

数字压力计在实验室环境下的稳定性与重复性评估

王 鹏*

(北京市西城区计量检测所, 北京 100055)

摘要: 目的 本研究旨在评估数字压力计在实验室环境下的稳定性与重复性, 以验证其在不同压力范围内的测量准确性和长期使用中的性能表现, 为数字压力计的校准与应用提供科学依据。**方法** 实验采用了多点多次测量的方法, 选取 0.1、0.3、0.6 MPa 三个不同的压力点进行测试。每个压力点进行了 10 次重复测量, 以评估数字压力计的重复性。同时, 通过每三个月一次的长期测量, 持续一年, 观测数字压力计在长期使用中的稳定性表现。实验环境条件严格控制, 温度保持在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, 相对湿度在 40% 至 60% 之间。**结果** 数字压力计在三个压力点上的标准偏差分别为 0.10088、0.30057、0.60087, 标准偏差均较小, 重复性良好。同时, 在长时间使用过程中, 各测量点的测量值变化幅度较小, 极差和平均值的变化均在允许误差范围内, 表明其具有良好的长期稳定性。**结论** 数字压力计在实验室环境下表现出较高的重复性和稳定性, 适用于高精度压力测量场合。本研究为数字压力计的校准和实际应用提供了科学依据, 同时也为未来相关设备的研发和改进提供了参考方向。

关键词: 数字压力计; 稳定性; 重复性

Evaluation of stability and repeatability of digital pressure gauge in laboratory

WANG Peng*

(Beijing Xicheng District Metrology and Testing Institute, Beijing 100055, China)

ABSTRACT: Objective This study aims to evaluate the stability and repeatability of digital pressure gauges in laboratory environments, to verify their measurement accuracy in different pressure ranges and performance in long-term use, and to provide scientific basis for the calibration and application of digital pressure gauges. **Methods** The experiment adopted a multi-point and multiple measurement method, selecting three different pressure points of 0.1, 0.3, 0.6 MPa for testing. Ten repeated measurements were taken at each pressure point to evaluate the repeatability of the digital pressure gauge. Meanwhile, through long-term measurements every three months for one year, observe the stability performance of the digital pressure gauge during long-term use. The experimental environment conditions are strictly controlled, with a temperature maintained at $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ and a relative humidity between 40% and 60%. **Results** The standard deviations of the digital pressure gauge at the three pressure points were 0.10088, 0.30057 and 0.60087, respectively. The standard deviations were small and the repeatability was good. At the same time, during long-term use, the measurement values at each measurement point have a relatively small change amplitude, and the changes in range and average values are within the allowable error range, indicating that it has good long-term stability. **Conclusion** Digital pressure gauges exhibit high repeatability and stability in laboratory environments, making them suitable for high-precision pressure measurement applications. This study provides a scientific basis for the calibration and practical application of digital pressure gauges, and also provides a reference direction for the research and improvement of related equipment in the future.

KEY WORDS: digital pressure gauge; stability; repeatability

0 引言

数字压力计作为精确测量压力的重要仪器, 广泛应用于工业、科研、航空航天等领域, 其测量精度和可靠性直接影响各类应用场景中的压力监测和控制质量。近年随着科学技术的不断进步, 数字压力计的技术水平和应用范围不断扩大。传统机

械式压力计由于精度低、受外界环境影响大, 逐渐被高精度、高稳定性的数字压力计所取代。尤其在实验室环境下, 对压力测量精度和稳定性的要求更为严格, 数字压力计的优势得到了充分体现。本文旨在通过设计和实施一系列实验, 系统评估数字压力计在实验室环境下的稳定性和重复性。通过详细的数据处理与分析, 确定其测量值在不同压力点和不同时间间隔内的波动情况, 从而为数字压力计的使用和校准提供科学依据。

* 通信作者: 王鹏, 中级工程师, 研究方向为计量。E-mail: 1787095762@qq.com

* Corresponding author: WANG Peng, Engineer, Beijing Xicheng District Metrology and Testing Institute, Beijing 100055, China. E-mail: 1787095762@qq.com

1 材料与方法

1.1 仪器设备

数字压力计 (DMG512C, 德力西电气集团)、压力校验台 (BST2000N-SY, 北京必思拓科技有限公司)、便携气压泵 (CF-

CQ01, 深圳市艾科能电子科技有限公司)。

1.2 实验装置和原理

1.2.1 数字压力计标准装置的组成

数字压力计标准装置的组成主要包括数字压力计、压力校验台和配套设备, 具体参数如表 1 所示。

表 1 主标准器及其配套设备性能表
Table 1 Performance table of main standard and its supporting equipment

名称	测量范围(MPa)	准确度等级	工作介质
主标准器	-0.1~0.1	0.05 级	—
	0~0.6		
	0~2.5		
	0~10		
	0~60		
配套设备	压力校验台	—	变压器油
	便携气压泵	—	空气

1.2.2 工作原理

数字压力计标准装置的工作原理基于直接比较法进行量值传递。通过压力校验台或便携气压泵产生特定的压力, 该压力同时作用于数字压力计和被检压力表^[1-2]。

1.3 数字压力计的实验方法

1.3.1 重复性实验设计

(1) 测量范围和测量点的设定

为全面评估 0.05 级数字压力计标准装置的重复性性能, 设定了三个测量点: 低点 0.1 MPa、中点 0.3 MPa 和高点 0.6 MPa。

(2) 测量次数和条件

为了评估 0.05 级数字压力计标准装置的重复性性能, 本实验在每个设定的测量点进行 10 次重复测量。每次测量前, 确保实验室环境条件恒定, 温度保持在 (20±2) °C, 相对湿度控制在 40% 至 60% 之间, 以避免环境变化对测量结果的影响^[3-4]。

1.3.2 稳定性实验设计

为了全面评估 0.05 级数字压力计标准装置的长期稳定性, 本实验选取 0.1、0.3、0.6 MPa 三个测量点, 这些测量点覆盖了数字压力计的主要工作区间, 能够反映其不同压力条件下的稳定性表现。测量时间间隔设定为每三个月进行一次测量, 持续一年的时间^[5-6]。

1.4 数据处理

1.4.1 重复性实验数据处理

每次测量过程中, 将数字压力计和被检压力表的示值同时读取并详细记录在实验记录表中, 记录内容包括测量点、测量次数、压力值和对应的示值。

(1) 计算标准偏差

假设在某个测量点的十次测量值分别为 X_1 、 X_2 、……、 X_{10} , 接下来, 计算这些测量值的平均值 (\bar{X}), 计算公式为:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中, n 为测量次数, 即 10 次。平均值计算完成后, 进一步计算每个测量值与平均值之间的差值, 即偏差值 (d_i), 计算公式为:

$$d_i = X_i - \bar{X}$$

然后, 将这些偏差值平方, 得到每个测量值的平方偏差。接着, 计算所有平方偏差的平均值, 即方差 (s^2), 计算公式为:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

其中, $n-1$ 为自由度。最后, 对方差取平方根, 得到标准偏差 (s), 公式为:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

标准偏差计算完成后, 通过分析各测量点的标准偏差, 可以评估数字压力计标准装置的重复性表现^[7-10]。

1.4.2 稳定性实验数据处理

每次测量时, 在预定的测量点分别进行六次重复测量, 记录每次的示值。所有测量数据详细记录在实验记录表中, 包括测量日期、测量点、各次测量的具体示值及其平均值^[11]。

(1) 计算测量值的平均值和极差

平均值反映测量值的集中趋势, 而极差则反映测量值的离散程度。为了计算测量值的平均值, 对每个测量点在不同时间间隔内的六次重复测量值进行记录和汇总。假设在某个测量点 (例如 0.1 MPa), 在不同时间间隔 (例如 1 月、4 月、7 月、10 月) 内的六次测量值分别为 X_1 、 X_2 、……、 X_6 , 平均值 (\bar{X}) 的计算公式为:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

其中, n 为测量次数, 即 6 次。通过计算每个时间间隔的

平均值，可以观察测量值随时间的变化情况，评估其稳定性。接下来，计算每个测量点在各时间间隔内测量值的极差。极差(R)的计算公式为：

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

其中， X_{\max} 为六次测量值中的最大值， X_{\min} 为最小值。极差能够量化测量值的波动范围，通过比较不同时间间隔内的极差，可以评估测量装置的长期稳定性。

2 结果与分析

2.1 重复性实验数据分析与评估

实验数据的分析与评估如表 2 所示。

在 0.1 MPa 测量点，十次测量值的平均值为 0.10088 MPa，标准偏差为 0.0002 MPa。这表明在该测量点上，测量结果的离散程度较低，重复性良好。在 0.3 MPa 测量点，十次测量值的

平均值为 0.30057 MPa，标准偏差为 0.0004 MPa。相较于 0.1 MPa 测量点，0.3 MPa 测量点的标准偏差略高，但仍处于较低水平，显示出良好的重复性。在 0.6 MPa 测量点，十次测量值的平均值为 0.60087 MPa，标准偏差同样为 0.0004 MPa。这说明在高压测量点，测量结果的离散程度与 0.3 MPa 测量点相近，重复性依然较好。

总之，上述实验结果符合数字压力计检定规程 JJG 875—2005 的相关要求，该数字压力计标准装置在 0.1、0.3、0.6 MPa 三个测量点上的标准偏差均较小，测量值的离散程度低，表明该装置在上述测量范围内具有良好的重复性。

2.2 稳定性实验数据分析与评估

在稳定性实验数据处理中，对测量值的平均值和极差进行详细分析与评估，以评估数字压力计在长期使用中的稳定性，表 3 是实验数据的具体分析与评估结果。

表 2 重复性实验数据统计表
Table 2 Statistical table of repetitive experimental data

测量点(MPa)	测量次数	测量值(MPa)	平均值(MPa)	标准偏差(MPa)
0.1	10	0.1008、0.1007、0.1009、0.1010、0.1006、0.1010、0.1008、0.1009、0.1010、0.1011	0.10088	0.0002
0.3	10	0.3001、0.3002、0.3000、0.3005、0.3009、0.3007、0.3006、0.3004、0.3010、0.3013	0.30057	0.0004
0.6	10	0.6002、0.6005、0.6009、0.6010、0.6012、0.6017、0.6008、0.6008、0.6009、0.6007	0.60087	0.0004

表 3 稳定性实验数据统计表
Table 3 Statistics of stability experiment data

测量点(MPa)	时间间隔	测量值(MPa)	平均值(MPa)	极差(MPa)
0.1	1 月	0.1005、0.1006、0.1007、0.1008、0.1009、0.1010	0.10075	0.0005
	4 月	0.1008、0.1006、0.1007、0.1011、0.1009、0.1008	0.10082	0.0005
	7 月	0.1011、0.1010、0.1009、0.1008、0.1007、0.1006	0.10085	0.0005
	10 月	0.1006、0.1005、0.1007、0.1009、0.1010、0.1008	0.10075	0.0005
0.3	1 月	0.3000、0.2999、0.3002、0.3003、0.3004、0.3005	0.30022	0.0006
	4 月	0.3001、0.3000、0.3003、0.3004、0.3005、0.3006	0.30032	0.0006
	7 月	0.3005、0.3004、0.3006、0.3007、0.3003、0.3002	0.30045	0.0005
	10 月	0.3003、0.3002、0.3004、0.3005、0.3006、0.3007	0.30045	0.0005
0.6	1 月	0.6005、0.6006、0.6009、0.6010、0.6012、0.6013	0.60092	0.0008
	4 月	0.6007、0.6006、0.6008、0.6011、0.6010、0.6009	0.60085	0.0005
	7 月	0.6009、0.6008、0.6007、0.6010、0.6011、0.6006	0.60085	0.0005
	10 月	0.6010、0.6009、0.6008、0.6011、0.6006、0.6007	0.60085	0.0005
	10 月	0.6010、0.6009、0.6008、0.6011、0.6006、0.6007	0.60085	0.0005

通过上述数据分析，可以看出在各测量点上，测量值的平均值和极差随时间变化的趋势。

在 0.1 MPa 测量点，四个时间间隔（1 月、4 月、7 月、10 月）的平均值分别为 0.10075、0.10082、0.10085、0.10075 MPa，表明该测量点的稳定性良好，测量值在不同时间间隔内保持一致。

在 0.3 MPa 测量点，四个时间间隔的平均值分别为 0.30022、0.30032、0.30045、0.30045 MPa，平均值变化较小，极差分别

为 0.0006 MPa 和 0.0005 MPa，表明该测量点具有较好的稳定性，测量值在不同时间间隔内的波动较小。

在 0.6 MPa 测量点，四个时间间隔的平均值分别为 0.60092、0.60085、0.60085、0.60085 MPa，平均值变化范围很小，极差为 0.0008 MPa 和 0.0005 MPa。尽管极差在 1 月的测量中稍大，但整体来看，该测量点的稳定性依然良好。

总之，上述实验结果符合数字压力计检定规程 JJG875—

2005 的相关要求, 0.05 级数字压力计标准装置在各测量点上的长期稳定性表现良好, 平均值变化范围较小, 极差较低, 表明该装置在长期使用中能够保持良好的测量精度和一致性。

3 讨论与结论

3.1 研究中的创新和重要发现

在本文的研究中, 关于数字压力计在实验室环境下的稳定性与重复性实验设计的创新和重要发现如下所示。

第一, 采用了多点多次测量的实验方法, 设置了低、中、高三不同压力点 (0.1、0.3、0.6 MPa), 在每个压力点进行 10 次重复测量, 并结合长时间间隔 (每三个月一次, 持续一年) 的稳定性测量, 不仅能够全面评估数字压力计的短期重复性, 还能够有效检测其在长时间使用中的稳定性, 并且这种多层次的实验设计在同类研究中较为少见, 具有一定的创新性。第二, 实验结果显示数字压力计在三个测量点上的标准偏差和极差较小, 表明该仪器具有良好的重复性和长期稳定性。尤其在长期实验中, 各测量点的平均值变化幅度极小, 反映了数字压力计在长时间内的测量准确性保持良好, 这一发现为数字压力计的实际应用提供了科学依据, 特别是在高精度要求的场合, 如工业控制和科研实验等领域。

3.2 本实验设计的优势

本文实验设计的优势主要体现在多个方面。

第一, 实验采用了严谨的实验条件控制, 特别是在环境条件的稳定性方面, 确保温度保持在 $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, 相对湿度在 40% 至 60% 之间, 从而最大限度地减少外界环境因素对实验结果的干扰, 这种严格的环境控制在重复性和稳定性实验中尤为重要, 因为压力测量对温湿度变化敏感。第二, 本实验设计了三个不同的压力测量点 (0.1、0.3、0.6 MPa), 覆盖了数字压力计常见的工作压力区间, 确保了实验结果的广泛适用性。这种多点测量方法能够更全面地反映数字压力计在不同压力范围内的表现, 提供了更具代表性的数据。第三, 实验采用多次重复测量和长期观测相结合的方法, 不仅通过 10 次重复测量评估了数字压力计的短期重复性, 还通过每三个月一次、持续一年的实验观察其长期稳定性。这种结合短期和长期实验的设计, 使得实验结果具有较强的科学性和参考价值。

3.3 存在的不足

尽管本实验设计在数字压力计的稳定性与重复性研究中取得了较好的成果, 但仍存在一些不足之处, 具体如下所示。

第一, 实验设备的校准频率可能会影响到实验结果的准确性, 尤其是在测量误差较小时, 校准不及时可能会导致结果偏差。第二, 实验条件虽然严格控制了温度和湿度, 但未能模拟

更为复杂的环境条件, 如高温、高湿、低温等极端环境下的表现, 这对数字压力计在实际应用中的适应性评估有所局限, 以上这些不足之处为未来的研究提供了进一步改进的方向。

总之, 数字压力计在实验室环境下的稳定性与重复性研究不仅具有重要的理论意义, 还对实际应用具有重要的指导价值。通过系统的实验设计和数据分析, 能够全面评估数字压力计的性能, 为其在各类应用中的推广和使用提供科学依据。未来, 随着数字技术和传感器技术的不断发展, 数字压力计的测量精度和稳定性有望进一步提高。新材料和新工艺的应用, 将使数字压力计在极端环境下的性能得到改善。

参考文献

- [1] 于大洋, 吴红肖, 刘业路, 等. 工作标准数字压力计检定方法 [J]. 机械管理开发, 2024, 39(03): 24-25, 28.
- [2] 刘业路. 0.05 级数字压力计测量审核实例及不确定度评定 [J]. 机械管理开发, 2024, 39(02): 8-10.
- [3] 全国压力计量技术委员会. 数字压力计检定规程: JJG 875—2005 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2005.
- [4] 王鹏. 数字压力计的误差来源与提高精度的措施 [J]. 大众标准化, 2023, (24): 196-198.
- [5] 周建童. 0.05 级数字压力计标准装置建标重复性、稳定性和不确定度评定 [J]. 上海计量测试, 2019, 46(06): 49-51.
- [6] 韩飞, 王鸿雁, 范祎萌, 等. 关于 JJG 875—2005《数字压力计检定规程》中稳定性的探讨 [J]. 中国计量, 2016, (11): 113-115.
- [7] 陈明, 谢鹏, 丁浩然, 等. 0.05 级数字压力计标准装置不确定度评定及其应用 [J]. 水电与新能源, 2023, 37(08): 22-25.
- [8] 王素侠, 蒋涛, 刘宇, 等. 数字压力计标准装置期间核查实施试验 [J]. 计量与测试技术, 2018, 45(10): 32-33, 38.
- [9] 马平原, 迟琨. 数字压力计检定压力表时标准值的设定 [J]. 中国计量, 2016, (02): 114-115.
- [10] 程虎, 刘杰伟. 数字压力计作为压力表检定标准器的选型 [J]. 计量与测试技术, 2015, 42(10): 67-68.
- [11] 孙艳国. 浅谈数字压力计标准装置期间核查 [J]. 石油工业技术监督, 2014, 30(07): 28-29, 47.

作者简介



王鹏, 中级工程师, 研究方向为计量。