



高职高专**机电一体化专业**规划教材

# 机电一体化 设计基础

王海波 宋树波 主编



化学工业出版社



|              |             |
|--------------|-------------|
| 机械基础         | 边秀娟 庞志红     |
| 公差配合与测量技术    | 周超梅 刘丽华 王淑君 |
| 工程材料及热加工基础   | 杜伟          |
| 电工电子技术基础     | 刘春梅         |
| 机械制造工艺与夹具应用  | 邹积德         |
| 机电检测技术       | 郭燕 韩京海      |
| 机电一体化设备维修    | 张豪          |
| 单片机原理及应用技术   | 丁振杰 张喜红 李玉秋 |
| 传感器与测试技术     | 郭雷          |
| 电气控制与PLC应用技术 | 徐德明 吕洪善 方玉龙 |
| 液压气动系统安装与调试  | 肖春芳         |
| 机电工程专业英语     | 许珊          |
| ▶ 机电一体化设计基础  | 王海波 宋树波     |
| 机电传动控制       | 邵泽波 张洪艳     |



高职高专机电一体化专业规划教材

# 机电一体化设计基础

王海波 宋树波 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书在简要介绍机电一体化基本概念、机电一体化产品构成及其设计与开发工程技术路线的基础上,结合机电一体化共性关键技术的应用,重点针对机电一体化产品总体及其机械系统、检测系统、伺服系统、控制系统和仿真分析的基础理论、设计原理和设计方法进行了系统、详细、深入浅出的分析和介绍。

本书兼顾了课堂教学及自学的特点和需要,各章都附有适量的练习题,有助于读者加深对本书内容的理解及检验学习效果。

本书适合高职高专机电一体化专业及相关专业学生学习。

### 图书在版编目(CIP)数据

机电一体化设计基础/王海波,宋树波主编. —北京:化学工业出版社,2011.12  
高职高专机电一体化专业规划教材  
ISBN 978-7-122-12578-1

I. 机… II. ①王…②宋… III. 机电一体化-高等职业教育-教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 211355 号

---

责任编辑:刘 哲 廉 静  
责任校对:陈 静

装帧设计:王晓宇

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装:三河市延风印装厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 361 千字 2012 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

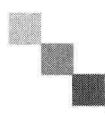
---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究



# 前言

## FOREWORD

机电一体化是在微电子技术向机械工业渗透过程中逐渐形成并发展起来的一门新兴的综合性技术学科。目前机电一体化技术正日益得到普遍重视和广泛应用,已成为现代技术、经济发展中不可缺少的一种高新技术,由机电一体化技术的应用而生产出来的机电一体化产品,已遍及人们日常生活和国民经济的各个领域。为了在当今国际范围内激烈的技术、经济竞争中占据优势,世界各国纷纷将机电一体化的研究和发展作为一项重要内容而列入本国的发展计划。

机电一体化是一门实践性非常强的综合性技术学科,所涉及的知识领域非常广泛,现代各种先进技术构成了机电一体化的技术基础。但机电一体化并非是这些技术的简单叠加,它的灵魂是突出强调这些技术的相互渗透和有机结合,从而形成某一单项技术所无法达到的优势,并将这种优势通过性能优异的机电一体化产品体现出来,转化成强大的生产力。

课程建设与教材改革是提高教学质量的核心,也是教学改革的重点和难点。为贯彻落实国家中长期教育发展纲要有关教育教学改革的重要精神,同时为配合职业院校教学改革和教材建设,更好地为职业院校深化改革和教材建设服务,我们编写了《机电一体化设计基础》这本教材。

本教材编写过程中充分考虑实际生产对机电类专业技术人员的能力要求,坚持“实用、必需、够用”的原则,在编写思路与手法上突出实际能力应用,使全书框架更趋于科学、合理、紧凑,立足高职高专人才教育培养目标,力求将岗位核心知识支撑点融于专业技术能力的培养过程中,使本教材突出指导性、实用性和可操作性,着重培养学生的动手能力,达到培养具有创新型技能人才的目的。

本教材以机电一体化基础为学习主线,根据高职高专的培养目标,按照“工作过程导向”的原则编写而成,以专业知识与专业技能相结合为目标,以实际工程应用案例分析为实例,突出了理论与实验实训一体化的教学。本教材结构清晰,层次分明,语言简练,深入浅出,适于各类高职高专学校教学使用,也可作为广大工程技术人员的技术读本。

本教材共构建7个模块,参加编写工作的有王海波(模块一、模块三、模块四)、宋树波(模块五、模块六)、程学晶(模块二、模块七)。

全书由吉林化工学院邵泽波教授主审。参加审稿工作的还有刘勃安、陈宝生等。

由于编写水平和经验有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者  
2011年10月



# 目 录

## CONTENTS

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 模块一 机电一体化系统概论 .....           | 1  |
| 【学习目标】 .....                  | 1  |
| 任务一 认知机电一体化 .....             | 1  |
| 【任务描述】 .....                  | 1  |
| 【知识准备】 .....                  | 1  |
| 1. 机电一体化的发展概况及发展趋势 .....      | 1  |
| 2. 机电一体化的关键技术 .....           | 2  |
| 3. 机电一体化系统设计及其工程路线 .....      | 3  |
| 4. 详细设计步骤 .....               | 4  |
| 【任务实施】 了解 CNC 机床内部功能构成 .....  | 4  |
| 1. 机电一体化产品的五种内部功能 .....       | 4  |
| 2. CNC 机床的内部功能 .....          | 5  |
| 【知识拓展】 机电一体化的发展趋势 .....       | 5  |
| 【学习小结】 .....                  | 5  |
| 习题一 .....                     | 5  |
| 模块二 机械系统设计 .....              | 7  |
| 【学习目标】 .....                  | 7  |
| 任务一 传动机构设计 .....              | 7  |
| 【任务描述】 .....                  | 7  |
| 【知识准备】 .....                  | 7  |
| 1. 传动机构性能要求 .....             | 7  |
| 2. 传动机构类型及其原理 .....           | 7  |
| 3. 传动机构的典型结构 .....            | 8  |
| 【任务实施】 传动机构的典型结构设计计算 .....    | 11 |
| 【知识拓展】 常用传动机构简介 .....         | 13 |
| 任务二 支撑与导向机构设计 .....           | 14 |
| 【任务描述】 .....                  | 14 |
| 【知识准备】 .....                  | 14 |
| 1. 支撑与导向机构性能要求 .....          | 14 |
| 2. 支撑与导向机构类型 .....            | 15 |
| 3. 支撑与导向机构的典型结构 .....         | 18 |
| 【任务实施】 支撑与导向机构的典型结构设计计算 ..... | 19 |
| 【知识拓展】 导轨的材料 .....            | 22 |
| 任务三 执行机构设计 .....              | 22 |
| 【任务描述】 .....                  | 22 |
| 【知识准备】 .....                  | 22 |
| 1. 执行机构性能要求 .....             | 22 |
| 2. 执行机构类型及其原理 .....           | 23 |
| 【任务实施】 执行机构的设计计算 .....        | 24 |
| 1. 机械夹持器 .....                | 24 |
| 2. 特种末端执行器 .....              | 27 |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 3. 灵巧手 .....                 | 28        |
| 【知识拓展】 执行机构的新型结构 .....       | 28        |
| 【学习小结】 .....                 | 31        |
| 习题二 .....                    | 31        |
| <b>模块三 检测系统设计 .....</b>      | <b>32</b> |
| 【学习目标】 .....                 | 32        |
| 任务一 模拟式传感器信号的检测 .....        | 32        |
| 【任务描述】 .....                 | 32        |
| 【知识准备】 模拟信号检测系统的构成 .....     | 32        |
| 【任务实施】 .....                 | 33        |
| 1. 认知基本转换电路 .....            | 33        |
| 2. 认知信号放大电路 .....            | 34        |
| 3. 认知滤波器 .....               | 37        |
| 4. 认知运算电路 .....              | 44        |
| 【知识拓展】 模拟传感器系统的抗干扰措施 .....   | 48        |
| 1. 干扰的种类 .....               | 48        |
| 2. 模拟传感器抗干扰的措施 .....         | 48        |
| 任务二 数字式传感器信号的检测 .....        | 50        |
| 【任务描述】 .....                 | 50        |
| 【知识准备】 数字信号检测系统的组成 .....     | 50        |
| 【任务实施】 .....                 | 50        |
| 1. 多路采集细分与辨向 .....           | 50        |
| 2. 电阻链移相细分与辨向 .....          | 53        |
| 3. 锁相倍频细分与辨向 .....           | 55        |
| 4. 脉冲填充细分与辨向 .....           | 59        |
| 【知识拓展】 数字传感器的驱动电路 .....      | 59        |
| 任务三 检测信号的采集和预处理 .....        | 60        |
| 【任务描述】 .....                 | 60        |
| 【知识准备】 模拟量的转换输入方式 .....      | 60        |
| 【任务实施】 .....                 | 61        |
| 1. 认知模拟多路开关 .....            | 61        |
| 2. 了解信号采样与保持 .....           | 62        |
| 3. 了解数字信号的预处理 .....          | 63        |
| 4. 了解传感器的非线性补偿 .....         | 66        |
| 【知识拓展】 传感器的零位误差和增益误差补偿 ..... | 67        |
| 【学习小结】 .....                 | 67        |
| 习题三 .....                    | 68        |
| <b>模块四 控制系统设计 .....</b>      | <b>69</b> |
| 【学习目标】 .....                 | 69        |
| 任务一 被控对象数学模型的建立 .....        | 69        |
| 【任务描述】 .....                 | 69        |
| 【知识准备】 .....                 | 69        |
| 1. 数学模型的类型 .....             | 69        |
| 2. 建立数学模型方法 .....            | 69        |
| 3. 被控对象模型的辨识 .....           | 70        |
| 【任务实施】 被控对象数学建模实例 .....      | 76        |



|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 【知识拓展】 典型环节的数学模型实例 .....      | 77         |
| 1. 机械平移系统 .....               | 77         |
| 2. 机械转动系统 .....               | 78         |
| 任务二 了解计算机控制技术 .....           | 78         |
| 【任务描述】 .....                  | 78         |
| 【知识准备】 .....                  | 78         |
| 1. 计算机控制系统的组成及特点 .....        | 78         |
| 2. 计算机控制算法 .....              | 84         |
| 3. 数字控制器设计 .....              | 91         |
| 4. 控制输出接口设计 .....             | 100        |
| 【任务实施】 计算机控制技术应用实例 .....      | 110        |
| 1. 自动化立体仓库概述 .....            | 110        |
| 2. 巷道堆垛机控制系统 .....            | 111        |
| 3. DeviceNet 网络结构及其网络配置 ..... | 116        |
| 【知识拓展】 计算机控制技术的发展 .....       | 122        |
| 【学习小结】 .....                  | 122        |
| 习题四 .....                     | 123        |
| <b>模块五 伺服系统设计 .....</b>       | <b>124</b> |
| 【学习目标】 .....                  | 124        |
| 任务一 熟悉伺服系统的分类及设计要求 .....      | 124        |
| 【任务描述】 .....                  | 124        |
| 【知识准备】 .....                  | 124        |
| 1. 伺服系统的概念 .....              | 124        |
| 2. 伺服系统的分类 .....              | 124        |
| 3. 伺服系统的构成 .....              | 125        |
| 4. 伺服系统的基本要求 .....            | 125        |
| 5. 伺服系统的执行元件 .....            | 126        |
| 【任务实施】 伺服系统设计 .....           | 131        |
| 【知识拓展】 数控机床的主轴与进给伺服系统 .....   | 132        |
| 1. 主轴伺服系统 .....               | 132        |
| 2. 进给伺服系统 .....               | 132        |
| 任务二 认知步进电机伺服系统 .....          | 133        |
| 【任务描述】 .....                  | 133        |
| 【知识准备】 .....                  | 133        |
| 1. 步进电机的工作原理及特点 .....         | 133        |
| 2. 步进电机的结构类型 .....            | 134        |
| 3. 步进电机的运行特性及参数 .....         | 135        |
| 4. 步进电机的微机开环控制 .....          | 138        |
| 5. 步进电机的微机闭环控制 .....          | 141        |
| 【任务实施】 步进电机伺服系统的典型计算 .....    | 141        |
| 1. 系统的脉冲当量 .....              | 141        |
| 2. 惯量匹配 .....                 | 142        |
| 3. 转矩的匹配 .....                | 142        |
| 4. 速度的匹配 .....                | 143        |
| 【知识拓展】 步进电机伺服系统设计的主要内容 .....  | 144        |
| 任务三 认知直流伺服系统 .....            | 144        |
| 【任务描述】 .....                  | 144        |



|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 【知识准备】                              | 145        |
| 1. 直流伺服电机的原理、结构、控制方式及分类             | 145        |
| 2. 直流伺服电机的静态和动态特性                   | 145        |
| 3. 直流伺服电机的调速                        | 147        |
| 4. 直流位置伺服系统的结构及数学模型                 | 149        |
| 【任务实施】 直流伺服系统设计的有关计算                | 151        |
| 1. 伺服刚度                             | 151        |
| 2. 滚珠丝杆的扭转刚度及综合轴向刚度                 | 151        |
| 3. 固有频率的计算                          | 152        |
| 4. 失动量的计算                           | 152        |
| 【知识拓展】 无刷直流伺服电机                     | 153        |
| 任务四 认知交流伺服系统                        | 155        |
| 【任务描述】                              | 155        |
| 【知识准备】                              | 155        |
| 1. 交流伺服电机工作原理和特点                    | 155        |
| 2. 交流伺服电动机的类型                       | 156        |
| 【任务实施】 异步电动机的调速                     | 156        |
| 1. $V_1/f_1$ 变频调速原理                 | 156        |
| 2. 转差频率控制的变频调速                      | 158        |
| 3. 矢量控制技术                           | 159        |
| 【知识拓展】 高性能交流伺服系统的发展                 | 159        |
| 任务五 认知直线电动机                         | 160        |
| 【任务描述】                              | 160        |
| 【知识准备】                              | 160        |
| 1. 直线电动机的基本原理                       | 160        |
| 2. 直线电机的分类及特点                       | 161        |
| 【任务实施】 分析典型直线电动机                    | 161        |
| 1. 直线直流电动机                          | 161        |
| 2. 直线步进电动机                          | 162        |
| 3. 压电式直线电动机                         | 162        |
| 【知识拓展】 直线电机技术的发展                    | 163        |
| 【学习小结】                              | 164        |
| 习题五                                 | 164        |
| <b>模块六 仿真在机电系统设计中的作用</b>            | <b>165</b> |
| 【学习目标】                              | 165        |
| 任务一 机械传动系统的仿真                       | 165        |
| 【任务描述】                              | 165        |
| 【知识准备】                              | 165        |
| 1. Simulink 和 SimMechanics 环境下的建模仿真 | 165        |
| 2. 机械传动系统的动力学模型                     | 166        |
| 3. 传动机构的仿真分析                        | 168        |
| 【任务实施】                              | 169        |
| 1. 齿轮传动机构 Simulink 仿真分析             | 169        |
| 2. 齿轮传动机构 SimMechanics 仿真分析         | 171        |
| 【知识拓展】 传动机构的机械参数对系统性能的影响            | 173        |
| 1. 惯量的影响                            | 174        |
| 2. 摩擦阻尼的影响                          | 174        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 3. 刚度的影响 .....                    | 175        |
| 4. 传动链的误差 .....                   | 175        |
| 任务二 机构动态仿真 .....                  | 175        |
| 【任务描述】 .....                      | 175        |
| 【知识准备】 .....                      | 176        |
| 1. 机构运动学模型及仿真 .....               | 176        |
| 2. 机构动力学分析 .....                  | 177        |
| 【任务实施】 平面五连杆机器人动态仿真实例 .....       | 177        |
| 1. 正向运动学模型 .....                  | 178        |
| 2. 逆向运动学模型 .....                  | 179        |
| 3. 基于数学模型的运动学仿真分析 .....           | 179        |
| 4. 基于 SimMechanics 的动力学仿真分析 ..... | 180        |
| 【知识拓展】 建模与仿真的校核、验证与确认 .....       | 182        |
| 任务三 伺服驱动系统的仿真 .....               | 182        |
| 【任务描述】 .....                      | 182        |
| 【知识准备】 .....                      | 183        |
| 1. 基于传递函数的伺服控制系统仿真 .....          | 183        |
| 2. 基于状态空间的伺服控制系统仿真 .....          | 189        |
| 【任务实施】 倒立摆系统伺服控制仿真实例 .....        | 191        |
| 【知识拓展】 模糊控制系统仿真 .....             | 192        |
| 1. 模糊控制系统组成 .....                 | 192        |
| 2. 模糊控制的基本原理 .....                | 193        |
| 【学习小结】 .....                      | 193        |
| 习题六 .....                         | 193        |
| <b>模块七 机电一体化总体设计 .....</b>        | <b>195</b> |
| 【学习目标】 .....                      | 195        |
| 任务一 了解总体设计功能及性能指标的分配 .....        | 195        |
| 【任务描述】 .....                      | 195        |
| 【知识准备】 .....                      | 195        |
| 1. 机电一体化系统内部功能的设计要求 .....         | 195        |
| 2. 机电一体化系统常用性能指标 .....            | 195        |
| 3. 常用性能指标分配原则 .....               | 197        |
| 【任务实施】 功能及性能指标分配实例 .....          | 199        |
| 【知识拓展】 机电一体化系统的性能评价 .....         | 202        |
| 任务二 熟悉总体设计的方法和步骤 .....            | 204        |
| 【任务描述】 .....                      | 204        |
| 【知识准备】 .....                      | 204        |
| 1. 机电一体化产品的设计类型和总体设计方法 .....      | 204        |
| 2. 机电一体化产品的设计与现代设计方法 .....        | 205        |
| 3. 机电一体化系统（或产品）的设计步骤 .....        | 207        |
| 【任务实施】 定量电子秤总体设计实例 .....          | 208        |
| 【知识拓展】 机电一体化系统的可靠性设计方法 .....      | 211        |
| 【学习小结】 .....                      | 213        |
| 习题七 .....                         | 214        |
| <b>参考文献 .....</b>                 | <b>215</b> |

# 模块一 机电一体化系统概论

## 【学习目标】

- ① 熟悉机电一体化产品的构成及分类。
- ② 掌握机电一体化共性关键技术。
- ③ 了解机电一体化设计及其工程路线。

## 任务一 认知机电一体化

### 【任务描述】

机电一体化是以机械技术和电子技术为主体，多门技术学科相互渗透、相互结合的产物，是正在发展和逐渐完善的一门新兴的边缘学科。机电一体化技术的突出特点在于它在机械产品中注入了过去所没有的新技术，把电子器件的信息处理和自动控制等功能“糅合”到机械装置中去，从而获得了过去单靠某一种技术而无法实现的功能和效果。为了较好地学习这些知识，首先需要了解机电一体化发展概况和趋势、共性关键技术和产品设计基本思路。

### 【知识准备】

#### 1. 机电一体化的发展概况及发展趋势

现代化生产的水平、产品的质量和经济效益等各项指标，在很大程度上取决于生产设备的先进性和电气自动化程度。机电一体化技术是随着科学技术不断发展，生产工艺不断提出新要求而迅速发展起来的。在控制方法上，主要是从手动到自动；在控制功能上，是从简单到复杂；在操作上，是由笨重到轻巧。随着新的控制理论和新型电器及电子器件的出现，又为电气控制技术的发展开拓了新途径。

机械技术、计算机技术、微电子技术等的发展为机电一体化的产生奠定了良好的基础，人们对生产和生活产品在质量和品种上的要求不断提高是机电一体化蓬勃发展的动力。目前，机电一体化产品已经渗透到国民经济和日常工作、生活的各个领域。冰箱、全自动洗衣机、录像机、照相机等家电产品，电子打字机、复印机、传真机等自动化办公设备，脑CT、核磁共振等成像诊断仪器，数控机床、工业机器人、自动化物料搬运车等机械制造设备，以及由微机控制正时点火、助力转向、燃油喷射、排气净化等的交通运输设备等，都是典型的机电一体化产品。

机电一体化技术的发展水平是一个国家技术水平的标志，在一定程度上反映了该国的技术经济实力。工业发达国家和地区对机电一体化技术都十分重视，从政府到企业都制定了相应的发展战略。我国的机电一体化发展速度较快，尤其是在加入WTO以后，面对国际市场激烈竞争的新形势，已充分认识到机电一体化对经济发展的重要战略意义，相关部门组织专家根据我国国情对发展机电一体化的目标、原则、层次和途径等进行了深入而广泛的研究，制定了一系列有利于机电一体化发展的政策法规，确定了数控机床、工业自动化控制仪表、工业机器人、汽车电子化等15个优先发展领域及多项共性关键技术的研究方向和课题。



目前,机电一体化技术思想已被普遍接受和采用,机电一体化技术体系正在不断地发展和完善。国民经济建设和发展迫切需要大量掌握机电一体化技术的人才去改造传统产业,研究和开发新一代机电一体化产品以改善出口产品结构,增强我国产品在国际市场上的竞争力。

## 2. 机电一体化的关键技术

概括起来,机电一体化共性关键技术主要有六大技术。

### (1) 机械技术

机械技术是机电一体化的基础。机电一体化产品中的主功能和构造功能,往往是以机械技术为主实现的。在机械与电子相互结合的实践中,不断对机械技术提出更高的要求,使现代机械技术相对于传统机械技术发生了很大变化。新材料、新工艺、新原理、新机构等不断出现,现代设计方法不断发展和完善,以满足机电一体化产品对减轻重量、缩小体积、提高精度和刚度、改善性能等多方面的要求。

### (2) 计算机与信息处理技术

信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策等,实现信息处理的主要工具是计算机。计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。在机电一体化产品中,计算机与信息处理装置指挥整个产品的运行。信息处理是否正确、及时,直接影响到产品工作的质量和效率。计算机应用及信息处理技术已成为促进机电一体化技术和产品发展的最活跃的因素。

### (3) 检测与传感技术

检测与传感技术的研究对象是传感器及其信号检测装置。机电一体化产中,传感器作为感受器官,将各种内、外部信息通过相应的信号检测装置反馈给控制及信息处理装置,因此检测与传感是实现自动控制的关键环节。机电一体化要求传感器能快速、精确地获取信息并经受各种严酷环境的考验。但是由于目前检测与传感技术还不能与机电一体化的发展相适应,使得不少机电一体化产品不能达到满意的效果或无法实现设计。因此,大力开展检测与传感技术的研究对发展机电一体化具有十分重要的意义。

### (4) 自动控制技术

自动控制技术范围很广,包括自动控制理论、控制系统设计、系统仿真、现场调试、可靠运行等从理论到实践的整个过程。由于被控对象种类繁多,所以控制技术的内容极其丰富,包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等控制技术。自动控制技术的难点在于自动控制理论的工程化与实用化,这是由于现实世界中的被控对象往往与理论上的控制模型之间存在较大差距,使得从控制设计到控制实施往往要经过多次反复调试与修改,才能获得比较满意的结果。由于微型机的广泛应用,自动控制技术越来越多地与计算机技术联系在一起,成为机电一体化中十分重要的关键技术。

### (5) 伺服驱动技术

伺服驱动技术的主要研究对象是执行元件及其驱动装置。执行元件有电动、气动、液压等多种类型,机电一体化产品中多采用电动式执行元件,其驱动装置主要是指各种电动机的驱动电源电路,目前多采用电力电子器件及集成化的功能电路构成。执行元件一方面通过电气接口向上与微型机相连,以接受微型机的控制指令;另一方面又通过机械接口向下与机械传动和执行机构相连,以实现规定的动作。因此伺服驱动技术是直接执行操作的技术,对机电一体化产品的动态性能、稳态精度、控制质量等具有决定性的影响。

### (6) 系统总体技术

系统总体技术是一种从整体目标出发,用系统工程的观点和方法,将系统总体分解成相互有机联系的若干功能单元,并以功能单元为子系统继续分解,直至找到可实现的技术方

案，然后再把功能和技术方案组合成方案组进行分析、评价和优选的综合应用技术。系统总体技术所包含的内容很多，接口技术是其重要内容之一，机电一体化产品的各功能单元通过接口连接成一个有机的整体。系统总体技术是最能体现机电一体化设计特点的技术，其原理和方法还在不断发展和完善。

### 3. 机电一体化系统设计及其工程路线

#### (1) 机电一体化设计的基本思路

机电一体化产品种类繁多，涉及技术领域广泛，不同的产品所涉及的技术范围和结构的复杂程度也不尽相同。针对不同类型的产品要应用不同的设计方法。从产品设计的角度出发，机电一体化产品的设计过程也有其各自的特点，归纳其基本思想，机电一体化产品基本设计思路如图 1-1 所示。

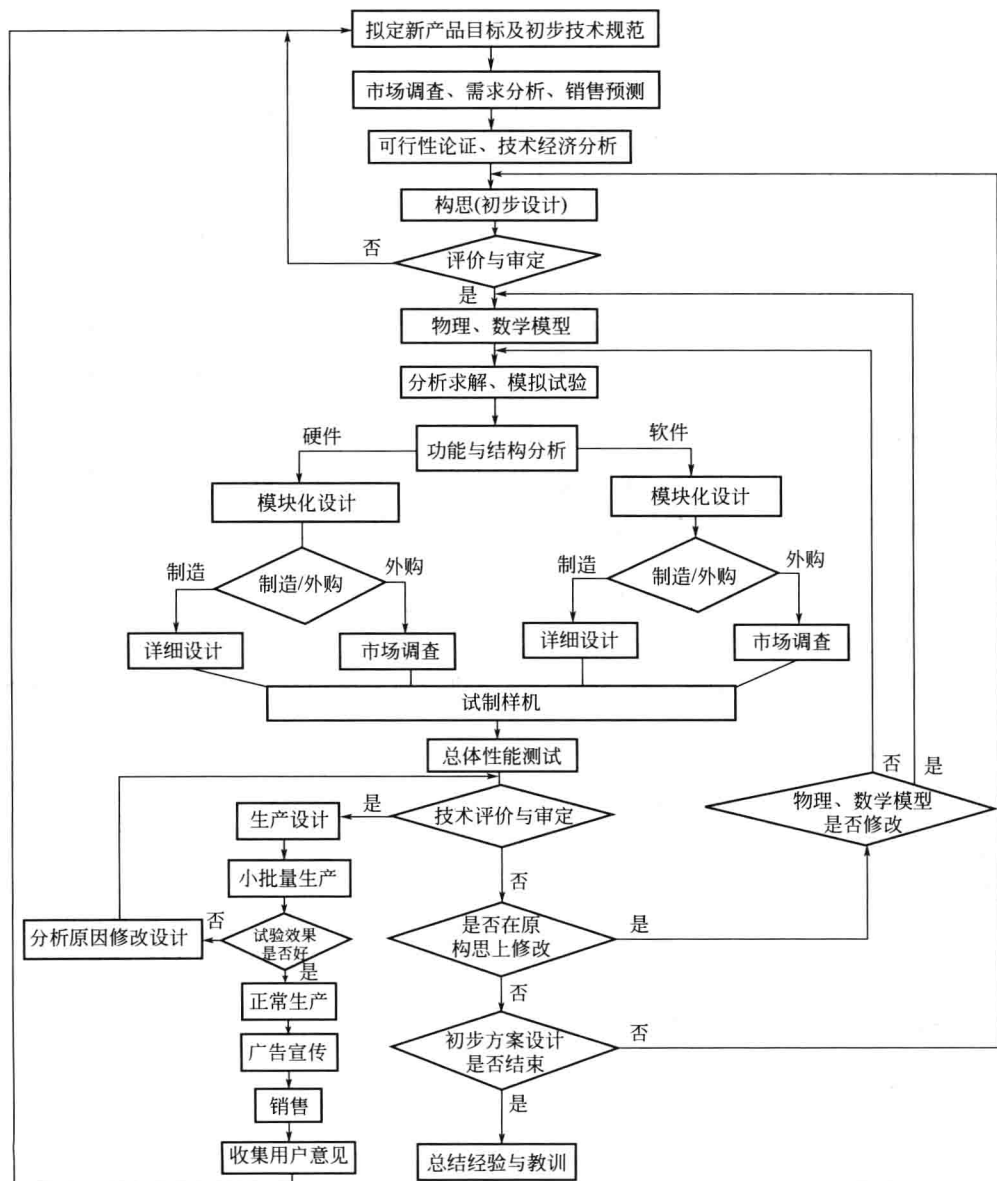


图 1-1 机电一体化基本设计思路



## (2) 机电一体化设计的基本方法

在充分进行市场调研和预测的基础上,确定了产品开发目标及产品功能要求后,接下来的任务就是进行具体的设计。机电一体化产品设计常采用以下方法。

- ① 专家调查法 请专家发表意见,选择、集中其中的新思想来创造新方案。
- ② 头脑风暴法 召集创新方案的会议,鼓励与会人员自由开放地思考问题,发表创见。
- ③ 检查提问法 通过提出问题引导人们对设计方案提出新的构思。
- ④ 检查表法 详细列出若干值得推敲的问题进行对照检查,以便改进方案。
- ⑤ 特性列举法 将研究对象按其特性加以表述,并逐一研究其实现方法。
- ⑥ 缺点列举法 列举已有构思、设计方案或已有产品的各种缺点,以激发人们提出改善方案。
- ⑦ 希望列举法 通过列举改进希望,提高人们创新的思想。

## 4. 详细设计步骤

详细设计是指根据综合评价确定的基本方案,从技术上将其细节逐层全部展开,直至完成试制产品样机所需全部技术图纸及文件的过程。

### (1) 系统总体设计

包括人-机系统的详细设计,总体布局设计,维护及维修对策的设计,与制造单位的工艺协调,事前准备的未来发展对策设计,产品性能及最终运行条件的设计。

### (2) 机械本体设计

包括现有设备的利用与改造部分设计,新设计产品的详细设计方案和工程设计,对象的加工相关设计,作业工具、量具、工具设计,安全装置的设计,特殊附加装置的设计,机器控制对策的设计,现有制造装备的改造及添加部分的设计。

### (3) 控制系统设计

包括标准控制及扩展方案的讨论,机器控制的顺序与方法的确定,接口设计,控制回路设计及整个机电一体化产品整体回路的设计,联锁及安全的设计等。

### (4) 程序设计

根据系统设计及接口技术方案进行程序编制和调试。

### (5) 后备系统设计

包括故障预测及修复方法设计,故障停机时机器对策的调查和制定,控制对策和准备工作设计。

### (6) 完成详细设计书及制造图样

包括制作整体构成及各模块和局部的设计说明书,产品制造图样及零件清单,标准件表及材料表,成本核算表,综合评价表,检验规范,调整规范,预算分配方案等。

### (7) 产品使用文件的设计

包括设计用户使用说明书,调整维护说明书,产品出厂检验证书,教育训划等。详细设计过程需要在试制、试用、用户调研的基础上经过多次循环、反复修改,逐步完善。

## 【任务实施】 了解 CNC 机床内部功能构成

### 1. 机电一体化产品的五种内部功能

- ① 主功能
- ② 动力功能
- ③ 计测功能

- ④ 控制功能
- ⑤ 构造功能

## 2. CNC 机床的内部功能

如图 1-2 所示, 切削加工是 CNC 机床的主功能, 是实现其目的所必需的功能, 具体体现为: 利用电源输入的能量, 在控制装置及控制程序的控制下, 通过刀架和主轴将输入的毛坯加工成要求的工件。电源通过电动机驱动机床, 向机床提供动力, 实现动力功能。位置检测装置和 CNC 控制装置分别实现计测功能和控制功能, 其作用是实时检测所需信息, 据此对机床实施相应的控制。机械结构所实现的是构造功能, 使机床各功能部件保持规定的相互位置关系, 构成一台完整的 CNC 机床。

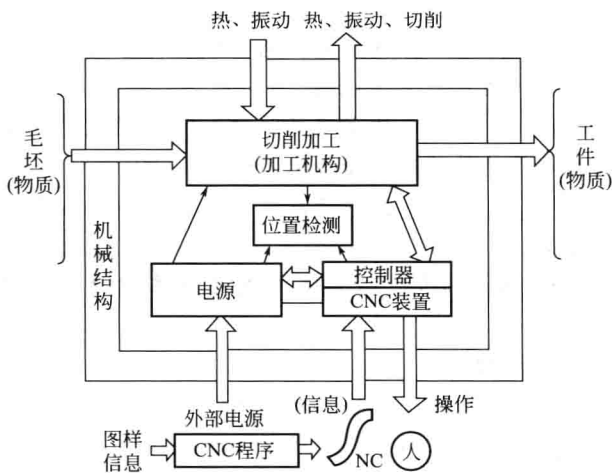


图 1-2 CNC 机床的内部功能结构

### 【知识拓展】 机电一体化的发展趋势

随着科学技术的进步, 尤其是机械技术和微电子技术的进步, 将为机电一体化技术的发展奠定坚实基础, 它的发展动力是人们对社会需求的不断增长, 尤其是对产品的种类和功能要求的不断提高。为了不断满足人们生活的多样化要求和生产的省力、省时及自动化等方面的需要。机电一体化将通过综合利用现代高新技术的优势, 在提高精度、增强功能、改善操作性和使用性、提高生产率和降低成本、节约能源和降低消耗、减轻劳动强度和改善劳动条件、提高安全性和可靠性、简化结构和减轻重量、增强柔性和智能化程度、降低价格等诸多方面都取得显著的成绩, 促使社会和科学技术向前大大的迈进。

### 【学习小结】

① 机电一体化基本概念 机电一体化包含机电一体化技术和机电一体化产品。机电一体化技术是机械技术与微电子技术的有机结合; 机电一体化产品是指新兴机械与电子器件, 特别是微处理器、微型机相结合而开发出的新一代电子化机械产品。

② 机电一体化的关键技术 机械技术、计算机与信息处理技术、检测与传感技术、自动控制技术、伺服驱动技术和系统总体技术。

③ 机电一体化产品的设计方法有很多, 典型的包括专家调查法、头脑风暴法、检查提问法、检测表法、特性列举法、缺点列举法和希望列举法等。

④ 机电一体化产品的基本设计步骤是总体设计、机械本体设计、控制系统设计、控制软件设计、后备系统设计、设计书及图样绘制、产品说明书设计。

⑤ CNC 机床是工业上很常见的机床, 它的内部功能结构是机电一体化产品的典型实例。



## 习题一

### 1. 填空题

(1) 机电一体化技术的发展水平是一个国家\_\_\_\_\_水平的标志, 在一定程度上反映





了该国的技术经济实力。

(2) \_\_\_\_\_ 技术是机电一体化的基础。机电一体化产品中的主功能和构造功能，往往是以它的技术为主实现的。

(3) \_\_\_\_\_ 技术是直接执行操作的技术，对机电一体化产品的动态性能、稳态精度、控制质量等具有决定性的影响。

(4) \_\_\_\_\_ 技术是最能体现机电一体化设计特点的技术，其原理和方法还在不断发展和完善。

(5) CNC 机床内部功能构成包括主功能、动力功能、\_\_\_\_\_、控制功能和构造功能。

## 2. 简述题

(1) 试说明机电一体化的涵义。

(2) 机电一体化系统的主要组成、作用及其特点是什么？

(3) 试举几个日常生活中的机电一体化产品。

(4) 机电一体化的主要支撑技术有哪些？它们的作用如何？

(5) 机电一体化设计与传统设计的主要区别是什么？

## 模块二 机械系统设计

### 【学习目标】

- ① 熟悉机械系统各机构的工作特点。
- ② 了解各机构的类型及原理。能正确区分机械系统的各机构，掌握各机构的选择方法。
- ③ 掌握各机构中典型结构的原理和设计计算。

### 任务一 传动机构设计

#### 【任务描述】

传动机构不仅仅是机械系统中的转速和转矩的变换器，还是伺服系统的一部分，因此传动机构除了要满足传动精度的要求，还要满足小型、轻量、高速、低噪声和高可靠性的要求。滚珠丝杆副传动机构是传动机构中最重要的一类。了解和掌握已有设备的工作原理、结构、特点及安装，对提高设备的使用功能非常重要。

#### 【知识准备】

##### 1. 传动机构性能要求

机电一体化机械系统应具有良好的伺服性能（即精度高、快速响应性和稳定性好），从而应满足以下几个方面。

① 转动惯量小 在不影响机械系统刚度的前提下，传动机构的质量和转动惯量应尽量减小。否则，转动惯量大会对系统造成不良影响，机械负载增大；系统响应速度降低，灵敏度下降；系统固有频率减小，容易产生谐振。所以在设计时应尽量减小转动惯量。

② 刚度大 刚度是使弹性体产生单位变形量所需的作用力。大刚度对机械系统而言是有利的：伺服系统动力损失随之减小；机构固有频率高，超出机构的频带宽度，使之不易产生共振；增加闭环伺服系统的稳定性。所以在设计时应选用大刚度的机构。

③ 阻尼合适 机械系统产生振动时，系统的阻尼越大，其最大振幅就越小，且衰减也越快，但大阻尼也会使系统的稳态误差增大、精度降低。所以设计时阻尼要选择适当。

④ 无传动间隙 开环或闭环之外的传动间隙对系统的稳定性无影响，但会造成传动装置逆运行时的回程误差，从而影响伺服精度。闭环之内的传动间隙对系统静态精度无影响，因为控制系统有自动校正作用，但对系统的稳定性有影响。若闭环系统的稳定裕度较小，则会使系统产生自激振荡。

⑤ 摩擦小 摩擦会引起系统的动态滞后，降低系统的响应速度，导致系统误差和低速爬行。

##### 2. 传动机构类型及其原理

常用的机械传动部件有螺旋传动、齿轮传动、同步带、高速带传动以及各种非线性传动部件等，其主要功能是传递转矩和转速，因此，实质上它是一种转矩、转速变换器。