



天津市地方计量技术规范

JJF(津)148—2025

N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器校准规范

Calibration Specification of N-methyl-2-pyrrolidone Gas Detectors

2025-06-23 发布

2025-09-23 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

N-甲基-2-吡咯烷酮气体 探测器校准规范

JJF(津) 148—2025

Calibration Specification of
N-methyl-2-pyrrolidone Gas Detectors

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

宁德时代新能源科技股份有限公司

天津市红桥区计量检定所

参加起草单位：智感技术（天津）有限公司

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

常子栋 （天津市计量监督检测科学研究院）

种 晋 （宁德时代新能源科技股份有限公司）

田俊秀 （天津市红桥区计量检定所）

参加起草人：

郭超毅 （天津市计量监督检测科学研究院）

白玉洁 （天津市计量监督检测科学研究院）

魏树龙 （天津市计量监督检测科学研究院）

张 宏 （宁德时代新能源科技股份有限公司）

刘金星 （智感技术（天津）有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围.....	(1)
2 概述.....	(1)
3 计量性能.....	(1)
3.1 示值误差.....	(1)
3.2 重复性.....	(1)
3.3 响应时间.....	(1)
3.4 漂移.....	(1)
4 校准条件.....	(1)
4.1 环境条件.....	(1)
4.2 测量标准及其他设备.....	(2)
5 校准项目和校准方法.....	(2)
5.1 校准前准备.....	(2)
5.2 示值误差.....	(3)
5.3 重复性.....	(3)
5.4 响应时间.....	(3)
5.5 漂移.....	(3)
6 校准结果.....	(4)
7 复校时间间隔.....	(5)
附录 A N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器校准记录参考格式.....	(6)
附录 B 校准结果内页推荐格式.....	(7)
附录 C 示值误差测量结果不确定度评定示例.....	(8)

引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范的制定参考了 GB/T 5275.10—2009《气体分析 动态体积法制备校准用混合气体 第 10 部分:渗透法》等国家标准。

本规范为首次发布。

N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器校准规范

1 范围

本规范适用于量程不大于 350 $\mu\text{mol/mol}$ 的 N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器的校准。

2 概述

N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器（以下简称探测器）主要用于检测作业场所环境中 N-甲基-2-吡咯烷酮气体浓度的仪器。探测器的检测原理主要有电化学法、光谱法等。探测器一般由气路单元、检测单元、信号处理单元和显示单元等组成。按照采样方式可分为扩散式和泵吸式，按照使用方式可分为便携式和固定式。

3 计量特性

3.1 示值误差

最大允许误差： $\pm 15\%FS$ 。

3.2 重复性

重复性不大于 4%。

3.3 响应时间

扩散式不大于 60 s，泵吸式不大于 30 s。

3.4 漂移

3.4.1 零点漂移： $\pm 3\%FS$

3.4.2 量程漂移： $\pm 5\%FS$

注：以上技术指标不用于合格性判定，仅供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度： $(5\sim 40)^\circ\text{C}$ 。

4.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ 。

4.1.3 校准环境应无影响探测器正常工作的电磁场和干扰气体，校准现场应保持通风并采取安全措施。

4.2 测量标准及其他设备

4.2.1 N-甲基-2-吡咯烷酮渗透管标准物质：应使用国家标准物质，渗透率的相对扩展不确定度不大于 6%($k=2$)。

4.2.2 渗透法动态气体发生装置：渗透池温度(50.0 ± 0.1)°C；气体流量测量范围(0~2000) mL/min，相对扩展不确定度不大于 1%($k=2$)。

4.2.3 气体流量计：测量范围(0~2000) mL/min，准确度等级不低于 4.0 级。

4.2.4 秒表：分度值不低于 0.1 s，最大允许误差不超过 ± 0.10 s/h。

4.2.5 空盒气压表：(87~105) kPa，最大允许误差为 ± 250 Pa。

4.2.6 零点气体：采用纯度不小于 99.999%的高纯氮气。

5 校准项目和校准方法

5.1 校准前准备

将 N-甲基-2-吡咯烷酮渗透管标准物质置于渗透法动态气体发生装置中，在通入零点气体的条件下，将渗透池加热至 N-甲基-2-吡咯烷酮渗透管标准物质的使用温度。维持 72 h 后根据需要调整渗透法动态气体发生装置的流量以得到不同浓度的标准气体。标准气体浓度按式 (1) 计算。

$$x_s = \frac{P_0 V_0 T R_m}{T_0 P M Q} \quad (1)$$

式中：

x_s ——标准气体的浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

P_0 ——标准状态下大气压值，Pa；

V_0 ——标准状态下理想气体摩尔体积，L/mol；

T ——渗透池温度，K；

R_m ——N-甲基-2-吡咯烷酮的渗透率， $\mu\text{g/min}$ ；

T_0 ——标准状态下热力学温度值，K；

P ——渗透池口总压，Pa；

M ——N-甲基-2-吡咯烷酮气体摩尔质量，g/mol；

Q ——零点气体流速，mL/min。

5.2 示值误差

分别通入浓度约为满量程 20%、50%和 80%的标准气体，记录探测器稳定示值。每点测量 3 次，取 3 次的算术平均值作为探测器的示值。按式（2）计算探测器各浓度点的示值误差 Δx 。

$$\Delta x = \frac{\bar{x} - x_s}{R} \quad (2)$$

式中：

Δx ——示值误差，%FS；

$\bar{x}$ ——示值的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

x_s ——标准气体的浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

R ——探测器满量程， $\mu\text{mol/mol}$ 。

5.3 重复性

通入浓度约为满量程 50%的标准气体，记录探测器稳定示值，然后通入零点气体使探测器回零，重复测量 6 次。重复性以单次测量的相对标准偏差表示。按式（3）计算探测器的重复性。

$$\text{RSD} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2}{5}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

RSD——相对标准偏差，%；

x_i ——第 i 次的示值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

$\bar{x}$ ——示值的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ 。

5.4 响应时间

通入零点气体使仪器示值回零，通入浓度约为满量程 50%的标准气体，记录稳定示值。再通入零点气体使探测器回零，通入浓度约为满量程 50%的标准气体，同时用秒表记录从通往标准气体瞬时起到探测器显示稳定值 90%时的时间。重复测量 3 次，取 3 次的算术平均值作为探测器的响应时间。

5.5 漂移

探测器的漂移包括零点漂移和量程漂移。

通入零点气体，记录探测器稳定后的示值 x_{z0} ，然后通入浓度约为满量程 80%的标

准气体，待读数稳定后，记录探测器示值 x_{s0} 。撤去浓度约为满量程 80% 的标准气体，通入零点气体，待探测器回零后撤去零点气体。便携式探测器每隔 15 min 重复上述步骤一次，连续运行 1 h；固定式探测器每间隔 1 h 重复上述步骤一次，连续运行 4 h；分别记录通入零点气体的示值 x_{zi} 及通入浓度约为满量程 80% 的标准气体的示值 x_{si} ($i=1, 2, 3, 4$)。

按式 (4) 计算零点漂移 Δ_{zi} ，取绝对值最大的 Δ_{zi} 作为探测器的零点漂移。

$$\Delta_{zi} = \frac{x_{zi} - x_{z0}}{R} \times 100\% \quad (4)$$

按式 (5) 计算量程漂移 Δ_{si} ，取绝对值最大的 Δ_{si} 作为探测器的量程漂移。

$$\Delta_{si} = \frac{(x_{si} - x_{zi}) - (x_{s0} - x_{z0})}{R} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

R ——探测器满量程， $\mu\text{mol/mol}$ 。

6 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 校准证书编号，页码及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校探测器的制造单位、名称、型号及编号；
- g) 校准单位校准专用章；
- h) 校准日期；
- i) 校准所依据的技术规范名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准时的环境温度、相对湿度；
- l) 校准结果及其测量不确定度；
- m) 对校准规范的偏离的说明（若有）；
- n) “校准证书”的校准人、核验人、批准人签名及签发日期；

- o) 校准结果仅对被校探测器本次测量有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，部分复制证书或报告无效的声明。

7 复校时间间隔

探测器的复校时间间隔由用户自定，建议不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由探测器的使用情况、使用者、探测器本身质量等因素所决定，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。如果对探测器的性能有怀疑或探测器更换重要部件及修理后应对探测器重新校准。



附录 A

N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器校准记录参考格式

探测器名称: _____ 探测器型号: _____ 出厂编号: _____

制造厂家: _____ 送校单位: _____ 校准依据: _____

校准用标准器具和配套设备: _____ 校准地点: _____

校准环境: 温度: _____ °C 湿度: _____ %RH

校准日期: _____

采样方式: _____

A.1 示值误差

测量范围: _____

标准气体浓度 $\mu\text{mol/mol}$	测得值 $\mu\text{mol/mol}$			平均值 $\mu\text{mol/mol}$	示值误差	不确定度 $k=2$

A.2 重复性

标准气体浓度 $\mu\text{mol/mol}$	测得值 $\mu\text{mol/mol}$						重复性

A.3 响应时间

标准气体浓度 $\mu\text{mol/mol}$	显示值 $\mu\text{mol/mol}$	响应时间测得值 s			响应时间 s

A.4 漂移

时间	0 h /0 min	1 h /15 min	2 h /30 min	3 h /45 min	4 h /60 min	零点 漂移	量程 漂移
零点							
示值							

以下空白

附录 B

校准结果内页推荐格式

校准项目		校准结果	扩展不确定度($k=2$)
示值误差			
重复性			_____
响应时间			_____
零点漂移			_____
量程漂移			_____

以下空白

附录 C

示值误差测量结果不确定度评定示例

C.1 测量方法

分别通入浓度约为满量程 20%、50%和 80%的标准气体，记录探测器稳定示值。每点测量 3 次，取 3 次的算术平均值作为探测器的示值。按式 (C.1) 计算探测器各浓度点的示值误差 Δx 。

C.2 测量模型

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

式中：

Δx ——示值误差，%FS；

$\bar{x}$ ——示值的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

x_s ——标准气体的浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

R ——探测器满量程， $\mu\text{mol/mol}$ 。

因为各分量不相关，则：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{x}) + c_2^2 u^2(x_s)}$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta x}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{R}$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta x}{\partial x_s} = -\frac{1}{R}$$

C.3 标准不确定度的评定

以测量范围为(0~100) $\mu\text{mol/mol}$ 的 N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器的校准为例选取 80%满量程点，对测量结果做不确定度评定。

C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度

用 N-甲基-2-吡咯烷酮气体探测器测量氮气中 N-甲基-2-吡咯烷酮标准气体，在相同的条件下对 80 $\mu\text{mol/mol}$ 标准气体进行重复性测量。重复测量 10 次，测得值如下：

标准气体浓度 $\mu\text{mol/mol}$	测得值 $\mu\text{mol/mol}$									
80.0	80.2	80.1	80.2	80.2	80.5	80.3	80.2	80.1	80.4	80.3

实验标准偏差 $s=0.13 \mu\text{mol/mol}$ 。实际测量时，以 3 次测量的算术平均值作为测量结果，故由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.073 \mu\text{mol/mol}$$

C.3.2 标准气体引入的标准不确定度

标准气体浓度由式 (C.2) 计算。

$$x_s = \frac{P_0 V_0 T R_m}{T_0 P M Q} \quad (\text{C.2})$$

式中：

x_s ——标准气体的浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

P_0 ——标准状态下大气压值，Pa；

V_0 ——标准状态下理想气体摩尔体积，L/mol；

T ——渗透池温度，K；

R_m ——N-甲基-2-吡咯烷酮的渗透率， $\mu\text{g/min}$ ；

T_0 ——标准状态下热力学温度值，K；

P ——渗透池口总压，Pa；

M ——N-甲基-2-吡咯烷酮气体摩尔质量，g/mol；

Q ——零点气体流速，mL/min。

其中标准状态下大气压值、标准状态下理想气体摩尔体积、标准状态下热力学温度值、渗透池口总压均为常数。扩散组分气体摩尔质量引入的不确定度较小，可忽略。因此，不确定度主要来源为渗透池温度、扩散组分气体的渗透率、渗透池口总压、零点气体流速引入的相对标准不确定度。各不确定度不相关，因此有：

$$u_{\text{rel}}(x_s) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(T) + u_{\text{rel}}^2(R_m) + u_{\text{rel}}^2(P) + u_{\text{rel}}^2(Q)}$$

根据渗透管法气体制备方法要求，渗透池温度变化应不超过 $\pm 0.1 \text{ K}$ ，按均匀分布，因此有：

$$u_{\text{rel}}(T) = \frac{\Delta T}{2\sqrt{3}T} = 0.018\%$$

根据 N-甲基-2-吡咯烷酮渗透管标准物质定值证书可知，渗透率引入的不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(R_m) = \frac{U_{\text{rel}}(R_m)}{k} = 3.0\%$$

根据气压表证书可知，气压表示值误差 $\Delta P = -0.02 \text{ kPa}$ ，渗透池口总压引入的不确定

度为:

$$u_{\text{rel}}(P) = \frac{\Delta P}{2\sqrt{3}P} = 0.57\%$$

根据渗透法动态气体发生装置证书可知:

$$u_{\text{rel}}(Q) = \frac{U_{\text{rel}}(Q)}{k} = 0.50\%$$

因此, 可计算出:

$$u_{\text{rel}}(x_S) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(T) + u_{\text{rel}}^2(R_m) + u_{\text{rel}}^2(Q)} = 3.1\%$$

本校准点 $x_S = 80.0 \text{ mmol/mol}$ 。因此:

$$u(x_S) = u_{\text{rel}}(x_S) \times x_S = 2.48 \text{ } \mu\text{mol/mol}$$

C.4 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总表见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度汇总表

不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数
$u(\bar{x})$	测量重复性引入的标准不确定度	$0.073 \text{ } \mu\text{mol/mol}$	$0.001 \text{ mol}/\mu\text{mol}$
$u(x_S)$	标准气体引入的标准不确定度	$2.48 \text{ } \mu\text{mol/mol}$	$-0.001 \text{ mol}/\mu\text{mol}$

C.5 不确定度的合成

根据不确定度传播律, 可计算出:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{x}) + c_2^2 u^2(x_S)} = 2.4\% \text{FS}$$

C.6 扩展不确定度

取 $k=2$, 则 $U = u_c \times k = 5\% \text{FS}$ 。

