

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.04.012

自动化安全阀密封检测系统

施晓敏¹, 朱海清¹, 孙宏武², 殷齐平², 刘杰²

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122; 2. 乌海市特种设备检验所, 内蒙古自治区乌海 016000)

摘要:针对目前国内安全阀密封试验气泡法存在的人工误差大、工作效率低的问题,课题组研发了一种新型自动化安全阀密封检测系统。该系统结合传感技术、微机控制技术与计算机技术,采用高精度的流量传感器直接测量气体体积流量,信号数据由微机测控系统自动采集并上传到数据库,并由上位机软件进行处理,最终自动生成实验报告。新方法与传统气泡法实验对比,结果表明该系统的测量结果偏差小,可靠性较高,并且能够实现测试的自动化、数字化,提高了安全阀校验站工作效率。

关键词:安全阀;密封试验;传感器技术;微机控制

中图分类号:TH138;TP206.1 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)04-0060-04

Research on Automatic Safety Valve Seal Detection System

SHI Xiaomin¹, ZHU Haiqing¹, SUN Hongwu², YIN Qiping², LIU Jie²

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan university, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute Branch of Wuhai, Wuhai, Inner Mongolia Autonomous Region 016000, China)

Abstract: In order to solve the problems in the bubble method of safety valve sealing test, such as large manual error and low work efficiency, a new type of automatic safety valve seal detection system was developed. The system combined with sensing technology, microcomputer control technology and computer technology, to directly measure the gas volume flow with high precision flow sensor. The signal data was automatically collected and uploaded to the database through the microcomputer measurement and control system, and was processed by the host computer software. Finally the experimental report was generated automatically. Compared with the traditional bubble method, it is found that the measurement results of this system are less deviation and more reliable. Besides, this system can realize digital and automatic test, which improves work efficiency for safety valve check station.

Keywords: safety valve; sealing performance test; sensor technology; microcomputer measurement and control system

根据《安全阀安全技术监察规程》的规定,安全阀必须定期校验,一般每年至少一次,安全阀整定压力校验调整合格后应进行密封试验^[1]。安全阀密封性能试验的目的是检测其泄漏量,即在密封性能试验压力条件下,其泄漏量不大于 GB/T 12243—2005《弹簧直接载荷式安全阀》中规定的值,以每分钟泄漏的气泡数或体积量表示泄漏率^[2]。

孙琦等^[3]发明了一种通过氦气检漏仪检测的封闭式安全阀气密性试验检验装置,试验气体采用氦气,有一定危险性,对密封要求比较高,可操作性不强。姚海龙等^[4]将计算机组态软件结合气压测漏法应用到

安全阀密封性能检测中,但因系统各个管路存在压力损失,并且各个连接面难以保证不泄漏,故难以推广。目前国内普遍采用的是国际标准^[5-7]推荐的安全阀密封性能试验方法,即用带有集漏管的盲板堵住安全阀排气口,集漏管将泄漏的气体导入装有水的烧杯容器中,计数烧杯中的气泡数。国内大部分都是人工数气泡,试验误差大、工作效率较低,而国外由气泡计数器自动计数气泡。但是这种数气泡的方法受工况的影响较大,不同温度下的气体性质不一样,生成的气泡大小、速率会有差别^[8-11],实况与标况的偏差会影响测量结果的准确性。

收稿日期:2017-12-28;修回日期:2018-03-20

第一作者简介:施晓敏(1993),女,江苏南通人,硕士研究生,主要研究方向为安全阀密封检测技术。E-mail:jndx_sxm@foxmail.com

针对试验气泡法存在的误差大、效率低的问题,课题组提出一种新型的安全阀密封试验系统,将传感器技术、微机控制技术与计算机技术结合起来,实现安全阀密封试的自动化测试。

1 安全阀密封试验自动化检测系统

不同于传统的安全阀密封试验间接测量单位时间内气泡数的试验方法,安全阀密封试验自动化检测系统使用数字传感器直接测量单位时间内泄漏气体体积量。系统总体测量方案如图 1 所示,系统主要由 2 个部分组成,分别是下位机数据采集系统和上位机管理系统。下位机由数字传感器测量泄漏气体体积流量,测量到的信号经模数转换传送给单片机测控系统。单片机通过 RS-232 串口通信将采集到的信号发送到上位机的计算机管理系统。由上位机管理系统对采集到的数据进行存储、处理,最后自动生成试验报告。

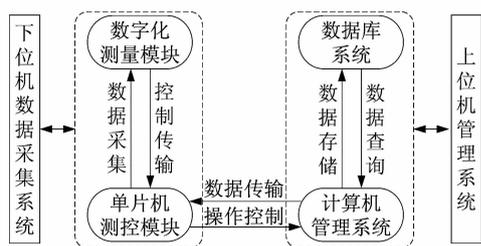


图 1 系统总体测量方案

Figure 1 Overall system measurement scheme

数字化测量模块使用的传感器为层流元件 (laminar flow element, LFE) 层流流量传感器,其工作原理是基于泊肃叶定律,当流体在水平圆管中作层流运动时,体积流量与管子两端的压差的关系为:

$$Q = \pi r^4 (P_1 - P_2) / (8\eta L). \quad (1)$$

式中: Q 为体积流量; P_1 为入口静压; P_2 为出口静压; r 为管路半径; η 为液体绝对黏度; L 为 阻尼段的长度。

可以看出,当其他条件一定时,流量与压差呈线性比例。在稳定流动过程中,流体的流量与压力损失及流体黏度有关^[13-14],即

$$Q = K\Delta P / \eta. \quad (2)$$

式中: ΔP 为流经层流元件产生的静压力差; K 是取决于层流元件(LFE)的几何形状的常数。

根据理性气体状态方程可知,温度和压力对气体的状态有重大影响,为了实现测量结果与标准的统一,必须将实况下的体积流量“标准化”,参考标准温度和压力条件有

$$Q_b = Q \frac{T_s P_a Z_a}{T_a P_s Z_s}. \quad (3)$$

式中: Q_b 为标况下体积流量; Q 为实况下体积流量; T_s 为标准条件下的绝对温度; T_a 为实际条件下的绝对温度; P_a 为实际条件下的绝对压力; P_s 为标准条件下的绝对压力; Z_a 为实际测量条件下的可压缩性; Z_s 为标准条件下的可压缩性。

$$\text{则: } \bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_0^n Q_b. \quad (4)$$

式中: n 为单位时间内测量的总次数; \bar{Q} 为单位时间内气体体积流量的平均值。

LFE 层流流量传感器 (Laminar flow element, LFE) 采用美国 ALICAT 气体体积流量计,量程为 $0 \sim 50 \text{ cm}^3/\text{min}$,测试精度为 $\pm (0.8\% \text{ rgd} + 0.2\% \text{ p. s})$,响应快速,每 10 ms 测得一次瞬时标况气体体积流量。利用单片机系统采集单位时间内所有的数据信号,信号处理转化后输送到上位机管理系统,由计算机管理软件对数据进行处理,求出单位时间内气体体积流量的平均值,与标准流量值对比可判断安全阀的气密性是否合格。也可以根据安全阀密封试验标准工况下气泡体积基本不变的原则,将测得的标况下单位时间内气体体积流量平均值转化为对应的气泡个数的平均数,再与标准气泡值对比,从而判断安全阀的密封性能。

2 下位机数据采集系统

2.1 快拆堵盖结构设计

快拆堵盖是数字化测量模块的重要部件,用于堵住安全阀排气口并将泄露气体导出,为数字流量传感器的测量提供保证。目前各地校验站使用的堵盖结构笨重,操作不便,故课题组对堵盖结构进行优化设计,提出了一种既可满足密封效果又能轻便快拆的堵盖,提高工作效率。

区别于传统的堵盖的螺栓连接固定,新型堵盖采用塞入式安装,即将弹性涨紧块塞入安全阀排气口内部,依靠弹性涨紧块的弹性变形提供摩擦力作为堵盖的压紧力。如图 2 所示,主体结构由支撑架、弹性涨紧块、连接轴、密封垫、大盖板和快速接头构成。为了减轻堵盖的整体质量,所有结构均采用轻质材料。连接轴一端与支撑架螺纹连接,另一端连接密封垫,中间开有通孔用于疏导安全阀排气口处积聚的泄露气体。弹性涨紧块安装在支撑架的侧面槽孔并通过螺栓固定连接,确保弹性涨紧块不会脱落,提高密封的可靠性。

为了增强密封效果,密封垫采用高弹性的软质橡胶材料,并在一侧表面上设有 2 个储液槽,用于储存发泡液体。用发泡液体填充密封垫与安全阀排气口法兰

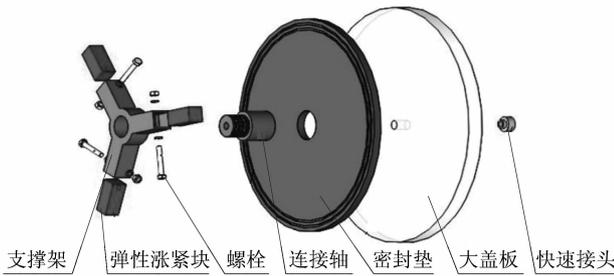


图2 堵盖结构三维图
Figure 2 Three-dimensional graph of plugging structure

的接触面微观上凹凸不平的沟槽,确保密封面无泄漏。此外,在快速接头与大盖板和集漏管接触的外表面涂上发泡液体,一旦有气体泄漏,就会在发泡液体中生成气泡,这样就便于检查,提高密封试验的可靠性。

2.2 单片机数据采集系统设计

下位机数据采集以 AT89C52 单片机为核心控制部件,对 LFE 层流流量传感器的信号进行采集、放大,转化成数字信号后上传给上位机控制系统。单片机数据采集系统主要分为 4 个模块,分别为单片机基本电路、数据采集电路、串口通信电路和 A/D 转化电路。系统的主要功能是信号采集、数据处理和数据输出。单片机数据采集系统原理如图 3 所示,首先将被测信号放大处理,接着通过 A/D 转化将被测信号转换成单片机所能识别的数字信号,并输送给单片机,然后在单片机内部执行测试算法程序,得到与被测参数对应的测量值,完成数据处理,最后通过 RS-232 串口通信将数据处理的结果输出给上位机,由上位机管理系统进行后续的数据存储、显示和生成报告等操作^[15]。

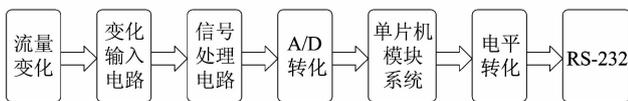


图3 单片机数据采集系统原理图
Figure 3 Schematic diagram of data acquisition system of single-chip microcomputer

3 上位机管理系统设计

上位机管理系统的开发基于 Window 7 操作系统,采用 SQL Server 2008 和 Visual Basic 6.0 作为开发工具,计算机管理系统通过串行口与单片机进行通信,实现数据的发送和接收。上位机管理系统的主功能包括:预先录入试验参数、与下位机通信、实时显示试验

数据、存储试验数据以及生成试验报告。测试界面如图 4 所示。



图4 安全阀密封试验测试界面
Figure 4 Test interface of seal test of safety valve

SQL Server 数据库与 VB 的集成性较好,管理方便灵活。采集到的数据信息分类储存在 SQL Server 数据库的各表格中,计算机管理系统通过网络访问数据库,可以对数据进行更新删除、浏览查询和统计汇总等处理,并通过调用所需数据生成实验报告。

4 实验验证

为了验证自动化安全阀密封检测系统的可靠性,设计对比实验,在常温常压的室内条件下对 3 个安全阀进行密封试验,整定压力分别为 5 MPa(1 号阀),20 MPa(2 号阀)和 30 MPa(3 号阀),流道直径均大于 7.8 mm。分别采用传统试验装置(间接数气泡)和新型自动化检测系统装置(直接测流量)。每个安全阀做 3 组对比实验,每次测量 3 min。

气泡法测量时,每次人工记数 3 min 内所有刚脱离时的气泡个数,并用秒表记录对应的准确时间,从而计算出平均每分钟生成的气泡个数 \bar{N}_1 ,每组重复 3 次。流量法测量时,每次软件记录 3 min 的实测累计流量,计算出平均每分钟标况下的体积流量 \bar{Q} 和每分钟气泡个数的平均值 \bar{N}_2 。并计算新型自动化流量检测法与传统气泡法的相对偏差 δ 。每组重复 3 次。实验结果如表 1 所示。

$$\bar{N}_2 = \frac{\bar{Q}}{\bar{V}_b}, \tag{5}$$

$$\delta = \frac{\bar{N}_2 - \bar{N}_1}{\bar{N}_1} \times 100\%。 \tag{6}$$

式中: \bar{V}_b 为平均气泡的体积。根据每个阀的型号规格,查询标准可知 1~3 号阀的每分钟最大允许泄漏量分别为 5.9 cm³(20 个气泡),18 cm³(60 个气泡)和 29.9 cm³(100 个气泡),故可计算出对应的 \bar{V}_b 分别为 0.295,0.3 和 0.299 cm³/个。

表1 传统装置与新型装置试验结果对比

Table 1 Comparison of experimental results between traditional and new devices

实验组别	气泡法	自动化流量检测法		相对偏差 $\delta/\%$
	每分钟平均气泡数 \bar{N}_1	平均体积流量 $\bar{Q}/(\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1})$	每分钟平均气泡数 \bar{N}_2	
I	10.81	3.16	10.71	-0.93
	10.82	3.17	10.75	-0.65
	10.82	3.17	10.75	-0.65
II	59.33	17.69	58.97	-0.61
	59.40	17.67	58.90	-0.84
	59.36	17.68	58.93	-0.72
III	80.27	24.10	80.60	0.41
	80.30	24.11	80.64	0.42
	80.29	24.13	80.70	0.51

从表1的数据结果可以看出,标准中规定的常温常压下最大允许泄漏气体量 $5.9 \sim 29.9 \text{ cm}^3/\text{min}$, 对应的气泡体积波动幅度为 1.7% , 几乎稳定不变, 故可以近似认为气泡数与气泡流量成正比关系。此外通过实验对比, 发现新型自动化安全阀密封检测系统的测试结果与传统数气泡的测试结果的偏差小于 $\pm 1\%$, 说明设计的安全阀密封试验自动化检测系统的可靠性较高。

5 结语

1) 课题组提出的安全阀密封试验数字化系统使用流量传感器技术可以直接测量单位时间内安全阀的泄露气体的体积流量, 并转化为标况下数值, 消除了不同工况条件对测量精度的影响。与传统气泡法的测试结果的偏差小于 $\pm 1\%$, 可靠性较高。

2) 结合微机自动控制和计算机技术, 使得数据采集和报告分析自动化、智能化、无纸化, 减少了人工误差, 大大提高安全阀密封试验的工作效率。

3) 研发了一种新型的快拆堵盖, 不仅轻质、操作方便, 而且密封效果好, 能够快速检查泄漏点, 提高了

密封试验操作的准确性, 保证了测试的精确度。

参考文献:

- [1] 中国机械工业联合会. 安全阀安全技术监察规程: TSG ZF001—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 12.
- [2] 中国机械工业联合会. 弹簧直接载荷式安全阀: GB/T 12243—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 8.
- [3] 孙琦, 谢青延, 谢常欢. 一种安全阀密封结构: CN203847782U [P]. 2014-09-24.
- [4] 姚海龙, 华岩, 王川岁, 等. 一种安全阀密封试验方法: CN105021361A [P]. 2015-11-04.
- [5] American Petroleum Institute. Seat Tightness of Pressure Relief Valves: API STD527 [S]. Washington, DC: API Publishing Services, 2014: 1-5.
- [6] International Organization for Standardization. Safety devices for protection against excessive pressure Part 1: Safety valves: ISO 4126—1 [S]. Zurich, Switzerland: ISO Publishing Services, 2016: 13-14.
- [7] American Society of Mechanical Engineers. Pressure Relief Devices: ASME PTC25 [S]. New York: ASME Publishing Services, 2014: 61.
- [8] 吴暄, 李铁, 袁竹林, 等. 静止液体中顶部浸没管口处气泡形成的数值预测[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2008, 38(1): 86-91.
- [9] VECER M, LESTINSKY P, WICHTERLE K, et al. On bubble rising in countercurrent flow [J]. International journal of chemical reactor engineering, 2012, 10(1): 1515-1542.
- [10] SCARGIALI F, BUSCIGLIO A, GRISAFI F, et al. Bubble formation at variously inclined nozzles [J]. Chemical engineering & technology, 2014, 37(9): 1507-1514.
- [11] 丁跃文, 张亚新, 徐小姿. 液体中气泡生成影响因素的试验研究 [J]. 流体机械, 2016, 44(7): 9-13.
- [12] LOU Xukun, YANG Guoqiang, LEE D J. Single bubble formation in high pressure liquid—solid suspensions [J]. Powder technology, 1998, 100(2): 103-112.
- [13] 梁国伟, 蔡武昌. 流量测量技术及仪表[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 15.
- [14] 浙江省计量测试技术研究所. 气体层流流量传感器: JJG 736—2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 6.
- [15] 谭翠兰, 刘慧琳, 王运斌. 基于 PCI8602 的压力传感器测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(8): 2676-2678.

