

压力表示值误差测量结果的不确定度评定分析

次仁欧珠

(西藏日喀则市市场监督管理局, 西藏 日喀则 857000)

摘要 压力表在工业生产、市场计量等领域应用较为广泛, 其检测准确性对维护各方合法权益、保障生产运营质量意义重大。为提升压力表测量数据的可靠性, 需通过不确定度评定, 控制压力表示值误差。因此, 文章结合压力表误差测量方法, 基于压力表示值误差测量结果, 对压力表测量结果的不确定度展开分析, 以通过不确定度评定结果, 确认压力表示值分散性, 总结压力表测定误差风险, 针对性改善压力表测量条件, 发挥压力表测定价值。

关键词 压力表; 示值误差; 误差测量; 不确定度

中图分类号: TH82

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0007-03

压力表是市场常用计量工具, 在各领域应用较为广泛, 其测量结果准确性会直接影响产品生产、产品检测质量。不确定度评定分析作为计量质量分析指标, 将其用于压力表检测可反映压力表示值误差测量结果是否可靠, 明确压力表检测时的误差控制要点, 促进压力表性能完善, 满足各项工况内压力表应用要求, 提升生产及检测效率, 为社会经济建设创造有利条件。

1 压力表示值误差测量方法

压力表示值误差是压力表计量性能指标之一, 常用于检测压力表质量。压力表示值合格时, 其表示值最大允许误差均符合表 1 要求。

表 1 压力表示值最大允许误差

压力表准确度等级	最大允许误差 (%)			
	零点		测量上限的 (90%~100%)	其余部分
	带止销	不带止销		
1.0	1.0	±1.0	±1.6	±1.0
1.6 (1.5)	1.6	±1.6	±2.5	±1.6
2.5	2.5	±2.5	±4.0	±2.5
4.0	4.0	±4.0	±4.0	±4.0

压力表示值误差检定方法如下: (1) 基于参比条件, 使用标准检测仪器示值对比分析抽检压力表示值。通过直接比较法检定压力表示值误差。(2) 选取带有数字的分度线, 按大气压 90% 以上选取真空表测量上限检定点^[1]。从零点开始均匀加压, 压力值为第一个检定点后, 读取压力表示值。读值方法为估读, 可根据压力表分度值估读五分之一数据。检定后轻敲压力表外壳, 记录压力表示值, 数据记录时应记录轻敲前、轻敲后的数据。以此检定所选取检定点, 直至抵达压

力表测量上限。最后切断真空源、压力源, 持压 3min 后降压。(3) 测定压力表示值后, 检定其误差。根据压力表准确度等级和压力测量上限, 确定对应示值误差。

2 压力表示值误差产生原因分析

压力表示值误差原因较多, 具体可体现在以下内容中: (1) 压力表测量检定时, 其检定误差固定值增加、减少。原因是压力表指针安装不规范, 需重新调整指针安装位置或重新插针。(2) 压力表示值误差表现为按比例增加、减少。造成该误差的原因是压力表机芯放大比控制不到位, 应及时调整压力表示值区域的螺钉, 使其放大比符合压力表安装质量要求。(3) 压力表示值存在“非线性误差”。误差原因是压力表拉杆、机芯扇形夹角过大、过小引起的。对于该类误差, 应调整夹角值, 确认机芯安装位置准确、刻度盘无偏移情况^[2]。(4) 卡异物、机芯齿轮损伤、拉杆不灵活、传动轴孔受阻挡同样会引起某一点示值误差、超差。应排查压力表各零件间隙, 确保压力表结构间隙符合标准值。

3 不确定度评定的相关概念

不确定度评定应用范围较广: (1) 可用于建设国家标准, 包括国家基准、计量标准、国际比对标准。(2) 可用于标准物质管理、标准物质测量参考。(3) 可用于规范物质测量方法、检定程序、校准流程。(4) 用于工程领域测量, 计量认证、计量确认或仪器设备质量认证。校准、检定各类测量仪器。

测量不确定度可定义为应用已知信息, 表征赋予被测量数据分散性的非负参数。标准不确定度为应用标准偏差表示测量不确定度。合成标准不确定度是基于测量模型中输入量标准测量数据, 分析已获得的不确定度输出量、标准测量不确定度^[3]。不确定度评定

能够说明压力表示值误差测量置信水准区间的半宽度,一般可用两个数值表示,分别为不确定度的大小、置信区间,以及含有置信概率、置信水准的不确定度,可表示测量结果在该区间内的概率。

测量不确定度可理解为测量结果可信度和有效性的程度,是评价分析测量结果质量的基本参数。事实上,测量不完善会导致所测量值相对分散,每次测量结果存在差异,各个数值会以一定概率分散各个测量区间。测量不确定度虽然能够表示测量值的离散度的参数,但并不表示测量结果是否接近真实值。为表示测量数据的分散性,测量不确定度可用标准差值表示。实际应用中,应基于测量结果分析测量数据的置信区间,并利用标准差倍数、置信水平区间半宽度表示,评定标准不确定度、扩展不确定度^[4]。

4 压力表测量不确定度评定程序

不确定度是指压力表示值测量误差产生后,无法肯定被测量值的程度。可反映测量结果的可信赖程度,是评定测量结果质量的重要指标。压力表示值误差测量时,需评定压力表示值误差测量结果的不确定度。常用评定方法为GUM法,评定程序如下。

4.1 分析不确定度来源

评定分析不确定度时,压力表示值误差测量结果的不确定度来源较多,具体包括被测量数据定义不完整、被测量数据定义复现性不理想、取样数据代表性不足、测量环境风险大、人员读书偏移、测量仪器计量局限性较强、测量方法及测量程序为假设、相同条件下被测主体观测值反复变化^[5]。

4.2 建立测量模型

基于评定主体,建立不确定度测量模型。被测量主体和不确定度影响量、测量输入量的函数关系为: $Y=f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$, $X(i=1, 2, 3, \dots, 4)$, 输入量不确定度为输出量不确定度来源。

4.3 评定标准不确定度

标准不确定度评定方法包括“A类”“B类”两种。

1. A类标准不确定度评定方法有极差法、贝塞尔公式,是基于统计分析原理,测定不确定度分量。极差法计算时,其关键数据包括极差系数、极差,计算公式为 $U_A=R/C$,其中, U_A 为不确定度, R 为极差,即测量值中最大值、最小值的差, C 为极差系数。A类评定开始后,评定条件重复时,应独立测量被测量数值,获取多个测量结果。

2. B类标准不确定度评定方法是基于相关信息、经验,获取被测量数据可能值区间,分析概率分布情况,根据概率 P 、确定值 K 评定标准不确定度。B类标准不

确定度信息来源为样本数据统计处理后分数据值,包含可能影响被测数据的所有信息,即先验信息。先验信息评定指标为置信因子、数据分布区间半宽度。数据分布区间半宽度产生于以往测量数据、被测主体校准证书、生产技术说明书、技术资料、仪器特性等。置信因子则需基于已知扩展不确定度合成标准确定,概率 P 和置信因子 K 的关系如表2所示。

表2 不确定度评定时概率 P 和置信因子 K 的关系

P	0.50	0.68	0.90	0.95	0.9545	0.99	0.9973
k	0.675	1	1.645	1.960	2	2.576	3

4.4 合成标准不确定度

受多种因素影响,不确定度分量较多,合成标准不确定度时,应明确测量结果产生的不确定度分量,确定不确定度分量、测量结果作用关系、相关系数。最后给出各分量标准不确定度,合成标准不确定度。间接测量不确定度时,需考虑被测量数据的灵敏系数,假设直接测量值的标准不确定度,确定多个分量不确定度,并依据分量大小、自由度合成标准不确定度,如表3所示。

表3 某测量结果不确定度合成情况

序号	不确定度			自由度	
	来源	符号	数值	符号	数值
1	基准尺	U_1	1.0	V_1	5
2	读数	U_2	1.0	V_2	10
3	电压表	U_3	1.4	V_3	4
4	电阻表	U_4	2.0	V_4	16
5	温度	U_5	2.0	V_5	1
合成结果		U_c (不确定度)	3.5	V_n (合成自由度)	7.8

5 压力表示值误差测量结果的不确定度评定

5.1 压力表示值误差测量

(1)测定对象为常用压力表,压力表精密度等级一般为0.4、1.6。精密度等级为0.4级时,精度压力表测量压力值范围为0~400 kPa,1.6等级精密压力表压力值范围为0~1600 kPa。(2)测量范围以所选用压力表精密度等级为准。比如,0.4级压力表可采用0.05级仪表检定其示值误差。(3)测量依据为《弹性元件式精密压力表和真空表(JJG 49—2013)》,基本条件如下:温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,湿度小于85% RH。测量前应将被测压力表在试验环境内放置2 h。(4)测量方法。基于静力学平衡原理,比较法分析被检压力表、标准压力表。检定时应将标准表与被检表放在相

同一检定装置内,升压、降压测试后记录压力表示值,对比分析示值,计算示值误差。

5.2 不确定度评定分析

根据不确定度来源,分别测定不同示值误差造成的不确定度。(1)传递误差造成的不确定度。采用 B 类不确定度评定方法,测量范围为 0~1.6 MPa。测量过程中需计算多个测点误差,最后合成不确定度。(2)示值重复测量造成的不确定度。应用贝塞尔公式计算测量标准差,乘以安全因子系数后,计算不确定度。可获取多个测量数据,计算多次测量后的误差平均值,重复性分析后计算不确定度。(3)温度造成的不确定度。测量活动符合压力表标准检定要求,测量稳定条件规范,不确定度为 0。(4)读数分辨误差造成的不确定度。应分析标准读数传递标准,计算读数分辨率、不确定度包含因子,后计算不确定度。(5)高度差造成的不确定度。高度差产生于标准压力表、被检压力表试验高度差,不确定度分量均匀分布,评定数据为高度差值。

最后,基于不确定度来源明确不确定度分量后,合成不确定度,扩展不确定度。扩展不确定度可明确测量数据区间内不确定度的分量,被测量值均可分布于扩展不确定度区间内。扩展不确定度由合成标准不确定度的倍数表示,标准不确定度扩展多倍后可产生扩展不确定度。扩展范围取决于压力表示值误差测量的重复性、风险、测量效益。

5.3 不确定度评定注意事项

1. 压力表示值误差测量结果是以数据为基础时,应及时评定测量不确定度。因条件问题无法评定时,应尽量尝试评估测量结果的不确定度。测量结果不是基于数据时,可暂时不给出不确定度,但需要检测数据变化,了解测量结果变动风险。

2. 合成不确定度时,不确定度分量为测量总量的 $1/5 \sim 1/3$ 时,可忽略该不确定度分量。评定时包含多个小分量时,则不能忽略该分量。

3. 不确定度评定应适应压力表示值误差测量结果要求的准确度,以及不确定度评定程序、风险。高风险测量项目,还应考虑不确定度测量评定时安全性。

4. 不确定度测量精密度的产生于被测压力表重复测试结果,不确定度评定时应确保样品完整性,尽量选择标准样品。实验室现场评审不确定度时,应评价分析不确定度的评定结果。

5. 表述不确定度时,应多选取两位有效数字。末位数量级应与测量结果末位数量级相同,数值取大不取小,自由度取小不取大。合成不确定度时,应根据不确定度类别,分类合成,各类不确定度同时合成。

5.4 生成不确定度评定报告

根据压力表示值误差测量结果分析价值,评定测量结果不确定度,生成不确定度评定报告。不确定度评定报告需阐明测量结果分析时,按照实验观测值、输入量到测量结果计算其不确定度的具体方法。罗列所有不确定度分量,并明确不确定度分量评估过程和方法,包括各类数据分析、计算方法。同时给出不确定度分析中测量结果使用的全部修正因子和常数及其来源,包括被测量压力表不确定度的估计值、测量不确定度适宜值。

具体包括:(1)被测量压力表不确定度的明确定义、明确数值。(2)压力表误差示值测量结果核算时,测量数据输出、输入量的函数关系、灵敏度系数。(3)罗列测量结果输入量估计值、标准不确定度,并列出表格。(4)明确所有相关输入量协方差、相关系数、数据计算方法。(5)被测量压力表示值误差测量结果估计值、不确定度估计值、不确定度合成标准、扩展不确定度及其计算过程。(6)表示扩展不确定度时,应有包含因子、置信水平等相关数据。(7)不确定度修正值和相关测量常数、不确定度评定时来源信息。

(8)用 $Y=y \pm U$ 表示压力表不确定度测量结果并配有单位。比如:压力表误差示值测量结果 \pm 扩展标准不确定度(单位),包含因子 k 为 2,对应置信水平 P 近似为 95%。结果数据中不确定度数值位数不宜过多。

6 结束语

压力表示值误差是评价分析压力表计量性能的关键指标,其测量结果的真实性关系着压力表计量质量。不确定度评定是通过规范测定程序,评估压力表示值误差测定结果,分析各项数值是否准确、有效,以此优化压力表计量程序,改善压力表整体性能。从而在社会生产中发挥压力表计量价值,确保各项机械设备压力值控制效果,满足生产设备标准化运行要求。

参考文献:

- [1] 王同宾,许瑞丰.精密压力表全省比对参考值示值误差测量不确定度评定[J].工业计量,2022,32(S1):45-47.
- [2] 粟正宇,杨修能.一般压力表示值误差测量结果的不确定度评定[J].工业计量,2020,30(06):64-65.
- [3] 孙书群.关于弹簧管式一般压力表示值误差测量结果的不确定度评定分析[J].现代制造技术与装备,2019(01):108-109.
- [4] 梁广超.精密压力表示值误差测量值的不确定度评定[J].计量与测试技术,2017,44(12):93-94.
- [5] 刘彩平.0.4级精密压力表示值误差测量不确定度评定[J].计量与测试技术,2016,43(06):117-118,120.