

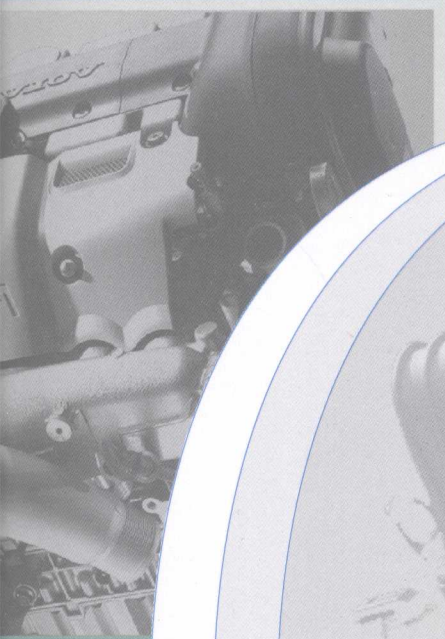


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

专业基础系列

机械设计基础 (第二版)

石固欧 主编 贾北平 李莉 副主编



Design



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

专业基础系列

机械设计基础

(第二版)

石固欧 主 编

贾北平 李 莉 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在总结第一版各种反馈意见的基础上,根据教育部制定的《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》,并结合多所院校多年的教改经验修订而成的。

全书除绪论外共四篇 23 章。第一篇平面机构的结构、运动以及静力分析,内容包括机械设计概论、平面机构的组成原理、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、其他常用机构、平面机构的运动分析、平面构件的静力分析。第二篇常用机械零部件及其设计,内容包括直杆的拉伸(压缩)、直梁、圆轴与轴毂连接、轴承、螺纹连接、其他常用零件。第三篇常用机械传动及其设计,内容包括带传动、链传动、齿轮传动、空间齿轮传动、轮系、机械的调速与平衡。第四篇液压传动,内容包括液压传动的基本知识、液压元件与液压基本回路、液压系统实例以及液压系统的故障分析和排除方法。

本书可作为高职高专院校近机械类和非机械类各专业机械设计基础课程的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/石固欧主编.—2 版.—北京:高等教育出版社,2008.12

ISBN 978 - 7 - 04 - 025403 - 7

I. 机… II. 石… 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(2008)第 176684 号

策划编辑 罗德春 责任编辑 薛立华 封面设计 张雨微 责任绘图 尹 莉
版式设计 王 莹 责任校对 金 辉 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	北京机工印刷厂		http://www.landracom.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 1092 1/16	版 次	2003 年 8 月第 1 版
印 张	29.5		2008 年 12 月第 2 版
字 数	720 000	印 次	2008 年 12 月第 1 次印刷
		定 价	36.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25403 - 00

前 言

本书是在总结第一版各种反馈意见的基础上,结合多年的教学经验修订而成的。

本书除绪论外分为 23 章,保持了第一版的特色,仍然按照机械设计的一般程序来编排教材内容。与第一版相比较,本书主要进行了以下修订:

1. 对全书内容作了进一步整合,编排更加合理。主要是将常用机械零件设计概述和绪论中的部分内容整合为本书的第一章,比较全面地介绍了机械设计的相关先修知识,以弥补近机类与非机类专业学生不开设或少开设这部分课程的不足。第一章对机械设计的许多概念做了较为详细的叙述,有助于学生对机械设计理论的理解和掌握。

2. 对弯曲和扭转所产生的应力以及公式的推导进一步简化,同时增加了相应的刚度计算与校核;在第四篇液压传动中增加了一章专门介绍液压系统的故障分析和排除方法,内容更加全面。通过本书的学习,学生能在更为广阔的领域里解决各种实际问题。

3. 书中凡涉及国家标准的有关内容都注明了标准号,便于学生查阅,目的是引导学生了解、熟悉并使用国家标准,同时省却了对有关内容的过多讲述,既节省了篇幅,又增加了教材容量,教材内容也更为简洁。

参加本书修订工作的有石固欧、贾北平、李莉、关晓东、刘利军、庞兴华,全书由石固欧担任主编,贾北平、李莉任副主编。

本书由承德石油高等专科学校王冰教授和邹克武教授审阅,他们对本书提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,疏漏与错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2008 年 12 月

目 录

绪论	1	0.2 本课程的性质和任务	2
0.1 本课程的研究对象及课程内容	1	0.3 本课程的学习方法	2

第一篇 平面机构的结构、运动以及静力分析

第 1 章 机械设计概论	5	4.3 凸轮轮廓设计	62
1.1 机器、机构与机械	5	4.4 凸轮设计中的几个问题	65
1.2 机械设计的基本要求和一般程序	8	思考题与习题	67
1.3 机械零件常用设计准则	9	第 5 章 其他常用机构	69
1.4 机械零件的常用材料	12	5.1 间歇运动机构	69
1.5 钢的热处理	19	5.2 螺旋机构	74
1.6 机械零件的结构工艺性	21	5.3 万向联轴器	77
1.7 机械设计中的标准化	29	思考题与习题	79
思考题与习题	29	第 6 章 平面机构的运动分析	80
第 2 章 平面机构的组成原理	30	6.1 点的运动	80
2.1 运动副	30	6.2 构件的基本运动及构件上点的合成运动	85
2.2 平面机构运动简图	33	6.3 构件的平面运动	92
2.3 平面机构的组成原理	36	思考题与习题	97
思考题与习题	40	第 7 章 平面构件的静力分析	100
第 3 章 平面连杆机构及其设计	42	7.1 静力学基础	100
3.1 平面四杆机构的基本形式及其演化	42	7.2 约束与约束反力	108
3.2 平面四杆机构的运动特性	49	7.3 受力分析与受力图	111
3.3 平面四杆机构的设计	52	7.4 平面力系	115
思考题与习题	54	7.5 物体系统的平衡	130
第 4 章 凸轮机构及其设计	56	7.6 考虑摩擦时的物体平衡问题	133
4.1 概述	56	7.7 空间力系	135
4.2 常用的从动件运动规律	58	思考题与习题	140

第二篇 常用机械零部件及其设计

第 8 章 直杆的拉伸(压缩)	148	第 9 章 直梁	165
8.1 直杆轴向拉伸(压缩)时的内力及应力分析	148	9.1 直梁平面弯曲的概念及弯曲内力	165
8.2 受拉伸(压缩)直杆的强度计算	155	9.2 梁的弯曲强度计算	174
8.3 拉(压)杆件的变形	159	9.3 拉(压)与弯曲组合变形的强度计算	180
8.4 压杆稳定的概念	161	9.4 梁的弯曲刚度简介	183
思考题与习题	162	9.5 提高梁弯曲强度和刚度的措施	188

9.6 直梁弯曲切应力简介	190	11.6 滚动轴承的寿命计算	244
思考题与习题	192	11.7 滚动轴承的组合设计	249
第10章 圆轴与轴毂连接	196	11.8 滑动轴承与滚动轴承的性能比较	255
10.1 轴的类型及其材料	196	思考题与习题	256
10.2 圆轴扭转的概念及其内力	198	第12章 螺纹连接	258
10.3 圆轴扭转的强度计算与刚度计算	201	12.1 螺纹连接的基本知识	258
10.4 弯扭组合变形的强度计算	207	12.2 螺纹副的受力分析、效率和自锁	262
10.5 转轴的设计与校核	209	12.3 螺纹连接的基本类型及其预紧和防松	264
10.6 轴毂连接与剪切、挤压强度计算	219	12.4 螺栓组连接的结构设计	270
思考题与习题	226	12.5 单个螺栓连接的强度计算	272
第11章 轴承	229	12.6 提高螺纹连接强度的措施	278
11.1 滑动轴承的主要类型	229	思考题与习题	280
11.2 滑动轴承的结构和材料	229	第13章 其他常用零件	282
11.3 不完全液体润滑轴承的设计计算	236	13.1 联轴器	282
11.4 滚动轴承的构造、类型及性能特点	238	13.2 离合器	286
11.5 滚动轴承的代号及类型选择	241	13.3 弹簧	289
		思考题与习题	293
第三篇 常用机械传动及其设计			
第14章 带传动	296	16.7 斜齿圆柱齿轮啮合传动简介	345
14.1 带传动的基本知识	296	16.8 齿轮传动的失效形式与常用材料	349
14.2 普通V带传动的设计计算	307	16.9 直齿圆柱齿轮传动的受力分析及强度计算	354
14.3 其他带传动简介	315	16.10 齿轮的结构设计	363
思考题与习题	316	思考题与习题	365
第15章 链传动	318	第17章 空间齿轮传动	367
15.1 链传动的基本知识	318	17.1 直齿锥齿轮传动	367
15.2 链传动的失效形式与滚子链传动的设计计算	323	17.2 蜗杆传动	371
15.3 链传动的布置与维护	330	思考题与习题	380
思考题与习题	331	第18章 轮系	382
第16章 齿轮传动	332	18.1 轮系的类型及功用	382
16.1 齿轮传动的特点及类型	332	18.2 定轴轮系传动比的计算	384
16.2 齿廓啮合基本定律	333	18.3 行星轮系传动比的计算	386
16.3 渐开线及渐开线圆柱齿轮的啮合特性	334	18.4 减速器的类型及结构	390
16.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	336	思考题与习题	393
16.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合条件	340	第19章 机械的调速与平衡	396
16.6 切齿原理及根切现象	342	19.1 机械速度的波动与调节	396
		19.2 机械的平衡	398
		思考题与习题	401

第四篇 液 压 传 动

第 20 章 液压传动的基本知识	403	21.4 液压控制阀及其应用	425
20.1 液压传动基本概念	403	21.5 液压辅助元件	444
20.2 液压油	405	思考题与习题	448
20.3 液压传动的流体力学基础	409	第 22 章 液压系统实例	452
思考题与习题	413	22.1 组合机床动力滑台液压系统	452
第 21 章 液压元件与液压基本回路	414	22.2 轴承压装机液压系统	454
21.1 液压泵	414	思考题与习题	456
21.2 液压马达	418	第 23 章 液压系统的故障分析和排除	
21.3 液压缸	419	方法	457
参考文献	461		

绪 论

0.1 本课程的研究对象及课程内容

0.1.1 概述

在经济建设和日常生活中,机械是必不可少的,其作用非常重要。尤其是在现代工业各领域内,使用各种机械进行生产是最为主要的生产方式。从最早的杠杆、斜面等最简单的机械一步步发展成为现今的起重机、汽车、拖拉机、各种机床、内燃机、缝纫机、洗衣机、机器人、计算机等种类繁多、结构复杂、技术先进、功能全面的机械,可以说机械的发展、新机器的诞生推动着生产力的进步和社会的向前发展。因此,机械发展程度的高低是一个国家生产力水平高低的重要标志之一。

在现代社会里,除机械制造行业外,其他行业(如采矿、冶金、化工、建筑、轻纺、食品、电力、电子、供热制冷等)中的近机械类和非机械类的工程技术人员和管理人员,同样也要经常接触各种机械设备,并要处理许多与机械有关的问题。因此,掌握一定的机械方面的基本知识,对他们来说非常必要,也十分重要。

由于专业要求和学时的限制,近机械类和非机械类专业不可能设置有关机械方面的一系列课程。因此,为他们提供有关机械方面的最必要的基本理论和基本知识,培养他们对机械的结构、运动、受力等方面的分析能力和对简单机械进行初步设计的能力,是编写本书的主要目的。

0.1.2 本课程的研究对象及课程内容

本课程以各种机械中的常用机构及通用零部件为研究对象。

课程内容按照分析已有机械和设计新机械的一般程序进行编排,同时兼顾相关学科的传统体系。另外,考虑到现代机械中液压传动装置应用非常广泛,本课程中也安排了相关内容。总体上,本书内容共包括四篇。

第一篇为平面机构的结构、运动以及静力分析。主要介绍各种常用平面机构的结构组成、工作原理、运动特点及设计,运动分析与静力分析的基本理论。

第二篇为常用机械零部件及其设计。主要介绍各类零件承载能力的分析与计算,常用机械零部件的结构特点、工作原理、材料和设计计算等。

第三篇为常用机械传动及其设计。主要介绍各种机械传动的工作原理、设计方法和使用维护知识等。

第四篇为液压传动。主要介绍常见液压元件和典型液压回路与系统的工作原理等。

0.2 本课程的性质和任务

0.2.1 课程性质

本课程是一门技术基础课,综合运用先修课程如高等数学、普通物理、工程制图、金属工艺学、金属材料及热处理等的基本知识,解决常用机构及通用零部件的分析和设计问题。

本课程的理论性、实践性比较强,是后继专业课程学习的重要技术基础,是近机械类和非机械类专业的主干基础课程之一。该课程在教学中起着承上启下的作用,是工程技术人员的必修课程。

0.2.2 课程任务

通过对本课程的学习,近机械类和非机械专业的学生应达到以下基本要求:

1. 熟悉常用机构的结构特点、工作原理及应用等基本知识,并具有初步分析和设计常用机构的能力。
 2. 熟练掌握运动分析和静力分析的基本理论和基本计算方法,能解决日常生活和工作实际中的有关运动分析和静力分析的具体问题。
 3. 掌握通用零部件的类型、工作原理、失效形式、设计准则和设计方法,初步具有对一般工作条件和常用参数范围内的通用零部件进行设计的能力。
 4. 获得机械设计实验、设计简单机械及传动装置的基本技能。
 5. 具有运用标准、规范、手册、图册等相关技术资料的能力。
- 以上要求也就是本课程的任务。

0.3 本课程的学习方法

本课程是一门专业技术基础课,是从理论性、系统性都很强的基础课向实践性较强的专业课过渡的一个转折点。因此,学习本课程时必须在学习方法上有所转变,应注意如下几点:

1. 注意理论联系实际,学以致用,把知识学活。本课程的研究对象与生产实际联系紧密,在初学本课程时会感到内容比较抽象。因此,建议在学习本课程理论知识的同时,要有意识地去多看、多接触一些实际的机构和机器,并努力用所学到的原理和方法进行分析、思考,这样就可使原本枯燥抽象的理论学习变得生动具体,有利于学好理论知识,也有利于开发智力及培养创造性思维。

2. 注意本课程内容的内在联系,抓住基本知识和设计两条主线。本书的教学内容是按照机械设计的一般程序来安排的,对各种常用机构、常用零部件及常见机械传动,除了介绍一些运动分析、受力分析和承载能力分析的基本理论外,都是介绍它们的基本知识(结构、原理、相关标准、使用维护等)和设计方法这两方面的内容。在学习本课程内容时,要注意各章节的共性,互相联系、互相比较,抓住两条主线来学习,才能保证本课程的学习效果。

3. 本课程的实践性较强,而实践中的问题往往很复杂,难以用纯理论的方法来分析解决,而

常常采用经验参数、经验公式、条件性计算等方法,容易给学生造成“不讲道理”、“不是理论”的感觉。这就是实践性、工程性较强课程的特点,在学习时要了解和懂得这一特点并逐步适应。

4. 本课程的一些计算结果不具有唯一性。也就是说,计算结果没有对错之分,只有好坏优劣的不同,这也是实践性、工程性较强课程的特点。在学习时也要逐步适应这种特点并树立努力获得最佳结果的思想。

5. 注意重视结构设计。对机械工程问题来说,理论计算固然很重要,但往往并不能解决问题,结构设计有时是决定问题的关键。大量工程实践证明,一个好的设计工程师,首先必须是一个好的结构设计师。初学的人往往只注重计算而忽视结构设计,实际上,如果没有正确的结构设计,再好的理论计算也毫无意义。在学习本课程时,应逐步培养将理论计算与结构设计、工艺等问题相结合的思维。

第一篇

平面机构的结构、运动以及静力分析

在机械设计的一般程序中,当明确设计要求以后,首先需要做的工作就是确定机械的工作原理、绘制传动示意图、进行运动分析和静力分析等,这些正是本篇所要研究和解决的问题。本篇首先介绍进行机械设计所必须掌握的相关基本知识,再介绍各种平面机构的组成结构、工作原理以及平面机构的运动分析与受力分析的基本理论、基本计算等机械设计的基本内容。

若一个机构中所有构件都在同一平面或在相互平行的平面内运动,则这样的机构就称为平面机构,否则就称为空间机构。

无论是进行机构的结构与原理分析,还是运动与静力分析,都要使用“构件”这一概念。本篇中所讲的“构件”是指在受力后不考虑其变形的物体,即在力的作用下不发生变形的物体,研究的只是其运动情况和受力情况。在一些教材中,分析机构的运动情况时称为“构件”,而在分析受力情况时又称为“刚体”。本书中不论是对机构进行运动分析还是受力分析,统一称为“构件”。

第1章 机械设计概论

一说到“机械”,很自然地就会想到汽车、火车、轮船、飞机、内燃机、发电机、各种机床等“机器”,但是,到底如何定义“机械”?“机器”又是什么?二者有何联系与区别?理解这些基本概念是学习本课程首先要解决的问题。

1.1 机器、机构与机械

1.1.1 机器及其特征

任何一种机器都是为实现某种功能而设计制造的。

如图 1.1.1 所示的单缸内燃机,是由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、齿轮 3'与 4、凸轮 4'、顶杆 5 及气缸体 6 等实体组成的,当燃气推动活塞 1 时,通过连杆 2 将运动传至曲轴 3,使曲轴 3 连续转动。内燃机的基本功能就是使燃气在缸内经过进气—压缩—爆燃—排气的循环过程,将燃烧的热能转变为使曲轴转动的机械能。

再如图 1.1.2 所示的颚式破碎机,是由机架 1、偏心轴 2、动颚板 3、肘板 4、带轮 2'、定颚板 5 等组成的。偏心轴 2 与带轮 2' 固连,电动机通过带传动驱动偏心轴转动,使动颚板作平面运动,轧碎动颚板与定颚板之间的矿石。颚式破碎机就是通过动颚板的平面运动实现轧碎矿石来作有用机械功的。

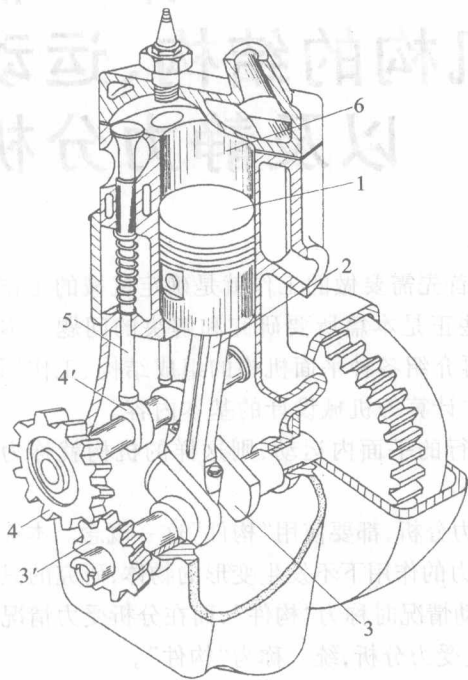


图 1.1.1 单缸内燃机

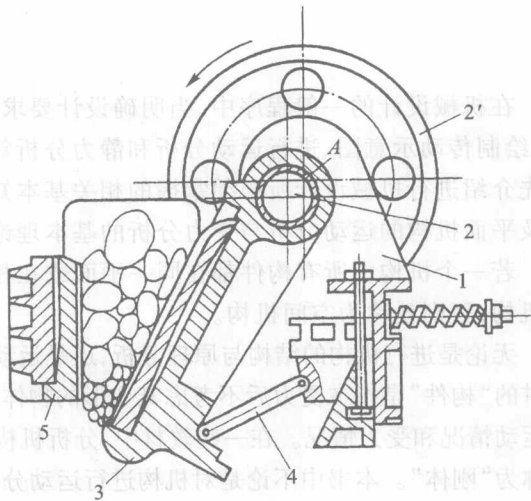


图 1.1.2 颚式破碎机

上述两例,毫无疑问地都是机器。通过对更多的机器进行分析和归纳可以得出结论:尽管机器的种类繁多,其功能、结构、工作原理各不相同,但从结构和功能上看,各种机器都具有如下三个共同的特征,即:

- (1) 都是人为的实体组合;
- (2) 各实体之间具有确定的相对运动;
- (3) 可以实现能量转换,完成有用的机械功。

传统意义的“机器”就是根据上述三个特征来定义的,随着技术的进步,一些新的机器如计算机等不断出现,“机器”可广义地定义为:机器是用来转换或传递能量、物料和信息,能执行机械运动,能部分代替或减轻人类劳动的一种装置。

1.1.2 机构与机械

由上述可知,机器就是若干实体被组合在一起而成的一种装置。习惯上,人们把“能实现某种预定运动的实体组合”称为“机构”。也就是说,机构只具备了机器的前两个特征,当仅从运动的角度来观察“机构”和“机器”时,二者并无区别。

机构的目的是为了**实现并传递某种运动**,因此研究机构时不必考虑各实体的材料、结构形状、承载能力等因素,也就是不用考虑机构如何去代替或减轻人的劳动问题,而机器则必须要考虑。所以在研究机构的运动时一般都用一些简单的线条和符号来表示该机构。图 1.1.3 表示的是一种曲柄滑块机构,若将该机构应用于内燃机中,就不仅要考虑它如何运动,还必须要考虑它如何去传递或转换能量以代替或减轻人的劳动,因此必须考虑每个实体的材料、结构形状、承载能力等因素,该机构就被设计成图 1.1.1 中所示的由活塞 1、连杆 2、曲轴 3 及气缸体 6 组成的结构了。可见,曲柄滑块机构只是单缸内燃机中若干机构中的一个。

一般地,机器都是由机构组成的,一台机器中至少包括一个或若干个机构,机器中所包括的机构数量随机器的复杂程度以及需要完成的运动情况而定。

在工程上,习惯将“机器”与“机构”统称为“机械”。

在各种机械中普遍使用的机构称为常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。

图 1.1.3 曲柄滑块机构



1.1.3 构件与零件

由前述可知,机构是具有相对运动的实体组合,工程上把这些具有相对运动的实体称为“构件”。所以机构是由构件组成的,一个机构中包括了若干个构件。

从运动的角度看,机械中最基本的运动单元体是“构件”,每个“构件”都具有独立的运动特性。但组成机械的各种实体都必须通过加工制造而来,从加工的角度看,机械中最基本的制造单元体称为“零件”,每个“零件”都具有不可拆卸、不可再分的特性。

一个构件既可以是由单一的一个零件制造而成,如图 1.1.4 所示的整体式曲轴;也可以是由多个零件组装而成的一个刚性整体,如图 1.1.5 所示的连杆,它是由连杆体 1、螺栓 2、连杆盖 3、螺母 4 等若干个零件组装而成的。

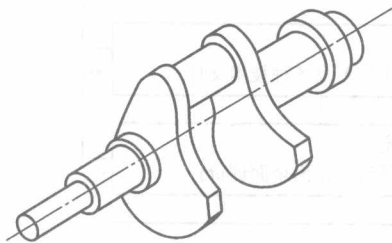


图 1.1.4 整体式曲轴

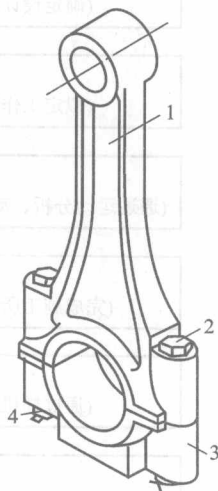


图 1.1.5 刚性组合式连杆

机械中的零件一般分为两类:一类是在各种机械中普遍使用的零件,称为常用零件或通用零件,如螺栓、轴、齿轮、弹簧等;另一类是仅在某些专门机械中才用到的零件,称为专用零件,如活塞、曲轴、叶轮等。

机械中,一套协同工作且完成共同任务的零件组合,称为部件。部件也分为通用部件和专用部件,如减速器、轴承、联轴器等属于通用部件,而汽车转向器等则属于专用部件。

1.2 机械设计的基本要求和一般程序

机械设计是指规划和设计实现预期功能的新机械或改进原有机器的性能。

尽管机械的类型很多,但设计机械应满足的基本要求大致相同,主要是:在满足预期使用功能的前提下,经济性能好、生产效率高、制造成本低、采用新技术、造型美观和满足特殊要求(如经常移动的机械应便于拆卸、运输和安装,食品、纺织机械不能污染产品等);在预定使用期内安全可靠、操作简便、维护方便等。

机械设计的内容主要包括:拟定总体设计方案(确定机械的工作原理,选择能实现预期运动的合适机构);进行初步设计(进行机构的运动分析和动力分析,计算作用在各构件上的载荷,进行零部件的承载能力分析、失效分析和设计计算);完成结构设计(绘制总装图、部件图及主要零件图)等。这些也正是本书的主要内容。

在明确了机械设计的基本要求和主要内容后,即可开始设计。不同的机械,设计方法、设计步骤各不相同,对其设计没有固定的、一成不变的程序。但是,对各种机械来说,其设计的一般程序却基本相同。

任何一台机械的诞生,都要经过从感觉到某种需要、萌生设计念头、明确设计要求开始,到设计、制造、鉴定、产品定型和投产这样一个十分复杂细致的过程。这样的过程就是机械设计的一般程序。为清晰起见,可用图 1.2.1 所示的框图来表示机械设计的一般程序。

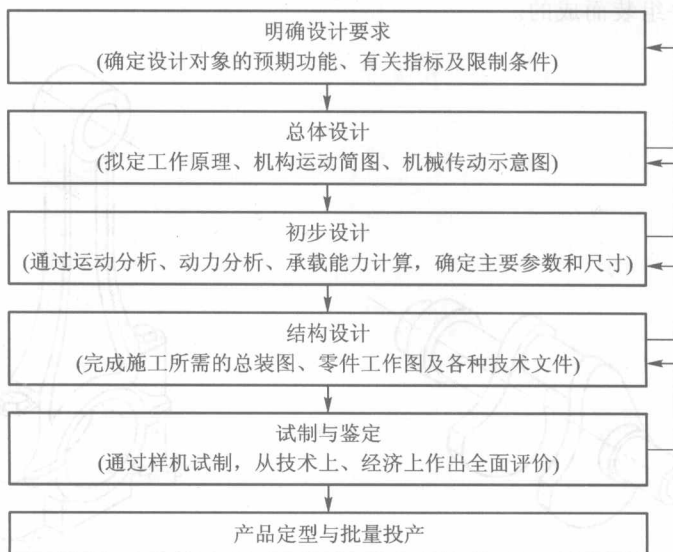


图 1.2.1 机械设计的一般程序

在机械设计一般程序中,总体设计决定了机械预期功能的理论方案,而初步设计和结构设计则决定了机械预期功能由理论到现实的技术方案。

1.3 机械零件常用设计准则

零件是机械的基本制造单元,机械是由一个一个的零件先组合成构件,再组合成机构而成的,机械的预期功能能否实现,零件至关重要,机械设计的基础就是机械零件的设计。要了解机械零件的设计,必须先了解机械零件在工作中所受到的载荷以及可能发生的各种失效形式。

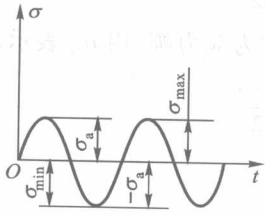
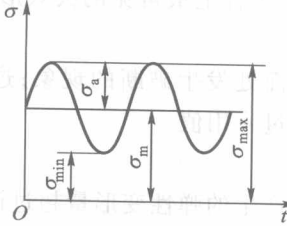
1.3.1 机械零件工作中所受的载荷与应力

为实现各种预期的功能,机械必须要传递运动和力,因此参与能量传递或转换的各个机械零件就要受到一定的外载荷。根据载荷是否随时间变化,外载荷可分为静载荷和动载荷(或称交变载荷)两种。

在外载荷的作用下,机械零件的整体或局部要产生相应的应力。应力指的是因外载荷的作用而在零件的某一个截面或表面上产生的单位面积上的力。根据应力方向的不同,应力分为两种类型:一种为沿与截面垂直方向的应力,称为正应力,以符号 σ 表示;另一种为沿与截面平行方向的应力,称为切应力(或剪应力),以符号 τ 表示。应力的国际单位是 Pa(帕), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。工程上应力的常用单位是 MPa(兆帕), $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ N/mm}^2$ 。

与静载荷和动载荷相对应,应力也分为静应力和动应力(也称交变应力)。按照动应力的变化规律,又可将其分为对称循环应力、非对称循环应力和脉动循环应力三种。表 1.3.1 为静应力和三种动应力的应力循环图及相关参数。

表 1.3.1 应力循环图及相关参数

交变应力类型	应力循环图	$\sigma_{\max}$ 与 $\sigma_{\min}$	循环特性
对称循环应力		$\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$	$r = -1$
非对称循环应力		$\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a$ $\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a$	$-1 < r < 1$ $r \neq 0$

续表

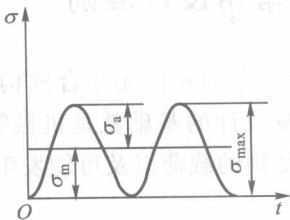
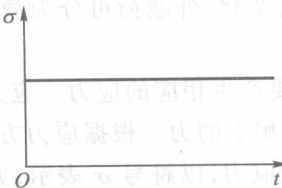
交变应力类型	应力循环图	$\sigma_{\max}$ 与 $\sigma_{\min}$	循环特性
脉动循环应力		$\sigma_{\max} \neq 0, \sigma_{\min} = 0$	$r = 0$
静应力		$\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$	$r = 1$

表 1.3.1 中, $\sigma_{\max}$ 和 $\sigma_{\min}$ 分别表示应力循环中的最大应力值和最小应力值。

$\sigma_{\min}$ 和 $\sigma_{\max}$ 的比值称为应力循环特征系数, 一般以 r 表示, 即

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

最大应力与最小应力的代数平均值称为平均应力, 用 σ_m 表示, 即

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

在平均应力的基础上, 应力发生变化的幅度称为应力幅, 用 σ_a 表示, 即

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

1.3.2 机械零件的主要失效形式

机械零件丧失预定功能或预定功能指标降低到许用值以下而不能正常工作的现象, 称为机械零件的失效。机械零件的失效形式多种多样, 在工程上最常见的失效形式主要有以下几种:

1. 断裂或过大的塑性变形

断裂是指由于外载荷的作用而在零件某一截面处发生破断的现象; 过大的塑性变形则是指由于外载荷的作用而使零件产生的塑性变形量超过许用值。

2. 过大的弹性变形

过大的弹性变形是指在外载荷的作用下零件产生的弹性变形量超过许用值而使机器不能正常工作。比如机床主轴过大的弹性变形会降低机床的加工精度。