

# 尼龙塑料齿轮的强度设计

能源部郑州机械设计研究所 叶丹

传递动力的尼龙塑料齿轮失效,除磨损以外,还应考虑其折损和烧伤等。许多实验结果表明,尼龙塑料齿轮的折损位置大多发生在节点附近。而非金属齿轮的弯曲强度都是利用路易斯公式再考虑一部分系数来进行计算的。动力尼龙塑料齿轮采用路易斯公式计算齿的弯曲强度时,如果仍像钢齿轮那样将危险断面的位置假定在齿根上,这就与实际情况不大相符。所以,对动力尼龙塑料齿轮来说,应将其危险断面假设在节点处,如图1所示。现将齿的弯曲强度计算方法介绍如下,供设计时参考。

假设作用在齿顶上的载荷是这样的,即齿面法向力为  $F_n$ , 水平力为  $F'$ 。节圆圆周力为  $F$ 。  $F'$  相对于节点处弯矩的力臂为  $h$ ,  $m$  为模数,  $b$  为齿宽。另外,为了提高齿的承载能力,可将尼龙塑料齿轮的齿厚扩大,即节圆上的弧齿厚  $\widehat{S}$  由  $0.5\pi m$  再增加  $\tau m$ 。系数  $\tau$  称为齿厚增减系数,可由塑料齿轮变位得到。则:

$$\left. \begin{aligned} F' &\doteq F \\ h &\doteq m \\ \widehat{S} &= (0.5\pi + \tau)m \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

由作用在齿顶上的水平力  $F'$  所产生的弯矩为:  $F'h \doteq Fh$ , 在危险断面  $AA'$  上所产生的弯曲应力若为  $\sigma_p$ , 则

$$Fh = \sigma_p (bs^2/6)$$

将式(1)的值代入上式,经整理后得:

$$F \doteq (0.411 + 0.524\tau)mb\sigma_p \quad (2)$$

式中  $\sigma_p$  若用齿轮材料许用弯曲疲劳极限  $\sigma_{Fmin}$  替代,就成了尼龙塑料直齿轮当其重合度  $1 < e < 2$  时,计算其承载能力的公式。不管齿轮压力角是  $20^\circ$  还是  $14.5^\circ$ , 上式都适用。

当尼龙塑料直齿轮的重合度大于 2, 应将负载分

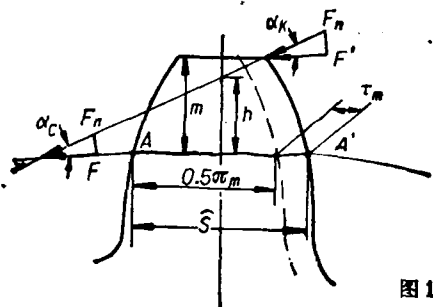


图1

摊,以载荷分担率  $\beta$  来表示。载荷分担率随齿形上的不同位置而不同,因为齿面有磨损,这样会使求已磨损齿的载荷分担率产生困难,但其概略值可参见表1。

尼龙塑料斜齿轮可以用当量直齿轮来替代。重合度大于 2 的斜齿轮,其负担要比相同模数,且  $1 < e < 2$  的直齿轮要减少  $\beta$  倍。因此,与  $e=1\sim 2$  齿轮相当的斜齿轮其附和载荷就应该为全负荷的  $1/\beta$  倍。考虑到磨损而造成啮合不良的因素,载荷分担率再加 20%,则总计为  $1.2\beta$ 。因此载荷增加系数  $\beta_m = 1/1.2\beta$ , 其值见表1。

表1: 重合度  $e$  和载荷增加系数  $\beta_m$

重合度 $e$	载荷分担率 $\beta$	$1.2\beta$	载荷增加系数 $\beta_m$
1~2	1.0	—	1.0
2~3	0.6	0.7	1.4
3~4	0.5	0.6	1.6

考虑  $\beta_m$  的影响,以  $\sigma_{Fmin}$  替代  $\sigma_p$ , 则可得到计算尼龙塑料直齿轮承载能力的公式为:

$$F = (0.411 + 0.524\tau)b\beta_m m \sigma_{Fmin} \quad (3)$$

若直齿轮所传递的功率为  $P$  (kW), 节圆圆周速度为  $V$  (m/s), 齿数为  $Z$ , 转速  $n$  (r/min), 则:

$$V = \frac{\pi m z n}{60000}$$

$$P = FV$$

$$= \frac{(0.411 + 0.524\tau)znb\beta_m \sigma_{Fmin} m^2}{267.3^3} \quad (4)$$

如果知道直齿轮的使用条件  $P$  和  $n$ , 齿轮材料的许用弯曲疲劳极限  $\sigma_{Fmin}$  以及齿轮的一部分参数  $z$ ,  $\beta_m$ ,  $\tau$  和和齿宽系数  $\psi = \frac{b}{m}$  则可由式(4)得到求齿轮模数的公式:

$$m = 267.3 \sqrt[3]{\frac{P}{(0.411 + 0.524\tau)zn\psi\beta_m \sigma_{Fmin}}} \quad (5)$$

若设  $\beta_0$  为尼龙塑料斜齿轮的螺旋角, 那末式(3)~(5)用在斜齿轮中则有:

$$\left. \begin{aligned} F &= (0.411 + 0.524\tau)b\beta_m m \sigma_{Fmin} \\ P &= \frac{(0.411 + 0.524\tau)znb\beta_m \sigma_{Fmin} m^2}{267.3^3 \cos\beta_0} \\ m &= 267.3 \sqrt[3]{\frac{P \cos\beta_0}{(0.411 + 0.524\tau)zn\psi\beta_m \sigma_{Fmin}}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中  $m$  为法面模数,  $F$  为端面节圆周力。表 1 中的重合度为端面重合度与纵向重合度之和, 可按此值求  $\beta_m$  的近似值。

用以上公式计算塑料齿轮承载能力时, 需正确选择所用齿轮材料的许用弯曲疲劳极限  $\sigma_{Fmin}$ , 为提高齿轮承载能力, 若选用较大值的  $\sigma_{Fmin}$ , 则会使塑料齿轮的温度升高, 成为塑料齿轮寿命不稳定的因素。选择较小值的  $\sigma_{Fmin}$ , 会使齿轮尺寸变大, 则又提高了成本。尼龙塑料齿轮可以将其抗拉强度的 30%~40% 作为疲劳极限  $\sigma_K$ 。不过,  $\sigma_K$  值受温度的影响而变化。

图 2 为 MC 尼龙塑料用现代实验方法考察温度对抗拉(压)强度的影响所求得的曲线图。轮齿的拉伸侧易折断, 但不易产生点蚀, 因此可将其抗拉压强度刻度的 30% 作为抗拉疲劳极限的刻度, 40% 作为抗压疲劳极限的刻度。按该图可以预测运转时齿的温度和推断回转次数为  $10^7$  时的疲劳极限  $\sigma_K$ 。

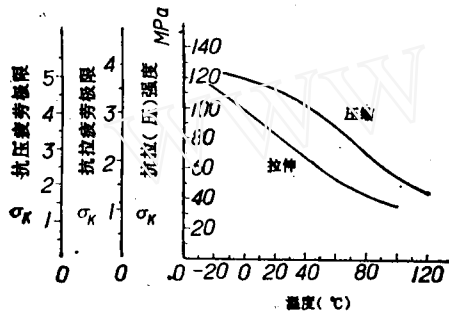


图 2

塑料齿轮发热包括因齿面滑动摩擦而产生的摩擦热, 还包括留在塑料齿轮上的残余热量和作为粘弹体滞后损耗的热量。另外, 由于塑料齿轮的转动向周围散热, 所以, 齿轮的温度可以根据这种发热、放热和环境温度之间的关系来确定。但是, 影响齿轮温度的因素是相当复杂的, 用计算方法预测齿轮的温度是困难的。根据试验知道, 模数越小的塑料齿轮运转中齿面的温度就越低。尼龙塑料齿轮的许用弯曲应力或疲

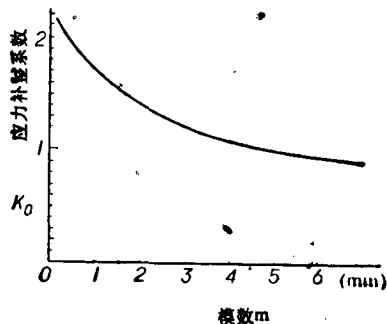


图 3

《机械制造》1991年第9期

劳极限  $\sigma_{Fmin}$  可根据下式来求得, 即

$$\sigma_{Fmin} \leq K_0 \sigma_K \quad (7)$$

式中  $K_0$  为应力修正系数, 可参考图 3。

由于  $\sigma_{Fmin}$  受模数的影响, 但大体上可以按表 2 进行预测。然后将计算值与预测值相比较, 到它们几乎相等时为止。

表 2 模数选择的建议

传递功率 (kW)	节圆圆周速度 (m/s)		
	5 以下	5~10	10 以上
0.37~0.74	2.50~3.25	2.00~2.50	1.50~2.00
0.74~1.47	3.00~3.75	2.50~3.00	2.00~2.50
1.47~2.20	3.50~4.50	3.00~3.50	2.50~3.00
2.20~5.50	4.00~5.00	3.50~4.00	3.00~3.50
5.50~7.36	5.00~6.50	4.00~5.00	3.50~4.00

举例: 已知尼龙塑料直齿轮所传递的功率  $P=2kW$ ,  $n=755r/min$ ,  $x=60$ , 齿宽系数  $\psi$  为 7, 重合度  $\varepsilon=1.7$ ,  $\tau=0$ 。求其模数。

解: 由表 1 知, 当  $\varepsilon=1.7$  时,  $\beta_m=1$ 。

若取尼龙塑料齿轮在 40℃ 时, 由图 2 查得  $\sigma_K=20MPa$ , 若设  $m=3mm$  时, 由图 3 查得  $K_0=1.21$ , 所以:

$$\sigma_{Fmin}=K_0\sigma_K=1.21\times 20=24.2MPa$$

$$m=267.3 \sqrt[3]{\frac{P}{(0.411+0.524\tau)zn\psi\beta_m\sigma_{Fmin}}}$$

$$=267.3 \sqrt[3]{\frac{2}{0.411\times 60\times 755\times 7\times 1\times 24.2}}$$

$$=2.30mm$$

可取  $m=2.5mm$ 。再求节圆圆周速度为:

$$V=\frac{\pi mn}{60000}=\frac{\pi\times 2.5\times 60\times 755}{60000}=5.9m/s$$

根据上述计算, 由表 2 知模数的预测值应为 3~3.5mm。所以, 计算值与预测值有差距, 为此应重选  $\sigma_{Fmin}$  值。

若取尼龙塑料齿轮在 60℃ 时的疲劳极限, 由图 2 知  $\sigma_K=15MPa$ , 则:

$$\sigma_{Fmin}=K_0\sigma_K=1.2\times 15=18MPa$$

$$m=267.3 \sqrt[3]{\frac{2}{0.411\times 60\times 755\times 7\times 1\times 18}}$$

$$=2.53$$

可取  $m=3mm$ , 再求节圆圆周速度为:

$$V=\pi mn/60000=\pi\times 3\times 60\times 755/60000=7.1m/s$$

根据上述计算和已查过的数值, 可知计算值和预测值基本相符。所以, 尼龙塑料直齿轮的模数应取 3mm。

· (编辑 晓华)