

物联网技术在电力输配电系统中的研究与应用

刘建明¹, 赵子岩², 季翔³

(1. 中国电机工程学会, 北京 100037; 2. 国家电网公司信息通信分公司, 北京 100053;
3. 华为技术有限公司, 广东 深圳 518129)

摘要: 电力行业是关系到国计民生的重要能源行业, 保证电力输配电系统的安全稳定运行具有重要意义。结合电力输配电系统监控及运行需求, 基于物联网技术, 建立了分层电力输电、配电、用电系统的监测、巡检、安防、互动服务等系统的应用体系, 提出电力物联网安全防护体系架构及解决方案, 并建立了示范工程进行系统验证。

关键词: 物联网; 智能电网; 电力系统; 输电; 配电; 监控系统

中图分类号: TN915.853

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2018.00045

Research and application of Internet of things in power transmission and distribution system

LIU Jianming¹, ZHAO Ziyang², JI Xiang³

1. Chinese Society for Electrical Engineering, Beijing 100037, China
2. State Grid Information & Telecommunication Branch, Beijing 100053, China
3. Huawei Technologies Co., Ltd., Shenzhen 518129, China

Abstract: Power industry is the important energy industry which relates to national economy and the people's livelihood, and it has a significant meaning to ensure safe and stable operation of power transmission and distribution system. Combined with monitor and operation requirement of power transmission and distribution system, application system for monitoring, inspection, security and interactive service of layered power transmission and distribution system was built based on Internet of things technology. Meanwhile, framework and solutions for security system of electricity Internet of things was established, and demonstration project for system verification was established.

Key words: Internet of things, smart grid, power system, power transmission, power distribution, monitoring system

1 引言

作为先进的信息获取和处理技术, 无线传感器网络已经在医疗、工业、农业、商业、公共管理、国防等领域得到了广泛的应用, 是促进未来经济发展、构建和谐社会的重要手段。无线传感器网络的技术发展至今, 已经取得了丰硕的理论研究和实验验证成果。但同时, 我国传感器网络缺少面向行业应用的整体解决方案与集成创新, 缺少在任一行业和生产领域大规模的推广应用, 以致不能形成从技

术研发、器件研制、系统应用到网络服务的完整全产业链^[1]。

电力系统由于工作环境恶劣导致通信受阻, 例如, 存在障碍物遮挡、与地表没有可视路径的地下环境、电磁屏蔽的封闭空间等, 在上述工作环境中, 电磁波传播受到极大的抑制, 传输距离受限, 衰落深度大, 如采取传统的单一无线通信技术, 远远无法满足通信可靠性要求。目前, 在电力行业中进行了一些无线传感器网络应用探索, 但存在面向业务应用单一、对电力无线传感器网络的统一应用缺乏

收稿日期: 2018-02-20; 修回日期: 2018-03-06

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目 (No. 2010ZX03006-005-02)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project of China (No. 2010ZX03006-005-02)

顶层规划与设计的问题。并且，电力无线传感器网络应用环境复杂，应用所涉及的通信技术多样、协议复杂、数据协同处理困难^[2]。

针对具体的电网输配电系统应用来说，在输电线路在线监测方面，由于输电线路以线状绵延伸展，部署无线传感器网络将面临严峻的通信组网技术挑战。此外，大部分高压输电线路架设于人迹罕至的地方，线路狭长，要在保证低能耗的情况下实现多跳无线网络协议，具有较大的技术挑战。另一个技术制约就是线路上监测装置的电源问题。输电系统放电对无线传感器网络除产生严重的电磁干扰之外，由于设备处于强电场环境，还极易耦合产生高感应电压而击穿烧毁设备，这也向输电线路监测设备提出了严峻挑战。在配电现场作业监管和智能巡检方面，现有系统虽已具备智能化水平，但已有系统中 RFID 标签的应用仅局限于设备身份确认，未见应用感知 RFID 标签，不具备确认对象状态、匹配工作程序和记录操作过程的功能，并不能达到减少误操作风险和安全隐患的最终目的。此外，未见同类系统应用视频传感器，无法真正实现调度指挥中心与现场作业人员的实时互动^[3]。巡检工作（如对巡检人员的监督机制和自动信息收集过程）仍需进一步提高，以达到切实、可靠、安全巡检的目的。在智能用电信息采集方面，目前的用电信息采集及传输技术有了初步应用，但仍然存在可靠性、可用性、可维护性以及实用性问题，单一的通信技术无法解决我国广大区域不同用电场合的用电信息可靠传输问题。在智能用电服务建设方面，面向客户侧的通信网络资源不足，各类系统与用户之间的互动功能尚不充分，还不能完全适应智能用电服务的要求，系统功能需进一步开发和整合。在用户服务技术装备方面，原有的系统建设标准化程度较低，技术方案和功能实现存在较大差异，终端设备形式多样、智能化水平不高、功能有限^[4]。

针对以上问题，迫切需要结合智能电网业务特点及应用场景，开发适用于智能电网应用场景的低功耗、高精度、高可靠性的系列无线传感装置，形成完整的电力智能无线传感器网络体系，构建一体化应用平台，对电力无线传感网相关应用提供统一数据存储、处理、挖掘、分析等服务。本文通过深入分析无线传感器网络在智能电网中的应用场景，建立了具有国际领先水平的面向智能电网输电、变电、配电、用电等主要环节的传感器网络应用体系，

研究并提出了满足电力应用特点的物联网应用感知层、网络层、应用层以及信息安全等关键技术问题，通过示范工程验证了电力物联网在电网行业中应用的效果。

2 电力物联网总体架构

智能电网各个环节重要运行参数的在线监测，可以从安全性、可靠性、可调节、抗扰动等方面加强对设备状态的预测、预防、调控，为输电线路的可靠监控及配电环节的科学运维提供智能辅助决策，从而进一步提升电网运行水平，强化与用户间的双向互动，拓展新的增值服务。上述目标的实现，依赖于透彻的信息感知、可靠的数据传输、高效的网络构建及海量感知信息的智能管理与数据处理分析技术。

物联网利用部署在目标区域内的大量节点，协作地感知、采集各种环境或监测对象信息，通过对信息进行深层次的多元参数融合、协同处理，抽象环境或物体对象的状态。物联网以其独特的优势，能够在多种场合满足智能化电网发电、输电、变电、配电、用电等重要环节上信息获取的实时性、准确性、全面性等需求，可以协助实现有效的电网态势感知，为提高电网规范化管理能力提供有效支撑^[5]。

对智能电网而言，电力无线传感器网络总体架构可以划分为感知层、网络层和应用层，如图1所示。

1) 感知层

主要由部署在各个感知对象的若干感知节点组成，通过自组织方式组建感知网络，实现对电网对象及运行环境的智能协同感知、智能识别、信息采集处理和自动控制等。通过各种新型微机电系统（MEMS, micro-electro-mechanical system）传感器，基于嵌入式系统的智能传感器、智能采集设备等技术手段，完成对智能电网中发电、输电、变电、配电、用电、调度等各个环节关键设备的机械状态、能耗情况、环境状态等信息的识别和采集。

2) 网络层

通过将电力无线宽带、无线公共通信网络、无线传感网、电力光传输网络等不同种类的通信网络进行融合、扩展，实现感知层和应用层之间的信息传递、路由和控制等功能，为感知的信息提供高可靠、高安全、大规模数据传输服务。在智能电网应用中，电力物联网信息的传递、汇聚与控制主要依托电力通信网实现，公共电信网作为补充。网络层

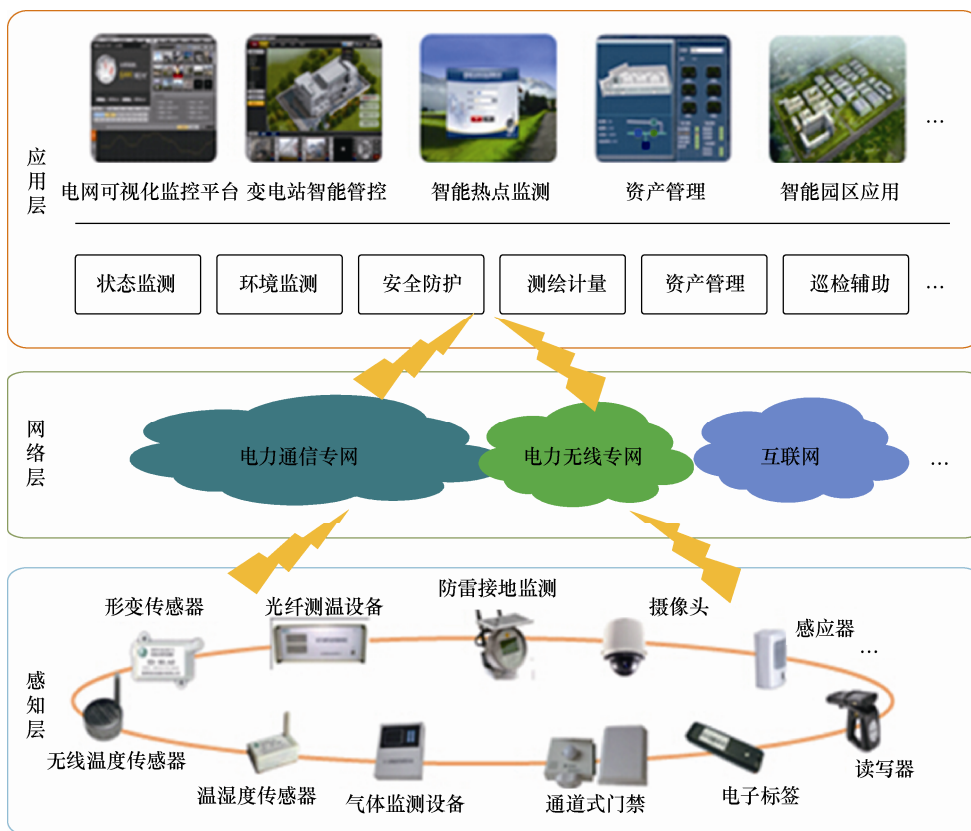


图 1 电力无线传感器网络分层架构

一般包括接入网与核心网，其中，核心网以电力骨干光纤网为主，接入网以电力光纤接入网、电力线载波、无线数字通信系统为主。电力通信网为电力物联网的应用提供了一个高速带宽的双向通信网络平台^[6]。

3) 应用层

应用层把感知层信息与数据根据不同业务需求进行分析和处理。应用层包括应用基础设施、中间件和各种应用。应用层的各类应用涉及智能电网全生命周期的生产、管理等各个环节。通过采用智能计算、模式识别等技术，实现电网信息的综合分析和处理及电网智能化决策、控制和服务水平的不断提升，促进电力更便捷、绿色和高效。

3 电力物联网关键技术

3.1 感知层

3.1.1 激光测距传感器

激光测距传感器用于测量输配电线路周边树木等危险物是否处于输配电线路的安全距离范围内，同时也可用于线路弧垂等辅助测量，如图 2 所示。



图 2 激光测距传感器

3.1.2 导线温度传感器

导线温度传感器是用于输电线路导线在线测温的装置，如图 3 所示。测温终端采用低功耗技术，使用 8 AH/3.6 V 的自消耗低、寿命长、耐高温的锂亚电池供电方式，能够使温度采集终端单元工作在 5 年以上；锂亚电池与低功耗技术相结合，很好地解决了测温终端单元取电的问题。

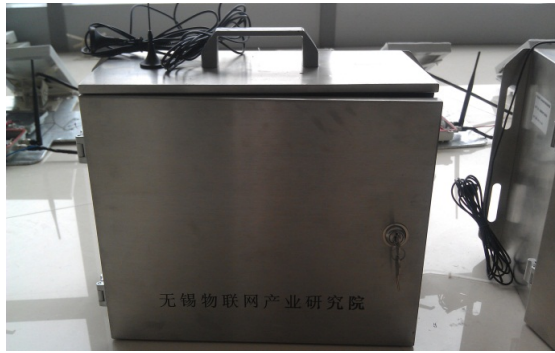


图3 导线温度传感器

3.1.3 环境微气象传感器

输电线路气象在线监测系统是针对架空线路走廊局部气象环境监测而设计的一种多要素微气象测量系统，监测的气象参数主要包括风速、风向、气温、湿度、气压等。系统将采集到的各种气象参数及其变化状况通过网络实时地传送到中心监控系统，当出现异常情况时，系统会以多种方式发出预报警信息，提示管理人员应对报警点予以重视或采取必要的预防措施。环境微气象传感器如图4所示。



图4 环境微气象传感器

3.1.4 智能防盗螺栓

智能防盗螺栓是一款基于无线传感网络技术的多功能设备防盗传感模块，可以代替普通机械螺栓，用于配电设备的防盗预警，如图5所示。



图5 智能防盗螺栓

3.1.5 电压测量传感器

电压变化测量传感器用于测量低压配电线路的电能质量信号，也可用于低压电力设备的防盗预警辅助设备，如图6所示。整机对接入的配网电信号进行电能质量检测，同时该信号也作为外部电源，实现对整机的供电。



图6 电压测量传感器

3.1.6 地埋式震动传感器

地埋式震动传感器用于探测输电线路杆塔周边土壤震动、水土流失等危害杆塔安全的土壤环境信息的检测和报警，如图7所示。采用4个高灵敏度的振动传感器，实时全向探测振动信号，确保可靠的实时探测性能和抗干扰性能。具备捆扎带、螺栓等多种固定方式，便于设备安装。



图7 地理振动传感器

3.2 网络层

3.2.1 组网需求

电力传感器网络场景复杂，涉及通信技术种类多、协议复杂，给数据处理、数据共享与协同带来较大难度。为了实时感知电网运行状态，需要在各种电力设备上部署大量传感器，进行相关的信息和数据采集并上报给控制中心。智能电网传感器节点收集的数据包括多种类别，涵盖电流、电压、温度、压力、湿度等各类数据。通过上述数据分析电网整体运行态势、每个设备运行状态、资产及环境状态^[7-9]。为在电力环境下满足如上电网感知的需求，电力传感器网络所服务的对象及数据传输具有以下3个独

特的需求。

1) 无线通信终端多。普通规模的城市电力系统包括成千上万个微型用户区,为了完成对系统的监控,需配置大量的传感器节点对用户的用电设备进行数据采集,需要进行数据通信的终端多。

2) 传输数据量大。传感器节点需周期性发送设备的用电或其他状态信息。由于传感器节点数量多,网络内所需传输的数据量很大。

3) 实时性要求高。对于电网运行与控制信息,需要实时传输至电力控制中心,对电网运行态势进行分析,以便迅速对存在故障的线路采取实时调控措施。

3.2.2 智能电网传感器网络特性

结合电网输配电监控需求,智能电网传感网络应具有以下特性。

1) 低移动性。传感器的低移动性适用于智能电网中不移动的传感器设备、不频繁移动的传感器设备,或只在限定区域内移动的传感器设备。

2) 时间控制。传感器的时间控制特性适用于在智能电网中预先定义的时间段内收发数据的传感器设备,避免在这些时间段外产生不必要的信令。

3) 小数据传输。智能电网中传感器收发的数据量都比较小,小数据传输特性非常适用于智能电网环境中的要求。

4) 优先告警。智能电网中需要优先告警的传感器设备,例如,被盗、蓄意破坏或其他需要立即注意的情况。优先告警消息应该具有比其他优化分类更高的优先级。

5) 非频繁传输。本特性适用于智能电网中部分非频繁传输的传感器设备(2次数据传输之间有很长的间隔)。

6) 特别低功耗。智能电网中特别低功耗的传感器特性会提升系统支持要求特别低功耗的传感器应用的能力。网络管理平台能够将传感器设备配置为特别低功耗模式。

7) 衰落问题。智能电网中,由于输电线路、设备、杆塔环境内金属设备众多庞杂,会造成杆塔附近的场强分布不均匀和不稳定。

8) 强电磁场干扰。在高压输电线路、杆塔、高压走廊的环境下都存在强工频电磁场干扰和闪络、电晕干扰,强工频电磁场会阻塞通信信道,导致链路增益降低而影响通信可靠性,闪络、电晕干扰是散弹噪声类干扰,其在时域表现为随机窄带脉冲,

在频域表现为宽带白噪声,会严重干扰各频段通信链路。

3.2.3 通信组网架构

智能电网中各个环节的无线传感器经通信网络空口直接上联或通过汇聚节点上联到基站设备,接入电信运营商的移动网络中^[10]。后台智能电网管理平台和相关业务平台也通过各种接入手段与移动核心网互联。相关数据从无线传感器收集上来以后,通过移动核心网传送到管理平台或业务平台来使用。

1) 无线接入侧

传感器网络系统通常包括传感器节点、汇聚节点和管理节点。传感器节点随机部署在监测区域内或附近,通过自组织方式构成网络。传感器节点监测的数据沿着其他传感器节点逐跳地进行传输,经过多跳路由到汇聚节点,最后到达管理节点。用户通过管理节点对传感器网络进行配置和管理,发布监测任务以及收集监测数据。

传感器节点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量管理模块这4个部分组成。传感器模块负责监测区域内信息的采集和数据转换;处理器模块负责控制整个传感器节点的操作,存储和处理本身采集的数据以及其他节点发来的数据;无线通信模块负责与其他传感器节点进行无线通信,交换控制信息和收发采集数据;能量管理模块对传感器节点运行所需的能量进行管理。

汇聚节点是一种多流传感器终端,多个传感器末端节点的传感器业务流集合到汇聚节点,通过移动通信空中接口上传到移动通信网络^[11]。汇聚节点可以采用2种方式汇聚来自多个传感器末端节点的业务流汇聚,如图8所示。

2) 核心网侧

智能电网中的传感器通过网关或直连方式连接到无线接入网,并承载网络可能通过交互网关与服务器相连^[12,13]。

智能电网中的各类传感器通过网关或直连方式连接至无线接入网,通过移动核心网与后台智能电网应用平台服务器(MTC Server)对接,并由MTC Server提供智能电网必需的管理、控制及各种业务能力。在智能电网的各类应用中,需获取各类传感终端接入的有关信息,如接入时间、离线时间、接入位置点等。根据上述信息,MTC Server可以精准判断终端的各种状态,例如,是否将传感器设备

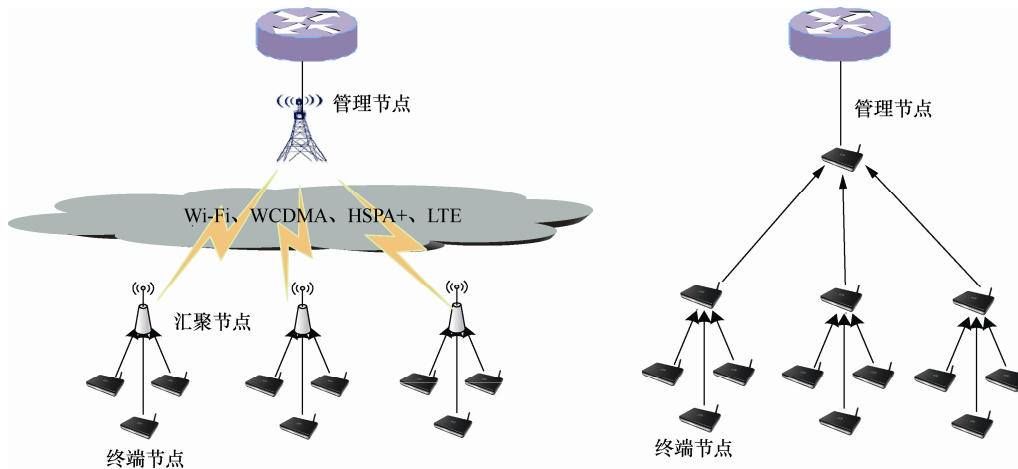


图 8 无线通信网络与传感器网络结合

专用 SIM 卡插入非传感器终端、终端是否在非许可时间接入网络、终端是否在非许可位置点接入网络、终端异常离线等状态。上述的状态信息属于接入层信息，由核心网通过特定的接口输出到 MTC Server 上。对核心网而言，MSC/SGSN 能够方便地获取 MTC Server 所需要的终端状态信息，而 GGSN 等则相对困难，通过 MSC/SGSN 获取并提供 MTC Server 所需要的终端状态信息是最佳选择。

考虑到智能电网应用平台直接接入运营商网络存在的安全风险，可以引入传感器网关（MTC GW）解决这一问题。MTC GW 能够有效屏蔽核心网的拓扑结构，实现核心网对智能电网应用平台接入的安全认证，并提供智能电网应用平台的各类应用的统一路由出口。图 9 描述了在核心网实体和 MTC Server 之间增加 MTC GW 的架构示意。

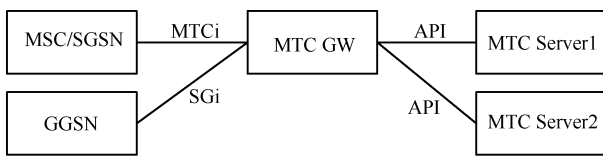


图 9 增加 MTC GW 的架构示意

通过 MTC GW，能够实现对核心网拓扑结构的有效屏蔽，在 MTC GW 和 MTC Server 之间建立加密隧道，并向其提供统一、简单的 API，极大降低了核心网接口的复杂性。

3.3 应用层

在输变电系统的实时状态感知的基础上，把感知层感知的信息根据不同的应用与业务需求进行分析和处理，形成包括应用基础设施、中间件和各种应用的体系架构，并实现物联网的各种应用。电

力传感器网络应用涉及智能电网全寿命周期的生产、管理环节，通过采用智能计算、模式识别等技术实现电网信息的综合分析和处理，实现智能化的决策、控制和服务水平的不断提升^[14-17]。按照电力系统的组成环节，基于智能电网的传感器网络应用验证系统主要包括以下 8 类重要系统：1)输电线路多维感知在线监测系统；2)输电、变电、配电巡检系统；3)电气设备状态在线监测系统；4)电力设施防护及安全保电支撑平台；5)配电现场作业监管系统；6)智能用电服务系统；7)用电信息采集系统；8)智能电网传感网信息处理及一体化管理平台。

电力物联网应用系统体系架构如图 10 所示。

1) 输电线路多维感知在线监测系统

高压架空输电线路是电网的重要组成部分，由于微风造成的微风振动、导线风偏是造成高压架空输电线路疲劳断股的主要原因；强风条件造成的线路舞动对高压输电线路会造成极大破坏；同时低温天气造成的线路覆冰，且杆塔拉线更容易结冰且对称的拉线结冰往往不平衡，会导致杆塔的倾斜甚至倒塔，这些都是输电线路安全保障的巨大隐患。

通过在整条输电线路上部署多功能骨干节点、MEMS 加速度（陀螺仪）传感器节点，并在高压杆塔上布设泄漏电流传感器节点、通信骨干节点构成一个传感器簇，多个这样的簇构成线状网络并通过通信骨干节点构成整个智能电网输电线路在线监测系统^[18]，实现了对输电线路的各种状态，如覆冰、污秽、温度、舞动、微气象等的多方位可视化实时监控和故障预警。基于传感网络的智能电网输电线路在线监测系统架构如图 11 所示。

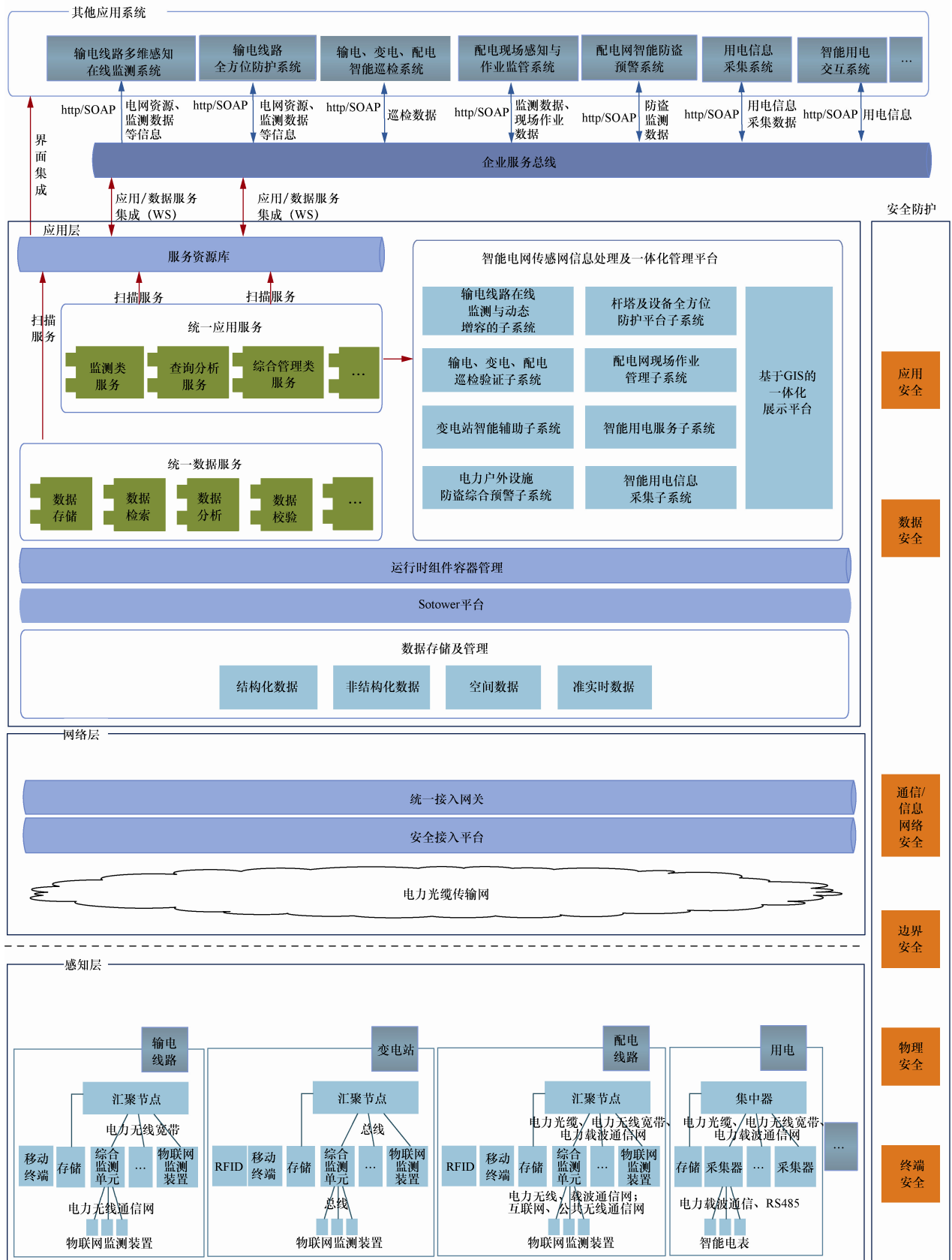


图 10 电力物联网应用系统体系架构

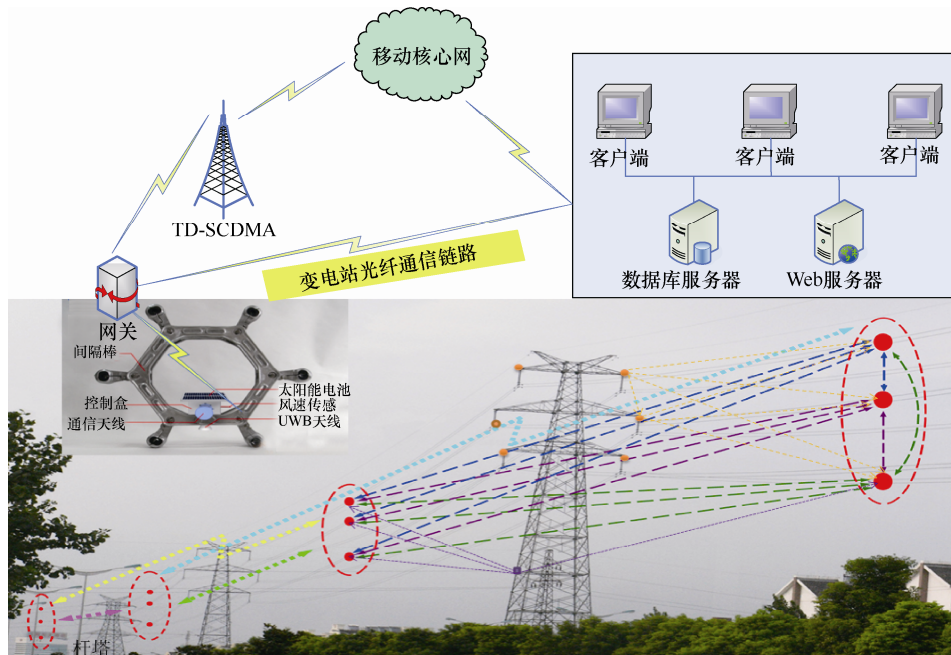


图 11 智能电网输电线路在线监测系统架构

2) 输电、变电、配电巡检系统

电网的输电、变电、配电环节设备种类多，运维工作量大，通常需要大量人力开展日常巡检的工作。通过无线传感器和 RFID 标签结合，实现对各种电力设备日常运行过程中的运行参数、设备状态异常、设备破损、性能降低等参数的观察和记录。同时，通过对采集数据的分析，对隐患进行评估和预警，避免电网设备出现故障。输电、变电、配电巡检系统的架构如图 12 所示。

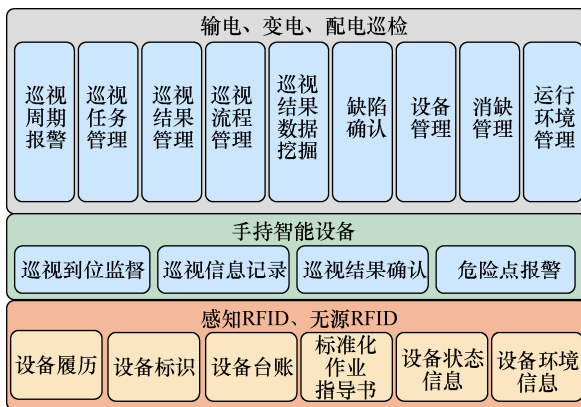


图 12 输电、变电、配电巡检系统架构

系统基于传感器网络技术及 RFID 射频识别技术，实现了巡检人员到达现场并按预定路线巡视的监督功能；同时，辅助加入了环境信息与状态监测传感器，精确检测设备工作环境与状态，能够精准

确认巡检人员并且采集电力设备的运行环境信息、工作状态信息，大幅提升了巡检的工作质量。

3) 电气设备状态在线监测系统

变电站是电力系统的重要组成部分，是电网基础运行数据的采集源头和命令执行单元，变电设备安全运行以及变电站安全直接影响电网的安全运行。开展输变电设备状态检修，以提高设备利用率，延长设备寿命，减少停电次数/停电时间，提高输电效率。输变电设备状态监测也将作为辅助的设备状态的诊断手段，在输变电设备状态检修中发挥巨大作用^[19]。通过多传感器集成、多信息采集、信息融合及抗强电磁干扰等技术建立了智能电网变电站状态监测系统，实现了对变电站内各类设备及安全防护的实时监控，包括变压器油气、局放在线监测，断路器动作特性、微水在线监测，互感器、避雷器绝缘在线监测，变电站安防监测，互感器动态计量在线监测等。变电站采集层网络传感架构如图 13 所示。

在线监测系统通过对变电站各种状态量采集，将数据传输到后台专家系统进行分析与决策，能准确反映出变电站的各种状态，提供安全评价。

4) 电力设施防护及安全保电支撑平台

基于电力物联网，运用多种传感器组成协同感知网络、无线传感器网络技术，在户外线路、杆塔、配电变压器等设备上按照一定的策略部署、安装振动、

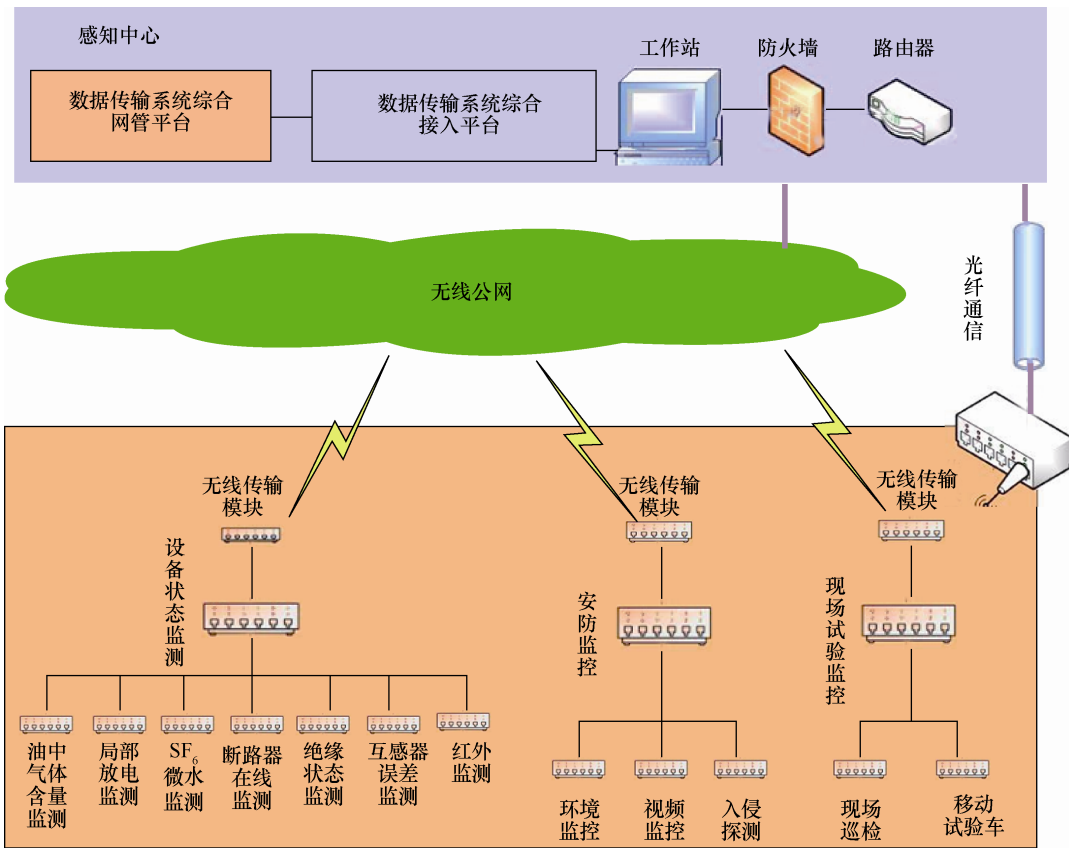


图 13 变电站采集层网络传感架构图

位移、电压变化、红外线等传感器，采集、处理现场信息，报警并协同处理，能够有效地实现对电网状态信息及设备的运行状态信息监测、预警防护。系统一般由地理固定无线振动传感器节点、移动无线振动传感器节点、杆塔无线倾斜传感器节点、杆塔无线（声）振动传感器节点、无线防拆卸螺栓传感器节点、无线被动红外线传感器节点、智能视频传感器节点、TD-SCDMA 通信骨干节点等组成，电力设施防护及安全保电支撑平台系统架构如图 14 所示。

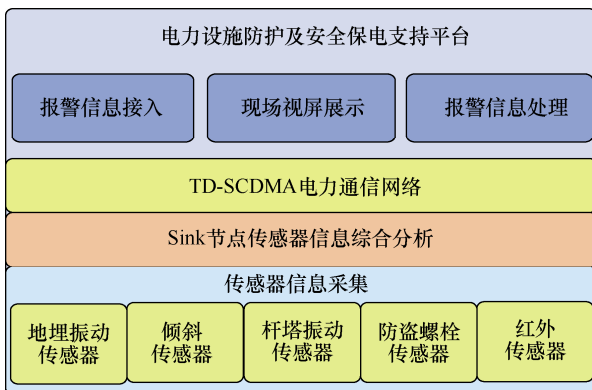


图 14 电力设施防护及安全保电支撑平台系统架构

通过多种传感器组成协同感知，实现对电网主要基础设施（如设备、配电线路、杆塔等）破坏、盗窃行为的有效定位、监测和预警，对监控范围内配电设备进行全方位防护。

5) 配电现场作业监管系统

由于电力系统运维的复杂性，电力现场作业管理难度大，常会出现误操作、误进入等安全隐患。在智能电网技术中，利用物联网技术可以进行身份识别、电子工作票管理、环境信息监测、远程监控等，实现调度指挥中心与现场作业人员的实时互动，进而消除安全隐患。

基于电力物联网技术的配电现场作业监管系统，通过安装在作业车辆上的视频监视设备和设备上的 RFID 标签，远程监控作业现场情况、现场核实操作对象和工作程序，紧密联系调度人员、安监人员、作业人员等多方情况，使各项现场工作或活动可控、在控，减少人为因素或外界因素造成的生产损失，从而有力保障人身安全、设备安全、系统安全，并大幅提高工作效率。配电现场作业监管系统架构如图 15 所示。

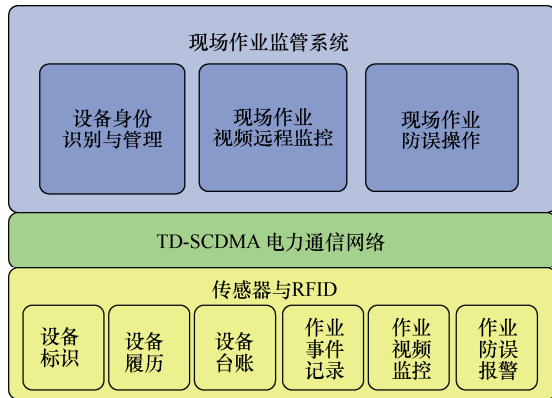


图 15 配电网现场作业监管系统架构

6) 智能用电服务系统

智能用电服务作为电网用电环节的关键部分，是实现电网与用户之间实时交互响应，增强电网综合服务能力，满足互动营销需求，提升服务水平的重要手段，加强用户与电网之间的信息集成共享和实时互动，实现用电的智能化、互动化，进一步改善电网运营方式和用户对电能的利用模式，提高终端用户用能效率。通过对公变、低压工商户、低压居民用户用电信息的采集，实现线损考核、预付费业务管理。通过对智能开关、智能家电的自动化监控，

将通信网络延伸到用户家庭，可实现用户用电信息、电力交易信息发布及用户用电智能管理等智能电网用户服务功能。

智能用电服务系统通过智能交互终端或交互机顶盒实现用户与电网之间的互动，实现能效管理、物业管理、增值服务、社区医疗等一系列特色服务，体现出良好的交互性和智能化特色，应用物联网的技术，组建家庭内部网络，实现电热水器、空调、电冰箱等家庭灵敏负荷的用电信息采集和控制，建立集紧急求助、燃气泄漏、烟雾探测、红外探测于一体的家庭安防系统。智能用电服务系统架构如图 16 所示。

7) 用电信息采集系统

用电信息采集系统的采集对象包括专线用户、各类大中小型专用变压器用户、各类 380/220 V 供电的工商业用户和居民用户、公用配电变压器考核计量点。用电信息采集系统主要功能包括数据采集、数据管理、自动抄表管理、费控管理、有序用电管理、异常用电分析、线/变损分析、安全防护等，为智能用电双向互动服务提供数据支持^[20]。系统分为主站层、通信信道层、采集设备层。用电信息采集系统架构具体如图 17 所示。

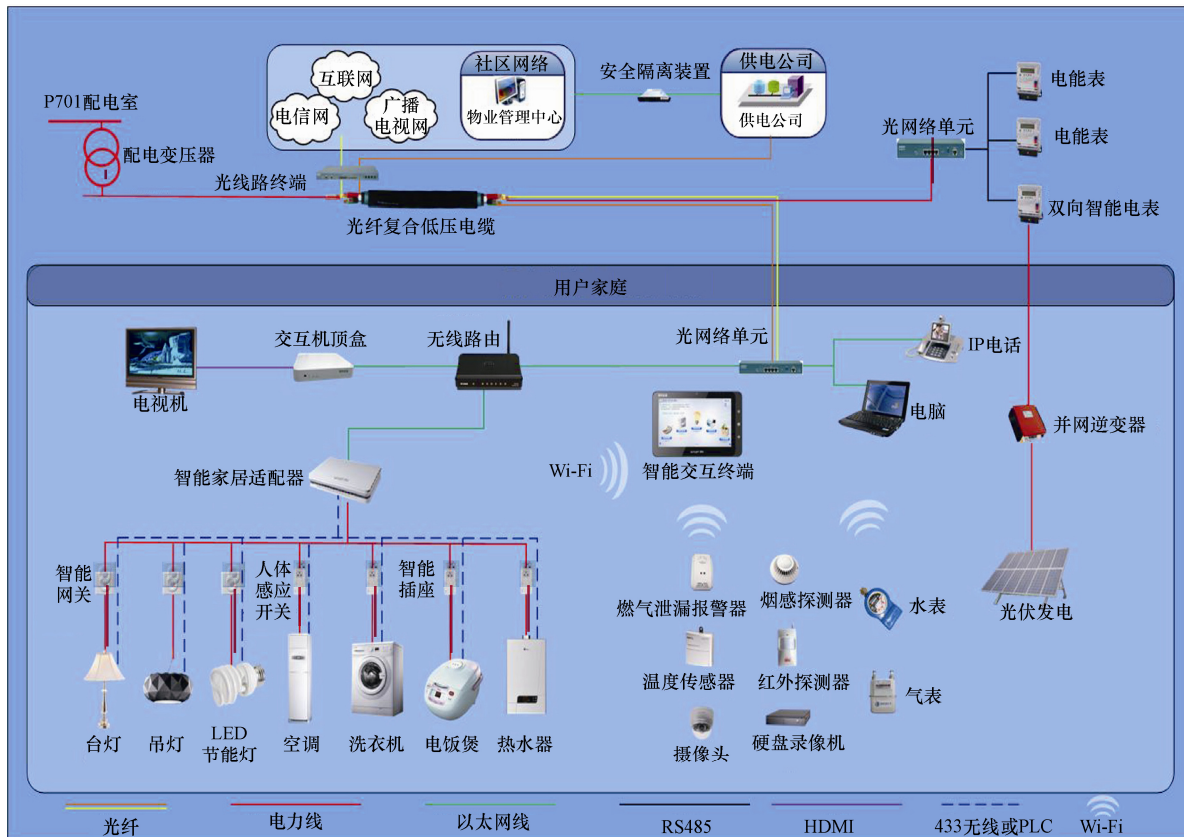


图 16 智能用电服务系统架构

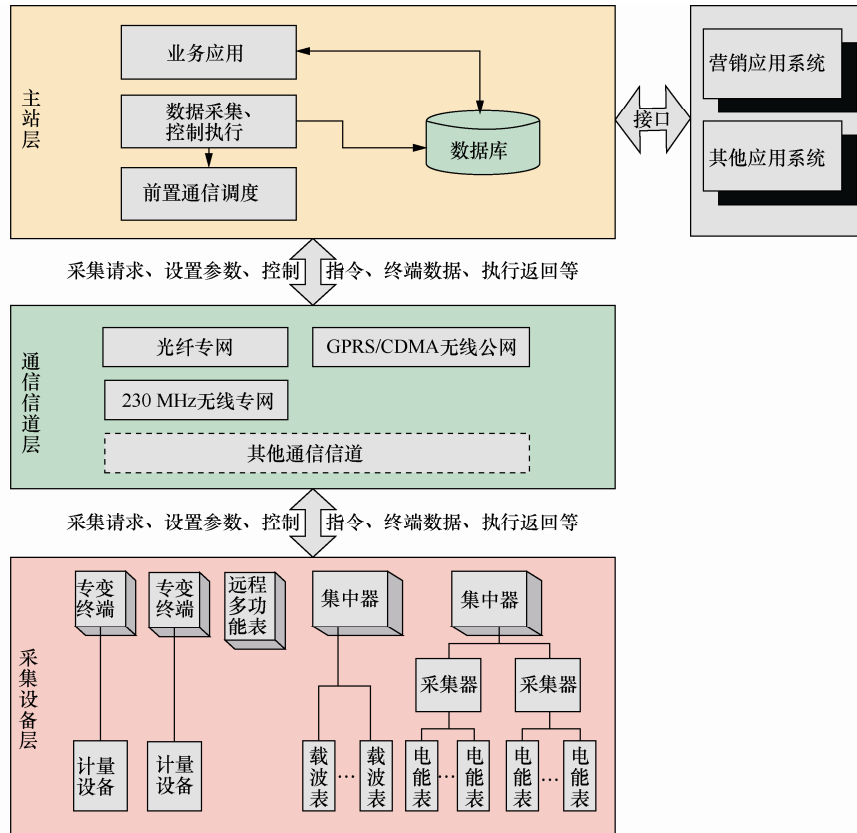


图 17 用电信息采集系统逻辑架构

主站层实现了营销采集业务应用、前置采集平台、数据库管理 3 部分功能，为电力营销业务提供相应的支撑；通信信道层是连接主站和采集设备的纽带，提供可用的有线和无线的通信信道，主要采用的通信信道有光纤专网、GPRS/CDMA 无线公网、230 MHz 无线专网；采集设备层是用电信息采集系统的信息底层，完成用户用电信息的采集。该层可分为终端子层和计量设备子层。

8) 智能电网传感网信息处理及一体化管理平台

电力物联网支撑了诸多智能电网应用，建立统一的、面向服务的传感信息共享与应用服务体系，能够实现电力物联网应用的一体化数据资源组织、信息共享、数据加密、高性能的协同分析处理，智能电网各类基于物联网的业务应用提供统一、规范、共享的数据采集与信息服务。

智能电网传感网信息处理及一体化管理平台通过建立统一的、面向服务的智能电网传感网络应用系统一体化信息共享平台，实现了不同场景的物联网采集数据的多源/多类型/异构数据一体化组织和管理，将智能电网传感网络信息和已有电网、地理空间数据进行一体化组织，实现输、

变、配电网信息作为“一张电网”的协同管理与融合共享。同时，在数据共享的基础上，优化图形浏览和分析的服务引擎，提供高效的平台可视化功能。智能电网传感网信息处理及一体化管理平台架构如图 18 所示。

4 电力物联网示范工程建设

4.1 示范工程情况

针对课题的研究内容和应用验证工作，立足我国电网的实际情况，依托江苏省电力公司无锡供电公司的应用验证和工程实施，建立面向智能电网的无线传感器网络应用验证系统。无锡验证系统建设地点在无锡新区，涉及的电网部分包括变电站 3 个，超高压、高压输电线路 2 条，10 kV 线路 20 条，线路长度 97.534 km，其中，电缆 29.259 km，架空 68.275 km。10 kV 配电所（开闭所）1 座，10 kV 变电所（小区公配所）31 座，环网柜 12 个，箱变 8 个，系统覆盖高压（10 kV）用户 148 户，低压居民用户 19 123 户，低压非居民用户 2 454 户，以点、线、面的模式逐级建设课题的应用验证系统规划。基于无线传感网络的智能电网监控验证系统范围如图 19 所示。

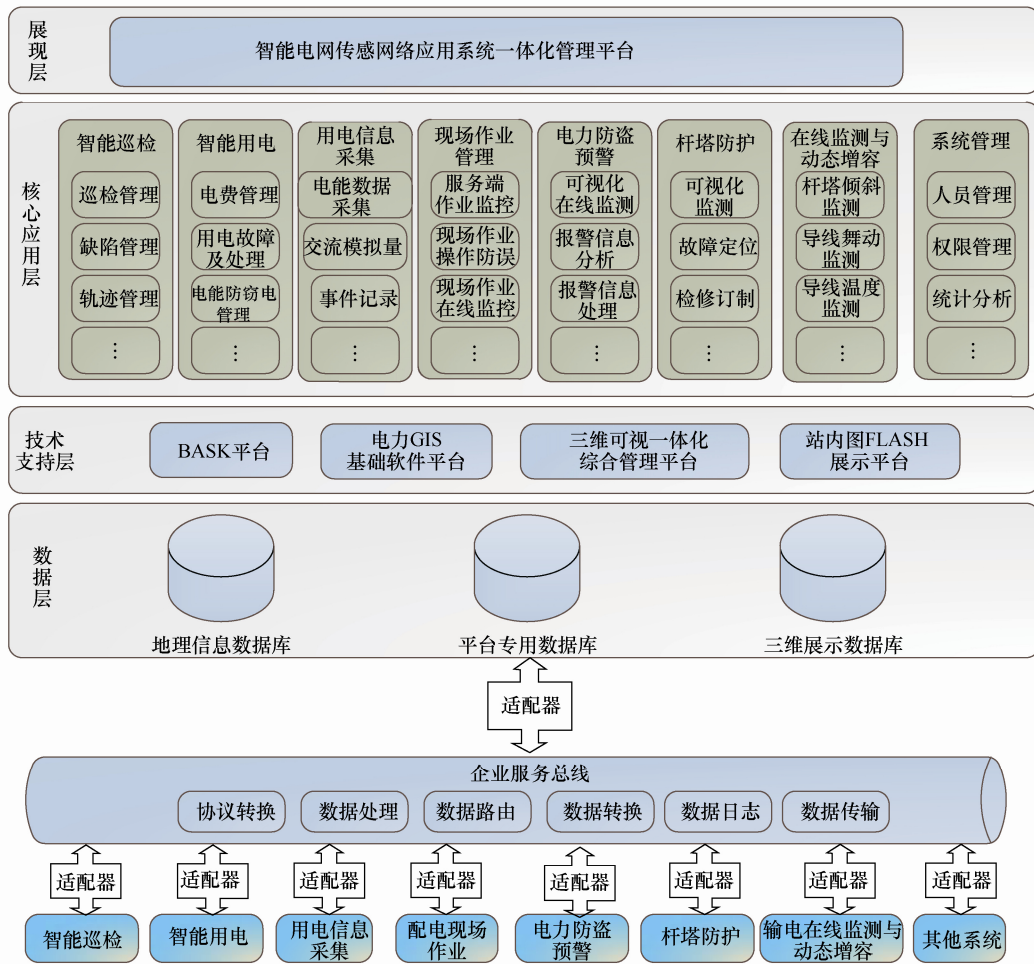


图 18 智能电网传感网信息处理及一体化管理平台系统架构

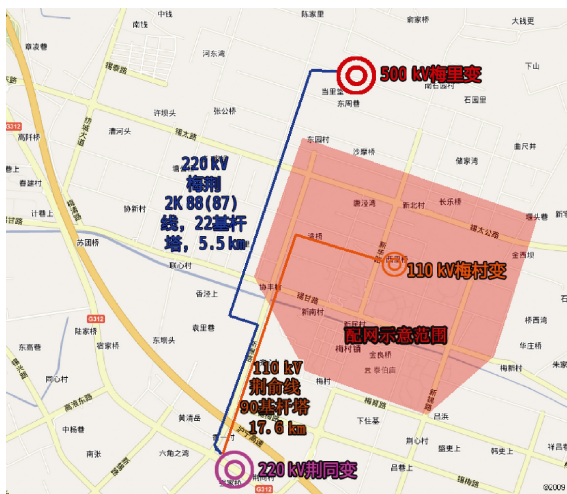


图 19 基于无线传感网络的智能电网监控验证系统范围

电力传感器网络示范区建设示意如图 20 所示。该应用示范区涉及电网输、变、配、用 4 个环节的具体应用，具体涉及的电力设备及设施包括以下内容。

变电站：500 kV 梅里变电站、220 kV 荆同变电站、110 kV 梅村变电站。

输电线路：220 kV 梅东线、110 kV 荆协线。

配电线路：10 kV 泰伯 122 线、10 kV 梅村 123 线、10 kV 曲尺 116 线、10 kV 华泰 121 线、10 kV 新梅 117 线。

公配所：梅里水晶城公配所、梅满嘉园 10 kV 吴越之星 1 号站、梅满嘉园 10 kV 吴越之星 2 号站、城色佳园 1 号站、香梅人家 6 号站。

开闭所：高荣开闭所、高典 2 号站、10 kV 光明站、天鹅开闭所、10 kV 周泾站。

环网柜：10 kV 梅村 123 线 1~5 号环网柜。

用电小区：梅满嘉园、城色佳园、梅里水晶城。

4.2 示范工程成效

电力物联网示范工程的建设起到了显著成效，具体体现在以下几个方面。

在输电环节，通过输电线路在线监测系统的建

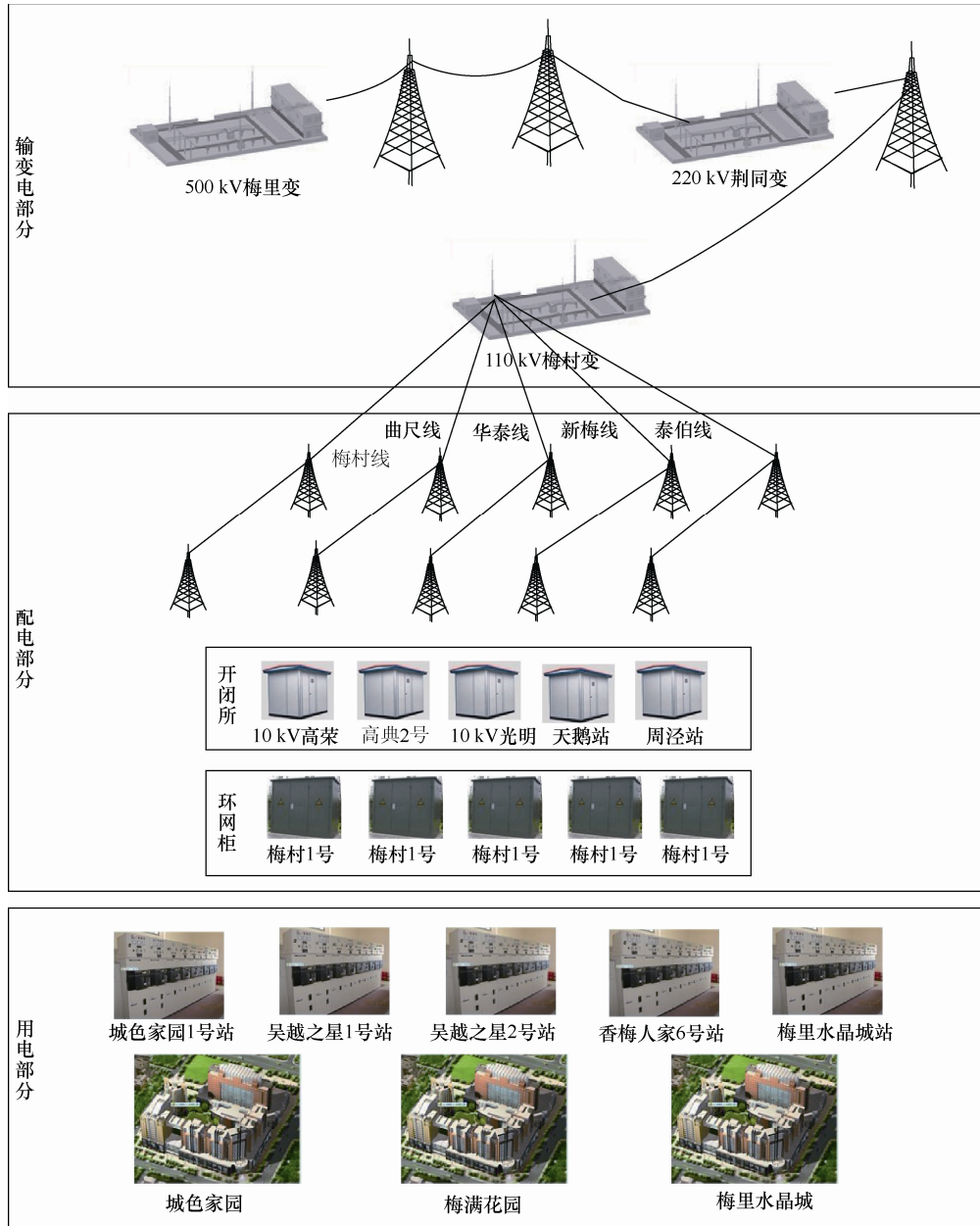


图 20 电力传感器网络示范区建设示意

立，实现了线路运行状态、杆塔防护的实时监控，增强了输电线路、杆塔及设备的防护，保障了电网安全运行。线路巡检质量的提高可大大减少变压器、输电线路、杆塔的被盗率，同时，通过故障预警功能对线路和设备及时维护，保障电网安全运行。

在变电环节，变电环节信息管理平台与电气设备状态在线监测系统，实现了变电设备状态监测，对多种传感数据、电网基础数据进行综合分析并提供友好标准数据接口，为生产管理等服务和信息提供数据服务，有利于充分挖掘电网数据价值，为电网企业全面掌握电网运行信息和综合决策提

供基础数据和技术支撑，为企业的安全生产运行提供保障，减少了企业管理内耗，提高了综合经济效益和管理效益。

在配电环节，基于物联网技术和无线传感器网络技术，实现了电力配电环节的智能巡检。通过在智能传感网络部署，实现了对输电线路、电气设备等在线监测及电网关键参数实时监控和故障预警，提高电网安全监控及应急处置能力；通过传感器采集环境信息与状态监测信息，实现了巡检数据深入、自动化的分析和决策，有助于指导巡检工作，提高缺陷管理能力，实现缺陷和故障早期预警，减

少因设备隐患和缺陷造成的事故损失。

在用电环节,通过建设基于物联网和传感器网络的高可靠性智能用电信息采集系统,推进营销计量、抄表、收费模式标准化建设和信息化建设。为提升快速响应市场变化、快速反映客户需求,从客户用电信息的源头提供数据支持,为分时电价、阶梯电价、全面费控的营销业务策略实施提供支撑平台,并为智能电网配电、用电侧的全面建设提供基础和技术保障,对提升电网服务质量和水平起到了重要作用。

5 结束语

本文中电力物联网相关核心技术的研究与示范系统建设将电力通信网网络不断向电网生产现场及用户延伸,对于构建覆盖电网生产、经营、管理、服务的各类节点的泛在感知网络具有重要的指导和示范价值。一方面,泛在感知的电力物联网实现了更多节点的覆盖,能够全面提升电网生产、电网服务、电网管理的全面感知、数据采集及服务互动能力;另一方面,电力物联网的建设及大量用于物联网采集的传感器、终端、系统的研制为数据采集提供了便捷的手段,极大降低了电力物联网感知各类数据的成本,为智能电网大数据采集与大数据规模开发和应用奠定了技术、装置和网络基础。随着电力物联网规模的不断发展和采集数据规模的累积和增加,后续工作将进一步开发和研究基于电力物联网采集数据的跨专业融合、深度共享与精准用户服务技术,能够为电网的生产、经营、管理提供更科学、高效、智能的辅助决策支撑。

参考文献:

- [1] 孙玉. 我国物联网产业发展趋势[J]. 物联网学报, 2017, 1(3):1-5.
SUN Y. Development trend of IoT industry in China[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2017, 1(3):1-5.
- [2] 龚钢军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011(20):52-58.
GONG G J, SUN Y, CAI M M, et al. Research of network architecture and implementing scheme for the Internet of things towards the smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2011(20):52-58.
- [3] 张军永, 黄小庆, 曹一家, 等. 输变电设备物联网的设备编码标识[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(9):92-96.
ZHANG J Y, HUANG X Q, CAO Y J, et al. Equipment encode-identification in Internet of power transmission and transformation equipments[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(9):92-96.
- [4] 梁柯, 李秉毅, 胡音, 等. 物联网 RFID 中间件技术及其在电力通信标识管理中的应用研究[J]. 计算机科学, 2015, 46(6A):355-358.
LIANG K, LI B Y, HU Y, et al. Internet of things RFID middleware technology and its applied research in electric power communication identity management[J]. Computer Science, 2015, 46(6A): 355-358.
- [5] 荆孟春, 王继业, 程志华, 等. 电力物联网传感器信息模型研究与应用[J]. 电网技术, 2014, 38(2):532-537.
JING M C, WANG J Y, CHENG Z H, et al. Research and application of sensor information model in power Internet of things[J]. Power System Technology, 2014, 38(2):532-537.
- [6] 胡致远, 杨炳炉, 朱咏梅, 等. 输变电设备物联网在线监测系统通信网络设计[J]. 高电压技术, 2015, 41(7):2252-2258.
HU Z Y, YANG B L, ZHU Y M, et al. Design for communication network of Internet in on-line monitoring system for power transmission and transformation equipment[J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(7):2252-2258.
- [7] 李剑, 张劲, 王灿, 等. 变电设备物联网一体化智能监测装置研究[J]. 高电压技术, 2015, 41(12):3881-3887.
LI J, ZHANG J, WANG C, et al. Research on integrated smart monitoring devices for Internet of power transformation equipment[J]. High Voltage Technology, 2015, 41(12):3881-3887.
- [8] 张旭阳, 李世光, 周俊, 等. NB-IoT 不同组网方案的深度覆盖研究[J]. 物联网学报, 2017, 1(3):33-39.
ZHANG X Y, LI S G, ZHOU J, et al. Deep-coverage study of NB-IoT in different network schemes[J]. Chinese Journal on Internet of things, 2017, 1(3):33-39.
- [9] 兰巨龙, 王鹏, 申涓, 等. 大规模接入汇聚网络的抵近式缓存技术研究[J]. 物联网学报, 2017, 1(1):50-54.
LAN J L, WANG P, SHEN J, et al. Research on push cache of large-scale converging access networks[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2017, 1(1):50-54.
- [10] 胡永利, 孙艳丰, 尹宝才. 物联网信息感知与交互技术[J]. 计算机学报, 2012, 35(6):1147-1163.
HU Y L, SUN Y F, YIN B C. Information sensing and interaction technology in Internet of things[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(6):1147-1163.
- [11] 钱志鸿, 王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(1):215-227.
QIAN Z H, WANG Y J. Internet of things-oriented wireless sensor networks review[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(1):215-227.
- [12] 杨成月. 基于物联网与空间信息技术的电网应急指挥系统[J]. 电网技术, 2013(6): 1632-1638.
YANG C Y. Power grid emergency command system based on Internet of things and spatial information technologies[J]. Power System Technology, 2013(6):1632-1638.
- [13] 张琦, 杨浩, TONY Q S Q, 等. 物联网的核心本质——数据联网[J]. 物联网学报, 2017, 1(3):10-16.

- ZHANG Q, YANG H, TONY Q S Q, et al. Kernel of Internet of things: Internet of data[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2017, 1(3): 10-16.
- [14] 黄小庆, 张军永, 朱玉生, 等. 基于物联网的输变电设备监控体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(9):137-141.
HUANG X Q, ZHANG J Y, ZHU Y S, et al. Research on monitoring system for power transmission and transformation equipments based on IoT[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(9):137-141.
- [15] 黄新波, 方寿贤, 王霄宽, 等. 基于物联网的智能高压开关柜设计[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2):147-151.
HUANG X B, FANG S X, WANG X K, et al. High voltage switchgear cabinet based on IoT technology[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(2):147-151.
- [16] 钟运平, 程小华, 戴栋, 等. 基于 ZigBee 技术输电线路在线监测系统的研究[J]. 电测与仪表, 2013, 50(5):105-109.
ZHONG Y P, CHENG X H, DAI D, et al. Study on monitoring system of on line power transmission lines based on ZigBee technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(5):105-109.
- [17] 黄天聪, 邓礼力, 薛武, 等. 输变电设备物联网通信网络结构及拓扑分析[J]. 高电压技术, 2015, 41(12):3922-3928.
HUANG T C, DENG L L, XUE W, et al. Communication network structure and topology analysis of Internet of things for power transmission and transformation equipment[J]. High Voltage Technology, 2015, 41(12):3922-3928.
- [18] 沈鑫, 曹敏, 薛武, 等. 基于物联网技术的输变电设备智能在线监测研究及应用[J]. 南方电网技术, 2016, 10(1): 32-41.
SHEN X, CAO M, XUE W, et al. Research and application of intelligent online monitoring of power transmission and transformation equipment based on technology of Internet of things[J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(1): 32-41.
- [19] 翟少磊, 曹敏, 沈鑫, 等. 变电站在线监测多维信息聚合技术[J]. 高电压技术, 2015(12):3973-3979.
ZHAI S L, CAO M, SHEN X, et al. Multidimensional information of aggregation technology for online monitoring of substation[J]. High Voltage Technology, 2015(12):3973-3979.
- [20] 张保会, 付科源, 郑涛, 等. 用电设备智(自)联网的概念与实现技术(一)——定义、架构与功能[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(6):1-6.
ZHANG B H, FU K Y, ZHENG T, et al. Conception and technologies of the smart (autonomous) Internet of power consumption equipments part 1: conception, architecture and functions[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(6):1-6.

[作者简介]



刘建明 (1955-), 男, 中国电机工程学会信息化专委会副主任, 工业和信息化部产业发展促进中心“智能电网技术与装备”专家委员会主任, 武汉大学博士生导师, 主要研究方向为电力通信、物联网、宽带移动通信、能源互联网、智能电网等。



赵子岩 (1975-), 男, 国家电网公司信息通信分公司技术中心副主任、高级工程师, 主要研究方向为电力光网络、电力通信网优化与仿真、电力通信网规划、电力通信标准化等。



季翔 (1977-), 男, 华为技术有限公司企业 BG 能源行业总裁, 主要研究方向为通信技术、电力物联网技术在全球能源系统中应用。