

T/SDPEA

团体标准

T/SDPEA

风电场电缆线路故障在线监测装置技术导则

Technical guideline for online monitoring device for cable line faults in
wind farms

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

山东省电力行业协会

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 技术要求 2

5 试验方法 6

6 检验规则 9

7 标志、包装、贮存及运输 11

8 其他 11

附录 A（资料性附录） 基于行波测距的电缆线路故障精确定位原理 错误！未定义书签。

附录 B（规范性附录） 监测终端安装及维护规范 错误！未定义书签。

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。

本文件由大唐山东发电有限公司新能源分公司提出。

本文件由山东省电力行业协会归口。

本文件起草单位：大唐山东发电有限公司新能源分公司

本文件主要起草人：

风电场电缆线路故障在线监测装置技术导则

1 范围

本文件规定了风电场电缆线路故障在线监测装置的技术要求，试验方法，检验规则，产品的标志、包装、运输与存贮等。

本文件适用于陆上及海上风电场 35kV、66kV 电缆线路行波故障监测装置的设计、制造和检验。

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 191 包装储运图示标志
- GB/T 2314 电力金具通用技术条件
- GB/T 2317.2 电力金具试验方法 第 2 部分：电晕和无线电干扰试验
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Db：交变湿热（12h+12h 循环）
- GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）
- GB/T 2900.10 电工术语 电缆
- GB/T 2900.19 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合
- GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- GB 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 6587 电子测量仪器通用规范
- GB/T 11463 电子测量仪器可靠性试验
- GB/T 16896.1 高电压冲击测量仪器和软件 第一部分：对仪器的要求
- GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分：一般定义及试验要求
- GB/T 16927.2 高电压试验技术 第 2 部分：测量系统
- GB/T 16927.3 高电压试验技术 第 3 部分：现场试验的定义及要求
- GB/T 17626.1 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论
- 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 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验

3 术语和定义

GB/T 2900.10界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风电场电缆线路 cable line of wind farm

在风力发电系统中，将风力发电机组输出的电能，输送至升压站母线的由交流电力电缆本体、电缆附件及接地装置等附属设备所组成的电力线路。

3.2

风电场电缆线路故障在线监测装置 Online monitoring device for cable line faults in wind farms

由安装在电缆线路上的监测终端及监测管理平台组成的，利用双端行波定位原理进行故障点定位的装置。

3.3

监测终端 front-end device

对电缆线路运行状态信息进行实时监测、采集、处理、存储及发送。应包含数据采集模块、数据分析及处理模块、数据存储模块、取电模块、通讯模块等。

3.4

监测管理平台 monitoring and management platform

通过智能算法对电缆线路监测数据进行分析、诊断、存储和展示，实现电缆线路的状态监测、故障告警和运维管理功能。

3.5

区间定位 fault section location

利用两个监测终端记录的工频故障电流相位或行波初始极性来确定故障点的位置区间。

3.6

故障距离 failure distance

在电气连接中，故障点到监测终端或变电站的距离。

[来源：T/SDPEA 0036—2024，3.5，有修改]

3.7

故障类型 failure type

电缆线路系统发生短路故障的基本类型，包括：单相接地故障、相间短路故障、两相接地短路故障、三相短路故障。

4 技术要求

4.1 总体要求

4.1.1 功能要求

4.1.1.1 数据采集

装置应具有数据采集功能：

- a) 实时自动采集电缆线路的电流、电压信号；
- b) 电缆线路有异常放电或故障时，能够触发采集高频行波电流信号；
- c) 自动记录高精度时钟。

4.1.1.2 数据分析及处理

装置应具有数据分析及处理功能：

- a) 对采集到的状态量信号进行数据转换及数据分析；

- b) 根据设定的条件筛选出需上传的数据;
- c) 支持数据校验、误码重发等功能, 不丢失故障数据。

4.1.1.3 数据存储

装置应具有数据存储功能:

- a) 存储一段时长内的数据, 防止数据丢失;
- b) 在通讯中断时, 自动保存测得的数据, 待通讯恢复后, 及时将存储的数据传回监测管理平台。

4.1.1.4 通讯及安全保护

装置应具有通讯及安全保护功能:

- a) 完成装置与监测管理平台之间的通讯功能;
- b) 系统支持对数据进行加密处理, 确保数据传输的安全可靠。

4.1.1.5 故障告警

装置应具有故障告警功能:

- a) 区间定位。根据监测终端采集的故障波形数据, 应能确定故障点所在的故障区间;
- b) 精确定位。根据监测终端采集的故障波形数据, 应能确定故障距离;
- c) 类型判断。根据监测终端采集的故障波形数据, 应能确定故障类型。

4.1.1.6 运行监测

具有电缆线路运行监测功能: 在线路正常运行时, 应能监测电缆线路的负荷电流、电压等运行数据。

4.1.2 性能要求

风电场电缆线路故障在线监测装置性能应满足以下要求:

- a) 故障定位误差: $\leq 0.2\%L + 5\text{m}$;
- b) 故障诊断漏报率: $< 5\%$;
- c) 故障区间定位准确率: $\geq 99\%$;
- d) 隐患预警准确率: $\geq 80\%$;
- e) 诊断结果发布时间: $\leq 15\text{min}$ 。

4.2 监测终端要求

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 环境条件

- a) 环境温度: 普通型 $-20\sim+50^{\circ}\text{C}$, 低温型 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: $5\%\text{RH}\sim 100\%\text{RH}$;
- c) 大气压力: $86\sim 106\text{kPa}$;
- d) 工作海拔: $\leq 5500\text{m}$;

4.2.1.2 外观结构

监测终端的外观结构应满足以下要求:

- a) 应具有较强环境适应性, 具备防雨、防潮、抗振、防雷、防电磁干扰等性能;
- b) 应符合外壳防护等级 IP68 的要求;

4.2.1.3 安装要求

a) 不应改变被监测设备的接线方式、密封性能、绝缘性能以及接地性能，不应影响现场其他设备的安全运行。应保证不会因在线监测系统的故障影响被监测设备的性能。在线监测装置的安装不应影响正常的电缆检修维护工作。

b) 传感器与信号采集单元应采取防振、防松措施，应具有耐腐蚀性。

c) 信号采集单元应对内部信号与电路实施有效的隔离和绝缘，其电源也应采用合适的隔离措施。

4.2.2 功能要求

4.2.2.1 设备自检

监测终端应具备状态自检功能，包括工作电压、授时时钟有效性和备用电池电量等。

4.2.2.2 远程调试

监测终端应支持远程参数修改及程序升级功能。

4.2.2.3 供电方式

监测终端可采取市电供电、蓄电池供电、太阳能供电、耦合供电等方式。

4.2.3 技术参数

4.2.3.1 采样频率

a) 工频采样频率： $\geq 2\text{kHz}$ ；

b) 行波采样频率： $\geq 10\text{MHz}$ 。

4.2.3.2 测量范围

a) 故障行波电流测量范围： $0.1\text{A}\sim 2000\text{A}$ （最大值）；

b) 故障行波电流连续记录时长： $\geq 1000\mu\text{s}$ ；

c) 故障工频电流测量范围： $10\text{A}\sim 1500\text{A}$ （最大值）；

d) 故障工频电流连续记录时长： $\geq 700\text{ms}$ ；

e) 隐患放电行波电流测量范围： $10\text{mA}\sim 5\text{A}$ 。

4.2.3.3 测量误差

a) 故障行波电流幅值测量误差： $\leq 10\% \pm 1\text{A}$ ；

b) 故障工频电流幅值测量误差： $\leq 10\% \pm 1\text{A}$ ；

c) 隐患放电行波电流幅值测量误差： $\leq \pm 20\%$ ；

d) 授时精度误差： $\leq 20\text{ns}$ 。

4.2.3.4 电源参数

备用电池工作时长：7 天。

4.2.4 电气性能

4.2.4.1 电晕和无线电干扰

监测终端应按 GB/T 2317.2 中规定的试验条件, 满足电晕熄灭电压的要求, 无线电干扰电压不大于 1000 μ V。

4.2.4.2 工频短路电流冲击

监测终端应能分别承受 40kA/0.12s、31.5kA/0.3s、15kA/2s 的工频短路电流冲击各 3 次。

4.2.5 电磁兼容性能

4.2.5.1 静电放电抗扰度

监测终端应进行 GB/T 17626.2 规定的试验等级为 4 级的接触放电试验, 试验结果评定应达到 a 级。

4.2.5.2 射频电磁场辐射抗扰度

监测终端应进行 GB/T 17626.3 规定的试验等级为 3 级的射频电磁场辐射抗扰度试验, 试验结果评定应达到 a 级。

4.2.5.3 脉冲磁场抗扰度

监测终端应进行 GB/T 17626.9 规定的试验等级为 5 级的脉冲磁场抗扰度试验, 试验结果评定应达到 a 级。

4.2.5.4 工频磁场抗扰度

监测终端应进行 GB/T 17626.8 规定的试验等级为 5 级的工频磁场抗扰度试验, 试验结果评定应达到 a 级。

4.2.6 机械性能

4.2.6.1 振动性能

监测终端应能承受 GB/T 2423.10 规定的振动试验。严酷等级应满足下列要求:

- a) 频率范围: 10 Hz~150Hz;
- b) 加速度幅值: 10m/s²;
- c) 扫频循环次数: 5 次;
- d) 危险频率持续时间: 10min $\pm$ 0.5min。

4.2.6.2 碰撞性能

在非工作状态下, 非包装状态的监测终端应能承受如下严酷等级的碰撞:

- a) 脉冲持续时间: 16ms;
- b) 每方向的碰撞次数: 1000 次;
- c) 峰值加速度: 98m/s²。

4.2.6.3 运输性能

监测终端的运输性能应满足以下要求:

- a) 监测终端包装后应能承受 GB/T 6587 中表 8 规定的等级为 2 级的自由跌落和翻滚;
- b) 监测装置包装后应能承受 QJ/T 815.2 中规定的等级为三级公路中级路面或四级公路中低级路面、2h 的运输。

4.3 监测管理平台要求

4.3.1 环境条件

环境温度： $+15^{\circ}\text{C}\sim+35^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度： $\leq 85\%$ 。

4.3.2 功能要求

4.3.2.1 数据接收

应能可靠接收、存储监测终端发送的电缆线路工频电流、电压波形、故障行波波形、隐患行波波形，以及设备状态自检信息等数据，不应产生数据堵塞或丢失。

4.3.2.2 数据存储

应具备运行日志以及历史故障数据的记录、存储和查询功能。

4.3.2.3 故障诊断

应能根据故障波形数据和历史数据进行线路故障诊断，给出故障位置和类型。

4.3.3 性能要求

4.3.3.1 通信性能要求

监测管理平台通信性能应满足以下要求：

a) 监测管理平台接入网络通信速率应大于 10Mb/s ；

b) 监测管理平台局域网网元及网络设备时延不大于 5ms ，吞吐量不小于 90Mb/s ，丢包率不大于 0.1% 。

4.3.3.2 数据存储性能要求

监测管理平台应至少保存近 5 年的历史故障数据，并具备系统数据自动备份功能。

5 试验方法

5.1 试验条件

a) 环境温度： $+15^{\circ}\text{C}\sim+35^{\circ}\text{C}$ ；

b) 相对湿度： $45\%\sim 75\%$ 。

5.2 监测终端

5.2.1 外观结构检查

对监测终端进行以下外观及质量检查：

a) 目测外壳表面没有明显的凹痕、划伤、裂缝、变形和污染，表面涂镀层应均匀、不起泡、龟裂、脱落和磨损，金属零部件没有锈蚀及其它机械损伤；

b) 各零部件紧固无松动；

c) 标志、铭牌、文字及符号，应清晰，铭牌上应标出产品的名称、型号、制造商及生产序号；

d) 采用计量器具测量监测装置的质量，质量应满足 5kg 技术要求。

5.2.2 电气性能试验

5.2.2.1 电晕和无线电干扰试验

根据 GB/T 2317.2 的规定和方法，对监测终端进行电晕和无线电干扰试验。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.2.2 工频短路电流冲击试验

将监测终端安装在试验导线上，处于感应取电工作状态。对导线回路分别施加有效值和持续时间为 40kA/0.12s、31.5kA/0.3s、15kA/2s 的工频电流冲击各三次。

试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.3 电磁兼容试验

5.2.3.1 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 17626.2 的规定和方法，对监测终端进行静电放电抗扰度试验。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.3.2 射频电磁场辐射抗扰度试验

按照 GB/T 17626.3 的规定和方法，对监测终端进行射频电磁场辐射抗扰度试验。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.3.3 脉冲磁场抗扰度试验

按照 GB/T 17626.9 的规定和方法，对监测终端进行脉冲磁场抗扰度试验。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.3.4 工频磁场抗扰度试验

按照 GB/T 17626.8 的规定和方法，对监测终端进行工频磁场抗扰度试验。环境试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.4 环境试验

5.2.4.1 高温试验

按照 GB/T 2423.2 的规定和方法，对监测终端进行高温试验。严酷等级应满足：温度+70℃，持续时间 16h。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.4.2 低温试验

按照 GB/T 2423.1 的规定和方法，对监测终端进行低温试验。严酷等级应满足：温度-40℃，持续时间 16h。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.4.3 交变湿热试验

按照 GB/T 2423.4 的规定和方法，对监测终端进行交变湿热试验。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。试验严酷程度应满足下列要求：

- a) 高温温度为：55℃；
- b) 相对湿度：稳定期间应不小于 95%；
- c) 循环次数 2 次。

5.2.4.4 老化试验

按照 GB/T 3512 中的规定和方法，对监测终端进行热老化试验，暴露时间为 168h。试验后目测观察，监测装置表面应无变色、裂纹、气泡、麻点、粉化或分离等缺陷。

5.2.5 机械性能试验

5.2.5.1 防护等级试验

按照 GB 4208 的规定和方法，对监测终端进行防护等级为 IP68 的试验。试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.5.2 振动试验

按照 GB/T 2423.10 的规定和方法，对监测终端进行振动试验。试验后，检查监测终端应无损坏和紧固件松动脱落现象，并能正常工作。

5.2.5.3 碰撞试验

按照 GB/T 2423.6 的规定和方法，对监测终端进行碰撞试验。试验后，监测终端应无损坏，紧固件、连接件、模块及元器件无松动、脱落等现象，监测终端能正常工作。

5.2.5.4 运输试验

按照 GB/T 6587 及 QJ/T 815.2 的规定和方法，对监测终端进行运输试验。试验后，包装应无破损、严重变形、磨损，监测终端应无损坏，并能正常工作。

5.2.6 功能性试验

5.2.6.1 电池工作时长试验

将监测终端放置在地面或试验台上，并将传感器安装于模拟导线上，断开市电、耦合取能模块或太阳能模块，仅通过蓄电池供电，使监测终端连续工作不少于 7 天。试验期间及试验后，监测终端应能正常工作。

5.2.6.2 通信模块试验

依次开启及关闭监测终端电源，重复开启及关闭三次，每次时间间隔不少于 5min，检查中心站能否收到监测终端上线及下线信息；

通过监测管理平台发送自检命令给监测终端，检查监测终端能否收到工作电压、工作温度等自检信息。

5.2.6.3 控制模块试验

开启监测终端电源，通过监测管理平台分别发送设备重启、设备自检、行波测量阈值修改等命令，每次时间间隔不小于 5min，检查监测管理平台能否收到监测终端返回的控制响应命令；

通过监测管理平台远程升级监测终端程序，检查监测终端能否返回正确的程序版本。

5.2.6.4 故障工频电流测量试验

将监测终端安装在试验导线上，对导线回路依次施加有效值为 10A、100A、5kA 的工频电流。试验电流稳定后，通过中心站控制监测终端随机测量三次电流值，测量时间间隔不少于 1min，计算平均值并与试验电流值比较，测量精度应满足 4.2.3.3 的要求。

5.2.6.5 故障行波电流测量试验

将监测终端安装在试验导线上，对导线回路依次施加幅值为 1A、100A、5kA，波形为 8/20 μ s 的冲击电流各三次。通过监测管理平台测量冲击电流幅值和波头、半峰值时间参数，计算测量值与试验冲击电流的偏差，每个幅值下取三次试验平均值。测量精度应满足 4.2.3.3 的要求。

5.2.6.6 隐患放电行波测量试验

将监测终端安装在试验导线上，对导线回路依次施加有效值为 10mA、100mA、5A 的工频电流。试验电流稳定后，通过中心站控制监测终端随机测量三次电流值，测量时间间隔不少于 1min，计算平均值并与试验电流值比较，测量精度应满足 4.2.3.3 的要求。

5.3 监测管理平台

5.3.1 通信性能试验

按 GB/T21671 的规定和方法，对监测管理平台接入网络通信速率、监测管理平台局域网网元及网络设备时延、吞吐量、丢包率和接收数据处理延时进行测试。试验结果应满足 4.3.3 的要求。

5.3.2 功能试验

5.3.2.1 数据接收试验

本试验与 5.2.6.4 故障工频电流测量试验、5.2.6.5 故障行波电流测量试验、5.2.6.6 隐患放电行波测量试验同时进行。

检查监测管理平台能否可靠接收、存储监测终端发送的故障电流、行波电流、数据，能否可靠接收、存贮监测终端发送的设备状态自检数据。试验结果应满足 4.3.2.1 的要求。

5.3.2.2 数据存储试验

本试验与 5.2.6.5 故障行波电流测量试验同时进行。在进行故障行波电流测量试验时，监测管理平台应能可靠接收每次冲击电流波形数据，并顺利完成存储。

记录监测管理平台接入的监测终端总台数，监测管理平台每年接收每台监测终端的最大监测数据容量按 100MB 计算，据此确定监测管理平台 5 年所需的存储容量。检查监测管理平台实际存储容量至少应各为上述 5 年所需存储容量的 2 倍以上。

5.3.2.3 故障定位试验

将试验导线穿过至少 2 台监测终端，在对时正常的情况下，对监测终端测试导线回路施加有效值为 100A，波形为 8/20 μ s 的冲击电流。模拟线路参数，调整冲击发生器 2 回路的时间差，模拟不同故障点，监测管理平台测距结果与模拟点之间的误差应满足 4.1.2a 的要求。

6 检验规则

监测终端分为出厂检验和型式检验两类。

6.1 出厂检验

每台监测终端出厂前应由制造厂的检验部门进行出厂检验，出厂检验在试验的标准大气条件下进行。检验项目见表 1。

6.2 型式试验

6.2.1 型式试验规定

凡遇到下列情况之一，应进行型式试验：

- a) 新产品投产或定型鉴定前；
- b) 产品转厂生产定型鉴定前；
- c) 连续批量生产的装置每四年一次；
- d) 正式投产后，如设计、工艺、材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；
- e) 国家技术监督机构或受其委托的质量技术检验部门提出型式检验要求时；
- f) 产品停产三个月以上恢复生产时。

6.2.2 试验项目

监测终端出厂检验及型式试验项目及要求见表 1。

表 1 监测终端项目及要求

序号	试验类别	试验项目	出厂检验	型式试验
1	外观结构检查	外观结构检查	√	√
2	电气性能试验	电晕和无线电干扰试验	—	√
3		工频短路电流冲击试验	—	√
4	电磁兼容试验	静电放电抗扰度试验	—	√
5		射频电磁场 辐射抗扰度试验	—	√
6		脉冲磁场抗扰度试验	—	√
7		工频磁场抗扰度试验	—	√
8	环境试验	高温试验	—	√
9		低温试验	—	√
10		交变湿热试验	—	√
11		老化试验	—	√
12	机械性能试验	防护等级试验	—	√
13		振动试验	—	√
14		碰撞试验	—	√
15		运输试验	—	√
16	功能性试验	电源模块试验	√	√
17		通信模块试验	√	√
18		控制模块试验	√	√
19		故障工频电流测量试验	√	√

序号	试验类别	试验项目	出厂检验	型式试验
20		故障行波电流测量试验	√	√
21		隐患放电行波测量试验	√	√

7 标志、包装、贮存及运输

7.1 标志

7.1.1 每台装置必须在机箱的显著位置设置持久明晰的标志或铭牌，标志下列内容：

- a) 装置型号名称；
- b) 制造厂名全称及商标；
- c) 主要参数；
- d) 对外端子接口及接口标识；
- e) 出厂日期及编号。

7.1.2 包装箱上应以不易洗刷或脱落的涂料作如下标记：

- a) 发货厂名、产品型号、名称；
- b) 收货单位名称、地址、到站；
- c) 包装箱外形尺寸（长×宽×高）及毛重；
- d) 包装箱外面书写“防潮”“向上”“小心轻放”等字样；
- e) 包装箱外面应规定叠放层数。

7.1.3 标志标识，应符合 GB/T 191 的规定。

7.1.4 产品的执行标准应予以明示。

7.2 包装

7.2.1 产品包装前的检查

- a) 产品合格证书和装箱清单中各项内容应齐全；
- b) 产品外观无损伤；
- c) 产品表面无灰尘。

7.2.2 包装的一般要求

产品应有内包装和外包装，插件插箱的可动部分应锁紧扎牢，包装应有防尘、防雨、防水、防潮、防震等措施。包装应符合 GB/T 191 的有关规定。

7.2.3 贮存

长期不用的装置应保留原包装，在规定的条件下储存。储存场所应无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体，且可以在灰尘以及雨、雪的侵害环境中进行储存。

7.2.4 运输

产品应适用于陆运、空运、水运（海运），严格按照运输装卸包装箱上的标志进行操作。

8 其他

T/SDPEA

用户在遵守本技术条件及产品说明书所规定的运输、储存条件下，装置自出厂之日起至安装不超过三年，如发现装置和配套件非人为损坏，制造厂应负责免费维修或更换。
