

# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX-XXXX

## 电化学储能电站检修试验规程

Code of maintenance test for electrochemical  
energy storage station

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会

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 ..... 2

4 总则 ..... 2

5 试验设备 ..... 2

6 电池阵列试验 ..... 3

7 储能变流器试验 ..... 22

8 监控系统试验 ..... 26

9 整站试验 ..... 28

## 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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电力储能标准化技术委员会（SAC/TC 550）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 电化学储能电站检修试验规程

## 1 范围

本文件规定了电化学储能电站检修试验所需试验设备和电池阵列、储能变流器、监控系统以及整站试验的项目、方法和技术要求等。

本文件适用于以锂离子电池、铅炭电池、液流电池、燃料电池为储能载体的电化学储能电站。

## 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 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 6904 工业循环冷却水及锅炉用水中的 pH 的测定
- GB/T 6908 锅炉用水和冷却水分析方法 电导率的测定
- GB/T 6910 锅炉用水和冷却水分析方法 钙的测定 络合滴定法
- GB/T 9721 化学试剂 分子吸收分光光度法通则(紫外和可见光部分)
- GB/T 9740 化学试剂 蒸发残渣测定通用方法
- GB/T 11901 水质 悬浮物的测定 重量法
- GB/T 12148 锅炉用水和冷却水分析方法 全硅的测定 低含量硅氢氟酸转换法
- GB/T 14420 锅炉用水和冷却水分析方法 化学耗氧量的测定 重铬酸钾快速法
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15454 工业循环冷却水中钠、铵、钾、镁和钙离子的测定 离子色谱法
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语
- GB/T 29617 数字密度计测定液体密度、相对密度和 API 比重的试验方法
- GB 32311 水电解制氢系统能效限定值及能效等级
- GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术规范
- GB/T 36547 电化学储能系统接入电网技术规定
- GB/T 39305 再生水水质 氟、氯、亚硝酸根、硝酸根、硫酸根的测定 离子色谱法
- GB XXXXX 电化学储能电站安全规程
- GB/T XXXX 电化学储能电站检修规程
- GB/T 41330 锅炉用水和冷却水分析方法 痕量铜、铁、钠、钙、镁含量的测定 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法
- DL/T 502.6 火力发电厂水汽分析方法 第 6 部分：总碳酸盐的测定
- DL/T 573 电力变压器检修导则
- DL/T 724 电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程
- DL/T 727 互感器运行检修导则

## GB XXXXX-XXXX

DL/T 995 继电保护和电网安全自动装置检验规程  
DL/T 1664 电能计量装置现场检验规程  
DL/T 1686 六氟化硫高压断路器状态检修导则  
DL/T 1689 气体绝缘金属封闭开关设备状态检修导则  
DL/T 1700 隔离开关及接地开关状态检修导则  
DL/T 1702 金属氧化物避雷器状态检修导则  
DL/T 2528 电力储能基本术语  
NB/T 33015 电化学储能系统接入配电网技术规定  
NB/T 42006 全钒液流电池用电解液 测试方法  
NB/T 42133 全钒液流电池用电解液 技术条件  
TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

### 3 术语和定义

DL/T 2528 和 GB/T 24499 界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 总则

- 4.1 电化学储能电站检修试验在电化学储能电站检修工作完成后开展，检修后的设备经试验验证合格后才能投运。
- 4.2 电化学储能电站检修试验前应制定检修试验方案，制定安全措施，电化学储能电站检修试验安全应符合 GB XXXXX《电化学储能电站安全规程》的规定。
- 4.3 电化学储能电站检修试验过程中应制定环保措施，试验中产生的报废电池、电解液等废料应做好回收处理。
- 4.4 检修试验人员应熟悉设备的原理、构造和性能，掌握设备的检修试验工艺，接受相应的安全教育和岗位技能培训，经考试合格上岗。
- 4.5 检修试验工作应配备相应的安全工器具及防护用具。
- 4.6 电化学储能电站的检修试验包含：电池阵列试验、储能变流器试验、监控系统试验、整站试验。电化学储能电站相关的变压器、开关、避雷器、互感器等一次设备检修试验应按照 DL/T 573、DL/T 727、DL/T 1686、DL/T 1689、DL/T 1700、DL/T 1702 的规定执行，站用交直流系统、继电保护与自动化、计量等二次设备检修试验应按照 DL/T 724、DL/T 995、DL/T 1664 的规定执行。
- 4.7 涉网试验项目，应符合相关管理规定要求。
- 4.8 试验过程中，操作人员必须密切注意设备运行情况，一旦发现异常，必须停止试验再次维修。
- 4.9 检修试验完成后应编制相应的检修试验报告。

### 5 试验设备

#### 5.1 试验仪器仪表

- 5.1.1 试验仪器仪表应检验合格，并在有效期内。
- 5.1.2 试验仪器仪表准确度等级要求见表 1。

表1 试验仪器仪表准确度等级要求

名称	准确度等级	备注
绝缘电阻测试仪	$\pm 2.5\%$	FS (满量程)
内阻测试仪	$\pm 0.5\%$	FS (满量程)
接地电阻测试仪	$\pm 0.5\%$	FS (满量程)
电导仪	$\pm 0.5\%$	FS (满量程)
钳形电流表	$\pm 0.2\%$	FS (满量程)
电压表	$\pm 0.2\%$	FS (满量程)
交流功率表	$\pm 0.5\%$	FS (满量程)
继电保护测试仪	0.5 级	
风量测试仪	0.5 级	
压力表	0.1 级	
温度计	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	
气密检查仪	$\pm 0.05\%$	FS (满量程)
氢中氧/氧中氢分析仪	$\pm 3\%$	FS (满量程)
微氧分析仪	$\pm 3\%$	FS (满量程)
气相色谱仪	$\pm 1\%$	FS (满量程)
露点仪	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	

## 5.2 用于试验的模拟电网装置性能

模拟电网装置应能模拟公用电网的电压幅值、频率和相位的变化，并符合以下技术要求：

- 与储能变流器连接侧的电压谐波应小于 GB/T 14549 中谐波允许值的 50%；
- 与电网连接侧的电流谐波应小于 GB/T 14549 中谐波允许值的 50%；
- 在测试过程中，稳态电压变化幅度不得超过标称电压的 1%；
- 电压偏差应小于标称电压的 0.2%；
- 频率偏差应小于 0.01Hz；
- 三相电压不平衡度应小于 1%，相位偏差应小于 3°；
- 中性点不接地的模拟电网装置，中性点位移电压应小于相电压的 1%；
- 额定功率( $P_N$ ，下同)应大于被测试电化学储能系统的额定功率；
- 具有在一个周波内进行  $\pm 0.1\%$  额定频率  $f_N$  的调节能力；
- 具有在一个周波内进行  $\pm 1\%$  额定电压  $U_N$  的调节能力；
- 阶跃响应调节时间应小于 20ms。

## 6 电池阵列试验

### 6.1 一般规定

电池阵列检修完成后应开展相关试验，验证储能电池阵列特性符合要求。按照 GB/T XXXX《电化学储能电站检修规程》的要求，不同种类的储能电池应开展的试验项目、应验证的参量及技术要求所在章节如表 2 所示。

表 2 储能电池阵列试验的试验项目、应验证的参量及技术要求所在章节

电池种类	试验项目	应验证的参量	技术要求 (章条号)
锂离子 电池	电池模块绝缘电阻试验	绝缘电阻阻值	6.2.1.2
	电池簇绝缘电阻试验	绝缘电阻阻值	6.2.2.2
	电池簇充放电试验	电池簇充放电能量与其他簇偏差； 电池单体的电压极差、温度极差	6.2.3.2
	电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验	风冷系统风机绝缘电阻阻值	6.2.4.2
	电池阵列风冷系统风机风量试验	风量测量值	6.2.5.2
	电池阵列液冷系统循环泵绝缘电阻试验	液冷系统循环泵绝缘电阻阻值	6.2.6.2
	电池阵列液冷系统循环泵温度传感器校验	循环泵进、出水口温度差； 循环泵出水口与出水温度差	6.2.7.2
	电池阵列液冷系统循环管路漏液检测	漏液与否	6.2.8.2
	电池管理系统单体电压采集精度试验	电池单体电压测量误差值	6.2.9.2
	电池管理系统电池簇总电压采集精度试验	电池簇电压测量误差值	6.2.10.2
	电池管理系统温度测量精度试验	电池管理系统温度测量误差值	6.2.11.2
	电池管理系统电流测试精度试验	电池电流测量误差值	6.2.12.2
	电池管理系统保护功能试验	保护功能	6.2.13.2
	电池管理系统通信功能试验	通信功能	6.2.14.2
铅炭电池	电池单体内阻试验	单体电池内阻值	6.3.1.2
	电池模块绝缘电阻试验	绝缘电阻阻值	6.3.2.2
	电池簇绝缘电阻试验	绝缘电阻阻值	6.3.3.2
	电池簇充放电试验	电池簇充放电能量与其他簇偏差； 电池单体的电压极差、温度极差	6.3.4.2
	电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验	风冷系统风机绝缘电阻阻值	6.3.5.2
	电池阵列风冷系统风机风量试验	风量测量值	6.3.6.2
	电池管理系统单体电压采集精度试验	电池单体电压测量误差值	6.3.7.2
	电池管理系统电池簇总电压采集精度试验	电池簇电压测量误差值	6.3.8.2
	电池管理系统温度测量精度试验	电池管理系统温度测量误差值	6.3.9.2
	电池管理系统电流测试精度试验	电池电流测量误差值	6.3.10.2
	电池管理系统保护功能试验	保护功能	6.3.11.2
电池管理系统通信功能试验	通信功能	6.3.12.2	
液流电池	电解液性能试验	电解液浓度、价态、杂质元素含量	6.4.1.2
	电堆绝缘电阻试验	电堆绝缘电阻值	6.4.2.2
	电池系统能量试验	电池系统能量	6.4.3.2
	电池系统能量效率及电堆极差试验	电池系统能量效率、充放电电堆电压极差	6.4.4.2
	电解液循环泵绝缘电阻试验	电解液循环泵绝缘电阻值	6.4.5.2
	电解液循环泵流量试验	循环泵液压与流量关系	6.4.6.2
	电解液循环系统管路耐压试验	管路耐压性能	6.4.7.2
	电池管理系统电堆电压采集精度试验	电堆电压测量误差值	6.4.8.2
	电池管理系统电池总电压测量精度试验	电池总电压测量误差值	6.4.9.2

	电池管理系统温度测量精度试验	温度测量误差值	6.4.10.2
	电池管理系统流量测量精度试验	流量测量误差值	6.4.11.2
	电池管理系统循环管路压力测试精度试验	压力测量误差值	6.4.12.2
	电池管理系统电流测试精度试验	电流测量误差值	6.4.13.2
	电池管理系统保护功能试验	保护功能	6.4.14.2
	电池管理系统通信功能试验	通信功能	6.4.15.2
燃料电池	氢气管道、容器接地电阻试验	氢气管道、容器的对地电阻值	6.5.1.2
	燃料电池阵列气密性试验	气体平均每小时泄漏率	6.5.2.2
	电动、气动阀门传动试验	电动、气动阀门传动功能	6.5.3.2
	燃料电池阵列压力容器检验	按照 TSG 21 要求	6.5.4
	水质及电解液成分检测	溶液电导率等（详见表 4~表 8）	6.5.5.2
	电池阵列控制系统保护功能试验	保护功能	6.5.6.2
	电池阵列控制系统控制功能试验	控制系统功能	6.5.7.4
	制氢系统启动/停机和效率试验	制氢系统启/停功能； 产氢量、氢气纯度	6.5.8.3
	水电解制氢系统能效试验	直流单位能耗值和单位能耗值	6.5.9.3
	制氢系统氢气、氧气纯度试验	氢气纯度、氧气纯度； 制氢系统纯化装置出口微氧含量、露点	6.5.10.4
	储氢系统放氢容量试验	放氢容量测定值、放氢速率测定值	6.5.11.3
电池系统启动/停机试验和效率试验	电池系统启/停功能、系统效率	6.5.12.4	

## 6.2 锂离子电池阵列试验

### 6.2.1 电池模块绝缘电阻试验

6.2.1.1 电池模块绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- 断开电池模块正/负极与外部电气连接；
- 根据电池簇电压，参考表 3 规格选择绝缘电阻测试仪；
- 使用绝缘电阻测试仪测量电池模块正极与金属壳体绝缘电阻值；
- 使用绝缘电阻测试仪测量电池模块负极与金属壳体绝缘电阻值；
- 记录检验结果。

6.2.1.2 电池模块正、负极与金属壳体之间的绝缘电阻值均应不小于 10MΩ。

表 3 绝缘电阻测试仪电压等级

电池簇最大工作电压 $U_{\max}$ V	测量仪的电压等级 V
$U_{\max} < 500$	500
$500 \leq U_{\max} < 1000$	1000
$U_{\max} \geq 1000$	2500

### 6.2.2 电池簇绝缘电阻试验

6.2.2.1 电池簇绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- 根据电池簇电压，参考表 3 规格选择绝缘电阻测试仪；
- 使用绝缘电阻测试仪测量电池簇正极与电池柜接地线绝缘电阻值；

- c) 使用绝缘电阻测试仪测量电池簇负极与电池柜接地线绝缘电阻值；
- d) 记录检验结果。

6.2.2.2 按照电池簇标称电压计算，电池簇正、负极与电池柜接地线之间的绝缘电阻值均应不小于10MΩ。

6.2.3 电池簇充放电试验

6.2.3.1 对电池簇充放电试验按照下列步骤进行：

- a) 将其他电池簇从电池阵列中退出，保留被测电池簇与储能变流器连接；
- b) 将钳形电流表夹在充放电主正或主负电路中；
- c) 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件，静置30min；
- d) 将电池簇以额定功率充电至充电截止条件，静置30min；
- e) 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件，记录步骤的d)、e)的充电能量 $E_d$ 、放电能量 $E_e$ ，按式(1)计算能量效率 $\eta$ ：

$$\eta = \frac{E_e}{E_d} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- f) 记录步骤c)、d)的电池单体的电压极差、电池单体的温度极差。

6.2.3.2 电池簇充放电试验结果应符合下列要求：

- a) 电池簇充放电能量与阵列中其它簇能量偏差不大于±20%；
- b) 电池簇充放电能量效率应不小于90%；
- c) 电池簇内电池单体的电压极差应不大于300mV，温度极差应不大于10℃。

6.2.4 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验

6.2.4.1 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- a) 断开电池阵列风冷系统风机电源连接线；
- b) 根据风冷系统供电电压，参考表3规格选择绝缘电阻测试仪；
- c) 使用绝缘电阻测试仪测量电源各引脚与接地排之间的绝缘电阻；
- d) 记录检验结果。

6.2.4.2 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻应大于0.5MΩ。

6.2.5 电池阵列风冷系统风机风量试验

6.2.5.1 电池阵列风冷系统风机风量试验按照下列步骤进行：

- a) 选择合适的风量测量仪；
- b) 在风机出口安装风量测量仪器；
- c) 启动电池阵列风冷系统；
- d) 测量风量并记录检验结果。

6.2.5.2 风量测量值应满足电池阵列风冷系统风机风量技术要求。

6.2.6 电池阵列液冷系统循环泵绝缘电阻试验

6.2.6.1 电池阵列液冷系统循环泵绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- a) 断开电池阵列液冷系统循环泵电源；
- b) 根据液冷系统供电电压，参考表3规格选择绝缘电阻测试仪；
- c) 使用绝缘电阻测试仪测量电源各引脚与接地排之间的绝缘电阻；
- d) 记录检验结果。

6.2.6.2 电池阵列液冷系统循环泵绝缘电阻应大于 0.5MΩ。

6.2.7 电池阵列液冷系统循环泵温度传感器校验

6.2.7.1 电池阵列液冷系统循环泵温度传感器校验按照下列步骤进行：

- a) 启动液冷系统，设定液冷系统出口温度与电池温度相同；
- b) 液冷系统循环运行 5 min；
- c) 记录循环泵出水口温度 T1，进水口温度 T2；
- d) 打开截止阀，释放 300ML 冷却液，并测量冷却液温度 T0；
- e) 补充 300ML 冷却液到冷却系统；
- f) 记录校验结果。

6.2.7.2 温度结果应满足：

- a)  $|T1-T0| \leq 2^{\circ}\text{C}$ ；
- b)  $|T2-T1| \leq 2^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.8 电池阵列液冷系统循环管路漏液检测：

6.2.8.1 电池阵列液冷系统循环管路漏液测试按照下列步骤进行：

- a) 启动液冷系统，将流量设定为最大值；
- b) 液冷系统循环运行 1 小时，观察维修接口是否存在液体泄漏情况；
- c) 记录校验结果。

6.2.8.2 维修接口应无漏液现象。

6.2.9 电池管理系统单体电压采集精度试验

6.2.9.1 电池管理系统单体电压采集精度试验应按照下列步骤进行：

- a) BMS 单体电池电压采集线束未连接前，用电压表测量电池单体电压并记录  $U_M$ ；
- b) 连接 BMS 单体电池电压采集线束，BMS 上电正常后，记录电池管理系统显示屏上的电池单体电压  $U_R$ ；
- c) 按照式（2）计算电池单体电压测量误差，并记录数据。

$$\Delta U = |U_M - U_R| \dots\dots\dots (2)$$

式中：  
 $\Delta U$ ——电池单体电压测量误差；  
 $U_M$ ——电压表测量值；  
 $U_R$ ——BMS 显示值。

6.2.9.2 电池单体测量最大误差值应不大于 5mV。

6.2.10 电池管理系统电池簇总电压采集精度试验

6.2.10.1 电池管理系统电压采集精度试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，记录电池管理系统显示屏上的电池总电压  $U_R$ ；
- b) 用电压表测量电池簇总电压值并记录，重复测量三次计算其平均值  $U_M$ ；
- c) 按照式（3）计算电池总电压测量误差，并记录数据。

$$\Delta U = \frac{|U_M - U_R|}{U_M} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：  
 $\Delta U$ ——电压测量误差；

$U_M$ ——电压表测量值；

$U_R$ ——BMS 显示值。

6.2.10.2 电池簇总电压测量误差应不大于 1%。

6.2.11 电池管理系统温度测量精度试验

6.2.11.1 电池管理系统温度测量精度试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 温度采集线束未连接前，用温度计测量温度并记录 $t_M$ ；
- b) 连接 BMS 温度采集线束，BMS 上电正常工作后，记录电池管理系统显示屏上的温度值 $t_R$ ；
- c) 按照式（4）计算温度测量误差，并记录数据。

$$\Delta t = |t_M - t_R| \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Delta t$ ——温度测量误差；

$t_M$ ——温度测试设备测量值；

$t_R$ ——电池管理系统温度测量值。

6.2.11.2 电池管理系统温度测量误差应不大于 2℃。

6.2.12 电池管理系统电流测试精度试验

6.2.12.1 电池管理系统电流测量精度试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，电池系统在 50%额定功率和 100%额定功率下分别充放电 10min；
- b) 用钳形电流表测量电池系统电流值并记录为  $I_M$ ；
- c) 记录电池管理系统的显示电流值 $I_R$ ；
- d) 按照式（5）计算电流测量误差，并记录数据。

$$\Delta I = \frac{|I_M - I_R|}{I_M} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\Delta I$ ——电流测量误差；

$I_M$ ——电流表测量值；

$I_R$ ——BMS 显示值。

6.2.12.2 电池管理系统电流测量误差应不大于 0.5%。

6.2.13 电池管理系统保护功能试验

6.2.13.1 电池管理系统保护功能试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，根据 BMS 显示的 SOE、单体电池电压、电池温度、电池簇总电压等状态信息，确认储能系统无异常；
- b) 高压箱内接触器闭合后，通过断开储能系统相应温度采集线、电压采集线、通讯线、电源线等来模拟电池故障信息，或采用调整电池单体电压、温度等故障阈值的方式模拟故障信息，记录 BMS 是否产生告警信息或发出跳闸指令并实施就地故障隔离。

6.2.13.2 电池管理系统应具备电池的过压保护、欠压保护、过流保护、过温保护等电气保护功能，及时发出告警信号或跳闸指令。

6.2.14 电池管理系统通信功能试验

6.2.14.1 电池管理系统通信功能试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，通过 BMS 显示的 SOE、单体电池电压、电池温度、电池簇总电压等状态信息，确认采集数据无异常，则电池管理系统通信正常；

- b) 通过相关通信测试装置发送并接收 30 秒报文 ID 或相关指令，监测 CAN、RS-485 串口和网口报文 30 秒。

6.2.14.2 通信测试装置发送和接收报文应无异常。

### 6.3 铅炭电池阵列试验

#### 6.3.1 电池单体内阻试验

6.3.1.1 单体电池内阻试验按照下列步骤进行：

- 断开单体电池的正/负极与外部电气连接；
- 用内阻测试仪或电导仪测量单体铅炭电池的内阻值；
- 记录测量结果。

6.3.1.2 单体电池内阻值应符合产品技术要求。

#### 6.3.2 电池模块绝缘电阻试验

6.3.2.1 电池模块绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- 断开电池模块正/负极与外部电气连接；
- 根据电池簇电压，参考表 3 规格选择绝缘电阻测试仪；
- 使用绝缘电阻测试仪测量电池模块正极与金属壳体绝缘电阻值；
- 使用绝缘电阻测试仪测量电池模块负极与金属壳体绝缘电阻值；
- 记录检验结果。

6.3.2.2 电池模块正、负极与金属壳体之间的绝缘电阻值均应不小于  $10M\Omega$ 。

#### 6.3.3 电池簇绝缘电阻试验

6.3.3.1 电池簇绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- 根据电池簇电压，参考表 3 规格选择绝缘电阻测试仪；
- 使用绝缘电阻测试仪测量电池簇正极与电池柜接地线绝缘电阻值；
- 使用绝缘电阻测试仪测量电池簇负极与电池柜接地线绝缘电阻值；
- 记录检验结果。

6.3.3.2 按照电池簇标称电压计算，电池簇正、负极与电池柜接地线之间的绝缘电阻值均应不小于  $10M\Omega$ 。

#### 6.3.4 电池簇充放电试验

6.3.4.1 对电池簇充放电试验按照下列步骤进行：

- 将其他电池簇从电池阵列中退出，保留被测电池簇与储能变流器连接；
- 将钳形电流表夹在充放电主正或主负电路中；
- 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件，静置 30min；
- 将电池簇以额定功率充电至充电截止条件，静置 30min；
- 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件，记录步骤的 d)、e) 的充电能量  $E_d$ 、放电能量  $E_e$ ，按式 (6) 计算能量效率  $\eta$ ：

$$\eta = \frac{E_e}{E_d} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- 记录步骤 c)、d) 的电池单体的电压极差、电池单体的温度极差。

6.3.4.2 电池簇充放电试验应符合如下要求：

- a) 电池簇充放电能量应大于额定能量的 80%，能量效率应不小于 86%；
- b) 电池簇内电池单体的电压极差应不大于 200mV，温度极差应不大于 10℃；
- c) 电池管理系统总电流检测精度应不大于 0.5%。

### 6.3.5 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验

6.3.5.1 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- a) 断开电池阵列风冷系统风机电源连接线；
- b) 根据风冷系统供电电压，参考表 3 规格选择绝缘电阻测试仪；
- c) 使用绝缘电阻测试仪测量电源各引脚与接地排之间的绝缘电阻；
- d) 记录检验结果。

6.3.5.2 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻应大于 0.5MΩ。

### 6.3.6 电池阵列风冷系统风机风量试验

6.3.6.1 电池阵列风冷系统风机风量试验按照下列步骤进行：

- a) 选择合适的风量测量仪；
- b) 在风机出口安装风量测量仪器；
- c) 启动电池阵列风冷系统；
- d) 测量风量并记录检验结果。

6.3.6.2 风量测量值应满足电池阵列风冷系统风机风量技术要求。

### 6.3.7 电池管理系统单体电压采集精度试验

6.3.7.1 电池管理系统单体电压采集精度试验应按照下列步骤进行：

- a) BMS 单体电池电压采集线束未连接前，用电压表测量电池单体电压并记录  $U_M$ ；
- b) 连接 BMS 单体电池电压采集线束，BMS 上电正常后，记录电池管理系统显示屏上的电池单体电压  $U_R$ ；
- c) 按照式（7）计算电池单体电压测量误差，并记录数据。

$$\Delta U = |U_M - U_R| \dots \dots \dots (7)$$

式中：

- $\Delta U$ ——电池单体电压测量误差；
- $U_M$ ——电压表测量值；
- $U_R$ ——BMS 显示值。

6.3.7.2 电池单体测量最大误差值应不大于 5mV。

### 6.3.8 电池管理系统电池簇总电压采集精度试验

6.3.8.1 电池管理系统电压采集精度试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，记录电池管理系统显示屏上的电池总电压  $U_R$ ；
- b) 用电压表测量电池簇总电压值并记录，重复测量三次计算其平均值  $U_M$ ；
- c) 按照式（8）计算电池总电压测量误差，并记录数据。

$$\Delta U = \frac{|U_M - U_R|}{U_M} \times 100\% \dots \dots \dots (8)$$

式中：

- $\Delta U$ ——电压测量误差；
- $U_M$ ——电压表测量值；
- $U_R$ ——BMS 显示值。

6.3.8.2 电池簇总电压测量误差应不大于 1%。

6.3.9 电池管理系统温度测量精度试验

6.3.9.1 电池管理系统温度测量精度试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 温度采集线束未连接前，用温度计测量温度并记录 $t_M$ ；
- b) 连接 BMS 温度采集线束，BMS 上电正常工作后，记录电池管理系统显示屏上的温度值 $t_R$ ；
- c) 按照式（9）计算温度测量误差，并记录数据。

$$\Delta t = |t_M - t_R| \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $\Delta t$ ——温度测量误差；
- $t_M$ ——温度测试设备测量值；
- $t_R$ ——电池管理系统温度测量值。

6.3.9.2 电池管理系统温度测量误差应不大于 2℃。

6.3.10 电池管理系统电流测试精度试验

6.3.10.1 电池管理系统电流测量精度试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，电池系统在 50%额定功率和 100%额定功率下分别充放电 10min；
- b) 用钳形电流表测量电池系统电流值并记录为  $I_M$ ；
- c) 记录电池管理系统的显示电流值 $I_R$ ；
- d) 按照式（10）计算电流测量误差，并记录数据。

$$\Delta I = \frac{|I_M - I_R|}{I_M} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- $\Delta I$ ——电流测量误差；
- $I_M$ ——电流表测量值；
- $I_R$ ——BMS 显示值。

6.3.10.2 电池管理系统电流测量误差应不大于 0.5%。

6.3.11 电池管理系统保护功能试验

6.3.11.1 电池管理系统保护功能试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，根据 BMS 显示的 SOE、单体电池电压、电池温度、电池簇总电压等状态信息，确认储能系统无异常；
- b) 高压箱内接触器闭合后，通过断开储能系统相应温度采集线、电压采集线、通讯线、电源线等来模拟电池故障信息，或采用调整电池单体电压、温度等故障阈值的方式模拟故障信息，记录 BMS 是否产生告警信息或发出跳闸指令并实施就地故障隔离。

6.3.11.2 电池管理系统应具备电池的过压保护、欠压保护、过流保护、过温保护等电气保护功能，及时发出告警信号或跳闸指令。

6.3.12 电池管理系统通信功能试验

6.3.12.1 电池管理系统通信功能试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，通过 BMS 显示的 SOE、单体电池电压、电池温度、电池簇总电压等状态信息，确认采集数据无异常，则电池管理系统通信正常；

- b) 通过相关通信测试装置发送并接收 30 秒报文 ID 或相关指令，监测 CAN、RS-485 串口和网口报文 30 秒。

6.3.12.2 通信测试装置发送和接收报文应无异常。

#### 6.4 液流电池阵列试验

##### 6.4.1 电解液性能试验

6.4.1.1 电解液性能试验按照下列步骤进行：

- a) 电解液取样时，SOE 值应小于 10%；
- b) 按照 NB/T 42006 进行电解液浓度、价态、杂质元素含量等试验。

6.4.1.2 试验结果应满足 NB/T 42133 的要求。

##### 6.4.2 电堆绝缘电阻试验

6.4.2.1 电堆绝缘电阻试验按照下列步骤进行：

- a) 关闭电堆正、负极电解液进出口阀门；
- b) 断开电堆正、负极连接铜排；
- c) 按照表 3 选择对应电压等级的绝缘电阻测试仪；
- d) 使用绝缘电阻测试仪测量电堆正极与金属壳体绝缘电阻值；
- e) 使用绝缘电阻测试仪测量电堆负极与金属壳体绝缘电阻值；
- f) 记录检验结果。

6.4.2.2 绝缘电阻值应不小于 1MΩ。

##### 6.4.3 电池系统能量试验

6.4.3.1 电池系统能量试验按照下列步骤进行：

- a) 电池系统充电至 100% SOE，记录能量 $W_{sd}$ ；
- b) 电池系统以额定功率进行放电至 30% SOE；
- c) 继续以额定功率的 30%进行放电直至 0% SOE；
- d) 连续重复步骤 a)~c)三次；
- e) 记录电池系统最后一次充放电循环的放电能量 $E_{sd}$ ；
- f) 按式（11）计算电池系统的能量：

$$E_d = E_{sd} - W_{sd} \dots \dots \dots (11)$$

式中：

- $E_d$ ——电池系统的能量(W h)；
- $E_{sd}$ ——电池系统最后一次循环的放电终止能量(W h)；
- $W_{sd}$ ——电池系统最后一次循环的放电起始能量(W h)。

6.4.3.2 电池系统能量应不小于额定能量的 98%。

##### 6.4.4 电池系统能量效率及电堆极差试验

6.4.4.1 电池系统能量效率及电堆极差试验按照下列步骤进行：

- a) 电池系统充电至 100% SOE；
- 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，记录能量 $E_{sc}$ ；
- d) 电池系统以额定功率进行放电直至放电截止条件，记录能量 $E_{sd}$ ；
- e) 在充电截止前测量并记录电堆各个电堆的电压 $V_{ci}$ ；

- f) 在放电截止前测量并记录电堆各个电堆的电压 $V_{di}$ ;
- g) 连续重复 c)~f)步骤三次;
- h) 记录三次充放电循环的充放电能量;
- i) 按式 (12) 计算电池系统能量效率:

$$\eta = \frac{E_{sd}}{E_{sc}} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中:  
 $\eta$ ——电池系统额定能量效率;  
 $E_{sd}$ ——电池系统的放电能量;  
 $E_{sc}$ ——电池系统的充电能量;

6.4.4.2 按式 (13) 计算充电末期电堆的电压极差:

$$\gamma_c = V_{cmax} - V_{cmin} \dots\dots\dots (13)$$

式中:  
 $\gamma_c$ ——充电末期电堆的电压极差;  
 $V_{cmax}$ ——充电末期最大电堆电压;  
 $V_{cmin}$ ——充电末期最小电堆电压。

6.4.4.3 按式 (14) 计算放电末期电堆的电压极差:

$$\gamma_d = V_{dmax} - V_{dmin} \dots\dots\dots (14)$$

式中:  
 $\gamma_d$ ——放电末期电堆的电压极差;  
 $V_{dmax}$ ——放电末期电堆中最大电堆电压;  
 $V_{dmin}$ ——放电末期电堆中最小电堆电压。

6.4.4.4 电池系统能量效率及电堆极差试验结果应符合下列要求:

- a) 电池系统能量效率应不小于额定能量效率 99.5%
- b) 充放电电堆电压极差应小于 2V。

6.4.5 电解液循环泵绝缘电阻试验

6.4.5.1 电解液循环泵绝缘电阻试验按照下列步骤进行:

- a) 断开电机电源线及绕组连接片;
- b) 按照表 3 选择对应电压等级的绝缘电阻测试仪;
- c) 使用绝缘电阻测试仪测量每一相绕组与地或外壳绝缘电阻值;
- d) 使用绝缘电阻测试仪测量绕组相间绝缘电阻值;
- e) 记录检验结果。

6.4.5.2 绝缘电阻值应不小于 0.5MΩ。

6.4.6 电解液循环泵流量试验

6.4.6.1 电解液循环泵流量试验按照下列步骤进行:

- a) 将电解液循环泵与测试装置连接;
- b) 记录差压装置的压力和液体的流量;
- c) 重复步骤 b) 3 次;
- d) 根据测试数据绘制压力和流量关系图。

6.4.6.2 试验所得曲线图应与泵出厂特性曲线相符。

6.4.7 电解液循环系统管路耐压试验

6.4.7.1 电解液循环系统管路耐压试验应根据工艺管路分段进行，按照下列步骤进行：

- a) 水压试验前，应对试压管道用去离子水清洗干净，采取安全有效的固定和保护措施；
- b) 将试压管道末端封堵，缓慢注水，同时将管道内气体排出；
- c) 系统充满水后进行密闭性检查，不得有渗漏；
- d) 以升压时间不少于 10min 的速率对系统缓慢升压，试验压力应升至管道系统工作压力的 1.5 倍，且不小于 0.6MPa；
- e) 升至试验压力值，静置 15min；
- f) 试验完成后，打开排放阀门缓慢泄压，并在完全泄压后，拆除所有的临时设施。

注1：试验过程中严禁敲打管道，应实时监视管道压力。

注2：试验过程中应设专人监护。

注3：排放口应远离设备、仪表、人行道等。

6.4.7.2 升至试验压力值后，静置过程中压力降低不超过 0.05MPa。

6.4.8 电池管理系统电堆电压采集精度校验试验

6.4.8.1 电池管理系统电堆电压采集精度校验试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 电堆电压采集线未连接前，用电压表测量电堆电压并记录 $U_M$ ；
- b) 连接 BMS 电堆电压采集线，BMS 上电正常后，记录电池管理系统显示的电堆电压 $U_R$ ；
- c) 按照式（15）计算电堆电压测量误差，并记录数据。

$$\Delta U = \frac{|U_M - U_R|}{U_M} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\Delta U$ ——电堆电压测量误差；

$U_M$ ——电压表测量值；

$U_R$ ——BMS 显示值。

6.4.8.2 电堆电压测量最大误差值不大于 1%。

6.4.9 电池管理系统电池总电压测量精度试验

6.4.9.1 电池管理系统电池总电压采集精度试验按照下列步骤进行：

- a) BMS 上电正常后，记录电池管理系统显示的电池总电压 $U_R$ ；
- b) 用电压表测量电池总电压值并记录，重复测量三次计算其平均值 $U_M$ ；
- c) 按照式（16）计算电池总电压测量误差，并记录数据。

$$\Delta U = \frac{|U_M - U_R|}{U_M} \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$\Delta U$ ——电压测量误差；

$U_M$ ——电压表测量值；

$U_R$ ——BMS 显示值。

6.4.9.2 电池总电压测量误差应不大于 1%。

6.4.10 电池管理系统电解液温度测量精度试验

6.4.10.1 电池管理系统温度测量精度试验按照下列步骤进行:

- a) BMS 温度采集线未连接前, 用温度计测量温度并记录 $t_M$ ;
- b) 连接 BMS 温度采集线, BMS 上电正常工作后, 记录电池管理系统显示的温度值 $t_R$ ;
- c) 按照式 (17) 计算温度测量误差, 并记录数据。

$$\Delta t = |t_M - t_R| \dots \dots \dots (17)$$

式中:  
 $\Delta t$ ——温度测量误差;  
 $t_M$ ——温度测试设备测量值;  
 $t_R$ ——电池管理系统温度测量值。

6.4.10.2 电池管理系统温度测量误差应不大于 1℃。

6.4.11 电池管理系统流量测量精度试验

6.4.11.1 电池管理系统电解液流量测量精度试验按照下列步骤进行:

- a) BMS 流量采集线未连接前, 用流量测试设备测量流量并记录 $t_M$ ;
- b) 连接 BMS 流量采集线, BMS 上电正常工作后, 记录电池管理系统显示的流量值 $t_R$ ;
- c) 按照式 (18) 计算流量测量误差, 并记录数据。

$$\Delta Q = \frac{|Q_M - Q_R|}{Q_M} \times 100\% \dots \dots \dots (18)$$

式中:  
 $\Delta Q$ ——流量测量误差;  
 $Q_M$ ——流量测试设备测量值;  
 $Q_R$ ——电池管理系统流量测量值

6.4.11.2 电池管理系统流量测量误差应不大于 5%。

6.4.12 电池管理系统循环管路压力测试精度试验

6.4.12.1 电池管理系统压力测量精度试验按照下列步骤进行:

- a) BMS 压力采集线未连接前, 用压力测试设备测量压力并记录 $t_M$ ;
- b) 连接 BMS 压力采集线, BMS 上电正常工作后, 记录电池管理系统显示屏上的压力值 $t_R$ ;
- c) 按照式 (19) 计算压力测量误差, 并记录数据。

$$\Delta P = \frac{|P_M - P_R|}{P_M} \times 100\% \dots \dots \dots (19)$$

式中:  
 $\Delta P$ ——压力测量误差;  
 $P_M$ ——压力测试设备测量值;  
 $P_R$ ——电池管理系统压力测量值

6.4.12.2 电池管理系统压力测量误差应不大于 1%。

6.4.13 电池管理系统电流测试精度试验

6.4.13.1 电池管理系统电流测量精度试验按照下列步骤进行:

- a) BMS 上电正常后, 电池系统在 50%额定功率和 100%额定功率下分别充放电 10min;

- b) 用钳形电流表测量电池系统电流值并记录为  $I_M$ ;
- c) 记录电池管理系统显示屏上的电流值  $I_R$ ;
- d) 按照式 (20) 计算电池电流测量误差, 并记录数据。

$$\Delta I = \frac{|I_M - I_R|}{I_M} \times 100\% \quad (20)$$

式中:

- $\Delta I$ ——电流测量误差;
- $I_M$ ——电流表测量值;
- $I_R$ ——BMS 显示值。

6.4.13.2 电池管理系统电流测量误差应不大于 0.5%。

#### 6.4.14 电池管理系统保护功能试验

6.4.14.1 电池管理系统保护功能试验按照下列步骤进行:

- a) BMS 上电正常后, 根据 BMS 显示的 SOE、单体电池电压、电解液温度、压力、流量、电池簇总电压等状态信息, 确认储能系统无异常;
- b) 通过断开储能系统相应温度采集线、压力采集线、流量采集线、电压采集线、通讯线、电源线等来模拟电池故障信息, 或采用调整电池电压、温度、压力、流量等故障阈值的方式模拟故障信息, 记录 BMS 是否产生告警信息或发出跳闸指令, 实施就地故障隔离。

6.4.14.2 电池管理系统应具备电池的电压过压保护及欠压保护、电流过流保护、电解液过温保护、电解液过压力及欠压力保护、电解液过流量及欠流量保护等电气保护功能, 以及紧急停机保护功能, 且能够及时发出告警信号或跳闸指令。

#### 6.4.15 电池管理系统通信功能试验

6.4.15.1 电池管理系统通信功能试验按照下列步骤进行:

- a) BMS 上电正常后, 通过 BMS 显示的 SOE、单体电池电压、电池温度、电池簇总电压等状态信息, 确认采集数据无异常, 则电池管理系统通信正常;
- b) 通过相关通信测试装置发送并接收 30 秒报文 ID 或相关指令, 监测 CAN、RS-485 串口和网口报文 30 秒。

6.4.15.2 通信测试装置发送和接收报文应无异常。

### 6.5 燃料电池阵列试验

#### 6.5.1 氢气管道、容器接地电阻试验

6.5.1.1 氢气管道、容器接地电阻试验应按照下列步骤进行:

- a) 选用合适的接地电阻测试仪;
- b) 测量氢气管道、容器的对地电阻值。

6.5.1.2 接地电阻应不大于  $0.1\Omega$ 。

#### 6.5.2 燃料电池阵列气密性试验

6.5.2.1 制氢系统、储氢系统、燃料电池及管道的气密性试验应按照下列步骤进行:

- a) 使用纯度 99.999% 氢气、氩气、氮气或氦气进行气密性试验;

- b) 气密性试验压力为设计压力，常压型水电解制氢系统气密性试验压力为 0.05MPa，压力应采用精度不低于 0.05%、量程为 1.5—2 倍测试压力的压力表测量；
- c) 试验开始后逐渐升压至规定压力，稳定 30min 后记录压力和环境温度，之后保持压力 24h 再次记录压力值和环境温度，平均每小时泄漏率  $A$  按式 (21) 计算：

$$A = \frac{100}{t} \left( 1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} \right) \dots \dots \dots (21)$$

式中：

$A$ ——平均每小时泄漏率 (%)；

$t$ ——试验时间，单位为小时 (h)；

$P_1$ 、 $P_2$ ——试验开始、结束时的压力，单位为兆帕 (MPa)；

$T_1$ 、 $T_2$ ——试验开始、结束时的环境温度，采用绝对温标，单位为开尔文 (K)。

注：压力保持过程中，应采用涂刷专用检漏液的方法，巡回检查所有阀门、法兰或螺纹连接处，焊缝、垫片等密封点。

6.5.2.2 试验过程中应无漏点且泄漏率不大于 0.5%。

### 6.5.3 电动、气动阀门传动试验

6.5.3.1 电动、气动阀门传动试验按照下列步骤进行：

- 确认阀门两侧无压力，且氢气已置换排空；
- 为阀门接通操作电源、气源，并满足阀门设计动力源要求；
- 通过控制系统向阀门反复发出动作指令，开关型阀门动作位置应包括全开、全关，调节阀应在开度 0%、30%、70%、100% 设置动作位置，三通阀及多通道切换阀应包括所有通道对应的动作位置，所有类型的阀门应在各动作位置间反复切换不少于 3 次；
- 观察阀门动作过程，动作机构应运动灵活迅速、无卡涩、无异响，连杆和销子应正常，无松脱、变形等状况，阀位指示在试验过程中应显示正常，气动机构不应有漏气现象，电动机构不应异常发热。

6.5.3.2 调节阀位置应能与指令对应，设置为常开/常闭的阀门在试验结束后应能正常复位。

### 6.5.4 燃料电池阵列压力容器检验

水电解及储氢系统压力容器的检验应按照 TSG 21 的要求执行。

### 6.5.5 水质及电解液成分检测

6.5.5.1 外部供水和纯水系统出口水水质检测应按照下列步骤进行：

- 纯水系统出水水质检验取样应采用带有密封盖的玻璃、聚乙烯或聚四氟乙烯容器进行，碱性电解液取样应采用聚乙烯或聚四氟乙烯容器，容器标称容量应不小于 1L；
- 取样容器内不得有破损、毛刺，取样前容器应洗净，用满足 GB/T 6682 二级水要求的纯水冲洗 3 次并烘干；
- 水样取样量应不少于 1L，样品容器应按照标称容量充满，取样后容器应密封，样品应在 48 小时内检测完毕；
- 纯水系统的外部供水应做全部水质检测项目，检测结果不做要求，仅用于纯水系统的净化装置滤芯调整。

6.5.5.2 水质和电解液检测项目和检测方法应符合表 4 的要求。作为碱性电解槽和质子交换膜电解槽原料水的纯水应分别符合表 5、表 6 的要求，碱性电解液应符合表 7 的要求，冷却系统采用水冷的，水质应符合表 8 要求。

表4 水质分析方法要求

检测项目	执行检测标准	适用检测项目	备注
电导率 (25°C)	GB/T 6908	水质检测	
可氧化物质含量 (以 O 计)	GB/T 14420	水质检测	
吸光度 (254nm, 1cm 光程)	GB/T 9721	水质检测	
蒸发残渣 (105°C±2°C)	GB/T 9740	水质检测	
全硅 (以 SiO <sub>2</sub> 计)	GB/T 12148	水质检测	
铁离子含量	GB/T 41330	水质检测、电解液成分检测	
氯离子含量	GB/T 39305	水质检测、电解液成分检测	
悬浮物	GB/T 11901	水质检测	
浓度	GB/T 29617	电解液成分检测	电解液密度 (20°C) 按照 GB/T 29617 进行测量, 由溶液密度换算得到浓度
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 含量	DL/T 502.6	电解液成分检测	
pH (25°C)	GB/T 6904	水质检测	
铵离子含量	GB/T 15454	水质检测	
硫酸根离子含量	GB/T 39305	水质检测	
钙离子含量	GB/T 6910	水质检测	

表5 碱性水电解制氢系统纯水水质 (指标需要有依据)

检测项目	单位	指标
电导率 (25°C)	μS/m	≤0.1
铁离子含量	mg/L	<1.0
氯离子含量	mg/L	<2.0
悬浮物	mg/L	<1.0

表6 PEM 水电解槽纯水水质要求

检测项目	单位	指标
电导率 (25°C)	mS/m	≤0.10
可氧化物质含量 (以 O 计)	mg/L	≤0.08
吸光度 (254nm, 1cm 光程)	-	≤0.01
蒸发残渣 (105°C±2°C)	mg/L	≤1.0
全硅含量 (以 SiO <sub>2</sub> 计)	mg/L	≤0.02

表7 碱性 KOH 水电解制氢系统电解液品质要求

检测项目	单位	指标
浓度	%	27-32
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 含量	mg/L	<100
铁离子含量	mg/L	<1.0

氯离子含量	mg/L	<2.0
-------	------	------

表8 冷却系统水质要求

检测项目	单位	指标
pH (25°C)	-	6.5-8
铵离子含量	mg/L	<1.0
铁离子含量	mg/L	<1.0
氯离子含量	mg/L	<200
硫酸根离子含量	mg/L	<200
钙离子含量	mg/L	<200
全硅含量 (以 SiO <sub>2</sub> 计)	mg/L	<50

### 6.5.6 燃料电池阵列控制系统保护功能试验

6.5.6.1 燃料电池阵列控制系统保护功能试验应按照下列步骤进行：

- 燃料电池阵列控制系统保护参量包括电压、电流、温度、压力、液位、流量等；
- 按照燃料电池阵列控制系统保护参量的信号类别，采用信号源模拟传感器输出量，使之从正常范围逐步变化至超过限定值；
- 查看燃料电池阵列控制系统反馈的告警、故障码，并检查超过保护动作阈值后燃料电池阵列控制系统输出控制量。

6.5.6.2 燃料电池阵列控制系统反馈的告警、故障码应符合预设的故障等级，超过保护动作阈值后燃料电池阵列控制系统输出控制量应与预设的保护动作一致。

### 6.5.7 燃料电池阵列控制系统控制功能试验

6.5.7.1 控制系统功能试验包括正常启动/停机试验和紧急停机试验。

6.5.7.2 控制系统正常启动/停机试验应按下列步骤进行：

- 关闭/打开控制系统联锁保护功能后，采用信号源模拟各传感器额定工况下正常输出信号，接入控制系统；
- 向控制系统发出正常启动/停机指令，检查控制系统各端口的输出。

6.5.7.3 控制系统紧急停机功能试验按照下列步骤进行：

- 紧急停机功能试验时应采用信号源模拟各传感器输出参数，设备不应真实运行，控制系统的响应不应有人工干预；
- 采用信号源模拟各传感器正常工况下的输出信号，使控制系统工作在模拟的正常运行状态下；
- 持续运行不低于 5min 时间，然后按下系统紧急停机按钮；
- 检查控制系统控制量的输出。

6.5.7.4 控制系统正常启动/停机试验中控制系统各端口的输出时序和输出量值应与启动/停机程序要求一致，控制系统紧急停机功能试验中控制系统控制量的输出应符合紧急停机时控制指令的时序和量值要求。

### 6.5.8 制氢系统启动/停机试验

6.5.8.1 试验前，制氢系统和储氢系统应完成气密性试验并完成氮气置换，处于可用状态，氢气排空管路应处于可用状态，燃料电池阵列控制系统应状态正常并完成保护功能和控制功能试验，制氢系统应在冷态或停机状态下保持至少 24h。

6.5.8.2 启动/停机试验按下列步骤进行:

- a) 设置目标制氢量至额定制氢量, 制氢压力为设计工作压力;
- b) 通过燃料电池阵列控制系统下达制氢系统启动指令;
- c) 待电解电流和电解槽温度达到稳定后, 保持运行 1h;
- d) 直至系统达到额定运行功率或关闭过程完成前, 测量并记录电解槽电压、电解槽电流、电解槽温度、氢气输出压力、电解槽出口氢气中氧气及氧气中氢气含量、纯化系统出口氢气微氧含量及露点、启动指令发出达到额定产氢量消耗的时间、停机指令发出至电解槽电流为 0 消耗的时间等参数;
- e) 发出停机指令, 系统应正确停机。

6.5.8.3 启动、关闭特性测试过程中, 检查记录的数据应无异常。启动/停机过程应无异常和告警记录, 质氢系统能够达到额定产氢量且氢气纯度合格。

6.5.9 水电解制氢系统能效试验

6.5.9.1 水电解制氢系统能效试验的设备、数据记录和处理应遵循 GB 32311 的要求。

6.5.9.2 水电解制氢系统能效试验应按下列步骤进行:

- a) 启动制氢系统;
- b) 待制氢系统运行在额定工况且电解槽达到热平衡后, 进行试验数据采集;
- c) 直流能耗数据采集次数不少于 6 次, 间隔 10 min, 交流能耗采用交流功率表(累计式), 接入相应的回路中, 测试时间为 1h, 交流能耗和直流能耗数据应同步采集;
- d) 将采集的数据按照 GB 32311 的要求计算出直流单位能耗值和单位能耗值;
- e) 关闭制氢系统。

6.5.9.3 试验结果应符合设备厂家提供的能效等级对应的单位能耗值。

6.5.10 制氢系统氢气、氧气纯度试验

6.5.10.1 制氢系统氢气、氧气纯度试验可结合启动/停机试验同步进行, 应采用校准后的在线分析仪器, 分析仪器应满足下列要求:

- a) 氢中氧/氧中氢分析仪、微氧分析仪应与气相色谱仪进行标准样品检测比对, 标准样品至少设置 4 组, 应为检测组分含量为满量程 10%、30%、50%、70% 的标准气体, 分析仪检测值与气相色谱检测值偏差应不大于 0.5% FS;
- b) 露点仪应经计量检定合格并在有效期内。

6.5.10.2 制氢系统氢气、氧气纯度试验前, 制氢系统应正常启动且运行在额定制氢量下, 电解槽温度达到额定运行温度, 且纯化系统工作温度达到额定值并保持 1h 以上。

6.5.10.3 制氢系统氢气、氧气纯度试验应按照下列步骤进行:

- a) 在水电解制氢系统正常工作时, 打开在线分析仪进样入口, 分析仪进样管路有排空阀的, 应适时打开排空阀排除取样管内气体;
- b) 等待分析仪器连续进样工作 30min 之后, 从分析仪读取氢中氧/氧中氢含量值、微氧含量值、露点值;
- c) 以 1min 一次的频率连续记录分析仪读数, 持续 30min。

6.5.10.4 对于碱性水电解制氢系统, 产品氢气纯度应大于 99.6%, 产品氧气纯度应大于 99%; 对于 PEM 水电解制氢系统, 产品氢气纯度应大于 99.99%, 产品氧气纯度应大于 99%。所有制氢系统纯化装置出口微氧含量应小于 10 $\mu$ L/L, 露点应不高于 -65 $^{\circ}$ C。

6.5.11 储氢系统放氢容量试验

6.5.11.1 放氢容量试验前，储氢系统应完成气密性试验，控温系统应处于可用状态，环境温度应满足设备正常工作温度要求。储氢系统应先置于饱和和充氢状态，并待储氢容器完成热平衡，试验过程中不宜同步开展需要燃料电池系统和制氢系统运行的试验。

6.5.11.2 储氢系统放氢试验按照下列步骤进行：

- a) 控制放氢量的阀门组中至少应包含一个调节阀，根据储氢系统额定放氢速率调节阀开度。流量计应具备温度补偿功能，宜采用质量流量计，且量程为2倍额定放氢速率，精度不低于1%FS；
- b) 试验过程中，打开储氢系统放氢阀，同时测定并记录放氢流量、累积放氢量、氢气压力、容器温度，记录间隔不大于30s；
- c) 当满足以下条件之一时试验应立即终止：
  - ① 氢气压力低于设计供氢压力；
  - ② 放氢速率低于设计放氢速率80%；
  - ③ 储氢容器温度低于5℃。
- d) 试验记录的累积放氢容量即为放氢容量测定值，截至90%放氢容量时的放氢速率记为系统实际放氢速率。

6.5.11.3 放氢容量测定值与设计放氢容量相差应不大于20%，放氢速率的测定值应不低于额定放氢速率的90%。

#### 6.5.12 燃料电池系统启动/停机试验和效率试验

6.5.12.1 燃料电池系统启动/停机试验和效率试验可结合开展。试验前，储氢系统和管路应完成气密性试验并处于可用状态，燃料电池阵列控制系统应状态正常，储氢系统储氢量应满足实验运行需求，燃料电池系统应在冷态或停机状态下保持至少24h。

6.5.12.2 燃料电池系统启动/停机试验按下列步骤进行：

- a) 通过燃料电池阵列控制系统下达燃料电池系统启动指令，设置目标输出功率为额定功率；
- b) 待输出功率达到额定功率后，保持额定功率运行不低于30min；
- c) 通过燃料电池阵列控制系统下达燃料电池系统停机指令；
- d) 等待燃料电池系统正常停机后，再次发动启动指令，设置目标输出功率为额定功率；
- e) 达到额定功率后，保持额定功率运行10min；
- f) 通过燃料电池阵列控制系统下达燃料电池系统停机指令，待停机后结束试验。
- g) 燃料电池系统启动/停机试验过程中，系统启动和停机阶段，应以不长于10s的时间间隔，测量以下参数直至系统启动或关闭过程完成：
  - ① 直流输出功率和累计输出电量；
  - ② 交流输出功率和累计输出电量；
  - ③ 辅机系统用电功率和累计用电量；
  - ④ 累计氢气流量；
  - ⑤ 氢气温度、压力；
  - ⑥ 启动指令发出至达到额定功率消耗的时间；
  - ⑦ 停机指令发出至系统关闭消耗的时间

6.5.12.3 燃料电池系统效率试验按下列步骤进行：

- a) 通过燃料电池阵列控制系统下达燃料电池系统启动指令，设置目标输出功率为额定功率；
- b) 待输出功率达到额定功率后，保持系统运行在额定功率下，直至电堆达到热平衡；
- c) 保持额定功率运行30min，以不低于1min/次的频率测量记录以下参数：
  - ① 燃料电池系统输出功率和累计电量；

- ② 燃料电池堆的运行温度及环境温度；
  - ③ 氢气压力、流量、累计消耗量和温度；
  - ④ 燃料电池、储氢系统的辅机设备用电功率和用电量；
  - ⑤ 电堆直流输出功率和累计输出电量；
  - ⑥ 环境温度、湿度和大气压力。
- d) 通过燃料电池阵列控制系统下达燃料电池系统停机指令，燃料电池系统停机后结束试验。
- e) 燃料电池系统效率试验中，系统效率按式（22）进行计算：

$$\eta = \frac{W_e - W_{aux}}{Q_F} \times 100\% \dots \dots \dots (22)$$

式中：

$\eta$ ——系统效率；

$W_e$ ——燃料电池累计输出电量，保持额定功率运行的 30min 内的系统交流侧输出电量，单位 MJ；

$W_{aux}$ ——辅机设备累计消耗电量，与电能输出同时计量的辅机设备用电量，单位 MJ；

$Q_F$ ——与平均电能输出同时计量的氢燃料消耗量，按照氢气低燃烧值计算得到的燃料总热值，单位 MJ。

6.5.12.4 启动/停机试验过程中，数据异常情况、启动/停机消耗的时间、过程中辅助系统消耗电量、辅助系统最大功率作为测试结果。启动/停机试验测试结果应符合燃料电池电堆和系统的相应性能参数和技术特性要求，且过程中无异常情况。燃料电池系统效率应满足产品技术要求。

## 7 储能变流器试验

### 7.1 一般规定

储能变流器检修完成后，按照 GB/T XXXX《电化学储能电站检修规程》要求，根据完成的检修工作开展修后试验，以验证储能变流器的绝缘性能、充放电控制功能、功率控制功能、电能质量、故障穿越能力、电网适应性，以及保护功能、检测和监控功能、通信功能、并离网切换功能、相序自适应功能等符合 GB/T 34120 要求。

### 7.2 储能变流器绝缘耐压试验

#### 7.2.1 绝缘耐压试验按照下列步骤进行：

- a) 试验前，断开变流器的外部供电电路，断开被测电路和保护接地回路之间的连接，清理试验场地，在被测的电气设备的安全范围内，做好警示标记；
- b) 确定试验电压值，最大试验电压为 2 倍的电气设备额定电源电压值或 1000V，取其中的较大者；
- c) 对被测电气设备施加试验电压时，应当从足够低的数值开始，以防止操作瞬变过程的过电压的影响。然后，应缓慢地升高电压，以便在仪表上准确读数；
- d) 对被测电气设备施加试验电压，电压达到 $\geq 1000V$ 时应保持 2s~10s，试验电压升至规定的最大值后应保持 1s~5s，保持时间过后应迅速降压，但不得突然切断；
- e) 耐压试验设备应在被测电路的导线和保护接地电路之间施加电压。

#### 7.2.2 试验结果应符合 GB/T 34120 的要求。

### 7.3 储能变流器启停和紧急停机功能试验

#### 7.3.1 变流器启停控制功能及紧急停机功能试验，包括对变流器操作界面或触摸屏上“启动”按钮、“停止”按钮、“急停”按钮功能试验。

#### 7.3.2 启停和紧急停机功能试验按照下列步骤进行：

- a) 试验前，确认整套储能系统恢复正常；

- b) 启动功能试验: 在变流器操作界面或触摸屏按下“启动”, 检查储能系统各个开关动作是否正常, 检查交流电压值、直流电压值及其面板指示灯是否正常;
- c) 停止功能试验: 储能系统运行状态下, 在变流器操作界面或触摸屏按下“停止”, 检查储能系统各个开关动作是否正常, 检查交流电压值、直流电压值及其面板指示灯是否正常;
- d) 急停功能试验: 储能系统运行状态下, 在变流器操作界面或触摸屏按下“急停”, 检查储能系统各个开关动作是否正常, 检查交流电压值、直流电压值及其面板指示灯是否正常。

#### 7.4 储能变流器充放电和功率控制功能试验

##### 7.4.1 充放电转换时间试验

7.4.1.1 充放电转换时间试验按照下列步骤进行:

- a) 储能变流器在额定充电功率状态下运行至少 3min, 向储能变流器发额定功率放电指令, 测量并记录储能变流器从 90% 额定充电功率状态切换到 90% 额定放电功率状态的最小时间间隔;
- b) 储能变流器在额定放电功率状态下运行至少 3min, 向储能变流器发额定功率充电指令, 测量并记录储能变流器从 90% 额定放电功率状态切换到 90% 额定充电功率状态的最小时间间隔  $t$ ;
- c) 按式 (23) 计算平均充放电切换最小时间  $t$ :

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} \dots\dots\dots (23)$$

7.4.1.2 试验结果应符合 GB/T 34120 的要求。

##### 7.4.2 变流器功率控制功能试验

7.4.2.1 变流器功率控制试验包括有功功率控制检测试验、功率因数检测试验。

7.4.2.2 功率控制检测试验应按照下列步骤进行:

- a) 检测期间不应限制储能变流器的有功功率变化速度;
- b) 按照图 1 的设定曲线控制储能变流器的有功功率, 并应在每个功率基准值上保持 2min;
- c) 在储能变流器交流侧测量时序功率, 以 0.2s 有功功率平均值为一点, 拟合实测功率曲线;
- d) 以每次有功功率变化后的第 2 个 1min 数据计算 1min 有功功率平均值。

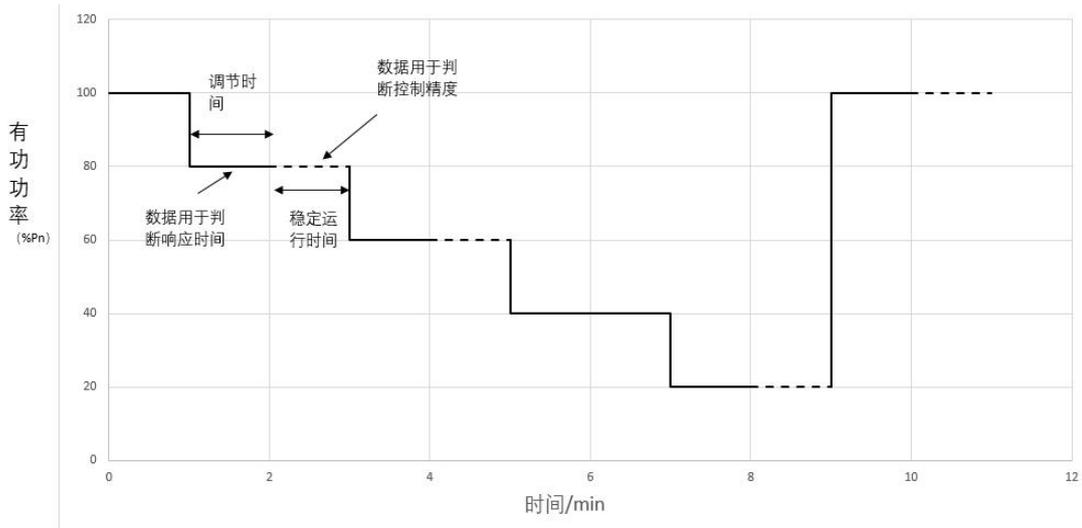


图 1 有功功率控制曲线

注:  $P_n$  为储能变流器额定有功功率值。

##### 7.4.2.3 功率因数检测试验

功率因数检测试验应按照下列步骤进行：

- a) 设定变流器在正常运行状态下；
- b) 设定储能变流器输出有功功率为 50% P，调节储能变流器功率因数为 0.98（超前或滞后）；
- c) 记录步骤 b) 中有功功率条件下储能变流器能达到的功率因数。

7.4.2.4 储能变流器充放电和功率控制功能试验结果应符合 GB/T 34120 的要求。

## 7.5 储能变流器并离网切换功能试验

7.5.1 并离网切换检测回路如图 2 所示：

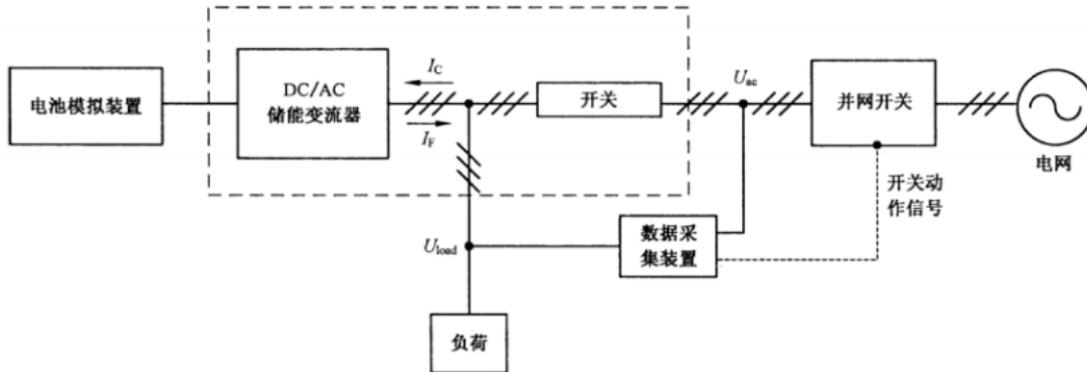


图 2 并离网切换检测回路示意图

7.5.2 并离网切换功能试验按下列步骤进行：

- a) 按图 2 连接检测回路，负载功率设定为被测储能变流器额定功率的 100%；
- b) 调节储能变流器工作在并网运行条件下；
- c) 待储能变流器运行稳定后向其发送离网运行命令；
- d) 确认储能变流器是否切换到离网运行模式；
- e) 待储能变流器运行稳定后向其发并网运行命令；
- f) 确认储能变流器是否切换到并网运行模式。

注：负载类型为阻感性负载（PF=0.8）和阻容性负载（PF=0.8）。

7.5.3 储能变流器应能收到离网/并网指令，且能完成离网运行与并网运行模式的正确切换。

## 7.6 储能变流器保护功能试验

7.6.1 储能变流器保护功能试验包括极性反接保护、交直流过/欠压保护、通讯故障保护、冷却系统故障保护等故障诊断和保护功能试验。

7.6.2 极性反接保护检测试验应按照下列步骤进行：

- a) 将储能变流器直流输入极性反接；
- b) 启动储能变流器，应能检测到反接故障并进行保护；
- c) 记录储能变流器的状态。

7.6.3 直流过压保护检测试验应按照下列步骤进行：

- a) 连接检测回路；
- b) 将电池模拟装置电压调整至储能变流器直流电压额定值；
- c) 调节储能变流器工作在放电模式，输出功率为额定功率；
- d) 调节电池模拟装置电压升至直流输入过压保护值，测量并记录储能变流器直流过压动作值以及从达到直流过压时刻起到储能变流器保护动作的时间；
- e) 调节电池模拟装置电压至变流器直流电压额定值，确认储能变流器能否正常开机；

f) 调节储能变流器工作在充电模式，重复步骤 d)~e)三次。

#### 7.6.4 直流欠压保护检测试验应按照下列步骤进行：

- 连接检测回路；
- 将电池模拟装置电压调整至储能变流器直流电压额定值；
- 调节储能变流器工作在放电模式，输出功率为额定功率；
- 调节电池模拟装置电压降至直流输入欠压保护值，利用测量装置记录储能变流器直流欠压动作值和从达到直流欠压时刻起到储能变流器保护动作的时间；
- 调节电池模拟装置电压至变流器直流电压额定值，确认储能变流器能否正常开机；
- 调节储能变流器工作在充电模式下，重复步骤 d)~e)三次。

#### 7.6.5 交流输出侧过欠压保护

储能变流器交流输出端电压  $U_N$  超出此电压范围时，允许储能变流器切断向电网供电，切断时应发出警示信号。除大功率储能变流器外对异常电压的响应时间应满足表 9 的要求，电站型并网储能变流器响应时间应满足表 10 的要求。在电网电压恢复到允许的电压范围时变流器应能正常启动运行。此要求适用于多相系统中的任何一相。

注 1：最大脱网时间是指从异常状态发生到变流器停止向电网供电的时间。

注 2：对于具有低电压穿越功能的变流器，以低电压穿越功能优先。

表9 异常电压的响应

电网电压（电网接口处）	最大脱网时间
$20\% \leq U < 50\% U_N$	0.1s
$50\% \leq U < 85\% U_N$	2.0s
$85\% \leq U < 110\% U_N$	继续运行
$110\% \leq U < 135\% U_N$	2.0s
$135\% U_N \leq U$	0.05s

表10 电站型并网变流器电压异常响应时间

电压范围	运行要求
$< 0.9 U_N$	应符合低电压穿越的要求
$0.9 U_N \leq U_T \leq 1.1 U_N$	应正常运行
$1.1 U_N \leq U_T \leq 1.2 U_N$	应至少持续运行 10s
$1.2 U_N \leq U_T \leq 1.3 U_N$	应至少持续运行 0.5s

注：依据接入电网主管部门的相应技术规范要求设定。

#### 7.6.6 通讯故障保护检测

通讯故障保护检测在储能变流器为启动状态下进行，采用故障模拟的方法使储能变流器与监控系统及电池管理系统之间的通信发生通讯故障，检查变流器是否能可靠告警，记录告警信息和储能变流器的运行状态。

#### 7.6.7 冷却系统故障保护检测

##### 7.6.7.1 风冷条件下冷却系统故障保护检测应按照以下方法进行：

- 完全堵住或部分堵住进风口，记录储能变流器状态信息和检测过程中出现的异常情况；
- 堵转或断开冷却风扇，记录储能变流器状态信息和检测过程中出现的异常情况。

##### 7.6.7.2 水冷条件下冷却系统故障保护检测应停止或部分限制冷却液系统工作，记录储能变流器状态信息和检测过程中出现的异常情况。

## 7.7 储能变流器与电池管理系统、监控系统等其他设备的通信功能试验

7.7.1 储能变流器控制器更换、控制程序修改后，应进行通信功能试验。

7.7.2 通信功能试验包括储能变流器与电池管理系统、监控系统等其他设备的通信功能试验。储能变流器监控运行数据应能正常显示，遥信、遥测刷新正常，遥控、遥调能正常下发且执行反馈。

7.7.3 通信功能试验按照下列方法进行：

- a) 遥测功能试验：储能变流器控制系统带电时，运行数据应能正常上传及显示；
- b) 遥信功能试验：储能变流器状态信息应能正常跳转，事件信息及时间显示应正常；
- c) 遥控功能试验：启动储能变流器，储能变流器应能正常启机，开关应能正常闭合；
- d) 遥调功能试验：通过监控系统向储能变流器下发充放电功率等指令，储能变流器应能正常执行。

## 8 监控系统试验

### 8.1 一般规定

8.1.1 监控系统检修完成后，按照 GB/T XXXX 《电化学储能电站检修规程》要求，根据完成的检修工作开展修后试验，以验证监控系统的通信功能、数据采集功能、硬件整体功能、冗余设备的功能、不间断电源性能及接地情况、软件功能等。

8.1.2 储能监控系统试验前应做好防误动措施。

### 8.2 数据采集试验

8.2.1 前置采集服务器、交换机、通信管理机、保护测控装置、储能变流器、电池管理系统等设备进行软件升级或硬件维修更换后，需进行数据采集试验。

8.2.2 数据采集试验按照下列步骤进行：

- a) 对测控装置开关量输入元件施加额定动作电压信号，模拟改变开关、刀闸等设备状态，查看测控装置面板和监控系统前置开关量数据采集显示应一致；
- b) 用继电保护测试仪在测控装置电压电流回路施加模拟量信号，查看测控装置面板和监控系统前置数据采集显示应正确；
- c) 通过储能变流器、电池管理系统等设备的模拟置数功能改变相应的开关量及模拟量数据，查看储能变流器面板、电池管理系统面板与监控系统前置数据采集显示应一致；
- d) 如储能变流器、电池管理系统等设备无模拟置数功能，可进行设备实际运行状态切换、储能系统充放电等操作来检验数据采集情况。

### 8.3 控制与调节试验

8.3.1 监控与能量管理系统服务器、操作员工作站、保护测控装置、储能变流器等设备进行软件升级或硬件维修更换后，应进行控制与调节试验。试验共包括开关刀闸控制、储能单元充放电、整站运行模式及工况切换三部分。

8.3.2 开关刀闸控制试验按照下列步骤进行：

- a) 将所有运行间隔“远方/就地”把手切换到“就地”位置，将控制试验间隔“远方/就地”把手切换到“远方”位置；
- b) 在监控系统界面对该间隔执行刀闸遥控开关、软压板投退等动作，能够正确进行遥控操作并返回控制状态结果。

8.3.3 控制试验完毕后，恢复当前试验间隔“远方/就地”把手为“就地”位置。

8.3.4 储能单元充放电试验按照下列步骤进行：

- a) 将所有运行储能单元“远方/就地”把手切换到“就地”位置，将控制试验储能单元“远方/就地”把手切换到“远方”位置；

- b) 在监控系统界面对该单元储能变流器进行启停、充放电功率设定、交直流断路器分合、空调启停等控制与调节，能够正确进行遥控（调）操作并返回控制结果；
  - c) 控制试验完毕后，恢复当前试验单元“远方/就地”把手为“就地”位置。
- 8.3.5 整站运行模式及工况切换控制试验按照下列步骤进行：
- a) 储能电站设备恢复至启动状态，由人工控制或监控系统自动下发自动发电控制/自动电压控制、远方调度/就地计划等运行模式，整站运行模式状态切换应正确。
  - b) 储能电站设备恢复至启动状态，由人工控制或监控系统自动下发充电、放电、启动、停机等指令，整站运行工况状态切换应正确。

## 8.4 通信试验

8.4.1 监控与能量管理服务器、交换机、远动装置等设备进行软件升级或硬件维修更换后，应进行通信试验。

8.4.2 通信试验按照下列方法进行：

- a) 检查数据转发服务正常运行，测试与远动装置通信通道正常，通过转发监视工具查看各个通道数据及通信报文正常刷新；
- b) 检查远动装置转发服务正常运行，测试与调度端通信通道正常，通过远动监视工具查看各个通道数据及通信报文正常刷新。

## 8.5 冷热备切换试验

8.5.1 监控与能量管理系统服务器、交换机、前置采集服务器等设备进行软件升级或硬件维修更换后，应进行冷热备切换试验。

8.5.2 冷热备切换试验按照下列方法进行：

- a) 手动操作切换监控与能量管理系统主备机、交换机 A/B 网、前置采集服务器等热备用模块；
- b) 储能监控系统应能正常工作，中间及累计数据不得丢失，故障诊断显示应正确，除发生与该试验设备相关的故障报警信息外，系统不得发生出错、死机或其他异常现象；
- c) 主备机切换至系统功能恢复正常的 $\leq 20s$ ，主备网络通道切换至系统功能恢复正常的 $\leq 10s$ 。

## 8.6 其他功能试验

8.6.1 储能监控系统应进行告警及事件生成、安全闭锁、历史数据查询、用户访问、报表生成、系统自诊断与自恢复等功能试验。

8.6.2 其他功能试验按照下列方法进行：

- a) 告警及事件生成试验：模拟产生保护告警事件及事故状态，检查监控系统接收告警事件描述、保护动作信息及其时标是否正确；
- b) 安全闭锁试验：依据预设的防误闭锁逻辑，模拟断路器及隔离开关位置、电流、电压闭锁条件，检验监控系统防误闭锁逻辑和间隔层联闭锁功能是否正确；
- c) 历史数据查询试验：通过数据库客户端或监控系统自带曲线工具，查询任意储能单元设备的历史数据，检查数据存储是否正确，有无丢失现象；
- d) 用户访问试验：按照不同岗位用户所赋予的不同操作权限，分别用不同权限用户登录储能监控系统，测试能完成的任务以及可以进行的操作与权限设定是否一致；
- e) 报表生成试验：检查报表系统日、月、年等各个报表数据生成情况，记录是否存在报表丢失、数据异常等情况；

- f) 系统自诊断与自恢复试验：模拟监控系统服务器内存溢出、通信中断、功能模块退出等异常问题，检查监控系统软件应自动发出信号，并切换到冗余设备。

## 9 整站试验

### 9.1 一般规定

9.1.1 电化学储能电站整站试验项目应根据设备检修内容和检修范围确定，整站试验宜在并网运行条件下进行。

9.1.2 出现以下情况之一时，应进行整站试验。

- a) 主要设备更换，包括更换 AGC、AVC 等场站级控制系统，更换变流器、蓄电池组等发电单元规模超过整站 20%；
- b) 主要发电设备检修，且可能影响整站性能；
- c) 主要设备参数更改，软件升级导致的并网特性发生变化；
- d) 其他检修影响整站并网性能的情况。

### 9.2 额定能量试验

9.2.1 额定能量试验应在稳定运行状态下测试储能系统的充电能量和放电能量。

9.2.2 额定能量试验按照下列方法进行：

- a) 以额定功率放电至放电截止条件时停止放电；
- b) 以额定功率充电至充电截止条件时停止充电，记录本次充电过程中储能系统充电的能量  $E_C$  和辅助能耗  $W_C$ ；
- c) 以额定功率放电至放电截止条件时停止放电，记录本次放电过程中储能系统放电的能量  $E_D$  和辅助能耗  $W_D$ ；
- d) 重复步骤 b)和 c)两次，记录每次充放电能量 $E_{Cn}$ 、 $E_{Dn}$ 和辅助能耗 $W_{Cn}$ 、 $W_{Dn}$ ；
- e) 按照式（24）、式（25）计算其平均值，记录 $E_C$ 和 $E_D$ 为储能系统的额定充电能量和额定放电能量。

$$E_C = \frac{E_{C1} + W_{C1} + E_{C2} + W_{C2} + E_{C3} + W_{C3}}{3} \dots\dots\dots (24)$$

$$E_D = \frac{E_{D1} - W_{D1} + E_{D2} - W_{D2} + E_{D3} - W_{D3}}{3} \dots\dots\dots (25)$$

式中：

- $E_{Cn}$ ——第 n 次循环的充电能量，单位为瓦时（W h）；
- $E_{Dn}$ ——第 n 次循环的放电能量，单位为瓦时（W h）；
- $W_{Cn}$ ——第 n 次循环充电过程的辅助能耗，单位为瓦时（W h）；
- $W_{Dn}$ ——第 n 次循环放电过程的辅助能耗，单位为瓦时（W h）。

注 1：对于辅助能耗由自身供应的储能系统， $W_{Cn}=0$ ， $W_{Dn}=0$ 。

注 2：放电截止条件和充电截止条件宜采用电压、电流和温度等参数，但测试中截止条件应唯一且与实际使用时保持一致。

9.2.3 试验结果应符合 GB/T 36547 的规定。

### 9.3 能量转换效率试验

9.3.1 能量转换效率试验应在稳定运行状态下测试储能系统的额定功率能量转换效率。

9.3.2 额定能量转换效率试验按照下列方法进行：

- a) 以额定功率放电至放电截止条件时停止放电；

- b) 以额定功率充电至充电截止条件时停止充电，记录本次充电过程中储能系统充电的能量  $E_C$  和辅助能耗  $W_C$ ；
- c) 以额定功率放电至放电截止条件时停止放电，记录本次放电过程中储能系统放电的能量  $E_D$  和辅助能耗  $W_D$ ；
- d) 重复步骤 b)和 c)两次，记录每次充放电能量  $E_{Cn}$ 、 $E_{Dn}$  和辅助能耗  $W_{Cn}$ 、 $W_{Dn}$ ；
- e) 按式 (26) 计算能量转换效率：

$$\eta = \frac{1}{3} \left( \frac{E_{D1} - W_{D1}}{E_{C1} + W_{C1}} + \frac{E_{D2} - W_{D2}}{E_{C2} + W_{C2}} + \frac{E_{D3} - W_{D3}}{E_{C3} + W_{C3}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (26)$$

式中：

$\eta$ ——能量转换效率；

$E_{Cn}$ ——第  $n$  次循环的充电能量，单位为瓦时 (W h)；

$E_{Dn}$ ——第  $n$  次循环的放电能量，单位为瓦时 (W h)；

$W_{Cn}$ ——第  $n$  次循环充电过程的辅助能耗，单位为瓦时 (W h)；

$W_{Dn}$ ——第  $n$  次循环放电过程的辅助能耗，单位为瓦时 (W h)。

9.3.3 试验结果应符合 GB/T 36547 的规定。

#### 9.4 电能质量试验

9.4.1 变流器、SVG 等电力电子设备完成更换、涉网参数调整后，应进行整站电能质量试验。整站电能质量试验应至少包括三相电压不平衡试验、谐波试验和间谐波试验。

9.4.2 整站电能质量试验应分别在充电和放电状态测试，测试应按照下列步骤进行：

- a) 将测试仪器接入储能电站并网点；
- b) 设置储能系统运行在充电状态；
- c) 调节模拟电网装置交流侧的谐波值、三相电压不平衡度、间谐波值分别至 GB/T 14549、GB/T 15543、GB/T 24337 中要求的最大限值，连续运行至少 1min，记录储能系统运行状态及相应动作时间；
- d) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 c)。

9.4.3 试验结果应符合 GB/T 14549、GB/T 15543、GB/T 24337 的规定。

#### 9.5 一次调频试验

9.5.1 一次调频装置完成更换、涉网参数调整后，应进行整站的一次调频试验。

9.5.2 一次调频试验应包括一次调频死区测试、一次调频动态性能测试和一次调频限幅测试。

9.5.3 一次调频死区测试应按照下列步骤进行：

- a) 将储能系统与模拟频率扰动装置相连；
- b) 根据电网需要，储能电站一次调频的死区应设置在  $\pm 0.03\text{Hz} \sim \pm 0.05\text{Hz}$  范围内；
- c) 连续改变模拟的机组频差信号测试一次调频死区，直至有功功率开始规律性调节，并记录相应有功动作时间、动作频率值。

9.5.4 一次调频动态性能测试应按照下列步骤进行：

- a) 将储能系统与模拟电网扰动装置相连；
- b) 设置储能系统运行在充电状态；
- c) 通过频差阶跃扰动试验验证动态性能，阶跃试验至少包括  $\pm 0.05\text{Hz}$ 、 $\pm 0.15\text{Hz}$ 、 $\pm 0.2\text{Hz}$  的有效频差阶跃，最大有效频差宜不超过  $\pm 0.25\text{Hz}$ ；

- d) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 c) 两次；
- e) 频差扰动信号应持续保持至一次调频功率达到理论计算值后 30s，记录响应过程数据，包括一次调频滞后时间、上升时间、调节时间、达到稳定时的有功功率调节偏差等指标。

9.5.5 一次调频限幅测试应按照下列步骤进行：

- a) 根据电网需要，设置储能电站一次调频调差率为 0.5%~3%；
- b) 将储能系统与模拟电网扰动装置相连；
- c) 设置储能系统运行在充电状态；
- d) 连续改变模拟的机组频差信号，测试有功功率规律性调节，并记录相应有功最大调节幅值；
- e) 设置储能系统运行在放电状态，重复步骤 d) 两次。

9.5.6 一次调频试验结果应符合 GB/T 40595 的规定。

9.6 有功调节能力试验

9.6.1 场站级有功控制系统完成改造升级、更换、涉网参数调整后，应进行整站有功调节能力试验。

9.6.2 有功调节能力试验包括升功率测试、降功率测试。

9.6.3 升功率测试按照下列步骤进行：

- a) 将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作；
- b) 设置储能系统有功功率为 0；
- c) 逐级调节有功功率设定值至  $-0.25P_N$ 、 $0.25P_N$ 、 $-0.5P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $-0.75P_N$ 、 $0.75P_N$ 、 $-P_N$ 、 $P_N$ ，各个功率点保持至少 30s，在储能系统并网点测量时序功率，以每 0.2s 有功功率平均值为一，记录实测曲线；
- d) 以每次有功功率变化后的第二个 15s 计算 15s 有功功率平均值；
- e) 计算 b) 各点有功功率的控制精度、响应时间和调节时间。

9.6.4 降功率测试按照下列步骤进行：

- a) 将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作条件；
- b) 设置储能系统有功功率为  $P_N$ ；
- c) 逐级调节有功功率设定值至  $-P_N$ 、 $0.75P_N$ 、 $-0.75P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $-0.5P_N$ 、 $0.25P_N$ 、 $-0.25P_N$ 、0，各个功率点保持至少 30s，在储能系统并网点测量时序功率，以每 0.2s 有功功率平均值为一，记录实测曲线；
- d) 以每次有功功率变化后的第二个 15s 计算 15s 有功功率平均值；
- e) 计算 b) 各点有功功率的控制精度、响应时间和调节时间。

9.6.5 有功调节能力试验测试结果应符合 GB/T 36547 的规定。

9.7 无功调节能力试验

9.7.1 场站级无功控制系统完成改造升级、更换、涉网参数调整后，应进行整站无功调节能力试验。

9.7.2 无功调节能力试验包括充电模式测试、放电模式测试。

9.7.3 充电模式测试应按照下列步骤进行：

- a) 将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作条件；
- b) 设置储能系统有功功率为  $P_N$ ；
- c) 调节储能系统运行在输出最大感性无功功率工作模式；
- d) 在储能系统并网点测量时序功率，至少记录 30s 有功功率和无功功率，以每 0.2s 功率平均值为一，计算第二个 15s 内有功功率和无功功率的平均值；
- e) 分别调节储能系统充电有功功率为  $0.9P_N$ 、 $0.8P_N$ 、 $-0.7P_N$ 、 $0.6P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $0.4P_N$ 、 $0.3P_N$ 、 $0.2P_N$ 、 $0.1P_N$ 、0，重复 b)~c)两次；
- f) 调节储能系统运行在输出最大容性无功功率工作模式，重复 c)~d)两次。

9.7.4 放电模式测试应按照下列步骤进行：

- a) 将储能系统与模拟电网装置（公共电网）相连，所有参数调至正常工作条件；
- b) 设置储能系统有功功率为  $P_N$ ；
- c) 调节储能系统运行在输出最大感性无功功率工作模式；
- d) 在储能系统并网点测量时序功率，至少记录 30s 有功功率和无功功率，以每 0.2s 功率平均值为一组，计算第二个 15s 内有功功率和无功功率的平均值；
- e) 分别调节储能系统放电有功功率为  $0.9P_N$ 、 $0.8P_N$ 、 $-0.7P_N$ 、 $0.6P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $0.4P_N$ 、 $0.3P_N$ 、 $0.2P_N$ 、 $0.1P_N$ 、 $0$ ，重复 b)~c) 两次；
- f) 调节储能系统运行在输出最大容性无功功率工作模式，重复 c)~d) 两次。

9.7.5 无功调节能力试验测试结果应符合 NB/T 33015 的规定。

---