



中国五矿

长沙矿山研究院有限责任公司
CHANGSHA INSTITUTE OF MINING RESEARCH CO.,LTD

矿用装备全生命周期智慧运维监管 关键技术研究与实践

报告人：寇向宇 博士
电话/微信：15874207693



长沙矿山研究院有限责任公司
CHANGSHA INSTITUTE OF MINING RESEARCH CO.,LTD

目录 TABLE OF CONTENTS

- 行业背景
- 系统方案
- 场景应用
- 未来展望



一、行业背景

行业背景及趋势/矿用设备故障类型/矿用设备运维难点/

1. 行业背景与趋势

在工业4.0浪潮下，工业设备运维正向数字化、智能化快速转型。通过物联网和人工智能技术，实现设备状态实时监测与预测性维护，可显著降低矿山行业的停机损失，保障生产安全与经济效益。“十四五”规划大力支持智能运维技术发展，预测性维护（PHM）市场规模正高速增长，其中矿业领域潜力巨大，矿用装备更是前景广阔。

智能化转型

- 设备运维从人工经验向数字化、智能化转型。
- 利用物联网传感与人工智能算法，实现设备状态的实时监控和预测性维护

政策与行业推动

- 国家政策大力支持智能运维技术发展。
- “十四五”智能制造规划将故障预测与健康管理（PHM）等列为突破重点。
- 智慧矿山建设成为明确发展方向。

数字化转型



设备运维



行业政策



市场趋势



设备运维重要性

- 非计划停机会带来巨大损失。据统计全球制造业每年因停机损失约6470亿美元。
- 矿用设备可靠性直接关系到安全生产和经营效益，降低故障停机具有重大意义。

市场发展趋势

- “十四五”期间在政策加持下我国PHM市场进入黄金发展期，年复合增速超过40%。
- 据测算到2025年，风电、钢铁、煤炭等行业智能运维潜在市场规模合计超400亿元。

2. 矿用设备故障类型

矿用设备**种类繁多**且运行环境恶劣，**故障类型复杂多样**。凿岩掘进设备易发生液压泄漏与钻具破损；提升设备涉及钢丝绳与制动系统关键故障；运输设备则面临车辆动力与传送系统异常；破碎与磨矿设备易因堵塞与磨损导致停机；选矿设备则需兼顾机械故障与工艺参数异常。各类设备均存在诊断难点，受井下环境恶劣影响、传感器易损坏、征兆隐蔽等，传统单一信号监测方式难以实现精准诊断，迫切需要多源数据融合和智能算法的综合运用。

钻凿设备



- 液压泄漏、钻头/钻杆断裂、推进卡滞、电控失灵（常见故障）
- 高震动+粉尘环境易损伤设备
- 早期故障信号易被噪声掩盖
- 结构疲劳加剧诊断难度
- 需多参数联合监测预判隐患

固定设施 (提升设备)



- 钢丝绳断丝、卷筒/制动系统异常、轴承磨损发热、电控失灵（常见故障）
- 高安全要求，故障零容忍
- 连续高速运行损耗加剧
- 井下维修条件差，监测难度大
- 精准预警与计划性维护是关键

移动装备 (运输设备)



- 运输车辆高负荷运行故障频发
- 井下抛锚影响大，维修困难
- 连续高速运行导致损耗加剧
- 电气控制故障、电池续航能力衰减
- 皮带传送系统易发生事故

选矿设备 (连续工艺)



- 闷车堵塞、衬板/锤头磨损、主轴/轴承损坏、齿轮断裂（常见故障）
- 筒体衬板磨损、齿轮啮合不良、轴承温升、异常振动与噪声（球磨机故障高发部位）
- 连续运行损耗加剧
- 设备突停影响全局生产

3. 矿用设备运维难点

恶劣的井下环境和通信条件限制，导致矿用设备故障频发且人工巡检难以及时发现隐患，存在安全与经济双重风险。矿用设备运维停留在纸质档案，数据分散，无法形成统一管理平台，决策缺乏精准数据支撑。矿山现场专业技术人员紧缺且老龄化严重，管理层也缺少有效的实时监管手段，急需借助智能化运维技术解决上述问题。

数据采集难

终端设备成千上万，接口标准不统一，工业协议五花八门，数据归属不一。

运维数据分散

目前仍以纸质档案为主，信息孤岛严重，无法实现全生命周期统一监管与信息共享。

技术人员紧缺

一线专业人员不足，人才断层问题突出，制约了设备运维能力的持续提升。

人工巡检滞后

巡检效率低，难以及早识别设备潜在问题，存在安全和经济双重风险。

运维决策 缺乏数据支撑

数据未能有效沉淀与利用，管理与决策依赖经验判断，缺少实时、精准的技术依据。

管理手段有限

缺乏实时监控与预警机制，难以实现设备状态全局感知与精细化管理，智能化运维技术成为关键突破口。

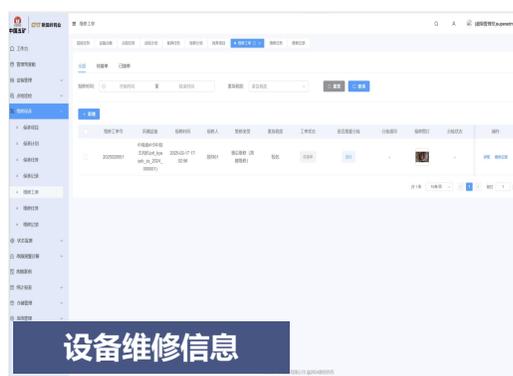
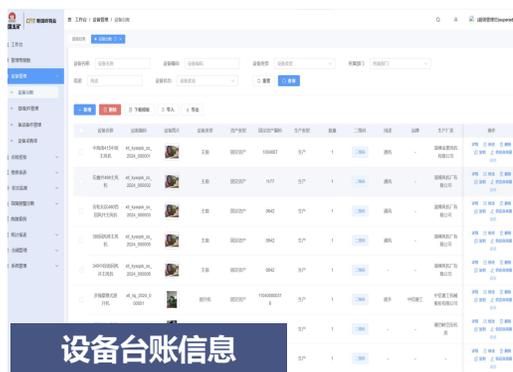
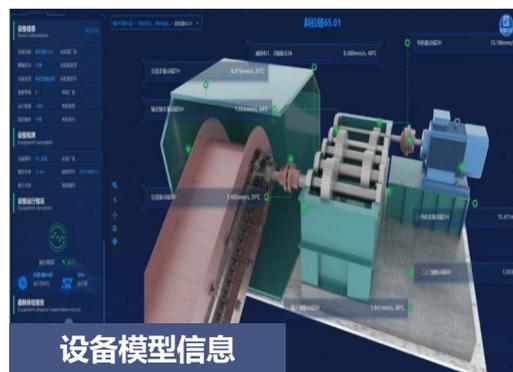


二、系统方案

整体方案/ 主要功能/ 数据采集/
设备风险预警 /设备诊断分析/典型示范

2.1 整体方案

为解决矿山运维数据分散、管理割裂的问题，自主研发**矿用设备全生命周期管理平台**，面向矿山复杂工况和多种类型设备，构建统一的信息架构体系，打通了设备全生命周期各环节数据链条，为设备精细化管理、智能运维决策与预测性维护提供了坚实的数据支撑与统一技术载体。



2.1 整体方案

采用“感知—中台—分析”三层架构，形成矿山设备运维的全流程数字化闭环。感知层通过在矿用设备关键部位布设多类型传感器，实现对设备运行状态的全面监测，边缘计算层承担本地数据预处理与异常响应，提升系统实时性与可靠性；自研的“奥特迈”数据中台集成大数据平台与设备算子模型，支持远程故障诊断与寿命预测；分析与可视化层则实现状态可视化、工单管理及全局运维协同，确保在矿山复杂环境下实现高效、安全、可控的设备智能运维管理。

矿用设备全生命周期管理系统

设备监测管理

设备资产管理

设备维修管理

智慧巡检

设备保养管理

备品备件管理

知识库

预测性维护

数据采集

边缘网关



智能基站



奥特迈数字中台

业务中台



数据中台



技术中台



矿用设备全生命周期管理

设备管理



设备运维

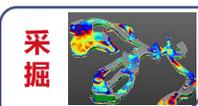


生产优化



N个设备

矿脉地质数据



采掘方向
掘进米数
矿体体量
巷道情况
采掘数据

掘进量



电机车计量数据
电机车运输轨迹
设备健康
溜井存矿

运输量



近两日提升量
提升吨电单耗
当月提升量
计划达成率

原矿仓



地表运输
卡车计量
卡车轨迹



近两日破碎量
破碎吨电单耗
当月产出量
计划达成率

粉矿仓



近两日磨量
磨矿吨电单耗
当日生产成本
当月产出量



近两日浮选量
浮选吨电单耗
药剂消耗情况
药剂单耗

尾矿



尾矿综合利用
尾矿库水位
干滩监测
降雨量
位移监测



充填计划
近两日胶结量
近两日尾砂量
充填耗材成本
充填配比

以设备全生命周期为核心，构建“标准清单、规范巡检、智能保养、知识沉淀、绩效评估、闭环管理”六大机制，实现设备从采购、使用到报废的全流程数字化管控。通过直观工具指引、现场拍照验证、维修考核与备件溯源，保障设备管理标准化、透明化与高效化，全面提升运维质量与作业协同水平。



配件与装配数字化

零配件清单 / 装配图导入 / 工具管理

支持导入设备厂家提供的配件清单、装配图及维修工具清单，按部件结构进行分组分类管理。所需备件、所需工具清晰可见，系统自动关联配件位置，维修人员能直观定位所需资源。



点巡检体系标准化

巡检提醒 / 关键部位识别 / 拍照留证

系统自动生成巡检任务并提醒，关键部位张贴物理标识，系统任务中同步配图指引。巡检要求拍照上传，确保巡检工作真实、可追溯。



设备保养智能化

保养提醒 / 耗材清单 / 自动流程

支持周期保养提醒，清晰列出保养所需耗品种类、标准用量与申请流程。简单易用，避免人工遗忘与操作失误，提升保养标准化、规范化水平。



异常知识库动态更新

异常登记 / 巡检联动 / 知识沉淀

提供的初始故障清单，维修人员可在处理问题后录入维修记录更新知识库，构建维修经验的数据资产。



维修与备件管理

维修评估 / 备件溯源 / 效果验证

对维修人员进行维修时长与效果的量化考核。关键高价值备件绑定电子标识，实现品牌、供应商、采购记录全流程可追溯，支持质量复核与使用效果分析。



设备全生命周期闭环管理

外部对接 / 生命周期跟踪 / 三阶段闭环

打通采购、使用与报废三大流程，对接OA、ERP、自动化系统，形成完整的设备全生命周期管控链条，实现从入库、使用到报废的全过程数据闭环与流程协同。

自主研发适用于行业特点的边缘计算网关：

- ✓ **满足防爆、防尘、防水要求**
- ✓ **采集传感器、设备数据，内置电源模块，支持断点续传。**
- ✓ **边缘侧内置故障检测算法，对关键参数超阈值情况立即报警，网络中断时完成基本监测功能。**

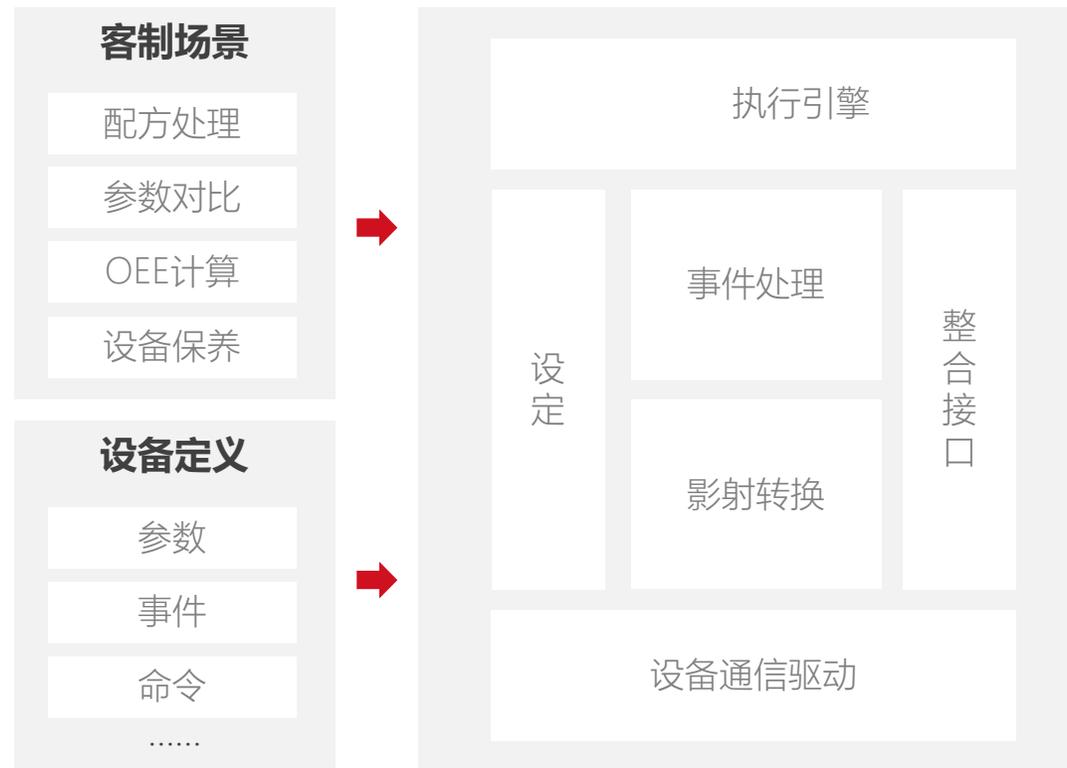
■ 智能网关

- ✓ 平台独立的软件系统，自主可控的知识产权
- ✓ 预装系统的小体积，低功耗，ARM 等级硬件
- ✓ 提供监控管理平台
- ✓ 支援不同的协议和联接方式
- ✓ 支援数百种常用设备的即插即用
- ✓ 体积小，低功耗
- ✓ 具备多网口，多串口
- ✓ 支援 OTA 升级



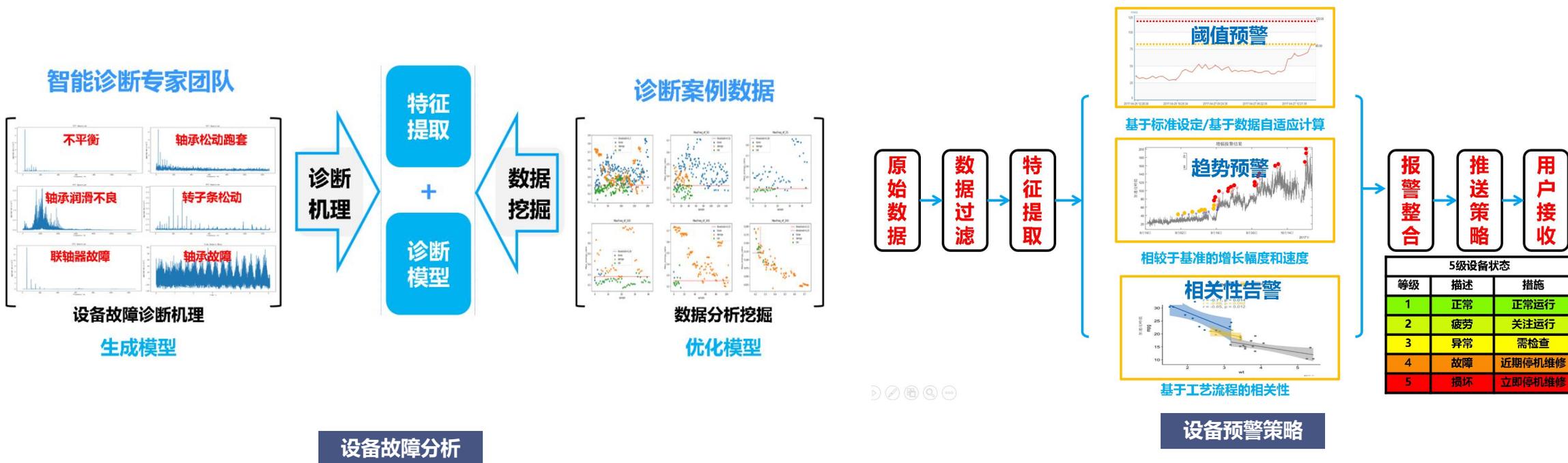
■ 优势：

- ✓ 统一适配：互联的智能盒子将矿山各类工业协议的现场设备统一接入，即插即用
- ✓ 灵活转换：支持SCADA，边缘控制，历史数据分析，灵活转换数据格式
- ✓ 虚拟设备：将设备虚拟成对象，便于业务访问与操作



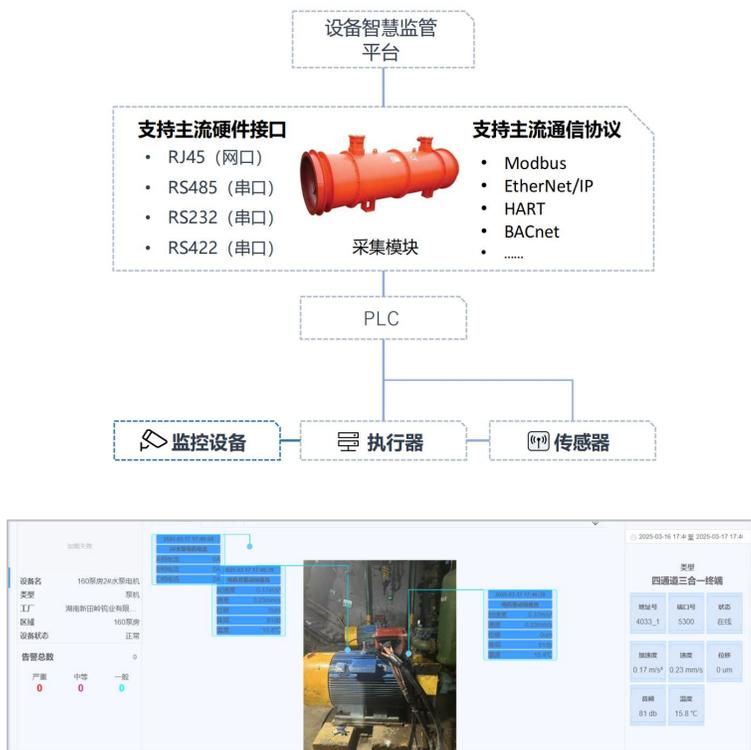
2.4 设备风险预警

平台集成了设备故障机理模型与状态监测系统，通过实时数据采集、特征提取与模型匹配，实现对关键设备的智能故障诊断。平台构建了完整的风险预警流程，基于“原始数据—数据清洗—特征提取—阈值/趋势/相关性分析”链条，自动触发多维度告警，并将预警信息整合后精准推送至相关责任人，实现隐患的早识别、早响应。

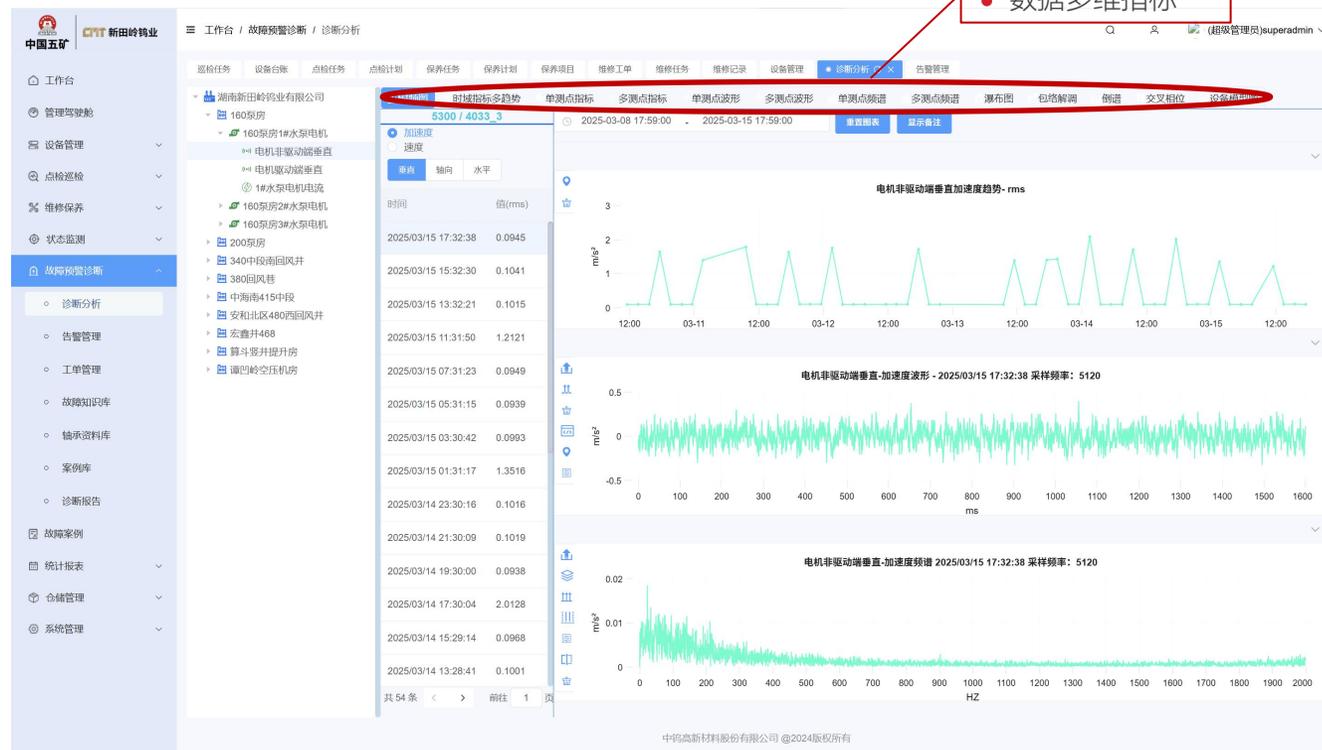


2.5 设备诊断分析

针对矿用设备运维过程中缺乏数据支持、决策依赖经验判断的问题，矿用设备全生命周期管理平台提供了多时段、多维度的数据展示与分析能力。平台基于设备运行全程采集数据，构建了涵盖运行状态、健康趋势、故障特征等关键指标的分析体系，支持运维人员开展趋势判断、故障诊断与风险评估。



设备状态监测



设备数据分析



矿用安全设备的全生命周期管控驾驶舱

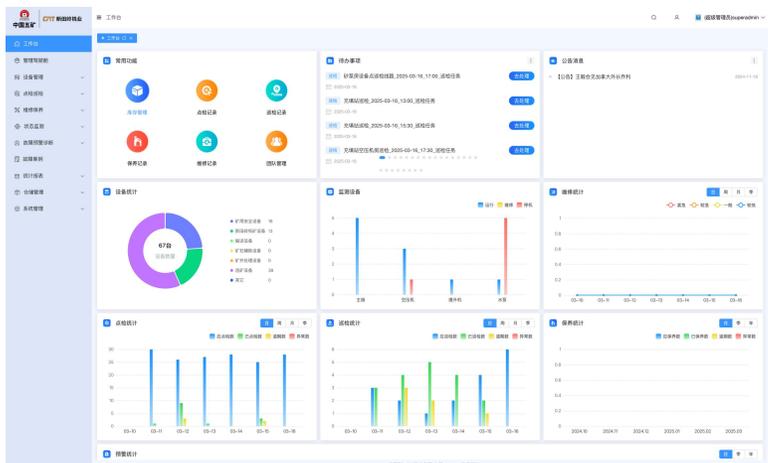


单台设备的实时监测及管理驾驶舱

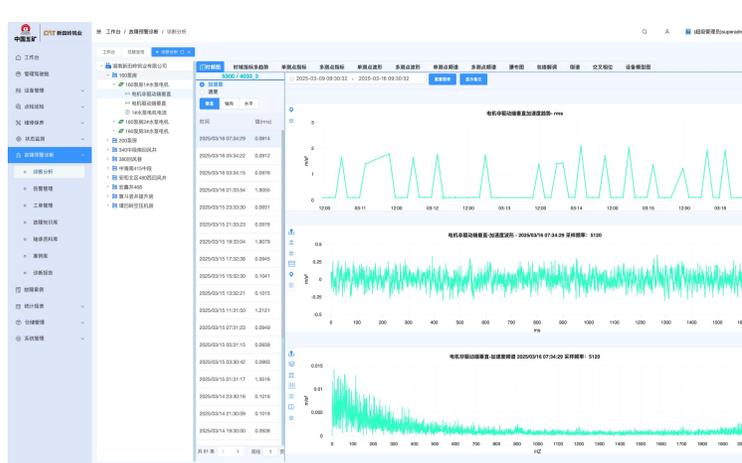
■ 中钨高新矿用安全设备全生命周期智慧监管平台

面向5家矿山企业，建设设备分类、点检、保养、故障维修、隐患整改、设备管理、运行监测等功能。采购并安装通、压、提、排类矿用设备53套，通过传感器实时采集数据，自动生成数据库，支持基于载荷系数或转速的工况预警模型，**结合历史数据与故障机理进行智能诊断、故障预测和寿命周期分析，为计划检修提供依据，减少停机时间，提高安全监管水平，降低矿山维护成本。**

长矿院自主研发的“矿用安全设备全生命周期智慧监管平台”，通过构建工业互联网+区块链技术架构，实现设备采购、运行、维保、报废等全流程数字化追溯，填补了矿山行业设备状态智能诊断与预防性维护的技术空白。未来，长矿院将进一步结合人工智能技术，充分利用检测检验的专业优势，为矿山进一步提供智能化的设备管理及配套服务，成为矿山生产运行全过程的技术服务管家。



设备入库、安装、使用、维护、维修及报废
全过程管理



设备预测性维护及故障案例库

三、场景应用示例

设备管理 / 预测性维护 / 数据应用 / 运营优化

3.1 设备管理

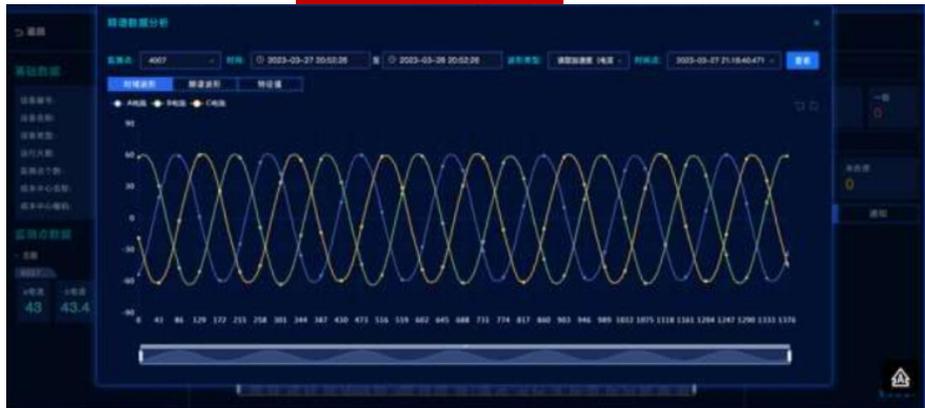
依据提升机设备维护规范和运维人员日常经营，部署相应传感器采集关键运行数据，通过边缘网关接入其控制系统采集电流、电压与速度数据，统一上传至设备管理平台，实现对提升机运行状态的实时监测。

提升机设备管理

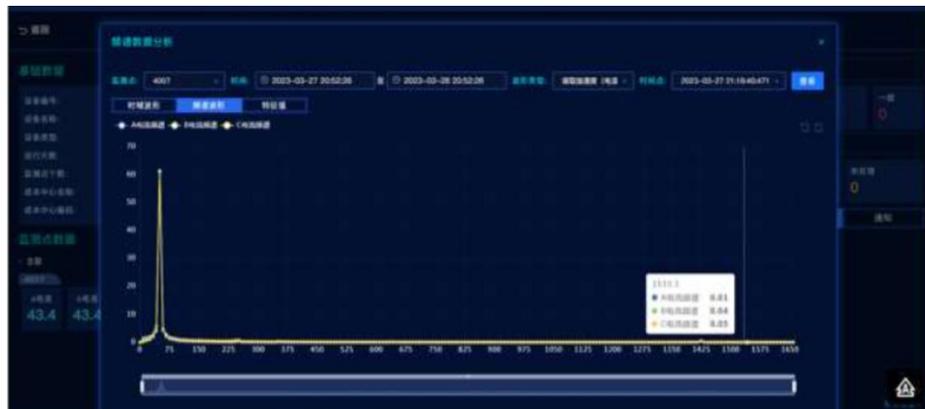
部署传感器+边缘网关

提升机

提升机数采示意



电流波形



设备振动

3.2 设备预测性维护

从传统的计划检修向预测性维护升级，结合智能诊断，实现故障的提前预警与精准定位，大幅提升诊断准确率与维护效率，真正实现“少停机、少人工、少故障”。

传统

计划检修

按提升机检修规范，定期更换钢丝绳、对关键部位检维修；

通过维护保证生产安全



现在

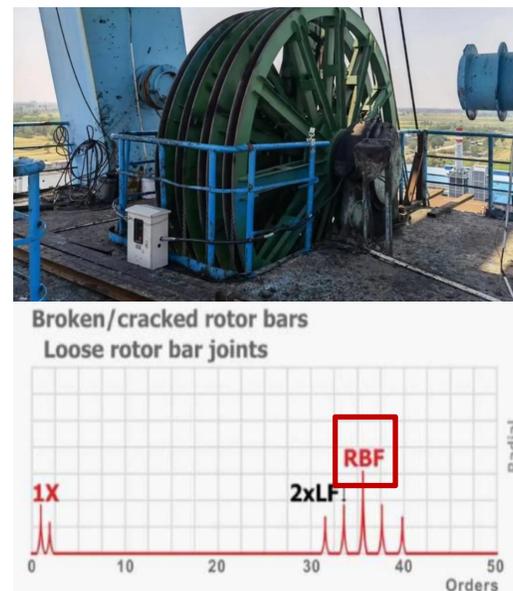
预测性维护

结合设备管理系统，按设备运行数据给出设备状态评估；

- ❑ 故障提前预警；
- ❑ 诊断准确率提升；
- ❑ 减少停机与延长寿命
- ❑ 维护成本降低
- ❑ 人员效率提高

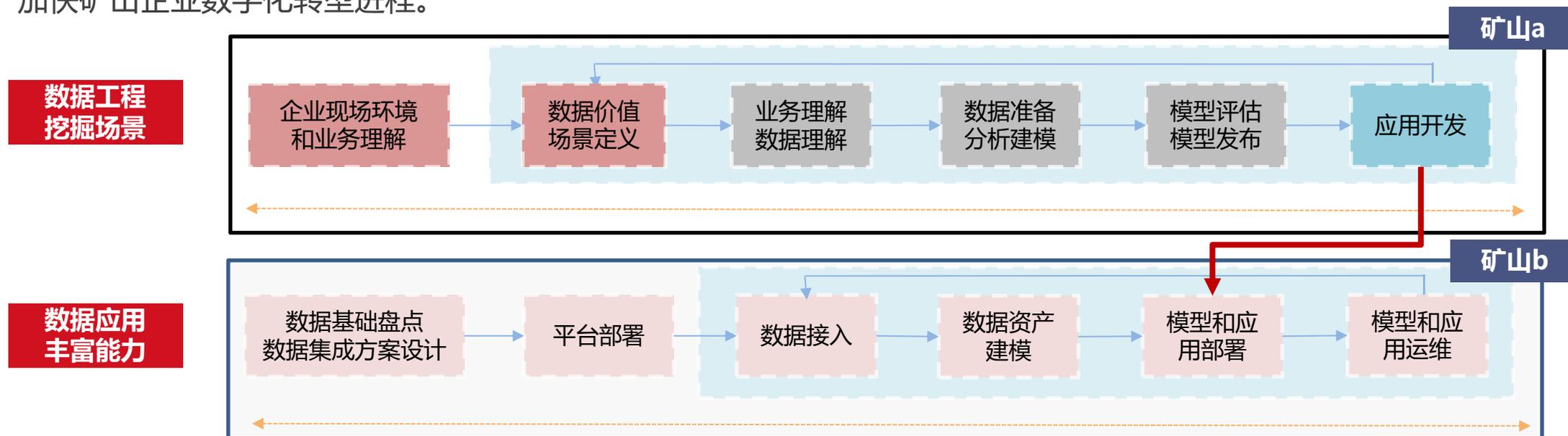
准确了解设备运行现状

实时监测设备运行异常



3.3 数据应用

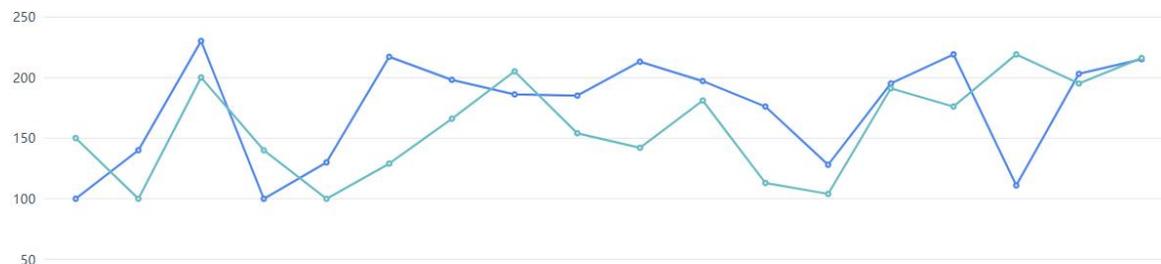
依托设备管理平台的数字化能力，以核心设备知识为基础，系统挖掘设备全生命周期数据的潜在价值，持续优化智能化服务内容与交付模式，推动设备、平台、服务与团队的协同进化，全面提升矿山企业的数字化运维水平与管理能力，加快矿山企业数字化转型进程。



在数字化基础较为成熟的矿山A中，通过数据工程流程完成了对现场环境的深入理解与典型场景的挖掘，构建了具备通用价值的数字模型。基于矿山A的数据工程成果，矿山B在数字化实施阶段可直接复用其已验证的数据模型与应用，跳过前期建模流程，实现“**模型即服务**”的快速部署。

基于提升机的电流、电压、提升速度的在线接入，通过对原始数据进行清洗、关联和可视化，对提升工况进行识别和统计，并在工况基础之上对提升速度、设备能耗、设备健康三个场景开展数据分析。

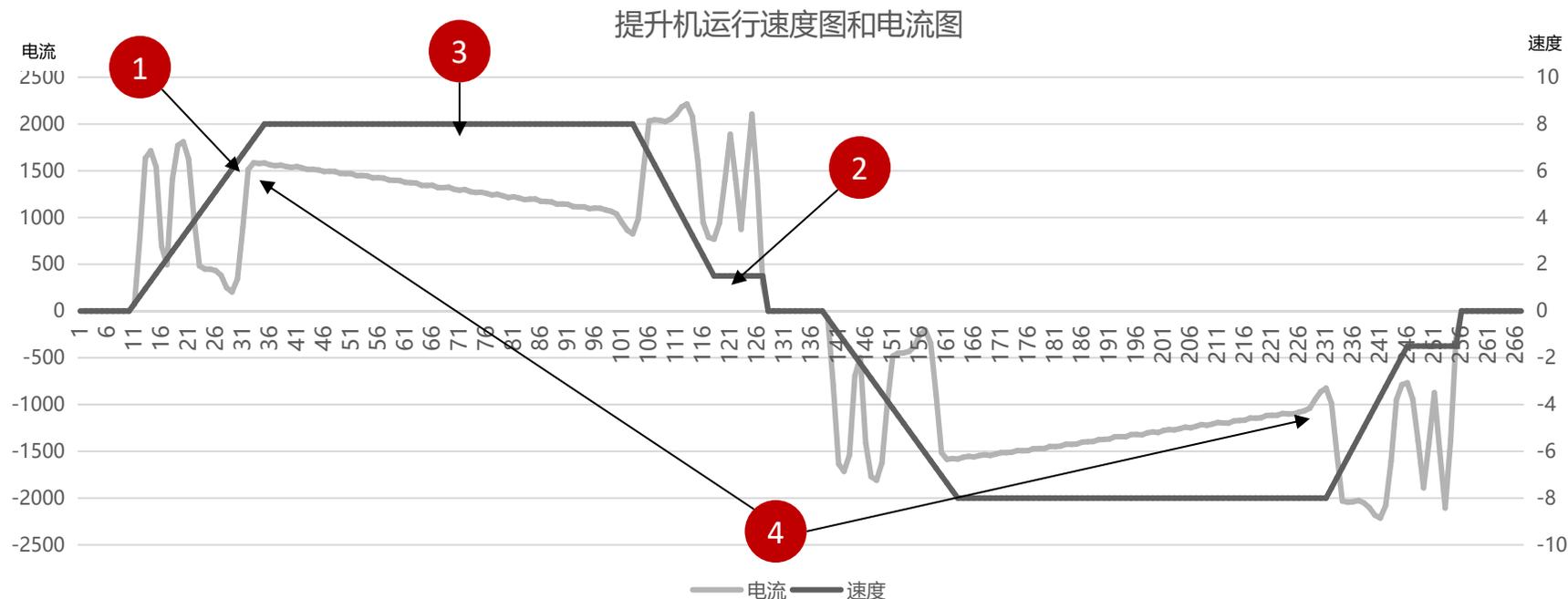
- **提升机的工况识别**的目的是基于电流、电压、提升速度等数据进行工况切分，将数据对应到罐笼、箕斗每次提升，实现数据的精确关联。
- **提升速度优化**：电流、速度等关键设备参数的关联与分析；
- **提升机能耗分析**：根据工况切分结果，按不同时期罐笼、箕斗提升进行统计分析；
- **提升设备健康**：根据数据统计结果，实现对提升机的设备预测性维护；



3.4 运营优化-监测数据

基本场景：

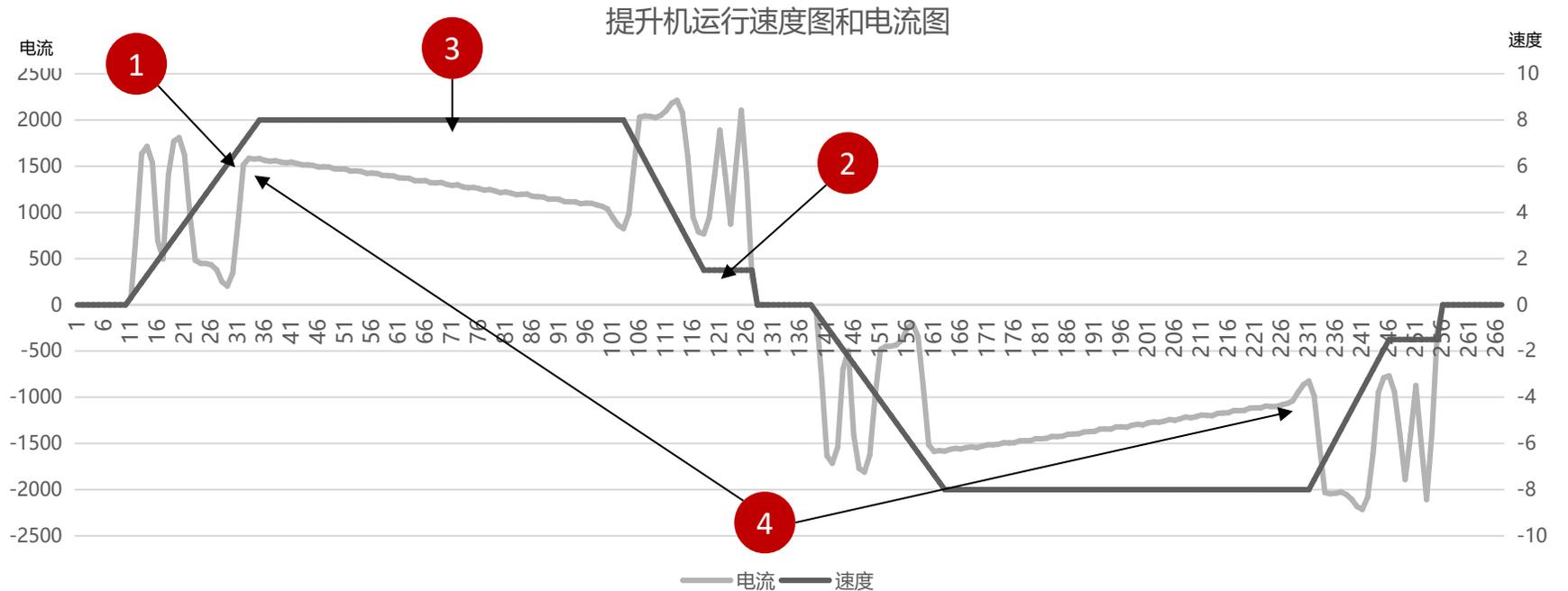
某矿为双罐道提升系统，一侧配置箕斗用于矿石提升，另一侧配置罐笼负责人员/物料运输。提升机驱动电机的峰值电流与罐笼或箕斗有效载荷呈正相关，罐笼提升电流为正、箕斗提升电流为负。未接入设备管理系统前，操作工凭经验完成日常提升工作。



3.4 运营优化-发现异常

发现问题：

1. 提升加速阶段应快速加速到达匀速运行阶段；
2. 提升减速阶段应**一次减速**至爬行速度；
3. 匀速运动阶段电枢电流应尽量水平；
4. 提罐笼与提箕斗，电枢电流的最大值应尽量一致；



优化思路：

1. 结合提升机提升速度监测，通过优化提升速度，缩短提升机运行周期时间，增加提升趟数，提高产能，达到能耗成本的降低；
2. 结合提升机电流监测，通过洞察发现，提升机电流峰值差与罐笼与满载箕斗的质量差相关，电流斜率与提升机尾绳重量相关。

3.4 运营优化-提升速度优化

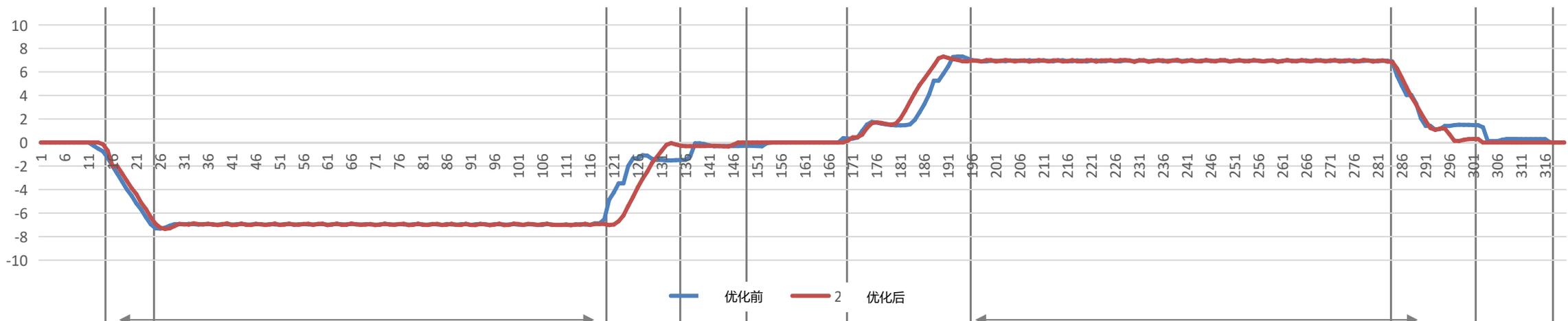
策略

通过调整提升机运行的加速段、匀速段、减速段的等待时间及减速距离，缩短运行周期。

效果

- 主井每个提升周期运行时间**缩短22秒**，提升效率提升7%
- 仅主井每小时提升次数增加一趟（18吨），即每天提矿量增加400t
- 每天提矿5000吨，**一年可节省电费90万元**

监测速度图对比



加速段
基本保持不
变

匀速运行段
增加匀速运行时间

减速段
去除了二次
减速过程

爬行段
基本保
持不变

加速段
缩短一次加速
爬行时间

匀速运行段
增加匀速运行时间

减速段
缩短一次
减速爬行
时间

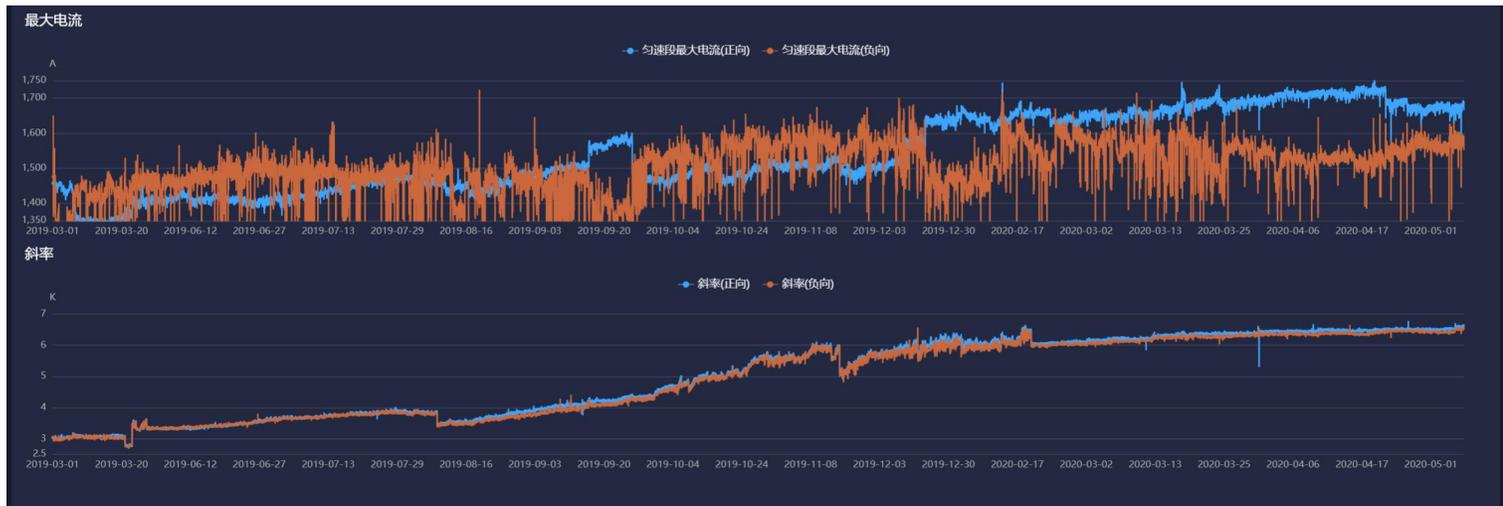
爬行段
缩短减速
停车爬行
时间

箕斗提升段，周期144秒->137秒，降低7秒

罐笼提升段，周期151->136秒，降低15秒

3.4 运营优化-隐患监测指标

通过指标分析，定性判断提升机的工作状态。



新增隐患指标

整改措施

① 正负电流差

该指标用来判断罐笼、箕斗（满载）的质量差

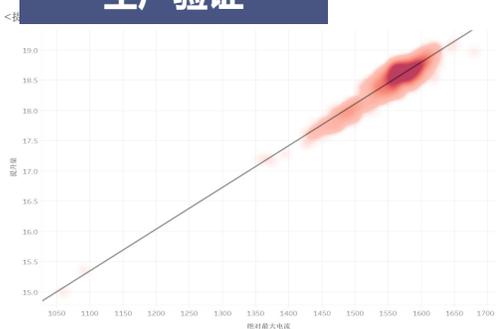
主动清理罐笼、箕斗积矿，调整配重

② 电流斜率

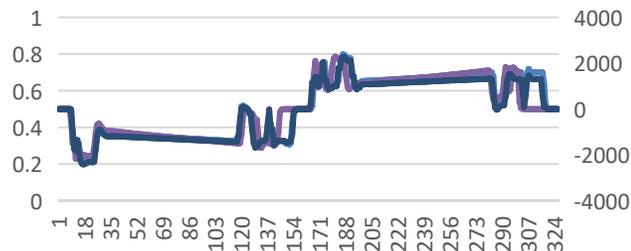
该指标用来判断提升机尾绳重量

主动更换钢丝绳

生产验证



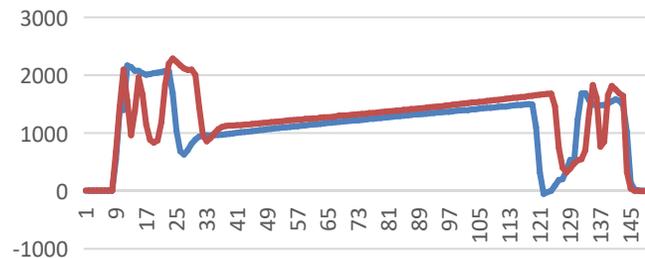
电枢电流对比



— 优化前 — 优化后 — 建设前

优化后比优化前，尾绳重了约2t

正负电流对比



— 负电流 — 正电流

24年5月初，罐笼比箕斗满载时，重了约1.2t

通过数据分析，匀速运行阶段，电枢电流每增加100A，净提升重量差增大0.69t

3.4 运营优化-经济效益

降本



增效



四、未来

工业数据智能化思考/大模型结合

业务目标：不变的“一”



实际行动：工业标准化背景下的异常处理



底层依托：工业隐性知识的显性化

隐性知识（工人经验）的发现、沉淀和传承

4.1 工业数据智能化思考

大模型不是万能的，但是与小模型互补

数据 + 工业知识 + 模型 = 工业智能



大模型
更像“人”

优势

知识丰富
通用，胜任多种任务

劣势

有幻觉，输出不稳定
无法进行真正的计算和推理



专业的数分模型
更像“机器”

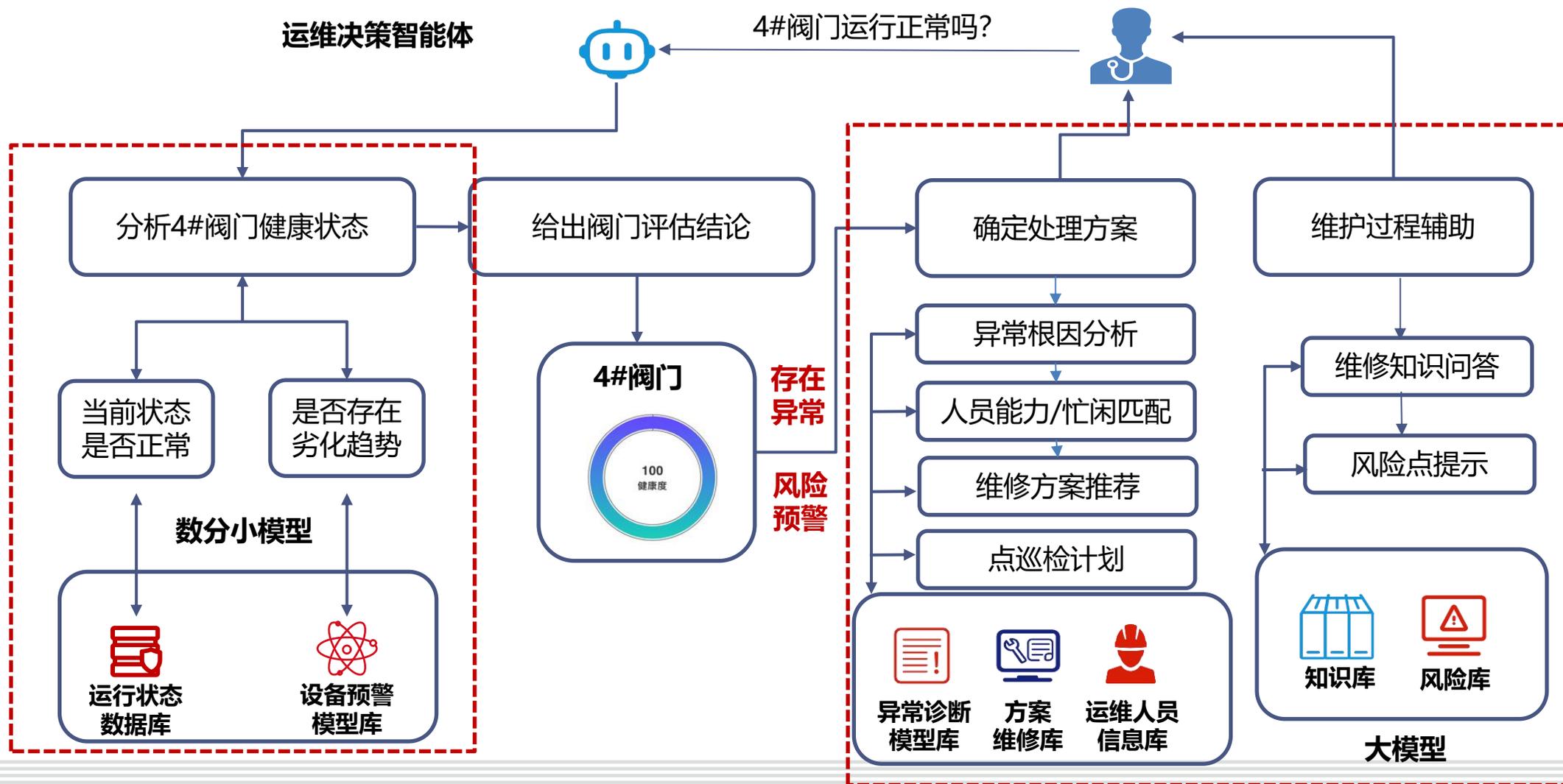
劣势

功能单一，只能做设计好的事
每个专用模型需要单独开发

优势

输出稳定可预测
相对正确率高(也达不到100%)

4.2 大模型应用-关键部件的监测诊断系统（智能体）



4.3 大模型应用-智慧大脑

- “三个模型” :信息模型+数据分析模型(小模型)+大模型
- 实现数据集成和系统功能集成, 并为用户提供更加友好的自然语言交互方式





中国五矿

长沙矿山研究院有限责任公司
CHANGSHA INSTITUTE OF MINING RESEARCH CO.,LTD

THANKS