

文章编号: 1001-3806(2014)05-0651-04

新型通用式激光扫描封头检测仪

林静焕¹, 戴勇^{1*}, 盛水平², 陈海云²

(1. 浙江工业大学 机电研究所, 杭州 310014; 2. 杭州市特种设备检测院, 杭州 310003)

摘要: 为了克服封头在传统检测中存在样板测量尺寸单一、人工读数精度低、制板耗费资源等缺点, 采用激光测距 2 维轮廓连续扫描方法, 设计了一种适用于检测不同尺寸封头形状偏差的非接触式激光检测装置, 介绍了激光扫描封头仪的工作原理、扫描方式、系统组成以及各系统具体设计方法, 并对内径为 800mm 的封头进行了实验验证。结果表明, 此激光扫描封头检测仪的理想精度可达 1mm~2mm, 可实现高精度、高效率、自动化检测。

关键词: 激光技术; 形状偏差; 封头; 检测

中图分类号: TN247 **文献标志码:** A **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.05.016

New universal laser scanning head detector

LIN Jinghuan¹, DAI Yong¹, SHENG Shuiping², CHEN Haiyun²

(1. Institute of Electrical, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Hangzhou Special Equipment Inspection Institute, Hangzhou 310003, China)

Abstract: In order to overcome the disadvantages of the traditional head detection, such as limited size of measuring models, low accuracy of artificial reading and resource cost of plate making, a non-contact laser detection device, suitable for shape deviation detection of the head in different sizes, was designed with laser scanning 2-D contour continuously. Work principle, scan mode, system components and specific design of each subsystem of the laser scanning head device were introduced. A head with inner diameter of 800mm was verified in experiment. The results show that the laser scanning head device can make the detection automatically with high-precision, high-efficiency. The ideal accuracy can reach 1mm~2mm.

Key words: laser technique; shape deviation; head; detection

引言

封头是压力容器的一个重要承压部件, 其制造质量影响着整个承压设备的安全, 形状偏差是封头质量检测的一个主要指标, GB150-2011^[1]规定椭圆形、蝶形、球形等凸形最大形状偏差外凸不得大于 1.25% D , 内凹不得大于 0.625% D , 其中 D 表示封头内径大小。目前, 封头形状偏差检测采用以带间隙的全尺寸内样板^[2]进行检测。由于封头检测用样板必须依封头规格制作, 且长期使用易磨损, 所以样板检测具有人工读数精度差、制板耗费资源等缺点^[3]。

随着科技的进步, 以高精度、高效率、非接触为

发展趋势的现代光电检测技术成为了计量检测领域中的主流, 其中以激光技术^[4]最为突出。激光具有方向性好、能量集中、高单色性和良好的抗干扰能力, 市场上涌现出各种形位误差、尺寸等参量测量仪, 如英国 Renishaw 公司研制的一种激光测头, 利用 CCD 图像处理技术、激光技术与计算机技术相结合的三坐标测量机, 通过高速扫描实现对形状、尺寸和形位误差测量; 德国 UBM 公司研发的激光测量系统可用于机床、汽车、国防等工业, 完成测量零件的尺寸和形位误差^[5]。高速发展的激光技术是当代最先进检测技术之一, 作者经过查阅大量的文献资料, 发现将其优势应用于压力容器封头内表面形状偏差检测, 还少有相关深入研究。因此, 研制一款适用于检测不同尺寸封头形状偏差的通用式检测仪来满足高精度高效率的要求并保证封头安全检测标准, 其具有广阔的研究前景和实现价值意义。

作者简介: 林静焕(1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为超精密加工技术。

* 通讯联系人。E-mail: b4891392@163.com

收稿日期: 2013-10-12; 收到修改稿日期: 2013-11-19

1 激光封头检测装置系统组成及工作原理

封头的几何形状传统检测采用依封头大小规格的全样板对其内表面进行间隙测量,如图 1 所示。全样板检测存在着重复利用率低、大尺寸检测操作不便以及精度误差大等缺陷,而设计的新型通用式激光扫描封头检测装置可弥补这些不足。

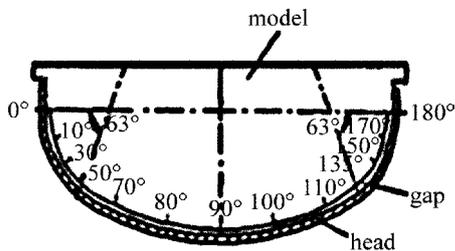


Fig. 1 The template detection

激光扫描封头检测装置由激光扫描系统、机械系统、计算机控制与数据处理系统和开关电源组成(见图 2)。激光扫描系统由激光测距系统和运动控制系统构成,利用计算机对封头扫描数据采集、处理、轮廓拟合等功能进行控制并执行,实现封头形状偏差检测并显示数值结果。

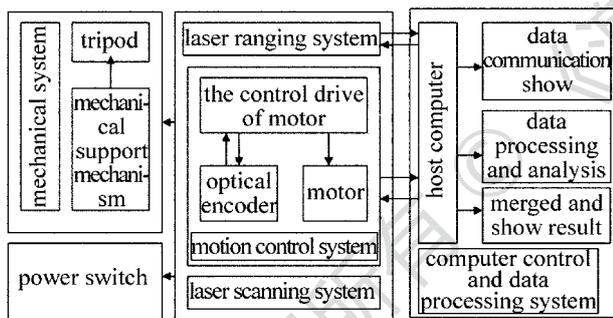


Fig. 2 Laser scanning head detection device

1.1 激光扫描封头工作原理

激光扫描封头仪形状检测基本原理和扫描方

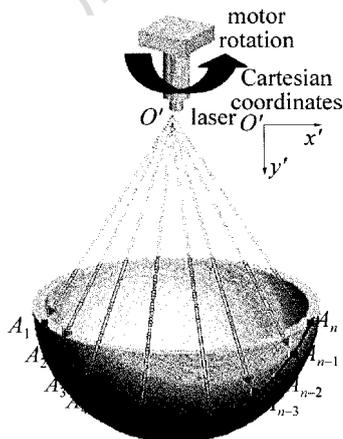


Fig. 3 Schematic diagram of laser scanning head

式^[6]如图 3 所示,激光扫描装置置于封头中心上方,激光器从封头一边缘伴随着电机进行圆周逐点扫描直至完毕,依次测得 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n-1}$ 和 A_n 多点,利用激光测距机至封头表面距离值 ρ 和电机中光电编码器角度返回值 θ ,确定各扫描点极坐标值 (ρ_i, θ_i) ,通过计算机数据处理将各离散扫描点进行最小二乘法拟合,即为激光扫描封头形状拟合曲线。

1.2 激光扫描中心分析

由于测量误差的存在,激光扫描中心和封头中心可能一致或偏心两种情况,为了保证封头形状高精度,必须对偏心进行修正,减少激光扫描对封头形状偏差值影响。建立激光扫描“中心”数学模型,如图 4 所示, O 为封头中心, O' 为激光扫描中心,极坐标系下, ρ 为激光测距机至封头表面距离值, θ 为电机中光电编码器角度返回值。两中心分别建立直角坐标系, OO' 为两者偏心距, θ_1 与 θ_2 分别为电机在扫描点 p_1 与 p_2 时转过的角度值。

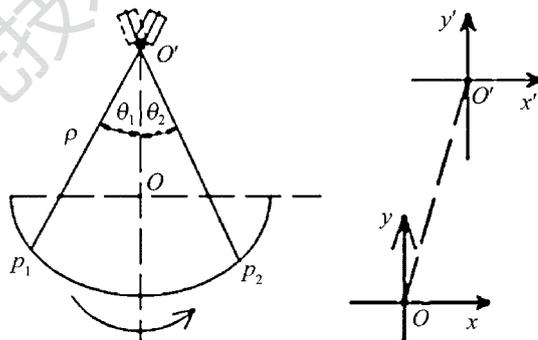


Fig. 4 The center bias between laser scanning and head

1.2.1 激光扫描中心 O' 与封头中心 O 一致 此时,由于两坐标轴系重合,激光在 p_1 点距离值为 ρ_1 ,则在直角坐标系下的坐标可表示成:

$$\begin{cases} X_1 = \rho_1 \cos\theta_1 \\ Y_1 = \rho_1 \sin\theta_1 \end{cases} \quad (1)$$

1.2.2 激光扫描中心 O' 与封头中心 O 偏心 设封头的中心 O 为 $(x_i, y_i, 0)$,激光扫描中心 O' 坐标点为 $(x'_i, y'_i, 0)$,将激光扫描中心统一转换至封头坐标系下,即两“中心”一致。则激光扫描中心在封头新坐标系下可表示为:

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1i} & a_{2i} & a_{3i} \\ a_{4i} & a_{5i} & a_{6i} \\ a_{7i} & a_{8i} & a_{9i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,设 $A = \begin{bmatrix} a_{1i} & a_{2i} & a_{3i} \\ a_{4i} & a_{5i} & a_{6i} \\ a_{7i} & a_{8i} & a_{9i} \end{bmatrix}$ 为坐标转换矩阵, $T =$

$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ 0 \end{bmatrix}$ 为平移矩阵。

因此,将测量中的激光虚拟中心点 O' 进行坐标系转换,重新修正坐标值,各扫描点坐标依然按照激光扫描中心与封头中心一致时的情况进行处理,便于计算机数据处理和封头精确轮廓曲线拟合,减少偏心距引起激光扫描对封头形状偏差的影响。

2 激光扫描封头各系统设计

2.1 激光扫描系统设计

激光扫描系统由激光测距系统和运动控制系统两部分组成^[7]。激光传感器采用高精度的相位式测距法,精度可达 $\pm 1\text{mm}$,配备无线模块传输装置进行通信传输;通信协议均以 16 进制字节数据对仪器进行命令和设置,选择连续测量方式,且数据返回时间设置在 $100\text{ms} \sim 105\text{s}$ 范围内任意可调。运动控制系统包括电机、光电编码器和运动控制驱动器,内置正交编码电路并可进行细分处理,编码器 A/B 相信号经 S_1/S_2 端口接入控制器,相应模块可实现闭环控制功能,并通过正交编码脉冲 (quadrature encoder pulse, QEP) 电路馈角度信息。

2.2 机械系统设计

机械系统由三脚架和激光扫描支撑机构组成,该整体系统又由连接板、云台支架、脚架、调节机构和连接轴等各零部件组装而成,组装简单、拆卸方便。各零部件以铝合金材质为主,坚固耐用,但支架脚选择碳纤维材料,其韧性好、重量轻、承重能力强。

(1) 支架脚采用三段式设计,每段长约 450mm ,由上而下管径分别为 30mm , 25mm 和 20mm ,各管之间通过板扣式设计进行长度伸缩的固定和调节,脚底部有防滑橡皮头,增加支撑稳定性并避免承重过大划伤地板;(2) 三脚架中心云台支架携带快装板,可直上直下调整并支撑激光扫描装置,水平角度可旋转 360° ;(3) 激光器与电机之间的连接轴 (尺寸为 $18\text{mm} \times 35\text{mm}$) 利用键配合固定,激光器一端采用滑杆调节机构,以便上下定位调整;(4) 激光扫描支撑机构进行电机和开关电源分层式设计,增加整体装置布局紧凑性。

2.3 计算机控制系统设计

本文中采用 Visual Basic 6.0^[8] 作为工具开发出集数据采集、计算以及曲线拟合为一体的上位机软

件,通过 RS232 串行^[9] 通讯协议控制电机转动和激光传感器测距。先设定串口发送和接收缓冲区大小,对于操作性命令的返回数据使用计时器控件读取,对距离数据和角度脉冲数都采用 OnComm 事件驱动的方式读取,提高读取数据的实时性和可靠性。电机以编码器闭环控制旋转 360° ,驱动控制器进行 16 细分处理,同时激光传感器以 10Hz 的频率采集距离值,编码器在采集距离值的同一时间返回计数脉冲。Visual Basic 软件利用 MSComm 控件指令代码进行对电机和激光传感器的控制,设置为“9600, N, 8, 1”,计算机采用最小二乘法对扫描点进行曲线拟合并显示结果。

封头形状偏差检测是在上位机微软基础类 (microsoft foundation classes, MFC) 控制界面操作下自动完成。经测量模式选择,启动测量程序,上位机发送运动控制指令使电机将激光器光源转动至封头一边缘,再向激光器发送测距指令,显示第 1 次扫描点极坐标 (ρ_1, θ_1) 并保持数据。上位机继续发送下一次采样指令,并通知激光传感器测量 ρ_i 值和 θ_i 值,如此循环, i 从 1 到 N ,计算机将各扫描点进行数据处理、曲线拟合并显示封头形状偏差值。封头形状测量程序流程如图 5 所示。

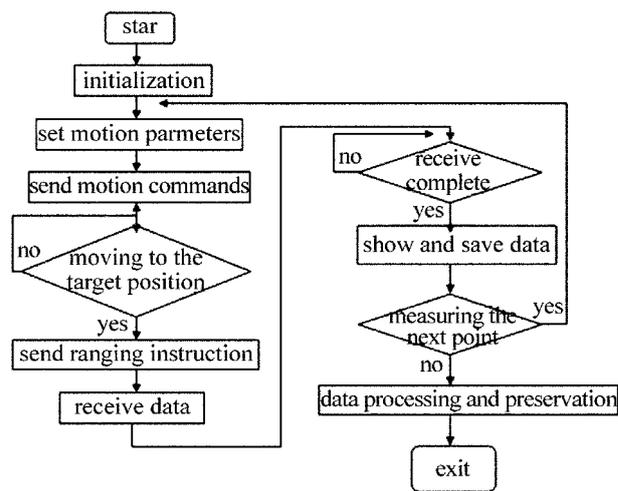


Fig. 5 The procedure of head shape measurement

3 测量结果讨论

通过对内径为 800mm 的封头进行形状偏差检测,得出封头最大深度、内径和内外形状偏差值。对同一封头进行多次扫描,曲线的扫描形状见图 6 (扫描封头曲线平滑无缺陷如图 6a 所示;拟合曲线存在缺陷如图 6b 所示),但多次扫描计算机处理得到的形状偏差有差异且均在允许值内,提取两次计算结果见

图7,并将两次扫描得出的实验数据归纳于表1中。

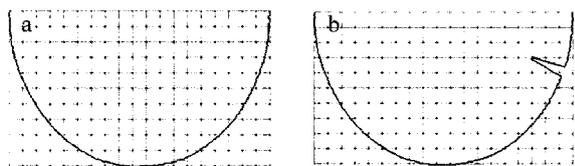


Fig. 6 Fitting curve of head scanning

数据处理与分析			数据处理与分析		
最小二乘拟合	数据计算处理	数据全部清空	最小二乘拟合	数据计算处理	数据全部清空
计算结果 显示	最大形状偏差	向外= 7.8935 mm 向内= -3.5839 mm	计算结果 显示	最大形状偏差	向外= 6.16804 mm 向内= -2.1609 mm
	其他计算结果	深度= 398.2510 mm 内径= 797.8826 mm		其他计算结果	深度= 399.0734 mm 内径= 799.6566 mm

Fig. 7 Computer processing results

Table 1 The twice scan data of head

test items		depth /mm	diameter value/mm	inward /mm	outward /mm
standard curve	standard values	400	800	< 5	< 10
the first data	measurement	398.25	797.88	3.58	7.89
	absolute error	1.75	2.12	null	null
the second data	measurement	399.07	799.65	2.16	6.15
	absolute error	0.93	0.35	null	null

由表1可知,激光封头检测仪从提取两次结果中显示,深度和内径值的偏差为1mm~2mm,向内和向外的形状偏差为2mm~3mm。由于激光器和电机本身的测量误差为2mm~3mm,再加之机械系统配合误差等因素,造成激光扫描仪多次计算形状偏差在2mm~3mm也是合理的,检测结果可靠且稳定,最理想时可达1mm以下,满足检测要求。但在现场测量过程中也会受到来自系统内部和外部因素的影响,从而对激光封头检测的准确度造成一定的偏差^[10-11]。

(1)激光扫描中心偏心。激光扫描偏心过大,使扫描封头并不是最大界面形状,进而影响与理论曲线比对后的偏差值。如表1中第1组封头内径和深度相对误差较第2组偏差大,第2组得到的内径和深度值更接近封头标准,使形状偏差值更精确。

(2)电机振动。从图6b中可得,拟合曲线存在缺陷,主要是由于电机在带动激光器扫描过程中振动太强烈,导致最后拟合的曲线有缺口;电机平稳转动时,扫描封头曲线平滑无缺陷,如图6a所示。

(3)机械装配稳定性。由于机械装置或零件在制作时存在精度影响,实际尺寸和设计尺寸会有偏差,机械结构之间的配合也会有一定误差存在,各机械装配误差累积效应进而影响整体装置检测精度。

(4)其它因素。由于激光传感器和电机内部因素或者现场检测环境影响,如激光光斑、测量时间漂移、封头测量点对称性、电机是否平稳或丢步、现场光强太足、电磁干扰等。

4 小结

(1)利用激光测距技术,通过计算机控制实现激光扫描数据采集、处理、数值显示结果等,完成封头内表面形状偏差检测。

(2)激光扫描中心偏置可通过坐标统一转换,减小系统检测误差。

(3)通过对内径800mm封头进行多次扫描,验证了激光封头检测仪对形状偏差检测的可行性;同时,对影响激光扫描检测装置的误差因素进行了分析。

参考文献

- [1] CHINA NATIONAL STANDARDIZATION MANAGEMENT COMMITTEE. GB150-2011 Pressure vessels[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011:115-151 (in Chinese).
- [2] CHINA NATIONAL STANDARDIZATION MANAGEMENT COMMITTEE. GB/T25198-2010 Heads for pressure vessels[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010:2-9 (in Chinese).
- [3] LIU Ch B, WANG X Y. Full model checking on forming elliptical head[J]. Petro-chemical Equipment, 2001, 30(5): 88-89 (in Chinese).
- [4] ZHONG Sh Y, LI S Sh. Study of multi-pulsed laser ranging technology[J]. Laser & Infrared, 2006, 36(6): 797-799 (in Chinese).
- [5] YASHIRO S, TAKATSUBO J, MIYAUCHI H, et al. A novel technique for visualizing ultrasonic waves in general solid media by pulsed lasers can[J]. Nondestructive Testing and Evaluation International, 2008, 41(2): 137-144.
- [6] ZHANG G Y, AN Zh Y, LI Ch Zh, et al. Automatic detection system of laser scanning size[J]. Journal of Test and Measurement Technique, 1995, 9(2): 18-26 (in Chinese).
- [7] XIE Z X, WANG J G, JIN M. Study on a full field of view laser scanning system [J]. Machine Tools and Manufacture, 2007, 47(1): 33-43 (in Chinese).
- [8] GUAN X H, ZHENG Y. Development of monitor and simulator software of laser sensor for distance measurement based on VB [J]. Industrial Control Calculation, 2006, 19(7): 47-48 (in Chinese).
- [9] CHEN L Y, FAN Y Zh. The latest version of visual basic and RS-232 serial communication control [M]. Beijing: China Youth Press, 2001: 45-51 (in Chinese).
- [10] WANG H X, WU Ch. 3-D laser scanning technology and error analysis in the application process[J]. Journal of Gansu Sciences, 2012, 24(3): 17-20 (in Chinese).
- [11] LIU H, ZHANG D Y, FENG J. Error analysis for data of terrestrial 3-D laser scanner[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2012, 10(4): 38-41 (in Chinese).