

机械零件指导书

钟毅芳 编
华中工学院出版社



内 容 简 介

本书是指导学生和青年读者学习《机械零件》课程的参考书。全书共十章，涉及目前所通用的《机械零件》教材中的主要章节。它可供报考硕士研究生的考生复习《机械零件》之用，也可作为工科院校本科机械类和近机械类各专业的学生学习《机械零件》的指导书。

机械零件指导书

钟毅芳 编

责任编辑 刘继宁

华中工学院出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7.625 字数：165 000

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数：1—2 200

ISBN 7—5609—0004—6/TB·1

统一书号：15255-107 定价：1.28元

前 言

本书是指导学生和青年读者学习《机械零件》课程的一种参考书，它可以用于指导报考硕士研究生的考生复习《机械零件》，也可以作为工科院校本科机械类和近机械类各专业的学生学习《机械零件》的指导书。本书的内容，涉及现在采用的《机械零件》教材中主要章节（包括机械零件的工作能力和设计准则、螺纹联接、带传动、齿轮传动、蜗杆传动、链传动、轴、滚动轴承、滑动轴承、弹簧等）的重点、思路及必须掌握的主要问题。大致有如下几个方面：

- 1) 学习本章应达到的主要目的及应解决的主要问题；
- 2) 本章的主要内容及分析问题的基本思路，在概括主要内容时，提出一些在学习上必须掌握的、并能概括基本内容的问题，供读者思考，引导读者进一步明确本章的重点及必须解决的主要问题；
- 3) 本章重点问题分析；
- 4) 典型例题分析及解题技巧。

为了检查学习效果，在每章的后面还附有自我测验的题目，供读者学完本章后进行自我检查。

《机械零件》是一门与生产实际比较接近的设计性的课程，其结构体系没有一般理论性课程那样严密，学生在学习本课程时，往往不能很快适应，甚至许多报考研究生的考生，虽然已经学完了本课程并进行过课程设计，也往往难掌握本课程的重点和学习方法。因此，编写本书的目的在于帮助学生尽快地熟悉本课程的特点，把握住每章的重点及分析问题的思路，了解分析和处理某些实际问题的基本方法，解决一些教材中没

有解决但对学习本课程的学生来说又必须解决的问题，让学生尽快地掌握本课程的学习方法，更好地掌握本课程的基本内容。

编者

1985.10

目 录

第一章	机械零件的工作能力和计算准则·····	(1)
第二章	螺纹联接·····	(31)
第三章	带传动·····	(57)
第四章	齿轮传动·····	(81)
第五章	蜗杆传动·····	(128)
第六章	链传动·····	(154)
第七章	轴·····	(163)
第八章	滚动轴承·····	(182)
第九章	滑动轴承·····	(203)
第十章	弹簧·····	(226)

第一章 机械零件的工作能力和计算准则

《机械零件》课程的任务是研究如何进行机械零件的设计。保证机械零件具有足够的工作能力，是机械零件设计的主要依据。所以，在学习《机械零件》课程时，应首先对机械零件的工作能力和设计计算准则，有一个大致的了解。

一 主要内容和基本思路

在不同的教材中，这部分所包含的内容差别较大，但就其主要内容而言，大致可分为两大部分：

1. 关于机械零件的工作能力和设计计算准则

这部分主要从机械零件工作时的受载情况出发，分析机械零件可能出现的失效形式，阐述机械零件设计的主要依据。

学习这部分时，可结合下面的实例，了解机械零件在工作过程中的受力和应力的情况，它们可能出现的失效形式，以及设计计算的主要依据。

问题 1 汽车运行时，其变速箱中的齿轮所受的载荷是静载荷还是变载荷？若齿轮不反转，轮齿根部所受的应力是什么性质的应力？齿轮可能出现哪种形式的失效？

问题 2 图 1-1 所示，是机车的车轴，假设运转过程中，车箱给予该轴的载荷不变，问轴各截面上产生的应力属什么性质的应力？该轴可能出现哪种形式的失效？

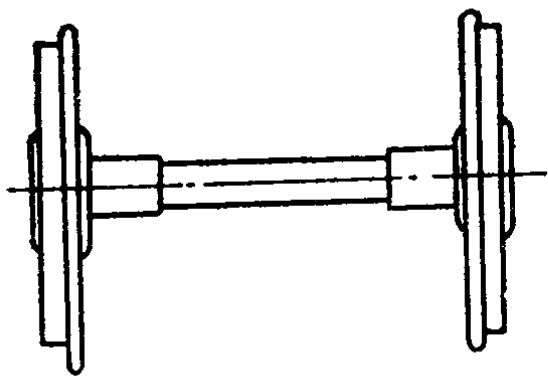


图1-1 机车车轴

问题3 自行车运行时，其链条所受的载荷是什么性质的载荷？链条的主要失效形式是什么？

问题4 上述诸问题中，若需设计齿轮、轴和链条，问各按什么准则进行设计？

2. 关于机械零件设计中的强度问题

从机械零件工作时可能出现的失效形式来看，机械零件设计中的问题，有强度问题、刚度问题、耐磨性问题、稳定性问题等，而其中最基本的是强度问题。《机械零件》课程在这一部分中所讨论的强度问题，主要是在《材料力学》课程所研究的强度问题的基础上，重点讨论机械零件中最常见的零件在变应力作用下的强度问题，其中包括：

①应力类型的划分；

②应力类型对机械零件材料的极限应力的影响（包括应力变化循环次数对极限应力的影响）；

③零件在变应力作用下，其极限应力和安全系数的确定等。

学习这部分内容时，可结合下面的实例，弄清上面提出的三个方面的问题。

问题1 图1-2所示为一旋转的转轴，其受力情况如图所示，设在径向力 F_r 作用下，轴的某一断面上产生的最大弯曲应力为 σ_b ；在轴向力 F_a 作用下，同一断面上产生的压应力为 σ_a 。试分析轴在工作时该断面上的应力类型，并用循环特性 r 表示该断面上应力变化的特征。

问题2 图 1-3(a)

和图1-3 (b)为材料和结构完全相同的两轴，设由于 F_{r1} 和 F_{r2} 的作用，在轴的断面A-A上产生的

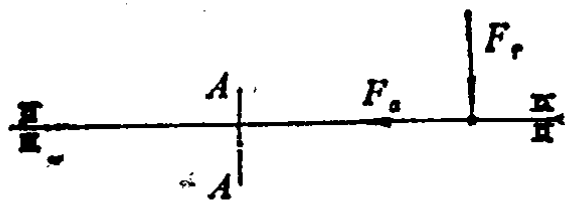


图1-2 转轴

最大弯曲应力分别为 $\sigma_{b1} = 500 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{b2} = 4500 \text{ N/mm}^2$; 由于 F_{a1} 和 F_{a2} 的作用,断面上产生的压应力分别为 $\sigma_{c1} = 5000 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{c2} = 1000 \text{ N/mm}^2$ 。试比较此两轴 疲劳极限 的大小。

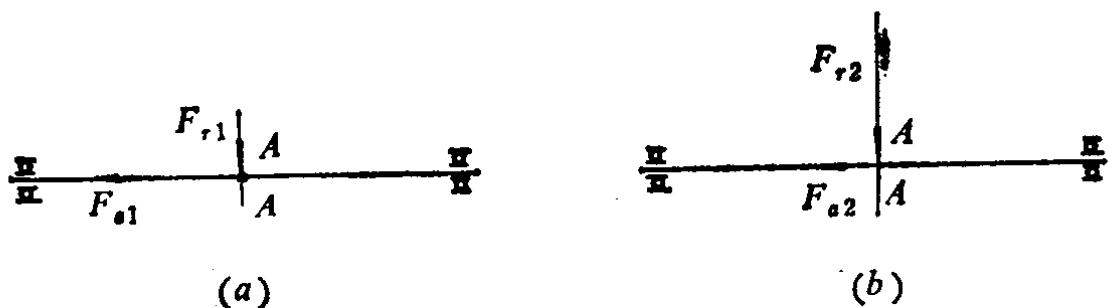


图1-3 轴

问题3 设有两转轴 I 和 II，已知它们的结构尺寸、材料性能和受力情况完全相同，但轴 I 的转速为 20 r/min ，轴 II 的转速为 500 r/min 。若要求两轴均能运转 1000 小时，试比较此两轴的极限应力的 大小。

本章的重点是研究应力循环特性对极限应力的影响，以及零件在不同循环特性及不同循环次数的应力的作用下，确定零件极限应力的方法。研究变应力作用下的强度问题的基本思路如图 1-4 所示。

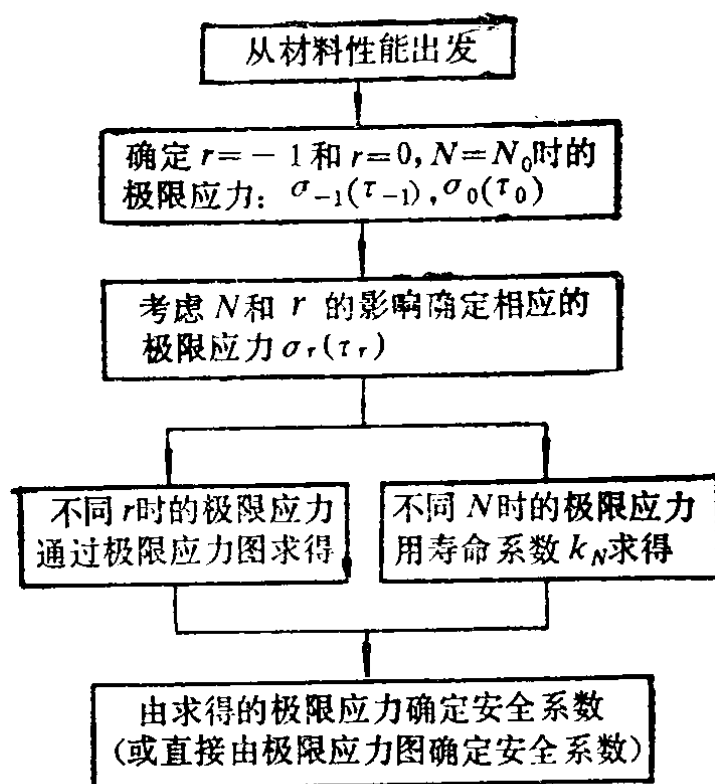


图1-4 研究强度问题的基本思路

二 重点内容分析

零件在变应力作用下，其极限应力和安全系数的确定是本章的重点内容。

机械零件工作时可能经受的变应力，大体上可归纳为两大类：稳定循环变应力(图1-5(a))和非稳定循环变应力(图1-5(b))

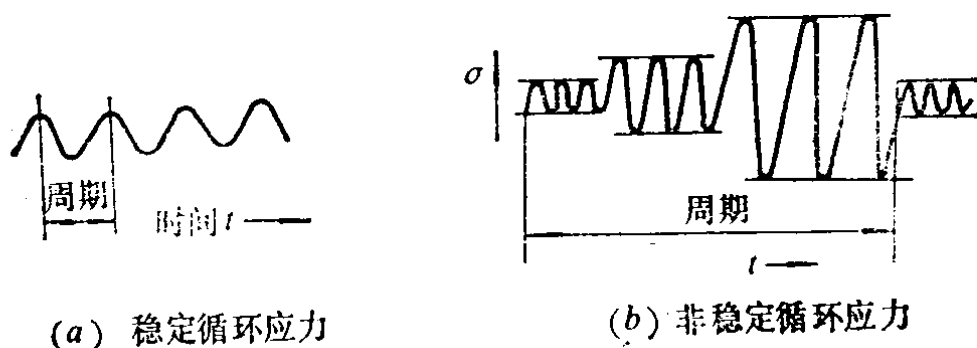


图1-5 变应力

无论是稳定循环变应力还是非稳定循环变应力，都可能是简单应力（只有弯曲应力或只有扭转应力等），也可能是复杂应力（既有弯曲应力也有扭转应力）。

因为作用在机械零件上的应力类型和应力循环次数，对零件材料的极限应力有明显的影响，所以，应力类型和应力循环次数不同，其极限应力和安全系数确定的方法也不相同。

1. 稳定循环简单变应力时极限应力和安全系数的确定

这是最基本的变应力，掌握了这种应力类型的极限应力和安全系数的有关概念和计算方法以后，其它应力类型的问题就比较容易解决了。

从应力的循环特性来看，稳定循环简单变应力可分为对称循环变应力（ $r = -1$ ）、脉动循环变应力（ $r = 0$ ）和非对称循环变应力（ $-1 < r < 0$ 和 $0 < r < 1$ ）。从应力循环次数来看，若以 N_0 表示应力循环的基本循环次数，实际应力循环次数 N 可以大于或小于 N_0 。应力循环特性和循环次数不同，其极限应力也不同，下面按不同情况分别讨论。

①当应力为循环次数 $N = N_0$ 的对称循环变应力时的极限应力和安全系数：

这是最基本的应力状态，其极限应力由实验确定，在有关的手册中可以找到。

循环特性 $r = -1$ （对称循环）时：

极限应力为 σ_{-1} （或 τ_{-1} ）；

根据定义，安全系数为极限应力与工作应力之比，即

$$S = \frac{\text{极限应力}}{\text{工作应力}}。$$

因零件在对称循环变应力作用下，其极限应力为 σ_{-1} ，最大工作应力为（见图 1-6）

$$\sigma_{max} = \sigma_a,$$

则安全系数为

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a} \tag{1-1}$$

若考虑应力集中等因素的影响，得

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \sigma_a}, \tag{1-2}$$

式中， $(k_\sigma)_D = \frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma \beta}$ ，为考虑应力集中、零件绝对尺寸以及零件表面状态等对零件极限应力的综合影响系数。

②当应力为循环次数 $N = N_0$ 的非对称循环变应力时的极限应力和安全系数：

为了确定零件在非对称循环应力作用下的极限应力 σ_r ，需要借助极限应力图。

若材料在 $N = N_0$ 、 $r = -1$ 时的极限应力为 σ_{-1} ， $N = N_0$ 、

$r = 0$ 时的极限应力为 σ_0 ，静应力时($r = +1$)的极限应力为屈服

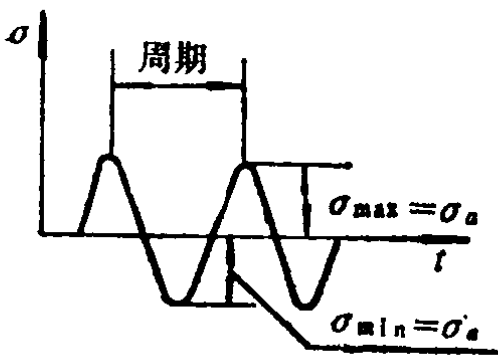


图1-6 对称循环变应力

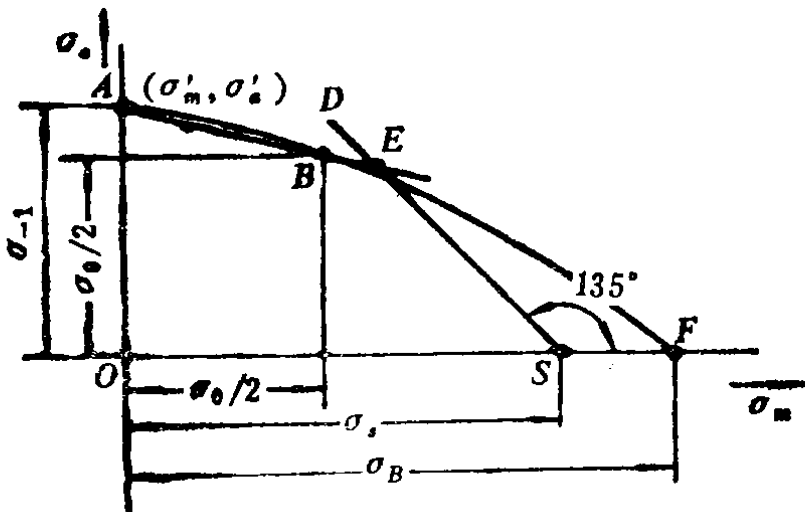


图1-7 极限应力图

限 σ_s ，则可作出其相应的极限应力图如图1-7所示。

图中，曲线 ABF 为极限应力曲线，曲线上的 A 点为对称循环点 $(0, \sigma_{-1})$ ， B 点为脉动循环点 $(\frac{\sigma_0}{2}, \frac{\sigma_0}{2})$ ， F 点为静应力点 $(\sigma_s, 0)$ 。对于塑性材料，曲线 ABF 可以简化为两根折线 AE 和 ES ， AE 、 ES 为简化后的极限应力曲线，其上的任一点 (σ_m', σ_s') 是与之相应的某一循环特性 r 时的极限应力：

$$\sigma_r = \sigma_m' + \sigma_s' \quad (1-3)$$

设零件工作时，作用在其上的应力幅为 σ_a ，平均应力为 σ_m 。对于稳定循环的变应力，如图1-8所示，有

$$\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a, \quad (1-4)$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a \quad (1-5)$$

由循环特性 r 的定义得

$$\begin{aligned} r &= \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a} \\ &= \frac{1 - \sigma_a/\sigma_m}{1 + \sigma_a/\sigma_m} \quad (1-6) \end{aligned}$$

在图1-9中，联接原点与点 $D(\sigma_m, \sigma_a)$ ，并延长之，使之与极限应力线相交于 C 点，设 OC 与横坐标的夹角为 α ，则式(1-6)可以写成

$$r = \frac{1 - \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha}, \quad (1-7)$$

或

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1 - r}{1 + r} \quad (1-8)$$

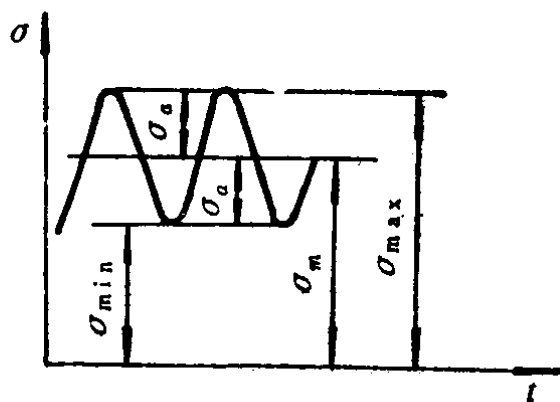


图1-8 稳定循环变应力

$$\sigma_a' = \frac{\sigma_{-1} \sigma_a}{\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (1-11)$$

$$\sigma_m' = \frac{\sigma_{-1} \sigma_m}{\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (1-12)$$

式中, $\psi_\sigma = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}$, 称为等效系数。

由此可求得包括脉动循环应力在内的任意应力循环特性下 (式中, 循环特性 r 通过 σ_a 和 σ_m 之值来反映) 的极限应力和安全系数为

$$\sigma_r = \sigma_a' + \sigma_m' = \frac{\sigma_{-1} (\sigma_a + \sigma_m)}{\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (1-13)$$

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}. \quad (1-14)$$

若考虑应力集中等因素的影响, 上述安全系数的公式可以写成

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}. \quad (1-15)$$

③ 应力循环次数 $N < N_0$ 时, 零件在变应力作用下的极限应力和安全系数:

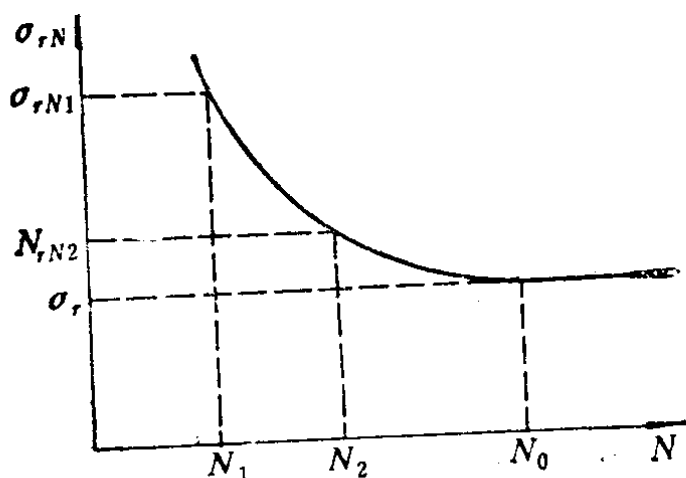


图1-10 疲劳曲线

大量的实验研究指出，材料的极限应力与应力循环次数有着密切的关系，图 1-10 所示为极限应力与应力循环次数的关系曲线。

由图 1-10 可知， r 一定时，随着应力循环次数 N 的增加，极限应力下降，直到 $N = N_0$ 为止。极限应力和应力循环次数的这一关系，可用方程表示如下：

$$\sigma_{r,N}^m N = \sigma_r^m N_0 = \text{常数}。 \quad (1-16)$$

由此得应力循环次数为 N 时的极限应力

$$\sigma_{r,N} = \sigma_r \sqrt{\frac{N_0}{N}} = k_N \sigma_r, \quad (1-17)$$

式中， σ_r 为 $N = N_0$ 的任意循环特性 r 时的极限应力

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_a + \sigma_m)}{\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m};$$

k_N 为寿命系数，

$$k_N = \sqrt{\frac{N_0}{N}}。$$

这时的安全系数为

$$\begin{aligned} S &= \frac{\sigma_{r,N}}{\sigma_{\max}} = \frac{k_N \sigma_r}{\sigma_a + \sigma_m} \\ &= \frac{k_N \sigma_{-1}}{\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}。 \end{aligned} \quad (1-18)$$

若考虑应力集中等因素，则为

$$S = \frac{k_N \sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \quad (1-19)$$

若变应力为对称循环应力，则极限应力为

$$\sigma_{-1,N} = k_N \sigma_{-1}, \quad (1-20)$$

安全系数为

$$S = \frac{k_N \sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \sigma_a} \quad (1-21)$$

若取 $\sigma_a = \sigma_m$,式(1-19)即为脉动循环应力时的安全系数计算公式。

2. 当应力为稳定循环复杂应力时极限应力和安全系数的确定

若零件的同一断面上既有弯曲应力,也有扭转应力,则该断面上的应力状态为复杂应力状态。

上面已求得任意循环特性 r 和任意循环次数 N 时的简单应力状态下的安全系数,若以 S_σ 表示只受弯曲应力时的安全系数, S_τ 表示只受扭转应力时的安全系数,则

$$S_\sigma = \frac{k_N \sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (1-22)$$

$$S_\tau = \frac{k_N \tau_{-1}}{(k_\tau)_D \tau_a + \psi_\tau \tau_m} \quad (1-23)$$

为了求得任意循环特性 r 、任意循环次数 N 时的复杂应力状态下的安全系数,应先将这种状态下的应力,转化为等效的对称循环简单应力,然后再按对称循环简单应力计算其安全系数。

应力的转化,包括:将任意循环特性 r 时的变应力(非对称循环变应力)转化为对称循环时($r = -1$)的变应力;将复杂应力状态转化为简单应力状态。

复杂应力时的安全系数的计算,大致可按下面的步骤进行:

①将非对称循环应力转化为等效的对称循环应力:

如图1-11所示,可将具有一定应力幅 σ_a 和平均应力 σ_m 的非对称循环应力转化为与之等效的当量应力幅为 σ_{a_e} 的对称循环应力,转化的原则是,两者对材料强度的影响等效,也就是

说,若分别按这两种应力计算零件的强度,其安全系数应相等。

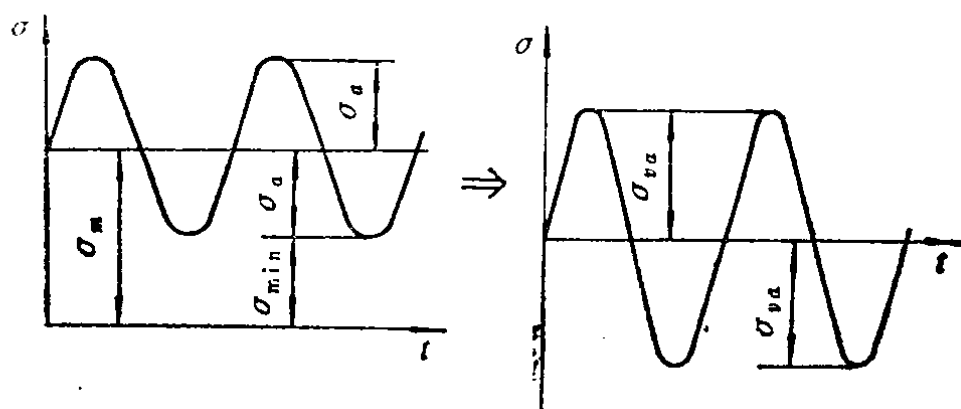


图1-11 非对称循环应力转化为等效的对称循环应力

因非对称循环时的安全系数为

$$S = \frac{k_N \sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m},$$

对称循环时的安全系数为

$$S = \frac{k_N \sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D \sigma_{va}},$$

由此可得转化后等效应力的当量应力幅为

$$(k_\sigma)_D \sigma_{va} = (k_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m. \quad (1-24)$$

对于扭转应力,同样有:

$$(k_\tau)_D \tau_{va} = (k_\tau)_D \tau_a + \psi_\tau \tau_m. \quad (1-25)$$

②将复杂应力转化为简单应力:

按第三强度理论,将复杂应力转化为简单应力。若零件断面上同时存在弯曲应力和扭转应力,转化后,其当量应力幅分别为 $(k_\sigma)_D \sigma_{va}$ 和 $(k_\tau)_D \tau_{va}$,按第三强度理论可求得将复杂应力转化为简单应力时的当量应力幅 σ_v 为

$$\sigma_v = \sqrt{[(k_\sigma)_D \sigma_{va}]^2 + 4 \times [(k_\tau)_D \tau_{va}]^2}. \quad (1-26)$$

若近似地取 $\frac{\sigma_{-1}}{\tau_{-1}} = 2$,将式(1-24)、(1-25)代入式(1-26)后,