

扫描式激光测径技术的算法新探

陶 雷, 李新秋, 张力生

(清华大学 核能与新能源研究所, 北京 100084)

摘 要: 为了提高激光扫描测径技术的测量精度和测量稳定性, 在研究了传统的激光扫描法测径的原理和算法后, 提出了一种激光扫描测径的新算法。新算法充分利用了扫描光路的几何关系和数值计算技术。在产品生产过程中, 新算法的应用提高了测量精度, 降低了产品成本。

关键词: 管径测量; 激光扫描; 平场透镜; 算法研究

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)07-0386-03

A New Computational Method in Laser Scanning Measurement of Diameter

TAO Lei, LI Xin-qi, ZHANG Li-sheng

(Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on the research of the traditional computational method in laser scanning measurement of diameter, intrinsic disadvantages in the method are found. In order to avoid these disadvantages, improve the precision of the measurement and cut down the cost of instrument, a new computational method is developed and described in this paper.

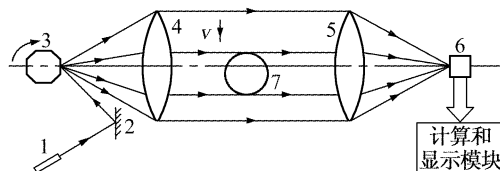
Keywords: Measurement of diameter; Scanning laser; $f\theta$ lens; Computational research

为了监控管材产品的质量, 必须实时准确地测量管材的径值。受生产条件和产品性质的制约, 接触式测量法已不能满足实际检测需要。作为一种高速、高精度在线测量外径的方法——激光扫描测径技术应运而生, 并快速广泛地应用于工业管材的无损检测中。

1 激光扫描测径技术的传统算法

1.1 测量原理

激光扫描法测径原理见图 1。利用旋转的激光扫描转镜产生自上而下匀速的平行激光束扫描被测管材, 在另一侧用探测器记录激光被管材遮挡的时间。设激光束的线扫描速度为 v , 激光束被管材遮挡的时间为 t , 则得到的管材直径 $D = vt^{[1]}$ 。采用激光扫描技术, 能够把空间尺寸测量转换为脉冲时间间隔测量, 从而提高测量精度和抗干扰性能^[2]。由于无需与被测物体接触, 激光测径技术适用于在线



1. 半导体激光器 2. 平面反射镜 3. 激光扫描转镜
4, 5. 透镜 6. 光电探测器 7. 被测管材

图 1 扫描式激光测径原理图

检测。

1.2 基本算法及其实现方法

由检测原理得到激光扫描测径技术的基本算法 $D = vt$ 。后衍生出标准棒法, 即在测量区域内放置一个已知直径的标准棒 d , 利用被扫描管材时间 t_1 和标准棒的时间 t_2 求出管材的直径 $D = \frac{t_2}{t_1} d^{[3]}$ 。在实际测量中, 为保证测量的精度和稳定性, 上述算法必须同时满足两个基本条件^[1]: ① 扫描线速度应是均匀等速的; ② 扫描光束应与光轴保持平行。为了满足这两个条件, 常用的方法是使用同步电机和 $f\theta$ 透镜 (即平场透镜) 来实现。 $f\theta$ 透镜的光学成像

收稿日期: 2006-02-23

作者简介: 陶 雷 (1982—), 男, 博士研究生, 研究方向为等离子体和激光探测技术。

特点为 $h = f\theta$, 其中 h 为像高, f 为透镜焦距, θ 为光束入射角度。当同步电机带动激光扫描转镜以恒定的角速度 ω 转动时, 激光束的扫描速度为: $v = \frac{dh}{dt} = f \frac{d\theta}{dt} = f\omega'$, 激光束的扫描角速度 $\omega' = 2\omega$ 。这样将由恒定角速度的激光扫描光束转化为平行的匀速激光扫描光束, 从而满足测量基本条件。

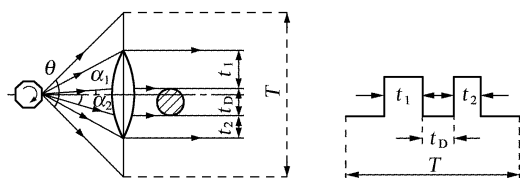
1.3 算法缺陷

实际测量中即使采用了上述实现方法, 但还是存在不可避免的误差。主要原因是① $f\theta$ 透镜并不能完全满足理想的 $f\theta$ 条件, 其中包含着非线性的固有误差。② 激光扫描转镜各反射面到转轴距离不均匀、偏心等工艺原因导致的扫描速度误差^[1]。③ 由于电压不稳, 同步电机转速不稳定引起的扫描速度误差。因为算法本身不能消除这些因素对测量结果的影响, 所以会影响测量精度。另一方面精度高的 $f\theta$ 透镜和同步电机的价格都很昂贵, 增加了产品的生产成本。在研究了传统的激光扫描法测径的原理和算法后, 笔者发现, 通过改变算法可消除上述影响因素, 降低对测量限制条件和器件的苛刻要求, 同时可以增大测量区域, 提高测量精度和稳定性。

2 激光扫描测径技术的新算法

2.1 新算法的原理

新算法是建立在原有的光学系统结构基础之上。如图 2a 所示, 设激光扫描转镜某个面扫描过的角度为 θ , 管材上下边沿所对应的扫描光线与主光轴的夹角分别为 α_1 和 α_2 。 T, t_1, t_2 和 t_D 分别对应各段路径扫描所用的时间。探测器记录下的相应波形见图 2b。



(a) 原理示意图 (b) 激光扫描波形图
图 2 新算法示意图

设扫描电机带动激光扫描转镜某一面转动的瞬时角速度为 ω , 透镜的焦距为 f , 则激光扫描的角速度 $\omega' = 2\omega$, 从而得 $T = \frac{\theta}{\omega'} = \frac{\theta}{2\omega}$ 。对于图 2a 中的管材位置可得到两条临界光线与光轴所成的角度:

$$\alpha_1 = \left(\frac{1}{2} - \frac{t_1}{t_1 + t_D + t_2} \right) (t_1 + t_D + t_2) \omega' = (t_D + t_2 - t_1) \omega \quad (1)$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{t_2}{t_1 + t_D + t_2} \right) (t_1 + t_D + t_2) \omega' = (t_1 + t_D - t_2) \omega \quad (2)$$

当管材位于其他位置时只需对式(1)和式(2)取绝对值, 并将 $\omega = \frac{\theta}{2T}$ 代入式(1)和式(2), 就可得到 α_1 和 α_2 值:

$$\alpha_1 = |t_D + t_2 - t_1| \frac{\theta}{2T} \quad (3)$$

$$\alpha_2 = |t_1 + t_D - t_2| \frac{\theta}{2T} \quad (4)$$

为了保证测量结果的稳定性和降低测量误差, 实际测量过程中常采用多次测量来计算平均值。在这里, 可以按激光扫描转镜旋转一圈或几圈来取平均值。设激光扫描转镜的面数为 n , 显然就有 $\sum_{i=1}^n \theta_i = 2\pi$ 。由式(3)和式(4)计算得到 α_1 和 α_2 转一圈的平均值的表达式为:

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n |t_{D,i} + t_{2,i} - t_{1,i}| \frac{\theta_i}{2T_i}}{n} = \quad (5)$$

$$\frac{\pi}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|t_{D,i} + t_{2,i} - t_{1,i}|}{T_i}$$

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n |t_{1,i} + t_{D,i} - t_{2,i}| \frac{\theta_i}{2T_i}}{n} = \quad (6)$$

$$\frac{\pi}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|t_{1,i} + t_{D,i} - t_{2,i}|}{T_i}$$

由式(5)和(6)计算出 α_1 和 α_2 值后, 找出相应角度的光线距主光轴的垂直距离就可计算出管材的直径。如果管材截面穿过主光轴, 则管材直径是两条光线距主光轴的垂直距离之和; 如果管材截面全部位于主光轴上方或下方, 则管材直径是两条光线距主光轴的垂直距离之差的绝对值。

可以利用光学软件(如 zemax 等)模拟透镜参数和激光参数, 生成每个角度所对应的光线距主光轴的垂直距离的数据表格; 也可以根据入射角度和垂直距离的正切对应关系计算出数据表格, 然后通过新算法完成对管材直径的测量。

2.2 新算法的特点

新算法是利用直接测得的时间参数求出 α_1 和 α_2 值, 从而得出相应光线距光轴的垂直距离, 然后进行简单的加减运算得到被测管材的直径。其主要

特点如下:

(1) 由于不要求扫描光束满足匀速扫描的条件,因此可用一般透镜代替昂贵的 $f\theta$ 透镜。

(2) 由式(5)和(6)知, α_1 和 α_2 的平均值仅与时间参数有关。只要时间测量精度高, α_1 和 α_2 值的精度将得到相应的提高。

(3) 根据新算法的一个条件,即电机带动下的激光扫描转镜转动一面的瞬时角速度是定值,由于转动惯量很大,因此可以用普通电机代替高价同步电机。

(4) 若采用光学软件 zemax 模拟计算数据表格^[4],可以将实际安装误差添加到模拟计算机中,使得测量结果更精确。

3 新旧算法的比较及结论

相对于传统算法,激光扫描法测径新算法有如下优点:

(1) 传统算法对光线扫描系统既要求平行性又要求匀速性,这在实际测量中很难保证。新算法无需扫描光束的匀速扫描,仅需要保证其平行性,一般透镜可替代 $f\theta$ 透镜,提高了平行性,消除了 $f\theta$ 透镜固有的非线性误差。电机也由同步电机变为普通电机。

(2) 传统算法需要用到激光扫描速度这个量,

但此量是非恒定的,因此会代入测量误差。而新算法需要测量的量仅限于时间参数,而且测量结果中不存在时间单位的量,这样有利于提高测量结果的精度和保持系统的稳定性。

(3) 采用对整圈数的测量结果取平均值的方法,可以消除由激光扫描转镜本身特性带来的误差,如激光扫描转镜的偏心误差、各反射面距转轴距离的不均匀的误差等,从而提高了测量精度和稳定性。

新算法在实际设计生产的 TH-CJ-65S 系列的激光扫描测径仪中得到了很好的验证,使用普通电机和一般透镜可以很容易地实现 0.01 mm 的测量精度。对于传统算法,新算法的优势是很明显的,应得到推广。

参考文献:

- [1] 郑 殊,刘庆国. 智能化激光扫描测径仪的研制[J]. 大连理工大学学报,1994,34(5):539.
- [2] 安志勇,赵铁均. 激光扫描钢材在线检测仪研究[J]. 测试技术学报,1994,8(1):27.
- [3] 卢钦民,尹雷雷. 激光测径仪的数据处理[J]. 数据采集与处理,1997,6(2):124.
- [4] 李 林,安连生. 计算机辅助光学设计的理论和应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002.

第十届全国无损检测新技术学术交流纪要

中国机械工程学会无损检测分会非常规专业委员会于 2007 年 5 月 23—26 日在四川省成都市召开了第十届全国无损检测新技术学术交流会。会议由中国第一航空集团北京航空材料研究院承办,成都飞机公司协办。来自全国各行业的 54 名代表参加了会议。

会议共收到论文 50 篇。其中多篇论文技术内容新颖,如,涡轮叶片型芯与蜡模型面的激光测量系统、天基在轨空间碎片撞击感知系统、光致正电子湮灭(PIPA)技术、热中子射线照相等;同时收录的激光、红外、微波等三大传统非常规技术论文包括了综述、研究和应用方面的内容。激光错位散斑、红外热像技术随着国外商业化检测系统的进入,有望在近

期快速拓展工业应用领域。本次会议征文得到超声、射线、电磁、渗透等常规检测技术工作者的积极响应,投稿涉及新方法研究、检测工艺探索、设备研制等多个方面。多数论文的研究内容都来源于无损检测的实际工作,因此具有很强的工程应用背景和重要的参考价值。

本次会议得到无损检测学会、承办单位及无损检测专业厂商的大力支持。上海克洛力、北京固鸿科技、济宁模具厂和嘉盛科技等厂商参会并介绍了其新产品、新技术。克洛力公司潘柄勋总经理还对 2008 年无损检测国际会议的筹备工作进行了专题介绍。

(非常规专业委员会 郭广平)