

ICS 29.020  
K 04



# 团 体 标 准

T/CES 0XX—2026

---

## 10kV 配电电缆及通道分布式多状态监测系统技术规范

Technical specification for distributed multi-state monitoring system of 10kV distribution cables and cable channels

（征求意见稿）

2026-xx-xx 发布

2026-xx-xx 实施

---

中国电工技术学会 发布

## 目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	系统架构	2
5	分布式多状态监测系统技术要求	3
5.1	感知层	3
5.2	网络层	3
5.3	应用层	3
6	安全要求	4
7	10kV 电缆设备状态监测装置及通道在线监测装置配置原则	4
7.1	10kV 电缆分级	4
7.2	10kV 电缆通道分级	4
7.3	10kV 电缆设备状态监测装置配置原则	4
7.4	10kV 电缆通道状态监测装置配置原则	4
8	测试和试验	5
8.1	范围	5
8.2	测试项目和方法	5
8.3	测试流程与记录	6
附 录	A（规范性）在线监测数据接入规范	7
附 录	B（资料性）分布式多状态监测系统案例	10

## 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。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会配电开关设备智能化工作组归口。

本文件起草单位：国网河南省电力公司电力科学研究院、国网河南省电力公司、上海电缆研究所有限公司、中国科学院电工研究所、华北电力大学、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、国网山西省电力有限公司电力科学研究院、郑州铁路职业技术学院

本文件主要起草人：牛荣泽、张凯、徐铭铭、刘昊、贺翔、郭祥富、黄清江、严方彬、靖立伟、周宏扬、陈李晟、张志丰、夏俊峰、孙建生、周昊、周微微、邱清泉、何欣欣、李天平、朱志芹、滕玉平、罗晓悦、王伟、林仲钦、郭腾俊、韩达、王嘉林、高婷玉、王雅雯、马国明、梅林常、车方毅、原璐璐、李英杰、秦福祥、艾颖、陈江徽、陈俊霖、王伟、吉鹏霄

本文件为首次发布。

# 10kV 配电电缆及通道分布式多状态监测系统技术规范

## 1 范围

本文件规定了10kV配电电缆及通道分布式多状态监测系统的系统架构、技术要求、安全要求、电缆及通道分级标准、在线监测装置配置原则、测试和试验等。

本文件适用于10kV配电电缆线路及电缆沟、电缆隧道等不同形式电缆通道分布式状态监测系统。

## 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 2423.1-2008 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 2423.102-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验：温度（低温、高温）/低气压/振动（正弦）综合

GB/T 2900.10-2013 电工术语 电缆

GB 4943.1-2022 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分：安全要求

GB/T 5094.1-2018 工业系统、装置与设备以及工业产品 结构原则与参照代号 第1部分：基本规则

GB/T 17626 电磁兼容 试验和测量技术

GB/T 35273-2020 信息安全技术 个人信息安全规范

DL/T 283.1-2018 电力视频监控系统及接口 第1部分：技术要求

DL/T 409-2023 电力安全工作规程 电力线路部分

DL/T 645-2007 多功能电能表通信协议

DL/T 860.74-2014 电力自动化通信网络和系统 第7-4部分：基本通信结构 兼容逻辑节点类和数据类型（IEC 61850-7-4:2010, MOD）

DL/T 860.92-2016 电力自动化通信网络和系统 第9-2部分：特定通信服务映射(SCSM)-基于ISO/IEC 8802-3的采样值（IEC 61850-9-2:2010, MOD）

DL/T 1253-2013 电力电缆线路运行规程

DL/T 283.1-2018 电力视频监控系统及接口 第1部分：技术要求

DL/T 1506-2016 高压交流电缆在线监测系统通用技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**状态量** State Variable

用于描述系统、设备或对象在某一时刻的关键状态属性或特征的物理量或逻辑变量。它反映了系统的当前运行状况，是监测、控制和分析的基础数据。

### 3.2

**前端感知装置** Front-End Perception Device

安装在电缆线路或通道上的多状态传感与监测装置，可通过内置通信模块将采集处理过的状态量传送到数据收集网关，可响应数据收集网关的指令。

### 3.3

#### 网关 Gateway

网关是计算机网络中的关键设备或软件组件，主要用于在不同协议、格式或网络体系之间实现协议转换、数据转发或网络互连。

### 3.4

#### 分布式多状态监测系统 Distributed Multi-state Monitoring System

分布式多状态监测系统是一种基于分布式计算架构的智能化监测平台，用于实时采集、处理和分析多个目标（如配电电缆本体、中间头、通道环境等）的多种状态信息（如温度、振动、局放等），并通过协同计算实现高效的状态评估、异常检测和决策支持。

### 3.5

#### 特级客户 Special-class Clients

在国家事务管理中占据特别重要的地位，其供电中断可能导致国家安全受到威胁的用户。

### 3.6

#### 一级客户 First-class Clients

客户的供电中断，可能会导致以下任一后果：直接引发人身伤亡、造成严重环境污染、发生中毒、爆炸或火灾、造成重大政治影响、造成重大经济损失、造成较大范围社会公共秩序严重混乱的用户。

### 3.7

#### 二级客户 Second-class Clients

客户的供电中断可能会导致以下任一后果：造成较大环境污染、造成较大政治影响、造成较大经济损失、造成较大范围社会公共秩序严重混乱的用户。

## 4 系统架构

### 4.1 定位描述

分布式多状态监测系统应包括感知层、网络层和应用层。

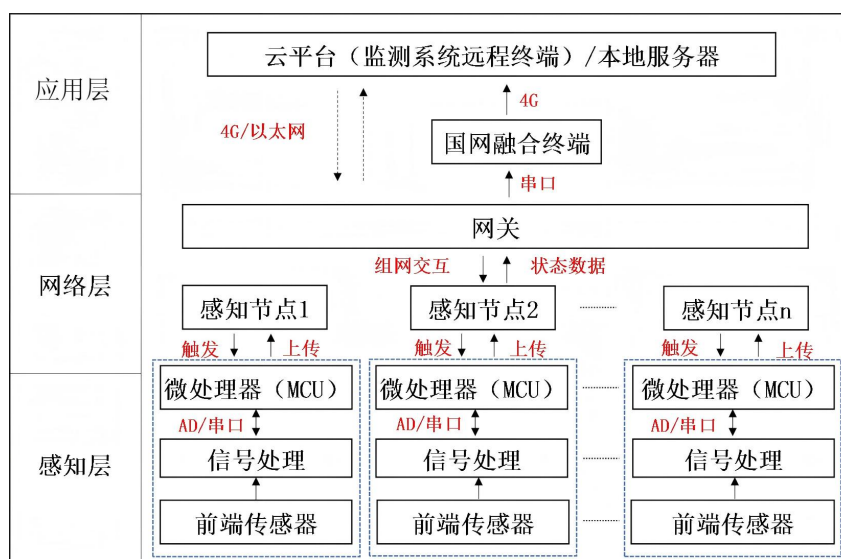


图1 分布式多状态监测系统系统架构图

### 4.2 分布式多状态监测系统架构

- 4.2.1 感知层应包括局部放电、温湿度、振动等传感器，数据采集、存储、处理及通信模块。感知层可将采集到的状态量进行初步处理后，将数据通过网关上传至应用层。
- 4.2.2 网络层应包括网关和数据传输单元。网络层能通过通信协议转换和网络互连，将前端感知装置监测数据传输到应用层。
- 4.2.3 应用层应包括状态量展示、特征分析与识别、决策制定等模块。应用层可在接收到数据后，对数据进行存储、显示、分析、诊断和预警。

## 5 分布式多状态监测系统技术要求

### 5.1 感知层

- 5.1.1 对于电缆线路，前端感知装置应包括局放在线监测装置、温度在线监测装置、振动在线监测装置等；对于电缆通道，前端感知装置可包括井盖监控、可视化监测装置、振动监测装置、沉降监测装置、自动灭火装置、火灾监测装置、水位监测装置、有毒有害气体监测装置、智能巡检机器人等。
- 5.1.2 局放在线监测装置、温度在线监测装置、振动在线监测装置等应符合DL/T 1506-2016中的有关规定，数据接入规范应符合附录A规定。
- 5.1.3 井盖监控、自动灭火装置、火灾监测装置、水位监测装置、有毒有害气体监测装置、智能巡检机器人等应符合DL/T 283.1-2018、DL/T 1506-2016中的有关规定。
- 5.1.4 前端感知装置应具有耐腐蚀性、防水、防湿气、防尘性能，外壳防护等级应达到IP68要求。如有阻燃要求，可采用合适的阻燃材料填充。
- 5.1.5 前端感知装置应与电缆同路径，紧贴电缆或通道内壁敷设。
- 5.1.6 前端感知装置的金属外壳部分应可靠接地。
- 5.1.7 在满足数据采集的基础上，前端感知装置宜采取措施降低总功耗。

### 5.2 网络层

- 5.2.1 网关可兼容IEC 61850、Modbus、MQTT、DL/T 645等主流工业协议，应具备与前端感知装置、终端设备、云端平台的数据透传功能。
- 5.2.2 网关应集成以太网、4G/5G、LoRa、光纤等至少2种通信接口，宜支持双SIM卡冗余备份，支持自适应组网或星型拓扑。
- 5.2.3 网关宜支持插拔式通信模块等扩展功能，不与其他通信频段冲突，宜支持断网续传、数据校验、数据冲突处理。
- 5.2.4 网关应具备IP67防护等级，可在-40℃~+70℃正常工作。
- 5.2.5 数据传输单元为无线透传设备，可与网关连接，扩展网关通信协议，实现网关与终端设备的通信连接。
- 5.2.6 未内置4G等无线通信模块的网关，在需要与云平台进行数据交互时，可通过串口连接数据传输单元后，快速实现与云平台的数据交互。

### 5.3 应用层

- 5.3.1 应支持接收来自网关或终端设备的温度、局放、载流量、视频等异构数据，并兼容IEC 61850、Modbus、MQTT等协议。
- 5.3.2 应实现电缆线路和通道运行状态的实时监测和分析，应能识别并展示运行状态异常事件。
- 5.3.3 应提供GIS地图、拓扑图、曲线图等可视化界面，可支持实时、小时、日、月等多时间尺度数据回放。

5.3.4 应具备在线监测信息的展示、查询和统计分析功能，可生成日报、周报、故障分析报告，支持PDF/Excel导出。

5.3.5 应具有数据自动保存和断电数据保存功能。

## 6 安全要求

6.1 分布式多状态监测系统应不改变被监测电缆的接线方式、密封性能、绝缘性能以及接地性能。

6.2 分布式多状态监测系统接入不应影响电缆通道和其它设备的安全运行和正常电缆检修。

6.3 分布式多状态监测系统的故障不应影响被监测电缆的性能。

6.4 分布式多状态监测系统中各类装置均应具备高可靠性、高稳定性和高抗干扰性，应具备在恶劣运行环境下的正常运行能力，满足数据准确性和标准化要求。

6.5 分布式多状态监测系统应满足信息安全防护方面的相关要求。

## 7 10kV 电缆设备状态监测装置及通道在线监测装置配置原则

### 7.1 10kV 电缆分级

根据电缆线路供电客户重要性，10kV电缆分为以下三级。

- a) 一级电缆：为特级和一级客户直供的10kV电缆线路。
- b) 二级电缆：为二级客户直供的10kV电缆线路。
- c) 三级电缆：未列入一、二级的10kV 电缆线路。

### 7.2 10kV 电缆通道分级

根据10kV电缆通道故障后对电网运行或用户供电造成的影响程度，将10kV电缆通道分为三级。

a)一级 10kV 电缆通道：因通道原因可造成四级及以上电网事件的 10kV 电缆通道；因通道原因可造成特级和一级客户失电的 10kV 电缆通道。

b)二级 10kV 电缆通道：因通道原因可造成五级电网事件的 10kV 电缆通道；因通道原因可造成二级客户失电的 10kV 电缆通道。

c)三级 10kV 电缆通道：未列入一、二级的 10kV 电缆通道。

### 7.3 10kV 电缆设备状态监测装置配置原则

直埋、排管、电缆沟、隧道内10kV电缆状态监测装置配置应按照表1要求执行。

表1 10kV电缆状态在线监测装置配置原则

监测装置	通道类型/电缆等级											
	直埋			排管			电缆沟			电缆隧道		
	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级
局放在线监测装置	•	◦	□	•	•	◦	•	•	◦	•	•	◦
电缆测温装置	•	•	◦	•	◦	◦	•	◦	◦	•	◦	◦
振动在线监测装置	•	•	◦	•	•	□	•	•	□	•	•	□

注：•表示应安装，◦表示宜安装，□表示可选装

### 7.4 10kV 电缆通道状态监测装置配置原则

10kV电缆排管、电缆沟、隧道通道在线监测装置配置应按照表2要求执行。

表2 10kV电缆通道在线监测装置配置原则

监测装置	通道类型/电缆等级								
	排管			电缆沟			电缆隧道		
	一级	二级	三级	一级	二级	三级	一级	二级	三级
井盖监控	•	•	◦	•	•	◦	•	•	◦
可视化监测装置	•	◦	◦	•	◦	◦	•	◦	◦
振动监测装置	•	•	□	•	•	□	•	•	□
沉降监测装置	•	•	◦	•	•	◦	•	•	◦
自动灭火装置	•	◦	◦	•	◦	◦	•	◦	◦
火灾监测装置	•	•	□	•	•	□	•	•	□
水位监测装置	•	•	◦	•	•	◦	•	•	◦
有毒有害气体检测装置	•	◦	◦	•	◦	◦	•	◦	◦
智能巡检机器人	•	•	□	•	•	□	•	•	□

注：•表示应安装，◦表示宜安装，□表示可选装

## 8 测试和试验

### 8.1 范围

- 8.1.1 测试和试验应覆盖功能性测试、性能测试、环境适应性试验、可靠性试验等四项内容。
- 8.1.2 功能性测试应包含状态量采集、通信协议、数据处理等核心功能验证等测试项目。
- 8.1.3 性能测试应包含实时性、精度、稳定性等指标考核项目。
- 8.1.4 环境适应性试验应包括高低温、湿度、电磁兼容性（EMC）等适应性试验项目。
- 8.1.5 可靠性试验应包括MTBF（平均无故障时间）、故障恢复能力等测试项目。

### 8.2 测试项目和方法

#### 8.2.1 功能性测试方法

功能性测试方法和标准应按照表3要求执行。

表3 功能性测试方法和判定标准

测试项	测试方法	判定标准
多状态量采集	模拟输入标准信号，验证温度、局放、电流等参数的采集精度。	精度等级 0.5 级
通信协议一致性	通过协议分析仪检测 Modbus TCP/IEC 61850 报文规范性。	符合 DL/T 860（IEC 61850）规约
分布式协同	人为断开局部节点，验证数据自动切换与同步能力。	切换时间≤500ms，数据无丢失

#### 8.2.2 性能测试方法

- 8.2.2.1 应开展实时性测试，从数据采集到云端显示的端到端延迟≤1s。
- 8.2.2.2 应开展采样频率测试，应满足温度/电流≥1Hz，局放信号≥1MHz。
- 8.2.2.1 应开展存储容量测试，边缘节点至少存储72小时原始数据。

#### 8.2.3 环境适应性试验方法

环境适应性测试方法和标准应按照表4要求执行。

表4 环境适应性测试方法

试验类型	条件	标准依据
高低温试验	-40℃~+85℃循环48小时	GB/T 2423.1-2008
湿热试验	40℃/95%RH持续96小时	GB/T 2423.102-2016
EMC抗扰度	静电放电（8kV）、射频干扰	GB/T 17626系列

### 8.2.4 可靠性试验方法

8.2.4.1 应开展MTBF试验验证，在额定负载下连续运行3000小时，故障次数 $\leq 1$ 次。

8.2.4.2 应开展故障注入测试，模拟传感器断线、通信中断，验证系统告警与自恢复功能。

### 8.3 测试流程与记录

#### 8.3.1 流程

8.3.1.1 测试流程应包括实验室测试、现场联调和试运行考核。

8.3.1.2 实验室测试应完成单机功能和性能测试。

8.3.1.3 现场联调应与主站对接，验证数据交互与告警联动。

8.3.1.4 试运行考核应至少实际部署3个月，统计误报率与漏报率要求 $\leq 1\%$ 。

8.3.2 所有测试数据需按GB/T 5094.1-2018要求归档，包括：原始数据、环境试验前后的性能对比表和故障日志与整改措施。

## 附录 A

(规范性)

## 在线监测数据接入规范

## A.1 编码规范

## A.1.1 监测类型代码

监测类型编码是指监测类型的唯一标识。标识编码由三段六位字符组成。第一段由两位数组成：第一段为监测专业，采用 2 位数字码；第二段由一位数组成，主要区分监测装置类型，1 表示电缆监测，2 表示电缆通道监测；第三段采用 3 位流水号标识。监测类型代码见表 A.1。

表 A.1 监测类型代码

配电电缆设备监测内容		类型编码	备注
电缆线路监测	电缆局部放电	031001	03 表示电缆专业，下同
	电缆温度	031002	
	电缆振动	031003	
电缆通道监测	振动强度	032001	
	环境温度	032002	

## A.1.2 被监测设备代码

被监测设备代码是指监测装置所监测设备的唯一标识。该代码采用生产管理信息系统(PMS)中通行的 17 位编码。

## A.1.3 监测装置代码

监测装置代码是指监测装置的唯一标识。该代码在省公司侧主站中产生，生成后将保持不变，该代码的使用范围为监测装置的整个生命周期。标识编码由三段十七位字符组成。第一段为省公司标识，采用 2 位数字码；第二段采用固定标识符 M；第三段采用 14 位流水号标识。

## A.1.4 监测数据参数代码

监测数据参数代码是各监测装置传输监测数据的参数标识，用于指导接入通信规约的制定。参数采用英文字母的方式编制（若参数名称大于 3 个汉字，则采用英文单词缩写的方式编制），具体参数代码内容将依据 A.2 接入数据规范编制。

## A.2 接入数据规范

## A.2.1 局部放电监测数据规范

局部放电系统接入数据规范见表 A.2。

表 A. 2 局部放电系统数据接入规范

序号	参数名称	参数代码	字段类型	计量单位	备注
1	被监测设备名称	LinkedDeviceNum	字符		
2	被监测设备 ID	LinkedDevice	字符		
3	监测装置名称	DeviceCodeNum	字符		
4	监测装置 ID	DeviceCode	字符		
5	监测时间	AcquisitionTime	日期		
6	局放类型	PDType	字符		“0”表示内部放电；“1”表示沿面放电；“2”表示电晕放电
7	局放放电量报警	PDLevel	数字		“0”表示正常状态；“1”表示异常状态；“2”表示故障状态
8	局放定位	PDLocation	数字		
9	监测装置自诊断	DeviceState	整型		“0”表示正常；“1”表示异常

## A. 2. 2 测温数据规范

测温系统接入数据规范见表 A.3。

表 A. 3 测温系统接入数据规范

序号	参数名称	参数代码	字段类型	计量单位	备注
1	被监测设备名称	LinkedDeviceNum	字符		
2	被监测设备 ID	LinkedDevice	字符		
3	监测装置名称	DeviceCodeNum	字符		
4	监测装置 ID	DeviceCode	字符		
5	监测时间	AcquisitionTime	日期		
6	监测装置定位	SettingLocation	数字		
7	电缆/通道表面温度	CableSurfaceTemperature	数字	°C	
8	电缆/通道表面最高温度报警值	MaxCableTemperature	数字	°C	
9	监测装置自诊断	DeviceState	整型		“0”表示正常；“1”表示异常

## A. 2. 3 振动数据规范

振动系统接入数据规范见表 A.4。

表 A. 4 振动系统接入数据规范

序号	参数名称	参数代码	字段类型	计量单位	备注
1	被监测设备名称	LinkedDeviceNum	字符		
2	被监测设备 ID	LinkedDevice	字符		
3	监测装置名称	DeviceCodeNum	字符		
4	监测装置 ID	DeviceCode	字符		
5	监测时间	AcquisitionTime	日期		
6	振动幅度	Vibration Amplitude	数字		
7	振动类型	Vibration Type	整型		“0”表示疑似外破高频振动；“1”表示疑似外破中低频振动
8	振动报警值	Vibration Level	数字		“0”表示正常状态；“1”表示异常状态；“2”表示故障状态
9	监测装置定位	Vibration Location	数字		
10	监测装置自诊断	DeviceState	整型		“0”表示正常；“1”表示异常

## 附录 B

(资料性)

## 分布式多状态监测系统案例

本案例采用电力物联网监测数据接入配电自动化云主站的方式进行部署，对配电电缆监测数据进行采集、处理、分析、应用。

## B.1 硬件部署方案

本案例包括了感知装置、网关及融合终端。感知装置部署于电缆本体、电缆通道中，根据差异化部署方案，在电缆井、电缆沟道、箱变附近等部署。网关就近连接到融合终端上。具体如图B.1所示。



图 B.1 某公司配电电缆分布式状态监测网络架构

图B.2为感知层-基于表带式的一体化传感器。一体化传感器整体为长方体结构，传感底面切削成曲率半径为7.5cm的弧面，可以适应不同尺寸的配电电缆接头。此外，底面的四个边角钻有1.7cm宽的通孔，安装时可将该一体化传感器的传感底面紧贴于电缆接头，用尼龙扎带或钢扎带穿过通孔后收缩紧固，实现一体化传感器的绑扎固定。



图 B. 2 超声局放-振动-温升一体化传感器封装结构实物图

图B.3为感知层的振动-温度一体化传感器，由加速度传感元件、热敏电阻、数据采集与无线通讯模块等元件组成，整体封装为长方体结构，传感面为铝合金平面，具有良好的声、热传导性能。安装时可用6mm自攻螺丝，或者用粘接胶带将一体化传感器可靠固定于电缆通道侧壁。此外，一体化传感器亦可通过预留的航空插头实现对数据的有线传输，提高数据传输的冗余度与可靠性。



图 B. 3 振动-温升一体化传感器实物图

## B. 2 组网通信

### B. 2. 1 网络架构方案

本案例综合考虑配电电缆监测系统的传输距离、功耗、成本和实用性等要素，选择 LoRa 作为配电电缆监测系统的通信技术解决方案。采用如图 B.4 所示的星型网络架构。通过 LoRa 星型网络架构将前端装置的端节点、网关及云主站联系起来，构成信息链路。为了方便自组网，在 LoRa 模块的选择时，需综合考虑自组网的便利及与融合终端的方便连接。

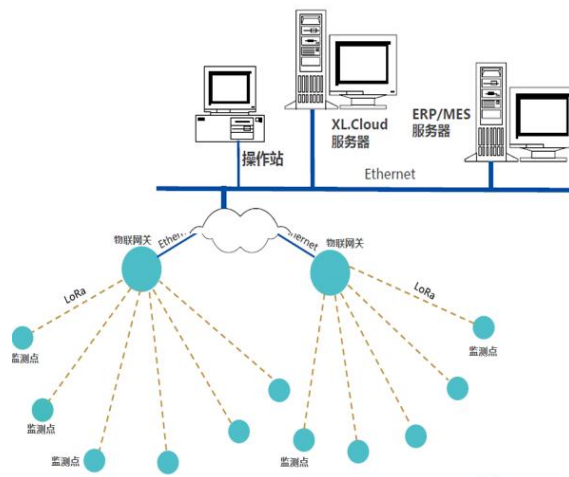


图 B.4 Lora 星型网络架构

### B.2.2 控制策略

前端装置与网关之间可以采用主动上报、轮询多种交互方式。轮询主要是云端通过网关向终端主动发送请求数据指令，前端装置接收到请求数据指令后，将数据上传；主动上报是，前端装置节点获得传感器数据后，主动将数据上报。若采用轮询的方式，则通信模块需要实时处于带电状态以接受网关传输过来的指令，功耗较高。若采用主动上报的方式，则可以控制 LoRa 的带电状态，实现有数据发送时带电，无数据发送时不带电；传感器有主动发送需求时将数据发送，无主动发送需求时休眠，可以达到功耗的最节省状态。但是若多个前端装置节点同时发送数据，则有可能会遇到数据冲突，且需要等待 LoRa 组网成功，有一定时延，可以通过设置节点信道繁忙时等待的策略规避数据冲突。本案例选择感知节点主动上报，通过网关透传数据至融合终端的方式。

### B.3. 软件部署

开展智能融合终端数据应用APP部署和配电云主站配电电缆网多状态分布式感知监控模块部署。

#### B.3.1 智能融合终端应用 APP 部署

融合终端开发数据接收和处理APP，对LoRa网关传送传感装置的电缆监测数据进行接收和处理，处理过的数据发送配电云主站。包括融合终端对下接收LoRa网关数据模块部署和融合终端对上发送数据至云主站模块功能部署。

#### B.3.2 配电云主站配电电缆网多状态分布式感知监控模块部署

配电电缆网多状态分布式感知监控模块基于配电自动化云主站开发，通过本模块可以实现配电电缆线路及通道状态诊断预警、感知装置优化部署决策与感知装置失效自主报警功能。

### B.4 技术参数及主要功能

#### B.4.1 总体设计

本分布式多状态监测系统案例总体设计包含以下内容：

- a) 电缆本体感知装置可以实现对电缆本体温升、振动及局放的监测；电缆通道感知装置可以实现对电缆通道的温升及振动的监测。
- b) 电缆本体及电缆通道感知装置均为 IP68 防水等级。
- c) 电缆本体及电缆通道感知装置通过 4 芯航插与供能模块连接。供能模块中含有锂电池与无线充电接收板。
- d) 网关放置于融合终端附近，通过串口与融合终端连接。

#### B.4.2 性能指标

本分布式多状态监测系统案例性能指标包含以下内容：

- a) 超声局放-振动-温升一体化传感器：局放检测灵敏度 $>50\text{pC}$ ；温度检测灵敏度 $>1^\circ\text{C}$ ；振动检测灵敏度 $>100\text{mV/g}$ ；
- b) 振动-温升一体化传感器：温度检测灵敏度 $>1^\circ\text{C}$ ；振动检测灵敏度 $>100\text{mV/g}$ ；
- c) 感知装置功耗：休眠时功耗 $<50\mu\text{A}$ ，发送数据瞬间功耗约为  $125\text{mA}$ ，采集及与网关连接时功耗 $<26\text{mA}$ 。
- d) 网关与融合终端串口连接，串口波特率设置为  $115200$ 。
- e) 感知装置与网关之间通过 LoRa 通信。
- f) 设置通信功率  $30\text{dB}$ 。

#### B.4.3 工作模式设置

感知装置工作模式可设置为网关主动轮询节点以及感知装置主动上报。在本案例中设置为主动上报，即感知装置主动发送数据，通过网关透传至融合终端，进而在云主站获取数据显示和分析。感知装置在正常运行与休眠之间交替工作。

#### B.4.4 主要组成部分介绍

##### B.4.4.1 超声局放-振动-温升一体化传感器

安装部署在电缆接头和本体上，实现中压配电电缆线路局放缺陷与接地故障事件的分布式感知、告警。

##### B.4.4.2 振动-温升一体化传感器

安装部署在电缆通道和侧壁上，实现中压配电电缆线路被盗与火灾故障事件的分布式感知、告警。

##### B.4.4.3 前端装置

适用于配电电缆网分布式无源传感前端装置的外部数据接收、工作模式控制及充能终端，实现感知装置的数据接收和充电功能。

##### B.4.4.4 智能融合终端

智能融合终端是配电台区及用电侧的边缘计算节点，在配电台区以智能融合终端为核心，借助智能融合终端通道，实现感知数据采集到云主站的可靠采集。

#### B.4.5 主要功能

##### B.4.5.1 温度测量与自主诊断

可将本体、通道的温度数据定期（设置为30分钟）发送至云主站。同时，可根据此功能判断感知装置是否有效。在上传温度数据时，将上传电池电压数据，以评估电池是否还有电量。

##### B.4.5.2 振动信号测量

感知装置中设置了 $1.2\text{V}$ 的比较电压，振动传感器的灵敏度 $>1000\text{mV/g}$ ，外部凿挖通常大于 $1\text{g}$ ，因此设置 $1.2\text{V}$ 作为比较电压来判断是否发生外破振动。

##### B.4.5.3 局放信号测量

感知装置中设置了参考比较电路，未发生局放时，感知装置采集到的局放超声传感器输出为 $2.5\text{V}$ ，设置了参考比较电路阈值电压为 $2.8\text{V}$ ，当超声传感器的阈值大于 $2.8\text{V}$ 时，唤醒感知装置进行局放数据采集。

#### B.4.5.4 数据无线发送

感知装置中集成了LoRa无线发送模块，该模块可将数据发送至网关，网关设置成了透传模式。网关与融合终端通过串口连接，融合终端中开发了驱动模块，可接收到的网关数据解析后重新打包成云主站可以获取的数据。

#### B.4.5.5 数据显示分析

云主站处设计了数据显示与分析功能。可显示感知装置发送来的电缆本体和通道数据，数据通过曲线的形式进行呈现，方便运维人员观察分析。

---