

DOI: 10.19666/j.rlfed.202204061

先进检测与 5G 通信技术在燃煤锅炉运行监测中的应用研究

高满达, 李庚达, 陈彦桥, 崔青汝
(国家能源集团新能源技术研究院有限公司, 北京 102209)

[摘要] 为构建以新能源为主体的新型电力系统, 火电机组在保电供热的同时要承担灵活运行、深度调峰的任务。但传统检测和通信技术受限于实时性差、传输慢、投资高等问题, 难以支撑火电机组新需求。先进检测技术和以 5G 为代表的通信技术通过构建完整的检测传输链条, 为以锅炉燃烧系统为代表的火电机组状态研判、运行调整等提供了坚实的技术支撑, 但也面临建设投资高、专业人才和标准匮乏等问题。只有从生产实际出发, 健全机制、转变观念, 才能做实先进检测及通信技术的应用效果。作为智慧电厂的重要组成部分, 先进检测和 5G 通信技术必将为火电整体智能化水平提升提供坚实的基础。

[关键词] 先进检测技术; 锅炉燃烧系统; 无线网络; 5G 通信技术; 智能传感器

[引用本文格式] 高满达, 李庚达, 陈彦桥, 等. 先进检测与 5G 通信技术在燃煤锅炉运行监测中的应用研究[J]. 热力发电, 2023, 52(1): 18-25. GAO Manda, LI Gengda, CHEN Yanqiao, et al. Application of advanced detection and 5G communication technology in coal-fired boiler operation monitoring[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(1): 18-25.

Application of advanced detection and 5G communication technology in coal-fired boiler operation monitoring

GAO Manda, LI Gengda, CHEN Yanqiao, CUI Qingru
(CHN Energy New Energy Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China)

Abstract: In order to build a new power system with new energy as the main body, thermal power unit should undertake the new task of flexible operation and deep peak-regulating while maintaining power and heating supply. However, the conventional detection and communication technology is limited by the problems of poor real-time performance, slow transmission and high investment, which is difficult to support the new demand of thermal power units. Advanced detection technology and communication technology represented by 5G provide solid technical support for the state research, judgment and operation adjustment of thermal power units represented by boiler system by building a complete perceptual transmission chain, but they also face problems such as high construction investment, lack of professionals and standards. Only by setting out from the actual production, perfecting the mechanism and changing the concept, can the application effect of advanced detection and communication technology be realized. As an important part of smart power plant, the advanced detection and 5G technology will provide a solid foundation for improving the overall intelligent level of thermal power generation.

Key words: advanced detection technology; boiler combustion system; wireless network; 5G communication technology; smart sensor

《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》和《电力发展“十三五”规划(2016—2020年)》^[1-2]等文件的发布, 标志着火电企业正由以建设数字化物理载体为主的阶段, 向更加清洁、高效、可靠的智能化方向发展。同时, 为加快落实“双碳”目标, 构

建以新能源为主体的新型电力系统, 提高火力发电灵活性, 两部委发布《全国煤电机组改造升级实施方案》^[3], 重点要求加快实施煤电机组灵活性改造。检测技术作为灵活性改造技术的关键支撑, 其高质量数据源对机组状态研判、设备控制等至关重要。

修回日期: 2022-06-20 网络首发日期: 2022-09-05

基金项目: 国家能源集团科技创新项目(GJNY-19-06)

Supported by: Science and Technology Innovation Fund of China Energy Group (GJNY-19-06)

第一作者简介: 高满达(1990), 男, 博士, 主要研究方向为智能火电关键技术, manda.gao@chnenergy.com.cn.

相较于发电厂其他系统，锅炉系统受限于复杂、强烈的燃烧和换热环境，检测手段长期匮乏，运行中处于“黑箱”状态，传统检测在准确度、及时性等方面难以满足机组灵活性运行要求，给火电机组智能化提升带来了重大阻碍，亟需高效安全的检测和支撑技术来提升对锅炉燃烧系统的整体把控。因此，通过实地调研以五大电力企业为主的 10 余家智能化建设标杆电厂，对锅炉燃烧系统为代表的机组运行关键参数在线检测、无线传输技术进行深入分析，总结存在的突出问题、现场实际需求和期望，为火电机组智能化重点建设方向和应用前景提供参考。

1 锅炉燃烧系统关键参数检测技术

1.1 发展应用情况

锅炉燃烧系统关键参数的先进检测技术包括

基于微波、红外、声学、激光、静电和经典流体力学等原理应用于不同场景的检测技术。以煤粉燃料入炉燃烧至烟气排放的物理过程为链条，目前锅炉燃烧系统先进检测技术应用情况见表 1。

表 1 中各先进检测技术已有电厂示范应用，但仍需进一步完善，如激光诱导击穿光谱（laser-induced breakdown spectroscopy, LIBS）煤质在线检测技术中存在制样平整度、算法对水分适应性的问题；煤粉流动在线检测中存在煤粉绝对质量流量测量不准、管道易堵塞和传感器冗余设计问题；高温区烟气在线检测存在结焦污染传感器问题等。此外，先进检测技术还包括软测量技术，软测量技术主要是基于机理模型和可测变量建立被测量的软测量模型，实现对重要参数的检测，如锅炉热量、入炉煤质、烟气含氧量、“四管”运行状态和寿命预测等。常见锅炉燃烧系统智能检测技术见表 2^[4-8]。

表 1 锅炉燃烧系统先进检测技术应用情况

Tab.1 Application scenarios of the advanced sensing technology in boiler combustion system

应用场景	技术目标	先进检测技术
输煤皮带	入炉煤质在线检测	激光诱导击穿光谱（LIBS）技术、低能 X 射线、近红外技术
原煤仓	料位检测及智能掺烧	激光检测
一次风管	一次风粉在线检测及调平	静电法、微波法、交相关技术、煤粉调平挡板
二次风及燃烧器	总二次风量测量、燃烧器各二次风测量	异型皮托管、标准喷嘴改造、热式流量计
炉膛燃烧	近壁区烟气组分检测	化学、红外烟气分析
炉膛出口	温度（场）测量	光学比色法、红外法
尾部烟道	CO 在线检测	化学、红外烟气分析

表 2 常见锅炉燃烧系统智能检测技术

Tab.2 The common boiler system intelligent sensing technologies

原理	应用场景	优势	不足
激光	煤质监测、烟温测量	化验速度快、间隔样短、灵敏	缺乏标准支持、应用推广较少
红外	烟温测量、污染物监测	测量速度快、灵敏度高	高温场景适应性差
静电	一次风粉测量	低浓度系统灵敏度高	无法直接获得绝对质量流量
微波	一次风粉测量	安装简单高效、可直接获得绝对流量	只能检测运动粒子，受粒子束影响、化学成分敏感
声学	一次风粉测量、温度场测量	安装简单，与静电配合能够测量绝对流量；测量温度场受炉壁振动影响小	无法探测不均匀流态，对固体类型、颗粒大小和水分含量等参数敏感
光学	煤粉浓度测量、烟气浊度测量	对化学成分和水不敏感	必须对被测物体校准、光学传感器易受污染、装置复杂、需定期维护
皮托管	二次风量测量	对颗粒大小、化学成分和水分不敏感	传感器磨损、导流、阻塞流线、压降损失大
压电	锅炉振动、位移、膨胀	测量精度高	容易磨损

1.2 存在不足与原因分析

目前先进检测技术在锅炉燃烧系统应用具有以下特点：1) 多数检测技术现场适应性差，升级改造后效果有限，甚至验收完就处于搁置状态，造成资产的浪费；2) 检测技术应用效果的评价机制和相关国家标准缺乏，先进检测技术大多为近年来发展

而来的较新技术体系，在国内的应用推广相对少，效果虽有却示范不足，支持新检测技术的标准规范普遍缺乏，推广受限；3) 资金投入少，重视程度低，检测技术通常需要大量的硬件设备，投资和运维成本高，需要配置专业运维技术人员，火电厂在目前经营状态下，难以支撑改造投入；4) 前端检测技术

是后端控制优化的前提,经济效益容易被后端掩盖,很难单独评价。

总体而言,锅炉燃烧优化技术通常聚焦于控制端,基于先进数据解析技术的控制手段,忽略了数

据本身的来源和可靠性,从而造成基础检测能力不足、数据劣化度高和控制不理想等问题。因此,检测能力的缺乏已成为限制锅炉燃烧优化调整的重要因素。图 1 为锅炉燃烧系统检测存在问题示意。

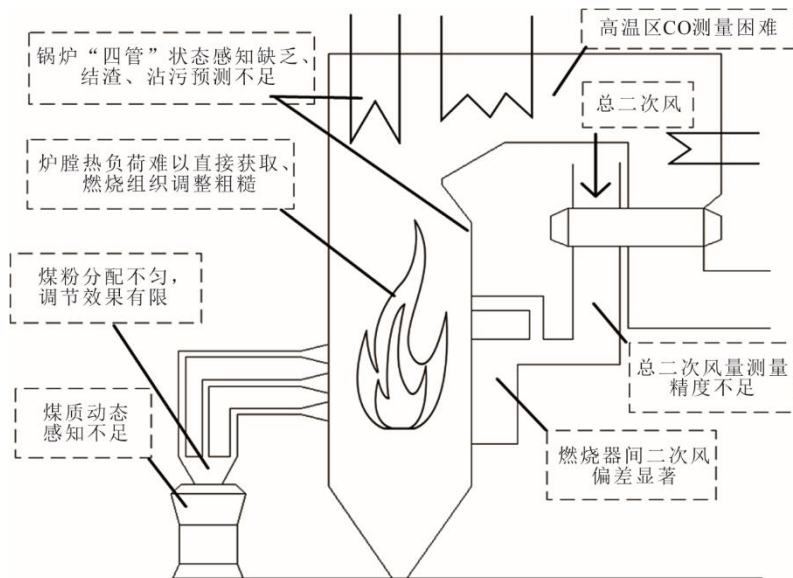


图 1 锅炉燃烧系统检测存在问题示意

Fig.1 Schematic diagram of problems existing in boiler combustion system detection

如图 1 所示,锅炉燃烧系统具体问题如下:

1) 煤质动态变化检测能力及应用不足

燃煤机组煤质特性与机组安全、经济、稳定运行密切相关。一般而言,燃煤电厂煤质数据由具有资质的化验人员给出,并作为燃料结算依据。通常煤质检测需耗时 6~8 h,实时性不足,难以为燃烧实时优化提供调控依据。尤其在当前灵活运行、煤价高昂、需要通过掺烧劣质煤来降本增效的大环境下,经济合理地配煤掺烧需要及时获取煤质信息。

由于缺少国家标准支持,先进煤质动态检测技术在应用推广中也遇到困难。如基于 LIBS 技术、近红外技术、低能 X 射线等煤质在线检测技术^[9-11],通过设备定期校验、有资质人员定期化验核校和设备的定期维护三重保证措施确保煤质检测准确性,实际应用中效果良好,并能将检测时间由传统人工检测的 6 h 以上缩短至 30~60 min,但由于没有相应的国家标准,难以应用于燃料结算中。

2) 配风方式落后、调节性能不足

普遍情况下,一次风通过磨煤机出口的煤粉分配器和管道安装的可调缩孔实现对一次风的分配和调节,但往往由于煤粉分配器效果差、煤粉分离器水平布置和可调缩孔卡涩等原因,造成同层各燃

烧器间存在显著的煤粉流量差异。同时,深度调峰时,为防止一次风速低于安全阈值(如 17 m/s)造成煤粉管内沉淀而有意提高一次风量,但磨煤机入口一次风量缺乏准确测量手段,会造成一些燃烧器煤粉浓度过低,甚至沉积。实际煤粉流量偏差甚至可到 20% 以上^[9-12],远高于锅炉的 10% 以内偏差要求,常造成火焰偏斜、冲刷受热面等问题。

国内锅炉二次风普遍采用大风箱的配风方式,缺乏针对每个燃烧器风量的单独检测,无法实现燃烧器级别的二次风量精准把控。同时,总二次风普遍采用热式流量计进行测量的方式,使得实际运行中测量精度较差,系统误差累积到二次风分风道中,造成燃烧器间二次风偏差扩大^[13-16]。此外,送风机的单列布置方式先天存在前后墙总二次风量分布偏差,即从源头出现了风量失控的问题。在深度调峰时,为防止不充分燃烧,通常凭经验调节送风机总风量的方式盲目过量增加二次风量,造成排烟热损失增大,更不利于稳燃。

对于不同炉型而言:四角切圆燃烧方式,二次风分别进入前后墙的大风箱中,通过分风道调节挡板和燃烧器调节装置调整燃烧器间压差,控制进入燃烧器的内外二次风、中心风和周界风等风量。但

该方式仅对大风箱总风量和风压进行测量,忽略每个燃烧器二次风量情况,导致燃烧器层与层之间、角与角之间存在较大的风量偏差,而且这 2 种偏差往往产生叠加效果,燃烧器风量间偏差甚至高达 30%^[16]。对冲燃烧方式中,由于不具备四角切圆配风中与每个燃烧器对应的二次风道和相应调节挡板,二次风调节普遍只采用风箱左右进口挡板+燃烧器套筒的调节方式,调节手段有限,风量分布更为不均匀。

3) 燃烧器风粉精确检测缺失、控制效果差

低氮燃烧器和整体分级配风低氮燃烧技术将炉膛细分为主燃区、还原区和再燃区,希望在炉膛出口获得较低的 NO_x 排放量,对炉内过量空气系数的分布提出更严格要求。但在目前风量分配模式下,锅炉燃烧主要以磨煤机煤量、总风量和氧量信号反馈调节总二次风量进行控制,调节手段简单粗糙,仅依靠优化控制算法模型的燃烧优化手段普遍控制效果较差。由此可见,滞后的检测技术和粗糙的控制手段难以适应愈加精细化的炉内配风方式要求,常常造成炉内局部过量空气系数失衡,严重影响脱硝效果。尤其在频繁深度调峰、调频运行的大环境下,加重了燃烧动力场不均匀造成的受热面结渣、高温腐蚀等问题,甚至引发炉膛灭火。

实际应用中基于总风量的反馈调节方法又缺少每个燃烧器(组)一二次风量的单独检测,纯控制技术的优化升级难以取得良好的锅炉燃烧组织效果。因此,有必要利用硬件设备和软测量相结合的先进检测技术,通过配置各粉管一次风和各燃烧器二次风电动调节机构,实现对每个燃烧器的一二次风量、煤粉质量流量的在线检测,实现每个燃烧器过量空气系数精准控制。

4) 炉内燃烧状态变化掌控能力不足

长期以来,锅炉燃烧调节一直处于“黑箱”状态,火焰位置、炉膛热负荷和温度、受热面结渣等重要指标难以通过测量直接获取,利用锅侧水动力计算的实时性和精准度又相对不足。大型锅炉在低负荷运行时,风粉量和火焰充满度相对于炉膛容积显著减小,造成燃烧中出现明显的火焰中心偏斜,引发水冷壁严重沾污结渣,威胁受热面安全。由于缺乏相应的火焰和热负荷检测设备,无法做到及时发现、及时处理,只有在锅炉出现掉焦、“四管”裂纹甚至破裂等严重性安全问题时才得到重视。

燃烧产物是从结果角度反映炉内燃烧状态的

重要指标。烟气中 CO 体积分数作为煤粉不完全燃烧的产物,反映了过量空气系数对燃烧的影响。 CO 体积分数与 H_2S 体积分数在燃烧生成过程中呈正相关的关系,而 H_2S 是水冷壁结渣和高温腐蚀的重要诱因。因此,检测 CO 体积分数对防治结渣和腐蚀问题都有重要意义。常规运行中,以氧量信号作为反映炉内风粉配合的燃烧指征,但与烟气中 CO 在 10^{-6} 级别的体积分数变化范围相比,氧量值灵敏度太低,不能及时反映炉内燃烧情况变化。因此,结合 CO 作为锅炉燃烧调整反馈量的精准控制,是解决锅炉燃烧优化重要环节。

1.3 未来发展趋势与建议

在新型电力系统中,火电机组需要灵活运行,参与深度调峰。先进检测技术将为高惯性的锅炉燃烧系统提供可靠的调节依据,方便实时把控其运行状态,并与其他调控手段相结合提高锅炉系统的动态响应能力。为此,针对先进检测技术,需要在投资、实施、评价等方面进行完善的全流程管控,将投资高质量地转化为收益,满足技术升级改造的初衷。故提出建议:

1) 要重视前期的调研工作 针对先进检测技术在现场应用效果有限、投资浪费等现象,要在检测技术施工前做好充足的调研和论证工作。目前,先进检测技术在国内外已有一定的应用案例,若想取得良好的应用效果,要在充分听取基层运行人员需求前提下,多走访调研技术厂商和有类似实施案例的工业现场,多与一线使用人员交流,避免走马观花式的调研,要先将技术学懂弄通,再把调研做深做细。要善于利用现场专家经验,提前梳理技术风险点,做好应用预案,在保证最低技术应用效果的前提下,将收益最大化。

2) 要建立健全评价机制 一方面要健全技术应用后评价机制,不能只关注检测技术在现场 168 h 试运行期间的效果,要拉长评价的时间尺度,综合考虑全工况的应用效果。还要避免过分追求对检测技术应用效果的单一、片面考评。先进检测技术对锅炉燃烧系统检测和控制的提升,需要综合考虑汽轮机及辅机系统等整个机组性能的变化,要树立先进检测与先进控制一体化考量的理念。另一方面要建立标准体系,为先进检测在智能化电厂背景下的推广提供政策支持,也能为先进检测技术把好技术指标标准。目前来看,很多先进检测技术在锅炉系统应用时,具有对特定对象效果显著,而普适性不足

的特点(如炉型、煤质变化)。因此,要进一步分类、细化标准体系,可采用一事一议的形式,建立目标明确、约束性强的技术应用标准。

3) 要转变人员观念 检测技术多为硬件投资,初期投资成本较高,而效益常被后端控制优化所淹没。因此,一方面要转变决策者和管理者的观念,在机组技术升级和科技投入方面,要因地制宜地提高先进检测技术优先级,避免过分沉迷于纯数据技术的应用,如大数据技术应该是“广而精”,避免“多而杂”,丰富的检测手段才是支撑大数据技术应用的基础。另一方面要转变技术使用者的观念,通过优化功能、降低复杂度等方式,让使用者充分接受检测技术带来的便利性和实用性。一定要避免系统设计过分复杂,造成一线人员使用意愿降低甚至排斥。

2 先进通信技术

先进检测技术作为智慧电厂的感知基础,依托工业互联网,将实现电厂泛在物联的新模式,需要可靠、高速的通信技术作为支撑。目前,常用的硬接线和基于传统 WiFi、4G 通信技术的无线传输技术已难以满足泛在物联接入、海量生产管理数据传输、信息安全等方面需求,需要对通信网络的传输、接入、覆盖率等方面进行全方位提升。基于 5G 通信技术的工业互联网在发电侧的纵向延伸,为先进检测技术在火电机组的深度应用提供了平台。先进检测技术在工业互联网支持下,借助云边协同、VR/AR、大数据技术等,将实现发电过程中无人巡检、状态检修等功能,全方位提高机组感知能力。

2.1 发展应用情况

通信能力缺乏已成为智能发电建设中的内生矛盾,严重制约着先进检测技术落地和推广。凭借以 5G 为基础的工业信息互联通信技术,建立多元立体的全息感知新层级,为智能运行、智能管理、智能安全等功能模块的集成应用提供了强有力支撑。5G 通信技术在火电厂应用情况见表 3^[17-21]。

从 5G 通信技术在发电侧应用来看,电厂智能化无人巡检是其重要的落地场景。智能化无人巡检技术来源于实际电厂运行巡检需求,传统电厂运行巡检采用人工巡检方式,受人员经验和技术水平限制,极易出现设备漏检情况,安全隐患大,人力成本高。因此,充分利用 5G 通信技术、人工智能等先进技术,通过机器逐步代替,直至完全取代传统人工巡检,能够降低电厂管理成本,提升业务效率,

助力智能化转型。

以锅炉燃烧系统为例,多个子系统的日常巡检均存在缺乏检测的问题,如:吹灰器投入一次耗时数小时,要求巡检人员始终蹲守,以防出现卡枪、吹爆管等情况,且存在吹灰蒸汽噪音大、人员暴露风险高、工作繁重等问题;磨煤机顶部煤粉管容易漏粉积粉,是火灾隐患点,需要专人巡检,巡检时磨煤机运行噪音大,工作环境差;各类辅机设备众多,巡检流程长,部分油站需要攀高爬低,巡检不易。为此,应构建一套锅炉燃烧系统智能巡检系统,以“传感器(振动、温度传感器等)+智能音视频+巡检机器人”为前端检测手段,充分利用 5G 通信技术的组网优势,基于人工智能平台,实现表计、温度、跑冒滴漏识别等 AI 应用,将常规人工巡检向远程智能巡检转变。

表 3 5G 通信技术在火电厂应用情况
Tab.3 Application situation of 5G communication technology in thermal power plants

序号	应用场景	
	控制侧	管理侧
1	5G+无人值守斗轮机	5G+智能单兵系统
2	5G+边缘计算数据采集	5G+AI 机器视觉安防
3	5G+智慧化煤场	5G+智能诊断和远程维护
4	5G+无人值守螺旋卸船机	5G+智慧基建安防解决方案
5	5G+生产区域无人巡检	5G+无人机、机器人点检
6	5G+无人采制化	5G+AR 辅助巡检点
7	5G+无人盘煤	5G+VR 全景调度
8	5G+无人输煤运行	5G+智慧仓储
9	5G+虚拟电厂与无人监盘	5G+厂区无人驾驶

实际施工中,大量检测设备现场安装,采用常规硬接线工程量庞大、施工周期长、成本高。通过厂内建设符合信息安全要求的 5G 通信网,将硬接线改为 5G 传输,将大幅降低施工和后期维护工作量。其布置高效灵活、安装方便和成本低廉的特点,会极大提高网络的扩展性,作为有线网络的补充,能够共同提高先进检测技术的应用可行性。

实际应用中,智能发电体系架构比较完善的电厂都进行了大范围的网建设,而对于一些智能化建设比较单一的老厂和投资不足的电厂则未将网络覆盖作为首要考虑。网络覆盖率高的电厂在有线网络和无线网络方面都有尝试,但由于有线网络受限于敷设布置要求高、投资大、维护量高和扩展性不足等问题,网络升级还是重点聚焦于无线网络建设。利用“无线网络+智能传感器”的模式,能够将主辅机仪表数据进行就地分析^[22-25],并上传至数据

处理中心,对设备运行状态进行实时的检测、分析、预警、报警和日志记录等,实现设备性能劣化分析、故障诊断、智能巡检等功能。在实现生产系统和安防系统实时监控的同时,缩减常规巡检和抄表人员劳动强度,不仅做到设备的智能运维,还有助于实现高危区域和狭窄密闭空间的自动巡检,并保证数据录入的真实可靠性。

2.2 存在不足与原因分析

1) 现有网络存在的问题

由于缺乏匹配的、大范围覆盖的网络,造成智能化技术应用效果大打折扣,如:①智能安防方面,定位网络和无线网络覆盖不足,人员定位、智能可穿戴设备、智能门禁设备等未能投入使用;②燃料管理方面,如燃料接驳中车辆信息、来煤数据、计量检斤、采制化等环节通信落后无法及时获取相关数据,难以提高燃料管理的透明度;③施工和运检人员监控定位中,网络覆盖不足和技术内生缺陷导致对外包工作人员难以妥善管理,滋生严重管理缺陷,同时与三维定位、电子围栏等智能化技术兼容度较低,出现定位漂移、高延迟等问题,严重弱化智能巡检应用效果;④设备状态检修和运行监测中,难以满足传感器、执行机构等设备的大量接入和海量数据传输,削弱云边协同技术的智能化效果。

2) 基于 WiFi 技术无线网络建设存在的问题

目前无线网络建设普遍基于 WiFi 技术,信号穿透能力相对不足,尤其穿墙后出现信号强度明显下降,造成部分区域无线信号覆盖较差。这是由于无线传感器采用物联网通信方式进行现场组网,厂房内设备的复杂性给 AP 点的布置带来了较大的困难。无线通信协议和供电电缆对无线信号也有明显影响,如通常 AP 需要通过双绞线与交换机相连,对于厂区范围大的生产现场,传输距离较长时不仅穿线难度大,还导致 POE 供电稳定性差,出现部分 AP 掉线问题。同时,通信协议还需在传输速率和 AP 点布置上衡量比较,若采用 802.11n 协议,虽然成本低,但传输速率也较低,难以依托无线网络进行高清视频数据传输;若采用 802.11ac 标准,则需要对 AP 部署进行加密,成本和维护费用较高。

3) 基于 5G 通信技术的工业无线网存在的问题

5G 通信技术作为新一代无线通信技术,在火电机组的应用有众多方面需要完善和研究,主要可分为 5 个方面:①5G 通信技术自身方面,需要研究 5G 通信技术在信息传递中的本质安全性以及对电

力生产现场的兼容性和适应性;②如何在火力发电极其复杂的环境现场实现无死角全方位信号覆盖,并实现精确定位;③多网融合和智能运行控制系统全局接入,实现多信号融合,将对不同传感器、执行机构等智能设备的信号安全高速双向传递;④智能化管理中,利用 5G 通信技术优势,深化智能安防落地应用,实现基于智能音视频、门禁、智能穿戴设备的多维联动管理、智能巡检;⑤基于 5G 通信技术的发电设备开发,利用 5G 通信技术的低延时、高带宽特点,开发以智能穿戴设备、机器人和智能芯片为主的设备与硬件,实现 5G 通信技术向发电侧的深度渗透和优化应用。

此外,5G 通信技术作为最新的通信技术成果,在工业生产应用中除本身安全性问题需要解决外,在火力发电中还存在信息等保安全的问题。目前,发电企业要求生产区不允许无线网络直接接入,限制了 5G 通信技术的使用,造成基于 5G 通信技术的移动应用、智能传感器、阀门、马达和各类智能节点已建设却无法落地使用。实际中,为了落实电力行业信息系统等保安全的要求,大多电厂采用了“一刀切”的办法,利用物理手段隔断了内外网链接,同时禁用了基于无线网络传输的手持终端和智能设备,造成了技术和资产的浪费。面对 5G 通信技术与电力生产应用的融合,无线传输技术需要从技术本质进行安全性保障,如利用数据加密技术保障工业互联网的通信安全,方能实现其推广应用。

2.3 未来发展趋势与建议

1) 要因地制宜、逐步推进 以 5G 为代表的新一代通信技术在火电机组使用必须在满足等保安全要求前提下,可从受限的辅控系统(如输煤、化水等)进行应用尝试,利用设置安全接入区和单向隔离装置的物理隔离方式,对传递的信息、流量、程序等进行识别,建立白名单,使符合要求的数据在生产区内外传递。伴随国家对 5G 通信技术应用相应法规的完善和落实,由辅至主,逐渐推进 5G 通信技术在火电机组的深化应用。

2) 要通盘考虑,做实效果 5G 通信技术在工业场景中的应用还处于初级阶段,真正受益于 5G 独特特点的场景还比较少。目前,5G 通信技术多集中应用于非控制侧,如智慧基建、智能安防、智能点巡检、智慧仓储等方面。对于非控制侧的应用,要以发电用户体验为出发点,充分挖掘现场应用需求,体现出 5G 通信技术的不可替代性。如智能安

防和智能巡点检是 5G 通信技术应用较多的场景,若采用传统 WiFi、有线网络等方式投资维护成本高,而采用 5G 通信专网,在电厂厂区室外部署大功率小基站,完成室外厂区的信号覆盖,同时兼顾室内区域覆盖,室内部分部署分布式小基站来进行补盲,形成一整套完整的全厂区无线通信方案,能让电厂在特殊应用场景下依然能够享受到优质的无线移动通信服务,满足安防、巡点检的大范围部署、临时布控等需求。

3) 要灵活采用多种投资维护形式 目前电厂 5G 组网投资存在几种形式:①电厂通过向当地政府申请自建频段,所建网络与电厂本地网络完全融合;②采用完全新建 5G 通信网络模式,核心网完全部署于电厂本地,主要由移动运营商投资建设,电厂采取租用方式;③直接租用移动运营商的 5G 商用频段,不必重新建设本地 5G 通信网络;④为保证与控制区完全隔离,单独建设 2 套完全独立的 5G 通信网络。以上方案中采用租用设备、租用网络的模式投资相对较少,每年仅承担少量维护费用即可。而完全重新建设 5G 通信网络则耗费巨大,该模式不利于 5G 通信网络的推广。但需要说明的是,无论何种建设方式,移动运营商均会对 5G 通信网络进行授权和不同程度的监控,5G 通信网络的本质安全需要相应的政策支持与认可。

3 结 语

随着新能源发电向电网渗透率的提高,火电机组由充当稳定基荷的角色向灵活性调节电源的角色逐渐过渡,频繁动作和深度调峰使火电机组原有运行控制模式受到冲击。检测技术作为火力发电厂运行控制和管理数据来源及策略制定的基础,是从根本上实现火电机组安全、清洁和高效运行的有力支撑。在两化融合的背景下,智能检测技术从通信技术、检测技术到本体设备,整体式地为解决火电机组转型问题提供了新出路。但检测技术在火电生产过程中存在着技术人员缺乏、专业岗位设置少、缺少国家标准支持、改造工程量、投资维护成本高和风险担当意识弱等问题,造成先进检测技术推广应用难、生产投入难和不受信任等局面。

以 5G 为代表的通信技术为先进检测技术的应用推广提供了捷径,使强调动态感知、海量数据传输、稳定安全链接能力的先进检测技术不再受限于通信传输,能够将现场实际情况高效实时反馈给后

台决策和运行人员,更是下一步闭环控制的重要支撑。先进检测和 5G 通信技术作为新视野下解决火电供求关系的重要手段,应该对其抱宽容、接受的态度,给其以成长完善的空间,避免出现无标准和推广难的状况。作为智慧电厂的重要组成部分,先进检测和 5G 通信技术必将为提升火力发电整体智能化水平提供坚实的基础。

[参 考 文 献]

- [1] 工业和信息化部,国家发展改革委,国家能源局.关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见:发改能源(2016)392号[A].(2016-02-29)[2022-04-20]. Ministry of Industry and Information Technology, National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Guidance on promoting the development of “Internet +” smart energy: FGN Y (2016) No.392[A]. (2016-02-29) [2022-04-20].
- [2] 国家发展改革委,国家能源局.电力发展“十三五”规划(2016—2020)[R].2016:1-46. National Development and Reform Commission, National Energy Administration. The 13th Five Year Plan for electric power development (2016 — 2020)[R]. 2016: 1-46.
- [3] 国家发展改革委,国家能源局.关于开展全国煤电机组改造升级的通知:发改运行(2021)1519号[A].(2021-10-29)[2022-04-20]. National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Notice on carrying out the transformation and upgrading of coal-fired power units nationwide: FGYX (2021) No.1519[A]. (2021-10-29) [2022-04-20].
- [4] 赵晴川.同心切圆燃烧系统偏转二次风的试验研究与探讨[J].热力发电,2007,36(3):41-44. ZHAO Qingchua. Test study on and approach to biased secondary air in concentrically and tangentially firing system[J]. Thermal Power Generation, 2007, 36(3): 41-44.
- [5] 朱晓星,陈厚涛,昌学年,等.火电机组风烟系统智能控制模块设计与应用[J].中国电力,2016,49(6):1-5. ZHU Xiaoxing, CHEN Houtao, CHANG Xuenian, et al. Design and implementation of intelligent control function module for air and flue gas system of thermal power units[J]. Electric Power, 2016, 49(6): 1-5.
- [6] 王然,张志刚,孙保民,等.红外测温技术在炉膛温度场检测中的应用[J].热力发电,2017,46(6):136-140. WANG Ran, ZHANG Zhigang, SUN Baomin, et al. Application of infrared temperature detection technology in furnace temperature field measurement[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(6): 136-140.
- [7] 王立.基于辐射的反演电厂炉膛火焰温度场三维重建[D].北京:华北电力大学,2019:21-29. WANG Li. Three-dimensional reconstruction algorithm of furnace flame based inversion calculation of thermal radiation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2019: 21-29.
- [8] YAN Y. Guide to the flow measurement of particulate solids in pipelines part 2: utilisation in pneumatic conveying and emission monitoring[J]. Powder Handling and Processing, 2002, 14(1): 15-18.

- [9] 赵勇纲, 杨传博, 冀树春, 等. 高能脉冲激光煤质在线检测技术的应用研究[J]. 煤炭工程, 2019, 51(7): 80-83. ZHAO Yonggang, YANG Chuanbo, JI Shuchun, et al. Application of high energy pulsed laser technology to online detection of coal quality[J]. Coal Engineering, 2019, 51(7): 80-83.
- [10] 张励维. 基于 LIBS 的气力输送煤粉成分快速检测研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2017: 10-20. ZHANG Liwei. Fast detection of pulverized coal composition based on LIBS[D]. Tangshan: North China University of Technology, 2017: 10-20.
- [11] 李雄威. 激光诱导击穿光谱法测量煤中碳含量的基体效应及其消除[D]. 北京: 清华大学, 2014: 25-43. LI Xiongwei. Matrix effect in measurements of carbon content in coal by laser induced breakdown spectroscopy and its correction methods[D]. Beijing: Tsinghua University, 2014: 25-43.
- [12] 湛志钢, 熊扬恒, 周昊, 等. 超超临界 1 000 MW 机组锅炉煤粉分配器的数值模拟[J]. 热力发电, 2011, 40(5): 20-23. ZHAN Zhigang, XIONG Yangheng, ZHOU Hao, et al. Numerical simulation of pulverized coal distributor for boiler equipped for ultra-supercritical 1 000 MW unit[J]. Thermal Power Generation, 2011, 40(5): 20-23.
- [13] 张孝勇, 钱颖杰, 孙先端, 等. 一次风速度和煤粉质量浓度对等离子燃烧器一级燃烧筒点火特性的影响[J]. 中国电力, 2007, 40(8): 61-65. ZHANG Xiaoyong, QIAN Yingjie, SUN Xianduan, et al. Effect of primary air velocity and pulverized coal concentration on the ignition characteristics of the first stage chamber for plasma burner[J]. Electric Power, 2007, 40(8): 61-65.
- [14] 李国堂, 康振兴, 郭会景. 1 000 MW 超超临界机组热一次风系统布置分析[J]. 锅炉技术, 2012, 43(4): 9-12. LI Guotang, KANG Zhenxing, GUO Huijing. Analysis of thermal primary air system layout of 1 000 MW ultra supercritical unit[J]. Boiler Technology, 2012, 43(4): 9-12.
- [15] 李路明. 微油点火水平浓淡煤粉燃烧器数值模拟及应用[J]. 电站系统工程, 2014, 30(4): 23-25. LI Luming. Numerical simulation and application of minimum oil gun horizontal bias combustion burner[J]. Power System Engineering, 2014, 30(4): 23-25.
- [16] 王通, 武万强, 于强, 等. 大型锅炉二次风箱内防积灰导流板的数值模拟计算[J]. 锅炉制造, 2018(6): 5-9. WANG Tong, WU Wanqiang, YU Qiang, et al. Numerical simulation on the anti-ash guide vane in the windbox of large-capacity boilers[J]. Boiler Manufacturing, 2018(6): 5-9.
- [17] 赵俊杰, 冯树臣, 杨如意, 等. 新基建时代的燃煤智慧电厂建设与技术升级分析[J]. 神华科技, 2019, 17(12): 5-10. ZHAO Junjie, FENG Shuchen, YANG Ruyi, et al. Construction and technical upgrading analysis of coal-fired intelligent power plants in the new infrastructure era[J]. Shenhua Science and Technology, 2019, 17(12): 5-10.
- [18] 赵俊杰, 冯树臣, 刘志宏, 等. 5G 电力网络切片技术在燃煤智慧电厂生产管控应用分析[J]. 能源科技, 2020, 18(2): 5-10. ZHAO Junjie, FENG Shuchen, LIU Zhihong, et al. Application analysis of production management and control of coal-fired intelligent power plant based on 5G power network slicing technology[J]. Energy Science and Technology, 2020, 18(2): 5-10.
- [19] 李志刚, 匡亮, 张建斌, 等. 基于 5G 技术的智能巡检机器人在燃煤智慧电厂的多场景应用[J]. 电力系统装备, 2021(1): 122-123. LI Zhigang, KUANG Liang, ZHANG Jianbin, et al. Multi-scene application of intelligent inspection robots based on 5G technology in coal-fired smart power plants[J]. Electric Power System Equipment, 2021(1): 122-123.
- [20] 俞建江, 王浩君. 一种基于 5G 的智慧电厂工业应用解决方案[J]. 电子测试, 2021(8): 124-126. YU Jianjiang, WANG Haojun. A 5G-based industrial application solution for smart power plants[J]. Electronic Test, 2021(8): 124-126.
- [21] 柳曦, 胡波, 王宾, 等. 5G 通信技术在火电厂的应用[J]. 热力发电, 2020, 49(11): 8-13. LIU Xi, HU Bo, WANG Bin, et al. Applications of 5G communication technology in thermal power plants[J]. Thermal Power Generation, 2020, 49(11): 8-13.
- [22] 孟凡喜. 锅炉二次风大风箱改善积灰优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 19-24. MENG Fanxi. Study on improvement of ash deposition of secondary air bellows in boilers[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017: 19-24.
- [23] BLONDEAU J, RIJMENANS L, ANNENDIJK J, et al. Burner air-fuel ratio monitoring in large pulverised-fuel boilers using advanced sensors: case study of a 660 MWe coal-fired power plant[J]. Thermal Science and Engineering Progress, 2018, 5: 471-481.
- [24] BLONDEAU J, KOCK R, MERTENS J, et al. Online monitoring of coal particle size and flow distribution in coal-fired power plants: dynamic effects of a varying mill classifier speed[J]. Applied Thermal Engineering: Design, Processes, Equipment, Economics, 2016, 98: 449-454.
- [25] WANG Q, CHEN Z, WANG L, et al. Application of eccentric-swirl-secondary-air combustion technology for high-efficiency and low-NO_x performance on a large-scale down-fired boiler with swirl burners[J]. Applied Energy, 2018, 223: 358-368.

(责任编辑 杜亚勤)