

关于配电网通信方式的探讨

赵宏大，杨俊义，祁万春

(江苏省电力公司电力经济技术研究院，江苏 南京 210008)

摘 要：现代配电网是智能电网的重要组成部分，它借助通信平台的支撑提升电网的智能化水平，使电力更好地服务于民生。本文在配电网通信需求分析的基础上，根据各类配用电节点的通信需求及其特点、主流通信方式的技术发展水平，探讨技术合理、经济适用的通信方式，供配用电通信网的规划、建设参考。

关键词：配电网；通信；无源光网络；无线

0 引言

配电网是电网的重要组成部分，直接面向电力用户，是保障电力“落得下、用得上”的关键环节，是改善民生的重要基础设施。

现代配电网是以完善的网络结构为基础、先进优良的设备为保障、一体化信息和通信平台为支撑，通过配电自动化、用电信息采集、智能调度控制系统，进行网络状态的全监测和用户信息的全采集，实现主动控制和优化调节，保障上级电力的有效配送，满足分布式电源的充分消纳和电动汽车等多元化用户的规模化接入，为用户提供充足、可靠、优质、经济的电力供应，具有结构完善、技术领先、高效互动、灵活可靠等特征的配电网。

配电网的通信节点众多，对通信实时性、可靠性、误码率及信息安全等方面的要求也与主网不同，

技术经济特性的差别使得配电网通信方式不宜照搬骨干通信网模式。对配电网通信方式进行研究分析，在满足通信要求的前提下，选择技术合理、经济适用的通信方式具有显著的现实意义。

1 配电网通信需求分析

1.1 配电自动化

配电网根据负荷密度、用户重要等级、用电水平等因素划分为 A+、A、B、C、D、E 六类供电区域，提供不同级别的供电可靠性和故障恢复能力。当供电可靠率要求达到 99.9%及以上情况，就必须辅以配电自动化系统，以实现迅速隔离故障区段，缩小停电范围，加快恢复供电。配电自动化终端按通信方式和功能可分为三遥终端、二遥终端和一遥终端，三遥终端可以实现配电网架重构，同时对信息安全、通信时延有较高要求。

表 1 配电网技术标准^[1]

| 供电区域 | | A+ | A | B | C | D | E |
|--------------------------------------|--------------|------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|
| 负荷密度 σ /(MW/km ²) | | $\sigma \geq 30$ | $15 \leq \sigma < 30$ | $6 \leq \sigma < 15$ | $1 \leq \sigma < 6$ | $0.1 \leq \sigma < 1$ | $\sigma < 0.1$ |
| 供电可靠性 | | $\geq 99.999\%$ | $\geq 99.990\%$ | $\geq 99.965\%$ | $\geq 99.897\%$ | $\geq 9.828\%$ | - |
| 0-2MW 负荷组 | | | | 故障修复后恢复供电 | | | |
| 供电安全水平 | 2-12MW 负荷组 | 5 分钟内非故障段恢复供电 | 15 分钟内非故障段恢复供电 | 3 小时内非故障段恢复供电 | - | - | - |
| | 12-180MW 负荷组 | 15 分钟内恢复供电 | | 15 分钟内 2/3 负荷恢复供电，3 小时全部恢复供电 | - | - | - |

1.2 电力负荷管理系统

电力负荷管理系统是实行有序用电，加强需求侧管理的重要手段，系统采集用电信息，根据有序用电要求设定的负荷阈值对用户负荷越限提供预警提示，必要时按负荷重要等级逐次切除负荷。电力负荷管理系统需要对用户负荷实时控制，对通信实

时性、误码率 and 信息安全要求较高。

1.3 用电信息采集系统

用电信息采集系统可以全面、及时、准确地掌握用户用电信息，为负荷预测、需求侧管理提供依据。用户表计数量众多，需要更为经济的通信方式，宜汇聚后再上传以减少通信节点数量。因不需要对

用户进行控制，采集系统对实时性、信息安全的要求也相对略低。目前，系统主要以轮询方式采集电度数据，对通信带宽的需求较低。远景，系统将采集准实时负荷曲线，将对带宽有更高的要求。

1.4 其他

配电网中还有电动汽车充换电站、分布式电源（光伏、风电等）等有源节点。目前，这些节点的规模相对较小，对电网的影响有限，从降低分布式电源接入成本角度考虑，一般采用无线公网方式传送二遥数据。

2 主要通信方式及其应用分析

目前，适用于配用电通信网建设的通信技术体制主要可分为光纤通信、电力线通信、无线专网通信和无线公网通信四大类。

2.1 光纤通信

(1) xPON 技术

无源光网络（PON）是一种点到多点结构的单纤双向光接入网络，一个典型的 PON 系统由系统侧的光线路终端（OLT）、光分配网络（ODN）和用户侧的光网络单元（ONU）组成，其主要特征是光线路终端（OLT）和光网络单元（ONU）之间的光分配单元（ODN）全部由无源光器件组成，减少了线路和外部设备的故障率，提高了系统的可靠性，同时节省了维护成本。其系统架构如图 1 所示。

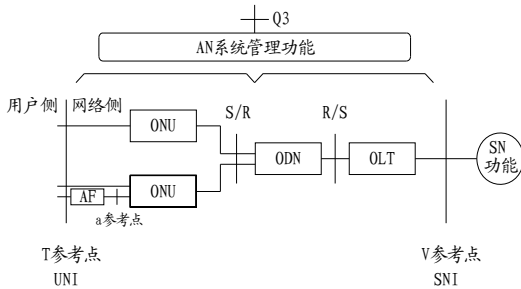


图 1 PON 系统架构^[2]

目前，市场上主流的 PON 产品有 EPON 和 GPON 两大类。相比较而言，GPON 在性能方面有一定优势，如更高的速率、传输效率和 OAM 网管等，而 EPON 的突出优势在于产品成熟度高，设备成本较低。结合配电网终端设备量大点多的特点，对通信接入的成本控制要求较高，因此，在配电网通信网中，EPON 的应用前景好于 GPON。

EPON 是基于以太网技术的无源光网络，上行

采用 1310nm 波段，下行采用 1490nm 波段，系统带宽一般为 1Gbps，物理层采用 8B/10B 编码，线路速率实为 1.25Gbps，并可平滑升级到 10Gbps，实现 10Gbps、1Gbps 混合组网^[3]。针对配用电通信接入网，典型的 EPON 组网结构包括总线型结构、环型拓扑结构和“手拉手”型拓扑结构。

(2) 工业以太网技术

工业以太网是在以太网技术和 TCP/IP 技术的基础上开发出来的一种工业用通信网络，以 IEEE802.3 为技术基础，直接面向生产过程和控制。因在产品设计和考虑到工业应用环境，在可靠性、抗干扰等方面能够满足工业现场的需要。工业以太网方案中各站为有源节点，信号中继再生后远传，节点级联不受中继距离限制，但节点故障后将影响后续站点，故障范围较大。配电环节通信设备供电由 PT 次级主供，蓄电池组等作为备供。配电环境非常复杂，通信节点存在一定的断电概率。以工业以太网组网时，不宜采用链状结构，避免因单点断电造成后续节点全部通信中断，宜采用环状拓扑。工业级以太网交换机成本较高，线路速率仅为常规 EPON 的十分之一，因此不宜在配电网中大范围推广，主要用于对可靠性要求很高的区域。

几种光纤通信方式比较见表 1。

表 2 几种光纤通信方式比较

| 指标名称 | EPON | GPON | 工业以太网 |
|-----------|-----------------|-------------------|--------|
| 组网模式 | 无源串行 | 无源串行 | 有源串行 |
| 下行速率/Mbps | 1250 | 1244/2488 | 10/100 |
| 上行速率/Mbps | 1250 | 155/622/1244/2488 | 10/100 |
| 分路比 | 32-64 | 64-128 | - |
| 建设成本 | 低 | 中 | 高 |
| 运营成本 | 低 | 低 | 低 |
| 维护成本 | 低 | 中 | 中 |
| 终端容量 | 高 | 高 | 中 |
| 带宽分配方式 | 独享带宽同时 可动态分配 | 独享带宽同时可 动态分配 | 共享带宽 |

2.2 电力线通信（PLC）

电力线通信技术是利用电力线进行数据传输的通信方式。电力线并不是理想的传输媒质，信道特性较差，载波信号易受外界干扰，不宜采用电力线载波独立组网，主要作为特定环境下的补充方式。10kV 中压电力线载波根据耦合方式可以分为耦合到相线、耦合到绝缘导线屏蔽层两类，屏蔽层的阻抗特性更适合作为通信通道。光缆无法覆盖的配网自动化三遥节点可以采用中压电力线载波方式就近

接入相邻光纤节点。0.4kV 低压电力线网络覆盖面广，利用低压电力线载波进行低压集中抄表是实现配变台区信息集中最理想的途径之一。

电力线载波通信具有投资小、接入灵活、安装维护方便、专网运行等优点，但由于中继距离、带宽受限，不适合作为远程信道，而且信号多端扩散，存在信息安全问题，需辅以数字签名、数据加密等措施配合使用。

2.3 无线专网

无线专网主要有 230M TD-LTE 系统和 1800M TD-LTE 两类。230M TD-LTE 系统是在 230MHz 频段电力专用的频谱资源上开发出的针对电力通信网络应用的无线宽带通信系统。按国家无线电管理局的频点配置方案，电力共有 40 个 230M 频点（15 对双工频点，10 个半双工频点），每个频点 25kHz，合计总带宽 1MHz。230M 无线系统采用载波聚合技术聚合了多个频点，使得大带宽业务应用可以和普通低速率的数据传输并存。230M 频段具有良好的绕射能力，覆盖盲区少，覆盖范围广，可以实现经济高效接入，但由于 230M 频段资源已基本分配完毕，难以扩充频率，带宽潜力有限，这将限制 230M 系统的业务应用范围。相比较而言，1800M TD-LTE 系统的系统带宽要高得多，产业成熟度更高，但受射频性能制约，基站覆盖半径较小，基站数量较多，且该频段需申请频段使用权。

表 3 无线专网通信方式比较

| 指标名称 | 230M TD-LTE | 1800M TD-LTE |
|------|------------------|--------------------|
| 频段 | 230MHz | 1800MHz（1785-1805） |
| 双工方式 | 时分双工 | 时分双工 |
| 带宽 | 40*25kHz | 5-20MHz |
| 调制方式 | QPSK、16QAM、64QAM | QPSK、16QAM、64QAM |
| 覆盖半径 | 约 10km | 2-4km |
| 频带独享 | 电力专用 | 需申请 |

2.4 无线公网

无线公网技术是依托于公用通信网的无线数据传输方式，其网络覆盖范围广、运营成本低、可靠性相对较高，但是实时性较差，尤其是在网络负担过重的情况下，可能会造成较大的时间延迟，而且通过无线公用信道传送存在信息安全问题，因此不宜用于三遥节点。

3 工程案例

3.1 扬州配用电 EPON

扬州市主城区试点配用电 EPON 系统建设，在琼花变、文汇变、双桥变、石塔变、开发变和吕桥变六个站点设置 OLT 设备，外围环网柜、开关站、配电房侧按需设置 ONU 设备，拓扑结构一般为双链路或环形结构。为减缓功率衰减，EPON 系统普遍采用 2:8 非均分分光器，仅在链路末端采用 1 分 2 均分分光器。配电数据通过 SDH/MSTP 光传输网络以 N×2M 专线方式接入扬州配调主站。见图 2。

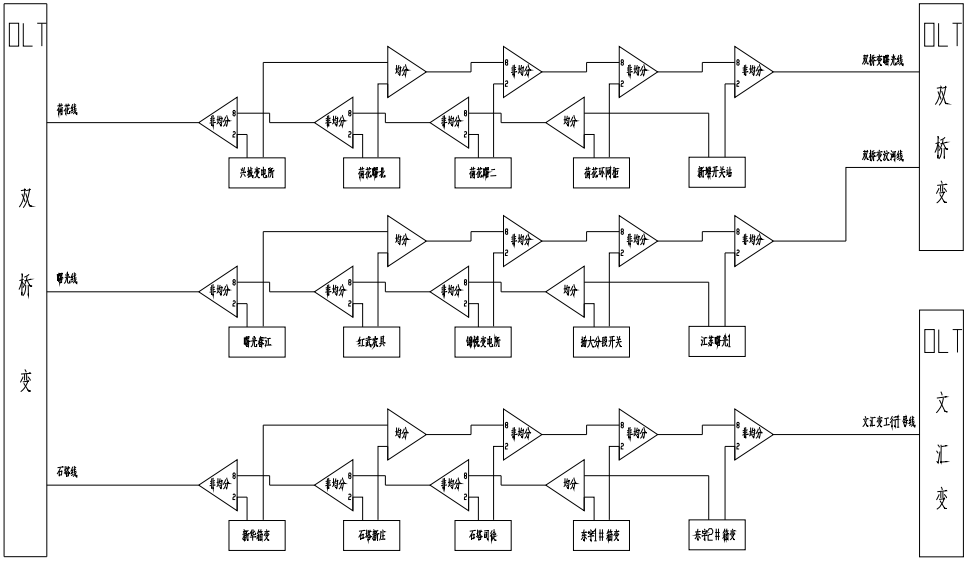


图 2 扬州配电 EPON 系统典型拓扑结构

3.2 扬州 230M TD-LTE 无线宽带系统

扬州主城区试点 230M 无线宽带系统建设，在

扬州供电公司、港口变和柏树变设置无线基站，在扬州供电公司配置核心网设备和网管设备，无线覆

盖区域内配置若干通信终端。该系统聚合 35 个 230M 频点,最高可实现约 1.5Mbps 的接入速率,理论覆盖半径约 10km,实际覆盖范围还要受空间环境和区域带宽需求制约。

3.3 南通如东 1800M TD-LTE 无线宽带系统

南通如东县县城试点建设 1800M 无线宽带系统,在如东供电公司、微波站、掘南变、掘港供电所和配送中心设置基站,在如东供电公司配置核心网设备和网管设备,无线覆盖区域内配置若干通信终端。该系统工作于 1800MHz 频段,实用频带 5MHz,上下行采用时分双工方式,下行采用 OFDM 技术提高带宽利用率,上行采用 SC-OFDM 技术降低终端发射功率,覆盖半径约 2-4km,郊区空旷区域覆盖半径较大,系统覆盖半径实际受限于上行信道功率。

4 结束语

配电网的通信需求主要来自于配电自动化系统、电力负荷管理系统、用电信息采集系统和分布式电源等,通信方式主要有光纤通信、电力线通信、无线专网和无线公网等。光纤通信推荐采用 EPON 技术体制,网络可靠性主要取决于组网方式,EPON 与工业以太网无明显差别,EPON 较为经济且带宽更高,工业以太网的设备可靠性更高,光纤通信原则上采用 EPON,对可靠性要求特别高的区域也可采用工业以太网。电力线通信、无线专网可作为光纤通信的必要补充,受信道特性和信息安全因素约束,不宜独立组网。无线公网作为一种廉价、有效的广域通信方式,非常适合用于对通信时延、带宽、

信息安全要求相对较低的环节。配电自动化系统中,A+、A 类区域三遥节点占比较大,建议采用光纤全覆盖;B 类、C 类区域宜以无线公网为主,三遥节点采用光纤覆盖;D 类、E 类区域原则上采用无线公网;光缆无法覆盖的三遥节点可使用电力线载波、无线专网等方式,同时加强信息安全防护措施。电力负荷管理系统建议采用光纤通信与无线专网相结合方式,宜以无线专网为主,具备光纤条件时也可将光链路延伸至负控节点。用电信息采集系统建议采用无线公网+电力线载波方式,本地信道采用载波方式,远程信道采用无线公网。分布式电源的接入方案有待进一步研究,建议近期采用无线公网方式,配电光纤覆盖的区域宜纳入配电光通信系统。

参考文献:

- [1] 国家电网公司.Q/GDW 1738-2012 配电网规划设计技术导则[Z].北京:国家电网公司,2013.
- [2] 韦乐平.接入网[M].北京:人民邮电出版社,2000.
- [3] 中国电信集团.EPON/GPON 技术问答[M].北京:人民邮电出版社,2010.

作者简介:

赵宏大(1980—),男,辽宁沈阳人,高级工程师,从事电力系统通信规划工作,E-mail: kpzhd@yeah.net;
杨俊义(1987—),男,江苏盐城人,工程师,从事电力系统通信规划工作;
祁万春(1979—),男,江苏盐城人,高级工程师,从事电网规划工作。