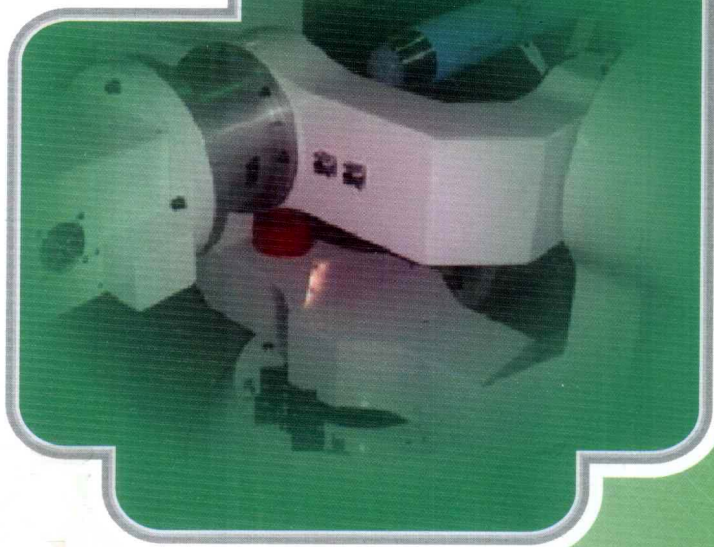




全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

# 机电一体化课程 设计指导书

主 编 王金娥 罗生梅  
主 审 陈再良



涵盖产品开发全过程  
真实案例强化能力培养



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

# 机电一体化课程设计指导书

主 编 王金娥 罗生梅  
副主编 李 娟 方成刚  
主 审 陈再良



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书以机电一体化产品设计开发过程为线索,以简明、扼要、实用和系统为宗旨,对于机电一体化产品设计过程中涉及的相关内容结合应用实例进行了系统的阐述。全书共分7章,分别介绍了绪论、总体方案设计、机电一体化系统机械模块设计、机电一体化系统驱动模块设计、机电一体化系统传感器与测量模块设计、机电一体化控制系统设计和机电一体化综合设计实例。

本书可作为普通高等院校机械制造及自动化、机械电子工程、材料成型与控制工程等专业本科生的通用教材,也可作为机电一体化产品开发设计人员、产品制造人员的学习和参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机电一体化课程设计指导书/王金娥,罗生梅主编. 北京:北京大学出版社,2012.1

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19736-3

I. ①机… II. ①王… ②罗… III. ①机电一体化—课程设计 高等学校—教学参考资料 IV. ①TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第231662号

书 名: 机电一体化课程设计指导书

著作责任者: 王金娥 罗生梅 主编

策 划 编 辑: 童君鑫

责 任 编 辑: 宋亚玲

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19736-3/TH·0274

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 425千字

2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷

定 价: 35.00元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

科学技术的发展给传统的机械行业带来了深刻的变革，传统的机械产品已经逐渐被机电一体化产品所取代，掌握机电一体化产品的设计开发方法已经成为工程技术人员学习的重要内容，也是机械工程类各专业本科教学的一个重要环节。

本书以机电一体化产品开发的全过程为线索，论述了如何进行整体方案设计、机械模块的设计、驱动和检测模块的设计计算与选型及控制系统的设计，最后通过四种典型的机电一体化产品设计过程对各部分内容进行了综合。

全书共分7章，主要内容包括：

第1章 绪论，主要介绍了机电一体化课程设计的目的、任务和设计流程等。

第2章 总体方案设计，主要介绍了总体方案设计的目标、设计方法和步骤。

第3章 机电一体化系统机械模块设计，主要介绍机电一体化系统设计中常用的机械传动装置的设计计算与选型。

第4章 机电一体化系统驱动模块设计，主要介绍了机电一体化系统中常用的三种控制电机及其驱动器的设计计算与选用。

第5章 机电一体化系统传感器与测量模块设计，主要介绍了机电一体化系统中常用的几种传感器的计算与选型。

第6章 机电一体化控制系统设计，主要介绍了机电一体化控制系统中控制器的选择以及常用控制系统的设计方法和设计步骤。

第7章 机电一体化综合设计实例，通过四种典型的机电一体化产品介绍机电一体化设计的全过程。

本书的第3章、第4章的4.3节和4.4节、第7章的7.1节由兰州理工大学罗生梅编写，第7章的7.2节由苏州大学李娟编写，第7章的7.4节由南京工业大学方成刚编写，其余部分由苏州大学王金娥编写。本书由苏州大学陈再良老师审阅。

本书在编写过程中得到了苏州大学、兰州理工大学和南京工业大学的相关领导和老师们的关心和支持，在此致以诚挚的谢意！本书在编写过程中，参考并引用了国内外同行的教材、参考书、手册、期刊文献和网络资料，限于篇幅，不能在文中一一列举，在此一并对其作者和单位谨致谢意！研究生钟黔、张万里、陆晓明、周震东、张博、杨德宇和牛朝阳为本书的插图、整理做了大量工作，在此表示衷心的感谢！

由于时间仓促，加上作者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2011.10

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	3.1.1 总传动比的确定 .....	24
1.1 机电一体化课程设计的目的 .....	2	3.1.2 齿轮传动的回差及其控制 .....	26
1.2 机电一体化课程设计的任务 .....	2	3.2 滚珠丝杠螺母传动副的选型与计算 .....	28
1.3 机电一体化课程设计的方法和设计流程 .....	2	3.2.1 滚珠丝杠螺母副的工作原理与特点 .....	28
1.4 机电一体化课程设计的内容和时间安排 .....	4	3.2.2 滚珠丝杠螺母副的参数与标注 .....	29
1.5 课程设计说明书的内容 .....	5	3.2.3 滚珠丝杠螺母副的精度等级 .....	32
1.6 准备答辩和成绩评定建议 .....	6	3.2.4 滚珠丝杠螺母副的结构类型 .....	34
<b>第 2 章 总体方案设计</b> .....	7	3.2.5 滚珠丝杠螺母副的尺寸系列 .....	35
2.1 总体方案设计的目标 .....	8	3.2.6 滚珠丝杠螺母副支承方式及制动装置的选择 .....	35
2.2 系统的功能原理方案设计 .....	8	3.2.7 滚珠丝杠螺母副预紧方式的选择与预紧力确定 .....	37
2.2.1 功能原理方案设计的步骤 .....	8	3.2.8 滚珠丝杠螺母副支承所用的轴承规格与型号 .....	40
2.2.2 功能原理方案设计的方法 .....	8	3.2.9 滚珠丝杠螺母副的动载荷计算与直径估算 .....	41
2.3 结构总体设计 .....	12	3.2.10 滚珠丝杠螺母副的承载能力校验 .....	45
2.3.1 总体结构设计的步骤和内容 .....	12	3.2.11 滚珠丝杠螺母副的刚度计算 .....	47
2.3.2 结构设计的基本原则和原理 .....	13	3.4 同步带传动的设计计算与选型 .....	50
2.4 控制系统总体方案设计 .....	14	3.4.1 同步带传动的特点与应用 .....	50
2.4.1 控制系统总体方案设计的内容和步骤 .....	15	3.4.2 同步带的主要结构及分类 .....	51
2.4.2 控制器选型 .....	16	3.4.3 同步带轮的主要类型及规格 .....	56
2.5 控制电机的选择 .....	18	3.4.4 同步带传动的设计计算 .....	61
2.5.1 对控制电机的基本要求 .....	18	3.4.5 同步带传动的选型与计算实例 .....	64
2.5.2 常用控制电机的分类及特点 .....	18		
2.6 应用举例 .....	19		
<b>第 3 章 机电一体化系统机械模块设计</b> .....	23		
3.1 齿轮传动副的选用 .....	24		

3.5 导轨的设计与选型 .....	66	4.2.4 直流伺服电机的驱动 电路 .....	105
3.5.1 导轨的技术要求 .....	66	4.2.5 直流伺服电机的选择 .....	108
3.5.2 直线滑动导轨 .....	66	4.2.6 直流伺服电机的标注 .....	111
3.5.3 贴塑滑动导轨 .....	68	4.3 交流伺服电机 .....	112
3.5.4 导轨的维护 .....	69	4.3.1 交流伺服电机的特点、 分类和结构 .....	112
3.5.5 滚动直线导轨的选型与 优点 .....	70	4.3.2 交流伺服电机的主要技术 参数 .....	113
3.5.6 滚动直线导轨副的精度及 选用 .....	71	4.3.3 异步型交流伺服电机 .....	113
3.5.7 滚动直线导轨的选型与 计算 .....	72	4.3.4 同步型交流伺服电机 .....	114
3.6 联轴器的选用 .....	74	4.3.5 交流伺服电机的控制 形式 .....	115
3.6.1 刚性联轴器 .....	74	4.3.6 交流伺服系统与步进伺服 系统的比较 .....	116
3.6.2 挠性联轴器 .....	76	4.3.7 交流伺服电机及其驱动器的 选用 .....	117
3.6.3 联轴器的选用 .....	76	4.4 应用举例 .....	122
3.6.4 联轴器传递扭矩的计算 .....	77	4.4.1 纸纱复合制袋机工艺 流程 .....	123
3.7 机械模块应用实例——镗铣加工 中心工作台(X轴)设计 .....	78	4.4.2 纸纱复合制袋机的主要 控制构成 .....	123
3.7.1 镗铣加工中心工作台(X轴) 设计 .....	78	4.4.3 切断环节的伺服控制 系统 .....	125
3.7.2 设计计算 .....	78	4.4.4 纸纱复合制袋机电气系统的 选择与设计 .....	127
3.7.3 工作台部件设计 .....	82	4.4.5 伺服接口电路 .....	132
3.7.4 滚珠丝杠螺母副的承载 能力校验 .....	82	4.4.6 制袋机工作过程中的协调 控制与实现 .....	133
<b>第4章 机电一体化系统驱动模块   设计 .....</b>	<b>84</b>	<b>第5章 机电一体化系统传感器与   测量模块设计 .....</b>	<b>135</b>
4.1 步进电机 .....	85	5.1 光电编码器 .....	136
4.1.1 步进电机的分类及其 特点 .....	85	5.1.1 增量式光电编码器 .....	136
4.1.2 步进电机的主要参数及 选择 .....	85	5.1.2 绝对式光电编码器 .....	138
4.1.3 步进电机的型号标注 .....	87	5.1.3 光电编码器的选用 .....	139
4.1.4 步进电机的选用 .....	89	5.2 光栅式位移传感器 .....	143
4.1.5 步进电机的驱动与控制 .....	93	5.2.1 结构和工作原理 .....	143
4.1.6 步进电机的升降频方式 .....	98	5.2.2 标注及基本参数 .....	144
4.2 直流伺服电机 .....	100	5.2.3 光栅式位移传感器的安装 方式 .....	145
4.2.1 直流伺服电机的分类和 特点 .....	100	5.3 测速发电机 .....	146
4.2.2 有刷直流伺服电机 .....	101		
4.2.3 直流无刷伺服电机 .....	104		

5.3.1	测速发电机的分类及特点	147	6.5.1	注塑生产过程的单片机控制系统	194
5.3.2	直流测速发电机	147	6.5.2	机械手物料自动搬运的可编程控制器控制系统	196
5.3.3	交流异步测速发电机	149	<b>第7章 机电一体化综合设计实例</b>	<b>198</b>	
5.3.4	测速发电机的选用	151	7.1	BX0 密封槽数控机床设计	199
5.4	应用举例	153	7.1.1	概述	199
5.4.1	编码器应用举例	153	7.1.2	密封槽数控机床总体方案设计	200
5.4.2	测速发电机的应用举例	154	7.1.3	密封槽数控机床机械模块设计	202
<b>第6章 机电一体化控制系统设计</b>	<b>155</b>		7.1.4	切削力的分析与计算	203
6.1	可编程控制器控制系统	156	7.1.5	机械模块设计计算	204
6.1.1	可编程控制器控制系统的特点	156	7.1.6	机床驱动模块设计	209
6.1.2	可编程控制器的分类	156	7.1.7	密封槽数控机床控制模块设计	213
6.1.3	可编程控制器的应用领域	157	7.2	SCARA 机器人的设计	223
6.1.4	可编程控制器的工作原理	157	7.2.1	设计任务	223
6.1.5	可编程控制器控制系统的设计	160	7.2.2	SCARA 机器人的总体设计	224
6.2	单片机控制系统	164	7.2.3	机器人关键零部件设计	225
6.2.1	单片机控制系统的特点	164	7.2.4	机器人控制系统设计	235
6.2.2	单片机的分类及选用	165	7.3	普通车床的数控化改造	237
6.2.3	单片机存储器的扩展	166	7.3.1	设计任务	238
6.2.4	单片机的 I/O 扩展及其电路设计	172	7.3.2	总体方案设计	238
6.2.5	A/D 和 D/A 转换电路设计	184	7.3.3	机床主传动系统的设计计算	240
6.3	工业 PC 控制系统	185	7.3.4	机床进给系统机械传动部分的设计计算	249
6.3.1	工控机的特点	185	7.3.5	机床进给系统步进电机的设计计算与选择	253
6.3.2	典型工控机及系统的分类和组成	185	7.3.6	控制系统的设计	256
6.3.3	工业 PC 控制系统的设计过程	186	7.4	立体仓库的堆垛机设计	266
6.4	闭环伺服系统	187	7.4.1	设计任务	266
6.4.1	闭环伺服系统组成方案	187	7.4.2	总体方案设计	267
6.4.2	闭环伺服系统的数学模型	191	7.4.3	堆垛机的机械系统设计	268
6.5	应用举例	194	7.4.4	堆垛机控制系统设计	275
			<b>参考文献</b>	<b>280</b>	

# 第 1 章

## 绪 论

机电一体化系统课程设计是一个重要的实践性教学环节，要求学生综合运用所学过的机械、电子、计算机和自动控制等方面的知识，独立进行一次机电结合的综合设计训练。本章主要介绍了机电一体化系统课程设计的目的和任务，设计方法和设计流程，设计内容和时间安排，以及课程设计说明书撰写的内容和要求等。



### 本章学习目标

- 了解机电一体化课程设计的目的和任务；
- 掌握机电一体化课程设计的设计方法和设计流程；
- 了解机电一体化课程设计的内容；
- 了解课程设计说明书的撰写要求。



## 1.1 机电一体化课程设计的目的

机电一体化技术又称为机械电子技术，它不是一门独立的工程学科，是机械技术、电子技术、信息技术、自动控制技术等相关技术的综合。机电一体化课程设计是针对机电一体化系列课程的要求，继机电一体化课程后的一门设计实践性课程。它是理论与实践的结合，是培养学生机电一体化产品综合设计能力必不可少的教学环节。

机电一体化课程设计的目的主要包括以下几个方面：

(1) 培养学生综合运用所学的理论知识与实践技能，解决实际问题的能力；树立正确的设计思想，掌握机电一体化产品设计的一般方法和规律，提高机电一体化产品设计的能力。

(2) 通过设计实践，熟悉设计过程，学会设计资料的正确使用；掌握机械传动系统的设计计算方法，控制系统的设计，检测模块和动力驱动模块的计算和选用及工程图纸的绘制等，从而在机电一体化产品设计基本技能的运用上得到训练。

(3) 为学生提供一个较为充分的设计空间，使其在巩固所学知识的同时，强化创新意识，在设计实践中深刻领会机电一体化课程设计的内涵，培养学生的专业技术能力和综合素质。

## 1.2 机电一体化课程设计的任务

机电一体化产品覆盖面很广，尽管在系统的构成上有着不同的层次，但在系统设计方面有着相同的规律。机电一体化系统设计是根据机电融合的设计思想，运用现代设计方法和设计手段构造产品结构、赋予产品性能、完成产品设计的全过程。机电一体化课程设计的任务是以几种典型的机电一体化产品，如数控机床、机器人等为设计案例，讨论其机械传动系统的设计步骤、设计方法，电机的选用和相关参数的设计计算，控制器的选择及控制方案的制订，工程图的绘制以及编写设计说明书等。使学生通过机电一体化课程设计，掌握机电一体化产品设计的全过程。

## 1.3 机电一体化课程设计的方法和设计流程

机电一体化课程设计是以典型的机电一体化产品为设计对象所进行的实践教学，在设计方法和设计流程上可遵循通常的机电一体化产品的设计方法和设计流程。

### 1. 机电一体化产品的设计方法

不论哪一种设计，为了提高产品设计的质量，必须有一个科学的设计程序。机电一体化产品的设计方法可概括为以下几个方面。

(1) 掌握有关各领域信息资料。设计前和设计中应注意搜索和掌握设计所必需的各项

域信息、文献资料、产品样本与性能等关键信息情报，并做认真的分析和综合。

(2) 按照系统工程的理论和方法去分析处理问题。遵循系统工程的分析方法进行设计过程规划与控制，并按系统管理原理对风险进行分析、阶段滤波与决策，提高设计开发的成功率。

(3) 并行设计。随着机械结构的日益复杂和制造精度的不断提高，机械制造的成本显著增加，仅仅依靠机械本身的结构和加工精度来实现高精度和多功能的要求是不可能的。因此，在机电一体化产品设计的全过程中，应该尽早地把必须考虑的相关科学知识、专业知识、技术和经验反映到设计中，必须考虑把机械工程与电子学和智能化计算机控制集成到机电一体化产品中，站在机电有机结合的高度，对机电一体化产品或系统予以通盘考虑，创造出机械装置与电子设备以及软件等有机结合的新产品。

(4) 模块化设计。机电一体化产品或设备可设计成由相应于五大要素的功能部件组成，也可以设计成由若干功能子系统组成，而每个功能部件或功能子系统又包含若干组成要素。这些功能部件或功能子系统经过标准化、通用化和系列化，就成为功能模块。每一个功能模块可视为一个独立体，在设计时只需了解其性能规格，按其功能来选用，而无须了解其结构细节。

(5) 可靠性设计。从可靠性概念角度出发，将零部件上的载荷和材料性能等看成随机变量，用数学上的分布函数、模糊数学、灰色理论等来描述其变化情况。可靠性设计法认为所设计的任何产品都存在一定的失效可能性，从而定量地解决产品在工作中的可靠程度，弥补常规设计方法的不足。

(6) 虚拟设计。设计者经过调查研究，在计算机上建立产品数字模型，用数字化形式来代替传统的实物原型试验，在数字状态下进行产品的静态和动态性能分析，再对原设计进行集成改进，即用计算机来虚拟完成整个产品的开发过程。由于在虚拟开发环境中的产品实际上只是数字模型，可对它随时进行观察、分析、修改、通信及更新，使新产品开发中的形象构思、分析、可制造性、可装配性、可维护性、运行适应性、易销售性等都能同时相互配合地进行。

(7) 以达到客户满意的设计目标和评价标准为系统设计的最终目的。应该尽力捕捉顾客的需求，倾听他们的意见、要求或愿望。特别注意把功能、产品可靠性、安全性、性能、质量、交货期和成本统一考虑。

## 2. 机电一体化产品的设计流程

机电一体化产品的设计流程如图 1.1 所示。

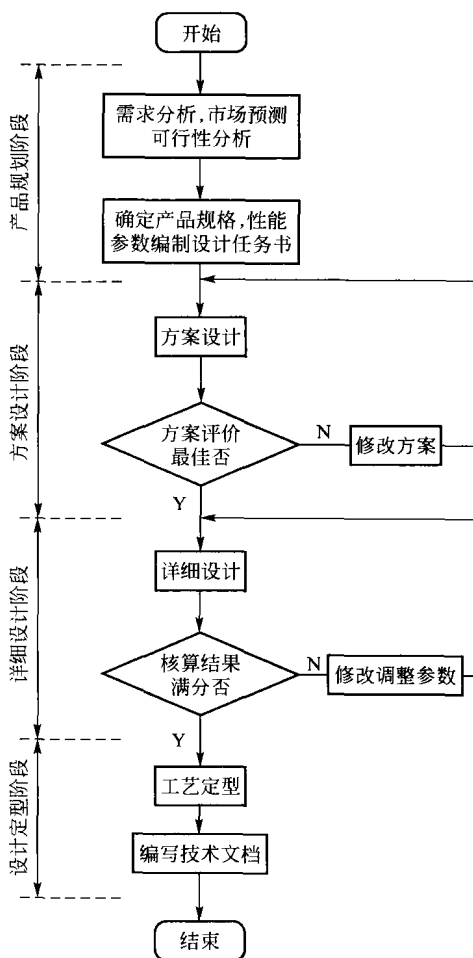


图 1.1 机电一体化产品设计流程图

划分为如下几个阶段。

#### 1) 产品规划阶段

产品规划要求进行需求分析、市场预测、可行性分析,对设计对象进行机理分析和理论抽象,确定设计参数及约束条件,确定产品的规格、性能参数等。最后给出详细的设计任务书(或要求表),作为设计、评价和决策的依据。

#### 2) 产品的功能原理方案设计阶段

产品的功能原理方案设计阶段,是对设计任务书提出的一系列设计指标,从机电一体化产品的基本组成入手,按照系统功能和方便设计制造的角度出发进行产品功能模块的划分。即将机电一体化产品划分为机械本体、动力部分、检测传感部分、传动系统与执行机构、信息处理与控制各部分,然后对每个功能模块提出实现该功能的技术方案,即求出各分功能的功能元解。再利用相容矩阵法确定产品的所有可能的功能原理方案。最后利用功能表法从若干种方案中获取最佳产品设计方案。例如,实现数控机床主轴旋转和变速功能,可以用直流电机或交流调速电机通过带传动或齿轮传动变速实现,也可以采用电机主轴直接驱动;直线进给运动可以用步进电机或伺服电机通过滚珠丝杠传动实现,也可以由直线电机直接驱动;运动控制方式可采用开环、闭环或半闭环方式等。

#### 3) 产品详细设计阶段

详细设计是将机电一体化产品功能原理方案(主要是机械传动方案、控制方案)具体转化为产品及其零部件的合理构形。也就是要完成产品的总体结构设计,零部件的设计与选型,控制方案的制定,控制方法的实现,以及全部生产图样、设计说明书和相关技术文件的编制等。

详细设计时要求零件、部件设计满足机械的功能要求;零件结构形状要便于制造加工;常用零件尽可能标准化、系列化、通用化;总体结构设计还应满足总功能、人机工程、造型美学、包装和运输等方面的要求。

详细设计时一般先由总装配图分拆成部件、零件草图,经审核无误后,再由零件工作图、部件图绘制出总装图。在这一阶段中首先根据机械、电气图样,制造和装配各功能模块;然后进行模块的调试;最后进行系统整体的安装调试,复核系统的可靠性及抗干扰性。

#### 4) 设计定型阶段

该阶段的主要任务是对调试成功的系统进行工艺定型,整理出设计图纸、软件清单、零部件清单、元器件清单及调试记录等;编写设计说明书,为产品投产时的工艺设计、材料采购和销售提供详细的技术档案资料。

纵观机电一体化产品的设计流程,可以看出,每一阶段均构成一个循环体,即以产品的规划为中心的可行性设计循环;以产品的最佳方案为中心的方案设计循环;以产品性能和结构优化为中心的技术性设计循环。循环设计使产品设计在可行性规划和论证的基础上求得最佳方案,再在最佳方案的基础上进行技术优化,使产品设计的效率和质量得以大大提高。

## 1.4 机电一体化课程设计的内容和时间安排

### 1. 课程设计的内容

课程设计以典型的机电一体化产品,如数控机床、机器人等为设计对象,设计任务中

可给出功能要求、运动参数、精度要求、动力参数以及产品的简图供设计参考。

设计内容主要包括以下几个方面

(1) 设计任务分析。查阅相关文献资料，对资料进行分析总结。

(2) 总体方案论证。根据设计任务书的具体要求，拟定设计对象的技术参数、运动形式、驱动方案、传动方案、控制方案等。

(3) 机械结构设计。将设计对象分解为动力系统、传动系统、执行机构和支承等若干部分，根据设计时间，取其中的部分传动系统和执行机构进行详细设计并校核，绘制相关的零部件图。

(4) 控制方案设计。基于单片机、可编程控制器或工控机控制系统的硬件和软件设计。

(5) 编制课程设计说明书。

## 2. 课程设计的时间安排

机电一体化课程设计的时间通常为3周，表1-1列出了课程设计进度及内容安排以供参考。

表 1-1 课程设计进度及内容安排

序号	设计内容	时间(天)
1	设计任务分析、查阅相关文献资料	1
2	对资料进行分析总结	1
3	总体方案论证	2
4	机械结构设计	2
5	绘制相关的零部件图	3
6	控制系统设计	3
7	编制课程设计说明书	2
8	答辩考核	1

## 1.5 课程设计说明书的内容

设计计算说明书作为产品设计的重要技术文件之一，是图样设计的基础和理论依据，也是进行设计审核的依据，因此，编写设计说明书是设计工作的重要环节之一。

课程设计说明书主要包括以下内容。

(1) 前言。前言主要是对设计背景、设计目的和意义进行总体描述，让读者对说明书有一个总的了解。

(2) 目录。目录应列出说明书中的各项内容标题及页次，包括设计任务和附录。

(3) 正文。说明书正文为设计的依据和过程，主要包括①设计任务书，一般应附设计目标、使用条件和主要设计参数；②总体方案论证，根据设计要求以及给定的动力和运动

要求,进行功能原理方案设计,包括各功能单元方案的详细论证,并针对多种方案的可行性进行比较,通过方案比较、择优,寻找出一种比较好的方案;③详细设计。在功能原理方案确定的基础上,进行机械结构的设计,即传动零件等设计计算,标准件的选择,绘制相关的零部件图;④控制系统设计。控制系统设计包括控制方案的选择,硬件系统框图、原理图,元器件的选择、相关的设计计算,控制系统的软件程序框图及源代码;

(4) 参考文献。参考文献将设计中所用到的参考书、手册、样本等资料列出;

(5) 附录。附录中列出在设计过程中使用的非通用设计资料、图表、计算程序等。

## 1.6 准备答辩和成绩评定建议

学生按照设计任务书的要求,在规定时间内完成设计任务后,应将装订好的设计说明书及折叠好的相关图纸一并放入袋中,准备答辩。

答辩是课程设计的最后环节,通过答辩准备和答辩,学生可以对所设计的内容进行系统地回顾,总结机电一体化产品设计的方法和步骤,找出设计中的不足,培养分析、解决工程实际问题的能力。

学生课程设计的最终成绩可以按照学生的学习态度、设计内容的完成情况、设计说明书撰写的质量以及答辩时回答问题的情况等进行综合评定。成绩评定可以采用五级制。表1-2给出了各级成绩的评定标准以供参考。

表 1-2 机电一体化课程设计成绩评定标准

评价单元	评价要素	评价内涵	满分
知识水平 65%	文献查阅与分析总结能力	能独立查阅文献资料,能对文献中的内容进行系统的分析、总结,并合理地运用到课程设计之中。	10
	课程设计方案设计能力	能独立完成课程设计任务书中要求的全部内容;整体思路清晰,设计方案合理可行;能够综合所学的理论知识,并运用于课程设计;设计计算数据准确;图纸质量、数量符合要求。	25
	写作水平	逻辑结构合理,层次分明,思路清晰,语言表达准确,综合概括能力强。	20
	写作规范	图表、公式、单位及各种资料引用符合规范。	10
学习表现 15%	工作量	能按时完成课程设计规定的工作量。	10
	学习态度	学习态度认真,作风严谨,按时完成课程设计规定的阶段性任务。	5
答辩情况 20%	答辩自述	自述思路清晰、简明扼要、重点突出。	8
	回答问题	思路清晰,结果正确。	12

注:五级制评定成绩:优(90~100分)、良(80~89分)、中(70~79分)、及格(60~69分)、不及格(59分以下)。

# 第2章

## 总体方案设计

机电一体化系统设计的第一个环节是总体方案设计，它是在具体设计之前，应用系统总体技术，从整体目标出发，对所要设计的机电一体化系统的各方面，本着简单、实用、经济、安全和美观等基本原则进行的综合性设计，是实现机电一体化产品整体优化设计的过程。



### 本章学习目标

- 了解总体方案设计目标；
- 掌握系统的功能原理方案设计的步骤和方法；
- 掌握结构设计的步骤、基本原则和原理；
- 了解控制系统总体方案的设计步骤；
- 掌握三种控制电机的特点和选用的原则。



### 本章教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
总体方案设计	掌握总体方案设计的设计目标和内容	—
功能原理方案设计	掌握系统功能原理方案设计的步骤和方法	黑箱法
结构总体设计	了解结构总体设计的步骤和内容； 掌握结构总体设计的基本原则和原理	结构设计
控制系统总体设计	了解控制系统总体设计的步骤和内容； 掌握控制器的选型原则	可编程控制器、单片机、工控机
控制电机	掌握对控制电机的基本要求 掌握各种控制电机的特点及应用	—

## 2.1 总体方案设计的目标

机电一体化系统通常由动力系统、包括机械本体、传动系统和执行机构的机械装置、传感器与检测系统以及信息处理与控制系统组成。机电一体化系统总体方案设计的目标是拟定执行机构和传动系统的功能原理设计方案、结构总体设计、控制系统总体控制方案的设计、控制电机的选择等相关内容，以便为后续机电一体化系统的详细结构设计及控制系统的详细设计提供设计依据。下面针对总体方案设计目标中的各部分设计内容，分别讨论其设计方法和设计步骤。

## 2.2 系统的功能原理方案设计

### 2.2.1 功能原理方案设计的步骤

功能是指产品的效能、用途和作用。人们购置的是产品的功能，使用的也是产品的功能。功能分析是总体方案设计的出发点，也是产品设计的第一道工序。功能原理方案设计的任务，就是根据系统预期实现的功能要求，构思出所有可能的功能原理解，加以分析比较，并根据使用要求、工艺要求等，从中选择出一种比较好的方案。

按照功能的重要程度，功能分为基本功能和辅助功能两类。基本功能是实现产品使用价值必不可少的功能，辅助功能即产品的附加功能。例如，洗衣机的基本功能是去污，其

辅助功能是甩干；手表的基本功能是计时，其辅助功能是防水、防震、防碰、夜光等。

设计时首先应满足基本功能的需求，在保证基本功能实现的基础上，再考虑辅助功能的实现方法。

图 2.1 显示了机电一体化产品功能原理方案设计的步骤。

首先对设计任务书进行分析，获取系统的总功能；然后对总功能分解，获得功能元，求得功能元解；而各功能元解的相互组合，会产生很多种方案，最后通过对各种方案进行比较获得最佳方案。

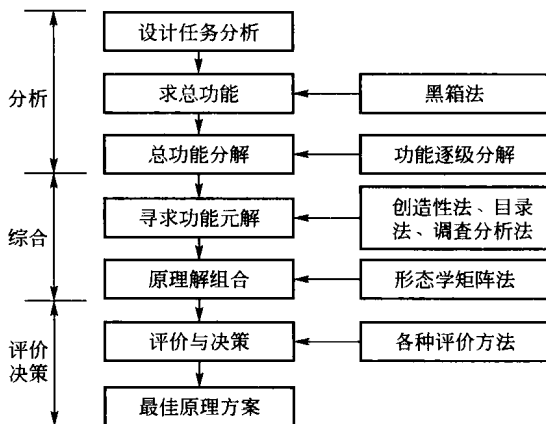


图 2.1 功能原理方案设计步骤

### 2.2.2 功能原理方案设计的方法

机电一体化产品功能原理方案设计的过程是一个从设计问题抽象到产品技术方案明了的过程。不同的设计阶段，所使用的设计方法不同。

### 1. 分析设计任务书

分析设计任务书的目的是为了确定系统的总功能。其分析过程实质上是设计问题的抽象化过程。在抽象化过程中,要抓住本质,突出重点,淘汰次要条件,将定量参数改为定性描述,对主要部分充分地扩展,只描述任务,不涉及具体的解决办法,即将待设计的系统看成是一个内部结构未知的黑箱,利用黑箱法获取系统的总功能。

黑箱法的基本思想是设计者将待设计的系统看成是一个不透明的、不知其内部结构的“黑箱”,如图 2.2 所示。

黑箱法是通过对外部未知系统的外部观测,分析该系统与外部环境之间的输入输出关系,通过输入与输出关系的相互转换,确定系统的功能、特性,进一步寻求能实现该功能、特性所需具备的工作原理与内部结构,从而使“黑箱”逐渐变成“灰箱”、“白箱”的一种方法。

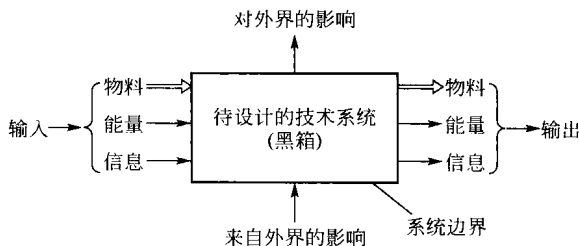


图 2.2 系统的黑箱示意图

图 2.3 为金属切削机床黑箱示意图。图中左右两边输入和输出都有能量、物料和信号三种形式,图下方为周围环境(灰尘、温度和地基震动)对机床工作性能的干扰,图上方为机床工作时,对周围环境的影响,如散发热量、产生振动和噪声。机床的总功能是将输入的毛坯通过毛坯与刀具之间的相对运动,并对毛坯施加一定的切削力使毛坯加工成所需要零件。

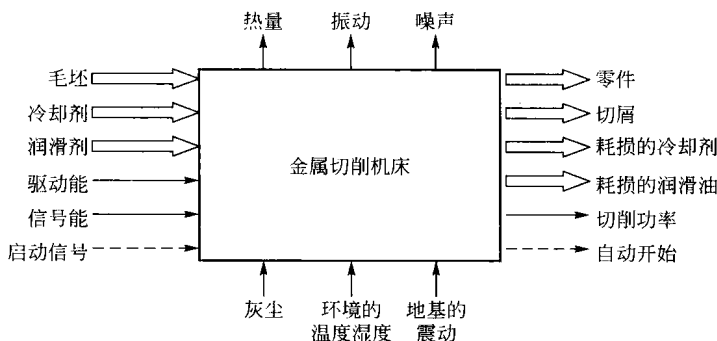


图 2.3 金属切削机床黑箱示意图

### 2. 总功能分解阶段

总功能的分解包含功能元的确定和创建功能结构图两方面的内容。

#### 1) 确定功能元

首先从机电一体化产品的基本组成入手,按照系统功能,从方便设计制造的角度出发对产品功能模块进行划分,即将总功能分解为分功能;如果某些分功能还太复杂,则还可以进一步分解到更低层次的分功能,逐层分解直至分解为功能上不可再分的功能元,形成功能树。

常用的基本功能元有:物理功能元、数学功能元和逻辑功能元。

物理功能元反映了系统中能量、物料、信号变化的物理基本动作。例如,各种类型能



量之间的转变、运动形式的改变、信号种类的转换、物理量的放大或缩小、能量流的分离或结合、能量的储存等。

数学功能元反映数学的基本动作。例如，机械式的加减机构(如差动轮系)和除法机构等。

逻辑功能元包括“与”、“或”、“非”三元的逻辑动作，主要用于控制功能。

这些较简单的分功能和功能元，可以比较容易地与一定物理效应及实现这些效应的实体结构相对应，从而获得实现总功能所需要的实体解答方案。

### 2) 创建功能结构图

将总功能分解成分功能(功能元)，并找出实现各分功能的原理方案，简化了实现总功能的原理构思。而同一层的分功能(功能元)组合起来应能满足上一层功能的要求，最后组合成的总体应能满足总功能的要求。这种功能的分解与组合关系称为功能结构。

功能结构图的建立是使系统从抽象走向具体的重要环节之一。功能结构图反映了各分功能(功能元)之间的相互关系。通过功能结构图的绘制，明确实现系统的总功能所需要的分功能、功能元及其顺序关系。常用的功能结构有如下三种形式。

(1) 串联结构。串联结构又称顺序结构，它反映了分功能之间的因果关系或时间、空间上的先后顺序关系，基本形式如图 2.4 所示。

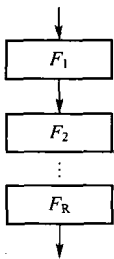


图 2.4 串联结构

(2) 并联结构。并联结构又称选择结构。若几个分功能作为手段共同完成一个目的，或同时完成某些分功能后才能继续执行下一个分功能，则这几个分功能处于并联关系。其一般形式如图 2.5(a) 所示。例如，在车床上为了加工出所需要的零件，需要工件与刀具共同运动，如图 2.5(b) 所示。

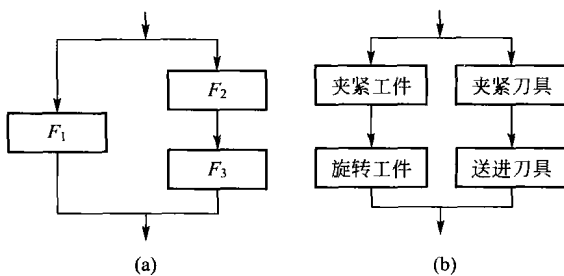


图 2.5 并联结构

(3) 环形结构。环形结构又称循环结构。有两种情况，一种是输出反馈为输入的循环结构，如图 2.6(a) 所示。另一种是首先进行逻辑条件分析，当条件满足时，则进行循环，否则执行下一步，如图 2.6(b) 所示。

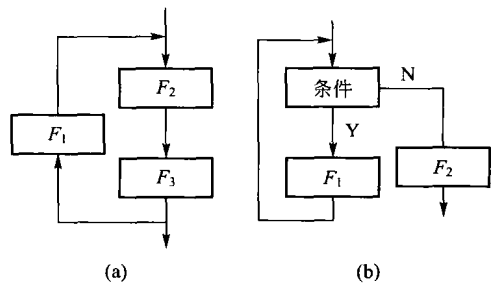


图 2.6 环形结构

建立功能结构图时应注意以下要求。

- (1) 要体现功能元或分功能之间的顺序关系。
- (2) 各分功能或功能元的划分及其排列要有一定的理论依据。物理作用原理或经验支持应确保分功能或功能元有明确解答。
- (3) 不能漏掉必要的分功能或功能元，要保证得到预期的结果。
- (4) 在实体解答方案可求的前提下，应尽可能简单明了。