

JIDIAN YITIHUA XITONG SHEJI

机电一体化系统设计

张立勋 孟庆鑫 张今瑜 编

哈尔滨工程大学出版社

机电
一体化系统设计

哈
尔
滨

TH
Z18

社

机电一体化系统设计

张立勋 孟庆鑫 张今瑜 编

蔡鹤皋 主审

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书以机电一体化系统设计为主线,介绍了机电一体化系统中的机械技术、计算机控制技术、传感器技术和伺服传动技术等相关技术。最后通过五个典型的机电一体化产品实例,进一步阐述了机电一体化的系统设计方法。本书可作为“机电控制及自动化”专业的硕士生学位课的教材,同时也可作为“机械电子工程”专业本科生教材,还可作为机类其它专业学生及有关工程技术人员的学习参考书。

机电一体化系统设计

张立勋 孟庆鑫 张今瑜 编

责任编辑 张植朴

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

(哈尔滨市南岗区文庙街11号楼 邮政编码:150001)

新华书店经销

东北农业大学印刷厂印刷

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 11.5 字数 267千字

1997年9月第1版 1998年9月第2次印刷

印数:2001~4000册

ISBN7-81007-795-3

TH·34 定价:13.00元

前 言

机电一体化技术,是由微电子技术、计算机技术、伺服传动技术与机械技术相结合的综合性的技术,是微电子技术、计算机技术向机械技术不断渗透的产物。机电一体化概念始于 70 年代,至今也不过 20 多年的历史,但是,这一概念一经提出就被社会普遍接受。这门技术的出现对于机电一体化产品的发展起到了巨大的推动作用。

本书介绍了机电一体化的基本概念和系统构成,重点介绍了机电一体化系统设计的概念和方法,目的是使读者建立起系统设计的思想方法。围绕系统设计的中心内容,着重介绍了机电一体化系统中的机械技术、计算机技术、传感器技术和伺服传动技术,最后通过五个典型机电一体化产品实例的分析,进一步阐述机电一体化系统设计思想,以此来加深读者对机电一体化系统设计概念和方法的理解。

机电一体化技术涉及知识面很宽,是一门新兴边缘学科,工程性强,内容更新更快。因此在选材上力求内容精炼,避免不必要的重复,吸收更多的先进技术资料充实本书的内容。本书可作为机电一体化研究方向的本科生和研究生的参考教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

全书共分七章,第一章和第二章由哈尔滨工程大学孟庆鑫编写,第三章、第四章和第七章由哈尔滨工程大学张立勋编写,第五章和第六章由哈尔滨工业大学张今瑜编写,最后由张立勋负责统稿,哈尔滨工业大学蔡鹤皋教授主审。本书在编写过程中,得到了机械电子工程教研室吴兴臣副教授的支持和帮助,谭定忠和赖志昌同志也参加了本书的编写工作,在此对他们表示深深的谢意。

由于作者水平有限,经验不足,加之时间比较仓促,因此书中难免存在许多缺点,热忱希望读者批评指教。

编 者

1997 年 4 月

目 录

1 概 论	1
1.1 机电一体化基本概念	1
1.2 现代系统设计的特征	6
2 系统设计方法及工程路线	7
2.1 系统的评价分析方法	7
2.2 机电一体化产品设计与工程路线	12
2.3 机电一体化的系统工程概念和方法	17
3 机电一体化机械系统设计	20
3.1 机械传动系统分析	20
3.2 机械传动系统的特性	21
3.3 机械传动装置	29
3.4 机械导轨	36
4 动力驱动及定位	39
4.1 动力驱动装置分析	39
4.2 动力与执行元件	49
4.3 伺服执行元件	56
4.4 定位机构	62
5 机电一体化中的计算机技术	76
5.1 微型计算机在机电一体化中的地位	76
5.2 工业控制机分类	77
5.3 STD 总线系统	92
5.4 STD 总线的 I/O 子系统	97
5.5 控制系统的选用	109
6 传感器技术	113
6.1 传感器及分类	113
6.2 传感器的特性	116
6.3 常用传感器及应用	123
7 典型机电一体化系统	134
7.1 工业机器人	134
7.2 输送、搬运设备	139
7.3 数控设备	144
7.4 办公设备	161
7.5 家用电器	169
参考文献	176

1 概 论

1.1 机电一体化基本概念

1.1.1 机电一体化定义

机电一体化是在大规模集成电路和微型计算机为代表的微电子技术高度发展,向传统机械工业领域迅速渗透、机械电子技术深度结合的现代工业基础上,综合运用机械技术、微电子技术、自动控制技术、信息技术、传感测试技术、电力电子技术、接口技术、信号变换技术以及软件编程技术等群体技术,根据系统功能目标和优化组织结构目标,合理配置布局机械本体、执行结构、动力驱动单元、传感测试元件、微电子信息接收、分析、加工、处理、生产、传输单元和线路,以及衔接接口元件等硬件元素,并使之在软件程序和微电子电路逻辑的有目的的信息流向引导下,相互协调,有机融合和集成,形成物质和能量的有序规则运动,在高功能、高质量、高可靠性、低能耗的意义上实现特定功能价值的系统工程技术。由此而产生的功能系统,则成为一个以微电子技术为主导的、以现代高新技术支持下的机电一体化系统或机电一体化产品。

日本 70 年代初开始使用“机电一体化”这个新名词,这个词的创造是根据英文 Mechanics(机械学)的前半部和 Electronics(电子学)的后半部而构成的,即 Mechatronics(日本造的英文组合词),用日本汉字“机电一体化”来表示。“机电一体化”这组汉字比较恰当地表述了一个新的概念,因而能迅速直接被我国接受和使用。1984 年美国机械工程协会(ASME)的一个专家组在给美国国家科学基金会的报告中,才明确地提出现代机械系统的定义为:“由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。”这一含义实质上是指机电一体化的机械系统,它与以上的定义是一致的。

1.1.2 机电一体化系统的基本结构要素

一个较完善的机电一体化系统,应包括以下几个基本要素:机械本体、动力部分、测试传感部分、执行机构、驱动部分、控制及信息处理单元、各要素和环节之间通过接口相联系。

(1)机械本体 系统所有功能元素的机械支持结构,包括机身、框架、机械联接等。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高,机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性以及几何尺寸等方面适应产品高效、多功能、可靠和节能、小型、轻量、美观等要求。

(2)动力部分 按照系统控制要求,为系统提供能量和动力,使系统正常运行。用尽可能小的动力输入,获得尽可能大的功能输出,是机电一体化产品的显著特征之一。

(3)测试传感部分 对系统运行中所需要的本身和外界环境的各种参数及状态进行检测,变成可识别信号,传输到信息处理单元,经过分析、处理后产生相应的控制信息,其功能一般由专门的传感器和仪表完成。

(4)执行机构 根据控制信息和指令,完成要求的动作。执行机构是运动部件,一般采用机械、电磁、电液等机构。根据机电一体化系统的匹配性要求,需要考虑改善性能,如提高刚性,减轻重量,实现组件化、标准化和系列化,提高系统整体可靠性等。

(5)驱动部分 在控制信息作用下提供动力,驱动各种执行机构完成各种动作和功能。机电一体化系统一方面要求驱动的高效率和快速响应特性,同时要求对水、油、温度、尘埃等外部环境的适应性和可靠性。由于几何尺寸上的限制,动作范围狭窄,还需考虑维修和标准化。随着电力电子技术的高速发展,高性能步进驱动、直流和交流伺服驱动大量应用于机电一体化系统。

(6)控制及信息处理单元 将来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、储存、分析、加工,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。一般由计算机、可编程序控制器(PLC)、数控装置以及逻辑电路、A/D与D/A转换、I/O(输入/输出)接口和计算机外部设备等组成。机电一体化系统对控制和信息处理单元的基本要求是:提高信息处理速度、可靠性,增强抗干扰能力,以及完善系统自诊断功能,实现信息处理智能化和小型、轻量、标准化等。

1.1.3 机电一体化相关技术

机电一体化是系统技术、计算机与信息处理技术、自动控制技术、伺服传动技术和机械技术等多学科技术领域交叉的技术密集型系统工程。

1.1.3.1 机械技术

机械技术是机电一体化的基础。随着高新技术引入机械行业,机械技术面临着挑战和变革。在机电一体化产品中,它不再是单一地完成系统间的连接,而是在系统结构、重量、体积、刚性与耐用方面对机电一体化系统有着重要的影响。机械技术的着眼点在于如何与机电一体化的技术相适应,利用其它高新技术来更新概念,实现结构上、材料上、性能上的变更,满足减少重量、缩小体积、提高精度、提高刚度、改善性能的要求。

在制造过程的机电一体化系统中,经典的机械理论与工艺应借助于计算机的辅助技术,同时采用人工智能与专家系统等,形成新一代的机械制造技术。这里原有的机械技术以知识和技能的形式存在,是任何其它技术代替不了的。如计算机辅助工艺规程编制(CAPP)是目前CAD/CAM系统研究的瓶颈,其关键在于如何将广泛存在于各行业、企业、技术人员中的标准、习惯和经验进行表达和陈述,从而实现计算机的自动工艺设计与管理。

1.1.3.2 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,实现信息处理的工具是计算机,因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的。计算机技术包括计算机的软件技术和硬件技术、网络与通信技术、数据库技术等。

在经典一体化系统中,计算机与信息处理部分指挥整个系统的运行。信息处理是否正确、及时,直接影响到系统工作的质量和效率,因此计算机应用及信息处理技术已成为促

进机电一体化技术发展和变革的最活跃的因素。

人工智能技术、专家系统技术、神经网络技术等都属于计算机信息处理技术。

1.1.3.3 系统技术

系统技术就是以整体的概念组织应用各种相关技术,从全局角度和系统目标出发。将总体分解成相互有机联系的若干概念单元,以功能单元为子系统进行二次分解,生成功能更为单一和具体的子功能与单元。这些子功能和单元同样可继续逐层分解,直到能够找出一个可实现的技术方案。深入了解系统内部结构和相互关系,把握系统外部联系,对系统设计和产品开发十分重要。

接口技术是系统技术中的一个重要方面,它是实现系统各个部分有机连接的保证。接口包括电气接口、机械接口、人一机接口。电气接口实现系统间电信号连接;机械接口则完成机械与机械部分、机械与电气装置部分的连接;人一机接口提供了人与系统间的交互界面。

1.1.3.4 自动控制技术

自动控制技术范围很广,主要包括:基本控制理论;在此理论指导下,对具体控制装置或控制系统的设计;设计后的系统仿真、现场调试;最后使研制的系统能可靠的投入运行。由于控制对象种类繁多,所以控制技术的内容极其丰富,例如高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断校正、补偿、再现、检索等。

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控制技术联系在一起,成为机电一体化中十分关键的技术。

1.1.3.5 传感与检测技术

传感与检测装置是系统的感受器官,它与信息系统的输入端相连,并将检测到的信号输送到信息处理部分,传感与检测是实现自动控制、自动调节的关键环节,它的功能越强,系统的自动化程度越高。传感与检测的关键元件是传感器。

传感器是将被测量(包括各种物理量、化学量和生物量等)变换成系统可识别的,与被测量有确定对应关系的有用电信号的一种装置。

现代工程技术要求传感器能快速、精确地获取信息,并能经受各种严酷环境的考验。与计算机技术相比,传感器的发展显得缓慢,难以满足技术发展的要求。不少机电一体化装置不能达到满意的效果或无法实现设计的关键原因,在于没有合适的传感器,因此大力开展传感器研究,对于机电一体化技术的发展具有十分重要的意义。

1.1.3.6 伺服传动技术

伺服传动包括电动、气动、液压等各种类型的传动装置,由微型计算机通过接口与这些传动装置相连接,控制它们的运动,带动工作机械做回转、直线以及其它各种复杂的运动。伺服传动技术是直接执行操作的技术,伺服系统是实现电信号到机械动作的转换装置与部件,对系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。常见的伺服驱动有电液马达、脉冲油缸、步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机。由于变频技术的进步,交流伺服驱动技术取得突破性进展,为机电一体化系统提供高质量的伺服驱动单元,极大地促进了机电一体化技术的发展。

1.1.4 机电一体化的技术、经济和社会效益

机电一体化综合利用各相关技术优势,扬长避短,取得系统优化效果,有显著的社会效益和技术、经济效益。

1.1.4.1 提高精度

机电一体化技术使机械传动部件减少,因而使机械磨损、配合间隙及受力变形等所引起的误差大大减小,同时由于采用电子技术实现自动检测和控制、补偿、校正因各种干扰因素造成的动态误差,从而达到单纯机械装备所不能实现的工作精度。如采用微型计算机误差分离技术的电子化圆度仪,其测量精度可由原来的 $0.025\ \mu\text{m}$ 提高到 $0.01\ \mu\text{m}$;大型镗铣床装感应同步器数显装置可将加工精度从 $0.006\% \text{ mm}$ 提高到 $0.002\% \text{ mm}$ 。

1.1.4.2 增强功能

现代高新技术的引入,极大地改变了机械工业产品的面貌,具备多种复合功能,成为机电一体化产品和应用技术的一个显著特征。例如,加工中心机床可以将多台普通机床上的多道工序在一次装夹中完成,并且还有自动检测工件和刀具的精度、自动显示刀具动态轨迹图形、自动保护和自动故障诊断等极强的应用功能;配有机器人的大型激光加工中心,能完成自动焊接、划线、切割、钻孔、热处理等操作,可加工金属、塑料陶瓷、木材、橡胶等各种材料。这种极强的复合功能,是传统机械加工系统所不能比拟的。

1.1.4.3 提高生产效率,降低成本

机电一体化生产系统能够减少生产准备和辅助时间,缩短新产品的开发周期,提高产品合格率,减少操作人员,提高生产效率,降低生产成本。例如数控机床生产效率比普通机床高 $5\sim 6$ 倍,柔性制造系统可使生产周期缩短 40% ,生产成本降低 50% 。

1.1.4.4 节约能源,降低消耗

机电一体化产品通过采用低能耗的驱动机构、最佳的调节控制和提高设备的能源利用率,来达到显著的节能效果。例如汽车电子点火器,由于控制最佳点火时间和状态,可大大节约汽车耗油量;若将节流工况下运行的风机、水泵随工况变速运行,平均可节电 30% ;工业锅炉若采用微机精确控制燃料与空气的混合比,可节煤 $5\%\sim 20\%$;还有被称为电老虎的电弧炉,是最大的耗电设备之一,如改用微型计算机实现最佳功率控制,可节电 20% 。

1.1.4.5 提高安全性、可靠性

具有自动检测监控的机电一体化系统,能够对各种故障和危险情况自动采取保护措施,及时修正运行参数,提高系统的安全可靠性。例如大型火力发电设备中,锅炉和汽轮机的协调控制、汽轮机的电液调节系统、自动启停系统、安全保护系统等,不仅提高了机组运行的灵活性和积极性,而且提高了机组运行的安全性和可靠性,使火力发电设备逐步走向全自动控制。又如大型轧机多极计算机分散控制系统,可以解决对大型、高速冷热轧机的多参数测量、控制问题,保证系统可靠运行。

1.1.4.6 改善操作性和使用性

机电一体化装置或系统各相关传动机构的动作顺序及功能协调关系,可由程序控制自动实现,并建立良好的人—机界面,对操作参量加以揭示,因而可以通过简便的操作得到复杂的功能控制和使用效果。如一座高度复杂的现代大型熔炉作业控制系统,其控制内

容包括最优配料、多台电炉的功率控制、球化和孕育处理、记忆球铁浇铸情况、铁水成分、计划熔化和造型之间的协调平衡等,从整个系统的启动到熔炉全部作业完毕,只需操作几个按钮就能完成。有些机电一体化装置,可实现操作全部自动化,如示教再现工业机器人,在由人工进行一次示教操作后,即可按示教内容自动重复实现全部动作。有些更高级的机电一体化系统,还可通过被控对象的数学模型和目标函数,以及各种运行参数的变化情况,随机自寻最佳工作过程,协调对内对外关系,以实现自动最优控制,如微型计算机控制的钢板测厚自动控制系统、电梯全自动控制系统、智能机器人等。机电一体化系统的先进性,是和技术密集性与操作使用的简易性和方便性相互联系在一起。

1.1.4.7 减轻劳动强度,改善劳动条件

机电一体化一方面能够将制造和生产过程中极为复杂的人的智力活动和资料数据记忆查找工作改由计算机来完成,一方面又能由程序控制自动运行,代替人的紧张和单调重复的操作,以及在危险或有害环境下的工作,因而大大减轻了人的脑力和体力劳动,改善了人的工作环境条件。例如 CAD 和 CAPP 极大地减轻了设计人员的劳动复杂性,提高了设计效率;搬运、焊接和喷漆机器人取代了人的单调重复劳动;武器弹药装配机器人、深海太空工作机器人、在核反应堆和有毒环境下的自动工作系统,则成为人类谋求解决危险环境中的劳动问题的唯一途径。

1.1.4.8 简化结构,减轻重量

由于机电一体化系统采用新型电力电子器件和传动技术,代替笨重的老式电气控制的复杂机械变速传动,由微处理机和集成电路等微电子元件和程序逻辑软件,完成过去靠机械传动链来实现的关联运动,从而使机电一体化产品体积减小,结构简化,重量减轻。例如,无换向器电机,将电子控制与相应的电机电磁结构相结合,取消了传统的换向电刷,简化了电机结构,提高了电机寿命和运行特性,并缩小了体积;数控精密插齿机可节省齿轮等传动部件 30%;一台现金出纳机用微处理机控制可取代几百个机械传动部件。采用机电一体化技术简化结构,减轻重量,对于航天航空技术而言更具有特殊的意义。

1.1.4.9 降低价格

由于结构简化,材料消耗减少,制造成本降低,同时由于微电子技术的高速度发展,微电子器件价格迅速下降,因此机电一体化产品价格低廉,而且维修性能改善,使用寿命延长。例如石英晶振电子表以其高功能,使用方便及低价格优势,迅速占领了计时商品市场。

1.1.4.10 增强柔性应用功能

机电一体化系统可以根据使用要求的变化,对产品的应用功能和工作过程进行调整修改,满足用户多样化的使用要求。例如工业机器人具有较多的运动自由度,手爪部分可以换用不同工具,通过修改程序改变运动轨迹和运动姿态适应不同的作业过程和工作内容;利用数控加工中心或柔性制造系统,可以通过调整系统运行程序,适应不同零件的加工工艺。机械工业约有 75% 的产品属中小批量,利用柔性生产系统,能够经济、迅速的解决这种中小批量、多品种的自动化生产,对机械工业发展具有划时代的意义。

通过编制用户运行程序,实现工作方式的改变,适应各种用户对象及现场参数变化的需要,机电一体化的这种柔性应用功能,构成了机械控制“软件化”和“智能化”特征。

1.2 现代系统设计的特征

现代机电一体化系统产品面对用户、社会和市场环境,面向经济建设,受到世界经济竞争形势和技术发展速度及产品更新换代速度的冲击。国际上工业高速发展和贸易竞争加剧,迫切要求大幅度地提高机电一体化系统设计工作的质量和速度,因此,开展现代设计理论和方法的研究,在机电一体化系统设计中推广和运用现代设计的方法,提高设计水平,是机电一体化设计方法发展的必然趋势。由于设计概念的更新,现代设计具有区别于传统设计的显著特征:

(1)现代设计的实践活动是由一定的实践原理和实践理论作指导,有意识地按照事(设计活动)物(设计对象)自身的内在规律进行设计,不同于单纯依靠经验的传统设计工作,因此,必然能够获得很高的设计成功率。

(2)现代设计致力于澄清设计任务与设计目标,全面、系统地确定设计过程的起始条件和最终结果,因此,可以使设计过程始终不渝地从实际出发,达到预定的目标,取得优于传统设计的结果。

(3)现代设计十分重视设计策略和战略过程的研究,建立一种合理的设计秩序,并且严格按照规范化的设计进程进行工作,求得较高的工作质量和效率。

(4)现代设计极其强调抽象的设计构思,防止过早地进入某一已经定型的实体结构的分析,以便对系统的工作原理和结构关系做本质和创新的设计构思。

(5)现代设计经常采用扩展性的设计思维,自始至终地在寻求多种可行的方案构思,以便从中选择确定能够令人满意的解决方案,改变传统设计中惯用的封闭式的设计思维和忽视方案搜索的现象,能够达到较高的满意程序。

(6)现代设计十分强调评价决策,尽量避免直接决策,排除决策中的主观因素,使得在决策中所选定的设计方案能够达到最佳的价值水平。

(7)现代设计采用结构优化设计,多结构形式、技术参数和技术性能进行各种不同性质的优化设计方法,以求得综合优化的效果。

(8)现代设计重视运用电子计算机辅助人工设计,使设计人员从繁重的设计作业中解脱出来,致力于创造性设计研究工作并提高作业质量。

(9)现代设计注重系统地进行概念设计,采用特殊形式表达设计结果。

2 系统设计方法及工程路线

2.1 系统设计的评价分析方法

机电一体化设计方案的可行性,设计水平的高低和系统的优劣,可从以下几方面来分析评价。

(1)工效实用性 一般用系统总体的技术指标的形式提出,如产量、容量、质量、精度等。

(2)系统可靠性 指系统在预定时间内在给定工作条件下,能够满意工作的概率。对机械系统来说,目前缺乏可靠性数据时,仍沿用以疲劳强度为基础的安全系数来指明无限寿命或有限寿命下的安全程序。

(3)运行稳定性 当系统的输入量变化或受干扰作用时,输出量被迫离开原先的稳定值,过渡到另一个新的稳定状态的时间过程中,输出量是否发生超过规定限度的现象,或发生非收敛性的状态,是系统稳定或不稳定的标志。系统稳定性的设计指标有:过渡过程时间、超调量及振荡次数、上升时间、滞后时间及静态误差等。

(4)操作宜人性。

(5)人机安全性。

(6)环境完善性。

(7)技术经济性 具有两个作用:一是评价比较一次投资变为系统或设备时,不同实现方案的经济性;另一是评价比较保持系统或设备正常运行时,资源利用的合理性和运行费用的经济性。

(8)结构工艺性 系统的结构设计应当满足便于制造、施工、加工、装配、安装、运输、维修等工艺要求。

(9)造型艺术性。

(10)成果规范性 设计结果遵从国家政治经济法规,符合国家规定的技术规范和法令,贯彻实行标准制度等。

其中一些重要的评价指标应建立和运用量化的分析方法。

2.1.1 技术经济性分析

在系统设计过程中,科学地运用量化分析方法,对多方案进行技术经济效益估算分析,从而选择技术上先进、经济上合理的最优化技术方案。

2.1.1.1 收益率法 反映技术方案的盈利程度,可分为投资收益率和内部收益率。

1)投资收益率 记为 NPVR(Net Present Value Ratio),它是方案在整个计算期内的

净现值和总投资现值(PVI-Present Value of Investment)之比。显然,投资收益率越高,表示投资的效果越好。

2)内部收益率 在等值的意义上使资金流入等于资金流出时的利率,反映技术方案本身所能达到的收益率,简记为 IRR(Internal Rate of Return)。IRR 大于标准收益率的方案才是经济上可行的。

(3)回收期法 选择方案投产后获得的净收益。回收该方案实施时的初始投资所要的时间(T_r)称回收期。

(4)年成本法 如果备选方案在效益上相差无几,那么对方案的评价就可以采用简化的方法——只分析备选方案在耗费上的差异,此时常用年成本法。

年成本一般是指用货币表示的年度耗费,它包括投资、经营费用和残值,记作 AC (Annual Cost)。

2.1.1.2 价值分析法(功能价格比)

机电一体化产品开发有两个目的,一是为社会提供效用,二是为企业获取利润。价值是指产品所具有的功能与所消耗的费用之比,在价值公式中, F 不能直接与功能成本即产品消耗的费用相比较,需要用实现必要功能的必要耗费(最低成本)来代替使用价值,这时 F 称为功能评价值,其确定方法有四种:

(1)最低成本法 根据收集到的信息资料,从具有同样功能的产品中找出成本最低者,以此最低值作为产品的最低评价值。

(2)统计趋势法 将收集到的可满足同样需要但满足程度不同的各种同类产品的成本,分别标注在一个坐标系中,将最低点连成折线,再取其近似直线代替折线,就可以按照产品功能的要求,取直线上对应点的成本,作为产品的功能评价值。

(3)目标利润法 对于新产品,还可以根据市场价格或合同价格,以及企业确定的目标利润推算出产品的目标成本,作为产品的功能评价值。

$$\text{目标成本(功能评价值)} = \text{产品售价} - (\text{目标利润} + \text{销售费用})$$

这里的目标成本是指生产成本,目标利润实际是利税的总和。

(4)产品销售降价低额法 在竞争环境下,为了占领市场,常常出现降低产品售价的情况。为了保持原来的盈利水平,就必须降低产品成本。在这种情况下,产品售价降低的数额,就是成本应该降低的数额。

2.1.2 可靠性分析

产品的可靠性主要取决于产品在研制和设计阶段形成的产品固有可靠性,在产品的设计阶段,有计划地进行可靠性分析工作,是减少产品使用故障,提高产品工作有效性和维修性的重要设计环节。

2.1.2.1 可靠性指标

可靠性指标是可靠性量化分析的尺度。

(1)可靠度函数与失效概率 可靠度函数是产品在规定的条件下和规定的时间 t 内,完成规定功能的概率,以 $R(t)$ 表示;反之,不能完成规定功能的概率称为失效概率,以 $F(t)$ 表示。

$$R(t) = N(t)/N(0)$$

$$F(t) = n(t)/N(0)$$

式中 $N(t)$ ——工作到时间 t 时,尚存的有效产品数量;

$N(0)$ ——时刻为 0 时,产品的总数量;

$n(t)$ —— t 时刻已失效的产品数。

如图 2.1 $R(t)$ 和 $F(t)$ 也可由失效分布的概率密度函数 $f(t)$ 求出

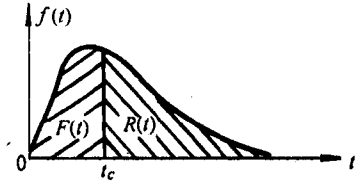


图 2.1 失效分布概率密度函数

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.1)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.2)$$

其中,也可近似由时间 $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ 附近单位时间内失效数与总产品的比值 $\frac{\Delta n(t)}{N(0)\Delta t}$ 表示,反映了产品在所有可能工作时间内的失效分布情况。

(2) 失效率 产品工作到 t 时刻时,单位时间内失效数与 t 尚存的有效产品数的比称为失效率,以 $\lambda(t)$ 表示,反映任一时刻失效概率的变化情况。

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{\frac{\Delta n(t)}{N(0)\Delta t}}{\frac{N(t)}{N(0)}} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

(3) 寿命 常用平均寿命 $\bar{T}$ 表示。

1) 对不可修复产品, $\bar{T}$ 是指从开始使用到发生故障报废的平均有效工作时间

$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (2.4)$$

式中 t_i ——第 i 个产品无故障工作时间;

N ——被测试产品总数。

2) 对可修复产品, $\bar{T}$ 是指一次故障到下一次故障的平均有效工作时间

$$\bar{T} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} \quad (2.5)$$

式中 t_{ij} ——第 i 个产品从第 $j-1$ 次故障到第 j 次故障之间的有效工作时间;

n_i ——第 i 个产品的故障次数。

2.1.2.2 可靠性预测

通过预测,对新产品设计的可靠性作出估计,提供方案修改、调整及优选的依据,并可由此对产品的维修费用以至全寿命运行费用做出估计。

可靠性预测包括元件的可靠性预测和系统的可靠性预测。元件的可靠性预测一般有两种方法:

(1) 试验统计法 通过模拟实验,确定元件在任何规定的使用时间内的可靠性。

(2) 经验法 查可靠性手册或根据类似元件的使用经验,积累的可靠性数据,考虑在新产品设计中的专用条件,估计出元件的可靠性水平。

系统的可靠度主要取决于元件的可靠度和元件的组合方式两个因素。最基本的组合方式为串联和并联模型,更复杂的系统模型可以从这两个基本模型引申出来。

如果系统由若干相互独立的单元组成,其中任一个单元发生故障,都会导致系统失效,这样的系统可靠性模型就是串联模型。串联系统的可靠度 R ,等于各组成单元可靠度 R_i 的乘积,即

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.6)$$

并联模型也称为并联冗余系统,可分为工作储备和非工作储备,通常称为热储备和冷储备。热储备是使用多个零部件来完成同一任务的组合。在系统中,所有零部件一开始就同时工作,但其中任一零部件都能单独地支持整个系统工作,因此系统的可靠度

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.7)$$

冷储备是指系统中零部件的某一个处于工作状态,其它的则处于“待命状态”,当工作状态的零部件出现故障后,处于“待命状态”的零部件立即转入“工作状态”。对于实际问题中比较复杂的系统,可采用网络分析或分割、连接组合方法进行等效变换预测。

2.1.2.3 可靠性指标的分配

将系统要求的可靠度指标,合理地分配到系统的各个组成单元,从而明确对各组成单元的可靠性设计要求,最终落实系统的可靠性指标。主要有以下几种分配方法:

(1)等同分配法 按照各组成单元可靠性相等的原则分配。如设系统可靠度指标 R 含有 n 个单元,各单元的分配可靠度 R_i 对于串联系统 $R_i = (R)^{\frac{1}{n}}$,对于并联系统

$$R_i = 1 - (1 - R)^{\frac{1}{n}}$$

(2)按比例分配法 其分配原则是按照各组成单元的预计失效率的比例进行分配。

(3)按重要性分配法 考虑各组成单元的重要程序、复杂程序及工作时间等差别的分配方法。

(4)最优化分配法 根据系统中起主导作用的特性参数的优化目标和各种限制性约束条件选取最优化分配方案。

2.1.2.4 冗余设计

冗余设计也称为储备设计,常用方法有:

(1)在满足产品性能要求的前提下,尽可能简化产品结构,次要部件和不必要的复杂结构只会增加产品发生故障的概率。

(2)提高产品各部件的可靠性。

(3)在可靠性低的部件上采用并联储备。

(4)采用冷储备,即在部件出现故障时,由备用部件自动转入工作。

(5)修理维护,即更换或修理故障部件,与冷储备不同之处,在于部件不是自动转入工作。

(6)预防性维修,即不论部件是否发生故障,到了一定的工作周期均用新部件取代旧件。

2.1.2.5 失效树分析

失效树(FTA-Fault Tree Analysis)是在产品设计或维修过程中,通过对可能造成产

品失效的原因进行分析,用与、或、非等符号画出可能引起系统失效的各种原因之间的逻辑关系图,称为失效树,从而确定产品失效的各种组合因素及其发生概率。以此为依据,可采取相应的措施,提高产品可靠性。这种方法在产品的设计阶段可以引导寻找潜在的容易引起故障的薄弱因素,在产品的使用和维修阶段可以用来指导进行故障分析诊断。

2.1.2.6 参数漂移与极值分析

由于组成单元特性参数变化,系统特性超过技术指标的规定而引起产品系统失效,例如随温度、时间或因腐蚀、老化、累积疲劳损伤等因素而引起系统特性漂移。因此,在产品的设计时,就必须考虑到参数的变化问题,称为可靠性设计中的参数漂移分析。当产品要求很高时(如宇航设备)或部件数很少时,经常通过计算系统特性的极限漂移值,预计系统工作一定时间后特性参数的变化范围,以判定系统运行可靠性。

2.1.3 柔性、功能扩展及再组合性分析

通过方案对比,分析产品结构的模块组件化程度,以不同的模块组合满足不同功能要求的适应性,新功能扩展的可能性,通过编程完成不同工作任务的范围和方便性,从而对设计方案的柔性优劣作出评价和选择。

2.1.4 系统匹配性分析

机电组成单元的性能参数相互协调匹配,是实现协调功能目标的合理有效技术方法。例如,系统中各组成单元的精度设计应符合协调精度目标的要求,某一组成单元的设计精度低,则系统精度将受到影响;某一单元精度的要求,某一组成单元的设计精度低,则系统精度将受到影响;某一单元精度过高,则将提高成本消耗,并不能达到提高系统精度的目标。又如高速数控系统要求机床运行部件有相应的快速特性和机械惯量的匹配性。再如在一些计算机控制产品中,使用4位、8位等低位机已能满足产品应用要求时,如果设计方案选用高位机则成为一种浪费性设计。

2.1.5 操作性分析

先进的机电一体化产品设计方案,应注意建立完善的人—机界面,自动显示系统工作状态和过程,通过文字和图形揭示操作顺序和内容,简化启动、关机、记录、数据处理、调节、控制、紧急处理等各种操作,并增加自检和故障诊断功能,从而降低操作的复杂性和劳动强度,提高使用方便性,减少人为因素的干扰,提高系统的工作质量、效率及可靠性。

2.1.6 维修性分析

产品设计时,应充分考虑产品的维修性,维修性的优劣,应从以下几个方面作综合分析评价:

- (1)平均修复时间短。
- (2)维修所需元器件或零部件易购或有备件,具有互换性。
- (3)有充足的维修工作空间。
- (4)维修工具、附件及辅助维修设备的数量和种类少,准备齐全。
- (5)维修的技术复杂性降低。
- (6)维修人员数量减少。
- (7)维修成本降低。
- (8)状态监测和自动记录指导维修。

(9)某些产品采用维护性设计和无维修设计,使之投入使用到报废不需要维修。

(10)以可靠性为中心的维修性设计,把保持、恢复和提高产品的可靠性作为维修工作的主要目标。以预防为主,针对产品不同环节的实际可靠性状态,确定所需的预防性工作,分别采取监测、视情或定期维修方式,提高维修的有效性和产品的有效利用率。

2.1.7 安全性分析

安全性是机电一体化系统必须认真解决的问题,它包括:

(1)机电一体化系统本身的工作安全性 自动设置安全工作区限,设计互锁安全操作,工作环境条件的监测、监控,非正常工作状态的自动停机,对操作失误的自动安全处理等。

(2)操作人员的安全性 采取各种保障人身安全的措施,如漏电保护、报警指示、急停操作和快速制动等,同时对危险工作区要设置自动光电栅栏和工作区自动防护及有害物和危险物的自动封闭等。

2.2 机电一体化产品设计与工程路线

2.2.1 基本设计和工程路线

机电一体化产品和系统种类繁多,涉及技术领域及其技术和结构的复杂程度不同,产品设计的类型也有区别,大致可分为开发性设计(全新设计)、适应性设计(原理方案不变,仅对功能及结构进行重新设计)和变参数设计(仅改变部分结构尺寸而形成系列产品),因此机电一体化产品的设计和产品化过程也各有其具体特点。归纳其基本规律,机电一体化产品的基本开发工程路线如图 2.2。

在产品开发过程中,有两个容易被忽略的问题需要注意,一是系统模块化设计以后,关于某些功能组件外购还是制造的问题,应充分考虑专业化组合生产方式以取得高效、高质量和高可靠性的效果;二是充分利用广告宣传开拓产品市场。

2.2.2 市场调查与预测

市场调查与预测是产品开发成败的关键性的第一步。

所谓市场调查就是动用科学方法,系统地、全面地收集有关市场需求和经销方面的情况和资料,分析研究产品在供需双方之间进行转移的状况和趋势。而市场预测就是在市场调查的基础上,运用科学方法和手段,根据历史资料和现状,通过定性的经验分析或定量的科学计算,对市场未来的不确定因素和条件作出预计、测算和判断,为企业提供决策依据。

2.2.2.1 定期预测

在数据和信息缺乏时,依靠经验和综合分析能力,对未来的发展状况作出推测和估计,多采用下述调查法。

(1)走访调研、查资料 由企业内部整理或向有关部门、图书资料部门走访调查,搜集