

双螺旋旋耕埋草模型刀辊横刀刃口螺旋线的逆向重构

卢元爽 张国忠 周勇 汲文峰 李兆东 李怡

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 采用相似法研究双螺旋旋耕埋草刀辊对土壤的切削特性,根据相似原理设计并制作了与原型刀辊比例为1:2的旋耕埋草模型刀辊。为检验模型刀辊横刀螺旋线是否存在制造误差,基于逆向工程技术,以模型刀辊的横刀组为对象开展了三维形状的重构研究。以端面横刀侧平面为基准平面,利用FD-Y685型三坐标测量机对螺旋横刀组进行了扫描,利用CATIA V5软件对所获取的云图进行了导入和过滤处理,借助MATLAB软件以过滤后的云图测量数据为依据对横刀刃口螺旋线进行反求。结果表明:横刀刃口螺旋线上各测量点与对应理论反求点之间距离最大值为6.016 mm、最小值为0.624 mm、平均值为3.243 mm;各测量点与对应反求点间最大伸长率5.2%,最小伸长率0.6%,平均伸长率3.6%;三维逆向重构作为一种测量技术可用于农业装备形状的精确测量、反求与重构。

关键词 农业机械;螺旋刀辊;逆向工程;重构

中图分类号 S 233.71 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0115-07

逆向重构作为一种先进的高精度测量技术,可用于对农业装备形状尤其是复杂形状的准确校验、精确重构与反求,在土壤工作部件形状的研究中已得到广泛应用^[1]。为减少土壤耕作阻力,获取合理的土壤耕作部件形状,许亮对野猪头部形状进行了三维反求,并将所获取的野猪头嘴部形状用于开沟部件形状的设计^[2];李世武等利用该技术对牛蹄形状进行重构,阐明了牛在田间行走时不粘泥的原因^[3];翟力欣利用该技术对犁铧的形状进行研究,提出了减少犁耕阻力的方法^[4]。

双螺旋刀辊是近年研制的一种适用于南方高茬水田秸秆翻埋的新型旋耕刀具,螺旋形横刀是其主要工作部件,对土壤—秸秆混合体进行切削埋覆和推移。前期在田间条件下,对刀辊工作扭矩、转速和功率特性进行了研究,但因田间土壤条件变化差异显著、船式拖拉机前进速度不稳定等原因,导致试验结果存在误差^[5-10]。室内土槽试验是开展土壤工作部件性能研究的良好方法之一,其可保持试验条件一致、减少试验条件不稳定对研究过程的影响。相似法是将所要研究的样机或部件,缩小或放大为模型进行试验,模型的材料和工作条件与原型相似,所

受的载荷和运动特性也与原型相似,并对应地符合一定比例,其理论基础是相似原理。相似法也是研究土壤工作部件的常用方法之一^[11]。因原型刀辊外形尺寸较大,为减小土壤准备工作量、提高试验效率,故基于相似原理、按照原型刀辊结构尺寸制作了比例为1:2的模型刀辊,并采用室内土槽试验研究模型横刀对土壤—秸秆混合体的切削特性。为保证试验精度,试验前对模型刀辊形状、结构尺寸是否符合设定的比例关系进行了校验。由于比例模型刀辊为单件手工试制,且刀辊外观为较复杂的螺旋结构,常规检测方法难以准确校验模型刀辊形状,因此,基于逆向工程技术,本试验采用反求重构的方法,对模型刀辊的关键结构参数横刀刃口螺旋线进行三维形状重构,旨在检验模型刀辊相对原型是否存在制造误差并确定出误差大小,为模型刀辊形状矫正提供科学依据,以保证基于相似法的模型刀辊切削土壤过程研究的准确性。

1 逆向工程与工作原理

逆向工程是将实物转化成与CAD模型相关的数字化技术、几何模型重建技术和产品制造技术的

收稿日期: 2013-08-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(50975115, 51275196)、国家公益性行业计划项目(201203059)和中央高校基本科研业务费专项(2013PY123, 2014PY043)

卢元爽, 硕士研究生。研究方向: 现代农业装备设计与测控。E-mail: 381849739@qq.com

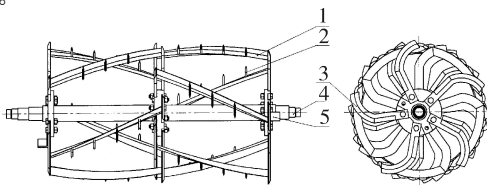
通信作者: 张国忠, 博士, 副教授。研究方向: 农业机械化与自动化。E-mail: zhanggz@mail.hzau.edu.cn

总称^[11-13],其基本工作流程包含 3 个阶段:首先根据实物样品,采用非接触式或接触式的测量方式获取被反求对象的特征数据;随后利用专用的逆向软件对数据进行处理和重构;最后制造出反求实物^[14]。特征数据常采用常规测试、激光三维扫描及 CT 断层扫描等方法在三坐标测量机中扫描研究对象获取。对特征数据进行处理是形状重构的重要环节,主要依靠 CATIA、MATLAB 等软件对测量机获得的数据进行格式转换、噪声消除、平滑对齐、合并插值补点等,并根据数据面特征对数据进行曲面拟合、面间求交、拼接和匹配,使之成为连续光滑的曲面,从而获得反求形状结果。

由逆向工程的工作流程可知,三维反求也可将扫描后的数据与已知耕作部件理想的外形进行比较,进而获知制造出的实物或模型形状与设计要求的差别,从而用于对已知土壤耕整部件形状的检测。基于此思想,笔者对模型旋耕埋草刀辊横刀刃口螺旋线进行了反求和校验。双螺旋旋耕埋草模型刀辊横刀为螺旋面,其形状制造误差除刀口螺旋线外还包括螺旋面的起伏、扭曲等,本试验对横刀刃口螺旋线进行的重构方法可为该曲面形状的反求、检测提供借鉴。

2 模型刀辊结构

模型刀辊形状与原型刀辊相似,其结构如图 1 所示。模型刀辊由左右对称的 2 组螺旋刀辊组成,每组刀辊又由 10 把端面弯刀、5 把螺旋横刀、17~18 把纵向立刀和挡草卡组成^[5]。其中纵向立刀均匀分布焊接于螺旋横刀刀背,螺旋横刀两端与端面弯刀焊接成刀组后通过螺栓与刀盘连接。模型刀辊直径 200 mm,其形状尺寸与原型刀辊为 1:2 比例关系。



1. 螺旋横刀 Spiral horizontal knife; 2. 纵向立刀 Vertical knife; 3. 端面弯刀 Bend knife; 4. 主轴 Shaft; 5. 挡草卡 Clearing grass device.

图 1 模型刀辊的结构示意图

Fig. 1 Structure sketch of model rotary roller

螺旋横刀的刃口线为空间等螺距圆柱螺旋线,其结构示意图如图 2 所示。螺旋线上动点 P 的曲线

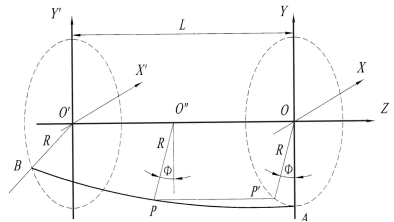
方程为

$$\begin{cases} X = R \cos \Phi \\ Y = R \sin \Phi \\ Z = K \Phi \end{cases} \quad (1)$$

式中 R 为 P 点到回转轴线的距离,即刀辊横刀刃口处的设计回转半径,mm; Φ 为 P 点相对螺旋线起始点 A 的回转角度($^\circ$); K 为螺旋线特征参数;由模型刀辊结构设计确定回转半径 R 为 100 mm。 K 可由下式求取:

$$K = \frac{L\omega}{\pi\theta} \quad (2)$$

式中, L 为模型刀辊中横刀轴向长度(165 mm); ω 为圆周角(180°); θ 为模型横刀刃口螺旋线起始点 A 与终点 B 间的夹角(46°)。



AB 为螺旋横刀刃口螺旋线, A 为刃口螺旋线起点, B 为刃口螺旋线终点; OO' 为刀辊回转轴线, O 为回转轴线起点, O' 为回转轴线终点; P 为横刀刃口螺旋线 AB 上任意动点, P' 为点 P 沿 OO' 方向在 XOY 面内的投影, O' 为点 P 在 OO' 上的投影点; L 为横刀在轴向上的长度; R 为刀辊回转半径; φ 为 PO'' 与垂直方向 Y 轴之间的夹角。 AB is the cutting edge curve of spiral horizontal knife, A is the starting point of the curve, B is the end point of the curve; OO' is the axis of the rotary roller, O is the starting point of the axis, O' is the end point of the axis; P is the point on the AB curve, P' is the projection point of P in the XOY plane, O' is the projection point of P on the OO' axis; L is the length of the OO' axis; R is the radius of rotary roller; φ is the angle between PO'' line and Y axis.

图 2 横刀刃口的螺旋线

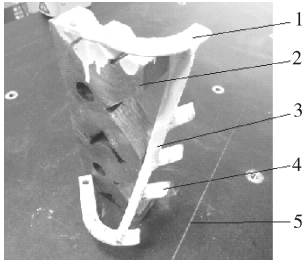
Fig. 2 Cutting edge curve of spiral horizontal knife

3 扫描方法与数据处理

3.1 三维扫描设备与方法

采用青岛佛迪公司的 FD-Y685 型三坐标测量机(CMM)对模型刀组进行扫描。测头为 LASER SENSOR Ls60 激光扫描测头,其扫描原理为激光三角形法,扫描精度 0.01 mm。用 HD-ST 着色渗透探伤剂将螺旋横刀样品表面喷成白色,以提高扫描点云质量^[15-16]。

扫描前,将模型刀辊中由左右 2 把端面弯刀及 1 把横刀组成的横刀组件取出,按图 3 所示将整件安放于三坐标测量机的平台上,安放时端面弯刀平面与 V 型块上表面贴合,V 型块安放于三坐标测量机工作台上。扫描间隔设置为 0.1 s,光条间隔设置为 0.1 s,按照三坐标测量机说明书操作步骤对横刀组进行扫描,共获取 247 279 个数据点,扫描获得的点云数据保存于 .ASC 格式的文件中。



1. 端面弯刀 Bend knife; 2. V 型铁 V shape iron; 3. 螺旋横刀 Spiral horizontal knife; 4. 立刀 Vertical knife; 5. 激光扫描线 Scanning laser line.

图 3 刀组的安装与检测

Fig. 3 Installation and measuring of spiral horizontal knife

3.2 点云数据处理

在 CATIA 软件的数字曲面编辑器(DSE)模块下,通过 Import 导入扫描得到的点云。导入时,在 Cloud Import 对话框中设置取样比例为 100%,设置交线尺寸的比例(scale factor)为 1,导入点数据单位(file unit)为 mm [17-28]。

由于在点云数据量过大、点云密度过高时,会影响后期点云处理的速度和反求元素的精度,因此,在保留点云特征的前提下,对点云进行了过滤。过滤方式选择为 Homogeneous,输入公差球的半径数值 0.2 mm。过滤后的点云数据点为 53 412 个。

3.3 特征元素点云的获取

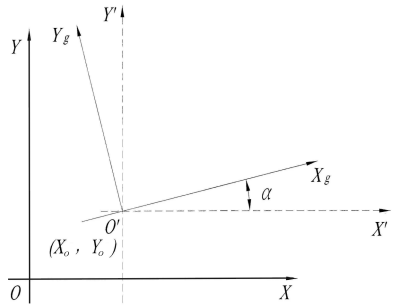
在 Activate 对话框中,选择 Mode 为 Pick, Level 为 Point,沿刀辊轴向依次点选横刀刃口螺旋线上 10 个点;点击 Export 图标,弹出 Cloud Export 对话框,设置 Element 为所要导出的螺旋线点云数据零件几何体,设置保存路径;选择 Axis System 为 Current,点选 Grouped 单选框后导出特征点云数据。依据导出的点云数据,在 MATLAB 软件中进行模型横刀特征参数反求及分析 [25-28]。

4 反求过程

4.1 横刀组与三坐标测量仪间坐标关系的建立

三维扫描所得横刀组的空间位置依据三坐标测

量仪确定,而对横刀形状分析时则依据刀辊回转轴线确定,因此,建立三坐标测量机坐标系和刀辊坐标系,分别命名为坐标系 XYZ 和坐标系 $X_g Y_g Z_g$ 。由于横刀组放置时对垂直位置进行了校正,故仅考虑两坐标系在水平面内的旋转、平移,两坐标系间坐标转换关系如图 4 所示。



α 为刀辊坐标系 $X_g Y_g Z_g$ 相对于测量机坐标系 XYZ 的旋转角。 α is the rotation angle between the coordinate system of $X_g Y_g Z_g$ on the roller and the coordinate system of XYZ on the machine.

图 4 测量机坐标系和刀辊坐标系间的相对位置关系

Fig. 4 Relative position of coordinate system between machine and the roller

由图 4 知,根据坐标平移变换,比例模型刀辊横刀组上任一点在测量机坐标系中的位置 (X, Y, Z) 变换至刀辊坐标系中 (X_g, Y_g, Z_g) 的关系为

$$\begin{cases} X_g = X \cos \alpha + Y \sin \alpha - (X_o \cos \alpha + Y_o \sin \alpha) \\ Y_g = -X \sin \alpha + Y \cos \alpha - (-X_o \sin \alpha + Y_o \cos \alpha) \\ Z_g = Z + Z_o \end{cases} \quad (3)$$

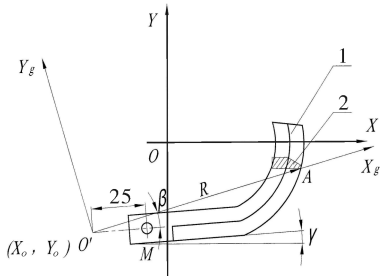
比例模型刀辊横刀组上任一点由刀辊坐标系 (X_g, Y_g, Z_g) 反变换至测量机坐标系 (X, Y, Z) 为

$$\begin{cases} X = X_g \cos \alpha - Y_g \sin \alpha + X_o \\ Y = X_g \sin \alpha + Y_g \cos \alpha + Y_o \\ Z = Z_g - Z_o \end{cases} \quad (4)$$

式中 X, Y, Z 为测量机坐标系上点的坐标值, mm; X_g, Y_g, Z_g 为工件坐标系上点的坐标值, mm; X_o, Y_o, Z_o 为刀辊坐标系原点在测量机坐标系的坐标值, mm; α 为刀辊坐标系相对测量机坐标系在水平面内旋转角($^\circ$)。

4.2 特征参数反求

1) 反求流程的拟定。横刀组在测量机坐标系内的摆放如图 5 所示。由式(1)知,在已知特征参数 K 、回转角度 Φ 的前提下,要确定空间中的一条螺旋线,需要确定螺旋线的起点以及其回转半径 R 。选择端面弯刀上表面为刀辊坐标系平面 $X_g O' Y_g$, 拟定反求流程如图 6 所示。



1. 端面弯刀 Bent knife; 2. 螺旋横刀 Spiral horizontal knife; R 为刀辊横刀回转半径(100 mm); A 为横刀与端面弯刀底面相接处刃口螺旋线的起点; M 为端面弯刀上表面安装螺栓孔的圆心点; β 为点 A 所在半径方向 $O'A$ 与 $O'M$ 间的夹角, 由刀辊结构设计确定为 12.2° ; γ 为刀组放置时 $O'M$ 与三坐标测量仪机床坐标系 X 方向的夹角; XOY 为测量机坐标系, $X_g Y_g Z_g$ 为刀辊坐标系; (X_o, Y_o) 为刀辊坐标系原点 O' 在测量机坐标系中的坐标值。 R is the radius of rotary roller which is 100 mm; A is the starting point of the curve on the bottom plane of bent knife; M is the center of the installation bolt hole on the surface of bent blade; β is the angle between the $O'A$ direction and $O'M$ direction and it is 12.2° ; γ is the angle between the $O'M$ direction and X axis of machine coordinate system; XOY is the machine coordinate system, $X_g Y_g Z_g$ is the roller coordinate system, (X_o, Y_o) is the coordinate values of point O' in the machine coordinate system and O' is the origin of roller coordinate system.

图 5 端面弯刀的反求测量位置

Fig. 5 Reverse measurement location of bent knife

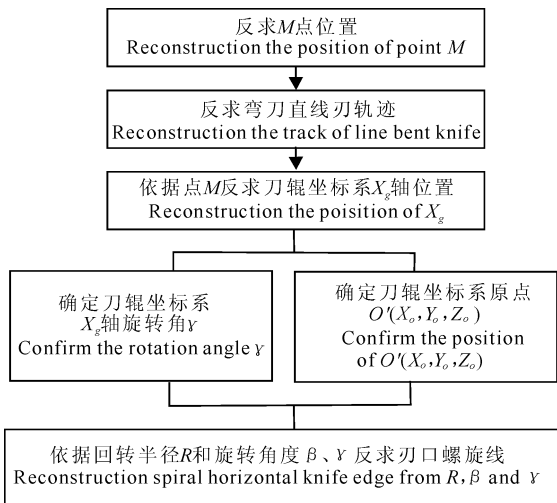


图 6 模型刀辊特征参数的反求流程

Fig. 6 Process of reverse reconstruction for model roller

2) 端面弯刀安装螺栓孔圆心和直径反求。平面内不在同一直线上的任意 3 点可以唯一确定一个圆, 圆心坐标及圆的直径可由下式得出

$$D^2 = (X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2, \quad i=1, 2, 3 \quad (5)$$

式中 (X_i, Y_i) 为 3 点的坐标值, mm; (X_c, Y_c) 为待反求圆心坐标值, mm; D 为待反求圆的直径, mm。

根据获取的点云数据在端面弯刀螺栓孔圆周上选取 3 组每组 3 个、共 9 个点进行端面弯刀安装螺栓孔圆心和直径反求, 由式(5)进行反求计算, 结果如表 1 所示。

表 1 圆心和直径的反求结果

Table 1 Reconstruction results of centre and diameter

次数 Times	反求点 序号 Serial number of points	圆周点坐标 (X_i, Y_i) /mm Coordinate values of points on circle	螺孔圆心坐标 (X_c, Y_c) 及反求 直径 D /mm Center and diameter of bolt hole
1	1	(-13.080, -37.641)	(-9.587, -38.908) $D=7.430$
	2	(-6.842, -41.411)	
	3	(-6.754, -36.505)	
2	1	(-13.148, -38.039)	(-9.636, -38.746) $D=7.163$
	2	(-8.285, -42.063)	
	3	(-6.913, -36.420)	
3	1	(-11.957, -36.041)	(-9.438, -38.636) $D=7.232$
	2	(-8.285, -42.063)	
	3	(-6.248, -36.934)	

3) 刀辊坐标系坐标原点及旋转角反求。按照反求流程, 在端面弯刀直线刃线上选 10 个点(图 5 中端面弯刀左侧直线刃处), 反求其直线方程, 并用 MATLAB 的曲线拟合工具箱 CFTOOL 对这些点在三坐标测量机坐标系 XOY 坐标平面内进行直线拟合, 结果为

$$Y = 0.071X - 30.950 \quad (6)$$

根据已求取的螺栓孔圆心点 $M(-9.554, -38.763)$ 为刀辊坐标系 X_g 轴上一点和横刀设计宽度为 13 mm, 由式(6)求得通过点 M 的 X_g 轴方程

$$Y = 0.071X - 38.082 \quad (7)$$

由式(7)知, 刀辊坐标系 X_g 轴与三坐标测量机坐标系 X 轴间存在旋转夹角 γ , 其正切值为 0.071, 即 γ 为 4.08° , 其因扫描时横刀组初始放置位置相对 X 轴不平行而引起。

结构设计时, 刀辊轴心 O' 到螺栓孔圆心 M 的距离为 25 mm, 则可根据下式求出刀辊轴心 O' 在 XOY 坐标平面内的坐标 (X_o, Y_o)

$$\begin{cases} Y = 0.071X - 38.082 \\ (X_o + 9.554)^2 + (Y_o + 38.763)^2 = 625 \end{cases} \quad (8)$$

由图 5 和式(8)可以求得刀辊轴心 O' 在 XOY 坐标平面内的坐标 (X_o, Y_o) 为 $(-34.490, -40.542)$ 。 O' 点为刀辊坐标系的原点, 其在 $X_g O' Y_g$ 坐标平面内的坐标值为 $(0, 0)$ 。

根据云图数据获得端面弯刀的端面在 XOY 面内的 Z 坐标值为 44.607 mm, 由于端面弯刀厚度为 4 mm, 横刀焊接于端面弯刀侧平面上, 因此, 根据坐标轴方向, 扣除弯刀厚度即可确定刀辊轴心 O' 在三坐标测量机坐标系中 Z 方向的坐标 Z_o 为 40.607 mm, 从而确定刀辊轴心 O' 在 XYZ 坐标系中的位置 (X_o, Y_o, Z_o) 为 $(-34.490, -40.542, 40.607)$, 其在 $X_gO'Y_g$ 坐标平面内的坐标值为 $(0, 0, 0)$ 。

根据前述反求结果, 可确定向量 $O'A$ 与三坐标测量机坐标系 X 轴间的夹角即式(1)中旋转角 α 为 β 与 γ 之和, 并且 $\alpha = 16.28^\circ$ 。

横刀刃口螺旋线起始点 A 与 O' 在同一平面内, 点 A 在 $X_gO'Y_g$ 坐标平面内的理想准确坐标值应为 $(0, 100, 0)$ 。

4.3 刃口螺旋线反求

特征参数反求结果明确了两坐标系间关系, 再按照如下方法对横刀刃口螺旋线进行反求。

首先, 根据式(3)将测量机坐标系中的测量点 (X, Y, Z) 转换成刀辊坐标系中 (X_g, Y_g, Z_g) ; 随后, 根据式(1)刀辊坐标系中的 Z_g 值, 将设计横刀刃口螺旋线上各点在刀辊坐标系中的坐标 (U_g, V_g, W_g) 按照下式反求出

$$\begin{cases} W_g = Z_g \\ \Phi_g = W_g / K \\ U_g = R_o \cos \Phi_g \\ V_g = R_o \sin \Phi_g \end{cases} \quad (9)$$

式中 Φ_g 为反求点在刀辊坐标系 $X_gO'Y_g$ 面内的投影与坐标原点 O' 间连线与轴 X_g 正向逆时针方向的夹角 $(^\circ)$; R_o 为螺旋线的设计半径, mm。

最后, 在刀辊坐标系中将设计螺旋线上各反求点 (U_g, V_g, W_g) 与测量点 (X_g, Y_g, Z_g) 进行比对, 即可评价螺旋横刀的制造误差。

5 结果与分析

反求结果的评价常采用点内分析和点间分析两种指标评价。点内分析是指分析测量点到对应反求点的距离; 点间分析是指测量点间距离与反求点间的距离差值的绝对值与反求点间距离的比值, 此值定义为伸长率, 用百分比表示。显然伸长率越小, 表明制造误差越小。螺旋线上点的反求采用点内分析和点间分析两种方式进行。点内分析为测量点处半径和反求半径的距离差值 ΔR , 显然 ΔR 越小, 表明制造实际值与设计值误差越小。点间分析时分别用

列向量 D 储存测量点到反求点间的距离, 方阵 E 储存各测量点之间的距离, 方阵 F 储存各反求点之间的距离, 方阵 G 来储存各对应测量点与反求点距离的差值, 方阵 H 来储存各对应测量点与反求点距离的伸长率, 则有

$$\begin{cases} D_i = \sqrt{(X_g(i) - U_g(i))^2 + (Y_g(i) - V_g(i))^2} \\ E_{ij} = \sqrt{(X_g(i) - X_g(j))^2 + (Y_g(i) - Y_g(j))^2 + (Z_g(i) - Z_g(j))^2} \\ F_{ij} = \sqrt{(U_g(i) - U_g(j))^2 + (V_g(i) - V_g(j))^2 + (W_g(i) - W_g(j))^2} \\ G_{ij} = E_{ij} - F_{ij} \\ H_{ij} = \frac{|G_{ij}|}{F_{ij}} \times 100\% \end{cases} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

式中 $(X_g(i), Y_g(i), Z_g(i))$ 和 $(X_g(j), Y_g(j), Z_g(j))$ 为刃口螺旋线上测量点 i 和 j 在刀辊坐标系中的坐标值; $(U_g(i), V_g(i), W_g(i))$ 和 $(U_g(j), V_g(j), W_g(j))$ 为依据式(9)获得的对应反求点在刀辊坐标系中的坐标值。

根据上述反求及评价方法, 在横刀刃口螺旋线上选择的 10 个点的反求结果、点间距 G_{ij} 、伸长率 H_{ij} 如表 2 所示。测量结果显示, 螺旋线上各测量点和反求点之间点间距离最大为 8.96 mm, 最小为 1.89 mm, 平均为 4.72 mm; 各测量点与对应反求点间伸长率最大为 5.2%, 最小为 3.34%, 平均为 4.38%。反求结果表明, 横刀刃口螺旋线存在制造误差, 其形状需要矫正。

6 讨论

本试验应用反求技术, 以比例为 1:2 的模型双螺旋旋耕埋草横刀组为对象, 利用三坐标测量机对其进行了扫描并获取了三维点云数据, 通过提取特征点并基于坐标变换获得了双螺旋旋耕埋草横刀刃口螺旋线实际制造形状。然后, 利用点间距和点间伸长率对模型横刀刃口螺旋线的半径和螺旋点实际位置与理论位置进行了反求对比分析。试验中刀辊形状已由设计确定, 利用反求技术是对已加工零件进行形状校验, 以检验其与设计是否一致, 其实质在于利用反求技术来检验加工零件的几何参数。目前, 在开展的反求技术研究中, 常利用 CMM 扫描出已有物件外形曲面的点云数据, 再利用反求软件拟合该曲面, 根据拟合的曲面参数来指导加工和生产, 并利用反求技术探求曲面的几何参数。本试验是反求技术应用范围的一个拓展。试验结果表明, 反求技术作为一种无接触的高精度测量技术, 可广泛应用于农机装备形状与制造精度的检测。

表 2 横刀刃口螺旋线的反求结果

Table 2 Reconstruction results of spiral horizontal knife edge

序号 No. serial	测量点测量机 坐标系坐标/mm Coordinate values of measure points in machine coordinate system			测量点刀辊 坐标系坐标/mm Coordinate values of measure points in roller coordinate system			理论反求点刀辊 坐标系坐标/mm Coordinate values of theory reconstruction points in roller coordinate system			制造误差 Manufacturing error			
	X	Y	Z	X_g	Y_g	Z_g	U_g	V_g	W_g	$\Delta X/mm$	$\Delta Y/mm$	G_{ij}/mm	$H_{ij}/\%$
1	61.25	-45.92	-46.04	90.40	-32.00	-86.64	91.24	-40.92	-86.64	0.85	-8.92	8.96	3.34
2	62.08	-39.93	-31.03	92.87	-26.48	-71.63	93.99	-34.15	-71.63	1.12	-7.67	7.75	3.46
3	62.64	-36.07	-21.67	94.49	-22.94	-62.27	95.45	-29.84	-62.27	0.96	-6.90	6.97	3.64
4	62.44	-32.07	-14.30	95.41	-19.04	-54.90	96.45	-26.40	-54.90	1.04	-7.36	7.43	4.81
5	63.51	-25.62	4.56	98.26	-13.15	-36.05	98.47	-17.45	-36.05	0.21	-4.30	4.31	4.81
6	63.95	-21.81	14.58	99.75	-9.61	-26.03	99.20	-12.63	-26.03	-0.55	-3.02	3.07	4.48
7	64.09	-19.84	19.90	100.43	-7.76	-20.70	99.49	-10.06	-20.70	-0.94	-2.29	2.48	4.65
8	64.20	-17.60	26.00	101.16	-5.64	-14.61	99.75	-7.10	-14.61	-1.41	-1.46	2.03	5.20
9	64.24	-15.89	31.11	101.68	-4.02	-9.50	99.89	-4.62	-9.50	-1.79	-0.60	1.89	5.20
10	64.16	-13.45	37.04	102.29	-1.65	-3.56	99.99	-1.73	-3.56	-2.31	-0.09	2.31	4.25

参 考 文 献

- [1] 刘财勇, 佟金, 汲文峰. 基于逆向工程技术的鼯鼠前爪趾甲几何模型[J]. 农机化研究, 2008(11): 12-14.
- [2] 许亮. 野猪头部三维几何模型逆向工程研究[D]. 长春: 吉林大学图书馆, 2006.
- [3] 李世武, 佟金, 张书军, 等. 牛蹄三维几何模型逆向工程研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 156-160.
- [4] 翟力欣. 犁体结构与工作参数对流变型土壤耕作阻力的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学图书馆, 2011.
- [5] 张国忠, 许绮川, 夏俊芳, 等. 1GMC-70 型船式旋耕埋草机的设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(10): 214-218.
- [6] 夏俊芳, 张国忠, 许绮川, 等. 多熟制稻作区水田旋耕埋草机的结构与性能[J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(2): 331-334.
- [7] 周勇, 许绮川, 夏俊芳, 等. 船式旋耕埋草机核心技术熟化及配套技术集成[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(5): 652-656.
- [8] 姚兴林. 基于虚拟仪器的螺旋型旋耕埋草刀辊转矩测试系统研究[D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2010.
- [9] 王志山. 基于 LabVIEW 的船式旋耕埋草机功耗检测研究[D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2010.
- [10] 余水生. 水田高茬秸秆还田耕整机的研制[D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2012.
- [11] 崔占荣, 李建桥, 李因武, 等. 不同工作介质中模型铲刀推土阻力的变化规律[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2003, 33(3): 9-13.
- [12] ZHOU M. A new approach of composite surface reconstruction based on reverse engineering [J]. Procedia Engineering, 2011(23): 594-599.
- [13] 李世武, 佟金, 张书军, 等. 逆向工程技术与工程仿生[J]. 农业机械学报, 2004, 35(3): 109-112.
- [14] 李骅, 尹文庆, 高翔, 等. 基于逆向工程的谷粒三维模型的构建[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(12): 201-206.
- [15] 张作鹏, 陈学奎. 浅谈三坐标测量机及其应用[J]. 广西轻工业, 2009, 25(7): 53-54, 56.
- [16] 李大鹏, 崔洋. 三坐标测量机在逆向工程的应用[J]. 机械设计与制造, 2007(7): 72-74.
- [17] 吕婧婧, 吴修娟, 倪红军, 等. 基于三坐标测量机的电磨外壳零件尺寸检测[J]. 机床与液压, 2010, 38(16): 72-74.
- [18] 田竹友, 简斌. 逆向工程中数据的处理[J]. 北京机械工业学院学报, 2004(6): 1-5.
- [19] 刘军强, 高建民, 李言, 等. 基于逆向工程的点云数据预处理技术研究[J]. 现代制造工程, 2005(7): 73-75.
- [20] 赵彦如, 佟金, 孙霁宇, 等. 基于逆向工程的黄蜻膜翅几何数据采集与处理[J]. 农机化研究, 2009, 31(11): 18-21.
- [21] KRUTH J P, KERSTENS A. Reverse engineering modeling of free-form surfaces from point cloud subject to boundary conditions [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998(76): 120-127.
- [22] MANZOOR H M, SAMBASIVA R C, PRASAD K. E. Reverse engineering: point cloud generation with CMM for part modeling and error analysis [J]. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2008, 3(4): 37-40.
- [23] XU L, LIN M X, LI J Q, et al. Three-dimensional geometrical modelling of wild boar head by reverse engineering technology [J]. Journal of Bionic Engineering, 2008, 5(1): 85-90.
- [24] BASILIO R B. The recovery of design intent in reverse engineering problems [J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 56(4): 1265-1275.
- [25] 陈晓曦, 吴立国. 基于 CATIA 数字编辑器实现逆向工程的数据处理[J]. 天津职业技术师范学院学报, 2003, 13(3): 25-29.
- [26] 张文建, 张琦. 基于 CATIA V5 的汽车车身逆向设计[J]. 机械, 2010, 37(7): 48-50.
- [27] 胡群, 童军. 基于 CATIA 的汽车发动机罩逆向设计[J]. 汽车技术, 2006(9): 27-30.
- [28] 王庆, 梁刚, 张智. 基于 CATIA 的逆向工程在汽车车身设计中的应用[J]. 贵州工业大学学报: 自然科学版, 2005, 34(6): 92-96.

Reverse reconstruction for cutting edge curve of spiral horizontal knife on the model of double spiral rotary tillage and stubble-mulch roller

LU Yuan-shuang ZHANG Guo-zhong ZHOU Yong JI Wen-feng LI Zhao-dong LI Yi

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In order to optimize the mechanism of the cutting feature of horizontal knife in the soil straw mixture, the similitude method was used to research the cutting process and a model rotary knife roller was designed whose proportion was 1 : 2 as real roller. In order to find whether there is a manufacturing error of the model, a three dimensional reconstruction experiment was carried out on the model roller with reverse engineering techniques. The model spiral horizontal knife and bend knife were scanned by the FD-Y685 type three coordinate measuring machine with the side surface of the horizontal knife as the datum plane. The point cloud was obtained and filtered by CATIAV 5 software. The point cloud data were processed with Matlab software. On the basis of that, the spiral curve of the horizontal knife was reconstructed reversely. The results indicated that the maximum distance between those measurement points and theirs reverse points was 6.016 mm, and the minimum distance was 0.624 mm, the average distance was 3.243 mm. The maximum relative error rate between measurement points and theirs reverse points was 5.2%, while the minimum relative error rate was 0.6% and the average relative error rate was 3.6%. Reverse reconstruction was an advanced technology with high precision which was able to accurately measure and reconstruct agricultural equipment shape, especially complicated shape.

Key words agricultural machinery; spiral knife roller; reverse engineering; reconstruction

(责任编辑:陈红叶)