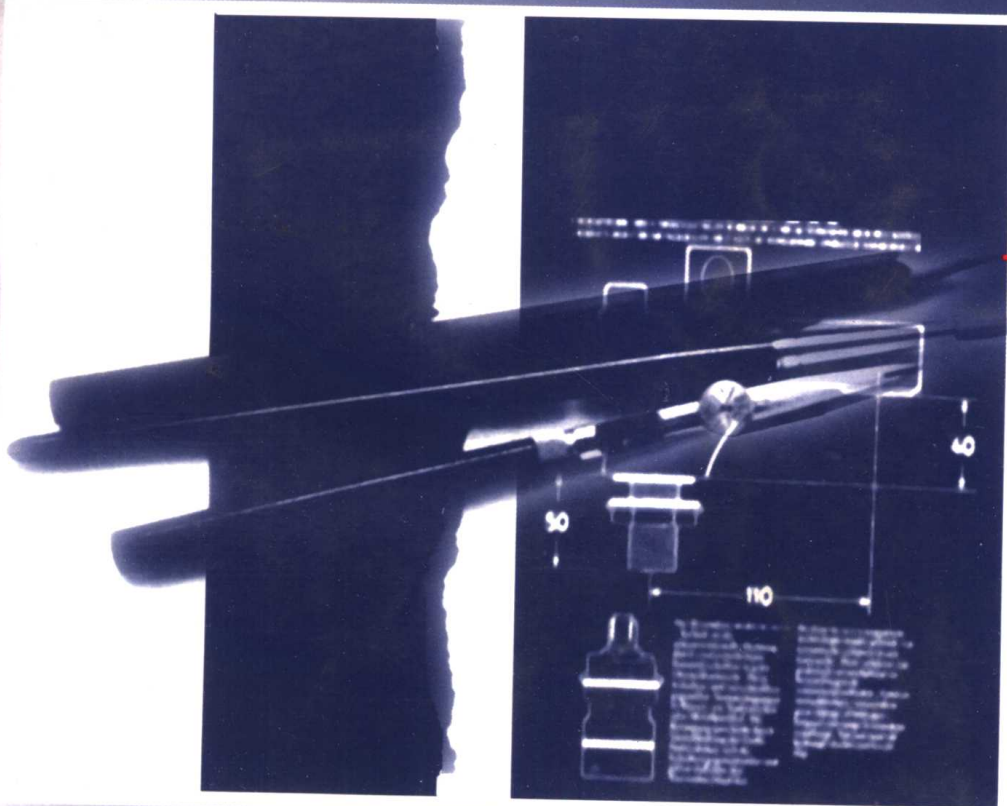


实用机械设计

王中发 主编
吴宗泽 主审

SHIYONG
JIXIE
SHEJI ▲



北京理工大学出版社

实用机械设计

王中发 主编

吴宗泽 主审

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书力图包括通用机械设计(特别是传动设计)所需的必要的基础知识,以及它们的设计内容和方法,其主要内容有:

第一章~第三章为平面杆机构和凸轮机构设计;第四章~第十五章主要为传动件与轮系的设计计算、间歇运动机构设计、机械调速和回转件平衡的概念;第十六章~第十八章为联接件的设计、选择和计算;第十九章~第二十二章为轴系的设计计算和联轴器与离合器的选择;第二十三章 为常用弹簧的设计计算;第二十四章为设计思维、方法、要求和设计程序的概念简介。

本书特别适于作为高等理工科院校的近机类各专业的《机械设计基础》课程的主要教材以及机械类《机械设计》课程改革教材,也可以作为机械工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

实用机械设计/王中发主编. —北京:北京理工大学出版社, 1998. 2

高校教材

ISBN 7-81045-372-6

I. 实… I. 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(97)第 27894 号

责任印制:李绍英 责任校对:林 晖

北京理工大学出版社

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码 100081 电话 (010)68912824

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 31 印张 757 千字

1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 38.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

前 言

本教材的内容是按《国家教育委员会关于高等学校工科本科部分基础课程教学基本要求》的精神和《机械设计基础课程教学基本要求》(1993年11月修订草案)的内容,并结合教改的要求以不同专业要求的不同学时(70学时到90学时)范围而定的。

本教材加强了通用机构、零部件的设计计算和结构设计,加强了与整机设计概念的密切联系,突出各种零件在整机内的不同作用,使学生明确机械设计是一门综合性较强的系统工程的概念,逐步树立正确的产品发明思维和设计方法,尽快掌握对一般机械的实用设计方法,以符合我国飞速发展的形势对大学毕业生越来越高的要求。

本书第二十四章内容和第十六章~第二十四章的习题由张玉荣编写,其余由王中发编写。全书由清华大学吴宗泽教授主审,北京理工大学李振清教授也做了审核工作,在此表示敬谢!

“机械设计基础”课程除《实用机械设计》一书作为主要教材外,还需要一套完整的配套教材,如《机械设计简明手册》、《机械设计课程设计指导书》、《机械设计课程设计图册》等。

对近机类各专业的课内学时数可定为80学时~90学时;对非机类可定为70学时左右,其内容可做删减。

本书尽量采用最新标准,对未标出具体国标号者,以能体现其原理和应用原则为主,学生可以当前实用的国家标准标号为准。

由于编著者水平和经验所限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

1998年1月于北京

00681/01

目 录

绪 论	(1)
§ 0-1 课程性质、内容和任务	(1)
§ 0-2 机器的组成	(1)
§ 0-3 机械设计过程简介	(3)
§ 0-4 载荷分析	(4)
§ 0-5 应力分析	(5)
§ 0-6 机械零件主要失效形式	(6)
§ 0-7 机械零件设计原则	(6)
§ 0-8 常用工程材料简介	(11)
习题	(14)
第一章 机构运动简图及自由度	(15)
§ 1-1 运动副	(15)
§ 1-2 平面机构运动简图	(16)
§ 1-3 平面机构的自由度	(19)
§ 1-4 实用设计(计算)步骤	(21)
习题	(22)
第二章 平面杆机构	(25)
§ 2-1 铰链四杆机构	(25)
§ 2-2 铰链四杆机构中曲柄存在条件	(30)
§ 2-3 铰链四杆机构的演化	(33)
§ 2-4 平面四杆机构的实用设计	(38)
习题	(44)
第三章 凸轮机构	(46)
§ 3-1 概述	(46)
§ 3-2 从动件常用运动规律	(48)
§ 3-3 凸轮设计中的几个问题	(54)
§ 3-4 用作图法绘制凸轮轮廓	(57)
习题	(59)
第四章 齿轮机构(I)——圆柱齿轮	(60)
§ 4-1 概述	(60)
§ 4-2 齿轮轮齿啮合基本定律	(61)
§ 4-3 渐开线齿廓	(62)
§ 4-4 直齿圆柱齿轮主要参数	(65)
§ 4-5 渐开线标准圆柱齿轮传动	(68)
§ 4-6 渐开线齿廓的切削加工	(70)
§ 4-7 根切现象、最少齿数和变位齿轮	(73)
§ 4-8 斜齿圆柱齿轮传动	(75)

§ 4-9 圆柱齿轮受力分析	(78)
§ 4-10 齿轮传动失效形式	(81)
§ 4-11 选材及热处理	(83)
§ 4-12 齿轮传动精度选择	(86)
§ 4-13 计算载荷	(88)
§ 4-14 齿面接触疲劳强度计算	(92)
§ 4-15 齿根弯曲疲劳强度计算	(96)
§ 4-16 许用应力	(101)
§ 4-17 开式齿轮传动计算及静强度计算简介	(106)
§ 4-18 实用设计步骤	(106)
§ 4-19 齿轮传动的结构与润滑设计	(113)
习题	(119)
第五章 齿轮机构 (I) —— 锥齿轮	(121)
§ 5-1 概述	(121)
§ 5-2 锥齿轮的当量齿轮	(126)
§ 5-3 受力分析	(127)
§ 5-4 直齿锥齿轮的强度计算	(128)
§ 5-5 锥齿轮传动实用设计步骤	(130)
习题	(142)
第六章 蜗杆传动	(143)
§ 6-1 概述	(143)
§ 6-2 阿基米德圆柱蜗杆传动	(146)
§ 6-3 蜗杆传动的相对滑动速度与效率	(149)
§ 6-4 失效形式与材料选择	(151)
§ 6-5 蜗杆传动的受力分析	(151)
§ 6-6 蜗轮轮齿强度计算与蜗杆刚度计算	(153)
§ 6-7 蜗杆传动的润滑与热平衡计算	(157)
§ 6-8 阿基米德圆柱蜗杆传动的结构与精度	(158)
§ 6-9 圆弧面蜗杆传动简介	(166)
习题	(167)
第七章 带传动	(170)
§ 7-1 概述	(170)
§ 7-2 受力分析	(174)
§ 7-3 失效形式与传动设计	(178)
§ 7-4 弹性滑动与打滑	(179)
§ 7-5 带传动实用设计步骤	(180)
§ 7-6 同步带传动简介	(191)
习题	(192)
第八章 链传动	(193)
§ 8-1 概述	(193)
§ 8-2 套筒滚子链的结构和规格	(194)
§ 8-3 套筒滚子链链轮	(195)
§ 8-4 链传动工作情况分析	(199)

§ 8-5 失效形式	(201)
§ 8-6 套筒滚子链传动实用设计	(203)
习题	(213)
第九章 摩擦轮传动和无级变速机构简介	(214)
§ 9-1 概述	(214)
§ 9-2 摩擦轮传动中的滑动	(215)
§ 9-3 摩擦轮传动类型、基本结构	(216)
§ 9-4 摩擦轮的材料选择	(218)
§ 9-5 接触强度计算简介	(219)
§ 9-6 机械无级变速传动简介	(220)
习题	(223)
第十章 螺旋传动	(224)
§ 10-1 概述	(224)
§ 10-2 螺纹主要参数	(227)
§ 10-3 螺旋机构的运动分析	(228)
§ 10-4 受力分析、效率与自锁	(230)
§ 10-5 强度计算	(231)
§ 10-6 传动螺旋实用设计步骤	(233)
§ 10-7 滚动螺旋简介	(242)
习题	(243)
第十一章 轮系	(246)
§ 11-1 概述	(246)
§ 11-2 定轴轮系传动比的计算	(247)
§ 11-3 定轴轮系用途	(248)
§ 11-4 周转轮系传动比的计算	(250)
§ 11-5 混合轮系传动比的计算	(251)
§ 11-6 周转轮系的用途	(252)
§ 11-7 几种特殊的行星传动简介	(253)
习题	(257)
第十二章 传动小结	(259)
§ 12-1 传动装置概述	(259)
§ 12-2 机械传动中基本参数计算简介	(259)
§ 12-3 各种传动形式比较	(262)
习题	(265)
第十三章 间歇运动机构简介	(266)
§ 13-1 棘轮机构简介	(266)
§ 13-2 槽轮机构简介	(269)
§ 13-3 不完全齿轮机构简介	(271)
习题	(271)
第十四章 机械速度波动的调节	(273)
§ 14-1 概述	(273)
§ 14-2 机械运转的平均速度和不均匀系数	(274)
§ 14-3 飞轮设计的近似方法简述	(275)

习题	(276)
第十五章 回转件的平衡	(277)
§ 15-1 概述	(277)
§ 15-2 回转件平衡分析	(277)
§ 15-3 回转件的平衡试验	(280)
习题	(281)
第十六章 铆接、焊接、粘接和过盈配合联接	(283)
§ 16-1 铆接	(283)
§ 16-2 焊接	(285)
§ 16-3 粘接简介	(290)
§ 16-4 过盈配合联接简介	(292)
习题	(293)
第十七章 键联接、销联接	(295)
§ 17-1 概述	(295)
§ 17-2 键联接	(297)
§ 17-3 花键联接	(299)
§ 17-4 销联接简介	(301)
习题	(302)
第十八章 螺纹联接	(303)
§ 18-1 概述	(303)
§ 18-2 螺栓联接的预紧与防松	(305)
§ 18-3 螺栓组联接受力分析	(308)
§ 18-4 单个螺栓联接强度计算	(314)
§ 18-5 提高螺栓联接强度的措施	(320)
§ 18-6 螺栓联接实用设计	(323)
习题	(326)
第十九章 轴	(328)
§ 19-1 概述	(328)
§ 19-2 轴的初算直径	(332)
§ 19-3 轴的结构设计	(333)
§ 19-4 轴的强度校核	(336)
§ 19-5 轴的刚度校核计算	(339)
§ 19-6 轴的振动简介	(340)
§ 19-7 轴的实用设计步骤	(342)
习题	(348)
第二十章 滚动轴承	(350)
§ 20-1 概述	(350)
§ 20-2 滚动轴承的代号	(351)
§ 20-3 滚动轴承特性与选择	(359)
§ 20-4 滚动轴承受力分析	(362)
§ 20-5 滚动轴承设计计算	(363)
§ 20-6 滚动轴承组合设计	(380)
§ 20-7 轴系密封	(386)

§ 20-8 滚动轴承实用设计计算	(388)
习题	(391)
第二十一章 滑动轴承	(394)
§ 21-1 摩擦理论基本知识	(394)
§ 21-2 液体动压润滑基本方程	(403)
§ 21-3 液体动压润滑应用计算	(405)
§ 21-4 液体静压轴承简介	(412)
§ 21-5 非液体润滑状态轴承的计算	(414)
§ 21-6 滑动轴承结构	(417)
§ 21-7 滑动轴承的润滑	(422)
§ 21-8 其它类型轴承	(423)
§ 21-9 液体动压轴承实用设计计算 (以常用的单油楔向心轴承为例)	(425)
习题	(436)
第二十二章 联轴器、离合器	(437)
§ 22-1 概述	(437)
§ 22-2 联轴器	(438)
§ 22-3 离合器	(445)
习题	(452)
第二十三章 弹簧	(453)
§ 23-1 概述	(453)
§ 23-2 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧设计计算	(456)
§ 23-3 压缩、拉伸螺旋弹簧实用设计	(462)
§ 23-4 圆柱形扭转弹簧设计简介	(470)
§ 23-5 蝶形弹簧简介	(472)
§ 23-6 其它类型弹簧简介	(473)
习题	(477)
第二十四章 机械设计思维方法和程序简述	(478)
§ 24-1 设计思维简介	(478)
§ 24-2 设计方法简介	(479)
§ 24-3 设计程序	(481)
习题	(483)
参考文献	(484)

绪 论

§ 0-1 课程性质、内容和任务

科技、生产、生活等各领域广泛应用的各种机械是怎样设计、制造出来的，这是一个系统工程问题。从大的方面分析，一是设计，二是制造。本课程就是为解决机械设计的基础技能的培养而设置的一门专业基础课。在本课程之前，应修完诸如高等数学、机械制图、互换性技术测量、理论力学、材料力学和金属工学等课程，通过本课程对先修基础知识的综合应用，可以达到具备对各种常用的通用机械零部件的设计和选用的能力。再通过对各种专业知识的学习，应能达到独立设计简单机械的能力。所以本课程实为承上启下的、综合应用的、由基础理论课向专业课过渡的技术基础课。

本课程的内容是对机械设计的基础知识、基本原理、程序和设计步骤与过程的研究。

具体内容有：

有关机器、机构、构件和零件的概念；

平面机构的结构分析、活动度的概念；

平面杆机构的组成、类型、特点和设计；

凸轮机构的组成、类型、特点和设计；

齿轮机构的原理、参数和设计知识；

其它常用机构简介；

机构运动方案的选择；

机械调速、回转件的平衡；

机械零件的工作能力和计算准则，常用材料的选择原则，零件的工艺性、标准化、通用化；

联接件的设计：螺纹联接、键联接等；

传动件设计：带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动等；

轴系的设计与计算：轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器等；

其它零部件设计：弹簧、减速器等。

要求能较为熟练地掌握以上各通用零部件的设计计算、选择材料和热处理以及结构设计的基本技能。再通过 2 周~3 周的课程设计，要求学员能初步掌握对通用机械设计的基本能力。

§ 0-2 机器的组成

各种机器都具有某些共性，当掌握这些各种不同机器的共同点之后，则对实际设计和研究提供了清晰的基础概念。

可以按不同方面研究机器的共性：

一、机器由四个部分组成

以汽车、车床为例进行研究

(1) 原动机：提供机器动力，如电动机、内燃机和气轮机等；

(2) 传动部分：提供变速、改变运动方向或形式等功能，如汽车的变速箱、离合器、传动轴，车床的床头箱、丝杠等；

(3) 工作部分：直接完成设计者预想的工作，以代替或减轻人类的工作，具备预期的功能，如汽车的动轮、转向器，车床的切削系统等；

(4) 控制部分：使机器各部分运动协调，可以是手控、电控、遥控或自动控制，对机器的(1)、(2)、(3)部分进行控制。

二、机器由机构组成

机器是由两个或两个以上相互联系配合、运动确定的机构或构件组成的联合体，可以实现能量转化（如将其它形式能量转化为机械能），以使其运转，执行人们预期的工作，在人或其它智能体的操作和控制下，实现为之设计的某种（或几种）功能。而构成机器的机构虽然是由两个或两个以上相互联系配合、运动确定的构件组成的联合体，但却无能量的转化，只是实现着机械能的传递，使其运转，执行人们预期的运动。机械是机器和机构的总称。

以活塞式发动机为例，如图0-1所示，说明机器是由机构组成的，而组成各种机构的构件又是由不同零件组成的，其关系如下：

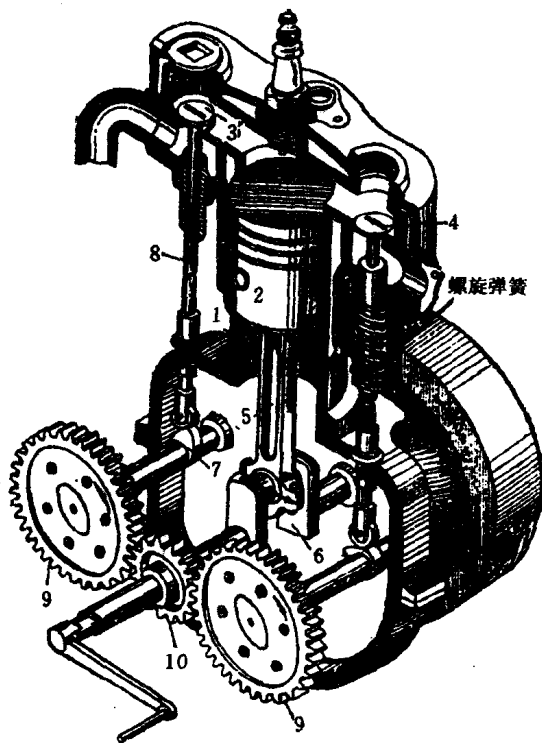


图0-1 活塞式发动机

1—机架；2—活塞；3—进气门；4—排气门；5—连杆；
6—曲轴；7—凸轮；8—推杆；9—从动齿轮；10—主动齿轮

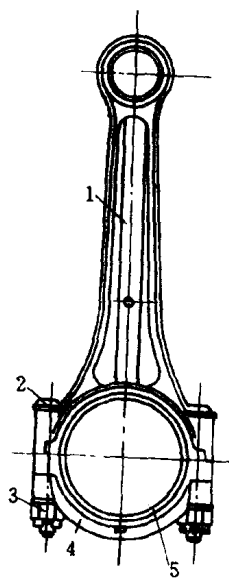
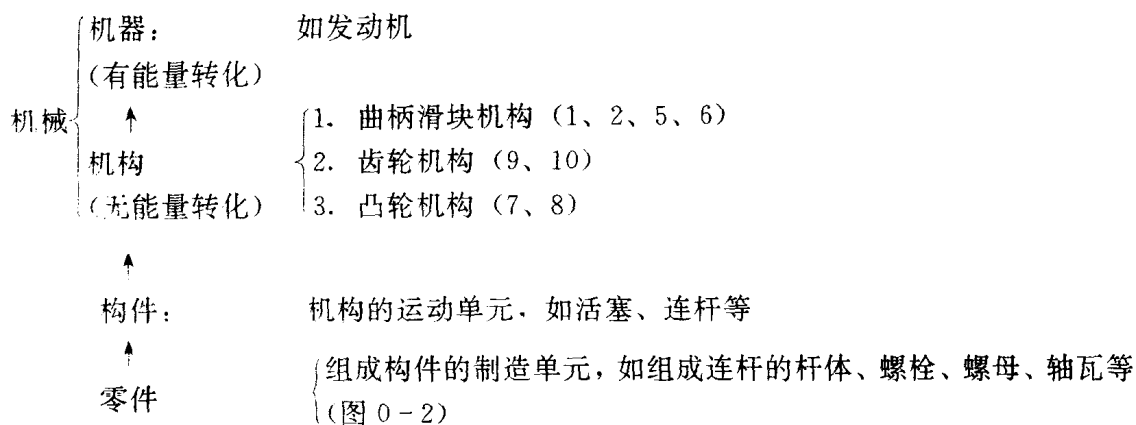


图0-2 连杆结构简图

1—杆体；2—螺杆；
3—螺母；4—盖体；
5—轴瓦



组成构件的零件还可以分为通用零件（如螺栓、齿轮、轴等）和专用零件（如气轮机中的叶片、内燃机中的活塞等）。

另外，在某一结构中，传入运动的零件又称为主动件，被带动的零件称为从动件，对于参考系相对静止的零件称为机架。

§ 0-3 机械设计过程简介

一、设计要求

- (1) 满足功能方面的要求，能实现预期运动，完成设计者设想的工作；
- (2) 具有良好的经济性、尽量降低成本，为此应进行可靠性设计、优化设计，尽量节省能源，使其结构简单、工艺性好、工作效率高；
- (3) 操作方便、安全可靠、便于维修；
- (4) 符合人机工程，造型美观，便于包装和运输等等。

二、设计步骤

一般情况下，可以按下述步骤进行设计：

- (1) 下达设计任务书 应包括项目的具体内容、要求和主要参数如速度、载荷性质、寿命、工作条件等；
- (2) 确定主要参数 由任务书给定的重要条件和原始参数，通过计算、实验、调研等必要的初步工作，最后确定设计所需要的重要参数，如功率、转速、应力性质等；
- (3) 方案选择与确定 由能实现预期功能的多种方案中，最后确定一种最佳方案并绘出此方案的机构运动简图；
- (4) 总体设计运动计算 计算出各轴间的速比和各轴的转速；
- (5) 总体设计动力计算 计算出各轴间的传动效率和各轴的传动功率；
- (6) 零件强度计算 包括对传动件、联接件和轴系的强度计算；
- (7) 结构设计 在设计过程中，应边设计、边计算、边修改、边绘图，对不合理的结构必须努力改进，使之完善；
- (8) 试制、鉴定；

(9) 改进设计, 批量投产。

§ 0-4 载荷分析

一、载荷形式

为了计算方便, 常用以下几种载荷形式:

集中力 F (N、kN), 转矩 T (N·m 或 N·mm), 功率 P (kW) 或弯矩 M (N·mm)。

二、载荷种类

1. 按载荷与时间关系分类 (常用的几种)

(1) 静载荷 如图 0-3 所示;

(2) 一般循环变载荷 如图 0-4 所示;

(3) 对称循环变载荷 如图 0-5 所示;

(4) 脉动循环变载荷 如图 0-6 所示。

对于那些无规律的随机变载荷的计算比较复杂, 这里从略。

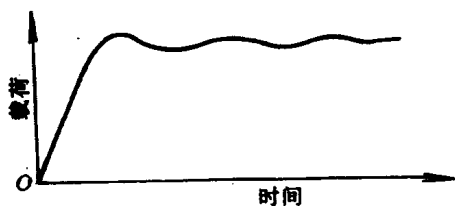


图 0-3 静载荷

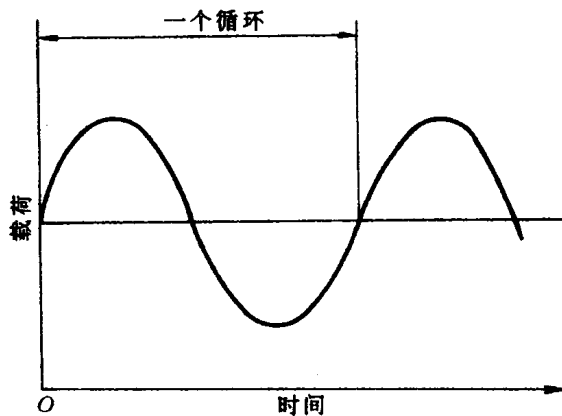


图 0-4 一般循环变载荷

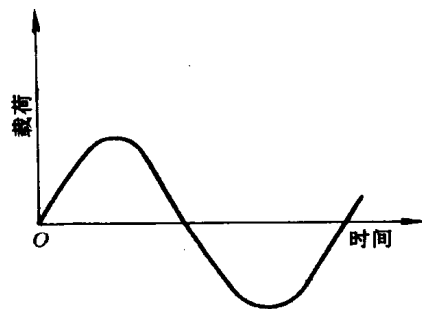


图 0-5 对称循环变载荷

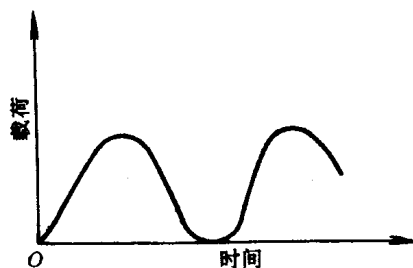


图 0-6 脉动循环变载荷

2. 按应用计算场合分类

- (1) 额定载荷 一般指原动机标牌功率或由此而计算出的力或转矩等;
- (2) 工作载荷 指机器工作部分在某段时间、某种工况下实际承受或输出的载荷;
- (3) 计算载荷 考虑实际工作时的条件 (如冲击、振动等) 下, 产生附加载荷后的全部载荷, 用以计算零件强度、刚度, 通常将额定载荷乘以不同影响因素的系数。

§ 0-5 应力分析

一、应力种类

工程中以变应力为多, 这里按常用的应力 σ 与时间 t 的关系介绍如下几种:

- (1) 静应力如图 0-7(a)所示;
- (2) 循环变应力 $\left\{ \begin{array}{l} \text{①对称循环变应力: 如图 0-7(b)所示;} \\ \text{②脉动循环变应力: 如图 0-7(c)所示;} \\ \text{③一般循环变应力: 如图 0-7(d)所示。} \end{array} \right.$

对于那些无规律的随机变应力, 这里从略。

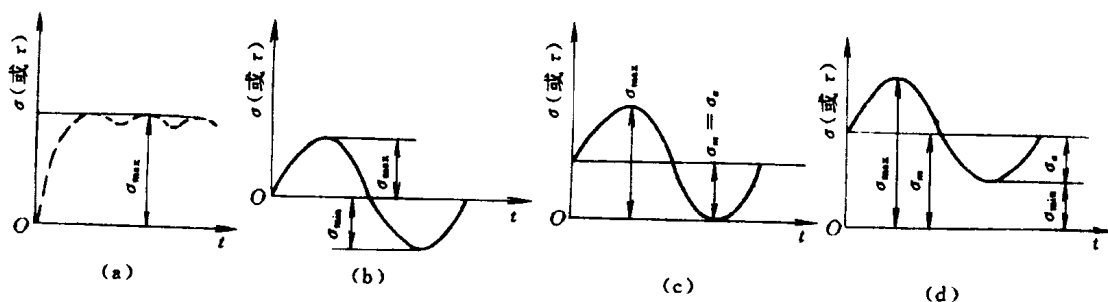


图 0-7 几种典型的稳定变应力谱

(a) 静应力; (b) 对称循环变应力; (c) 脉动循环变应力; (d) 一般循环变应力

二、变应力主要参数

图 0-7 中标记的为正应力 σ , 也可以表示为剪应力 τ 。

最大应力: $\sigma_{\max}$ (含符号);

最小应力: $\sigma_{\min}$ (含符号);

平均应力: $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$;

应力幅: $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$;

应力特性系数: $r = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$, 以 “ σ_{rN} ” 的形式表示在不同种类变应力作用下的各种材料的有限寿命 ($10^4 < N < 10^6 \sim 25 \times 10^7$) 疲劳极限, 以 “ $\sigma_{r\infty}$ ” 表示无限寿命 ($N > 10^6 \sim 25 \times 10^7$) 疲劳极限, 或称持久疲劳极限; 显然, r 的不同值表示不同种类的循环应力作用下的疲劳极限, 如通常在有限寿命设计情况下有:

$$\sigma_{rN} \begin{cases} \sigma_{+1N} & \text{—— 静应力作用下材料强度极限;} \\ \sigma_{0N} & \text{—— 脉动循环变应力作用下材料的疲劳极限;} \\ \sigma_{-1N} & \text{—— 对称循环变应力作用下材料的疲劳极限。} \end{cases}$$

§ 0-6 机械零件主要失效形式

一、断 裂

这是由于零件体积应力过大而造成的破坏使其无法继续工作，也称为体积失效，断裂还可以分为：

(1) 静应力作用下的过载断裂 通常其断口为具有残余变形（对塑性材料）的断面或呈粗糙表面的断面（对脆性材料）；

(2) 在应力反复作用下或循环变应力作用下的疲劳断裂 通常其断口为同时具有光滑部分和残余变形（对塑性材料）或呈粗糙表面的断面（对脆性材料）；

二、变形过大

如果由于零件过大的弹性变形超过了许用值，致使不能正常工作，则属于刚度不合格。

三、振动过大

当零件振动过大，特别是发生共振时，致使振幅超过了许用值而失效；

四、表面失效

(1) 在过大的表面接触应力作用下，可能造成零件的表面失效，有如下形式：

①胶合失效（亦称粘着磨损） 是在重载下润滑失效致使金属实体直接接触，过高的温度可能使接触表面粘着并撕裂即为胶合失效；

②点蚀失效（亦称疲劳磨损） 在变化的表面接触应力作用下，接触表面可能累积产生麻点形状的损伤现象，属于表面疲劳失效；扩散型的点蚀扩散后严重地影响零件的正常使用，而收敛型的点蚀可以继续工作；

③磨损失效（亦称磨粒磨损） 如开式传动的齿轮轮齿表面在磨粒作用下严重磨损，或由于表面过高的表面粗糙度经摩擦后致使严重磨损；

④塑性变形 在低速重载下，过大的表面接触应力的作用，可能使零件表面产生无法恢复的塑性变形。

(2) 腐蚀失效 多产生在化学腐蚀物质的接触和作用下而造成表面腐蚀失效。

§ 0-7 机械零件设计原则

一、强度合格

在要求的寿命以内，不允许出现强度方面的各种失效，即为强度合格，计算中应符合强度条件。

1. 强度条件

$$\sigma = \frac{\phi(P_1, P_2, P_3, \dots)}{f(X_1, X_2, X_3, \dots)} \leq [\sigma] \quad (0-1)$$

剪应力 τ 的强度条件与式 (0-1) 相似。

式中 P_i ——各种载荷或有关系数；

X_i ——零件有关的几何尺寸参数。

对常用的简单应力状态和复杂应力状态下的强度条件，应该熟练掌握：

简单 应力 状态	{	拉伸、压缩	$\sigma = F/A \leq [\sigma]$	$\begin{cases} F \text{——拉(压)力} \\ A \text{——横截面积} \end{cases}$
		弯曲	$\sigma_F = M/W \leq [\sigma_F]$	$\begin{cases} M \text{——弯矩} \\ W \text{——抗弯截面模量} \end{cases}$
		扭转	$\tau = T/W_p \leq [\tau]$	$\begin{cases} T \text{——扭矩} \\ W_p \text{——抗扭截面模量} \end{cases}$

复杂应力状态的强度条件为：

$$\begin{cases} \text{按第 3 强度理论} & \sigma_3 = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] \\ \text{按第 4 强度理论} & \sigma_4 = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \end{cases}$$

2. 许用应力

$$(1) \text{ 静应力} \quad [\sigma] = \sigma_{\text{lim}}/S \quad (0-2)$$

式中 σ_{lim} ——强度极限 (σ_b 或 σ_s)

S ——安全系数

$$(2) \text{ 变应力} \quad [\sigma_{rN}] = (\sigma_{r\infty} \epsilon_s \beta_s K_N) / (S_o K_o) \quad (0-3)$$

式中 $\sigma_{r\infty}$ ——材料持久疲劳极限；

ϵ_s ——尺寸系数；

β_s ——表面状态系数；

K_N ——寿命系数，见式 (0-4)；

K_o ——应力集中系数；

S_o ——安全系数。

对剪应力 τ ，上述关系式概念上亦适应。

由强度条件计算出的零件尺寸，取值不宜过大，以免造成浪费。

3. 有限寿命设计

(1) 材料疲劳曲线

在变应力作用下，材料疲劳失效，其持久限 $\sigma_{r\infty}$ 与受力次数 N 的关系如图 0-8 与图 0-9 所示。

图中 N_0 为循环基数，其值为 $N_0 \begin{cases} 10^7 & (\text{低于 } 350\text{HBS 的钢材}) \\ 25 \times 10^7 & (\text{高于 } 350\text{HBS 的钢材}) \end{cases}$

有些高硬度金属材料或有色金属的疲劳曲线没有水平部分，如图 0-9，实用中一般规定 $N \geq (5 \sim 10) \times 10$ 时的那段曲线为疲劳曲线，应用中须标明循环次数。

(2) 有限寿命设计

有限寿命设计时，按零件的工作寿命可以选用较高的疲劳极限 σ_{rN} ，从而减小零件尺寸、减轻重量、降低成本。

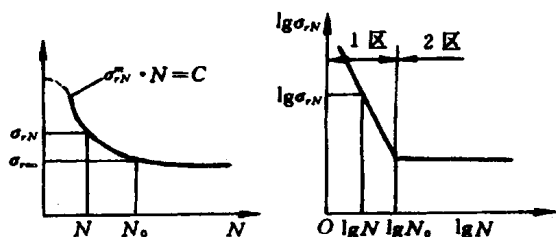


图 0-8 一般金属材料疲劳曲线
1 区—有限寿命区；2 区—无限寿命区

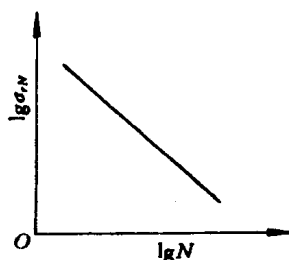


图 0-9 有色金属材料与高强度合金钢的疲劳曲线

图 0-8 中 $N < N_0$ 部分的数学计算公式为 $\sigma_{rN}^m N = \sigma_{r\infty}^m N_0 = \text{常量}$ ，由此可得任意寿命时的疲劳强度极限

$$\sigma_{rN} = \sigma_{r\infty} \sqrt[m]{N_0/N} = \sigma_{r\infty} K_N \quad (0-4)$$

式中 K_N ——寿命系数； $K_N = \sqrt[m]{N_0/N}$ 。

考虑到有限寿命设计时的寿命系数 K_N ，则其许用应力 $[\sigma_{rN}]$ 应为式 (0-3) 所示。式中指数 m 和循环基数 N_0 的值见表 0-1。

许用切应力概念上亦同式 (0-3)。

表 0-1 弯曲状态下碳钢的指数 m 和循环基数 N_0 值

试 验 条 件	m	N_0
无应力集中的抛光试件	9~18	$(1\sim5) \times 10^6$
有应力集中的抛光试件	6~10	$(1\sim5) \times 10^6$
紧配合的轴，心轴	6~10	$(5\sim10) \times 10^6$
经表面强化处理	18~20	$(1\sim50) \times 10^6$
注：①零件表面强化(喷丸、滚压)使 m 值增加，应力集中增大使 m 减小； ②若无扭转的实验数据，可用弯曲时的数值(近似)； ③对于接触应力，线接触时 $m_s = m/2$ ，点接触时 $m_d = m/3$		

4. 安全系数法 (一般指静应力情况下)

强度条件的另一表达式为

$$S_\sigma = \sigma_{\text{lim}}/\sigma_c \geq [S_\sigma] \quad (\text{正应力})$$

$$S_\tau = \tau_{\text{lim}}/\tau_c \geq [S_\tau] \quad (\text{剪应力})$$

式中 S_σ 、 S_τ ——计算安全系数；

$[S_\sigma]$ 、 $[S_\tau]$ ——许用安全系数；

σ_c 、 τ_c ——计算应力；

σ_{lim} 、 τ_{lim} ——极限应力。

这里介绍的安全系数法是计算方法的概念，各参数的取值可参考各专业的设计资料。

5. 拉伸许用应力 $[\sigma]$ 与弯曲、剪切、挤压、扭转等许用应力的比例关系