

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—202×

车载式排放测试系统校准规范

Calibration Specification of Portable Emissions

Measurement Systems

(征求意见稿)

202X-××-××发布

202×-××-××实施

国家市场监督管理总局发布

征求意见稿、云路计量

车载式排放测试系统校准规范

Calibration Specification of Portable
Emissions Measurement Systems

JJF XXXX—202X

归口单位: 全国公路专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位: 中公高远（北京）汽车检测技术有限公司
交通运输部公路科学研究院
中国环境科学研究院

参加起草单位: 北京市计量检测科学研究院
交通运输部科学研究所
河北大学

征求意见稿

本规范委托全国公路专用计量器具计量技术委员会负责解释

征求意见稿、云路计量

本规范主要起草人：

参加起草人：

征求意见稿、云路计量

征求意见稿、云路计量

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 术语	1
3.2 计量单位	1
4 概述	2
5 计量特性	3
5.1 气体分析单元	3
5.2 NO _x 转化效率	3
5.3 排气质量流量	3
5.4 系统总准确度	4
5.5 环境参数	4
5.6 卫星导航精准定位	4
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 测量标准及其他设备	5
7 校准项目和校准方法	5
7.1 气体分析单元	6
7.2 NO _x 转化效率	6
7.3 排气质量流量	7
7.4 系统总准确度	8
7.5 环境参数	8
7.6 卫星导航精准定位	9
8 校准结果表达	9
9 复校时间间隔	9
附录 A 标准气体及其浓度要求	11
附录 B 校准记录表格式	12
附录 C 校准证书（内页）格式	14
附录 D 车载式排放测试系统校准结果测量不确定度评定示例	18

引言

本规范以 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》为基础性规范进行编写。

本规范参考 GB 18352.6—2016《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》、GB 17691—2018《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》、HJ 1014—2020《非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求》的相关要求编写。

本规范为首次发布。

征求意见稿、云路计量

车载式排放测试系统校准规范

1 范围

本规范适用于车载式排放测试系统中气体分析单元、排气质量流量计、环境参数测量单元、卫星导航精准定位单元以及系统总准确度的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1076—2020 数字式温湿度计校准规范

JJG 1084—2013 数字式气压计

JJF 1921—2021 GNSS 行驶记录仪校准规范

GB 17691—2018 重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

GB 18352.6—2016 轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

HJ 1014 非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求

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

GB 17691—2018、GB 18352.6—2016 和 HJ 1014 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 术语

3.1.1 系统总准确度 comprehensive system accuracy

指在正常排放试验运转条件下，PEMS 对注入污染物成分的测量值与实际注入值之间的相对偏差。

3.2 计量单位

气体分析单元各组分气体含量用体积分数表示，其中：

CO、CO₂体积分数单位为“%”或“×10⁻²”；

NO、NO₂、NO_x、THC 体积分数单位为“×10⁻⁶”。

排气质量流量的单位为千克每小时（kg/h）。

环境参数的温度单位为摄氏度（℃），相对湿度单位为百分之（%），大气压力单位为千帕（kPa）。

卫星导航精准定位单元的车速单位为千米每小时（km/h），距离单位为千米（km），定位和海拔高度单位为米（m）。

4 概述

车载式排放测试系统（以下简称“PEMS”）可用来检测机动车实际道路行驶或非道路移动机械实际作业时的排气污染物和CO₂排放量，能够实时测量污染物和CO₂浓度、排气质量流量、环境温度、湿度、大气压力，以及车速、定位、海拔等相关数据。

PEMS一般由气体分析单元、颗粒物数量分析单元、排气质量流量计、环境参数测量单元、卫星导航精准定位单元等部分组成。

PEMS通过实时采集排气管中的样气，同步测量污染物浓度与排气质量流量，结合从卫星导航精准定位单元及OBD获取的工况参数，利用积分算法将浓度与流量数据连续运算，计算出运行过程中污染物的瞬态及累计质量排放，并实现排放数据与时间、地理位置及运行工况的精确关联。

对于气体分析单元，CO和CO₂的测量一般采用不分光红外线吸收（NDIR）型、量子级联激光器（QCL）或傅里叶变换红外线（FTIR）类型分析方法；NO_x的测量一般采用化学发光（CLD）型（应配置NO₂-NO转化器）、非分散紫外线谐振吸收（NDUV）型、QCL或FTIR类型分析方法；总碳氢化合物（THC）的测量一般采用加热式氢火焰离子化（HFID）类型（适用于所有燃料）、氢火焰离子化（FID）类型（适用于除柴油以外所有的燃料）分析方法。

对于排气质量流量计，一般采用基于皮托管的流量测量设备、压差设备（如流量喷嘴）、超声波流量计、涡流式流量计。

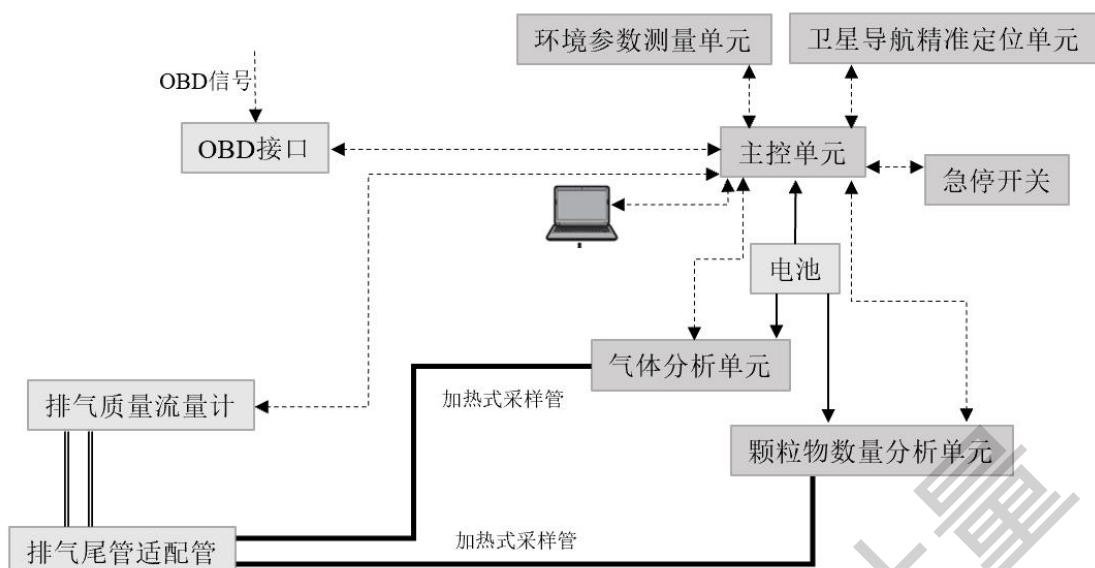


图 1 PEMS 示意图

5 计量特性

5.1 气体分析单元

气体分析单元示值误差一般不超过表 1 规定的最大允许误差。

表 1 气体分析单元的计量特性

气体种类	测量范围	零点最大允许误差	绝对最大允许误差	相对最大允许误差
CO	$(0 \sim 10) \times 10^{-2}$	0.0075×10^{-2}	$\pm 0.3\% \text{ FS}$	$\pm 2.0\%$
CO_2	$(0 \sim 20) \times 10^{-2}$	0.2×10^{-2}		
NO^1	$(0 \sim 3000) \times 10^{-6}$	5×10^{-6}		
NO_2^2	$(0 \sim 1000) \times 10^{-6}$	5×10^{-6}	$\pm 0.5\% \text{ FS}$	$\pm 4.0\%$
THC^3	$(0 \sim 10000) \times 10^{-6}$	10×10^{-6}	$\pm 0.3\% \text{ FS}$	$\pm 2.0\%$

注：满足最大允许误差两种表示（绝对误差、相对误差）中的任一要求即可。
注 1：对不能直接测量 NO_2 的分析单元，应在 NO 模式下进行；如不能切换 NO/ NO_x 模式，应以 NO_x 示值进行。
注 2：仅适用于可直接测量 NO_2 的气体分析单元。
注 3：仅适用于具备 THC 测量功能的气体分析单元。

5.2 NO_x 转化效率

对不能直接测量 NO_2 的 NO_x 分析单元，将 NO_2 转化为 NO 的效率，一般大于 95.0%。

5.3 排气质量流量

排气质量流量示值误差一般不超过表 2 规定的最大允许误差。

表 2 排气质量流量计的计量特性

测量范围	绝对最大允许误差	相对最大允许误差
(20~2100) kg/h	±0.5% FS	±2.0%

注：满足最大允许误差两种表示（绝对误差、相对误差）中的任一要求即可。

5.4 系统总准确度

PEMS 系统总准确度一般不超过±5%。

5.5 环境参数

环境参数示值误差一般不超过表 3 规定的最大允许误差。

表 3 环境参数测量单元的计量特性

计量性能	测量范围	绝对最大允许误差
温度	(-10~+40) °C	±2.0 °C
相对湿度	(10~80) %	±5.0 %
大气压力	(70~106) kPa	±0.2 kPa

5.6 卫星导航精准定位

卫星导航精准定位的计量特性见表 4。

表 4 卫星导航精准定位单元的计量特性

计量性能	性能指标
车速偏差	不超过±1.8 km/h
距离偏差	不超过±4.0 %
定位偏差	不超过±15.0 m
海拔高度偏差	不超过±40.0 m

注：本规范中的计量特性不作合格判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度：(25±5) °C；

相对湿度：不大于 80 %；

大气压力：76 kPa~106 kPa（在高原环境下，仅供参考）。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准的技术要求见表 5。

表 5 测量标准技术要求

序号	名称	技术要求
1	标准气体	见附录 A
2	标准流量计	测量范围: (20~2100) kg/h, 相对扩展不确定度不大于 0.5%
3	电子天平	测量范围: (500~5000) g, 高准确度级 (II), 检定分度值 $e=0.1\text{g}$, 最大允许误差: $\pm 1.5\text{e}$
4	精密露点仪	测量范围: (-20~+40) °C (露点或露点温度), 最大允许误差: ± 0.2 °C (露点或露点温度)
5	数字式温度计	测量范围: (-20~+40) °C, 最大允许误差: ± 0.2 °C
6	数字式气压计或绝压型气体活塞式压力计	测量范围: (60~110) kPa, 准确度等级: 0.1
7	GNSS 信号模拟器	可定义校准所需标准场景, 如定位偏差校准场景、测速偏差校准场景、里程记录误差校准场景; 信号功率输出范围: (-140~-110) dBm; 伪距准确度: <100 mm (RMS), 伪距率精度: <100 mm/s (RMS)
注: 也可使用满足要求的其他测量标准。		

其他设备的技术要求见表 6。

表 6 其他设备技术要求

序号	名称	技术要求
1	标准气袋	气袋本体和气体管路宜采用聚全氟乙丙烯 (FEP) 材质、气袋阀体宜采用聚四氟乙烯 (PTFE) 材质、密封圈宜采用氟橡胶材质, 或其他等效材质。
2	湿度发生器 (含温湿度标准箱)	湿度范围: (10~95) %RH, 均匀度、波动度不超过 ± 1.0 %RH; 温度范围: (-10~50) °C, 均匀度、波动度不超过 ± 0.2 °C。
3	气体压力控制装置	一般由压力源、真空源、压力调节器组成。
注: 也可使用满足要求的其他设备。		

7 校准项目和校准方法

7.1 气体分析单元

浓度校准点宜包括：零点、0.1 FS、0.2 FS、0.4 FS、0.6 FS、0.8 FS。

PEMS 按照规定的时间预热，并达到厂家说明书规定的工作状态，气体分析单元完成零点和量距点标定。

将纯氮气充入标准气袋至接近额定容积，排出标准气袋中的气体，使气袋处于真空状态。将 A.6 规定的标准气体充入标准气袋中，充入的气体体积至少能够满足 1 次校准测试。

将气体采样端口与标准气袋连接，气体分析单元在“测量”状态下，测量气袋中气体的浓度，待气体分析单元浓度读数稳定，使用 PEMS 软件自动记录气体分析单元在 30 s 内的气体浓度测量值，并计算平均值 \bar{C} 。

分别对气体分析单元的各浓度校准点进行校准。

按式（1）、（2）计算气体分析单元校准点的示值误差：

$$\Delta_c = \bar{C} - C_s \quad (1)$$

$$\delta_c = \frac{\bar{C} - C_s}{C_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

Δ_c ——气体浓度的示值误差， 10^{-2} 或 10^{-6} ；

δ_c ——气体浓度的相对示值误差；

\bar{C} ——30 s 测量气体浓度示值的平均值， 10^{-2} 或 10^{-6} ；

C_s ——标准气体的浓度标称值， 10^{-2} 或 10^{-6} 。

7.2 NO_x转化效率

PEMS 按照规定的时间预热，并达到厂家说明书规定的工作状态，NO_x 分析单元完成零点和量距点标定。

将合成空气充入标准气袋至接近额定容积，排出标准气袋中的气体，使气袋处于真空状态。将 A.6 规定的标准气体充入标准气袋中，充入的气体体积至少能够满足 1 次校准测试。

将气体采样端口与标准气袋连接，NO_x 分析单元首先以 NO 模式进入“测量”状态，测量气袋中 NO 的浓度，待读数稳定后，使用 PEMS 软件自动记录 NO_x 分析单元在 30 s 内的 NO 气体浓度测量值，并计算平均值 C_{NO} 。

NO_x 分析单元切换至 NO_x 模式进入“测量”状态，测量气袋中 NO_x 气体的浓度，待读数稳定后，使用 PEMS 软件自动记录 NO_x 分析单元在 30 s 内的 NO_x 气体浓度测量值，并计算平均值 C_{NOx} 。

按式（3）计算 NO_x 转化效率：

$$\eta = \frac{C_{\text{NOx}} - C_{\text{NO}}}{C_{\text{NO2}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

η ——NO_x转化效率；

C_{NOx} ——在 NO_x模式下，30 s 测量气体浓度示值平均值，10⁻⁶；

C_{NO} ——在 NO 模式下，30 s 测量气体浓度示值平均值，10⁻⁶；

C_{NO2} ——NO₂标准气体的浓度标称值，10⁻⁶。

7.3 排气质量流量

以排气质量流量计的最大量程为 Q_{max} ，排气质量流量计的流量校准点宜包括：0.2 Q_{max} 、0.4 Q_{max} 、0.5 Q_{max} 、0.6 Q_{max} 、0.8 Q_{max} 。

PEMS 经充分预热，达到厂家说明书规定的工作状态。将排气质量流量计与大气连通进行标零。

排气质量流量计进气端连接大气，出气端与标准流量计串联，流量计的流向标识应与气体流向一致，流量计轴线应与标准流量计管道轴线一致。

开启负压风机，调节流量至指定流量校准点（以标准流量计示值为基准），排气质量流量计在“测量”状态下，测量气体流量，待读数稳定后，使用各自软件记录标准流量计和排气质量流量计在 30 s 内的质量流量测量值，并分别计算平均值 \bar{q}_s 和 \bar{q} 。

分别对排气质量流量计的各流量校准点进行校准。

按式（4）、（5）计算质量流量的示值误差：

$$\Delta q_z = \bar{q} - \bar{q}_s \quad (4)$$

$$\delta_q = \frac{\Delta q_z}{\bar{q}_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

Δq_z ——质量流量绝对示值误差，kg/h；

\bar{q} ——排气质量流量计 30s 测量质量流量的示值平均值，kg/h；

\bar{q}_s ——标准流量计 30 s 测量质量流量的示值平均值，kg/h；

δ_q ——质量流量相对示值误差。

7.4 系统总准确度

PEMS 按照规定的时间预热，并达到厂家说明书规定的工作状态，CO 分析单元完成零点和量距点标定。

将排气质量流量计的进气端与混合管道进行密封连接，排气质量流量计的出气端与负压风机进行密封连接，喷射管深入混合管道至少 200mm，以防止喷射的气体溢出。

将纯 CO 气瓶置于电子天平，称量 3 次，计算 3 次的平均值 m_0 作为气瓶的初始质量。

将连接喷射管路的压力调节阀安装于 CO 气瓶。打开负压风机，PEMS 进入测量工作状态，通过调节风机风速，使排气质量流量计的排气质量流量示值接近 $0.5 Q_{\max}$ 。检查 CO 分析单元测试的浓度值，CO 示值浓度应小于 0.01%。

PEMS 进入正式试验工作状态，开始测量并记录 CO 的浓度、排气质量流量计流量、排气温度等参数。打开 CO 气瓶阀门，快速调节压力调节阀，使喷出的 CO 与稀释空气充分混合后，CO 分析单元测得的浓度读数接近 1%，持续 2~3 min。

关闭 CO 气瓶阀门，待 CO 浓度读数低于 0.01% 后，PEMS 立即结束试验。拆卸压力调节阀后，将纯 CO 气瓶并置于电子天平，称量 3 次，计算 3 次的平均值 m_1 作为气瓶的结束质量。

PEMS 生成排放测试结果报告或由逐秒数据计算 CO 的累积排放量 m_c 。

按式（6）计算 PEMS 系统总准确度：

$$\delta_{sys} = \frac{m_c - (m_0 - m_1)}{m_0 - m_1} \times N \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δ_{sys} ——PEMS 系统总准确度；

m_c ——PEMS 分析计算的气体质量，g；

m_0 ——纯 CO 气瓶的初始质量，g；

m_1 ——纯 CO 气瓶的结束质量，g；

N ——CO 纯度。

7.5 环境参数

温度校准点宜包括：-7 °C、0 °C、20 °C、30 °C、35 °C。

相对湿度校准点宜包括：30 %、50 %、70 %。

大气压力校准点宜包括：70 kPa、80 kPa、90 kPa、100 kPa。

按 JJF 1076—2020 中 5.2 规定的方法对环境参数测量单元的温湿度计量特性进行校准。

按 JJG 1084—2013 中 7.3 规定的方法对环境参数测量单元的大气压力示值误差进行校准，其中校准气路采用 7.3.2.2 规定的连接方式一。

7.6 卫星导航精准定位

按 JJF 1921—2021 中 7.2.3 规定的方法对卫星导航精准定位的车速偏差进行校准。

按 JJF 1921—2021 中 7.2.4 规定的方法对卫星导航精准定位的距离偏差进行校准。距离校准点宜包括：25 km、50 km、75 km、100 km。

按 JJF 1921—2021 中 7.2.2 规定的方法对卫星导航精准定位的定位偏差和海拔高度偏差进行校准。

按式（7）计算海拔高度偏差：

$$\Delta z = z - z_0 \quad (7)$$

式中：

Δz —— 海拔高度偏差，m；

z —— 卫星导航精准定位单元记录海拔高度定位值的平均值，m；

z_0 —— 模拟器海拔高度仿真标准位置值的平均值，m；

8 校准结果表达

校准后出具校准证书，校准证书信息应符合 JJF 1071—2010 中第 5.12 条的要求，校准记录格式参见附录 B，校准证书内页格式参见附录 C，主要校准项目测量不确定度评定的示例参见附录 D。

9 复校时间间隔

复校时间间隔一般不超过 12 个月。在使用过程中如出现修理、更换重要器件等情况，应进行针对性校准。

由于复校时间间隔的长短是由 PEMS 的使用情况、使用者、仪器本身质量等
诸多因素决定，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。

征求意见稿、云路计量

附录 A

标准气体及其浓度要求

- A. 1 标准气体应具有标准物质证书或符合国家标准要求，在有效期内使用。
- A. 2 标准气体的标称值应不超过推荐浓度值的±5%。
- A. 3 CO、CO₂、NO 和 C₃H₈ 标准气体标称值的相对扩展不确定度应为（或优于）1%（k=2），NO₂ 标准气体标称值的相对扩展不确定度应为（或优于）2%（k=2）。
- A. 4 零气采用纯氮气，其纯度要求：HC 浓度≤1×10⁻⁶，CO 浓度≤1×10⁻⁶，CO₂ 浓度≤400×10⁻⁶，NO 浓度≤0.1×10⁻⁶，NO₂ 浓度≤0.1×10⁻⁶，N₂O 浓度≤0.1×10⁻⁶，NH₃ 浓度≤0.1×10⁻⁶。
- A. 5 用于气体分析单元示值误差校准的标准气体及推荐的浓度值见表 A. 1。

表 A. 1 标准气体及推荐浓度值

气体名称	推荐浓度值	单位
氮中一氧化碳	8、6、4、2、1	×10 ⁻²
氮中二氧化碳	16、12、8、4、2	×10 ⁻²
空气中丙烷	2400、1800、1200、600、300	×10 ⁻⁶
氮中一氧化氮	2400、1800、1200、600、300	×10 ⁻⁶
空气中二氧化氮	800、600、400、200、100	×10 ⁻⁶

注：可根据分析单元的实际量程范围和校准浓度点要求进行调整。

- A. 6 NO_x 转化效率校准：采用空气中二氧化氮标准气体，推荐浓度值为 100×10⁻⁶。
- A. 7 系统总准确度校准：采用纯 CO，纯度不低于 99.9%。

附录 B

校准记录表格式

B. 1 基本信息

校准单位:		校准地点:	
委托单位:		委托单位地址:	
设备名称:		设备型号:	
设备编号:		制造厂:	
环境温度 (℃):		相对湿度 (%):	
校准用器具型号及 编号:			
校准依据:			

B. 2 气体分析单元

分析仪	标准值	测量值							平均值	示值误差	
		1	2	3	28	29	30		绝对误差	相对误差 %
CO/ 10^{-2}											
CO ₂ / 10^{-2}											
NO/ 10^{-6}											
NO ₂ / 10^{-6}											
THC/ 10^{-6} C ₁											

B. 3 NO_x转化效率

模式	测量值							平均 值	NO ₂ 标 准值 10 ⁻⁶	转化 效率 %
	1	2	3	28	29	30			
NO/ 10 ⁻⁶										
NO _x / 10 ⁻⁶										

B. 4 排气质量流量

-	测量值 kg/h							平均 值 kg/h	示值误差	
	1	2	3	28	29	30		绝对 误差 kg/h	相对 误差 %
标准 流量										
EFM										
标准 流量										
EFM										
标准 流量										
EFM										
标准 流量										
EFM										
标准 流量										
EFM										
标准 流量										
EFM										

B. 5 系统总准确度

气瓶质量 g								PEMS 计算 值 g	相对偏 差 %		
喷射前				喷射后							
1	2	3	平均 值	1	2	3	平均 值				

B. 6 环境参数的校准原始记录格式按照 JJF 1076—2020 中 A. 1 节和 JJG 1084—2013 中附录 C 的要求。

B. 7 卫星导航精准定位单元的校准原始记录格式按照 JJF 1921—2021 中附录 A 的要求。

附录 C

校准证书（内页）格式

证书编号：××××-×××				
校准机构授权说明				
校准所依据的技术文件（代号、名称）				
校准环境条件及地点： 温度： °C 地点： 相对湿度： % 其他：				
校准使用的主要标准器/主要仪器				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至
第×页共×页				

证书编号: ××××-××××

校准结果**1、气体分析单元**

分析仪	标准值	示值平均值	绝对示值误差	相对示值误差%	扩展不确定度 $k=2$
CO/ 10^{-2}					
CO ₂ / 10^{-2}					
NO/ 10^{-6}					
NO ₂ / 10^{-6}					
THC/ 10^{-6}					

2、NO_x转化效率

NO ₂ 标准值 10^{-6}	NO示值平均值 10^{-6}	NO _x 示值平均值 10^{-6}	转化效率%	扩展不确定度 $k=2$

3、排气质量流量

标准值 kg/h	示值平均值 kg/h	绝对示值误差 kg/h	相对示值误差%	扩展不确定度 $k=2$

证书编号: ××××-××××

校准结果**4、系统总准确度**

气体变化质量 g	PEMS 计算结果 g	相对偏差 %	扩展不确定度 $k=2$

5、环境参数**(1) 温度、湿度**

标准值		被校仪器示值平均值		示值误差		扩展不确定度 $k=2$	
温度 °C	湿度 %RH	温度 °C	湿度 %RH	温度 °C	湿度 %RH	温度 °C	湿度 %RH

(2) 大气压力

标准值 kPa	被校仪器示值平均值 kPa	示值误差 kPa	扩展不确定度 $k=2$

6、卫星导航精准定位**(1) 车速**

标准值 km/h	显示值 km/h	偏差 km/h	扩展不确定度 $k=2$

(2) 距离

标准值 m	测量值 m	偏差 %	扩展不确定度 $k=2$

证书编号: ××××-×××
校准结果

(3) 定位

标准值 m	显示值 m	偏差 m	扩展不确定度 k=2

(4) 海拔高度

标准值 m	显示值 m	偏差 m	扩展不确定度 k=2

以下空白
第×页 共×页

附录 D

车载式排放测试系统校准结果测量不确定度评定示例

D. 1 气体分析单元示值误差校准结果测量不确定度评定

D. 1. 1 概述

依据本规范对 PEMS 气体分析单元进行校准，校准结果为示值误差。校准时，将指定浓度的标准气体充入标准气袋中，气体分析单元在“测量”状态下，测量气袋中气体的 30 s 平均浓度，与标准气体的标称值进行比较，两者差值即为示值误差。

D. 1. 2 测量模型

D. 1. 2. 1 测量模型

PEMS 气体分析单元示值误差测量模型为式 (D. 1):

$$\Delta_c = \bar{C} - C_s \quad (D. 1)$$

式中：

Δ_c ——气体浓度的示值误差， 10^{-2} ；

\bar{C} ——30 s 测量气体浓度示值的平均值， 10^{-2} ；

C_s ——标准气体的浓度标称值， 10^{-2} 。

D. 1. 2. 2 合成标准不确定度

对于输出量 Δ_c 而言，输入量 \bar{C} 为气体分析单元 30 s 测量气体浓度示值的平均值， C_s 为标准气体的浓度标称值，两者之间相互独立，互不相关，由公式

(D. 1) 依据不确定度传播律得到合成标准不确定度公式 (D. 2):

$$u_c(\Delta_c) = \sqrt{[c(\bar{C})u(\bar{C})]^2 + [c(C_s)u(C_s)]^2} \quad (D. 2)$$

式中：

$u(\bar{C})$ ——被校气体分析单元引入的标准不确定度；

$u(C_s)$ ——标准气体引入的标准不确定度。

D. 1. 2. 3 灵敏系数

式 (D. 2) 中灵敏系数为：

$$c(\bar{C}) = \partial\Delta_c / \partial\bar{C} = 1$$

$$c(C_s) = \partial\Delta_c / \partial C_s = -1$$

D. 1. 3 不确定度的来源

D. 1. 3. 1 被校气体分析单元引入的标准不确定度 $u(\bar{C})$

被校气体分析单元引入的标准不确定度包含测量重复性引入的标准不确定度和气体分析单元显示分辨力引入的标准不确定度。

根据实际测量的结果，发现测量重复性引入的不确定度远远大于显示分辨力误差引入的不确定度，按照 JJF 1033—2016《计量标准考核规范》的要求，故测量重复性引入的标准不确定度即为被校气体分析单元引入的标准不确定度 $u(\bar{C})$ 。

D. 1. 3. 2 标准气体引入的标准不确定度 $u(C_s)$

标准气体浓度定值引入的标准不确定度即标准气体引入的标准不确定度 $u(C_s)$ 。

D. 1. 4 测量不确定度评定

D. 1. 4. 1 测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{C})$

采用 A 类方法评定。

在校准点重复测量 6 次，测得数据见表 D. 1。

表 D. 1 重复性测量数据

标准气体	标称值	测量值						平均值 \bar{x}
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
氮中 CO / $\times 10^{-2}$	2.018	1.990	1.989	1.988	1.990	1.987	1.986	1.988
氮中 CO ₂ / $\times 10^{-2}$	8.00	8.120	8.115	8.118	8.127	8.130	8.122	8.122
氮中 NO / $\times 10^{-6}$	1175.0	1197.978	1198.070	1197.980	1198.029	1198.158	1198.238	1198.076
空气中 NO ₂ / $\times 10^{-6}$	400.0	395.080	395.248	395.451	395.664	395.894	395.934	395.545

采用贝塞尔公式计算单次测量值的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

计算得到各标准气体测量的单次实验标准差：

$$s_{CO} = 0.002 \times 10^{-2}$$

$$s_{CO_2} = 0.006 \times 10^{-2}$$

$$s_{NO} = 0.104 \times 10^{-6}$$

$$s_{\text{NO}_2} = 0.347 \times 10^{-2}$$

结果由 1 次测量得到, 由测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u = s/\sqrt{n}$$

$$u_{\text{CO}}(\bar{C}) = s_{\text{CO}}/\sqrt{1} = 0.002 \times 10^{-2}$$

$$u_{\text{CO}_2}(\bar{C}) = s_{\text{CO}_2}/\sqrt{1} = 0.006 \times 10^{-2}$$

$$u_{\text{NO}}(\bar{C}) = s_{\text{NO}}/\sqrt{1} = 0.104 \times 10^{-6}$$

$$u_{\text{NO}_2}(\bar{C}) = s_{\text{NO}_2}/\sqrt{1} = 0.347 \times 10^{-6}$$

D. 1. 4. 2 标准气体定值引入的标准不确定度 $u(C_s)$

采用 B 类方法评定。

标准气体浓度由国家标准物质研究中心定值, 其中氮中一氧化碳、氮中二氧化碳和氮中一氧化氮标准气体浓度标称值的相对扩展不确定度为 1%, 空气中二氧化氮标准气体浓度标称值的相对扩展不确定度为 2%, 均满足正态分布, $k=2$, 则由标准气体浓度定值引入的标准不确定度为:

$$u_{\text{CO}}(C_s) = 2.018 \times 10^{-2} \times 1\% / 2 = 0.01 \times 10^{-2}$$

$$u_{\text{CO}_2}(C_s) = 8.00 \times 10^{-2} \times 1\% / 2 = 0.04 \times 10^{-2}$$

$$u_{\text{NO}}(C_s) = 1175.0 \times 10^{-6} \times 1\% / 2 = 5.875 \times 10^{-6}$$

$$u_{\text{NO}_2}(C_s) = 400.0 \times 10^{-6} \times 2\% / 2 = 4.0 \times 10^{-6}$$

D. 1. 4. 3 标准不确定度汇总

示值误差的不确定度分量汇总见表 D. 2。

表 D. 2 示值误差的不确定度分量汇总表

不确定度符号	不确定度来源	不确定度分量	灵敏系数
$u_{\text{CO}}(\bar{C})$	CO 分析单元测量重复性	0.002×10^{-2}	1
$u_{\text{CO}}(C_s)$	CO 标准气体定值	0.01×10^{-2}	-1
$u_{\text{CO}_2}(\bar{C})$	CO_2 分析单元测量重复性	0.006×10^{-2}	1
$u_{\text{CO}_2}(C_s)$	CO_2 标准气体定值	0.04×10^{-2}	-1
$u_{\text{NO}}(\bar{C})$	NO 分析单元测量重复性	0.104×10^{-6}	1
$u_{\text{NO}}(C_s)$	NO 标准气体定值	5.875×10^{-6}	-1
$u_{\text{NO}_2}(\bar{C})$	NO_2 分析单元测量重复性	0.347×10^{-6}	1
$u_{\text{NO}_2}(C_s)$	NO_2 标准气体定值	4.0×10^{-6}	-1

D. 1. 4. 4 合成标准不确定度 $u_c(\Delta_c)$

由于各不确定度分量互不相关, 则合成标准不确定度:

$$u_c(\Delta_c) = \sqrt{[u(C)]^2 + [u(C_s)]^2}$$

$$u_{c(CO)}(\Delta_c) = \sqrt{[0.002 \times 10^{-2}]^2 + [0.01 \times 10^{-2}]^2} = 0.010 \times 10^{-2}$$

$$u_{c(CO_2)}(\Delta_c) = \sqrt{[0.006 \times 10^{-2}]^2 + [0.04 \times 10^{-2}]^2} = 0.040 \times 10^{-2}$$

$$u_{c(NO)}(\Delta_c) = \sqrt{[0.104 \times 10^{-6}]^2 + [5.875 \times 10^{-6}]^2} = 5.876 \times 10^{-6}$$

$$u_{c(NO_2)}(\Delta_c) = \sqrt{[0.347 \times 10^{-6}]^2 + [4.0 \times 10^{-6}]^2} = 4.015 \times 10^{-6}$$

D. 1. 4. 5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,

示值误差的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c(\Delta_c), \quad k = 2$$

$$U_{CO} = 0.020 \times 10^{-2}$$

$$U_{CO_2} = 0.081 \times 10^{-2}$$

$$U_{NO} = 11.752 \times 10^{-6}$$

$$U_{NO_2} = 8.030 \times 10^{-6}$$

示值误差的相对扩展不确定度:

$$U_{rel} = k \times u_c(\Delta_c)/C_S, \quad k = 2$$

$$U_{rel(CO)} = 2 \times (0.010 \times 10^{-2})/(2.018 \times 10^{-2}) \times 100 = 1.0\%$$

$$U_{rel(CO_2)} = 2 \times (0.040 \times 10^{-2})/(8.0 \times 10^{-2}) \times 100 = 1.0\%$$

$$U_{rel(NO)} = 2 \times (5.876 \times 10^{-6})/(1175.0 \times 10^{-6}) \times 100 = 1.0\%$$

$$U_{rel(NO_2)} = 2 \times (4.015 \times 10^{-6})/(400.0 \times 10^{-6}) \times 100 = 2.0\%$$

D. 1. 4. 6 测量不确定度的报告

气体分析单元相应校准点的相对扩展不确定度分别为:

$$U_{rel(CO)} = 1.0\%, \quad k = 2$$

$$U_{rel(CO_2)} = 1.0\%, \quad k = 2$$

$$U_{rel(NO)} = 1.0\%, \quad k = 2$$

$$U_{rel(NO_2)} = 2.0\%, \quad k = 2$$

D. 2 气体分析单元 NO_x转化效率校准结果测量不确定度评定

D. 2. 1 概述

依据本规范对 PEMS 气体分析单元 NO_x转化效率进行校准。校准时, 将 NO₂

标准气体充入标准气袋中, NO_x分析单元首先以 NO 模式, 测量气袋中气体的 30 s 平均浓度; NO_x分析单元切换至 NO_x模式, 测量气袋中气体的 30 s 平均浓度; NO_x与 NO 模式下平均浓度的差值占 NO₂标准气体浓度标称值的百分比, 即为 NO_x转化效率。

D. 2. 2 测量模型

D. 2. 2. 1 测量模型

PEMS 气体分析单元示值误差测量模型为式 (D. 3):

$$\eta = \frac{C_{\text{NOx}} - C_{\text{NO}}}{C_{\text{NO2}}} \times 100\% \quad (\text{D. 3})$$

式中:

η —NO_x转化效率;

C_{NOx} —在 NO_x模式下, 30 s 测量气体浓度示值平均值, 10⁻⁶;

C_{NO} —在 NO 模式下, 30 s 测量气体浓度示值平均值, 10⁻⁶;

C_{NO2} —NO₂标准气体的浓度标称值, 10⁻⁶。

D. 2. 2. 2 合成标准不确定度

对于输出量 η 而言, 输入量 C_{NOx} 和 C_{NO} 为气体分析单元 30 s 测量气体浓度示值的平均值, C_{NO2} 为 NO₂标准气体的浓度标称值, 三者之间相互独立, 相关系数为零, 由公式 (D. 3) 依据不确定度传播律得到合成标准不确定度公式 (D. 4):

$$u_c(\eta) = \sqrt{[c(C_{\text{NOx}})u(C_{\text{NOx}})]^2 + [c(C_{\text{NO}})u(C_{\text{NO}})]^2 + [c(C_{\text{NO2}})u(C_{\text{NO2}})]^2} \quad (\text{D. 4})$$

式中:

$u(C_{\text{NOx}})$ —被校气体分析单元在 NO_x模式测量引入的标准不确定度;

$u(C_{\text{NO}})$ —被校气体分析单元在 NO 模式测量引入的标准不确定度;

$u(C_{\text{NO2}})$ —NO₂标准气体引入的标准不确定度。

D. 2. 2. 3 灵敏系数

式 (D. 4) 中灵敏系数为:

$$c(C_{\text{NOx}}) = \partial\eta/\partial C_{\text{NOx}} = 100/C_{\text{NO2}}$$

$$c(C_{\text{NO}}) = \partial\eta/\partial C_{\text{NO}} = -100/C_{\text{NO2}}$$

$$c(C_{\text{NO2}}) = \partial\eta/\partial C_{\text{NO2}} = -100 \times (C_{\text{NOx}} - C_{\text{NO}})/C_{\text{NO2}}^2$$

D. 2. 3 不确定度的来源

D. 2. 3. 1 被校气体分析单元在 NO_x模式测量引入的标准不确定度 $u(C_{\text{NOx}})$

被校气体分析单元在 NO_x 模式测量引入的标准不确定度包含在 NO_x 模式下测量重复性引入的标准不确定度和气体分析单元显示分辨力引入的标准不确定度。

根据实际测量的结果，发现测量重复性引入的不确定度分量远远大于显示分辨力引入的不确定度分量，按照 JJF 1033—2016《计量标准考核规范》的要求，故在 NO_x 模式下测量重复性引入的标准不确定度即为被校气体分析单元在 NO_x 模式测量引入的标准不确定度 $u(C_{NO_x})$ 。

D. 2. 3. 2 被校气体分析单元在 NO 模式测量引入的标准不确定度 $u(C_{NO})$

在 NO 模式下测量重复性引入的标准不确定度即为被校气体分析单元在 NO 模式测量引入的标准不确定度 $u(C_{NO})$ 。

D. 2. 3. 3 标准气体引入的标准不确定度 $u(C_{NO_2})$

标准气体浓度定值引入的标准不确定度即标准气体引入的标准不确定度 $u(C_{NO_2})$ 。

D. 2. 4 测量不确定度评定

D. 2. 4. 1 在 NO_x 模式下测量重复性引入的标准不确定度 $u(C_{NO_x})$

采用 A 类方法评定。

在校准点重复测量 6 次，测得数据见表 D. 3。

表 D. 3 在 NO_x 模式下重复性测量数据

-	测量值						平均值 \bar{x}
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
NO _x × 10 ⁻⁶	91.651	91.647	91.83	91.653	91.823	91.884	91.748

采用贝塞尔公式计算单次测量值的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

计算得到单次实验标准差：

$$s = 0.109 \times 10^{-6}$$

由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(C_{NO_x}) = \frac{0.109 \times 10^{-6}}{\sqrt{1}} = 0.109 \times 10^{-6}$$

D. 2. 4. 2 在 NO 模式下测量重复性引入的标准不确定度 $u(C_{NO})$

采用 A 类方法评定。

在校准点重复测量 6 次，测得数据见表 D. 4。

表 D. 4 在 NO 模式下重复性测量数据

-	测量值						平均值 \bar{x}
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
$NO/\times 10^{-6}$	2.796	2.897	2.876	2.819	2.871	2.818	2.846

采用贝塞尔公式计算单次测量值的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

计算得到单次实验标准差：

$$s = 0.040 \times 10^{-6}$$

由测量重复性引入的标准不确定度为：

$$u(C_{NO}) = \frac{0.040 \times 10^{-6}}{\sqrt{1}} = 0.040 \times 10^{-6}$$

D. 2. 4. 3 标准气体定值引入的标准不确定度 $u(C_{NO_2})$

采用 B 类方法评定。

标准气体浓度由国家标准物质研究中心定值，其中空气中二氧化氮标准气体浓度的标称值为 99.6×10^{-6} ，其相对扩展不确定度为 2%，满足正态分布， $k=2$ ，则由标准气体浓度定值引入的标准不确定度为：

$$u(C_{NO_2}) = \frac{2\%}{2} \times 99.6 \times 10^{-6} = 0.996 \times 10^{-6}$$

D. 2. 4. 4 标准不确定度汇总

NO_x 转化效率的不确定度分量汇总见表 D. 5。

表 D. 5 NO_x 转化效率的不确定度分量汇总表

不确定度符号	不确定度来源	不确定度分量	灵敏系数
$u(C_{NO_x})$	在 NO_x 模式下测量重复性	0.109	1.004
$u(C_{NO})$	在 NO 模式下测量重复性	0.040	-1.004
$u(C_{NO_2})$	NO_2 标准气体定值	0.996	-0.896

D. 2. 4. 5 合成标准不确定度 $u_c(\eta)$

由于各不确定度分量互不相关，则合成标准不确定度：

$$u_c(\eta) = \sqrt{[1.004 \times 0.109]^2 + [-1.004 \times 0.040]^2 + [-0.896 \times 0.996]^2} = 0.90\%$$

D. 2. 4. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,

NO_x 转化效率的相对扩展不确定度:

$$U_{\text{rel}} = k \times u_c(\eta), \quad k = 2$$

$$U_{\text{rel}(\eta)} = 1.80\%$$

D. 2. 4. 7 测量不确定度的报告

NO_x 转化效率的相对扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}(\eta)} = 1.80\%, \quad k = 2$$

D. 3 排气质量流量计示值误差校准结果测量不确定度评定

D. 3. 1 概述

依据本规范对 PEMS 排气质量流量计示值误差进行校准。校准时，调节流量至指定流量校准点（以标准流量计示值为基准），分别记录标准流量计和排气质质量流量计在 30 s 内的质量流量测量平均值，两者差值即为示值误差。

D. 3. 2 测量模型

D. 3. 2. 1 测量模型

PEMS 排气质量流量计示值误差测量模型式 (D. 5):

$$\Delta q_z = \bar{q} - \bar{q}_s \quad (\text{D. 5})$$

式中:

Δq_z ——质量流量绝对示值误差, kg/h;

\bar{q} ——排气质量流量计 30 s 测量质量流量的示值平均值, kg/h;

\bar{q}_s ——标准流量计 30 s 测量质量流量的示值平均值, kg/h。

D. 3. 2. 2 合成标准不确定度

对于输出量 Δq_z 而言, 输入量 $C_{\bar{q}}$ 为被校排气质量流量计 30 s 测量质量流量的示值平均值, $C_{\bar{q}_s}$ 为标准流量计 30 s 测量质量流量的示值平均值, 两者之间相互独立, 相关系数为零, 由公式 (D. 5) 依据不确定度传播律得到合成标准不确定度公式 (D. 6):

$$u_c(\Delta q_z) = \sqrt{[c(\bar{q})u(\bar{q})]^2 + [c(\bar{q}_s)u(\bar{q}_s)]^2} \quad (\text{D. 6})$$

式中:

$u(\bar{q})$ ——被校排气质量流量计引入的标准不确定度;

$u(\bar{q}_s)$ ——标准流量计引入的标准不确定度。

D. 3. 2. 3 灵敏系数

式(D.6)中灵敏系数为:

$$c(\bar{q}) = \partial \Delta q_z / \partial \bar{q} = 1$$

$$c(\bar{q}_s) = \partial \Delta q_z / \partial \bar{q}_s = -1$$

D. 3. 3 不确定度的来源

D. 3. 3. 1 被校排气质量流量计引入的标准不确定度

被校排气质量流量计引入的标准不确定度包含排气质量流量计测量重复性引入的标准不确定度和排气质量流量计显示分辨力引入的标准不确定度。

根据实际测量的结果,发现测量重复性引入的不确定度分量远远大于显示分辨力引入的不确定度分量,按照JJF 1033—2016《计量标准考核规范》的要求,故被校排气质量流量计测量重复性引入的标准不确定度即为被校排气质量流量计引入的标准不确定度。

D. 3. 3. 2 标准流量计引入的标准不确定度

标准流量计引入的标准不确定度为标准流量计校准证书上注明的标准不确定度。

D. 3. 4 测量不确定度评定

D. 3. 4. 1 被校排气质量流量计测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{q})$

采用A类方法评定。

在校准点重复测量6次,测得数据见表D.6。

表 D. 6 重复性测量数据

	测量值(kg/h)						平均值 \bar{x} (kg/h)
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
被测流量计	280.72	280.15	280.28	281.06	281.75	278.64	280.43
标准流量计	281.41	281.88	281.88	281.74	281.81	281.83	281.76

采用贝塞尔公式计算单次测量值的实验标准偏差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

计算得到单次实验标准差:

$$s = 1.052 \text{ kg/h}$$

由测量重复性引入的相对标准不确定度为:

$$u(\bar{q}) = \frac{1.052}{281.76 \times \sqrt{1}} = 0.37\%$$

D. 3. 4. 2 标准流量计引入的标准不确定度 $u(\bar{q}_s)$

采用 B 类方法评定。

由校准证书得到, 标准流量计的相对扩展不确定度 $U_r=0.30\% (k=2)$, 则标准装置引入的相对标准不确定度为:

$$u(\bar{q}_s) = 0.30\%/2 = 0.15\%$$

D. 3. 4. 3 标准不确定度汇总

示值误差的不确定度分量汇总见表 D. 7。

表 D. 7 示值误差的不确定度分量汇总表

不确定度符号	不确定度来源	不确定度分量	灵敏系数
$u(\bar{q})$	测量重复性	0.37%	1
$u(\bar{q}_s)$	校准证书	0.15%	-1

D. 3. 4. 4 合成标准不确定度 $u_c(\Delta q_z)$

由于各不确定度分量互不相关, 则合成标准不确定度:

$$u_c(\Delta q_z) = \sqrt{[u(\bar{q})]^2 + [u(\bar{q}_s)]^2}$$

$$u_c(\Delta q_z) = \sqrt{[1 \times 0.37\%]^2 + [-1 \times 0.15\%]^2} = 0.40\%$$

D. 3. 4. 5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,

示值误差的相对扩展不确定度:

$$U_{\text{rel}} = k \times u_c(\Delta q_z), \quad k = 2$$

$$U_{\text{rel}(\Delta q_z)} = 0.80\%$$

D. 3. 4. 6 测量不确定度的报告

示值误差的相对扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}}(\Delta q_z) = 0.80\%, \quad k = 2$$

D. 4 系统总准确度校准结果测量不确定度评定

D. 4. 1 概述

依据本规范对 PEMS 系统总准确度进行校准。校准时, 按照正常排放试验运转条件运行 PEMS 系统, 向系统注入 CO 污染物成分, 系统自动测量计算注入的

CO 气体质量, 用电子天平测量 CO 气瓶的质量变化, PEMS 对注入污染物成分的测量值与 CO 气瓶质量变化之间的相对偏差即为系统总准确度。

D. 4. 2 测量模型

D. 4. 2. 1 测量模型

PEMS 系统总准确度测量模型为式 (D. 7):

$$\delta_{\text{sys}} = \frac{m_c - \Delta m}{\Delta m} \times N \times 100\% \quad (\text{D. 7})$$

式中:

δ_{sys} ——PEMS 系统总准确度;

m_c ——PEMS 分析计算的气体质量, g;

Δm ——纯 CO 气瓶的质量变化, g;

N ——CO 气体纯度。

D. 4. 2. 2 合成标准不确定度

对于输出量 δ_{sys} 而言, 输入量 m_c 为 PEMS 分析计算的气体质量, Δm 为电子天平称量的纯 CO 气瓶的质量变化, N 为 CO 气体纯度, 三者之间相互独立, 相关系数为零, 由公式 (D. 7) 依据不确定度传播律得到合成标准不确定度公式 (D. 8):

$$u_c(\delta_{\text{sys}}) = \sqrt{[c(m_c)u(m_c)]^2 + [c(\Delta m)u(\Delta m)]^2 + [c(N)u(N)]^2} \quad (\text{D. 8})$$

式中:

$u(m_c)$ ——PEMS 测量引入的标准不确定度;

$u(\Delta m)$ ——电子天平测量 CO 气瓶质量引入的标准不确定度;

$u(N)$ ——CO 气体纯度引入的标准不确定度。

D. 4. 2. 3 灵敏系数

式 (D. 8) 中灵敏系数为:

$$c(m_c) = \partial \delta_{\text{sys}} / \partial m_c = N / \Delta m$$

$$c(\Delta m) = \partial \delta_{\text{sys}} / \partial \Delta m = -m_c N / \Delta m^2$$

$$c(N) = \partial \delta_{\text{sys}} / \partial N = m_c / \Delta m - 1$$

D. 4. 3 不确定度的来源

D. 4. 3. 1 PEMS 测量引入的标准不确定度

PEMS 测量引入的标准不确定度包含测量重复性引入的标准不确定度。

D. 4. 3. 2 电子天平测量 CO 气瓶质量引入的标准不确定度

电子天平测量 CO 气瓶质量引入的标准不确定度为电子天平校准证书上注明的标准不确定度。

D. 4. 3. 3 CO 气体纯度引入的标准不确定度

CO 气体纯度引入的标准不确定度为 CO 气体浓度定值引入的标准不确定度。

D. 4. 4 测量不确定度评定

D. 4. 4. 1 PEMS 测量重复性引入的标准不确定度 $u(m_c)$

采用 A 类方法评定。

在校准点重复测量 6 次，测得数据见表 D. 8。

表 D. 8 PEMS 重复性测量数据

	测量值						平均值 \bar{x}
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
PEMS 分析质量	102.414	101.638	99.626	101.002	102.426	101.626	101.455
气瓶质量变化	101.0	100.0	101.0	102.0	101.0	100.0	100.833

采用贝塞尔公式计算单次测量值的实验标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

计算得到单次实验标准差：

$$s = 1.046 \text{ g}$$

由测量重复性引入的相对标准不确定度为：

$$u(m_c) = \frac{1.046}{101.455 \times \sqrt{1}} = 1.03\%$$

D. 4. 4. 2 电子天平引入的标准不确定度 $u(\Delta m)$

采用 B 类方法评定。

由校准证书得到，电子天平的最大允许误差为 $\pm 0.15\text{g}$ ，服从矩形分布，则电子天平引入的相对标准不确定度为：

$$u(\Delta m) = \frac{0.15}{100.833 \times \sqrt{3}} = 0.09\%$$

D. 4. 4. 3 CO 气体浓度定值引入的标准不确定度 $u(N)$

采用 B 类方法评定。

由 CO 气体标物证书, CO 纯气体浓度标称值的相对扩展不确定度为 1%, 满足正态分布, $k=2$, 则 CO 气体浓度定值引入的相对标准不确定度为:

$$u(N) = 1\% / 2 = 0.5\%$$

D. 4. 4. 4 标准不确定度汇总

系统总准确度的不确定度分量汇总见表 D. 9。

表 D. 9 系统总准确度的不确定度分量汇总表

不确定度符号	不确定度来源	不确定度分量	灵敏系数
$u(m_c)$	PEMS 测量重复性	1.03%	0.991
$u(\Delta m)$	电子天平校准证书	0.09%	-0.997
$u(N)$	CO 纯气体标物证书	0.5%	0.617

D. 4. 4. 5 合成标准不确定度 $u_c(\delta_{sys})$

由于各不确定度分量互不相关, 则合成标准不确定度:

$$u_c(\delta_{sys}) = \sqrt{[0.991 \times 1.03\%]^2 + [-0.997 \times 0.09\%]^2 + [0.617 \times 0.5\%]^2} = 1.07\%$$

D. 4. 4. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,

系统总准确度的相对扩展不确定度:

$$U_{rel} = k \times u_c(\delta_{sys}), \quad k = 2$$

$$U_{rel(\delta_{sys})} = 2.14\%$$

D. 4. 4. 7 测量不确定度的报告

系统总准确度的相对扩展不确定度为:

$$U_{rel(\delta_{sys})} = 2.14\%, \quad k = 2$$