

智能电网储能系统性能测试技术规范 第6部分：电压暂降治理应用

Technical specification for testing performance of electrical energy
storage system in smart grid—Part 6: Voltage sag mitigation application

2021-12-22 发布

2022-04-01 实施

上海市市场监督管理局 发布



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。

本文件为 DB31/T 1146《智能电网储能系统性能测试技术规范》的第6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：上海电力大学、国网上海市电力公司、上海市能效中心、华东电力试验研究院有限公司、杭州市电力设计院有限公司、上海空间电源研究所、上海电动工具研究所(集团)有限公司、国网新疆电力有限公司电力科学研究院、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司。

本文件主要起草人：王育飞、薛花、张宇、秦宏波、方陈、陈忠华、吴文俊、李东东、时珊珊、涂轶昀、焦春雷、张宇华、魏新迟、晏莉琴、刘舒、王皓靖、杨兴武、解晶莹、徐兴、李明、郑云平、扈曾辉、张晓雯。

智能电网储能系统性能测试技术规范

第 6 部分：电压暂降治理应用

1 范围

本文件规定了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。

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电压暂降治理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 38755 电力系统安全稳定导则

GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术规范

GB/T 34131 电化学储能电站用锂离子电池管理系统技术规范

GB/T 36276 电力储能用锂离子电池

GB/T 36547 电化学储能系统接入电网技术规定

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

IEC 62933-2-1 储能系统 第 2-1 部分：单位参数及测试方法 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

电压暂降 voltage sag

电力系统中某点工频电压方均根值突然降低至 0.1 p.u.~0.9 p.u.，并在短暂持续 10 ms~1 min 后恢复正常的现象。

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,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 energy efficiency; RTE

规定运行条件下,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

储能系统在电压暂降治理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。

3.14

最大放电功率 peak discharge power

储能系统在设定时间段内能够提供的最大功率。

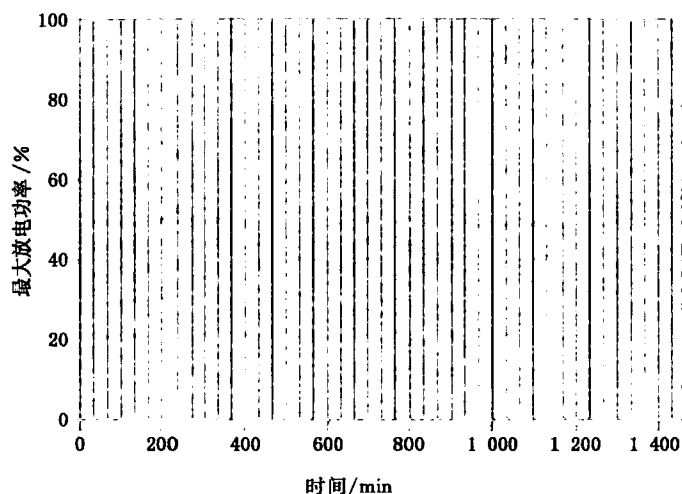
4 电压暂降治理应用典型工作周期

典型工作周期曲线用于确定电压暂降治理应用中ESS的性能。典型工作周期按图1规定为储能

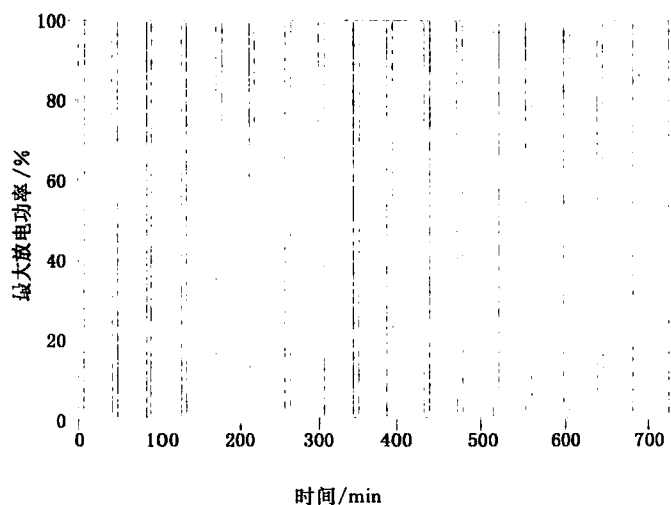
系统在最大放电功率下持续 1 min、5 min 和 10 min 连续放电的工作曲线。

规定典型工作周期 a) 为电压暂降治理应用中连续 24 h 使用储能系统的情形, 储能系统每隔 30 min 持续 1 min 的放电; 典型工作周期 b) 为连续 12 h 使用储能系统的情形, 储能系统每隔 45 min 持续 5 min 的放电; 典型工作周期 c) 为连续 6 h 使用储能系统的情形, 储能系统每 60 min 持续 10 min 放电。

测试时, 储能系统初始 SOE 应达到其最大允许 SOE, 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前, 将储能系统 SOE 恢复至初始状态。

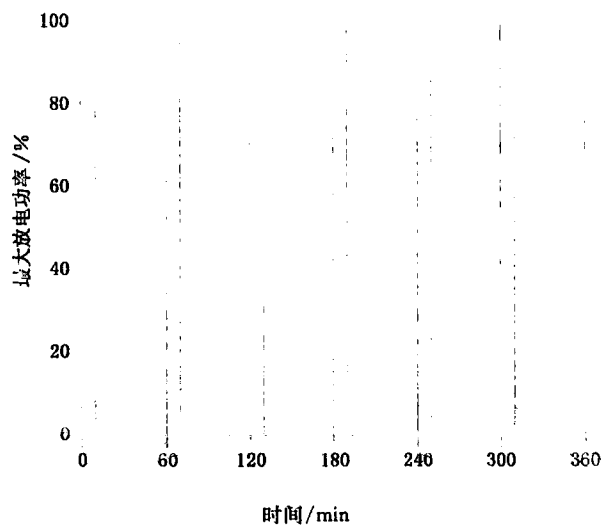


a) 持续放电 1 min 的 24 h 电压暂降治理典型工作周期



b) 持续放电 5 min 的 12 h 电压暂降治理典型工作周期

图 1 储能系统用于电压暂降治理场景的典型工作周期



c) 持续放电 10 min 的 6 h 电压暂降治理典型工作周期

图 1 储能系统用于电压暂降治理场景的典型工作周期 (续)

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、NB/T 33016 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、输出电流等参数,应在同一时间分辨率上采集,系统温度、环境条件(相对湿度)等参数参照实时的系统温度、环境条件,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

电压暂降治理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、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、最大放电功率测试。

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功率下存储的能量。测试前,将储能系统放电至放电终止条件。储能系统在充放电过程中的功率应采用与 5.1 一致的采样间隔和 5.2.2.2 规定的测试步骤记录,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。

- a) 按照技术规定和运行说明,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。
- 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。
- 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,并记录为储能系统的充电能量。
- f) 重复步骤 a)~c) 四次,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 NB/T 33016 的要求。

5.2.2.3 测试记录

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三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,测试中使用平均功率。

$$\eta_{RET} = \frac{\sum_{i=2}^4 Wh_{Di}}{\sum_{i=2}^4 Wh_{C(i-1)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Wh_{Di} ——额定功率下输出的电能,单位为千瓦时(kW·h);

$Wh_{C(i-1)}$ ——充电过程中输入系统的交流电能,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 η_{RET} 应按式(2)计算。

$$\eta_{RET} = \frac{\sum_{i=2}^4 (Wh_{Di} - Aux_{Di})}{\sum_{i=2}^4 [Wh_{C(i-1)} + Aux_{C(i-1)} + Aux_{R(i-1)}]} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

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($\text{kW} \cdot \text{h}$)；

$Aux_{C(i-1)}$ ——第 $(i-1)$ 个循环充电期间辅助负载的能量损耗,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)；

$Aux_{R(i-1)}$ ——第 $(i-1)$ 个循环待机时辅助负载的能量损耗,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)。

5.2.4 响应时间和爬坡率测试

5.2.4.1 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。需提供电压暂降治理应用的额定功率,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。

响应时间的测量按图 2 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。

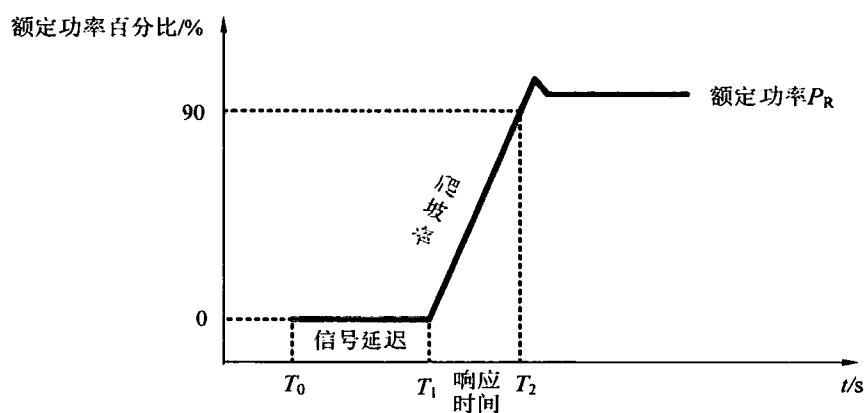


图 2 爬坡率和响应时间

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：

- 储能系统保持在热待机状态,使其 $\text{SOE}=50\% \pm 5\%$ ；
- 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 90% 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。

5.2.4.3 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 。

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

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)计算放电斜率 R_D , 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, R_{pet} 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:

- 储能系统保持在热待机状态,使其 $\text{SOE} = 50\% \pm 5\%$;
- 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 90% 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。

5.2.4.5 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 。

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

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)计算充电斜率 R_C , 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, R_{pet} 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电压暂降治理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,测试步骤按照电压暂降治理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。

5.2.5.2 测试步骤

电压暂降治理应用场景的参考信号跟踪能力测试步骤如下:

- 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 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) 根据电压暂降治理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

在储能系统电压暂降治理应用典型工作周期持续时间内,按式(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} 的均方误差 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 $|(P_{\text{signal}} - P_{\text{ess}})/P_{\text{signal}}| < 0.02$ 时视为储能系统能够跟踪参考信号。

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

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

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)。

在储能系统电压暂降治理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} ——电压暂降治理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

按适用于电压暂降治理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。

5.2.6.2 测试步骤

电压暂降治理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 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) 根据电压暂降治理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 最大放电功率测试

5.2.7.1 概述

最大放电功率用于确定储能系统分别在 1 min、5 min、10 min 设定时间段内可提供的最大功率。最大放电功率的相关测试结果记录于附录 A。

5.2.7.2 测试步骤

电压暂降治理应用场景的最大放电功率测试步骤如下：

- a) 应按照制造商的技术规定对储能系统进行充电或放电,使储能系统达到充电允许的最大 SOE 限值,即储能系统放电的上限 SOE;
- b) 储能系统以 125% 的额定功率放电,直到达到 SOE 下限或功率下降为零(以先到者为准),并记录放电时间;
- c) 储能系统重新充电至最大 SOE;
- d) 储能系统应以 150%、200%、300% 和 500% 的额定功率放电按步骤 b)~c) 重复测试;
- e) 绘制放电功率与放电时间的关系图,得出 1 min、5 min 和 10 min 的最大放电功率。

附录 A

(资料性)

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、最大放电功率的具体测试内容记录于表 A.1。

表 A.1 储能系统电压暂降治理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 储能系统电压暂降治理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	放电持续时间	放电功率(kW)		充电功率(kW)		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	
	1 min					
	5 min					
	10 min					
	测试的功率基准值 = _____					
最大放电功率测试	125 %额定功率放电		150 %额定功率放电		200 %额定功率放电	
	放电功率/kW		放电功率/kW		放电功率/kW	
	放电时间/s		放电时间/s		放电时间/s	
	300 %额定功率放电		500 %额定功率放电			
	放电功率/kW		放电功率/kW			
	放电时间/s		放电时间/s			

上海市地方标准
智能电网储能系统性能测试技术规范
第6部分:电压暂降治理应用
DB31/T 1146.6—2021

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

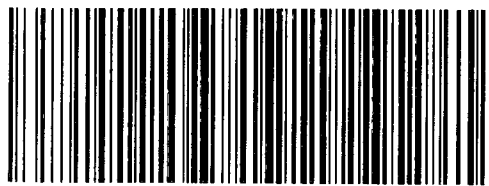
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 28 千字
2022年6月第1版 2022年6月第一次印刷

*

书号: 155066·5-4247 定价 22.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



DB31/T 1146.6—2021



码上扫一扫 正版服务到

