

高等学校适用

机械设计学习指南

(含测试题和参考答案)

陶民华、王大康、邱银福 编

机械工业出版社



TH122

947758

T-12

高等学校适用

机械设计学习指南

(含测试题和参考答案)

陶民华 王大康 邱银福 编



机械工业出版社

本书是根据国家教委颁布的、1987年起试行的高等工业学校机械设计(原机械零件)和机械设计基础两门课程教学基本要求并配合当前出版的各种教材编写的。

本书共15章,包括了课程的主要内容。每章有学习要求、重点和难点内容剖析、典型实例分析以及选择、简答、计算、结构分析等各类型自检试题,并附参考答案。

本书主要用作大专院校教学参考书,也可作为报考硕士研究生的复习参考或工程技术人员和自学者学习机械设计的辅助读物。

机械设计学习指南

(含测试题和参考答案)

陶民华 王大康 邱银福 编

责任编辑:孙祥根 版式设计:胡金瑛

封面设计:刘 代 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 11 $\frac{3}{4}$: 字数 282 千字

1991年3月北京第一版·1991年3月北京第一次印刷

印数 0,001—5,600 · 定价: 7.20 元

ISBN 7-111-02393-5/TH · 394

前 言

本书是根据国家教委颁布的、1987年起试行的高等工业学校机械设计（原机械零件）和机械设计基础两门课程教学基本要求并配合当前出版的各种教材编写的。

本书通过各章主要内容介绍，帮助读者了解教学基本要求和抓住重点；通过典型实例分析思路和方法，作为设计的指导和示范。本书提供的选择、简答、计算、结构分析等各类型自检试题和参考答案，便于读者检查学习情况和弥补不足。

全书使用新颁布的各种标准和法定单位。

本书经北京航空航天大学郭可谦教授审阅全稿，提出了很多宝贵的意见和建议，对提高本书质量给予了很大帮助，在此表示衷心感谢。

最后，热切期望广大读者对本书误漏之处予以批评指正。

编者

1989年8月

目 录

第一章	机械设计概述	1
第二章	机械零件的强度	7
第三章	摩擦、磨损和润滑概述	16
第四章	螺纹联接和螺旋传动	22
第五章	键、花键和销联接	38
第六章	铆、焊、胶和过盈联接	47
第七章	带传动	56
第八章	链传动	64
第九章	齿轮传动	70
第十章	蜗杆传动	84
第十一章	轴	93
第十二章	滑动轴承	105
第十三章	滚动轴承	113
第十四章	联轴器、离合器和制动器	125
第十五章	弹簧	131
参考答案		138
参考文献		183

第一章 机械设计概述

一、主要内容

本章介绍机械和机械零件设计的基本要求和一般步骤，概述机械零件的失效形式、计算准则、常用材料选择和结构工艺性等问题。

1. 机械设计

机械设计应满足在预定期限内实现预定功能时保证安全性、可靠性和经济性。

机械设计的过程一般可分为：

(1) 制订设计任务 根据用户的工作条件和使用要求提出设计任务书，并经专家评议审定。设计任务书中应规定机械的功用、主要性能、适用范围、生产率、生产批量和设计、制造完成日期等。

(2) 方案设计 根据设计任务书要求，确定机械的工作原理和技术要求。经可行性分析、技术经济分析等，选择最佳方案。

(3) 总体设计 根据方案设计要求，绘制机械的总体设计图，并给予综合技术经济评价。

(4) 施工设计 根据总体设计，考虑零件的工作能力和结构工艺性等，绘制零件工作图，编写说明书等技术文件。

(5) 试制和试验鉴定 根据设计图纸等技术文件进行产品试制，并经试验和鉴定分析产品能否实现预期功能、可靠性和经济性指标等。根据存在问题，修改设计，使之更为完善。

(6) 定型和生产 根据修改后的技术文件进行批量生产，投入使用。不断总结经验，不断改进设计，以提高产品的性能和质量。

以上设计过程，可用图1-1表示。

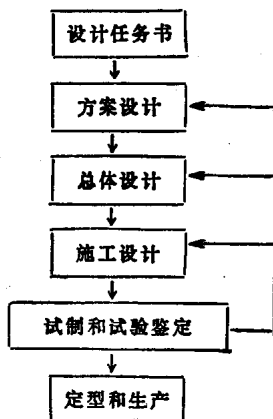


图1-1 机械设计过程

传统的机械设计方法有理论设计、经验设计和实验设计等，一般应有机地结合进行。

现代机械设计方法采用优化设计、有限元分析、可靠性设计和计算机辅助设计(CAD)等。随着电子计算机一代代更新，将CAD、CAM(计算机辅助制造)、CAA(计算机辅助装配)、CAT(计算机辅助检测)等连成网络，加上人工智能专家系统的发展，将使机械系统设计发生根本性的变革。

2. 机械零件设计

机械零件设计的基本要求是：满足机器所需的工作能力，具有良好的工艺性和经济性等。

机械零件设计的一般步骤：

- (1) 从机器功能要求出发，合理选择机构和零件的类型。
- (2) 按机器的工作状况，分析和计算作用在零件上的载荷，合理选择材料，计算零件工作能力，确定零件尺寸。
- (3) 考虑制造工艺、使用维修、经济和安全等问题，进行结构设计。
- (4) 在绘制机器或部件装配图基础上，绘制零件工作图。

3. 机械零件的主要失效形式和计算准则

机械零件不能正常工作称失效。常见的失效形式有：

断裂 由于零件的变应力超过其材料的疲劳极限，或由于突然过载引起静应力超过强度极限造成的整体破坏。

塑性变形 由于静应力超过屈服极限，引起过大的变形量。

点蚀 高副零件表层的变接触应力超过疲劳强度极限，引起表面麻点状剥蚀损伤。

胶合 由于瞬时温度过高，引起两相对运动零件的表面焊后撕伤。

磨损 两相对运动零件的表面，由于硬颗粒或硬尖峰的犁削而产生很多沟纹。

压溃 由于两零件互压表面挤压应力超过挤压强度极限，引起过大的变形量或破坏。

机械零件工作能力计算依据的原则，一般称为计算准则。

为防止失效，常用的计算准则有：

强度准则 零件中的应力不得超过许用应力。

刚度准则 零件的变形量不得超过许用变形量。

耐磨性准则 零件的磨损量不得超过许用磨损量，常表现为限制相对运动表面压强或相对滑动速度。

振动稳定性准则 零件动态稳定而不发生振动，常表现为限制零件的振幅、振动频率或通过调整零件的自然频率来保证。

可靠性准则 零件须有要求的可靠度。可靠度是指产品在规定的条件下，在规定的时间内，完成规定功能的概率。

4. 常用材料和选用原则

机械零件常用材料有碳素结构钢、合金结构钢、铸铁、铜合金、铝合金和塑料、橡胶等金属材料，其中以钢和铸铁应用最广。

选用材料时应综合考虑：

使用要求 零件工作条件对强度、硬度、韧性等机械性能的要求。

工艺性 便于制作毛坯、热处理和机加工。

经济性 材料价格等。

5. 结构工艺性

良好的结构工艺性是指零件便于加工、便于装配、费用低等，其基本原则为

(1) 毛坯选择合理，一般取决于生产批量、生产条件和材料性质。毛坯制备方法有轧制、铸造、锻造、焊接、冲压等。

(2) 在满足使用要求的前提下，尽量降低精度要求。

(3) 零件结构力求简单，尽量减少加工面、加工量和装夹次数，并便于装拆和维修。

(4) 尽量采用标准件和标准系列。

二、测 试 题

1-1 选择题

1-1-1 机器最主要的技术经济指标是____。(a. 成本低; b. 生产周期短, 质量高; c. 功能对价格比高; d. 性能对价格比高)

1-1-2 火车轮在钢轨上运行不可能发生____失效。(a. 点蚀; b. 胶合; c. 磨损; d. 压溃)

1-1-3 零件可能出现疲劳断裂时, 应按____准则计算; 可能出现塑性变形时, 应按____准则计算。(a. 强度; b. 刚度; c. 振动稳定性)

1-1-4 为防止磨损和胶合, 常取____材料配对。(a. 钢—钢; b. 钢—青铜; c. 铸铁—青铜; d. 青铜—青铜)

1-1-5 机械零件中应用最广泛的材料: 普通碳素钢为____, 优质碳素钢为____, 灰铸铁为____。(a. 45; b. ZG45; c. 40Cr; d. A3; e. ZQ Sn10-1; f. HT200)

1-1-6 钢的机械性能指标: 强度为____, 塑性为____, 韧性为____, 硬度为____。(a. HRC; b. 冲击值 α_K ; c. 屈服极限 σ_s ; d. 截面收缩率 ψ ; e. 断裂韧性 K_{IC})

1-1-7 随着含碳量增加, 钢的____降低, ____和____增高; 随着工作温度提高, 钢的____降低, ____增加。(a. 强度; b. 塑性; c. 弹性; d. 弹性模量)

1-1-8 试选择下列机械零件的毛坯工艺: 某机架单件生产, 宜用____; 某大型箱体形状复杂, 较大批量生产, 宜用____; 某重要受力零件需生产10件, 宜用____。(a. 砂型铸造; b. 金属型铸造; c. 自由锻造; d. 模型锻造; e. 焊接)

1-1-9 机械串联系统的可靠度____各组成零件的可靠度; 机械并联系统的可靠度____各组成零件的可靠度。(a. 高于; b. 低于; c. 等于)

1-1-10 国内标准代号: GB代表____, JB代表____, YB代表____, QB代表____。(a. 纺织工业部标准; b. 冶金工业部标准; c. 国家标准; d. 原机械工业部标准; e. 轻工业部标准)

1-1-11 国外标准代号: GOCT表示____, ISO表示____, BS表示____, DIN表示____, ASME表示____, JIS表示____。(a. 国际标准化组织标准; b. 苏联国家标准; c. 美国机械工程师协会标准; d. 英国国家标准; e. 日本工业标准; f. 联邦德国国家标准)

1-1-12 工程上采用____作为优先数字系列基础, 取公比为____。(a. 20系列; b.

几何级数; c. 10^n (n ——整数系列); d. $\sqrt[n]{10}$; e. 0, 5 结尾整数)

1-2 简答题

1-2-1 降低机器成本主要有哪些措施?

1-2-2 选择零件毛坯工艺主要考虑哪些问题?

1-2-3 标准化的意义何在?

1-2-4 简述热处理零件结构工艺性。

1-2-5 简述零件切削加工工艺性。

1-2-6 简述零件装配的结构工艺性。

1-2-7 简述铸造零件的结构工艺性。

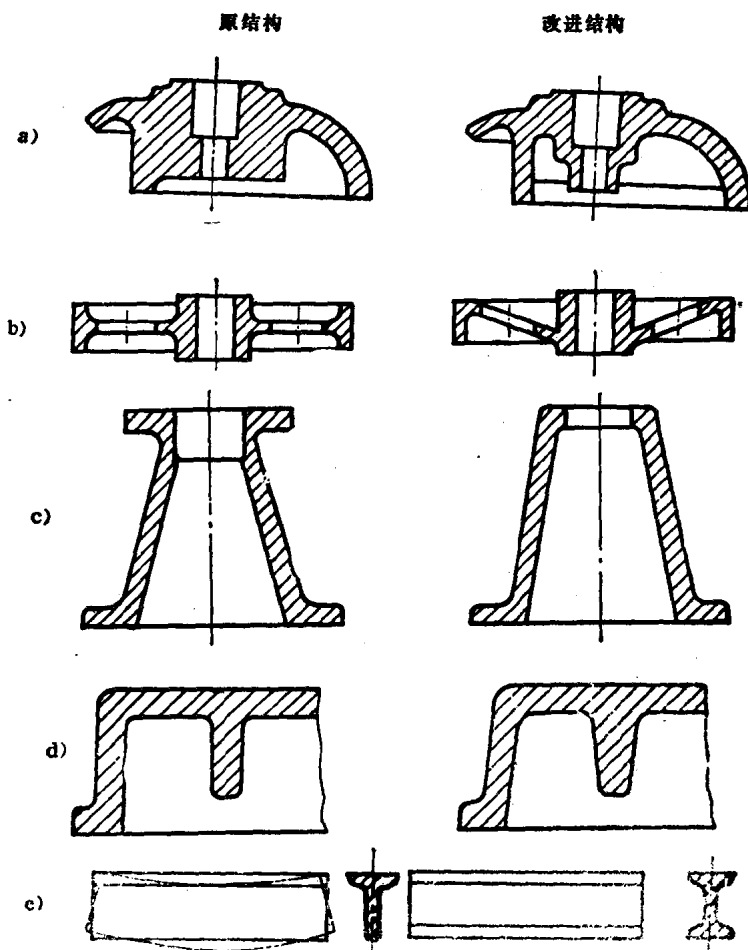
1-3 计算题

1-3-1 一批滚动轴承, 抽查40个, 当循环次数为 10^6 次时, 发现7个已发生点蚀失效。试问可靠度为多少? 失效概率为多少?

1-3-2 某批齿轮要求工作 10^5 h, 失效数为 1.2, 试问工作5000 h 和 1 万 h 可靠度各为多少?

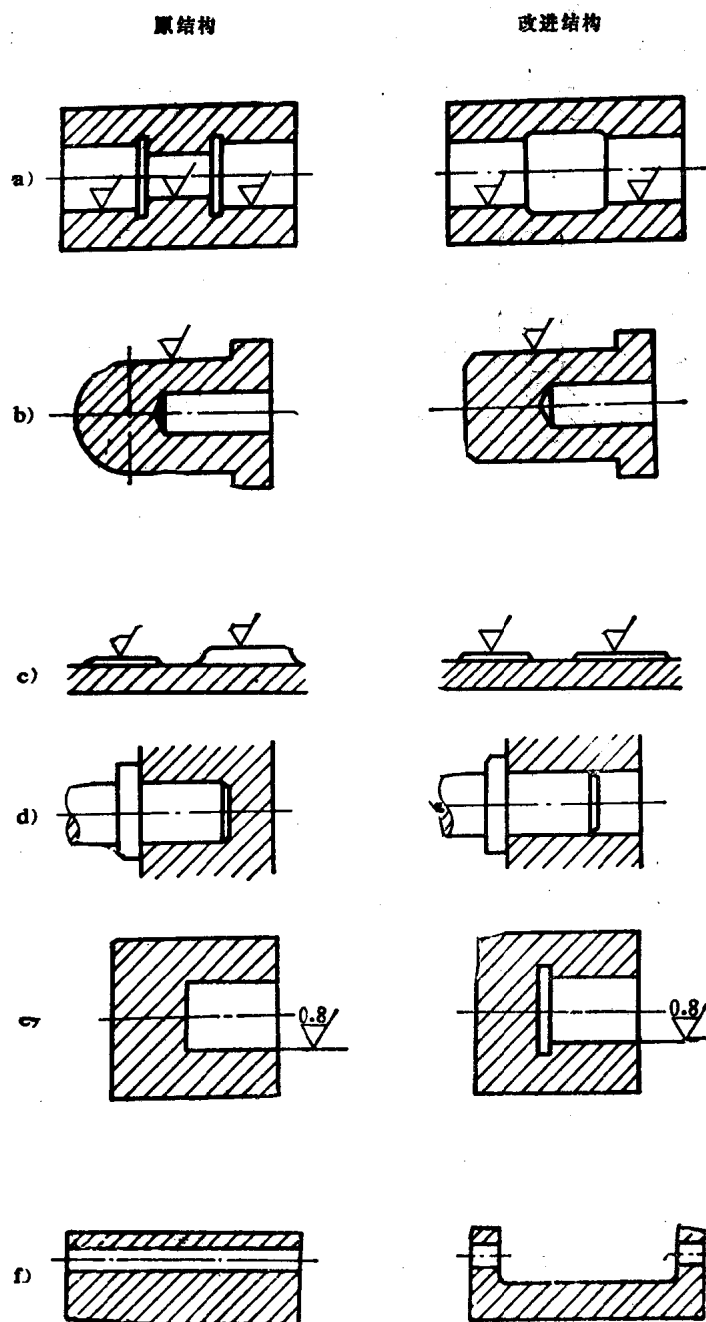
1-4 结构分析题

1-4-1 指出图示铸件结构改进的原因。



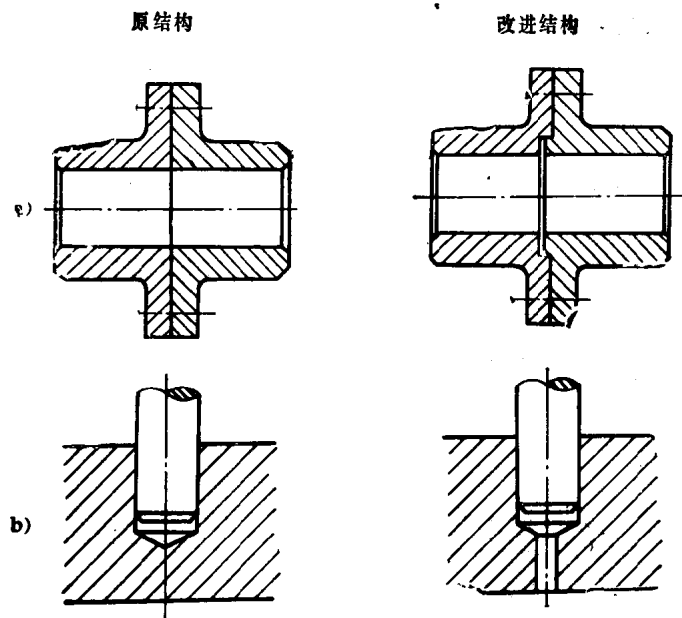
题图 1-4-1

1-4-2 指出图示零件改进切削加工工艺性的原因。



题图 1-4-2

1-4-3 指出图示零件改进装配工艺性的原因。



题图 1-4-3

第二章 机械零件的强度

一、主要内容

强度是影响机械零件工作能力最重要的因素。本章要求掌握机械零件的强度概念和计算方法,其中以疲劳强度为重点。要求掌握变应力种类、疲劳曲线、简化极限应力线图、稳定和非稳定变应力的强度计算,并了解表面强度的概念。

1. 载荷和应力

(1) 载荷 机械零件设计中的计算载荷

$$F_c = KF$$

式中 F ——公称载荷;

K ——载荷系数,考虑外部和内部附加动载荷等影响因素。

(2) 应力 分为静应力和变应力两大类,变应力又可分为稳定循环变应力、非稳定循环变应力和随机变应力。

描述稳定循环变应力特征有 5 个参数:应力幅 σ_a 、平均应力 σ_m 、最小应力 σ_{min} 、最大应力 σ_{max} 和循环特征系数 r 。其关系式为

$$\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a$$

$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a$$

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

稳定应力的类型和特点见表 2-1。

2. 机械零件的整体强度

(1) 静强度 机械零件的应力极少是不变的,一般变化次数小于 10^3 次的变应力,可近似按静强度计算。计算公式见表 2-2。

(2) 疲劳强度 零件在变应力作用下,可能发生疲劳失效。

1) 疲劳曲线 在一定循环特征系数 r 条件下,由材料疲劳试验得到的不同循环次数对应的疲劳极限的曲线,见图 2-1。该曲线在有限寿命区内可表示为方程

$$\sigma_{r,N}^m N = c$$

式中 $\sigma_{r,N}$ ——材料在循环次数 N 下的疲劳极限;

c, m ——视材料而定的常数。

$$\sigma_{r,N} = \sigma_r \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} = \sigma_r K_N$$

式中 σ_r ——材料在规定循环基数 N_0 下的疲劳极限,亦称无限寿命疲劳极限;

K_N ——寿命系数。

2) 极限应力线图 在各种循环特征系数条件下作材料疲劳试验,可得极限应力线图,用以分析非对称循环应力。该图有三种坐标系: $\sigma_m - \sigma_a$ 坐标系 (Haigh 图); $\sigma_m - \sigma_{max}$ 和 σ_{min}

表2-1 稳定应力的类型和特点

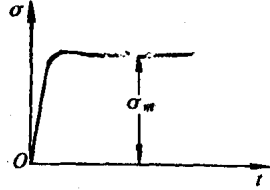
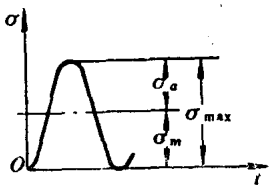
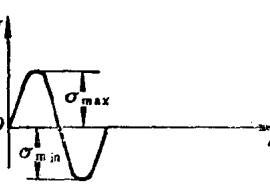
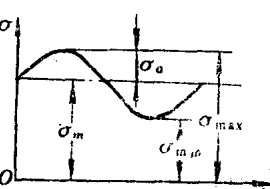
应力类型	代号	循环特征系数 r	图 谱	特 点
静应力	σ_{+1}	+1		$\sigma_a = 0$ $\sigma_m = \sigma_{max} = \sigma_{min}$
变应力	脉动循环 σ_0	0		$\sigma_{min} = 0$ $\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{max}/2$
	对称循环 σ_{-1}	-1		$\sigma_m = 0$ $\sigma_a = \sigma_{max} = -\sigma_{min}$
	非对称循环 σ_r	非 +1, 0, -1		$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$ $\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$

表2-2 静强度计算公式——强度条件

应力形式	脆性材料	塑性材料	
单向应力	$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_B}{S}$	$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$	
双向应力(弯曲正应力和扭转剪应力)	第一强度理论	第三强度理论	第四强度理论
	$\sigma_{max} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$ $\left[\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2\right] \leq$ $[\sigma] = \frac{\sigma_B}{S}$	$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$ $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$	$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$

坐标系 (Smith 图); $\sigma_{min}-\sigma_{max}$ 坐标系 (Goodman 图)。以 $\sigma_m-\sigma_a$ 坐标系应用最广。

某塑性材料简化的 $\sigma_m-\sigma_a$ 图见图2-2。图中 A 为对称循环应力点, B 为脉动循环应力点, C 为静应力点。若工作应力处于 OABDC 区内, 则试件不会失效。图中 CD 线表示静强度极限, 其方程为

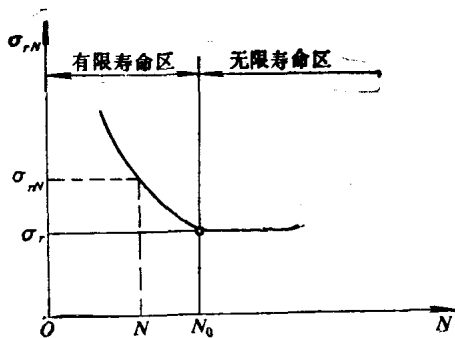


图2-1 疲劳曲线

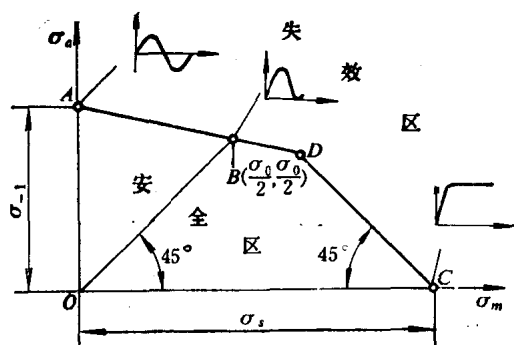


图2-2 塑性材料简化的极限应力线图

$$\sigma_r = \sigma_{ra} + \sigma_{rm} = \sigma_s$$

AD 线表示疲劳强度极限, 其方程为

$$\sigma_{-1} = \sigma_{ra} + \psi_\sigma \sigma_{rm}$$

式中 ψ_σ ——将平均应力折合成应力幅的等效系数;

σ_{ra} , σ_{rm} ——一定循环特征系数的材料极限应力幅和平均应力。

图 2-3 为使用上述材料制成的零件的 σ_m — σ_a 的简化图。图中 CD' 线方程同 CD 线, $A'D'$ 线方程为

$$\sigma_{-1} = K_\sigma \sigma_{ra} + \psi_\sigma \sigma_{rm}$$

综合影响系数

$$K_\sigma = \frac{k_\sigma}{\epsilon_\sigma \beta}$$

式中 k_σ ——零件的有效应力集中系数;

ϵ_σ ——零件的绝对尺寸系数;

β ——零件的表面状态系数。

脆性材料和低塑性材料的 σ_m — σ_a 图见图 2-4。

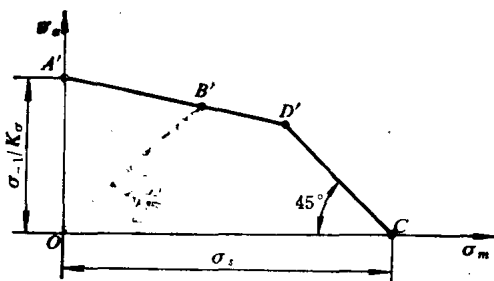


图2-3 零件的极限应力线图

$$B' \left(\frac{\sigma_0}{2}, \frac{\sigma_0}{2K_\sigma} \right)$$

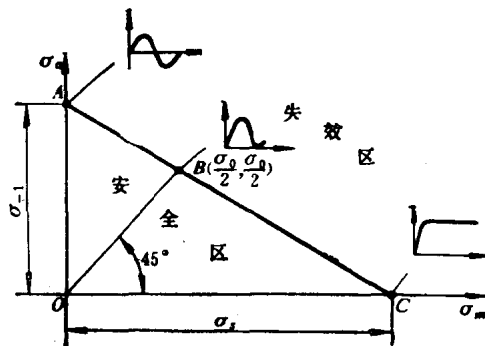


图2-4 脆性材料的极限应力线图

任一循环特征系数的材料应力极限 σ_{rN} 可由 O 点画出射角 γ 求得, 见表 2-3 中 $r = c$ 图,

而射角 $\gamma = \arctg \frac{1-r}{1+r}$ 。

同理,可以得到剪应力的 $\tau_a - \tau_c$ 图及其方程,只需将 σ 换成 τ 。

3) 强度计算 变应力的强度计算一般采用安全系数法,公式见表2-3。表中 M' 和 N' 点为工作应力点 M 和 N 的相应极限应力点。 M' 点处于疲劳极限线 AD 上, N' 点则处于静应力极限线 CD 上。当极限应力在 CD 线上时,应验算静应力安全系数 S_s 。

表2-3 变应力的强度计算公式

简单应力	稳定变应力	工作点	$r = c$	$\sigma_m = c$	$\sigma_{min} = c$
			$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \geq [S]$	$S = \frac{\sigma_{-1} + (K_\sigma - \psi_\sigma) \sigma_m}{K_\sigma (\sigma_m + \sigma_a)} \geq [S]$ $S_s = \frac{\sigma_{-1} - \psi_\sigma \sigma_m}{K_\sigma \sigma_a} \geq [S]_s$	$S = \frac{2\sigma_{-1} + (K_\sigma - \psi_\sigma) \sigma_{min}}{(K_\sigma + \psi_\sigma)(2\sigma_a + \sigma_{min})} \geq [S]$ $S_s = \frac{\sigma_{-1} - \psi_\sigma \sigma_{min}}{(K_\sigma + \psi_\sigma) \sigma_a} \geq [S]_s$
			$S_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_a + \sigma_m} \geq [S]_s$		
非稳定变应力			$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_s \sigma_v}$ 式中 $K_s = \sqrt{\frac{N_v}{N_0}}$, $N_v = \sum_{i=1}^z n_i \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_v} \right)^m$		
弯扭复合应力			$S = \frac{S_\sigma S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq [S]$ 式中 $S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}$, $S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_\tau \tau_a + \psi_\tau \tau_m}$		

注:简单应力中 σ 可表示拉、压或弯曲应力,受剪时则改为剪应力 τ 。

对稳定变应力应重点掌握 $r = c$ 的计算。

非稳定变应力安全系数公式是由疲劳损伤积累假说 (Miner 方程) 得到的。该假说认为各级变应力的最大值 (如 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) 造成损伤积累达到 100% 时发生疲劳失效,即

$$\sum_{i=1}^z \frac{n_i}{N_i} = 1$$

式中 z ——变应力级数;

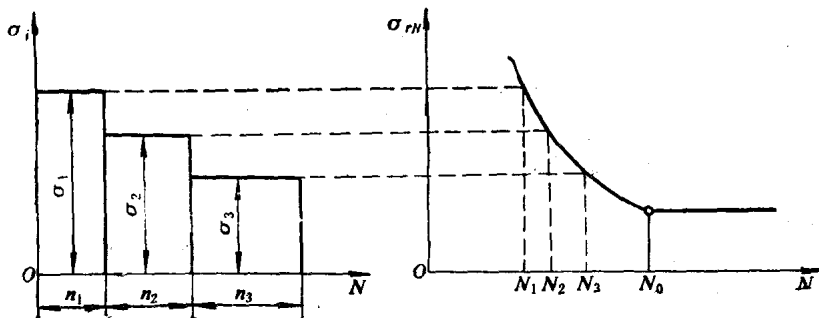


图2-5 规律性非稳定变应力

n_i ——每级变应力的工作循环次数；

N_i ——每级变应力的极限循环次数，见图2-5。

利用疲劳损伤等效概念，即通过等效稳定变应力 σ_r 和等效循环次数 N_r ，将非稳定变应力转化为稳定变应力。

3. 机械零件的表面强度

(1) 挤压强度 面接触零件在载荷作用下，接触表面互压而产生挤压应力。挤压强度条件为

$$\sigma_p = \frac{F}{A} \leq [\sigma]_p$$

式中 F ——载荷；

A ——挤压接触面积或其投影面积；

$[\sigma]_p$ ——许用挤压应力。

(2) 接触强度 高副接触零件在载荷作用下，接触处小面积变形而产生接触应力。两圆柱体在 F 力作用下（图2-6），产生的最大接触应力可由弹性力学赫兹公式求出

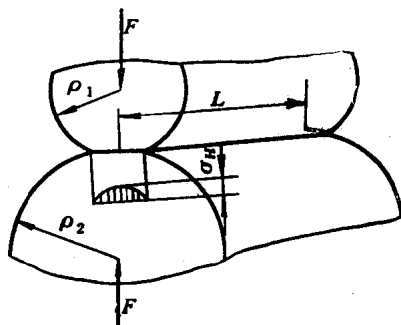


图2-6 两圆柱体的接触应力

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{FE_c}{\pi L \rho_c}}$$

式中 L ——两圆柱体接触长度；

E_c ——综合弹性模量， $\frac{1}{E_c} = \frac{1 - \mu^2}{E_1} + \frac{1 - \mu^2}{E_2}$ ；

ρ_c ——综合曲率半径， $\frac{1}{\rho_c} = \frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}$ （正号表示外接触，负号表示内接触）；

E_1, E_2 ——两圆柱体材料的弹性模量；

μ_1, μ_2 ——两圆柱体材料的泊松比；

ρ_1, ρ_2 ——两圆柱体曲率半径。

二、典型实例分析

例2-1 一合金钢零件在循环特征系数 $r = c$ 下工作应力为 $\sigma_m = 300\text{MPa}$ ， $\sigma_c = 200\text{MPa}$ ，综合影响系数 $K_\sigma = 1.5$ ，工作循环次数为 5×10^5 次。该合金钢的 $\sigma_{-1} = 500\text{MPa}$ ， $\sigma_s = 850\text{MPa}$ ， $\psi_\sigma = 0.2$ ，循环基数 $N_0 = 10^7$ 次，指数 $m = 9$ 。若要求许用安全系数为 1.5，试问该零件是否合乎强度要求？

解 用计算法求安全系数：

1. 按无限寿命计算疲劳强度安全系数

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_c + \psi_\sigma \sigma_m} = \frac{500}{1.5 \times 200 + 0.2 \times 300} = 1.39 < [S]$$

2. 按有限寿命计算疲劳强度安全系数

$$\sigma_{-1N} = \sigma_{-1} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} = 500 \sqrt[9]{\frac{10^7}{5 \times 10^5}} \text{MPa} = 697.5 \text{MPa}$$

$$S_N = \frac{\sigma_{-1N}}{K_\sigma \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} = \frac{697.5}{1.5 \times 200 + 0.2 \times 300} = 1.94 > [S]$$

3. 按静强度计算安全系数

$$S_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_a + \sigma_m} = \frac{850}{200 + 300} = 1.7 > [S]$$

由上述计算可见:

1. 按无限寿命计算疲劳强度不合格, 按有限寿命计算合格。前者可能导致提高材料机械性能或提高零件表面质量, 从而提高了成本。显然后者有利于降低成本和得到尺寸更紧凑的设计。

2. 静强度安全系数较有限寿命安全系数小, 说明该工作状态更易于发生塑性变形。

用作图法求安全系数 (图 2-7):

1. 按比例作材料的简化 $\sigma_m - \sigma_a$ 极限应力线图 AD 线斜率 $\tan \alpha = -\psi_\sigma = -0.2$ 。由 σ_{-1} 、 σ_s 和 α 角可作出 ADC 无限寿命极限应力线; 由 σ_{-1N} 点作 AD 平行线, 可得 $A_N D_N C$ 有限寿命极限应力线。

2. 按比例作零件极限应力线图

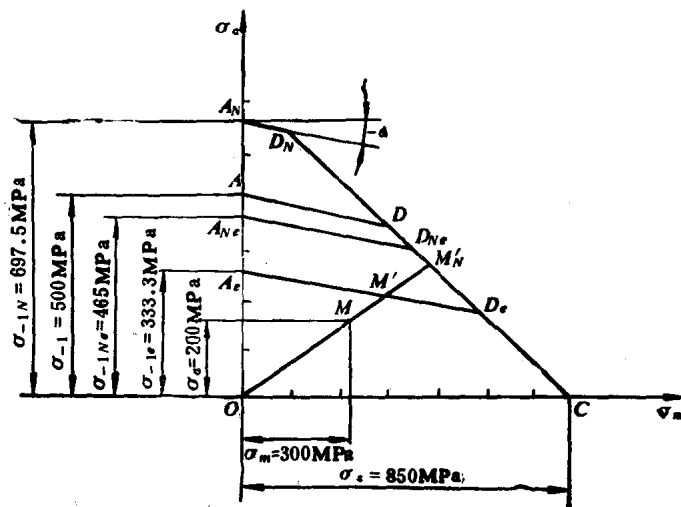


图 2-7 例 2-1 解

$$\sigma_{-1'} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma} = \frac{500}{1.5} \text{ MPa} = 333.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{-1N'} = \frac{\sigma_{-1N}}{K_\sigma} = \frac{697.5}{1.5} \text{ MPa} = 465 \text{ MPa}$$

由 $\sigma_{-1'}$ 和 $\sigma_{-1N'}$ 点分别作出 $A'D'C$ 和 $A_N D_N C$ 线, 即零件无限寿命和有限寿命极限应力线。其斜率 $\tan \alpha' = -\psi_\sigma / K_\sigma = -0.2 / 1.5 = -0.133$ 。

3. 标出工作应力点及其极限应力点 按 σ_m 和 σ_a 在图上画出工作应力点 M , 延长 OM 交得 M' 和 M_N 点, 分别为其无限寿命和有限寿命极限应力点。

4. 求安全系数 由图测得 M' 坐标 σ'_m 、 σ'_a , M_N 坐标 σ'_{mN} 、 σ'_{aN} 后计算

$$\text{无限寿命} \quad S = \frac{\sigma'_m + \sigma'_a}{\sigma_m + \sigma_a} = \frac{400 + 266.7}{300 + 200} = 1.33$$

$$\text{有限寿命} \quad S_N = \frac{\sigma'_{mN} + \sigma'_{aN}}{\sigma_m + \sigma_a} = \frac{516.7 + 350}{300 + 200} = 1.73$$

此结果与计算法结果相近。作图法的优点是可由工作点位置判断是否可能静载失效。图示 M_N 点位于 CD 线上, 说明可能出现静载失效, 因而可免去疲劳强度计算。