

新型滤棒激光测径仪测量角的确定

韩刚, 杨智皓, 何邦贵
(昆明理工大学, 昆明 650500)

摘要:目的 滤棒成型的不规则性,导致了新型激光测径仪测量滤棒直径时传感器会产生入射角差异,这就会带来测量误差。如何消除激光测径仪测量误差,得到与滤棒真实直径最相近的测量值便是关键。方法 使用最优直径估计方法获得了最优的测量组合角度,然后通过求不同组合角度的平均值进行估计,以减小入射角差异带来的误差。结果 通过最优直径估计法,在滤棒 $15^{\circ} \sim 165^{\circ}$ 间选取每间隔 45° 的4个值的平均值,作为滤棒的测量估计值,此值与滤棒真实直径的差值满足测量精度(± 0.01 mm)要求。有效减小了入射角差异带来的误差,也是最优的测量角分布数值。结论 最优直径估计法能指导合理选取测量角的分布,并且能有效减小激光测径仪入射角差异带来的测量误差。

关键词: 滤棒成型不规则性; 激光测径仪; 入射角差异; 测量误差; 最优直径估计法

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)23-0107-04

Measuring Angle Determination of New Type of Filter Rod Laser Measuring Diameter Instrument

HAN Gang, YANG Zhi-hao, HE Bang-gui
(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

ABSTRACT: The measuring sensor will produce incidence Angle difference when we use new laser measuring diameter instrument to measure the diameter of filter rod due to the irregularity of filter rod forming. How to eliminate the measurement error of laser caliper gauge and get the measured value closest to the real value of diameter is the key question. The optimal diameter estimation method was used to obtain the optimal combination of measuring angles. Then the average values of different angle combinations were calculated as the estimated values, to reduce the measurement error caused by the difference of incidence angle. Using the optimal diameter estimation method, the average value of the four values with an interval of 45° in range of $15^{\circ} \sim 165^{\circ}$ of the filter rod was selected as the measurement estimated value of filter rod. The difference of this value and the true value of filter rod diameter met the requirements of measurement precision (± 0.01 mm). This method effectively reduced the error introduced by the different incidence angle, and gave the optimal measuring angle distribution value. In conclusion, optimal diameter estimation method could provide guidance in reasonable selection of the measuring angle distribution and effectively reduce the measurement error caused by the difference of Incidence Angle.

KEY WORDS: irregularity of filter rod forming; laser measuring diameter instrument; difference of incidence angle; measurement error; optimal diameter estimation method

当前,随着烟草行业“减害降焦”步伐的加快,高透、复合滤棒在卷烟生产中的运用越来越广泛^[1]。原有气压检测方式受滤棒透气度的影响,无法实现对其圆周的精确控制^[2-3]。如果激光检测技术能够得到成

收稿日期: 2015-03-22

基金项目: 红云红河集团曲靖卷烟厂科技项目(LGD10XY)

作者简介: 韩刚(1990—),男,湖北人,昆明理工大学硕士生,主攻包装设备结构设计、机电一体化。

通讯作者: 何邦贵(1964—),男,四川人,昆明理工大学教授、硕士生导师,主要从事创新设计、包装机械、机械设计及理论研究。

功应用,其非接触式检测方式不受滤棒透气度的影响,能够广泛适用于各种滤棒圆周的精确检测控制^[4-8]。但是,由于受到滤棒成型具有不规则性的客观限制^[9],激光检测时会出现入射角差异现象,由此便会产生测量误差。如何减小入射角差异带来的测量误差以及如何确定激光测径仪的测量角度,便是设计新型激光滤棒测径仪的关键问题。

1 滤棒成型原理及激光入射角差异带来的误差

现行的卷烟生产工艺中,为了保证卷烟的质量和品质,将烟支生产作为生产的最后环节,而与之配套的滤棒生产先进行。由于滤棒成型采用的是将二醋酸纤维素束作为原料,醋酸纤维素束经过开松、施加增塑剂后,经空气喷嘴收束,随成型纸一齐进行成型枪。蓬松的丝束经成型舍圆锥形通道收拢压缩,进入下压板后膨胀到滤棒质量标准规定的圆周,此时涂覆了热熔胶的成型纸在压板的作用下将丝束包裹并粘接,搭扣上的热熔胶经烙铁熨烫活化处理,进而在冷却条中迅速冷却黏合,将丝束固定成型为滤棒条。

从上述滤棒成型原理可以看出,滤棒成型时是在蓬松状态下进入成型枪,受到成型枪的约束后收拢成圆柱状。由于二醋酸纤维素束蓬松情况的任意性,导致了成型后的滤棒圆度的任意性。也就是说,在滤棒的任意截面上圆度都存在不规则性。这样,在用激光测径仪测量滤棒的圆周时便会产生激光入射角差异问题。

入射角差异会带来测量精度误差,因此需要找到消除入射角差异带来的精度误差的方法。可以通过求不同组合角度的平均值进行估计以减小入射角差异带来的误差,使用最优直径估计方法获得最优的测量组合角度。

2 测量角选定的理论分析

新生产的滤棒往往具有不规则性,对其直径进行精确测量具有相当的难度。为了尽量减小入射角差异带来的测量误差,可以通过求不同组合角度的平均值进行估计,取1°~180°每间隔45°的4个值的平均值。其实,还可以取1°~180°每间隔30°的6个值的平均值,也可以取1°~180°每间隔20°的9个值的平均值等。一般来说,间隔的度数非常小时,得到的样本估计值与真实值很接近。例如,取间隔10°的18

个值的平均值作为估计值,这样的估计值与滤棒的真实值非常接近。下面用回归方法^[10-15]验证选取每间隔45°的4个值的平均值作为滤棒的估计值的合理性。

2.1 基于Ⅰ样本数据的回归

把Ⅰ样本数据分成2份,一份取前50支滤棒的数据作为训练集,进行估计模型;另一份取其余28支滤棒作为测试集,进行测试模型的效果。经过数据处理得到训练集数据的误差值表(误差值=观测值-真实值),经过计算,得到每组误差值的方差,见表1。

表1 Ⅰ样本最小方差组
Tab.1 Minimum variance set of sample I

k=10	k=11	k=12	k=13	k=14	k=15
0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004

选取表1中的6组圆周长数据作为回归方法的样本数据,其中样本观测值作为自变量,样本滤棒的真实值作为因变量。利用逐步回归,得到的结果见表2。

表2 回归结果
Tab.2 Regression results

系数a				
模型	非标准化系数	标准系数	t	Sig.
1 (常量)	B	标准误差	试用版	
x ₁₄	5.654	0.922		6.135 0.000
	0.765	0.038	0.945	19.954 0.000
a. 因变量:y				

其中:x₁₄分别代表训练集数据中的第14组数据经过逐步回归,把x₁₀,x₁₁,x₁₂,x₁₃,x₁₅,x₁₆排除,得到一个显著的回归模型。回归方程如下:

y=5.654+0.765x₁₄

由表3可知,回归方程的调整R²=0.89,说明该模型拟合效果非常好。

表3 模型汇总
Tab.3 The model summary table

模型汇总				
模型	R	R ²	调整R ²	标准估计的误差
1	0.945a	0.892	0.890	0.015 764 1
a. 预测变量:(常量),x ₁₄ 。				

把训练集数据第14组数据代入回归方程,并且把回归方程的估计值分别与样本滤棒的真实值进行比较,计算相应的误差(误差=估计值-真实值),通过分

析误差的方差大小便可以判断该模型的效果。

其中:模型估计值是把 x_{14} 的值分别代入第一回归方程所得的估计值,模型误差是指1模型估计值与真实值之差。

通过计算得到该模型误差的方差 $\sigma_1^2=0.0004$ 。测试集数据第14组误差的方差为0.000 702,超过 σ_1^2 较多,可说明:该模型估计值比样本滤棒观测值更加精确。

2.2 基于Ⅱ样本数据的回归

把Ⅱ样本数据分成2份,一份取前10支滤棒的数据作为训练集,进行估计模型;另一份取其余10支滤棒作为测试集,进行测试模型的效果。经过数据处理得到训练集数据的误差值表,得到误差值方差,见表4。

表4 Ⅱ样本最小方差组
Tab.4 Minimum variance set of sample Ⅱ

k=36	k=37	k=38	k=39	k=40	k=41
0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

选取表4中的6组圆周长数据作为回归方法的样本数据,其中样本观测值作为自变量,样本滤棒的真实值作为因变量。利用逐步回归,得到结果见表5—6。

表5 回归结果
Tab.5 Regression results

系数a					
模型	非标准化系数	标准系数	t	Sig.	
1 (常量)	B	标准误差	试用版		
x_{37}	9.249	1.900		4.868	0.001
	0.616	0.079	0.940	7.787	0.000
a. 因变量:y					

其中: x_{37} 分别代表训练集数据中的第37组数据。

表6 模型汇总
Tab.6 The model summary

模型汇总				
模型	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
1	0.940a	0.883	0.877	0.010 40
a. 预测变量:(常量), x_{37} 。				

经过逐步回归,把 $x_{36}, x_{38}, x_{39}, x_{40}, x_{41}$ 排除,得到一个显著的回归模型。回归方程如下:

$y=9.249+0.616x_{37}$

由表6可知,回归方程的调整 $R^2=0.877$,说明该模

型拟合效果非常好。

把训练集数据第37组数据代入回归方程,并且把回归方程的估计值分别与样本滤棒的真实值进行比较,计算相应的误差及其方差。

通过计算得到该模型误差的方差 $\sigma_2^2=0.0003$ 。测试集数据第37组误差的方差为0.000 42, $\sigma_2^2 < 0.000 42$,可以说明该模型估计值比样本滤棒观测值更加精确。

综上,可以看出选取滤棒圆周180°范围内以45°为平均分值的均匀区间测量估计值,可以有效降低由于入射角差异所带来的测量误差。

3 针对测量角选定理论分析的实验验证

3.1 实验方法

根据上述理论分析,使用激光测径仪对不同型号机床生产的5只滤棒(随机抽样)的2个截面(随机选取)进行直径测量。对每根滤棒的2个截面均间隔1°测量一个直径值,一共得到180个直径值,计算每根滤棒的截面平均直径,并得到测量值拟合曲线图及圆周偏差图,然后跟离线检测到的数据进行对比,再从数据对比中寻找出结论。测试中以滤棒搭口处为基准位置0°。

3.2 实验设备

LGD-0510激光测径仪、电动转台、垫片、固定装置、可调支架、磁性表座、嘴棒固定桶和LPS-4型号半导体激光器组成激光单向分度测量系统,见图1。

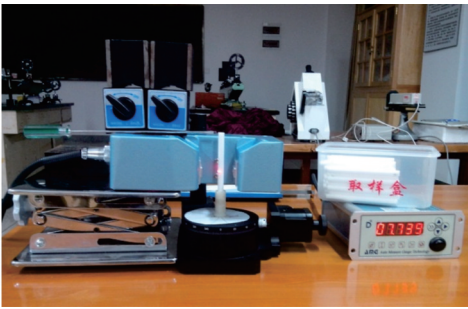


图1 实验平台
Fig.1 Experimental platform

3.3 实验数据及分析

从图2可以计算归纳出每支滤棒2个截面,15° ,

60°, 105°, 150° 等4个方向和0°, 45°, 90°, 135° 等4个方向的平均直径,与每支滤棒180个测量值平均直径的偏差都在 ± 0.1 mm以内,均可以满足预定要求。

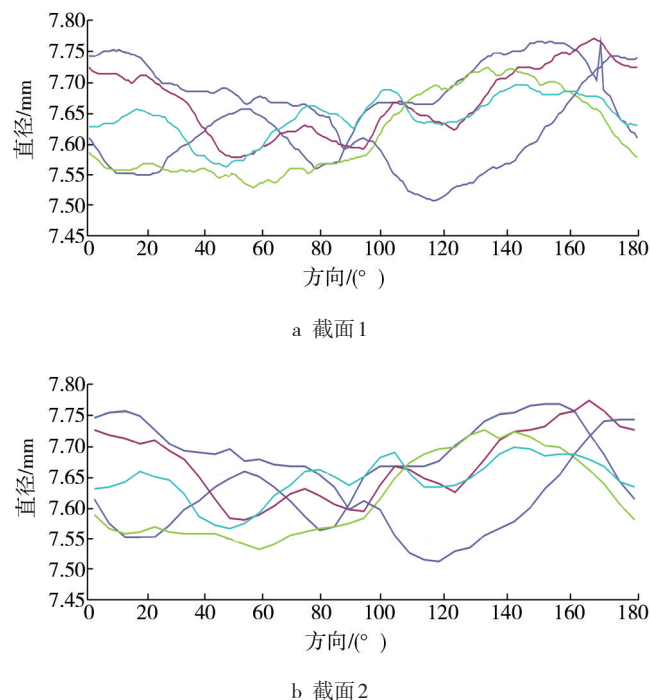


图2 5只滤棒的180个直径测量值拟合曲线

Fig.2 Fitting curves of 180 diameter measured values of 5 filter rods

上面2组方案均满足要求,以76支滤棒为样本,分别测量两方案样本的圆周偏差,以此对比得到最优方案,见图3。

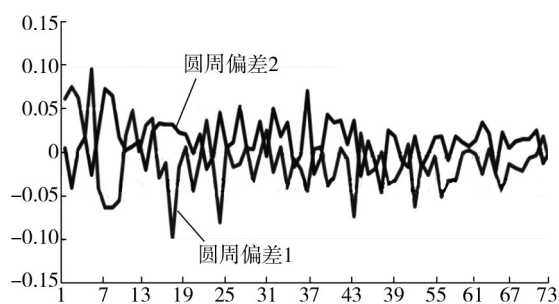


图3 圆周偏差1和2对比

Fig.3 Contrast figure of circular deviation 1 and 2

把滤棒的0°, 45°, 90°, 135° 等4个方向平均圆周180个测量区间的平均圆周偏差记为圆周偏差1。滤棒的15°, 60°, 105°, 150° 等4个方向的平均圆周跟180个平均圆周偏差记为圆周偏差2。由图4可以计算归纳出圆周偏差2较圆周偏差1分布更为均匀,圆周最大偏差、圆周最小偏差的绝对值都较圆周

偏差1小,因此选择滤棒15°, 60°, 105°, 150° 等4个方向为所设计的新型滤棒测径仪的测量角。

4 结语

1) 选择15° 到150° 区间内间隔45° 的4个测量值的平均值作为滤棒的估计值,可以有效减小由激光入射角差异所带来的测量误差,以最少的测量角分布满足测量精度的要求。

2) 每间隔45° 只需要取4个值的均值,这样,每个测径仪只需4条激光光路,可以大幅缩小测径仪的总体结构尺寸,为测径仪结构设计提供便利,并且非常好地控制了测径仪的成本。

3) 使用最优直径估计法可以有效地选择出滤棒测径仪激光光路的数量和最优角度分布。

参考文献:

- [1] XIAO Shao-rong, ZHU Ping, BEN Fu-lai. Analysis on Characteristics of Optical Fiber Sensor for Atmospheric Pressure [J]. Optics and Precision Engineering, 2008(6): 1042—1047.
- [2] 甘蔚钰. 滤棒成型机组圆周控制系统的对比分析[J]. 烟草科技, 2008(6): 23—25.
- GAN Wei-yu. Comparative Analysis of Circumference Control System in Filter Rod Maker [J]. Tobacco Science & Technology, 2008(6): 23—25.
- [3] HAN Yun-hui, LI Dong-ming, LI Wei-guo. The Effect of High Permeability Plug Wrapper on the Making and Measurement of Filter Plug [J]. Tobacco Science & Technology, 1999 (2): 3—5.
- [4] WANG Rong, LI Zhen-hua, BIAN Bao-min, et al. A Laser Detection Method of Micro-defects for Optical Fibers [J]. Acta Photonica Sinica, 2014(5): 27—31.
- [5] GENG Rong-sheng, JING Peng. On the Flourishing Development of NDT Techniques in China [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 22: 1—7.
- [6] 李果, 李美华, 王晓磊, 等. 红外无损检测的损伤趋势判定研究 [J]. 光学学报, 2013(S1): Ps104002.
- LI Guo, LI Mei-hua, WANG Xiao-lei, et al. Research on Trend of Defect in Infrared Non-Destructive Testing [J]. Acta Optica Sinica 2013(S1): Ps104002.
- [7] ZHAO Jun-zhong, HUANG Hou-kuan, JIA Lian-feng. Error Separation Theory and Its Application in Computer-aided Surface Flaw Detection of Axle-like Parts [J]. Acta Metrologica Sinica, 2003(1): 14—18.
- [8] 倪敏, 陈卫东, 唐伟. 滤棒成型机组纸接头剔除检测装置的研制 [J]. 烟草科技, 2014(9): 27—29.

(下转第149页)

23.
ZHANG Xu-liang. Analysis of Dot Microstructure[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007(12):21—23.
- [7] 王琪,周小凡. 基于网点结构形态的印刷色彩再现研究[J]. 包装工程, 2012, 33(23):110—111.
WANG Qi, ZHOU Xiao-fan. Research of Printing Color Reproduction Based on Dot Structure Form[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(23):110—111.
- [8] 李杨军. 基于单幅数字图像灰度三维物体形状表面恢复的研究[D]. 南昌:华东交通大学, 2009.
LI Yang-jun. Research on 3D Object Surface's Shape Recovery Based on a Single Image's Gray-scale[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2009.
- [9] CAPRARI R. Duplicate Document Detection by Template Matching[J]. Image and Vision Computing, 2000(18):633—643.
- [10] YANG L. A Unified Model of Optical and Physical Dot Gain in Print Color Reproduction[J]. Journal of Imaging Science and Technology, 2004, 48(4):347—353.
- [11] 俞鸿波,赵荣椿,王兵,等. 单幅图像三维表面重建中的共轭梯度算法[J]. 计算机工程与应用, 2003(35):24—25.
YU Hong-bo, ZHAO Rong-chun, WANG Bing, et al. Analysis and Realization of the Gradient Algorithms of SFS[J]. Computer Engineering and Applications, 2003(35):24—25.
- [12] DEMIRCIOGLU P B, DURAKBASA N M. Micro Scale Surface Texture Characterization of Technical Structures by Computer Vision[J]. Measurement, 2013, 46:2022—2028.
- [13] LEE M. 3D Shape Reconstruction of Hybrid Reflectance Using LMS Algorithm[J]. International Journal of Pattern Recognition & Artificial Intelligence, 2001, 15(4):723—734.
- [14] 蒋文燕,司莉莉,李凯. 网点形状对胶印网点复制特性的影响[J]. 包装工程, 2010, 31(1):83—85.
JIANG Wen-yan, SI Li-li, LI Kai. Influence of Dot's Shape on Dot Reproduction Attributes of Offset Printing[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1):83—85.
- [15] TOSHIHARU E, DMITRY I, AKIRA I. Three-dimensional Distribution of Ink-jet Inks in Paper Acquired by Confocal Laser Scanning Microscope[C]// 58th APPITA Annual Conference & Exhibition Proceedings, 2004:577—588.

(上接第110页)

- NI Min, CHEN Wei-dong, TANG Wei. Development of Plug Wrap Splice Detecting and Rejecting Device in Filter Rod Maker[J]. Tobacco Science & Technology, 2014(9):27—29.
- [9] 常纪恒,赵荣,余振华,等. 滤棒成型工艺参数与质量稳定性的关系[J]. 烟草科技, 2007(1):5—8.
CHANG Ji-heng, ZHAO Rong, YU Zhen-hua, et al. Relationship Between Quality Stability and Processing Parameters in Filter Rod Making[J]. Tobacco Science & Technology, 2007(1):5—8.
- [10] 刘书君,张新征,刘颖. 基于模糊非线性回归算法的图像复原[J]. 包装工程, 2013, 34(5):95—97.
LIU Shu-jun, ZHANG Xin-zheng, LIU Ying. The Nonlinear Regression Algorithm of Image Restoration Based on the Fuzzy [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5):95—97.
- [11] 洪亮,楚高利. 基于多项式回归模型的显示器特征化研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21):85—89.
HONG Liang, CHU Gao-li. Characterization of Display Based on Polynomial Regression Model[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21):85—89.
- [12] 秦佳,马卫东,杨伊林,等. 应用红外检测技术防酒驾系统研究与开发[J]. 包装工程, 2013, 34(16):63—65.
QIN Jia, MA Wei-dong, YANG Yi-lin, et al. The Research and Development of the Against Drunk Driving System Which Applied Infrared Detection Technology[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(16):63—65.
- [13] 吴杰,唐正宁. 设备特征化过程中的三棱柱插值与多项式回归算法研究[J]. 包装工程, 2011, 32(3):77—80.
WU Jie, TANG Zheng-ning. Research on Prism Interpolation and Polynomial Regression Algorithm in Equipment Characterization Process[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3):77—80.
- [14] 张桢杰,刘真,吴明光. 基于子空间划分的多项式回归多色分色算法[J]. 包装工程, 2013, 34(7):65—67.
ZHANG Zhen-jie, LIU Zhen, WU Ming-guang. Polynomial Regression Based on Subspace Division Multiple Color Separation Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7):65—67.
- [15] 张桢杰,刘真. 3种基于分区纽介堡方程的分色算法的误差分析[J]. 包装工程, 2012, 33(15):88—91.
ZHANG Zhen-jie, LIU Zhen. Three Kinds of Color Separation Algorithm Based on Partition New Fort Interface Equation of Error Analysis[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15):88—91.
- [16] HUTCHINSON J W. Generalizing J2 Flow Theory: Fundamental Issues in Strain Gradient Plasticity[J]. Acta Mechanica Sinica, 2012, 4:1078—1086.