



高等院校十一五机械类统编教材

机械工程控制基础

玄兆燕 朱洪俊 杨秀萍 等编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等院校十一五机械类统编教材

机械工程控制基础

玄兆燕 朱洪俊 杨秀萍 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要讲述机械控制的基本原理和基本知识,内容包括:系统数学模型的建立、系统的时域和频域分析、系统稳定性分析、系统校正以及 MATLAB 在控制工程中的应用。

本书力求强调基本概念和基本方法,注重一些方法论述的逻辑性和严谨性,同时在论述过程中根据工科学生的具体情况尽量避免高深的数学论证,紧密结合控制与机械工程实际,用机械与电气实例解释说明一些基本理论和基本方法,以使其能很好地在数理知识和专业知识之间起到桥梁的作用。

本书可作为高等学校机械设计制造及自动化、机电一体化等专业本科生和专科生的教材,也可供有关教师与工程技术人员参考。

为了更好地配合课堂教学,本书配有多媒体教学课件。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机械控制基础 / 玄兆燕, 朱洪俊, 杨秀萍等编著. —北京: 电子工业出版社, 2006.8

高等院校十五机械类统编教材

ISBN 7-121-03006-3

I. 机… II. ①玄… ②朱… ③杨… III. 机械控制—控制系统—高等学校—教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 089877 号

责任编辑: 刘志红 特约编辑: 陈 虹

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 384 千字

印 次: 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 21.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

《高等院校十一五机械类统编教材》

编委会名单

顾 问：范顺成

主 任：张明路

副主任（按姓氏笔画）：金国光

赵新华

钱东平

唐贵基

路春光

委 员（按姓氏笔画）：马跃进

王怀明

尹明富

关玉明

刘恩福

范孝良

杨传民

段星光

徐安平

出版说明

“工欲善其事，必先利其器”。教材建设是高等学校提高教学质量的重要环节，也是一项具有战略性的基本建设。近几年来，我国各高等学校实施了一系列面向 21 世纪教学改革计划，在教学内容和课程体系改革上取得了丰硕的成果，因此，需要适时地将教改成果物化为教材出版，以促进教改成果的实施和推广。

电子工业出版社作为国家级科技与教育出版社，始终关注着我国高等工程教育的改革和发展方向，始终把出版适应我国高等学校发展要求的高质量精品教材放在重要位置。多年来，我社出版了一系列特色鲜明的教材，为我国的高等教育做出了一定的贡献。随着科学技术的发展，学科领域相互渗透、融合，为适应这一特点，我社努力拓展出版领域，并希望通过出版多学科、多领域所需的高质量教材，进一步提升出版质量，更好地为培养高素质人才服务。

迄今为止，高等工程教育已培养了数百万工程专门人才，为社会、经济和科技的发展做出了巨大贡献。但 IMD1998 年的调查显示，我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名第 36 位，与我国科技人员的总数和制造业地位形成明显反差。这表明适于工程一线的应用型技术人才供给不足。

基于上述考虑，经过一年多的调研，并征求多方意见，根据国内高等院校机电类专业的发展现状，我社组织编写了《高等院校十五机械类统编教材》，教材定位于地方工科高校，以应用型、研究应用型人才培养为主，以适应经济、社会发展对工程教育的新要求，满足“厚基础、强能力、高素质”的工程应用型本科人才培养的需要。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点。

(1) 专业特色鲜明：以地方工科院校本科机电类专业的专业课程教材为主线，兼顾其他相关选修专业课程。

(2) 突出系统性：本套规划教材覆盖了本科机电类专业的基础课、专业方向课及专业选修课，形成了一个完整的教材系列。同时，注意教材之间内容的合理划分与衔接，层次分明，重点突出，各高校可以根据需要组合选用。

(3) 体系、内容新颖：整个知识结构建立在“高”、“新”平台上。基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果在人才培养中的作用；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。

(4) 配套教学支持：多数教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版了教学辅导书或实验教材。

为做好本套教材的出版工作，本丛书成立教材编委会，并聘请了多位高等工程教育、学科领域的著名专家、教授作为教材顾问，从根本上保证了本系列教材的高质量。在此，

对他们的辛勤工作也表示衷心的感谢。

今后，我社将进一步加强与各高校教师的密切联系和合作，广泛听取一线教师对教材的反馈意见和建议，以便使我们的教材出版工作做得更好。

电子工业出版社

2006 年 7 月

前 言

随着现代科学技术的发展,机械与控制已融为一体,控制工程在机械工程领域起着越来越重要的作用,机械工程控制基础作为机械工程类专业一门重要的专业基础课,其内容需要不断地更新调整和扩充新的知识。本教材的主要内容包括:绪论、拉普拉斯变换、系统数学模型的建立、系统的时域和频域分析、系统稳定性分析、系统校正、MATLAB 在控制工程中的应用等内容。针对目前本科生的具体情况,试图将教材内容从深度的扩展转向广度的扩展。

机械工程控制理论不仅仅是一门很重要的学科,同时它的形成、发展以及对该理论的论述过程本身也体现了科学的方法论,为了培养学生客观、理性和实证的科学精神,本书作为机械工程类专业技术基础课教材,强调基本概念和基本方法,注重一些方法论述的逻辑性和严谨性。同时在论述过程中根据工科学生的具体情况尽量避免高深的数学论证,紧密结合控制与机械工程实际,用机械与电气实例解释说明一些基本理论和基本方法,以使其能很好地在数理知识和专业知识之间起到桥梁的作用。

本书主要介绍经典控制理论的基本内容,重点是其中的线性控制理论及其在控制系统分析中的应用,以及在机械动力系统动态性能分析中的应用。本书的编写试图从控制理论的发展史入手,介绍控制理论的基本概念和基本知识,然后阐述时间函数的拉普拉斯变换,在此基础上介绍系统的数学模型并导出传递函数的模型,然后是一阶、二阶系统的时间响应分析和频域分析,系统稳定性分析及系统的校正(包括 PID 校正),最后介绍 MATLAB 在控制工程中的应用。

本书由玄兆燕主编,朱洪俊、杨秀萍为副主编,赵秀平、吴丽娟参编,本书由天津理工大学王收军主审。编者分工为:第 1 章、第 8 章由玄兆燕执笔;第 2 章、第 3 章、第 7 章由朱洪俊执笔;第 4 章、第 6 章由杨秀萍执笔、第 5 章由吴丽娟、赵秀平执笔,赵秀平负责了多媒体课件制作,最后由玄兆燕定稿。

感谢天津理工大学王收军老师,在审稿过程中提出了许多宝贵的意见;同时感谢河北理工大学的杨文生老师对本教材提出了宝贵的编写建议。

限于编者的水平,本书不免会出现缺点和不足,希望读者提出批评建议,我们衷心地表示感谢!

编者

2006 年 6 月于河北理工大学

主要符号说明

一、时域符号

时域输入	$x_i(t)$
时域干扰信号	$n(t)$
时域输出	$x_o(t)$
时域偏差	$\varepsilon(t)$
时域误差	$e(t)$
单位脉冲函数	$\delta(t)$
单位阶跃函数	$u(t)$
单位斜坡函数	$r(t)$
阻尼比	ξ
超调量	M_p

二、频域符号

相对谐振峰值	M_r
无阻尼固有频率	ω_n
有阻尼固有频率	ω_d
谐振频率	ω_r
各环节之间的转角频率	ω_T
频率	ω_c
相位交界频率	ω_g

相位裕度	$\gamma(\omega)$
幅值裕度	$K_g(\omega)$
频域输出	$X_o(s)$
频域干扰信号	$N(s)$
频域偏差	$E(s)$
频域误差	$E_1(s)$
前向通道传递函数	$G(s)$
反馈通道传递函数	$H(s)$
开环传递函数	$G_K(s)$
闭环传递函数	$G_B(s)$
频率特性	$G(j\omega)$
频率特性幅值	$ G(j\omega) $
频率特性相角	$\angle G(j\omega)$
反馈通道频率特性	$H(j\omega)$

三、其他

其他物理量按统一标准符号执行。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 控制工程发展史	(1)
1.1.2 机械工程控制的研究对象与任务	(2)
1.2 控制系统简介	(2)
1.2.1 控制系统的分类	(2)
1.2.2 闭环控制系统的组成	(6)
1.2.3 对控制系统的基本要求	(7)
本章小结	(7)
习题 1	(8)
第 2 章 拉普拉斯变换	(9)
2.1 拉氏变换的概念	(9)
2.1.1 问题的提出	(9)
2.1.2 拉氏变换的存在定理	(10)
2.2 拉氏变换的性质	(17)
2.2.1 线性性质	(17)
2.2.2 微分性质	(18)
2.2.3 积分性质	(20)
2.2.4 位移性质	(21)
2.2.5 延迟性质	(22)
2.2.6 尺度变换	(23)
2.2.7 初值定理、终值定理	(23)
2.3 拉氏逆变换	(25)
2.4 卷积	(30)
2.4.1 卷积的概念	(31)
2.4.2 卷积定理	(31)
本章小结	(35)
习题 2	(35)
第 3 章 系统的数学模型	(37)
3.1 系统的微分方程	(38)
3.1.1 建立微分方程的基本步骤	(38)

3.1.2	机械系统的微分方程	(39)
3.1.3	电气系统的微分方程	(42)
3.1.4	机电系统的微分方程	(44)
3.2	系统的传递函数	(48)
3.2.1	传递函数的基本概念	(48)
3.2.2	传递函数的零点、极点和放大系数	(49)
3.2.3	典型环节的传递函数	(50)
3.3	系统方框图及其简化	(65)
3.3.1	系统传递函数的方框图表示	(65)
3.3.2	传递函数方框图的化简	(70)
3.4	输入和干扰同时作用下的系统传递函数	(77)
	本章小结	(80)
	习题 3	(81)
第 4 章	时间响应分析	(85)
4.1	概述	(85)
4.1.1	时间响应及其组成	(85)
4.1.2	典型试验信号	(86)
4.2	一阶系统的时间响应	(88)
4.2.1	一阶系统的单位脉冲响应	(88)
4.2.2	一阶系统的单位阶跃响应	(89)
4.2.3	单位脉冲响应和单位阶跃响应的关系	(90)
4.3	二阶系统的时间响应	(90)
4.3.1	二阶系统的单位脉冲响应	(91)
4.3.2	二阶系统的单位阶跃响应	(92)
4.3.3	二阶系统响应的性能指标	(95)
4.4	系统稳态误差分析	(100)
4.4.1	系统误差与偏差的关系	(100)
4.4.2	系统的稳态误差	(101)
4.4.3	静态误差系数	(103)
	本章小结	(106)
	习题 4	(107)
第 5 章	系统频率响应分析	(109)
5.1	频率特性概述	(109)
5.1.1	频率特性的概念	(109)
5.1.2	频率特性的特点和作用	(112)
5.2	频率特性的极坐标图 (Nyquist 图)	(113)
5.2.1	典型环节的 Nyquist 图	(114)

5.2.2 Nyquist 图的一般绘制方法	(119)
5.3 频率特性的对数坐标图 (Bode 图)	(123)
5.3.1 概述	(123)
5.3.2 典型环节的 Bode 图	(125)
5.3.3 Bode 图的一般绘制方法	(131)
5.4 闭环频率特性	(136)
5.5 最小相位系统与非最小相位系统	(137)
本章小结	(138)
习题 5	(138)
第 6 章 系统稳定性分析	(141)
6.1 系统稳定的概念和条件	(141)
6.2 劳斯 (Routh) 稳定判据	(142)
6.2.1 系统稳定的必要条件	(143)
6.2.2 系统稳定的充要条件	(143)
6.2.3 劳斯判据的特殊情况	(146)
6.3 Nyquist 稳定判据	(147)
6.3.1 米哈伊洛夫定理	(147)
6.3.2 Nyquist 稳定判据	(149)
6.3.3 开环含有积分环节的 Nyquist 图	(151)
6.3.4 具有延时环节的系统的稳定性分析	(153)
6.3.5 Nyquist 稳定判据应用举例	(155)
6.4 Bode 稳定判据	(157)
6.5 系统的相对稳定性	(160)
6.5.1 相位裕度 $\gamma(\omega)$	(160)
6.5.2 幅值裕度 K_g	(161)
本章小结	(164)
习题 6	(164)
第 7 章 系统校正	(166)
7.1 概述	(166)
7.1.1 校正的概念	(166)
7.1.2 系统的性能指标	(167)
7.1.3 校正方式	(171)
7.2 串联校正	(172)
7.2.1 增益校正	(172)
7.2.2 相位超前校正	(174)
7.2.3 相位滞后校正	(178)
7.2.4 相位滞后-超前校正	(182)

7.3	PID 校正	(185)
7.3.1	PID 控制规律及其实现	(185)
7.3.2	PID 调节器的设计	(190)
7.4	反馈校正	(192)
	本章小结	(198)
	习题 7	(199)
第 8 章	MATLAB 在控制工程中的应用	(202)
8.1	MATLAB 简介	(202)
8.2	用 MATLAB 进行瞬态响应分析	(203)
8.2.1	线性系统的 MATLAB 表示	(203)
8.2.2	系统单位阶跃响应的求法	(203)
8.2.3	系统单位脉冲响应的求法	(204)
8.3	用 MATLAB 进行频率响应分析	(205)
8.3.1	用 MATLAB 做 Bode 图	(205)
8.3.2	用 MATLAB 做 Nyquist 图	(207)
8.4	SIMULINK 应用	(208)
8.4.1	SIMULINK 概述	(208)
8.4.2	启动 SIMULINK 工具包	(209)
8.4.3	用 SIMULINK 创建系统模型	(209)
8.4.4	用 SIMULINK 进行系统仿真	(213)
	本章小结	(214)
	习题参考答案	(215)
	参考文献	(226)

第1章 绪 论



学习要点：了解控制工程的发展史，熟悉控制工程的研究对象与任务，掌握控制系统的基本概念及闭环控制与开环控制原理，掌握控制系统的基本分类方法及对控制系统的基本要求。

1.1 引言

1948年，美国数学家N·维纳所著《控制论》一书的出版，标志着控制论的正式建立，控制论与系统论、信息论的发展紧密结合，使控制论的基本概念和方法被应用于各个具体科学领域，研究的对象从人和机器扩展到环境、生态、社会、军事、经济等许多方面，将控制论向应用科学方面迅速发展，其分支科学主要有：工程控制论、生物控制论、社会控制论和经济控制论、大系统理论、人工智能等。

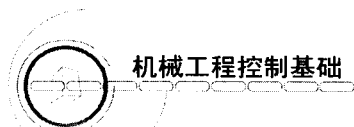
机械工程控制是工程控制论在机械工程中的应用。

1.1.1 控制工程发展史

18世纪，詹姆斯·瓦特为控制蒸汽机速度而设计的离心调节器，是自动控制领域的第一项重大成果。1922年，迈纳斯基研制出船舶操纵自动控制器，并证明了如何从描述系统的微分方程中确定系统的稳定性。1932年，奈魁斯特提出了一种相当简便的方法，根据对稳态正弦输入的开环响应，确定闭环系统的稳定性。1948年，美国数学家N·维纳所著《控制论》一书的出版，标志着控制论的正式建立。1954年我国科学家钱学森发表《工程控制论》，将控制论推广到工程技术领域，奠定了工程控制论这一技术科学的基础。

在这期间，频率响应法的诞生，为工程技术人员设计满足性能要求的线性闭环控制系统提供了一种可行的方法，频率响应法和20世纪50年代初提出并完善的根轨迹法共同组成了古典控制论的核心。利用以上两种方法设计出的系统基本上可以满足要求，但不是某种意义上的最佳系统。从20世纪50年代末开始，人们将控制系统设计问题的研究重点转移到系统的最佳控制上。

另外，古典控制论主要研究单输入、单输出线性系统，随着现代设备变得越来越复杂，出现了多输入、多输出的复杂系统，这样的系统需要大量的方程来描述，计算机的发展为复杂系统的时域分析提供了可能性。因此，1960年，利用状态变量基于时域分析的现代控制理论应运而生，它主要分析和研究多输入、多输出、时变、非线性等系统的最优控制问



题,随着计算机技术和现代应用数学的发展,现代控制理论在最佳滤波、系统辨识、自适应、自学习、智能控制等方面又都有了重要进展,从而满足了军事、空间技术和工业应用领域对精确度、重量、成本等的严格要求。

1.1.2 机械工程控制的研究对象与任务

1. 机械工程控制的研究对象

控制论研究的对象是一个控制系统,这个系统可以是一些部件的组合,这些部件组合在一起完成一定的任务,同时这个系统也可以是一个比较抽象的动态现象(如经济学中遇到的现象),所以这个系统可以是物理学、生物学、经济学、社会学等各个方面的系统。机械工程控制研究的对象特指机械工程领域的系统(如数控机床、机器人等)。

2. 机械工程控制的研究任务

工程控制论主要研究控制系统与其输入、输出之间的动态关系。其研究内容大致可归纳为如下五个方面。

① 系统分析:当系统已定、输入已知时,求出系统的输出(响应),并通过输出来研究系统本身的有关问题。

② 最优控制:当系统已定、输出已知时,确定输入使得输出尽可能符合给定的最佳要求。

③ 最优设计:当输入已知、输出已知时,确定系统使其输出尽可能符合给定的最佳要求。

④ 滤波与预测:当系统已定、输出已知时,要识别输入或输入中的有关信息。

⑤ 系统辨识:当输入与输出均已知时,求出系统的结构与参数,即建立系统的数学模型。

机械工程控制以古典控制论为核心,主要研究线性控制系统的分析问题。

1.2 控制系统简介

1.2.1 控制系统的分类

1. 按系统的结构分类

(1) 开环控制系统

开环控制系统是指系统的输出量对控制作用没有影响的系统,在开环控制系统中既不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到输入端与输入量进行比较。所以对应于每一个参考输入量,有一个固定的工作状态与之对应,此时,若有扰动信号出现,系统将无法在规定的状态下工作,所以只有在没有扰动或对系统精度要求不高的情况下方采用开环系统。如我们熟悉的自动洗衣机就是一个开环控制系统的实例。在洗衣机中,浸湿、洗涤和漂洗过程是按照事先编排好的时序进行的,洗衣机不必对输出信号(衣服的清洁程度)

进行测量。

如图 1.1 所示的是开环控制系统的又一实例。这是一种简单的数控机床工作台驱动系统，根据待加工工件的图纸要求，编制成控制指令，输入装置将控制指令转换为控制信号输入给驱动电路，驱动步进电机按加工指令要求，控制工作台的运动，从而加工出图纸所要求的工件。

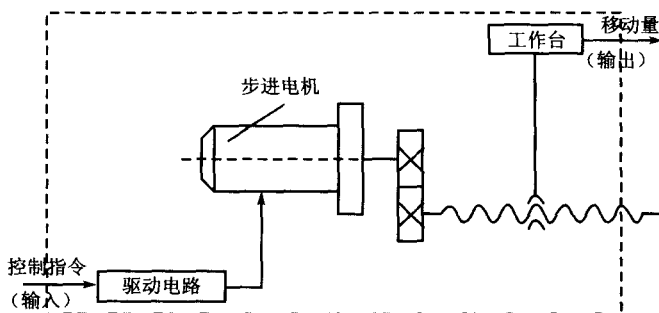


图 1.1 开环控制的数控机床驱动系统

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统通常也称反馈控制系统。此种系统是指将输出信号部分或全部通过反馈装置（通常为检测装置）传送到输入端，与输入信号进行比较，将比较的差值送入系统中的控制器，产生控制信号控制系统的输出达到希望的输出值。大部分控制系统都是闭环控制系统。

如图 1.2 所示是闭环控制的数控机床驱动系统，该系统和图 1.1 相比多了比较装置和检测装置，将检测信号反馈到输入端经过比较装置与输入信号进行比较。它的工作原理是检测装置随时测定工作台的实际位置并反馈到输入端的比较器上，将实际位置与输入（控制指令）所给定的位置相比较，若实际位置与给定的希望位置有误差，则将两者之间的差值作为控制信号，驱动伺服电机，使之拖动工作台运动以消除该误差，从而加工出所希望的工件形状。

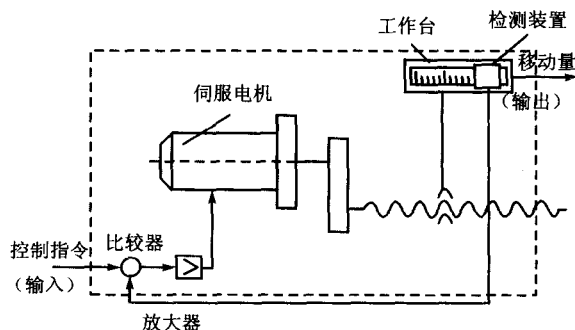


图 1.2 闭环控制的数控机床驱动系统

闭环控制系统不仅仅限于工程系统，在其他非工程领域也存在着闭环控制，如我们人体本身就是一种非常高级的闭环控制系统。人体的体温和血压等都是通过生理反馈的方式

保持正常值的，正是人体中的各种反馈作用，使得人类可以在变化的环境中正常地生活。

(3) 闭环控制系统与开环控制系统的比较

从开环控制系统和闭环控制系统的实例中我们可以看出，开环控制系统结构简单、容易维护、相应的成本也较低，因为没有反馈，所以稳定性也不是主要问题，另外也正是因为没有反馈，使得开环系统无法抑制扰动信号对输出的影响。因此，当输出量难以测量或测量成本太高，或者没有必要测量（如前面洗衣机的例子），又不存在扰动信号或扰动可以忽略时，才可采用开环控制系统。

闭环控制系统也称反馈控制系统，因输出信号被反馈到输入端，所以使系统的外部干扰和内部参数的变化最终都可以通过输出反馈到输入端，利用差值对系统的输出进行调解，从而抑制干扰对输出的影响。如图 1.3 所示，这是一个汽车客舱温度控制工作原理图，要求的温度被转换成电压信号作为系统的输入，客舱的实际温度由传感器检测并转换成电压信号反馈到输入端，通过控制器中的比较器与输入进行比较，汽车在行使的过程中，周围的环境温度和太阳的辐射热量均为干扰信号。假设因干扰信号的作用使得客舱内的温度高于要求的温度，传感器将实际温度转换成电压信号送到控制器与输入比较产生差值，该差值作为控制信号，控制空调器产生冷风，使客舱的温度降到所要求的温度值；反之若外部环境温度使客舱内的温度低于所要求的温度，同样的过程，会产生一个反向的差值，去控制空调产生热风，使其温度升高到所要求的温度值。若系统内部元器件参数发生了变化，反馈的作用同样可以将温度调节到要求值，由此可见，闭环控制系统可以抑制外部的扰动和内部参数变化对系统输出的影响。

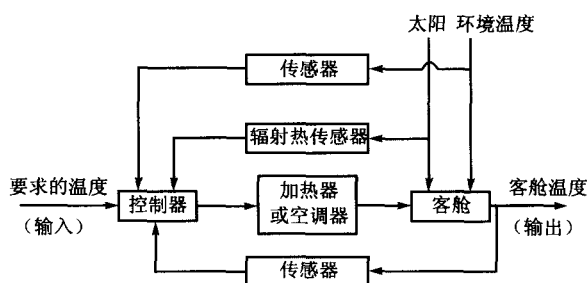


图 1.3 汽车客舱温度控制系统原理图

因为闭环控制系统引入了反馈，在调节的过程中，可能引起系统的等幅振荡或发散振荡，所以系统稳定性问题在闭环控制中成为非常重要的问题。另外，与开环系统相比闭环系统控制要复杂一些，所使用的元器件数量要多一些，因此成本要比开环系统高。

2. 按输入量的变化规律分类

(1) 恒值控制系统

恒值控制系统的输入量是一个恒定值，该系统的任务是保证在任何扰动信号的作用下，系统的输出量恒定不变。如图 1.3 所示的汽车客舱温度控制系统，就是一个恒值控制系统，它的输入是一个恒定的温度值，它的任务是保证在任何环境下输出（客舱温度）恒定不变。

(2) 程序控制系统

程序控制系统的输入量是按已知的规律变化的, 将输入量按其变化规律编制成程序, 由程序发出控制指令, 系统按照控制指令的要求运动。图 1.2 所示的闭环控制的数控机床驱动系统就是一个程序控制系统, 它的输入是按已知的图纸要求编制的加工指令, 系统按照该指令控制工作台运动, 以加工出图纸所要求的工件形状。

(3) 随动系统

随动系统又称伺服系统。该系统输入量的变化规律是未知的, 要求输出量能迅速、平稳、准确地复现控制信号的变化规律。

如图 1.4 所示的伺服位置控制系统就是一个随动系统的实例。该系统的任务是控制机械负载的位置与输入的参考位置相协调。系统的工作原理是, 用一对电位计作为系统的误差检测装置, 它们可以将输入输出的位置转变成与位置成比例的电信号。图中输入电位计电刷臂的角位置 r 由输入位置确定, 电位计的电位与电刷臂的角位置成比例, 输出电位计的角位置 c 由负载输出轴的位置确定, 输出位置与输入位置之间的误差就被转换成了电压信号 e_v , 该电压信号被放大倍数为 K_1 的放大器放大, 作用在直流伺服电机的电枢电路上, 使伺服电机产生力矩拖动负载旋转, 控制输出负载的轴位置与输入的参考位置相对应。

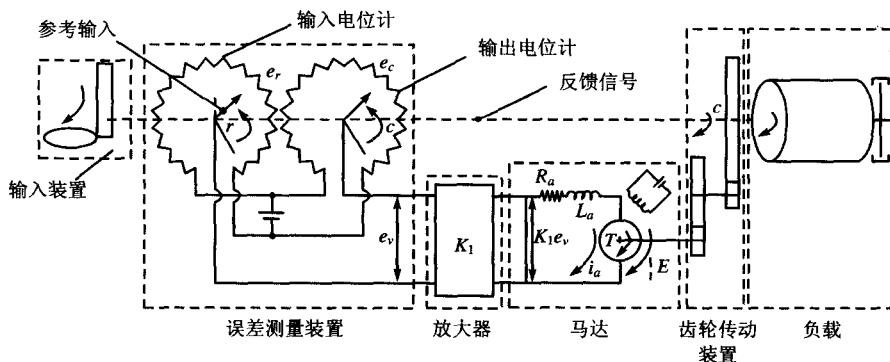


图 1.4 伺服位置控制系统原理图

3. 按系统中传递信号的性质分类

(1) 连续控制系统

连续控制系统是指系统中传递的信号都是模拟信号, 控制规律是用硬件组成的控制器实现的。描述此种系统的数学工具是微分方程和拉氏变换。前面所举的实例均为连续控制系统, 其原理方框图如图 1.5 所示。

(2) 离散控制系统

离散控制系统是指系统中传递的信号有数字信号, 控制规律是用软件实现的, 计算机作为系统的控制器。描述此种系统的数学工具是差分方程和 Z 变换。图 1.2 中所示的控制器如果用计算机实现, 输入及反馈信号均被 A/D 转换器转换成数字信号后送入计算机, 计算机的输出信号为数字信号, 再被 D/A 转换器转换成模拟信号去驱动伺服电机, 此时的系