

# 基于物联网技术的智能终端设备 感知技术现状分析\*

宋 艳, 王笑棠, 卢 武, 徐 璟

(国网浙江省电力公司 丽水供电公司, 浙江 丽水 323000)

**摘 要:** 物联网技术可以运用于智能配电网中,有效地整合优化电力资源,提高电力系统的信息化、自动化、互动化水平,增强现有电力设施的利用率。将整个智能配电网规划为三层:在感知层采用基于物联网的配电一二次设备状态信息传感采集技术采集设备状态信息、环境测量信息、用户用电信息;在传输层采用基于物联网的配电一二次设备状态信息传输通信技术传输感知层的信息到上层;在应用层采用基于物联网的一二次设备运行状态在线监测管理技术从收到的海量数据中抽取、分析有价值的信息,在管理平台上对配电网的各个环节能够实现三维立体的实时状态监测和预警功能。

**关键词:** 智能电网; 物联网; 智能终端; 信息采集; 状态监测和预警

中图分类号: TM 73 文献标志码: A 文章编号: 2095-8188(2018)21-0053-07

DOI: 10.16628/j.cnki.2095-8188.2018.21.010



宋 艳(1975—),女,高级工程师,主要从事调度自动化技术、信息通信技术等研究。

## Situation Analysis of Intelligent Terminal Equipment Perceptual Technology Based on Internet of Things Technology

SONG Yan, WANG Xiaotang, LU Wu, XU Jing

(Lishui Power Supply Company, State Grid Zhenjiang Electric Power Company, Lishui 323000, China)

**Abstract:** Intelligent distribution network combined with Internet of Things (IOT) technology can effectively integrate and optimize power resources, improve information, automation, interactive level of the power system and enhance the utilization of existing power facilities. In this paper, the entire intelligent distribution network is divided into three layers. In the sensing layer, we adopt status information acquisition technology for first and second power device based on IOT to collect the equipment status information, environmental measurement information, user electricity information. Status information transmission technology for first and second power device based on IOT in the transport layer is used. This layer can transmit the information of the sensing layer to the upper layer. In the application layer, we use running status on-line monitoring and management technology for first and second power device based on IOT. This layer extracts and analyzes valuable information from the massive data it receives. And finally in the management platform, the system can achieve three-dimensional real-time status monitoring and early warning function for all aspects of the distribution network.

**Key words:** smart grid; internet of things; intelligent terminal; information collection; condition monitor and early warning

## 0 引 言

随着我国经济社会的发展,用电需求不断增

多,电网规模不断扩大,而用户对于用电能源的质量、安全性要求也越来越高,电力企业所面临的资源受限问题也日益严峻。在这样的背景下,智能

王笑棠(1965—),男,高级工程师,主要从事电力系统及自动化技术、输变电技术、安全生产技术等研究。

卢 武(1979—),男,高级工程师,主要从事信息通信技术等研究。

\* 基金项目:浙江省电力有限公司2017年科技项目(5211LS16009)

电网建设便成为当务之急。智能电网因其强大的资源优化配置能力、绿色环保的发电技术、与用户协作式的消费方式和稳定的运行状态受到广泛关注<sup>[1]</sup>。其中智能配电网作为智能电网的关键环节,被人们重点研究和讨论<sup>[2]</sup>。

通常 110 kV 及以下的电力网都被叫做智能配电网。它是整个电力系统与分散用户的连接部分,能够实现与用户之间的互联互通。智能配电网<sup>[3]</sup>是利用计算机信息技术、现代通信技术、无线感知技术等将采集到的用户终端数据、设备状态数据、环境测量数据等信息进行信息的集成、分析与处理,通过多样化的通信手段实现系统主站与众多远方终端设备之间的互动交流,最终形成一个配电自动化的智能电力系统,能对整个系统设备进行有效的监测、控制、保护和管理。

由于智能配电网信息化、自动化、互动化的实现,首先依赖于配电网中各个环节里重要运行参数的实时感知和在线监测,那么基于信息感知的物联网(Internet of Things, IoT)技术便可运用于智能配电网中,成为推动智能电网发展的有效手段。物联网技术<sup>[4]</sup>是指所有物品通过多种信息感知设备,按约定的协议,把物品与互联网连接起来进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种物物相息的网络。物联网技术的问世,是在互联网基础上将用户端(个人电脑、数据中心等)延伸到任何物品与物品之间,打破传统的物理设备与 IT 行业毫无关系的固有思维,让物与物之间在网络中进行彼此的“交流”,共享信息。

## 1 系统设计框架

目前,智能配电网与这种新一代的物联网技术相结合,通过 RFID(射频识别)装置、二维码识读设备、智能信息传感器设备、红外感应器、激光扫描器、智能定位系统(GPS)等<sup>[5]</sup>信息感知设备,提出基于物联网的面向智能电网的 3 层系统框架——感知层、传输层、应用层<sup>[6]</sup>。在感知层,以基于物联网的配电一二次设备状态信息传感采集技术为核心,通过各种智能传感设备采集设备的状态信息、环境测量信息,是上两层的基础。在传输层,以基于物联网的配电一二次设备状态信息传输通信技术为核心,考虑具体的通信环境,选择

光纤或载波通信的方式将感知层采集到的信息传输到应用层。在应用层,以基于物联网的一二次设备运行状态在线监测管理技术为核心,综合分析所收到的各种感知信息,判断其有效性和正确性,最终可实现全方位的监测管理功能和预警功能。基于物联网技术的智能配电网设计框架如图 1 所示。

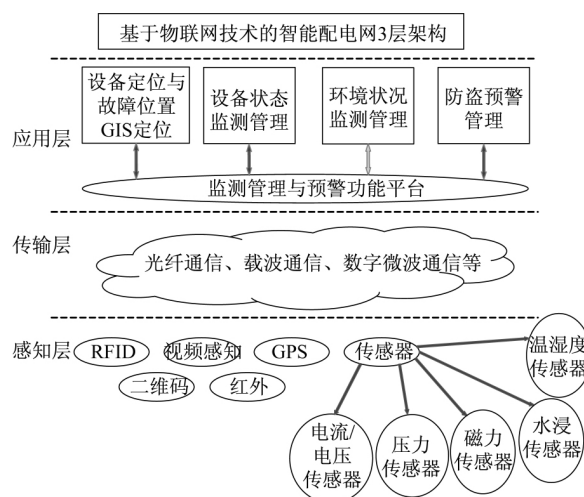


图 1 基于物联网技术的智能配电网设计框架

## 2 感知层

面向智能电网的物联网感知层将具有多源化信息采集能力,利用各类仪表、传感器、无线模块联合检测与传输关键信息,并在本地完成采集、感知、识别、汇聚、融合等功能。感知层需要感知对象主要包括配电变压器、配电电源、配电开关柜、远方终端设备、外部电缆导线等<sup>[7]</sup>。该层的技术核心是基于物联网的配电一二次设备状态信息传感采集技术,主要过程是以射频标签和 EPC 码为基础,将写有 EPC 码的射频标签通过读写器自动上传 EPC 码,完成对 EPC 码的采集,所得的 EPC 码信息再由嵌有信息采集软件的上位机进行数据核对与处理<sup>[8]</sup>。总体来说,用各种智能传感器、新型 MEMS 传感器对一二次设备中关键的电量信号和非电量信号进行采集,感知对象的实时状态,是整个系统框架的入口。电网物联网终端模块设计示意图如图 2 所示,主要包括电源、传感数据获取、控制单元、数字信号处理与数据传输五大模块。

文献[9-10]针对电网数据的特点,提出适用

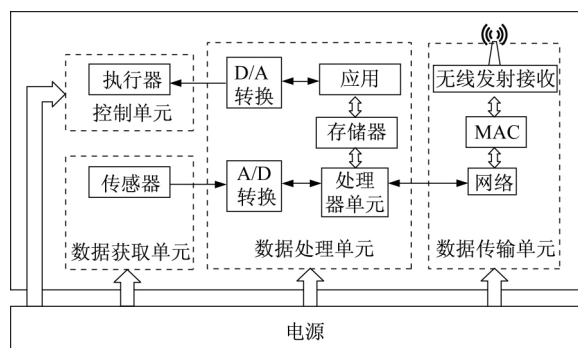


图2 电网物联网终端模块设计示意图

于电力网络数据传输的节点协作补偿方案,主要对节点协作与路由选择进行研究。文献[11]从电能采集系统构成出发,分别从智能电能采集终端的设计要求及其结构模型详细分析,同时对电能远程抄表系统现场数据传输模式、远程抄表设计方案等进行了详细分析,主要对终端设计进行研究。文献[12]提出了可延时负荷群跟踪调度信号的日前优化模型,探讨了能反映发电侧调度要求的调度信号的选取原则,主要对节点协作调度进行研究。

由上述内容可知,关于感知层聚合技术的研究主要集中在节点之间协作补偿模式和终端能量受限两个重要问题上。大量数据通过感知采集的方式进入网络,网络流量呈现漏斗状分布,智能电网中网络规模大、数据流量多,给予传输层接入的压力就越大,发生拥塞和阻塞的可能性就越大,会严重影响网络性能。且由于智能电网的实际应用过程中,位置接近的相关传感器信息往往具有较高的相似程度,重复的发送冗余信息会造成额外的消耗,因此节点之间的协作补偿冗余消除就显得尤为重要。将较高相似度的设备信息进行合并处理,如文献[9]中,基于簇层次划分的网络结构,将所有簇内节点的采集数据汇总到簇首节点,适宜地在簇内进行数据处理与冗余消除;亦如文献[10]中将数据融合与路由选择相结合,边传输边数据融合,生成最优化路由的方法。在终端能量消耗方面,需要探讨融合处理与直接转发之间的能量权衡问题,对数据传输过程中的最优聚合点和聚合条件给出详细的决策依据。基于物联网的智能电网变/配电监测信息汇聚方案示意图如图3所示。

变/配电过程中,传感器节点一般置于相对安

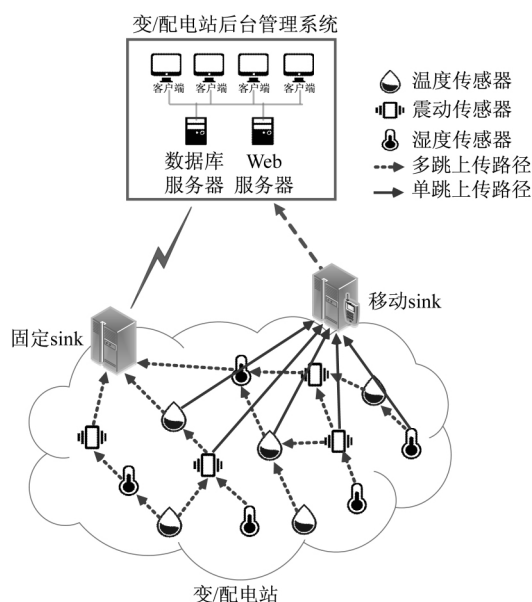


图3 基于物联网的智能电网变/配电监测信息汇聚方案示意图

全的设备固定部位,传感器又具备多种不同的监测感应模块,获取多类型的状态信息,如设备的温度信息(避免热损老化)、湿度信息(避免放电漏电)、振动信息(监测异常振动)、泄漏电流信息等<sup>[13]</sup>。系统中包含各类信息检测的传感器、固定sink节点与移动sink节点的方案,其中sink节点一般作为网络接入汇聚与去冗余的实际采用与接入端口。移动sink节点一般通过智能可携带设备由工作人员随身携带,用于电路设备的日常维护与巡查。当移动sink节点移动靠近相关传感器时,将主动扫描其通信范围内传感节点数据,节点通过ZigBee、RFID等无线协议进行数据的回传,完成全网线路上数据的巡查采集工作。固定sink设备一般部署于变/配电站点内,对站点内的每个电力设备的工作状态信息有一个全景式的了解,并且能组织多跳网络传输,满足应急特殊情况的传输需求,同时固定sink节点具有较强的数据处理能力和完善的通信功能,可以将数据进行汇聚处理和判决。

### 3 传输层

文献[14]考虑到经济性,因地制宜地进行通信,主要研究传输层通信的经济性。文献[15]依据一般用户家庭环境,采用电力线载波通信(PLC)、电力复合光纤到户(PFTTH)、无线宽带通

信等通信方式相结合的宽带通信平台来实现信息流的双向传输,主要研究传输层与家庭智能产品相结合。文献[16]提出了基于光传送网(Optical Transport Network, OTN)技术的大容量光传输网络的传输层通信方案,主要研究传输层容量在大数据时代受限问题。文献[17]基于传输层协议,设计了一种动态附加传输通道保障机制,主要研究传输层中通信遇到的阻碍问题。文献[18-19]针对电网数据的特性,提出相应的传输方案,从而提高数据传输的可靠性,主要研究传输层中数据传输的QOS问题。

由上述内容可知,传输层主要的任务是将感知层的信息实时可靠地传输到应用层中。该层的技术核心是基于物联网的配电一二次设备状态信息传输通信技术。在我国,传输层主要是以光纤专网作为信息传输的主要通道,以其他电力线载波通信网、微波通信网、卫星通信网、无线宽带网为辅助<sup>[20]</sup>。为了让从感知层采集的信息进行有效传输,对路由进行正确的选择和控制,应该在该层充分依托现有的城市公众电信网,根据实际的通信环境,因地制宜,选择合适的通信网络,让电力主站与分散的用户之间实现双向信息流,节省额外建设通信网络成本。如文献[14]中就充分考虑实施便利性和投资经济性,在具备光纤网络的站所,采用以太网无线数据基站接入EPON网络的ONU,进行数据传输。在未配备光纤网络的站所,依据现场条件选择不同的无线方式进行通信。文献[15]中讨论面向智能电网应用——智能家居系统的传输层通信方式,依据一般用户家庭环境,采用电力线载波通信、电力复合光纤到户(PFTTH)、无线宽带通信等通信方式相结合的宽带通信平台来实现信息流的双向传输。智能电网技术目前在逐步的推进和发展,许多新的传输层通信技术被研究来实现电力系统的可靠信息传递与路由控制。文献[16]中分析了传统的SDH通信网已无法满足电力系统中大容量、高带宽的大颗粒业务承载和传送需求,为了提高配电网传输层的传输性能,满足不断增长的数据业务需求,采用光复用段层的网络结构,提出了基于OTN技术的大容量光传输网络的传输层通信方案。文献[17]认为智能电网的传输层关键技术在于用户侧信息的可靠接入,传统的无线通信多址接入方

式虽然在理论上能够有效传输感知层信息,但在实际运行过程中,由于用户侧环境的复杂多变性,经常使得无线通信信道受到阻碍,重新传送率大幅增多。对此,基于传输层协议,设计了一种动态附加传输通道保障机制。它主要采用的是漂白技术,节点 $V_i$ 和 $V_j$ 会沿着以往的传输通道回溯到向源和目的节点之中, $S(V_0, V_i)$ 以红色着色, $S(V_j, V_{DAPi})$ 则为蓝色,并将其定义为永久色,不会出现褪色现象。然后,代理Ag-Red再从 $V_i$ 出发,Ag-blue则从另一端出发,沿着自身的复合量数据进行探究,选取最佳的附加通道。想要实现通道传输的高质量特性,避免出现抖动,使其性能达到最佳。代理器在整个传送的过程中一定要保证好复合量度,并由残余带宽进行接收。传输层动态通道保障机制还运用了二类代理器,使其与二类通道成功建立了保证DSTC算法较高成功率的手段,并进一步分析了该算法的时间复杂情况。通过两级嵌套过程的建立,避免节点出现多次访问现象。它能够在传输出现拥堵问题的时候,唤起第二代代理器,判断出最佳的参数传送方向,并开展单独游历,实现结合物联网无线通信传输层的快速运转。

## 4 应用层

由于配电网中许多设施都是分布于室外,容易受到自然或人为破坏,因此对于设备的管理也无法采用人力去每时每刻监督控制。为此,配电网在应用层以大量的所采集的感知信息为基础,以基于物联网的一二次设备运行状态在线监测管理技术为核心,从这些杂乱无章的原始数据中分析、抽取有效且正确的具有价值的信息数据,对配电设备的运行参数、设备状态异常、设备破损、性能降低等指标进行实时监测与记录,使得系统能够在发生隐患前采取相应措施,或者在发生故障后迅速隔离故障区域,通知人员修复来避免更大损失。该层是整个配电网实现监测管理与预警功能的平台,基于物联网的配电网监测管理与预警功能平台如图4所示。

文献[21-23]研究如何实现对配网设备的监测,当物理特征超出正常范围时,发出警报,主要对设备状态监测管理进行研究。文献[24-25]研究如何对环境中温湿度、水浸、水位等物理量监

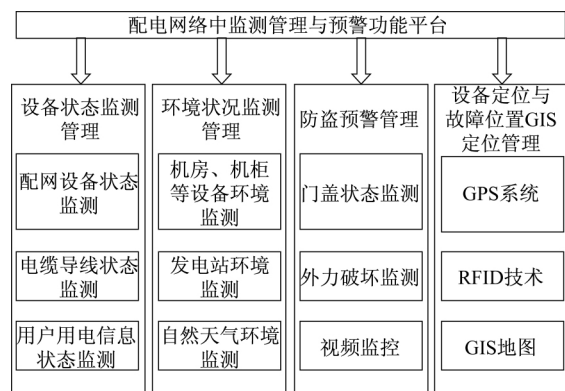


图4 基于物联网的配电网监测管理与预警功能平台

测,当温湿度达到一定阈值或水浸传感器感知到一定高度的水位时,系统会有告警指示以保证设备运行环境良好。以上主要对环境状况监测管理进行研究。文献[26-27]研究如何针对机房门、机柜门、电缆井盖等的表面采用无线门磁传感器实时地监测各种设备,判断设备是否安全,主要对防盗预警管理进行研究。文献[28-30]研究如何通过GPS、RFID等技术,获得设备主要参数,从而进行故障或者设备定位,主要对设备定位与故障位置GIS定位管理进行研究。

#### 4.1 设备状态监测管理功能

配电网设备运行状态监测基于温度、电流、湿度等特征量,主要监测配变接头温度、设备接头温度、低压柜出线电流、线路接头温度、电缆终端头及中间接头温度等。在需要进行温度监测的配电网设备上安装温度传感器,监测设备变化情况,达到预警值,就发出报警信息。配变接头温度监测采用无线温度传感器实现,当配变接头发热时会被传感器感知,并将检测到的温升值通过无线传感器网络传输到后台处理系统进行处理、展示、告警。低压柜出线电流监测采用不同规格的低压配电综合传感器节点,实现三相线路的电压/电流在线监测,同时可监测断路器的触头温度。线路接头温度监测采用无线温度传感器实现配电网线路接头温度的在线监测。

实现对配电网设备温度、湿度、压力、电流/电压等物理量的监测,设定一个正常阈值,若物理特征超出该正常阈值的范围,则系统应该立即发出警报,报告告警位置,并自动启动自诊断技术。若能修复该告警位置故障,则自修复,否则隔离该告警位置,并通知附近站点的检测人员到场修复。

温度是一个设备是否在正常运行的重要特征量。采用无线温度传感器对配电变压器的接头、配电电源、配电开关柜接头、电缆导线等实现实时的温度监测。若设备的温度达到告警阈值,那么设备过热,会导致设备使用寿命缩短、老化加快。

剩余电流对于电力设备是一个重要监测参数<sup>[17]</sup>。采用电流/电压传感器就配电变电站、配电电源的剩余电流进行监测。因为这些设备随着使用次数的增加和工作时间的延长会导致电流不可确定性的泄漏。这是引起事故的重要原因之一。为避免事故的发生,需要对有漏电现象的设备进行更换。

外部电缆导线的状态同样是监测的一个重点<sup>[18]</sup>。采用温度传感器、压力振动传感器、角度传感器等对输电线路状态进行感知,对导线的温度、弯曲弧度、微风振动、风偏等内容进行监测。结合对支持输电线路的杆塔的监测,采用相位位移传感器、壁挂振动传感器监测是否有外力破坏杆身,采用倾斜传感器监测杆身的倾斜程度,采用距离传感器监测是否有危险物靠近,采用防拆螺栓、张力传感器监测对杆塔设施的非法拆卸行为。

对于远方的终端设备,感知用户的用电信息状态,包括用电量大小、用电高峰低谷统计等,通过实时的感知用电分布情况,调节对不同终端的配电情况,节省不必要的电力浪费,提高资源的利用率。

#### 4.2 环境状况监测管理功能

配电网运行环境监测基于温/湿度、水浸、水位等特征量,主要监测站所室内及柜内环境温/湿度、站所渗漏水、电缆沟水浸状态、水位状态等。站所室内及柜内环境温/湿度在线监测,按需安装相应的无线温/湿度传感器,实现室内及柜内环境温/湿度在线监测。在室内合适位置安装水浸传感器,检测站所渗漏水。在站所的电缆沟内布置水浸传感器,实现电缆沟的水位、水浸状态监测。

环境状态是会影响智能配电设备运行状况的一作用因子。基于环境中温/湿度、水浸、水位等物理量的监测,设定当温/湿度达到一定阈值或水浸传感器感知到一定高度的水位时,系统会向主站发出温/湿度告警指示或水浸告警指示,以保证设备运行环境良好。

对配电机房、配电电源、配电开关柜、各种机柜内的温/湿度进行监测,安装无线温/湿度传感器,且在适当的高度位置,安装合适数目的水浸传感器感知机房、机柜内水位的变化情况,以免漏水而导致设备的不灵敏,甚至是损坏。同时机房内安装烟雾传感器,感知烟雾信息,防止机房内有烟头等隐患因素而引起火灾。

对于智能电网中一些新能源的发电站,例如风能发电站,在风轮上安装风速和风向传感器感知实时风能的变化情况,根据主站收到的反馈信息调节风轮的状态,保证更高的发电量与效率。对所有的发电站,包括水能发电站、光伏发电站、生物质发电站等,都可以进行功率监测、能耗监测、储能监测、污染物及气体排放监测<sup>[19]</sup>。

对外部输电线路的环境状态,采用各类气象传感器对天气条件,包括覆冰情况、风速风向大小进行监测,对恶劣天气环境下的电缆导线额外进行保护,提高其使用寿命。

#### 4.3 防盗预警管理功能

配电网安防预警基于开启状态、烟感、振动等特征量,主要监测站所门、电缆盖板状态、烟感、杆塔外力破坏、杆上配变防盗等。采用无线门磁传感器实时监测各类设施的门开关状态和动作次数,并辅以无线振动监测,判断是否存在各设施门遭外力破坏的情况。采用在电缆沟盖板上安装门磁传感器方式,监测电缆沟盖板是否有异常打开的行为。在室内部署感烟传感器,实现室内烟感在线监测,实现火灾预警或告警。采用在杆塔上安装倾斜传感器和相对位移传感器等,实现防外力破坏监测。在杆上配变及台架上选择合适位置安装防盗螺栓传感器节点、张力传感器,实现配变防盗检测。

配电网的防盗预警管理主要考察门盖是否处于关闭状态、是否受到外力破坏、是否有非法人员进出等特征量<sup>[20]</sup>。在机房门、机柜门、电缆井盖等的表面采用无线门磁传感器实时地监测各种设备的门闭合状态、动作次数,用无线振动传感器辅助监测,判断设备门盖有无被非正常外力打开。同时,在重点监测区域,部署视频监控、红外传感器,对于不在系统登记范围内的人员进出该区域进行告警,防止有外人偷窃或误入站所,对电力设施造成物理破坏和经济损失。

#### 4.4 设备定位与故障位置 GIS 定位管理功能

为了提高故障定位的实时性,灵活使用信息,根据电力系统的通信规则,并根据时间优先级将收集的信息分为3层:第一层是交换机等远程信息和保护;第二层是电压、电流和功率等远程信息;第三层是故障记录器和用户故障投诉信息。综合分析和处理上述信息,构建了基于GIS的新型配电网故障定位模块,使该功能具有更强的适应性。

GIS将配电网电力设备的物理属性与逻辑属性统一起来,完善配电网管理的设备台账管理,包括变压器、电杆、线路、开关、配电台区等设备,以及供电范围、用户情况。这样,配电网故障定位系统可通过GIS的应用,就能在电子地理图上准确标记故障线路的位置,并运用GIS强大的图形分析功能提供从抢修班到故障点的最短(最佳)路径选择,辅助抢修人员做好抢修准备,使快速故障处理、抢修成为可能。

用GPS、RFID可以得到设备位置、设备名称、设备标号等信息<sup>[21]</sup>,用各类传感器可实现对配电网中所有被监测设备的基本基础状态信息的获取,得到设备主要参数。结合配电输电线路上的实时状态信息和远方终端的用户用电信息,整个配电网的运行状况就可以在GIS地图上以三维立体的形式展现出来。当系统发出告警时,软件地图上会弹出报警的界面,并能标注出告警的位置信息,同时进行设备的自诊断技术,判断能否修复该位置的故障,若显示不能,则监测人员及时隔离故障位置,根据GIS地图上所提供的定位通知附近的巡检人员进行修复。

### 5 结 语

本文介绍了基于物联网技术的信息采集、信息传输、信息监测与告警过程,将物联网技术与智能电网相互融合,实时地监视线路运行情况,及时有效发现设备的安全隐患,预警故障位置,指导检修人员的修复工作的进行,缩小了大面积停电的概率,使得城市供电系统更加安全可靠。本文通过将通信基础设施与电网设备资源的相关成果进行整合分类,极大地促进了感知层、传输层、应用层3层分类协作高度统一,体现了智能配电网自愈化、互动化、自动化、信息化的特征,对配电网

及其设备进行清晰的可视化管理。智能配电网是对传统电网的升级更新,着重响应环境要求、电能质量、设备安全 3 个方面的需求,是未来可持续发展的必然选择。在能源需求不断增长、新技术不断发展融合以及环保呼声日益高涨的时代,物联网感知技术将成为中国电力行业发展的指向。

### 【参考文献】

- [1] 张文亮,汤广福,查鲲鹏,等. 先进电力电子技术在智能电网中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4): 1-7.
- [2] 董朝阳,赵俊华,文福拴,等. 从智能电网到能源互联网: 基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 1-11.
- [3] GUNGOR V C, SAHIN D, KOCAK T, et al. Smart grid technologies: communication technologies and standards [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2011, 7(4): 529-539.
- [4] 徐鑫. 物联网在现代电力通信体系中的应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
- [5] 金志刚,刘佳. 物联网让电网更智能[J]. 河北省科学院学报, 2011, 28(3): 5-9.
- [6] 王益民. 坚强智能电网技术标准体系研究框架[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(22): 1-6.
- [7] AMIN S M, WOLLENBERG B F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century [J]. IEEE Power & Energy Magazine, 2005, 3(5): 34-41.
- [8] MOSLEHI K, KUMAR R. A reliability perspective of the smart grid [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, 1(1): 57-64.
- [9] 刘丙午,周鸿. 基于物联网技术的智能电网系统分析[J]. 中国流通经济, 2013, 27(2): 67-73.
- [10] 康洪波. 基于物联网的智能电网信息系统的研究[J]. 电源技术, 2014, 38(11): 2133-2134.
- [11] 吴蕾. 配电网智能电能采集系统的设计研究[J]. 中国电机工程学报(技术版), 2014(1): 36-39.
- [12] 胡霆. 可延时负荷优化调度研究[D]. 济南: 山东大学, 2016.
- [13] FANG X, MISRA S, XUE G, et al. Smart grid — the new and improved power grid: A survey [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 14(4): 944-980.
- [14] 丁志强,赵东升. 基于物联网技术的配电网状态监测[J]. 农村电气化, 2015(1): 33-34.
- [15] 李娜,陈晰,吴帆,等. 面向智能电网的物联网信息聚合技术[J]. 信息通信技术, 2010, 4(2): 21-28.
- [16] 刘春义. 辽宁大容量光传输网研究与建设方案设计[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [17] 陈家迁. 物联网无线通信传输层动态通道保障机制[J]. 电脑知识与技术: 学术交流, 2014(12X): 8841-8842.
- [18] 王君洪,陈跃东,陈孟元. 基于模糊认知图的智能配电网 WSNs 实时性与可靠性优化研究[J]. 传感技术学报, 2016(2): 213-219.
- [19] 王君洪,陈跃东,陈孟元. 基于马尔科夫链的模糊认知图在智能配电网 WSN 通信 QoS 优化研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016(1): 66-74.
- [20] 王晓丰. 关于智能电网中的通信传输技术分析[J]. 才智, 2012(2): 79.
- [21] GALLI S, SCAGLIONE A, WANG Z. For the grid and through the grid: The role of power line communications in the smart grid [J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 99(6): 998-1027.
- [22] 张东霞,苗新,刘丽平,等. 智能电网大数据技术发展研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(1): 2-12.
- [23] 冯翔,扈斐. 智能配电网电能质量实时在线监测识别系统设计[J]. 低压电器, 2012(3): 24-28.
- [24] WANG W, XU Y, KHANNA M. A survey on the communication architectures in smart grid [J]. Computer Networks, 2011, 55(15): 3604-3629.
- [25] 徐升. 物联网在配电网运维管理水平提升中的应用分析[J]. 通讯世界, 2016(3): 128-129.
- [26] 张东霞,姚良忠,马文媛. 中外智能电网发展战略[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(31): 1-14.
- [27] 吴健,李荣,周超,等. 无人值守中压配电站智能防盗及防误联动系统的研究[J]. 电工技术, 2015(1): 66-68.
- [28] LOGENTHIRAN T, SRINIVASAN D, TAN Z S. Demand Side Management in Smart Grid Using Heuristic Optimization [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(3): 1244-1252.
- [29] 伊洋,刘育权,陈宇强,等. 基于信息综合判断的智能变电站网络通信故障定位技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 135-140.
- [30] 陈根永,陈永华,贾俊洁,等. 基于 GIS 平台的配电网故障诊断算法[J]. 电力自动化设备, 2011, 35(3): 71-75.

收稿日期: 2018-09-20