



团体标准

T/CES 077-2025

构网型储能电站并网前技术性能评估导 则

Technical performance evaluation guidelines for Grid-forming energy storage
stations prior to grid connection

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

目 次.....	I
前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 符号、代号和缩略语.....	2
5 评估总则.....	2
5.1 评估目的	2
5.2 评估原则	3
5.3 评估组织	3
5.4 评估前条件	3
5.5 评估周期	4
6 技术性能评估.....	4
6.1 测试条件	4
6.2 构网特性评估方法	5
6.3 运行特性评估方法	10
6.4 保护与安全评估方法	13
7 评估体系.....	14
7.1 综合评分计算	14
7.2 评估等级划分	15
附 录 A（规范性） ××评估打分表××	16
附 录 B（规范性性） ××测试记录表格××	17
参 考 文 献.....	19

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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会储能技术工作组归口。

本文件起草单位：北方工业大学、上海迪熹新能源有限公司、深圳市艾晨数字能源有限公司、中国科学院大学、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国家电投集团科学技术研究院有限公司、国网能源研究院有限公司、中铁二十二局集团电气化工程有限公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、青岛威控电气有限公司。

本文件主要起草人：李建林、鞠万辉、许飞、杨成林、梁忠豪、王梓、刘大卫、姜冶蓉、陈涵冰、袁晓冬、刘兆燊、徐辉、夏小荣、黄政中、姜晓霞、张彪、冉川、陶赞、杨元贞、张红宪、冯钰梁、于钰鑫、李智诚、吕洪章。

本文件为首次发布。

构网型储能电站并网前技术性能评估导则

1 范围

本文件规定了构网型储能电站并网运行前技术性能评估的原则、技术要求、测试方法、评估流程和判定准则。

本文件适用于采用电化学储能技术，具备构网型控制功能，额定功率不小于 10MW 且 35kV 及以上电压等级接入电网的储能电站在正式并网运行前的技术性能综合评估，10kV 电压等级的构网型储能电站可参照执行。

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 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 19862 电能质量监测设备通用要求
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术要求
- GB/T 36547 电化学储能电站接入电网技术规定
- GB/T 36548 电化学储能电站接入电网测试规范
- GB/T 42288 电化学储能电站安全规程
- GB/T 44112 电化学储能电站接入电网运行控制规范
- GB/T 44113 用户侧电化学储能系统并网管理规范
- DL/T 524 构网型变流器通用技术规范
- DL/T 5810 电化学储能电站接入电网设计规范
- DL/T 2246.1 电化学储能电站并网运行与控制技术规范 第 1 部分：并网运行调试
- NB/T 42091 电化学储能电站用锂离子电池技术规范
- T/CES 243 构网型储能系统并网技术规范
- T/CES 244 构网型储能系统并网测试规范
- T/CEEIA 857 构网型储能电站并网技术规范
- T/CPSS 1015 电化学储能系统构网型储能变流器并网性能测试技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

惯量支撑 inertia support

储能系统通过快速功率响应，模拟同步发电机转动惯量，抑制电网频率变化率的能力。

3.2

阻尼特性 **damping characteristic**

储能系统通过功率调节响应频率偏差，提供类似同步发电机阻尼绕组的功能，抑制功率振荡和频率振荡的能力。

3.3

黑启动能力 **black start capability**

在电网全停或部分停电情况下，储能电站无需外部电源支持，自主建立电压和频率，并为其他设备或电网恢复供电的能力。

3.4

孤岛运行 **islanding operation**

储能电站与主电网断开后，独立为本地负载供电的运行状态。

3.5

无功支撑 **reactive power support**

储能电站在电网电压跌落时，通过向电网注入无功电流，帮助恢复并网点电压的能力。

3.6

故障穿越 **fault ride through**

电网发生电压跌落或升高故障时，储能电站保持并网运行并提供支撑的能力，包括低电压穿越（LVRT）和高电压穿越（HVRT）。

3.7

电压源型控制 **voltage source control**

储能变流器以受控电压源方式运行，主动建立并维持并网点电压幅值和相位的控制方式。

3.8

构网型储能电站 **Grid-forming energy storage station**

采用构建电压频率的控制策略，对外呈现电压源特性，具备主动建立并维持电网电压和频率的能力，能够提供惯量响应、阻尼控制及同步电压支撑等功能的储能电站。

4 符号、代号和缩略语

下列符号、代号和缩略语适用于本文件。

BMS: 电池管理系统 (Battery Management System)

EMS: 能量管理系统 (Energy Management System)

PCS: 储能变流器 (Power Conversion System)

SOC: 荷电状态 (State of Charge)

VSG: 虚拟同步机 (Virtual Synchronous Generator)

FRT: 故障穿越 (Fault Ride Through)

LVRT: 低电压穿越 (Low Voltage Ride Through)

HVRT: 高电压穿越 (High Voltage Ride Through)

THD: 总谐波畸变率 (Total Harmonic Distortion)

THDu: 电压总谐波畸变率 (Total Harmonic Distortion of Voltage)

FFT: 快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform)

5 评估总则

5.1 评估目的

构网型储能电站并网运行前技术性能评估旨在全面验证储能电站的技术性能、控制功能、安全防护能力和电网适应性，确保其满足构网型运行要求和电力系统安全稳定运行标准。通过系统化的测试与评估，客观评价储能电站的构网能力、运行可靠性和故障应对能力，为储能电站安全并网提供技术依据。

5.2 评估原则

为确保构网型储能电站并网技术性能评估科学、严谨且贴合实际需求，评估工作需遵循以下原则：

- a) 全面性原则：覆盖构网特性、运行特性、保护安全、通信监控等全方位评估；
- b) 实证性原则：以实际测试数据为评估依据，采用标准化测试方法和精密测量设备；
- c) 动态性原则：重点考核动态工况和故障场景下的性能表现；
- d) 安全性原则：将电气安全、设备安全和电网安全作为评估的底线要求；
- e) 标准化原则：测试方法、数据处理、评分标准应严格遵循本标准规定。

5.3 评估组织

正式评估工作应由电网企业组织实施，储能电站业主单位配合。具体由能源局下属质监站负责工程质量监督检查，出具的报告应作为并网申请的必要材料之一。然后电网企业负责并网技术性能评估，制定评估方案、组织评估实施、审核评估报告、出具并网意见；储能电站业主单位负责提供测试条件、配合测试实施、落实整改要求；第三方检测机构负责独立开展测试、客观记录数据、编制测试报告。本评估可与质监工作协调开展，具体组织方式可根据各地实际情况由能源主管部门协调确定。

此外，储能电站自组织检测也可参照此标准。

5.4 评估前准备

5.4.1 工程完工条件

构网型储能电站开展并网评估前，相关设备及系统需符合以下条件：

- a) 储能系统、变流器、变压器、配电装置等主设备安装完毕并通过出厂测试；
- b) 电气二次系统、继电保护装置、安全自动装置安装调试完成；
- c) 监控系统、通信系统、电能质量监测装置安装调试完成；
- d) 消防系统、视频监控系统、门禁系统等辅助系统投入运行。

5.4.2 电气安全条件

储能系统在并网评估前应符合以下条件：

- a) 储能系统的防雷接地装置应满足 GB/T21431、GB50057 中的规定；
- b) 储能系统接入点设备的绝缘强度应满足 GB 50150 的规定，接入点各回路交直流电缆绝缘应满足 GB/T12706.1 和 GB/T 12706.2 的规定；
- c) 储能系统接入点设备的耐压应满足 DL/T474.4 和 DL/T620 的要求；
- d) 储能系统并网点电压波动和闪变满足 GB/T 12326、电压谐波值满足 GB/T 14549、三相电压不平衡度满足 GB/T15543、电压间谐波含有率满足 GB/T24337 的要求时，确保储能系统能正常运行；
- e) 电池荷电状态（SOC）在 40%~60%范围内，满足测试功率和时长要求；
- f) 电池健康状态（SOH）不低于 90%；
- g) 储能系统已连续试运行不少于 72 小时，运行稳定无故障。

5.4.3 功能调试条件

构网型储能电站在并网评估前应符合以下条件：

- a) 储能系统已完成单机调试，各项功能正常；

- b) 构网型控制功能已调试完成，能够正常投入；
- c) 惯量控制、阻尼控制、电压源控制等核心参数已设置并验证；
- d) 保护装置定值已整定，并经过模拟测试验证；
- e) 通信接口已调试，与电网调度系统通信正常；
- f) 现场安全措施已落实，测试方案已审批，测试人员已到位。

5.5 评估周期

5.5.1 新建储能电站应在正式并网前完成评估。

5.5.2 评估合格后，原则上 3 年内有效。3 年有效期主要针对评估合格但因故未能及时并网的情况。对于已并网运行的电站，不需要离网重新评估，但应按照相关运行规程进行定期检测和复核。

5.5.3 发生重大设备更换或控制策略变更时，应重新评估。

6 技术性能测试

6.1 测试条件

6.1.1 测试设备

所有测试应在储能电站调试完成、具备并网条件后进行，并严格遵循本章规定的测试条件、测试步骤和数据处理方法。测试结果应如实记录，并按照本标准附录 B 的格式整理测试数据，为后续的综合评估和等级判定提供客观依据。首先，部分测试设备如下：

- a) 电网模拟器，电压范围要求：0~1.5 倍额定电压，精度要求不超过 $\pm 0.5\%$ ；频率要求在 45~55Hz 范围之内，精度要求不超过 $\pm 0.01\text{Hz}$ ；同时，容量要求不小于储能电站额定容量的 1.2 倍。
- b) 功率分析仪，功能要求：采样频率不小于 10kHz；电压精度不超过 $\pm 0.1\%$ ，电流精度不超过 $\pm 0.1\%$ ，功率精度不超过 $\pm 0.2\%$ ；通道不小于 12 通道（包括三相电压、三相电流、直流侧电压电流等）
- c) 录波器，功能要求：采样频率不小于 10kHz；触发方式包括电压、电流、频率越限触发；存储深度满足 10s 连续录波。
- d) 负载模拟器（用于孤岛运行测试），功能要求：负载类型包括：阻性、感性、容性、非线性负载；负载容量在 0~100%额定容量范围内可调；负载阶跃不超过 100ms；
- e) 通信测试仪，功能要求：支持 IEC 61850、IEC 60870-5-104 等规定；时延测试精度不大于 1ms；误码率测试精度不大于 10^{-9} 。

6.1.2 环境测试条件应满足以下要求

环境测试条件应满足以下要求：

- a) 环境温度：15~35℃（或在设备厂家技术规格书规定的额定运行环境温度范围内）；
- b) 相对湿度：20%~80%；
- c) 海拔高度：不超过 2000m（高原地区可放宽）；
- d) 电网条件：电压不低于 $0.95 U_n$ ，频率 49.5~50.5Hz。

6.1.3 安全测试条件应满足以下要求

安全测试条件应满足以下要求：

- a) 测试前应制定详细的测试方案和安全措施；
- b) 测试应在隔离的测试区域进行，设置安全警示；
- c) 测试人员应穿戴符合要求的劳动保护用品；
- d) 测试设备应可靠接地，测试回路应有短路保护；

- e) 测试过程中应有专人监护，发现异常应立即停止测试。

6.1.4 指标评分说明

6.1.4.1 本文件在各单项指标评分表中采用"边界条件法"，即：

- 仅明确规定"优秀"和"合格"的边界条件；
- 中间分值由评估专家根据实际测试数据自主裁量。

6.1.4.2 本文件评分体系采用百分制，根据国内外构网型储能示范工程验收经验以及对构网型储能并网的实际需求，各评估项权重设置基于以下原则和依据：

- 构网特性评估（50 分）：是构网型储能电站区别于跟网型储能的核心能力，直接决定其能否为电网提供电压和频率支撑。
- 运行特性评估（20 分）：是反映储能电站在特殊工况下的运行能力，构网功能的实际应用验证。
- 保护与安全评估（30 分）：是并网运行的底线要求，故障穿越能力直接关系电网安全稳定。

6.2 构网特性评估方法

6.2.1 惯量特性评估

为评估构网型储能电站的虚拟惯量特性，需要测量惯量时间常数 H 和惯量响应速度。在评估前系统应满足以下测试条件：储能电站处于构网运行模式；初始工况：额定电压、额定频率、50%额定功率放电；电池 SOC：40%~60%。惯量响应评估测试步骤：

- 将储能电站并网运行，稳定在 50%额定功率放电状态，即 $P_0=0.5P_N$ ；
- 设定虚拟惯量时间常数 $H_0=5s$ ；
- 施加频率阶跃扰动：
 - 向上阶跃：频率从 50.00Hz 突变至 50.20Hz ($\Delta f=+0.2\text{Hz}$)，保持新频率 10s；
 - 向下阶跃：频率从 50.00Hz 突变至 49.80Hz ($\Delta f=-0.2\text{Hz}$)，保持新频率 10s；
- 记录频率阶跃过程中的：三相电压、三相电流、有功功率、无功功率、频率；
- 并按照图 1 中频率向上阶跃，重复步骤 3)-4)，进行 3 次有效测试。

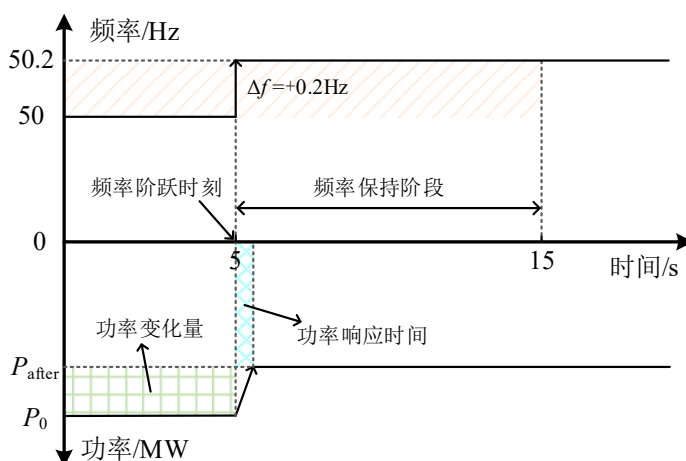


图 1 频率向上阶跃曲线

测试后需要对数据进行处理，按照如下公式分别计算惯量时间常数 H 、响应时间和惯量响应速度：

- 通过公式 (1) 计算功率变化量：

$$\Delta P = P_{\text{after}} - P_0 \quad (1)$$

式中：

ΔP ——功率变化量，单位为兆瓦（MW）；

P_0 ——频率阶跃前的功率，取 5s 平均值，单位为兆瓦（MW）；

P_{after} ——频率阶跃后的稳态功率，取阶跃后 5s 平均值，单位为兆瓦（MW）。

2) 计算惯量时间常数：

$$H = \frac{\Delta P \times f_n}{S_{rated} \times \Delta \omega} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

H ——惯量时间常数，单位为秒（s）；

f_n ——额定频率，单位为赫兹（Hz），设置为 50Hz；

S_{rated} ——储能额定容量，单位为兆伏安（MVA）；

$\Delta \omega$ ——角频率变化量，单位为弧度每秒（rad/s）。

$$\Delta \omega = 2\pi \times \Delta f \dots\dots\dots (3)$$

3) 计算响应时间：从频率阶跃时刻到功率稳态的时间，响应时间应不大于 20ms；

4) 计算惯量响应精度：通过公式（5）计算得到的惯量响应精度应不大于 10%。

$$K_H = \frac{|H - H_0|}{H_0} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.1 中，通过上述公式得到计算值记录并按照表 1 中的评分标准进行打分。

表 1 惯量特性评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	打分	备注
时间常数 H	8	$\geq 3s$ （合格）； $\geq 5s$ （优秀）			
响应时间	6	$\leq 10ms$ （合格）； $\leq 5ms$ （优秀）			
响应精度	6	$\leq 20\%$ （合格）； $\leq 5\%$ （优秀）			
小计	20	—	—		
一票否决项： ☐ $H < 2s$ ☐ 响应时间 $> 50ms$ ☐ 精度 $> 30\%$					

6.2.2 阻尼特性评估

为评估构网型储能电站的虚拟阻尼特性，需要测量阻尼系数 D 和振荡抑制能力。在评估前系统应满足以下测试条件：储能电站处于构网运行模式；初始工况：额定电压、额定频率、50%额定功率放电；电池 SOC：40%~60%。阻尼特性评估测试步骤：

a) 将储能电站并网运行，稳定在 50%额定功率放电状态；

b) 设定虚拟阻尼系数 $D_0=20$ ；

c) 施加频率振荡扰动：

1) 频率按公式（6）正弦波振荡，振荡频率 1Hz，振幅 $\pm 0.1Hz$ ；

$$f(t) = 50 + 0.1 \times \sin(2\pi t) \dots\dots\dots (6)$$

2) 持续振荡 20s；

d) 记录频率振荡过程中的：三相电压、三相电流、有功功率、频率；

e) 停止频率振荡，观察功率振荡的衰减过程；

f) 重复步骤 c)-e)，进行 3 次有效测试。

测试后需要对数据进行处理，按照如下公式分别计算阻尼系数 D 、振荡衰减比和阻尼响应精度：

1) 计算功率振荡幅值：

采用 FFT（快速傅里叶变换）分析功率信号，提取 1Hz 频率分量的幅值 A_P 。

2) 计算阻尼系数:

$$D = \frac{A_P \times f_n}{\Delta f \times S_{rated}} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- D ——阻尼系数, 单位为标么值 (p.u.);
 A_P ——功率振荡幅值, 单位为兆瓦 (MW);
 f_n ——额定频率, 单位为赫兹 (Hz), 设置为 50Hz;
 Δf ——频率振荡幅值, 单位为赫兹 (0.1Hz);
 S_{rated} ——储能额定容量, 单位为兆伏安 (MVA)。

3) 停止频率振荡后, 记录功率振荡的第 1 个峰值 A_1 和第 2 个峰值 A_2 , 计算振荡衰减比:

$$\eta = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

4) 计算阻尼响应精度:

$$K_D = \frac{|D - D_0|}{D_0} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.2 中, 通过上述公式得到计算值记录并按照表 2 中的评分标准进行打分。

表 2 阻尼特性评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	打分	备注
阻尼系数 D	8	$D \geq 20$ (优秀); $D \geq 15$ (合格)			
振荡衰减比	6	$\geq 70\%$ (优秀); $\geq 50\%$ (合格)			
阻尼响应精度	6	$\leq 10\%$ (优秀); $\leq 15\%$ (合格)			
小计	20	—	—		

6.2.3 电压源特性评估

6.2.3.1 空载建压能力评估

在评估前系统应满足以下测试条件: 储能电站处于停机状态; 主变压器断开, 储能电站独立运行; 电池 SOC: 40%~60%。空载建压能力评估测试步骤:

- 储能电站从停机状态启动, 进入构网模式;
- 按照图 2 中空载建压曲线建立上升时间 T_1 (从启动指令到电压稳定在 $0.95 \sim 1.05 U_n$), 记录电压建立过程;
- 测量稳态空载电压: 三相电压幅值; 三相电压不平衡度; 电压总谐波畸变率 THDu;
- 重复步骤 a)-c), 进行 3 次有效测试。

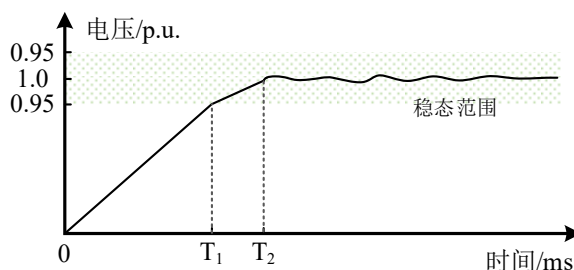


图 2 空载建压曲线

测试后需要对数据进行处理, 按照如下公式分别计算空载电压建立时间、空载电压精度、三相电压不平衡度、电压总谐波畸变率:

- 1) 电压建立时间是指储能电站从启动到输出电压稳定在额定电压范围内所需的时间。测试得到的电压建立时间应不大于 500ms；
- 2) 空载电压精度：

$$K_U = \frac{|U_{measured} - U_n|}{U_n} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$U_{measured}$ ——测量稳态空载电压幅值，单位为伏（V）。

- 3) 三相电压不平衡度：应满足 GB/T 15543-2008 中的要求，连续运行至少 1min，记录系统运行状态及相应动作时间；
- 4) 电压总谐波畸变率：

$$THDu = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中：

U_1 ——基波电压有效值，单位为伏（V）；

U_n ——第 n 次谐波电压有效值，单位为伏（V）。

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.3 中，通过上述公式得到计算值记录并按照表 3 中的评分标准进行打分。

表 3 空载建压能力评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	打分	备注
电压建立时间	3	≤300ms（优秀）；≤500ms（合格）			
空载电压精度	2	≤1%（优秀）；≤2%（合格）			
电压不平衡度	2	≤1%（优秀）；≤2%（合格）			
谐波畸变率	3	≤2%（优秀）；≤3%（合格）			
小计	10	—	—		

6.2.3.2 带载能力评估

在评估前系统应满足以下测试条件：储能电站处于构网独立运行模式；初始工况：空载，额定电压；负载条件：0~100%额定容量可调的阻性负载。带载能力评估测试步骤：

- a) 储能电站空载运行，稳定在额定电压 U_N 、额定电流 I_N ；
- b) 按照图 3 顺序逐级投入负载：25%、50%、75%、100%额定容量负载；
- c) 记录每次负载阶跃过程中的参数：跌落电压、稳态电压、稳态电流、稳态时间；
- d) 每次负载阶跃后稳定至少 10s，测量并记录稳态电压和电流 I_{load} ；
- e) 负载切除，观察并记录电压恢复过程；
- f) 重复步骤 b)-e)，每个负载等级进行 3 次有效测试。

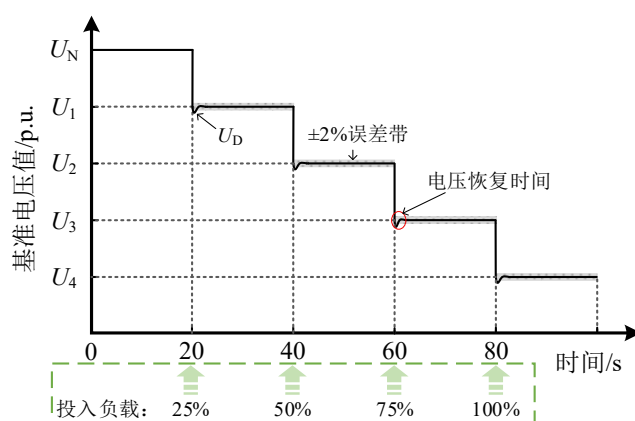


图3 空载建压曲线

测试后需要对数据进行处理,按照如下公式计算电压跌落量、电压刚度、电压恢复时间、电压超调量:

- 1) 电压跌落量是指负载变化时,跌落电压不应偏离基准电压的 5%。跌落电压按公式 (12) 计算:

$$\Delta U = U_R - U_D \cdots \cdots \cdots (12)$$

式中:

U_R ——基准电压,单位为伏(V);

U_D ——跌落电压,单位为伏(V)。

- 2) 电压刚度是指当负载电流变化一个单位(相对于额定电流)时,电压变化的百分比。按公式 (13) 计算:

$$K_V = \frac{\Delta U}{I_{load} / I_N} \times 100\% \cdots \cdots \cdots (13)$$

式中:

I_{load} ——负载电流,单位为安培(A);

I_0 ——额定电流,单位为安培(A)。

- 3) 电压恢复时间是指从负载发生阶跃变化开始,到电压重新稳定在基准值 $\pm 2\%$ 的时间;
- 4) 电压超调量反映了系统在动态响应过程中超出基准值的程度,是衡量系统动态性能的重要指标。按公式 (14) 计算:

$$\sigma = \frac{U_{max} - U_0}{U_0} \times 100\% \cdots \cdots \cdots (14)$$

式中:

U_{max} ——电压响应过程中的最大峰值电压,单位为伏(V)。

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.3 中,通过上述公式得到计算值记录并按照表 4 中的评分标准进行打分。

表4 带载能力评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	打分	备注
电压刚度	4	$\leq 3\%$ (优秀); $\leq 8\%$ (合格)			
恢复时间	3	$\leq 100\text{ms}$ (优秀); $\leq 300\text{ms}$ (合格)			
超调量	3	$\leq 5\%$ (优秀); $\leq 15\%$ (合格)			
小计	10	—	—		

6.2.4 其他性能评估

6.2.4.1 有功功率控制评估

构网型储能系统有功功率特性应满足 GB/T 36547-2024 的要求;

6.2.4.1 无功功率控制评估

构网型储能系统无功功率特性应满足 GB/T 36547-2024 的要求；

6.2.4.3 电能质量评估

构网型储能系统电能质量应满足 GB/T 14549-1993、GB/T 36547-2024 的要求；

6.2.4.4 功率响应时间评估

构网型储能系统功率响应时间应满足 GB/T 36547-2024 的要求；

6.2.4.5 功率调节范围评估

构网型储能系统功率调节范围应满足 GB/T 36547-2024 的要求。

对于已有国家标准明确规定的常规性能指标，采用符合性评估方式。评估时核对性能指标是否符合相应标准要求，符合则得分，不符合则不得分。按照相关国家标准的各项指标要求进行测试，逐项对照标准要求判定，并按照表 5 中的评分标准进行打分。

表 5 其他性能评估打分表

评估项	满分	判定结果	打分	备注
有功功率	2	☐ 符合 ☐ 不符合		
无功功率	2	☐ 符合 ☐ 不符合		
电能质量	2	☐ 符合 ☐ 不符合		
功率响应时间	2	☐ 符合 ☐ 不符合		
功率调节范围	2	☐ 符合 ☐ 不符合		
小计	10	—		

6.3 运行特性评估方法

6.3.1 黑启动特性评估

为评估构网型储能电站的黑启动能力，需要测量黑启动成功率、建压时间、恢复供电能力。在评估前系统应满足以下测试条件：模拟全黑状态：储能电站停机，所有电源断开；电池 SOC：≥30%；负载：准备一定比例的负载（10%、30%、50%额定容量）。黑启动能力评估测试步骤：

- a) 模拟全黑状态：断开储能电站与电网的连接，断开站用电源，所有设备停机；
- b) 黑启动启动：发出黑启动启动指令并按照图 4 记录启动过程；
 - 1) 观察并记录储能电站自启动时间（从指令发出到 PCS 启动）；
 - 2) 观察并记录站用电恢复时间；
 - 3) 观察并记录主变压器充电时间；
 - 4) 输电线路充电，观察并记录线路电压建立时间；
 - 5) 负载恢复供电时间。
- c) 记录输电线路电压建立过程，测量空载电压、频率、THDu；
- d) 依次投入 10%、30%、50%额定容量负载，记录每次投入负载后的电压、频率变化；
- e) 黑启动完成后稳定运行 10min；
- f) 重复步骤 a)-e)，进行 20 次黑启动测试

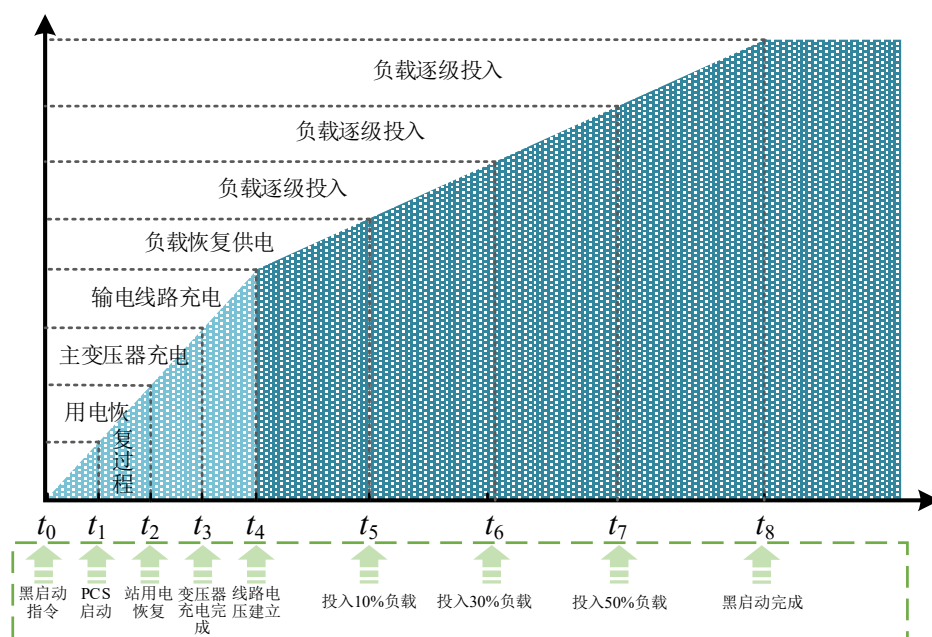


图4 黑启动过程曲线

测试后需要对数据进行处理,按照如下公式分别计算黑启动成功率、黑启动时间、电压建立时间、电压频率质量。

- 1) 黑启动成功率,按公式(15)计算:

$$\eta_{BS} = \frac{N_{success}}{N_{total}} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$N_{success}$ ——黑启动成功次数,单位为次;

N_{total} ——黑启动总次数,单位为次(20次)。

- 2) 黑启动时间是指从黑启动指令发出到恢复 50%额定容量负载供电的时间,应不超过 10min;
3) 电压建立时间是指从 PCS 启动到输电线路电压稳定在 $0.95 \sim 1.05 U_n$ 的时间,应不超过 2min。

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.4 中,通过上述公式得到计算值记录并按照表 6 中的评分标准进行打分。

表6 黑启动特性评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	得分	备注
成功率	4	100% (优秀); $\geq 98\%$ (合格)			
黑启动时间	4	$\leq 8\text{min}$ (优秀); $\leq 10\text{min}$ (合格)			
电压建立时间	2	$\leq 1\text{min}$ (优秀); $\leq 2\text{min}$ (合格)			
小计	10	—	—		
一票否决项: ☐ 黑启动成功率 $<90\%$ ☐ 启动过程中发生设备损坏					

6.3.2 孤岛运行评估

评估构网型储能电站在计划孤岛运行模式下的独立供电能力、电压频率控制能力、负载扰动响应能力以及并网恢复能力。在评估前系统应满足以下测试条件:储能电站并网运行,供电给本地负载;本地负载:50%~100%储能额定容量;电池 SOC: 40%~60%。孤岛运行评估按照图 5 进行测试:

- 储能电站并网运行,稳定供电给本地负载,确认电网连接正常,系统运行稳定;
- 2min 断开与电网的连接,进入孤岛运行,系统应快速响应并继续向本地负载供电;

- c) 记录断开电网进入孤岛过程中的：电压、电流、功率、频率变化情况，以及检测孤岛时间（构网型储能电站识别孤岛状态的时间）；
- d) 孤岛运行期间，分别进行如下两种负载扰动：投入额外 20%负载、切除 20%负载。然后分别测量并记录电压、频率变化；
- e) 孤岛运行持续 30min 或直到电池 SOC 降至 20%，期间持续监测电压、频率稳定性；
- f) 并网恢复操作：同期并网准备 电网恢复后，储能电站进行同期检测，确认电压幅值、相位、频率满足同期条件；满足同期条件后，闭合并网开关，记录同期时间和并网冲击电流；
- g) 重复步骤 a)-f)，进行 3 次有效测试。

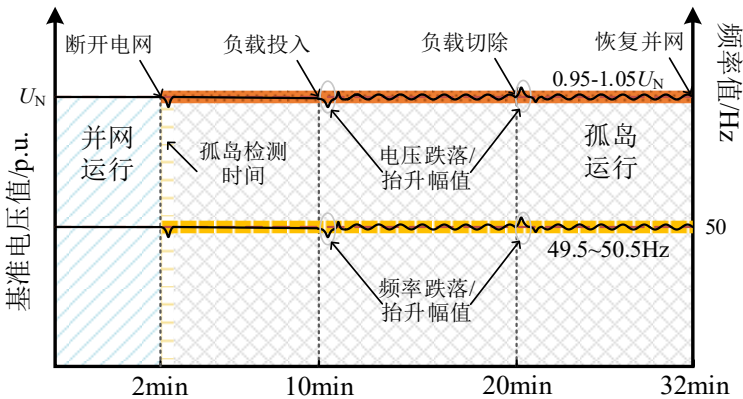


图 5 孤岛运行曲线

测试后需要对数据进行处理，按照如下公式计算孤岛检测时间、孤岛稳定运行时间和并网冲击电流。

- 1) 从与电网断开到电站识别孤岛状态的时间，孤岛检测时间应不大于 200ms；
- 2) 电压跌落/抬升幅度应不高于额定电压的 10%，按公式（16）计算：

$$\begin{cases} \Delta U_{max} = \frac{|U_{min} - U_n|}{U_n} \times 100\% & (\text{负载投入}) \\ \Delta U_{max} = \frac{|U_{max} - U_n|}{U_n} \times 100\% & (\text{负载切除}) \end{cases} \dots\dots\dots (16)$$

频率跌落/抬升幅度应不高于额定频率的 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，按公式（17）计算：

$$\begin{cases} \Delta f_{max} = |f_{min} - f_n| \times 100\% & (\text{负载投入}) \\ \Delta f_{max} = |f_{max} - f_n| \times 100\% & (\text{负载切除}) \end{cases} \dots\dots\dots (17)$$

孤岛运行期间电压持续满足 $0.95\sim 1.05 U_n$ 、频率持续满足 $49.5\sim 50.5\text{Hz}$ 的范围，孤岛稳定运行时间应超过 30min；

- 3) 并网冲击电流是指恢复并网瞬间的峰值电流，同期并网时的冲击电流应不大于 0.2 倍额定电流 I_n 。

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.5 中，通过上述公式得到计算值记录并按照表 7 中的评分标准进行打分。

表 7 孤岛运行特性评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	得分	备注
孤岛检测时间	3	$\leq 100\text{ms}$ （优秀）； $\leq 200\text{ms}$ （合格）			
孤岛稳定运行时间	4	$\geq 60\text{min}$ （优秀）； $\geq 30\text{min}$ （合格）			
并网冲击电流	3	$\leq 0.05 I_n$ （优秀）； $\leq 0.2 I_n$ （合格）			
小计	10				
一票否决项： ☐ 孤岛运行时间 $<10\text{min}$					

6.4 保护与安全评估方法

6.4.1 低电压穿越能力评估

为评估构网型储能电站的低电压穿越（LVRT）能力应满足 T/CES 244-2023 中的测试规定。在评估前系统应满足以下测试条件：储能电站并网运行，50%额定功率放电；电池 SOC：40%~60%；采用电压跌落发生器（或电网模拟器）。测试后需要对数据进行处理，按照如下公式分别计算无功支撑系数和功率恢复时间。

- 记录各电压跌落工况下构网储能电站是否脱网，判定 LVRT 穿越能力；
- 记录 LVRT 期间的无功电流增量 ΔI_q ，按公式（18）计算无功支撑系数：

$$K_{LVRT} = \frac{\Delta I_q}{(0.9 - U) \times I_n} \dots\dots\dots (18)$$

- 功率恢复时间是指电压恢复后，功率恢复至故障前 90%的时间，应不大于 2s。

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.6 中，通过上述公式得到计算值记录并按照表 8 中的评分标准进行打分。

表 8 低电压穿越能力评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	得分	备注
无功支撑系数	5	≥ 2.0 （优秀）； ≥ 1.5 （合格）			
功率恢复时间	5	$\leq 1s$ （优秀）； $\leq 2s$ （合格）			
小计	10	—	—		
一票否决项： ☐ 出现脱网现象 ☐ 不满足 $0.2U_n/625ms$					

6.4.2 高电压穿越能力评估

为评估构网型储能电站的高电压穿越（HVRT）能力应满足 T/CES 244-2023 中的测试规定。在评估前系统应满足以下测试条件：储能电站并网运行，50%额定功率放电；电池 SOC：40%~60%；采用电压升高发生器（或电网模拟器）。

测试后需要对数据进行处理，按照如下公式分别计算无功吸收系数和功率恢复时间。

- 记录各电压升高工况下，构网储能电站是否发生脱网，判定 HVRT 穿越能力；
- 无功电流吸收：

记录 HVRT 期间的无功电流变化量 ΔI_q （负值表示吸收），按公式（19）计算无功吸收系数：

$$K_{HVRT} = \frac{|\Delta I_q|}{(U - 1.1) \times I_n} \dots\dots\dots (19)$$

- 功率恢复时间是指电压恢复后，功率恢复至故障前功率值的 90%，所需要时间应不大于 2s。

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.7 中，通过上述公式得到计算值记录并按照表 9 中的评分标准进行打分。

表 9 高电压穿越能力评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	得分	备注
无功吸收系数	5	≥ 2.0 （优秀）； ≥ 1.5 （合格）			
功率恢复时间	5	$\leq 1s$ （优秀）； $\leq 2s$ （合格）			
小计	10	—	—		
一票否决项： ☐ 出现脱网现象 ☐ 不满足 $1.2U_n/1000ms$					

6.4.3 孤岛检测能力评估

为评估构网型储能电站评估检测非计划性孤岛状态的能力，包括防孤岛保护的检测能力和动作时间，

在评估前系统应满足以下测试条件：储能电站并网运行，配置防孤岛保护；本地负载可调（0~120%储能额定容量）；电池 SOC：40%~60%。孤岛检测能力评估测试步骤：

- a) 调整本地负载，使负载匹配度达到设定值；
- b) 断开与电网的连接，模拟孤岛运行；
- c) 记录防孤岛保护动作时间即从孤岛发生到储能电站脱网；
- d) 重复步骤 1)-3)，负载匹配度分别为：50%、70%、90%、95%、100%、105%、110%、120%；
- e) 每个负载匹配度进行 3 次有效测试；

测试后需要对数据进行处理，按照如下公式分别计算保护动作时间、盲区和误动率。

- 1) 防孤岛保护动作时间要符合 GB/T 36547-2024 的要求，应不大于 2s；
- 2) 统计各负载匹配度下的检测成功率，盲区为检测成功率小于 100%的负载匹配度范围；
- 3) 计划孤岛运行或正常并网运行期间，按误动次数/总运行次数计算防孤岛保护误动率。

测试完成后将得到的数据记录在附录 B.8 中，通过上述公式得到计算值记录并按照表 10 中的评分标准进行打分。

表 10 孤岛检测能力评估打分表

评估项	满分	评分标准	计算值	得分	备注
保护动作时间	3	≤1s（优秀）；≤2s（合格）			
盲区	3	<5%（优秀）；<10%（合格）			
误动率	4	0（优秀）；<1%（合格）			
小计	10	—	—		

7 评估体系

7.1 综合评分计算

7.1.1 基础分计算

基础分 = 构网性能得分 + 运行特性得分 + 保护与安全得分

其中：

构网性能得分：各子项得分之和，满分 50 分；

运行特性得分：各子项得分之和，满分 20 分；

保护安全得分：各子项得分之和，满分 30 分。

将第 6 部分的表 1-表 10 中各评估项测试后计算得到的数据得分进行汇总并按照附录 A 进行统计，最终得到基础总分。

7.1.2 扣分项

检查是否存在以下扣分项并按照表 11 中的评分标准进行扣分。

表 11 扣分项记录表

扣分项目	分数	是否存在	说明	扣分
继电保护缺失	-10 分	☐ 是 ☐ 否		
通信性能	-10 分	☐ 是 ☐ 否		
测试安全隐患	-10 分	☐ 是 ☐ 否		
资料不齐全	-5 分	☐ 是 ☐ 否		
设备铭牌与实际不符	-5 分	☐ 是 ☐ 否		
应急处理方案不完善	-3 分	☐ 是 ☐ 否		
小计	—	—	—	
一票否决项： ☐ 测试数据作假				

将表 11 进行汇总，得到合计扣分，并记录到附录 A。

7.1.3 最终得分

将所得到的基础分和扣分项进行汇总之后，最终得到该构网型储能电站并网运行前技术性能评估总分。

$$\text{最终得分} = \text{基础分} - \text{扣分项}$$

最高分：100 分；最低分：0 分。

7.2 评估等级划分

根据最终得分和一票否决项，将评估等级分为四个等级如下表 12 所示。

表 12 评估等级表

等级	条件	说明
优秀 (A 级)	1) 最终得分 ≥ 90 分； 2) 无一票否决项； 3) 所有关键性能指标达到"优秀"标准。	储能电站技术先进，性能优异，安全可靠，完全满足构网型储能要求，可作为示范工程。
良好 (B 级)	1) 最终得分 80~90 分（不含 90 分）； 2) 无一票否决项； 3) 关键性能指标达到"良好"及以上标准。	储能电站技术成熟，性能良好，安全可靠，满足构网型储能要求，可以并网运行。
合格 (C 级)	1) 最终得分 70~80 分（不含 80 分）； 2) 无一票否决项； 3) 关键性能指标达到"合格"及以上标准。	储能电站基本满足构网型储能要求，可以并网运行，但应在运行中持续改进，提升性能。
不合格 (D 级)	满足以下任一条件即为不合格： 1) 最终得分 < 70 分； 2) 存在一票否决项； 3) 关键性能指标存在"不合格"项。	储能电站不满足构网型储能要求，不得并网运行，应进行整改并重新评估。

附 录 A
(规范性)
××评估打分表××

A.1 总评分表

评估报告编号：_____ 电站名称：_____ 评估日期：____年__月__日

评估项		满分	得分	说明
构网特性评估 (50 分)	惯量特性	10 分		
	阻尼特性	10 分		
	电压源特性	20 分		
	其它性能	10 分		
运行特性评估 (20 分)	黑启动特性	10 分		
	孤岛运行特性	10 分		
保护与安全评估 (30 分)	低电压穿越能力	10 分		
	高电压穿越能力	10 分		
	孤岛检测能力能力	10 分		
基础分合计	—	100 分		
扣分项合计	—	不限		
最终得分	—			

评估等级：☐优秀（A 级） ☐良好（B 级） ☐合格（C 级） ☐不合格（D 级）

一票否决项：☐无 ☐有

评估结论：☐准予并网运行 ☐需整改后复评 ☐不得并网运行

A.2 专家签字表

职务	姓名	单位	签字	备注

附 录 B
(规范性性)
××测试记录表格××

B.1 惯量响应测试记录表

测试日期：____年____月____日 | 测试人员：_____

表 B.1 测试条件

项目	设定值	实测值	备注
运行模式	构网模式		
初始功率	50%额定功率放电	_____MW	
初始频率	50.00Hz	_____Hz	
初始电压	额定电压	_____kV	
电池 SOC	40%~60%	_____%	
虚拟惯量设定值	5s	_____s	

表 B.2 向上阶跃测试数据

测试次数	频率阶跃前功率 P_{before} (MW)	频率阶跃后功率 P_{after} (MW)	功率变化量 ΔP (MW)	响应时间 (ms)	计算惯量 H (s)	惯量精度 K_H (%)
第一次						
第二次						
第三次						
平均值						

表 B.3 向下阶跃测试数据

测试次数	频率阶跃前功率 P_{before} (MW)	频率阶跃后功率 P_{after} (MW)	功率变化量 ΔP (MW)	响应时间 (ms)	计算惯量 H (s)	惯量精度 K_H (%)
第一次						
第二次						
第三次						
平均值						

(表后空一行)

试验波形图

(粘贴试验波形图：频率、功率随时间变化曲线)

B.2 阻尼特性测试记录表

（格式类似，包含：测试条件、测试数据、波形图、签字）

B.3 电压源特性测试记录表

（格式类似，包含：空载建压测试、负载阶跃测试数据、波形图、签字）

B.4 黑启动测试记录表

（格式类似，包含：20 次黑启动测试结果统计、成功率计算、时间记录、签字）

B.5 孤岛运行测试记录表

（格式类似，包含：计划孤岛运行数据、签字）

B.6 低电压穿越测试记录表

（格式类似，包含：各电压跌落工况数据、无功支撑系数、功率恢复时间、波形图、签字）

B.7 高电压穿越测试记录表

（格式类似，包含：各电压升高工况数据、无功吸收系数、功率恢复时间、波形图、签字）

B.8 孤岛检测能力测试记录表

（格式类似，包含：各负载匹配度下的检测时间、盲区统计、误动率统计、签字）

参 考 文 献

- [1] GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- [2] GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- [3] GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差
- [4] GB/T 14285 继电保护和安全自动装置技术规程
- [5] GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- [6] GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术要求
- [7] GB/T 42288 电化学储能电站安全规程
- [8] GB/T 51048 电化学储能电站设计规范
- [9] T/CES 243 构网型储能变流器技术规范
- [10] T/CES 244 构网型储能变流器测试规程
- [11] IEEE Std 1547 电力系统分布式资源互连标准
- [12] IEEE Std 1547 分布式能源资源互连与电力系统标准
- [13] IEEE Std 1547.1 分布式能源资源互连测试标准
- [14] IEC 61850 变电站通信网络和系统 第 7-4 部分：基本通信结构-兼容逻辑节点类和数据对象类