



# 第九章 机械零件设计概论

- 9.1 机械零件设计概述
- 9.2 机械零件的强度
- 9.5 机械制造常用材料及其选择

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。



# 第九章 机械零件设计概论

## 9.1 机械零件设计概述

## 9.2 机械零件的强度

## 9.5 机械制造常用材料及其选择

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

# 机械零件设计概述

- **机械设计应满足的要求**：满足预期功能前提下，性能好、效率高、成本低，在预定使用期限内安全可靠，操作方便、维修简单和造型美观等。
- **机械零件的失效与破坏**：由于某种原因不能正常工作时，称为失效；若发生解体（如断裂）或失去原有的几何形态（如产生塑性变形），称为破坏。破坏固属失效，而失效却未必破坏。
- **机械零件的工作能力**：在不发生失效的条件下，零件所能安全工作的限度，称为工作能力。通常此限度是对载荷而言，所以习惯上又称为承载能力。

# 机械零件设计概述

- **零件的失效形式：**
  - 断裂或塑性变形；
  - 过大的弹性变形；
  - 工作表面的过度磨损或损伤；
  - 发生强烈的振动等。
- **同一零件可能存在多种失效形式：**
- **轴的失效**可能由于疲劳断裂；也可能由于过大的弹性变形（即刚度不足），致使轴颈在轴承中倾斜，若轴上装有齿轮则轮齿受载便不均匀，以致影响正常工作。
  - 在前一种情况下，轴的承载能力取决于轴的疲劳强度；
  - 在后一种情况下则取决于轴的刚度；
  - 疲劳强度和刚度，两者中的较小值决定了轴的承载能力。

# 机械零件设计概述

- **零件的失效形式：**
  - 断裂或塑性变形；
  - 过大的弹性变形；
  - 工作表面的过度磨损或损伤；
  - 发生强烈的振动等。
- 为了保证零件能正常工作，在设计零件时应首先进行零件的失效分析，预估失效的可能性，采取相应措施，其中包括理论计算，计算所依据的条件，称为**计算准则**。

# 机械零件设计概述

- **常用的计算准则**主要有六个方面：
  - ① **强度准则**——强度是零件抵抗断裂、表面疲劳破坏或过大塑性变形等失效的能力。强度准则为零件工作应力不超过许用应力
  - ② **刚度准则**——刚度是零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。刚度准则为零件实际弹性变形不超过许用值
  - ③ **振动稳定性准则**——对于高速运动或刚度较小的机械，在工作时应避免发生共振。振动稳定性准则要求所设计零件的固有频率应与其工作时所受激振源的频率错开
  - ④ **耐热性准则**——机械零部件在高温工作条件下，由于过度受热，会引起润滑油失效、氧化、胶合、热变形、硬度降低等问题，使零件失效或机械精度降低。为了保证零部件在高温下正常工作，需进行热平衡计算，并合理设计其结构及合理选择材料，必要时须采用水冷或气冷等降温措施

# 机械零件设计概述

- ⑤ **耐磨性准则**——耐磨性是指相互接触并运动零件的工作表面抵抗磨损的能力。当零件过度磨损后，将改变其结构形状和尺寸，削弱其强度，降低机械精度和效率，以致零件失效报废。因此机械设计时应采取措施，力求提高零件的耐磨性。关于磨损的计算，目前尚无简单可靠的理论公式，常采用条件性计算：验算压强  $p$  不超过许用值  $[p]$ ；验算滑动速度  $v$  不超过许用值  $[v]$ ；验算  $pv$  值不超过许用值  $[pv]$
- ⑥ **可靠性准则**——机械系统的可靠性是通过零件的可靠性要求来保证的。对于重要的机械零件要求计算其可靠度  $R$ ，并作为可靠性的指标

# 机械零件设计概述

- **机械零件的设计步骤：**

- 拟订零件的计算简图；
- 确定作用在零件上的载荷；
- 选择合适的材料；
- 根据零件可能出现的失效形式，选用相应的判定条件（计算准则），确定零件的形状和主要尺寸；
- 绘制工作图并标注必要的技术条件。

- **设计计算与校核计算：**

针对给定的使用工况条件，前者是指由计算准则确定零件主要尺寸参数的计算；后者是指已知或初定零件的结构和尺寸，然后再检验计算准则是否满足的计算。





# 第九章 机械零件设计概论

9.1 机械零件设计概述

9.2 机械零件的强度

9.5 机械制造常用材料及其选择

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

# 机械零件的强度

- **名义载荷**：理想平稳工作条件下作用在零件上的载荷
- **载荷系数**：用于考虑零件在实际工作中所承受的动载、偏载、冲击载荷等附加载荷的影响而引入的系数
- **计算载荷**：载荷系数与名义载荷的乘积
- **名义应力与计算应力**：前者是按名义载荷求得的应力；后者是按计算载荷求得的应力

# 机械零件的强度

- **强度判定条件（计算准则）的许用应力法**：危险截面处的计算应力( $\sigma$ 、 $\tau$ )不超过零件材料的许用应力( $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ )

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S_{\sigma}}$$

极限正应力  
安全系数

$$\tau \leq [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S_{\tau}}$$

极限切应力  
安全系数

- **强度判定条件（计算准则）的安全系数法**：危险截面处的安全系数  $S$  不超过许用安全系数 $[S]$

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma} \geq [S_{\sigma}]$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{\text{lim}}}{\tau} \geq [S_{\tau}]$$

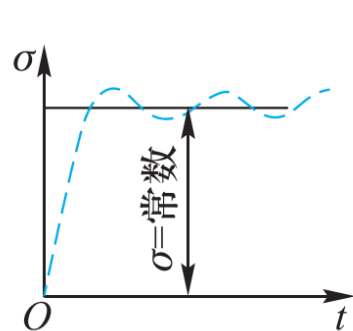
# 机械零件的强度

## 一、应力的种类

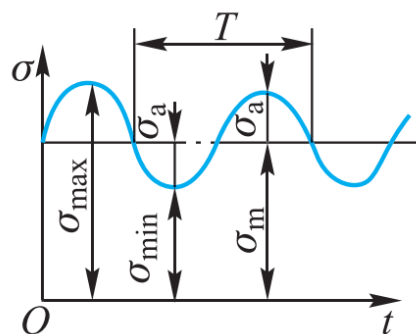
静应力——不随时间变化或变化缓慢(图a)

变应力——随时间变化

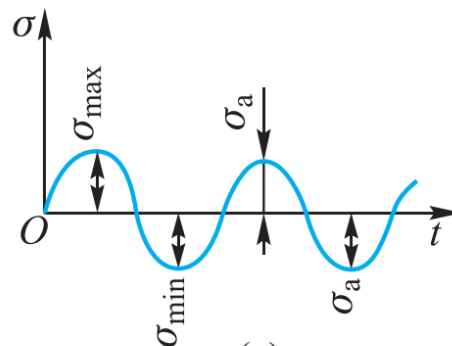
典型变应力 { 非对称循环变应力(图b)  
                  对称循环变应力(图c)  
                  脉动循环变应力(图d)



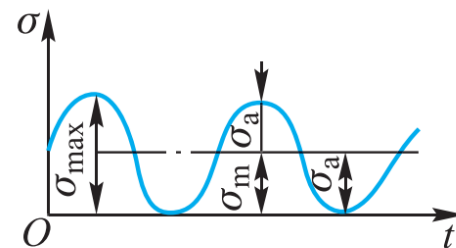
(a)



(b)



(c)



(d)

## 二、静应力下的许用应力

- 静应力下零件材料的损坏形式：断裂或塑性变形。
- 若材料为塑性材料，应力达到屈服应力时，材料就发生塑性变形，因此，取 $\sigma_{\lim} = \sigma_S$  (屈服极限应力)， $\tau_{\lim} = \tau_S$ 。

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S_{\sigma}} = \frac{\sigma_S}{S_{\sigma}} \qquad [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S_{\tau}} = \frac{\tau_S}{S_{\tau}}$$

- 若材料为脆性材料，则取 $\sigma_{\lim} = \sigma_B$  (拉伸静强度极限应力)， $\tau_{\lim} = \tau_B$ 。

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\lim}}{S_{\sigma}} = \frac{\sigma_B}{S_{\sigma}} \qquad [\tau] = \frac{\tau_{\lim}}{S_{\tau}} = \frac{\tau_B}{S_{\tau}}$$

## 三、变应力下的许用应力

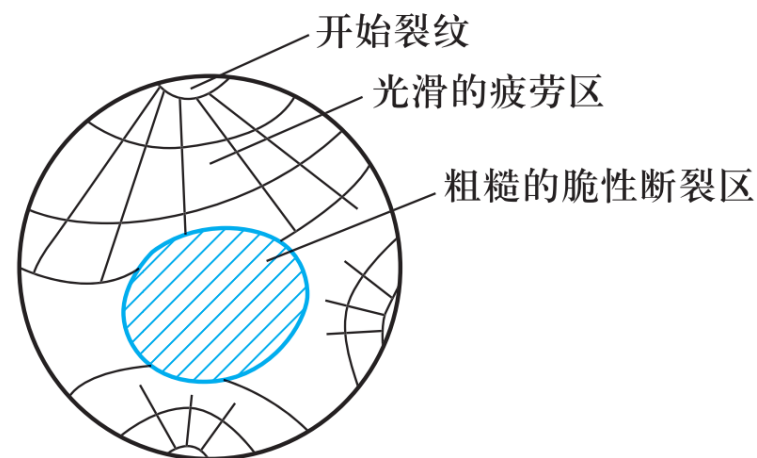
**变应力**作用下机械零件的主要失效形式：**疲劳断裂**。

**疲劳断裂的主要特征：**

- ① 疲劳断裂的最大应力远比静应力下材料的强度极限低；
- ② 不管是脆性材料还是塑性材料，其疲劳断口均表现为无明显塑性变形的脆性突然断裂；
- ③ 疲劳断裂是损伤的积累，初期现象是在零件表面或表层形成微裂纹，这种微裂纹随着应力循环次数的增加而逐渐扩展，直至余下的未裂开的截面积不足以承受外载荷时，零件就突然断裂。

# 机械零件的强度

图示为轴的弯曲疲劳断裂的断口，微裂纹常起始于应力最大的断口周边。在断口上明显地有两个区域：



- 一个是在变应力重复作用下裂纹两边相互摩擦形成的表面光滑区；
- 一个是最终发生脆性断裂的粗粒状区。

疲劳断裂不同于一般静力断裂，它是损伤到一定程度即裂纹扩展到一定程度后才发生的突然断裂。所以疲劳断裂与应力循环次数（即使用期限或寿命）密切相关。

## 三、变应力下的许用应力

在**变应力**下确定许用应力，应取材料的**疲劳极限**作为**极限应力**，同时还应考虑零件的切口和沟槽等截面突变、绝对尺寸和表面状态等影响。

$$k_D = \frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma \beta} \quad [\sigma_r] = \frac{\sigma_r}{k_D S_\sigma}$$

无限寿命时对称循环变应力时的许用应力：

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1}}{k_D S_\sigma} = \frac{\varepsilon_\sigma \beta \sigma_{-1}}{k_\sigma S_\sigma}$$

无限寿命时脉动循环变应力时的许用应力：

$$[\sigma_0] = \frac{\sigma_0}{k_D S_\sigma} = \frac{\varepsilon_\sigma \beta \sigma_0}{k_\sigma S_\sigma}$$

有限寿命时（ $N < N_0$ ），许用应力引入 $k_N$ ：

$$k_N = \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad [\sigma_{-1}] = \frac{\varepsilon_\sigma \beta \sigma_{-1}}{k_\sigma S_\sigma} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad [\sigma_0] = \frac{\varepsilon_\sigma \beta \sigma_0}{k_\sigma S_\sigma} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}}$$



## 四、安全系数

- 安全系数 $S$ 的选定：过大，将使结构笨重；过小，又可能不够安全。不同的机械制造部门，通过长期生产实践，都制订有适合本部门的安全系数的表格。这类表格虽然适应范围较窄，但具有简单、具体及可靠等优点。
- 典型机械的安全系数，可查设计手册确定。当没有专门数据可查时，可参考下述原则选择安全系数：
  - (1) 静应力，塑性材料零件： $S = 1.2 \sim 1.5$   
铸钢件： $S = 1.5 \sim 2.5$
  - (2) 静应力，脆性材料，如高强度钢或铸铁件： $S = 3 \sim 4$
  - (3) 变应力，以疲劳极限作为极限应力： $S = 1.3 \sim 1.7$   
若材料不够均匀、计算不够精确： $S = 1.7 \sim 2.5$



# 第九章 机械零件设计概论

9.1 机械零件设计概述

9.2 机械零件的强度

9.5 机械制造常用材料及其选择

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

# 机械制造常用材料及其选择

- 机械制造中最常用的材料是钢和铸铁，其次是有色金属合金。非金属材料如塑料、橡胶等，在机械制造中也具有独特的使用价值。
- 设计机械零件时，选择合适的材料是一项复杂的技术经济问题。设计者应根据零件的用途、工作条件和材料的物理、化学、力学和工艺性能以及经济因素等进行全面考虑。这就要求设计者在材料和工艺等方面具有广泛的知识和实践经验。
- 各种材料的化学成分和力学性能可在有关的国家标准、行业标准和机械设计手册中查得。

# 机械制造常用材料及其选择

表 9-1 常用钢铁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 $\sigma_B$ /MPa	屈服极限 $\sigma_s$ /MPa	伸长率 $\delta$ /%	
碳素结构钢 (GB/T 700—2006)	Q215	335~410	215	31	$d \leq 16$
	Q235	375~460	235	26	
	Q275	490~610	275	20	
优质碳素结构钢 (GB/T 699—2015)	20	410	245	25	$d \leq 25$
	35	510	305	20	
	45	590	335	16	
合金结构钢 (GB/T 3077—2015)	35SiMn	885	735	15	$d \leq 25$
	40Cr	980	785	9	$d \leq 25$
	20CrMnTi	1 080	850	10	$d \leq 15$
	65Mn	980	785	8	$d \leq 80$
铸钢 (GB/T 11352—2009)	ZG270-500	500	270	18	$d \leq 100$
	ZG310-570	570	310	15	
	ZG340-640	640	340	10	
灰铸铁 (GB/T 9439—2010)	HT150	150	—	—	壁厚 10~20
	HT200	200	—	—	
	HT250	250	—	—	
球墨铸铁 (GB/T 1348—2009)	QT400-15	400	250	15	壁厚 30~200
	QT500-7	500	320	7	
	QT600-3	600	370	3	



# 第九章 机械零件设计概论

## 9.1 机械零件设计概述

(机械设计应满足的**要求**、**失效**、**破坏**、**工作能力**、**失效形式**、**常用的计算准则**、**设计步骤**、**设计计算和校核计算**)

## 9.2 机械零件的强度

(**名义载荷**、**载荷系数**、**计算载荷**、**名义应力**、**计算应力**、强度判定条件的**两种方法**、**静应力**、**变应力**、**安全系数**)

## 9.5 机械制造常用材料及其选择

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。