

磨内孔弹性薄膜盘节圆夹具的设计与应用

株洲齿轮有限责任公司 (湖南 412000) 吴健洪 刘智华

汽车齿轮应用最普遍的加工工艺是：滚（插）→剃→热处理→磨内孔（以齿形面定位）→珩齿，由于珩齿无法改善齿轮精度，所以磨内孔工序是决定齿轮精度的最终工序，其精度保证尤为重要。磨内孔采用的弹性膜盘夹具以渐开线齿形面定位，用保持器将定位滚柱放入齿槽中，通过弹性膜盘的变形将齿轮自动定心并夹紧，这样最大限度地保证了加工后的内孔与齿圈的同轴度。下面以我公司新开发的一种用于客车上的五挡变速器中的倒挡惰轮为例，分步进行设计计算说明。

主轴最大转矩 638/971 N·m；A/C 轴转速 25°/s；A/C 轴回转分辨率为 0.001°；A/C 轴驱动转矩 7 000 N·m；A/C 夹紧转矩 20 000 N·m；刀柄形式为 BT50/JT50；刀具夹紧方式：碟形弹簧；刀具松开方式：液压；摆动轴到主轴头距离 270 mm；A 轴摆动范围：±100°；C 轴摆动范围：±n×360°。

从上述参数中看到，A/C 轴的回转分辨率是 0.001°，精度如此之高，若蜗轮蜗杆的间隙过大，A/C 的重复定位精度就会很低，满足不了高精度 5 轴机床的加工需要。因此，在蜗杆的设计时，采用了分体式消隙结构。

图 3 是可调整传动间隙的蜗轮蜗杆传动装置，其结构原理是安装在机体上的蜗轮蜗杆，蜗杆做成分体式，即由套筒式蜗杆和心轴式蜗杆组成。心轴式蜗杆一端的轴体部分插在套筒式蜗杆的内孔，并固定联接成一体的结构。套筒蜗杆外侧的蜗杆齿与心轴蜗杆外侧的蜗杆齿形成与蜗轮相啮合的蜗杆螺旋齿。在套筒蜗杆的一端装有轴承，在心轴蜗杆的一端也装有轴承，两端固定安装在机体上，并设

1. 工件加工工艺分析

图 1 为该变速器倒挡惰轮的零件工作图。产量为大批生产，需设计在 CD—34 内孔磨床上加工内孔、端面的磨孔夹具。该工件为一双联齿轮，相对于一般盘类齿轮来说轴径比较长。本工序前已完成孔的粗、半精工加工，齿形的精加工。本工序加工的内孔应保证内孔与齿圈轴线同心，以内孔定位检查齿圈径向跳动应小于 0.056 mm，端面跳动应小于 0.01 mm。

有调整轴向间隙的调整垫。

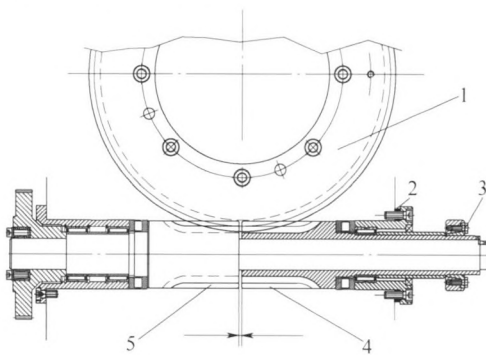


图 3

1. 蜗轮 2. 调整垫 3. 锁紧胀套
4. 套筒蜗杆 5. 心轴蜗杆

当蜗轮蜗杆使用一段时间后，如果蜗杆螺旋齿与蜗轮齿间隙变大，可随时改变调整垫厚度，以调整轴向间隙的大小，从而保持蜗杆螺旋齿与蜗轮齿的间隙处于理想状态，达到运行平稳、噪声小、动力传递精度高的目的。MW

（收稿日期：20131230）

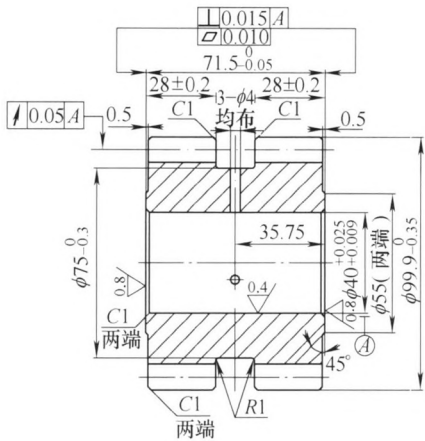


图 1

2. 确定定位方案和设计定位元件

根据对工件的结构和工艺分析，工件的轴线相对较长，需限制工件的 5 个自由度。为保证内孔与齿圈轴线的同轴度和端面跳动，采用节圆和端面定位，定位元件为 1 个滚柱保持器，其上 6 个滚柱插入齿槽中限制工件的 4 个自由度，1 个由 3 个支承钉固定的定位盘与齿轮的 1 个端面接触限制工件的 1 个自由度。定位元件保持器的结构如图 2 所示。该定位方式实现了基准统一，且是自动定心，定



图 2

位误差在 0.01 mm 以内，完全能满足零件的加工要求。

根据该零件的齿轮参数：齿数 $z = 20$ ，模数 $m = 4.5$ mm，压力角 $\alpha = 22.50^\circ$ ，齿顶高 $h' = 4.948$ mm，分度圆弧齿厚 $s = 7.444_{-0.2}^{+0.1}$ mm，滚柱直径与滚柱的外切圆直径的设计计算如图 3 和附表所示。

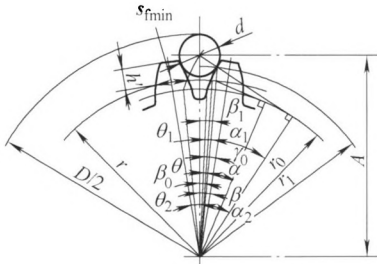


图 3

3. 确定夹紧方案，设计夹紧装置

根据以上定位方案，选用弹性薄膜卡盘作为夹紧元件，夹紧方式为通过薄膜卡盘的弹性恢复力夹紧工件。弹性薄膜卡盘的设计简图如图 4 所示，其设计计算如下。

(1) 弹性盘夹持直径

d_1 = 标准滚柱的外公切圆直径 = 113.5 mm。

参数计算表

计算项目	符号	计 算 公 式
分度圆半径	r	$r = mz/2 = 4.5 \times 20/2 = 45$ (mm)
基圆半径	r_0	$r_0 = r \cos \alpha = 45 \times \cos 22.5^\circ = 41.575$ (mm)
滚柱与齿面接触处半径	r_1	$r_1 = r + 0.6h = 45 + 0.6 \times 4.948 = 47.97$ (mm)
滚柱与齿形接触点的压力角	α_1	$\alpha_1 = \arccos r_0/r_1 = \arccos 41.575/47.97 = 29.924^\circ$
齿距半角	β	$\beta = \pi/Z = \pi/20 = 0.1571$ (rad)
α 的渐开线函数值	θ	$\theta = \text{inv} \alpha = \text{inv} 22.5^\circ = 0.02151448$
基圆齿厚半角	γ	$\gamma = s_{fmin}/(2r) + \theta = 7.244/(2 \times 45) + 0.02151448 = 0.102$ (rad)
基圆齿间半角	β_0	$\beta_0 = \beta - \gamma = 0.1571 - 0.102 = 0.0551$ (rad)
α_1 的渐开线函数值	θ_1	$\theta_1 = \text{inv} \alpha_1 = \text{inv} 29.924^\circ = 0.05331$
滚柱与齿形面接触点中心角	β_1	$\beta_1 = \beta_0 + \theta_1 = 0.0551 + 0.05331 = 0.1084$ (rad)
β_1 角的角度值	β_1°	$\beta_1^\circ = 180^\circ \times \beta_1/\pi = 6.21^\circ$
滚柱直径	d	$d = 2[r_0 \tan(\alpha_1 + \beta_1^\circ) - r_1 \sin \alpha_1]$ $= 2[41.575 \tan(29.924^\circ + 6.21^\circ) - 47.97 \sin 29.924^\circ] = 12.8$ (mm)
选取近似滚柱直径	d_d	$d_d = 12$ (mm)
标准滚柱中心的渐开线函数值	θ_2	$\theta_2 = \gamma + d_d/(2r_0) - \beta = 0.102 + 12/(2 \times 41.575) - 0.1571 = 0.089217498$
标准滚柱的压力角	α_2	$\text{inv} \alpha_2 = \theta_2 = 0.089217498 \quad \alpha_2 = 34.99^\circ$
标准滚柱至齿轮中心的距离	A	$A = r_0/\cos \alpha_2 = 41.575/\cos 34.99^\circ = 50.75$ (mm)
标准滚柱的外公切圆直径	D	$D = 2A + d_d = 2 \times 50.75 + 12 = 113.5$ (mm)

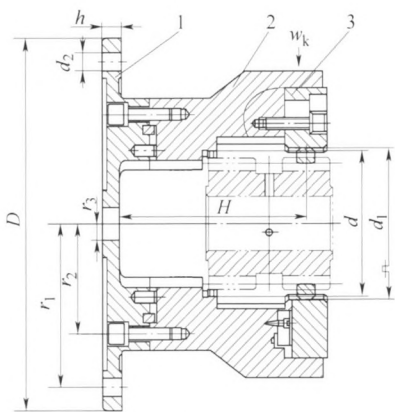


图 4

1. 弹性薄膜盘 2. 卡爪 3. 夹持定位块

(2) 弹性盘安装直径

$D = (1.33 \sim 3) d = (1.33 \sim 3) \times 113 = 150 \sim 339$ (mm), 取 $D = 280$ mm。

(3) 卡爪悬伸长度

$H = (0.25 \sim 0.50) D = (0.25 \sim 0.50) \times 280 = 70 \sim 140$ (mm), 取 $H = 107$ mm。

(4) 弹性盘有效变形半径

$r_1 = D/2 - 1.8d_2 = 280/2 - 1.8 \times 13 = 116.6$ (mm), 取 $r_1 = 110$ mm。

(5) 卡爪位置半径

$r_2 = (0.4 \sim 0.6) r_1 = (0.50 \sim 0.85) \times 110 = 55.0 \sim 93.5$ (mm), 取 $r_2 = 85$ mm。

(6) 弹性盘厚度

$h = (0.05 \sim 0.08) r_1 = 5.5 \sim 8.8$ (mm), 取 $h = 7.0$ mm。

(7) 每个卡爪所需径向夹紧力 W_k 的计算:

已知 CD—34A 磨床电动机的功率 $P = 3$ kW, 同步转速 $n_0 = 2800$ r/min, 则电动机的输出转矩 $T = 9550P/n_0 = 9550 \times 3/2800 = 10.23$ N·m

$W_k = 2KM_p \times 103/(\eta \mu d) = 2 \times 1.5 \times 10.23 \times 103/(6 \times 0.13 \times 113.5) = 347$ (N)

式中, M_p 为切削转矩, $M_p = T = 10.23$ N·m; n 为卡爪数, $n = 6$; μ 为摩擦因数, 取 0.13; K 为安全系数, 取 1.5。

(8) 根据径向夹紧力计算卡爪所需张量 c :

$2c = W_k \cdot n \cdot H_2 \cdot K_2/(h_3 \times 105) = 347 \times 6 \times 1072 \times 0.47/(73 \times 105) = 0.327$ (mm)。

(9) 卡爪实际所需张量 S :

$2S = 2C + \Delta + \delta = 0.327 + 0.04 + 0.03 = 0.397$ (mm), 取 $2S = 0.4$ mm。

式中, Δ 为放入工件时所需间隙, 取 0.03 ~ 0.05 mm; δ 为夹持表面直径公差。

(10) 卡爪上夹持调整环部位直径 d 与调整环外径之差: $\Delta d = 2S = 0.4$ mm。

4. 整体结构设计及夹具在机床上的配磨

根据上述各种元件的结构与布置, 该夹具的整体结构形式设计如图 5 所示。

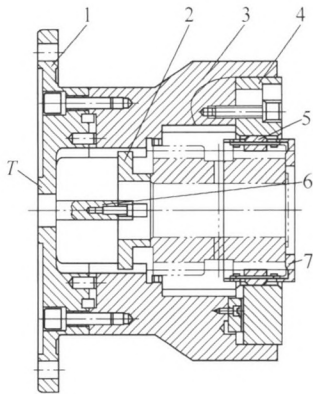


图 5

1. 薄膜盘 2. 定位盘 3. 卡爪 4. 定位块
5. 滚子 6. 定位螺钉 7. 保持架

在磨床上利用调整环配磨定位块是保证夹紧力与夹具精度的关键 (夹具定位块 4 必须留有足够的余量), 具体方法与步骤为: 将夹具装上车床, 先在磨床上磨出调整环夹持面尺寸 d , 其尺寸大小为调整环尺寸减去张量 $\Delta d = 0.4$ mm; 然后用机床上的气动推杆顶住薄膜盘使卡爪张开, 装入调整环, 去除推力后依靠薄膜卡盘的弹性恢复力夹紧调整环, 磨出工件夹持面尺寸 $\phi 113.5^{+0.03}_0$ mm; 取出调整环, 夹具可正常使用。这样当夹具处于放松状态时就具备了满足加工要求的夹紧力。

5. 结语

该夹具为“闭式膜片卡爪”, 用机床上的液压缸推杆顶住薄膜盘的 T 面, 薄膜盘弹性变形使卡爪张开装入工件, 去除推力后依靠薄膜卡盘的弹性恢复力夹紧工件, 夹紧力为弹性恢复力, 不受停电、断气等因素的影响, 夹紧安全可靠; 定位元件为滚柱保持器, 滚柱保持器与工件是线接触, 能限制工件的 4 个自由度, 避免了产品轴线歪斜的现象。MW

(收稿日期: 20131230)