

基于 5G 通信技术的机电制造远程监控系统开发

蔡俊杰

南昌大学共青学院，江西省南昌市，330000；

摘要：针对机电制造领域中存在的远程设备监控响应迟缓、通信不稳定、信息孤岛等问题，本文提出并开发了一套基于 5G 通信技术的远程监控系统。该系统依托 5G 低时延、高带宽、大连接的特性，构建“设备—边缘网关—云平台”三级架构，实现对产线运行状态、关键参数、视频图像的远程实时监控与控制指令快速下发。系统设计包括数据采集、状态感知、报警触发、移动端远程访问等功能模块，支持与 MES、ERP 等系统互联互通。实际部署于某电机制造车间后，测试表明其在时延控制、数据同步、故障响应等方面均优于传统有线与 4G 方案。研究验证了 5G 通信在制造现场实现高效、灵活、智能监控的可行性，具有良好的应用前景与推广价值。

关键词：5G 通信；机电制造；远程监控；边缘计算；智能工厂

DOI：10.69979/3060-8767.25.08.054

引言

随着制造业向数字化、网络化、智能化持续推进，机电制造企业对设备运行状态的实时掌握与远程干预能力提出更高要求。传统以局域网、有线串口或 4G 模块为支撑的监控方式，普遍存在带宽受限、时延不稳、数据孤立、移动性差等问题，难以满足多节点、多设备、高频率的工业现场监控需求。

5G 通信作为新一代信息基础设施，其在低时延（毫秒级响应）、高可靠（链路自动恢复）、大连接（支持万级终端并发）等方面具备显著优势，为工业监控系统的结构升级与性能提升提供了技术基础。通过引入 5G 专网、边缘计算节点与云端平台，制造企业可以实现对设备运行、能源使用、环境参数等关键数据的高效采集与远程操控，推动工厂从“本地响应”走向“远程决策”。

本文聚焦 5G 技术在机电制造远程监控中的工程应用，结合实际场景开发一套多层级监控系统，并从系统架构、功能设计、部署实践与优化策略四方面展开分析，探索高可靠性、高适配性的远程监控技术路径。

1 5G 通信技术在制造业中的应用基础

1.1 5G 通信特性与工业适配优势

5G 通信技术相较于前几代移动通信标准，在核心指标上实现了质的飞跃。其典型性能包括：理论峰值速率可达 10Gbps、端到端时延最低可控制在 1 毫秒以内、单小区支持百万级设备并发连接^[1]。这些指标恰好契合工业现场中对高速率、低时延、高并发通信的综合要求。

在实时性方面，5G 网络具备更短的数据包处理时间与链路建立时间，适合用于运动控制、协作机器人、远程设备维护等对通信响应要求极高的场景。在稳定性方面，5G 通过切片技术为工业业务分配专属网络资源，避

免因消费级业务并发引起的带宽拥塞，从而保障通信链路持续可用。其独立组网能力也为企业部署专网提供了技术支持，使网络由“共享”向“定制”演进。

同时，5G 支持灵活的网络结构设计，可与边缘计算节点、私有云平台无缝集成，实现数据就近处理与智能下发，减少云端依赖，有效应对制造现场网络波动、电磁干扰等问题。对于工厂内部环境复杂、电缆布线受限的区域，5G 的无线覆盖能力更具部署便利性与维护经济性，为推动工厂设备“上网、互通、可控”提供了全新路径。

1.2 5G 在机电制造场景下的应用逻辑

机电制造过程往往涉及多类设备协同运行，涵盖数控加工、自动装配、测试标定、仓储搬运等多个环节。这些设备状态变化快、运行节拍高、空间分布广，若依赖传统有线方式传输信息，布线复杂、维护成本高，且扩展性差^[2]。4G 等早期无线技术在并发连接数、信号覆盖、稳定性等方面亦存在瓶颈，难以支撑高密度终端场景。

5G 通信的引入，为构建统一、高效的远程监控体系提供了底层支撑。在系统结构上，可通过部署 5G 工业网关将各类传感器、控制器、视觉系统连接至边缘平台，实现局部计算与预警响应；同时，通过 5G 基站将边缘数据快速上传至云端平台，完成集中可视化、数据归档与历史分析。上下层之间形成“现场采集—边缘处理—远程联控”的闭环链路，保障信息流实时畅通。

在控制机制上，5G 可支持大带宽视频回传与高频率参数更新，使监控系统不仅具备“看得清”，更具备“控得快”的能力。例如，对关键产线设备的启停、参数调整、异常处置可实现毫秒级反馈，极大提升监控响应速度。此外，5G 通信与 TSN（时间敏感网络）、OPC UA

等工业协议兼容性强，便于系统间无缝集成。

通过构建以 5G 为核心的通信中枢，机电制造企业可实现“设备即服务、数据即资产、响应即闭环”的远程管理新模式，不仅提升生产效率，也为工业智能化升级夯实了通信基础。

2 远程监控系统的架构设计与核心功能

2.1 系统总体架构与模块分布

基于 5G 通信特性所构建的远程监控系统整体架构可分为感知层、传输层与平台层三部分。感知层负责现场设备运行数据与图像信息的实时采集，传输层依托 5G 网络实现高速、低时延的数据传输，平台层则承担数据汇聚、状态分析、报警处理与可视化展示等任务^[3]。三层结构相互独立又紧密协同，形成高响应、高可靠、高扩展的技术体系。

在感知层，系统部署多种类型的传感器与采集设备，包括温度、振动、电流、转速等参数采集模块，以及高清工业摄像头、烟雾报警器、接触器状态检测器等。每类设备通过边缘采集器或工业网关接入，采集频率可根据实际需求灵活设定，部分关键节点支持亚秒级采样，实现毫秒级数据更新。

传输层构建于 5G 工业专网基础之上，利用边缘节点就近完成数据处理与缓存，关键控制数据优先传送至平台，保障事件触发的即时性。系统通过设置数据优先级、频率策略与缓存机制，实现不同数据类型的差异化调度，保证高优先业务稳定运行。该架构避免了大量原始数据直接上云造成的带宽负担，同时增强了系统的抗突发性能力。

平台层采用云边协同部署模式，平台主要包括状态监控模块、异常诊断模块、控制指令模块、历史数据存储模块与用户交互模块。系统可在平台界面完成参数浏览、设备启停、预警复位、报表导出等多项功能，支持 PC 端与移动端两端访问。系统整体架构可灵活扩展，适应不同规模与复杂度的制造场景需求。

2.2 数据采集、控制与预警机制

系统的运行核心在于数据的实时采集与精准控制。为满足高速场景下的信息获取需求，系统在每个关键工艺节点布设传感器阵列，涵盖温升、电压、电流、油温、震动频率等指标^[4]。所有数据在边缘网关完成初步清洗与分析，异常值立即触发事件报告，保障问题第一时间反馈。采集数据采用时间戳机制进行标签化，确保各项指标与设备状态一一对应，便于后续溯源与分析。

在控制方面，系统通过边缘控制终端实现对部分现场设备的直接干预，如远程启停马达、调整变频器参数、执行紧急断电等操作。控制命令经由 5G 通道传输，单向响应时间通常小于 50 毫秒，可满足多数实时控制场

景需要。系统内置权限管理机制，确保仅授权用户可下发关键指令，防止误操作引发连锁反应。

预警机制是系统安全运行的重要保障。系统设有三类预警等级：一级为信息提醒，二级为建议处理，三级为紧急停机。在出现异常波动、持续偏差或参数越限时，平台自动启动预警流程，按等级触发不同响应动作。包括弹窗提示、短信通知、邮件推送与自动控制干预等。所有预警事件均自动记录并汇入历史库，供后续分析使用。

同时，系统支持定制预警规则与复合条件设定，例如“在运行状态下连续两次电流超限且伴随震动异常”可作为高风险预警条件触发紧急停机。这类逻辑判断机制大大提升了系统应对复杂故障的能力，避免单一指标误报或漏报现象。

通过数据驱动与规则控制的结合，系统形成了“感知—判断—干预—反馈”的完整闭环，有效提升了机电制造现场的响应速度与管理水平。

2.3 平台功能与可视化界面设计

平台层是远程监控系统的人机交互核心，其设计不仅关系到功能完整性，更直接影响操作便捷性与使用体验^[5]。系统平台支持 Web 端、PC 客户端与移动 APP 三种访问方式，实现用户随时随地查看工厂设备运行状态、参数趋势与异常记录。

主界面采用分层式布局，左侧导航栏展示设备分类与工位编号，中部为实时数据面板与动态图像监控窗口，右侧为操作菜单与系统通知区域。用户可通过界面直观浏览关键设备温度、电流、运行时间等指标，并可点击任一设备进入“详情页”，查看历史趋势图、报警记录、维保日志等信息。所有界面设计遵循工业 UI 规范，色彩区分明确，交互逻辑清晰。

系统在检测到三级预警事件后，可自动生成维修工单，分派至指定负责人手机端 APP，支持现场拍照、录音、备注与任务状态反馈。通过闭环处理机制，确保每一项异常均有记录、有响应、有回溯。

移动端应用采用简化设计，保留实时监控、报警提醒、关键参数浏览与任务反馈等核心功能，适配多种分辨率设备，方便管理者在外出差或跨工厂场景中及时掌握现场动态。用户登录采用双因子验证与权限分级控制，确保信息安全。

3 系统部署与实际应用成效分析

3.1 应用场景与部署方式

本系统选取某电机制造企业装配车间为试点部署场景，该车间包含多条自动化装配线，涵盖电机定子绕线、转子组装、轴承压装、整机检测等多个环节。现场设备种类多样，空间布局复杂，传统布线难度大，信息

孤岛严重,无法形成统一的状态监控与远程管理体系。为实现对关键设备运行状态的实时掌控与远程干预,企业决定引入5G通信技术构建一体化远程监控系统。

在部署方案设计上,系统通过5G工业专网与现有生产网络隔离运行,避免潜在的数据安全与通信冲突问题。现场所有设备运行参数通过多功能传感器实时采集,经由边缘工业网关汇聚后,以UDP协议通过5G网络上报至云平台。高频图像数据采用H.265编码压缩后上传,确保图像质量同时控制带宽占用。

在设备接入方面,原有PLC、变频器、触摸屏等均通过网关转接实现数据上云。部分新设备预留的Modbus、CAN等工业协议接口也被纳入接入范围,提升系统兼容性与扩展性。针对车间结构特征,5G基站采用室内分布式部署方案,布设4个微基站与若干转发节点,实现无死角覆盖。

在人员协同方面,系统与企业原有MES系统打通,实现订单状态、生产节拍与设备运行数据的联动管理。管理人员可通过中控室大屏查看全线状态,也可使用移动终端实现远程操控。系统上线后无需大幅改造原有网络与设备,工程干预小,部署周期短,为后续大规模推广积累了经验基础。

3.2 实际运行效果与关键性能指标

系统部署完成后运行三个月,对其在实际生产中的表现进行了持续监测与效果评估。从通信延迟、系统稳定性、数据完整性、响应效率等多个维度进行对比分析,并与传统4G无线方案和局域网采集方式进行了横向比较。

在通信延迟方面,5G系统在满载并发状态下依然维持在30~50毫秒之间,而4G方案在并发负荷上升时常出现延迟波动至200毫秒以上的现象,甚至出现指令延迟失效的问题。局域网虽然稳定,但受限于布线区域,移动设备难以接入且扩展成本高。5G系统在无线移动性与高频稳定通信上展现出明显优势。

在数据完整性方面,5G系统采用边缘缓存与顺序重传机制,即使在数据突发期间也能保证数据不丢帧不乱序,图像帧丢失率控制在0.1%以内,远优于4G系统的1.6%。传感器数据采集完整率也达到99.9%以上,具备工业级的抗干扰能力与通信可靠性。

响应效率方面,基于系统内置的事件预警与指令下发机制,从异常数据采集到平台报警、到指令反馈至现场控制器的整个流程在300毫秒内可完成,基本满足机电制造现场“秒级响应”的管理要求。管理人员反馈系统响应流畅、操作稳定,大幅减少了因设备异常未能及时处理而导致的生产损失。

3.3 面临的问题与优化建议

尽管系统在实际应用中展现出良好性能,但在推广部署与持续运行过程中,仍面临一些技术难题与适应性挑战,需要通过系统优化与持续迭代加以解决。

首要问题是5G网络资源分配与带宽调度机制尚不成熟。在数据高峰时段,部分边缘节点上传图像数据与报警信号可能出现短时拥堵,影响系统实时性。为此建议在未来版本中引入QoS策略与多链路调度机制,对关键业务进行优先转发,并启用双路通信通道,在主链异常时快速切换至备用链路,提升抗突发能力。

部分设备在接入时存在协议兼容性问题,尤其是老旧设备缺乏标准化通信接口,需借助额外适配器或中间层转译实现接入,增加了部署复杂度与稳定性风险。建议后期通过标准化网关设计与协议自适应模块,将多种工业协议封装至统一接口层,降低开发成本与维护负担。

在实际运行环境中,电磁干扰、高温湿、高粉尘等工况对设备稳定性造成影响。建议对现场硬件做工业级防护加强处理,并优化光源结构与摄像头安装位置,确保视觉信息清晰可靠。在系统维护方面,增加远程故障诊断功能,提升维护响应效率。

4 结束语

本文基于5G通信技术,开发了一套适用于机电制造行业的远程监控系统。系统通过感知层、传输层与平台层协同运行,实现了对设备状态的高频采集、远程控制与智能预警,提升了制造现场的响应速度与管理效率。

在实际部署中,系统表现出良好的稳定性与兼容性,能有效适应复杂工况与多设备接入需求,具备工业落地的可行性与推广价值。未来,随着5G与边缘计算、工业协议融合的进一步深化,该系统有望在更多场景中发挥作用,助力制造企业加快向智能化迈进。

参考文献

- [1] 欧俊宇. 5G无线通信技术概念及运用分析[J]. 通讯世界, 2024, 31(08): 10-12.
- [2] 马崇. 5G通信技术在智能制造中的应用分析[J]. 中国宽带, 2025, 21(07): 16-18.
- [3] 许鹏, 吴越, 尤海宇. 装备制造业转型升级中数字化与新机电技术的融合应用研究[J]. 中国设备工程, 2025, (S1): 15-17.
- [4] 鲍林, 龚磊, 余鹏飞, 等. 5G通信技术在机电设备健康状态远程监测中的应用[J]. 家用电器, 2025, (05): 109-111+116.
- [5] 陈长震, 胡晓丽, 李雅洁. 5G通信技术在机床电气柜控制中的应用研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(06): 136-138+146.