[物联网]

基于物联网技术的分布式电缆隧道智能监控系统

文/ 国网山东省电力公司　黄振宁

济南英华自动化技术有限公司　付言言　罗伟昆　张好　张智

随着电缆隧道建设的普及应用，隧道线路运行的监控管理成为人们关注的焦点。由于隧道环境复杂，人工检修维护难度大，隐藏的风险故障不易发现。基于物联网技术，设计一种分布式电缆隧道智能监控系统，试图提供行之有效的可行性建议。

随着物联网技术的不断发展和日趋成熟，在智慧交通、智能建筑以及城市基础设施建设等领域广泛应用。在城市电力基础建设过程中，地下电力设备和电缆线路组成的供电系统是智慧城市发展的重要基础。因此，人们对电缆隧道安全性和可靠性的要求越来越高。目前，由于电缆隧道内部的环境恶劣，地质条件不断变化，人工检修难度和强度较大，需要借助现代化技术手段，通过在线检测系统对电缆隧道中的设备进行实时监控，降低电缆隧道的故障率。因此，本文设计一种基于物联网技术的分布式电缆隧道智能监控系统，利用物联网平台实时感知电缆隧道内的环境信息和设备信息，通过数据分析实现对电缆隧道内设备故障的快速定位，提升供电线路运行的可靠性和安全性。

物联网特性及系统关键技术

1．物联网特性

物联网（The Internet of Things，IoT）技术是集合射频识别技术、GRS 定位系统、信息传感技术、红外传感技术和装置设备，实现实时监控、采集的一种新型智能控制技术解决方案。利用红外和信息传感技术，可对声音、温度、力学、光线和地理位置进行实时采集。通过网络通信传输完成物与人、物与物的泛在连接。实现被监控物体的智能化识别和管理。其技术原理是以互联网和硬件终端设备为载体，利用 RFID 射频识别技术、数据通信技术组合成一个万物互联网络（IoE），依照预先设定的业务规范流程，实现物体的自动识别和数据共享。

2．系统关键技术

（1）物联网技术

物联网关键技术包括射频识别技术、传感器技术和网络通信技术等。射频识别技术实质是自动识别物体的电子标签技术，由电子标签、读写器和天线组成，主要利用阅读器与标签之间进行非接触式通信，根据射频信号和空间电磁耦合原理实现数据传输。电子标签可以进行识别信息的存储，读写器具备读出和写入电子标签内信息的功能，天线具有发射和接收信号功能，完成传感

器采集数据的通信传输，天线信息配置在电子标签和读写器中，通过发送特定频率的射频信号进行通信连接。

（2）分布式技术

分布式（Distribution）作为本次系统设计中关键技术之一，具有高扩展性、高可靠性技术特点，有效解决传统集中式存储系统中单存储服务器的瓶颈问题。该技术将智能监控系统功能、数据处理模块分散于多个独立模块或节点，利用分布式网络存储的可扩展架构，通过模块分布、Nginx 服务和 rocketMQ 消息队列等软件技术，共同分担服务器的存储负荷。减少各功能业务模块之间的耦合性。从而降低系统的故障风险指数。同时，也提高了系统各模块数据的处理性能。

（3）传感器技术

传感器由敏感元件和转换元件组成，其中敏感元件用于采集设备运行的数据信息，包括电缆隧道温度、电流、压力和湿度等。转换元件可以将设备运行的状态信息转换成可供传输的数据信号。在分布式电缆隧道智能监控系统中，传感器主要完成隧道内设备运行状态及信息的实时采集，并且对这些信息进行预处理、存储以及结合历史数据进行对比分析，最后完成电缆线路状态可视化显示及故障预警等功能。

智能监控系统架构设计

随着城市电缆隧道分布范围不断扩大，隧道内部的环境日趋复杂，人工检修不仅劳动强度大，而且具有一定的危险性，不利于电缆线路的日常维护管理。因此，基于物联网技术的分布式电缆隧道智能监控系统，采用传感器技术对隧道内电缆设施运行状态信息进行全面、实时采集。利用激光在光纤中传输时产生的背向拉曼散射信号及温度效应，再根据光时域反射原理（OTDR）来获取空间温度分布信息和空间定位信息的系统，阵列式测温传感技术使用光纤作为传感和信号传输介质，具有本质绝缘、抗干扰和维护简单等特点，可实现超远距离的电缆线路测量。传感器采集信息通过信号装置进行放大处理，由无线通信技术传送至控制室进行信号处理及特征提取，从而完成电缆线路运行故障的诊断预警。用户可通过可视化设备远程监控电缆隧道内环境信息、电缆运行状态等，为电缆隧道内设备管理和维护提供有力支撑。系统业务架构如图 1 所示。

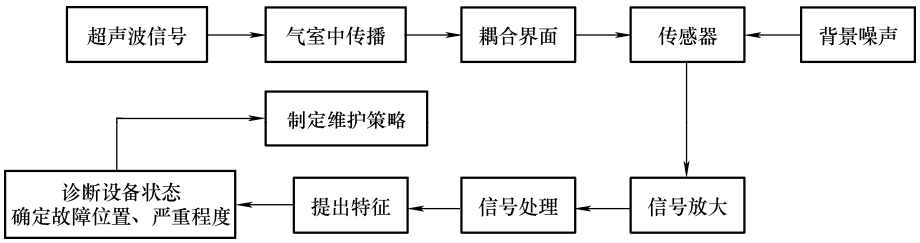

图 1　系统业务架构示意图

智能监控系统模块终端设计

该系统基于物联网技术架构，通过业务功能和服务对象划分为多个子系统业务模块（终端），采用分布式技术进行多维度组合设计，可将系统内各业务模块和终端进行拆分、归纳、重组和复用，在制定规约下进行功能模块重组。实现电缆隧道智能监控系统的完整业务体系。此外，分布式设计具有高扩展性和兼容性，可建立具有多承载业务共性的组件能力框架。因此，本系统平台模块设计如图 2 所示，可分为边缘物联终端、接地电流监测单元、接头温度监测单元、视频监控装置、气体监测单元和烟雾监测单元等。详细设计如下。

1．边缘物联终端设计

边缘物联终端主要功能为数据汇聚网关，可实现传感器数据汇集与上传，基于边缘计算架构，开放软、硬件资源，支持标准开发环境和多容器管理，实现业务的分布式部署。边缘物联终端是以不同行业数字化业务场景创新为最终目的，形成电缆隧道端到端的解决方案。基于物联网技术的分布式电缆隧道智能监控系统，包含多种智能感知设备，面向配电网广泛延伸。通过边缘物联终端设备，可实时对电缆隧道内运行设备数据进行数据采集，包括图像、音频、地理位置、气体和烟雾等数

据采集。在高速率、低时延及大容量的特征下，通过嵌入式计算单元，实现实时计算和本地化处理控制的需求。此外，这些边缘物联终端设备的性能，除了满足稳定要求外，还具备低功耗、低散热、耐高低温、耐腐蚀和抗电磁干扰等物理特性，可灵活适用电缆隧道复杂环境中。

图 2　分布式系统平台模块

2．接地电流监测单元

用于直接接地箱、交叉互联箱等接地系统的电流检测，支持与汇聚网关无线通信、低功耗设计和电池供电。该系统利用高速暂态行波在线监测和电网拓扑分析的系统方法，实现电力电缆的在线监测，对电缆隧道内设备进行故障定位和环流监测。具体方法是在电缆屏蔽层直接接地点或者电缆头拨开屏蔽层线芯处安装高频传感器，电缆在发生故障时，采集高频暂态行波电流信号或者高频暂态电压行波信号，通过系统装置分析处理，将信号上传到系统后台，然后通过波形分析自动通过双端测距技术计算故障点距离，通过可视化设备显示出故障点位置。

3．接头温度监测单元

为提高接头温度测量精度，本系统设计采用红外阵列测温传感技术，经试验发现，红外线波长范围可达到0.7~1 000 μm，根据物体发射红外辐射能量的大小及辐射波长，依据斯特藩-玻尔兹曼定律得出黑体单位面积辐射半球空间的全辐射功率，计算得出光缆接口的真实温度，从而实现对监测目标进行高准确度测量。红外阵列测温传感器架构图如图 3 所示，该技术是将红外测温传感器进行阵列化，阵列传感器设备接收由光学系统产生红外辐射，然后将红外辐射转变为数字模拟信号，经信号放大滤波电路后传送至 A / D 转换器，经转换后可将数字信号直接传输至 AVR 单片机，最后通过串口通信 API 传送至上位机，以电压数据形式将

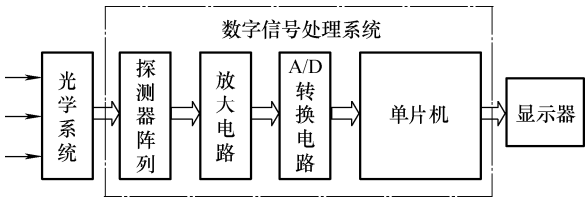

图 3　红外阵列测温传感器架构图

接口温度进行可视化显示。

此外，红外阵列测温传感器，支持与汇聚网关无线通信、低功耗设计，电池供电。接头温度监测单元继承分布式技术，由主控模块、温度传感器、变送模块和无线通信发射模块组成。监测单元包括控制器、显示模块、无线通信接收模块和远程通信模块，后台服务单元包括通信适配器、服务器和统一报警模块，温度传感器对电缆接头的温度进行实时测量，通过变送模块传送至主控模块，根据主控模块的控制，温度数据通过无线通信发射、接收模块传送至控制器，并通过显示模块直观显示。同时，通过远程通信模块和通信适配器传送至服务器，在发生超限事件时，根据预设的预警阈值和报警阈值，服务器可通过统一报警模块进行及时预警、报警，提高了电缆设备运行的可靠性。

4．气体烟雾监测单元

该监测支持 CH_4、H_2S、CO 和 CO_2 四种气体监测，支持烟雾监测告警。具体包括测温及应力应变监测系统、视频监控、环境温湿度监测、可燃气体监测、

积水监测及井盖状态监测和中心平台等组成，利用现代传感器、通信网络以及嵌入式技术，实现对隧道电缆温度、湿度、可燃气体、水位和视频信息等数据的采集和分析，实现电缆隧道设备远程监测，具有数据通信、数据查询和参数设置管理功能。由传感器完成隧道内环境数据采集，最后通过任务管理器进行更新处理。

结束语

综上所述，在现代科学技术的推动下，物联网技术在智慧城市建设中得到广泛应用。为了进一步实现智慧城市和智慧生活，保障人们正常生活和工业生产，减少电缆线路故障风险。因此，本文基于物联网技术设计一种分布式电缆隧道智能监控系统，可有效提升电缆隧道智能化管理水平，通过智能传感器采集隧道内设备运行状态信息，通过分析预判，采取紧急措施，提前消除故障隐患。基于物联网技术的电缆隧道智能监控系统，作为智慧城市建设的重要支撑，电缆隧道的实时监控和故障检修，不仅可以提升电网线路运行的稳定性，而且还有助于提升电网智能化管理水平。研究物联网技术在电缆隧道智能监控系统中的应用，对于构建电网系统安全监控与智能管理体系有着非常重要的意义。EA

（收稿日期：2021.01.06）

（上接第 61 页）

些传输至区域所 SCADA 系统，是信息分级管理的重点。信息分级应根据各 SCADA 系统运行需求不同管理。总降值班室作为全厂系统中心，其管理职责更多的是各区域变电网系统运行情况以及关键设备的监控；而各区域变电网直接面对现场运行设备，其职责是区域变内所有设备，此外更多的关注于现场设备运行情况。例如，区域变电网内所有设备（包括低压、高压）的信息优化后均传输至区域 SCADA 系统，而仅将区域变电网系统（进线、母线）、高压设备以及重要设备信息传至总降 SCADA 系统。而针对区域变电网 SCADA 系统再进线信息分级管理，可根据设备的 A、B、C 等级实施。

4．后台数据优化呈现

SCADA 系统中另一重要组成是人机界面。人机界面是信息交互的呈现部分，是值班人员对于 SCADA 系统优良性最直观的判断。人机界面主要是画面、操作按钮的直观与简洁。而让上传的信息以何种形势呈现也是 SCADA 系统中需要考虑的。一般的 SCADA 系统提供后台数据信息的等级分类功能。报警类型将报警信息按不同功能进行划分：比如遥测越限、保护操作、遥信变位和保护事件等；报警等级、报警信息按照严重程度进行分类，一般默认为提示信息、报警信息、事故及变位信息，也可根据需要自行增加或修改。配置好信息呈现形势，信息等级划分合理，更有利于值班运行人员快速判断信息重要程度，对于重要信息伴有声响，更提高其警戒性。

结束语

SCADA 系统为石化行业电气运行维护提供便捷，让值班人员正确掌握系统运行状态，加快决策，能帮助快速诊断出系统故障状态，对提高电网运行的可靠性、安全性与经济效益，减轻调度员，实现电力调度自动化与现代化，提高调度的效率和水平方面有着不可替代的作用。但信息量增大，有效信息的传达效率降低，如何实现关键信息快速传至值班人员，是 SCADA 系统信息配置过程中的关键。不仅需要配置人员了解现场设备，更需要结合现场设备特点，对信息优化、分级管理，合理规划信息配置。EA

（收稿日期：2020.12.17）