

计量检测中压力表的误差分析与修正技术

张 军

保定市计量测试所, 河北 保定 071000

[摘要]压力表对计量检测起到不可忽视的作用,系统误差、随机误差以及结构误差等属于常见误差,直接关乎测量精度以及设备运行的安全性,经过分析误差出现的物理与环境要素,归集通用的检测及修正举措,诸如静态校准法、动态检测法、软件算法修正法和硬件补偿技术,以实际应用案例为依托,归纳各行业可采用的误差控制方法,为改善压力测量的精准度与稳定性、规范计量检测流程提供了可靠的技术手段和参考范例。

[关键词]压力表; 计量检测; 误差分析; 修正技术; 智能化校准

DOI: 10.33142/ec.v8i6.17215

中图分类号: TB935

文献标识码: A

Error Analysis and Correction Technology of Pressure Gauge in Measurement and Testing

ZHANG Jun

Baoding Metrology and Testing Institute, Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract: Pressure gauges play an indispensable role in measurement and testing. System errors, random errors, and structural errors are common errors that directly affect measurement accuracy and equipment operation safety. After analyzing the physical and environmental factors that cause errors, general detection and correction measures such as static calibration, dynamic detection, software algorithm correction, and hardware compensation techniques are collected. Based on practical application cases, error control methods that can be adopted in various industries are summarized, providing reliable technical means and reference examples for improving the accuracy and stability of pressure measurement and standardizing the measurement and testing process.

Keywords: pressure gauge; measurement and testing; error analysis; correction technology; intelligent calibration

引言

作为工业领域惯用的测量仪表,普遍应用于生产过程监督、设备安全运转和能效管理等相关环节,测量的准确性直接与系统稳定性及操作安全相联系,但在实际的应用场景里,受环境的改变、结构设计及操作因素所扰,压力表容易出现各式各样的误差,国内外学者针对误差识别及修正技术开展深入研究,建立起多种理论模型与应用途径,围绕误差类型的分析、检测途径及修正工艺,实施系统性的探讨,推动压力计量水平向上迈进。

1 压力表误差的分类与成因分析

1.1 系统误差

系统误差是因外部环境以及仪表自身稳定特性,在压力表测量过程中产生的可预测的重复性误差。在实际测量环境中温度所导致的影响十分普遍,温度的变动可引起弹性元件膨胀或收缩,造成零点漂移以及灵敏度起变化,由此影响压力值的测量,材料的弹性滞后也是一大影响因素,弹簧管等弹性元件长期投入使用,会出现力学性能衰退,表现为回弹出现延迟、形变有残留,引发输出与实际压力之间出现系统性偏差,零点漂移亦是普遍存在的问题,长时间工作、频繁启动再加上静压加载后,压力表指针难以回归零位处,导致全程测量数据出现了偏移,影响数据解析与系统判识。

1.2 随机误差

随机误差呈现为无法预判、毫无规律的小幅度波动,

一般和人为因素及当下环境的即时变化有关联,读数误差是最直显的体现情形,特别是在采用机械指针的压力表里,观察角度若有偏差便会造成视差,令读数脱离真实值范畴,操作人员实施的不规范动作,诸如施加压力时速率过快、读数时刻没统一等,同样会引入一些误差,特定的工况下,系统出现了较大的瞬时压力波动,诸如泵开启关闭、阀门开启等的瞬态环节,压力表不能马上对全部变化作出响应,记录下来的数据跟实际瞬时压力值出现了偏差。

1.3 固有误差

首当其冲的是传动机构出现磨损,长期运转让压力表内部的齿轮啮合松动、连杆磨损导致指针抖动或回差,引起传动精度降低,引发量程的偏移或是灵敏度的下降,弹簧管设计出现不合理现象,若形状弯曲半径设计过小,抑或管壁厚度不均一,会引起弹性元件线性度不够,由此影响到整体的测量精度,若压力表安装位置未达水平要求,或者其所处环境存在诸如强振动、磁场干扰等外部状况,也会对仪表内部传动结构形成影响,由此产生结构性误差,通常要采用检修或更换硬件的方法来减小此类误差。

2 误差检测方法与技术手段

2.1 静态校准方法

压力表检测常用的方法就是静态校准,一般于标准实验室环境中开展,采用标准器示值与被检压力表示值直接比较的方法,审视其指示误差情形,经由设定多个标准压

力点完成多点校验,可全面知悉压力表于整个量程区间的性能表现,诸如线性度状况、灵敏度状况与重复性误差。在检测活动开展阶段,按点依次施加压力,记录压力表指针读数以及数显读数,继而跟标准标准器示值进行对比,整理出误差数据表,接着采用校准数据开展曲线研判,把测量误差点拟合合成函数曲线,借此判断误差分布的走势,为误差的修正给出依据,该方法适用于要周期性检定和初次投入使用的压力表,可助力维持仪器长久稳定性与测量可靠性。

2.2 动态检测方法

虽说静态校准可反映基本测量特性,但无法对压力表在实际运行里面临的快速变化与复杂波动进行模拟,动态检测方法渐受重视,依托实时监测及记录系统,可对压力表于实际工况下的输出数据进行持续采集,跟标准传感器信号进行对照分析,检验其在波动压力情形里的响应能力与误差数值。压力响应测试采用施加特定频率及幅值的变化压力方式,留意仪表反应所呈现的滞后、振荡或过冲现象,以此评定其动态性能,采纳时间域误差分析相关技术,从时间分布方面审视压力变化过程和仪表响应存在的差异,分辨短时干扰与响应滞后的误差特性表现,该类方法常应用于高频动态系统,也用于对响应速度要求较高的场景,就如液压系统和燃气管网监测工作里。

2.3 实验室环境控制技术

为提升误差检测的精准度与稳定性,良好把控实验室环境是误差检测的基础保障,显著影响压力表结构材料与弹性元件性能的是温湿度的变化,误差检测的重要前提是温湿度调控,在检定室里设置恒温恒湿装置,可有效消除环境变化造成的附加误差。电磁干扰同样是影响检测精准度的关键要素,尤其是针对电子式的压力表,得采取电磁屏蔽相关措施,降低外部电场与磁场的干扰,实验室墙体及检定设备应加装金属屏蔽层,信号线路应具备抗干扰滤波及接地保护功能。诸如地面震动和仪器晃动等机械干扰,也有影响测量稳定性的可能,应采用防震台加上软连接装置,要让仪表安装牢固且达到水平要求。

3 压力表误差修正技术研究

3.1 软件修正算法

伴随测量技术数字化不断发展,应用于误差修正的软件算法愈发普遍,成为提升压力表精准度的关键方法之一,最常见的方法里有多项式拟合修正,收集校准环节里的误差数据,借助最小二乘法拟合出误差变动的数学模型,后续测量之际用该模型对原始数据实施修正,有效提升测量的准确水平。除了采用传统拟合方法以外,基于人工智能的神经网络模型应用呈渐增趋势,神经网络可借助学习大量的历史误差数据,自主抓取影响因素之间的非线性关联,实现高复杂度误差特征的自适应修正补偿,能应用在动态变化工况的精密测量里。实时测量过程采用了数据插值与滤波处理技术,借助移动平均、卡尔曼滤波等算法消除高

频杂音与即刻起伏,实现输出曲线的稳定,增进压力值的平滑效果与可靠度,软件修正算法的灵活性十分显著,可迅速适应不同类别的压力表与多变的测量环境,成为数字压力表的主要功能模块。

3.2 硬件补偿技术

除软件方法这一途径外,硬件层面的补偿设计,对增强压力表稳定性及精度同样有关键意义,自动调零电路设计可成功解决零点漂移问题,在仪表启动以及周期性运行进程里自动调整基准电位,保证零点始终处于无误的位置,提高长期工作的稳定性。就温度影响引发的误差情形,多采用温度补偿部件,诸如热敏电阻、热电偶之类,实时监测温度的动态变化并与压力信号相联动,维持不同温度条件下压力读数的一致性,压力传感器模块集成技术渐入成熟阶段,把高精度压力传感器、温度补偿芯片以及信号处理单元封装成整体,合成智能模块,拥有诸如自校准、自诊断的功能,大幅增强系统整体的抗干扰与修正本领。

3.3 修正技术应用案例

已有多个行业实际应用了误差修正技术,也取得了良好成效,就化工领域而言,压力表可对高温高压环境中的反应釜及管道系统开展监测工作,以软件拟合修正与温度补偿模块结合之法,有效化解腐蚀、热膨胀等引发的测量方面误差,守护生产安全以及产品质量。航空测试系统对压力测量精度的要求高到极致,某型号飞机发动机测试平台引入了动态滤波技术以及神经网络算法,达成对细微压力波动的高敏感度捕捉与精准校正,增进了飞行器动力系统测试的准确水平,在工业锅炉压力的监控事宜里,由于运行环境错综、振动剧烈,传统压力表误差大得明显,借助将压力传感器与抗震支架集成、引入具备自动调零功能的数字表头,极大增强了监测系统可靠性及响应速度。实际计量检测中,带有自动调零功能的数字压力表也已经广泛应用,自动调零功能通过智能化补偿机制,解决了传统压力表在零点稳定性、操作效率和环境适应性上的痛点,特别适合高精度、高频次或复杂环境下的计量检测需求。这一技术不仅提升了数据的可信度,还为数字化、自动化检测系统提供了基础支持。

4 压力表计量检定规范与标准要求

4.1 国家与行业相关标准

为保障压力表在工业使用时测量的一致性及可靠性,行业和国家颁布了多项技术标准及检定规程,作为当下应用最普遍的国家计量技术规范,《JJG 52—2013〈一般压力表、压力真空表、真空表〉检定规程》规定了压力表检定周期、检定条件、误差允许范围以及相应处理方式,可对制造、使用以及维修各阶段实施技术控制。该标准针对压力表按最大允许误差划分精度等级,如0.4级、1.0级、1.6级、2.5级等,且详细说明了不同等级的压力表的适用场景以及检定要求。行业标准和地方规范对特殊工况里的

压力表有更细致要求,诸如高温高压、易燃易爆等情况下,应保证压力测量的安全及适应特性。

4.2 检定流程规范

压力表计量检定应严格按照按标检定规程进行,由设备筹备到误差核定,各步骤都要严格落实操作规范,在设备准备、预热的阶段,要对压力表的外观、标识以及连接接口的完整性展开检查,保证仪器不存在故障,通电预热直至达到稳定工作状态,检定流程为外观检查、零位误差检定、示值误差检定、回程误差检定、轻敲位移检定以及指针偏转平稳性检查,同时需把各压力点示值与标准压力值进行对比核验,且把所有原始数据依照规定格式写入检定记录,保证数据的真实性、完整性和可追溯性,按照规程所规定的最大允许误差界限,对各测量点结果进行判定,只要任一项超出允许误差,即判定为不合格,同步出具检定的结果证书。

4.3 检定周期与管理制

应综合使用频率、工况复杂程度和测量精度等级,为压力表设置检定周期,正常情形里,一般压力表检定周期一般不超过 6 个月,精密压力表检定周期一般不超过 1 年,若在关键测量点以及恶劣环境下,建议把周期缩短到 3~6 个月,构建完备的历史数据管理体系,对追溯测量性能的变化、发掘潜在故障意义重大。应把每台压力表的检定数据录入计量管理系统,造就完整化的电子档案,涉及校准时间、误差曲线及使用单位等相关信息,伴随信息技术的进步,计量管理正朝着数字化、信息化领域不断拓展,不少单位采用自动提醒、远程数据上传、电子标签识别等相关技术,做到压力表全生命周期的管理。

5 技术挑战与发展方向

5.1 当前技术面临的难点

虽说压力表误差检测及修正技术进展明显,然而在实际运用当中依旧面临不少挑战,微小误差的识别难度极大,尤其是处于高精度场景当中,微小误差或许会引发控制系统响应失常,对安全性与产品质量产生消极后果,动态工况里压力测量也较为繁杂,显著影响数据稳定性的有压力的频繁波动、响应滞后以及干扰信号,传统的静态校准手段无法胜任工作,高精度压力测量往往得借助先进的标准设备,好比高端压力控制器跟高精度传感器,这类设备采购成本不菲,维护要求苛刻,对中小企业应用普及形成制约。

5.2 技术创新趋势

为处理上述相关难题,现今压力测量技术正朝着智能化与系统化方向推进,智能计量系统借助集成高性能传感

器、嵌入式处理器及通信模块,做到压力数据的实时采集、智能修订与远程监控,大幅增进测量的效率及可靠性,多参数联动的修正模型同样成了研究焦点,结合温度、湿度、振动等环境因子对压力数据开展动态修正,可极大提高复杂工况下测量精准程度,依托云平台的远程校准技术正蓬勃兴起,利用物联网技术对分布式压力设备开展集中管控、在线检测与远程校准,或许可实现计量工作自动化、数字化的转型。

5.3 后续研究方向建议

后续应进一步改进压力表相关标准体系,尤其要制定针对智能压力表、动态测量场景以及特殊行业应用的相关规范,大力开展多源误差融合模型探究,将统计学、人工智能跟传感技术融合为一体,构筑统一连贯的误差补偿格局,有望突破复杂环境下误差类型繁杂、相互叠加的困局,针对高温、高压、强腐蚀这类极端工作环境,倡导强化特种压力测量技术研发工作,助力新型材料、新结构跟新算法的融合践行,为高端装备制造、安全监测等领域达成更高水平的压力计量保障目标。

6 结束语

作为工业计量里关键仪表的压力表,其误差类型呈现多样性与复杂性,严重状态下将对设备运行安全与产品质量构成影响,凭借静态校准、动态检测以及环境控制等手段,可达成对误差的有效鉴别与评定,把软件修正算法跟硬件补偿技术相融合,可极大提升测量精准水平。检定规程与国家标准为误差管理提供制度后盾,信息化管理推动计量效率逐步提升,智能化、多参数修正与远程校准悄然兴起,标准及极端工况相关研究持续开展,带动计量检测水准提高。

[参考文献]

- [1]伍开宇.机械指针式压力表的智能检测系统研究[D].无锡:江南大学,2022.
- [2]杨凤玲.压力表的计量检测问题和解决措施探究[J].品牌与标准化,2024(3):167-169.
- [3]程波.压力表计量准确性的影响因素与对策分析[J].品牌与标准化,2024(6):240-242.
- [4]宏伟.压力表的计量检定与不确定度评定方式分析[C].广西:广西网络安全和信息化联合会,2025.
- [5]刘明夏.自动化仪表中的计量检测技术分析[J].流体测量与控制,2025,6(1):32-34.

作者简介:张军(1976.8—),男,河北省保定人,汉族,大学专科,工程师,工作单位为保定市计量测试所,从事计量管理工作。