

机械设计基础

陈 浩 邓茂云 主编



科学出版社

机械设计基础

主 编 陈 浩 邓茂云

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书主要阐述机械的组成, 机械设计的一般原则和设计过程, 各种常用机构的组成原理和运动特性, 机构设计的基本知识和基本理论, 通用机械零件的工作原理、结构、工作能力计算, 基本设计方法、零件选用原则和零件材料选用等。

全书共分 15 章, 内容包括总论、平面机构的自由度和速度分析、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、蜗杆传动、轮系和减速器、带传动和链传动、螺纹、轴和轴毂连接、轴承、联轴器和离合器、弹簧、现代设计理论与方法概论、机械创新设计基础。章后还附有思考题及练习题和阅读参考资料。

本书可作为普通高等学校机械类相关专业机械设计基础课程教材, 建议学时数 48~64 学时, 也可作为有关专业师生和工程技术人员的自学教材和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/陈浩, 邓茂云主编.—北京: 科学出版社, 2016.1

ISBN 978-7-03-046845-1

I. ①机… II. ①陈… ②邓… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 001430 号

责任编辑: 邓 静 张丽花 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 霍 兵 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 1 月第一次印刷 印张: 18

字数: 426000

定价: 42.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

版权所有, 盗版必究

举报电话: 010-64034315; 010-64010630

前 言

本书是根据国家教育委员会批准印发的《高等工业学校本科机械设计基础课程教学基本要求（少学时）》，并结合工业自动化、工程材料、建筑工程、环境工程、石油工程、石油储运、燃气工程等专业的改革与建设编写的。

为了适应教学改革的发展趋势和高等教育面向未来，培养创新思维和创新能力的教学内容和课程体系改革计划的要求，本书从1998年开始策划、酝酿，通过了四次大的编写和改动，编者对本课程的教学改革进行了大胆尝试和探索，构成了本书的基本框架。经过多年的使用，广泛地收集和征求来自各方面的意见和建议，同时考虑到近机械、非机械类专业对本课程的教学要求，编者对机构学和机械设计学内容知识材料进行了必要的整合。在内容的选择上力求精练，突出了实用性和机械创新设计，注重加强和各章节的联系，适当体现石油行业特色和其他行业的广泛应用，注重各学科的交叉、渗透，并给出了有关名词和术语的英文注释，便于双语教学。各章后附适量的思考题和习题，便于读者课后复习、巩固。为便于自学，编入了适量的例题。

随着机械设计新理论、新技术的迅速发展，编写了现代设计理论与方法概论一章；随着创新意识和创新能力的要求越来越高，编写了机械创新设计基础一章，以便读者对现代设计方法在机械设计方面的应用有一个初步的了解，使读者有一定的机械创新设计思维和意识，并掌握机械创新设计的基本原则和基本方法。

参与本书编写的有：西南石油大学邓茂云（第一、二、三、四、五、七、十二章）、祝效华（第十四章）、陈浩（第五、九、十、十一章）、刘洪斌（第二、六、十三章）、艾志久（第十五章），广州大学游思坤（第六、八章）。本书由陈浩、邓茂云担任主编，全书图形由吴定定整理和制作。

本书由西南石油大学郑悦明教授担任主审，他在繁忙的工作中进行了细心审阅，并提出了许多宝贵意见和建议。

在编写本书的过程中，得到许多同仁如莫丽、周已等老师的大力帮助和支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，诚望读者给予指正。

编 者
2015年8月

目 录

第一章 总论..... 1	一、平面机构的自由度17
第一节 机械的组成 1	二、计算平面机构自由度的注意 事项.....18
第二节 机械设计的基本要求和 一般过程..... 2	第四节 速度瞬心及其在平面机构 中的应用20
一、本课程的内容、性质和学习 方法..... 2	一、瞬心的定义20
二、机械设计的基本要求 3	二、瞬心的位置21
三、机械设计的一般过程..... 3	三、三心定理21
四、机械零件设计的一般步骤..... 4	思考题.....23
第三节 机械零件的工作能力和 计算准则..... 5	习题24
一、强度 5	第三章 平面连杆机构27
二、刚度 5	第一节 平面连杆机构概述.....27
三、耐磨性..... 5	一、铰链四杆机构27
四、振动稳定性 6	二、含一个移动副的四杆机构28
五、耐热性..... 6	三、含两个移动副的四杆机构30
第四节 许用应力和安全系数..... 6	第二节 铰链四杆机构的基本 知识.....31
一、机械零件的载荷分类 7	一、曲柄存在的条件31
二、机械零件的应力分类 7	二、急回特性和行程速比系数32
三、许用应力 9	三、压力角和传动角33
第五节 机械设计中常用材料及 选择原则..... 9	四、死点位置33
第六节 机械零件的工艺性和标 准化 11	第三节 平面四杆机构的设计34
一、机械零件的工艺性 11	一、按给定的行程速比系数设计四 杆机构.....34
二、机械零件的标准化..... 12	二、按给定连杆的两个位置(或三个 位置)设计四杆机构.....35
三、机械设计的新发展 12	三、解析法设计四杆机构36
思考题 13	思考题.....39
第二章 平面机构的自由度和速度分析.. 14	习题40
第一节 运动副及其分类..... 14	第四章 凸轮机构.....42
一、构件的自由度及其约束 14	第一节 凸轮机构的应用和分类42
二、运动副及其分类 14	一、凸轮机构的组成和应用42
第二节 平面机构运动简图 15	二、凸轮机构的分类42
第三节 平面机构自由度的计算..... 17	第二节 从动件的常用运动规律44

一、等速运动规律	44	二、渐开线圆柱齿轮传动的精度等级及其选择	72
二、等加速等减速运动规律	45	第七节 渐开线圆柱齿轮的切齿干涉现象及变位齿轮简介	73
三、简谐运动规律	46	一、切齿干涉现象及最少齿数	73
第三节 凸轮机构的设计	47	二、变位齿轮简介	73
一、盘形凸轮轮廓曲线的设计	47	第八节 齿轮的失效形式和设计准则	75
二、滚子半径的选择	49	一、齿轮传动的失效形式	75
三、压力角的选择	50	二、齿轮传动的设计准则	77
四、基圆半径的选择	51	第九节 齿轮的材料和许用应力	77
五、解析法设计凸轮轮廓	52	一、齿轮材料	77
第四节 其他常用机构	54	二、齿轮轮齿许用应力	79
一、棘轮机构	54	第十节 直齿圆柱齿轮传动的承载能力计算	81
二、槽轮机构	55	一、受力分析	81
思考题	56	二、计算载荷	82
习题	56	三、齿面接触疲劳承载能力计算	82
第五章 齿轮传动	58	四、轮齿弯曲疲劳承载能力的计算	84
第一节 齿轮传动的特点和类型	58	五、齿轮传动参数的选择与调整	86
一、齿轮传动的特点	58	第十一节 斜齿圆柱齿轮传动	89
二、齿轮传动的类型	58	一、斜齿圆柱齿轮的齿面形成原理及啮合特点	89
第二节 齿廓啮合基本定律	61	二、斜齿圆柱齿轮的几何参数及几何尺寸计算	91
第三节 渐开线齿廓	62	三、斜齿圆柱齿轮的当量直齿圆柱齿轮	92
一、渐开线的形成及其特性	62	四、斜齿圆柱齿轮传动的受力分析	93
二、渐开线齿廓满足齿廓啮合基本定律	63	五、斜齿圆柱齿轮传动的承载能力计算	94
三、渐开线齿轮传动的啮合线、啮合角	63	第十二节 直齿圆锥齿轮传动	96
四、渐开线齿廓的优越性	64	一、圆锥齿轮传动的特点	96
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及几何参数	64	二、直齿圆锥齿轮齿廓形成原理和当量齿轮	96
一、直齿圆柱齿轮各部分名称	64	三、直齿圆锥齿轮传动的几何关系和尺寸计算	97
二、标准直齿圆柱齿轮的基本参数	65	四、圆锥齿轮传动的受力分析	99
三、标准直齿圆柱齿轮几何尺寸计算式	67	五、直齿圆锥齿轮承载能力的计算	99
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	68		
一、渐开线直齿圆柱齿轮正确啮合的条件	68		
二、渐开线齿轮连续传动的条件	69		
第六节 渐开线圆柱齿轮轮齿切削原理和齿轮精度选择	70		
一、渐开线齿轮轮齿切削原理	70		

第十三节 齿轮的结构及润滑.....	101	第三节 轮系的应用及其他类型的行星传动.....	129
一、齿轮的结构.....	101	一、轮系的应用.....	129
二、齿轮传动的润滑.....	102	二、其他类型的行星传动.....	132
思考题.....	103	第四节 减速器.....	134
习题.....	104	一、减速器的主要形式.....	134
第六章 蜗杆传动.....	106	二、通用标准减速器.....	137
第一节 蜗杆传动的类型和特点.....	106	思考题.....	138
一、蜗杆传动的类型.....	106	习题.....	139
二、蜗杆传动的特点.....	107	第八章 带传动和链传动.....	141
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸.....	107	第一节 带传动的主要类型、特点和应用.....	141
一、蜗杆传动的基本参数.....	107	一、带传动的特点和应用.....	141
二、圆柱蜗杆传动的几何尺寸计算.....	111	二、带传动的类型.....	141
第三节 蜗杆传动的失效形式、设计准则、材料和结构.....	112	第二节 V 带传动的结构及尺寸参数.....	142
一、蜗杆传动的失效形式和设计准则.....	112	一、普通 V 带的结构及规格.....	142
二、蜗杆、蜗轮的材料和结构.....	112	二、V 带轮的材料和结构.....	144
第四节 蜗杆传动的强度计算.....	114	第三节 带传动工作情况分析、使用及维护.....	145
一、蜗杆传动的受力分析.....	114	一、作用力分析.....	145
二、蜗轮齿面接触疲劳强度计算.....	114	二、带的应力.....	146
三、蜗轮轮齿的齿根弯曲疲劳强度计算.....	115	三、带的弹性滑动和打滑.....	147
第五节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算.....	116	四、带传动的张紧.....	148
一、蜗杆传动的效率.....	116	五、带传动的安装与维护.....	149
二、蜗杆传动的润滑.....	117	第四节 V 带传动设计计算.....	149
三、蜗杆传动的热平衡计算.....	117	一、V 带传动的失效形式和设计准则.....	149
思考题.....	119	二、单根 V 带的基本额定功率.....	149
习题.....	120	三、V 带传动的设计与计算.....	152
第七章 轮系和减速器.....	122	第五节 链传动的特点和应用.....	155
第一节 轮系的分类.....	122	第六节 链传动的结构.....	156
一、定轴轮系.....	122	一、链条的结构.....	156
二、周转轮系.....	123	二、链轮的齿形.....	158
第二节 轮系传动比的计算.....	124	三、链轮的结构及材料.....	158
一、定轴轮系传动比的计算.....	125	第七节 链传动的运动特性和受力分析.....	159
二、周转轮系传动比的计算.....	126	一、传动比与链速的不均匀性.....	159
三、混合轮系传动比的计算.....	128	二、链传动的受力分析.....	160

第八节 链传动的正确使用和维护	161	二、传导螺旋	187
一、链传动的布置	161	三、调整螺旋	188
二、链传动的张紧	161	思考题	188
三、链传动的润滑	161	习题	189
四、链传动的维护	162	第十章 轴和轴毂连接	191
第九节 滚子链传动的设计计算简介	162	第一节 概述	191
一、链传动的主要失效形式	162	一、轴的分类	191
二、功率曲线图	163	二、设计轴应解决的主要问题	192
三、链传动的设计计算	164	三、轴的材料	192
四、链传动主要参数的选择	165	第二节 轴的结构设计	193
思考题	167	一、轴上零件的固定	194
习题	167	二、安装和加工要求	195
第九章 螺纹	168	第三节 轴的强度计算简介	195
第一节 螺纹的形成、主要参数和常用螺纹	168	一、按扭矩作初步计算	196
一、螺纹的形成与分类	168	二、按弯扭合成强度计算	196
二、螺纹的主要参数	169	第四节 轴毂连接	198
三、常用螺纹	169	一、键连接的类型	198
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	172	二、平键连接设计	200
一、螺旋副的受力分析	172	三、花键连接	201
二、效率和自锁	173	思考题	202
三、影响效率和自锁性能的几何因素	174	习题	203
第三节 螺纹连接和螺纹连接件	174	第十一章 轴承	205
一、螺纹连接的基本类型	174	第一节 概述	205
二、螺纹连接件的主要类型	175	第二节 滑动轴承的结构	205
第四节 螺纹连接的预紧和防松	177	一、向心滑动轴承	205
一、螺纹连接的预紧和拧紧力矩	177	二、推力滑动轴承	207
二、螺纹连接的防松	178	三、轴承材料	207
第五节 螺纹连接的强度计算简介	180	四、滑动轴承的润滑	208
一、松螺栓连接	180	第三节 非液体摩擦滑动轴承的计算	209
二、紧螺栓连接	180	一、轴承比压 p 的验算	210
三、螺栓材料和许用应力	184	二、轴承 p_v 值的验算	210
四、提高螺纹连接强度的措施	185	第四节 滚动轴承的结构、类型和代号	211
第六节 螺旋传动简介	187	一、滚动轴承的结构	211
一、传动螺旋	187	二、滚动轴承的类型	211
		三、滚动轴承的代号	214
		四、滚动轴承类型的选择	215
		第五节 滚动轴承的计算	215
		一、滚动轴承的失效形式	215

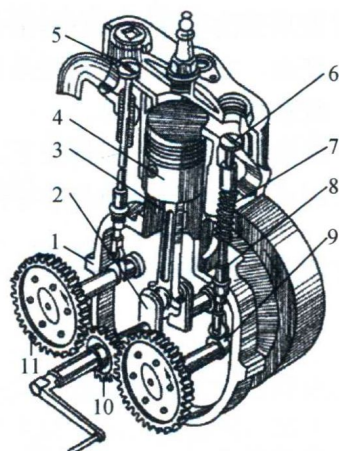
二、滚动轴承的计算	216	二、现代设计与传统设计	238
三、当量动载荷的计算	217	第二节 现代设计理论和方法的主 要内容及特点	239
四、角接触轴承轴向载荷的计算	217	一、现代设计理论和方法的主要 内容	239
五、滚动轴承的静载荷计算	218	二、现代设计方法的特点	240
第六节 滚动轴承组合设计	220	第三节 有限元法	240
一、滚动支承结构形式	220	一、概述	240
二、滚动轴承的轴向固定	220	二、单元特性的推导方法	242
三、滚动轴承的调整	221	三、工程应用案例	243
四、轴承的配合与装拆	221	第四节 动态设计	248
五、轴承的润滑和密封	222	一、概述	248
思考题	223	二、动态设计的有关概念和基本 原理	249
习题	223	三、工程应用案例	251
第十二章 联轴器和离合器	225	第五节 绿色设计	253
第一节 联轴器	225	一、概述	253
一、刚性联轴器	225	二、绿色设计的内容和方法	255
二、无弹性元件挠性联轴器	226	三、工程应用案例	259
三、非金属弹性元件挠性联轴器	229	思考题	260
四、联轴器的选择	229	第十五章 机械创新设计基础	261
第二节 离合器	230	第一节 创新设计的实质、特点、 类型和概念	261
一、牙嵌离合器	230	一、创新设计的实质	261
二、摩擦离合器	231	二、创造性思维的特点	261
思考题	232	三、创造性思维的类型	262
第十三章 弹簧	233	四、机械创新设计的概念	263
第一节 概述	233	第二节 常用创新方法简介	264
一、弹簧的功用	233	一、到何处去搜寻题材	264
二、弹簧的类型	233	二、创新的主要方法	265
三、圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的 结构	234	第三节 机械创新设计应用	269
第二节 弹簧的材料与制造	235	一、常见机构分析	270
一、弹簧的材料	235	二、各类机构简介	271
二、圆柱螺旋弹簧的制造	236	思考题	276
思考题	237	参考文献	277
第十四章 现代设计理论与方法概论	238		
第一节 现代设计	238		
一、现代设计内涵及发展历程	238		

第一章 总 论

第一节 机械的组成

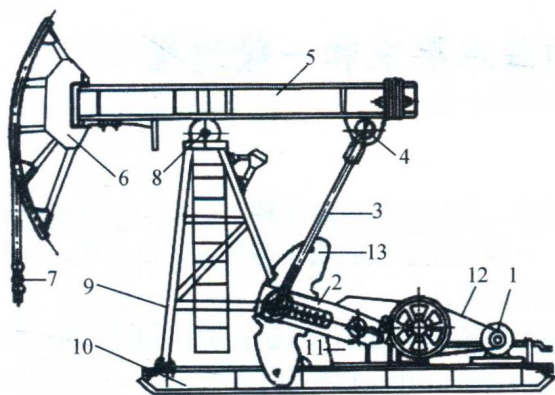
机械(machinery)是人类进行物质生产的重要工具,是实现现代化生产的基础,也是衡量社会生产力的重要标志之一。在长期的生产实践中,人类为了减轻劳动强度,改善劳动条件,提高劳动生产率,创造和发展了各种机械,如汽车、车床、电动机、缝纫机、洗衣机、抽油机等。

机械的种类繁多,其构造、性质和用途等各不相同。但从机械的组成分析,又有共同点,即都是由一些典型的机构和零件组成的,图 1-1 为单缸内燃机(internal- combustion engine)。当活塞 4 做往复移动时,通过连杆 3 使曲轴 2 做连续转动,从而将燃气的热能转化为曲轴 2 的机械能。为保证曲轴 2 连续转动,通过齿轮 10、11、凸轮 9、推杆 8 和弹簧 7 等的作用,按一定规律启闭阀 5 和阀 6,用以输入燃气和排出废气。图 1-2 为石油矿场采用的游梁式抽油机。整个抽油装置由电动机 1 带动,动力通过 V 带 12、减速器 11、曲柄摇杆机构和横梁 5,把电动机 1 的高速旋转运动变为了抽油机驴头 6 的低速上、下往复运动,通过悬绳器 7 带动抽油杆以实现油井中抽油泵往复的抽油运动。

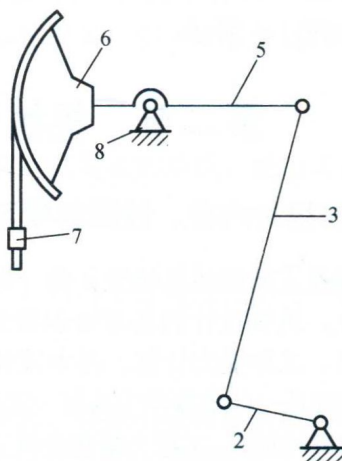


1—缸体; 2—曲轴; 3—连杆;
4—活塞; 5、6—气阀; 7—弹簧;
8—推杆; 9—凸轮; 10、11—齿轮

图 1-1 单缸内燃机



(a) 结构图



(b) 机构运动简图

1—电动机; 2—曲柄; 3—连杆; 4—平衡重; 5—横梁; 6—抽油机驴头; 7—悬绳器;
8—轴承座; 9—支架; 10—撬座; 11—减速器; 12—V 带; 13—平衡块

图 1-2 游梁式抽油机

从以上示例可知,机械具有下列三个共同特征:

- (1) 它们都是人为的实物组合体;
- (2) 各组合体之间具有确定的相对运动;
- (3) 能完成有效的机械功或转换机械能。

凡同时具备上述三个特征的组合体称为机器(machine),只具备前两个特征的组合体称为机构(mechanism);习惯上将机器与机构统称为机械。

机构中形成相对运动的各个运动单元称为构件(member, component),同一构件上的任意两点距离始终保持不变;零件(element)则是加工制造的基本单元。通常将机械零件分为通用机械零件(common mechanical elements)和专用机械零件(special mechanical elements)两大类。前者是在各种机器中经常都能用到的零件,如螺钉、齿轮、轴等,后者是在特定类型的机器中才能用到的零件,如石油钻井用的牙轮,泥浆泵的活塞、缸套及灌注泵的叶轮等。为完成同一使命,在结构上紧密联系在一起的一套协同工作的零件组合,称为部件(parts),如减速器、联轴器、离合器等。

就结构而言,一般情况下,机器是由各种机构组合而成,机构则是由若干构件以动连接组合而成,构件又是由若干零件以静连接组装而成,如图 1-3 所示。



图 1-3 机器按结构的组成关系

就功能而言,一部机器一般都包含有四个基本的组成部分。它们分别是:原动机(motive mechanism)、传动装置(transmission mechanism)、工作机(service mechanism)和控制系统(control system),其关系如图 1-4 所示。

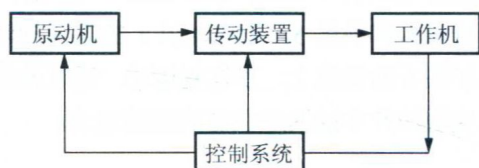


图 1-4 机器按功能的组成关系

第二节 机械设计的基本要求和一般过程

一、本课程的内容、性质和学习方法

本课程主要阐述机械设计的一般原则和程序,机械的组成,各种常用机构的组成原理和运动特点,机械设计的基本知识和基本理论,一般性能参数的通用零件的工作原理、结构、维护使用、工作能力计算、基本设计方法和选用原则。

本课程是一门培养学生具有一定机械设计能力的技术基础课,起着承前启后的桥梁作用。它综合运用机械制图、工程力学和金属工艺学等知识,解决常用机构和通用零件中的一些共性问题,力求结合石油钻采机械实例进行讨论,为专业课的学习打下一定的基础。

通过本课程的学习,应达到的基本要求如下:

- (1) 掌握常用机构的基本结构、工作原理、运动特点 and 设计方法,初步具有分析和设计一般机构的能力,并对机械运动方案的选用有所了解;

(2) 掌握通用机械零件的工作原理、特点、选用原则,了解设计计算的基本知识,并初步具有设计一般简单机械及常用机械传动装置的能力;

(3) 具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

由于机械设计涉及的知识面较广,且着重于实际应用,因此在学习本课程时,应提倡“加强课堂教学,培养自学能力,树立正确的设计观念,理论联系实际”的27字教学方针。

二、机械设计的基本要求

尽管机械的类型很多,但其设计的基本要求是工作可靠、成本低,具体体现在以下几方面。

1. 实现预定的功能要求

功能性要求即要求所设计的机械或零件在规定的工作期限内能有效地完成预定的全部职能。

2. 使用要求

机器应在规定的工作条件下,在设计所确定的工作期限内,具有设计所要求的可靠性,能保持正常运行,而且操纵时轻便、省力、安全、易维护保养等。

3. 经济性要求

机器的经济性指标是一个综合性指标,它与设计、制造、使用等各方面有关,总的要求是成本低、生产效率高、维护费用较低等。

4. 其他要求

例如,机器的外观造型设计应给人以时代感、安全感;消防、起重机械应使用鲜艳、醒目色,给人以紧迫、预警感;医疗、仪器机械应使用浅色,给人以卫生、安静感;某些机械还有其他特殊要求,例如,运行式机械(如飞机)要求质量轻;大型或经常流动作业的机械(如建筑机械、钻探机械等)要求便于拆卸、运输、安装等,这些要求应视机器的特点、使用场合等情况而确定。

三、机械设计的一般过程

机械设计没有一成不变的固定程序,常因具体条件不同而异,但一般设计过程有以下四个阶段。

1. 计划阶段

在进行充分的需求分析、市场调查与预测后,明确机器应具备的功能,提出设计任务,明确任务要求和细节。

2. 方案设计阶段

根据任务与要求,拟定能实现预定功能的可能方案,并对各个方案进行综合评价,最后作出抉择,选出最佳设计方案。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段是对所选的最佳设计方案结构化、具体化,并做出该设计所需的零件工作图、部分装配图和总装配图,编写设计计算说明书、使用说明书等必要的技术文件。

4. 试制、鉴定与投产

新设计的机械产品在投产前,需经过试制、鉴定,进行必要的修改和小批量试生产,进一步改进设计后定型,然后才能大批量生产。

以上四个阶段间的关系与工作顺序如图1-5所示。

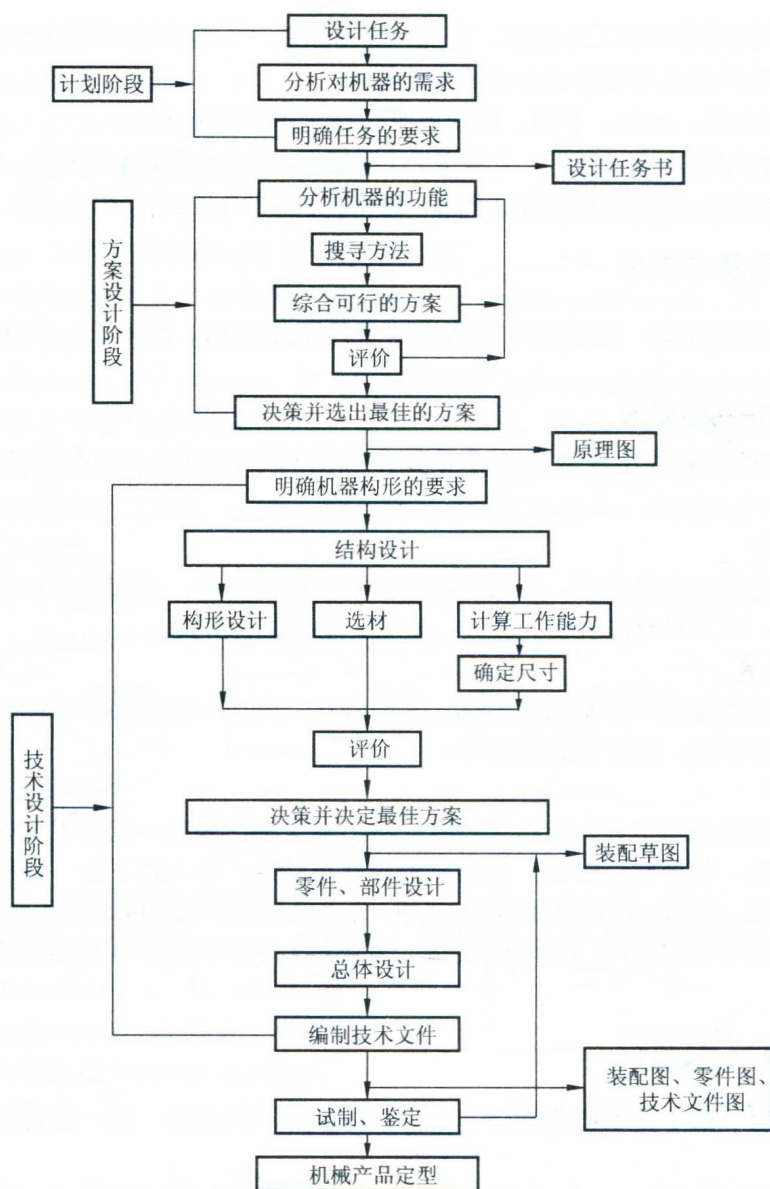


图 1-5 机械设计的一般过程

综上所述，机械设计应贯彻“七事一贯制”的设计方法，即试验、研究、设计、制造、安装、使用、维护。机械产品成本的 70% 取决于设计阶段，同时设计过程对产品质量有决定性的作用，所以该阶段极为重要。

四、机械零件设计的一般步骤

当机械的总体布置和最佳结构方案已确定以及力学分析已基本完成时，就要进行零件的设计。其设计步骤如下：

- (1) 合理选择材料；
- (2) 拟定设计计算简图；
- (3) 依据相应的计算准则确定各零件的主要尺寸，并进行必要的校核；
- (4) 结构设计，根据计算出的基本尺寸，考虑加工工艺性要求，确定零件各细部的结构和尺寸；
- (5) 绘制零件工作图并标注必要的技术条件。

第三节 机械零件的工作能力和计算准则

机械零件抵抗失效(failure)的能力,称为工作能力或承载能力(load carrying capacity)。失效是指零件由于某些原因不能正常工作的现象。衡量零件工作能力的指标,称为零件工作能力准则,主要准则有强度、刚度、耐磨性、振动稳定性及耐热性等。对于具体零件,应根据它们的主要失效形式,采用相应的计算准则。

一、强度

强度(strength)是零件抵抗断裂、表面失效及塑性变形的能力,强度计算是保证零件工作能力的最基本计算准则,强度准则为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] \quad (1-1)$$

式中, σ 、 τ 为零件的工作正应力和剪应力, MPa; $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 为材料的许用正应力和许用剪应力, MPa。

应当注意,强度虽是保证零件工作能力的最基本计算准则,但不能过分地要求,否则导致零件尺寸过大。

二、刚度

刚度(rigidity)是零件在一定载荷作用下,抵抗弹性变形的能力。零件刚度不够时会影响机械的正常工作。有些零件,如机床主轴、电动机轴等,其初始尺寸是根据刚度要求确定的。刚度计算准则为

$$y \leq [y] \quad \text{或} \quad \phi \leq [\phi] \quad (1-2)$$

式中, y 、 ϕ 为零件的变形量(伸长、挠度等)和变形角(挠角、扭转角); $[y]$ 、 $[\phi]$ 为零件的许用变形量(许用挠度、许用偏转角和许用扭转角)。

实践证明,能满足刚度要求的零件,一般而言,其强度是足够的。

提高刚度的有效措施是:改变零件的截面形状和增大截面尺寸,减小支承跨距,可能情况下可以合理增添加强筋。由于各种钢材的弹性模量相差很小,通过选用高强度钢来提高零件的刚度几乎是没有什么效果的。

三、耐磨性

运动副之间的摩擦将导致机件表面材料的逐渐丧失或转移,即形成磨损(wear)。磨损会逐渐改变零件的尺寸和摩擦表面形状。零件抗磨损的能力称为耐磨性(wearability)。零件的磨损将导致其强度、机械的精度和效率降低,最终使零件乃至机械报废。磨损是复杂的物理化学过程,它与许多因素有关。

据统计,工程中约有 80% 的零件是因磨损而报废的,所以研究有关零件的耐磨性具有重大意义。下面简要介绍机械中磨损的主要类型:

(1) 黏着磨损(adhere wear): 摩擦表面受载时,实际上只有部分尖顶接触,接触处压强很大,能使材料产生塑性流动,即接触处发生黏着,滑动时会使接触表面材料由一个表面移动到另一个表面,这种现象称为黏着磨损。载荷越大,表面温度越高,黏着磨损也越严重。

(2) 磨料磨损(abrasive wear): 硬质颗粒或摩擦表面上的硬质突出物, 在摩擦过程中引起材料脱落的现象称为磨料磨损。磨料磨损和摩擦材料的硬度与磨料的硬度有关, 磨料的硬度大于金属材料的硬度, 磨料磨损也更严重。

(3) 疲劳磨损(fatigue wear): 受交变接触应力的摩擦副, 在其表面上将形成疲劳点蚀, 有小块金属剥落, 这种现象称为疲劳磨损。

(4) 腐蚀磨损(corrode wear): 在摩擦过程中, 与周围介质发生化学反应或电化学反应的磨损称为腐蚀磨损。

目前, 比较简单和成熟的零件磨损计算, 只能进行条件估算, 如对向心轴承的验算为

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

$$pv \leq [pv] \quad (1-4)$$

式中, $[p]$ 、 $[pv]$ 为由工作条件及材料试验确定的许用值, MPa, $(\text{N/mm}^2) \cdot (\text{m/s})$; p 为工作表面的压强, MPa; v 为摩擦副表面的相对滑动速度, m/s。

四、振动稳定性

高速运转的机械容易产生振动(vibration)。振动产生的额外应变力, 会使零件出现早期疲劳破坏, 也使机械工作不良, 并增大机械的噪声。

当循环载荷的频率接近机械系统和零件的固有频率时, 将发生共振(resonance)。这时零件的振幅急剧增大, 这种现象称为失去振动稳定性。共振能导致零件在短期内断裂, 甚至造成重大事故。因此, 对高速机械应进行振动分析和计算以保证零件的振动稳定性(vibratility)。常用的防振、减振有效措施有: 改变机械的自振频率, 提高制造精度, 减少零件之间的冲击和动载荷, 进行机械的平衡, 增加阻尼系统, 提高材料和结构的衰减系数, 采用缓振、隔振装置等。

五、耐热性

在高温(钢在 300°C 以上, 轻合金在 $100\sim 150^\circ\text{C}$ 以上)下工作的零件, 其强度极限和疲劳极限都将急剧下降, 并可能出现蠕变(creep), 引起热变形和热应力。因此, 在高温下工作的零件对耐热性(heat-resistance)有一定的要求, 必要时应进行蠕变计算, 一般应进行热平衡计算, 判断工作温度是否超过允用温度。

必须指出, 上述各项工作能力的计算, 并非要求每种零件都必须全部验算, 而应根据具体情况确定。

第四节 许用应力和安全系数

载荷及其引起的应力作用, 是机械零件发生损伤(damage)甚至失效的主要原因。因此, 首先应分析载荷情况和应力情况。

一、机械零件的载荷分类

载荷可分为静载荷(static load)和变载荷(varying load), 又可分为名义载荷(nominal load)和计算载荷(calculating load)。例如, 零件传递的功率为 $P(\text{kW})$ 、转速为 $n(\text{r/min})$, 该零件所承受的名义扭矩 $T(\text{N} \cdot \text{m})$ 为

$$T = 9550 \frac{P}{n} \quad (1-5)$$

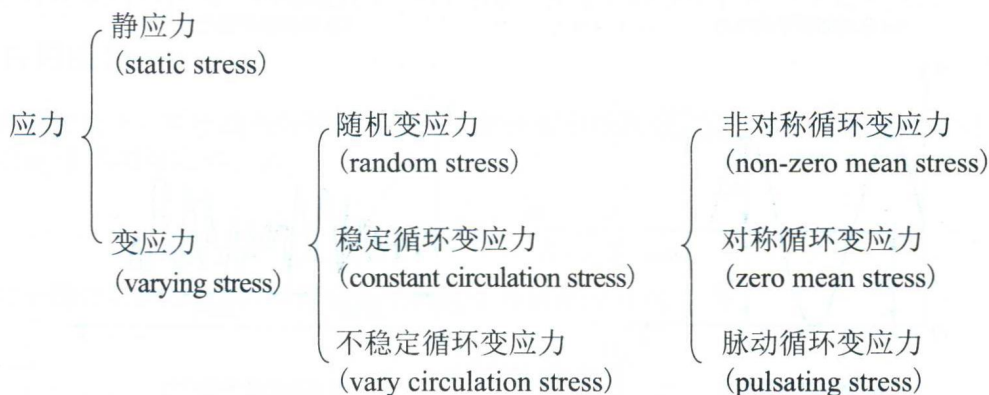
考虑载荷随时间变化和在零件上分布不均等因素, 其计算扭矩(calculating torque) T_c 为

$$T_c = KT \quad (1-6)$$

式中, K 为载荷系数(load factor)。

二、机械零件的应力分类

应力特性对零件的强度有直接影响, 按应力(σ)随时间(t)变化特性分类如图 1-6 所示。



应力循环特性(asymmetry factor)以 r 表示, 其计算公式为

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1-7)$$

按应力在零件上的分布情况可分为体应力(volume stress)和表面应力(surface stress)。产生并分布于零件体各质点的应力称为体应力, 如拉伸应力 σ 、弯曲应力 σ_b 和剪切应力 τ 等。产生并分布于零件表面的应力称为表面应力, 表面应力包括挤压应力(extruding stress) σ_p 和接触应力(contacting stress) σ_H 。两个具有一定曲面的零件表面接触, 未受载时为点或线接触, 如滚动轴承中的滚动体与内、外座圈, 齿轮轮齿等, 受载后, 在接触表面产生局部的弹性变形, 形成小的接触面积, 在此面积上不均匀地分布着接触应力, 此时零件的强度称为接触强度(contacting strength)。为保证零件在规定的使用期限内不致产生表面失效, 必须进行接触强度计算。

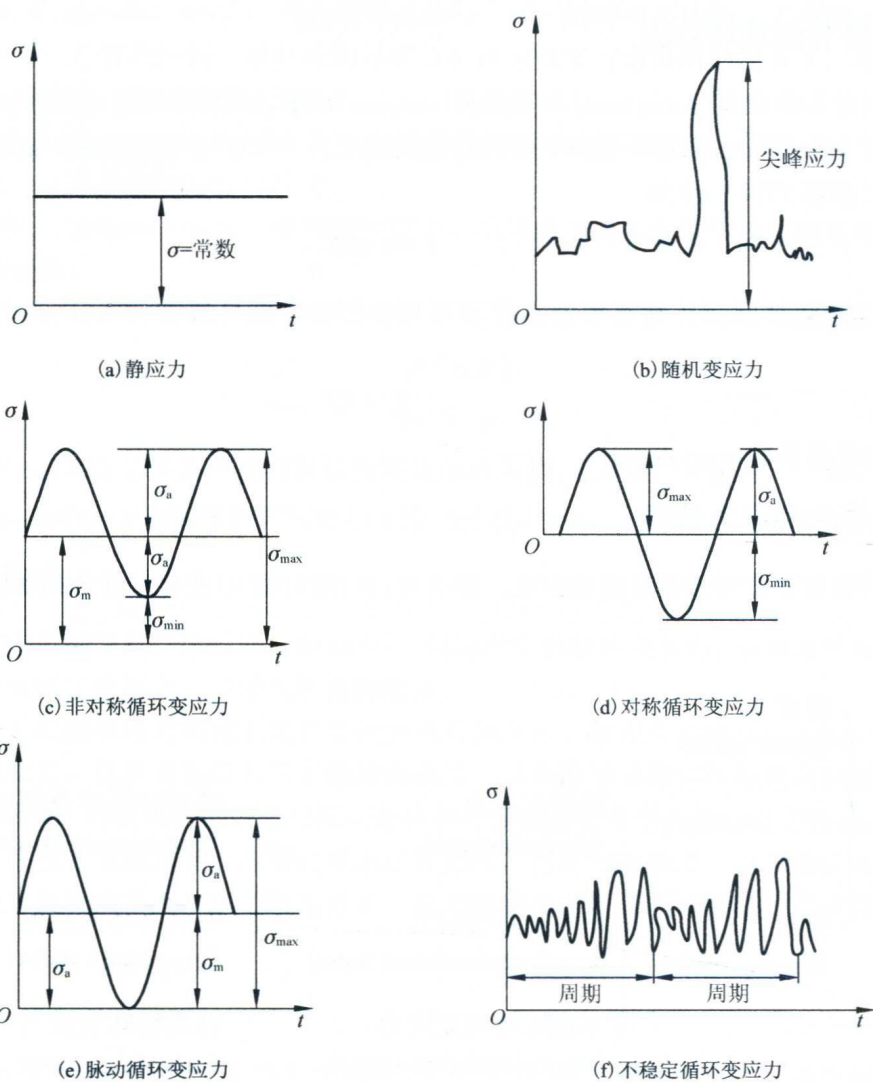


图 1-6 应力分类

常见的轴线平行的两圆柱体所受的接触应力，如图 1-7 所示。

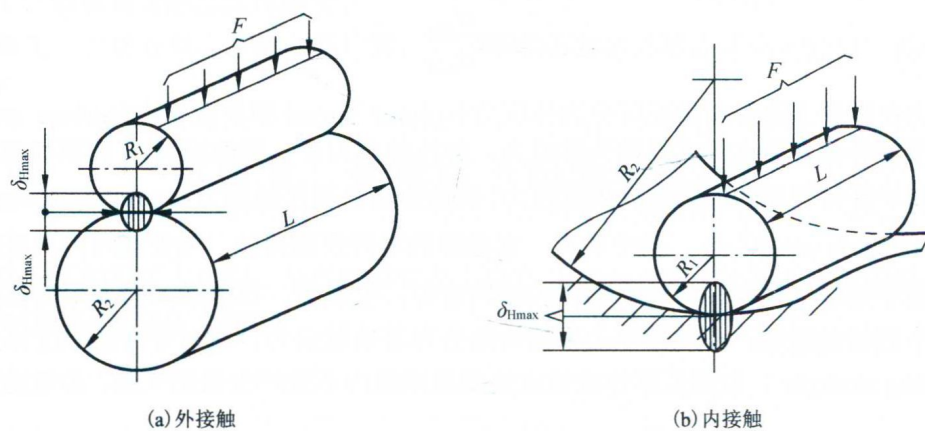


图 1-7 圆柱体的接触应力