

# 物联网与云计算赋能智能化数控系统的发展路径探析

安 然

西安明德理工学院 陕西西安 710124

**摘 要:** 在全球制造业加快转向智能制造的大趋势中, 数控系统处于装备制造业的核心控制部分, 它的智能化程度关乎生产速率、加工精准度以及产业竞争实力, 本次研究把物联网和云计算技术当作重点对象, 仔细探究它们怎样赋能智能化数控系统并规划未来走向, 相关研究显示, 物联网技术凭借全方位感知和网络互联达成信息采集工作, 云计算靠高效的数据处理性能给予智能决策支撑, 两者配合推动数控系统从传统的“单机自动化”模式转变为现代的“云端协同化”架构, 通过对技术融合关键步骤、常用场景以及可能遭遇问题展开全面剖析以后, 该文创建起覆盖感知、传送、运算和应用四个方面的协同发展架构, 并且联系行业实际情形实例具体讲述实施方案内容, 给智能化数控系统的技术革新和产业化进程给予了理论支撑和操作指南。

**关键词:** 物联网; 云计算; 智能化数控系统; 智能制造; 技术融合; 发展路径

## 引言

数控系统是数控机床的核心控制单元, 它的性能直接决定着制造装备的加工精度、生产效率以及柔性化水平。物联网 (IoT) 同云计算技术的深度整合给数控系统智能化升级赋予了更新的发展途径, 物联网凭借传感器, 无线通信等技术手段, 达成了对数控设备运作状况和加工参数的即时监测与全网互通, 而云计算依靠分布式存储, 多线程计算, 大数据剖析这些功能板块, 则为数控系统给予了有效的数据处理效能, 智能算法支撑以及远程运维服务。

这项研究以“技术根基-赋能途径-难题应对-未来展望”为理论架构, 深入探究物联网与云计算联合推动下的智能化数控系统运作机理, 联系实例给出切实可行的发展策略, 从而给这个领域的技术创新以及产业化实践赋予理论根据和决策支撑。

## 一、物联网与云计算赋能智能化数控系统的技术基础

### 1. 物联网技术的核心支撑功能

物联网技术构建“泛在感知-高效传输”能力, 一是感知层, 创建融合加工要素的全维度数据采集体系,

在机床主轴, 进给轴, 刀具, 工件这些关键部件上安装振动, 温度, 位移, 电流等多种类型传感设备, 从而做到对主轴转速, 切削力, 温度以及刀具磨损量等重要参数的及时监测, 在高速铣削时, 振动传感器可以捕捉到10kHz到100kHz范围内的动态信号, 进而给刀具状况评判和故障预示给予准确的数据支撑。二是网络层, 创建工业级数据传输网络架构, 采用Profinet, EtherCAT等高带宽, 低时延的工业以太网技术, 配合5G URLLC模式, 来解决传统数控系统串行接口通信速率低, 协议兼容性问题, 利用工业网关把设备私有协议和标准协议相互转化, 保证异构设备能够高效协同工作。三是应用层, 创建起实时监测并辅以初步决策支持的体系, 凭借感知数据创建设备状态监测平台, 把设备综合效率, 生产流程以及异常预警这些关键指标动态表现出来。

### 2. 云计算技术的核心支撑功能

云计算给智能化数控系统赋予了“算力支撑、数据存储、服务化交付”这三大关键功能, 一是基础设施即服务层的核心任务是供应有弹性的算力资源和存储支撑, 通过创建多个云服务器集合而成的群体环境, 此平台就能给数控体系赋予算力, 还能做到复杂加工方法的并行处理。二是平台即服务层级着重于算法开发与部署的技术支持, 关键之处在于融合主流的机器学习框架以及工业级的数据分析工具, 给企业创建定制化的智能模型带来方便条件, 像刀具寿命预测或者工艺参数改良模型等。三是SaaS (Software as a Service) 作为一种云计算背景下

**作者简介:** 安然 (2004.4-), 男, 汉, 陕西汉中, 学生, 本科在读, 主要研究方向: 基于云计算、物联网等技术的智能化数控系统。

的轻量级服务交付形式，它把数控系统的重点功能板块实施云化包装处理，再依靠网络浏览器给予访问途径，这样就明显缩减了企业对软硬件资源的投入以及运营成本。

### 3. 物联网与云计算融合架构研究

物联网与云计算深度融合，形成“端-边-云”协同架构体系，这种架构既能符合数控系统对实时性的高要求，又能给其智能化升级给予关键支持，终端层是集成化制造装备体系把数控机床，工业机器人以及自动导引车（AGV）当作核心组成元素，利用融合传感技术和嵌入式计算平台，达成对生产流程的即时监控，并且开展局部的数据预处理工作。

边缘层是车间边缘服务器主要实现的功能有数据的聚合、短期缓存比如24小时以内动态更新的信息以及快速反应比如设备突然发生故障后的紧急停机命令，而最大的优点就是通过边缘计算技术可以大量减少传输到云上的数据（最多能达到60%-80%），这样就减少了网络拥堵的问题，并且还可以保证实时控制系统的运行稳定可靠。云层是以IaaS、PaaS和SaaS为基础构建起来的云服务平台，它的重要功能包括大量数据的存储和管理，还能给予工艺改善，设备寿命预估等高级数据分析服务，给生产调度等战略决策部分给予技术支撑。

应用层是依据目标用户的差异化需求特性，设计并搭建起带有针对特点的可视化应用平台，它的功能板块包括设备即时监测移动终端，工艺改良经营系统，远距离技术支持平台等核心部分。

## 二、物联网与云计算赋能智能化数控系统的关键路径

### 1. 设备互联化：打造全域感知制造网络

一是跨层级协议融合，对于车间设备间协议碎片化问题，本研究提出了基于“边缘网关+标准化协议”的集成化解决方案，设计了多功能协议适配模块，实现加工参数和设备状态信息的统一采集。二是全要素数据采集扩展，从单一设备状态采集拓展至加工全流程覆盖，包括刀具数据，利用RFID标签记录刀具的型号、使用期限、供应商等静态信息，结合切削力、温度等动态信息。三是动态组网与带宽优化，依靠5G网络切片技术，就数控加工场景来规划通信资源改良调度方案，把加工指令传输划分到高优先级切片，把设备状态监测划分到普通优先级切片，从而保证关键数据的高效及时传输。

### 2. 数据智能化：加工过程精准优化的实现

依托云计算平台提供的大数据分析功能，深入挖掘

设备运行、加工过程等数据价值，推动决策由“经验驱动”向“数据驱动”转变。其实实施路径可以归纳为以下几点，工艺参数自适应优化，形成“数据采集-模型训练-在线优化”全生命周期闭环系统，依靠云计算平台搭建起包含多材料、多刀具种类以及不同机床组合的加工案例库，利用随机森林和强化学习算法来创建参数优化模型。设备健康监测与预知维修体系，用物联网技术去获取诸如振动，温度，电流之类的各种多方面数据，再借助云计算这个平台做智能化的分析研究。

伺服电机退化评估，按照电机电流谐波分量的特点来创建退化指数评定模型，再根据预先设定好的阈值条件去规划自动化维修指令启动机制。热误差补偿，利用历史温度数据以及误差信息，建立热误差预测模型，从而实时预测出主轴、导轨等由于热变形引起的误差值，并将该误差值反馈给数控系统，改善控制指令。

### 3. 服务协同化：数控系统服务模式的创新

物联网技术同云计算的深度整合，促使数控系统由传统的硬件设备形态慢慢向软硬件协同的服务型模式转变，从而推动数控系统全生命周期服务化发展并实现资源优化配置，这种转型的关键执行途径可归结为远程运维与故障诊断，形成以“数据采集-云端解析-远程维修”为关键的服务架构体系，数控设备制造企业凭借物联网技术即时得到终端设备运作数据，依靠云计算平台内置的智能诊断算法，准确识别故障种类，补丁升级等操作，进而达成非现场支持。

制造资源共享与协同生产机制：利用云计算技术搭建起跨越区域或者行业界限的制造资源库，把分散在各处的数控设备、工艺技术以及专业人才等核心要素汇集起来，设备共享，中小企业可以通过云服务平台租赁高精度的数控设备，按实际加工时间核算费用，解决因固定资产投资带来的资金压力问题。全生命周期数据追踪与质量管控体系依靠物联网和云计算技术打造的产品全生命周期数据管理体系，做到对数据的即时搜集并集中存放，在航空航天范畴，利用扫描工件独有的标识码。

## 三、面临的挑战与对策建议

### 1. 核心挑战

技术标准与接口不统一，数控系统供应商一般会使用自己特有的数据格式和通信协议，这样一种技术壁垒使得设备之间互联的成本变得非常高。

实时性与可靠性瓶颈，数控加工对实时响应要求很高，位置控制周期要小于1毫秒，云计算主要依靠网络

通信来交流数据，一旦发生时延或者断开连接，加工精度就会明显下降，甚至引发安全事故，特别是网络稳定度不够的时候，云平台指令传输的滞后，可能会造成刀具相撞之类严重的安全隐患。

成本与人才壁垒，中小企业要创建云平台，开展物联网技术改造，都会碰到很大的资金压力，当下市场上具备数控技术，物联网以及云计算这些多方面交叉知识的专业人才非常缺乏。

## 2. 对策建议

构建多层次数据安全体系，技术层面采用数据加密方法结合RBAC，把面向工艺参数这种隐私信息的本地预处理方法加入到边缘计算架构里面去。机制层面建立数据分级分类管理机制，利用区块链技术做到对数据全生命周期的追踪以及防篡改功能。

推动行业标准化建设，由国家工信部、中国机床工具工业协会主导制订了数控设备的数据接口、通信协议、数据格式等众多国家标准，制定过程中大量参考了OPCUA forCNC国际标准的内容。鼓励主流厂商开放接口协议或联合开发统一工业网关，降低跨品牌设备集成成本，优化“边缘-云”协同架构，实时控制逻辑部署于边缘节点以保障本地自主控制能力，采用边缘缓存、断点续传等技术确保网络中断时核心加工过程的连续性。

创新成本分摊与人才培养模式，成本方面建立“云服务订阅模式”收费机制，可以缓解中小企业初期资金压力。人才方面，高校开设融合“数控技术+物联网+云计算”等多学科交叉的专业方向，企业联合职业培训机构开展定制化技能培训项目，培养具有实践能力的应用型高素质人才。

## 四、未来发展展望

随着物联网、云计算与人工智能深度融合下智能化数控系统的发展趋势，AI原生架构普及，依托于数控加工专属的预训练模型，云平台可以完成工艺参数的自动优化以及加工流程的智能规划，用户上传零件三维模型和材质信息之后，该模型就能即时给出最佳加工方案。

绿色低碳智能化，云平台新增能效监测与优化模块，通过剖析加工参数同能耗之间的关联性，及时调节切削

工艺，做到单位产值能耗明显下降。

泛在连接与全球协同，6G技术商业应用以后，数控设备将会做到全球范围内全方位互联，跨国界、跨时区协同生产会得到技术支持，这会极大加强全球制造业网络的灵活性和运行效率。

## 结论

物联网同云计算的融合给智能化数控系统的改良升级给予了重要推动作用，推动服务模式革新从而创建协同生态体系，促使数控系统由传统的控制向智能服务转型，不过数据安全，技术标准拟定以及成本控制等难题亟需应对，可是随着技术创新和产业协同的持续加深，这些困难有望被逐一攻破并得到妥善解决。

后续研究要重点探究“端-边-云”技术架构的融合，还要完善相关的行业标准体系，营造协同发展的产业生态系统，在此基础之上，促使智能化数控系统在航空航天，汽车制造，精密模具等高端制造领域得到广泛应用，这样不但能大幅提升我国制造业的核心竞争力，而且还能给全世界的智能制造发展赋予“中国方案”。

## 参考文献

- [1] 丁汉，朱煜，黄田. 智能数控系统的现状与发展[J]. 中国科学：技术科学，2022，52（05）：531-546.
- [2] 王田苗，陶永. 工业物联网与智能制造发展路径[J]. 机械工程学报，2021，57（15）：1-10.
- [3] Li S, Zhang L, Wang H. Cloud-based predictive maintenance for CNC machines using IoT and machine learning [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2023, 66: 289-302.
- [4] 中国机床工具工业协会. 中国数控机床行业发展报告（2022）[R]. 北京：机械工业出版社，2023.
- [5] Wang J, Chen X, Liu C. A review of IoT and cloud computing enabled intelligent CNC systems [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2022, 35 (7): 689-710.
- [6] 工业和信息化部. 智能制造装备产业发展规划（2021-2025）[Z]. 2021.