

机械系统设计

高等学校试用教材

# 机械系统设计

合肥工业大学 朱龙根 主编  
东北工学院 黄雨华

机械工业出版社

机械

TH122

356395

高等学校试用教材

# 机械系统设计

合肥工业大学 朱龙根  
东北工学院 黄雨华 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是由全国高等工业学校机械设计及制造专业教学指导委员会审定的全国机械设计及制造专业本科学用教材。本书从系统的观点出发,分析了机械系统的特点,阐述了机械系统设计的一般规律和方法。全书共分八章:第一章概述,第二章机械系统的方案设计与总体设计,第三章机械系统的载荷特性和动力选择,第四章执行系统设计,第五章传动系统设计,第六章操纵系统设计,第七章机械系统控制,第八章机械基础设计。

本书为高等工业学校机械设计及制造专业和机械设计类专业教学用书,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

### 机械系统设计

合肥工业大学 朱龙根 主编  
东北工学院 黄雨华

\*

责任编辑:张一萍 版式设计:乔玲  
封面设计:郭景云 责任印制:尹德伦

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)  
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16·印张 12 1/2·字数 306 千字  
1992年5月北京第1版·1992年5月北京第1次印刷  
印数 0,001—6,300·定价:3.70元

\*

ISBN 7-111-03089-3/TH·339(课)

机械系统设计

机械

88Z

## 前 言

本书是根据全国高等工业学校机械设计及制造专业教学指导委员会 1988 年 3 月制订的《机械系统设计》教材编写大纲编写的。

为市场提供优质高效、价廉物美的机械产品，以满足不断增长的社会生产活动和人们生活的需要，是机械产品设计的根本宗旨。

“机械系统设计”是机械设计及制造专业的主干必修课程之一。通过本课程的学习，使学生能从整机的角度和系统的观点了解一般机械产品设计的规律和特点，扩大机械结构知识，增强机械设计能力，掌握机械产品设计的基本方法和技术，并结合课程设计和实验等实践教学环节，培养学生具有开发设计性能良好的和有市场竞争力的机械产品的初步技能。

为此，本书在编写过程中力求从系统的观点出发，对机械系统的组成和设计要求进行分析，并介绍机械系统的主要组成部分的设计方法和原理。为使学生具有较宽广的知识和视野，有较强的工作适应能力，不仅有从事机械设计的基础知识和基本技能，有对机械设计中的具体技术问题进行分析和设计的能力，而且还具有对各类产业机械进行整机设计的初步能力，本书在内容的选择和安排上尽量注意拓宽专业面，结合典型机械设计实例，概括机械设计的一般规律和方法。讲授本课程约需 50 学时。

本书由合肥工业大学朱龙根副教授、东北工学院黄雨华副教授主编。具体编写分工：第一、八章及附录由朱龙根编写；第二章由江苏工学院蒋生发副教授编写；第三章由黄雨华编写；第四章由上海工业大学胡潮曾副教授编写；第五章由山东工业大学庄莅之副教授编写；第六章由吉林工业大学张家励副教授编写；第七章由哈尔滨工业大学黄开榜副教授编写。

本书在编写时注意理论联系实际，并努力遵循“少而精”的原则。第四章执行系统设计中不包含机构设计理论和内容，这部分内容由“机构设计”课程进行系统的讲述。

“机械工程控制基础”是本课程的先修课程之一，考虑到没有学过该课程的学生学习的需要，将有关机械系统控制的基础知识在附录中作一概要介绍。

本书由同济大学喻怀正教授主审。参加审稿会的还有哈尔滨工业大学孙靖民教授、西北工业大学沈允文教授、东北工学院崔广椿教授、大连理工大学欧宗瑛教授、吉林工业大学赵清副教授等。

本书在编写过程中得到全国高等工业学校机械设计及制造专业教学指导委员会的具体指导，尤其是合肥工业大学徐业宜教授、北京航空航天大学郭可谦教授对本书的指导思想和内容体系均提出了许多宝贵意见。此外，全国机械设计及制造专业教育研究会的兄弟院校也对本书的编写给予了很大的支持和帮助，编者在此一并表示由衷的感谢。

本书可作为机械设计类专业本科生教材，也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

限于编者水平，加之本课程是一门新开设的课程，很多问题都有待进一步探讨。因此，本书的缺点和不足，甚至谬误之处在所难免，殷切希望使用本书的各校师生和广大读者批评指正，编者将不胜感激。

编 者

1990年4月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1	§ 5-3 传动系统的运动设计 .....	100
§ 1-1 机械与机械系统 .....	1	第六章 操纵系统设计 .....	119
§ 1-2 机械系统设计的任务 .....	4	§ 6-1 操纵系统的功能和要求 .....	119
§ 1-3 机械系统设计方法概述 .....	11	§ 6-2 操纵系统的组成和分类 .....	120
第二章 机械系统的方案设计与总体设计 .....	15	§ 6-3 操纵系统设计 .....	123
§ 2-1 机械系统的方案设计 .....	15	§ 6-4 操纵系统设计的人机工程学 .....	128
§ 2-2 机械系统的总体设计 .....	21	第七章 机械系统控制 .....	135
§ 2-3 机械系统的总体布置及主要技术参数的确定 .....	21	§ 7-1 概述 .....	135
第三章 机械系统的载荷特性和动力选择 .....	32	§ 7-2 控制原理 .....	138
§ 3-1 工作机械的载荷 .....	32	§ 7-3 伺服机构举例 .....	147
§ 3-2 动力机的种类和机械特性 .....	43	§ 7-4 伺服系统设计 .....	153
§ 3-3 动力机的选择和计算 .....	54	第八章 机械基础设计 .....	171
第四章 执行系统设计 .....	66	§ 8-1 机械基础的要求 .....	171
§ 4-1 执行系统的功能、组成与分类 .....	66	§ 8-2 机械基础的静力学计算 .....	174
§ 4-2 执行系统的设计 .....	73	§ 8-3 机械基础的动力学计算 .....	176
第五章 传动系统设计 .....	78	§ 8-4 机械基础的构造与材料 .....	183
§ 5-1 传动系统的类型 .....	78	§ 8-5 机械基础的隔振简介 .....	185
§ 5-2 传动系统的组成 .....	84	附录 .....	188
		一 拉氏变换及其应用 .....	188
		二 传递函数和方框图 .....	192
		参考文献 .....	195

# 第一章 绪 论

## § 1-1 机械与机械系统

### 一、系统的概念

人类在长期的社会实践中认识到，客观事物是复杂的，为了准确而科学地把握和研究某一事物，除了必须研究和分析该事物的特性及其发展规律外，还必须研究和分析该事物与其周围相关事物之间的联系和作用，由此逐渐产生了系统的思想。

所谓系统是指具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素构成的一个整体。

一般认为，由两个或两个以上的要素组成的具有一定结构和特定功能的整体都可看作是一个系统。一个大的系统可由若干小的系统组成，这些小的系统常称为子系统。子系统又可由它所属的更小的子系统组成，系统本身也可以是别的更大系统的组成部分。

由此看来，任何机械都是由若干装置、部件和零件组成的一个特定的系统，是一个由确定的质量、刚度和阻尼的物体组成并能完成特定功能的系统。机械零件是组成机械系统的基本要素，它们为完成一定的功能相互联系而分别组成了各个子系统。从广义上说，机械本身又是人一机一环境这个更大系统的组成部分。因此，设计机械系统时，把机械本身构成的系统称为内部系统，而把人和环境构成的系统称为外部系统。内部系统与外部系统之间存在着一定的联系，即相互间有作用和影响，如图1-1 a所示。外部系统对内部系统的作用和影响，对外部系统来说是输出，而对内部系统来说则是输入；反之，内部系统对外部系统的作用和影响，对内部系统来说是输出，而对外部系统来说则是输入，见图1-1 b所示。

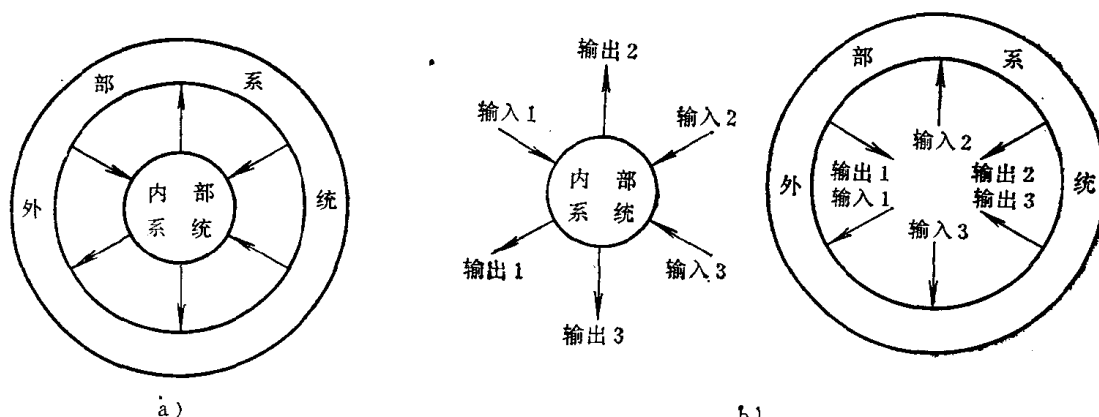


图1-1 内部系统与外部系统

a) 内部系统与外部系统的联系 b) 系统的输入与输出

系统有下述一些特性：

1) 整体性。整体性是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，相互间须协调和适应。一个系统整体功能的实现，并不是某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，最终体现在其整体功能上。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完善，但如能与其他相关要素得到很好

的统一协调，往往也可使系统具有满意的功能。

系统的整体性还反映在组成系统的各要素之间的有机联系上，正是这种联系，才使各要素组成一个整体，若失去了这种联系也就不存在整个系统。要素的随意组合不能称为系统。同样，在系统中不存在与其他要素不发生联系的独立要素。因此，系统是不能分割的，不能把一个系统分割成相互独立的子系统。由于实际系统往往是很复杂的，为了研究的方便，可以根据需要把一个系统分解成若干个子系统，这与分割系统是完全不同的，因为在分解系统时始终没有忘记它们之间的联系，分解后的子系统都不是独立的，它们之间的联系分别由相应子系统的输入与输出表示。

2) 相关性。系统内部各要素之间是有机联系的，即相关的，它们之间相互作用、相互影响而形成特定的关系。如系统的输入与输出之间的关系、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，从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，即实现要求的功能，排除或减小有害的干扰。

4) 环境适应性。任何一个系统都存在于一定的物质环境中，外部环境的变化，会使系统的输入发生变化，甚至产生干扰，引起系统功能的变化。外部环境总是不断变化的，系统也总是处于动态过程中，稳态过程只是相对的、暂时的。因此，为了使系统运行良好，具有确定的特定功能，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。

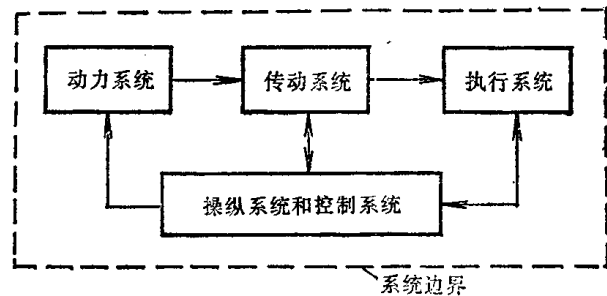


图1-2 机械系统的组成

## 二、机械系统的组成

现代机械种类繁多，结构也愈来愈复杂，但从实现系统功能的角度看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，如图 1-2 所示。每个子系统又可根据需要继续分解为更小的子系统。

### (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。按能量转换性质的不同，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，如电动机、液压马达、气动马达等。由于经济上的原因，动力机输出的运动通常为转动，而且转速较高。

选择动力机时，应全面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、以及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，是利用机械能来改变作业对象的性质、状态、形状或位置，或对作业对象进行检测、度量等，以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机械特性

要求也各不相同。

执行系统通常处在机械系统的末端，直接与作业对象接触，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、刚度、寿命等要求外，还应充分注意其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，通过传动系统实行变速(有级或无级)，以满足执行系统多种速度的要求。
- 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或力。

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，二者的主要区别是：操纵系统多指通过人工操作来实现上述要求的装置，通常包括起动、离合、制动、变速、换向等装置；控制系统是指通过人工操作或测量元件获得的控制信号，经由控制器，使控制对象改变其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，提高其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，还可有润滑、计数、行走、转向等系统。

## 三、现代机械的功能要求

现代机械产品的功能要求非常广泛，不同机械因其工作要求、追求目标和使用环境的不同，其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，主要用于物品的装卸。其主要作业过程一般是：从取物地点由起升机构把物品提起，由运行机构、回转机构或变幅机构把物品移位，到指定地点后下降以卸下物品，然后反向运动回到原位或移动到一个新的作业地点，进行下一次作业。在两次作业之间，一般有短暂的停歇。所以，起重机械工作时，各机构和构件经常处于起动、制动及正向、反向等相互交替的有停歇的运动状态中。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，以及工作过程的安全性、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，对于大跨度龙门起重机则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可归纳为：

- 1) 运动要求。如速度、加速度、转速、调速范围、行程、运动轨迹以及运动的精确性等。
- 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、功率、重量比等。

4) 可靠性和寿命要求。包括机械和零部件执行功能的可靠性、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其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。

## § 1-2 机械系统设计的任务

机械系统设计的最终目的是为市场提供优质高效、价廉物美的机械产品,在市场竞争中取得优势、赢得用户,并取得较好的经济效益。

产品质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平,而产品设计则是关键。没有高质量的设计,就不可能有高质量的产品。没有经济观点的设计人员,绝不可能设计出经济性好的产品。据统计,产品质量事故,约有50%是设计不当造成的;产品的成本,60%~70%取决于设计。机械系统设计时,特别强调和重视从系统的观点出发,合理确定系统功能,增强可靠性,提高经济性,保证安全性。

### 一、合理确定系统功能

一项产品的推出总是以社会需求为前提,或为满足社会生产活动的需要,或为满足人们生活的需要。没有需求就没有市场,也就失去了产品存在的价值和依据。而社会的需求是变化的,不同时期、不同地点、不同的社会环境就会有不同的市场行情和要求。产品应不断地更新改进,适应市场的变化,否则将会滞销积压,造成浪费,影响企业的经济效益,严重时甚至导致企业倒闭。所以,设计师必须确立市场观念,以社会需求作为最基本出发点。

所谓需求,就是对功能的需求。用户购买产品实际就是购买产品的功能。产品的功能是与技术、经济等因素密切相关的。根据价值工程原理,产品的价值 $V$ 常用产品的总功能 $F$ 与成本 $C$ 的比值,即用 $V = F/C$ 来表示。为了提高产品的价值,一般可以采取下列五种措施:

1) 增加功能,成本不变。2) 功能不变,降低成本。3) 增加一些成本以换取更多的功能。4) 降低一些功能以使成本更多的降低。5) 增加功能,降低成本。显然,最后一种是最理想的,但也是最困难的。通常,随着功能的增加,产品的成本也会随之上升。所以,设计师必须进行市场调查和用户访问,查清市场当前的需求和预测今后的需求,了解市场对现有产品或同类产品的反应,掌握现有竞争对手和潜在竞争对手的动向,确定自己的方针和策略,然后对产品进行功能分析,遵循保证基本功能、满足使用功能、剔除多余功能、增添新颖功能、恰到好处地利用外观功能的原则,力求使产品达到尽善尽美的境地。

### 二、提高可靠性

可靠性是衡量系统质量的一个重要指标。所谓可靠性是指系统在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。规定功能的丧失称为失效，对于可修复的系统其失效也称故障。可靠性技术是研究系统发生故障或失效的原因及预防措施的一门技术。目前，可靠性技术已开始用于机械系统设计。

### (一) 衡量可靠性的指标

能对系统可靠性的程度进行数值度量的量都可以作为可靠性的指标，常用的有下述几种：

1) 可靠度  $R(t)$  可靠度即系统在规定的条件下和规定的时间内无故障地完成规定功能或不发生失效的概率。可靠度  $R(t)$  是时间的函数，并且  $0 \leq R(t) \leq 1$ 。

2) 失效概率  $F(t)$  失效概率是指系统在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能时发生故障或失效的概率。可见，失效概率  $F(t)$  也是时间的函数，且  $0 \leq F(t) \leq 1$ 。因为失效与不失效是互逆事件，所以  $R(t) = 1 - F(t)$ 。

3) 失效率  $\lambda(t)$  失效率是指系统工作到某一时刻后，在单位时间内发生故障或失效的概率。失效率常用的单位为  $\%/(10^3 \text{ h})$ ， $\%/(10^6 \text{ h})$ 。对于可靠性很高、失效率很小的系统，则常用  $\text{Fit}$  (Failure Unit 的缩写) 作为单位， $1\text{Fit} = \%/(10^9 \text{ h})$ 。

4) 平均无故障工作时间 MTBF MTBF (Mean Time Between Failure) 是指在系统使用寿命期内的某段观察期间累积工作时间与故障次数之比，是用于衡量可修复系统的可靠性指标。

5) 失效前平均工作时间 MTTF MTTF (Mean Time To Failure) 是指发生故障后不能修复的系统，从开始使用直至失效的平均工作时间。

此外，还有一些衡量可靠性的指标。不管哪一种可靠性指标，都只是衡量和评价系统可靠性的某一方面特征的尺度。对于不同系统应根据其不同的特点或习惯采用合适的可靠性指标。

### (二) 提高机械系统可靠性的措施

提高系统可靠性的最有效方法是进行可靠性设计。进行可靠性设计时必须掌握影响可靠性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，了解影响机械系统可靠性的因素，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，掌握其原因，并采取相应的预防措施，则系统的失效率将会减小，可靠性也随之提高。为了使失效分析做得比较全面和切合实际，应该对现有系统或同类系统进行质量调查和用户访问，收集失效实例，分析失效原因，对重要的系统还应建立失效档案，特别是对典型的重大失效案例应召开失效分析会，请有关专家和人员进行详尽分析，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去

实践表明，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，对系统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其必要的可靠性，设计时应从整体的、系统的观点详细分析其输入、输出，尽量减小不稳定因素的干扰。必要时可采用减额使用的办法，使其工作负荷低于额定值，减少超负荷工作的几率；或采用冗余技术，即加大可靠性的贮备，如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系统可靠性是最有效的，但会相应地增加系统的复杂性，增加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程序和方法进行维修时，保持和恢复系统规定功能的能力。因此，维修性也可看作是维护系统可靠性的能力。

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

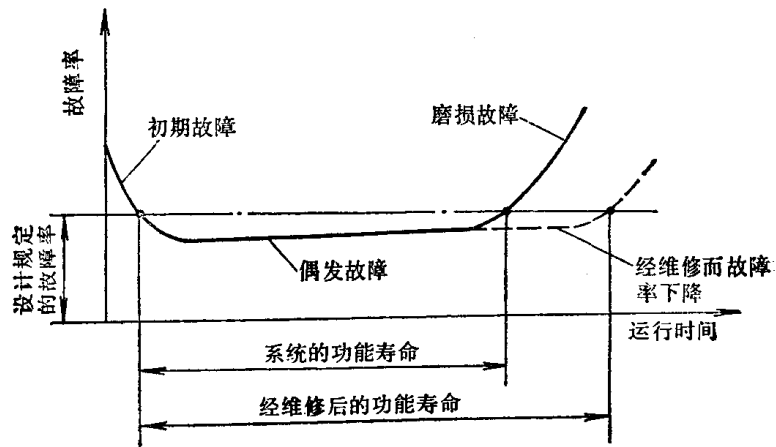


图1-3 机械系统的故障率曲线

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，其故障率较高。在系统中这些薄弱环节得到改进或在一定条件下通过适当的调整、跑合，可以减小初期故障率。

当初期故障阶段结束后，系统进入正常运行时期，其故障率最小且稳定。此时的系统故障主要是由一些偶发的因素引起的，如操作不当、运行条件的突然变化、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，系统中的零部件因磨损、疲劳、老化等原因，故障率又显著上升，这时的故障常称为磨损故障。一般说来，进入磨损故障期后，系统的效率降低、生产率下降，意味着该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，经良好维修的系统其故障率明显下降。

维修应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、提高经济性

#### (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，提高制造厂方的经济效益。

降低产品成本是提高经济效益的关键，设计师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

可靠性要求应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，需要把各设计参数作为随机变量处理，当缺乏这些必要的数据和资料时，仍可把设计参数作为确定值，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程度的指标，但它们的含义和应用不尽相同。采用可靠性设计时，可以使系统设计得更合理、更经济，系统愈复杂，其优越性也愈明显，经济性和可靠性愈可趋于统一。而采用安全系数作为判据时，把本来属统计变量的载荷、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，其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。在选取安全系数值时，考虑可靠性的要求。当可靠性要求高时，安全系数值可相应取大些，反之可取小些。当设计数据分布的离散程度较大时，安全系数值应取大些，反之取小些。

由于安全系数与经济性密切相关，如有可能，安全系数的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果。实施标准化是国家的一项重要技术法规。

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：

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

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

3) 基础标准 它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订的标准，如计量单位、优先数系、公差配合、图形符号、名词术语等标准。

我国标准分国家标准、部标准（专业标准）和企业标准三级。国家标准和部标准的适用

面虽然有所不同，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技术法规。

鉴于目前我国标准化工作的现状和需要，积极采用国际标准和国外先进标准也是一项重要的技术经济政策。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。

标准化创造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。设计人员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、焊接工艺性、热处理工艺性、切削加工工艺性和装配工艺性等。良好的工艺性是减小劳动量、提高生产率、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应随之改变。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，可参阅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，也要提高使用的经济性，既要考虑制造者的利益，也要考虑使用者的效益，二者缺一不可。

提高用户经济效益主要可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，能源的消耗低，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型式、运动副的工作表面性态、摩擦润滑状况、润滑剂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，提高其生产率，提高原材料的利用率，降低物耗，也是提高其效率的重要途径。

### 2. 合理确定经济寿命

一般说来，希望产品有长的使用寿命，但在设计中单纯追求长寿命是不适当的。

由图 1-3 故障率曲线可知，系统正常运行的寿命是可以延长的，但必须以相应的维修为代价。使用寿命愈长，系统的性能愈差，效率愈低，相应的使用费用（包括维修保养、操作、材料及能源消耗等费用）愈多，使用经济性愈低，此时应考虑设备更新。

实际上，机械设备性能下降、维修的经济性愈来愈差，仅是需要更新的原因之一。由于

科学技术的进步，不断有一些技术更先进、性能价格比更高的新设备出现，或是由于企业生产规模的发展、产品品种的扩大或改变等，都是要求更新设备的原因。

设备从开始使用至其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. 提高维修保养的经济性

维修能延长设备使用寿命，但又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使用经济效益，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，即按照规定的维修程序，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或维修次数过多，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能尽量安排在非生产时间进行维修，可以使因停机停产造成的损失减少，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性值的测定，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修型产品，在使用期间内不必维修，到功能寿命终止时即行报废。

## 四、保证安全性

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一机—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故障或失效，常需配置过载保护、安全互锁等装置。

### (二) 人一机—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，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，而且对使用机械的人员及周围环境也应有良好的安全性。人类工程学就是研究人一机—环境系统安全性的一门新兴学科。

人类工程学的着眼点是人、机、环境之间的“接口”，把人作为系统的一个组成部分，以人为主体的，研究人、机、环境之间的相互作用和协调，使机械能更好地适宜于人体的各种体能特点和要求，便于操作和使用，既安全可靠又舒适宜人，消除对人身构成伤害的各种危险因素，使人类的生存环境能得到良好的保护和改善。

人一机—环境系统安全性包括劳动安全和环境保护两方面内容。

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和健康，是社会主义工业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。

为了保障操作人员的安全，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，设置防护罩、防护盖、安全挡板或隔板等，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或报警装置。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，发出电讯号，经放大后由控制线路使机械停止运转或发出报警信号，实现自动安全保护。

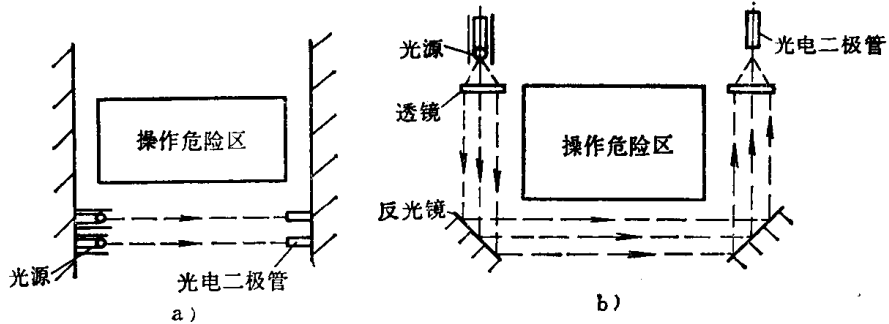


图1-4 光电式自动安全保护装置

a) 单侧保护 b) 多侧保护

图 1-5 所示为一种联锁的自动安全保护装置。为了防止触碰有危险的运动件 3，用一带偏心轮的安全盖 2 罩住，只有在安全盖完全盖好的情况下，偏心轮控制的开关接通中间继电器 1，才能起动电动机。当电动机起动后，因无电流通过锁紧装置的电磁铁 6，锁紧插销 4 在弹簧 5 作用下插入销孔，因而安全盖不可能打开。当电动机停止转动后，电磁铁 6 通电，

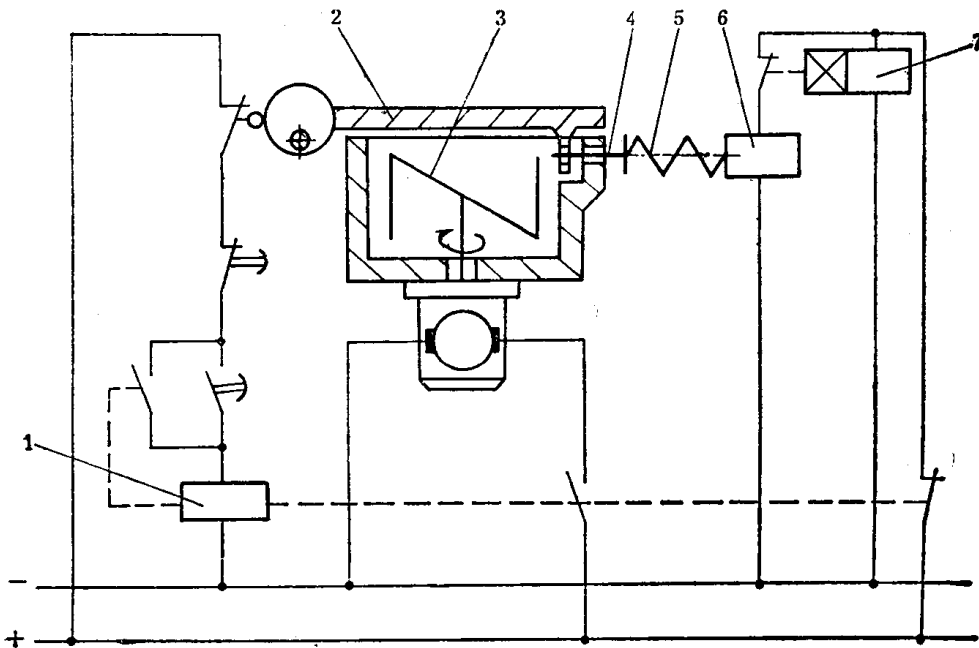


图1-5 联锁的自动安全保护装置

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

拔出插销 4，才可能打开安全盖。安全盖打开后，偏心轮迫使开关断开，继电器 1 无电流通过，使电动机无法起动，消除了危险。

电动机停机后，运动件将因惯性仍会延续转动一段时间，如立即打开安全盖仍是危险的，断电延时的时间继电器 7 保证了只有当机械完全停止转动后，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，具体防治要求和措施，可参阅有关标准和资料。

随着工业技术的发展，降噪和减振已经作为环境保护的重要内容之一而日益受到重视。

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。

机械噪声主要有三类：流体动力噪声、结构噪声和电磁噪声。流体动力噪声是由气体或液体振动产生的。当流体中有涡流或压力突变时，流体产生扰动而发出噪声。如鼓风机、通风机、空气压缩机及液压系统等的主要噪声属于此类噪声。结构噪声是由固体振动产生的。在机械运转时，由于撞击、摩擦、交变应力等的作用，使机械的零件产生振动而发出的噪声，如各类机床、球磨机、粉碎机等，以及机械中的如齿轮、曲柄连杆、轴承等运动零件产生的主要噪声即属结构噪声。电磁噪声是由空隙中交变的电磁力相互作用引起电磁振动而产生的，如发电机、电动机、变压器和磁滞伸缩引起的铁芯振动所产生的主要噪声均属电磁噪声。

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，凡是能减小振动的措施都有助于降低噪声。例如，减小振动体的激振力、改变振动系统的固有频率、减小运动副的间隙、增加振动件的阻尼、改善润滑条件、以及采用减振或隔振装置等，对流体传动机械采用消除紊流、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、盖板、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、接合面处设置阻尼材料制成的隔振层或薄板表面涂以阻尼材料等。

其次，控制噪声的传播，使噪声在其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 90 dB 以上，短时间工作的环境噪声在 115 dB 以上，必须采取个人防护措施，如采用耳塞、耳罩、帽盔等，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。

## § 1-3 机械系统设计方法概述

### 一、机械系统设计过程

机械系统设计的一般过程包括计划、外部系统设计（简称外部设计）、内部系统设计（简



称内部设计)和制造销售四个阶段,各阶段的工作进程和内容见表1-1。

表1-1 机械系统设计的一般过程

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	根据产品发展规划和市场需要提出设计任务书,或由上级主管部门下达计划任务书
外 部 设 计	调查研究 可行性研究 系统计划	进行市场调查,占有技术情报和资料,掌握外部环境条件,预测市场趋势 进行技术研究和费用预测,对市场前景、投资环境、生产条件、生产规模、生产组织、成本与效益等进行全面的分析研究,提出可行性研究报告 明确设计任务、目的和要求,搞清外部环境的作用和影响,制订系统开发计划书
内 部 设 计	初步设计(方案设计或概略设计) 系统分解 系统分析 技术设计(草图设计或详细设计) 工作图设计 鉴定和评审	选择工作原理、设计总体方案,对可行的各候选方案进行分析比较,进行总体布置设计,必要时进行试验研究(前期试验) 将总体系统分解成子系统,画出系统图,以便于分析和设计 分析和确定系统目的与要求,进行模型化、优化与评价,确定最佳系统方案 进行子系统的技术设计和总体系统的技术设计,计算和确定主要尺寸,绘制部件装配图和总图,必要时进行试验研究(中期试验) 绘制全部零件工作图,编写各种技术文件和说明书 对设计进行全面的、技术、经济评价,分析内部系统对周围环境的作用和影响
制 造 销 售	样机试制 样机鉴定和评审 改进设计 小批试制 定型设计 销售	样机试制,样机试验(后期试验) 对样机进行全面的鉴定和评审 对不能满足系统要求的技术、经济指标进行分析,根据样机鉴定和评审意见修改设计 对单件生产的产品,经修改、试验、调整后,投入运行考核,并在运行中不断改进和完善 对大量生产的产品,通过小批试制进一步考核设计的工艺性,并不断修改和完善设计,同时进行工艺装备的准备工作 完善全部工作图、技术文件和工艺文件

## 二、机械系统设计的特点

机械系统设计时,特别强调系统的观点,就是必须考虑整个系统的运行,而不是只关心各组成部分的工作状态和性能。应在调查研究的基础上,搞清外部环境对该机械的作用和影响。如市场对该机械的要求(功能、价格、销售量、尺寸、重量、工期、外观等)和约束条件(资金、材料、设备、技术、信息、使用环境、基础和地基、法律与政策等),这些都对内部设计有直接影响,不仅影响机械系统的方案,影响其经济性、可靠性、使用寿命等指标,也可导致设计失败。因此,内部设计必须考虑外部环境的上述要求。

同时,也不能忽略内部系统对外部环境的作用和影响,包括该系统运行后或该产品投入市场后,对周围环境的影响,对操作人员及其他人员的影响等。

内部设计与外部设计相结合是系统设计的特点,它可以使设计尽量做到周密、合理,少走弯路,避免不必要的返工和浪费,以尽可能少的投资获取尽可能大的效益。其技术经济效益,往往随系统复杂程度的增加而越趋明显。

传统的设计方法只注重内部系统的设计,且以改善零部件的特性为重点,至于各零部件之间、外部环境与内部系统之间的相互作用和影响考虑较少,因此,虽然对零部件的设计考虑得很仔细,但设计的系统仍然不够理想。零部件的设计固然应该给予足够的重视,但全部