

ICS 29.240.99  
CCS K 40

# DL

## 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2230—2021

---

### 交流电力系统雷电侵入波过电压监测导则

Guide for monitoring of lightning intruding surge  
overvoltage in AC power system

2021-01-07 发布

2021-07-01 实施

---

国家能源局 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 监测系统的结构和功能	2
5 监测系统的性能要求	3
6 监测系统的实施	8
附录 A (资料性) 在线实测雷电过电压波形分析	10
附录 B (资料性) 避雷器电阻片分压传感部件	12
附录 C (资料性) 套管末屏容性设备分压传感部件的误差分析	13
附录 D (资料性) 数据处理部件记录性能测试参考波形	14
附录 E (资料性) 雷电侵入波过电压分层模式识别及典型波形	16
附录 F (资料性) 不同分压方式的雷电过电压监测电气接线图	18
附录 G (资料性) 雷电侵入波过电压监测系统抗干扰措施实例	21
参考文献	22

## 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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业过电压与绝缘配合标准化技术委员会（DL/TC 38）归口。

本文件起草单位：深圳供电局有限公司、国网四川省电力公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、西安交通大学、国网陕西省电力有限公司电力科学研究院、武汉大学、云南电网公司有限责任公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、厦门 ABB 避雷器有限公司。

本文件主要起草人：吕启深、鲜成、李建明、高克利、李汉明、郭洁、张搏宇、王森、文习山、周仿荣、左中秋、路永玲、谢施君、王磊、唐峰、王金皇、张瑜、赵晓凤、赵冬一。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 交流电力系统雷电侵入波过电压监测导则

## 1 范围

本文件规定了交流电力系统雷电侵入波过电压在线监测系统的有关技术要求及具体实施方法。

本文件适用于 10 kV~1000 kV 交流变电站、发电厂雷电侵入波过电压的监测，可用于电力系统运行和故障分析，优化防雷设计，提升电力系统的防雷水平。

## 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 2423.1 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 2423.3 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
- 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（12 h+12 h 循环）
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- 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 17626.4 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 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- 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
- DL/T 860（所有部分） 电力自动化通信网络和系统

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 雷电侵入波 lightning intruding surge

由雷击相导线、架空地线或塔架引起相对地或相间绝缘闪络而产生的冲击过电压以及雷电作用在相导线上未发生闪络的直击雷或感应雷过电压沿线路传播到变电站或发电厂的雷电波，其波头时间（ $t_1$ ）： $0.1 \mu\text{s} < t_1 \leq 20 \mu\text{s}$ ，波尾持续时间（ $t_2$ ）： $< 300 \mu\text{s}$ ，为单一极性。

注：通常实际雷电侵入波波形与试验用的标准雷电冲击电压（1.2/50  $\mu\text{s}$ ）波形是有差异的（见附录 A）。

### 3.2

#### 单脉冲雷电波过程 single pulse lightning waveform process

仅含一个波峰，短时间内迅速上升，然后又快速下降，波过程持续时间为 40  $\mu\text{s}$ ~100  $\mu\text{s}$ 。

### 3.3

#### 多脉冲雷电波过程 multi-pulse lightning waveform process

由单次雷击引起的含有两个以上单脉冲雷电波过程，脉冲波间隔时间小于 100 ms 的雷电波过程。

一般情况多为双脉冲或三脉冲雷电波过程。

### 3.4

#### 多重雷击 multiple strokes

平均由 3 个~4 个雷击组成的雷闪，两个雷击的时间间隔通常约为 50 ms。

注：已记录到时间间隔范围在 10 ms~250 ms 并包含几十个雷击的雷闪。

[来源：GB/T 21714.1—2015，3.7]

### 3.5

#### 波前时间 front time

视在参数，为雷电冲击电压波形上升沿峰值的 30%和 90%两点之间时间间隔的 1/0.6 倍（也称波头时间）。

[来源：GB/T 16927.1—2011，7.1.17，有修改]

### 3.6

#### 波尾时间 time to half value of a decreasing voltage

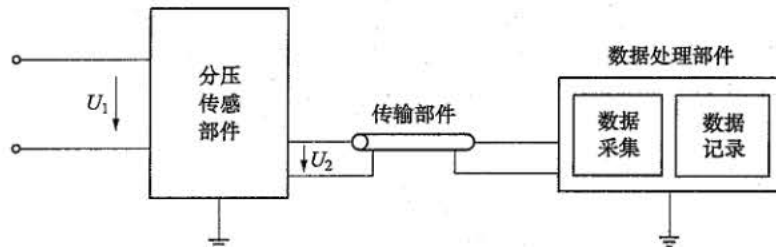
视在参数，为雷电冲击电压波形上升沿峰值的 30%和 90%两点的连接线与时间轴的交点，与波形下降沿峰值的 50%处的垂线和时间轴的交点之间的时间间隔（也称半峰值时间）。

[来源：GB/T 16927.1—2011，7.1.21，有修改]

## 4 监测系统的结构和功能

### 4.1 监测系统的结构

监测系统通常由分压传感部件、传输部件以及数据处理部件等部分组成，如图 1 所示。



注：数据处理部件也可以布置于传输部件之前。

图 1 雷电侵入波过电压监测系统的结构

### 4.2 监测系统的功能要求

#### 4.2.1 监测内容

监测雷电侵入波过电压全波波形，或包含电压波波头和波尾时间、幅值、陡度及相关特征参量等信息的数据。

#### 4.2.2 监测功能

- 应具备雷电侵入波过电压的自动采集、信号调理、抗干扰措施和数据预处理等功能。
- 应具备（预）触发条件设置功能。
- 应具有雷电侵入波过电压波形的显示功能。

### 4.2.3 记录功能

- a) 应能实时记录雷电侵入波过电压的整个暂态过渡过程，能记录雷电侵入波过电压事件发生过程 5 个~20 个工频周期内的电压波形，包括过电压发生前及发生后的波形。
- b) 应能将经过数据处理部件判定符合条件的雷电侵入波过电压波形，准确、可靠、实时地记录，并将数据保存至存储器。
- c) 监测数据可在数据处理部件本地提取，本地可存储至少三个月的过电压监测数据，监测结果可根据需要定期发送至远端工作站。
- d) 应保证记录数据的安全性，不应因电源中断、波动等原因丢失已记录的数据；不应因外部访问而造成记录数据丢失。

### 4.2.4 分析调阅功能

应具备雷电侵入波过电压监测数据统计分析功能。

### 4.2.5 自检测与自恢复功能

- a) 数据处理部件应具有自检测功能，提供数据处理部件运行状态定时自检信息，数据处理部件故障时应告警并记录故障日志。
- b) 数据处理部件应具有自恢复功能，当出现类似异常供电终止等情况后，数据处理部件能够自动恢复正常运行，且存储数据不丢失。

### 4.2.6 通信功能

- a) 数据处理部件应具备满足监测数据交换所需要的、标准的、可靠的现场工业控制总线或以太网络要求。
- b) 数据处理部件与主站宜选用统一的通信协议，推荐采用符合 DL/T 860（所有部分）标准的通信协议。
- c) 数据处理部件的对外通信功能应满足电力监控系统网络安全防护规定要求。
- d) 数据处理部件应预留远程通信扩展接口。

### 4.2.7 对时功能

数据处理部件应具备时间同步对时功能，至少支持北斗对时技术。数据处理部件时钟应与变电站的保护装置同步，以便分析具体事件，对时精度不低于 1 ms。数据处理部件中的所有通道都应该是同步的，并且可以由任何通道的触发信号触发。

## 5 监测系统的性能要求

### 5.1 分压传感部件的种类

分压传感部件的种类主要有电场耦合分压传感部件、光电场传感部件、容性设备分压传感部件以及避雷器电阻片分压传感部件等，其中避雷器电阻片分压传感部件满足本文件规定测量准确度的使用条件较严格，详见附录 B。

#### 5.1.1 电场耦合分压传感部件

电场耦合分压传感部件如图 2 所示。高压臂 ( $C_1$ ) 是待测导体和感应金属板之间的杂散电容器。低压臂 ( $C_2$ ) 包括使用一个或多个并联电容器的电容。

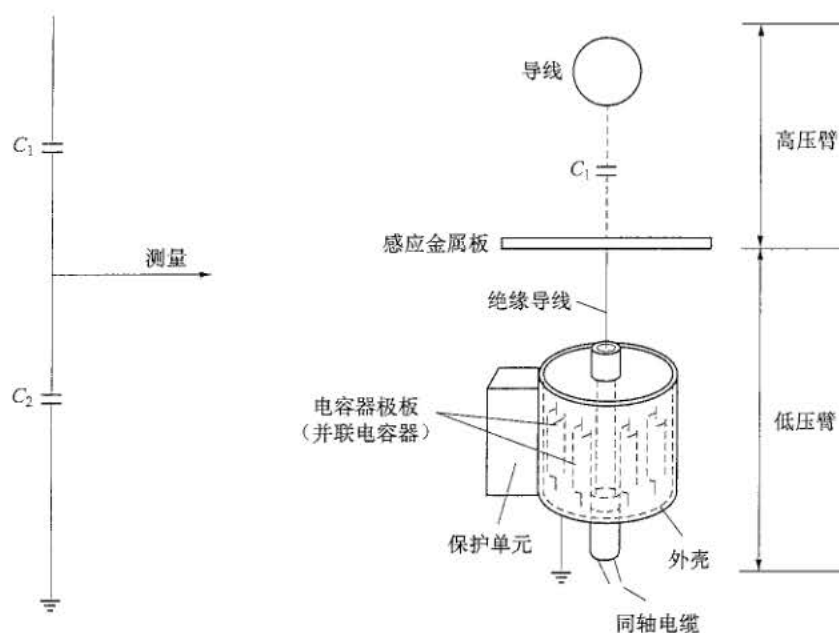


图2 电场耦合分压传感部件原理图

### 5.1.2 光电场传感部件

基于共路干涉的光电场传感部件如图3所示。在铌酸锂晶体上，通过钛（Ti）扩散的方式形成光波导，分别以 TM-like 模式和 TE-like 模式传播。传感部件与输入端、输出端的保偏光纤分别 45° 耦合对准。通过保偏光纤输入波导中的线偏振光，在波导中分解为两个正交方向上传播的偏振光。

由于泡克耳斯（Pockels）效应，在电场的作用下，波导的折射率将出现变化。因此，按照 TM-like 模式与 TE-like 模式传播的两束光在受到电场的调制作用后，其调制的程度不同，引起在这两束光的相移。当这两束光到波导输出端时，它们存在与电场强度成正相关的相位差  $\varphi(E)$ 。根据这一相位差，可以被推算出电场强度的幅值。

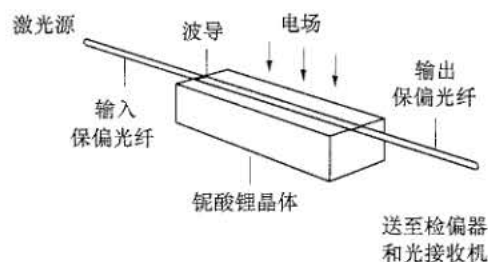


图3 基于共路干涉的光电场传感部件

### 5.1.3 容性设备分压传感部件

套管分压传感部件的结构如图4所示。它是一个电容分压器，其高压臂为中心导体与容性设备测试接头之间形成的电容（ $C_1$ ），低压臂为测试接头与接地之间连接的电容（ $C_2$ ）。套管末屏容性设备分压传感部件的误差分析见附录C。

## 5.2 传输部件

### 5.2.1 功能及组成

传输部件主要功能是将分压传感部件的输出信号传递到数据处理部件进行数字化处理和存储。传



输部件一般由带终端阻抗的同轴电缆或信号光缆组成，还包括分压传感部件与数据处理部件所连接的隔离滤波、二次分压等部件。

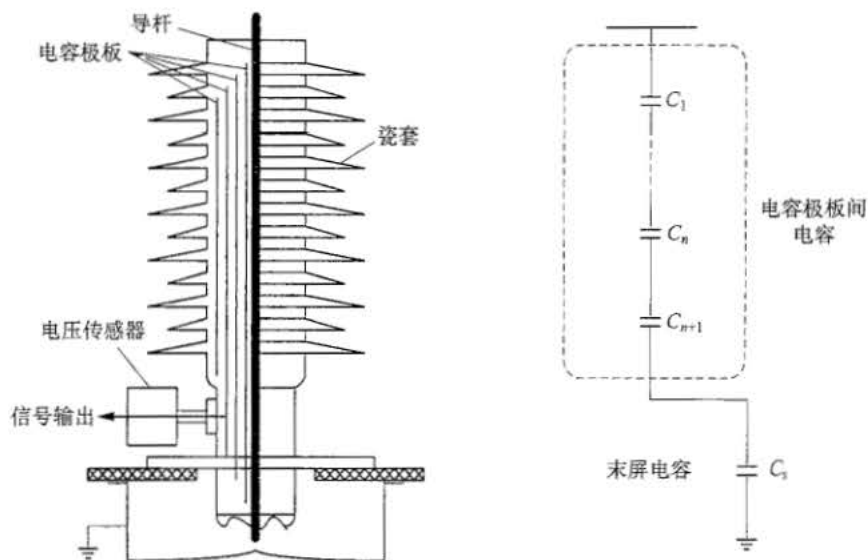


图4 套管分压传感部件的结构

## 5.2.2 信号电缆

信号电缆应与分压器一起使用。信号电缆的波阻抗宜为  $50\ \Omega$  或  $75\ \Omega$ 。电缆应在一端或两端进行阻抗匹配，以防止波反射可能导致的测量误差。为降低信号传输过程中的干扰问题，信号电缆、连接导线均采用屏蔽电缆，信号电缆宜采用双层屏蔽电缆。

## 5.2.3 信号光缆

当分压器离信号采集装置较远，或者信号电缆屏蔽措施因现场条件不易实施，需采用信号光缆传输信号。

光电和电光转换模块的频率响应特性应满足分压器最高频率下不超过  $3\ \text{dB}$  变化。

## 5.3 数据处理部件

### 5.3.1 数据处理部件的功能

数据处理部件具有对传输部件的输出信号进行数字化处理、数据存储和数据分析调阅等功能，能对变电设备中各相的雷电侵入波过电压进行监测，并自动记录每次雷电侵入波过电压的波形数据，实测雷电过电压波形示例见附录 A，数据处理部件记录性能测试参考波形见附录 D，雷电侵入波过电压分层模式识别及典型波形见附录 E。

### 5.3.2 防护和隔离

为了减小高压电气设备由电晕、放电、开关动作等对监测系统的干扰，应采用专用柜对数据处理部件进行防护。专用柜的电场、磁场屏蔽及防尘、防水的能力应满足 5.4 中的相关要求。

数据处理部件应采用单独的隔离变压器（交流供电时）或隔离的开关电源（直流供电时）供电。电源的隔离能力应进行测试，对  $200\ \text{kHz}$  以内的干扰衰减水平应不小于  $60\ \text{dB}$ 。

### 5.3.3 采样率

采样率宜大于或等于  $40/t_f$  (采样数/s),  $t_f$  为过电压到达峰值的时间。对于雷电过电压 (即大气过电压), 其波头陡、幅值高、持续时间短, 要求采集卡的采样频率至少不低于 20 MHz。强雷区容易发生多重雷击, 可根据需要适当提高采样频率。

### 5.3.4 额定分辨率

用于现场监测用的数据处理部件宜选用位数为 10 位~12 位的存储器, 其额定分辨率为 0.1%~0.02% (满量程偏转的  $2^{-10}$ ~ $2^{-12}$ )。

### 5.3.5 采样深度及存储容量

在雷电冲击过电压测量中, 记录长度应足够长, 宜为  $4 \times 10^6$  个点以上 (单相)。采样长度为 100 ms~400 ms, 满足多脉冲雷电波过程采样要求, 能够采集到大部分双脉冲雷电波响应波形以及少部分三脉冲雷电波响应波形。

### 5.3.6 带宽

监测系统的带宽应能满足监测到雷电过电压波形上叠加的振荡。

监测系统需要足够的带宽来监测雷电侵入波的所有频率分量。带宽要求以振幅频率响应的频率限制形式给出。其他方法确定的带宽也应满足转换后的要求。

系统的幅频响应应在 3 dB 范围内从 10 Hz~2.5 MHz 保持平坦。

### 5.3.7 触发电平

为保证实时自动记录每次有效的雷电过电压波形数据, 数据处理部件触发电平宜设置为 1.3 (标幺值)。

## 5.4 监测系统的整体性能要求

### 5.4.1 绝缘性能

#### 5.4.1.1 绝缘电阻

监测系统各独立电路与外露的可导电部分之间, 以及各独立电路之间, 绝缘电阻不低于 100 M $\Omega$ 。

#### 5.4.1.2 介质强度

监测系统各独立电路与外露的可导电部分之间, 以及各独立电路之间, 应能承受电压值不低于 2.0 kV、频率为 50 Hz 的 1 min 工频耐压试验。

#### 5.4.1.3 冲击电压水平

监测系统各独立电路与外露的可导电部分之间, 以及各独立电路之间, 应能承受 1.2  $\mu$ s/50  $\mu$ s 的标准雷电冲击电压试验。开路试验电压为 5 kV。

### 5.4.2 电磁兼容性能

#### 5.4.2.1 静电放电抗扰度

监测系统应能承受 GB/T 17626.2 中规定的试验等级为 4 级的静电放电试验, 在试验期间及试验后

系统应能正常工作。

#### 5.4.2.2 射频电磁场辐射抗扰度

监测系统应能承受 GB/T 17626.3 中规定的试验等级为 3 级的辐射电磁场干扰试验，在试验期间及试验后系统应能正常工作。

#### 5.4.2.3 工频磁场抗扰度

监测系统应能承受 GB/T 17626.8 中规定的试验等级为 5 级的工频磁场干扰试验，在试验期间及试验后系统应能正常工作。

#### 5.4.2.4 脉冲磁场抗扰度

监测系统应能承受 GB/T 17626.9 中规定的试验等级为 5 级的脉冲磁场干扰试验，在试验期间及试验后系统应能正常工作。

#### 5.4.2.5 浪涌（冲击）抗扰度

监测系统应能承受 GB/T 17626.5 中规定的试验等级为 4 级的浪涌（冲击）干扰试验，在试验期间及试验后系统应能正常工作。

#### 5.4.2.6 电快速瞬变脉冲群抗扰度

监测系统应能承受 GB/T 17626.4 中规定的试验等级为 4 级的电快速瞬变脉冲群干扰试验，在试验期间及试验后系统应能正常工作。

#### 5.4.2.7 射频场感应的传导骚扰抗扰度

监测系统应能承受 GB/T 17626.6 中规定的试验等级为 3 级的射频场感应的传导骚扰试验，在试验期间及试验后系统应能正常工作。

### 5.4.3 环境适应性能

#### 5.4.3.1 低温

按 GB/T 2423.1 中规定的试验要求和试验方法进行，监测系统应能承受试验温度  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、试验时间 2 h 的低温试验，试验期间及试验后，监测系统应正常稳定工作，并保证测量的有效性。

#### 5.4.3.2 高温

按 GB/T 2423.2 中规定的试验要求和试验方法进行，监测系统应能承受试验温度  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、试验时间 2 h 的高温试验，试验期间及试验后，监测系统应正常稳定工作，并保证测量的有效性。

#### 5.4.3.3 恒定湿热

按 GB/T 2423.3 中规定的试验要求和试验方法进行，监测系统应能承受温度  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $(93\pm 3)\%$ 、持续时间 48 h 的恒定湿热试验。试验期间及试验后，监测系统应能正常工作。

#### 5.4.3.4 交变湿热

按 GB/T 2423.4 中规定的试验要求和试验方法进行，监测系统应能承受严酷等级为高温  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、循环次数为 2 次的交变湿热试验。试验期间及试验后，监测系统应能正常工作。

#### 5.4.4 外壳防护性能

室内及遮蔽场所使用的监测系统，应符合 GB/T 4208 中规定的外壳防护等级 IP51 的要求；户外使用的监测系统，可根据当地环境条件提出特定要求，应至少不低于 GB/T 4208 中规定的外壳防护等级 IP55 的要求。

#### 5.4.5 监测系统的准确度要求

监测系统的测量准确度应满足如下要求，其中引起误差的主要环节为分压传感部件：

- a) 冲击电压峰值监测误差：±15.0%以内；
- b) 冲击时间参数（波前时间、截断时间等）监测误差：±15.0%以内；
- c) 监测系统的采样频率不低于 20 MHz；
- d) 监测系统的频带下限不大于 10 Hz，频带上限不小于 2.5 MHz。

### 6 监测系统的实施

#### 6.1 安装选点原则

雷电侵入波过电压监测系统的安装选点和部件的选取应根据现有电力系统高压设备的安装情况并充分考虑监测系统的一般要求来进行。

雷电侵入波过电压监测系统可在发电厂、变电站 110 kV 及以上设备区线路入口处或母线上安装，也可在变压器套管处等适合安装雷电侵入波过电压监测系统的位置安装；110 kV 以下设备区可在母线上安装。

#### 6.2 监测系统的布置

基于不同原理的分压传感部件具有不同的现场使用和布置原则，设备外部的电场耦合分压方式及光电场分压方式主要适用于变电站的支柱绝缘子、避雷器等敞开式一次设备上方有带电导线的位置安装；设备内部的电场耦合分压方式适用于在 GIS 设备的手孔位置安装；容性设备分压方式主要适用于具有末屏结构的互感器、高压套管等的末屏处安装；避雷器电阻片分压方式适用于在避雷器下端安装。安装中信号传输电缆要根据不同的分压方式选择合适的阻抗匹配方式。监测系统与电力系统的连接示意图见附录 F。

#### 6.3 信号传输电缆的匹配

电容型分压传感部件应采用始端匹配，若一端匹配不够完善，也可采用两端匹配。

当采用波阻抗为 50 Ω 或 75 Ω 的同轴电缆作为传输部件时，为保证测量的带宽有足够的宽度，应采用源端串联电阻匹配的方式。

当采用有源放大器就近进行阻抗匹配转换时，可以采用源端串联电阻匹配，末端并联电阻匹配的方式。

#### 6.4 监测装置的接地

数据处理部件紧靠雷电过电压分压传感部件附近应有集中的接地极，接地端应用最短的宽铜带接地连线与接地极连接。

因雷电过电压分压传感部件接地端通过的电流可能较大，应采用低阻抗的接地回路连接。

采用双层屏蔽电缆时，分压传感部件端内外屏蔽均应接地，监测装置端内层屏蔽宜悬空绝缘，外层屏蔽可连接到数据处理部件外壳。若双层屏蔽电缆敷设在金属管内，一次端金属管也宜接地。通信

端和供电电源应采用隔离措施。同一监测点的 A、B、C 三相分压设备可以采用分别就近接地。

## 6.5 抗干扰措施

### 6.5.1 干扰源

雷电过电压监测中可能会受到较强的电磁干扰，严重时会影响雷电过电压的准确测量，甚至危及设备及人身安全，为此，监测系统应按干扰来源采取妥善的抗干扰措施，抗干扰措施实例见附录 G。

雷电过电压监测中电磁干扰主要有三方面来源：

- a) 信号传输电缆及触发信号电缆外皮中流过的暂态电流；
- b) 各种高压放电产生的空间电磁波辐射；
- c) 数据处理部件电源线引入的干扰。

### 6.5.2 信号传输电缆中的暂态电流的抑制措施

- a) 集中接地极宜紧靠分压传感部件，并以最短的连线相连，此连线应采用宽的铜带。
- b) 信号传输电缆紧靠地面敷设，使电缆外皮与接地线构成的回路面积尽量小。
- c) 信号传输电缆应尽可能短，以减少衰减、变形和电磁干扰。
- d) 当数据处理部件具有对称输入通道时，可采用平衡接线，使引入的干扰彼此抵消。
- e) 提高传输信号的电平可以提高信噪比。当被测信号的电平超过数据处理部件的允许输入限值时，可使用适宜的衰减器或二次除法器。

### 6.5.3 监测设备的屏蔽

监测设备可采用如下屏蔽措施：

- a) 为限制空间电磁波穿透分压器低压臂测量回路，分压器低压臂应有接地的金属屏蔽，信号传输电缆与分压器低压臂及数据处理部件的连接均应采用同轴电缆。
- b) 为限制空间电磁波直接进入数据处理部件内部形成电磁干扰，应采用金属外壳等作为屏蔽。
- c) 对于灵敏度较高的数据采集系统，需要更完善的屏蔽措施，应采用金属网或金属板制成的全封闭的双层或单层屏蔽室或屏蔽箱，将数据处理部件放在屏蔽室（箱）中，屏蔽箱应直接接地。

### 6.5.4 数据处理部件的隔离与滤波

为抑制电源引入的干扰，减少电源中点电位和监测点瞬态电位的影响，并保证在雷电过电压时装置本身绝缘可靠，避免记录通道间的串扰，数据处理部件供电电源宜采取如下隔离与滤波措施：

- a) 数据处理部件可采用超级隔离变压器供电（一次侧线圈与二次侧线圈分别置于屏蔽盒内），此屏蔽应与数据处理部件的屏蔽室（箱）相连。为了屏蔽的完整，若隔离变压器放在屏蔽室（箱）外，它的二次绕组及出线应全部屏蔽；若放在屏蔽室（箱）内，则其一次绕组及连线应全部屏蔽。
- b) 隔离变压器对抑制低频干扰较为有效，但高频干扰仍可通过绕组间的电容侵入数据处理部件，为此，宜在屏蔽室（箱）或数据处理部件的电源入口处串接低通滤波器，以抑制高频干扰。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/536210121200010033>