

超精密齿轮渐开线齿形的测量仪器

张玉玲 王立鼎 佟晓冬

TG86

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 对各种类型渐开线检查仪结构原理进行了分析, 论证了超精密齿轮渐开线齿形的最佳测量方案。通过精度分析计算表明, 长春光机所自制的双盘基准渐开线检查仪, 可满足 GB10095—88 和 DIN3962—78 标准中 1 级精度标准齿轮的渐开线齿形的测量。

关键词: 齿轮; 齿形; 测量 **渐开线检查仪**

1 引言

当今, 国内外最高精度的渐开线检查仪能够测量 DIN3962—78 或 GB10095—88 标准中的 2 级精度齿轮的齿形精度, 如西德 Carl. Mahr 公司制造的 891EA、瑞士 Maag 公司制造的 SP60、长春光机所精化、改装的 Fp60 以及成都计量测试所研制的渐开线样板和齿轮的高精度渐开线检查仪^[1,2]。西德国家物理技术研究院 (PTB) W·Beyer 博士设计了能够检验基准渐开线样板的测量装置, 标准偏差 (σ) 为 $\pm 0.29\mu\text{m}$ (基圆半径为 50mm~150mm); 前苏联哈尔科夫计量研究院 (NTHIM) 研制了渐开线基准装置, σ 为 $\pm 0.25\mu\text{m}$ (基圆半径为 37mm~150mm)。

长春光机所出于研制 1 级精度标准齿轮的需要, 设计研制了双盘基准渐开线检查仪。本文论证了超精密齿轮渐开线齿形的最佳测量方案, 介绍了双盘基准渐开线检查仪的结构与工作原理及其测量精度。

2 超精密齿轮渐开线齿形的最佳测量方案

渐开线测量仪器的工作原理, 分为绝对法与相对法两种体系。在绝对法中, 应以激光——光栅式的检测系统的精度为最高。在相对法中, 应以固定基圆盘式的检测系统的精度为最高。

2.1 固定基圆盘式与激光光栅式齿形仪的精度比较

固定基圆盘式比激光光栅式的齿形仪结构简单, 系统环节与构件少, 它符合渐开线发生原理, 不带入光学、电子学误差, 在比较经济的条件下, 容易达到高精度。对于测量一个中等模数、齿数与直径的齿轮, 单盘式与激光光栅式齿形仪两者量值的不确定度是不差上下的。以测量 $m=3, z=40, \alpha=20^\circ$ 的 2 级精度标准齿轮为例:

按文献^[3]计算, 长春光机所的单盘式齿形仪测量上述齿轮的不确定度为

$$\Delta_1 = \sqrt{\sum_1^4 \Delta_i^2} = \pm 0.85\mu\text{m} \quad (1)$$

收稿日期: 1993 年 7 月 21 日

按文献^[1]计算,成都计测所的激光光栅式齿形仪测量上述齿轮的不确定为

$$\Delta_2 = \pm (0.5 + 0.0025r_b) \quad (2)$$

式中 r_b —齿轮基圆半径

$$r_b = 56.3816\text{mm}$$

所以 $\Delta_2 = \pm 0.64\mu\text{m}$

计算 Δ_2 时,未计入检验心轴与齿轮的偏心量,如果计入这些误差量, Δ_2 值不会小于 Δ_1 值。

2.2 双盘式与单盘式齿形仪的精度比较

双盘式与单盘式齿形仪相比,只是基圆盘要多制造一个。就其精度而言,双盘式比单盘式的误差源要少,且有更多的长处。

双盘式齿形仪(见图1),它的导尺平面与直线导轨融为一体,避免了单盘式结构中的阿贝误差;测量头置于一对导尺的公共平面上工作,这是单盘式仪器无法做到的,由于单盘式齿形仪的测头位置要随被测件的高度来调整,测量架随滑板的水平直线位移时测头必然产生不可忽视的阿贝误差;双盘式齿形仪上没有单盘式仪器上的齿轮与基圆盘迴转轴系,又少了一个误差环节,双盘仪器、两盘间的尺寸与形位误差有均化与补偿作用;

基圆盘、轴与齿轮之间的结构刚度高于单盘仪器;由双盘仪器的结构原理而定,它的随机误差因素少,具有其他类型仪器不可比拟的测量重复性。

综上所述,双盘式齿形仪可以获得最高的测量精度。因此,长春光机所设计研制了双盘式基准渐开线检查仪用于测量1级精度的标准齿轮。

综上所述,双盘式齿形仪可以获得最高的测量精度。因此,长春光机所设计研制了双盘式基准渐开线检查仪用于测量1级精度的标准齿轮。

3 双盘式基准齿形检查仪的结构与工作原理

双盘式齿形仪的结构原理如图1所示。仪器的总体包括平行放置的一对导尺7,测量架2(含传感器3和测头4),双盘组件6(在芯轴5上装一对基圆盘和被测齿轮)和使双盘组件滚动的传动系统(含驱动电机10、传动绳8和滑轮9)。设置滚轮靠板1的目的是控制双盘组件轴线的方向。

双盘组件组装后放在导尺7上,向左滚动,使之双盘同时靠紧滚轮靠板1上。再向右滚动,使被测齿轮的一齿置于测量位置。移动测量架2使测头4接触被测齿面。调整上边两个滑轮

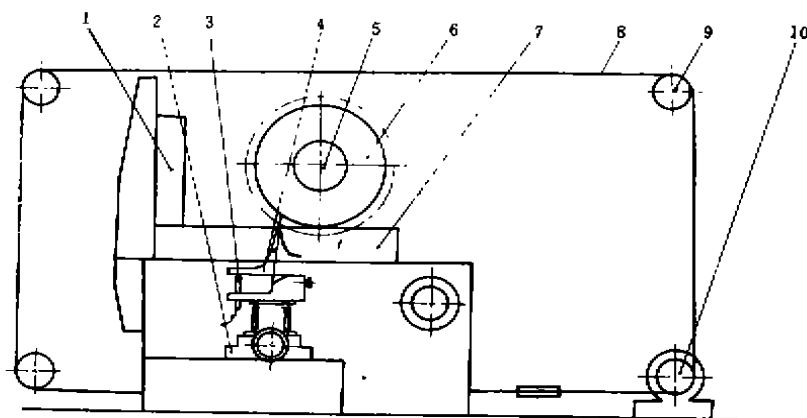


图1 双盘基准渐开线检查仪原理图

1—滚轮靠板,2—测量架,3—传感器,4—测头及杠杆,5—芯轴,6—基圆盘,7—导尺,8—传动绳,9—滑轮,10—电机

的高度,绳 8 缠绕双盘组件一周,将绳的两端连接起来。启动电机,绳 8 拉动基圆盘 6 在导尺 7 上作无滑动的纯滚动,齿面被测点产生一理论渐开线。而实际齿面渐开线的误差将推动测头及杠杆 4 绕簧片铰链微转,经传感器 3 将齿形误差传递给测量系统,如此完成了一齿齿形误差的测量。

4 双盘式基准渐开线检查仪的测量精度

4.1 单盘式齿形仪量值的不确定度

在文献^[1]中,介绍了长春光机所经过精化、改装的 F_r60 型单盘式齿形仪,在测量 $m=2, z=60, \alpha=20^\circ$ 的标准齿轮时,量值的不确定度为

$$\Delta_{(2)} = \sqrt{\sum_1^{15} \Delta_i^2} = \pm 0.7 \mu\text{m}$$

当测量 $m=3, z=40, \alpha=20^\circ$ 的标准齿轮时,计算其量值的不确定度为 $\Delta_{(3)} = \pm 0.85 \mu\text{m}$

在文献^[1]中,未考虑测量架随滑板水平直线位移时测头产生的阿贝误差。若测头高度为 200mm,滑板线位移误差为 $0.5''$ 时,其阿贝误差为

$$\Delta_{16} = \frac{0.5 \times 200}{206} \approx 0.5 \mu\text{m}$$

这样

$$\Delta'_{(2)} = \sqrt{\sum_1^{16} \Delta_i^2} = 0.86 \mu\text{m}$$

$$\Delta'_{(3)} = \sqrt{\sum_1^{16} \Delta_i^2} = 0.99 \mu\text{m}$$

4.2 双盘式齿形仪量值的不确定度

双盘式齿形仪相对单盘式齿形仪可减小如下几项误差。

1. 双盘式齿形仪没有测量头的阿贝误差

$$\Delta_{16} = 0$$

2. 双盘式齿形仪组件系统刚度高,由芯轴弯曲引起齿轮中心偏移可略去不计,则

$$\Delta_{13} \approx 0$$

3. 基圆直径尺寸偏差和形状误差在两盘之间有误差均化作用,基作用误差 Δ_1 和 Δ_2 都按减小 1/3 来考虑。

4. 基圆盘回转时没有轴系误差,则基圆盘综合偏心量会减小,其作用误差 Δ_3 按减小 1/3 来考虑。

此外,由于双盘式齿形仪提高了元、部件的制造精度,所以在测量上述两种标准齿轮时,双盘式齿形仪量值的不确定度为

$$\Delta''_{(2)} = \sqrt{\sum_1^n \Delta_i^2} \approx \pm 0.5 \mu\text{m}$$

$$\Delta''_{(3)} = \sqrt{\sum_1^n \Delta_i^2} \approx \pm 0.6 \mu\text{m}$$

4.3 单盘式和双盘式齿形仪在测量 1 级齿轮时的精度系数

长春光机所精化的单盘式齿形仪和自制的双盘式基准齿形仪,在测量中国国标 GB10095—88 和德国 DIN3962—78 标准中的 1 级精度标准齿轮的齿形时,其精度系数列于表 1。

表 1 长春光机所测量 1 级精度齿形时的精度系数

1 级精度齿形公差		齿形仪 类型	量值不确定度		精度系数			
GB10095 —88	DIN3962 —78		测 $m=2$	测 $m=3$	按 GB		按 DIN	
			$\varepsilon=60$ $\alpha=20^\circ$	$\varepsilon=40$ $\alpha=20^\circ$	$m=2$	$m=3$	$m=2$	$m=3$
2.1 μ m	1.5 μ m	单盘式	0.86 μ m	0.90 μ m	0.4	0.47	0.57	0.66
		双盘式	0.5 μ m	0.6 μ m	0.23	0.29	0.33	0.40

通常在高精度测量时,允许精度系数 ≤ 0.5 。由表 1 可以得出结论长春光机所的单盘式齿形仪,可满足国标 1 级精度标准齿轮的测量。而双盘式基准渐开线齿形检查仪,可满足国标和 DIN 标准 1 级精度标准齿轮的测量。

参 考 文 献

- (1) 顾钟秀、张玉玲,模数 2 基准标准齿轮的精度测试,长春光机所 1980 年
 (2) 杨植棠、张成梯,高精度渐开线检查仪,计量学报,1982—2
 (3) 王立鼎、佟晓冬、张玉玲,论超精密级渐开线的最佳测量原理,第一届中国齿轮制造学术研讨会论文集,1991.10

Measuring Apparatus of Involute Tooth Profile for Super—precision Gears

Zhang Yuling, Wang liding and Tong Xiaodong

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

Abstract

This paper analyses the principles of existing involute testers and demonstrates a new measuring method for testing the involute tooth profile of super—precision gears. By analysing and calculating, it is proved that the double—disk involute tester developed at the Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics can meet the requirements for measuring the involute tooth profile of grade one precision master gears in the standard of GB10095—88 and DIN 3962—78.

Key words: Gear, Tooth profile, Measuring