 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i6.10614

# Research on Methods for Evaluating Measurement Uncertainty Using Precision Instruments Such as Chromatographs

**Xiaoyan Lu**

Xinjiang Bingtian Lucheng Testing Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang, 832000, China

**Abstract**

Precision instruments such as gas chromatographs are widely used in various fields including environmental monitoring, food safety, and pharmaceutical analysis. The accuracy of their measurement results directly impacts the scientific validity and practical value of analytical conclusions. During actual testing, multiple factors—including instrument performance, reference materials, environmental conditions, sample preparation, and operational procedures—interact with each other, inevitably introducing uncertainty into measurement outcomes. Scientific evaluation of measurement uncertainty enables quantification of result reliability, providing essential foundations for method validation, quality control, and result interpretation. By analyzing the fundamental principles, primary sources, and assessment methodologies of uncertainty, while identifying key influencing factors tailored to precision instrument testing characteristics, this approach facilitates optimized evaluation processes, enhances the reliability, standardization, and comparability of measurement data, and supports technical applications in relevant fields.

**Keywords**

gas chromatograph; precision instrument; measurement uncertainty; evaluation method; laboratory quality control

# 气相色谱仪等精密仪器测量不确定度评定方法研究

卢晓艳

新疆兵天绿诚检测有限公司，中国·新疆 石河子 832000

**摘　要**

气相色谱仪这类精密仪器在环境监测、食品安全、药品分析等诸多领域有着广泛应用，其测量结果的准确性对于检测结论的科学性、应用价值有着直接的关联。在实际检测过程当中，仪器性能、标准物质、环境条件、样品前处理、操作方法等多种因素之间会相互产生影响，进而致使测量结果不可避免地存在不确定性。科学地评定测量不确定度，可以对结果的可信程度进行量化，从而为方法验证、质量控制、结果判定提供相应依据。围绕不确定度的基本原理、主要来源、评定方法展开分析，并结合精密仪器检测的特点去识别关键影响因素，能够有助于优化评定流程，提高检测数据的可靠性、规范性、可比性，为相关领域的技术应用给予支撑。

**关键词**

气相色谱仪；精密仪器；测量不确定度；评定方法；实验室质量控制

## 1 引言

现代分析测试技术不断发展，气相色谱仪、液相色谱仪、原子吸收分光光度计、质谱仪这类精密仪器在检测领域的应用越来越广泛，它们有着灵敏度较高、分离能力较强、定量精度比较好等优点。不过，精密仪器的测量结果并非天生就准确无误，仪器的状态、进样重复性、标准曲线拟合、样品前处理、环境条件等诸多因素都有可能引入误差。尤其是在痕量分析和复杂基体检测当中，不确定度评定与结果可信度直接相关。进行精密仪器测量不确定度的研究，对完善检测数据质量表征、提高实验室质量管理及结果判定水平是有帮助的。

【作者简介】卢晓艳（1996–），女，中国甘肃定西人，本科，助理工程师，从事计量研究。

## 2 气相色谱仪等精密仪器测量不确定度评定的理论基础

### 2.1 测量不确定度是表征测量结果可信度的重要参数

测量不确定度属于计量学里用于评估测量结果可靠性的重要参数，其作用是描述测量值能够分布的范围。它跟误差判断不一样，它不是单纯说明结果准不准确，而是从概率方面去反映测量结果的离散状况。在气相色谱分析的时候，检测结果一般用峰面积、峰高、保留时间或者浓度值来表示，这些数据会受到仪器状态、操作条件、样品特性等因素的影响。借助不确定度评定，能够对相关的影响因素予以识别、量化与合成，使得检测结果里不仅有测定值，还能体现出可信区间。如此表达增强了数据解释力，对结果比较、质量评

价、标准判定都有好处。

### 2.2 精密仪器测量过程具有多环节耦合特征

气相色谱仪这类精密仪器的测量过程具备系统性与连续性，其最终结果是由样品采集、前处理、标准溶液配置、仪器参数设定、进样操作、信号采集、数据处理等多个环节共同构成的。要是在任何一个环节出现了偏差，那么这种偏差就有可能沿着测量链进行传递，进而对结果的稳定性产生影响。比如说，样品前处理回收率发生变化会对目标物的实际含量造成影响，进样体积存在差异会使得响应信号产生波动，载气流速、柱温、检测器灵敏度发生变化同样会改变峰形和定量结果。因为各个因素之间相互关联，所以不确定度来源呈现出多维的特征。评定工作需要以完整的测量流程为依据，识别关键的影响因素。

### 2.3 不确定度评定是实验室质量管理的重要组成部分

测量不确定度评定属于实验室质量管理模式里的关键部分，是保障检测结果具备可靠性、可比性、可追溯性的技术根基。借助科学评定不确定度，实验室能够清晰知晓检测方法的适用范畴、稳定状况、性能水准，让结果在标准判定、方法验证、技术评价方面更具参考依据。在气相色谱分析工作中，不确定度评定能够贯穿于方法建立、质量控制、能力验证、结果报告等各个环节。通过对主要来源展开分析，实验室能够针对样品处理、仪器维护、标准曲线、数据处理流程实施优化，减少关键环节产生的不利作用，提高检测数据质量、管理规范性。

## 3 气相色谱仪等精密仪器测量不确定度的主要来源

### 3.1 仪器性能与运行状态带来的不确定度来源

精密仪器的性能水准、运行状况乃是影响测量结果稳定性的基础性要素。比如说气相色谱分析，检测器的灵敏度、基线的噪声、进样系统的重复性、柱温的控制精度、载气流量的稳定性，这些都会直接对峰面积、保留时间、定量响应造成影响。仪器的分辨率与数据采集的精度同样会对测量结果的离散范围予以限制。随着设备不断运行，进样垫出现老化、衬管遭受污染、色谱柱的效率降低、检测器响应发生漂移等诸多问题渐渐累积起来，进而使得结果在时间维度上出现波动。这类影响在常规检测当中或许变得并不显著，不过在痕量分析、高精度测定里面就会被放大。进行评定的时候，应当结合重复性实验、校准记录、仪器状态检查，对相关分量展开量化，防止将仪器假定成完全稳定的测量系统。

### 3.2 标准物质与样品制备过程引入的不确定度

标准物质、样品制备属于定量分析测量链里的关键部分，其不确定度有着叠加的特性。标准物质的浓度赋值、纯度信息、溯源可靠性，和校准结果的准确程度直接相关，标准溶液配制时的称量误差、容量器具偏差、定容操作还有溶液均匀性，同样会对最终浓度产生作用。多级稀释会让相关误差逐步传递，使得浓度不确定范围扩大。样品制备环节包括萃取、净化、浓缩、转移等操作，回收率波动、目标物损失、基体干扰很难完全消除。在复杂样品中，基质效应或许会导致样品响应和标准溶液响应不一致。评定过程里要把标准物质、溶液配制、样品前处理归入重点控制范围，通过实验验证、统计分析来确定主要贡献因素。

### 3.3 数据处理与结果计算中的不确定度来源

测量结果的形成不单单取决于实验数据采集这个过程，后续的数据处理、计算方法同样会对它产生作用。在气相色谱分析当中，结果一般是通过标准曲线拟合、峰面积积分、响应因子计算等一系列步骤而得到的，然而这些过程都存在引入一定不确定度的可能性。曲线拟合的时候点位选择、线性范围设定，会给模型稳定性、预测精度带来影响，积分参数设置不一样的话，或许会让峰面积计算出现偏差。在复杂样品分析之中，空白扣除、稀释倍数换算、回收率修正等步骤，更进一步加大了计算过程的不确定性。对于需要进行单位转换或者结果换算的情形而言，相关常数、体积参数、修正系数的误差也会传导至最终结果。数据处理虽说呈现为数学运算过程，但实际上依然是测量链的关键部分，其不确定度来源不能被忽视。规范计算方法并且统一处理流程，能够有效减少人为因素的影响，提高结果的可重复性与可靠性。

## 4 气相色谱仪等精密仪器测量不确定度评定的基本方法

### 4.1 建立测量模型并识别影响量

测量不确定度评定的基础是建立清晰合理的测量模型，以此来明确被测量和各个影响因素之间的定量关系。测量模型一般是以数学表达式的形式呈现，把测定结果和峰面积、标准溶液浓度、稀释倍数、样品质量、回收率等变量关联起来，让测量过程拥有可分析和可分解的结构。在气相色谱定量分析里面，这些变量既有直接参与计算的参数，也包括通过样品处理和仪器响应间接影响结果的因素。进行影响量识别要沿着测量的整个过程展开，从样品制备开始到数据计算，一步步梳理各个环节可能引入的不确定来源，还要区分主要和次要的影响因素。对于一些不容易直接观测的变量，还需要结合实验经验和方法特性做出合理判断。测量模型的完整性决定了不确定度评定的科学性和系统性，模型表达越准确，后续的分量分析、合成结果就越能反映实际的测量过程。

### 4.2 采用 A 类与 B 类方法评定各分量

在测量不确定度评定工作进行时，不同来源的影响量要经由恰当方式予以量化，其中 A 类评定和 B 类评定共同组成了基本的技术路径。A 类评定依靠重复测量所得到的数据，运用统计方法得出标准偏差，以此来体现随机因素对结果产生的影响，在气相色谱分析里常常用来评估进样的重复性、仪器的短期稳定性。B 类评定是依据已有的信息来源，

像标准物质证书、仪器技术参数、计量器具校准结果、环境条件数据等，用来描述系统性因素造成的不确定度贡献。这两种方法在实际运用中互相补充，借助实验数据展现随机波动，同时利用外部信息将设备、操作条件的限制进行量化。对各个分量进行合理分类并且独立评定，能够帮助明确不同因素在测量结果里的作用权重。评定过程是否充分、规范，会直接对综合不确定度结果的可信程度造成影响。

### 4.3 合成标准不确定度并确定扩展不确定度

完成各个不确定度分量的评定工作之后，要依据测量模型对这些分量进行传递与合成操作，进而获得合成标准不确定度。对于彼此独立的影响量，一般会采用方和根法来进行合成，从而能让各个分量的贡献在一个统一的框架当中予以表达。要是变量之间存在相关性，那就需要引入协方差项进行修正，防止出现对结果估计过低或者过高的情形。在气相色谱定量分析里，多数变量能够近似看作是独立的，不过在同一溶液或者器具重复参与计算的状况下，应该留意潜在相关性对结果所产生的影响。完成标准不确定度合成以后，根据所需的置信水平挑选合适的覆盖因子，进一步计算扩展不确定度，以此用区间形式呈现测量结果的可信范围。扩展不确定度的引入，让结果表达更为完整，有利于提高检测报告的科学性与可解释性，给实验室技术判断、质量控制提供重要依据。

## 5 精密仪器测量不确定度评定中的关键问题与优化路径

### 5.1 突出主要贡献量，强化不确定度评定的针对性

在展开测量不确定度评定工作时会发现，影响因素常常具有多源性和复杂性的特点。要是在评定过程中欠缺有效的筛选、权重分析，很可能致使评定工作仅停留在表面。以气相色谱这类精密仪器为例，进行评定时应该结合具体的检测对象、方法流程、实验条件，将不确定度的来源展开分层识别，把对结果有较大影响的关键变量突显出来。在不同的检测情境下，主要的贡献量有着明显的差别。要是样品前处理步骤繁琐而且人为操作参与程度较高，回收率波动、制备重复性通常就会成为主要来源，要是方法模式比较稳定，对仪器响应的依赖比较强，进样一致性、检测器稳定性、曲线拟合质量就会发挥更关键的作用。对关键因素展开聚焦分析，能在控制计算复杂度的同时增强评定结果的解释力，让不确定度评定不再只是单纯的技术记录，而是转变为对检测过程的有效诊断工具，进而提高其在质量管理方面的实际应用价值。

### 5.2 将方法验证与不确定度评定有机融合

在检测方法投入使用之前需要进行系统验证工作，这项验证工作能够为不确定度评定提供可靠的数据基础、技术支持。方法验证包括精密度、准确度、线性范围、检出能力等指标，这些指标能够反映测量过程中的误差源头、波动特性，将这些信息引入不确定度评定模式当中，能够提高评定结果的真实性、科学性。重复性实验数据可以描绘随机误差并且建立统计基础，回收率试验能够揭示样品处理过程中的系统偏差，校准曲线拟合情况体现仪器响应函数的不确定特性。将方法验证结果直接转化为不确定度分量，既能够减轻额外实验负担，又能够让评定过程基于实际检测条件。二者协同融合，可以防止评定过程依赖理想假设，使结果更加契合实验室实际运行状况，进而增强其在结果解释、质量评价中的适用性。

### 5.3 加强日常质量控制，构建动态更新机制

测量不确定度不是固定不变的，它的数值会因为仪器状态、环境条件、操作差异的变化而产生波动。把不确定度管理纳入日常质量控制模式是很重要的。通过对平行样、质控样还有标准样进行持续监测，可以得到反映方法稳定性和重复性的动态数据，进而识别不确定度分量的变化趋势。标准曲线定期进行校核能够显示仪器响应特性的漂移，而期间核查与实验室间比对则为系统性偏差提供外部参照依据。当监测结果说明关键影响量发生变化时，要及时修订不确定度评定模型、相关参数，让它们和当前检测条件保持一致。建立动态更新机制，使得不确定度评定从一次性工作变成持续过程，有助于提高实验室对测量能力的长期控制水平，并且保障检测结果的一致性和可靠性。

### 5.4 优化评定方法与计算路径，提升评定效率

在不确定度评定的实际操作里，方法的选择、计算路径是否合理，会直接对评定效率、结果质量产生影响。面对复杂的测量过程，要在确保科学性的基础上，对评定方法做适当简化，比如合理合并相关分量或者采用具有代表性的参数，以此降低计算的复杂程度，同时又不影响结果的准确性。对于独立性比较强的影响量，可以采用标准化方法来进行合成处理，而对于存在关联关系的变量，则要借助模型修正来体现。借助信息化工具、数据处理软件，能够达成评定过程的自动化与规范化，减少人为计算产生的误差，还能提高工作效率。调整评定路径，不但可以缩短评定周期，还能助力形成标准化的操作流程，让不确定度评定更为高效、稳定，进而满足实验室日常工作的要求。

### 5.5 强化结果应用与质量改进导向

测量不确定度评定的根本目标是为检测结果解释及质量改进服务，并非只是报告里的附属内容。对各个不确定度分量的贡献大小予以分析，能够辨别出检测流程的薄弱之处，以此为技术优化给出参考。比如说，要是评定结果表明样品制备对整体不确定度影响较大，那么可以借助改进前处理办法或者强化操作规范来进行控制，要是仪器响应波动起主要作用，那就得着重关注设备维护和校准管理。把不确定度评定结果同质量控制措施融合起来，有助于达成从结果评估到过程改进的转变，让实验室管理更具针对性和前瞻性。强化评定结果的实际运用，能使不确定度分析成为推动检测

能力提高的关键工具，进而提高实验室在技术服务、质量保障方面的综合水准。

## 6 结语

气相色谱仪这类精密仪器在现代分析测试里占据着重要位置，其测量得出的结果准确可靠，是实验室技术能力、质量水平的一种重要体现方式。测量不确定度评定是结果质量表征的关键手段，它有助于阐述检测结果的可信程度，还能助力实验室识别关键风险因素、优化检测流程、完善质量控制模式。精密仪器测量过程涵盖仪器运行、标准物质、样品前处理、数据计算等多个环节，不确定度来源具备多样性与耦合性，所以评定工作要秉持系统思维，既要重视测量模型的建立，还要重视主要影响量的识别、实验数据的支撑。未来，随着精密仪器检测朝着日益精细化、规范化的方向发展，实验室需要进一步强化不确定度评定方法的研究，把它与方法验证、质量控制、能力建设进行有机融合，持续提高测量结果的科学性、透明度与公信力，为高质量检测活动给予更为坚实的技术保障。

## 参考文献

[1] 张婷,王舒婷,李嘉,等.气相色谱-质谱联用测定乳粉中三聚氰胺残留量的不确定度评定[J].乳业科学与技术,2025,48(05):67-71.

[2] 颜梅,何钦.气相色谱-串联质谱法测定白芍中滴滴涕的不确定度评定[J].中华中医药学刊,2026,44(02):230-233.

[3] 刘健,陈巧兰,郭海灵.气相色谱法测定室内环境中16种挥发性有机物含量的不确定度评定[J].山西化工,2024,44(11):72-76.

[4] 宋莹莹,李健豪,郭畅冰,等.气相色谱-串联质谱法同时测定人参中33种农药残留量的不确定度评定[J].数理医药学杂志,2024,37(05):323-333.

[5] 刘娟娟,聂鹏,黄忠辉,等.吹扫捕集气相色谱-质谱法测定土壤中挥发性有机物的测量不确定度评定[J].科学技术创新,2022,(34):82-87.