

# 高精度渐开线样板的测量

佟晓冬 王立鼎 张玉玲

TG86

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 渐开线样板是检定齿轮渐开线检查仪的实体基准, 要检定渐开线样板, 需要更高精度的测量手段与装置。本文介绍了国内外渐开线样板的测量原理和测量装置的不确定度, 重点介绍长春光机所能够检定 GB467—86 标准中一等精度渐开线样板的测量装置。

**关键词:** 渐开线样板; 测量装置; 精度分析 **齿轮检查仪**

## 1 概 述

检验渐开线齿轮的重要技术指标之一就是渐开线齿形。在不断提高齿轮生产数量和质量的情况下, 各种齿轮测量仪器的数量和质量在不断提高, 仪器的品种也有所增加, 这必然要求保证量值统一。通常, 是由渐开线样板这个标准器具来标定齿形测量仪器的。如果渐开线样板不具备准确的检定方法和检定工具, 齿轮齿形仪器的测量精度就难以保证, 这样一来, 要提高大多数机器、机床和各种不同机械(用齿轮传动作为基本元件的机器)的准确度和质量是困难的。因此, 必须提高渐开线样板的检定精度。

在国外, 原民主德国的渐开线测量装置, 是采用两个滚动圆盘、直尺和框架组成。对基圆半径  $r_b$  为 150mm 的样板, 其测量的不确定度  $U_{95} = \pm 1.5 \mu\text{m}$ 。原联邦德国 PTB 是双基圆盘在直尺上滚动的卧式仪器, 被检查的渐开线样板与基圆盘同轴安装, 滚动时测头不移动并描绘渐开线运动的轨迹或误差<sup>[1]</sup>。 $r_b$  为 150mm 时,  $U = \pm 0.72 \mu\text{m}$ 。原苏联国家渐开线专用基准由下列成套测量器具组成: 用于测量渐开线各参数的极坐标光波干涉装置; 标准渐开线样板组; 一组法布里—珀罗标准具。其工作原理为理论渐开线不连续坐标点的复现。此装置最大优点是与国家长度基准量值统一, 保证长度单位量值复现的最高准确度<sup>[3]</sup>。其不确定度不超过  $\pm 0.8 \mu\text{m}$ 。

在国内, 国家计量院的渐开线样板检定装置, 是基于展成法原理按极坐标测量, 用 He—Ne 激光干涉测量展开长度; 用多齿分度盘测量展开角; 用 TESA 电感比较仪作定位取样。在测量  $r_b$  为 150mm 的样板时, 展开角为  $20^\circ$ ,  $U_{95} = \pm 1.29 \mu\text{m}$ 。成都计量测试院的渐开线检查仪也是采用激光—光栅式坐标展成原理, 测头跟踪测量方法。在  $r_b$  为 150mm 时, 展开角为  $20^\circ$ ,  $U_{95} = \pm 1.89 \mu\text{m}$ 。

综合国内外权威部门的渐开线样板测量装置的特点, 我们选择了具有最佳测量原理的双盘式结构相对法测量原理。在装置调试中, 对于单元器件的系统误差采取了误差补偿, 进一步提高了测量装置的精度。

收稿日期: 1993年7月22日

工作原理如图 1 所示,两基圆盘与被测样板装在同一根轴上,驱动架带动此轴使基圆盘在导尺上既平移又滚动,测头安装在平行片簧测量架上,并与导尺处在同一水平面上。测量时,测量架固定不动,根据渐开线形成原理,当基圆盘沿导尺做纯滚动时,测头就相对于齿轮走出一条理论渐开线轨迹。测头在一定测量力下与被测齿面接触,当齿形有误差时,测头就相对于导尺产生位移,其位移量即是这点的齿形误差。此误差由电感测微仪传递到计算机中进行数据采集、处理以及误差补偿。

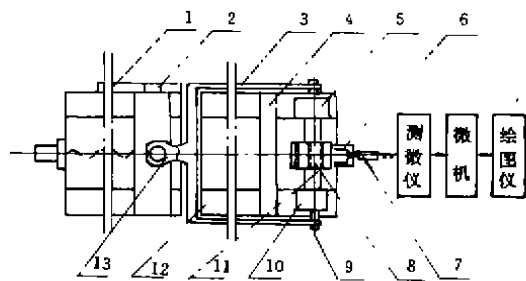


图 1 装置俯视简图

1-光栅尺;2-光栅尺读数头;3-驱动架;4-基准架;5-基圆轮;6-测量架;7-电感头;8-样板;9-顶尖;10-基圆轮;11-基圆轮轴;12-导尺;13-球铰链

## 2 微机数据采集、误差处理及补偿系统

### 2.1 工作原理

电感测微仪将齿形误差量变为微弱的电压信号,这个电压信号经放大电路及 A/D 转换电路,送到计算机中进行处理。A/D 转换由光栅尺控制,光栅尺每移动 0.02mm 发出一次脉冲,这个脉冲经隔离与整形电路,触发计算机的外部中断接口,计算机接到外部中断信号后,控制 A/D 电路采集一次误差,并在监视器上实时显示出采集的误差点。计算机可根据采集的误差值经过误差补偿计算出:(1)样板渐开线的总误差  $F_f$ ;(2)样板基圆误差引起的倾斜;(3)样板表面形状误差  $f_f$ 。

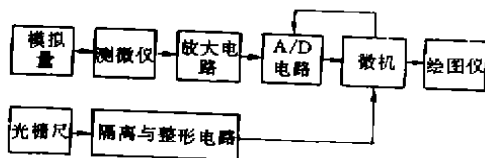


图 2

### 2.2 程序设计

程序设计采用了混合语言编程方法,采集与显示程序用 8088 汇编语言编制,控制与数据处理以及补偿用 BASICA 高级语编制。这种混合编程方法是数据采集与处理系统较理想的方法,它发挥了汇编语言执行速度快特点,也发挥了高级语言控制及计算能力强的特长。

### 2.3 程序特点

(1)程序采用人机对话方式,通过菜单及有关提示,进行功能选择,操作方便;

(2)渐开线基圆展开长度不受基圆盘展开线速度影响;

(3)实时显示误差曲线;

(4)采集点密,并可选择采集间隔。

## 3 装置精度分析与误差合成

### 3.1 误差分析基本原则

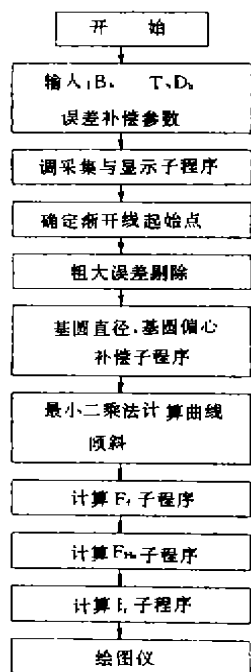


图 3 主程序流程图

根据概率论理论,装置的综合不确定度具有一定的概率分布,如果已知影响综合不确定度的各误差量的概率分布,则可求得综合不确定度的概率分布,因而可以求得任意置信水平下的置信限。

分析过程如下:

- (1)根据测量原理求得各误差量间的数学关系式。
- (2)确定各误差分量的不确定度 $\sigma_i$ ,置信系数 $\alpha_i$ ,偏峰系数 $\gamma_i$ 。
- (3)依据公式:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \sigma_i^4}{(\sum_{i=1}^n \sigma_i^2)^2}$$

求得总偏峰系数 $\gamma$ ,其中 $\sigma = (\sum_{i=1}^n \sigma_i^2)^{1/2}$ , $\sigma$ 为综合不确定度。

- (4)求综合置信系数 $k$
- (5)确定总不确定度 $U = \pm k \cdot \sigma$

### 3.2 装置误差源的单项误差不确定度

以基圆直径为 281.908mm 的渐开线样板为试件进行计算。

表 1 装置单项误差不确定度计算表

误差来源	作用误差限 ( $\mu\text{m}$ )	置信系数 ( $\alpha_i$ )	偏峰系数 ( $\gamma_i$ )	单项误差不确定度 ( $\sigma_i, \mu\text{m}$ )
导尺直线性误差	$3 \times 10^{-4}$	2.58	0	$1.1 \times 10^{-5}$
基圆直径误差	0.245	1.73	1.2	0.142
基圆综合偏心	0.097	1.41	1.5	0.069
基圆不圆度	0.0774	2.58	0	0.03
基圆盘安装偏摆	0.00118	3	0	0.0004
心轴工作轴颈不同轴	0.0705	1.73	1.2	0.041
基圆盘及导尺受力变形	0.0042	1.73	1.2	0.0024
测头相对导尺安装	0.073	1.73	1.2	0.042
样板安装偏心	0.163	1.41	1.5	0.1153
样板安装偏摆	$0.345 \times 10^{-3}$	3	0	$0.115 \times 10^{-3}$
样板及心轴自重挠度	0.075	1.73	1.2	0.043
基圆轴移动方向不平行导尺	$3.85 \times 10^{-4}$	2.58	0	$1.49 \times 10^{-4}$
电感测微仪	0.08	1.73	1.2	0.046
A/D,放大电路	0.07	1.73	1.2	0.04
重复性误差	0.084	3	0	0.028

由表 1 整理计算出:

$$\sigma = \sqrt{\sum \sigma_i^2} = \pm 0.22 \mu\text{m}$$

$$\gamma = \frac{\sum \gamma_i \sigma_i^4}{(\sum \sigma_i^2)^2} = 0.135$$

查表求出:

$$\begin{aligned}
 k_{0.0025} &= 2.85 & U_{0.0025} &= \pm 0.627 \mu\text{m} \\
 k_{0.01} &= 2.5 & U_{0.01} &= \pm 0.55 \mu\text{m} \\
 k_{0.05} &= 1.95 & U_{0.05} &= \pm 0.43 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

## 4 测试结果

1. 测量条件 JYC—380 双盘式渐开线测量装置, 中原量仪厂 DGB—5 型电感测微仪, IBM/PC 兼容机, WP1000 型绘图仪。

2. 测试曲线

曲线中,  $F_f$  为渐开线的总误差;

$F_{\mu}$  为基圆误差引起的倾斜;

$f_f$  为表面形状误差

虚线所夹的表面形状误差, 斜率用最小二乘法求出。

3. 参照我国 GB6467—86 渐开线样板标准, 对于  $100\text{mm} < r_b < 200\text{mm}$  的一等精度样板, 综合误差  $2 \mu\text{m}$ 。长春光机所使用双盘式渐开线样板测量装置, 在测量  $r_b = 140.954\text{mm}$  的样板时, 其不确定度为  $U_{95} = \pm 0.55 \mu\text{m}$ 。此装置测量一等精度样板时的精度系数为 0.275, 说明装置能够胜任一等精度的样板测量。

4. 长春光机所渐开线样板测量装置的不确定度值, 略低于国内外先进设备的不确定度。

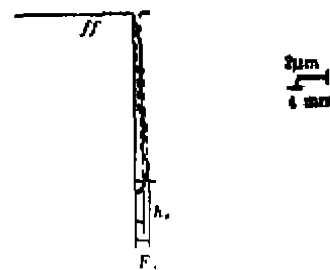


图 4  $T=20.5$   $D=281.908$   $CH=1-1Z$   $S=59$

$$F_f(M) = 0.8009673$$

$$F_{\mu} = 0.4884406$$

$$f_f = 0.3572022$$

## 参 考 文 献

- (1) 唐启昌, “齿轮渐开线国内外对比报告”, 《计量技术》, 1990, 3
- (2) 汤卫城译, “Wt—Z. ind. Fertig.” 1971, 61, No. 7
- (3) “N3 Mep. Tex.”, 1976, No. 3, 15—17
- (4) 王立博, 硕士论文, 长春光机所, 1990

## Measurement of High Precision Involute Prototype

Tong Xiaodong, Wang Liding and Zhang Yuling

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

Involute prototype is the datum for examining the gears involute measurement instrument. To measure the involute prototype, we need more precise method and device. This paper introduces the principles of testing involute prototype and the uncertainty of those instruments, emphasis on that developed at the Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics. Results show that kind of instrument can be used for examining the first grade involute pro-

TOTYPE OF GB6467—86.

Key words: Involute prototype, Measure instrument, Precision, analysis