

# 机 械 零 件 设 计

下 册



上 海 交 通 大 学

# 下册目录

## 第十一章 圆柱齿轮传动

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| § 11-1 概述             | 193 |
| § 11-2 轮齿失效形式及设计准则    | 194 |
| § 11-3 齿轮常用材料及热处理     | 204 |
| § 11-4 直齿圆柱渐开线齿轮的强度计算 | 207 |
| § 11-5 斜齿圆柱渐开线齿轮的强度计算 | 223 |
| § 11-6 圆柱渐开线齿轮传动设计    | 226 |
| § 11-7 圆柱圆弧齿轮传动设计     | 235 |

## 第十二章 圆锥齿轮传动

|                    |     |
|--------------------|-----|
| § 12-1 概述          | 245 |
| § 12-2 直齿圆锥齿轮的几何计算 | 245 |
| § 12-3 直齿圆锥齿轮强度计算  | 250 |
| § 12-4 直齿圆锥齿轮的结构   | 255 |
| § 12-5 曲齿圆锥齿轮传动简介  | 256 |

## 第十三章 蜗杆传动

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| § 13-1 概述                   | 262 |
| § 13-2 蜗杆传动类型               | 263 |
| § 13-3 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算 | 265 |
| § 13-4 蜗杆传动的效率和自锁           | 273 |
| § 13-5 蜗杆传动的受力分析            | 275 |
| § 13-6 蜗杆传动的失效型式和承载能力计算准则   | 276 |
| § 13-7 蜗杆传动的材料及其选择          | 277 |
| § 13-8 蜗杆传动的制造和精度等级         | 278 |
| § 13-9 蜗杆传动的润滑              | 279 |
| § 13-10 普通圆柱蜗杆传动的承载能力计算     | 281 |
| § 13-11 蜗杆和蜗轮的结构设计          | 282 |
| § 13-12 提高蜗杆传动承载能力和效率的若干途径  | 288 |
| § 13-13 圆弧齿圆柱蜗杆传动简介         | 289 |
| § 13-14 圆弧面蜗杆传动和锥蜗杆传动简介     | 292 |

## 第十四章 螺旋传动

|                  |     |
|------------------|-----|
| § 14-1 概述        | 298 |
| § 14-2 螺旋传动的运动关系 | 300 |
| § 14-3 螺旋传动的材料   | 300 |
| § 14-4 螺旋传动的计算   | 302 |
| § 14-5 滚动螺旋简介    | 305 |

## 第十五章 轴

|                  |     |
|------------------|-----|
| § 15-1 概述        | 309 |
| § 15-2 轴的材料及其选择  | 310 |
| § 15-3 轴的结构及结构设计 | 312 |
| § 15-4 轴的强度设计    | 318 |
| § 15-5 轴的刚度设计    | 324 |
| § 15-6 轴的振动和临界转速 | 326 |

## 第十六章 滑动轴承

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| § 16-1 概述                 | 340 |
| § 16-2 油膜承载机理             | 341 |
| § 16-3 润滑油膜中的压力分布、雷诺方程    | 346 |
| § 16-4 向心滑动轴承的构造          | 350 |
| § 16-5 非液体摩擦向心滑动轴承的设计计算   | 354 |
| § 16-6 动压式液体摩擦向心滑动轴承的设计计算 | 356 |
| § 16-7 推力轴承               | 372 |
| § 16-8 其他类型滑动轴承简介         | 378 |
| § 16-9 润滑剂与润滑方法           | 384 |

## 第十七章 滚动轴承

|                        |     |
|------------------------|-----|
| § 17-1 概述              | 391 |
| § 17-2 滚动轴承的主要类型及其选用原则 | 396 |
| § 17-3 滚动轴承受力分析和破坏型式   | 400 |
| § 17-4 按寿命计算滚动轴承       | 408 |
| § 17-5 按静载荷能力计算滚动轴承    | 422 |
| § 17-6 滚动轴承组合的设计       | 427 |

## 第十八章 联轴器、离合器、制动器

|            |     |
|------------|-----|
| § 18-1 联轴器 | 446 |
| § 18-2 离合器 | 459 |
| § 18-3 制动器 | 472 |

## 第十九章 弹簧

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| § 19-1 概述                      | 479 |
| § 19-2 普通圆柱形压缩(拉伸)螺旋弹簧的几何尺寸及参数 | 480 |
| § 19-3 普通圆柱形螺旋弹簧的制造和结构         | 485 |
| § 19-4 普通圆柱形螺旋弹簧的材料和许用应力       | 489 |
| § 19-5 普通圆柱形压缩(拉伸)螺旋弹簧的承载能力计算  | 491 |
| § 19-6 普通圆柱形压缩(拉伸)螺旋弹簧的设计      | 500 |
| § 19-7 组合压缩螺旋弹簧的设计             | 500 |
| § 19-8 圆柱形扭转螺旋弹簧               | 502 |
| § 19-9 碟形弹簧                    | 504 |
| § 19-10 板弹簧                    | 509 |

## 附录 公差与配合

|              |     |
|--------------|-----|
| § 1 公差       | 514 |
| § 2 配合       | 517 |
| § 3 基准制      | 518 |
| § 4 公差与配合的选用 | 519 |

## 附：上册内容

### 主要符号，常用单位、代号及换算关系

#### 第一章 绪论

#### 第二章 摩擦、磨损和润滑原理

#### 第三章 机械零件的常用材料及其选择原则

#### 第四章 机械零件的强度及其计算准则

#### 第五章 螺纹联接

#### 第六章 键纹联接

#### 第七章 紧配合联接

#### 第八章 带传动

#### 第九章 链传动

#### 第十章 摩擦轮传动和摩擦无级变速器

# 第十一章 圆柱齿轮传动

## § 11-1 概 述

圆柱齿轮传动是现代机器中应用最广泛的机械传动之一，它用于传递两轴间的动力和运动。其主要优点是：*a)* 适用的功率和速度的范围很广；*b)* 瞬时传动比不变，工作平稳性较高；*c)* 传动效率高，一对精度高的圆柱齿轮传动，效率可达 99%；*d)* 结构紧凑；*e)* 寿命较长；*f)* 工作可靠，维护简单等等。缺点是：*a)* 对制造技术和安装精度均有一定的要求，成本较高；*b)* 传动比受齿数限制，不能无级变速；*c)* 两轴间距离不能过大等。

随着机器制造业的迅速发展，对圆柱齿轮的要求也日益提高。现代制造的大功率圆柱齿轮减速器，传递功率达 70000kW；在高速传动装置中，齿轮的圆周速度可高达 300m/sec，齿轮转速达  $10^5$ rpm。为了适应机械工业不断发展的需要，圆柱齿轮传动正向大功率、高速度和高生产率等方向发展，同时还应注意减小尺寸，减轻重量和延长它的使用寿命。在这种传动的领域中，还有不少问题有待解决。目前，有关它的理论、计算、设计、制造和使用，已经发展成一门独立的学科。

圆柱齿轮传动（图 11-1 所示）的分类可有几种方式：

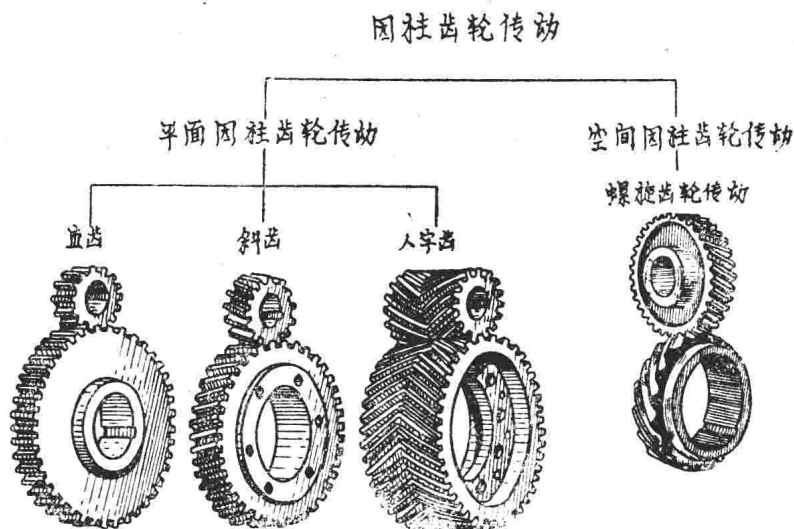


图 11-1

根据一对齿轮的啮合方式，可以分为外啮合和内啮合两种传动。外啮合齿轮传动加工方便、安装简单，传动时主动轮和从动轮的旋转方向相反。内啮合传动结构紧凑，传动时两轮转向相同。

根据轮齿形状，可以分为直齿、斜齿和人字齿三种。直齿圆柱齿轮制造简单，没有轴

向力作用,齿面磨损后不会造成载荷沿接触线不均匀分布;但缺点是重合系数较小,运转不够平稳,一般用于较低速传动。斜齿圆柱齿轮啮合时轮齿逐渐进入啮合,重合系数较大,运转平稳,噪音也较小,宜用于高速传动;但它的缺点是工作时有轴向力,必须采用推力或向心推力轴承。为了消除斜齿工作时的轴向力,有时可采用双冠斜齿或人字齿轮。

根据传动的工作条件,可分为开式传动和闭式传动两种。开式传动的齿轮暴露在外或只有简陋的罩壳,润滑条件差,轮齿易磨损,只能用在不重要的低速场合。闭式传动的齿轮全部置于密闭的箱体内部,装配精确、润滑良好,多用于较重要的场合。

根据齿廓又可分为渐开线齿轮(Involute gear)、圆弧齿轮(W-N gear)和摆线齿轮(Cycloidal gear)等种。

有关圆柱齿轮传动的啮合要素和几何关系,已经在机械原理课程中阐述,在此仅简单介绍与设计有关的主要参数和计算公式(表 11-1、表 11-2 和表 11-3)。所述两啮合齿轮中的小齿轮称为齿(Pinion),它的各个参数用“1”作为脚注。对于啮合齿轮中的大齿轮,称为齿(Wheel),它的各个参数用“2”作为脚注。表中的 $m$ 、 $i$ 、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $z_1$ 、 $z_2$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $x_1$ 和 $x_2$ 等分别代表齿和齿轮的模数、传动比、转速、齿数、分度圆直径、变位系数等。

对于基准齿形按 GB1356-78,法面模数 $m_n > 1\text{mm}$ 的渐开线圆柱齿轮,国家标准规定齿轮精度由高到低共分为 12 个等级(1-12 级)。关于各种加工方法的大致精度范围和工作条件列于表 11-4。

## § 11-2 轮齿的失效形式及设计准则

齿轮最重要的部分是轮齿,要确定齿轮传动的承载能力,需按在设计寿命期间轮齿出现失效(或破坏)的概率,不超过所要求的失效概率来确定。因此要找出齿轮传动的设计准则,就应首先对轮齿的失效形式加分析。

### 一、轮齿的失效形式

轮齿在工作过程中,一般失效形式依工作条件和本身材料而有所不同,常见有以下 5 种:

#### a) 轮齿折断

齿轮在工作时,轮齿好象一个悬臂梁,在齿根部产生最大的弯曲应力,再加上齿根处过渡部分尺寸有突变,以及加工时在齿面留有刀痕迹(或磨削痕迹)等原因,引起较高的应力集中作用,受载后将造成轮齿折断。

轮齿折断的主要原因有二:一是轮齿在多次重复交变的弯曲应力作用下所引起的疲劳折断;一是轮齿因短期过载,一对轮齿因误差或变形造成齿边缘或角部接触,产生应力集中,以及冲击过载或经严重磨损后齿厚过薄而引起的折断。

如果齿轮不逆转,且只和一个齿轮相啮合,这时齿根产生按脉动循环变化的弯曲应力;如果齿轮逆转,或者同时和两个或两个以上的齿轮相啮合(即该轮同时为主动轮和从动轮),这时齿根产生按对称循环变化的弯曲应力。如果这两种变应力值超过了齿轮固有的

表 11-1 外啮合标准直齿、斜齿（人字齿）渐开线圆柱齿轮传动几何计算公式

| 计算项目   | 名 称            | 符 号              | 直 齿 轮                                                                                           | 斜齿（人字齿）轮                                                                         |
|--------|----------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 原始数据   | 传 动 比          | $i$              | $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \geq 1$                                                  |                                                                                  |
|        | 齿 数<br>(或当量齿数) | $z$<br>( $z_e$ ) | 一般取 $z_1$ (或 $z_{e1}$ ) $> 18$ ; $z_2 = i \cdot z_1$<br>为了使两啮合齿轮的轮齿磨损均匀, 一般取 $z_2$ 与 $z_1$ 为互质数 |                                                                                  |
|        | 齿顶高系数          | $f_0$ 或 $f_{0n}$ | 按 GB1356—78 规定 $f_0 = f_{0n} = 1$ (或 0.8)                                                       |                                                                                  |
|        | 顶隙系数           | $c_0$ 或 $c_{0n}$ | 按 GB1356—78 规定 $c_0 = c_{0n} = 0.25$ (或 0.3)                                                    |                                                                                  |
|        | 分度圆柱上螺旋角       | $\beta_0$        | $\beta_0 = 0$                                                                                   | $\beta_{01}$ (左旋) $= \beta_{02}$ (右旋)<br>或 $\beta_{01}$ (右旋) $= \beta_{02}$ (左旋) |
|        | 端面模数           | $m_t$            | $m_t = m$ (符合 GB1356—78)                                                                        | $m_t = m_n / \cos \beta_0$                                                       |
|        | 法面模数           | $m_n$            | $m_n = m_t = m$                                                                                 | $m_n = m_t \cdot \cos \beta_0$<br>(符合 GB1356—78)                                 |
|        | 分度圆法面压力角       | $\alpha_n$       | $\alpha_n = \alpha_t = \alpha = 20^\circ$                                                       | $\alpha_n = 20^\circ$                                                            |
|        | 分度圆端面压力角       | $\alpha_t$       | $\alpha_t = \alpha$                                                                             | $\alpha_t = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_0} \right)$         |
|        | 节圆端面啮合角        | $\alpha_{tw}$    | $\alpha_{tw} = \cos^{-1} \left( \frac{A_0}{A} \cos \alpha \right)$                              | $\alpha_{tw} = \cos^{-1} \left( \frac{A_0}{A} \cos \alpha_t \right)$             |
| 几何尺寸计算 | 中 心 距          | $A$              | $A = A_0 = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{(z_1 + z_2)m}{2}$                                        | $A = A_0 = \frac{d_1 + d_2}{2} + \frac{(z_1 + z_2)m_t}{2 \cos \beta_0}$          |
|        | 分度圆直径          | $d$              | $d = zm$                                                                                        | $d = z \cdot m_t = z \cdot m_n / \cos \beta_0$                                   |
|        | 齿 顶 高          | $h_a$            | $h_a = f_0 m$                                                                                   | $h_a = f_{0n} m_n$                                                               |
|        | 齿 根 高          | $h_f$            | $h_f = (f_0 + c_0)m$                                                                            | $h_f = (f_{0n} + c_{0n})m_n$                                                     |
|        | 全 齿 高          | $h$              | $h = h_a + h_f$                                                                                 | $h = h_a + h_f$                                                                  |
|        | 顶圆直径           | $D_e$            | $D_e = d + 2h_a$                                                                                | $D_e = d + 2h_a$                                                                 |
|        | 根圆直径           | $D_i$            | $D_i = d - 2h_f$                                                                                | $D_i = d - 2h_f$                                                                 |
|        | 基圆螺旋角          | $\beta_f$        | $\beta_f = 0$                                                                                   | $\sin \beta_f = \sin \beta_0 \cdot \cos \alpha_{0n}$                             |
|        | 基圆直径           | $d_f$            | $d_f = d \cos \alpha_t = d \cos \alpha$                                                         | $d_f = z m_n \cos \alpha_t / \cos \beta_0$                                       |

续表 11-1

| 计算项目   | 名称     | 符号                  | 直 齿 轮                                                                                                                | 斜齿(人字齿)轮                                                                                                           |
|--------|--------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 几何尺寸计算 | 周 节    | $P_{t,n}$           | $P_t = \pi m$                                                                                                        | $P_t = \pi m_t; P_n = \pi m_n$                                                                                     |
|        | 基 节    | $P_b$               | $P_b = \pi \cos \alpha$                                                                                              |                                                                                                                    |
|        | 端面重合度  | $\varepsilon_a$     | $\varepsilon_a = \frac{1}{2\pi} [z_1 \cdot (\tan \alpha_{e1} - \tan \alpha) + z_2 (\tan \alpha_{e2} - \tan \alpha)]$ | $\varepsilon_a = \frac{1}{2\pi} [z_1 (\tan \alpha_{e1} - \tan \alpha_t) + z_2 (\tan \alpha_{e2} - \tan \alpha_t)]$ |
|        | 轴向重合度  | $\varepsilon_\beta$ | $\varepsilon_\beta = 0$                                                                                              | $\varepsilon_\beta = \frac{b \sin \beta_0}{\pi m_n}$                                                               |
|        | 当量齿数   | $z_e$               | $z_e = z$                                                                                                            | $z_e = \frac{z}{\cos^2 \beta_b \cos \beta_0} \approx \frac{z}{\cos^3 \beta_0}$                                     |
| 侧隙检验尺寸 | 分度圆弦齿厚 | $s_x$ 或 $s_{x_n}$   | $s_x = z m \sin \frac{90^\circ}{z}$                                                                                  | $s_{x_n} = z_e m_n \sin \frac{90^\circ}{z_e}$                                                                      |
|        | 分度圆弦齿高 | $h_x$ 或 $h_{x_n}$   | $h_x = m \left[ 1 + \frac{z}{2} \left( 1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right]$                                  | $h_{x_n} = m_n \left[ 1 + \frac{z_e}{2} \left( 1 - \cos \frac{90^\circ}{z_e} \right) \right]$                      |
|        | 固定弦齿厚  | $s'_x$ 或 $s'_{x_n}$ | $s'_x = \frac{\pi m}{2} \cos^2 \alpha$                                                                               | $s'_{x_n} = \frac{\pi m_n}{2} \cos^2 \alpha_n$                                                                     |
|        | 固定弦齿高  | $h'_x$ 或 $h'_{x_n}$ | $h'_x = m \left( 1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha \right)$                                                             | $h'_{x_n} = m_n \left( 1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha_n \right)$                                                   |
|        | 公法线长度* | $L$ 或 $L_n$         | $L = m [2.9521(n - 0.5) + 0.014 z]$                                                                                  | $L_n = m_n [2.9521(n - 0.5) + 0.014 z']; z' = z \frac{\operatorname{inv} \alpha_t}{\operatorname{inv} \alpha_n}$   |
|        |        |                     | 跨测齿数 $n$ 可由有关齿轮计算手册中查出                                                                                               |                                                                                                                    |

\* 公法线长度测量时, 斜齿轮最小齿宽为  $B \geq L_n \cdot \sin \beta_0$

表 11-2 外啮合变位直齿、斜齿(人字齿)渐开线圆柱齿轮传动几何计算公式

| 计算项目 | 名称      | 符号          | 直 齿 轮                                                                                                         | 斜齿(人字齿)轮                                                                                                           |
|------|---------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |         |             | $i, z_1, z_2$ (或 $z_{e1}, z_{e2}$ ), $f_0, c_0, \beta_0, m$ (或 $m_n$ ), $\alpha$ (或 $\alpha_n$ ) 的选择参见表 11-1。 |                                                                                                                    |
| 原始数据 | 中心距变动系数 | $y$ 或 $y_t$ | 1. 若已知 $z_1, z_2, m$ 和 $A$ 时, 则 $y = \frac{A - A_0}{m}$<br>$A_0 = 0.5(z_1 + z_2)m_0$                          | 1. 若已知 $z_1, z_2, m_n$ ( $m_t$ ), $\beta_0$ 和 $A$ 时, 则 $y_t = \frac{A - A_0}{m_t}$<br>$A_0 = 0.5(z_1 + z_2)m_{t0}$ |

续表 11-2

| 计算项目   | 名 称      | 符 号                           | 直 齿 轮                                                                                          | 斜齿(人字齿)轮                                                                                                 |
|--------|----------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原始数据   | 齿高变动系数   | $\Delta y$ 或 $\Delta y_\beta$ | 2. 若已知 $z_1, z_2, m, x_1, x_2$ 时则 $y = x_\Sigma - \Delta y$ 。                                  | 2. 若已知 $z_1, z_2, m_n(m_t), \beta_0, x_{t1}, x_{t2}$ 时, 则 $y_t = x_{t\Sigma} - \Delta y_\beta$ 。         |
|        | 变位系数和    | $x_\Sigma$                    | $x_\Sigma = y + \Delta y; x_\Sigma = x_1 + x_2$                                                | $x_{t\Sigma} = y_t + \Delta y_\beta;$<br>$x_{n\Sigma} = x_{t\Sigma} / \cos \beta_0$                      |
| 几何尺寸计算 | 标准中心距    | $A_0$                         | $A_0 = 0.5 z_\Sigma \cdot m = 0.5(d_1 + d_2)$                                                  | $A_0 = 0.5 z_\Sigma m_t = 0.5(d_1 + d_2)$                                                                |
|        | 工作中心距    | $A$                           | $A = (0.5 z_\Sigma + y)m$<br>$= (0.5 z_\Sigma + x_\Sigma - \Delta y)m$                         | $A = (0.5 z_\Sigma + y)m_t$<br>$= (0.5 z_\Sigma + x_\Sigma - \Delta y_\beta)m_t$                         |
|        | 分度圆直径    | $d$                           | $d = z \cdot m$                                                                                | $d = z \cdot m_t$                                                                                        |
|        | 齿 顶 高    | $h_a$                         | $h_a = (f_0 + x - \Delta y)m$                                                                  | $h_a = (f_{0n} + x_n)m_n - \Delta y_\beta \cdot m_t$                                                     |
|        | 齿 根 高    | $h_f$                         | $h_f = (f_0 + c_0 - x)m$                                                                       | $h_f = (f_{0n} + c_{0n} - x_n)m_n$                                                                       |
|        | 全 齿 高    | $h$                           | $h = (2f_0 + c_0 - \Delta y)m$                                                                 | $h = (2f_{0n} + c_{0n})m_n - \Delta y_\beta m_t$                                                         |
|        | 顶圆直径     | $D_e$                         | $D_e = d + 2(f_0 + x - \Delta y)m$                                                             | $D_e = d + 2(f_{0n} + x_n)m_n - 2\Delta y_\beta m_t$                                                     |
|        | 根圆直径     | $D_i$                         | $D_i = d - 2(f_0 + c_0 - x)m$                                                                  | $D_i = d - 2(f_{0n} + c_{0n} - x_n)m_n$                                                                  |
|        | 分度圆法面压力角 | $\alpha_n$                    | $\alpha_n = \alpha_t = 20^\circ$                                                               | $\alpha_n = 20^\circ$                                                                                    |
|        | 分度圆端面压力角 | $\alpha_t$                    | $\alpha_t = \alpha$                                                                            | $\alpha_t = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \alpha_1}{\cos \beta} \right)$                                   |
|        | 节圆端面啮合角  | $\alpha_{tw}$                 | $\alpha_{tw} = \cos^{-1} \left( \frac{A_0 \cos \alpha}{A} \right)$                             | $\alpha_{tw} = \cos^{-1} \left( \frac{A_0 \cos \alpha_t}{A} \right)$                                     |
|        | 端面总变位系数  | $x_\Sigma$                    | $x_\Sigma = x_1 + x_2$ , 高变位 $x_1 = -x_2, x_\Sigma = 0$ ; 角变位 $x_\Sigma \neq 0$                |                                                                                                          |
|        | 法面变位系数   | $x_n$                         |                                                                                                | $x_n = x / \cos \beta_0$                                                                                 |
|        | 齿高变动系数   | $\Delta y$                    | $\Delta y = \left[ \frac{\text{inv } \alpha_{tw} - \text{inv } \alpha}{2 \tan \alpha} \right.$ | $\Delta y_\beta = \left[ \frac{\text{inv } \alpha_{tw} - \text{inv } \alpha_t}{2 \tan \alpha_t} \right.$ |
|        |          | $\Delta y_\beta$              | $\left. - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_w} - 1 \right) \right] z_\Sigma$ | $\left. - \frac{1}{2} \left( \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw}} - 1 \right) \right] z_\Sigma$        |
|        | 基圆螺旋角    | $\beta_i$                     | $\beta_i = 0$                                                                                  | $\sin \beta_i = \sin \beta_0 \cos \alpha_n$                                                              |
|        | 基圆直径     | $d_i$                         | $d_i = d \cos \alpha$                                                                          | $d_i = \frac{z m_n \cos \alpha_t}{\cos \beta_0}$                                                         |

续表 11-2

| 计算项目                   | 名 称    | 符 号                 | 直 齿 轮                                                         | 斜齿 (人字齿) 轮                                                                                                                   |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 侧隙检验项目                 | 分度圆弦齿厚 | $s_x$ 或 $s_{x_n}$   | $s_x = z m \sin \delta; \delta = \frac{90^\circ + 41.7 x}{z}$ | $s_{x_n} = z_e m_n \sin \delta; \delta = \frac{90^\circ + 41.7 x_n}{z_e}$                                                    |
|                        | 分度圆弦齿高 | $h_x$ 或 $h_{x_n}$   | $h_x = h_a + \frac{z m}{2} (1 - \cos \delta)$                 | $h_{x_n} = h_a + \frac{z_e m_n}{2} (1 - \cos \delta)$                                                                        |
|                        | 固定弦齿厚  | $s'_x$ 或 $s'_{x_n}$ | $s'_x = (1.3870 + 0.6428 x) m$                                | $s'_{x_n} = (1.3870 + 0.6428 x_n) m_n$                                                                                       |
|                        | 固定弦齿高  | $h'_x$ 或 $h'_{x_n}$ | $h'_x = h' - 0.182 s'_x$                                      | $h'_{x_n} = h' - 0.182 s'_{x_n}$                                                                                             |
|                        | 公法线长度* | $L$ 或 $L_n$         | $L = m [2.9521(n - 0.5) + 0.014 z + 0.684 x]$                 | $L_n = m_n [2.9521(n - 0.5) + 0.014 z' + 0.684 x_n]; z' = z \frac{\operatorname{inv} \alpha_t}{\operatorname{inv} \alpha_n}$ |
| 跨测齿数 $n$ 可由有关齿轮计算手册中查出 |        |                     |                                                               |                                                                                                                              |

\* 按公线测量时, 斜齿轮的最小齿宽  $B \geq L_n \sin \beta_0$ 。表中的  $x$ 、 $x_n$  (或  $x_t$ ) 本身应带正负号代入;  $\Delta y$ 、 $\Delta y_\beta$  永为正号; 计算高变位渐开线圆柱齿轮尺寸时, 公式中  $y$  或  $y_t$ ,  $\Delta y$  均为零,  $a = a_n$ ,  $a_{t_w} = a_t$ ,  $d = d_w$ 。

表 11-3 内啮合渐开线圆柱齿轮传动几何计算公式

| 计算项目   | 名 称     | 符 号      | 直 齿 轮                                                                                  | 斜齿 (人字齿) 轮                                                          |
|--------|---------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 原始数据   |         |          | $i$ 、 $z$ 、 $f_0$ 、 $c_0$ 、 $\beta_0$ 、 $m$ 、 $\alpha$ 和 $x$ 等的选择<br>参见表和表 11-1 和 11-2 |                                                                     |
| 几何尺寸计算 | 标准中心距   | $A_0$    | $A_0 = 0.5 m_t z_z = 0.5 (d_2 - d_1)$                                                  |                                                                     |
|        | 工作中心距   | $A$      | $A = (0.5 z_z + y) m$<br>$= (0.5 z_z + x_z - \Delta y) m$                              | $A = (0.5 z_z + y) m_t$<br>$= (0.5 z_z + x_z - \Delta y_\beta) m_t$ |
|        | 中心距变动系数 | $y$      | $y = \frac{A - A_0}{m}$                                                                |                                                                     |
|        |         |          | $y = x_z - \Delta y$                                                                   | $y = x_z - \Delta y_\beta$                                          |
|        | 分度圆直径   | $d$      | $d = m_t \cdot z$                                                                      |                                                                     |
|        | 节圆直径    | $d_w$    | $d_w = d + \frac{2y}{z_z} d_0$                                                         |                                                                     |
|        | 小齿轮顶圆直径 | $D_{e1}$ | $D_{e1} = d_1 + 2(f_0 + x_1) m_t$                                                      | $D_{e1} = d_1 + 2(f_{0n} + x_{n1}) m_n$                             |

续表 11-3

| 计算项目                       | 名称            | 符号                             | 直 齿 轮                                                                                                                                           | 斜齿（人字齿）轮                                                                                                                                                       |
|----------------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 几<br>何<br>尺<br>寸<br>计<br>算 | 内 齿 轮         | $D_{e2}$                       | 当未变位( $x_1=x_2=0$ )和高变位<br>( $x_1=-x_2=x$ 或 $x_{n1}=-x_{n2}=x_n$ )                                                                              |                                                                                                                                                                |
|                            | 顶圆直径          |                                | $D_{e2}=d_2-2(f_0-x)m+\Delta a$<br>$\Delta a=\frac{15.2(f_0-x)^2m}{z_2}$                                                                        | $D_{e2}=d_2-2(f_{0n}-x_n)m_n+\Delta a$<br>$\Delta a=\frac{2(f_{0n}-x_n)^2m_n^2\cos^2\beta_0}{d_2\tan^2\alpha_n}$                                               |
|                            |               |                                | 当角变位 $x_s=x_2-x_1\neq 0$<br>$D_{e2}=d_2-2(f_0-x_1+y)m$   $D_{e2}=d_2-2(f_{0n}-x_{n1})m_n+2ym_1$<br>$D_{e2}$ 应满足不干涉条件                            |                                                                                                                                                                |
|                            | 小齿轮根<br>圆 直 径 | $D_{i1}$                       | $D_{i1}=d_1-2(f_0+c_0-x_1)m$<br>(齿条刀)<br>$D_{i1}=2a_{s1}-d_{as1}$ ( $a_{s1}$ ——插齿中心距, $d_{as1}$ ——插齿刀顶圆直径)                                      | $D_{i1}=d_1-2(f_0+c_0-x_{n1})m_n$<br>(齿条刀)                                                                                                                     |
|                            | 内齿轮根<br>圆 直 径 | $D_{i2}$                       | $D_{i2}=2a_{s2}-d_{as2}$<br>( $a_{s2}$ ——插齿中心距, $d_{as2}$ ——插齿刀顶圆直径)                                                                            |                                                                                                                                                                |
|                            | 全 齿 高         | $h$                            | $h=0.5(D_e-D_i)$                                                                                                                                |                                                                                                                                                                |
|                            | 齿 数 差         | $z_s$                          | $z_s=z_2-z_1$                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                |
|                            | 分度圆柱上<br>螺旋角  | $\beta_0$                      | $\beta_0=0$                                                                                                                                     | 根据工作要求和加工条件决定                                                                                                                                                  |
|                            | 端面总变位<br>系 数  | $x_s$                          | $x_s=x_2-x_1$                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                |
|                            | 齿高变动系数        | $\Delta y$<br>$\Delta y_\beta$ | $\Delta y=\left[\frac{\text{inv}\alpha_{tw}-\text{inv}\alpha}{2\tan\alpha}-\frac{1}{2}\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w}-1\right)\right]z_s$ | $\Delta y_\beta=\left[\frac{\text{inv}\alpha_{tw}-\text{inv}\alpha_t}{2\tan\alpha_t}-\frac{1}{2}\left(\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{tw}}-1\right)\right]z_s$ |
|                            | 端面重合度         | $\varepsilon_\alpha$           | $\varepsilon_\alpha=\frac{1}{2\pi}[z_1(\tan\alpha_{e1}-\tan\alpha_w)-z_2(\tan\alpha_{e1}-\tan\alpha_w)]$                                        | $\varepsilon_\alpha=\frac{1}{2\pi}[z_1(\tan\alpha_{e1}-\tan\alpha_{tw})-z_2(\tan\alpha_{e2}-\tan\alpha_{tw})]$                                                 |

续表 11-3

| 计算项目                       | 名称    | 符号                   | 直 齿 轮                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 斜齿 (人字齿) 轮                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------|-------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | 轴向重合度 | $\varepsilon_\beta$  | $\varepsilon_\beta = 0$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $\varepsilon_\beta = \frac{b}{\pi m_n} \sin \beta$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 侧<br>隙<br>检<br>验<br>项<br>目 | 固定弦齿厚 | $s_x$<br>或 $s_{x_n}$ | $s_{x_1} = (\frac{\pi}{2} + 2x_1 \tan \alpha) m \cos^2 \alpha$<br>$s_{x_2} = (\frac{\pi}{2} - 2x_2 \tan \alpha) m \cos^2 \alpha$<br>当 $\alpha = 20^\circ$ 时<br>$s_{x_1} = (1.3870 + 0.6428x_1)m$<br>$s_{x_2} = (1.3870 - 0.6428x_2)m$                                                                                                                           | $s_{x_{n1}} = (\frac{\pi}{2} + 2x_{n1} \tan \alpha_n) m_n \cos^2 \alpha_n$<br>$s_{x_{n2}} = (\frac{\pi}{2} - 2x_{n2} \tan \alpha_n) m_n \cos^2 \alpha_n$<br>当 $\alpha_n = 20^\circ$ 时<br>$s_{x_{n1}} = (1.3870 + 0.6428x_{n1})m_n$<br>$s_{x_{n2}} = (1.3870 - 0.6428x_{n2})m_n$                                                                                       |
|                            |       | $h_x$                | $h_{x_1} = \frac{D_{e1} - d_1}{2} - \frac{1}{2} s_{x_1} \tan \alpha$<br>$h_{x_2} = \frac{d_2 - D_{e2}}{2} - \frac{1}{2} s_{x_2} \tan \alpha + \Delta a$<br>$\Delta a = \frac{1}{2} D_{e2} (1 - \cos \delta_e)$<br>$\delta_e = \frac{\pi}{2z_2} - \frac{2x_2 \tan \alpha}{z_2}$<br>$-\operatorname{inv} \alpha + \operatorname{inv} \alpha_{e_2}$                | $h_{x_{n1}} = \frac{D_{e1} - d_1}{2} - \frac{1}{2} s_{x_{n1}} \tan \alpha_n$<br>$h_{x_{n2}} = \frac{d_2 - D_{e2}}{2} - \frac{1}{2} s_{x_{n2}} \tan \alpha_n + \Delta a$<br>$\Delta a = \frac{D_{e2}}{2} (1 - \cos \delta_e)$<br>$\delta_e = \frac{\pi}{2z_2} - \frac{2x_{n2} \tan \alpha_n}{z_2}$<br>$-\operatorname{inv} \alpha_i + \operatorname{inv} \alpha_{e_2}$ |
|                            |       | $M_2$                | 单齿时<br>$M_2 = d_2 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_{M_2}} \cos \frac{90^\circ}{z_2} - d_p$<br>双齿时 $M_2 = d_2 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_{M_2}} - d_p$<br>$\alpha = 20^\circ$ 时 $\operatorname{inv} \alpha_{M_2} = 0.014904$<br>$-1.0642 \frac{d_p}{d_2} + \frac{1}{z_2} (1.5708$<br>$+ 0.728x_2)$<br>$d_p = (1.4 \sim 1.7)m$ 常用 $d_p = 1.44m$ 和 $d_p = 1.68m$ | 单齿时<br>$M_2 = d_2 \frac{\cos \alpha_i}{\cos \alpha_{M_2}} \cos \frac{90^\circ}{z_2} - d_p$<br>双齿时 $M_2 = d_2 \frac{\cos \alpha_i}{\cos \alpha_{M_2}} - d_p$<br>$\operatorname{inv} \alpha_{M_2} = \operatorname{inv} \alpha_i - \frac{d_p}{d_2 \cos \alpha_i}$<br>$+ \frac{\pi}{2z_2} + \frac{2x_{n2} \tan \alpha_n}{z_2}$                                            |

\* 对于未变位和高变位传动  $\Delta y = 0$ ,  $y = 0$   $\Delta y_\beta = 0$ ,  $\alpha = \alpha_w$

表 11-4

| 精度等级         | 3~4 级                                                    | 5~6 级                                                     | 7 级                                              | 8 级                                                           | 9 级                                         |
|--------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 切齿方法         | 珩、研、精磨、剃齿                                                | 精磨、剃齿、精滚                                                  | 精滚、粗磨、插齿                                         | 滚齿、插齿、冷挤、热轧                                                   | 粗滚、型铣、冷挤、热轧                                 |
| 轮齿表面光洁度      | $\nabla 9 \sim \nabla 10$                                | $\nabla 8$                                                | $\nabla 6 \sim \nabla 7$                         | $\nabla 5$                                                    | $\nabla 4$                                  |
| 适用分度圆周速度大致范围 | $>25 \text{ m/s}$                                        | $>25 \text{ m/s}$                                         | 直齿 $<20 \text{ m/s}$<br>斜齿 $<25 \text{ m/s}$     | 直齿 $<20 \text{ m/s}$<br>斜齿 $<25 \text{ m/s}$                  | 直齿 $<6 \text{ m/s}$<br>斜齿 $<10 \text{ m/s}$ |
| 工作条件         | 要求运转十分精确或在很高速度和很大载荷下能平稳工作、噪音很低的齿轮、基准齿轮、钟表和精密仪器、机床、透平机械等。 | 要求运转精确或在很高速重载下能平稳工作、噪音较低的齿轮、精密仪器的齿轮、机床、飞机、小客车、船舶、透平发电设备等。 | 工作在高速中载或低、中速重载下工作的汽车齿轮、运输起重机械、冶金、矿山机械、内燃机、化工机械等。 | 一般机械制造业中不需特别精确的齿轮、不属于分度系统的机床齿轮、飞机、拖拉机等中不重要的齿轮、农业机械齿轮、纺织机械齿轮等。 | 作粗笨工作，不需有中等精度的齿轮，按结构条件确定尺寸大于计算所得值的微载传动的齿轮。  |

\* 关于圆柱渐开线齿轮精度的标注方法以及相应的公差值可查阅“机械工程手册第32篇”及有关设计手册。

疲劳极限应力值, 齿轮工作一定时期后, 在齿根圆角处将产生疲劳裂纹, 这个裂纹逐渐扩展和加深, 必然会造成轮齿最终折断(图 12-2)。在不逆转的齿轮上, 齿根应力是一侧为

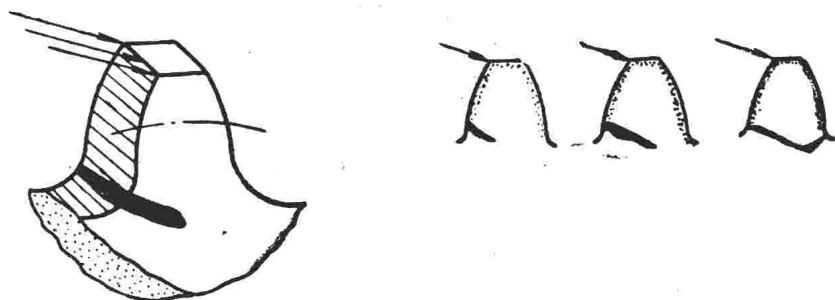


图 11-2

拉伸应力, 另一侧为压缩应力, 裂纹一般容易在轮齿受拉伸侧产生和扩展。当齿根圆角处经磨削、剃或精抛, 以及齿圈采用紧配合装配时, 都会使齿根产生残余拉应力, 从而使拉伸侧应力加大, 降低了齿轮的弯曲强度。当采用齿根喷丸或挤压等冷作强化处理时, 在齿根产生残余压应力, 齿轮工作时, 可将拉伸侧拉应力抵销一部分, 从而可提高齿轮的弯曲强度。

从抗弯强度而言, 受对称循环应力的轮齿低于受脉动应力的轮齿。直齿圆柱齿轮发生轮齿断裂时, 其断裂面一般沿齿根方向; 斜齿或人字齿轮由于齿接触线是倾斜的, 它的断裂面常常从齿根开始扩展至齿顶而形成倾斜的剖面。

#### b) 齿面点蚀

齿轮工作时, 在齿面接触区域内就要产生脉动循环变化的接触应力。如果接触应力超过了齿面的接触疲劳极限应力, 齿轮工作一定时间以后, 齿面就产生了微观的疲劳裂纹。当这种裂纹逐步扩展, 使金属微粒剥落下来就形成麻斑。这种失效, 称为接触疲劳, 一般叫“点蚀”(pitting)(图 11-3 所示)。理论和实践证明, 点蚀绝大多数产生于靠近节线的齿根部分。

在润滑良好的闭式传动中, 特别对轮齿工作表面硬度  $HB \leq 350$  的钢齿轮, 最常见的齿面失效形式是点蚀。而对开式齿轮转动, 由于齿轮磨损很快, 不易产生点蚀现象。

一对硬度  $HB \leq 350$  的新齿轮, 如果齿面光洁度低或接触线受偏载时, 很容易出现点蚀。当出现少量点蚀后, 齿面经过跑合和变形, 齿面接触面积不断扩大, 点蚀有可能因此停止发展, 这种点蚀叫做**局限性点蚀**(或称非扩展性点蚀), 它常表现为一些不太深的扇形小洞(或多或少呈圆形), 扇形孔的夹角介于  $60^\circ$  到  $120^\circ$  之间。对于主动齿轮来说, 其夹角通常朝向齿根; 对从动齿轮来说, 其夹角通常朝向齿顶。孔洞的深度由夹角到扇形的圆边逐渐加深。它们出现于所有齿的节圆附近区域, 或较轻地出现于节圆以下的部

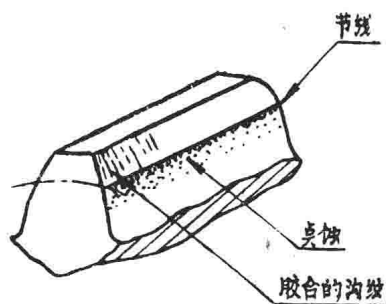


图 11-3

分。局限性点蚀不是一种损坏,但如果它不停地发展,则转变为扩展性点蚀。这种点蚀使齿面接触区域迅速减小,将要破坏齿轮传动的正确性和引起很大的动载荷,从而危及到齿轮传动的寿命。扩展性点蚀一般是发展得相当缓慢,有是可延续数年,而且,当使用粘度足够的润滑油时,它的发展可更缓慢。

齿轮工作时,在两工作齿面间加入润滑油,不仅能减小齿面间的摩擦,而且在齿面间可形成动力油膜,从而增大了齿面上的实际承压面积,因此能延缓点蚀的产生。但是,当点蚀发生后,润滑油将要迅速被压进已形成的麻坑中,并受到强力挤压,这样又加速了齿面裂纹的扩展,

对于齿面硬度  $HB > 450$  的硬齿面齿轮,由于它的齿面接触强度较高,一般不易出现点蚀。这种齿面出现的点蚀,不象软齿面那样的点蚀孔洞呈特有扇形形状,而是一种不规则的,通常更加参差不平的形状。点蚀孔洞通常是孤立的几处(在一个齿上或几个齿上)。它的形成先有硬化层的崩溃,继而在硬化层中形成孔洞。由于硬齿面不易跑合和变形,点蚀孔洞易产生脆性破碎和剥落,使点蚀迅速扩展。这里加润滑油没有明显的影响。因此,硬度高的齿轮传动,齿面光洁度和热处理质量等都应认真加以控制,否则可能不能发挥硬齿面的优点。

### c) 齿面磨损

齿面磨损表现为齿厚不断减薄,并伴随着齿廓或多或少的变形的迹象,但不包括齿面状况的显著破坏。齿面加工痕迹经过磨损而逐渐减少或消失。磨损通常可分为:

#### (1) 正常性磨损

这种磨损一般表现为,当齿面间载荷过大时,节圆附近沿齿廓方向产生轻微的条痕和在齿侧和齿顶看到的金属挤压的痕迹等。它是一种进展很慢的磨损,对齿轮工作的稳定性无任何损害。对大模数、硬度不太高和低速的齿轮来说几乎可以不予考虑。

#### (2) 磨粒性磨损

这是一种润滑剂里存在磨粒性微粒,或开式传动的齿面间存在金属屑末:杂质和砂尘等而造成的一种发展较快的磨损。它可使齿轮的齿厚明显减薄,齿根部出现一个凸台,齿顶变尖以及齿面失去了光泽等。

#### (3) 磨光

齿面磨光表现为齿侧的外观象光滑的镜面一样。它是由于齿表层的塑性变形和金属的冷挤压所造成的。在某种情况下,磨光伴随着金属的表层流动。传递重载的硬齿面齿轮上,有时存在有时不存在明显塑性流动的磨光。在一个齿轮上,磨损和磨光永远不会同时出现。

为了减轻工作齿面的磨损,应正确地选择润滑油、润滑油添加剂和润滑方式,以改善润滑条件;注意润滑油的更换;适当提高齿面硬度和光洁度;以及采用正变位齿轮等。

### d) 齿面胶合

在重载闭式软齿面( $HB \leq 350$ )的齿轮传动中,一对工作齿轮齿面间,压力很大而又缺乏润滑,或虽有润滑油但不能保证连续形成动力油膜,这时齿面间金属直接接触,在高温高压下,一齿面的金属会焊熔在与之相啮合的另一齿面上。从而就在齿面上形成许多沿滑动方向的沟痕(图 11-3),这种现象,叫做齿面胶合(Scoring)。

为了防止齿面胶合,大、小齿轮应采用不同牌号的钢制造;尽量提高齿面硬度和光洁度;在低速传动中,应尽量采用粘度较高的润滑油;在高速传动中,润滑油量应保证足够充分以带走齿面热量以及选用有特殊添加剂的抗胶合能力强的润滑油等。

### e) 齿面塑性变形

传递重载的软齿面齿轮。齿面易产生塑性变形。如图11-4所示,一对齿在啮合过程中,齿面间有相对滑动,因而产生滑动摩擦力。对主动齿轮来讲,齿面摩擦力方向总是背向节线,而从动轮齿面摩擦力总是指向节线。在过大摩擦力的作用下,如齿面接触应力超过材料抗剪屈服限,齿面材料进入塑性区域,造成齿面金属塑性流动,就使主动轮的节线附近齿面形成凹沟,从动轮的节线附近齿面形成棱脊,齿廓因而失去了正确的形状。

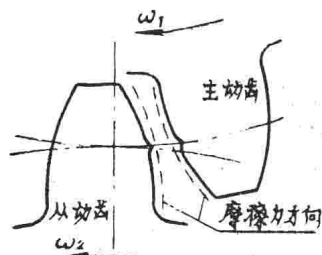


图 11-4

为了防止齿面塑性变形,应适当提高齿面硬度和润滑油粘度,尽量避免工作齿轮频繁启动和超载。

## 二、齿轮设计准则

齿轮传动设计的主要内容,是使所设计的齿轮在使用期限内工作可靠。由上分析可知,这主要与齿轮抵抗各种失效的能力有关。

关于抗胶合能力计算,除了在某些行业或一定具体条件下有一些计算方法外,目前还没有一个较成熟的通用的方法。关于齿面抗磨损能力,由于还缺乏足够的试验数据,而影响磨损的因素又太多,故至今也没有一个行之有效的计算方法。所以到目前为止,齿轮设计通常只按保证齿根弯曲强度以及齿面接触强度两个准则来进行计算。至于轮齿抵抗其他失效的能力,则采取相应措施来增强轮齿抵抗这些失效的能力,一般不进行计算。

此外,设计齿轮时,究竟是以齿根抗弯强度为主,还是以齿面接触强度为主,这主要根据具体情况而定。由实践得知,对于开式传动和轮齿表面硬度大( $HB > 450$ )的闭式传动常由于轮齿折断而造成齿轮报废,因而设计时应先按弯曲强度计算。限制齿根部分的弯曲应力,使不超过许用应力,再验算它的接触强度。

对于轮齿表面硬度  $HB \leq 350$  的闭式传动,常由于齿面点蚀而造成齿轮报废,应先按接触强度算出齿轮尺寸,再验算它的弯曲强度。

对于高速大功率的齿轮传动,不仅会出现轮齿折断和齿面点蚀破坏,还时常会出现胶合破坏。所以设计这类齿轮传动时,除须按齿根弯曲强度及齿面接触强度计算外,还要按保证齿面抗胶合能力的准则进行校核计算。

## § 11-3 齿轮常用材料及热处理

制造齿轮的材料的热处理性能,对齿轮传动的承载能力有很大影响。常用来制造齿轮的材料是各种牌号的优质碳素钢、合金结构钢、铸钢和铸铁等。对于轻载而又要噪音很低的场合,有时也用塑料、木材或皮革来制造齿轮。

铸铁齿轮多用于低速、轻载、模数较大而又无冲击的场合。常用的铸铁材料有 HT25

—47、HT30—54、HT40—68、QT50—5、QT70—2、KTZ45—2、KTZ60—3等灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁等。在缺乏润滑的条件下，它具有较好的耐胶合性能，所以它最适用于开式传动。

有色金属多用来制造在腐蚀介质中工作的轻载齿轮。

齿轮的承载能力是随着表面硬度的提高而增大的，钢齿轮经过热处理可以提高轮齿工作表面的硬度，从而可以使齿轮传动小型、轻量化。所以，目前钢是制造齿轮的主要材料。而且对于具有最小尺寸与重量的，承受重载荷的重要传动来说，钢又是制造齿轮的唯一材料。

根据齿面硬度，齿轮可分为软齿面（ $HB \leq 350$ ）和硬齿面（ $HB > 350$  或  $HRC > 38$ ）两类。

### 一、软齿面齿轮

这类齿轮的热处理方法是正火或调质。一般轮齿工作表面硬度  $HB \leq 350$ 。它在热处理后还可进行精滚（或插齿），以消除热处理的变形。软齿面齿轮常用材料有40、45、50、50Mn等优质碳钢；40Cr、40CrNi、35SiMn、42SiMn、60SiMn、40MnB、38SiMnMo、37Si2MnMoV、35CrMoA、30CrNi3Mo等合金钢。

因单位时间内小齿轮的接触次数比大齿轮多，为了提高小齿轮的磨损寿命，使小、大齿轮的使用寿命接近相等，应使一对软齿面的小齿轮和大齿轮的齿面硬度有一定的差别。对于小齿轮与大齿轮尺寸相差很大的，有时还要采用软——硬齿轮传动（即小齿轮采用硬齿面，大齿轮采用软齿面）。关于小、大齿轮工作齿面硬度差推荐值见表11-5。

表 11-5

| 齿面硬度                                             | 齿轮种类       | 热 处 理     |                | 齿轮工作齿面硬度差                                   | 工作齿面硬度组合举例                          |                                     |
|--------------------------------------------------|------------|-----------|----------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                  |            | 小齿轮       | 大齿轮            |                                             | 小 齿 轮                               | 大 齿 轮                               |
| 软 齿 面<br>( $HB \leq 350$ )                       | 直 齿        | 调质        | 正火<br>调质       | $20 \sim 25 \geq HB_{1min} - HB_{2max} > 0$ | HB260~290<br>HB270~300              | HB180~210<br>HB200~230              |
|                                                  | 斜齿及<br>人字齿 | 调质        | 正火<br>正火<br>调质 | $HB_{1min} - HB_{2max} \geq (40 \sim 50)$   | HB240~270<br>HB260~290<br>HB270~300 | HB160~190<br>HB180~210<br>HB200~230 |
| 软——硬齿面<br>组 合<br>$HB_1 > 350$<br>$HB_2 \leq 350$ | 斜齿及        | 表面<br>淬火  | 调质             | 齿面硬度相差很大                                    | HRC45~50                            | HB270~300<br>HB200~230              |
|                                                  | 人字齿        | 渗氮、<br>渗碳 | 调质             |                                             | HRC56~62                            | HB270~300<br>HB200~230              |