
JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF × × × × — 202 ×

环境空气高精度温室气体标准物质
比较法定值技术规范

Comparison methods for determining ambient
greenhouse gas reference material

(征求意见稿)

202 × - × × - × × 发布

202 × - × × - × × 实施

国家市场监督管理总局 发布

环境空气高精度温室气体
标准物质比较法定值
技术规范

JJF ××××- 202×

Comparison methods for determining
ambient greenhouse gas reference material

归口单位：全国标准物质计量技术委员会

主要起草单位：中国环境监测总站

中国计量科学研究院

参加起草单位：

本规范委托全国标准物质计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

国家标准物质计量技术委员会规范征求意见稿

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	1
4 温室气体标准物质的量值溯源体系	2
5 一般程序	3
6 校准方法	4
6.1 校准方法要求	5
6.2 测量方法确认或验证	5
6.3 目标组分含量的确定	6
7 测量系统	7
7.1 测量系统组成及性能指标	7
7.2 评估测量系统的稳定性	8
8 质量控制与质量保障	8
8.1 气体标准物质质控	8
8.2 期间核查	9
8.3 系统检查	9
9 结果报告	9
9.1 定值气体证书	9
9.2 分析报告	9
附录 A 主要温室气体可比性目标	10
附录 B 温室气体定值实例	11

引 言

环境空气温室气体高精度监测，不同于常规气态污染物监测，对监测数据的准确性、可比性和计量溯源性要求极高，更加依赖于标准物质。高精度温室气体标准物质对建立环境空气温室气体高精度监测结果的溯源性，保障监测数据在不同地区、不同时间的可比性，实现监测数据的国际互认具有关键作用。高精度比较法是保证温室气体标准物质准确性、可比性和计量溯源性的关键。

本规范是针对环境空气高精度温室气体标准物质比较法定值技术制定的计量技术规范，阐述了温室气体标准物质比较法定值的基本原则和技术要求，以规范我国温室气体标准物质的定值工作，提升我国温室气体标准物质的质量水平。

本规范主要参考了 JJF 1343 《标准物质的定值及均匀性、稳定性评估》、JJF 1344 《气体标准物质的研制》、JJF 1218 《标准物质研制报告编写规则》和 GB/T 10628-2008 《气体分析 校准混合气组成的测定和校验 比较法》(ISO 6143:2001,IDT)，并结合温室气体高精度气体标准物质的特点制定。使用本规范时，应同时执行上述相关规范。

本规范为首次发布。

全国标准物质计量技术委员会

环境空气高精度温室气体标准物质比较法定值技术要求

1 范围

本规范适用于温室气体种类包括但不限于二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、六氟化硫（SF₆）、氢氟碳类化合物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）等。

本规范适用于量值传递过程中除一级气体标准物质（基准）外的下一级高精度温室气体标准物质比较法定值。

2 规范性引用文件

- JJF 1001 通用计量术语及定义
- JJF 1005 标准物质通用术语和定义
- JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示
- JJF 1186 标准物质证书和标签要求
- JJF 1344 气体标准物质的研制
- JJF 1507 标准物质的选择与应用技术规范
- GB/T 10628 气体分析 校准混合气组成的测定和校验比较法 (ISO 6143:2001, IDT)
- GB/T 14850 气体分析 词汇 (ISO 7504, IDT)
- GB/T 34415 大气二氧化碳（CO₂）光腔衰荡光谱观测系统
- GB/T 35861 气体分析 校准用混合气体使用过程中的一般质量保证 指南
- GB/T 45133 气体分析 混合气体组成的测定 基于单点和两点校准的比较法 (ISO 12963:2017, MOD)

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 术语及定义

JJF 1001、JJF 1005、JJF 1344、GB/T 14850 中规定的量值溯源/传递、标准物质、基体标准物质、定值、赋值、认定值、校准函数、多点校准、双点校准、单点校准、

物质的量分数、气体标准物质、比较法等术语及以下术语适用于本规范。

3.1

一级气体标准物质（国家基准） level 1 standard (scale)

高精度温室气体监测量值溯源体系中最高级别气体标准物质，其浓度可直接溯源至 SI 单位并能够保证长期稳定（稳定时间为几十年）。应通过国际计量委员会物质的量咨询委员会或国际计量局组织的包括国际权威技术机构参与的国际计量比对，取得国际等效度。气体标准物质主要用于参与国际比对以及通过高精度比较法定值下一级气体标准物质。

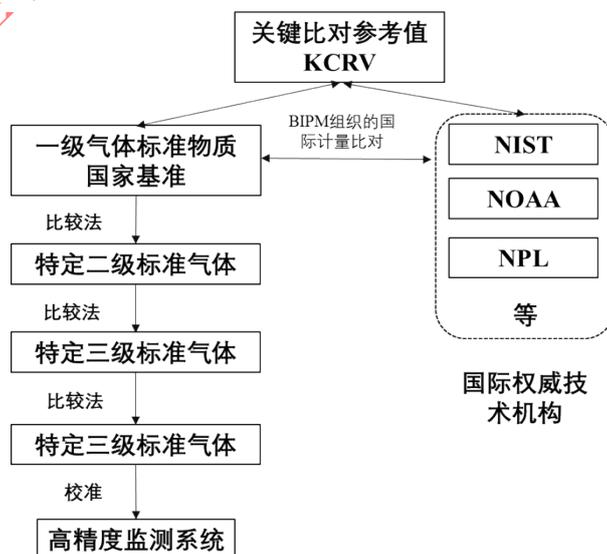
3.2

下级工作气体标准物质 working standard

用于高精度温室气体量值传递、温室气体监测设备校准与质量控制，其量值通过高精度比较法溯源至一级气体标准物质，包括特定二级标准气体、特定三级标准气体、特定四级标准气体。

4 温室气体标准物质的量值溯源体系

温室气体标准物质质量值溯源体系如图 1 所示，以通过国际比对证明其量值准确且国际等效可比的一级气体标准物质（国家计量基准）为量值源头，通过比较法将基准的量值准确地传递至下级工作气体标准物质（特定二级标准气体、特定三级标准气体、特定四级标准气体），下级工作气体标准物质用于温室气体监测仪器的数据校准与质量控制。



5 一般程序

温室气体标准物质多为混合气体标准物质，其成分测量是通过分别测量每种特定成分的物质的量分数来确定的。本文件描述了测定某一种目标组分的物质的量分数的程序，在测量目标组分时应防止其他组分可能产生的干扰或进行单独修正。本文件对这部分内容不作进一步讨论。

测定某个温室气体混合气体标准物质中某一目标组分 X（如 CO₂ 等）的物质的量分数 x 的一般程序如下所示：

- 1) 明确目标组分的分析范围（即待定值组分的物质的量分数 x 范围）以及可接受或要求（如适用）的不确定度水平；
- 2) 测量方法确认与验证。根据分析范围指定校准方法（见 6.1）。研究有关测量系统响应特性（如线性范围、正确度、重复性等）。如果需要，应进行性能评估以检验系统适用性（见 6.2）。
- 3) 确定所用测量方法和测量系统的相关内容，包括：
 - a) 定值范围（需要覆盖分析范围）；
 - b) 高等级的气体标准物质的目标组分 X 含量以及不确定度；
 - c) 测量方法的参数；
 - d) 测量条件；
 - e) 定值的次数和流程。
- 4) 进行测量实验，根据测量模型计算比较法定值结果，计算比较法定值结果的不确定度。

本文件所述的定值方法进行测量的基本步骤见图 2。

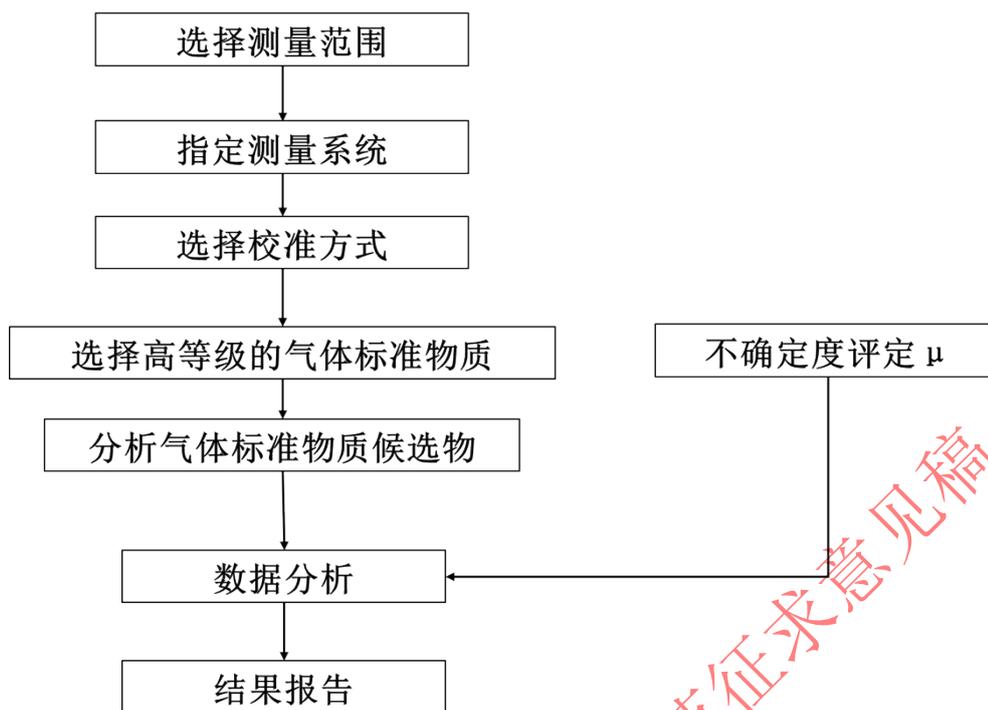


图2 操作的一般程序

6 校准方法

温室气体标准物质比较法定值是通过与上一级别的气体标准物质进行比较测量，实现对下一级气体标准物质候选物的定值。所用上一级别的气体标准物质应与下一级气体标准物质候选物基体组成相同且目标组分含量相匹配。若使用了可能存在基体效应的测量标准，应合理评估对定值结果的影响。

注：

1 上一级标准物质应优先采用国家有证标准物质，标准物质的选择和使用应符合 GB/T 35861、JJF 1507 的规定。

2 特定二级标准气体通过与一级气体标准物质比较法测量实现对特定二级标准气体候选物的定值，特定三级、四级标准气体分贝通过与特定二级、三级标准气体比较法测量实现候选物的定值。

3 若上一级别的气体标准物质基体组成为合成空气，候选标准物质基体组成为环境空气，基体不同，需根据目标组分进行定值结果修正。若为目标组分为 CO_2 ，则需按照基体同位素组成差异修正同位素歧视效应；若目标组分为 CH_4 ，则无需修正。

6.1 校准方法要求

温室气体标准物质有效的比较测量方法包括采用单点校准、两点校准和多点校准。

6.1.1 单点校准

选用的上一级别气体标准物质相应组分特性值与候选物的被测组分特性值应在统计学上无显著性差异。测量设备对候选物以及所用上一级气体标准物质的响应信号之比为 0.9~1.1，两者组分含量接近，可忽略仪器非线性的影响。具体方法按 GB/T 45133 规定执行。

通过“上一级气体标准物质-候选物-上一级气体标准物质”的交替测量，也称高频校准或 ABA 校准，能有效抑制系统漂移带来的不利影响，在温室气体浓度精密测量时，推荐使用高频校准方法。

6.1.2 两点校准

常见的两点校准法包括空白两点校准和两点校准，具体方法按 GB/T 45133 规定执行。高精度温室气体比较法定值建议采用非空白两点校准，使用 2 瓶上一级气体标准物质校准，所用气体标准物质的相应组分特性值覆盖候选物被测组分特性值的 50%~150%，且其中一瓶的特性值高于候选物，另一瓶的特性值低于候选物。

注：

1 校准点之间的范围越小，则校准点间的校准函数呈线性的可靠性越大。

2 在较宽的浓度范围内，光腔衰荡光谱仪的线性度也很好，但仪器响应值与上一级气体标准物质的准确度对最终分析结果影响较大，此时不建议采用两点校准法。

6.1.3 多点校准

当在较小的浓度范围内，可采用线性回归校准法。使用至少 5 瓶上一级气体标准物质校准，所用气体标准物质相应组分的特性值构成的范围应覆盖候选物相应组分的特性值。校准曲线残差应不超过目标组分监测数据的可比性目标。

6.2 测量方法确认或验证

当采用标准方法时，应验证方法是否满足比较法定值的要求；当使用非标准方法时，应对方法的特性参数进行确认。当测量方法不能满足定值要求时，应对测量方法进行优化，并对优化后的方法特性进行确认。测量方法优化包括：测量设备的关键运行参数、气体进样控制装置和控制方法、气体前处理方法、进样顺序、定值轮次、校准间隔、所使用的参考标准、数据处理方法等。

确认或验证测量方法时需考虑如下特性参数：选择性（干扰组分影响）、测量范围、线性范围、正确度、重复性、复现性、分辨力、灵敏度、稳健度等。应根据所用的仪器工作原理和校准模型开展测量方法确认或验证。

注：

- 1 候选物与上一级气体标准物质应间隔进样，以修正测量系统长时间运行可能产生的漂移。
- 2 对候选物应至少进行3次重复测量，每次间隔时间应至少3天，多次重复测量结果标准偏差应不高于目标组分监测数据可比性目标的二分之一。
- 3 测量方法的正确度应不超过目标组分监测数据的可比性目标。

6.3 目标组分含量的确定

6.3.1 单点精准匹配校准的测量模型

$$y_{char} = \frac{R_X}{R_{crm}} \times y_{crm} \quad (1)$$

6.3.2 非空白双点校准的测量模型

$$y_{char} = y_{crm,1} + \frac{y_{crm,2} - y_{crm,1}}{R_{crm,2} - R_{crm,1}} \times (R_X - R_{crm,1}) \quad (2)$$

6.3.3 多点线性回归校准的测量模型

温室气体浓度范围内测量的多点校准函数为线性函数。将气体标准物质的标准值及其在分析仪器上的响应，通过线性回归获得校准函数。

$$y_{char} = a \times R_X + b \quad (3)$$

式(1)~(3)中， y_{char} 为比较法的定值结果； y_{crm} 、 $y_{crm,1}$ 、 $y_{crm,2}$ 为校准用气体标准物质的认定值； R_X 为候选物在分析仪器上的响应； R_{crm} 、 $R_{crm,1}$ 、 $R_{crm,2}$ 为校准用气体标准物质在分析仪器上的响应； a 、 b 为线性方程的斜率和截距。

当采用不同校准模型时，应根据相应的校准函数，按照JJF 1059.1的规定评定 y_{char} 的不确定度 $u(y_{char})$ 。 $u(y_{char})$ 包括上一级别的气体标准物质认定值的不确定度、根据所选择的校准模型由校准引入的不确定度（包括校准技术选择性的贡献）、候选物测量结果重复性引入的不确定度。

7 测量系统

7.1 测量系统组成及性能指标

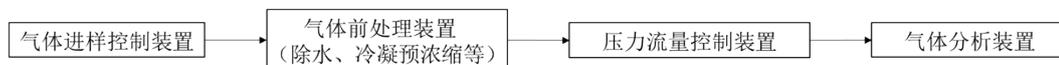


图 3 温室气体标准物质比较法测量系统示意图

7.1.1 气体进样控制装置

包括上一级别气体标准物质、候选物、质量控制用气体标准物质、进样选择阀（多位选择阀）、电子压力控制器、质量流量计、减压阀等。

进样选择阀用于选择和切换上一级别气体标准物质、候选标准物质等。要求在不同管路之间切换时密封性要好，不漏气，无交叉污染。

候选物气瓶和减压阀需根据目标组分要求选择材质，气瓶内表面需进行抛光钝化处理。

注：CO₂、CH₄、N₂O、SF₆宜选用铝合金材质和不锈钢材质高压气瓶；HFCs宜选用不锈钢材质高压气瓶。

7.1.2 气体前处理装置

包括除水装置（Nafion 管、高氯酸镁吸附、冷阱等）及测量所需的其他前处理装置（如 HFCs 测量所需的冷凝预浓缩装置）等。

注：除水装置参照 GB/T 34415 要求执行。

7.1.3 压力流量控制装置

死体积应尽可能小。选用满足分析精度要求的压力、流量控制装置。控制每次气体进样压力尽量保持一致。

注：在测定 CO₂ 时，电子压力控制器为绝压控制，在 0~0.2 MPa 时压力分辨率宜优于满量程的 0.2%，流量分辨率宜优于满量程 0.1%。

7.1.4 气体分析装置

定值不同目标组分，选择不同气体分析装置。选择气体分析装置时重点考虑的特性参数：选择性（干扰组分影响）、测量范围、线性范围、灵敏度、稳健度等。

温室气体分析装置多为连续测量的分析仪器，在仪器闲置时，应注意通入吹扫气体保持仪器状态稳定。

注：

1 仪器设备性能指标测试可参照欧盟综合碳观测系统（Integrated Carbon

Observation System, ICOS) 实验室评估方案。

2 选用高纯空气或者与待测样品的主组分相同浓度接近的干燥气体吹扫气体分析装置。高纯空气应符合 HG/T 5896 的要求。吹扫气中如含有待测量的目标组分, 应先预判吹扫气中该组分含量是否对目标组分的测量值产生明显的影响, 当影响显著时, 需使用纯化技术进一步纯化吹扫气, 或者更换吹扫气。

7.1.5 辅助耗材

气体管路应对目标组分无污染、吸附或破坏作用, 宜采用不锈钢管路。管径尽可能小, 管线尽可能短。连接方式应确保系统的气密性良好, 宜采用卡套连接、VCR 连接、焊接和快速接头连接。

7.2 评估测量系统的稳定性

7.2.1 质控图

通过测量质控气体获取数据制作质控图用于评估系统的稳定性和校准的有效期。建议在不超过确定的稳定时间的一半重新校准测量系统。

7.2.2 漂移控制测试

如果测量系统的响应可能存在显著变化, 则需进行漂移测试。推荐参照 GB/T 45133 开展漂移测试。若漂移测试未通过, 则应重新校准测量系统。

8 质量控制与质量保障

8.1 气体标准物质质控

8.1.1 高等级气体标准物质

高等级气体标准物质应能直接或逐级溯源至一级气体标准物质, 且在定值有效期内。

8.1.2 气体标准物质候选物

当气体标准物质超过有效期但标气内压力仍大于 3.5 MPa 时, 需将标气运回实验室重新定值, 所得认定值替代原有认定值, 用于后续监测活动使用。

8.1.3 标准物质比对

为保证比较法定值结果准确可比, 宜视情况定期参与国内国外标气双边或多边比对, 包括但不限于由国际计量委员会物质质量咨询委员会或国际计量局 (BIPM) 组织的

国际比对，国内标准物质比对与能力验证等。

8.2 期间核查

为保证比较法定值结果的准确性，在定值期间开展分级期间核查工作。

第一级：在定值工作期间，推荐进行每个定值循环/定值轮次时同步定值工作质控气体，或至少每周定值一次工作质控气体，该质控气体与待定值标气具有相同的量值溯源等级，并根据定值结果形成质控图，分析系统漂移等对定值结果的影响。定值结果与工作质控标气标称值差值不应超过相应目标组分的可比性目标。

第二级：视定值工作情况，至少每三个月或每半年定值一次核查质控气体。该核查质控气体消耗量较少，与待定值标气具有相同的量值溯源等级，分析标气压力、使用量等因素对定值结果的影响。定值结果与工作质控标气标称值差值不应超过相应目标组分的可比性目标。

8.3 系统检查

测量系统的复现性需关注的性能指标包括但不限于系统运行时阀门切换造成的压力波动、除湿设备的除湿效果、进样压力的稳定性、仪器的稳定性、多次测量的重复性、标准曲线线性拟合的残差等。

9 结果报告

9.1 定值气体证书

根据 JJF 1186 准备气体标准物质定值证书

9.2 分析报告

分析报告应包含以下内容：

- a) 所用分析系统的描述；
- b) 定值的温室气体组分，包括特性值和不确定度；
- c) 校准方法的数学函数类型；
- d) 对此文件的引用。

附录 A

(资料性附录)

表 A.1 主要温室气体可比性目标

组分名称	可比性目标	范围
二氧化碳 (CO ₂)	0.1 ppm	250~800 ppm
甲烷 (CH ₄)	2 ppb	300~5000 ppb
一氧化碳 (CO)	2 ppb	30~500 ppb
氧化亚氮 (N ₂ O)	0.1 ppb	260~370 ppb
六氟化硫 (SF ₆)	0.02 ppt	2.0~20 ppt

国家标准物质计量技术规范征求意见稿

附录 B

(资料性附录)

温室气体定值的实例

在本例中，将第 5 章描述的主要程序应用于测定温室气体混合气体标准物质中目标组分 CO₂ 的物质的量分数的一般程序。第一步，明确目标组分的分析范围以及可接受不确定度水平。第二步，测量方法确认与验证。第三步，确定所用测量方法和测量系统的相关内容。第四步，进行测量实验，根据测量模型计算比较法定值结果，计算比较法定值结果的不确定度。在相应的步骤概述了操作、结果和简要注释。

B.1 定值目标组分分析范围及预期不确定度水平

B.1.1 目标组分：二氧化碳 (CO₂)

B.1.2 浓度范围：(400 ~ 600) μmol/mol (涵盖大气背景及常见监测浓度)

B.1.3 定值目标：对本批次充装的系列 CO₂/Air 标准气体进行准确赋值，并提供其标准值和包含因子($k=2$)的扩展不确定度。

B.1.4 预期不确定度水平：基于 PICARRO G2301 分析仪的高精度和稳定性，以及上级标准气体的不确定度水平，本浓度范围的定值扩展不确定度预期优于 0.11% ($k=2$)。

B.2 定值系统组成与定值方法确认

B.2.1 定值系统组成：

核心仪器：

PICARRO G2301 光腔衰荡光谱气体浓度分析仪。该仪器具有极高的精度 (<0.05 μmol/mol) 和超高的灵敏度，几乎无漂移，专用于 CO₂、CH₄、H₂O 的高精度测量。

气体处理系统：

高真空 VCR/VCO 金属面密封管路系统，最大限度减少死体积和大气渗漏。

高精度电子压力控制器或稳压阀，控制样品池压力，确保测量稳定性。

B.2.2 定值方法确认：

B.2.2.1 方法原理：采用直接比较测量法。将待测气体与已知量值的一系列上级标准气体在相同条件下，交替引入高精度的 PICARRO 分析仪进行测量。通过一系列上级标准气体在 PICARRO 上响应值与已知的标准值，计算标准曲线，计算待测气体的浓度。

B.2.2.2 方法优势：光腔衰荡技术具有极高的线性度和抗干扰能力。

B.2.2.3 方法验证：

短期重复性验证：对同一瓶上级标准气体连续测量 10 分钟 (约 120 个数据点)，

截取第 6 分钟后连续的 13 个数据点，其测量结果的标准偏差优于 0.05 $\mu\text{mol/mol}$ 。

线性验证：使用 5 个不同浓度的上级标准气体，如（350、450、500、550、600） $\mu\text{mol/mol}$ 进行测量，验证仪器在整个量程内的线性响应。

稳定性与记忆效应测试：交替测量高浓度和低浓度气体，考察系统响应时间，确保无显著记忆效应。

B.3 定值

B.3.1 上级标准气体信息：

B.3.1.1 来源：中国计量科学研究院，中国温室气体标尺，与世界气象组织(WMO)标尺、美国 NOAA 全球监测实验室可比。

B.3.1.2 编号：NIM-RM9100：CO₂ 标尺上（350 ~ 600） $\mu\text{mol/mol}$ 。

B.3.1.3 标准值及不确定度： $U_{\text{rel}} = 0.1\% (k = 2)$ 。

B.3.1.4 有效期：1 年。

B.3.2 测量方法参数（PICARRO G2301）：

B.3.2.1 测量模式：高精度模式

B.3.2.2 采样压力：控制在 140 Torr（仪器内置控制，确保压力稳定性）

B.3.2.3 采样流速：约 200 mL/min

B.3.2.4 测量频率：5 个数据点/秒

B.3.2.5 数据记录：记录 10 分钟原始数据。

B.3.3 多点校准方法

B.3.3.1 采用线性回归校准法。使用 5 瓶上一级气体标准物质校准，所用气体标准物质相应组分的特性值构成的范围应覆盖候选物相应组分的特性值。校准曲线残差应不超过目标组分监测数据的可比性目标。

B.3.3.2 多点线性回归校准的测量模型

温室气体浓度范围内测量的多点校准函数为线性函数。将气体标准物质的标准值及其在分析仪器上的响应，通过线性回归获得校准函数。

$$y_{\text{char}} = a \times R_X + b \quad (3)$$

式（1）~（3）中， y_{char} 为比较法的定值结果； y_{crm} 、 $y_{\text{crm},1}$ 、 $y_{\text{crm},2}$ 为校准用气体标准物质的认定值； R_X 为候选物在分析仪器上的响应； R_{crm} 、 $R_{\text{crm},1}$ 、 $R_{\text{crm},2}$ 为校准用气体标准物质在分析仪器上的响应； a 、 b 为线性方程的斜率和截距。

B.3.4 数据计算示例

上级标气与待测气在测量仪器响应浓度值为表 B.1，使用多点线性回归校准的测量模型计算结果为表 B.2。

表 B.1 测量结果

项目	标气 1	标气 2	标气 3	标气 4	标气 5	待测气	
测量值	1	346.678	395.719	445.935	594.667	495.600	514.818
	2	346.663	395.718	445.914	594.621	495.586	514.778
	3	346.649	395.659	445.932	594.673	495.602	514.794
	4	346.643	395.687	445.906	594.683	495.656	514.741
	5	346.685	395.693	446.022	594.614	495.590	514.816
	6	346.679	395.752	445.960	594.660	495.574	514.789
	7	346.683	395.708	446.011	594.663	495.543	514.776
	8	346.672	395.690	446.031	594.607	495.503	514.815
	9	346.680	395.695	445.995	594.668	495.556	514.849
	10	346.642	395.763	445.960	594.702	495.564	514.893
	11	346.720	395.734	446.023	594.691	495.541	514.840
	12	346.696	395.784	445.960	594.616	495.502	514.793
	13	346.660	395.735	445.981	594.683	495.516	514.807
平均值	346.673	395.718	445.972	594.658	495.564	514.808	
标准偏差	0.022	0.035	0.043	0.032	0.044	0.038	

表 B.2 计算结果

名称	仪器示值	证书值	计算值	偏差
标气 1	346.67	349.52	349.52	0.004
标气 2	395.72	398.72	398.74	-0.018
标气 3	445.97	449.19	449.17	0.018
标气 4	594.66	598.39	598.39	-0.002
标气 5	495.56	498.94	498.94	-0.002
斜率	1.00360			
截距	1.59595			
待测气	514.81	/	518.26	/

使用多点线性回归校准的测量模型计算此待测气浓度为 518.26 $\mu\text{mol/mol}$ ，其标准

偏差为 $0.038\mu\text{mol/mol}$ 。

B.3.5 不确定度评估

B3.5.1 不确定度来源：

A 类评定 (u_A)：测量重复性引入的不确定度 $0.038\mu\text{mol/mol}$ 。

B 类评定 (u_B)：

上级标准气体不确定度： $U_{\text{rel}} = 0.1\% (k = 2)$ 。

仪器长期精度/分辨率：根据仪器规格书，取 $0.02\mu\text{mol/mol}$

气瓶压力与温度影响：已由仪器压力温度控制系统补偿，残余影响极小，估计为 $0.005\mu\text{mol/mol}$ 。

B.3.5.2 合成标准不确定度

$$u_r = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.0507\%$$

B.3.5.3 扩展不确定度 (U_{rel})

取包含因子 $k=2$ ，则：

$$U_r = u_r \times 2 = 0.11\%$$

B.4 报告

B.4.1 定值结论：本次定值结果，其二氧化碳标准值为 $518.26\mu\text{mol/mol}$ ，其扩展不确定度为 0.11% （包含因子 $k=2$ ）。

B.4.2 使用说明：该标准气体可用于高精度大气温室气体监测、环境科学研究、仪器校准和量值传递。使用前需在 $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ 环境下静置平衡至少 24 小时。使用时需使用高洁净度减压阀和管路，并充分吹扫系统至测量值稳定。

B.4.3 储存条件：避免阳光直射，储存于温度低于 30°C 的环境中。