

JIXIE XITONG SHEJI JIQI KONGZHI JISHU

机械系统设计 及其控制技术

丁继斌 封士彩 主编
王广丰 主审



化学工业出版社

机械系统设计及其控制技术

丁继斌 封士彩 主编
王广丰 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从系统的观点出发,阐述了现代机械系统设计的一般规律、方法和手段,分析了现代机械系统控制的基本概念和常用技术。

全书共分十二章:绪论,机械系统总体设计,驱动系统设计,传动系统设计,执行系统设计,操纵系统设计,支承系统设计,机械系统安装基础设计,控制系统设计,机械系统噪声控制,机械系统制动与过载控制,机械系统设计评价。

本书可作为高等学校机械类、机电类相关专业的本、专科教材,也可供有关专业师生和从事机械系统设计的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械系统设计及其控制技术/丁继斌,封士彩主编.
北京:化学工业出版社,2007.2
ISBN 978-7-5025-5921-2

I. 机… II. ①丁…②封… III. ①机械系统-系统设计②机械系统-噪声控制 IV. TH122 TB53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 021279 号

责任编辑:陈 丽
责任校对:洪雅姝

文字编辑:陈 喆
装帧设计:韩 飞

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 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张17 字数452千字 2007年3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:34.00 元

版权所有 违者必究

前 言

现代机械设计已突破传统的机械设计只注重机械产品单纯能实现预期功能的要求,使机械设计向着系统化、信息化、柔性化和智能化的方向发展。

从系统的观点出发,机械系统设计及其控制技术把原有机械产品的性能、功能以及制造技术提高到一个崭新的水平,甚至使原有的机械产品结构发生变化,所带来的经济效益和社会效益是巨大的。所以,机械产品的系统化设计及其控制技术是机械工业发展的必然趋势,也是用新兴技术改造传统机械工业的有力措施。

随着科学和技术的进步,机械系统引入的新材料、新工艺、新方法越来越多,实现同一种技术功能所具有的功能载体和技术手段也很多。因此,现代机械系统设计工作者若使自己设计出的产品能立足市场,除要求机械系统能实现预期的功能外,还应使设计出的机械系统满足物美价廉、运行可靠、操纵方便、对环境污染小等一系列要求。设计者只有通晓机、电、液等各种综合技术,才能设计出性能价格比优良的机械系统。

本书从系统的观点出发,介绍了机械系统方案设计、总体设计、组成机械系统的各分系统(驱动系统、传动系统、执行系统、操纵系统等);分析了机械系统的支承系统、机械系统的安装基础;对机械系统的控制(经典控制理论、噪声控制、过载控制等)进行了系统的描述;对机械系统设计评价方法进行了介绍。本书融入了编者近年来的科研成果,有以下特点:

系统性——建立了“现代机械系统设计”新体系,将经典控制理论有机地融合到机械系统设计中,力求完善机械系统设计理论体系;

工程性——基本理论与实用性并重,用实例分析、说明基本概念和解决问题;

通俗性——采用工程实例分析阐述机械系统的设计方法,使机械系统设计及其控制在工程应用中得到落实,增强了学生学习的工程意识,同时为工程技术人员提供了一本实例丰富的参考书。

本书主要以全国高等工科学校机械设计制造及其自动化等专业有关教材大纲为编写依据,可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书由丁继斌、封士彩主编。全书共分十二章,第一、二、四、九章由丁继斌编写;第十、十一章由王广丰编写;第五、八章由李富柱编写;第三、六章由封士彩编写;第七、十二章由王凤章编写。全书由丁继斌统校,王广丰主审。

本书在编写过程中得到有关单位和同仁的帮助、指导和支持,在此谨致谢意。

编写中参阅了许多相关著作和论文,朱济国、师后龙、常铁山、马磊、邵明辉等参加了校对与部分图样的绘制,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中的不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2007 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 机械系统设计的一般要求	4
第二章 机械系统总体设计	12
第一节 概述	12
第二节 机械系统总体方案设计	12
第三节 机械系统总体设计	22
第三章 驱动系统设计	31
第一节 概述	31
第二节 动力机的种类及其机械特性	31
第三节 动力机的联合工作机械特性	47
第四节 动力机的选择和计算	53
第四章 传动系统设计	62
第一节 概述	62
第二节 传动系统的组成	76
第三节 传动系统设计基本原则	100
第四节 液压传动和气压传动系统	105
第五章 执行系统设计	112
第一节 执行系统的功能	112
第二节 执行系统的设计	120
第六章 操纵系统设计	123
第一节 概述	123
第二节 操纵系统的设计	133
第七章 支承系统设计	135
第一节 概述	135
第二节 支承件结构设计	135
第三节 支承导轨设计	142
第八章 机械系统安装基础设计	152
第一节 机械系统安装基础设计基本要求	152
第二节 机械系统安装基础静力学计算	154
第三节 机械系统安装基础动力学计算	156
第四节 机械系统安装基础的减振与隔振	161
第九章 控制系统设计	168
第一节 概述	168
第二节 经典控制技术	174

第三节	伺服控制系统.....	181
第十章	机械系统噪声控制	218
第一节	机械系统噪声的分类和特性.....	218
第二节	机械系统噪声控制.....	223
第十一章	机械系统制动与过载控制	234
第一节	制动系统的功能.....	234
第二节	制动装置的类型.....	236
第三节	制动器的计算.....	246
第四节	机械系统的过载控制.....	249
第十二章	机械系统设计评价	252
第一节	机械系统设计评价一般原则.....	252
第二节	技术经济评价.....	253
参考文献		263

第一章 绪 论

第一节 概 述

现代机械设计有其鲜明的特点,即不但要求设计者对机械的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、物流技术、各零部件的材料、形状、尺寸、润滑方法等进行构思、分析、计算,而且还需融通多门科学知识,如创造性工程、美学、仿生学、控制论、机械电子学、价值工程等,使设计出的产品在市场中具有竞争力。

就机械设计本身而言,也要求设计者除充分掌握各类传统机械结构及系统的基本特性外,还应通晓各类电、液、气等综合技术知识,设计出物美价廉、功能和质量上乘的机械产品。

通常,产品的总体方案设计是产品立足市场成败的关键一环。在这一决定性环节设计中,设计者应以机械功能要求的整体性出发,对整机功能及组成机械的分功能部分进行原则性设计,在综合比较各类可行性方案之后,根据机械产品的主要功能要求,优化出最佳的机械产品设计方案。

一、机械系统的概念

任何机械都是由若干装置、部件和零件组成且能在特定环境和条件下完成某些预定功能的整体。当对机械运行进行管理或使其实现预定功能时,人们往往只需注意其整体的输入、输出特性,而不必考虑其中每个零部件和装置的具体功用和动作状态。如司机驾驶汽车时,只需通过操纵变速机构和方向盘,即可使汽车实现行走、变速和换向等功能,而不必注意汽车中的每个零部件的动作和状态如何。而通过观察汽车的外形,了解其主要技术参数如速度、功率、耗油量等和简单的操纵,即可对汽车的总体性能做出评价。可见,为了从宏观上更科学地掌握和研究机械的功能和特性,必须从整体的角度出发。由此产生了以系统的观点研究机械的思想。

由若干装置、机械零部件组成的可完成预定功能的整体称为机械系统。

现代管理学认为,企业的管理包括对人、机械和环境的管理。因此机械系统由人、机和环境共同组成。机械设计不仅包括对机械本身的设计,还应考虑到使用机械的人及机械工作的环境。

机械系统分为内部系统和外部系统。内部系统是由机械本身构成的系统,而外部系统是由人和环境构成的系统。考虑到传统机械系统观念的延续性,如无特殊说明,本书中所说的机械系统都指内部系统。机械系统有以下特性。

(1) 整体性 是机械系统所具有的最重要和最基本的特性。系统是由若干个要素构成的统一体,虽然各要素具有各自不同的性能,但它们在结合时必须服从整体功能的要求,相互间需协调和适应。一个系统整体功能的实现,并不是某一个要素单独作用的结果,或者说每一个要素对于系统整体都不具有独立的影响。一个系统的好坏,最终体现在整体功能上。因此,必须从整体着眼,即从全局出发,确定各要素的性能和它们之间的联系,并不要求所有要素都具有完美的性能,即使某些要素的性能并不很先进,但如能与其他相关要素得到很好

的统一协调，也可使系统具有满意的功能。

(2) 相关性 机械系统内部各要素之间是相互联系的，它们之间相互作用、影响而形成特定的关系。如系统的输入和输出的关系、各要素之间的层次联系、各要素的性能与系统整体特定功能之间的联系等，都取决于各要素在系统内部的相互作用和相互影响的有机联系。某一要素性能的改变将影响其对相关要素的作用，进而对整个系统产生影响。

(3) 目的性 系统的价值体现在其功能上，完成特定的功能是系统存在的目的。因此系统的目的性是很明确的，即实现系统预期的功能。

(4) 环境适应性 任何一个系统都存在于一定的物资环境中，外部环境的变化，会使系统的输入发生变化，产生干扰，引起系统功能的变化。因此，为了使系统运行良好，必须使系统对外部环境的各种变化和干扰有良好的适应性。

二、机械系统的组成

现代机械种类很多，结构也越来越复杂。但从实现系统功能的角度上看，它主要包括下列一些子系统：动力系统、传动系统、执行系统、操纵及控制系统等。而每个子系统又可根据需要继续分解为更小的子系统，如图 1-1 所示。

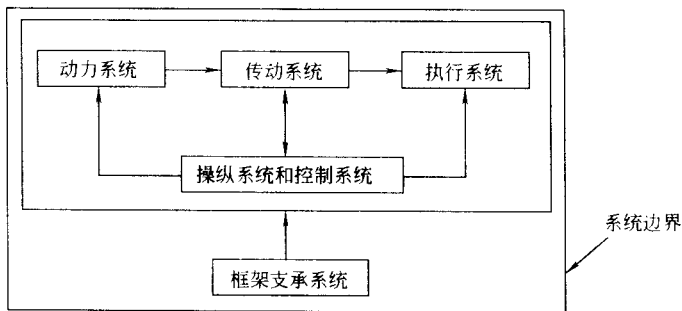


图 1-1 机械系统的组成

(一) 动力系统

动力系统包括动力机及其配套装置，是机械系统工作的动力源。按能量转换性质不同，动力机可分为一次动力机和二次动力机。一次动力机是把自然界的能源（一次能源）转变为机械能的机械，如内燃机、汽轮机、水轮机等。二次动力机是把二次能源（如电能、液能、气能）转变为机械能的机械，如电机、液压马达、气动马达等。由于经济上的原因，动力机输出的运动多为转动，而且转速较高。

选择动力机时，要充分考虑执行系统的运动和工作载荷、机械系统的使用环境和工况、工作载荷的机械特性等要求，使系统既有良好的动态性能，又有较好的经济性。

(二) 执行系统

执行系统包括机械的执行机构和执行构件，是利用机械能改变作业对象的性质、状态、形状和位置，或对作业对象进行检测、度量等，进行生产或达到其他预定要求的装置。根据不同的功能要求，各种机械的执行系统也不同，而且对运动和工作载荷的要求也不同。

执行系统通常处在机械系统的末端，直接与作业对象相接触，其输出也是机械系统的主要输出。因此，执行系统工作性能的好坏直接影响整个系统的性能，执行系统除应满足强度、寿命等要求外，还应充分注意运动精度和动力学特性等要求。

(三) 传动系统

传动系统是把动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置。传动系统有下列主要功能。

(1) 减速或增速 把动力机的速度降低或增高,以适应执行系统工作的需要。

(2) 变速 当用动力机进行变速不经济、不可能或不能满足要求时,通过传动系统实现(有级或无级)变速,以满足执行系统多种速度的需求。

(3) 改变运动规律或形式 把动力机输出的均匀连续旋转运动转变为按某种规律变化的旋转或非旋转、连续或间歇的运动,或改变运动方向,以满足执行系统的运动要求。

(4) 传递动力 把动力机输出的动力传递给执行系统,供给执行系统完成预定任务所需的转矩和力。

如果动力机的工作性能完全符合执行系统工作的要求,传动系统也可省略,而将动力机与执行系统直接连接。

(四) 操纵系统和控制系统

操纵系统和控制系统都是为了使动力系统、传动系统、执行系统彼此协调运行,并准确可靠地完成整机功能的装置,两者的主要区别是:操纵系统多指通过人工操作来实现上述要求的装置;通常包括启动、离合、制动、变速、换向等装置;控制系统是指通过人工操纵或测量元件获得的控制信号,经由控制器,使控制对象改变工作参数或运行状态而实现上述要求的装置,如伺服机构、自动控制装置等。良好的控制系统可以使机械处于最佳运行状态,提高运行稳定性和可靠性,并有较好的经济性。

此外,根据机械系统的功能要求,还有润滑、计数、行走、转向等系统。

三、机械系统设计的一般过程

在机械系统设计过程中,为使设计工作更为科学合理,常把一个机械系统分解为若干个相联系的比较简单的子系统,可使设计和分析比较简便。根据需求和可能,各子系统还可再分解为更小的子系统,依次分解,直至能进行适宜的设计和分折。系统的分解可以是平面分解,也可以是分级分解,或是兼有二者的组合分解,如图 1-2 所示。

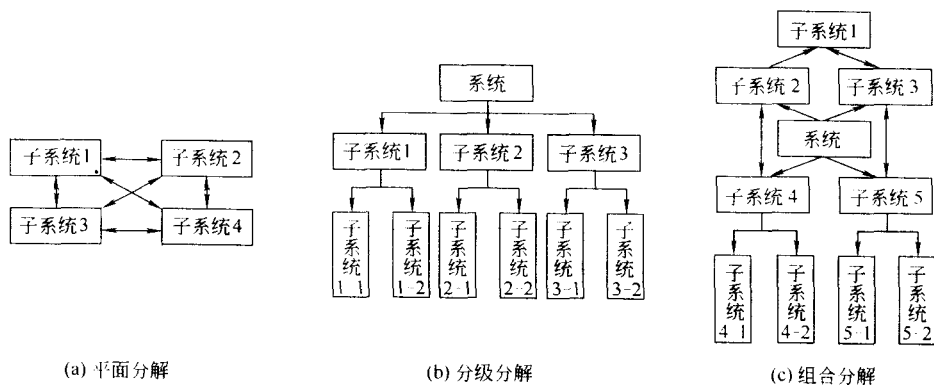


图 1-2 系统的分解

系统分解时应注意以下几点。

(1) 分解数和层次应适宜 分解数太少,子系统仍很复杂,不便于模型化和优化工作,分解数和层次太多又会给总体系统的综合造成困难。

(2) 避免过于复杂的分界面 应尽可能选择在要素间结合枝数(联系数)较少和作用较弱的地方。

(3) 保持能量流、物料流和信息流的合理流动途径 通常机械系统工作时都存在着能量、物料和信息三种转换,它们从系统输入到系统输出的过程中,按一定的方向和途径流动,既不可中断,也不可紊流,即使分解成各个子系统,它们的流动途径仍应明确和畅通。

(4) 了解分系统分解与功能分解的关联与不同 系统分解时,每个子系统仍是一个系

统，它把具有比较密切结合关系的要素结合在一起，其结构组成虽稍微简单，但其功能往往还有多项。而功能分解时，是按功能体系进行逐级分解，直至不能再分解的单元功能。

机械设计的一般过程见表 1-1。

表 1-1 机械设计的一般过程

阶段	工 作 进 程	工 作 内 容
计划	了解设计任务,明确设计目的和功能要求	根据产品发展和市场调查提出设计任务书,或由主管部门下达设计任务
外部设计	调查研究	市场调查和预测
	可行性研究	技术研究和费用预测、成本与效益研究、提出产品生产可行性报告
	系统计划	明确设计任务和要求、制定系统开发计划书
内部设计	初步设计	设计总体方案
	系统分解	将总系统分解为子系统
	系统分析	优化系统、确定系统设计最佳方案、子系统设计 and 总系统综合
	技术设计	子系统及总系统的主要尺寸及其他参数的确定
	工作图设计、鉴定和评审	绘制全部零部件图、系统综合指标评价和改进
制造销售	样机试验	样机试验
	样机鉴定和评审	对产量大的产品通过小批试制后,不断修改和完善设计,同时进行工艺装备的准备工作
	改进设计	产品试验后的改进
	小批试验	校核设计的工艺性等
	定型设计,销售	完善全部工作图、技术文件和工艺文件,定型生产、销售

第二节 机械系统设计的一般要求

现代机械种类繁多、功能复杂，设计中的要求也有很大差别，一般机械设计中的要求如下。

一、机械系统的功能、价格比要求

设计、生产出的机械产品只有进入市场后才真正成为商品，机械产品的功能、价格比不合理，产品滞销积压，会严重影响企业的经济效益。所以，设计师必须确立市场观念，以社会需求为出发点，设计出有市场竞争能力的机械产品。据统计，机械产品成本的 60%～70%取决于设计阶段。根据价值工程原理有：

$$V = F / C \tag{1-1}$$

式中 V ——产品的价值；

F ——产品的总功能；

C ——产品的成本。

由式 (1-1) 可知，为了提高产品的价值，可采取如下措施：

- ① 增加 F，同时减小 C；
- ② F 不变而减少 C；
- ③ C 不变而增加 F；
- ④ C 增加很少而 F 增加很多；

⑤ F 略有减少而 C 减少很多。

可见,提高产品的价值,不可一味追求产品功能的增加。事实上,有些产品功能的增加不但提高了产品的成本,而且使产品的各项功能都难以得到充分发挥。另一方面,从经济学观点出发,产品的价值还不等于产品的价格。有价值的产品进入市场要获得较高的经济效益,除考虑企业本身的管理水平、工人的技术水平、企业设备等影响因素外,还应在整体上考虑不同社会、不同人文条件、不同国家、不同地区、不同民族及消费者的消费水平、消费心理等诸多因素的影响。

设计人员在设计产品阶段还应克服另一种倾向,即为了获得功能优良的产品,在选择机械的分系统时,都选择最优的。首先,各分系统的性能最优时,其成本一般会增加,整个机械的成本也会随之增加;其次,组成机械系统时,因为每个分系统都有其自身的输入输出特性,各分系统之间工作必须十分协调,才能充分发挥各自的优势。可见,各分系统的性能最优并不一定组成机械系统的性能最优。因此,在进行机械子系统的选择和设计时,必须充分考虑相互间的兼容性和各自功能发挥的协调性。

二、机械系统的可靠性要求

可靠性是衡量系统质量的一个重要指标。它是指系统在规定的条件下和时间内完成规定功能的能力。规定功能的丧失称为失效。可修复的系统的失效称为故障。可靠性技术是研究系统发生失效和故障的原因及预防措施的一门技术,已经广泛地应用于机械系统的设计,进行可靠性设计时必须掌握影响系统可靠性设计的各种设计变量的分布特性和数据,还要建立从研究、设计、制造、试验直至管理、使用和维修以及评审的一整套可靠性计划。当缺乏这些必要的数据和统计变量时,了解影响系统可靠性的因素,采取下述一些措施,对提高机械系统可靠性也是有益的。

1. 分析失效,查找原因

机械系统工作时,由于各种原因难免发生故障或失效,如果能在研究和设计阶段对可能发生的故障或失效进行预测和分析,掌握原因并采取相应的预防措施,则系统的失效率会减小,可靠性则随之提高。为了使失效分析做得比较全面和切合实际,系统或同类系统的质量调查数据必须充分。进行质量调查,对用户访问,收集失效实例,分析失效原因,对重要的系统,应建立失效档案。特别是对典型的重大失效案例,应请有关专家和人员召开失效分析会,查找失效原因,并以此积累经验和资料,作为指导和改进设计的借鉴。

2. 把可靠性设计到零部件中

实践证明,机械系统的可靠性是由设计决定的,而制造、管理等其他阶段的工作只是起保证作用。如果设计时考虑不当,不能使零部件具有必要的可靠性,则无论制造得多么好、维护得多么精心,都无法弥补设计中的缺陷。

机械系统的可靠性是由零部件的可靠性保证的,只有零部件的可靠性高,才能使机械系统的可靠性高。但是,并不意味着全部零部件都要有高的可靠性,对机械系统的可靠性有关键影响的零部件通常是系统的重要环节,这些零部件必须保证必要的可靠性。设计时应从整体的观点详细分析输入、输出,尽量减小不稳定因素的干扰。必要时采用减额使用的方法,使工作负荷低于额定值,减少超负荷工作的概率;或采用冗余技术,即加大机械系统可靠性的储备,如采用并联系统代替串联系统、采取载荷分流和均载等技术措施。采用冗余技术对提高机械系统的可靠性是最有效的,但会相应地增加系统的复杂性,增加产品制造成本和维修费用。

3. 提高维修性

维修是保持功能或恢复功能的技术措施。

维修性是指在规定的条件下和规定的时间内按规定的方法进行维修时,保持和恢复系统

功能的能力。因此，维修性也可看作是维护机械系统可靠性的能力。

任何机械系统在使用过程中都会因各种原因而发生故障，随着时间的增加，故障率一般也呈上升趋势，机械系统的故障率曲线如图 1-3 所示，其形状像浴盆，故常称浴盆曲线。

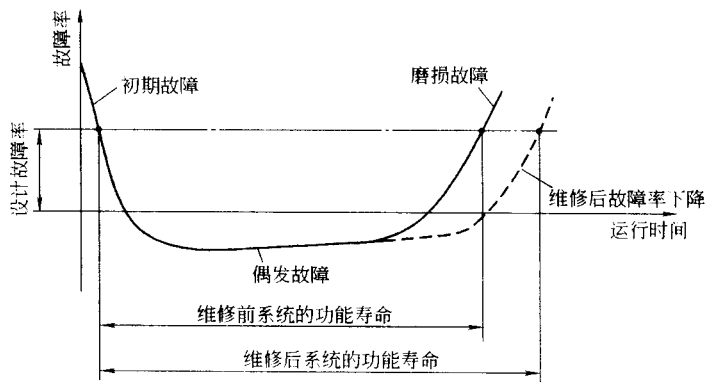


图 1-3 机械系统的故障率曲线

初期故障通常是由系统中某些寿命较短、可靠性较差的零部件引起的，也可由设计中的不当或制造装配中的缺陷等引起，故障率较高。在系统中，这些薄弱环节得到改进或在一定条件下通过一定程度的调整、跑合，可以减少初期故障。

当初期故障阶段结束后，系统进入正常进行阶段，这一时期的故障最少且稳定。此时的故障主要是由一些偶发的因素引起的，如操作不当、机械系统的运行条件突然出现变化、零部件的偶然性缺陷等，所以这种故障常称为偶发故障。

随着使用时间的增加，系统中的零部件因疲劳、磨损、老化等原因，故障率又显著上升，这时的故障称为磨损故障。一般来说，进入系统的磨损期故障之后，系统的效率降低，生产率下降，通常意味着系统正常使用寿命的终结。

在正常运行时期，如能进行良好的维修，及时更换磨损、疲劳和老化的零部件，则系统的使用寿命可以延长，如图 1-3 中虚线所示，经良好维修的系统故障率明显下降。

维修在设计阶段就要进行考虑，使系统具有良好的维修性。易于检查和发现故障，便于维修。如把系统的薄弱环节（易损件）尽量做成独立部件或采用标准件，并设计成容易拆卸和更换的结构等。

4. 简化结构，提高标准化程度

结构简单的零部件往往工艺性好，制造和装配的质量容易得到保证，故障的潜在因素容易得到控制。

标准化也是提高产品质量和可靠性的一项重要措施，标准件的结构工艺性和可靠性一般都比较好。所以，简化系统和零部件结构、减少零部件数量、提高系统的标准化程度等都是提高系统可靠性的有效措施。

三、机械系统的经济性要求

（一）提高设计和制造的经济性

提高设计和制造的经济性就是使产品成本低、物质消耗少、生产周期短，提高厂方的经济效益。

降低产品成本是提高经济效益的关键，设计者应该了解影响产品成本的设计因素和制造因素，在保证产品功能要求的前提下，努力降低产品成本。

提高设计和制造的经济性，从设计角度来说主要有以下几个方面。

(1) 合理确定可靠性要求和安全系数 可靠性要求是根据系统的重要程度、工作要求、维修难易和经济性要求等多方面的因素综合考虑确定。在可靠性设计时, 需要把各种参量作为确定值, 并用安全系数作为判据。虽然可靠性指标和安全系数都是描述系统可靠性程度的指标, 但它们的含意和应用不尽相同。采用可靠性设计时, 可以使系统设计得更合理、更经济。系统越复杂, 其优越性也越明显, 经济性和可靠性越趋于统一。而采用安全系数作为判据时, 把本来属于统计变量的载荷、材料强度等看作是确定的量值, 用其分布数据的均值进行计算, 因此, 当安全系数大于 1 时, 并不排除失效的可能。为了防止失效, 设计人员常采用加大安全系数的办法, 结果是加大了零部件的尺寸和重量, 降低了经济性, 往往还不一定能完全避免失效。所以, 在尚无条件进行可靠性设计时, 应尽可能精确估计强度和载荷, 并采用精确的计算方法。在选用安全系数时, 考虑可靠性要求。当可靠性要求较高时, 安全系数可取大些, 反之, 取小些; 当设计数据分布的离散程度较大时, 安全系数应取大些, 反之, 取小些。

由于安全系数与经济性密切相关, 如有可能, 安全系数具体数值应由设计部门与用户共同商定。

(2) 贯彻标准化 标准化是组织现代化大生产的重要手段, 也是实施科学管理的重要基础之一。标准化可以使生产技术活动获得必要的统一协调和最好的经济效益。实施标准化是国家的一项重要法规。

标准化通常包括产品标准化、系列化和通用化。

机械工业的技术标准有以下三大类。

物品标准: 又称产品标准。它是以产品及生产过程中使用的物质器材为对象制定的标准, 如机械设备、仪器仪表、工装、包装容器、原材料等标准。

方法标准: 是以生产技术活动中的重要程序、规划、方法为对象制定的标准, 如设计计算、工艺、测试、检验等标准。

基础标准: 是以机械工业各领域的标准化工作中具有共性的一些基本要求或前提条件为对象制定的标准, 如计量单位、优先系数、公差配合、图形符号、名词术语等标准。

我国标准分为国家标准、部标准(专业标准)和企业标准。国家标准和部标准的适用范围虽然有所不同, 但都是全国性的。各级标准在规定的范围内具有约束力, 国家标准是各部门都必须遵照执行的法规。

鉴于我国标准化工作的现状和需要, 积极采用国际标准也是一项重要的技术政策。国际标准主要是指国际标准化组织 ISO 和国际电工委员会 IEC 两个国际性的标准化机构公布的标准。我国是 ISO 和 IEC 的成员国。

标准化带来的经济效益体现在很多方面, 如加快了产品开发速度, 缩短了生产技术准备时间, 节约了原材料, 提高了产品质量和劳动生产率, 改善了维修性等。因此, 在设计中贯彻标准化、提高标准化程度和水平, 将直接提高产品的质量和经济性。

(3) 采用新技术 随着科学技术的发展, 各种新技术(包括新产品、新方法、新工艺、新材料等)不断问世, 在设计中采用新技术可以使产品具有更好的性能和经济性, 因而具有更强的竞争力。设计者要善于学习和掌握各种新技术, 不断充实和改进产品。

(4) 改善零部件结构工艺性 零部件结构工艺性包括铸造工艺性、锻造工艺性、冲压工艺性、切削加工工艺性、焊接工艺性、热处理工艺性和装配工艺性等。良好的工艺性是减少劳动量、提高劳动生产率、缩短生产周期、降低材料消耗和制造成本的前提, 也是实现设计目标、减少差错、提高产品质量的基本保证。

影响结构工艺性的因素很多, 如生产批量、设备和工艺条件、原材料的供应等。当生产条件改变时, 零部件的结构往往也随之改变。因此, 结构工艺性既有原则性和规律性, 又有

一定的灵活性和相对性,设计时应根据具体情况进行具体分析。

改善零部件结构工艺性的具体措施、原则和规范,可参考有关设计手册和资料。

(二) 提高使用和维修的经济性

提高产品经济性不仅要提高制造的经济性,也要提高使用经济性,既要考虑制造厂的利益,也要考虑使用者的利益,二者缺一不可。

提高用户的经济效益主要从下述几个方面考虑。

(1) 提高产品的效率 用户总是希望购买的产品效率高、能耗低、省电、省油、省煤等。机械设备的效率主要取决于传动系统和执行系统的效率,传动系统的效率通常与传动的结构形式、运动副表面的工作状态、摩擦润滑状况、润滑剂的种类和润滑方式以及工作条件等有关,执行系统的效率主要决定于执行机构的效率,它与机构类型、机构参数等有关。设计人员应在方案设计中和结构设计时充分考虑提高效率的措施。

对属于生产资料的机械设备,提高生产率,提高原材料的利用率,降低物耗,也是提高效率的重要途径。

(2) 合理确定经济寿命 一般来说,希望产品有较长的使用寿命,但在设计中单纯追求产品的长寿命是不合适的。事实上,使用维护得当,机械设备的使用寿命是可以延长的。但是,过长的使用寿命必须以相应的维修为代价。使用寿命越长,系统的性能越差,效率越低,相应的使用费用越高,使用经济性越低,此时,应考虑设备更新。

事实上,机械设备性能下降、使用维修的经济性越来越差,仅是设备更新的原因之一。科学技术的进步使一些技术更先进、性能价格比更高的设备不断问世,由于企业生产规模的发展、产品品种的扩大或改变等,都是要求产品更新换代的原因。

设备从开始使用至主要功能丧失而报废所经历的时间称为功能寿命;根据设备使用费用最低、经济效益最高所确定的寿命称为经济寿命。通常,设备的经济寿命要比功能寿命短。

通过技术经济分析,合理确定机械设备的经济寿命,适时更新设备,是促进企业技术进步、不断提高企业经济效益的措施之一。

(3) 提高设备维修保养的经济性 维修能延长设备的使用寿命,但必须付出一定的维修费用作代价。以尽可能少的维修费用换取尽可能多的经济效益,是机械设备进行维修的原则。

目前,在机械设备中,应用比较多的是定期维修方式,即按着规定的维修程序,每隔一定时间进行一次维修,把设备中某些易损件及时进行更换或修复。维修周期主要根据使用经验和统计资料确定。这种维修方式因无法准确估计影响故障的因素及故障发生的时间,因而难免出现设备失修和维修次数过多,有的零部件未到维修期就已失效,而有的虽然并未失效但也由于某些原因不得不提前替换。因此,定期维修方式的总维修费用较高。这种维修方式的优点是尽可能安排在非生产时间对设备进行维修,可以减少因停机停产造成的经济损失,而且便于维修前的准备工作,有利于缩短维修时间,保证维修质量。

随着故障诊断技术和可靠性技术的发展,维修技术也得到了相应的发展。如按需维修方式,就是采用故障诊断技术,不断地对系统中主要零部件进行特征值的测定,当发现某种故障征兆时就进行更换或修理。这种维修方式既能提高系统有效运行时间,充分利用零部件的功能潜力,又能减少维修次数,尤其是减少盲目维修。因此,其总的经济效益较高,但因需要配备十分可靠的监控和测试装置,所以只在重要的和价格昂贵的机械系统中采用。

对于不太重要的或总价值不太高的产品,有时也可以设计成免维修型产品,在使用期限内不必维修,到功能寿命终止时自行报废。

四、机械系统的安全性要求

机械系统的安全性包括机械系统执行预期功能的安全性和人-机-环境系统的安全性。

(一) 机械系统执行预期功能的安全性

机械系统执行预期功能的安全性是指机械运行时系统本身的安全性，如满足必要的强度、刚度、稳定性、耐磨性等要求。为此，应根据机械的工作载荷特性及机械本身的要求，按有关规范和标准进行设计和计算。为了避免机械系统由于意外原因造成事故或失效，常需要配备过载保护、安全互锁等装置。

(二) 人-机-环境系统的安全性

机械是为人类服务的，同时它又在一定的环境中工作，于是人、机、环境三者构成了一个特定的系统。在机械工作时，不仅机械本身应有良好的安全性，而且使用机械的人员及周围环境也应有良好的安全性。人机工程学就是研究人-机-环境系统安全性的一门新兴科学。人机工程学的着眼点就是研究人、机、环境之间的“接口”，把人作为系统的一个组成部分，使人-机-环境系统能更好地协调工作，使机械能更好地适应人的要求，便于操作和使用，既安全可靠又舒适宜人，消除对人体构成伤害的各种危险因素，使人类的生存环境得到良好的保护和改善。

人-机-环境系统安全包括劳动安全和环境保护两方面。

(1) 劳动安全 改善劳动条件，防止环境污染，保护劳动者在生产活动中的安全与健康，是社会主义技术发展的重要法规，也是企业管理的基本原则之一。国家制订了有关劳动安全和工业卫生的一系列规章、制度、标准和规范，任何企业和部门都应认真贯彻执行，而且应把改善劳动条件、保障操作人员的安全生产和保护环境作为重要的设计内容。

为了保护操作人员的安全，应特别注意机械系统运行时可能对人体造成伤害的危险区，并进行切实有效的防护。例如，设防护罩、防护盖、安全挡板或者隔离板等，把危险区与人体隔离开。对人体易误入的危险区，必须设置可靠的保护装置。图 1-4 为光电式自动安全保护装置的示意图。当人体或其他物体误入操作危险区时，光束受阻，发出电信号，实现自动安全保护。

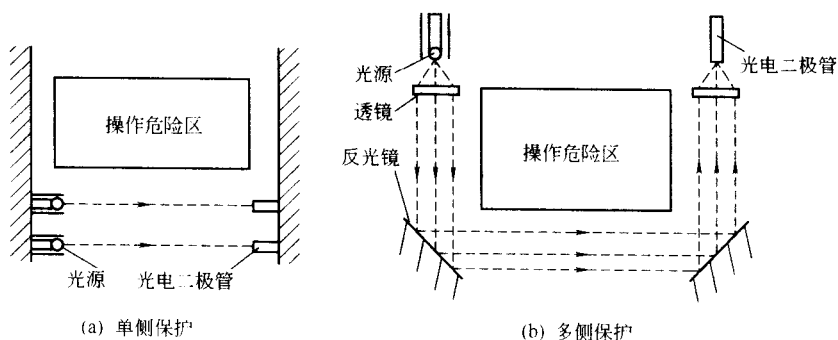


图 1-4 光电式自动安全保护装置

图 1-5 所示为一种联锁的自动安全保护装置。为防止触碰有危险的运动件，只有在安全盖 2 完全盖好的情况下，偏心轮控制的开关接通中间继电器 1 时，才能启动电机。当电机启动后，因无电流通过锁紧装置的电磁铁 6，锁紧插销 4 在压缩弹簧 5 作用下插入销孔，因而安全盖不可能打开。当电机停止转动后，电磁铁 6 通电，拔出锁紧插销 4，才能打开安全盖。安全盖打开后，偏心轮迫使开关断开，继电器 1 无电流通过，使电机无法启动，消除了危险。电机停机后，运动件将因惯性仍会延续转动一段时间，如立刻打开安全盖仍是危险的，继电器延时的时间继电器 7 保证了只有当机械完全停止转动后，锁紧插销 4 才退出销孔。

(2) 环境保护 环境保护的内容很广泛，如“三废”（废气、废水、废渣）治理、除尘、防毒、防暑降温、采光采暖与通风、放射防护、噪声和振动控制等。

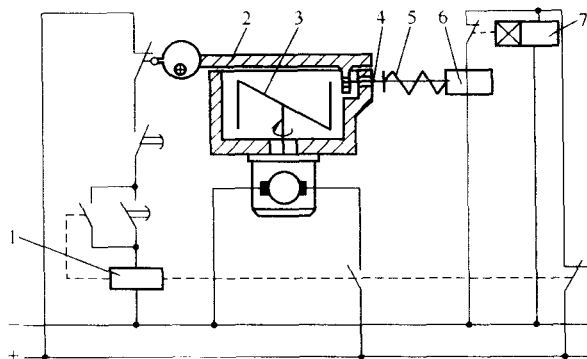


图 1-5 联锁的自动安全保护装置

1—中间继电器；2—安全盖；3—有危险的运动件；4—锁紧插销；5—压缩弹簧；6—电磁铁；7—时间继电器

噪声是指令人不愉快的或不希望有的声音，它损害人们的听觉，妨碍会话和思考，使人感到烦躁和疲乏，分散注意力，降低工作效率，影响安全生产。因此，噪声是一种公害，很多机械产品已把噪声值作为评价质量的指标之一。

如果机械产品的噪声值超过了允许范围，就要采取适当的控制措施降低噪声。控制噪声的根本途径是控制噪声源。从本质上看，噪声来自振动。控制振动就是控制噪声，凡是能控制振动的措施都有助于降低噪声。例如，减少振动源的激振力、改变振动系统的固有频率、减小运动副的间隙、增加运动件阻尼、改善润滑条件、采用减振隔振装置等，对流体传动的机械采用消除紊流、降低流速、减小压力脉动等措施，都可获得降低噪声的效果。

机械中某些静止的零件，特别是薄壁的罩壳、箱体、管道等零件，易受运动部件或流体振动的激励产生噪声，也应采取适当措施加以控制，如合理设计薄壁零件的结构、适当增加筋板、改变管道支撑位置、设置阻尼材料制成的隔振层或薄板表面涂以阻尼材料等。

控制噪声的传播，使噪声在传播过程中衰减或被隔离，是控制现有机械设备噪声的常用措施，如采用隔声罩、隔声间、隔声障板、消声器或隔振器等。

如果长时间工作的环境噪声在 90dB 以上，短时间工作的环境噪声在 115dB 以上，必须采取个人防护措施，如采用耳塞、耳罩、头盔等，或者采用遥测、遥控技术，以保护操作人员的身体健康。降噪和减振是一项很复杂的工作，应在设计阶段就给予充分重视，并采取必要的综合措施。

五、机械系统功能的基本要求

现代机械产品的功能要求非常广泛，不同机械因工作要求、追求目标和使用环境不同，具体功能的要求也有很大差异。例如，起重机械是一种有间歇运动的机械，因此，起重机械的基本功能要求是起升重量、起升高度、起升速度、运行速度、生产率、作业范围及经济性，工作过程的安全性、可靠性、稳定性、操纵性、对周围环境的适应性等。对于汽车起重机还要求有良好的机动性，对于大跨度的龙门起重机还要求大车运行时两侧门腿移动的同步性等。

各种机械的功能要求大体归纳为以下方面。

- (1) 运动要求 如速度、加速度、转速、调速范围、行程、运动轨迹及运动精度等。
- (2) 动力要求 包括传递的功率、转矩、力等。
- (3) 体积和重量要求 如尺寸、重量、重量比等。

(4) 可靠性和寿命要求 如机械和零部件功能的可靠性、零部件的耐磨性和使用寿命等。

(5) 安全性要求 包括强度、刚度、热力学性能、摩擦学特性、振动稳定性、系统工作的安全性及操作人员的安全性等。

(6) 经济性要求 包括机械设计和制造的经济性、使用和维修的经济性等。

(7) 环境保护要求 如噪声、振动、防尘、防毒、“三废”的排放和治理、周围人员和设备的安全性等。

(8) 产品造型要求 如外观、色彩、与环境的协调性等。

(9) 其他要求 不同机械还可有一些特殊要求，如精密机械要求能长期保持精度并有良好的防振性；经常搬动的机械要求安装、拆卸、运输方便；户外型机械要求有良好的防护、防腐和密封；食品和药品加工机械要求不污染被加工产品等。