曲面千分尺结构设计及不确定度分析

哈尔滨量具刃具集团有限责任公司 （黑龙江 150040） 周 萍

曲面千分尺是利用精密螺旋副原理，通过旋转测微螺杆将角度位移转变为直线位移，实现对深弓形尺架上两测量面间分隔的距离进行读数的一种专用千分尺（见图1）。

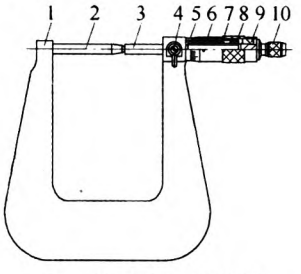


图1 曲面千分尺的结构

1.尺架 2.固定测砧 3.测微螺杆 4.锁紧装置 5.螺纹轴套 6.固定套管 7.微分筒 8.调节螺帽 9.弹性套 10. 测力装置

1. 曲面千分尺的结构

曲面千分尺的尺架上，安装了曲面千分尺的全部构件，它的左端压入了固定测砧2，右端压入螺纹轴套5。由测微螺杆3的外螺纹与螺纹轴套的内螺纹配合构成螺纹副，通过旋转测微螺杆，可以实现测微螺杆的轴向位移。测微螺杆前部光杆部分与螺纹轴套的导孔配合，在测微螺杆移动时起导向作用。测微螺杆与固定测砧的顶端均镶有硬质合金片，组成一对测量面。微分筒7与弹性套9配合固定，而弹性套又通过内锥孔同测微螺杆尾部的圆锥配合固定，这样，在测力装置10的带动下，微分筒与测微螺杆构成一体转动。螺纹轴套的螺母端铣成三等分槽，其外螺纹上旋有调节螺帽8，通过旋紧调节帽，靠其锥面楔紧作用来消除螺纹副的间隙。固定套管6在螺纹轴套上（内有弹簧片），用扳手可使它转动以便对准零位。当推动锁紧装置4上的扳把时，可把测微螺杆固定在某个位置上。

2. 曲面千分尺不确定度分析

影响曲面千分尺不确定度的因素主要包括测微螺杆的螺距误差、微分筒的分度误差、固定套管上纵刻线与微分筒的刻线之间的刻线宽度差、固定套管上纵刻线与轴线平行度误差、视觉误差、测力变化以及其他因素引起的不确定度。

（1）尺架受力时的变形量 尺架应具有足够的刚性，当尺架沿测微螺杆的轴线方向作用10N的力时，利用有限元分析法计算出尺架的弯曲变形量结果如图2所示。

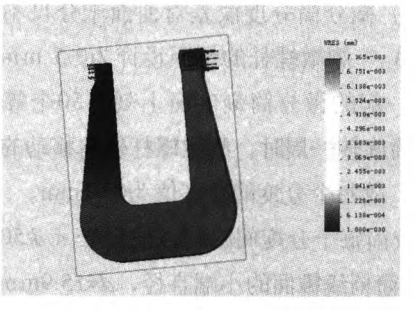


图2 有限元分析计算云图

（2）测微螺杆的螺距误差对曲面千分尺不确定度的影响Δ_1 测微螺杆的螺距误差影响曲面千分尺不确定度的原因是：在曲面千分尺中，测微螺杆和螺母的旋合是有间隙的旋合，当旋动测微螺杆使之向前推进时，测微测杆的左牙廓和螺母的右牙廓接触，间隙出现在测微螺杆的右牙廓与螺母的左牙廓之间，当测微螺杆接触到测砧（零位）或被测量工件（测量）时，由于测砧或工件的反作用使测微螺杆向后（向测力装置方向）退让，直到测微螺杆右牙廓紧靠螺母左牙廓并达到固定的测力时，才进行读数，此时间隙出现在测微螺杆左牙廓与螺母右牙廓之间。由于测微螺杆存在螺距误差，所以，

这个间隙在整个量程的各部分是不一样的，因而测微螺杆相对于零位的退让距离也不一样，所以就引起了曲面千分尺不确定度。

若曲面千分尺测微螺杆螺距误差为$\Delta_{螺}$，则由此引起的曲面千分尺不确定度为Δ_1。

上面所讲的螺距误差$\Delta_{螺}$应理解为螺旋副最大螺距误差，它包括测微螺杆在旋接长度上的螺距积累误差和螺距局部误差。前者与测微螺杆旋接长度有关，后者仅取决于螺纹工作齿廓的表面质量。为了减少测微螺杆螺距积累误差对曲面千分尺示值的影响，千分尺的测量范围不能太大，一般为25 mm，此外，千分尺螺旋副要有相当的旋合长度。

在结构设计中考虑到机床精度、加工效率、技能水平等因素，确定曲面千分尺测微螺杆任意两扣螺纹之间的螺距误差$\Delta_{螺}$= 0.002 mm，则Δ_1= 0.002 mm。

（3）测量面平面度对曲面千分尺不确定度的影响Δ_2 因固定测砧采用球型测量面，只需考虑测微螺杆测量面的平面度$\Delta_{面}$，$\Delta_{面}$= 0.000 6mm（设计允许误差），则Δ_2= 0.000 6mm。

（4）微分筒分度误差对曲面千分尺不确定度的影响Δ_3 测微螺杆的螺距设计为0.5 mm，与其固定在一起的微分筒刻度面上刻有50个等分线，当微分筒旋转一周时，测微螺杆轴向移动的距离为0.5 mm，故每个分度的分度值为0.01mm。

微分筒每个分度间的刻线间距$b=\pi d/50$，式中d为微分筒刻线锥面的小端直径，d=15.9mm（设计尺寸），则b=0.998 52mm。

微分筒的分度误差$\Delta_{分}$= 0.1mm（设计允许误差），则$\Delta_3=\Delta_{分}\times 0.01/b$ = 0.001mm。

（5）固定套管上纵刻线与微分筒的刻线之间的刻线宽度差对曲面千分尺不确定度的影响Δ_4 刻线宽度差$\Delta_{宽}$= 0.03mm（设计允许误差），则$\Delta_4=\Delta_{宽}\times 0.01/2b$ =0.000 15mm

（6）固定套管上纵刻线与轴线平行度误差对曲面千分尺不确定度的影响Δ_5 平行度误差$\Delta_{平}$ =0.03mm（设计允许误差），则$\Delta_5=\Delta_{平}\times 0.01/b$ = 0.000 3mm

（7）视觉误差对曲面千分尺不确定度的影响Δ_6 因为曲面千分尺固定套管刻线面和微分筒刻线面不在同一个圆柱面上，因此测量时产生视觉误差，视觉误差的发生是因为人们的两只眼睛的视力总是有一个较强的，在对准刻线进行测量读数时，总是视力较强的眼睛起作用，或左或右的斜视产生了视觉误差$\Delta_{视}$，$\Delta_{视}= ah/L$。式中a为固定套管与微分筒刻线端面之间的距离，取a=0.4mm，h为两眼之间距离的一半，取h=30mm，L为眼睛与刻度面之间的距离，取L= 250 mm，则$\Delta_6=\Delta_{视}\times 0.01/b$ =0.000 48mm。

（8） 测力变化对曲面千分尺不确定度的影响Δ_7 由于曲面千分尺尺架设计呈深弓形，在测力作用下将发生弯曲变形，从而使两测量面间沿测微螺杆轴线方向的距离增大。在测量过程中，当测力恒定时，两测量面间沿测微螺杆轴线方向的距离增加量$\Delta_{力}$也是不变的，这个对曲面千分尺不确定度影响的因素可以在曲面千分尺测量前，在与测量时相同的恒定测力之下，通过校对千分尺零位来消除。但在测量过程中，当测力不恒定时，两测量面沿测微螺杆轴线方向的距离增加量$\Delta_{力}$也是变化的，因而影响千分尺的不确定度。我们假定千分尺尺架受力及产生的弹性变形是符合虎克定律的，即尺架受力的大小和变形量二者之间是成正比例的。在国家标准中规定尺架受10N力时的变形量为0.002mm，测力变化为2N，因此根据尺架受力和变形二者之间的关系，就可以计算出千分尺在测量过程中，由于测力变化对曲面千分尺不确定度的影响Δ_7，$\Delta_7=F_{力}\times\Delta_{力}$，式中$F_{力}$为测力的变化，$\Delta_{力}$为尺架受1N力时的变形量，则$\Delta_7$= 0.000 4mm。

（9）总体误差对曲面千分尺不确定度的影响$\Delta_{总}$

$\Delta_{总}$ = SQRT（$\Delta_1^2+\Delta_2^2+\Delta_3^2+\Delta_4^2+\Delta_5^2+\Delta_6^2+\Delta_7^2$）=0.002 46mm

除以上分析之外，在曲面千分尺使用和测量当中，还有许多引起不确定度的因素，如温度、基准的误差及其在使用时支持位置、测量时的零点变化、被测物体的材料和形状以及测量时的其他偶然性误差等。

3. 结语

综上所述，验证了曲面千分尺结构设计合理性，各项指标设计科学，完全能够达到国家标准要求，满足用户需求。**MW**（收稿日期：20130324）