



高等学校教材

# 机械系统设计

武汉水利电力学院 胡建钢 主编



## 内 容 提 要

本书应用系统工程学的观点,以《整机设计》为基础,主要论述一般机械所具有的几大系统设计及其共同的规律性问题。

全书共分十一章:机械设计概论、机械设计中的载荷、机械动力装置、传动系统设计、执行系统设计、机械结构设计、人机工程与操纵系统设计、控制系统设计、机架设计、机器基础设计、机械设计实例分析。

本书主要用作高等工科院校《机械设计及制造》专业教材,也可用作机械类专业高年级学生、研究生的选修课教材,并可用作从事机械设计及制造的工程技术人员的培训教材和参考书。

高等学校教材

机械系统设计

武汉水利电力学院 胡建钢 主编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 20印张 455千字

1991年5月第一版 1991年5月北京第一次印刷

印数 0001—2540册

ISBN 7-120-01290-4/TH·19

定价 5.20元

# 前 言

为适应四化建设的需要，一些高等工科院校相继设置了《机械设计及制造》专业，这个专业的学生应掌握比较扎实宽厚的机械设计基础理论知识，具有较强的机械设计能力。

为了使《机械设计及制造》专业的学生受到系统的设计知识的教育，熟练地掌握一般机械设计方法，具有更广阔视野的机械设计能力，我们根据能源部机械类专业教学协作组于1989年4月武昌会议通过的《机械系统设计》教材编写大纲编写了这本教材。

在编写过程中，注意理论联系实际，突出整机设计的内容、原则和方法，以系统工程学的观点，按一般机械所具有的几大系统分章论述，使学生对机械系统设计的内容和方法获得较为全面的、完整的了解，以培养学生具有独立从事创造性设计的能力。

本书主要用作高等工科院校《机械设计及制造》专业教材，还可用作其它机械设计专业与工程技术人员的培训教材，并可供机械类其它有关专业的师生以及从事机械设计及制造的工程技术人员参考。

参加本书编写的有：武汉水利电力学院胡建钢（第一、四、五章）、李纪仁（第二、三、十一章）；华北电力学院魏铁华（第六、七、十章）；河海大学机械学院蔡慧官（第八、九章）。全书由武汉水利电力学院胡建钢主编。

本书承武汉水运工程学院船舶机械系倪文馨教授担任主审，倪教授对本书编写提出了许多宝贵的意见，对提高本书质量给予很大的帮助。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，编写时间仓促，又无类似教材可供参考，误漏之处，在所难免，殷切期望广大读者批评指正。

编者

1990年3月于武汉

# 目 录

## 前 言

第一章 机械设计概论	( 1 )
第一节 机械及机械设计	( 1 )
第二节 系统的概念	( 2 )
第三节 机械设计的主要内容	( 3 )
第四节 机械设计的基本原则	( 5 )
第五节 机械设计的类型与程序	( 9 )
第六节 机械设计方法	( 16 )
第七节 机械零件常用材料及其选择	( 26 )
第八节 机械产品的造型美术设计	( 28 )
第九节 价值工程在机械设计中的应用	( 30 )
第十节 机械设计中的标准化、系列化和通用化	( 34 )
第二章 机械设计中的载荷	( 37 )
第一节 概述	( 37 )
第二节 机器的工作载荷	( 39 )
第三节 水力载荷	( 47 )
第四节 风载荷	( 52 )
第五节 动力载荷——惯性载荷	( 56 )
第六节 动力载荷——振动载荷	( 59 )
第七节 动力载荷——冲击(振动)载荷	( 64 )
第八节 随机载荷的统计处理	( 69 )
第三章 机械的动力装置	( 75 )
第一节 概述	( 75 )
第二节 动力装置的机械特性和生产机械的负载转矩特性	( 75 )
第三节 电动机的选择	( 78 )
第四节 直流电动机的调速	( 85 )
第五节 内燃机驱动	( 88 )
第四章 传动系统设计	( 91 )
第一节 概述	( 91 )
第二节 传动的选择	( 97 )
第三节 机械传动的特性和参数	( 101 )
第四节 机械传动系统的设计程序	( 104 )
第五节 减速器	( 107 )
第六节 机械无级变速器	( 121 )
第七节 传动选择实例	( 127 )

<b>第五章 执行系统设计</b> .....	(137)
第一节 执行机构运动设计的基本问题.....	(137)
第二节 执行机构的运动方案设计.....	(139)
第三节 机构组合的方式与原则.....	(142)
第四节 匀速转动机构.....	(147)
第五节 非匀速转动机构.....	(150)
第六节 往复运动机构.....	(152)
第七节 间歇运动机构.....	(158)
第八节 单向及换向机构.....	(161)
第九节 自动停车及保险机构.....	(163)
第十节 定位及夹紧机构.....	(166)
<b>第六章 机械结构设计</b> .....	(171)
第一节 结构设计的步骤和基本原则.....	(171)
第二节 结构设计中提高构件可靠性的途径.....	(174)
第三节 结构设计中提高机械精度的途径.....	(183)
第四节 机械零部件的结构工艺性.....	(186)
第五节 机械结构设计实例.....	(194)
<b>第七章 人机工程与操纵系统设计</b> .....	(199)
第一节 概述.....	(199)
第二节 人体参数与作业环境.....	(202)
第三节 操纵系统的功能指标及其影响因素.....	(204)
第四节 操纵系统设计.....	(206)
<b>第八章 控制系统设计</b> .....	(216)
第一节 自控系统的组成和类型.....	(216)
第二节 机械系统控制基本原理.....	(217)
第三节 顺序控制系统.....	(219)
第四节 反馈控制系统.....	(227)
第五节 伺服控制系统.....	(237)
<b>第九章 机架设计</b> .....	(243)
第一节 概述.....	(243)
第二节 机架设计.....	(243)
第三节 用有限元法计算机架刚度和应力的基本原理.....	(244)
第四节 机架离散化过程及常用单元.....	(252)
第五节 机架的材料及制造.....	(258)
<b>第十章 机器基础设计</b> .....	(261)
第一节 概述.....	(261)
第二节 机器基础计算.....	(263)
第三节 压力机大块式基础的动力计算及其实例.....	(268)
<b>第十一章 机械设计实例分析</b> .....	(275)
第一节 设计机器的主要技术参数.....	(275)

第二节	桥式起重机起升机构的传动方案分析及起升机构的主要计算.....	( 281 )
第三节	起重机的运行机构传动方案分析.....	( 286 )
第四节	机床的总体方案设计.....	( 289 )
第五节	机床主传动的有级变速运动设计.....	( 295 )
第六节	机床主传动变速系统传动件的布置.....	( 302 )
第七节	磨煤机.....	( 304 )
参考文献	.....	( 313 )

# 第一章 机械设计概论

## 第一节 机械及机械设计

### 一、机械的定义

机械是各类机器的通称。

机器是人类改造自然、进行生产以减轻体力劳动和提高劳动生产率的主要劳动工具。

机器是由两个或两个以上坚固的、相对受约束的元件所组成的装置，能实现规定的运动，并把施加的能量转变为有用的形式，或转变为有效功。

机器的作用包括将化学能、热能、电能或核能转换成机械能，或反过来将机械能转换成其它几种能，或者用来改变和传递力和运动。所有的机器都有一个输入端、一个输出端、一个转换装置和传递装置。

### 二、机械的种类

机械的种类视其用途不同，大体上可按表1-1划分。

表 1-1 机械的种类

种	类	例
动力机械	原 动 机	汽轮机、内燃机、水轮机等
	中继动力机械	电动机、油压机等
生产机械	机 床	车床、镗床等
	塑性加工机械	锻锤、轧机、压力机
	铸造、焊接机械	造型机、电焊机
	制 造 机 械	纺织机、化工机械等
起重搬运机械	起 重 机 械	起重机、卷扬机
	搬 运 机 械	汽车、铁路车辆
土 木 机 械		推土机、挖掘机
农 业 机 械		耕耘机、拖拉机、收割机
测 量 器 械		测量尺寸、试验材料的器械
电 气 机 械		发电机、电子计算机
其 它 机 械		冷冻机、复印机、机器人等

### 三、机械发展的趋势

随着科学技术的进步，各类生产机械的速度和精度越来越高，尤其是自动化的机械发展更为迅速。机械发展的趋势可概括为下述五个方面：

- 1) 从追求提高功能和使用方便安全上可以看出，提高质量重于增加数量；
- 2) 适应保护环境、节省资源、节省能源等的新要求；
- 3) 发展机、电、液一体化机械及精密机械；
- 4) 发展大量采用电气或电子技术的自动化机械；
- 5) 广泛应用新材料（如塑料、陶瓷等）、新加工技术（如激光、电子束加工等）。

### 四、什么是机械设计

机械设计系指机械装置和机械系统——机器、产品、结构和仪器的设计。

机械设计是一门应用技术科学。机械设计的基础知识包括工程力学、工程材料、机构学、机械设计学、机械制图、机制工艺学、系统工程、工业技术经济学和工艺美术等各部门学科。

机械设计是一项创造性的工作，设计人员应综合运用上述各部门学科的知识，最后用图纸和技术文件来表达所设计产品的结构、形状、尺寸、加工制造、安装和使用等方面的问题。

## 第二节 系统的概念

系统工程是20世纪后半期出现的一门新兴学科，在1960年前后开始形成体系。1969年，阿波罗飞船登月向宇宙进军计划的成功，被认为是美国在系统工程方面的成就。我们知道，阿波罗飞船由七百万个零件组成，在全部零件中没有一个是新研制的，所有零件的性能是已知的，然而应用系统工程的理论和方法，将这些零件有机的组合，创造出了把人送上月球、再从月球返回地球的奇迹般的机械系统。

系统工程学认为，应当将一部机器的设计当作一个系统来研究，从机器整体出发来研究其系统内部各组成部分之间的有机联系和系统外部环境的相互关系，这就是综合的设计方法。

#### 一、系统工程的定义

关于系统工程这门范围极为广泛的学科，它的定义和科学体系的范围，国内外还没有统一的看法。下面列举几个具有代表性的解释和定义：

“系统工程研究的是怎样选择工人和机器最适宜的组合方式以完成特定的目标”（1975年美国百科全书）。

“系统工程是一门研究复杂系统的设计、建立、试验和运行的科学技术”（1976年苏联大百科全书）。

“系统工程学是为了更好地达到系统目标，而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机构等进行分析与设计的技术”（1967年日本工业标准JIS）。

“系统工程是一门把已有学科分支中的知识有效地组合起来用以解决综合性的工程问



题的技术”(1974年大英百科全书)。

由此可见,系统工程是研究各行各业中系统的开发、运用等问题,是适用于许多学科与领域的一种方法性的学科,其内容十分广泛,本节仅简明介绍在机械系统设计中有关系系统工程的基本知识。

## 二、系统概念的剖析

1) 一个系统是若干个子系统按一定规律而有机联系的集合,从系统功能的观点来看,它是一个不可分的整体,如果把系统拆开,那末它将失去其原来的性质与功能。

2) 在整体系统中每一个子系统的性质将影响到整体的性质或功能。例如一部普通车床,可分成六个子系统:动力机、床身、床头箱、尾座、拖板及进给箱,其中每一个子系统的性质和功能都将会影响到车床这个整体的性质与功能。

## 三、系统的特性

(1) 整体性 一个系统总是由许多要素或子系统组成,构成系统的各要素虽然各具有不同的性能,但它们是根据逻辑统一性的要求而构成的整体。系统不是各个要素的简单集合,否则它就不会具有作为整体的特定功能。因此,即使每个要素并不都很完善,但它们也可以综合、统一成为具有良好功能的系统。反之,即使每个要素是良好的,但作为整体却不具有某种良好的功能,也就不能称之为完善的系统。系统论的重点是考虑整体效应最优问题。

(2) 相关性 系统内各要素之间是有机联系的,相互作用的。在这些要素之间具有某种相互依赖的特定关系。例如,对于电子计算机系统来说,各种运算装置、储存装置、控制装置、输入输出装置等各个硬件和操作系统、程序等各种软件都是构成要素,它们之间通过特定的关系,有机结合在一起,就形成一个具有特定功能的计算机系统。

(3) 目的性 每个系统都应该有明确的目的和功能,系统的结构,系统内各子系统的排列组合方式,决定于系统的目的和功能。

(4) 环境适应性 任何一个系统都存在于一定的物质环境中,必须适应外部环境的变化。在研究系统的时候,环境往往起着重要的作用,必须予以重视。

综上所述,在进行机械产品设计时,不仅要重视组成机械系统的各个零部件的设计,更应按照系统工程学的理论,根据机械产品的功能要求,将组成机械系统的各个零部件有机地排列组合,并充分考虑人——机械——环境的相互适应性,设计出性能优良的机械产品。

## 第三节 机械设计的主要内容

所有机器,尽管构造和用途多种多样,一般来说,都是由三个基本部分组成的系统:动力装置、传动系统和执行机构。此外,为保证机器的正常工作,还应有一些必要的操纵装置、控制装置,以及一些辅助装置,如润滑、冷却、安全保护、计数及照明装置等。现代机器的结构组成如图1-1所示。

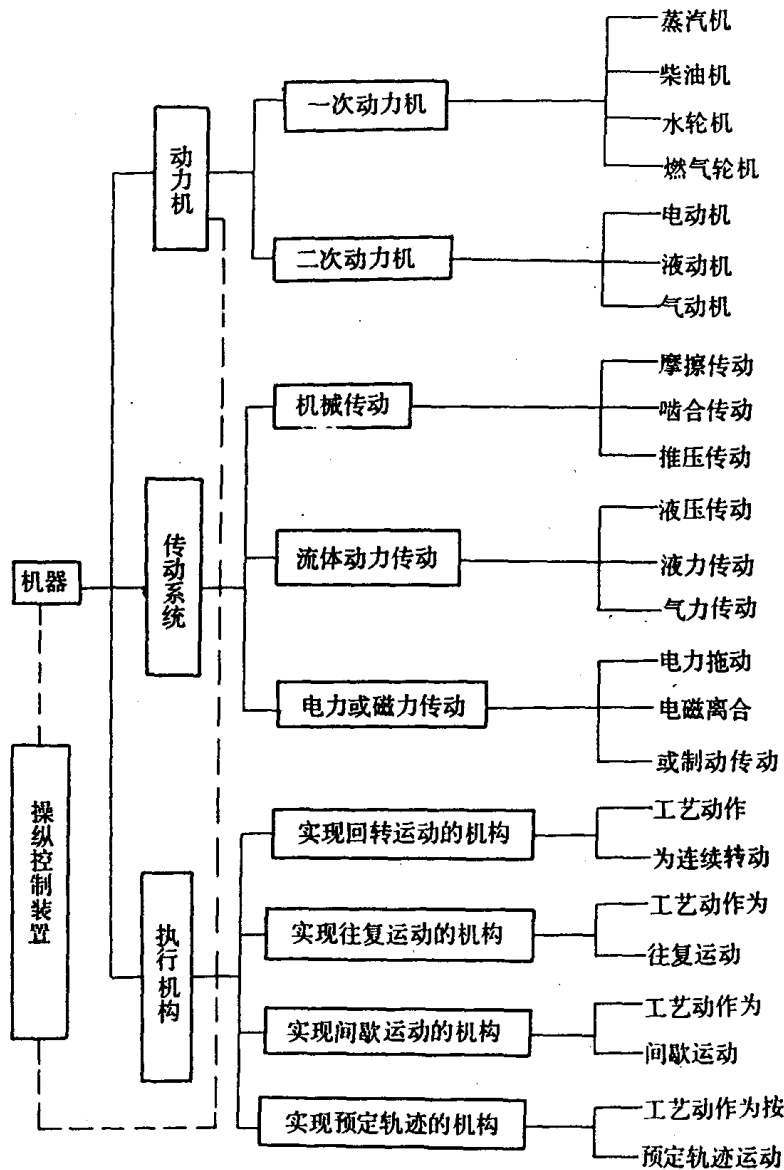


图 1-1 机器结构组成

### 一、执行机构

机器的执行机构是直接完成工作任务的执行装置。它是根据机器的工艺动作要求与性质而定，如牛头刨床的刨头和工作台、提升机的卷筒等。实现同样的工艺动作，可以有不同的工作原理，而工作原理不同，据此设计出的机器执行机构也必然不同。一般说来，如工艺动作是传递回转运动的机构，可选择定轴齿轮传动、蜗杆传动、行星齿轮传动及连杆机构等；如工艺动作是往复移动，可选择连杆机构（如曲柄滑块机构、摆动导杆机构、正弦机构及多杆机构等）、凸轮机构、齿轮齿条机构、螺旋机构及钢丝绳牵引机构等；如工艺动作是实现往复摆动，可选用曲柄摇杆机构、双摇杆机构及摆动从动件的凸轮机构等；如工艺动作是要求实现单向间歇运动（如刨床中的进给运动，自动机床中的进给送料、刀架转位等运动），可选用槽轮机构或棘轮机构等等。

必须指出，机器的工作原理是随着生产和科技的发展而不断发展的。在研制新的机器

时，应分析比较各种不同的工作原理，探讨与创造更先进的工作原理与机构，吸收国外先进技术，结合我国的国情，选择最佳方案，以获得所需的工艺动作。

## 二、传动系统

传动系统是将动力机的运动和动力传给执行机构的中间传动装置。选定工作原理后，根据工作原理的要求，确定机器执行机构所需要的运动及动力条件，再结合预选的动力机类型与性能参数，进行机器的传动系统设计。

现代机器的传动装置，种类很多，按工作原理可分为如下四类：机械传动，液压和液力传动，气压传动，电力和磁力传动等。

利用机构所实现的传动，称机械传动。机械传动的优点是稳定、可靠、对于环境的干扰不很敏感，因而应用十分广泛。

## 三、动力机

初定了机器的执行机构和传动系统之后，即可根据机器的运转特性、执行机构的工作阻力、速度和传动系统的总效率等，计算机器所需的驱动功率，并根据机器的具体工作情况，如工作机械的机械特性，对起动、过载、调速和控制等方面的要求，选定一部（或按各个传动系统的需要分别选定几部）适用的动力机进行驱动。

按能量转换性质的不同分一次动力机和二次动力机。将自然界的能源直接转换为机械能的机器称为一次动力机，如蒸汽机、工业汽轮机、汽油机、柴油机、燃气轮机等。用一次动力机驱动发电机、液压泵或空压机等将自然界的能源转换成电能、液体或气体的压力能，再将这种形式的能量转换为机械能的机器称为二次动力机，如电动机、液压马达、气压马达等。

现代工业生产使用的动力机，多数用电动机。电动机的选择包括电动机的类型、功率和转速等三个方面。

## 四、操纵及控制系统

操纵及控制系统是用以操纵及控制机器各组成部分进行协调动作并准确可靠地完成工作任务，如操纵机器的起动或制动，改变传动系统的运动状态和工作参数，调节执行机构的行程或速度，控制各执行机构之间的协调动作等。操纵及控制系统通常由各种形式的连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、蜗轮机构、组合机构以及液压、气动和电气装置所组成。

# 第四节 机械设计的基本原则

设计的机械首先要能胜任对它提出的全部功能要求，即在预定的使用寿命期间，机械能可靠地完成它的工作使命。此外，还要求成本低、重量轻、尺寸小、效率高、制造容易、操纵灵活方便、安全可靠、便于维修、造型美观、不污染环境等。

## 一、满足使用要求

### 1. 实现机器的工艺动作要求

根据机器的功能要求和使用条件，从运动上确定工作原理，选择机构类型及传动方式，以合理的机构组合来协调运动，实现机器的工艺动作要求。

## 2. 零件应具有足够的强度和刚度

零件的强度一般指零件在其预定寿命期间承受载荷后不致因反复工作而疲劳破坏，不致因偶然的过载而断裂，也不因受载以致产生过量的塑性变形。

零件的刚度是指其抗弹性变形的能力，一般要求在其受载时不产生过量的弹性变形。例如机床主轴，通常按刚度要求确定结构和尺寸。

## 3. 摩擦、磨损和润滑

许多机械零件在工作时，互相接触的表面因具有相对运动而产生摩擦。例如转轴与轴承、蜗杆与蜗轮、相啮合的齿轮等都是具有摩擦的零件。摩擦一方面消耗能量，降低机器效率；另一方面使零件表面产生磨损，导致机器工作性能的下降。为此，应对相互摩擦的零件选用适当的配对材料、润滑剂和润滑装置，以降低磨损、减少摩擦损失。

## 4. 振动

由振动而产生的附加应力可能使零件提早破坏，振动会使机器不能正常工作或影响其产品质量。当载荷变动频率与机器固有频率相等时，发生共振，可使机器迅速破坏。因此，对于高速机械及其零部件的设计，应进行相应的振动计算，并采取相应措施防止机械及其零部件因振动而失效。

从设计方面减轻振动的有效措施有：

1) 进行计算，避免共振。例如，为使所设计的齿轮传动避开共振区，按下式计算“参考速度” $V_r$ ：

$$V_r = \frac{n_1}{n_{E1}} = \frac{n_1 (1/\text{min})}{\frac{30 \times 10^3}{\pi z_1} \sqrt{\frac{C_r}{m_{red}}}} = \frac{n_1 (1/\text{s})}{\frac{10^3}{2\pi z_1} \sqrt{\frac{C_r}{m_{red}}}} \quad (1-1)$$

其中 
$$m_{red} = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \quad (1-2)$$

上二式中  $n_1$ ——韶轮转速，1/min；

$n_{E1}$ ——韶轮名义共振转数，1/min；

$C_r$ ——综合刚度；

$m_{red}$ ——当量质量，kg/mm。

为了避免发生共振，ISO标准规定了主共振区的定义范围： $0.85 < V_r < 1.15$ 。为使齿轮机构动载荷小、振动小，设计时应通过调整齿轮的参数（如 $z$ 、 $C_r$ 及 $m$ 等），使齿轮机构脱离主共振区运转。

2) 对传动轴、飞轮、水泵叶轮、液力偶合器等零部件的施工图上应注明需作动平衡试验，对回转质量进行平衡。

3) 切断振动的传播途径或减小振源的激振程度，如在弹性系统中增装消振器。

4) 对可能引起振动的零部件（如传动轴、齿轮等），应减少质量并提高其加工的精密度。

5) 对承受振动的机件采取防振措施。

## 5. 生产能力要求

对生产资料类机械产品的设计，应满足单位时间内完成工作量的要求。一般在设计上

可通过提高工作速度或增加工位数来提高生产率。

## 二、满足经济性要求

机械产品的经济性表现在设计、制造和使用的整个过程。即机械产品本身的设计、制造要求成本低；在使用上要求生产率高、效率高、适用范围大、消耗能源少、操作方便可靠、维护费用低等等。

### 1. 提高设计及制造经济性的主要途径

- 1) 尽量使产品系列化、部件通用化、零件标准化；
- 2) 尽量采用新产品、新技术、新结构、新材料；
- 3) 在保证机械正常运转的前提下，尽可能采用较大的公差，因为大公差的零件加工成本低，容易提高生产率和采用自动机床加工；
- 4) 机械有许多外购件、标准件，如电动机、减速器、泵、阀、轴承、紧固件等，是由设计师选定的，对此，设计师应尽量选用市场上容易购买、质量好、成本低且生产批量大的上述标准件和外购件。

### 2. 提高使用经济性的主要途径

使用经济性是指单位时间内生产的价值与同时间内使用费用的差值。提高产量与降低使用费用是设计者追求的一个重要目标。使用费用包括原材料及辅料消耗、能源消耗、工具消耗、设备折旧与维修费用、操作人员的工资以及其它费用等。

- 1) 提高机械的自动化水平，尽可能采用科学技术发展的新成果，以提高劳动生产率。
- 2) 提高机械效率，减少能源消耗。如尽量减轻机器重量，选用效率高的传动系统及支承装置，选用效率高的动力机等。
- 3) 采用适当的防护（如闭式传动、表面喷涂等）和润滑装置，以延长机器的工作寿命及降低维护费用。
- 4) 采用可靠的密封装置，以防止漏油、漏气的损耗。

## 三、满足工艺性要求

设计人员应使所设计的机器具有良好的制造工艺性。应使机器结构合理，便于加工、安装、调节和维修。尽可能采用标准零部件，选用优先配合、优先系列等要素，使制造及装配的劳动量少、装拆方便。

## 四、满足人机工程学要求

任何机器，都需要人来操纵控制，因而机器必须适应人的特性，充分发挥人与机器的效能。

### 1. 充分发挥机器的优点

机器具有操纵速度快，能量大，精确度高，高倍放大和高阶运算，同时完成多种操纵，没有疲劳，感受和反应能力高，传递信息能力高，记忆和保持能力强，以及能在恶劣条件下工作的优点。

### 2. 充分发挥人的优点

机器操纵指令和程序的安排、机器系统的监管、维修、故障处理以及处理突然事件的

工作应由人来承担。

### 3. 符合人的生理特点

操纵方便、舒适和安全，仪表显示清晰，照明适度，色彩和谐，造型美观。

## 五、满足劳动保护的要求

机械设备应有必要的安全保护装置，以保证人身及设备的安全，如负荷保护装置，触电防护装置，逻辑动作的联锁装置，冲床双手启动按钮等。

适当采用自动化操纵装置，力求改善操纵条件和减轻劳动强度。

传动系统及执行机构应尽可能设计成闭式的，外露部分应加装安全罩。

噪声严重影响工人健康，尽可能降低机器的噪声。例如，对齿轮传动设计，降低噪声的措施有：

1) 当设计高速重载齿轮机构时，应优先选用斜齿轮传动、人字齿轮传动及双圆弧人字齿轮传动；

2) 提高齿轮的重合度 $\epsilon$ ；

3) 优先选用阻尼大的材料制造齿轮；

4) 整体形齿轮结构；

5) 提高齿轮加工精度，轮齿修缘。

对机器在工作时产生的废气、废液和灰尘屑要有效地排除，以免造成环境污染。

## 六、满足环境条件的要求

任何机器都是在一定的环境条件下工作，环境对机器有各种干扰，机器对环境也会产生各种作用，如温度、湿度、尘埃、光电磁的各种干扰、介质的腐蚀、振动、噪声等。同一类型的机器及其零部件，由于在不同的环境中工作，往往需要采用不同的结构与材料，使之与环境条件相协调。

## 七、满足造型美观的要求

应当重视机械的外形设计。机壳及机架等外露部分力求造型美观。零件的美观修饰是通过较精密的机械加工（研磨、抛光）或装饰性的覆盖层（如涂漆、镀铬等）来达到。

## 八、满足基本法规的要求

在设计中涉及很多法规和标准，设计人员必须严格贯彻执行。

### 1. 标准化

在机械设计中，如原材料、零部件、制图及公差、设计计算方法、计量单位、测量方法、试验方法、验收方法等，凡有标准的，均应按标准进行设计。

### 2. 政策与法令

各个国家，为了保护本国的利益，促进生产的发展，在不同的时期均会制订出许多方针、政策和法令，其中有许多政策法规是与设计直接有关，如原材料与能源方面的政策、技术与设备的引进政策、商品检验法、专利法、食品卫生法、环境保护法、技术协议和合同法等，设计人员必须认真贯彻执行。对于出口产品的设计，还应符合有关国家的标准与法规。

## 九、满足其它特殊的要求

根据所设计机器的特殊要求而定。例如，对大型机器有起重运输方面的要求，对飞机

构件有重量轻的要求，对经常搬运的施工机械有便于拆卸、安装和运输的要求，对医药、食品和印刷机械有保持产品清洁的要求等等。

实践证明，机械的设计不仅要全面地考虑各种设计因素，而且应将设计、制造、使用、维修、管理以及人机系统工程等因素贯穿到所设计的机械中去，才能达到最佳设计的目的。

## 第五节 机械设计的类型与程序

### 一、机械设计的类型

机械设计的类型可分为以下三种：

#### (一) 单一的产品仿型设计

这类设计的特点是在机器的工作原理与基本结构型式不变的条件下，对已有产品进行仿型设计。即通过计算改变已有产品的零部件尺寸及不合理的某些结构，使之符合于新的设计功能参数与使用环境条件之要求。这类设计，产品目的明确，机器主要性能参数准确，主要结构型式基本不变，有同类型机器（尺寸不同）设计资料可以借鉴。

在基本保留原型机器的设计方案，有时可以采用某些新型结构或新材料改变原型机器某一系统或零部件的设计，使原型机的性能得到提高的这类设计叫做单一的产品仿型设计，如用行星齿轮减速器或摆线针轮减速器代替原型机采用的直齿圆柱齿轮减速器，以减轻机器的重量。

#### (二) 组合式系统产品设计

组合式系统产品设计比单一的产品仿型设计更复杂。它要求设计师具有更广泛的设计知识，并应熟悉常用各类机电产品的性能。

例如，一个大型建材生产基地，要求设计一个沙石运输系统，此系统是将距长江岸边码头三公里处采集工地的沙石运到江边码头船上。

设计师首先要到沙石采集工地去了解沙石生产情况：分析沙石在什么地方进入运输系统；采用什么手段进入运输系统；采用什么机械设备进行运输；以及如何将沙石卸到船上等等。

在广泛搜集有关运输沙石机械设备的资料以后，结合采集沙石工地的具体情况，初步提出以下二个方案：第一个方案是采用抓斗式起重机将沙石从低畦的工地运到公路，通过翻斗卡车或专用铁路运输车将沙石运到长江岸边，再通过皮带运输机将沙石装卸到船上；第二个方案是采用斗式提升机将沙石从低畦的工地提升到公路旁的大料仓里，通过长距离皮带输送机将沙石运到长江岸边，再通过抓斗式起重机或皮带输送机将沙石装卸到船上。

然后，召集有关设计、施工和使用部门的技术专家进行方案评审，本着适用、经济、美观的原则，选定最优设计方案。

这类设计，要求设计师具有对该系统中采用的提升机、抓斗式起重机、皮带输送机等多种机械的设计知识，系统中各种机械的生产能力要相适应，同时还要设计一些中间辅助机械（有时是机械手等），使生产形成流水线作业。

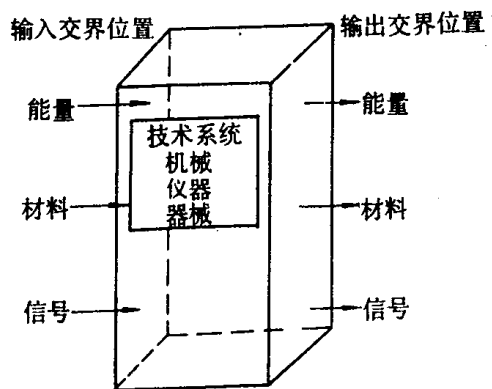
这种组合式的系统产品设计类型在机械行业中较为普遍，如某一产品或零部件的自动加工流水线所需设备的设计、冶炼金刚砂制粒车间流水线所需设备的设计都是属于这种类型的设计。

### (三) 新产品设计

由于生产及科研发展的需要，从人们对产品的抽象要求出发，在没有样机，具体设计目标不明确的条件下，从明确设计目标开始，进而制订设计计划。此时通常把所需设计的机械看作一个黑箱，即所需设计产品的抽象模型，见图1-2，以一定形式表达整个机械系统的输入量和输出量之间的因果关系，而后进行方案设计、总体结构设计、施工图设计、样机试制与试验。这类设计的特点是资料缺乏，没有样机，或是国外虽有而我国目前没有样机的产品。

## 二、新产品设计的程序

新产品设计的程序如图1-3所示，这些程序随产品的复杂难易程度及重要性程度的不同而有所不同，其中方案设计是整个设计程序中最终决定产品技术经济效果最关键的阶段。



### (一) 计划阶段

设计计划是根据生产与科研发展的需要，以及有关人民生活急待解决的重大问题为依据，搜集并综合分析国外先进技术成果对我国生产与科研发展的价值，从而明确需要研制与设计的产品。

在产品计划阶段，应重视市场调查与预测。

#### 1. 新产品设计中可行性调研

新产品设计中可行性调研，主要是技术和经济二个方面的内容。

从事新产品的设计与研制，需要了解市场的需要，用户需要什么产品，哪些用户需要，什么时候需要，需要的规模和成长性，用户对产品品种、质量、用途、外观、价格的要求

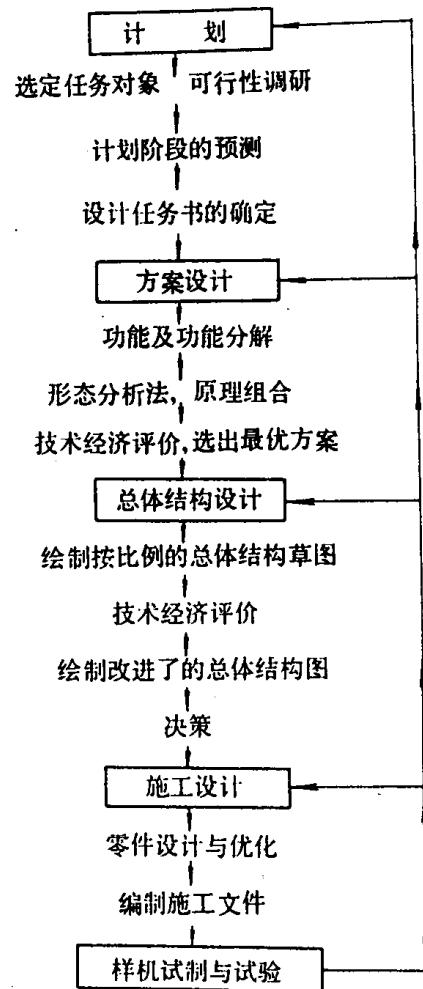


图 1-3 设计程序



等。只有对市场要求作深入细致的科学调研，开发的新产品在市场上才能畅销。

新产品设计中可行性调研，主要内容有：

1) 在原理上是否可行，是否先进。产品设计的成果，一般都是科学理论物化的产物。如设计在理论上违背自然科学定律或技术原理，那么设计最终必然失败，如设计永动机的失败经验教训。

2) 计划是否满足市场的要求（如产品的功能、价格等）。

3) 制造工艺可行性如何，是否先进，制造设备是否符合要求。

4) 原材料的性能要求如何，供应数量能否保证，运输是否方便，价格是否符合要求。

5) 标准件、配件来源如何。

6) 原材料、零部件、整机的试验方法和质量评价标准。

7) 产品绝对不允许产生公害。

8) 产品的技术经济分析，产品的经济效益。

## 2. 计划阶段的预测

预测是设计研究活动的基础，准确的预测可使新产品设计少走弯路，收到事半功倍的效果。

新产品设计的技术问题和经济问题十分复杂，如果设计选题不当，整个设计研究工作就会半途而废或前功尽弃。因此，设计课题的选择，必须考虑到技术发展的趋势和未来变化的因素。

现代的新兴工业是知识集约的产业，其新产品层出不穷，更改周期很快，具有极强的竞争性。因此，如果我们缺乏必要的预测，就会导致决策的失误。例如，一个新的化工联合企业，从设计施工到投产需要10~15年，如果不能在设计时就预见到化学工业的发展趋势，这个企业就很可能不等竣工便已过时。

预测设计新产品项目的方法很多，据不完全统计，已多达150余种，但常用的仅其中定性预测法等12种。下面简要介绍定性预测法中的专家预测法。

专家预测法是以专家为索取信息的对象，依据专家的知识及经验进行预测。这种预测的准确性，主要决定于专家的知识 and 经验的深度和广度。因此，所选择预测的专家，必须具有所需的较高学术水平和丰富的实践经验。

进行专家预测，要先向专家提供准备开发产品的各个方案的资料和信息，由专家根据自己的知识和经验给各个方案打分，再将各个专家的打分加以归纳整理，形成预测结论。

依靠专家对新产品设计方案作重要性预测时，可用记分法从中优选。常用的记分法有平均得分值、等级数总和等方法。现介绍平均得分值方法。

平均得分值的计算公式为：

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ix}}{n_x} \quad (1-3)$$

式中  $M_x$ ——方案x的平均得分值；