

高等院校现代机械设计系列教材

机械设计基础

(非机类专业适用)

王大康 主编

滕启 韩泽光 副主编



附光盘



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校现代机械设计系列教材

机械设计基础

(非机类专业适用)

主 编	王大康		
副主编	滕 启	韩泽光	
参 编	傅燕鸣	李 艳	房树福
	张 明	郑树琴	王东风
主 审	吴宗泽		



机械工业出版社

本教材在满足各有关专业对该课程要求的前提下,力求重点突出、繁简得当、语言通达。书中尽量采用新的国家标准;同时对有关章节做了适当的合并;对复杂的公式进行了合理简化。全书内容共十四章:绪论,平面机构的结构分析,平面连杆机构,凸轮机构,间歇运动机构,机械的调速与平衡,连接,挠性传动,啮合传动,轮系,轴,轴承,联轴器、离合器和制动器,弹簧。书后还附有配套光盘作为学习指南,对教材中的重点和难点做了进一步说明,同时还编入了大量复习题和习题以供学习时参考。

本书可作为高等工业学校本、专科非机械类机械设计基础课程的教材,也可供有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/王大康主编. —北京:机械工业出版社, 2003.7

(高等院校现代机械设计系列教材)

非机类专业适用

ISBN 7-111-12235-6

I. 机… II. 王… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第089530号

机械工业出版社(北京市百万庄大街2号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧

责任编辑:李建秀 版式设计:张世琴 责任校对:吴美英

封面设计:张 静 责任印制:闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年8月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·8.25印张·319千字

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

高等院校现代机械设计系列教材

编 委 会

主任委员	清华大学	吴宗泽
副主任委员	北京工业大学	王大康
	北京科技大学	罗圣国

委 员 (按姓氏笔画为序)

北京理工大学	万小利
北京航空航天大学	王之栎
华北科技学院	田忠友
清华大学	刘 莹
机械工业出版社	刘小慧
北京化工大学	张有忱
中国农业大学	张淑敏
北京科技大学	李 威
北京机械工业学院	姚文席
装甲兵工程学院	韩 玥

序

为了满足 21 世纪我国社会主义现代化建设和科学发展的需要,培养高素质的专门人才,高等机械工程教育按照“教育要面向现代化、面向世界、面向未来”的方针,在教育思想、教学内容和教学方法等方面进行了全方位的改革。

机械设计系列课程在机械工程学科中占有重要地位,它是面向工科相关专业的课程改革的重要组成部分,而教材建设又是教学改革的核心。为此,北京市高等教育学会机械设计研究分会组织北京市和外省市部分院校有丰富教学经验的教师,采取老、中、青相结合的方式编写了这套现代机械设计系列教材。该系列教材按照教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神组织实施,充分反映了有关学校机械工程学科发展和机械设计系列课程改革的成果,其主要特点为:

1. 总结了各院校近年来机械设计系列课程的教学改革经验和方法,教材内容编排贯彻系统合理、精选内容、理论联系实际、便于教师教学和学生学习的原则。

2. 本系列各教材在体系上作了科学的分工,既体现了传统的教学内容,又立足于创新,反映了本学科发展的部分新内容。

3. 本系列教材是一套较为完整的系统教学用书,通过学习可以达到整体优化学生的知识、能力和素质,加强综合设计能力和创新设计能力培养之目的,可供不同专业、不同办学方式的学校选用。

4. 为配合各校开展 CAI 教学,便于指导学生学习,在多数教材中配备了光盘,有利于读者使用。

由于编写本套教材工作量较大,时间短,又缺乏经验,加上编者水平所限,教材中难免有不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

北京市高等教育学会机械设计研究分会
高等院校现代机械设计系列教材编委会

2003 年 1 月

前 言

本书是根据教育部组织实施的“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”中“工程制图与机械基础系列课程体系改革的研究与实践”和“机械设计基础课程教学基本要求”(1995 年修订版)的精神,由北京市高等教育学会机械设计分会组织部分高校具有教学经验的教师,采用新老结合的方式编写的高等院校现代机械设计系列教材之一。

《机械设计基础》课程是高等工科院校非机类专业的一门重要的技术基础课程,在培养学生的机械设计和分析能力方面具有重要的作用。本书在满足相关专业对本课程要求的基础上,注意更新教学内容,加强素质教育,突出创新能力的培养;拓宽知识面,力求重点突出、繁简得当、语言通达;本书采用了新近颁布的国家标准;另外,对复杂的公式进行了合理简化,以使计算较为方便。

本书还附有配套光盘作为学习指南,其中包含各章的学习要求,重点和难点内容剖析,典型实例分析和自测验题等,以供学习时参考。

参加本书编写的有北京工业大学王大康、房树福,北京机械工业学院滕启,太原理工大学韩泽光、张明、郑树琴、王东风,上海大学傅燕鸣和北京印刷学院李艳。由王大康担任主编、滕启、韩泽光为副主编。

本书由清华大学吴宗泽教授担任主审,他对本书进行了详细审阅,提出了许多宝贵意见,对保证本书质量起了很大作用,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,真诚希望广大读者给予批评指正。

编 者
2003 年 4 月

目 录

序

前言

第一章 绪论 1

第一节 机械的组成 1

第二节 机械设计的基本要求 和一般程序 3

第三节 机械零件的主要失效 形式、计算准则和设 计方法 5

第四节 机械零件材料的选用 原则 7

第五节 机械零件的制造工艺 性及标准化 8

第六节 机械设计的新发展 9

第七节 本课程的内容、性质 和任务 9

习题 10

第二章 平面机构的结构 分析 11

第一节 平面机构的组成 11

第二节 平面机构的运动简图 14

第三节 平面机构的自由度 16

习题 19

第三章 平面连杆机构 21

第一节 铰链四杆机构的基本 形式及应用 21

第二节 铰链四杆机构的 传动特性 24

第三节 铰链四杆机构的曲柄 存在条件 26

第四节 铰链四杆机构的演化 27

第五节 平面四杆机构的 设计 29

习题 32

第四章 凸轮机构 33

第一节 凸轮机构的应用和 分类 33

第二节 从动件的常用运动 规律 35

第三节 按已知运动规律绘制 凸轮轮廓 38

第四节 凸轮机构设计中应注 意的几个问题 41

习题 43

第五章 间歇运动机构 44

第一节 棘轮机构 44

第二节 槽轮机构 47

习题 50

第六章 机械的调速与平衡 51

第一节 机械速度波动的调节 51

第二节 机械的平衡 54

习题 56

第七章 连接 57

第一节 螺纹 59

第二节 螺旋副的受力分析、 效率和自锁 61

第三节 螺纹连接 63

第四节 螺纹连接的预紧和 防松 65

第五节 螺纹连接的强度计算 67

第六节 螺栓的材料和许用应力 71

第七节 提高螺栓连接强度的措施	73	第十一节 蜗杆传动	152
第八节 轴毂连接	75	习题	163
习题	81	第十章 轮系	165
第八章 挠性传动	82	第一节 概述	165
第一节 带传动概述	82	第二节 定轴轮系的传动比	165
第二节 带传动的工作情况分析	83	第三节 周转轮系的传动比	168
第三节 V带传动的设计	86	第四节 轮系的应用	170
第四节 V带轮的设计	98	第五节 几种特殊的行星传动简介	172
第五节 带传动的张紧、使用和维护	100	习题	175
第六节 链传动概述	102	第十一章 轴	177
第七节 链传动的工作情况分析	105	第一节 概述	177
第八节 滚子链传动的设计	107	第二节 轴的材料	179
第九节 滚子链链轮	113	第三节 轴的结构设计	180
第十节 链传动的布置、张紧和维护	114	第四节 轴的强度和刚度计算	185
习题	118	习题	192
第九章 啮合传动	119	第十二章 轴承	193
第一节 齿轮传动概述	119	第一节 滑动轴承概述	193
第二节 渐开线及渐开线齿轮	120	第二节 滑动轴承的典型结构	194
第三节 一对渐开线齿轮的啮合	124	第三节 轴瓦	197
第四节 渐开线齿轮轮齿的加工和根切现象	126	第四节 滑动轴承的润滑	199
第五节 齿轮传动的失效形式及计算准则	129	第五节 非液体摩擦滑动轴承的计算	203
第六节 齿轮的材料	131	第六节 滚动轴承的类型、特点和选择	206
第七节 直齿圆柱齿轮传动的受力分析和强度计算	133	第七节 滚动轴承的失效形式和选择计算	210
第八节 斜齿圆柱齿轮传动	139	第八节 滚动轴承的组合设计	218
第九节 锥齿轮传动	145	习题	225
第十节 齿轮的构造	149	第十三章 联轴器、离合器和制动器	226
		第一节 联轴器	226
		第二节 离合器	234

第三节 制动器	238	与许用应力	243
习题	239	第三节 圆柱螺旋压缩和拉	
第十四章 弹簧	241	伸弹簧的设计	245
第一节 弹簧的功用与类型	241	习题	252
第二节 弹簧的制造、材料		参考文献	254

第一章

绪 论

第一节 机械的组成

机械是人类进行生产和生活的主要劳动工具，用以改善劳动条件，提高劳动生产率，创造出更多的物质财富。因此，国民经济各部门使用机械的程度是社会生产力发展水平的重要标志。

机械是机器和机构的总称。

一、机器

人类在长期的劳动中创造了许多机器。在生产活动中，常见的机器如汽车、拖拉机、内燃机、各种机床等。在日常生活中，常见的机器如缝纫机、洗衣机、电风扇、自行车等。虽然机器的种类繁多，用途不一，但它们都具有共同的特征。

图 1-1 所示的内燃机由气缸 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 与 6、凸轮 7 与顶杆 8 等组成。当内燃机工作时，燃气推动活塞做往复移动，经连杆使曲轴作旋转运动。凸轮与顶杆用来控制进气和排气。曲轴经齿轮 5 与 6 带动凸轮轴转动，当曲轴每转两周，进、排气门各启闭一次。

图 1-2 所示的压力机由电动机 1、带轮 2 与 3、齿轮 4 与 5、曲轴 6、连杆 7 与滑块 8 等组成。电动机经带传动机构和齿轮机构减速后，带动曲轴转动，又经连杆带动滑块作往复移动。

通过以上两实例可以看出，机器具有以下共同特征：

- 1) 机器的主体是若干机构的组合；
- 2) 用于传递运动和力；
- 3) 具有变换或传递能量、物料、信息的功能。

二、机构

机构是若干构件的组合，各构件间具有确定的相对运动，但是不具有变换或传递能量、物料、信息的功能。例如，内燃机中，曲轴、连杆、活塞和气缸组成连杆机构；凸轮、顶杆和气缸组成凸轮机构。压力机中，具有带传动机构、齿轮机构和连杆机构。

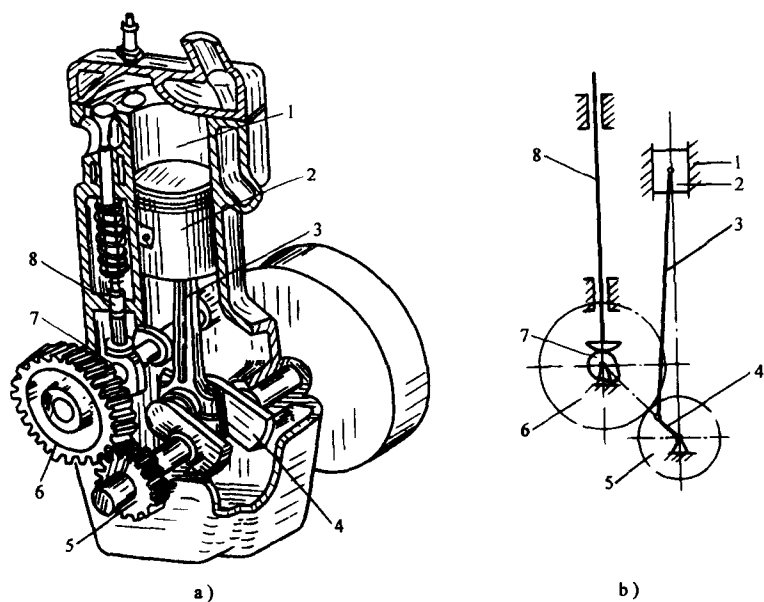


图 1-1 内燃机

a) 结构图 b) 简图

1—气缸 2—活塞 3—连杆 4—曲轴 5、6—齿轮 7—凸轮 8—顶杆

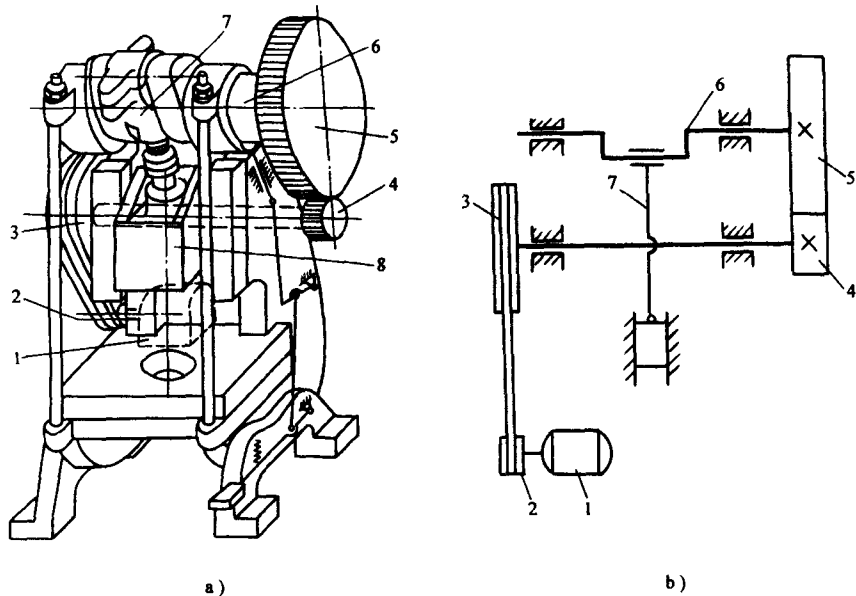


图 1-2 压力机

a) 结构图 b) 简图

1—电动机 2、3—带轮 4、5—齿轮 6—曲轴 7—连杆 8—滑块

机器中常用的机构有：连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇机构等。

三、构件和零件

机构中作相对运动的各个运动单元称为构件。构件可以是单一的零件，如曲轴（图 1-3），也可以是由几个零件组成的刚性体，如连杆（图 1-4）。零件是机器中的制造单元。

零件分为两类：一类是各种机器中普遍使用的零件，称为通用零件，如螺栓、键、带轮、齿轮等。另一类是特定类型机器中所使用的零件，称为专用零件，如内燃机中的活塞、洗衣机中的波轮、风扇中的叶轮等。

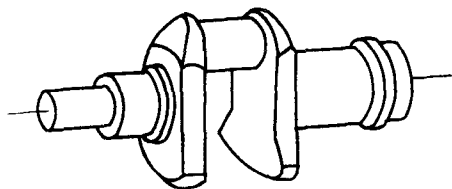


图 1-3 曲轴

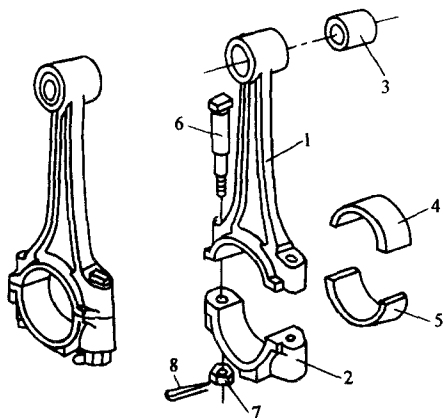


图 1-4 连杆

1—连杆体 2—连杆盖 3、4、5—轴瓦
6—螺栓 7—螺母 8—销

第二节 机械设计的基本要求和一般程序

一、机械设计的基本要求

机械设计的目的是创造性地实现具有预期功能的新机械或改进现有机械的功能。

机械设计应满足的基本要求主要有以下几方面：

1. 使用要求

所设计的机械要求实现预期的使用功能。为此，必须确定机械的工作原理和实现工作原理的机构组合。

2. 经济性要求

机械的经济性应该体现在设计、制造和使用的全过程。设计经济性体现在降低机械成本和采用先进的设计方法以缩短设计周期等；制造经济性体现在省工、省料、装配简便和缩短制造周期等；使用经济性体现在高生产率、高效率、低消耗及管理、维修费用低等。

3. 人、机和环境要求

所设计的机械应使人、机和环境组成的系统关系协调。即要保证人、机安全；要根据人的生理条件改善操作环境；要尽量减少或避免机械对环境的污染；要重视外形和色彩方面的要求；要提高商品意识，加强产品的市场竞争能力和售后服务等。

4. 可靠性要求

机械的可靠性是指机械在规定的条件下和规定的使用期限内，完成规定功能的一种特性。机械的可靠性取决于设计、制造、管理、使用等各阶段。设计、制造阶段对机械的可靠性起着决定性的影响，产品的固有可靠性是在设计、制造阶段确定的。而管理、使用等环节所采取的措施，只能用来保证而不能超过设计、制造阶段确定的固有可靠性。

5. 其他要求

在满足以上基本要求的前提下，不同的机械还有一些特殊的要求，例如：机床有长期保持精度的要求；飞机有减轻质量的要求；食品机械有防止污染的要求等。

二、机械设计的一般程序

设计机械的程序视具体情况而定，一般分为产品规划、方案设计、技术设计和施工设计四个阶段。

1. 产品规划阶段

在根据市场预测、用户需求调查和可行性分析后，制定出机器的设计任务书。任务书中应规定机器的功能、主要参数、工作环境、生产批量、预期成本、设计完成期限以及使用条件等。

2. 方案设计阶段

方案设计是影响机械产品结构、性能、工艺、成本的关键环节，是实现机械产品创新的重要阶段。方案设计是在功能分析的基础上，确定机器的工作原理和技术要求，拟定机器的总体布置、传动方案和机构运动简图等。经优化筛选，从多种方案中，选取较理想的方案。

3. 技术设计阶段

该阶段的主要任务是将机械的功能原理方案具体化为机械及零部件的合理结构。其主要工作包括：总体设计、结构设计、商品化设计、模型试验等。总体设计是确定机械各部件的总体布置，运动配合和人—机—环境的合理关系等；结构设计是选择材料，确定零部件的合理结构；商品化设计是提高产品的商品价值以吸引用户，如进行价值设计、工业造型设计及包装设计等；模型试验是检查机械的功能及零部件的强度、刚度、运转精度、振动稳定性和噪声等性能是否满足设计的要求；最后画出总体设计图。

4. 施工设计阶段

进行总装配图、部件装配图和零件工作图的设计,完成全部生产图样并编制设计计算说明书和使用说明书等技术文件。

第三节 机械零件的主要失效形式、 计算准则和设计方法

一、机械零件的主要失效形式

机械零件丧失正常工作能力的现象称为失效。其主要失效形式有:

1. 断裂

零件在外载荷作用下,某一危险截面上的应力超过零件的强度极限时,会造成断裂失效。在循环变应力作用下长时间工作的零件,容易发生疲劳断裂,例如:齿轮轮齿根部的折断、螺栓的断裂等。

2. 过大的残余变形

零件受载后会产生弹性变形,过量的弹性变形会影响机器的精度,对高速机械有时还会造成较大的振动。零件的应力如果超过了材料的屈服极限,零件将产生残余塑性变形,使零件的尺寸和形状改变,致使破坏各零件的相对位置和配合,使机器不能正常工作。

3. 表面失效

磨损、腐蚀和接触疲劳等都会导致零件表面失效。它们都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。处于潮湿空气中或与水、汽及其他腐蚀介质接触的金属零件,均有可能产生腐蚀失效;有相对运动的零件接触表面都会有磨损;在接触变应力作用下工作的零件表面将可能发生疲劳点蚀。

4. 破坏正常工作条件而引起的失效

有些零件只有在一定条件下才能正常工作,如带传动,只有当传递的有效圆周力小于临界摩擦力时才能正常工作;液体摩擦的滑动轴承只有在保持完整的润滑油膜时才能正常工作等。如果破坏了这些条件,将会发生失效。例如,带传动将发生打滑失效,滑动轴承将发生过热、胶合、磨损等形式的失效。

二、机械零件的设计准则

根据零件的失效分析,设计时为防止零件失效,保证其工作能力所依据的基本原则称为设计准则。零件设计时的主要设计准则有:

1. 强度准则

零件因强度不足而失效,将破坏机械的正常工作,甚至可能造成设备、人身事故;整体静强度不足,将使零件发生断裂和塑性变形;表面静强度不足,将使零件表面压碎或产生塑性变形;整体或表面疲劳强度不足,将使零件发生疲劳断裂或表面疲劳点蚀。机械零件设计的强度准则是:零件在外载荷作用下所产生的

最大应力 σ 不超过零件的许用应力 $[\sigma]$ 。其表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-1)$$

考虑到各种偶然性及难以确定的因素影响,许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (1-2)$$

式中, σ_{lim} 是材料的极限应力, 单位为 MPa; S 是安全系数。

强度是零件必须首先满足的基本计算准则。

2. 刚度准则

零件在载荷作用下将产生弹性变形。限制某些零件(不是所有零件)受载后产生的弹性变形量 y 不超过机器正常工作所允许的弹性变形量 $[y]$, 就是零件设计的刚度准则。其表达式为

$$y \leq [y] \quad (1-3)$$

弹性变形量 y 可按理论计算或实验方法确定, 而许用变形量 $[y]$ 则应随不同的使用场合, 按理论或经验确定其合理数值。

3. 寿命准则

影响零件寿命的主要因素是磨损、腐蚀和疲劳。

耐磨性是指零件抗磨损的能力。为了保证零件具有良好的耐磨性, 应按照摩擦学原理设计零件的结构, 选定摩擦副材料和热处理方式, 同时注意合理润滑, 以延长零件的使用寿命。零件寿命通常是以满足使用寿命时的疲劳极限作为计算的依据。迄今为止, 还没有提出关于腐蚀寿命的计算方法。

4. 振动稳定性准则

机器在运转过程中的轻微振动不妨碍机器正常工作, 但剧烈的振动会影响机器的工作质量和旋转精度。如果某一零件的固有频率与机器的激振频率重合或成整数倍关系时, 零件就会产生共振, 致使零件甚至整个机器损坏。因此, 设计时要使机器中受激振作用的各零件的固有频率与激振频率错开。

5. 热平衡准则

在工作中发生摩擦的零件会产生热量。如散热不良, 会使零件温度升高, 从而改变零件的结合性质, 破坏正常润滑的条件, 甚至导致金属局部熔融而产生胶合, 为满足热平衡准则, 应对发热较大的零件进行热平衡计算。

6. 可靠性准则

产品在规定的条件下和规定的时间内, 完成规定功能的概率称为可靠度。通常用可靠度作为可靠性指标来衡量机器在寿命方面的质量。由许多零部件组成的机器的可靠度取决于零部件的可靠度及它们的组合关系。

同一种零件可能有几种不同的失效形式, 对应于各种失效形式就有不同的工作能力, 设计时, 应比较满足零件上述准则的各种工作能力, 取其较小者作为设

计依据。

三、机械零件设计的一般步骤

- 1) 根据零件的使用要求, 选择零件的类型并设计零件的结构;
- 2) 根据零件的工作条件及对零件的特殊要求, 选择合适的材料及必要的热处理方式;
- 3) 根据零件的工作情况建立力学模型, 进行载荷分析, 考虑影响载荷的各种因素, 确定零件的计算载荷;
- 4) 分析零件工作时可能出现的失效形式, 确定满足零件工作能力的计算准则, 并计算出零件的基本尺寸;
- 5) 必要时应对零件的工作能力进行精确校核, 并拟定出多种方案, 选择最优方案;
- 6) 根据计算得出的主要尺寸, 结合结构和工艺要求, 设计并绘制出零件工作图。

四、机械零件的设计方法

1. 理论设计

按照机械零件的结构及其工作情况, 将其简化成一定的物理模型, 运用力学、热力学、摩擦学等理论推导出来的设计公式和实验数据进行设计的方法称为理论设计。这些设计公式有两种不同的使用方法。

- (1) 设计计算 按设计公式直接求得零件的有关尺寸;
- (2) 校核计算 已知零件的各部分尺寸, 校核它是否能满足有关的设计准则。

2. 经验设计

根据对同类零件已有的设计与使用实践, 归纳出经验公式和数据, 或者用类比法进行的设计称为经验设计。对于某些典型零件, 这是很有效的设计方法。经验设计也用于某些目前尚不能用理论分析的零件设计中。

对于尺寸很大, 结构复杂, 工况条件特殊, 又难以进行理论计算和经验设计的重要零件, 可采用模型或样机, 通过实验考核其性能, 并取得必要数据后, 再根据实验结果修改原有设计。但这种方法费时、费钱, 只用于特别重要的设计。

第四节 机械零件材料的选用原则

机械零件常用的材料有钢、铸铁、有色金属和非金属等, 常用材料的牌号、性能及热处理知识可查阅机械设计手册。

在机械设计中选择材料是一个重要问题。设计者在选择材料时, 应充分了解

材料的性能和适用条件,并考虑零件的使用、工艺和经济性等要求。

一、使用要求

为保证机械零件不失效,根据载荷作用情况,对零件尺寸的限制和零件重要程度,对材料提出强度、刚度、弹性、塑性、冲击韧性、阻尼性和吸振性等力学性能方面的相应要求。同时,由于零件工作环境等其他需求,对材料可能还有密度、导热性、抗腐蚀性、热稳定性等物理性能和化学性能方面的要求等。

二、工艺要求

选择零件材料时必须考虑到加工制造工艺的影响。铸造毛坯应考虑材料的液态流动性、产生缩孔或偏折的可能性等;锻造毛坯应考虑材料的延展性、热脆性和变形能力等;焊接零件应考虑材料的可焊性和产生裂纹的倾向等;对进行热处理的零件应考虑材料的可淬性、淬透性及淬火变形的倾向等;对于切削加工的零件应考虑材料的易切削性、切削后能达到的表面粗糙度和表面性质的变化等。

三、经济性

从经济观点出发,在满足性能要求的前提下,应尽可能选用价廉的材料,以降低材料费用。另外还应综合考虑到生产批量等因素的影响,如大量生产宜用铸造毛坯;单件生产采用焊接件,可以降低制造费用。

第五节 机械零件的制造工艺性及标准化

一、机械零件的工艺性

零件的工艺性是指在既定的生产条件和规模下,能用较少的劳动和较低的成本把零件制造和装配出来。为此,设计者必须了解零件的制造工艺,能从材料选择、毛坯制造、机械加工、装配以及维修等环节考虑有关的工艺问题。

二、机械设计中的标准化

零件的标准化、部件的通用化和产品的系列化是我国实行的一项重要技术经济政策。

在机械设计中采用标准零件,在试验和检验中采用标准方法,对零件的设计参数采用标准数值,将会提高产品的设计质量和经济效益。

通用化是在系列产品内部或在跨系列的产品之间,采用同一结构和尺寸的零部件。它可以最大限度地减少产品的规格、形状、尺寸和材料品种等,实现通用互换。因此,通用化是广义的标准化。

系列化是将产品尺寸和结构按尺寸大小分档,按一定规律优化组合成产品系列,以减少产品型号数目,系列化是标准化的重要内容。

标准化的意义在于:减轻设计工作量,有利于把主要精力用于关键零部件的创新设计;可安排专门工厂集中生产标准零部件,有利于降低成本,提高互换