

# 气动阀性能测试控制系统设计与应用研究

刘剑飞, 许腾飞, 高华颖

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2024年12月11日; 录用日期: 2025年1月5日; 发布日期: 2025年1月15日

## 摘要

为满足工厂气动阀自动化测试需求, 本研究设计了一种基于PLC与触摸屏的五通道气动阀性能测试控制系统。该系统采用RS-232通信, 利用接近开关传感器、温度传感器、压力传感器、电磁阀等组成测试系统执行气动阀性能测试。并在五通道的基础上进行十通道系统扩展, 采用基于RS-485通讯接口的Modbus-RTU协议实现通信, 触摸屏作为主站, PLC控制器作为从站。经Gx Works2、FStudio 2软件仿真测试及实验结果表明, 该控制系统能够实现对气动阀动作时间、密封性、寿命性等参数的测试, 系统稳定测试可执行最大开关频率为50 Hz, 满足气动阀性能的测试需求。

## 关键词

高速电磁阀, 气动阀, 接近开关, PLC, 触摸屏, Modbus

# Design and Application of Pneumatic Valve Performance Test Control System

Jianfei Liu, Tengfei Xu, Huaying Gao

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Dec. 11<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 5<sup>th</sup>, 2025; published: Jan. 15<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

In order to meet the requirements of automatic test of pneumatic valves in factories, a five-channel pneumatic valve performance test control system based on PLC and touch screen is designed in this paper. The system uses RS-232 communication, and uses proximity switch sensor, temperature sensor, pressure sensor, solenoid valve and other test systems to test the performance of pneumatic valves. Based on the five-channel system, the ten-channel system is extended, and the Modbus-RTU protocol based on RS-485 communication interface is adopted to realize communication, with the touch screen as the master station and the PLC controller as the slave station. The simulation test

and experiment results of Gx Works2 and FStudio 2 software show that the control system can realize the test of parameters such as operation time, sealing and life of the pneumatic valve, and the maximum switching frequency of the system stability test can be performed at 50 Hz, which meets the test requirements of the performance of the pneumatic valve.

## Keywords

High Speed Solenoid Valve, Pneumatic Valve, Proximity Switch, PLC, Touch Screen, Modbus

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着智能化和信息化的发展，自动化技术在现代工业生产中的应用日益广泛，各大工厂都追求高效率、高质量的生产模式[1]。气动阀作为现代自动化系统的不可或缺的组成部分，凭借其高效、可靠的性能在工业领域广泛应用。图 1 为某公司的超高精度阀中的气动膜片阀，主要由阀体、阀座、气动执行等组成，气动执行机构通过利用气体压力，实现快速、准确的机械运动，为各类工业过程提供精准的控制和操作。气动执行机构在自动化工业中扮演着重要的角色，而气密性、动作时间、寿命性等是判断其性能的关键指标[2]-[6]。



Figure 1. Pneumatic diaphragm valve

图 1. 气动膜片阀

然而，当前气动阀测试存在显著缺陷。在测试设备方面，部分测试仪器精度不足，导致测量出的动作时间等数据误差较大，无法准确反映气动阀的真实性能。并且测试设备的兼容性差，难以适配多种型号的气动阀，限制了测试的广泛性。在测试参数层面，呈现出单一参数测试的局限性。现阶段的测试往往主要聚焦于动作时间等为数不多的直观参数，而对气动阀的耐久性、密封性、抗干扰能力等重要参数的关注度严重匮乏[7]。仅仅关注动作时间这一参数，极有可能无法及时发现气动阀在长期使用过程中出现的密封性下降问题，这将极大地影响生产过程的稳定性。因此，对气动阀的动作时间、耐久性、密封性等各项参数进行全面测试，对于研究人员来说具有至关重要的意义。

针对气动阀目前存在的自动化测试问题，本文以某公司的气动阀为实例，进行气动阀性能测试控制系统设计与开发工作。其目的在于构建一个具有高度可靠性与卓越高效性的气动阀性能测试控制系统，为工业自动化领域的控制系统提供强有力的支撑与保障。通过该系统，工厂研究人员能够精确地获取气动阀的性能数据，进而为生产流程的优化提供科学依据，大幅提升气动阀的性能。

## 2. 控制系统方案设计

为充分满足工厂对于气动阀自动化性能测试的需求，精心研究设计了一种气动阀性能测试控制系统。该系统通过输出脉冲信号来控制图 2 中的高速电磁阀开关，以此实现对气路通断的精准把控，进而完成对气动阀性能的测试。



Figure 2. High-speed solenoid valve  
图 2. 高速电磁阀

此控制系统的主要测试功能模块涵盖开关测试与保压测试。开关测试是借助输出脉冲信号对高速电磁阀的启闭进行控制，从而调控气路的通断，促使气动阀执行运动。保压测试则采用压力和温度传感器来采集气路的数据信息，以检测气路是否存在泄漏状况。该系统采用模块化设计理念，每个测试单元均能独立运行。为了测量气动阀的动作时间，在控制系统中专门设置有示波器测试通道，通过多通道转换开关可以切换不同通道，以便进行不同通道的气动阀动作时间测试。

由图 3 所示，系统方案图主要由数据采集、控制部分、执行部分三部分组成，系统运用接近开关传感器感应气动阀的动作，通过温度传感器检测气路内的温度变化，借助压力传感器检测气路的压力变化。系统的控制方式分为自动控制、单独通道软手动控制和高速电磁阀手动控制三种。操作人员可根据实际测试情况，灵活选择不同的操作控制方式，从而显著提高工作测试效率。

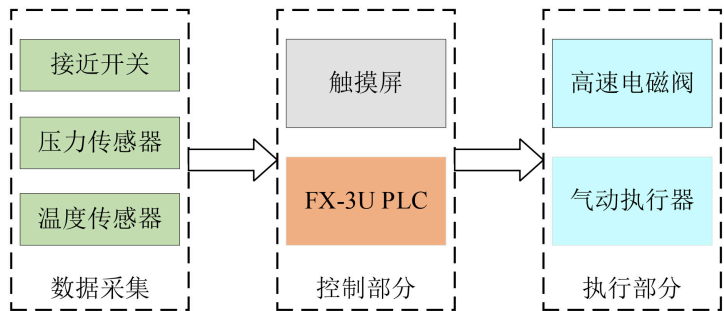


Figure 3. System scheme diagram  
图 3. 系统方案图

## 3. 控制系统的软件设计

### 3.1. PLC 与触摸屏通信

PLC 与触摸屏之间通讯类型采用 RS-232，在 FStudio 2 触摸屏软件中进行主站触摸屏的具体通信设置如下：设置制造商为 Mitsubishi-三菱，设备类型为 Mitsubishi FX3U，通讯类型为 RS232，波特率为 9600，数据位为 7，停止位为 1，校验位为偶校验。

### 3.2. PLC 程序设计

采用三菱 GX Works2 软件进行 PLC 程序编写，它提供了一个良好的使用环境，供用户开发、编辑和监视软件控制。该控制系统流程图如图 4 所示。

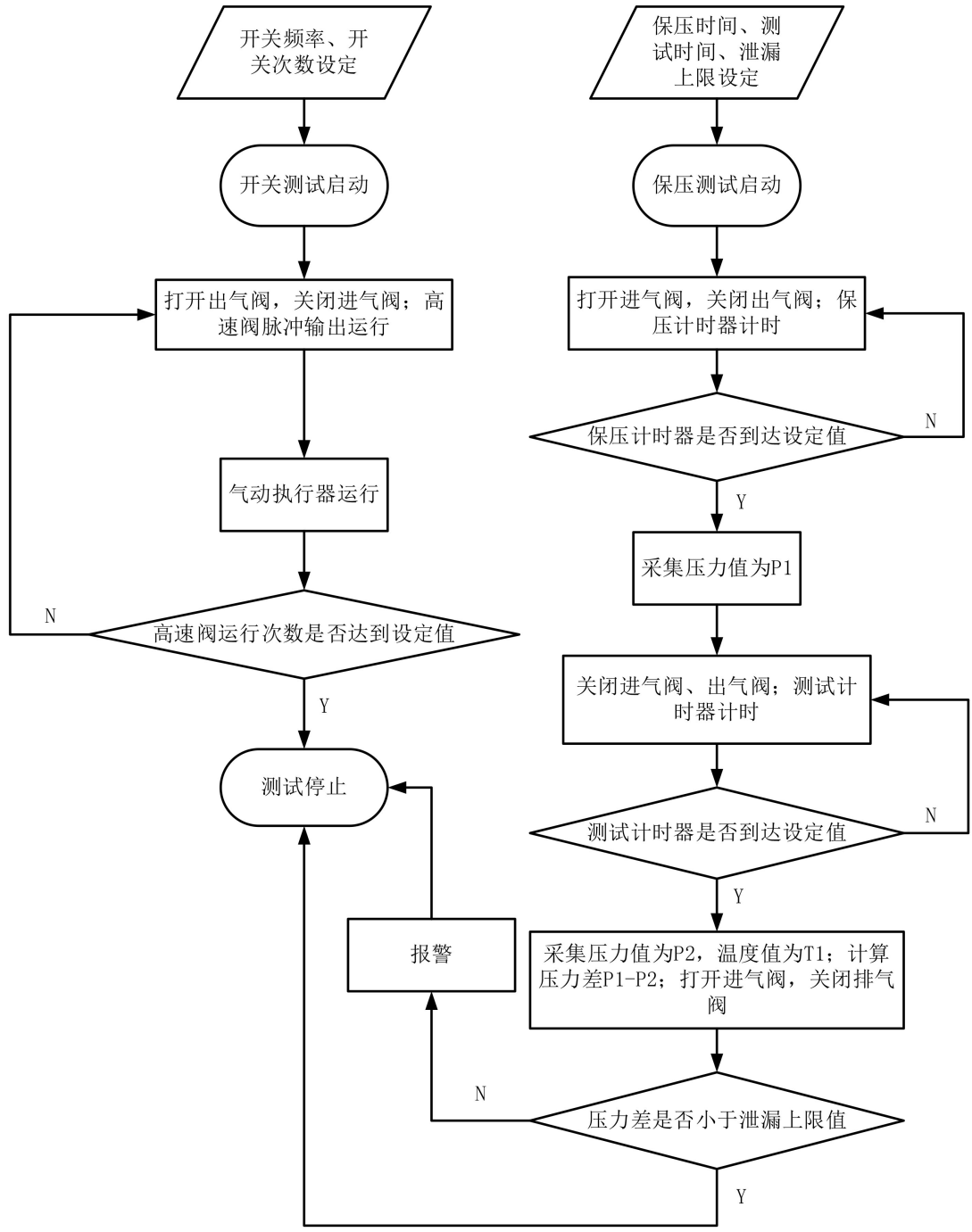


Figure 4. Flow chart of the control system  
图 4. 控制系统流程图

根据元器件种类及功能需求，对 PLC 控制器的端口进行分配，I/O 口地址分配如表 1 所示。

**Table 1.** I/O Address distribution table  
**表 1.** I/O 地址分配表

I/O 地址	功能	I/O 地址	功能
X0-X4	接近开关	Y0-Y4	高速电磁阀
X6	测试停止	Y5	进气电磁阀
X7	开关测试启动	Y6	排气电磁阀
X10	保压测试启动	AD0	压力传感器
--	--	AD1	温度传感器

PLC 程序内部的数据寄存器分配如表 2 所示。Y0-Y4 输出端输出高速脉冲信号，对应输出脉冲信号数据分别存储到 D114、D116、D118、D122、D124 特殊寄存器中；气动阀运动次数的数据分别存储到 C235 至 C239 高速计数器中。D30 数据寄存器用于存放 AD0 采集到的压力值；D40 数据寄存器用于存放 AD1 采集到的温度值。

**Table 2.** Data register allocation table in the program  
**表 2.** 程序中的数据寄存器分配表

数据寄存器	作用
D30	AD0 采样压力实际值
D40	AD1 采样温度实际值
D114	Y0 脉冲输出计数寄存器，32 位
D116	Y1 脉冲输出计数寄存器，32 位
D118	Y2 脉冲输出计数寄存器，32 位
D122	Y3 脉冲输出计数寄存器，32 位
D124	Y4 脉冲输出计数寄存器，32 位
C235-C239	X0-X4 接近开关感应次数计数器，32 位

PLC 程序模块主要有开关测试模块、保压测试模块、AD0 压力传感器采集模块、AD1 温度传感器采集模块、测试停止控制模块、数据存储模块、手动控制模块、手动清零模块。根据系统设计需求，通过不同的控制开关可实现高速电磁阀的脉冲输出、点动输出等基本功能；通过不同的指示灯显示不同通道的运行状态；各个程序模块运行相对独立。

该系统程序采用模块化设计，每个单元独立运作，易于扩展和维护。新的测试模块或传感器采集模块可方便地集成到系统中。此设计理念提高了系统的可扩展性和可维护性。

### 3.3. 系统扩展

基于五通道测试系统将控制系统扩展为十通道，根据十通道测试功能需求，输入端信号有 10 路支持高速功能开关量、3 路普通开关量、2 路模拟量，输出端信号有 10 路高速脉冲信号，均为开关量。五通道所选用的三菱的 FX3U-32MT PLC 控制器最大支持 8 路高速脉冲，支持 X0-X5 高速计数功能，一台 PLC 控制器不足以满足十通道功能需求，因此选择了两台同型号 PLC 作为该控制系统的控制器。

采用一台触摸屏控制两台 PLC 控制器的方式实现功能需求，RS-232 通讯类型不满足一台触摸屏控制两台 PLC 的通讯需求，因此采用 Modbus 协议实现通讯功能。通过 RS-485 通信接口，将各通道按照预设的站号，顺序的发送和接收信息，并对信息进行处理，使每通道高速电磁阀和气动执行器的系统参数和运行状态等信息传入 PLC 控制器中并显示在触摸屏上[8]。

该系统采用 Modbus 协议中的 RTU 模式,设置触摸屏作为主站,2 台 PLC 控制器作为从站。在 FStudio 2 触摸屏软件中进行主站触摸屏的具体通信设置如下:设置制造商为 Modbus 兼容设备,设备类型为 Modbus-RTU,通讯类型为 RS485-2W,波特率为 9600,数据位为 8,停止位为 1,校验位为无校验。

由于采用 Modbus-RTU 通信协议,所以 2 台 PLC 控制器的主要程序是一致的。2 台 PLC 控制器共用一套控制程序,提高了程序的可维护性[9][10]。三菱 FX 系列 PLC 运用 Modbus-RTU 通信协议进行数据交换时,与主站触摸屏通信的设置需要通过程序来设定。以通道 1 为例,其从站参数如表 3 所示。特殊数据寄存器 D8400 为通信格式,用于设定数据长度、奇偶性、停止位、波特率等参数;从站各个参数的设置与主站触摸屏中通信参数设置必须保持一致。特殊数据寄存器 D8401 主要用于主站或从站的选择设定,该系统 PLC 控制器是作为从站,因此选择 Modbus 从站协议。寄存器 D8411 和 D8412 分别用于设置请求间延迟和重试次数。寄存器 D8414 用于设定从站站号,2 台 PLC 控制器的站号分别设置为 1 和 2。

Table 3. Station parameters of channel 1Modbus-RTU protocol

表 3. 通道 1 Modbus-RTU 协议从站参数

软元件	名称
D8400	通信格式设定
D8401	协议
D8411	请求间延迟
D8414	从站站号
D8415	通信计数器,通信事件日志存储软元件
D8416	通信计数器,通信事件日志存储位置

4. 仿真与实验分析

4.1. 仿真分析

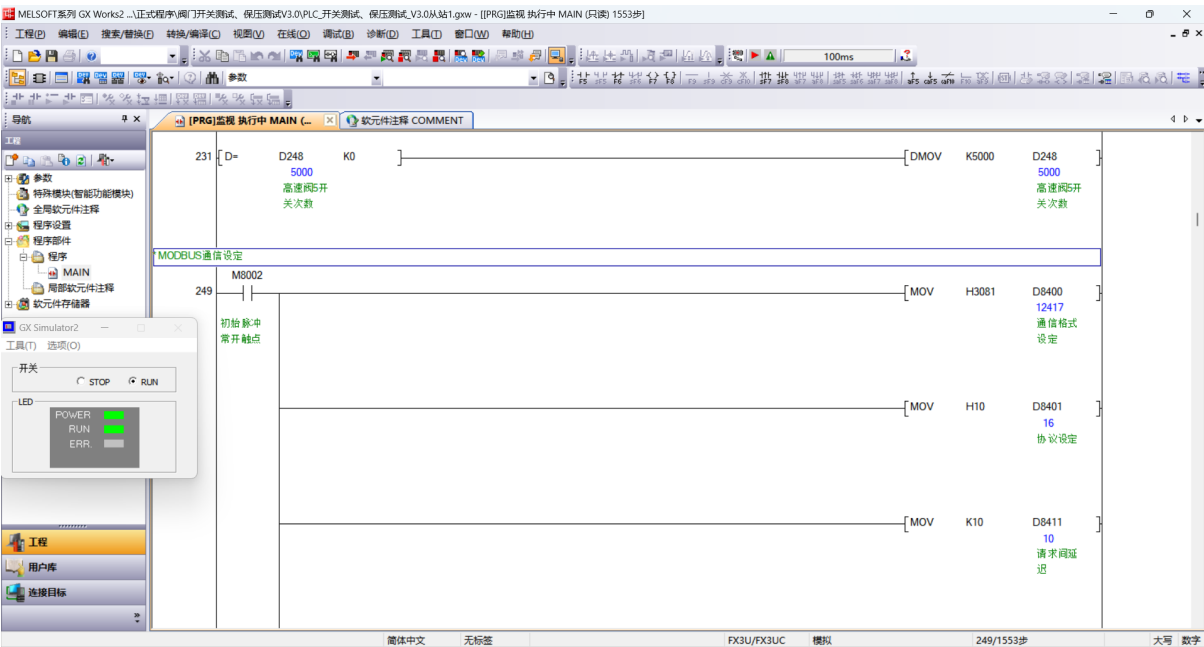


Figure 5. PLC program simulation diagram  
图 5. PLC 程序仿真图



利用 GxWorks2 软件的在线模拟以及在线监视功能，对 PLC 程序进行模拟仿真测试，如图 5 所示。经仿真测试 PLC 程序的功能执行与控制系统流程表现一致。

利用 FStudio 软件的在线模拟功能，对开关测试阶段进行触摸屏功能测试，模拟对各个通道的手动开关控制、手动清零控制、开关状态监控等操作。如图 6 所示，经仿真测试，触摸屏界面的各项控制功能均正常，实现了对 PLC 控制器的功能控制。



Figure 6. Switch test touch screen interface simulation diagram  
图 6. 开关测试触摸屏界面仿真图

#### 4.2. 实验环境搭建

气动阀实验设备主要由阀门性能测试箱、进气阀、排气阀、温度传感器、压力传感器、被测试阀门、气动头控制高速电磁阀等组成，测试箱和阀门测试系统组成分别由图 7、图 8 所示，阀门性能测试箱为集成 PLC、触摸屏等硬件的控制系统。



Figure 7. Valve performance test box  
图 7. 阀门性能测试箱

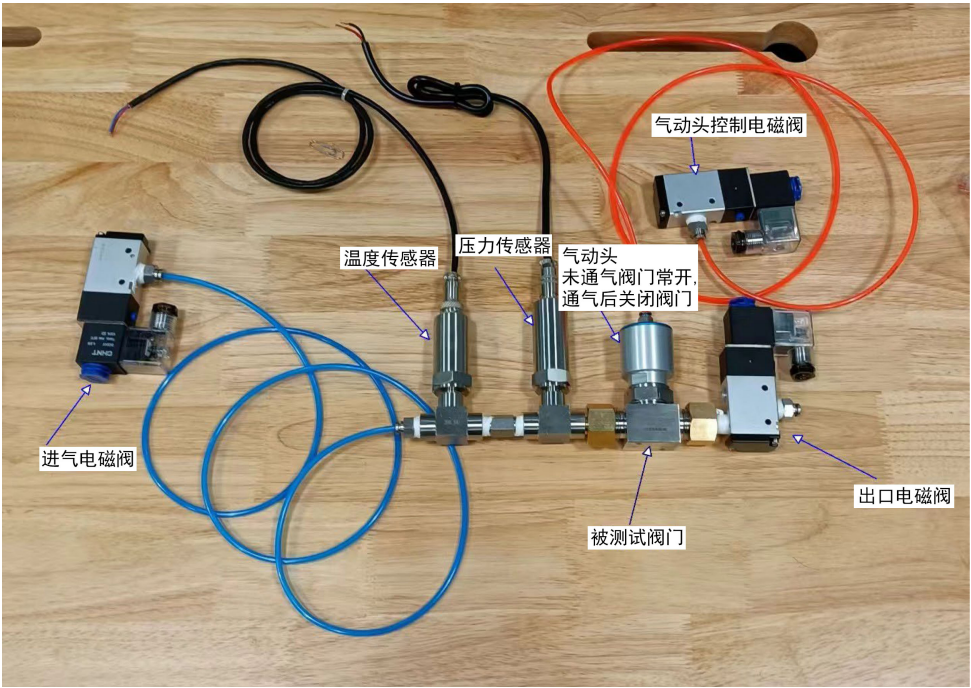


Figure 8. Composition of the valve test system  
图 8. 阀门测试系统组成

4.3. 实验分析

被测试阀门选用该工厂超高纯阀门系列中的气动膜片阀，对阀门在一定开关次数下分别进行 10 Hz、20 Hz、30 Hz、40 Hz、50 Hz、60 Hz 开关频率测试；在一定开关频率下分别进行 20、60、80、100 万次开关测试；以及进行保压测试判断系统气路是否存在泄漏。

经实验验证，该测试系统在一定开关次数下进行稳定测试的最大开关频率为 50 Hz，大于 50 Hz 时系统执行脉冲次数与感应次数偏差较大，即气动阀不能稳定执行运动且运动数据与输出脉冲数据不一致。对于气路密封性测试，压力传感器与温度传感器采集数据准确，与气泵提供气体压力大小基本无偏差。判定气路发生泄漏的条件为两次不同时间采集的压力之差大于设定的泄漏上限值，则控制系统发生泄漏事件，停止测试并蜂鸣器报警。经多次保压测试，该控制系统气密性测试功能稳定且准确。

由表 4 可知，脉冲次数与气动阀执行次数基本无偏差，不同通道气动阀的动作时间均在 10 ms 左右，测试时长与测试次数成正比例关系。因此，该控制系统在 50 Hz 及以下能够稳定的进行气动阀的性能与动作时间的测试。

Table 4. Results of switch test at 50 Hz switch frequency  
表 4. 50 Hz 开关频率下进行开关测试实验结果

开关测试次数(万)	测试时长(h)	脉冲次数(次)	感应次数(次)	动作时间(ms)
20	1.1	200,000	200,000	10.6
40	2.2	400,000	400,000	10.2
60	3.3	600,000	600,000	9.6
80	4.4	800,000	800,000	10.4
100	5.5	1,000,000	999,999	9.6



## 5. 结论

(1) 设计的控制系统能够有效地对气动阀的动作时间、密封性和寿命性等关键性能参数进行测试。系统在 50Hz 及以下的开关频率下能够稳定运行, 满足工业自动化测试的需求。

(2) 该系统设计具有良好的扩展性, 可从五通道扩展到十通道, 大大提高气动阀测试效率, 且通过 Modbus-RTU 协议实现多 PLC 控制器的协同工作, 提高了系统的兼容性和灵活性。

(3) 通过仿真测试和实验验证, 证明了系统设计的合理性和实用性。实验结果表明, 系统能够准确采集气动阀的性能数据, 为气动阀的性能优化提供了科学依据。

(4) 该控制系统为工业自动化领域提供了一种高效、可靠的气动阀性能测试解决方案, 有助于提升气动阀的性能和生产过程的稳定性。

## 参考文献

- [1] 耿延龙, 徐世许, 李杰. 基于 Modbus-RTU 协议的包装箱检重管理系统设计[J]. 制造业自动化, 2020, 42(7): 6-9+14.
- [2] 张亚杰, 张鹏. 气动阀诊断在核电厂调试的实践[J]. 阀门, 2024(9): 1159-1164.
- [3] 杨充, 左晨, 李健, 等. 油气田用阀门气动执行器常见故障诊断及维修[J]. 科学技术创新, 2021(35): 10-12.
- [4] 陈智勇. 油气田用阀门气动执行器常见故障诊断及维修[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(14): 41-42.
- [5] 李天. 基于理想气体状态方程的气动执行器气密性检测分析[J]. 中国机械, 2023(36): 78-81.
- [6] 姜国微, 王利敏, 陈蒙南. 基于理想气体状态方程的气动执行机构气密性检测方法[J]. 阀门, 2023(5): 564-566.
- [7] 孙良环. 奇台电厂除灰系统气动阀门的控制系统分析[J]. 液压气动与密封, 2015, 35(2): 18-20.
- [8] 王贺彬, 白锐, 吕永津, 等. 基于 PLC 与触摸屏的空压站自动监控系统设计[J]. 制造业自动化, 2023, 45(10): 125-128.
- [9] 王楠. 基于 Modbus 通信的空压机 PLC 联控系统设计[J]. 设备管理与维修, 2023(21): 18-20.
- [10] 原通文, 姜川, 孟晖, 等. 基于 S7-1200 和双 PLC 通讯的悬挂输送系统的设计与实现[J]. 制造业自动化, 2019, 41(6): 123-125.