

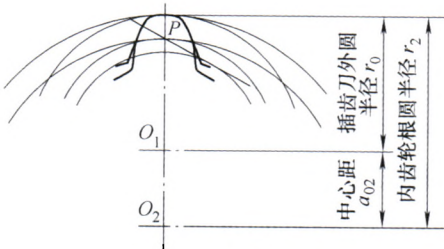
内齿插齿时根圆尺寸验算

石家庄链轮总厂（河北 050031） 王 成

在一般生产中内齿轮展成法插齿加工相对于成形法拉削，由于受内齿轮齿数变化影响较小，同时综合考虑加工成本及其经济性，应用较为广泛。

我们知道标准内齿轮（包括变位齿轮）加工用插齿刀按不同模数及压力角已标准化，加工时轮齿齿厚是直接控制尺寸，通常用轮齿的公法线长度或量棒测量距进行测量，靠刀具的径向位移来达到要求尺寸。而齿根圆是由插齿刀的顶刃加工间接得到的尺寸，由于尺寸没有严格的公差要求，一般不予测量。而实际中常常会遇到齿厚和齿根圆同时控制并有测量公差的特殊齿轮，这就要求我们在插齿加工时进行理论验算，以确定现有插齿刀能否满足加工时的尺寸公差要求，以备订制专用刀具或修磨现有刀具。下面以我厂产品GRL型鼓形齿联轴器内齿

套为例（见附图），运用齿轮计算公式进行验算说明。



鼓形齿联轴器内齿套

内齿套参数：模数 $m=2$ ，压力角 $\alpha=20^\circ$ ，齿数 $z_2=83$ ，齿根圆直径 $d_{f2}=\phi 170E8$ ，量棒测量距 $M=161.2^{+0.16}_{-0.16}\text{mm}$ ，量棒直径 $d_k=\phi 3.6\text{mm}$ 。

初始选用 $m=2$ 标准盘形插齿刀，公称分度圆直径 100mm ，齿数 $z_0=50$ 。实测插齿刀公法线长

头都能自动测出工件端面Z坐标值。对同一工件反复测量，当测量速度为 200mm/min 时试验数据如表2所示。通过对表2数据分析，RENISHAW测头的测量精度完全能满足磨削对刀测量要求。

(2) 自动对刀、磨削。按前述对刀原理与步骤编制自动对刀、磨削程序，有关参数在OEM界面输入，并进行实际加工。试磨十件试件（HJG-S1088-01B 法兰螺母）。试磨结果如表3所示。

表2 工件端面Z坐标实验数据

试验次数（第 次）	R516/mm
第 1 次	-279.41560
第 2 次	-279.41481
第 3 次	-279.41365
第 4 次	-279.41364
第 5 次	-279.41543
第 6 次	-279.41577

(续)

第 7 次	-279.41432
第 8 次	-279.41627
第 9 次	-279.41588
第 10 次	-279.41490

表3 试磨结果

试磨件次	结果
第 1 件	合 格
第 2 件	合 格
第 3 件	合 格
第 4 件	合 格
第 5 件	合 格
第 6 件	合 格
第 7 件	合 格
第 8 件	合 格
第 9 件	合 格
第 10 件	合 格

其中，1~5件试件是一次对刀一次磨削。MW

(收稿日期：20130215)

度 $L_0=34.58\text{mm}$ (跨齿数 $k=6$)，实测插齿刀外径 $d_{a0}=107.04\text{mm}$ 。

插齿刀设计或验算的基本原理：插齿刀实质上是一个变位齿轮，插齿刀磨损后允许重磨前刀面，重磨后的插齿刀，齿厚减小，变位系数减小，因此插齿刀的变位系数是变化的。插齿刀和被加工内齿轮的加工过程就是插齿刀和内齿轮按平行轴齿轮的啮合过程，这是插齿刀设计验算的基本原理。采用验算法设计就是根据工件已知参数及插齿刀的实测参数，分别求出工件及插齿刀的变位系数，计算插齿时的啮合角和中心距，以求出插齿刀加工的实际齿根圆直径，计算步骤如下：

(1) 计算工件变位系数 量棒测量距中心点压力角

$\cos \alpha_y = (m z_2 \cos \alpha / 2) / ((M + d_k) / 2)$ ，得
 $\alpha_y = 18.820\ 296\ 2^\circ$

分圆齿厚
 $s_2 = d_2 (\pi / z_2 + \text{inv } \alpha - \text{inv } \alpha_y - d_k / d_{b2})$
 $= 2.876\ 676\ 094\text{mm}$

变位系数
 $x_2 = (m \pi / 2 - s_2) / (2 m \tan \alpha) = 0.181\ 963\ 066$
式中， d_{b2} 为内齿套基圆直径； $d_{b2} = m z_2 \cos \alpha$ 。

(2) 计算插齿刀变位系数 分圆齿厚
 $s_0 = L_0 / \cos \alpha - (k - 1) m \pi - m z_0 (\tan \alpha - \alpha)$
 $= 3.892\ 902\ 45\text{mm}$

变位系数
 $x_0 = (s_0 - m \pi / 2) / (2 m \tan \alpha) = 0.516\ 051\ 675$

(3) 计算插齿时中心距 插齿时啮合角
 $\text{inv } \alpha_{02} = [2(x_2 - x_0) \tan \alpha / (z_2 - z_0)] + \text{inv } \alpha$
 $= 0.007\ 534\ 789$ ，

得 $\alpha_{02} = 16.029\ 268\ 41^\circ$
插齿时中心距
 $a_{02} = (m(z_2 - z_0) / 2) * (\cos \alpha / \cos \alpha_{02})$
 $= 32.264\ 266\ 43\text{mm}$

(4) 插齿刀实际加工齿根圆直径： $d_{f2}' = 2(d_{a0} / 2 + a_{02}) = 171.568\ 5\text{mm}$

经验算可知，实际加工的齿根圆直径大于内齿套的理论直径，此标准刀具不能直接加工工件，需修磨插齿刀外径，修磨后直径为 $d_{a0}' = 2(d_{f2}' / 2 - a_{02}) = 105.47\text{mm}$ ，顶刃修磨量 $\Delta = (d_{a0} - d_{a0}') / 2 = 0.785\text{mm}$ ，或按专用刀具订制新刀。

在实际生产中，为准确验算加工尺寸，减小加工误差，应综合考虑工件的齿根圆公差和量棒测量距公差；同时，插齿刀的实测值应测量多值，取其平均值，力求精确。**MW** (收稿日期：20130215)

(上接第58页)		
表 2		
项目	高速同动刀库	传统刀库
凸轮循环时间/s	1.9	3.5
换刀时间 (T-T) /s	1.9/10kg (2.1/25kg)	5~7
刀具重量/kg	25	25
定位精度(")	±30	±30
优缺点	1.复合凸轮驱动，可同步夹松刀开关门，换刀机构为两端支撑定轴式卧式换刀 2.滚子式凸轮结构，该装置优点在于输出轴的惯性矩小、构造体积小、出力大、精度高、低噪声，扣刀、插刀准确 3.开/关门同步机械结构，不受电磁干扰 4.刀臂长度因结构为两端支撑，可以800mm 5.换刀机构规划前置式，不影响机床立柱与防护设计 6.通过机械式传动同动控制主轴夹松刀动作 7.开放式设计，易于使用与维修，润滑方式采用局部润滑脂润滑	1.单一凸轮驱动，配合电动机与蜗杆蜗轮的带动，悬臂式换刀轴伸出时呈现不稳的状况 2.采2连杆与4连杆摇臂设计，易磨损，出力轴常出现前后窜动，换刀过程易有较大噪声，易造成主轴损坏 3.使用传感器、电磁开关控制，易受电磁干扰，产生误动作 4.刀臂长度因悬臂式结构因素，受限於750mm以下刀臂 5.本体机构常与机床伸缩护盖干涉，机床设计延伸性低 6.无法配合主轴同步松夹刀易使刀把倾斜 7.封闭式设计，在使用与维修上，因无法拆除外壳，采油浴式润滑方式

MW (收稿日期：20130204)