

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—2026

全钒液流电池电解液循环再生技术规范

Technical specifications of electrolyte circulation and regeneration for vanadium
redox flow battery

（征求意见稿）

2026 – XX – XX 发布

2026 – XX – XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 再生原料要求 2

 4.1 废旧电解液 2

 4.2 辅助材料 2

5 再生工艺技术要求 2

 5.1 总体要求 2

 5.2 预处理 2

 5.3 失衡校正 2

 5.4 深度净化 3

 5.5 成品调制 3

6 再生电解液质量要求 3

 6.1 外观 3

 6.2 理化指标 3

 6.3 电化学性能 4

7 试验方法 4

 7.1 外观检验 4

 7.2 理化指标测试 4

 7.3 电化学性能测试 4

8 安全环保要求 4

 8.1 安全要求 4

 8.2 环保要求 5

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

全钒液流电池电解液循环再生技术规范

1 范围

本文件规定了全钒液流电池电解液循环再生技术的再生原料要求、再生工艺技术要求、再生电解液质量要求、试验方法、安全环保要求。

本文件适用于硫酸体系全钒液流电池废旧电解液的循环再生处理及再生电解液的生产、检验与应用。其他体系全钒液流电池电解液的循环再生可参照本文件执行。

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文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 668 分析实验室用水规格和试验方法
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB/T 11007 电导率仪试验方法
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB/T 29840—2013 全钒液流电池 术语
- GB/T 34866 全钒液流电池 安全要求
- NB/T 42006 全钒液流电池用电解液测试方法
- NB/T 42081 全钒液流电池 单电池性能测试方法
- GB/T 44803 电化学储能电站应急物资技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全钒液流电池 vanadium flow battery, VFB

通过正负极电解液中不同价态钒离子的电化学反应来实现电能和化学能互相转化的储能装置，又称全钒液流电池系统。

注：全钒液流电池主要由功率单元（电堆或模块）、储能单元（电解液及储罐）、电解液输送单元（管路、阀门、泵、换热器等）和电池管理系统等部分构成。

[来源：GB/T 29840—2013，2.1]

3.2

电解液 electrolyte

具有离子导电性的含不同价态钒离子的溶液。

[来源：GB/T 29840—2013，2.3]

3.3

废旧电解液 waste electrolyte

全钒液流电池长期运行后，因出现浓度失衡、体积失衡、价态失衡或杂质超标等问题，导致电池性能显著下降而无法满足使用要求的电解液。

3.4

电解液循环再生 electrolyte cyclic regeneration

通过物理、化学或电化学等方法，对废旧电解液进行处理，恢复其钒离子浓度、价态平衡及纯度，

使其性能达到使用要求的过程。

3.5

价态平衡 valence state balance

电解液中各价态钒离子 (V^{2+} 、 V^{3+} 、 VO^{2+} 、 VO_2^{+}) 的比例符合使用要求, 平均价态接近 3.5 价的状态。

3.6

再生电解液 regenerated electrolyte

经循环再生处理后, 各项性能指标符合本文件要求的全钒液流电池电解液。

4 再生原料要求

4.1 废旧电解液

4.1.1 废旧电解液应进行分类收集和标识, 明确其来源、使用时长、初始规格等信息。

4.1.2 废旧电解液应无明显异味、无大量沉淀和悬浮杂质; 若存在沉淀或悬浮杂质, 应先进行预处理去除。

4.1.3 废旧电解液的钒总浓度不应低于 0.8 mol/L; 若钒总浓度低于 0.8 mol/L, 应在再生工艺中增加浓缩环节。

4.2 辅助材料

4.2.1 再生过程中使用的还原剂 (如草酸、抗坏血酸等)、氧化剂、支持电解质 (如硫酸) 及添加剂等辅助材料, 应符合相关国家标准或行业标准的要求, 且不应向电解液中引入新的有害杂质。

4.2.2 辅助材料的纯度要求: 还原剂纯度不应低于 99.0%, 硫酸纯度不应低于 98.0%, 其他辅助材料纯度不应低于 98.5%。

4.2.3 再生过程中使用的水应符合 GB/T 6682 中一级水的要求。

5 再生工艺技术要求

5.1 总体要求

5.1.1 再生工艺应根据废旧电解液的失衡类型 (浓度失衡、体积失衡、价态失衡) 和杂质情况, 选择合适的处理方法, 确保再生电解液性能稳定。

5.1.2 再生工艺应具有可操作性、安全性和经济性, 避免产生二次污染。

5.1.3 再生过程应建立工艺参数记录制度, 对关键工艺参数进行实时监控和记录, 记录保存期限不应少于 3 年。

5.2 预处理

5.2.1 废旧电解液进入再生主工艺前, 应进行预处理, 预处理包括过滤、沉降、除杂等环节。

5.2.2 采用不低于 0.45 μm 孔径的过滤设备, 去除电解液中的悬浮杂质和颗粒物。

5.2.3 对于含有有机物杂质的废旧电解液, 应根据有机物类型选择针对性方法去除, 处理后应检测有机物含量, 确保再生后电解液中有机物含量符合本文件 6.2 的要求。

a) 脂肪类、酯类有机物可采用活性炭吸附法 (选用比表面积 $\geq 1000 m^2/g$ 的颗粒活性炭, 液固比控制在 50:1~100:1, 吸附时间 $\geq 2 h$);

b) 芳香类、杂环类有机物可采用紫外光催化氧化法 (紫外波长 254 nm, 氧化剂选用过氧化氢, 投加量为有机物含量的 5~8 倍, 反应时间 $\geq 1 h$);

5.2.4 预处理后的电解液应澄清透明, 无可见悬浮杂质。

5.3 失衡校正

5.3.1 体积与浓度失衡校正

5.3.1.1 对于体积失衡的废旧电解液, 可采用物理混合法将正、负极废旧电解液充分混合, 调节体积比例至平衡状态。

5.3.1.2 对于浓度偏低的废旧电解液，可采用减压蒸馏、膜浓缩等方法进行浓缩，使钒总浓度达到目标要求；浓缩过程中温度不应超过 60 ℃，避免钒离子水解。

5.3.1.3 对于浓度偏高的废旧电解液，可加入符合要求的支持电解质溶液进行稀释，调节钒总浓度至 4.1.3 的要求。

5.3.2 价态失衡校正

价态失衡校正可采用化学还原法、电化学还原法或两者结合的方法：

- a) 采用化学还原法时，应根据废旧电解液的价态分析结果，精准计算还原剂的加入量；优先选择草酸等不会引入有害杂质的还原剂，草酸加入后应确保反应完全，避免残留；
- b) 采用电化学还原法时，应控制电解电压、电流密度、电解时间等参数，避免产生析氢等副反应；电解过程中应实时监测电解液的价态变化，确保平均价态恢复至 3.45~3.55 价。

5.4 深度净化

5.4.1 失衡校正后的电解液应进行深度净化，去除其中的重金属杂质、微量有机物等。

5.4.2 深度净化采用“离子交换+膜分离+吸附”组合工艺，具体操作如下：

- a) 离子交换处理：选用螯合型离子交换树脂（功能基团为氨基膦酸型），电解液流速控制在 1~2 BV/h（床体积/小时），树脂工作温度≤40 ℃，通过在线监测杂质含量判断树脂饱和状态，饱和后采用 5%盐酸溶液再生树脂；
- b) 膜分离处理：采用纳滤膜（截留分子量 100 Da~200 Da，耐酸型），操作压力 0.8~1.2 MPa，去除残留的小分子有机物和胶体杂质；
- c) 吸附处理：采用改性硅胶吸附剂，吸附微量有机物和金属离子，吸附时间≥1 h，确保深度净化后电解液杂质含量达标。

5.4.3 通过离子交换法去除重金属杂质时，应选择对重金属离子具有高选择性的离子交换树脂，处理后电解液中重金属杂质含量应符合本文件 6.2 的要求。

5.5 成品调制

5.5.1 深度净化后的电解液应进行成品调制，根据目标要求调节钒总浓度、硫酸浓度，并可加入适量符合要求的添加剂，改善电解液性能。

5.5.2 成品调制过程中应充分搅拌，确保电解液成分均匀。

6 再生电解液质量要求

6.1 外观

再生电解液应为澄清透明的液体，无可见悬浮杂质和沉淀；不同价态电解液颜色应符合以下要求：

- a) V^{2+} 溶液：紫色；
- b) V^{3+} 溶液：绿色；
- c) VO^{2+} 溶液：蓝色；
- d) VO_2^+ 溶液：黄色；
- e) 混合价态平衡溶液：蓝绿色至绿色。

6.2 理化指标

再生电解液的理化指标应符合表 2 的规定。

表 1 再生电解液的理化指标

项目	指标要求
钒总浓度 (mol/L)	1.2~2.0（可根据用户要求调整）
硫酸浓度 (mol/L)	2.0~4.0
平均价态	3.45~3.55
杂质含量 (mg/L)	Al≤5.0、Fe≤5.0、Cu≤1.0、Pb≤0.5、As≤0.5、Au≤0.1，其他单个杂质≤2.0
电导率 (25 ℃, S/m)	≥80

稳定性（50℃恒温72 h）	无明显沉淀，钒浓度变化率 $\leq 2.0\%$
----------------	---------------------------

6.3 电化学性能

再生电解液装配成单电池后，其电化学性能应符合表3的规定（测试条件：电流密度100 mA/cm²）。

表2 电化学性能要求

项目	指标要求
库仑效率（%）	≥ 95
电压效率（%）	≥ 85
能量效率（%）	≥ 81
循环稳定性（100圈容量保持率，%）	≥ 90

7 试验方法

7.1 外观检验

在自然光或白色荧光灯下，将适量电解液倒入洁净的透明玻璃容器中，目测观察其透明度、是否有悬浮杂质和沉淀，并记录颜色。

7.2 理化指标测试

7.2.1 钒总浓度测试

按照NB/T 42006中6.2的规定测定。

7.2.2 硫酸浓度测试

采用酸碱滴定法测定：取适量稀释后的电解液样品，以酚酞为指示剂，用氢氧化钠标准溶液滴定至终点，根据消耗的氢氧化钠标准溶液体积计算硫酸浓度。

7.2.3 平均价态测试

按照NB/T 42006附录A的规定执行，通过电位滴定法确定各价态钒离子含量，计算平均价态。

7.2.4 杂质含量测试

采用电感耦合等离子体发射光谱仪（ICP-OES）测定，按照相关仪器操作规程进行；对于低含量杂质，可采用电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS）测定。

7.2.5 电导率测试

按照GB/T 11007的规定执行，使用电导率仪在25℃下测定，测量前需用标准溶液校准仪器。

7.2.6 稳定性测试

将电解液置于50℃恒温烘箱中恒温72 h，取出冷却至室温后，观察是否有沉淀产生；并按照7.2.1的方法测定恒温前后的钒浓度，计算浓度变化率。

7.3 电化学性能测试

按照NB/T 42081的规定组装单电池，单电池结构参数：电极采用厚度4.3 mm、活性面积20 cm²的商用碳毡电极，隔膜采用厚度50 μm的全氟磺酸膜，电解液循环流速为110 mL/min。在电流密度100 mA/cm²下进行充放电循环测试，记录充放电曲线，计算库仑效率、电压效率和能量效率；连续循环100圈后，计算容量保持率。

8 安全环保要求

8.1 安全要求

- 8.1.1 再生生产过程应符合 GB/T 34866 和 GB/T 44803 的相关安全要求，建立健全安全管理制度和操作规程。
- 8.1.2 操作人员应经过专业培训，熟悉再生工艺和安全注意事项，上岗前应穿戴好耐腐蚀防护服、防护手套、护目镜等劳动防护用品。
- 8.1.3 再生生产现场应设置明显的安全警示标志，配备应急冲洗设备（洗眼器、喷淋装置）和应急救援药品。
- 8.1.4 涉及化学还原、电解等环节的，应严格控制工艺参数，防止发生反应失控、气体泄漏等安全事故；产生的气体应进行收集和处理，确保达标排放。
- 8.1.5 再生过程中若发生电解液泄漏，应立即启动应急处理预案，采取中和、收集等措施，防止泄漏液扩散造成环境污染或人员伤害。

8.2 环保要求

- 8.2.1 再生生产过程中产生的废水、废气、废渣等污染物，应进行分类处理，符合 GB 8978、GB 16297 等相关国家标准的要求后方可排放或处置。
- 8.2.2 废水处理：生产过程中产生的洗涤水、冲洗水等废水，应经过中和、沉淀、过滤等处理，调节 pH 值至 6~9，去除重金属和杂质后排放。
- 8.2.3 废气处理：生产过程中产生的酸性气体，应通过吸收塔用碱液吸收处理，确保排放浓度符合 GB 16297 的要求。
- 8.2.4 废渣处理：再生过程中产生的过滤残渣、离子交换树脂废树脂等废渣，应分类收集，属于危险废物的，应按照危险废物管理的相关规定进行处置，委托有资质的单位进行处理。
- 8.2.5 再生生产过程中应加强资源回收利用，提高钒资源的回收率，减少资源浪费。
-