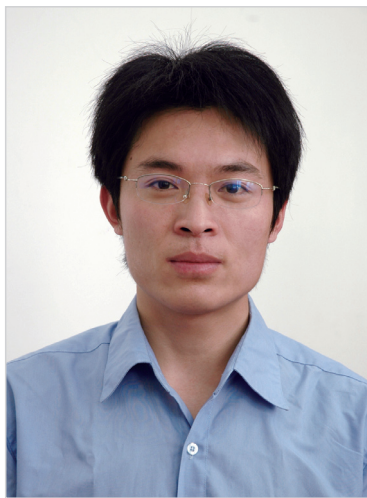


未知错位量径向剃齿刀的 齿距误差测量

Pitch Error Measurement of Plunge Shaving Cutter With Unknown Serration Displacement

哈尔滨量具刀具集团有限责任公司 张海亮



张海亮

硕士,毕业于哈尔滨工业大学仪器科学与技术专业,现任哈尔滨量具刀具集团有限责任公司工程师,主要负责CNC齿轮测量中心对齿轮及齿轮刀具测量的软件研发工作。

为了改善滚、插齿轮的周节误差,提高齿形精度及齿面质量,在以汽车、拖拉机和机床行业为代表的大批量齿轮生产中,作为齿轮精加工的剃齿法自20世纪30年代初一直被广泛采用至今^[1]。因此,对剃齿刀的各项精度指标的要求也越来越高,且重磨后的多项精度都需要有所保证。

介绍了测量剃齿刀刃带错位量和刃距的算法,结合使用多参考点的方法来减少错位量累计误差带来的影响,并根据螺旋面的数学模型将不同高度的空间数据点调整到同一个端截面上进行齿距误差计算,显著提高了剃齿刀测量的成功率和精确度。

而检测剃齿刀的专用量仪只能检测部分误差项目,并不能在一次装卡中完成对其各项误差的检测。随着齿轮量仪的发展,出现了以测量齿轮为中心并能够对多种复杂齿轮刀具进行测量的CNC齿轮测量中心,该测量中心能够在不改变机械结构和电气系统的情况下,只需要增加所测工件的软件模块便可实现对多种复杂刀具的测量。因此一次装卡便可完成各误差项的测量,不仅提高了检测效率,而且节约了成本。

目前,国内的齿轮测量中心产品对剃齿刀的测量都是基于错位量参数已知的基础,通过刀齿准确的错位量参数,保证测头能够有效地接触到刃带,从而避免测头落入容屑槽中以完成对剃齿刀的测量,但剃齿刀的错位量参数对大多数剃齿刀用户而言却是未知的。因为剃齿刀的生产厂

家一般不随图纸提供准确的错位量参数;对剃齿刀用户而言,使用齿轮测量中心测量未知错位量参数的剃齿刀是十分困难的,越来越多的用户要求在不提供错位量参数的条件下完成对剃齿刀的误差测量,因此,在未知剃齿刀错位量参数的情况下实现对剃齿刀全部误差项的检测具有十分重要的意义。本文介绍了测量剃齿刀刃带错位量和刃距的算法,结合使用多参考点的方法来减少错位量累计误差带来的影响,并根据螺旋面的数学模型将不同高度的空间数据点调整到同一个端截面上进行齿距误差计算,显著提高了剃齿刀测量的成功率和精确度。

剃齿刀错位量的检测

剃齿刀可以分为轴向剃齿刀和径向剃齿刀两种,轴向剃齿刀以环形

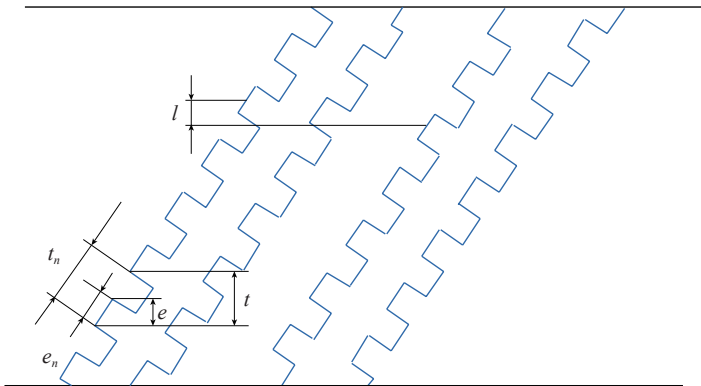


图1 剃齿刀节圆柱面展开图

槽为主,没有错位量,在测量时可以将其看作径向剃齿刀错位排列的一种特殊情况,剃齿刀节圆柱面展开图如图1所示。测量剃齿刀时,错位量参数信息只是确保测头能够接触到刃带上而不落入沟槽中(若测头落入沟槽内则会引入错误的误差值),不会对剃齿刀的齿形、齿向及齿距的理论值造成影响。由于剃齿刀的刃带具有一定的宽度,因此在测量时允许错位量和刃距存在一定的误差,这就为使用实测错位量值作为参数提供了可能。

首先,手动调整测头到剃齿刀下端的首个完整刃带正前方的齿槽内,测头从下向上扫描剃齿刀节圆螺旋线,经过数据处理可以提取出每个刃带中间的高度值,其中 \$k\$ 为齿宽范围内从下向上的有效刃带数, \$n\$ 为扫描的同侧齿面数。根据测量获得的数据计算剃齿刀的轴向刃距 \$t\$ 和轴向同齿面错位量 \$l\$ 分别为:

$$t = \frac{1}{n(k-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^k (h_{ij} - h_{i(j-1)}), \quad (1)$$

$$h_i = \frac{1}{k} \left(\sum_{j=1}^k (h_{ij} - h_{(i-1)j}) - t \sum_{j=m}^k j \right),$$

$$m = \begin{cases} 0 & |h_{i1} - h_{(i-1)1}| \leq 0.5t \\ 1 & h_{i1} - h_{(i-1)1} > 0.5t \\ -1 & h_{i1} - h_{(i-1)1} < -0.5t \end{cases},$$

$$l = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (h_{i+1} - h_i). \quad (2)$$

式(1)和(2)分别计算出了剃齿刀的轴向刃距和轴向错位量,则它们法向刃距 \$t_n\$ 和法向错位量 \$l_n\$ 分别为:

$$l_n = l \cos \beta_b,$$

$$t_n = t \cos \beta_b.$$

式中, \$\beta_b\$ 为剃齿刀的基圆螺旋角。为了测量方便同时计算出同一齿槽的左右齿面的轴向错位量 \$\Delta s\$, 可根据首个完整齿的高度差计算得出,并可计算出轴向刃距 \$t\$ 和轴向相邻同齿面错位量 \$l\$, 以及左右面的错位量 \$\Delta s\$。根据这些基本参数就可以计算出剃齿刀任意齿号 \$n\$ 的任意齿宽 \$w\$ 的最近的刃带高度 \$h_f\$ 为:

$$h_f = b_1 + nl + Nt. \quad (3)$$

式中, \$N\$ 为 \$w - b_1 - nl\$ 的取整部分。由于实测得到的刃距和错位量与设计值之间存在一定的误差,这将导致计算出的刃带高度误差 \$\Delta w\$ 将随着齿号 \$n\$ 的增加而成线性增大,如公式(4)所示。

$$\Delta w = \Delta ln + \Delta tN. \quad (4)$$

从公式中(4)可以看出,随着齿号 \$n\$ 的增大,当 \$\Delta w > e/2\$ 时,测头将会脱离剃齿刀刃带落入沟槽中,导致测量失败。而在实际应用中为了提高测量的成功率,在探测精度不能再提高的情况下,只能通过减少参与计算的齿数 \$n\$。于是便引入了多参考点方式,即在开始测量前的定位时,可通过检测 \$m\$ 条定位齿面,并负责其前后齿号的计算,这样便成为

\$\Delta w' = 0.5 \Delta w/m\$, 在很大程度上降低了对错位量参数精度的依赖,提高了测量成功率。

齿距误差测量及计算

剃齿刀的齿距误差测量是在哈量集团 39T 系列 CNC 齿轮测量中心产品上进行的,39T 系列 CNC 齿轮测量中心是全闭环交流伺服控制的四轴测量仪器, \$X\$、\$Y\$、\$Z\$ 3 轴建立笛卡尔坐标系, \$A\$ 轴为承载被测工件的回转轴平台。由于在测量径向剃齿刀齿距误差的过程中需要不断的调整 \$Z\$ 轴的高度,来保证测头准确地探测在刃带上,从而获得刃带上的一系列空间点 \$p_1 \cdots p_z\$, 这些点并不在同一平面上,每一点 \$p_i\$ 包含 \$x_i, y_i, z_i, \theta_i\$ 4 个分量,测量中使各点的 \$x_i, y_i\$ 相等。根据剃齿刀齿距误差的定义,若要通过这些空间点来计算齿距误差,则必须调整 \$Z\$ 轴高度,使其变成同一端截面上的点坐标。渐开线螺旋面调整 \$Z\$ 轴所用的高度与角度的关系为:

$$\Delta \theta = \Delta z \frac{P_z}{2\pi}. \quad (5)$$

因此,根据剃齿刀齿距偏差的定义:实际齿距与公称齿距的差,所以单个齿距偏差为:

$$f_{pi} = (|\theta_i - \theta_{i-1}| - 2\pi/z)R. \quad (6)$$

当 \$i=1\$ 时, \$\theta_{i-1} = \theta_z + 2\pi\$, 故齿距误差为:

$$F_{pi} = \text{Max} |f_{pi}|. \quad (7)$$

各齿的累计齿距偏差为:

$$F_p = \sum_{i=1}^z f_{pi}. \quad (8)$$

故齿距累积误差为:

$$F_p = \text{max}(F_{pi}) - \text{min}(F_{pi}). \quad (9)$$

因此在测量齿距时,可根据(3)式计算出与此测量高度最近的刃带高度。

试验

试验程序采用 vc2008 编译环境,是基于 .NET 框架上开发的剃齿

刀测量程序, .NET 框架是具有平台无关性和网络透明化的软件开发平台。采用系统虚拟机运行的编程平台, 以通用语言运行库为基础, 这使得测量程序具有较强的继承性和移植性。剃齿刀测量软件参数输入界面如图 2 所示。

径向剃齿刀的切削槽类型为交错型, 轴向剃齿刀的切削槽类型为圆环型。试验的被测剃齿刀的基本参数如图 2 所示。首先, 手动调整测头到剃齿刀的齿槽内, 且位于右齿面下端的首个完整刃带的正前方, 旋转主轴压电感调整, 然后按照螺旋线方程扫描齿面。再次手动调整测头, 使其位于齿槽左齿面的下端首个完整刃带的正前方, 旋转主轴压电感调整, 最后连续扫描参数输入界面中预先设定的检测齿数的左右齿面, 扫描齿面完成后即可得到剃齿刀的切屑槽参数: 法向刃距 $t_n=1.9856\text{mm}$, 左右面错位量 $l_n=0.0207\text{mm}$ 。

若已知剃齿刀的错位量参数可直接输入, 若未知则可通过软件的检测功能进行错位量检测得出错位量的实际值。检测得到的结果可作为基本输入参数进行使用并存储, 在需要检测相同参数的剃齿刀时可直接调用, 省去了再次检测的过程。为了减小剃齿刀错位量和轴向刃距误差对测量过程带来的影响, 程序中设定了定位齿数参数, 使用时可根据实际情况进行调整。实测的剃齿刀齿距误差测量结果如图 3 所示。



图2 剃齿刀基本参数输入界面

通过式(6)绘制出单个齿距误差曲线, 测工件是否合格。

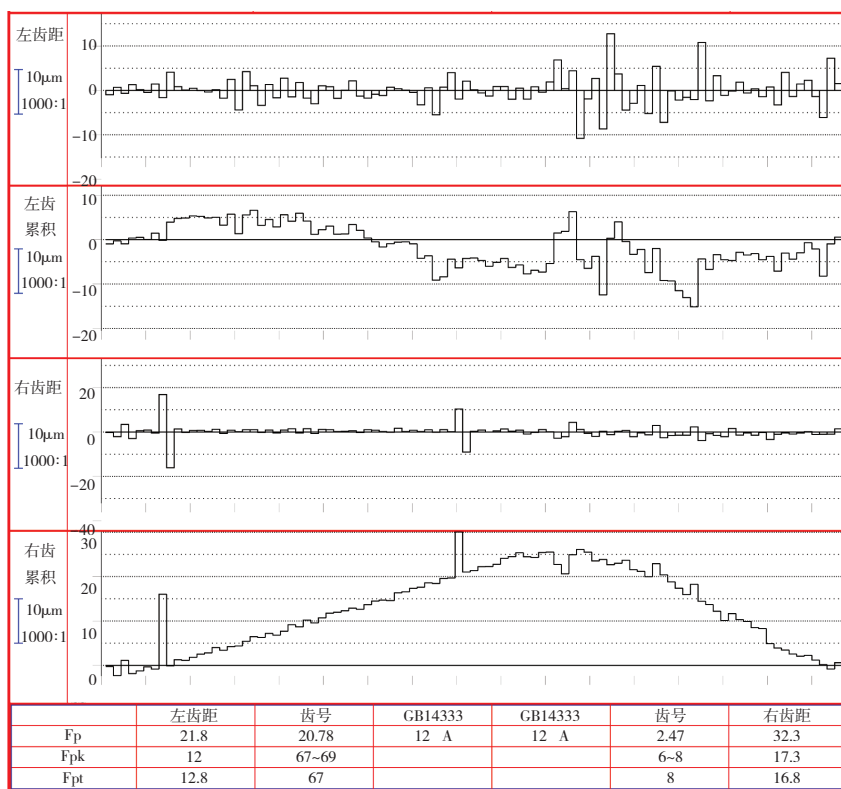


图3 剃齿刀齿距误差测量报告

线图, 通过式(8)绘制出齿距累计误差曲线图, F_{pk} 为 k 个齿距的累计误差, 试验中采用的是 3 齿累计误差, 同时可计算得到出现误差最大值的齿号。图 3 中单个左齿距误差为 $12.8\mu\text{m}$, 出现在第 67 号被测齿上, 3 齿累计误差为 $12\mu\text{m}$, 分别出现在第 67、68、69 这 3 个连续被测齿上; 左齿距累计误差为 $21.8\mu\text{m}$, 出现在第 20 号与第 78 号齿之间。因此, 此种测量方法不仅可以给出剃齿刀齿距的实际误差值, 而且还给出了齿距误差最大值出现的齿号, 从而方便用户快速定位出有问题的齿。测量结果还可以按照 GB14333 标准和自定义等评定方式进行误差评定, 同时给出了所选精度等级允许的公差范围, 超差项数据以斜体加粗表示, 能够使用户直观的检查出被

结束语

测量结果表明, 在用户不能够提供剃齿刀错位量参数时, 可以通过测量软件中的自动检测功能计算出剃齿刀的刃距和错位量, 并结合多参考点定位的方法保证在测量过程中测头始终保持在刃带上测量而不落入齿槽中。如果用户能够提供错位量参数则直接输入即可, 并可通过将剃齿刀不等高位置的空间点转换到同一端截面上计算出齿距偏差。目前该功能已经成功运用到哈量集团的 39T 系列 CNC 齿轮测量中心的软件系统中, 具有操作简便、自动化程度高等显著优点, 得到了广大剃齿刀用户的认可。

参考文献

[1] 陈志京, 徐璞. 两种新型剃齿刀的结构设计与性能分析. 山西机械, 2001(1): 11-13.

(责编 岭雾 良辰)