

核电厂无线通信网络应用现状和发展方向

张琳娜, 吴银伟

(中国核电工程有限公司电气设计所, 北京 100840)

摘要: 核电厂通信系统是核电厂正常和应急工况时信息传递的关键系统, 而数据无线传输以及即时通信的应用对于核电厂的运行、维护和管理有着深刻的意义, 无线通信就显得尤为重要。介绍了核电厂无线通信的应用现状, 描述了核电厂无线通信的应用需求, 分析了当前主流及前沿无线通信技术的主要技术特点及在核电厂的适用性, 并指出了核电厂无线通信网络的发展方向。

关键词: 核电; 无线通信; 应用现状; 发展方向

Application status and development direction of wireless communication network in nuclear power plant

ZHANG Linna, WU Yinwei

(China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100840, China)

Abstract: The communication system of nuclear power plant is the key system of information transmission in normal and emergency conditions of nuclear power plant, and the application of data wireless transmission and instant communication has profound significance for the operation, maintenance and management of nuclear power plant, and wireless communication is particularly important. This paper introduces the application status of wireless communication in nuclear power plant, analyzes the application requirements of wireless communication in nuclear power plant, analyzes the main technical characteristics of current mainstream and cutting-edge wireless communication technology and its applicability in nuclear power plant, and points out the development direction of wireless communication network in nuclear power plant.

Key words: nuclear power; wireless communication; application status; development direction

0 引言

目前无线通信网络在电厂及其他工业领域的应用已经很普遍, 通过现代数字化技术、通信技术以及智能传感与执行、智能控制和管理决策等技术为基础, 从而形成智能发电模式, 以实现更高效、安全和环保的运行。但是目前国内外核电厂的主要通信手段仍为有线通信, 调试、检修和巡检人员无法摆脱固定电话线缆的束缚, 且各生产岗位的通信需求量巨大, 工作的灵活性和

高效性受到了很大的限制, 通信业务的智能化水平较低。

核电厂使用无线通信网络可大幅度提升设备组网的灵活性和机动性, 提高工作效率, 并且节约了大量工程布线, 减少了线路维护费用和资源浪费, 降低了成本, 可以有效避免线路敷设带来的安全隐患。核电厂无线通信技术以其快速部署、低开销和强可扩展性等优势成为智能核电通信网络中必不可少的组成部分。

对于受地域条件限制的有线通信网络来说，无线通信网络可以与其相辅相成，促进核电厂智能化进程。无线通信网络也是核电重要通信系统，其信息化地位非常重要。

1 核电厂无线通信网络应用现状

目前国内已经有部分核电厂建设了无线通信网络，堆型覆盖了二代加M310堆型、VVER堆型、AP1000堆型、EPR、高温气冷堆堆型和华龙一号等。另外，第三代AP1000核电厂已经将无线通信网络建设作为标准配置设计。

目前国内核电厂采用的无线通信技术主要包括WiFi、无线集群、McWiLL和LTE等，这些无线通信系统有的已经投入运行，有的正在建设当中。其中海阳核电厂、石岛湾核电厂、秦山第二核电厂、三门核电厂、台山核电厂和防城港核电厂等采用WiFi技术，大亚湾核电厂和岭澳核电厂等采用LTE技术，红沿河核电厂、宁德核电厂和阳江核电厂等采用McWiLL技术。目前已建设的核电厂无线通信系统大部分实现了语音通信，但是数据通信及各类智能应用尚未大规模开展。

有少数核电厂正在探索采用无线通信网络实现更多的智能应用。三门核电厂目前已实现的应用有多线路号码呼叫、高品质的语音处理功能、手持机调度通信功能、一键对讲功能、调度台调度功能、实时位置显示、区域监视及警告功能、人员移动轨迹追踪功能和远程辐射监测等功能。

大亚湾核电厂基于无线通信网络提出了短信业务、无线视频会议功能、来电提醒、通信指挥中心实时信息发布功能、多方通话、特殊号码标识功能和在线人员管理功能等应用功能。

2 核电厂无线通信网络发展方向

2.1 核电厂无线通信网络业务需求

高效、安全和实时的信息传输是核电厂无线通信网络的基本要求。核电厂无线通信网络至少应包括以下业务需求。

(1) 移动语音通信

移动语音通信业务指通过手机、对讲机等移动设备实现语音信息交互的功能。目前核电厂内由于对安全的重视，手机几乎不可能在核岛内使用，对讲机在核岛内的使用也受到严格管理。在确保安全的同时也或多或少带来了一些不便。移动语音通信可以实现无线通信网络全IP条件下移动终端之间及移动终端与行政电话、公网移动电话之间的移动通信。

(2) 语音调度通信功能

移动终端提供调度呼叫等待、呼叫代接、普通会议、紧急会议以及一键对讲功能。调度台调度提供可实现强插、强拆、实时呼叫监听、用户状态显示、通话记录及录音查询等功能。在保证安全的同时也可避免由于广播无法及时传达、有线电话的区域限制等造成的信息延误。

(3) 移动视频

移动视频业务指通过手机等移动设备实现在线视频通话、视频上传、下载和调看等功能。根据现场实际临时视频需求工作，快速响应，部署临时摄像头进行监控，将现场工作及设备画面进行实时记录，进一步提高现场作业规范及安全性。

核电厂在维修和建设阶段期间时常会出现一些因为人为因素造成的安全隐患，这些隐患往往不是常规摄像头能监控到的。因此利用无线通信技术中宽带数据传输通道，通过对施工位置加装临时无线监控摄像头来实时监控记录人员操作过程，并且随着施工地点的变化跟随移动，哪里需要就把摄像头布置到哪里，观察人员可以在办公室后台实时监测或查看，同时对现场施工人员也会起到监督警告的作用。

(4) 移动办公

移动终端提供在线文件查询、工单查询等功能。办公人员利用手机等移动终端的信息化软件，可以在任何时间、任何地点处理与业务相关的任何事务。移动办公作为传统办公模式的补充，在原有PC端信息系统的基础上，提供了基于移动终端的信息交流方式，可以解决传统办公

模式信息传递和反馈不及时痛点。从功能上看,移动办公平台提供的各种应用服务应满足企业日常管理和员工工作各方面的需要,如电子考勤、内部即时通信、报销审批、文档管理、信息发布和项目管理等。

(5) 人员定位

核电厂人员定位需实时精确地定位员工位置,低延时地将位置信息显示在控制中心,进行安全区域管控、人员在岗监控和辅助判断工作执行情况。对于进入密闭空间的作业方式进行控制,保证人员与外界保持通信,确保系统能监控到人员的状态信息,预防安全事故发生。另外核电厂的特殊性使设备定位的精确性尤为重要。当人员进入重要、敏感区域周围时,通过精确定位系统发送报警信息,引起进入人员注意,防止走错。

(6) 传感器在线检测

利用无线网络传输数据,对便携式剂量计、移动式气体测量仪、个人用告警灯、移动摄像头和定位卡片等实现便捷可靠的远程数据接入和管理控制功能。无线网络提供大容量接入能力的物联网通道,支持实时回传传感数据,同时提供定位服务,实现对个人计量实时监控,并对监测数据自动储蓄、统计、管理及评估分析,实现实时发送报警信号功能。

(7) 智能维修

智能维修是指在维修过程及维修管理的各个环节中,以计算机为工具,借助人工智能(AI)技术来模拟人类专家智能(分析、判断、推理、构思和决策等)完成各种维修和管理操作。利用无线网络在大修期间完成维修报告的数据传递、信息查询和远程操作等功能。对于核电厂设备维修管理而言,维修的工作量、维修响应能力、系统可靠性和稳定性要求、维护人员综合技能要求以及工业备件供给效率和质量等都面临巨大的挑战。利用无线终端,工作负责人可以在现场完成取票、还票等操作,全程无纸化记录。

2.2 核电厂无线通信设计构想

当前国际核电技术的快速发展,核电企业随

着国家核能电力政策的调整,将迎来高速发展的阶段,对于这期间不断扩大的通信需求,核电企业应适应未来通信发展的趋势。

对于核电厂无线通信网络设计构想:第一要安全可靠,既不能对核电厂安全造成威胁,也不能引起各设备和相关系统的误触发,由于核电行业的特殊性对可靠性的要求,规划必须考虑通信系统的安全可靠,要求具有物理信息层的保护和终端设备层的保护,优先考虑核应急通信的要求;第二是低时延性,核电厂内的端到端、仪表到主控室以及设备到数据机房的信息传递需要及时准确,迅速响应;第三应组成独立专网,系统保持独立运行,有利于数据安全性和私密性的提升,便于业务独立运营;第四要实现远期大规模机器通信,满足核电厂内海量数据节点采集的需要;第五是技术成熟,应用广泛,可拓展性强,便于检修维护,容易扩展和预见寿命周期长。

2.3 技术路线应用分析

目前主要的无线通信技术包括WiFi、LTE和5G。

无线宽带(Wireless Fidelity, WiFi)是一种短程无线传输技术,可以将个人计算机、手持设备等终端以无线方式互相连接,通过构建无线局域网实现信号无线传输,即在无线路由器有效电波覆盖范围内都可以采用WiFi连接方式进行联网。

LTE也就是常说的4G采用的技术,是第四代蜂窝移动通信技术,LTE(Long Term Evolution)是由第三代合作伙伴计划组织(3GPP)指定的通用移动通信系统(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)技术标准的长期演进,于2004年12月在3GPP多伦多会议上正式立项并启动。

5G是第五代移动通信技术,是最新一代蜂窝移动通信技术,也是继2G、3G和4G系统之后的延伸。增强型移动宽带,对于用户体验等性能的进一步提升,峰值速率能够达到20 Gbit/s。利

用超高可靠和低时延通信技术，能够使用户端至基站之间的网络时延低至1 ms以内，并提供高达99.999%的连接可靠性。大规模机器通信，该特性支持10倍于4G的用户连接数，连接数量达到100 万连接/km²。多边缘计算技术实现端到端时延的大幅降低和数据安全性私密性的提升。通过5G网络切片技术在一个独立的物理网络上切分出多个逻辑网络，为每一个服务建设一个专用网络，彼此之间相互逻辑隔离，保障不同切片的网络需求。多技术对比如下表所示。

表 多技术对比

Tab. Multi-technology comparison

名称	WiFi	LTE	5G
工作频段	2.4 G 5 G	1.4 G (1447~1 467 MHz) 1.8 G (1785~1 805 MHz) 2.35G	2.6 G (2515~2675 MHz) 3.5 G (3400~3500 MHz) 3.6 G (3500~3600 MHz) 4.9 G (4800~4960 MHz)
是否需要频率管制	不需要	需要	需要
带宽	20 MHz	支持多种带宽分配：1.4 MHz、3 MHz、5 MHz、10 MHz、15 MHz和20 MHz等	支持多种带宽分配：5 MHz、10 MHz、15 MHz、20 MHz、25 MHz、30 MHz和40 MHz等
最大发射功率	100 mW	宏基站：40 W，微基站：500 mW ~ 10 W，皮基站：100 ~ 500 mW，飞基站：100 mW 以下	320 mW
单基站覆盖范围	室内 100 m，室外 300 m	<100 km	话务热点：200 ~ 300 m； 密集城区：200 ~ 300 m； 普通城区：500 ~ 600 m；
干扰抑制	射频干扰智能控管	OFDM 大大降低子载波之间的干扰；ICIC（小区间干扰协调）	射频干扰智能控管、联合异构网络资源的新型干扰管理
漫游切换	无缝切换	无缝切换	无缝切换
安全性	用户动态防火墙、VPN、安全认证、防病毒和无线入侵监测	用户身份与设备标识的机密性、实体认证、用户数据与信令数据的机密性与完整性保护	UE、网络切片、独立非接入层NAS、EAP0-AKA和5G0-APA1000
物联网结合	支持RFID、ZigBee和BLE物联网业务扩展	需要额外部署NB0-IoT，尚无直接支持Zigbee和BLE（蓝牙）等其他物联网模块的LTE基站	5G+IoT、支持RFID和红外感应技术

2.4 发展方向研究

核电厂内无线通信网络当前正在从应用探索逐步走向应用验证，与应用成熟和应用升级还有一定的距离。起步阶段聚焦增强型移动宽带，应用场景如员工培训、3D导航临时布放视频监控系
统、安全管理、视频直播、应急通信、集群调度、应急预案推送、信息文档查询、隔离票及电子票，渐进到低时延，最终是海量物联网的爆发。应用场景如设备预测性维修、设备健康管理、人员健康监测、智能辐射防护、无人驾驶班车、机器人自动巡检和事故后医疗诊断。无线通信网络作为核电厂的基础网络设施，越来越受更多人的重视，必将助力智能核电，在未来实现越

来越多的智能应用。

通信技术发展速度非常快，要以发展的眼光进行无线通信网络技术路线的选择。5G的技术特点与核电厂无线技术构想契合度很高，但由于目前5G技术及产品生态还不成熟，两年内要实施的工程项目建议采用技术相对成熟的WiFi5或者LTE技术，两年后实施的工程项目，从国家对5G的政策扶植力度、5G产业的发展速度以及5G应用场景与智能核电业务需求的契合度来看，在核电厂建设5G无线通信网络是未来的发展趋势。

核电厂无线通信网络正在逐步向大带宽、高速率和低时延方向发展，例如在核电厂内使用无

线宽带网络，传输高清及超高清视频、搭载AR/VR应用；使用无线通信网络进行人员通行管理及车辆与停车管理，对厂区内路灯联网管理及采集数据；构架核电厂内低空一体无人安防，甚至利用物联网、人工智能、虚拟现实和移动“互联网+”等方式，配合大数据云计算，实现核电厂内应急响应系统自动化、智能化、系统化和精细化管理。

3 结束语

随着第四次工业革命的到来，信息/数字世界与物理世界正在进行深度融合，“互联网+”与各行各业融合后产生了化学反应，给人类带来前所未有的便利。核电厂使用无线通信网络，可以从核电全生命周期出发对其进行量化、分析、控制和决策，从而降低发电成本、提高上网电量、减少设备故障及提升核电价值，实现核电的安全、经济运行。利用无线通信网络，实现可靠而准确的数字化信息交换、跨平台的资源实时共享，进而为决策提供支持。在无线通信网络的浪潮下，一定会打造出一个高效、便捷和智能的核电厂通信系统。

参考文献

- [1] 黄晶荣, 大型核电站通信系统研究[C]. 北京: 软件定义 面向未来——2014电力行业信息化年会论文集, 2014.
- [2] 程汉, 王立芳. 核电厂专用无线通信系统技术方案研究[J]. 电子技术与软件工程, 2015(2): 59.
- [3] 张平华, 核电厂现场无线通信网络的设计与应用[J]. 电子技术与软件工程, 2015(13): 30.
- [4] 陈月华, 朱彬. 三代核电站Wi-Fi无线网络测试方案[C]. 2017电力行业信息化年会论文集, 2017.
- [5] 胡丹, 4G/5G无线链路及覆盖差异探讨[J]. 移动通信, 2019, 43(7): 86-90.

作者简介



张琳娜

张琳娜（1992—），女，助理工程师，主要从事核电厂通信系统设计及火灾自动报警系统设计和研究工作。

(收稿日期：2020-05-06) **EA**