

5G 通信技术在电子智能机房设备运维中的应用

常鹤立

中国电信股份有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]电子智能机房作为承载计算、通信与供电设备的核心场所,其运维活动对数据传输速率、控制实时性与多终端协同能力提出更高要求。本篇文章聚焦 5G 在电子智能机房设备运维中的实际应用,系统分析其在高频数据采集、远程故障诊断与控制指令下发等关键环节中的支撑作用。通过引入 5G 网络的低时延、高带宽与广连接特性,运维人员可实现对设备状态的实时感知、精准控制及异常快速响应,突破传统通信方案的性能瓶颈。实际应用表明,5G 有效提升了运维的智能化水平和可靠性,具有较强的场景适配性和推广潜力。

[关键词]5G; 电子智能机房; 设备运维

DOI: 10.33142/sca.v8i7.17125

中图分类号: TP29

文献标识码: A

The Application of 5G Communication Technology in the Operation and Maintenance of Electronic Intelligent Data Room Equipment

CHANG Heli

Hebei Branch of China Telecom, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: As the core location for carrying computing, communication, and power distribution equipment, the operation and maintenance activities of electronic intelligent computer rooms require higher requirements for data transmission rate, real-time control, and multi terminal collaboration capability. This article focuses on the practical application of 5G in the operation and maintenance of electronic intelligent data center equipment, and systematically analyzes its supporting role in key links such as high-frequency data acquisition, remote fault diagnosis, and control command issuance. By introducing the low latency, high bandwidth, and wide connectivity characteristics of 5G networks, operation and maintenance personnel can achieve real-time perception, precise control, and rapid response to equipment status, breaking through the performance bottleneck of traditional communication solutions. Practical applications have shown that 5G effectively enhances the intelligence and reliability of operations and maintenance, with strong adaptability to different scenarios and potential for promotion.

Keywords: 5G; electronic intelligent data center; equipment operation and maintenance

引言

电子智能机房作为数据中心、通信枢纽和关键基础设施的重要组成部分,其设备运行的连续性与稳定性对整体系统安全具有直接影响^[1]。设备种类增多与运维对象复杂化,使传统运维模式逐渐暴露出响应滞后、故障预警能力弱、远程控制不稳定等问题,难以满足“全天候、零中断”的智能管理需求。运维通信作为信息交互的核心支撑,其能力直接决定了数据采集频次、诊断时效与控制精度^[2]。近年来,5G 以其高带宽、低时延、广连接等特性,为构建高效、智能、协同的运维体系提供了新路径。不同于传统通信方式,5G 具备面向多终端、复杂环境中设备状态实时上传与控制指令稳定下发的技术优势^[3]。本文将围绕 5G 在电子智能机房设备运维中的具体应用展开分析,重点探讨其在数据采集、远程诊断与智能控制等关键环节中的实际作用,验证其对运维效率与管理精度提升的价值。

1 5G 概述

第五代移动通信技术(5G)是继 4G 之后的新一代蜂窝通信标准,具备高带宽(Enhanced Mobile Broadband,

eMBB)、低时延(Ultra-Reliable and Low Latency Communication, URLLC)与大连接(Massive Machine-Type Communication, mMTC)三大关键能力。其典型特性包括数据传输速率可达 10 Gbps、端到端时延可低于 1 ms,并支持每平方公里百万级设备的并发接入,显著超越传统通信技术在速率、延迟和容量方面的上限^[4]。

在 5G 网络架构中,核心网引入了网络切片、边缘计算(MEC)和虚拟化功能,能够根据业务需求灵活分配网络资源,形成面向差异化应用场景的专属通信通道。与此同时,5G 基站支持大规模 MIMO 与波束赋形等技术,提升在复杂环境下的覆盖质量与连接稳定性^[5]。

对于智能运维场景,尤其是电子智能机房中的多终端数据采集、高清视频回传、远程控制指令等高频次、高精度通信需求,5G 提供了底层通信能力的本质性突破。其通信架构的开放性与灵活性,为设备运维的实时化、分布化与智能化发展提供了坚实支撑。

2 应用路径

在电子智能机房的设备运维过程中,通信链路的稳定

性、时效性与多终端支撑能力直接关系到状态感知的全面性、故障响应的及时性以及控制操作的有效性。传统通信方式在并发处理能力、动态网络环境适应性及远程控制可靠性等方面存在先天限制,已难以支撑现代智能机房对高频数据采集、快速诊断响应与精细化控制的综合需求。5G 凭借其低时延、高带宽与广连接的特性,在运维核心环节中提供了稳定、灵活且具备业务感知能力的通信支持。本文将围绕数据采集、远程诊断与指令控制三类关键运维场景,具体阐述 5G 的实际应用路径及其所发挥的支撑作用。具体应用路径示意如图 1 所示。

2.1 数据采集与高频传输

电子智能机房设备运维过程中,环境参数监测、设备运行状态采集以及高清视频流的稳定回传,是保障系统实时感知能力的关键环节。传统通信链路在处理大规模传感器接入与多维数据流同步传输时,易出现带宽瓶颈与数据丢包等问题,难以支撑高密度、多频次的动态采集任务。5G 通过其高带宽特性(eMBB)与大连接能力(mMTC),为数据采集环节提供了高效、可扩展的通信通道。

在设备层,分布式传感器节点通过 5G 接入网络可实现毫秒级采样间隔的数据回传。设第 i 类采集源在时段 t 内的采样频率为 $f_i(t)$,则系统在单位时间内的总数据上传速率可表示为:

$$R(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t) \cdot s_i \quad (1)$$

其中, s_i 表示第 i 类数据包的平均大小, n 为采集源总数。5G 链路的高传输速率保障了 $R(t)$ 在数百 Mbps 以上的稳定运行,确保多类型数据的并发传输不会引发拥塞或缓存延迟。

此外,为实现高频采集下的链路质量动态控制,系统在 5G 协议层部署速率-丢包率自适应机制,针对不同场景实时调整数据调度策略。设某传输周期内的数据丢包率为 $\epsilon(t)$,若设定最大容忍丢包阈值为 $\epsilon_{\max}$,则调度条件满足:

$$\epsilon(t) \leq \epsilon_{\max}, \forall t \in [0, T] \quad (2)$$

一旦超过阈值,5G 接入模块触发链路重调或频谱切换,从而保障传输的连续性与可靠性。该机制结合 5G 网络切片与 QoS 动态配置能力,使得各类数据流按优先级

精准分发,特别适用于对延迟和完整性要求高的温湿度监测、电流变化捕捉与高清视频上传任务。

通过上述技术路径,5G 实现了对电子智能机房多源异构数据的高速采集与稳定传输,显著提升了运维系统对运行状态的可视化、可感知与可响应能力。

2.2 远程诊断与故障预警

在电子智能机房设备运维过程中,快速识别潜在故障并实现远程诊断处理,是提升系统可靠性与降低停机风险的关键环节。传统诊断依赖人工定期巡检与异步上报机制,存在响应延迟长、覆盖范围不足与实时性差等问题。5G 的低时延(URLLC)与高可靠连接能力,赋能远程运维系统构建高频次、连续化的数据通道,使多维状态信息能够在秒级内被实时获取与处理,从而支撑故障预警的及时触发与远程诊断的精准执行。

具体而言,5G 网络切片技术可为机房核心设备诊断任务预留专属低时延链路,保障数据从边缘感知节点传输至运维决策平台的端到端延迟稳定在毫秒级。设备状态数据上传延迟为 τ_d ,5G 网络下其期望值满足:

$$\mathbb{E}[\tau_d] \leq \tau_{th}, \tau_{th} \in [5, 10] \text{ms} \quad (3)$$

该传输性能使得 AI 模型可在接收到最新状态数据后即时进行故障趋势识别与健康评估。故障预警模块采用基于指标波动率的动态风险判定逻辑,设连续 T 个周期内状态变量 $x(t)$ 的变异系数为:

$$V_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}, \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (x(t) - \mu_x)^2} \quad (4)$$

其中, μ_x 为均值, σ_x 为标准差。当 V_x 超过阈值 V_{crit} 时,系统通过 5G 链路触发远程诊断流程并向运维中心推送风险告警。

同时,基于 5G 回传的高带宽通道,运维中心可调用边缘视频流、运行日志与热插拔记录进行同步分析,实现远程问题定位、故障研判与处置指令下发。相比传统方案,5G 不仅缩短了故障感知—判断—响应的时间闭环,也提升了远程诊断的准确性与覆盖深度。

综上,5G 在电子智能机房故障诊断与预警环节中,不仅实现了设备状态数据的高可靠、低时延传输,还支撑了基于大数据建模的智能故障识别体系,显著提升了运维响应速度与异常处理精度。

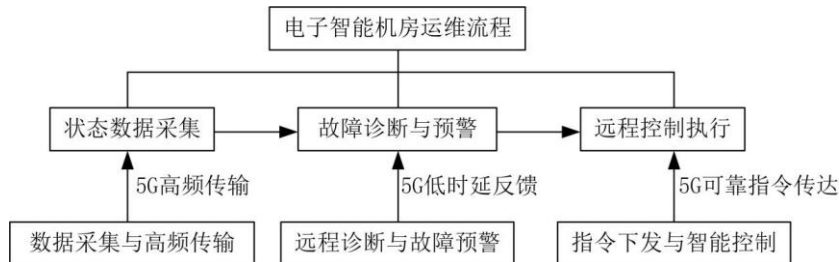


图 1 应用路径示意图

2.3 指令下发与智能控制

在电子智能机房的运维过程中，关键设备（如供电模块、冷却系统、安全门禁等）的控制指令需要具备高可靠性、低延迟和实时响应能力。传统控制链路受制于网络拥塞、路径不稳定与响应不确定性，难以满足对操作实时性与精准性的要求。5G 通过其 URLLC（超高可靠低时延通信）特性，为智能控制环节提供了极低时延、高稳定性的无线通道，显著增强了远程控制在执行层的实时闭环能力。

具体而言，5G 支持的端到端控制指令下发延迟可控控制在 1~5ms 范围内，有效保障紧急指令（如风机启停、断电保护）的实时传输。设某控制指令 C_i 在系统中的下发时刻为 t_i^{send} ，设备执行响应时刻为 t_i^{ack} ，则单条控制闭环延迟为：

$$\Delta t_i = t_i^{\text{ack}} - t_i^{\text{send}} \quad (5)$$

为满足高可靠控制要求，系统对 Δt_i 设置上限阈值 Δt_{max} ，若出现 $\Delta t_i > \Delta t_{\text{max}}$ ，5G 模块将自动进行链路切换或指令重发处理，提升指令到达率与执行一致性。

另一方面，5G 切片机制支持将控制信道与监控信道逻辑隔离，避免链路拥堵或异常数据干扰指令的实时调度。在控制执行策略中，引入基于优先级的资源调度机制。设控制任务优先级权重为 ω_j ，系统在单位时间内可调度控制资源量为 R ，则分配给任务 j 的控制带宽为：

$$r_j = \frac{\omega_j}{\sum_{k=1}^n \omega_k} \cdot R \quad (6)$$

该机制结合 5G 网络灵活带宽配置能力，使高优先级任务（如安全断电控制）获得更多链路资源，提升了控制策略的分层管理能力与执行效率。

总体而言，5G 在智能控制环节的引入，突破了传统控制链路对响应时延与传输可靠性的制约，实现了多设备并发控制、异步任务精准下发与故障状态下的即时干预，显著增强了电子智能机房运维系统的执行闭环性与动态调控能力。

3 应用成效分析

3.1 案例设计

为验证 5G 在电子智能机房设备运维中的实际应用效果，本文选取某数据服务企业下属智能机房为测试对象，构建基于 5G 链路的运维通信框架，并在数据采集、远程诊断与控制指令下发三个关键环节开展对比测试。机房内部署多类型 5G 接入终端，与边缘计算节点及中心运维平台联动，形成高频采集、低时延控制的运维通道。对比对象为传统基于以太网+4G 通信的混合方案，实验评估内容包括采集频率稳定性、指令响应时效、故障识别率及远程控制成功率等关键指标。实际应用表明，5G 有效提升了运维的智能化水平和可靠性，在复杂、多终端的运维场景

中展现出良好的适应能力与工程推广潜力。

3.2 案例分析

为全面评估 5G 在智能机房设备运维中的实际成效，本文对比分析了 5G 方案与传统通信方案在相同运维环境下的关键性能指标，包括数据采集更新频率、远程故障诊断识别率、控制指令响应时延及执行成功率。实验在连续运行 72h 的真实机房环境中开展，相关结果如表 1 所示。

表 1 对比结果

指标项	传统方案	5G 方案
数据采集频率（次/s）	1.2	5.6
故障诊断识别率（%）	78.4	94.7
指令平均响应时延（ms）	145	12
指令执行成功率（%）	83.1	98.9

结果表明，5G 方案在关键运维指标上全面优于传统方案，尤其在数据采集频率与控制响应延迟方面提升显著，有效支撑了高密度设备下的智能化管理需求。实验验证了 5G 在智能机房运维中所具备的高实时性、高可靠性与强协同性，为推动其在更大规模场景中的应用提供了有力支撑。

4 结论

本文围绕电子智能机房运维中的核心环节，系统分析了 5G 在高频数据采集、远程诊断与指令控制等方面的实际应用路径。通过引入 5G 的高带宽、低时延与广连接能力，有效解决了传统通信方式在实时性、稳定性与多设备接入方面的性能瓶颈。案例实验结果表明，5G 显著提升了运维系统在数据传输效率、故障响应速度及控制执行精度等方面的综合表现，具备良好的场景适应性与工程部署价值。未来可进一步结合边缘计算与 AI 算法，构建更加智能、高效、自适应的运维体系，推动电子智能机房运维管理向全面数字化、智能化方向发展。

[参考文献]

- [1]汪洋.基于 5G 通信技术的新能源智慧场站运维数据智能传输方法[J].信息记录材料,2025,26(4):168-170.
- [2]章海滨,朱垠,鲁峰.基于广电 5G 技术的视频监控智慧运维一体化管理探索[J].广播电视信息,2025,32(4):93-96.
- [3]高翀.5G 移动通信技术在通信工程中的应用[J].数字技术与应用,2025,43(2):55-57.
- [4]谷洪君.5G 技术在铁路通信中的应用[J].集成电路应用,2025,42(2):82-83.
- [5]冯博龙,王朝德,沈子祥,等.基于 5G 通信的变电站输电设备状态在线监测系统研究[J].电气技术与经济,2025(1):156-158.

作者简介：常鹤立（1984.1—），女，民族：汉，籍贯：河北省石家庄市，学历：本科，单位：中国电信股份有限公司河北分公司，职称：中级工程师，研究方向：电子技术、智能运维。