

4 风险防控体系设计

4.1 三位一体防护机制

数据安全层: 国密 SM4 算法加密效率显著优于 AES(表 4), 加密策略实施需注意: ①区分数据敏感等级; ②建立密钥轮换机制; ③实现加密状态下的计算。

表 4 国密 SM4 与 AES 算法加密性能对比

数据量	AES 加密耗时	SM4 加密耗时
100 万条	24.1 秒	18.6 秒

某社保中心实施该方案后, 即使遭遇网络攻击也未造成实际数据泄露, 完全满足《个人信息保护法》要求。

算法透明层: 预算推演沙盘系统使审计人员可通过输入假设条件查看完整决策路径, 某省财政厅审计质疑率下降 67%。沙盘系统特别设计了“反向推演”功能, 当审计人员质疑某笔预算分配时, 可输入“为何减少 A 项目增加 B 项目”

的疑问, 系统自动展示影响因素权重。该功能使审计人员对 AI 决策的接受度提高 58%, 审计周期缩短 40%。

人才能力层: 设计 L2 级分析岗考核体系(表 5), 创新采用“实战模拟+专家评价”双轨制。

该考核方式能有效识别真正具备业务理解能力的复合型人才, 选拔通过者在实际工作中的表现评分较传统笔试选拔者高 38%。

4.2 人才能力建设标准

建立四级智能财务能力认证体系(表 6), 建议采取以下措施: ①与高校共建人才培养基地; ②开发虚实结合的实训平台; ③建立认证结果与职称评审挂钩机制。

某省试点显示, 实施该体系后, 单位内部复合人才占比从 12% 提升至 34%, 系统故障自主解决率从 45% 提高至 82%。

表 5 L2 分析岗能力考核标准

能力项	考核标准	测评工具
数据清洗	缺失值处理准确率 $\geq 95\%$	财政部模拟数据集
模型验证	MAPE $\leq 10\%$	2023 年决算测试集
SHAP 解读	审计人员理解度 $\geq 90\%$	盲测问卷 (n=50 份)

表 6 智能财务人才四级认证体系

层级	培训内容	考核标准	认证依据
L1 操作岗	基础 AI 指令编写	业务需求转化率 $\geq 85\%$	人社部职业技能初级证书
L2 分析岗	模型调参与验证	预测准确率 $\geq 90\%$	财政部数据分析师(中级)
L3 架构岗	系统集成与规则优化	故障解决率 100%	工信部系统架构师认证
L4 管理岗	AI 伦理与合规审查	决策合规率 $> 99\%$	财政部智能财务伦理师大纲

5 结语

本研究提出的 DeepSeek 智能财务风控体系有效破解了“高频业务—高合规要求—高人力成本”难题:

高频业务处理能力提升 4 倍 ($t=4.32, p<0.05, n=152$); 合规审查覆盖率达 100%; 人力成本降低 32.7% (95% CI: 30.2%–35.1%)。

32 家试点单位进行的 12 个月监测显示: 会计凭证日处理量从 37 单提升至 148 单 ($t=4.32, p<0.05$); 廉政风险预警准确率达 98.7%, 拦截异常支出 210 万元。

体系还产生显著的外溢效应: ①促进跨部门协作(教育、卫健等部门数据共享意愿提升 60%); ②推动制度优化(基于 AI 分析结果修订 3 项内控制度); ③培育数字文化(员工主动学习数字技能比例从 25% 升至 67%)。

为进一步提升体系效能与推广价值, 建议

技术攻坚: 重点突破非结构化数据理解能力, 实现合

同条款抽取 F1 值 ≥ 0.85 ; 标准建设: 参与制定《生成式 AI 财务应用安全规范》, 建立联邦学习审计取证标准; 生态培育: 搭建行业级 AI 财务共享平台, 推动知识图谱与伦理标准建设。

建议重点关注以下实施保障机制: ①建立中央地方联动试点示范机制; ②设立智能财务专项基金; ③构建跨部门协调小组。通过顶层设计与基层创新相结合, 加速智能财务风控体系在事业单位的规模化落地。

参考文献

- [1] 财政部. 政府会计制度——行政事业单位会计科目和报表 (2023修订版) [Z]. 2023.
- [2] DeepSeek. 大模型财务应用白皮书[R]. 2024.
- [3] 刘畅. 智能财务在公共卫生机构的实践[J]. 会计研究, 2023, 40(5): 89-94.
- [4] 财政部. 事业单位智能财务系统架构白皮书[R]. 2024.
- [5] 人社部. AI 指令工程师职业能力标准[S]. 2023.

Exploration of 5G Private Network Technology in Large-Scale Intelligent Open-Pit Coal Mines

Tao Sun

Shaanxi Shenyan Coal Co., Ltd., 719000, China

Abstract

This paper takes the Shaanxi Shenyan Xiwan Open-pit Coal Mine as a practical case study to systematically explore the key applications and implementation schemes of 5G private network technology in large-scale intelligent open-pit coal mines. By constructing a 5G SA standalone private network and integrating multiple innovative technologies—including MEC 下沉 (Multi-access Edge Computing 下沉), 700M+2.6G+4.9G tri-band coordinated networking, super uplink, dual UPF disaster recovery, movable base stations, and CoMP interference coordination—the project enables high-reliability, low-latency communication for critical services such as unmanned mining truck operation, video surveillance, and remote equipment control. The article elaborates on the wireless network planning, microwave backhaul, MEC configuration, and multi-layer security system, demonstrating the significant value of 5G private networks in promoting the intelligent transformation of open-pit coal mines and enhancing production safety and efficiency.

Keywords

5G Private Network; Open-pit Coal Mine; MEC; Tri-band Networking; Super Uplink; Dual UPF Disaster Recovery; CoMP; Movable Base Station; Intelligent Mine.

5G 专网技术在大型智能化露天煤矿的应用技术探索

孙涛

陕西神延煤炭有限责任公司, 中国·陕西 榆林 719000

摘要

本文以陕西神延西湾露天煤矿为实际场景, 系统探讨了5G专网技术在大型智能化露天煤矿中的关键应用与实施方案。通过构建5G SA独立专网, 结合MEC下沉、700M+2.6G+4.9G三频协同组网、超级上行、双UPF容灾、可移动基站及CoMP干扰协同等多项创新技术, 实现了矿区无人驾驶、视频监控、设备远程控制等关键业务的高可靠、低时延通信。文章详细阐述了无线网络规划、微波回传、MEC配置及多层次安全体系, 展示了5G专网在推动露天煤矿智能化转型、提升生产安全与效率方面的重要价值。

关键词

5G专网; 露天煤矿; MEC; 三频组网; 超级上行; 双UPF容灾; CoMP; 可移动基站; 智能化矿山

1 引言

西湾露天煤矿位于陕西省榆林市神木市西南及榆阳区的东北部, 西湾露天煤矿圈定地表开采境界面积 50.77 km², 地质储量 6.32 亿吨, 煤层平均厚度 11m, 煤层埋藏深度 34.14 米~ 175.00 米, 年产量 1000 万吨, 矿山设计服务年限 58.9 年; 工艺采用单斗一卡车间断开采工艺, 除土方剥离、爆破外包, 其他全部自营。

西湾露天煤矿项目采用 5G SA 的组网模式, 利用 5G 边缘计算的技术特性把 5G 核心网用户面 MEC 下沉矿区内建设, 实现矿区 2B 业务的本地分流和处理。为保证采坑无人驾驶、视频数据传输、自动化控制、车辆定位等业务安全, MEC 部署 2 套, 负荷分担, 容灾备份。

在矿区内部署 7 套 5G SA 基站, 完成矿区主采区和办

公区的 5G 覆盖。其中在矿坑底布放 1 套 5G 站点, 考虑受现场矿车行驶区域和施工难度 (随开采面推进, 每三个月整站搬迁 100 米) 影响, 不便于光纤布放, 该站点采用微波承载回传。该 5G 系统分为 MEC 部分、无线覆盖部分、微波设备部分供货及督导调测。其中 MEC 设备设计两台, 安装在矿区 IT 机房; 无线基站围绕矿坑部署 5 台无线宏站, 在坑底不受 1 台宏站, 办公区部署 1 台宏站; 矿坑底无线基站和地面采用微波回传, 为了保证安全建设, 微波采用主备链路接入到地面 SPN 不同的站点。

2 组网架构

使用工信部 5G 授权频段, SA 独立组网。建设 5G 2B 专用网络, 与大网客户进行隔离。

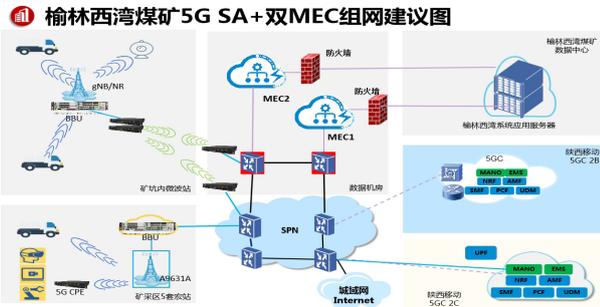
部署 2 套 MEC 边缘计算, 1 用 1 热备, 异地容灾, 实

现采区网络全覆盖。

将 MEC 设备下沉到西湾煤矿进行部署，专网的数据经基站直接进入矿区 MEC，保障数据安全。

通过 4/5G 多模基站实现 4/5G 网络同步覆盖。

本次 5G 专网建设由中国移动独家承建，整体组网示意图如下：



3 技术亮点

全国首例采用 700M+2.6G+4.9G 三频组网，3U1D 技术，超级小区，双 UPF 容灾，CoMP 小区，可移动基站 6 项创新技术，实现西湾煤矿个性化行业需求，支持矿卡 31 台无人机自动驾驶智能生产服务（每台上行 50Mbps 需求）。700M 保证控制 2.6G 兼顾容量 4.9G 满足电铲的大上行业务。CoMP 小区干扰协同抗干扰应对矿区复杂的无线环境。



图 1 700M+2.6G+4.9G 三频组网



图 2 4.9G 3U1D 超级上行

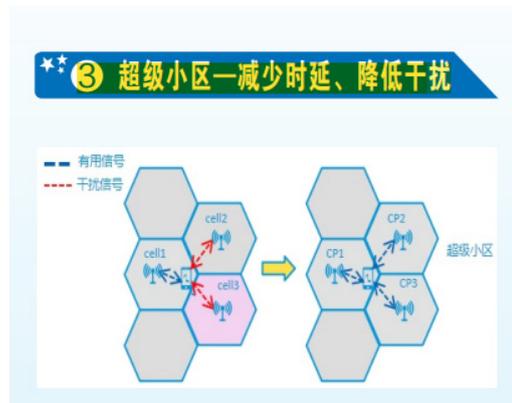


图 3 超级小区

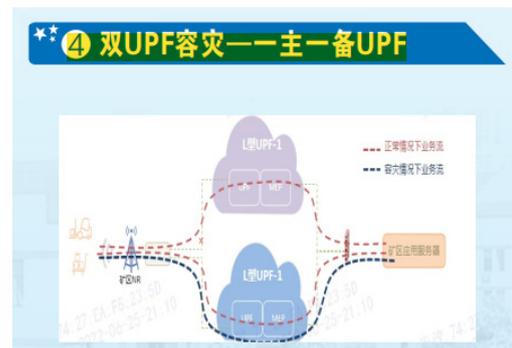


图 4 双 UPF 容灾



图 5 可移动性基站



图 6 CoMP 小区

4 无线网方案

4.1 业务模型取定

根据业务调研结果，新建神木西湾煤矿排土区、排土区南、排土区2、榆林排土区3、排土区西宏基站，新增5套4/5G多模宏站覆盖，在满足矿区5G业务的基础上，在不增加基站的基础上，通过4/5G多模站反开3D MIMO，为矿区提供大容量的4G的语音和数据接入能力。矿坑底基站回传采用微波方式，为保证安全建设有两套微波作为主备链路。据此模型制定5G无线网、传输网和核心网的网络质量指标。

4.2 西湾矿区覆盖设计

根据神延煤炭西湾露天煤矿现场环境进行基站规划，共规划5个5G基站。为保证后期搬迁顺利，采用可移动式机柜和升降式抱杆进行建设。全部站点开通后满足矿区主采区的5G全覆盖。覆盖区域示意如下：



下图蓝色图标为本期扇区覆盖情况。其中西湾煤矿排土区2两扇区分别为西湾煤矿排土区和西湾煤矿排土西基站拉远AAU，黄色为本期新增微波设备站点。



4.3 矿井微波传输方案

为保障西湾矿区的5G网络覆盖效果，矿坑底布放一套5G站点，受现场矿车行驶区域和施工难度（随开采面推进，每三个月整站搬迁100米）影响，不便于光纤布放，矿坑深度约100米，两边长度在2公里内，目视距离很好，该站点采用微波承载回传。为了保证安全建设，建议两套微波作为主备链路。

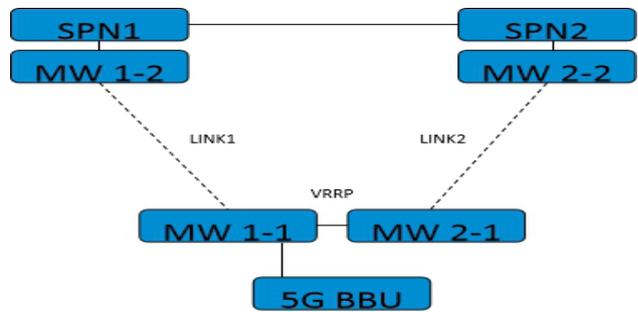
表 1 5G 基站站址规划

序号	具体站型	站名	BBU 数量	AAU 数	备注
1	宏站	西湾煤矿排土区	1	2	新址新建
2	宏站	西湾煤矿排土区 2	1	2	新址新建
3	宏站	西湾煤矿排土区西	1	2	共址新建
4	宏站	西湾煤矿排土南	1	3	新址新建
5	宏站	西湾煤矿排土 3	1	3	新址新建
6	宏站	矿采区微波站	1	3	新址新建
7	宏站	备用站	1	3	备用

表 2 5G 无线配套规划

序号	类别	名称	数量
2	配套	单管塔	7
		开关电源	7
		市电引入	7

具体拓朴如下图：



关键技术建议：

根据站点现场容量距离关系，采用E-BAND微波频段，最大传输容量10Gbps；

为了便于安装，采用0.3M小口径天线；

为了维护方便，建议微波设备内置WIFI，可进行非接触式配置；

SPN1与SPN2之间通过VRRP构成虚拟路由器，5G BBU配置默认网关为该虚拟路由器；

微波链路LINK1和LINK2均为1+0配置，LINK1与LINK2之间提供主备份保护。若SPN1、PSN2支持VRRP负载分担模式，则LINK1与LINK2之间提供负载分担保护。

5 5G 专网项目 MEC 设备配置方案

5.1 MEC 方案简介

5G时代，移动通信从最初的人与人之间的通信开始转向人与物的通信，直至物与物之间的通信。AR/VR、物联网、工业自动化、无人驾驶等业务被大量引入，带来了高带宽、低时延以及大联接的网络需求，这也就是3GPP定义的5G三大场景。新业务对带宽、时延、安全性等方面的需求越来越苛刻，传统云计算的集中部署方式已经无法满足业务需求。多接入边缘计算MEC（Multi-Access Edge Computing）正是这样一个强大的平台，可以解决未来网络的延迟、拥塞