …… 129
例题分析 …… 134
习题 …… 135
参考答案 …… 135
第十一章　典型化工单元的控制方案 …… 136
基本要求 …… 136
问题解答 …… 136
例题分析 …… 140
习题 …… 147
参考答案 …… 149
参考文献 …… 151

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。

6. 了解传递函数的意义及方块图的简化。

问题解答

1. 什么是化工自动化？它有什么重要意义？

答　在化工设备上，配备上一些自动化装置，代替操作人员的部分直接劳动，使生产在不同程度上自动地进行，这种用自动化装置来管理化工生产过程的办法，称为化工自动化。

实现化工自动化，能加快生产速度、降低生产成本、提高产品产量和质量、减轻劳动强度、保证生产安全，为逐步地消灭体力劳动和脑力劳动之间的差别创造条件。

2. 化工自动化主要包括哪些内容？

答　化工生产过程自动化，一般包括自动检测、自动操纵、自动保护和自动控制等方面的内容。

3. 何谓自动控制？自动控制系统怎样构成？各组成环节起什么作用？

答　所谓自动控制就是指在没有人直接干预的情况下，利用自动控制装置使被控对象（如设备、生产过程等）的工作状态按照预定的规律运行。为了实现上述控制目的，由相互制约的各部分按一定规律组成的具有特定功能的整体，称为自动控制系统。

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. 闭环控制系统与开环控制系统有什么不同？

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。

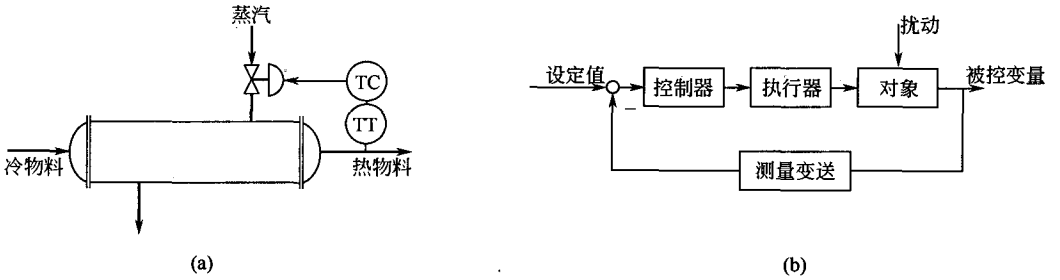
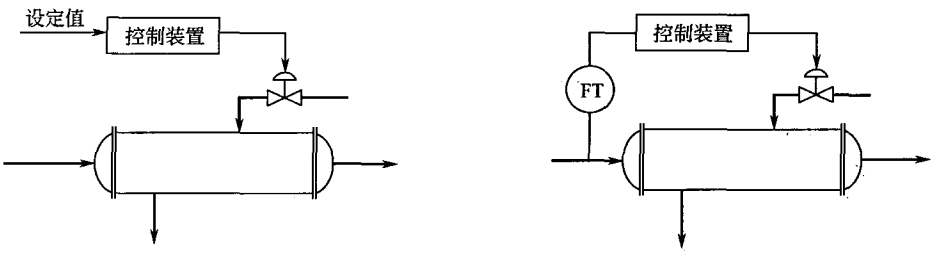


图 1-1 闭环自动控制基本结构

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1-2（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，操纵变量随其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对扰动信号的测量，根据其变化情况产生相应控制作用，进而改变被控变量。



(a) 按设定值进行控制的开环系统　　(b) 按扰动进行控制的开环系统

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。

5. 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做法叫做反馈。

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。

6. 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。

7. 根据设定值的形式，闭环控制系统可以分为哪几类？

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。

(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。

8. 什么是控制系统的方块图？方块图由哪些基本元素构成？

答 方块图是用来表示控制系统中各环节之间作用关系的一种图形，由于各个环节在图中都用一个方块表示，故称之为方块图。

组成方块图的基本元素有环节、信息与加法器。

在方块图中，各环节用方块表示，信息（即各环节的输入输出变量）用标有方向的线段表示，加法器用来表示信号的相加或相减。

9. 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。

10. 控制系统运行的基本要求是什么？

答 自动控制系统的基本要求是系统运行必须是稳定的，并应保证满足一定的精度要求或某些规定的性能指标，但最基本的要求是稳定的，也就是说系统投入运行后，被控变量不致失控而发散。

11. 何谓阶跃作用？为什么经常采用阶跃作用作为系统的输入作用形式？

答 阶跃作用信号是一种在某一时刻（通常认为是 0 时刻）突然变化，然后就维持不变的信号，其数学表达式为：

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

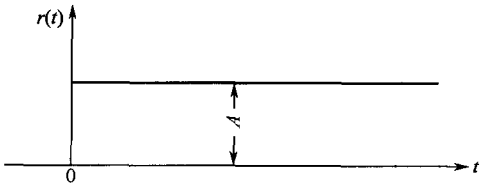


图 1-3 阶跃作用信号

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作用信号。若阶跃幅值 $A=1$，则是单位阶跃信号。如图 1-3 所示。

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。

12. 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 1-4（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　如图 1-4（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做非振荡变化，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　如图 1-4（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 1-4（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 1-4（e）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做缓慢变化，没有上下波动，经过一段时间最终能稳定下来。

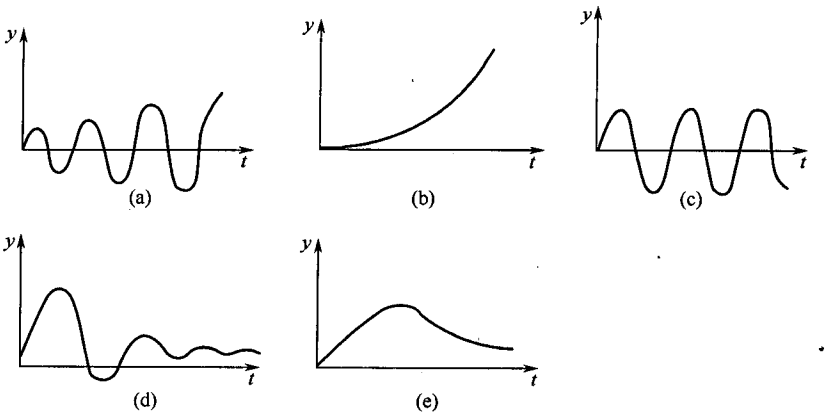


图 1-4　过渡过程的几种基本形式

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设定值，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。

13. 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 1-5 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越远，这对于工艺条件要求较高的生产过程是十分不利的。

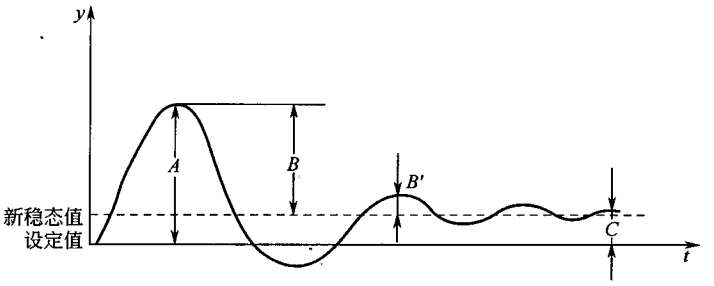


图 1-5　过渡过程品质指标示意图

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 1-5 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 $n=4\sim10$ 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 1-5 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

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

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±5%（或±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） 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。

14. 什么是管道及仪表流程图（PID图）?

答 在工艺设计给出的流程图上，按流程顺序标注出相应的测量点、控制点、控制系统及自动信号与联锁保护系统等，便构成了管道及仪表流程图（PID图）。由PID图可以清楚地了解生产的工艺流程与自控方案。

15. 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。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。

16. 什么是传递函数？用传递函数描述系统的动态特性有什么好处？

答 对于如图1-6（a）所示的线性系统，在初始条件为零时，它的输出与输入的拉普拉斯式之比，即系统在复数 s 域的输出与输入之比，称为系统的传递函数，记为 $G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}$。

由于 $Y(s)=G(s)X(s)$，说明输入 $X(s)$ 经过传递函数为 $G(s)$ 的系统后得到输出 $Y(s)$，如图1-6（b）所示。

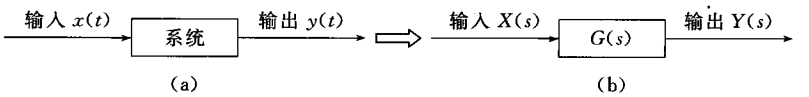


图1-6 系统的输入输出关系

例题分析

1. 图1-7所示为一自动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？

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1-8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。

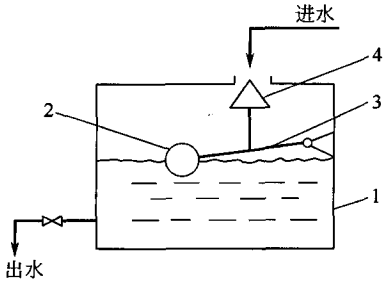


图 1-7　贮槽水位控制系统

1—贮槽；2—浮球；3—杠杆；4—针形阀

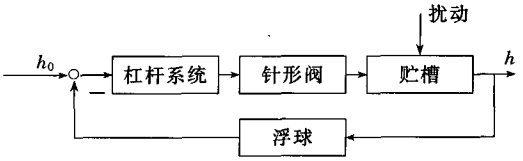


图 1-8　贮槽水位控制系统方块图

注：h 为贮槽水位；h_0 为贮槽希望保持的水位

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 1-9 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±1.5)℃。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。

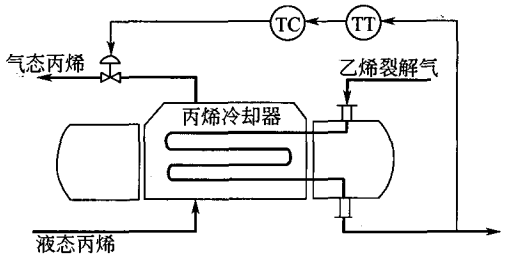


图 1-9　丙烯冷却器温度控制系统示意图

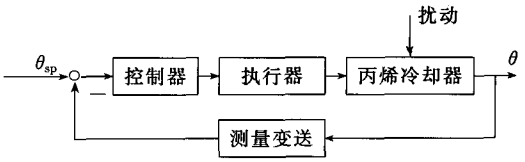


图 1-10　丙烯冷却器温度控制系统方块图

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 1-9 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 1-10 所示。

(3) 在图 1-9 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 1-11 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 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？

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；操纵变量为冷却水流量；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。

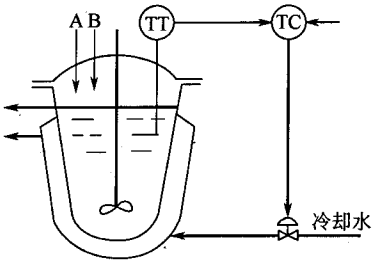


图 1-11　反应器温度控制系统

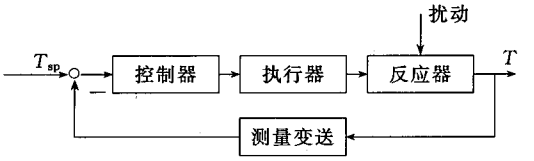


图 1-12　反应器温度控制系统方块图

注：T 为反应器内温度；T_{sp} 为反应器内温度设定值

反应器的温度控制系统的方块图如图 1-12 所示。

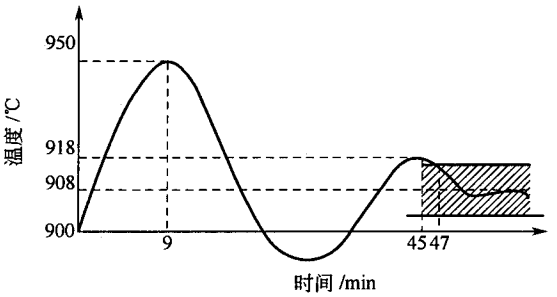


图 1-13　过渡过程曲线

4. 某化学反应器工艺规定的操作温度为（900±10）℃。考虑安全因素，控制过程中温度偏离给定值最大不得超过 80℃。现设计的温度定值控制系统，在最大阶跃干扰作用下的过渡过程曲线如图 1-13 所示。试求最大偏差、衰减比和振荡周期等过渡过程品质指标，并说明该控制系统是否满足题中的工艺要求。

解　由过渡过程曲线可知

最大偏差　$A=950-900=50℃$

衰减比　第一个波峰值　$B=950-908=42℃$

第二个波峰值　$B'=918-908=10℃$

衰减比　$n=42:10=4.2$

振荡周期　$T=45-9=36\text{min}$

余差　$C=908-900=8℃$

过渡时间为 47min。

由于最大偏差为 50℃，不超过 80℃，故满足题中关于最大偏差的工艺要求。

5. 图 1-14 为某列管式蒸汽加热器的管道及仪表流程。试说明图中 PI-307、TRC-303、FRC-305 所代表的意义。

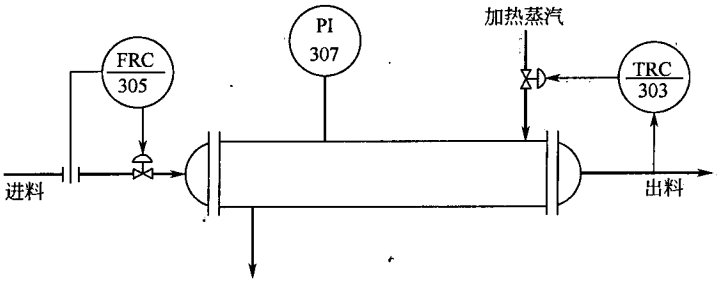


图 1-14　蒸汽加热器管道及仪表流程

解　图中 FRC-305 表示在第 3 工段的一台流量记录控制仪表，仪表序号为 05，安装在

蒸汽加热器的进料管线上。仪表安装在集中仪表盘面上。

TRC-303 表示在第 3 工段的一台温度记录控制仪表，仪表序号为 03，安装在出料管线上。仪表安装在集中仪表盘面上。

PI-307 表示测量点在蒸汽加热器的一台压力指示仪表，工段号为 3，仪表序号为 07。仪表安装在现场。

由图 1-14 可以看出，该蒸汽加热器设有一个进料流量控制回路、一个出料温度控制回路，另有一个压力的现场指示仪表。

6. 试写出下列表达式的传递函数：

(1) $T\dfrac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t}+y(t)=Kx(t)$

(2) $T_1T_2\dfrac{\mathrm{d}^2y(t)}{\mathrm{d}t^2}+(T_1+T_2)\dfrac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t}+y(t)=Kx(t)$

(3) $u(t)=K_{\mathrm{p}}e(t)$

(4) $u(t)=K_{\mathrm{p}}\left[e(t)+\dfrac{1}{T_{\mathrm{i}}}\int e(t)\mathrm{d}t+T_{\mathrm{d}}\dfrac{\mathrm{d}e(t)}{\mathrm{d}t}\right]$

解 根据传递函数的定义，在零初始条件下，将等式两端同时取拉普拉斯变换，然后求出输出与输入函数的拉普拉斯变换之比，即得出传递函数。

(1) $$G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}=\frac{K}{Ts+1}$$

(2) $$G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}=\frac{K}{T_1T_2s^2+(T_1+T_2)s+1}$$

(3) $$G(s)=\frac{E(s)}{U(s)}=K_{\mathrm{p}}$$

(4) $$G(s)=\frac{E(s)}{U(s)}=K_{\mathrm{p}}\left(1+\frac{1}{T_{\mathrm{i}}s}+T_{\mathrm{d}}s\right)$$

7. 已知传递函数分别为 $G_1(s)$ 和 $G_2(s)$ 的两个环节。试画出将它们分别按串联、并联、正反馈、负反馈等方式连接组成的方块图，并写出相应的传递函数。

解 其方块图如图 1-15 所示。

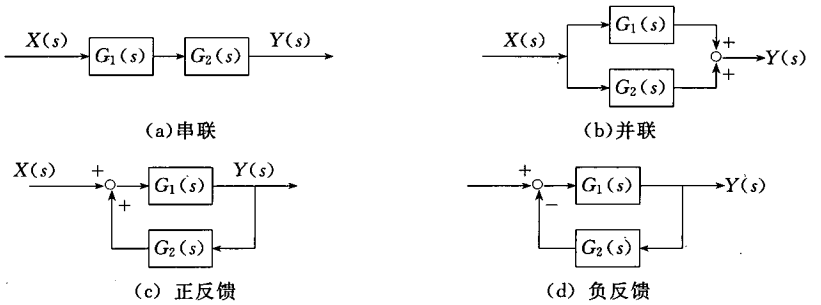


图 1-15 不同连接方式的方块图

其传递函数分别为

串联 $G(s)=G_1(s)G_2(s)$　　并联 $G(s)=G_1(s)+G_2(s)$

正反馈 $G(s)=\dfrac{G_1(s)}{1-G_1(s)G_2(s)}$　　负反馈 $G(s)=\dfrac{G_1(s)}{1+G_1(s)G_2(s)}$

8. 图 1-16 是蒸汽加热器温度控制系统示意，试解答下列问题。

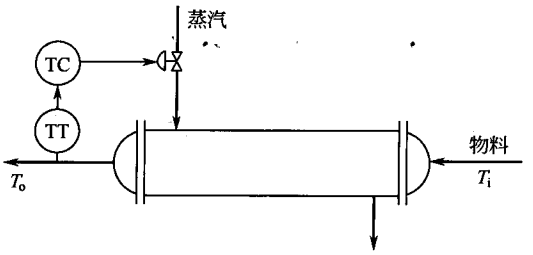


图 1-16　蒸汽加热器温度控制系统

(1) 画出该系统的方块图，并指出被控对象、被控变量、操纵变量及可能存在的干扰。

(2) 若被控对象控制通道的传递函数为 $G_0(s)=\frac{5}{7s+4}$；控制器 TC 的传递函数为 $G_c(s)=1$；调节阀的传递函数为 $G_v(s)=1$；测量、变送环节 TT 的传递函数为 $H_m(s)=1$。因是生产需要，出口物料的设定温度从 80℃提高到 85℃时，物料出口温度的稳态变化量 $\Delta T(\infty)$ 为多少？系统的余差为多少？

解　该系统的被控对象为蒸汽加热器，被控变量为物料的出口温度，操纵变量为加热蒸汽流量，可能的干扰有进料流量、进料温度、加热蒸汽压力等。其方块图如图 1-17 所示。

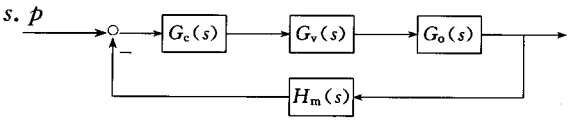


图 1-17　图 1-16 的方块图

系统的闭环传递函数

$$W(s)=\frac{G_c(s)G_v(s)G_o(s)}{1+G_c(s)G_v(s)G_o(s)H_m(s)}=\frac{\frac{5}{7s+4}}{1+\frac{5}{7s+4}}=\frac{5}{7s+9}=\frac{\frac{5}{9}}{\frac{7}{9}s+1}$$

由此可知该系统为一阶滞后环节，静态放大系数为$\frac{5}{9}$。当输入变化量为 5℃时，其输出稳态变化量 $\Delta T(\infty)=\frac{5}{9}\times 5=\frac{25}{9}\approx 2.78$℃。

系统的余差约为 5－2.78＝2.22℃。

9. 试化简图 1-18、图 1-19 所示方块图，并求其等效传递函数。

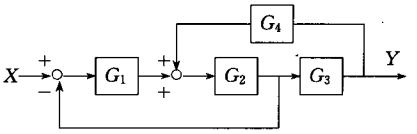


图 1-18　方块图 1

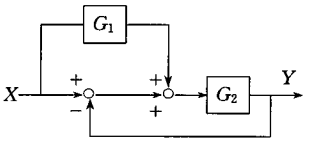


图 1-19　方块图 2

解　图 1-18 可以依次化简为图 1-20 (a) 和图 1-20 (b)。

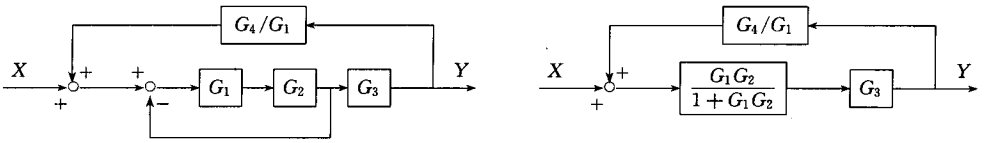


图 1-20

由图 1-20 (b) 可写出传递函数

$$G(s)=\frac{\dfrac{G_1G_2G_3}{1+G_1G_2}}{1-\dfrac{G_1G_2}{1+G_1G_2}\cdot\dfrac{G_3G_4}{G_1}}=\frac{G_1G_2G_3}{1+G_1G_2-G_2G_3G_4}$$

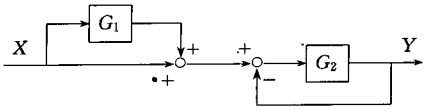


图 1-21

图 1-19 可以化简为图 1-21，由此可写出传递函数

$$G(s)=(1+G_1)\frac{G_2}{1+G_2}=\frac{G_2(1+G_1)}{1+G_2}$$

10. 图 1-22（a）是蒸汽加热器的温度控制原理图。试画出该系统的方块图，并指出被控对象、被控变量、操纵变量和可能存在的干扰是什么？现因生产需要，要求出口物料温度从 80℃提高到 81℃，当仪表给定值阶跃变化后，被控变量的变化曲线如图 1-22（b）所示。试求该系统的过渡过程品质指标：最大偏差、衰减比和余差（提示：该系统为随动控制系统，新的给定值为 81℃）。

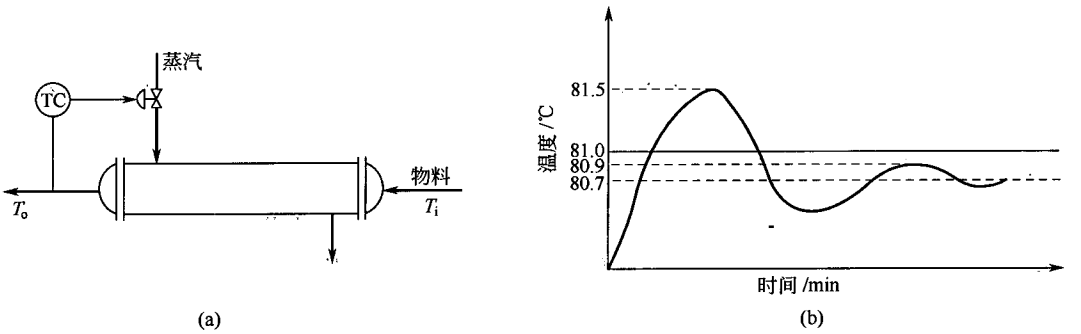


图 1-22　蒸汽加热器温度控制

解　这是一个温度控制系统，方块图如图 1-23 所示。

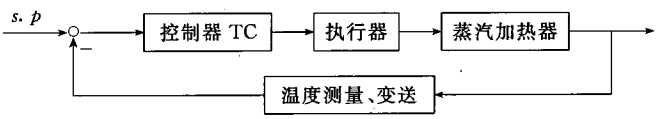


图 1-23　题 10 的方块图

该系统的被控对象为蒸汽加热器，被控变量为物料出口温度，操纵变量为加热蒸汽流量，可能存在的干扰有进料流量、进料温度、加热蒸汽压力等。

由图 1-22（b）可知，该系统的最大偏差 $A=81.5-81=0.5$℃；第一个波峰值为 $81.5-80.7=0.8$℃，第二个波峰值为 $80.9-80.7=0.2$℃，因此衰减比 $n=0.8:0.2=4:1$；余差为 $80.7-81.0=-0.3$℃。

11. 某发酵过程工艺规定操作温度为（40±2）℃。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℃。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 1-24 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±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？

解　由反应曲线可知：

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com