

高等院校
「公选」课程
教材

自动控制技术 与工程应用

张洪润 金伟萍 关怀 编著

面向实践、兼顾基础
从工程应用的角度体现
机电一体化的综合性教材



清华大学出版社

TP273/708

2013

内容简介

本书共分两卷，上册为《自动控制原理》，下册为《自动控制工程应用》。上册主要介绍自动控制系统的组成、性能指标、稳定性、频率特性、校正方法、非线性系统的分析和综合方法、计算机控制系统的组成、原理、应用等。下册主要介绍自动控制系统的工程应用，包括生产过程控制、运动控制系统、机器人控制、智能控制等。本书可作为高等院校自动化专业及相关专业的教材，也可供从事自动控制工作的工程技术人员参考。

自动控制技术 与工程应用

张洪润 金伟萍 关怀 编著

责任编辑：张洪润
封面设计：张洪润
版式设计：张洪润
文字编辑：张洪润



北方工业大学图书馆



C00340615

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据现代高等院校通识（公选）课程及实用自动控制技术教学大纲的要求而编写。是一本体现机电一体化综合性的技术教程。其特点在于实用，并兼顾必要的基础。读者用本书所介绍的原理和方法，可帮助解决现代生产和科技中的许多实际问题。

全书较详细地介绍各种传感器的结构原理、优缺点与使用技巧，各种参数（力、热、声、光、电）的检测，自动控制系统的基本类型、PID 调节器最佳校正方法及有关参数计算，51 单片机及应用，计算机及各类仪器仪表、工业设备间的接口技术，显示（数字式、屏幕式）、记录（描笔式、光线式）、开关（半导体可控硅式、继电器接触器式）和电机等执行机构的选择及使用，科研课题（工程项目）调研、立项、安装、调试、考核、验收等内容。书中还配有相应的例题、习题和习题参考答案。

本书可作为高等院校通识（公选）课程教材，也可作为科学研究人员、工程技术人员、维护修理人员以及大专院校师生及爱好者的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售
版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目（CIP）数据

自动控制技术与工程应用 / 张洪润，金伟萍，关怀编著. — 北京：清华大学出版社，2013
ISBN 978-7-302-33381-4

I. ①自… II. ①张… ②金… ③关… III. ①自动控制 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 180860 号

责任编辑：夏非彼
封面设计：王 翔
责任校对：闫秀华
责任印制：何 芊

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：北京国马印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：190mm×260mm

印 张：19.5

字 数：500 千字

版 次：2013 年 10 月第 1 版

印 次：2013 年 10 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：39.00 元

产品编号：048850-01

清华大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

前言

在科学技术飞速发展的今天，自动控制技术所起的作用越来越重要，无论是在宇宙飞船、导弹制导、雷达定位等尖端技术领域，还是在机械制造工业、石油、化工、交通运输、医疗、服务和家庭等方面，都有自动控制技术的应用。并且，它所取得的成就是巨大的，自动控制技术已成为现代社会生活中不可缺少的重要组成部分。

所谓自动控制，就是指在无人直接参与的情况下，利用外加设备（称为控制器）操作被控对象（如机器、设备或生产过程）的某个状态或参数（称为被控量）使其按预先设定的规律自动运行的技术。如化工生产中合成氨反应塔内的温度与压力能够自动维持恒定不变，雷达跟踪和指挥仪所组成的防空系统能使火炮自动地瞄准目标，无人驾使飞机能按预定轨道自动飞行，人造地球卫星能够发射到预定轨道并能准确回收，家用电冰箱、空调能制冷恒温等都是应用自动控制技术的成果。生产自动化是经济发展必然的趋势，而多种多样的自动控制自然会涉及广泛的基础自然科学规律、新信息转换、检测和计算机技术。

通常，自动控制系统包括传感器、参数检测、控制理论基础、计算机控制、接口技术、执行机构等。然而，现在大学专业细分，导致单一的机械专业、计算机专业、电子信息专业、微电子专业、应用物理专业、力学化学专业、自动控制专业等人员，仅凭本专业难以完成机电一体的整机系统。也就是说，纯理论性探讨和单纯实际操作越来越不能得到人们的青睐，取而代之的是理论分析与实际应用紧密联系在一起的多学科、多专业的知识有机结合，只有这样，才能解决现代科研、生产中的许多实际问题。

那么，究竟有没有办法将多学科、多专业知识编辑成书，可用很少的时间系统地学习这些知识呢？对此，本书作者在 20 世纪 90 年代编辑出版了《实用自动控制》一书，该书深受广大科学研究人员、工程技术人员、维护修理人员以及高等院校师生的喜爱，并经多次印刷。该书作为四川大学本科生教材，从 86 级应用物理专业使用至今近 20 年，收到了很好的效果。

为了满足高等院校学生的选课要求，根据现代高等院校通识课程及实用自动控制技术课程教学大纲的要求，本书编辑人员组织了多年从事教学、科研、应用设计开发的有实践经验的专家、教授对《实用自动控制》一书进行了大量的删减修改，从实用角度出发，编写了这本现代高等院校“通识课”教材——《自动控制技术及工程应用》。

全书共 8 章，第 1 章概述高新技术的基本特征，自动控制技术及工程应用的特点；第 2 章介绍各类传感器的结构原理，优缺点及使用技巧；第 3 章介绍各种参数（包括力、热、声、光、电）的检测；第 4 章介绍自动控制系统的基本类型、典型环节、分析基础、最佳系统标准及校正方法、PID 调节器、调节器类型选择和参数计算；第 5 章介绍微型计算机（51 单片机）控制及使用技术；第 6 章介绍接口技术；第 7 章介绍执行机构；第 8 章介绍整机系统分析等内容。

每章后配有与内容密切相关的练习题，书末附有习题参考答案。

本书可作为高等院校通识课程教材，也可以作为科学研究人员、工程技术人员、维护修理人员、大专院校师生及设计开发爱好者参考用书。

本书由张洪润、金伟萍、关怀编写，参加编写的人员还有张宇、张翎雁、张亚凡、金国新、陈德斌、万菲菲、傅谨新、尤伟康等。

本书在编写过程中，得到了四川大学、南京大学、清华大学、重庆大学、北京科技大学、复旦大学、四川师范大学、南开大学、西南交通大学、浙江大学、成都理工大学、电子科技大学等众多老师的支持，他们客观地提出了许多宝贵意见，特别是教育界的老前辈傅松如、吴国仪、李德宽、刘国衡、尤克伟、郑希特、朱竹林、金有仙、刘竟成教授以及张尔宜、张庆、张兰等老师的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平和经验，书中难免存在不足或错误之处，敬请读者不吝指正。

张洪润 谨识

2013年4月

目录

第 1 章 自动控制技术概述

| | |
|------------------|---|
| 1.1 引言 | 1 |
| 1.2 高新技术和新技术基本特征 | 1 |
| 1.3 实用自动控制特点及内容 | 4 |
| 1.3.1 特点 | 4 |
| 1.3.2 内容 | 4 |
| 1.4 习题 | 8 |

第 2 章 传感器的结构原理

| | |
|-------------------|----|
| 2.1 传感器概述 | 9 |
| 2.1.1 传感器概念 | 9 |
| 2.1.2 传感器的应用 | 9 |
| 2.2 电阻式传感器 | 10 |
| 2.2.1 原理 | 10 |
| 2.2.2 结构类型 | 11 |
| 2.3 电感式传感器 | 14 |
| 2.3.1 原理 | 15 |
| 2.3.2 电感式传感器的主要形式 | 15 |
| 2.4 电容式传感器 | 18 |
| 2.4.1 原理 | 18 |
| 2.4.2 结构类型 | 18 |
| 2.4.3 电容式传感器的优缺点 | 20 |
| 2.5 光电式传感器 | 20 |
| 2.5.1 光电元件 | 20 |
| 2.5.2 光电传感器的应用实例 | 24 |
| 2.6 光纤传感器 | 26 |

| | | |
|--------|---------------------|----|
| 2.6.1 | 工作原理 | 26 |
| 2.6.2 | 结构类型 | 28 |
| 2.7 | 霍尔传感器 | 31 |
| 2.7.1 | 原理 | 31 |
| 2.7.2 | 霍尔元件的基本结构 | 33 |
| 2.7.3 | 霍尔元件的使用方法 | 33 |
| 2.8 | 温度传感器 | 34 |
| 2.8.1 | 热电偶测温原理 | 36 |
| 2.8.2 | 热电偶结构 | 36 |
| 2.8.3 | 热电偶的使用 | 37 |
| 2.8.4 | 热电偶的补偿导线 | 38 |
| 2.8.5 | 热电偶使用注意事项 | 40 |
| 2.8.6 | 热电偶故障及其修复方法 | 41 |
| 2.8.7 | 热敏电阻温度传感器性能参数 | 41 |
| 2.8.8 | 集成温度传感器 | 42 |
| 2.9 | 气体传感器 | 43 |
| 2.9.1 | 半导体气体传感器结构 | 43 |
| 2.9.2 | 应用举例 | 44 |
| 2.10 | 磁性传感器 | 46 |
| 2.10.1 | 压磁式传感器 | 46 |
| 2.10.2 | 磁电式传感器 | 49 |
| 2.11 | 其他形式传感器 | 52 |
| 2.11.1 | 涡流传感器 | 53 |
| 2.11.2 | 压电式传感器 | 55 |
| 2.11.3 | 振弦式传感器 | 57 |
| 2.11.4 | 湿度传感器 | 58 |
| 2.11.5 | 等强度应变梁传感器 | 62 |
| 2.11.6 | 商业电子秤用传感器 | 65 |
| 2.12 | 传感器的现状及存在问题 | 67 |
| 2.13 | 习题 | 72 |

第3章 参数检测

| | | |
|-------|---------------|----|
| 3.1 | 力参数检测 | 73 |
| 3.1.1 | 扭转力矩检测 | 73 |
| 3.1.2 | 压(拉)力检测 | 83 |
| 3.1.3 | 张力检测 | 86 |
| 3.1.4 | 应力检测 | 88 |

| | | |
|-------|--------------|-----|
| 3.2 | 热参数检测 | 94 |
| 3.2.1 | 热敏电阻检测法 | 94 |
| 3.2.2 | 热电偶检测法 | 96 |
| 3.3 | 声参数检测 | 97 |
| 3.3.1 | 声强测定原理 | 98 |
| 3.3.2 | 测定方法 | 99 |
| 3.4 | 光参数检测 | 100 |
| 3.4.1 | 测定原理 | 100 |
| 3.4.2 | 检测方法 | 101 |
| 3.5 | 电参数检测 | 103 |
| 3.5.1 | 直流电流和直流电压的检测 | 103 |
| 3.5.2 | 直流电功率检测 | 106 |
| 3.5.3 | 交流电流和交流电压的检测 | 107 |
| 3.5.4 | 交流电功率检测 | 107 |
| 3.5.5 | 电参数测量注意事项 | 109 |
| 3.6 | 习题 | 110 |

第 4 章 自动控制理论基础

| | | |
|-------|------------------|-----|
| 4.1 | 系统动态过程分析基础 | 112 |
| 4.1.1 | 过渡过程及微分方程算子法 | 112 |
| 4.1.2 | 结构图及传递函数 | 117 |
| 4.1.3 | 电路的导纳阻抗及传递函数表示方法 | 122 |
| 4.2 | 常用控制系统的基本类型 | 126 |
| 4.2.1 | 单回路系统 | 126 |
| 4.2.2 | 多回路系统 | 126 |
| 4.2.3 | 串级系统 | 127 |
| 4.2.4 | 比值系统 | 128 |
| 4.2.5 | 复合系统 | 129 |
| 4.3 | 自动控制系统典型环节 | 130 |
| 4.3.1 | 惯性环节 | 130 |
| 4.3.2 | 比例环节 | 131 |
| 4.3.3 | 积分环节 | 132 |
| 4.3.4 | 滞后环节 | 134 |
| 4.3.5 | 振荡环节 | 135 |
| 4.3.6 | 微分环节 | 136 |
| 4.4 | PID 调节器 | 137 |
| 4.4.1 | 比例 (P) 调节器 | 139 |

| | | |
|-------|-----------------------|-----|
| 4.4.2 | 积分 (I) 调节器 | 140 |
| 4.4.3 | 微分 (D) 调节器 | 141 |
| 4.4.4 | 比例积分 (PI) 调节器 | 141 |
| 4.4.5 | 比例微分 (PD) 调节器 | 144 |
| 4.4.6 | 比例积分微分 (PID) 调节器 | 146 |
| 4.4.7 | 反馈网路带有电位计的调节器及惯性环节 | 151 |
| 4.5 | 最佳控制系统的标准及校正方法 | 157 |
| 4.5.1 | 评价系统的主要指标 | 157 |
| 4.5.2 | 二阶闭环调节系统的最佳标准 | 158 |
| 4.5.3 | 三阶闭环调节系统的最佳标准 | 159 |
| 4.5.4 | 二阶或三阶最佳标准应用举例 | 161 |
| 4.5.5 | 校正方法 | 171 |
| 4.6 | 控制系统常用参数 (公式) 图表及符号说明 | 173 |
| 4.6.1 | 调节器的二阶最佳与三阶最佳比较 | 173 |
| 4.6.2 | 电气传动常用调节对象的计算 | 174 |
| 4.6.3 | 常用电气网路的复数阻抗 | 178 |
| 4.6.4 | 常用电子调节器的线路及特性 | 180 |
| 4.6.5 | 符号说明 | 183 |
| 4.7 | 习题 | 184 |

第 5 章 计算机控制

| | | |
|-------|------------|-----|
| 5.1 | 结构特性 | 189 |
| 5.2 | 指令功能 | 193 |
| 5.2.1 | 指令符号的意义 | 193 |
| 5.2.2 | 指令及地址 | 194 |
| 5.3 | 应用举例 | 203 |
| 5.3.1 | 工业顺序控制 | 204 |
| 5.3.2 | 步进电机控制 | 207 |
| 5.3.3 | 警报音变控制 | 208 |
| 5.3.4 | 彩灯花样控制 | 209 |
| 5.3.5 | 用单片机控制测量系统 | 210 |
| 5.4 | 习题 | 212 |

第 6 章 接口技术

| | | |
|-----|--------|-----|
| 6.1 | 电平变换接口 | 213 |
|-----|--------|-----|

| | |
|----------------------------------|-----|
| 6.2 各类半导体器件间的接口 | 215 |
| 6.2.1 晶体管驱动 TTL 电路的接口 | 215 |
| 6.2.2 运算放大器与 CMOS 电路间的接口 | 216 |
| 6.2.3 CMOS 与 TTL 的接口 | 216 |
| 6.2.4 光敏器件同 TTL 匹配的接口 | 217 |
| 6.3 工业电气设备及大负载与低压半导体器件的接口 | 217 |
| 6.3.1 工业电气设备与低压半导体器件的接口 | 218 |
| 6.3.2 大负载与低压半导体的接口 | 218 |
| 6.4 阻抗匹配及负荷计算 | 220 |
| 6.4.1 阻抗匹配实例 | 220 |
| 6.4.2 负荷计算 | 223 |
| 6.5 D/A (数/模) 转换及接口 | 224 |
| 6.5.1 D/A (数/模) 转换原理 | 224 |
| 6.5.2 D/A (数/模) 转换器及接口 | 225 |
| 6.6 A/D (模/数) 转换及接口 | 226 |
| 6.6.1 双积分 A/D (模/数) 转换原理 | 226 |
| 6.6.2 双积分 A/D (模/数) 转换器及接口 | 227 |
| 6.7 微机键盘、显示及通讯接口 | 228 |
| 6.7.1 键盘接口 | 228 |
| 6.7.2 显示器接口 | 232 |
| 6.7.3 通讯接口 | 233 |
| 6.8 习题 | 235 |

第 7 章 执行机构

| | |
|------------------------|-----|
| 7.1 显示执行机构 | 236 |
| 7.1.1 数字式 | 236 |
| 7.1.2 屏幕式 | 240 |
| 7.2 记录执行机构 | 241 |
| 7.2.1 描笔式记录仪 | 241 |
| 7.2.2 自动平衡记录器 | 244 |
| 7.2.3 x-y 记录器 | 245 |
| 7.2.4 光线示波器 | 245 |
| 7.2.5 各种记录器的性能比较 | 247 |
| 7.3 电机执行机构 | 248 |
| 7.3.1 电机的结构及使用 | 248 |
| 7.3.2 电机的选择 | 251 |
| 7.3.3 电机容量计算 | 255 |

| | |
|------------------------|-----|
| 7.4 开关执行机构 | 257 |
| 7.4.1 接触器 | 257 |
| 7.4.2 继电器 | 260 |
| 7.4.3 半导体开关及机械开关 | 263 |
| 7.5 习题 | 266 |

第 8 章 整机系统分析

| | |
|----------------------|-----|
| 8.1 整机系统设计 | 267 |
| 8.1.1 整机系统设计方法 | 268 |
| 8.1.2 整机系统设计步骤 | 270 |
| 8.2 整机系统安装 | 270 |
| 8.2.1 老化筛选 | 270 |
| 8.2.2 结构布局 | 271 |
| 8.2.3 部件安装 | 271 |
| 8.2.4 整机连接 | 274 |
| 8.3 整机系统调试和测量 | 276 |
| 8.3.1 调试过程中的测量 | 277 |
| 8.3.2 整机系统的调试 | 283 |
| 8.4 整机系统考核 | 290 |
| 8.5 习题 | 291 |

| | |
|-------------------|-----|
| 附录 A 习题参考答案 | 293 |
|-------------------|-----|

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 附录 B 几种 MCS-51 单片机与其他器件的连接线路图 | 296 |
|-------------------------------------|-----|

| | |
|------------|-----|
| 参考文献 | 301 |
|------------|-----|

第1章

自动控制技术概述

1.1 引言

自动控制技术是指在无人直接参与的情况下，利用外加设备（控制器）操作被控对象（如机器、设备或生产过程）的某个状态或参数（被控量）使其按预先设定的规律自动运行的技术。如化工生产中合成氨反应塔内的温度与压力能够自动维持恒定不变，雷达跟踪和指挥仪所组成的防空系统能使火炮自动地瞄准目标，无人驾驶飞机能按预定轨道自动飞行，人造地球卫星能够发射到预定轨道并能准确回收等等，都是应用自动控制技术的结果。其自动控制理论是以反馈理论为基础的自动调节原理的基础上发展起来的，它随着工业生产和科学技术的进步，现已成为一门独立的学科——控制论。

在科学技术飞速发展的今天，自动控制技术所起的作用越来越重要，无论是在宇宙飞船、导弹制导、雷达定位等尖端技术领域，还是在机械制造工业、石油、化工、医药工业等的过程控制中，都有自动控制技术的应用。因此，自动控制技术已成为现代社会生活中不可缺少的重要组成部分。

自动控制技术理论与实践的不断发展，为人们提供最佳系统设计的方法，大大地提高了生产率，同时，促进了科学技术的进步。因此，学习自动控制技术有着重要的意义。

1.2 高新技术和新技术基本特征

人类改造客观世界的技术发展史表明：技术发展总是遵循从低级到高级、从简单到复杂、从量的渐进到质的飞跃的过程。高新技术和新技术就是人们称呼技术范式转换过程到了现在由社

会认定表明其水平（或质量）的两个概念。由于它们都是具有时间和空间两方面的相对性且仍发展着的概念，所以全世界范围内尚无一致公认的统一定义。本书为了使用上的方便，特作如下的表述和图象示意：

高技术——是指基本原理建立在科学进步（大分化、大渗透、大融合）基础之上的技术群，知识高度密集是其本质属性，高效低耗是其突出表征。当前世界上公认的高技术领域包括信息技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、航空航天技术、海洋开发技术、通信技术、微电子技术、激光与红外技术等。这些各具特点而又相互关联的高技术领域中的前三项更具有基础与关键作用。我国制定并实施的“863 计划”，就是以发展高技术研究和高技术产业为内容的。

新技术——现在处于探索研究状态，具有先进性的技术，我国现时正在大力实施的“星火计划”中的项目，多属新技术范畴。

高技术与新技术，是具有不完全相同内涵和外延的两个概念。例如，气功防治疾病在医疗领域里堪称一项高技术，但不是我国的新技术；而集装箱运输技术已是全世界公认的一项新技术，却又够不上是高技术。在高技术与新技术各自的领域里，也确实存在不少兼备二者属性的技术，我们便称为高新技术，按照集合概念来表述就是：高新技术——高技术集合与新技术集合的交集。前面列举的那些高技术领域，对我国来说也都属于高新技术的范畴。

高技术与新技术的特征，如图 1-1 和图 1-2 所示。

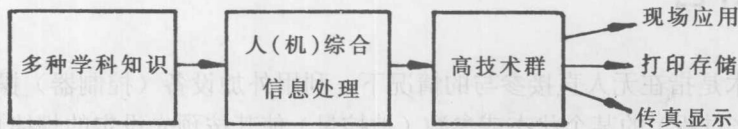


图 1-1 高技术特征示意图

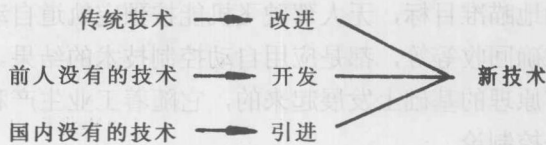


图 1-2 新技术特征示意图

下面举出一些高新技术的实例。读者第一次接触时，会感到既新奇而又深奥。这是自然的，是从必然王国进入自然王国的过程，也就是学习本书内容的过程。

【例 1】图 1-3 为导弹发射架位置自动控制系统示意图。该系统根据计算机给定的控制信号，可以非常精确地给定导弹发射架的角位置，电位计 R 的作用是提供一个反馈信号，以便和控制信号进行比较，R 滑臂的位置同发射架角的位置相对应，当发射的位置同控制信号给定位置不同时，便产生一个误差电压，该电压经放大后，加到驱动电机上，使电机转动而改变发射架的角位置（同时也改变 R 滑动端的位置），直至误差消除。

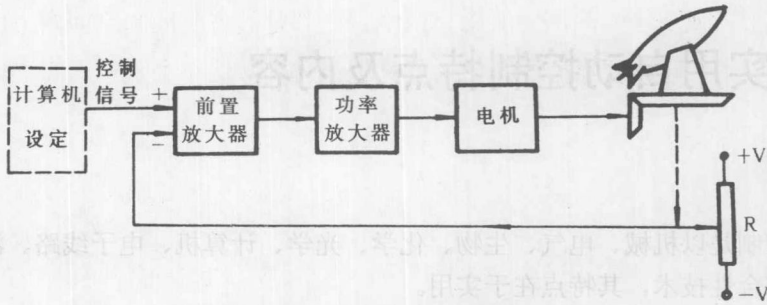


图 1-3 导弹发射架自动控制系统

【例 2】图 1-4 是形状检测的例子。反复出现的扫描光束照射到抛物面反射镜上形成带状扫描线，测出光线被物体遮断的时间，就可求出物体的直径。

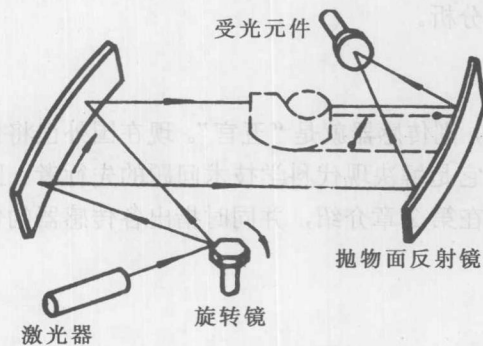


图 1-4 形状检测装置实例

【例 3】图 1-5 是一种计算机控制的数字随动系统，也就是通常所谓的采样数据控制系统。由于计算机只能接受和处理数字量，所以系统中必须有模数变换（用 A/D 表示）和数模变换（用 D/A 表示）以及接口装置。在这种系统中，指令、反馈、比较以及动态校正等功能都由计算机来完成。校正装置也是数字式的，实质上只是计算机中的一个程序，因此要改变控制规律是很方便的。此外，还可以利用计算机分时控制方法，实现由一台计算机控制多台随动系统的功能。

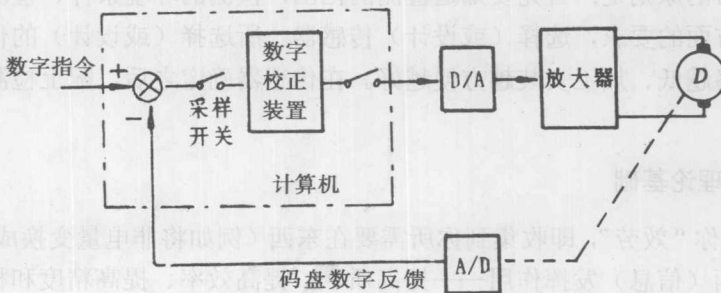


图 1-5 计算机控制数字随动系统

上述示例，都属于高技术、新技术的产物。在科学技术迅速发展的今天，诸如此类的例子举不胜举。也可以说，高技术的基本特征在当今的科学技术中处处可见。

1.3 实用自动控制特点及内容

1.3.1 特点

实用自动控制是以机械、电气、生物、化学、光学、计算机、电子线路、测量技术等原理为基础的一门综合性技术，其特点在于实用。

1.3.2 内容

本书介绍的内容有：传感器结构原理、参数检测、自动控制理论基础、计算机控制、接口技术、执行机构和整机系统分析。

1. 传感器结构原理

如果把计算机比作人脑，则传感器就是“五官”。现在国外已将传感器技术列为今后十年最值得注意的技术之一，因为它是解决现代科学技术问题的先行者。因此，各类型的传感器（如表 1-1 所示）的结构原理将在第 2 章介绍，并同时指出各传感器的优缺点、应用范围、发展动向和今后有待研究的问题。

2. 参数检测

如果说了解传感器的情况即相当于了解人类的“五官”的话，则参数检测就是利用“五官”——传感器为你“效劳”的方法，即解决实际问题的手段。

在第 3 章里，针对生产中的一些实际问题，分别对力参数（拉压力、扭矩力、张力、压力）、热参数、声参数、光参数、电参数、位移、转角、速度和加速度等的检测原理、检测方法、检测注意事项以及如何选择和使用传感器作了较详细地介绍。

例如：拉压力的检测，可使用的传感器有电位器式、电阻应变片式、半导体应变片式、电容式、电感式、压磁式、振弦式、石英晶体谐振式、光纤式、压电式等等，而这些传感器中，该如何选择？通常的原则是：首先要知道检测的范围，检测的环境条件、检测的精度要求，其次是根据这三个方面的要求，选择（或设计）传感器。所选择（或设计）的传感器只要能满足技术要求，其价格越低、加工安装越方便越好。在传感器确定之后，配上检测线路和仪表，即可进行参数检测。

3. 自动控制理论基础

当“五官”为你“效劳”，即收集到你所需要在东西（例如将非电量转换成电量信息）之后，如何利用这些东西（信息）发挥作用——提高质量、提高效率、提高精度和稳定性能以及降低成本等等，则是自动控制需解决的问题。

本书就常用的理论基础、控制系统、参数计算方法等在第 4 章里作介绍，并结合实际作了应用举例。

现代自动控制系统的内容很广，其中最基本的是开环（逻辑）控制系统和闭环（反馈）控

制系统。

【例4】图1-6(a)表示一个简单的液面控制系统。

我们希望通过阀门 U_c 的出口流量在一定范围内变化时, 能够使液面高度保持 h 值。显然, 只要操作人员一面观察液面高度, 一面手动调节通过阀门 U_k 的流量便可达到此目的。该系统不具有精确测量通过阀门 U_c 的出口流量和通过阀门 U_k 的入口流量以及液面高度 h 的能力, 它不是精确的系统。图1-6(b)表示存在于该系统中输入量(希望的液面高度)和输出量(实际的液面高度)简单的关系, 这种实际系统信号流动的表示法称为方框图, 箭头表示输入量进入系统和输出量离开系统方向, 这个系统没有任何反馈比较, 以开环系统这个术语表示。换句话说, 控制装置与被控对象之间只有顺向作用, 而没有反向联系的控制系统, 称为开环控制系统。

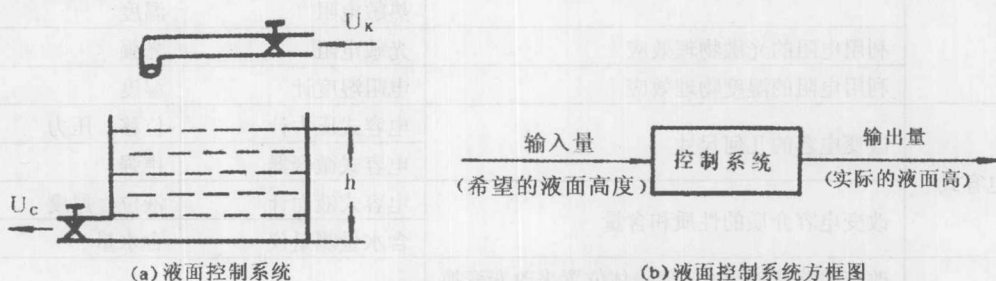


图1-6 液面控制系统

【例5】图1-7是与图1-6(a)对应的液面自动控制系统。即使通过阀门 V_c 的出口流量改变时, 该系统也能在非常精确的范围内保持液面高度 h , 如果液面高度不是希望值, 便产生一个误差电压 e 。该电压经放大后, 加到电机驱动装置上, 调节阀门 V_k 改变入口流量, 使液面高度恢复到 h 值, 误差电压 e 等于零。

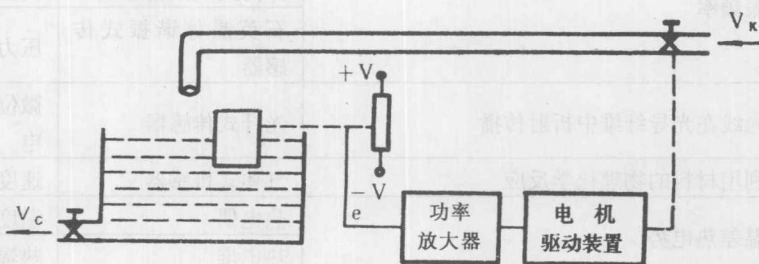


图1-7 液面自动控制系统

图1-8为该系统的方框图。由于存在着反馈比较, 该系统是一个闭环控制系统。也就是说, 控制装置与被控制对象之间既有顺向作用, 又有反向联系的控制系统, 称为闭环控制系统。

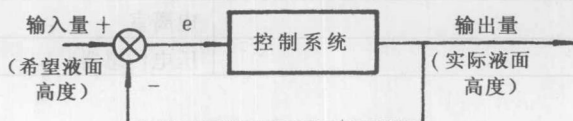


图1-8 闭环控制系统方框图

闭环控制系统和开环控制系统的根本区别是它具有反馈比较(反馈信号是输出信号或输出信号的函数), 误差测量元件得到和输入量与输出量之差成比例的信号, 利用这一误差, 使它作用于控制系统, 最后导致误差的消除。在闭环控制系统中, 将自动地消除误差, 通过适当的设

计，系统的工作可以不受其他扰动信号输入和系统元件本身特性变化的影响。利用这一原理，在现代生产中，常用来提高产品质量、提高工作效率、提高加工精度以及降低生产成本等。

表 1-1 各种类型的传感器

| 变换器分类 | 变换原理 | 变换器名称 | 典型应用 | |
|------------|--------------|------------------------|-------------|-----------|
| 电参数式变换器 | 电阻式 | 移动电位器触点改变电阻 | 电位器 | 位移、压力 |
| | | 改变电阻丝或片的几何尺寸 | 电阻丝应变片 | 位移、力 |
| | | | 半导体应变片 | 力矩、应变 |
| | | 利用电阻的温度物理效应（电阻温度系数） | 热丝计 | 气流流速、液体液量 |
| | | | 电阻温度计 | 温度、辐射热 |
| | | 热敏电阻 | 温度 | |
| | 利用电阻的光敏物理效应 | 光敏电阻 | 光强 | |
| | 利用电阻的湿度物理效应 | 电阻湿度计 | 湿度 | |
| | 电容式 | 改变电容的几何尺寸 | 电容式压力计 | 位移、压力 |
| | | | 电容式微音器 | 声强 |
| | | 改变电容介质的性质和含量 | 电容式液面计 | 液位、厚度 |
| | | | 含水量测量仪 | 含水量 |
| | 电感式 | 改变磁路几何尺寸、导磁体位置来改变变换器电感 | 电感变换器 | 位移、压力 |
| | | 利用压磁物理效应 | 压磁计 | 力、压力 |
| | | 改变互感 | 差动变压器 | 位移、压力 |
| | 频率式 | 利用改变电的或机械的固有参数来改变谐振频率 | 涡流传感器 | 位移、厚度 |
| | | | 振弦式压力传感器 | 压力 |
| | | | 振筒式气压传感器 | 气压 |
| 石英晶体谐振式传感器 | | | 压力 | |
| 光纤式 | 光线在光导纤维中折射传播 | 光纤式传感器 | 微位移、核辐射、力、电 | |
| 气体式 | 利用材料的物理化学反应 | 气体式传感器 | 速度 | |
| 电量变换器 | 电势 | 温差热电势 | 热电偶 | 温度、热流 |
| | | | 热电堆 | 热辐射 |
| | | 电磁感应 | 感应式变换器 | 气体浓度 |
| | | 霍尔效应 | 霍尔片 | 磁通、电流 |
| | 光电效应 | 光电池 | 光强 | |
| | 电荷 | 光致电子发射 | 光发射管 | 光强、放射性 |
| | | 辐射电离 | 电离室 | 离子计数、放射性 |
| 压电效应 | | 压电传感器 | 力、加速度 | |

4. 计算机控制

众所周知，计算机的发展十分迅速。1946年人类制造成功第一台计算机，其体积足有几间屋子那么大；发展到今天计算机的体积可以缩小到火柴盒那样大，运算速度也从万次数量级提高到亿次数数量级。由于电路集成度提高，60年代出现单板机，如Z-80型；70代（1976年）出