

题6-12

试设计单级闭式减速用外啮合直齿圆柱齿轮传动。已知传动比 $i = 4.6$ ，传递功率 $P = 30 \text{ kW}$ ，转速 $n_1 = 730 \text{ r/min}$ ，长期双向传动，齿轮有中等冲击，要求结构紧凑， $z_1 = 27$ ，大小齿轮都用40Cr表面淬火。

解：

要求结构紧凑，应使用硬齿面齿轮。40Cr表面淬火后为硬齿面齿轮，对于闭式硬齿面齿轮传动，先按齿根弯曲疲劳强度进行设计计算，然后校核齿面接触强度。

按弯曲疲劳强度进行设计

由《机械设计》表6-5知，40Cr调质、表面淬火后的硬度为48~55HRC。由《机械设计》图6-31(d)知，40Cr调质并表面淬火后，弯曲疲劳极限取 $\sigma_{Flim} = 700 \text{ MPa}$ ，对于长期双向传动的齿轮，因齿根受对称循环弯曲应力， $\sigma_{Flim} = 0.7 \times 700 \text{ MPa} = 490 \text{ MPa}$ 。

由《机械设计》图6-30，考虑变位系数 $x = 0$ ，对于 $z_1 = 27$ ，复合齿形系数 $Y_{Fs1} = 4.2$ ；大齿轮 $z_2 = z_1 \times i = 27 \times 4.6 \approx 124$ ，复合齿形系数 $Y_{Fs2} = 3.9$ 。

由《机械设计》表6-8，假设该齿轮损坏会引起严重后果，齿根弯曲强度最小安全系数 $S_{Fmin} = 1.5$ ，取 $S_F = 1.5$ ，则

$$\begin{aligned} [\sigma_{F1}] &= [\sigma_{F2}] = \frac{\sigma_{Flim}}{S_F} = \frac{490}{1.5} = 326.7 \text{ MPa} \\ \frac{Y_{Fs1}}{[\sigma_{F1}]} &= \frac{4.2}{326.7} = 0.01286, \quad \frac{Y_{Fs2}}{[\sigma_{F2}]} = \frac{3.9}{326.7} = 0.01194 \\ \frac{Y_{Fs}}{[\sigma_F]} &= \max \left(\frac{Y_{Fs1}}{[\sigma_{F1}]}, \frac{Y_{Fs2}}{[\sigma_{F2}]} \right) = \frac{Y_{Fs1}}{[\sigma_{F1}]} = 0.01286 \end{aligned}$$

由《机械设计》表6-6知：硬齿面齿轮长期双向传动，齿轮有中等冲击时，假设工作机均匀平稳，结构布局对称，取载荷系数 $K = 1.6$ ；

$$\text{扭矩 } T_1 = \frac{P}{n_1} = \frac{30000}{730 \times \frac{2\pi}{60}} = 392.4 \text{ N}\cdot\text{m};$$

由《机械设计》表6-9知，硬齿面齿轮对称布置时齿宽系数 $\psi_d = 0.4 \sim 0.9$ ，直齿圆柱齿轮应取小值，取 $\psi_d = 0.4$ ；

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2KT_1}{\psi_d z_1^2} \left(\frac{Y_{Fs}}{[\sigma_F]} \right)} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 1.6 \times 392.4 \times 10^3}{0.4 \times 27^2} \times 0.01286} = 3.812 \text{ mm}$$

取 $m = 4$ ，则

$$\begin{aligned} d_1 &= mz_1 = 4 \times 27 = 108 \text{ mm} \\ d_2 &= mz_2 = 4 \times 124 = 496 \text{ mm} \end{aligned}$$

校核齿面接触疲劳强度

由《机械设计》表6-7知：钢与钢的弹性系数 $Z_E = 189.8\sqrt{\text{MPa}}$ ；

$$\text{标准圆柱齿轮节点区域系数 } Z_H = \sqrt{\frac{2}{\sin \alpha \cos \alpha}} = 2.5;$$

中等冲击，齿宽系数 ψ_d 取1，齿宽 $b = \psi_d \times d_1 = 1 \times 108 = 108 \text{ mm}$ ；

$$\text{齿数比 } u = \frac{z_2}{z_1} = 4.6;$$

则齿面接触应力 σ_H 为

$$\begin{aligned}\sigma_H &= Z_E Z_H \sqrt{\frac{2KT_1}{bd_1^2} \left(\frac{u+1}{u} \right)} \\ &= 189.8 \times 2.5 \times \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 392.4 \times 10^3}{108 \times 108^2} \times \frac{4.6+1}{4.6}} \\ &= 522.7 \text{ MPa}\end{aligned}$$

由《机械设计》图6-28(d)知：40Cr表面淬火接触疲劳极限取 $\sigma_{Hlim} = 1150 \text{ MPa}$ ；

由《机械设计》表6-8，齿根弯曲强度最小安全系数 $S_{Hmin} = 1.25$ ，取 $S_H = 1.25$ ；

则许用接触应力 $[\sigma_H]$ 为

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} = \frac{1150}{1.25} = 920 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = 522.7 \text{ MPa} < [\sigma_H] = 920 \text{ MPa}$$

满足接触疲劳强度要求。