

基于 LabVIEW 的控制阀性能测试 评估系统设计

汪凯斌, 尚群立, 李鹏飞, 倪佳琪

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 控制阀在工业控制领域扮演十分重要的角色, 但目前国内对控制阀性能测试评估系统的研究十分薄弱, 并且常规的仪器仪表很难精确测试控制阀的性能; 针对这种情况, 基于 NI compactRIO 硬件、各类传感器以及 LabVIEW 软件开发设计了一套控制阀性能测试评估系统, 该系统能实时检测、采集处理数据, 能够把阀门性能测试过程中的数据自动保存与分析处理, 实现了控制阀的在线测试和功能评估, 并且可将控制阀各项性能指标评估结果汇集于一张类似体检单的报表显示, 给阀门厂商的出厂测试、维修检测以及日常维护提供参考依据; 采用该系统对某公司的直通气开式薄膜调节阀 S9044 进行了性能测试评估, 实验结果表明, 该系统能够全面、精确地测试出调节阀的各项性能指标, 且系统软件交互界面良好、扩展性强、精度高。

关键词: 控制阀; 性能评估; LabVIEW; 性能测试

Development of Performance Test and Evaluation System of Control Valve

Wang Kaibing, Shang Qunli, Li Pengfei, Ni Jiaqi

(College of Information Engineering, Zhejiang Industry University, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The control valve is very important in the field of industrial control, however the research on the control valve performance testing and evaluation system is very weak at present. It is very difficult to measure the performance of the control valve accurately by conventional instruments. In view of this situation, this paper has developed a control valve performance test and evaluation system based on NI CompactRIO hardware, various sensors and LabVIEW software, the system can test and evaluate the function of control valves on-line, and can collect the results of the performance evaluation of the control valve in a real-time display similar to the medical report, providing a reference to the valve manufacturer's factory testing, maintenance testing and routine maintenance. Using this system, the performance test and evaluation of a company's direct air open film regulator S9044 were carried out. Experimental results show that the system can fully and accurately test the performance indicators of the control valve, at the same time, the system has a good interactive interface, strong expansibility, and high precision.

Keywords: control valve; performance evaluation; LabVIEW; performance test

0 引言

控制阀是工业过程控制系统中的终端执行部件, 经常工作在高温/低温、高压工况条件下, 或经常与腐蚀、强冲刷等工艺介质直接接触, 并且其机械部分运动频繁, 会导致应力损坏或产生磨损, 从而最容易发生故障或性能下降^[1]。因此, 需要对调节阀进行定期保养和检修, 但是通常的检修方法是对所有的阀进行解体检查更换损耗部件, 但这种方式把性能良好的阀也进行了解体, 耗费了大量不必要的时间。故能够开发一套诊断设备去评估调节阀的性能, 进行选择性的维修, 具有重要的意义。近年来, 全球不少控制阀生产厂商已经对控制阀的维护做出了很多研究, 并且已经研发出了一系列的控制阀诊断软件和具有自诊断功能的智能定位器^[2]。例如: EMERSON—Fisher 公司的 FIELDVUE 系列诊断软件, 能够利用斜坡信号测试控制阀性能, 利用阶跃响应测试分析控制阀超调量、迟滞性、死

区时间等, 并且可以检测到控制阀的运动趋势, 用红/黄/绿进行故障报警。Masoneilan 公司的 Valvue 诊断软件, 通过数字定位器收集压力传感器的数据, 来判断该阀门是否出现磨损, 以及判断执行机构行程是否受阻。以上介绍的无疑是当今较为先进的控制阀性能测试与评估系统, 是理论发展和实际生产结合的产物, 是国内相应的设备厂家模仿学习的标榜^[3]。

国内的工业水平较国外还有很大差距, 加上国外对关键技术的保密和垄断, 使得国内的阀门性能评估和故障诊断系统的发展举步维艰, 国内的各大公司也陆续在控制阀性能评估和故障诊断系统中相应的贡献^[3-5]。该文研究开发了一套控制阀性能评估系统, 使用该系统可以将控制阀性能指标以一张类似体检单的报表打印出来, 给阀门生产厂家的出厂测试、阀门维修厂家的维修检测和控制阀使用客户的日常维护提供参考依据。

1 实验平台描述

在测试控制阀之前需要对控制阀构建一个模拟的工况下的环境, 使控制阀测试所得的结果与工厂运行时的状况一致, 需要设计流体管道使流体能够流经控制阀, 并能够控制阀前后的压差。

在整个诊断测试过程中, 不仅要控制阀本身进行测试, 还需要对相关附件的输出信号进行采集, 因此还需要构建流体

收稿日期: 2016-12-15; 修回日期: 2017-02-13。

基金项目: 国家自然科学基金项目(61174108)。

作者简介: 汪凯斌(1992-), 男, 浙江嘉兴人, 硕士研究生, 主要从事控制阀定位控制算法方向的研究。

尚群立(1964-), 男, 陕西咸阳人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事调节阀所在系统的理论与应用方向的研究。

流通环境的管道、储水罐和水泵等，具体的实验平台原理图，如下图 1 所示。该实验台架主要包括水路管道，气路管道，电路管道，并且可模仿工业中经常出现的常规工况，可模拟故障以及温度变化等环境。

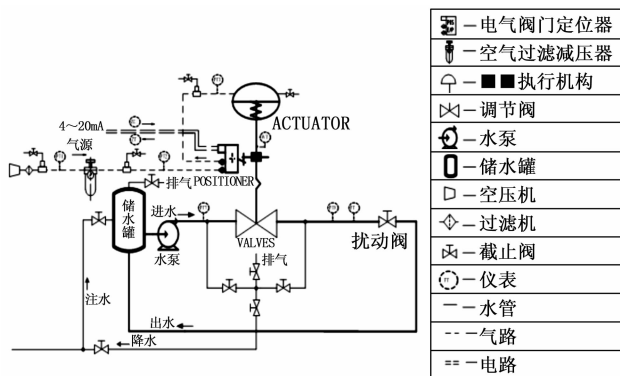


图 1 实验台架原理图

2 性能评估系统组成

2.1 性能评估系统总体描述

控制阀性能测试评估系统装置由被测控制阀、传感器部分、NI 采集模块部分、智能定位器阀位变送模块部分、智能定位器信号发送部分和基于 LabVIEW 软件的上位机程序部分组成。它主要针对控制阀的气室、执行机构、阀体以及智能定位器组成的控制系统，通过不同的测试标准对定位器施加特定的激励信号，并且在关键部位嵌入相应的传感器，采集阀位、气室气压、气源气压、应变力等关键参数信息，通过以太网的形式发送给上位机，上位机对数据进行综合分析得出整个控制系统的动态响应参数，主要为动作载荷性能参数、定位控制性能参数和流量调节性能参数。

2.2 性能评估系统硬件组成

系统硬件主要由传感器部分，数据采集部分、上位机部分和工业自动化仪表组成，系统测量数据的精度高低与所使用的传感器精度以及传感器与被测量物件的接触情况密切相关。传感器部分包括阀位变送传感器、压力传感器、流量传感器和应变传感器；数据采集部分包括模拟输入信号模块 NI9203、模拟输出信号模块 NI9265、NI CopmactRIO 9024 机箱和 24 V 供电模块。工业自动化仪表包括压力变送器、压差变送器和流量计。上位机部分主要为开发的 LabVIEW 软件。此软件主要实现发送指令，接收采集数据、分析处理数据、显示等功能。性能评估系统结构图如图 2 所示。

3 性能评估系统软件设计

3.1 软件需求分析

控制阀在出厂、维修和维护过程中需要对控制阀进行一次全面的检测，该检测包含了控制阀各个部位的性能参数包括了执行机构、定位器、阀体这 3 个部分。根据国际和美国仪器协会标准所规定的性能测试方法，主要进行四大类测试，分别为动作载荷性能测试、诊断预测测试、动态响应测试和介质流量测试。在这些检测过程中，需要对控制阀施加激励信号，其中包括斜坡、阶跃、正弦信号以及它们的组合信号。因此诊断软件要去设计合适的激励信号来满足测试的要求。

该软件不仅需要输出控制信号，还需要对阀门测试过程中

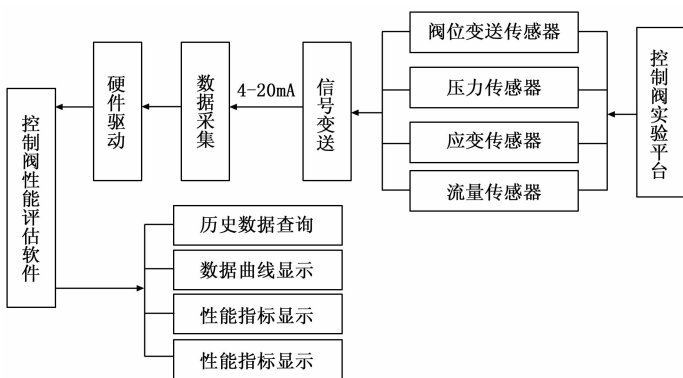


图 2 性能评估系统结构图

的各项参数实时采集以便进行数据分析。在性能评估系统中需要采集气动调节阀的气室气压、应变片压力、阀位信号、气源气压以及发送的控制信号，并且需要将控制阀的各项信号显示在屏幕上，供阀门设计人员、维护人员进行分析。

该软件还需要对阀门测试过程中的实时数据进行处理与分析，得到阀门的各项性能指标，从而使技术人员分析判断该阀是否符合出厂要求，并且还需要把各项性能指标显示在屏幕上，以便设计人员、维护人员查看。

最终需要把测试数据保存下来，并且生成相对应的测试报告，以便日后维护使用。

3.2 整体框架设计

系统采用基于 LabVIEW 的软件开发环境来实现对整个系统的控制。该系统根据不同的测量要求，选择不同的测量信号，利用压力传感器和 NI 模块采集相应的数据，并将采集的数据通过以太网的形式传送到计算机的 LabVIEW 中，经过分析和处理，最终得到控制阀性能评估报表。系统程序设计的主要功能模块为测试信号生成、信号分析、数据保存、数据采集、报表生成、阀门信息参数等。系统设计流程图如图 3 所示。

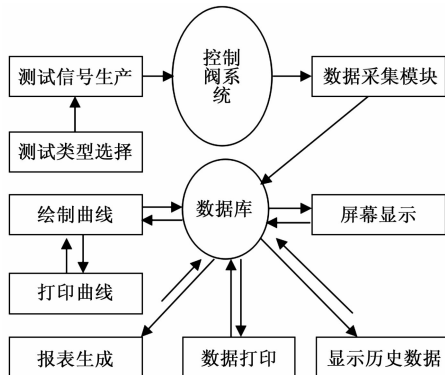


图 3 性能评估系统设计流程图

在测试完成后，需要对测试的数据进行保存以及生成相应的性能报表，以便工程人员查看，该软件使用 TDMS 文件对数据进行保存。TDMS 文件是一种数据库管理系统，它以二进制方式存储数据，具有文件小，存储速度快的特点，可以满足大多数数据采集系统的需求。利用 TDMS 历史文件重新导入该系统中，则可以显示该调节阀的性能参数和历史数据^[6-7]。TDMS 历史查询程序设计如图 4 所示。该 TDMS 文件

可通过历史查询模块, 重新获取测试的数据, 采集通道的数据可使用波形图来显示在历史曲线之中。该程序可读取多个 TDMS 文件, 可将多个不同的测试情况显示在在同一波形图之中, 方便测试员进行观察, 找出不同之处和问题所在, 并且可根据需要将两个采集通道的数组进行 XY 轴对比。

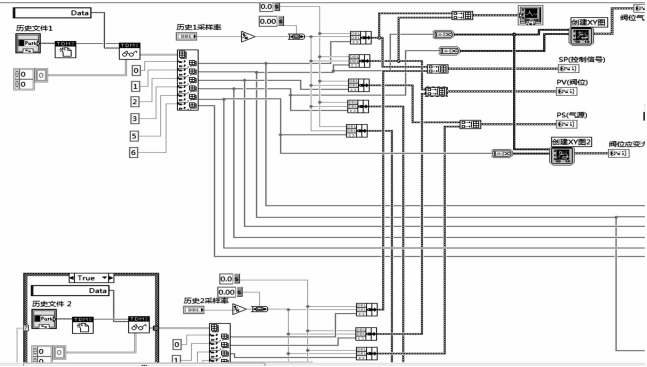


图 4 TDMS 历史查询程序框图

性能报表的输出格式为 word 文档, 该文档中包括所有测试项目的信息、性能指标以及关键的历史数据。测试报表程序设计如图 5 所示。该程序使用的是 LabVIEW 中自带报表生成工具, 报表的输出数据格式为字符串类型, 该报表中可以显示生成该测试报告的日期与时间, 以便测试人员进行追溯, 且可添加波形图至报表中, 以作为日后技术人员的参考。当需要测试报表时, 只需点亮生成报表的指示灯和指定保存路径, 在完成阀门测试的各个项目后, 将自动生成完整的测试报告。

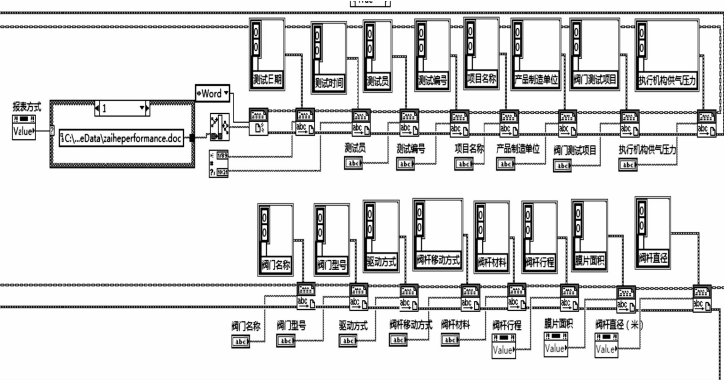


图 5 测试报告生成程序框图

4 控制阀性能测试与评估

4.1 测试与评估方法

对于气动调节阀的测试主要针对的是定位控制性能与动作载荷性能, 主要包括上升时间、调节时间、超调量、弹簧弹力、阀座的密封力以及流体介质所产生的力等。调节阀的测试与评估主要目的是确定该调节阀是否与其设计要求相符以及在其使用过程中其性能退化的情况。通常, 气动调节阀的测试主要为静态测试和动态测试两种。

静态测试: 所谓静态测试, 是指测量阀门的信息特征参数而设计的一种最简单的测试方法, 它在管道中没有流体和压差的情况下进行, 因此无法表征阀门在介质流动的情况下对其阀芯所造成不平衡力的情况。它需要阀门诊断设备与阀门传感器共同使用对测试数据记录并分析。它可以检测出阀门在使用中

的损耗和机械故障。

动态测试: 动态测试相比静态测试较为复杂, 它是模拟阀门在实际运行过程中管道内有流体流动且阀体前后存在压差时的状态信息。它主要是为了测量执行机构在克服流体对阀的反作用力时的执行机构输出的推力情况。因此它除了需要记录静态测试所需要记录的数据之外, 还需要记录阀前后压差, 管道内流体流量等。它比静态测试需要更多的传感器一起配合使用。

4.2 测试与评估步骤

控制阀的性能与评估主要针对的是定位控制性能测试与评估与动作载荷性能与评估, 主要目的是获取控制阀的各项性能指标, 以便技术人员判定此控制阀是否设计合格, 以及是否可以出厂。

其步骤可总结如下:

- 1) 选取测试类型和测试信号, 测试类型为定位控制性能和动作载荷性能, 测试信号主要有阶跃响应测试、响应时间测试、动态响应诊断测试等, 测试信号可通过信号预览查看;
- 2) 按下发送控制信号按键, 波形图将实时显示阀位、气室气压、气源气压、控制信号的响应曲线;
- 3) 性能指标提取, 将根据测试类型自动提取出性能指标;
- 4) 根据国标 GB/T22137.1—2008 标准对性能指标进行评估;
- 5) 自动生成报表, 将按照指定的路径保存报表。

4.3 实验测试与评估

控制阀性能评估系统对某公司的气动薄膜直通气开式调节阀 S9044 进行测试。调节阀的系统参数见表 1。

表 1 S9044 调节阀系统参数表

阀门名称	直行程气开式调节阀	阀门型号	HTS
阀门行程	38 mm	阀门填料	V
供气压力	280 Kpa	弹簧范围	80—240 Kpa
阀体	WCB	阀内件	304
执行机构	HA3R	膜片面积	550 cm ²
流量特性	LCF 线性特性	流通能力	99

系统对 S9044 气动调节阀进行定位控制性能测试、动作载荷性能测试, 通过实时地显示各个变送器的数据可以评估该调节阀的性能。定位控制性能测试结果如表 2 所示, 该性能测试采集控制信号与阀位信号来验证调节阀控制性能是否稳定、快速和准确。性能参数指标主要有延迟时间, 上升时间、调整时间、稳态误差、超调量等, 根据调节阀标准值, 其定位控制效果合格。

表 2 定位控制性能测试结果表

延迟时间 t_d :	0.42 s	上升时间 t_r :	1.44 s
调节时间 t_s :	3.22 s	超调量 $\sigma\%$:	0.25%
稳态误差 $e\%$:	0.07%	ISE 指标	79.60
IAE 指标	9.86	ITSE 指标	33.24

动作载荷性能测试结果如表 3 所示, 此测试是通过采集气室气压、气源气压、阀位信号和应变力来进行性能分析, 从而获得动摩擦力、弹簧刚度、行程、静摩擦力等性能参数。该测试所得到的性能参数, 均符合标准值。

表 3 动作载荷性能测试结果表

测试项目	标准值	测定值	评价
弹簧力下限(KPa)	80	94	合格
弹簧力上限(KPa)	240	240	合格
最大静摩擦力(N)	5000	5372	合格
阀座密封力(N)	≥50	80	合格
死区(%)	≤2	2	合格
延迟时间(s)	≤3	2.4	合格
弹簧刚度(N/m)	231000	212000	合格
实际行程(mm)	38	38	合格
动摩擦力(N)	≤140	120	合格

5 结论

控制阀性能评估系统可以将控制阀性能指标以一张类似体检单的报表打印出来，该系统能够实现控制阀的在线测试和性能评估，并且能够全面、精确的测试出控制阀的性能指标，具有良好的软件交互界面、扩展性强、精度高等特点，给阀门生

(上接第 312)

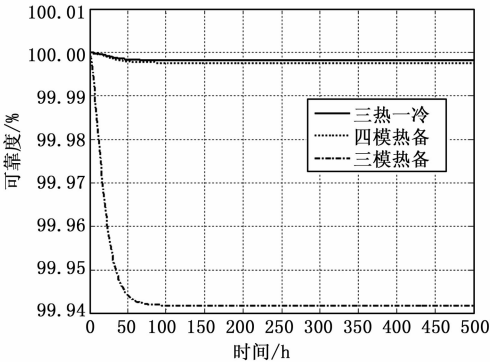


图 7 不同形式表决系统的可靠度比较

实际使用过程中，三热一冷的系统形式始终有一模处于冷的状态，这样对于减小系统功耗是有利的。因此，在四模热备、三热一冷、三模热备这几种形式的表决系统中，三热一冷是最优的。

而对于可重构系统，其修复率不仅取决于硬件结构的设计，同时也取决于可重构系统软件的架构。下表显示了不同修复率情况下，不同系统形式的可靠度变化。

表 1 修复率以及系统构成对系统可靠度的影响

系统形式	修复率 μ	时间/小时		
		1	10	1000
三模冗余	0.1	0.999997197	0.999843619	0.999417814
	0.5	0.999997838	0.999977109	0.999976143
	0.9	0.999998317	0.999992626	0.999992617
四模冗余	0.1	0.999999996	0.999998109	0.999977028
	0.5	0.999999997	0.999999833	0.999999809
	0.9	0.999999997	0.999999967	0.999999967
三热一冷	0.1	0.999999997	0.999998578	0.999982600
	0.5	0.999999997	0.999999874	0.999999856
	0.9	0.999999998	0.999999975	0.999999975

由该表可以看出，如果提升修复率后，各系统形式的可靠

产厂家的出厂测试、阀门维修厂家的维修检测和控制阀使用客户的日常维护提供参考依据。

参考文献：

[1] 明赐东. 控制阀应用 1000 问 [M]. 北京：化学工业出版社，2002.

[2] 丁 峥. 控制阀状态监测与故障诊断 [D]. 杭州：杭州电子科技大学，2015.

[3] 张丙才，刘 琳，高广峰等. 基于 LabVIEW 的数据采集与信号处理 [J]. 仪表技术与传感器，2007 (12)：74-75.

[4] 高 恒. 执行器电一气定位系统建模研究 [D]. 杭州：杭州电子科技大学，2009.

[5] 张 良，柳建华，朱立伟，等. 基于 LabVIEW 的超低温阀门性能测试软件设计 [J]. 低温技术，2001 (12)：10-15.

[6] 田锦明，龚成龙，记林海等. 基于 LabVIEW 的汽车轮速传感器测控系统设计 [J]. 仪表技术与传感器，2010 (6)：21-24.

[7] 杨建波，李 霄，任 佳. 基于 LabVIEW 的起落架落震试验数据分析系统 [J]. 计算机测量与控制，2016 (24)：10-15.

度均有上升。在高修复率的情况下，三模系统的可靠度能达到低修复率的四模系统。这一点说明，对于三模系统，如果重构系统设计完善，对不同故障都能够修复，那么该三模系统的可靠度会比一个设计不合理的四模系统要高。

通过以上分析可以得到如下两点结论：

- 1) 综合考虑系统的可靠度、体积、功耗等因素后，在四模热备、三热一冷、三模热备这几种形式的表决系统中，三热一冷是最优的。
- 2) 对于三模可重构系统，需要设计完善的重构机制，尽量修复不同的故障模式，那么该三模系统的可靠度会比一个设计不合理的四模可重构系统要高。

5 结论

本文针对比较常用的三模冗余、三热一冷以及四模热备这几种冗余可重构计算机的可靠性进行分析。在一定的假设条件下，对比了这几种体系结构的可靠性。结果表明，在综合考虑系统的可靠度、体积、功耗等因素后，在四模热备、三热一冷、三模热备这几种形式的表决系统中，三热一冷是最优的。同时，如果三模可重构系统的重构机制设计完善，修复率较高，那么该三模系统的可靠度会比一个设计不合理的四模可重构系统要高。因此在这几种多模冗余可重构计算机体系结构中，可优先考虑三模冗余结构。如果对可靠性有进一步的要求，可选择三热一冷的结构形式。

参考文献：

[1] Majid Asadi, Ismihan Bayramoglu. The Mean Residual Life Function of a k-out-of-n Structure at the System Level [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2006, 55 (2)：314-317.

[2] 李荣强，姜巍巍，曹德舜. 基于典型冗余结构的安全仪表系统可靠性对比分析 [J]. 安全技术，2015, 15 (8)：11-13.

[3] 张本宏，陆 阳，韩江洪，等. “二乘二取二”冗余系统的可靠性和安全性分析 [J]. 系统仿真学报，2009, 21 (1)：256-261.

[4] 武晓春，高雪娟. 双模冗余一比较系统与三模冗余系统的性能比较 [J]. 自动化与仪器仪表，2012, 164 (6)：169-171.

[5] 陈 州，倪 明. 三模冗余系统的可靠性与安全性分析 [J]. 计算机工程，2012, 38 (14)：239-245.