

《66kV~220kV 电缆交流激励式振荡波局部放电现场测试导则》

编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

1 主要工作过程

起草(草案、调研)阶段:2021年9月1日成立工作组、针对《66kV~220kV 电缆交流激励式振荡波局部放电现场测试导则》进行了初步编制,10月23日完成征求意见稿

征求意见阶段:于2021年11月1日开始内部征求意见、2021年12月30日结束征求意见、于2022年1月3日起至2022年5月6日处理意见,

2022年5月9日开始公开征求意见、2021年6月9日结束征求意见、

*其中,6家单位共提出6条意见或建议。(见团体标准征求意见汇总表)

送审阶段:

报批阶段:

*工作组按照会议审查意见对标准送审稿作了进一步的修改、整理和完善,于××年××月形成了标准报批稿、编制说明及其它相关文件,报至××××专业分会。

2 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

本标准由中国南方电网有限责任公司超高压输电公司贵阳局、国网青海省电力公司、国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司、国网陕西省电力有限公司、西安交通大学、国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、国网青海省电力公司电力科学研究院、西安舜越电气科技有限公司、西安和润电力科技有限公司,共同负责起草。

主要成员:吕刚、李洪杰、刘文泉、徐世山、王晓峰、姚建光、张仲秋、杨明彬、马煜、林涛、郑健康、蒲路、赵学风、张永胜、孙德志、田君杰、陈俊德、马育林、严文、展飞、窦巍、谈生磊、马玺尧、卢雨欣、何维晟、颜源、韩强

所做的工作:

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司贵阳局的吕刚只作标准牵头人统一对标准的编制进行资源协调,根据计划要求的时间节点进行任务完成情况的检查及过程监督,同时负责与标委会进行沟通。

国网青海省电力公司、国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司、国网陕西省电力有限公司的刘文泉、徐世山、王晓峰、姚建光、马煜、林涛、郑健康、张永胜、孙德志、田君杰、陈俊德、马育林、严文、展飞、窦巍、谈生磊，负责标准在实际工况情况下的应用进行协调安排，为标准中的试验数据采集提供实际条件，并对标准在实际中应用提出改进意见，同时开展交流激励式振荡波系统现场试验操作流程讨论工作。

西安交通大学的李洪杰、卢雨欣、何维晟、颜源开展交流激励式振荡波电压波形参数研究工作、交流激励式振荡波电压与工频电压等效性研究工作、开展电缆典型缺陷在交流激励式振荡波电压作用下放电特征研究工作

国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、国网青海省电力公司电力科学研究院的张仲秋、杨明彬、蒲路、赵学风进行现场验证试验中标准的应用情况的验证。

西安舜越电气科技有限公司、西安和润电力科技有限公司的马玺尧、韩强开展交流激励式振荡波应用情况调研工作、及标准对于现有试验标准情况调研工作，组织完成验证标准的试验的组织协调工作，同时收集各方征求意见。

- 无变更时，与计划一致且与对应阶段标准文本（××稿）一致。
- 如有牵头单位变更，名称后加括号注明，并在第十二项“其他应予说明的事项”中详细说明。
- 此处对标准文本中出现的起草单位和成员必须全部列出，并介绍其承担的工作。

二、标准编制原则和主要内容

1、标准编制原则

通过科研项目研究和现场试验的应用来引领标准的制定，本标准对 66kV~220kV 高压电缆交流激励式振荡波局部放电检测试验给出了明确的规范，明确指出了开展试验的流程，并对试验结果的分析提供了依据。

2、标准主要内容

1 交流激励式振荡波系统及辅助设备

1.1 测试系统

66kV~220kV 高压电缆交流激励式振荡波局部放电检测系统主要由调频电源、固态开关、励磁变压器、谐振电感、分压器、局部放电检测阻抗、分布式局部放电检测传感器、双端时钟同步装置、数据采集单元以及被试电缆组成。

1.2 辅助设备

- (1) 局部放电校准器：需要具有 20pC-100nC 范围内逐级或连续可调的电荷量输出。
- (2) 低压时域反射仪
- (3) 补偿电容器

2 测试要求

2.1 测试环境要求

- (1) 环境温度： $-10^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$
- (2) 相对湿度：不大于 85% (25°C)，无凝露

2.2 测试对象要求

(1) 被测电缆应与其他设备断开，电缆被测相终端应有足够绝缘距离，其他相应可靠接地；

(2) 试验前应解开电缆交叉互联系统并改为同相屏蔽层直连；

(3) 被测电缆线路绝缘电阻应不低于 $30\text{M}\Omega$

2.3 测试电压要求

(1) 衰减要求：测试电压第一与第二峰值电压之差与第一峰值电压比值不大于 15%；

(2) 频率范围：测试电压频率为 $20\text{Hz}\sim 500\text{Hz}$

(3) 容许偏差：在整个测试过程中，测试电压值应保持在规定电压值的 $\pm 3\%$ 之内

3 测试步骤

3.1 现场准备

3.1.1 状态确认

确认待测电缆已断电，使用放电棒充分放电并保持接地，拆除电缆终端一次引下线，电缆端部悬空，非试验相保持接地。

3.1.2 电缆线路终端为较高终端塔

当电缆线路终端为较高终端塔时，若为测试端，可以采用延长高压试验引线方式进行测试，但应对延长连接线造成的干扰增大、检测灵敏度下降等因素对测试结果的影响进行评估。若为非测试端，则应拆除与其他设备的连接并保持足够的安全试验距离。

3.1.3 电缆线路终端为气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 终端

当电缆线路终端为 GIS 终端时，若为测试端，试验前拆除电压互感器、避雷器并安装试验套管；若为非测试端，则应拆除 GIS 电缆筒导体。

3.1.4 接地及防电晕

试验应尽可能采用单点接地，采用专用高压屏蔽线，且高压端采用防晕连接措施。

3.2 绝缘电阻测量

使用绝缘电阻表在 2500V 或 5000V 量程测量电缆绝缘电阻，阻值小于 $30\text{M}\Omega$ 或三相绝缘电阻之比超过 1.5 倍时，不宜开展振荡波测试。

3.3 电缆长度及接头位置确认

在设备台账中读取电缆长度和接头位置，并使用低压时域反射仪确认。

3.4 现场局部放电量校准

在 $20\text{pC}\sim 100\text{nC}$ 范围内进行逐档校准，校准完成后移除校准器。

3.5 测试电压选择

根据电缆类型选择施加试验电压。若被测电缆为新敷设或投运 1 年以内的电缆，按照表 1 内容施加测试电压。

若被测电缆运行年限较久（如 5 年以上）的电缆，应考虑到运行年份、环境条件、击穿经历以及试验目的，协商确定试验电压和次数，但对于 66kV 、 110kV 以及 220kV 的电缆最高试验电压分别不得超过 $1.6U_0$ 、 $1.6U_0$ 以及 $1.1U_0$ 。

若测试过程中发现放电量急剧增加，应停止升压测试，尝试定位排查潜在缺陷。

表 1 新敷设或投运 1 年内电缆振荡波局部放电试验中各测试电压及次数

电压等级	试验电压与次数											
	66kV	电压/U0	0	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.8	2.0	1.5
次数		1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	1
110kV	电压/U0	0	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.5	1.7	1.5	0	-
	次数	1	1	1	1	5	5	5	5	5	1	-
220kV	电压/U0	0	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.4	1.2	0	-	-
	次数	1	1	1	1	5	5	5	5	1	-	-

3.6 局部放电的测量

根据不同的电缆类型、电缆长度以及现场实际状况，可以采用以下两种方式进行局部放电的测量：

(1) 对于长度小于 2km 的电缆线路，可以直接在电缆测试端采用局部放电检测阻抗进行测量；

(2) 对于长度大于 2km 的电缆线路或对局部放电灵敏度要求较高的情况下，采用基于双端时钟同步的分布式局部放电测量：每个分布式测量区间两端的局部放电检测传感器可以通过光纤通讯、GPS 授时或脉冲耦合方式实现。

4 结果处理方法

4.1 测试结果

4.1.1 波速与中接头位置

由低压时域反射仪测量并与台账信息对比确认。

4.1.2 局部放电起始电压 (PDIV)

记录局部放电量首次超过 20pC (或试验现场背景噪声) 的施加试验电压水平。

4.1.3 局部放电量

多次施加某电压下振荡波测试系统统计分析所得的局部放电最大值。

4.1.4 局部放电位置

(1) 采用测试端局部放电检测阻抗进行测量

局部放电源位置与测试端的距离 x 为

$$x=Lc-v\Delta t/2$$

式中，

Lc 为被测电缆全长，单位 m ； v 为电缆中的波速，单位为 m/s ， Δt 为放电点处产生的局部放电信号分成两个相等的脉冲信号并沿相反方向传播，两个脉冲到达测量端的时间差，单位 s 。

(2) 采用基于双端时钟同步的分布式局部放电测量

确定局部放电位置两侧的局部放电检测传感器 H1 和 H2，判定依据为传感器 H1 及其左侧传感器信号幅值依次递减，传感器 H2 及其右侧传感器信号幅值依次递减。

在实现局部放电检测数据的时钟同步后，根据局部放电信号到达局部放电传感器 H1 和 H2 的时间差 t ，计算出局部放电源位置距传感器 H1 的距离 x 为

$$x=(L_H-v\Delta t) /2$$

式中，

L_H 为传感器 H1 和 H2 之间的距离，单位 m ； v 为电缆中的波速，单位为 m/s ， Δt 为放电点处产生的局部放电信号分成两个相等的脉冲信号并沿相反方向传播，两个脉冲到达 H1 和 H2 的时间差，单位 s 。

4.2 处理方法

根据被测电缆的类型、运行年限、运行环境、局部放电测试结果以及缺陷所处的具体位

置等多方面因素综合考虑被测电缆的处理方式。

3、主要技术差异

66kV~220kV 电缆交流激励式振荡波相较于传统的工频或类工频电压下的高压电缆局部放电检测技术，该技术具有设备体积小、重量轻、便于现场运输及操作等多方面的优势。

66kV~220kV 电缆交流激励式振荡波通过调频谐振方式进行升压，通过非高压的固态开关实现振荡波的产生，该技术在经济上相较于传统的振荡波具有较大的优势。此外，传统的直流激励式振荡波检测技术，对于高压电缆而言，直流充电阶段时间较长，可能存在空间电荷累积的风险，而交流激励式振荡波技术通过谐振方式升压，具有对电缆无损的优势。

对于较长电缆或对局部放电检测有灵敏度要求的情况下，采用 66kV~220kV 电缆交流激励式振荡波激励配合基于双端时钟同步的分布式局部放电检测，能够对长电缆保持较高局部放电检测的灵敏度，获得更为精确的局部放电量和局部放电定位结果。

使用交流激励式振荡波技术开展 66kV~220kV 电缆的局部放电检测试验，能够通过较高的经济性、现场操作便利性、测试结果准确性来保障高压输电电缆的安全、可靠及稳定运行，大大提高电力系统的运行效率和运行可靠性，有效支持社会经济发展，有着重要的意义。

4、解决的主要问题

高压电缆绝缘的安全可靠直接关系到城市输电网络的稳定性，无论是在电缆线路交接时还是在日后电缆的运维过程中，都需要通过有效的高压试验确保高压电缆线路的安全可靠运行。局部放电检测作为一种非破坏性试验，能够检测并定位高压电缆中的微小缺陷。为了满足高压电缆试品的现场可操作性，可以采用振荡波技术开展高压电缆局部放电检测。而传统的直流激励式振荡波经济性较低以及充电阶段的产生空间电荷情况，交流激励式的振荡波技术得到了越来越多的关注。然而，通过交流激励式的振荡波技术开展高压电缆局部放电检测和定位的方法，尤其在振荡波测试过程中如何利用双端时钟同步技术实现分布式局部放电测试及分析，尚未形成相关的指导规范。本标准针对这一问题，规范了 66kV~220kV 高压电缆交流激励式振荡波局部放电检测技术的测试系统组成、现场操作步骤，并对结果处理方法提供依据。

三、主要试验（或验证）情况

为确保标准的可靠性和科学性，已在试验室模拟线路和现场实际电缆线路上开展了深入的研究工作和验证试验，基于试验结果对标准中的相关数据进行反复修正，完善标准的

同时也验证了该标准的适用性和准确性。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

本标准填补了 66kV~220kV 高压电缆交流激励式振荡波局部放电现场测试领域的空白，对交流激励式振荡波局部放电现场试验方法进行统一规范，并未测试结果提供判断依据，对于高压电缆绝缘状态评估试验具有重要意义。

六、与国际、国外对比情况

本标准没有采用国际标准；

本标准修订过程中未测试国外的样品、样机；

本标准水平为国内先进水平。

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与相关技术领域的国家现行法律、法规和政策保持一致。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无

九、标准性质的建议说明

建议本标准的性质为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准批准发布 7 天后实施。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

无。