

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.06.15

300 分格精密压力表非线性性能检定方法探讨

赵本义¹, 陈钦碧¹, 吴璋²

(1. 中国酒泉卫星发射中心计量测试站, 甘肃 兰州 732750; 2. 中国运载火箭技术研究院, 北京 100076)

摘 要: 根据开展压力仪表检定工作的实际需要, 针对 JJG 49-2013《弹性元件式精密压力表及真空表检定规程》中 300 分格精密压力表非线性性能检定方法和数据处理过程进行分析讨论, 提出 300 分格精密压力表非线性性能检定和数据处理判定方法的改进意见。

关键词: 300 分格; 精密压力表; 非线性; 性能; 检定

中图分类号: TB935

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)06-0061-04

Discussion on Verification Method of Nonlinearity of 300 Scale Division Precise Pressure Gauges

ZHAO Benyi¹, CHEN Qinbi¹, WU Zhang²

(1. Metrology Station of Jiuquan Satellite Launch Center, Lanzhou 732750, China;

2. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: Based on the needs of verifying pressure gauges, analysis and discussion are made on the method of nonlinearity verification of 300 scale division precise pressure gauges according with JJG 49-2013 Verification Regulation of the Bourdon Tube Precise Pressure Gauge and Vacuum Gauge. A new method of nonlinearity verification and evaluation of 300 scale division precise pressure gauges is put forward.

Key words: 300 scale division; precise pressure gauge; nonlinearity; performance; verification

0 引言

弹簧管式压力表具有结构简单, 可靠性高, 性价比优良的特点, 在科研试验和工业生产现场有着广泛的应用; 而 300 分格精密压力表作为一种特殊类型的压力表, 有着表盘制造相对简单、测试准确度高的特点, 在一些测压场合(如作为标准压力表)仍有较广泛的应用。在 JJG 49-2013《弹性元件式精密压力表及真空表检定规程》(以下称规程 JJG 49-2013)中, 对这一类型的精密压力表的检定方法、数据处理过程以及性能判定要求等方面有专门的叙述。本文针对检定 300 分格精密压力表中两个方面的具体问题进行分析讨论, 并提出解决问题的新方法, 以优化 300 分格精密压力表的检定过程。

1 300 分格精密压力表及其检定方法

1.1 300 分格精密压力表

300 分格精密压力表是一类专用的弹簧管式压力

表, 因其所有量程的表盘都均匀划分成 300 个分度而得名^[1]。使用时必须根据标准压力仪器对其进行定度, 然后按定度数使用, 在使用中若需要用非定度数时, 则按照已定度的数进行线性内插值计算, 其内插公式为

$$u_x = u_1 + \frac{u_2 - u_1}{p_2 - p_1}(p_x - p_1) \quad (1)$$

式中: u_x 为需要求出的设定压力的分格数; p_x 为设定的压力值; p_1, p_2 为与 p_x 相近间隔的两个已知压力值; u_1, u_2 为与压力 p_1, p_2 对应的分格值。

反之, 若已知分度数 u_x , 求相应的压力值时, 其计算公式为

$$p_x = p_1 + \frac{p_2 - p_1}{u_2 - u_1}(u_x - u_1) \quad (2)$$

使用 300 分格精密压力表的优点在于: 由于表盘分度间隔多, 分度值相对较小, 因而可以提高仪表测试的准确度; 同时不需要制作不同量程的表盘, 可以简化仪表生产工艺过程。

在规程 JJG 49-2013 中, 对 300 分格精密表的准确度等级及计量性能作出了明确规定^[2], 从规定中给出的性能要求来看: 除 300 分格精密压力表的单位为

收稿日期: 2015-08-05

作者简介: 赵本义(1970-), 男, 工程师, 硕士, 从事力学计量研究工作。

“格”及具体要求指标的数据外,与直读式精密压力表的重大区别在于,300 分格精密压力表的性能检定需要考查其“非线性”性能。所谓“非线性”就是考核 300 分格精密压力表所用的弹簧管的弹性性能是否在整个测量范围内保持弹性形变,扇齿轮传动机构的传动比是否适当,各零件间的间隙、几何尺寸以及加工工艺是否满足要求,从而保证使用过程中其它点的插值计算的准确性。

1.2 300 分格精密压力表的检定及存在的问题

检定 300 分格精密压力表,其增压和卸压的操作控制过程与直读式精密压力表一致,主要区别在于检定点的选取。选取确定 300 分格精密压力表的检定点,必须考虑两个方面的规定要求:一是检定点的数量,在规程 JJG 49-2013 中规定,对精密压力表示值误差的检定点不得少于 8 个(不包括零点),且检定点在测量范围内尽可能均匀分布;二要考虑 300 分格精密压力表“非线性”性能的评定方法是“任意两个相邻检定点的间隔值,其中最大值与最小值之差应不大于两检定点间隔标称值的 $1/10$ ”这一特殊要求。

基于上述两点要求,当前多数计量人员在检定 300 分格精密压力表时,选择检定点在考虑检定点数足够的情况下,尽量保证各检定点间的间隔相等,以避免对不同间隔的允许误差(也就是相邻检定点间隔标称值)进行计算;同时为兼顾人们对精密压力表的使用习惯,避免使用过程中进行插值计算,在选择检定点时一般会参照与其测量范围相同的直读式精密压力表的数字标度来进行选取。

根据规程 JJG 49-2013 中检定 300 分格精密压力表的要求,结合国标中直读式精密压力表的标度情况,可以知道不同测量上限的 300 分格精密压力表的检定点及检定间隔选取情况如下:

对测量上限为 1×10^n MPa(n 为正、负整数或零)的 300 分格精密压力表,其检定间隔选为 $1 \times 10^{n-1}$ MPa,检定点数(不包括零点)为 10 个;

测量上限为 1.6×10^n MPa(n 为正、负整数或零)时,其检定间隔选为 1×10^n MPa,检定点数(不包括零点)为 16 个;当其检定间隔选为 2×10^n MPa,检定点数(不包括零点)为 8 个,使用时对奇数值的数值点必须进行插值计算;

测量上限为 2.5×10^n MPa(n 为正、负整数或零)时,其检定间隔为 2×10^n MPa,检定点数(不包括零点)为 13 个,而且在测量上限点必然会出现不同检定间隔的情况;

对测量上限为 4×10^n MPa(n 为正、负整数或零)的 300 分格精密压力表,其检定间隔选为 $4 \times 10^{n-1}$ MPa,检定点数(不包括零点)为 10 个;

对测量上限为 6×10^n MPa(n 为正、负整数或零)的 300 分格精密压力表,其检定间隔选为 $5 \times 10^{n-1}$ MPa,检定点数(不包括零点)为 12 个。

根据上述分析,结合对 300 分格精密压力表进行检定的实际情况,可以看出当前检定 300 分格精密压力表的工作中存在着两方面的不足:首先是其检定点数变化较大,且部分压力表的检定点数偏多,一定程度上增加了计量检定工作强度和计量工作的经济成本;其次是按照“相等检定间隔”选取检定点数的要求,虽然使人工处理数据的过程简单化,但却不方便利用计算机实现压力仪表检定数据处理过程自动化,表现为不同规格的 300 分格精密压力表检定点数量的不确定性制约了计算机程序界面的设计,同时其处理、计算数据过程也比较繁琐。

2 300 分格精密压力表检定及数据处理方法分析及改进

2.1 300 分格精密压力表检定及数据处理方法分析

300 分格精密压力表的数据处理主要过程是对“非线性”性能的判定。规程 JJG 49-2013 中给出的“非线性”性能的判定方法是:通过设定的检定点数 n (不包括零值点),计算出该检定间隔的理论的格数 $m = 300/n$,则各相邻设定检定点格数示值的允许误差为 $m/10$ 格;然后根据设定点依次升(降)压进行两次重复测试,分别记录各点的测试数据,求得各点的平均值后,对相邻点的平均值分别计算其相互之间差的绝对值,如果这些差的绝对值都没有大于 $m/10$ 的情况,则该压力表“非线性”合格,否则以“非线性”不合格处理。

从理论上讲,任一 300 分格精密压力表,其理想的分格数和压力值的对应关系应如图 1(a)中的线段 OB 所示。图 1(a)中 n 为 300 分格精密压力表的测量上限值。

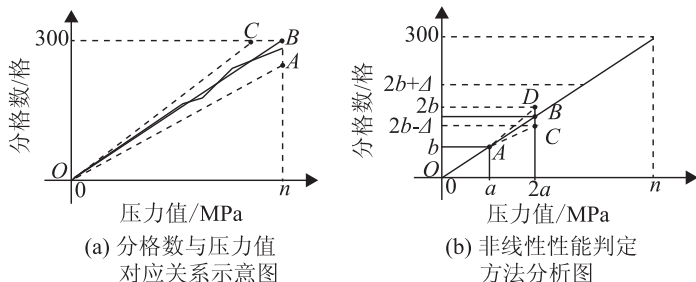


图 1 300 分格精密压力表分格数与压力值关系图

由于仪表弹性敏感元件的材料、几何尺寸以及加工工艺的不一致,造成在压力作用下弹性敏感元件不能完全线性变化,此外各零件间的间隙、摩擦等也影响压力仪表的非线性,任何仪表实际的分格数与压力值的对应关系不可能与理论情况完全一致,所以 300 分格精密压力表要采用定度、校准方法来提高其示值的准确度。图 1(a)中两虚线之间沿直线 OB 的折线为实际的 300 分格精密压力表分格数与压力值可能相对应的情况,而四边形 $OABC$ 是检定数据合格的可能区域。

对规程 JJG 49-2013 中 300 分格精密压力表的检定数据处理方法进行深入研究分析,如图 1(b)所示,不失一般性,假设某一 300 分格精密压力表的测量上限为 n MPa,其中三个连续检定点 O, A, B , 检定间隔为 a MPa,其每一检定点对应的理论示值间隔为 b 格, O, A 两点与理论示值完全一致;依据规程 JJG 49-2013 的要求,如果 AB 段性能满足要求,则 B 点检定示值范围为 $[2b - \Delta, 2b + \Delta]$,也就是说, B 点可以在线段 CD 之间变化。现设 AB, AD, AC 的斜率^[3]分别为 k, k_1, k_2 ,则由图 1(b)可知

$$k = \frac{b}{a} = \frac{300}{n} \tag{3}$$

$$k_1 = \frac{(2b + \Delta) - b}{a} = \frac{b + \Delta}{a} \tag{4}$$

$$k_2 = \frac{(2b - \Delta) - b}{a} = \frac{b - \Delta}{a} \tag{5}$$

根据规程 JJG 49-2013 的要求,最大示值偏差 Δ 为

$$\Delta = \frac{1}{10}b = \frac{1}{10} \times \frac{300}{n} \times a \tag{6}$$

综合公式(3),(4),(5),(6),可以得出: $k_1 = 1.1k; k_2 = 0.9k$ 。

上述分析计算表明:当 B 点在 CD 之间变化时,其线段 AB 的斜率在 $0.9k \sim 1.1k$ 之间变化;也就是说当 300 分格精密压力表的“非线性”性能满足规程 JJG 49-2013 中的要求时,任意两个检定点之间线段的斜率变化不得超过该 300 分格精密压力表理论斜率 k 的 10%。

2.2 300 分格精密压力表“非线性”性能新判据及验证

根据前文的分析知道:利用两个相邻检定点的分格数与压力值的比值关系可以判定 300 分格精密压力表的“非线性”性能,其要求是“任意两个检定点其分格数与压力值的比值变化不得超过该 300 分格精密压力表分格数与测量上限比值的 10%”。

为验证通过检定点连线斜率变化范围来判断 300 分格精密压力表“非线性”性能的正确性,我们对多台 300 分格精密压力表的检定数据进行分析计算和对比,均很好地验证了上述结论的正确性。以下以一测量上限为 6 MPa 的 300 分格精密压力表为例,分别按照检定间隔为 0.5 MPa 和 0.6 MPa 选取检定点,对其检定数据分别按规程 JJG 49-2013 的判据(简称为“相邻等间隔示值差法”)和本文的判据(简称为“相邻间隔连线斜率法”)进行对比计算,计算过程如表 1 和表 2 所示。在表 1 和表 2 的标准压力值列中,用分号对检定间隔为 0.5 MPa 和 0.6 MPa 的标准压力数据进行分隔,分号前为检定间隔为 0.5 MPa 的数据,分号后为检定间隔为 0.6 MPa 的数据,没有分号的表示该点压力值一致。

表 1 300 分格精密压力表检定数据分析表(相邻等间隔示值差法)

标准压力值 /MPa	测量值/格				平均值 /格	相邻检定点 间隔值/格
	1	2	3	4		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	25.00,30.00
0.5;	25.0	25.0	25.0	25.0	25.00	24.98
; 0.6	30.0	30.0	30.0	30.0	30.00	29.95
1.0;	49.9	50.0	50.0	50.0	49.98	25.47
; 1.2	59.9	60.0	59.9	60.0	59.95	30.20
1.5;	75.0	76.0	75.0	75.8	75.45	25.00
; 1.8	90.0	90.1	90.0	90.5	90.15	29.90
2.0;	100.0	100.8	100.0	101.0	100.45	25.00
; 2.4	120.0	120.1	120.0	120.1	120.05	30.20
2.5;	125.1	125.8	125.1	125.8	125.45	24.80
3.0	150.0	150.2	150.0	150.8	150.25	24.78,29.78
3.5;	174.9	175.1	174.9	175.2	175.03	24.80
; 3.6	179.9	180.2	179.9	180.1	180.03	29.40
4.0;	199.4	200.0	199.9	200.0	199.83	24.32
; 4.2	209.2	209.6	209.1	209.8	209.43	29.30
4.5;	224.0	224.4	224.0	224.2	224.15	24.20
; 4.8	238.6	238.9	238.5	238.9	238.73	29.07
5.0;	248.1	248.8	248.0	248.5	248.35	24.48
; 5.4	267.8	267.9	267.6	267.9	267.80	29.38
5.5;	273.0	273.0	272.5	272.8	272.83	24.35
6.0	297.2	297.2	297.1	297.2	297.18	—

根据 JJG 49-2013 的要求,检定间隔为 0.5 MPa 时,其相邻检定点理论间隔值为 25 格,任意两相邻检定点间隔最大与最小值之差的允许值为 2.5 格;检定间隔为 0.6 MPa 时,相邻检定点理论间隔值为 30 格,任意两相邻检定点间隔最大与最小值之差的允许值为 3.0 格。表 1 的结果表明:该 300 分格精密压力表“非

线性”性能合格。

表 2 中, 连续两个检定点连线斜率值栏分别是检定间隔为 0.5 MPa 和 0.6 MPa 时, 各连续两个检定点连线的斜率值; 而相邻两个检定点连线斜率值是将所有检定点视为一次检定数据, 其检定间隔为随意取值, 相邻两个检定点连线的斜率值。

表 2 300 分格精密压力表检定数据分析表(相邻间隔连线斜率法)

标准压力值/MPa	测量值/格				平均值/格	连续两个检定点连线斜率值	相邻两个检定点连线斜率值
	1	2	3	4			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	50.000, 50.000	50.000
0.5;	25.0	25.0	25.0	25.0	25.00	49.950	50.000
; 0.6	30.0	30.0	30.0	30.0	30.00	49.916	49.950
1.0;	49.9	50.0	50.0	50.0	49.98	50.950	49.850
; 1.2	59.9	60.0	59.9	60.0	59.95	50.333	51.667
1.5;	75.0	76.0	75.0	75.8	75.45	50.000	49.000
; 1.8	90.0	90.1	90.0	90.5	90.15	49.833	51.500
2.0;	100.0	100.8	100.0	101.0	100.45	50.000	49.000
; 2.4	120.0	120.1	120.0	120.1	120.05	50.292	54.000
2.5;	125.1	125.8	125.1	125.8	125.45	49.600	49.600
3.0	150.0	150.2	150.0	150.8	150.25	49.550	49.550
3.5;	174.9	175.1	174.9	175.2	175.03	49.600	50.000
; 3.6	179.9	180.2	179.9	180.1	180.03	49.000	49.500
4.0;	199.4	200.0	199.9	200.0	199.83	48.650	48.000
; 4.2	209.2	209.6	209.1	209.8	209.43	48.833	49.066
4.5;	224.0	224.4	224.0	224.2	224.15	48.400	48.600
; 4.8	238.6	238.9	238.5	238.9	238.73	48.458	48.100
5.0;	248.1	248.8	248.0	248.5	248.35	48.950	48.625
; 5.4	267.8	267.9	267.6	267.9	267.80	48.916	50.300
5.5;	273.0	273.0	272.5	272.8	272.83	48.700	48.700
6.0	297.2	297.2	297.1	297.2	297.18	——, ——	——

注: 斜率理论值 50.00, 斜率理论最大值 55.00, 斜率理论值最小 45.00。

从表 2 的数据计算来看, 无论是按照等检定间隔 0.5 MPa 或 0.6 MPa 计算的任意两点连线斜率值, 还是按照任意检定间隔计算的任意两点连线斜率值, 其均处于斜率理论最大值 55 与最小值 45 之间, 表明该 300 分格精密压力表“非线性”性能合格。

可以看出, 利用“相邻间隔连线斜率法”可以准确判定 300 分格精密压力表“非线性”性能请况。

3 结束语

根据前文的分析, 对 300 分格的精密压力表“非线性”性能的判断, 可以通过考核其“任意两个检定点分格数与压力值的比值关系”来进行。应用这一判断方法, 在检定 300 分格精密压力表时, 可以不考虑检定点的间隔要求, 仅需在全量程范围内根据使用习惯选择“不少于 8 个(不含零点)检定点”; 从而简化 300 分格精密压力表的检定过程, 减少 300 分格精密压力表

的检定点数, 减轻检定人员的劳动强度, 节省计量工作的成本。另一方面方便应用计算机技术进行 300 分格精密压力表检定数据的处理工作, 并可以进行其它压力量值点的自动插值计算, 极大地减轻了检定和使用人员的工作量。

参 考 文 献

[1] 许第昌. 压力计量测试[M]. 北京: 中国计量出版社, 1990.

[2] 国家质量技术监督检验检疫总局. JJG 49-2013 弹性元件式精密压力表和真空表检定规程[S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.

[3] 易大义, 沈云宝, 李有法. 计算方法[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994.

[4] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.