



中国煤炭工业协会

露天煤矿 无人驾驶技术应用 发展报告

中国煤炭工业协会信息化分会等 编制



2024 年 11 月

指导单位

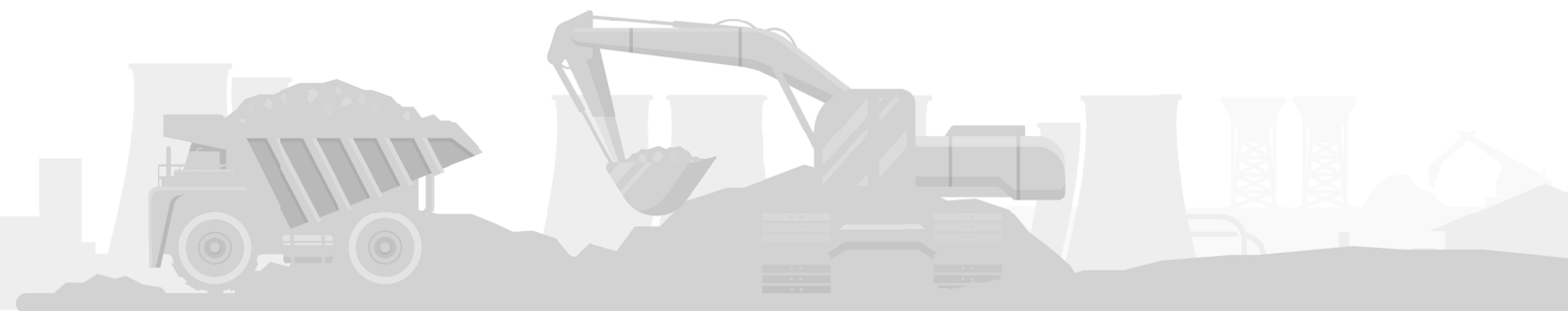
中国煤炭工业协会

编制单位

中国煤炭工业协会信息化分会
国家能源投资集团有限责任公司
国家电力投资集团有限公司
中国中煤能源集团有限公司
中国华能集团有限公司
新疆天池能源有限责任公司
中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司
赛迪顾问股份有限公司
福建易控智驾科技有限公司

参编单位

中科慧拓（北京）科技有限公司
北京踏歌智行科技有限公司
上海伯镭智能科技有限公司
北京路凯智行科技有限公司



序

Preface 序言

煤炭是我国的主体能源，肩负着国家能源安全的兜底保障作用。近年来，我国煤炭行业在习近平新时代中国特色社会主义思想指引下，践行“四个革命、一个合作”能源安全新战略，按照“数字中国”“网络强国”等战略部署，大力推进 5G、物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术与煤炭工业深度融合，深入开展“数字煤炭”建设，煤炭企业数字化转型和煤矿智能化水平显著提高，有力地支撑了煤炭产业转型升级和高质量发展。煤炭行业数字化智能化政策、制度和标准体系不断完善，煤炭数字经济产业蓬勃发展，各类新技术、新平台、新模式与产业链各类场景加速融合并迸发出新的商机与活力；特别是无人驾驶、5G、机器人、人工智能大模型等在煤炭行业成功实现了商用落地，走在了各工业行业的第一梯队。

露天煤矿是我国煤炭工业的重要组成部分。近年来，我国相继新建和核增了一批资源禀赋条件适宜，能够实现安全高效开采、生态环境友好、清洁高效利用、具有经济竞争力的露天煤矿，露天煤矿原煤产量占全国产量的 1/4 左右，比重大幅提升。与此同时，以无人驾驶、智能巡检、智能穿爆、智能装车、边坡监测、地质模型构建等为代表的数字化、智能化应用场景不断丰富，露天煤矿整体数字化、智能化水平显著提高。

无人驾驶技术在露天煤矿的推广应用，具有提升安全保障、降低运营成本、提升运营效率、助力绿色低碳以及保护职工健康的显著优势，正在快速覆盖应用到全国各主要露天矿区，从 2019 年至今的五年间，实现了年均倍速增长和实际商用落地，实际生产效率在部分矿区已接近有人驾驶水平，为煤炭工业数字化转型发展树立了标杆、闯出了新路，成为煤炭工业新质生产力发展的一张亮丽的新名片。

数字化智能化发展是一项复杂的系统工程，任重而道远。无人驾驶技术在矿区的成功实践，再次体现了数字化转型发展道路的正确性和必然性，证明了煤炭这个传统行业在数字经济浪潮下依然保持着“特别能战斗”的光荣传统和优良作风。希望全体煤炭人，坚定信念、勇往直前，在新时代、新征程上奋力谱写煤炭工业中国式现代化的新篇章！



2024 年 11 月

目录 CONTENTS

引 言	01	(三) 主要特征 -----16	16
01 发展概况	02	1、无人矿卡载重吨位以百吨级以下为主 -----16	16
(一) 发展背景 -----03	03	2、增程宽体车占据“半壁江山” -----16	16
1、政策密集出台奠定行业发展基础 -----03	03	3、临工、同力和北方股份车辆份额领先 -----16	16
2、技术不断迭代助力行业走向成熟 -----03	03	04 成熟度评价模型及分类分析	17
(二) 发展需求 -----04	04	(一) 成熟度评价模型 -----18	18
1、产业政策导向 -----04	04	(二) 评价示例 -----21	21
2、提升安全保障 -----04	04	05 典型应用案例	23
3、降低运营成本 -----05	05	(一) 企业案例 - 国家能源集团 -----24	24
4、提升运营效率 -----05	05	(二) 单矿案例 -----27	27
5、助力绿色低碳 -----05	05	1、新疆天池能源南露天矿（核定生产能力 4000 万吨 / 年） -----27	27
(三) 发展历程 -----05	05	2、国能新疆准东露天矿（核定生产能力 3500 万吨 / 年） -----28	28
1、国外发展历程 -----05	05	3、国能准能黑岱沟露天煤矿（核定生产能力 3400 万吨 / 年） -----28	28
2、国内发展历程 -----06	06	4、国能北电胜利能源一号露天煤矿（核定生产能力 2800 万吨 / 年） ---29	29
(四) 概况 -----07	07	5、国家电投内蒙古公司霍林河南露天煤矿（核定生产能力 1800 万吨 / 年） ---30	30
02 核心技术及解决方案	08	6、国能神延煤炭西湾露天煤矿（核定生产能力 1300 万吨 / 年） -----31	31
(一) 基本原理 -----09	09	06 产业图谱	32
1、环境感知 -----09	09	07 挑战与展望	34
2、融合定位 -----09	09	(一) 面临的挑战 -----35	35
3、控制决策 -----09	09	1、应用场景的推广问题 -----35	35
4、协同作业 -----10	10	2、极端环境的适应问题 -----35	35
(二) 通用架构 -----10	10	3、网络与数据安全问题 -----36	36
1、智能云控平台 -----11	11	4、无人矿卡的吨位问题 -----36	36
2、车端无人驾驶系统 -----11	11	5、行业标准的统一问题 -----36	36
3、线控平台 -----12	12	(二) 发展展望 -----37	37
4、协同作业系统 -----12	12	1、无人驾驶技术普及率将继续提高 -----37	37
(三) 部署方案 -----12	12	2、无人矿卡运行机制将进一步优化 -----37	37
1、规划部署 -----12	12	3、一体化智能管理或将快速落地 -----37	37
2、资源链接 -----12	12	4、中国厂商出海发展将成就“新通路” -----38	38
3、参数优化 -----13	13	08 发展建议	39
03 市场分析	14	(一) 政策建议 -----40	40
(一) 市场规模 -----15	15	(二) 厂商建议 -----40	40
(二) 主要厂商 -----15	15	(三) 用户建议 -----40	40
		(四) 科研机构建议 -----40	40
		附件 政策列表	41

引言

煤炭是我国的主体能源和重要工业原料，在国家能源保供和基础工业运行中发挥着“压舱石”和“稳定器”的作用，煤炭产业的发展关系着国民经济健康发展和国家能源安全。习近平总书记强调，“富煤贫油少气是我国国情，要夯实国内能源生产基础，保障煤炭供应安全”。同时，随着我国经济高质量发展的扎实推进，全国能源消费保持较快增长，国内需求端也对煤炭的供应安全寄予更高希望。对此，国家有关部门开始推进煤炭产能储备等系列制度落地，着力增强煤炭的供给保障能力，推动我国煤炭及相关产业发展向高质量和可持续的方向迈进。

党的十八大以来，党中央、国务院及有关部门对安全生产工作作出一系列重要部署，我国露天煤矿，多位置偏远，条件艰苦，提升露天煤矿的安全供应保障能力势在必行。

近年来，随着新一轮科技革命和产业变革的加速拓展，5G、人工智能、云计算等新一代信息技术与露天煤矿各场景加速融合，成为增强安全保障、提升生产效率、降低成本和风险的重要手段。在此背景下，以无人驾驶为代表的露天煤矿智能化建设步伐加快，露天煤矿的勘探、开采、运输、管理、环保等核心环节都得到了不同程度的转型和提升，“智能连续作业和无人运输”正不断完成阶段性验证并进行批量常态化运行，露天煤矿新质生产力发展逐步得到展现。

本报告以露天煤矿无人驾驶技术的发展背景和必要性为开端，围绕无人驾驶核心技术和解决方案、中国市场应用现状进行分析，对当前行业发展存在的问题以及未来发展趋势给出了研判。由于时间精力所限，本报告对于露天煤矿无人驾驶的研究难免存在疏漏与偏差，不当之处，敬请提出宝贵意见。



01

发展概况

发展概况

（一）发展背景

1、政策密集出台奠定行业发展基础

煤炭作为我国主体能源，在维护国家能源安全中发挥着“压舱石”作用。近年来，国家高度重视无人驾驶技术在矿山领域的应用与发展，出台多项政策支持技术创新与实践应用。有关部门不断完善相关政策措施，印发建设指南，推动试点示范，指导地方和企业结合实际制定实施方案。2023年3月，国家能源局发布《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》，明确提出要“推进大型露天煤矿无人驾驶系统建设与常态化运行，支持露天煤矿采用半连续、连续开采工艺系统，提高露天煤矿智能化开采和安全生产水平”。同年9月，《中共中央办公厅 国务院办公厅关于进一步加强矿山安全生产工作的意见》强调，要大力推进矿山信息化、智能化装备和机器人的研发与应用，提升矿山安全生产水平。随后，工信部、国家发改委等五部委共同印发了《安全应急装备重点领域发展行动计划（2023—2025年）》，该计划明确指出，在矿山（隧道）安全事故防范领域，需重点研发攻关相关装备，特别是环境精准感知和多维信息自主决策无人驾驶装备，为矿山无人驾驶技术的创新升级提供了明确指引。2024年5月，国家能源局印发《关于进一步加快煤矿智能化建设促进煤炭高质量发展的通知》，针对露天煤矿，强调要重点推进自主采装、矿用卡车（以下简称“矿卡”）无人驾驶以及装运卸机器人化协同作业等智能化技术的应用。推动露天煤矿矿卡无人驾驶编组化运行等重点生产环节的智能系统实现精细化、常态化稳定可靠运行。一系列政策措施相继出

台为露天煤矿无人驾驶技术发展注入了强劲动力，更为提升煤矿数字化、智能化水平奠定了坚实基础。

2、技术不断迭代助力行业走向成熟

近年来，随着人工智能、云计算、大数据、物联网、5G、传感、电控等技术的持续发展与不断成熟，感知、定位、通信、控制、决策等无人驾驶技术模块走向成熟应用阶段，为露天矿区无人驾驶解决方案的落地提供了强有力的支撑。

在感知技术层面，智能网联汽车的兴起，带动起车载摄像头、毫米波雷达、激光雷达、4D 成像雷达等核心感知零部件的技术成熟。在矿区无人驾驶方案中，感知零部件成为无人矿卡的“眼睛”，可帮助矿卡实现对周边环境信息、周边车辆动作信息的动态感知与实时收集，供上层系统决策使用。

在通信技术层面，5G 网络凭借大带宽、低时延、广连接的特性，为无人矿卡提供了稳定可靠的数据传输途径，能确保车端和车端、车端和云端的实时信息交互，显著提升车辆远程控制的时效性和准确性，进而提高运输效率，降低运输事故率。

在定位技术层面，无人矿卡的活动范围主要在相对封闭的矿区环境中，但矿区采运排环境复杂，其矿坑亦有动态更新的特点，因此露天矿区无人矿卡定位技术逻

辑主要是基于高精度地图的融合定位。具体来看，无人驾驶矿卡定位基础为矿区高精度地图，同时基于北斗定位系统完成车辆位置判断，基于惯性导航技术确定无人矿卡的位置、速度和姿态，基于激光雷达与视觉导航技术识别矿卡周边环境特征，最终实现矿卡位置的精准识别及高精地图的动态更新。

在控制技术层面，线控底盘是更适用于无人驾驶的控制方案。无人矿卡目前主要基于线控底盘实现对车辆动作的精确控制。区别于传统机械连接控制装置，线控底盘主要通过电子信号来传递控制指令，再由相应的控制单元、电磁执行机构协同作业，能实现高精度和高响应速度。同时，线控底盘会通过冗余设计，如多通道设计、冗余信号处理、故障切换等，来提高系统的可靠性和安全性。目前，线控底盘已覆盖驱动、转向、制动、货箱升降等核心系统，成为无人驾驶技术的关键组成部分。

在决策系统层面，露天矿区无人驾驶解决方案的决策中枢包含云端决策平台和车端无人驾驶系统，现阶段各厂商技术实现路线不一，但主体思路大致相同，即以“云+车”融合的形式，完成对感知信息与数据的整合分析，并结合车辆位置和装载数据，实时准确判断车辆当前状态，进而完成对车辆后续动作的规划与决策。在车辆编组的角度，决策系统可完成对车辆编组的整体控制和调度，持续优化无人矿卡的装载和运输效率。目前，中国露天矿区无人驾驶厂商的决策平台建设思路主要有两种，其一是“重云轻车”，即重视云平台的决策能力建设，车辆仅作为云平台决策下的执行工具；其二是“云车兼顾”，即云平台具备适中的决策调度权，兼顾车辆端的自主决策能力建设。

（二）发展需求

1、产业政策导向

基于大数据、物联网、云计算及人工智能等技术的不断演进，推进煤矿无人驾驶技术的深入应用既是顺应国家能源结构升级战略的内在要求，也符合全球能源科技创新的发展趋势。近年来，国家及各大能源省份出台相关政策，鼓励具备条件的煤矿应用无人驾驶技术，推动无人驾驶技术在采掘、运输等核心生产经营管理环节的运用，实现固定岗位的无人值守以及危险岗位的机器人替代作业，进而达成开采环境数字化、剥采装备智能化、生产过程遥控化、信息传输网络化以及经营管理信息化的综合目标。

2、提升安全保障

无人驾驶方案能够有效满足矿企在安全与风险控制方面的需求。一方面，无人驾驶技术通过先进的传感器、导航系统和自动控制技术，能够实时对矿场环境、路况信息及车辆状态进行监测，有效消除人为操作可能带来的安全隐患，例如驾驶员操作不当导致的车辆翻入深坡，或因边坡稳定性问题引发的滑坡事故，进而造成运输人员被困等安全风险。另一方面，通过引入无人驾驶车辆的故障预警和远程遥控技术，矿企能够第一时间识别车辆故障，通过远程操控车辆行驶至安全区域或采取其他必要措施及时处理。此外，无人驾驶矿用车还具备在恶劣天气和复杂路况下稳定运行的能力，能够降低因环境因素引发的安全风险，进一步确保矿山生产安全，减少矿企因不可控风险所导致的法律责任和相关损失。

3、降低运营成本

无人驾驶方案在成本控制和经济效益提升方面具备显著优势。一是在人力成本层面，露天矿企面临“招人难、留人难”问题，司机流动较大，而无人驾驶解决方案能够实现车辆真正意义上的“无人化”操作，矿企仅需配备少量的遥控驾驶员和调度人员即可满足运营需求。经估算，采用无人驾驶方案可减少司机成本 10-15 万元/（年·人），百台（去安全员）的无人驾驶车辆，至少可节省司机成本 4000 万元/年。二是在设备成本方面，无人驾驶技术通过减少人为操作失误降低机械磨损，进而实现设备维护成本的下降。以轮胎损耗为例，无人驾驶矿卡通过优化驾驶行为，如减少不必要的加速和刹车，从而延长轮胎的使用寿命，降低轮胎损耗成本。据相关厂商运营数据，露天矿应用无人驾驶技术后运输成本可降低 15%、轮胎寿命可提高 40%。

4、提升运营效率

无人驾驶方案可实现矿卡的全天候运行，这是传统“三班倒”模式也无法满足的工作时长。虽然在技术上，目前无人矿卡的单车运输效率尚未完全达到或超越有人驾驶矿卡的运输效率，但无人矿卡可通过提升运营时长来补齐这一短板。据澳大利亚矿业技术集团测算，人工驾驶的条件下每辆矿卡每年可工作 5500-6000 小时，而在无人驾驶条件下每辆矿卡每年最大可达工作 7000 小时。另据澳大利亚 FMG 集团测算，其 137 台无人驾驶矿卡生产效率比传统人工运输提升了 30%。对于国内而言，新疆天池能源南露天矿部署的无人矿卡单日单车运行时间平均可达 22 小时，相较于传统有人驾驶矿卡，其单日单车运行时长多出 1 小时。此外，该矿内无人驾驶矿卡单日单车运输方量为有人驾驶矿卡的 1.17 倍。

5、助力绿色低碳

近年来，环境、社会和企业治理（ESG）的关注度持续提升，绿色矿山的建设已被提升至国家战略高度，并随之迎来了更为严格的标准与要求。新能源无人驾驶矿卡充分体现了发挥新质生产力所要推动和遵循的基本理念，其应用也成为推动数字化和绿色化双化协同发展的重要突破口。在燃油消耗与排放层面，无人驾驶矿卡以新能源为主，即使采用增程技术，也能帮助矿卡实现更高效的能源利用。测试数据显示，与纯柴油矿卡相比，增程式新能源无人驾驶矿卡在保证动力性能的同时，能降低燃油消耗和排放，节油率在 20% 至 30% 左右。

（三）发展历程

1、国外发展历程

在矿山无人驾驶领域，国外发展领先于国内，目前已进入较为成熟的商业化运营阶段。从上世纪 90 年代开始，美国、加拿大、澳大利亚、德国等发达国家不断加大在露天矿山开采自动化、信息化等方面的研究投入，纷纷发起采矿自动化计划，具有代表性的企业有卡特彼勒（美国）、小松（日本）等工程设备制造商和第三方独立无人驾驶技术提供商 ASI（美国）。经过十余年发展，自 2008 年起，露天矿无人驾驶逐步进入商业化部署时期，矿山无人驾驶企业开始了与大型矿业巨头，如力拓、必和必拓、FMG 等的合作，为其提供无人驾驶矿卡技术改造和运维服务。目前卡特彼勒和小松部署的无人驾驶运输系统设备数量超过 1400 台套，运输物料超过 130 亿吨。ASI 作为独立第三方技术提供商，可提供面向不同厂家车型的通用线控改造方案，部署数量也达到近百台规模。从应用模式上看，卡特彼勒和小松主要针对自己的车队提供自动驾驶

解决方案，卡特彼勒也提供小松 930E 矿卡的改装方案。ASI 主要为其他品牌或型号的矿卡提供后装自动驾驶方案。此外，日立、利勃海尔、别拉斯等厂商的露天矿无人驾驶技术也正从试验走向商用。现阶段，矿卡的无人驾驶技术在北美、西澳、南非等地均已初步实现。

根据卡特彼勒和小松的公开运营数据，露天矿应用无人驾驶技术后运输成本降低 15%、轮胎寿命提高 40%、运输效率提高 30%，无人驾驶产生的经济效益明显。在车路云一体化软硬件系统方面，卡特彼勒研发了“MineStar”系统。目前，澳大利亚所罗门铁矿运营的无人驾驶卡车为 60 辆，累计运量超过 2.5 亿吨，有人驾驶卡车为 12 辆。无人驾驶卡车每天作业为 23.5 小时，用于点检及加油时长 0.5 小时，与有人驾驶卡车相比，无人驾驶卡车每天多作业 2-3 小时，年作业时间近 7000 小时，可提高生产效率 20%-30%。同时，无人驾驶卡车也有效地避免了因驾驶员疲劳和误操作而引发的事故。

2、国内发展历程

国家高度重视无人驾驶发展。近年来，无人驾驶技术已在国内的公共交通、出租车、港口运输、封闭园区运输、露天矿山、环卫、干线物流、末端物流配送等领域进入常态化测试或常态化运营阶段。在露天矿山领域的无人驾驶方面，虽然我国矿区无人驾驶起步较晚、渗透率较低，但发展速度较快。2017 年，洛钼集团三道庄矿在国内率先使用基于 4G 网络的无人采矿设备（远程操控模式）。2018 年 8 月，北方股份 MT3600 自卸卡车在白云鄂博矿区进行了国内第一辆无人驾驶卡车试验。2019 年 7 月，

航天重工与国家能源集团合作，对露天煤矿矿用卡车进行了无人化升级改造，并在黑岱沟露天煤矿和哈尔乌素露天煤矿开展了矿用卡车无人驾驶工业试验运行。2020 年，伯镭科技助力酒钢西沟矿实现国内首例集“车、铲、钻、锤”为一体的联合作业，同时实现了国内首例“无安全员”的无人驾驶矿卡夜间生产。2021-2022 年，霍林河南矿、华能伊敏、宝日希勒等都开展了很多这方面工作，在推动无人驾驶落地应用方面开展了重要的探索。2023 年 10 月，易控智驾助力新疆天池能源南露天矿实现 203 台无人驾驶矿卡运行，成为国内单体矿山车辆规模最大的无人驾驶项目，并超越 FMG Chichester 单矿 108 辆的记录成为新的全球第一。随着低温、高海拔等严苛条件下的露天矿区无人驾驶技术陆续得到突破并实现常态化运营，越来越多的露天矿区开始选用无人驾驶解决方案。近几年，以易控智驾、中科慧拓、踏歌智行、伯镭科技、路凯、华为等为代表的无人驾驶服务商陆续获得露天煤矿无人驾驶纯电或混动矿卡订单，并分别与优势企业深度绑定合作，在新疆、内蒙古等地开展多项无人矿卡大规模应用项目，进而形成了提供技术服务和提供运营服务等不同的商业模式。随着全球化深入发展和“一带一路”等国家战略的推进，优势厂商也开始联合矿卡主机厂和能源、矿业类央企，向海外市场进军。

(四) 概况

截至 2024 年 9 月，我国已部署无人驾驶矿卡的露天煤矿主要分布在新疆、内蒙古、山西和陕西。其中，新疆部署无人矿卡车辆数最多，达 938 辆，全区内已部署无人矿卡的露天煤矿共 18 处。代表煤矿新疆天池能源南露天煤矿拥有目前全球最大的单矿无人驾驶车队，目前共部署 370 辆无人矿卡，其中 310 辆为增程宽体车，60 辆为燃油宽体车，已全部完成“去安全员”。内蒙古部署无人矿

卡的露天煤矿数量最多，共 30 处，部署各类车辆数共计 533 辆。山西、陕西两地煤矿以井工矿为主，露天矿数量较少。

从企业角度来看，国家能源集团已实现 12 处露天煤矿的 461 台卡车具备无人驾驶功能的部署，累计运行里程超 700 万公里，运输量超 5500 万立方米，平均运行效率达有人驾驶的 87.3%，最高可达 96%。

图 1 2024 年（截至 9 月）中国露天煤矿无人驾驶部署分布图

新疆维吾尔自治区

概况：截至2024年9月，新疆全区内已部署无人矿卡的露天煤矿共18处，部署各类车辆数共计938辆。

新疆部署规模最大的矿：新疆天池能源南露天煤矿。该矿于2020年10月开始部署，目前共部署370辆无人矿卡，其中310辆为增程宽体车，60辆为燃油宽体车，已全部完成“去安全员”。由易控智驾（239辆）、踏歌智行（71辆）和三一智矿（60辆）三家厂商共同提供服务。

新疆部署最早的矿：国能新疆准东露天煤矿。该矿于2020年7月开始部署，共135辆无人矿卡，由易控智驾（120辆）和踏歌智行（15辆）两家厂商提供服务。

陕西省

概况：截至2024年9月，陕西全省内已部署无人矿卡的露天煤矿共1处，部署各类车辆数共计31辆。

具体情况：国能神东煤炭西湾露天煤矿。该矿于2020年11月开始部署，目前共部署31辆无人矿卡，车型均为载重240吨的矿用自卸车，由中车提供服务。截至2023年10月，无人矿卡运行总里程达92178公里。

内蒙古自治区

概况：截至2024年9月，内蒙古全区内已部署无人矿卡的露天煤矿共30处，部署各类车辆数共计533辆。

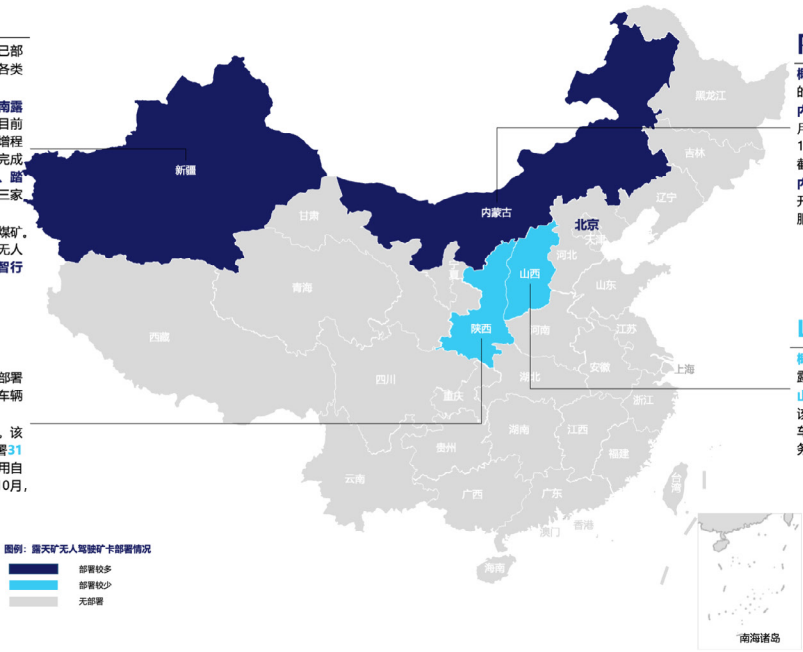
内蒙古部署规模最大的矿：准能黑岱沟。该矿于2021年8月开始部署，目前共部署51辆无人矿卡，车型为载重180吨或330吨的刚卡/电动轮，由中科慧拓提供服务。截至2024年9月，运营总里程达165992公里。

内蒙古部署最早的矿：神华宝日希勒。该矿于2020年4月开始部署，目前共部署42辆无人矿卡，由中科慧拓提供服务，目前已全部完成“去安全员”。

山西省

概况：截至2024年9月，山西全省内已部署无人矿卡的露天煤矿共2处，部署各类车辆数共计8辆。

山西部署规模最大的和最早的矿：平朔中煤集团东露天煤矿。该矿于2020年11月开始部署，目前共部署7辆无人矿卡，车型均为载重180吨的刚卡/电动轮，由中科慧拓提供服务。



数据来源：企业调研，编写组整理



02

核心技术及解决方案

核心技术及解决方案

(一) 基本原理

为满足露天煤矿无人驾驶典型作业场景的需求，基于中心云、区域云、路侧以及车端等多源数据融合，通过大量技术和运营难点攻关，形成了由智能云控平台、车端无人驾驶系统、协同作业系统、线控矿卡以及基础

设施组成的露天矿无人驾驶运输解决方案，实现露天煤矿无人驾驶作业过程中环境感知、融合定位、控制决策以及协同作业功能。

图 2 露天煤矿无人驾驶解决方案系统框架



1、环境感知

无人驾驶矿用卡车的环境感知系统主要采用激光雷达 + 毫米波雷达或摄像头的冗余方案设计，旨在应对矿区扬尘、煤灰、雨雪雾等恶劣工况的使用需求。该系统能够对道路、落石、凹坑、土方塌陷、挡墙、车辆设备、行人等障碍物进行准确感知识别。尤其是考虑到采煤运输过程中煤灰与扬尘对感知能力的影响，矿企对感知系统在煤灰条件下的稳定感知技术及地图点云边界更新技术有更高的要求。在无人驾驶矿车的实际应用中，激光雷达凭借其不依赖于外界光照条件或目标辐射的特质，以及高频次、高集成度、全天候 24 小时稳定工作的能力，成为无人驾驶系统中的重要设备。同时，毫米波雷达能够精确感知前方障碍物与矿车之间的相对距离，进而实现车速的主动调整，确保矿车在复杂环境下的行车安全。

2、融合定位

无人驾驶矿用卡车的融合定位系统能够实现车辆高精度导航定位，为感知和控制提供无人矿卡的位置、速度、航向、加速度等位置信息，保证定位的实时准确性和信号的稳定性，并不受装载和卸载作业过程的干扰。目前，定位技术已能够覆盖装载区、运输道路、以及排土场等无遮挡的环境。然而，在矿区内部存在严重遮挡的区域，如胶带机与破碎站下方，则可采用语义定位与里程计组合定位技术相结合的方式，实现遮挡情况下的通行定位能力。

3、控制决策

在道路变更频繁、环境复杂且缺乏传统路标、红绿灯等道路标线的矿区环境中，决策规划与运动车辆控制

系统能够依据全局路径和地图信息，精准决策车辆的
前行、后退、驻车、避障、卸载、路口穿越、车辆避让
等行为，并基于实时感知的环境数据，对车辆的具体运
行轨迹进行规划。无人驾驶矿卡不仅具备在避障、跟车、
会车、停车等场景中执行自动驾驶决策及轨迹规划的能
力，其决策规划与运动车辆控制系统更融入了速度规划
功能。系统应能够应对起步、停车、直线行驶、弯道行
驶、坡道行驶等多种路况，并依据直线或弯道的曲率自
动规划速度。此外，针对矿车大体型、高载重的特点以
及矿区独有的复杂地形，矿区场景对运动车辆控制系统
的执行控制技术要求极高。例如，当满载的车辆在下坡
行驶时，必须避免急刹车，在考虑车辆控制时滞的同时
控制下坡速度以保证全域安全行驶。因此，无人驾驶矿
车的底盘线控技术也是关键技术之一。该技术通过对车
辆的驱动与制动控制，实现车速与预期值的精准匹配；
同时，借助对方向盘转动角度和轮胎力的控制，实现无
人驾驶车辆的定向跟踪。

(二) 通用架构

露天煤矿无人驾驶车路云协同能力的演进，场景适
应性逐渐增强。在此基础上又相继在包含不同类型无人
矿卡、剥离与采煤等多车型、多矿种等多种应用场景下

4、协同作业

协同作业系统主要技术栈为 V2X (Vehicle to
Everything)、高精度定位技术以及地图采集压缩技术。
一是能够通过挖掘机与无人矿卡的精准定位停靠及业务信
息交换，实现装载车辆的高效入换。二是能够为无人矿卡
提供全天候、超视距的人驾车辆的位置信息。矿区复杂的
交通工况需要非常高效的交通调度技术来保证生产安全，
并对生产作业车辆进行协同规划，包括路口安全会车、多
车装载、卸载排队执行和道路交通安全管理等。这一系列
协同作业均需要提前配置交通规则、路权规则以及路权冲
突区域，并基于设备位置信息，指导自动运输卡车编队行
驶，协助无人驾驶矿卡高效通行。

通过以上模块功能基本满足了露天煤矿无人驾驶车
辆精准定位、车辆智能调度、高精地图实时更新、道路识
别、交叉路口以及车辆混行和排土区精准停靠等矿山运输
场景需求，提升了全域工况适应性。

实现无人驾驶运输技术，逐步形成了由智能云控平台、
车端无人驾驶系统、线控平台与协同作业系统四大产品
以及基础设施组成的露天矿无人驾驶运输解决方案。随

图 3 露天煤矿无人驾驶运输解决方案



着露天矿无人驾驶运输技术不断改进，无人驾驶解决方案具备了规模化和可复制化的特点，能够支持车辆的高效运行和高安全冗余。

1、智能云控平台

露天煤矿无人驾驶运输解决方案的云端为智能云控平台，分为智能调度管理、地图管理和数据管理三大平台。

·智能调度管理平台

智能调度管理平台可以实现高效、安全的智能调度，能够在煤矿全局范围内实现多采区、多卸点、多编组、多物料类型的全局动态均衡的派车管理。在露天煤矿的生产过程中，无人驾驶与人工驾驶共用一套主运输系统，在高达百台运输车辆混行交叉作业环境中，车流密度高达每分钟 10 台。因此，无人驾驶车辆需与大量工程设备车辆形成协同作业，这要求调度系统具备大规模协同调度的能力。在实际应用中，智能调度管理平台应能够实现自动收发车、动态最优车辆补能以及多车协作式调度，以满足车辆连续运行的要求，达到最优生产效率。此外，它还应支持单矿多车型、多动力类型、多厂家车辆的接入，以满足煤矿作业现场快速变化的生产需求。

·地图管理平台

地图管理平台需具备多源地图采集的综合能力，涵盖采集车、无人矿卡、无人机等多种高效采图手段。在信息采集完毕后，平台将依托先验知识实现自动化制图，自动构建道路、车道、边界及作业区等地图关键要素，进而提升制图环节的效率。由于矿内道路与场景动态变化频繁，平台应支持对高频变化场景进行实时增量更新，确保地图能够精准反映煤矿地形的微小变化，实现基于高精地图数据的煤矿生产管理、自动算量等核心功能，

为煤矿管理提供全面、准确的地图数据支撑。

·数据管理平台

智能云控平台中的数据管理平台旨在实现各矿数据的统一汇总与集中处理，并通过数据中台服务实现数据共享。该平台架构由基础设施层、基础服务层和核心服务层构成，通过云端与边端资源的协同利用，确保整个平台的计算、存储及网络资源得到充分利用。该平台应支持海量数据的存储、分析与查询，并依托容器与大数据技术为基础服务提供支撑，对数据进行深度处理，包括无人驾驶作业效率分析、场站效率分析、采装设备效率分析、运营异常上报以及历史数据分析等。此外，通过中台服务，数据管理平台为上层应用提供统一的数据接口，定期输出包括生产数据、设备数据、补能数据和维保数据在内的多维度报告，并实现与第三方系统对接。

2、车端无人驾驶系统

露天煤矿无人驾驶运输解决方案的车端系统须确保在煤矿场景下实现高安全冗余和高效运行。对于车端系统来说，应首先满足运行安全与信息安全的基本要求。系统构建需包括多级安全保障体系，部署包括故障诊断、故障预测、运行风险评估等多层面、多阶段的安全保障措施，确保管理人员能够对车辆行为有预期、对结果有判断、对危险有手段。尤其是基于双通信链路、V2V（Vehicle to Vehicle）信息共享等技术，进一步保障弱网络环境下的业务指令和信息的传递。此外，车端系统还应具备支持连续生产运输的能力。一是实现编队行驶功能，使车辆间能够协同作业，实现自主跟车及行车会让，从而优化路权资源的分配。二是具备自主绕障能力，能够准确识别并避让落石、挡墙、边坡等煤矿环境中的障碍物，以保障行车安全。

三是实现拟人态驾驶控制，避免车辆在行驶过程中出现无效加减速，能够根据载荷、地形起伏、弯道曲率、坡道姿态等信息动态调速通行。

3、线控平台

无人驾驶线控平台可以快速实现从有人到无人的新功能迭代升级。该平台采用模块化集成设计理念，旨在降低故障率并提升系统的可靠性，以满足煤矿运输场景需求，增强全域工况的适应性。该平台的核心构成包括：一是集感知、定位、通讯、计算平台于一体的智能化组件方案（包含智能驾驶设备箱、无人驾驶传感器标准化组件）。其中，分体模块化设计方案可实现前装量产以及后装升级两种模式，兼顾有人/无人车型开发需求。二是动力系统平台，覆盖燃油、增程、纯电、氢能等多种构型方案，并搭载了智能整车控制系统，能够实现高压电管理、扭矩管理、能量管理、热管理等功能；三是线控系统平台，包含冗余线控制动、冗余线控转向、线控驱动、线控举升、线控灯光、线控配电等核心功能，能够快速、准确、稳定的响应，贴合矿山自动驾驶场景控制需求。

4、协同作业系统

露天煤矿无人驾驶解决方案中的协同作业系统主要用于挖掘机、辅助设备、路侧单元等设备和无人驾驶矿卡的协同作业。协同作业系统其核心构成包括两大模块。其一是协同终端模块，集装载引导、地图采集、场站交互、生产指挥等多重功能于一体，实现全作业场景的协同设备改造。结合通用化的协同作业操作系统以达到有人驾驶设备和无人驾驶设备高效协同配合。当其应用于装载协同作业时可实现装载协同、卸载协同，提升整体采装效率；应

用于其他辅助设备协同作业时能够在不影响无人驾驶运输作业的前提下实现巡逻指挥、加油洒水、地图采集、道路和挡墙整修等辅助作业，保证采运排全链路作业连续不间断、提速增效。其二是负责环境感知与现场管理的路侧单元，可基于融合感知、V2X（Vehicle to Everything）通信、边缘计算、设备数据采集及控制等功能，实现路口通行视频监控、设备检测、路口管控、信号灯混行引导等功能，提升路口通行安全及通行效率。

（三）部署方案

1、规划部署

无人驾驶作为露天煤矿智能化的重要组成部分，依托智能化建设顶层设计，以一矿一策方式，根据各矿区智能化建设的具体步骤与需求，集中优势资源进行集中部署建设。在这一过程中，需选择适宜的无人驾驶作业场景，快速形成无人化生产能力，提升煤矿智能化建设推进效果。

2、资源链接

无人驾驶技术的应用需煤矿预先规划并建设一系列基础设施，包括但不限于矿区内云计算资源池、矿区 5G 网络覆盖、调度中心以及维修与标定场地等。此类基础设施建设周期长且投资规模较大，因此需进行提前规划，确保各项设施能够先行到位。同时，为优化资源配置并减少不必要的重复投资，应集中建设可复用的数字基础设施资源，如算力资源、存储资源、网络资源等。此外，无人驾驶技术的通信协议与数据接口设计需满足整体智能化建设的相关标准与要求，以确保其能够与上层管控平台及其他智能化系统实现无缝对接，从而推动矿山智能化水平的全面提升。

3、参数优化

无人驾驶对于作业区域的工程标准化程度要求较高，必须配置足够数量的工程辅助设备，如装载机、平路机、推土机及洒水车等。同时，需严格遵循矿区标准化建设标准，对作业场地进行标准化施工，使装卸区域和道路质量

满足无人驾驶技术的运行条件。此外，为充分发挥无人驾驶作业的效能并延长其作业时间，还需对矿区内的采剥作业参数、工艺流程以及规章制度等进行调整优化，以确保各项操作与无人驾驶技术高度适配。





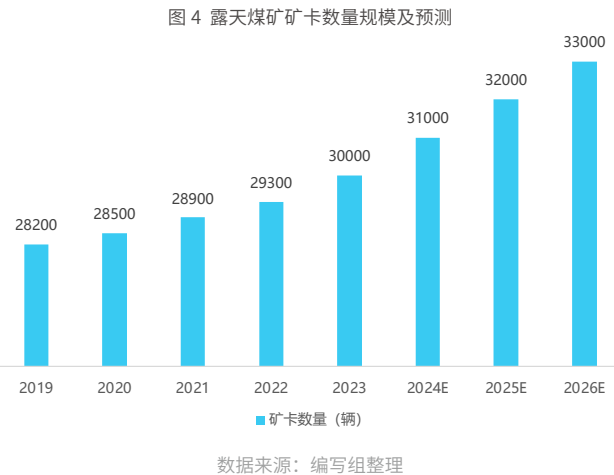
03

市场分析

市场分析

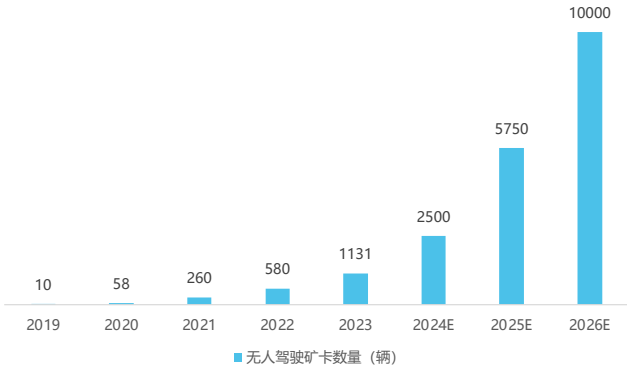
(一) 市场规模

露天煤矿矿卡属于特种车辆，应用场景较为单一，主要在露天煤矿中承担运输作业任务。近年来，我国露天煤矿矿卡年需求量保持在 30000 辆左右。受政策、安全、环保、新能源等多重因素影响，露天煤矿矿卡正朝电动 / 混动 + 智能化方向发展，预计后续几年将有较大规模的替换潜力。



露天煤矿无人驾驶矿卡是新时期在技术推动下不断发展成熟的新一代矿卡。无人矿卡由于其在降本、提效、保安、节能、降碳等方面的发展潜力和实际效果，近年来国内市场需求量快速提升。据统计，2023 年我国露天煤矿无人驾驶矿卡数量为 1131 辆。截至 2024 年 9 月，我国露天煤矿无人驾驶矿卡数量达到 1510 辆，其中，已完成“去安全员”的无人驾驶车辆比重约为 55.3%。预计到 2024 年底，无人驾驶矿卡数量将较 2023 年再翻一倍以上，达到约 2500 辆。未来，随着露天煤矿的数字化转型，无人矿卡需求量仍将继续呈现较快增长态势。

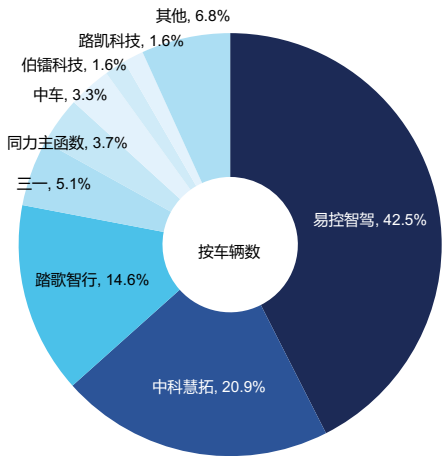
图 5 露天煤矿无人驾驶矿卡数量规模及预测



(二) 主要厂商

目前，我国露天煤矿无人驾驶矿卡市场主要分为方案商、主机厂和 IT 厂商三类。其中，方案商以易控智驾、中科慧拓、踏歌智行为代表，主要为用户提供设计、技术和运营服务，整体市场份额接近 80%。主机厂以临工、三一、同力、中车、徐工等为代表，他们生产各类矿用卡车的同时，也开始布局无人驾驶矿卡，整体市场份额约占 15%。此外，华为等 IT 厂商也开始进军矿山无人驾驶领域，近年来在露天煤矿无人驾驶领域也有布局。

图 6 2024 年（截至 9 月）露天煤矿无人驾驶矿卡主要技术服务商市场份额（按车辆数）

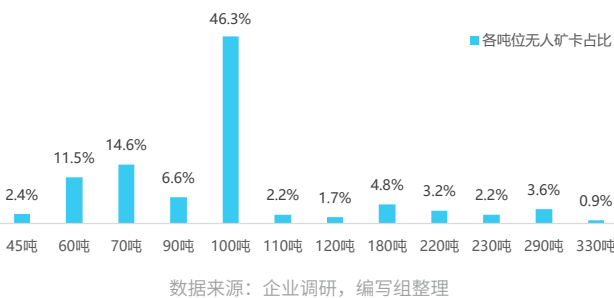


(三) 主要特征

1、无人矿卡载重吨位以百吨级以下为主

从无人矿卡载重吨位来看，截至 2024 年 9 月，各露天煤矿部署的无人矿卡吨位类型较为丰富，分布在 45 吨级至 330 吨级之间。从部署情况来看，目前露天矿部署的 100 吨级无人矿卡数量占比最多，份额达 46.3%。60 吨级至 70 吨级无人矿卡的部署规模次之，整体达 26.1%。

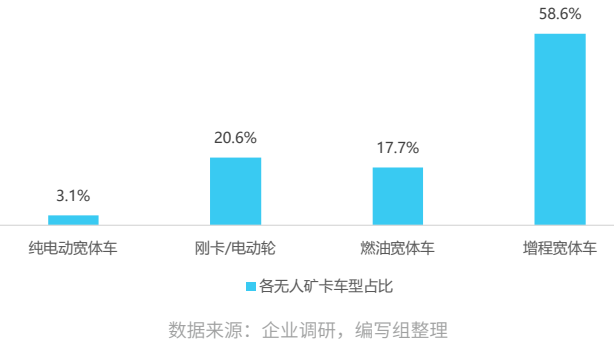
图 7 2024 年（截至 9 月）中国露天煤矿无人驾驶矿卡载重吨位分布情况



2、增程宽体车占据“半壁江山”

现阶段，我国露天煤矿部署的无人矿卡类型主要分为增程宽体车、燃油宽体车、刚性矿卡 / 电动轮和纯电动宽体车等。其中，宽体车载重吨位大多在百吨及以下，刚性矿卡 / 电动轮载重吨位普遍大于百吨。从全国整体情况来看，截至 2024 年 9 月，增程宽体车是露天煤矿选择最多的车型，占比达 58.6%。

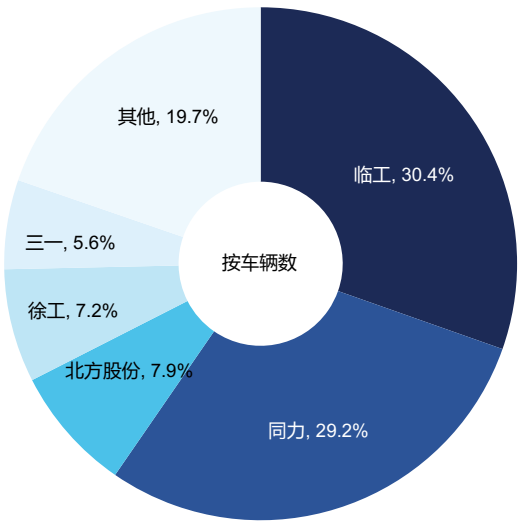
图 8 2024 年（截至 9 月）中国露天煤矿无人驾驶矿卡车型分布情况



3、临工、同力和北方股份车辆份额领先

露天煤矿无人驾驶矿卡一般由传统矿卡主机厂进行总装生产。截至 2024 年 9 月，临工、同力和北方股份等传统矿卡领军企业通过与无人驾驶解决方案商进行深度绑定合作，已占据市场前三的位置，份额分别为 30.4%、29.2% 和 7.9%。其中，临工、同力主要以宽体车为主，北方股份以刚性矿卡为主。徐工、三一等头部特种车辆厂商目前主要通过自研方式展开布局，兼具宽体车与刚性矿卡，目前已分别取得 7.2% 和 5.6% 的市场份额。

图 9 2024 年（截至 9 月）中国露天煤矿无人驾驶矿卡主机厂分布情况（按车辆数）





04

成熟度评价模型 及分类分析

成熟度评价模型及分类分析

2024 年 4 月，国家矿山安监局、应急管理部、国家发展改革委、工业和信息化部、科技部、财政部、教育部联合发布了《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“鼓励将智能化装备和系统常态化运行率纳入矿山智能化建设评价关键指标，尽快实现矿山生产少人化、无人化。”为积极响应国家号召，紧跟矿山智能化发展的时代步伐，编写组编制提出“露天煤矿无人驾驶应用成熟度模型”，为露天

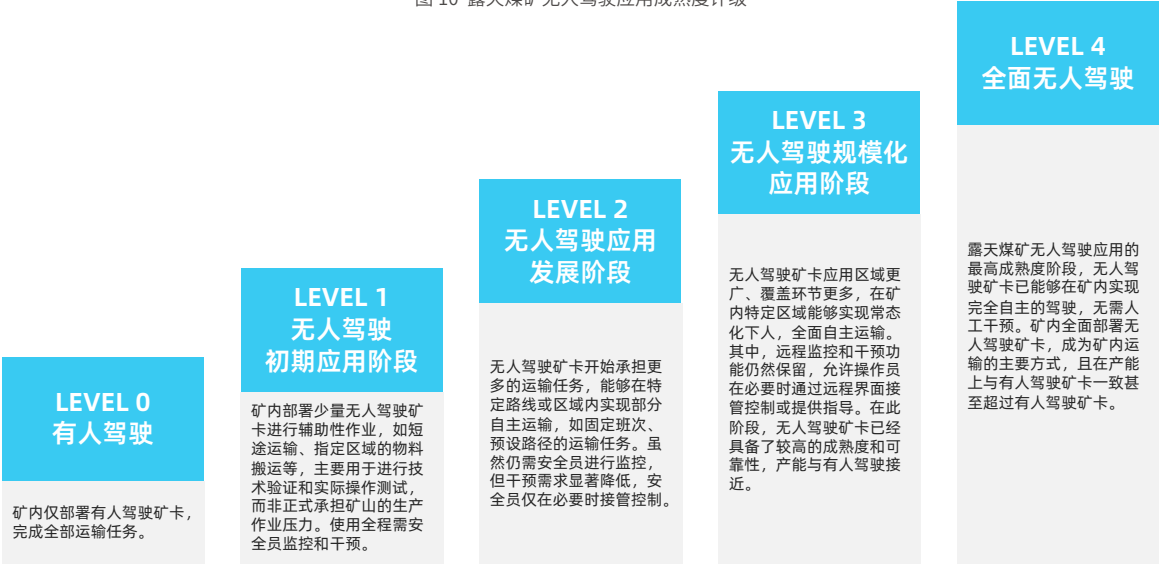
煤矿智能化建设提供支持和参考。该模型专注于无人驾驶矿用卡车这一核心矿山智能化设备，旨在通过科学、系统的评估体系，结合定性和定量分析，全面、客观地评价无人驾驶技术在单一矿山中的常态化应用效果，为矿业企业提供一套明确且可执行的评估工具，协助其准确评估自身在无人驾驶技术应用这方面的智能化建设进展与存在的不足，推动露天煤矿智能化水平的全面提升。

（一）成熟度评价模型

露天煤矿无人驾驶应用成熟度评级描绘了从初期尝试到全面部署无人驾驶技术的不同应用阶段。该模型将应用成熟度划分为五个等级，每一级均标志着露天煤矿

无人驾驶应用程度的深化与效能的提升，为矿企评估其露天煤矿在无人驾驶技术应用方面的成熟度水平提供框架和参考。

图 10 露天煤矿无人驾驶应用成熟度评级



露天煤矿无人驾驶应用成熟度评价模型旨在通过一系列指标，对应用成熟度进行全面评估，与同矿内有人驾驶车辆进行对比。指标包括：矿区内无人驾驶车辆的占比情况、常态化无人、无人驾驶车辆效率、矿区内的应用环节分布、采煤/剥离运输产能占比、运行里程占比、通信与数据传输能力、安全监控与预警能力以及智能调度能力等。其中，10 分以下属于 LEVEL0 阶段，无人驾驶技术尚未正式应用；10 至 39 分被划分为 LEVEL1 阶段，代表无人驾驶技术的初期应用阶段；40 至 69 分为 LEVEL2 阶段，为无人驾驶技术的应用发展阶段；70 至 89 分为 LEVEL3 阶段，为无人驾驶技术的规模化应用阶段；90 分及以上为 LEVEL4 阶段，即全面无人驾驶阶段。具体的评分细则请参阅以下表格。

表 1 露天煤矿无人驾驶应用成熟度模型

指标	指标详情	评分等级
矿内无人驾驶车辆占比 (10 分)	计算无人驾驶车辆占矿山总车辆数的比例。	10 分：≥ 85% 8 分：≥ 50%，<85% 5 分：≥ 30%，<50% 3 分：≥ 10%，<30% 1 分：<10% 0 分：无
常态化无人 (20 分)	评估车辆在无人工干预下完成任务的能力等级，满足常态化无人的条件包括： (1) 无人化实现程度 完全无人操作状态： 评估无人驾驶矿卡在运行过程中是否无需任何形式的人工直接干预，仅在必要时由远程监控或维护人员提供间接支持。 自主决策能力： 评估无人驾驶矿卡在面对复杂多变的作业环境时，是否能够独立、准确地做出决策，包括路径规划、避障策略、故障自处理等，展现出高度的智能化和自主化水平。 (2) 无人值守常态化程度 持续稳定作业能力： 基于无人驾驶矿卡的实际出勤天数、工作时间及其与有人工作业时间是否保持一致，以评估设备是否真正处于持续、稳定的工作状态，满足“常态化”运行的基本要求。 低人工干预需求： 分析无人驾驶系统在运行过程中是否需要频繁的人工接管或干预，以及人工干预的原因和必要性，以此判断其是否达到了高度的自主运行和常态化无人作业的水平。 在满足上述常态化无人的条件下，对常态化无人的覆盖范围进行评估，并汇总计算相应的分数。	(汇总计算以下分数) 12 分：混行常态化无人 6 分：采装、运输及排卸全部常态化无人 2 分：恶劣天气（小雨、小雪、大雨、大雪等）常态化无人
矿内无人驾驶效率 (20 分)	单矿内无人驾驶编组内的同一挖掘机日平均产量 / 有人驾驶编组内的同一挖掘机日平均产量	20 分：≥ 1.2 15 分：≥ 1，<1.2 10 分：≥ 0.9，<1 5 分：≥ 0.75，<0.9 0 分：<0.75

矿内无人驾驶车辆应用环节 (10 分)	统计矿内无人驾驶车辆应用在哪些环节，统计业务覆盖度。	10 分：剥离 + 采煤 5 分：仅采煤或仅剥离 0 分：无
无人驾驶采煤运输产能占总体产能比重 (10 分)	计算无人驾驶采煤运输产能占总体产能的比例。	10 分：≥ 50% 8 分：≥ 20%，<50% 5 分：<20% 0 分：无
无人驾驶剥离运输量占总体剥离运量比重 (10 分)	计算无人驾驶剥离运输量占该矿总量的比例。	10 分：≥ 50% 8 分：≥ 20%，<50% 5 分：<20% 0 分：无
无人驾驶车辆运行总里程占全矿车辆运行总里程比例 (5 分)	统计矿内近一年无人驾驶车辆运行总里程占全矿车辆运行总里程比例。	5 分：≥ 50% 3 分：≥ 20%，<50% 1 分：<20% 0 分：无
矿内通信与数据传输能力 (5 分)	评估 5G、V2X 等通信技术的覆盖范围以及矿内数据传输的实时性、准确性和安全性。评估基于以下维度开展： · 通信技术：矿内是否采用采用 4G/5G/wifi6 主流无线通信技术，并评估矿内无线通信网络的稳定性和可靠性，确保无人驾驶矿卡、控制中心、基站及其他相关设备之间能够持续、稳定地进行数据传输和指令交换。 · 通信覆盖范围：评估无线网络是否覆盖主要运输道路、采煤工作面、掘进工作面等区域。 · 数据传输速率与带宽：评估矿内通信网络的数据传输速率和可用带宽，是否支持高精度、低延迟的远程控制和导航需求。 · 网络安全防护能力：评估矿内是否实现专网与外网、控制网与管理网的隔离，网络安全满足等保要求。	5 分：覆盖全矿 3 分：覆盖范围 ≥ 50% 1 分：覆盖范围 ≥ 30%，<50% 0.5 分：覆盖范围 <30% 0 分：无
无人驾驶安全监控与预警能力 (5 分)	评估基于以下维度开展： (1) 系统故障识别覆盖面 · 覆盖领域：评估系统能够识别的问题领域是否广泛，包括但不限于车端、平台端、通信侧等； · 故障种类：评估系统在各个领域中，能够识别的问题种类是否广泛，包括但不限于硬件故障、软件错误、网络中断、数据异常等。 (2) 系统预警及应急处理能力 · 即时处理能力：评估系统在检测到问题后，是否能够迅速做出反应，启动相应的应急程序或措施进行修复； · 处理逻辑的合理性：评估系统针对不同类型故障预设的故障处理逻辑是否清晰、合理、有效，包括但不限于故障隔离、安全停车、备用系统切换等，能够有效避免事态扩大，保障人员和设备安全。 (3) 事故预警及应急响应机制 · 故障响应机制完善程度：评估系统是否建立了全面、具体的应急响应机制，有无对应的标准化流程，预案内容是否详细、具体，是否具有可操作性。	5 分：好 2 分：一般 1 分：差 0 分：无

智能调度能力 (5分)	评估智能调度能力，能够实际支撑多少台车统一调度。	5分：500台以上 3分：≥200台，<500台 1分：≥100台，<200台 0.5分：≥50台，<100台 0分：50台以下
----------------	--------------------------	--

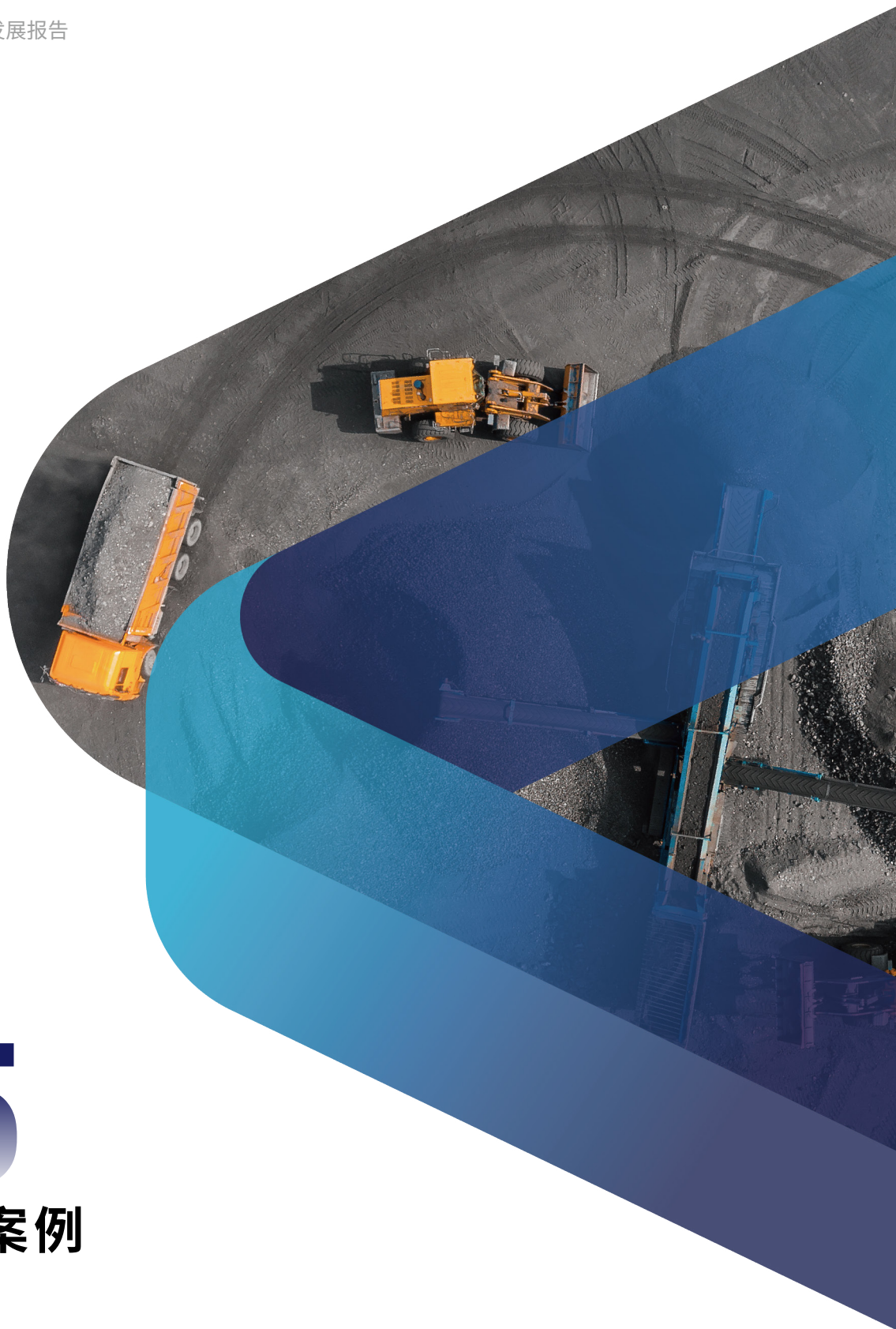
(二) 评价示例

表 2 露天煤矿无人驾驶应用成熟度模型评分案例

指标	示例一： 新疆天池能源南露天煤矿	示例二： 国能新疆准东露天煤矿
矿内无人驾驶车辆占比	无人驾驶车辆占矿山总车辆比例大于等于 85%。	无人驾驶车辆占矿山总车辆的 10% 到 30% 之间。
常态化无人	采装、运输及排卸全流程实现常态化无人，在恶劣天气及混行条件下的无人化实现程度仍有待提升。	采装、运输及排卸全流程实现常态化无人，在恶劣天气及混行条件下的无人化实现程度仍有待提升。
矿内无人驾驶效率	单矿内无人驾驶编组内的同一挖掘机日平均产量达到有人驾驶编组内的同一挖掘机日平均产量的 90% 到 100% 之间。	单矿内无人驾驶编组内的同一挖掘机日平均产量超越有人驾驶编组内的同一挖掘机日平均产量，达到有人驾驶编组内的同一挖掘机日平均产量的 100% 到 120% 之间。
矿内无人驾驶车辆应用环节	无人驾驶车辆已应用在剥离运输与采煤运输环节。	无人驾驶车辆已应用在剥离运输环节，预计 2024 年 12 月开始无人驾驶采煤运输环节。
无人驾驶采煤运输产能占总体产能比重	无人驾驶车辆采煤运输产能占总体产能过半。	无人驾驶车辆采煤运输产能占总体产能过半。
无人驾驶剥离运输量占总体剥离运量比重	无人驾驶车辆剥离运输产能占总体产能过半。	无人驾驶车辆剥离运输产能占总体产能的 20% 到 50% 之间。

无人驾驶车辆运行总里程占全矿车辆运行总里程比例	近一年矿内无人驾驶车辆运行总里程占全矿车辆运行总里程过半。	近一年矿内无人驾驶车辆运行总里程占全矿车辆运行总里程的 20% 到 50% 之间。
矿内通信与数据传输能力	矿内无线通信网络覆盖全矿。	矿内无线通信网络覆盖全矿。
无人驾驶安全监控与预警能力	系统建立了全面、具体的应急响应机制，能够广泛识别车端、平台端、通信侧等多领域问题，且可识别问题种类广泛，包括但不限于硬件故障、软件错误、网络中断、数据异常等。在检测到问题后，系统的即时处理能力强，能够启动相应的应急程序或措施进行修复。针对不同类型故障预设的故障处理逻辑清晰、合理、有效，包括但不限于故障隔离、安全停车、备用系统切换等，能够有效避免事态扩大，保障人员和设备安全。	系统建立了全面、具体的应急响应机制，能够广泛识别车端、平台端、通信侧等多领域问题，且可识别问题种类广泛，包括但不限于硬件故障、软件错误、网络中断、数据异常等。在检测到问题后，系统的即时处理能力强，能够启动相应的应急程序或措施进行修复。针对不同类型故障预设的故障处理逻辑清晰、合理、有效，包括但不限于故障隔离、安全停车、备用系统切换等，能够有效避免事态扩大，保障人员和设备安全。
智能调度能力	智能调度能力强，能够实际支撑 500 台以上车辆统一调度。	智能调度能力强，能够实际支撑 500 台以上车辆统一调度。
总分评级	LEVEL 3, 达到无人驾驶规模化应用阶段。	LEVEL 3, 达到无人驾驶规模化应用阶段。





05

典型应用案例

典型应用案例

(一) 企业案例 - 国家能源集团

国家能源集团坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想 and 党的二十大精神为指导，全面贯彻落实集团公司“一个目标、三个作用、六个担当”发展战略，以“减人、增安、提效”为根本目的，全面提升露天卡车无人驾驶技术水平和安全保障能力，打造原创技术策源地和国家战略科技力量，加快露天卡车无人驾驶技术的推广应用。目前，集团 12 处露天煤矿 461 台卡车具备无人驾驶功能，累计运行里程超 700 万公里，运输量超 5500 万立方米，平均运行效率达有人驾驶的 87.3%，最高可达 96%。已经在运输车自主感知定位、安全控制、

运输装卸协同、智能管控调度、健康故障监测等关键核心技术上形成了自主知识产权，实现了装运卸系统机器人化控制方法、规模化高效无人驾驶运输技术的创新。创新性应用赛马机制，对行业具有代表性的端边智能与平行智能两种技术手段进行优化融合，提出一套面向露天矿复杂场景与极端环境的无人驾驶研究理论与方法。集团将持续巩固露天煤矿智能化建设“双百”取得的成果，新购置卡车 100% 具备无人驾驶功能，运行数量突破 600 辆，运输效率达到有人作业 95% 以上，无人驾驶平均运输时长从 15 小时 / 日增加至 18 小时 / 日。

表 3 国家能源集团无人驾驶情况

项目名称	主要情况
准能黑岱沟露天煤矿	·应用高精度融合感知、双控双驾线控改造、智能作业管理与监控、实时仿真及数字孪生、基于 4G/5G 无线网络通讯、卡车健康管理等关键技术。 ·实现大型矿用卡车的全天候、无人化、机器人化自主装运卸，有利于防范化解生产安全风险，减少设备因人为操作不当造成的损耗，大幅度节约人工成本，具有行业引领及示范作用。现阶段无人驾驶作业效率约为人工作业的 85%，项目建成后，预计平均月拉运量较有人驾驶矿用卡车相比提高 5% 以上，运行效率接近人工作业水平。
新疆准东露天煤矿	·准东矿率先在新疆开展矿卡无人驾驶研究与应用，2022 年 6 月国内首例实现常态化无人运行。2024 年 6 月，无人驾驶矿卡数量扩充至 135 台，为集团内单矿规模最大无人驾驶车队。搭载无人驾驶系统的矿卡能够依据智能云控平台规划的调度任务信息自主完成采装、运输、卸载三个生产环节的主要作业任务，与采掘设备、装载机辅助作业设备紧密配合，安全、高效地完成道路运输任务。 ·截至 2024 年 10 月上旬，累计行驶里程 284.74 万公里，运输量 797.99 万 m³，累计车次 24.57 万次，安全运行 1460 天以上。无人驾驶各项运行数值均位于集团内前列。
神延煤炭西湾露天煤矿	·截至 2023 年年底，国能集团神延煤炭西湾露天煤矿已累计投入运行的无人驾驶车辆共计 31 辆，均为额定载重量为 240 吨的矿用自卸车 XDE240，无人驾驶车辆所占比例为 13.4%。 ·当前无人驾驶车辆单日单车运行里程为 220.8 公里，日均单车运行时间平均可达到 20.01 小时，日均单车运输量可达 3520 立方米。累计减少了 72 名矿卡司机，以及 8 名调度管理人员，年度累计可减少人力成本共计 2400 万元。

雁宝能源宝日希勒露天煤矿	·应用自主开发的硬件系统，建立包含定位、感知、决策、规划、控制、地图、安全、健康等模块的云端、车端、仿真等在内的自主研发核心软件系统平台，形成完全自主可控的矿山无人化解决方案。 ·首次采用 5GSA + MEC 独立组网方式充分发挥 5G 网络大带宽、低延时的特点。首次在极寒地区以及全天候三班倒制度下进行跑车拉运可在零下 50℃的极端条件下进行无人驾驶运营。实现在大雾、大雨等极端天气条件下可不间断作业提升了生产效率降低了运行成本提高了煤矿的无人化和智能化水平解决了人力资源短缺及从业人员处于恶劣环境下的健康安全问題。
北电胜利能源一号露天煤矿	·依托 5G 网络 + 智能调度系统 + 大数据分析技术，优化翻浆和扬尘感知算法、完善坡道和弯道的控车策略、优化路径规划和路权管控算法、完善地图编辑工具等，构建一套完整的智能化无人驾驶生产运输控制系统，与电铲、推土机、洒水车等辅助设备编组协同作业。同时，从制度流程、感知程序优化、部署感知地图及提高障碍物识别高度的方式，构建出基于多源传感器数据主动融合的目标检测模型，实现翻浆及波浪路面的可靠检测。 ·2022 年在国内率先实现 220 吨级矿用自卸卡车无安全员全天候常态化运行，累计安全运行突破 700 天，累计拉运 106197 车次，拉运土方量超 1000 万 m³，平均效率达人工的 85%，最高效率达 95%，创造连续安全稳定运行记录。
国网能源哈密煤电有限公司大南湖二矿	·基于已开展的无人驾驶运输系统应用与研究成果，开展单斗挖掘机可视化远程驾驶、卡车应急远程接管、可视化远程干预，状态在线监测，辅助设备精准定位、感知识别等智能化建设，实现远程控制挖掘机与无人驾驶宽体卡车及辅助设备协同作业，形成良好的示范效应。 ·基于挖掘机智能化升级与远程遥控舱位建设，实现挖掘机远程操控；基于深度学习技术，实现铲斗斗齿监测；基于故障树算法确定无人驾驶卡车被动远程操控激活判别准则，通过远程遥控舱位建设实现无人驾驶卡车应急远程接管；研究挖掘机远程控制技术与无人驾驶宽体卡车运输技术协调发展，实现远程控制挖掘机与无人驾驶宽体卡车协同作业。同时，综合用工成本支出大幅度减少，车辆油耗降低 10% 以上，每年可以节省大量燃油费用。经过大量测试数据比对，核心算法优化能够模拟最优驾驶员操作，避免急刹、急转等暴力操作等使轮胎减少损耗至少 5% 以上，每年可节省一定的轮胎费用。设备故障率和缩减维护保养工作量和费用降低 15% 以上。平均增加有效作业时间每日 2 至 3 小时，使车辆运行效率提高 10% 以上。
准能哈尔乌素露天煤矿	·率先开展 5G+ 无人运输作业系统研究应用的尝试。国内首次使用无人机 3D 高精度地图平台进行矿山业务仿真与精准规划、首次使用 5G 超级上行技术解决无人驾驶及远程控制业务大上行带宽需求、首次使用拖曳式智能液压升降塔解决露天煤矿通讯基站频繁搬迁问题、首次实践并总结了电信及行业露天矿 5G “规建维优”方法论，解决了露天矿范围巨大、环境复杂、勘测困难带来的规划问题，并通过行业画像、网络建模、切片设计、网络连接级优化等专业服务为 5G 专网建设提供最优解。 ·目前已累计完成 45 台无人驾驶卡车的改造，实现 25 台卡车四编组常态化三班运行，全编组实施无安全员运行。累计运行时长 14000 小时，累计作业 12.3 万车次，完成剥离量 1291 万立方米，运行里程 76 万公里无安全员编组。除去点检运维人员，坑下卡车司机可减少、转岗约 56 人。预计等矿内卡车全部完成无人改造，无人驾驶大规模应用示范，可减少 300 人以上。

平庄煤业元宝山露天煤矿	· 以露天煤矿的采剥作业智能融合、采运装备安全高效协同运行为核心任务，构建了露天矿智能采运装备协同作业场景的高稳定数据保障机制、提出了远控电铲的记忆装车和防误入、防碰撞、防倾翻、防断网等安全保障机制、研发了融合集群增量地图的无人驾驶矿卡高精度安全协同作业模式、搭建了露天矿复杂运行环境下的设备高效协同立体管控框架。 · 取得巨大经济效益和社会效益，获得直接经济效益 69970 万元，间接经济效益 104280 万元，共 174250 万元。实现远端操控电铲配合无人驾驶卡车作业效率对比有人作业效率达到 94.58%。采剥工效由 4.76m³/(月·人) 提升至 11.22m³/(月·人)，提升了 2.36 倍。
包头能源神山露天煤矿	· 采用自动化智能调度系统，基于矿区高精度电子地图，通过无线通讯网络及路侧设备，结合无人设备自身环境感知，合理调度无人驾驶卡车沿矿区内设定的路网自动驾驶运行，在装卸载区与有人操作设备协同交互，实现运输卡车全流程无人驾驶生产作业。 · 完成 3 台徐工 60 吨线控宽体矿车无人化改造，智能调度与管理、矿用车无人驾驶、挖机协同作业、远程监控与应急接管、车路协同系统及定位基站的建设及实施，实现采煤、土方剥离任务全流程无人驾作业。通过控制举斗速度匹配刮板运转速度，解决了因卸料堆积导致刮板机停机的的问题。



（二）单矿案例

1、新疆天池能源南露天矿（核定生产能力 4000 万吨 / 年）

·物理环境

新疆天池能源南露天矿所处位置年平均气温为 9 摄氏度，其中，最高气温可达 41.2 摄氏度，而最低气温则低至 -49.8 摄氏度，极端温差显著。同时，该区域平均海拔为 580 米，平均风力等级维持在 4 至 5 级之间。此外，南露天矿的作业区域内，所有剥离台阶、采煤台阶均为水平分层，标准台阶高度 15 米。西帮内排土场边坡高度达到 135 米，由 580-340 水平 9 个内排台阶构成。剥离业务水平运输，运输量大，车多，交通流密集。采煤业务跨平盘运输，属于连续爬坡、弯道的重载上坡工况，对于规划控制算法的速度规划合理性、运动控制精度及超调量有更高的技术要求。

·矿方核心诉求

矿方对在矿区内引入无人驾驶矿卡的核心诉求在于无人驾驶矿卡能够在运行时间及效率上超越传统有人驾驶的矿卡，且在运行成本上实现显著的降低，以提高经济效益。同时，矿方期望无人驾驶技术在未来能够成为推动矿区向全面无人化、少人化转型的重要驱动力，在矿区内部的更多环节与场景中得到应用与拓展，为矿区的安全、高效生产提供更加有力的技术支撑。

·无人驾驶技术应用现状

自 2020 年 11 月无人驾驶技术入驻以来，截至 2024 年 9 月，南露天矿累计投放运行的无人驾驶车辆总数达到 370 辆，占总运行车辆的比例过半。无人运输里程约 1872 万公里，无人驾驶实际运营里程及运营经验行业第一。矿内所使用的无人驾驶车型为宽体车，具

体包括临工 EL100、96L，同力 TLI65、铁辰 TC136HA 以及三一 SKT90i。3 年间，无人驾驶车辆已实现多个车型迭代，涵盖了载重 45t、70t 吨级燃油矿卡，以及百吨级增程式混合动力矿卡等，以满足矿区产能要求。

·无人驾驶应用效果前后对比

在正常工况下，无人驾驶车辆的单日单车运行里程可达到 250 公里，相比有人驾驶车辆高出 20 公里；其单日单车运行时间平均可达到 21 小时，高于有人驾驶车辆的 19.5 小时；其单日单车运输方量可达 1400 立方米，超出有人驾驶车辆约 150 立方米。对于无人驾驶车辆编组而言，单台挖掘机单日可装车数量可达到 320 车，相比有人驾驶车辆编组多出约 20 车。

应用无人驾驶车辆后，该矿累计减少约 550 名矿卡司机（每人年薪约 15 万元），并减少了至少 30 名现场管理人员（每人年薪约 15 万元），同时考虑到单人年度吃住成本为 2 万元，从而年度累计可减少人力成本约 9860 万元。此外，该矿的单年事故伤亡率保持为 0，与无人驾驶车辆应用前保持一致。

·无人驾驶车辆编组运行现场



2、国能新疆准东露天矿（核定生产能力 3500 万吨 / 年）

·物理环境

国家能源准东露天矿所在地最低气温可至 -40℃，而最高气温可达到地表 70℃。

·无人驾驶技术应用现状

2020 年 7 月，准东矿率先在疆内开展了矿卡车无人驾驶研究与应用，2022 年 6 月国内首例实现常态化无人运行。2023 年 11 月，将第一代传统燃油车升级更新为第二代百吨级新能源增程式无人驾驶线控矿卡。2024 年 6 月，无人驾驶矿卡数量扩充至 135 台，为集团内单矿规模最大无人驾驶车队。搭载无人驾驶系统的矿卡能够依据智能云控平台规划的调度任务信息自主完成采装、运输、卸载三个生产环节的主要作业任务，与采掘设备、装载机辅助作业设备紧密配合，安全、高效地完成道路运输任务。截至 2024 年 10 月上旬，累计行车里程 284.74 万公里，运输量 797.99 万 m³，累计车次 24.57 万次，安全运行 1460 天以上。无人驾驶各项运行数值均位于集团内前列。

·案例优势

1、5G 应用：实现远程遥控驾驶视频以及控制数据流的毫秒级数据交换。端到端视频延时低于 200ms，远程遥控驾驶中，无人驾驶感知技术依旧能够实时感知和风险识别，进一步保证遥控驾驶安全。

2、常态化去安全员：业内首个实现多车常态化安全员下车真实运营的矿山。

·无人驾驶车辆编组运行现场



3、国能准能黑岱沟露天煤矿（核定生产能力 3400 万吨 / 年）

·物理环境

准能黑岱沟露天煤矿所处地域的最高气温可达到 38.3 摄氏度，最低气温 -30.9 摄氏度，平均气温在 7.2 摄氏度，平均风力等级为 2 级，平均海拔高度为 1200 米。同时，矿内装载区域存在大量硬岩，排土挡墙松软。

·矿方核心诉求

除对运营成本控制、运营效率及运营时间的考量外，矿方期望引入的无人驾驶产品应具有高水准的易用性与易维护性特性，以确保用户能够迅速熟悉并掌握其操作，进而顺利高效开展运维工作。

·无人驾驶技术应用现状

截至 2023 年底，准能黑岱沟露天煤矿已累计投放并运行无人驾驶车辆共计 27 辆，正在运营的有人驾驶车辆数量为 56 辆，无人驾驶车辆所占比例达到 33%。无人驾驶车辆的品牌和型号包括北重 NTE330（9 辆）、小松 930E（14 辆）以及小松 830E（4 辆），额定载重分别为 330 吨、290 吨及 220 吨。

·无人驾驶应用效果前后对比

在正常工况下，无人驾驶车辆的单日单车运行里程为 136 公里，相较于有人驾驶车辆减少了 20 公里；其单日单车运行时长平均可达 16 小时，高于有人驾驶的 2 小时。对无人驾驶车编组来说，单台电铲单日可装车数量可达 325 辆车，相较于有人驾驶车辆减少了 50 辆车。

在应用无人驾驶车辆后，该矿累计减少矿卡司机 68 人（单人年薪约为 35 万元），单人年度吃住成本约为 1.5 万元，年度累计可减少人力成本约 2482 万元。此外，该矿的单年事故伤亡率保持为 0，与无人驾驶车辆应用前保持一致。

·无人驾驶车辆编组运行现场



4、国能北电胜利能源一号露天煤矿（核定生产能力 2800 万吨 / 年）

·物理环境

胜利能源一号露天煤矿所在地温差极大，最高气温达 40 摄氏度，而冬季最低气温可至零下 40 摄氏度。平均气温约为 ± 27 摄氏度，平均风力等级为 5 级，平均海拔高度为 1000 米。矿内存在道路翻浆问题。

·矿方核心诉求

在矿内无人驾驶车辆的应用方面，矿方期望解决以下问题：一是运行效率，无人驾驶车辆交接班时需人工介入以启动车辆和请调任务，耗时较长，导致每班次的运行时间相比有人驾驶车辆少 2 小时左右；二是运营成本控制，矿内无人驾驶车辆未实现远程熄火，单耗较高；

三是期望在与有人车辆混编，在上煤、剥离环节提升智能化与自动化水平；四是在运行效率方面，无人驾驶车辆受平盘宽度和地图规划影响较大，车速仍有提升空间，且排土场目前无法实现两辆以上车辆同时卸载作业。

·无人驾驶技术应用现状

截至 2023 年底，累计投放并运行的无人驾驶车辆共计 14 辆，正在运行的有人驾驶车辆数量为 253 辆，无人驾驶车辆占总运行车辆的比例为 5.5%。矿内所使用的无人驾驶车型均为北重重卡，每辆车的额定载重量为 220 吨。

·无人驾驶应用效果前后对比

在正常工况下，无人驾驶车辆的单日单车运行里程为 200 公里，低于有人驾驶车辆的 300 公里；单日单车运行时长平均可达 18 小时，略低于有人驾驶车辆的 20 小时；单日单车运输方量可达 1900 立方米，低于有人驾驶车辆的 2375 立方米。对无人驾驶车编组来说，单台电铲单日可装车数量可达到 358 车，低于有人驾驶车辆的 450 车。

应用无人驾驶车辆后，该矿累计减少 44 名矿卡司机（每人年薪约 30 万元），从而年度累计可减少

人力成本约 1320 万元。此外，该矿的单年事故伤亡率保持为 0，与无人驾驶车辆应用前保持一致。

·无人驾驶车辆编组运行现场



5、国家电投内蒙古公司霍林河南露天煤矿（核定生产能力 1800 万吨 / 年）

·物理环境

国家电投内蒙古公司霍林河南露天煤矿所处位置最高气温可达 30 摄氏度，最低气温可降至零下 38 摄氏度，极端温差显著。风力平均等级介于 5 至 6 级之间，平均海拔高度为 880 米。

·矿方的核心诉求

矿方对单矿作业智能化提升的诉求是期望实现外委剥离标段的全面无人化剥离运输。在运营效率方面达到人工水平的 90%，确保生产进度能够满足矿生产计划与安排的要求。此外，矿方亦关注于人员招聘及管理中所面临的人员流动性大的问题，期望能够缓解由此产生的安全管理压力。

·无人驾驶技术应用现状

截至 2024 年 9 月底，累计投入运行的无人驾驶车

辆达到 45 辆，占车辆总数的 25%。无人驾驶车辆的型号为临工 EL100 增程式宽体车，其额定载重量为 93 吨。

·无人驾驶应用效果前后对比

在正常工况下，无人驾驶车辆的单日单车运行里程可达到 200 公里，与有人驾驶车辆相当；单日单车运行时长平均可达 23 小时，超出有人驾驶车辆 1.5 小时；日均单车运输量可达 1700 立方米，与有人驾驶车辆持平。对无人驾驶车编组来说，单台挖掘机单日可装车数量可达 311 车，与有人驾驶车辆相当。此外，无人驾驶剥离项目实现单日产量 7.5 万立方米，矿内无人驾驶项目的综合效率已达到人工驾驶效率的 98%。

在应用无人驾驶车辆后，该矿累计减少 135 名矿卡司机（单人年薪约为 10 万元），以及每人

每年的食宿成本 1 万元，因此，年度累计可减少人力成本约 1485 万元。此外，该矿的单年事故伤亡率保持为零，与无人驾驶车辆应用之前保持一致。

·无人驾驶车辆编组运行现场



6、国能神延煤炭西湾露天煤矿（核定生产能力 1300 万吨 / 年）

·物理环境

国能集团神延煤炭西湾露天煤矿所在地区气候条件极端，最高气温可达 38.9 摄氏度，最低气温可降至零下 29 摄氏度，平均气温为 8.6 摄氏度。此外，矿内为富水地质。

·矿方的核心诉求

矿方的核心需求在于，在无特殊情况下实施“热交班”制度，确保无人驾驶矿卡能够持续、不间断地进行作业，超越人工驾驶矿卡效率。未来能够基于现有的多编组运行模式，扩大到实现全矿自营矿卡无人驾驶。在控制运营成本方面，一是期望能够减少人力资源开支，并预防安全事故的发生；二是降低燃油消耗，进而减少作业车辆的日常运营成本；三是通过智能规划和决策系统有效避免碰撞和损伤，以最大限度地控制车辆的维护成本。

·无人驾驶技术应用现状

截至 2023 年年底，国能集团神延煤炭西湾露天煤矿已累计投入运行的无人驾驶车辆共计 31 辆，均为额定载重量为 240 吨的矿用自卸车 XDE240，无人驾驶车辆所占比例为 13.4%。

·无人驾驶应用效果前后对比

在正常工况下，无人驾驶车辆单日单车运行里程为 220.8 公里，日均单车运行时间平均可达到 20.01 小时，日均单车运输量可达 3520 立方米。对无人驾驶车编组来说，单台电铲每日可装车数量为 5 至 6 车，该矿通过无人驾驶技术的应用，累计减少了 72 名矿卡司机（每人年薪约 30 万元），以及 8 名调度管理人员（每人年薪约 30 万元），年度累计可减少人力成本共计 2400 万元。此外，该矿的单年事故伤亡率保持为零，与无人驾驶车辆应用之前保持一致。

·无人驾驶车辆编组运行现场





06

产业图谱

产业图谱

露天矿山无人驾驶产业主要环节包括上游技术端、中游集成端、下游应用端，不仅覆盖了硬件制造商、软件开发商，还涉及提供基础设施建设和服务支持的企业，目前已经形成了多元化、高度协同的产业生态，在政府主管部门的引领下，产业链各方正共同推动露天煤矿无人驾驶技术的发展和應用。

表 4 露天矿山无人驾驶产业图谱

主要环节	单位	
露天矿山无人驾驶解决方案（集成端）	方案提供商	易控智驾、路凯智行、中科慧拓、上海伯镭、踏歌智行、三一、中车、清杉科技、盟识科技、主函数、西井科技、希迪智驾、华为等
	矿车机械设备提供商	三一、同力、徐工、临工、中车、宇通、航天重工、湘电、北方股份、卡特彼勒、小松等
核心部件和模块（技术端）	核心部件	华大北斗、千寻位置、万集科技、镭神智能、图达通等
	线控系统	易控智驾、主函数等
	云端平台	北路智控、迪迈科技、科达自控、华为等
	网络通信	华为、中国移动、中国联通、中国电信、中兴、腾讯、北路智控等



07

挑战及展望

面临挑战与发展展望

（一）面临挑战

1、应用场景的推广问题

一是向非煤矿山应用场景的推广问题。当前，露天矿无人驾驶技术主要在煤矿领域得以应用，这得益于煤炭产量高、土方剥离运输需求量大等因素的推动。然而，我国矿产资源丰富多样，非煤类露天矿如金属矿、砂石骨料等同样具备无人驾驶市场发展潜力。但就目前而言，尽管国内无人驾驶技术已在少数砂石骨料矿、金属矿上实现初步应用，但整体还处于探索阶段。现有露天煤矿无人驾驶技术的通用性受到一定限制，需要针对各矿区的差异性进行个性化的开发定制，而如何设计出能够满足各类矿山需求通用方案，成为当前应用场景推广亟待解决的难题。

二是向干线运输、矿外运输拓展的问题。露天矿无人驾驶运输矿卡在向矿外运输拓展的方向具备一定的发展潜力，且由于该技术已经在矿内运输中得到验证，因此与干线、矿外运输应用场景的整体适配度较高。但在具体适配过程中，首先要注意矿内与矿外运输在业务流程上的区别。干线运输涉及更多的环节，如收费站、匝道等，这就要求无人驾驶系统具备更全面的功能，需要完成增量算法的调整。其次是要注意矿外运输环境更为复杂，对技术要求更高，一方面是矿外运输地图规模将远超矿内运输，另一方面车辆对矿外复杂环境感知的敏捷性也面临挑战。因此，无人矿卡需具备更强的定位、感知和协同能力。此外，无人矿卡作为重型车辆，矿外运输必须设计冗余系统，以应对主系统故障等突发情况，从而避免潜在的安全风险。

三是向井下矿山无人驾驶应用场景推广的问题。井工矿无人驾驶矿卡推广的主要挑战在技术层面。例如感知能力方面，井工矿作业环境光线不足、湿度高，要求传感器具备更高的精确度与稳定性，其非开阔性环境需要依赖更精准的井下三维激光扫描技术及激光雷达技术以实现有效感知。在定位问题上，井下环境存在一定遮挡，卫星定位信号难以到达井下，使GPS系统无法直接应用于井下作业场景。因此无人驾驶矿卡必须具备在遮挡情况下的通行定位能力。当前，露天煤矿无人驾驶矿卡的应用尚未获得广泛市场认可，矿企对井工矿无人驾驶技术的成熟度仍存在一定的顾虑，短期内推广上难以有显著的进展。

2、极端环境的适应问题

矿区环境复杂，如高温、严寒等复杂气候以及矿区的道路不平、煤灰扬尘等特殊生产环境均对无人驾驶技术构成了严峻挑战，特别是随着矿区车辆数量的增加，这些挑战愈发凸显。在现阶段无人矿卡的正向设计过程中，对于矿山地形行驶的特殊性考量不足，包括矿山内部道路不平引发的高频震动、极端温差环境（例如新疆地区夏季高温与冬季严寒）以及煤灰等扬尘对雷达性能的实际影响。此外，对于道路平整度的检测、与矿山内各类工程机械的交互以及装载区域自动泊车的复杂性，也缺乏充分的考量。当前，传统无人驾驶技术在露天煤矿无人驾驶领域的适配性仍处较低水平，迫切需要进行深入的技术适配工作，未来还需在环境感知、规划决策、

控制执行等核心技术领域不断突破，以增强系统对矿山极端环境（如极端温度、扬沙粉尘等）的适应能力。

3、网络与数据安全问题

无人驾驶设备在运行过程中会收集大量的数据，包括设备状态、生产进度等信息，对于煤矿的运营和管理具有重要意义，而这些数据存在被泄露或滥用的风险。同时，露天煤矿的无人驾驶设备高度依赖网络来实现实时数据传输和远程控制，一旦网络受到黑客攻击或病毒入侵，可能造成数据传输中断、设备失控等严重后果，都将对煤矿的安全生产构成严重威胁。目前，无人矿卡在交互方面主要分为 V2N（Vehicle to Network）通信以及 V2V（Vehicle to Vehicle）通信两大部分，基本按照相应的车联网安全协议以保障数据的稳定传输。但与其他行业数字化建设过程相比，露天矿无人驾驶方案在主动安全措施方面仍较为缺乏，如防火墙、入侵检测、数据加密等。

此外，由于矿区内部可能存在网络覆盖不佳的区域，无人驾驶矿卡在设计时应注重车云结合策略，探索如何在保障车端决策能力的同时，又能充分利用云端和边端的资源，以支持整个系统的计算、存储和网络资源的高效利用。通过丰富的 V2V 交互，适当控制对于 5G 网络的依赖性。确保在网络出现短暂故障时，无人驾驶矿卡能够按照预先设定的方式去正确的进行作业，而不会对矿区的安全生产造成影响。

4、无人矿卡的吨位问题

目前，出于煤炭生产效率提升的需要，煤企对于无

人矿卡的需求正逐渐向更大吨位方向发展。为满足这一市场需求，各大无人驾驶矿卡厂家着手进行更高吨位矿卡的研发。然而，这一趋势也面临着技术上的挑战，特别是在新能源矿卡的动力电池方面。随着矿卡吨位的提升，电池组也需要相应增加，但过重的电池组不仅会增加矿卡的整体重量，降低其有效载重能力，还可能对矿卡的行驶稳定性和操控性产生影响。同时，电池的能量密度、功率密度、安全性等性能指标直接关系到矿卡的续航能力和使用效率。在矿山作业中，矿卡需要长时间、高强度的运行，特别是在引入无人驾驶技术后，运输系统应能够满足全天候 7*24 小时作业要求，对新能源矿卡的电池的寿命和充电速度提出了更高的要求。2023 年以来，增程式矿卡的数量呈现上升趋势。这一趋势主要归因于增程式矿卡相较于纯电矿卡充电时间更短且无需额外进行补电。因此，在提升矿卡有效载重的同时，如何保证动力电池的续航能力、功率输出、使用寿命及安全性能等关键要素，是当前新能源矿用卡车研发亟待解决的重要挑战。

5、行业标准的统一问题

当前，矿区无人驾驶行业仍缺少统一的技术标准，尤其在接口标准方面存在显著缺失。由于接口标准缺乏统一规范，各大厂商在产品开发上各行其是，大都倾向于以自身标准为主导，再由其他厂商进行适配。这一现状极大地增加了不同厂商产品之间实现互联互通的复杂性。对于煤企而言，他们希望能够在矿内集成多家厂商的不同产品，以满足多样化的生产需求。然而，由于各厂商产品接口标准的不一致，煤企在选择不同厂商产品时面临诸多限制，给其数字化、智能

化的推进带来了挑战。此外，在现行的国家标准体系内，部分中小型矿场在国家标准执行与落实方面存在不足，这一现状也对无人矿卡的实际部署与应用带来了挑战。例如，矿区道路过窄等生产作业环境条件未能严格遵循国家标准，这在很大程度上影响了无人矿卡在实际应用中的生产效率，同时也增加了其应用的复杂性和难度。

（二）发展展望

1、无人驾驶技术普及率将继续提高

当前，无人矿卡在国内露天煤矿应用和推广正迎来多重发展机遇，预计未来将以更快的速度实现普及。一方面，国家和地方层面密集出台政策，大力支持露天煤矿的数字化、智能化建设，鼓励采掘生产现场的少人无人化，为无人驾驶技术的普及营造了良好的发展环境。据不完全统计，国家和地方出台的相关政策已达数十项，并呈现力度继续加大的态势。另一方面，国内无人驾驶技术和商业模式不断成熟，在露天煤矿领域已进入推广应用阶段。目前，国内已有典型的露天煤矿已进入较为成熟的应用阶段，起到示范作用，树立了标杆。此外，国家和地方的智能化煤矿验收上对煤矿的无人驾驶技术应用有较大比重的考量，通过此类验收对煤矿自身的可持续发展有较大益处，此举也成为推动更多煤矿布局无人驾驶矿卡的重要力量。

2、无人矿卡运行机制将进一步优化

现阶段，露天煤矿无人矿卡的基本运行思路是基于云端的统一调度管理和车辆端的检测识别与动作执行来完成运输任务。对于车辆端遇到故障的情况，解决思路

主要为“故障导向停车”，即一旦车辆出现故障，则立刻执行停车指令，原地等待救援维修。这一操作保证了车辆的运行安全，但也很容易引起运输路线的拥堵，降低车辆编组的整体运输效率。经过调研分析，未来车辆端故障解决思路将转为更高阶的“故障导向运行”思路，即车辆出现故障后，只要可以排除是直接影响车辆运行的问题，则故障车辆仍可以继续完成当前运输任务，并主动开往车辆维修车间接受维修。这一方面优化了车辆端执行运输任务的逻辑，提升了无人驾驶解决方案故障处理的合理性，另一方面也在机制上提高了车辆编组的整体运行效率。虽然故障处理机制是露天煤矿无人驾驶的非核心功能模块，但也标志着无人驾驶技术正在不断走向完备和成熟。

3、一体化智能管理或将快速落地

推进煤矿数据融合互通、实现环境智能感知、系统智能联动、重大灾害风险智能预警是煤矿数字化智能化发展的必由之路。当前，我国露天煤矿单矿大多已按业务模块完成了基本功能的数字化改造，带来便利的同时也导致了单矿内独立数字系统过多，极易形成数据孤岛，难以统一管控，数据价值也难以挖掘和展现。因此，不少煤企已经提出建立一体化智能管理平台的诉求：一是单矿内目前存在无人矿卡、有人矿卡、挖掘机、洒水车及其他辅助设备，需要确保各类机械设备数据信息的互联互通，以便统一管控、协调作业；二是汇集多源数据，基于先进的数据分析和人工智能技术，安全有效地管理数据资产，同时提取矿山日常运营的特征和问题，完成对矿山运营工作的动态优化，发挥出数据的潜在价值。目前，国内已有厂商着手推进单矿一体化智能管理平台的开发和建设。

4、中国厂商出海发展将成就“新通路”

国外露天矿产资源丰富，具备更广阔的市场需求空间。从地质条件来看，其他主要煤炭生产国资源更加丰富，且更多以露天开采为主。据统计，澳大利亚、俄罗斯、南美等地露天煤矿的产量占比高达70%-90%。结合卡特彼勒、小松等国际厂商的市场布局规模以及海外发达国家人力成本水平等因素，目前全球范围内仍有很大的露天煤矿无人驾驶市场空间有待开拓。对于落地方案来说，中国露天矿无人驾驶技术和

落地模式正不断完善，出海条件越来越成熟。在国家政策的引领下，依托先进的人工智能、5G、线控等技术，中国露天矿无人驾驶解决方案具备矿卡改装、技术支持和运营等多种服务，场景适应性强、性价比高，能够满足大多数海外客户的部署需要。同时，国内大型矿企、运营商、设备商也在贯彻“走出去”战略，露天矿无人驾驶产业链“组团出海”势头正起。目前，易控智驾、踏歌智行、中科慧拓等厂商已开始探索海外市场商业布局。





08

发展建议

发展建议

（一）政策建议

露天矿无人驾驶技术的发展与应用离不开政策的扶持和激励。应从矿企和矿用无人驾驶车辆生产厂商两方同时着手，一方面，矿用无人驾驶车面临特殊且复杂的作业环境，技术复杂度高，导致研发成本居高不下，政策上应继续通过资金奖补、税收优惠等措施，激励企业增加对无人驾驶技术的研发投入。同时，应引导科研机构与企业加强合作，共同解决技术难题；另一方面，尽管无人驾驶技术在矿山场景下具有安全性优势，但市场对其的接受程度仍需时间培养。在初期部署阶段，企业或面临试错成本，并需应对技术成熟度、成本效益等挑战。政策上应通过设定明确目标，为无人驾驶技术的应用指明方向。此外，应从国家或行业层面推动相关标准和协议体系的完善，规范行业市场竞争秩序，对技术的安全性、可靠性提出明确要求。

（二）厂商建议

对于车辆厂商而言，建议进一步加大研发力度，提升技术成熟度，特别是在传感器技术、车辆控制系统等核心领域进行深入研究，向矿企提供更加可靠、高效的解决方案。同时，厂商应在技术研发的基础上严格把控产品质量，为无人驾驶技术在矿区的广泛应用打好基础，避免仅局限于小范围应用以获取政策优惠的情况。此外，面对共同的市场机遇和挑战，建议厂商们加强横向交流合作。通过行业整体的协同努力，加大矿用无人驾驶技术的宣传与推广力度。

（三）用户建议

从国家政策和行业发展趋势来看，无人驾驶是露天煤矿采煤运输的重要方向。鉴于目前无人驾驶常态化运行率不高、效率与有人驾驶相比偏低的现状，现有的矿山设计与无人驾驶常态化高效运行对设计的要求不匹配是主要原因之一。建议用户基于无人驾驶卡车常态化运行需求，对露天矿的整体开采方案和辅助设施进行设计和优化。同时，无人驾驶技术在露天煤矿的应用目前正处于探索与应用并行的阶段，为尽早进入矿内无人驾驶阶段，建议用户继续加大对无人驾驶解决方案的投入，提升对无人驾驶技术应用的包容度和容错率。此外，矿企应积极引进具有无人驾驶、自动化控制、数据分析等相关背景的专业人才，组建自有技术团队，并通过培训、外部合作等方式，提升现有员工的技能水平。利用自身对生产场景的熟悉优势，结合无人驾驶矿卡的技术特点，提升数据的有效利用能力。

（四）科研机构建议

对于设计科研机构而言，第一，建议尽快开展无人驾驶工况下开采设计的优化研究，特别是针对整体剥采排规划、技术参数设计、路网布局以及车铲匹配等核心技术要素，进行系统的研究；第二，建议与露天矿合作，开展面向无人驾驶常态化高效运行需求的露天矿开采方案设计；第三，在此基础上构建一套完善的设计标准体系，为矿企提供既系统全面又高度契合无人驾驶需求的设计解决方案。第四，设计科研机构还需在开采设计的基础上，进一步挖掘无人驾驶运输的经济潜力，致力于探索成熟可靠的调度策略，积极研发适用于无人驾驶卡车的露天矿集群调度系统，以推动无人驾驶技术在矿业领域的广泛应用。

附件 政策列表

层级	单位	发布时间	政策 / 文件名称	重点相关内容
国家级	国家发改委、能源局等八部委	2020.3.2	《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》	对具备条件的生产煤矿加快智能化改造，在采掘（剥）、供电、供排水、通风、主辅运输、安全监测、洗选等生产经营管理环节，进行智能优化提升， 推进固定岗位的无人值守和危险岗位的机器人作业 ，实现传统煤矿的智能化转型升级。
	国务院安委会	2020.4.1	《全国安全生产专项整治三年行动计划》	加快推进机械化、自动化、信息化、智能化建设， 灾害严重矿井采掘工作面基本实现智能化 ，力争采掘智能化工作面达到 1000 个以上，建设一批智能化矿井。
	国家能源局、国家煤矿安全监察局	2020.11.25	《关于开展首批智能化示范煤矿建设的通知》	建设首批智能化示范煤矿，旨在从建设理念、系统架构、智能技术与装备、综合管理、经济投入等方面进行探索与实践，根据煤层赋存条件、煤矿类型与规模，凝练可复制的智能化建设模式，尽快实现“系统智能化、智能系统化”，引领带动全国煤矿智能化建设，从根本上遏制重特重大事故发生， 促进煤炭开采方式由炮采、普采和综采向智采变革 ，为能源领域“新基建”奠定基础。
	国家能源局、国家矿山安监局	2021.6.5	《煤矿智能化建设指南（2021 年版）》	生产煤矿重点提升基础网络、数据中心、感知系统、智能装备、机器人等建设，重点建设远程操控系统、 无人驾驶系统、远程运维系统、综合管控系统等 ，实现 开采环境数字化、剥采装备智能化、生产过程遥控化、信息传输网络化和经营管理信息化 。
	国家能源局	2021.12.7	《智能化示范煤矿验收管理办法（试行）》	煤炭企业是煤矿智能化建设的责任主体，应按照《煤矿智能化建设指南（2021 年版）》（国能发煤炭规〔2021〕29 号）进行智能化建设。智能化示范建设煤矿的验收应注重 评价智能化对煤矿生产效率、安全水平等的提升效果 。
	国务院	2022.2.14	《“十四五”国家应急体系规划》	在危险化学品、 矿山 、油气输送管道、烟花爆竹、工贸等重点行业领域开展 危险岗位机器人替代示范工程建设 ，建成一批 无人少人智能化示范矿井 。通过先进装备和信息化融合应用，实施 智慧矿山风险防控、智慧化工园区风险防控、智慧消防、地震安全风险监测等示范工程 。
	国务院安委会	2022.4.6	《“十四五”国家安全生产规划》	全面推进 智能化煤炭建设

国家 级	应急管理部、 国家矿山安 监局	2022.8.10	《“十四五” 矿山安全生产规划》	推动新建、改扩建矿井及大型煤矿、 灾害严重煤矿实现 智能化开采 。小 煤矿深化 机械化换人、自动化减人 专项行动，逐步向智能化过渡。深入 推进非煤矿山机械化、自动化和 信息化建设，研究出台加强中小型 非煤地下矿山机械化建设指导意见， 逐步 推进非煤矿山智能化建设 。
	科技部	2022.8.12	《关于支持建设新一代人工智能 示范应用场景的通知》	针对我国矿山高质量发展需求， 聚焦井工矿和露天矿，运用人工智 能、5G 通信、基础软件等新一代自 主可控信息技术，建成井工矿“数 字网联、无人操作、智能巡视、远 程干预”的常态化运行示范采掘工 作面， 开展露天矿矿车无人驾驶、 铲运装协同自主作业示范应用 ，通 过智能化技术减人换人，全面提升 我国矿山行业本质安全水平。
	国家能源局	2023.3.28	《国家能源局关于加快推进能源数字化智能 化发展的若干意见》	推进大型露天煤矿 无人驾驶系统建 设与常态化运行 ，支持露天煤矿采 用半连续、连续开采工艺系统，提 高 露天煤矿智能化开采和安全生产 水平 。支持煤矿建设集智能地质保 障、 智能采掘（剥）、智能洗选、 智能安控 等于一体的智能化煤矿综 合管控平台。
	中共中央办 公厅、国务 院办公厅	2023.9.6	《关于进一步加强矿山安全生产工作的意见》	推进矿山信息化、智能化装备和机 器人研发及应用 。实施一批矿山安 全类重大科技项目。
	国家矿山 安监局	2023.9.14	《国家矿山安全监察局关于认定露天煤矿 重大事故隐患情形的通知》	“采煤工程”包括坑下煤炭采装、 运输全过程，不得作为独立工程对 外承包，不得使用劳务派遣工， 承 包单位完全实现无人驾驶运输的除 外 。
	工信部 国家 发改委等五 部委	2023.9.22	《安全应急装备重点领域发展行动计划 （2023 — 2025 年）》	重点研发攻关装备包括：矿山（隧道） 安全事故：边坡深部滑移智能识别 与监测预警装备、 环境精准感知和 多维信息自主决策无人驾驶装备 、 井下通信及生命探测装备、巷道监 测及救援装备、隧道坍塌救援装备 等。
	国家矿山 安监局	2023.9.28	《煤矿单班入井（坑）作业人数限员规定》	年产≥ 3000 万吨的露天煤矿单班入 坑作业人数不超过 850 人。
	国务院 安委会	2024.1.21	《安全生产治本攻坚三年行动方案 2024-2026 年》	聚焦突出重大风险隐患，加大安全 生产科技项目攻关力度，加快突破 重要安全生产装备关键核心技术大 力推进“ 机械化换人、自动化减人 ”， 提升 矿山、危化品、烟花爆竹、军工、 民爆、隧道施工 等行业领域自动化、 智能化水平。

国家级	国家矿山安监局、应急管理部等八部委	2024.4.24	《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》	到 2026 年，煤矿、非煤矿山危险繁重岗位作业 智能装备或机器人替代率分别不低于 30%、20% ，全国矿山井下人员减少 10% 以上，打造一批单班作业人员不超过 50 人的智能化矿山。
	国家能源局	2024.5.21	《关于进一步加快煤矿智能化建设促进煤炭高质量发展的通知》	充分挖掘已建系统的功能潜力，提升场景化应用和现场适应性，推动采煤自动截割与跟机移架、掘进远控截割、 露天煤矿卡车无人驾驶编组化运行 、选煤厂自动加介与装车等重点生产环节智能系统的精细化、常态化稳定可靠运行。
省级	山西省能源局、山西省发改委等八部门	2020.5.8	《山西省煤矿智能化建设实施意见》	加快煤矿智能化建设改造，将人工智能、5G 通信、大数据技术引入煤矿智能化建设，推动煤矿装备向智能化、高端化发展，建成多种类型、不同模式的智能化煤矿，基本实现 采掘工作面无人（少人）操作、煤矿重点岗位机器人作业 ，井下固定岗位无人值守与远程监控，各系统智能化决策和自动化协同运行。
	内蒙古能源局	2020.6.11	《关于加快全区煤矿智能化建设的实施意见》的通知	在已有 11 座煤矿实施智能化改造、2 处露天煤矿无人驾驶卡车工业性试验成功的基础上，加快煤矿智能化实施进程。到 2025 年，117 处井工矿实现全部 固定岗位机器人作业 ，38 处露天矿实现 智能连续运输 。
	内蒙古自治区人民政府办公厅	2023.4.27	《内蒙古自治区人民政府关于进一步加强全区露天煤矿安全管理若干措施的通知》	300 米工作线范围内，从上至下全部台阶单班作业人数不得多于 29 人。 对现有储量大、现场管理好、技术人员配备强的露天煤矿，推动 无人驾驶、边坡雷达监测 等先进技术应用，通过智能化、信息化建设改造，进一步提升安全生产水平。
	山西省人民政府办公厅	2023.5.16	《关于印发全面推进煤矿智能化和煤炭工业互联网平台建设实施方案的通知》	建设以车辆精确定位信息为基础，以车载智能终端为核心，辅助井下信号灯控制系统、智能调度系统、语音调度系统和地理信息系统，实现车辆监控、指令下达、运输任务调配、失速保护、报警管理、应急响应等功能，优化作业流程，实现辅助运输业务信息化全覆盖。 鼓励具备条件的煤矿应用无人驾驶等技术。
	新疆维吾尔自治区应急管理厅、发展改革委等九部门	2023.7.31	《新疆维吾尔自治区煤矿智能化建设三年行动计划（2023—2025 年）》	根据开采工艺类型不同，建设不同智能化采剥作业模式、半连续工艺“ 挖掘机远程操控 + 卡车无人驾驶 + 固定岗位无人值守 + 机器人巡检 ”作业模式、全连续工艺“ 远程操控 + 多极协同 + 机器人巡检 + 自适应记忆采剥 ”作业模式，实现采剥作业 少人（无人） ，以及系统协同高效运行。



中国煤炭工业协会



数字煤炭

中国煤炭工业协会信息化分会

邮箱 | coalxxh@126.com