

团体标准《重金属全自动分析机器人技术规范（征求意见稿）》

编 制 说 明

标准编制工作组

2026 年 6 月

《重金属全自动分析机器人技术规范（征求意见稿）》

编制说明

一、工作简况

本标准由广东省科学院生物与医学工程研究所提出，由广东省质量检验协会归口。依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》等相关法律法规和政策要求，牵头单位组建了标准编制工作组，制定了系统的工作方案，并严格按照标准立项、起草、征求意见等规范程序推进编制工作。

二、制定标准意义和必要性

近年来，随着我国生态环境监测体系现代化建设的加速推进，水质检测领域对自动化、智能化检测装备的需求持续增长。生态环境部明确提出，将积极推进新技术在生态环境监测中的应用，围绕环境监测等领域研发一批环保机器人、远程运维装备，加快虚拟现实、数字孪生等先进技术推广应用。在手工监测领域，已推进“智能采样+智能分析”，分区域建设全自动无人化“黑灯实验室”，集中承担水质样品分析任务，采样耗时、人员投入和运输成本将节约 50%以上。此类全自动无人实验室即使在关灯无人值守条件下，也能自动连续完成分析测试工作，效率相对人工提升 8 倍以上。在国家《关于促进环保装备制造业高质量发展的若干意见》等政策文件中，明确要求强化生态环境监测能力建设，推动监测技术装备向数智化、智能化、自动化方向发展。《广东

省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》强调加强人工智能等数智技术创新，全面实施“人工智能+”行动，抢占人工智能产业应用制高点。

重金属污染是影响水质安全和生态环境质量的重要因素。生态环境监测、水质检测、给排水及工业废水监测等领域对重金属元素的检测具有样品量大、检测频次高、质量控制严格的特点。传统的重金属检测流程高度依赖人工操作，样品识别、前处理、进样检测、数据处理、质控管理等环节耗时费力，且存在人为误差和交叉污染风险。重金属全自动分析机器人系统集成了样品识别、前处理、自动进样、检测分析、质量控制、数据管理及清洗维护等全流程自动化功能，可显著提升检测效率和结果可靠性。

经调研，目前国内外尚未发布专门针对重金属全自动分析机器人系统的技术要求标准。现有相关标准主要包括 ICP-MS、AAS、AFS 等分析仪器产品标准及各重金属检测的方法标准，但对自动化集成系统的构成架构、硬件要求、软件平台、检测流程、质量控制及数据验证等方面，尚未形成统一、可操作的技术规范。这导致不同厂商的机器人系统在产品规格、功能完整性、性能指标上参差不齐，用户单位在选型采购、安装验收以及日常运维时缺乏统一的依据，难以从源头保障检测数据的质量与可靠性。

因此，制定《重金属全自动分析机器人技术规范》团体标准，具有重要的现实意义与行业价值。本标准旨在填补重金属自动化检测机器人在技术规范领域的研究空白，通过对系统设计、

硬件组成、控制软件、功能与性能指标、检测流程要求、等效性评估方法、质量控制体系及验收程序等进行系统规定，为制造企业和集成方提供统一的技术依据，为用户单位及检测机构提供科学的质量评价标准，为第三方机构提供公正的验收规范。本标准的实施将有效推动重金属检测装备的自动化、智能化升级，引导行业向规范化、标准化方向发展，保障水质检测数据的准确性与可靠性，助力国家生态环境监测现代化体系建设。

三、编制原则、框架内容

（一）编制原则

本标准在起草过程中，主要遵从以下原则：

1. 规范性原则

本标准严格按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求进行编写，确保标准结构、要素和表述的规范性。文件在术语定义、技术要求、试验方法等方面均与现行有效的国家标准、行业标准保持一致，符合国家标准化工作的通用要求。

2. 科学性原则

标准编制充分参考了水质重金属检测领域的分析技术进展、实验室自动化技术发展水平及工程实践经验，确保所规定的技术指标和验收方法具有科学依据，能够准确反映重金属全自动分析机器人系统的关键质量特性与检测能力。

3. 适用性原则

标准内容紧密结合检测实验室的实际需求、制造企业的技术水平和检测机构的检验能力。通过细化系统构成、明确性能指标、规范检测流程、制定验收程序等，使标准内容便于生产企业执行、检测机构操作以及用户单位选型验收，具有广泛的适用性和可操作性。

4. 协调性原则

本标准遵循《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国产品质量法》等法律法规，在技术要求上与 GB/T 8170、GB/T 9361、GB 4793.1、HJ 168 等现行标准保持协调统一，在数据交互体系上与 GB/T 38113、GB/T 39556、GB/T 40343 等相关标准相衔接，在安全卫生要求上与 GB/T 27476、GB/T 31190 等现行标准协调一致，确保了标准体系的内部统一性和兼容性。

（二）框架内容

本标准由 13 章组成，主要章节内容见表 1。

表 1 框架内容

序号	标题	主要内容
1	范围	规定本标准的主要内容、适用范围和除外说明
2	规范性引用文件	主要引用 GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定 1 份标准
3	术语和定义	定义“重金属全自动分析机器人”“分析单元”“自动清洗”“交叉污染”等 8 项核心术语
4	缩略语	规定了 AAS、AFS 等 10 项缩略语
5	总体要求	确立系统在检测任务、质量控制、安全管理和数据管理等方面的基本遵循
6	系统设计与系统构成	规定设计原则、系统架构、功能模块、工作流程、数据流程及场地配套条件
7	硬件技术要求	明确机械结构、样品识别、前处理、进样联机、检测分析、试剂管理、清洗防交叉污染、废液处置、安全防护和断电保护等模块的技术指标

8	控制系统与软件平台要求	规定中央主控、人机交互、仪器联动、数据采集处理、审计追溯、异常报警、校准质控及 LIMS 对接等功能要求
9	功能与性能要求	规定自动化功能、检测能力、精密度正确度与检出限、标准曲线与漂移、运行稳定性及数据有效性判别等性能指标
10	检测流程要求	规定样品接收识别、保存调度、前处理、进样检测、质控样插入、结果计算判定、异常复测及记录报告输出等流程
11	数据验证与方法等效性评估	明确验证原则、样品要求及检出限、精密度、正确度、漂移、实际样品比对等验证方法和判定准则
12	校准与质量控制要求	规定空白检验、校准曲线建立与核查、平行样、质控样、加标回收、批接受准则及自动复测规则
13	验收	规定硬件验收、软件验收、功能验收、方法学指标验收、系统稳定性验收及验收文件等要求

四、主要技术指标及确定依据

1. 范围

本标准规定了重金属全自动分析机器人系统的总体要求、系统设计与系统构成、硬件技术要求、控制系统与软件平台要求、功能与性能要求、检测流程要求、数据验证与方法等效性评估、校准与质量控制要求、验收等内容。

本标准适用于生态环境监测、水质检测、给排水、工业废水监测及相关领域中,采用电感耦合等离子体质谱、原子吸收光谱、原子荧光光谱等技术,对水样中重金属元素进行自动化检测的分析机器人系统;适用于新建、改建、扩建重金属全自动分析机器人系统的设计、集成、验收。

注:本文件不替代相关重金属检测方法标准、分析仪器产品标准以及实验室管理规范。

2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本

适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

3. 术语和定义

3.1 重金属全自动分析机器人 automatic heavy metal analysis robot

在水质检测场景中，按照预设检测方法和控制程序，对样品识别、样品前处理、自动进样、检测分析、质量控制、数据处理、记录输出、清洗与维护提示等环节进行自动化、智能化执行的专用设备系统。

3.2 分析单元 analytical unit

由检测仪器、联机接口、自动进样装置及其配套控制部件构成，用于完成目标重金属项目测定的功能单元。

3.3 样品前处理单元 sample pretreatment unit

用于完成样品开关盖、移液、加试剂、稀释、调 pH、消解、过滤、离心、定容、转移等前处理步骤的功能单元。

3.4 空白核查 blank verification

采用空白样对样品制备或检测过程引入的污染、背景或残留进行检查的质量控制活动。

3.5 自动复测 automatic retesting

系统依据预设规则，在检测结果异常、质量控制不合格或设备状态异常时，自动触发重新测定的过程。

3.6 记忆效应 memory effect

前一份高浓度样品或试剂残留对后续样品检测结果产生影响的现象。

4. 缩略语

规定了 AAS、AFS、FTP、HTTP、ICP-MS、LIMS、MQTT、RFID、TCP/IP、UPS 等 10 项缩略语。上述缩略语均为当前水质重金属检测和自动化控制领域广泛使用的专业术语，其中 AAS、AFS 和 ICP-MS 是现行有效检测方法标准所采用的核心技术；LIMS 对应 GB/T 40343《智能实验室 信息管理系统 功能要求》中定义的管理系统；TCP/IP、HTTP 和 FTP 为数据传输领域的通用协议；MQTT 为物联网通信领域的轻量级传输协议；RFID 为识别技术领域的常用缩略语；UPS 为实验室设备常用配套装置的通用缩略语。通过对上述缩略语进行定义，便于本标准中各类专业术语的统一理解和规范使用。

5 总体要求

本章确立了系统在检测任务、方法要求、质量控制要求、安全要求和数据管理等方面的基本遵循。系统应满足现行有效分析方法标准的要求，强调因自动化集成不减弱分析仪器原有的安全功能、计量性能和质量控制要求。上述规定主要参考了 GB/T 27025《检测和校准实验室能力的通用要求》中关于实验室能力保障的基本原则，以及 GB 4793.1《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分：通用要求》中关于设备安全联锁与防护的基本理念。

6 系统设计与系统构成

系统架构设计分为控制管理层、执行与联动层、分析检测层、公辅与安全层四层，功能模块涵盖中央主控、样品识别与转运、样品前处理、自动进样与联机、分析仪器、清洗、废液管理和安全防护等核心模块。上述设计的确定主要参考了 GB/T 38113《分

析仪器物联规范》中关于物联框架、物联过程和数据交换过程的要求，以及 GB/T 39556《智能实验室 仪器设备 通信要求》中关于仪器设备与上层系统通信的总体要求、网络通信模型和命令格式等技术内容。工作流程和数据流程的设计体现了自动化检测系统从样品接收到结果报告的全闭环管理理念。

7 硬件技术要求

本章规定了机械结构与运动单元、样品识别与转运、样品前处理、自动进样与联机、检测分析、试剂与标准物质管理、清洗与防交叉污染、废液收集与处置、安全防护与应急保护、断电保护与恢复等 11 个模块的技术要求。各模块的技术指标结合了现行方法标准对样品前处理的工艺要求以及机器人自动化系统的工程实践加以确定。样品前处理单元涉及移液、分液、加热、消解等操作，其性能指标要求参考了相关分析仪器产品标准和检定规程中对计量性能的基本规定；安全防护与应急保护单元的要求参考了 GB 4793.1 中对防电击、防机械危险、防止流体和固体异物的危险等方面的安全要求；废液收集与处置单元的要求参考了 GB/T 31190《实验室废弃化学品收集技术规范》的基本理念。通过上述技术要求的系统整合，从底层硬件层面保障了自动化检测的质量可控性和运行安全性。

8 控制系统与软件平台要求

本章规定了中央主控与任务调度、人机交互与权限管理、仪器联动与通信接口、数据采集处理与存储、数据追溯与审计日志、异常报警与远程维护、校准与质量控制管理以及 LIMS 数据交互等 9 项功能要求。通信接口和通信协议的具体要求主要参考了 GB/T 38113 和 GB/T 39556 的技术规定。数据采集、留痕和归档

要求参考了 GB/T 27025 中关于记录和档案管理的规定。数据追溯与审计日志的防篡改要求，以及权限管理的分级设置，参考了 GB/T 40343《智能实验室 信息管理系统 功能要求》中关于功能模型、核心功能要求、通信功能要求和系统管理功能要求的相关规定。校准管理与质量控制的自动化功能要求，结合了重金属检测领域现行有效方法标准中的质控规则进行规定。

9 功能与性能要求

自动化功能要求系统根据预设流程自动完成样品识别、前处理、检测、结果计算和相关记录输出，支持自动校准、自动质控、自动复测和异常提醒等功能。检测能力要求涵盖铅、镉、锌、铜、铁、锰、镍、砷、硒、汞、铋、铊、铬、铝等典型重金属元素，上述元素的检测方法和性能指标分别依据现行有效的检测方法标准确定：电感耦合等离子体质谱法依据 HJ 700《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》；汞、砷、硒、铋、铊的测定依据 HJ 694《水质 汞、砷、硒、铋和铊的测定 原子荧光法》；铜、铅、镉、镍、铬的测定依据 HJ 1453《水质 铜、铅、镉、镍、铬的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》。

精密度、正确度和方法检出限的要求首先遵循各方法标准的相应规定，同时允许因自动化集成导致的性能变化通过方法验证进行确认。标准曲线与漂移要求按照各方法标准的校准程序予以设定。运行稳定性要求制造商在验收文件中明确定义故障率和人工干预可接受范围，连续运行能力要求系统支持自动补液和批量检测，数据有效性判别要求系统能够自动判定质控结果和触发相应处置，以上指标充分汲取了水质检测实验室自动化运行的工程实践经验。

10 检测流程要求

本章对样品接收与身份识别、样品保存与调度、样品前处理、自动进样与检测、质量控制样插入、结果计算与判定、异常结果复测以及原始记录与报告输出等 8 个关键环节进行了规定。样品前处理流程按照所执行方法标准和预设程序自动完成，关键参数要求自动记录，该规定参考了 GB/T 27025 中关于原始观测记录可追溯性的规定。质量控制样插入和异常结果复测流程的设计，参考了现行有效检测方法标准中对标准曲线核查、平行样测定和加标回收等质控活动的要求，以及 T/CSES 149《水质监测智能无人实验室建设与运行维护技术要求》中关于质量控制流程闭环管理的基本理念。

11 数据验证与方法等效性评估

本章明确了验证原则、样品要求、检出限验证、精密度验证、正确度验证、漂移验证、实际样品比对验证、验证结果判定和验证报告要求。验证原则要求在自动化集成改变了样品前处理、进样、检测节拍、数据处理或质量控制方式时开展方法验证和必要的等效性评估。各项验证项目的确定方法和接受准则主要参考了 HJ 168《环境监测分析方法标准制订技术导则》中关于方法验证和等效性评估的基本框架。样品要求规定验证样品包括实际样品、标准样品或有证标准物质并覆盖低、中、高浓度水平，实际样品比对时每类样品不宜少于 7 组配对数据，上述要求参考了 HJ 168 中对方法验证样品数量和浓度的建议。精密度验证通过重复测定或平行测定评估系统重复性和中间精密度；正确度验证通过标准样品、加标回收或参考方法比对加以验证；在统计学判定必要时可采用配对 t 检验进行等效性评价。

12 校准与质量控制要求

本章规定了空白检验、校准曲线建立、标准曲线中间点核查、平行样测定、质量控制样测定、基体加标回收、批接受准则与失控处置以及自动复测与人工复核规则。空白检验要求每批检测应设置空白样，空白超限时按预设规则处置，参考了 HJ 700 的质控规定。校准曲线建立要求曲线点数、浓度范围和相关系数满足方法要求。标准曲线中间点核查按方法要求或预设规则执行，参考了 HJ 694 和 HJ 1453 中对校准曲线核查的技术要求。基体加标回收试验按方法规定的频次执行。批接受准则与失控处置针对曲线不合格、空白超限和质控样不合格等情形制定处置程序，借鉴了 T/CSES 149 中关于质控失控判定与数据复测的管理要求。自动复测规则的配置和版本记录功能，参考了 GB/T 40343 中关于系统管理和可配置功能的要求。

13 验收

本章规定了总体要求、基本条件、硬件验收、软件验收、功能验收、方法学指标验收、系统稳定性验收和验收文件要求。硬件验收、软件验收和功能验收的检查方法主要参考了 GB/T 37140 《检验检测实验室技术要求验收规范》的基本框架。方法学指标验收涵盖了检出限、精密度、正确度、标准曲线和漂移等核心方法性能指标，各指标的测试方法和接受准则依据相应检测方法标准和 HJ 168 加以确定。稳定性验收要求在约定时间内连续运行，并考察故障频次、恢复能力和任务完成情况。验收文件要求至少包括技术文件、说明书、调试记录、校准记录、验证报告和验收报告，确保从设备出厂到安装验收各环节的技术文档完整可查。

五、与现行法律法规、强制性标准等上位标准关系

本标准根据国家现行法律法规和规范性文件制订，在编制过程中遵循规范性、科学性、适用性和协调性相结合的原则。文件在技术内容上，与《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国产品质量法》《中华人民共和国水污染防治法》《生态环境监测条例》等相关法律法规的要求保持一致。

本标准制定过程参考了 GB/T 9361《计算机场地安全要求》、GB 4793.1《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求》、GB/T 22239《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》、GB/T 27025《检测和校准实验室能力的通用要求》、GB/T 27476《（所有部分） 检测实验室安全》、GB/T 31190《实验室废弃化学品收集技术规范》、GB/T 37140《检验检测实验室技术要求验收规范》、GB/T 38113《分析仪器物联规范》、GB/T 39556《智能实验室 仪器设备 通信要求》、GB/T 40343《智能实验室 信息管理系统 功能要求》、HJ 168《环境监测分析方法标准制订技术导则》、SN/T 3509《实验室样品管理指南》等相关标准。在上述标准基础上，结合机器人自动化集成应用的特点，重点细化了系统总体架构、硬件模块构成、控制软件功能、检测流程与质量控制、方法等效性评估等内容，是对现行检测方法标准、安全标准和实验室管理规范的补充完善，未采用或引用国际标准。

六、标准有何先进性或特色性

目前国内外尚未制定专门针对重金属全自动分析机器人系统全过程质量控制的团体标准或行业标准。本标准首次系统规范了采用 ICP-MS、AAS、AFS 等技术与自动化机器人系统联用的水质重金属分析系统在设计集成、硬件配置、控制软件、检测流程、

校准质控、方法验证及验收等关键环节的技术要求。

本标准的特色在于：一是将自动开关盖、自动移液、自动稀释、调 pH、加热消解、过滤离心、定容转移等样品前处理全流程自动化纳入规范，建立了覆盖全链条的自动化操作体系；二是系统规范了清洗与防交叉污染、试剂与标准物质管理、废液分类处置及安全防护等配套保障要求；三是突出软件平台的数据采集、审计追溯、异常报警、LIMS 对接等信息化功能，为实验室数智化管理提供支撑；四是提出方法等效性评估路径和完整的质量指标体系，包括空白核查、平行样、质控样、加标回收及批接受准则等，填补了自动分析机器人系统全过程质量控制的技术标准空白，为重金属自动分析机器人的规范化生产、选型采购、运行维护和检测数据可靠性评价提供了系统性的技术依据，对提升水质重金属监测自动化水平、支撑生态环境监测数智化转型具有重要意义。

七、标准调研、研讨情况

标准编制工作组在起草过程中开展了系统深入的调研与研讨工作，先后走访了多家具备重金属全自动分析机器人研发和生产能力的企业、环境监测机构及相关水质检测实验室，实地考察系统集成、工艺流程、控制软件及现场运行现状，重点围绕样品前处理模块配置、自动化检测流程质控、防交叉污染设计、数据追溯及系统互操作性等内容进行了充分的技术交流与数据采集。在此基础上，工作组多次组织专家研讨会，邀请来自生态环境监测、水质检测、分析仪器制造及自动化工程等领域的专家参与，针对系统架构设计、硬件模块要求、软件验收指标、方法等效性验证等核心条款进行充分论证。同时，参照现行有效的方法标准

HJ 700、HJ 694、HJ 1453 及实验室安全标准等技术规范，对检出限、精密度、正确度、漂移等关键参数进行了反复研讨与验证。随后，面向行业广泛征求意见，收集并吸纳了来自系统制造商、用户单位及检验检测机构的反馈建议，进一步提升了本标准技术内容的科学性、适用性与可操作性。

八、涉及专利的有关说明

无。

九、标准发布、实施日期及实施建议

鉴于重金属全自动分析机器人在生态环境监测、水质检测、工业废水监控等领域的应用日益广泛，且当前行业内尚未制定该系统全过程质量控制的专项标准，建议本标准尽快发布实施。标准发布后，建议由归口单位会同生态环境监测机构、水质检测实验室、装备制造企业和第三方检验检测机构等，通过行业会议、技术交流、现场演示及专题培训等方式，系统开展标准宣贯与实施指导，推动相关单位完善系统设计、集成和运行管理体系，规范产品质量控制和检测数据管理流程，确保标准内容有效落地，促进重金属自动分析装备产业的高质量发展，为生态环境监测数智化转型和水环境安全保障提供有力支撑。