

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)06-0053-05

基于信息处理的玻璃量器自动检定装置设计

刘 晶¹, 刘 睿²

(1. 武警上海总队参谋部, 上海 200336; 2. 上海市质量监督检验技术研究院, 上海 201114)

摘要:为解决传统人工玻璃量器检定中手动加液频繁、人眼读数易疲劳、数据处理烦琐及精度效率低下的问题,满足批量、多规格玻璃量器的检定需求,提出了一种基于图像处理的玻璃量器自动检定装置和软件系统。装置采用相机替代人眼检测工作,借助图像处理技术精准识别量器刻度线与液位,软件系统实现原始记录留存、检定证书自动生成等核心功能,大幅减少操作人员的重复性劳作,提升检定工作效率与计量数据的准确性。分别用 5 mL、50 mL、2 000 mL 3 种规格量筒,进行自动检定与人工检定对比实验,检测不同检定点的实际体积与扩展不确定度。实验结果表明,该自动检定装置的检定结果均满足量筒容量允差与扩展不确定度指标要求,且检定精度、效率均优于人工检定,验证了装置的可行性与实用性,可替代人工完成玻璃量器检定工作,降低检定成本。

关键词:玻璃量器;信息处理;液位检测;自动检定装置;图像处理;系统设计

中图分类号: TP23

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)06-0053-05

Design of automatic verification device of glass gauge based on information processing

Liu Xiao¹, Liu Rui²

(1. General Staff Department of Shanghai Armed Police Force, Shanghai 200336, China;

2. Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 201114, China)

Abstract: To address the problems of frequent manual liquid addition, easy fatigue in human eye reading, cumbersome data processing, and low accuracy and efficiency in traditional manual verification of glass measuring instruments, as well as to meet the verification requirements of batch and multi-specification glassware, an automatic verification device and software system for glass measuring instruments based on image processing is proposed. The device uses a camera instead of human eyes for detection, and accurately identifies the scale lines and liquid level of the measuring instrument with image processing technology. The software system realizes core functions such as original record storage and automatic generation of verification certificates, which greatly reduces repetitive work for operators and improves verification efficiency and the accuracy of measurement data. Comparative experiments between automatic and manual verification are carried out on graduated cylinders of three specifications: 5 mL, 50 mL, and 2 000 mL, with the actual volume and expanded uncertainty at different verification points measured. The experimental results show that the verification results of the automatic device fully meet the index requirements of capacity tolerance and expanded uncertainty for graduated cylinders, and its verification accuracy and efficiency are both superior to manual verification. This verifies the feasibility and practicability of the device, which can replace manual operation in glass measuring instrument verification and reduce verification costs.

Keywords: glass container; information processing; liquid level detection; automatic detection device; image processing; system design

玻璃量器作为生物、医药、化工等领域的基础容量计量器具,其容量示值的准确性是教学、科研、检测发展的基础和保证,必须经过校准或计量检定合格后方可投入使用。随着生物医药等行业的蓬勃发展,作为常规配套设备的玻璃量器需求量飞速增长,对玻璃量器的校准和检定业务需求也随之日益增长^[1-2]。仅上海市质量监督检验技术研究院的玻璃量器计量校准业务就在以每年至少 30% 的增幅持续增长,检定员一年累计增加近 500 h 的检定工作量。

人工检定会因检定人员的个体差异、疲劳等因素导致

肉眼读数误差大、重复性低等问题,影响玻璃量器检定的效率和准确度^[3-4]。此外,人工检定在处理批量检定数据时需要频繁查阅相关的手册和数据表等资料,此外检定报告和证书等材料都需要手工编制,不仅要耗费大量时间和人力,而且效率低,还容易导致人为差错^[5]。因此,针对玻璃量器检定工作自动化的研究显得尤为重要与迫切,然而国内关于玻璃量器自动检定装置的研究大多是针对数据处理自动化以及液位检测识别部分,对玻璃量器自动检定装置整体的设计研究较少^[6-8]。

本文设计了基于图像处理的玻璃量器自动定检定装

收稿日期:2024-10-30;录用日期:2024-12-21

作者简介:刘 晶(1982—),女,硕士,工程师,研究方向:模式识别与智能系统。

引用本文:刘晶,刘睿. 基于信息处理的玻璃量器自动检定装置设计[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(6):53-57. (Liu Xiao, Liu Rui. Design of automatic verification device of glass gauge based on information processing[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(6):53-57.)

置以及软件系统。玻璃量器自动检定装置使用相机代替人眼检测,利用图像处理技术实现对刻度线与液位的准确识别,降低人为读数误差,软件系统实现原始记录与证书生成等功能,减少操作人员的重复劳动,提高工作效率和计量准确性。该装置已投入上海市质量监督检验技术研究院进行使用。

1 自动检定装置系统设计

根据对人工检定流程的分析,玻璃量器自动检定装置需要满足自动加液、自动调节相机位置、自动检测液位,软件自动生成相应的检定报告等功能。人工检定流程如图1所示。

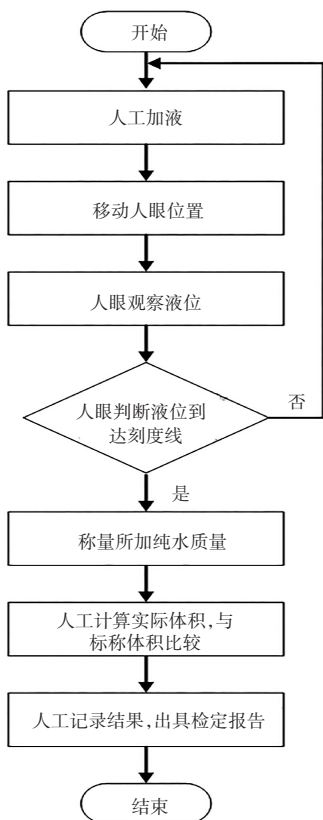


图1 人工检定流程

Fig. 1 Manual verification process

自动检定装置根据功能设计主要分为3部分。

- 1) 液位检测单元,主要由相机、滑轨、步进电机、脉冲控制卡等组成。
- 2) 自动加液单元,主要由高精度微量泵、高流速蠕动泵、储水容器、注水针等组成。
- 3) 数据采集单元,主要由工控机、温度传感器、电子天平等组成。

系统结构示意图如图2所示。

本文采用具有2000万像素的MER-2000-19U3C数码相机进行图像信息采集,为了获取清晰的目标刻度线以及液位信息,相机搭配了V1226-MPZ工业镜头,该镜头为1英寸2000万机器视觉镜头。运动控制卡通过发送脉冲控制伺服电机带动相机在GTH4-L6-600-BC-M10B-C4

型号的轨道内嵌式螺杆滑台滑轨上移动,其行程可达600 mm,精度达到了±0.005 mm。

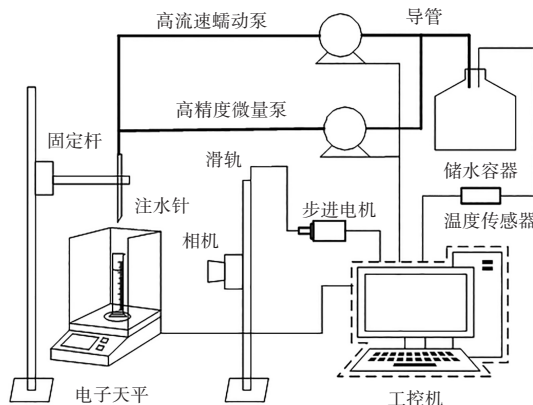


图2 自动检定装置系统结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the system structure of the automatic verification device

自动加液采用LabV6-IV/UC25蠕动泵,其转速为0.1~600 r/min,流量为0.342 3~6 663 mL/min; Pump mzt-7245-hs-vb S微量泵,其最小剂量体积为0.005 mL,转速为0.1~6 000 r/min,流量为0.048~288 mL/min。高精度微量泵、高流速蠕动泵均通过RS232与工控机通信,从而达到控制加液启停。

采用METTLER TOLEDO品牌的两台电子天平通过RS232与上位机通信,从而完成重量信息的采集。其中XPE5003SC型号的精度为1 mg,最大量程5 100 g,用来测量大容量量筒的质量;XS205DU型号为高精度电子天平,精度为0.1 mg,最大量程为210 g,用来精确测量小容量量筒的质量。

使用ADAM-4117数据采集模块,通过Micro USB转USB数据线直接将H-02/21温度传感器采集到的数据传送到工控机上。温度传感器的测量范围为0~30℃,测量精度为0.1℃。

工控机作为整个系统的主机,与各个板卡之间通过PCI总线完成信息交互,同时外接了显示器、键盘、鼠标,来操作人机交互界面。系统控制结构框图如图3所示。

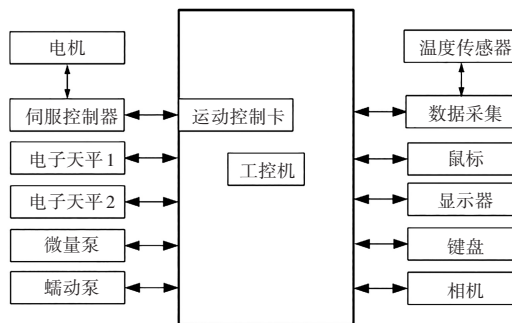


图3 系统控制结构框图

Fig. 3 Block diagram of system control structure

根据衡量法^[9]设计检定步骤如下。

- 1) 检定前准备,调整检定环境,清洗待检量器并干燥。
- 2) 称量空量器质量,选择检定点。

3) 刻度线识别,电机移动带动相机平视目标刻度线,使相机中心线与目标刻度线保持水平,从而实现相机代替人眼平视目标刻度线的功能。

4) 自动加液,首先使用高流速蠕动泵加液至目标刻度线附近,根据当前液位与目标刻度线的像素高度差,计算仍需加入纯水的体积,然后使用高精度微量泵继续加液,并使用相机拍摄每次加液后的图片。

5) 液位检测,使用图像处理技术,寻找相机拍摄的图片中液位与检定点刻度线的像素位置,检测液位是否到达检定点刻度线。如果到达刻度线,则停止加液并记录当前称取的总重量。否则继续重复自动加液步骤。

6) 用量器和纯水的总重量减去待检量器的空瓶重量,得到在检定过程中向量器内注入的纯水重量,采用衡量法计算量器的实际容量。

7) 生成检定报告,对于校准合格的量器,附上检定合格标志或出具检定合格证书。对于检定不合格的量器,在软件系统生成的检定报告中要明确标注不合格的具体原因。

本文主要对量筒进行检定研究,在20℃标准温度时,装置对不同规格量筒的检定容量允差与扩展不确定度要求如表1所示。

表1 量筒检定容量允差与扩展不确定度要求

Tab. 1 Requirements for capacity tolerance and expanded uncertainty in graduated cylinder verification

标称容量/mL	分度值/mL	容量允差/mL	扩展不确定度 (k = 2)/mL
5	0.1	±0.1	0.02
10	0.2	±0.2	0.03
25	0.5	±0.5	0.06
50	1.0	±0.5	0.15
100	1.0	±1.0	0.21
250	2.0	±2.0	0.52
500	5.0	±5.0	0.46
1 000	10.0	±10.0	1.60
2 000	20.0	±20.0	2.20

2 基于信息处理的液位检测方法

2.1 液位图像预处理

图像预处理的目的是删减不相关的信息,提高图像质量并明确特征,以便更有效地获取图像中的目标信息^[10]。本文图像预处理主要步骤如下。

1) 采用加权平均值法来进行灰度化处理。只选取灰色作为采集到的彩色图像中每个像素点的颜色表达,减少了程序计算量,同时保留有用的刻度线以及液位信息^[11]。

2) 采用中值滤波去除液位图像中的噪声,能够有效保护边缘信息^[12]。

3) 采用比例线性变换增强图像对比度,使刻度线以及液位信息在图像中更加突出。

4) 采用固定阈值二值化方法将图像处理成只剩下黑白两种颜色^[13]。本文将背景设置为黑,目标区域设置为白,公式为

$$g(x,y) = \begin{cases} 0, & f(x,y) > T \\ 255, & f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

式中, T 表示二值化的阈值, $f(x,y)$ 表示原始图像的像素点, $g(x,y)$ 表示二值化后的像素点。

5) 采用开运算操作去除二值化处理图像中孤立的小点、毛刺和等噪声。

相机获取的5 mL量筒图像经过预处理后的图像如图4所示。

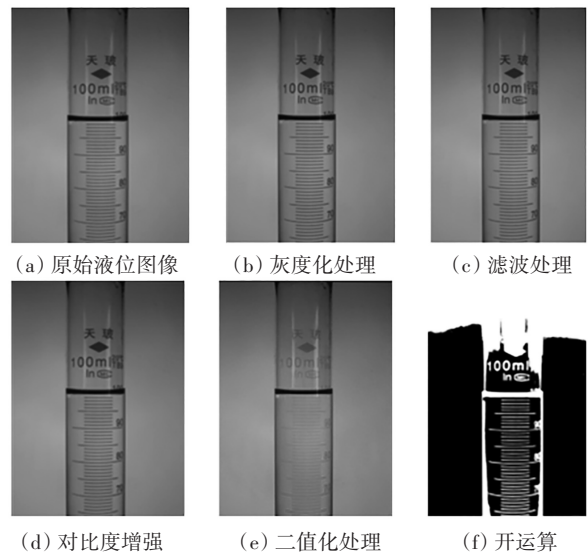


图4 预处理后的图像

Fig. 4 The preprocessed image

2.2 刻度线识别

由于量筒的刻度线分布均匀,可以根据电机移动距离与量筒刻度线对应体积之间的数学关系,实现精确移动相机至平视目标刻度线位置。以相机中心的初始位置在最高刻度线下方为例,定义矩形框识别刻度线步骤如下。

1) 针对同一规格的量筒,定义一个高度 $height$ 大于一个刻度线间距但小于两个间距的矩形框,使矩形框从初始位置 E_0 由下往上移动。不同规格量筒的矩形框高度 $height$ (像素),宽度 $width$ (像素) 设置如表2所示。

表2 矩形框尺寸

Tab. 2 Rectangular frame size

量筒规格/mL	高度 $height$ /像素	宽度 $width$ /像素
5	35	50
10	40	50
25	50	50
50~250	100	50
500~2 000	200	50

2) 识别最高刻度线:量筒最高刻度线上方有大面积空白,在寻找到最高刻度线之前,框内始终会包含一条刻度线,矩形框内像素灰度值之和必然大于矩形框内半条刻

度线宽度灰度值之和 T 。当灰度值之和小于 T , 此时便寻找到了刻度线上方空白区域。然后精确调整相机位置使其中心线位于最高刻度线 V_H 的上边沿。记录相机从 E_0 移动至 V_H 所用脉冲个数为 P_H 。

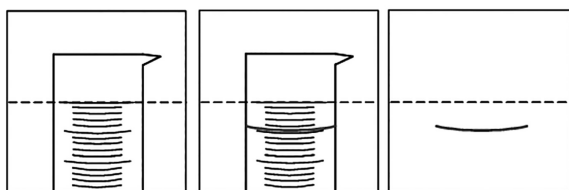
3) 识别最低刻度线: 使相机最高刻度线位置 V_H 向下移动, 量筒最低刻度线下方也有大面积空白, 同理可快速定位至最低刻度线下方空白区域。然后精确调整相机位置使其中心线位于最低刻度线 V_L 的上边沿。记录相机从 E_0 移动至所用脉冲个数为 P_L 。

4) 相机从最低刻度线 V_L 移动至目标刻度线 V_T 位置所需脉冲数 P 的计算公式为

$$P = \frac{P_L - P_H}{V_H - V_L} \cdot V_T \quad (2)$$

2.3 液位识别

经过图像预处理后, 图片中不相关的干扰因素大幅减少, 刻度线以及液位轮廓清晰。但是, 刻度线和液位的轮廓之间可能会相互干扰, 导致很难获取液位信息。本文采用图像作差的方法, 在提取液位特征的时候将刻度线特征消除, 可以避免刻度线对液位识别的影响。在检测液面的位置时, 首先分别记录空量器和加液后量器的图片信息, 然后将两者作差, 则得到的图片信息仅包括液位信息。液位识别过程示意图如图 5 所示。



(a) 空量器图片 (b) 加液后图片 (c) 作差后的图片

图 5 液位识别过程示意图

Fig. 5 Schematic diagram of liquid level identification process

3 软件设计

基于 Lab Windows/CVI 平台设计自动检定装置的应用软件。软件系统在设计上采用了模块化的设计思路, 首先确定软件系统的整体结构与模块组成, 再逐步实现各个模块功能。软件系统模块设计如图 6 所示。

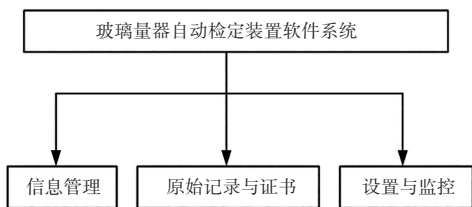


图 6 软件系统模块

Fig. 6 Software system module

3.1 信息管理模块

信息管理模块主要管理委托单以及量器样品的信息。设计信息录入界面, 提供量器类型以及规格等基本信息的录入功能。信息管理界面如图 7 所示。



图 7 信息管理界面

Fig. 7 Information management interface

3.2 设置与监控模块

在设置界面完成被检样品的检定参数设置, 可以通过查询数据库从已录入样品中完成对被检量器的选择, 也可以对被检量器的容量、检定点、量器材质、刻度线信息等参数进行设置。为了监控装置运行状态, 需要提供监控界面, 以动态画面显示相机实时运行状态。同时, 在量器检定过程中实时显示检定数据, 确保量器检定过程无异常。

3.3 原始记录与证书模块

保存系统中所录入的信息和修改记录, 为量器的稳定性以及重复性检定工作提供数据支持, 方便后期管理。根据固定的模板, 按照一定的命名规范生成规定格式的原始记录和检定证书文件保存在本地, 方便后续管理。原始记录与检定证书文件的生成标志着此次样品检定结束。原始记录与证书界面如图 8 所示。



图 8 原始记录与证书界面

Fig. 8 Interface of original records and certificates

4 实验分析

为了验证本文设计的玻璃量器自动检定装置是否满足设计技术指标要求, 能否代替人工进行检定, 本文使用 5 mL、50 mL 和 2 000 mL 规格量筒进行检定实验。检定点分别取量筒最小示值容量, 一般为总容量的 1/10; 半容量, 即从量器底部开始, 实验结果如表 3~5 所示。到量器总容量的 1/2 处; 总容量。实验场景如图 9 所示, 实验步骤如下。

1) 先对样品进行清洗, 洗净后器壁上不应有挂水等玷污现象。样品在清洗干净之后须在实验室内放置 4 h 后再进行检定。

2) 根据检定规程, 采用自动检测装置按照设定的流程对样品进行校准, 得到相应的校准结果和测量不确定度。

3) 将样品再次洗净干燥,等待4 h后,在相同的环境下,使用人工检定对相同的样品进行校准,得到相应的校准结果和测量不确定度。

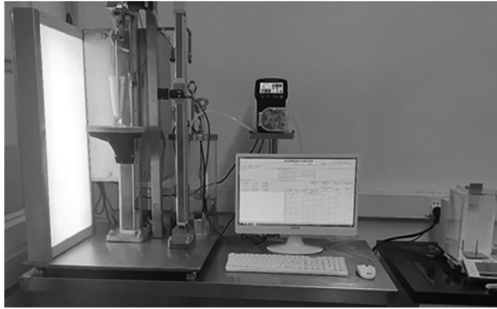


图9 实验场景

Fig. 9 Experimental scene

表3 5 mL量筒检定实验结果

Tab. 3 Experimental results of 5 mL graduated cylinder verification

检定点/ mL	检定方式	平均质量/ g	实际体积/ mL	扩展不确定度 ($k = 2$)
0.5	自动检定	0.484	0.485	0.02
	人工	0.488	0.489	0.03
2.5	自动检定	2.453	2.460	0.02
	人工	2.488	2.454	0.03
5.0	自动检定	4.933	2.460	0.02
	人工	4.934	4.948	0.02

表4 50 mL量筒检定实验结果

Tab. 4 Experimental results of 50 mL graduated cylinder verification

检定点/ mL	检定方式	平均质量/ g	实际体积/ mL	扩展不确定度 ($k = 2$)
5	自动检定	4.617	4.632	0.05
	人工	4.678	4.692	0.09
25	自动检定	24.577	24.657	0.06
	人工	24.570	24.747	0.10
50	自动检定	49.917	49.884	0.03
	人工	49.769	49.825	0.09

表5 2 000 mL量筒检定实验结果

Tab. 5 Experimental results of 2 000 mL graduated cylinder verification

检定点/ mL	检定方式	平均质量/ g	实际体积/ mL	扩展不确定度 ($k = 2$)
200	自动检定	208.863	209.567	0.9
	人工	210.773	211.39	2.1
1 000	自动检定	1 006.651	1 010.06	0.9
	人工	1 009.579	1 012.69	2.5
2 000	自动检定	2 003.26	2 010.05	0.7
	人工	2 005.584	2 011.6	1.6

由上表实验结果可以看出,该自动检定装置对不同规格量筒的检定扩展不确定度均低于人工检定的扩展不确定度,且自动检定装置的不确定度要求均满足表1的技术指标要求。表明本文设计的常用玻璃量器自动检定装置检测精度以及不确定度均优于人工检定,可以代替人工进行量器检定。

5 结论

本文设计了使用图像处理技术的玻璃量器自动检定装置,该装置能够替代人工检定,实现了玻璃量器检定流程的自动化、智能化,降低了检定机构的人工成本,为生产计量行业带来可观的经济效益,促进了玻璃量器检测行业朝着自动化、智能化的方向的发展。

提出了基于图像法的刻度线识别方案与液位检测方案,根据液位信息控制加液泵自动加液,从而实现了玻璃量器检定的自动读数以及自动加液的功能,解决了量器检定过程中手动加液和人眼读数易疲劳的问题,大大提高了检定效率和精度。

设计了应用软件系统,实现了检定过程中对量器的标定设置与监控、原始记录与证书生成等功能,减少了人为错误的风险。

参考文献

- [1] 宁启霞, 许有诚. 检测实验室中常用玻璃量器的规范化管理[J]. 中国计量, 2022(1): 112-115.
- [2] 徐璐. 常用玻璃量器计量检定工作中应注意的几点问题[J]. 技术与市场, 2018, 25(4): 123-125.
- [3] 郭亚丽, 李红. 常用玻璃量器检定的影响因素及消减措施[J]. 聚酯工业, 2021, 34(3): 57-58.
- [4] 张霖, 杨寒, 付光玲, 等. 标准玻璃量器和常用玻璃量器计量方法探讨[J]. 中国计量, 2022(4): 113-115.
- [5] 张浩宇, 张旭, 赵敏. 基于虚拟仪器技术的玻璃量器检定系统设计[J]. 山东师范大学学报, 2009, 24(3): 19-21, 25.
- [6] 谷一. 常用玻璃量器数据处理智能化设计[J]. 中国计量, 2017(12): 107-108.
- [7] 张竟月, 孙斌, 谢玄达, 等. 基于激光和机器视觉的微量液体容量计量方法[J]. 计量学报, 2018, 39(4): 504-509.
- [8] 乔人杰. 基于视觉的液位自动识别跟踪设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [9] 沈峰. 常用玻璃量器衡量法测量模型分析[J]. 价值工程, 2016, 35(30): 169-170.
- [10] 张亚东, 付新明, 雷洋, 等. 图像处理在自动化系统中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(12): 71-74.
- [11] 邓建波. 基于图像处理分析的真空泵刮片安装缺陷检测[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(1): 44-48.
- [12] 向传龙, 胥云. 基于机器视觉的铣刀磨损测量[J]. 自动化应用, 2023, 64(23): 142-146.
- [13] 张志远. 基于图像识别的集装箱定位系统研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2019.