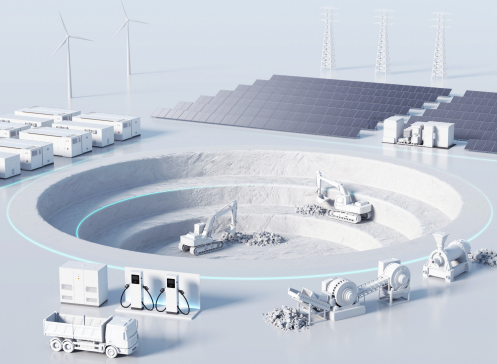
矿区微电网白皮书

多源协控 构建绿色矿区韧性微网



中国电工技术学会 China Electrotechnical Society | TÜVRheinland® Precisely Right. | 长沙有色冶金设计研究院有限公司 CINF Engineering Co., Ltd | SUNGROW Clean power for all

指导单位：中国电工技术学会
主编单位：阳光电源股份有限公司
联合单位：长沙有色冶金设计研究院有限公司、德国莱茵 TÜV 大中华区

矿业绿色转型与智能升级的浪潮之下，稳定、经济、高效的能源系统，已成为矿区安全生产与长效发展的核心底座。矿区微电网并非独立技术模块的简单物理叠加，而是深度融合“源网荷储”、精准适配矿区建设与生产条件的系统级解决方案。《矿区微电网白皮书》系统梳理了矿区微电网的设计逻辑、技术构架与前沿实践经验，旨在为行业推进矿区绿色能源转型提供一套科学、严谨且可复制的实践指引。

站在行业变革的新起点，长沙有色冶金设计研究院有限公司将与阳光电源及业界同仁并肩携手，同筑绿色生态，共创零碳未来，合力谱写矿区能源转型高质量发展的新篇章。

长沙有色院电力事业部部长

前言

高比例可再生能源与数字化、智能化技术正推动电力系统重构，传统“源随荷动”模式难以为继。“源网荷储深度融合、主配微协同运行”的新型电力系统加速成型，为电力行业带来结构性机遇，也为高耗能、高可靠的矿区能源升级指明方向。

构建以可再生能源为主导、融合风、光、储、充、碳、控及其他可控负荷的矿区微电网，既是新型电力系统发展的必然选择，也是提升供电可靠性、降低用能成本、推进绿色低碳转型的关键举措。阳光电源与长沙有色冶金设计研究院、德国莱茵 TÜV 大中华区联合发布，并通过中国电工技术学会技术论证的《矿区微电网白皮书》，旨在为矿区微电网能源建设高质量发展提供具有前瞻性和实践价值的行业参考。



目录



01
矿区行业背景与发展驱动因素

1.1 全球矿业规模持续扩容，产量呈结构性增长 …… 01
1.2 矿区核心负荷与电力需求特征 …… 02
1.3 经济驱动矿区电力结构变革 …… 03
1.4 政策要求绿色低碳转型 …… 04
1.5 矿区供电新思路 …… 04
1.6 多主体拼凑式方案难以适应矿区微电网 …… 05

02
阳光电源矿区微电网解决方案

2.1 系统方案概述 …… 07
2.2 科学规划 …… 09
2.3 快速交付 …… 10
2.4 精益运营 …… 11
2.5 智能运维 …… 27

03
矿区微电网创新技术规划

3.1 矿区主动构网与自治能源网络 …… 32
3.2 生产计划参与源荷储协同调度 …… 32
3.3 长短时分频保供与数字孪生运维 …… 32

04
总结与展望

…… 33

01

矿区行业背景与发展驱动因素

1.1

全球矿业规模持续扩容，产量呈结构性增长

受清洁能源转型、绿色技术规模化落地、新能源汽车渗透率提升及算力基建与高端制造扩张的多重驱动，全球关键矿产需求正呈指数级增长。以电动汽车为例，一辆电动汽车所需的关键矿产资源是传统汽车的 6 倍。

从产业结构来看，铜、镍、钴、锂、稀土元素作为支撑全球零碳能源转型的战略性关键矿产，需求量将在 2040 年实现翻倍增长。其中锂矿作为锂离子电池不可替代的核心原料，深度绑定交通电气化与电化学储能两大能源转型，需求增长预计翻 7 倍。

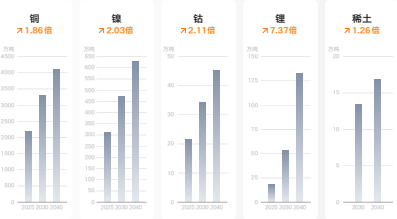


图1：2025-2040E全球核心矿种需求量

从市场规模看，2025 年全球矿业市场总产值达到 2.8 万亿美元，较 2020 年累计增长 12.3%。据 Statista 预测，2025-2029 年全球矿业产量将保持 2% 的年复合增速，2029 年总产值有望突破 3 万亿美元，行业长期增长趋势明确。

1.2

矿区核心负荷与电力需求特征

矿业作为高安全风险、高能耗的流程型产业，供电的不稳定将直接影响企业产量、设备寿命、运营成本和安全管理。依据《矿山电力设计标准》(GB 50070-2020)，《金属非金属矿山安全规程》(GB16423-2020）及矿山供配电通用规范，矿区负荷设备按供电重要性与停电影响程度分为三级。

一级负荷作为矿区供电体系的最高优先级保障对象，直接关联矿井人员生命与本体安全，中断供电将直接造成人身伤亡、重大设备损毁或重特大安全事故。

二级负荷是矿区生产运营的核心动力载体，涵盖破碎、筛分、运输、磨矿、选矿、脱水等全流程生产设备，中断供电将造成生产链路中断、主要设备损坏等情况，造成严重经济损失。矿山单小时非计划停产损失区间为 4 万 ~ 20 万美元，并随矿井产能与设备等级提升而增长。

一级负荷

安全保障级：停电将造成人身伤亡、重大设备损毁或矿井安全事故

设备大类	典型设备	用电特点
通风安全系统	通风机	供电连续性>99.99%，24 小时连续恒速运行，严禁无计划停电 瓦斯矿井中断停电不得超过最长计时，防止瓦斯积聚引发爆炸
排水系统	排水泵	最大潜水期严禁停电，中断供电超过 1 小时可能引发透水淹井事故
人员提升系统	提升机	启停过程存在功率冲击，运行中严禁突然断电，易引发坠罐、人员困罐等性事故
安全监控与应急系统	人员定位系统 井下应急照明 调度通信系统等	全年不间断供电，停电直接影响灾害预警与人员搜救

二级负荷

生产核心级：停电将造成大幅减产、主要设备损坏及较大经济损失

设备大类	典型设备	用电特点
采掘作业系统	采煤机、掘进机、露天矿电铲、铲运机、 液压支架泵站、牙轮钻、凿岩式电动矿卡车等	典型重载冲击性负荷，直接启动电流达额定值 5~7 倍
破碎系统	大型颚式破碎机、圆锥破碎机、 反击式破碎机等	设备功率高，存在周期性冲击，整体功率波动幅度 20%~30%
磨矿系统	球磨机、半自磨机、立磨等设备等	启动冲击极强，一台大型磨机的功率可以达到数兆瓦
筛分系统	大型振动筛，浓密机等	物料量大，冲击强，磨损高，停电直接影响后续输送环节
物料运输系统	矿山皮带机等	连续运行负荷，长距离多机驱动皮带启动冲击大
电动矿卡充电系统	超充桩	单次充电持续时间相对短，功率密度高，负荷冲击强
动力辅助系统	空气压缩机（主压风机）， 制氮站，注浆泵站等	单台设备功率高低不一，中断将影响采掘作业

三级负荷

辅助生活级：停电无安全风险，仅造成不便或轻微经济损失

设备大类	典型设备	用电特点
机修与仓储设备	机修厂机床、焊接设备、起重设备、 矿车检修线、备品仓库	间歇式负荷，功率随检修任务波动极大，峰谷差可达 80% 以上
办公与生活设施	办公楼、宿舍楼、 矿区给排水（非安全类）等	日周期性波动负荷，白天办公，晚间生活时段为高峰
其他辅助负荷	绿化灌溉、道路照明、环保除尘等	可随时停电，具备负荷调节弹性

图2：矿区负荷设备分类与供电要求汇总表

1.3

经济驱动矿区电力结构变革

从成本端看，矿区用电成本占整体运营成本（OPEX）的20%~40%，高昂的电力成本成为限制矿业发展的关键因素。以非洲为例，作为全球电力基础设施最薄弱的地区之一，仅约1/6的国家电网覆盖率超过30%，矿区作业多依靠柴油发电，柴油发电的度电成本普遍在0.3~0.5美元/千瓦时，部分偏远矿区甚至超过0.6美元/千瓦时。相比之下，随着风光储设备成本的降低，2025年平均光伏、陆风度电成本<0.03美元/千瓦时，仅为柴发成本的1/10。以一个年产10万吨，年耗电2亿度的铜矿为例，替换为可再生能源供电后，一年至少可节省约 5400 万美元。

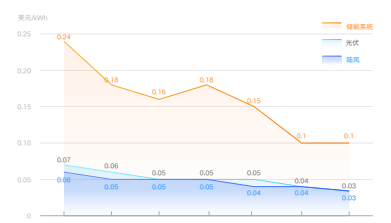


图3：2019-2025全球光风储度电成本（BNEF）

运输方面，柴油运输成本占矿区供电成本的 30%~50%。随着磷酸铁锂的价格从 2015 年的 372.5 美元 /kWh 暴跌到 2025 年的 74.5 美元 /kWh，新能源矿卡的优势日渐突出。预计 2030 年全球电驱动矿用车市场规模将达到 8.8 亿美元。以一台 150 吨级矿卡为例，燃油每小时油耗 80~120 升，按柴油价格 0.8 美元 / 升计算，每小时能耗成本 64~96 美元；新能源矿卡每小时电耗 300~400 度，按光储电价 0.13 美元 / 度计算，每小时成本 39~52 美元。仅能耗一项，平均每小时即可节省约 43% 的成本。按每日 8 小时作业计算，一年下来平均可节省约 10 万美元。

1.4

政策要求绿色低碳转型

2024 年采矿和金属行业占全球温室气体排放 11%，是全球温室气体排放的第六大贡献者，其中雷天采矿的柴油消耗占矿山总碳排放的 40% 以上。随着跨国投资者对矿业公司 ESG（环境、社会和公司治理）表现日益关注，建设绿色矿山已经从“加分项”转变为企业生存与融资的“门槛”。

同时，拥有国际供应链的矿企，正面临来自欧盟监管机构和全球资本市场日益严峻的双重压力。2023 年欧盟立法通过《碳边境调节机制》，从 2026 年起对进口的钢铁、铝、水泥、化肥、电力、氢等高排放产品征收碳排放费用，征收标准与欧盟内部碳价接轨。到 2034 年，欧盟钢铁行业的免费配额将完全归零。以中国年产 100 万吨粗钢的铁矿区（产品出口欧盟）为例，届时，出口产品的全部隐含排放都需购买 CBAM 证书。EU ETS 碳价预测将升至 150 欧元 / 吨 CO_2，2034 年的年度 CBAM 成本将达 3.15 亿欧元。

1.5

矿区供电新思路

全球能源格局的剧烈动荡与基础设施的不平衡，正使“电力保障”从生产要素转变为矿业投资与运营中的核心约束因素。全球缺少产矿区所面临的能源挑战，证实了传统供电模式与现代矿业扩张需求之间不可调和的矛盾。

非洲拥有全球丰富的铜、钴、锂、金、铁矿等战略资源，但经济基础薄弱，电力基础设施建设长期滞后，电力系统覆盖率低、供电不稳定；欧美地区虽然基础设施相对完善，但始终面临“电够不够稳、够不够便宜”的结构性挑战；中国约 60% 的矿山位于偏远山区、戈壁荒漠等远离主干电网的区域，公共电网覆盖能力与建设经济性存在天然短板。

因此，在电力可靠性要求高、传统电网覆盖与经济性不足、柴发成本高的三重背景下，以可再生能源发电为核心的矿区微电网方案，成为破解矿区能源困境、实现稳定生产，降本增效与绿色转型的核心技术路径。预计 2026E-2030E 年全球矿区微电网累计市场容量将超 90GWh。

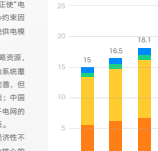


图4：2026E-2030E全球矿区微电网市场容量

1.6

多主体拼凑式方案难以适应矿区微电网

以可再生能源为核心的供电系统由风电、光伏、储能、充电桩、能量管理器、微网控制器等组成。大多数矿区地处偏远、设备类型多、负荷波动大，在传统方案中往往由多个具有独立利益诉求和决策权限的主体，提供不同类型的产品。这种多主体拼凑式微电网在规划、建设、运营和运维阶段，普遍存在可靠性不足、经济性不佳、维护难等问题。

规划挑战

多源容量配置粗放
初始投资成本高

风光储集容量配比直接决定项目可行性与经济性，矿区生产环境与设备情况复杂、负荷难预测。旧矿改造时生产计划多变，缺乏精准测算工具，易出现“风光储集冗余配置高”的问题，影响项目的整体经济性。

建设挑战

系统设备集成复杂
交付周期长

来自不同厂商的设备接口与通信协议不统一，导致现场协议转换与涉网联调工作量增加。旧矿改造时，新老系统兼容性不足，协控复杂，系统信息获取的及时性、全面性受到影响。这种复杂性显著拉长了工程周期，使得项目交付时间难以控制。

运营阶段

协控难度大
综合用能成本高

可再生能源波动性强，叠加矿区大功率冲击负荷，系统层面的统一调度与精细化控制复杂度提升，造成调度滞后、频率电压偏差，储能利用率下降、备用配置不合理等情况，导致非计划停机时间延长、产能波动、安全风险累积，对综合用能经济性带来潜在压力。

运维挑战

权责界定模糊
运维难度大

不同厂商分别负责各自设备，系统级故障定位与责任划分复杂，协同处置效率受限。在矿区偏远、智能化水平较低且专业运维人员紧缺的条件下，跨主体调度与联动运维难度进一步放大。

02

阳光电源矿区微电网解决方案

阳光电源依托风、光、储、充、碳、控一体化全栈自研能力，根据矿区多主体拼凑式微电网系统在规划、交付、运营、运维阶段面临的“系统容量配置难”、“交付周期长”、“协控困难”、“权责界定模糊”四大难题，创造性提出“精细化仿真规划，‘即插即用’快速交付，‘五重防控’可靠运营，AI赋能主动运维”四大解决方案，分层分级实现系统技术与设备深度耦合，确保稳定生产与经济运行。

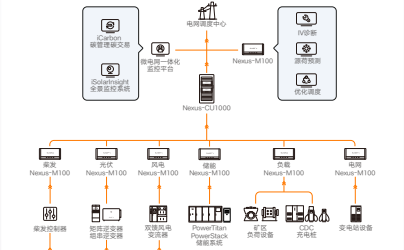


图5：矿区微电网系统架构示意图

2.1 系统方案概述

A 容量选型

基于不同规模的矿区的用电需求，矿区微电网通常分为小型、中型、大型及微网群四个层级。

类型	负荷容量范围	电压等级	产品方案
小型微电网	500kW - 2.5MW	400V - 10kV	**阳光电源矿区微电网解决方案** **储能：** PowerTitan系列、PowerStack系列 **光伏：** 1+X系列，矩阵逆变器、组串式逆变器（SG320HX、SG465HX、SG110CX/125CX-P3） **充电桩：** CDC系列 **微网控制器：** Nexus-M100，Nexus-M1000CP
中型微电网	2.5 MW – 20 MW	10 kV – 35 kV	
大型微电网	20 MW – 100 MW	35 kV – 110 kV	
微网群	100 MW以上	110 kV以上	

图6：阳光电源矿区微电网场景产品配置表

B 运行状态

微电网具备极高的运行灵活性，根据是否与外部大电网连接，可分为并网模式和离网模式。这两种模式不仅定义了微电网与大电网的相互关系，更是解决矿区复杂用电痛点的核心手段之一。

并网模式

并网模式下微电网与主电网相连，既可以从主电网取电，也可以将多余的电能反馈给电网，从而实现双向能量互动与支撑。该模式下，一方面可以通过峰谷电价差套利、需量管理、参与电网辅助服务，降低矿区整体用电成本；另一方面，在外部电网故障或电能质量不满足要求时，可快速切换至离网独立运行模式，保障关键负荷不间断供电，维持矿区稳定生产。

离网模式

通过风光储可再生能源，独立构建微电网，形成自发自控自用的闭环能源生态，降低柴发比例，构建独立的清洁能源供电体系。

耦合类型

微电网的系统结构决定了能源转换的效率与成本。根据分布式电源、储能与负载接入母线的方式及项目实际需求，光储系统可以灵活选择交流耦合与直流耦合方案。

交流耦合

交流耦合架构让光伏和储能在交流侧实现能量汇流，在用电复杂的矿区环境下具有因地制宜、部署灵活的优势。

矿区大功率设备的频繁启停会造成电网剧烈波动，交流耦合架构下，独立的储能电站可以快速响应电网调度指令，通过灵活的电网支撑能力保障核心生产稳定进行。同时，随着矿区发展，后期即使面临更多能源扩展或项目升级迭代需求，“即插即用”式储能也能灵活扩容，无需改造核心架构，帮助矿企实现“边生产、边改造”。

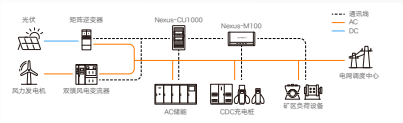


图7：矿区微电网交流耦合架构示意图

直流耦合

通过直流耦合架构，光伏发电后减少一层交直流转换环节，“源 - 储”高效协同，促进系统转化效率和经济性提升。

经济性方面，综合度电成本下降超 15%。由于 PCS（储能变流器）和变压器的减少，采购与安装成本相应降低。以 100MW 光伏 +200MWh 储能项目为例，预计将节约 116.18 万美元的初始投资成本。系统转化效率方面，系统循环效率可提升 5% 以上。

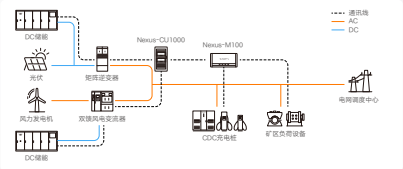


图8：矿区微电网直流耦合架构示意图

2.2 科学规划

iSolarDesign电站设计
优化15%光储配置

不同矿区的用电特性存在本质差异：露天矿与井下矿的负荷曲线不同，破碎磨矿的冲击负荷可达平稳负荷的 3~5 倍，连续生产与日间为主的生产模式用电分布完全不同，不同区域的日照资源、柴油价格、物流条件也存在显著差异。传统通用模板式的配置方案，难以应对矿区复杂工况，易导致初始投资过高、设备配置与实际需求错位。

iSolarDesign 电站设计工具，基于 8760 小时全时序高精度仿真，精准解析矿区负荷峰谷扰动与可再生能源出力不确定性，通过负荷分级管理、自定义投切策略，结合数学优化与智能算法，在数万配置方案中实现秒级寻优。

同时，支持从“高可靠”、“经济最优”、“绿色低碳”三个方向进行电站设计，分别从最小缺电率、最大净现值、最短投资周期、最大绿电消纳比等多个维度提供方案，满足业主的多样化需求。以非洲某年产 3 万吨，占地 50 公顷铜矿为例。在高可靠原则下（缺电率 <0.5%），推荐光储库配比分别为 90MW、320MWh、27MW，经济成本约为 1.34 亿美元；在经济最优原则下，最大净现值方案为光伏 90MW、储能 137MWh，经济成本约为 0.79 亿美元；在绿色低碳原则下，最大碳减排方案为光伏 90MW、储能 300MWh、柴发 3MW，经济成本约为 1.22 亿美元。

针对极端工况，平台提供全景式功率仿真与可视化能力，动态还原不同形式极限下的设备运行状态，直观展示系统运行策略，收益边界与应急响应能力，为投资决策提供多维度风险收益评估的坚实依据。

支持矿区、工商业园区、海岛、数据中心、工业自备电厂等多种典型微电网项目复例的快速复用，最快 5 分钟即可完成电站设计，相比传统 8 小时设计周期，效率提升 99%。

GW级仿真
有效提升系统稳定性

矿区源、网、荷、储系统设计复杂，多要素协调控制难度大，安全可靠性要求严苛，现场试错成本高，因此必须在交付之前通过系统仿真分析实现“零失误上线”，保障系统供电连续性与安全稳定运行。

阳光电源矿区微电网仿真技术，基于精细化仿真的正向设计体系，通过大功率电动机启动仿真、负荷大功率瞬降仿真测试、系统故障 N-1 仿真测试与稳态仿真测试，校核矿区大功率设备运行，频繁启停时的电压暂降幅度及恢复时间，系统谐波电压谐波分布等情况。

阳光电源仿真中心共设 3 个半实物实验室，拥有国际先进的 RTLAB 和 RTDS 半实物仿真系统，支持设备级和系统级电网合规验证，系统仿真节点数量 700+ 个，具备 GW 级微电网控制系统接入能力，满足矿山微电网全场景复杂工况下的半实物仿真需求。

截至 2025 年度，中心已高效完成 800+ 模型开发及 100+ 半实物仿真测试任务，有效支撑 700+ 项目交付（共计 100+GW 光伏、100+GWh 储能）。

2.3 快速交付

风光储充碳控预制化交付
GWh电站早17天运营

矿区环境复杂、作业连续性要求极高，交付环节直接决定项目能否按时投产与稳定运行。阳光电源将风光储充碳控预制化交付，助力项目从安装、调试到第三方集成实现更优完整性和高效性。

安装阶段采用“落地即安装”的“即插即用”设计理念，在出厂前完成所有产品安装工作，最大程度简化现场工程工作量。系统交付至矿区后即可快速部署，减少复杂的前期准备工作。

调试配置阶段通过“一键整定”与“快速调试体系”，核心设备调试提速 90%。在光伏子阵级快速离网调试方面，无需额外设备和额外接线，相比传统采用柴发供电的方式，节约调试时间 30 天以上。

系统提供标准化接口，支持第三方硬件的灵活接入，并兼容多种通信协议，实现对各类第三方设备与系统的快速适配。开放的生态架构降低了系统集成成本，提高了可维护性和可扩展性，为矿区微电网的长期运营管理奠定坚实基础。



2.4 精益运营

A 系统级五重防控，保障矿区微电网平稳运行

矿区微电网稳定是其价值实现的核心。针对矿区负荷波动大、冲击性设备多、供电可靠性要求高的特点，阳光电源微电网解决方案首创“五重防控体系”，从“事前主动防护”到“分钟级电网自愈”，分层分级保障矿区电网的极致韧性与稳定运行。



图9：五重架构高相图

❸ 稳态：事前主动防护

稳态情况下，微电网各设备处于正常运行状态，电压、频率稳定在额定范围内。在此期间，利用风光功率预测及负荷预测，持续优化运行策略，保障关键负荷稳定运行。

a - 1 AI风光功率预测

背景

矿区常出现风沙扬尘、云量骤变、极端温差及高海拔强紫外等恶劣情况，光伏出力可在分钟内剧烈变化超 50%，常规预测方法难以有效跟踪。扬尘与粉尘长期聚积，组件实际出力大幅低于理论值，污染程度随风向与作业强度实时演变，气象模型难以稳定保持可靠性。在实际生产中，预测误差每减少 1%，矿区年弃光电量将减少 2.1 万 kWh，柴油少消耗 12 吨 / 年，节省约 2.3 万美元燃油成本。

技术方案

阳光电源 AI 风光功率预测以多点光伏场站真实数据为基础，构建涵盖全气象与全工况类型的预测基模，设定明确的精度底线。技术核心融合卫星遥感与地面多源数据，引入独立指数，矿区微气候和组件污染动态修正因子，结合深度学习、注意力机制与实时自适应算法，使针对沙尘、多云或异常气温的预测误差显著低于传统模型。

光功率预测方面，针对矿区网络基础设施薄弱的痛点，设计了云端训练 + 边端推理的混合架构：在云端进行全局模型训练与优化，本地实现实时推理与预测。模型具备在线学习能力，可自动适应季节变化、积灰累积与设备老化，实现“越用越准”，为微电网稳定运行与光伏最大化消纳提供可靠支撑。



图 10：AI 光功率预测流程示意图

风功率预测方面，针对矿区微网风电出力的强随机特性，本方案采用基于物理模型的时序预测方法，以风机运行参数与场址风资源数据为输入，通过多级数据修正处理消除年际波动与测量偏差，确保风资源表征的长期代表性；在功率转化环节，综合考虑风场尾流效应与气象条件动态变化对风机出力的影响，通过迭环迭代计算输出高时间分辨率的风电功率时序预测数据，为微电网源荷平衡分析、储能配置优化及调度策略制定提供可靠支撑。

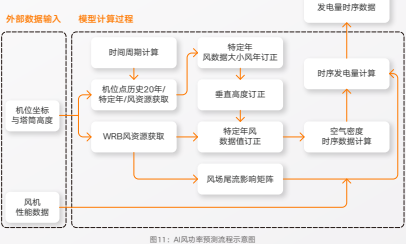


图 11：AI 风功率预测流程示意图

价值

该方案显著提升系统运行稳定性，将功率缺额事件降低 80% 以上。凭借高精度预测实现风光充分消纳，进一步优化项目经济性，助力投资回收期缩短 1–2 年。

a-2 AI负荷预测

背景

矿区生产负荷具有典型冲击性特征，球磨机、提升机启停瞬时功率波动可达额定负荷 3–5 倍，受采掘爆破、运输高峰、设备启停等影响，常出现 30%–70% 的分钟级剧烈波动，传统机器学习模型难以有效捕捉此类突变，无法准确预测功率缺额，易导致储能策略失误。高精度 AI 负荷预测为极端工况下维持功率平衡提供必要保障，直接影响柴油运行降幅、可再生能源渗透上限，以及整体经济与碳排放表现。

技术方案

阳光电源矿区专用高精度负荷预测模型，依托海量负荷数据资产，训练具备全负荷类型适应性的优化基模型，保障复杂工况下的预测精度下限。融合 Transformer 与时序图神经网络（GNN）架构，并直接嵌入开采计划、设备运行等生产数据，精准捕捉设备动作对负荷的传导关系。

在协同运行层面，采用本地部署，无需依赖云端网络，确保高可靠性和数据安全，针对负荷突变特性，设计支持多模态特征工程与实时自适应机制，使模型与储能、柴发等调节资源形成快速响应闭环，驱动微电网控制策略即时优化。



图12：AI负荷预测流程示意图

价值

基于高精度预测，提前预判负荷风险，优化备用电源切换时序与容量动态配置，保障矿区关键设施供电可靠性。通过需求侧资源精准调度，赋能矿区源网荷储协同优化控制，显著提升投资经济性。

ⓑ 小抗动：毫秒级就地支撑

在矿区微电网环境下，由于用电需求的不断变化，负荷会呈现出一定的波动性，产生小扰动。这些扰动若处置不当，将会影响整个矿区的稳定生产。

b-1 虚拟励磁控制

背景

矿区微电网多位于电网末端，输电距离长、电网强度弱，电压易波动甚至失稳。同时，破碎机、球磨机等冲击性负荷导致无功剧烈波动，离网状态下变压器投切更易引发电压失稳，造成非计划停电，影响生产稳定性。

技术方案

通过增量式虚拟阻抗限制过流，增强 PCS 对系统的电压支撑强度；采用虚拟励磁电压控制，在暂态过程中快速限制过压；结合快速功角同步，实现相角、频率与电压的动态协同调节，该方案使储能系统与微电网各环节深度配合，从源端主动稳定母线电压，提升系统整体韧性。

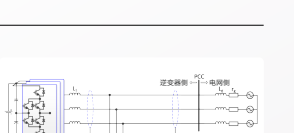


图13：虚拟励磁控制框图

价值

当变压器投切时，电压暂态波动小于 1.5%，稳态波动趋近于 0，可实现百兆瓦级主变空载合闸耐受，稳定多轮次反复空充冲击。矿区检修，扩容无需全站停机，实现单机运维、全域保供，大幅提升开工率。

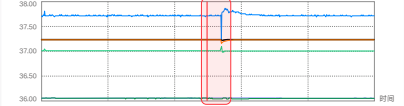


图14：变压器空投瞬间，系统电压波动0.5kV、频率波动0.1Hz，并快速恢复至空投前稳态水平

b-2 毫秒级柔性惯量支撑

背景

随着矿区可再生能源渗透率提升，传统同步发电机被电力电子变流器替代，系统惯量锐减。面对光伏与大型电机负荷的瞬时大波动，系统缺乏功率缓冲能力，而柴油发电机响应滞后，极易触发低频保护，导致系统解列甚至停电。

技术方案

阳光电源构网型 PCS 通过虚拟同步发电机算法，模拟同步发电机转子运动特性，在频率波动时主动释放或吸收动能，提供瞬时功率缓冲。同时，将惯量支撑与一次调频、调压控制深度融合，惯量响应时间<5ms，惯量时间常数 Tj 为 0.05s~20s 柔性可控，实现对各类频率波动的全面抑制。

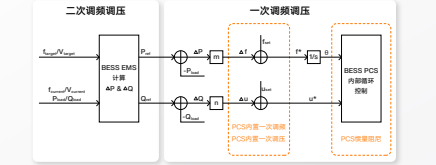


图15：PCS内置调频调压控制框图

价值

该方案在夜间无光伏情况下，储能系统模拟用 8MW 的负荷，系统电压变化仅 0.16kV，频率变化仅为 0.021Hz，有效降低频率变化率，防止频率瞬间越限。同时，为柴发启动或其他资源的功率调度提供宝贵的毫秒级响应窗口，增强系统短路容量，提高继电保护可靠性与系统稳定性。

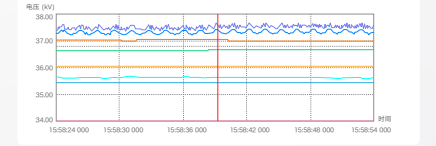


图16：甩负荷时，电压和频率变化图

b-3 故障穿越技术

背景

矿区微电网运行环境恶劣，频繁面临单相接地、相间短路、三相短路等线路故障，以及母线电压骤降、大电机启动引发的暂态跌落等扰动，造成故障电流突升。传统 PCS 因快速闭锁等脱网自保动作，易将局部扰动扩大为系统停电，造成经济损失。

技术方案

阳光电源方案采用正负序电压穿越控制结合增量式虚拟阻抗技术，实现 PCS 与继保系统的智能协同。短路瞬间，PCS 实时启动负序电压控制并叠加虚拟阻抗，动态匹配不同短路工况；并网场景下，支持连续 6 次穿越。离网场景下，稳定输出最大 3 倍短路电流持续 2 秒；故障切除后，PCS 快速降低虚拟阻抗，实现电压快速恢复。全流程支持三相对称及不对称短路场景。

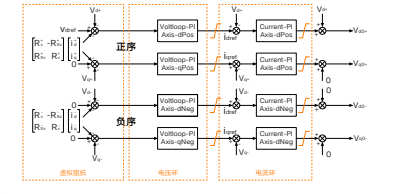


图17：故障穿越控制框图

价值

显著增强了矿区微电网的抗扰动能力与供电稳定性，有效遏制了局部故障演变为系统性崩溃的风险，避免重大停产损失，为矿区安全连续生产提供了坚实的电力保障。

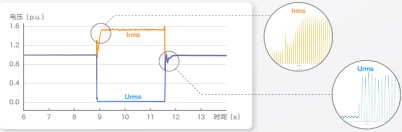


图18：BESS短路电流支持故障穿越

大抗动：百毫秒级协调控制

当电网出现短路、断线故障，矿区大容量负荷突然启停等情况时，易引发系统振荡或电压崩溃，若不能在短时间内完成有效控制，扰动将由局部扩展至全网，造成关键负荷停电乃至全矿停产。阳光电源解决方案通过构建百毫秒级协调控制体系，不仅显著提升了供电可靠性和系统韧性，也为高比例可再生能源接入创造了技术条件。

c-1 以调代切

背景

矿区微电网在离网运行中，风光出力的波动性与破碎机等冲击性负荷的随机性叠加，导致功率瞬时平衡困难。传统切负荷或弃风弃光方式，会直接中断采矿作业流程，影响生产连续性。

技术方案

阳光电源微电网能量管理系统（EMS）集成稳控功能，形成协同配合的体系：当继电保护设备迅速切除故障元件后，微网控制器会依据故障前后的功率缺额或盈余，实时调节储能、柴发等可控资源的出力。

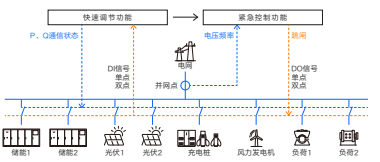


图19：以调代切技术流程示意图

价值

基于微电网源、储、控全系统自研优势，可实现系统状态信息实时共享及功率百 ms 快速响应，最大化保障系统电源在线率，提高整体运行的稳定性。

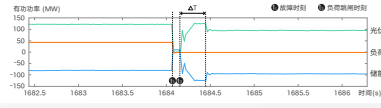


图20：以调代切技术效果波形图

c-2 并离网无缝切换

背景

矿区多位于偏远地区，外部电网易发生瞬时跌落或闪络，导致电压骤降；通风、排水等负荷对供电连续性要求也极高。并离网无缝切换技术可在电网异常时实现毫秒级平滑过渡，避免因切换中断引发的设备损坏及安全风险，保障关键负荷连续供电与人员安全，规避非计划停产带来的经济损失。

技术方案

阳光电源方案依托 EMS 与储能、光伏及并网设备实现深度协同。

- **计划性并转离：**
  EMS 主动下发并转离指令，快速调节储能转移并网点功率，并网点交互功率降至允许范围后断开断路器，实现平稳过渡。
- **计划性离转并：**
  EMS 主动下发离转并指令，同步调节微电网电压、频率，配合并网点检同期合闸功能，有效避免冲击电流损伤设备。
- **非计划性并转离：**
  构网储能快速响应非计划性冲击，EMS 精准识别状态切换至离网模式，实现电网非计划性停电负荷不断供目标。

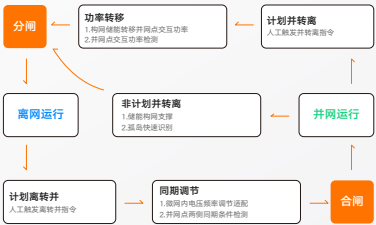


图21：并离网无缝切换技术方案流程图

价值

计划性离网无缝转并网过程中，EMS 主动调控微电网侧电压幅值，使之趋近系统侧电压幅值，并和系统侧保持一定的频率偏差实现相位同步，满足同期条件之后快速合闸，避免并网冲击损伤器件。

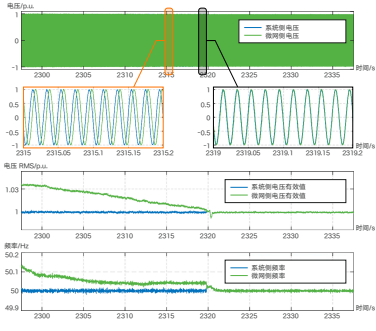


图22：离网无缝转并网（计划）波形图

非计划并网无缝转离网过程中，构网储能无延时响应支撑微电网电压频率，并离网切换时间<20ms@400V，满足矿区大型电动机类负载电网停电不断供的要求。

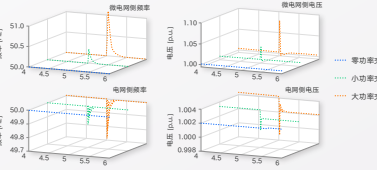


图23：不同交互功率并网无缝转离网（非计划）频率电压图

c-3 离网二次调频调压

背景

矿区微电网在离网运行时，由于脱离了大电网的电压与频率支撑，系统惯性显著削减。矿区特有的破碎机、提升机、电铲、牙轮钻等高比例冲击性负荷，极易引发电网波动。仅依靠 PCS 的一次下垂控制，会产生无法消除的频率和电压稳态偏差，不满足矿区安全生产对电能质量的严格要求。

技术方案

如图，方案基于虚拟同步机（VSG）控制技术，赋予 PCS 模拟传统发电机转动惯量的能力，实现毫秒级的“一次调频调压”（下垂控制）。在此基础上，微网控制器充当系统的“智慧大脑”，实时捕获母线偏差，通过高精 PI（比例积分）算法计算补偿量，向 PCS 下发二次修正指令。

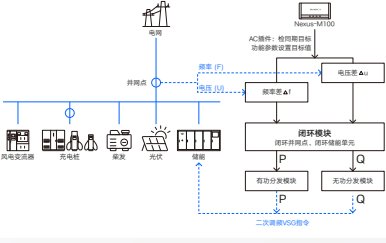


图24：离网二次调频调压策略

价值

PCS 在接收到指令后，会立即执行功率调整。整个系统从发生扰动到频率和电压恢复至标准范围内的调节时间，严格控制在 1 秒以内，实现生产连续性最大化。同时，为避免因频率或电压长期偏移对矿区自动化控制系统、精密传感器等高价值设备造成的累积损伤，方案将电压偏差值和频率偏差值分别限定在 ±3%Un 和 ±0.2Hz 内，延长设备使用寿命，降低非计划维修成本。



图25：电力系统频率调节过程中，1s即可恢复到标准范围内

ⓓ 重大故障：秒级紧急控制

在矿区作业场景下，短路故障，突投变压器等情况往往伴随着极高的瞬变风险。构建一套秒级故障隔离与源荷平衡重构的紧急控制系统，是矿企实现安全稳定生产的关键。

d-1 多电压源协调控制

背景

矿区微电网场景下，柴油发电机常与构网型储能等多类型电压源离网并联运行。多源间若无协调控制，将因特性差异产生环流与功率分配不均，甚至引发系统振荡。系统需具备多电压源协调控制功能，统一调节各电压源构网参数，保障微电网安全稳定供电。

技术方案

系统通过动态虚拟阻抗 + 二次调节策略，调整各电压源等效输出阻抗，弥补线路阻抗差异带来的影响，有效抑制环流并提升功率分配精度。同时依托仿真测算，协同整定各电压源的惯量时间常数、阻尼及下垂系数，在调节速度与稳定性间取得平衡，从源头规避多源并联振荡。

价值

通过该方案，负荷投切过程中虚拟阻抗与二次调节环流抑制率超 95%，实现柴储双主电源微电网稳态功率精准分配及动态环流抑制功能。

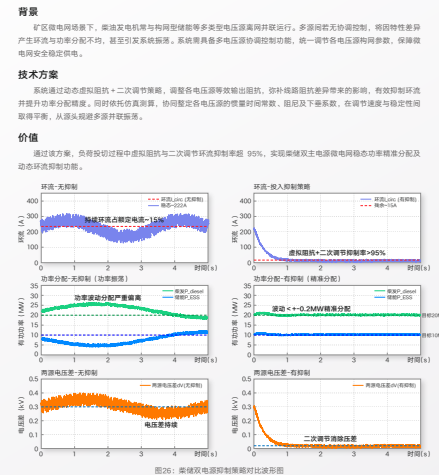


图26：柴储双电源原制策略对比波形图

d-2 自动故障解列

背景

矿区地处电网薄弱末端，外部线路易受雷击等影响发生瞬时性或永久性故障。若微电网不能快速检测故障并精准解列，会导致微电网电压骤降，引发 PCS 过载，低电压负荷脱网。自动故障解列可隔离电网侧故障，保障矿区关键负荷持续运行。

技术方案

自动故障解列采用"基本轮 + 特殊轮"双层协同架构。基本轮按频率、电压进行多级卸载减载，首轮仅切次要负荷，后续逐级追加，结合负荷优先级差异化保护，避免过切，确保监控、通信等关键负荷持续供电。

面对基本轮无法处理的极端故障工况，特殊轮通过长延时确认和精准补位动作，进一步遏制系统频率、电压持续恶化的趋势，将系统运行的不稳定风险降到最低。



图27：自动故障解列技术方案设计图

价值

两者协同形成无盲区立体防护，实现弱网条件下秒级精准隔离，核心负荷供电保障率 99.9%，显著提升矿区微电网运行韧性。



图28：基本轮：避免单次过调，频率恢复平滑

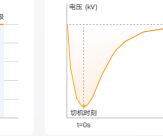


图29：特殊轮：极端情况，触发式切除维稳

⑥ 电网故障崩溃：分钟级电网自愈

当矿区微电网遭遇极端故障，需逐级恢复关键负荷，快速实现电网自主重启，避免长时间停电导致的安全风险和经济损失。

e-1 大规模黑启动

背景

矿区数小时停产将造成巨大经济损失。以南非为例，在六级限电等级下，南非整个采矿业每天的经济损失高达 6 亿兰特（约 0.36 亿美元）。

传统柴油机黑启动周逐级带载，恢复时间长。另一方面，矿区高负载对电源冲击大，易导致以储能为核心的电源过载，引发黑启动失败乃至二次崩溃。因此，亟需一种快速、稳定、可控的黑启动能力。

技术方案

本方案通过设备间的深度协同，实现从建网到带载的可靠过渡。首先，通过发波与相位的双同步技术，在电压建立初期快速抑制环流，实现大规模电站的相角同步，最大化黑启动带载能力。同时，动态下垂控制实时监测各设备输出功率与电压，动态调节下垂系数，平滑分配功率输出，避免单设备过载。

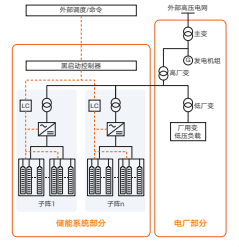


图30：大规模黑启动方案拓扑图

价值

该方案可实现分钟内 GW 级电站自主建网与供电恢复，电压稳态波动< 5%，设备间不平衡电流<5%，百 MW 黑启动带载率>95%，显著提升微电网自愈能力与供电可靠性，最大限度减少停产损失，为矿区连续安全作业提供坚实保障。

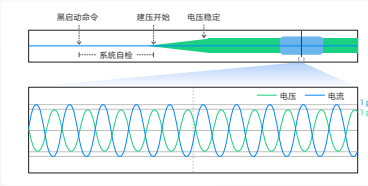


图31：大规模黑启动效果波形图

D AI优化+碳管理，促进矿区微电网经济性提升

矿冶行业因“峰谷差大、负荷波动剧烈、柴油占比高、电价敏感度高”的典型特征，面临高昂用电成本。在全球能源转型与碳约束趋严背景下，矿区微电网的经济性目标已从传统“降电费”单一维度，演进为“度电收益最大化 + 碳资产增值”双轮驱动的新阶段。

B-1 智能优化调度算法，矿区供用电效益提升12%

背景

矿区破碎机、提升机等设备频繁启停导致的功率尖峰，易引发电压频率波动，罚款和停产风险。传统固定规则调度难以兼顾电价调整、设备老化及峰谷套利。离网场景中，冲击负荷威胁供电安全，柴油长期高出力导致成本攀升，亟需一套能够感知全局、动态决策的智能调度系统。

技术方案

阳光电源 AI 智能优化调度算法，采用站控端训练 + 协控端推理的分层协同架构。站控端通过元启发式算法生成海量最优调度轨迹，填充 DRL（深度强化学习）经验回放缓冲区并预训练 Actor 网络（动作网络），实现最低成本、最高可再生消纳、极致可靠性的多目标优化；协控端由 DRL 每分钟输出全局最优调度计划，轻量规则引擎秒级修正瞬时偏差，驱动源 - 储 - 荷 - 柴实现全量素精准协同。

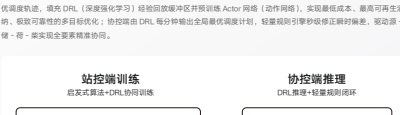


图32：AI智能优化调度算法流程示意图

价值

相较于传统调度方法，智能化策略可提升 12% 以上的经济收益，并将供电损失概率（LPSP）控制在 0.1% 以下，实现经济性与稳定性的双重跃升。

B-2 SOX精准评估及管理，延长电池寿命

背景

矿区微电网受制于负荷波动剧烈、可再生能源出力随机性强等特点，储能系统作为保障微电网稳定运行的核心支撑，其状态若无法精准掌握，将直接影响精细化调度与成本优化效果。传统粗略估算难以应对快速功率冲击，导致过充过放风险或支撑能力判断失误。

技术方案

阳光电源 SOX 评估管理技术采用基于等效电路模型的卡尔曼滤波方法，对SOC、SOE、SOP 进行在线精准估算。一方面，等效电路模型能够刻画电池在快速充放电及负荷突变过程中的动态响应特性。另一方面，卡尔曼滤波则融合电流、电压、温度等多源实时数据，对状态结果进行持续修正，从而在强扰动场景下仍保持较高估算精度。

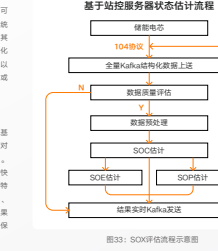


图33：SOX评估流程示意图

价值

该方案实现SOC与SOE高精度估算，动态响应优异且稳定性强，在矿区复杂工况及多次波动下仍保持状态跟踪一致性。通过对电池状态的精准评估与精细化管理，减少矿区频繁波动工况下电池过充过放与深度循环损耗，减缓电池容量的衰减速度，延长储能系统服役周期，削减矿区全周期电池更换与运维投入。同时，其可靠的状态感知能力可为矿区微电网储能系统提供实时电量与能量裕度支撑，为精准能量调度、功率分配优化及安全保护策略提供数据支撑，保障矿区关键负荷供电连续性与系统运行韧性。



图34：在全工况下SOC/SOE误差基本控制在2%以内，个别突变或非线性阶段误差不超过3%

B-3 数智化碳能管理，促进矿区微电网全链路高效碳核算

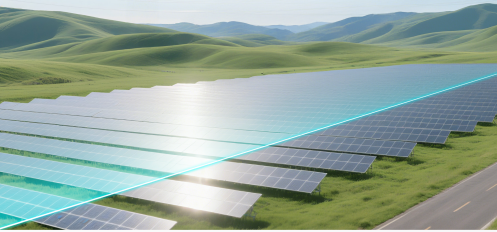
在全球“碳达峰、碳中和”目标驱动下，矿区作为典型的高能耗、高排放场景，正面临日益严格的碳排放约束与配额压力。碳配额不再只是环保约束，同时也成为具有明确市场价格的可交易资产。从《巴黎协定》到 CCER（国家核证自愿减排量）市场重启，矿区通过减排项目获取额外收益获得新通道。碳资产成为节省购电费、余电上网、需求响应补贴后微电网的“第四收益来源”。

阳光电源搭建数字化协同管控平台，整合碳核算数据、微电网运行数据（发电量、能耗、负荷等），实现碳管理与微电网运行的实时监控、智能调度与数据分析；引入 AI、物联网技术，优化微电网运行参数，降低能耗损失，实现碳减排数据的实时更新与可视化展示，为 ESG 披露、管理决策提供高效支撑，提升协同管控效率。通过构建“碳 - 能 - 数”深度融合的协同管控平台，实现碳数据可追溯、能效可优化、微电网可调度，最终达成合规降本与增效增收的双重目标。



图35：阳光慧碳iCarbon能碳平台展示界面

2.5 智能运维



A AI精细化运维，提升运维效率92%

矿区地理位置偏远、环境复杂，传统“被动式”的人工运维已无法满足高可靠性的要求。据此阳光电源采用三项 AI 运维技术，通过预测性主动运维保障矿区稳定生产。

A-1 IV诊断：智能快速扫描与诊断，减少人工上站巡检与维护

背景

矿区高粉尘、大温差及遮挡环境易致组件积灰、热斑及老化，光伏组串受影响显著。同时场站分散、人工巡检成本高且响应周期长，亟需智能诊断技术提升异常识别效率与定位精度。

技术方案

如图，阳光电源IV诊断技术采用“常规特征诊断 + 自适应智能增强 + 系统协同联动”的技术路线: 在基础层以短路电流、开路电压、最大功率点参数及 IV 曲线形态构建组串电气特征诊断体系，实现典型异常识别；在增强层结合统计分布检验、DBSCAN 聚类、孤立森林等方法，动态修正诊断参数与异常边界，提升复杂环境和复杂工况下的准确性；最后在应用层打通设备、系统与运维数据链路，将组串诊断结果与矿区微电网运行工况、负荷特征、储能状态及柴油机运行策略联动闭环。

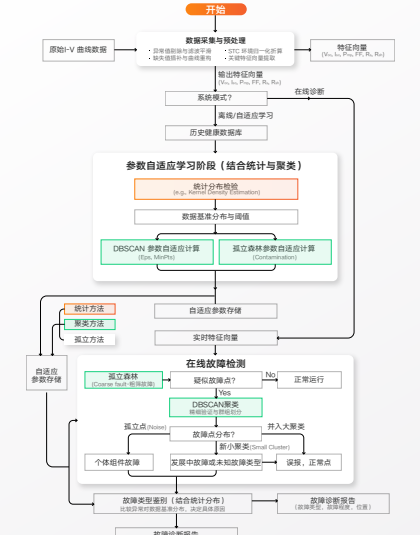
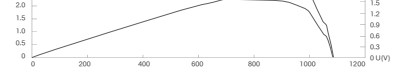


图36：IV诊断技术流程示意图

价值

和传统人工排查百 MW 级电站耗时 2-3 个月，3%-5% 抽样率及 10-20 万美元单次成本相比，IV 诊断技术百兆瓦级电站 10min 内完成扫描，22 种故障类型全覆盖且准确率超 90%，以全量扫描替代抽样式排查，实现异常组串的区域化定位、类型化识别和优先级排序，形成“设备感知—系统决策—运维执行”的闭环，显著提升运维效率与经济性。



组串断路电流低

Voc (V): 1087.544　Vmpp (V): 923　Pmax (kW): 1.981　Isc (A): 2.544　Impp (A): 2.146　FF: 0.716



正常

Voc (V): 1089.019　Vmpp (V): 927　Pmax (kW): 6.74　Isc (A): 7.947　Impp (A): 7.271　FF: 0.779

图37：光伏组串 I-V/P-V 曲线对比图

A-2　iSolarBPS：电芯五维健康度诊断，提前7天识别电池隐患

背景

矿区储能面临频繁充放电、高温、粉尘等恶劣环境，电芯易出现一致性漂移、异常温升、容量加速衰减等问题，若未及时发现，可能演变为簇级故障，威胁微电网供电可靠性。

技术方案

iSolarBPS 电芯预诊断系统实时采集电压、电流、温度等数据，结合历史行为，建立健康状态识别与异常预警模型。针对矿区典型工况，从风险预警、故障告警、异常老化、行为分析，数据质量五个维度，精准识别电压异常、温升异常、一致性漂移、容量加速衰减等早期风险，通过趋势分析与模型诊断，最早提前 7 天预警安全隐患。

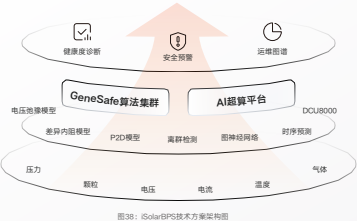


图38：iSolarBPS技术方案架构图

价值

该方案将电池风险管理从“故障后处理”前移至“故障前预警”，帮助矿区在异常萌芽阶段识别问题电芯，避免单体隐患演变为整簇故障或安全事故。同时提升储能运行透明度与可维护性，支撑微电网在高波动、高负荷冲击下安全稳定运行，减少非计划停机，降低运维成本，切实提升供电可靠性。



图39：iSolarBPS温度一致性评估结果示意图

A-3 AI智能助手：高效助力电站问题解决

背景

矿区微网融合了光伏、风电、柴油发电机、储能等多种异构设备。各设备自带的 BMS（电池管理系统）、PCS、SCADA（监控与数据采集系统）往往各自为战，数据碎片化，运维难度大。

矿区地处偏远、环境恶劣，难以长期驻留高级运维专家，传统“告警—人工查阅手册—分析—处置”流程耗时过长，难以满足快速响应，迫需智能化运维手段，助力提升运维效率。

技术方案

阳光电源 AI 智能助手以“智能问数、知识问答与运维建议”为核心，推动运维自动化决策，面对矿区大量冲击负荷数据，通过 Text-to-SQL 或 Text-to-API 技术，直接响应用户自然语言提问，从底层数据库抽取时序数据并自动生成可视化图表。针对复杂运维操作难题，基于检索增强生成（RAG）技术，实现毫秒级操作指导，从设备手册与安全规程中准确提取信息，避免操作失误。同时，结合多维数据进行推理，为运维建议提供辅助决策。

价值

AI 智能助手打破了 EMS、BMS 和底层传感器的边界，能够感知全局并向局部设备提供协同控制的参数建议，实现源、网、荷、储的时空协调。

随着矿区微电网拓扑的改变或设备的增加，拥有自适应演进能力的 AI 智能助手，通过不断学习新的运行数据和运维人员的采纳反馈，提供越来越精准的协同调度和排障建议，助力运维效率的显著提高。

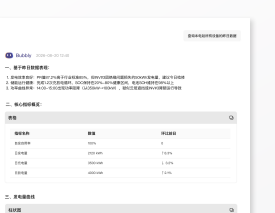


图40：AI智能助手智能问数示意图

B 全球运维团队，售后无忧

运维团队是保障矿区稳定连续生产的关键。阳光电源已构建覆盖全球的强力运维网络：拥有 1000+ 技术服务工程师、400+ 授权服务商及 520+ 服务网点，实现 7×24 小时属地化快速响应；全程托管式交付与专家资源全球调配，确保项目无忧落地。

* 以上所有技术数据，依托阳光电源微电网专业实验室全部段设计与仿真模拟技术。

03

矿区微电网创新技术规划

随着矿区绿色化、电动化、智能化持续推进，矿区能源系统正从传统供配电网络向融合可再生能源、智能装备和数字技术的自治能源系统演进。未来矿区微电网将围绕主动构网、生产协同调度及多时间尺度保供与数字孪生运维三个方向发展。

3.1 矿区主动构网与自治能源网络

未来矿区将演变为采矿区、选矿厂、冶炼精加工区、重卡补能站、生活营地和分布式可再生能源共同构成的高安全、强动态工业能源网络。面对长距离线路、高比例可再生能源和大功率冲击负荷，传统依赖外部电网和固定控制策略的模式将向“多源协同、保护自适应、能源路由与保供一体化”的系统能力转变。

通过“分区自治、对等构网、预测驱动、可重构互济”的主动构网架构，将储能、光伏、柴发及柔性负荷作为统一构网能力池。同时结合气象、设备状态和生产计划预测，提前调整运行参数，在故障发生时，系统能够自动完成分区、隔离、局部构网和分级复电，提升矿区在弱网、孤网及极端故障场景下的持续供能能力。

3.2 生产计划参与源荷储协同调度

随着矿区电动化和自动化水平提升，破碎机、磨矿机、熔炼炉、电解槽、精炼装置、运输系统、通风系统以及矿用车辆充电设施等大功率、高波动负荷规模将持续扩大，传统围绕设备运行的能源管理方式，难以兼顾生产效率、可再生能源消纳和能源成本优化，矿区能源管理亟需从“围绕设备供电”向“围绕生产计划协同”转变。

未来矿区将构建“生产计划—设备状态—源网荷储”多层联动的智能调度体系。通过融合生产计划、设备运行状态、充电需求及可再生能源预测数据，形成矿区供荷与可再生能源出力预测模型；利用日前、日内及实时多时间尺度优化，实现设备启停、储能充放电及备用容量的协同控制。对破碎机等矿区可调节负荷及充电设施实施分级柔性调控，在保障生产连续性的前提下，平抑最大需量，提升绿电消纳效率，避免储能过度配置。

3.3 长短时分频保供与数字孪生运维

矿区同时面临设备启停、电网扰动等毫秒至分钟级功率冲击，以及可再生能源出力不足、线路故障等小时级至日级能源缺口，单一储能难以兼顾响应速度、持续时长与经济性。矿区微电网正从“单一储能备电”走向“多时间尺度保供 + 数字化主动运维”。

通过采用“分频资源协同 + 站端数字孪生 + 云边运维”架构，按响应时长分层配置超级电容、短时储能、长时储能与备用电源，分频协同覆盖全场景保供需求。同时，建立站端数字孪生模型，对构网参数、保护定值与故障处置方案先仿真后执行。基于设备健康预测形成闭环运维，实现保供能力可量化、风险可预警、运行可审计，兼顾全生命周期成本与极端工况生产连续性。

04
总结与展望

微电网作为能源转型的核心载体，正推动着能源系统向更灵活、更可靠的方向演进。对于负荷集中、环境特殊的矿区而言，建设一个独立、可靠的微电网，已从“可选项”升级为保障生产命脉与践行可持续发展的“必需品”。阳光电源以“源网荷储深度融合”为核心，依托全栈自研能力，打造“五重防控体系”，通过系统与设备的深度耦合，实现真正的“多源协控”，分层分级保障矿区微电网的极致韧性与稳定运行。

展望未来，阳光电源将积极推动与产业界的协同合作，加强技术研究，助力全球能源利用迈向可靠、经济、低碳的新生态。



手册编码 20.0WV1
2024年5月印刷

SUNGROW

让人人享用清洁电力
Clean power for all

阳光电源股份有限公司
中国合肥市高新区习友路1699号

邮编：230088
总机：0551-65327878，7877
网址：www.sungrowpower.com

销售热线：
4001197799
邮箱：sales@sungrowpower.com

阳光光储抖音号　阳光光储微小程序　阳光光储充签方微信

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品类别、现金类型信息。由于实际中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺。阳光电源不对因本文档更新上传出的任何行为承担责任。阳光电源可能不时对相关产品进行更新，恕不另行通知。