

T/CIEP

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP XXXX—XXXX

构网型新能源场站涉网试验方法

Grid-connected test method for grid-structured new energy stations

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业环保促进会 发布

目 次

前言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 总体要求	4
4.1 被试对象	4
4.2 仪器设备	5
4.3 试验环境要求是否有必要保留?	5
4.4 试验准备	5
4.5 数据采集	6
4.6 安全要求	6
5 试验方法	7
5.1 电压/频率调节特性试验	7
5.2 低电压穿越 (LVRT) 试验	8
5.3 高电压穿越 (HVRT) 试验	8
5.4 惯量响应试验	9
5.5 阻尼特性试验	10
5.6 电能质量测试	10
5.7 黑启动试验	10
5.8 相角跳变试验	11
5.9 一次调频 (过载) 测试	12
5.10 电网适应性试验	12
5.11 电压耐受试验	12
5.12 人工短路试验	13
6 试验数据处理	13
6.1 基础计算方法	13
6.2 专项试验计算方法	14
6.3 分析报告编制	15
7 试验结果判定与报告编写	16
7.1 试验结果判定	16
7.2 试验报告	16
8 归档要求	17
附录 A (资料性) 涉网试验记录表	18
A.1 电压 / 频率调节特性试验记录表	18
A.2 低电压穿越试验记录	18
A.3 高电压穿越试验记录表	18
A.4 惯量响应试验记录表	19

A.5	阻尼特性试验记录表	19
A.6	电能质量测试记录	19
A.7	黑启动试验记录表	20
A.8	相角跳变试验记录表	20
A.9	一次调频（过载）测试记录表	20
A.10	电网适应性试验记录表	20
A.11	电压耐受试验记录表	21
A.12	人工短路试验记录表	21

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。

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。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

构网型新能源场站涉网试验方法

1 范围

本文件规定了构网型新能源场站涉网的总体要求、技术要求、试验方法、实验数据处理、实验结果判定与报告编写的要求。

本文件适用于通过不同电压等级接入电网的新建、改建、扩建构网型新能源场站的涉网试验的活动。本文件不适用于非构网型新能源场站的涉网试验，也不适用于构网型新能源场站内部设备单机调试。

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 6451-2023 油浸式电力变压器技术参数和要求
 GB/T 12326-2008 电能质量 电压波动和闪变
 GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波
 GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
 GB/T 19964-2012 光伏发电站接入电力系统技术规定
 GB/T 31365-2015 光伏发电站接入电网检测规程
 GB/T 40595-2021 电力系统安全稳定导则
 DL/T 995-2016 继电保护和电网安全自动装置检验规程
 DL/T 1236-2021 并网发电厂一次调频试验导则
 Q/GDW 1617-2015 光伏电站接入电网技术规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

构网型新能源场站 *grid-forming new energy station*

采用构网型控制技术，具备模拟传统同步机组惯量、阻尼特性及主动支撑电网电压或频率能力，可接入弱电网、孤岛系统或大规模新能源基地外送系统的新能源场站。

3.2

涉网试验 *grid-connected test*

针对构网型新能源场站与电网交互的核心功能，验证其对电网安全稳定运行适配性的试验，包括电压 / 频率支撑、惯量响应、故障穿越等功能测试。

3.3

频率变化率 *Rate of Change of Frequency (RoCoF)*

电网频率随时间的变化速率，单位为 Hz/s，是衡量构网型场站惯量响应灵敏度的关键指标。

4 总体要求

4.1 被试对象

构网型新能源场站接入电网开展涉网试验应满足以下要求：

- 接入点开关设备：额定电压、额定电流符合场站接入电压等级要求，短路开断能力不低于电网系统短路电流水平；
- 变压器：额定容量、变比符合设计要求，绝缘等级满足 GB/T 6451-2023 规定，短路阻抗实测值与设计值偏差不超过±5%；

- 构网型变流器：控制策略已固化，无故障报警，具备与测试系统的通信接口；
- 保护装置：过流保护、过压保护、欠压保护、过频保护、欠频保护等定值已按电网调度要求整定，动作逻辑正确。

4.2 仪器设备

4.2.1 基础测试仪器

基础测试仪器的性能指标应符合表 1 的要求。

表 1 基础测试仪器的性能要求表

测试仪器类型	精度等级	量程要求	其他要求
功率分析仪	≤0.2 级	电压：0~1.2 倍接入点额定电压； 电流：0~1.5 倍场站额定电流	采样频率≥10kHz，支持谐波分析（至 50 次）
示波器	带宽≥500MHz	电压探头：0~2KV；电流探头0~2KA	采样率≥2GS/s，支持多通道同步采集
频率分析仪	≤0.001Hz	频率范围：45Hz~55Hz	支持 RoCoF 测量（量程：0~10Hz/s）
数据记录仪	≤0.5 级	电压、电流、功率、频率等参数	存储容量≥16GB，支持数据导出（Excel/CSV 格式）
相位测量仪	≤0.1°	相位范围：0° ~360°	支持相位阶跃信号捕捉，响应时间≤1ms

4.2.2 专用测试设备

专用测试设备应满足以下功能与性能要求：

- 模拟电网装置：可模拟电压跌落（0%~100% 额定电压，步长 1%）、电压升高（100%~130% 额定电压，步长 1%）、频率变化（45Hz~55Hz，步长 0.01Hz）及 RoCoF 调节（0~10Hz/s），响应时间≤10ms；
- 负荷模拟装置：可模拟阻感负载、非线性负载，负载功率可调（0%~120% 场站额定功率），功率因数可调（0.8 超前~0.8 滞后）；
- 人工短路试验装置：支持对称 / 不对称短路模拟，短路电流峰值可调，具备瞬态恢复电压特性模拟功能。

4.2.3 仪器设备校准与维护

试验前1个月内完成所有测试仪器的精度校准，校准证书应存档；测试设备使用前应检查连接正确性与运行状态，确保无故障；仪器设备应按说明书要求定期维护，保持性能完好。

4.3 试验环境要求是否有必要保留？

试验应在以下环境条件下开展，超出范围应采取补偿措施并在报告中注明：

- 环境温度：-10℃~40℃；
- 相对湿度：≤85%，无凝露；
- 大气压力：86kPa~106kPa；
- 电磁环境：无强电磁干扰，符合 GB/T 17626.2 的要求；
- 电网背景：试验期间接入点电网电压波动≤±2% 额定电压，频率波动≤±0.1Hz，无明显谐波污染（THD≤5%）。

4.4 试验准备

4.4.1 资料准备

试验前技术预备包括但不限于以下内容：

- 收集场站技术资料：包括接入系统方案、构网型控制策略文档、设备铭牌参数、保护定值清单等；
- 制定试验方案：明确试验项目、试验步骤、数据采集节点、安全措施及应急预案，涉及电网扰动的试验报电网调度机构批准；
- 调试测试系统：检查测试设备连接正确性，试验前 1 个月内完成仪器精度校准，验证与场站通信稳定性。

4.4.2 现场准备

试验前现场预备包括但不限于以下内容：

- 检查场站设备状态：构网型变流器、开关设备、保护装置等处于正常运行状态，无故障报警；
- 布置测试测点：在场站接入点、构网型变流器输出端设置电压、电流测点，确保测点与测试设备连接可靠；
- 落实安全措施：设置试验警示区域，配备绝缘手套、绝缘鞋、验电器等安全防护用品，检查消防设施完好性。

4.5 数据采集

4.5.1 采集参数

采集参数应覆盖试验项目的核心指标见表 2。

表 2 采集参数应覆盖试验项目核心指标表

试验类别	必采参数	可选参数
电压 / 频率调节	接入点电压、频率、有功功率、无功功率	调节响应时间、功率调节精度
高低电压穿越	电压（瞬时值 / 有效值）、电流（瞬时值 / 有效值）、有功 / 无功功率	保护动作时间、脱网状态
惯量响应	频率、有功功率、RoCoF	惯量响应时间、最大有功调节量
阻尼特性	电压 / 频率振荡曲线、振荡频率	阻尼比、振荡衰减时间
电能质量	电压 THD、电流 THD、Pst、Plt	各次谐波含量、电压偏差
黑启动	电压、频率、负荷功率、并网同步参数	启动时间、SOC 变化
相角跳变	相位、电压、电流、保护动作状态	相位误差、响应时间
一次调频	频率、有功功率、调节动作状态	死区范围、超调量
电网适应性	电压、频率、谐波含量、不平衡度	故障穿越时间、功率波动幅度
电压耐受	测试电压、持续时间、泄漏电流	设备温度、绝缘状态
人工短路	短路电流、持续时间、TRV 特性	设备变形量、温升数据

4.5.2 采集频率与精度

4.5.2.1 静态参数

采集频率 $\geq 1\text{Hz}$ ，精度符合测试仪器精度等级。

4.5.2.2 动态参数

采集频率 $\geq 10\text{kHz}$ ，，确保捕捉瞬时响应。

4.5.2.3 数据存储

采用连续存储方式，动态试验存储间隔 $\leq 1\text{ms}$ 、静态试验 $\leq 1\text{s}$ ，原始数据保留时间不少于 1 年。

4.6 安全要求

4.6.1 人员安全防护

人员安全防护应符合以下要求：

- 试验人员应经专项培训，熟悉试验方案及安全操作规程，持证上岗；
- 进入试验现场应穿戴绝缘手套、绝缘鞋、安全帽，携带验电器、绝缘操作杆等防护工具；
- 高压设备附近设置警示标识，试验期间禁止无关人员进入试验区域；
- 开展带电试验时，至少 2 人协同操作，1 人操作、1 人监护，监护人员不应离开现场。

4.6.2 设备安全保护

设备安全保护应符合以下要求：

- 测试设备接线前，应确认场站设备已断电，并用验电器验证无电后再操作；
- 测试设备与场站设备的连接应牢固可靠，避免虚接导致电弧或设备损坏；

- 设定设备保护定值：构网型变流器过电流保护定值 ≤ 1.5 倍额定电流，过电压保护定值 ≤ 1.3 倍额定电压，确保试验过程中设备不超限运行；
- 试验前检查场站保护装置状态，确保过流、过压、欠频等保护功能正常投入，禁止擅自退出保护。

4.6.3 电网安全防控

电网安全防护应符合以下要求：

- 涉及电网扰动的试验，应提前 72h 向电网调度机构提交试验申请，经批准后方可开展；
- 试验期间安排专人与电网调度机构联络，实时反馈试验进度，若出现电网异常，立即停止试验并配合调度处理；
- 制定电网事故应急预案：若试验引发电网振荡或设备跳闸，立即断开场站与电网的连接，启动备用电源（如有），并向调度机构报告；
- 单次试验的扰动幅度、持续时间应符合电网调度要求，避免对电网其他用户造成影响。

4.6.4 过程管控

试验过程安全管控应符合以下要求：

- 试验前召开安全技术交底会，明确各人员职责、试验风险点及防控措施；
- 试验过程中实时监测场站设备及测试设备的运行状态，若发现异常，立即停止试验，排查故障；
- 试验结束后，先断开测试设备电源，再拆除接线，整理试验现场，确保设备恢复至试验前状态；
- 记录试验过程中的安全事件，分析原因并形成报告，避免同类事件重复发生。

5 试验方法

5.1 电压/频率调节特性试验

5.1.1 试验目的

验证构网型新能源场站在电网电压/频率偏离额定值时，主动调节有功/无功功率的能力

5.1.2 试验步骤

5.1.2.1 初始状态设置

启动构网型新能源场站，逐步提升出力至额定功率，稳定运行不少于 10min。

5.1.2.2 电压调节试验

电压调节试验按照以下流程进行：

- 通过模拟电网装置，将接入点电压从额定值降至 95% 额定电压，保持该电压水平运行 5min，记录场站无功功率输出变化；
- 以 1% 额定电压为步长，逐步将接入点电压升至 105% 额定电压，每步稳定运行 3min，同步记录各电压节点的无功功率输出；
- 电压恢复至额定值，稳定运行 5min，过渡至频率调节试验。

5.1.2.3 频率调节试验

电压调节试验按照以下流程进行：

- 通过模拟电网装置，将接入点频率降至 49.5Hz，保持该频率水平运行 5min，记录场站有功功率输出变化；
- 以 0.1Hz 为步长，逐步将接入点频率升至 50.5Hz，每步频率稳定运行 3min，同步记录各频率节点的有功功率输出；
- 完成调频测试后，将频率恢复至额定值，场站降至空载状态，试验结束。

5.1.3 数据记录

按表 A.1 记录试验数据，每个电压/频率节点记录3次瞬时值（间隔 10s），取平均值。

5.2 低电压穿越（LVRT）试验

5.2.1 试验目的

验证构网型新能源场站在电网电压跌落时的并网运行能力及功率支撑特性。

5.2.2 试验步骤

5.2.2.1 初始状态设置

启动场站，提升出力至 80%~100% 额定功率，稳定运行不少于 10min；确认过流保护定值 ≤ 1.5 倍额定电流。

5.2.2.2 故障参数设定

- 故障类型：优先三相短路，其次单相接地短路；
- 故障持续时间：0.15s；
- 电压跌落幅值：按表 3 分级设置，从高幅值向低幅值开展试验。

5.2.2.3 分级

分级试验应按照以下步骤进行：

- 按下表 3 开展每级跌落试验，每级试验间隔不少于 15min；
- 确认接入点电网背景电压波动 $\leq \pm 2\%$ 额定电压，通知电网调度试验准备就绪；
- 施加电压跌落扰动，同步启动数据采集；
- 故障结束后，记录至功率恢复至扰动前 90% 以上，稳定运行 5min；
- 若某一级跌落试验中场站脱网应立即停止试验，分析脱网原因；完成整改后，重新从该级及以下幅值开展试验。

表 3 低电压穿越试验分级表

试验序号	电压跌落幅值（相对于额定电压）	试验优先级	备注
1	100%（无跌落）	1（首测）	验证试验系统稳定性
2	90%	2	轻度跌落工况
3	50%	3	中度跌落工况
4	20%	4	重度跌落工况
5	0%（电压中断）	5（可选）	极端跌落工况

5.2.3 数据记录

按表A.2记录试验数据，应覆盖全时段。

5.3 高电压穿越（HVRT）试验

5.3.1 试验目的

验证构网型新能源场站在电网电压升高（110%~130% 额定电压）时的并网保持能力及功率恢复能力。

5.3.2 试验步骤

5.3.2.1 初始状态设置

启动场站，逐步提升出力至 50%~80% 额定功率，稳定运行不少于 10min；确认过电压保护定值 ≥ 1.3 倍额定电压。

5.3.2.2 电压升高参数设定

通过模拟电网装置，按下面要求设定电压升高参数：

- 电压升高幅值：按表 5 分级；
- 持续时间：0.2s；
- 升压速率： $\leq 10\%$ 额定电压 /ms。

5.3.2.3 分级试验执行

试验流程与低电压穿越试验一致，具体步骤如下：

- 按下表 3 开展每级升高试验，每级试验间隔不少于 15min；
- 确认电网背景电压稳定，通知电网调度试验准备就绪；
- 施加电压升高扰动，同步启动数据采集；
- 电压恢复后，持续记录至电流恢复至额定值以下、功率稳定，运行 5min；
- 若某一级升高试验中场站过电流保护动作应分析动作原因；整改后重新从该级及以下幅值开展试验。

表 4 高电压穿越试验分级表

试验序号	电压升高幅值（相对于额定电压）	试验优先级	备注
1	100%（无升高）	1（首测）	验证试验系统稳定性
2	110%	2	轻度升高工况
3	120%	3	中度升高工况
4	130%	4	重度升高工况

5.3.3 数据记录

按表 A.3 记录试验数据，重点关注过电流峰值。

5.4 惯量响应试验

5.4.1 试验目的

验证构网型新能源场站在不同频率变化率（RoCoF）下的惯量模拟能力。

5.4.2 试验步骤

5.4.2.1 初始状态设置

启动场站，分别设置运行功率点为 30%、50%、80% 额定功率，每个功率点稳定运行不少于 10min；确认惯量控制功能投入。

5.4.2.2 频率扰动参数设定

通过模拟电网装置，施加频率阶跃扰动，设定 RoCoF 工况见表 4，每工况重复测试 3 次，取平均值作为结果。

表 5 惯量响应试验 RoCoF 工况表

工况序号	RoCoF (Hz/s)	频率变化范围	扰动方向	备注
1	1	50Hz→49.5Hz	频率降低	低 RoCoF 工况，验证基础响应能力
2	3	50Hz→49.5Hz	频率降低	中 RoCoF 工况，核心验证项
3	5	50Hz→49.5Hz	频率降低	高 RoCoF 工况，关键验证项
4	1	50Hz→50.5Hz	频率升高	验证双向响应能力

5.4.2.3 多功率点试验执行

按“功率点至工况”的顺序开展试验，具体步骤：

- 场站稳定运行于目标功率点，确认频率稳定在 $50\text{Hz} \pm 0.01\text{Hz}$ ；
- 施加某一 RoCoF 工况的频率扰动，同步启动数据采集；
- 记录至频率恢复稳定、有功功率回归扰动前水平，运行 3min；
- 重复该功率点下的所有工况后，调整至下一功率点，重复上述步骤。

5.4.3 数据记录

按表 A.4 的要求记录试验数据，应包含频率与有功功率的动态响应曲线。

5.5 阻尼特性试验

5.5.1 试验目的

验证构网型新能源场站抑制电网振荡能力。

5.5.2 试验步骤

5.5.2.1 初始状态设置

启动场站，提升出力至额定功率，稳定运行不少于 10min；确认阻尼控制功能投入，记录初始阻尼系数值。

5.5.2.2 小扰动施加

小扰动施加按照下面的要求开展：

- 电压扰动：电压阶跃 $\pm 5\%$ 额定电压，持续时间 0.1s；
- 频率扰动：频率阶跃 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，持续时间 0.1s；
- 按“电压扰动至频率扰动”的顺序开展，每类扰动重复测试 3 次，取平均值。

5.5.2.3 阻尼系数可调场景测试

若场站具备阻尼系数可调功能，按以下步骤测试不同阻尼系数的影响：

- 分别设置阻尼系数为 0.1、0.3、0.5；
- 每种阻尼系数下，施加电压阶跃 $\pm 5\%$ 扰动，记录振荡过程；

5.5.3 数据记录

按表 A.5 的要求记录试验数据，应同步保存电压 / 频率振荡曲线。

5.6 电能质量测试

5.6.1 试验目的

验证构网型新能源场站并网运行时的电能质量水平。

5.6.2 试验步骤

5.6.2.1 测试设备布置

将功率分析仪接入场站接入点，设置采样频率 $\geq 20\text{kHz}$ 。

5.6.2.2 多功率点测试

按25%、50%、75%、100% 额定功率开展测试，每功率点稳定运行不少于 5 min。

5.6.2.3 指标采集

每个功率点稳定后，采集以下电能质量指标，持续记录 5min：

- 谐波：电压总谐波畸变率（THD）、电流总谐波畸变率（THD），及 3 次、5 次、7 次、11 次、13 次谐波含量（占基波百分比）；
- 电压波动与闪变：电压短期闪变值（Pst）、电压长期闪变值（Plt）；
- 电压偏差：实际运行电压与额定电压的偏差百分比。

5.6.3 数据记录

按表 A.6 的要求记录试验数据，取 5min 内的平均值作为该功率点的测试结果。

5.7 黑启动试验

5.7.1 试验目的

验证构网型新能源场站在电网黑启动能力。

5.7.2 试验步骤

5.7.2.1 初始状态设置

场站与电网解列，储能系统荷电状态（SOC） $\geq 80\%$ ，黑启动控制模式启用。

5.7.2.2 自主建压 / 建频

应按照以下步骤进行：

- 启动构网型控制模块；
- 记录电压 / 频率建立时间；
- 稳定运行 10min。

5.7.2.3 带负荷试验

应按照以下步骤进行：

- 逐步投入站内辅助负荷，按以下比例分级投入，每级稳定运行 5min：
- 第一级：20% 站内额定辅助负荷；
- 第二级：50% 站内额定辅助负荷；
- 第三级：100% 站内额定辅助负荷；
- 记录每级负荷投入后的电压 / 频率偏差，判断是否符合稳定要求。

5.7.2.4 并网同步试验

若具备并网条件，开展同期并网试验，操作步骤如下：

- 调整场站电压 / 频率，与电网侧参数同步；
- 发出并网指令，记录并网瞬间的冲击电流；
- 并网后逐步提升场站出力至额定功率，稳定运行 10min，监测无功功率振荡。

5.7.3 数据记录

按表 A.7 记录试验数据，重点关注建压 / 建频时间与并网同步精度。

5.8 相角跳变试验

5.8.1 试验目的

验证构网型新能源场站保护装置对相位突变的响应可靠性。

5.8.2 试验步骤

5.8.2.1 初始状态设置

启动场站，提升出力至额定功率，稳定运行不少于 10min；确认保护装置正常投入。

5.8.2.2 跳变参数设定

跳变参数设定应符合以下要求：

- 跳变幅度： 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 180° ；
- 跳变速度：瞬时跳变（ $< 1\text{ms}$ ）、缓变（10ms、50ms、100ms）；
- 初始相位角： 0° 、 90° 、 180° 、 270° 。

5.8.2.3 试验执行

实验执行应符合以下要求：

- 采用继电保护测试仪输出两路相位可调的电压 / 电流，固定一路相位，另一路进行阶跃变化；
- 模拟系统振荡场景时，相位按正弦规律连续变化，变化率 $4\sim 300^\circ/\text{s}$ ；
- 每种参数组合测试 3 次，同步记录保护装置动作状态与测量误差；
- 恢复初始相位状态，场站稳定运行 5min。

5.8.3 数据记录

按表 A.8 的要求记录试验数据。

5.9 一次调频（过载）测试

5.9.1 试验目的

验证构网型新能源场站一次调频功能的响应特性。

5.9.2 试验步骤

5.9.2.1 初始状态设置

启动场站，提升出力至 50% 额定功率，稳定运行不少于 10min。

5.9.2.2 死区测试

施加频率偏差 $\pm 0.02\text{Hz}$ 、 $\pm 0.033\text{Hz}$ 、 $\pm 0.04\text{Hz}$ ，记录场站调节动作状态；确定实际死区范围，验证是否符合标准要求。

5.9.2.3 阶跃响应测试

人工施加 0.1Hz 阶跃频率信号，记录机组出力变化曲线；计算响应延迟时间、90% 目标出力时间、超调量。

5.9.2.4 限幅测试

施加频率偏差至调节量达到限幅阈值，记录最大调节量与调节速率；验证限幅逻辑与 AGC 指令的配合协调性。恢复频率至额定值，场站稳定运行 5min。

5.9.3 数据记录

按表 A.9 记录数据，每个测试工况重复 3 次。

5.10 电网适应性试验

5.10.1 试验目的

验证构网型新能源场站对电压、频率、电能质量异常的适应能力。

5.10.2 试验步骤

5.10.2.1 电压适应性测试

按 GB/T 31365-2015 开展阶跃扰动试验，覆盖 80%~120% 额定电压范围，记录场站运行状态。

5.10.2.2 频率适应性测试

采用 IEC 61400-21 规定的斜坡变化法，频率范围 48Hz ~ 50.5Hz ，记录响应时间与稳定运行状态。

5.10.2.3 电能质量适应性测试

使用 IEC 61000-4-30 Class A 级测量仪器，采集不同功率点下的谐波、闪变、不平衡度指标。

5.10.2.4 故障穿越适应性测试

按 Q/GDW 1617-2015 规定的电压跌落深度开展试验，记录并网保持时间。

5.10.3 数据记录

按表 A.10 记录数据，每个测试工况稳定运行不少于 5min。

5.11 电压耐受试验

5.11.1 试验目的

验证构网型新能源场站对不同电压异常工况的耐受能力。

5.11.2 试验步骤

5.11.2.1 高压耐受测试

施加额定电压 1.5~3 倍的工频电压，持续 1 分钟，监测绝缘状态；冲击电压测试采用 1.2/50 μ s 波形。

5.11.2.2 低压耐受测试

将电压降至 85% 额定电压，场站带额定负荷运行 1 小时，记录设备温度与功能状态。

5.11.2.3 低电压耐受测试

按 IEC 61000-4-11 要求，模拟电压降至 40%~70% 额定值，持续 10~600 个周期，验证设备运行状态。

5.11.2.4 低高电压耐受测试

按 IEC 61000-4-14 要求，将电压升至 110%~120% 额定电压，持续运行 30 分钟，监测开关电源与电容状态。

5.11.3 数据记录

按表 A.11 的内容记录数据。

5.12 人工短路试验

5.12.1 试验目的

验证构网型新能源场站设备在短路故障下的耐受能力及保护系统动作性能。

5.12.2 试验步骤

5.12.2.1 初始状态设置

启动场站，提升出力至 80% 额定功率，稳定运行不少于 10min；确认保护装置定值正确。

5.12.2.2 故障参数设定

故障参数设定应符合以下要求：

- 故障类型：三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路；
- 短路电流峰值：1.0 倍、1.2 倍、1.5 倍额定电流；
- 持续时间：100ms、200ms、500ms；
- 功率因数： ≤ 0.15 。

5.12.2.3 试验执行

试验区域设置多重物理隔离，采用远程控制触发，配置高速录波设备（采样率 ≥ 1 MHz），进行预放电检测，施加短路扰动，同步记录故障前、中、后电气量变化，测试结束后，测量设备变形量、温升，开展绝缘性能复测与 X 光探伤检查。

5.12.3 数据记录

按表 A.12 的内容记录数据。

6 试验数据处理

6.1 基础计算方法

6.1.1 相对误差计算

用于评估试验数据与理论值 / 标准值的偏差，公式为：

$$\frac{|X_{标准} - X_{实测}|}{X_{标准}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： δ —— 相对误差（%）；

$X_{实测}$ —— 试验中实际采集的参数值（如电压、电流、功率等）；

$X_{标准}$ —— 第 5 章技术要求值（如 5.1 电压调节灵敏度“ $\geq 2\% Q_n$ ”）或设备设计值（如变流器额定功率）。

6.1.2 算术平均值计算

用于所有试验“多组重复测试数据”的误差消除，默认每工况重复测试 3 次，取 3 次实测值的平均数，结果作为该工况的最终数据。

6.1.3 响应时间计算

用于所有动态响应类试验，计算时，从扰动信号施加时刻，到参数达到“稳定阈值”的时间差，单位为 ms，结果保留整数。

6.2 专项试验计算方法

6.2.1 电压 / 频率调节特性

6.2.1.1 电压调节灵敏度：先算电压偏离额定值的百分比，再算对应无功功率变化的百分比，两者比值即为灵敏度。

6.2.1.2 频率调节灵敏度：频率偏离额定值 0.1Hz 时，对应有功功率变化的百分比。

6.2.1.3 稳态功率偏差：取工况稳定后（持续 3min）的有功功率实测值，与该工况理论目标功率的绝对差值，与额定有功功率之比。

6.2.2 低电压穿越

6.2.2.1 过电流倍数：取电压跌落期间的最大电流值（故障峰值电流），除以场站额定电流，结果即为过电流倍数。

6.2.2.2 功率恢复时间：从电压跌落故障结束时刻开始，到有功功率恢复至“故障前功率 90%”的时间差。

6.2.3 高电压穿越

6.2.3.1 电流恢复时间：从接入点电压恢复至额定值（100% U_n ）的时刻开始，到电流恢复至额定电流的时间差。

6.2.3.2 过电压保护动作值：对比保护装置实际动作时的电压值与设定动作值，用相对误差判断。

6.2.4 惯量响应

6.2.4.1 惯量常数计算

计算不同功率点、不同 RoCoF 下的惯量常数（J），公式为：

$$J = \frac{2\Delta P}{\Delta RoCoF} \quad (1)$$

式中： ΔP —— 有功功率调节量（kW）；

$\Delta RoCoF$ —— 频率变化率（Hz/s）。

6.2.4.2 RoCoF 计算

通过频率变化曲线的斜率计算，公式为：

$$RoCoF = \frac{\Delta f}{\Delta t} \quad (1)$$

式中： Δf —— 为频率变化量（Hz）；

Δt —— 为频率变化的时间间隔（s）。

6.2.5 阻尼特性

计算阻尼比通过电压 / 频率振荡曲线，采用对数衰减率法计算，公式为：

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)}{2\pi \sqrt{1 + \left(\frac{\ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)}{2\pi}\right)^2}} \dots\dots\dots (1)$$

式中： ζ —— 阻尼比；
 A_1 、 A_2 —— 相邻两个振荡峰值。

6.2.6 电能质量

总谐波畸变率（THD）：通过功率分析仪直接读取电压、电流的 THD 值。闪变值分析直接读取功率分析仪显示的短时闪变值（Pst）和长期闪变值（Plt）。

6.2.7 黑启动

6.2.7.1 电压 / 频率建立时间：从黑启动控制模块启动时刻开始，到电压稳定在“95% U_n ~105% U_n ”、频率稳定在“49.8Hz~50.2Hz”的时间差。

6.2.7.2 并网成功率：开展 3 次并网试验，统计“冲击电流 \leq 1.2 倍额定电流且无脱网”的成功次数、成功率。

6.2.8 相角跳变

6.2.8.1 相位测量误差：对比继电保护测试仪的设定相位值与保护装置的实测相位值，用相对误差判断。

6.2.8.2 动作时间：从相位跳变信号施加时刻开始，到保护装置动作的时间差，与产品技术要求值对比，用相对误差判断。

6.2.9 一次调频（过载）

6.2.9.1 死区范围：通过施加不同幅度的频率偏差，记录场站开始调节的最小频率偏差。

6.2.9.2 超调量：取一次调频响应中的有功功率峰值，与理论目标功率的绝对差值，除以目标功率后乘以 100%。

6.2.9.3 调节速率：计算有功功率从初始值变至稳定值的变化量，除以额定有功功率和调节时间。

6.2.10 电网适应性

6.2.10.1 电压波动幅度：取电压阶跃扰动后的峰值与扰动前稳定值的绝对差值，除以额定电压后乘以 100%。

6.2.10.2 频率响应时间：从频率偏离额定值时刻开始，到场站开始调节的时间差。

6.2.10.3 电压不平衡度：通过测试设备读取负序电压与正序电压的比值乘以 100%。

6.2.11 电压耐受

6.2.11.1 泄漏电流偏差：对比高压耐受试验中的实测泄漏电流与设备允许泄漏电流，用相对误差判断。

6.2.11.2 温升：取低压耐受试验后的设备温度，与试验前温度的差值。

6.2.12 人工短路试验

6.2.12.1 设备变形量偏差：对比短路后设备实测变形量与标准允许变形量，用相对误差判断。

6.2.12.2 连接部位温升：取短路后连接部位的最高温度，与试验环境温度的差值。

6.2.12.3 绝缘性能：验证短路后开展工频耐压试验，对比试验电压实测值与规定电压，用相对误差判断。

6.3 分析报告编制

数据分析报告应包含以下内容：

- 试验概况：试验日期、地点、场站信息、测试设备清单；
- 数据采集情况：采集参数、采集频率、数据完整性说明；
- 计算结果：基础计算值、专项分析结果；
- 合格性判定：逐项对比试验结果与附录 A 的合格判据，给出“合格 / 不合格”结论；
- 问题分析：对不合格项目，分析可能的原因；
- 优化建议：针对问题提出参数调整、控制策略改进等建议。

7 试验结果判定与报告编写

7.1 试验结果判定

7.1.1 合格判定

结合第5章各试验项目的实测数据，和第6章的计算方法，逐项验证是否满足对应的指标要求。

7.1.2 不合格项目处理流程

7.1.2.1 原因分析

组织试验机构、场站运营方、设备厂商联合分析不合格原因，形成报告，应重点排查以下因素：

- 设备参数设置问题；
- 控制策略缺陷；
- 试验条件偏差；
- 测试设备误差。

7.1.2.2 整改实施

根据原因分析结果制定整改方案，明确整改措施、责任方及完成时限，如表 13 所示。

表 6 不合格项整改分析表

不合格项目	原因	整改措施

7.1.2.3 复测验证

整改完成后，仅对不合格项目及关联项目开展复测，复测流程与原试验一致；复测合格则该项目判定为“最终合格”，仍不合格应重新分析整改，直至合格或确认设备不满足技术要求。

7.2 试验报告

7.2.1 封面

标明报告名称、场站名称、试验机构名称、报告编号、试验日期、编制 / 审核 / 批准人签名。

7.2.2 目录

列出各章节及附录的页码。

7.2.3 试验概况

试验概况部分应包括以下内容：

- 试验目的：简述试验的核心目标；
- 试验依据：明确依据本文件及电网调度机构特殊要求；
- 场站基本信息：场站类型、核心设备型号、接入点参数。

7.2.4 试验条件

试验条件应包括以下内容：

- 环境条件：试验期间的温度、湿度、大气压力（应符合 5.3 要求，超出应说明）；
- 设备条件：测试设备清单、场站设备状态；
- 电网背景：试验期间接入点电压 / 频率波动、谐波含量（符合 5.3 要求）。

7.2.5 试验过程

试验过程应包括以下内容：

- 试验项目：列出本次开展的试验项目；
- 操作步骤：简述各项目的关键步骤；
- 异常情况：记录试验中出现的异常及处理措施。

7.2.6 试验结果

试验结果应包括以下内容：

- 数据汇总：按试验项目整理实测数据；
- 合格判定：逐项对照附录 A 判据，给出“合格 / 不合格”结论，不合格项应注明原因；
- 整改与复测：若存在不合格项，说明整改措施及复测结果。

7.2.7 试验结论

试验结论应包括以下内容：

- 整体结论：明确本次试验的整体结果；
- 建议：提出后续运行、参数优化或设备改进的建议。

7.2.8 附录

附录应包括以下内容：

- 附录 1：原始数据记录表；
- 附录 2：测试设备校准证书复印件；
- 附录 3：不合格项目整改方案及复测报告（如有）。

8 归档要求

附录 A
(资料性)
涉网试验记录表

A.1 电压 / 频率调节特性试验记录表

表 A.1 电压 / 频率调节特性试验记录表

试验类型	调节参数 (额定值百分比 / Hz)	接入点电压 (kV)	接入点电流 (A)	有功功率 (MW)	无功功率 (Mvar)	调节响应时间 (ms)	备注
电压调节	95%						
电压调节	96%						
电压调节	97%						
电压调节	98%						
电压调节	99%						
电压调节	100%						
电压调节	101%						
电压调节	102%						
电压调节	103%						
电压调节	104%						
频率调节	49.5Hz						
频率调节	49.6Hz						
频率调节	49.7Hz						
频率调节	49.8Hz						
频率调节	49.9Hz						
频率调节	50.0Hz						
频率调节	50.1Hz						
频率调节	50.2Hz						
频率调节	50.3Hz						
频率调节	50.4Hz						
频率调节	50.5Hz						

注：调节响应时间指“参数开始变化至功率开始调节”的时间间隔，通过示波器或数据记录仪捕捉。

A.2 低电压穿越试验记录

表 A.2 低电压穿越试验记录表

试验序号	跌落幅值	故障类型	故障持续时间 (s)	故障前 1s		故障中 (峰值)		故障后 3s		脱网状态	备注
				电压 (kV)	功率 (MW)	电压 (kV)	电流 (kA)	电压 (kV)	功率 (MW)		
1	100%	-	-			-	-			无	
2	90%										
3	50%										
4	20%										
5	0% (可选)										

注：电流应记录三相瞬时值与有效值峰值，功率分别记录有功、无功功率。

A.3 高电压穿越试验记录表

表 A.3 高电压穿越试验记录表

试验序号	升高幅值	持续时间 (s)	升高前 1s		升高中 (峰值)		升高后 3s		过流保护动作	备注
			电压 (kV)	电流 (kA)	电压 (kV)	电流 (kA)	电压 (kV)	电流 (kA)		
1	100%	-			-	-			无	
2	110%									
3	120%									
4	130%									

注：电流应记录三相有效值与峰值，判断是否超过 1.5 倍额定电流（附录 A 合格判据要求）。

A.4 惯量响应试验记录表

表 A.4 惯量响应试验记录表

功率点	工况序号	RoCoF (Hz/s)	频率变化范围	惯量响应时间 (ms)	最大有功调节量 (MW)	有功恢复时间 (s)	备注
30%	1	1	50→49.5Hz				
30%	2	3	50→49.5Hz				
30%	3	5	50→49.5Hz				
30%	4	1	50→50.5Hz				
50%	1	1	50→49.5Hz				
50%	2	3	50→49.5Hz				
50%	3	5	50→49.5Hz				
50%	4	1	50→50.5Hz				
80%	1	1	50→49.5Hz				
80%	2	3	50→49.5Hz				
80%	3	5	50→49.5Hz				
80%	4	1	50→50.5Hz				

注：惯量响应时间指“频率开始变化至有功功率达到最大调节量”的时间，有功恢复时间指“功率达到峰值至回归扰动前水平”的时间。

A.5 阻尼特性试验记录表

表 A.5 阻尼特性试验记录表

扰动类型	扰动参数	阻尼系数	振荡频率 (Hz)	振荡衰减时间 (s)	阻尼比 (ζ)	最大振荡幅度 (% 额定值)	备注
电压扰动	+5% 阶跃	0.3					
电压扰动	-5% 阶跃	0.3					
频率扰动	+0.2Hz	0.3					
频率扰动	-0.2Hz	0.3					
电压扰动	+5% 阶跃	0.1 (可调)					
电压扰动	+5% 阶跃	0.5 (可调)					

注：振荡衰减时间指“扰动结束至振荡幅度 $\leq\pm 0.5\%$ 额定值”的时间，阻尼比按 7.2.1b) 公式计算。

A.6 电能质量测试记录

表 A.6 电能质量测试记录表

运行功率点 (% 额定功率)	电压 THD (%)	电流 THD (%)	谐波含量 (% 基波)					电压偏差 (%)	Pst	Plt
			3 次	5 次	7 次	11 次	13 次			
25										
50										
75										

运行功率	电压 THD	电流 THD	谐波含量 (% 基波)				电压偏差	Pst	Plt
100									
注：谐波含量应记录至 50 次，表中列出主要谐波次数（3、5、7、11、13 次），其余谐波含量汇总记录为“其他次谐波合计”。									

A.7 黑启动试验记录表

表 A.7 黑启动试验记录表

试验阶段	电压建立时间 (s)	频率建立时间 (s)	负荷投入比例 (%)	电压偏差 (%)	频率偏差 (Hz)	并网同步参数			并网冲击电流 (kA)
						电压差 (%)	频率差 (Hz)	相角差 (°)	
自主建压 / 建频			-			-	-	-	-
带负荷试验	-	-	20			-	-	-	-
带负荷试验	-	-	50			-	-	-	-
带负荷试验	-	-	100			-	-	-	-
并网同步试验	-	-	-						
注：并网试验重复 3 次，记录并网成功率（成功次数 / 总次数 × 100%），附录 A 合格判据要求成功率 ≥ 90%。									

A.8 相角跳变试验记录表

表 A.8 相角跳变试验记录表

试验序号	初始相位角 (°)	跳变幅度 (°)	跳变速度	保护动作状态	相位测量误差 (°)	响应时间 (ms)	备注
1	0	30	瞬时 (<1ms)				
2	0	30	10ms				
...				
n	270	180	100ms				

A.9 一次调频（过载）测试记录表

表 A.9 一次调频（过载）测试记录表

试验类型	测试参数	调节动作状态	响应延迟时间 (s)	90% 目标出力时间 (s)	超调量 (%)	最大调节量 (% P _n)	调节速率 (% P _n /min)	备注
死区测试	+0.02Hz		-	-	-	-	-	
死区测试	±0.033Hz		-	-	-	-	-	
死区测试	+0.04Hz		-	-	-	-	-	
阶跃响应	+0.1Hz						-	
阶跃响应	-0.1Hz						-	
限幅测试	+0.3Hz		-	-	-			
限幅测试	-0.3Hz		-	-	-			

A.10 电网适应性试验记录表

表 A.10 电网适应性试验记录表

试验类型	测试参数	运行状态	响应时间 (ms)	电压 THD (%)	频率偏差 (Hz)	不平衡度 (%)	备注
电压适应性	80% U_n (额定电压 35kV)						
电压适应性	90% U_n						
电压适应性	100% U_n (额定值)						
电压适应性	110% U_n						
电压适应性	120% U_n						
频率适应性	48Hz (极限下限)						
频率适应性	49Hz						
频率适应性	49.5Hz (正常下限)						
频率适应性	50Hz (额定值)						
频率适应性	50.2Hz (正常上限)						
频率适应性	50.5Hz (极限上限)						
电能质量适应性	50% P_n						
电能质量适应性	75% P_n						
电能质量适应性	100% P_n						
故障穿越适应性	电压跌落 0% U_n (三相短路)						
故障穿越适应性	电压跌落 20% U_n						
故障穿越适应性	电压跌落 50% U_n						
故障穿越适应性	电压跌落 90% U_n						

A.11 电压耐受试验记录表

表 A.11 电压耐受试验记录表

试验类型	测试电压 (% U_n)	持续时间	泄漏电流 (mA)	设备温度 (°C)	绝缘状态	功能状态	备注
高压耐受	150	1min					工频电压
高压耐受	300	1.2/50 μ s					冲击电压
低压耐受	85	1h					带额定负荷
低低电压耐受	40	10 个周期					
低低电压耐受	70	600 个周期					
低高电压耐受	110	30min					
低高电压耐受	120	30min					

A.12 人工短路试验记录表

表 A.12 人工短路试验记录表

试验序号	故障类型	短路电流 峰值 (倍 I_n)	持续时间 (ms)	功率因数	故障前电 压 (kV)	故障中电 流 (kA)	设备变形 量 (mm)	温升 ΔT (K)	绝缘复测 结果	备注
1	三相短路	1.0	100	≤ 0.15						
2	三相短路	1.5	500	≤ 0.15						
3	单相接地 短路	1.2	200	≤ 0.15						
...						

