[电缆通道]

电缆通道智慧防“外破”物联方法

文/李宋林
国网淄博供电公司

结合电缆时常被挖“外破”和公共管线交叉密集的现状，在原有的通道电缆警示装置基础上进行物联改进，由MCU线路、传感器通过5G组网，智慧实现电缆昼夜警示、语音提示，现场热释点效应扫描信息，实时将警示信息上报给设备专责人和通道外委管理人员共享，使传统的电缆防“外破”措施得到提升。该方法便于推广和普及应用。

1884年，全球最早的《保护海底电缆公约》诞生。1897年，上海采用低压路灯电力电缆，开创了我国应用电缆的先河。电缆与城市其他设施管线密集交叉，属于公共设施范畴。1987年9月15日我国《电力设施保护条例》发布实施，1996年4月1日《中华人民共和国电力法》颁布施行。20世纪缺少信息物联网概念，电缆保护仍旧采用传统方式，在采用新技术、信息技术等方面未能引起人们的足够重视，电缆设施时常遭“外破”。1998年，美国麻省理工学院创造性地提出了当时被称作EPC系统的“物联网”构想。2005年后无所不在的“物联网”通信时代到来，万物通过因特网进行互联，射频识别技术（RFID）、传感器技术、纳米技术和智能嵌入技术得到更加广泛的应用。物与物、人与物之间的信息交互是物联网的核心，物联网基本可概括为整体感知、可靠传输和智能处理。电力电缆异常情况频发，灾害的突发性和危害性很大，通过互联网技术，可以实时监测电缆通道的不安全情况，做到提前预防、实时预警并及时采取应对措施。目前针对电力电缆通道防护，有的采用可视技术，有的采用预埋辅助传感线，但这两种技术投资都过大，前台需要配置专门的安装支架和辅助设施，还需要配置前后终端控制系统和平台，且无法简便地与原有的电缆通道警示装置相结合。

在不改变原警示桩装置通用标准尺寸和功能的基础上对其进行技术改进，采用MCU线路板、信息传感器、定位系统、热释电红外探测器和太阳能光伏电源等新技术新方法，自动采集电缆通道内的施工、开挖、机械作业和钻探等异常信息，实时监控、 检测、感知通道内的新变化。该方法适用于电力电缆的直埋、电缆沟、电缆隧道和排管等电缆通道，通过5G将电缆警示保护装置组网，实现电缆昼夜警示、语音提示，现场可扫描信息并实时上报专责人，电缆通道的防护实现了网络接入，物与物、物与人的泛在连接，以及电缆通道的智能化感知、识别和管理，提升了电力电缆线路防护管理水平。

智慧型电缆通道防“外破”装置设计

依据《中华人民共和国电力法》及《电力设施保护条例》规定的电缆通道设立永久性安全标志及实施细则，针对现有电缆通道防护技术中的不足，开展智慧型电缆通道保护装置研究及智能电缆防“外破”装置的设计。力求装置结构简单，设计合理，信息物联共享，抗干扰强，可远距离警示、精确定位，避免电缆通道“外破”的发生，提高电缆运行的可靠性。

1. 外部结构设计

（1）本体结构

本体外壳采用环氧树脂制作，外形尺寸100 mm×100 mm×1 500 mm，壁厚2 mm。装置结合现场原有

的警示桩，在不改变标准警示桩产品外观尺寸的条件下，对其进行创新改进设计。

（2）结构模型

改进后的设计结构主要根据太阳能电池板的尺寸和电缆标示桩的顶端尺寸， 用3D打印机打印出接收端装置外壳模型，原电缆警示桩尺寸继续通用，设计方案模型如图1所示。

图1　设计方案模型

（3）主要结构尺寸

外壳和太阳能电池尺寸见表1。

表1　外壳和太阳能电池尺寸

尺寸项目	尺寸/mm	壁厚尺寸/mm	3D打印框架尺寸/mm
顶端太阳能光伏电池	65×65	2	100×100
侧面太阳能光伏电池	65×65	2	100×100

（4）顶部结构设计

顶部设置太阳能电池板，外壳上部的四个侧面上均设置一个太阳能电池板，太阳能电池板的上方设置爆闪红灯和爆闪蓝灯，下方设置热释电传感器，外壳的一个侧面上设置语音报警器。

2. 太阳能电池板Ⅰ/Ⅱ

设置太阳能电池板Ⅰ和Ⅱ，太阳能电池板与电源转换模块的连接电路中设置二极管VD_1～VD_5，太阳能电池板Ⅰ和Ⅱ通过连接二极管VD_6～VD_{10}后接地。

3. 电源

采用太阳能电池作为供电电源，电压DC 5～12 V，电流不小于1 A；待机电流为10 mA；工作电压为2～5.5 V。

智慧电缆警示桩通过太阳能电池供电，无须外接电源，安全方便。太阳能电池板Ⅰ和Ⅱ通过电池插口连接设置在外壳内部的蓄电池上，蓄电池通过电源转换模块连接MCU控制器的电源端，内设蓄电池进行电量储备，实现全天24 h无间断工作。

4. 爆闪灯设置

警示告警装置采用LED爆闪灯红蓝显示，光照度$Ix \geqslant 35$，光通量$lm \geqslant 35$。LED显色指数（Ra）50。

爆闪蓝灯设计使警示桩告警装置智能化，24 h起到远距离警示作用，预防设备发生“外破”故障。

5. 语音报警器设计

当带有热量的物体进入电缆通道时，热释电传感器检测到信号，通过MCU控制器控制语音报警器进行语音报警并提示，强化警示效果。

6. 定位设置

定位误差的控制级别为E级，误差小于2.8 m。

采用STC8F2K16S2芯片、SIM卡、GPS天线和通信天线等串行连接，实现发收微信功能和GPS定位功能，速度快，无须依赖外部网络基站。

微信发送时间控制在5 s内，设定手机号，进行5次微信发送试验，根据发送的经纬度信息进行现场位置测量，记录时间不小于5 s。

智慧型警示桩装置埋设在原有电缆通道内，准确定位，能快速处理危险点消息，实用性强。

智慧型电缆通道防“外破”控制设计

1. 控制电路

MCU控制电路是智慧防“外破”警示装置的关键电路，控制电路原理如图2所示。

2. 爆闪灯控制

红蓝爆闪灯是红和蓝两个颜色交替爆闪，红色和蓝色为穿透力比较强的颜色，能起到远距离警示作用。爆闪灯安装位置在警示柱上端四侧。

3. 热释电传感器

热释电传感器灵敏度高且仅对人体释放的特定波长的红外光最敏感，误动作极少。

当带有热量的物体移动时，热释电传感器触发信号。

热释电传感器的俯视角可达86°，水平视角可达120°，探测距离可达30 m。

4. 语音喇叭

STC8F2K16S2芯片串行语音芯片，7脚接正极，循环播放“下有电缆，严禁开挖”。

语音芯片的正负极之间接有瓷片104电容，增

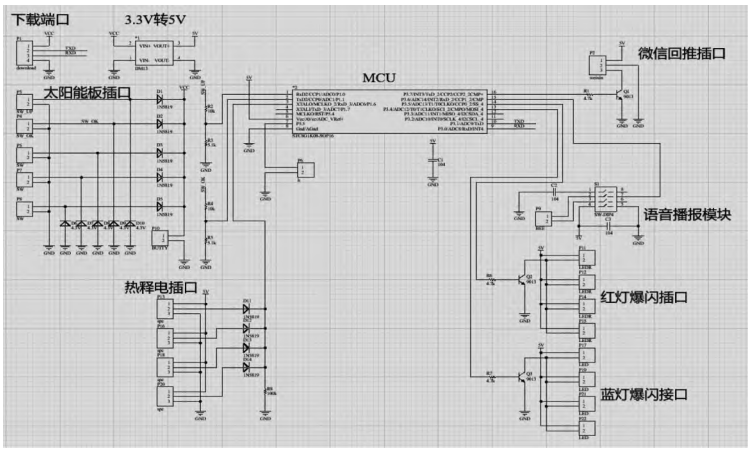

图2　控制电路原理

加音量后级接BTL功放电路。

警示语言“下有电缆，严禁开挖”可通过计算机下载语音合成工具合成，便于修改。

信息交流是智慧电缆警示桩装置的语言，采用语音警示防水型喇叭，当热释电传感器感应到带有热量的物体进入电缆通道时，发出语音报警。危险点消除且检测不到信息后，停止语音报警。

5. 物联网探测云平台

（1）组网平台

智慧电缆警示桩装置工作特点：扫描自组网微信（GPRS）二维码，将危险点数据上传至云平台，由自组网微信（GPRS）采用的微信分组技术，实现电缆护区信息与物网紧密结合，跨入电缆保护物联网的新运维时代。

（2）组网共享

报警系统包括GPRS模块、服务器、公众号（电缆保护管理群）、短信接口、语音接口、物联网5G SIM卡，组建共享的电缆通道防“外破”物联探测云平台，集成通信模块性能稳定可靠，内设置虚拟卡号及物联网探测云平台照片，如图3所示。

图3　物联网探测云平台图

6. 定位模块的选择

Air202定位模块是四频段GSM/GPRS模块，采用的是RDA8955平台。

Air202定位模块尺寸为17.7 mm × 14.8 mm × 2.3 mm。

Air202定位模块内置32MB Nor Flash + 32MB SRAM，支持Lua脚本开发模式、AT命令开发模式及C语言SDK开发模式三种开发模式。

Air202定位模块支持UART、SPI和I2C等各种接口，支持16个GPIO，支持ADC，音频输入和输出功能。

Air202定位模块省电，在睡眠模式下电流功耗DRX=5，电流低至1.14 mA。

智慧警示装置的Air202定位模块为工业级品质，经过现场应用检验，GPRS模块和Air202性能稳定。

智慧警示装置的Air202定位模块设计方案简单，开放AT指令、Lua语言SDK和C语言SDK三种开发模式。

Air202定位模块通过移动运营商网络获取GPRS的位置，查询方便，实现快速精确定位。能够将设备所检测的数据实时发送至工作人员，以便工作人员远程掌握电缆通道实时状态，减少巡检工作量。

7. 微信回推共享

手机扫码关注公众号，在公众号（电缆线路警示管理群）内完成操作，简单方便，系统响应超快，抗干扰强，尤其抗电磁干扰强。

输入电缆线路名称、报警手机号（设备管理人、外委巡视人、设备责任人、危险点开挖者）通过短信报警。

8. 智能控制红灯爆闪

当危险点未达到人和物体辐射的红外能量设定

值，探测区域内有0.3～3 Hz的频率活动时，便能感应出微弱电信号，经放大后，GPIO从3脚输出0.5～5.5 V的强信号，装置自动工作，状态指示红灯亮并爆闪。

9. 智能控制蓝灯爆闪

当危险点进入到电缆防护区内，测到人和物体辐射的能量在0.3～3 Hz的频率外，未达到定值时，MCU控制器控制模块热释电传感器不工作，自动闭锁，状态指示蓝灯亮。

试验

智慧电缆警示桩技术改进后应按照相关要求进行检验。外壳试验规范为GB/T 4208—2017《外壳防护等级》，环境试验规范为GB/T 2423—2005《电工电子产品基本环境试验》。检验必须委托具备有国家CMA/CNAS检测认证机构资质的检测单位进行。检测单位完成各项规范和标准要求试验后，必须提供满足型式试验检测报告。

智慧关键技术应用

1. 智慧告警

电缆警示桩埋设于电缆通道内，每50 m埋设一个电缆警示桩，能够准确定位电缆的位置和危险点，现场的“声光音”是警示技术的关键。

有效警示可避免电缆故障的发生，对电缆起到真正意义上的保护作用，降低电缆故障的发生，应用管理效果如图4所示。

图4　电缆警示桩管理图

2. 热释电效应的运用

运用“热释电效应”原理，设计热释电电路。当带有热量的物体在电缆警示桩附近移动并进入电缆通道时，热释电传感器感应到信号并将信号传送至MCU控制器，MCU控制器控制语音报警器接收并放大处理热信号，进行语音报警，起到警示作用。

3. 接入公口

利用热释电材料的自发极化强度随着外界温度的变化而产生电荷移动的特性，以非接触方式检测出人和物体辐射的红外能量的变化，将其转化成电信号，以电压或电流形式输出，并通过功率放大器将信号放大，通道输入端口为XH2.54标准公口，达到控制电路的目的。

4. 电源设计

输入为控制模块热释电传感器模拟信号，接入感温器类型为热释电传感器系数热电阻。

5. 微信回推模块设计

MCU控制器的通信端口连接电阻和三极管后，通过微信回推插口连接微信回推模块，微信回推模块设置在外壳内部。微信回推模块上设置SIM卡，MCU控制器的信号端口连接下载端口。

6. 语音播报模块设计

语音播报电路由电源、三极管和播报器组成。蜂鸣器接在三极管的集电极与电源电压正极（5 V）之间，三极管的发射极接入电源电压负极，基极接入MCU控制器的引脚。在检测到人的移动时从引脚输出5 V的电信号，经分压电阻后开启三极管，从而触发播报器。

7. 红灯设置设计

当检测到人和物体辐射的红外能量达到设定值时，MCU控制器控制模块热释电传感器工作，自动探索，状态指示灯亮。MCU控制器串口控制红灯LEDR工作，通过语音器LEDR报警。

结束语

智慧电缆警示桩防“外破”装置的电路设计新颖，体积小、重量轻。警示桩外结构上保留了原有的黄色外壳和警示语，改进创新后的功能更完善，警示作用更突出，效果更显著。

2021—2022年先后在国网淄博供电公司临淄供电中心10 kV刘家Ⅰ/Ⅱ线数条电缆线路现场应用500余支智慧电缆警示桩，运行良好，未发生电缆“外破”事件。

当电缆通道出现“危险点”时，智慧电缆警示桩自动及时告警，并自动将现场信息通过微信回推共享至相关人员手中，定位精确，处置速度快，效率高，确保了电缆线路的安全运行。EA

（收稿日期：2023-04-17）