



浙江省高等教育重点建设教材  
应用型本科规划教材

FUNDAMENTALS  
OF CONTROL ENGINEERING

# 控制工程基础

◆ 主 编 徐 立

副主编 刘 健 叶 军 张玉莲



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

第2版  
第2次印刷

PLANNING AND DESIGN  
FOR CONTROL ENGINEERING

# 控制工程基础

第二版

机械工业出版社

机械工业出版社

浙江省高等教育重点建设教材  
应用型本科规划教材

# 控制工程基础

主 编 徐 立

副主编 刘 健 叶 军 张玉莲

浙江大學出版社

## 内 容 简 介

本书主要介绍自动控制基本理论及其工程应用方法。全书安排有绪论、控制系统的数学模型、时域分析法、频域分析法、控制系统的设计与校正等章节,包括的内容有控制系统的基本概念、拉普拉斯变换和反变换、传递函数、方块图、时间响应性能分析、代数稳定性分析、稳态误差分析、频率特性法、串联校正与反馈校正、PID 调节等。重点是强调基本概念的分析掌握和在实践中予以应用的能力。本书还对 MATLAB 工具软件作了重点介绍。书中每章均有例题、习题及 MATLAB 应用例。附录中有相关工具及习题答案。

本书适用于应用型高等院校机械工程本、专科各相关专业,也可供相关工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

控制工程基础 / 徐立主编. — 杭州: 浙江大学出版社,  
2007. 3

浙江省高等教育重点建设教材. 应用型本科规划教材

ISBN 978-7-308- 05209-2

I. 控… II. 徐… III. 自动控制理论—高等学校—教材  
IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 032102 号

## 控制工程基础

主 编 徐 立

副主编 刘 健 叶 军 张玉莲

---

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 邹小宁

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15

字 数 374 千

版 次 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 978-7-308-05209-2

定 价 23.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校机械专业规划教材

## 编 委 会

主 任 潘晓弘

副主任 刘 桦 陈俊龙 胡夏夏

委 员 (以姓氏笔画为序)

马 光 文和平 孙树礼

朱根兴 张玉莲 张 伟

张美琴 陈志平 胡国军

徐 立

# 总 序

---

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内涌现了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的全方位、持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用于研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须有利于进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对机械工程专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校机械工程类专业的教师共同开展

了“应用型本科机械工程专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次机械工程类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校机械工程专业规划教材”系列。

本套规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用型本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可,对于应用型本科院校机械工程类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任 潘晓弘

2007年1月

# 前 言

---

本书是为应用型高等院校机械工程本、专科各相关专业而编写的。

机械工程中的技术问题是多种多样的,包括从设计、加工到装配、从机理到应用、从切削到检测、从工艺到装备、从单机到整个制造系统、从超精密及微细加工到超重型设备以及从数控机床到智能控制机器等。把控制工程、信息处理技术和机械工程技术相结合是解决这些问题的一个有效途径。自动控制原理及应用这门课程的目的在于使学生了解和掌握自动控制的基本原理和工程应用。在机电一体化技术水平高度发展的今天,掌握并运用自动控制技术的必要性已不言而喻。

自动控制理论的教学体系涵盖的内容是庞大的。本书介绍的是自动控制理论的基本内容,从应用的观点来看,已可满足一般工程控制系统的实际需求。全书共分五章,包括控制系统的数学模型、时域分析法、频域分析法和控制系统的设计与校正等内容。书中以反馈控制原理为基点,重点介绍了作为经典控制理论核心的频率响应法。

为适应应用型高等院校培养方案的要求,本书在编写体例上的特点是:讲求循序渐进地展开内容,简化数学推导,增加例题的数量和类型,着重培养分析思路和思考的训练以及过硬的计算能力。为适应专业特点,有机地结合机电工程的概念,并从自动控制原理的角度分析和设计与专业知识相关的工程实例,从而在概念分析和计算能力两方面为读者在工程实践中应用自动控制理论打下良好的基础。同时,在本书附录2中加入了MATLAB应用简介,并在每章中均配置了MATLAB应用方法,可使读者有效地掌握这个有用的工具。

本书第一章由徐立编写,第二章由叶军、刘健编写,第三章由刘健编写,第四章由徐立、范细秋编写,第五章由徐立编写,书中有关MATLAB的内容由王贤成编写。研究生叶晓光协助参加了本书的编写工作。

本书由浙江大学丁凡教授主审。浙大出版社的樊晓燕、王波也做了大量工作。

由于编者的水平有限,书中的缺点和错误之处,希望广大读者和专家提出宝贵意见。

编 者

2007年1月



# 目 录

---

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第1章 绪 论                | 1  |
| 1.1 引 言                | 1  |
| 1.2 自动控制系统基本概念         | 1  |
| 1.3 开环控制和闭环控制          | 4  |
| 1.3.1 开环控制             | 4  |
| 1.3.2 闭环控制             | 5  |
| 1.3.3 复合控制             | 7  |
| 1.4 自动控制系统的分类          | 8  |
| 1.4.1 按给定信号的特征划分       | 8  |
| 1.4.2 按系统的数学描述划分       | 9  |
| 1.4.3 按信号传递的连续性划分      | 10 |
| 1.4.4 按系统的输入与输出信号的数量划分 | 12 |
| 1.5 自动控制系统的组成          | 12 |
| 1.5.1 给定装置             | 13 |
| 1.5.2 检测装置             | 13 |
| 1.5.3 比较装置             | 13 |
| 1.5.4 放大装置             | 13 |
| 1.5.5 执行装置             | 13 |
| 1.5.6 校正装置             | 13 |
| 1.6 对控制系统的性能要求         | 14 |
| 1.6.1 稳定性              | 14 |
| 1.6.2 快速性              | 15 |
| 1.6.3 准确性              | 15 |
| 1.7 MATLAB 简介          | 16 |
| 习题                     | 17 |
| 第2章 控制系统的数学模型          | 19 |
| 2.1 拉普拉斯变换和反变换         | 19 |
| 2.1.1 拉氏变换的定义          | 19 |

|            |                 |           |
|------------|-----------------|-----------|
| 2.1.2      | 拉氏变换表           | 20        |
| 2.1.3      | 拉氏变换的性质和定理      | 20        |
| 2.1.4      | 拉氏反变换           | 22        |
| 2.2        | 系统微分方程的建立       | 27        |
| 2.2.1      | 线性系统微分方程的列写     | 27        |
| 2.2.2      | 用拉普拉斯变换求解微分方程   | 29        |
| 2.2.3      | 微分方程的线性化        | 30        |
| 2.3        | 传递函数            | 33        |
| 2.3.1      | 传递函数的定义         | 33        |
| 2.3.2      | 典型环节的传递函数       | 34        |
| 2.4        | 系统方块图           | 36        |
| 2.4.1      | 方块图的组成          | 37        |
| 2.4.2      | 方块图的建立          | 37        |
| 2.4.3      | 方块图的等效变换        | 40        |
| 2.4.4      | 方块图简化示例         | 44        |
| 2.4.5      | 用梅逊公式求传递函数      | 47        |
| 2.5        | 控制系统的传递函数       | 48        |
| 2.6        | MATLAB在数学模型中的应用 | 49        |
|            | 习题              | 51        |
| <b>第3章</b> | <b>时域分析法</b>    | <b>55</b> |
| 3.1        | 典型输入信号和时域性能指标   | 55        |
| 3.1.1      | 典型输入信号          | 55        |
| 3.1.2      | 时域性能指标          | 58        |
| 3.2        | 一阶系统性能分析        | 59        |
| 3.2.1      | 数学模型            | 59        |
| 3.2.2      | 典型输入响应          | 59        |
| 3.3        | 二阶系统性能分析        | 63        |
| 3.3.1      | 数学模型的标准式        | 63        |
| 3.3.2      | 典型二阶系统的单位阶跃响应   | 65        |
| 3.3.3      | 二阶欠阻尼系统的动态性能指标  | 68        |
| 3.3.4      | 二阶系统的单位脉冲响应     | 75        |
| 3.3.5      | 二阶系统的单位斜坡响应     | 76        |
| 3.4        | 高阶系统的时间响应       | 77        |
| 3.5        | 稳定性分析及代数判据      | 79        |
| 3.5.1      | 系统稳定的充分必要条件     | 79        |
| 3.5.2      | 劳斯判据            | 80        |
| 3.6        | 稳态误差分析及计算       | 84        |
| 3.6.1      | 误差及稳态误差定义       | 84        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 3.6.2 利用终值定理求稳态误差         | 85         |
| 3.6.3 系统的型别与开环增益          | 86         |
| 3.6.4 误差系数                | 87         |
| 3.6.5 误差系数在稳态误差计算中的应用     | 88         |
| 3.6.6 扰动作用下的稳态误差计算        | 93         |
| 3.6.7 给定输入、扰动共同作用下系统误差    | 94         |
| 3.6.8 减小稳态误差的方法           | 95         |
| 3.7 MATLAB 在时域分析中的应用      | 95         |
| 3.7.1 应用 MATLAB 分析系统的动态特性 | 96         |
| 3.7.2 应用 MATLAB 分析系统的稳定性  | 97         |
| 3.7.3 稳态误差分析              | 99         |
| 习题                        | 100        |
| <b>第4章 频域分析法</b>          | <b>104</b> |
| 4.1 频率响应和频率特性             | 104        |
| 4.1.1 频率响应                | 104        |
| 4.1.2 频率特性                | 105        |
| 4.1.3 频率特性的求取方法           | 107        |
| 4.2 频率特性的图示法——奈奎斯特图和波德图   | 107        |
| 4.2.1 奈奎斯特图               | 107        |
| 4.2.2 波德图                 | 109        |
| 4.3 典型环节的频率特性             | 111        |
| 4.3.1 典型环节的奈奎斯特图和波德图      | 111        |
| 4.4 控制系统开环频率特性            | 121        |
| 4.4.1 开环奈奎斯特图             | 121        |
| 4.4.2 开环波德图               | 125        |
| 4.4.3 由波德图确定系统传递函数        | 139        |
| 4.5 稳定性的频域判据              | 143        |
| 4.5.1 奈奎斯特稳定判据            | 143        |
| 4.5.2 对数频率(波德图)稳定判据       | 144        |
| 4.5.3 系统的相对稳定性及稳定裕量       | 147        |
| 4.6 波德图的判读                | 152        |
| 4.6.1 开环波德图的判读            | 152        |
| 4.6.2 闭环波德图的判读            | 153        |
| 4.7 MATLAB 在频域分析中的应用      | 156        |
| 4.7.1 奈奎斯特图               | 156        |
| 4.7.2 波德图                 | 157        |
| 习题                        | 159        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第 5 章 控制系统的设计与校正             | 162 |
| 5.1 设计和校正概述                  | 162 |
| 5.1.1 控制系统的设计                | 162 |
| 5.1.2 技术思路和设计指标              | 163 |
| 5.1.3 常用校正装置及其特点             | 163 |
| 5.1.4 希望的波德图                 | 164 |
| 5.2 串联校正                     | 166 |
| 5.2.1 串联超前校正                 | 167 |
| 5.2.2 串联滞后校正                 | 170 |
| 5.2.3 串联滞后—超前校正              | 174 |
| 5.2.4 串联超前、串联滞后和串联滞后—超前校正的比较 | 177 |
| 5.3 PID 校正                   | 177 |
| 5.3.1 PID 控制器                | 177 |
| 5.3.2 基本控制规律                 | 178 |
| 5.4 局部反馈校正                   | 184 |
| 5.4.1 反馈校正原理                 | 184 |
| 5.4.2 局部反馈校正的基本形式与特点         | 185 |
| 5.4.3 局部反馈校正的影响              | 187 |
| 5.4.4 反馈校正装置的设计步骤            | 189 |
| 5.4.5 串联校正与反馈校正的比较           | 191 |
| 5.5 复合控制                     | 192 |
| 5.5.1 按输入补偿的复合控制             | 192 |
| 5.5.2 按扰动补偿的复合控制             | 193 |
| 5.6 自动控制在机械工程中的应用            | 194 |
| 5.7 MATLAB 在系统校正中的应用         | 200 |
| 5.7.1 串联超前校正                 | 200 |
| 5.7.2 串联滞后校正                 | 202 |
| 5.7.3 串联滞后—超前校正              | 204 |
| 习题                           | 205 |
| 附    录                       | 208 |
| 附录 1 常用函数的拉普拉斯变换表            | 208 |
| 附录 2 MATLAB 基础知识             | 209 |
| 参考答案                         | 223 |

# 第 1 章 绪 论

---

## 1.1 引 言

20 世纪中叶以来,在军事和工程技术应用领域,自动控制技术的发展起着越来越重要的作用。所谓自动控制就是在没有人直接参与的情况下,利用控制器操纵受控对象,使受控对象的被控物理量按照指定的规律运行。例如,航天飞机进入太空按某个轨道运行并重返地球,雷达装置跟踪飞行器,数控机床正确加工工件,等等。

随着机电一体化技术的发展,在机电装备中也越来越多地应用了自动控制工程技术,常见的被控物理量有:行程、位置、速度、力、力矩、功率、压力、流量、温度等。这些物理量的控制,是自动控制理论的重要工程应用。而计算机硬软件技术的发展,更促使了工程控制技术应用的普及,可以毫不夸张地说,控制理论的工程应用,已成为提高我国工业生产力水平的不可缺少的组成部分。

自动控制理论一般可分为“经典控制理论”和“现代控制理论”。经典控制理论以传递函数为基础,主要研究单输入、单输出控制系统的建模、分析与设计校正,理论比较成熟,早已作为国内大学许多工科专业的课程,受过此教育的工程师活跃在工业产业的第一线,为提高生产力水平做出了极大贡献,创造了许多工程控制系统的实际成功范例。目前,经典控制理论在工程实际中的应用仍是最实用和方便的。这也是本书介绍的内容。

而现代控制理论是在经典控制理论基础上发展起来的,主要依靠状态空间分析方法,研究多输入、多输出、非线性时变控制系统。它在空间技术等高科技领域中发挥了重要作用。

## 1.2 自动控制系统基本概念

在工程技术领域,有许多应用自动控制技术的装置装备,图 1-1 是一个原理性示意图。

图中,控制器可以是电子电路装置,也可以是计算机硬软件,它对给定值信号进行处理,经某种算法后去控制驱动受控对象的某个物理量——称为被控量。检测装置时刻对被控量进行检测,并将检测值反馈给控制器,通常是把非电物理量以电信号形式呈现。控制器将给定值与检测值进行比较得到偏差值,进而调节控制输出量,使被控量按所希望的规律运行。这就构成了一个自动控制系统。

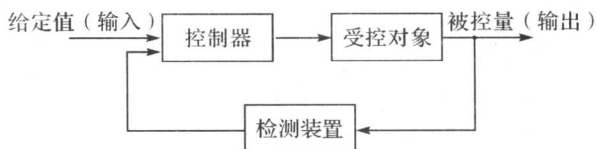


图 1-1 自动控制系统原理图

为了更能说明问题,先看一个有人直接参与的控制系统。

**例 1-1** 水温人工控制系统见图 1-2。该系统的功能是保证从水箱中能流出具有一定温度的热水。为了简化问题,假定流入水箱的水总是冷水,而流出水箱的水总是热水,换言之,流出的水温总是高于流入的水温,因此只需要对水箱中的水进行加热(即不需要冷却)。又假定即便在某段时间内不需要用水,放置在水箱中已加热好的水也会因自然冷却而降温,这时也需要加热以补充热量损失。

根据控制目的,确定水箱中的水温是被控量(也是输出量)。加热通过蒸汽进行,蒸汽经调节阀门流经水箱的热传导器件,通过热传导作用将水箱中的水加热,加热后的水流出水箱。同时,蒸汽冷却成水后由排水口排出。由此可见,调节阀的开度大小将对水温起调节作用。如果出水温度低了,可以由人手来开大调节阀门,即加大蒸汽流量,从而可使出水温度提高。反之,如果出水温度高了,可以由人手来减小调节阀门开度,即减小蒸汽流量,使出水温度降低。

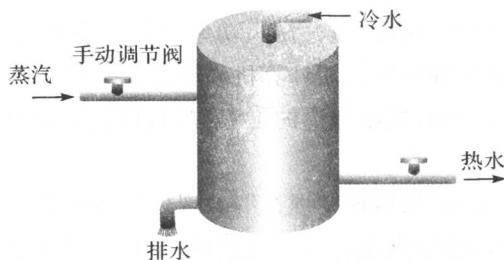


图 1-2 水温人工控制系统

这种控制方式中,人起到了关键作用。例如检测装置是人(如用手检测水温),控制器是人(如大脑),控制驱动装置也是人(如手)。由于人介入了控制过程,因此不能称为“自动”控制系统。且不说占用了人力,如果对于水温的控制精度要求比较高的话,人工控制方式还不能满足控制需求。

可以设法用物理装置来取代人的作用,形成水温自动控制系统。见例 1-2 示意。

**例 1-2** 水温自动控制系统见图 1-3。调节阀的开度大小可以由某种电驱动的机械执行机构进行调节,水温的检测可以由一只水温传感器完成,而控制器可以是某种电路形式。这样输入的给定值就是电量,例如电压,水温传感器的输出形式也是电压,并反馈给控制器。控制器将给定值和检测值比较之后,发出控制信号。当水温检测值低于输入给定值时,执行机构将调节阀的开度增大,使更多的蒸汽流入,以提高水温。反之,当水温检测值高于给定值时,同样可进行相应的调节。这样,就实现了没有人直接参与的自动水温控制。

为了分析方便,常用方块图来表示系统各个部件及变量之间的关系。图 1-4 为例 1-2 中描述的水温自动控制系统的方块图。

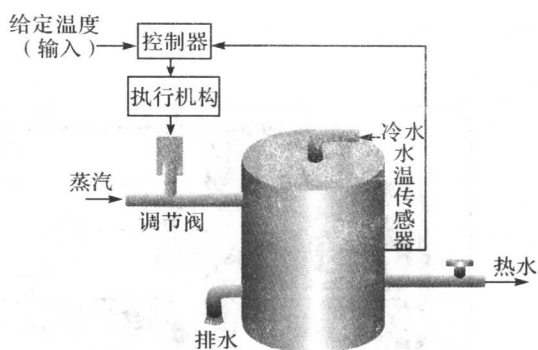


图 1-3 水温自动控制系统

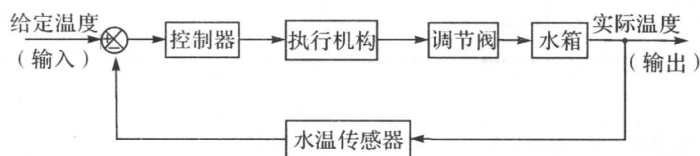


图 1-4 水温自动控制系统方块图

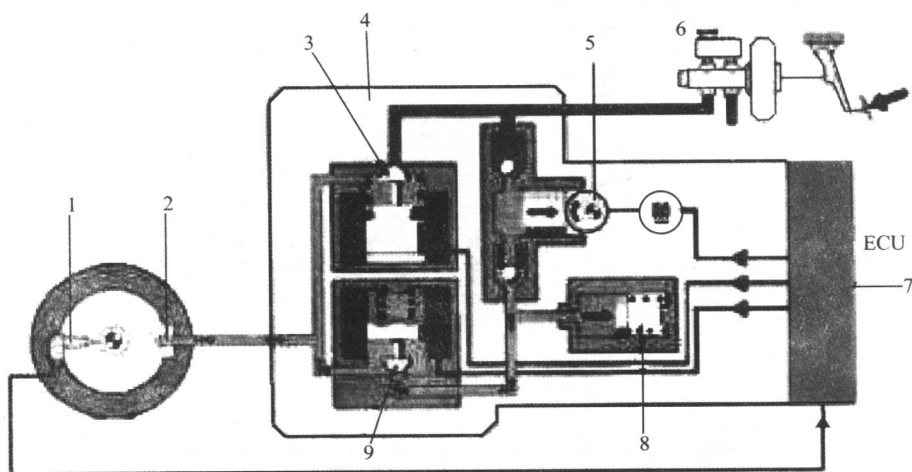
### 例 1-3 汽车 ABS。

现代汽车中装备有很多机电控制装置,例如 ABS(Antilock Braking System,防锁死刹车系统)。一辆没有 ABS 的车辆如需在高速行驶中紧急制动停车,容易发生跑偏、侧滑、甩尾乃至侧翻等车身失控情况。这是因为车轮被刹车片抱住锁死,但车身仍在惯性驱使下向前,车辆呈纯滑动状态,此时转向装置已失去作用。同时滑动摩擦力也并非是最大的,制动距离依然很长。

ABS 是在常规制动装置基础上的改进型技术。它的工作原理见图 1-5,当有紧急制动信号时,装在各车轮上高灵敏度的车轮转速传感器即监测车轮转速及其加速度,一旦发现某个车轮抱死,计算机控制单元 ECU 立即下指令使该轮的制动分泵减压,使车轮恢复转动。而当车轮作纯滚动时则使该轮的制动分泵加压。ABS 的工作过程实际上是抱死—松开—抱死—松开的循环工作过程,这使车辆在制动过程中始终处于滚动与滑动的间歇滚动状态,与路面的摩擦力也达到最大。这就大大地缩短了制动距离,且在制动过程中转向装置依然有效。因此,ABS 是一种优秀的主动安全装置。

ABS 的控制算法比较复杂,主要是通过控制滑动速度在整个车速中所占的比率,即所谓滑移率来达到优良的制动性能。这里我们只从自动控制原理的角度简单介绍 ABS,在图 1-6 中,作了必要的简化后,表示了 ABS 的装置组成图。并由此导出了 ABS 方块图,见图 1-7。

从以上介绍的由人工控制发展到自动控制的例子可以看出,自动控制的实现,实际上是由自动控制装置来取代人的功能而做到的。比较图 1-2 和图 1-3 可以看出,自动控制取代人工控制的功能,存在必不可少的三种代替人的职能的基本元件:①自动控制器(代替大脑);②执行元件(代替手);③测量装置或传感器(代替人的检测器官)。这些基本元件与被控对象相连接,一起构成一个自动控制系统。



1—轮速传感器 2—制动分泵 3—输入阀 4—液压单元 5—回油泵 6—制动总泵  
7—ECU 控制器 8—储油箱 9—输出阀

图 1-5 汽车 ABS 原理示意图

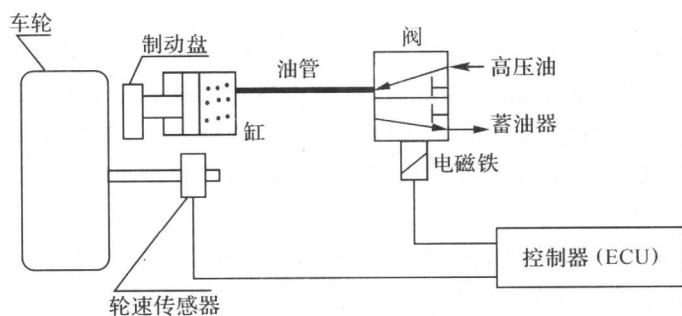


图 1-6 简化的汽车 ABS 装置

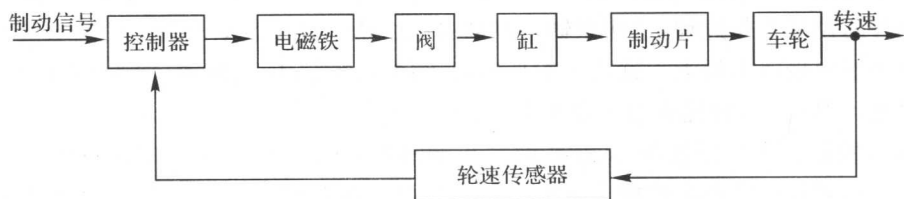


图 1-7 汽车 ABS 控制系统方块图

## 1.3 开环控制和闭环控制

### 1.3.1 开环控制

简单地讲,代表被控量的检测值不反馈进入控制器时,称为开环控制。在这种控制方式



中,控制器不需要对给定值与检测值进行比较,控制系统甚至不需要配置检测装置。

**例 1-4** 图 1-8 为一匀速旋转的转台,这种转台不仅在许多精密机电装置中得到应用,而且在机电装备中广泛使用的转速控制系统,都与此类似。

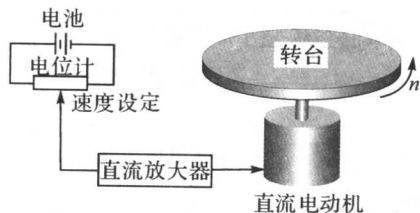


图 1-8 转速开环控制系统

作为系统输入量的转速给定值可以直流电压形式实现,如可以用电池和电位计来产生直流电压,经直流放大器将直流电压信号进行功率放大后,可驱动直流电动机。直流电动机的转速大小与直流放大器的输出成正比。设直流电动机与转台之间的传动比为  $1:1$ ,则直流电动机的转速就是转台的转速。

由图 1-8 可见,系统的被控量就是系统的输出量,即转台的转速。如果系统中的所有装置、元部件足够理想,且不存在内外部干扰的话,输入的直流电压信号就与输出的转台转速一一对应,需要某个转速时,只需设定某个对应的电位计刻度即可。

由于系统中并未配置转台转速的检测装置,当然也就不可能将检测值反馈到控制器与给定量进行比较,这就是开环控制系统。系统方块图如图 1-9 所示。

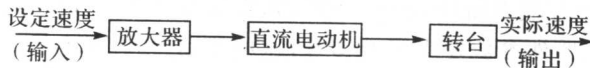


图 1-9 转速开环控制系统方块图

但是,如果转台上的负载有了变化、直流电压有了波动、直流放大器的元器件参数发生了漂移等,这些都可能导致转台转速发生变化,转速精度就降低了。而开环控制系统对此是无能为力的。

开环系统的特点是,因为无须对被控量进行检测和反馈,系统结构和控制过程均较简单。如果控制系统中使用的元器件精度足够,内外部干扰也不大,就可以考虑采用开环控制系统。很多步进电机控制系统就是开环控制系统。在某些被控量无法检测时,开环控制系统也有其优越性。同时,开环控制系统还没有稳定性问题。

但总体来说,由于开环控制系统抗干扰能力弱,因而其控制精度较低,这大大限制了它的应用范围,用得较少。而闭环控制系统则用得较多。

### 1.3.2 闭环控制

被控量的变化是控制系统的效果体现。如果被控量的检测值反馈进入控制器,进而对控制作用产生影响,这就构成了闭环控制,相应的控制系统称为闭环控制系统。闭环控制又常称为反馈控制或按偏差控制。前述水温自动控制系统就是一个闭环控制系统。例 1-5 是改造例 1-3 转速开环控制系统为转速闭环控制系统。

**例 1-5** 图 1-10 为转台速度闭环控制系统,对应的系统方块图如图 1-11 所示。