



中华人民共和国国家标准

GB/T 33339—2016

全钒液流电池系统 测试方法

Vanadium flow battery system—Test method

2016-12-13 发布

2017-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验项目	1
5 试验准备	2
6 试验条件	2
7 测量仪器	3
8 试验方法	3
9 测试报告	9
附录 A (资料性附录) 测试报告	10

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国燃料电池及液流电池标准化技术委员会(SAC/TC 342)归口。

本标准主要起草单位:大连融科储能技术发展有限公司、中国科学院大连化学物理研究所、机械工业北京电工技术经济研究所。

本标准参加起草单位:中国电力科学研究院、中国科学院金属研究所、佛山市瑞能达特种材料科技有限公司、清华大学、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、上海神力科技有限公司、北京金能燃料电池有限公司、安徽美能储能系统有限公司、青海百能汇通新能源科技有限公司、中国电器工业协会。

本标准主要起草人:张华民、邹毅、王晓丽、李颖、郑琼、卢琛钰。

本标准参加起草人:来小康、严川伟、陈继忠、王保国、陈晨、李爱魁、张若谷、云廷志、田超贺、骆欣、秦小州、孟琳、侯垚。

全钒液流电池系统 测试方法

1 范围

本标准规定了全钒液流电池系统(简称电池系统)测试方面的术语和定义、试验项目、试验准备、试验条件、测量仪器和试验方法。

本标准适用于各种规模和应用的电池系统。

本标准不涉及电磁兼容性(EMC)试验。

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 29840—2013 全钒液流电池 术语

NB/T 42040—2014 全钒液流电池通用技术条件

ISO/IEC Guide 98-3 测量的不确定度 第3部分:测量中的不确定度的表示指南(Uncertainty of measurement—Part 3:Guide to the expression of uncertainty in measurement)

3 术语和定义

GB/T 29840—2013、NB/T 42040—2014 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

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。

[GB/T 29840—2013,定义 2.1]

3.2

荷电状态 state of charge;SOC

电池实际(剩余)可放出的瓦时容量与实际可放出的最大瓦时容量的比值。

[GB/T 29840—2013,定义 2.22.4]

4 试验项目

表 1 给出了与电池系统相关的性能试验和安全试验项目。

表 1 试验项目及试验分类

序号	性能	安全
1	电堆一致性试验	过充电试验
2	额定功率试验	过放电试验
3	最大放电功率试验	阻燃性能试验
4	最大充电功率试验	氢气泄漏试验
5	额定瓦时容量试验	绝缘电阻试验
6	最大瓦时容量试验	—
7	电池系统额定能量效率试验	—
8	容量保持能力试验	—
9	低温储存性能试验	—
10	高温储存性能试验	—
11	过载能力试验	—
12	状态参数精度试验	—
13	SOC 精度试验	—
14	保护功能试验	—

5 试验准备

5.1 概述

对于每项试验来说,应选择适合的测量仪器及设备,并制定试验计划,以便将不确定因素减到最少。试验各方应以本标准为基础,制定书面试验计划,下列各项应列入试验计划:

- a) 目的;
- b) 测试规范;
- c) 测试人员资格;
- d) 结果不确定度符合 ISO/IEC Guide 98-3 要求;
- e) 对测量仪器及设备的要求;
- f) 测试参数范围的估计;
- g) 数据采集计划(符合 5.2 的要求)。

5.2 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,其性能应优于试验设备。

6 试验条件

除非另有要求,否则试验应在本标准规定的试验条件下进行:

——环境温度:25 ℃±5 ℃;

- 空气湿度:5%~95%;
- 电解液温度:30℃±5℃。

7 测量仪器

7.1 概述

测量仪器应按国家有关计量检验规程或有关标准检验合格并在有效期内,并应满足制造商规定的测量精度指标。

7.2 电气测量

7.2.1 仪表量程

所用仪表的量程应随被测电流和电压的量值确定,即读数应在量程的后三分之一的范围内。

7.2.2 电压测量

测量电压的仪表应是不低于0.5级精度的电压表,其内阻至少为1kΩ/V。

注:上述电压的测量也可以采用具有同等精度的其他测量仪器。

7.2.3 电流测量

测量电流的仪表应是不低于0.5级精度的电流表。

注:上述电流的测量也可以采用具有同等精度的其他测量仪器。

7.2.4 电能测量

测量电能的仪表应是不低于0.5级精度的电能测量仪表。

7.3 温度测量

测量温度的温度计应具有适当的量程,其分度值不大于1℃,标定准确度应不低于0.5℃。

7.4 时间测量

测量时间的仪表应按时、分、秒分度,准确度不低于±1s/h。

7.5 信号测量

测量信号变化的仪表应为带宽不低于40MHz,采样速率不低于1GS/s的示波器。

7.6 气体浓度测量

测量氢气浓度的仪表应具有适当的量程,其精度应不低于±5%F.S.。

8 试验方法

8.1 性能试验

8.1.1 电堆一致性试验

8.1.1.1 能量效率一致性试验

按照如下步骤进行能量效率一致性试验:

GB/T 33339—2016

- a) 电池系统充电至 100%SOC;
- b) 电池系统以额定功率进行放电直至放电截止条件;
- c) 电池系统以额定功率进行充电直至充电截止条件;
- d) 电池系统以额定功率进行放电直至放电截止条件;
- e) 重复 c)~d)步骤 3 次;
- f) 记录每个电堆每次充放电循环的放电瓦时容量和充电瓦时容量;
- g) 按式(1)分别计算每个电堆的能量效率;

注: 对于大规模电池系统, 考虑到测试的可操作性, 可以选用单元电池系统代替电池系统整体进行测试。

$$\eta_{\text{stack}, i} = \left(\frac{E_{d1}}{E_{c1}} + \frac{E_{d2}}{E_{c2}} + \frac{E_{d3}}{E_{c3}} \right) / 3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $\eta_{\text{stack}, i}$ —— 第 i 个电堆的能量效率;
- E_{dn} —— 电堆第 n 个充放电循环所放出的能量, 单位为瓦时(W·h);
- E_{cn} —— 电堆第 n 个充放电循环所消耗的能量, 单位为瓦时(W·h)。

- h) 按式(2)计算电堆性能极差系数。

$$\kappa_{\text{stack}} = \frac{(\eta_{\text{stack}, \text{max}} - \eta_{\text{stack}, \text{min}})}{\eta_{\text{stack}, \text{avg}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- κ_{stack} —— 极差系数;
- $\eta_{\text{stack}, \text{max}}$ —— 电池系统所有电堆中的能量效率最大值, %;
- $\eta_{\text{stack}, \text{min}}$ —— 电池系统所有电堆中的能量效率最小值, %;
- $\eta_{\text{stack}, \text{avg}}$ —— 电池系统所有电堆的能量效率的平均值, %。

8.1.1.2 电压极差试验

按照如下步骤进行电压极差试验:

- a) 将电池系统充电至 100%SOC;
- b) 电池系统以额定功率进行放电;
- c) 每隔一定时间测量并记录每个电堆的电压 U_{dn} , 直至放电末期测试点应不少于 5 个, 每个测试点时间间隔应保持一致;
- d) 电池系统继续放电至放电截止条件;
- e) 电池系统以额定功率进行充电;
- f) 每隔一定时间测量并记录每个电堆的电压 U_{cn} , 直至充电末期测试点应不少于 5 个, 每个测试点时间间隔应保持一致;

注 1: 建议放电末期的 SOC 为 20%, 充电末期的 SOC 为 80%。

注 2: 测量间隔时间可由用户和制造商协商确定。

- g) 按式(3)分别计算电堆充电过程和放电过程的电压极差并形成数据表格。

注 3: 对于大规模电池系统, 考虑到测试的可操作性, 可以选用单元电池系统代替电池系统整体进行测试。

$$\Delta U_{\text{stack}, n} = U_{\text{stack}, n, \text{max}} - U_{\text{stack}, n, \text{min}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $\Delta U_{\text{stack}, n}$ —— 电池系统在第 n 个测试点的电压极差;
- $U_{\text{stack}, n, \text{max}}$ —— 电池系统所有电堆在第 n 个测试点的电压最大值, 单位为伏特(V);
- $U_{\text{stack}, n, \text{min}}$ —— 电池系统所有电堆在第 n 个测试点的电压最小值, 单位为伏特(V)。

8.1.2 额定功率试验

按 NB/T 42040—2014 中 5.5 的规定进行。

8.1.3 最大放电功率试验

8.1.3.1 90%SOC 最大放电功率试验

按照如下步骤进行电池系统最大放电功率试验：

- a) 使电池系统处于 90%SOC 状态；
- b) 电池系统以恒定的最大功率进行放电，且放电时间不少于 10 min；
- c) 记录 b) 步骤的放电功率。

8.1.3.2 50%SOC 最大放电功率试验

按照如下步骤进行电池系统最大放电功率试验：

- a) 使电池系统处于 50%SOC 状态；
- b) 电池系统以恒定的最大功率进行放电，且放电时间不少于 10 min；
- c) 记录 b) 步骤的放电功率。

8.1.3.3 10%SOC 最大放电功率试验

按照如下步骤进行电池系统最大放电功率试验：

- a) 使电池系统处于 10%SOC 状态；
- b) 电池系统以恒定的最大功率进行放电，且放电时间不少于 10 min；
- c) 记录 b) 步骤的放电功率。

8.1.4 最大充电功率试验

8.1.4.1 90%SOC 最大充电功率试验

按照如下步骤进行电池系统最大充电功率试验：

- a) 使电池系统处于 90%SOC 状态；
- b) 电池系统以恒定的最大功率进行充电，且充电时间不少于 10 min；
- c) 记录 b) 步骤的充电功率。

8.1.4.2 50%SOC 最大充电功率试验

按照如下步骤进行电池系统最大充电功率试验：

- a) 使电池系统处于 50%SOC 状态；
- b) 电池系统以恒定的最大功率进行充电，且充电时间不少于 10 min；
- c) 记录 b) 步骤的充电功率。

8.1.4.3 10%SOC 最大充电功率试验

按照如下步骤进行电池系统最大充电功率试验：

- a) 使电池系统处于 10%SOC 状态；
- b) 电池系统以恒定的最大功率进行充电，且充电时间不少于 10 min；
- c) 记录 b) 步骤的充电功率。

GB/T 33339—2016

8.1.5 额定瓦时容量试验

按照如下步骤进行电池系统额定瓦时容量试验：

- a) 电池系统充电至 100%SOC；
- b) 电池系统以额定功率进行放电至 30%SOC；
- c) 继续以额定功率的 30%进行放电直至放电截止条件；
- d) 放电过程中记录电池系统的 SOC；
- e) 重复 a)~d)步骤 3 次；
- f) 记录电池系统最后一次充放电循环的放电瓦时容量和辅助能耗；
- g) 按式(4)计算电池系统的额定放电瓦时容量。

注 1：对于大规模电池系统，考虑到测试的可操作性，可以选用单元电池系统代替电池系统整体进行测试。

$$E_r = E_{sd} - W_{sd} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

E_r —— 电池系统的额定瓦时容量，单位为瓦时(W·h)；

E_{sd} —— 由测量仪器记录的电池系统最后一次循环的放电瓦时容量，单位为瓦时(W·h)；

W_{sd} —— 由测量仪器记录的电池系统最后一次循环放电过程辅助设备所消耗的能量，单位为瓦时(W·h)。

注 2：对于辅助能耗由液流电池自身供应的电池系统，测量仪器记录的放电瓦时容量即为额定瓦时容量，即 $E_r = E_{sd}$ 。

8.1.6 最大瓦时容量试验

按照如下步骤进行电池系统的最大瓦时容量试验：

- a) 电池系统充电至 100%SOC；
- b) 电池系统以某一小于额定值的恒定功率进行放电直至放电截止条件；
注：推荐的放电功率值为额定功率的 30%。
- c) 放电过程中记录电池系统的 SOC；
- d) 记录电池系统的放电瓦时容量和辅助能耗；
- e) 按式(4)计算电池系统的最大瓦时容量。

8.1.7 电池系统额定能量效率试验

按照如下步骤进行电池系统能量效率试验：

- a) 电池系统充电至 100%SOC；
- b) 电池系统以额定功率进行放电直至放电截止条件；
- c) 电池系统以额定功率进行充电直至充电截止条件；
- d) 电池系统以额定功率进行放电直至放电截止条件；
- e) 充放电时记录电池系统的 SOC；
- f) 重复 c)~e)步骤 3 次；
- g) 记录 3 次充放电循环的充放电瓦时容量和辅助能耗；
- h) 按式(5)分别计算 3 次充放电循环的电池系统能量效率。

注 1：对于大规模电池系统，考虑到测试的可操作性，可以选用单元电池系统代替电池系统整体进行测试。

$$\eta = \frac{E_{sd} - W_{sd}}{E_{sc} + W_{sc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

η —— 电池系统额定能量效率，%；

E_{sd} ——由测量仪器记录的电池系统的放电瓦时容量,单位为瓦时(W·h);

W_{sd} ——由测量仪器记录的电池系统放电过程的辅助能耗,单位为瓦时(W·h);

E_{sc} ——由测量仪器记录的电池系统的充电瓦时容量,单位为瓦时(W·h);

W_{sc} ——由测量仪器记录的电池系统充电过程的辅助能耗,单位为瓦时(W·h)。

注2:对于辅助能耗由全钒液流电池自身供应的系统,测量仪器记录的放电瓦时容量即为电池系统的放电瓦时容量,即 $\eta = \frac{E_{sd}}{E_{sc}} \times 100\%$ 。

8.1.8 容量保持能力试验

按照如下步骤进行电池系统容量保持能力试验:

- a) 电池系统充电至 100%SOC;
- b) 电池系统以额定功率进行放电直至放电截止条件;
- c) 电池系统以额定功率进行充电直至充电截止条件;
- d) 电池系统以额定功率进行放电直至放电截止条件;
- e) 充放电时记录电池系统的 SOC;
- f) 连续重复 c)~e) 步骤 99 次;
- g) 电池系统按 8.1.5 规定的方法进行放电瓦时容量试验并记录相关数据;
- h) 按式(6)计算电池系统的容量衰减率。

注:对于大规模电池系统,考虑到测试的可操作性,可以选用单元电池系统代替电池系统整体进行测试。

$$R = \left(1 - \frac{E_d}{E_r}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

R ——电池系统容量衰减率,%;

E_d ——电池系统净放电瓦时容量,单位为瓦时(W·h);

E_r ——电池系统额定瓦时容量,单位为瓦时(W·h)。

8.1.9 低温储存性能试验

按 NB/T 42040—2014 中 5.8 的规定进行。

8.1.10 高温储存性能试验

按 NB/T 42040—2014 中 5.9 的规定进行。

8.1.11 过载能力试验

8.1.11.1 充电过载能力试验

按照如下步骤进行电池系统充电过载能力试验:

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

8.1.11.2 放电过载能力试验

按照如下步骤进行电池放电过载能力试验:

- a) 电池系统充电至 100%SOC;
- b) 电池系统以不低于 1.1 倍额定功率放电,放电时间不少于 10 min;

- c) 重复 a)~ b)步骤 3 次。

8.1.12 状态参数精度试验

按照如下步骤进行状态参数精度试验：

- a) 在电池系统设有电压、电流和温度传感设备处安装相应的电压、电流和温度测量仪器；
- b) 启动电池管理系统电源开关；
- c) 电池管理系统采集传感设备反馈的信号；
- d) 计算步骤 c)采集的数据与测量仪器实测数据之间的偏差。

8.1.13 SOC 精度试验

8.1.13.1 放电过程 SOC 精度试验

按照如下步骤进行放电过程 SOC 精度试验：

- a) 电池系统充电至 100%SOC；
- b) 电池系统以恒功率进行放电直至放电截止条件；
- c) 放电期间每隔 10%SOC 记录一次电池管理系统显示的 SOC 值，即 $SOC_{n,d}$ ；
注：记录的 SOC 区间范围为 10%~90%。
- d) 逐个记录电池系统从每个显示 SOC 值时刻至放电截止条件过程中所放出的瓦时容量 $E_{n,d}$ ；
- e) 按式(7)和式(8)计算放电过程的实际 SOC 值和 SOC 精度。

$$SOC_{r,n,d} = \frac{E_{n,d}}{E_{max,d}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $SOC_{r,n,d}$ —— 电池系统放电过程的实际 SOC 值；
- $E_{n,d}$ —— 电池系统从第 n 个显示 SOC 值时刻至放电截止条件过程中所放出的瓦时容量，单位为瓦时(W·h)；
- $E_{max,d}$ —— 电池系统实际可放出的最大瓦时容量，单位为瓦时(W·h)。

$$\sigma_{soc,d} = | SOC_{r,n,d} - SOC_{n,d} | \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $\sigma_{soc,d}$ —— 电池系统放电过程 SOC 精度；
- $SOC_{r,n,d}$ —— 电池系统放电过程的实际 SOC 值；
- $SOC_{n,c}$ —— 放电过程电池管理系统显示的 SOC 值。

8.1.13.2 充电过程 SOC 精度试验

按照如下步骤进行充电过程 SOC 精度试验：

- a) 电池系统放电至 0%SOC；
- b) 电池系统以恒功率进行充电直至放电截止条件；
- c) 充电期间每隔 10%SOC 记录一次电池管理系统显示的 SOC 值，即 $SOC_{n,c}$ ；
注：记录的 SOC 区间范围为 10%~90%。
- d) 逐个记录电池系统充电至每个显示 SOC 值时刻所充入的瓦时容量 $E_{n,c}$ ；
- e) 按式(9)和式(10)计算充电过程的实际 SOC 值和 SOC 精度。

$$SOC_{r,n,c} = \frac{E_{n,c}}{E_{max,c}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $SOC_{r,n,c}$ —— 电池系统充电过程的实际 SOC 值；

$E_{n,c}$ —— 电池系统充电至第 n 个显示 SOC 值时刻所充入的瓦时容量,单位为瓦时(W·h);
 $E_{\max,c}$ —— 电池系统实际可充入的最大瓦时容量,单位为瓦时(W·h)。

$$\sigma_{\text{soc},c} = | \text{SOC}_{r,n,c} - \text{SOC}_{n,c} | \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$\sigma_{\text{soc},c}$ —— 电池系统充电过程 SOC 精度;
 $\text{SOC}_{r,n,c}$ —— 电池系统充电过程的实际 SOC 值;
 $\text{SOC}_{n,c}$ —— 充电过程电池管理系统显示的 SOC 值。

8.1.14 保护功能试验

按照如下步骤进行故障诊断及处理功能试验:

- a) 开启电池系统,使其处于运行状态;
- b) 向电池系统输入过充电、过放电、欠电压、过电压、电解液温度过高、电解液温度过低,电解液泄漏等故障模拟信号;
- c) 监测电池管理系统人机界面显示的功能性数据。

8.2 安全性试验

8.2.1 过充电试验

按 NB/T 42040—2014 中 5.10 的规定进行。

8.2.2 过放电试验

按 NB/T 42040—2014 中 5.11 的规定进行。

8.2.3 阻燃性能试验

按 NB/T 42040—2014 中 5.14 的规定进行。

8.2.4 氢气泄漏试验

在确认安全措施得以保证后,按照如下步骤进行电池系统氢气泄漏试验:

- a) 将氢气浓度测试仪安装于固定的测试位置;
注:推荐的测试位置为储罐外三分之二高度处、电池系统最高点以及电池系统的狭小空间处。
- b) 开启氢气浓度测试仪,设置检测周期为 30 s;
- c) 电池系统充电至 100%SOC。

8.2.5 绝缘电阻试验

按 NB/T 42040—2014 中 5.16 的规定进行。

9 测试报告

测试报告参见附录 A。

附录 A
(资料性附录)
测试报告

A.1 概述

根据所做试验,测试报告应提供足够多的正确、清晰和客观的数据用来进行分析和参考。报告应包含第 8 章中所有的数据。报告有 3 种形式:摘要式、详细式和完整式。每种类型的报告都应包含相应的标题页和内容目录。

A.2 测试报告内容

A.2.1 标题页

标题页应包括下列各项信息:

- 报告编号(可选择);
- 报告的类型(摘要式、详细式和完整式);
- 报告的作者;
- 试验者;
- 报告日期;
- 试验的场所;
- 试验的名称;
- 试验日期;
- 电池系统制造商的名称;
- 试验申请单位。

A.2.2 目录

每种类型的报告都应提供一个目录。

A.2.3 测试报告形式

A.2.3.1 摘要式报告

摘要式报告应包括下列各项信息:

- 试验的目的;
- 试验的种类、仪器和设备;
- 试验的条件(包括电解液温度);
- 所有的试验结果;
- 结论。

A.2.3.2 详细式报告

详细式报告除包含摘要式报告的内容外,还应包括下列各项数据:

- 仪器和设备的安排、布置和操作条件的描述;

- 仪器设备校准情况；
- 用图或表的形式说明试验结果；
- 试验结果的讨论分析。

A.2.3.3 完整式报告

完整式报告除了包含详细式报告的内容外,还应有原始数据的副本。
