

5G技术在电力系统的应用

文/中国自动化学会专家咨询工作委员会 孙柏林

5G技术正协同着万亿级的移动产业链和千万级的就业机会向人们迎面扑来，一时间通信领域风起云涌，各行各业趋之若鹜，5G能源时代已经来临，5G正成为电力系统业界发展的风向标。

近年来，能源行业积极实施“互联网+”战略，全面提升行业的信息化、智能化水平，充分利用现代信息通信技术、控制技术，实现智能设备状态监测和信息收集，激发新型作业方式和用能服务模式。随着各类能源业务的快速增长，电网设备、电力终端和用电客户迫切需要通过最新的通信技术及系统支撑，以满足爆发式增长的通信需求。

5G技术将支持能源领域基础设施的智能化，并支持双向能源分配和新的商业模式，以提高生产、交付、使用和协调有限的能源资源的效率。可再生能源、电动汽车、电网通信和智能电网等领域将成为5G在能源行业的重点应用场景。

5G技术在电力系统的应用

5G技术在电力系统的应用可谓名目繁多。诸如可再生能源，在智能配电网上的应用，在电网配电侧的应用，在分布式电源数据接入的应用，在低压电能计量服务上的应用，以及在网络安全上的应用

等。

1. 可再生能源

在过去传统的供电模式下，一般通过大型的热电站及水电站来满足人们的用电需求。如今为应对全球变暖和实现可持续发展，可再生能源发电得到了长足的发展和普及，太阳能、风能等各种可再生能源发电站越来越多，这使得供电和用电模式变得更加多元。同时，可再生能源发电的大量并网将给电网运行、管理带来新的挑战。

1) 可再生能源发电的间歇性、随机性特点，给电网功率平衡、运行控制带来困难。

2) 分布式能源的深度渗透使配电网由功率单向流动的无源网络变为功率双向流动的有源网络。

可再生能源发电等新型分布式电源是一种建在用户端的能源供应方式，可独立运行，也可并网运行。用户既是用电方，又是发电方，电流呈现出双向流动、实时动态变化。因此，配电网急需发展新的监控和通信系统，实现分布式电源运行监视和控制，增加配电网的可靠性、灵活性及效率。

2. 智能电网

智能电网建立在集成的、高速双向通信网络的基础上，通过



孙柏林

军事科学院研究员、少将军衔，中国自动控制系统与军事系统工程资深专家。历任哈尔滨军事工程学院教员、天津电子仪器厂新产品设计所所长、武汉自动化研究所所长、军事科学院军事运筹所所长、军事科学院科研指导部副部长。并兼任IFAC'99世界大会NOC秘书长、中国自动化学会第四至第八届副理事长、中国自动化学会专家咨询工作委员会名誉主任委员。

先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，实现电网的智能化。未来电网业务将朝着多样性、高可靠性和超低时延性的方向发展，这就需要网络相互隔离、功能灵活可编排，并且具备极致能力。泛在、实时、安全且高效的通信网络是电网智能化的重要保障。5G技术创新电网新型作业方式和服务模式，实现电网更加精确的负荷和供电调整，为电网提供更加

实时、可靠和高效的通信网络支撑，从而使得电网运营更智能、电网企业更智慧、电力用户更便捷。

(1) 智能自动化配电

配电自动化 (Distributed Automation) 是一项集计算机技术、数据传输、控制技术、现代化设备及管理于一体的综合信息管理系统，其目的是提高供电可靠性，改进电能质量，向用户提供优质服务，降低运行费用，减轻运行人员的劳动强度。

当前主流的集中式配电自动化方案，其通信系统主要传输数据业务。随着电力可靠供电要求的逐步提升，要求高可靠性供电区域能够实现电力不间断持续供电，将事故隔离时间缩短至毫秒级，实现区域不停电服务，则对集中式配电自动化中的主站集中处理能力和时延等提出了更加严峻的挑战。

应用5G技术后，通过各终端间的对等通信，可进行智能判断、分析、故障定位、故障隔离以及非故障区域供电恢复等操作，从而实现故障处理过程的全自动进行，最大可能地减少故障停电时间和范围，使配网故障处理时间从分钟级提高到毫秒级。因此，建立在5G网络基础上的智能分布式配电自动化将成为未来配网自动化发展的方向和趋势之一。

(2) 精准负荷控制

电力负荷控制是落实用电负荷管理的技术手段，其原理就是跟踪检测用电负荷的大小，当负荷超过所设定的负荷定值时，先报警提示，后跳闸切断负荷。传统配网由于缺少通信网络支持，切除负荷手段相对简单粗暴，通常只能切除整条配电线路。从业务影响、用户体验等角度出发，希

望尽可能做到减少对重要用户的影响，通过精准控制，优先切除可中断非重要负荷，例如电动汽车充电桩、工厂内部非连续生产的电源等。

通过5G网络支持，采用基于稳控技术的精准负荷控制系统，控制对象可精准到生产企业内部的可中断负荷，充分满足电网紧急情况下的应急处置需求，同时仅涉及经济生活中的企业用户，且为用户的可中断负荷，将经济损失、社会影响降至最低。

精准负荷控制通过切除用户侧可中断的负荷，来实现当电网输电发生故障以后，负荷侧不受到过大的冲击。

3. 节约能源

5G技术可以应用到工业和服务业的节电。目前，4G已经通过物联网为工业提供节能解决方案。西门子在2018年与蓝格赛澳大利亚签订了一个协议，为后者的物流中心安装基于物联网的云终端用能监测系统。这个系统通过安装传感器来监测不同设备的电力消耗，从而优化系统运行，节约多达15%的电力。与4G技术相比，5G大规模终端间通信可以让物联网节电系统接入更多监测器，对更多指标进行监测，让系统的优化更实时。

然而，5G技术带来的节电量多大程度上可以抵减该技术推动的通信行业用电增长量，仍然要打一个问号。5G在推广初期很可能比传统通信技术设备和运行成本高，所以主要由高新技术产业投资和使用，因而对全社会的节电贡献量有限。

4. 电网安全防护

在电网智能化及“互联网+”新形势下，智能电网、互联网和物联网等相互融合，用户与各类

用电设备广泛交互，与电网双向互动，电网安全风险增加。因此“十三五”期间，国家电网公司网络安全的目标是实现“可管可控、精准防护、可视可信、智能防御”的电网安全防御体系。

可管可控：健全网络安全管理与内控治理体系，落实网络安全职责，构建生命周期安全管理与内控治理体系，实现全过程各环节可管可控。

精准防护：深入结合发、输、变、配、用、调及经营管理等环节业务特点，紧跟大数据、云、物联网、4G和5G移动等新技术应用，动态优化防护体系，深入开展新业务新技术安全防护，实现业务差异化、精准化防护。

可视可信：利用视频、物联网、人工智能等新技术，全面提升信息安全基础设施实时态势感知能力和智能可信水平，实现网络、主机、终端、应用及数据等各环节安全威胁全景可视。

智能防御：利用大数据、人工智能等创新技术，实现安全威胁智能预防和自动发现，提高监测、防御、处置和预警等能力，构建态势感知、协同联动及快速响应的智能防御管理体系。

5. 提高供电质量和电力系统的灵活性

除了影响用电量外，5G还有潜力提高电力系统的供电质量。5G超低时延和高可靠性的信息传输将助力智能电网的自动采集和控制类业务，从而降低了电力系统潜在停电影响的范围和时长。中国电信、国家电网和华为2018年发布的一篇报告设想了几种应用情景。一个是特高压直流输电发生双极闭锁等紧急事故时，5G技术协助在毫秒级的时延内精准切断制冷等可中断负荷。与传

统集中切断负荷相比,该方式降低了事故对重要负荷的影响。另一种情景则针对配电网的差动保护:在配电网局部发生故障时,5G通信系统使得毫秒级自动定位并隔离故障成为可能,从而保障非故障区域的不间断供电。

另外,5G允许大规模通信终端接入,使得电力系统更好地适应快速增长的分布式电源和用户侧储能等灵活的资源,保证系统稳定。这将促成用户侧参与提供调频等辅助服务,从而优化电力系统运行。

但是,与电力系统中的光纤通信和无线专网通信相比,5G有更多潜在的通信安全风险敞口,也面临着经济性上的挑战。通信安全上,5G网络内终端节点众多,从而安全暴露面更广。电力系统对于网络安全要求极高,如何防止攻击者找到最薄弱的节点切入进行攻击是一个重要的研究课题。另一个问题是5G基站等基础设施谁来投资和建设,成本如何疏导,投资回收期多长。为解决这个问题,未来有可能会出现通信公司、电网公司、配电网运营商、大用户和分布式资源提供者共担成本并共享收益的商业模式。

6. 电力系统对5G技术的需求将分层级、分阶段地逐渐丰富

5G技术有潜力适应未来电力系统的发展趋势,前面介绍的负荷精准控制、配电网差动保护和分布式电源的灵活调度等场景都体现了5G技术的优势。中国电力行业通信技术的发展史也是技术更迭演进的历史,每一次更迭都伴随着应用场景需求的变化和技术性能的提升。从20世纪60~70年代的电力载波通信起步,到80~90年代微波通信快速发展,再到90年代中后期光纤通信普及,直到

近些年无线专网和4G的应用,电力行业通信的可靠性提高了,覆盖范围扩大了,抗干扰能力强了。虽然光纤、无线专网和4G已经满足了当前电力系统相当一部分的通信需求,但电力系统对通信网络大规模终端接入和低时延的要求不断提高,给5G技术提供了越来越多的商业机会。5G推广普及的过程可能需要十多年,其间规模效应和学习效应可以帮助5G技术不断降低设备和系统的成本,更好地满足和创造电力行业新的应用情景。因而,电力系统对5G技术的需求将分层级、分阶段地逐渐丰富起来。

应用举例

目前,5G技术由于其超宽带、超低时延和超高速率的优势,受到社会各界的广泛关注。2019年以来,滨海供电公司联合中国联通、中兴通信、天津普迅和云圣智能等多家各行业高新技术公司率先开展5G技术在电力行业中的应用研究,为5G技术在电力领域落地提供“应用场景”。

5G技术将在智慧电力的多个环节得到应用。在发电领域,特别是在可再生能源发电领域需实现高效的分布式电源接入调控,5G可满足其实时数据采集和传输、远程调度与协调控制、多系统高速互联等功能。在输变电领域,具有低时延和大带宽特性的定制化的5G电力切片可以满足智能电网高可靠性、高安全性的要求,提供输变电环境实时监测与故障定位等智能服务。在配电领域,以5G网络为基础可以支持实现智能分布式配电自动化,实现故障处理过程的全自动进行。在电力通信基础设施建设领域,通信网将不再局限于有线方式,尤

其在山地、水域等复杂地貌特征中,5G网络部署相比有线方式成本更低,部署更快。

1. 电网首次应用5G技术

2018年3月12日,在河北省涿水县南郭下村的分布式光伏扶贫电站,正式实现了5G通信链路的全面打通,该电站发电量、功率、转化率等信息以100 GB/s的速度远程传输到电网分布式光伏云网主站,这意味着5G技术在光伏云网首次试运行。电网技术人员在河北省涿水县南郭下村的分布式光伏扶贫电站研发5G技术传输。

电网分布式光伏云网是国内的分布式光伏一站式共享服务平台。近年来,随着分布式光伏的迅猛发展,光伏电站海量信息采集、现场设备监控、远程诊断运维等业务对通信网络传输能力提出了更高要求。

5G技术对光伏云网带来的变化是数据传输速率与质量的大幅提升,这能够有效解决光伏云网所面临的用户数量激增、海量分布式数据难以采集、广域覆盖难以保障等难题。5G技术在光伏云网的率先应用,将有助于整合光伏全产业链资源,提升光伏产业全社会参与度,打造开放、共享的分布式光伏行业新业态,助推电网综合能源服务战略落地及清洁能源健康快速发展。

通过5G技术,可为光伏云网数据采集、运行监控和电费结算等不同属性业务提供隔离独享的网络切片,保障不同业务的差异化需求与服务质量,确保光伏云网更加高效安全可靠地实现个性化、智能化等综合服务。

2. 国内首例特高压变电站5G智慧应用落地宣城

近日,由宣城电信建设的全国首例特高压变电站与5G通信技术

结合的泛在电力物联网建设工程通过验收。测试显示,古泉站以基站为中心的十几个典型位置无线传输通道下行速率峰值达到800 Mbit/s,平均超过570 Mbit/s,通道上行速率峰值达到160 Mbit/s,平均超过100 Mbit/s,均满足设计要求。这是安徽省内的第一座用于电力领域的5G基站,标志着5G通信技术正式运用到特高压电力领域。

特高压古泉换流站位于安徽宣城境内,线路途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南和安徽六省(区),全长3 319 km,输送容量1 200万kW,总投资400多亿元,是世界上电压等级最高、输送容量最大、输送距离最远、技术水平最先进的特高压输电工程——新疆昌吉至安徽宣城古泉±1 100 kV特高压直流输电线路工程的落点。

特高压古泉换流站通过中国电信5G技术应用实现了站内4K高清监控视频信号的实时回传,以及巡检机器人的远程监控。中国电信5G网络的构建为站内各类监测监控系统 and 智能运维系统提供了灵活高效、安全可靠的无线接入通道,实现了变电站大带宽、低时延业务的灵活应用,为泛在电力物联网智能感知业务的进一步研究和应用提供了强有力的通信网络支撑。该工程完工并顺利通过各项性能指标测试,验证了特高压变电站内进行5G网络建设的可行性。

面对特高压古泉换流站内电力设备密集、电磁环境复杂、安全等级高的特殊场景,宣城电信按照电力技术标准及要求,克服5G设备信号的抗干扰性因素,在基站安装前,联合华为公司、国网安徽信通公司技术人员开展数轮

施工现场勘查、研究论证和现场测试,选取了最佳的基站安装位置,并对5G设备的各项参数进行调整,确保了5G网络的覆盖范围和信号强度满足要求。下一步,宣城电信将加快5G网络建设,将5G技术广泛应用于新一代信息技术产业、人工智能、物联网、智慧城市和智慧家居等领域。

此外,据悉江西峡江发电公司设备管理也已进入5G时代。

峡江公司拟建的机组状态监测分析系统,将融合计算机监控系统、在线监测系统以及相关系统有关数据,进行数据挖掘,实现机组运行诊断、检修评估打分、机组优化调度等功能。5G无线通信技术的优势和特点,正好解决峡江公司机组状态监测分析系统建设当中灯泡贯流式机组结构复杂,施工布线难度大的问题。5G技术的运用,很好地解决了各系统的连接与传输问题,实现机组的智能诊断与分析,并进一步提升发电设备检修管理的科学性与经济性,有效推进发电设备检修管理策略优化与实施,实现设备检修管理策略由“定期检修”模式向“基于可用系数的准状态检修”策略调整,最终实现“状态检修”。

3. 5G一体化电力巡检

2019年5月15日,国网天津滨海供电公司在全国首次实现基于5G技术的陆空一体化电力设施立体巡检。

在天津滨海新区东江路边,随着来自指挥中心的指令下达,空中无人机缓缓爬升开始对输电线路进行巡检,地面30 m外的变电站内智能巡检机器人开始对站内所有设备进行巡视。同时,在指挥中心的后台屏幕上,巡检数据实时传回,稳定而清晰。

陆空一体化电力设施立体巡检的空中场景是将5G无人机应用于输电线路巡检中。“输电线路传统的巡检方式是运维人员到现场仔细地对每一基杆塔进行缺陷排查,及时发现运行隐患,这对运维人员来说,是一项十分重要且繁琐的工作。”滨海供电公司运检部副主任陈晓旭说,随着无人机技术的兴起,无人机也经常被用在输电线路巡检上,然而传统的无人机通过4G信号传输视频,由于网络环境限制,不能回传超高清视频,因此运维人员无法通过图像找出输电线路的微小缺陷。本次滨海供电公司通过在专门设计的无人机上搭载5G终端,无人机拍摄的4K超高清视频能够通过5G网络回传给线路运维人员,巡检人员无需攀登铁塔即可清晰地看到输电线路及附属设备的每一个细节,在极大提升巡检人员工作效率的同时,保证电力设施安全。

此次巡检的地面场景在变电站内,巡检指令刚发出,搭载有5G终端的VR智能巡检机器人随即开始巡视。“5G网络的超低时延确保了智能巡检机器人的高准确度巡检,防止巡检机器人误入带电区域,保证巡检作业安全。”陈晓旭说,机器人搭载的8K高清摄像头拍摄的巡检视频可以通过5G网络实时回传到指挥中心,工作人员通过佩戴VR眼镜即可获取变电站实景的沉浸式体验,并支持同时对多个变电站设备状态的专家远程诊断,极大提升了电力设备缺陷查找的效率。

4. 5G通信技术在智能配电网上的应用

2019年7月9日,首个1.8GHz电力无线专网在江苏省会南京投入运行,为民众用电需求打造了

一条“专属高速公路”，实现了南京地区电力无线专网全覆盖。

在大力发展智能电网和泛在电力物联网的背景下，通信多元化发展在不同的应用场景下可发挥各自的技术优势。电力无线专网作为以电力光纤为主有线通信的电力专网通信另一补充，将克服有线通信建设难度大和GPRS等公网通信安全隐患的弊端，为电网智能化向末端配电网进一步延伸提供了可能。

5. 电网安全事故

电网安全事故多种多样，包括自然灾害如雷电、暴风雨、积雪导致输电线路故障和设备损坏，人员操作不当导致各种停电事故，交通事故导致电线杆、输电线路的破坏，设备老化导致系统故障等。

电网是关系国计民生的国家重要基础设施，有着极高的安全防护要求。电网安全是电力行业的立足之本，伴随着电网发展的整个历史。而网络安全是人类迈入数字化和智能化社会所面对的共同问题，不只限于电力行业，在其他行业如通信、金融、交通和制造等行业的网络安全经验同样适用于电力行业。新ICT信息通信技术正在加速推进全连接智能电网的快速发展，全方位端到端地提升电网运营效率。电网严格的网络安全标准和规范规避了通信设备可能给电网带来的网络安全隐患，电网多层次的安全防护设计也降低了通信设备被网络攻击可能带来的安全风险。5G通信技术从架构设计上采取了更加严格的标准和措施来保证网络安全，而人工智能技术的快速发展和大量应用将极大提升网络安全防护能力，保障电网的安全稳定运行。

国家电网公司在通信技术的应用和电网数字化改造方面走在了世界的前列。国家电网公司的实践表明，通过前瞻性的网络安全顶层设计，配合严格的网络安全标准规范和分区分级、立体纵深的网络安全防护措施，结合现代通信和泛在电力物联网技术，打造坚强智能电网，保障电网的安全稳定运行。

1) 5G网络安全的顶层设计普遍采用NIST (National Institute of Standards and Technology) 推荐的IPDRR (Identify Protect Detect Response Recover) 方法论，即识别、保护、检测、响应和恢复五个方面。

2) 5G的网络切片功能可以对不同的业务提供不同的资源，结合超高可靠低时延处理可以为业务配置不同的服务质量，通过资源有效隔离和多重安全措施协同，削减各切片网络间相互影响，以应对非法访问和越权管理。

3) 在空口加密的密钥管理上，5G提供了256位密钥选项，相对于128位密钥，其破解复杂度相当于从秒级提升至百亿年级，可以应对未来量子计算的破解能力。

4) 在海量物联网应用场景中，针对IoT设备被劫持在空口发起DDOS攻击耗尽网络资源的情况，5G定义了基于流量控制机制来规避空口DDOS风险。

5) 5G针对安全证书失效问题的管理也从静态升级为动态，安全策略随网元生命周期自动编排，缩短安全防护失效时间。

此外，在国网河南省电力公司与河南移动的密切配合下，国内首个500 kV及以上高压/特高压变电站5G测试站在郑州官渡变电站建成投入使用，通过5G网络成功实现了变电站与省电力公司的远

程高清视频交互。

在广州举行的中国移动全球合作伙伴大会开幕日，广东移动与南方电网、中国信息通信研究院、华为共同启动了面向商用的5G智慧电网试点。目前，已开展的智慧电网探索包括分布式配网差动保护、应急通信、配网计量和在线监测等方面。

中国电信江苏公司、国网南京供电公司和华为公司在南京成功完成了全球首个基于5G SA网络的电力切片测试。测试证实切片具备安全隔离性，能够实现电网对于负荷单元毫秒级精准管理的业务需求。

总而言之，5G技术未来必将在电网安全中发挥出重大作用。

结束语

总体来看，未来电力业务的发展和5G的发展趋势是相吻合的，在未来电网中，小流量、大连接的物联网业务，以及宽带业务和低时延、高可靠的业务是并存的，呈现出广覆盖、大连接、低时延、高可靠和高安全等要求很高的特征。

针对5G的大带宽、低时延、高可靠和大连接的四大能力，国家电网在巡检、配电网状态监测、大数据采集、准负荷控制和配电自动化等应用方面都在积极推动5G应用的研究和落地。

信息技术正引领电力行业的变革。对一个国家而言，有业者认为，5G将推动全人类更快地步入第四次工业革命的时代。迄今为止，人类先后经历了三次工业革命。而前三次工业革命给世界带来的变革，亦让人们明白了一个真理，那就是谁在科技、制造等技术革命中占得了先机，谁就能成为世界上的强国。EA