

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

机械零件

学习指导书

邱宣怀 主编

高等教

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

机械零件 学习指导书

邱宣怀 主编

高等教育出版社

本书是为满足函授、自学的需要，与许镇宇、邱宣怀主编的《机械零件》（1981年修订版）一书配套使用的学习指导书。

本书内容包括：各章的重点学习内容；学习要求；一些问题的说明和补充，对教材中的某些难点、易混淆的问题和基本内容作了必要的补充讲述，以帮助学生进一步理解教材中的主要问题。

本书可作为机械类各专业的函授、自学教材，也可供在校师生及有关工程技术人员参考。

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

机械零件学习指导书

邱宣怀 主编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张4.5 字数 112 000

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数00 001—17 020

书号15010·0837 定价0.92元

序

本书是与许镇宇、邱宣怀主编的《机械零件》(修订版)教材配套使用的学习指导书。目的是帮助学生掌握教材的主要内容,明确学习重点和要求。为此,本书对教材中的某些问题作了必要的说明和补充,有些公式还作了推导。有必要指出,公式的推导只是为了帮助读者进一步理解导出公式的前提(或假说)、逻辑推理的过程和某些物理含义,从而增加读者分析问题、解决问题的能力,不宜作为课堂讲授的基本内容。

本书章号、名词、符号等都和教材一致。冠以章号的公式号、图号、表号都是教材上的公式、图、表,没有冠以章号的公式号、图号、表号都是本书新加的。

读者关于《机械零件》教材的来信,对编写此书有一定帮助,在此致以谢意!

本书承北京钢铁学院余梦生同志审阅,敬致谢意!

参加本书编写的有:邱宣怀——第一、三、四、九、十三、十四、十九、二十章;郭芝俊——第二章;郭可谦——第五、七、八章;何祖莱——第五、六章;左宝山——第十、十八章;刘余生——第十一、十二章;吴宗泽——第十五、十六章;黄纯颖——第十七章;并由邱宣怀主编。

欢迎读者对书中不妥之处批评指正。

编者

一九八六年五月

目 录

序		
第一章	机器及机械零件设计概论	1
第二章	机械零件的工作能力和计算准则	4
第三章	摩擦、磨损、润滑概述	26
第四章	材料的选用原则、零件的工艺性	33
第五章	螺纹联接	38
第六章	键、花键和销联接	51
第七章	过盈联接	54
第八章	铆钉联接、焊联接、粘接	56
第九章	摩擦轮传动	59
第十章	带传动	62
第十一章	齿轮传动	75
第十二章	蜗杆传动	81
第十三章	链传动	85
第十四章	减速器	87
第十五章	轴	90
第十六章	滑动轴承	97
第十七章	滚动轴承	107
第十八章	联轴器和离合器	122
第十九章	弹簧	132
第二十章	机架零件	137

第一章 机器及机械零件设计概论

一、重点学习内容

本章应结合机械零件教学大纲的要求，明确本课程的性质和任务。对机器设计的程序和零件设计的步骤可作一般性了解。

二、学习要求

1. 课程内容、性质和基本定义(1-1) 对本节中的几个名词(机器、机械零件、部件、元件、通用零件、专用零件)、课程内容、性质与研究范围，以及本课程与先修课程间的关系应有所了解。机械零件有时也用作泛义词，它包括机械零件、部件在内。元件一词，不同行业有不同的理解，例如仪器仪表、液压、电气等行业，元件是指由若干零件组成共同完成某一功能的组件。

2. 机器设计的基本原则和设计程序(1-2) 机器应满足的要求、设计方法、新产品开发设计程序和技术经济评价等四方面内容，都属于机械设计中的全局性问题。这里，只勾划了概貌，起着开阔视野的作用。通过本节的学习，要求读者了解本课程的任务只是整个产品设计全局中的一个组成部分。

3. 机械零件设计概述(1-3) 本节内容只要求大致了解，在以后学习过程中，当更有体会。

标准化、系列化、通用化的重要意义，初学者不易理解。但在日常生活中不难找到类似的例子，稍加思索，就会得出应有的结论。在设计工作中，经常要用到标准、规范等一类技术性文件，从技术、经济方面考虑，这些文件都是非常重要的。标准不是可用可不用的问题，而是应提高到是否遵守法律的高度来认识。产

品标准化的程度已成为评定设计的重要指标之一。

三、一些问题的说明和补充

1. 本课程是一门设计性的技术基础课,其主要任务有二:一是培养学生综合运用基础理论、工程技术基础和基本知识解决一般参数的通用机械零件的设计问题;二是设计技能的基本训练,使学生获得初步的设计机械传动和简单机械的能力。两者同等重要。设计能力的培养和提高,关键在于读者多观察、多思考、多分析和认真完成设计作业。

2. 机械零件和机械设计,虽然课程名称不同,但内容基本一致。在(日)中岛尚正编《工程设计学丛书》的序言中提到:“学习机械设计课程的主要目的在于掌握机械零件方面的知识。要求完成的设计必须能给出具体的空间、形状、尺寸和材料等内容,一般表现为设计图纸。在机械设计的最后阶段(指新产品开发设计程序中,经过调查、决策、试验研究等阶段,最后进行具体设计的阶段——编者),有关机械零件的知识是不可缺少的。因此,以机械零件为学习对象的机械设计的重要性是不言自明的”。在(美)J. E. 希格利著《机械工程设计》的序言中,也提到“机械设计是机械工程中其他专业课程和设计课程的基础课程。因此学习机械设计似乎是大学生开始机械工程实践的最有效和最经济的方法”。从国内外现有机械零件的教材内容看,也大多是以机械零件设计为本课程的基本内容。

但是,在《工程设计学丛书》的序言中也提到“以往的机械设计对于设计的全局性问题研究不够,虽然可能培养出能从事细节设计的技术人员,但对于具有更广阔视野的设计人员来说就显得非常不够”。如何开阔设计人员的视野,是当前教学改革中值得探索的课题。

3. 由于现代科学技术的迅速发展,在工业产品已经相当完善

和市场竞争很激烈的情况下，近二、三十年来，机械设计的研究领域正在不断扩大。主要表现在以下几个方面：

(1) 在基础理论方面正在深化和扩展，分析问题和计算方法也正由宏观研究向微观研究方面发展。例如，摩擦学研究摩擦表面间物理和化学的性质；断裂力学研究微裂纹的扩展规律；弹性流体动压润滑研究重载接触副的油膜厚度等。

(2) 传统的机械设计偏重于零件、部件的设计，现正向以局部或整个机械系统为对象的设计方法扩展。例如，研究机械系统的动力学问题对发展高速机械具有很重要的意义。

(3) 为使开发产品更完善、更价廉，不断出现更科学、更合理的设计方法，如设计方法学、优化设计、可靠性设计等。

(4) 依靠电子计算机运转速度快、计算精度高、有记忆和逻辑判断功能等特点，计算机程序设计、计算机制图、人-机对话、自动设计等的应用日益普遍。

(5) 由于电子工业的迅速发展，“机”和“电”的关系越来越密切。例如：直线异步电机能直接产生直线机械往复运动；交流可控伺服电机能实现无级调速，伺服电机功率已达数十千瓦。因此，中间传动装置将大为简化或取消，机电结合的前景在各工业部门中的应用是相当广阔的。

对于一个从事机械设计的专业人员来说，为了面向未来，上列一些新学科的知识无疑都是需要的。这些知识不可能都在学校中学到，有的要在工作岗位上，根据工作需要，逐步掌握、充实。

本 刊

第二章 机械零件的工作 能力和计算准则

一、重点学习内容

本章介绍了强度、刚度、温度、振动稳定性和可靠性等对机械零件工作能力的影响，分别阐明了考虑这些问题时的准则，并相应地提出提高零件工作能力的主要措施。

由于大多数机械零件是在变应力下工作，所以“零件在变应力下的强度”是本章的重点学习内容。

二、学习要求

本章内容为机械零件设计中的一些共性问题，具有一定的深度、广度和系统性。初学时容易感到抽象，抓不住重点，不知如何应用。为了提高学习效果，在学习每一节时除要掌握基本概念外，还要掌握有关提高零件工作能力的措施，并在学习以后各章时紧密联系本章有关内容，以便加深理解。例如：在学习轴的强度计算（15-3节）时应复习2-2节；在学习轴的刚度计算（15-4节）时应复习2-4节。学完全书以后，对本章再进行一次复习和总结，收获将更大。

1. 载荷和应力的分类(2-1) 要掌握计算载荷与名义载荷的意义以及它们之间的关系，即计算载荷等于名义载荷乘以载荷系数。从表2-1中了解各种原动机和工作机的工作性质。载荷系数的物理意义见1-3节。

复习在材料力学中学过的非对称循环应力、脉动循环应力和对称循环应力的特征，能绘出应力-时间曲线，并能写出最大应力、

最小应力、平均应力、应力幅和循环特性的计算公式。

2. 机械零件的整体强度 (2-2) 判别机械零件危险剖面强度是否安全的基本依据是

$$\text{工作应力} \leq \text{许用应力}$$

$$\text{许用应力} = \frac{\text{材料极限应力}}{\text{许用安全系数}}$$

材料的极限应力应根据工作应力类型的不同来选择。工作应力为静应力时，极限应力对于脆性材料为强度极限，对于塑性材料为屈服极限；工作应力为变应力时，极限应力为疲劳极限。

在变应力下工作的零件，常采用下式判断危险剖面的强度是否安全

$$\text{安全系数} = \frac{\text{材料极限应力}}{\text{工作应力}} \geq \text{许用安全系数}$$

上式说明危险剖面的安全程度。对于有几个危险剖面的复杂零件，利用上式可以找出零件强度的薄弱环节，从而对危险剖面的结构和尺寸进行修改。

上式也适用于机械零件的表面强度计算，例如当工作应力为接触变应力时，极限应力应为接触疲劳极限。

本节有些内容已在材料力学中学过，这里起着复习和衔接的作用。“零件在变应力下的强度”则在材料力学的基础上有所扩展和加深，这是机械零件强度设计的基础，读者必须掌握。特别是：(1)影响零件疲劳强度的因素；(2)稳定变应力下零件的强度计算；(3)规律性非稳定变应力下零件的强度计算；(4)提高零件疲劳强度的措施等内容，在零件的疲劳强度设计中起着重要作用。具体要求如下：

能写出疲劳曲线方程式 $\sigma_r^m N = C$ ，了解式中各参数的意义。

根据塑性材料的 σ_{-1} 、 σ_0 、 σ_S 和 σ_B (或 τ_{-1} 、 τ_0 、 τ_S 和

$$\sigma_r^m N = C$$

τ_B) 会作出简化极限应力图。

理解应力集中、绝对尺寸和表面状态对零件疲劳强度的影响，并在计算中以系数形式在应力幅上加以考虑。要会使用有关各系数的图表和计算式。应该指出，随着试验条件的不同，同一系数在不同资料中所给数据不尽相同；另外，有些数据不全，必要时需由试验确定。

式(2-27)为计算变应力下实际安全系数的普遍式，对式中各参数的意义都要深入理解，以便正确使用。

在规律性非稳定变应力下零件的强度计算中，引用了疲劳损伤累积假说和等效稳定变应力的概念，目的是把非稳定工作情况折合成稳定工作情况。读者应对假说和等效概念很好理解，并会应用计算公式。

教材中所介绍的改善工艺和结构对提高零件整体强度的影响只是原则性的，今后要在实际工作中不断学习、分析来提高零件结构的设计水平。

3. 机械零件的表面强度(2-3) 机械零件接触强度计算的基本公式是利用赫兹(Hertz)公式得来的，式(2-34)用于两圆柱体线接触时的情况；式(7)用于两球体点接触时的情况。读者除应对式中各参数的意义了解清楚外，还应会结合不同零件的具体条件，运用赫兹公式导出其接触疲劳强度的计算式，例如摩擦轮传动中的(9-7)、(9-8)式；齿轮传动中的(11-8)~(11-12)、(11-25)和(11-26)式等。

了解表面疲劳损坏的特点和形成过程。

掌握提高零件表面疲劳强度的措施。

4. 机械零件的刚度(2-4) 要掌握刚度对零件工作能力的影响和提高刚度的措施等有关知识。轴的刚度计算见15-4节。

5. 温度对零件工作能力的影响(2-5) 此节内容只作原则性的了解。12-7节中蜗杆传动的热平衡计算和16-7节中轴承的热

平衡计算都是具体应用的例子。

6. 机械零件的振动稳定性 (2-6) 要掌握减轻振动的措施和避免产生共振的方法。可参看15-5节轴的振动。

7. 可靠性概述 (2-7) 了解可靠度的定义和可靠度系数的用途。掌握在设计上提高系统可靠度的措施。

三、一些问题的说明和补充

1. 零件应力的类型 零件所受的载荷是静载荷还是变载荷比较容易判别,但在分析零件应力类型时,有时易发生错误,特别是在静载荷作用下(此时产生静应力也可产生变应力)。在静载荷下作回转或周期运动的零件就会产生变应力,这种情况经常遇到。几种常用零件受静载荷时产生变应力的举例见表1。

2. 疲劳曲线 疲劳曲线是研究材料疲劳强度的基本曲线,分有限寿命区和无限寿命区。在有限寿命区,随着循环次数的减少,疲劳极限增大,若循环次数少于 10^3 (或 10^4),疲劳极限接近或超过屈服极限时,疲劳曲线就不再适用,设计应按静强度处理。在无限寿命区,疲劳极限为一常数而与循环次数无关。有限寿命区和无限寿命区分界点处的循环次数为循环基数 N_0 ,其值与材料品种及其强度(硬度)有关。因此,疲劳曲线方程 $\sigma_{rN}^m N = C$ 只适用于循环次数为 10^3 (或 10^4)~ N_0 的范围内。

强度(硬度)越大的钢,循环基数也越大。为了简化,对于 $HB \leq 350$ 的钢,取平均值 $N_0 \approx 10^7$ 次(有时取下限值 10^6 次);对于 $HB > 350$ 的钢,取 $N_0 = 25 \times 10^7$ 。

若缺少钢的疲劳曲线资料时,可在 $\lg N - \lg \sigma_{rN}$ 坐标上取 10^3 次循环时的疲劳极限为 $0.9 \sigma_B$ 与 10^6 次循环时的疲劳极限所连的直线,即可得到偏于安全的近似疲劳曲线。

按照无限寿命设计的零件不仅尺寸大,原材料消耗多,而且显得笨重。近三、四十年来,机器更新快,要求轻巧,有限寿命

设计日益代替了无限寿命设计。

3. 极限应力图 极限应力图是用光滑小试件试验得到的。试验是在不同循环特性 ($r = -1 \sim +1$) 和相同循环次数的条件下进行, 通常取循环次数为 10^7 (或 10^6)。根据试验可得到材料的疲劳极限 $\sigma_{rN} = \sigma'_{\max} = \sigma'_m + \sigma'_a$ 。

有三种不同坐标系的极限应力图: 1) $\sigma_m - \sigma_a$ 坐标系 (Haigh图); 2) $\sigma_m - \sigma_{\max}$ 和 σ_{\min} 坐标系 (Smith图); 3) $\sigma_{\min} - \sigma_{\max}$ 坐标系 (Goodman图)。

(1) $\sigma_m - \sigma_a$ 坐标系极限应力图

光

本书及所配套教材中均采用 $\sigma_m - \sigma_a$ 坐标系极限应力图。

塑性材料的极限应力图根据试验数据近似地呈抛物线分布 (图 1); 低塑性和脆性材料的极限应力图呈直线分布 (图 2)。图中 A 为对称循环点, B 为脉动循环点, F 为静强度点。 ABF 极限应力曲线与两坐标轴围成的区域为安全区, 工作应力点 (σ_m, σ_a) 应位于这个区域内; ABF 曲线以外区域为疲劳失效区。

低塑性和脆性材料的极限应力图比较简单, 只要知道对称循

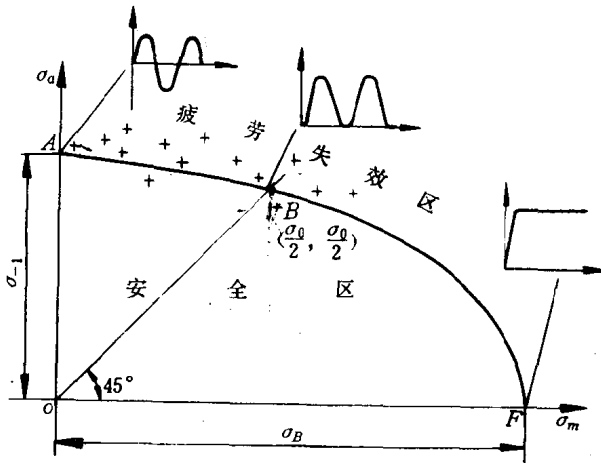


图 1 塑性材料 $\sigma_m - \sigma_a$ 极限应力图

Handwritten notes and sketches on the right side of the page, including a stress waveform and the signature 'Ta Th'.

环疲劳极限 σ_{-1} 和强度极限 σ_B (或脉动循环疲劳极限 σ_0) 即可绘出。

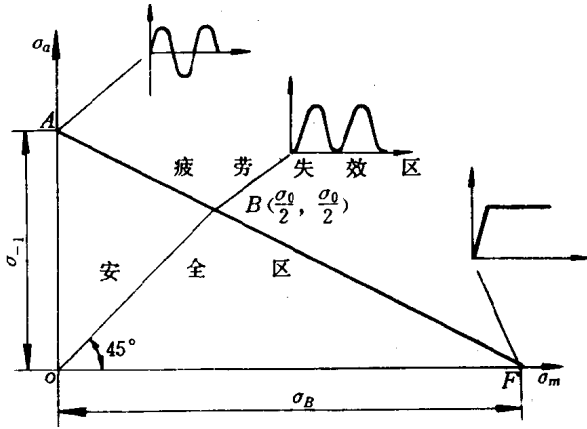


图 2 低塑性和脆性材料 $\sigma_m - \sigma_a$ 极限应力图

为了便于应用，塑性材料的极限应力图常简化为直线。简化的方法有数种 (图 3): 1) 采用 AS 直线, A 为对称循环点, S 为

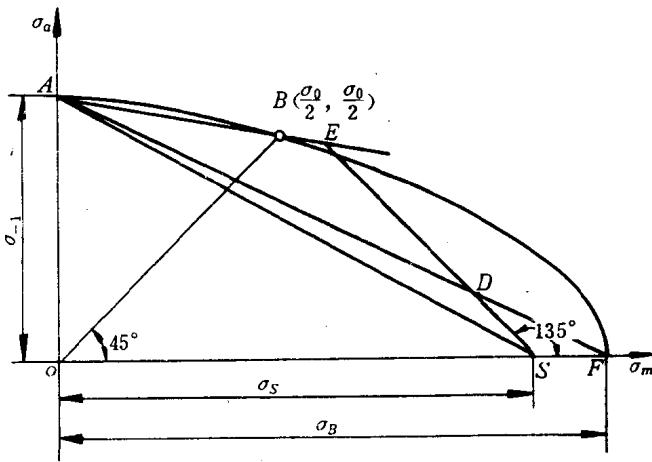


图 3 简化极限应力图

屈服极限点，此法不能充分利用材料的强度；2)采用 AD 和 DS 两段直线， D 为 AF 与自 S 点作与横坐标轴成 135° 斜线的交点， F 为强度极限点。此法也不能充分利用材料强度；3)采用 AE 和 ES 两段直线， E 为 A 与脉动循环点 B 所成直线与自 S 点所作斜线的交点，此法能较充分地利用材料的强度，但 E 点常落在极限应力图以外。教材中即采用后一种方法，只要知道对称循环疲劳极限 σ_{-1} 、脉动循环疲劳极限 σ_0 和屈服极限 σ_S 即可绘出简化极限应力图。式(2-15)即为 AE 线的解析式。

(2) $\sigma_m - \sigma_{\max}$ 和 σ_{\min} 坐标系极限应力图

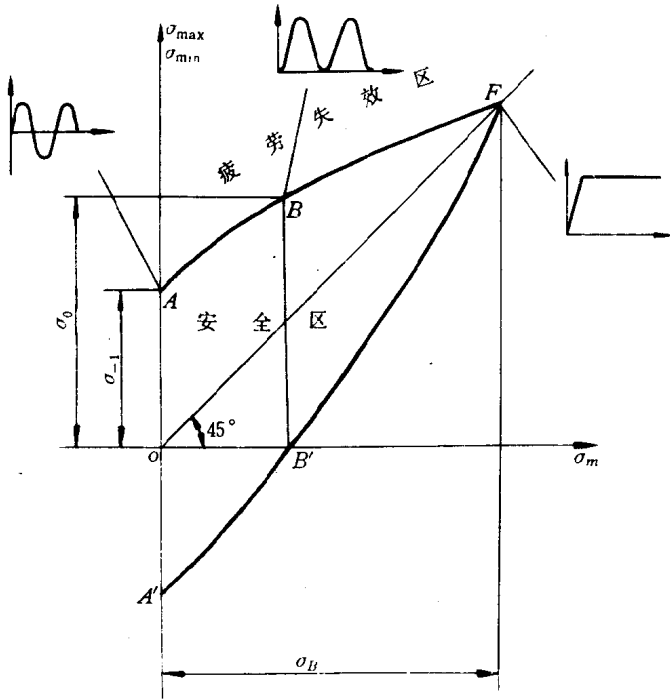


图4 $\sigma_m - \sigma_{\max}$ 和 σ_{\min} 极限应力图

图4中 A 和 A' 为对称循环点， B 和 B' 为脉动循环点， F 为静强度点。 ABF 为最大应力曲线， $A'B'F$ 为最小应力曲线。

$ABFB' A'$ 所围成的区域为安全区，外部为疲劳失效区。

(3) $\sigma_{\min} - \sigma_{\max}$ 坐标系极限应力图

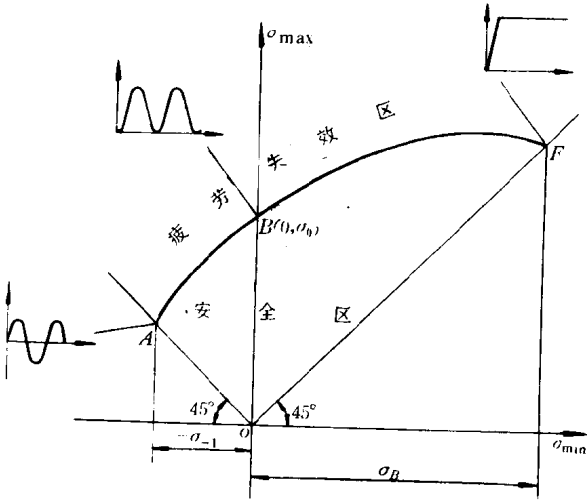


图 5 $\sigma_{\min} - \sigma_{\max}$ 极限应力图

图 5 中 ABF 为极限应力曲线。 A 为对称循环点， B 为脉动循环点， F 为静强度点。 $ABFO$ 所围成的区域为安全区，外部为疲劳失效区。

三种极限应力图的基本性质相同，只是表达方式不同。为了计算方便，对于不同零件可根据其变应力特性选用某一种极限应力图。例如， $\sigma_m - \sigma_a$ 极限应力图对计算轴类零件较为方便； $\sigma_m - \sigma_{\max}$ 和 σ_{\min} 极限应力图多用于计算受变载荷螺栓； $\sigma_{\min} - \sigma_{\max}$ 极限应力图多用于计算受变载荷的弹簧。

钢的拉伸强度极限与硬度的关系可近似取：退火的锻造或铸造碳钢 ($\sigma_B = 300 \sim 1000 \text{ N/mm}^2$)， $\sigma_B = 3.6 \text{ HB N/mm}^2$ ，退火的铬钢和镍钢 ($\sigma_B = 600 \sim 1000 \text{ N/mm}^2$)， $\sigma_B = 3.4 \text{ HB N/mm}^2$ 。