

5G 通信技术在工业远程控制中的应用探析

戴 葭

山西寰烁电子科技股份有限公司 山西 太原 030000

【摘 要】 工业 4.0 与智能制造深度推进，传统工业现场控制模式逐步向远程化、无人化、智能化转型，工业远程控制成为现代工业生产提质增效、规避高危作业风险、实现柔性生产的核心手段。传统 4G、WiFi、有线通信技术存在时延偏高、可靠性不足、接入量有限、抗干扰能力弱等缺陷，难以适配高精度工业远程控制的严苛需求。5G 通信技术具备超低时延、超高可靠、超大连接、大带宽传输的技术特性，可精准匹配工业远程控制实时指令传输、海量设备联动、复杂工况稳定运行的应用需求。本文首先梳理传统工业通信技术的应用短板，阐释 5G 核心技术优势与适配工业远程控制的技术原理，分析 5G 在工业远程监控、设备遥控、故障运维、无人生产等场景的具体应用，结合实测数据验证应用成效，同时剖析当前落地应用的现存瓶颈，并提出针对性优化对策与发展展望。实践表明，5G 技术可使工业控制时延降低 90%以上，设备远程控制准确率提升至 99.8%，工业生产运维效率提升 45%以上，可为工业远程控制系统升级、智能制造落地提供技术参考。

【关键词】 5G 通信技术；工业远程控制；智能制造；工业互联网；低时延通信；设备运维

1 引言

智能制造、工业互联网的规模化落地，推动工业生产模式发生颠覆性变革，高危、高温、高粉尘等恶劣工业场景逐步摒弃人工现场操作模式，远程控制、无人值守生产成为工业发展主流趋势。工业远程控制依托通信网络实现设备远程指令下发、状态监测、参数调节、故障处置，其运行精度、稳定性、实时性完全依赖通信技术性能。传统有线通信布线繁琐、灵活性差，无法适配移动式、分布式工业设备控制场景；4G 通信时延较高、可靠性不足，WiFi 抗干扰能力弱、传输稳定性差，难以满足高精度工业控制的严苛标准，严重制约工业远程控制技术的普及落地。

5G 通信技术作为新一代移动通信技术，针对性优化了工业场景通信短板，凭借 URLLC 超低时延、eMBB 大带宽、mMTC 海量连接三大核心特性，解决了传统通信技术在工业控制中的痛点问题，成为工业远程控制智能化升级的核心支撑。当前 5G+ 工业远程控制已广泛应用于智能矿山、机械制造、化工生产、电力运维等领域，应用价值凸显。基于此，本文系统探究 5G 通信技术在工业远程控制中的应用场景、技术优势、现存问题与优化路径，为工业智能化转型提供理论与实践支撑。

2 传统工业通信技术短板与 5G 技术优势分析

2.1 传统工业通信技术应用短板对比

工业远程控制对通信网络的时延、可靠性、连接数量、抗干扰性要求极高，传统通信技术难以适配高精度工业控制场景，各类通信技术核心参数与应用缺陷如下表所示。

由数据可知，传统通信技术普遍存在时延偏高、可靠性不

足或灵活性差的问题，无法满足工业机械臂精准操控、高危设备远程启停、实时参数调节等高精度控制需求，是制约工业远程控制普及的核心瓶颈。

通信技术类型	平均时延	传输可靠性	核心应用短板
有线以太网	5-10ms	99.5%	布线复杂、灵活性差、无法适配移动设备，后期运维成本高
4G 通信	30-50ms	98.2%	时延偏高，无法满足高精度实时控制，突发延迟易导致设备故障
WiFi 无线通信	15-25ms	95.6%	工业环境抗干扰弱，易断连、丢包，稳定性不足
5G 通信	1-5ms	99.999%	低时延、高可靠、抗干扰强，适配全场景工业控制

2.2 5G 适配工业远程控制的核心技术优势

一是超低时延高可靠传输。5G URLLC 技术通过短帧传输、动态资源调度优化，将端到端时延压缩至 5ms 以内，传输可靠性可达 99.999%，彻底解决传统网络延迟、丢包、断连问题，保障工业控制指令实时同步、精准执行，杜绝因网络延迟引发的生产故障与安全事故。

二是超大带宽高清传输。5G eMBB 大带宽特性可支撑 4K/8K 高清视频、海量设备传感数据同步传输，满足工业远程可视化监控、设备高清画面实时回传需求，让远程操控人员精准掌握现场工况，实现可视化精准控制。

三是海量设备并发接入。5G mMTC 技术支持每平方公里百万级设备接入，可满足工业车间海量传感器、控制器、智能设备的同步联网需求，实现多设备协同远程控制，适配规模化、集群化工业生产场景。

四是网络切片专属保障。5G 支持网络切片技术，可单独划

分工业专属通信通道，隔离工业控制数据与普通网络数据，避免网络拥堵、信号干扰，保障工业远程控制网络的专属稳定性与安全性。

3 5G 通信技术在工业远程控制中的核心应用场景

3.1 工业设备远程实时操控

在智能制造车间、重型机械加工、智能矿山等场景，5G 技术实现工业设备的远程精准操控。依托 5G 超低时延特性，操作人员可在远端控制中心下发设备启停、参数调节、轨迹调整等指令，指令毫秒级响应，完全匹配机械臂焊接、设备切割、矿山采掘等高精度生产需求。同时结合高清视频回传，实现可视化远程操控，替代传统人工现场操作，有效规避高温、粉尘、高危作业环境对人员的安全威胁，实现安全生产与精准生产的双重保障。

3.2 生产状态远程实时监控

通过在工业设备、生产流水线部署温度、振动、转速、压力等智能传感器，依托 5G 大带宽、低时延优势，实时采集生产全流程数据并同步上传至工业平台。管理人员可远程实时查看设备运行状态、生产进度、工艺参数，实时掌握生产线运行情况。系统可基于实时数据智能识别生产异常、参数偏差，及时推送预警信息，实现从事后处置向事中管控、事前预警升级，大幅降低生产故障发生率。

3.3 设备远程运维与故障排查

传统工业设备故障运维依赖工程师现场排查，耗时久、成本高、停机损失大。基于 5G 远程运维体系，设备出现故障后，可实时上传故障代码、运行日志、设备状态数据，运维人员远程调取数据完成故障诊断。针对参数异常、程序卡顿、轻微故障，可远程下发修复指令、调试参数、重启设备，快速完成故障处置；针对复杂故障，可依托 5G 高清视频实现远程指导现场维修，大幅缩短设备停机时间，降低运维人工成本与生产损失。

3.4 无人化集群协同控制

现代化工业生产多采用多设备集群协同作业模式，传统通信方式无法实现多设备同步联动。5G 海量连接与低时延协同特性，可实现车间多台智能设备、机器人、运输设备的同步组网、协同控制，统一接收调度指令，精准匹配生产节拍，实现无人化流水线自动生产、物料自动转运、设备自动联动，大幅提升工业生产自动化、智能化水平，助力柔性生产模式落地。

4 5G 工业远程控制应用成效实测分析

选取某智能制造加工车间为测试场景，对比传统 4G 通信与 5G 通信在工业远程控制中的核心性能指标，直观验证 5G 技术

应用价值，具体成效数据如下表所示。

核心性能指标	传统 4G 远程控制	5G 远程控制	优化成效
指令平均响应时延	38.6ms	3.2ms	降低 91.7%
远程控制准确率	95.3%	99.8%	提升 4.5%
月度设备通信故障次数	12.4 次	1.1 次	降低 91.1%
设备故障远程处置率	42.8%	87.3%	提升 44.5%
车间生产运维效率	基准值	—	提升 45.2%

实测数据表明，5G 通信技术可彻底解决传统工业远程控制时延高、故障多、精度低、运维低效等问题，全方位提升工业远程控制的稳定性、精准性与高效性，显著降低生产故障与运维成本，适配智能制造无人化、精细化生产需求。

5 5G 在工业远程控制应用中的现存瓶颈

5.1 工业场景信号覆盖不足

工业车间、矿山、化工厂区多存在钢结构、大型设备遮挡，电磁干扰较强，5G 公网信号穿透性弱、覆盖不均匀，部分区域存在信号盲区、弱信号区域，易出现短暂丢包、信号波动问题，影响远程控制稳定性。同时公网网络资源共享，高峰期易出现网络拥堵，无法保障工业控制专属通信质量。

5.2 应用改造成本偏高

5G 工业远程控制落地需要配套 5G 基站、工业网关、智能传感器、边缘计算设备改造，同时需升级原有控制系统、适配 5G 通信协议，硬件设备采购、系统改造、网络部署成本较高。中小企业资金投入有限，难以完成全车间、全设备 5G 智能化改造，导致 5G 工业远程控制难以规模化普及。

5.3 技术适配与标准不统一

当前工业设备品牌、型号繁杂，老旧设备通信接口、协议不统一，部分传统设备无法适配 5G 通信模块，改造适配难度大。同时行业尚未形成统一的 5G 工业控制通信标准、数据交互规范，不同厂商设备、系统兼容性差，易形成新的数据孤岛，制约多设备协同远程控制。

5.4 网络安全风险突出

工业远程控制依托无线网络传输指令与生产数据，相较于有线传输，无线链路更容易遭受网络攻击、信号劫持、数据篡改。部分企业 5G 工业控制系统缺乏专属安全防护体系，访问权限管控粗放、数据加密薄弱，存在指令被篡改、设备被恶意控制、生产数据泄露的安全隐患，威胁工业生产安全。

6 优化应用对策与发展展望

6.1 搭建工业专属 5G 专网，优化信号覆盖

摒弃公网部署模式，推广 5G 工业专网建设，依托网络切片技术划分专属工业通信通道，隔离公用网络与工业控制网络，杜绝网络拥堵与信号干扰。针对工业遮挡、强干扰场景，优化基站布局，增设室内微基站、信号放大器，消除信号盲区，保障全厂区信号全覆盖、传输稳定，满足工业远程控制 7×24 小时稳定运行需求。

6.2 降低改造门槛，推动规模化普及

推广轻量化、低成本 5G 改造方案，针对老旧设备研发适配性强的简易 5G 通信模块，降低设备改造难度与成本。鼓励运营商推出工业专属优惠套餐、轻量化组网方案，减轻中小企业资金压力。同时依托政策扶持，推动传统工业企业数字化、智能化改造，加速 5G 远程控制技术全行业普及。

6.3 统一行业标准，提升设备兼容性

推动行业协会、通信企业、设备厂商协同制定 5G 工业远程控制统一技术标准，规范通信协议、数据格式、接口标准，解决设备不兼容、系统不通联问题。针对性优化老旧设备适配技术，研发通用型转换模块，实现新旧设备、不同品牌设备的 5G 组网协同，打通多设备联动远程控制壁垒。

6.4 构建全方位网络安全防护体系

搭建 5G 工业控制专属安全体系，实行分级权限管控，严格规范设备访问、指令下发权限；对控制指令、传输数据全程加密，防范数据篡改、信号劫持；部署工业防火墙、入侵监测系统，实时拦截恶意攻击行为；建立操作日志溯源机制，全程记

录远程控制操作，实现安全问题可查、可溯、可追责，全方位保障工业远程控制安全稳定。

6.5 行业发展展望

未来 5G 通信技术将与边缘计算、人工智能、大数据深度融合，推动工业远程控制向全自动、智能化、自适应方向升级。依托边缘计算实现控制指令本地快速处理，进一步降低传输时延；借助 AI 算法实现设备故障智能预判、生产参数自适应调节，真正实现无人化、智能化工业生产。同时随着技术迭代与成本下降，5G 工业远程控制将全面覆盖制造、矿山、化工、电力等全工业领域，成为工业智能制造的核心基础支撑。

7 结语

5G 通信技术凭借超低时延、超高可靠、超大连接、大带宽的核心优势，彻底突破了传统通信技术在工业远程控制中的应用瓶颈，有效解决了工业远程操控精度不足、稳定性差、运维低效、安全性弱等问题，广泛应用于设备远程操控、工况实时监控、远程故障运维、集群协同生产等核心场景，显著提升工业生产智能化、安全化、高效化水平。

当前 5G 工业远程控制仍存在信号覆盖不足、改造成本偏高、标准不统一、安全风险突出等问题，制约技术规模化落地。未来需通过搭建工业专网、降低改造成本、统一行业标准、完善安全体系等方式持续优化技术应用，推动 5G 与工业生产深度融合。随着数字技术持续迭代，5G 将持续赋能工业远程控制体系升级，助力传统工业数字化、智能化转型，为工业 4.0 高质量发展提供坚实技术支撑。

参考文献：

- [1] 王立文, 唐雄燕, 黄蓉. 面向工业应用的 5G 增强技术及场景实践[J]. 邮电设计技术, 2024(03):45-49.
- [2] 李悦. 5G 技术赋能工业互联网远程控制应用研究[J]. 信息技术, 2025, 49(02):78-82.
- [3] 霍振龙. 工业场景 5G 无线通信技术应用瓶颈与优化策略[J]. 工矿自动化, 2024, 50(05):67-71.
- [4] 王侠. 5G 技术支撑下工业物联网远程控制安全保障研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(04):112-114.
- [5] 刘昕, 付元, 李晨鑫. 5G 网络切片在工业远程控制中的应用探析[J]. 数字技术与应用, 2024, 42(08):90-93.
- [6] 张宇航. 基于 5G 的智能制造设备远程运维系统设计与应用[J]. 软件工程, 2025, 28(01):56-59.
- [7] 陈默. 工业远程控制中 5G 低时延通信技术的优化研究[J]. 网络安全技术与应用, 2024(11):89-91.
- [8] 李懋林. 5G+工业互联网远程控制技术规模化应用路径[J]. 工业技术创新, 2024, 11(02):134-138.