

# 智能数字化计量压力表实验室

常禄萍, 杜天鋆\*, 裔昭臧

上海市计量测试技术研究院, 上海

收稿日期: 2024年9月10日; 录用日期: 2024年10月3日; 发布日期: 2024年10月11日

## 摘要

随着压力表检定需求的日益增加, 手动及半自动的标准器设备已经无法满足日常计量的需要。上海市计量测试技术研究院提出了压力表检测装置数字化改造方案, 并搭建智能数字化计量压力表实验室。文章从背景意义、创新做法、实验验证三方面论述了智能数字化计量压力表实验室建立的必要性。

## 关键词

压力表, 智能, 数字化计量

# Intelligent Digital Measuring Pressure Gauge Laboratory

Luping Chang, Tianjun Du\*, Zhaozang Yi

Shanghai Institute of Measurement and Testing Technology, Shanghai

Received: Sep. 10<sup>th</sup>, 2024; accepted: Oct. 3<sup>rd</sup>, 2024; published: Oct. 11<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the increasing demand for pressure gauge calibration, manual and semi-automatic standard equipment can no longer meet the needs of daily measurement. The Shanghai Institute of Metrology and Testing Technology has proposed a digital transformation plan for pressure gauge detection devices and established an intelligent digital measurement pressure gauge laboratory. This article discusses the necessity of establishing an intelligent digital measuring pressure gauge laboratory from three aspects: background significance, innovative practices, and experimental validation.

## Keywords

Pressure Gauge, Intelligent, Digital Measurement

\*通讯作者。

Copyright © 2024 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. 背景意义

压力表是一种常见的压力计量器具。近年来,随着企业的安全生产意识不断增强,质量管理体系逐渐完善,并且在强制检定收费免征政策的影响下,企业对于压力表的检测需求不断增加[1]。在压力表检测过程中我们发现以下问题:一是检测工作效率不高,对于样品原始记录,仍需手工填写,影响检测效率;二是数据准确性不足,检定数据的采集与处理仍采用人工读数、存在由人为因素导致误读、误判的风险;三是数字化程度不够,市局强检平台、LIMS系统与检测设备之间数据无法同步,检测过程中产生大量测量数据,无法对其加以分析和使用。

针对上述问题,市计量院技术骨干经过前期充分研究和探讨,结合《计量发展规划(2021~2035年)》“实施计量标准能力提升工程,加快推进各级各类计量标准技术改造和升级换代”的要求[2],拟定压力表检测装置数字化改造方案,并搭建智能数字化压力表实验室,已于2023年底正式投入运行。实验室面向计量设备数字化赋能,以效率提升为导向,针对压力表检测装置进行数字化改造,打造了一套数字化、自动化的智能检测装置,结合机器视觉、自动化控制等先进技术,实现样品信息自动获取、测量过程自动控制、测量数据自动采集、测量结果自动传输、记录证书“一键生成”,最终形成一套针对量大面广检测样品的数字化解决方案。

## 2. 创新做法

### 2.1. 检测装置智能化、数字化改造,实现“一键出证”

为了给予压力表检测工作全面的数字化赋能,市计量院的研究团队深入开展了多项前沿技术研究。团队专注于仪器设备智能控制、测量数据的自动采集,以及测试图像的自动识别,力求在每一个环节都实现智能化提升。通过不懈努力,团队成功突破了协议限制,打通了仪器设备、LIMS系统与市局强检平台之间的数据壁垒,创建了一个能够实现测量过程自动化、信息化、智能化的压力表智慧计量实验室,为压力表检测工作带来了革命性的变革。

### 2.2. 图像识别技术应用,实现测量数据自动采集

装置采用独立的智能图像识别系统,针对手动调焦以及环境光源影响的问题进行优化,将光学字符识别(OCR)与指针式仪表数据采集功能相结合,形成一套功能丰富的视觉识别系统。可实现以下功能:一是实现自动识别表盘直径并自动调节取景框和自动调距调焦;二是具备自动识别被检表的最大量程、表盘直径、分度值、计量单位以及生产厂家、出厂编号等功能;三是能够快速精准地自动识别被检压力表的实时示值,实时采样图像和识别值自动保存;四是具有示值误差、轻敲位移等数据处理和记录存储功能,确保检定过程数据的安全性、可靠性。

### 2.3. 检测设备设计改造,实现测量过程智能化控制

为解决压力表测量过程中人工操作步骤多、效率低的问题,通过检测流程重新设计和机电控制技术利用,设计打造了一款全自动压力表检测装置本方案,包含一台DLCZ6II型真空(气体介质)、四台DLC06II型(气体介质)、一台DHII60型(水介质)共六套双工位压力表智能检定装置以及一套集约式压力表智慧检

测管理系统(图 1)。整套装置通过多通道多工位设计,可由一人同一时间进行 6 台压力表的检定工作,大大提高检定效率;设计径向——轴向自动转换系统,省去径向与轴向压力表转接头频繁更换的步骤;设计压力表快速装夹机构,采用通过卡爪、密封圈活动套、浮动内管和密封承压套等部件的结构设计,确保检测过程无泄漏,实现一键电控装卸压力表功能,简便快捷;设计压力自动调节系统,采用精调伺服阀搭配自适应控制算法,实现检定过程中升压、保压、降压、轻敲等动作过程自动化,控压稳定可靠。



Figure 1. Automatic pressure gauge testing device  
图 1. 全自动压力表检测装置

#### 2.4. 打通数据壁垒, 走好检测出证的最后一步

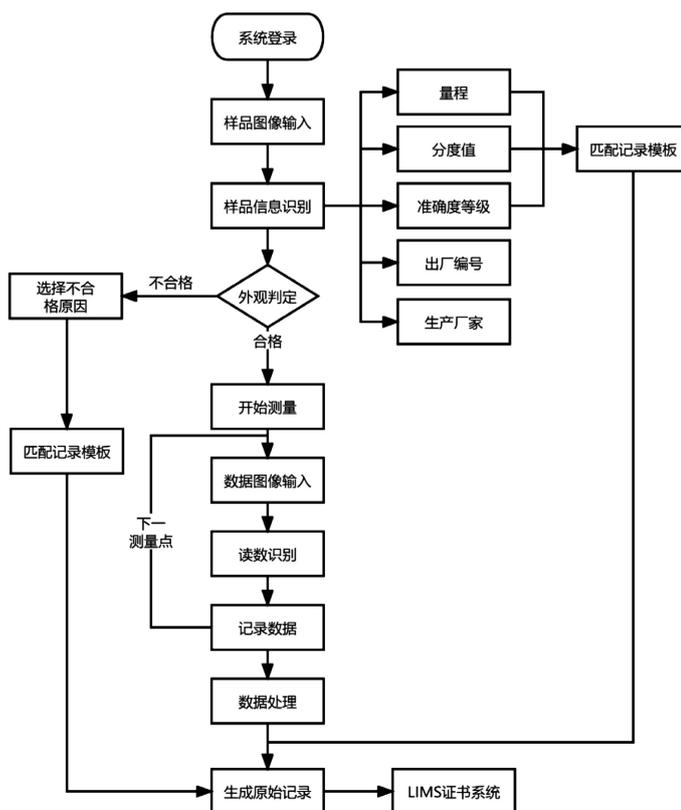


Figure 2. Workflow diagram of intelligent detection digital laboratory  
图 2. 智能检测数字实验室工作流程图

实验室面向压力表检测实际工作场景,为进一步提升压力表检定流程自动化程度,打通仪器设备、LIMS系统与市局强检平台数据壁垒,实现平台系统间数据的互联互通,研究团队根据检定规程、业务运行、质量管理、样品流转等制度要求,建立了一套压力表从上机到出证的完整流程,真正实现“一键出证”功能。测量过程中,数据读数模块负责自动识别和记录样品的压力值,并进行示值误差、回程误差、合格判定等数据处理和分析;测量结束后,测量数据通过通用接口协议回传至LIMS系统,根据样品信息匹配相应的原始记录模板,自动填入回传的测量数据并自动生成电子证书(图2)。

### 3. 计量结果的验证

选取一台准确度高,数据可靠稳定的一般压力表,准确度等级为1.0级,测量范围为(0~1.6)MPa,其压力值的最大允许误差为 $\pm 0.016$ MPa。选用压力表智慧检测数字实验室中的全自动压力表检测装置,对其进行校准,并评定测量结果不确定度。

#### 3.1. 测量模型

$$\Delta p = p - p_s \quad (1)$$

式中:  $\Delta p$ ——一般压力表的示值误差;

$p$ ——一般压力表的压力值;

$p_s$ ——全自动压力表检测装置的压力值。

#### 3.2. 标准不确定度的来源

- 1) 一般压力表重复性测量引起的不确定度;
- 2) 一般压力表示值估读引起的不确定度;
- 3) 标准器本身误差引起的不确定度;
- 4) 环境温度引起的不确定度。

因为测量环境条件符合规程要求,所以可以忽略环境温度引起的不确定度。

#### 3.3. 对一般压力表进行多次重复测量引起的标准不确定度分量 $u_1(p)$

标准不确定度分量  $u_1(p)$  主要来源于一般压力表的压力示值的不确定度,可以通过连续测量得到测量列,采用A类方法进行评定。

根据校准规范选择0.4MPa、0.8MPa、1.2MPa、1.6MPa测量点,分别以正行程和反行程方向逼近测量点,各测量5次,得到各测量10次的测量列。

由测量列数据可知,在1.6MPa测量点的单次标准试验标准差最大,所以选择该点进行分析可以得到该一般压力表的最大的示值误差的测量不确定度。

如表1所示为1.6MPa测量点的测量列。

**Table 1.** Measuring point at 1.6 MPa

**表 1.** 测量点为 1.6 MPa 的测量列

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值(MPa)	1.600	1.608	1.604	1.604	1.604	1.604	1.608	1.600	1.600	1.600

平均值为

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i = 1.6032 \text{ MPa}。$$

单次实验标准差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n-1}} = 0.00316 \text{ MPa}。$$

则可得到标准不确定度  $u(p)$  为

$$u(p) = 0.00316 \text{ MPa}。$$

### 3.4. 对一般压力表值估读引入的标准不确定度分量 $u_2(p)$

该标准不确定度分量  $u_2(p)$ ，主要来源于检定员的习惯以及指针与刻度间的距离，视线可能产生偏角。因此应用 B 类方法进行评定。

对于指针类一般压力表，根据检定规程规定，要求估读至最小分度值的 1/5，该一般压力表的最小分度值为 0.02 MPa，最小可估读 0.004 MPa，则其区间半宽  $a = 0.004 \text{ MPa}$  认为在区间内是均匀分布的，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u_2(p)$  为

$$u_2(p) = a/k = 0.00231 \text{ MPa}。$$

### 3.5. 全自动压力表检测装置其本身误差引起的不确定度 $u(p_s)$

标准不确定度  $u(p_s)$  主要来源于全自动压力表检测装置的误差。因此，应用 B 类方法进行评定。

根据厂家指标，该全自动压力表检测装置的最大允许误差为  $\pm 0.00125 \text{ MPa}$ ，此值作为区间半宽  $a = 0.00125 \text{ MPa}$ ，认为在区间内是均匀分布的，取包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度  $u(p_s)$  为

$$u(p_s) = a/k = 0.000722 \text{ MPa}。$$

### 3.6. 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总如表 2 所示。

在合成标准不确定度时，需比较重复性和示值估读(即分辨力)引入的不确定度分量值的大小，两者中舍去小值，只取大值作为合成标准不确定度的分量[3]，因此，舍去重复性测量引入的标准不确定度分量  $u_1(p)$ 。

Table 2. Standard uncertainty component summary table

表 2. 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 $c_i$	标准不确定度分量 $ c_i u(x_i)$
$u(p)$ 的不确定度	0.00316 MPa	1	0.00316 MPa
$u_1(p)$ 的不确定度	0.00316 MPa	/	/
$u_2(p)$ 的不确定度	0.00231 MPa	/	/
$u(p_s)$ 的不确定度	0.000722 MPa	-1	0.000722 MPa

### 3.7. 合成标准不确定度的计算

因为  $u(p)$  与  $u(p_s)$  彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式得到：

$$u_c^2(\Delta p) = \left[ \frac{\partial \Delta p}{\partial p} \times u(p) \right]^2 + \left[ \frac{\partial \Delta p}{\partial p_s} \times u(p_s) \right]^2 = [c_1 u(p)]^2 + [c_2 u(p_s)]^2$$

$$u_c(\Delta p) = 0.00324 \text{ MPa}。$$

### 3.8. 扩展不确定度的评定

取包含因子  $k = 2$ ，扩展不确定度为

$$U = 2 \times 0.00324 = 0.00648 \text{ MPa}$$

该压力表示值的相对扩展不确定度为

$$U = 0.4\% \text{ FS } (k = 2)$$

### 3.9. 结论

对于 1.0 级压力表的 MPEV 是 0.016 MPa，所评定的扩展不确定度  $U < 1/3$  MPEV，其他等级一般压力表亦是如此。因此，使用全自动压力表检测装置检测一般压力表所得到的结果是合理的。

## 4. 结语

压力表智慧检测数字实验室致力于应用计量技术研究，旨在加强计量标准设备数字化、智能化程度，着力提高检测效率，提升测量数据采集的准确程度。通过实验和不确定度评定验证了智慧实验室中全自动检测装置检测一般压力表的可行性。实验室作为检验检测行业数字化转型的先行先试，为其他检验检测设备的数字化改造提供范例。实验室建立对检测效率的提升，满足压力表强制检定日益增长的需求，提升计量标准在安全生产、先进制造等领域发挥技术支撑作用。

## 参考文献

- [1] JJG 52-2013《弹性元件式仪表压力表、压力真空表和真空表》检定规程[EB/OL]. <https://jig.spc.org.cn/resmea/standard/JJG%252052-2013/>, 2024-09-24.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发计量发展规划(2021-2035年)的通知[EB/OL]. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/28/content\\_5670947.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/28/content_5670947.htm), 2024-07-28.
- [3] JJF 1059.1-2012《测量不确定评定与表示》[EB/OL]. <https://jig.spc.org.cn/resmea/standard/JJF%25201059.1-2012/>, 2024-09-24.