

《72.5kV~1100kV 气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）振动量在线监测技术应用导则》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：2020年10月13日成立标准工作组，针对《72.5kV~1100kV 气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）振动量在线监测技术应用导则》进行了初步编制，2023年11月2日完成征求意见稿。

征求意见阶段：2023年11月3日至2023年12月3日完成征求意见工作。

2 主要参加单位和起草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曲靖局、华中科技大学、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司生技部、国网河南省电力科学研究院、湖北省计量测试技术研究院、国网河南省电力公司直流中心、国网河南省电力公司超高压公司、西安西开高压电气股份有限公司、山东泰开高压开关有限公司、武汉智能装备工业技术研究院有限公司共同负责起草。

主要成员：臧春艳、陈静、方苏、盛康、张利、董曼玲、汤会增、徐爱华、王典浪、张伟、解克佳、郭果、刘春、蒋龙、许昊、兰浩、詹振宇、刘锦蕙、张瑞、胡翔、石文中、高志强

所做的工作：

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司曲靖局作为标准牵头单位，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。

华中科技大学、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司生技部、湖北省计量测试技术研究院开展了标准中振动量在线测量技术的具体实现方案研究工作、GIL设备振动特征量的阈值研究工作。

国网河南省电力科学研究院、国网河南省电力公司超高压公司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指导意见，同时对现场试验操作流程开展讨论工作。

国网河南省电力公司直流中心、西安西开高压电气股份有限公司进行现场验证试验中标准的应用情况验证，并提出 GIL 振动量在线监测系统的各类试验要求。

山东泰开高压开关研究院、武汉智能装备工业技术研究院有限公司开展 GIL 设备振动量在线监测技术应用情况调研工作、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。

二、标准编制原则和主要内容

1、标准编制原则

通过科研项目的研究和现场试验的应用来引领标准的制定，本标准对 72.5kV~1100kV 气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）振动量在线监测技术应用给出了明确的指导，规定了 GIL 振动量在线监测技术在工程现场应用需要满足的一般应用条件、系统架构、技术要求、试验要求、现场应用指导等，本标准依据 GB/T 1.1《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》制定。

2、标准主要内容

1 关于范围

本标准规定了 72.5kV~1100kV 气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）振动量在线监测技术的一般应用条件、系统架构、技术要求、试验要求、现场应用指导等要求。

本导则适用于交、直流地上型和地下管廊型 GIL 设备的振动量在线监测与故障诊断，涉及 GIL 振动量在线监测装置的设计、选型、交接验收、现场应用等。

2 关于一般应用条件

本标准对电磁环境条件、气候环境条件、网络安全条件三种应用条件进行了规定。

3 关于系统架构

本标准对系统的硬件架构和软件架构分别做了说明。

4 关于技术要求

4.1 参数指标要求

本标准对 GIL 振动量在线监测系统的参数指标提出了具体要求。GIL 振动量在线监测系统的总体技术要求应符合 DL/T 1430-2015 的相关要求。系统各组成部分的性能指标应满足电力设备在线监测系统的通用技术要求。性能指标包括：

在所要求的测量幅值和频率范围内，幅频响应优于 $\pm 10\%$ 。

传感器的灵敏度频率响应优于 $\pm 10\%$ 。

幅值线性误差优于 $\pm 10\%$ 。

采集装置每个通道采样率应不小于 20kHz。

在线监测系统的动态范围应不小于 80dB。

对于多通道监测装置，通道一致性优于 ± 1 dB。

在线监测系统应有在线校准措施，具有合适的数据输出接口。

建议同步测量测点附近温度，并能基于标准温差对振动数据进行修正。

4.2 供电要求

为保障 GIL 振动量在线监测系统的可靠供电，应对 GIL 振动量在线监测系统的电源实现低功耗管理。采用休眠、触发、远程唤醒等方式，在保证系统监测功能正常运转下，实现电源电力的最优使用。

4.3 数据接入要求

(1) GIL 振动量在线监测系统通信可通过两种方式。①通过以太网方式传输至综合处理单元，并传输至主站中心。②装置数据上传至物联网平台，与主站系统进行信息交互。

(2) 装置数据接入组件应支持数据统一采集、处理及存储，并具备通信链路管理、规约处理和数据转发等功能；

(3) 测点数据应采用 DL/T 860 规约。

4.4 网络安全要求

优先采用以国产自主可控安全操作系统。终端输入参数需进行严格验证；终端应具备身份鉴权认证方式，身份鉴权认证方式应符合网络或平台接入等鉴权要求。系统开机密码策略符合复杂度要求。禁用高风险网络服务和不必要的服务。通信具备国密 SM2 级以上加密、证书认证等功能，完成信息安全等级保护测评和入网安评。如若接入电力专网内网，应满足电力安全分区数据接入要求。

4.5 硬件功能要求

结构简单、原理清晰，能够很方便地在设备运行现场实现组网运行。通用性强，接口简单，并提供较大的功能扩充余地。具备长期户外运行的防水性、耐腐蚀性，通讯方式具备抗强电磁干扰性。故障率低。安装便捷。根据用户需求可快速移动并安装在 GIL 设备指定位置，对工程现场有灵活适应性。

4.6 软件功能要求

具备界面展示、数据存储、故障告警、信息上传等基本功能。操作系统应符合 GB/T 22239-2019 要求。能通过现代信号处理技术及相关算法，提取和筛选得到与 GIL 设备振动状态有关的时域、频域、时频域等特征向量。具备 GIL 振动特征数据库，能够将 GIL 设备

振动的实时数据与数据库中的历史数据进行对比分析，甄别 GIL 的工作状态。

5 关于试验要求

5.1 型式试验

试验要求部分规定了型式试验的要求和内容、包括试验条件、结构和外观检查、绝缘性能试验、电磁兼容性能试验、环境适应性试验、机械性能试验、外壳防护性能试验、接入安全性检查、灵敏度频率响应、幅频响应试验、幅值线性度试验、动态范围试验、通道一致性试验、通讯性能试验、长期带电试验的试验过程。其中灵敏度频率响应试验、幅频响应试验、幅值线性度试验采用完整的监测系统进行测试，试验按照 GB/T 20485.21-2007 的规定进行；动态范围试验、通道一致性试验按照 JJG 834-2006 的规定进行。

5.2 出厂试验

出厂试验应进行结构和外观检查、幅频响应试验、通讯性能试验、长期带电试验。其中幅频响应试验中应至少选取 3 个频点进行测试，振动标准装置可考虑使用简易振动源；通讯性能试验项目中可自行确定试验传感器数量（不应少于 3 台，每相至少 1 台）；长期带电试验中带电时间至少 4 小时。

5.3 交接验收试验

标准的本部分内容规定了功能检测试验、精度检测试验。分别对传感器单元、监测软件、监测通道有效性进行检查。在线检测设备规定的范围极限边界附近设置振动发生器，调整振幅、与频率发出标准信号，传感器接收信号并传输至后台，分析检测信号图形与数据与标准信号做对比，误差应在规定范围内。

6 关于现场应用指导

标准在本部分内容规定了传感器选型、安装方式、通讯方式、数据处理、现场运维注意事项，对现场应用进行了详细说明。

7 附录的设置

附录 A（规范性附录）列表说明了 GIL 振动量在线监测系统各类试验，规定了型式试验、出厂试验、到货检验、交接试验、定期测试所做的试验项目。

附录 B（资料性附录）给出了 GIL 振动量典型故障信号示例。

附录 C（资料性附录）给出了 GIL 故障振动在线监测系统使用案例。

3、主要技术差异

GIL 设备在正常运行时，振动总是处于某个典型范围之内。当设备由于基础下沉、部件变形等原因使运行出现故障时，振动将随之加大，最终导致机械损坏。在线振动监测系统是

设备的连续监测系统，它可以从远程、危险的或较困难的位置进行快速自动的数据采集，具有趋势检测、故障检测等多方面的优势。

72.5kV~1100kVGIL 振动量在线监测技术 24 小时实时监控，自动采集振动信号并上传至系统后台，无需在现场手动收集数据，提高了工作效率。

72.5kV~1100kVGIL 振动量在线监测技术振动信号异常时，自动通过语音提示、弹窗及时报警。

72.5kV~1100kVGIL 振动量在线监测技术系统后台对实时接收的数据自动生成数据曲线，方便运维人员及时掌握设备的运行状况和发展趋势，发现排除故障。

使用振动在线监测系统能够实时采集、分析和诊断设备振动数据，提供及时的状态反馈和预警信息，帮助变电站运维人员采取相应的维护措施，提高设备的可靠性、安全性和生产效率，实现电网设备的智能运维。

4、解决的主要问题

GIL 设备适用于恶劣气候环境或者廊道选择受限制的电力输送场合，因具有传输容量大、单位损耗低、布置灵活、运行可靠性高、寿命长、以及不受外界环境因素影响等优点，在电力系统中应用越来越多。GIL 振动量在线监测系统将传统人工定期巡检的监测方式转变为自动采集监测信号，实现对 GIL 关键部位振动数值的在线实时监测，及时掌握设备的运行状态，有效预防故障，杜绝事故，延长设备运行周期，避免“过剩维修”造成的不经济、不合理现象，提高经济效益和社会效益。然而，通过振动量在线监测技术开展 GIL 设备故障检测的方法，尚未形成相关的指导规范。本标准针对这一现状，规范了 72.5kV~1100kVGIL 振动量在线监测技术的一般应用条件、系统架构、技术要求、试验要求，并为现场应用指导提供依据。

三、主要试验（或验证）情况

本标准试验包括型式试验、出厂试验、交接验收试验三部分，其中主要试验为型式试验中的绝缘性能试验、电磁兼容性能试验、环境适应性试验、灵敏度频率响应、幅频响应试验、幅值线性度试验、动态范围试验、通道一致性试验。因本标准涉及的气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）振动量在线监测系统属于高压电气监测设备，采用的传感器为振动传感器，此监测系统和组件均有成熟的试验验证标准可供引用，不需再进行单独试验验证。

本标准主要试验项目遵循的成熟标准情况如下：

- 1) 绝缘性能试验按 DL/T 1498.1-2016 中 6.5 执行。
- 2) 电磁兼容性能试验中系统各组成部分的外壳、电源端口、信号端口的电磁兼容性能试验按 DL/T 1498.1-2016 中 6.6 执行；系统中若包含无线通讯设备，需按照 GB 4824-2013 要求进行射频相关试验验证。

- 3) 环境适应性试验中户外组件的环境适应性试验按 DL/T 1498.1-2016 中 6.7 执行。
户内或置于柜体内组件的环境适应性试验按 DL/T 478-2013 中 7.3 执行。
- 4) 灵敏度频率响应试验按照 GB/T 20485.21-2007 的规定进行。
- 5) 幅频响应试验按照 GB/T 20485.21-2007 的规定进行。
- 6) 幅值线性度试验按照 GB/T 20485.21-2007 的规定进行。
- 7) 动态范围试验按照 JJG 834-2006 的规定进行。
- 8) 通道一致性试验按照 JJG 834-2006 的规定进行。

为确保标准的可靠性和科学性，已在实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。

案例 1：某 1100kV 交流地上型 GIL 设备振动测量与故障分析试验

1. 试验概况：

使用某商用成套振动测量分析仪器对某 1100kV 交流地上型 GIL 设备进行振动测量，在确保设备连接、传感器安装、系统本底噪声都满足要求的情况下，分别对各气室的 A、B、C 三相线路进行振动信号采集。采集仪精度 24 位，采样频率 5000Hz，使用单轴 IEPE 加速度传感器，传感器采用螺栓固定底座安装。

2. 数据采集

共获取数据样本 500 余条，每条样本数据时长 10 秒。选取每条数据平稳段 100ms 时长数据进行时域波形和频谱分析。

3. 数据分析

经过测量数据分析，并结合设备实际运行状况，得到如下故障分析经验。如果设备振动频谱无明显异常分量，可判定设备正常，如图 1、图 2 所示。对频域波形，当幅值超过一定程度时，仅存在 100Hz 分量，认为可能存在母线局部不对中缺陷；存在异常的 200Hz、300Hz 等低于 1kHz 的低频分量时，认为可能存在内部接触不良缺陷；存在明显的 1000Hz 以上频段时，认为可能存在外部紧固性松动缺陷，如图 3 所示。试验过程中还存在设备振动幅值偏小，振动频谱中存在异常成分，但设备检查正常的情况，如图 4、图 5 所示。

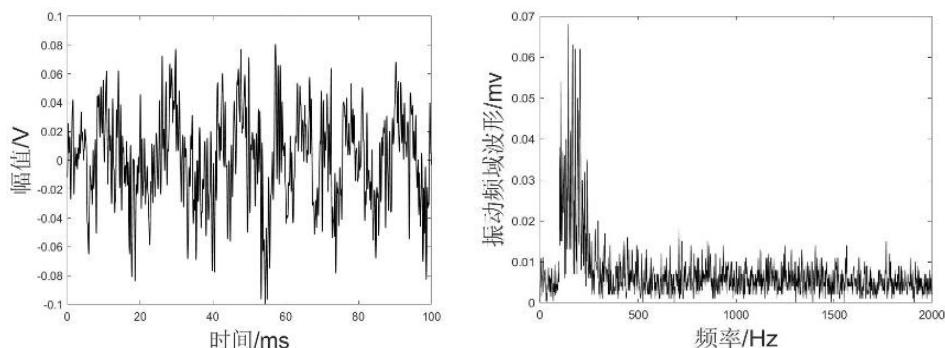


图 1 1100kV GIL 设备 12 气室 A 相, 无明显异常频谱分量, 部件正常。

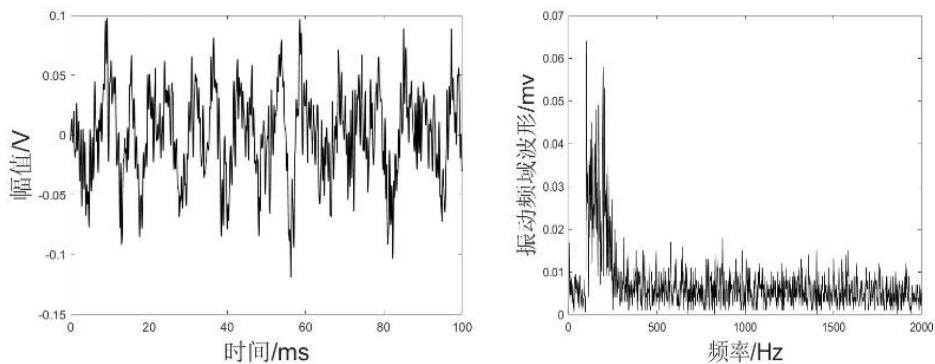


图 2 1100kV GIL 设备 12 气室 B 相, 无明显异常频谱分量, 部件正常。

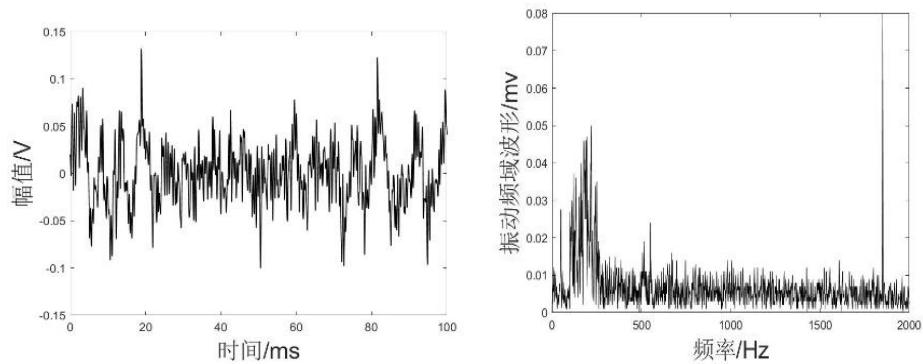


图 3 1100kV GIL 设备气室 C 相, 时域幅值较同部位偏高, 存在异常的 500Hz 低频分量以及 1000Hz 以上异常分量。

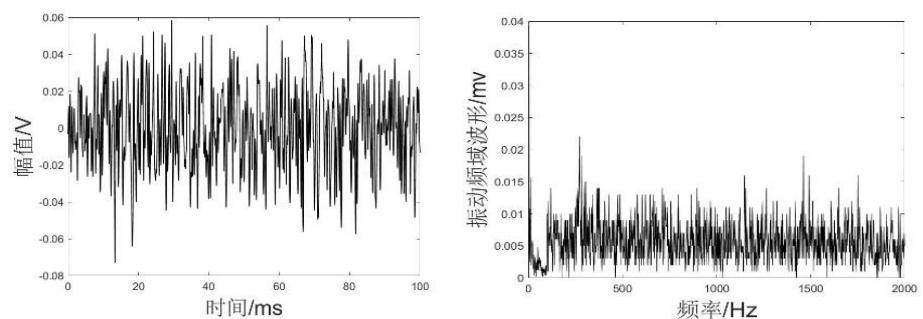


图 4 1100kV GIL 设备 7 气室 C 相时域幅值偏低, 频谱含有异常分量, 部件正常。

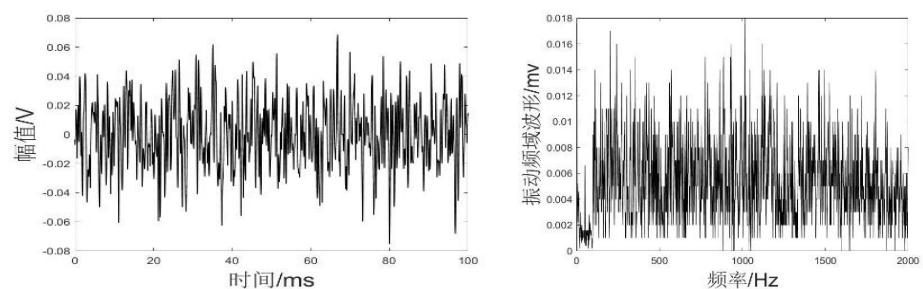


图 5 1100kV GIL 设备 7 气室 B 相时域幅值偏低，频谱含有异常分量，部件正常。

案例 2：GIL 故障振动在线监测系统使用案例

1. 试验概况：

以某 500kV 交流地上型 GIL 设备为例，该站 GIS 至交流滤波器场四大组连接母线 ACF1~#6M、ACF2~#7M、ACF3~#8M、ACF4~#9M 共计 4 条线路，均使用气体绝缘金属封闭输电线（GIL），#6M、#7M 上下重叠布置（如图 6 所示），#8M、#9M 上下重叠布置（如图 7 所示）。

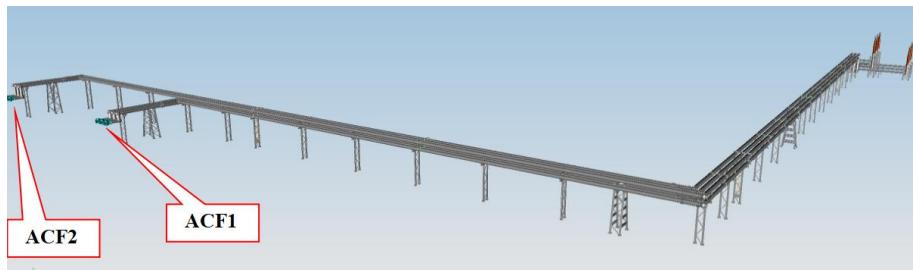


图 6 500kV #6M、#7M 线路布置图



图 7 500kV #8M、#9M 线路布置图

现场安装使用的 GIL 振动量在线监测系统采用自取能方式（太阳能板+锂电池混合）供电，前端使用振动加速度传感器，安装方式为螺栓固定底座安装，如图 8 所示。



图 8 GIL 振动量在线监测节点安装布置图

数据采用 WLANs 无线传感器网络方式进行无线传输。数据每 5 分钟更新一次，周期性发送至后台服务，其原理如图 9 所示。

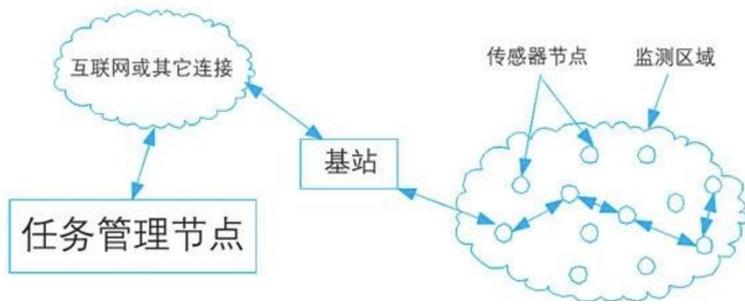


图 9 无线传感器网络架构与传输原理

2. 系统预警

某日 17:00, 500kV #9M GIL 母线 C 相, GIL 在线振动监测系统发生预警。系统显示该形态某处振动量幅值较同部位偏高, 振动量异常位置为第 4 组 GIL 管母靠套管部位, 存在异常的 500Hz 低频分量以及 1000Hz 以上异常分量。后对异常管母气室 SF6 进行组份测试。试验过程符合规程要求 (该气室 SF6 测试点离故障点距离 50 米)。



图 10 #9MGIL 母线 C 相#M4-12C 形态异常部位



图 11 500kV 故障形态布置图

3. 故障诊断

经停电更换故障段管母, 发现故障段管母固定三支柱绝缘子其中一只的支柱根部有发黑现象。经解体检查, 该形态 GIL 管母固定三支柱离子隔离器与筒内壁间存在灰色粉尘, 固定三支柱与离子隔离器、连接板的固定螺栓焊接点存在四处断裂, 且有灰色粉尘覆盖, 焊点断裂面无法重合。



图 12 固定三支柱与离子隔离器、连接板的固定螺栓焊接点断裂

四、标准中涉及专利的情况

本标准涉及 1 项专利（基于振动信号和无线传感器网络的 GIL 故障在线监测系统），已获得国际专利（美国）授权。已取得全部专利所有人的专利许可声明和专利披露声明。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

标准填补了气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）运行中振动量在线监测领域的空白。对 GIL 振动量在线监测技术的原理、结构、试验方法、试验内容等进行了统一的规范，推荐了基本参数，为设计提供了基准，对 GIL 振动量在线监测技术的发展具有重要的意义。

六、与国际、国外对比情况

本标准没有采用国际、国外标准。

本标准在制定过程中未查到同类国际标准。

本标准未测试国外的样品、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

本标准符合国家现行相关法律、法规、规章和相关标准的要求，与现行的国家标准、行业标准、强制性标准相协调。

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 2 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。