

$UP_i(1)$ 、 $UP_i(2)$ 、 $UP_i(3)$ 分别为 x 、 y 、 z 方向分量。以质点 50 为例, 数值显示精度保留小数点后两位, 最后一个时刻更新的质点位移为 $UP_{50} = [UP_{50}(1), UP_{50}(2), UP_{50}(3)] = [25.47, -45.79, 25.85]$ 。

后处理中, 将提取到的各质点位置数据按矩阵格式写入文本中, 再将其导入三维建模软件中, 使用曲线指令生成通过离散点的连续线束中线; 再使用扫描命令, 沿中线生成

线形, 去除线缆半径空间, 保留一半截面, 形成用于线束塑形的阴模, 如图 4(a) 所示。将生成的模型导出为 .STL 格式, 在 3D 打印机软件中进行模型切片, 未避免工装出现大变形, 将填充密度设置为 100%, 打印速度降低至 5mm/s, 完成打印后的工装如图 4(b) 所示。在线束塑形时, 将线束沿阴模槽内铺设, 得到接近于理论线束线形的走线方式, 极大地提高了线束塑形效率和线形的一致性。

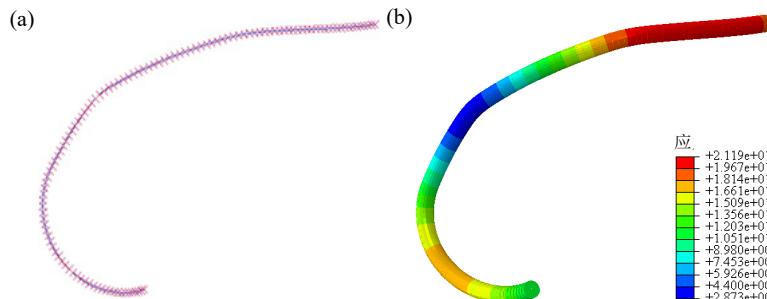


图 3 线束形态

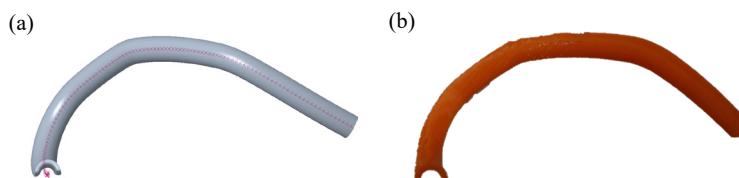


图 4 线束塑形工装

5 结论

本文针对多根线缆组成的线束人工塑形形态难以表征的问题, 采用跟踪式三维扫描仪设备对线缆轮廓进行采集, 提出基于截面三点确定中线圆心的方法, 对线束线形进行准确测绘。提出基于有限质点法的线束找形方法, 对线束等效物性进行反演, 进而求解出固定边界约束条件下的理论线束线形。在此基础上, 设计并 3D 打印制造了用于生产中的线束塑形工装, 解决了依赖人工经验存在的线束空间塑形效率低、一致性不高等问题。

参考文献

1. 姜康, 马世纪. 基于改进 A* 算法的线缆路径规划方法[J]. 中国机械工程, 2019, 30(06):699-708.
2. 陈杨. 线缆布局路径规划与安装过程仿真技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学. 2023.
3. 吴保胜, 郭宇, 王发麟, 宋倩. 基于改进蚁群算法的线缆路径规划技术研究[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(10):236-241.
4. 吴保胜, 郭宇, 王发麟, 黄潇, 宋倩. 基于 CREO 的复杂机电产品辅助布线系统设计与开发[J]. 制造业自动化, 2017, 5:145-149.

Application and Optimization of Metrological Verification Technology in Food Safety Risk Prevention and Control

Ta'na Bao Ping Feng Xuejing Gao Haisheng Yuan Haoyu Yun

Ordos City Inspection and Testing Center, Ordos, Inner Mongolia, 017010, China

Abstract

Food safety constitutes a critical public health issue impacting national welfare and people's livelihoods. As the cornerstone of ensuring accurate and reliable testing data, metrological verification technology plays a fundamental role in identifying, assessing, and controlling food safety risks. This paper systematically analyzes the application scenarios of metrological verification technology across key aspects of food safety risk prevention, including pesticide and veterinary drug residue testing, food additive limit verification, and microbial contamination monitoring. It highlights existing challenges such as inadequate grassroots verification capabilities, lagging technological innovation, and imperfect collaborative mechanisms. The paper proposes targeted optimization strategies, including strengthening infrastructure development, promoting technological integration and innovation, and establishing a multi-stakeholder collaborative system, to enhance the scientific rigor and precision of food safety risk management.

Keywords

metrological verification; food safety; risk prevention and control; detection technology; quality assurance

计量检定技术在食品安全风险防控中的应用与优化研究

包塔娜 冯平 高雪婧 原海升 云昊雨

鄂尔多斯市检验检测中心, 中国 · 内蒙古 鄂尔多斯 017010

摘要

食品安全是关系国计民生的重大公共卫生问题, 而计量检定技术作为保障检测数据准确可靠的核心手段, 在食品安全风险识别、评估与控制中发挥着基础性作用。本文从计量检定技术的核心内涵出发, 系统分析其在食品安全风险防控各环节的应用场景, 包括农兽药残留检测、食品添加剂限量核查、微生物污染监测等关键领域, 揭示当前技术应用中存在的基层检定能力薄弱、技术创新滞后、协同机制不完善等问题, 并针对性地提出强化基础设施建设、推动技术融合创新、构建多元协同体系等优化路径, 为提升食品安全风险防控的科学性和精准性提供参考。

关键词

计量检定; 食品安全; 风险防控; 检测技术; 质量保障

1 引言

计量检定技术是通过法定或约定的方法, 对计量器具的计量性能进行全面评定, 确保其量值准确一致的技术性活动, 是计量工作的核心环节。在食品安全检测中, 无论是色谱仪、质谱仪等精密检测仪器, 还是温度计、天平、压力计等基础计量器具, 其计量性能的稳定性和准确性直接决定了检测数据的可信度, 进而影响风险研判的科学性和防控措施的有效性。因此, 系统研究计量检定技术在食品安全风险防控中的应用现状与优化策略, 对于完善食品安全监管体系、保障公众饮食安全具有重要的现实意义。

【作者简介】包塔娜 (1986-), 女, 蒙古族, 中国内蒙古人, 硕士, 工程师, 从事检验检测、质量监督研究。

2 计量检定技术在食品安全风险防控中的核心应用场景

2.1 农兽药残留检测中的计量检定应用

农产品种植和畜禽养殖环节的农兽药残留超标是食品安全的主要风险源头之一, 其检测依赖于气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS)、液相色谱-质谱联用仪 (LC-MS/MS) 等精密分析仪器, 而这些仪器的计量性能直接影响检测结果的准确性。

计量检定技术在该场景中的应用主要体现在三个方面: 一是仪器核心部件的性能检定, 针对色谱仪的柱温箱温度稳定性、进样口压力精度, 质谱仪的质量准确度、灵敏度等关键指标进行检定, 确保仪器处于最佳工作状态; 二是检测方法的计量验证, 通过标准物质对检测方法的回收率、重复性进行验证, 确保方法的可靠性, 例如使用农兽药残留标准品对检测流程进行校准, 避免因方法误差导致的检测结果偏

差；三是样品前处理设备的检定，对于固相萃取仪、氮吹仪等前处理设备，其萃取效率、浓缩精度等指标需通过计量检定进行保障，防止因样品处理不当导致的检测数据失真。

以蔬菜中有机磷农药残留检测为例，通过对 GC-MS 进行计量检定，将柱温箱温度波动控制在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内，进样口压力误差控制在 0.01MPa 以下，能够有效提升农药残留峰的分离度和检测灵敏度，确保准确检出低至 0.01mg/kg 的农药残留量，为种植环节的风险防控提供精准数据支撑^[1]。

2.2 食品添加剂限量核查中的计量检定应用

食品添加剂在改善食品风味、延长保质期等方面发挥着重要作用，但过量使用或滥用会对人体健康造成危害，因此需要严格核查其含量是否符合《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》（GB 2760）的限量要求。食品添加剂检测常用的紫外分光光度计、原子吸收分光光度计等仪器，其计量性能的稳定性是保障检测结果可靠的关键。

计量检定技术在该场景中的应用重点包括：一是分光光度计的波长准确度和吸光度精度检定，通过标准滤光片对仪器的波长进行校准，确保其波长误差不超过 $\pm 1\text{nm}$ ，吸光度误差控制在 ± 0.002 以内，避免因波长偏移导致的检测结果偏差；二是原子吸收分光光度计的特征浓度和检出限检定，确保仪器能够准确检测出食品中痕量的金属类食品添加剂，如防腐剂中的亚硝酸盐、甜味剂中的甜蜜素等；三是容量器具的计量检定，对于移液管、容量瓶等样品稀释和配制过程中使用的容量器具，其容积误差需通过检定控制在允许范围内，防止因稀释倍数不准确导致的检测结果失真。

在碳酸饮料中苯甲酸含量检测中，通过对紫外分光光度计进行计量检定，校准其波长至 225nm 的特征吸收峰，确保吸光度测量的准确性，能够精准测定苯甲酸含量是否符合 $\leq 0.2\text{g/kg}$ 的限量要求，有效避免企业为延长保质期而过量添加苯甲酸的风险。

2.3 微生物污染监测中的计量检定应用

微生物污染是导致食物中毒的主要原因之一，其检测依赖于微生物培养箱、菌落计数器、生物安全柜等专用设备，这些设备的计量性能直接影响微生物检测结果的可靠性。

计量检定技术在微生物污染监测中的应用主要包括：一是培养环境参数的精准控制，对微生物培养箱的温度、湿度、二氧化碳浓度等参数进行检定，确保培养环境符合微生物生长要求，例如将致病菌培养箱的温度控制在 $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，避免因温度波动导致的菌落计数误差；二是菌落计数设备的精度检定，对菌落计数器的放大倍数、计数准确率进行校准，确保能够准确计数平板上的菌落数量，避免因计数误差导致的微生物污染程度误判；三是生物安全柜的性能检定，对其气流速度、过滤效率等指标进行检定，确保在微生物检测过程中避免样品交叉污染，保障检测数据的准确性。

以熟食制品中沙门氏菌检测为例，通过对微生物培养

箱进行计量检定，将温度波动控制在 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 以内，确保沙门氏菌能够稳定生长，同时对菌落计数器进行校准，使计数准确率达到 99% 以上，能够精准判断熟食制品是否存在沙门氏菌污染，为食品加工环节的风险防控提供技术支撑^[2]。

2.4 重金属及有害元素检测中的计量检定应用

食品中的重金属及有害元素（如铅、镉、汞、砷等）具有蓄积性和毒性，会对人体神经系统、消化系统等造成严重危害，其检测依赖于电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）、原子荧光光度计等精密仪器。

计量检定技术在该场景中的应用重点的是仪器的计量性能校准，包括：一是 ICP-MS 的质量分辨率和同位素丰度准确度检定，确保能够准确区分不同重金属元素的同位素，避免光谱干扰导致的检测结果偏差；二是原子荧光光度计的荧光强度稳定性和检出限检定，确保能够准确检测出食品中痕量的砷、汞等元素，其检出限需控制在 0.001mg/kg 以下；三是标准溶液的溯源校准，通过使用有证标准物质配制系列浓度的标准溶液，对检测仪器进行校准，建立准确的浓度-响应值曲线，确保检测数据的溯源性和准确性。

在大米中镉含量检测中，通过对 ICP-MS 进行计量检定，将质量分辨率控制在 0.5amu 以内，同位素丰度准确度误差控制在 $\pm 2\%$ 以内，能够有效避免镉与其他元素的光谱干扰，准确检出大米中低至 0.002mg/kg 的镉含量，为粮食安全风险防控提供精准数据。

3 计量检定技术在食品安全风险防控中应用的现存问题

3.1 基层计量检定能力薄弱，覆盖范围有限

我国食品安全检测体系中，基层检测机构（如县级食品药品检验检测中心）承担着大量的日常检测任务，但这些机构的计量检定能力普遍薄弱。一方面，基层机构的计量检定设备投入不足，缺乏先进的标准器具和检定设备，无法对 GC-MS、LC-MS/MS 等精密分析仪器进行自主检定，需依赖上级计量技术机构，导致检定周期过长，影响检测工作的效率；另一方面，基层计量检定专业人才匮乏，现有人员多为兼职，缺乏系统的计量专业培训，对新型检测仪器的检定技术掌握不足，无法满足复杂的检定需求。

3.2 技术创新滞后，难以适应新型风险检测需求

随着食品工业的快速发展，新型食品加工技术、新型食品添加剂和污染物不断涌现，对食品安全检测提出了更高要求，但计量检定技术的创新速度相对滞后，难以适应新型风险的检测需求。

一是针对新型检测仪器的检定技术不完善，例如在生物传感器、量子点检测仪器等新型快速检测设备的检定方面，缺乏统一的检定规程和标准物质，导致这些设备的计量性能无法得到有效保障；二是复杂基质食品的检定技术不足，对于含有多种成分的复合食品，其检测过程中存在严重