

高等 学校 教材

机械设计 基础

JIXIESHEJIJICHU

邓茂云◎主编 陈浩 艾志久◎副主编



石油工业出版社

高等学校教材

机械设计基础

主 编 邓茂云

副主编 陈 浩 艾志久

石油工业出版社

内 容 提 要

本书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,机构设计的基本知识和基本理论,通用零件的工作原理、结构、工作能力计算,基本设计方法和选用原则。本书各章后附思考题和习题,以便于复习、巩固。

本书可作为高等学校基础课程的教材,也可用于自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/邓茂云主编.

北京:石油工业出版社,2005.8

ISBN 7-5021-5166-4

I. 机…

II. 邓…

III. 机械设计

IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 087047 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 西南石油学院印刷厂

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 16.75

字数: 427 千字 印数: 1—1300 册

定价: 22.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

本书是根据 1995 年 5 月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）》，并结合石油工程、石油储运、工业自动化、材料、工业设计、环境工程、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 21 世纪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，时至今日经历了七年时间，通过了三次大的编写和改动，编写者对本课程的教学改革进行了大胆尝试和探索，构成了本教材的基本框架。

考虑到近机、非机类专业对本课程的教学要求，编者对教材内容进行了必要的整合。在内容的选择上力求精，突出了实用性，注重加强基础和各章节的联系，适当体现了一定的石油行业特色和各学科的交叉、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，编写了现代设计方法概述一章；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，以使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的意识，并掌握机械创新设计的基本原则和基本方法。

参加本书编写的有：西南石油学院邓茂云（第一、二、三、四、五、七、十二、十三章），艾志久（第十四、十五章），陈浩（第九、十、十一章），广州大学游思坤（第六、八章）。本书由邓茂云担任主编，陈浩、艾志久担任副主编，全书的图由邓茂云制作。全书由华南理工大学李杞仪教授，西南石油学院杨启明教授、张忠良教授、刘启森副教授在繁忙中进行了审阅，并提出了许多宝贵意见和建议。

在编写本书的过程中，曾得到许多同仁的大力帮助和支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，错误和误漏之处在所难免，诚望读者给予指正。

邓茂云

2005 年 7 月

目 录

第一章 总论	(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过程	(2)
第三节 机械零件的工作能力和计算准则	(5)
第四节 许用应力和安全系数	(6)
第五节 机械设计中常用材料及选择原则	(9)
第六节 机械零件的工艺性和标准化	(10)
思考题	(12)
第二章 平面机构运动简图及自由度	(13)
第一节 运动副及其分类	(13)
第二节 平面机构运动简图	(14)
第三节 平面机构自由度的计算	(16)
思考题	(19)
习题	(20)
第三章 平面连杆机构	(22)
第一节 平面连杆机构概述	(22)
第二节 铰链四杆机构的基本知识	(26)
第三节 平面四杆机构的设计	(29)
思考题	(35)
习题	(35)
第四章 凸轮机构	(37)
第一节 凸轮机构的应用和分类	(37)
第二节 从动件的常用运动规律	(39)
第三节 凸轮机构的设计	(42)
第四节 其他常用机构	(50)
思考题	(52)
习题	(52)
第五章 齿轮传动	(54)
第一节 齿轮传动的特点和类型	(54)
第二节 齿廓啮合的基本定律	(56)
第三节 渐开线齿廓	(57)
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及几何参数	(59)
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	(63)
第六节 渐开线圆柱齿轮轮齿切削原理和齿轮精度选择	(65)
第七节 渐开线圆柱齿轮的切齿干涉现象及变位齿轮简介	(68)

第八节 齿轮的失效形式和设计准则	(70)
第九节 齿轮的材料和许用应力	(72)
第十节 直齿圆柱齿轮传动的承载能力计算	(76)
第十一节 斜齿圆柱齿轮传动	(85)
第十二节 直齿圆锥齿轮传动	(90)
第十三节 齿轮的结构及润滑	(95)
思考题	(99)
习题	(100)
第六章 蜗杆传动	(103)
第一节 蜗杆传动的特点及类型	(103)
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(105)
第三节 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	(109)
第四节 蜗杆传动的强度计算简介	(110)
第五节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(113)
思考题	(116)
习题	(116)
第七章 轮系和减速器	(118)
第一节 轮系的分类	(118)
第二节 轮系传动比的计算	(120)
第三节 轮系的应用及其他类型的行星传动	(125)
第四节 减速器	(130)
思考题	(134)
习题	(135)
第八章 带传动和链传动	(137)
第一节 带传动的主要类型、特点和应用	(137)
第二节 V 带传动的结构及尺寸参数	(138)
第三节 带传动工作情况分析、使用及维护	(142)
第四节 V 带传动的设计计算简介	(146)
第五节 链传动的特点和应用	(152)
第六节 链传动的结构	(152)
第七节 链传动的运动特性和受力分析	(155)
第八节 链传动的正确使用和维护	(157)
第九节 滚子链传动的设计计算简介	(158)
思考题	(163)
习题	(164)
第九章 螺纹连接	(165)
第一节 螺纹的形成、主要参数和常用螺纹	(165)
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁	(169)
第三节 螺纹连接和螺纹连接件	(172)
第四节 螺纹连接的强度计算简介	(177)

第五节 螺旋传动简介·····	(184)
思考题·····	(185)
习题·····	(185)
第十章 轴和轴毂连接·····	(187)
第一节 概述·····	(187)
第二节 轴的结构设计·····	(189)
第三节 轴的强度计算简介·····	(191)
第四节 轴毂连接·····	(194)
思考题·····	(198)
习题·····	(198)
第十一章 轴承·····	(200)
第一节 概述·····	(200)
第二节 滑动轴承的结构·····	(200)
第三节 非液体摩擦滑动轴承的计算·····	(204)
第四节 滚动轴承的结构、类型和代号·····	(206)
第五节 滚动轴承的计算·····	(211)
第六节 滚动轴承组合设计·····	(215)
思考题·····	(218)
习题·····	(218)
第十二章 联轴器和离合器·····	(220)
第一节 联轴器·····	(220)
第二节 离合器·····	(225)
思考题·····	(227)
第十三章 弹簧·····	(228)
第一节 概述·····	(228)
第二节 弹簧的材料与制造·····	(230)
思考题·····	(232)
第十四章 现代设计方法概述·····	(233)
第一节 计算机辅助设计·····	(233)
第二节 优化设计·····	(240)
思考题·····	(244)
第十五章 机械创新设计基础·····	(245)
第一节 创新设计的实质、特点、类型和概念·····	(245)
第二节 常用创新方法简介·····	(247)
第三节 机械创新设计应用·····	(253)
思考题·····	(260)
参考文献·····	(261)

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、压力机、摩托车、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, 如图 1-1 所示为单缸内燃机。当燃气推动活塞 4 作往复移动时, 通过连杆 3 使曲轴 2 作连续转动, 从而将燃气的热能转换为曲轴的机械能。为保证曲轴 2 连续转动, 通过齿轮、凸轮、推杆和弹簧等的作用, 按一定规律启闭阀门, 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、减速箱 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。

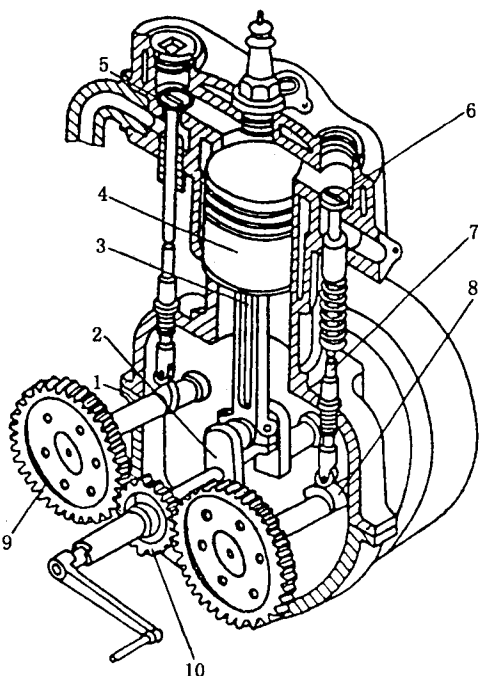


图 1-1 单缸内燃机

1—缸体; 2—曲轴; 3—连杆; 4—活塞; 5—进气阀;
6—排气阀; 7—推杆; 8—凸轮; 9, 10—齿轮

从以上示例可知, 机械具有下列三个共同特征:

- (1) 它们是人造的实物组合体;
- (2) 各部分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者称为机器 (Machine)。只具备前两个特征者称为机构 (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), 零件 (Element) 则是制造的基本单元。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。

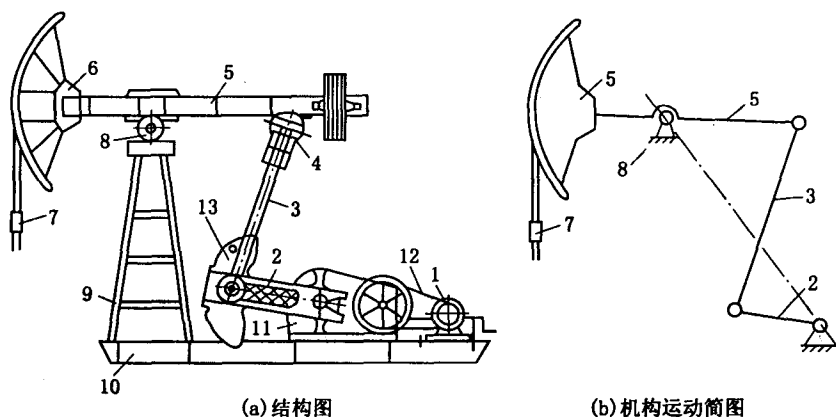


图 1-2 游梁式抽油机

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

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。

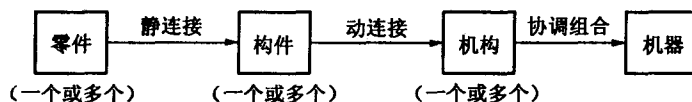


图 1-3 机器结构的组成关系

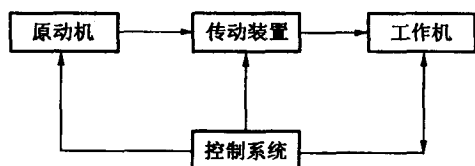


图 1-4 机器按功能的组成

就功能而言，任何一部完整的机器，都是由四个本质不同的部分组成。它们是：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。

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，机构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，来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，应达到的基本要求是：

(1) 掌握常用机构的基本结构、工作原理、运动特点和设计方法，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) 具有运用有关标准、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,树立设计观念,理论联系实际”的24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,满足运动和动力性能的要求

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执行预定的全部职能,所以要了解机器的工作原理,并能正确地选择机构的类型和传动方案。

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,且易维护保养等。

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、生产周期短、生产率高、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、醒目的颜色,给人以紧迫、预警感;医疗、食品机械应使用浅色,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和市场调查与预测后,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多个方案,并对各方案进行综合、评价,最后作出决策,选出最佳设计方案。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段是将决策出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、部件装配图和总装配图,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。

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、

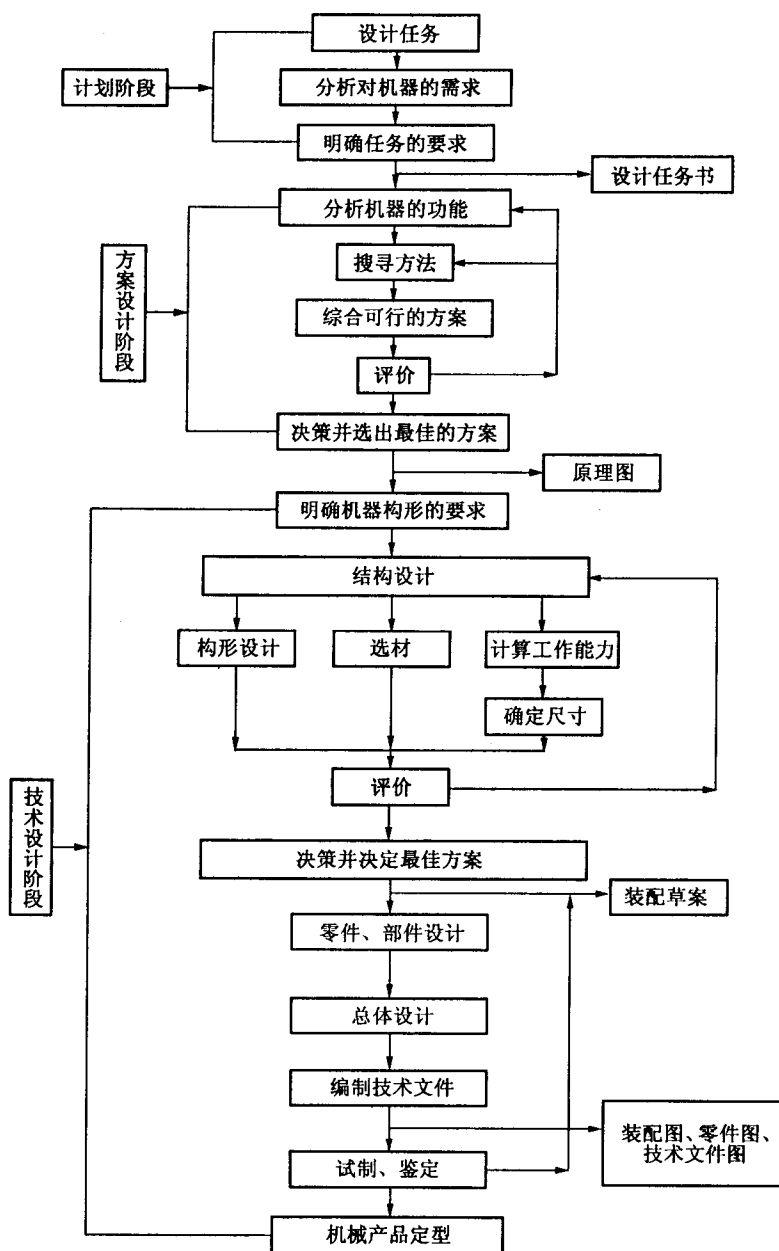


图 1-5 机械设计的一般过程

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结构最佳方案已确定，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) 进行工作能力的计算与校核, 依据工作能力, 确定各零件的基本尺寸。
- (4) 结构设计, 根据计算出的基本尺寸, 考虑到加工工艺性要求, 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 (Strength)

强度是零件抵抗断裂、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 ——零件的工作正应力和剪应力, MPa;

$[\sigma], [\tau]$ ——材料的许用正应力和剪应力, 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, 否则将使零件尺寸过大。

二、刚度 (Rigidity)

刚度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 ——零件的变形量 (伸长、挠度等) 和变形角 (挠角、扭转角);

$[y], [\phi]$ ——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, 不能通过选用高强度钢来提高零件的刚度。

三、耐磨性 (Wearability)

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

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 $[p]$, $[pv]$ —— 由不同工作条件及材料试验确定的许用值, MPa, $(\text{N}/\text{mm}^2) \cdot (\text{m}/\text{s})$;

p —— 工作表面的压强, MPa;

v —— 摩擦副表面的相对滑动速度, m/s。

四、振动稳定性 (Vibratility)

高速运转的机械容易产生振动 (Vibration)。振动产生的额外变应力, 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。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 (Heat-resistance)

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, 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进行, 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 (kW)、转速为 n (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 ——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，按应力随时间变化特性分类如图 1-6 所示。

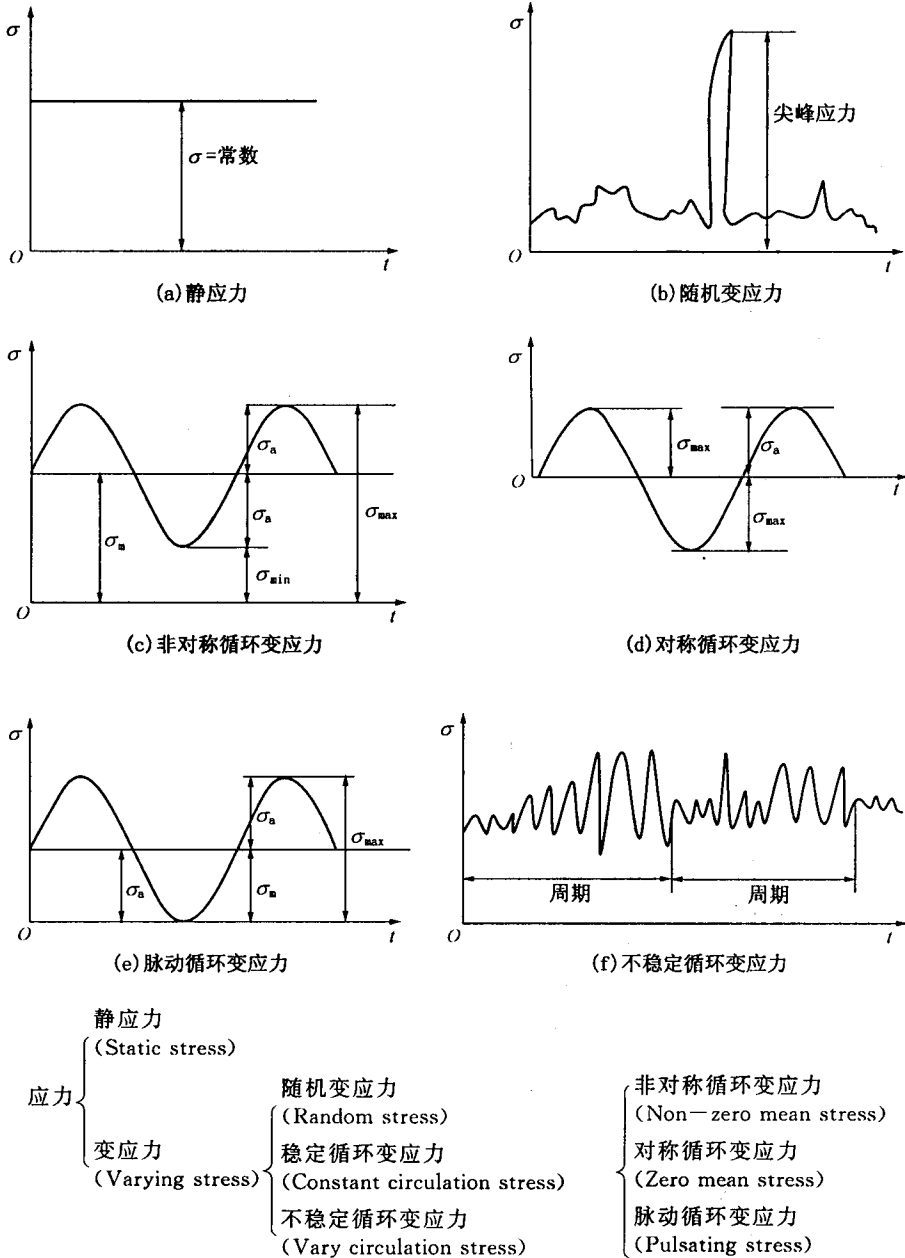


图 1-6 应力分类

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, 必须进行接触应力计算。

现将常见的轴线平行的两圆柱体的接触应力计算简介如下, 见图 1-7。

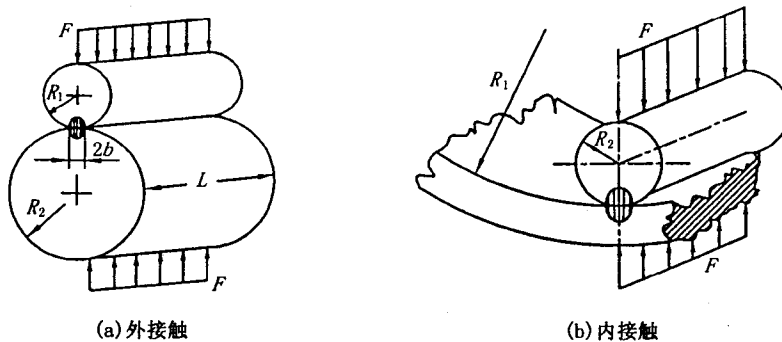


图 1-7 圆柱体的接触应力

如图 1-7 所示, 当两个轴线平行的圆柱相互接触受载时, 其最大接触应力 $\sigma_{H\max}$ 为:

$$\sigma_{H\max} = \sqrt{\frac{F}{\pi L} \cdot \frac{\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}}{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)}} \quad (1-8)$$

式中 $\sigma_{H\max}$ ——最大接触应力或赫兹 (Hertz) 应力, MPa;

F ——在圆柱体上的法向力, N;

L ——两圆柱体接触线长度, mm;

R_1, R_2 ——分别为两圆柱体的曲率半径 (正号用于外接触, 负号用于内接触), mm;

ν_1, ν_2 ——分别为两圆柱体材料的泊松比;

E_1, E_2 ——分别为两圆柱体材料的弹性模量, MPa。

表面接触应力具有上下相等、左右对称及稍离接触区中线迅速降低的特点。零件的接触疲劳强度条件为:

$$\sigma_{H\max} \leq [\sigma_H] \quad (1-9)$$

提高零件的表面接触疲劳强度的有效措施有: 提高零件表面硬度、提高零件表面加工质量和选用粘度较高的润滑油等。

应当注意, 静应力只能由静载荷产生, 而变应力可能由变载荷产生, 也可能由静载荷产生。零件在静应力作用下的强度计算和在变应力作用下的强度计算方法是不同的。

三、许用应力

在静应力下，零件的失效形式主要有：塑性变形或断裂。对于塑性（Ductile）材料，应取屈服极限 σ_s 作为极限应力，即：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} = \frac{\sigma_s}{S} \quad (1-10)$$

对于脆性（Brittle）材料，应取强度极限作为极限应力 σ_B ，即：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} = \frac{\sigma_B}{S} \quad (1-11)$$

式中 σ_{lim} ——极限应力（Limiting stress）；

S ——安全系数（Factor of safety）。

在变应力下，零件的失效形式常为疲劳断裂（Fatigue rupture）。此时零件的许用应力为：

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\epsilon_s \sigma_{-1} \beta}{K_s S} \quad (1-12)$$

$$[\sigma_0] = \frac{\epsilon_s \sigma_0 \beta}{K_s S} \quad (1-13)$$

式中 σ_{-1} ——对称循环疲劳极限；

σ_0 ——脉动循环疲劳极限；

K_s ——应力集中系数；

ϵ_s ——尺寸系数；

β ——表面状态系数。

其中， K_s ， ϵ_s ， β 的数值可在材料力学或有关设计手册中查到。

式（1-10）、式（1-11）、式（1-12）、式（1-13）中的安全系数的确定有查表法和系数法两种。查表法见相应各章节，系数法是用几个系数的乘积来确定总的安全系数，即：

$$S = S_1 S_2 S_3 \quad (1-14)$$

式中 S_1 ——考虑零件载荷和应力计算准确性的系数，取 $S_1 = 1.0 \sim 1.5$ ；

S_2 ——考虑零件材料的可靠性系数，锻钢、轧钢取 $S_2 = 1.2 \sim 1.5$ ；铸铁取 $S_2 = 1.5 \sim 2.5$ ；

S_3 ——零件的重要性系数，取 $S_3 = 1.0 \sim 1.5$ 。

第五节 机械设计中常用材料及选择原则

机械设计中常用材料有钢、铸铁、有色合金和非金属材料。常用材料的牌号及力学性能见表 1-1。现着重讨论常用材料的选用原则。

表 1-1 常用材料的牌号及力学性能

材 料		力 学 性 能			试件尺寸 mm
类 别	牌 号	强度极限 σ_B MPa	屈服极限 σ_s MPa	延伸率 δ %	
碳素结构钢	Q215	335410	215	31	$d \leq 16$
	Q235	375460	235	26	
	Q275	490610	275	20	

续表

材 料		力 学 性 能			试件尺寸 mm
类 别	牌 号	强度极限 σ_B MPa	屈服极限 σ_s MPa	延伸率 δ %	
优质碳素结构钢	20	410	245	25	$d \leq 25$
	35	530	315	20	
	45	600	355	16	
合金结构钢	35SiMn	883	735	15	$d \leq 25$
	40Cr	981	785	9	$d \leq 25$
	20CrMnTi	1079	834	10	$d \leq 15$
	65Mn	981	785	8	$d \leq 80$
铸 钢	ZG270—500	500	270	18	$d \leq 100$
	ZG310—570	570	310	15	
	ZG42SiMn	600	380	12	
灰铸铁	HT150	145	—	—	壁厚 10~20
	HT200	195	—	—	
	HT250	240	—	—	
球墨铸铁	QT400—15	400	250	15	壁厚 30~200
	QT500—7	500	320	7	
	QT600—3	600	370	3	

注：钢铁材料的硬度与热处理方法、试件尺寸等因素有关，其数值详见《机械设计手册》及本书有关章节。

一、满足使用要求

满足使用要求就是要使所选用的材料制成的零件能在规定的寿命期内按设计的要求正常工作。对于不同机器及零件其侧重点又有不同，应考虑零件的重要性，受力的大小及性质、工作状态、工作环境、尺寸限制及其他一些特殊性能要求等。

二、符合工艺要求

工艺要求就是在制造零件的全过程中，所选的材料从毛坯到制成合格的零件都要适应铸、锻、焊、热处理、切削等各种加工工艺要求。

三、综合经济要求

综合经济效益好是一切产品追求的最终目标，故选择零件材料时，应尽可能选择能满足上述两项要求而价格低廉的材料。不能只考虑材料的价格，还应考虑加工成本及维修费用，即考虑综合经济效益。

第六节 机械零件的工艺性和标准化

一、机械零件的工艺性

机械零件的结构应具有良好的工艺性，即在满足使用要求的前提下，能用最简单的工艺方法，最少的时间、劳动量、设备、工具、费用生产出来。既满足使用要求，又有良好工艺性的零件结构才是合理的结构。

设计机械零件时，通常从以下几方面考虑零件的结构工艺性。

1. 毛坯选择合理

零件的毛坯可用铸造、锻造、轧制、冲压、焊接等方法成形。选择毛坯种类时，应考虑