

上海市地方标准

DB31/T 1146.1—2019

智能电网储能系统性能测试技术规范 第1部分：削峰填谷应用

Technical specification for performance testing of electrical energy storage system
in smart grid—Part 1: Peak shaving 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1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。

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

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

智能电网储能系统性能测试技术规范

第1部分：削峰填谷应用

1 范围

DB31/T 1146 的本部分规定了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。

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削峰填谷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

削峰填谷 peak shaving

利用储能系统，降低电网的高峰负荷，提高低谷负荷，实现能量的时移，减小电网负荷峰谷差。

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

表示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的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

日待机能量损失率 daily standby energy loss rate

自放电和其他所有系统组件,如电池管理系统、能源管理系统以及准备运行所需要的其他辅助负载等每天消耗的能量,占初始测定能量的比率。

3.14

日自放电率 daily self-discharge rate

当储能系统与负载之间保持开路状态,除了使储能系统进入永久退出运行状态时,储能系统每天损失能量占初始测定能量的比率。

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 削峰填谷应用典型工作周期

4.1 概述

典型工作周期用于测试储能系统削峰填谷的应用性能,采用充、放电时间窗,使典型工作周期曲线适用于不同的技术条件,无需考虑系统的大小、类型、使用年限和使用条件。用于确定系统性能的典型工作周期应符合图1和4.1~4.3的具体规定。

削峰填谷的一个典型工作周期包括充电时间窗、放电时间窗和浮充时间窗。以 24 h 为一个工作周期长度,每个周期含有一个 8 h 的充电时间窗、一个可变的放电时间窗和两个浮充时间窗。按照放电时间不同分为削峰填谷典型工作周期类型 A(2 h 放电)和削峰填谷典型工作周期类型 B(4 h 放电),如图 1 所示。

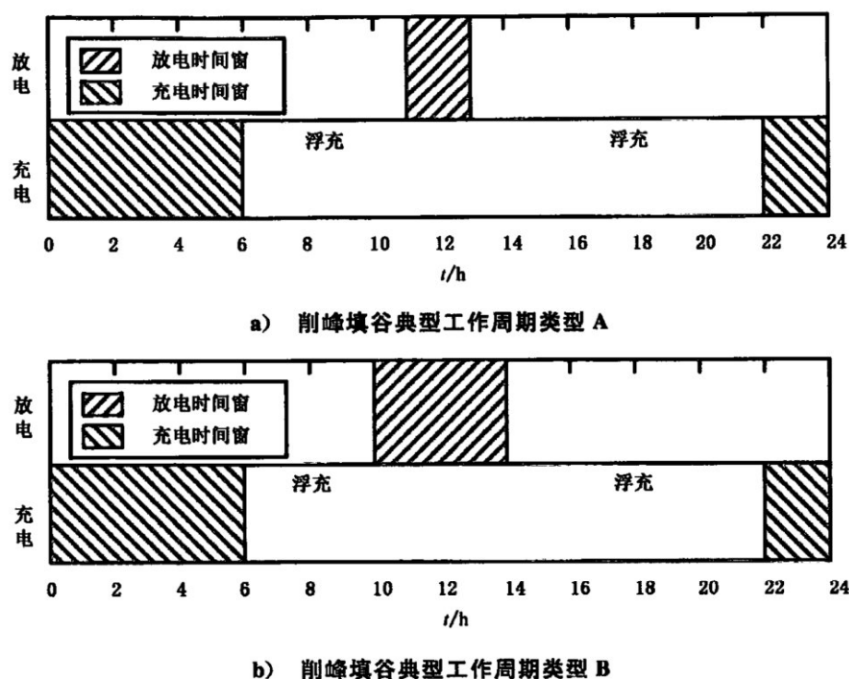


图 1 储能用于削峰填谷场景的典型工作周期类型

4.2 充电时间窗

在充电时间窗,储能系统应在 8 h 的时间内以恒定功率充电,使其达到 SOC 上限,此后按照储能系统制造商的技术规定和运行说明使储能系统的 SOC 维持在规定范围内。

4.3 浮充时间窗

在浮充时间窗,储能系统不处于充电或放电状态,但应允许必要的能量维持设备运行以保持系统平衡(如暖通空调系统应在浮充时间窗继续正常运行)。当不改变系统的充电状态时,应允许系统充电(如涓流充电),以维持充电设定点的状态。储能系统在浮充时间窗不向外部负载放电。

4.4 放电时间窗

在放电时间窗,储能系统应放电,直至达到储能系统制造商规定的最小 SOC 限值。储能系统的放电按照制造商规定的恒功率方式进行,使储能系统的 SOC 达到制造商规定的削峰填谷应用时的最低限值。

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 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,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

削峰填谷应用场景下的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、典型工作周期充放电效率测试、日待机能量损失率测试、日自放电率测试。

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,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:

- 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。
- 根据技术规定和运行说明,储能系统充电后和放电前需在热待机状态下保持静置,持续 30 min。
- 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_{D_i} ,根据放电期间的功率测量结果计算并记录。
- 根据技术规定和运行说明,储能系统放电后和充电前需在热待机状态下保持静置,持续 30 min。
- 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_{C_i} ,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。
- 重复步骤 b)~e) 四次,性能测试值为每个周期步骤 c) 中的放电能量 Wh_{D_i} 的平均值和步骤 e) 中的充电能量 Wh_{C_i} 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 SOC 上限之后,步骤 b)~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,测试数据记录参见附录 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周期测试完成后,根据 5.2.2.2 中测试的数据,计算充放电效率 RTE。

5.2.3.3 计算方法

计算充放电效率 RTE 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 RTE 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 储能能量测试步骤获得储能测试时间点的能量,计算储能能量稳定性 w 。

5.2.4.3 计算方法

计算储能能量稳定性 w 如式(3)。

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

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。需提供削峰填谷应用的额定功率,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。

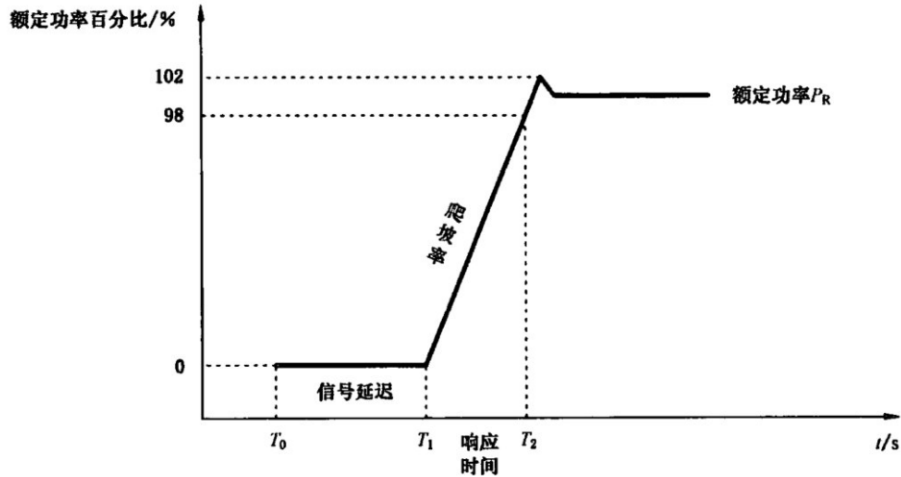


图 2 爬坡率和响应时间

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:

- 储能系统保持在热待机状态,使其 $SOC=50\%$ 。
- 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 。
- 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 。
- 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 。
- 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

放电响应时间计算如式(4)。

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

式中:

RT_D ——放电响应时间,单位为秒(s);

T_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 $100\% \pm 2\%$ 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：

- 储能系统保持在热待机状态,使其 SOC=50%。
- 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 。
- 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 。
- 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 。
- 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

放电响应时间计算如式(7)。

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

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 % 表示,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 典型工作周期充放电效率测试

5.2.6.1 概述

按适用于削峰填谷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参见附录 A。

5.2.6.2 测试步骤

用于削峰填谷的充放电效率测试需根据第 4 章描述的典型工作周期进行,测试步骤如下：

- 储能系统应按照削峰填谷典型工作周期类型 A 进行完全充电,使储能系统达到 SOC 上限,并保持储能系统的电压、温度不变,持续 10 min~30 min。
- 按照 4.1~4.3 典型工作周期描述的充放电循环进行测试。
- 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。
- 典型工作周期充放电效率由给定功率下储能系统的输出能量除以输入能量来确定。
- 对于削峰填谷典型工作周期类型 B,重复步骤 a)~b)进行测试。

5.2.7 日待机能量损失率测试

5.2.7.1 测试步骤

日待机能量损失率测试步骤如下：

- a) 储能系统应充电至 SOC 上限。
- b) 储能系统应在额定功率下放电至 SOC 下限,且能量记录为 $Wh_{initial}$,含辅助能量。
- c) 储能系统应充电至 SOC 上限,温度不变条件下静置 1 周时间,在这段期间内储能系统与交流电网保持连接。
- d) 储能系统应以额定功率放电至 SOC 下限,能量记录为 Wh_{1week} 。

5.2.7.2 计算方法

使用测试步骤 b) 和步骤 d) 中记录的值,按照式(10)计算日待机能量损失率 DSELR(daily standby energy loss rate),测试数据记录参见附录 A。

$$DSELR = (Wh_{initial} - Wh_{1week}) / (Wh_{initial} \times 7) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$Wh_{initial}$ ——测试前储能系统能量下限值,单位为千瓦时(kWh);

Wh_{1week} ——测试后储能系统能量下限值,单位为千瓦时(kWh)。

5.2.8 日自放电率测试

5.2.8.1 测试步骤

日自放电率测试步骤如下:

- a) 储能系统应充电至 SOC 上限。
- b) 储能系统应以额定功率放电至 SOC 下限,且能量记录为 $Wh_{initial}$,不含辅助能量。
- c) 储能系统应充电至 SOC 上限,温度不变条件下静置 1 周时间,在这段期间内储能系统与交流系统保持断开。
- d) 储能系统接触器闭合,储能系统以额定功率放电至 SOC 下限,能量记录为 Wh_{1week} 。

5.2.8.2 计算方法

使用步骤 b) 和步骤 d) 中记录的值,根据式(11)计算储能系统日自放电率 DSDR(daily self-discharge rate),测试数据记录参见附录 A。

$$DSDR = (Wh_{initial} - Wh_{1week}) / (Wh_{initial} \times 7) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$Wh_{initial}$ ——测试前储能系统能量下限值,单位为千瓦时(kWh);

Wh_{1week} ——测试后储能系统能量下限值,单位为千瓦时(kWh)。

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 关于储能系统应用性能测试的描述,对储能能量、充放电效率、储能能量稳定性、响应时间和爬坡率、典型工作周期充放电效率、日待机能量损失率、日自放电率测试的具体内容记录于表 A.1。

表 A.1 削峰填谷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	待机辅助能量 (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(%)						
典型工作周期充电效率测试	典型工作周期类型	放电功率(____ kW)		充电功率(____ kW)		静置能量(kWh)	效率(%)
		放电能量(kWh)	辅助能量(kWh)	充电能量(kWh)	辅助能量(kWh)		
	类型 A						
	类型 B						
日待机能量损失率测试	日待机能量损失率 DSELR= _____%						
日自放电率测试	日自放电率 DSDR= _____%						