

doi: 10.7690/bgzd.2022.10.005

# 一种面向测试人员的不确定度评定管理工具设计与实现

文海, 王柯, 张健, 赵守楠

(中国人民解放军 63875 部队, 陕西 华阴 714200)

**摘要:** 针对一线测试人员面临的不确定度评定管理难题, 基于客户端/服务端架构开发了不确定度评定管理工具。梳理设计思想, 提出向导化、工具化和信息化的设计需求; 从系统架构、功能规划和数据关系等方面对软件进行总体设计, 重点介绍服务器调用 Matlab 程序、辅助评定和辅助验证等核心功能的实现; 以辅助评定功能为例, 采用小功率座校准因子不确定度评定对软件功能的有效性进行验证。结果表明: 该软件规范了不确定度评定管理流程和结果输出表达, 体现了很好的向导化、工具化、信息化和网络化特点, 满足基于测量设备的不确定度评定管理要求, 具有较好的推广应用前景。

**关键词:** 测量不确定度; 向导化; 工具化; 辅助评定; 辅助验证

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## Design and Implementation of Uncertainty Evaluation Management Tool for Testers

Wen Hai, Wang Ke, Zhang Jian, Zhao Shouan

(No. 63875 Unit of PLA, Huayin 714200, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of uncertainty evaluation management faced by front-line testers, an uncertainty evaluation management tool is developed based on client/server architecture. Sorting out the design ideas, put forwards the design requirements of wizard, tool and information. The overall design of the software is carried out from the aspects of system architecture, function planning and data relationship, and the realization of the core functions such as server calling Matlab program, auxiliary evaluation and auxiliary verification is emphatically introduced. Taking the auxiliary evaluation function as an example, the validity of the software function is verified by evaluating the uncertainty of the calibration factor of a small power pedestal. The results show that the software standardizes the uncertainty evaluation management process and the output expression of results, reflects the characteristics of good guidance, tools, information and network, meets the requirements of uncertainty evaluation management based on measuring equipment, and has a good prospect of popularization and application.

**Keywords:** uncertainty of measurement; guide; tool; assistant evaluation; assistant verification

## 0 引言

不确定度是表征赋予被测量的量值分散性的非负参数, 表明测量结果的可信程度。在测量结果中附加不确定度, 不仅体现测量能力, 而且有利于不同学科、领域的一致理解、交流和比对。不确定度对于测量活动有重要意义。不确定度从 1963 年提出, 到 1993 年国际标准化组织发布表示导则, 再到 2008 年发布系列国际指南, 目前已在测量设备能力表征、合格判定、数据录取、设备选用决策、测量过程优化等方面广泛应用, 形成很多标准或成熟做法。不确定度评定有传递率法 (guide to the uncertainty in measurement, GUM)<sup>[1-2]</sup>、蒙特卡罗法 (monte carlo method, MCM) 和自适应蒙特卡罗法<sup>[2-4]</sup>、贝叶斯法<sup>[5]</sup>、灰色理论法<sup>[6]</sup>、最大熵法<sup>[7]</sup>、混沌理论法<sup>[8]</sup>、证据理论法<sup>[9]</sup>; 不确定度验证方法

有对比评定法、传递比对法、多台比对法、两台比对法和检定 (校准) 法等<sup>[10]</sup>。它们大多涉及建立测量模型、分析不确定度来源、判断变量的分布类型和函数计算等, 需要较完备的相关信息、专业知识和经验, 否则容易出现方法适用不当或规范性不足等问题, 对于非计量专业的测试一线人员而言仍然有较大的挑战。虽然也有探讨运用计算机软件实现蒙特卡罗法<sup>[11-12]</sup>, 但缺乏信息管理和向导作用等功能, 不易对测试一线人员产生指导作用。

## 1 设计思想

为便于测量不确定度的推广应用, 不确定度评定管理工具应面向测试一线进行设计。以测量设备为中心, 以便于实施操作为目标, 充分借鉴计量领域的现有成果, 综合现行多个标准规范, 运用信息管理工具和向导化手段将测量不确定度的评定、验

收稿日期: 2022-06-01; 修回日期: 2022-07-28

基金项目: 陆军装备试验技术研究 (1900010028)

作者简介: 文海 (1972—), 男, 四川人, 硕士, 高级工程师, 从事装备数据采集研究。E-mail: whwjwy@163.com。

证和管理进行一体化集成，将成熟的评定验证方法工具化、复杂的评定管理过程向导化、丰富的专业知识经验信息化，提供一套工具和知识框架，最终达到无需深入掌握不确定度的专业知识，借助向导化工具即可选用方法、指导过程、规范结果。

## 2 需求分析

为增强不确定度评定结果的可信度，在评定出不确定度时，通常要进行验证，未通过验证的需重新评定，通过验证的可报告不确定度，进而才能结合实际进行应用。同时，对不确定度及其相关信息实施统一管理，不仅有利于不确定度在不同场景的应用，而且还便于不确定度相关信息的再次利用。不确定度评定管理的一般流程如图 1 所示。

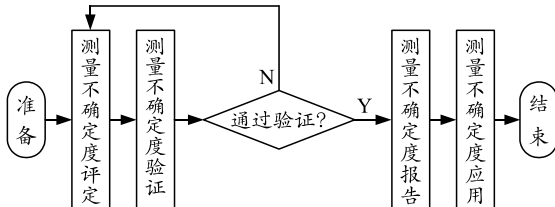


图 1 不确定度评定管理的一般流程

鉴于不确定度评定管理工具面向的对象是测试一线人员，而非专业的计量人员，他们熟悉测量设备的基本情况，掌握设备的使用和管理，了解实际测试的需求、方法原理及条件，但在不确定度的评定、验证、报告和应用上欠缺专业经验。为此，可确定如下需求：

### 1) 工具化。

目前，有标准规定且适用范围较广的不确定度评定方法主要有传递率法(GUM)<sup>[1-2]</sup>、蒙特卡罗法(MCM)和自适应MCM<sup>[2-3]</sup>，通常需要函数表达和计算。不确定度验证方法主要有对比评定法、检定(校

准)法和直接测量法 3 类。其中：对比评定法是采用与原评定方法完全不同的方法重新评定，评定结果相近则表示通过验证；检定(校准)法是用高一等级测量设备对被验证测量设备进行检定(校准)，合格则表示通过验证；直接测量法由 GJB2749A—2009 提出<sup>[10]</sup>，分为传递比对法、多台比对法和两台比对法 3 种，均是通过基于统计函数的计算结果判断是否通过验证。将这些有标准规定且需计算的方法封装成算法工具，以便软件调用。

### 2) 向导化。

不确定度的评定或验证都有多个步骤，需将标准规定的流程步骤向导化。每个步骤有明确的工作提示，可根据需要跳转到上一步或下一步，每一步提供图文并茂的在线帮助，最终获得规范的评定报告或验证。另外，为便于快速入门，针对不确定度的评定或验证过程，需要给出集合多个标准规范的指南式帮助，再结合实例给出全流程的自动演示。

### 3) 信息化。

以测量设备及其性能参数为主线，将测量不确定度的评定、验证和管理等过程电子化，以方便不确定度及其相关信息得到应用和管理；同时，将方法适用条件、概率分布类型、置信概率(包含因子)、数据修约规则等专业知识电子化，以便信息管理系统的调用和数据库系统的存储和管理。

## 3 总体设计

### 3.1 软件功能规划

根据上述需求，该不确定度评定管理工具软件既须满足测试一线人员的不确定度评定管理需要，又要便于不确定度及其相关信息的统一管理。软件功能规划如图 2 所示。

不确定度评定管理工具					
系统管理	设备管理	辅助评定	辅助验证	数据管理	系统帮助
单位管理	增加设备	GUM法	传递比较法	评定日志	在线帮助
用户管理	增加参数	MCM法	多台对比法	验证日志	自动演示
字典管理	编辑信息	自适应MCM法	两台对比法	评定报告	管理指南
初始管理	删除信息			验证报告	
	查看信息			数据统计	

图 2 软件功能规划

具体来说，软件设计有 2 种界面功能：

1) 为管理员提供的系统管理功能，主要对单位、用户、字典等基础数据进行管理。

2) 为普通用户提供业务管理功能，主要包括设备管理、辅助评定、辅助验证、数据管理和系统帮助等业务功能。其中：设备管理是对设备测量性

能及能力信息进行管理；辅助评定是为评定不确定度时提供的向导化功能；辅助验证是为验证不确定度时提供的向导化功能；数据管理主要是对已评定(验证)的测量不确定度结果进行管理；系统帮助主要是提供在线帮助、自动演示和管理指南等帮助功能。

### 3.2 系统架构设计

为满足上述需求，便于不确定度在测试一线的推广应用，实现基于测量设备的不确定度及其相关信息的统一管理，不确定度评定管理工具采用客户端/服务端架构，将所需的服务程序、数据库和第三

方程序全部安装在服务器端，用户只需通过联网计算机的 Web 浏览器，无需安装任何程序或插件，登录后即可开展不确定度评定管理工作。不确定度评定管理工具的系统架构如图 3 所示，实线框模块为开发内容，箭头为交互信息流向。

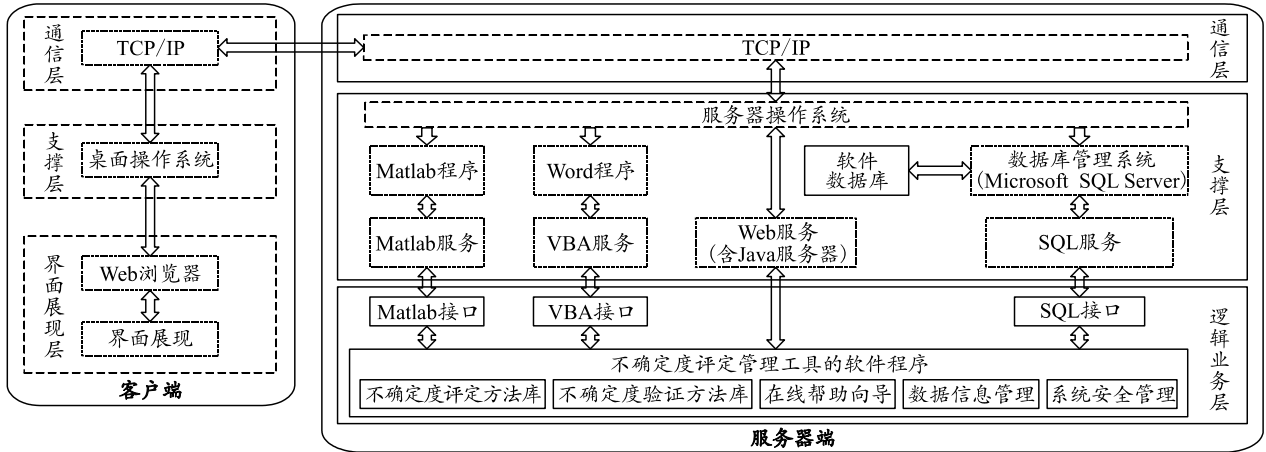


图 3 系统架构

上图中：客户端包括通信层、支撑层和界面展现层，服务器端包括通信层、支撑层和逻辑业务层，客户端与服务器端之间通过 TCP/IP 协议进行通信。客户端上通过 Web 浏览器实现不确定度评定管理工具的界面展现；不确定度评定管理工具的程序在服务器端运行，受客户端调用，具体通过接口调用相应服务以驱动运行，所需的数值分析服务通过 Matlab 接口实现 Matlab 程序的调用，所需的结果报告服务通过 VBA 接口实现 Word 程序的调用，所需的数据信息管理和向导驱动信息等

都通过 SQL 接口实现对数据库调用。

### 3.3 数据关系设计

数据库是不确定度评定管理工具软件运行的信息管理基础。为满足上述需求，不确定度评定管理工具采用结构化数据库进行设计。其中，数据表主要包括概率分布、包含因子、在线帮助、设备信息、单位信息、用户信息、参数信息、评定方法、验证方法、评定日志、验证日志、评定报告和验证报告等，它们之间关系如图 4 所示。

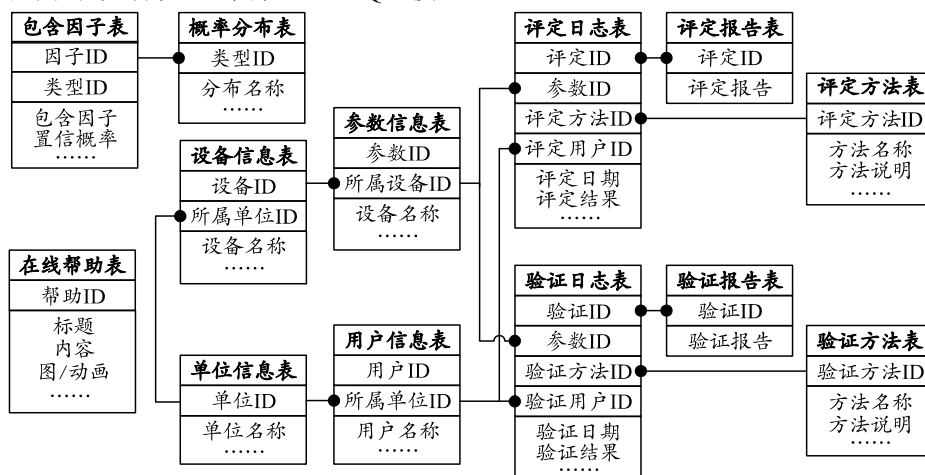


图 4 数据关系

## 4 关键技术实现

### 4.1 服务器调用 Matlab 程序

蒙特卡罗法是一种适用范围极广泛的不确定度

评定方法，通过对概率分布随机抽样完成分布传递，通常需借助 Matlab 程序实现。为将其封装为软件可调用的算法工具，须在服务器端调用 Matlab 程序。在软件实现上，主要通过 Java 服务器实现，其原理：

首先，服务器端的 Java 服务器从客户端接收 Web 浏览器传入的调用参数；然后，Java 服务器调用 Matlab 程序进行计算并取回结果。目前，Java 服务器调用 Matlab 程序，主要有 2 种方法：1) 直接调用 Matlab 程序，即在 Java 服务器中通过 Matlab Control 插件 (Matlab 接口) 实现调用；2) 调用 Matlab 打包文件，即在 Matlab 程序中将 .m 文件编译成 Java 服务器可执行的 .Jar 文件。2 种方法的对比如表 1 所示。

鉴于本软件嵌入了自适应蒙特卡罗法不确定度评定工具，需要用户自行设定测量模型及其函数计算公式来形成不确定度评定的算法文件；因此，本软件采用第 1 种方法实现。

表 1 软件调用 Matlab 程序的 2 种方法对比

对比项目	直接调用 Matlab 程序	调用 Matlab 打包文件
优点	执行算法效率高；算法文件可配置；除首次启动 Matlab 程序外，耗时最短	不依赖 Matlab 程序；占用资源低
缺点	占用资源大；Matlab 窗口始终存在	固定算法打包；算法不可配置
适用场景	算法需经常变动；算法复杂或执行时间长；部署独立服务器	算法固定；算法较简单；服务器性能要求低

### 4.2 辅助评定功能实现

辅助评定功能主要包括 GUM、MCM 和自适应 MCM 等 3 种不确定度评定方法。评定过程设计为向导化步骤如图 5 所示。

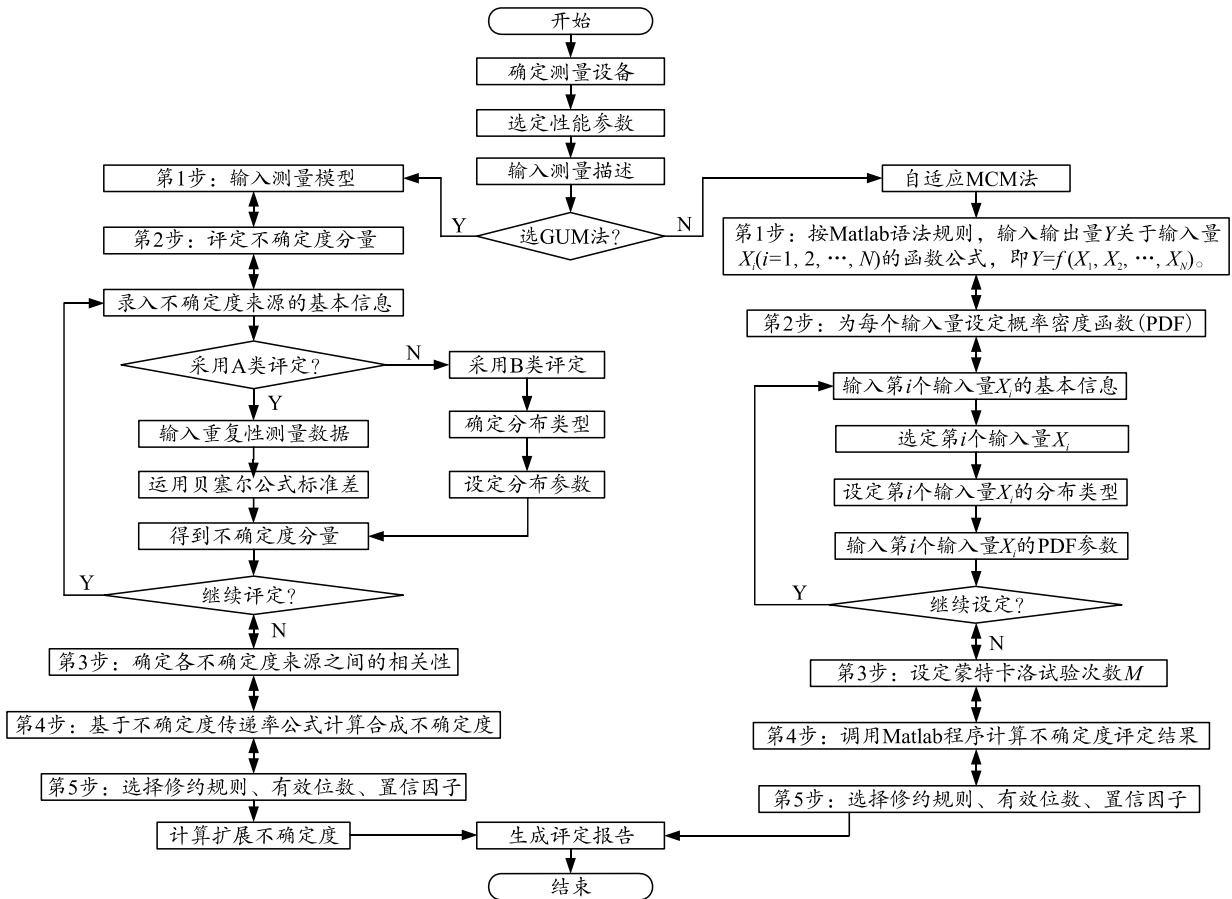


图 5 辅助评定功能的流程

在进入辅助评定功能后，首先选定待评定的测量设备以及被评定的性能参数，然后选定适用的不确定度评定方法，最后进入到该方法的向导化评定过程。参照 JJF1059.1—2012、JJF1059.2—2012 和 GJB3756A—2015 的规定<sup>[1-3]</sup>，将 GUM 的向导化过程设计为 5 个步骤，自适应 MCM 设计为 4 个步骤。在上述评定过程中，可以“上一步”或“下一步”跳动，每一步有指南式提示供使用人员参考，最后

生成规范的不确定度评定报告。

### 4.3 辅助验证功能实现

辅助验证功能包括传递比较法、多台对比法和两台对比法等 3 种不确定度验证方法。验证过程设计为向导化步骤如图 6 所示。

其中：第 1 步，输入被验证设备的基本信息，包括设备名称、设备编号、型号规格、所属单位、

被验证的测量不确定度；第 2 步，输入参比设备信息，包括各参比设备的设备编号、型号规格、所属单位、测量不确定度；第 3 步，验证过程信息，包括本设备的测量结果和各参比设备的测量结果；第 4 步，根据 GJB2749A—2009 中不确定度验证的判据规则<sup>[10]</sup>，形成验证结论。上述步骤可以“上一步”或“下一步”跳动，每一步有指南式提示供使用人员参考，最后生成规范的不确定度验证报告。

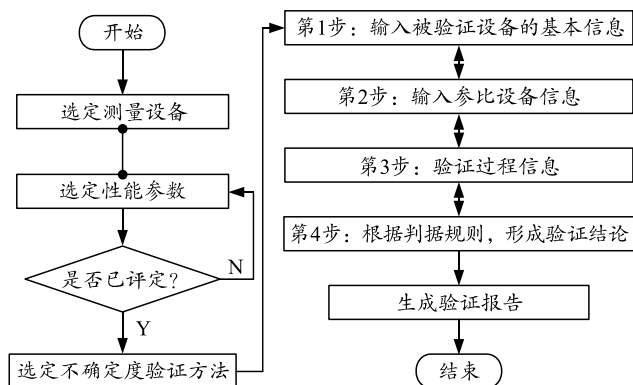


图 6 辅助验证功能的流程

#### 4.4 软件实现及效果

不确定度评定管理工具采用 Java 语言实现，开发工具为 Visual Studio Java、数据库为 Microsoft SQL Server。

在软件运行前，服务器端需要配置 Windows Server 操作系统、Microsoft SQL Server 数据库、Matlab 相关资源和 Office Word 等，确保 Matlab 程序在服务器端启动并运用；客户端只需要配置桌面操作系统和 Web 浏览器，并能正常与服务器端进行 TCP/IP 通信，确保用户能通过 Web 浏览器登录即可使用。

结合实例，对软件的不确定度评定管理的有效性进行了验证。以辅助评定功能为例，利用 GJB3756A—2015 中小功率座校准因子不确定度评定过程<sup>[2]</sup>，对 GUM 和 MCM 的有效性进行验证，结果如表 2 所示。结果表明：GUM 得到的合成标准不确定度与标准一致；采用 MCM 能够得到  $y$ 、 $u(y)$  和最短包含区间与标准一致。

表 2 评定结果与标准中的结果对比

评定方法	GJB3756A—2015 给出的结果/%	本软件得到的结果/%
GUM 法	$y=89.5$ $u(y)=1.4$	$y=89.5$ $u(y)=1.4$
MCM 法	$y=89.5$ $u(y)=1.4$ 最短 95 包含区间 87.050, 91.988]	$y=89.5$ $u(y)=1.4$ 最短 95 包含区间 [87.064, 91.997]

软件试用的结果表明：软件面向测试一线人员，

实现了所设计的各项功能，体现了很好地向导化、工具化、信息化和网络化特点，满足基于测量设备的不确定度评定管理要求。

## 5 结论

针对测试一线的不确定度评定管理需求，基于客户端/服务端架构开发了不确定度评定管理工具，一体化集成了不确定度的评定、验证和管理，规范了不确定度评定管理流程和结果输出表达，具有较好的推广应用前景：

1) 测试一线人员可以快速、规范地进行不确定度的评定和验证，进而根据测量设备不确定度获得更可靠的测量数据；

2) 设备管理人员可以有效掌握不确定度及其相关信息，进而更全面地了解设备的测量性能信息。

## 参考文献：

- [1] 全国法制计量管理技术委员会. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059.1—2012[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
- [2] 中国人民解放军总装备部. 测量不确定度的表示及评定: GJB 3756A—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [3] 全国法制计量管理技术委员会. 用蒙特卡洛法评定测量不确定度: JJF 1059.2—2012[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
- [4] 蒲志强, 孙磊, 万正军, 等. 蒙特卡洛法在混响时间测量不确定度评定中的应用[J]. 中国测试, 2020, 46(11): 16-19.
- [5] 胡红波, 刘爱东, 左爱斌, 等. 加速度计校准的贝叶斯不确定度评估[J]. 计量科学与技术, 2021, 65(5): 101-107, 61.
- [6] 张龙, 叶松, 周树道, 等. 基于灰色系统理论的流速仪检定装置测量不确定度评定[J]. 电子测量技术, 2018, 41(3): 1-5.
- [7] 湛贝, 龚鹏伟, 谢文, 等. 最大熵原理在测量不确定度评定中的应用[J]. 宇航计测技术, 2016, 36(5): 15-18.
- [8] 余学锋, 于杰, 王亚梅, 等. 基于多项式混沌理论的不确定度评定与分析[J]. 计量学报, 2015, 36(1): 107-112.
- [9] 余学锋, 于杰, 王柯, 等. 基于证据理论的测量不确定度评定与分析[J]. 计量学报, 2017, 38(2): 252-256.
- [10] 中国人民解放军总装备部. 军事计量测量标准建立与保持的通用要求: GJB 2749A—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [11] 王舵. 基于 Python 软件的蒙特卡洛法不确定度评定[J]. 化学分析计量, 2021, 30(6): 80-84.
- [12] 宗翔宇. 蒙特卡洛法为基础的测量不确定度评定软件系统开发[J]. 中国计量, 2020(2): 103-106.