

肖作为, 王文娇, 刘佳, 等. 基于车载大型设备的水质移动监测车快速检测技术在突发性水质事件中的应用及展望[J]. 净水技术, 2024, 43(8): 175-180.

XIAO Z W, WAN W J, LIU J, et al. Application and prospect of rapid detection technology of water quality mobile monitoring vehicle based on large vehicle-mounted equipment in water quality emergencies [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(8): 175-180.

基于车载大型设备的水质移动监测车快速检测技术在突发性水质事件中的应用及展望

肖作为^{1,2,*}, 王文娇^{1,2}, 刘佳^{1,2}, 李悦^{1,2}, 王春^{1,2}

(1. 国家城市供水<排水>监测网深圳监测站, 广东深圳 518031; 2. 深圳市环境水务集团有限公司, 广东深圳 518031)

摘要 突发性水质事件具有不确定性、偶然性及危害性等特点, 高效、便捷、快速是处置突发性水质事件的主要原则。有效的快速检测技术可迅速判断污染物的种类、浓度及危害程度, 是提升突发性水质事件应急处置效率的关键环节之一。文章对基于车载大型设备的水质移动监测车快速检测技术进行介绍, 移动监测车机动性强、反应迅速, 通过搭载电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)、气相色谱质谱联用仪(GC-MS)等大型检测设备, 其具备多项痕量金属、有机物指标的快速检测与筛查能力, 能在突发性水质事件中提供强有力技术支持。随着在检测能力、检测模式、标准及资质评审等方面的提升, 未来基于车载大型设备的移动监测车将具有更多优势, 在突发性水质事件应急处置中发挥愈发重要的作用。

关键词 突发性水质事件 移动监测车 车载大型设备 快速检测 应急处置

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)08-0175-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.08.024

Application and Prospect of Rapid Detection Technology of Water Quality Mobile Monitoring Vehicle Based on Large Vehicle-Mounted Equipment in Water Quality Emergencies

XIAO Zuwei^{1,2,*}, WAN Wenjiao^{1,2}, LIU Jia^{1,2}, LI Yue^{1,2}, WANG Chun^{1,2}

(1. Shenzhen Monitoring Station of National Water Quality Monitoring Net for Water Supply and Drainage, Shenzhen 518031, China;

2. Shenzhen Environmental Water Group Co., Ltd., Shenzhen 518031, China)

Abstract Water quality emergencies are characterized by uncertainty, unpredictability, and harmfulness. Efficiency, convenience, and rapidity are the main principles for dealing with water quality emergencies. Effective rapid detection technology can quickly identify the type, concentration, and level of hazard of pollutants, making it a crucial component in improving the efficiency of emergency response to water quality emergencies. This paper introduces the rapid detection technology of water quality mobile monitoring vehicles based on large vehicle-mounted equipment. These mobile monitoring vehicles are highly mobile and responsive, and equipped with large-scale detection equipment such as inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). They possess the ability to rapidly detect and screen multiple trace metals and organic indices, providing strong technical support in water quality emergencies. With improvements in detection capabilities, detection modes, standards system, and qualification evaluation, mobile monitoring vehicles based on large vehicle-mounted equipment have more advantages in the future and play an increasingly important role in emergency response to water quality emergencies.

Keywords water quality emergencies mobile monitoring vehicles large vehicle-mounted equipment rapid detection emergency response

突发性水质事件一般指受人为或者自然因素影响, 水中污染物在短期内浓度迅速波动引起水质恶

化, 对居民健康和安全造成威胁或危害的水质安全事件。近年, 突发性水质事件频发, 如 2017 年山西新绛县粗苯罐车侧翻泄漏次生突发环境事件、2017 年和 2021 年嘉陵江铊浓度异常事件、2022 年锦江流域铊污染事件等突发性污染水质事件等, 严重影响

[收稿日期] 2024-05-15

[作者简介] 肖作为(1992—), 男, 硕士, 主要从事供排水水质监测管理相关工作, E-mail: 409968863@qq.com。

响居民生活与健康。

为高效、便捷、快速处置突发性水质事件,保障居民用水安全,污染物的种类、浓度及危害程度等信息需要在第一时间获取,为应急处置决策提供科学依据。因此,水质监测在突发性水质事件处置中十分重要,要求快速、准确、有效^[1]。但在当前应急处置中水质监测多采用现场检测少数项目,大多数项目采样带回实验室进行检测的模式,在时效上存在一定的滞后,无法满足第一时间对水质应急事件进行污染物定性的要求。因此,有效的快速检测技术是提升水质突发事件应急处置效率的关键环节之一,可为正确决策赢得宝贵时间,有效控制影响范围、缩短处理时间及减少事件损失。

水质应急快速检测目前常用的是使用比色法、分光法、电极法等小型便携式水质检测设备,能够满足一定的应急需求,但多存在监测指标少、检测灵敏度低、未知指标筛查能力较弱等限制^[2]。大型精密设备如电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)、气相色谱质谱联用仪(GC-MS)等,均能同时检测多项指标,检测灵敏度高,具备较强未知指标筛查能力,但对使用环境有较高要求,难以应用于现场检测。因此,在突发性水质事件快速、准确、有效的监测要求下,可集成ICP-MS、GC-MS等大型设备的水质移动监测车能快速抵达事件现场,发挥大型设备的检测优势,将成为突发性水质事件处置的重要技术手段^[3-4]。

1 移动监测车概述

移动实验室是满足特定目的和要求,由成套装置组成的,在可移动的设施和环境进行检测、校准或科学实验的实验室^[5]。按运载方式分类,常见的有自行式和方舱式两种实现方式^[6]。移动监测车是采用车载化设计自行式移动实验室,一般以大板方舱、商务车、客车等为载体,经过整车设计改造、仪器安装、系统联调等步骤改装而成。

为满足使用要求,移动监测车一般具有以下特点^[7]:(1)采用模块化设计,多种仪器集成应用,各模块可安装和拆卸,实现功能最大化、空间最小化;(2)车载设备耐冲击,具有良好的减震性和抗运输能力,恢复速度快;(3)具有完善的水路、电路、气路、通排风及温湿度控制系统,提供移动实验室级别的环境条件;(4)具备多功能上下车结构,可实现大型设备平战结合,提升设备使用范围。这些特点有效保障了移动监测车的功能性和稳定性,随着现场检测需求的增加,移动监测车已逐渐在我国卫生、质检、药监、环保等多项领域发挥重要作用^[8]。

以车载ICP-MS、GC-MS等大型精密检测设备为核心的水质移动监测车,其多项痕量金属、有机物指标的现场快速检测与筛查能力使检测效率得到有效提升,满足突发性水质事件应急监测需求。某品牌移动监测车结构如图1所示。

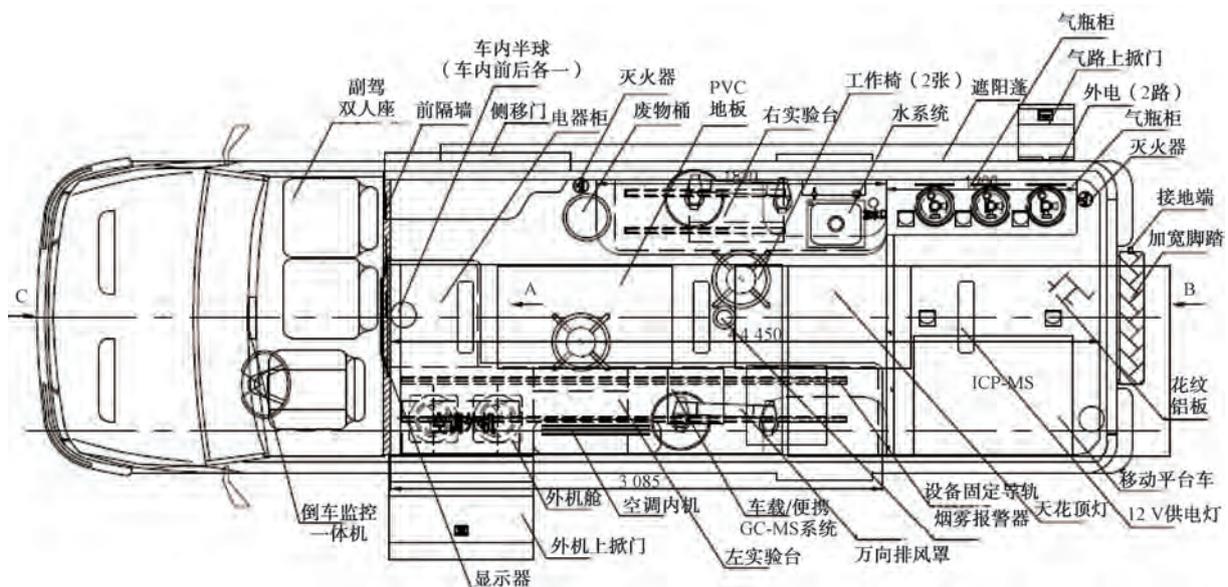


图1 移动监测车结构

Fig. 1 Structure of Mobile Monitoring Vehicles

2 水质移动监测车检测能力

以某品牌移动监测车为例,经车载改装,车内提供标准化的水、电、气、通排风、温湿度控制及试剂保存等系统,满足仪器工作的实验室要求,主要搭载的车载 ICP-MS 及 GC-MS 等大型精密设备采用专业设计,满足车载式大型设备标准要求,减震性、耐冲击、抗温湿度交变及抗运输能力强,配备可调式桌面仪器安全带,固定牢靠,保证车辆在行驶后,仪器仍处于正常状态。此外,仪器还定期接受专业计量检测,保障检测数据准确、可靠。水质移动监测车还可根据需要提供小型便携式设备,可在突发性水质事件中对包含金属、挥发性有机物等在内的多项指标开展应急快速检测。

2.1 金属

通过搭载 ICP-MS,水质移动监测车具备 20 余项金属指标检测能力,可同时对多项金属开展痕量分析,检出限低,如表 1 所示,满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)和《生活饮用水水质标准》

(DB 4403/T 60—2020)限值要求。车载 ICP-MS 在真空保持结构上经过特殊改造,可断电保持,抵达现场后,真空度可在仪器开启 15 min 内达到分析标准,样品最短可在 10 min 内完成检测,与固定 ICP-MS 一致。

表 1 水质移动监测车主要金属检测能力
Tab. 1 Main Metal Detection Capabilities of Water Quality Mobile Monitoring Vehicles

项目	内容
检测能力	铍、硼、铝、钒、铬、铁、锰、镍、钴、铜、锌、砷、硒、银、镉、铋、汞、铅、钼、铈
指标数量	21 项
检测设备	车载 ICP-MS
检出限	0.003~1.681 μg/L
检测用时	<10 min

2.2 挥发性有机物

通过搭载 GC-MS,移动监测车具备包含致嗅指标、消毒副产物、苯系物等在内的近 30 项挥发性有机物检测能力,如表 2 所示。

表 2 水质移动监测车挥发性有机物检测能力

Tab. 2 Volatile Organic Compounds Detection Capabilities of Water Quality Mobile Monitoring Vehicles

检测能力	指标数量/项	检测设备	检出限	检测用时/min
2-甲基异莰醇(2-MIB)和土臭素(GSM)	2	车载 GC-MS	2-MIB 为 3.88 ng/L GSM 为 3.57 ng/L	50
1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、反-1,2-二氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、三氯甲烷、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、四氯化碳、苯、三氯乙烯、甲苯、一溴二氯甲烷、一氯二溴甲烷、四氯乙烯、氯苯、乙苯、间 & 对-二甲苯、苯乙烯、邻-二甲苯、三溴甲烷、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、1,3,5-三氯苯、1,2,4-三氯苯、六氯丁二烯、1,2,3-三氯苯	26	车载 GC-MS	0.13~0.59 μg/L	25

2-MIB、GSM 是水体中存在的主要致嗅指标,在水中含量很低,但人的嗅觉对其极其敏感,嗅阈值在纳克级别,现场检测难度较大。水质移动监测车可在现场同时对 2-MIB 和 GSM 开展检测,样品经前处理(顶空-固相微萃取法)富集后,使用 GC-MS 检测,检测时间可控制在 50 min 内,检出限分别为 3.88 ng/L 和 3.57 ng/L,低于国标与地标 10 ng/L 的限值要求。

三卤甲烷等消毒副产物及苯系物具有致癌、生殖与发育毒性^[9-10],若饮用水中超标将对人体造成健康威胁。水质移动监测车可同时检测包含三卤甲烷、三氯甲烷、四氯化碳等消毒副产物及甲苯、乙苯、二甲苯等苯系物在内的 26 项挥发性有机物指标,样品经 GC-MS 自动富集后检测,检测时间可控制在

25 min 内,检出限在 0.13~0.59 μg/L,低于国标与地标的限值要求。

2.3 其他指标

除搭载大型设备外,水质移动监测车还可配备部分小型便携式设备,如 pH 计、余氯仪、浊度仪、综合生物毒性仪等,充实常规指标的检测能力,实现在应急事件中指标一站式快速检测。

3 水质移动监测车快速检测应用

基于车载大型设备的水质移动监测车具备机动性强、反应迅速、检测能力强等特点,能为突发性水质事件现场决策、应急处置及善后处理提供强有力技术支持,具有广阔的应用前景。

3.1 突发性水污染事件

在突发性水污染事件中,水质移动监测车可将大

型设备运至事件现场开展快速检测筛查,为应急决策及处置争取宝贵时间,还可根据溯源进展及时调整车辆位置跟踪监测,快速有效提供技术保障,弥补固定实验室在突发性水污染事件处置中的局限性。

以 2021 年嘉陵江流域铊污染事件为例,根据生态环境部通报,该事件影响四川省广元市西湾水厂水源地 235 h,西湾水厂承担广元市 70% 的供水任务,低压供水时长 442 h,受影响居民约 4.5 万人,取水口铊峰值质量浓度为 0.000 2 mg/L(超标 1 倍),而由于铊污染浓度相对常规金属较低,相关市县环境监测部门痕量重金属应急监测机动能力较弱,自接收预警到核实污染源耗时 10 h 以上,导致应急处置效率受到影响。

水质移动监测车车载 ICP-MS 对金属铊的检出限低至 0.000 003 mg/L,远低于国标 0.000 1 mg/L 的标准,完全满足检测要求。当地如果配备了搭载 ICP-MS 的移动监测车,便可第一时间至取水口开展快速检测,可节省大量应急初期核实污染源的时间,后续可驻扎开展连续监测,实时获取铊浓度变化数据,为应急决策提供技术支持。在广西某河段铊超标事件中,载有 ICP-MS 的移动监测车赶赴现场连续开展应急监测 10 d 以上,完成近 900 个地表水和饮用水样品的分析工作,车载设备全程零故障运行,有效完成现场监测任务^[11]。水质移动监测车在突发性水污染事件中能快速响应,有助于缩短事件处理时间、有效控制影响范围、减少事件损失,实现“早监测、早预警、早报告”的应急监测目标。

3.2 城市供水水质突变

供水水质突变是指供水水质在短时间内发生较

大变化,超过正常范围的突发性水质事件,除突发性水污染事件外,还可能由原水水质突变、水处理设备问题、管道维修或故障等因素引发,诱因较为复杂。

饮用水安全是居民生活的底线,当发生供水水质突变时,为保障居民饮水健康与安全,需第一时间启动应急响应,明确水质突变原因与突变指标,根据情况采取相应应急措施,直至供水水质恢复。在明确水质突变指标时,以实验室检测为主、现场检测为辅的水质应急监测模式在时效上存在滞后,尤其水质突变指标为致嗅指标、消毒副产物和痕量金属指标时,一般实验室还不具备检测能力,影响应急事件处置效率。

基于车载大型设备的移动监测车检测能力能满足大部分城市供水水质突变事件的指标应急检测要求,其机动性强的特点有助于移动监测车在各类应急事件中直达应急现场,开展快速检测,有效解决实验室检测可能导致的时效滞后问题,提升应急处置效率,保障饮用水供应安全。

嗅味异常是原水水质突变的常见类型。2023 年某南方城市一水库发生原水水质突变事件,2-MIB 浓度异常升高,最高质量浓度达 70 ng/L,远超 20 ng/L 内控预警值,对饮用水安全造成威胁,载有 GC-MS 的移动监测车第一时间赶往现场,对 2-MIB 及 GSM 开展持续 3 d 的应急快速检测,涵盖原水、出厂水、配合工艺调整实验等样品 40 余个,检测数据快速出具,为相关水厂优化工艺参数、恢复有效生产提供了数据支撑,实时数据与应急处置措施紧密联动,大大提升了应急处置效率,饮用水安全得到有力保障。水质移动监测车在部分城市供水水质突变事件中的应用如表 3 所示。

表 3 水质移动监测车在部分城市供水水质突变事件中的应用

Tab. 3 Application of Water Quality Mobile Monitoring Vehicles in Water Quality Emergencies of Urban Water Supply

水质事件	检测样品类型	水质移动监测车可检测指标	备注
暴雨导致原水水质变差	原水	包含铁、锰、铝在内的金属指标、致嗅指标 2-MIB、GSM	浑浊度、臭和味、肉眼可见物、pH、余氯
铁、锰升高导致管网“黄水”及用户投诉	原水 出厂水及管网水	包含铁、锰、铝在内的金属指标 包含铁、锰、铝在内的金属指标、挥发性有机物指标	(游离/总)、砷化物、氰化物、综合生物毒性等指标可根据情况携带便携式设备随车检测
藻类产生致嗅物,导致管网嗅味及用户投诉	原水、出厂及管网(龙头水)	致嗅指标 2-MIB、GSM	
铝升高	原水 出厂及管网(龙头水)	包含铁、锰、铝在内的金属指标 包含铁、锰、铝在内的金属指标,挥发性有机物指标	
急性中毒事件	管网、二次供水及龙头水	重金属指标	
用户蓝水投诉	管网、二次供水及龙头水	包含铜在内的金属指标	
用户腹泻投诉	管网、二次供水及龙头水	重金属指标	

4 展望

基于车载大型设备的水质移动监测车现阶段已在突发性水质事件中起到重要作用,但因发展时间较短,在检测能力拓展、检测模式丰富及标准及资质评审完善等方面存在较大提升空间。展望未来,随着相关技术的发展与完备,移动监测车将在突发性水质事件应急处置中发挥越来越大的作用。

4.1 丰富车载设备,拓展检测能力

不同于固定实验室,车载大型设备一般都需要经过一段路程赶到现场,并快速投入分析,需具备抗运输能力强、恢复速度快等特点,因车内空间限制,设备体积也应控制在一定范围内。因此,大型检测设备车载化时,研发设计需要投入更多的人力物力,导致车载化进度受到制约^[8],检测能力相比固定实验室有所短缺,在部分超出能力范围的突发性水质事件难以发挥有效作用。

近几年来因水质移动监测车普及率及使用率的上升,市场对各类指标移动检测需求上升,大型检测设备车载化进度正在加快,除 ICP-MS、GC-MS 外,液相色谱质谱联用检测仪(LC-MS)已初步实现车载化,可有效补充移动监测车在高沸点不易挥发、受热不稳定和分子量大等类别有机化合物指标的检测能力,如新污染物等。未来随着车载化设备的逐渐丰富,水质移动监测车应急快速检测能力将逐渐增强,进一步扩展在突发性水质事件中的适用范围。

4.2 丰富检测模式,推进智能转型

当前基于大型设备的移动监测车基本采用人工采样、离线监测模式,必须有专业人士值守,执行采样及检测操作,效率上不及在线监测。市面上已存在基于在线监测设备的移动监测车,多搭载基于电极法、分光光度法的常规车载设备,大型设备如 ICP-MS 也有全自动与在线化产品问世,但车载精密在线检测设备仍在技术攻关阶段,相关产品有待成熟。此外,其他先进监测及大数据人工智能等技术的快速发展,为移动监测车智能转型提供了更多可能的实现路径。

随着车载大型在线检测设备的面世,水质移动监测车可集成在线检测、精密检测与移动快速检测优势,结合目前正快速发展的智能化产业,实现痕量指标应急事件中的水样采样、预处理、分析、质控、实时数据传输和反馈等全流程自动化移动在线监测功

能^[11],减少人工参与检测时可能引起的误差。通过集成更多先进监测技术,如无人机监测、卫星遥感等,水质移动监测车可实现更广泛的监测范围和更高的监测精度。同时,通过应用大数据人工智能,应急数据分析、处理更加智能化与自动化,进一步提升突发性水质事件的处置效率。

4.3 健全标准体系,完善资质评审

自 2010 年起移动监测开启相关标准化建设,因发展时间较短,当前标准化建设尚未成熟,相关标准应用范围较窄、技术水平有待提升,且标准体系中缺乏关键技术标准,特别是计量与认证方面的相关标准^[12]。因此,移动实验室难以满足实验室认可和资质认定要求,导致移动监测出具的数据目前尚不具有法律效力,应用范围受到限制。

针对存在的问题,未来需要政府及各行业从业者共同努力,在科学规范和理论支撑下,研究透彻移动监测关键技术和技术标准,健全标准体系^[13],完善移动监测实验室认可和资质认定实施要求^[14]。在此基础上,移动监测出具数据将更准确可靠,且具有权威性与法律效力,在突发性水质事件中提供更强有力的技术支撑。

4.4 发挥移动优势,扩大社会影响

相比固定实验室,移动监测车机动灵活,检测时效性高,已开始应用于卫生、质检、药监、环保等领域监管和合规性检查中^[8]。同时移动监测车开展现场检测,过程公开透明,公信力高,可在环境教育和公众参与方面发挥积极作用,能提高公众对移动监测的认可度,扩大社会影响。随着移动监测车在政府监管和群众参与方面的影响力扩大,将有效推动相关标准化及实验室认可和资质认定工作进程,移动监测数据有望早日具备法律效力,进一步拓展移动监测车应用场景及领域。

5 结论

基于车载大型检测设备的水质移动监测车机动性强、反应迅速,具备多种金属和有机物指标的痕量快速检测能力,是固定实验室的重要延伸与补充,已在突发性水质事件现场决策、应急处置及善后处理提供强有力的技术支持,但因发展时间较短,其在检测能力、检测模式、标准及资质评审等方面仍存在较大提升空间,建议加快设备车载化进度拓展检测能力,结合在线、无人机、卫星等先进监测技术推进

检测模式智能化转型, 发挥移动快速检测优势扩大社会影响力, 加快标准体系健全及资质评审完善进程。

参考文献

- [1] 陈顺利. 浅析应急监测在突发性环境污染事故处理中的作用[J]. 科技风, 2018(7): 146-147.
CHEN S L. Analysis on the role of emergency monitoring in handling sudden environmental pollution accident [J]. Technology Wind, 2018(7): 146-147.
- [2] 李倩倩, 谢超, 唐海龙. 水体突发性环境污染事故应急监测技术研究[J]. 环境与发展, 2019, 31(1): 123-123, 125.
LI Q Q, XIE C, TANG H L. Research on emergency monitoring technology for sudden environmental pollution accidents in water bodies[J]. Environment and Development, 2019, 31(1): 123-123, 125.
- [3] 胡玲, 张黎, 李莉莉, 等. 车载型电感耦合等离子体质谱分析系统测定突发环境事件水质应急样品中 21 种元素[J]. 四川环境, 2021, 40(5): 228-234.
HU L, ZHANG L, LI L L, et al. Vehicle-mounted inductively coupled plasma mass spectrometry system for the determination of 21 elements in water samples of emergent environmental events [J]. Sichuan Environment, 2021, 40(5): 228-234.
- [4] 段炼, 邓嘉辉, 刘立鹏, 等. 固相微萃取-便携式气相色谱-串联质谱法现场测定水中的 2-甲基异茨醇和土臭素[J]. 分析化学, 2019, 47(4): 527-532.
DUAN L, DENG J H, LIU L P, et al. Determination of 2-methylisoborneol and geosmin in water using portable gas chromatography-tandem mass spectrometry coupled with solid phase micro-extraction in field[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2019, 47(4): 527-532.
- [5] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化管理委员会. 移动实验室 第 2 部分: 能力要求; GB/T 29479.2—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Mobile laboratory—Part 2: Competence requirements; GB/T 29479.2—2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [6] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化管理委员会. 移动实验室分类、代号及标记: GB/T 29473—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Classification, code and marking of mobile laboratory; GB/T 29473—2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [7] 邹爽, 汤杰, 崔海松, 等. 移动水质实验室的设计与实现[J]. 化学分析计量, 2018, 27(3): 104-107.
ZOU S, TANG J, CUI H S, et al. Design and implementation of mobile water quality laboratory [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2018, 27(3): 104-107.
- [8] 张永臣, 周彤. 移动实验室的发展现状及对策分析[J]. 中国检验检测, 2022, 30(1): 63-64, 67.
ZHANG Y C, ZHOU T. The development status and countermeasures of mobile laboratories [J]. China Inspection Body & Laboratory, 2022, 30(1): 63-64, 67.
- [9] 朱红霞, 薛荔栋, 刘进斌, 等. 含氯消毒副产物的种类、危害与地表水污染现状[J]. 环境科学研究, 2020, 33(7): 1640-1648.
ZHU H X, XUE L D, LIU J B, et al. Types, hazards and pollution status of chlorinated disinfection by-products in surface water[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(7): 1640-1648.
- [10] 郑师梅, 周启星, 杨凤霞, 等. 中国苯系物淡水水质基准推荐值的探讨[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(12): 1493-1508.
ZHENG S M, ZHOU Q X, YANG F X, et al. Discussion on the recommended value of the water quality of Chinese benzene system [J]. Scientia Sinica (Terrae), 2017, 47(12): 1493-1508.
- [11] 苏荣, 张志朋, 欧小辉, 等. 基于电感耦合等离子体质谱仪技术的移动实验室的现状和展望[J]. 广东化工, 2022, 49(22): 92-94.
SU R, ZHANG Z P, OU X H, et al. Current situation and prospect of mobile laboratory based on inductively coupled plasma mass spectrometer technology [J]. Guangdong Chemical Industry, 2022, 49(22): 92-94.
- [12] 王娜, 洪爱珠, 李绍连, 等. 移动实验室关键技术和技术标准研究[J]. 中国检验检测, 2021, 29(1): 55-58.
WANG N, HONG A Z, LI S L, et al. Research on key technologies and technical standards of mobile laboratories [J]. China Inspection Body & Laboratory, 2017, 29(1): 1493-1508.
- [13] 丛东日, 崔晗, 胡海松, 等. 移动实验室标准化现状分析及优化策略研究[J]. 大众标准化, 2022(22): 4-6.
CONG D R, CUI H, HU H S, et al. The current status and optimization strategies of mobile laboratories [J]. Popular Standardization, 2022(22): 4-6.
- [14] 洪爱珠, 郭云峰, 李绍连, 等. 移动实验室认可和资质认定的初步研究[J]. 中国检验检测, 2020, 28(5): 82-84.
HONG A Z, GUO Y F, LI S L, et al. Preliminary research on the accreditation and qualification certification of mobile laboratories [J]. China Inspection Body & Laboratory, 2020, 28(5): 82-84.