

ICS 75.080

CCS E 07



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2025

石油工业云边端智能协同计算技术 规范

Technical specification for cloud-edge-end intelligent collaborative
computing in petroleum industry
(征求意见稿)

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体架构	2
4.1 端侧感知层	2
4.2 边缘计算层	2
4.3 云端协同层	2
4.4 智能调度层	2
5 云边端节点要求	2
5.1 端侧设备要求	2
5.2 边缘节点要求	2
5.3 云节点要求	3
6 智能协同计算要求	3
6.1 算力协同调度	3
6.2 任务卸载	3
6.3 模型训练与推理协同	3
7 数据交互与同步要求	4
7.1 通信协议	4
7.2 数据同步策略	4
7.3 数据传输与处理	4
8 安全要求	4
8.1 物理安全	4
8.2 网络安全	5
8.3 数据安全	5
8.4 应用安全	5
9 试验方法	5
9.1 节点性能测试	5
9.2 协同计算性能测试	5
9.3 数据交互测试	6
9.4 安全性能测试	6

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

石油工业云边端智能协同计算技术规范

1 范围

本文件规定了石油工业云边端智能协同计算的总体架构、云边端节点要求、智能协同计算要求、数据交互与同步要求、安全要求、试验方法。

本文件适用于石油工业云边端智能协同计算系统的设计、建设、部署、运行和测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 30269.1 信息技术 传感器网络 第1部分：参考体系结构和通用技术要求
- GB/T 32399 信息技术 云计算 参考架构
- GB/T 32905 信息安全技术 SM3密码杂凑算法
- GB/T 32907 信息安全技术 SM4分组密码算法
- GB/T 32918.2 信息安全技术 SM2椭圆曲线公钥密码算法 第2部分：数字签名算法
- GB/T 44809 物联网 工业物联网系统设备兼容性要求和模型
- GB/T 44860 面向工业应用的边缘计算 应用指南
- SY/T 5231 石油工业信息系统安全管理规范
- SY/T 5785 石油工业信息分类与编码导则

3 术语和定义

SY/T 5231界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

云节点 cloud node

部署在石油企业总部或区域数据中心，提供海量数据存储、大规模算力运算、全局模型训练和业务决策支持的云计算节点，分为核心云节点和区域云节点。

3.2

边缘节点 edge node

部署在油田作业区、联合站、钻井平台等现场附近的计算节点，分为一级边缘站（作业区级）和二级边缘网关（井场/站场级），承担实时数据预处理、本地任务计算、模型推理和数据中转功能。

3.3

端侧设备 end-side device

部署在石油工业生产现场的感知、采集、测控类设备的统称，包括传感器、数据采集器、测控终端、现场工控机等，是云边端协同计算的数据源和执行端。

3.4

任务卸载 task offloading

将端侧或边缘节点无法独立完成的高算力需求任务，按照预设策略迁移至边缘节点或云节点进行计算的过程，分为完整卸载和部分卸载。

4 总体架构

4.1 端侧感知层

部署于石油生产最前端，核心功能为生产数据的实时采集、现场设备状态监测和协同计算任务的执行，所有设备应符合GB/T 44809的要求，数据采集应遵循SY/T 5785的规定。

4.2 边缘计算层

为云边端协同的核心枢纽，分为一级边缘站（部署于油田作业区/联合站）和二级边缘网关（部署于单井场/小型站场），核心功能为端侧数据的预处理、本地实时任务计算、模型推理、数据缓存和向云端的按需数据上传。

4.3 云端协同层

为协同计算的后台支撑，核心功能为海量生产数据的存储与管理、大规模算力运算、全局模型的训练与迭代、跨区域的业务分析和智能决策，同时承担云边端全系统的资源监控和管理功能。

4.4 智能调度层

为跨层级的虚拟协同层，独立部署于云端协同层，核心功能为算力资源的全局调度、计算任务的智能卸载、云边端模型的协同训练与推理、系统运行状态的实时监控和异常预警。

5 云边端节点要求

5.1 端侧设备要求

5.1.1 硬件性能

传感类设备搭载嵌入式单核处理器，主频 $\geq 1\text{GHz}$ ，内存 $\geq 128\text{MB}$ ，存储 $\geq 512\text{MB}$ ；采集/测控类设备搭载嵌入式四核处理器，主频 $\geq 1.5\text{GHz}$ ，内存 $\geq 512\text{MB}$ ，存储 $\geq 2\text{GB}$ 。

5.1.2 采集精度

温度传感器精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，压力传感器精度 $\pm 0.05\text{MPa}$ ，振动传感器采样频率 $\geq 10\text{kHz}$ ，所有传感设备采样频率可在 $1\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$ 区间调节。

5.1.3 环境与防护

工作温度 $-40^\circ\text{C}\sim 70^\circ\text{C}$ ，防护等级 $\geq \text{IP65}$ ，具备抗振动、抗冲击、抗电磁干扰能力，电磁兼容符合GB/T 17626要求。

5.1.4 通信与协议

支持MQTT v3.1.1、OPC UA工业通信协议，符合GB/T 44860工业边缘设备接入要求，传感类设备无线通信带宽 $\geq 1\text{Mbps}$ ，采集/测控类设备有线通信带宽 $\geq 10\text{Mbps}$ ，端到端传输时延 $\leq 15\text{ms}$ 。

5.2 边缘节点要求

5.2.1 硬件性能

应满足以下要求：

- a) 二级边缘网关处理器 $\geq 32\text{核}\times 2.0\text{GHz}$ ，内存 $\geq 64\text{GB}$ ，存储 $\geq 1\text{TB}$ SSD，网络带宽 $\geq 100\text{Mbps}$ ；
- b) 一级边缘站处理器 $\geq 64\text{核}\times 2.2\text{GHz}$ ，内存 $\geq 128\text{GB}$ ，存储 $\geq 10\text{TB}$ SSD，网络带宽 $\geq 1000\text{Mbps}$ ；
- c) 边缘节点端到端传输时延 $\leq 50\text{ms}$ 。

5.2.2 软件与引擎

搭载轻量化边缘计算引擎，支持TensorFlow Lite、PyTorch Mobile轻量化框架，满足本地模型推理需求；一级边缘站应具备模型轻量化训练能力，适配石油工业现场业务模型。

5.2.3 缓存与传输

具备本地数据缓存能力，断网状态下可缓存至少72h生产实时数据，网络恢复后实现断点续传；一级边缘站应具备数据压缩、加密功能，数据压缩比 $\geq 10:1$ ，加密采用GB/T 32907的SM4算法。

5.2.4 运行可靠性

支持7×24h不间断运行，平均无故障工作时间（MTBF） $\geq 10000\text{h}$ ，故障恢复时间 $\leq 30\text{min}$ 。

5.3 云节点要求

5.3.1 架构与算力

应满足以下要求：

- a) 采用分布式云计算架构，符合GB/T 32399的要求，支持弹性扩缩容；
- b) 区域云节点处理器 $\geq 512\text{核} \times 2.4\text{GHz}$ ，内存 $\geq 2\text{TB}$ ，存储 $\geq 100\text{TB SSD}$ ，网络带宽 $\geq 10\text{Gbps}$ ；
- c) 核心云节点处理器 $\geq 1024\text{核} \times 2.4\text{GHz}$ ，内存 $\geq 4\text{TB}$ ，存储 $\geq 1\text{PB SSD} + \text{PB级机械存储}$ ，网络带宽 $\geq 100\text{Gbps}$ ；
- d) 云节点端到端传输时延 $\leq 500\text{ms}$ 。

5.3.2 存储要求

支持结构化、非结构化数据存储，结构化数据采用关系型数据库，非结构化数据采用对象存储，数据存储符合GB/T 22239规定的网络安全等级保护第三级要求，具备数据备份、容灾恢复能力。

5.3.3 平台与功能

核心云节点应搭建联邦学习训练平台，支持云边端协同模型训练，具备模型库管理、版本迭代和下发功能；同时搭建全系统资源监控平台，实现云边端各节点运行状态实时监测、数据统计和异常告警。

6 智能协同计算要求

6.1 算力协同调度

6.1.1 动态调度

调度层具备动态算力调度能力，调度响应时间 $\leq 500\text{ms}$ ，算力资源分配的负载均衡误差 $\leq 18\%$ 。

6.1.2 调度原则

调度策略遵循“时延优先、安全至上”原则，钻井井控、油气泄漏监测等时延敏感型紧急任务算力优先级最高，非紧急任务在网络/算力紧张时可降级执行。

6.1.3 状态上传

各节点应实时向调度层上传算力负载、内存使用率、存储占用率等状态数据，上传频率 $\geq 1\text{次/秒}$ ，确保调度层获取全系统实时状态。

6.2 任务卸载

6.2.1 卸载方式

支持完整卸载、部分卸载两种方式，适配基于深度强化学习的动态卸载策略，任务卸载成功率 $\geq 99.5\%$ ，卸载过程中无核心数据丢失。

6.2.2 卸载原则

卸载策略遵循“就近处理”原则：

- a) 端侧视频图像分析、设备故障诊断等高算力任务优先卸载至二级边缘网关；
- b) 边缘节点油藏数值模拟、生产趋势预测等大规模计算任务卸载至云节点。

6.2.3 异常处置

网络状态不佳时，调度层暂停非紧急任务卸载；断网状态下，边缘节点应独立完成本地所有计算任务，任务丢弃率 $\leq 0.5\%$ ，网络恢复后补传计算结果。

6.3 模型训练与推理协同

6.3.1 协同训练

采用联邦学习协同训练模式：

- a) 云端发起全局模型训练任务，边缘节点基于本地生产数据完成训练并仅上传模型参数；
- b) 云端通过GB/T 32905的SM3算法校验参数完整性，聚合后更新全局模型，模型更新周期 $\leq 24\text{h}$ 。

6.3.2 推理方式

模型推理采用“边缘推理为主、云端推理为辅”方式：

- a) 设备故障预测、生产参数预警等实时推理任务在边缘节点完成，推理时延 $\leq 50\text{ms}$ ，故障预测模型准确率 $\geq 94\%$ ；
- b) 跨区域模型融合、全局生产趋势分析等非实时推理任务在云端完成。

6.3.3 模型版本

云边端模型实现版本同步，云端模型更新后，网络带宽允许时24h内完成对所有边缘节点和核心端侧设备的模型下发与更新，更新过程不影响现场正常生产计算。

7 数据交互与同步要求

7.1 通信协议

应满足以下要求：

- a) 端侧与边缘节点之间采用MQTT v3.1.1、TSN时间敏感网络协议，符合GB/T 30269.1要求，确保数据传输的实时性和可靠性；
- b) 边缘节点与云节点之间采用HTTP/HTTPS、OPC UA 协议，采用专线组网传输，禁止通过公网传输生产核心数据，通信链路应部署加密隧道；
- c) 所有通信协议应适配石油工业现场网络环境，支持协议轻量化适配，通信链路丢包率 $\leq 0.1\%$ 。

7.2 数据同步策略

按数据类型和重要性分为三类同步方式，所有同步数据应通过GB/T 32918.2的规定进行签名校验：

- a) 实时同步：钻井井控、油气泄漏、设备紧急故障等核心数据，端侧到边缘同步时延 $\leq 50\text{ms}$ ，边缘到云同步时延 $\leq 300\text{ms}$ ；
- b) 准实时同步：油井生产参数、设备运行状态等常规数据，同步周期 $\leq 5\text{min}$ ，单次同步时延 $\leq 1\text{min}$ ；
- c) 非实时同步：生产报表、历史数据统计等非紧急数据，同步周期 $\leq 24\text{h}$ ，可在网络低峰期完成同步，同步前应完成数据标准化处理。

7.3 数据传输与处理

应满足以下要求：

- a) 端到边缘传输带宽 $\geq 10\text{Mbps}$ ，边缘到云传输带宽 $\geq 100\text{Mbps}$ ，核心云节点与区域云节点之间传输带宽 $\geq 10\text{Gbps}$ ，满足不同层级数据传输需求；
- b) 数据上传前应进行预处理，包括基于工业算法的噪声过滤、异常值剔除和无损压缩，压缩比 $\geq 10:1$ ，预处理过程不损失核心数据精度，端侧/边缘节点分别完成本地数据预处理；
- c) 所有生产数据传输采用GB/T 32907的SM4算法加密，加密密钥按分级管理原则分配，数据传输过程中无明文传输，确保数据保密性和完整性。

8 安全要求

8.1 物理安全

8.1.1 机房防护

边缘节点、云节点的机房/机柜设置物理隔离和门禁系统，具备防盗窃、防破坏能力，机房温湿度控制在 $18^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $40\% \sim 60\%$ ，配备温湿度监测和告警装置。

8.1.2 端侧防护

端侧设备电磁兼容应符合GB/T 17626.2、GB/T 17626.3、GB/T 17626.4、GB/T 17626.5要求，具备抗振动、抗冲击能力，适应石油现场多粉尘、强电磁、温差大的工况环境。

8.1.3 UPS配置

所有节点配备不间断电源（UPS），云节点和一级边缘站UPS续航时间 $\geq 2\text{h}$ ，二级边缘网关和核心端侧设备UPS续航时间 $\geq 1\text{h}$ ，确保供电中断时系统正常运行。

8.2 网络安全

8.2.1 网络隔离

工业控制网与管理信息网实现物理隔离，云边端各节点之间部署工业防火墙，开启访问控制策略，仅允许授权协议和端口的通信，禁止无关网络访问。

8.2.2 入侵防护

系统部署入侵检测系统（IDS）和入侵防御系统（IPS），对网络攻击、异常访问行为进行实时监测和阻断，检测响应时间 $\leq 10\text{s}$ ，攻击阻断成功率 $\geq 99\%$ 。

8.2.3 网络安全审计

所有节点开启网络安全审计功能，审计日志包含访问源、访问时间、操作内容、操作结果，日志保存时间 ≥ 6 个月，日志数据不可篡改、不可删除。

8.3 数据安全

8.3.1 数据分级

生产数据按重要性分为核心数据、重要数据、一般数据，实行分级管理和访问控制，核心数据包括油藏数据、井控数据、泄漏监测数据，应进行异地备份，备份周期 ≤ 1 天。

8.3.2 数据存储

数据存储采用GB/T 32907的SM4算法加密，核心数据采用“加密存储+异地容灾”双重保护，容灾恢复时间 $\leq 2\text{h}$ ，确保数据丢失后可快速恢复。

8.3.3 访问权限

实行数据访问“最小权限”原则，核心数据访问应进行多因素认证，操作行为全程留痕，建立数据访问审计和追溯机制，实现数据全生命周期安全管理。

8.4 应用安全

8.4.1 漏洞检测

云边端的应用系统、计算引擎应定期进行漏洞扫描和渗透测试，扫描周期 ≤ 3 个月，发现高危漏洞后应在72h内完成修复，修复后进行复测验证。

8.4.2 模型防护

模型库、算法库应设置严格的访问保护，模型参数的修改、下发应进行身份认证和授权，采用数字签名技术防止模型被篡改，模型下发过程进行加密传输。

8.4.3 异常预警

系统应具备异常预警功能，对算力负载异常、数据传输异常、设备运行异常等情况实时预警，预警准确率 $\geq 95\%$ ，预警响应时间 $\leq 30\text{s}$ ，同时提供异常处置建议。

9 试验方法

9.1 节点性能测试

9.1.1 硬件性能测试

采用专业算力测试工具对各节点CPU、内存、存储性能连续测试24h，性能波动应 $\leq 5\%$ 。

9.1.2 端侧采集测试

采用标准校准仪器测试端侧设备采集精度和采样频率，采集精度误差应符合石油工业现场仪器校准要求，采样频率偏差 $\leq \pm 1\%$ 。

9.1.3 网络时延测试

采用ping命令和专业网络测试工具测试各节点间传输时延，测试次数 ≥ 100 次，最大时延不超过平均时延的2倍。

9.2 协同计算性能测试

9.2.1 算力调度测试

模拟低、中、高三种算力负载场景，测试调度层响应时间和负载均衡误差，响应时间 $\leq 500\text{ms}$ 、负载均衡误差 $\leq 18\%$ 为合格。

9.2.2 任务卸载测试

模拟1000次不同类型任务卸载，涵盖端到边缘、边缘到云的完整卸载和部分卸载，卸载成功率 $\geq 99.5\%$ 、无核心数据丢失为合格。

9.2.3 模型协同测试

基于石油工业现场真实生产数据，开展云边端联邦学习协同训练和边缘推理测试，模型更新周期 $\leq 24\text{h}$ 、边缘推理准确率 $\geq 94\%$ 为合格。

9.3 数据交互测试

9.3.1 数据同步测试

分别模拟实时、准实时、非实时三类数据同步场景，测试各层级同步时延。

9.3.2 数据传输测试

模拟网络带宽波动、短时断网场景，测试数据传输丢包率和断点续传功能，丢包率 $\leq 0.1\%$ 、断网后可实现断点续传且数据无丢失为合格。

9.3.3 数据加密测试

对传输和存储的不同等级数据进行解密测试，仅授权设备可解密、数据加密和解密完整性100%为合格。

9.4 安全性能测试

9.4.1 物理安全测试

模拟 -40°C 、 70°C 极端温度和供电中断场景，测试设备运行状态和UPS续航能力。

9.4.2 网络安全测试

采用模拟端口扫描、恶意攻击等手段进行渗透测试，测试防火墙、IDS/IPS防护能力。

9.4.3 数据安全测试

测试不同等级数据的访问权限控制和加密存储功能。