



## 基于激光测距的非接触式齿轮倒角轮廓测量系统

张新华, 许增朴, 王永强  
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 为了满足倒角齿轮的倒角轮廓测量需求, 采用先进的计算机检测与控制技术及现代化的传感器技术, 研制了一种非接触式齿轮倒角轮廓激光测量系统. 测量系统以计算机为控制中心, 用激光位移传感器和光栅尺获取数据, 利用  $X$ - $Y$  精密移动平台实现测量位置的准确定位, 实现了倒角轮廓的测量. 实验表明, 测量系统精度满足倒角齿轮测量的工业应用要求.

**关键词:** 齿轮倒角; 非接触测量; 激光测距; 轮廓测量; 运动控制

**中图分类号:** TP274      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2011)03-0051-04

## Non-Contact Gear Chamfering Profile Measurement System Based on Laser Ranging

ZHANG Xin-hua, XU Zeng-pu, WANG Yong-qiang  
(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** In order to meet the need of gear chamfering profile measurement, a new-style and non-contact gear chamfering profile measurement system with advanced computer detection and control technology and modern sensory technology was developed. By using computer as control center, using laser displacement sensor and grating bar sensor to collect data, using  $X$ - $Y$  displacement platform to achieve the exact location of the measurement position, it make the gear chamfering profile measurement come true. Experiments show that measurement system has high precision, it meet the need of industrial application of gear chamfering profile measurement.

**Keywords:** gear chamfering; non-contact measurement; laser ranging; profile measurement; motion control

倒角齿轮是汽车、拖拉机、摩托车等变速箱中必备的零件之一, 是实现换挡导向、运动传递的基础元件. 倒角齿轮上的主要待测量结构为齿端上的倒角, 由于受到被测倒角所在截面相对位置的限制, 目前还没有一种很好的测量方法能够实现齿端上倒角轮廓的测量. 现有的测量系统在测量此类齿轮倒角时存在定位困难、重复性差、耗时长、人为因素影响大等问题<sup>[1]</sup>.

激光测距技术已经广泛应用于现代测量的各个领域, 如零件表面粗糙度在线测量<sup>[2]</sup>、快速车辙检测<sup>[3]</sup>、油膜厚度测量<sup>[4]</sup>、扬声器薄壳振动模式测量<sup>[5]</sup>. 本文研制了一种基于激光测距的非接触式齿轮倒角轮廓测量系统, 以满足齿轮倒角轮廓测量的需求. 测量系统利用激光位移传感器测距技术, 结合移动平台在

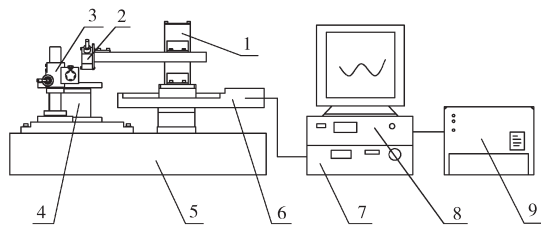
水平面内  $X$  方向和  $Y$  方向的运动, 实现了任意位置截面的轮廓测量.

### 1 测量系统的总体设计

#### 1.1 总体技术解决方案

测量系统的总体结构如图 1 所示, 主要包括激光位移传感器、 $X$ - $Y$  精密移动平台、齿廓定位组件、旋转载物台、大理石底座、控制箱、微型计算机、打印输出设备. 其技术解决方案是:

(1) 倒角轮廓纵向数据采集通过激光位移传感器实现, 激光位移传感器把倒角曲面的高度信息转化成电信号并通过数据缆线传送给数据处理器, 数据处理器通过串行总线与计算机连接和通信.



1.立柱; 2.激光位移传感器; 3.齿廓定位组件; 4.旋转载物台; 5.大理石底座; 6.X-Y 精密移动平台; 7.控制箱; 8.微型计算机; 9.打印输出设备

图1 测量系统的总体结构  
Fig.1 Structure of measurement system

(2) X-Y 精密移动平台用步进电机驱动, 以增量光栅传感器作为位置检测环节, 并实时将工作台的位置信息和运动状态反馈给控制系统, 控制系统根据设定程序对移动平台两个方向的步进电机进行闭环控制. 计算机通过 PCI 总线方式与控制系统进行通信.

(3) 利用上位机测量软件平台整合测量系统各个模块, 测量软件采用模块化设计.

### 1.2 工作原理

测量系统以激光位移传感器为主要测量工具, 配合 X-Y 精密移动平台, 实现待测参数的测量. 激光位移传感器可以沿 Z 轴方向上下移动, X-Y 精密移动平台可以沿 X、Y 方向匀速运动. 测量时, 被测工件安装在旋转工作台上, 上下移动激光位移传感器使其处于可测量位置, 并通过调整旋转工作台的角度实现被测齿轮的定位. 操作者通过软件平台对测量参数进行设置, 并发出测量命令, 计算机收到测量命令后发出驱动控制指令驱动控制系统, 精密移动平台带动激光位移传感器做匀速直线运动, 使激光在被测表面上扫描. 精密移动平台每移动一个采样间隔, 激光位移传感器采集一次高度信息, 并将高度信息转换为数字量传输给计算机, 实现等间隔采样. 测量完成后从采集卡内部缓存中读取数据, 并在测量系统软件界面上绘制表面形状图形. 系统可以实现两点间的垂直和水平距离、两直线间的夹角、圆弧处的曲率半径等参数的测量, 并把测量结果标注在轮廓图上, 最后生成检测报告并打印.

### 1.3 测量流程设计

测量系统的测量模式分为多截面测量模式和标准测量模式两种, 系统根据用户设置的测量参数自动选择测量模式. 多截面测量模式是根据倒角齿轮检测的特殊要求而设计的测量模式, 标准测量模式适用于一般的测量任务. 在齿轮倒角测量过程中, 采用多截面一次性测量策略, 实现了测量的连贯性和完整性<sup>[5]</sup>.

多截面一次性测量策略消除了人为因素的干扰, 降低了人为操作的随机性误差. 测量流程如图 2 所示.

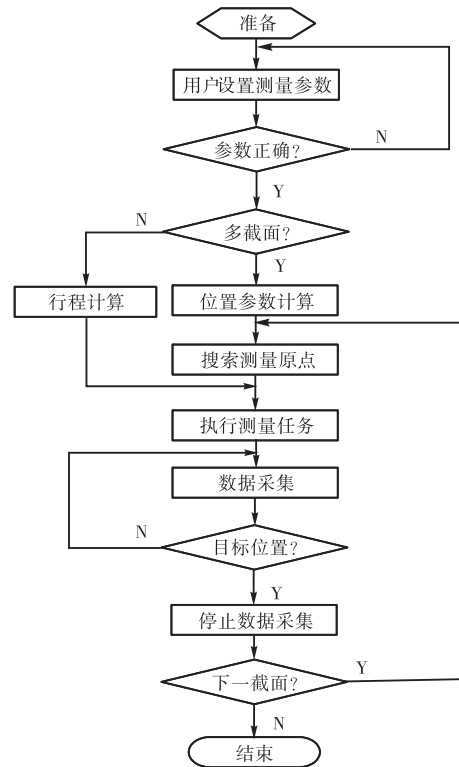


图2 多截面测量流程

Fig.2 Process of multiple cross-section measurement

## 2 测量系统硬件模块设计

### 2.1 激光测距原理

在实际测量时, 需要同时测量多个不同位置截面的倒角轮廓, 由于接触式轮廓测量方法的局限性, 难实现同时测量多个截面的倒角轮廓. 本测量系统采用非接触式激光测距与 X-Y 精密移动平台相结合的测量策略, 实现多截面轮廓测量.

激光位移传感器选用 LK\_H050 漫反射型 CMOS 激光位移传感器, 激光光源为红色半导体激光, 波长 650 nm. 激光位移传感器采用激光三角法测距原理设计, 主要由激光源、会聚透镜、成像透镜、探测器 (CCD 或 PSD) 及信号处理控制器等硬件组成<sup>[2]</sup>. 激光三角法测距原理如图 3 所示, 激光束经汇聚透镜聚焦到待测物体平面上, 散射光由透镜收集成像于接收器的光敏面上, 当待测物体表面的位置发生改变时, 其像的位置在接收器上会产生相应的位移改变, 通过像位移和实际位移之间的关系, 可以计算出待测物体的真实位移<sup>[5]</sup>.

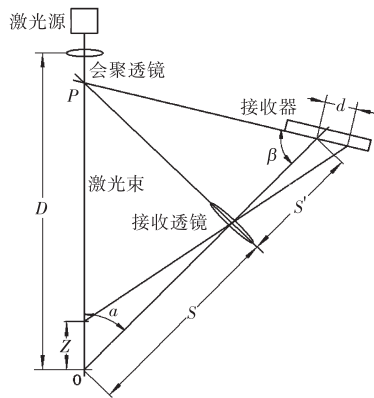


图3 测距原理图  
Fig.3 Figure of ranging principle

### 2.2 X-Y精密移动平台控制模块设计

为实现倒角位置的准确定位, X-Y精密移动平台采用闭环控制. 控制系统中用直线光栅传感器作为位置检测元件, 将检测到的实际位移和速度状态反馈给控制系统, 控制系统根据检测到的实际位移和速度状态信息, 实时地调整输入脉冲数和脉冲频率, 使步进电机稳定在正常的运行状态, 最终使实际运行位置和指令位置一致, 从而达到精确定位.

控制部分主要由运动控制卡和驱动电路组成, 如图4所示. 运动控制卡作为开发运动控制系统的平台, 其结构是开放式的. 控制卡的特征体现在硬件和软件两个方面, 在硬件方面采用 PCI 总线<sup>[6]</sup>方式, 适用范围广, 卡上无需进行任何跳线设置, 所有资源自动配置, 在 Windows 98、Windows 2000 及 Windows XP 操作系统中支持即插即用, 使用方便. 控制卡的接线方式采用 DB62 型插头, 可使用屏蔽线缆, 并且所有的输入、输出信号均用光电隔离, 提高了控制卡的可靠性和抗干扰能力. 在软件方面, 运动控制卡提供了功能强大的运动控制函数库, 并可以充分利用现有的资源来开发运动控制系统.

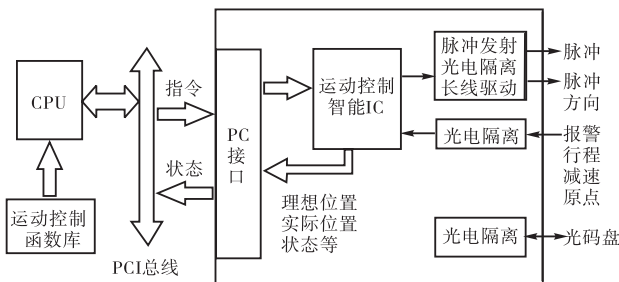


图4 运动控制卡和驱动电路  
Fig.4 Motion control card and driver circuit

### 3 测量软件平台设计

测量软件是整个测量系统的核心, 涉及计算机图形学编程、步进电机平移台的运动控制、激光位移传感器的控制、数据处理、对象序列化存储、数据库管理、测试结果打印输出等. 软件采用模块化功能设计理念. 基于 Windows 操作环境, 采用 VC++6.0 作为开发平台, 软件平台架构如图5所示.

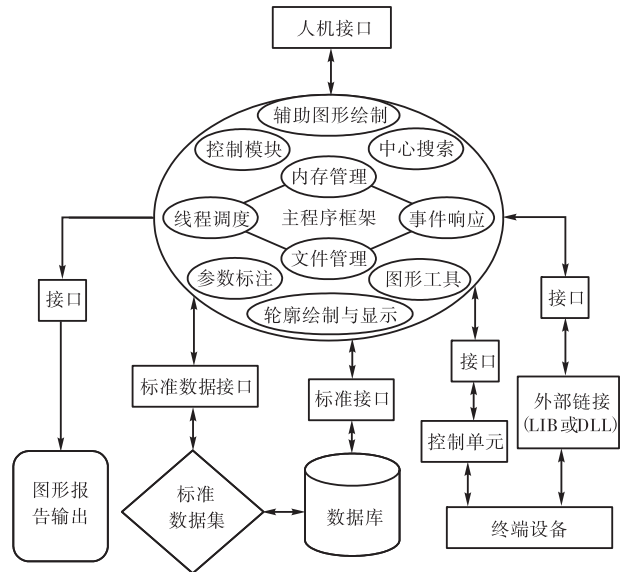


图5 测量软件平台架构  
Fig.5 Architecture of measurement software platform

主程序的主要功能包括: 人机交互和完成与外部对象进行资源交互. 人机交互包括轮廓绘制与显示、辅助图形绘制、参数标注、图形工具、控制模块、参数设置、中心搜索. 用户在使用测量系统进行倒角轮廓测量时, 首先根据被测量工件设置测量参数, 并通过控制模块调节系统状态, 测量系统根据用户的设置自动执行测量任务. 测量完成后, 软件自动绘制轮廓图形并在软件界面用户区域内显示, 用户利用辅助图形绘制工具和参数标注工具完成轮廓的调整、信息获取、尺寸标注. 中心搜索模块用于系统测量原点的搜索, 系统测量原点是指被测齿轮的中心位置, 倒角轮廓的测量参数是基于齿轮中心而言的, 齿轮中心定位的准确性与测量参数的准确性密切相关.

测量软件与外部对象进行资源交互, 主要包括与终端设备交互、数据库管理、标准数据的输入与模拟、图形报告输出等. 软件系统通过接口程序和外部链接与终端设备的控制系统进行资源和信息的交互; 定义了数据库及标准数据集的接口标准, 方便序列化

文档的入库管理和存储;定义外部标准数据集的输入接口,用于软件的检测和信息仿真.

### 4 实验

测量系统可以对齿轮倒角的 3 个截面轮廓进行同时测量,齿轮倒角的测量界面如图 6 所示.

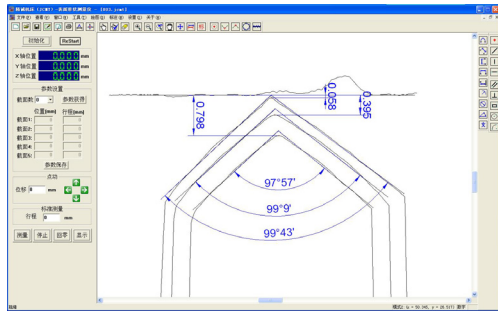


图 6 齿轮倒角测量界面

Fig.6 Measurement interface of gear chamfering

倒角齿轮是非标准件,其精度不足以用来检验系统的测量精度.为了验证系统的测量精度,用标准角度量块作为评价基准,分别选用 30°、45°、60°、90°、120°的标准量块进行检测实验,对每个量块进行 10 次连续测量,测量结果见表 1.

表 1 角度量块测量结果

Tab.1 Test results of angle gauge blocks

序号	标准角度量块				
	30°	45°	60°	90°	120°
1	29°59'	45°1'	59°57'	90°1'	120°2'
2	29°58'	45°0'	59°58'	89°59'	120°2'
3	29°59'	44°59'	59°56'	90°2'	120°4'
4	29°57'	44°58'	59°57'	90°3'	120°0'
5	30°1'	44°59'	59°56'	90°0'	120°3'
6	29°57'	45°2'	59°56'	90°3'	120°1'
7	29°59'	45°1'	59°59'	90°2'	120°2'
8	30°1'	45°1'	59°58'	90°0'	120°4'
9	30°0'	45°0'	59°57'	90°2'	120°2'
10	29°58'	45°0'	59°57'	90°1'	120°3'
平均值	29°58'54"	45°0'6"	59°56'54"	90°1'18"	120°2'
误差	1'6"	6"	3'6"	1'18"	2'
极差	4'	4'	3'	4'	4'

从测量结果可知:整体测量值在理论值附近上下波动,最大极差为 4';误差最大的测量平均值为 59°56'54",最大误差为 3'6";误差最小的测量平均值为 45°0'6",最小误差为 6".

### 5 结语

本文设计了一种非接触式倒角轮廓测量系统,对系统结构、工作原理和测量过程进行了介绍,采用标准角度量块对系统的测量精度进行了验证.与现有技术相比,测量系统采用非接触式测量,在测量过程中,被测表面无任何测量力,不存在被测工件刮伤和测头磨损等问题.实验结果表明,测量系统精度较高,满足倒角齿轮测量的工业应用要求.

系统目前只实现了平面测量,在齿轮倒角精度评价时,为了全面获取倒角轮廓的信息,可以通过提升测量系统的性能,在多截面测量的基础上进一步细化测量截面,使其能够实现齿轮倒角曲面的测量.

### 参考文献:

- [1] 王艳青,雷振山.基于机器视觉的齿轮测量技术[J]. 工具技术,2007,41(6):118-121.
- [2] 谭海艳.基于激光三角法的零件表面粗糙度在线测量[J]. 工具技术,2009,43(12):103-105.
- [3] 李清泉,雷波,毛庆洲,等.利用激光三角法进行快速车辙检测[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2010,35(3):302-307.
- [4] 王春谊,吕且妮,王晶.激光三角法溢油油膜厚度测量技术研究[J]. 海洋技术,2010,29(1):36-39.
- [5] 曾宪阳. PSD 激光三角法测量扬声器薄壳振动模态[D]. 杭州:浙江师范大学,2009.
- [6] 王晓嘉,高隽,王磊.激光三角法综述[J]. 仪器仪表学报,2004,25(z3):601-604,608.
- [7] 李文刚,梁楚华,周建平.基于 PCI 总线的运动控制卡硬件系统设计[J]. 流体传动与控制,2010(3):43-45.
- [8] 李庆杨,王能超,易大义.数值分析[M]. 4 版. 武汉:华中大学出版社,2004:13-70.