



团 体 标 准

T XXXXX—202X

绝缘子智能化监测技术导则

Technical guidelines for intelligent monitoring of insulators

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电子节能技术协会 发 布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 系统构成与功能	2
4.1 系统构成	2
4.2 功能要求	2
5 技术要求	2
5.1 监测内容	2
5.2 传感器性能要求	2
5.3 数据采集与通信要求	2
5.4 电源与功耗要求	3
5.5 结构与防护要求	3
5.6 环境适应性要求	3
5.7 电磁兼容性要求	4
5.8 电气安全要求	4
5.9 数据处理与健康评估要求	4
6 试验方法	4
6.1 数据采集与通信试验	4
6.2 电源与功耗试验	5
6.3 结构与防护试验	5
6.4 环境适应性试验	5
6.5 电磁兼容性试验	5
6.6 电气安全试验	6
6.7 数据处理与健康评估试验	6
7 系统实施与维护	6
7.1 系统安装	6
7.2 调试与验收	6
7.3 日常运维	6
7.4 软件与数据管理	7
7.5 安全与应急管理	7

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。

本文件由中国电子节能技术协会提出。

本文件由中国电子节能技术协会归口。

本文件起草单位：××××、××××。

本文件主要起草人：×××、×××。

绝缘子智能化监测技术导则

1 范围

本文件规定了绝缘子智能化监测的系统构成与功能、技术要求、试验方法、系统实施与维护。

本文件适用于交流电压等级10kV~1000kV的线路绝缘子、支柱绝缘子和复合绝缘子，也可供直流输电及特高压系统绝缘子监测参考。

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 2423.27 环境试验 第2部分：试验方法 试验方法和导则：温度/低气压或温度/湿度/低气压综合试验

GB/T 2650 金属材料焊缝破坏性试验 冲击试验

GB/T 2900.8 电工术语 绝缘子

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 5170.14 环境试验设备检验方法 第14部分：振动（正弦）试验用电动式振动系统

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验

GB/T 18216.4 交流1000V和直流1500V及以下低压配电系统电气安全 防护措施的试验、测量或监控设备 第4部分：接地电阻和等电位接地电阻

GB/T 18759.6 机械电气设备 开放式数控系统 第6部分：网络接口与通信协议

GB/T 18802.11 低压电涌保护器(SPD) 第11部分：低压电源系统的电涌保护器 性能要求和试验方法

GB/T 19826 电力工程直流电源设备通用技术条件及安全技术要求

GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 24343 工业机械电气设备 绝缘电阻试验规范

GB/T 24344 工业机械电气设备 耐压试验规范

GB/T 31484 电动汽车用动力蓄电池循环寿命要求及试验方法

GB/T 32191 泄漏电流测试仪

3 术语和定义

GB/T 2900.8界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能化监测 intelligent monitoring

通过传感器、数据采集、通信与智能分析算法，实现绝缘子运行状态实时感知、数据传输及健康评估的过程。

3.2

污秽电导率 equivalent salt deposit density

表示绝缘子表面污染程度的参数，以溶液中盐分沉积量等效表示，单位为 mg/cm^2 。

4 系统构成与功能

4.1 系统构成

绝缘子智能化监测系统应由以下部分构成：

- a) 前端感知单元：包括污秽传感器、温湿度传感器、泄漏电流监测模块、红外温度传感器、加速度传感器等；
- b) 数据采集与传输单元：实现多参数数据同步采集、存储与无线传输，通信方式可采用NB-IoT、4G/5G或LoRa；
- c) 数据处理与分析平台：具备数据清洗、特征提取、异常识别、趋势预测和健康指数计算功能；
- d) 可视化监控终端：通过后台软件实现运行趋势展示、告警信息推送及报告生成。

4.2 功能要求

智能化监测系统应具备以下主要功能：

- a) 实时监测：采样周期不超过5min，数据上传延时不大于10s；
- b) 数据存储：本地缓存时间不少于72h；
- c) 智能诊断：具备基于模型的污秽等级识别与寿命预测算法；
- d) 告警功能：当泄漏电流超过3mA或介损因数 $\tan \delta > 0.05$ 时，应自动报警；
- e) 远程控制：支持远程配置采样频率与设备参数；
- f) 自检与校准：系统应定期进行零点校准与通信链路自检。

5 技术要求

5.1 监测内容

绝缘子智能化监测系统应对运行状态相关的多维度参数进行综合监测，监测内容应包括但不限于以下项目：

- a) 电气参数监测：泄漏电流、局部放电、电导率、介损因数（ $\tan \delta$ ）等；
- b) 环境参数监测：温度、湿度、风速、风向、气压、降雨量、紫外辐照度；
- c) 机械状态监测：振动加速度、倾斜角度、安装应力及冲击事件；
- d) 表面污秽监测：等效盐密度、污秽电导率、表面湿度及盐雾沉积速率；
- e) 热特性监测：红外温度分布、局部热点形成趋势；
- f) 健康评估与寿命预测：基于多参数融合算法，对绝缘子运行状态进行综合诊断与剩余寿命估算。

5.2 传感器性能要求

传感器是绝缘子智能化监测系统的核心部件，应具备高精度、宽动态范围与抗干扰能力。主要性能应符合表1的要求。

表1 传感器性能要求

序号	项目	测量范围	精度	响应时间
1	环境温度传感器	$-50^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$	$\leq 1\text{s}$
2	环境湿度传感器	0%RH $\sim$ 100%RH	$\pm 2\%\text{RH}$	$\leq 1\text{s}$
3	泄漏电流传感器	0 $\sim$ 10mA	$\pm 1\%\text{FS}$	$\leq 100\text{ms}$
4	污秽电导率传感器	0 $\sim$ 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\pm 0.5 \mu\text{S}/\text{cm}$	$\leq 1\text{s}$
5	局部放电传感器	1 $\sim$ 1000pC	$\pm 5\%$	$\leq 0.2\text{s}$
6	红外温度传感器	$-40^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	$\leq 1\text{s}$
7	加速度传感器	0g $\sim$ 50g	$\pm 5\%$	$\leq 0.1\text{s}$

5.3 数据采集与通信要求

5.3.1 数据采集单元

数据采集单元应符合以下要求：

- a) 数据采集频率应可调，范围为1Hz~1/60Hz；
- b) 数据采样精度应不低于16bit；
- c) 系统应具备本地缓存功能，掉电数据保存时间不小于72h；
- d) 每次采集应同步采集时间戳信息，时间误差不超过±1s。

5.3.2 通信模块

通信模块要求如下：

- a) 通信方式可采用NB-IoT、4G、5G或LoRaWAN协议；
- b) 数据传输延迟≤10s，丢包率≤0.1%；
- c) 通信加密应符合GB/T 22239的要求；
- d) 通信模块工作电压为3.3V~5.0V，功耗≤0.3W；
- e) 远程服务器应支持MQTT、Modbus TCP等通信协议；
- f) 通信接口应符合GB/T 18759.6的要求。

5.3.3 数据完整性与安全性

数据完整性与安全性要求如下：

- a) 系统应对数据采用CRC16校验，传输错误率不超过 10^{-5} ；
- b) 数据加密应采用AES-128或以上算法，支持SSL/TLS加密传输；
- c) 数据保留时间不少于5年，支持本地与云端双重备份；
- d) 异常数据应自动标识并触发告警信息上传。

5.4 电源与功耗要求

电源与功耗要求如下：

- a) 系统供电方式应包括太阳能和锂电池组合或独立直流供电（DC12V~24V）；
- b) 在平均辐照度≥300W/m²条件下，太阳能充电后系统应连续工作≥20天；
- c) 系统平均功耗应≤0.5W，休眠功耗≤0.05W；
- d) 电池充放电循环寿命应≥1000次，容量衰减率≤20%；
- e) 电源防反接保护应符合GB/T 19826的要求；
- f) 电源模块绝缘耐压不低于DC 1500V，泄漏电流≤0.25mA。

5.5 结构与防护要求

5.5.1 结构要求

结构要求如下：

- a) 系统外壳应采用高强度聚碳酸酯或铝合金材料，防紫外老化、抗盐雾腐蚀；
- b) 模块化设计应便于现场安装与维护，传感器接口采用标准M12防水接头。

5.5.2 防护要求

防护要求如下：

- a) 防护等级应不低于GB/T 4208中规定的IP66的要求；
- b) 设备在盐雾环境中持续暴露720小时后仍能正常工作；
- c) 应具备防凝露设计，内部相对湿度≤90%；
- d) 防雷性能应符合GB/T 18802.11的要求。

5.6 环境适应性要求

5.6.1 温度适应性

系统应能在-40℃~+85℃的环境温度下稳定运行。

5.6.2 湿度适应性

系统应能在5%RH~95%RH的相对湿度条件下保持正常功能。

5.6.3 抗冲击性能

系统应能承受50g的机械冲击而功能不受损。

5.6.4 抗振动性能

系统应能在10Hz~150Hz、5g加速度振动条件下稳定工作，不出现连接松动或失效。

5.6.5 抗风性能

系统结构应能抵抗最高45m/s风速的冲击。

5.7 电磁兼容性要求

5.7.1 静电放电抗扰度

监测装置应能承受接触放电 $\pm 8\text{kV}$ 、空气放电 $\pm 15\text{kV}$ 的静电冲击，且功能不应出现丧失或性能降低现象。

5.7.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度

系统应能承受电源端2kV、信号端1kV的电快速瞬变脉冲干扰，试验后功能和性能应保持正常。

5.7.3 射频电磁场辐射抗扰度

系统应能在80MHz~2.7GHz频率范围内、场强10V/m条件下稳定运行，性能变化不应超过 $\pm 5\%$ 。

5.7.4 浪涌（冲击）抗扰度

监测设备应能承受2kV共模、1kV差模浪涌冲击，试验后设备应无击穿、复位或失效。

5.8 电气安全要求

5.8.1 绝缘性能

系统在500V直流条件下测得的绝缘电阻应不小于100M Ω 。

5.8.2 防触电保护

所有可触及金属外壳或部件应与带电部分可靠隔离，防止直接或间接触电。

5.8.3 接地安全

监测系统应设专用接地端子，接地电阻不大于4 Ω ，接地连接应牢固可靠，接地线应具防腐蚀处理。

5.9 数据处理与健康评估要求

5.9.1 数据预处理

系统应对采集到的多源数据进行去噪、去零漂和异常值剔除，并对缺失或异常数据进行标识和处理，以保证后续分析与诊断的有效性。

5.9.2 特征提取与诊断

基于泄漏电流、污秽电导率、温湿度及振动等参数提取关键特征，自动识别异常趋势（如泄漏电流持续升高或温度异常），异常识别准确率应 $\geq 90\%$ 。

5.9.3 趋势预测

系统应具备趋势预测功能，对关键参数进行短期变化趋势分析，预测周期不少于7天，预测误差不超过 $\pm 10\%$ 。

5.9.4 健康指数评估

系统应按多参数加权法计算绝缘子健康指数（HI），并将状态划分为四级：

- a) I级（ $\text{HI} \geq 0.8$ ）正常；
- b) II级（ $0.6 \leq \text{HI} < 0.8$ ）轻微劣化；
- c) III级（ $0.4 \leq \text{HI} < 0.6$ ）中度劣化；
- d) IV级（ $\text{HI} < 0.4$ ）严重劣化。

5.9.5 报告与可视化

系统应具备自动生成监测报告和健康评估结果的功能，并可通过可视化终端展示趋势曲线、健康指数分布及告警信息。

6 试验方法

6.1 数据采集与通信试验

6.1.1 数据采集单元试验

应按照以下方法进行：

a) 采集频率测试：设置数据采集单元在最大频率（1Hz）和最小频率（1/60Hz）下工作，使用高精度示波器或数据采集对比系统，记录采集时间间隔；

b) 采样精度验证：对传感器输出模拟标准信号，采集数据并计算采样误差；

c) 本地缓存验证：断开主电源，采集单元继续运行，记录缓存数据保存时间；

d) 时间戳同步验证：对比采集时间戳与标准时钟，记录最大误差。

6.1.2 通信模块试验

应按照以下方法进行：

a) 数据传输延迟与丢包率测试：在实际通信环境中连续发送1000条数据至远程服务器，测量传输延迟和丢包数量；

b) 工作电压与功耗测试：用电压源调节通信模块工作电压（3.3V~5.0V），使用功率分析仪测量功耗。

6.1.3 数据完整性与安全性试验

应按照以下方法进行：

a) CRC16校验验证：在通信过程中故意注入数据错误，检测接收端是否正确识别并处理错误；

b) 加密与传输安全验证：启用AES-128及SSL/TLS加密，在仿真环境中尝试数据拦截或篡改；

c) 数据备份验证：检查本地和云端数据是否完整，模拟存储异常后数据能否恢复；

d) 异常数据告警验证：向系统输入异常数据，检查告警是否触发并上传至远程服务器。

6.2 电源与功耗试验

应按照以下方法进行：

a) 太阳能续航能力试验：将系统放置于模拟光照条件下，充满电后，断开外部供电，仅依靠电池运行，记录系统连续工作时间；

b) 功耗试验：使用功率分析仪测量系统在正常工作状态下的平均功耗；

c) 电池循环寿命试验：应按照GB/T 31484规定的方法执行；

d) 防反接保护试验：应按照GB/T 19826规定的方法执行；

e) 绝缘耐压试验：应按照GB/T 24344规定的方法执行；

f) 泄漏电流试验：使用GB/T 32191要求的泄漏电流测试仪测定泄漏电流值。

6.3 结构与防护试验

6.3.1 防护试验

应按照GB/T 4208规定的方法执行。

6.3.2 耐腐蚀性试验

应按照GB/T 10125规定的方法执行。

6.4 环境适应性试验

6.4.1 温度适应性试验

应按照GB/T 2423.27规定的方法执行。

6.4.2 湿度适应性试验

应按照GB/T 2423.27规定的方法执行。

6.4.3 抗冲击性能试验

应按照GB/T 2650规定的方法执行。

6.4.4 抗振动性能试验

应按照GB/T 5170.14规定的方法执行。

6.4.5 抗风性能试验

在风洞中模拟最大风速45m/s条件下，对设备施加风力持续10分钟，检查设备安装结构和传感器接口是否稳固。

6.5 电磁兼容性试验

6.5.1 静电放电抗扰度试验

应按照GB/T 17626.2规定的方法执行。

6.5.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

应按照GB/T 17626.4规定的方法执行。

6.5.3 射频电磁场辐射抗扰度试验

应按照GB/T 17626.3规定的方法执行。

6.5.4 浪涌（冲击）抗扰度试验

应按照GB/T 17626.5规定的方法执行。

6.6 电气安全试验

6.6.1 绝缘电阻试验

应按照GB/T 24343规定的方法执行。

6.6.2 防触电保护检查

目视检查系统外壳与带电部件是否存在裸露连接，使用电压测试仪或接触电阻表，模拟正常操作环境下接触金属外壳，确认无电击危险。

6.6.3 接地电阻试验

应按照GB/T 18216.4规定的方法执行。

6.7 数据处理与健康评估试验

6.7.2 异常识别准确率试验

应按照以下步骤进行：

- 构建历史或模拟数据集，包含泄漏电流升高、温度异常、污秽加重等异常事件；
- 系统运行特征提取与诊断模块，对数据进行分析；
- 将系统识别结果与预设异常事件进行比对。

6.7.3 趋势预测试验

应按照以下步骤进行：

- 选取连续7天以上的参数历史数据作为测试样本；
- 系统运行趋势预测模块，对未来7天关键参数变化进行预测；
- 将预测值与实际观测数据进行比对，计算误差率。

6.7.5 报告与可视化功能试验

应按照以下步骤进行：

- 系统完成数据处理、诊断、趋势预测和健康指数评估后，自动生成报告；
- 检查报告内容完整性，包括趋势曲线、健康指数分布和告警信息；
- 通过可视化终端查看图形显示是否正确、清晰、实时更新。

7 系统实施与维护

7.1 系统安装

7.1.1 系统安装应由经过培训的技术人员完成，确保各模块按照设计要求正确布置与固定。

7.1.2 安装前应对安装环境进行评估，包括电源条件、通信信号覆盖、机械支撑和安全防护。

7.1.3 系统初次安装完成后，应进行基础配置，包括采集频率、通信参数、告警阈值及远程访问权限设置。

7.2 调试与验收

7.2.1 调试应包括系统通电自检、传感器功能确认、数据上传与远程访问测试。

7.2.2 验收应确认所有模块运行正常，通信稳定，数据完整且可正确显示在监控终端。

7.2.3 调试与验收记录应形成文档，作为系统后续维护和责任追踪的依据。

7.3 日常运维

7.3.1 日常运维包括设备外观检查、接口及接地检查、电源状态监测及传感器功能验证。

7.3.2 系统应定期执行自检程序，包括数据采集完整性检查、通信链路测试及电池状态评估。

7.3.3 对出现异常的设备或传感器应及时处理，记录故障原因及处理措施。

7.4 软件与数据管理

7.4.1 系统软件应定期更新，以确保功能优化与安全漏洞修复。

7.4.2 数据管理应包括数据备份、访问权限控制及异常数据处理流程。

7.4.3 应建立数据归档制度，便于历史数据分析、健康趋势追踪及管理决策支持。

7.5 安全与应急管理

7.5.1 系统运行应遵循安全操作规程，避免电击、设备损坏或数据丢失。

7.5.2 制定应急预案，包括电源故障、通信中断、设备损坏及自然灾害情况下的应对措施。

7.5.3 定期演练应急操作，确保在突发事件下系统可快速恢复运行。
