

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.01.011

# 基于 PLC 的空气干燥器性能 自动检测系统研究\*

屠春晖<sup>1</sup>, 倪 敬<sup>2\*</sup>, 金永涛<sup>2</sup>, 施建国<sup>1</sup>, 周海江<sup>1</sup>

(1. 浙江诸暨东港液压机械有限公司, 浙江 诸暨 311811;

2. 杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对现有车用空气干燥器性能检测系统存在的自动化程度低、操作复杂、检测结果可靠性低等问题,对干燥器性能检测工艺原理进行了分析总结,对空气干燥器密封性,开启特性,流量特性等方面的检测方法进行了研究,提出了一种基于可编程逻辑控制技术(PLC)与人机界面技术(HMI)的自动化检测系统。创新设计了系统的电气方案、检测流程及人机界面,提出了采用电气比例减压阀以实现检测基准压力的自动调节;采用高精度压力传感器和流量传感器,实现了卸荷阀气路状态的实时监测;采用 PLC 实现了检测数据的自动存储与运算。实际的产品检测结果表明,所设计系统可有效改进现有的空气干燥器性能检测工艺,气密性等关键性能的检测精度可提高 40 倍,检测时间可缩短为 1/6,检测出错率降低为 1/8,工人工作量降低为 1/10。

**关键词:**空气干燥器;自动检测系统;密封特性检测;开启特性检测;流量特性检测

中图分类号:TH86;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)01-0057-06

## Automatic testing system of air dryer performance based on PLC

TU Chun-hui<sup>1</sup>, NI Jing<sup>2</sup>, JIN Yong-tao<sup>2</sup>, SHI Jian-guo<sup>1</sup>, ZHOU Hai-jiang<sup>1</sup>

(1. TKL Group-Zhejiang Donggang Hydraulic Pressure machinery Co., Ltd., Zhuji 311811, China;

2. School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the issues of test bed for the air dryer, such as poor automation, complex operation and low reliability, the testing process principle was analysed and summarized. The testing method of sealing characteristic, opening characteristic and discharge characteristic was researched. A novel automatic testing system was designed based on programmable logic controller (PLC) and human machine interface (HMI) technology. A novel electric control project, testing scheme and HMI were applied in the testing system. The air pressure of the system was automatically adjusted by the electric proportional valve. The state of the unloading valve was online monitored by comparing the air pressure difference. The detecting data was stored and computed automatically with the PLC. The testing results indicate that the designed system can greatly improve current testing process. The testing accuracy of key performance such as air tightness can be improved on 40 times. The testing time can be shortened as 1/6. The false testing rate can be decreased to 1/8. The workload of the testing personnel can be decreased to 1/10.

**Key words:** air dryer; automatic testing system; sealing characteristic testing; opening characteristic testing; discharge characteristic testing

## 0 引 言

车用空气干燥器主要用于清洁干燥压缩空气,是

汽车制动、悬挂等动力控制系统的压缩空气输送管道中不可或缺的核心部件。若干燥器密封特性、卸荷阀开启压力及流量特性等不满足相关标准,将导致汽车

收稿日期:2015-07-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50805041)

作者简介:屠春晖(1982-),男,浙江诸暨人,主要从事机电工程方面的研究. E-mail:tuchunhui@163.com

通信联系人:倪 敬,男,博士,教授,硕士生导师. E-mail:nj2000@hdu.edu.cn

运行过程中出现漏气、充气压力过高、储气量不足等故障,甚至导致车辆失控,严重威胁驾驶员和乘客的人身安全。因此,对车用空气干燥器相关特性进行检测是十分必要的。

现有空气干燥器性能的检测完全采用人工检测。在检测过程中,系统采用了模拟式仪表和手动控制阀,需检测人员手动重复完成一系列相对复杂的操作,如截止阀通断、调压阀数值调节、检测时间控制、检测数据记录和比较等<sup>[1-2]</sup>,导致检测人员工作量大、检测效率低下,且检测结果易受主观因素影响,可靠性较低。而目前在干燥器性能检测装置研究方面,具有代表性的有,王莺等<sup>[3]</sup>设计了一套测试单向阀密封性能的装置,该装置通过观察是否有气泡逸出实现阀密封性能的检测;刘松国等<sup>[4]</sup>设计了一套呼吸阀开启压力测试系统,该系统通过使用压力传感器测试阀开启压力实现压力特性的检测;唐峰等<sup>[5]</sup>设计了一种用于检测气体流量的流量检测计,该装置通过使用涡街传感器实现气体流量的检测。但上述研究不仅检测项目单一,而且操作复杂,费时费力,不宜连续检测,无法满足企业检测效率的要求,业界迫切需要能够实现干燥器性能高效快速准确检测的新工艺和新系统。因此,研究干燥器自动检测系统是十分必要的。

针对现有干燥器性能检测工艺存在操作流程复杂、作业效率低、检测结果可靠性差等不足以及现有研究检测类别单一、操作复杂、不宜连续检测等问题,本研究提出一种基于 PLC 控制的新型空气干燥器性能自动检测系统。本研究首先根据干燥器性能检测工艺原理,确定检测系统方案,然后根据检测性能指标要求,对相关元器件进行选型计算,并基于系统硬件方案,设计检测系统人机界面并规划控制流程图。最后通过与现有检测系统对比研究,表明本研究所提出的系统在检测效率及检测精度上都有较大提高。

## 1 系统检测工艺原理与性能指标

### 1.1 检测系统工艺原理

本研究所设计的车用空气干燥器检测系统结构原理如图 1 所示。其中,干燥器主要由过滤器、干燥罐、卸荷阀、先导阀及再生储气筒等组成,干燥器、储气筒 1、储气筒 2 和再生储气筒的总容积为 1 L。压缩空气经 1 口进入干燥器,完成过滤,干燥,储存,反吹及再生等环节;卸荷阀未打开时已清洁气体从 21 口排出,卸荷阀打开之后气体从排气口 3 排出。

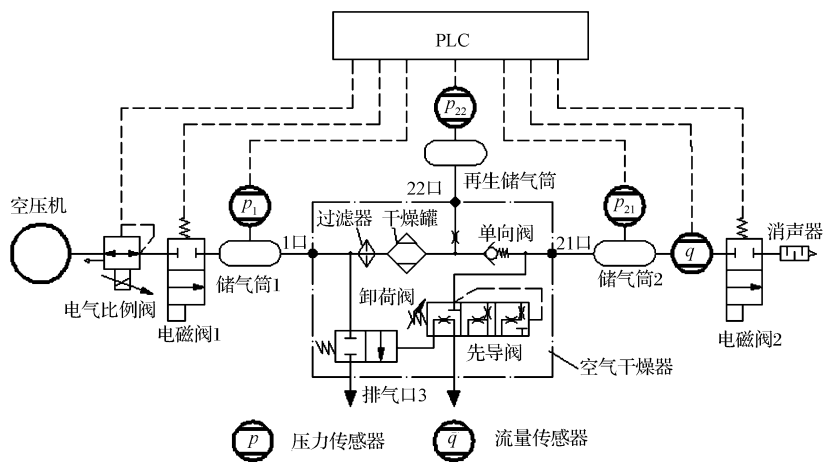


图 1 干燥器性能检测系统原理图

为全方位实现干燥器性能检测,本研究所提出的系统集成气密性、卸荷阀开启特性及流量特性等方面的自动检测,其检测工艺原理分述如下。

#### 1.1.1 气密性检测工艺原理

干燥器气密性主要是指进气口 1 和再生储气口 22 和出气口 21 之间的气体密封性能。具体检测工艺原理为:通过 PLC 将电气比例减压阀的输出压力设定为规定检测压力;当电气比例减压阀的输出压力达到设定压力之后,打开电磁阀 1,同时使电磁阀 2 在检测

过程中始终处于关闭状态,气体将通过储气筒 1 由进气口 1 流向再生储气口 22 和出气口 21;当进气口 1 的进气压力  $p_1$ 、再生储气口 22 的进气压力  $p_{22}$  和出气口 21 的气压  $p_{21}$  均稳定在标准检测压力之后关闭电磁阀 1,计时开始,同时采样上述 3 个气口的压力值<sup>[6]</sup>。5 min 后若上述气口压力的下降值均少于规定值,则气密性检测达标,否则视为不合格。

#### 1.1.2 卸荷阀开启特性检测工艺原理

卸荷阀的开启特性是指出气口 21 的气压在某压

力值  $p_{21}$  下,卸荷阀状态发生变化的特性。检测系统主要通过检测卸荷阀开启压力是否处于允许压力区间,来检测开启特性是否合格。

开启特性具体检测工艺原理为:通过 PLC 将电气比例减压阀的输出压力设定为卸荷阀最低允许开启压力;然后开启电磁阀 1,则空压机向干燥器供气,同时使电磁阀 2 在检测过程中始终处于关闭状态;当出气口 21 的气压  $p_{21}$  满足检测压力后,测试卸荷阀状态;若卸荷阀已开启则停止以下检测过程;若卸荷阀未开启则持续调节电气比例减压阀的输出压力,并重复前述检测步骤,直至出气口 21 的气压  $p_{21}$  升高至卸荷阀最高允许开启压力。若卸荷阀开启,则开启特性检测达标,否则视为不合格。

卸荷阀的状态可通过检测出气口 21 和进气口 1 之间的气压差值来判断。由实际经验可知,在检测过程中,若出气口 21 和进气口 1 之间的气压差值超过 20 kPa,则判定卸荷阀已经开启。

### 1.1.3 流量特性检测工艺原理

干燥器的流量特性是指当进气口 1 以指定压力进气时出气口 21 所拥有的供气能力。具体检测工艺原理为:通过 PLC 将电气比例减压阀的输出压力设定为规定检测压力;当进气压力达到输出压力之后,打开电磁阀 1 和电磁阀 2,由干燥器流出的气体将经过储气筒 2 和电磁阀 2 排向大气。由干燥器流出气体的流量趋于稳定之后,流量传感器开始对出气口 21 的流量值  $q$  进行采样,采样一段时间后计算该段时间内的平均流量。若实际平均流量值大于规定流量值,则流量特性检测达标,否则视为不合格。

## 1.2 干燥器性能指标

根据文献[1-2]所述,所需检测的干燥器相关性能指标如下:

(1)气密性检测指标: $p_1 = p_{21} = p_{22} = 820$  kPa,保压 5 min 之后, $\Delta p_1 \leq 10$  kPa, $\Delta p_{21} \leq 10$  kPa, $\Delta p_{22} \leq 10$  kPa。

(2)卸荷阀开启特性指标:卸荷阀开始排气时,850 kPa  $< p_{21} < 890$  kPa。

(3)流量特性检测指标:室温状态下, $p_1 = 820$  kPa 时, $q \geq 460$  L/min。

## 2 检测系统设计

检测系统主要由控制系统和测量系统两大部分组成。控制系统主要由 PLC 和工控机组成,测量系统主要由电气比例减压阀、流量传感器和压力传感器等元器件组成。本研究将对于检测系统中的关键元器件进

行选型设计。

### 2.1 检测系统关键元器件选型设计

#### 2.1.1 电气比例减压阀选型设计

通过对于检测系统工艺原理和性能指标的分析,检测系统选用型号为 SMC ITV2050-31F1BS5 的电气比例减压阀和型号为 VEA250 的电—气比例阀专用功率放大器。该电气比例减压阀的压力调节范围为 5 kPa ~ 900 kPa,控制信号电压为 0 ~ 10 V,输入阻抗约为 6.5 k $\Omega$ ,连接螺纹为 G1/8 内螺纹,最高供给压力为 1 000 kPa,输出压力为 900 kPa 时允许通过的流量为 1 000 L/min,供电电压为 24 V。该功率放大器的供电电压为 24 VDC,输出电流为 0 ~ 1 A,响应时间为 0.06 s,控制信号电压为 0 ~ 5 V,增益调整范围为 0.5 A ~ 1 A<sup>[7-8]</sup>。

#### 2.1.2 压力传感器选型设计

通过对于检测系统工艺原理和性能指标的分析,检测系统选用型号为 SMC PSE540A-M5 的压力传感器。该压力传感器的供电电压为 24 VDC,测量范围为 0 ~ 1 000 kPa,极限过载压力为 1 500 kPa,输出信号电压为 1 V ~ 5 V(三线制),重复精度可达到  $\pm 1\%$ ,响应时间为 5 ms,螺纹接口为 M5  $\times$  0.8<sup>[9]</sup>。

#### 2.1.3 流量传感器选型设计

通过对于检测系统工艺原理和性能指标的分析,检测系统所选传感器型号为 FESTO SFAB-1000U-HQ 10-2SA-M12。该流量传感器的工作电压范围为 15 V ~ 30 V DC,单向测量,测量范围为 10 L/min ~ 1 000 L/min,最高工作压力为 1 000 kPa,最大压力损失为 10 kPa,工作温度范围为 0 ~ 50  $^{\circ}\text{C}$ ,螺纹连接,公称通径为 12,输出信号电流为 4 ~ 20 mA(二线制)<sup>[10]</sup>。

#### 2.1.4 PLC 选型设计

通过对于检测系统工艺原理和性能指标的分析,检测系统选定 S7-200 CN 系列中控制功能较为全面的 224XP CN 型 CPU 进行控制。CPU224XP 本身具有 2 通道模拟量输入和 1 通道模拟量输出,基于上述传感器配置方案,还需另外配备一个至少具有 2 通道模拟量输入的模块,系统选定了具有 4 通道模拟量输入模块 EM231<sup>[11]</sup>。EM231 模块的供电电压为 24 VDC,可连接电压和电流模拟信号,实现 A/D 信号转换仅需 25  $\mu\text{s}$ ,分辨率为 12 位。CPU224XP 的供电电压为 24 VDC,实现 A/D 信号转换仅需 50  $\mu\text{s}$ ,实现 D/A 信号转换仅为 250  $\mu\text{s}$ ,模拟量转换分辨率为 12 位,指令运算速度仅为 0.22  $\mu\text{s}$ ,最大允许输入电流为 32 mA,最高输出电压为 10 V;10 KB 的数据存储区可以实现单件产品检测过程检测值的完整保存,以备检测结束

之后可通过上位机查看和保存。

## 2.2 检测系统电气原理

检测系统电气原理图如图 2 所示。如图 2 所示,压力传感器、流量传感器信号线分别与 CPU224XP 模拟量输入端口、EM231 模块模拟量输入端口相连,构成模拟量数据采集回路;电气比例减压阀所需的功率放大器与 CPU224XP 模拟量输出端口相连,构成比例阀控制回路;电磁阀控制端与 CPU224XP 数字量输出端口相连,构成电磁阀控制回路。PLC 通讯端口通过 PPI 编程电缆与研华工控机串口相连,构成通信回路。

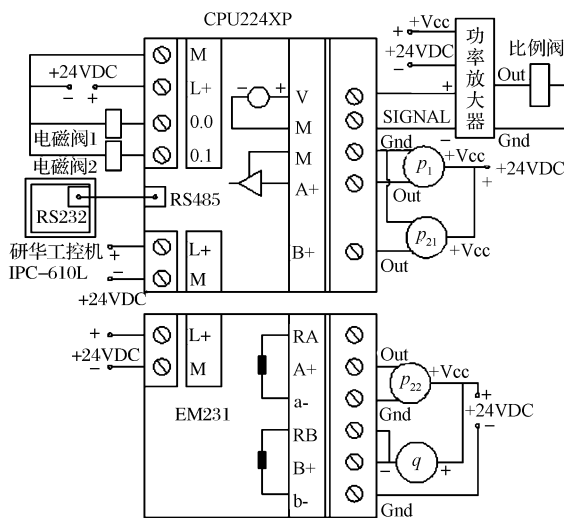


图 2 系统主要控制部分电气原理图

## 2.3 检测系统软件设计

本研究软件设计主要包括上位机软件设计和下位机软件设计两大部分。上位机软件设计主要包括人机界面设计和通信程序设计,下位机软件设计主要包括 PLC 控制程序设计。

### 2.3.1 上位机软件设计

检测系统使用 BCB(Borland C++ Builder) 软件作为上位机组态用户界面的开发工具。上位机软件设计主要包括检测系统人机界面设计和通信程序设计。

检测系统的人机界面如图 3 所示,该界面主要由密封特性检测、开启特性检测和流量特性检测 3 大模块组成,各模块均包括操作按钮和显示界面两大部分。检测准备完成之后,工作人员只需按下各检测模块的“开始检测”按钮,工控机即向 PLC 发出指令,控制 PLC 按照预先设定的程序完成相关性能的检测,并将检测结果输出到显示界面;检测结束之后,用户通过点击“检测值查看”按钮,可查看检测过程中传感器所采

集到的数据及经 PLC 处理之后的数据。如果需要修改检测参数,可在对应文本框中输入相应数值,并点击对应的“修改”按钮,即可完成相应参数的修改<sup>[12]</sup>。

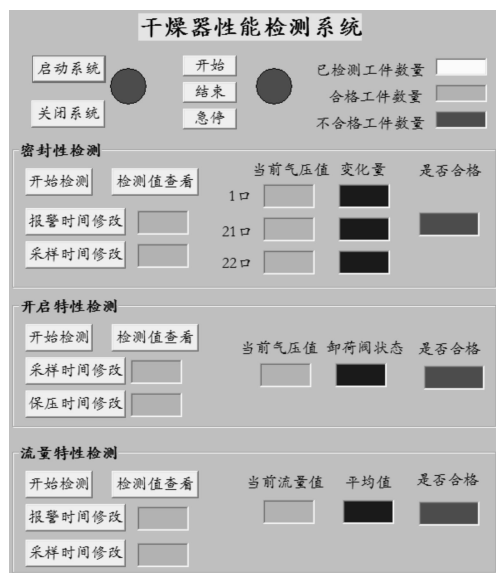


图 3 检测系统人机界面

为实现上位机与 PLC 之间的串口通信(RS485),上位机程序分别采用 CreateFile() 函数建立串口通信, GetCommState() 函数反馈串口数据来完成串口通信参数的初始化,以及 WriteFile() 和 ReadFile() 函数来执行针对 PLC 内部地址的读写操作;PLC 选择 PPI/从站通讯模式,工控机串行通信口 COM1 的参数设置为:波特率 9600,数据位 8 位,偶校验,1 位停止位<sup>[13]</sup>。

### 2.3.2 下位机软件设计

检测系统采用 STEP 7-MicroWIN 编程软件作为下位机控制程序的开发工具。软件使用梯形图语言进行编程,编译完成后通过 PC-PPI 电缆将控制程序下载到 PLC。下位机程序主要包括密封特性、开启特性和流量特性 3 大检测子程序。下面分别介绍这 3 个子程序的控制流程图<sup>[14-15]</sup>。

(1) 密封性检测控制流程图。密封性检测流程如图 4 所示。

图 4 中,SV1 表示电磁阀 1;T33、T34 等表示时基 10 ms 的定时器;T38 的定时时间为 10 s,其作用是当系统出现进气通道堵塞或者阀泄漏等故障时控制系统停止检测;T33 定时时间为 200 ms,其作用是设定采样周期;T39 的定时时间为 5 min,其作用是设定采样总时长。

(2) 卸荷阀开启特性检测控制流程图。卸荷阀开启特性检测流程如图 5 所示。 $P$  的初始值是 850 kPa;定时器 T36 的定时时间为 200 ms,其作用是设定采样周期;定时器 T37 的定时时间为 10 s,其作用是设定保

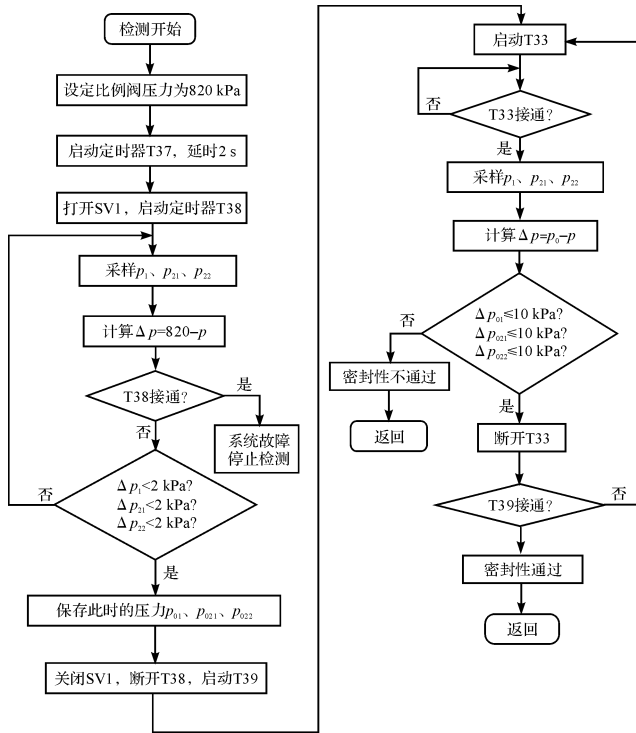


图 4 密封性检测控制流程图

压时长。

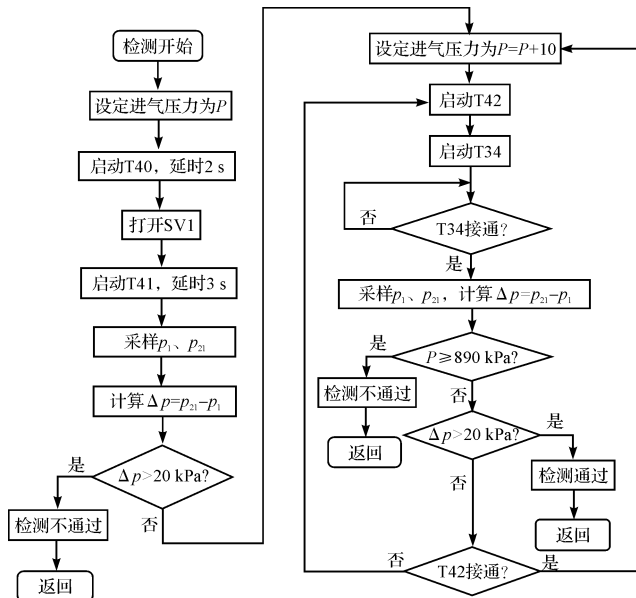


图 5 卸荷阀开启特性检测控制流程图

(3) 流量特性检测控制流程图。流量特性检测流程如图 6 所示。SV2 表示电磁阀 2；定时器 T36 的定时时间为 200 ms，作用是设定采样周期；定时器 T39 的定时时间为 30 s，其作用是实现采样总时长的设定<sup>[16-17]</sup>。

### 2.4 系统运行结果对比分析

为验证该系统的检测性能，研究人员按照图 2 所示的检测系统原理图搭建了检测试验台，并按照上述

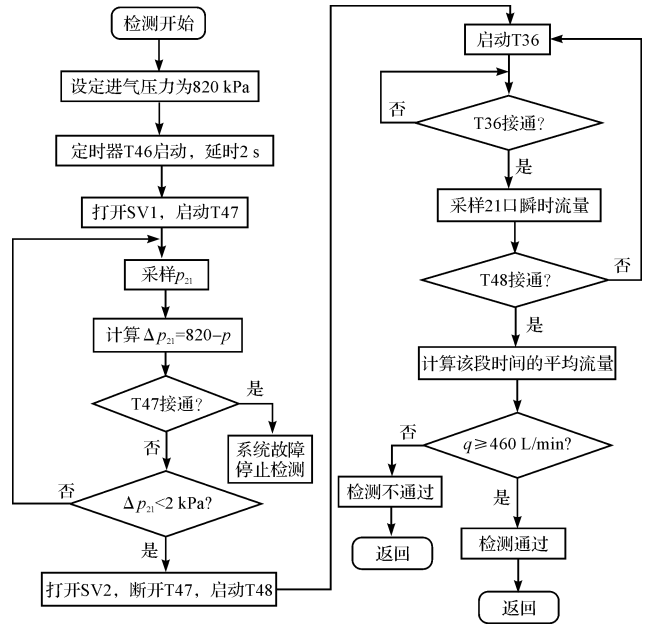


图 6 流量特性检测控制流程图

流程进行了 200 件干燥器产品的性能检测，且最终检测结果如表 1 所示，并与原检测系统的检测结果进行了对比。其中，原检测系统为如图 1 所示的手动检测系统。

如表 1 所示，针对干燥器气密性性能检测，原系统最大检测精度由气压表的最小刻度决定，为 10 kPa，该系统的最大检测精度由 A/D 模块分辨率决定，约为 0.25 kPa；原系统需人工读表判断，保压过程以外的检测时间约需要 120 s，而本系统可由传感器的反馈信号自动调节和判断，检测时间仅需要 10 s。

针对卸荷阀性能检测，原系统由人工主观判断，大致满足压力范围时，卸荷阀状态发生变化即可认为检测合格，因此无具体检测精度，且因判断延时而导致检测结果偏大，易导致误检；而该系统的 PLC 采样时间为 0.2 s，A/D 模块的最小分辨率为 0.25 kPa，可准确记录卸荷阀开启压力所在区间，极大地减小了误检率；原系统检测时间约 240 s，该系统可由传感器的反馈信号自动调节和判断，平均检测时间约 50 s。

针对流量特性性能检测，原系统最大检测精度由流量计的最小刻度决定，为 5 L/min，该系统的最大检测精度由 A/D 模块分辨率决定，约为 0.125 L/min；原系统检测时间约 240 s，该系统可由传感器的反馈信号自动调节和判断，检测时间约 40 s。

上述检测时间都不包括在测试台上装夹及拆卸干燥器的时间。经 200 件干燥器检测测试，检测出错率可由原系统的 8% 降低为 1%。检测工作量主要由操作测试工序及保存测试数据等组成，以原系统单位时

间工人所需完成工作量为 1,则该系统所需完成的工作量仅为 0.1。

表 1 检测系统效果对比表

对比项目	原检测系统	本系统
气密性检测精度/kPa	表刻度,10	0.25
气密性检测时间/s	120	10
卸荷阀检测精度/kPa	无精度,主观判别	0.25
卸荷阀检测时间/s	240	50
主阀流量检测精度/(L·min <sup>-1</sup> )	表刻度,5	0.125
主阀流量检测时间/s	240	40
检测出错率/%	8	1
工人工作量(比例)	10	1

### 3 结束语

(1)本研究结合干燥器相关性能检测工艺原理,基于检测性能指标,通过上位机及下位机系统设计选型,构建了基于 PLC 控制的空气干燥器自动检测系统。

(2)该系统通过分析干燥器相关性能指标及原系统检测原理,结合多传感器检测工艺,设计了自动检测算法,优化了检测流程,并通过可视化的操作界面,实现了检测状态的实时反馈。

(3)通过与原检测系统的对比测试,可得出该系统在气密性等关键性能检测精度上可提高 40 倍;检测时间可缩短为 1/6;检测出错率降低为 1/8;工人工作量降低为 1/10。因此,实际应用结果证明了该系统可极大地缩短检测时间,降低检测人员的工作量,提高检测结果的可靠性。

#### 参考文献(References):

[1] 中国汽车工业总公司. QC/T 38-92, 中华人民共和国汽车行业标准, 汽车与挂车, 气压调节保护装置台架实验方法[S]. 北京:中国计划出版社,1992.

[2] 中国汽车工业总公司. QC/T 36-92, 中华人民共和国汽车行业标准, 汽车与挂车, 气压控制装置通用技术条件[S]. 北京:中国计划出版社,1992.

[3] 王 莺,叶 菁. 单向阀密封性能测试装置的设计[J]. 液压与气动,2012(1):59-61.

[4] 刘松国. 呼吸阀开启压力智能测试系统[J]. 工业仪表与自动化装置,2009(6):97-99.

[5] 唐 峰,游春莉,李林旭. 一种气体流量计设计[J]. 数字技术与应用,2011(11):68-69.

[6] 熊四昌,高玉科,钱 冰,等. 基于容积补偿的气体泄漏检测遗传 PID 控制研究[J]. 机电工程,2015,32(3):348-351.

[7] SMC 公司. 电气比例阀 ITV1000·2000·3000 系列选型手册[M]. SMC 公司,2014.

[8] 邱 宇,何毅斌,张 成,等. 高速电磁阀电磁铁的研究与开发[J]. 机电工程,2014,31(8):1040-1044,1048.

[9] SMC 公司. 气体压力传感器 PSE540 系列选型手册[M]. SMC 公司,2014.

[10] FESTO 公司. 流量传感器 SFAB-1000U-HQ10-2SA-M12 选型手册[M]. FESTO 公司,2015.

[11] 西门子(中国)有限公司自动化与驱动集团. 深入浅出西门子 S7-200PLC[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.

[12] 刘 超,唐 彬. C++ Builder 案例开发集锦[M]. 北京:电子工业出版社,2005.

[13] 范逸之,江文贤,陈立元. C++ Builder 与 RS-232 串行通信控制[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

[14] 马彩云,李振华,胡佳文. 基于 PLC 的大型螺杆抛光机控制系统研究[J]. 机电工程,2014,31(5):612-615.

[15] 赵 燕,陈秋霞,文 凯. 枕式包装机控制系统设计[J]. 包装与食品机械,2015,33(2):42-45.

[16] 陈江华. TRT 机组旁通快开阀液压控制系统设计[J]. 液压气动与密封,2014,34(7):18-20.

[17] 陶晓磊. 基于调节阀的流量测量方法研究[D]. 杭州:中国计量学院计量测试工程学院,2014.

[编辑:李 辉]

#### 本文引用格式:

屠春晖,倪 敬,金永涛,等. 基于 PLC 的空气干燥器性能自动检测系统研究[J]. 机电工程,2016,33(1):57-62.

TU Chun-hui, NI Jing, JIN Yong-tao, et al. Automatic testing system of air dryer performance based on PLC[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(1):57-62. 《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn