全钒液流电池用电解液化学分析方法

第 6 部分：杂质元素含量的测定

电感耦合等离子体原子发射光谱法

编制说明

（预审稿）

主编单位：大连融科储能集团股份有限公司

2026 年 10 月

目　录

一、工作简况 1
1.1 任务来源 1
1.2 项目背景 1
1.3 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作 2
1.3.1 主要参加单位工作介绍 2
1.3.2 主要工作成员工作介绍 4
1.4 主要工作过程 4
1.4.1 预研阶段 4
1.4.2 立项阶段 5
1.4.3 起草阶段 5
二、标准编制原则 6
2.1 符合性 6
2.2 适用性和先进性 6
三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析 7
3.1 杂质元素检测范围 7
3.2 仪器工作参数 7
3.3 谱线选择（2-3 条谱线） 7
3.4 测定介质的选择 8
3.5 工作曲线 9
3.6 基体干扰试验 9
3.7 检出限及定量限 11
3.8 精密度试验 12
3.8 正确度试验 18
四、 标准中涉及的专利情况 19
五、 准预期达到的社会经济效益等情况 19
5.1 项目的必要性简述 19
5.2 标准预期作用 20
5.3 标准预期效益 20
六、 采用国际标准和国外先进标准的情况 21
七、 与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况 21
八、 重大分歧意见的处理经过和依据 21
九、 标准作为强制性或推荐性标准的建议 21
十、 贯彻标准的要求和措施建议 21
十一、 废止现行有关标准的建议 21
十二、 其他应予说明的事项 21

全钒液流电池用电解液化学分析方法
第 6 部分：杂质元素含量的测定
电感耦合等离子体原子发射光谱法
编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

根据 2026 年 4 月 23 日工业和信息化部发布的《工业和信息化部办公厅印发 2026 年第二批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2026〕192 号）的要求，有色金属行业标准《全钒液流电池用电解液化学分析方法　第 6 部分：杂质元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法》由全国有色金属标准化技术委员会负责归口，由大连融科储能集团股份有限公司负责起草，该项目计划编号为 2026-0231T-YS，项目周期为 12 个月，完成年限为 2027 年 4 月。

1.2 项目背景

全钒液流电池（VRFB）是一种基于钒离子氧化还原反应的长时储能技术，具有循环寿命长、安全性高、容量可灵活扩展等优势，在可再生能源并网、电网调峰调频、工商业储能等领域展现出广阔的应用前景。近年来，随着全球能源转型加速，全钒液流电池装机需求快速增长。2023年底全球全钒液流电池累计装机约1.2 GW～1.5 GW，国内市场占比超70%；2025年末国内实际累计装机功率贴近此前2.3 GW的预判值，大型储能电站集中投产；行业预测2026年国内新增装机功率区间为2～3 GW，伴随风光发电占比持续抬升，全钒液流电池市场需求将迎来高速增长。

全钒液流电池作为长时储能的关键技术，其性能高度依赖电解液的化学稳定性与纯度。目前，行业缺乏统一的电解液化学分析方法标准，导致不同厂商在钒价态分析、杂质检测等方面存在方法差异，影响产品质量评估和产业链协同。随着中国"十四五"新型储能政策的推进及全球全钒液流电池装机量的快速增长，制定规范的电解液化学分析方法标准显得尤为迫切。

在全钒氧化还原液流电池体系中，钒电解液既是能量转换介质更是能量储存的载体，是电池的核心组成之一，被称为电池的血液。全钒液流电池电化学性能与钒电解液组分高度相关。全钒液流电池用电解液是以偏钒酸铵为原料，利用其受热分解内生还原物质诱导发生二次反应，生产高纯度、易溶解的四氧化二钒粉体；使用硫酸溶解四氧化二钒生产钒电解液产品，实现高纯度钒电解液的产业化生产。而杂质元素是电解液质量波动的核心诱因，例如电解液中的铁、铜、铅、铬、锰、镍等会引发自放电、催化析氢析氧副反应，沉积污染电极并堵塞隔膜；钠、钾、钙、镁、铝等金属杂质易跨膜穿梭增大电池内阻，低温下形成硫酸盐结晶堵塞管路隔膜，同时破坏钒离子稳定平衡。各类金属杂质共同造成电池容量衰减、

能量效率降低、电解液劣化，大幅缩短全钒液流电池循环使用寿命。基于相关的研究结果，GB/T 37204-2018《全钒液流电池用电解液》给出了金属杂质元素含量标准。标准通过精准管控杂质含量，可提高电解液产品一致性合格率，标准提升产品质量稳定性，降低全生命周期成本。根据钒电解液产品标准范围且为了覆盖钒电解液生产、储存、循环使用全过程杂质波动水平，本标准中规定钾、钠、铁元素测定范围为2.5 mg/L～200.0 mg/L；铝、钙、镁、镍元素测定范围为1.0 mg/L～100.0 mg/L；钼、铬、锰、铜、钴、锌、硅、钛等元素测定范围控制在0.5 mg/L～30.0 mg/L，铅元素测定范围控制在2.5 mg/L～30.0 mg/L。该检测区间可满足多场景杂质定量检测需求。

1.3 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

1.3.1 主要参加单位工作介绍

本文件的起草单位有：大连融科储能集团股份有限公司、西安汉唐分析检测有限公司、广东省科学院工业分析检测中心、攀钢集团研究院有限公司、国合通用（青岛）测试评价有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、四川钒融储能科技有限公司。

本标准主编单位大连融科储能集团股份有限公司是全球领先的全钒液流电池储能系统服务商，致力于高效、绿色的大规模储能解决方案，实现从材料到终端产品，到解决方案的全产业链布局，构建全球高性能钒制品、钒电解液领域的领军企业。主要致力于高性能钒系列产品的研发和生产，产品包括钒氧化物、钒酸盐、硫酸氧钒晶体、钒电解液等。拥有自主的生产技术和雄厚的研发能力，承担国家重点研发计划项目，荣获多项国家级、省级科学技术奖；具有先进的检测设施和检测技术；制定了多项国家及行业高端钒产品标准，拥有一百余项钒产品相关专利。是全球第一家大规模工业化生产钒电解液的企业，是国内第一家大规模工业化生产高性能钒制品的企业。

西安汉唐分析检测有限公司是西北有色金属研究院控股子公司，成立于 2018 年，是专业从事金属材料测试评价技术服务的第三方独立法人机构，是国家专精特新“小巨人”企业、国家高新技术企业、国家知识产权优势企业、科技中小型企业、陕西省专精特新企业、西安市军民融合企业。公司认证、认可资质齐全，是国家新材料测试评价平台西安区域中心、国家产业技术基础公共服务平台、国家服务型制造示范平台、国家工信部授权的“工业（稀有金属）产品质量控制和技术评价实验室”“中国有色金属工业西北质量监督检验中心”。

广东省科学院工业分析检测中心是我国南方从事金属材料、冶金产品、化工产品、再生资源质量检测、欧盟环保（RoHS）指令的有害物质检测、金属材料综合利用检测与咨询、评价以及分析测试技术研究的专业机构。广东省科学院工业分析检测中心是以有色金属和再生资源检测为基础，以绿色建材、新能源电池、电气元器件 EMC 和安规、产品认证为特色领域的集检验检测、标准制修订、计量、认证、科研及公共技术评价为一体的综合性服务机构。近十年来获得省部级科技进步奖 20 项。累计申请专利

15 件，其中授权发明专利 5 件、授权实用新型专利 2 件。承担国家、省级各类项目 50 余项，主持和参与国家、行业标准 300 余项，发表专著 5 部，发表论文 300 余篇。

攀钢集团研究院有限公司，其前身是 1964 年国家经委批准在辽宁鞍山建立的鞍山钢铁研究院，同年迁四川西昌，更名为冶金工业部攀枝花钢铁研究院，1972 年迁建攀枝花，更名为冶金工业部攀枝花钢铁研究院；1983 年与攀钢集团组成生产科研联合体；2000 年，作为国家 242 家科研院所之一，转制为攀钢集团攀枝花钢铁研究院；2007 年，注册成立研究院；鞍攀重组后，2013 年成立钒钛院。2000 年完成科研机构转制，2021 年，钒钛资源综合利用国家重点实验室、钒钛院、研究院实现一体化运行，是实施公司制市场化的科技型企业。

国合通用（青岛）测试评价有限公司是具有独立法人实体的权威第三方检测机构，运营着国家新材料测试评价平台-主中心青岛实验室，为各行业提供一站式测试评价服务。国合青岛具有 CMA、CNAS、NADCAP、AECC、ASP、CCS、ALAC 等资质，通过了 GJB 9001C、ISO 9001、ISO 14001、ISO 45001 等体系认证，服务范围涵盖金属材料、复合材料等的化学成分分析、力学性能测试、组织结构分析、无损探伤检测、失效分析、配套的机械加工和润滑油的测试评价。公司自成立以来积极推进科技创新，截至目前先后参与标准制修订项目 185 项，已获授权发明专利 6 项，实用新型专利 37 项，软件著作权 12 项，发表论文 34 篇。

有研资源环境技术研究院（北京）有限公司是中国有研科技集团有限公司的全资子公司，由中国有研原下属二级单位稀有金属冶金材料研究所、生物冶金国家工程实验室整体剥离组建。2019 年 6 月注册成立。公司全面承继并提升了有研集团在有色金属选冶、功能新材料、生态环保领域和资源开发领域的科技创新能力。现拥有“高品质有色金属绿色特种冶金国家工程研究中心”、“战略性有色金属绿色制造技术北京市工程研究中心”2 个研究平台。是国家高新技术企业、专精特新“小巨人”企业、中核集团合格供应商。

四川钒融储能科技有限公司成立于 2022 年，坐落于四川省攀枝花市仁和区攀枝花钒钛产业园区。钒融科技由攀钢集团钒钛资源股份有限公司与大连融科储能集团股份有限公司合资成立。钒融科技充分融合了攀钢钒钛和大连融科的资源优势和技术优势。钒融科技顺应“碳达峰”“碳中和”的发展趋势，立足重要的战略新兴产业大规模储能系统核心功能材料供应市场，主要从事全钒液流电池电解液生产工艺技术研发、加工生产、市场销售等。

其中大连融科储能集团股份有限公司作为主编单位，主要负责试验方案制定，试验样品制备和分发，试验研究和数据分析统计，完成了标准文稿、研究报告和编制说明的撰写等工作；西安汉唐分析检测有限公司、广东省科学院工业分析检测中心为一验单位，主要负责对试验方案中的条件实验进行验证，提供精密度和准确度测试数据，并对标准文本提出修改意见和建议；攀钢集团研究院有限公司、国合通用（青岛）测试评价有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、四川钒融储能科技有限公司

为二验单位，主要负责提供精密度试验数据，并对标准文本提出修改意见和建议。

1.3.2 主要工作成员工作介绍

本标准主要起草人及其工作职责见表 1：

表 1 主要起草人及其工作职责

序号	起草人员姓名	工作职责
1		标准工作的整体协调和推进、前期调研、申报、试验方案制定、试验样品收集和分发，分析方法研究，试验结果处理，标准文本和编制说明撰写。
2		标准中相关内容技术把关。
3		承担一验的主要工作，包括对试验条件、试验步骤、试剂材料等的验证，并进行试验样品精密度试验并提供精密度数据，对标准文本、编制说明提出修改意见。
4		承担二验的主要工作，进行试验样品精密度试验并提供精密度数据，对标准文本、编制说明提出修改意见。

1.4 主要工作过程

1.4.1 预研阶段

2023 年 9 月，为精准对接全钒液流电池产业标准化发展需求，解决钒电解液杂质元素检测无统一规范的问题，主编单位大连融科储能集团股份有限公司开展了全面、系统的前期调研工作。一方面，面向国内钒电解液生产企业及应用客户，深度了解全钒液流电池用电解液在生产质控、成品检验、工程应用场景中的现有检测要求与未来发展预期。另一方面，针对电解液中杂质元素含量检测技术，对行业内多家专业检测实验室开展专项调研，梳理现有检测手段及行业技术瓶颈。基于行业现状，结合国内钒电解液产业规模化、规范化发展趋势，主编单位完成了本标准项目建议书、标准初始草案及立项报告的编制工作，为标准顺利立项和后续起草工作开展提供了有效支撑与技术依据。

1.4.2 立项阶段

2025 年 12 月 26 日，大连融科储能集团股份有限公司向全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提交了《全钒液流电池用电解液化学分析方法　第 6 部分：杂质元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法》标准项目建议书、标准草案和预研报告等材料，经全体委员论证同意立项。由秘书处组织全体委员网络投票，转报工信部并挂网向社会公开征求意见。

2026 年 4 月 23 日，工业和信息化部发布了《工业和信息化部办公厅印发 2026 年第二批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2026〕192 号），正式下达该标准的制订任务，标准名称为《全钒液流电池用电解液化学分析方法　第 6 部分：杂质元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发

射光谱法》，项目计划编号为 2026-0231T-YS，项目周期为 12 个月，完成年限为 2027 年 4 月，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

1.4.3 起草阶段

（1）任务落实

2026 年 5 月 18 日，全国有色金属标准化技术委员会稀有金属分标委发布了《全钒液流电池用电解液化学分析方法　第 6 部分：杂质元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法》项目任务落实通知。大连融科储能集团股份有限公司按要求开展工作，由西安汉唐分析检测有限公司、广东省科学院工业分析检测中心、攀钢集团研究院有限公司、国合通用（青岛）测试评价有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、四川钒融储能科技有限公司 6 家单位协助起草；明确了所采用的分析方法及其测定范围；同时确定了样品制备单位、进度安排等事项。

（2）样品收集及试验研究

2026 年 3 月~4 月，主起草单位根据市场上钒电解液产品的生产和应用情况，开展试验样品的成分设计和制备，充分考虑到试验样品的代表性，共设计了 4 种不同杂质元素含量水平的钒电解液，由于电解液中杂质元素种类繁多，不同杂质元素的含量管控区间差异较大，难以直接选取含量呈梯度分布的代表性样品。为此，选取低浓度 2#样品作为基体，通过向其中分别定量添加单元素标准工作溶液，配制出 3#、4#高浓度梯度样品。各试样中对应元素的浓度水平详见表 2。确认与产品标准中元素范围匹配，与现行标准一致。

表 2 本标准试验样品的基本信息

元素	1#浓度 mg/L	2#浓度 mg/L	3#浓度 mg/L	4#浓度 mg/L
钾、钠、铁	1～5	5～15	50～70	200～250
铝、钙、镁、镍	0.5～5	4～7	30～40	100～110
钼、铬、锰、铜、钴、锌、硅、钛、铅	0.5～3	2～5	7～12	15～33

2026 年 5 月~2026 年 6 月，主起草单位开展大量试验研究工作，形成方法研究报告以及标准文本和编制说明的讨论稿。试验内容主要包含酸度、工作曲线、检出限、基体干扰等影响因素讨论，以及方法相关精密度和准确度验证。

（3）标准讨论会

2026 年 7 月 24 日，起草单位和各验证单位参加全国稀有金属标准化技术委员会在张家口召开的行业标准《全钒液流电池用电解液化学分析方法　第 6 部分：杂质元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法》的讨论会。会上西安汉唐分析检测有限公司、成都先进金属材料产业技术研究院股份有限公司、国合通用（青岛）测试评价有限公司、国标（北京）检验检验认证有限公司等单位的三十余位专

家代表对标准讨论稿进行了细致认真的讨论并提出了修改意见和建议。

（4）实验验证

2026年8月，主起草单位将试验样品、标准文本和研究报告寄给第一验证单位广东省科学院工业分析检测中心和西安汉唐分析检测有限公司，由一验单位对条件试验、精密度、准确度进行验证。

2026年9月，主起草单位将试验样品、优化后的标准文本和研究报告分别寄给第二验证单位，由二验单位对精密度试验进行验证。

二、标准编制原则

2.1 符合性

本文件严格按照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》、GB/T 20001.4-2015《标准编写规则　第4部分：试验方法标准》、GB/T 6379.2-2004《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）　第2部分：确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法》的要求进行编制。

2.2 适用性和先进性

依据钒电解液产品标准GB/T 37204-2018《全钒液流电池用电解液》的要求并结合钒电解液生产和使用的实际需求，确定测定方法和测定范围，提高了本标准适用性，本文件涉及的内容，技术水平不低于当前国内先进水平，方法快速、准确，具有先进性、可操作性和广泛的适用性。

三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

3.1 杂质元素检测范围

确定本标准中杂质元素含量测定范围时，参考产品标准GB/T 37204－2018《全钒液流电池用电解液》和钒电解液市场客户使用需求与工业化实际应用情况，并结合仪器检出限，最终确定本标准中杂质元素含量测定范围，产品中杂质元素要求范围见表3，测定范围详见3.5。

表3 产品中杂质元素要求范围

元素	钾	钠	铁	铝	钙	镁	镍	钼
含量(mg/L)	100/200	80/200	50/200	50/100	30/70	30/50	20/60	20/30
元素	铬	锰	铜	钴	锌	钛	铅	硅
含量(mg/L)	15/30	5/30	1/5	2/20	5/10	10/20	5/5	10/10

3.2 仪器工作参数

大连融科储能集团股份有限公司使用仪器品牌为赛默飞，仪器主体型号为 i CAP PRO（XP Duo），推荐仪器工作参数见表 4。由于不同厂家、不同型号的设备仪器最优工作参数不一致，试验时各单位将设备参数调整至最优状态即可，不要求必须使用推荐的仪器工作参数。

表 4　推荐仪器工作参数

RF 功率 W	雾化气流量 L/min	辅助气流 L/min	等离子气流量 L/min	进液泵 rpm	观测高度 mm	一次读数时间 s	提升延迟 s
1150	0.5	1.5	12.5	45	10	10	50

3.3 谱线选择（2-3 条谱线）

需适当说明元素谱线选择原因。或添加图解释（2-3 条谱线）

表 5 各元素推荐分析谱线

元素	波长 nm	元素	波长 nm
钾	766.490	铬	206.157
钠	589.592	锰	257.610
铁	239.562	铜	324.754
铝	396.152	钴	230.786
钙	396.847	锌	202.548
镁	279.553	铅	182.205
镍	231.604	钛	334.941
钼	202.030	硅	251.611

3.4 测定介质的选择

介质酸的酸度会影响元素测试的强度，分别使用 2%盐酸、2%硝酸配制的工作曲线中最大的标准溶液点。分别测定 1.2μg/mL 钼、铬、锰、铜、钴、锌、钛、铅混合溶液（MI）、硅溶液（MII）和 5μg/mL 钙、镁、镍混合溶液和 10μg/mL 钾、钠、铁、铝混合溶液，记录不同酸度下各元素的强度值，结果见表 6。试验结果表明，2%酸度条件下，盐酸（1+4）与硝酸（1+4）两种酸介质，对各待测元素的测定结果均无明显影响。

表 6 酸的选择

元素	检测强度（2% 盐酸） cps		检测强度（2% 硝酸） cps	
K	1129.96	1138.01	1127.68	1144.29
Na	4898.25	4950.02	4968.65	4954.91
Fe	2838.92	2866.37	2811.34	2858.79
Al	21751.01	21258.33	21099.39	21238.32
Ca	101783.00	108288.74	106879.14	107763.33
Mg	78498.07	83314.16	83080.09	83100.47

Ni	3588.28	3793.84	3766.08	3719.52
Mo	861.67	866.06	831.44	862.58
Cr	709.71	705.52	684.39	698.57
Mn	3078.43	3068.98	2966.33	3026.77
Cu	5188.42	5165.35	5058.60	5159.95
Co	153.63	153.40	147.81	151.01
Zn	571.82	574.79	552.54	562.73
Si	49.71	49.04	47.69	48.19
Ti	1672.82	1660.50	1609.46	1642.85
Pb	919.42	913.04	883.04	902.52

钒电解液本身具有一定的酸度，为统一样品酸度，采用较低杂质浓度样品（2#样品）和最高杂质浓度样品（4#样品）加入待选择介质定容，进行介质的选择试验，考察不同介质溶液对各待测元素检测结果的影响，结果见表 7。试验结果表明，2%盐酸与 2%硝酸两种定容介质对各待测元素测定结果均无明显影响，检测结果一致性良好。本文件推荐采用硝酸。

表 7 定容介质选择

元素名称	2#				4#			
	2%盐酸 mg/L		2%硝酸 mg/L		2%盐酸 mg/L		2%硝酸 mg/L	
K	13.91	13.70	13.09	13.89	227.42	227.71	221.89	220.92
Na	7.87	7.98	7.86	7.83	216.38	221.03	220.47	215.87
Fe	9.16	9.12	9.10	9.12	195.89	197.08	197.93	198.43
Al	6.25	6.11	6.16	6.11	109.2	111.44	108.34	110.21
Ca	4.90	4.89	4.84	4.89	99.92	100.46	101.49	101.26
Mg	5.26	5.31	5.29	5.26	90.91	92.48	91.86	90.97
Ni	5.33	5.38	5.11	5.13	94.24	94.86	95.98	93.52
Mo	1.82	1.78	1.71	1.72	29.23	29.65	29.06	29.27
Cr	5.50	5.42	5.25	5.26	31.28	31.32	31.43	31.45
Mn	2.10	2.09	2.07	2.05	26.77	26.94	27.09	27.15
Cu	1.28	1.13	1.20	1.22	32.45	32.97	32.4	32.74
Co	2.09	2.08	2.06	2.09	26.97	26.8	26.38	26.38
Zn	2.13	2.10	2.00	2.01	26.25	26.51	26.55	26.79
Ti	2.57	2.54	2.44	2.49	28.64	28.61	28.02	28.07
Pb	2.55	2.59	2.55	2.58	17.42	17.88	17.56	17.24
Si	5.84	5.85	5.81	5.87	23.29	23.4	23.46	23.23

3.5 工作曲线

按试验方法配制标准工作曲线溶液，记录工作曲线线性相关系数，结果见表 8。试验结果表明，各元素在规定浓度范围内线性相关系数均大于 0.999，线性良好，符合测试要求。

表 8 工作曲线

系列	元素	浓度 mg/L							线性相关系数/R
		空白	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	STD6	
I	K	0	-	0.1	0.5	1.2	5	10	0.9999
	Na	0	-	0.1	0.5	1.2	5	10	1.0000
	Fe	0	-	0.1	0.5	1.2	5	10	1.0000
	Al	0	-	0.1	0.5	1.2	5	-	1.0000
	Ca	0	-	0.1	0.5	1.2	5	-	1.0000
	Mg	0	-	0.1	0.5	1.2	5	-	1.0000
	Ni	0	-	0.1	0.5	1.2	5	-	1.0000
	Mo	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000
	Cr	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000
	Mn	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000
	Cu	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000
	Co	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000
	Zn	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000
	Ti	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000
	Pb	0	-	0.1	0.5	1.2	-	-	0.9999
II	Si	0	0.02	0.1	0.5	1.2	-	-	1.0000

3.6 基体干扰试验

由于无法获得杂质水平远低于预期检出限的电解液基体空白样品，自行配制批次稳定性差。本方法采用高纯五氧化二钒固体作为基体替代空白，$\omega_V \geq 99.95\%$，$\omega_X \leq 0.005\%$，X 代表待测元素。

为考察钒基体对杂质元素检测的干扰效应，以未加基体的系列标准溶液制作工作曲线，以加入高纯五氧化二钒基体（称取 0.6 g 定容至 100 mL 容量瓶内）的最低和最高水平浓度的标准溶液（标准溶液浓度参照表 8），分别进行测试，计算回收率。结果见表 9。试验数据表明，钒基体对铁、镁、镍、钼、铬、锰、铜、钴、锌、钛、铅、硅多种元素的含量检测均有干扰。

以含钒基体的系列标准溶液制作工作曲线计算回收率，试验数据显示，除了钾、钠元素收率波动略大外，其他元素的检测结果回收率均较好，最低点浓度的检测结果收率基本在 90%~110%，最高点浓度各元素收率基本在 95%~105% ，试验采用基体匹配方式。

表 9 基体干扰试验

元素名称	最低点浓度 mg/L	硝酸标准曲线		五氧标准曲线		最高点浓度 mg/L	硝酸标准曲线		五氧标准曲线	
		检测结果 mg/L	回收率 %	检测结果 mg/L	回收率 %		检测结果 mg/L	回收率 %	检测结果 mg/L	回收率 %
K	0.1	0.132	132.10	0.091	91.19	10	10.259	102.59	10.875	108.75
		0.087	86.85	0.087	87.21		10.584	105.84	10.672	106.72
		0.087	87.34	0.091	91.13		10.648	106.48	10.430	104.30
Na	0.1	0.147	146.99	0.088	88.47	10	10.200	102.00	11.018	110.18
		0.087	87.25	0.088	87.73		10.529	105.29	10.854	108.54
		0.080	80.04	0.105	105.02		10.581	105.81	10.610	106.10

Fe	0.1	0.092	92.27	0.097	96.79	10	8.685	86.85	10.456	104.56
		0.089	88.68	0.091	90.86		8.828	88.28	10.262	102.62
		0.090	89.60	0.097	97.35		8.900	89.00	10.173	101.73
Al	0.1	0.257	256.88	0.095	94.55	10	10.445	104.45	10.105	101.05
		0.109	109.15	0.101	101.07		10.989	109.89	9.968	99.68
		0.103	103.39	0.094	94.34		10.558	105.58	9.702	97.02
Ca	0.1	0.142	141.93	0.099	98.63	5	4.854	97.07	5.055	101.11
		0.096	96.45	0.097	97.45		4.632	92.63	4.920	98.41
		0.097	97.12	0.100	100.13		4.734	94.68	4.952	99.03
Mg	0.02	0.019	94.94	0.023	113.50	5	4.521	90.43	4.936	98.72
		0.016	81.97	0.018	89.20		4.397	87.94	4.797	95.93
		0.018	87.90	0.019	95.50		4.466	89.33	4.838	96.77
Ni	0.02	0.020	99.36	0.019	93.82	5	4.532	90.65	5.094	101.88
		0.016	78.93	0.019	95.80		4.357	87.14	5.114	102.28
		0.018	92.33	0.019	96.79		4.460	89.21	5.078	101.55
Mo	0.02	0.017	85.30	0.021	107.45	1.2	1.098	91.46	1.213	101.09
		0.014	71.32	0.021	103.66		1.067	88.95	1.173	97.77
		0.017	85.67	0.019	92.63		1.077	89.77	1.203	100.27
Cr	0.02	0.021	105.89	0.020	101.41	1.2	1.107	92.27	1.197	99.77
		0.018	88.38	0.020	101.64		1.089	90.74	1.170	97.50
		0.020	97.57	0.021	102.90		1.074	89.49	1.187	98.95
Mn	0.02	0.017	86.27	0.019	96.61	1.2	1.027	85.57	1.210	100.85
		0.015	76.20	0.016	80.02		1.031	85.89	1.190	99.14
		0.017	84.61	0.018	91.50		1.019	84.90	1.189	99.05
Cu	0.02	0.022	108.61	0.018	90.76	1.2	1.372	114.36	1.189	99.07
		0.020	101.14	0.018	89.17		1.347	112.27	1.160	96.64
		0.022	111.52	0.019	95.62		1.338	111.50	1.179	98.23
Co	0.02	0.019	95.90	0.019	95.44	1.2	1.000	83.29	1.204	100.36
		0.019	92.52	0.021	106.65		1.016	84.67	1.183	98.58
		0.022	107.82	0.020	101.40		0.989	82.43	1.180	98.30
Zn	0.02	0.018	90.17	0.020	99.37	1.2	0.977	81.40	1.190	99.14
		0.024	118.38	0.018	89.20		0.993	82.77	1.168	97.31
		0.016	78.08	0.016	81.70		0.965	80.38	1.167	97.27
Ti	0.02	0.018	89.64	0.019	95.59	1.2	1.060	88.35	1.224	101.98
		0.015	73.75	0.022	108.12		1.066	88.80	1.218	101.52
		0.018	87.63	0.021	104.85		1.068	88.97	1.211	100.94
Pb	0.1	0.086	86.30	0.083	82.56	1.2	1.151	95.91	1.189	99.08
		0.101	101.04	0.090	90.06		1.120	93.36	1.165	97.12
		0.100	99.80	0.101	101.39		1.125	93.71	1.186	98.84
Si	0.02	0.023	113.40	0.022	109.70	1.2	1.146	95.51	1.171	97.55
		0.021	105.78	0.021	105.75		1.153	96.12	1.185	98.78
		0.017	87.38	0.022	110.15		1.129	94.11	1.189	99.07

3.7 检出限及定量限

按试验方法称取 0.6 g 高纯五氧化二钒溶解后定容至 100 mL 容量瓶内，此时样品中钒含量与钒电解液样品（取 2 mL 定容至 50 mL 容量瓶，溶液稀释 25 倍）中钒含量相当。根据 11 次基体空白测试计算结果（即上述溶液值测结果×稀释倍数），根据强度计算仪器检出限及仪器定量限（仪器检出限以 3×标准偏差/曲线斜率计、仪器定量限以 10×标准偏差/曲线斜率计）。测试结果见表 10。

表 10 方法检出限及定量限

元素	检测强度 cps											标准偏差 cps	曲线斜率	检出限 mg/L	定量限 mg/L
K	5.20	4.14	4.58	4.52	7.59	5.75	5.31	6.34	4.49	5.68	5.52	0.9910	114.871	0.65	2.16
Na	61.76	56.28	57.99	60.82	57.68	57.89	54.55	56.62	58.36	57.09	57.49	2.0022	488.663	0.31	1.02
Fe	1.55	1.76	2.01	1.20	1.35	1.55	1.63	1.27	1.84	0.96	1.07	0.3314	259.959	0.10	0.32
Al	-4.28	-10.77	-3.32	-4.70	-3.34	-5.65	-6.13	-8.90	-9.15	-10.88	-11.65	3.1806	2598.974	0.09	0.31
Ca	1054.19	1094.20	1093.66	1108.03	1150.63	1165.26	1053.16	1088.55	1157.88	1117.51	1089.772	38.2930	19843.60	0.14	0.48
Mg	305.57	315.34	319.82	311.04	306.92	327.93	291.35	303.75	330.43	299.72	298.07	12.3650	15256.18	0.06	0.20
Ni	-0.80	-1.26	-0.79	-0.86	-0.90	-0.32	-1.20	-0.72	-1.11	-1.31	-1.15	0.2940	716.831	0.03	0.10
Mo	39.84	39.30	39.79	39.75	39.08	39.88	40.36	40.64	40.56	40.43	40.20	0.5068	676.928	0.06	0.19
Cr	63.00	62.65	62.27	63.01	63.47	62.86	63.25	63.04	62.44	63.13	63.02	0.3496	560.844	0.05	0.16
Mn	-2.50	-2.24	-2.25	-2.67	-2.54	-2.72	-2.46	-2.94	-2.99	-2.83	-3.32	0.3278	2263.991	0.01	0.04
Cu	-150.17	-144.78	-146.86	-146.14	-147.43	-150.26	-148.77	-149.70	-150.63	-140.61	-137.01	4.3438	5024.468	0.06	0.22
Co	-0.58	-0.65	-0.58	-0.26	-0.39	-0.78	-0.35	-0.28	-0.65	-0.49	-0.44	0.1671	109.486	0.11	0.38
Zn	26.98	26.65	26.56	26.39	26.46	26.71	26.60	26.09	25.97	26.18	26.59	0.2962	422.319	0.05	0.18
Si	42.52	42.69	41.59	40.98	43.64	44.35	44.19	40.55	43.64	41.68	41.20	1.3489	730.523	0.14	0.46
Ti	9.28	9.88	9.90	10.17	9.83	9.41	10.82	10.16	10.36	9.57	9.11	0.5047	1244.580	0.03	0.10
Pb	-0.29	0.18	-0.04	-0.28	-0.01	-0.12	-0.18	0.11	-0.48	-0.38	0.07	0.2128	39.437	0.40	1.35

综合实际测定分析得出的检出限和定量限，本文件推荐钾、钠、铁元素的测定范围为 2.5 mg/L～200.0 mg/L，铝、钙、镁、镍元素的测定范围为 2.5 mg/L～100.0 mg/L，铅元素的测定范围为 2.5 mg/L～30.0 mg/L，钼、铬、锰、铜、钴、锌、硅、钛元素的测定范围为 0.5 mg/L～30.0 mg/L。

3.8 精密度试验

3.8.1 起草单位的精密度试验

将 1#、2#、3#，4#样品按试验方法对各杂质元素分别独立地进行 11 次测定，测定结果见表 11。

表 11 精密度试验结果（钾）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	3.63	13.09	52.33	223.14
2	4.14	13.89	52.38	223.99
3	4.30	13.40	52.00	218.12
4	3.82	13.28	51.31	222.65
5	3.85	12.61	51.73	222.08
6	3.79	13.08	51.32	220.23
7	3.52	13.55	50.77	220.66
8	4.19	12.95	51.65	220.45
9	4.26	12.91	52.11	218.01

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
10	4.20	13.12	51.80	224.64
11	3.99	13.26	51.35	219.07
平均值（mg/L）	3.97	13.19	51.70	221.18
s（mg/L）	0.27	0.34	0.49	2.29
RSD（%）	6.70	2.59	0.95	1.03

表 12 精密度试验结果（钠）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	3.08	7.90	66.05	216.95
2	3.26	8.17	66.14	218.50
3	3.29	7.86	65.08	218.35
4	3.27	7.76	64.81	214.09
5	3.32	7.70	65.64	214.92
6	3.22	7.86	65.35	216.24
7	3.19	7.68	65.08	212.76
8	3.20	7.77	65.33	217.07
9	3.16	7.83	66.27	213.35
10	3.39	7.95	65.87	218.13
11	3.15	7.72	65.16	210.16
平均值（mg/L）	3.23	7.84	65.53	215.50
s（mg/L）	0.09	0.14	0.49	2.68
RSD（%）	2.67	1.78	0.75	1.25

表 13 精密度试验结果（铁）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	1.85	9.23	54.23	222.38
2	1.77	9.37	53.71	223.44
3	1.86	9.12	53.34	220.61
4	1.88	9.22	52.64	226.39
5	1.83	8.87	53.30	220.60
6	1.83	9.01	52.91	224.33
7	1.84	8.98	52.81	221.01
8	1.96	9.19	52.73	225.25
9	1.88	9.01	53.63	221.61
10	1.97	9.19	53.47	225.09
11	1.88	8.93	52.99	222.65
平均值（mg/L）	1.87	9.10	53.25	223.03
s（mg/L）	0.06	0.15	0.49	2.02
RSD（%）	3.06	1.70	0.92	0.90

表 14 精密度试验结果（铝）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	1.52	6.24	33.94	99.30
2	1.55	6.33	33.69	100.34
3	1.42	6.06	33.25	96.31
4	1.46	6.09	32.52	100.11
5	1.45	5.91	33.29	99.05
6	1.53	6.16	32.55	98.48
7	1.46	5.96	33.20	96.37
8	1.48	6.16	32.59	98.80
9	1.36	6.05	33.53	94.10

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
10	1.39	6.25	32.84	100.27
11	1.38	5.98	33.05	95.73
平均值（mg/L）	1.45	6.11	33.13	98.08
s（mg/L）	0.06	0.13	0.47	2.11
RSD（%）	4.25	2.15	1.43	2.15

表 15 精密度试验结果（钙）

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	3.96	4.95	36.49	110.89
2	3.96	4.80	36.57	115.47
3	4.19	4.92	36.13	110.22
4	4.12	4.80	35.47	113.78
5	4.09	4.81	36.27	109.86
6	3.95	4.97	35.81	112.95
7	3.98	4.93	36.00	110.82
8	3.93	4.91	35.73	113.16
9	3.86	4.87	36.57	110.72
10	4.21	4.95	36.07	113.45
11	3.87	4.84	35.98	112.22
平均值（mg/L）	4.01	4.89	36.10	112.14
s（mg/L）	0.12	0.06	0.36	1.77
RSD（%）	3.04	1.29	0.99	1.58

表 16 精密度试验结果（镁）

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	0.57	5.36	34.01	105.75
2	0.56	5.49	33.56	105.96
3	0.54	5.31	33.36	105.74
4	0.55	5.26	32.92	104.02
5	0.55	5.20	33.30	104.04
6	0.56	5.33	33.00	105.13
7	0.55	5.26	33.11	102.51
8	0.58	5.30	33.00	105.27
9	0.56	5.26	33.57	103.64
10	0.55	5.38	33.38	105.51
11	0.54	5.25	33.15	103.25
平均值（mg/L）	0.56	5.31	33.30	104.62
s（mg/L）	0.01	0.08	0.32	1.17
RSD（%）	2.13	1.50	0.97	1.12

表 17 精密度试验结果（镍）

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	0.47	5.10	31.77	100.09
2	0.47	5.19	31.40	103.32
3	0.48	5.11	31.15	103.27
4	0.44	5.06	30.77	101.61
5	0.49	4.92	31.15	101.06
6	0.46	5.13	30.81	102.66
7	0.49	4.97	30.93	99.44
8	0.43	5.07	30.81	102.39
9	0.47	5.07	31.37	100.13

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
10	0.49	5.13	31.15	103.69
11	0.46	5.07	30.89	99.63
平均值（mg/L）	0.47	5.07	31.11	101.57
s（mg/L）	0.02	0.07	0.31	1.58
RSD（%）	4.23	1.46	1.00	1.56

表 18 精密度试验结果（钼）

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	1.62	1.72	11.94	33.01
2	1.61	1.71	11.92	33.35
3	1.57	1.66	11.77	32.08
4	1.59	1.67	11.48	33.15
5	1.58	1.62	11.77	32.85
6	1.61	1.71	11.53	32.70
7	1.56	1.64	11.72	32.21
8	1.65	1.68	11.49	32.80
9	1.58	1.64	11.90	31.49
10	1.65	1.71	11.64	33.28
11	1.61	1.63	11.69	31.91
平均值（mg/L）	1.60	1.67	11.71	32.62
s（mg/L）	0.03	0.04	0.17	0.61
RSD（%）	1.81	2.23	1.42	1.88

表 19 精密度试验结果（铬）

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	1.84	5.41	10.40	35.96
2	1.80	5.44	10.36	35.80
3	1.76	5.26	10.25	35.06
4	1.80	5.29	10.13	36.23
5	1.80	5.19	10.27	35.14
6	1.88	5.34	10.12	35.82
7	1.78	5.20	10.22	35.23
8	1.80	5.29	10.15	35.73
9	1.75	5.28	10.34	35.32
10	1.83	5.38	10.25	36.00
11	1.77	5.26	10.23	35.61
平均值（mg/L）	1.80	5.30	10.25	35.63
s（mg/L）	0.04	0.08	0.09	0.39
RSD（%）	2.01	1.55	0.89	1.09

表 20 精密度试验结果（锰）

样品编号 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	0.51	2.08	11.10	31.82
2	0.51	2.12	10.99	31.95
3	0.49	2.05	10.91	31.59
4	0.50	2.04	10.75	32.41
5	0.50	2.01	10.87	31.40
6	0.51	2.07	10.75	32.13
7	0.50	2.02	10.83	31.62
8	0.51	2.05	10.77	32.23
9	0.50	2.04	11.00	31.59

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
10	0.52	2.09	10.93	32.30
11	0.50	2.04	10.86	31.87
平均值（mg/L）	0.50	2.06	10.89	31.90
s（mg/L）	0.01	0.03	0.11	0.33
RSD（%）	1.77	1.53	1.04	1.04

表 21 精密度试验结果（铜）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	0.66	1.22	9.62	29.14
2	0.67	1.14	9.51	29.19
3	0.63	1.19	9.38	28.28
4	0.66	1.19	9.25	29.20
5	0.66	1.16	9.40	28.88
6	0.69	1.22	9.26	28.61
7	0.65	1.21	9.35	28.34
8	0.69	1.13	9.29	28.65
9	0.66	1.19	9.44	27.67
10	0.67	1.20	9.32	29.21
11	0.66	1.22	9.30	28.30
平均值（mg/L）	0.66	1.19	9.37	28.68
s（mg/L）	0.02	0.03	0.11	0.50
RSD（%）	2.74	2.68	1.21	1.75

表 22 精密度试验结果（钴）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	0.46	2.10	10.87	32.56
2	0.50	1.93	10.59	32.47
3	0.44	2.07	10.68	31.86
4	0.52	2.02	10.61	32.60
5	0.52	1.93	10.59	32.30
6	0.43	2.06	10.53	32.14
7	0.53	1.95	10.67	31.89
8	0.59	2.10	10.31	32.30
9	0.45	2.09	10.74	31.71
10	0.44	2.03	10.68	32.51
11	0.49	1.94	10.48	31.66
平均值（mg/L）	0.49	2.02	10.61	32.18
s（mg/L）	0.05	0.07	0.15	0.35
RSD（%）	10.10	3.44	1.38	1.08

表 23 精密度试验结果（锌）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	0.46	2.01	10.96	31.94
2	0.49	2.10	10.60	31.93
3	0.45	2.03	10.62	31.77
4	0.45	1.99	10.50	32.25
5	0.50	1.98	10.57	31.72
6	0.48	2.01	10.44	31.89
7	0.52	2.01	10.47	31.70
8	0.51	2.00	10.49	31.96
9	0.51	2.01	10.68	31.80

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
10	0.48	2.01	10.59	32.04
11	0.48	1.95	10.49	31.89
平均值（mg/L）	0.48	2.01	10.58	31.90
s（mg/L）	0.02	0.04	0.15	0.16
RSD（%）	4.77	1.89	1.39	0.50

表 24 精密度试验结果（钛）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	0.37	2.49	10.97	33.13
2	0.34	2.52	10.99	33.21
3	0.35	2.46	10.89	32.46
4	0.33	2.46	10.79	33.15
5	0.33	2.41	10.83	32.80
6	0.33	2.51	10.82	32.57
7	0.34	2.42	10.84	32.74
8	0.32	2.47	10.86	32.65
9	0.34	2.45	11.00	32.34
10	0.34	2.49	10.98	33.26
11	0.34	2.44	10.83	32.53
平均值（mg/L）	0.34	2.47	10.89	32.80
s（mg/L）	0.01	0.04	0.08	0.33
RSD（%）	3.72	1.45	0.71	1.00

表 25 精密度试验结果（铅）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	2.93	2.79	7.99	15.56
2	2.83	2.35	7.11	14.60
3	3.19	2.64	7.92	15.09
4	3.09	2.33	7.39	14.96
5	3.18	2.54	7.57	15.44
6	2.96	2.70	7.32	15.10
7	3.05	2.55	7.09	15.81
8	3.21	2.58	7.65	15.18
9	3.02	2.49	7.16	15.66
10	3.30	2.52	7.21	14.87
11	3.06	2.69	7.16	13.15
平均值（mg/L）	3.07	2.56	7.42	15.04
s（mg/L）	0.14	0.14	0.32	0.72
RSD（%）	4.52	5.47	4.36	4.80

表 26 精密度试验结果（硅）

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
1	2.19	5.92	12.74	29.12
2	2.20	6.09	12.66	29.97
3	2.10	5.83	12.47	29.22
4	2.14	5.76	12.33	29.21
5	2.13	5.59	12.50	28.59
6	2.19	5.80	12.38	28.87
7	2.16	5.74	12.49	28.51
8	2.09	5.77	12.40	28.92
9	2.18	5.76	12.62	28.72

样品编号 / 测定次数	1#	2#	3#	4#
10	2.11	5.87	12.55	29.25
11	2.22	5.74	12.41	29.19
平均值（mg/L）	2.16	5.81	12.50	29.05
s（mg/L）	0.04	0.13	0.13	0.40
RSD（%）	1.98	2.16	1.02	1.39

3.8 正确度试验

采用加标回收试验考察本方法的正确度，对 1#样品按试验方法进行加标回收实验，加标量覆盖低中高三个浓度水平，测试结果见表 27。实验数据表明，大部分待测元素的加标回收率为 90%～110%，铝、铅元素加标回收率区间为 85%～110%，满足分析方法准确度要求。

表 14 加标回收率试验结果

元素	本底值 mg/L	加标量 mg/L	结果 mg/L	回收率 %	加标量 mg/L	结果 mg/L	回收率 %	加标量 mg/L	结果 mg/L	回收率 %
K	0.148	0.1	0.102	101.98	4	3.970	99.25	10	9.682	96.82
	0.148		0.084	84.40		4.038	100.96		9.654	96.54
Na	0.028	0.1	0.096	96.11	4	3.976	99.41	10	9.818	98.18
	0.026		0.090	89.68		4.019	100.47		9.766	97.66
Fe	0.073	0.1	0.099	99.03	4	3.930	98.26	10	9.777	97.77
	0.073		0.094	94.22		3.948	98.69		9.798	97.98
Al	0.054	0.1	0.088	88.17	4	3.721	93.03	10	8.723	87.23
	0.055		0.086	85.77		3.744	93.59		8.715	87.15
Mo	0.060	0.02	0.020	97.71	0.5	0.490	98.08	1	0.987	98.67
	0.061		0.020	99.19		0.487	97.40		0.973	97.28
Cr	0.068	0.02	0.021	105.30	0.5	0.492	98.46	1	0.965	96.50
	0.068		0.020	99.11		0.485	97.04		0.964	96.36
Mn	0.019	0.02	0.019	95.95	0.5	0.492	98.36	1	1.009	100.87
	0.019		0.019	95.11		0.495	98.91		0.985	98.49
Ca	0.044	0.1	0.098	98.47	1	1.025	102.49	4	3.962	99.05
	0.044		0.103	102.57		1.005	100.51		4.003	100.08
Mg	0.021	0.02	0.019	95.39	1	1.028	102.80	4	3.963	99.08
	0.021		0.019	96.91		1.007	100.68		3.983	99.57
Cu	0.021	0.02	0.018	91.85	0.5	0.487	97.36	1	0.971	97.09
	0.021		0.019	96.23		0.479	95.74		0.962	96.23
Co	0.016	0.02	0.017	87.15	0.5	0.505	100.92	1	1.040	103.96
	0.015		0.021	104.91		0.504	100.80		1.013	101.27
Zn	0.021	0.02	0.021	105.70	0.5	0.505	101.01	1	1.020	102.03
	0.021		0.020	99.53		0.519	103.79		0.993	99.34
Ni	0.017	0.02	0.018	91.25	1	0.967	96.67	4	3.853	96.33
	0.018		0.018	91.26		0.962	96.23		3.869	96.73
Pb	0.009	0.1	0.108	107.57	0.5	0.425	85.06	1	0.878	87.83
	0.012		0.091	90.66		0.427	85.44		0.881	88.14
Ti	0.013	0.02	0.020	98.18	0.5	0.497	99.38	1	1.005	100.48
	0.014		0.020	98.87		0.493	98.61		0.993	99.33

Si	0.034	0.02	0.023	112.93	0.5	0.515	103.05	1	0.998	99.79
	0.034		0.023	112.54		0.510	101.97		0.967	96.66

四、标准中涉及的专利情况

本标准不涉及专利问题。

五、准预期达到的社会经济效益等情况

5.1 项目的必要性简述

全钒液流电池作为大规模储能技术的关键解决方案，在可再生能源并网、电网调峰、备用电源等领域具有重要应用价值。电解液作为其核心材料，其组成直接影响电池性能和寿命。以偏钒酸铵热分解制备高纯四氧化二钒，再经硫酸溶出制得全钒液流电池电解液。各类金属杂质是影响电解液品质的关键，铁、铜、铅等过渡金属会诱发自放电、产气副反应，污染电极并堵塞隔膜；钠、钾、钙、镁、铝等杂质增大电池内阻，低温结晶堵塞管路，破坏钒离子价态平衡，最终造成电池容量、效率下降，电解液劣化，缩短储能电池循环寿命。精准管控杂质含量，可提高电解液产品一致性合格率，标准提升产品质量稳定性，降低全生命周期成本。

目前，国内尚无专门针对全钒液流电池电解液中杂质元素含量测定的统一标准，导致检测方法不统一、数据可比性差，影响行业技术规范和产品质量控制。因此，制定电感耦合等离子体原子发射光谱法测定杂质元素含量的行业标准，对规范检测流程、提升电解液质量、推动全钒液流电池产业化发展具有重要意义。

5.2 标准预期作用

本标准充分考虑了目前国际和国内的全钒液流电池用电解液生产、研发、应用和检测的实际技术水平。本文件颁布执行后，将在国内形成对全钒液流电池用电解液杂质元素含量的统一分析测试标准，填补了行业空白，避免不同实验室因方法差异导致的数据偏差，为电解液生产商、电池制造商及第三方检测机构提供技术依据，通过严格控制杂质元素含量，优化电解液生产工艺，提高全钒液流电池的循环稳定性和能量效率，提升产品质量，进一步促进产业规范化，对助力我国钒电解液及全钒液流电池产业的发展起到十分重要的作用。

5.3 标准预期效益

本标准的制定将填补国内外全钒液流电池电解液检测领域的标准空白，对推动全钒液流电池产业链的规范化、高质量和可持续发展具有重要意义。该标准不仅为电解液产品质量提供了统一、科学的评价

依据，还将显著提升我国新型储能产业的技术水平和市场可信度，为实现国家能源战略和“双碳”目标提供关键支撑。

在经济效益方面，本标准通过建立标准化、可重复的检测方法，有效解决当前因企业自定方法不一致导致的检测结果难以互认、重复验证频发等问题。这将大幅减少企业在研发、质控环节中的资源浪费，提高生产效率，直接降低生产成本。尤为重要的是，标准中引入对杂质元素的精准控制指标，可显著抑制电解液在运行过程中的劣化速率，延长电池循环寿命，从而降低储能系统全生命周期的运维成本。另一方面，高质量、一致性强的电解液产品也将增强全钒液流电池整体的性能稳定性和市场竞争力，加速其在风电、光伏配套储能、电网调峰、备用电源等领域的规模化商业应用，拉动上下游产业链协同发展，形成良性循环。

在社会效益层面，全钒液流电池作为安全性高、循环寿命长、环境友好的绿色储能技术，其大规模应用可有效提升电网对风电、光伏等波动性可再生能源的接纳能力，缓解弃风弃光问题，助力构建以新能源为主体的新型电力系统。本标准将进一步增强我国在全钒液流电池领域的技术话语权和国际竞争力，推动中国标准与国际接轨，为中国技术、中国装备走向全球市场开辟道路。

此外，在环境效益方面，全钒液流电池电解液可循环利用，环境风险低，本标准将进一步引导绿色制造和资源节约，促进储能产业与生态环境协调发展。

综上，本标准的制定不仅是技术层面的必要规范，更对产业健康发展和国家能源转型具有深远战略意义。为我国在全球储能技术竞争中占据领先地位奠定坚实基础。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

经查，国内外无相同类型的标准。

七、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的技术内容与现行相关法律、法规和强制性国家标准没有冲突。在编制过程中充分吸纳了国内相关先进技术，能够与国内现行的全钒液流电池用电解液产品标准 GB/T 37204-2018《全钒液流电池用电解液》配套使用。本标准内容全面、条款详细、格式规范，符合 GB/T 1.1-2020 的相关要求。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

编制组严格按既定编制原则进行编写，本文件起草过程中未发现重大的分歧意见。

九、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议本标准为推荐性行业标准，供相关组织参考采用。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本文件规范了全钒液流电池用电解液中亚硫酸根含量的测定，有利于整个行业分析水平的提升，对研究钒电解液的生产工艺、质量把控具有十分重要的支撑作用、本文件发布执行后，建议向钒电解液行业研发、生产、销售、检测的相关企业和单位积极贯彻本标准的内容。

十一、废止现行有关标准的建议

本文件为新制定文件，无废止其他标准的建议。

十二、其他应予说明的事项

无。

《全钒液流电池用电解液化学分析方法》编制组
2026 年 10 月