

面向5G-A与AI融合驱动的算网智一体化 解决方案白皮书 (2025年)



发布单位：中移智库

编制单位：中国移动通信研究院

前言

当前，全球正迎来以 5G-A 与人工智能为核心驱动的新一轮科技革命与产业变革浪潮。我国已进入加速培育新质生产力、深入推进新型工业化的关键阶段，推动 5G-A 与 AI 深度融合，构建“算力、网络、智能”一体化融合的新型基础设施，成为支撑千行百业数字化转型、实现高质量发展的战略基石。

随着企业数字化转型步入深水区，对网络与算力的需求不断提升，传统网络架构面临“多而不融、言而无策、静而不柔、治而不智、连而无感”等系统性挑战，难以支撑工业控制、智能制造等场景对低时延、高可靠、数据本地化与智能决策的极致需求。与此同时，尽管 AI 技术发展迅速，但其在边缘侧仍存在部署门槛高、资源协同难、业务适配弱等现实瓶颈。唯有通过“算 - 网 - 智”深度融合，实现从“连接赋能”到“智能赋能”的跨越，才能为实体经济注入强劲新动能。

在此背景下，中国移动积极响应国家战略部署，依托自身网络优势与技术创新能力，提出“5G-A × AI 算网智一体化”解决方案。本白皮书系统阐述了以“算为引擎、网为根基、智为大脑”为核心的一体化架构理念，重点介绍了边缘智能核心网、异构算力平台、智能驱动中枢等关键技术体系，并结合在工业制造领域的真实案例，展现该架构在提升生产效率、优化运营成本、增强安全保障等方面的实际成效与价值。

目录

•	前言	
1	• 5G-A 与 AI 融合驱动发展的背景	01
	1.1. 政策导向和产业现状	01
	1.2. 痛点与挑战	02
2	• 5G-AxAI 算网智一体化技术体系	03
	2.1. 设计理念	03
	2.2. 算网智一体化架构	04
3	• 算网智的关键能力特性	06
	3.1. 赋能边缘智算核心网的算力平台	06
	3.1.1. 轻量化与弹性部署	06
	3.1.2. 跨异构适配	06
	3.1.3. 云边模型与数据协同	07
	3.1.4. 安全与高可靠运行	07
	3.2. 赋能企业专网的边缘智能核心网	08
	3.2.1 异构接入	08
	3.2.2 意图化用网	08
	3.2.3 一网多能	08
	3.2.4 内生智能	09
	3.2.5 多模态感知	09
	3.3. 智能驱动中枢与模型服务基座	10
	3.3.1 赋能边缘智能的模型服务	10
	3.3.2 智能体引领与业务生态共创	11
4	• 应用案例	14
	4.1. 确定性时延 PLC 控制	14
	4.2. 意图驱动智能专网管理	15
5	• 展望	17
	• 缩略语列表	18
	• 联合发布及编制单位	19
	• 参考文献	20

1 5G-A与AI融合驱动发展的背景

1.1 政策导向和产业现状

5G-A 与 AI 融合成新型工业化战略支撑。我国正处于加速发展新质生产力、推进新型工业化的关键阶段，5G-A 与人工智能（AI）的融合将成为支撑产业转型和创新发展的核心动力。国家层面密集出台政策，为构建“算 - 网 - 智”一体化基础设施提供政策的引导和战略的支撑。国务院《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》强调“人工智能+”与实体经济的结合，明确提出加快企业专网和工业互联网建设，强化 AI 在实时控制与机器视觉等方面的支撑；工信部“扬帆”行动升级方案聚焦 5G 与 AI 协同创新，推动工业现场网升级，加强典型场景示范，助力智能制造、智慧港口等高价值应用落地；此外，多部委联合推动的战略性新兴产业数字化转型方案，也强调以 5G-A 和 AI 为核心构建工业大脑和数字孪生平台，实现生产全流程智能化。

产业多元化发展现状。在 5G-A 与 AI 融合发展的过程中，运营商、设备商和垂直行业参与者需打破传统角色边界，联合探索“业务 + 连接 + 运维”三位一体的融合理念，释放企业 AI 算力与智能化结合的潜力。运营商应突破“网络管道提供商”的定位，不仅要强化算网智一体化平台构建，推动自身资产价值升级，更应整合 5G-A 网络、算力资源，精准匹配企业专网多样化需求；设备商也要通过平台化设计、智能化制造、个性化定制与网络化协同，提升网络传输效率与智能化水平，更要强化设备“靠近生产要素”的优势，使其具备更优的移动性、实时性、安全性与端边协同能力，为 AI 应用提供坚实的基础设施支撑；垂直行业参与者应主动联合运营商与设备商，深度参与行业需求定义、场景化应用开发、落地推广与生态共建，成为技术与业务融合的核心纽带。

1.2 痛点与挑战

在推进 5G-A × AI 算网智一体化的过程中，5G 专网存在部署不灵活、自运维难度高等问题，以及传统算力平台的负载适配不足与资源协同较差，以上问题均成为亟待突破的关键。

企业专网面临系统性挑战：网络接入“多而不融”，园区内 5G、Wi-Fi、有线等异构网络并存，形成数据孤岛，难以实现接入的统一；业务需求“言而无策”，生产线的高层意图无法被网络理解与实时响应，从“需求”到“配置”仍需人工逐条配置，业务敏捷性严重受阻；网络资源“静而不柔”，一张专网难以同时高效承载差异化的业务场景，资源僵化闲置或者隔离不足相互干扰，均无法实现“一网千面”的精准供给；运维管理“治而不智”，仍依赖人工经验进行被动响应，缺乏预测性维护与主动优化能力，智能化水平滞后；网络能力“连而无感”，仅能提供基础连接服务，无法原生支撑定位、感知等融合应用，制约了智能化的深度与广度。

融合技术拐点催生架构协同：下沉核心网虽解决了集中式核心网难以快速处理边缘侧海量数据的问题，契合企业专网本地化、实时化诉求，但“网算分离”的模式仍会导致网络资源与边缘算力适配滞后、数据流转效率低。唯有通过整合网络、算力、AI 与业务的协同架构，才能将技术优势转化为实际业务支撑能力，匹配企业对实时性与本地化的核心要求。

业务卡点破解依赖架构创新：企业专网面临双重业务挑战，一是工业控制等场景对端到端时延低于 1ms、可靠性达 99.999% 的极致要求，单靠网络优化无法满足；二是智能制造、低空经济等行业需求差异显著，且长期数据孤岛导致资源与数据难以共享，分散模式难以适配差异化场景与全链条流转需求。而打通“网络 - 算力 - AI - 业务”联动的架构，既能整合资源响应极致指标，又能打破数据壁垒，成为破解业务卡点的关键。



2 5G-AxAI 算网智一体化技术体系

2.1 设计理念

面向推动新型工业化、培育新质生产力的核心战略，中国移动创新构建了 5G-AxAI 算网智一体化技术体系，该体系以“算为引擎、网为根基、智为大脑”作为核心理念，强化“连接 + 算力 + 能力”深度融合，推动数字基础设施从“被动支撑”向“主动赋能”跃迁，同时助力千行百业实现数字化转型与高质量发展。

算为引擎：面对 UPF 转发与 AI 推理等差异化负载，算力平台需突破通用架构局限。通过轻量化内核、异构计算与云边协同，实现 CPU/GPU/NPU 等多样化算力资源的统一池化与智能调度，使算力灵活流动，紧密协同网络需求与 AI 任务，成为驱动业务智能的强劲引擎。

网为根基：5G-A 网络不再仅是数据传输的管道，而是演进为具备内生智能的“感知 - 保障”系统。通过异构接入、一网多用等多维能力，网络能够主动感知业务意图（如低时延、高可靠）和实时状态，并动态调动资源予以精准保障，为算力调度与 AI 应用提供确定性、高性能的连接服务。

智为大脑：智能（AI）不再是以外挂工具的形式存在，而是深度内生于网络与算力基础设施的核心。借助大模型、智能体（Agent）与知识增强等能力，系统能够理解自然语言意图，实现从网络配置、故障诊断到业务优化的闭环自治，将运维人员从繁琐低效的劳动中解放，并大幅降低企业用网和用智的门槛。

5G-AxAI 算网智一体化技术体系以智能 5G-A 网络为根基，使其成为可感知业务意图、动态调优的神经网络；以异构融合的算力平台为引擎，打破资源壁垒，实现算力随业务需求智能流动与弹性供给；并以原生内嵌的 AI 能力为大脑，贯通感知、决策与执行闭环，将复杂运维与业务优化转化为“业务目标驱动”的自主过程。三者深度融合，互为支撑，共同推动基础设施从标准化供给迈向场景化赋能，为产业数字化注入全新活力。

2.2 算网智一体化架构

围绕上述设计理念，本文构建了如图 1 所示的算网智一体化架构。该架构以边缘智能核心网为枢纽，通过算力平台的弹性支撑与智能驱动中枢的赋能调度，实现算、网、智的闭环协同，为企业提供端到端、全流程的智能化专网服务。



图 1 算网智一体化架构

赋能边缘智能核心网的算力平台：作为一体化架构的底层支撑，通过轻量化与弹性部署实现资源按需分配与快速响应，依托跨异构适配能力对 CPU/GPU/NPU/DPU 等多元算力进行统一调度，支持云边模型与数据协同机制构建“边缘 - 区域 - 中心”三级算力体系，实现模型训练与推理任务的动态流转。同时，通过容器隔离、可信计算与多层冗余架构，保障平台的安全与高可靠运行，满足企业业务对隐私与稳定性的极致要求。

赋能企业专网的边缘智能核心网：通过五大关键能力构建的智能化网络基座。**异构接入能力**可破解网络“多而不融”的困境，实现 5G、Wi-Fi 等多制式网络的统一纳管与智能切换；**意图化用网**可解决业务需求“言而无策”的痛点，基于 LLM 将高层业务意图自动转化为网络策略，实现从需求到配置的零等待；**一网多用**能攻克资源“静而不柔”的难题，通过通感算一体化实现单设备多功能复用；**内生智能**可应对运维“治而不智”的挑战，通过智能体实现网络自优化与故障自愈，变被动响应为主动保障；**多模态感知**突破能力“连而无感”的限制，融合视觉、雷达与 5G-A 通感技术，为智能决策提供全域环境感知能力。

智能驱动中枢与模型服务基座：作为系统的“智慧大脑”，智能驱动中枢层深度融合大模型与行业知识，通过模型边缘适配技术解决通用大模型在边缘环境下的部署难题，依托硬件协同优化实现性能与能效的最佳平衡；基于参数化调节机制动态优化推理过程，确保服务质量与资源消耗的精准控制；通过智能体支撑框架构建多智能体协同体系，实现复杂任务的自动分解与执行；借助 MCP Server 与网络模型上下文协议将网络能力标准化、工具化，彻底打通“业务 - 网络 - 算力”的闭环。这一系列技术有效解决了企业面临的“技术融合难、运维复杂度高、业务创新慢”等核心痛点，显著降低了 AI 技术的使用门槛。



3 算网智的关键能力特性

3.1 赋能边缘智算核心网的算力平台

3.1.1 轻量化与弹性部署

轻量化与弹性部署能力作为边缘智能核心网演进的重要基础，要求边缘智算平台采用高度可定制、可裁剪的体系架构，支持对 CPU、内存、GPU/NPU 等异构资源的细粒度管理调度，实现模块化功能按需启停，以灵活组装业务组件，避免冗余资源占用，提升资源利用效率。平台可根据业务负载弹性扩展部署规模，从单节点轻量起步逐步扩容，通过实时调度算法保障高优先级任务（如工业控制、实时推理）的确定性低时延响应，满足严苛性能要求。

同时，强化进程与容器隔离机制，防止多业务干扰与资源冲突，保障复杂边缘环境下系统稳定和数据安全。其灵活裁剪和部署特性也支持不同硬件平台与算力架构的快速适配，为 5G-A 与 AI 融合场景下多样化智能业务提供可靠、高效的轻量运行支撑。在实际应用中，轻量化核心网既可云端部署以利用云资源弹性和高可用保障，也可本地一体机部署增强数据掌控，甚至采取云边混合模式以兼顾弹性扩展与数据安全。

3.1.2 跨异构适配

跨异构适配能力通过深度融合 CPU、GPU、NPU、DPU 等多类计算单元，构建高效协同、灵活适配的混合算力体系，以满足 UPF 数据转发、AI 模型推理等多样化业务负载需求。其中 CPU 承担通用控制计算，GPU 擅长图形处理与大规模并行计算，NPU 聚焦 AI 推理与训练加速，DPU 则提供数据面的协议处理卸载与转发加速能力。各类算力单元协同工作，可显著提升复杂计算任务的执行效率和能效比。

通过统一接入与智能调度，异构资源可按需分配至最优计算单元，既满足 5G-A 核心网高吞吐、低时延的数据处理要求，也为 AI 应用提供充沛算力支撑，全面提升边缘智能核心网的业务承载能力和能源利用效率。平台针对不同芯片架构提供抽象适配，屏蔽 ARM、x86 等底层差异，简化 AI 算法与网络功能在异构环境中的迁移部署。

3.1.3 云边模型与数据协同

云边模型与数据协同架构是赋能边缘智能核心网的关键基础，通过“边缘-区域-中心”三级协同体系，实现 AI 业务的高效部署与灵活调度，并兼顾低时延需求与资源集约管理，如图 2 所示。边缘层专注本地实时推理，如机器视觉检测、实时控制等高频业务，确保关键场景获得敏捷智能响应。区域层负责模型训练与联邦学习，整合本域数据生成适配场景的 AI 模型，并在隐私保护前提下开展跨域协同。中心层集中管理大规模算力集群，承担大模型训练、精调及全局资源调度，训练完成的模型下发边缘就地推理，有效平衡性能与成本。统一管理平台贯通云边，实现 AI 业务协同治理与服务交付，既满足边缘端实时性，也发挥中心侧算力优势。

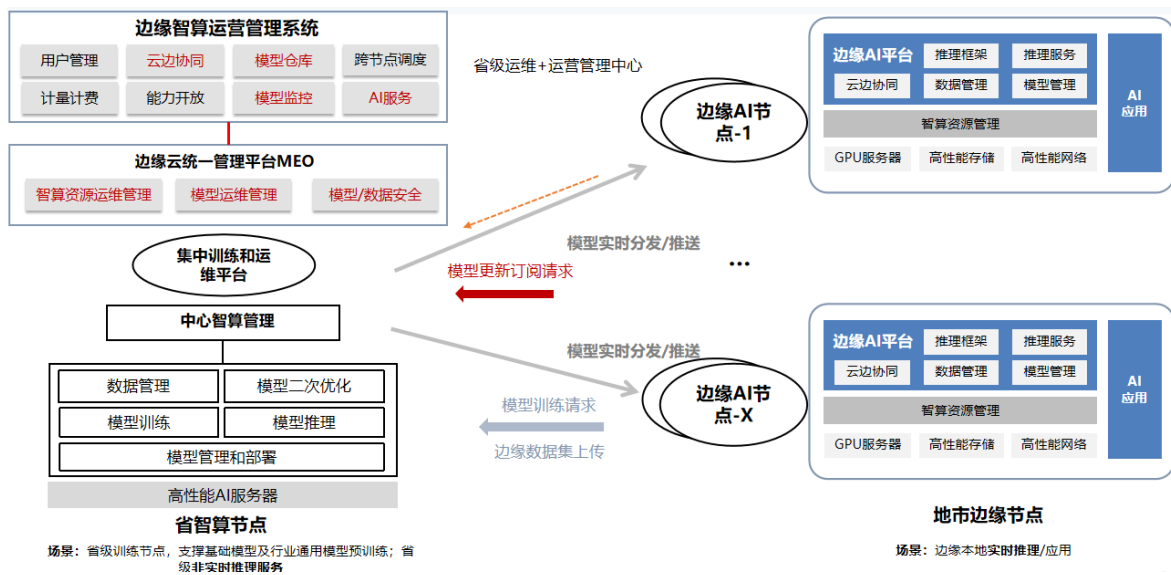


图 2 云边协同算智架构

云边协同使模型与数据可按需双向流动：中心优化模型及时下发边缘部署，边缘关键数据脱敏汇聚后回传云端用于模型更新，实现云边智能能力的持续进化，并具备轻量化、低时延、高安全等优势。

3.1.4 安全与高可靠运行

安全与高可靠运行能力是边缘智算平台支持核心网智能演进的关键保障。平台需构建纵深防御体系，从物理、网络、系统到应用层提供全方位安全防护，针对边缘节点加强可信计算和入侵防御机制，确保数据隐私和业务通信安全。通过容器化沙箱和资源隔离，实现多租户、多业务的安全并行运行，并采用严格的身份认证、访问控制和加密算法保障平台及模型服务的可信。在高可靠性方面，边缘算力平台遵循电信级设计标准，采用无单点故障架构与多层冗余备份机制，支持故障自动隔离和秒级容灾切换，保证核心网关键功能连续稳定运行，满足超高可靠性要求。同时，完善的监控告警与智能运维体系能够实时发现异常并自动恢复，进一步提升平台运行的稳定性与可靠性。

3.2 赋能企业专网的边缘智能核心网

3.2.1 异构接入

异构接入作为企业专网边缘智能核心网的关键功能，支持蜂窝、WiFi 等多种接入制式，可灵活适配 AGV、物联网传感器和移动终端等多样化接入需求，构建覆盖全场景的泛在连接体系，有效避免覆盖盲区和性能瓶颈。

异构接入通过统一的接入控制平面可实现信令与数据的协同管理。系统可依据终端类型、业务优先级和实时网络状态，智能调度接入路径，实现 5G-A 与 WiFi 等网络间的毫秒级无缝切换，保障视频回传、实时控制等关键业务“零中断”。

同时，异构接入可依据业务类型和网络状态动态分配接入资源。例如，工业控制类业务优先选用 5G-A 切片以保障高可靠与低时延，而大带宽数据采集任务则可自动选择 WiFi 或有线网络以实现高效传输。

3.2.2 意图化用网

意图化用网是实现网络从“配置驱动”向“意图驱动”演进的核心技术。它通过智能体与大模型技术，深度理解运营运维人员的自然语言指令、实时感知专网业务状态与资源容量，将高层的业务意图（如“为 AGV 保障 20ms 低时延”）自动翻译、分解并生成精准的网络策略。这一过程彻底改变了传统依赖命令行逐条配置的复杂模式，能够实现业务的分钟级一键开通，并提供“一句话网络状态呈现”的极致体验，最终达成网络服务的自优化、自适应与零等待，极大提升了企业专网的敏捷性与易用性。

意图化用网在意图理解阶段，可调动基于 LLM，解析业务对于时延敏感度、优先级以及带宽要求等关键需求，并将其转化为可执行的网络策略；在动态路径规划阶段，可依据实时网络状态（包括带宽、拥塞、负载等）与业务需求，动态生成最优传输路径。

系统还具备持续优化能力，通过历史调度数据与业务反馈进行自我学习，不断调整路径策略，适应网络变化与新兴业务需求，形成感知 - 决策 - 优化的闭环管理，为企业关键业务提供高可靠、高效率的网络传输保障。

3.2.3 一网多能

一网多能基于 5G-A 技术构建统一数字底座，通过一套网络设施同步满足园区、工厂、产线等多层级业务场景的差异化需求，实现从广域覆盖到精准控制、从通信连接到环境感知的融合服务，显著降低企业多网重复建设的复杂度与综合运维成本。

产线级场景中，网络聚焦于生产控制的精准性与实时性，通过 uRLLC 与 TSN 技术为机器视觉质检、

协同运动控制等关键任务提供毫秒级时延与抖动的确定性保障，实现工业控制从“有线捆绑”向“无线柔性”的范式重构。

工厂级场景中，网络致力于实现生产要素的全域互联与智能调度，依托广覆盖连接与高精度定位能力，无缝支撑 AGV 集群调度、人员物资追踪及无线化数据采集，构建起人、机、料、法、环全面协同的透明化生产空间。

园区级场景中，网络进一步融合通信与感知能力，通过通感一体化与切片技术，实现周界入侵检测、车辆轨迹管理及应急指挥调度等综合功能，将传统通信网络升级为兼具环境感知与安全保障的智能化园区数字底座。

通过多层能力的系统化部署，5G-A 网络成功构建了从控制域到连接域再到感知域的完整服务体系，为工业企业提供了一张真正实现“能力可按需部署、业务可跨层协同”的融合网络基础设施。

3.2.4 内生智能

内生智能融合 5G-A 核心网原生 AI 架构与智能体（Agent）技术，构建深度推理、编排与知识检索的智能化网络内核，实现意图精准识别、资源动态分配与运维自动化，显著提升网络自优化、自决策与自适应能力。

系统集成推理框架、Agent 编排框架及 RAG 等原子能力，支持对业务意图的实时解析与响应。例如，基于自然语言的运维指令可被自动转化为网络策略，动态生成符合 SLA 要求的虚拟子网；借助 RAG 增强知识库，实现故障精准定位与自愈，大幅降低人工干预需求。

系统还支持多智能体协同与资源按需调度，根据业务上下文与实时网络状态，智能调用相应 Agent 完成网络配置、服务保障或定位增强等任务。

3.2.5 多模态感知

多模态感知通过融合视觉、雷达与 5G-A 通感一体化等技术，构建“人 - 机 - 环 - 货”全要素、高精度的实时感知体系，为复杂工业场景提供稳定可靠的数据底座。

多模态感知以视觉感知、雷达感知和 5G-A 通感为基础，分别实现亚厘米级成像、全天候测距与精准定位追踪，并通过时空对齐与特征级融合算法，在边缘侧完成多源数据的智能整合与语义映射，有效应对遮挡、雨雾和黑夜等恶劣环境干扰，提升感知覆盖率和目标关联准确性。

在典型应用中，多模态感知可实现对船舶、集装箱及人员的全方位监控与闭环控制。例如，智慧港口通过融合识别船体轮廓、箱号与人员行为，系统显著提升泊位与堆场作业效率，同时实现毫秒级安全风险响应，整体推动企业专网从“连接”向“感知 - 决策 - 控制”一体化的智能化转型。

3.3 智能驱动中枢与模型服务基座

3.3.1 赋能边缘智能的模型服务

在 5G-A 与 AI 融合驱动的边缘计算环境中，模型服务不再盲目追求“大而全”，而是依据实际业务场景、硬件资源与成本约束，进行精准选型与优化，以实现性能、响应速度和资源消耗的高效平衡。为应对这一趋势，可从模型选型策略、性能成本平衡、智能体支撑机制及参数化调节能力进行实践。

3.3.1.1 场景适配的模型选型与部署

针对企业在边缘侧部署 AI 模型时面临的实际挑战，提供全方位的模型适配与部署能力。在模型选型方面，支持企业在通用大语言模型与行业专用模型之间灵活选择，针对工业质检、设备预测性维护等高价值场景，可部署参数量精简、任务针对性强的专用模型。这种选型策略能够在保证识别精度的同时，大幅降低对边缘硬件算力与内存的需求，帮助企业实现精度与成本的最佳平衡。

通过提供模型剪枝、知识蒸馏、低比特量化等系列轻量化工具，有效解决大模型边缘部署难题。这些工具能够将大型模型高效转化为适于边缘部署的紧凑版本，显著减少模型对存储和内存的占用，使模型能够在主流边缘算力平台上流畅运行。

针对需要综合感知与决策的复杂场景，多模态融合模型部署能力展现出独特价值。该能力使企业能够利用单一模型处理并关联文本、图像、语音等多种数据输入，既简化了系统架构，又为开发更智能、更全面的边缘应用奠定了坚实基础。这种能力特别适用于智慧园区、交互机器人等需要多维度环境感知的业务场景。

3.3.1.2 异构算力融合与边云协同优化

为确保企业在资源受限的边缘环境中获得稳定、高效的 AI 服务体验，提供深度的软硬协同优化能力。通过统一的异构计算框架，帮助企业实现对多样化算力资源的高效管理与智能调度。其服务框架应该能识别业务负载特征，并将 AI 推理、数据转发等计算任务智能分配至最优硬件单元，显著提升整体计算效率与能效比。

构建的边云协同推理 workflow 支持企业根据业务需求灵活分配计算任务。时延敏感型实时推理在边缘侧完成，确保业务响应的实时性；而模型更新、再训练等复杂任务则可无缝调度至云端算力集群。这种协同机制实现了边缘实时性与云端算力优势的完美结合，满足企业对业务连续性和模型持续进化的双重需求。

在服务性能精准调控方面，模型服务应提供多维度的参数化调节能力，支持对模型推理过程的细粒度优化。精确控制模型输出的多样性、准确性与响应速度，满足从严谨运维报告生成到开放交互对话等不同业务场景的需求。同时，服务支持 FP16、INT8 等多种计算精度的动态选择与批处理大小的灵活配置，使企业能够在推理速度与计算精度之间实现最佳权衡。结合自适应推理框架，还能根据

实时系统负载与业务优先级，动态选择最优模型规模或调整计算路径，确保在资源波动环境下始终维持服务质量与稳定性的最佳平衡。

3.3.1.3 智能体使能与标准化推理服务

为降低企业构建智能应用的技术门槛，提供标准化的推理服务支持。通过将复杂的 AI 模型计算过程封装为标准化的高性能 API 接口，为企业提供开箱即用的推理能力。这套接口支持多种 AI 任务，大幅降低业务系统集成 AI 能力的复杂度，加速智能业务的上线时间。

在模型定制化方面，服务应提供多种技术路径实现深度适配。基于特定业务场景的数据特点和性能要求，可采用模型微调技术优化基础模型参数，使其更好地适应特定领域的语言习惯和知识结构；通过提示词工程技术引导模型输出，无需调整模型权重即可实现行为定制；还可集成专用后处理模块，对模型原始输出进行二次加工和业务逻辑注入。这些技术手段可根据实际需求灵活组合，确保模型能力与业务逻辑的深度契合，显著提升解决方案的实用性和准确性。

模型服务作为智能体的核心使能基础，为各类运维智能体、业务智能体提供强大的推理支持。通过实时理解多维度数据，支撑企业构建从环境感知、认知分析到决策执行的完整自治闭环。该能力为下一代自优化、自愈的智能系统建设提供了坚实的技术基础，助力企业实现运维自动化与业务智能化的转型升级。

3.3.2 智能体引领与业务生态共创

面对日益复杂的网络环境和多样化的业务需求，如何赋予边缘智能核心网“思考”和“决策”的能力，成为网络智能化转型的关键。引入智能体技术，旨在为边缘智能核心网构建一个具备感知、分析、智能决策与协同执行的“智能中枢”，实现从“连接 + 计算”向“连接 + 计算 + 智能”的跨越。

3.3.2.1 大模型与知识增强

边缘智能核心网的网络配置、策略下发、故障排查等操作高度依赖专业命令行或复杂图形界面，对运维人员的专业技能要求较高，响应速度受限。在推进新型工业化的背景下，亟需提升网络运维的智能化水平，降低对人工经验的过度依赖。大模型作为智能体的核心引擎，具备强大的语义理解和泛化能力。引入大模型作为核心交互接口，运维人员只需用自然语言描述需求或问题，智能体即可通过“认知与决策”理解用户意图，并将其转化为可执行的内部工作逻辑，极大降低网络管理的技术门槛，提升效率，实现“意图驱动”的智能化网络管理，契合新型工业化对操作简化和效率提升的要求。

边缘智能核心网、工业场景等在长期运行中积累了海量的高价值私有知识资产，包括详细的网络拓扑图、复杂的协议规范、历史故障库、运维手册等。这些知识往往以非结构化的文档、数据库记录或专家经验的形式存在，难以被直接利用。通过知识增强技术，可将这些专业知识注入模型，构建一个精通网络、业务领域的“专家大脑”，使其在边缘、业务场景侧也能进行专业、准确的推理和判断，而做出符合电信级要求的可靠决策。当出现告警或者故障时，运维人员或业务系统通过自然语言问答，

即可由智能体快速给出最可能的根因与解决方案，有力支撑新型工业化背景下高可靠、高可用的生产网络需求。

在边缘场景中，为满足新型工业化对数据安全与本地化处理的严格要求，智能体支持接口兼容离线大模型，并支持私有知识库的本地部署。通过该机制，可在保障数据不出域的前提下，实现任务的快速响应与隐私安全保护，进一步推动工业智能化系统在边缘环境中的合规、高效落地。

3.3.2.2 任务处理引擎与定制化 workflow

工业环境中许多运维操作（如扩容、迁移、灾备）是跨多域、多步骤的复杂任务，传统上依赖人工按手册逐步执行，易出错且效率低，难以满足新型工业化对系统敏捷性和可靠性的要求。复杂任务处理引擎作为智能决策核心，运用思维链（Chain-of-Thought）等推理技术，实现逻辑化的任务编排与自动化推理。该机制能将复杂问题拆解为多步中间任务，模拟人类逐步推理过程，构建清晰的任务结构与可追溯的自动化流水线，从而显著提升复杂工业场景下的任务执行效率与准确性，支撑新型工业化中高可靠、自动化的生产运维需求。

为避免大模型在生成网络操作指令时出现“幻觉”，智能体引入提示词作为连接任务引擎、workflow 与大模型的“精密指令”。针对 workflow 中的每个节点，系统内置对应的提示词模板，精准引导大模型调用特定工具或能力，从而将抽象任务步骤转化为具体、可执行的操作，实现业务逻辑的可靠分发与处理。这种机制有效提升了大模型在工业控制环境中的确定性与安全性，符合新型工业化对系统行为可预期、过程可管控的基本要求。

针对大模型在完全自主决策中可能产生的不确定性与风险，提供定制化 workflow 功能，实现对网络的精准控制。workflow 作为智能体执行任务过程中的标准化流程，将任务节点、执行顺序、数据流向与决策逻辑进行规范化描述，显著降低误操作率。用户只需通过自然语言描述运维需求，系统即可自动解析意图并组合相应工具集（Tool），生成符合规范的标准化任务流，无需人工配置即可快速适配新场景，实现灵活部署与高效运维，助力工业企业在新形势下构建弹性、可扩展的智能化运维体系。

3.3.2.3 NetMCP SERVER 与工具调用

为应对边缘节点设备异构、指令不一，以及业务快速迭代带来的集成挑战，MCP 作为连接智能体与外部系统的“智能桥梁”，通过标准化接口屏蔽底层差异，支持上层智能体以统一方式调用多源能力。这不仅实现了智能体功能的无限扩展，也助力构建灵活开放的智能运维生态。

NetMCP（网络模型上下文协议）是 MCP 思想在网络领域的具体实现和深化，面对边缘网络与多业务场景中系统协同复杂、资源调度精细化的需求，NetMCP 将第三方系统、接口能力及网络、算力资源调度等封装成标准的、可调用的“工具”，通过服务对外暴露集成，实现对多厂商设备与外部工具的统一纳管，供上层智能体灵活调用。在此架构下，智能体与网络、系统交互时无需关心底层设备与命令实现的差异，即可实现能力的敏捷调用；同时通过“能力模型对齐 + 安全沙箱”确保异厂商环境下的可插拔、可验证、可回滚，达到电信级“即插即用”。这一机制大幅提升了工业边缘系统在复杂场景中的部署弹性和运维安全性。

3.3.2.4 多智能体动态协同

在当前工业控制与智能制造场景中，涉及多系统、多资源的调度与协同任务日益复杂，传统上依赖人工按预设流程分步操作，响应慢、易出错，难以满足新型工业化对跨系统协同与业务敏捷响应的实时性要求。引入多智能体动态协同架构，相当于为工业控制系统构建了一个高度组织化的智能体“团队”，使不同职能的智能体能够根据任务需求与环境变化，自主进行信息共享与行动协调。它们可基于实时数据与策略动态协商，共同完成如产线动态调整、能效优化、故障预测与处置等复杂工业任务。

多智能体的协作使工业控制系统能够像有机体一样，智能、动态地响应生产变化，显著提升资源利用效率与业务连续性；通过智能体“团队”的分布式协同，将传统集中式架构的决策瓶颈化解为高效、可靠的群体智能，有力支撑工业现场对实时控制与高可靠运行的极致要求；智能体作为“控 - 算 - 智”一体化的核心载体，以工业场景需求为驱动，依托 5G-A 与 AI 的深度融合，高效整合控制资源（控）、算力能力（算）及大模型（智），构建集实时感知、动态认知、自主决策、精准执行与多体协同于一体的新一代工业智能生产力工具。

智能体推动 AI 在工业领域实现更大范围、更广领域、更深层次的应用，助力行业完成从“自动化”向“智能化”的关键跃迁，形成数据端自治、服务开箱即用、使用高效快捷的新型边缘智能。



4 应用案例

4.1 确定性时延 PLC 控制

离散制造工厂面临两大核心痛点，一是传统有线工业网络(如 Profinet、EtherCAT)对柔性产线的制约，每次产品换型或重组需重新布线，平均耗时 2-3 周，影响了企业产能；二是现有 PLC 控制网络形成“信息孤岛”，设备无法实时响应生产的动态调整，并且运维环节存在质量溯源难、人工依赖高和知识传承困难等问题，严重制约企业高质量发展。

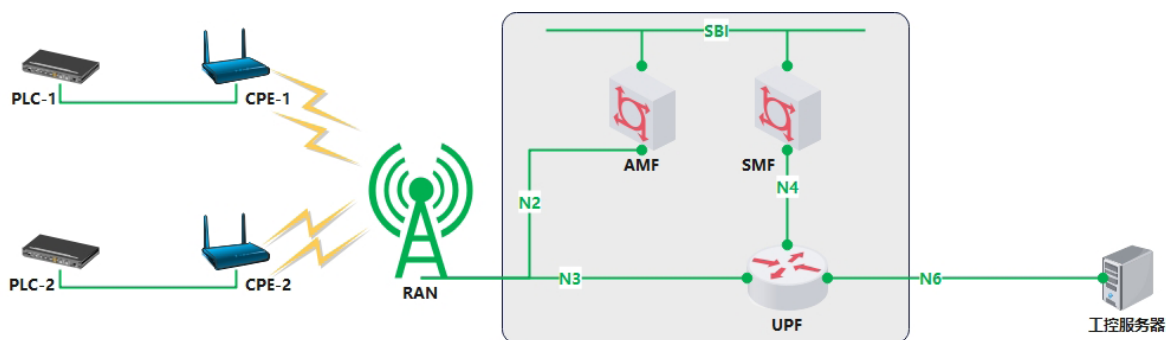


图 3 亨通光电算网智一体机试点组网图

江苏亨通光电股份有限公司，是全球前三光纤光缆生产商，在苏州有 3 个产业园区，年产值 300 亿规模。江苏亨通光电正逐步实现从传统制造向智能制造跨越，作为精密工业的领先企业，对信息通信传输的时延、抖动有更高的要求，对柔性生产、业务稳定运行和智能化运营管理有着强烈的诉求。

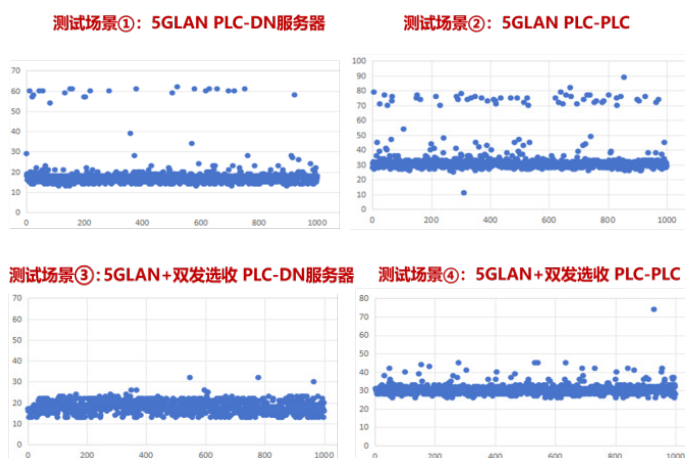


图 4 双发选收时延优化效果图

中国移动研究院联合江苏移动、亨通光电，共同完成业界首例全自研“算网智一体机”试点，验证了算网智内生一体化方案的创新价值，试点架构如图 3 所示。该试点围绕 5G LAN、5G LAN+ 双发选收、智能运营及业务智能体等关键能力展开系统化验证。在工业控制流承载方面，依托 5G LAN 与双发选收技术，实现 PLC 端到端传输时延由 60ms 降至 20ms 以内，抖动降低超过 80%，同时实现零丢包传输，关键指标显著提升，有效满足高端制造对确定性网络性能的苛刻要求，如图 4 所示。在智能化运营方面，通过内置业务智能体实现网络设备的 AI 自配置与智能维护，支持工艺匹配、实时质检与故障闭环管理等一站式应用，大幅提升运营管理效率与系统自治水平，为企业实现柔性制造与精益管理提供了核心支撑。

4.2 意图驱动智能专网管理

随着 5G 深入生产，企业对于 5G 专网智能管理需求越来越迫切。传统 5G 专网的问题定界和巡检往往需要耗费大量的时间和人力，而且准确度和效率都无法得到保障，人工查阅效率低和专业背景知识要求高等问题也给运维工作带来了挑战。

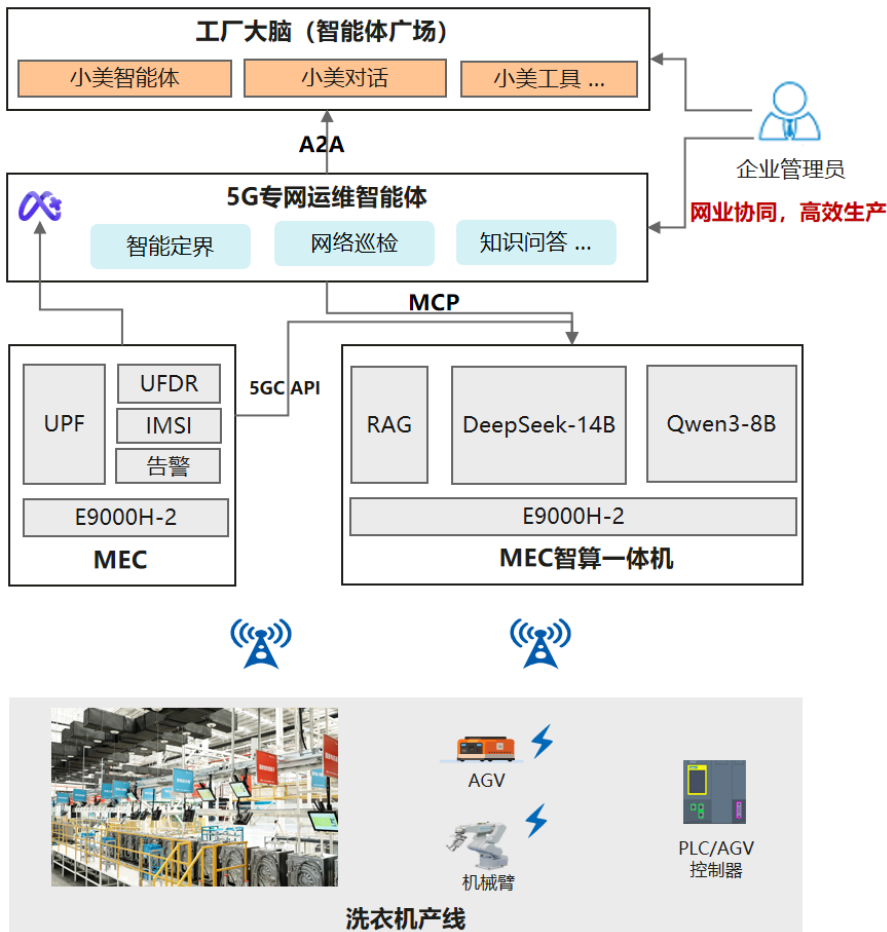


图 5 无锡知名企业工厂专网运维智能体试点组网图

为了提高运维效率和质量，中国移动联合无锡知名企业工厂、华为公司率先推出 5G 智能专网，提供基于业务场景的问题定界、健康巡检和知识问答功能，并成功进行了试点验证，助力企业生产提效，试点组网如图 5 所示。5G 智能专网由产线业务层、智能专网层和智能运维层组成，其中，产线业务层主要包括 PLC、AGV 等业务，智能专网层包括专网 UPF 和智算一体机（算力：4*140 TOPS@INT8），智能运维层包括智能定界和网络巡检等专网运维智能体。其中，专网运维智能体可通过 A2A 的方式开放给工厂大脑使用，实现网业协同。

智能体	运维方式	使用者	耗时	企业影响
问题定界	传统运维	运营商专业服务人员	天级	业务天级中断
	智能运维	企业运维人员	分钟级	业务分钟级中断
网络巡检	传统运维	运营商专业服务人员	小时级	人工巡检，成本高，隐患易遗漏
	智能运维	企业运维人员	秒级	自动巡检，成本低，隐患准确识别，秒出详细报告

表 1 专网运维智能体试点效果对比

试点结果表明，5G 专网智能运维体系在业务应用中取得显著成效。企业智能定界场景 AGV 失联时，本系统支持自助式查询与原因快速定位，助力企业迅速恢复生产。依托该体系，5G 专网问题定界时间从天级缩短至分钟级，并自动输出完整诊断过程与结论；网络巡检效率由小时级提升至秒级，同步生成标准化巡检报告；专网知识问答功能有效弥补了传统人工查阅效率低、专业门槛高的短板，问答准确率超过 90%，大幅提升了运维响应速度与智能化水平。



5 展望

5G-A 与 AI 的融合正从技术探索走向产业深耕，算网智一体化架构将成为推动经济社会数字化转型的重要基石。面向未来，中国移动将携手产业伙伴，在技术突破、场景创新与生态共建三个维度持续深化，共同推进新型工业化迈向新阶段。

一是强化技术协同攻坚，实现架构能力的原生融合。

中国移动将联合设备商、企业客户等合作伙伴，持续推进边缘智能核心网与算力平台的深度协同，推动网络从“感知保障”向“主动优化”演进，算力从“异构池化”向“智能流动”升级，智能从“工具外挂”向“内生自治”深化，全面提升系统级性能与能效水平。

二是深化场景化应用，推动解决方案的规模化复制。

中国移动将以行业需求为牵引，围绕智能制造、智慧能源、智慧港口等重点领域，打造可定制、可扩展的“行业智能切片”，推动算网智能力与企业生产流程深度融合，持续优化架构适配性，实现从单点示范到全链条赋能，助力企业构建数据驱动、实时响应、智能决策的新型生产体系。

三是构建开放共赢生态，释放一体化架构的普惠价值。

中国移动将积极推动标准化与开源协作，降低技术使用门槛，促进网络能力、算力资源与智能服务的开放共享。通过构建“运营商引领、设备商支撑、行业用户主导、应用开发者参与”的协同创新生态，加速解决方案在更多行业落地生根，使算网智一体化成为培育新业态、新模式的核心引擎，为经济高质量发展注入持续动能。

缩略语列表

缩略语	英文全称	中文解释
5G-A	5G-Advanced	第五代移动通信技术增强版
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引车
AMF	Access and Mobility Management Function	接入和移动性管理功能
API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
CAGR	Compound Annual Growth Rate	复合年增长率
DPU	Data Processing Unit	数据处理器
GPU	Graphics Processing Unit	图形处理器
LLM	Large Language Model	大语言模型
MCP	Model Context Protocol	模型上下文协议
NetMCP	Network Model Context Protocol	网络模型上下文协议
NPU	Neural-network Processing Unit	神经网络处理器
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
PoC	Proof of Concept	概念验证
RAG	Retrieval-Augmented Generation	检索增强生成
SLA	Service Level Agreement	服务等级协议
SMF	Session Management Function	会话管理功能
TOPS	Tera Operations Per Second	每秒万亿次操作
TSN	Time-Sensitive Networking	时间敏感网络
UPF	User Plane Function	用户面功能

联合发布及编制单位

本白皮书编制过程中，得到了产、学、研、用合作伙伴的大力支持，为白皮书的观点形成和编写提供了有力的支撑，后续本白皮书将根据技术演进和业务实践适时修订。

发布单位：中国移动通信研究院

联合编制单位（排名不分先后）：联合编制单位（排名不分先后）：中移智库、中国移动通信研究院、中国移动通信江苏有限公司、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、深圳市宏电技术股份有限公司。

参考文献

1. 工业和信息化部：“5G+ 工业互联网”系列科普问答
2. 中国信通院：《中国 5G 发展和经济社会影响白皮书》，2022
3. 工业互联网产业联盟（AII）：《工业互联网体系架构（版本 2.0）》，2020
4. 工业互联网产业联盟（AII）：工业互联网网络连接白皮书（版本 1.0）；2018
5. 机械工业仪器仪表综合技术经济研究所：《5G 工业应用白皮书》，2020
6. 工业互联网产业联盟（AII）：5G+TSN 融合部署场景与技术发展白皮书

