压力表检定过程中测量误差分析研究

覃光银
四川天华化工集团股份有限公司，四川 泸州 646207

[摘要]压力表检定结果的可靠程度是由标准器、配套设备、环境条件和操作过程各个误差分量的控制程度来决定的。根据 JJG 52—2013 中标准器允许误差为 1/4 的原则、温度条件为 20±5℃以及估读到分度值的 1/5 的要求，从液柱差、轻敲位移和数据修约等各个环节出发，逐项计算误差量级，并给出可以执行的抑制方法。将分格判定法应用到示值误差的现场判读中，把最大允许误差换算成格数，减小了逐点计算带来的判读迟滞。控制措施执行效果的好坏，是由检定前条件确认、过程中的步骤固定、检定后的数据复核这三个环节能否形成一个可追溯的闭环所决定的。

[关键词]压力表检定；测量误差；标准器；示值误差
DOI：10.33142/ect.v4i10.20656　　中图分类号：TH7　　文献标识码：A

Research on Measurement Error Analysis in Pressure Gauge Calibration Process

QIN Guangyin
Sichuan Tianhua Chemical Group Co., Ltd., Luzhou, Sichuan, 646207, China

Abstract: The reliability of pressure gauge calibration results is determined by the control degree of various error components in the standard, supporting equipment, environmental conditions, and operating process. According to the principle of allowing an error of 1/4 for standard instruments in JJG 52-2013, temperature conditions of 20 ± 5 ℃, and the requirement to estimate to 1/5 of the division value, the error magnitude is calculated item by item from various aspects such as liquid column difference, tapping displacement, and data rounding, and feasible suppression methods are provided. Applying the grid determination method to on-site interpretation of indication errors, converting the maximum allowable error into grid numbers, reduces the reading delay caused by point by point calculations. The effectiveness of control measures is determined by whether a traceable loop can be formed through the confirmation of conditions before verification, the fixation of steps during the process, and the review of data after verification.

Keywords: pressure gauge calibration; measurement error; standard equipment; indication error

引言

弹性元件式一般压力表结构简单、示值直观，在工业过程压力监测中用量大。JJG 52-2013 实施之后，检定项目和计量性能要求更加细致，但是规程条文本身并没有直接回答操作层面的一个问题，在每一个具体的环节上，误差究竟以什么样的量级进入检定结果，又用什么动作可以将它压低到允许范围以内。已有讨论大多集中在规程修订的背景或者单项不确定度的评定上，很少从检定流程的总体角度来考察误差的构成和传递。本文以检定作业的实际顺序为线索，先拆解误差的基本构成，再对标准器、环境、操作、数据处理等环节中产生的主要误差源进行定量或者半定量的分析，最后给出可以嵌入到日常检定流程中的控制方法。

1 压力表检定过程中测量误差的基本构成与分类

压力表检定中测量误差可以按照来源层次分为三大部分。第一部分为标准器及其配套设备引入的误差，属于传递基准一侧的不确定度，量值上由标准器准确度等级及配套设备连接状态所决定。第二部分为被检表自身引入的误差，包括弹性元件的迟滞、指针和传动机构的摩擦、示值重复性等，这些误差不能用外部条件来消除，只能通过多次读数或者轻敲位移来识别[1]。第三部分是检定条件及操作引入的误差，包括环境温度偏离、取压口高度差、升压速率波动和估读偏差。从误差性质来看，第一部分和第三部分中的温度项、液柱差项多属于系统性偏差，在检定之前或者数据处理时可以加以修正；被检表的重复性以及读数分散都属于随机误差，只能通过规定的估读分辨力以及固定读数程序来控制其影响量。三类误差在合成时不是等权的，标准器误差一般按 1/4 的原则控制在允许误差的四分之一以下，环境温度和液柱差在一定的量程段内也会

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

成为不可忽略的分量，不能简单地归入到其他误差中。

2 压力表检定过程中测量误差的来源分析

2.1 标准器、配套设备及被检表自身引起的误差

标准器选配的第一个限制就是 JJG 52—2013 第 7.1.1 条规定的 1/4 原则，即标准器的最大允许误差绝对值不能大于被检表允许误差绝对值的 1/4。该比例不是多余的，是把标准器误差对合格判定的干扰降到可以忽略的程度。若以 1.6 级、0—1.6MPa 压力表为例，其单点允许误差为 ±0.0256MPa，所选标准器的允许误差绝对值须不超过 ±0.0064MPa。用 0.4 级精密表在量程上限附近可以满足要求，但是在量程低端，0.4 级表以引用误差表示的最大允许误差对应到小量程点时的绝对量可能会超过被检表该点允许误差的 1/4，这时应根据实际检定点进行计算，而不是只看准确度等级。配套设备中压力校验器的密封状态直接影响到压力是否能够真实地传到标准器和被检表上。密封圈老化或者接头没拧紧造成缓慢泄漏，在低量程点会使得指针持续后退，容易被误认为被检表示值不稳定。被检表自身误差中，轻敲位移占有特殊地位，规程规定轻敲后读数，轻敲前后示值差反映的是传动机构间隙、游丝力矩不足等机械因素，该差值本身就是轻敲位移检定项，也影响示值误差的读数基准。如果只记录轻敲后的读数而忽略轻敲前的状态，就不能区分出被检表固有的机械迟滞和轻敲操作引起的变动量。

2.2 环境条件与人员操作引起的误差

温度对示值的影响，在弹性元件式压力表上表现为弹性模量随着温度的变化而产生的系统性偏移。从实测数据可知，环境温度每偏离参比温度 5℃，部分压力表的示值误差就会增大约 0.2%。JJG 52-2013 规定检定温度条件为 20±5℃，相对湿度不大于 85%，被检表在温度条件外放置足够时间后再进行检定，目的是使弹性元件和环境的温度交换达到平衡，减少检定过程中温度漂移。液柱差是液压介质检定中容易被忽略的误差。当标准器取压口和被检表取压口不在同一水平面上时，高度差所对应的液柱静压直接叠加到标准压力值上。以液压油密度约 0.86×10^{3} kg/m³估算，5 cm 高度差产生的压力约为 0.00025 MPa。该量级对 1.6 级、量程 0 到 0.6MPa 的压力表来说，在允许误差 ±0.0096MPa 面前所占比例约为 2.6%，单独看并不明显，但是在低量程点或者高准确度等级表的检定过程中，如果不加以消除，就会和标准器误差叠加成可以被观察到的偏差。人员操作方面的主要变量有升压速率、估读一致性。升压过快造成被检表弹性元件来不及反应，指针到达检定点后还会出现漂移；估读时视线与表盘不垂直会引入视差，不同的检定员对于分度值 1/5 的估读习惯不同，使得读数的分散度超过重复性所反映的水平。

3 压力表检定关键环节的误差控制方法

3.1 标准器选用与量值传递核对

标准器的选择不能只停留在满足 1/4 原则的静态选择上，在每次检定时还要核对标准器证书的有效性以及量值传递链的连续性。具体操作上，先根据被检表的准确度等级和量程算出各个检定点的允许误差绝对值，再以其中最小值除以 4 作为标准器在该点允许误差的上限，对照标准器证书上对应量程段的最大允许误差进行确认[2]。数字压力计作为标准器时，还要确认其采样速率和压力稳定判据是否一致，压力源还没有稳定的时候标准器就更新了读数，就会使得标准值中包含有波动分量。量值传递核对还要包括配套设备，即校验器的密封性预检和传压介质的清洁度。介质中有气泡时，在升压过程中气泡压缩使压力上升滞后，降压时气泡膨胀使压力释放偏慢，造成标准器和被检表之间动态不一致。排除气泡的工作应在连接完毕之后，正式读数之前进行，而不能在发现气泡后才加以补救。

3.2 环境条件与压力介质的控制

温度控制的可操作做法是把检定开始、结束时的温度实测值记入到检定记录中，而不是只在原始记录表头写上一个标称的“20℃”。当两次记录的温度差大于 2℃的时候，说明在检定期间环境条件有足够大的变化，该组数据应当慎重使用或者重新检定。被检表在恒温环境下放置时间不能减少，薄壁弹簧管表和厚壁表达到温度平衡所需时间不同，统一以不少于 2 小时为下限较为稳妥。液柱差处理有两种方式：在安装阶段，用水平仪或者高度标尺使标准器取压口和被检表取压口处于同一水平面，从源头上消除高度差；无法完全对中时，实测高度差并按介质密度和当地重力加速度计算修正值，在示值误差计算中扣除。对于气体介质的检定，液柱差项可以忽略，但是要注意气源中的水分在低温或者高压降时凝结引起的压力波动。压力介质的黏度也会对压力传递速率产生影响，在细长的连接管中，由于高黏度介质所造成的阻力会使得升压和降压的过程不对称，因此应该尽可能地使连接管变短，并且管径不能太细。

3.3 操作步骤与读数方法的一致性控制

升压和降压速率要以被检表指针平稳移动、无明显跳动为标准，规程中没有给出统一的速率数值，但是可以用“从零到测量上限的时间”作为内部作业规范加以固定，

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

规定升压过程不少于 30s，使不同检定员之间的操作具有可比性。读数程序固定为，标准器指针指准检定点后，先读取被检表轻敲前的示值，再轻敲表壳读取轻敲后示值，两者之差就是轻敲位移。如果顺序颠倒，轻敲前读数就没有了基准意义。估读统一取分度值的 1/5，分度值为 0.05MPa 的表，估读分辨力为 0.01MPa；视线垂直于表盘，用表盘反射镜消除视差。为了减少逐点计算的最大允许误差所造成的判读迟滞，可以把允许误差先折算成格数，在检定现场直接使用，如表 1 所示。

表 1　1.6 级压力表允许误差的分格折算示例

测量范围/MPa	分度值/MPa	分度数/格	最大允许误差/MPa	最大允许误差/格
0～0.1	0.002	50	±0.0016	±0.8
0～0.6	0.02	30	±0.0096	±0.48
0～1.6	0.05	32	±0.0256	±0.51
0～6	0.2	30	±0.096	±0.48
0～60	2	30	±0.96	±0.48

表 1 中给出的折算关系说明，在同一个准确度等级下，分度数相近的表其允许误差折合格数也相近，检定员只需要记住该表的分度数和折合格数就可以在现场直接判断示值误差是否越限，而不需要每次都代入量程和等级计算。例如 0—1.6MPa、分度值 0.05MPa 的表，允许误差约 ±0.5 格，估读分辨力为 0.2 格，判读余量清晰。

3.4 数据修约与合格判定的规范执行

示值误差计算结果的修约位数要和被检表分度值所对应的估读分辨力相匹配，修约规则按照 GB/T 8170 执行。对于估读到 1/5 分度值的模拟表，将误差修约到比分度值多一位有效数字即可，过多保留位数会制造虚假的精度印象。合格判定应采用全数值比较法，修约后示值误差的绝对值不大于最大允许误差绝对值时判为合格，接近限值时不得用二次修约将超差值“修”入合格范围。回程误差、轻敲位移的判定也遵循同样的原则。当某检定点示值误差落在允许误差的 90%～100%之间时，需要检查标准器在这个点上的实际误差以及液柱差修正量是否已经正确包含在内，排除由于修正未被包含而导致的临界误判，而不是直接以“在限内”为由放行。

4 误差控制措施的落实与检查

4.1 检定前设备与环境条件确认

检定前的确认要形成一份可以勾选的检查项，不能靠记忆。检查项目应包括标准器证书在有效期内且量程覆盖被检表；校验器密封性预检合格，传压介质无可见气泡和杂质；标准器和被检表取压口高度差已经测量或者已经对中；环境温度在 20±5℃内且被检表恒温放置时间满足要求；温湿度实测值已经记入记录。高度差一项，在每次更换被检表表径或者安装方式之后都要重新确认，因为不同的表径、接头长度会改变取压口的高程关系。氧气表、乙炔表等禁油表还要检查禁油接头及油水分离器，该项不会造成示值误差，但是介质交叉污染会从根本上改变传压条件。

4.2 检定过程中操作步骤固定与可复现

操作步骤的固定要以作业指导书的形式把升压时间、轻敲方式、读数顺序和检定点顺序写成可执行的条款[3]。轻敲方式应为用轻敲装置或者手指轻敲表壳侧面，力度以不引起指针非弹性跳动为界，敲击次数统一为规程规定次数。检定点按照标有数字的分度线依次进行，升压、降压各一遍，不得因为某点示值正常而跳过。操作步骤的可复现性还要有标准器读数的记录方式，标准器对线读数时，记录的是标准器指准检定点时的被检表示值，而不是反过来读取标准器的示值。两种方式的基准不一样，混用会使得系统的偏差方向不一致。将这些细节写入作业指导书之后，不同检定员对同一块表所得示值误差的分散度应该控制在估读分辨力的量级之内。

4.3 检定后数据复核与异常值追溯

复核的第一层为算术复核，检查各个点的示值误差、回程误差、轻敲位移计算是否正确，修约位数是否一致。第二层为逻辑复核，看误差沿量程分布形态，如果各个点的误差呈单调递增或者递减，就指向弹性元件或者传动比的系统性偏差，如果误差在某两点出现突变，就先从该点附近的齿牙啮合、异物、指针松动等方面入手，而不是一概地把原因归结为“表的质量”不好。对同一批次多块表在同一个检定点出现方向一致的超差，应该追溯标准器的状态、环境温度记录以及该批次表的来源，而不能逐块表重复检定。异常值的统计判断可以使用格拉布斯准则或者狄克逊准则，但是前提是要有足够多的测量次数并且读数是在受控条件下取得的；如果操作条件没有受到控制，那么统计剔除只能掩盖条件失控的事实。

4.4 误差控制要求纳入日常检定作业流程

这些措施如果不作为长期的整改措施来实施，就无法保持下去。可操作的嵌入方式就是把检定前确认清单作为原始记录的第一页，把升压时间范围、轻敲程序写入作业指导书，把允许误差折合合格数印在检定工位的提示卡上，

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

把数据复核设为出具证书前的独立签署节点。标准器的期间核查按照固定的周期用一块量值稳定的核查表在常用的检定点上进行复测，复测值和检定证书值之差大于标准器最大允许误差绝对值时触发溯源或者维修，而不是等到年度送检时才发现漂移[4]。环境温度记录由原来的填表头改为检定前后各记一次，使温度条件成为每一个数据可以追溯的属性而不是批次性的模糊标签。这些动作不会造成额外的设备投入，只是改变了记录结构和操作顺序，实施起来难度小，容易在内部质量审核时检查其执行情况。

5 结束语

压力表检定过程中，测量误差并不是在各个环节上均匀分布的。标准器一侧的误差已经用 1/4 原则控制在较低水平，真正需要操作层面持续注意的是液柱差、温度偏离、升压和读数程序的不一致，以及临界值的判定处置。本文把误差源对应到检定前、检定中和检定后这三个节点上，给出高度差对中或者实测修正、前后温度记录、升压时间下限、轻敲前后顺序固定、分格快速判定等具体的办法。这些做法共有的特点就是不需要高精度附加设备，而依靠固定的操作顺序和记录结构来压缩人的变量。其缺点是分格判定表和升压时间下限必须由各个机构根据自身被检表的分度值分布和校验器特性来本地化标定，不能直接照搬。后续工作可以将折合格数和估读分辨力的关系扩展到更多的准确度等级和分度值组合上，也可以对温度记录差值触发重新检定的阈值给出统计依据。

[参考文献]

[1]顾峰,洪程鑫,龚洁.普通压力表检定常见问题的处理及检定误差分析[J].仪器仪表标准化与计量,2024,1(4):31-32.
[2]樊双蛟,张莹,杨逸,等.指针式压力表测量精度评价及误差来源分析[J].大连工业大学学报,2024,43(5):379-383.
[3]高亚莉.不同类型压力介质下弹簧管压力表检定误差特性对比与修正方法探讨[J].智能制造研究与应用,2026,2(4):52-54.
[4]滕立敏.压力表计量校准中误差来源分析与精准度提升策略[J].中国品牌与防伪,2025,1(13):90-92.

作者简介：覃光银（1999—），毕业于四川化工职业技术学院，工业过程自动化专业。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.