

ICS 29.220.20

K 82

备案号: 61507-2018

# NB

## 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 42132 — 2017

---

### 全钒液流电池 电堆测试方法

Vanadium flow battery—Test method for vanadium flow battery stacks

2017-11-15发布

2018-03-01实施

---

国家能源局 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 通用要求 .....	1
5 设备与仪器 .....	1
6 测试准备 .....	2
7 试验方法 .....	3
8 试验准备及试验报告 .....	7
附录 A (资料性附录) 试验准备 .....	8
附录 B (资料性附录) 试验报告 .....	9
参考文献 .....	11

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分 标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由能源行业液流电池标准化技术委员会（NEA/TC 23）归口。

本标准起草单位：中国科学院大连化学物理研究所、大连融科储能技术发展有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、上海神力科技有限公司、辽宁金谷炭材料股份有限公司、清华大学、中国科学院金属研究所、朝阳华鼎储能技术有限公司、中国工程物理研究院电子工程研究所、承德新新钒钛储能科技有限公司。

本标准主要起草人：张华民、郑琼、邹毅、田超贺、王晓丽、邢枫、卢琛钰、张若谷、李波、王保国、严川伟、陈晖、李晓兵、张玉贤。

# 全钒液流电池 电堆测试方法

## 1 范围

本标准规定了全钒液流电池电堆（以下简称“电堆”）测试方法中的术语和定义、通用要求、设备与仪器、测试准备和试验方法等内容。

本标准适用于全钒液流电池电堆测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2828.1—2012 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 29840—2013 全钒液流电池 术语

## 3 术语和定义

GB/T 29840—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 29840—2013 中的一些术语和定义。

### 3.1

**电堆 stack**

由多个单电池以叠加形式紧固的、具有多个管道和统一电流输出的组合体。

[GB/T 29840—2013，定义 2.21.2]

### 3.2

**电解液利用率 electrolyte utilization**

在规定的条件下，电堆工作时实际放电瓦时容量与理论瓦时容量的比值。

注：改写 GB/T 29840—2013，定义 2.22.12。

### 3.3

**理论瓦时容量 theoretical energy capacity**

根据电解液浓度和体积计算得到的电池充满电后所能提供的全部放电瓦时容量。

注：以标准电极电位确定的电池正负极标准电极电位差应为 1.25V，以此计算理论瓦时容量。

[GB/T 29840—2013，定义 2.22.5]

## 4 通用要求

试验环境条件：

——温度：25℃±5℃；

——空气湿度：5%~95%。

对环境条件有特殊要求的测试，试验环境条件由供需双方协商确定。

## 5 设备与仪器

### 5.1 设备及功能

测试参数的监控和管理包含以下设备与功能：

- a) 电解液流量监控设备：实现电解液流量的测试、调节与控制；推荐为体积流量表、质量流量表或涡轮型流量表等流量计，流量计应由耐酸腐蚀材质组成。
- b) 电解液输送设备：实现电解液从储罐到电堆的输送；推荐为磁力泵，泵应能满足电堆测试所需的电解液流量；泵及其接头应为耐酸腐蚀材料，推荐材料为 PVC、PTFE。
- c) 充放电控制设备：加载达到电堆设定的电流、电压、功率等；充放电过程可以以恒电流、恒电压或者恒功率模式运行。推荐采用恒功率充放电模式。
- d) 监控和数据采集设备：实现电堆电压和电流、荷电状态（SOC）、电解液流量、流动阻力、电阻等的测量和记录。
- e) 负极电解液保护：使电堆负极电解液避免空气的氧化影响，推荐使用惰性气体除氧及密封保护。
- f) 液阻测试设备：实现电解液流经电堆的流动阻力的测量；测试装置包括压差计、液体进出输送管路等。

## 5.2 仪器精度

试验中使用的仪器和器具及其精度要求如下：

- 充放电测试仪：用于测量电堆的电压和电流，电压精度至少为 0.1 级，电流精度至少为 0.2 级；
- 测量尺：用于测量电堆的几何尺寸，精度至少为 0.1 级；
- 流量计：用于测量电解液的流量，流量的精度为其满量程的  $\pm 1\%$ ；
- 压差计：用于测量电解液流经电堆的流动阻力，压力精度为其满量程  $\pm 1\%$ ；
- 绝缘电阻测试仪：测量端板和集流板间的绝缘电阻，量程满足测试要求；
- 电池内阻测试仪：测量电堆内阻，仪表精度为其满量程的  $\pm 0.5\%$ 。

## 6 测试准备

### 6.1 抽样要求

电堆采用抽样测试。样品按照 GB/T 2828.1—2012 第 8 章的抽样方法抽取。

### 6.2 电堆的基本信息

电堆的基本信息包括：

- a) 电堆质量；
- b) 电堆尺寸；
- c) 电堆单电池节数；
- d) 电极面积；
- e) 额定电流；
- f) 额定电压；
- g) 额定功率。

### 6.3 电堆操作条件

电堆的操作条件包括：

- a) 电解液温度；
- b) 充放电运行模式；
- c) 功率或电流密度；
- d) 电解液流量；
- e) 充电截止条件；

- f) 放电截止条件;
- g) 测试循环数。

## 7 试验方法

### 7.1 外观

用目测方法检查电堆外观, 检查电堆外表是否清洁、平整, 是否有变形、泄漏等; 用测量尺测量电堆几何尺寸。

### 7.2 内外漏检查

#### 7.2.1 外漏检查

所有用于电堆外漏检查的材料均应和管路及电堆组件相匹配。电堆安装完成后, 用检漏气体(如氮气)对电堆进行外漏检查。

将检漏气体通入配置了减压阀、压力传感器、球阀和气体流量计等器件的管路, 分别进入电堆的正极和负极进液口。且电堆正极和负极出液口处于封闭状态, 使管路中压力平衡。设定合适的初始压力值, 并在电堆的所有接口处、所有管路连接接头和各个部件连接处(如电极框外侧)涂上渗漏检测液, 检测电堆四周检漏气体泄漏情况。

注: 初始压力值根据电堆及材料特性具体设定。

#### 7.2.2 内漏检查

所有用于电堆内漏检查的材料均应和管路及电堆组件相匹配。电堆安装完成后, 用检漏气体(如氮气)对电堆进行内漏检查。

将检漏气体通入配置了减压阀、压力传感器、球阀和气体流量计等器件的管路, 进入电堆的正极或负极进液口。电堆正极或负极出液口处于封闭状态, 使管路中压力平衡。设定合适的初始压力值, 测试时间保持 15min 以上, 观察压力监测值下降情况。

注: 初始压力值根据电堆及材料特性具体设定。

### 7.3 电堆内阻

#### 7.3.1 测试方法

设定电堆单电池开路电压, 用电堆内阻测试仪测试电堆不同开路电压下的电阻  $R_0$ 。

#### 7.3.2 数据处理

为了实现电堆间电堆内阻大小的比较, 一般以电极面积与电堆开路电压下测得的单电池电阻 ( $R_0/m$ ) 的乘积, 即面电阻表示电堆内阻  $R$ :

$$R = \frac{R_0}{m} \times S \quad (1)$$

式中:

$R$  ——电堆内阻, 单位为毫欧·平方厘米 ( $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ );

$R_0$  ——电堆内阻测试仪测得的电堆开路内阻, 单位为毫欧 ( $\text{m}\Omega$ );

$m$  ——电堆单电池节数;

$S$  ——电极有效面积, 单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ )。

取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果。将不同开路电压下计算得到的结果绘制成电堆内阻—开路电压曲线。

## 7.4 液阻测试

### 7.4.1 测试方法

按照如下步骤进行电堆的液阻测试：

- a) 将测试电堆的液体进出口分别和液阻测试设备中的液体进出输送管路连接，压差计的两端分别与液体进出输送管路相连；
- b) 在电堆液体进口侧进液，在一定的入口压强下，测量液体流经电堆的进出口压强差，即为该压强下的电堆液阻  $\Delta P$ ， $\Delta P$  为电堆液阻，单位为千帕（kPa）；
- c) 逐渐增加施加的入口压强，并重复 a) ~ b)，每增加 50kPa，记录不同液体入口压强下的电堆液阻；注：推荐测量的入口压强范围为 10kPa~500kPa。
- d) 当前测得的电堆液阻与前一次测得的电堆液阻值的变化率不大于 5% 时，停止测试。

### 7.4.2 数据处理

取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果。将不同入口压强下得到的结果绘制成电堆液阻—压强曲线。

## 7.5 充放电性能

### 7.5.1 概述

设定 6.3 中电堆的操作条件，包括电解液温度、充放电运行模式、功率或电流密度、电解液流量、充放电截止条件以及测试循环数。通过充放电测试仪进行充放电性能测试，由试验结果计算出试验状态下的库仑效率、能量效率、电压效率和电解液利用率。

### 7.5.2 充放电性能测试

按照如下步骤进行电堆的充放电性能测试：

- a) 在设定的电堆操作条件下，开启电解液输送泵及充放电测试仪；
- b) 将电堆充电至充电截止条件；
- c) 将电堆放电至放电截止条件；
- d) 重复 b) ~ c) 步骤至少 3 次。

注：重复 b) ~ c) 步骤时应保证电堆的工作状态和环境状态相同。

### 7.5.3 结果计算

7.5.3.1 电堆库仑效率按式 (2) 中计算。

$$\eta_c = \frac{\bar{A}_d}{\bar{A}_c} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\eta_c$  ——电堆库仑效率，%；

$\bar{A}_d$  ——电堆连续 3 个有效循环的放电平均安时容量，单位为安时（Ah）；

$\bar{A}_c$  ——电堆连续 3 个有效循环的充电平均安时容量，单位为安时（Ah）。

7.5.3.2 电堆电压效率按式 (3) 计算。

$$\eta_V = \frac{\bar{V}_d}{\bar{V}_c} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$\eta_V$  ——电堆电压效率, %;

$\bar{V}_c$  ——电堆连续 3 个有效循环的充电平均电压, 单位为伏特 (V);

$\bar{V}_d$  ——电堆连续 3 个有效循环的放电平均电压, 单位为伏特 (V)。

7.5.3.3 电堆能量效率按式 (4) 计算。

$$\eta_E = \frac{\bar{E}_d}{\bar{E}_c} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$\eta_E$  ——电堆能量效率, %;

$\bar{E}_c$  ——电堆连续 3 个有效循环的平均充电瓦时容量, 单位为瓦时 (Wh);

$\bar{E}_d$  ——电堆连续 3 个有效循环的平均放电瓦时容量, 单位为瓦时 (Wh)。

7.5.3.4 电堆电解液利用率按式 (5) 和式 (6) 计算。

$$UE = \frac{\bar{E}_d}{E_T} \times 100\% = \frac{\bar{P}_d t_d}{V_s A_T} \times 100\% \quad (5)$$

$$A_T = cvnF / 3600 \quad (6)$$

式中:

$UE$  ——电堆电解液利用率, %;

$E_T$  ——理论瓦时容量, 单位为瓦时 (Wh);

$\bar{P}_d$  ——放电过程中的平均放电功率, 单位为瓦 (W);

$t_d$  ——放电时间, 单位为小时 (h);

$V_s$  ——以标准电极电位确定的电池正负极标准电极电位差, 为 1.25 V;

$A_T$  ——理论安时容量, 单位为安时 (Ah);

$c$  ——电解液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

$v$  ——正极或负极电解液体积, 单位为升 (L);

$n$  ——转移电子数;

$F$  ——法拉第常数, 96485C/mol。

注: 式 (6) 应满足电堆内电解液与电解液储罐内电解液的体积比不大于 1:10。

取电堆连续 3 个有效循环的电解液利用率, 计算出平均值作为试验结果。

## 7.6 电压均匀性测试

### 7.6.1 测试过程

按照如下步骤测量电堆的电压均匀性:

- 在设定的电堆操作条件下, 开启电解液输送泵及充放电测试仪;
- 将电堆充电至充电截止条件, 并在充电末期测量并记录电堆各个单电池电压  $V_{ci}$ ;
- 将电堆放电至放电截止条件, 并在放电末期测量并记录电堆各个单电池的电压  $V_{di}$ ;

注: 建议充电末期的 SOC 为 80%, 放电末期的 SOC 为 20%。

- 计算组成电堆的所有单电池在充电末期的平均电压  $\bar{V}_c$  和放电末期的平均电压  $\bar{V}_d$ 。

## 7.6.2 结果计算

电压均匀性用电压极差、电压标准偏差和电压离散系数表示。

a) 按式(7)计算充电末期电堆的电压极差 $\gamma_c$ 。

$$\gamma_c = V_{c\max} - V_{c\min} \quad (7)$$

式中:

$\gamma_c$  —— 充电末期电堆的电压极差;

$V_{c\max}$  —— 充电末期电堆中最大单电池电压, 单位为伏特(V);

$V_{c\min}$  —— 充电末期电堆中最小单电池电压, 单位为伏特(V)。

b) 按式(8)计算充电末期电堆的电压标准偏差 $\sigma_c$ 。

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (V_{ci} - \bar{V}_c)^2}{m}} \quad (8)$$

式中:

$\sigma_c$  —— 充电末期电堆的电压标准偏差;

$V_{ci}$  —— 充电末期电堆中第*i*个( $i=1, 2, \dots, m$ )单电池的电压, 单位为伏特(V);

$\bar{V}_c$  —— 充电末期电堆所有单电池的平均电压, 单位为伏特(V);

$m$  —— 电堆单电池个数。

c) 按式(9)计算充电末期电堆的电压离散系数 $\delta_c$ 。

$$\delta_c = \frac{\sigma_c}{\bar{V}_c} \times 100\% \quad (9)$$

式中:

$\delta_c$  —— 充电末期电堆的电压离散系数, 单位为百分比(%)。

d) 按式(10)计算放电末期电堆的电压极差 $\gamma_d$ 。

$$\gamma_d = V_{d\max} - V_{d\min} \quad (10)$$

式中:

$\gamma_d$  —— 放电末期电堆的电压极差;

$V_{d\max}$  —— 放电末期电堆中最大单电池电压, 单位为伏特(V);

$V_{d\min}$  —— 放电末期电堆中最小单电池电压, 单位为伏特(V)。

e) 按式(11)计算放电末期电堆的电压标准偏差 $\sigma_d$ 。

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (V_{di} - \bar{V}_d)^2}{m}} \quad (11)$$

式中:

$\sigma_d$  —— 放电末期电堆的电压标准偏差;

$V_{di}$  —— 放电末期电堆中第*i*个( $i=1, 2, \dots, m$ )单电池的电压, 单位为伏特(V);

$\bar{V}_d$  —— 放电末期电堆所有单电池的平均电压, 单位为伏特(V)。

f) 按式(12)计算放电末期电堆的电压离散系数 $\delta_d$ 。

$$\delta_d = \frac{\sigma_d}{\bar{V}_d} \times 100\% \quad (12)$$

式中:

$\delta_d$  —— 放电末期电堆的电压离散系数, %。

取 3 个有效样品为一组，计算出平均值作为试验结果。

### 7.7 高温存储性能

按照如下步骤，进行电堆高温存储性能测试：

- a) 将电堆放置在温度为  $t_h$  的高低温恒温箱中，保持 12h；  
注： $t_h$  范围推荐为不低于 45℃。
- b) 将电堆移出高低温恒温箱，恢复至室温；
- c) 待电堆恢复至室温后，按 7.2 检查电堆内外漏；
- d) 将电堆连接至电堆系统，在设定的操作条件下，开启电解液输送泵及充放电测试仪；
- e) 按 7.5 进行电堆充放电性能测试。

### 7.8 低温存储性能

按照如下步骤，进行电堆低温存储性能测试：

- a) 将电堆放置在温度为  $t_c$  的高低温恒温箱中，保持 12h；  
注： $t_c$  范围推荐为不高于 -5℃。
- b) 将电堆移出高低温恒温箱，恢复至室温；
- c) 待电堆恢复至室温后，按 7.2 检查电堆内外漏；
- d) 将电堆连接至电堆系统，在设定的操作条件下，开启电解液输送泵及充放电测试仪；
- e) 按 7.5 进行电堆充放电性能测试。

### 7.9 过载能力

#### 7.9.1 充电过载能力试验

按照如下步骤进行电堆充电过载能力试验：

- a) 电堆放电至 0%SOC；
- b) 电堆以不低于 1.1 倍额定功率充电，充电时间不少于 10min；
- c) 重复 a) ~b) 步骤 3 次。

#### 7.9.2 放电过载能力试验

按照如下步骤进行电堆放电过载能力试验：

- a) 电堆充电至 100%SOC；
- b) 电堆以不低于 1.1 倍额定功率放电，放电时间不少于 10min；
- c) 重复 a) ~b) 步骤 3 次。

### 7.10 绝缘性能

采用绝缘电阻测试仪测量电堆集流体与其近端端板之间的绝缘电阻。

## 8 试验准备及试验报告

试验准备参见附录 A，试验报告参见附录 B。

**附 录 A**  
**(资料性附录)**  
**试 验 准 备**

**A.1 概述**

本附录给出在进行测试之前应该考虑的典型项目。对于每项试验来说，应选择高精度的检测仪器及设备，以便将不确定因素减到最少。应准备一个书面的测试计划，下列各项应该列入测试计划：

- a) 测试目的；
- b) 测试规范；
- c) 对测量仪器及设备的要求；
- d) 测试参数范围的估计；
- e) 数据采集计划。

**A.2 数据采集和记录**

为满足目标误差要求，数据采集系统和数据记录设备应满足采集频次与采集速度的需要，其性能应优于性能试验设备。



表 B.1 (续)

<p>测 试 结 果</p>	<p>A. 库仑效率:            %</p> <p>B. 电压效率:            %</p> <p>C. 能量效率:            %</p> <p>D. 电解液利用率:        %</p> <p>E. 电压极差    充电末期               ; 放电末期</p> <p>F. 电压标准偏差    充电末期               ; 放电末期</p> <p>G. 电压离散系数    充电末期               %; 放电末期            %</p> <p>H. 高温存储性能    内外漏:    充放电性能:</p> <p>I. 低温存储性能    内外漏:    充放电性能:</p> <p>J. 充电过载:</p> <p>K. 放电过载:</p>
<p>备注</p>	

参 考 文 献

- [1] QB/T 2502—2000 锂离子蓄电池总规范
  - [2] SJ 20941—2005 锂离子蓄电池通用规范
-

中华人民共和国  
能源行业标准  
全钒液流电池 电堆测试方法  
NB/T 42132—2017

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)  
北京传奇佳彩数码印刷有限公司印刷

\*

2018年8月第一版 2018年8月北京第一次印刷  
880毫米×1230毫米 16开本 1印张 24千字  
印数 001—100册

\*

统一书号 155198·921 定价 13.00元

版权专有 侵权必究  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

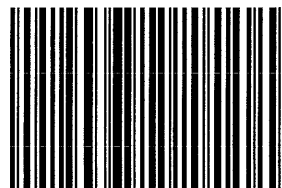


中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供最及时、最准确、最权威的电力标准信息



155198.921