

航空人字齿对中性加工及测量技术探析

叶 君

(中国航发哈尔滨东安发动机有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150066)

摘 要 人字齿是大型传动装置上常用的齿轮机构, 适用于高速和重载传动。人字齿由于较大承载能力的优点, 加上使用过程消除横向力的优点, 使人字齿往往应用于大型机构。本文重点论述了人字齿加工过程和对陈度测量方法, 希望能为促进人字齿工程化应用提供参考。

关键词 人字齿轮 编程 加工 对中性

中图分类号: V26

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)12-0006-03

在一些有特殊传动要求的传动系统中, 普通的渐开线斜齿轮因为有轴向力的原因已不能完全满足传动要求, 需要采用人字齿替代。因此在航空、航天等各方面都有广泛的应用。

人字齿不仅要满足齿轮参数, 还要满足人字齿对中性, 要求在节圆位置检查两侧齿面相反方向的交点, 该交点必须位于理论平面 ± 0.01 范围内。人字齿的对称度对齿轮使用寿命影响很大, 对称度不好容易导致人字齿工作偏载, 甚至断齿。

1 对中性简介

对称度公差定义为公差带间距等于公差值 t 、对称于基准中心平面的两平行平面之间所限定的区域。 f 和 $f/2$ 分别表示对称度误差和对称度误差的一半。也就是说对于人字齿轮上下不同旋向的斜齿齿面, 其对称度的公差带也应该是一个平行于基准平面的两平行平面间的区域, 即提取(实际)中心面应该限定在距离等于公差值 t 。

2 磨齿对中性加工及在线测量

磨齿机机床大致可分为三个部分: 主机、配电柜、冷却系统。系统采用西门子机床数控系统, 具有砂轮自动对刀、余量自动分配、自动平衡砂轮且具有在线测量功能。在加工齿形、齿向修缘齿轮时, 不需要特殊的滚轮等专用工具, 直接通过数控编程来实现。并可加工齿面为任意型面的工件、人字齿等。

2.1 人字齿加工过程

工件结构里包括齿轮 1 和齿轮 2, 齿轮 1 和齿轮 2 之间的结构关系。基本数据包括齿轮 1 和齿轮 2 的数据, 从上到下分别是齿轮 1 和齿轮 2。关系是指齿轮 1 和齿轮 2 之间的关系。这里的装夹高度是指齿轮 2 的下

端面到机床工作台的垂直距离。机床以这个数据为准, 在这个高度之上, 对齿轮进行磨削。齿轮 1 和齿轮 2 的基本参数, 分别在齿加工 1 和齿加工 2 中输入。中间添加几何形状, 需要添加齿轮 1 和齿轮 2 的中间部分, 需要输入外径尺寸和两个齿轮之间的宽度。

这里需要的是齿轮的基本参数, 重点介绍一下螺旋角, 齿根圆角系数, 变位量, 相对装夹高度。

螺旋角的输入: 右旋输入正值, 左旋输入负值。

齿根圆角系数: 齿根圆角除以模数。

变位量: 变位系数乘以模数。

齿轮 1 装夹高度: 齿轮 2 的齿宽加上齿轮 1 和齿轮 2 之间的宽度。齿轮 2 的参数和齿轮 1 的一样, 唯一不同的是左旋螺旋角输入的是负值。这里的装夹高度是相对于机床加工的高度, 两者的高度是一样的, 所以输入为零。

2.2 人字齿对中性加工

重点介绍一下自动调整功能, 其中有两个选项, 一个是余量前位置, 一个是位置前余量。余量前位置是位置重要, 意思是无论齿轮磨得怎么样都要保证啮合的顶点位置, 位置前余量是余量重要, 在保证设定公差的范围内尽量使齿轮都磨起来^[1]。

自动对中时的传感器外磨为“转速确认”; 人字齿对中齿槽就位和齿槽对中都须用测量探头, 而且测量之前须校正探头。如果采纳先前对中, 则需要删除工件位置。

一般最后一个走刀为精磨, 倒数第二个走刀为半精磨, 其余走刀均为粗磨。

精磨和半精磨的工艺顺序参照“磨削专家”的参数。

粗磨的“工艺顺序”为标准, 但粗磨的走刀之间需偏置起始齿槽。

修整方案按照砂轮的质量或砂轮厂家的推荐值输入, 随机砂轮粗磨一般使用 1000 到 1400, 半精磨一般为 500, 精磨时按照齿槽数修整 V_w 值控制在 100 左右。

在顶部不接触进刀取消选择后, 可以磨削齿在轴的上部不出头的工件; 在底部不接触进刀取消选择后, 可以磨削齿在轴的下部不出头的工件; 所以在磨人字齿中, 考虑到砂轮的冲程与碰撞的关系, 在齿轮 1 中取消在底部不接触进刀, 在齿轮 2 中取消在顶部不接触进刀, 全部总进刀量需大于单边磨削余量, 否则需要复制走刀或冲程; 手动齿槽定位, 需手动把砂轮插入到齿槽里。

磨削余量分析中所有值均应该为正数, 如果为负数则说明有些齿磨不着, 需要通过修改公法线的数值来确保磨削余量为正数。

如果想修改公法线, 则需要增加相应的走刀, 用来保证第一个冲程的最大切削为负数, 只有走刀数据发生变化时, 修改公法线的界面才会出现, 修改公法线后, 注意选择“采纳到任务单”。

第一个冲程的最大切削一定要为负数, 即保证第一个冲程空走刀。

第一个冲程的径向切削也应该为负值, 以保证不会磨到齿根。

2.3 磨齿机上对中性测量

如何确保对中的有效性: 磨齿机床人字齿基准面的测量和对中要用探针, 确保探针的准确性非常重要, 因为其影响到加工人字齿的质量, 所以要校正探针。机床带有三个校正工具, 分别是 D40、D15、D8。对应校正的探针分别是 $\varnothing 2$ 、 $\varnothing 1$ 、 $\varnothing 0.8$ 。更换探针后首次校正偏差较大, 因此探针校正时至少校正两次, 如果校正结果异常, 如“差值”大于 0.1, 则需要剔除结果, 重复校正。对按时尽量多选齿, 一般过 10 齿选择 1 齿, 每个齿槽选取三个截面, 这样能提高对中的准确性, 真实地反映齿轮加工前状态。

设定关系中第一个顶点位置是加工之前的实际上的顶点位置, 第二个顶点位置是没有调整情况下磨削后的顶点位置。实际上可以根据齿轮 1 和齿轮 2 的对中情况, 进行自动或手动调节磨削所要达到的顶点位置。

在齿轮 1 和齿轮 2 中左右面待磨量均匀, 而且余量足够的情况下, 实际顶点位置好, 可以选择自动调节顶点位置。

基准面的选取: 基准面是人字齿对中的基础, 人字齿上下两齿轮对中中点的建立, 是相对于基准面计算出来的理论值。基准面为什么选取齿轮的齿端面,

因为人字齿对中测量时齿轮测量机或三坐标都是选择齿轮的齿端面作为基准来测量的, 所以现阶段加工人字齿时也是以齿轮的端面为基准面, 这样加工基准和测量基准重合, 能更好地保证人字齿的对中性。

磨齿机测量方法: (1) 建立基准平面, 采一侧齿端面位置, 利用理论齿宽距离建立理论中平面基准。(2) 左右旋齿分在距离中平面对称高度的两个位置上, 节圆直径上, 沿齿面向中平面拉直线 (也可以看做齿向线), 左右旋齿向线的交点与中平面的距离的二倍为对中差值。

3 三坐标对中性测量方法

3.1 某航空人字齿热处理变形后对称度的测量

通过对人字齿对称度进行研究, 可以将被测特征进行转换, 对称度可以转换成齿面上对应的点对称。人字齿两侧对应 A 和 B 点在理论上应该对称, 实际点 C 和理论点 B 之间的距离是 ΔL , 实际点 C 的对称度偏差是 ΔH ^[2]。

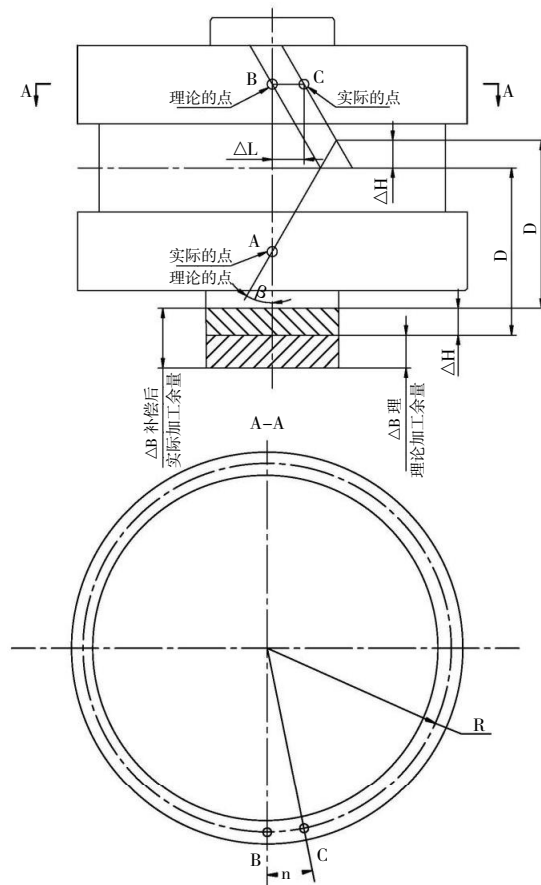


图 1 人字齿的齿轮测量示意图

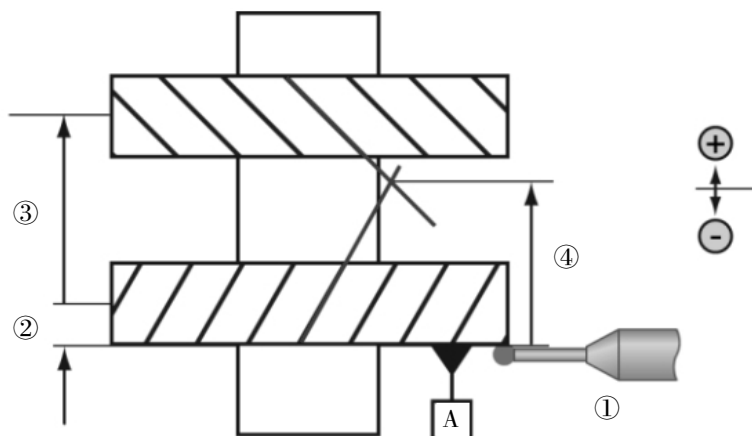


图2 齿轮测量机测量示意图

通过对应点的测量,可以得到两个对应点间的极角差值 n 。根据弧长公式可以得出 ΔL 。

$$\Delta L = 2R \sin \frac{n}{2}$$

再换算成轴向差值 ΔH 。

$$\Delta H = \frac{\Delta L}{2 \tan \beta} = \frac{R \sin \frac{n}{2}}{\tan \beta}$$

以该人字齿轮为例,用三坐标测量机测得的测量结果如下:

$n=0.018^\circ$, $R=280\text{mm}$ (R 为已知参数), $\beta=30^\circ$ (β 为已知参数), 则:

$$\Delta H = \frac{\Delta L}{2 \tan \beta} = \frac{R \sin \frac{n}{2}}{\tan \beta} = \frac{280 \times \sin \frac{0.018^\circ}{2}}{\tan 30^\circ} = 0.076\text{mm}$$

以该人字齿轮为例,偏上为 ΔH 为正,偏下 ΔH 为负。

3.2 航空人字齿热处理变形后对称度的补偿

基准端面留 ΔB 的加工余量。

通过对人字齿对称度变形补偿,实际加工余量为 ΔB 补偿后。

$$\Delta B_{\text{补偿后}} = \Delta B \pm \Delta H$$

以该人字齿轮为例,基准端面留理论加工余量 $\Delta B=0.2$ 。则:

$$\Delta B_{\text{补偿后}} = \Delta B + \Delta H = 0.2 + 0.076 = 0.276\text{mm}$$

反之,如果对称度偏下, ΔH 为负,则:

$$\Delta B_{\text{补偿后}} = \Delta B - \Delta H$$

$$\Delta B_{\text{补偿后}} = \Delta B + \Delta H = 0.2 + 0.076 = 0.276\text{mm}$$

针对热处理后发生变形的人字齿,通过三坐标测量出人字齿的对中心差值,运用人字齿渗碳变形补偿加工方法,依据对称度偏差值,对基准端面进行补偿加工,消除渗碳变形导致对称度偏差值对齿面磨削余量的影响,确保渗碳后零件齿面磨削余量均匀^[1]。

4 齿轮测量机对中性测量方法

4.1 齿轮测量机人字齿轮测量

齿轮测量机可以测量人字齿的齿形误差、齿向误差、相邻齿距误差、累积误差及跳动误差。可以通过侧头评估人字齿的基准,消除基准误差。

4.2 齿轮测量机人字齿轮对中性测量

齿轮测量机可以测量人字齿的对中性,选择人字齿的端面为基准面,输入①基准高度,②工件1测量高度,③定位点测量之间的间距,通常为两个齿轮的中点。④截面高度。齿轮测量机测量人字齿实物如图2所示。

5 结论

人字齿轮因其可消除轴向力,适合高速、重载传动机构。随着航空事业的发展,越来越多的人字齿被广泛应用。人字齿的对中性测量是人字齿的一项重要技术指标,对人字齿轮轴上横向力消除影响明显。目前人字齿的对中性测量方法主要有磨齿机在线测量,三坐标对中性测量和齿轮测量机对中性测量。本文介绍了三种测量方法的相应研究,给出了相应的理论解释和操作方法,为后续同类人字齿对中性测量提供了宝贵的加工经验。

参考文献:

- [1] 齿轮手册编委会. 齿轮手册 [M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [2] 崔柏慧,贺健,赵连洲. 人字齿轮对称度的检测分析 [J]. 计测技术,2016,36(04):33-36.
- [3] 王世辰,吕亚丹,高春田. 人字齿轮对中偏差的计算和控制 [J]. 机械工程师,2002(08):63-64.