电力系统通信终端接入网现状及拓展业务的研究

郁海彬，朱怡婷，章　明

（国网上海市北供电公司，上海 200070）

摘要：电力系统通信终端接入网经过属地化建设管理，目前形成了以电力光纤专网为主的通信网络，主要有承载继电保护纵差、自动化、精准负控和自愈系统等应用在生产控制大区的业务，以及用电信息采集等应用在管理信息大区的业务。某电网企业截至 2021 年底 10 kV 开关站光纤覆盖率达 48.25%，而电力光纤专网的建设受敷设条件和地理环境的影响，无法满足电力通信链路的全覆盖，规划建设电力无线专网可有效解决上述问题。通过介绍电力无线专网架构、技术、特点及应用场景，分析未来规划和建设辖区内电力无线专网时，应充分考虑区域内电网发展水平、终端需求合理确定建设规模，提高业务针对性；最后，提出电力无线专网建设方向，为下一步开展业务拓展提供依据。

关键词：终端接入网；生产控制大区；管理信息大区；电力无线专网

Research on current situation and business expansion of power system communication terminal access network

YU Haibin, ZHU Yiting, ZHANG Ming

（State Grid Shanghai Shibei Electric Power Supply Company, Shanghai 200070, China）

Abstract: According to construction and management of power system communication terminal access ,the communication network based on power optical fiber private network has been formed now , there are mainly carry negative control relay longitudinal differential protection, automation, precision, and self-healing systems applied in the production control of the business and electricity information acquisition and application in the regional business management information. A power grid enterprise, 10 kV switching station optical fiber coverage is 48.25% by the end of 2021, and the construction of electric power optical fiber private network by laying condition and the influence of geographical environment, which can not meet the full cover electric power communication link. Planning and construction power wireless private network which can effectively solve the above problem, by introducing the power wireless private network architecture, technology, characteristic and application scenarios. Via analyzing the future planning and construction of the power wireless private network within the jurisdiction, the development level of the power grid in the region and the terminal demand should be fully considered, the construction scale should be reasonably determined, and the business pertinence should be improved. Finally, the direction of power wireless private network construction is proposed to provide a basis for the next business development.

Key words: terminal access network; production control area; management information area; power wireless private network

0 引言

近年来，电力终端的通信需求呈现爆发式的增长，涉及110 kV/35 kV变电站、10 kV开关站、配电站、箱式变电站及用户站等各类电网节点，支撑各类电网业务的安全可靠运行。电力光纤专网以EPON方式组网，优势是信号在光缆中的传输互不干扰，可靠性高。本文介绍了生产控制类业务和管理信息业务两大模块，并以实际验收的工程举例说明。然而，随着属地化建设管理，主要存在以下三类问题：一是终端接入网建设提出时间较晚，造成原有的10 kV开关站、配电站和箱式变电站光缆覆盖率较低；二是在线运行的光线路终端（OLT）、光网络单元（ONU）设备数量大，部分设备已出现老化陈旧、运行性能不稳定以及软件版本兼容性差等问题；三是供电范围大，造成配电侧数量庞大且光纤覆盖不均匀、部分架空光缆可靠性不高、光缆路径单一等结构性安全隐患。上述三类问题可以通过基建和技改项目不断完善，而电力光纤专网的建设受敷设条件和地理环境的影响，无法满足电力通信链路的全覆盖要求，建设电力无线专网可有效解决上述问题。本文介绍了电力无线专网架构、技术、特点及应用场景，分析未来规划和建设电力无线专网时，应充分考虑电网发展水平、终端需求，提高业务针对性；展望未来的建设方向，采用光纤专网、无线公网和无线专网多种通信方式，对实际工程具有重要意义。

1 通信终端接入网现状

终端通信接入网光纤资源主要承载继电保护纵差、自动化、精准负控、自愈系统和用电信息采集等业务。

某电网企业截至2019年底，10 kV开关站光纤覆盖率达37.55%。

（1）自动化业务

截至2019年底，各类配电站点自动化接入情况见表1。

表1 配电自动化总体接入情况

Tab. 1 General access to power distribution automation

站点类型	开关站	配电室	箱式变电站
覆盖自动化站点数量 / 站点总数	398/1 060	233/2 164	358/5 760
站点自动化覆盖比例（%）	37.55	10.77	6.22

（2）继电保护纵差业务

2019年，纵差业务接入光缆11条。已累计投入继电保护纵差线路105条。

（3）营销采集业务

截至2019年底，共接入光纤到户小区165个。集抄业务已累计接入200万户（光纤17.5万户、无线公网182.5万户）。

（4）自愈系统业务

2019年，完成首个10 kV双环自愈系统投运工作。

（5）精准负控业务

2020年，按照电力公司要求，已完成45家用户光缆验收和联调及投运工作。

图1为通信终端接入网设备资产界面图，线段Aa上方表示四级网设备资产；线段Aa下方至线段Bb的左侧表示通信终端接入网设备和光缆线路资产；Bb的右侧（ONU往下连接集中器）表示营销设备资产。其中，变电站控制室内终端接入网设备包含左侧一区、四区交换机、路由器、一区、四区光线路终端（OLT）和光纤配线架；110 kV/35 kV变电站侧光配架与10 kV开关站侧光配架之间敷设48芯通信光缆；10 kV通信站点（开关站、配电站、箱式变电站和用户站）侧接入网设备包含光纤配线架、光网络单元（ONU）和分光器；右侧居民楼中电量业务均通过集中器接入ONU，再接入分光器经跳纤接入110 kV/35 kV变电站内OLT，最终汇入SDH环网。网管系统可以实时监视OLT、ONU的上线通断工况。

2 光纤专网拓扑结构

结合工程实际，本文介绍星形拓扑和树形拓扑结构。

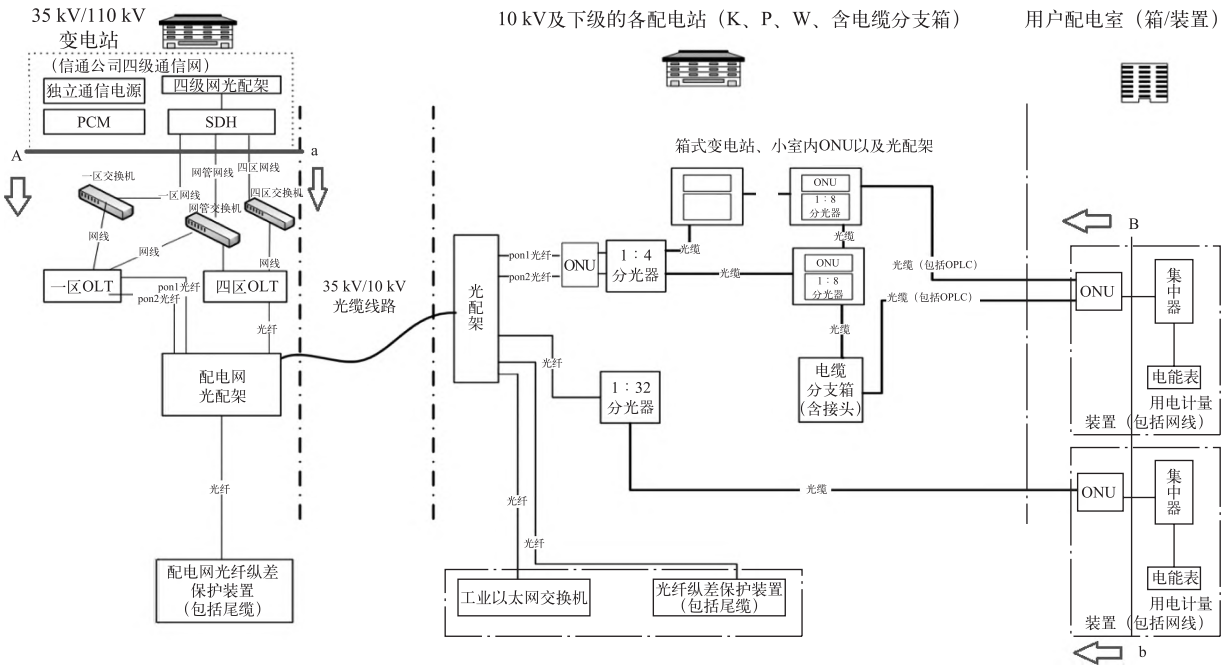

图 1　终端接入网设备资产界面图

Fig. 1 Terminal access network device asset interface diagram

2.1　星形网络拓扑结构

星形拓扑结构是光网络单元（ONU）直接经过专用光纤链路，按点到点配置连接到光线路终端（OLT），如图2所示。

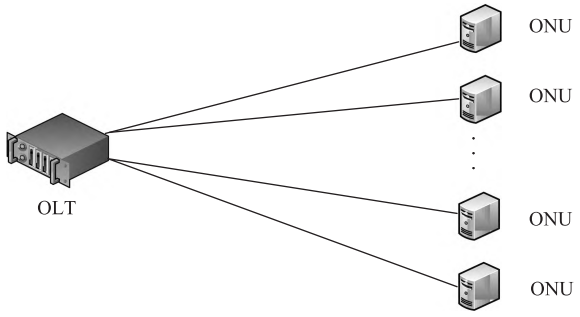

图 2　光纤到户星形拓扑结构

Fig. 2 Star topology of optical fiber to the home

2.2　树形网络拓扑结构

树形结构通过分光器，将下行信号广播给多个用户，同时也将多个用户的上行信号聚集在一起传送给OLT，如图3所示。

2.3　光缆敷设方式

涉及10 kV通信站点主要开关站（K型站）、配电站（P型站）、户外站（W型站等）和用户站，如图4所示。

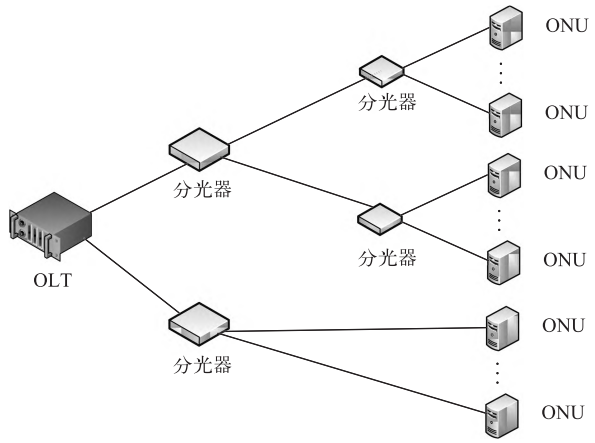

图 3　光纤到户树形拓扑结构

Fig. 3 Tree topology of optical fiber to the home

1）10 kV第一级K型站至上级电源进行光纤接入时，由于光缆一般为纵差保护与通信合用，应随一次网架点对点敷设光缆。

2）若10 kV第一级K型站上级电源来自一个方向，则敷设1根48芯普通光缆；若上级电源来自两个方向，则两个方向各敷设1根48芯普通光缆。

3）10 kV环网站（P型站）至上级电源方向敷设1根24芯普通光缆。

4）户外配电站（W型站，包括WH型站、WX型站等）、柱上开关至上级电源方向敷设1根24芯普通光缆。

5）配电站至用户站或至用户门栋方向敷设1根12芯普通光缆。

其中，48芯光缆承载纵差保护、配电网自动化等业务；24芯光缆承载纵差保护、配电网自动化和光纤到楼（FTTB）等业务；24芯光缆承载光纤到楼（FTTB）业务；各开关站与配电站、各箱式变电站之间宜光缆敷设成环；12芯光缆承载光纤到楼（FTTB）业务。

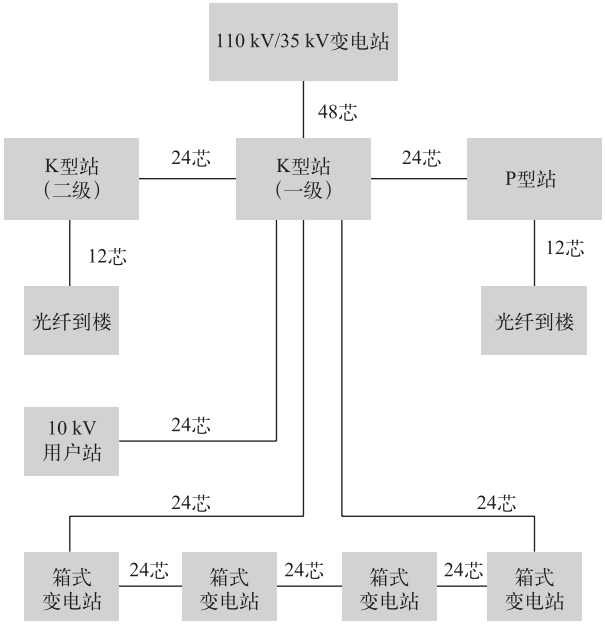

图 4　光缆敷设方式

Fig. 4 The laying method of optical cable

3　业务类型

3.1　生产控制大区业务

（1）继电保护纵差业务

结合110 kV秦家站作业现场，AB盘是110 kV秦家变电站至10 kV大家园南开关站24芯通信继保合用光缆，在110 kV秦家变电站控制室通信屏的光配架光单元盒（ODF）内。继电保护纵差和自动化业务纤芯分配示意图如图5所示。由图5可知，分配AB盘中第1、第2芯为继电保护专用纤芯，CD盘是110 kV秦家变电站至10 kV大黄馨园开关站24芯通信继保合用光缆，其中，分配CD盘的第1～第4芯为继电保护专用纤芯，EF盘是110 kV秦家变电站至10 kV富长1080弄站24芯通信继保合用光缆，其中，分配第1、第2芯为继电保护专用纤芯；已分配的继电保护专用纤芯经尾纤接入纵差继电器装置。

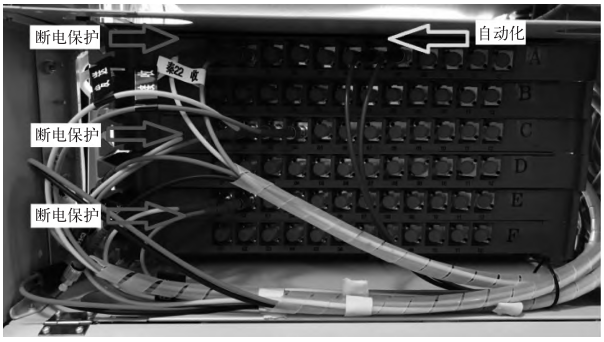

图 5　继电保护纵差和自动化业务纤芯分配示意图

Fig. 5 Schematic diagram of relay protection longitudinal difference and automatic service core distribution

（2）自动化业务

结合110 kV秦家站作业现场，AB盘是110 kV秦家站至10 kV大家园南开关站24芯通信继保合用光缆，在110 kV秦家站控制室通信屏的光配架光单元盒（ODF）内，分配AB盘中第7、第8芯为自动化专用纤芯，已分配的自动化业务纤芯经尾纤接入控制室调度数据网设备；同理，分配10 kV大家园南开关站通信小室的光配架光单元盒（ODF）内的光缆纤芯资源。

（3）精准负荷控制业务

通过与大用户签约获取可切除负荷量，实现由调度直接发令对分类用户可中断负荷的实时精准控制。为了保证负荷控制系统的稳定性和可靠性，当需要切除负荷时，协控总站的主机向主站主机发送切负荷指令，主站主机接收到切负荷指令后进行计算分析，得出各子站主机需要切除的负荷量，并向各子站主机发送对应的切负荷指令和需要切除的负荷量。系统最终目标是根据要求实现精准实时切除负荷用户的功能，如图6所示。

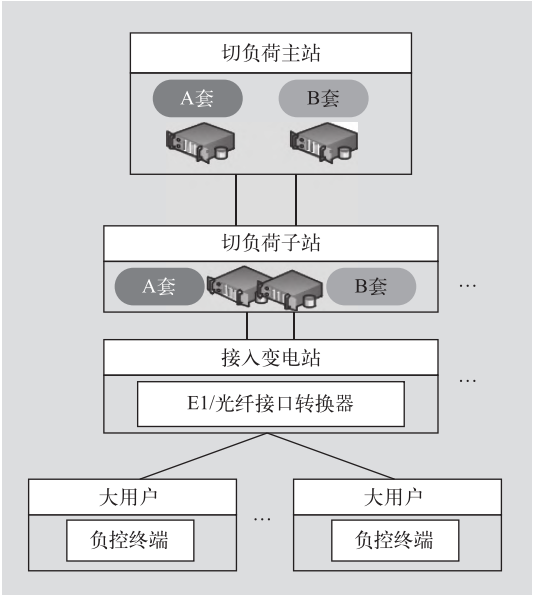

图 6　精准负荷控制系统结构图

Fig. 6 Structure diagram of precise load control system

（4）自愈系统

图7为10 kV自愈系统结构图，如110 kV大康站至10 kV大康路1079弄开关站敷设两根24芯通信光缆，光缆铭牌为康0000大康路1079站（I）PHD24、康0000大康路1079站（II）PHD24；大康路1079站至场北669弄站至场北551弄站至10 kV新梅绿岛苑开关站之间敷设两根24芯通信光缆；110 kV呼玛站、35 kV纪蕴站至10 kV新梅绿岛苑开关站各放两根24芯通信光缆，10 kV双环自愈系统已在运行状态，可以实现自愈功能。

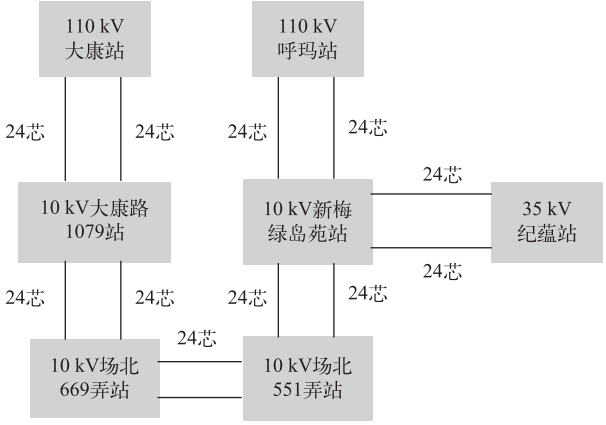

图 7　110 kV 大康站自愈系统结构图

Fig. 7 Self-healing system structure diagram of 110 kV Dakang station

3.2　管理信息大区业务

在10 kV开关站侧，独立通信小室通信屏单元盒内，分配AB盘中第7、第8芯接入自动化业务，分配AB盘中第21～第24芯为集抄业务纤芯；分配CD盘中第7、第8芯接入自动化业务，分配CD盘第23、第24芯为集抄业务纤芯，EF盘暂未接入业务；集抄业务纤芯通过光缆上联至光线路终端（OLT），集抄业务纤芯通过分光器下联至各配电站、用户站或居民楼栋中的光网络单元（ONU），如图8所示。

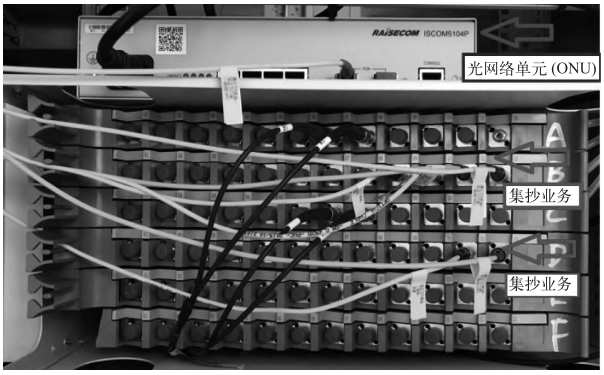

图 8　管理信息大区集抄业务接口示意图

Fig. 8 Schematic diagram of the service interface for collecting management information in large areas

4　工程应用

4.1　业扩工程应用案例

以2021年9月15日上海天地软件园真北路2653号10 kV业扩工程为例。

图9为10 kV中环金鼎开关站至10 kV天地软件用户站24芯通信光缆测试波形，光时域反射仪（OTDR）采用安利MT9082型号，OTDR采用1 310 nm光源单波长激光光源测距，实际测出光缆长度约为1.306 km；A点表示10 kV中环金鼎开关站通信屏内光单元盒（ODF）法兰头；B点表示10 kV天地软件用户站通信屏内光单元盒（ODF）法兰头；C点表示10 kV中环金鼎开关站通信屏内光单元盒（ODF）法兰头；AB表示10 kV中环金鼎开关站至10 kV天地软件用户站实际测量波形；BC表示10 kV天地软件用户站至10 kV中环金鼎开关站反射波形；光缆损耗为

0.186 dB/km，全衰耗为0.34 dB，满足光损耗要求，符合投运需求。

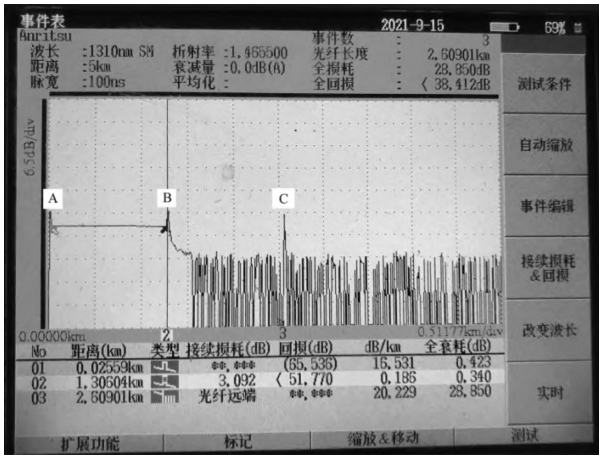

图 8　业扩工程 OTDR 实测波形

Fig. 8 Measured waveform of OTDR in industrial expansion project

4.2　核心区配电自动化通信工程应用案例

以2019年3月6日核心区配电自动化通信改造工程和田站杆刀部分为例，光缆路由为35 kV和田站依次经*N*个10 kV通信站点（杆刀、P站和箱式变电站等）。最后，回到35 kV和田站，整个通信拓扑图是一个环形结构；现场光时域反射仪（OTDR）采用1 550 nm光源单波长激光光源测距，35 kV和田站实际测出光缆长度约为0.643 km，总损耗6.53 dB，测试波形如图10所示，远高于投运要求的光损耗，原因分析如下：①35 kV和田站至对端侧的第一个跳接点未按要求完成跳接；②对端侧跳接出去的第二根光缆衰耗过大。

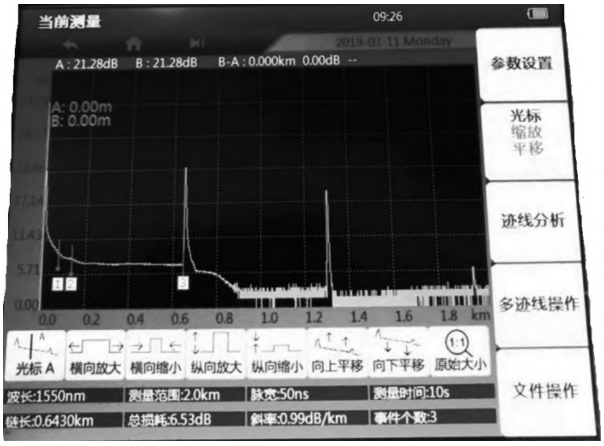

图 10　配电网工程 OTDR 实测波形

Fig. 10 Measured waveform of OTDR in distribution network engineering

5　拓展业务研究

为了满足电力终端接入全覆盖的要求，建设电力无线专网可有效解决上述问题。

电力无线专网结构框架如图11所示。

（1）无线终端

一般是配电业务终端等与基站的中转站，用于数据的处理和转发。目前无线终端主要包括LTE230M专网和LTE1800M专网终端两种。

（2）基站

主要包括BBU、RRU和天线三个部分。BBU主要负责基带数据的调制解调、信道的编码解码、提供系统同步时钟、完成系统的资源管

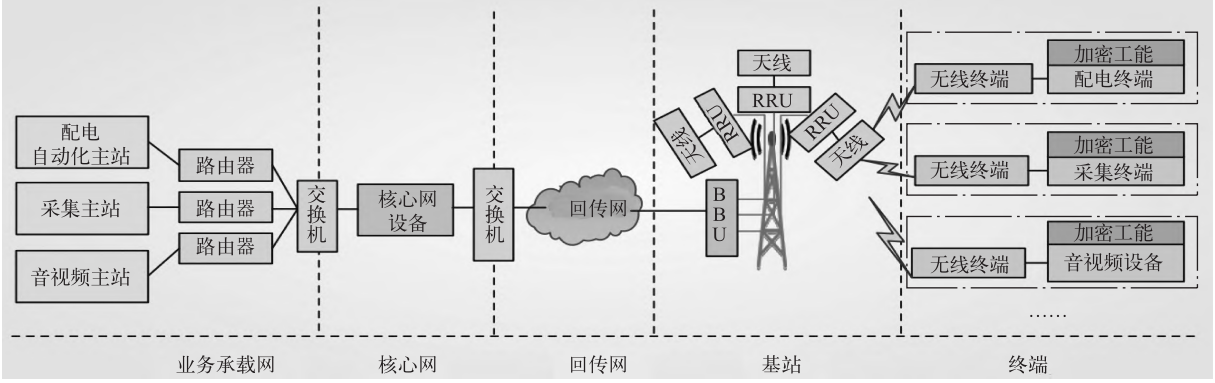

图 11　电力无线专网结构框

Fig. 11 Power wireless private network structure

理、操作系统维护、工作状态监控和告警信息上报等功能。RRU主要负责将基带信号转换成射频信号放达传送。

（3）回传网

主要利用同步数字体系/多业务传送平台技术传输网络作为传输通道，实现核心网与基站间电力信息的传输。

（4）核心网

主要由生产控制大区和信息管理大区两部分组成，通过交换机分别与回传网、业务承载网进行电力信息通信。

（5）业务承载网

用于提供无线核心网设备至后台业务系统的数据通道。主要由交换机、PE路由器和 CE路由器组成。PE、CE路由器主要承载I/II区核心网的生产控制类业务和III/IV区的管理信息业务。

5.1 电力无线专网特点

电力无线专网是电网专有网络，具有四大特点，如图12所示。

图 12 电力无线专网特点

Fig. 12 Features of power wireless private network

（1）建设难度低

基于现有的物业资源，在变、配电站独自建设无线基站，凭借电网自身资产优势，打造专属电力网络。

（2）性能优越

无线专网具备以下优点：①可扩展性强，可根据电力业务需求规划扩展网络；②实时性好，根据业务通信需求，安排业务先后次序；③安全性较高，电力无线专网在核心网、基站和终端等设备上采取了有效的安全防御措施，与外网实现了隔离；④传输速度快，其中LTE230最高可达到下行6.1 Mbit/s，上行10.4 Mbit/s，满足各类电力业务需求。

（3）恢复周期短

1）抗破坏能力强，基站大多建设在电网现有变、配电站等处，物理防护水平更高，外界人员更难接触。

2）故障抢修时间短，具有精准定位功能，可以精准定位到故障点，安排运维人员快速修复。

（4）政策优势明显

国网公司和国家相继出台了相关政策。国家在频段使用上给电力无线专网提供了坚强的后盾，并出台了多项关于电力无线专网的政策标准，如《国家电网公司关于推进电力无线专网建设工作的通知》。

5.2 电力无线专网应用场景

电力无线专网的优势主要在于配用电侧。涉及的应用场景主要包括控制类、采集类及移动类，真正能够实现海量终端的全覆盖，如图13所示。

图 13 电力无线专网应用场合

Fig. 13 Power wireless private network applications

（1）控制类业务应用场景

主要包括配电自动化、精准负荷控制等业务。配电自动化是对配电网各种状态信息的监测、控制等；精准负荷控制系统主要控制对象是生产企业内部的可中断负荷，选择性对某些负荷进行精准切除。

（2）采集类业务应用场景

主要包含用电信息采集、电动汽车充电信息采集、输变电状态监测及视频监控等。可根据不同业务对通信技术的要求，选择合适信道。

（3）移动类业务应用场景

主要包括移动作业、输配变机器巡检和电力应急通信等。通过电力无线专网、机器人和射频识别等技术，建立覆盖整个移动类作业场景。上层对机器人收集到的上传信息进行快速处理，实现智能巡检等业务需求。

5.3 电力无线专网建设方向

（1）因地制宜

未来规划和建设辖区内的电力无线专网时，应充分考虑辖区内电网发展水平、终端需求，提高业务针对性，合理科学地确定基站站址及规模。

（2）国产化先进技术

2017年底至今，国家电网公司信通部通信处在苏州组织了电力无线专网承载控制业务测试，LTE230系统完全满足电力终端接入网业务及未来业务演进需求。自2010年起，浙江海盐供电公司分三期部署了LTE230电力无线专网系统，目前系统已稳定运行7年多，建设规模有11个基站，1套网管系统及2套核心网，终端7 476个，覆盖面积510 km^2，承载业务有用电信息采集、配电变压器监测、配电线路在线监测、分布式电源、负荷控制、充电桩、视频监控、移动应用和应急通信等；技术成熟，优于公网。

6 结束语

电力通信业务的需求还将高速增长，电力光纤专网可靠性高，但不能完全满足敷设条件，而电力无线专网不受地理因素的限制，可以解决通道的难题，可实现海量终端接入。终端接入网是一项涉及多领域、跨行业乃至生活理念转变的系统工程，涵盖通信设备、新能源和智能家电等多个产业的创新发展，还将与智能生活、智慧城市等更广阔领域的建设发展相适应。展望未来，终端接入网的发展方向将会是以光纤专网、无线专网和无线公网相互支撑的通信模式，因地制宜才是关键。

参考文献

[1] 高弋坤．电信电网“双剑合璧” 共促光纤入户增速[J]．通信世界，2010(29)：16．

[2] 彭铎，张秋余，张雯．基于EPON的本地光纤接入网设计[J]．科学技术与工程，2010(4)：1014-1017．

[3] 齐文鹏．加快光纤FTTH发展推动三网融合[J]．科技传播，2010(17)：205-211．

[4] 李强．FTTH(光纤到户)的应用研究[D]．大庆：大庆石油学院，2009．

[5] 沈成彬，王成巍，蒋铭，等．下一代PON技术的进展与应用[J]．电信科学，2010(8)：1-7．

[6] 宋梦，高赐威，苏卫华．面向需求响应应用的空调负荷建模及控制[J]．电力系统自动化，2016，40(14)：158-167．

[7] 赵宏昊，毕庆刚，卢斌，等．电力无线专网在智能电网中的创新应用[J]．电力信息与通信技术，2019，17(1)：110-115．

作者简介

郁海彬（1990—），男，硕士，工程师，主要研究方向力新能源与电力系统（新能源接入与并网技术），电力通信技术。

（收稿日期：2022-06-13）