

电缆环流、局放综合在线监测装置

——环流、局放、主缆电流、回流线电流、振动、温度、感应电压

技术规范

版本：V0.1

2025 年 08 月

武汉朗开电子科技有限公司

武汉朗开智能科技有限公司

www.langkaidianqi.com

目 录

1	概述	1
2	环流产生的原理、环流过大的危害	1
2.1	环流产生的原理	1
2.2	环流过大的危害	2
3	局部放电基本知识	2
3.1	什么是局部放电	2
3.2	导致局部放电的原因	2
3.3	局部放电的伴生现象	3
3.4	局部放电有哪几个种类	4
3.5	局放检测的重要性	5
4	高压交流电缆综合在线监测系统典型方案	6
5	电缆在线监测的国网标准与通知	7
6	系统构成	10
7	监测传感器安装位置示意图	10
8	功能特点	11
9	设备外观与内部封装状态	12
10	传感器外观	14
11	技术指标	19
11.1	监测参量	19
11.2	电磁兼容特性	19
12	通信接口及支持协议	20
12.1	RS485 接口	20
12.2	GSM/GPRS 接口	20
12.3	光纤接口	21
12.4	以太网接口	21
13	供电方式	21
13.1	交流电源供电方式	21
13.2	CT 取电供电方式	22
13.3	功耗	23
14	安装	23
14.1	主机安装	23
14.2	天线安装	24
14.3	SIM 卡安装	24
14.4	测量电流互感器安装	27
14.5	在垂直电缆上固定电流互感器的安装方法	30
15	现场安装图片	31
15.1	城市地下管廊	31
15.2	地下电缆沟	32
15.3	架空线转地下电缆	33
15.4	地面安装	35
15.5	电缆及接线直径	35

1 概述

本产品用于高压单芯电缆护层接地电流、局放的在线监测。

10kV 及以上的电缆主要采用带有金属护层的单芯电缆。因单芯电缆金属护层与芯线中交流电流产生的磁力线相绞链，使其两端出现较高的感应电压，故需采取合适的接地措施，使感应电压处在安全电压范围内（通常不超过 50V，有安全措施时不超过 100V）。通常短线路单芯电缆的金属护层采用一端直接接地和另一端经间隙或保护电阻接地的方式；长线路单芯电缆金属护层则采用三相分段交叉互联两端接地的方式。不论采用哪种接地方式，良好的护层绝缘都是必要的，当电缆护层绝缘发生损伤时，将使金属护套多点接地，从而产生护层循环电流，增加护套的损耗，影响电缆的载流能力，严重时甚至使电缆严重发热而烧毁。同时，保证高压电缆线路金属层护套直接接地点的接地良好也十分重要，如果接地点由于各种原因不能有效接地，那么电缆金属护套的电位就会急剧升到几千伏甚至上万伏，很容易把电缆外护套击穿并在击穿点持续放电，造成电缆外护套温度升高甚至着火燃烧。

电缆护层综合在线监测装置采用了环流法原理，即：单芯电缆金属护套在正常情况下（即一点接地），金属护套上环流极小，主要是容性电流，而一旦金属护套出现多点接地与大地形成回路后，环流显著增加，严重时可达主电流的 90%以上。实时监测金属护套环流及其变化量，即可实现单芯电缆金属护套多点接地故障的在线监测，从而及时准确的发现接地故障，从根本上避免电缆事故的发生，保证电缆安全、可靠的运行。

电缆护层综合在线监测装置采用高频脉冲电流法监测局部放电。

2 环流产生的原理、环流过大的危害

2.1 环流产生的原理

由电缆结构了解到，其外部是金属护层，当传导电能时，在线芯中的电流，会与外层金属护层产生切割现象的电磁感应。由于电磁感应会在金属护层上形成电动势，称为感应电压。其强弱与电流有关。当电流增大时，电压也增大，是一种递增关系。过大的电压会对护层造成影响，甚至造成电缆击穿。因此，电缆每隔一段距离都要接一条接地线，目的就是释放护层上积累的感应电压，这样金属护层就与大地形成一条通路，在感应电压的影响下形成回路电流，将这个电流称为电缆护层环流。

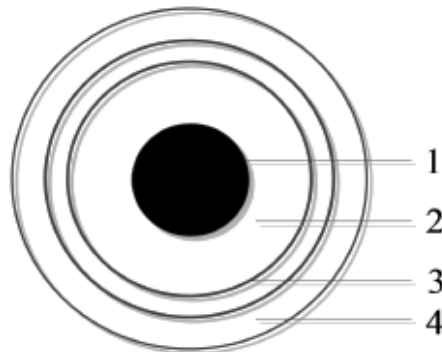


图 1 电缆的结构

1——线芯，2——绝缘层，3——金属护层，4——外护层

2.2 环流过大的危害

(1) 运行高压电缆金属护层系统环流的增大,使得电缆金属护层损耗剧增,电缆的温升增加,严重时或导致电缆过热甚至着火燃烧。

(2) 运行高压电缆金属护层环流大大增加了电缆传输电能能量损失,降低了电缆的传输效率,造成严重的资源浪费。

(3) 运行高压电缆金属护层环流,加速了电缆绝缘的老化,缩短了电缆的正常使用寿命。

(4) 使交叉互联连接处发热,若长期运行的电缆护层环流较大,而电缆交叉互联处接触不好,会引起交叉互联处发热。从设计角度及运行经验来看,若运行中保证交叉互联接触良好,将不会产生发热问题。

3 局部放电基本知识

3.1 什么是局部放电

局部放电是指电气设备中的局部区域发生电弧放电或电晕放电的现象。当电力设备中的绝缘系统出现缺陷或损坏时,会导致局部区域的电场强度超过绝缘材料的耐受能力,从而引发局部放电。




3.2 导致局部放电的原因

局部放电通常发生在高电压设备或系统中,如变压器、发电机、电缆、开关设备等。它可能是由于绝缘材料的老化、机械损伤、污秽、湿度、电压过高或电压应力集中等原因引起的。

1) 运行状态因素会导致局部放电的出现。例如,雷电波冲击会产生极高的电压,远远超过电力设备所能承受的额定电压。这种高电压冲击会导致设备绝缘系统的电场分布不均匀,产生局部电压过高的区域,从而引发局部放电。



电压
过高




雷电波
冲击




谐波
畸变


2) 设备本身原因也会导致局部放电的出现。例如，绝缘材料的制造过程中可能存在缺陷，如气泡、裂纹、异物等。这些缺陷会导致绝缘材料的局部放电强度降低，容易引发局部放电。



绝缘材料
不均匀



内部存在
空洞和杂质



导体表面
存在凸出部



绝缘强度
不足

3) 除运行状态，设备本身等因素外，环境因素也会引发局部放电。例如，高湿度环境会增加局部放电的风险。当设备表面或绝缘材料吸湿时，水分会降低绝缘材料的绝缘性能，导致局部放电的发生。



湿度
过大



温度
过高

3.3 局部放电的伴生现象

局部放电发生时主要伴随着以下几种能量释放方式。

一、电磁波

HF（高频）、VHF（甚高频）、UHF（特高频）。

二、声波

可闻声、超声波。

三、光

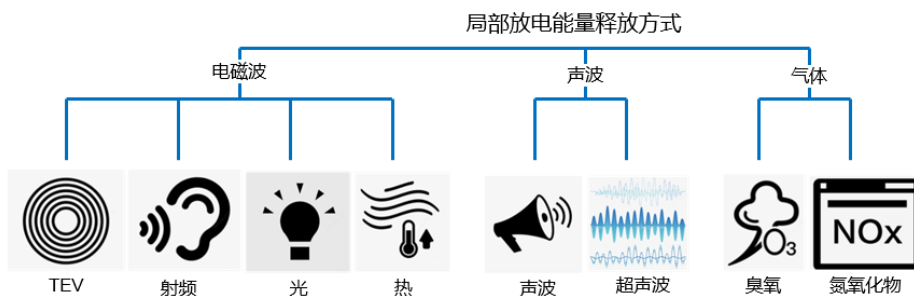
红外、紫外。

四、电流行波

高频脉冲电流。

五、气体

臭氧、氮化物、碳化物、氟化物。



3.4 局部放电有哪几个种类

一、电晕放电

电晕放电是一种局部放电形式，它通常发生在高电压设备、电线、电缆等绝缘体表面。电晕放电是由于电场强度超过周围气体的击穿强度而引起的气体电离现象。



二、沿面放电

沿面放电是局部放电的一种形式，它发生在绝缘体表面。当绝缘体表面存在缺陷、污秽、湿度或电场集中时，电场强度可能超过表面击穿强度，导致表面放电的发生。

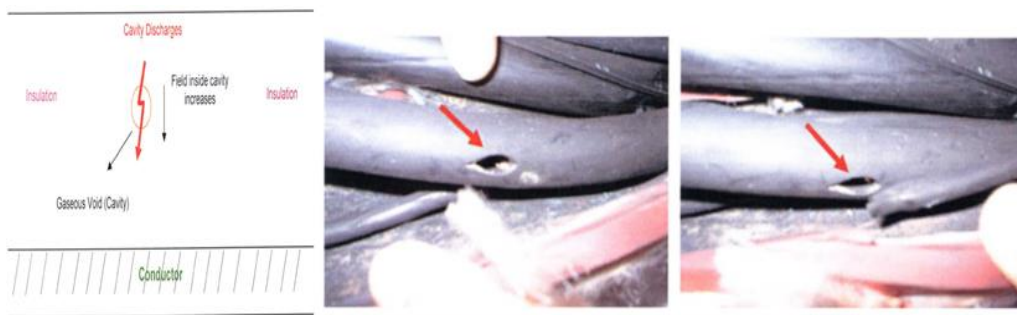
表面放电通常呈现为明亮的火花、电弧或闪光，伴随着明显的声音。它是由于电场强度超过绝缘体表面的击穿强度，使得电荷在绝缘体表面产生放电现象。



三、内部放电

内部放电是局部放电的一种形式，它发生在绝缘体内部。与表面放电不同，内部放电是在绝缘体内部的缺陷、空腔或局部损伤处发生的放电现象。

内部放电通常发生在绝缘体中存在固体杂质、空气泡、湿度、局部损伤等区域。当电场强度超过这些区域的击穿强度时，电荷会在绝缘体内部产生放电现象。



3.5 局放检测的重要性

局部放电检测是电气设备运行状态监测的重要组成部分，它的重要性体现在以下几个方面：预防设备故障、提高设备可靠性、保障电力系统安全。定期检测局放电，才能发现设备中的问题，减少故障的发生，才能保障电力系统的安全运行和延长设备寿命。

4 高压交流电缆综合在线监测系统典型方案

环流的监测主要在交叉互联系箱的位置进行测量。

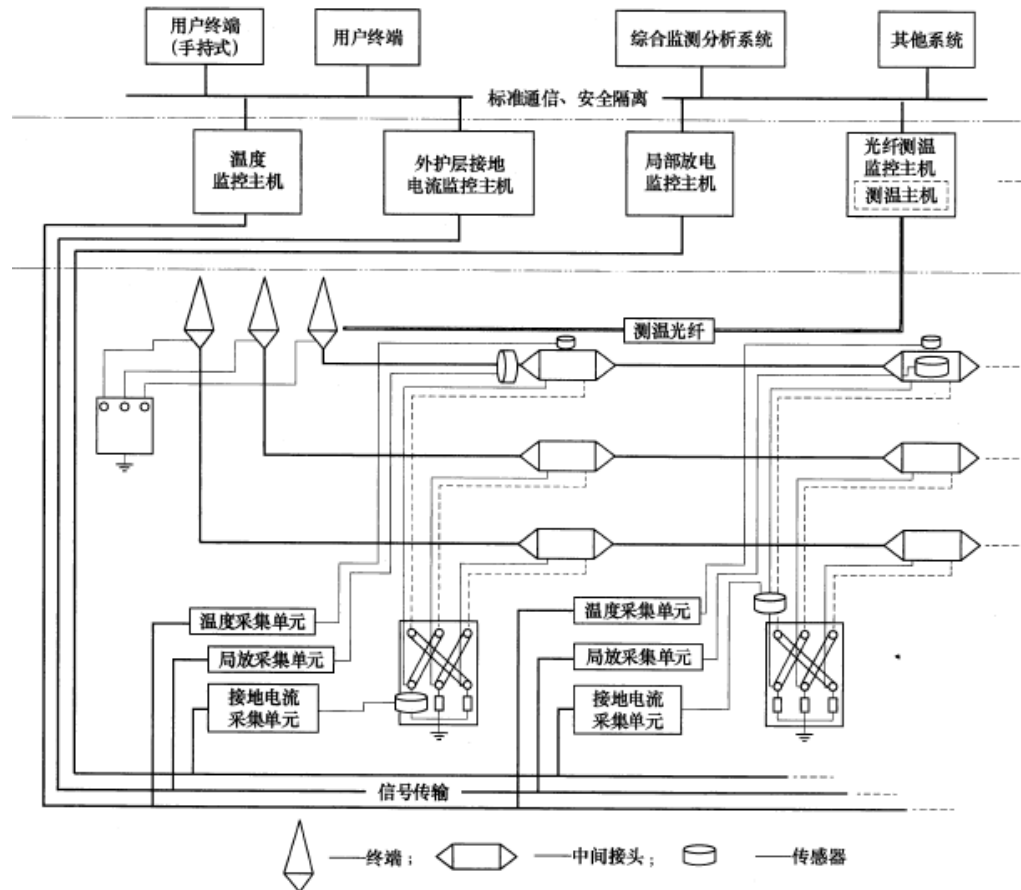


图 2 高压电缆在线监测典型方案

5 电缆在线监测的国网标准与通知

ICS 29.240

Q/GDW

国 家 电 网 公 司 企 业 标 准

Q/GDW 11223—2014

高压电缆状态检测技术规范

Technical specification for state detection
for high voltage cable lines

2014 - 12 - 01 发布

2014 - 12 - 01 实施

国家电网公司

发布

4 电缆状态检测的通用要求

- 4.1 电缆状态检测以检测方式可分为在线检测和离线检测，在线检测主要有红外检测、金属护层接地电流检测、局部放电检测等；离线检测主要有变频谐振试验下的局放检测、OWTS 振荡波电缆局放等。
- 4.2 电缆状态检测推行大规模普测、疑似信号复测、问题设备重点监测的作业方式，确保电缆设备安全稳定运行。
- 4.3 电缆状态检测人员应参加电缆状态检测的技术培训并取得相应的技术资质。
- 4.4 红外热像仪、接地电流检测仪器基本要求见附录 A。高频局部放电检测、超高频局部放电检测和超声波局部放电检测的检测仪器基本要求见 Q/GDW11224—2014。
- 4.5 电缆状态检测方法的适用范围见表 1。

表1 各种状态检测方法的适用范围

方法	适用电缆	重点检测部位	针对缺陷	检测方法	备注
红外热像	35kV及以上电缆	终端、接头	连接不良、受潮、绝缘缺陷	在线	必做
金属护层接地电流	110kV及以上电缆	接地系统	电缆接地系统缺陷	在线	必做
高频局放	110kV及以上电缆	终端、接头	绝缘缺陷	在线	必做
超高频局放	110kV及以上电缆	终端、接头	绝缘缺陷	在线	选用
超声波	110kV及以上电缆	终端、接头	绝缘缺陷	在线	选用
变频谐振试验下的局放	110kV及以上电缆	终端、接头	绝缘缺陷	离线	必做
OWTS振荡波电缆局放	35kV电缆	终端、接头	绝缘缺陷	离线	必做

5.2.3 诊断判据

对电缆金属护层接地电流测量数据的分析，要结合电缆线路的负荷情况，综合分析金属护层接地电流异常的发展变化趋势。

电缆金属护层接地电流检测的诊断依据见表 5。

表5 高压电缆线路地电流检测诊断依据

测试结果	结果判断	建议策略
满足下面全部条件： 1) 接地电流绝对值 $<50\text{A}$ ； 2) 接地电流与负荷比值 $<20\%$ ； 3) 单相接地电流最大值/最小值 <3 。	正常	按正常周期进行
满足下面任何一项条件时： 1) $50\text{A} \leq$ 接地电流绝对值 $\leq 100\text{A}$ ； 2) $20\% \leq$ 接地电流与负荷比值 $\leq 50\%$ ； 3) $3 \leq$ 单相接地电流最大值/最小值 ≤ 5 。	注意	应加强监测，适当缩短检测周期
满足下面任何一项条件时： 1) 接地电流绝对值 $>100\text{A}$ ； 2) 接地电流与负荷比值 $>50\%$ ； 3) 单相接地电流最大值/最小值 >5 。	缺陷	应停电检查

国家电网公司部门文件

运检二〔2016〕120号

国网运检部关于加强高压电缆线路运维工作的通知

各省（自治区、直辖市）电力公司，中国电科院：

近期，公司系统相继发生三起高压电缆线路停电事件，分别是8月18日国网辽宁电力66千伏海水右线A相#2接头击穿接地烧弧起火烧毁同隧道内3回66千伏电缆线路；8月22日国网重庆电力共沟低压电源起火导致4回110千伏电缆线路紧急停电避险；8月23日国网江西电力因拾荒人员焚烧的垃圾掉入电缆沟盖板缝隙烧损2回110千伏电缆线路，暴露出部分单位存在局部网架结构薄弱、66千伏系统中性点接地方式不合理、电缆防火措施落实不到位、隐患排查治理不彻底等问题。为认真汲取教训，举一反三，进一步提升高压电缆隧道及沟道本质安全运行水平，提出如下工作要求：

— 1 —

四、掌握电缆线路实时运行状态

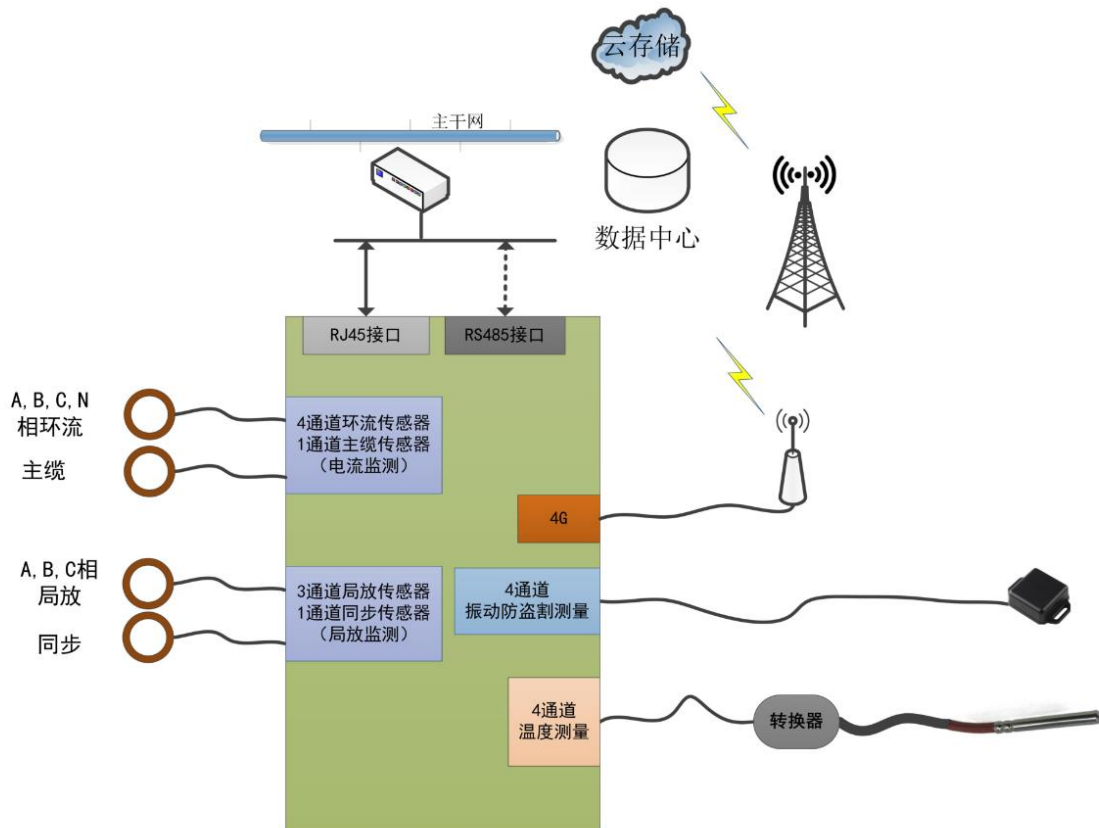
各单位应根据线路重要性，差异化布置高压电缆及通道在线监测技术手段。高压电缆线路应配置温度、接地环流等在线监测装置，重要高压电缆通道及重点部位应落实温度监控手段，电缆隧道应设置消防报警、通风、排水、出入口门禁、水位监控装置，宜配置可燃气体监测、视频监测等装置，切实提升通道环境监控及预警能力。

6 系统构成

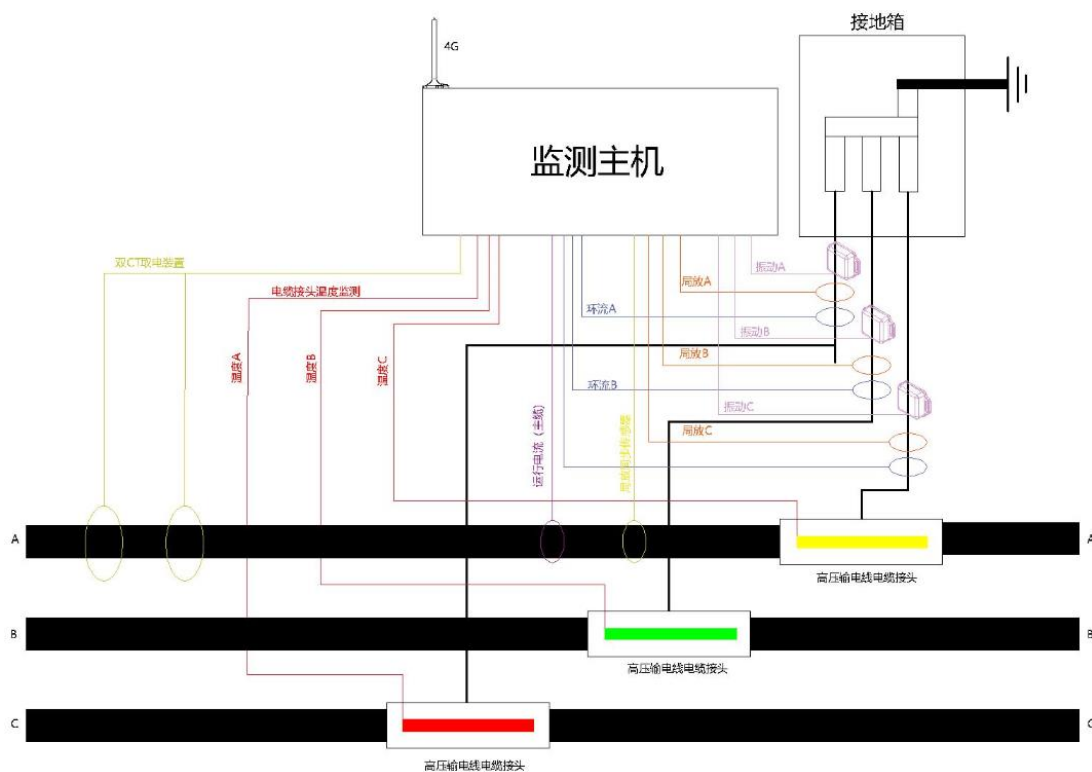
监测装置由监测主机和电流互感器、局放传感器、温度及防盗割传感器等组成实现。开口式电流互感器安装于电缆护层接地线及主缆上，经转换为二次信号后引入监测装置。温度传感器用于对电缆温度进行监测，防盗割传感器对环流接地线进行防盗割监测。

以上所有监测接口可根据客户需求增减。

电缆护层综合在线监测系统组成如下图：



7 监测传感器安装位置示意图



8 功能特点

- (1) 实时监测三相电缆的护层接地电流、总接地电流及任意相主缆运行电流；
- (2) 实时监测三相电缆接头温度；
- (3) 实时对电缆护层接地线防盗割监测；
- (4) 实时监测三相电缆的局部放电；
- (5) 监测时间间隔可设置；
- (6) 报警参数及是否允许相应监测参数产生报警可设置；
- (7) 统计设置时间段内的最大值、最小值、平均值；
- (8) 实时监测统计周期内单相接地电流最大值最小值比，并进行报警处理；
- (9) 实时监测统计周期内接地电流与负荷比值，并进行报警处理；
- (10) 实时监测统计周期内单相接地电流变化率，并进行报警处理；
- (11) 所有监测数据均有时间标签，保证数据的唯一性；
- (12) 所有监测传感器可根据用户要求进行增减配置；
- (13) 多种数据传输接口：RJ45、RS485 接口、GPRS，可同时使用一种或多种数据传输模式；
- (14) 支持远程维护和升级；
- (15) 支持多种电源供电方式：CT 感应取电、AC-DC 电源、直流电供电及电池供电；
- (16) 全部采用工业级元件，具有良好的可靠性、稳定性；
- (17) 单元式全封闭结构设计，易于安装，所有部件均采取紧锁措施，抗振性能好，并且更换拆卸方便；
- (18) 全封灌结构：环氧树脂封灌、无外露元件、不进水，完美支持 IP68 防护等级。

(18) 可靠性高、免维护。

9 设备外观与内部封装状态

箱体外壳采用铸铝机箱，或者不锈钢机箱；
所有元件全部进行环氧树脂封灌；
使用高可靠防水航插接着。

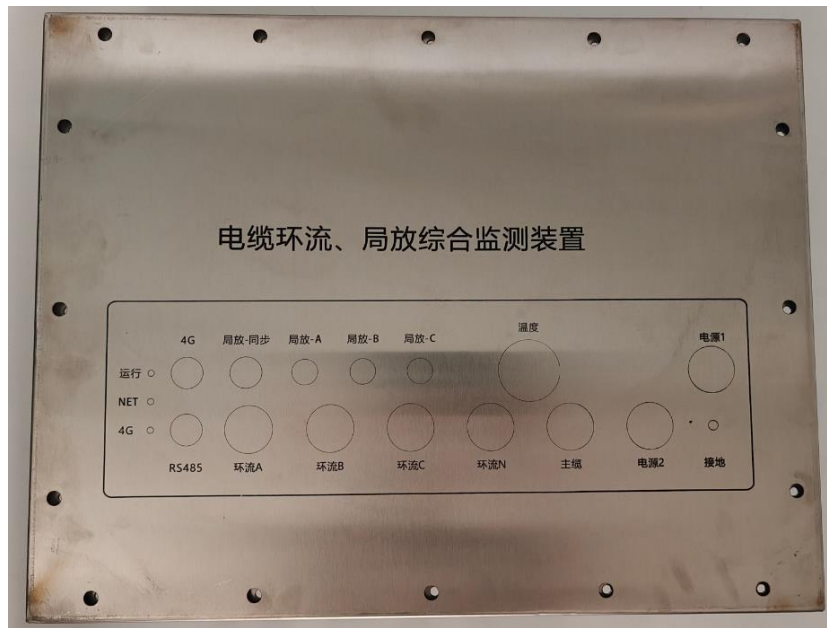


不锈钢箱外壳



内部防水封灌





10 传感器外观



←

高频脉冲电流传感器



高频脉冲电流传感器







采用柔性传感器（罗氏线圈、主机内置积分器）的电缆环流在线监测装置，适用于高压输电末端、接地箱空间狭小、电缆桥架等场合。

11 技术指标

11.1 监测参量

参数		指标
电流测量	运行电流测量	1 路, 0.1A~3000A (其他需定制)
	护层接地电流测量	4 路, 0.1A~300A (其他需定制)
	回流线电流测量	1 路, 0.1A~300A (其他需定制)
	测量精度	测量误差不超过±(标准读数×1%+0.5A)
	测量周期	1 秒~260 秒可设置
局放测量	局部放电接口数量	4 路同步检测。A、B、C 三相, 1 路工频信号。
	检测带宽	0.1~50MHz
	最小检测放电量	5pC
	AD 位数	14bit
温度测量	范围	4 路, -40℃~+130℃
	精度	±1℃, 温度传感器 (敏感器件 PT100) 的反应时间是 1 分 10 秒。
	测量周期	10 秒~260 秒可设置
	其它	传感器断线可检测, RS-485 传输
振动测量	范围	4 路, 振动监测频率 1~500 次/秒
	报警范围	10~250 次/秒可设置
	报警持续时间	1~600 秒可设置
	其它	传感器断线可检测
电压监测	护层感应电压	3 路, 0~500V (其他需定制)
	测量精度	±(1%+2V)

11.2 电磁兼容特性

静电放电抗扰度	等级 4: GB/T 17626.2
射频电磁场辐射抗扰度	等级 3: GB/T 17626.3
电快速瞬变脉冲群抗扰度	等级 4: GB/T 17626.4
浪涌抗扰度	等级 4: GB/T 17626.5
射频场感应传导抗扰度	等级 3: GB/T 17626.6
工频磁场抗扰度	等级 5: GB/T 17626.8
脉冲磁场抗扰度	等级 5: GB/T 17626.9
阻尼振荡磁场抗扰度	等级 5: GB/T 17626.10
抗电压变化	等级 3: GB/T 17626.11

12 通信接口及支持协议

12.1 RS485 接口

- 波特率：2400bps、9600bps、19200bps 可设置
- 数据长度：8 位；
- 起始位：1 位；
- 停止位：1 位；
- 校验：无校验；

目前 RS485 接口已经支持协议如下：

- 1) 我公司私有协议（对外开放，提供 PC 机测试程序，开源）；
- 2) 支持标准 Modbus RTU 协议。

12.2 GSM/GPRS 接口

- 工作频段：4 频，850 MHz/900 MHz/1800 MHz/1900 MHz ；
- GSM 中英文短消息；
- GPRS class 10，最大下行速率 85.6 kbit/s，最大上行速率 42.8 kbit/s，支持 TCP/IP、UDP、FTP、HTTP 协议。
- 4G 传输，传输的数据帧间隔：2 分钟。

目前 GPRS 数据接口已经支持协议如下：

- 1) 我公司私有协议（对外开放，提供 PC 机测试程序，开源）；
- 2) 中文短信协议（对于不方便架设网络的情况）；
- 3) 阿里云物联网云平台；
- 4) 广东电网输电线路状态监测系统规约 V1.3。

12.3 光纤接口

2 个 100Base-FX 光口;

支持环网冗余技术, 支持多种环网结构;

网络故障自愈时间 < 20ms。

12.4 以太网接口

速率: 10/100 Mbps, MDI/MDIX 交叉直连自动切换;

保护: 1.5KV 电磁隔离;

网络协议: TCP, UDP, ARP, ICMP, DHCP, DNS, HTTPD Client。

光纤及以太网接口支持协议如下:

- 1) 支持协议同 GPRS 链路;
- 2) Modbus TCP 协议。

13 供电方式

13.1 交流电源供电方式

电压: 85~305VAC;

频率: 47~63Hz;

功率: ≤8W。

具有以下特性:

- 1) 过压过流保护;
- 2) 防浪涌性能满足 4 级标准;
- 3) 工作温度范围: -40°C ~ +85°C。

13.2 CT 取电供电方式

有以下特点:

- 1) 启动电流小, 当主缆电流达到 25A 时即可满足设备的正常工作;
- 2) 最大持续负荷电流 1200A;
- 3) 可承受大冲击电流, 30kA 持续 4 秒;
- 3) 设置过热、过载保护 ;
- 4) 可多 CT 取电, 提高输出功率。



单 CT 取电模块



双CT取电模块外观



双CT取电模块内部结构

13.3 功耗

RS485 通信方式时：直流供电电压 12V、工作电流 30mA

RJ45 通信方式时：直流供电电压 12V、工作电流 130mA

GPRS/4G 通信方式时：直流供电电压 12V

平均工作电流：100mA

最大工作电流：160mA（瞬时）

如果需要使用 RTU，则 RTU 的功耗为：

直流供电电压 12V

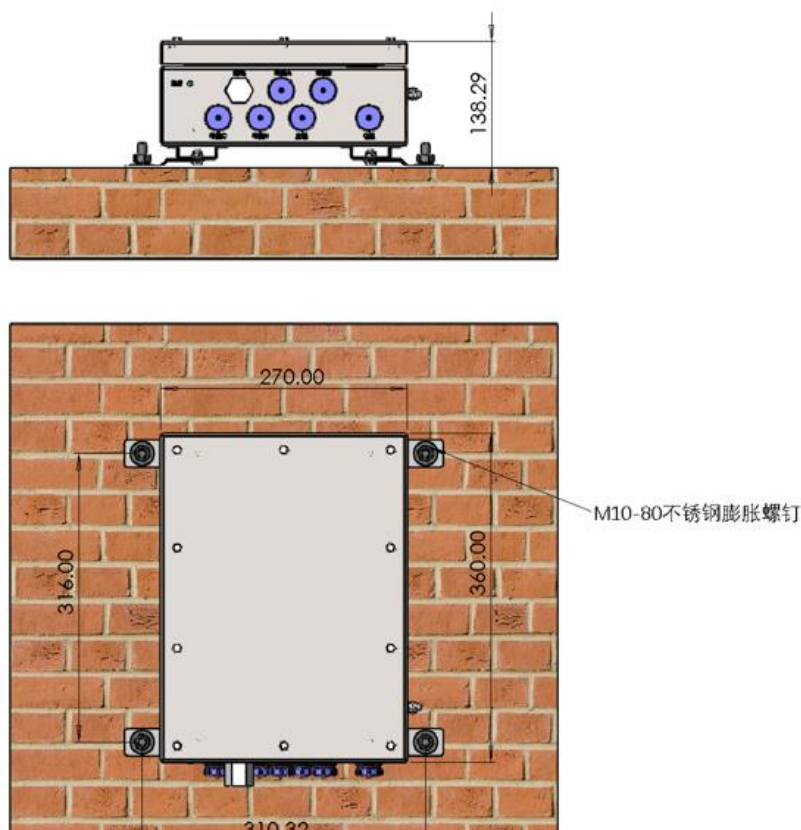
平均工作电流：120mA

最大工作电流：180mA（瞬时）

14 安装

该产品必须正确安装及设置后才能达到预期的设计要求，本节主要说明产品的安装步骤。

14.1 主机安装



15.2 天线安装

该产品的天线接口采用 50Ω SMA 母头底座，外接天线必须使用适合 GPRS 工作波段的天线，如果采用其它不匹配天线将影响设备的使用，严重的可能会导致产品损坏。

14.3 SIM 卡安装

安装 SIM 卡之前，先开启外不锈钢（或铸铝）箱盖，便可安装 SIM 卡，请按下列步骤进行。

一、打开监测主机的外盖，可以看到 SIM 卡安装盒。



二、打开 SIM 卡安装盒的密封盖，可以看到：

- (1) SIM 卡安装盒密封盖；
- (2) SIM 卡弹出按钮：用尖装物或针状物按下此按按钮可弹出 SIM 卡抽屉；
- (3) SIM 卡抽屉；
- (4) 干燥剂。



三、将 SIM 卡放入 SIM 卡抽屉。



四、将安装 SIM 卡的抽屉插入安装座。

五、调试完成，在 SIM 卡安装盒的边沿均匀的涂上硅橡胶，盖上 SIM 卡密封盖。



六、在 SIM 卡安装盒的密封盖上涂上硅橡胶（硅橡胶颜色有黑色或者白色）。

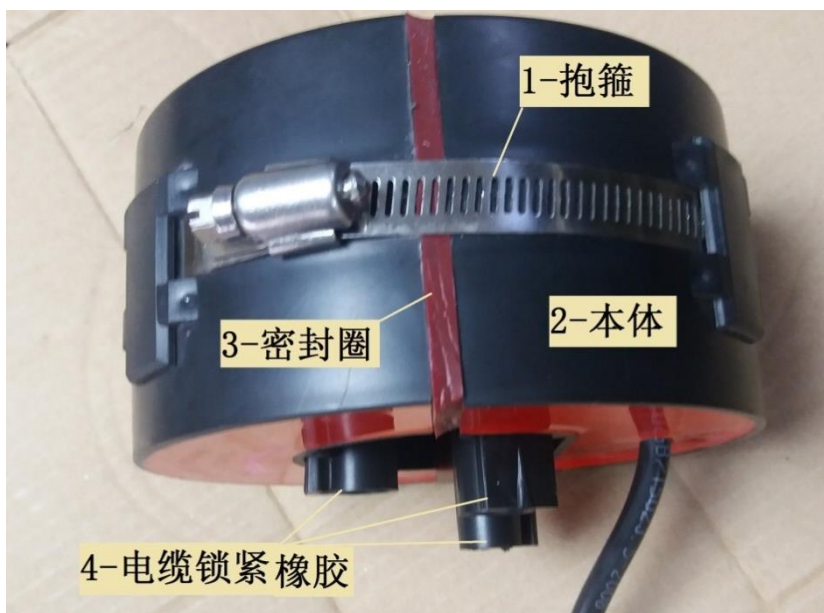


注意：在设备通电的情况下严禁插拔 SIM 卡。设备在初始化期间，会将 SIM 卡中的信息全部删除。用户在实际使用时，应当注意备份 SIM 卡中您有用的信息，对于已删除的信息，我司表示歉意。

14.4 测量电流互感器安装

为了保证电流互感器的测量精度与防护性能，请按以下要求安装电流互感器。由于安装互感器中使用了硅橡胶，因此安装过程中在硅橡胶未凝固前，请保持互感器不要浸水。

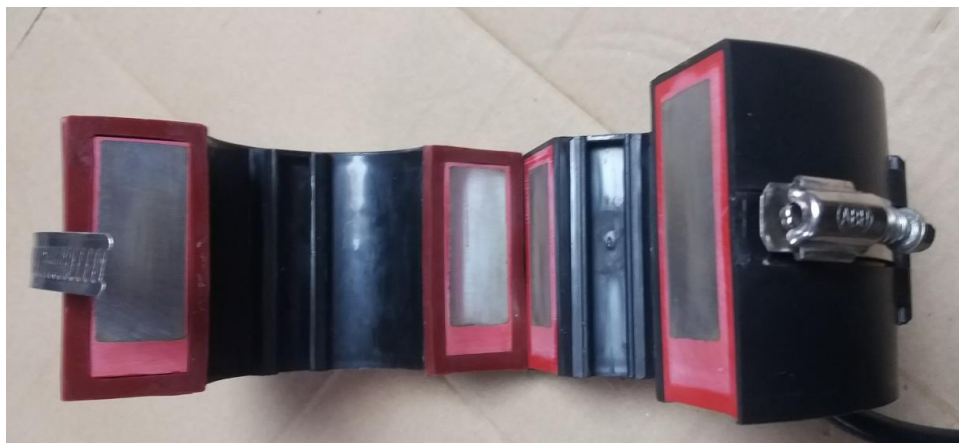
一、互感器结构



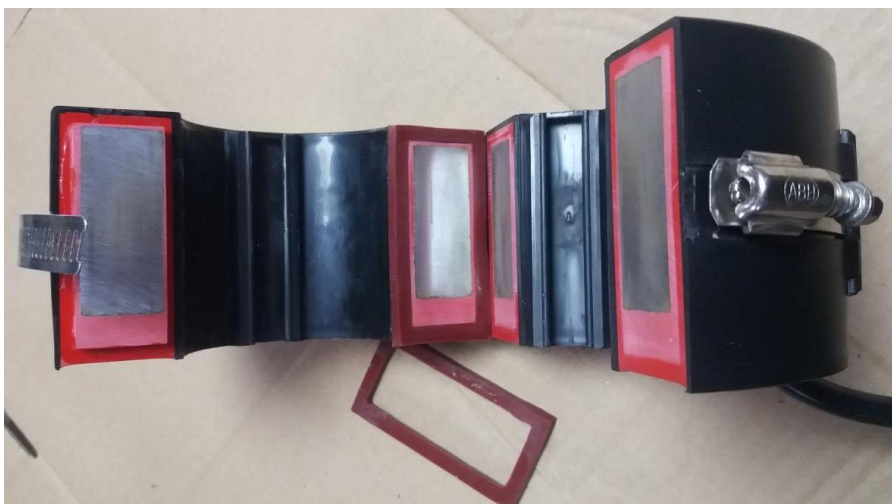
为了便于现场安装，本互感器使用开口式结构，各部件说明如下：

- 1) 抱箍，用于将互感器的二瓣进行锁紧连接；
- 2) 互感器本体，由左右二瓣组成；
- 3) 互感器连接密封橡胶圈；
- 4) 电缆锁紧橡胶，将互感器与电缆进行紧固，防止互感器震动。

二、互感器安装方法



1) 松开互感器的抱箍，并拔出电缆锁紧橡胶；



2) 取下橡胶密封圈；



3) 在互感器铁芯二个连接端头图示位置均匀涂满硅胶，四个连接端头都应该涂硅胶（图示中只做了二个端头）；



4) 将橡胶密封胶还原安装在有台阶的端头上;



5) 将互感器合并，并用抱箍锁紧，并将电缆锁紧橡胶插入互感器，将电缆与互感器进行紧固，防止互感器振动。

14.5 在垂直电缆上固定电流互感器的安装方法



在互感器下面做一个托架

15 现场安装图片

现场情况分为：城市地下管廊、地下电缆沟、地下电缆转架空线

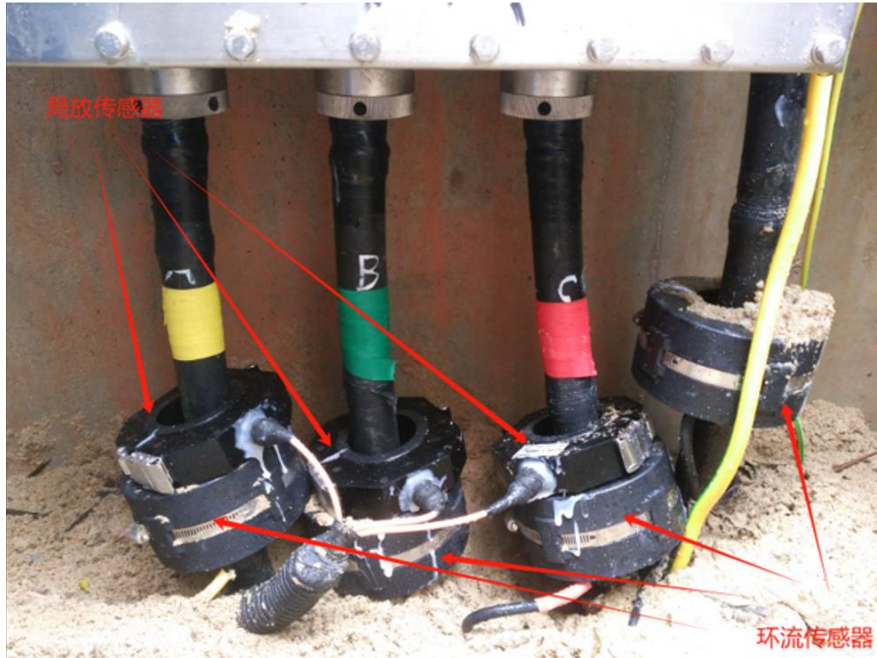
15.1 城市地下管廊

此种情况电缆护套在城市地下管廊接地，设备安装在地下管廊内，直接在接地线取三相接地线电流信号，通过 RS485、或者 RJ45 信号向后台传输数据。



15.2 地下电缆沟

此种情况电缆护套在接地井里面接地，设备安装在接地井内，直接在接地井里面取三相接地线电流信号，通过 RS485、GSM/GPRS 信号向后台传输数据。



15.3 架空线转地下电缆

此种情况电缆在杆塔上接地，设备安装在杆塔上，取三个单相接地线电流信号，分别通过三个 GSM/GPRS 模块或者有线通信方式向后台传输信号。





15.4 地面安装



15.5 电缆及接线直径

220kV 电缆直径： $\phi 155$

110kV 电缆直径： $\phi 105$

接地线直径： $\phi 50$