

面向21世纪高职高专电类系列规划教材

自动控制原理 与系统

戴雅丽 主 编

周 民 吴 峰 副主编

吕金华 主 审

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhep.com.cn

面向21世纪高职高专电类系列规划教材

自动控制原理 与系统

戴雅丽 主 编
周 民 吴 峰 副主编
吕金华 主 审

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书简明扼要地阐述了自动控制理论和自动控制系统两大主题。全书共分 8 章, 主要内容包括: 绪论、控制系统的数学模型、控制系统的性能分析、控制系统的综合校正、线性离散系统的分析与综合、控制系统实例、过程控制系统、计算机自动控制等。内容深入浅出, 并附有大量有针对性的实例和练习, 易于读者学习和巩固。

本书可作为高职高专学校电子信息、机电一体化类专业及其他相近专业的教材, 也可作为有关技术人员和研究人员的参考书。

需要本书或技术支持的读者, 请与北京清河 6 号信箱(邮编: 100085)发行部联系, 电话: 010-82702660 010-82702658 010-62978181 转 103, 传真: 010-82702698, E-mail: tbd@bhp.com.cn。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理与系统 / 戴雅丽主编. —北京: 中国林业出版社; 北京希望电子出版社, 2006.7
面向 21 世纪高职高专电类系列规划教材
ISBN 7-5038-4285-7

I. 自... II. 戴... III. ① 机械加工—自动控制理论
② 机械加工—自动控制系统 IV. TG-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 022693 号

出版: 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号 010-66184477)
北京希望电子出版社 (100085 北京市海淀区上地 3 街 9 号金隅嘉华大厦 C 座 611)
网址: www.bhp.com.cn 电话: 010-82702660 (发行) 010-62541992 (门市)
印刷: 北京市媛明印刷厂
发行: 全国新华书店经销
版次: 2006 年 7 月第 1 版
印次: 2006 年 7 月第 1 次
开本: 787mm×1092mm 1/16
印张: 15.875
字数: 357 千字
印数: 0001~3000 册
定价: 25.00 元

面向 21 世纪高职高专电类系列规划教材编委会

主 任：沈复兴 北京师范大学信息科学学院院长

副主任：杜建根 河南工业职业技术学院副院长

刘小芹 湖北武汉职业技术学院副院长

刘南平 天津职业大学电子信息工程学院副院长

李晓明 江苏扬州工业职业技术学院副院长

唐汝元 湖南张家界航空职业技术学院副院长

陆卫民 中国科学出版集团北京希望电子出版社社长

委 员：（按姓氏笔画为序）

及德增 尹立贤 申 勇 全卫强 刘 松 刘明伟
孙胜利 朱运利 朱国军 何 萍 余 华 宋嘉玉
张大彪 张惠明 李节阳 汪临伟 沈艳辉 肖伸平
唐春霞 黄新民 韩全立

秘 书：李节阳

总 序

一本好书，是人生前进的阶梯；一套好教材，就是教学成功的保证。为满足培养应用型人才的需要，我们成立了本编委会。在明确高职高专应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下，我们组织编写了本套规划教材。

为了使本套教材能够达成目标，编委会做了大量的前期调研工作，在广泛了解各高职高专的教学现状、学生水平、培养目标的情况下，认真探讨了课程设置，研究了课程体系。为了编写出符合教学需求的好教材，我们除了聘请一批有关方面的知名专家、教授作为本套教材的主审和编委外，还组织了一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的管理实践能力的学术带头人和骨干教师来承担具体编写工作，从而编写出特色鲜明、适用性强的教材，以真正满足目前高职高专应用型人才培养的需要。教材编写采用整体规划、分步实施、在实践中检验提高的方式，分期分批地启动编写计划。编写大纲以及教材编写方式的确定均经过编委会多次认真讨论，以确保该套教材的高质量和实用性。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 以服务教学为最高宗旨，认真做好教学内容的取舍、教学方法的选取、教学成果的检验工作。本套教材在教学过程中的有益反馈，都将及时体现在后续版本。

(2) 充分考虑高职高专的人才培养目标，充分吸取已有教材的优点，并注意有所创新。在阐述好基本理论的基础上，突出务实；努力做到内容新颖，科学规范，结构严谨，理论联系实际。

(3) 教材中注意结合当前的具体问题做出分析，使学生能比较熟练地应用所学知识解决实际问题；从而努力做到既注重培养学生分析问题的能力，更注重培养学生解决问题的能力。

(4) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进；举一反三，突出重点；语言简练，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据具体教学计划适当取舍内容。

(5) 大部分教材配有电子教案，从而更好地服务教学。

为编写本套教材，作者们付出了艰辛的劳动，编委会的各位专家进行了悉心的指导和认真的审定。从书中参考、借鉴了国内外同类的优秀教材和专著，在此一并表示感谢。

我们衷心希望更多的优秀教师参与到教材建设中来，真诚希望广大教师、学生与读者朋友在使用本丛书过程中提出宝贵意见和建议。

若有投稿或建议，请发电子邮件到 textbook@bhp.com.cn。谢谢！

面向 21 世纪高职高专电类系列规划教材编委会

前 言

为了使自动控制原理的教学更加生动活泼,更加具体而不那么抽象,更好地联系实际而不纸上谈兵,尤其重要的是,通过本门课程的教与学,有利于高职高专学生实践能力的培养,现代化教学手段用于该课程教学是不可少的。与该课程相关的数学软件的学习将学生从繁琐的计算中解脱出来,更有助于学生理解和掌握自动控制原理的实际应用性。突出高职高专教材的编写原则:“淡化理论、加强应用、联系实际、突出特色”。

《自动控制原理与系统》课程是高职高专电子信息类专业的主要课程,其教学内容既包含作为专业基础的自动控制原理部分,也涵盖实践性很强的自动控制系统部分,同时还受到教学时数的限制。为此,本教材在内容选取和编写思路上力图体现高职高专培养工业、工程生产第一线高等工程技术应用型人才的要求,力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、简明易学,力求达到紧密联系实际、学用一致的目的。

本教材的特点主要体现在下述两个方面:一是体系组织方面,在原有同类教材基础上进行了较大调整和扩充。全书可分为控制理论和控制系统两大部分,对控制理论进行了删削重组,把时域法和频率特性统一整合成三性分析;同时对控制系统进行了类别增补,特别是增加了过程控制系统,既改变了以往系统类别过于单调的局面,也有效地扩大了教材应用面。二是内容取舍方面,主要介绍经典控制理论和常用控制系统,并且做到删繁就简,去旧推新,加强了对基本理论和应用的阐述,减少了公式和结论的理论推导过程,去掉了应用较少的根轨迹法,增添了应用日益普遍的、基于MATLAB的计算机辅助系统分析和优化设计的内容。既为教师进行CAI教学提供了条件,又使学生有机会掌握一种系统分析与设计的现代工具。

本书由戴雅丽(武汉船舶职业技术学院)任主编,由周民(武汉船舶职业技术学院)、吴峰(武汉船舶职业技术学院)任副主编,吕金华(武汉船舶职业技术学院)主审。全书由主编统稿,后又根据主审的意见进行了必要修改和定稿。其中,第1、6、8章由戴雅丽编写,第2~4章由吴峰编写,第5、7章由周民编写。此外,王文义、祝福、闵大勇也为本书的顺利编写提供了不少帮助。在此向关心和支持本书编写工作的所有人士一并表示衷心的感谢!

本书的参考学时为60~80学时,适用于高职高专电子信息类各专业的教学需要,也可供相关工程技术人员参考。建议控制原理部分全讲,控制系统部分可以根据学校性质和行业需要选讲。如电类行业可以侧重讲授计算机控制系统、过程控制系统及相关内容,以求更具针对性。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 控制的意义.....	1
1.2 自动控制与自动控制系统.....	2
1.2.1 自动控制系统的基本原理和基本概念	2
1.2.2 自动控制的基本方式	4
1.2.3 闭环控制系统的基本组成	6
1.2.4 自动控制系统的基本类型	7
1.2.5 对控制系统的基本要求	8
1.3 计算机辅助工具 MATLAB 软件及其应用简介.....	9
1.3.1 MATLAB 的命令窗口	10
1.3.2 MATLAB 中的命令函数和 M 文件.....	10
1.3.3 MATLAB 中的变量和语句	11
1.3.4 MATLAB 中的运算符	11
1.3.5 用 MATLAB 绘制响应曲线	13
1.3.6 Simulink 简介.....	15
本章小结.....	17
习题 1.....	18
第 2 章 控制系统的数学模型.....	20
2.1 拉普拉斯变换及其应用.....	20
2.1.1 拉普拉斯变换的定义	20
2.1.2 拉氏变换的性质	21
2.1.3 用拉普拉斯变换分析 R 、 L 、 C 串联电路.....	23
2.1.4 拉氏反变换	24
2.2 系统的微分方程.....	24
2.2.1 电气系统	25
2.2.2 机械系统	26
2.3 传递函数.....	27
2.3.1 传递函数的定义	27
2.3.2 传递函数的性质	28
2.4 结构图及其等效变换.....	29
2.4.1 结构图的基本概念	29
2.4.2 结构图的连接方式	29
2.4.3 结构图的等效变换	33

2.5 信号流程图及梅逊公式应用	35
2.5.1 信号流程图	35
2.5.2 梅逊公式	37
2.6 控制系统的频率特性	40
2.6.1 基本概念	40
2.6.2 频率特性的图示方法	41
2.6.3 基本环节的频率特性	46
2.7 典型环节的数学模型和典型系统的传递函数	53
2.8 数学模型的 MATLAB 表示与变换	58
2.8.1 MATLAB 的基本概念	58
2.8.2 数学模型的 MATLAB 表示与变换	59
本章小结	61
习题 2	62
第 3 章 控制系统的性能分析	66
3.1 概述	66
3.1.1 一阶系统的动态性能分析	66
3.1.2 二阶系统的动态性能分析	67
3.2 稳定性能的分析	72
3.2.1 系统稳定的充分与必要条件	72
3.2.2 劳斯稳定判据	73
3.2.3 结构不稳定系统的改进措施	76
3.3 动态性能的分析	78
3.4 稳态误差的分析计算	80
3.4.1 给定信号作用下的稳态误差及误差系数	81
3.4.2 扰动信号作用下的稳态误差	84
3.4.3 改善系统稳态精度的方法	86
3.5 稳态性能的频域分析	87
3.5.1 开环频率特性和闭环特征式的关系	87
3.5.2 相角变化量和系统稳定性的关系	88
3.5.3 奈奎斯特稳定判据	90
3.5.4 $G(s)H(s)$ 中含有积分环节时的奈氏判据	91
3.5.5 对数频率稳定判据	93
3.5.6 系统的相对稳定性及稳定裕量	96
本章小结	99
习题 3	99
第 4 章 控制系统的综合校正	104

4.1 系统校正概述.....	104
4.2 串联校正.....	105
4.2.1 超前校正装置.....	105
4.2.2 滞后校正.....	108
4.3 反馈校正.....	110
4.3.1 反馈校正系统的基本概念.....	110
4.3.2 反馈校正系统的功能.....	111
4.4 复合校正.....	113
4.4.1 按干扰补偿的顺馈控制.....	113
4.4.2 按输入补偿的顺馈控制.....	114
4.5 调节器.....	116
4.5.1 P(比例)调节器.....	116
4.5.2 PD(比例—微分)调节器.....	117
4.5.3 PI(比例—积分)调节器.....	117
4.5.4 PID(比例—积分—微分)调节器.....	120
4.6 控制系统的一般设计方法.....	121
4.6.1 线性化处理.....	121
4.6.2 大惯性环节的近似处理.....	122
4.6.3 小惯性环节的近似处理.....	122
4.6.4 小惯性群的近似处理.....	122
4.6.5 高阶系统的降阶处理.....	123
本章小结.....	123
习题 4.....	124
第 5 章 线性离散系统的分析与综合.....	126
5.1 离散系统概述.....	126
5.2 采样与保持.....	128
5.2.1 采样器和采样函数.....	128
5.2.2 采样定理——采样频率的选择.....	129
5.2.3 采样信号的整量化.....	130
5.2.4 保持器——采样信号的复现.....	130
5.3 z 变换.....	131
5.3.1 z 变换的定义式.....	131
5.3.2 z 变换的主要运算定理.....	134
5.3.3 z 反变换.....	138
5.4 差分方程与脉冲传递函数.....	139
5.4.1 差分方程.....	139

5.4.2 脉冲传递函数	141
5.5 离散系统框图分析与闭环脉冲传递函数的求取	145
5.5.1 开环离散系统的脉冲传递函数	146
5.5.2 离散系统闭环脉冲传递函数	147
5.6 离散系统的性能分析	150
5.6.1 离散系统的稳定性分析	150
5.6.2 离散系统的稳态性能分析	153
5.6.3 离散系统的动态性能分析	155
本章小结	157
习题 5	158
第 6 章 控制系统实例	159
6.1 关于模型化问题	159
6.1.1 模型的建立方法	160
6.1.2 表示电动机模型的方框图	160
6.1.3 可控硅整流器的模型化	161
6.2 电流控制的基本知识	162
6.2.1 绘制电流控制系统的伯德图	163
6.2.2 积分增益与电枢的拐点频率相等时的响应	164
6.2.3 积分增益与电枢的拐点频率相等时系统对干扰的响应	164
6.2.4 利用伯德图设计干扰响应的方法	165
6.2.5 改变积分增益时的响应	166
6.3 速度控制系统的设计	167
6.3.1 速度控制系统的构成	167
6.3.2 求电流控制系统闭环传递函数的方法	168
6.3.3 画速度控制系统伯德图的方法	168
6.3.4 控制增益与响应之间的关系	169
6.3.5 系统对干扰的响应	170
6.3.6 过调量的抑制方法	171
6.4 位置控制系统的设计方法	172
6.4.1 位置控制系统的构成	173
6.4.2 画位置控制系统增益曲线的方法	174
6.4.3 比例增益与响应之间的关系	174
6.4.3 轨迹控制中的跟踪性研究	175
6.4.5 在位置控制中限制目标值变化的方法	176
本章小结	177
习题 6	177

第7章 过程控制系统	179
7.1 过程控制系统概述.....	179
7.1.1 过程控制的概念	179
7.1.2 过程控制系统的组成与分类	179
7.1.3 过程控制系统的特点	180
7.1.4 过程控制系统的性能指标	180
7.2 过程参数的检测与变送.....	181
7.2.1 测量误差	181
7.2.2 检测仪表的结构	182
7.2.3 温度检测与变送	182
7.2.4 其他参量的检测与变送	185
7.3 过程控制仪表.....	187
7.3.1 DDZ-III型调节器.....	187
7.3.2 可编程调节器	188
7.3.3 执行器	190
7.4 单回路过程控制系统.....	192
7.4.1 单回路过程控制系统的原理结构	192
7.4.2 单回路过程控制系统的特性分析	193
7.4.3 单回路过程控制系统的选型分析	194
7.5 串级过程控制系统.....	195
7.5.1 串级控制系统的结构与模型	196
7.5.2 串级过程控制系统的特点与应用	197
7.5.3 串级过程控制系统的设计与调整	199
7.6 过程控制系统的其他形式.....	200
本章小结.....	204
习题7.....	205
第8章 计算机自动控制	206
8.1 数字控制的基本知识.....	206
8.1.1 模拟控制与数字控制	206
8.1.2 计算机的基本构成	207
8.1.3 数字控制中的信号	208
8.1.4 PID 控制的操作量运算.....	209
8.1.5 采样周期的设定	212
8.2 用微型计算机实现的控制系统.....	213
8.2.1 电动机的微型计算机控制特征	213
8.2.2 由微型计算机构成的电动机控制系统	214

8.2.3 由微型计算机实现传递函数	215
8.2.4 利用定点运算的控制信号处理	216
8.3 计算机控制系统的构成	217
8.3.1 控制系统构成的机器特性	218
8.3.2 计算机控制系统的构成	219
8.4 计算机控制的实例	222
8.4.1 钢板厚度的控制	222
8.4.2 板厚控制系统和功能分配	223
本章小结	227
习题 8	227
附录 A 常用文字符号	228
附录 B 拉扑拉斯变换的性质和拉扑拉斯变换表	236
附录 C MATLAB 指令	238
参考文献	240

第1章 绪 论

本章简要介绍自动控制原理的基本概念及其应用；重点介绍自动控制的基本原理、基本概念、基本工作方式、反馈控制系统的基本组成、基本类型以及对控制系统的基本要求，MATLAB 软件及其应用的基本知识。

1.1 控制的意义

在工业界中，控制具有特别重要的意义。所谓自动控制就是在无人直接参与的情况下，通过控制器使被控对象或过程自动地按照预定要求运行。在钢铁轧制生产线中，需要把鼓风炉或高炉中加热的铁，迅速而精确地轧制成具有规定厚度的板材。在整个过程中需对炉中铁的温度进行控制，为了冶炼成钢，需对加进生铁中的成分进行控制；此外，在轧制过程中，还需对铁板的厚度和张力等进行控制。如能始终保持上述控制，则可以节省能量，并且能够生产出厚度一致的高精度铁板。另外，如果对汽车的发动机进行控制，则可以减少燃料消耗，降低公害、为环境保护作出贡献。由此可见，控制在诸如降低燃料消耗、减小公害、保护环境等人们难以看到的地方，也都起到良好的作用。因此，当今脱离开控制谈论产业已经是不可能的事情了。

《自动控制原理》是自动控制技术的基础理论，是一门理论性较强的工程科学。根据自动控制技术的发展阶段，自动控制理论目前一般可分为“经典控制理论”和“现代控制理论”两大部分。

经典控制理论以传递函数为基础，研究单输入-单输出一类定常控制系统的分析与设计问题。这些理论由于发展较早，现已臻成熟，在工程上也比较成功地解决了如何使系统与恒值系统自动控制的实践问题。

现代控制理论是 20 世纪 60 年代在经典控制理论基础上随着科学技术发展和工程实践需要而迅速发展起来的。它以状态空间法为基础，研究多输入—多输出、时变、非线性、高精度、高效能等控制系统的分析与设计问题。其中最优控制、最佳滤波、系统辨识、自适应控制、智能控制等理论都是这一领域研究的主要课题。智能控制理论是在计算机技术和人工智能理论取得重大进展的 20 世纪后期发展起来的新型控制理论。它是试图模仿具有高度自组织、自适应、自调节能力的人类生命活动的机理，研究具有仿人智能的工程控制和信息处理问题，以使具有高度复杂性、高度不确定性的系统达到更高的要求。目前，现代控制理论正随着现代科学技术的发展而日新月异地向前发展。

回顾控制论的发展历程，最早可追溯到 18 世纪英国的第一次技术革命。其间，许多科学家为此做出了非常杰出的贡献。其中，控制论创始人维纳（N. Wiener）在火炮自动控制的研究中发现了极为重要的反馈概念，于 1948 年发表了著名的“控制论——关于在动物和机器中控制和通讯的科学”一文，不仅奠定了控制论这门学科的基础，而且确立了

信息、反馈与控制作为控制论的中心思想。1954年,我国学者钱学森运用控制论的思想和方法,首创了“工程控制论”,把控制论推广到了诸如生物控制、经济控制和社会控制等其他领域,从而大大拓展了控制论的应用范围,对促进科技发展和社会进步产生了深远的影响。

自动控制理论的不断进展,反映了人类社会由机械化步入电气化,继而走向自动化、信息化和智能化的时代特征。同时可以看出,经典控制理论仍然是基础,相当多的各种工程问题还要用它来解决,因此,学习经典控制理论还是非常重要的。

学习自动控制原理与系统课程,主要解决两个问题:一是如何分析某个给定控制系统的工作原理和控制性能;二是如何根据实际需要来进行各种实际控制系统的设计,并用机、电、液、光等设备来实现这一系统。解决这两类问题都必须具有一定的控制理论知识,同时能以系统的而不是孤立的、动态的而不是静态的观点和方法来处理问题,才能达到预期的目的。

1.2 自动控制与自动控制系统

自动控制作为重要的技术手段,主要用于解决各类性质的工程问题,承担维持系统正常运行的技术任务。实际上,在各种生产过程和生产设备中,常常需要使其中的某些物理量或者保持恒定,或者按照某种规律变化,这就是系统的运行要求。而要满足这些要求,就必须对其进行相应的调整与控制,以抵消外界的干扰和影响,最终实现控制目标。

1.2.1 自动控制系统的基本原理和基本概念

首先以恒温系统为例,对其实现温度自动控制的基本原理加以研究,并从中引出自动控制和自控制系统的基本概念。

实现恒温控制有两种方法:人工控制和自动控制。图 1-1 所示为人工控制的恒温箱。箱内的加热元件为电阻丝,箱内温度则由温度计来测量显示。人们可以通过调压器改变供给电阻丝的电压,进而改变流过电阻丝的电流和电阻丝产生的热量,就可达到控制箱内温度的目的。

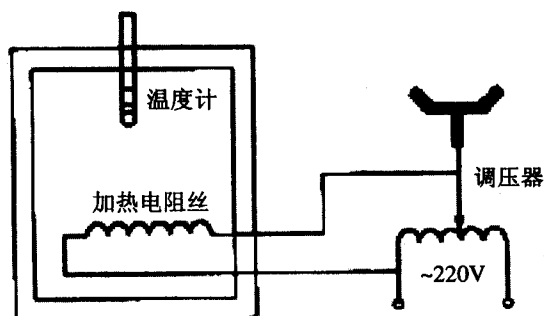


图 1-1 人工控制的恒温箱

这种人工调节过程可归纳如下：

- (1) 观测由测量元件（温度计）测出的恒温箱的实际温度（也称被控量）。
- (2) 与要求的温度值（也称给定值）进行比较，得出温度偏差的大小和方向。
- (3) 根据偏差的大小和方向再进行控制：当恒温箱的实际温度高于给定温度时，就调节调压器动触头使电流减小，温度降低；若实际温度低于给定温度，则调节调压器动触头使电流增大，温度升高。

由此可见，上述人工控制的过程就是测量、求偏差、再实施控制以纠正偏差的过程，也就是检测偏差用以纠正偏差的过程。

对于上述人工控制的恒温箱，如果能找到一个控制装置（也称控制器）来代替人的职能，它就可以变成一个自动控制系统了。图 1-2 所示就是恒温箱自动控制系统。在这里，测温元件换成了能够输出电压信号的热电偶，调节调压器动触头的任务则交给了执行电动机，恒温箱的温度也改由给定信号电压 u_1 来加以控制。当外界因素引起箱内温度变化时，热电偶就会将箱内实际温度转换为对应的电压信号 u_2 并反馈回去与给定信号 u_1 相比较，所得结果即为温度偏差信号 $\Delta u = u_1 - u_2$ 。此偏差经过电压、功率放大后，用以改变电动机的转速和方向，并通过传动装置拖动调压器动触头。当温度偏高时，动触头向着减小电流的方向运动；反之则加大电流，直到温度达到给定值为止，即只有在偏差信号 $\Delta u = 0$ 时，电动机才停转。这样就完成了所要求的控制任务。这种无需人工直接干预，利用外加控制装置操纵被控对象，使被控量按照预定规律运行变化的过程，就称之为自动控制。

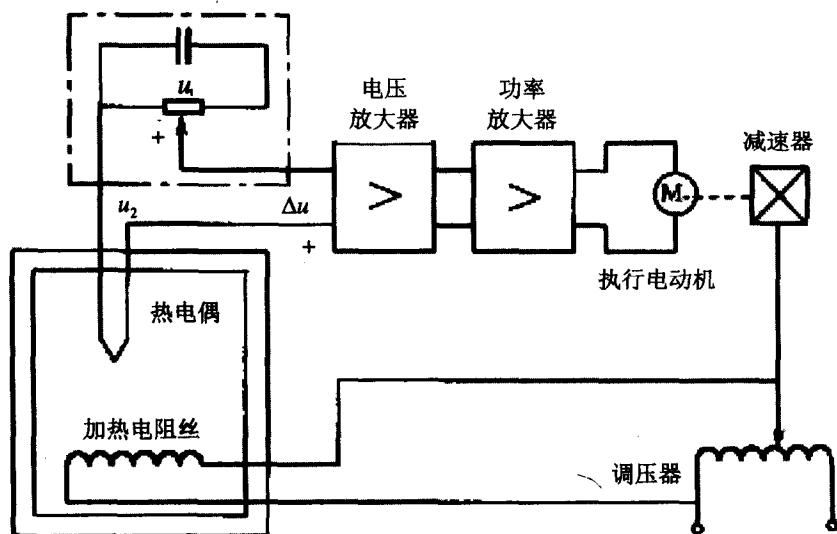


图 1-2 恒温箱的自动控制系统

分析表明，上述人工控制系统和自动控制系统是极为相似的。执行机构类似于人手，测量装置相当于人的眼睛，控制器取代了人脑。另外，它们还有一个共同的特点，就是都

要检测偏差，并用检测到的偏差去纠正偏差，可见没有偏差便没有调节过程。在自动控制系统中，这种偏差是通过反馈建立起来的。一般给定量也叫控制系统的输入量，被控量称为系统的输出量。反馈就是通过适当的测量装置将输出量的全部或部分返回输入端，使之与输入量进行比较，以求出偏差。这种基于反馈基础上的“检测偏差用以纠正偏差”的控制原理就称为反馈控制原理。利用反馈控制原理组成的控制系统称为反馈控制系统。实现自动控制的装置可能各不相同，但反馈控制原理却是相同的。因此可以说，反馈控制是实现自动控制最基本的方法。

通过上例，可以明确下列基本概念。

被控对象（或受控对象）：指被控制的机器设备或生产过程，如恒温箱等。

被控量：指表征被控对象工况的、需要加以控制的物理量，通常作为系统的输出量，如恒温箱的实际温度。

给定值：指要求被控量达到的希望值，通常作为系统的输入量，如恒温箱的期望温度。

控制装置：指能够通过对被控对象实施操纵、从而完成控制任务的外部装置。

控制系统：指有机结合在一起的被控对象和控制装置构成的总体。

1.2.2 自动控制的基本方式

自动控制有两种基本的控制方式：开环控制和闭环控制。与这两种控制方式对应的系统分别称之为开环控制系统和闭环控制系统。

1. 开环控制系统

开环控制系统是指系统的输出端与输入端不存在反馈关系、系统的输出量对控制作用不发生影响的系统。这种系统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，控制装置与被控对象之间只有顺向作用，没有逆向联系。

图 1-3 所示就是一个开环控制的电动机调速系统。图中，电压信号 U_r 作为控制电动机转速的给定量，电动机的实际转速 n 就是被控量。当给定电压改变时，电动机转速也跟着改变。但由于没有测量反馈，电动机的实际转速等于多少、是否满足要求都不得而知，因此也就不具备自动稳速功能。当负载力矩改变时，转速也会跟着改变。

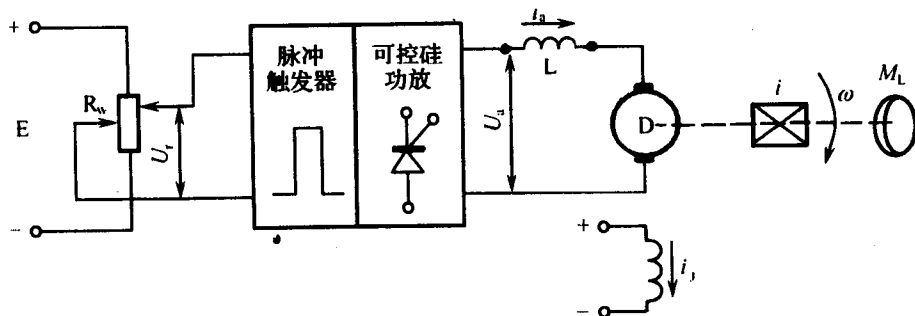


图 1-3 电动机的开环控制

开环控制系统的特点是：系统结构和控制过程简单（见图 1-4），成本低廉，稳定性好，但抗干扰能力差，没有自动调节能力。一般仅用于控制性能要求不高、系统输入-输出关系明确、干扰较小且相对确定的场合。

M_L —负载力矩； ω —负载角速度； i_a —电动机电枢电流； U_a —电动机电枢电压； i_f —电动机激磁电流； U_r —电位器给定电压； i —减速器速比； L —平波电抗器。

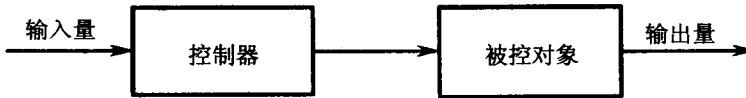


图 1-4 开环控制系统框图

2. 闭环控制系统

闭环控制系统就是反馈控制系统。这种系统的控制装置与被控对象之间不仅有顺向作用，而且输出端与输入端之间存在反馈联系，因此输出量的大小对控制作用有着直接影响。

图 1-5 所示就是一个闭环自动控制的电动机调速系统。它是在开环控制的基础上，通过增加测速反馈环节而形成的。这样一来，负载转矩变化对转速的不良影响就会大大降低。可以看出，图 1-5 所示为无人参与下自动控制电动机的转速，并保持其恒定的自动控制系统原理图。其中 CF 为测速发电机，其输出电压正比于负载转速 n 或角速度 ω ，即 $U_{CF} = K_C \cdot \omega$ ，其中 K_C 为常数。测速发电机在这里完成了转速测量并将转速变换为相应电压的任务。像测速发电机这类元件，称为测量元件。电压 U_r 为给定的基准电压，其值与电动机转速的期望值相对应。因此，把测速发电机输出电压 U_{CF} 反馈到系统输入端并与给定电压 U_r 进行比较可代替人观察负载转速并判断其是否与期望转速相等的过程。在这里，控制电压 U_r 是系统的控制量，而测速发电机输出电压 U_{CF} 则是与被控制量——负载转速 n 或 ω 成比例的反馈量。反馈量 U_{CF} 与控制量 U_r 比较后得到的电压差 $\Delta U = U_r - U_{CF}$ 称偏差。如果偏差不为零， $\Delta U \neq 0$ ，则意味着电动机转速在扰动作用下偏离其期望值。

在图 1-5 中， K_1 代表前置放大器。它的作用在于放大偏差，从而去控制伺服电机 SD。这是因为在一般情况下偏差较小，需放大后才能驱动伺服电机 SD。由于伺服电机转动而产生的角位移，经减速器 i_2 移动电位器 R_w 的滑臂，从而改变电压 U_p 的量值，进而控制可控硅功率放大器的输出电压 U_a 的大小和极性，使电动机 D 的转速得到控制。上述过程一直进行到消除偏差 ΔU ，即电动机转速再度恢复到其期望值为止。上述电动机转速的控制过程是在无人参与下自动进行的。一般定义毋需人直接参与，而使被控制量自动地按预定规律变化的控制过程为自动控制。