

5G技术驱动下的智能电厂创新应用探索

李 涛^{1*}, 魏天祥¹

(1.国能数智科技开发(北京)有限公司,北京市,100000; * 通讯作者, 20037293@chnenergy.com.cn)

摘 要: 本文系统梳理了5G在火电、水电及新能源电厂中的典型应用场景,构建了基于技术特性与业务需求的分类体系。通过分析5G在生产控制、智慧巡检、安全管理和智慧决策等领域的实践案例,总结了5G技术为智能电厂带来的效率提升与管理变革。研究发现,5G的高可靠低时延、广连接、高速率等特性有效解决了传统电厂在设备互联、数据传输和远程控制等方面的痛点,但同时也面临网络覆盖、数据安全和标准不统一等挑战。

关键词: 5G; 智能电厂; 智能运维; 数据安全

引言

随着能源革命与数字技术的加速融合,智能电厂建设已然成为电力行业转型升级的必然方向,预示着电厂发展的未来趋势。在政策层面,国家能源局《能源领域5G应用实施方案》[1]明确提出“推动5G技术在电力生产各环节深度应用”的要求,2024年工信部《电力装备制造业数字化转型实施方案》[2]进一步强调要“健全电力装备数字化标准体系,推动发输配用各领域装备的数字化改造”,为5G与智能电厂的融合发展提供了制度保障。

智能发电厂是基于“智能发电”概念的一种实现形式。以新一代智能管控一体化系统为核心,全面开拓和整合电厂的实时数据处理及管理决策等业务,覆盖火力发电厂全生命周期的智能发电厂技术方案[3]。5G技术结合人工智能、物联网、大数据等技术,已经具备了深度改造电厂生产运营模式的能力,能在技术赋能下有效推动电厂向更智能、高效、安全的方向发展,但目前智能电厂的建设仍处于探索阶段,专门面向不同类型电厂(火电、水电、新能源电厂等)的5G应用技术体系尚未完全成型,现有技术与管理模式难以适配5G时代的电厂运营需求,这都需要在实际实践中进行磨合与探索。

1. 电厂行业发展现状及趋势

我国能源结构呈现“以煤电为基础,水电、新能源发电协同发展”的格局,这种情况与我国能源资源禀赋紧密相关——火电在电力供应中仍占较大比重,西南、华中地区水电资源丰富,而风电、光伏等新能源发电在“双碳”目标推动下规模持续扩大,电力行业是保障能源安全、助力“碳达峰、碳中和”目标实现的核心领域。长期以来,电厂生产运营依赖传统工业通信技术,然而在火电的输煤系统运维、发电设备巡检,水电的边坡监测、人员定位管理,以及新能源电厂的风场作业监管、光伏阵列状态监控等场景中,存在诸多突出痛点:一方面,人工依赖程度高,如火电受限空间作业、新能源场站的分散式设备巡检,不仅作业效率低下,且高风险区域作业的安全隐患突出;另一方面,通信技术存在明显制约,传统工业总线、4G等通信方式,在数据传输速率、时延控制、设备连接规模上,难以满足智能电厂对“海量数据实时传输、设备精准远程控制”的需求,比如火电无人值守斗轮机的远程操控响应延迟、水电无人驾驶车辆的信号稳定性不足等问题,都让电厂智能化升级遭遇瓶颈,制约了生产效率提升与管理模式优化。

现有通信技术的缺陷一定程度上制约了智能电厂的建设进程,我国电厂智能化转型虽前景广阔,但仍处于关键探索期,若无法突破通信技术对业务场景的限制,便难以实现质的跨越,发展任重道远。

随着第五代移动通信技术(5G)的诞生,凭借其高速率、低时延、大连接等特性,为解决上述问题提供了极强的技术支撑。以华为等为代表的国内企业在5G领域已处于全球领先水平,这为我国电厂智能化转型率先实现突破提供了基础条件。5G通信技术是在4G技术基础上发展而来,是对4G技术的缺陷进行大幅度改进与完善而形成的新一代通信解决方案,其主要特点是数据传输更高速高效、时延更短、可靠性极高。这就为

电厂各环节生产运营提供了智能化改造的技术保障，为实现火电的虚拟DCS控制、水电的全域智能监测、新能源电厂的远程安全监管等系统升级奠定了坚实基础。

2. 5G技术在智能电厂中的应用场景

2.1. 生产控制与优化

2.1.1. 斗轮机智能控制

基于“5G+边缘计算+数字孪生”技术架构实现斗轮机管控升级：部署振动、粉尘、位置等多类型传感器，实时采集设备运行参数与作业环境数据；通过5G专网承载数据，借助网络切片技术为控制指令、状态反馈分配专用通信资源，端到端时延控制在百毫秒级，保障传输实时性与可靠性；依托边缘计算节点实时处理采集数据，结合云端数字孪生模型动态优化取料量、运行轨迹，同时通过AI算法开展设备故障预测性诊断，提升设备运行稳定性，实践中取卸料效率显著提升，劳动强度降低。

2.1.2. 抓斗卸船机无人化控制

5G与机器视觉、路径规划算法深度融合，实现抓斗卸船机无人化作业：感知层通过高清相机与激光雷达构建监测网络，利用5G大带宽特性实时传输船舶三维点云、物料分布图像数据；决策层基于AI算法完成船舶物料建模、甲板形态识别，结合抓斗机械动力学模型生成最优抓取路径与操作参数；5G低时延特性保障控制指令即时下达，使抓斗单次作业填充率提升、作业周期缩短，同时通过多传感器融合实现智能避障，减少船舱磕碰与煤炭运损，满负荷工况下卸煤效率显著提升。

2.2. 智能巡检与设备运维

2.2.1. 移动巡检与远程操控

在火电场景中，5G+输煤栈桥智能巡检机器人搭载激光雷达、红外热成像仪及振动传感器，在粉尘密集、空间狭长的栈桥环境中，实时采集皮带跑偏、驱动电机温度、落煤管堵塞等关键数据，通过5G专网传输至边缘节点，快速完成异常识别与数据预处理，替代人工实现全天候无死角监测，巡检效率较传统人工提升2倍以上；针对锅炉集箱等高温高压高危区域，5G支撑的清理机器人通过远程操控系统实现精密作业，操作人员在中控室即可完成集箱内部结焦清理，规避人员进入高危环境的安全风险，满足毫米级操控精度与实时性要求。

在新能源场景中，结合AI路径规划算法动态调整清洁路线，通过5G操控上千个清洁机器人协同作业，解决人工清洁覆盖不均、效率低的问题；同时5G能优化运维流程：风机叶片、齿轮箱的运行数据经5G专网上传，远程专家可通过AR眼镜实时查看故障画面并指导现场排查，同时UWB定位划定作业安全区域，显著降低偏远风场恶劣环境下的运维风险。

2.2.2. 设备监测与故障诊断

5G+智能传感器的规模化部署构建了设备泛在感知网络：在火电锅炉、汽轮机及新能源储能系统等关键设备上，振动、温度、压力等多类型传感器借助mMTC特性实现海量数据实时上传，边缘节点通过数据降噪、特征提取预处理后，推送至云端设备健康管理平台，推动运维模式从“事后维修”向“预测性维护”转型。

2.3. 安全管理与应急响应

2.3.1. 人员安全精准管控

依托“5G+UWB+智能终端”技术融合，实现人员安全全流程监管：在受限空间作业、高风险设备区域，作业人员佩戴集成UWB定位模块与生命体征监测的智能终端，通过5G专网实时回传位置信息、心率、血氧及作业环境气体浓度数据；通过5G与两票系统联动，作业前自动校验人员资质与授权范围，作业中实时匹配人员位置与任务区域，避免无资质操作或跨区域作业风险。

2.3.2. 高危区域动态监控

针对火电受限空间、新能源场站高危区域，构建“5G+智能监控设备”实时监管体系：部署5G无线布控球、防爆摄像头等设备，利用5G大带宽特性传输高清视频与环境监测数据，结合AI视频识别技术自动检测违章行为；通过5G专网的UPF下沉实现监控数据与公网物理隔离。例如在火电输煤栈桥、锅炉区域及光伏电站

储能区，该系统可覆盖人工难以抵达的盲区，实时捕捉设备异常状态与人员违规行为，实现风险预警从“人工巡检发现”向“系统自动识别”转型。

3. 5G应用面临的挑战

5G技术在智能电厂的规模化应用中，需突破复杂工业环境与行业特性带来的技术瓶颈，同时应对标准协同、成本控制等应用层面的制约。以下从技术与场景应用两大维度，结合电厂实际场景分析问题。

3.1. 技术层面

3.1.1. 网络覆盖与稳定性问题

智能电厂场景中，复杂工业环境与极端天气是制约5G网络覆盖与稳定性的核心因素。在火电场景下，输煤栈桥的狭长封闭空间、锅炉区域的高温金属结构会造成5G信号遮挡与衰减，导致局部区域信号弱、切换频繁；新能源场景中，草原风电场可能会遇到的极寒条件，海上风电场的强腐蚀、强台风的极端环境，易导致5G基站设备性能下降，硬件故障概率提升，维护成本极大增长，影响通信连续性。此外，电厂内多类高功率电气设备产生的电磁干扰，也会干扰5G信号传输，难以满足生产控制类业务的实时性要求，因此在核心生产控制场景中，5G应用较少。

3.1.2. 数据安全与隐私保护

电厂数据涵盖电力生产控制指令、核心设备运行参数、作业人员空间定位数据等敏感范畴，此类数据对电力系统稳定运行与企业信息安全具有关键价值。5G网络的接入开放性与数据传输的实时性诉求，使数据安全面临双重显性风险。

一是工业数据传输安全风险。5G专网作为数据传输核心载体，若缺乏分层级的网络隔离机制，易遭受外部非法接入、数据篡改等恶意攻击，进而破坏电力生产控制系统的运行稳定性，此类系统涵盖斗轮机远程控制、风机变桨控制等直接影响电力生产效率的关键环节；二是数据隐私保护与共享协同问题。根据实际调研结果分析，当前多数5G专网由通信运营商主导建设与运维，而电厂运营数据属于企业核心内部数据，需满足严格的内生数据安全防护要求，当此类数据依托运营商主导的5G专网进行传输与存储时，其数据越界访问、未授权调用及信息泄露的潜在风险难以界定，此类传输是否能完全匹配企业内部数据的安全管控需求至今尚无定论。

3.2. 场景应用层面

3.2.1. 技术标准与规范缺失

当前5G在智能电厂的应用面临跨行业标准协同不足与特殊场景适配性差的双重问题。一方面，5G技术标准由运营商主导，与电力行业的生产控制标准缺乏统一接口，导致5G设备与电厂现有系统兼容性不足，需额外开发适配接口，增加技术复杂度；另一方面，电厂特殊场景如受限空间作业的5G应用缺乏专项规范，如受限空间的5G信号覆盖强度标准、海上5G设备的抗台风等级要求尚未明确，导致不同厂商的解决方案差异大，难以规模化推广。

3.2.2. 成本与投入问题

5G改造涉及硬件采购、网络建设、运维服务等多环节投入，对电厂而言存在经济性压力与投资回报不确定性。硬件层面，5G专网单厂建设成本通常超数百万元，而租赁运营商5G专网费用通常不会更低，新能源场站因设备分散，需额外增加基站数量，成本更高；运维层面，5G设备的运营和维护成本比4G等传统通信设备更高[4]；同时，部分5G应用的效益需长期运营才能体现，短期投资回报不明显，导致电厂改造积极性不足。

4. 总结

5G技术凭借其高可靠、低时延、大带宽和广连接的特性，为智能电厂的建设提供了关键支撑，显著提升了生产控制、设备运维及安全管理的智能化水平，并推动电厂运营模式由传统人工干预向生产关键数据驱动转型。

然而，其在规模化部署过程中仍面临网络覆盖、数据安全、标准协同和成本效益等方面的现实挑战。未来，随着5G技术的持续演进与跨行业标准的深度融合，5G不仅将赋能电厂实现更广泛的无人化、智能化运营，更有望成为构建新型电力系统的核心基础设施，为能源数字化转型提供决定性动力。

参考文献

- [1] 国家发展和改革委员会,国家能源局,中央网络安全和信息化委员会办公室,工业和信息化部.关于印发《能源领域 5G 应用实施方案》的通知（发改能源〔2021〕807 号） [Z]. 2021-06-07. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-06/12/content_5617357.htm.
- [2] 工业和信息化部.工业和信息化部关于印发《电力装备制造业数字化转型实施方案》的通知（工信部重装〔2024〕171 号） [Z]. 2024-09-05. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2024/art_662de8b83c21435b8834e929e1e7daa5.html.
- [3] 刘吉臻, 胡勇, 曾德良, 等.智能发电厂的架构及特征 [J].中国电机工程学报, 2017, 37(22): 6463-6470+6758.DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.171620.
- [4] 顾元培.提升5G基站的维护效率 [J].数字技术与应用, 2021, 39(5): 221-222+225.DOI: 10.19695/j.cnki.cn12-1369.2021.05.72.