

智能电网储能系统性能测试技术规范 第2部分：风电出力平滑应用

Technical specification for testing performance of electrical energy storage
system in smart grid—Part 2: Wind power smoothing application

2019-02-28 发布

2019-06-01 实施

上海市市场监督管理局 发布



前 言

DB31/T 1146《智能电网储能系统性能测试技术规范》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。

本部分为 DB31/T 1146 的第2部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由上海市经济和信息化委员会提出并组织实施。

本部分由上海市能源标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：国网上海市电力公司、上海电力大学、上海奥威科技发展有限公司、华东电力试验研究院有限公司、上海空间电源研究所、上海电气分布式能源科技有限公司。

本部分主要起草人：张宇、王育飞、薛花、方陈、安仲勋、李东东、刘辉、张宇华、晏莉琴、刘舒、时珊珊、王皓靖、杨兴武、解晶莹、付玉超、何阳、欧阳丽。

智能电网储能系统性能测试技术规范

第2部分：风电出力平滑应用

1 范围

DB31/T 1146 的本部分规定了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。

本部分适用于与电力系统中各电压等级电网相连的电化学储能系统在风电出力平滑应用场景下的性能测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

DL 755 电力系统安全稳定导则

DL/T 1040 电网运行准则

NB/T 33016 电化学储能系统接入配电网测试规程

IEEE 1547 分布式资源与电力系统的互连标准 (Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems)

IEEE 1547.1 带电力系统的设备互连配电资源的合格试验程序 (Standard for conformance tests procedures for equipment interconnecting distributed resources with electric power systems)

IEEE 1679 固定应用设施中的新兴储能技术特性描述和评估 (Recommended practice for the characterization and evaluation of emerging energy storage technologies in stationary applications)

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

通过电化学电池能量存储介质进行可循环电能存储、管理、转换及释放的设备系统。

3.2

风电出力平滑 wind power smoothing

通过向风电场出力补充功率或吸收过剩功率以平滑风电出力，减轻风力发电系统在风速快速变化期间产生的功率波动。

3.3

辅助负载 auxiliary loads

支撑储能系统正常运行所必须的辅助设施的负载，辅助设施包括运行和保护系统所必需的电池管理系统、冷却系统、风扇、泵以及加热器等。

3.4

典型工作周期 duty cycle

与储能系统应用场景相关的典型充放电循环工作时间段。

3.5

储能能量 energy storage capacity

储能系统存储的电能量,为储能系统的额定功率与在额定功率下可放电时间的乘积。

3.6

荷电状态 state of charge;SOC

电池实际或剩余可放出的瓦时容量与额定的可放出最大瓦时容量的比值。

3.7

电池管理系统 battery management system;BMS

监测电池的温度、电压、电流、荷电状态等参数,为电池提供管理、通信接口和保护的系统。

3.8

充放电效率 roundtrip energy efficiency; RTE

常规运行条件下,储能系统在一个充放电周期内有效的输出能量除以输入能量的百分比。

3.9

能量稳定性 capacity stability

由测试时的储能能量除以储能额定能量的比值确定,用于描述储能系统存储能量的变化情况。

3.10

响应时间 response time

储能系统从响应充或放电指令开始到充或放电功率首次达到额定功率的100%所需的时间。

3.11

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。

3.12

数据采集系统 data acquisition system; DAS

能测量来自传感器、变送器及其他信号源的输出信号,并能以某种方式对测到的量值进行数据存储、处理、显示、打印或记录的系统。

3.13

参考信号跟踪能力 reference signal tracking ability

储能系统在风电出力平滑应用的典型工作周期期间响应参考信号的能力。

3.14

持续时间 duration

额定功率下储能系统从SOC上限到SOC下限的放电时间。

3.15

典型工作周期充放电效率 duty-cycle round-trip efficiency

按照典型工作周期充/放电曲线工作,期间储能系统输出的能量除以输入到储能系统的能量。

4 风电出力平滑应用典型工作周期

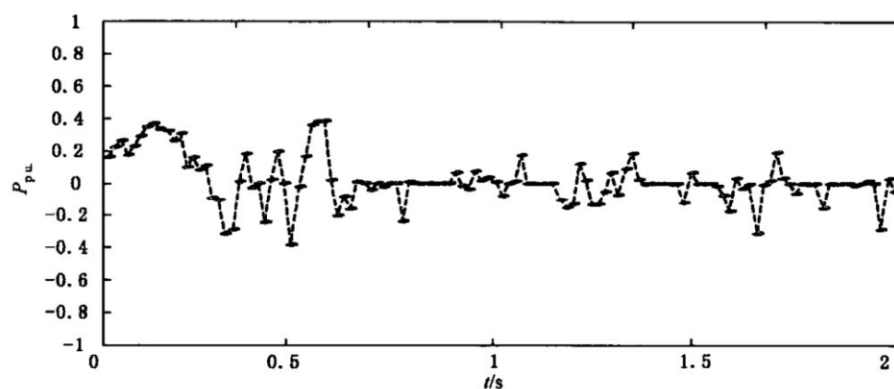
4.1 偏差类型

典型工作周期用于测试储能系统风电出力平滑的应用性能,使用24 h内的偏差 E_{sqrt} 作为充放电功

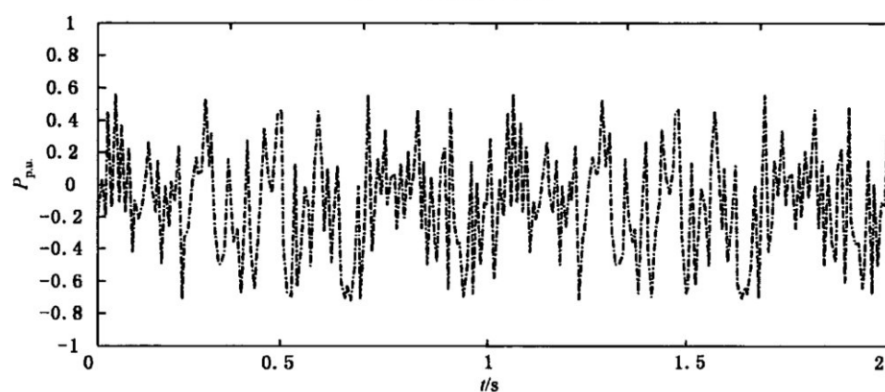
率标么值变化的度量标准,包括低偏差信号($E_{\text{sqr}} \in [0, 0.3]$)、中偏差信号($E_{\text{sqr}} \in [0.3, 0.5]$)和高偏差信号($E_{\text{sqr}} \in [0.5, 1]$)。

4.2 典型工作周期

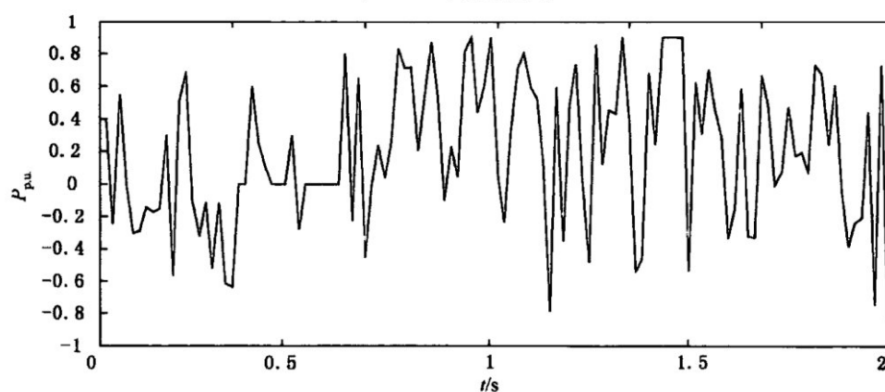
典型工作周期选择具有代表性的以 2 h 为间隔的低偏差、平均偏差和高偏差信号表示。风电出力平滑典型工作周期依次由三个中偏差信号、两个高偏差信号、三个中偏差信号、两个高偏差信号和两个低偏差信号组成。



a) 2 h 低偏差信号

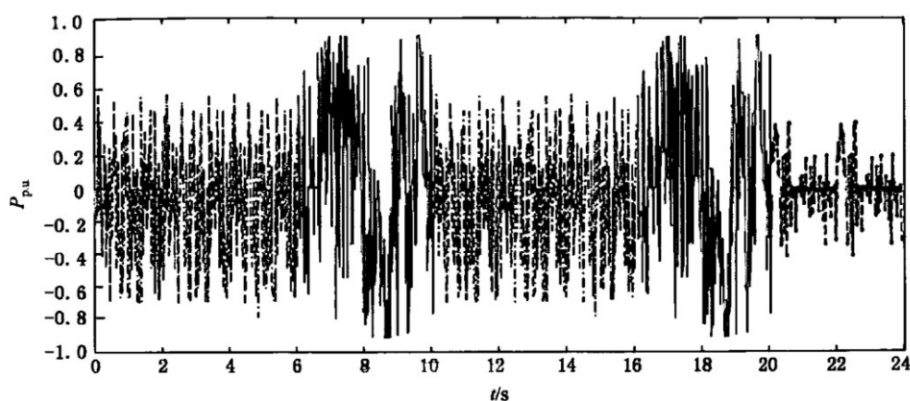


b) 2 h 中偏差信号



c) 2 h 高偏差信号

图 1 储能用于风电出力平滑场景的典型工作周期



d) 典型工作周期

图 1 (续)

图 1 中的工作周期显示为 24 h 时间段内相对于储能系统额定功率的标么化充放电功率值 $P_{p.u.}$ 。每个周期共采集 1 440 个数据点,采样间隔为 1 min。其中正号表示储能系统充电,负号表示储能系统放电。测试时,初始 SOC 设置为 50%,并在每个典型工作周期测试结束后,下一个典型工作周期开始之前,将储能系统的 SOC 恢复至初始状态。

5 应用性能测试内容与方法

5.1 一般规定

储能系统性能测试应符合 DL 755、DL/T 1040、IEEE 1547 和 IEEE 1547.1。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,应满足 IEEE 1679 的要求。

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

风电出力平滑应用场景下性能测试应包括但并不局限于储能能量测试、充放电效率测试、能量稳定性测试、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 SOC 下限。储能系统在充放电过程中的功率应按规定的時間间隔和步骤记录,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,储能系统测试储能能量,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 SOC 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:

- a) 按照技术规定和运行说明,储能系统在额定功率下充电到指定 SOC 的上限,由电池管理系统记录该 SOC 值。
- b) 根据技术规定和运行说明,储能系统充电后需在热待机状态下保持静置,持续 30 min。
- c) 按照技术规定和运行说明,储能系统在额定功率下放电到指定 SOC 的下限,由电池管理系统记录放电时间和该 SOC 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。
- d) 根据技术规定和运行说明,储能系统放电后需在热待机状态下保持静置,持续 30 min。
- e) 按照技术规定和运行说明,储能系统在额定功率下充电到指定 SOC 的上限,由电池管理系统记录充电时间和该 SOC 值。储能系统充电过程中输入的能量记为 Wh_{Ci} ,包括所有损失能量,在充电过程中直接测量,并记录为储能系统的充电能量。
- f) 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。
- g) 在使储能系统达到其 SOC 上限之后,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 NB/T 33016 的要求。

5.2.2.3 测试记录

每个功率级别进行一次测试,记录测量的充电和放电能量值,参见附录 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 RTE 计算如式(1)。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。

$$RTE = \frac{\sum_1^3 Wh_{Di}}{\sum_1^3 Wh_{Ci}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

i ——充放电循环数;

Wh_{Di} ——额定功率下输出的电能,单位为千瓦时(kWh);

Wh_{Ci} ——充电过程中输入系统的交流电能,包括所有损失的能量,单位为千瓦时(kWh)。

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。

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

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(kWh);

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(kWh);

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(kWh)。

5.2.4 储能能量稳定性测试

5.2.4.1 概述

储能系统投入使用时,确定储能系统的实际能量大小,每间隔一段时间采集储能系统的能量变化,确定储能系统能量稳定性。

5.2.4.2 测试步骤

根据 5.2.2.2 储能能量测试步骤 a)~g),获得储能系统额定能量 W_s 以及测试时间点的储能能量 W_N 。

5.2.4.3 计算方法

依据 5.2.2 储能能量测试方法获得储能初始的能量和测试时间点储能能量,依据式(3)完成储能能量稳定性计算。

$$w = (W_N / W_s) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

w ——储能能量稳定性;

W_N ——储能系统测试时间点储能能量,单位为千瓦时(kWh);

W_s ——储能系统额定能量,单位为千瓦时(kWh)。

5.2.5 响应时间和爬坡率测试

5.2.5.1 概述

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。需提供风电出力平滑应用的额定功率,测试方法应适用于所有储能系统。测试数据记录参见附录 A。

响应时间的测量如图 2 所示,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 $100\% \pm 2\%$ 以内所用的时间。

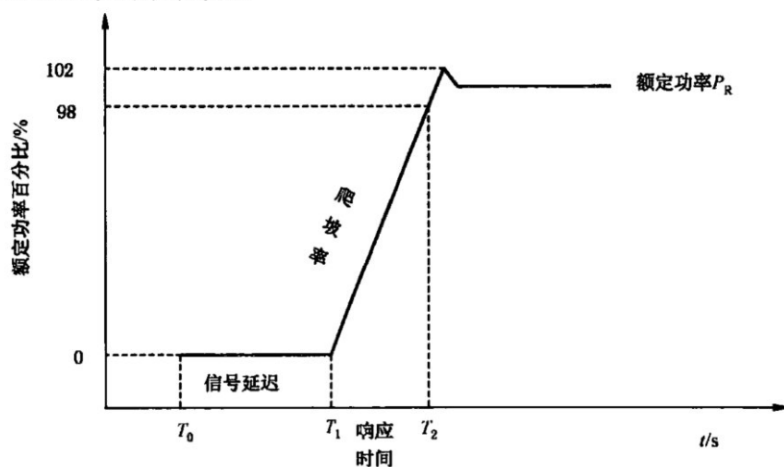


图 2 爬坡率和响应时间

5.2.5.2 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 SOC=50%。
- 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 $100\% \pm 2\%$ 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。

5.2.5.3 放电响应时间和爬坡率计算方法

按式(4)计算储能系统放电响应时间。

$$RT_D = T_2 - T_1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

RT_D ——放电响应时间,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 $100\% \pm 2\%$ 的时间值,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)。

通过式(5)对放电斜率 RR_D 进行计算, RR_D 单位为千瓦每秒(kW/s)。

$$RR_D = P_{T_2} / (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots(5)$$

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 RR_{pet} 描述, RR_{pet} 以%表示,如式(6)所示：

$$RR_{\text{pet}} = RR_D / P_R \times 100 \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

P_R ——储能系统额定功率,单位为千瓦(kW)。

5.2.5.4 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 SOC=50%。
- 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 $100\% \pm 2\%$ 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。

5.2.5.5 充电响应时间和爬坡率计算方法

按式(7)计算储能系统充电响应时间。

$$RT_C = T_2 - T_1 \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中：

RT_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 $100\% \pm 2\%$ 的时间值,单位为秒(s)。

通过式(8)对充电斜率 RR_C 进行计算, RR_C 单位为千瓦每秒(kW/s)。

$$RR_C = P_{T_2} / (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots (8)$$

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 RR_{pct} 描述, RR_{pct} 以%, 如式(9)所示:

$$RR_{\text{pct}} = RR_C / P_R \times 100 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

P_R ——储能系统额定功率,单位为千瓦(kW)。

5.2.6 参考信号跟踪能力测试

5.2.6.1 概述

参考信号跟踪能力用于评价储能系统在风电出力平滑应用场景下平滑功率波动的能力。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,测试步骤按照风电出力平滑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于附录 A。

5.2.6.2 测试步骤

风电出力平滑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 SOC = 50%, 在该 SOC 下,保持储能系统的电压不变,持续 10 min ~ 30 min。
- 根据风电出力平滑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} 。

5.2.6.3 计算方法

根据式(10)和式(11)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。

$$E_{\text{MSE}} = \sum_{i=1}^N (P_{\text{signal}} - P_{\text{ess}})^2 / N \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$E_{\text{MAD}} = \sum_{i=1}^N |P_{\text{signal}} - P_{\text{ess}}| / N \quad \dots\dots\dots (11)$$

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)。

在储能系统风电出力平滑应用典型工作周期持续时间内,储能系统信号跟踪时间百分比 PSTT (percent of signal track time),根据式(12)确定。

$$\text{PSTT} = T_{\text{track}} / T_{\text{duration}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

T_{track} ——信号跟踪时间长度[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],单位为小时(h);

T_{duration} ——风电出力平滑典型工作周期持续时间,单位为小时(h)。

5.2.7 典型工作周期充放电效率

5.2.7.1 概述

按适用于风电出力平滑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,应记录于附录 A。

5.2.7.2 测试步骤

风电出力平滑应用场景的典型工作周期充放电效率测试步骤如下:

- a) 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 SOC=50%,在该 SOC 下,保持储能系统的电压不变,持续 10 min ~30 min。
- b) 根据风电出力平滑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 SOC。
- 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。

附 录 A
(资料性附录)
测试报告

A.1 概述

根据所做测试,测试报告应提供足够准确、清晰和客观的数据来进行分析与评价。报告应包含所有的测试数据。

A.2 测试报告内容

根据 5.2 关于储能系统性能测试的描述,对储能能量、充放电效率、能量稳定性、响应时间和爬坡率、参考信号跟踪能力、典型工作周期充放电效率的具体测试内容记录表 A.1。

表 A.1 储能系统风电出力平滑应用性能测试数据记录表

测试类型	测试内容					
	环境温度: _____					
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 (kWh)
		放电能量 (kWh)	辅助能量 (kWh)	充电能量 (kWh)	辅助能量 (kWh)	
	循环 1					
	循环 2					
	循环 3					
	循环 4					
	循环 5					
	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 (kWh)
		放电能量 (kWh)	辅助能量 (kWh)	充电能量 (kWh)	辅助能量 (kWh)	
	75%					
	50%					
	25%					
充放电 效率测试	静置能量 (kWh)	放电能量 (kWh)	放电辅助能量 (kWh)	充电能量 (kWh)	充电辅助能量 (kWh)	效率(%)
储能能量 稳定性测试	测试时间点储能能量(kWh)		初始储能能量(kWh)		能量稳定性(%)	

表 A.1 (续)

测试类型	测试内容				
	环境温度：_____				
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(%)				
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 (kWh)
	放电能量 (kWh)	辅助能量 (kWh)	充电能量 (kWh)	辅助能量 (kWh)	
					效率(%)