

doi: 10.12452/j.fxcxb.26062903

绿色检测技术标准体系构建及其应用转化机制研究

孙玉友¹, 刘欣欣¹, 杨 熙², 陈志锋¹, 刘成雁^{3*}

(1. 中国检验认证(集团)有限公司, 北京 100028; 2. 广东省科学院测试分析研究所(中国广州分析测试中心), 广东省化学测量与应急检测技术重点实验室, 广东 广州 510070; 3. 中国分析测试协会, 北京 100089)

摘要: 在“双碳”目标与绿色转型背景下, 绿色检测技术正成为分析测试领域的重要发展方向。当前, 绿色检测技术在推广应用中仍存在术语边界不清、绿色性能评价不统一、方法质量确认不足、结果采信规则不完善等问题, 影响其规范应用和规模化推广。该文从标准化视角界定绿色检测技术的对象范围, 分析其标准化基础和现实需求, 构建由基础标准、方法标准、评价标准、管理标准和应用标准组成的标准体系, 并从方法验证、规则固化、结果采信和场景扩散等环节解析标准促进绿色检测技术应用转化的作用机制。未来, 应围绕绿色性能评价、方法质量确认、智能化设备运行控制、数据质量与结果追溯等重点内容完善标准供给体系, 支撑绿色检测技术规范应用和规模推广。

关键词: 绿色检测技术; 标准体系; 标准化; 绿色性能评价; 结果采信

中图分类号: O657; X38 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(2026)10-0001-07

Research on the Construction of Green Detection Technology Standard System and Its Application Transformation Mechanism

SUN Yu-you¹, LIU Xin-xin¹, YANG Xi², CHEN Zhi-feng¹, LIU Cheng-yan^{3*}

(1. China Certification & Inspection(Group) Co., Ltd., Beijing 100028, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Chemical Measurement and Emergency Test Technology, Guangdong Academy of Sciences(China National Analytical Center, Guangzhou), Guangzhou 510070, China; 3. China Association for Instrumental Analysis, Beijing 100089, China)

Abstract: Under the background of the "dual carbon" goals and green transformation, green detection technology has become an important development direction in the field of analytical testing. At present, in the promotion and application of green detection technology, there are still issues such as unclear terminology boundaries, inconsistent evaluation of green performance, insufficient method validation, and imperfect rules for results adoption, which affect its standardized application and large-scale promotion. This study defines the scope of green detection technology from a standardization perspective, analyzes its standardization foundation and practical needs, constructs a standard system composed of basic standards, method standards, evaluation standards, management standards, and application standards, and analyzes the mechanism by which standards promote the application and transformation of green detection technology through aspects such as method verification, rule consolidation, results adoption, and scenario dissemination. In the future, efforts should focus on improving standard supply around key areas such as green performance evaluation, method validation, intelligent equipment operation control, data quality, and result traceability to support the standardized application and large-scale promotion of green detection technology.

Key words: green detection technology; standard system; standardization; green performance evaluation; results adoption

在“双碳”目标和绿色转型背景下, 绿色检测技术正成为分析测试领域的重要发展方向。伦敦证券交易所集团(LSEG)报告显示, 2025年一季度全球绿色经济规模已达7.9万亿美元^[1]。随着绿色样品前处理、在线/原位检测、微量化检测、无损检测和智能化分析等技术的发展, 绿色检测技术已由单项方法改进扩展到方法、仪器、数据和实验室运行的综合优化。例如, 用绿色溶剂替代传统有机溶剂用

收稿日期: 2026-06-29; 修回日期: 2026-07-17

* 通讯作者: 刘成雁, 博士, 教授, 研究方向: 分析测试与绿色技术研究应用, E-mail: chengyanliu@163.com

于样品前处理过程,可以减少对实验人员及环境的危害^[2]。然而,现有标准主要分散在具体检测方法、仪器设备、实验室能力和绿色评价等领域,术语边界、绿色性能评价、方法质量确认和结果采信规则尚不统一,制约了绿色检测技术的规范应用和规模化推广。因此,如图1所示,从标准化视角构建绿色检测技术标准体系,明确绿色性能、检测性能、质量控制和结果采信之间的规则关系,具有现实必要性。

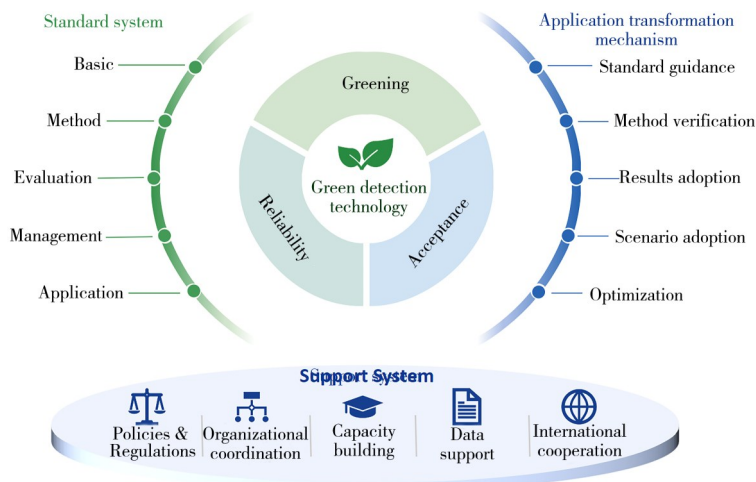


图1 绿色检测技术标准体系构建及应用转化机制

Fig. 1 Construction of a standard system for green detection technology and its application transformation mechanism

1 绿色检测技术概念基础、标准化基础与需求

1.1 绿色检测技术的概念

绿色经济以低消耗、低排放和高效益为特征^[3],强调在经济活动中尽可能减少资源消耗与环境负荷;绿色化学则倡导在化学品的设计、制造和使用全过程中,从源头减少有害物质的使用与废弃物的产生^[4]。绿色检测技术正是上述两大理念在分析测试领域的具体应用,其理论基础直接源于绿色化学及由其延伸的绿色分析化学。随着绿色化学的不断发展,如何在分析过程中应用和体现绿色化学特点,避免分析过程对环境产生二次污染及对人员造成危害也受到关注^[5]。1998年,Anastas和Warner提出绿色化学12项原则,强调从源头减少有害物质使用和废弃物产生^[4];2001年,Namieśnik较早以“绿色分析化学”为题讨论分析测试过程绿色化问题^[5];2013年,Gałaszka、Migaszewski和Namieśnik提出面向分析化学活动的12项绿色原则,明确了减少样品量、试剂消耗、能耗、废弃物和操作风险等要求^[6-7]。为使上述原则得以在具体方法评价中应用,分析生态标度(AES)、绿色分析程序指数(GAPI)和分析绿色度指标(AGREE)等绿色度评价工具相继被提出,为分析方法绿色度评价提供了量化基础^[8-10]。

本文所称绿色检测技术,主要指分析测试领域中面向样品采集、前处理、分离检测、数据处理和实验室运行过程的绿色化方法、仪器和过程控制技术。其核心是在保证准确度、精密度、检出限、定量限、回收率和测量不确定度等分析性能的前提下,降低样品、试剂、能源和耗材消耗,减少废液、废气、固体废弃物产生和人员暴露风险,并将绿色分析化学原则、绿色度评价和检测质量控制要求转化为可执行、可比较、可采信的技术规则。

1.2 绿色检测技术标准化基础

目前,国际和国内尚未设立以“绿色检测技术”为对象的专门标准化技术组织设置,相关标准化工作主要分散在实验室设备、分析方法、检测仪器、实验室能力、环境管理、认证认可和绿色评价等领域。为说明绿色检测技术标准化基础,本文从相关标准化技术组织和已发布标准两个层面进行梳理,见表1和表2。

从相关标准化技术组织和代表性标准来看,绿色检测技术虽未形成专门归口的标准化体系,但已有基础分布在方法、设备、实验室能力、绿色评价和低碳实验室运行等环节。在国家标准层面,智能实验室设备标准体系可为绿色检测设备标准化提供设备层面的支撑,相关研究已从基础标准、方法标

准、管理标准和产品标准等维度对智能实验室仪器设备与系统进行布局^[11]。在团体标准方面，绿色检测实验室和低碳实验室评价已有所探索，已有研究从标准制度、意识行为、建筑设备、监测回收等维度探讨了实验室低碳化建设的影响因素与应对策略^[12]。现有基础表明，绿色检测技术标准化已具备一定条件，后续重点应转向绿色性能、检测性能、质量控制和结果采信规则的协同构建。

表1 国际及中国部分相关标准化技术组织概况

Technical committee for standardization(标准化技术组织)	Scope of standardization(标准化范围)	Areas of support(支撑方向)
ISO/TC 48 Laboratory equipment(实验室设备)	实验室设备、仪器、性能、试验及术语等	实验室设备、检测仪器性能评价
ISO/TC 336 Laboratory design(实验室设计)	实验室选址、空间设计、服务集成，以及功能、安全、节能和可持续实验室设计	绿色实验室、低碳实验室建设
ISO/TC 146 Air quality(空气质量)	空气质量采样、测量、质量控制和结果报告等	环境空气检测、污染物监测
ISO/TC 147 Water quality(水质)	水质采样、测量、质量控制和结果报告等	水质检测、新污染物分析
IEC/TC 66 Safety of measuring, control and laboratory equipment(测量、控制和实验室设备安全)	测量、控制和实验室设备安全要求	检测设备安全、运行控制
SAC/TC 481 全国仪器分析测试标准化技术委员会	分离与前处理设备、特种试剂、通用检验与分析方法、实验室信息管理和数据系统等	绿色样品前处理、分析方法、检测数据规则
SAC/TC 526/SC 1 全国实验室仪器及设备标准化技术委员会智能实验室设备分技术委员会	智能实验室仪器设备和系统等	绿色检测设备、智能化检测系统
SAC/TC 207 全国环境管理标准化技术委员会	环境管理等	绿色评价、低碳管理
SAC/TC 261 全国认证认可标准化技术委员会	认证认可	结果采信、实验室能力评价
SAC/TC 421 全国生物芯片标准化技术委员会	生物芯片基础、相关产品及检测方法	微流控检测设备与方法

表2 绿色检测技术相关标准及支撑内容

Standard number and title(标准编号及名称)	Scope of support(支撑内容)
GB/T 27025—2019《检测和校准实验室能力的通用要求》	实验室能力、质量控制、结果采信
GB/T 33761—2024《绿色产品评价通则》	绿色评价规则
GB/T 24001—2016《环境管理体系 要求及使用指南》	环境管理、绿色评价与低碳实验室运行支撑
GB/T 27476.1—2014《检测实验室安全 第1部分：通用要求》	实验室安全、人员暴露风险控制
GB/T 13016—2018《标准体系构建原则和要求》	标准体系构建方法依据
T/CCAA PAS 83—2024《低碳实验室评价指南》	低碳实验室评价、实验室运行管理

1.3 绿色检测技术标准化需求

绿色检测技术的应用范围正在扩大，标准规则滞后已成为制约其规模化推广的关键因素。当前，其标准化需求集中体现在技术对象界定、绿色性能评价、方法质量确认和智能化运行控制四个方面，亟须形成覆盖绿色性能、检测性能、智能化运行和结果采信的标准体系。

一是技术对象边界需明确。绿色检测技术已覆盖样品前处理、分离检测、在线/原位分析、智能化检测设备和实验室运行管理等环节，需通过标准界定术语、范围和适用条件。二是绿色性能评价需要统一。试剂消耗、能源消耗、样品用量、废弃物产生、人员暴露风险和分析效率等指标需形成统一口径，避免绿色属性停留在经验描述层面。三是方法质量确认需规范。绿色方法能否替代传统方法，取决于其准确度、精密度、检出限、定量限、回收率和测量不确定度等质量指标是否满足应用要求。四是智能化运行控制需建立规则。在线监测、原位分析、微流控检测和人工智能辅助分析涉及设备状态、校准漂移、模型参数、数据连续性、异常识别和结果追溯等因素^[13]，需要形成相应的数据质量、模型验证和过程追溯要求。

2 绿色检测技术标准体系构建

2.1 标准体系构建原则

绿色检测技术标准体系设计应以支撑技术规范化、评价一致化和结果采信为目标，依据 GB/T 13016—2018《标准体系构建原则和要求》^[14]，结合绿色检测技术的对象范围和应用特点，遵循全过程覆盖、协同评价和实施导向三项原则。全过程覆盖原则要求标准体系覆盖样品采集、前处理、分离检测、数据处理、设备运行、质量控制和实验室管理等主要环节，明确方法、设备、管理和应用间的层次关系；协同评价原则要求同时考虑试剂消耗、能源消耗、废弃物产生、人员暴露风险等绿色性能指

标,以及准确度、精密度、检出限、定量限、回收率和测量不确定度等检测性能指标,保证绿色化改进与结果可靠性相协调;实施导向原则要求标准内容具备可操作、可验证和可追溯特征,支撑绿色检测技术在实验室运行、场景应用和结果采信中的规范实施。

2.2 标准体系结构设计

基于绿色检测技术的对象范围和标准化需求,标准体系可由基础标准、方法标准、评价标准、管理标准和应用标准五类标准构成(见图2)。

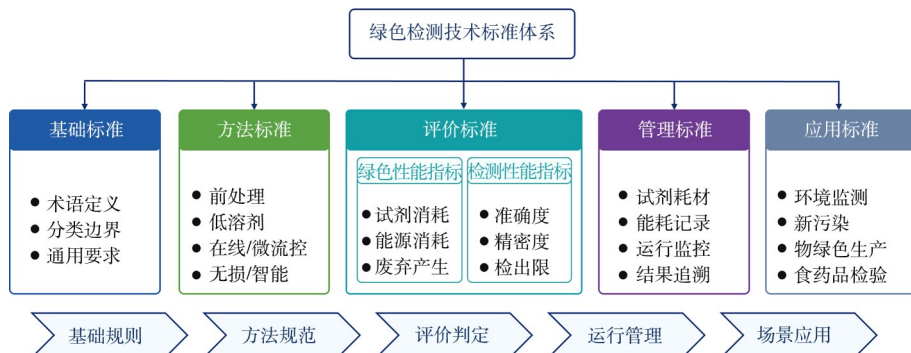


图2 绿色检测技术标准体系总体结构

Fig. 2 Overall structure of green detection technology standard system

一是基础标准,主要规范术语定义、分类边界、基本原则和通用要求,解决绿色检测技术对象不清、概念交叉和适用范围不一致等问题。二是方法标准,主要面向绿色样品前处理、低溶剂分析、在线/原位检测、微流控检测、无损检测和智能化分析等技术路径,规范适用范围、关键参数、操作流程、质量控制和结果报告要求。三是评价标准,主要建立绿色性能评价指标、计算口径和判定规则,覆盖试剂消耗、能源消耗、样品用量、废弃物产生、危险试剂替代、人员暴露风险和分析效率等指标,并与准确度、精密度、检出限、定量限、回收率和测量不确定度等检测性能指标相衔接。四是管理标准,主要规范绿色检测活动的运行条件,包括试剂与耗材管理、能耗记录、废弃物处置、设备状态监控、数据质量控制和结果追溯等内容。五是应用标准,主要面向环境监测、新污染物分析、绿色生产过程控制、新能源材料检测、食品药品检验等场景,明确绿色检测技术的适用条件、验证要求和结果使用边界。通过上述结构,绿色检测技术标准体系形成由基础规则、方法规范、评价判定、运行管理到场景应用的递进关系,可支撑绿色检测技术从方法创新走向规范化应用。

2.3 重点标准化内容

绿色检测技术标准体系的重点标准化内容,应围绕术语边界、绿色性能评价、方法质量确认、智能化运行控制和场景应用采信展开。为清晰呈现各类标准化内容的重点任务及其对应问题,本文归纳形成绿色检测技术重点标准化内容框架,见表3。

表3 绿色检测技术重点标准化内容

Table 3 Key standardized content of green detection technology

Scope of standardization(标准化范围)	Key subjects of standardization(重点标准化对象)	Main content of standardization(主要标准化内容)
术语与对象边界	绿色检测技术、绿色检测方法、绿色检测设备、术语定义、分类边界、适用范围、层次关系 绿色检测实验室、低碳实验室等	
绿色性能评价	试剂消耗、能源消耗、样品用量、废弃物产生、指标体系、计算口径、评价方法、判定规则 人员暴露风险、分析效率等	
方法质量确认	绿色样品前处理、低溶剂分析、在线/原位检测、准确度、精密度、检出限、定量限、回收率、 微流控检测、无损检测等方法	测量不确定度、实验室间重复性
智能化运行控制	智能分析仪器、在线监测系统、微流控平台、人 工智能辅助分析系统等	设备状态、能耗记录、校准漂移、数据连续 性、模型验证、异常识别、结果追溯
场景应用采信	环境监测、新污染物分析、绿色生产过程控制、适用条件、验证要求、评价指标、结果报告、 新能源材料检测、食品药品检验等	使用边界

由表3可知,绿色检测技术标准化首先需要解决对象边界和评价规则问题。术语与分类标准用于明确绿色检测方法、绿色检测设备、绿色检测实验室和低碳实验室等概念边界,避免方法、设备和实验室运行管理要求交叉混用;绿色性能评价标准则需要明确试剂消耗、能源消耗、废弃物产生、人员

暴露风险和分析效率等指标的计算口径和判定方法,使绿色属性由经验性描述转化为可比较的评价结果。在此基础上,方法质量确认、智能化运行控制和场景应用采信构成绿色检测技术标准化的实施重点。绿色检测方法能否替代传统方法,取决于准确度、精密度、检出限、定量限、回收率和测量不确定度等检测性能是否满足应用要求;在线监测、智能分析仪器和人工智能辅助分析等技术,则需要将设备状态、校准漂移、数据连续性、模型验证和结果追溯纳入标准规则。面向环境监测、新污染物分析、绿色生产过程控制、新能源材料检测和食品药品检验等场景,应用类标准还应明确适用条件、验证要求和结果使用边界,推动绿色检测技术由方法创新进入规范化应用。

3 标准促进绿色检测技术应用转化机制

绿色检测技术的应用转化,实质是将技术性能、绿色绩效、质量控制和结果采信逐步耦合的过程。通常需要经历从方法验证、规则固化、结果采信到场景扩散的过程。标准在其中承担规则转化和制度连接功能,通过明确适用条件、关键参数、评价指标、质量控制和结果使用边界,将分散的绿色检测方法转化为可重复实施、可比较评价和可采信应用的技术规则(见图3)。

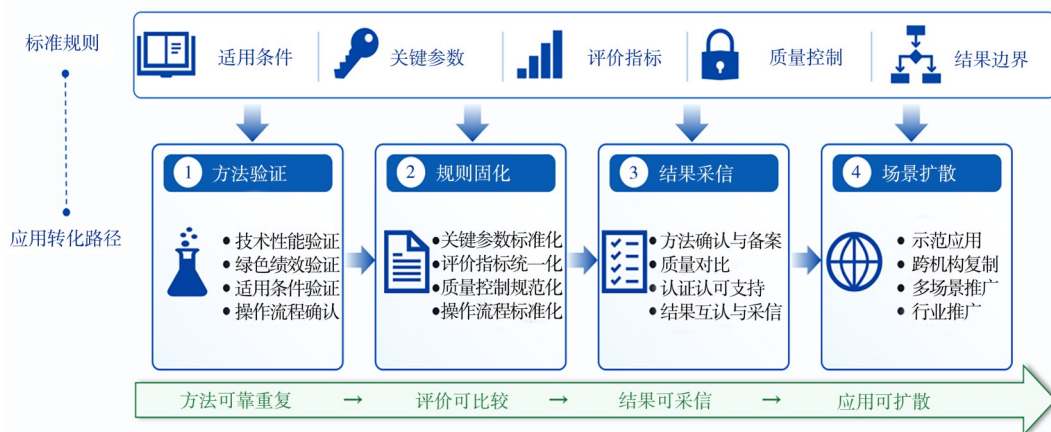


图3 标准促进绿色检测技术应用转化机制图

Fig. 3 Mechanism of standards promoting application and transformation of green detection technology

3.1 从方法验证到规则固化

绿色检测技术在形成初期,多表现为具体方法、局部工艺或实验室经验,其应用效果依赖于样品条件、试剂选择、仪器状态、操作参数和数据处理方式。标准化的作用,是将这些影响结果稳定性的关键要素提炼为共同规则,明确方法适用范围、核心参数、操作边界、性能要求和质量控制条件。通过规则固化,绿色样品前处理、低溶剂分析、在线/原位检测、微量检测 and 智能化分析等技术可以从个体方法经验转化为可重复实施的技术规范,减少跨机构应用中的条件差异和结果波动。以绿色样品前处理为例,超分子溶剂、低共熔溶剂等替代传统有机溶剂的研究,需要将萃取剂类型、用量、萃取条件、回收率和基体效应等关键参数规范化,以支撑方法由探索性研究转向可重复实施。

3.2 从绿色评价到结果采信

绿色检测技术进入实际应用,既要能证明资源消耗和环境负荷降低,也要证明检测结果可靠。标准通过统一绿色性能评价和方法质量确认要求,将试剂消耗、能源消耗、废弃物产生、人员暴露风险等绿色指标,与准确度、精密度、检出限、定量限、回收率和测量不确定度等质量指标纳入同一评价框架。绿色属性由此转化为可比较的评价结果,检测性能则转化为可验证的质量结论,为监管采信、认证认可、实验室比对和市场应用提供共同依据。以近红外光谱和微流控检测为例,近红外光谱技术具有绿色、快速的特点,其检测方式主要包括漫反射和透射两种^[15];微流控则将微型化、集成化、自动化、微量与绿色分析深度融合。两者在绿色检测技术中的应用优势主要体现在少试剂、少样品和快速分析,但进入应用仍需通过模型验证、方法确认、精密度、准确度和适用范围评价形成质量证据。

3.3 从示范应用到场景扩散

绿色检测技术的规模化应用有赖于场景验证和规则复制。环境监测、新污染物分析、绿色生产过

程控制、新能源材料检测和食品药品检验等场景,对检测对象、方法性能、数据时效性和结果使用方式要求不同。标准通过明确适用条件、验证要求、评价指标和结果使用边界,将局部示范形成的经验转化为可复制的应用规则。对于在线监测、原位分析、微流控检测和人工智能辅助分析等新型技术,标准还需要覆盖设备状态、校准漂移、数据连续性、模型验证、异常识别和结果追溯等内容,使绿色检测技术从单点应用走向跨机构、跨场景的规范化扩散。以在线监测和智能化分析平台为例,其场景扩散有赖于校准漂移控制、数据连续性、异常识别、运行记录和结果追溯等规则支撑,从而提升示范经验的跨机构复制能力。在样品前处理等绿色属性突出的环节,可借助 AGREEprep 等专用绿色度评价工具量化其环境负荷^[16]。

4 推动绿色检测技术标准化应用的路径建议

4.1 完善绿色检测技术标准体系与评价规则

绿色检测技术标准化应用,首先需要形成层次清晰、重点突出的标准供给。近期可优先围绕绿色检测术语与分类、绿色性能评价通则^[17]、绿色检测方法确认要求、智能化绿色检测设备运行要求、绿色检测数据质量控制等共性标准开展研制,解决概念边界不清、评价口径不一和方法替代缺少依据等问题。在此基础上,面向绿色样品前处理、在线/原位检测、微流控检测、无损检测和人工智能辅助分析等技术方向,形成相应方法标准和评价标准,使绿色检测技术的绿色性能、检测性能和质量控制要求能够在统一规则下表达。

4.2 强化标准实施与质量采信机制衔接

绿色检测技术标准的应用效果,取决于其能否进入检测结果采信链条。标准实施需要与方法确认、测量不确定度评定、实验室间比对、能力验证、实验室认可和结果追溯等机制衔接,使绿色检测结果具有可比性和可信度。对于涉及监管、认证认可和市场应用的检测场景,还需要明确绿色检测方法替代传统方法的适用条件和质量证据,避免仅以绿色属性作为采用依据。通过标准与质量采信机制衔接,绿色检测技术才能从方法改进层面进入可被监管和市场接受的应用环节。

4.3 面向重点场景开展标准验证与应用示范

绿色检测技术标准需要通过场景来验证检验其适用性和可操作性。环境监测、新污染物分析、绿色生产过程控制、新能源材料检测、食品药品检验等领域,检测对象、样品基体、数据时效性和结果使用方式等差异较大,适宜作为标准验证和示范应用的重点场景。标准验证应重点关注方法适用范围、绿色性能指标、检测质量指标、数据追溯要求和结果使用边界,通过典型场景应用积累实施经验,形成可复制的标准实施模式。

4.4 加强绿色检测标准化复合型人才培养

绿色检测技术标准化应用,需要兼具分析测试、标准化、质量评价和数字化能力的复合型人才。绿色检测标准研制不仅涉及方法原理和仪器性能,还涉及绿色性能评价、方法确认、数据质量控制、实验室运行管理和结果采信规则,单一专业背景难以支撑全过程工作。近年来,国家层面已将标准化人才培养作为重要方向,《标准化人才培养专项行动计划(2023—2025年)》提出推动标准化教育与专业教育融合,培养标准科研、管理和应用人才;2026年市场监管总局、教育部公布首批专业与标准化教育融合试点名单,全国共281个试点项目入选,覆盖253所高校,并吸纳企业、科研机构等联合参与。面向绿色检测技术发展,宜依托高校、科研机构、检验检测机构、标准化技术组织和仪器企业,建立“技术研发—标准研制—方法验证—应用示范”贯通式的人才培养机制,为绿色检测技术标准体系建设和实施提供持续支撑。

5 总结与展望

本文从标准化视角梳理了绿色检测技术的概念内涵、标准化基础与现实需求,构建了由基础标准、方法标准、评价标准、管理标准和应用标准组成的标准体系,分析了标准在方法验证、规则固化、结果采信和场景扩散中的作用机制。未来,绿色检测技术的发展不宜仅停留在方法绿色化层面。低试剂、低能耗、低排放等绿色属性应与准确度、精密度、检出限、回收率、测量不确定度等检测质量要求同

步纳入评价体系。下一步标准化工作的重点将从单项方法规范转向绿色性能评价、方法质量确认、智能化设备运行控制和结果采信规则的协同建设。特别是在新污染物分析、在线监测、绿色生产过程控制、新能源材料检测和食品药品检验等场景中应加快开展标准验证和应用示范,形成可比较、可验证、可复用的技术规则体系。随着微量化、在线化、智能化检测技术的快速发展,绿色检测标准化也需要从方法层面延伸至设备运行、数据质量和全过程追溯,为绿色检测技术的规范应用和规模化推广提供支撑。

参考文献:

- [1] LSEG(London Stock Exchange Group). Investing in the Green Economy 2025: Navigating Volatility and Disruptions[R]. 2025.
- [2] Chen M, Liu Y J, Guo X Z, Bai H, Ma Q. *J. Instrum. Anal.* (陈萌, 刘艺静, 郭兴洲, 白桦, 马强. 分析测试学报), 2022, 41(1): 22-31.
- [3] UNEP. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication[R]. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2011.
- [4] Anastas P T, Warner J C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press, 1998.
- [5] Płotka-Wasyłka J, Fabjanowicz M, Kalinowska K, Namieśnik J. *History and milestones of green analytical chemistry. Green Analytical Chemistry: Past, Present and Perspectives. Singapore: Springer*, 2019: 1-17.
- [6] Tobiszewski M, Mechlińska A, Namieśnik J. *Chem. Soc. Rev.*, 2010, 39(8): 2869-2878.
- [7] Gałuszka A, Migaszewski Z, Namieśnik J. *Trac Trends Anal. Chem.*, 2013, 50: 78-84.
- [8] Gałuszka A, Migaszewski Z M, Konieczka P, Namieśnik J. *Trac Trends Anal. Chem.*, 2012, 37: 61-72.
- [9] Płotka-Wasyłka J. *Talanta*, 2018, 181: 204-209.
- [10] Pena-Pereira F, Wojnowski W, Tobiszewski M. *Anal. Chem.*, 2020, 92(14): 10076-10082.
- [11] Liu X X, Chen Z F, Chen Z Q. *China Qual. Certif.* (刘欣欣, 陈志锋, 陈子桥. 质量与认证), 2025(6): 38-40, 44.
- [12] Wang H Y, Duan Y. *Exp. Technol. Manag.* (王宏业, 段冶. 实验技术与管理), 2025, 42(2): 227-232.
- [13] Liu S S, Zhang B, Li X Y, Xin L, Ying G G, Chen C E. *J. Instrum. Anal.* (刘思思, 张波, 李星颖, 辛蕾, 应光国, 陈长二. 分析测试学报), 2024, 43(8): 1105-1116.
- [14] GB/T 13016—2018. *Principles and Requirements for Constructing Standard System. GB/T 13016—2018 标准体系构建原则和要求*. 中国标准化研究院.
- [15] Zhang J, Hu Y, Zhou L X, Li B Y. *J. Instrum. Anal.* (张进, 胡芸, 周罗雄, 李博岩. 分析测试学报), 2020, 39(10): 1196-1203.
- [16] Wojnowski W, Tobiszewski M, Pena-Pereira F, Psillakis E. *Trac Trends Anal. Chem.*, 2022, 149: 116553.
- [17] Locatelli M, Kabir A, Perrucci M, Ulusoy S, Ulusoy H I, Ali I. *Adv. Sample Prep.*, 2023, 6: 100068.

(责任编辑: 胡雪玉, 龙秀芬)