



2026智能矿山暨 无人驾驶行业蓝皮书

研究报告

目录

CONTENTS

1 运营为王，智能矿山价值兑现

- 1.1 行业发展历程
- 1.2 全场景化运营定义、范畴与关键指标
- 1.3 驱动力

2 发展现状及解决方案

- 2.1 无人驾驶安全运营体系
- 2.2 智慧矿山运营
- 2.3 新能源运营
- 2.4 “车-胎-路-维”一体化运营解决方案
- 2.5 煤矿先行经验的推广价值

3 非煤矿山运营经验迁移与智能化落地

- 3.1 非煤矿山发展状况
- 3.2 运营导向的智能化落地解决方案
- 3.3 非煤矿山运营经验迁移与智能化落地

4 运营导向驱动产业新生态

- 4.1 全景式无人驾驶安全运营区域化模式
- 4.2 重构商业模式
- 4.3 数字化供应链重构智能矿山价值

第一章

CHAPTER 01

运营为王，智能矿山价值兑现

- 1.1 行业发展历程
- 1.2 全场景化运营定义、范畴与关键指标
- 1.3 驱动力迈向运营时代

1.1 行业发展历程

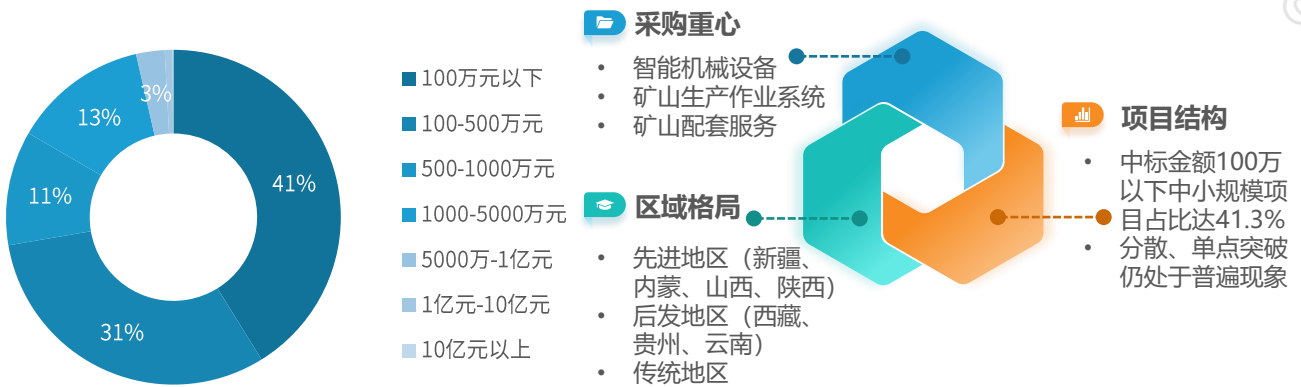
1.1.1 建设热潮，规模化部署的成果与特征

截止2025年年底，全国已建成1806个智能化采掘工作面，涉及907处煤矿，煤矿智能开采产能占比超过50%，超过1.6万个固定工作岗位无人值守，与此同时，30余类共2640台（套）机器人、4000多辆无人驾驶车在各类矿山推广应用。

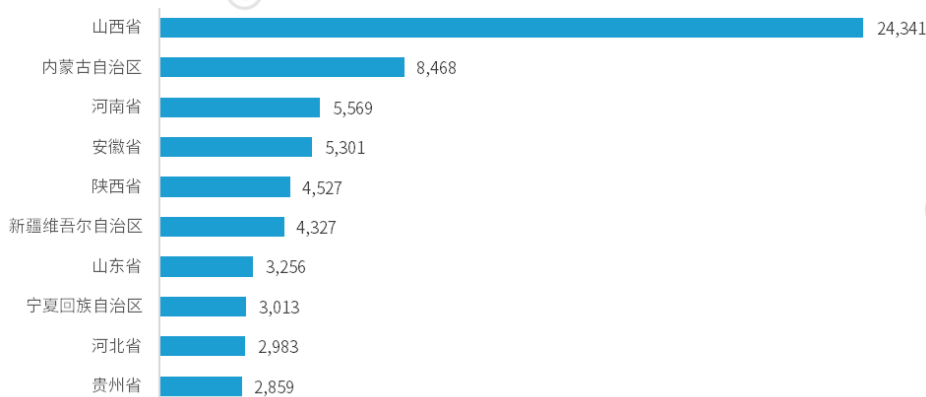
智能化建设的另一项重大成果体现在安全生产的显著改善。2025年全年，全国煤矿共发生事故217起，死亡328人，较2024年分别下降12.3%和15.7%，百万吨死亡率降至0.098，创历史新低。今年两会上有专家指出，我国煤矿百万吨死亡率已降至0.05左右，“智能化功不可没”。与2020年相比，当前全国煤矿智能化采掘工作面由494个增加到1930个，五年间增长近4倍，标志着煤矿安全高效发展进入新阶段。

数据是“建设热潮”最直接的成果体现。其驱动力明确，源自国家“安全、高校、绿色”的政策强力引导。另外，从市场活跃度来看，2023-2025年招投标数据分析进一步印证了“建设热潮”这一阶段的特征。然而，建设交付的只是系统功能，功能能否转化为持续的经济收益，则完全取决于后续运营体系的完善与执行力。

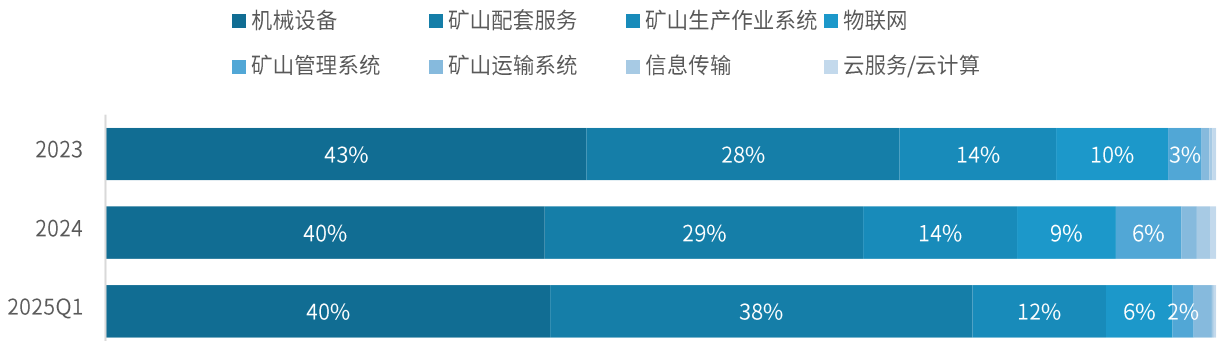
2023年-2025年Q1中标金额分布



2023年-2025年Q1各地区智慧矿山招投标数据可得，山西、内蒙古等传统能源大省领跑智能矿山建设，河南、新疆等中西部省份依托政策与新能源需求加速追赶，区域布局从单一资源型向产业链协同扩展，政策支持与低碳目标共同推动行业向高效、绿色方向升级。



亿欧智库/亿矿通：2023-2025年Q1招投标产品占比分类 (%)

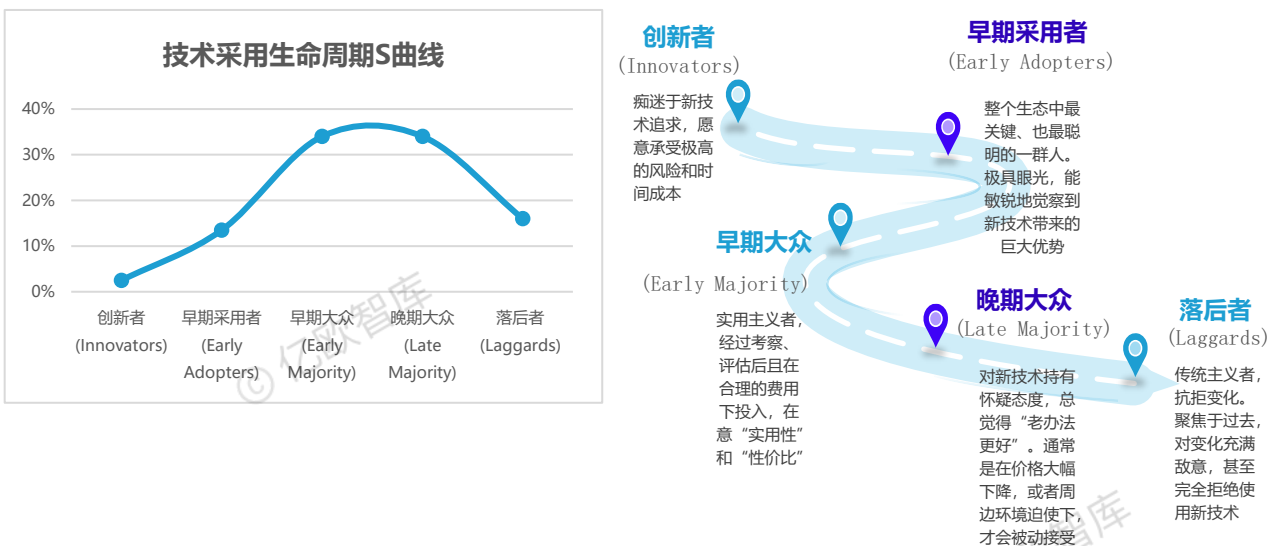


规模化建设为矿山奠定了硬件基础，但如何在此基础上实现持续的经济回报，正是下一阶段“运营深化”要回答的核心命题。

从行业生命周期看，智能矿山已跨过“技术可行”的鸿沟，正处在“经济可行”的发展过程中。如何让1800多个智能化工作面、数千辆无人矿卡不仅“跑起来”，更要“跑出效益”是全行业必须回答的运营命题。

1.1.2 源自“建设期”痛点，转型“运营深化”已成内在必然

从技术发展规律来看，智能矿山正处于从“早期采用者”向“早期大众”跨越的关键时期。早期采用者（如头部煤企、千万吨级露天矿）的决策逻辑是最求技术领先和示范效应，对效率瑕疵有一定的容忍度；而“早期大众”是实用主义者，核心诉求是投资回报率与吨矿成本的最优平衡。这一理论天然驱动着行业从“卖装备”向“卖服务、卖产出”转型。



行业规模化建设虽然快速推进，但行业痛点日益凸显，成为制约智能化投资价值兑现的瓶颈，并直接倒逼“运营深化”转型的迫切需求。

- ◆ 生产工具数字化效率未达预期：无人驾驶矿卡、智能采掘装备等虽已落地，但在实际复杂工况下的运行效率、稳定性、可靠性，以及与传统有人装备的混编协同效能，尚未完全达到最佳值，存在“可用但未最佳使用”的局面。

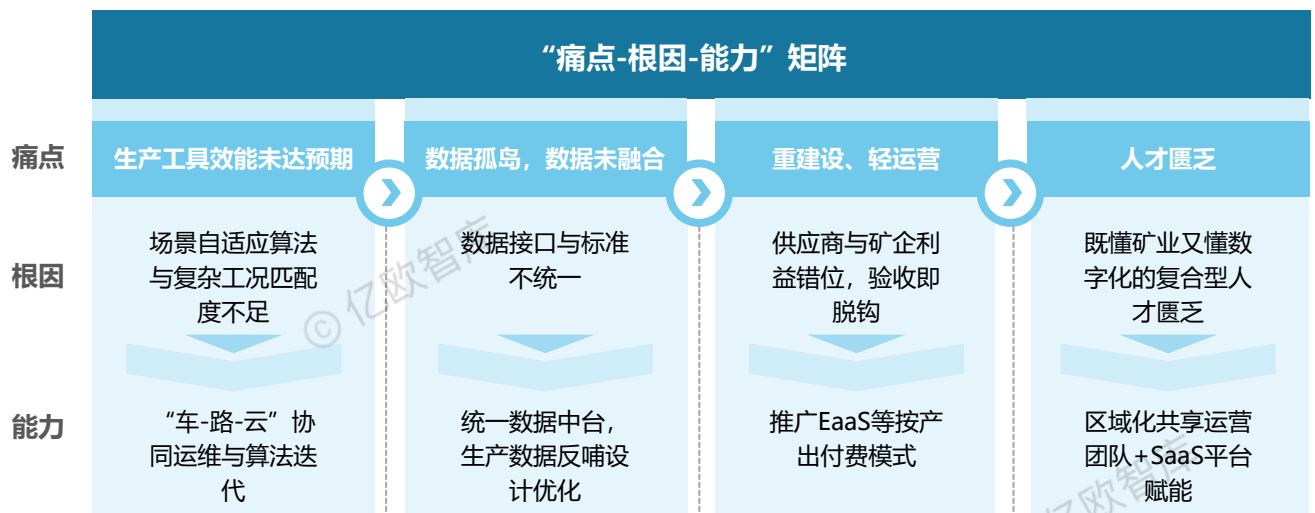
数据来源：亿欧智库/亿矿通

- ◆ 生产过程数字化未贯穿迭代：各子系统（如地质保障、设备管理、生产调度）间存在“数据孤岛”，数据标准与接口不统一，导致“设计-生产-管理”流程断裂，数字系统难以基于实时数据进行闭环优化与自主决策。
- ◆ “重建设、轻运营”现象普遍：出现已建成项目系统常态化运行率不高的现象，如部分云网融合系统因井下环境苛刻、运营复杂而面临可靠性挑战。
- ◆ “运营深化”绝非简单的运营维护，而是一场以“全景式成本优化”为核心导向，贯穿技术、管理、人才和商业模式的深刻变革。从追求“系统上线”的可用目标，转向追求“吨矿运营成本最优”与“单位时间产出最大化”的经营目标。这要求对设备综合利用率、无人驾驶“吨公里”运输成本、单位能耗成本等进行精细化管理。
- ◆ 行业面临“零和博弈”的困局，各参与方在传统运输业务的存量利润中激烈竞争，企业盈利压力越来越大，迫切需要从“分蛋糕”转向“做大蛋糕”的商业模式创新。

痛点的本质是规模化建设之后，系统效能与投资回报之间不成比例。因此，“运营深化”阶段的历史使命，正是要系统性解决“建设期”遗留下来的这些问题，推动智能矿山从“具备功能”走向“释放价值”。“运营”的一个重要抓手就是通过工程手段（如道路硬化）改善无人驾驶运营环境，减少车辆损耗、提升效率，从而直接提升项目运营利润。

矿山行业急需从“项目交付思维”转向“持续经营思维”。运营深化的核心，就是要通过构建覆盖设备、能源、道路、人员、数据的全场景运营体系，将智能化资产转化为持续产生现金流的经营能力。如“车-胎-路-维”一体化解决模式，正是从道路这一基础环节切入，打通效率与成本的堵点，直接提升运营利润，为行业注入持续运营的经济动力。

1.1.3 运营深化面临的现实挑战



运营导向的转型固然方向明确，但实际中面临的阻力不应低估。其一，组织变革的阵痛。矿山传统的机电科、运输队等岗位与人员技能难以快速适应智能化运营需求；第二，数据主权与信任问题。当技术服务商通过EaaS模式深度介入运营并掌握核心生产数据，矿企的数据安全与工艺保密如何保障；其三，长尾场景的适配难题。不同矿区的地质水文条件、设备品牌、通信协议千差万别，标准化运营体系与个性化现场之间存在问题。

数据来源：亿欧智库/亿矿通

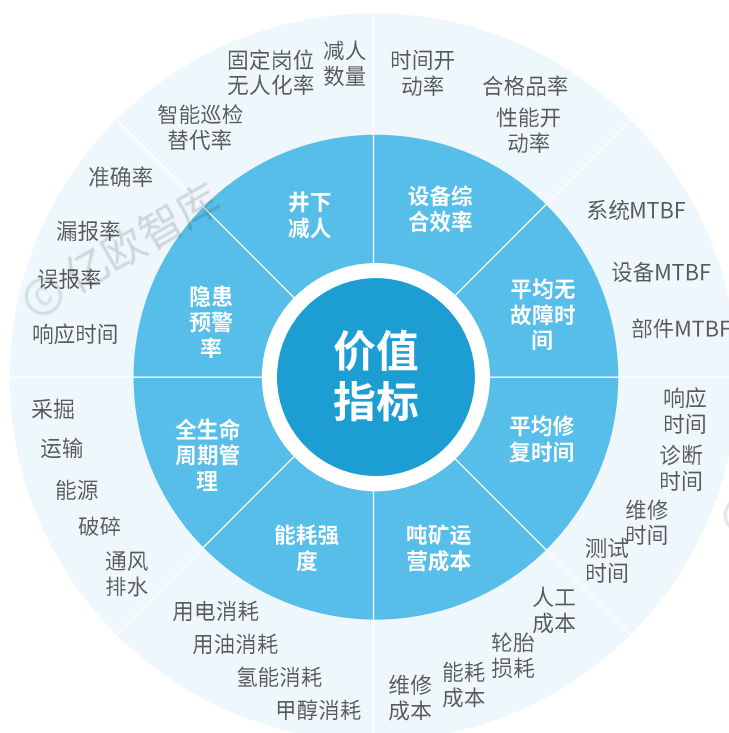
1.1.4 商业模式演进：从交付产品到交付运营成果

智能矿山从“建设”迈向“运营”的深刻转型中，传统的产品销售与项目集成模式已无法完全满足矿山企业对“持续降本、稳定增效”的目标要求。于是以“运营价值”为核心的新型商业模式近年来正在快速发展，也必将成为智能矿山常态化运行的主要价值方向，其核心驱动力从“技术产品交付”转向“运营效益保障”

- ◆ 第一类：产品销售模式，也就是供应商向矿企销售硬件设备（如矿卡、破碎机、输送设备、提升设备等）或软件。价值一次性转移，责任边界清晰，但矿企需自行承担集成、运营及优化责任，易出现“建用脱节”。随着矿山智能化系统复杂度提升，矿企自身的技术能力和管理成本不足以支撑高效运营，于是向“解决方案集成模式”过渡，即部分风险转移至供应商，但仍存在“验收即脱钩”的问题。
- ◆ 第二类：解决方案集成模式，供应商或集成商提供“硬件+软件+集成”的解决方案。价值体现在定制化交付和系统打通，但项目验收后，系统的长期效能优化仍依赖于矿企自身或额外的维保合同。此模式为当前市场主流。
- ◆ 第三类：专业化运营服务模式，供应商或专业第三方角色转变为“运营服务商”或“价值合伙人”，其收入与系统运行效率、降本增效等关键绩效指标挂钩，实现风险共担、利益共享。这正是“运营深化期”的主导商业模式方向。当前向“专业化运营服务模式”的跃进，本质上是一种风险治理结构的优化，其收入与生产效率和成本指标深度捆绑，形成长期的共生关系。这种模式契合了矿山企业的核心诉求，将不确定的运营成本 and 效率波动风险转移给专业服务商。

1.2 全场景化运营定义、范畴与关键指标

矿山智能化运营，是以工业物联网、大数据、AI与数字孪生为技术底座，对“人、机、料、法、环”等全要素进行实时管控与优化决策，覆盖生产工艺、设备资产、能源消耗和商业模型的全生命周期经营体系。其目标是实现安全前提下的生产连续、成本最优与资产回报最大化。



数据来源：亿欧智库/亿矿通

1.2.1 全景化运营范畴

- ◆ 矿山智能化运营已不再是单一的运营维护，而是一套覆盖感知、控制层、决策层、经营管理的端到端闭环体系。
- ◆ 通过部署在采掘、输送等关键设备上的振动、温度传感器，以及环境气体、边坡位移监测和AI视频识别，完成对“人、机、环境”状态的全视角感知。

全景化运营服务范畴

| 分类 | 事项 | 服务内容 |
|---------------|--|---|
| 智能感知与数据采集服务 | <ul style="list-style-type: none"> 设备状态监测 环境安全监测 视频与图像识别 无人机巡检 | <ul style="list-style-type: none"> 关键设备（如采掘机、输送带、提升机、破碎机）上部署振动、温度、压力等传感器，实时采集运行数据 安装气体、粉尘、微震、边坡位移、水文等传感器，实现对井下环境与地质灾害实时监控 利用高清摄像头、热成像仪及AI算法，对人员行为、设备状态、环境异常进行智能识别与报警 自动巡检与三维建模，如针对地表矿区、排土场等 |
| 综合管控平台服务 | <ul style="list-style-type: none"> 数据集成与可视化 生产执行系统 智能调度与协调 | <ul style="list-style-type: none"> 构建统一数据中台，集成各类子系统数据，通过“一张图”或三维数字孪生模型实时监控 对生产计划、调度、设备台账、维修工单等进行数字化管理，实现生产过程精细化管控 对车辆、人员、设备进行优化调度与协同指挥 |
| 设备健康管理预测性维护服务 | <ul style="list-style-type: none"> 故障诊断与预警 寿命预测与维修决策 远程专家支持 | <ul style="list-style-type: none"> 利用大数据和AI模型分析设备运行数据，提前识别潜在故障，发出预警 预测关键部件的剩余使用寿命，生成维修计划 通过远程协助技术，让专家指导现场人员进行设备检修 |
| 智能保障服务 | <ul style="list-style-type: none"> 人员安全 风险智能预警 环境监测 | <ul style="list-style-type: none"> 通过定位系统、门禁、穿戴设备，实时监控人员位置、状态，实现电子围栏、危险区域闯入报警、应急撤离引导 利用算法模型对透水、冒顶、滑坡、水灾等重大风险进行超前预警 对污水排放、粉尘浓度、噪音等进行在线监测与智能调控 |
| 生产流程优化服务 | <ul style="list-style-type: none"> 配矿与质量管控 能耗管理 | <ul style="list-style-type: none"> 根据地质模型和实时品位数据，优化开采与配矿方案 监测主要能耗设备（如通风机、水泵、破碎机）的能耗，通过优化运行策略实现节能降耗 |
| 决策与数据分析服务 | <ul style="list-style-type: none"> 生产报表与KPI分析 根因分析与辅助决策 模拟推演与方案预演 | <ul style="list-style-type: none"> 自动生成各类生产、安全、经济指标报表，进行系统分析 当出现产量波动、能耗异常等问题时，通过数据追溯和关联分析，辅助管理者定位根本原因 对重大生产调整或应急预案进行数字孪生环境下的模拟推演、效果评估 |

1.3 驱动力

智能矿山发展重心从“规模化建设”向“精细化运营”的深刻转变，并非单一因素作用的结果，而是政策导向深化、经济驱动与技术成熟三者共同作用、相互强化的必然产物。这三股力量汇聚成强大的合力，正以强有力的力度将行业推向“运营为王”的新时代。

1.3.1 政策驱动

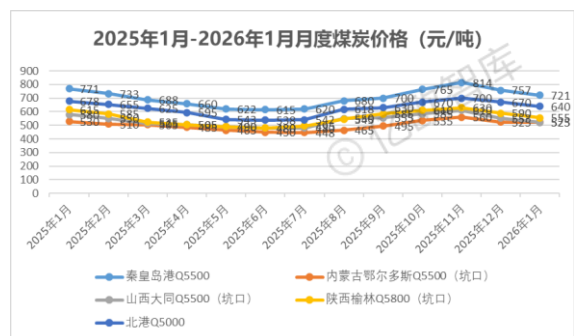
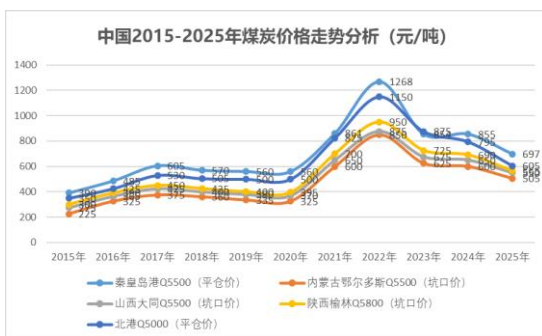
国家级地方政策是智能矿山发展的首要驱动力。近年来，政策导向已发生清晰且关键的演变，即从初期侧重于鼓励投资建设、设定覆盖率目标，逐步深化为对已建系统运行质量、安全效益和常态化水平的严格考核。

- ◆ 2024年国家矿山安全监察局等七部门联合印发的《关于深入推进矿山智能化建设促进矿山安全发展的指导意见》明确提出了“到2026年，全国煤矿智能化产能占比不低于60%，智能化工作面数量占比不低于30%，智能化工作面常态化运行率不低于80%”的硬性指标。这一指标直接将政策关注点从“建了多少”转向“运行如何”，倒逼矿山企业必须建立完善的运营体系来保障系统持续、稳定、高校运行，否则将影响前期投资回收期。
- ◆ 政策始终将安全生产置于首位。“无人则安”的理念推动远程操控、无人驾驶等技术应用，但这些技术的安全效益完全依赖于系统的可靠运营。同时，智能化水平已被明确纳入绿色矿山评估体系，未达标者将面临整改或淘汰。因而，绿色价值的实现（节能降排）对常态化运行至关重要，这同样依赖于精细化的运营管理。

1.3.2 经济驱动

在宏观经济周期波动与行业内部竞争加剧的双重压力下，矿山企业的经营逻辑正在从规模扩张转向精益运营，智能化投资的评价标准也从“技术先进性”转向“经济回报率”。

- ◆ 经过数年高强度投资，智能矿山已进入“价值兑现期”。企业管理者愈发关注巨额智能化投入的投资回收期、内部收益率等重要经营指标上。
- ◆ 近年来，典型项目实践证明，精细化运营带来直接经济效益显著，如：预测性维护系统可减少设备故障率，降低单次维护成本。智能调度系统有效降低生产能耗，切实实现降本增效。
- ◆ 在利润空间承压的背景下，矿山企业的核心诉求已从“拥有技术”变为“用好技术”。通过精细化智能运营挖掘运行系统每一分潜力，以进一步实现降本增效和投资回报。

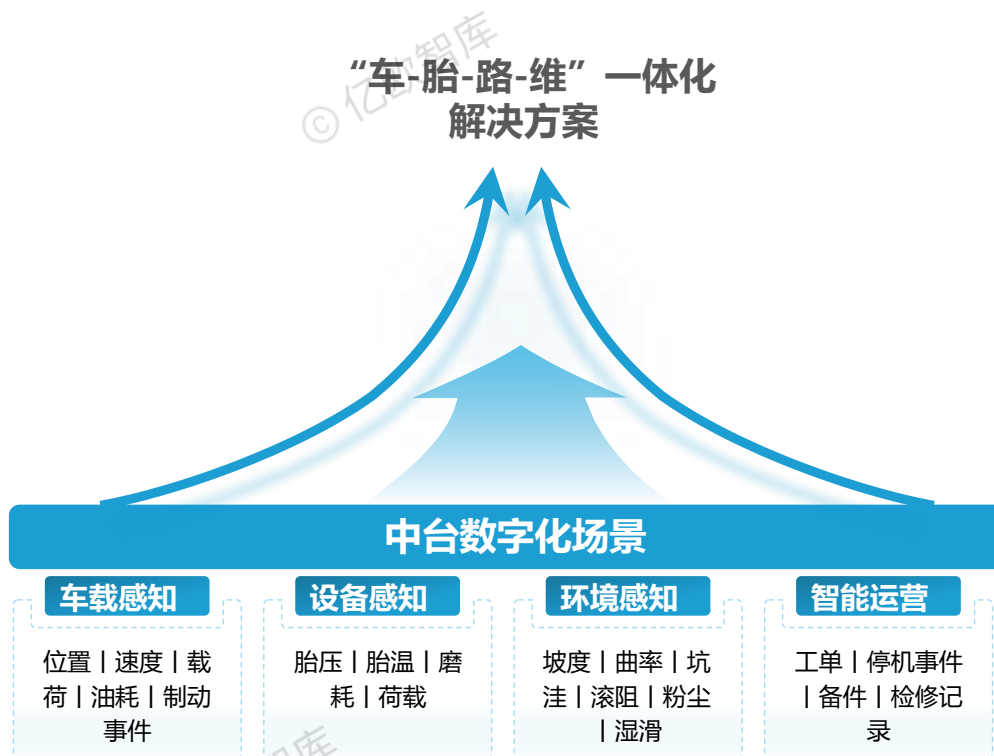


数据说明：煤炭年度价格及月度价格来自不同口径，且为区间平均值或推算值，仅供参考。

1.3.3 技术驱动

“运营导向”的转型，离不开底层技术的成熟与融合。正是近年来一系列关键技术的工程化落地，使得大规模、精细化、智能化的运营从理念走向现实。

- ◆ 数字空间底座技术已成为智能运营的“超级大脑”，通过数字孪生技术，实现故障信息自动推送与处置，效率远高于传统人工。安徽池州项目构建全场景三维数字孪生动态模型，实现对无人机飞控及边坡位移实时精准控制、调度与监测。
- ◆ AI与预测性维护正将运营从“事后维修”变为“事前预防”。基于数字空间底座打造的健康管家，能提前实现故障预警，有效降低部件损耗和人工成本，真正实现了精准预测性维护的价值挖掘。
- ◆ 数字空间底座技术的升级解决了“运营什么”和“如何运营”的问题。它使得数据驱动的智能决策与运营优化成为可能，也是运营导向转型得以实现的技术基石。



1.3.4 经验驱动

煤矿已验证的运营模式和经验曲线，是加速非煤矿山智能化运营的重要驱动力，它大幅降低了后来者的时间与试错成本。尤其是“车-胎-路-维”一体化解决方案将进一步大力提升项目运营的盈利能力，推动矿山经营友好型转变。同时，这些经验正在加速向非煤矿山迁移，使后发者可跳过摸索阶段，快速进入精细化运营。

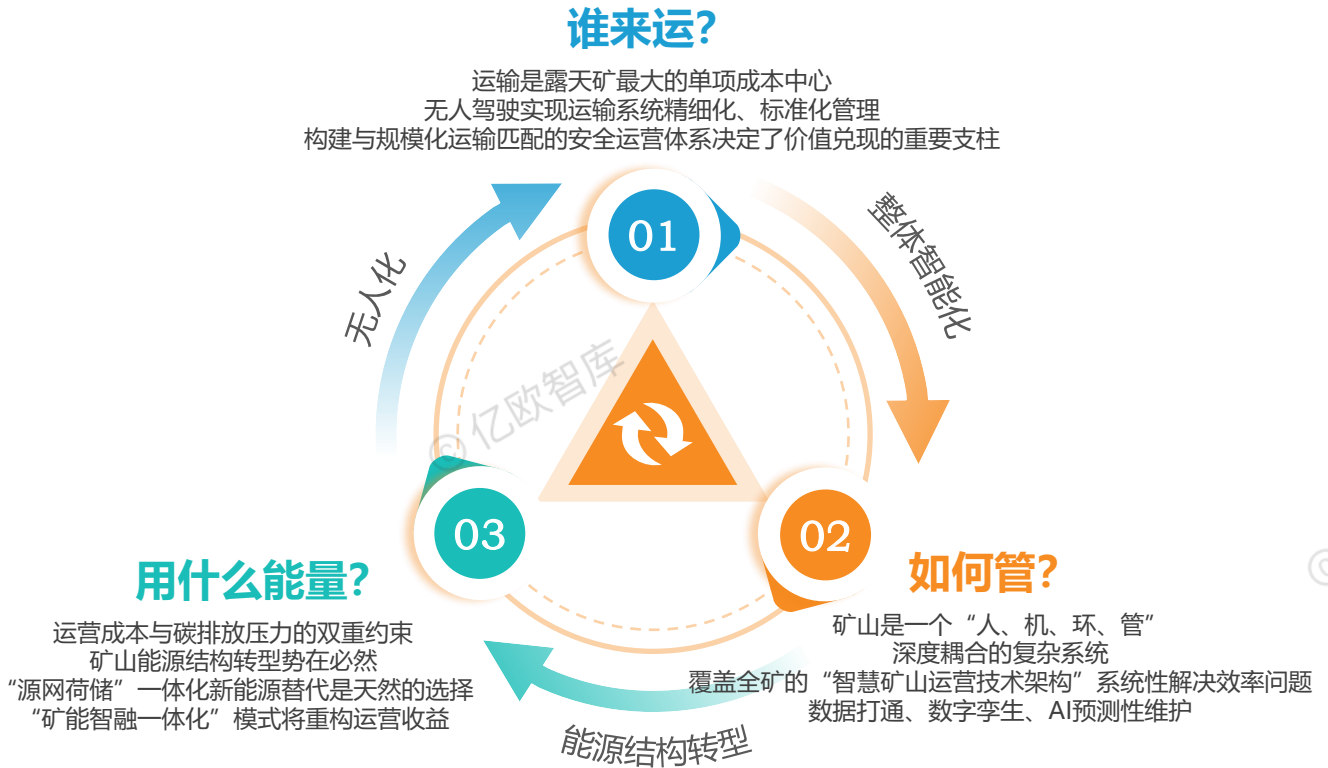
第二章

CHAPTER 02

市场发展现状

- 2.1 无人驾驶安全运营体系
- 2.2 智慧矿山运营
- 2.3 新能源运营
- 2.4 “车-胎-路-维”一体化运营解决方案
- 2.5 煤矿先行经验的推广价值

随着智能矿山从“规模化建设”全面转入“运营深化”期，行业的核心命题已从“系统是否上线”转为“系统能否持续产生经济价值”。要实现这一目标，矿山企业必须在运营层面同时解决三个根本性问题：



2.1 无人驾驶安全运营体系

2.1.1 中国矿山无人驾驶矿卡分布情况

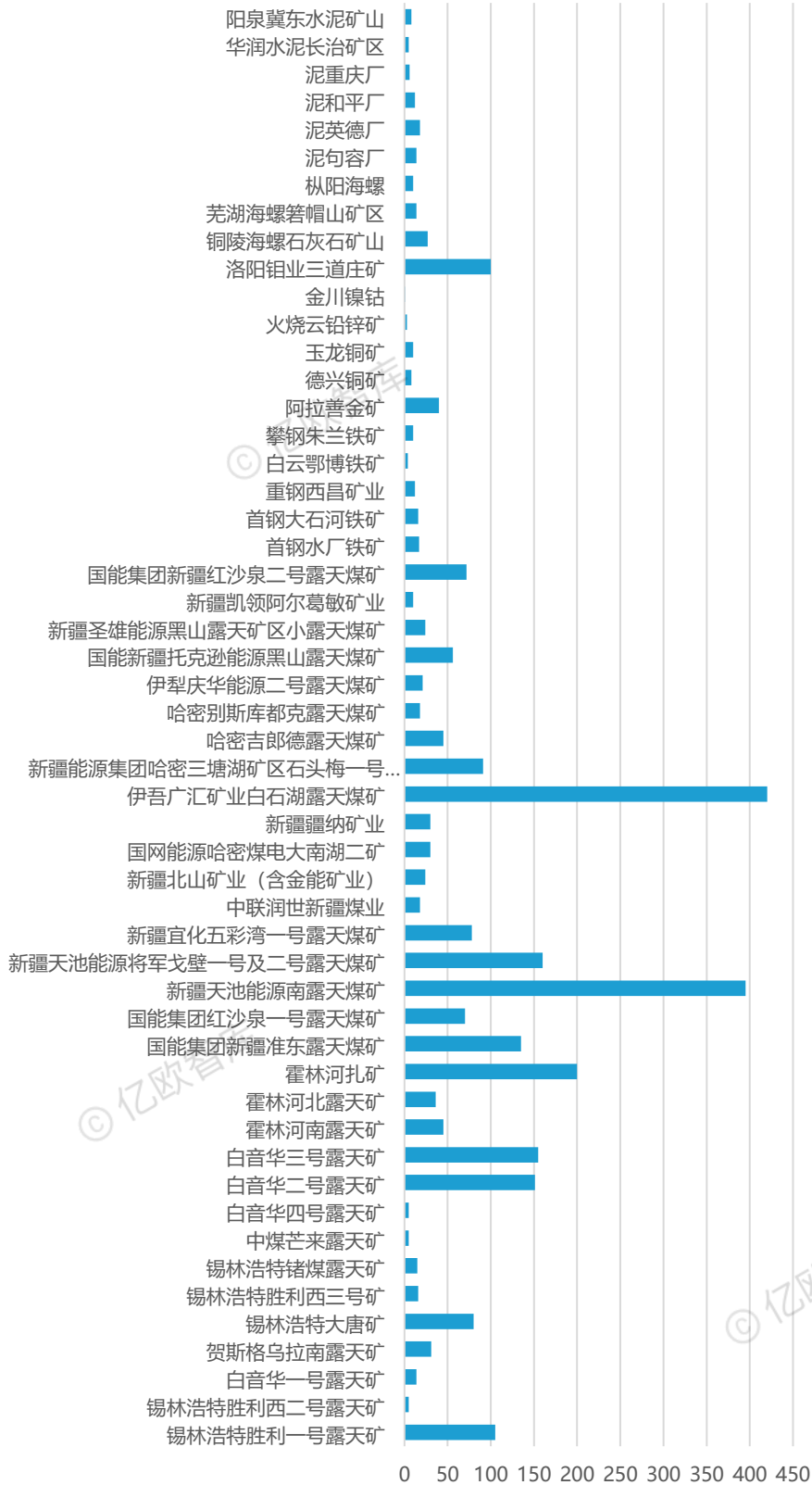
中国矿山无人矿卡的部署呈现显著的“煤炭主导、区域集中、头部效应”特征。新疆与内蒙两大煤炭基地的无人矿卡总量占比超过九成，其中仅新疆天池能源南露天矿和广汇白石湖矿两处就占据了半壁江山，显示出千万吨级超大型露天煤矿是无人驾驶技术落地的最核心场景。

相比之下，金属与非金属矿山的无人化应用仍处于零星试点阶段，除洛阳铝业三道庄矿达百台规模外，多数铁矿、铜矿、水泥矿上部署数量均在20台以下，反映出现阶段经济性与技术适配性的差异，即煤矿剥离与运输作业重复性高、场景封闭、人力成本压力大，而金属矿山地形复杂、路径多变，对无人驾驶系统要求更高。

整体而言，中国矿山无人矿卡已从“展示示范性”进入“规模化商用”的阶段，但跨矿种、跨地域的全面渗透仍需突破成本、标准与场景适配的瓶颈。

2.1 无人驾驶安全运营体系

中国矿山无人矿卡数量分布情况（台）

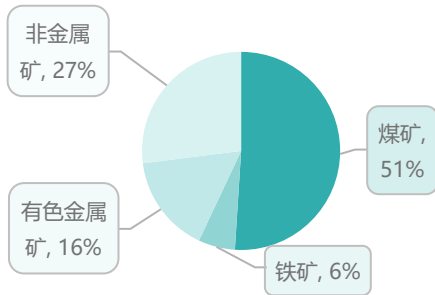


不完全统计

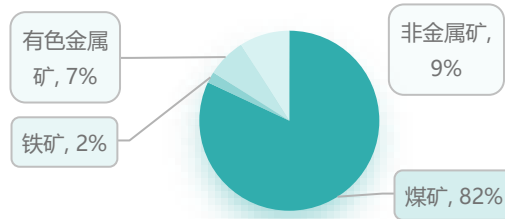
根据行业发展研究，我国露天矿无人驾驶运输项目已覆盖全国约140个矿区，其中39%位于华北地区，24%位于西北地区，仅新疆和内蒙两地的项目数量占比就达53%。

按应用场景划分：51%为煤矿，22%为金属矿，27%为非金属矿，其中非金属矿以水泥矿、石灰石矿居多。按车辆数划分，煤矿无人运输车辆占比高达82%，其中占比最多的为载重100t级及70t级。

按项目数量分布情况 (%)



按车辆数分布情况 (%)



当前无人驾驶运营主要发生在年产量千万吨及以上，运输线路相对固定的超大型露天煤矿，这类矿山具备高负荷、连续作业的特点，有利于分摊运营固定成本。未来向中小型矿山及非煤矿山拓展，关键在于降低单位运力的运营成本，这正是“车-胎-路-维”一体化等系统优化手段的核心价值所在。

2.1.2 常态化运行难点

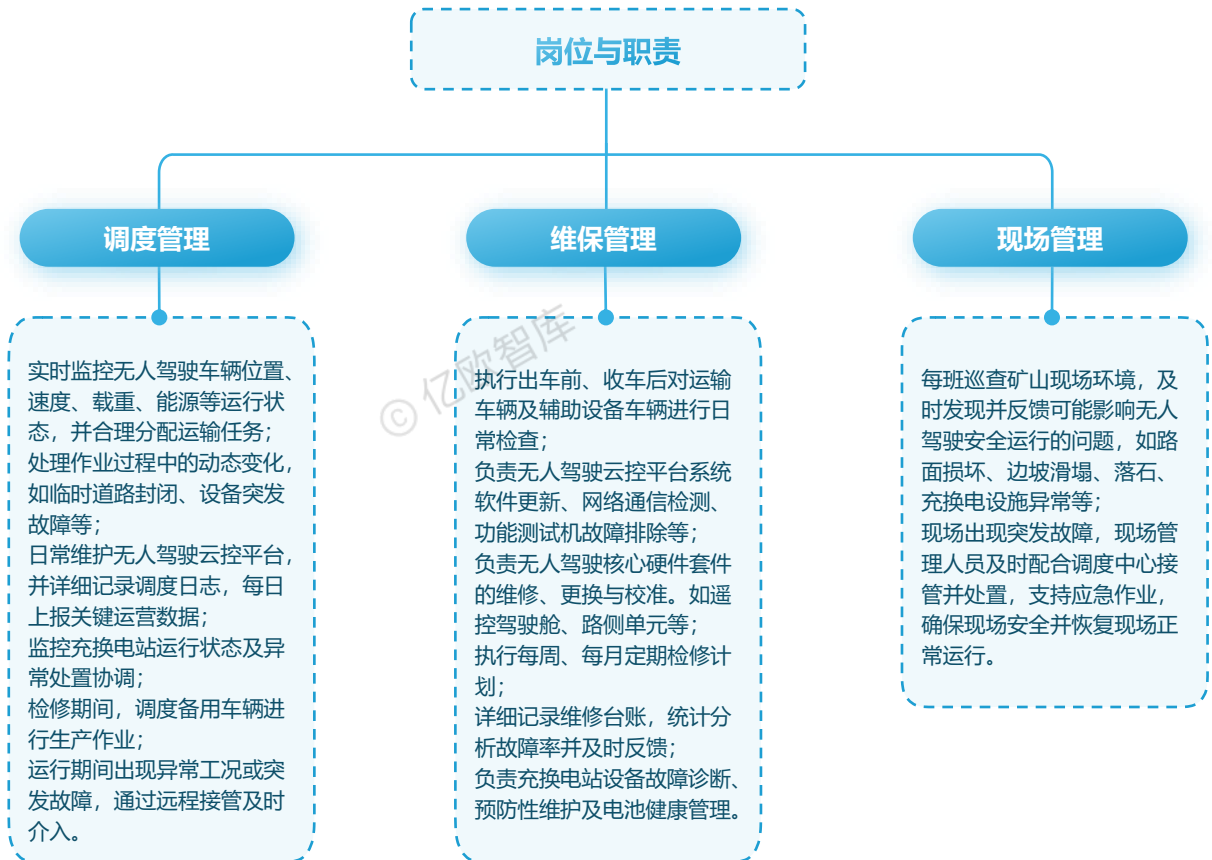
中国矿区无人驾驶过去十年经历了从萌芽阶段、技术测试阶段、应用起步阶段到当前商业化阶段的演进。其中2016至2020年为解决“技术可行性阶段”，主要验证无人驾驶车辆能否在露天矿场景下实现真实运行；2020至2024年，行业重心转向解决“批量化运营能力”，标杆露天矿区实现数百辆无人驾驶车辆的常态化运营；当前阶段，行业将进入“规模化复制与效率提升”的新阶段，但矿山无人驾驶运营仍面临着亟待解决的重要技术难题：



2.1.3 矿山无人驾驶安全运营

2.1.3.1 组织架构与岗位

随着矿山无人驾驶从技术验证走向规模化运营，运营组织架构和岗位体系逐步成熟。一套完成的无人驾驶矿车运营团队通常包含以下核心岗位及职责：



2.1.3.2 安全作业流程

(一) 生产前

编组发车前，现场管理人员对计划作业区域实施全面巡检及动态环境安全评估。评估内容至少包括道路状况（如车辙、落石、塌方等）、采装工作面、排土场、破碎站、充换电站等关键区域状态，确认具备安全生产条件。班前日检如下：

- ◆ 强制性系统自检，且维保人员协同调度开展班前人工目测检查，包含动力系统、制动系统、感知传感器、通信模块及电源系统等关键部件，确认其状态正常并记录结果。
- ◆ 根据清单检查通信链路，并逐项校验车-路-云-场系统间通信链路稳定性与传输延迟，确保符合设定阈值。
- ◆ 验证高精度地图、任务指令与路径规划数据是否准确。
- ◆ 调度中心根据生产任务制定编车队运行策略，包含作业区规划、路线规划、速度控制、车距保持、避障、交接点通行权、充换电规划等。

(二) 生产中

运营调度的管控范围覆盖露天煤矿作业区域内参与生产活动的无人驾驶非公路自卸车及协同作业设备，并实现生产任务生成、车辆执行、运营支持与应急预案的闭环。

运营调度管理要求

| 事项 | 管理要求 |
|------|--|
| 调度 | <ul style="list-style-type: none"> 对无人驾驶非公路自卸车及协同作业设备的自动优化调度功能，可在给定生产产量或固定设备数量的条件下实现最优分派； 在车辆故障、新车辆入场等动态变化下的调度策略，并支持人工设定与干预； 能够用图文显示车铲作业实况、作业区域、设备状态、生产产量等； 对人工设定的调度关系进行合理性检查的功能； 在不同的装载工作面，可调度多车实现同时装载，在卸载工作面，可调度管理多车实现同时卸载。 |
| 动态派车 | <ul style="list-style-type: none"> 当无人驾驶车辆装载完成后并生成调度指令，给出当前车辆将去卸载的目的地； 当无人驾驶车辆卸载完成后并生成调度指令，给出车辆将去装载的目的地； 运输过程中，根据生产与设备的情况、路网与环境的变化迭代更新调度指令，结合当前矿车空载、重载状态，给出当前车辆将分派的目的地。 |
| 统一调度 | <ul style="list-style-type: none"> 调度管理无人驾驶车辆、采掘设备以及辅助作业车辆协同实现生产场景作业； 无人驾驶车辆的调度应采用强约束管控，车辆均应严格遵照调度指令进行作业。 |
| 远程接管 | <ul style="list-style-type: none"> 远程接管车辆时，通过视频等感知信息确认周边环境安全；起步前须鸣笛示警； 远程接管车辆按应急路径驶向安全区域或维修点；若与他车路径冲突，须先管控周边车辆，驶离后方可解除； 远程接管完毕后，车辆停放在规划电子围栏地点并退出远程模式；若需维修，停放在不影响其他车的安全位置，移交现场维保人员； 在网络信号强度不符合要求的作业区域禁止使用远程接管操作车辆。 |
| 交通管理 | <ul style="list-style-type: none"> 明确车辆通行优先级等交通规定； 通过路权动态管理，预防车辆在行驶中发生冲突； 因损毁、落石等原因导致道路无法通行时，立即锁定路权禁止通行，待现场管理人员确认道路已修复并报告调度中心后，由授权人员在系统中解锁路权。 |

监测与监控管理要求

| 事项 | 管理要求 |
|--------|--|
| 实时状态监测 | <ul style="list-style-type: none"> 车辆实时位置、速度、行驶方向及姿态； 车辆载重状态、举升状态； 动力系统状态（电池电量、电流、电压、燃油量等）； 系统关键模块的在线状态及健康度。 |
| 环境监测 | <ul style="list-style-type: none"> 边坡监测系统须具备高精度位移监测功能，确保对稳定性异常发出即时预警； 对有害气体、粉尘浓度的超限状况，系统须具备自动触发车辆停机的快速响应能力； 对突现落石、大型杂物、塌陷等动态障碍物时，车辆具备自动触发停机的快速响应能力； 能根据天气条件，自动执行预设的车辆运行管理策略； 严禁未经授权私自关闭环境监测传感器，确需关闭须经批准并记录。 |

(三) 生产后

交接班管理要求

| 事项 | 管理要求 |
|-----------|--|
| 交接班流程 | <ul style="list-style-type: none"> 交班方调度员、维保人员向接班方应交接生产任务信息，至少包括：本班采掘作业方向、反铲铲位调整情况、本班完成作业量及确认下一班计划任务（如剩余作业量、备采作业位置、作业位置调整计划等）； 交班方维保人员应在交接班时间段内，完成无人驾驶非公路自卸车及协同作业设备的维保，至少包含设备检查、维修、清洁、润滑、充换电、加油、甲醇/氢能加注等，满足接班方生产要求； 交班方与接班方调度人员、维保人员共同确定无人驾驶系统总体状态、在线车辆数、车辆状态、运行路径及里程、车速、装卸点状态、充换电站状态、发生异常、采取措施及注意事项等； 交班方与接班方调度人员、维保人员共同检查系统日志、处理故障及未处理故障、网络通信状态、边坡状态等； 交班方与接班方现场管理人员巡视现场，须在交接过程中对关键基础设施进行现场确认，检查范围至少包括：车载传感器、通信基站、路侧单元、通信线路、充电桩/换电站、甲醇/氢能加注站、道路状况、采场、排土场、装卸点等，满足接班方生产条件； 交接班完成后，接班方应及时将接班情况汇报调度，并进行下一班次生产。 |
| 交接记录与责任追溯 | <ul style="list-style-type: none"> 交班方与接班方采用标准化电子交接单，记录应全程留痕、具备防篡改功能，作为审计与责任界定的有效依据； 建立交接争议处理流程。接班方对信息或设备状态存疑时，应立即提出，双方共同复核系统日志与监控记录。若无法达成一致，须报请上级仲裁。争议未解决前，相关车辆应暂停自动运行，确保不遗留风险； 所有交接记录应自动归档并长期保存于云端。运营单位应定期分析数据，识别共性问题，并据此持续优化流程与制度，实现闭环管理。 |

收车后维护要求

| 事项 | 管理要求 |
|------|--|
| 设备清洁 | <ul style="list-style-type: none"> 激光雷达、摄像头等精密光学传感器的镜头应使用专用清洁工具和试剂，操作需轻柔，避免镜面划伤； 清洁车身时，应采取必要措施，防止水、高压气流直接冲洗电气接口、线束连接器等部件，避免短路或腐蚀。 |
| 能源补给 | <ul style="list-style-type: none"> 充换电操作应确保车辆安全停稳并严格按规程执行，检查电池包状态，记录充换电时间、电池包编号及操作人员； 进行甲醇加注时，应检查管路密封性，严禁明火，操作人员须佩戴防护装备，并记录加注量、甲醇浓度及时间； 对纯电动车辆进行充电时，应实时监控动力电池的温度、电压及充电进度，严禁过充； 进行氢能加注时，车辆须熄火并释放静电，加注前检测泄漏，严禁超压加注，保持通风与隔离，记录加注压力、质量及时间； 对燃油车辆进行加油时，应准确记录加油量、加油时间及车辆里程数等信息； 建立统一的能源消耗台账，记录每辆车的能耗数据，为后续能耗分析与优化提供依据。 |
| 数据备份 | <ul style="list-style-type: none"> 每日收车后，应导出车辆当日全部运行数据，并进行异地备份； 数据备份内容至少应包括：车辆行驶轨迹、速度曲线、能耗数据、系统报警与故障日志、传感器数据等； 基于备份数据生成每日运维简报，汇总当日运营关键指标，包括运输车次、总方量、故障时间等。 |

须详细记录每日收车维护情况，并及时更新至电子维护台账。所有记录须确保内容完整准确，并长期保存于具备便捷查询、统计及追溯功能的台账系统中。

| | |
|---------------|--|
| 维护记录更新 | <ul style="list-style-type: none"> • 车辆编号， • 维护日期与时间， • 执行人员， • 各项检查维护的项目， • 发现的问题或异常， • 采取的处理措施及结果。 |
|---------------|--|

2.1.3.3 运营环境管理



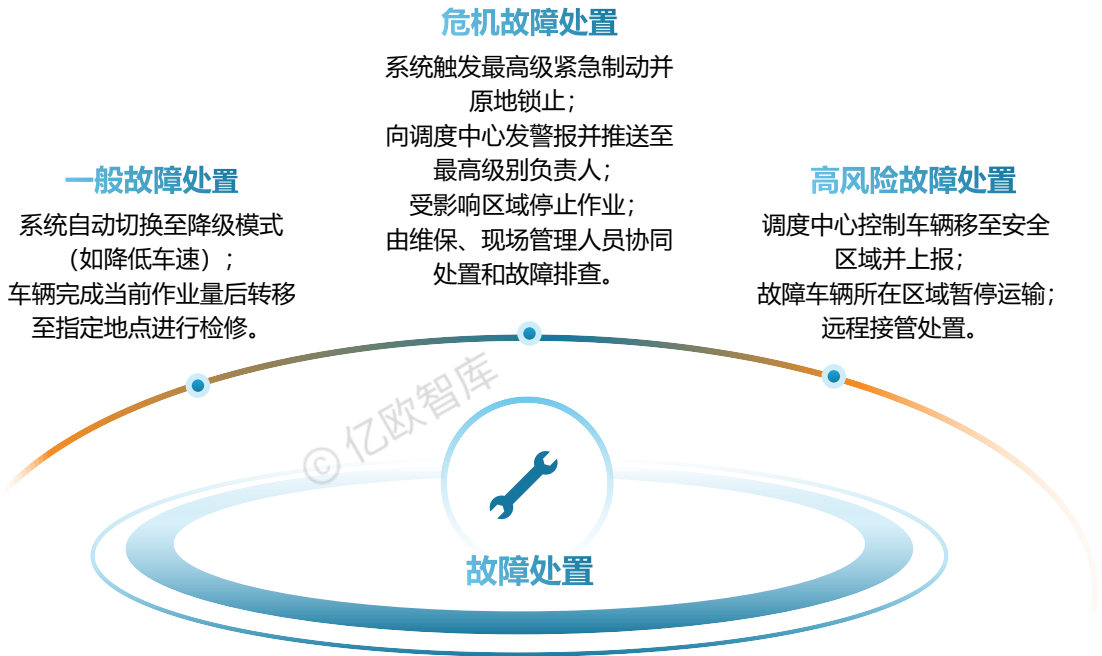
2.1.3.4 天气影响应对

根据天气预警机及现场实际情况分别为低能见度天气、降水与冰雪天气和极端温度天气，并建立分级预警与响应机制。

- ◆ 其中，低能见度天气出现扬尘、薄雾，应启动传感器增强模式，降低车速并加大前后车距。出现能见度持续低于要求的扬尘、大雾天气，应暂停运营。
- ◆ 降水与冰雪天气中出现小雨或中雨，应减低车速并加大前后车距。出现暴雨应暂停作业，将车辆转移至安全区域。另外，出现小雪天气应清理行驶道路方可低速运行，保持前后安全车距，禁止急刹车、急转弯或超车。如果出现中雪及以上强降雪，或出现大面积结冰，应暂停运行。
- ◆ 极端温度天气中出现环境温度低于要求时，应对车辆及关键传感器执行预热或加热程序，确保其达到正常工作温度范围。如果高于要求时，应对车辆及关键传感器执行散热降温程序，确保其达到正常工作温度范围。

2.1.3.5 故障处理

运输作业过程中出现人员受伤、设备故障、环境事故、传感器失效、通信延迟、车辆性能下降等情况下，应按应急预案分级及响应机制做出相应处理要求。



2.1.4 典型案例

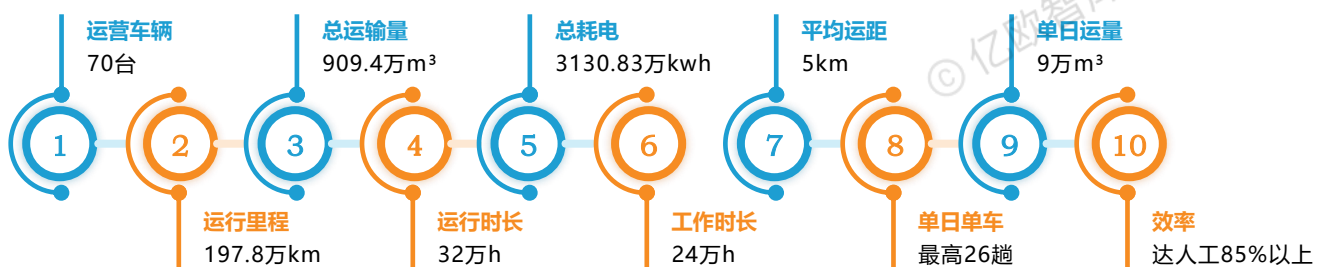
2.1.4.1 伯镭科技大唐胜利东二号露天煤矿安全运营

项目基础信息

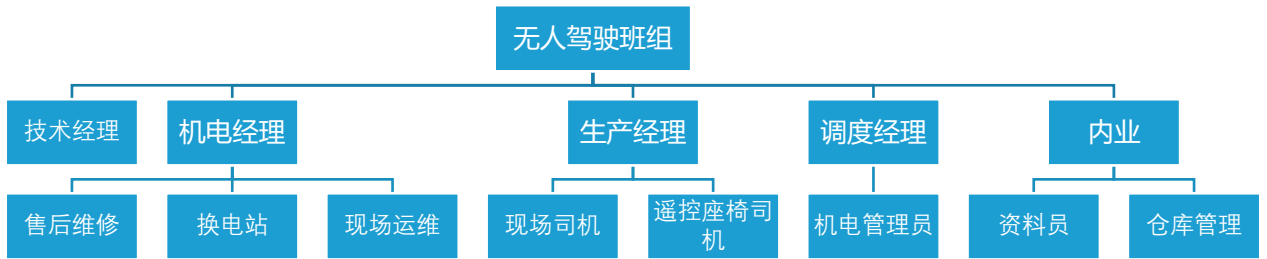
大唐国际发电股份有限公司胜利东二号露天煤矿位于内蒙古自治区锡林郭勒盟锡林浩特市西约12公里处。矿区面积为49.63平方公里。该煤矿的项目核准建设规模为3000万吨/年，未来五年期剥离量6.7亿m³，年剥离量约1.3亿m³。

运营成效

截止到目前，项目已经运行558天，目前在运营车辆为70台，累计安全运行197.8万公里，总运输产量909.4万m³，总运行时长320222.20万小时，总耗电31308347.15 kwh，总工作时长240746.48万h，平均运距为5km，单日单车最高26趟，全天最高达到9万方，对比人工效率，达到人工的85%以上，真正达到安全高效稳定运行。



运营组织



岗位职责

各岗位职责覆盖项目全流程：项目经理对安全生产负直接责任，组织制度修订与应急演练；技术经理对接需求、决策版本、建立7×24小时响应机制；机电经理管理设备完好与检修，建立全生命周期台账；调度组长指挥作业、处置突发、优化流程；换电站负责人保障换电安全，处理异常；技术支持负责测试验证与数据收集；司机规范操作并监控车辆状态；线控专员调试线控系统，配合优化；机电管理员运维调度系统，保障稳定运行；值守人员管控换电站现场，落实应急响应；仓库管理员管理物资出入库，确保仓储安全；资料员整理人员与车辆档案，维护系统信息。全员落实安全培训、应急演练及履职记录。



生产管理

每日班前会需完成签到、点名、观看事故案例、制作PPT、熟悉操作流程，班组长交代班中作业任务及安全注意事项，确保人员分工与任务明确；班后复盘要交接清楚上一班出现的问题、已解决的问题及运行情况等可能发生的所有注意事项。

- ◆ 作业前安全管理：作业前须对无人驾驶卡车全面点检并记录，严禁带病作业。现场队长检查装载区及主路径工程质量，辅助设备须安装协同作业系统。指挥车跟车验证路线后，发车前确认车辆处于“延时”状态方可点检，并开展安全巡检。
- ◆ 作业中安全管理：作业中禁止未安装协同终端的设备及未经许可的人员车辆进入。保持30米以上安全距离，人员严禁进入安全半径内。实时监控信号与故障，分段排土，禁止超车逆行。雨天坡道限速，故障车限速停车，加油须按“禁行”按钮，有人车辆主动让行。
- ◆ 接管安全管理：人工接管后停稳车辆，确认周边安全迅速撤离；远程接管须确认行驶路线无大块、挡墙、车、人等障碍；遥控驾驶前确认图像及操作连接正常，异常时禁止远程接管。

应急处置

在人工驾驶模式下，车辆出现故障，首先打开双闪开关，驾驶员在确保自身及车辆安全的前提下，根据车辆故障情况，就地直接停车或缓慢行驶至安全区域，并把故障情况快速反馈给现场管理人员。

在无人驾驶模式下，如需应急停车，监屏员根据实时监测到的车辆状态参数，通过平台发送紧急停车指令，由整车控制器执行紧急停车指令，实现紧急停车。

无人驾驶车辆因故障中途停车并无法实现无人驾驶时，按照如下步骤操作：

- ◆ 监屏员给故障车辆下发“应急停车”指令，确保车辆停车。
- ◆ 远程驾驶系统接管车辆，尝试通过远程驾驶系统将车辆“脱困”，然后将车辆驾驶权交还给车辆。
- ◆ 如果仍不能解决，则现场管理人员乘车到达故障车辆现场，到达现场后，需首先站在车辆侧方（即保证身体不在车辆行驶轨迹上）将禁行开关设置为“禁行”状态，防止准备上车时车辆突然起步，将驾驶模式开关设置为“人工驾驶”位置，然后将车辆开回检修厂进行检修。



伯镭无人驾驶车辆



无人化换电站

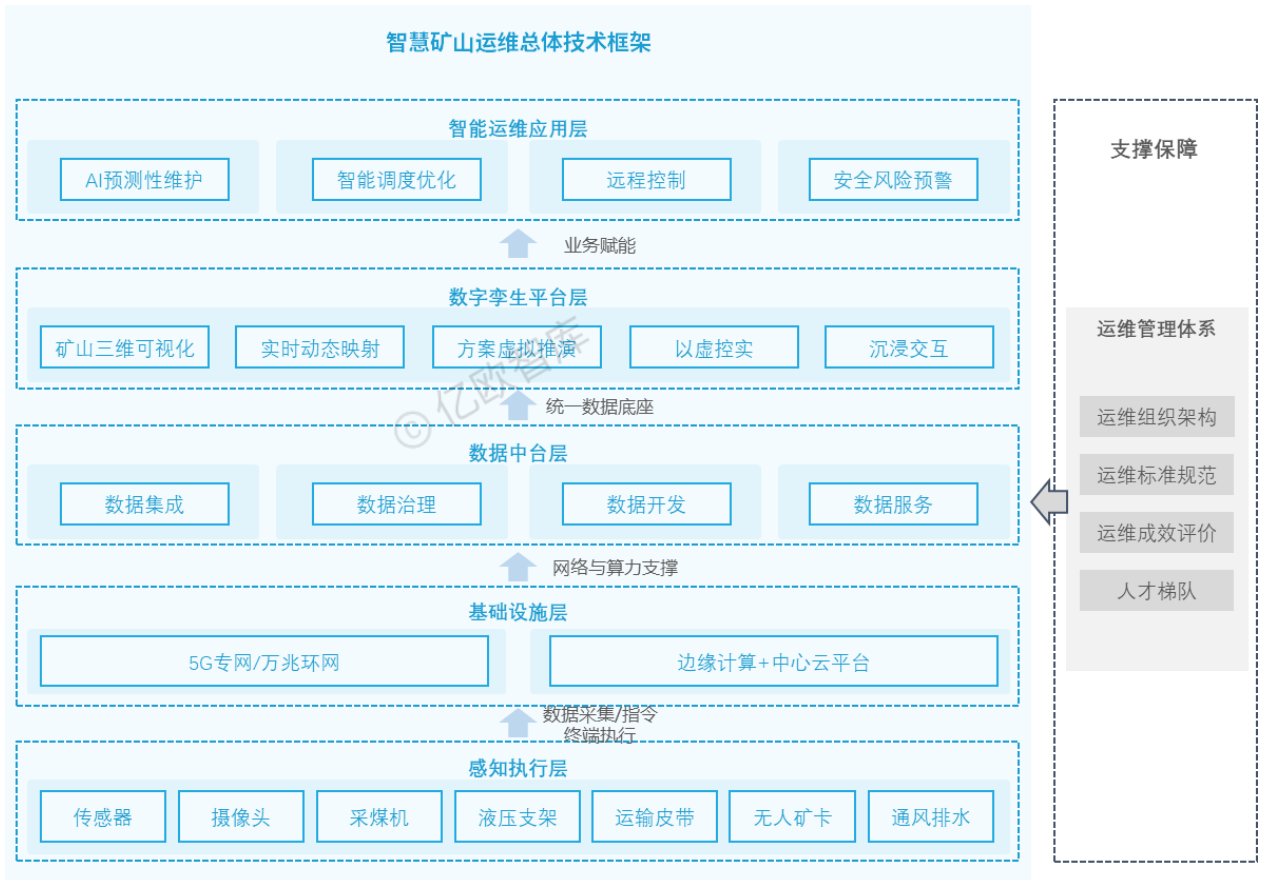


无人驾驶调度室

2.2 智慧矿山运营

2.2.1 智慧矿山运营技术架构体系

智慧矿山运营系统的技术架构，是一个涵盖数据采集、传输、存储、分析、决策与执行的完整闭环。其核心由“数据中台-数字孪生-智能应用”三层构成。



数据中台

数据中台是智慧矿山运营系统的基础设施，主要功能是整合来自矿山多源异构数据，包括传感器数据、设备运行数据、地质数据、环境数据等。通过数据中台，企业可以实现数据的统一管理、清晰、建模和共享，为后续的分析和决策提供高质量的数据支撑。

- ◆ 通过物联网技术实时采集矿山设备的运行状态、地质结构、环境参数等；
- ◆ 采用分布式存储技术支持结构化和非结构化数据的高效存储与检索；
- ◆ 利用大数据处理框架对数据进行清洗、转换和分析；
- ◆ 通过API接口将处理后的数据提供给上层应用，如数字孪生、预测性维护等。

数字孪生

数字孪生技术通过构建矿山的虚拟模型，实现对物理矿山的实时映射和动态更新。数字孪生的优势在于“以虚控实”，能够让人员对设备实施超视距的远程控制。

- ◆ 基于三维建模技术构建矿山的虚拟模型，涵盖地质结构、设备布局、环境参数等；
- ◆ 通过数据中台提供的实时数据，动态更新虚拟模型，确保其与物理世界保持一致；
- ◆ 在虚拟环境中模拟不同的开采方案、设备运行状态和环境变化，评估其对矿山运营的影响。

AI预测性维护

AI预测性维护技术是智慧矿山运营系统的核心应用，通过分析设备运行数据，预测设备健康状态和故障风险，实现预防性维护，减少设备停机时间，延长设备寿命。

- ◆ 数据采集与特征提取。通过传感器和物联网设备，实施采集设备的振动、温度、压力、电流等参数，经特征提取后形成可用于分析的特征向量；
- ◆ 模型训练与预测。基于机器学习算法对历史数据进行训练，建立设备健康状态的预测模型，识别设备的异常状态并预测可能得故障；
- ◆ 预警与决策支持。当设备健康状态接近异常阈值时，系统触发预警机制，通过维护人员进行检查和维护，同时根据预测结构提供维护建议。

2.2.2 井工矿智能运营体系

2.2.2.1 井工矿智能化运营的独特挑战与价值逻辑

井工矿与露天矿的本质差异

井工矿与露天矿是煤炭开采的两大基本方式，二者的生产组织、技术逻辑和运营模式存在本质差异，决定了智能化运营路径的分化。

井工矿与露天矿智能化运营核心差异对照

| 维度 | 露天矿 | 井工矿 |
|-------|------------------|--------------------------|
| 作业空间 | 开阔地表，设备可自由调度 | 封闭巷道，空间受限（宽4-6m，高2.5-4m） |
| 核心装备 | 矿卡、挖掘机、推土机 | 采煤机、掘进机、液压支架、刮板输送机 |
| 自主化路径 | 无人驾驶→自主运输→智能调度 | 记忆截割→自动跟机→自主决策 |
| 环境感知 | GNSS+视觉+雷达，精度cm级 | 无GNSS信号，依赖惯导+UWB+视觉融合 |
| 安全风险 | 边坡失稳、车辆碰撞 | 冲击地压、瓦斯突出、顶板冒落、水害 |
| 人员密度 | 单班20-50人/工作面 | 单班10-20人/工作面（减人需求更迫切） |
| 数据维度 | 时空连续、结构化为主 | 多源异构、时空耦合、强噪声 |

井工矿智能化运营的四大独特挑战

地下空间感知受限

井工矿无GNSS信号覆盖，巷道拓扑复杂且动态变化，传统定位技术难以满足采掘装备亚米级定位需求。惯导系统漂移、UWB信号多径效应、视觉传感器受粉尘与低照度干扰，导致井下“看得见、定得准、控得住”仍是技术瓶颈。

装备协同与系统联动不足

井工矿生产系统涵盖采煤、掘进、运输、通风、排水、供电等十余个子系统，各系统独立建设、数据孤岛严重。“三机协同”、“掘支运协同”、“跨系统联动”尚未实现真正的智能化闭环控制



多灾害耦合预警困难

井工矿面临冲击地压、瓦斯突出、顶板冒落、水害等多灾害耦合风险。单一灾害监测手段易产生大量误报和漏报，跨系统数据融合与耦合致灾机理建模尚处于探索期。截至2025年底，全国冲击地压矿井仍有140余处，瓦斯突出矿井200余处，灾害严重矿井的智能化预警准确率仍不足60%。

采掘失衡制约生产接续

智能采煤技术进展较快（全国累计建成智能化采煤工作面超2200个），而智能掘进严重滞后（截割-支护-运输协同控制未突破），导致“采快掘慢”、接续紧张的矛盾日益突出。掘进工作面智能化率仅为采煤工作面的60%左右。

井工矿智能化运营的价值逻辑

露天矿开采条件开阔、作业风险低、智能化及无人化程度高，井工矿受井下空间密闭、地质条件复杂、水火瓦斯冲击地压等灾害耦合多发、作业环节受限等先天条件制约。在此差异化禀赋下，井工矿智能化运营的价值逻辑围绕三大核心命题展开：

◆ 安全价值优先：

井工矿灾害风险等级远高于露天矿，智能化运营的首要目标是“减人增安”。截至2025年底，全国智能化矿井采煤、掘进工作面单班平均减人比例均超过20%，危险岗位机器人替代率从2022年的15%提升至2025年的35%。灾害严重矿井通过智能预警系统，事故率下降40%。

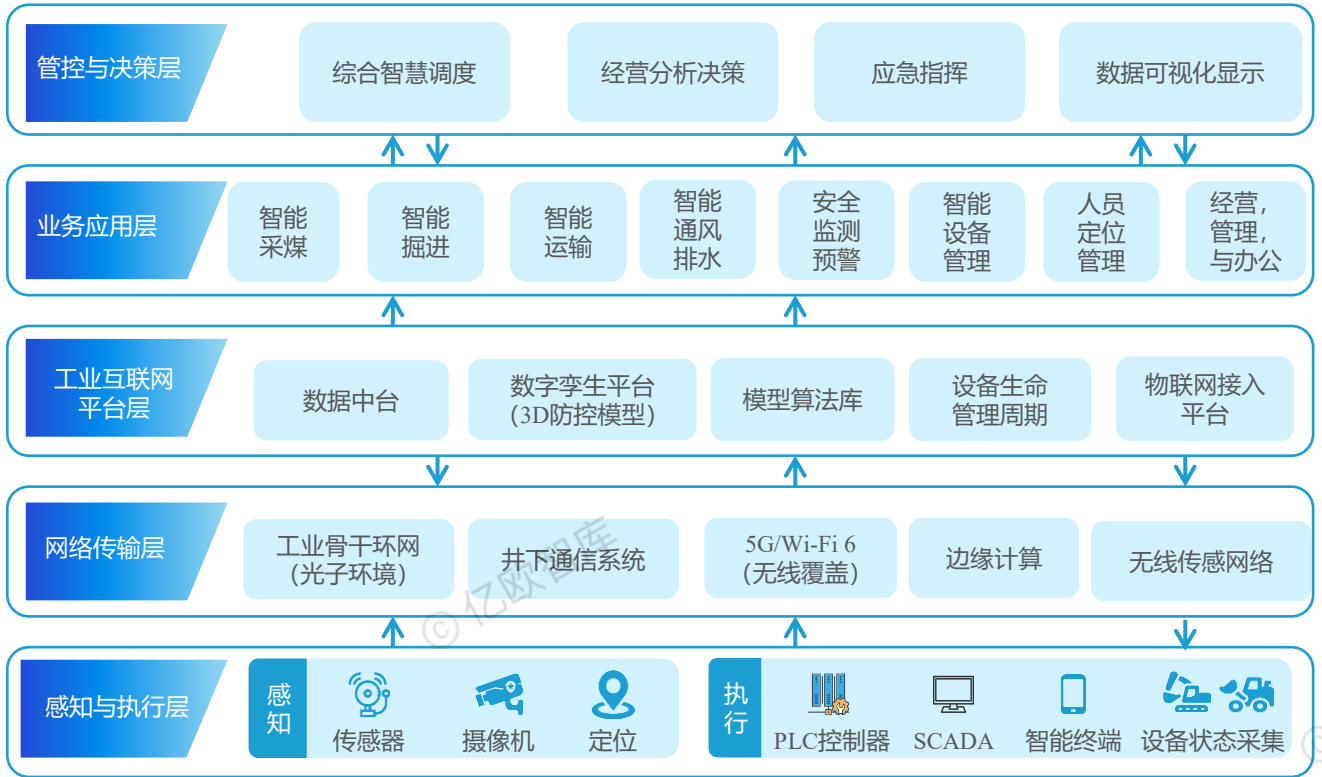
◆ 效率价值释放：

通过智能采掘系统提升生产效率、降低掘进成本。智能化采煤工作面常态化运行率从2022年的不足40%提升至2025年的55%以上，年产400万吨以上矿井的综合效率提升15%-25%。

◆ 决策价值突破：

以数字孪生和AI大模型为核心，实现从“被动响应”到“主动预测”的决策范式转变。关键突破在于将地质模型、装备状态、灾害风险等多源信息进行时空融合，为生产决策提供精准分级预警与处置方案。

井工矿智能化运营技术架构图



2.2.2.2 井工矿智能运营体系

智能采煤运营体系：从"人控"到"智控"

智能采煤是井工矿智能化运营的核心场景，其技术演进路径为：人工操作→记忆截割→自动跟机→智能采煤。

(1) 记忆截割：智能采煤的起点

记忆截割是当前智能化采煤工作面最成熟的运行模式。采煤机沿工作面自动记录截割轨迹和参数，在后续循环中自动复现。截至2025年底，全国智能化采煤工作面中记忆截割模式覆盖率超过85%，但在地质条件变化时仍需人工干预，常态化运行率约为55%-65%。

(2) 自动跟机：三机协同的突破

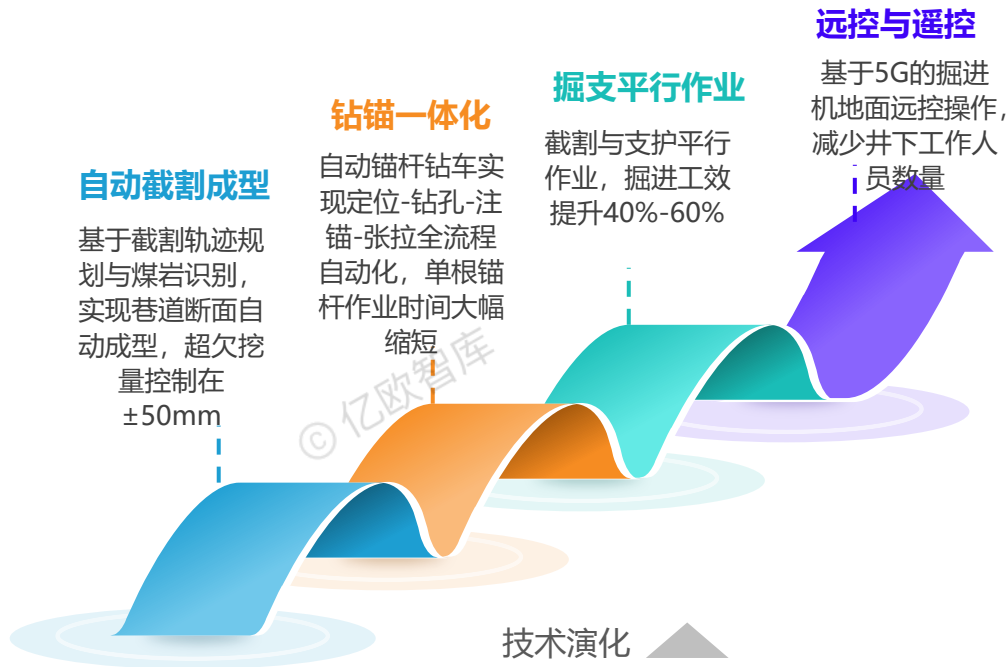
液压支架自动跟机移架是智能采煤的关键环节。国家能源集团神东公司已实现最大采高7m、工作面长度400m的超大采高工作面自动跟机常态化运行，跟机率从2022年的不足50%提升至2025年的75%以上。

(3) 智能采煤：自主决策的终极目标

智能采煤的核心突破在于采煤机自主感知煤岩界面、自动调整截割参数、实时优化运行轨迹。关键技术包括：基于截割力/振动信号+AI识别的煤岩界面探测技术（准确率≥80%）；惯导+液压支架姿态传感器融合测量与闭环控制（直线度偏差≤±50mm）；自适应截割实现"见顶见底"精准开采。

智能掘进运营体系：“采掘失衡”困局仍需破解

掘进是井工矿生产的重要前提，却长期成为全流程智能化的薄弱环节。截至2025年底，全国智能化掘进工作面约1930个，但实现“截-支-运”全流程智能化的工作面不足20%。传统掘进作业“截割-支护-运输”三工序串行执行，支护作业时间占总循环时间的60%-70%。支护工序对人工依赖度高、自动化程度低，是制约掘进效率和智能化的根本瓶颈。未来智能掘进技术将围绕以下四个方面演化：



安全智能监测预警运营体系：从“被动响应”到“主动预警”

井工矿生产在地下数百米有限空间内进行，面临冲击地压、煤与瓦斯突出、顶板冒落、水害、火灾等五大灾害的严重威胁。2025年，全国煤矿事故起数同比下降18%，但井工矿事故仍占总事故量的85%以上。安全智能监测预警是井工矿智能化运营的“底线工程”，随着微震监测、应力在线感知、光纤传感、AI视频识别等多源感知技术的规模化部署，以及多源数据融合与智能研判算法的进步，安全监测体系正在从单参数阈值报警向多场耦合智能预警、从“被动响应”到“主动预警”演进，从单一系统独立运行向跨系统联合研判升级，实现对冲击地压、煤与瓦斯突出等重大灾害的超前感知与分级预警，为灾害防控争取更超前的响应窗口。

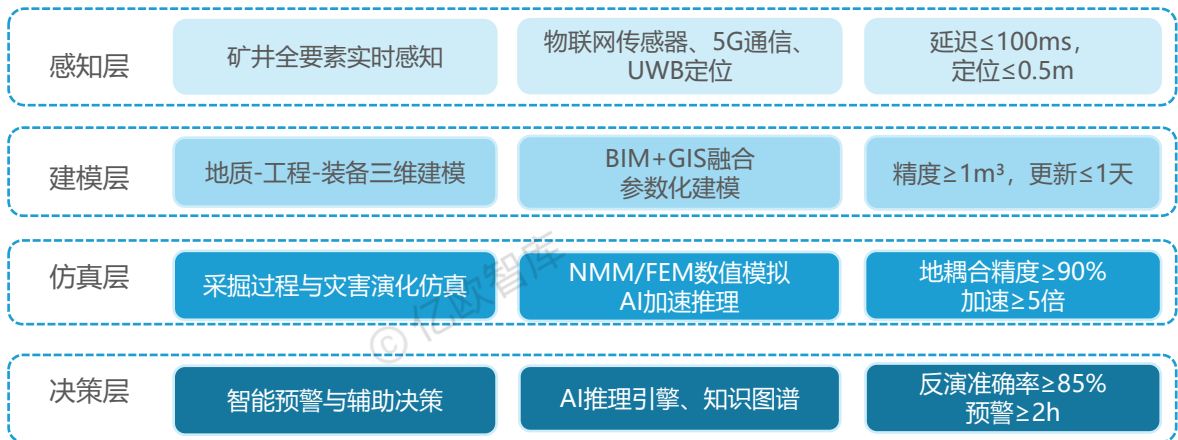
煤岩动力灾害智能监测体系

| 探测技术 | 探测目标 | 精度/指标 | 应用现状 |
|---------|------------|-------------------------|-----------|
| 微震监测 | 煤岩破裂时空定位 | 定位误差≤10m | 冲击地压矿井覆盖 |
| 应力监测 | 煤体应力分布与演化 | 0.1MPa分辨率 | 100%覆盖 |
| 瓦斯监测 | 瓦斯浓度/涌出量 | 0.01%CH ₄ 精度 | 100%覆盖 |
| 声发射 | 微破裂前兆信号 | 事件定位≤5m | 部分矿井 |
| BOTDR光纤 | 温度/应变分布式测量 | 1m空间分辨率 | 新兴技术，快速推广 |
| 地质雷达 | 前方构造与异常体 | 探测距离30-80m | 掘进面标配 |

数字孪生伴采运营体系：从"经验决策"到"孪生驱动"

数字孪生 (Digital Twin) 是井工矿智能化运营的重要技术，其本质是构建物理矿井在数字空间的高保真映射体，通过实时数据驱动与双向交互，实现"以虚映实、以虚预实、以虚控实、以虚优实"的运营闭环。井工矿数字孪生的独特价值在于：地下空间不可见、不可达，数字孪生为管理者和操作者提供了能"透视"地下世界的通道和路径。

煤矿数字孪生系统技术体系



◆ 模式一：实时态势感知——"以虚映实"

数字孪生系统将井下采掘空间、设备运行、人员分布、灾害风险等实时态势在三维数字空间1:1映射呈现。将原本不可视的地下采掘空间转化为透明可感知的数字场景，使管理者能够全面掌握地质赋存、应力分布、设备运行与人员位置的实时态势，为后续推演与决策提供可靠的数字底座。

◆ 模式二：灾害演化推演——"以虚预实"

基于地质模型与数值模拟引擎，实时仿真推演采掘活动引起的应力场演化、瓦斯运移、渗流场变化等，通过精确实现对冲击地压、煤与瓦斯突出等动力灾害时空演化趋势的前瞻性预判，推动灾害预测从"经验决策"到"孪生驱动"的范式转变。

◆ 模式三：靶向防控决策——"以虚控实"

基于数字孪生推演结果，生成靶点精准、措施匹配、资源最优的防控方案并联动现场执行系统，实现从预警到决策到处置的靶向闭环，推动安全防控从经验驱动的全域粗放治理转向数据驱动的靶向精准治理，在保障安全效果的同时最大限度减少无效工程量和防控成本。

◆ 模式四：生产优化闭环——"以虚优实"

将数字孪生系统与生产计划、设备管理、安全监控等业务系统闭环联动，以防控方案执行后的多维度效果反馈为输入优化后续采掘部署方案，形成以虚映实、以虚预实、以虚控实、以虚优实的持续迭代闭环，使数字孪生成为能够持续进化的自适应运营系统。

2.2.2.3 典型案例

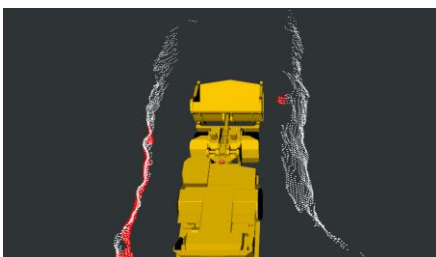
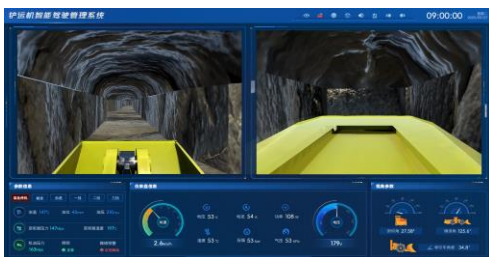
安瑞斯井下无人驾驶远程遥控系统



| 技术概述 | 技术特点 | 主要功能 |
|--|--|---|
| <p>无人驾驶远程遥控技术是当前矿山智能化建设的重要支撑，也是解决矿山安全生产的最佳途径。该系统融合视频传输、无线通信、智能算法、自主导航、自动控制等技术，通过对设备的电气系统与液压系统的升级改造，从而实现远程操作。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 可以基于矿山现有装备进行智能化升级改造，实现无人驾驶远程遥控； ◆ 可以适配国产品牌和国外品牌，满足柴油动力和电动动力设备智能化升级改造需求； ◆ 基于国内最早研发该项技术团队，技术实力雄厚，应用案例广泛，售后服务有保障； ◆ 核心技术全部国产，满足当前的信创要求； ◆ 实现远程遥控功能的同时继续保留人工驾驶功能。 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ 远程遥控功能 ◆ 自主导向功能 ◆ 自动避障功能 ◆ 一空多功能 ◆ 生产任务调度功能 ◆ 电子围栏功能 ◆ 自动行走功能 ◆ 设备状态自检功能 |

铲运机无人驾驶远程遥控应用案例：

宝武资源马钢矿业张庄铁矿、河北华澳矿业开发有限公司、山东黄金三山岛金矿



2.3 新能源运营

- ◆ 露天矿在开采过程中存在能源消耗过高问题，能源消耗主要集中在穿孔、爆破采装、运输和破碎等环节。
- ◆ 全球“碳达峰、碳中和”目标的深入推进，矿山行业面临日益严峻的低碳转型挑战。
- ◆ 高寒高海拔矿区因低温低压环境导致燃料燃烧效率、设备性能显著低于常规区域。传统依赖柴油和网电的供能模式已难以满足绿色矿山建设和可持续发展的要求。

国家层面新能源相关政策

矿山新能源指导意见

2025 《关于推进煤炭与新能源融合发展的指导意见》

- 到“十五五”末，煤炭与新能源融合发展取得显著成效，煤炭矿区光伏风电产业发展模式基本成熟，电能替代和新能源渗透率大幅提高。
- 要因地制宜建设“源网荷储”协同控制的矿区智能微电网，推动矿区光伏风电、瓦斯发电、多远储能、智慧能源管控系统等一体化开发运行，促进多能高效互补利用。
- 加快发展矿区光伏风电产业，有效盘活矿区土地资源，推动采煤沉陷区、排土场等场地光伏电站建设。
- 积极推动矿区用能清洁替代，推动矿区运输设备新能源替代，在有条件的露天煤矿规模化应用电动、氢能矿卡。
- 创新矿区绿色能源开发利用方式。

工业微电网指南

2026初 《工业绿色微电网建设与应用指南（2026—2030年）》

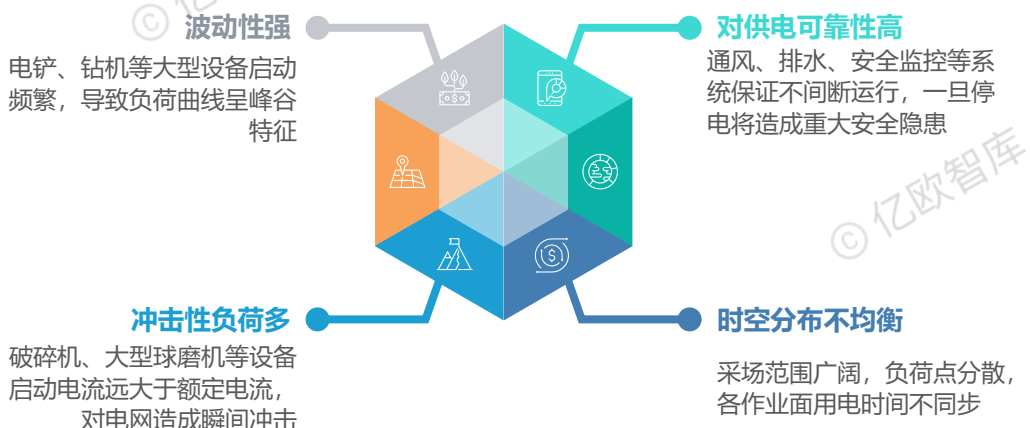
- 将源网荷储一体化项目、智能微电网等纳入工业绿色微电网体系，明确建设原则和应用场景。

2.3.1 能源消耗与负荷特征

（一）能源消耗结构

露天矿的能源消耗主要包括电力和燃油两大类。电力消耗集中在穿孔作业、采装作业、运输系统、破碎筛分、通风排水等环节。燃油消耗主要用于运输车辆和部分移动设备。

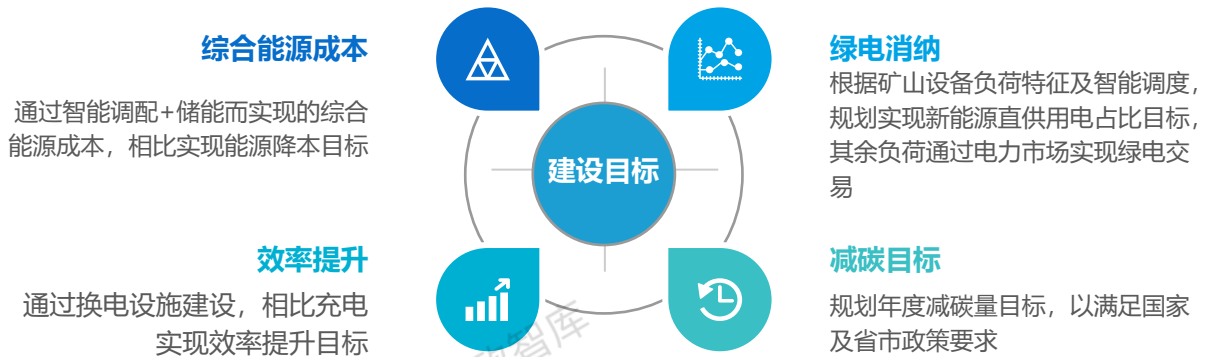
露天矿电力负荷特征



2.3.2 一体化解决方案

2.3.2.1 目标构成

针对矿山项目“源网荷储”一体化解决方案先规划建设目标，包含综合能源成本、效率提升、绿电消纳及年度减碳量。



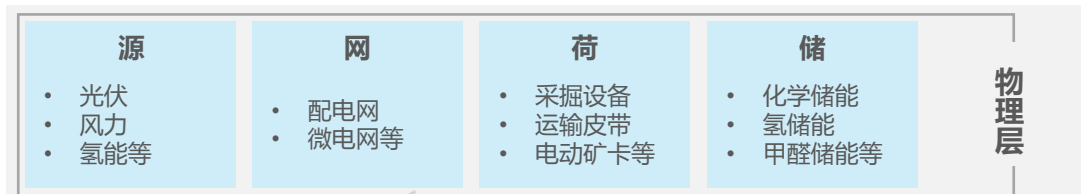
2.3.2.2 核心产品规划

矿山项目“源网荷储”一体化解决方案核心产品规划包含能源侧（光伏组件、储能系统）、售电侧（箱变、电线电缆、充电设备、换电设备、电池系统等）及平台建设（智慧调度平台）。

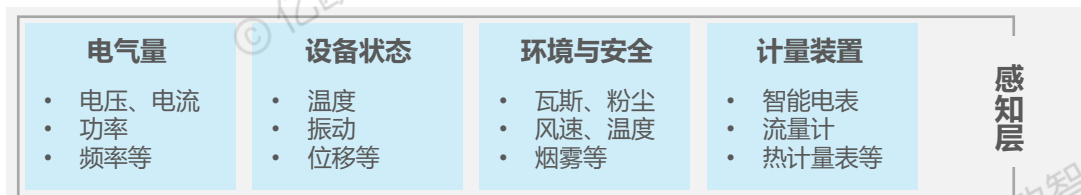
2.3.2.3 框架体系

矿山新能源框架体系以“源-网-荷-储”协同为核心，采用分层架构，实现从物理设备到业务应用的全贯通。体系分为五个层次，分别为：物理层、感知层、网络层、平台层、应用层。

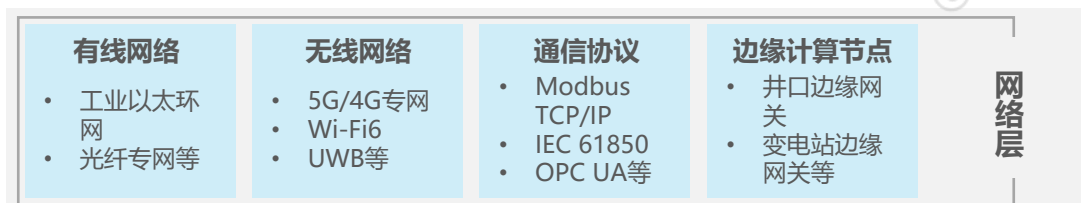
▼ 物理层是系统的物质基础，包含所有一次设备，负责能量的产生、传输、转换、存储与消耗。



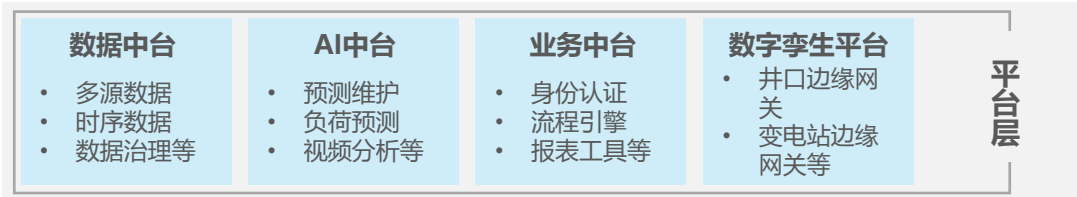
▼ 感知层实现对物理层设备状态及环境参数的全面感知，为控制决策提供精准数据。



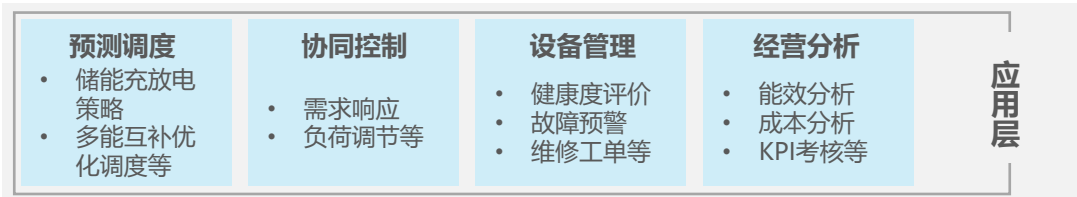
▼ 网络层提供可靠、实时、安全的传输通道，实现感知数据上传与控制指令下发。



▼ 平台层是体系中枢，基于云/边协同架构，提供数据融合、模型计算与统一服务。



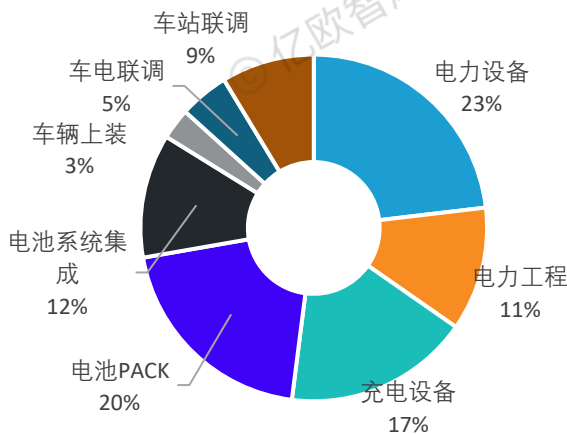
▼ 应用层面向矿山生产、设备管理及能源管理等的具体业务，提供可视化、可交互的应用功能。



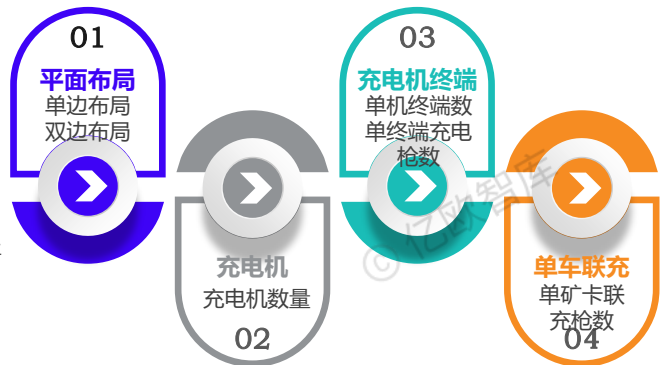
2.3.2.4 实施规划



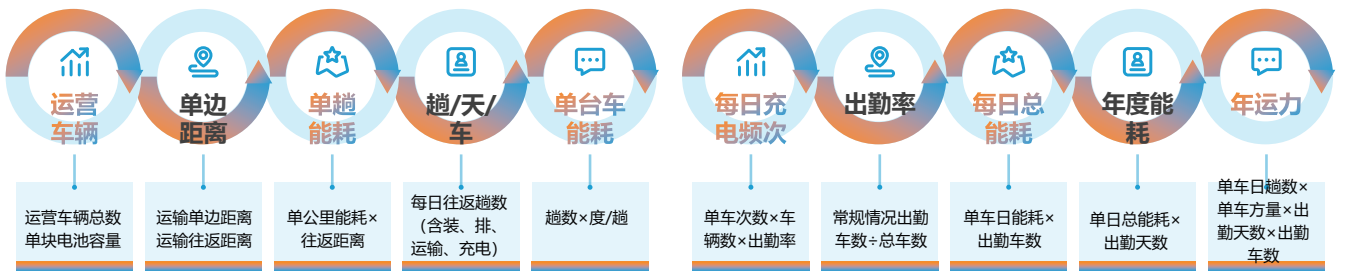
矿山充换电设施建设交付周期构成(%)



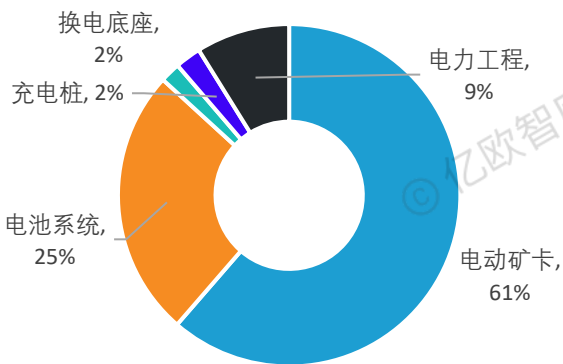
充电设施规划布局



充换电方案运营指标

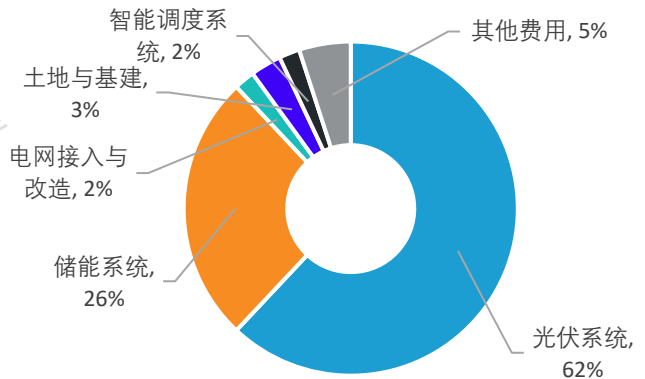


矿山充换电设施建设投资构成 (%)



备注：假设100余量矿卡构成充电设施投资

矿山“源网荷储”项目投资占比 (%)



矿山“源网荷储”一体化方案通过自发自用模式，减少对网电的依赖，在峰谷电价机制下利用储能“低储高放”，有效降低用电成本。

2.3.3 商业模式

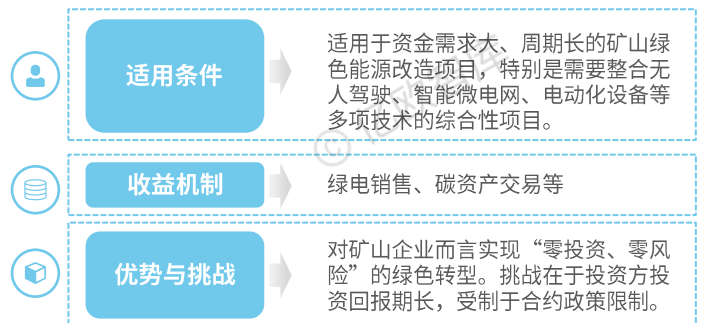
当前，矿山“源网荷储”新能源项目的商业模式主要由自投自营模式和EPC+O模式构成。从项目收益机制看，可分为自发自用模式、余电上网交易模式、储能差价模式等。

“源网荷储”自投自营模式



“源网荷储”EPC+O模式

EPC+O是矿山新能源领域近年来快速兴起的一种创新模式，由社会资本方承担投融资、工程总承包和长期运营的全链条服务，通过长期运营收益收回投资。



2.3.4 产业链全景图



2.4 “车-胎-路-维”一体化运营解决方案

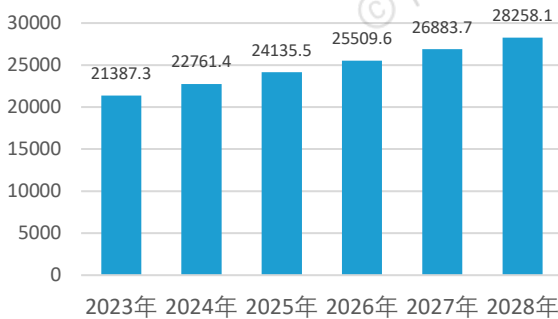
2.4.1 露天矿山“车-胎-路-维”运输系统智能化精细管理平台

2.4.1.1 矿山运输系统发展背景

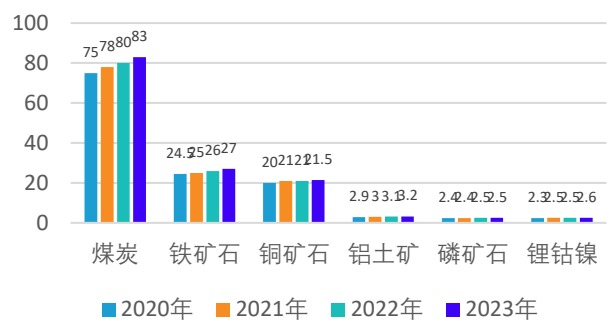
(一) 世界露天矿开采发展趋势

- ◆ 未来世界采矿业稳定增长，市场规模2023年为21387.3亿美元，预计2028年将达到28258.1亿美元。
- ◆ 煤炭、铁矿和铜矿总量占全球矿物开采量的65%左右，全球煤炭年产量大约80亿吨，占全球矿物总开采量的40%左右。
- ◆ 露天采矿在全球固体矿产总量比例约为三分之二，其中煤炭露天开采占比45%左右，铁矿石露天开采约90%以上，铜矿石的露天开采占比在70-80%之间。

全球矿业市场规模 (亿美元)



全球矿产量增长 (亿吨)

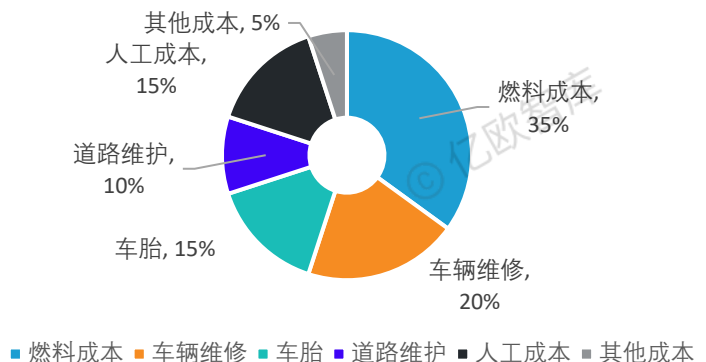


(二) 智能管理平台现实意义

- ◆ 露天矿山运输费用占总生产费用的40%~60%之间，目前露天矿山在智能化转型过程中，过于专注于实现无人化运输，忽视了运输能耗等重要因素。露天矿运输系统是最大单项成本中心，是事故高发系统、能耗与排放集中系统、设备损耗最快系统。
- ◆ 车、胎、路、维相互影响，但长期各自为政，缺乏系统级管理。



露天采矿运输成本分解 (%)



(三) 现有矿山运输管理系统存在问题

- ◆ 单台车是设备问题，单条路是工程问题，单条轮胎是物料问题，但整体运输系统是“复杂系统工程问题”
- ◆ 复杂系统，不能靠人工经验管理，露天矿运输系统复杂性决定了智能化精细管理是必然选择。

| | | |
|--|--|--|
|  <p>矿用轮胎 胎压胎温检测系统</p> <p>2006年开发的两款成熟的轮胎监测系统MICHELIN MEMS LITE与MICHELIN MEMS 4，分别适用于100~150t和150t以上的自卸卡车轮胎监测，采用内置传感器，可远程定期读取胎压和温度，车辆位置和速度，且无需在卡车上安装信息集成硬件。</p> |  <p>矿区运输道路 整体评估模型</p> <p>加拿大JPI公司一家专注于矿山运输道路评估的专业化服务商，通过JPI建立了矿区运输道路整体评估模型(WRAPID)，提供专业的运输道路评估服务，帮助矿山企业提高运输效率、降低成本、增强安全性，并确保道路的可持续性。</p> |  <p>MineStar™ Mining System 矿山综合管理系统</p> <p>MineStar 系统是采矿业最广泛、最全面集成的矿场运营和移动设备管理系统。旨在通过提供实时数据和分析，帮助矿山管理者做出更明智的决策，提高安全性、生产力和设备利用率，同时降低运营成本。系统由多个功能模块组成，包括 Fleet (车队管理)、Terrain (地形管理)、Detect (检测)、Health (设备健康) 和 Command (指挥控制)，模块化设计和深度集成的技术，为矿山提供了一个全面的管理解决方案。无论是提高生产力、增强安全性还是降低运营成本。</p> |
| <p>现有的矿山运输管理系统都存在对数据挖掘不足的问题，数据分析仅停留在阈值报警与可视化展示阶段，缺乏对监测数据的深入挖掘，缺乏对运输系统的优化决策能力。</p> | | |

(四) 系统最优视角下的露天矿山“车-胎-路-维”智能化发展思路

- ◆ 露天矿山车胎路维智能管理系统的发展目标不仅在于提升局部检测能力，更在于在安全约束下保障运输系统的连续运行与综合成本控制。

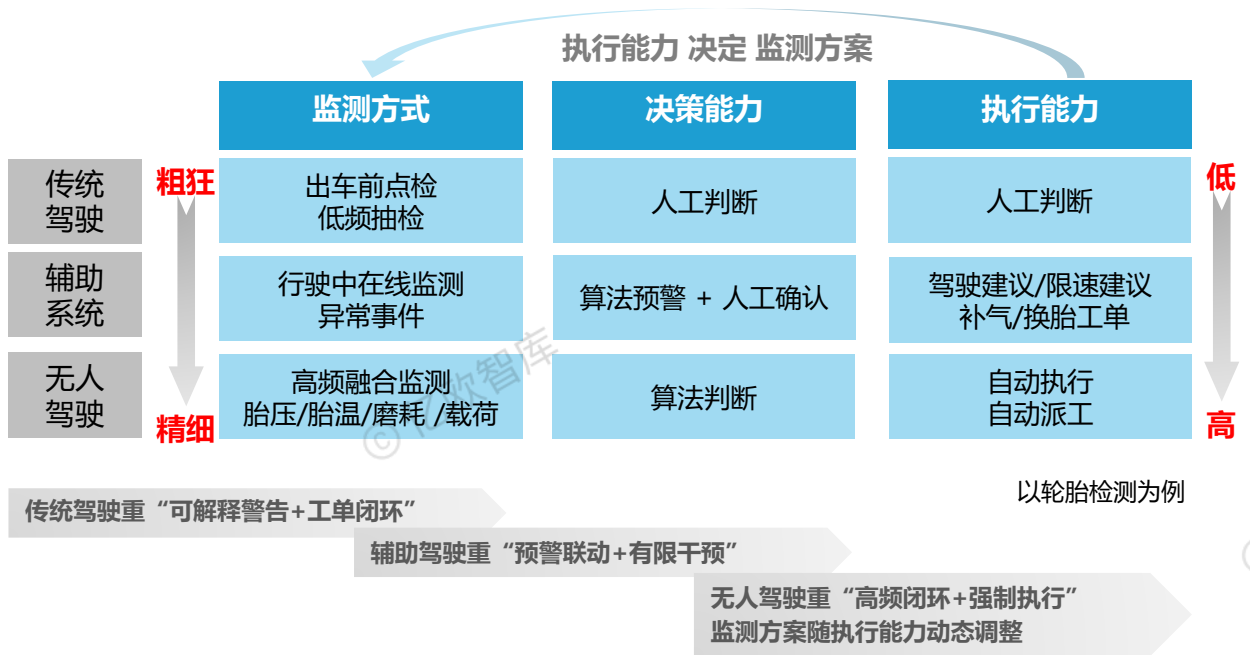
| 技术现状 | 系统矛盾 | 方法论 |
|--|---|--|
| <p>检测能力持续提升</p> <ul style="list-style-type: none"> • 轮胎磨损、胎温、胎压、路况等多源信息持续丰富 • 检测精度由厘米级向毫米级演进 • 单点检测与全面检测手段并存 | <p>检测精度与执行力不匹配</p> <ul style="list-style-type: none"> • 轮胎管理执行方式以粗粒度控制为主 • 执行精度与一致性限制了高精检测的转化效率 • 检测精度提升的系统收益呈现边际递减 | <p>以系统最优为智能化目标</p> <ul style="list-style-type: none"> • 智能化目标应聚焦系统级收益最大化 • 检测精度是手段，而非目标本身 • 在不均匀条件下，可执行性、稳定性、经济性 |
| <p>检测水平不断提升</p> | <p>信息带宽 > 执行能力</p> | <p>单点最优 ≠ 系统最优</p> |

从系统最优出发，通过检测与执行的动态匹配，构建多维监测能力，形成体系化“车-胎-路-维”智能管理系统

2.4.1.2 智能运输管理系统总体架构

(一) 面向系统最优的“车-胎-路-维”智能管理研究方案

- ◆ 同样的监测精度，在不同驾驶场景下可转化的系统收益不同；让“信息带宽”匹配“执行带宽”。
- ◆ 依据不同场景，以执行能力为约束条件，构建监测方案选择与控制策略联合优化的系统建模框架。



(二) 总体架构：面向系统最优的“车-胎-路-维”智能精细管理平台

以工况与驾驶场景为输入，以执行能力为约束，实现“检测配置+控制策略”联合优化闭环

- ◆ 动态调整车辆的运行参数，如速度、负载和行驶路线，以适应不断变化的矿区环境和作业需求。
- ◆ 矿区道路进行科学的分区域管理，针对不同区域制定特定的管理策略和维护计划。
- ◆ 实时监控轮胎的气压、温度和磨损情况，预测轮胎剩余寿命并优化更换和维护时机。

| 感知与接入层 | | 边缘与传输层 | 数据底座层 | | 模型与决策 | | 应用与执行 | |
|--------|----------------------|-------------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
| 车 | 位置/速度/载荷 油耗/制动事件 | 数据预处理 异常初判 弱网缓存 | 时序数据 | 胎压胎温、车况 能耗、事件流 | 工况识别 | 路况指数 冲击指数 | 指挥驾驶 | 风险热力图 |
| 胎 | 胎压/胎温 磨损/载荷 | | 空间数据 | 路网、路段属性 作业区边界 | 健康度 | 车、胎、路、维修 | 车胎路维 | 告警、诊断 策略建议 |
| 路 | 坡度/曲率/坑洼 滚阻/粉尘/湿滑 | 网络 专网/4G 5G/WiFi6 | 核心数据 | 车辆/轮胎 路段/班组 | 预测模型 | 爆胎风险、故障 道路劣化趋势 | 执行内容 | 调度系统/短信 APP/终端 |
| 维 | 工单、停机事件 备件、检修记录 | | 数据治理 | 质量校验 权限与审计 | 联合优化 | 监测组合 频率/阈值 | 效果评估 | 策略执行率 收益核算 |

从“看得见”到“管得住”再到“管得优”，监测与控制同源建模、同环迭代，持续逼近系统最优

(三) 自卸卡车—传感器与检测设备的大型集成中心

全面布置自卸卡车传感器相对困难，涉及到多个领域的传感器，涵盖了液压系统、车体与车内部环境、发动机、传动系统等。每种传感器的布置都需要考虑环境因素、传感器的防护性、可靠性和耐久性。因此，卡车传感器布置方案与轮胎类似，首先实现功能，其次提高精度。

- ◆ 深度优化经济效益的功能，油耗监测最为简单易于实现
- ◆ 智能差异化车辆维护功能，可根据先实现后精确的原则，进行传感器方案布置



(四) 智能轮胎监测技术

监测精度随着检测器布置技术难度的提升而提升，监测必要性随着技术难度的提升而减小，监测精度大小影响数据处理与预测精度，可以针对检测必要性选择技术难度相对较低的传感器布设方式，首先实现系统基本功能，后续提高监测精度。

| 监测对象 | 检测手段 | 技术难度 | 监测精度 | 监测必要性 |
|--------|------------|-------|-------|-------|
| 胎压监测 | 智能气门嘴 | ★ | ★ | ★★★★★ |
| 胎温监测 | 充气腔中放置传感器 | ★ | ★ | ★★★★★ |
| 轮胎磨损程度 | 胎面视频成像 | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| 胎面破损 | 轮胎内壁传感器 | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| 轮胎滚动状态 | 胎面红外热成像 | ★★★ | ★★★ | ★★ |
| 接地压力分布 | 胎面点云成像 | ★★★ | ★★★★★ | ★ |
| 运动形变 | 胎面凹槽中埋设传感器 | ★★★★★ | ★★★★★ | ★ |

胎温监测为例，在充气位置的监测器布置简单，但只能监测轮胎固定点位温度，并且由于与外部空间接触，监测温度相对实际温度偏小，而通过轮胎内壁传感器与胎面红外热成像结合的方式可以得到轮胎内部与外部的完整温度分布，但实现难度高。

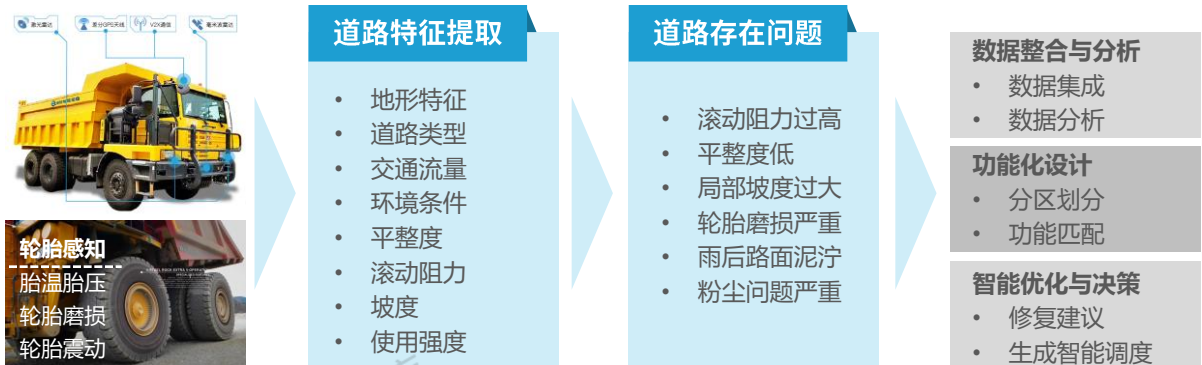
(五) 路面质量传感器布置方案

针对某一监测目标存在多种监测方案，因此需要根据监测环境、数据精度要求和布置成本与难度，合理设置传感器布设方案，以路面质量传感器为例，存在三种监测方式：车载路面传感器、固定路面传感器、路面内部传感器。



(六) 矿山道路病害智能监测与修复

通过卡车轮胎传感器和无人机航测技术收集道路信息，包括地形特征、道路类型、交通流量、环境条件、平整度、滚动阻力、坡度以及使用情况等。基于收集的数据，系统对不同路段进行功能化设计，明确每个路段的用途和管理要求，若生成相应的修复建议，实现道路分区差异化管理。



(七) 矿山道路差异化分区设计方法

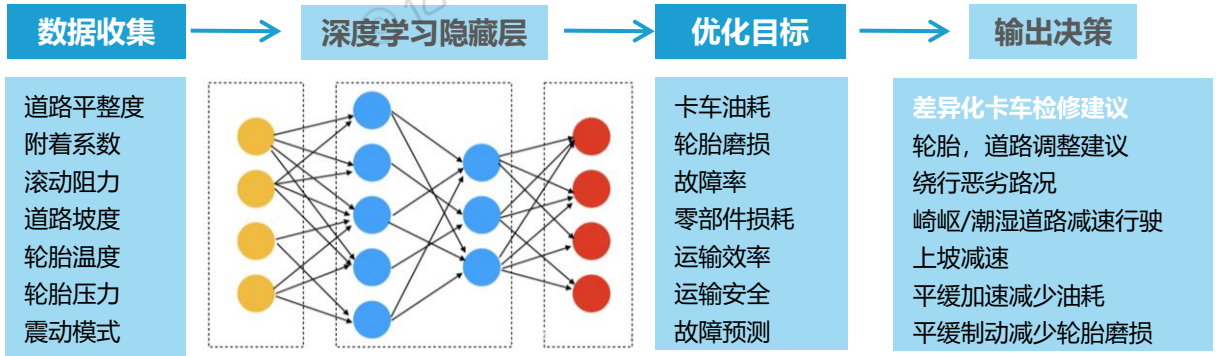
- ◆ 国内外露天矿道路设计手册/指南中主要针对泥结碎石路面进行设计与规范。
- ◆ 没有考虑露天矿山道路的复杂情况，统一按照非铺砌道路进行设计是不合理的。
- ◆ 通过智能分区设计，能够实现对不同路段的差异化管理，提高整体的运营效果。
- ◆ 将不同的路段进行功能化设计，匹配相应的运输需求和地形条件。



| 区域 | 服务强度 | 特点 | 处理方式 | 处理后 |
|--------|------|----------------------|------------------|----------------|
| 端帮剥离 | 高 | 路面受落石剥离 | 乳化沥青冷再生柔性路面 | 抗剥离、防尘、防水 |
| 采场剥离 | 低 | 路面平整度低 路基强度高无沉降 | 铺设级配碎石磨耗层 | 渗水性好，易维护 |
| 排土场剥离 | 低 | 路面平整度低 路基强度低易沉降 | 级配碎石磨耗层+土工格栅稳定基层 | 渗水性好，易维护 |
| 上煤路交叉口 | 高 | 卡车运行速度低 制动频次高 | 路面胶结材料硬化处理 | 路面承载力强、抗剪强度高 |
| 易泥泞路段 | 高 | 路面排水能力差 含水率超过土石液限 | 乳化沥青冷再生柔性路面 | 防水 必要时增设排水渠 |

(八) 自卸卡车运营行为优化

- ◆ 自卸卡车运营行为优化，不仅能降低燃油消耗，延长车辆和轮胎的使用寿命，还能预测并防止潜在故障，减少停机时间。
- ◆ 通过智能路径规划和速度控制，自卸卡车（无人）能够有效应对矿区复杂的路况和环境变化，确保运输任务的高效完成。



2.4.1.3 智能运输管理系统发展规划

“车-胎-路-维”智能管理系统的研制路径，是在执行能力逐步提升的过程中，由可视化保障，走向系统优化，最终实现协同闭环控制。

- 1、构建“车-胎-路-维”系统的感知与可视化基础，保障运行安全与稳定。
- 2、具备基础执行能力的前提下，实现车-胎-路-维的系统优化与辅助决策。
- 3、在高执行能力条件下，实现车-胎-路-维系统的协同控制与自主优化。



2.4.2 露天矿山道路结构固尘、源头治理抑尘

(一) 露天矿山道路结构固尘、源头治理抑尘方法

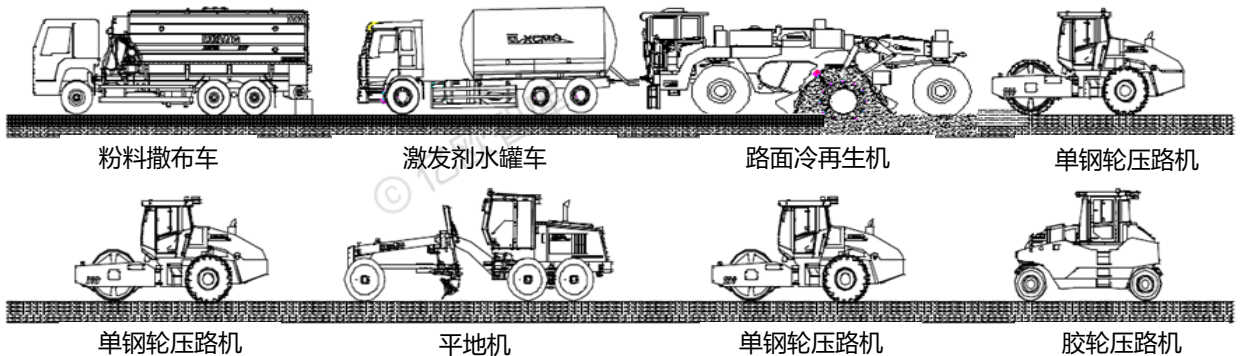
以“结构固尘、源头治理、绿色再生”为原则，对既有泥结碎石或松散基层进行原位冷再生硬化，利用地聚合物再胶结使细颗粒被结构性封闭，从根本上减少车辆荷载作用下的二次扬尘，同时最大化再用就地材料与工业固废，降低全生命周期成本与碳排。

| | 露天矿山道路 | 机场跑道 | 普通高速公路 |
|--|-------------|--------------|-------------|
| 松散的泥结碎石路面 | | | |
|  | | | |
| 硬化后路面效果 | | | |
|  | | | |
| 载重 | 300~600t | 160~350t | 2~40t |
| 轮胎压力 | 0.3~0.50MPa | 1~1.5MPa | 0.2~0.7MPa |
| 服务年限 | 3~5年 | >30年 | 15~30年 |
| 通车强度 | 5万辆/年 | 5~10万架次/年 | 30~50万辆/年 |
| 运行速度 | <40 km/h | 200~300 km/h | 60~120 km/h |
| 夜晚通车 | 是 | 否 | 是 |

(二) 煤基固废地聚合物冷再生施工工艺

将原路面材料有效破碎，重新拌和（必要时加入一些新集料），并在常温下与稳定剂精确拌和后形成新的均匀混合料，成为路面结构。

- ◆ 修筑的路面属于永久性的刚性路面，不需要频繁维护。
- ◆ 运输道路不再产生新的粉尘颗粒，抑尘效果好。
- ◆ 施工高效，日作业面积可达8000平米以上。
- ◆ 路面强度大幅提升（再生深度一般10-30cm）。



(三) 煤基固废地聚合物筑路材料

地聚合物是由地球化学作用或人工模拟地质合成作用而制作的，以无机矿物为单体通过聚合反应生成的坚硬的人造岩石。具有天然岩石一样的硬度、耐久性和热稳定性。矿粉、粉煤灰、赤泥、石粉、煤矸石等，几乎常见的工业废渣均为铝硅质材料，都可以作为地聚合物原材料。



地聚合物胶结稳定矿山运输道路，将路面松散沙石（尘源）胶结成一整体，有效降低道路起尘量，提高路面平整度和承载能力，降低维护频率。

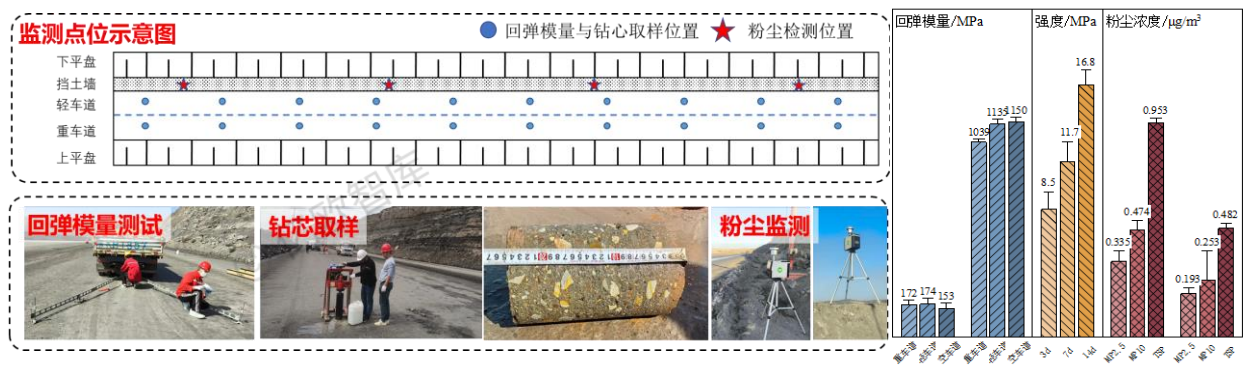
(四) 案例-哈尔乌素露天矿路面硬化示范道路修筑

修筑后的路面平整，无松散颗粒和浮沉，基本满足大型矿山运输车辆高频次、高负荷通行的需求，同时减少了扬尘污染。



(五) 路面质量与粉尘控制效果检测

- ◆ 哈尔乌素露天煤矿的1km示范道路验证了该技术的工程可行性与应用效果。
- ◆ 地聚合物冷再生路面相比于传统泥结碎石路面回弹模量平均提升了约6.3倍，并具备良好的早期强度，能满足快速开放交通的需求。
- ◆ 该技术通过从源头固化路面松散颗粒，实现了显著的粉尘控制效果。

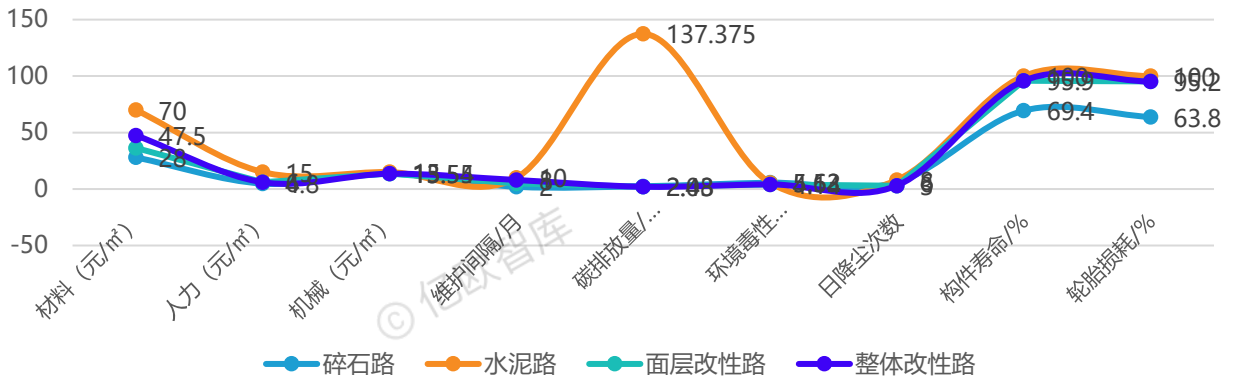


| | | | |
|---|---|--|---|
| <p>轮胎寿命 提升 20%–30%</p> <p>路面平整度和承载稳定性改善后，轮胎冲击磨损与异常偏磨下降</p> | <p>油耗水平 降低 3%–5%</p> <p>滚动阻力下降、车辆运行更平顺，可直接带来燃油消耗下降</p> | <p>运输效率 提升 8%</p> <p>平均运行速度和通行组织效率提升，单车有效运输能力增强</p> | <p>道路维护 次数显著减少</p> <p>坑槽、松散和重复整修频次下降，维保投入与干扰同步减少</p> |
|---|---|--|---|

2.4.3 道路硬化投资分析

道路硬化，是以工程手段将松散、坑洼的泥结碎石运输道路改造为具有足够结构强度和抗变形能力的高质量路面。露天矿运输费用占总生产费用的40~60%，道路条件作为运输系统的基础变量，直接影响轮胎寿命、车辆故障率、行驶速度和扬尘控制成本。

道路综合成本各因素原始数据



地聚合物/固化剂改性道路，是利用矿山工业废物（如碎石、粉煤灰、煤矸石等）作为原材料，通过冷再生工艺对既有道路进行原位硬化，将松散颗粒结构性封闭，形成永久性刚性路面。

综合考虑材料、人力、机械、维护、碳排放、降尘、环境毒性、运输效率、构件寿命和轮胎损耗等10项因素，对四种道路方案进行了综合成本测算，结果显示：碎石路综合成本98.6元/m²，水泥路为108.5元/m²，面层改性路为62.9元/m²，整体改性路为67.7元/m²。面层改性路较碎石路综合成本降幅超过36%，整体改性路较碎石路综合成本降幅超过31.4%。如下表：

| 道路方案 | 材料+人力+机械 (元/m²) | 综合成本 (元/m²) | 相对碎石路成本优势 |
|-------------------------|-----------------|-------------|-----------|
| 碎石路 (基准) | 46.34 | 98.6 | - |
| 水泥路 | 100.00 | 108.5 | -10% |
| 面层改性路 (面层10cm+碎石基层40cm) | 55.89 | 62.9 | +36% |
| 整体改性路 (面层+基层共30cm) | 67.09 | 67.7 | +31% |

道路硬化属于资本性投资，应采用全生命周期法将投资成本平摊到单位运输产出，以评估其吨矿成本的影响。

| | 年摊销成本 (万元/年) | 按实际产能平摊成本 (元/吨) | 按年剥离量平摊成本 (元/m³) |
|------|--------------|-----------------|------------------|
| 成本平摊 | 22.5 | 0.0072 | 0.0016 |

备注：2025年哈尔乌素露天矿煤产量为3137.5万吨，剥离量1.4亿m³，示范道路厚度为25cm，综合成本按60元/m²计算

2.5 煤矿先行经验的推广价值

煤矿先行经验向非煤矿山推广，并非简单的移植，而是“方法迁移+场景适配”的系统工程，如下核心经验具备跨矿种推广价值：

1.运营流程

煤矿已跑通成熟的“班前检查→调度派车→实时监控→交接班→数据归档”全流程运营闭环，可直接作为非煤矿山搭建运营体系的参考模板。非煤矿山仅需根据自身矿体特征和设备条件，对流程参数做本地化调整。

2.运营指标及成本工具

煤矿验证成熟的设备综合效率、吨矿运输完全成本、单位时间运力等运营KPI，可直接引入非煤矿山作为运营管理的基础语言。基于这些指标的成本核算模型和经营分析工具，能够帮助非煤矿山快速建立“数据驱动决策”的运营能力。

3.道路硬化驱动效率提升经验

煤矿场景已验证的道路硬化投资模型--通过地聚物冷再生技术改善运输道路，提升车速和运力、降低轮胎和维修成本，在非煤矿山同样适用。非煤矿山运输道路同样面临坑洼、扬尘、高维护频次等问题，煤矿的投资收益数据可为非煤矿山提供直接参考，降低投资决策风险。

4.人才梯队建设

煤矿探索出的“研发在都市，运营在矿区”的多空间人才部署模式，以及“传统司机→运营工程师”的转型培训体系，完全适用于非煤矿山。通过区域化联合体模式，非煤矿山可共享煤矿已建立的实训基地和培训课程资源，大幅降低人才培养成本。

5.能源运营

煤矿在“源网荷储”一体化、电动矿卡替代燃油、峰谷套利等新能源运营方面的实践经验，可指导非煤矿山根据自身能源禀赋和负荷特征，设计最优的能源运营方案，降低能耗成本占比。



煤矿智能化运营已跨越“从0到1”的摸索阶段，进入“从1到N”的经验输出期。所积累的标准流程、指标体系、经济模型和人才培养机制，是行业共同的智慧资产。将这些经验系统性推广至非煤矿山，不仅能让后发着大幅降低试错成本，还加速行业跨越式发展。

第三章

CHAPTER 03

非煤矿山运营经验迁移与智能化落地

3.1 非煤矿山发展状况

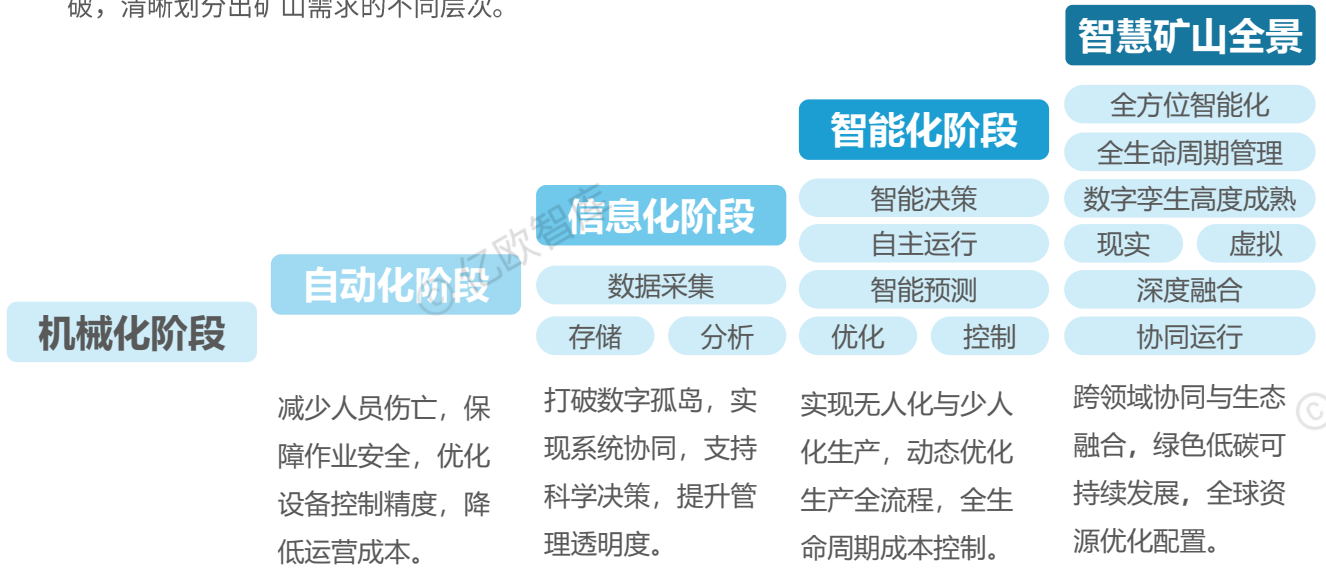
3.2 运营导向的智能化落地解决方案

3.3 非煤矿山运营经验迁移与智能化落地

3.1 非煤矿山发展状况

3.1.1 矿山科技发展五大阶段

- ◆ 现阶段，智慧矿山的核心需求聚焦于安全、效率、环境、技术四个主要方面。
- ◆ 安全需求呈现出从“减少伤亡”向“无人则安”的转变；效率需求从关注“单机效率”逐步转变为追求全系统协调优化；日趋严格的政策法规（如粉尘排放限值下降50%）和持续增加的资本回报压力（如智能化投资回收期<3年），倒逼矿山行业进行升级。相关技术“机械化-自动化-数字化-智能化”的链式突破，清晰划分出矿山需求的不同层次。



煤矿目前整体处于“智能化→智能化运营”的跨越阶段，头部千万吨级露天矿已实现常态化无人驾驶运营。而非煤矿山整体仍处于“机械化→自动化/数字化”的过渡阶段，仅有少数大型金属矿实现了百台级无人驾驶试点。这一差距，恰恰说明非煤矿山无需重复煤矿的摸索过程，而直接承接煤矿已验证的运营模式和技术方案，实现跨越式发展。

智慧矿山单位建设费用及市场预期



3.1.2 煤矿与非煤矿山对比分析

煤矿与非煤矿山在地质条件、开采工艺、安全风险等方面确有差异，但运营管理的底层逻辑高度相同：均需解决“安全保底、效率提升、成本可控”三大运营命题。煤矿已在这些方面形成了成熟的方法和量化的指标体系，非煤矿山仅在“方法层”做继承，在“场景层”做适配。

智能化建设差异化/核心点差异

- ◆ 煤炭井工矿的技术密度、投资量较高，采煤的装备已经基本完成自动化改造，在集中控制方面较为领先，综合管控平台不仅可以实现数据显示，还反向实现了管理流程的重构。露天煤矿的智能化核心是综合管控平台，可以实现跨部门数据采集上传，但基于数据分析、决策以及反向控制仍需进一步建设。
- ◆ 非煤矿山智能化建设进程要比煤矿更慢，其背后原因首先在于行业分散、流程标准化程度低；其次，非煤矿山环境比较复杂，例如部分有色金属矿，整个矿体作业面都很窄，大型设备施展不开，存在限制。基础薄弱再加上智能化难度大，导致非煤矿山需要优先满足安全管理的要求，而后需要基于智能化转型反向推进标准化、流程化、安全生产的进程。

亿矿通：煤矿与非煤矿山智能化建设差异化对比

| 对比维度 | 煤矿 | 非煤矿山 (以金属矿为例) |
|--------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 安全风险重点 | 瓦斯、煤尘、火灾、顶板冒落等煤矿特有风险；需瓦斯抽采与监测系统。 | 地质稳定性（如边坡塌陷、采空区地压）、岩石灾害；需地压与微震监测系统。 |
| 选矿系统 | 选煤厂需智能分选（如浮选、磁选），强调精煤产率和产品质量控制。 | 非煤矿选矿侧重重金属分选（如浮选、电选），关注矿物品位与回收率优化。 |
| 环境适应性 | 煤矿井工需应对复杂煤层赋存条件（如薄/厚煤层、急倾斜煤层）。 | 非煤矿山需适应多样化矿体形态（如金属矿脉、非金属矿层）。 |
| 技术复杂度 | 煤矿井工需额外建设瓦斯抽采系统、防突系统等特有安全设施。 | 非煤地下矿需强化通风系统自动化（如按需通风）、提升系统精准控制。 |

| 对比维度 | 煤矿 | 非煤矿山 (以金属矿为例) | 可复制运营经验 |
|---------|--|---|---------------------------------------|
| 核心安全风险 | 以瓦斯、煤尘、火灾、顶板冒落为核心，需强化瓦斯抽采、防突系统与实时监测。 | 以岩体稳定性、深部地压、微震灾害为核心，需强化地压监测、微震预警与支护技术。 | 安全运营的“预防-监控-应急”三级闭环管理模式，监测手段按风险分类替换部署 |
| 开采环境复杂性 | 煤层赋存条件复杂（如薄/厚煤层、急倾斜煤层），需适应瓦斯与煤尘爆炸风险环境。 | 深部高应力、高温、高渗透压环境，需应对岩石力学参数动态变化与多场耦合效应。 | 无人驾驶的调度、车路协同可复制，需针对狭窄巷道重新标定路径规划参数 |
| 技术装备需求 | 强调瓦斯智能监测设备、防爆型机器人、透明地质模型构建（煤岩识别难度大）。 | 急需深部高应力环境下的高效采矿装备（如智能凿岩台车）、自主导航与精确定位技术。 | 设备全生命周期管理、预测性维护方法适用，仅需更换监测对象和阈值 |
| 数据与信息融合 | 数据孤岛问题突出，需解决瓦斯、顶板等多源异构数据融合与统一标准。 | 多场信息（应力、温度、渗流等）监测不足，需构建岩层介质变化规律的综合分析模型。 | 数据中台架构、运营指标体系可适用，数据采集层按非煤矿山实际调整 |

数据来源：亿欧智库/亿矿通

3.1.3 非煤矿山运营面临的典型挑战

中小型矿山建设投入大与软硬件维护缺乏人才迭代的矛盾突出

智能化无人化的矿山也是脱离不了科学的采矿理论，无人化实质是无人化工艺应用，因此在无人化前首先需要确定的是：

- ◆ 该矿山是否适合被智能化、无人化？以及技术是否可行？经济是否合理？
- ◆ 是局部无人化？还是大范围无人化？
- ◆ 智能化手段下，如何选择合理的智能化内容？特别对于中小型矿山：

大型矿山的大投资模式是否可行？？？

例如：当前矿山生产效益是否可以承受相对固定的网络成本、基础设施建设成本等？是否有适合中小矿山的网络方案？



01

硬件类改造成本如果不可避免，而软件如何有效的减少软件类投入呢？

可以选择SaaS平台等公共服务。选择懂业务、具有持续运营能力的信息化公司

智能化只是追求人少吗？

是通过数字化大幅度提高管理水平，精细化配置，爆破与破碎的平衡等，根据销售柔性排产

浮于表层的痛点要求正确认知建设核心目标与价值

当前矿山四化建设面临多重技术与管理挑战，其核心问题与挑战集中体现在数据、装备、标准、系统、人才、技术等维度。除此之外，企业管理人员在意识层面也需要进一步提升。例如：川煤集团建设智能化综采工作面后，每个工作面日均减少作业人员20-30人，综采单产水平提高30%-50%。嘉阳煤矿智能化综采工作面自动化跟机率超过95%，实现了采煤全程记忆截割。生产班组由原来的5个精简至2个，单日工作人员从61人降至8人，减幅达87%。日均产量提升至3245吨，增产45%，检修时间下降80%，生产效率提升10.1倍。



四化的目的：

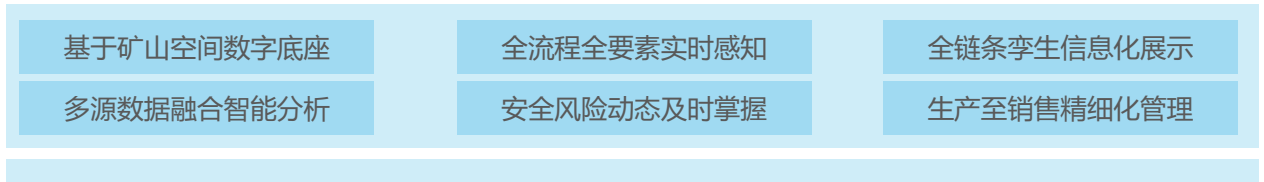
- ◆ 一是，突破人员管理瓶颈，助力高效绿色精细化生产，有利于节能环保安全生产。例如：云贵川地区小型矿山企业多，开采成本、运输成本高，人才供给特别是信息化技术人才少，四化的建设必须以精细化生产、降本增效，作为经济可行的方向。
- ◆ 二是，积极对接安全监管数字化要求，相关数据技术应同时用于矿山日常管理。避免两张皮、两套数。信息化系统的建设应首先服务于企业管理，不能因系统单方面增加技术人员管理难度，系统建设后束之高阁，无后续迭代更新。

3.2 运营导向的智能化落地解决方案

3.2.1 智能化综合管控平台

平台概述

该平台依托矿山空间数字底座，深度融合多源数据，实现开采、运输、销售全流程要素的实时感知与智能分析。通过动态监测安全风险，构建全生命周期管理闭环，提升生产运营效率与安全管控水平。平台支持多维度数据可视化，辅助决策优化，推动矿山向智能化、精细化转型，助力行业高质量发展。



平台模块

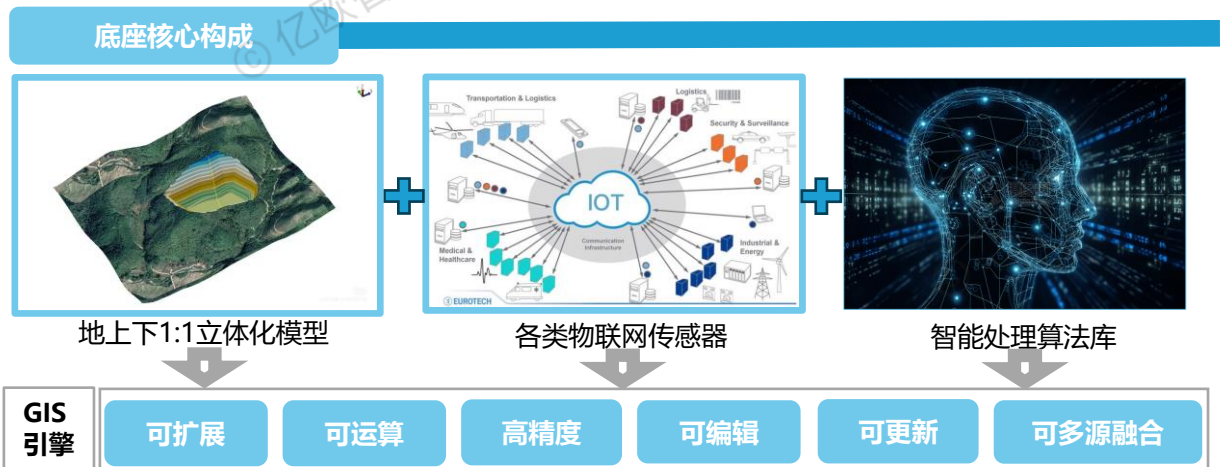


平台模块

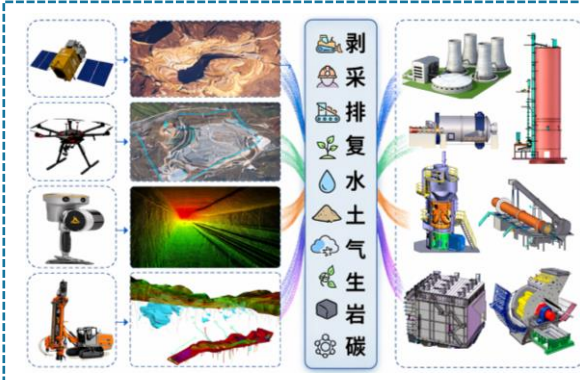
| | | |
|--|--|---|
| <p>4. 运输管理</p>  <p>智能矿卡运输系统 越界开采预警 智能有轨、带式输送系统</p> | <p>5. 销售数据</p>  <p>贯通销售全链条 产销存报表自动生成 数据精细化管理</p> | <p>6. 智能穿爆</p>  <p>少人无人化穿孔作业 自动寻探孔爆破作业 智能铲装、二次破碎作业</p> |
| <p>7. 破碎管理</p>  <p>远程操控、自动启停 破碎站料位实时监测 智能调节给料速率</p> | <p>8. 辅助生产</p>  <p>水文实时监测 在线监测供电线路设备设施 自动预警、自动隔离切换</p> | <p>9. 飞控巡检</p>  <p>智能巡检 二维、三维建图 AI智能识别</p> |

3.2.2 矿山数字空间底座

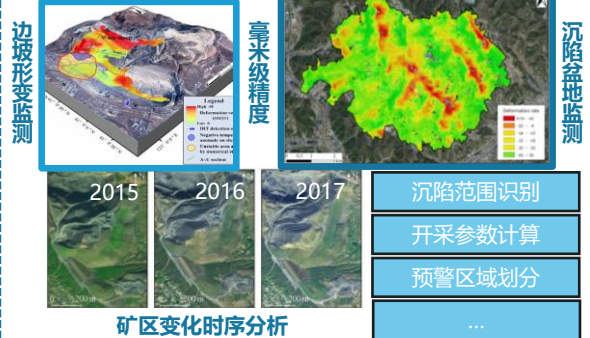
矿山数字空间底座核心构成包括三维地质模型、物联网（IoT）系统及人工智能技术，具备可扩展、高精度、多源融合等特性。通过卫星、无人机、传感器等多源数据融合，实现毫米级边坡形变监测、沉陷盆地分析、矿区变化时序追踪等功能。同时，支持无人机自主巡检、矿卡实时扫描、智能钻机作业等场景，构建了从数据采集到智能决策的全流程体系。扩展应用覆盖智能输送、边坡安全监测、无人驾驶、智能供电等20余项系统，全面赋能矿山智能化升级，提升安全与生产效率。



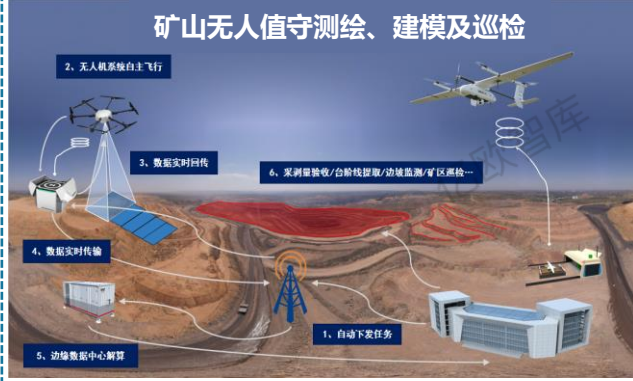
数据融合支撑



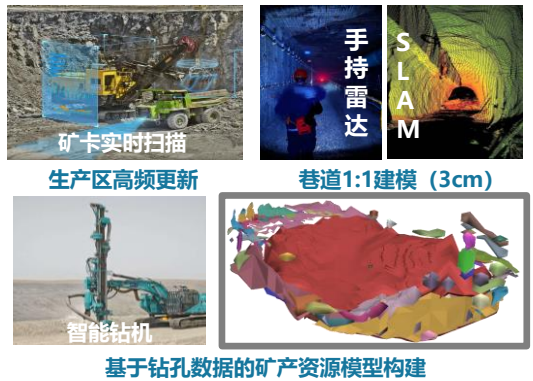
数字空间底座——星



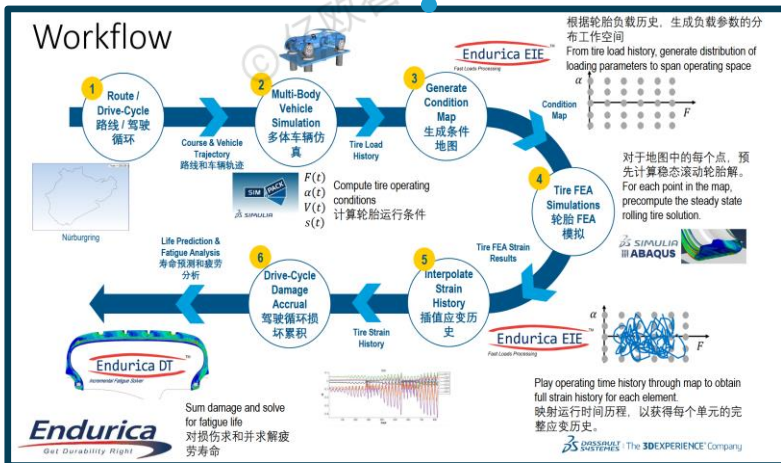
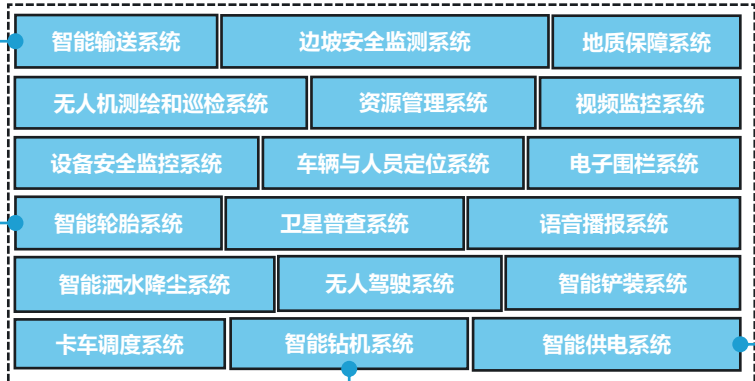
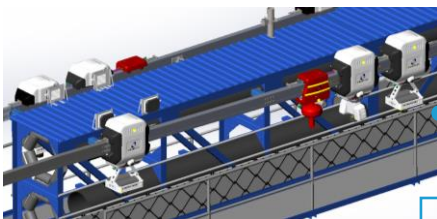
数字空间底座——空



数字空间底座——地



数字底座扩展应用



3.2.3 飞控平台

飞控平台集成视频与AI算法模型库，支持边坡裂缝、植被健康、爆破电子围栏等多场景识别。通过定时定点自动巡检，结合可见光-热红外负载切换与实时影像回传，实现违规作业智能识别与事件自动存档。支持目标区数据采集、云端三维建模与模型自动更新，兼容大疆无人机机场、M400无人机等硬件，全面提升矿山巡检效率与智能化管理水平。

集成视频与AI算法模型库



| | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 算法模型库 | 地质灾害识别 | 人员车辆识别 | 违规操作识别 | 爆破电子围栏 | 违法采矿识别 | 植被健康识别 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

定时定点自动巡检



| | | |
|------------|------------|-------------|
| 划定巡检路线自动巡查 | 高空巡检影像实时回传 | 可见光-热红外负载切换 |
| 违规作业行为智能识别 | 异常行为事件跟踪播报 | 巡检事件记录自动存档 |

快速云端建图



| | | |
|---------|--------|--------|
| 目标区数据采集 | 云端三维建模 | 模型自动更新 |
| 航线自动规划 | 模型自动处理 | 模型自动更新 |
| 参数自动设置 | 精度自动优化 | 底座自动加载 |

兼容丰富的硬件



大疆无人机机场



M400无人机

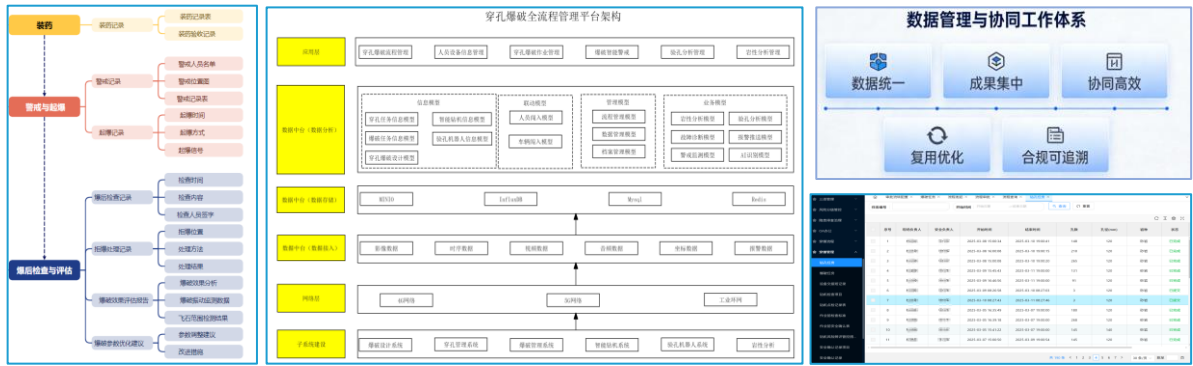


工业无人机机场

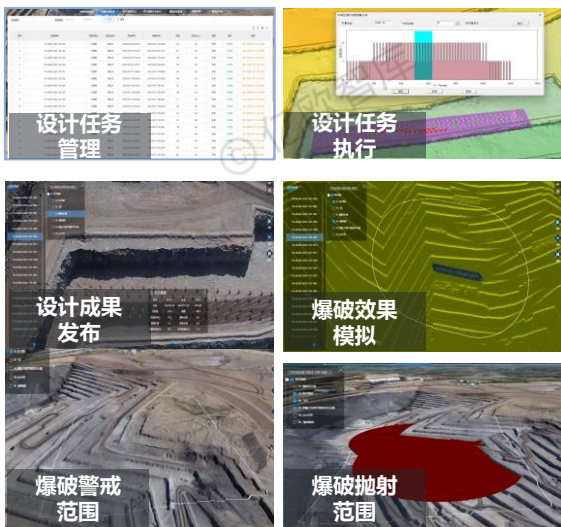
3.2.4 智能穿爆

智能穿爆致力于实现穿孔爆破全流程的智能化与精细化管理。系统以统一平台为载体，覆盖从装药、钻孔到爆后检查的六大核心环节，包括业务流程统一管控、设计管控、自主执行、岩性采集分析、执行监测及“一炮一档”数据追溯。通过集成岩性识别、爆破效果模拟、智能警戒与全流程数据归集，系统实现设计成果发布、钻孔任务审批、异常预警闭环及爆破参数优化，显著提升矿山爆破作业的安全性、精准性与效率，推动采矿工艺向数字化、智能化升级。

①穿孔爆破业务流程统一管控（以统一平台为载体，对穿孔爆破全流程数据、设计成果、施工记录、效果反馈进行集中存储、标准化管理、协同共享与闭环优化）



②穿孔爆破设计管控



③穿孔业务自主执行



②生态地质参数自动更新

企业端 数据采集团 矿大端 (数据采集与分析服务总控)

无需人工 自动更新

数据推送 数据接收

传输数据 数据接收

各类参量自动更新和加载

③生态退化智能诊断 (区域、程度和类型)

三阶生态退化诊断模型

第一阶段分析: 生态系统类型判断

第二阶段分析: RSEI趋势分析

第三阶段分析: 参照生态系统对比

退化详情展示

生态退化智能诊断

④生态修复方案智能决策 (方案自动生成)

| 部位 | 生态问题 | 修复措施 |
|------|------|---------|
| 排土场 | 边坡失稳 | 施加有机肥 |
| | | 植被种植配置 |
| 露天采场 | 土壤退化 | 修筑挡水围堰 |
| | | 布设沙柳网格 |
| 道路 | 植被退化 | 修筑排水系统 |
| | | 清除边坡危岩体 |
| 工业广场 | 土壤侵蚀 | 表土剥离与存放 |
| | | 移植培育原物种 |
| | 粉尘污染 | 粉尘控制 |
| | | 地面硬化 |
| | | 绿化美化 |

修复方案智能匹配

智能决策界面

⑤生态修复工程监理 (管控进度、质量)

无人机 波文比 粉尘仪 气象站

物联网设备数据自动更新

数字档案自动生成

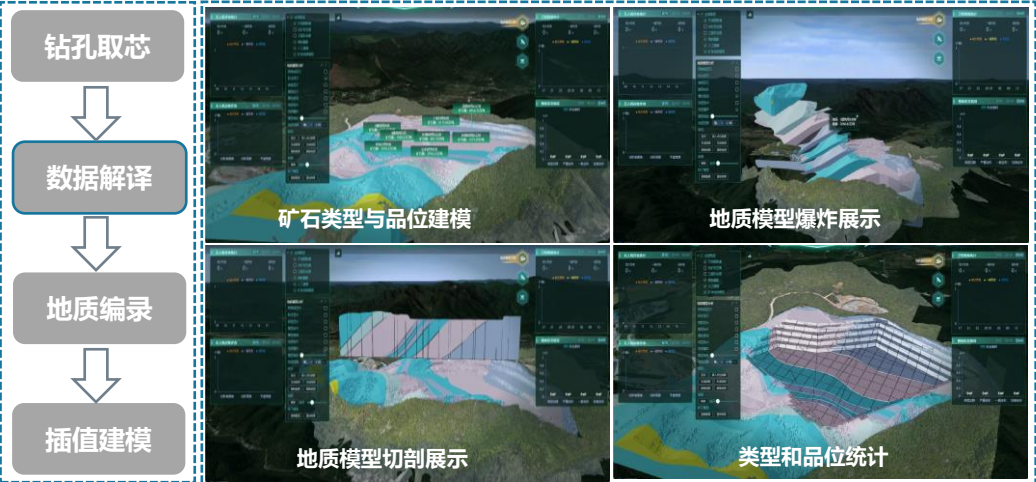
修复区域 修复措施 修复进度 工程质量

工程监管界面

3.2.6 地质保障

地质保障涵盖地质建模、模型动态更新、无人机机场联动及开采计划设计四大模块。系统从钻孔取芯、数据解译到插值建模，实现矿石类型与品位的三维可视化，并支持模型切割、爆炸展示与统计分析。通过无人机自动三维建模，联动地质模型进行时空匹配，实现储量与品位自动统计及报告生成。

地质建模



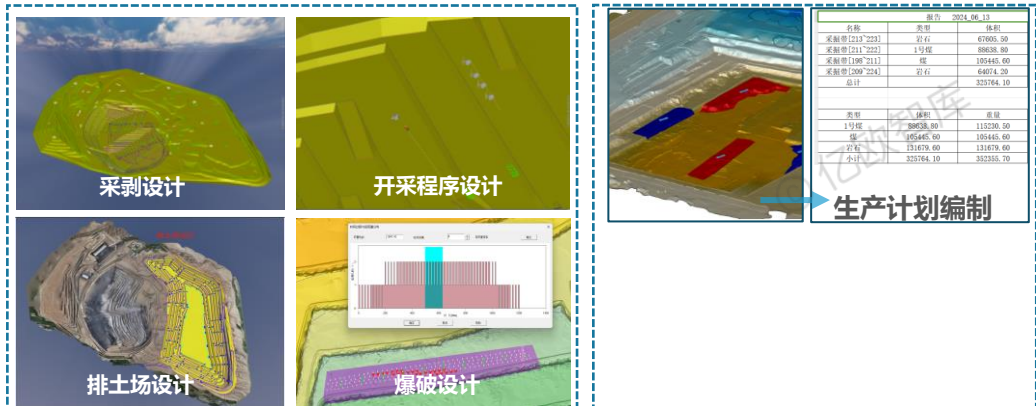
模型动态更新



无人机场联动



开采计划设计



3.3 非煤矿山运营经验迁移与智能化落地

3.3.1 项目背景与矿山情况

台泥（英德）水泥有限公司为台泥国际全资外资企业，是华南地区大型水泥生产基地，熟料年产能800万吨、水泥860万吨，配套三座大型露天石灰石矿山，均属典型非金属矿山，合计年产矿石总量超1500万吨。

英德矿山开采规模大、运输路线复杂、粉尘浓度高、边坡安全风险突出，长期面临人工运输招工难、管理难、劳动强度大、安全隐患多、能耗成本高等行业共性痛点。

为响应国家《“十四五”矿山安全生产规划》，落实无人化、少人化、绿色化转型要求，英德矿山在矿山数字化成熟运用基础上，于2024年起全面推进矿卡无人驾驶项目建设，打造非金属矿山规模化无人驾驶标杆项目。



希迪智驾无人纯电矿卡台泥英德厂一期交付

希迪智驾无人纯电矿卡台泥英德厂二期交付

希迪智驾无人纯电矿卡在台泥英德矿山进行常态化运输作业

3.3.2 无人驾驶技术方案

英德矿山智能化建设起步较早，2021年启动数字化矿山系统建设，构建“一个数据中心+三维可视化管控平台+智能调度平台+生产管控平台”一体化数字底座，2024年10月三座矿山全部建成投用。通过三维地质建模、设备全生命周期管理、实时监控与智能调度，实现矿山开采、运输、生产全流程数字化闭环，消除数据孤岛，为无人驾驶规模化落地提供稳定、可靠的数据支撑与调度基础，为非煤矿山智能化升级奠定坚实基础。

无人驾驶技术方案

| 分类 | 技术方案 |
|----------|--|
| 多传感器融合感知 | <ul style="list-style-type: none"> 采用摄像头、激光雷达、毫米波雷达、OBU多传感器融合感知方案，构建多重冗余感知体系，确保车辆周围50米范围内至少有两种传感器同时覆盖，有效过滤粉尘、强光、雨雾、低能见度等恶劣环境干扰，精准识别障碍物、人员、车辆、边坡及道路状况，将单点故障风险降至最低，保障全天候、全场景稳定感知能力。 |
| 无人中台全局调度 | <ul style="list-style-type: none"> 部署希迪智驾自研无人中台调度系统，具备全局路径规划、动态派车、混编协同、实时监控、故障预警、智能决策能力，可同时调度多台无人矿卡，实现车随铲动、跨平台、跨卸料口动态调度，减少空载率、缩短等待时间、提升整体运输效率。调度系统响应迅速、决策精准，可实现车队总行驶时间减少、整体效率提升，适配英德矿山复杂运输组织需求。 |

| | |
|-------------|--|
| 混编作业 | <ul style="list-style-type: none"> 采用希迪智驾成熟混编作业技术，无需改造现有有人设备，无人驾驶矿卡可与装载机、推土机、工程车辆无缝协同、自由混编。通过多传感器融合、轨迹预测、行为分析，精准识别人工车辆动态，实现复杂场景下有序通行、安全避让、高效配合，适配非煤矿山多设备、多车型混编作业常态。 |
| 车辆规控与精准控制技术 | <ul style="list-style-type: none"> 依托高精度控制算法，无人驾驶矿卡泊车、停靠、装卸精度可达5厘米以内，适配狭窄工作面、复杂卸料口等非煤矿山工况，保障装卸、充电、停靠精准对接，减少作业误差、提升作业效率。 |
| 虚拟运营技术 | <ul style="list-style-type: none"> 引入希迪智驾元矿山MetaMine虚拟运营平台，构建数字孪生矿山，实现远程实时监控、故障诊断、智能决策、全流程可视化管理，管理人员可在虚拟空间统筹生产、调度、安全、设备，达成“无人则安、少人则安”的本质安全管理模式，支撑24小时连续运营。 |
| 项目部署规模 | <ul style="list-style-type: none"> 英德矿山无人驾驶项目共部署18台纯电动无人驾驶矿卡，其中大耙山矿区10台、清水径矿区8台，实现两座矿区全场景无人化运输，覆盖开采区至破碎站、排土场全运输链路，支持全天候、全时段、全场景连续作业。 |

3.3.4 项目运营成效

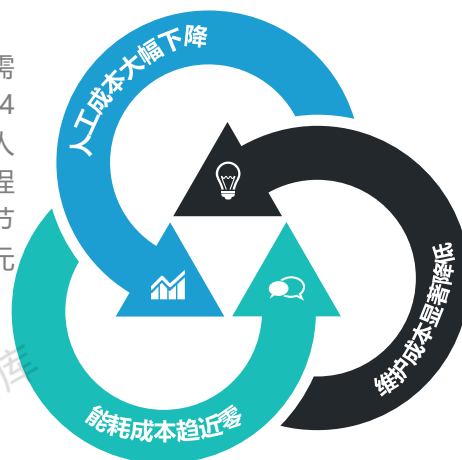
安全效益显著

全流程无人化消除人工驾驶安全隐患，规避边坡滚石、塌方、恶劣天气、人为误操作等风险；多重冗余感知保障恶劣环境稳定识别，自动避障、紧急制动响应迅速，实现全流程本质安全、零事故运行。

经济效益突出

减少80%驾驶员需求，原需40名轮班驾驶员，现仅需4名远程监控人员，年节省人工成本300-500万元，远程监控人员薪资更低，额外节省14.4万元

纯电动矿卡利用重力势能回收，能耗显著降低，对比柴油矿卡1.64元/吨燃油成本，实现颠覆性降本



纯电动矿减少复杂机械结构，维护频次降60%，单台年维护费由7.5万元降至2.8万元，10台年节省84.6万元

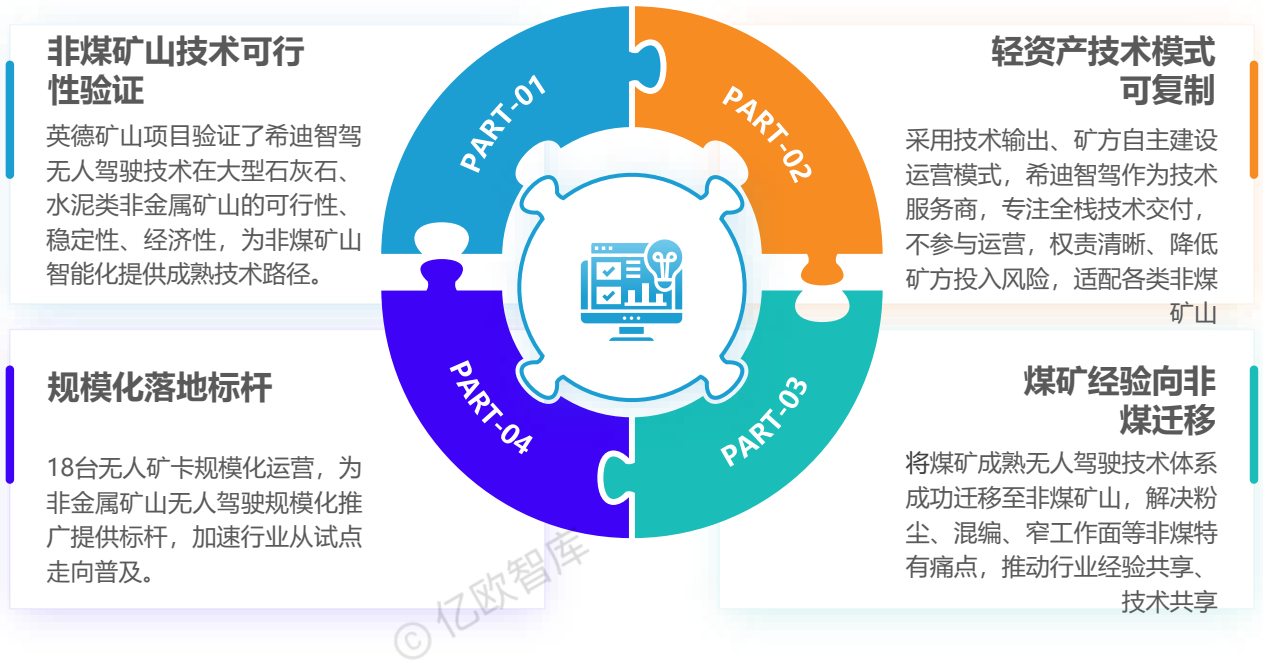
效率提升显著

无人驾驶矿卡支持全天候连续作业，不受人工疲劳、排班限制；智能调度优化路径、减少空驶，运输效率显著提升，无人矿卡与装载机协同效率高，作业连续性、稳定性大幅增强。

绿色低碳成效

纯电动替代燃油，大幅降低碳排放，契合国家“双碳”战略与绿色矿山建设要求，助力英德矿山打造零碳矿山示范基地。

3.3.5 推广价值与行业意义



英德台泥无人驾驶项目依托希迪智驾全栈式无人驾驶技术，融合多传感器融合、智能调度、混编协同、虚拟运营、纯电动能源管理等核心能力，在大型非金属矿山实现规模化无人化运营，达成安全、经济、效率、绿色多重价值，成为非金属矿山智能化标杆。

第四章

CHAPTER 03

运营生态重构，从单点运行到产业协同

- 4.1 全景式无人驾驶安全运营区域化模式
- 4.2 重构商业模式
- 4.3 数字化供应链重构智能矿山价值

当无人矿卡、智慧运营平台、新能源体系、“车-胎-路-维”一体化方案等核心能力逐渐成熟，矿山运营面临的挑战已从“有没有能力”升级为“如何高效组织能力”。单矿区独立运营面临资源碎片化、人才匮乏、备件成本高企等共性困境。提出三大机制创新：通过区域化运营监管平台实现资源共享，通过商业模式重构实现利益协同，通过数字化供应链实现生态价值连接，共同构建矿山智能化运营新生态。

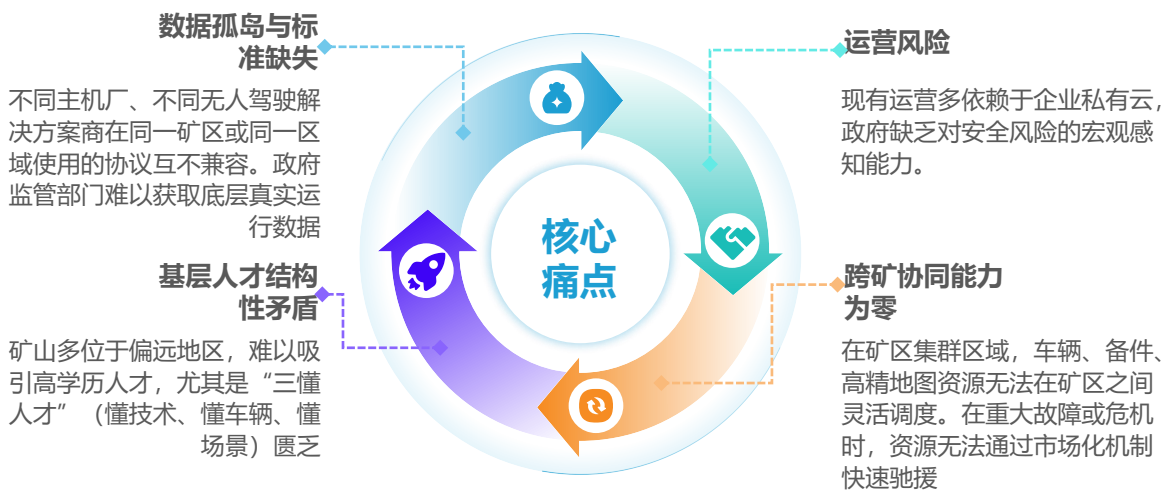
4.1 全景式无人驾驶安全运营区域化模式

4.1.1 矿山无人驾驶运营现状与挑战

当前，我国矿山无人驾驶技术已进入规模化应用的关键时期。据统计，我国露天煤矿无人驾驶实际运行车辆已超过4000台。仅易控智驾车队规模已突破2300台，覆盖煤矿、金属矿、非金属矿托多矿种。

据有关专家预测，未来两年全国无人驾驶矿卡规模将迈向万台级别，应用场景将进一步拓展至各类露天矿山。与此同时，露天矿作业环境极其严苛，面临严寒、酷暑、沙尘、高海拔低氧等极端气候条件，这就要求无人驾驶系统具备全天候、高适应地貌条件下实现稳定运行，运营保障尤显重要性。

随着车辆数量的快速增加，运营不再是单一运行维护，而是涉及“车-路-云-网-图”的全链条系统级保障。传统的“以矿为单位”的分散式运营模式，将导致资源利用率低、应急响应慢的问题。



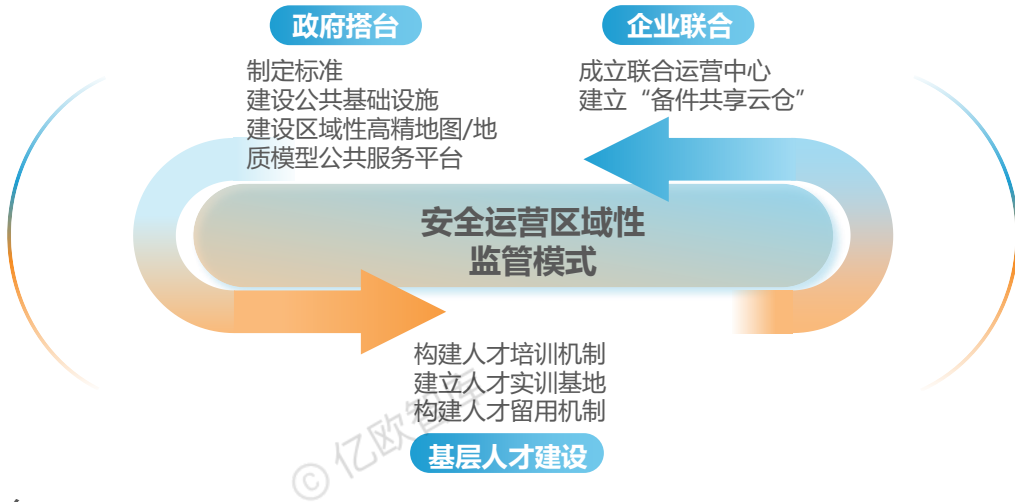
4.1.2 建设全景式区域性无人驾驶运营服务平台

基于现状及痛点，须建立一个覆盖区域内跨越所有矿区的统一运营服务中枢。该平台不仅是技术中台，更是管理中枢和数据中心。通过“集中赋能、分散执行”的模式，让加入平台的每个矿区都能共享数字化供应链云仓服务、会务服务、知识赋能服务、专家在线、产教融合服务等，从而降低单个矿区的运营固定成本。



4.1.3 解决方案

服务平台的建设离不开生产关系和组织架构的重构。通过“政府搭台”确立公信力与标准，通过“企业联合”激活市场化活力，通过“基层人才建设”夯实执行根基，才能实现长效稳健运营。



政府搭台

政府的角色不仅是制定标准和实施监管，更应成为区域性无人驾驶运营的“公共服务提供者”，以降低企业重复投入，推动规模化高效运营。。

- ◆ 出台相关标准，明确所有参与本地运营的无人驾驶方案必须开放接口并接入区域监管平台。
- ◆ 由政府牵头投资建设区域性矿用专用网络基础设施，避免各矿区重复建设通信基站，降低企业运营成本。
- ◆ 建设区域性高精地地图公共服务平台。由于露天矿地形变化快，政府可授权第三方机构每月进行全域航测，制作标准化的基础地图，企业在此基础上叠加业务图层，解决地图测绘成本高且重复问题。
- ◆ 建设区域性地质模型公共服务平台。露天矿的采掘工作面推进、边坡稳定性、水文地质变化、断层结构分布等地质因素，直接影响无人驾驶矿卡的安全运行。鉴于地质条件的关键变量因素，政府可授权第三方机构定期进行基础信息更新，企业在此基础上叠加业务图层，进而降低企业日常运行成本。

企业联合

单一企业的力量有限，必须通过联合体实现资源共享、技术互补和成本分摊。联合体的核心目标是：构建区域内无人驾驶运营公共服务能力。

- ◆ 由第三方专业运营服务商牵头，联合头部矿企、无人驾驶企业、主机厂、工程公司、网络通信企业等，成立“无人驾驶联合运营服务中心”。联合体不直接拥有车队，但拥有区域内的“运营能力”。各联合体将无人驾驶系统运营业务外委给联合体，联合体利用区域监管平台数据，实现技术、人员、备件、应急装备等的市场化共享。
- ◆ 通过亿矿通矿业互联网服务平台建立全国性“备件共享云仓”，全方位展示无人驾驶核心零部件（如激光雷达、控制器、高精定位模块等），通过集采展示，切实有效降低联合体运行企业的采购成本。

基层人才建设

联合体运营服务重心将转向监控、维护及资源协同，对人才结构提出了针对性的要求，须建立“引、育、用、留”的全链条人才体系。

- ◆ 引入并培训新兴技术岗位人才，如无人驾驶运维工程师、调度员、数据分析员、场地管理员等新工种。
- ◆ 联合体通过整合中国矿业大学、中国安全生产协会等顶级资源，以亿矿通为服务平台推动传统岗位转型。从“司机”到“运维工程师”，通过专业化培训使传统司机能够实现与调度、算法工程师、数据分析师进行无障碍对接工作，既保留了传统司机宝贵的经验，又实现了企业人才转型。
- ◆ 建立高适应性无人驾驶人才实训基地。由政府或联合体出资，在联合体范围矿区建立不同适用条件的实训基地，以适配不用人才需求的培训，如内蒙区域、高原区域、高寒区域、内蒙区域等。
- ◆ 建立多空间多梯次人才机制。由于矿区环境艰苦，难以留住顶尖人才。依靠数字空间矿山研究院平台及中国矿业大学产教融合机制，实施“研发在都市，运营在矿区”的模式，即高级人才留在研究院研发中心，通过区域监管平台进行算法迭代、系统升级和复杂故障远程会诊。运维团队驻守矿区，负责设备维护、检查及现场巡检等工作。

4.2 重构商业模式

4.2.1 商业模式分类

智能矿山建设正经历一场深刻的范式跃进--从以“建起来”为核心的上半场，全面转向“跑起来、用得好、有效益”为目标的下半场。当前行业面临的深层困境在于信息孤岛、数据未深度互通、服务碎片化，甚至是智能化系统建成后陷入“悬置”状态。破局之道在于安全运营以经济价值为核心目标，并催生了新的商业模式，如EaaS模式、ATaaS模式、数字资产运营、金融租赁、订阅制模式、全托管模式等。



EaaS模式

EaaS模式正在改变工业领域资产获取与管理方式。客户不再一次性购买设备，而是按使用时长或产出向制造商或服务商付费。EaaS模式将企业大型资本支持转化为经常性运营支出，由供应商承担设备所有权和维护责任，运营服务成为持续收入的重要来源。如亿矿通矿业互联网平台构建的成套设备租赁、闲置设备托管、智能再造、专业化服务和一体化解决方案。

ATaaS模式

ATaaS模式是矿山无人驾驶领域的轻资产服务模式，如易控智驾“不持车”的轻资产服务模式营收占比已达50%，标志着其从早期“持车运营”向“技术即服务”的转变。其商业模式主要包含运输服务收费（按吨公里计价）和主机厂合作改装车辆收益等。

数字资产运营模式

数字资产化是运营导向下很具潜力的商业模式创新。如新疆某矿山企业完成数据资产入表，成功打通“数据资源--数据资产--数据价值”的转化，构建了数据资产全生命周期运营模式，实现数据价值与经营收益双向提升。

金融租赁模式

2025年被视为矿山无人驾驶租赁“元年”，矿山企业的需求不再局限于“拥有设备”，而是转向“获取稳定的运力”。工程企业、科技企业与租赁运营商共同搭建起“设备+技术+服务”一体化模式。如典型企业已形成覆盖“智能装备采购+运营升级+结束迭代”的全链条服务能力。

订阅制模式

订阅制交付模式将运营软件从固定资产重构为可伸缩的业务能力，让企业只为真实创造的价值付费。如：云GIS订阅制、按配件锁定价格服务、按产能吨数服务、分期支付服务等。

全生命周期托管模式

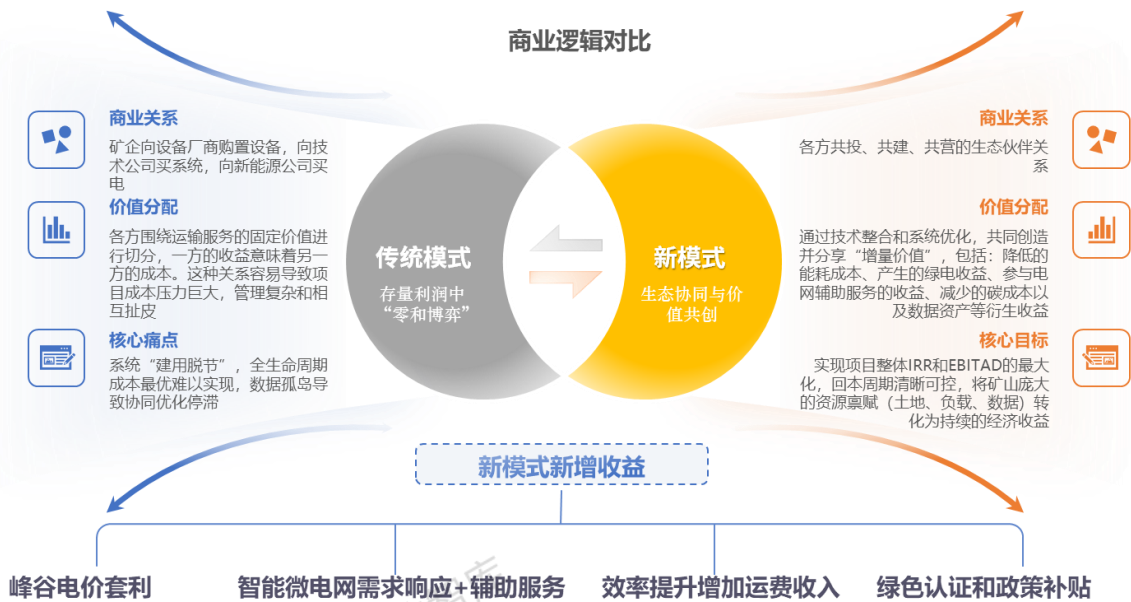
基于运营场景面向设备提供全生命周期管理，包含故障诊断、设备维护、节能降耗、人机协同优化、智能调度等服务。

4.2.2 “矿能智融一体化”模式

当前，智能矿山建设已进入“运营深化期”，价值兑现成为核心经营目标。然后，行业普遍面临一个深层困境：在无人驾驶、新能源等单点技术规模化部署后，各参与方（技术公司、设备厂商、运营方、矿企、新能源企业）仍主要在矿山运输等传统环节的存量利润池中进行博弈，导致利润空间收窄、责任边界模糊、项目整体投资回报率不及预期。这构成了一个典型的“零和博弈”困局。

破局之道，在于跳出存量竞争，转向增量创造。“矿能智融一体化”作为一种高阶的商业模式与系统工程思维应运而生。其核心思想是：将无人驾驶、纯电动矿卡、风光发电、储能、充换电站、智能微电网及统一管理平台整合为一个相互赋能的有机系统，将矿山企业从单一的“运输降本”视角，提升至“综合能源运营商”与“数据资产运营商”的战略高度，通过系统协同创造新增价值，实现从“分蛋糕”到“做大蛋糕”的范式跨越。

数据来源：亿欧智库/亿矿通



“六维一体”价值体系

“矿能智融一体化”模式通过六大维度的系统协同，将价值创造的边界从单一的运输降本拓展为综合能源运营与数字资产变现。

- ◆ 维度一，“无人驾驶+纯电矿卡”作为体系效率基石，通过消除驾驶人力与压缩能耗成本，实现单车年度运营成本的大幅削减，但其经济性高度依赖稳定且低价的电力供应；
- ◆ 维度二，“矿区风光发电”正是这一约束的解法，利用排土场、尾矿库等闲置土地构建分布式绿电，以远低于外购电的度电成本替代燃油消费，从根本上重构矿山用能结构；
- ◆ 维度三，“储能+充换电”在平衡规模化充电对电网冲击的同时，通过峰谷套利和需量管理创造千万元量级的年化收益，成为体系内回报周期最短的模块；
- ◆ 维度四，“智能管控平台”打破各子系统的信息孤岛，将车辆调度、能耗管理和设备健康状态纳入统一的数据驱动决策闭环，在单点效率基础上再挖掘10%-15%的系统级增益；
- ◆ 维度五，“智能微电网”作为能源系统的骨干架构，将矿山从被动用电主体升级为具备发、储、调能力的综合能源运营商，开启需求响应、辅助服务等增量收益通道；
- ◆ 维度六，“数据资产”是长期竞争壁垒的构建核心，经年累月沉淀的设备、地质、能源与运营数据具备独立商业化潜力，可从沉默成本转化为订阅服务、模型授权等高毛利产品。

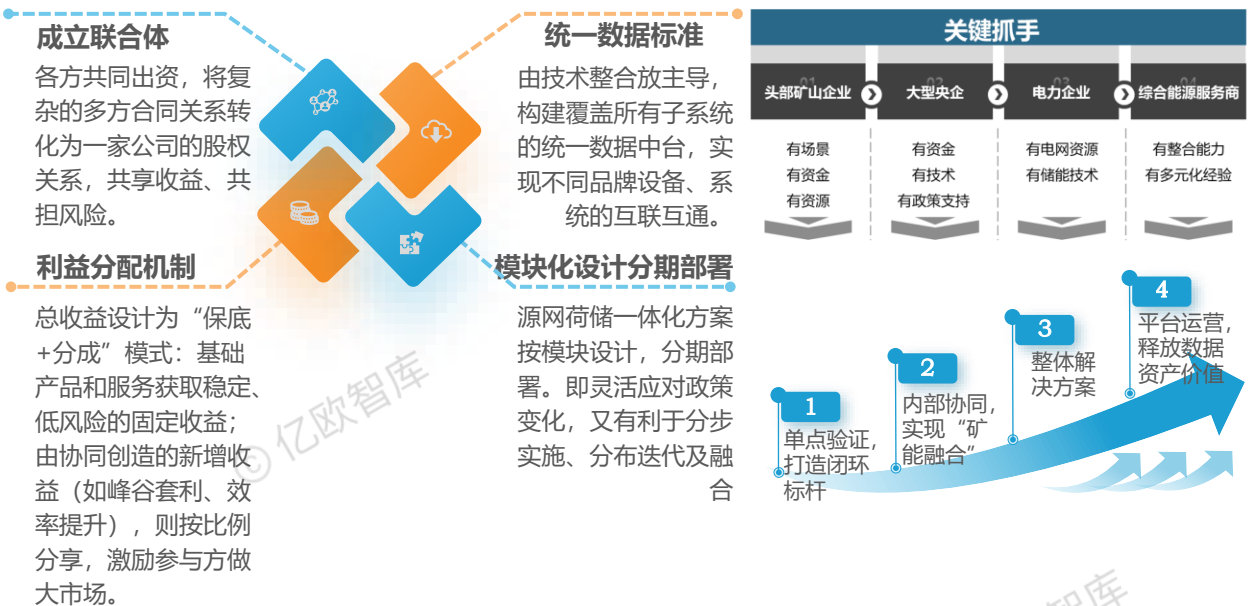
六维协同之下，矿山运营的本质从“成本中心”转向“价值中心”，这正是跳出存量博弈、实现增量共创的核心路径。



落地门槛、策略及关键抓手

“矿能智融一体化”是系统性解决方案，但其落地页面临着真实的挑战，其主要表现在门槛高、资源整理要求高两方面。

- ◆ 一个百台矿卡规模的一体化项目，涉及到纯电矿卡、风光储充、智能平台、智能微电网等多个模块，总投资量级数亿元以上。这决定了其首批适配场景具有高产能、高负荷、高土地资源禀赋的千万吨级特大型露天矿山。
- ◆ 项目覆盖无人驾驶、电力工程、新能源运营和矿山等多个截然不同的专业领域，对主导方的跨界资源整合能力和多方协调机制提出了很高的要求。



目前，行业正在通过矿山企业主导型、综合能源服务商主导型（EPC+O模式）、多方联合体（SPA项目公司）等多种模式进行探索。这些本质上都是在重构传统交易关系，寻找风险共担、利益共享的长期合作框架。

可以预见，未来的演化路径将是“局部一体化”先于“完整一体化”实现规模化落地。例如，最先跑通“无人纯电矿卡+充换储”这个小闭环，因其独立经济闭环最清晰，能在较短时间内验证投资回报，从而赢得矿企信任，逐步拓展至微电网和大能源的整合。

数据来源：亿欧智库/亿矿通

4.4 数字化供应链重构智能矿山价值

智能矿山的发展已从“系统上线”的建设期，全面进入“价值兑现”的运营深化期。当无人驾驶矿卡、智能钻机、数字孪生平台等“硬核科技”逐步完成规模化部署，行业的核心矛盾正从“如何建设”转向“如何用好、管好、持续优化”。这一矛盾的本质，是矿山企业不再满足于拥有先进的生产工具，而是迫切需要在数据利用、知识传承、技术迭代、供应链协同等“软实力”层面获得系统性支撑。

在这一转型过程中，一个显著的升维趋势正在显现：矿业的数字化改造不再局限于采掘、运输等生产作业面，而是向产业链上下游的资源配置、技术服务、知识管理与商业协同全面延伸。这一趋势的底层逻辑，是产业互联网服务平台的崛起。它超越了单一的技术供应商或软件服务商角色，而是以平台化思维，将离散的行业数据、专家智慧、技术方案与市场需求连接成一个高效协同、持续进化的服务生态。这正是“运营深化期”下，最大化释放智能矿山投资价值的战略路径。

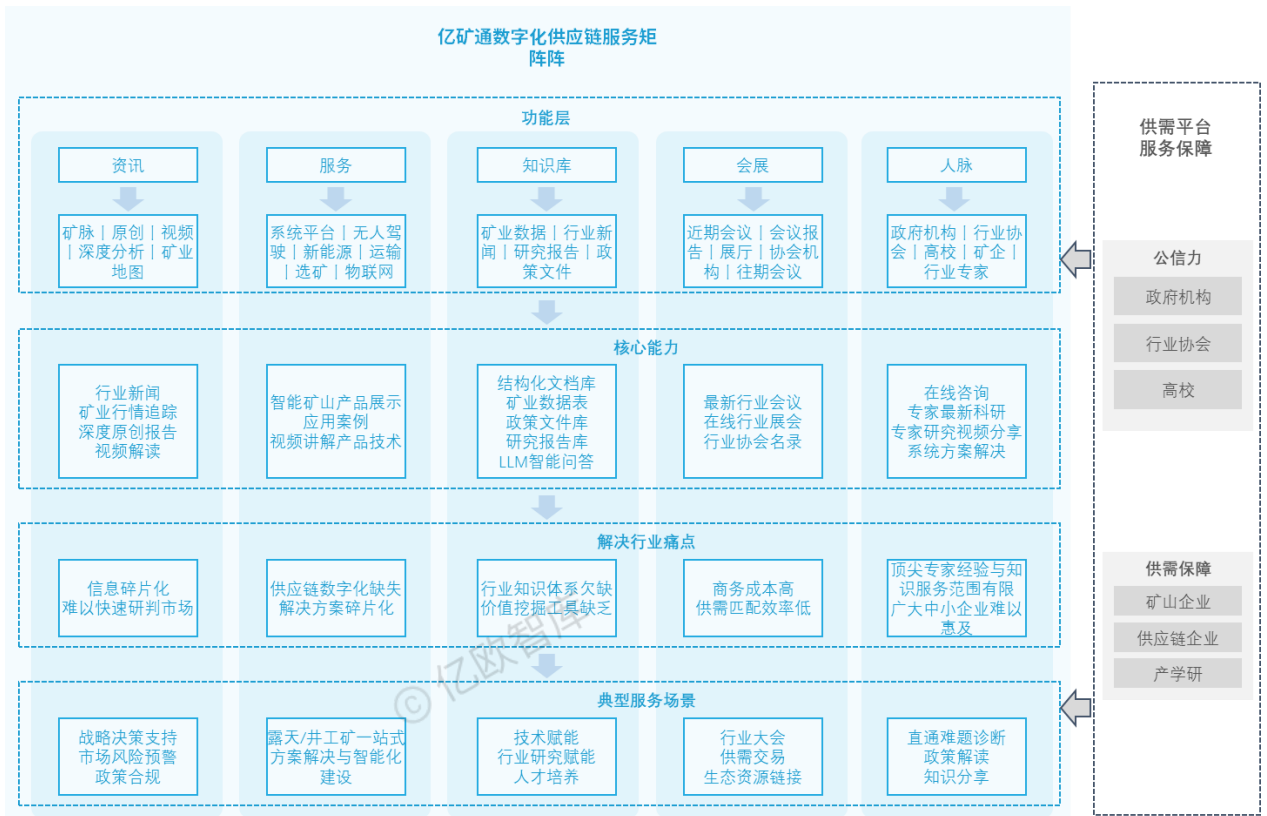
全链生态协同

产业互联网平台对矿业的价值，绝非简单的业务“线上化”或“电子化”，而是通过数据流、信息流、技术流与服务流的深度耦合与智能分发，实现产业整体运行效率的结构性跃升。

- ◆ 平台的“智能资讯”与“知识中台”模块，共同构建了一个行业级的“数字大脑”。以铁矿石贸易为例，可通过平台持续追踪“近年铁矿石价格走势”数据，再获取“行业市场研究报告”，并借助LLM智能问答快速梳理“影响铁矿石价格的宏观与供需关键因子”，从而实现从感性判断到理性决策的升级。
- ◆ “产品展示”与“数字会展”，彻底改变了技术供需双方的交互模式。对于矿企而言，这是一个“线上展览会”，企业根据自身需求可直接进入相应展厅进行多方位对比分析。对于技术供应商而言，展厅是精准流量的入口，其产品价值能被真正有需求的客户高效发现，加速了技术红利的价值转化进程。
- ◆ “人脉”与“专家网络”模块构建了一个开放、透明、高效的产业协作网络。在矿业这样一个高度细分、技术复杂的领域，单个企业，尤其是中小矿山企业，很难拥有覆盖所有技术门类的顶级人才。通过平台，企业可以像使用“专家搜索引擎”一样，按企业需求筛选对口专家。这种顶级专家的精准诊断匹配模式，随时随地在线解决企业各种难题，大大减轻了企业智能化建设成本。

矿业数字化服务新基建

传统矿业生态中，信息壁垒高筑，前沿技术缺乏有效展示窗口，矿企需求难以精准匹配供给，顶尖专家无法普惠服务全行业。这些痛点制约了技术红利的价值兑现与行业整体效率的提升。亿矿通平台的实践证明，通过构建资讯、知识库、会展、人脉四位一体的服务矩阵，推动产业互联网平台正在成为矿业领域数字化服务的新基建，以“连接”创造未来行业价值。



以亿矿通为代表的产业互联网服务平台，其战略定位是智能矿山生态的供需平台搭建与价值连接。它不直接参与矿产的开采与加工，却通过高效连接供应与需求两个核心因素，协同平台资源，为整个行业智能化发展降本增效与可持续发展提供了重要的新动力。这是智能矿山发展从“生产工具革新”迈向“服务生态重构”的重要跨越。其深远意义在于，它将产业链上一个个孤立的“价值点”连接成一张协同共生的“价值网”。

编写团队



周伟

教授，博士生导师
中国矿业大学煤炭精细勘探与智能开发全国重点实验室副主任
中国矿业大学露天开采高新技术研究中心主任



王伟

博士、副教授
徐州数字空间矿山研究院副院长
中国产业发展促进会智慧矿业创新集群副秘书长
中国新一代人工智能发展战略研究院研究员



宋建峰

亿欧董事
亿矿通副总经理



栾博钰

中国矿业大学矿业工程学院
露天开采工程系博士后



高玉青

行业分析师

全球智慧矿业创新研究院是中国产业发展促进会智慧矿业创新集群官方公众号，由中国矿业大学全国重点实验室支持，徐州数字空间矿山研究院和亿矿通运营，发布智慧矿山前沿研究、资源交易数据，为矿企、新兴技术企业、各类机构提供产品技术合作和销售落地服务。



欢迎合作需求方联系我们，一并携手智行！
联系人：程国阳 联系电话：13101830866 邮箱：hezuo@iyiou.com



网址: <https://www.iyiou.com/research>

邮箱: hezuo@iyiou.com

电话: 010-53321289

北京: 北京市朝阳区保利国际广场T1-13层 | 上海: 上海市徐汇区桂平路391号新漕河泾国际商务中心B座1703

深圳: 广东省深圳市宝安区华丰国际机器人产业园1期F栋110

纽约: 4 World Trade Center, 29th Floor-Office 67, 150 Greenwich St, New York, NY 10006