

# 目 录

## 序 前言

## 第 1 篇 总 论

第 1 章 机电一体化技术与现代制造产业.....1-3	2.2.1 微型计算机技术和开发应用 .....1-18
1.1 新技术革命与产业竞争.....1-3	2.2.2 微型计算机在机电一体化中的地位 .....1-22
1.2 传统机械工业的技术革命——机电一体化.....1-5	2.2.3 机电一体化中使用计算机应注意的问题 .....1-22
1.2.1 高新技术与传统机械工业的技术革命.....1-5	2.2.4 未来计算机的发展方向及对机电一体化技术的影响 .....1-22
1.2.2 机电一体化基本概念.....1-6	2.3 机械制造工程的机电一体化技术方向 .....1-23
1.2.3 机电一体化系统的基本结构要素.....1-6	2.3.1 机械产品的机电一体化技术方向 .....1-23
1.2.4 机电一体化相关技术.....1-7	2.3.2 机械制造生产过程的机电一体化方向 .....1-23
1.2.5 机电一体化的技术、经济和社会效益.....1-8	2.3.3 普通设备的机电一体化改造 .....1-24
1.3 机电一体化在现代制造产业结构中的地位和作用 .....1-10	2.4 提高制造产业竞争力的技术方法 .....1-24
1.3.1 机床产业数控化 .....1-10	2.5 科学研究与生产应用 .....1-25
1.3.2 机器人产业兴起 .....1-11	2.5.1 专门人材的培养 .....1-25
1.3.3 制造系统自动化 .....1-11	2.5.2 技术融合、学科交叉 .....1-26
1.4 发达国家发展机电一体化产业的政策和策略 .....1-13	2.5.3 科研与生产并举, 相辅相成 .....1-26
1.4.1 机电一体化与高技术发展战略 .....1-13	2.5.4 促进科研成果向产业的转移 .....1-26
1.4.2 资金支持与政策优惠 .....1-13	第 3 章 机电一体化系统设计和工程路线 .....1-28
1.4.3 市场开拓与保护的政策 .....1-14	3.1 现代系统设计的特征 .....1-28
1.4.4 紧密联合的科研生产体系 .....1-14	3.2 系统设计的评价 .....1-28
1.5 我国机电一体化产业现状和发展战略 .....1-15	3.3 评价分析方法 .....1-29
1.5.1 发展现状 .....1-15	3.3.1 技术经济性分析 .....1-29
1.5.2 发展战略 .....1-16	3.3.2 可靠性分析 .....1-30
第 2 章 机电一体化技术发展方向 .....1-18	3.3.3 柔性、功能扩展及再组合性分析 .....1-32
2.1 机电一体化系统的理论基础 .....1-18	3.3.4 系统匹配性分析 .....1-32
2.2 微型计算机技术及其在机电一体化中的地位 .....1-18	3.3.5 操作性分析 .....1-32
	3.3.6 维修性分析 .....1-32
	3.3.7 安全性分析 .....1-32

3.4 机电一体化产品设计与工程路线 .....1-32	3.4.6 系统设计中的质量控制 .....1-35
3.4.1 基本设计和工程路线 .....1-32	3.4.7 制造工程质量管理 .....1-36
3.4.2 市场调查与预测 .....1-34	3.5 机电一体化的系统工程观念和方
3.4.3 构思比较 .....1-34	法 .....1-36
3.4.4 方案的评价 .....1-35	参考文献 .....1-38
3.4.5 详细设计 .....1-35	

## 第 2 篇 机电一体化常用电路

第 1 章 模拟电路及其应用 .....2-3	2.3.2 计数器 .....2-93
1.1 常用半导体器件及其参数 .....2-3	2.3.3 寄存器 .....2-98
1.1.1 分立器件及其参数 .....2-3	2.3.4 定时电路 .....2-101
1.1.2 运算放大器及其参数 .....2-22	2.4 接口电路 .....2-104
1.1.3 其他模拟集成电路简介 .....2-29	2.4.1 电平转换电路 .....2-104
1.2 模拟信号处理电路 .....2-30	2.4.2 外围驱动电路 .....2-107
1.2.1 基本放大电路 .....2-30	2.4.3 线电路 .....2-110
1.2.2 模拟运算电路 .....2-34	2.4.4 模数转换器 (ADC) .....2-113
1.2.3 检波电路 .....2-37	2.4.5 数模转换器 (DAC) .....2-120
1.2.4 电压电流变换电路 .....2-39	2.5 可编程逻辑器件 (PLD) .....2-126
1.2.5 比较器 .....2-40	2.5.1 概述 .....2-126
1.2.6 模拟开关 .....2-42	2.5.2 PLD 的逻辑表示 .....2-127
1.2.7 采样保持电路 .....2-45	2.5.3 FPLA 的构成及特点 .....2-128
1.3 振荡电路 .....2-45	2.5.4 PAL 的结构及应用 .....2-129
1.3.1 正弦振荡器 .....2-45	2.5.5 GAL 的工作原理 .....2-139
1.3.2 多谐振荡器 .....2-48	2.5.6 GAL 的开发工具和编程写入 .....2-151
1.3.3 石英晶体振荡器 .....2-51	2.5.7 GAL 的编程原理 .....2-154
1.4 功率放大电路 .....2-53	2.5.8 GAL 的应用 .....2-155
1.4.1 功率放大器的特点 .....2-53	2.5.9 GAL 的特点及器件命名方
1.4.2 低频功率放大器 .....2-53	法 .....2-162
1.4.3 脉冲功率放大器 .....2-55	2.5.10 GAL 使用中应注意的问题 .....2-163
1.4.4 功率管的保护 .....2-57	第 3 章 电源 .....2-164
第 2 章 数字电路及其应用 .....2-61	3.1 直流稳压电源 .....2-164
2.1 数字电路概述 .....2-61	3.1.1 整流电路 .....2-164
2.1.1 数字集成电路的种类 .....2-61	3.1.2 滤波电路 .....2-164
2.1.2 TTL 集成电路 .....2-61	3.1.3 并联式直流稳压电源 .....2-168
2.1.3 CMOS 集成电路 .....2-62	3.1.4 串联式直流稳压电源 .....2-168
2.1.4 其他数字集成电路 .....2-69	3.1.5 集成稳压器 .....2-171
2.2 逻辑门和组合逻辑电路 .....2-70	3.2 开关稳压电源 .....2-174
2.2.1 基本逻辑门电路 .....2-70	3.2.1 开关电源和线性电源的主要
2.2.2 运算电路 .....2-76	性能比较 .....2-174
2.2.3 译码器与编码器 .....2-82	3.2.2 开关电源的基本结构 .....2-175
2.2.4 数据选择器和数据分配器 .....2-88	3.2.3 主要元器件的参数选择 .....2-177
2.3 触发器和时序逻辑电路 .....2-89	3.2.4 常用开关电源的集成控制器 .....2-180
2.3.1 触发器 .....2-89	3.3 UPS 电源 .....2-180

3.3.1 UPS电源的基本结构.....2-180	4.3 过渡干扰的抑制.....2-207
3.3.2 UPS电源的选择原则及使用 方法.....2-181	4.3.1 过渡干扰的成因.....2-207
3.3.3 常用UPS电源的性能比较.....2-182	4.3.2 过渡干扰的抑制措施.....2-203
3.4 特种电源.....2-183	4.4 感性负载干扰与机械振动干扰的 抑制措施.....2-205
3.4.1 线切割机用高压脉冲电源.....2-183	4.4.1 感性负载干扰及其抑制.....2-205
3.4.2 中频、高频电源.....2-183	4.4.2 机械振动干扰的抑制.....2-208
3.4.3 直流稳流电源.....2-185	4.5 隔离、屏蔽和接地技术.....2-209
<b>第4章 抗干扰技术.....2-188</b>	4.5.1 正确接地方法.....2-209
4.1 干扰的基本概念.....2-188	4.5.2 屏蔽.....2-212
4.1.1 干扰的基本含义.....2-188	4.5.3 输入、输出接口窜入干扰的 隔离和抑制.....2-214
4.1.2 干扰的分类.....2-188	4.5.4 线间串扰的抑制.....2-215
4.1.3 干扰的传播.....2-189	4.6 模拟量抗干扰的其他措施.....2-220
4.1.4 提高设备抗干扰能力的一般 原则.....2-189	4.6.1 抗串模干扰的方法.....2-220
4.2 电源干扰的抑制.....2-191	4.6.2 抗共模干扰的方法.....2-222
4.2.1 电源系统引入干扰的途径和 频率范围.....2-191	4.6.3 放大器的屏蔽接地和去耦.....2-224
4.2.2 电源交流侧抑制干扰窜入的 措施.....2-193	4.7 数字系统内部固有干扰及其抑制.....2-225
4.2.3 直流电源抗干扰措施.....2-199	4.7.1 数字系统内部固有干扰.....2-225
4.2.4 其他抗电源干扰措施.....2-200	4.7.2 数字系统内部固有干扰的 抑制措施.....2-225
	参考文献.....2-226

### 第3篇 工业控制机及其应用

<b>第1章 概述.....3-3</b>	2.2.4 母板的连接.....3-32
1.1 工业控制机的发展及其特点与分类.....3-3	2.2.5 电路模板的电气特性.....3-32
1.1.1 工业控制机的发展概况.....3-3	2.2.6 机械规范.....3-32
1.1.2 工业控制机的分类.....3-4	2.3 STD总线如何与各种字长的CPU 兼容.....3-33
1.1.3 工业控制机与信息处理机的 区别.....3-7	2.3.1 STD总线如何支持Z-80、 8085等8位微处理器.....3-33
1.2 工业控制计算机总线简介.....3-8	2.3.2 总线复用与16位CPU模板设计.....3-34
1.2.1 开放式体系结构和总线系统.....3-8	2.3.3 32位STD总线——STD 32总 线.....3-35
1.2.2 常用微机总线介绍.....3-10	2.3.4 单板机模式(即 All-in-one).....3-37
1.3 微型计算机标准总线分类.....3-24	2.3.5 STD总线与单片机.....3-38
<b>第2章 STD总线工业控制机.....3-26</b>	2.4 工业控制机中的存贮器.....3-39
2.1 概述.....3-26	2.4.1 工业控制对存贮器的要求.....3-40
2.1.1 STD总线的实现.....3-26	2.4.2 工业控制中常用的存贮器芯片.....3-40
2.1.2 STD总线的历史和发展.....3-26	2.4.3 STD总线系统的存贮器.....3-42
2.1.3 STD总线的应用.....3-27	2.4.4 半导体虚拟磁盘.....3-43
2.2 STD总线规范.....3-28	2.5 基本系统组成和系统组合模式.....3-45
2.2.1 STD总线引脚定义.....3-28	2.5.1 工业控制机的基本系统.....3-45
2.2.2 信号描述.....3-30	
2.2.3 电气规范.....3-31	

- 2.5.2 工业控制机系统组合模式 .....3-47
- 2.6 STD 总线的 I/O 子系统 .....3-49
- 2.6.1 概述 .....3-49
- 2.6.2 开关量输入/输出 .....3-50
- 2.6.3 A/D、D/A 及模拟信号调理 ...3-52
- 2.6.4 运动控制接口 .....3-57
- 2.6.5 GPIB 和 SBX 支持 .....3-59
- 2.7 STD 总线的多处理机系统 .....3-60
- 2.7.1 主从式多 CPU 系统——智能 I/O 模板 .....3-60
- 2.7.2 总线仲裁与多主 CPU 系统 .....3-64
- 2.8 分布式工业测控系统组成——串行数据通信和工业局域网 .....3-67
- 2.9 Watchdog、电源掉电检测及软件可靠性措施 .....3-74
- 2.9.1 Watchdog 及其应用 .....3-74
- 2.9.2 电源掉电检测及其应用 .....3-76
- 2.9.3 提高可靠性的某些软件措施 .....3-77
- 2.10 STD 总线工业控制机的支持软件 ...3-78
- 2.10.1 概述 .....3-78
- 2.10.2 STD DOS .....3-78
- 2.10.3 嵌入式操作系统 POM-DOS .....3-79
- 2.10.4 VRTX 嵌入式实时多任务操作系统 .....3-81
- 2.10.5 AMX 实时多任务操作系统 .....3-84
- 2.10.6 QNX 实时多任务多用户网络操作系统 .....3-86
- 2.10.7 高级语言的分离和固化运行 .....3-86
- 2.10.8 在控制系统中的开发应用 .....3-87
- 2.11 国内外先进产品介绍 .....3-89
- 2.11.1 国内典型产品 .....3-89
- 2.11.2 国外典型产品 .....3-91
- 第 3 章 Multibus 工业控制机 .....3-94
- 3.1 概述 .....3-94
- 3.2 Multibus I 系统的结构 .....3-94
- 3.3 Multibus I 系统总线 .....3-96
- 3.3.1 Multibus I 系统总线信号 .....3-96
- 3.3.2 Multibus I 系统总线的操作 .....3-98
- 3.3.3 Multibus I 系统总线的电气规范 .....3-103
- 3.3.4 Multibus I 系统总线机械性能规范 .....3-105
- 3.3.5 Multibus I 系统总线兼容程度标记 .....3-105
- 3.4 iSBX I/O 总线 .....3-108
- 3.4.1 iSBX I/O 总线系统的结构 .....3-108
- 3.4.2 iSBX I/O 总线信号 .....3-108
- 3.4.3 iSBX I/O 总线插头插座与信号引脚分配 .....3-110
- 3.4.4 iSBX 多模块板的机械规范 .....3-110
- 3.4.5 iSBX I/O 总线兼容程度标记 ...3-111
- 3.5 iLBX 总线 .....3-111
- 3.5.1 iLBX 总线系统的结构 .....3-111
- 3.5.2 iLBX 总线信号 .....3-111
- 3.5.3 iLBX 总线操作 .....3-113
- 3.5.4 iLBX 总线的机械规范 .....3-115
- 3.5.5 iLBX 总线兼容程度标记 .....3-115
- 3.6 Multibus II 系统的结构 .....3-115
- 3.7 Multibus II 并行系统总线 .....3-117
- 3.7.1 Multibus II 并行系统总线信号 ...3-117
- 3.7.2 Multibus II 并行系统总线的通信协议 .....3-121
- 3.7.3 Multibus II 的机械规范 .....3-124
- 3.8 iLBX II 局部扩充总线 .....3-124
- 3.8.1 iLBX II 局部扩充总线的功能描述 .....3-124
- 3.8.2 iLBX II 总线信号 .....3-125
- 3.8.3 iLBX II 总线协议 .....3-126
- 3.9 MIX 模块接口扩充总线的结构与功能 .....3-126
- 3.10 iRMX 实时多任务操作系统简介 ...3-127
- 3.10.1 概述 .....3-127
- 3.10.2 iRMX 操作系统功能简介 .....3-128
- 3.10.3 实时多任务操作系统 DOS/RMX .....3-131
- 3.11 Multibus I 和 II 的系统设计与 OEM 产品简介 .....3-132
- 3.11.1 Multibus I 和 II 的系统设计 ...3-132
- 3.11.2 Multibus I OEM 产品简介 .....3-132
- 第 4 章 VME 总线工业控制机 .....3-138
- 4.1 概述 .....3-138
- 4.1.1 VME 总线的发展 .....3-138
- 4.1.2 VME 总线特点 .....3-138
- 4.2 VME 总线信号 .....3-138
- 4.3 机械特性 .....3-141
- 4.4 VME 总线功能结构 .....3-142

4.4.1 数据传输总线.....3-142	5.1.3 单片机的应用.....3-166
4.4.2 优先级中断总线.....3-143	5.1.4 单片机系统的扩展和配置.....3-167
4.4.3 仲裁总线.....3-144	5.1.5 单片机技术发展的趋势.....3-167
4.4.4 公用总线.....3-145	5.2 单片机产品及性能介绍.....3-168
4.4.5 信号协议.....3-145	5.2.1 概述.....3-168
4.5 电气特性.....3-146	5.2.2 4位单片机.....3-169
4.5.1 VEM总线信号线驱动器.....3-146	5.2.3 8位单片机.....3-169
4.5.2 底板连接.....3-146	5.2.4 16位单片机.....3-179
4.5.3 配电.....3-146	5.2.5 32位单片机.....3-181
4.6 VME总线的能力.....3-146	5.2.6 模糊单片机.....3-183
4.6.1 寻址能力.....3-146	5.3 单片机的开发环境.....3-183
4.6.2 基本的数据传输能力.....3-147	5.3.1 概述.....3-183
4.6.3 “不结盟的”(Unaligned) 传输能力.....3-147	5.3.2 单片机程序设计语言及支持 软件.....3-183
4.6.4 地址流水线能力.....3-148	5.3.3 开发环境中的人-机界面.....3-185
4.6.5 中断能力.....3-149	5.3.4 开发环境的硬件种类.....3-187
4.6.6 建立虚拟通信通路.....3-150	5.3.5 单片机开发环境发展趋势.....3-188
4.7 VME总线的应用.....3-150	5.4 单片机的多机与网络系统.....3-189
4.7.1 改善CPU性能.....3-150	5.4.1 工业测控领域的多机与网络 系统.....3-189
4.7.2 及时地响应重要事件.....3-151	5.4.2 单片机的串行接口与多机系统 plan.....3-189
4.7.3 系统初始化和诊断.....3-152	5.4.3 $\mu$ lan网.....3-190
4.8 VME总线的规范形式.....3-152	5.4.4 位总线.....3-193
4.8.1 关键词.....3-152	5.4.5 I <sup>2</sup> C总线.....3-197
4.8.2 定时要求.....3-153	5.4.6 CAN总线.....3-200
4.8.3 信号互连的专用符号.....3-153	5.5 单片机的应用.....3-201
4.9 VME总线系列的UNIX System V/68操作系统及其实时环境.....3-154	5.5.1 单片机应用系统设计概述.....3-201
4.9.1 UNIX的产生、发展及主要 特点.....3-154	5.5.2 单片机应用系统的类型.....3-202
4.9.2 UNIX System V/68的功能 及组成.....3-155	5.5.3 单片机在仪器仪表中的应用.....3-203
4.9.3 UNIX向实时领域的迈进.....3-156	5.5.4 单片机在机电一体化设备控制 中的应用.....3-205
4.9.4 System V/68下的实时环境 VMEexec.....3-156	5.5.5 单片机在家用电器中的应用.....3-206
4.9.5 System V/68下的网络环境.....3-158	第6章 PLC及其应用.....3-208
4.10 VME总线系统——国产0604微型 计算机系统.....3-159	6.1 概述.....3-208
4.11 国外VME总线系列新产品.....3-160	6.1.1 PLC发展概况.....3-208
第5章 微控制器技术及其发展.....3-164	6.1.2 PLC的特点.....3-210
5.1 概述.....3-164	6.1.3 PLC的分类.....3-211
5.1.1 单片机、微控制器及嵌入式 控制器.....3-164	6.1.4 PLC的技术发展趋势.....3-211
5.1.2 单片机的产生和发展.....3-164	6.1.5 国外PLC的典型应用概况.....3-213
	6.1.6 国产PLC及其在生产中的应用.....3-214
	6.2 PLC硬件体系.....3-215
	6.2.1 硬件结构.....3-215

6.2.2 CPU和中央存贮器.....3-216

6.2.3 I/O接口 .....3-218

6.2.4 电源、机架及扩展箱.....3-222

6.2.5 PLC的工作原理.....3-223

6.2.6 智能I/O模板 .....3-226

6.2.7 远程I/O模板 .....3-228

6.2.8 通信及网络.....3-229

6.2.9 编程器.....3-230

6.3 PLC软件体系.....3-231

6.3.1 PLC系统软件和应用软件.....3-231

6.3.2 系统软件框图.....3-231

6.3.3 应用软件用编程语言.....3-233

6.3.4 应用软件模块化——PLC  
功能模块介绍.....3-248

6.4 PLC产品介绍.....3-248

第7章 分散型控制系统.....3-258

7.1 概述.....3-258

7.1.1 分散型控制系统的发展.....3-258

7.1.2 分散型控制系统的特点及  
类型.....3-258

7.2 分散型控制系统的体系结构.....3-259

7.2.1 建立分散型控制系统体系  
结构的原则.....3-259

7.2.2 分散型控制系统体系结构.....3-260

7.2.3 典型系统配置.....3-261

7.3 分散型控制系统的通信网络.....3-262

7.3.1 概述.....3-262

7.3.2 通信协议.....3-265

7.3.3 工业局部网络的选型考虑.....3-282

7.3.4 几种DCS系统通信网络  
举例.....3-283

7.4 过程级设备.....3-285

7.4.1 过程级设备功能及分类.....3-285

7.4.2 过程控制设备的构成.....3-287

7.4.3 过程级设备的可靠性设计措施.....3-290

7.4.4 典型过程级设备介绍.....3-290

7.5 监控级设备.....3-292

7.5.1 监控级设备的功能及类型.....3-292

7.5.2 监控级设备构成.....3-294

7.5.3 典型监控级设备介绍.....3-294

7.6 分散型控制系统软件系统.....3-296

7.6.1 概述.....3-296

7.6.2 实时操作系统.....3-296

7.6.3 组态软件.....3-297

7.6.4 应用软件.....3-303

7.7 典型分散型控制系统介绍.....3-307

7.7.1 国外典型分散型控制系统  
介绍.....3-307

7.7.2 国内典型分散型控制系统介绍.....3-313

7.8 分散型控制系统应用举例.....3-320

7.8.1 概述.....3-320

7.8.2 工艺简介.....3-320

7.8.3 系统构成及系统功能.....3-320

7.8.4 控制策略.....3-321

附录 典型DCS产品及其主要性能.....3-322

参考文献.....3-326

第4篇 数控技术

第1章 数控设备概述.....4-3

1.1 数控设备的结构与功能.....4-3

1.2 数控设备的分类.....4-3

1.3 数控设备的发展动向.....4-5

1.4 选用数控设备的原则与方法.....4-7

第2章 数控机床的标准 .....4-10

2.1 概述.....4-10

2.2 数控机床的标准代码 .....4-10

2.3 数控机床的坐标轴和运动方向 .....4-13

2.4 数控装置和数控机床电气设备间  
的接口规范 .....4-13

附录 机床数控——坐标轴和运动方向  
专用术语.....4-16

第3章 典型数控系统 .....4-22

3.1 典型数控系统的组成 .....4-22

3.1.1 CNC系统的基本概念.....4-22

3.1.2 CNC系统的基本构成.....4-22

3.1.3 两类不同结构型式的CNC  
装置 .....4-23

3.2 典型数控系统的硬件结构 .....4-24

3.2.1 输入部件 .....4-24

3.2.2 CPU及总线.....4-29

3.2.3 存贮部件 .....4-47

3.2.4 I/O接口电路.....4-53

3.2.5 通信与网络接口 .....4-60

3.2.6 显示部件 .....4-60

3.3 典型数控系统的软件 .....	4-63	4.4 机床控制程序的设计流程 .....	4-150
3.3.1 控制软件结构与管理程序 .....	4-63	4.5 可编程控制器的编程机 .....	4-151
3.3.2 输入数据的处理 .....	4-66	第5章 数控机床的程序编制 .....	4-153
3.3.3 插补运算 .....	4-70	5.1 数控机床编程基础 .....	4-153
3.3.4 进给速度的控制 .....	4-76	5.1.1 编程基础知识 .....	4-153
3.3.5 诊断程序 .....	4-78	5.1.2 数控机床的坐标系统 .....	4-159
3.4 几种典型数控系统的参数和功能 .....	4-80	5.1.3 数控系统的基本功能 .....	4-160
3.4.1 国外主要 CNC 装置的生产		5.2 工艺路线分析与工艺设计 .....	4-162
厂家及其典型数控系统 .....	4-80	5.3 工艺文件的编制 .....	4-166
3.4.2 国内主要 CNC 装置的生产		5.4 程序编制中的数值计算 .....	4-170
厂家及其典型数控系统 .....	4-106	5.4.1 直线和圆弧组成的零件轮廓	
第4章 数控机床用可编程控制器 .....	4-117	的基点计算 .....	4-170
4.1 可编程控制器与 CNC 机床的关系 .....	4-117	5.4.2 非圆曲线的节点计算 .....	4-179
4.1.1 概述 .....	4-117	5.4.3 列表曲线的拟合 .....	4-181
4.1.2 内装型 PLC .....	4-117	5.4.4 空间曲面的数学处理 .....	4-183
4.1.3 独立型 PLC .....	4-118	5.5 数控车床与加工中心手工编程	
4.1.4 可编程控制器典型产品的主要		举例 .....	4-184
性能 .....	4-118	5.5.1 数控车床编程举例 .....	4-184
4.2 可编程控制器的工作方式 .....	4-121	5.5.2 加工中心编程举例 .....	4-184
4.3 可编程控制器的指令系统 .....	4-124	附录1 常用切削用量表 .....	4-189
4.3.1 PC-B 的指令系统 .....	4-124	附录2 国外数控系统准备功能一览	
4.3.2 S5-U 系列可编程控制器的		表 .....	4-197
指令系统 .....	4-125	参考文献 .....	4-204
4.3.3 FAGOR PLC 的指令系统 .....	4-147		

## 第5篇 检测技术

第1章 传感器及其使用技术 .....	5-3	1.2.9 感应同步器 .....	5-44
1.1 传感器的基本知识 .....	5-3	1.2.10 磁栅式传感器 .....	5-49
1.1.1 传感器及其组成 .....	5-3	1.2.11 光栅式传感器 .....	5-51
1.1.2 传感器的分类 .....	5-3	1.2.12 光学码盘式传感器 .....	5-58
1.1.3 传感器的特性 .....	5-5	1.2.13 激光式传感器 .....	5-60
1.1.4 传感器的性能指标 .....	5-15	1.2.14 光电式传感器 .....	5-62
1.1.5 传感器的输入、输出特性和对		1.2.15 气电转换传感器 .....	5-67
环境的要求 .....	5-15	1.2.16 压电式位移传感器 .....	5-69
1.1.6 传感器的标定和校准 .....	5-16	1.2.17 霍尔式传感器 .....	5-69
1.2 位移和长度传感器 .....	5-17	1.3 速度传感器 .....	5-74
1.2.1 位移和长度传感器的选用 .....	5-17	1.3.1 速度传感器的主要性能和特	
1.2.2 电感式(自感式)传感器 .....	5-18	点 .....	5-74
1.2.3 变压器式(互感式)传感器 .....	5-26	1.3.2 磁电感应式速度传感器 .....	5-75
1.2.4 电涡流式传感器 .....	5-29	1.3.3 陀螺式角速度传感器 .....	5-77
1.2.5 电容式传感器 .....	5-32	1.3.4 差动变压器式速度传感器 .....	5-80
1.2.6 电触式传感器 .....	5-39	1.3.5 光电式速度和转速传感器 .....	5-80
1.2.7 电位器式传感器 .....	5-42	1.3.6 多普勒效应测速传感器 .....	5-80
1.2.8 应变式传感器 .....	5-44	1.3.7 转速传感器 .....	5-82

- 1.3.8 流速传感器 .....5-82
- 1.3.9 其它测速方法 .....5-84
- 1.4 力、扭矩和压力传感器 .....5-84
- 1.4.1 力、扭矩和压力传感器的类型  
和特点 .....5-84
- 1.4.2 弹性敏感元件 .....5-86
- 1.4.3 电阻应变片式力、扭矩和压力  
传感器 .....5-90
- 1.4.4 压阻式力、压力传感器 .....5-98
- 1.4.5 压电式力、压力传感器 .....5-102
- 1.4.6 压磁式力传感器 .....5-108
- 1.4.7 谐振式力、力矩和压力传感  
器 .....5-111
- 1.4.8 位移式力、压力传感器 .....5-115
- 1.4.9 其它类型压力和扭矩传感器 .....5-117
- 1.5 惯性角参数传感器 .....5-119
- 1.5.1 压电射流速率传感器 .....5-119
- 1.5.2 三维压电射流姿态传感器 .....5-121
- 1.6 惯性加速度和倾角传感器 .....5-123
- 1.6.1 石英挠性伺服加速度传感器 .....5-123
- 1.6.2 哥氏惯性速度和加速度传感  
器 .....5-125
- 1.6.3 参量式倾斜传感器 .....5-125
- 1.6.4 振弦式倾斜传感器 .....5-126
- 1.6.5 力平衡式倾斜传感器 .....5-126
- 1.6.6 气体线加速度传感器 .....5-128
- 1.6.7 气体摆式倾角传感器 .....5-130
- 1.7 振动加速度传感器 .....5-131
- 1.7.1 压电振动加速度传感器 .....5-131
- 1.7.2 压阻式振动加速度传感器 .....5-132
- 1.7.3 磁致伸缩式振动加速度传感  
器 .....5-133
- 1.7.4 PVDF心音脉搏传感器 .....5-133
- 1.8 物位传感器 .....5-134
- 1.8.1 放射性同位素物位传感器 .....5-134
- 1.8.2 超声物位传感器 .....5-134
- 1.8.3 超声界面传感器 .....5-134
- 1.8.4 微波物位传感器 .....5-135
- 1.8.5 流量式液位传感器 .....5-135
- 1.8.6 玻璃管式液位传感器 .....5-136
- 1.8.7 平衡浮子式液位传感器 .....5-136
- 1.9 声敏传感器 .....5-136
- 1.9.1 声敏传感器的分类 .....5-136
- 1.9.2 碳粒送话器 .....5-137
- 1.9.3 压电声敏传感器 .....5-137
- 1.9.4 静电扬声器 .....5-138
- 1.10 半导体彩色传感器 .....5-138
- 1.11 热敏传感器 .....5-139
- 1.11.1 半导体热敏电阻 .....5-139
- 1.11.2 二极管热敏传感器 .....5-139
- 1.11.3 晶体管热敏传感器 .....5-139
- 1.11.4 光纤温度传感器 .....5-140
- 1.12 磁敏传感器 .....5-140
- 1.12.1 磁敏传感器的种类及其检测  
极限 .....5-140
- 1.12.2 霍尔效应型传感器 .....5-141
- 1.12.3 超导量子干涉器件 .....5-141
- 1.13 气体传感器 .....5-142
- 1.13.1 半导体气体传感器 .....5-142
- 1.13.2 固体电解质气体传感器 .....5-144
- 1.13.3 真空度传感器 .....5-144
- 1.13.4 微波气体成分传感器 .....5-144
- 1.13.5 光学气体成分传感器 .....5-144
- 1.13.6 谐振微桥传感器 .....5-144
- 1.14 湿度和水分传感器 .....5-145
- 1.14.1 湿度传感器的分类 .....5-145
- 1.14.2 水分子亲和力型湿度传感  
器 .....5-145
- 1.14.3 非水分子亲和力型湿度传感  
器 .....5-147
- 1.15 生物传感器 .....5-148
- 1.15.1 生物传感器的原理 .....5-148
- 1.15.2 电化学生物传感器 .....5-148
- 1.15.3 生物电子传感器 .....5-149
- 1.15.4 光生物传感器 .....5-150
- 1.15.5 微生物传感器 .....5-150
- 1.15.6 离子敏场效应晶体管传感  
器 .....5-152
- 1.15.7 半导体化学集成传感器 .....5-153
- 第2章 测量电路 .....5-154
- 2.1 测量电路总论 .....5-154
- 2.1.1 测量电路的类型与组成 .....5-154
- 2.1.2 基本转换电路 .....5-155
- 2.2 测量放大器 .....5-161
- 2.2.1 测量放大器的主要特点与要  
求 .....5-161



2.2.2 低噪声放大器.....5-161	3.5.1 国产三种类型数显装置的 对照分析.....5-300
2.2.3 高稳定度放大器.....5-163	3.5.2 数显装置的选用方法.....5-300
2.2.4 高输入阻抗放大器.....5-164	3.5.3 数显装置的安装和调试.....5-301
2.2.5 高共模抑制比放大器.....5-166	3.5.4 数显装置的应用实例.....5-314
2.2.6 参量放大器与电荷放大器.....5-168	3.6 数显装置的维护与修理.....5-318
2.2.7 放大器的线性化与量程切换.....5-170	3.6.1 日常维护.....5-318
2.2.8 放大器的频率特性.....5-173	3.6.2 数显装置的故障判断和处理.....5-319
2.3 调制与解调电路.....5-174	<b>第4章 仪器仪表智能化</b> .....5-323
2.3.1 调制的功用与类型.....5-174	4.1 概述.....5-323
2.3.2 信号的幅值调制与解调.....5-174	4.1.1 智能化仪器仪表的基本结构.....5-323
2.3.3 信号的频率调制与解调.....5-186	4.1.2 智能化仪器仪表的特点.....5-323
2.3.4 信号的相位调制与解调.....5-188	4.2 微型机与检测仪器仪表的接口 技术.....5-323
2.3.5 信号的脉宽调制与解调.....5-191	4.2.1 传感器与微型机的接口技术.....5-324
2.4 滤波器.....5-192	4.2.2 智能仪器仪表显示器件与 微机的接口.....5-330
2.4.1 滤波器的基本知识.....5-192	4.2.3 微型机与仪器面板的接口.....5-334
2.4.2 常用二阶有源滤波器电路.....5-204	4.3 仪器仪表智能化的基本运算与 处理.....5-338
2.4.3 有源滤波器设计方法.....5-204	4.3.1 基本函数近似计算.....5-338
2.5 模拟运算电路.....5-220	4.3.2 几种常用数值计算方法.....5-340
2.5.1 线性加减电路.....5-221	4.3.3 常用非数值计算处理方法.....5-341
2.5.2 微分与积分运算电路.....5-223	4.3.4 信号预处理.....5-345
2.5.3 绝对值、平均值、峰值运算 电路.....5-229	4.3.5 静态误差修正.....5-349
2.5.4 乘、除、乘方、开方电路.....5-231	4.4 信号处理技术.....5-352
2.5.5 函数电路.....5-233	4.4.1 信号处理基础.....5-352
2.6 细分、辨向、当量变换与编码 变换电路.....5-240	4.4.2 谱分析.....5-370
2.6.1 细分、辨向电路的选用.....5-240	4.4.3 时间序列分析.....5-374
2.6.2 细分、辨向常用电路.....5-240	4.5 人工智能在检测技术中的应用.....5-379
2.6.3 脉冲当量变换电路.....5-257	4.5.1 基本概念.....5-379
2.6.4 二进制与循环码的变换.....5-263	4.5.2 设备故障诊断技术.....5-380
<b>第3章 机床数显装置</b> .....5-265	4.5.3 图象识别技术在检测中的 应用.....5-383
3.1 数显装置的工作原理.....5-265	4.6 精密量仪的微机化.....5-383
3.2 数显装置常用的位移传感器.....5-265	4.6.1 精密圆度仪.....5-383
3.3 国内外数显表的型谱.....5-277	4.6.2 齿轮量仪.....5-386
3.4 数显装置实例.....5-290	4.6.3 表面粗糙度量仪.....5-397
3.4.1 感应同步器数显装置.....5-290	4.6.4 三坐标测量机.....5-401
3.4.2 光栅数显装置.....5-293	<b>参考文献</b> .....5-419
3.4.3 磁尺数显装置.....5-294	
3.4.4 单片机数显装置.....5-299	
3.5 数显装置的应用.....5-300	

## 第5篇 检测技术

主 编 张国雄

副 主 编 应葆华

主 审 朱良漪

编写人员

第1章 金篆芷 张爱萍 张福学

第2章 张国雄

第3章 陈正岳 方建滨 王子砚

谭世忠

第4章 应葆华 杜润生 李 真

# 第 1 章 传感器及其使用技术

## 1.1 传感器的基本知识

### 1.1.1 传感器及其组成

#### 1. 传感器

传感器是一种以一定的精确度将被测量（如位移、力、加速度等）转换为与之有确定对应关系的、易于精确处理和测量的某种物理量（如电量）的测量部件或装置。

目前，由于电子技术的进步，使电学量具有便于传输、转换、处理、显示等特点，因此通常传感器是将非电量转换成电量输出。

#### 2. 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和基本转换电路三部分组成，如图5·1-1所示。



图5·1-1 传感器组成框图

(1) 敏感元件 直接感受被测量，并以确定关系输出某一物理量。如弹性敏感元件将力转换为位移或应变输出。

(2) 转换元件 将敏感元件输出的非电物理量（如位移、应变、光强等）转换成电路参数（如电阻、电感、电容等）量。

(3) 基本转换电路 将电路参数量转换成便

于测量的电量，如电压、电流、频率等。

实际的传感器、有的很简单，有的则较复杂。有些传感器（如热电偶）只有敏感元件，感受被测温差时直接输出电动势。有些传感器由敏感元件和转换元件组成，无需基本转换电路，如压电式加速度传感器。还有些传感器由敏感元件和基本转换电路组成，如电容式位移传感器。有些传感器，转换元件不只有一个，要经过若干次转换才能输出电量。大多数传感器是开环系统，但也有个别的是带反馈的闭环系统。

当前，由于空间的限制或技术等原因，基本转换电路一般不和敏感元件、转换元件装在一个壳体内，而是装入电箱中。但不少传感器需通过基本转换电路才能输出便于测量的电量，而基本转换电路的类型又与不同工作原理的传感器有关。因此常把基本转换电路作为传感器的组成环节之一。

### 1.1.2 传感器的分类

目前较多采用的传感器的分类方法有如下几种。

#### 1. 按被测物理量分类

这种分类方法明确地表示了传感器的用途，便于使用者选择。如位移传感器用于测量位移，温度传感器用于测量温度等。一些常见的非电基本物理量与其对应的派生物理量见表5·1-1。

#### 2. 按传感器工作原理分类

这种分类方法清楚地表明了传感器的工作原理，有利于传感器设计和应用(表5·1-2)。

表5·1-1 基本物理量与其派生物理量

基本物理量		派生物理量		基本物理量		派生物理量	
位移	线位移	长度、厚度、位置、振幅、表面波度、表面粗糙度、应变、磨损		加速度	线加速度	振动、冲击、质量、重量、应力、力	
	角位移	角度、偏转角、俯仰角			角加速度	角振动、角冲击、力矩、扭矩、转动惯量	
速度	线速度	振动、动量、流量		温度	热量、比热容		
	角速度	角动量、转速、角振动		湿度	水分、露点		
力、压力		重量、密度、推力、力矩、应力、真空度、声压、噪声		光度	光通量、色、透明度、光谱、红外光、照度、可见光		

表5-1-2 传感器按工作原理分类

类 型	工 作 原 理		典 型 应 用	
电 阻 式	电阻应变片式	应变使应变片的电阻值发生变化	力、压力、力矩、应变、位移、加速度、荷重	
	固态压阻式	利用半导体材料的压阻效应	压力、加速度	
	电位器式	移动电位器触点改变电阻值	位移、压力、力	
电 感 式	自感式	改变磁路磁阻使线圈自感变化	位移、力、压力、振动、厚度、液位	
	互感式(变压器式)	改变互感		
	电涡流式	利用电涡流现象改变线圈自感、阻抗	位移、厚度、探伤	
	压磁式	利用导磁体的压磁效应	力、压力	
	感应同步器	两个平面绕组的互感随位置不同而变化	位移(线位移、角位移)	
磁 电 式	磁电感应式	利用导体和磁场相对运动产生感应电势	速度、转速、扭矩	
	霍尔式	利用半导体霍尔元件的霍尔效应	位移、力、压力、振动	
	磁栅式	利用磁头相对磁栅位置或位移将磁栅上的磁信号读出	长度、线位移、角位移	
压 电 式	正压电式	利用压电元件的正压电效应	力、压力、加速度、粗糙度	
	声表面波式	利用压电元件的正、逆压电效应	力、压力、角加速度、位移	
电 容 式	电容式	改变电容量	位移、加速度、压力、液位、力、声强、厚度、含水量	
	容栅式	改变电容量或加以激励电压产生感应电势	位移	
光 电 式	一般形式	改变光路的光通量	再用各种光电器件的光电效应将光信号转换成电信号	位移、温度、转速、混浊度
	光栅式	利用光栅副形成的莫尔条纹和位移的关系		长度、角度、线位移、角位移
	光纤式	利用光导纤维的传输特性或材料的效应或传光		位移、加速度、速度、水声、温度、压力
	光学编码器式	利用编码器转换成亮暗光信号		线位移、角位移、转速
	固体图象式	利用半导体集成感光像素光电转换、贮存、扫描	图象、字符识别、尺寸自动检测	
	激光式	利用激光干涉、多普勒效应、衍射及光电器件	长度、位移、速度、尺寸	
	红外式	利用红外辐射的热效应或光电效应	温度、遥感、探伤、气体分析	
热 电 式	热电偶	利用温差电效应(塞贝克效应)	温度、热流	
	热电阻	利用金属的热电阻效应	温度	
	热敏电阻	利用半导体的热电阻效应	温度、红外辐射	
气 电 式	利用气动测量原理, 改变气室中压力或管路中流量, 再由电感式、光电式等传感器转换成电信号		尺寸(主动测量和自动分选)	
陀 螺 式	利用陀螺原理或相对原理		角速度、角位移	

(续)

类型	工作原理	典型应用
谐 振 式	振弦式	大压力、扭矩、加速度、力
	振筒式	气体压力、密度
	振膜式	压力
	振梁式	角位移、静态力和缓变力
	压电式	压力、温度
波 式	超声波	厚度、流速、无损探伤
	微波	物位、液位、厚度、距离
射线式	利用被测物对放射线的吸收、反射或射线对被测物的电离作用，并由探测器输出电信号	厚度、物位、液位、气体成分、密度、缺陷
力平衡式	应用反馈技术构成闭环系统，将反馈力与输入力相平衡，其差由位移传感器转换成电信号	力、压力、加速度、振动

### 3. 按传感器转换能量的情况分类

(1) 能量转换型 又称发电型，不需要外加电源而将被测能量转换成电能输出。这类传感器有压电式、磁电感应式、热电偶、光电池等。

(2) 能量控制型 又称参量型，需外加电源才能输出电能。这类传感器有电阻式、电容式、电感式、霍尔式等传感器，还有热敏电阻、光敏电阻、湿敏电阻等。

### 4. 按传感器的工作机理分类

(1) 结构型 被测参数变化引起传感器的结构变化，使输出电量变化，利用物理学中场的定律和运动定律等构成。定律方程式就是传感器工作的数学模型。如电感式、电容式、光栅式等传感器就是属于结构型传感器。

(2) 物性型 利用某些物质的某种性质随被测参数而变化的原理构成。传感器的性能与材料密切相关。如光电管、各种半导体传感器、压电式传感器等都属于物性型传感器。

### 5. 按传感器转换过程可逆与否分类

(1) 单向 只能将被测量转换为电量，不能反之的传感器称为单向传感器。绝大多数传感器属于这一类。

(2) 双向 能在传感器的输入、输出端作双向传输，即具有可逆特性的传感器称为双向传感器。包括有压电式和磁电感应式传感器。

### 6. 按传感器输出信号的形式分类

(1) 模拟式 传感器输出模拟信号。

(2) 数字式 传感器输出数字信号，如编码器式传感器。

应该指出，习惯上常把工作原理和用途结合起来命名传感器。如电感式位移传感器、压电式加速度传感器等。

### 1.1.3 传感器的特性

传感器的特性主要是指输出与输入之间的关系，有静态特性和动态特性之分。

#### 1. 传感器的静态特性

(1) 静态特性 当传感器的输入量为常量，或随时间作缓慢变化时，传感器的输出与输入之间的关系称为静态特性，简称静特性。表征传感器静特性的指标有线性度、灵敏度、重复性等。采用哪些指标应根据实际需要来确定。

(2) 静态特性指标 见表5-1-3。

#### 2. 传感器的动态特性

(1) 动态特性 传感器的输出量对于随时间变化的输入量的响应特性称为传感器的动态特性。动态特性简称动特性。

(2) 动特性的分析方法 传感器的动特性取决于传感器的本身及输入信号的形式。传感器按其传递、转换信息的形式可分为接触式环节（即以刚性接触形式传递信息）、模拟环节（多数是非刚性传递信息）和数字环节三类。若兼有几种环节，则应综合分析，常以其中最薄弱环节的动特性为该传感器的动特性。动态测量输入信号的形式，通常采用正弦周期信号和阶跃信号来代表。

表5.1-3 传感器的静态特性

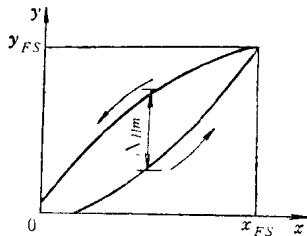
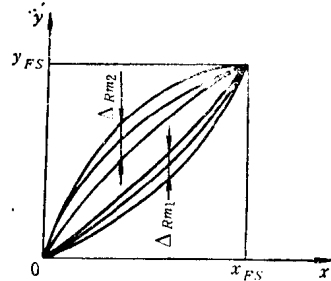
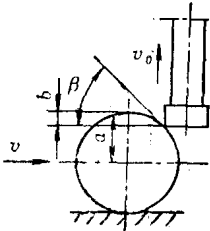
基本指标	定义公式	说明
灵敏度 $S_0$	传感器输出变化量 $\Delta y$ 与引起此变化的输入变化量 $\Delta x$ 之比 $S_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ 灵敏度误差： $\gamma_S = \frac{\Delta S_0}{S_0} \times 100\%$	表示传感器对被测量变化的反应能力
线性度 (非线性误差)	被测值处于稳定状态时，传感器输出和输入之间的关系曲线(称校准或标定曲线)对拟合直线的接近程度 $\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_m}{y_{FS}} \times 100\%$ 式中 $\gamma_L$ ——引用非线性误差； $\Delta L_m$ ——标定曲线对拟合直线的最大偏差； $y_{FS}$ ——满量程输出值	选取的拟合直线不同，所得的线性度值也不同。较常用的拟合直线方法有最小二乘法、端点法、端点平移法等
迟滞	传感器在正(输入量增大)反(输入量减小)行程中输出输入特性曲线的不重合程度 迟滞误差一般以满量程输出 $y_{FS}$ 的百分数表示： $\gamma_H = \frac{\Delta H_m}{y_{FS}} \times 100\% \text{ 或 } \gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_m}{y_{FS}} \times 100\%$	迟滞特性一般由实验方法确定 
重复性	传感器在输入量按同一方向作全程连续多次变动时所得特性曲线不一致的程度 重复性误差(用满量程输出的百分数表示)： (1) 近似计算 $\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_m}{y_{FS}} \times 100\%$ (2) 精确计算 $\gamma_R = \pm \frac{2\sim 3}{y_{FS}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)} \times 100\%$ 式中 $\Delta R_m$ ——输出最大重复性偏差； $y_i$ ——第 <i>i</i> 次测量值； $\bar{y}$ ——测量值的算术平均值； $n$ ——测量次数	重复特性用实验方法确定，重复性误差也常用绝对误差表示 
满量程输出	传感器的测量上限和测量下限处的输出值之差	被测量的上、下限之差称为量程
分辨力	传感器能检测到的最小的输入增量	在输入零点附近的分辨力称为阈值
稳定性	传感器在长时间工作情况下(输入不变)，输出量的变化	可用相对误差表示，也可用绝对误差表示
零漂	传感器在零输入状态下，输出值的变化	
精确度	是传感器的系统误差与随机误差的综合指标，表示测量结果与其理论值(真值)的靠近程度 一般用极限误差或极限误差与满量程输出之比的百分数表示	一般在标定或校验过程中确定，此时的“真值”由工作基准或更高精度的仪器给出

表5-1-4 接触式传感器的动特性

特性	含 义	举 例
临界频率	<p>正弦周期信号输入时, 传感器测杆与被测对象、传感器内的接触传动副之间不发生脱离, 输入正弦信号的最高频率</p> <p>求临界频率方法: 列出测杆和接触传动部分的运动方程, 在正弦输入时不发生脱离各接触环节的上限频率, 其中最小者为临界频率</p>	利用电感式传感器进行主动检测磨加工中有安装偏心的轴类工件
稳定时间	<p>工件进入测位与传感器测杆产生碰撞(相当于输入阶跃信号)运动, 直至测杆稳定接触工件所需的时间</p>	自动分选机中, 工件进入测位, 由电感式传感器进行测量
临界速度	<p>工件强制送入测位, 撞击测杆, 保证测杆不脱离工件表面, 工件的最高进给速度</p> $v_c = 2\omega_0 \sqrt{b(2a-b)}/\sin 2\beta$ <p>式中 <math>\omega_0</math>——传感器运动部分的固有角频率, <math>\omega_0 = \sqrt{k/m}</math>                      其中 <math>k</math> 为弹簧总刚度, <math>m</math> 为测杆质量;  <math>b</math>——被测工件上端点与测杆下端点的距离;  <math>2a</math>——工件高度;  <math>\beta</math>——工件速度的方向与碰撞点切线方向的夹角</p>	<p>自动分选机中, 工件进入传感器测位</p> 

注: 接触式传感器中的模拟环节或数字环节的动特性见模拟式或数字式传感器的动特性。

(3) 接触式传感器的动特性 见表5-1-4。

类推。实际模拟传感器以一阶、二阶的居多, 高阶(三阶和三阶以上)的较少, 且高阶传感器一般可分解为若干个二阶环节和一阶环节, 有时则采用实验方法获得其动特性。

(4) 模拟式传感器的动特性 为了分析方便, 通常把模拟传感器看成是线性、定常、集总参数的系统, 并分别用零阶、一阶和二阶的常微分方程表示其输出与输入之间的关系。凡是能用一个一阶线性微分方程表示的传感器称为一阶传感器, 其它

1) 基本特性及其定义 见表5-1-5。

2) 零阶传感器的动特性 见表5-1-6。

表5-1-5 模拟传感器的基本特性及其定义

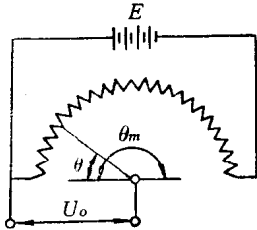
基本特性	定义、公式	说 明
传递函数 $H(s)$	<p>初始条件为零时, 输出 <math>y(t)</math> 的拉氏变换 <math>Y(s)</math> 和输入 <math>x(t)</math> 的拉氏变换 <math>X(s)</math> 之比</p> $H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$ <p>式中 <math>s</math>——拉氏变量, 也称为复频率, <math>s = \sigma + j\omega</math>  <math>a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0, b_m, b_{m-1}, \dots, b_1, b_0</math>——由传感器结构的某些物理参数决定的常数, 与输入无关, 且 <math>m \leq n</math></p>	<p><math>H(s)</math> 是在复频域 <math>s</math> 内对传感器传递信号的特性进行描述, 它只取决于传感器本身的结构参数, 与输入输出函数无关</p>
频率响应函数 $H(j\omega)$ (简称频率特性或频率响应)	<p>初始条件为零时, 输出的傅里叶变换和输入的傅里叶变换之比</p> $H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{b_m (j\omega)^m + \dots + b_1 (j\omega) + b_0}{a_n (j\omega)^n + \dots + a_1 (j\omega) + a_0}$ <p>或</p> $H(j\omega) = \frac{\int_0^{\infty} y(t) e^{-j\omega t} dt}{\int_0^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt} =  H(j\omega)  e^{-j\varphi(\omega)}$	<p><math>H(j\omega)</math> 是在频域 <math>\omega</math> 内对传感器传递信号特性的描述, 输入为各频率的正弦信号, 输出为与输入同频率的稳态响应, 其振幅和相位则发生变化</p>

(续)

基本特性	定义、公式	说明
幅频特性	频率特性 $H(j\omega)$ 的模, 也即输出与输入的幅值比 $A(\omega) =  H(j\omega) $ 以 $\omega$ 为自变量、以 $A(\omega)$ 为因变量的曲线称为幅频特性曲线	传感器不产生失真, 应满足: $\begin{cases} A(\omega) = A_0, A_0 \text{ 为常量} \\ \varphi(\omega) = -\varphi_0, \varphi_0 \text{ 为常量} \end{cases}$
相频特性	频率特性 $H(j\omega)$ 的相角 $\varphi(\omega)$ , 也即输出与输入的相角差 $\varphi(\omega) = -\arctg H(j\omega)$ 以 $\omega$ 为自变量、以 $\varphi(\omega)$ 为因变量的曲线称为相频特性曲线	$A(\omega) \neq A_0$ , 称幅值失真 $\varphi(\omega) \neq -\varphi_0$ , 称相位失真
脉冲响应函数 $h(t)$	初始条件为零时, 传感器对单位脉冲函数的响应, 也称作权函数, 用 $h(t)$ 或 $y_\delta(t)$ 表示 单位脉冲函数 $\delta(t)$ 为 $\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{当 } t = 0 \\ 0 & \text{当 } t \neq 0, \end{cases} \text{ 且 } \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$	是在时域内对传感器动特性的描述 当 $\delta(t)$ 的拉氏变换为1时, $h(t)$ 的拉氏变换就是 $H(s)$ , 即 $h(t) = \mathcal{L}^{-1}[H(s)]$
单位阶跃响应函数 $y_s(t)$	初始条件为零时, 传感器对单位阶跃输入的响应 $y_s(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[H(s) \frac{1}{s}\right]$	单位阶跃时间函数为: $x(t) = 1(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases}$ 其拉氏变换 $X(s) = 1/s$
单位斜坡响应函数	初始条件为零时, 传感器对单位斜坡输入的响应 $y_r(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[H(s) \frac{1}{s^2}\right]$	单位斜坡函数 $r(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ t & t > 0 \end{cases}$ 其拉氏变换 $X(s) = 1/s^2$

注:  $\mathcal{L}^{-1}$ 为拉氏反变换。

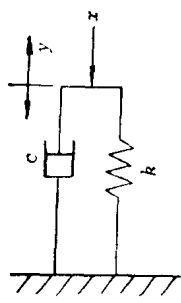
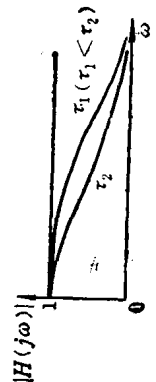
表5.1-6 零阶传感器的动态特性

特性	公式	图例与说明
方程式	$a_0 y = b_0 x$	电位器式传感器, 忽略寄生电感和电容, 即 $\theta$ 变化缓慢时, 为零阶传感器, 无动态误差, 其输出 $U_o = \frac{E}{\theta_m} \theta$ 
传递函数	$H(s) = \frac{b_0}{a_0}$ 为静态灵敏度	
单位阶跃响应函数	$y_s(t) = \frac{b_0}{a_0}$	

3) 一阶传感器的动特性 见表5.1-7。



表5-1-7 一阶传感器的动特性

特性	公式、特性曲线	说明	图例
方程一般形式 或 传递函数	$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t)$ $\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = S_0 x(t)$ $H(s) = \frac{S_0}{1 + \tau s}$	① $\tau = \frac{a_1}{a_0}$ 为传感器的时间常数，具有时间量纲 ② $S_0 = \frac{b_0}{a_0}$ 为传感器的静态灵敏度，具有输出/输入量纲 ③ 线性传感器 $S_0 =$ 常量 ④ $S_0$ 在动特性分析中，只起使输出量增为 $S_0$ 倍的作用 ⑤ 输出幅值随频率 $\omega$ 提高而下降 ⑥ 输出相位滞后，并随 $\omega$ 提高而加大，最后趋于 $\pi/2$ ⑦ 减小 $\tau$ 可改善频率特性	弹簧阻尼系统 
频率特性	$H(j\omega) = \frac{S_0}{j\omega\tau + 1}$		
幅频特性	$A(\omega) = \frac{S_0}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$ 		

$$c \frac{dy}{dt} + ky = x(t)$$

式中  $c$  —— 阻尼系数;  
 $k$  —— 弹簧刚度

$$\tau = \frac{c}{k}, S_0 = \frac{1}{k}$$

$$H(s) = \frac{1}{k(1 + \tau s)}$$

$$A(\omega) = \frac{1}{k\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg(\omega\tau)$$

$$y_s(t) = \frac{1}{k}(1 - e^{-t/\tau})$$