

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG1073-20××

压力式六氟化硫气体密度控制器

Pressure Type SF₆ Gas Density Monitor

(不确定度评定报告)

归口单位：全国压力计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

压力式六氟化硫气体密度控制器压力示值误差

测量结果不确定度评定

1. 评定依据

JJG 1073-202* 《压力式六氟化硫气体密度控制器检定规程》
JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》

2. 检定方法

SF₆ 气体密度控制器电器的检定，采用直接比较法进行的。本例以检定 1.6 级，(-0.1~0.9) MPa 的 SF₆ 密度控制器为例，标准器为 0.05 级压力式六氟化硫密度控制器校验仪，当整个加压系统平衡时，读取标准器和被检仪表的示值，被检仪表指示的压力值与标准器指示的压力值之差即为被检仪表的示值误差。

3. 测量模型

测量模型可以以示值误差的形式给出，如 (1) 式所示：

$$\Delta p = p_m - p_s \quad (1)$$

式中： Δp —示值误差，MPa；

p_m —被检 SF₆ 气体密度控制器示值，MPa；

p_s —标准器示值，MPa。

4. SF₆ 气体密度控制器测量不确定度的主要来源：

4.1 被测 SF₆ 气体密度控制器示值标准不确定度 $u(p_m)$ 由下列不确定度分量构成：

(1) 被测 SF₆ 气体密度控制器重复测量引起的不确定度分量 $u_1(p_m)$ ；

(2) 被测 SF₆ 气体密度控制器估读引起的不确定度分量 $u_2(p_m)$ ；

(3) 环境温度引起的不确定度分量 $u_3(p_m)$ 。

4.2 标准器示值标准不确定度 $u(p_s)$ 由标准器的准确度引起的不确定度分量构成：

5. 标准不确定度分量的计算

5.1 被测 SF₆ 气体密度控制器重复测量引起的不确定度分量 $u_1(p_m)$

对被检表进行全量程检定，确定该表在 0.8 MPa 处示值误差及回程误差最大，以此点为代表进行 3 个循环的检定，得到下列一组重复性实验数据，如表 1 所示：

表 1 重复性试验数据

次数 示值	第一次 循环	第二次 循环	第三次 循环	第四次 循环	第五次 循环
升压 (MPa)	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804
降压 (MPa)	0.808	0.812	0.812	0.808	0.812

平均值 $\bar{p} = 0.808\text{MPa}$

根据贝塞尔公式，则单次测量结果的实验标准差为：

$$S_{\text{单}} = 0.00377\text{MPa}$$

取平均值作为测量结果，则

$$u_1(p_m) = \frac{S_{\text{单}}}{\sqrt{10}} = 1.23 \times 10^{-3} (\text{MPa})$$

5.2 被检 SF₆ 气体密度控制器估读引起的不确定度分量 $u_2(p_m)$

该 SF₆ 气体密度控制器的最小分度值为 0.02MPa，检定规程规定，检定人员可以估读到最小分度值的 1/5，则估读误差为最小分度值的 $\pm 1/5$ ，均匀分布，所以由 SF₆ 气体密度控制器估读误差所引入的不确定度分量

$$u_2(p_m) = \frac{0.02}{5\sqrt{3}} = 2.31 \times 10^{-3} (\text{MPa})$$

5.3 环境温度引起的不确定度分量 $u_3(p_m)$

本例中 SF₆ 气体密度控制器的检定温度为 $(20 \pm 1.5)^\circ\text{C}$ ，该温度对标准器的影响已包含在标准器的不确定度内，此处不需分析，这里只考虑温度对被检仪表的影响，温度影响所产生的最大误差为 $1.5k_t P$ ，这里温度系数 $k_t = 0.0004/^\circ\text{C}$ ， $P = 0.8\text{MPa}$ ，均匀分布，则该被检表由环境温度引起的不确定度分量 $u_3(p_m)$ 为：

$$u_3(p_m) = \frac{1.5k_t P}{\sqrt{3}} = 2.78 \times 10^{-4} (\text{MPa})$$

5.4 被检 SF₆ 气体密度控制器的不确定度 $u(p_m)$

由于重复测量引入的不确定度与仪表估读引入的不确定度重复，则选取最大者参与计算，则选取仪表估读引入的不确定度：

$$u(p_m) = \sqrt{(u_2(p_m))^2 + (u_3(p_m))^2} = 2.33 \times 10^{-3} (\text{MPa})$$

5.5 标准器的准确度引起的不确定度分量 $u(p_s)$

由标准器为 0.05 级压力式六氟化硫密度控制器校验仪得出：标准器的允许误差为： $\pm 0.05\% \times 1.0 = \pm 0.0005\text{MPa}$ ，即半宽度最大值 $a = 0.0005\text{MPa}$ ，包含因子取 $k=3$ ，则标准器所引入的不确定度分量 $u(p_s)$ 为：

$$u(p_s) = a/3 = 1.67 \times 10^{-4} (\text{MPa})$$

6. 合成标准不确定度

由于被检 SF6 气体密度控制器产生的标准不确定度分量 $u(p_m)$ 和上一级标准器产生的标准不确定度分量 $u(p_s)$ 彼此独立, 各不相关, 根据不确定度传播定律, 精密压力表示值误差合成标准不确定度 $u_c(p)$ 如下式所示:

$$u_c^2(p) = u^2(p_m) + u^2(p_s)$$

标准不确定度一览表如表 2 所示:

表 2 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	符号	标准不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 c_i	$ c_i \cdot u(x_i)$
被检 SF6 气体密度控制器产生的不确定度	$u(p_m)$	$2.33 \times 10^{-3} \text{MPa}$	1	$2.33 \times 10^{-3} \text{MPa}$
被检 SF6 气体密度控制器测量重复测量引起的不确定度分量	$u_1(p_m)$	$1.23 \times 10^{-3} \text{MPa}$		
被检 SF6 气体密度控制器估读误差引起的不确定度分量	$u_2(p_m)$	$2.31 \times 10^{-3} \text{MPa}$		
环境温度引起的不确定度分量	$u_3(p_m)$	$2.78 \times 10^{-4} \text{MPa}$		
标准器产生的不确定度	$u(p_s)$	$1.67 \times 10^{-4} \text{MPa}$	-1	$1.67 \times 10^{-4} \text{MPa}$

综上所述, 合成标准不确定度为:

$$u_c(p) = \sqrt{u^2(p_m) + u^2(p_s)} = 2.34 \times 10^{-3} \text{MPa}$$

7. 扩展不确定度

$$U = k u_c(p) = 0.0047 \text{MPa} \quad k=2$$

8. 对所有测量点示值误差不确定度的评估

依据检定规程, 对 5 个测量点进行校准, 即 0.2MPa、0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa、0.9MPa。其示值误差不确定度见表 3:

表 3 所有测量点示值误差不确定度一览表 单位 (MPa)

校准点	测量重复性引起的不确定度分量	估读误差引起的不确定度分量	环境温度引起的不确定度分量	标准器产生的不确定度	合成标准不确定度 u_{crel}	扩展不确定度 $U(k=2)$

		$u_1(p_m)$	$u_2(p_m)$	$u_3(p_m)$	分量 $u(p_s)$		
1	0.2	1.18×10^{-4}	2.31×10^{-3}	6.95×10^{-5}	1.67×10^{-4}	2.32×10^{-3}	0.0047
2	0.4	1.18×10^{-4}	2.31×10^{-3}	1.39×10^{-4}	1.67×10^{-4}	2.32×10^{-3}	0.0047
3	0.6	1.21×10^{-4}	2.31×10^{-3}	2.09×10^{-4}	1.67×10^{-4}	2.33×10^{-3}	0.0047
4	0.8	1.23×10^{-4}	2.31×10^{-3}	2.78×10^{-4}	1.67×10^{-4}	2.33×10^{-3}	0.0047
5	0.9	1.23×10^{-4}	2.31×10^{-3}	3.13×10^{-4}	1.67×10^{-4}	2.33×10^{-3}	0.0047

9. 可行性分析

被检 SF6 气体密度控制器的最大允许误差绝对值

$$MPEV = 1.6\% \times (0.9 + 0.1) = 0.016 \text{ MPa},$$

$\frac{U}{MPEV} = 0.29 < \frac{1}{3}$ ，因此，上述检定方法能够满足要求。