

全国物理化学计量技术委员会 (MTC17)

啤酒（酒精度）分析仪校准规范  
不确定度评定报告

主要起草单位：

2026 年 08 月

本规范拟评定酒精度示值误差校准结果的不确定度。

## 一、酒精度示值误差校准结果不确定度评定的示例

### 1.1 测量过程

酒精度示值误差校准所用的有证标准物质为乙醇纯度国家有证标准物质：纯度大于等于 99.8%，扩展不确定度不大于 0.3% ( $k=2$ )，其他设备有：棕色容量瓶和单标线吸量管：A 级，经检定合格。

### 1.2 测量模型和不确定度计算公式

酒精度示值误差的测量模型为：

$$\Delta c_i = \bar{c}_i - c_{si}$$

式中：

$\Delta c_i$  ——第  $i$  个校准点的酒精度示值误差，%vol；

$\bar{c}_i$  ——第  $i$  个校准点的酒精度示值平均值，%vol；

$c_{si}$  ——第  $i$  个校准点的酒精度标准值，%vol。

由测量模型推导出不确定度计算公式为：

$$u_c^2(\Delta c_i) = u^2(\bar{c}_i) + u^2(c_{si})$$

酒精度示值误差的合成标准不确定度  $u_c(\Delta c_i)$  主要由以下两个分量组成：

(1) 乙醇标准使用液配制值引入的标准不确定度  $u(c_{si})$ ；

(2) 酒精度仪测量重复性引入的标准不确定度  $u(\bar{c}_i)$ 。

两个输入量间各不相关。

### 1.3 标准不确定度的评定

#### 1.3.1 乙醇标准使用液配制值的标准不确定度 $u(c_{si})$

由于校准所用乙醇标准使用液需要用乙醇纯度标准物质进行定容稀释：

$$c = \frac{S \times V_2}{V_1}$$

式中：

$c$ ——校准时所用乙醇标准使用液的乙醇含量，%vol；

$V_1$ ——乙醇标准使用液的定容体积, mL;

$V_2$ ——配制乙醇标准使用液所需的乙醇纯度标准物质的体积, mL;

$S$ ——乙醇纯度标准物质的乙醇含量, %vol。

所以,乙醇标准使用液配制值的不确定度来源主要包括乙醇纯度标准物质和配制乙醇标准使用液时的定容稀释。

#### 1.3.1.1 乙醇纯度标准物质引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(S)$

乙醇纯度标准物质的标准值质量分数为 99.8%, 其扩展不确定度为 0.3%, 体积分数为 99.88%, 其扩展不确定度为 0.38%, 包含因子  $k=2$ , 按照 B 类评定, 则标准物质引入的相对标准不确定度为:  $u_{\text{rel}}(S)=0.38/2/99.88=0.19\%$

#### 1.3.1.2 乙醇标准使用液引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(x)$

配制 2%vol 校准点, 需要使用 10mL 吸量管一次, 500mL 容量瓶 1 次。

配制 5%vol 校准点, 需要使用 25mL 吸量管一次, 500mL 容量瓶 1 次。

#### 1.3.1.3 容量瓶容积引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(V_1)$

10mL 吸量管、25mL 吸量管、500mL 容量瓶的最大允许误差分别为 $\pm 0.020\text{mL}$ 、 $\pm 0.030\text{mL}$ 、 $\pm 0.25\text{mL}$ , 属于 B 类评定, 按三角形分布, 计算得到容积引入的相对标准不确定度分别为:

$$u_{\text{rel}}(V_{1-10})=0.016\%$$

$$u_{\text{rel}}(V_{1-25})=0.049\%$$

$$u_{\text{rel}}(V_{1-500})=0.020\%$$

2%vol 校准点:  $u_{\text{rel},1}(V_1)=0.026\%$

5%vol 校准点:  $u_{\text{rel},2}(V_1)=0.053\%$

#### 1.3.1.4 容量瓶和溶液的温度与体积校准时的温度不一致引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(V_2)$

根据证书容量瓶是在 20℃ 进行校准, 而配制校准溶液的实验室温度在  $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ , 水的体积膨胀系数为  $2.1\times 10^{-4}^\circ\text{C}^{-1}$ 。按矩形分布, 计算得到由 25mL 吸量管、500mL 容量瓶的溶液体积因温度影响而引入的相对标准不确定度分别为:

$$u_{\text{rel}}(V_{2-25})=6.07\times 10^{-2}\%$$

$$u_{\text{rel}}(V_{2-500})=6.07\times 10^{-2}\%$$

2%vol 校准点:  $u_{\text{rel},1}(V_2)=0.086\%$

5%vol 校准点:  $u_{\text{rel},2}(V_2)=0.086\%$

根据下列公式计算得到  $u_{\text{rel}}(c_{\text{si}})$ :

$$u_{\text{rel}}(c_{\text{si}}) = \sqrt{[u_{\text{rel}}(S)]^2 + [u_{\text{rel}}(V_1)]^2 + [u_{\text{rel}}(V_2)]^2}$$

2%vol 校准点:  $u_{\text{rel},1}(c_{\text{si}})=0.21\%$

5%vol 校准点:  $u_{\text{rel},2}(c_{\text{si}})=0.22\%$

则乙醇标准使用液引入的标准不确定度为  $u(c_{\text{si}})$  为:

2%vol 校准点:  $u_1(c_{\text{si}})=0.0042\%\text{vol}$

5%vol 校准点:  $u_2(c_{\text{si}})=0.011\%\text{vol}$

### 1.3.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{c}_i)$

在对应的校准点上, 取酒精度仪连续测量的平均值作为最佳估计值, 重复测量 6 次, 以贝塞尔公式计算得出重复性测量的标准偏差, 由于规范中重复测量三次取平均值, 所以按公式 (C.5) 计算测量重复性引入的标准不确定度。表 C.1 给出了测量重复性的数据。

$$u(\bar{c}_i) = \frac{s(\bar{c}_i)}{\sqrt{3}} \quad (\text{C.5})$$

表 C.1 测量重复性的数据

| 次数              | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| 2%校准点测量值 (%vol) | 2.00 | 1.99 | 1.99 | 1.99 | 2.00 | 1.99 |
| 5%校准点测量值 (%vol) | 4.99 | 4.99 | 5.01 | 4.99 | 4.99 | 4.99 |

2%vol 校准点测量重复性引入的标准不确定度为 0.0030%vol, 5%vol 校准点测量重复性引入的标准不确定度为 0.0047%vol。

酒精度仪的酒精度分辨力为 0.01%vol, 其量化误差以矩形分布落在宽度为  $0.5 \times 0.01\%\text{vol} = 0.005\%\text{vol}$  的区间内, 则由分辨力引入的标准不确定分量为:

$$u(\delta_x) = 0.005 / \sqrt{3} = 0.0029\%\text{vol}$$

由此可知重复性引入的标准不确定度分量大于被测仪器分辨力引入的不确定度分量, 可以不考虑分辨力所引入的不确定度分量。

### 1.4 合成标准不确定度

按照下列公式计算合成标准不确定:

$$u_c(\Delta c_i) = \sqrt{u^2(\bar{c}_i) + u^2(c_{si})}$$

2%vol 校准点:  $u_c(\Delta c_1) = 0.0052\% \text{vol}$

5%vol 校准点:  $u_c(\Delta c_2) = 0.012\% \text{vol}$

### 1.5 扩展不确定度

$U = k \times u_c(\Delta c_i)$  取  $k=2$ , 得:

$$U_1 = 2 \times 0.0052\% \text{vol} \approx 1.1 \times 10^{-2}\% \text{vol}$$

$$U_2 = 2 \times 0.012\% \text{vol} = 2.4 \times 10^{-2}\% \text{vol}$$

酒精度示值误差的扩展不确定度为:

2%vol 校准点:  $U = 1.1 \times 10^{-2}\% \text{vol}$ ,  $k=2$ ;

5%vol 校准点:  $U = 2.4 \times 10^{-2}\% \text{vol}$ ,  $k=2$ 。

---