

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.02.014

新型低温阀门性能测试系统

田园, 张敏良, 汲德安, 王荣

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要:针对目前国内低温阀门性能测试系统存在测试精度低、自动化程度低、低温介质消耗量大等缺点,提出了基于先进测试技术的新型低温阀门性能自动检测系统和检测方法,介绍了其工作原理;设计了基于闭环反馈控制的阀杆开关性能自动操作机构;采用现代控制技术,设计了深冷箱自动开关压紧机构;设计了基于光电原理的光电气泡计数器。应用结果表明,该系统不仅具有测试精度高、自动化程度高等特点,而且可有效减少低温介质消耗量,提高测试过程的安全性。

关键词:低温阀门;测试系统;循环反馈控制;智能化

中图分类号:TB657.3;TP211.3

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)02-0057-05

New Type of Cryogenic Valves' Performance Test System

TIAN Yuan, ZHANG Minliang, JI Dean, WANG Rong

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: According to the shortcomings of domestic cryogenic valve performance test system at the present time, such as low test precision, low degree of automation and high cryogenic medium consumption, a detailed description of a new type of cryogenic valves' performance automatic test system and test method was introduced, which was based on the advanced test technology. It put forward the mechanism of automatic operation of valve stem based on the closed loop feedback control. The mechanism of cover automatic operation was designed based on modern control technology and photoelectric bubble counter. Application results show that the system not only has a high testing precision and high degree of automation, and it can reduce the cryogenic medium consumption effectively and improve the safety of the testing process.

Key words: cryogenic valve; test system; closed loop feedback control; intelligence

低温阀门一般指工作温度在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的阀门。由于其工作温度的特殊性,低温阀门在检测过程中除了要满足常规通用阀门的检测标准外,还要进行低温性能测试。测试的主要任务是检验阀门在低温工作环境中的启闭性能和气密性等。因此,测试系统非常重要,它决定了测试结果的正确性和可靠性。随着测试技术的发展,低温阀门性能测试系统越来越凸显高精度、自动化、智能化和信息化。目前,我国阀门制造行业规模上已经处在国际前列,是阀门制造大国,但在阀门生产技术水平上比发达国家落后,特别是低温阀门还存在较大差距。应用在航天、石油天然气等行业的低温阀门绝大部分仍然依靠进口。所以,提高低温阀

门的制造水平,大力发展自主研发的新型低温阀门性能自动测试系统有着十分重要的意义^[1-2]。

1 低温阀门测试及其系统

低温阀门测试方法常用有浸渍法和保冷法。浸渍法又称外部冷却法,即在深冷箱中注入液氮,随后放入低温阀门,冷却至测试温度后开始测试。保冷法也称内部冷却法,即将液氮通入低温阀门内部,使其冷却至测试温度后放掉液氮,然后进行测试。

一般来讲,欧美阀门行业多采用常用浸渍法(如图1),测试温度范围为 $-196\sim-50\text{ }^{\circ}\text{C}$,以阀门标准BS6364-1984(R1998)作为测试依据,主要适用于球阀、闸阀和截止阀等。

收稿日期:2014-10-19;修回日期:2014-11-13

基金项目:上海市教委产学研项目(12QY21)

作者简介:田园(1989),男,河南洛阳人,硕士研究生,主要研究方向为低温阀门检测与制造。E-mail:ttty_1989@126.com

日本阀门行业的低温阀门测试系统一般采用浸渍法和保冷法(如图2)2种方式。浸渍法低温试验系统主要适用于截止阀、止回阀和闸阀。

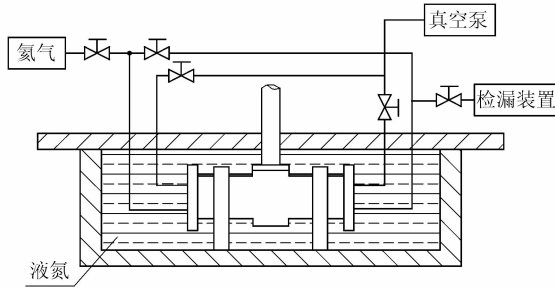


图1 浸渍法低温测试原理图

Figure 1 Schematic diagram of cryogenic test of impregnation method

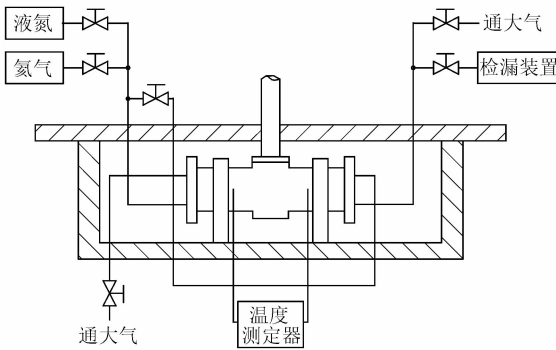


图2 保冷法低温测试原理图

Figure 2 Schematic diagram of cryogenic test of cold insulation method

我国阀门行业主要采用浸渍法,JB/T 7749-1995《低温阀门技术条件》中规定了相关测试流程及标准,主要适用于球阀、蝶阀和闸阀,测试温度范围-196~-40℃。

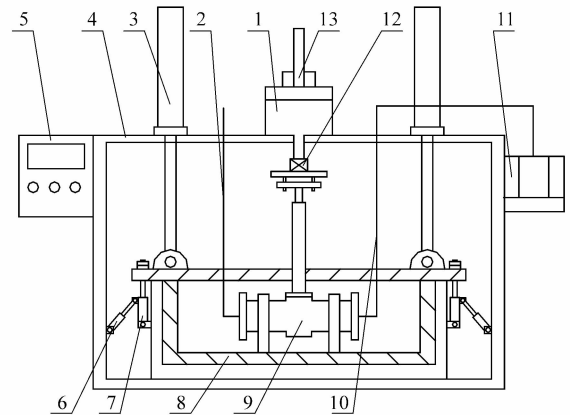
相比而言,浸渍法冷却速度较快,效果更好,因此应用更为广泛^[3-7]。

2 新型低温阀门性能测试系统设计

2.1 新型低温阀门性能测试系统组成及工作原理

随着计算机技术、光电技术、控制技术的迅速发展,传统的低温阀门性能自动测试系统的工作效率已明显不足。通过新技术在测试系统中的应用,可以显著提高系统的效率与准确度,减少测试时人力、物力的消耗。针对传统测试系统在使用过程中的某些缺陷,设计了新型低温阀门性能自动测试系统(如图3)。

系统的工作原理是采用氦气作为内测试气体,深冷箱中采用液氮作为低温环境介质。深冷箱内可调式



1—升降式减速机;2—进气管路;3—上盖提升压紧气缸;4—机架;5—计算机控制系统;6—锁紧位置移动气缸;7—上盖锁紧气缸;8—深冷箱;9—试验用阀;10—出气管路;11—光电气泡计数器;12—扭矩传感器;13—电机编码器

图3 新型低温阀门性能自动测试系统结构简图

Figure 3 Structure of a new cryogenic valve performance automatic test system

阀门安装座可以通过局部调整和配件调换方式固定多种系列低温阀门。深冷箱盖的空气置换、低温液体的进出、开启和密封、阀门的开启均由计算机控制机械装置自动操作。测试信号的采集、处理、控制及输出均由计算机进行处理。在低温(-196℃)环境下,对多种系列低温阀门的内外密封、操作力矩、螺栓预紧力、阀门材料性能的相关参数以及阀门密封(包括上密封和阀门内密封)的操作寿命性能参数进行动态检测,在测试工作中实现测试操作的自动化、智能化,为低温阀门测试提供先进的解决方案(如图4)。

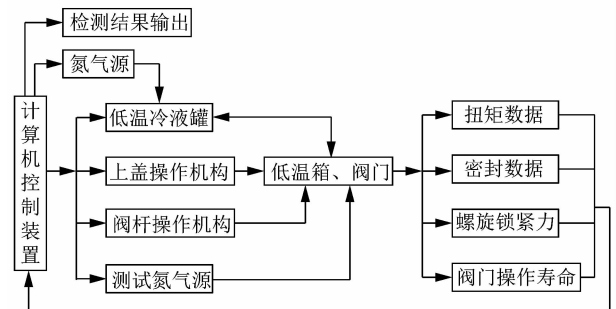


图4 新型低温阀门性能自动测试系统原理图

Figure 4 Schematic diagram of a new type of cryogenic valve's performance automatic test

2.2 阀杆开关性能自动操作机构设计

阀杆开关性能自动操作机构主要由升降式减速机、驱动电机、电机编码器、电机驱动器、扭矩传感器及计算机控制系统组成(如图5)。

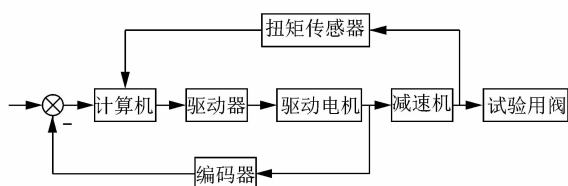


图5 阀杆开关性能自动操作机构控制原理图

Figure 5 Schematic diagram of mechanism operation of valve stem

1) 工作原理

采用升降式减速机自动操作阀杆的开关,并在升降式减速机驱动电机上安装电机编码器,编码器实时反馈驱动电机转角位置信号给计算机控制系统中的PLC,由PLC按照预先设定参数发送脉冲指令到驱动器,驱动器控制电机启停,达到精确控制阀杆动作的目的^[8-9]。同时,在输出轴上安装扭矩传感器,采集到的扭矩信号通过处理电路以电压或电流模拟信号频率输出到计算机进行处理,实现在阀门开启全过程中精确测量阀门开启力矩,并将结果保存在计算机中。当开启力矩超过许用值时,系统可以自动停机并报警。系统在操作过程中也可根据阀门的型号调整输出轴的长度以适应阀门型号的要求,同时可以根据阀门阀杆旋转过程中的长度变化进行跟踪调整,可以自动启闭阀门,测试阀门的启闭力矩,进行阀门启闭寿命测试。

2) 驱动电机参数计算

以阀门许用扭矩与测试要求的转速为依据,通过设计计算,确定驱动电机功率。

由

$$T = 9550 \frac{P\eta}{n} \geq K[T_N] \quad (1)$$

得

$$P \geq \frac{K[T_N]n}{9550\eta} \quad (2)$$

式中: T ——减速机输出扭矩/ $N \cdot m$,

T_N ——阀门许用扭矩/ $N \cdot m$,

P ——驱动电机功率/ kW ,

n ——阀门转速/ $(r \cdot \min^{-1})$,

η ——传动效率,一般取0.8~0.95,

K ——安全系数,一般取1~1.5。

考虑到测试时阀门要求转速不高,所以选取较低转速电机,再根据测试阀门转速,确定减速比范围,进而确定升降式减速机型号。

3) 扭矩传感器的选择与安装^[10]

一般低温阀门启闭扭矩范围在100~1200 $N \cdot m$

之间,按照测试阀门许用启闭扭矩的大小来选择标准量程的扭矩传感器。扭矩传感器采用垂直安装方式,两端分别连接升降式减速机伸出轴和阀杆操纵轴。扭矩传感器的常用连接方式有弹性柱销联轴器连接和刚性联轴器连接。弹性柱销联轴器连接方式结构简单,加工容易,维护方便,能够微量补偿安装误差造成的轴的相对偏移,同时能起到轻微减振的作用,适用于中等载荷、起动频繁的高低速运转场合。刚性联轴器连接形式结构简单,成本低,无补偿性能,不能缓冲减振,对两轴的安装精度要求较高,用于振动很小的工况条件。综合考虑阀门测试系统的工况条件,扭矩传感器应采用弹性柱销联轴器连接,达到工作稳定性好、抗干扰性强、精确测量阀门启闭扭矩和动态扭矩的目的。

2.3 深冷箱自动开关压紧机构设计^[11-13]

深冷箱自动开关压紧机构主要由上盖提升压紧气缸、上盖锁紧气缸、锁紧位置移动气缸和计算机控制系统组成。

1) 工作原理

深冷箱自动开关压紧机构是在深冷箱侧面和机架之间安装锁紧位置移动气缸和上盖锁紧气缸。在上盖和机架之间安装上盖提升压紧气缸。上盖在计算机控制下由上盖提升压紧气缸实现升起和关闭,并配合上盖锁紧气缸,2组气缸联动,实现上盖的密封压紧。

2) 气缸缸径计算

①上盖提升压紧气缸缸径计算

依深冷箱上盖提升工况可得

$$2F = KG \quad (3)$$

$$F = \frac{KG}{2} \quad (4)$$

式中: F ——气缸输出力/ N ,

G ——深冷箱上盖重量/ N ,

K ——安全系数,一般取1~1.5。

又由气缸理论计算公式

$$F = p_1 A \eta, \quad (5)$$

而 $A = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_1^2)$,

可得

$$D_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi p_1 \eta} + d_1^2}. \quad (6)$$

式中: F ——气缸提升力/ N ,

p_1 ——气缸工作压力/ MPa ,

A ——活塞有效作用面积/ mm^2 ,

D_1 ——气缸缸径/ mm ,

d_1 ——活塞杆直径/mm,
 η ——气缸效率,一般取 0.7 ~ 0.95。

一般取 $d_1/D_1 = 0.2 \sim 0.3$, 代入(6)式, 计算出气缸的直径 D_1 后, 按标准值圆整, 再选择标准系列中相近的缸径值。

②上盖锁紧气缸缸径计算

依深冷箱上盖压紧工况可得

$$2\eta(F_1 + F_2) + G = KpS_1 \quad (7)$$

即

$$\frac{\eta\pi}{2}[p_1D_1^2 + p_2(D_2^2 - d_2^2)] + G = KpS_1 \quad (8)$$

得

$$D_2 = \sqrt{\frac{2(KpS_1 - G) - \eta\pi p_1 D_1^2}{\eta\pi p_2} + d_2^2} \quad (9)$$

式中: F_1 ——上盖提升压紧气缸压紧力/N,
 F_2 ——上盖锁紧气缸锁紧力/N,
 p_1 ——上盖提升压紧气缸工作压力/MPa,
 p_2 ——上盖锁紧气缸工作压力/MPa,
 p ——低温介质气化压力/MPa,
 S_1 ——上盖密封面积/mm²,
 D_1 ——上盖提升压紧气缸缸径/mm,
 D_2 ——上盖锁紧气缸缸径/mm,
 d_2 ——上盖锁紧气缸活塞杆径/mm。

仿照上步取 $d_2/D_2 = 0.2 \sim 0.3$ 代入, 其余参数均已知。计算并圆整缸径, 按标准系列选取。

3) 工作参数计算

气缸耗气量是指气缸作往复运动时所消耗的压缩空气量。耗气量的大小与气缸性能无关, 但它是设计选择气源系统的重要依据。

①气缸最大耗气量计算。气缸最大耗气量是指气缸活塞完成一次行程所需的耗气量。

$$Q_{\max} = 0.047 \times D^2 \times S \times [(p_0 + 0.1)/0.1] \times 1/t \quad (10)$$

式中: Q_{\max} ——最大耗气量/(L · min⁻¹),
 D ——缸径/cm,
 S ——气缸行程/cm,
 t ——气缸一次夹紧(或松开)动作时间/s,
 p_0 ——气缸工作压力/MPa。

②气缸平均耗气量计算。气缸平均耗气量是指气缸在一个工作循环周期内所需的耗气量。

$$Q_{\text{平均}} = t \times Q_{\max} / T \quad (11)$$

式中: $Q_{\text{平均}}$ ——平均耗气量/(L · min⁻¹),
 t ——气缸一次夹紧(或松开)动作时间/s,

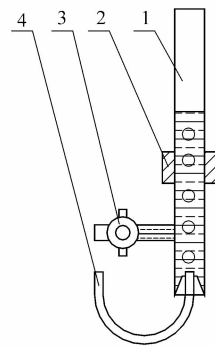
Q_{\max} ——最大耗气量/(L · min⁻¹),
 T ——循环周期/s。

深冷箱自动开关压紧机构利用气缸提升和压紧深冷箱上盖, 降低了人工劳动强度, 同时工作稳定性好, 自动化程度高, 并保证了深冷箱的密封效果。

2.4 泄漏量检测装置设计

气泡检测是低温阀门泄漏量的主要检测方式。随着光电技术的发展, 出现了一种基于光电技术的低温阀门泄漏量检测的光电气泡计数器。它主要由光电检测单元、水位调节阀、进气管、玻璃管等组成(如图6)。它的核心部件是光电检测单元, 利用玻璃管内水柱中有气泡通过时, 它的透光率会显著变化这一原理来计数^[14]。

光电检测单元是由 LED、透光孔、硅光电池组成。其中, LED 通过常规电源供电。当没有气泡通过玻璃管时, 硅光电池输出稳定电压值。当有气泡通过时, 水柱透光率改变, 硅光电池受光量变化, 使其输出电压波动。电压信号被计算机数据采集系统接收。若电压变化超过预定值, 程序自动计数, 同时计算相应泄漏率及累积泄漏量。这些结果会在人机界面显示, 同时保存在计算机中。



1—玻璃管;2—光电检测单元;3—水位调节阀;4—进气管

图6 光电气泡计数器结构图

Figure 6 Structure diagram of photoelectric bubble counter

相关试验通过改变通气管长度及进气位置, 气泡产生速率来模拟实际操作情形, 进一步验证光电气泡计数器的性能, 均取得了满意的结果^[15]。

光电气泡计数器具有结构紧凑、成本较低、检测准确、自动化程度高等优点。它正被越来越多地应用于低温阀门性能检测系统中, 使系统检测效率与准确度大大提高。

(下转第 64 页)

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.02.015

基于PID与模糊控制的切削加工过程双模控制

宋晓华

(衢州学院 机械工程学院, 浙江 衢州 324000)

摘要:为了克服在切削加工过程中单一的控制策略建立的控制系统性能不理想的情况,采用了多个系统并联的切削加工过程模型。结合了PID控制和模糊控制两者各自的优点,设计实现了对切削加工过程的双模控制。利用MATLAB对该控制策略进行响应仿真并调试参数,求解出了较优的基于PID控制与模糊控制的切削加工过程双模控制的控制器,有效地提升了对切削加工系统的控制性能。

关键词:控制器;双模控制;MATLAB软件;PID控制;模糊控制

中图分类号:TP273.4 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)02-0061-04

Dual-Mode Control of Machining Process Based on PID Control and Fuzzy Control

SONG Xiaohua

(College of Mechanical Engineering, Quzhou University, Quzhou, Zhejiang 324000, China)

Abstract: In order to overcome the poor performance of the control systems established by single control strategy in the cutting process, a cutting process model of multiple systems in parallel was adopted. A dual-mode controller was designed based on combining the advantages PID control and fuzzy control. MATLAB software was used to simulate the system response of the control strategy and to optimize the parameters. An optimum cutting process controller of the dual-mode control strategy is obtained and the control performance of the system is effectively enhanced.

Key words: controller; dual-mode control; MATLAB software; PID control; fuzzy control

加工过程控制的发展是与控制理论、仪表、计算机以及有关学科的发展紧密相关的^[1]。PID控制策略不仅算法不复杂,而且鲁棒性良好,是控制论发展早期重点研究的控制策略。现在PID算法已经发展的比较成熟,而且随着计算机的大量使用,PID算法的参数调整更加灵活方便,使得PID控制被广泛应用于切削加工过程控制中。在对切削加工过程控制的要求越来越高的今天,经过国内外学者的研究探索,PID控制又得到了进一步的发展,产生了许多以之为基础的新的控制算法,例如模糊PID控制、自适应PID控制、智能PID控制等等^[2]。

模糊理论的加工过程控制是基于模糊集合论和模糊逻辑推理等模糊数学的理论基础的一种控制策略^[3]。模糊控制作为这几年来发展迅速的一种计算机控制方法,其本质是基于执行对模糊规则的控制,它

是一种对控制对象数学模型的精确建立要求并不高的智能控制方法,尤其在对不确定系统和非线性系统的加工过程控制中表现出色。

1 建立加工模型

图1所示是最为常见的切削加工过程的模型,伺服机构、切削过程以及测力反馈是基本的切削加工过程最重要的几个环节^[4]。

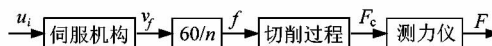


图1 切削加工过程模型框图

Figure 1 Model diagram of cutting process

其中 n 为主轴转速/($r \cdot \min^{-1}$)。

伺服环节可以用一个二阶系统来表示:

收稿日期:2014-09-23;修回日期:2014-11-24

作者简介:宋晓华(1973),男,浙江衢州人,硕士,副教授,主要研究方向为机械设计制造及自动化。E-mail:290053590@qq.com