



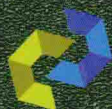
21世纪高等学校

机械设计制造及其自动化专业参考书

机械工程控制基础 学习辅导与题解

(修订版)

熊良才 杨克冲 吴波



与杨叔子等编著的《机械工程控制基础》(第六版)配套使用

复习

考研

自考

好帮手

理论提要

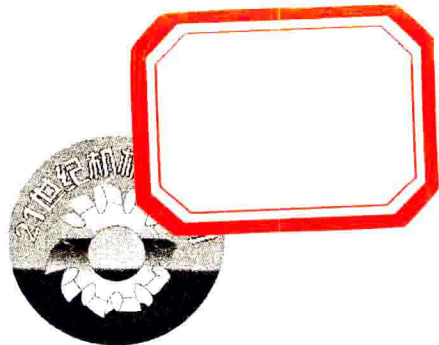
例题解析

考题精选



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



21 世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业参考书

机械工程控制基础

学习辅导与题解

(修订版)

熊良才 杨克冲 吴 波

(与杨叔子等编著的《机械工程控制基础》(第六版)配套使用)

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 提 要

本书为杨叔子、杨克冲等编著的教材《机械工程控制基础》(第六版)的教学参考书。本书对教材中的内容进行了简要的总结,扩充了教材中的例题,并对教材中的所有习题进行了解答。

本书可作为讲授“机械工程控制基础”课程教师的教学参考书,也可作为机械类学生学习该课程的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程控制基础学习辅导与题解(修订版)/熊良才 杨克冲 吴波 编著. —武汉:华中科技大学出版社,2013.2

ISBN 978-7-5609-8663-0

I. 机… II. ①熊… ②杨… ③吴… III. 机械工程-控制系统-高等学校-教学参考资料
IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 010319 号

机械工程控制基础学习辅导与题解(修订版) 熊良才 杨克冲 吴波 编著

责任编辑:徐正达

责任校对:代晓莺

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:14.75

字 数:339 千字

版 次:2013 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

定 价:28.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

“中心藏之，何日忘之”，在新中国成立 60 周年之际，时隔“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”出版 9 年之后，再次为此系列教材写序时，《诗经》中的这两句诗又一次涌上心头，衷心感谢作者们的辛勤写作，感谢多年来读者对这套系列教材的支持与信任，感谢为这套系列教材出版与完善作过努力的所有朋友们。

追思世纪交替之际，华中科技大学出版社在众多院士和专家的支持与指导下，根据 1998 年教育部颁布的新的普通高等学校专业目录，紧密结合“机械类专业人才培养方案体系改革的研究与实践”和“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革研究与实践”两个重大教学改革成果，约请全国 20 多所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，经多年辛勤劳动编写了“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。这套系列教材共出版了 20 多本，涵盖了机械设计制造及其自动化专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程，是一套改革力度比较大的教材，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校在改革机械工程类人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材出版发行 9 年来，已被全国数百所院校采用，受到了教师 and 学生的广泛欢迎。目前，已有 13 本列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材，多本获国家级、省部级奖励。其中的一些教材（如《机械工程控制基础》、《机电传动控制》、《机械制造技术基础》等）已成为同类教材的佼佼者。更难得的是，“21 世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”也已成为一个著名的丛书品牌。9 年前为这套教材作序的时候，我希望这套教材能加强各兄弟院校在教学改

再版前言

自《机械工程控制基础学习辅导与题解》于2002年4月出版以来,转眼十年有余,其间,《机械工程控制基础》第五版、第六版相继出版。

《机械工程控制基础》第六版除了在主体内容作了较大的改动外,习题也作了大范围的调整,主要是增加了一些综合性较强的习题,其目的在于训练学生综合应用控制理论的基本知识解决问题的能力。这些题目大部分难度较大,其中不少选自于部分高校的研究生入学考试试题。为方便教师授课,方便学生自学与课后复习,我们重新编写了《机械工程控制基础学习辅导与题解》。

为进一步落实《机械工程控制基础》第六版编著者的初衷,通过设计示例,循序渐进地带领读者深入了解与掌握机械工程控制问题的分析、设计与校正方法,在本书的最后,还特意列出几个常见的与机械工程控制有关的设计题目,供有兴趣的读者思考或练习,以加深对应用控制理论的基本理论、基本方法解决实际工程问题的理解。

需要说明的是,在编写的过程中,考虑到篇幅的限制,本书仍然基本上只列举了教材中尚未出现的例题,而对教材中的例题,读者应该引起足够的重视。也就是说,本书的例题只是对教材内容某些方面的扩充,并不覆盖教材的全部。另外,本书在内容的安排、问题的描述上,尽量与教材保持一致,但并没有苛求完全相同,而对教材中的有些问题作适当的扩展,读者在使用本书时,可以根据自己的实际情况进行取舍。

书中参考或引用了书后所列资料的素材,也参考了一些高校的研究生入学考试试题,特此致谢。

由于编者经验不足,水平有限,时间仓促,书中内容和选题及解答等方面难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正,我们将不胜感激。

编 者

2012年6月于华中科技大学

前 言

本书是为配合杨叔子、杨克冲等编著的《机械工程控制基础》(第四版)教材而编写的一本教学参考书。《机械工程控制基础》自第一版问世以来,受到了许多院校师生的普遍赞誉,并多次获奖,发行量已近 20 万册。

编者在教学过程中发现,《机械工程控制基础》作为一门多学科交叉的新课程,对于机械学科的学生来说,学习起来有一定的难度。因此,根据在教学过程中积累的一些素材,并参考有关习题解答材料,编写了这本学习辅导与题解。为帮助读者正确理解和应用《机械工程控制基础》(第四版)一书的基本理论与基本方法,在每章的前半部分对该章的主要内容进行了简要的说明,接着,提出了学习该章的基本要求、重点和难点,然后,通过若干与教材中不同类型的例题扩充了教材的内容,以尽量扩展读者的视野。在每章的最后,给出了教材中该章所有习题的解答。

需要说明的是,在编写的过程中,由于篇幅的限制,基本上只列举了教材中尚未出现的例题,而对教材中的例题,读者应该引起足够的重视。也就是说,此处的例题只是对教材内容的一个扩充,并不覆盖教材的全部。另外,本书在内容的安排、问题的描述上,尽量与教材保持一致,但并没有苛求完全相同,而对教材中的有些问题适当地予以扩充,读者在使用时,可以根据自己的实际情况进行取舍。

在本书的编写过程中,得到了华中科技大学机械科学与工程学院原信息与智能技术研究所的支持与帮助,在此表示感谢。书中参考或引用了书后所列资料的素材,特此致谢。

由于编者经验不足,水平有限,时间仓促,书中内容和选题及解答等方面存在不少错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正,我们将不胜感激。

编 者

2002 年 3 月于华中科技大学

革方面的交流与合作,对机械工程类专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用,现在看来,这一目标很好地达到了,让人倍感欣慰。

李白讲得十分正确:“人非尧舜,谁能尽善?”我始终认为,金无足赤,人无完人,文无完文,书无完书。尽管这套系列教材取得了可喜的成绩,但毫无疑问,这套书中,某本书中,这样或那样的错误、不妥、疏漏与不足,必然会存在。何况形势总在不断地发展,更需要进一步来完善,与时俱进,奋发前进。较之9年前,机械工程学科有了很大的变化和发展,为了满足当前机械工程类专业人才培养的需要,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,对这套系列教材进行了全面修订,并在原基础上进一步拓展,在全国范围内约请了一大批知名专家,力争组织最好的作者队伍,有计划地更新和丰富“21世纪机械设计制造及其自动化专业系列教材”。此次修订可谓非常必要,十分及时,修订工作也极为认真。

“得时后代超前代,识路前贤励后贤。”这套系列教材能取得今天的成绩,是众多机械工程教育工作者和出版工作者共同努力的结果。我深信,对于这次计划进行修订的教材,编写者一定能在继承已出版教材优点的基础上,结合高等教育的深入推进与本门课程的教学发展形势,广泛听取使用者的意见与建议,将教材凝练为精品;对于这次新拓展的教材,编写者也一定能吸收和发展同类教材的优点,结合自身的特色,写成高质量的教材,以适应“提高教育质量”这一要求。是的,我一贯认为我们的事业是集体的,我们深信由前贤、后贤一定能一起将我们的事业推向新的高度!

尽管这套系列教材正开始全面的修订,但真理不会穷尽,认识决无终结,进步没有止境。“嘤其鸣矣,求其友声”,我们衷心希望同行专家和读者继续不吝赐教,及时批评指正。

是为之序。

中国科学院院士



2009.9.9



第 1 章 绪论	(1)
内容提要.....	(1)
1.1 机械工程控制论的研究对象与任务	(1)
1.2 系统及其模型	(2)
1.3 反馈	(2)
1.4 系统的分类及对控制系统的基本要求	(3)
基本要求、重点与难点	(5)
例题.....	(6)
习题与解答.....	(8)
第 2 章 系统的数学模型	(16)
内容提要	(16)
2.1 系统的微分方程.....	(16)
2.2 系统的传递函数.....	(17)
2.3 系统的传递函数方框图及其简化.....	(20)
2.4 反馈控制系统的传递函数.....	(22)
2.5 相似原理.....	(23)
2.6 系统的状态空间模型.....	(23)
基本要求、重点与难点.....	(25)
例题	(26)
习题与解答	(31)
第 3 章 时间响应分析	(53)
内容提要	(53)
3.1 时间响应及其组成.....	(53)
3.2 典型输入信号.....	(54)
3.3 一阶系统的时间响应.....	(54)
3.4 二阶系统的时间响应.....	(55)
3.5 高阶系统的响应分析.....	(59)

主要符号说明

m	质量	$N(s)$	$L[n(t)]$
c	黏性阻尼系数	n	单独使用时一般表示转速
k	弹簧刚度	ω	角速度
R	电阻	T	时间常数或时间
C	电容	τ	延迟时间或时间
L	电感	ω_n	无阻尼固有频率
K	增益或放大系数	ω_d	有阻尼固有频率
$f(t)$	外力	ω_T	转角频率
$L[\cdot]$	Laplace 变换	ω_g	相位交接频率
$F[\cdot]$	Fourier 变换	ω_c	增益交接频率或剪切频率
$x_i(t)$	输入(激励)	ω_b	截止频率
$X_i(s)$	$L[x_i(t)]$	ω_r	谐振频率
$x_o(t)$	输出(响应)	ξ	阻尼比
$X_o(s)$	$L[x_o(t)]$	M_r	相对谐振峰值
$X_i(j\omega)$	$F[x_i(t)]$	M_p	超调量
$X_o(j\omega)$	$F[x_o(t)]$	K_g	增益裕度
$\delta(t)$	单位脉冲函数	γ	相位裕度
$u(t)$	单位阶跃函数	u	一般表示电压
$r(t)$	单位斜坡函数	i	一般表示电流
$w(t)$	单位脉冲响应函数	$\varepsilon(t)$	偏差
$G(s)$	传递函数或前向通道传递函数	$E(s)$	$L[\varepsilon(t)]$
$G(j\omega)$	频率特性	$e(t)$	误差
$H(s)$	反馈回路传递函数	$E_1(s)$	$L[e(t)]$
$H(j\omega)$	反馈回路频率特性	φ, θ	一般表示相位
$B(s)$	闭环系统反馈信号	$x^*(t)$	$x(t)$ 采样后的时间序列
$G_K(s)$	系统的开环传递函数	f_s	采样频率
$G_B(s)$	系统的闭环传递函数	$Z[\cdot]$	Z 变换
$G_K(j\omega)$	系统的开环频率特性	$X(z)$	$Z[x(t)]$
$G_B(j\omega)$	系统的闭环频率特性	$G(z)$	离散系统的传递函数(或称脉冲传递函数)
$n(t)$	干扰信号		

第 7 章 非线性系统初步	(170)
内容提要.....	(170)
7.1 概述	(170)
7.2 描述函数法	(170)
7.3 相平面分析法	(172)
基本要求、重点与难点	(176)
例题.....	(177)
习题与解答.....	(180)
第 8 章 线性离散系统初步	(188)
内容提要.....	(188)
8.1 概述	(188)
8.2 信号的采样与采样定理	(188)
8.3 Z 变换与 Z 逆变换	(189)
8.4 离散系统的传递函数	(191)
8.5 离散系统的稳定性分析	(194)
8.6 离散系统的校正与设计	(194)
基本要求、重点与难点	(195)
例题.....	(196)
习题与解答.....	(198)
第 9 章 系统辨识初步	(209)
内容提要.....	(209)
9.1 系统辨识的基本概念	(209)
9.2 系统辨识的频率特性法	(209)
9.3 单位脉冲响应的估计	(211)
9.4 系统辨识的差分方程法	(212)
基本要求、重点与难点	(215)
习题与解答.....	(216)
附录 设计题目选编	(222)
题目 1 直线一级倒立摆的建模、分析与 PID 控制	(222)
题目 2 磁悬浮实验装置建模、分析及其控制	(223)
题目 3 单容水箱液位控制系统建模、分析及其控制	(223)
题目 4 水温控制系统建模、分析及其控制	(224)
题目 5 电动玩具车定速巡航系统	(225)
题目 6 张力控制实验系统	(225)
参考文献	(226)



绪 论

内 容 提 要

1.1 机械工程控制论的研究对象与任务

1. 系统及广义系统

系统是由相互联系、相互作用的若干部分构成且具有一定运动规律的一个有机整体。

系统各元素之间存在非常紧密的联系,而且,系统与外界也存在一定的联系。系统及其与外界的关系如图 1.1.1 所示,其中,输入是指外界对系统的作用,输出是指系统对外界的作用。

系统可大可小,可繁可简,甚至可“实”可“虚”,完全由研究的需要而定,因而将它们统称为广义系统。

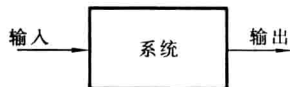


图 1.1.1 系统及其与外界的联系

2. 机械工程控制论的研究对象

机械工程控制论实质上是研究机械工程技术中广义系统的动力学问题。具体地说,它研究机械工程广义系统在一定的外界条件(即输入或激励、干扰)作用下,从系统的一定的初始状态出发,所经历的由其内部的固有特性(即由系统的结构与参数所决定的特性)所决定的整个动态历程,研究这一系统与其输入、输出三者之间的动态关系。

3. 机械工程控制论的研究任务

从系统、输入、输出三者之间的关系出发,根据已知条件与求解问题的不同,机械工程控制论的任务可以分为以下五方面:

- (1) 已知系统和输入,求系统的输出,即系统分析问题;
- (2) 已知系统和系统的理想输出,设计输入,即最优控制问题;
- (3) 已知输入和理想输出,设计系统,即最优设计问题;
- (4) 已知输出,确定系统,以识别输入或输入中的有关信息,此即滤波与预测问题;
- (5) 已知系统的输入和输出,求系统的结构与参数,即系统辨识问题。

1.2 系统及其模型

1. 系统的特性

- (1)系统的性能不仅与构成系统的元素有关,而且还与系统的结构有关;
- (2)系统具有层次性;
- (3)系统的内容比组成系统各元素的内容要丰富得多;
- (4)系统是运动的,具有一定的动态特性。

2. 机械系统

以实现一定的机械运动、输出一定的机械能,以及承受一定的机械载荷为目的的系统,称为机械系统。对于机械系统,其输入和输出分别称为“激励”和“响应”。

3. 系统模型

系统的模型包括实物模型、物理模型和数学模型等等,而数学模型又包括静态模型和动态模型。动态模型在一定的条件下可以转换成静态模型。在控制理论或控制工程中,一般关心的是系统的动态特性,因此,往往需要采用动态数学模型。一般所指的系统的数学模型是描述系统动态特性的数学表达式。

1.3 反 馈

1. 系统方框图及其组成

系统方框图由许多对信号(量)进行单向传递的元件方框和一些连线组成,表征了系统各元件之间及系统与外界进行信息交换的关系。

系统方框图包括以下三个基本的单元:

(1)引出点(分支点) 表示信号的引出或信号的分支,箭头表示信号的传递方向,线上标记信号的名称,如图 1.3.1(a)所示。

(2)比较点(相加点) 表示两个或两个以上的信号进行相加或相减运算。“+”表示信号相加,“-”表示信号相减,如图 1.3.1(b)所示。

(3)元件方框 方框中写入元件、部件的名称,进入箭头表示其输入信号,引出箭头表示其输出信号,如图 1.3.1(c)所示。

2. 信息及信息反馈

信息 一切能表达一定意义的信号、符号和密码等统称为信息,也可定义为事物运动的状态或方式。

反馈(信息反馈) 将系统的输出以一定的方式返回到系统的输入端并共同作用于系统的过程,称为反馈或信息反馈。

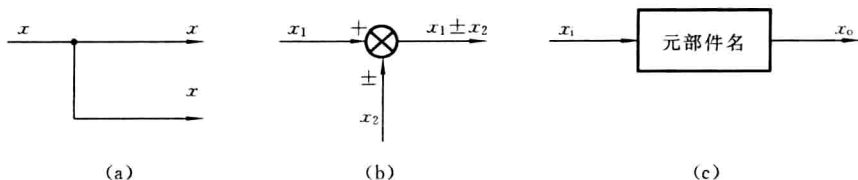


图 1.3.1 系统方框图的基本组成单元

3. 内反馈和外反馈

内反馈 在系统或过程中存在的各种自然形成的反馈,称为内反馈。它是系统内部各个元素之间相互耦合的结果。内反馈是造成机械系统存在一定的动态特性的根本原因,纷繁复杂的内反馈的存在使得机械系统变得异常复杂。读者对于机械系统中普遍存在的内反馈现象应引起足够的重视。

外反馈 在自动控制系统中,为达到某种控制目的而人为加入的反馈,称为外反馈。

1.4 系统的分类及对控制系统的基本要求

1. 控制系统的基本概念

控制 通过对一定对象实施一定的操作,使其按照预定的规律运动或变化的过程。

被控对象 在控制理论和控制技术中,运动规律或状态需要控制的装置称为被控对象(控制对象)。被控对象可大可小,甚至可“实”可“虚”。

控制器 在控制系统中,除被控对象以外的所有装置,统称为控制器。

给定元件 控制系统中,主要用于产生给定量(输入量、希望值)的元件。

反馈元件(测量元件) 控制系统中,用来测量被控量(输出量)、产生反馈量的元件。反馈量与输出量之间往往存在一定的函数关系。

比较元件 控制系统中,用来比较输入量与反馈量、并求取偏差量的元件。有时它并非为物理元件,可能通过物理定律或其他定律实现。

放大元件 控制系统中,对控制量进行幅值放大或功率放大的元件。

执行元件 控制系统中,直接对被控对象进行操作的元件。

被控制量 表征被控对象运动规律或状态的物理量,实质上是系统的输出(输出量)。

希望值 希望的被控对象运动规律或状态的物理量(输入量、系统输入)。

偏差 系统的输入量与反馈量之差或之和(比较环节的输出量)。

控制量 被控对象的输入量。由于往往是偏差量的某种函数,因此,也可将偏差量看成控制量。

扰动量(干扰) 除给定量以外,所有使得被控制量偏离给定值的因素。扰动量包括因系统外部因素发生变化而引起的外扰动量和因系统内部因素所引起的内扰动量。

人工控制 在人直接参与的情况下,使被控对象的被控制量按预定的规律运动或变化的控制方式。

自动控制 在无人直接参与的情况下,利用一组装置使被控对象的被控制量按预定的规律运动或变化的控制方式。

自动控制系统 被控对象和参与实现其被控制量自动控制的装置或元件、部件的组合。

2. 对广义系统按反馈的情况进行分类

(1)开环系统 当一个系统以所需的方框图表示而没有反馈回路时,称之为开环控制系统或开环系统。开环控制系统一般由给定元件、放大元件、执行元件、被控对象等单元组成,其方框图可表示成如图 1.4.1 的形式。

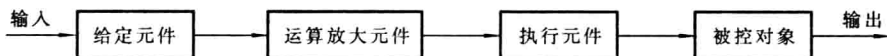


图 1.4.1

(2)闭环系统 当一个系统以所需的方框图表示而存在反馈回路时,称之为闭环控制系统或闭环系统。闭环控制系统一般由给定元件、比较元件、放大元件、执行元件、被控对象、测量元件等单元组成,其方框图可表示成如图 1.4.2 的形式。

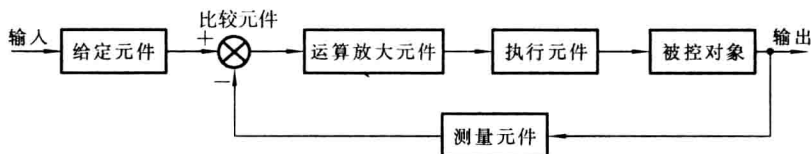


图 1.4.2

若将控制系统按被控对象和控制器两部分进行划分,则开环系统和闭环系统还可以分别表示成如图 1.4.3(a)、(b)的形式。

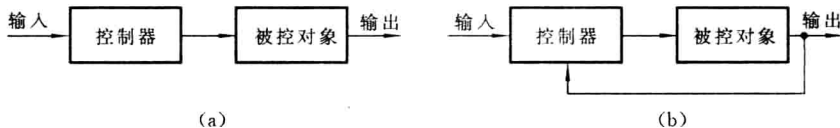


图 1.4.3

一个闭环自动控制系统的工作过程大体上可分为以下几个步骤:

- ①测量被控制量的实际值;
- ②将实际值与给定值进行比较,求出偏差的大小与方向;
- ③根据偏差的大小与方向进行控制,以纠正偏差。

简单地讲,闭环自动控制系统的工作过程就是一个“检测偏差并纠正偏差”的过程。因此,

闭环控制系统的控制精度一般比开环控制系统的要高。

按反馈的作用不同,可以将反馈分为正反馈和负反馈。其中,凡能使系统的偏差的绝对值增大的反馈,称为正反馈;而能使系统的偏差的绝对值减小的反馈,称为负反馈。

3. 对自动控制系统按输出的变化规律进行分类

(1)自动调节系统 在外界的作用下,系统的输出仍能基本保持为常量的系统,也称为镇定系统或恒值系统。

(2)随动系统 在外界的作用下,系统的输出能相应于输入在广阔范围内按任意规律变化的系统。

(3)程序控制系统 在外界的作用下,系统的输出按预定程序变化的系统。

另外,广义系统还可根据是否满足叠加性而分为线性系统和非线性系统,根据系统中信号或变量是否全是连续量而分为连续系统(或模拟系统)和离散系统(或数字系统),根据系统的功能可分为温度控制系统、速度控制系统等等。

4. 对控制系统的基本要求

(1)系统的稳定性 稳定性是指动态过程的振荡倾向和系统能够恢复平衡状态的能力。稳定性是系统工作的首要条件。

(2)系统响应的快速性 快速性是指当系统输出量与希望值之间产生偏差时,消除这种偏差的快速程度。

(3)系统响应的准确性 准确性指在调整过程结束后输出量与给定的输入量之间的偏差,也称为静态精度。

5. 自动控制系统方框图的绘制步骤

(1)分析控制系统的工作原理,找出被控对象。

(2)分清系统的输入量、输出量。

(3)按照控制系统各环节的定义,找出相应的各个环节。

(4)按信息流动的方向将各个环节用元件方框和连线连接起来。

基本要求、重点与难点

1. 基本要求

(1)了解机械工程控制论的基本含义和研究对象,以及学习本课程的目的和任务;掌握广义系统动力学方程的含义。

(2)了解系统、广义系统的概念;了解系统的基本特性;了解系统动态模型和静态模型之间

的关系。

(3)掌握反馈的含义,学会分析动态系统内信息流动的过程;掌握系统或过程中存在的反馈。

(4)了解正反馈、负反馈、内反馈、外反馈的概念。

(5)了解广义系统的几种分类方法;掌握闭环控制系统的工作原理、组成;学会绘制控制系统的方框图。

(6)了解控制系统中基本名词和基本变量。

(7)了解对控制系统的基本要求。

2. 本章重点

(1)学会用系统论、信息论的观点分析广义系统的动态特性、信息流,理解信息反馈的含义及其作用。

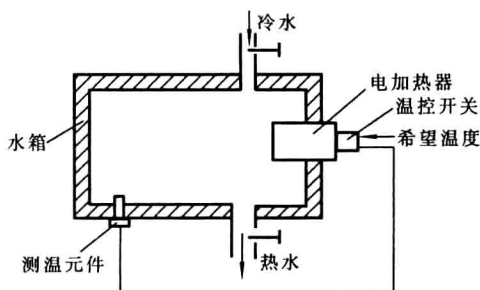
(2)掌握控制系统的基本概念、基本变量、基本组成和工作原理;学会绘制控制系统方框图。

3. 本章难点

广义系统的信息反馈及控制系统方框图的绘制。

例 题

例 1.1 设电热水器如图(例 1.1-1)所示。为了保持希望的温度,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。试说明该系统工作原理并画出系统的方框图。

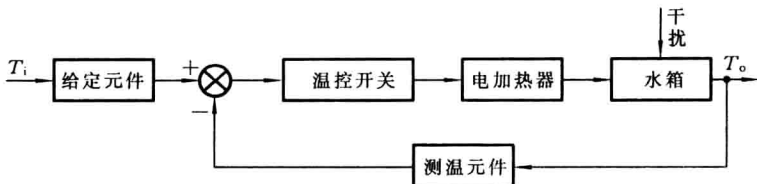


图(例 1.1-1)

解 在电热水器系统中,水箱内的水温需要控制,即水箱为被控对象。水的实际温度是被控制量,或称为系统的输出量,设为 T_o ;输入量为用户希望的温度(给定值),设为 T_i 。由于放出热水并注入冷水或水箱散热等原因,水箱内水温下降,这成为该系统的主要干扰。

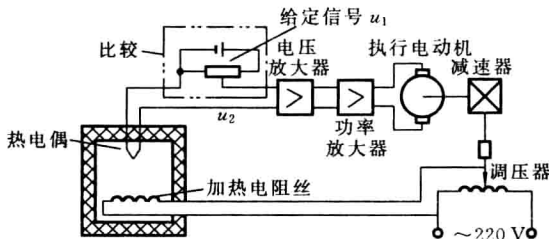
当 $T_o = T_i$ 时,水箱的实际水温经测温元件检测,并将实际水温转化成相应的电信号,与温控开关预先设定的信号进行比较而得到的偏差为零,

此时电加热器不工作,水箱中的水温保持在希望的温度上。当使用热水并注入冷水时,水温下降,此时 $T_o < T_i$,则偏差不为零,温控开关工作。于是电源接通,电加热器开始对水箱内的水进行加热,使水温上升,直到 $T_o = T_i$ 时为止。图(例 1.1-2)为系统控制方框图。



图(例 1.1-2)

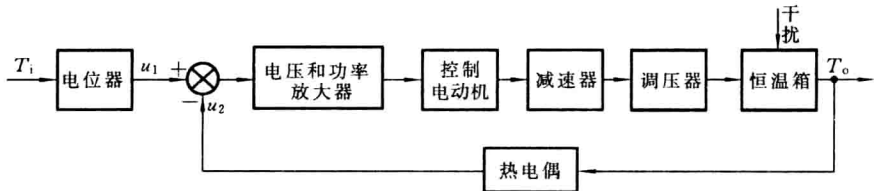
例 1.2 图(例 1.2-1)为一恒温箱的温度控制系统,试分析这个系统的自动调温过程。这个系统的输出量、输入量、控制量和扰动量各是什么?



图(例 1.2-1)

解 在该系统中,恒温箱内的温度需要被控制,因此,恒温箱为被控对象。恒温箱的实际温度为被控制量(系统的输出量),设为 T_o ;希望的恒温箱的温度为系统的输入量(给定值),设为 T_i ;加热电阻丝的输出功率为控制量;恒温箱散热量为系统的扰动量。

恒温箱的温度是由给定的电压信号 u_1 和热电偶输出的电压信号 u_2 之间的偏差 $u_1 - u_2$ 控制的。当 $T_o = T_i$ 时, $u_1 - u_2 = 0$,即偏差为零,此时系统不工作,恒温箱的温度保持在希望的温度上。当外界因素引起箱内温度变化时,偏差信号 $u_1 - u_2 \neq 0$,偏差经电压和功率放大后,使电动机的转速和转向发生改变,并通过传动装置拖动调压器的动触点作直线运动。当温度偏高时,动触点向着减小电流的方向移动,使加热电阻丝的电流与功率减小,直到温度达到给定值为止;反之亦然。系统控制方框图为图(例 1.2-2)。



图(例 1.2-2)

例 1.3 图(例 1.3-1)为函数记录仪的示意图,它通过记录笔记录缓变电压信号 u_i 的波