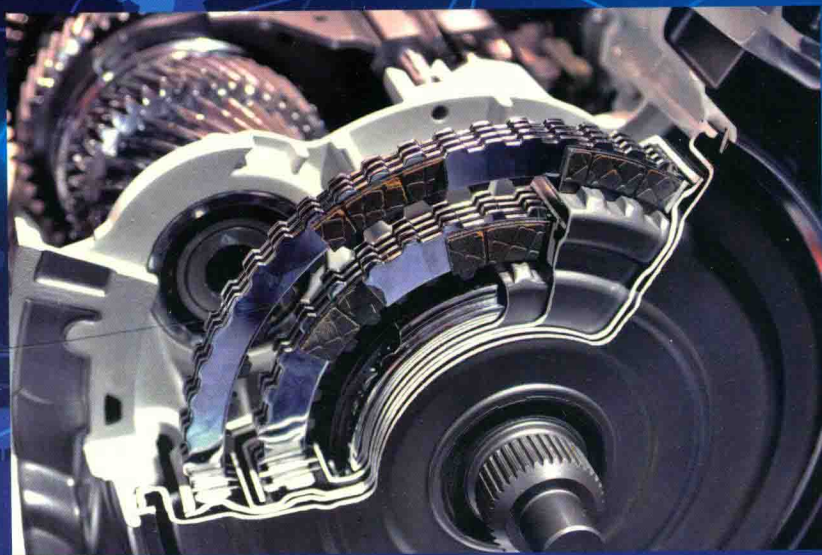


MACHINE DESIGN SHAFT AND BEARING

# 机械设计

## ——轴与轴承

赵振杰 著 



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 机械设计——轴与轴承

赵振杰 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书主要对轴、滑动轴承、滚动轴承的设计方法及应用进行讨论。力求做到内容详实、层次分明、简洁实用,便于读者对知识点的理解、掌握和运用。

全书共五章,包括机械零件设计概论、轴、滑动轴承、滚动轴承、常用轴承的规格与技术参数。

本书可作为机械类工程技术人员的参考书和自学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计:轴与轴承 / 赵振杰著. — 北京:中国水利水电出版社, 2018.3  
ISBN 978-7-5170-6447-3

I. ①机… II. ①赵… III. ①轴承—零部件—机械设计②轴—零部件—机械设计 IV. ①TH133.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第095137号

策划编辑:杜威 责任编辑:杨元泓 加工编辑:孙丹 封面设计:李佳

书 名	机械设计——轴与轴承 JIXIE SHEJI——ZHOU YU ZHOUCHEG
作 者	赵振杰 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市同力彩印有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19.75印张 484千字
版 次	2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	78.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

在当代，基础技术——机械设计与制造在国民经济和日常生活中起着越来越重要的作用，对动力传动构件的设计与制造要求越来越高。特别是轴承的应用，可以说是无处不在。

本书专注于机械传动中轴与轴承的设计，在编写时注意了加强基础理论与现代科学技术发展的关系，在内容方面努力做到削枝强干，同时适应科学技术发展和实际应用的需要。在计算中均采用国际标准化组织所推荐的设计计算方法。

在编写过程中主要考虑了以下几个方面：

(1) 内容方面，力求详实。

(2) 重点突出，加强了基本理论及其有关设计方法的应用。

(3) 在结构层次方面，力求概念把握准确，叙述深入浅出，便于读者循序渐进地学习。

(4) 在内容编排上注重“以设计为主线”的思想，图文并茂，讲解通俗易懂。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作者

2018年1月

# 目 录

前言

第一章 机械零件设计概论	1
1.1 机械零件设计概述	1
1.2 机械零件的强度	2
1.2.1 应力的种类	2
1.2.2 静应力下的许用应力	3
1.2.3 变应力下的许用应力	3
1.2.4 安全系数	5
1.3 机械零件接触强度的概念	5
1.4 机械制造中常用材料及其选择	7
1.4.1 金属材料	7
1.4.2 非金属材料	8
1.5 机械零件的工艺性及标准化	9
1.5.1 工艺性	9
1.5.2 标准化	9
第二章 轴	10
2.1 概述	10
2.1.1 轴的分类	10
2.1.2 轴的材料选择	14
2.1.3 设计轴时应考虑的主要问题	16
2.2 轴的结构设计	17
2.2.1 轴上零件的轴向定位与紧固	17
2.2.2 轴上零件的周向紧固	19
2.2.3 轴上零件的安装	22
2.2.4 轴的制造工艺	22
2.2.5 提高轴疲劳强度的措施	23
2.3 轴的强度计算	24
2.3.1 按扭矩粗算轴直径	25
2.3.2 按弯矩、扭矩合成计算轴直径	25
2.3.3 轴的安全系数校核计算	26
2.4 轴的刚度	38
2.4.1 轴的扭转刚度	38
2.4.2 轴的弯曲刚度	39
2.5 轴的振动计算简介	40

2.6 轴的设计	42
2.6.1 中间轴的设计	42
2.6.2 高速轴的设计	43
2.6.3 低速轴的设计	45
第三章 滑动轴承	48
3.1 概述	48
3.1.1 滑动轴承的种类	48
3.1.2 滑动轴承的特点和性能	49
3.2 滑动轴承的结构型式	51
3.2.1 径向滑动轴承的结构型式	51
3.2.2 推力滑动轴承的结构型式	52
3.3 轴瓦的结构和材料	53
3.3.1 轴瓦结构	53
3.3.2 轴瓦材料	73
3.4 滑动轴承的润滑	83
3.4.1 滑动轴承润滑剂的选择	83
3.4.2 润滑油的主要性能	84
3.4.3 润滑油的添加剂	87
3.4.4 润滑方法和润滑装置	88
3.5 非液体摩擦滑动轴承的计算	90
3.5.1 径向滑动轴承的计算	91
3.5.2 推力滑动轴承的计算	93
第四章 滚动轴承	95
4.1 滚动轴承的结构、类型和代号	95
4.1.1 动轴承的结构及类型	95
4.1.2 滚动轴承的特性	101
4.1.3 滚动轴承的游隙	104
4.1.4 滚动轴承的接触角	110
4.1.5 滚动轴承的调心性能	111
4.1.6 滚动轴承的编号方法	112
4.2 滚动轴承中滚动体的负荷	122
4.2.1 轴承承受轴向负荷	122
4.2.2 向心轴承承受径向负荷	122

4.2.3	向心推力轴承承受径向负荷	123	4.5.3	滚动轴承游隙的调整	149
4.2.4	向心推力轴承同时承受径向负荷 和轴向负荷	124	4.5.4	滚动轴承的配合	150
4.3	滚动轴承的额定负荷和寿命	124	4.5.5	滚动轴承的预紧	165
4.3.1	滚动轴承的失效形式	124	4.5.6	滚动轴承的润滑	167
4.3.2	滚动轴承的寿命和可靠性	124	4.5.7	滚动轴承的密封装置	171
4.3.3	滚动轴承寿命计算公式及 额定动负荷	125	<b>第五章 常用轴承的规格与技术参数</b>		<b>174</b>
4.3.4	滚动轴承的当量动负荷	125	5.1	无外圈圆柱滚子非标准轴承	174
4.3.5	滚动轴承的静负荷能力和额定 静负荷	127	5.2	滚动轴承	187
4.4	滚动轴承的选择	128	5.2.1	滚动轴承	187
4.4.1	滚动轴承类型的选择	128	5.2.2	滚动轴承附件	257
4.4.2	滚动轴承精度等级的选择	130	5.3	关节轴承	269
4.4.3	滚动轴承尺寸的选择	132	5.3.1	关节轴承的特点与应用	269
4.4.4	选择轴承时还应考虑的问题	140	5.3.2	关节轴承分类	270
4.5	滚动轴承部件设计	141	5.3.3	GB/T 9163—2001 关节轴承、向心 关节轴承标准	272
4.5.1	轴的滚动支承结构型式	141	5.4	径向游隙	281
4.5.2	滚动轴承的轴向定位和紧固	147	5.4.1	滑动接触表面：钢/青铜	281
			5.4.2	滑动接触表面：钢/钢	281
			<b>参考文献</b>		<b>307</b>

# 第一章 机械零件设计概论

## 1.1 机械零件设计概述

机器设计应满足的要求有性能好、成本低、效率高，在有效的寿命期内安全可靠，便于调整维修和操作方便等。

设计机械零件时，必须认真考虑上述要求。也就是说，所设计的机械零件既要工作可靠又要成本低廉。

机械零件由于某种原因不能正常工作时，称为失效。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。通常此限度是对具体载荷而言的，所以习惯上又称为承载能力。

零件失效的原因包括：过大的弹性变形；发生强烈的振动；断裂或塑性变形；连接的松弛；工作表面的过度磨损或损伤；带传动的打滑等。例如，轴的失效可能是由于疲劳断裂，也可能是由于过大的弹性变形。在前一种情况下，轴的承载能力决定于轴的持久强度；而在后一种情况下则取决于轴的刚度。显然，两者中的较小值决定了轴的承载能力。又如，轴与轴瓦相配合的部分称为轴颈，当轴颈与轴承部件的润滑可靠、密封良好时，通常不致发生明显的磨损；否则，轴瓦或轴颈就可能由于过度磨损而失效。此外，当轴的自振频率与周期性干扰力的频率相等或接近时，就会发生共振，这时振幅将急剧增大，这种现象称为失去振动稳定性。共振可在短期内使零件损坏，所以对于重要的特别是高速运转的轴，还应验算其振动稳定性。

机械零件虽然有多种可能的失效形式，但归纳起来最主要的有强度、振动稳定性、刚度、耐磨性和温度的影响等几个方面的问题。对于各种不同的失效形式，也各有相应的承载能力判定条件。如当刚度为主要问题时，按刚度条件判定，即变形量小于或等于许用变形量；当强度为主要问题时，按强度条件判定，即应力小于或等于许用应力。

设计机械零件时，常根据一个或几个可能发生的主要失效形式，运用相应的判定条件，确定零件的形状和主要尺寸。

机械零件的设计通常按下列步骤进行：首先，拟定零件的计算简图；其次，确定作用在零件上的载荷；再次，选择合适的材料；随后，根据零件可能出现的失效形式，选用相应的判定条件，确定零件的形状和主要尺寸。应当注意，零件尺寸的计算值一般可能不是最终采用的数值，设计者还要根据制造零件的标准和工艺要求、规格加以圆整；最后，绘制工作图并标注必要的技术条件。

以上所述为设计计算。在实际工作中，也常采用相反的方式——通过校核计算。这时先参照实物或图纸、经验数据，初步拟定零件的结构和尺寸，然后再用有关的判定条件进行验算。

还应注意，在一般机器中，只有一部分零件是通过计算确定其形状和尺寸的，大部分零件则仅根据工艺要求和结构要求进行设计。

通常，强度是机械零件承载能力的最基本要求。



## 1.2 机械零件的强度

在理想的平稳工作条件下，作用在零件上的载荷称为名义载荷。然而在机器运转时，零件还是会受到各种附加载荷；通常用引入载荷系数  $K$ （有时也称工作情况系数  $K_A$ ）的方法来估计这些因素的影响。载荷系数与名义载荷的乘积，称为计算载荷。按照名义载荷用力学公式求得的应力，称为名义应力；按照计算载荷求得的应力，称为计算应力。

当机械零件按强度条件判定时，常用的方式是比较危险截面处的计算应力  $\sigma$ 、 $\tau$  是否小于零件材料的许应力  $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 。即

$$\sigma \leq [\sigma], \text{ 或 } [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (1-1a)$$

$$\tau \leq [\tau], \text{ 或 } [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S} \quad (1-1b)$$

式中： $\sigma_{\text{lim}}$  和  $\tau_{\text{lim}}$  分别为极限正应力和极限剪应力； $S$  为安全系数。

材料的极限应力都是在简单应力状态下用实验的方法测出的。对于在简单应力状态下工作的零件，可直接按式 (1-1) 进行计算；对于在复杂应力状态下工作的零件，则应根据材料力学中的强度理论确定其强度条件。

许用应力是强度条件的判断依据，取决于零件材料的极限应力、应力的种类和安全系数等。为了方便，在以下论述中只用正应力  $\sigma$ ，若要研究切应力  $\tau$  时，将  $\sigma$  更换为  $\tau$  即可。

### 1.2.1 应力的种类

按照应力随时间变化的特性，可分为静应力和变应力。

不随时间变化的应力称为静应力，如图 1-1 (a) 所示。纯粹的静应力是没有的，但如果变化缓慢，就可以将其看作是静应力，如拧紧螺栓所引起的应力、锅炉的内压力所引起的应力等。

随时间变化的应力，称为变应力。具有周期性的变应力，称为循环变应力，如图 1-1 (b) 所示为其一般形式——任意非对称循环变应力，图中  $T$  为应力循环周期。由图 1-1 (b) 可知平均应力

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{2} \quad (1-2a)$$

应力幅

$$\sigma_\sigma = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2} \quad (1-2b)$$

应力循环中的最小应力与最大应力之比，可用来表示变应力中应力变化的情况，通常称为变应力的循环特性  $r$ ，即

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

当  $\sigma_{\text{min}} = \sigma_{\text{max}}$  时，循环特性  $r = -1$ ，称为对称循环变应力，如图 1-1 (c) 所示， $\sigma_\sigma = -\sigma_{\text{min}} = \sigma_{\text{max}}$ ， $\sigma_m = 0$ 。当  $\sigma_{\text{max}} \neq 0$ ， $\sigma_{\text{min}} = 0$ ，循环特性  $r = 0$ ，称为脉动循环变应力，如图 1-1 (d) 所示，其  $\sigma_\sigma = \sigma_m = \sigma_{\text{max}} / 2$ 。静应力可看作变应力的特例， $\sigma_{\text{min}} = \sigma_{\text{max}}$ ，循环特性  $r = +1$ 。



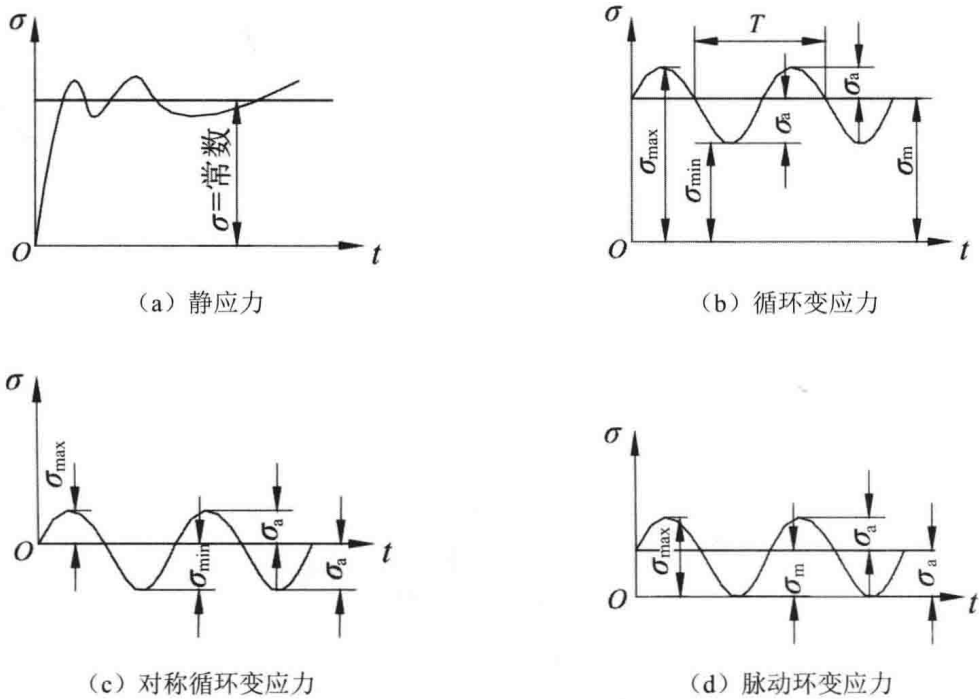


图 1-1 静应力的类型

### 1.2.2 静应力下的许用应力

静应力下, 零件材料有两种损坏形式: 第一种是塑性变形, 第二种是断裂。对于塑性材料, 可按不发生塑性变形的条件进行计算。这时应取材料的屈服极限  $\sigma_s$  作为极限应力, 许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S} \quad (1-3)$$

对于用脆性材料制成的零件, 应取强度极限  $\sigma_B$  作为极限应力, 其许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{S} \quad (1-4)$$

对于组织均匀的脆性材料, 如淬火后低温回火的高强度钢, 还应考虑应力集中的影响。灰铸铁虽然属于脆性材料, 但由于本身有夹渣、缩孔及石墨存在, 其内部组织的不均匀性已远远大于外部应力集中的影响, 故计算时可以不考虑应力集中。

### 1.2.3 变应力下的许用应力

变应力下, 零件的损坏形式是疲劳断裂。疲劳断裂具有以下特征:

- (1) 疲劳断裂的最大应力远比静应力下材料的强度极限低, 甚至比屈服极限低。
- (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, 它的初期现象是在零件表面形成很小的裂纹, 这种微小裂纹随着应力循环次数的增加而逐渐扩展, 直至余下的未断裂的部分不足以承受外载荷时, 就会突然断裂。一般情况下, 微小裂纹常起始于应力最大的断口周边。在断口上明显有两个区域: 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; 另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后，也就是裂纹扩展到一定程度后，才突然发生的断裂。所以疲劳断裂是与应力循环次数（即使用寿命或期限）有关的断裂。

### 1. 疲劳曲线

由材料力学的知识可知，表示应力  $\sigma$  与应力循环次数  $N$  之间的关系曲线称为疲劳曲线。如图 1-2 所示，曲线的纵坐标为断裂时的循环应力  $\sigma$ ，横坐标为循环次数  $N$ ，从图中可以看出，应力  $\sigma$  越小，试件能经受的循环次数就越多。

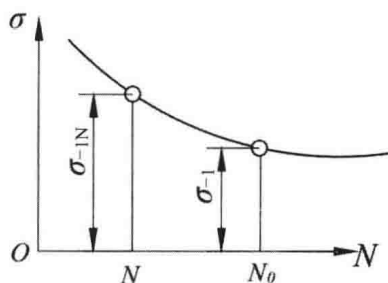


图 1-2 循环次数与时间的关系

从大多数黑色金属材料的疲劳试验可以得知，循环次数  $N$  超过某一数值  $N_0$  后，曲线趋向水平，即可以认为，在循环次数  $N_0$  后“无限次”循环时试件将不会断裂。 $N_0$  称为循环基数；对应于  $N_0$  的应力称为材料的持久极限。通常用  $\sigma_{-1}$  表示材料在对称循环变应力下的弯曲持久极限。

疲劳曲线的左半部 ( $N < N_0$ )，可近似地用以下公式表示：

$$\sigma_{-1N}^m N = \sigma_{-1N_0}^m N_0 = C \quad (1-5)$$

式中： $\sigma_{-1N}^m$  为对应于循环次数  $N$  的持久极限； $C$  为常数； $m$  为随应力状态而不同的指数，如弯曲时  $m=9$ 。

从式 (1-5) 可求得对应于循环次数  $N$  的持久极限：

$$\sigma_{-1N} = \sigma_{-1} \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad (1-6)$$

### 2. 许用应力

变应力下，应当取材料的持久极限作为极限应力。同时还应考虑零件的沟槽、截面突变、切口、绝对尺寸和表面状态等影响，为此引入截面形状系数  $\beta$  应力集中系数  $K_\sigma$  和尺寸数  $\varepsilon_\sigma$  等。

当应力是对称循环变化时，许用应力为

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\beta \sigma_{-1} \varepsilon_\sigma}{SK_\sigma} \quad (1-7)$$

当应力是脉动循环变化时，许用应力为

$$[\sigma_0] = \frac{\beta \sigma_{-1} \varepsilon_\sigma}{SK_\sigma} \quad (1-8)$$

式中： $\sigma_0$  为材料的脉动循环持久极限； $S$  为安全系数； $\beta$ 、 $K_\sigma$  及  $\varepsilon_\sigma$  的数值可在有关设计手册中查得。

以上所述为无限寿命下零件的许用应力。若零件在整个使用期限内，其循环总次数  $N$  小于循环基数  $N_0$  时，可根据式 (1-6) 求得对应于  $N$  的持久极限  $\sigma_{-1N}$ 。代入式 (1-7) 后，可得

有限寿命下零件的许用应力。由于 $\sigma_{-1}$ 小于 $\sigma_{-1N}$ ，因此可采用较大的许用应力，从而减小零件的体积和重量。

### 1.2.4 安全系数

安全系数或许用应力确定得正确与否，对零件尺寸的影响很大。如果安全系数定得过大，将使结构笨重；如果定得过小，又可能不够安全。

在各个不同的机械制造部门，通过长期生产实践，都制定有适合本部门的安全系数或许用应力的表格。这类表格虽然通用范围较窄，但具有简单、具体、可靠等优点。

如果没有专门的表格，可参考下述原则选择安全系数：

(1) 静应力下，塑性材料以屈服极限为极限应力。由于塑性材料可以缓和过大的局部应力，故可取安全系数 $S=1.2\sim 1.5$ ；对于塑性较差的材料（如 $\frac{\sigma_S}{\sigma_B} > 0.6$ ）或铸件可取 $S=1.2\sim 2.5$ 。

(2) 静应力下，脆性材料以强度极限为极限应力，这时应取较大的安全系数。例如，对于高强度钢或灰铸铁可取 $S=3\sim 4$ 。

(3) 变应力下，以持久极限作为极限应力，可取 $S=1.3\sim 1.7$ ；当材料不够均匀、计算不够精确时可取 $S=1.7\sim 2.5$ 。

安全系数也可用部分系数法来确定，即用几个系数的乘积来表示总的安全系数： $S = S_1 S_2 S_3$ ，其中 $S_1$ 考虑载荷及应力计算的准确性； $S_2$ 考虑材料机械性能的均匀性； $S_3$ 考虑零件的重要性。关于各项系数的具体取值，可参阅相关资料。

## 1.3 机械零件接触强度的概念

通常，零件受载时是在较大的体积内产生应力，这种应力状态下的零件强度称为整体强度。如果两个零件在受载前是点接触或线接触，受载后由于变形，其接触处为一小面积，通常此面积甚小而表层产生的局部应力却很大，这种应力称为接触应力。这时零件强度称为接触强度。如滚动轴承、齿轮与凸轮等机械零件都是通过很小的接触面积传递载荷的，因此它们的承载能力不仅取决于整体强度，还取决于表面的接触强度。

机械零件表层的接触应力通常是随时间做周期性变化的，在载荷重复作用下，首先在表层内约 $20\mu\text{m}$ 处产生初始疲劳裂纹，然后裂纹逐渐扩展，在这种情况下，润滑油被挤进裂纹中产生高压，使裂纹加快扩展，使表层金属呈小片状剥落下来，而在零件表面形成一些小坑，如图 1-3 所示，这种现象称为疲劳点蚀。发生疲劳点蚀后，减小了接触面积，损坏了零件的光滑表面，从而也降低了承载能力并引起噪声和振动。疲劳点蚀是滚动轴承、齿轮与凸轮等零件的主要失效形式。

由弹性力学的分析可知，当两个轴线平行的圆柱体相互接触并受压时，如图 1-4 所示，其接触面积为一狭长微小矩形，最大接触应力发生在接触区中线上，其值为

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n \frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}{\pi_b \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}} \quad (1-9)$$

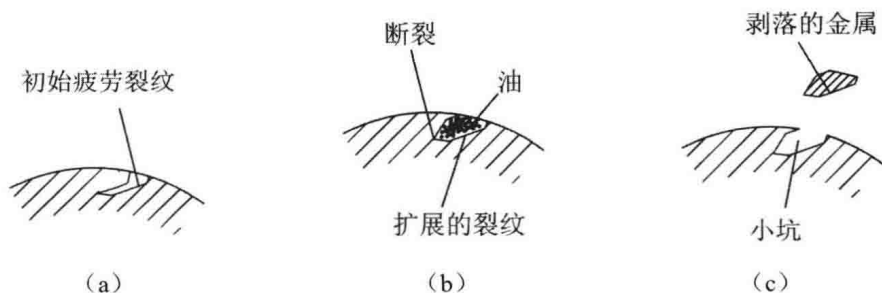


图 1-3 疲劳裂纹及脱落

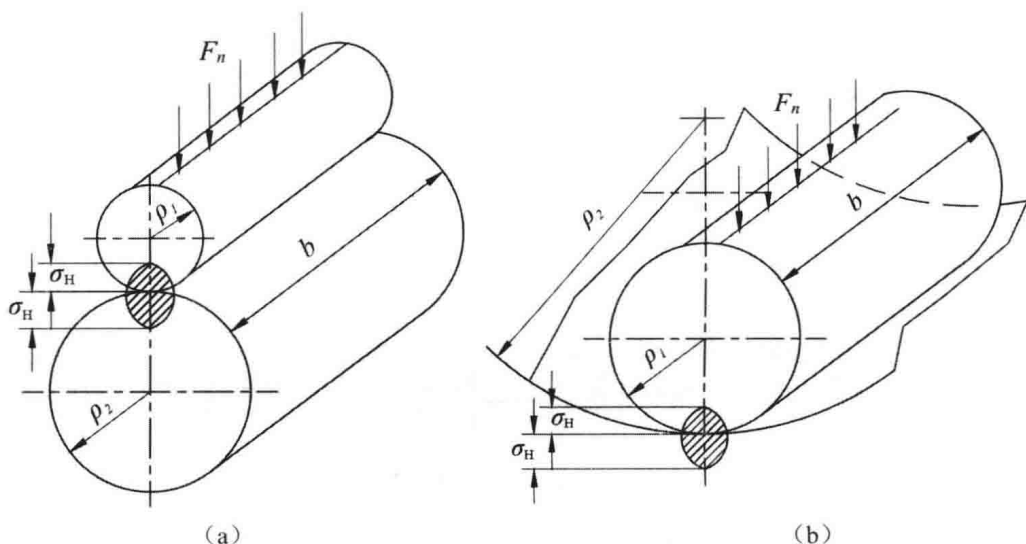


图 1-4 圆柱体受压变形示意图

对于钢或铸铁，可取泊松比  $\mu = 0.3$ ，将  $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$  代入上式，稍加整理后可得

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n E}{b \rho} \cdot \frac{1}{2\pi(1-\mu^2)}} = 0.418 \sqrt{\frac{F_n E}{b \rho}} \quad (1-10)$$

式 (1-9) 和式 (1-10) 称为赫兹公式。

式中： $\sigma_H$  为最大接触应力或赫兹应力； $b$  为接触长度； $F_n$  为作用在圆柱体上的载荷； $\rho$  为综合曲率半径， $\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 \pm \rho_2}$ ，正号用于外接触，如图 1-4 (a) 所示，负号用于内接触，如图 1-4

(b) 所示； $E$  为综合弹性模量， $E = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ ， $E_1$  和  $E_2$  分别为两圆柱体材料的弹性模量。

接触疲劳强度的判定条件为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (1-11a)$$

而

$$\sigma_H = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} \quad (1-11b)$$

式中  $\sigma_{Hlim}$  为由实验测得的材料接触持久极限。对于钢，其经验公式为  $\sigma_{Hlim} = 2.76HB -$

$70\text{N/mm}^2$ 。若两个相互接触零件的硬度不同时,常以较软零件的接触持久极限为准。由图 1-4 可以看出,接触应力具有上下对等、左右对称及稍偏离接触区中线即迅速降低等特点。由于接触应力是局部性的应力,且应力的增长与载荷  $F_n$  并不成线性关系,而要缓慢得多,见式(1-9)或式(1-10),故安全系数  $S_H$  可取为等于或稍大于 1。

## 1.4 机械制造中常用材料及其选择

机械制造中最常用的材料是铸铁和钢,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其独特的使用价值。

### 1.4.1 金属材料

#### 1. 铸铁

铸铁和钢都是铁碳合金,主要区别在于含碳量的不同。含碳量小于 2% 的铁碳合金称为钢,含碳量大于 2% 的称为铸铁。铸铁是脆性材料,不能进行碾压或锻造,它具有良好的液态流动性、适当的易熔性,因而可铸成形状复杂的零件。此外,它的减震性、耐磨性、切削性(指灰铸铁)均较好,且成本低廉,因此在机械制造中应用甚广。经常用的铸铁有可锻铸铁、球墨铸铁、灰铸铁、合金铸铁等。

#### 2. 钢

与铸铁相比,钢具有更高的韧性、强度和塑性,并可用热处理法改善其机械性能和加工性能。钢制零件的毛坯可用焊接、冲压、锻造或铸造等方法取得,因此其应用极为广泛。

按照用途分类,钢可分为工具钢、结构钢和特殊钢。工具钢主要用于制造各种量具、刀具和模具;结构钢用于制造各种机械零件和工程结构的构件;特殊钢(如不锈钢、耐热钢、耐酸钢等)用于制造在特殊环境下工作的零件。按照化学成分,钢又可分为碳素钢和合金钢。碳素钢的性质主要取决于含碳量,含碳量越高,则钢的强度越高,但塑性越低。为了改善钢的性能,特意加入了一些合金元素的钢,称为合金钢。

碳素结构钢的含碳量一般不超过 0.7%。含碳量低于 0.25% 的低碳钢,其强度极限和屈服极限较低,塑性较高,且具有良好的焊接性。适于用冲压、焊接等方法加工,常用来制作轴、螺钉、垫圈、螺母、气门导杆和焊接构件等。含碳量在 0.1%~0.2% 的低碳钢还用以制作渗碳的零件,如齿轮、链轮、活塞销等。通过渗淬火可使零件表面硬度高而耐磨,心部韧性强而耐冲击。当要求具有更高强度和耐冲击性能时,可采用低碳合金钢。含碳量在 0.3%~0.5% 的中碳钢,综合机械性能较好,既有较高的强度又有一定的塑性和韧性,常用作受力较大的键、螺母、齿轮、螺栓和轴等零件。含碳量在 0.65%~0.7% 的高碳钢,具有高的强度和弹性,多用来制作普通的钢丝绳、螺旋弹簧或板弹簧等。

#### 3. 合金结构钢

钢中添加合金元素的作用在于改善钢的性能,如锰能提高钢的耐磨性、强度和韧性;镍能提高强度而不降低钢的韧性;铬能提高硬度、高温强度、耐腐蚀性和提高高碳钢的耐磨性;钼的作用类似于锰,其影响更大些;钒能提高韧性及强度;硅可提高弹性极限和耐磨性,但降低了韧性。合金元素对钢的影响是很复杂的,特别是为了改善钢的性能需要而加入几种合金元素时。应当注意,合金钢的性能不仅取决于化学成分,而且在更大程度上取决于适当的热处理。

#### 4. 铸钢

铸钢的液态流动性比铸铁差，所以用普通砂型铸造时，壁厚常不小于 10mm。铸钢件的收缩率比铸铁件大，故铸钢件的圆角和不同壁厚的过渡部分均应比铸铁件大些。

选择钢材时，应在满足使用要求的条件下，尽量采用价格便宜、供应充分的碳素钢，必须采用合金钢时也应积极选用我国资源丰富的硅、锰、硼、钒类合金钢。例如，我国新颁布的齿轮减速器规范中，已采用 35SiMnTi 和 ZG35SiMn 等代替原用的 35Cr、40CrNi 等材料。

#### 5. 铜合金

铜合金有黄铜和青铜之分。青铜可分为含锡青铜和不含锡青铜两类，它们的减摩性和抗腐蚀性较好，也可碾压和铸造。黄铜是铜和锌的合金，并含有少量的锰、铝、镍等，它具有很好的塑性及流动性，故可进行碾压和铸造。此外，还有轴承合金（或称巴氏合金），主要用于制作滑动轴承的轴承衬。

### 1.4.2 非金属材料

#### 1. 橡胶

橡胶富于弹性，能吸收较多的冲击能量，常用作联轴器或减震器的弹性单元、带传动的胶带等。硬橡胶可用于制造用水润滑的轴承衬。

#### 2. 塑料

塑料的比重小，易于制成形状复杂的零件，而且各种不同塑料具有不同的特点，如耐蚀性、绝缘性、绝热性、减摩性、摩擦系数大等，所以近年来在机械制造中的应用日益广泛。以木屑、石棉纤维等做填充物，用热固性树脂压结而成的塑料称为结合塑料，可用来制作仪表支架、手柄等受力不大的零件。以薄模板、布、石棉等层状填充物为基础，用热固树脂压结而成的塑料称为层压塑料，可用来制作摩擦片、轴承衬和无声齿轮等。

此外，在机械制造中也常用到其他非金属材料，如纸板、棉、木材、皮革、丝等。

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，以及材料的物理、化学、机械和工艺性能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 and 实践经验。

各种材料的化学成分和机械性能可在有关的国家标准、部颁标准和机械零件手册中查得。

表 1-1 列举了一些常用材料的相对价格，供设计时参考。

表 1-1 常用材料的相对价格

材料	种类、规格	相对价格
热轧圆钢	普通碳素钢 Q235A ( $\phi 30 \sim \phi 50$ )	1
	优质碳素钢 ( $\phi 30 \sim \phi 50$ )	1.5~1.8
	合金结构钢 ( $\phi 30 \sim \phi 50$ )	1.7~2.5
	滚动轴承钢 ( $\phi 30 \sim \phi 50$ )	3
	合金工具钢 ( $\phi 30 \sim \phi 50$ )	3~20
	4Cr9Si2 耐热钢 ( $\phi 30 \sim \phi 50$ )	5
铸件	灰铸铁铸件	0.85
	碳素钢铸件	1.7
	铜合金、铝合金铸件	8~10

为了材料供应和生产管理上的方便,应尽量减少材料的品种。通常,厂矿、企业都对所用材料的品种、牌号加以限制,并制定有适用于本地区、本单位的材料目录,供设计时选用。

## 1.5 机械零件的工艺性及标准化

### 1.5.1 工艺性

设计机械零件时,不仅应使其满足使用要求,即具备所要求的工作能力,还应满足生产要求;否则可能制造不出来,或虽能制造,但费工费料,很不经济。

在具体生产条件下,如所设计的机械零件便于加工而加工费用又很低,则这样的零件就称为具有良好的工艺性。有关工艺性的基本要求如下:

(1) 毛坯选择合理。机械制造中毛坯制备的方法有直接利用型材、铸造、锻造、冲压和焊接等。毛坯的选择与具体的生产技术条件有关,一般取决于生产批量、材料性能和加工可能性等。

(2) 结构简单合理。设计零件的结构形状时,最好采用最简单的表面,如圆柱面、平面及其组合,同时还应当尽量使加工表面数目最少和加工面积最小。

(3) 规定适当的制造精度及表面光洁度。零件的加工费用随着精度的提高而增加,尤其是在精度较高的情况下,这种增加极为显著。因此,在没有充分根据时,不应当追求高的精度。同理,零件的表面光洁度也应当根据配合表面的实际需要,作出适当的规定。

欲设计出工艺性最好的零件,设计者必须善于向工艺技术人员和工人学习。

### 1.5.2 标准化

定出一些强制性的标准,使产品的品种、规格(如尺寸)和质量都必须与这些标准相符合,就称为标准化。

标准化具有重大意义:在制造上可以实行专业化大批量生产,既能提高产品质量又能降低成本;在设计方面,可减轻设计工作量;在管理和维修方面,可减少库存量和便于更换损坏的零件。

我国在总结及吸取国内外先进技术的基础上,逐步制定了大量的产品标准。就机械零部件的范围而言,已制定联接件有如键、螺钉、铆钉、润滑件、传动件、密封件、轴承联轴器等。



## 第二章 轴

### 2.1 概述

轴是机器中的重要零件之一，常用以支承旋转零件（如齿轮、带轮等）和传递运动及动力。

#### 2.1.1 轴的分类

按承载情况不同，轴可分为以下几类。

##### 1. 心轴

只承受弯矩的轴称为心轴，如滑轮的轴和铁道车辆的轴都是心轴，如图 2-1 和图 2-2 所示。图 2-1 中滑轮的轴承受弯矩。因为滑轮转动时轴是不转动的，所以轴上由弯矩产生的弯曲应力是不变的。图 2-2 中火车轮的轴承受弯矩，因铁道车辆的轴固镶于轮上，当轮转动时，轴随轮转动，所以轴上由弯矩产生的弯曲应力是周期性对称循环变化的。

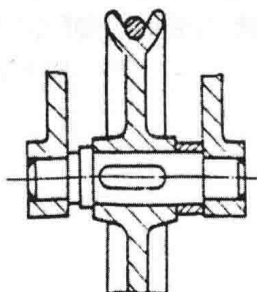


图 2-1 滑轮的轴

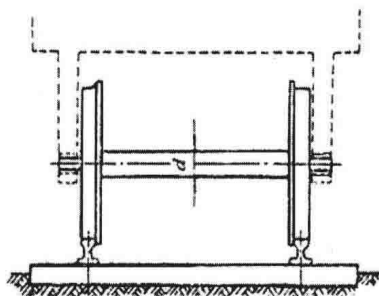


图 2-2 火车轮的轴

##### 2. 转轴

工作时既承受弯矩又承受扭矩的轴称为转轴，如图 2-3 所示减速器中的阶梯轴就是转轴。齿轮的圆周力使轴承受扭矩和弯矩，齿轮的径向力使轴承受弯矩，斜齿轮的轴向力使轴承受弯矩和压力（或拉力）。

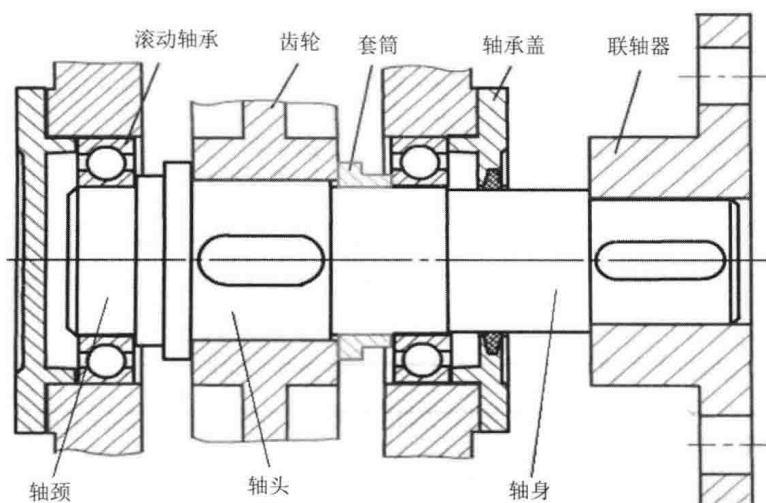


图 2-3 转轴

### 3. 传动轴

主要用来承受扭矩的轴，主要受转矩，不受弯矩或弯矩较小，称为传动轴，如汽车的传动轴，如图 2-4 所示。汽车发动机产生的扭矩通过传动轴传至后轮，驱动汽车行驶。

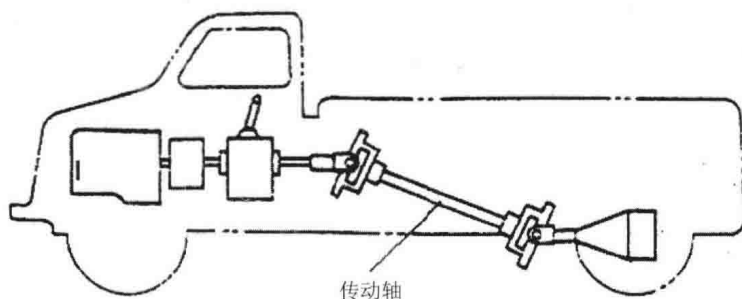


图 2-4 传动轴

### 4. 曲轴

用于旋转运动与往复直线运动的转换，如活塞式发动机、冲床、剪床等，如图 2-5 所示。

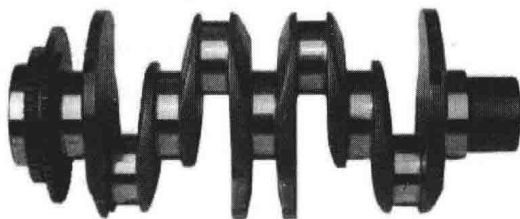


图 2-5 曲轴

曲轴各部分的尺寸比例及曲轴主要破坏形式和原因见表 2-1 和表 2-2。