



中华人民共和国国家标准

GB/T 44111—2024

电化学储能电站检修试验规程

Code of maintenance test for electrochemical energy storage station

2024-05-28 发布

2024-12-01 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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总体要求 2

5 试验仪器设备 2

6 电池试验 3

7 储能变流器试验 22

8 监控系统试验 28

9 整站试验 31

附录 A（资料性） 试验报告 42

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：国网河南省电力公司、国网江苏省电力有限公司镇江供电分公司、南方电网储能股份有限公司、国网河南省电力公司许昌供电公司、广州智光储能科技有限公司、国网甘肃省电力公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、平高集团储能科技有限公司、大连融科储能技术发展有限公司、上海电力大学、国网河南省电力公司电力科学研究院、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、北京海博思创股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、国家电投集团氢能科技发展有限公司、国网冀北电力有限公司经济技术研究院、浙江南都能源科技有限公司、江苏中天科技股份有限公司、北京和瑞储能科技有限公司。

本文件主要起草人：张景超、史雷敏、惠杰、甄文喜、王楠楠、王轩轩、刘乐康、宋耐超、李晓广、董龔、张兴、李娟、郑欣、李勇琦、陈西涛、胡振恺、陈豪、王晓丽、左广科、魏小锋、王宇明、杨诗吟、董开松、刘璐、赵光金、姜恩宇、赵芑、郑志民、戈狄、宋珂、陈满、李静、王满商、马喜平、孔旭晖、杨猛、张柳丽、杨振华、谭清武、谭建国、吴林林、黄贤森、熊思江、郑新。

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电池、储能变流器、监控系统以及整站检修试验的项目、方法等。

本文件适用于以锂离子电池、钠离子电池、铅酸(炭)电池、液流电池、水电解制氢/燃料电池为储能载体的电化学储能电站的检修试验。

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 629 化学试剂 氢氧化钠
- 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 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 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 12149 工业循环冷却水和锅炉用水中硅的测定
- GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 14636 工业循环冷却水及水垢中钙、镁的测定 原子吸收光谱法
- GB/T 14637 工业循环冷却水及水垢中铜、铁、锌的测定 原子吸收光谱法
- GB/T 14642 工业循环冷却水及锅炉水中氟、氯、磷酸根、亚硝酸根、硝酸根和硫酸根的测定 离子色谱法
- 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 15456 工业循环冷却水中化学需氧量(COD)的测定 高锰酸盐指数法
- 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 数字密度计测试液体密度、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 34131 电力储能用电池管理系统
- GB/T 42288 电化学储能电站安全规程
- GB/T 42726 电化学储能电站监控系统技术规范

- DL/T 393 输变电设备状态检修试验规程
- 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
- 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

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 总体要求

- 4.1 电化学储能电站检修试验前应制定检修试验计划、编制检修试验方案,检修试验安全应符合 GB/T 42288 的规定。检修试验方案应包含安全措施、环境保护措施和应急预案。
- 4.2 电化学储能电站检修试验前宜向调度机构提出检修试验申请,经批准后实施。
- 4.3 检修试验人员应熟悉电站设备和系统的技术要求,掌握电站设备检修试验技能和质量要求。
- 4.4 检修试验仪器设备应检验合格,并在有效期内。
- 4.5 电化学储能电站相关的变压器、断路器、避雷器、互感器等一次设备检修试验应符合 DL/T 393、DL/T 573、DL/T 727、DL/T 1686、DL/T 1689、DL/T 1700、DL/T 1702 的规定,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符合 DL/T 724、DL/T 995、DL/T 1664 的规定。
- 4.6 检修试验过程中,出现天气、设备异常等影响试验安全的情况时应停止试验,具备安全试验条件后方可进行试验。
- 4.7 检修试验过程中应记录试验数据,编制检修试验报告,试验报告内容见附录 A。

5 试验仪器设备

5.1 试验仪器仪表

试验仪器仪表精度应符合表 1 的要求。

表 1 试验仪器仪表精度要求

| 名称 | 精度 |
|---------|-------|
| 绝缘电阻测试仪 | ±2% |
| 内阻测试仪 | ±0.5% |

表 1 试验仪器仪表精度要求 (续)

| 名称 | 精度 |
|---------|---------|
| 接地电阻测试仪 | ±0.5% |
| 电导仪 | ±0.5% |
| 钳形电流表 | ±0.1% |
| 电压表 | ±0.1% |
| 功率分析仪 | ±0.1% |
| 电能表 | ±0.1% |
| 继电保护测试仪 | 0.5 级 |
| 风量测试仪 | 0.5 级 |
| 超声波流量计 | ±0.5% |
| 压力表 | 0.1 级 |
| 温度计 | ±0.5 °C |
| 数据采集装置 | 0.2 级 |

5.2 频率信号发生器

频率信号发生器应满足以下要求：

- 输出频率能程控调节,频率调节范围包含 40 Hz~65 Hz,误差不大于 0.002 Hz;
- 在进行快速变频调节时,具有三相频率保持一致并同步变动的能力;
- 频率调节精度步长不大于 0.001 Hz;
- 频率稳定度不大于 0.01%。

6 电池试验

6.1 锂离子电池、钠离子电池

6.1.1 电池模块绝缘电阻试验

电池模块绝缘电阻试验按以下步骤进行：

- 断开储能变流器交流侧和直流侧开关,断开电池模块正/负极与外部电气连接,短接或断开不能承受绝缘试验的元件;
- 将绝缘电阻测试仪与电池模块的正极、外部裸露可导电部分连接;
- 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电池模块的连接;
- 将绝缘电阻测试仪与电池模块的负极、外部裸露可导电部分连接;
- 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电池模块的连接;
- 分别计算正/负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻和电池模块标称电压的比值,比值不小于

1 000 Ω/V判定为合格；

- g) 恢复电池模块正/负极与外部电气连接,恢复短接或断开的元件。

表 2 绝缘电阻试验电压

| 电池模块/电池簇/电堆最大工作电压 U_{max} V | 试验电压 V |
|----------------------------------|-----------|
| $U_{max} < 500$ | 500 |
| $500 \leq U_{max} < 1\ 000$ | 1 000 |
| $U_{max} \geq 1\ 000$ | 2 500 |

6.1.2 电池簇绝缘电阻试验

电池簇绝缘电阻试验按以下步骤进行：

- a) 断开储能变流器交流侧和直流侧开关,断开电池簇正/负极与外部电气连接,短接或断开不能承受绝缘试验的元件；
- b) 将绝缘电阻测试仪与电池簇的正极、外部裸露可导电部分连接；
- c) 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电池簇的连接；
- d) 将绝缘电阻测试仪与电池簇的负极、外部裸露可导电部分连接；
- e) 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电池簇的连接；
- f) 分别计算正/负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻和电池簇标称电压的比值,比值不小于 1 000 Ω/V判定为合格；
- g) 恢复电池簇正/负极与外部电气连接,恢复短接或断开的元件。

6.1.3 电池簇充放电试验

电池簇充放电试验按以下步骤进行。

- a) 断开储能变流器交流侧和直流侧开关,将功率分析仪接入待测电池簇的直流端口处,闭合储能变流器交流侧和直流侧开关。
- b) 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min。
- c) 将电池簇以额定功率充电至充电截止条件,静置 10 min。
- d) 记录功率分析仪采集的充电能量,电池簇充电能量不小于额定充电能量判定为合格。
- e) 记录电池管理系统采集的电池单体电压最大值和最小值、电池单体温度最大值和最小值。
- f) 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min。
- g) 记录功率分析仪采集的放电能量,电池簇放电能量不小于额定放电能量判定为合格。
- h) 记录电池管理系统采集的电池单体电压最大值和最小值、电池单体温度最大值和最小值。
- i) 按式(1)计算充电末端的电池簇电池单体电压极差,按式(2)计算放电末端的电池簇电池单体电压极差,电池单体电压极差符合产品技术要求判定为合格。

$$\Delta V_c = V_{cmax} - V_{cmin} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔV_c —— 充电末端的电池簇电池单体电压极差；

V_{cmax} ——充电至充电截止条件,电池管理系统采集的电池单体电压最大值;

V_{cmin} ——充电至充电截止条件,电池管理系统采集的电池单体电压最小值。

$$\Delta V_d = V_{dmax} - V_{dmin} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

ΔV_d ——放电末端的电池簇电池单体电压极差;

V_{dmax} ——放电至放电截止条件,电池管理系统采集的电池单体电压最大值;

V_{dmin} ——放电至放电截止条件,电池管理系统采集的电池单体电压最小值。

- j) 按式(3)计算充电末端的电池簇电池单体温度极差,按式(4)计算放电末端的电池簇电池单体温度极差,电池单体温度极差符合产品技术要求判定为合格。

$$\Delta T_c = T_{cmax} - T_{cmin} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

ΔT_c ——充电末端的电池簇电池单体温度极差;

T_{cmax} ——充电至充电截止条件,电池管理系统采集的电池单体温度最大值;

T_{cmin} ——充电至充电截止条件,电池管理系统采集的电池单体温度最小值。

$$\Delta T_d = T_{dmax} - T_{dmin} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

ΔT_d ——放电末端的电池簇电池单体温度极差;

T_{dmax} ——放电至放电截止条件,电池管理系统采集的电池单体温度最大值;

T_{dmin} ——放电至放电截止条件,电池管理系统采集的电池单体温度最小值。

- k) 按式(5)计算电池簇充放电能量效率,电池簇充放电能量效率符合产品技术要求判定为合格。

$$\eta = \frac{E_d}{E_c} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中:

η ——电池簇充放电能量效率;

E_d ——放电至放电截止条件,功率分析仪采集的放电能量;

E_c ——充电至充电截止条件,功率分析仪采集的充电能量。

6.1.4 电池管理系统电池单体电压采集试验

电池管理系统电池单体电压采集试验按以下步骤进行:

- a) 任意选择 3 个电池管理系统电压采集通道接口;
- b) 将电压表分别与选择的电池管理系统电压采集通道接口连接,电池管理系统电压采集线接入电池单体;
- c) 将电池管理系统上电,分别记录 3 组电压表测量的电压值和电池管理系统采集的单体电池电压值;
- d) 按式(6)计算电池单体电压采集误差,电池单体采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta U = |U_M - U_R| \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ΔU ——电池单体电压采集误差;

U_M ——电压表测量的电压值;

U_R ——电池管理系统采集的单体电池电压值。

6.1.5 电池管理系统电池簇电压采集试验

电池管理系统电池簇电压采集试验按以下步骤进行：

- a) 将电压表与电池簇正/负极连接,电池管理系统电压采集线接入电池簇；
- b) 将电池管理系统上电,记录电压表测量的电池簇电压值和电池管理系统采集的电池簇电压值；
- c) 按式(7)计算电池簇电压采集误差,电池簇电压采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta U = \frac{|U_M - U_R|}{U_M} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中：

- ΔU —— 电池簇电压采集误差；
- U_M —— 电压表测量的电压值；
- U_R —— 电池管理系统采集的电池簇电压值。

6.1.6 电池管理系统温度采集试验

电池管理系统温度采集试验按以下步骤进行：

- a) 将电池管理系统上电,用温度计测量电池可测量点温度并记录,同时记录电池管理系统采集的同一位置的温度；
- b) 按式(8)计算温度采集误差,温度采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta T = |T_M - T_R| \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- ΔT —— 温度采集误差；
- T_M —— 温度计测量值；
- T_R —— 电池管理系统采集的温度值。

6.1.7 电池管理系统电流采集试验

电池管理系统电流采集试验按以下步骤进行：

- a) 将钳形电流表接在电池簇直流输出端口处；
- b) 将电池管理系统上电,以 50%额定功率和 100%额定功率分别对电池簇充电 10 min；
- c) 记录钳形电流表测量的电池簇电流值和电池管理系统采集的电池簇电流值；
- d) 以 50%额定功率和 100%额定功率分别对电池簇放电 10 min；
- e) 记录钳形电流表测量的电池簇电流值和电池管理系统采集的电池簇电流值；
- f) 按式(9)计算电池簇电流采集误差,电流采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta I = \frac{|I_M - I_R|}{I_M} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- ΔI —— 电池簇电流采集误差；
- I_M —— 钳形电流表测量值；
- I_R —— 电池管理系统采集的电流值。

6.1.8 电池管理系统报警和保护功能试验

电池管理系统报警和保护功能试验按以下步骤进行：



- a) 将电池管理系统上电,检查电池管理系统显示的电池能量状态、单体电池电压、电池温度、电池簇电压、电池簇绝缘阻值等状态信息;电池无异常时,电池管理系统无报警和故障信息;
- b) 分别调整电池管理系统中能触发电池管理系统报警的电池电压、电流、温度等参数的越限值,电池管理系统能准确发出报警信号并执行相应保护动作判定为合格。

6.1.9 电池管理系统通信功能试验

电池管理系统通信功能试验按以下步骤进行:

- a) 将电池管理系统和信号发生及采集装置连接;
- b) 将电池管理系统上电,检查电池管理系统显示的电池能量状态、单体电池电压、电池温度、电池簇电压、电池簇绝缘阻值等状态信息;电池无异常时,电池管理系统采集的信息无缺失和异常;
- c) 检查电池管理系统与储能变流器、监控系统等外部设备之间的通信无异常;
- d) 通过信号发生及采集装置发送并接收 30 s 报文,监测 CAN、RS-485 串口和网口报文 30 s,报文无异常判定为合格。



6.1.10 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验

电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验按以下步骤进行:

- a) 断开电池阵列风冷系统风机电源连接线;
- b) 将绝缘电阻测试仪与风机电源端子正极、外部裸露可导电部分连接;
- c) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V,持续加压 1 min,记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与风机电源端子的连接;
- d) 将绝缘电阻测试仪与风机电源端子负极、外部裸露可导电部分连接;
- e) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V,持续加压 1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与风机电源端子的连接;
- f) 绝缘电阻值不小于 10 MΩ 判定为合格;
- g) 恢复电池阵列风冷系统风机电源连接线。

6.1.11 电池阵列液冷系统循环泵绝缘电阻试验

电池阵列液冷系统循环泵绝缘电阻试验按以下步骤进行:

- a) 断开电池阵列液冷系统循环泵电源连接线;
- b) 将绝缘电阻测试仪与循环泵电源端子正极、外部裸露可导电部分连接;
- c) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V,持续加压 1 min,记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与循环泵电源端子的连接;
- d) 将绝缘电阻测试仪与循环泵电源端子负极、外部裸露可导电部分连接;
- e) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V,持续加压 1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与循环泵电源端子的连接;
- f) 绝缘电阻值不小于 10 MΩ 判定为合格;
- g) 恢复电池阵列液冷系统循环泵电源连接线。

6.1.12 电池阵列风冷系统风机风量试验

电池阵列风冷系统风机风量试验按以下步骤进行:

- a) 在风机出口安装风量测量仪;

- b) 启动电池阵列风冷系统,持续运行 1 h;
- c) 测量风量值并记录;
- d) 风量测量值满足电池阵列风冷系统风机风量技术要求判定为合格。

6.1.13 电池阵列液冷系统循环泵温度传感器校验

电池阵列液冷系统循环泵温度传感器校验按以下步骤进行:

- a) 将电池管理系统上电正常,液冷系统循环运行 10 min;
- b) 用温度计测量循环泵的进水口金属管路壁面上温度并记录,同时记录电池管理系统采集同一位置进水口的温度;
- c) 用温度计测量循环泵的出水口金属管路壁面上温度并记录,同时记录电池管理系统采集同一位置出水口的温度;
- d) 按式(10)计算电池管理系统采集的进水口温度误差,按式(11)计算电池管理系统采集的出水口温度误差,温度误差不大于 2 °C 判定为合格。

$$\Delta T_i = |T_{iM} - T_{iR}| \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- ΔT_i ——进水口温度误差;
- T_{iM} ——温度计或其他温度传感器测量值;
- T_{iR} ——电池管理系统采集的进水口温度值。

$$\Delta T_o = |T_{oM} - T_{oR}| \dots\dots\dots(11)$$

式中:

- ΔT_o ——出水口温度误差;
- T_{oM} ——温度计或其他温度传感器测量值;
- T_{oR} ——电池管理系统采集的出水口温度值。

6.2 铅酸(炭)电池

6.2.1 电池单体内阻试验

电池单体内阻试验按以下步骤进行:

- a) 将电池簇充电至充电截止条件,断开电池单体的正/负极与外部电气连接;
- b) 用内阻测试仪或电导仪测量电池单体的内阻值并记录;
- c) 电池单体内阻值符合产品技术要求判定为合格。

6.2.2 电池簇绝缘电阻试验

电池簇绝缘电阻试验按以下步骤进行:

- a) 断开储能变流器交流侧和直流侧开关,断开电池簇正/负极与外部电气连接,短接或断开不能承受绝缘试验的元件;
- b) 将绝缘电阻测试仪与电池簇的正极、外部裸露可导电部分连接;
- c) 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电池簇的连接;
- d) 将绝缘电阻测试仪与电池簇的负极、外部裸露可导电部分连接;
- e) 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电池簇的连接;

- f) 分别计算正/负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻和电池簇标称电压的比值,比值不小于 2 000 Ω/V 判定为合格;
- g) 恢复电池簇正/负极与外部电气连接,恢复短接或断开的元件。

6.2.3 电池簇充放电试验

电池簇充放电试验按以下步骤进行:

- a) 断开储能变流器交流侧和直流侧开关,将功率分析仪接入待测电池簇的直流端口处,闭合储能变流器交流侧和直流侧开关;
- b) 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min;
- c) 将电池簇以额定功率充电至充电截止条件,静置 10 min;
- d) 记录功率分析仪采集的充电能量,电池簇充电能量不小于额定充电能量判定为合格;
- e) 记录电池管理系统采集的电池单体电压最大值和最小值、电池单体温度最大值和最小值;
- f) 将电池簇以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min;
- g) 记录功率分析仪采集的放电能量,电池簇放电能量不小于额定放电能量判定为合格;
- h) 记录电池管理系统采集的电池单体电压最大值和最小值、电池单体温度最大值和最小值;
- i) 按式(1)计算充电末端的电池簇电池单体电压极差,按式(2)计算放电末端的电池簇电池单体电压极差,电池单体电压极差符合产品技术要求判定为合格;
- j) 按式(3)计算充电末端的电池簇电池单体温度极差,按式(4)计算放电末端的电池簇电池单体温度极差,电池单体温度极差符合产品技术要求判定为合格;
- k) 按式(5)计算电池簇充放电能量效率,电池簇充放电能量效率符合产品技术要求判定为合格。

6.2.4 电池管理系统电池单体电压采集试验

电池管理系统电池单体电压采集试验按以下步骤进行:

- a) 任意选择 3 个电池管理系统电压采集通道接口;
- b) 将电压表分别与选择的电池管理系统电压采集通道接口连接,电池管理系统电压采集线接入电池单体;
- c) 将电池管理系统上电,分别记录 3 组电压表测量的电压值和电池管理系统采集的电池单体电压值;
- d) 按式(6)计算电池单体电压采集误差,电池单体采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

6.2.5 电池管理系统电池簇电压采集试验

电池管理系统电池簇电压采集试验按以下步骤进行:

- a) 将电压表与电池簇正/负极连接,电池管理系统电压采集线接入电池簇;
- b) 将电池管理系统上电,记录电压表测量的电池簇电压值和电池管理系统采集的电池簇电压值;
- c) 按式(7)计算电池簇电压采集误差,电池簇电压采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

6.2.6 电池管理系统温度采集试验

电池管理系统温度采集试验按以下步骤进行:

- a) 将电池管理系统上电,用温度计测量电池可测量点温度并记录,同时记录电池管理系统采集的

同一位置的温度；

- b) 按式(8)计算温度采集误差,温度采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

6.2.7 电池管理系统电流采集试验

电池管理系统电流采集试验按以下步骤进行:

- a) 将电池管理系统上电,将钳形电流表接在电池簇直流输出端口处;
- b) 在 50%额定功率和 100%额定功率下分别对电池簇充电 10 min;
- c) 记录钳形电流表测量的电池簇电流值和电池管理系统采集的电池簇电流值;
- d) 在 50%额定功率和 100%额定功率下分别对电池簇放电 10 min;
- e) 记录钳形电流表测量的电池簇电流值和电池管理系统采集的电池簇电流值;
- f) 按式(9)计算电池簇电流采集误差,电流采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

6.2.8 电池管理系统报警和保护功能试验

电池管理系统报警和保护功能试验按以下步骤进行:

- a) 将电池管理系统上电,检查电池管理系统显示的电池能量状态、单体电池电压、电池温度、电池簇电压、电池簇绝缘阻值等状态信息;电池无异常时,电池管理系统无报警和故障信息;
- b) 分别调整电池管理系统中能触发电池管理系统报警的电池电压、电流、温度等参数的越限值,电池管理系统能准确发出报警信号并执行相应保护动作判定为合格。

6.2.9 电池管理系统通信功能试验

电池管理系统通信功能试验按以下步骤进行:

- a) 将电池管理系统和信号发生及采集装置连接;
- b) 将电池管理系统上电,检查电池管理系统显示的电池能量状态、单体电池电压、电池温度、电池簇电压、电池簇绝缘阻值等状态信息;电池无异常时,电池管理系统采集的信息无缺失和异常;
- c) 检查电池管理系统与储能变流器、监控系统等外部设备之间的通信无异常;
- d) 通过信号发生及采集装置发送并接收 30 s 报文,监测 CAN、RS-485 串口和网口报文 30 s,报文无异常判定为合格。

6.2.10 电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验

电池阵列风冷系统风机绝缘电阻试验按以下步骤进行:

- a) 断开电池阵列风冷系统风机电源连接线;
- b) 将绝缘电阻测试仪与风机电源端子正极、外部裸露可导电部分连接;
- c) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V,持续加压 1 min,记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与风机电源端子的连接;
- d) 将绝缘电阻测试仪与风机电源端子负极、外部裸露可导电部分连接;
- e) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V,持续加压 1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与风机电源端子的连接;
- f) 绝缘电阻值不小于 10 M Ω 判定为合格;
- g) 恢复电池阵列风冷系统风机电源连接线。

6.2.11 电池阵列风冷系统风机风量试验

电池阵列风冷系统风机风量试验按以下步骤进行:

- a) 在风机出口安装风量测量仪；
- b) 启动电池阵列风冷系统,持续运行 1 h；
- c) 测量风量值并记录；
- d) 风量测量值满足电池阵列风冷系统风机风量技术要求判定为合格。

6.3 液流电池

6.3.1 电解液性能试验

电解液性能试验按以下步骤进行：

- a) 启动电池系统,待电池系统运行正常；
- b) 将电池系统以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min；
- c) 将电池系统以额定功率充电至充电截止条件,静置 10 min；
- d) 将电池系统以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min；
- e) 打开取样口,用取样管对电解液进行取样并密封；
- f) 对取样电解液的浓度、价态、杂质元素含量进行测量并记录；
- g) 测量结果满足产品技术要求的判定为合格。

6.3.2 电堆绝缘电阻试验

电堆绝缘电阻试验按以下步骤进行：

- a) 断开储能变流器交流侧和直流侧开关,断开电堆正/负极电解液进出口阀门,断开电堆正/负极与外部电气连接,短接或断开不能承受绝缘试验的元件；
- b) 将绝缘电阻测试仪与电堆的正极、外部裸露可导电部分连接；
- c) 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录正极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电堆的连接；
- d) 将绝缘电阻测试仪与电堆的负极、外部裸露可导电部分连接；
- e) 按表 2 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与电堆的连接；
- f) 电堆正/负极与外部裸露可导电部分绝缘电阻值不小于 1 M Ω 判定为合格；
- g) 恢复电堆正/负极电解液进出口阀门及电堆正/负极与外部电气连接,恢复短接或断开的元件。

6.3.3 电池堆充放电试验

电池堆充放电试验按以下步骤进行。

- a) 断开储能变流器交流侧和直流侧开关,将功率分析仪接入待测电堆的直流端口处,闭合储能变流器交流侧和直流侧开关。
- b) 将电堆以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min。
- c) 将电堆以额定功率充电至充电截止条件,静置 10 min。
- d) 记录功率分析仪采集的充电能量,电堆充电能量不小于额定充电能量判定为合格。
- e) 记录电池管理系统采集的电堆电压最大值和最小值。
- f) 将电堆以额定功率放电至放电截止条件,静置 10 min。
- g) 记录功率分析仪采集的放电能量,电堆放电量不小于额定放电能量判定为合格。
- h) 记录电池管理系统采集的电堆电压最大值和最小值。
- i) 按式(12)计算充电末端的电堆电压极差,按式(13)计算放电末端的电堆电压极差,电堆电压极

差符合产品技术要求判定为合格。

$$\Delta V_{cl} = V_{clmax} - V_{clmin} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

ΔV_{cl} —— 充电末端的电堆电压极差；

V_{clmax} —— 充电至充电截止条件，电池管理系统采集的电堆电压最大值；

V_{clmin} —— 充电至充电截止条件，电池管理系统采集的电堆电压最小值。

$$\Delta V_{dl} = V_{dlmax} - V_{dlmin} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

ΔV_{dl} —— 放电末端的电堆电压极差；

V_{dlmax} —— 放电至放电截止条件，电池管理系统采集的电堆电压最大值；

V_{dlmin} —— 放电至放电截止条件，电池管理系统采集的电堆电压最小值。

j) 按式(14)计算电堆充放电能量效率，电堆充放电能量效率符合产品技术要求判定为合格。

$$\eta_1 = \frac{E_{dl}}{E_{cl}} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

η_1 —— 电堆充放电能量效率；

E_{dl} —— 放电至放电截止条件，功率分析仪采集的放电能量；

E_{cl} —— 充电至充电截止条件，功率分析仪采集的充电能量。

6.3.4 电解液循环泵电机绝缘电阻试验

电解液循环泵电机绝缘电阻试验按以下步骤进行：

- a) 断开电解液循环泵电机的电源线及绕组连接片；
- b) 将绝缘电阻测试仪与电解液循环泵电机的任意相绕组、外部裸露可导电部分连接；
- c) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V，持续加压 1 min，记录绕组与外部裸露可导电部分绝缘电阻、试验电压，断开绝缘电阻测试仪与电解液循环泵电机的连接；
- d) 重复步骤 b)~c)对电解液循环泵电机的其他相绕组分别进行测量；
- e) 将绝缘电阻测试仪与电解液循环泵电机任意两相绕组连接；
- f) 设置绝缘电阻测试仪的试验电压为 1 000 V，持续加压 1 min，记录两相绕组的相间绝缘电阻、试验电压，断开绝缘电阻测试仪与电解液循环泵电机的连接；
- g) 重复步骤 e)~f)对电解液循环泵电机的其他任意两相绕组分别进行测量；
- h) 绕组与外部裸露可导电部分绝缘电阻值以及两相绕组的相间绝缘电阻值均不小于 0.5 MΩ 判定为合格；
- i) 恢复电解液循环泵电机电源线及绕组连接片。

6.3.5 电解液循环系统管路水压试验

电解液循环系统管路水压试验按以下步骤进行：

- a) 排净电解液循环系统管路的电解液，用去离子水对管路进行冲洗；
- b) 在待测管路中接入加压泵、加装盲板、注入去离子水；
- c) 启动加压泵，压力升至工作压力的 1.5 倍，静置 1 h；
- d) 压力下降不大于 0.02 MPa 且电解液循环管路表面及接口处无漏液判定为合格；
- e) 排净电解液循环系统管路的去离子水，拆除加压泵及盲板。

6.3.6 电池管理系统电堆电压采集试验

电池管理系统电堆电压采集试验按以下步骤进行：

- a) 将电压表与电堆正/负极连接,电池管理系统电压采集线接入电堆；
- b) 将电池管理系统上电,记录电压表测量的电堆电压值和电池管理系统采集的电堆电压值；
- c) 按式(15)计算电堆电压采集误差,电堆电压采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta U_1 = \frac{|U_{M1} - U_{R1}|}{U_{M1}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中：

- ΔU_1 ——电堆电压采集误差；
 U_{M1} ——电压表测量的电压值；
 U_{R1} ——电池管理系统采集的电堆电压值。

6.3.7 电池管理系统温度采集试验

电池管理系统温度采集试验按以下步骤进行：

- a) 将电池管理系统上电,用温度计测量电池可测量点温度并记录,同时记录电池管理系统采集的同一位置的温度；
- b) 按式(8)计算温度采集误差,温度采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

6.3.8 电池管理系统电流采集试验

电池管理系统电流采集试验按以下步骤进行：

- a) 将钳形电流表接在电堆直流输出端口处；
- b) 将电池管理系统上电,以 50%额定功率和 100%额定功率分别对电堆充电 10 min；
- c) 记录钳形电流表测量的电堆电流值和电池管理系统采集的电堆电流值；
- d) 以 50%额定功率和 100%额定功率分别对电堆放电 10 min；
- e) 记录钳形电流表测量的电堆电流值和电池管理系统采集的电堆电流值；
- f) 按式(16)计算电堆电流采集误差,电流采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta I_1 = \frac{|I_{M1} - I_{R1}|}{I_{M1}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中：

- ΔI_1 ——电堆电流采集误差；
 I_{M1} ——钳形电流表测量值；
 I_{R1} ——电池管理系统采集的电流值。

6.3.9 电池管理系统电解液流量采集试验

电池管理系统电解液流量采集试验按以下步骤进行：

- a) 将超声波流量计安装在待测管路上；
- b) 将电池管理系统上电,记录流量计测量的流量值和电池管理系统采集的同一位置的流量值；
- c) 按式(17)计算电解液流量采集误差,电解液流量采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta Q = \frac{|Q_M - Q_R|}{Q_M} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中：

ΔQ —— 电解液流量采集误差；

Q_M —— 流量计测量值；

Q_R —— 电池管理系统采集的流量值。

6.3.10 电池管理系统电解液压力采集试验

电池管理系统电解液压力采集试验按以下步骤进行：

- a) 将压力表安装在待测管路上；
- b) 将电池管理系统上电，记录压力表测量的压力值和电池管理系统采集的同一位置的压力；
- c) 按式(18)计算电解液压力采集误差，电解液压力采集误差符合 GB/T 34131 的规定判定为合格。

$$\Delta P = \frac{|P_M - P_R|}{P_M} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中：

ΔP —— 电解液压力采集误差；

P_M —— 压力表测量值；

P_R —— 电池管理系统采集的压力值。

6.3.11 电池管理系统报警和保护功能试验

电池管理系统报警和保护功能试验按以下步骤进行：

- a) 将电池管理系统上电，检查电池管理系统显示的电池能量状态、电堆电压、电解液温度、电解液压力、电解液流量等状态信息；电池无异常时，电池管理系统无报警和故障信息；
- b) 分别调整电池管理系统中能触发电池管理系统报警的电池电压、电流、电解液温度、电解液压力、电解液流量等参数的越限值，电池管理系统能准确发出报警信号并执行相应保护动作判定为合格。

6.3.12 电池管理系统通信功能试验

电池管理系统通信功能试验按以下步骤进行：

- a) 将电池管理系统和信号发生及采集装置连接；
- b) 将电池管理系统上电，检查电池管理系统显示的电池能量状态、电堆电压、电解液温度、电解液压力、电解液流量等状态信息；电池无异常时，电池管理系统采集的信息无缺失和异常；
- c) 检查电池管理系统与储能变流器、监控系统等外部设备之间的通信无异常；
- d) 通过信号发生及采集装置发送并接收 30 s 报文，监测 CAN、RS-485 串口和网口报文 30 s，报文无异常判定为合格。

6.4 水电解制氢/燃料电池试验

6.4.1 燃料电池系统绝缘电阻试验

燃料电池系统绝缘电阻试验按以下步骤进行：

- a) 将燃料电池停机，检查燃料电池系统电气线束及接插件连接无误，保持冷却液处于热态；
- b) 将绝缘电阻测试仪与燃料电池系统正极、封装壳体外表面外露金属件可导电或金属接地点连接；

- c) 按表 3 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录燃料电池系统正极与封装壳体外表面外露金属件可导电或金属接地点绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与燃料电池系统的连接;
- d) 将绝缘电阻测试仪与燃料电池系统负极、封装壳体外表面外露金属件可导电或金属接地点连接;
- e) 按表 3 设置绝缘电阻测试仪的试验电压,持续加压 1 min,记录燃料电池系统负极与封装壳体外表面外露金属件可导电或金属接地点绝缘电阻、试验电压,断开绝缘电阻测试仪与燃料电池系统的连接;
- f) 分别计算正/负极与封装壳体外表面外露金属件可导电或金属接地点绝缘电阻和燃料电池额定电压的比值,比值不小于 500 Ω /V 判定为合格。

表 3 绝缘电阻试验电压

| 燃料电池系统最大工作电压 U_{\max} V | 试验电压 V |
|------------------------------|-----------|
| $U_{\max} < 250$ | 500 |
| $250 \leq U_{\max} < 1\ 000$ | 1 000 |

6.4.2 管道系统接地电阻试验

管道系统接地电阻试验按以下步骤进行:

- a) 将待测管道处于停运状态;
- b) 用接地电阻测试仪测量管道金属表面与接地端子间的接地电阻并记录;
- c) 接地电阻不大于 4 Ω 判定为合格。

6.4.3 金属结构件接地电阻试验

金属结构件接地电阻试验按以下步骤进行:

- a) 将待测金属结构件处于停运状态;
- b) 用接地电阻测试仪测量金属结构件金属表面与接地端子间的电阻并记录;
- c) 接地电阻不大于 4 Ω 判定为合格。

6.4.4 容器接地电阻试验

容器接地电阻试验按以下步骤进行:

- a) 将待测容器处于停运状态;
- b) 用接地电阻测试仪测量容器本体金属表面与接地端子间的电阻并记录;
- c) 接地电阻不大于 10 Ω 判定为合格。

6.4.5 制氢系统气密性与泄漏试验

制氢系统气密性与泄漏试验按以下步骤进行。

- a) 断开电源,使制氢系统处于停运状态。
- b) 将进行气密性试验的部分通过截止阀与其他部分隔离。
- c) 使用氮气对制氢系统进行气密性试验。

- d) 将压力型制氢系统的试验压力设置为设计压力,常压型制氢系统的气密性试验压力设置为 0.05 MPa。
- e) 逐步打开放空阀门,泄放试验设备内气体至常压。
- f) 将试验用压力表安装至制氢系统的压力表接口。
- g) 关闭气密性试验部分所有出气口,从进气口逐步充入氮气,压力升至试验压力的 30%后暂停,检查系统容器、管道、接头、阀门应无泄漏、变形、异响等异常,继续升压至试验压力,发现异常应记录并终止试验。
- h) 达到试验压力后关闭试验气体进气阀门,记录压力值,保持 30 min,采用涂刷专用检漏液的方法检查所有连接处,焊缝、法兰、垫片等密封点,所有密封点无可见气泡或者泡沫判定为合格。
- i) 气密性试验合格后,接着进行泄漏试验,试验时间为 24 h,记录试验开始、结束时的气体压力和绝对温度,按式(19)计算泄漏率,泄漏率不超过 0.5%判定为合格。

$$A = \left(1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中:

- A —— 泄漏率;
- P_1 —— 试验开始时的气体压力;
- P_2 —— 试验结束时的气体压力;
- T_1 —— 试验开始时的气体绝对温度;
- T_2 —— 试验结束时的气体绝对温度。

- j) 试验合格后,通过放空阀逐步泄放制氢系统压力至常压。

6.4.6 燃料电池系统气密性试验

燃料电池系统气密性试验按以下步骤进行:

- a) 断开电源,将燃料电池系统停机;
- b) 将进行气密性试验的部分通过截止阀与其他部分隔离;
- c) 使用氮氦混合气体(氮氦混合气体中氦气所占比例不低于 10%)对燃料电池系统进行气密性试验;
- d) 试验压力设置为最大运行压力;
- e) 逐步打开放空阀门,泄放燃料电池系统内的气体至常压;
- f) 将试验用压力表安装至燃料电池系统压力表接口;
- g) 关闭燃料电池系统试验部分所有出气口,从进气口逐步充入试验气体,压力升至试验压力的 30%后暂停,检查系统容器、管道、接头、阀门应无泄漏、变形、异响等异常,继续升压至试验压力,发现异常应记录并终止试验;
- h) 达到试验压力后关闭试验气体进气阀门,记录试验开始时的压力值,保持 30 min,采用涂刷专用检漏液的方法检查所有承压部件的连接件和连接点,记录试验结束时压力值;
- i) 所有连接点无可见气泡或者泡沫,压降值不超过制造商允许的最大值则判定为合格;
- j) 试验合格后,通过放空阀逐步泄放制氢系统压力至常压。

6.4.7 管道及容器气密性试验

管道及容器气密性试验按以下步骤进行:

- a) 将进行气密性试验的部分通过截止阀与其他部分隔离;
- b) 使用氮气、氦气、氩气等惰性气体对管道及容器进行气密性试验,若储氢容器为采用储氢材料

作为储氢介质,则试验气体纯度需达 99.999%以上;

- c) 试验压力设置为额定工作压力;
- d) 参照 6.4.5 步骤 e)~步骤 i)进行试验并计算泄漏率,试验过程中无异常且泄漏率不超过 0.5%判定为合格;
- e) 试验合格后,通过放空阀逐步泄放制氢系统压力至常压。

6.4.8 电动阀门传动试验

电动阀门传动试验按以下步骤进行:

- a) 将待测阀门所控制的设备停机;
- b) 将阀门控制的管道内介质泄放排空,如为氢气管道需用氮气、氩气或氦气完成置换;
- c) 接通阀门电源,通过控制系统向阀门发出动作指令,观察阀门动作过程、停止位置、气动机构和管路无漏气、反馈信号并记录;开关型阀门动作位置应包括开、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;
- d) 阀门位置与指令对应,动作机构无卡涩、抖动、异响,阀门处无异常发热判定为合格。

6.4.9 气动阀门传动试验

气动阀门传动试验按以下步骤进行:

- a) 将待测阀门所控制的设备停机;
- b) 将阀门控制的管道内介质泄放排空,如为氢气管道需用氮气、氩气或氦气完成置换;
- c) 接通符合阀门工作要求的气源,通过控制系统向阀门发出动作指令,观察阀门动作过程、停止位置、气动机构和管路无漏气、反馈信号并记录;开关型阀门动作位置应包括开、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;
- d) 阀门位置与指令对应,动作机构无卡涩、抖动、异响,气动机构和管路无漏气,阀门处无异常发热判定为合格。

6.4.10 制氢系统原料水水质检测

制氢系统原料水水质检测按以下步骤进行:

- a) 选择带有密封盖的玻璃、聚乙烯或聚四氟乙烯容器作为取样容器,取样容器应无破损、毛刺、污染;
- b) 用满足 GB/T 6682 二级水要求的纯水对取样容器冲洗 3 次后烘干;
- c) 打开原料纯水储罐上的取样阀门,排出不少于 3 L 液体后取样,取样后容器应密封,并在 48 h 内按照表 4 的检测项目和检测方法完成样品检测;
- d) 碱性水电解制氢系统原料水水质符合表 5 的要求判定为合格,质子交换膜水电解制氢系统原料水符合表 6 的要求判定为合格。

表 4 水质和电解液分析方法要求

| 检测项目 | 执行检测标准 | 适用检测项目 |
|----------|-----------|--------|
| 电导率(25℃) | GB/T 6908 | 水质检测 |

表 4 水质和电解液分析方法要求(续)

| 检测项目 | 执行检测标准 | 适用检测项目 |
|----------------------------------|------------|--------------|
| 可氧化物质含量 (以 O 计) | GB/T 15456 | 水质检测 |
| 吸亮度 (254 nm, 1 cm 光程) | GB/T 9721 | 水质检测 |
| 蒸发残渣 (105 °C ± 2 °C) | GB/T 9740 | 水质检测 |
| 全硅含量(以 SiO ₂ 计) | GB/T 12149 | 水质检测 |
| 铁离子含量 | GB/T 14637 | 水质检测、电解液成分检测 |
| 氯离子含量 | GB/T 14642 | 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 |
| CO ₃ ²⁻ 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 14642 | 水质检测 |
| 钙离子含量 | GB/T 14636 | 水质检测 |

表 5 碱性水电解制氢系统原料水水质要求

| 检测项目 | 单位 | 指标 |
|------------|------|------|
| 电导率(25 °C) | mS/m | ≤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 质子交换膜水电解制氢系统原料水水质要求

| 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 |
| 吸亮度(254 nm, 1 cm 光程) | — | ≤0.01 |
| 蒸发残渣(105 °C ± 2 °C) | mg/L | ≤1.0 |
| 全硅含量(以 SiO ₂ 计) | mg/L | ≤0.02 |

6.4.11 碱性水电解制氢系统电解液成分检测

碱性水电解制氢系统电解液成分检测按以下步骤进行：

- 选择带有密封盖的玻璃、聚乙烯或聚四氟乙烯容器作为取样容器，取样容器应无破损、毛刺、污染；
- 用满足 GB/T 6682 二级水要求的纯水对取样容器冲洗 3 次后烘干；
- 打开原料纯水储罐上的取样阀门，排出不少于 3 L 液体后取样，取样后容器应密封，并在 48 h 内按照表 4 的检测项目和检测方法完成样品检测；
- 碱性水电解制氢系统电解液成分符合表 7 的要求判定为合格。

表 7 碱性水电解制氢系统电解液成分要求

| 检测项目 | 单位 | 指标 |
|--|------|--------------------|
| 浓度 | % | 27~32 ^a |
| CO ₃ ²⁻ 含量 | mg/L | <100 |
| 铁离子含量 | mg/L | <3 |
| 氯离子含量 | mg/L | <800 |
| ^a 此浓度为采用 KOH 水溶液时，NaOH 水溶液应符合 GB/T 629 的规定。 | | |

6.4.12 冷却水水质检测

冷却水水质检测按以下步骤进行：

- 选择带有密封盖的玻璃、聚乙烯或聚四氟乙烯容器作为取样容器，取样容器应无破损、毛刺、污染；
- 用满足 GB/T 6682 二级水要求的纯水对取样容器冲洗 3 次后烘干；
- 打开原料纯水储罐上的取样阀门，排出不少于 3 L 液体后取样，取样后容器应密封，并在 48 h 内按照表 4 的检测项目和检测方法完成样品检测；
- 冷却水水质符合表 8 的要求判定为合格。

表 8 冷却水水质要求

| 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 ₂ 计) | mg/L | <50 |

6.4.13 水电解制氢/燃料电池阵列控制系统报警和保护功能试验

水电解制氢/燃料电池阵列控制系统报警和保护功能试验按以下步骤进行：

- a) 断开水电解制氢系统电解槽整流柜电源,合上水电解制氢/燃料电池阵列控制系统电源、阀门仪表电源、辅助系统电源,打开压缩空气气源,采用氮气、氩气或氦气置换氢气气路,启动电解槽循环泵、冷却水循环泵等辅助系统;
- b) 检查控制系统电压、电流、液位、压力、流量等状态信息,应无报警和故障信号;
- c) 通过修改电压、电流、温度、压力、液位等参数阈值和调整压力、液位状态的方法模拟发生设备异常或故障,记录控制系统发出的报警信号及保护动作情况;
- d) 水电解制氢/燃料电池阵列控制系统准确发出报警信息或故障信号并完成故障保护动作判定为合格。

6.4.14 水电解制氢系统启动/停机试验

水电解制氢系统启动/停机试验按以下步骤进行：

- a) 将制氢系统处于停机状态;
- b) 启动水电解制氢系统,设置目标制氢量为额定制氢量的 50%,制氢压力设置为设计压力;
- c) 待电解槽电流和电解槽温度达到稳定后,逐步提升至 100%额定制氢量,每次提升制氢量后应稳定运行一段时间,提升过程中电解槽直流电压不应超过设计限定值;
- d) 保持额定制氢量下保持运行 1 h,检查系统各部分运行情况并记录;
- e) 通过水电解制氢/燃料电池阵列控制系统观察并记录显示的电解槽电压、电流、温度、氢气输出压力、电解槽出口氢中氧、氧中氢含量、出口氢气微氧含量、露点和告警信息;
- f) 通过水电解制氢控制系统发出停机指令;
- g) 试验过程中相关参数符合设计技术要求、无异常和告警记录,启动和停机正常判定为合格。

6.4.15 水电解制氢系统能效试验

水电解制氢系统能效试验按以下步骤进行：

- a) 启动水电解制氢系统并逐步提升至额定制氢量,等待电解槽温度稳定;
- b) 在额定制氢量下,每隔 10 min 测量并记录电解槽直流电压、电流和电解槽辅助系统交流电耗,连续记录不少于 6 组数据后,关闭水电解制氢系统;
- c) 将记录的数据按照 GB 32311 的要求计算单位能耗和能效,单位能耗和能效不低于 GB 32311 能效等级 3 级的判定为合格。

6.4.16 水电解制氢系统气体纯度试验

水电解制氢系统气体纯度试验按以下步骤进行：

- a) 启动水电解制氢系统,设置制氢量不低于额定制氢量的 50%;
- b) 打开在线分析仪进样入口,等待分析仪器读数稳定后,从分析仪读取氢中氧/氧中氢含量值、微氧含量值、露点值;
- c) 水电解槽出口氢中氧、氧中氢含量不超过 1%、水电解制氢系统出口氢气微氧含量不大于 5 $\mu\text{L/L}$ 、露点不大于 $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 判定为合格。

6.4.17 储氢系统放氢试验

储氢系统放氢试验按以下步骤进行：

- a) 将储氢系统饱和充氢,充氢速率不应超过储氢系统额定吸氢速率;
- b) 待储氢容器恢复常温,打开储氢系统放氢阀门,调节阀门开度以维持额定放氢速率进行放氢;
- c) 每隔 30 s 记录放氢速率、累计放氢量、氢气压力;
- d) 待氢气出口压力低于设计供氢压力或放氢速率低于额定放氢速率的 80% 时关闭放氢阀门,终止试验;
- e) 试验结束时记录的累积放氢量为实际放氢容量,截至 80% 放氢容量时的放氢速率记为实际放氢速率;
- f) 实际放氢容量不低于额定放氢容量 80%、实际放氢速率不低于额定放氢速率 90% 判定为合格。

6.4.18 燃料电池系统启动/停机试验

燃料电池系统启动/停机试验按以下步骤进行:

- a) 合上燃料电池系统并网隔离开关;
- b) 通过燃料电池控制系统下达燃料电池系统启动指令,将目标输出功率设置为额定功率;
- c) 待输出功率达到额定功率后,保持额定功率运行不低于 30 min;
- d) 通过燃料电池控制系统下达燃料电池系统停机指令;
- e) 等待燃料电池系统正常停机后,再次发送启动指令,将目标输出功率设置为额定功率;
- f) 待输出功率达到额定功率后,保持额定功率运行不低于 10 min,每隔 10 s 记录燃料电池直流输出功率、累计直流输出电量、交流输出功率、累计交流输出电量;
- g) 通过燃料电池控制系统下达燃料电池系统停机指令;
- h) 燃料电池系统直流、交流输出功率满足设计要求,试验过程中无异常情况和报警的判定为合格。

6.4.19 燃料电池系统效率试验

燃料电池系统效率试验按以下步骤进行。

- a) 在燃料电池系统的控制系统、辅助系统供电回路上安装电能表。
- b) 通过燃料电池控制系统下达燃料电池系统启动指令,将目标输出功率设置为额定功率。
- c) 待输出功率达到额定功率后,保持系统在额定功率下运行,直至电堆温度稳定。
- d) 保持额定功率运行,间隔 3 min 记录以下数据并连续记录不低于 6 次:
 - 1) 氢气累计消耗量;
 - 2) 电堆直流输出功率和累计电量。
- e) 通过燃料电池控制系统下达燃料电池系统停机指令。
- f) 按式(20)计算系统效率,燃料电池系统在额定功率下效率不低于设计值的 90% 判定为合格。

$$\eta = \frac{3600W}{mq} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(20)$$

式中:

- η —— 燃料电池系统效率;
- W —— 燃料电池累计输出直流电量;
- m —— 氢气累计消耗量;
- q —— 氢气低热值,取 1.2×10^5 kJ/kg。

7 储能变流器试验

7.1 绝缘电阻

绝缘电阻试验按以下步骤进行：

- a) 断开变流器的外部供电电路，断开被测电路与保护接地回路之间的连线，并接地放电；
- b) 断开压敏电阻等过电压保护器件；
- c) 在储能变流器各电路与接地部件之间，以及与各电路之间施加直流试验电压并持续 1 min，直流试验电压见表 9；
- d) 记录绝缘电阻值，绝缘电阻值符合 GB/T 34120 的要求判定为合格。

表 9 绝缘电阻试验电压

| 被测电路工作电压 U_i (交流有效值/直流) V | 绝缘电阻试验电压 V |
|-----------------------------------|---------------|
| $U_i \leq 60$ | 250 |
| $60 < U_i \leq 250$ | 500 |
| $250 < U_i \leq 1\ 000$ | 1\ 000 |
| $U_i > 1\ 000$ | 2\ 500 |

7.2 工频耐压

工频耐压试验按以下步骤进行：

- a) 断开变流器的外部供电电路，断开被测电路与保护接地回路之间的连线，并接地放电；
- b) 断开压敏电阻等过电压保护器件；
- c) 在储能变流器不同电路之间、电路与可接触外壳之间施加 50 Hz 标准正弦波形的交流试验电压，施加电压可逐渐上升或下降，达到规定试验电压后持续 1 min，当试验路径中有电容时，试验可采用直流电压，试验电压见表 10；
- d) 记录击穿或其他破坏性放电现象发生的情况，试验结果符合 GB/T 34120 的要求判定为合格。

表 10 工频耐压试验电压



| 系统电压 (交流) V | 对基本绝缘电路进行耐压试验电压值 V | | 对双重绝缘或加强绝缘电路 进行耐压试验电压值 V | |
|-------------------|-----------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | 交流有效值 | 直流 | 交流有效值 | 直流 |
| ≤ 50 | 1\ 250 | 1\ 770 | 2\ 500 | 3\ 540 |
| 100 | 1\ 300 | 1\ 840 | 2\ 600 | 3\ 680 |
| 150 | 1\ 350 | 1\ 910 | 2\ 700 | 3\ 820 |
| 300 | 1\ 500 | 2\ 120 | 3\ 000 | 4\ 240 |

表 10 工频耐压试验电压（续）

| 系统电压 (交流) V | 对基本绝缘电路进行耐压试验电压值 V | | 对双重绝缘或加强绝缘电路 进行耐压试验电压值 V | |
|-------------------|-----------------------|--------|--------------------------------|---------|
| | 交流有效值 | 直流 | 交流有效值 | 直流 |
| 600 | 1 800 | 2 550 | 3 600 | 5 090 |
| 1 000 | 2 200 | 3 110 | 4 400 | 6 220 |
| 3 600 | 10 000 | 14 150 | 16 000 | 22 650 |
| 7 200 | 20 000 | 28 300 | 32 000 | 45 300 |
| 12 000 | 28 000 | 39 600 | 44 800 | 63 350 |
| 17 500 | 38 000 | 53 700 | 60 800 | 85 900 |
| 24 000 | 50 000 | 70 700 | 80 000 | 113 100 |
| 36 000 | 70 000 | 99 000 | 112 000 | 158 400 |

7.3 启停和紧急停机功能

启停和紧急停机功能试验按以下步骤进行：

- 检查一次主回路接线正确，闭合交/直流测断路器，确认储能变流器正常待机；
- 在变流器操作面板、人机交互界面或远程遥控下发“启动”指令，设置储能变流器有功功率在额定功率运行，待储能变流器输出功率上升至额定功率，保持额定功率运行 2 min，检查储能系统各参数、开关动作及面板指示灯显示正常判定为合格；
- 在变流器操作面板、人机交互界面或远程遥控下发“停止”指令，检查储能系统各参数、开关动作及面板指示灯显示正常判定为合格；
- 在变流器操作面板、人机交互界面或远程遥控下发“急停”指令，检查储能系统各参数、开关动作及面板指示灯显示正常判定为合格。

7.4 充放电转换时间

充放电转换时间试验按以下步骤进行：

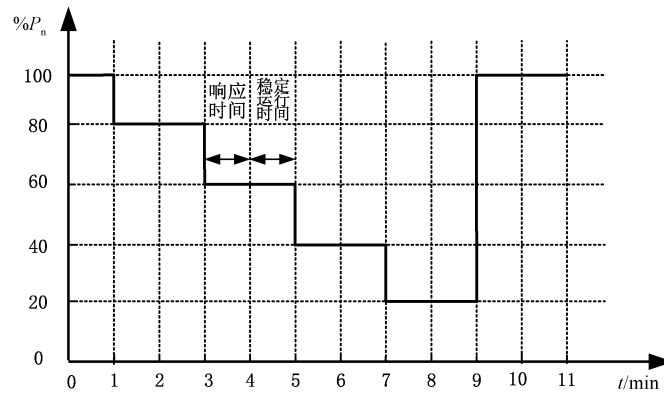
- 检查一次主回路接线正确，闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，确认整套储能系统正常待机；
- 设置储能变流器运行模式为放电模式，启动运行；
- 设置储能变流器在额定功率放电状态下运行至少 3 min，通过储能变流器控制面板向储能变流器下发额定功率充电运行指令，当储能变流器达到额定功率后，运行至少 3 min；
- 计算储能变流器从额定功率放电状态到额定功率充电状态转换过程中，从第一次达到 90% 额定功率放电时刻，到第一次 90% 额定功率充电时刻之间的转换时间；
- 向储能变流器下发额定功率放电运行指令，当储能变流器达到额定功率后，运行至少 3 min；
- 计算储能变流器从额定功率充电状态到额定功率放电状态转换过程中，从第一次达到 90% 额定功率充电时刻，到第一次 90% 额定功率放电时刻之间的转换时间；
- 充放电转换时间试验结果符合 GB/T 34120 的要求判定为合格。

7.5 功率控制功能

7.5.1 有功功率控制试验

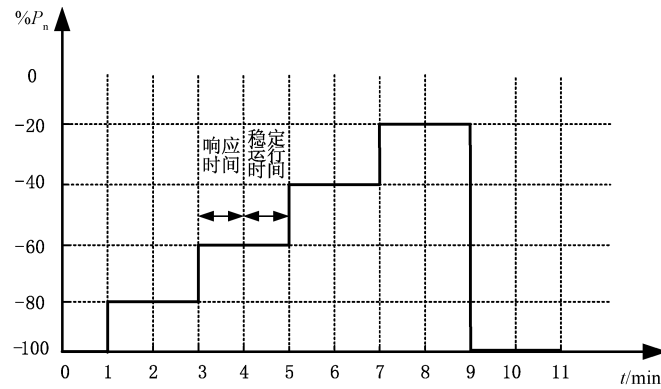
有功功率控制试验按以下步骤进行：

- a) 检查一次主回路接线正确，闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，确认整套储能系统正常待机；
- b) 设置储能变流器运行模式为放电模式；
- c) 按照图 1 设置储能变流器交流端口输出有功功率，在每个功率设置值持续运行 2 min；
- d) 利用数据采集装置，记录功率控制指令下发时间，以 20 ms 为滑窗周期记录储能变流器交流端口有功功率有效值；
- e) 计算每个功率设置值的有功功率控制响应时间、调节时间和控制偏差；
- f) 设置储能变流器运行模式为充电模式；
- g) 按照图 2 设置储能变流器交流端口输出有功功率，在每个功率设置值持续运行 2 min；
- h) 重复步骤 d)~e)；
- i) 有功功率控制检测试验结果符合 GB/T 34120 的要求判定为合格。



注： P_n 为储能变流器额定有功功率值。储能电站放电功率为正。

图 1 放电有功功率控制曲线



注：充电功率为负。

图 2 充电有功功率控制曲线

7.5.2 功率因数控制

功率因数控制试验按以下步骤进行：

- a) 检查一次主回路接线正确，闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，确认整套储能系统正常待机；
- b) 设置储能变流器运行模式为放电模式；
- c) 设置储能变流器有功功率在 $50\%P_n$ 运行；
- d) 按照图 3 设置储能变流器交流端口功率因数，在每个功率因数设置值持续运行 2 min；
- e) 利用数据采集装置，以 20 ms 为滑窗周期记录储能变流器交流端口无功功率有效值；
- f) 计算储能变流器有功功率为 $50\%P_n$ 时，按照功率因数设置值，计算无功功率目标值；
- g) 计算无功功率的控制偏差；
- h) 设置储能变流器运行模式为充电模式；
- i) 重复步骤 c)~g)；
- j) 功率因数检测试验结果符合 GB/T 34120 的要求判定为合格。

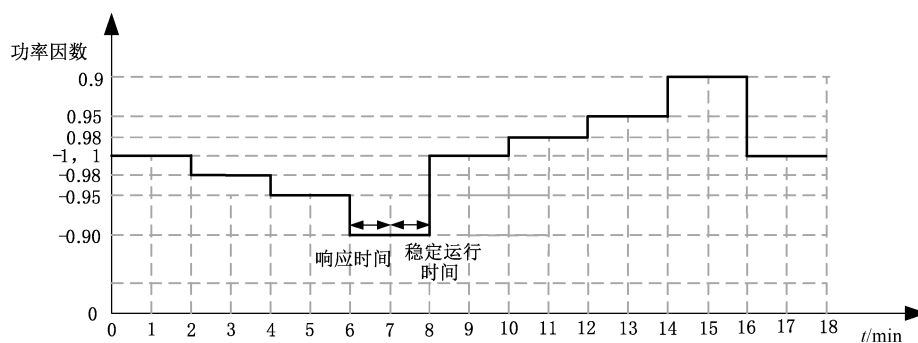
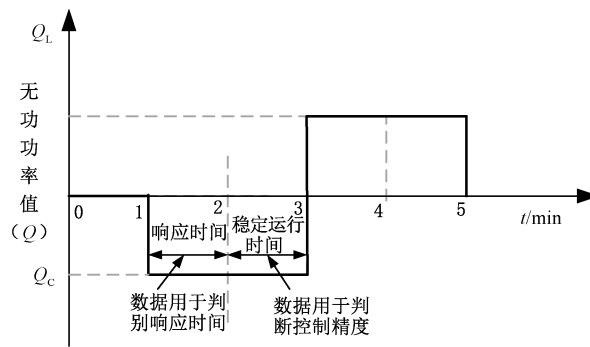


图 3 功率因数控制曲线

7.5.3 无功功率控制

无功功率控制试验按以下步骤进行：

- a) 检查一次主回路接线正确，闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，确认整套储能系统正常待机；
- b) 设置储能变流器运行模式为放电模式；
- c) 设置储能变流器有功功率在 $50\%P_n$ 运行；
- d) 按照图 4 设置储能变流器交流端口输出无功功率，在每个无功功率设置值持续运行 2 min；
- e) 利用数据采集装置，记录功率控制指令下发时间，以 20ms 为滑窗周期记录储能变流器交流端口无功功率有效值；
- f) 计算无功功率控制的响应时间、调节时间和控制偏差；
- g) 设置储能变流器运行模式为充电模式；
- h) 重复步骤 c)~f)；
- i) 无功功率控制检测试验结果符合 GB/T 34120 的要求判定为合格。



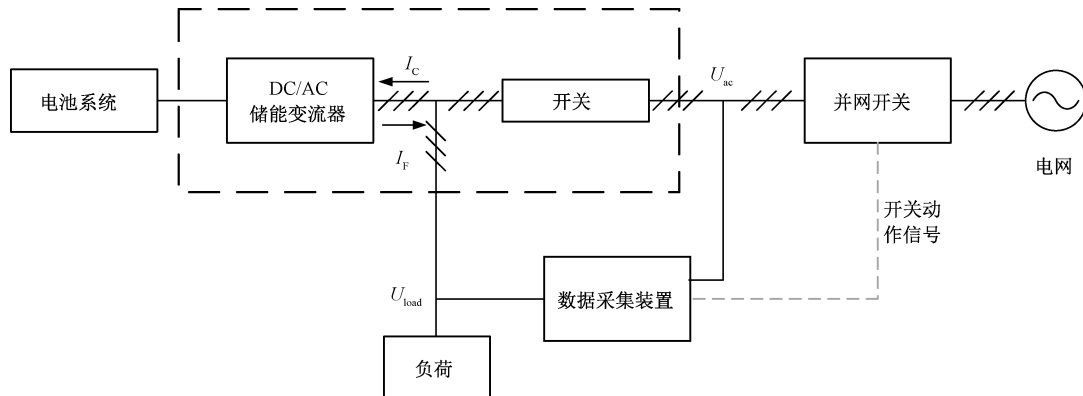
注： Q_L 和 Q_C 为有功功率为 $50\%P_n$ 工况下，储能变流器输出的最大感性无功和最大容性无功。

图 4 无功功率控制曲线

7.6 并离网切换功能

并离网切换功能试验按以下步骤进行：

- a) 按图 5 连接并离网切换检测回路，储能变流器并网启动后，设置储能变流器输出有功功率为 $100\%P_n$ ；
- b) 调节负荷功率至储能变流器的额定功率；
- c) 待储能变流器运行稳定 2 min 后，通过储能变流器控制面板向储能变流器下发离网运行指令；
- d) 利用数据采集装置，以 20ms 为滑窗周期同步记录负荷电压有效值 U_{load} 、网侧电压有效值 U_{ac} 和储能变流器放电电流有效值 I_{disc} ；
- e) 计算从接收到离网运行指令时刻起到储能变流器交流端口的电压稳定在负荷额定电压的 $\pm 5\%$ 以内的时间间隔；
- f) 储能变流器能收到离网指令切换到离网运行模式，切换时间符合 GB/T 34120 的要求判定为合格；
- g) 待储能变流器运行稳定 2 min 后，通过储能变流器控制面板向储能变流器下发并网运行指令；
- h) 重复步骤 d)~e)；
- i) 储能变流器能收到并网指令切换到离网运行模式，切换时间符合 GB/T 34120 的要求判定为合格。



注： I_C 为并网过程中流入储能变流器的电流， I_F 为离网过程中流出储能变流器的电流。

图 5 并离网切换检测回路示意图

7.7 保护功能

7.7.1 极性反接保护试验

极性反接保护试验按以下步骤进行：

- a) 检查一次主回路接线正确，断开储能变流器交流侧和直流侧开关；
- b) 将储能变流器直流输入极性反接；
- c) 闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，启动储能变流器；
- d) 记录储能变流器运行状态和报警信息；
- e) 储能变流器极性反接报警且保护正确动作判定为合格；
- f) 断开储能变流器交流侧和直流侧开关；
- g) 将储能变流器直流输入极性正接；
- h) 闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，启动储能变流器；
- i) 记录储能变流器运行状态和报警复位情况；
- j) 储能变流器极性正接后运行正常判定为合格。

7.7.2 直流过压保护试验

直流过压保护试验按以下步骤进行：

- a) 检查一次主回路接线正确，闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，确认整套储能系统正常待机；
- b) 从储能变流器当前直流过压保护设定值开始，以最大直流电压的 -0.5% 为调节步长，调节直流过压保护设定值，降至储能变流器直流过压保护动作；
- c) 记录储能变流器直流过压保护动作值和报警信息；
- d) 储能变流器直流过压报警且保护动作判定为合格；
- e) 调节直流过压保护值至储能变流器正常工作时的设定值，记录储能变流器的运行状态和报警复位情况；
- f) 储能变流器在正常工作直流电压范围内运行正常判定为合格。

7.7.3 直流欠压保护试验

直流欠压保护试验按以下步骤进行：

- a) 检查一次主回路接线正确，闭合储能变流器交流侧和直流侧开关，确认整套储能系统正常待机；
- b) 从储能变流器当前直流过压保护设定值开始，以最大直流电压的 0.5% 为调节步长，调节直流欠压保护设定值，增至储能变流器直流欠压保护动作；
- c) 记录储能变流器直流欠压保护动作值和报警信息；
- d) 储能变流器直流欠压报警且保护动作判定为合格；
- e) 调节直流欠压保护值至储能变流器正常工作时的设定值，记录储能变流器的运行状态和报警复位情况；
- f) 储能变流器在正常工作直流电压范围内运行正常判定为合格。

7.7.4 通信故障保护试验

通信故障保护试验按以下步骤进行：

- a) 检查一次主回路接线正确,闭合储能变流器交流侧和直流侧开关,确认整套储能系统正常待机;
- b) 设置储能变流器运行模式为放电模式或充电模式;
- c) 手动断开储能变流器与监控系统之间的通信连接,储能变流器能正常告警、保护可靠动作,且能记录储能变流器的告警信息和运行状态判定为合格;
- d) 手动断开储能变流器与电池管理系统之间的通信连接,储能变流器能正常告警、保护可靠动作,且能记录储能变流器的告警信息和运行状态判定为合格。

7.7.5 冷却系统故障保护试验

冷却系统故障保护试验按以下步骤进行。

- a) 检查一次主回路接线正确,闭合储能变流器交流侧和直流侧开关,确认整套储能系统正常待机。
- b) 设置储能变流器运行模式为放电模式或充电模式。
- c) 设置储能变流器有功功率在额定功率运行,运行至冷却系统工作。
- d) 控制储能变流器停机。
- e) 停止或部分限制冷却系统工作:
 - 风冷系统:完全堵住或部分堵住进风口,堵转或断开冷却风扇;
 - 液冷系统:停止或部分限制冷却液系统工作。
- f) 设置储能变流器有功功率在额定功率运行。
- g) 储能变流器能正常报警、保护可靠动作,且能记录储能变流器的告警信息和运行状态判定为合格。

7.8 通信与运行信息监测功能试验

通信与运行信息监测功能试验按以下步骤进行:

- a) 检查一次主回路接线正确,闭合储能变流器交流侧和直流侧开关,确认整套储能系统正常待机;
- b) 通过电池管理系统、监控系统等设备向储能变流器下发启停机指令;
- c) 通过电池管理系统、监控系统等设备向储能变流器下发 $20\%P_n$ 运行的功率控制指令;
- d) 记录储能变流器执行启停机和功率控制指令响应情况;
- e) 通过电池管理系统、监控系统等设备设置储能变流器在 $30\%P_n$ 运行;
- f) 储能变流器监控运行数据能正常显示,遥信、遥测刷新正常,遥控、遥调能正常下发且执行反馈判定为合格。

8 监控系统试验

8.1 通信

8.1.1 远动通信试验

远动通信试验按以下步骤进行:

- a) 按照调度下行信息点表,由上级调度部门下发控制调节指令;
- b) 记录监控系统接收的指令并检查一致性,上级调度下发的控制调节指令与监控系统接收的指令一致判定为合格;

- c) 按照监控系统上行信息点表,由监控系统向上级调度发送上行信息;
- d) 记录上级调度接收到的信息并检查一致性,监控系统向上级调度发送的上行信息与上级调度接收到的信息一致判定为合格。

8.1.2 站内通信试验

站内通信试验按以下步骤进行:

- a) 按照下行信息点表,由监控系统站控层向现地层设备发送控制与调节指令;
- b) 记录现地层设备接收的指令并检查一致性,监控系统站控层向现地层设备发送的控制与调节指令与现地层设备接收的指令一致判定为合格;
- c) 按照上行信息点表,由现地层设备向监控系统站控层发送设备信息;
- d) 记录监控系统接收的信息并检查一致性,现地层设备向监控系统站控层发送的设备信息与监控系统接收的信息一致判定为合格。

8.1.3 通信故障报警试验

通信故障报警试验按以下步骤进行:

- a) 在监控系统与电池管理系统、储能变流器、保护装置、电能量采集终端、故障录波装置、消防系统、供暖通风与空气调节系统、环境监测装置等装置通信正常的情况下断开通信连接;
- b) 记录监控系统通信故障报警信息,报警信息正确判定为合格;
- c) 重新连接通信连接线;
- d) 记录监控系统通信恢复信息,通信恢复正常判定为合格。

8.2 数据采集

数据采集试验按以下步骤进行:

- a) 对变配电测控装置施加数字量动作信号,记录施加值和施加时刻 t_1 ;
- b) 记录监控系统数字量数据采集显示值和显示时间 t_2 ;
- c) 计算并记录采集响应时间 $\Delta t = t_2 - t_1$,施加的数字量动作信号与监控系统显示值一致且响应时间符合 GB/T 42726 的规定判定为合格;
- d) 采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,记录施加值和施加时刻 t_1 ;
- e) 记录监控系统模拟量数据采集显示值和显示时间 t_2 ;
- f) 计算并记录采集响应时间 $\Delta t = t_2 - t_1$,施加的模拟量信号与监控系统显示值一致且响应时间符合 GB/T 42726 的规定判定为合格;
- g) 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,记录施加值和施加时刻 t_1 ;
- h) 记录监控系统开关量及模拟量数据采集显示值和显示时间 t_2 ;
- i) 计算并记录采集响应时间 $\Delta t = t_2 - t_1$,施加的开关量及模拟量信息与监控系统开关量及模拟量显示值一致且响应时间符合 GB/T 42726 的规定判定为合格。

8.3 控制与调节

8.3.1 开关刀闸控制试验

开关刀闸控制试验按以下步骤进行:

- a) 将待试验间隔退出运行;

- b) 将所有运行间隔“远方/就地”把手切换到“就地”位置,将待试验间隔“远方/就地”把手切换到“远方”位置;
- c) 在监控系统界面对该间隔执行开关刀闸遥控合分、软压板投退等动作,记录遥控操作值及控制状态返回结果,控制操作返回结果正确判定为合格;
- d) 控制试验完毕后,恢复所有间隔“远方/就地”把手为“远方”位置。

8.3.2 储能单元充放电试验

储能单元充放电试验按以下步骤进行:

- a) 将待试验储能单元退出运行;
- b) 将所有运行储能单元“远方/就地”把手切换到“就地”位置,将待试验储能单元“远方/就地”把手切换到“远方”位置;
- c) 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操作,记录遥控(调)操作值及返回结果,计算并记录采集响应时间 Δt ,控制与调节操作动作结果正确且采集响应时间符合 GB/T 42726 的规定判定为合格;
- d) 控制试验完毕后,恢复所有储能单元“远方/就地”把手为“远方”位置。

8.3.3 整站运行模式及工况切换控制试验

整站运行模式及工况切换控制试验按以下步骤进行:

- a) 将储能电站设备启动,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,记录整站运行模式状态切换结果,整站运行模式状态切换结果正确判定为合格;
- b) 将储能电站设备启动,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,记录整站设备运行工况状态,整站设备运行工况状态正确判定为合格。

8.4 冷热备切换

冷热备切换试验按以下步骤进行:

- 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,记录切换至功能恢复正常事件;
- 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时间 ≤ 20 s,主备网络通道切换至系统功能恢复正常的时间 ≤ 10 s 判定为合格。

8.5 其他功能

其他功能试验包括告警及事件生成、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,其他功能试验按以下步骤进行:

- a) 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正确判定为合格;
- b) 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正确判定为合格;
- c) 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

储正确且无丢失现象判定为合格；

- d) 按照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一致判定为合格；
- e) 检查报表系统日、月、年等各个报表数据生成情况,检查报表无丢失、数据异常等情况判定为合格；
- f) 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,检查监控系统软件自动发出信号并切换到冗余设备判定为合格。

9 整站试验

9.1 一般规定

9.1.1 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 设备检修后,主要储能设备更换、检修、参数调整等影响储能电站本体、并网性能和运行安全时,应进行整站试验。

9.2 额定能量及转换效率

9.2.1 额定能量试验

额定能量试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求,且运行正常,无报警、异常等现象；
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)相连,确认信号采集正常；
- c) 通过监控系统调节储能电站以额定功率放电至放电截止条件时停止放电；
- d) 通过监控系统调节储能电站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_{C1} 和辅助能耗 W_{C1} ；
- e) 通过监控系统调节储能电站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_{D1} 和辅助能耗 W_{D1} ；
- f) 静置 2 h；
- g) 重复步骤 c)~e) 2 次,记录储能电站每次额定充放电能量 E_{Cn} 、 E_{Dn} 和辅助能耗 W_{Cn} 、 W_{Dn} ；
- h) 按式(21)和式(22)计算储能电站的额定充电能量 E_C 和额定放电能量 E_D ,额定充电能量和额定放电能量满足并网技术要求判定为合格。

$$E_C = \frac{E_{C1} + W_{C1} + E_{C2} + W_{C2} + E_{C3} + W_{C3}}{3} \dots\dots\dots (21)$$

$$E_D = \frac{E_{D1} - W_{D1} + E_{D2} - W_{D2} + E_{D3} - W_{D3}}{3} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- E_C —— 储能系统的额定充电能量；
- E_D —— 储能系统的额定放电能量；
- E_{Cn} —— 第 n 次循环的充电能量；
- E_{Dn} —— 第 n 次循环的放电能量；
- W_{Cn} —— 第 n 次循环充电过程的辅助能耗；

W_{Dn} ——第 n 次循环放电过程的辅助能耗。

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

9.2.2 额定能量转换效率试验

额定能量转换效率试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态，设备运行参数设置满足并网要求，且运行正常，无报警、异常等现象；
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)相连，确认信号采集正常；
- c) 通过监控系统调整储能电站以额定功率放电至放电截止条件时停止放电；
- d) 通过监控系统调整储能电站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_{C1} 和辅助能耗 W_{C1} ；
- e) 通过监控系统调整储能电站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_{D1} 和辅助能耗 W_{D1} ；
- f) 重复步骤 c)~e) 2 次，记录储能电站每次额定充放电能量 E_{Cn}, E_{Dn} 和辅助能耗 W_{Cn}, W_{Dn} ；
- g) 按式(23)计算额定能量转换效率，额定能量转换效率满足并网技术要求判定为合格。

$$\eta = \frac{1}{3} \left(\frac{E_{D1} - W_{D1}}{E_{C1} + W_{C1}} + \frac{E_{D2} - W_{D2}}{E_{C2} + W_{C2}} + \frac{E_{D3} - W_{D3}}{E_{C3} + W_{C3}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(23)$$

式中：

- η ——能量转换效率；
- E_{Cn} ——第 n 次循环的充电能量；
- E_{Dn} ——第 n 次循环的放电能量；
- W_{Cn} ——第 n 次循环充电过程的辅助能耗；
- W_{Dn} ——第 n 次循环放电过程的辅助能耗。

9.3 充/放电功能

充/放电功能试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态，设备运行参数设置满足并网要求，且运行正常，无报警、异常等现象；
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)相连，确认信号采集正常；
- c) 通过监控系统调整储能电站以额定功率充电，持续运行 1 min，利用数据采集装置记录测试点电压、电流和有功功率；
- d) 计算充电响应时间和充电调节时间；
- e) 通过监控系统调整储能电站以零功率运行，持续运行 1 min；
- f) 通过监控系统调整储能电站以额定功率放电，持续运行 1 min，利用数据采集装置记录测试点电压、电流和有功功率；
- g) 计算放电响应时间和放电调节时间；
- h) 通过监控系统调整储能电站以额定功率充电，持续运行 1 min，利用数据采集装置记录测试点电压、电流和有功功率；
- i) 利用数据采集装置记录从 90%额定功率放电到 90%额定功率充电的时间；
- j) 通过监控系统调整储能电站以额定功率放电，持续运行 1 min，利用数据采集装置记录测试点电压、电流和有功功率；

- k) 利用数据采集装置记录从 90% 额定功率充电到 90% 额定功率放电的时间；
- l) 重复步骤 c)~k) 2 次, 取 3 次测试的最大值作为试验结果, 试验结果满足并网技术要求判定为合格。

9.4 自动发电控制(AGC)功能

自动发电控制(AGC)功能试验按以下步骤进行:

- a) 储能电站处于并网状态, 设备运行参数设置满足并网要求, 且运行正常, 无报警、异常等现象;
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)相连, 确认信号采集正常;
- c) 通过监控系统调整储能电站为正常充电运行状态, 退出储能电站一次调频功能, 投入储能电站 AGC 功能;
- d) 按图 6 所示, 通过监控系统逐级调节 AGC 设定值至 0 、 $-0.25P_n$ 、 $-0.5P_n$ 、 $-0.75P_n$ 、 $-P_n$ 、 $-0.75P_n$ 、 $-0.5P_n$ 、 $-0.25P_n$ 、 0 , 每个功率设定值连续运行 30 s;

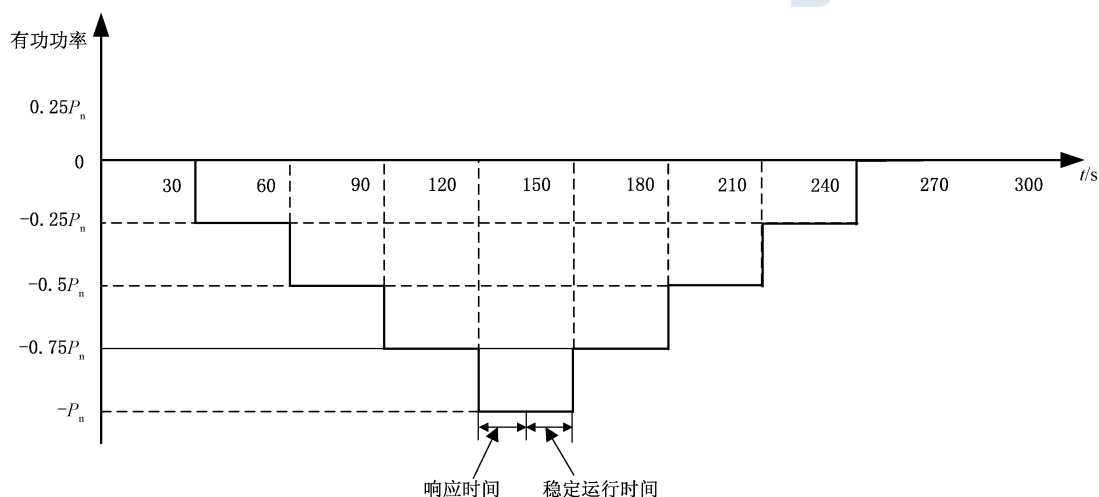


图 6 充电状态下有功功率测试曲线

- e) 记录储能电站并网点的电流、电压和功率, 绘制实时功率曲线;
- f) 通过监控系统调整储能电站为正常放电运行状态, 并按图 7 所示, 逐级调节 AGC 功率设定值至 0 、 $0.25P_n$ 、 $0.5P_n$ 、 $0.75P_n$ 、 P_n 、 $0.75P_n$ 、 $0.5P_n$ 、 $0.25P_n$ 、 0 , 每个功率设定值连续运行 30 s;
- g) 记录储能电站并网点的电流、电压和功率, 绘制实时功率曲线;
- h) 储能电站分别在充、放电运行状态下, AGC 的响应时间、调节时间和控制精度测试满足并网技术要求判定为合格。

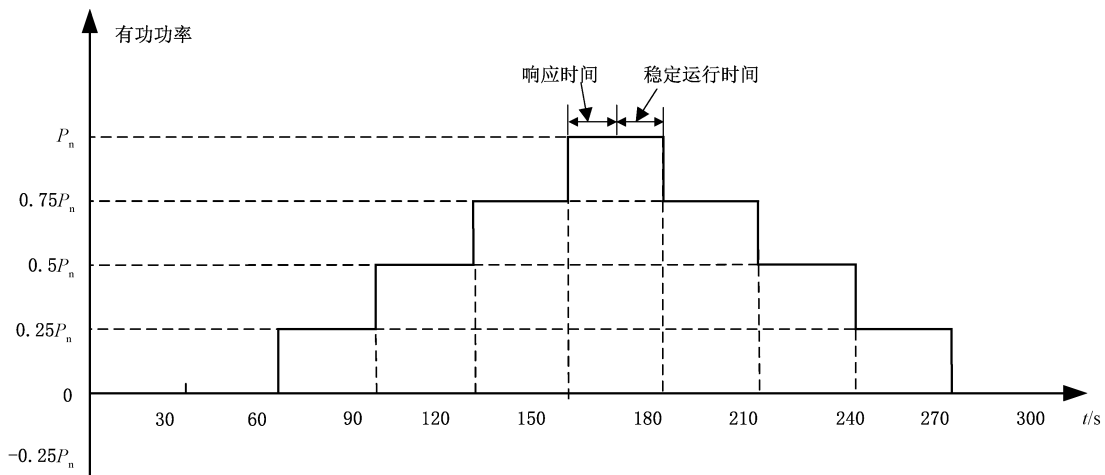


图 7 放电状态下有功功率测试曲线

9.5 自动电压控制(AVC)功能

自动电压控制(AVC)功能试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求,且运行正常,无报警、异常等现象；
- b) 将试验用数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)相连,确认信号采集正常；
- c) 通过监控系统调整储能电站为正常运行状态；
- d) 通过监控系统设置储能电站有功功率为 0；
- e) 调节储能电站输出无功功率设定值分别为可允许的最大容性无功功率和最大感性无功功率,并在每个无功功率设定值保持运行 2 min；
- f) 记录储能电站实际容性无功功率和感性无功功率,绘制实时无功功率曲线；
- g) 通过监控系统设定储能电站有功功率分别为 $0.5P_n$ 和 $-0.5P_n$,重复步骤 d)~e)；
- h) 通过监控系统设置储能电站有功功率为 0；
- i) 通过监控系统逐级下调 AVC 电压目标值,直至电压目标值达到实际母线电压下限值或储能电站降容性无功/增加感性无功功能闭锁,每个电压目标值运行 5 min,并记录并网点电压,绘制实时电压曲线；
- j) 通过监控系统逐级上调 AVC 电压目标值,直至电压目标值达到实际母线电压上限值或储能电站降低感性无功/增加容性无功功能闭锁,每个电压目标值运行 5 min,并记录并网点电压,绘制实时电压曲线；
- k) 通过监控系统设置储能电站有功功率分别为 $0.5P_n$ 、 P_n 、 $-0.5P_n$ 、 $-P_n$,重复步骤 i)~j)。
- l) 试验结果满足并网技术要求判定为合格。

9.6 电能质量

9.6.1 电流谐波



按照 GB/T 14549 规定的方法分别在充/放电条件下进行电流谐波试验,记录试验过程中的 25 次谐波电流值,试验结果满足并网技术要求判定为合格。

9.6.2 电压谐波

按照 GB/T 14549 规定的方法分别在充/放电条件下进行电压谐波试验,记录试验过程中的电压总谐波畸变率和奇偶次谐波电压含有率,试验结果满足并网技术要求判定为合格。

9.6.3 电压间谐波

按照 GB/T 24337 规定的方法分别在充/放电条件下进行电压间谐波试验,记录试验过程中的间谐波电压含有率,试验结果满足并网技术要求的判定为合格。

9.6.4 电压偏差

按照 GB/T 12325 规定的方法分别在充/放电条件下进行电压偏差试验,记录试验过程中的电压偏差,试验结果满足并网技术要求的判定为合格。

9.6.5 电压不平衡度

按照 GB/T 15543 规定的方法分别在充/放电条件下进行电压不平衡度试验,记录试验过程中的电压不平衡度,试验结果满足并网技术要求的判定为合格。

9.6.6 电压波动和闪变

按照 GB/T 12326 规定的方法分别在充/放电条件下进行电压波动和闪变试验,记录试验过程中的电压波动值和短时闪变值,试验结果满足并网技术要求的判定为合格。

9.7 一次调频

9.7.1 一次调频死区试验



一次调频死区试验按以下步骤进行:

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求,且运行正常,无报警、异常等现象;
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连,频率信号发生器与储能电站监控系统连接;
- c) 设置数据采集装置的采样频率不低于 2 kHz,数据采集装置、频率信号发生装置运行正常,数据采集准确;
- d) 通过监控系统下发储能电站充电运行指令,退出限功率运行功能;
- e) 通过监控系统(或 AGC)调整储能电站的输出功率大于 $20\%P_n$;
- f) 通过监控系统退出储能电站 AGC 功能,投入储能电站一次调频功能;
- g) 根据当地电网安全稳定运行要求,设置储能电站一次调频死区为 $\pm 0.03 \text{ Hz} \sim \pm 0.05 \text{ Hz}$ 范围内确定值;
- h) 按照表 11 输出频率信号设置要求,利用频率信号发生装置调节输出频率至有功功率开始规律变化为止,记录有功功率开始规律变化时刻的输出频率数值,采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号;
- i) 恢复频率至 50.02 Hz;
- j) 重复步骤 h)~i);
- k) 按照表 11 输出频率信号设置要求,利用频率信号发生装置调节输出频率至有功功率开始规律

变化为止,记录有功功率开始规律变化时刻的输出频率数值,采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号;

- l) 恢复频率至 50.98 Hz;
- m) 重复步骤 k)~l);
- n) 恢复频率至 50 Hz;
- o) 储能电站一次调频设置与实测结果一致且满足并网技术要求判定为合格。

表 11 一次调频死区试验频率信号设置要求

| 序号 | 储能电站运行方式及功率范围 | 频率变化说明 | 频率波形图 |
|----|---------------|--|---|
| 1 | $P > 20\%P_n$ | 设置频率初始设定值,以 0.01 Hz/s 频率变化率逐渐升高至有功功率开始规律变化 |  |
| 2 | | 设置频率初始设定值,以 0.01 Hz/s 频率变化率逐渐降低至有功功率开始规律变化 |  |

9.7.2 限幅试验

限幅试验按以下步骤进行:

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求,且运行正常,无报警、异常等现象;
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连,频率信号发生器与储能电站监控系统连接;
- c) 设置数据采集装置的采样频率不低于 2 kHz,数据采集装置、频率信号发生装置运行正常,数据采集准确;
- d) 通过监控系统下发储能电站充电运行指令,退出限功率运行功能;
- e) 通过监控系统(或 AGC)调整储能电站的输出功率大于 $20\%P_n$;
- f) 通过监控系统退出储能电站 AGC 功能,投入储能电站一次调频功能;
- g) 根据当地电网安全稳定运行要求,设置储能电站一次调频限幅为不小于 $20\%P_n$;
- h) 通过频率信号发生器调整输出频率为 50 Hz,分别进行 0.25 Hz 的上阶跃扰动和下阶跃扰动试验,每个频率测量点保持时间不少于 20 s,每种工况测试进行 2 次;
- i) 试验期间,采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号;
- j) 计算储能电站有功功率 0.2 s 平均值,确定储能电站有功功率变化值是否超过限幅值;
- k) 通过监控系统下发储能电站输出功率大于 $60\%P_n$ 范围内运行;
- l) 重复步骤 h)~j)试验内容;
- m) 通过监控系统下发储能电站放电运行指令,并监控系统(或 AGC)调整储能电站的输出功率大于 $20\%P_n$;
- n) 重复步骤 h)~j)试验内容;
- o) 储能电站限幅设置与实测结果一致且满足并网技术要求判定为合格。

9.7.3 调差率试验

调差率试验按以下步骤进行：

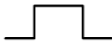

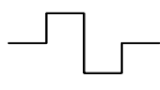

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求,且运行正常,无报警、异常等现象；
- b) 将试验用数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连,频率信号发生器与储能电站监控系统连接；
- c) 设置试验用数据采集装置的采样频率不低于 2 kHz,数据采集装置、频率信号发生装置运行正常,数据采集准确；
- d) 通过监控系统下发储能电站充电运行指令,退出限功率运行功能；
- e) 通过监控系统下发储能电站输出功率在 $10\%P_n \sim 30\%P_n$ 范围内运行；
- f) 通过监控系统退出储能电站 AGC 功能,投入储能电站一次调频功能；
- g) 根据当地电网安全稳定运行要求,设置储能电站一次调频的调差率在 $0.5\% \sim 3\%$ 范围内；
- h) 通过频率信号发生器调整输出频率为 50 Hz,分别进行频率扰动幅值为 ± 0.15 Hz、 ± 0.2 Hz 的阶跃扰动试验,每个频率测量点保持时间不少于 20 s,每种工况测试进行 2 次；
- i) 试验期间,采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号；
- j) 计算储能电站有功功率 0.2 s 平均值和调差率实测值；
- k) 通过监控系统下发储能电站输出功率大于 $60\%P_n$ 范围内运行；
- l) 重复步骤 h)~j) 试验内容；
- m) 通过监控系统下发储能电站放电运行指令,重复步骤 e)~l) 试验内容；
- n) 储能电站调差率设置与实测结果一致且满足并网技术要求判定为合格。

9.7.4 频率阶跃扰动试验

频率阶跃扰动试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求,且运行正常,无报警、异常等现象；
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连,频率信号发生器与储能电站监控系统连接；
- c) 设置数据采集装置的采样频率不低于 2 kHz,数据采集装置、频率信号发生装置运行正常,数据采集准确；
- d) 通过监控系统下发储能电站充电运行指令,退出限功率运行功能；
- e) 通过监控系统下发储能电站输出功率在 $10\%P_n \sim 30\%P_n$ 范围内运行；
- f) 按照表 12 输出频率信号设置要求,利用频率信号发生装置调整输出频率,分别进行频率上扰和下扰试验,每个频率测量点保持时间不少于 20 s,每种工况测试进行 2 次；
- g) 试验期间,采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号；
- h) 通过监控系统下发储能电站输出功率大于 $60\%P_n$ 范围内运行；
- i) 重复步骤 f)~g) 试验内容；
- j) 通过监控系统下发储能电站放电运行指令,重复步骤 e)~i) 试验内容；
- k) 计算储能电站一次调频的响应滞后时间、上升时间、调节时间和有功功率控制偏差,频率阶跃扰动试验结果满足并网技术要求判定为合格。

表 12 频率阶跃扰动响应特性

| 序号 | 储能电站运行方式及功率范围 | | 频率变化说明 | 频率波形图 |
|----|---------------|---|--|---|
| 1 | 不限功率 | a) $10\%P_n \leq P \leq 30\%P_n$ b) $P \geq 60\%P_n$ | 调节频率由 50 Hz 上阶跃至 50.15 Hz, 持续 20 s 后恢复至 50 Hz |  |
| 2 | | | 调节频率由 50 Hz 上阶跃至 50.2 Hz, 持续 20 s 后恢复至 50 Hz | |
| 3 | 限功率 | a) $10\%P_n \leq P \leq 30\%P_n$ b) $P \geq 60\%P_n$ | 调节频率由 50 Hz 下阶跃至 49.85 Hz, 持续 20 s 后恢复至 50 Hz |  |
| 4 | | | 调节频率由 50 Hz 下阶跃至 49.8 Hz, 持续 20 s 后恢复至 50 Hz | |
| 5 | | | 调节频率由 50 Hz 先上阶跃至 50.2 Hz, 并持续 20 s, 再下阶跃至 49.85 Hz, 持续 20 s 后恢复至 50 Hz |  |
| 6 | | | 调节频率由 50 Hz 先下阶跃至 49.85 Hz, 并持续 20 s, 再上阶跃至 50.15 Hz, 持续 20 s 后恢复至 50 Hz |  |

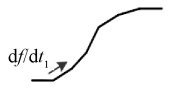
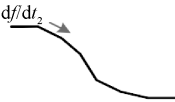
9.8 惯量响应

9.8.1 惯量响应阈值试验

惯量响应阈值试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态, 设备运行参数设置满足并网要求, 且运行正常, 无报警、异常等现象；
- b) 将试验用数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连, 频率信号发生器与储能电站监控系统连接；
- c) 设置试验用数据采集装置的采样频率不低于 2 kHz, 数据采集装置、频率信号发生装置运行正常, 数据采集准确；
- d) 通过监控系统下发储能电站充电运行指令, 退出限功率运行功能；
- e) 通过监控系统(或 AGC)调整储能电站的输出功率大于 $20\%P_n$ ；
- f) 通过监控系统退出储能电站 AGC 控制和一次调频功能；
- g) 根据当地电网安全稳定运行要求, 设置储能电站惯量响应阈值；
- h) 按照表 13 输出频率变化率设置要求, 利用频率信号发生装置调节输出频率变化率至有功功率开始规律变化为止, 每种工况测试进行 2 次；
- i) 记录有功功率开始规律变化时刻的输出频率变化率数值, 采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号；
- j) 通过监控系统下发储能电站放电运行指令, 重复步骤 h)~i)；
- k) 储能电站惯量响应阈值设置与实测结果一致且满足并网技术要求判定为合格。

表 13 惯量响应阈值试验内容

| 序号 | 储能电站运行方式及功率范围 | 频率变化说明 | 频率变化波形图 |
|---|----------------------|--|---|
| 1 | 不限功率且 $P > 20\% P_n$ | 频率初始设定值为 50 Hz, 以 0.005 Hz/s 步长逐渐增大频率变化率至有功功率开始规律变化, 每个频率变化率维持固定时间 t_1 |  |
| 2 | | 随后以 0.005 Hz/s 步长逐渐减小频率变化率至有功功率开始规律变化, 并维持固定时间 t_2 |  |
| <p>注 1: df/dt_1 小于频率向上扰动时惯量响应投入的阈值设定值。</p> <p>注 2: df/dt_2 小于频率向下扰动时惯量响应投入的阈值设定值。</p> | | | |

9.8.2 频率变化率扰动试验



频率变化率扰动试验按以下步骤进行:

- 储能电站处于并网状态, 设备运行参数设置满足并网要求, 且运行正常, 无报警、异常等现象;
- 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连, 频率信号发生器与储能电站监控系统连接;
- 设置数据采集装置的采样频率不低于 2 kHz, 数据采集装置、频率信号发生装置运行正常, 数据采集准确;
- 通过监控系统下发储能电站充电运行指令, 退出限功率运行功能;
- 通过监控系统下发储能电站输出功率在 $10\% P_n \sim 30\% P_n$ 范围内运行;
- 通过监控系统退出储能电站 AGC 控制和一次调频功能;
- 按照表 14 输出频率变化设置要求, 利用频率信号发生装置调整输出频率变化率, 分别进行频率上扰和下扰试验, 每种工况测试进行 2 次;
- 试验期间, 采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号;
- 通过监控系统下发储能电站输出功率大于 $60\% P_n$ 范围内运行;
- 重复步骤 f)~h) 试验内容;
- 通过监控系统下发储能电站放电运行指令, 重复步骤 e)~j) 试验内容;
- 计算储能电站惯量响应上升时间、有功功率最大调节量和稳态偏差, 惯量响应试验结果满足并网技术要求判定为合格。

表 14 频率变化率扰动测试内容

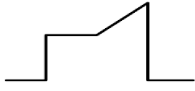
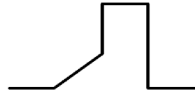
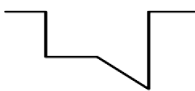
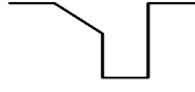
| 序号 | 储能电站运行方式及功率范围 | 频率变化说明 | 频率变化波形图 |
|----|---------------|------------------------------------|---|
| 1 | 不限功率 | a) $10\% P_n \leq P \leq 30\% P_n$ |  |
| 2 | | b) $P \geq 60\% P_n$ |  |

9.8.3 惯量响应与一次调频协调试验

惯量响应与一次调频协调试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求,且运行正常,无报警、异常等现象；
- b) 将数据采集装置与并网点电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连,频率信号发生器与储能电站监控系统连接；
- c) 设置数据采集装置的采样频率不低于 2 kHz,数据采集装置、频率信号发生装置运行正常,数据采集准确；
- d) 通过监控系统下发储能电站充电运行指令,退出限功率运行功能；
- e) 通过监控系统(或 AGC)调整储能电站的输出功率大于 $60\%P_n$ ；
- f) 通过监控系统退出储能电站 AGC 控制和一次调频功能；
- g) 根据当地电网安全稳定运行要求,设置储能电站惯量响应与一次调频协调控制逻辑；
- h) 按照表 15 输出频率及频率变化率设置要求,利用频率信号发生装置调节输出频率、频率变化率,采集并网点三相电压、三相电流以及模拟频率信号,每种工况测试进行 2 次；
- i) 通过监控系统投入储能电站限功率运行功能,重复步骤 h) 试验内容；
- j) 通过监控系统下发储能电站放电运行指令,退出限功率运行功能；
- k) 重复步骤 e)~i) 试验内容；
- l) 储能电站惯量响应与一次调频协调控制逻辑设置与实测结果一致且满足并网技术要求判定为合格。

表 15 惯量响应与一次调频协调试验内容

| 序号 | 储能电站运行方式及功率范围 | | 频率变化说明 | 频率变化波形图 |
|----|---------------|------------------|---|---|
| 1 | 不限功率 | $P \geq 60\%P_n$ | 频率由 50 Hz 上阶跃至 50.15 Hz,持续 15 s； 随后频率变化率设定为 0.2 Hz/s,持续 5 s 后频率恢复至 50 Hz |  |
| 2 | | | 频率初始设定值为 50 Hz,频率变化率设定为 0.2 Hz/s,持续 5 s；随后频率由 51 Hz 上阶跃至 51.15 Hz,持续 15 s 后频率恢复至 50 Hz |  |
| 3 | 限功率 | $P \geq 60\%P_n$ | 频率由 50 Hz 下阶跃至 49.85 Hz,持续 15 s； 随后频率变化率设定为 -0.2 Hz/s,持续 5 s 后频率恢复至 50 Hz |  |
| 4 | | | 频率初始设定值为 50 Hz,频率变化率设定为 -0.2 Hz/s,持续 5 s；随后频率由 49 Hz 下阶跃至 48.85 Hz,持续 15 s 后频率恢复至 50 Hz |  |

9.9 过载能力

过载能力试验按以下步骤进行：

- a) 储能电站处于并网状态,设备运行参数设置满足并网要求且运行正常,无报警、异常等现象;
- b) 将数据采集装置与并网点的电压互感器(PT)、电流互感器(CT)相连,确认数据采集装置运行正常、数据采集准确;
- c) 通过监控系统下发储能电站充电运行指令,退出限功率运行功能;
- d) 通过监控系统(或 AGC)调整储能电站有功功率为 $-P_n$,连续稳定运行 2 min,逐渐增大有功功率至 $-110\%P_n$,连续运行 10 min;
- e) 通过监控系统调整储能电站充电有功功率逐渐降低至额定功率 $-P_n$,连续运行 2 min;
- f) 通过监控系统调整储能电站充电有功功率逐渐增大至 $-120\%P_n$,连续运行 1 min 后调整至 $-P_n$;
- g) 试验期间,利用数据采集装置采集测试点的电流、电压和功率,记录有功功率实测曲线;
- h) 通过监控系统下发储能电站放电运行指令,重复步骤 d)~g)试验内容;
- i) 过载能力试验结果满足并网技术要求判定为合格。



附 录 A
(资料性)
试验报告

A.1 试验报告封面

试验报告封面包含下列信息：

- a) 报告名称；
- b) 编写人员；
- c) 审核人员；
- d) 批准人员；
- e) 编写日期。

A.2 试验报告内容

储能电站试验报告内容见表 A.1。

表 A.1 储能电站试验报告内容

| 章编号 | 章内容 |
|-----|--------------|
| 1 | 概述 |
| 2 | 试验内容 |
| 3 | 试验依据 |
| 4 | 试验设备 |
| 5 | 相关试验项目、方法及现象 |
| 6 | 存在问题及整改措施 |
| 7 | 结论 |

