

中华人民共和国工业和信息化部  
石油和化工计量技术规范

JJF（石化）××××-202×

石油产品酸度自动测定仪校准规范

Calibration Specification for

Automatic Acidity Testers of Petroleum Products

（报批稿）

202×-××-××发布

202×-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

# 石油产品酸度自动测定仪 校准规范

Calibration Specification for

Automatic Acidity Testers of Petroleum Products

JJF (石化) × × × × -202 ×

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：山东省计量科学研究院

甘肃省计量研究院

中国计量科学研究院

山东省产品质量检验研究院

参加起草单位：山东宝石花检验检测有限公司

山东京博石油化工有限公司

大连邦能石油仪器有限公司

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

张 森（山东省计量科学研究院）

艾贤嵩（甘肃省计量研究院）

张正东（中国计量科学研究院）

夏攀登（山东省产品质量检验研究院）

**参加起草人：**

郑 鹏（山东省计量科学研究院）

滕 达（山东宝石花检验检测有限公司）

颜廷江（山东京博石油化工有限公司）

刘世童（大连邦能石油仪器有限公司）

# 目 录

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| 引言.....                               | (II) |
| 1 范围.....                             | (1)  |
| 2 引用文件.....                           | (1)  |
| 3 术语和计量单位.....                        | (1)  |
| 4 概述.....                             | (1)  |
| 5 计量特性.....                           | (1)  |
| 6 校准条件.....                           | (2)  |
| 6.1 环境条件.....                         | (2)  |
| 6.2 测量标准及其他设备.....                    | (2)  |
| 7 校准项目和校准方法.....                      | (2)  |
| 7.1 校准项目.....                         | (2)  |
| 7.2 校准方法.....                         | (2)  |
| 8 校准结果.....                           | (3)  |
| 8.1 校准记录.....                         | (3)  |
| 8.2 校准证书.....                         | (4)  |
| 8.3 不确定度.....                         | (4)  |
| 9 复校时间间隔.....                         | (4)  |
| 附录 A 石油产品酸度自动测定仪校准规范校准记录格式.....       | (5)  |
| 附录 B 石油产品酸度自动测定仪校准规范校准证书内页格式.....     | (6)  |
| 附录 C 校准用石油产品酸度标准溶液的配制方法及不确定度评定示例..... | (7)  |
| 附录 D 示值误差测量结果不确定度评定示例.....            | (10) |

# 引 言

本规范依据JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》等基础性系列规范进行编制。

本规范主要参考GB/T 258—2025《轻质石油产品酸度的测定》制定。

本规范为首次发布。

# 石油产品酸度自动测定仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于颜色指示剂滴定法原理的石油产品酸度自动测定仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071—2010 国家计量校准规范编写规则

GB/T 258—2025 轻质石油产品酸度的测定

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 酸度 acidity

中和 100 mL 轻质石油产品所需氢氧化钾的毫克数，用 mg/100 mL（以 KOH 计）表示。

[来源：GB/T 258—2025，3.1]

## 4 概述

石油产品酸度自动测定仪（以下简称测定仪）适用于柴油等石油产品酸度的测量。其原理是用乙醇将柴油中的酸性物质抽出，在有颜色指示剂条件下，用氢氧化钾乙醇标准滴定溶液滴定，测定仪采用数码相机结合机器视觉技术实现滴定液颜色识别与处理，最终完成终点判定，得到酸度值。测定仪由滴定单元、加热及冷凝回流单元、测试单元、数据处理单元等组成。测定仪结构示意图见图 1。

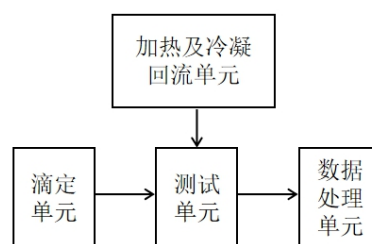


图 1 测定仪结构示意图

## 5 计量特性

计量特性见表 1。

表 1 测定仪计量特性一览表

| 序号                    | 项目   | 技术要求                                                |
|-----------------------|------|-----------------------------------------------------|
| 1                     | 示值误差 | MPE: $\pm (8\% \text{测量点} + 0.2) \text{ mg/100 mL}$ |
| 2                     | 重复性  | $\leq (4\% \text{测量点}) \text{ mg/100 mL}$           |
| 注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。 |      |                                                     |

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

#### 6.1.1 温度条件

环境温度：（15~25）℃。

#### 6.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85%。

#### 6.1.3 其他条件

供电电压（220±22）V，频率（50±1）Hz；周围无强烈振动，无强电、磁场干扰。

### 6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

| 序号                                           | 校准项目 | 测量标准名称及技术要求                                             |
|----------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------|
| 1                                            | 示值误差 | (1) 酸度有证标准物质，相对扩展不确定度不大于 5% ( $k=2$ )。*<br>(2) 吸量管：A 级。 |
| 2                                            | 重复性  |                                                         |
| *注：优先使用酸度有证标准物质，也可使用模拟石油产品酸度标准溶液（配制方法见附录 C）。 |      |                                                         |

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 2。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前准备

检查测定仪外观，不应有影响校准结果的缺陷，测定仪各调节部件应能正常工作。测定仪开机预热，按照说明书要求对测定仪进行搅拌、排液、滴定溶剂空白值测定等。

注：若使用模拟石油产品酸度标准溶液需进行溶剂空白值测定，并在后续测试中扣除该空白值。

### 7.2.2 示值误差

根据使用需求，选用接近柴油酸度日常测量范围的标准物质。按照仪器说明书中取样要求，用吸量管量取适量体积的标准物质并注入滴定瓶中，将标准物质的体积输入仪器测量系统后开始测定，得到测量值  $x_i$ 。按照上述步骤重复测量 3 次计算算术平均值，按公式 (1) 计算酸度示值误差。结果保留至 0.01 mg/100 mL。

$$\Delta x = \bar{x} - x_s \quad (1)$$

式中：

$\Delta x$  ——酸度示值误差，mg/100 mL；

$\bar{x}$  ——3 次酸度测量结果的算术平均值，mg/100 mL；

$x_s$  ——酸度标准物质的标准值，mg/100 mL。

### 7.2.3 重复性

在 7.2.2 的测量条件下，根据示值误差校准结果，按公式 (2) 计算测量重复性。结果保留至 0.01 mg/100 mL。

$$\delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{C} \quad (2)$$

式中：

$\delta$  ——测量重复性，mg/100 mL；

$x_{\max}$  ——3 次测量结果中的最大值，mg/100 mL；

$x_{\min}$  ——3 次测量结果中的最小值，mg/100 mL；

$C$  ——极差系数， $C=1.69$ 。

## 8 校准结果

### 8.1 校准记录

校准记录应详尽记录测量数据和计算结果，推荐的校准记录格式见附录 A。

## 8.2 校准证书

经校准的测定仪应出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071—2010 中 5.12 的要求，推荐的校准证书内页格式见附录 B。

## 8.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录 C 和附录 D。

## 9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由测定仪的使用情况、使用者、测定仪本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，建议一般不超过 12 个月。

## 附录 A

## 石油产品酸度自动测定仪校准记录格式

| 基 本 信 息          |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
|------------------|------------------------------------|------|------|------------------|-------------------|---------------------|------------------|--|
| 委托单位             |                                    |      |      |                  | 地址                |                     |                  |  |
| 仪器名称             |                                    |      |      |                  | 证书编号              |                     |                  |  |
| 制造厂              |                                    |      | 型号   |                  |                   | 出厂编号                |                  |  |
| 校准依据             | JJF (石化) XXXX—202x 石油产品酸度自动测定仪校准规范 |      |      | 温度               | ℃                 | 湿度                  | %RH              |  |
| 校 准 结 果          |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
| A.1 示值误差和重复性     |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
| 标准值<br>mg/100 mL | 仪器测量值 mg/100 mL                    |      |      | 平均值<br>mg/100 mL | 示值误差<br>mg/100 mL | 扩展不确定度<br>( $k=2$ ) | 重复性<br>mg/100 mL |  |
|                  | 1                                  | 2    | 3    |                  |                   |                     |                  |  |
|                  |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
|                  |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
|                  |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
| 标 准 器            |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
| 名称               | 编号                                 | 测量范围 | 溯源单位 | 证书号              | 有效期               | 不确定度或准确度等级或最大允许误差   |                  |  |
|                  |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
|                  |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
| 技术依据             |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |
| 校准地点:            |                                    |      |      | 校准日期:            |                   |                     |                  |  |
| 备注               |                                    |      |      |                  |                   |                     |                  |  |

校准员:

核验员:

## 附录 B

## 石油产品酸度自动测定仪校准证书内页格式

|                                                 |                    |                   |                     |                  |  |
|-------------------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------|--|
| 证书编号 XXXXXX—XXXX                                |                    |                   |                     |                  |  |
| 校准机构授权说明                                        |                    |                   |                     |                  |  |
| 校准的技术依据<br>JJF (石化) XXXX—202X 《石油产品酸度自动测定仪校准规范》 |                    |                   |                     |                  |  |
| 校准环境条件及地点                                       |                    |                   |                     |                  |  |
| 地点                                              |                    |                   |                     |                  |  |
| 环境温度                                            | ℃                  | 相对湿度              | %                   | 其他               |  |
| 校准使用的计量（基）标准装置                                  |                    |                   |                     |                  |  |
| 名称                                              | 测量范围               | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | 标准器溯源单位及证书号         | 有效期至             |  |
|                                                 |                    |                   |                     |                  |  |
|                                                 |                    |                   |                     |                  |  |
| 校 准 结 果                                         |                    |                   |                     |                  |  |
| 示值误差和重复性                                        |                    |                   |                     |                  |  |
| 标准值<br>mg/100 mL                                | 测量平均值<br>mg/100 mL | 示值误差<br>mg/100 mL | 扩展不确定度<br>( $k=2$ ) | 重复性<br>mg/100 mL |  |
|                                                 |                    |                   |                     |                  |  |
|                                                 |                    |                   |                     |                  |  |
|                                                 |                    |                   |                     |                  |  |
| 以下空白                                            |                    |                   |                     |                  |  |
| 备注                                              |                    |                   |                     |                  |  |

## 附录 C

## 模拟石油产品酸度标准溶液的配制方法及不确定度评定示例

## C.1 配制用试剂及设备

## C.1.1 试剂

苯甲酸纯度有证标准物质，纯度不低于 99.8%，扩展不确定度不超过 0.4%（ $k=2$ ）。异丙醇：纯度不低于 99.9%。

## C.1.2 仪器和玻璃量器

天平：准确度为①级，分度值不大于 0.1 mg。

容量瓶：A 级。

## C.2 模拟石油产品酸度标准溶液的配制

使用前需对苯甲酸纯度标准物质预处理，将其在（50~60）℃条件下干燥 4 h，取出后置于干燥器中冷却至室温。将异丙醇在 20.0℃的恒温水浴中恒温 4 h。准确称量一定质量的苯甲酸加入到一定量的溶剂中，定容并充分混合均匀，制备得到模拟石油产品酸度标准溶液。

模拟石油产品酸度标准溶液的酸度值根据以下公式计算：

$$n = \frac{m \cdot \omega}{M_1} \quad (\text{C.1})$$

$$x = \frac{n \cdot M_2}{V} \quad (\text{C.2})$$

$$x_s = x \times 100 \quad (\text{C.3})$$

式中： $n$ ——苯甲酸物质的量，mmol；

$m_1$ ——苯甲酸称量质量，mg；

$\omega$ ——苯甲酸纯度，%；

$M_1$ ——苯甲酸分子量，g/mol，122.12134 g/mol；

$x$ ——配制标准溶液的酸度值，mg/mL；

$V$ ——配制体积，mL；

$M_2$ ——氢氧化钾分子量，g/mol，56.10564 g/mol；

100——换算成标准规定的标准溶液体积的常数；

$x_s$ ——标准溶液换算成标准规定的酸度单位，mg/100 mL。

### C.3 模拟石油产品酸度标准溶液的不确定度评定

#### C.3.1 不确定度来源

以配制 3 mg/100 mL 左右的模拟石油产品酸度标准溶液不确定度评定为例。苯甲酸称量质量为 0.0350 g，配制体积为 500 mL，根据 C.2 计算得到模拟石油产品酸度标准溶液的酸度值为 3.21 mg/100 mL。

模拟石油产品酸度标准溶液的不确定度主要由苯甲酸纯度标准物质的认定值引入的标准不确定度  $u_1(x_s)$ 、苯甲酸纯度标准物质称量值引入的标准不确定度  $u_2(x_s)$ 、苯甲酸分子量引入的标准不确定度  $u_3(x_s)$ 、容量瓶容量误差引入的标准不确定度  $u_4(x_s)$ 、氢氧化钾分子量引入的标准不确定度  $u_5(x_s)$  组成。

#### C.3.2 合成标准不确定度的计算公式

由于被测量的测量模型中各输入量是相乘的关系，相对合成标准不确定度可以表示为：

$$\frac{u_c(x_s)}{x_s} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{P_i u(x_i)}{x_i} \right]^2} \quad (\text{C.4})$$

即：

$$u_r(x_s) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [P_i u_r(x_i)]^2} \quad (\text{C.5})$$

则  $x_s$  的相对合成标准不确定度为：

$$u_r(x_s) = \sqrt{u_{r,1}^2(x_s) + u_{r,2}^2(x_s) + u_{r,3}^2(x_s) + u_{r,4}^2(x_s) + u_{r,5}^2(x_s)} \quad (\text{C.6})$$

#### C.3.3 评定不确定度分量

##### C.3.3.1 标准物质纯度引入的标准不确定度 $u_{r,1}(x_s)$

由标准物质的证书上可查到标准值的扩展不确定度和包含因子，苯甲酸纯度标准物质不确定度  $U_r=0.4\%$  ( $k=2$ )，则：

$$u_{r,1}(x_s) = \frac{0.4\%}{2} = 0.2\% \quad (\text{C.7})$$

##### C.3.3.2 标准物质称量值引入的标准不确定度 $u_{r,2}(x_s)$

用量程为 200 g、分度为 0.1 mg 的分析天平称量 0.0350 g 标准物质，天平最大允许误差为  $\pm 0.5e$ ，即为 0.5 mg，按均匀分布， $k=\sqrt{3}$ 。则：

$$u_{r,2}(x_s) = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 0.0350} \times 100\% = 0.83\% \quad (C.8)$$

### C.3.3.3 苯甲酸分子量引入的标准不确定度 $u_{r,3}(x_s)$

苯甲酸分子式为  $C_6H_5COOH$ ，查询最新国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 原子量表得到：碳 (C)、氢 (H)、氧 (O) 元素的原子量分别为 12.0107、1.00794、15.9994，不确定值分别为  $\pm 0.0008$ 、 $\pm 0.00007$ 、 $\pm 0.0003$ ，则苯甲酸分子量  $M_1$  为 122.12134 g/mol，因此苯甲酸分子量引入的标准不确定度为：

$$u_{r,3}(x_s) = \frac{\sqrt{(7 \times 0.0008)^2 + (6 \times 0.00007)^2 + (2 \times 0.0003)^2}}{122.12134} \times 100\% = 0.0046\% \quad (C.9)$$

### C.3.3.4 容量瓶容量误差引入的标准不确定度 $u_{r,4}(x_s)$

使用 A 级容量为 500 mL 的容量瓶，最大允许误差为  $\pm 0.25$  mL，按其服从三角分布计算，则容量瓶容量引入的标准不确定度为  $0.25/\sqrt{6} = 0.10$  mL。容量瓶和溶液校正时温度不同引入的容量不确定度，假设温差为  $2^\circ\text{C}$ ，有机溶剂体积膨胀系数放大估计为  $1.1 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ ，则体积变化为  $2 \times 1.1 \times 10^{-3} \times 500 = 1.1$  mL，假设温度变化影响服从包含概率 95% 的正态分布，则其导致的体积变化引入的标准不确定度为  $1.1/1.96 = 0.56$  mL。则容量瓶容量误差引入的标准不确定度为：

$$u_4(x_s) = \frac{\sqrt{0.10^2 + 0.56^2}}{500} \times 100\% = 0.12\% \quad (C.10)$$

### C.3.3.5 氢氧化钾分子量引入的标准不确定度 $u_{r,5}(x_s)$

氢氧化钾分子式为  $KOH$ ，查询最新国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 原子量表得到：钾 (K)、氧 (O)、氢 (H) 元素的原子量分别为 39.0983、15.9994、1.00794，不确定值分别为  $\pm 0.0001$ 、 $\pm 0.0003$ 、 $\pm 0.00007$ ，则  $KOH$  分子量  $M_2$  为 56.10564 g/mol，因此  $KOH$  分子量引入的标准不确定度为：

$$u_5(x_s) = \frac{\sqrt{0.0001^2 + 0.0003^2 + 0.00007^2}}{56.10564} \times 100\% = 0.00058\% \quad (C.11)$$

## C.3.4 模拟石油产品酸度标准溶液标准值引入的标准不确定度 $u_c(x_s)$

该测量点模拟石油产品酸度标准溶液标准值  $x_s$  的相对合成标准不确定度为：

$$u_r(x_s) = \sqrt{u_{r,1}^2(x_s) + u_{r,2}^2(x_s) + u_{r,3}^2(x_s) + u_{r,4}^2(x_s) + u_{r,5}^2(x_s)} = 0.9\% \quad (C.12)$$

转换为标准不确定度为：

$$u_c(x_s) = x_s \cdot u_r(x_s) = 0.9\% \times 3.21 \approx 0.03 \text{ mg/100 mL} \quad (\text{C.13})$$

C.4 其他酸度含量标准溶液不确定度参照上述步骤评定。

## 附录 D

## 示值误差测量结果不确定度评定示例

以酸度为 3.21 mg/100 mL 的模拟石油产品酸度标准溶液校准测定仪示值误差测量结果不确定度评定为例。

## D.1 校准方法

校准方法如本规范 7.2.2。

## D.2 测量模型

D.2.1 示值误差的测量模型见式 (D.1)：

$$\Delta x = \bar{x} - x_s \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\Delta x$ ——测定仪的示值误差，mg/100 mL；

$\bar{x}$ ——3 次测量结果的算术平均值，mg/100 mL；

$x_s$ ——模拟石油产品酸度标准溶液的标准值，mg/100 mL。

## D.2.2 不确定度传播率

测量量  $\bar{x}$  与  $x_s$  彼此不相关，有：

$$[u_c(\Delta)]^2 = c_1^2 [u(\bar{x})]^2 + c_2^2 [u(x_s)]^2 \quad (\text{D.2})$$

D.2.3 测量模型 D.1 的灵敏系数：

$$c_1 = 1; \quad c_2 = -1 \quad (\text{D.3})$$

## D.3 不确定度来源分析

示值误差的不确定度来源主要有以下几个：测量结果平均值引入的标准不确定度  $u(\bar{x})$ ，包括测量结果重复性引入的标准不确定度  $u(\bar{x}_1)$ 、取样体积引入的标准不确定度  $u_2(\bar{x})$  和读数分辨力引入的标准不确定度  $u(\bar{x}_3)$ ；测量点标准溶液标准值引入的标准不确定度  $u(x_s)$ 。

## D.4 标准不确定度的评定

## D.4.1 测量结果平均值引入的标准不确定度

## D.4.1.1 测量结果重复性引入的标准不确定度

测量重复性引入的不确定度  $u_1(\bar{x})$  采用 A 类方法进行评定。在示值误差的校准时,校准结果采用重复 3 次测量的算数平均值,测量结果分别为: 3.065 mg/100 mL、3.127 mg/100 mL、3.164 mg/100 mL, 算术平均值为 3.119 mg/100 mL, 由测量重复性引起的标准不确定度为:

$$u_1(\bar{x}) = \frac{3.164 - 3.065}{1.69 \times \sqrt{3}} = 0.034 \text{ mg/100 mL} \quad (\text{D.4})$$

#### D.4.1.2 取样体积引入的标准不确定度

在测量时使用分度吸量管吸取 20 mL 模拟石油产品酸度标准溶液, 容量最大允许误差为  $\pm 0.10$  mL, 按其服从三角分布计算, 则吸量管容量引入的标准不确定度为  $0.10/\sqrt{6} = 0.04$  mL。吸量管和溶液校正时温度不同引入的容量不确定度, 假设温差为  $2^\circ\text{C}$ , 有机溶剂体积膨胀系数放大估计为  $1.1 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ , 则体积变化为  $2 \times 1.1 \times 10^{-3} \times 20 = 0.044$  mL, 假设温度变化影响服从包含概率 95% 的正态分布, 则其导致的体积变化引入的标准不确定度为  $0.044/1.96 = 0.03$  mL。

则模拟石油产品酸度标准溶液取样体积引入的标准不确定度  $u_2(\bar{x})$  为:

$$u_2(\bar{x}) = \frac{\sqrt{0.04^2 + 0.03^2}}{20} \times 100\% \times 3.119 = 0.008 \text{ mg/100 mL} \quad (\text{D.5})$$

#### D.4.1.3 读数分辨力引入的标准不确定度

由于仪器读数分辨力引入的不确定度远小于仪器测量重复性引入的不确定度, 因此仪器读数分辨力引入的标准不确定度  $u_3(\bar{x})$  可忽略。

则测量结果平均值引入的不确定度  $u(\bar{x}) = \sqrt{u_1^2(\bar{x}) + u_2^2(\bar{x})} \approx 0.04 \text{ mg/100 mL}$ 。

#### D.4.2 测量点标准值引入的标准不确定度

根据附录 C 模拟石油产品酸度标准溶液不确定度评定可得不确定度  $u(x_s)$  为 0.03 mg/100 mL。

#### D.5 不确定度分量汇总

测量模型 D.1 的不确定度分量表见表 D.2:

表 D.2 不确定度分量表

| 标准不确定度( $x_i$ ) | 不确定度来源    | $u(x_i)$ 的值    | 灵敏系数 $c_i$ | $ c_i u(x_i)$  |
|-----------------|-----------|----------------|------------|----------------|
| $u(\bar{x})$    | 测量结果平均值引入 | 0.04 mg/100 mL | 1          | 0.04 mg/100 mL |

|          |                     |                |    |                |
|----------|---------------------|----------------|----|----------------|
|          | 的标准不确定度             |                |    |                |
| $u(x_s)$ | 测量点标准值引入<br>的标准不确定度 | 0.03 mg/100 mL | -1 | 0.03 mg/100 mL |

则合成的标准不确定度为：

$$u_c(\Delta x) = \sqrt{c_1^2 [u(\bar{x})]^2 + c_2^2 [u(x_s)]^2} = 0.05 \text{ mg/100 mL} \quad (\text{D.6})$$

#### D.6 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，在酸度为 3.0 mg/100 mL 左右测量结果示值误差的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta x) = 0.10 \text{ mg/100 mL} \quad (\text{D.7})$$