

智能电网储能系统性能测试技术规范 第7部分：微电网孤网运行应用

Technical specification for testing performance of electrical energy storage
system in smart grid—Part 7: Microgrid isolated operation applications

2022-09-02 发布

2022-12-01 实施

上海市市场监督管理局 发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 微电网孤网运行应用典型工作周期 2

5 应用性能测试内容与方法 3

附录 A（资料性） 测试报告 9

参考文献 11

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。

本文件是 DB31/T 1146《智能电网储能系统性能测试技术规范》的第 7 部分。DB31/T 1146 分为以下几个部分：

- 第 1 部分：削峰填谷应用；
- 第 2 部分：风电出力平滑应用；
- 第 3 部分：频率调节应用；
- 第 4 部分：光伏出力平滑应用；
- 第 5 部分：风电能源稳定应用；
- 第 6 部分：电压暂降治理应用；
- 第 7 部分：微电网孤网运行应用。

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。

本文件由上海市经济和信息化委员会提出并组织实施。

本文件由上海市能源标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：国网上海市电力公司电力科学研究院、上海电力大学、华东电力试验研究院有限公司、南京工业大学、复旦大学、宁德时代新能源科技股份有限公司、上海奥威科技发展有限公司、上海空间电源研究所。

本文件主要起草人：时珊珊、魏新迟、张宇、王育飞、叶季蕾、王皓靖、方陈、薛花、孙耀杰、魏志立、苏运、刘舒、张开宇、李明哲、安仲勋、李东东、刘辉、邹卓、张红波、张宇华、晏莉琴、杨兴武、解晶莹。

引 言

DB31/T 1146《智能电网储能系统性能测试技术规范》分为 7 个部分。

- 第 1 部分：削峰填谷应用。目的在于指导智能电网储能系统在削峰填谷应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。
- 第 2 部分：风电出力平滑应用。目的在于指导智能电网储能系统在风电出力平滑应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。
- 第 3 部分：频率调节应用。目的在于指导智能电网储能系统在频率调节应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。
- 第 4 部分：光伏出力平滑应用。目的在于指导智能电网储能系统在光伏出力平滑应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。
- 第 5 部分：风电能源稳定应用。目的在于指导智能电网储能系统在风电能源稳定应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。
- 第 6 部分：电压暂降治理应用。目的在于指导智能电网储能系统在电压暂降治理应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。
- 第 7 部分：微电网孤网运行应用。目的在于指导智能电网储能系统在微电网孤网运行应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。

本文件为 DB31/T 1146 的第 7 部分。

智能电网储能系统性能测试技术规范

第7部分：微电网孤网运行应用

1 范围

本文件规定了智能电网储能系统在微电网孤网运行应用场景下的典型工作周期、应用性能测试内容和测试方法。

本文件适用于与电力系统中各电压等级电网相连的储能系统在微电网孤网运行应用场景下的性能测试。

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 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 36548 电化学储能系统接入电网测试规范

GB 38755 电力系统安全稳定导则

DL/T 1040 电网运行准则

IEC 62933-2-1 电力储能系统 第2-1部分：设备参数及测试方法 一般要求(Electrical energy storage (EES) systems—Part 2-1: Unit parameters and testing methods—General specification)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

储能系统 energy storage system; ESS

以电化学电池为储能载体，通过变流器进行可循环电能存储与释放的设备系统。

[来源：GB/T 34120—2017, 3.1, 有修改]

3.2

微电网孤网运行 microgrid isolated operation

微电网与公用电网分离，实现电能自发自用、功率平衡，并维持内部电压和频率的稳定。

[来源：GB/T 51341—2018, 2.0.3, 有修改]

3.3

辅助负载 auxiliary loads

支撑储能系统正常运行所必需的辅助设施的负载。

注：辅助设施包括运行和保护系统所必需的冷却系统、风扇、泵，以及加热器等。

3.4

工作周期 duty cycle

与储能系统应用场景相关的特定充放电循环工作时间段。

3.5

储能能量 energy of energy storage

储能系统存储的电能量。

注：为储能系统的额定功率与在额定功率下可持续放电时间的乘积。

3.6

电池电量状态 state of energy; SOE

电池实际(剩余)可放出的瓦时容量与额定瓦时容量的比值。

[来源:GB/T 34131—2017, 3.7]

3.7

电池管理系统 battery management system; BMS

监测电池的状态(温度、电压、电流、荷电状态等),为电池提供通信接口和保护的系统。

[来源:GB/T 34131—2017, 3.6]

3.8

充放电效率 roundtrip efficiency; RTE

在规定运行条件下,储能系统在一个充放电周期内的有效输出能量与输入能量的比值,用百分数表示。

[来源:GB/T 36276 2018, 3.1.21, 有修改]

3.9

响应时间 response time

热备用状态下,储能系统自收到控制信号起,从热备用状态转成充电或放电,直到充电功率或放电功率首次达到额定功率的90%的时间。

[来源:GB/T 36547—2018, 3.6, 3.8, 有修改]

3.10

爬坡率 ramp rate

储能系统吸收或释放功率单位时间变化值与额定功率的比值。

3.11

数据采集系统 data acquisition system; DAS

能接收来自传感器、变送器及其他信号源的输出信号,并能以某种方式对采集的量值进行数据存储、发送的系统。

3.12

参考信号跟踪能力 reference signal tracking ability

储能系统在微电网孤网运行应用的典型工作周期期间响应参考信号的能力。

3.13

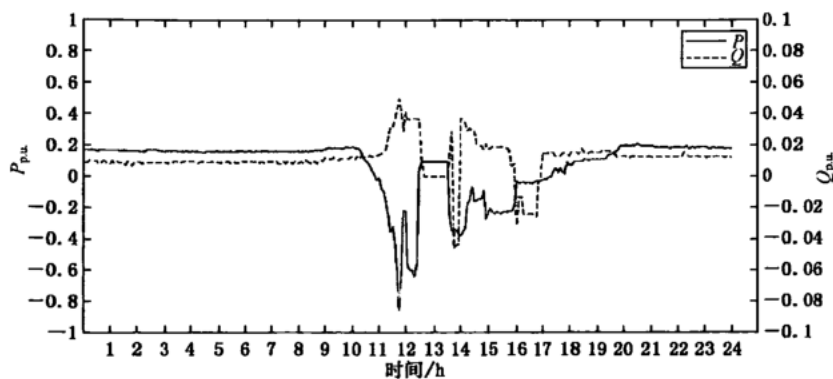
持续时间 duration

额定功率下储能系统从SOE上限到SOE下限的放电时间。

4 微电网孤网运行应用典型工作周期

4.1 ESS作为主电源

典型工作周期用于测试在特定充放电循环工作时间段储能系统在微电网孤网运行的应用性能。当ESS作为主电源运行时,典型工作周期按图1规定为24 h时间段内相对于储能系统额定功率的标么化充放电有功功率值 $P_{p.u.}$ 和无功功率值 $Q_{p.u.}$ 。其中,正值表示储能系统充电,负值表示储能系统放电。

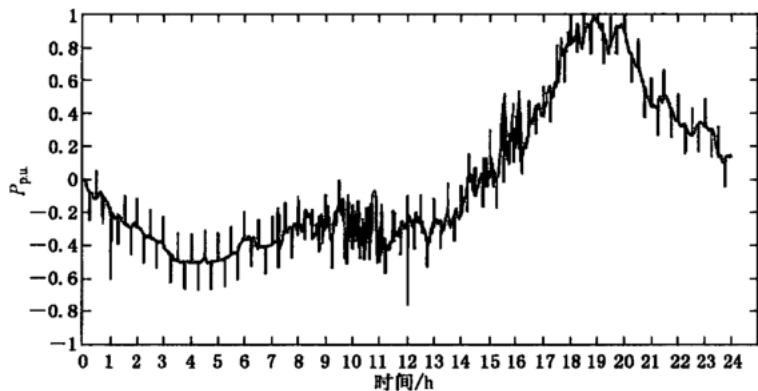


注：图 1 中纵坐标为相对于 ESS 额定功率的归一化功率，其中，实线为 ESS 经归一化后的有功功率值，虚线为无功功率值；横坐标为时间，单位为小时(h)。ESS 作为主电源保证负荷持续供电，并平抑可再生能源出力的波动。

图 1 ESS 作为主电源运行时的典型工作周期

4.2 ESS 作为辅助电源

当 ESS 作为辅助电源运行时，典型工作周期按图 2 规定为 24 h 时间段内相对于储能系统额定功率的标么化充放电有功功率值 $P_{p.u.}$ 。其中，正值表示储能系统充电，负值表示储能系统放电。



注：图 2 中纵坐标为相对于 ESS 额定功率的归一化功率，横坐标为时间，单位为小时(h)。ESS 辅助主电源保证负荷持续供电，并由 ESS 平抑可再生能源出力的波动。

图 2 ESS 作为辅助电源运行时的典型工作周期

5 应用性能测试内容与方法

5.1 一般规定

储能系统并网测试条件应符合 GB 38755、DL/T 1040 和 IEC 62933-2-1 的规定。测试结果可作为储能系统性能的基准，用于评估随时间推移储能系统的使用状况和应用性能的变化情况。

所有测量的输入电压、输入电流、输出电压、输出电流、系统温度、环境条件等参数，应在同一时间分辨率上采集，同时适用于储能系统应用性能和度量指标，并符合所采用的公认测量标准。所有测量的参数应记录在储能系统信息报告中，用于进一步分析、确定储能系统性能。

5.2 测试内容与方法

5.2.1 测试内容

微电网孤网运行应用场景下性能测试应包括但不限于储能能量测试、充放电效率测试、响应时间和爬坡率测试、参考信号跟踪能力测试、典型工作周期充放电效率测试。

5.2.2 储能能量测试

5.2.2.1 概述

储能能量测试旨在确定储能系统在额定电功率下存储的能量。测试前,将储能系统放电到放电终止条件。储能系统在充放电过程中的功率应按规定的时间间隔和步骤记录,以提供具有统计意义的分辨率,储能系统的相关能量输入和输出由记录的功率计算。

5.2.2.2 测试步骤

在选定的功率下,测试储能系统储能能量,并按照 5.2.2.1 记录测试结果。对于不同的放电(充电)时间和最终的 SOE 值,测试需要在多个放电(充电)功率水平下重复进行。

储能能量测试步骤如下。

- 按照储能运行要求,储能系统在额定功率下充电至充电终止条件,由电池管理系统记录该 SOE 值。
- 按照储能运行要求,储能系统充电后需在热待机状态下保持静置,持续 30 min。
- 按照储能运行要求,储能系统在额定功率下放电至放电终止条件,由电池管理系统记录放电时间和该 SOE 值。储能系统放电过程中输出的能量记为 Wh_{Di} ,根据放电期间的功率测量结果计算并记录。
- 按照储能运行要求,储能系统放电后需在热待机状态下保持静置,持续 30 min。
- 按照储能运行要求,储能系统在额定功率下充电至充电终止条件,由电池管理系统记录充电时间和该 SOE 值。储能系统充电过程中输入的能量记为 Wh_{Ci} ,包括辅助能量,在充电过程中直接测量,并记录储能系统的充电能量。
- 重复步骤 a)~e) 4 次,性能测试值为每个周期步骤 c) 中的放电能量 Wh_{Di} 的平均值和步骤 e) 中的充电能量 Wh_{Ci} 的平均值,与每个测试相关的标准偏差也应计算和报告在内。
- 在使储能系统达到其充电终止条件之后,步骤 a)~e) 应以 75%、50% 和 25% 的额定功率水平重复测试。功率水平调节应满足 GB/T 36548 的要求。

5.2.2.3 测试记录

记录测量的充电和放电能量值见附录 A。

5.2.3 充放电效率测试

5.2.3.1 概述

充放电效率测试用来确定储能系统输出能量相对于前一次充电过程中输入能量的比值。充放电效率应结合 5.2.2 进行测试。

5.2.3.2 测试步骤

储能系统的充放电效率应在 3 个额定功率下充放电循环测试完成后,根据测试数据进行计算,具体

测试步骤按 5.2.2.2 中的步骤 a)~f)。

5.2.3.3 计算方法

充放电效率 η_{RET} 按式(1)计算。由于测试过程中难以保持功率恒定,因此测试中使用平均功率。

$$\eta_{\text{RET}} = \frac{\sum_{i=1}^3 Wh_{\text{Di}}}{\sum_{i=1}^3 Wh_{\text{Ci}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Wh_{Di} ——额定功率下输出的电能,单位为千瓦时(kW·h);

Wh_{Ci} ——额定功率下输入的电能,包括辅助能量。单位为千瓦时(kW·h)。

当辅助负载不由储能系统供电时,充放电效率应按式(2)计算:

$$\eta_{\text{RET}} = \frac{\sum_1^3 (Wh_{\text{Di}} - Aux_{\text{Di}})}{\sum_1^3 (Wh_{\text{Ci}} + Aux_{\text{Ci}} + Aux_{\text{Ri}})} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Aux_{Di} ——第 i 个循环放电期间辅助负载的能量损耗,单位为千瓦时(kW·h);

Aux_{Ci} ——第 i 个循环充电期间辅助负载的能量损耗,单位为千瓦时(kW·h);

Aux_{Ri} ——第 i 个循环待机时辅助负载的能量损耗,单位为千瓦时(kW·h)。

5.2.4 响应时间和爬坡率测试

5.2.4.1 通则

响应时间和爬坡率是用来确定储能系统从零放电功率到额定放电功率所需的时间,或从零充电功率到额定充电功率所需的时间。需提供微电网孤网运行应用的额定功率,测试方法应适用于所有储能系统。测试数据记录内容见附录 A。

响应时间和爬坡率的测量按图 3 规定,表示储能系统从响应充(放)电指令开始到充(放)电功率首次达到额定功率的 90% 以内所用的时间。

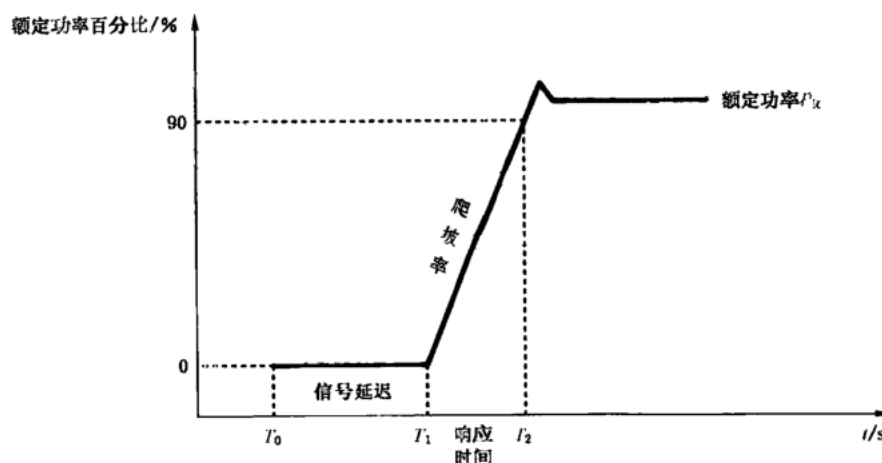


图 3 响应时间和爬坡率

5.2.4.2 放电测试步骤

储能系统放电响应时间和爬坡率测试步骤如下:

- a) 储能系统保持在热待机状态,使其 $SOE=50\%\pm 5\%$ 。
- b) 当储能系统开始接收放电指令时,由数据采集系统采集并记录时刻值为 T_0 。
- c) 当储能系统开始响应放电指令时,由数据采集系统采集并记录时刻值为 T_1 。
- d) 当储能系统输出功率首次达到额定功率的 90% 时,由数据采集系统采集并记录时刻值为 T_2 。
- e) 重置数据采集系统到初始状态,并使储能系统保持初始热待机状态。

5.2.4.3 放电响应时间和爬坡率计算方法

按式(3)计算储能系统放电响应时间:

$$T_D = T_2 - T_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

T_D —— 放电响应时间,单位为秒(s);

T_1 —— 储能系统开始响应放电指令的时间值,单位为秒(s);

T_2 —— 储能系统输出功率首次达到额定放电功率 90% 的时间值,单位为秒(s)。

按式(4)计算对放电斜率 R_D 进行计算, R_D 单位为千瓦每秒(kW/s)。

$$R_D = P_{T_2} / (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

P_{T_2} —— 储能系统在时间 T_2 时的功率输出值,单位为千瓦(kW)。

放电爬坡率通过每秒功率变化百分比 R_{pet} 描述,以 % 表示,按式(5)计算 R_{pet} 。

$$R_{\text{pet}} = R_D / P_R \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

P_R —— 储能系统额定功率,单位为千瓦(kW)。

5.2.4.4 充电测试步骤

储能系统充电响应时间和爬坡率测试步骤如下:

- a) 储能系统保持在热待机状态,使其 $SOE=50\%\pm 5\%$ 。
- b) 当储能系统开始接收充电指令时,由数据采集系统采集并记录时刻值为 T_0 。
- c) 当储能系统开始响应充电指令时,由数据采集系统采集并记录时刻值为 T_1 。
- d) 当储能系统输入功率首次达到额定功率的 90% 时,由数据采集系统采集并记录时刻值为 T_2 。
- e) 重置数据采集系统到初始状态,并使储能系统保持初始热待机状态。

5.2.4.5 充电响应时间和爬坡率计算方法

按式(6)计算储能系统充电响应时间:

$$T_C = T_2 - T_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

T_C —— 充电响应时间,单位为秒(s);

T_1 —— 储能系统开始响应充电指令的时间值,单位为秒(s);

T_2 —— 储能系统输入功率首次达到额定充电功率 90% 的时间值,单位为秒(s)。

按式(7)计算对充电斜率 R_C ,单位为千瓦每秒(kW/s)。

$$R_C = P_{T_2} / (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

P_{T_2} —— 储能系统在时间 T_2 时的功率输入值,单位为千瓦(kW)。

充电爬坡率通过每秒功率变化百分比 R_{pet} 描述,以 % 表示,按式(8)计算 R_{pet} 。

$$R_{\text{pet}} = R_C / P_R \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

P_R ——储能系统额定功率，单位为千瓦(kW)。

5.2.5 参考信号跟踪能力测试

5.2.5.1 概述

参考信号跟踪能力用于评价储能系统在微电网孤网运行应用场景下跟踪参考信号的能力。在此期间，储能系统有能力或无能力跟踪参考信号都应记录，测试步骤按微电网孤网应用场景的典型工作周期进行。参考信号跟踪的相关测试结果记录内容见附录 A。

5.2.5.2 测试步骤

微电网孤网运行应用场景的参考信号跟踪能力测试步骤如下：

- 储能系统应按照制造商的技术规定以额定功率向储能系统充、放一定的电能，使其 SOE = 50% ± 5%，在该 SOE 下，保持储能系统的电压不变，持续 10 min ~ 30 min；
- 根据微电网孤网运行应用场景典型工作周期的设定工况，进行充放电循环测试，记录储能系统响应指令信号(P_{signal})时实际所吸收或释放的功率(P_{ess})以及信号跟踪时间长度(T_{track})。

5.2.5.3 计算方法

在储能系统微电网孤网运行应用典型工作周期持续时间内，根据式(9)和式(10)分别计算指令信号 P_{signal} 与储能系统实际吸收或释放功率 P_{ess} 的均方差 E_{MSE} 以及平均绝对偏差 E_{MAD} 并用其评估储能系统跟踪参考信号的能力。当 $|(P_{\text{signal}} - P_{\text{ess}})/P_{\text{signal}}|$ 小于 0.02 时视为储能系统能够跟踪参考信号。

$$E_{\text{MSE}} = \sum_{i=1}^N (P_{\text{signal}} - P_{\text{ess}})^2 / N \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$E_{\text{MAD}} = \sum_{i=1}^N |P_{\text{signal}} - P_{\text{ess}}| / N \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

P_{signal} ——指令信号，单位为千瓦(kW)；

P_{ess} ——储能系统实际吸收或释放功率，单位为千瓦(kW)。

在储能系统微电网孤网运行应用典型工作周期持续时间内，按式(11)计算储能系统信号跟踪时间百分比 p_{PSTT} 。

$$p_{\text{PSTT}} = T_{\text{track}} / T_{\text{duration}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

T_{track} ——信号跟踪时间长度，单位为小时(h)；

T_{duration} ——微电网孤网运行典型工作周期持续时间，单位为小时(h)。

5.2.6 典型工作周期充放电效率测试

5.2.6.1 概述

按适用于微电网孤网运行应用场景的工作周期对储能系统进行充放电。典型工作周期充放电效率的相关测试结果记录内容见附录 A。

5.2.6.2 测试步骤

微电网孤网运行应用场景的典型工作周期充放电效率测试步骤如下：

- 储能系统应按照制造商的技术规定以额定功率向储能系统充、放一定的电能，使其 SOE =

50%±5%，在该 SOE 下，保持储能系统的电压不变，持续 10 min~30 min；

- b) 根据微电网孤网运行应用场景典型工作周期的设定工况，进行充放电循环测试；
- c) 每个工作周期测试结束后，给储能系统充电或放电使其恢复到初始 SOE；
- d) 典型工作周期充放电效率计算，由储能系统的输出能量除以输入能量来确定。

5.2.7 典型工作周期频率偏差测试

5.2.7.1 概述

按 GB/T 15945 的规定，微电网孤网运行应用场景的频率偏差不超过±0.5 Hz。典型工作周期频率偏差的相关测试结果记录内容见附录 A。

5.2.7.2 测试步骤

微电网孤网运行应用场景的典型工作周期频率偏差测试步骤如下：

- a) 根据微电网孤网运行应用场景典型工作周期的设定工况测量电网频率，按时间间隔要求进行频率测量，如取 1 s、3 s 或 10 s 间隔；
- b) 按式(12)计算典型工作周期频率偏差，由 t 时刻的频率实际值 f_t 与标称值之差表示；

$$\Delta f_t = f_t - f_e \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

f_t ——频率实际值，单位为赫兹(Hz)；

f_e ——电网频率标称值，单位为赫兹(Hz)。

- c) 根据各时刻的频率偏差，分析典型工作周期最大频率偏差 $\text{Max}\{\Delta f_1, \Delta f_2, \dots, \Delta f_t\}$ 。

附 录 A
(资料性)
测试报告

A.1 概述

提供足够准确、清晰和客观的数据来分析与评价所做的测试,并给出包含所有数据的测试报告。

A.2 测试报告内容

储能系统微电网孤网运行应用性能测试内容记录见表 A.1。

表 A.1 储能系统微电网孤网运行应用性能测试内容记录表

测试类型	测试内容					
	环境温度:____ 相对湿度:____					
额定功率下的 储能能量测试	周期	平均放电功率(____ kW)		平均充电功率(____ kW)		待机辅助能量 kW·h
		放电能量 kW·h	辅助能量 kW·h	充电能量 kW·h	辅助能量 kW·h	
	循环 1	/SOE=		/SOE=		
	循环 2	/SOE=		/SOE=		
	循环 3	/SOE=		/SOE=		
	循环 4	/SOE=		/SOE=		
	循环 5	/SOE=		/SOE=		
	平均值					
不同功率水平 下储能能量 测试	功率水平	额定放电功率(____ kW)		额定充电功率(____ kW)		待机辅助能量 kW·h
		放电能量 kW·h	辅助能量 kW·h	充电能量 kW·h	辅助能量 kW·h	
	75%	/SOE=		/SOE=		
	50%	/SOE=		/SOE=		
	25%	/SOE=		/SOE=		
充放电效率 测试	静置能量 kW·h	放电能量 kW·h	放电辅助能量 kW·h	充电能量 kW·h	充电辅助能量 kW·h	效率 %
响应时间和爬 坡率测试	放电响应时间/s					
	放电爬坡率/%					
	充电响应时间/s					
	充电爬坡率/%					

表 A.1 储能系统微电网孤网运行应用性能测试内容记录表（续）

测试类型	测试内容					
	环境温度：____ 相对湿度：____					
参考信号跟踪能力测试	均方差					
	平均绝对偏差					
	信号跟踪时间百分比/%					
典型工作周期充放电效率测试	放电功率(____ kW)		充电功率(____ kW)		静置能量 kW·h	效率 %
	放电能量 kW·h	辅助能量 kW·h	充电能量 kW·h	辅助能量 kW·h		
典型工作周期频率偏差测试	t_1 时刻频率 f_1 (____ Hz)	t_2 时刻频率 f_2 (____ Hz)	t_3 时刻频率 f_3 (____ Hz)	t_4 时刻频率 f_4 (____ Hz)	t 时刻频率 f_t (____ Hz)	最大频率偏差 (____ Hz)

参 考 文 献

- [1] GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术规范
 - [2] GB/T 34131 电化学储能电站用锂离子电池管理系统技术规范
 - [3] GB/T 36276 电力储能用锂离子电池
 - [4] GB/T 36547 电化学储能系统接入电网技术规定
 - [5] GB/T 51341 微电网工程设计标准
-