

[电力信息通信]

智能电网下的电力信息通信技术研究

文/张鑫 益西措姆 李铭 刘正明
国网西藏电力有限公司营销服务中心

电力信息通信技术已经成为智能电网建设和发展中十分重要的技术，在优化资源分配、节能减排以及电网完善中发挥着重要作用。基于此，分析智能电网中电力信息通信技术应用需求，详细分析信息通信技术的 applications 应用方向。

信息通信技术逐渐在智能电网各个环节中得到应用，并不断提高获取信息和传递数据的时效性，提高电网获取数据和传输数据的精准性，在输变电、配电自动化以及在线诊断等业务上发挥着重要功能。在智能电网中应用信息通信技术具有显著优势，特别是信息通信技术安全性和可靠度的优势，能够满足智能电网发展面临的问题。

智能电网中电力信息通信技术应用需求

智能电网信息化、数字化水平不断提升，输配电、变电和用电等各个环节对通信业务的要求不断提高。特别是5G技术投入使用后，通过和电力设备深度融合，让更多电力设备具备接入5G网络的技术基础，对建设5G电力虚拟专网提出更高的需求。建设5G电力虚拟专网负责电力通信业务，能够在生产环节实现配电自动化、分布式能源系统调控、负荷控制等精细化电力业务。同时，在管理环节上，也能实现远程巡检、设备运行状态监控等业务。和其他行业不同，电力行业对于电力信息传输的安全性、时延标准以及可靠度具有更高的要求，传统4G网络通信技术在安全性、时延标准以及可靠度上，和5G网络通信仍然存在很大差距。因此，积极建设5G电力虚拟专网有着迫切的需要。借助于5G网络硬切片技术，能够将电力业务隔离于其他行业业

务，建立电力系统专用的传输通道，同时虚拟专网架构进一步细化安全通信接入，并展开网络监测，最大程度上降低泄露电力信息的风险。在完成电力通信业务的基础上，可以达到低延时、大带宽和安全稳定等传输要求，为智能电网业务的开展提供可靠支持。

电力信息通信技术在智能电网中的应用

1. 高级计量

传统电网计量主要采取集抄方式采集用电信息，不仅获取的数据量较小，同时采集频率相对较低。为更有效地达到削峰填谷的目标，面向用户实现互动营销，实现更加灵活的用电阶梯定价，不断缩小计量间隔，可积极利用智能电力终端联合5G网络进行用电数据的通信。积极推广智能电表、智能插座等智能终端，智能终端将配合5G网络进行用电数据的采集以及传输，将海量数据反馈给电网主站。在此基础上可以实现缩小计量间隔的目的，从当前小时级别提高到分钟级别，每个终端数据量都能达到兆字节级别，并进行实时用电数据反馈。

2. 传输设备运行状态信息

智能电网系统中存在多种不同类型的设备，每类设备数量多，每天运行都将产生海量运行数据，对传输数据提出更高的要求。在物联网基础上应用

5G通信技术，形成5G组网能够实时传输设备状态数据，并对数据进行分流分类，最大程度上降低时延，通过各自专网实现全面通信。5G组网可通过聚类方式完成，考虑到网络基站之间的同步情况，尽可能保证每个基站之间时间同步，通过发布写作信息方式保证基站之间的时间同步。一般情况下，一颗卫星可进行基站授时，为了保持高准确度时间同步，需要通过加权处理方式处理全部卫星的观测，以处理结果作为观测结果，保证观测量正常。假设 Z 表示能够完成观测任务的卫星基站，计算钟差值需要根据基站伪观测量，计算公式为

$$\delta t_z^{AV} = \frac{\sum_{i=1}^{S_z} \varpi_i \delta t_z^i}{\sum_{i=1}^{S_z} \varpi_i} \quad (1)$$

式中， Z 为能够完成观测任务的卫星基站； S_z 为卫星数量； ϖ_i 为第 i 个卫星的权值； δt_z^i 为接收机的钟。

Z 授时误差计算公式为

$$TE_z = \delta t_z - \delta t_z^{AV} = -\frac{\sum_i \varpi_i \varepsilon_i}{\sum_i \varpi_i} \quad (2)$$

式中， E_z 为基站授时误差； t_z 为伪距的测量结果； ε_i 为测距误差。

根据协作信息的融合性，需要保证两个基站的授时误差相同，才能让两个基站之间保持时间同步性，能够让配电网设备传输数据控制在最小时延水平。

3. 诊断设备运行状态

智能电网实现对设备的运行监控，实现在线诊断和实时监控。这一功能通过对设备运行状态数据展开全面监控，并通过对设备运行状态数据的分析，能够诊断设备运行状态。设备运行状态诊断需要对设备运行数据进行全面采集，经由5G组网传输至防控系统中，进行数据分析。通过预处理状态数据，经过专家算法以及模糊化算法的分析，能够评价状态数据是否处于允许范围内。经过专家算法分析后，相似度越低表明设备发生故障的风险越高，由此完成设备状态故障诊断。

人工智能算法和设备的升级，智能电网迎来智能巡检时代，借助无人机等设备对变电站和高压线路展开智能化巡检得到应用。无人机设备可根据规定航线对高压线路以及变电站展开自动化巡检，通

过摄像设备拍摄高清视频画面，并实时传回至计算机终端。运维人员可在办公室完成对高压线路以及变电站的远程巡检，快速完成巡检任务。同时联合人工智能技术实现智能巡检，人工智能技术可以自动化识别图像信息，快速判断画面中可能存在的故障问题，并快速分析故障源，从而保证电网的稳定运行，提高变电站巡视效率。随着可视化智能巡检的应用，每天会产生大量视频图像资源，占据带宽资源。无人机巡检通过4G网络传输会造成视频分辨率压缩，传输速度缓慢，很难保证运维人员及时了解设备故障，影响故障维修的时效性。对此，通过5G电力虚拟专网传输巡检视频图像数据，将全面提高数据传输的时效性，保证运维人员第一时间收取图像资源，及时采取处理措施。同时传输巡检视频图像能够保持高分辨率、高清晰度，更有助于人工智能分析，还原巡检现场全貌。

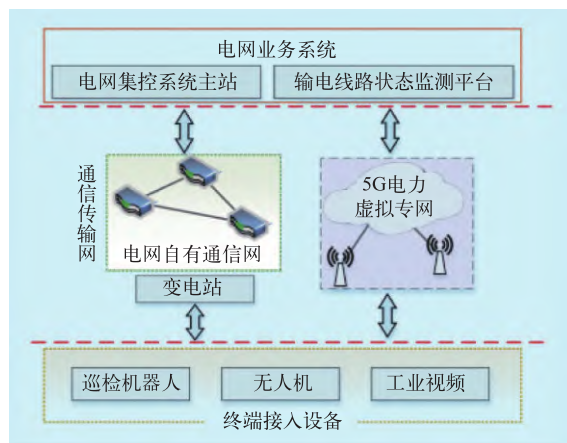


图1 5G电力虚拟专网巡检业务架构

目前关于5G电力虚拟专网巡检业务传输主要面临的争议在于传输信息安全问题。因此，为提高巡检业务传输数据的安全性，可采取硬切片模式，要求业务层进行双向认证，确保不会出现冒用控制指令的情况，保证传输数据的安全性。另外考虑到传输图像数据属于电网管理，对于时延要求和传输可靠度要求并不严格，因此建设5G电力虚拟专网可以采取软切片模式，带宽选择150~200 Mb，业务可靠度要求在99.99%以上。但对于无人机或者机器人传输业务的要求较高，要求端对端时延控制在100 ms以内，可靠度达到99.99%以上。

4. 配电自动化

在智能电网中配电自动化是其十分重要的业

务，传统电力通信多依赖于有线传输，但由于设备分布区域较大，有线通信大范围敷设光纤造成成本增加。随着智能电网的发展，基于5G通信技术实现面向所有配电终端的自动化业务。建设电力5G虚拟专网负责对配电业务的传输，如图2所示。传输单元（DTU）采集配电设备信息后，将相关信息传输给基站，空口侧可通过资源块（RB）保证信息安全传输。核心网元和5G网络负责将配电业务传输至电力用户面核心网元（UPF），通过配电网自动化链接接入区进行互联互通。远程控制终端（RTU）和数据传输单元可以实现配电业务控制制定的传输，为保证传输安全，配电网通信终端以及自动化终端采取一体化设计。在配电自动化业务中增加加密机以及加密装置，进一步加强控制指令的传递安全性。5G虚拟专网传输配电自动化业务将带宽控制在10 Mb/s以上，将端对端传输时延控制在200 ms以下，配电业务可靠度达到99.99%以上。考虑到配电网业务终端运行，在城区配电终端需要考虑到运营商基站RB预留情况，进行基站的分配，以保证配电业务的稳定运行。

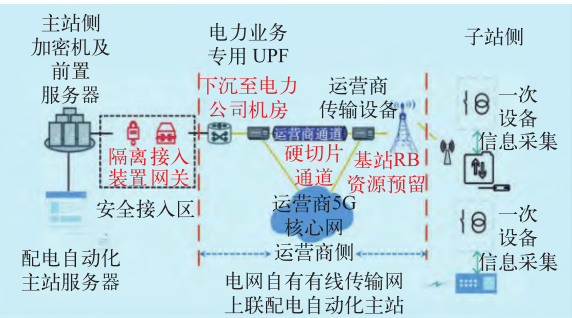


图2 基于5G通信技术的配电自动化业务

配电网自动化引进先进传感器以及智能终端设备，在5G通信网络的支持下可以获取状态数据以及全网运行数据，在大数据平台支持下进行配电网数据和状态的分析评估。考虑到集成化通信系统面对不规则变化时容易存在控制策略失误的情况，因此建议应用分布式通信系统，对不同业务采取不同通信方式，见表1。将集中通信控制和分布通信控制整合，不仅能够保证配电网自动化的运行，同时可以应对多元化业务的需求，协调控制配电网，解决控制目标多元化、用户需要多元化等问题。

表1 智能配电网中5G通信技术应用需求

业务类型	时延/带宽	应用范围
用电	采集用电信息	百毫秒级/低于10 Kb/s
	充电桩	百毫秒级/低于10 Kb/s
	分布式能源	百毫秒级/低于10 Kb/s
配电	控制指令	低于10 ms/2 Mb/s
	保护指令	低于10 ms/2 Mb/s
应急	变电站	百毫秒级/100 Mb/s
	监控	百毫秒级/100 Mb/s
	线路	百毫秒级/100 Mb/s

5. 差动保护

配电网的保护主要采取过负荷保护以及过电流保护两种，因此对于接地故障灵敏度较低。配电网由于组网结构相对复杂，存在众多分支，采取传统光纤覆盖有一定难度，难以应用光纤差动保护。因此采取5G通信技术解决这一矛盾，通过有线连接方式将差动保护装置以及5G CPE采取一体化设计以及有线连接，实时监测电流差值，精准隔离和定位故障。通过电流互感器采集一次侧设备的电流值，通过对时装置封装时间戳以及实际测量值，通过5G虚拟专网传输数据，对比电流值以及时间戳。当线路存在故障，线路保护装置发出跳闸指令，将间隔开关跳开，立即隔离故障，并向系统以及配电网上报故障信息。和配电网自动化的通信业务不同，差动保护业务要求时效性更强，对时延要求更高。因此配置带宽10 Mb/s，要求时延控制在15 ms以内。为满足差动保护对于时间戳提出的要求，安装GPS以及北斗双系统。在通信终端要求支持机卡固定，在业务层面安装加密装置，具备双向认证多个系统的能力，从而保证传输的安全稳定性。

结束语

智能电网的发展对电力信息通信技术提出更高的要求，积极建设5G虚拟专网，能够完成电力生产、管理监控等一系列电力通信业务，同时满足低延时、大带宽和安全稳定等新时期的传输要求，为智能电网通信提供可靠支持。在智能电网中，5G虚拟专网的建设可以服务于高级计量、传输设备运行状态信息、诊断设备运行状态、配电自动化和差动保护等方面，从而更加安全、高效和稳定地完成电力数据信息传输任务。EA

(收稿日期：2024-09-14)