

《环境空气二氧化碳高精度监测》

国家计量检定系统表编制说明

一、任务来源

根据全国生态环境监管专用计量测试技术委员会关于制订《环境空气二氧化碳高精度监测》计量检定系统表的工作安排，由中国计量科学研究院和中国环境监测总站作为起草单位组织制订工作，重庆市计量质量检测研究院和江苏省计量科学研究院参加检定系统表的制订工作。

二、编制依据

起草小组主要引用和参考了以下规范、标准等文件的最新版本。

1. JJF1104-2003 《国家计量检定系统表编写规则》
2. JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》
3. JJF 1059-2012 《测量不确定度评定与表示》
4. GB/T 34286-2017 《温室气体二氧化碳测量 离轴积分腔输出光谱法》
5. GB/T 34415 《大气二氧化碳（CO₂）光腔衰荡光谱观测系统》
6. JJF 1005 标准物质通用术语和定义
7. JJF 1343 标准物质的定值及均匀性、稳定性评估
8. JJF 1342 标准物质研制(生产)机构通用要求
9. ICOS Atmosphere Station Specifications 第二版
10. 20th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases and Related Measurement Techniques (GGMT-2019)

三、编制背景

围绕我国“碳达峰、碳中和”的重大战略需要，开展大气中温室气体监测势在必行。大气温室气体监测与常规的气体污染物测量相比有显著的不同，尤其是在测量精度、测量可比性和测量溯源性方面有更高的要求。

计量溯源性是实现测量可比性和可靠性的基础，高精度的温室气体监测需要有更高精度的量值传递体系的保障。气体标准物质是气体计量的重要载体，在量值体系中发挥了重要的作用。

国内外都对气体标准物质质量值传递体系建设提出过建议或要求，例如 ISO/TS

14167:2018、GB/T 35861-2018、OIML D12、OIML D18 等，国际气象组织在其内部也建立了高精度温室气体的量值传递体系。国际计量局 BIPM 也正在积极推动世界各国计量院关于温室气体标准物质的国际比对互认和量值传递体系建设。而我国在高精度温室气体监测领域尚未建立严格的量值传递体系计量技术规范。

2021 年发布的《市场监管总局关于促进市场监管系统计量技术机构深化改革和创新发展的指导意见》指出：加强碳排放关键计量测试技术研究和应用，建设全球互认的碳计量标准装置，支撑碳达峰碳中和战略目标的实现。随着国家“碳达峰”和“碳中和”战略的实施，温室气体的准确监测与评估将成为降碳目标的根本前提。

为了支撑国家双碳战略目标的实施，保障我国大气温室气体监测的高精度需求，迫切需要建立环境空气二氧化碳高精度监测检定系统表，指导我国自主可控高精度温室气体量值传递体系的建立和应用，支撑我国高精度温室气体监测，提升我国温室气体国际履约的话语权和履约成果的国际认可度。

四、编制过程

2022 年 01 月，中国计量科学研究院联合中国环境监测总站向全国生态环境监管专用计量测试技术委员会提出规范制订工作建议。

2022 年 08 月，全国生态环境监管专用计量测试技术委员会经过论证同意立项。

2022 年 09 月，起草小组完成制订的《环境空气二氧化碳高精度监测检定系统表》第一版初稿。邀请了复旦大学、山东省计量科学研究院、上海市计量测试技术研究院、河北省计量监督检测研究院、陕西省计量科学研究院的专家与会讨论交流。会议结论：该检定系统表的提出具有较强的针对性和实用价值，可为环境空气二氧化碳监测起到技术支撑作用，符合国际计量发展趋势，契合碳达峰碳中和国家发展战略；框架内容合理、考虑要素全面、技术路线清晰可行、适用范围和计量参数明确。

2023 年 07 月，起草小组完成针对专家的意见建议，对内容细节进行了修改完善并形成征求意见稿，并提交委员会征求意见。

五、检定系统表编制的主要内容及说明

本检定系统表主要依据现行有效的技术规范、国家或国际标准，针对环境监测用高精度环境空气二氧化碳高精度监测过程中质量和技术活动提出规范性要求，参照 JJF1104-2003《国家计量检定系统表编写规则》，从适用范围、计量基准、计量标准、工作计量器具和环境空气二氧化碳高精度监测检定系统表框图五方面进行了描述和说

明。

1. 范围

本系统表适用于环境空气二氧化碳高精度监测的量值溯源，规定了环境空气二氧化碳计量基准的用途，基准所包括的全套基本计量器具，由计量基准经过计量标准（特定二级标气、特定三级标气、特定四级标气）向工作计量器具传递二氧化碳浓度量值的方法和程序，以及量值传递时的扩展不确定度。

2. 计量基准

环境空气二氧化碳基准是统一全国环境空气二氧化碳高精度监测量值的最高依据。该基准主要由参加过国际比对并获得国际等效的 250~800 $\mu\text{mol/mol}$ 的二氧化碳基准气体，高精度光谱仪和气路控制系统组成。其中基准气体是重量法制备和定值，气体质量溯源至国家质量基准，基准气体的重量制备值与高精度仪器响应值经过线性拟合得到基准气体的浓度量值，及标尺的量值。标尺的量值和标尺的仪器显示值拟合得到标尺的标准曲线（斜率和截距），根据标准曲线和下一级标尺的仪器显示值计算获得下一级标尺的溯源值和不确定度。基准标尺的量值不确定度“认定”为“0”。通过环境空气二氧化碳基准获得的二氧化碳标尺溯源值的相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\text{scale}) \leq 0.015\% (k=2)$ ，其不确定度来源主要包括高精度光谱仪示值和线性拟合。

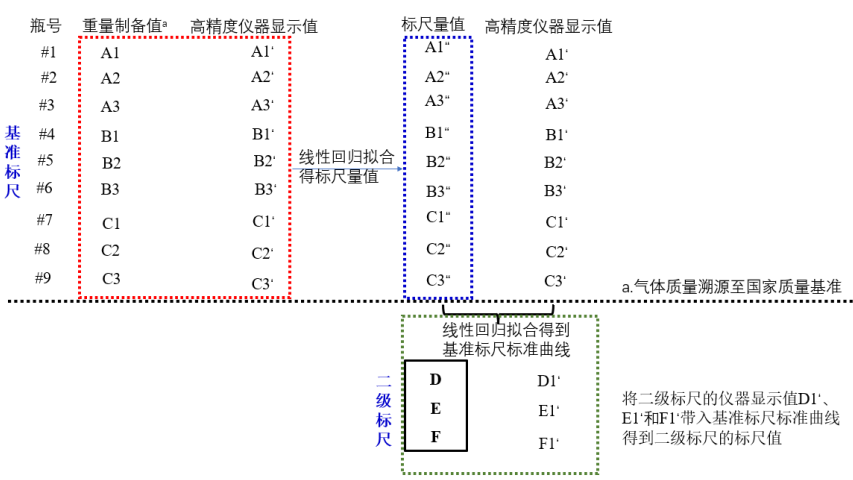


图 1. 基准标尺量值传递给二级标尺的过程示例

3. 计量标准

计量标准主要是由环境空气特定二级标气、特定三级标气和特定四级标气组成。这些标气都是国家有证气体标准物质，浓度范围在 250~800 $\mu\text{mol/mol}$ ，扩展不确定度

分别 $\leq 0.077\%$ 、 0.078% 和 0.080% ($k=2$)。每一级标尺都起到承上启下的作用,其量值由上一级标尺的量值通过比较法赋值,还将其量值通过比较法传递给下一级标尺。其中三级标尺和四级标尺还直接校准环境空气二氧化碳高精度监测系统(工作计量器具)。

4. 工作计量器具

工作计量器具是用于测量环境空气中 $250\sim 800\ \mu\text{mol/mol}$ 二氧化碳浓度的高精度监测系统,其经过特定三级或者四级标气校准后扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(\text{scale})\leq 0.05\%$ ($k=2$)。计量器具可能会有新的产品或者不同的名称,在检定系统表中不可能全部列出。对未列入检定系统表的工作计量器具,必要时可根据其被测量、测量范围和工作原理,参考相应检定系统表中列出的计量器具的测量范围和工作原理,确定适合的量值传递途径。

5. 环境空气二氧化碳高精度监测检定系统表框图

环境空气二氧化碳高精度监测检定系统表框图主要包括:计量基准、各等级计量标准、工作计量器具的名称、测量范围、不确定度和检定方法等。该检定系统表是考虑了由上向下逐级量值传递的不确定度和上一级基准/标准的不确定度,进而对不同等级的气体标准物质的不确定度和计量器具的准确度提出要求。

六、总结

在检定系统表的修订过程中,编制小组以国内外技术资料及相关标准、大量试验数据为技术依据,本着科学合理和普遍适用的原则进行了起草。希望经过审核,检定系统表将更科学、更全面、更合理。

《环境空气二氧化碳高精度监测检定系统表》起草小组

2023 年 7 月 1 日