

## 案例 42 宝日希勒露天煤矿极寒环境下 5G+无人驾驶卡车编组运行

主要完成单位：国能宝日希勒能源有限公司

### 一、主要建设内容

露天煤矿在矿区运输问题上的痛点日益凸显，首先，矿山地理位置相对偏僻、生活环境相对较为封闭、生产条件相对艰苦，随着社会的进步及生活品质的提高，当前招工困难的问题日益凸显，年轻司机从业意愿低，高综合素质工人的招聘难度逐年加大；另一方面，传统的有人驾驶作业模式，其运输效率已接近瓶颈，在不变更作业模式的情况下，很难再有实质性的提升；同时，无论矿区作业规范如何改进和实施，人作为生产主体所带来的安全生产风险始终难以从本质上消除。相比于有人驾驶，无人驾驶具有工作效率更高、人力成本更低、安全性更高、运输管理更为科学等一系列优势。大型矿卡无人驾驶技术的应用将有利于防范化解生产安全风险，减少直接参与生产的人员数量，实现“少人则安、无人则安”的目标，加快实现露天矿减人、降本、增效。无人驾驶技术的研究与推广将大大提高设备生产效率，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，解决运输岗位“招工难”问题，有效解决司机老龄化、年轻司机从业意愿低、人力及管理成本逐年增加等问题。是我国采矿行业由大变强，实现两化融合的重要标志，具有影响深远的重大意义。

#### （一）建设情况

国能宝日希勒能源露天矿地处高寒地区，最低气温为 $-50^{\circ}\text{C}$ ，属大陆性亚寒带气候，冬季时间长且寒冷，自卸卡车用于露天煤矿岩石和煤炭的运输，每天 3 班 24 小时连续运行，每台设备至少需 4 名司机倒班工作，作业条件艰苦，工作环境恶劣，需要克服极寒气温、湿滑道路变形、排土挡墙松软畸形等难题，因此“无人化、少人化”已经迫在眉睫。

本案例针对极寒型复杂气候环境下露天矿山作业特点，以及国内外无人驾驶卡车技术现状，以推动智慧矿山建设为出发点，在极寒型复杂气候环境下，针对露

天矿山生产作业场景，基于 5G 通讯网络，改造矿山已有的自卸卡车为无人驾驶卡车，与电铲、推土机等工程机械，洒水车、平路机、指挥车等辅助作业车辆组成联合编组单元，进行露天矿山的采集、运输、排卸生产作业。通过工业试运行验证，系统安全可靠，各项性能指标满足使用需求，多项技术指标达到国际同类行业领先，可实现露天矿山安全高效生产，降低运营成本和维护成本，延长设备使用寿命，改善工作人员的工作环境，具有较好的社会、经济效益。

### （二）主要内容

通过对车辆进行线控改造升级，使之具备接受自动驾驶相关信号的能力，并且可以提供车辆自身的状态信息。为线控改造完毕的矿用自卸卡车搭建一个基于定位、感知、控制、规划、决策、地图、安全、健康等模块的车载无人驾驶系统指导线控车辆的无人驾驶行为用以实现自主的无人化行驶。研发的平行矿山操作系统包括 6 大核心子系统：云端智能调度与管理系统、矿车无人驾驶系统、挖机协同作业管理系统、无人运输仿真系统、远程驾驶系统和 V2X 车路协同感知系统。

为了保障无人驾驶矿用卡车在露天环境下安全平稳行驶，在实际作业之前，对其车辆性能、运行效率、软件稳定性和安全性进行全面的仿真测试。无人运输仿真系统在采集矿区实际地理数据及车辆动力学数据之后，可以构建一个数据化的模拟环境，在这个环境中进行大量的测试工作，可以大大的提高无人驾驶矿山的稳定性和安全性，为最终的实际生产运输提供安全保障。

车-路-云传输与路侧感知系统是为了更加充分的采集矿区实时信息，对关键的路段进行 24 小时实时监控，采集道路信息、车辆运行信息，从而辅助其他无人驾驶系统为安全生产提供助力。

### （三）工作经验

项目在运行期间，针对极寒气候，采用业内最高配置的耐低温传感器和航空级别零部件和接口，确保在矿区极寒、颠簸环境下运行的可靠性，历经矿区极寒型（零下 42℃）复杂气候等工况环境的严格考验，完成了无人驾驶卡车自主编组运行、有人无人矿卡混编运行、多种设备协同作业等测试，项目的安全性、可靠

性、系统稳定性均得到验证，形成无人驾驶卡车与挖掘机、遥控推土机、平路机等辅助作业车辆完整的露天煤矿无人运输作业系统。在效率提升方面，持续降低硬件系统故障率、提升软件系统稳定性，确保无人驾驶系统的高可动率；以卸载物料残留检测、二次提车卸载、地图自动采集与一键更新、道路平整度自动检测、防车辙均衡碾压控制等确保系统运行连贯性、提升有效作业时长。历经封闭场地动态测试、模拟场地协同测试、仿真环境协同测试、真实场地工业试运行测试，完成了真实作业场地的单班作业、3 班作业，通过了极寒及各种复杂气候条件的考验，安全平稳完成各项试验工作。对比有人生产作业，通过了严格的考验，系统地安全性、可靠性、经济性、科学性和整体性能得到了充分的验证，总体技术方案合理可行。其创新、科学、安全、高效的特点得到了相关专家、矿区领导及一线员工的一致认可。

该场景填补了当前极寒地区矿山设备无人化技术领域的多项空白，宝日希勒露天煤矿无人驾驶经验真正的可复制、可推广，前景非常广阔。可向全国各地气温环境推广；土方剥离可行，以最复杂、难度最高的露天煤矿土方剥离示范运行，可向全国煤矿、金属矿、有色矿推广；以全线控化改造国外品牌矿卡实现编组运行，并能适应品牌/型号/性能差异，可快速推广实施到全国任意品牌型号矿卡无人驾驶改造。

## 二、技术特点及先进性

该场景自实施以来，实现“五项第一”，世界首个极寒环境无人矿卡编组运行示范项目、世界首个 5G SA 独立组网露天煤矿无人驾驶项目、国内首个 200 吨级以上矿用卡车无人化改造项目、国内首个实现全天候三班无人化编组运行项目、国内首个实现矿用卡车无安全员编组运行项目。荣获了 2020 年度国家能源集团奖励基金一等奖；中国煤炭工业协会 2019-2020 年度煤炭行业两化深度融合重点推荐优秀项目；中国煤炭工业协会 2021 年度煤炭行业标杆案例；2021 年工业和信息化部举办的“绽放杯”5G 应用征集大赛矿山专题赛一等奖等荣誉。2022 年，由国能宝日希勒能源牵头编制的《露天矿无人驾驶运输系统技术规范》中的 5 项规范更是被列入了 2022 年煤炭行业 59 项团体标准制定计划，标志着煤炭行业全

面围绕露天煤矿生产作业制定的无人运输系统综合性标准体系的首次建立。

在运行期间，针对极寒气候，采用业内最高配置的耐低温传感器和航空级别零部件和接口，确保在矿区极寒、颠簸环境下运行的可靠性，历经矿区极寒型（零下 42℃）复杂气候等工况环境的严格考验，完成了无人驾驶卡车自主编组运行、有人无人矿卡混编运行、多种设备协同作业等测试，项目的安全性、可靠性、系统稳定性均得到验证，形成无人驾驶卡车与挖掘机、遥控推土机、平路机等辅助作业车辆完整的露天煤矿无人运输作业系统，成果达到国际先进水平。

在效率提升方面，持续降低硬件系统故障率、提升软件系统稳定性，确保无人驾驶系统的高可动率；以卸载物料残留检测、二次提车卸载、地图自动采集与一键更新、道路平整度自动检测、防车辙均衡碾压控制等确保系统运行连贯性、提升有效作业时长。

截至目前，5 台无人驾驶卡车在无人运输作业管控平台的指挥下与 1 台 35 立电铲、1 台推土机协同满载运行，累计运输里程 60663 公里，运输 10735 车次，累计土方剥离量 74 万余立方米，其中，无安全员作业累计完成运输 2641 车次，运输里程 19176 公里，累计土方运输量 17 万余立方米。该场景的实现填补了世界极寒地区矿山设备无人化运行的空白，是我国采矿行业由大变强、实现两化融合的重要标志，具有影响深远的重大意义。

2021 中国 5G+工业互联网大会于 11 月 19 日至 21 日在湖北武汉成功举办，期间召开了以“5G 矿山，掘进未来”为主题的“5G+矿山”专题会议。在专题会议上，中国煤炭工业协会联合中国移动、华为、国家能源集团等共同发布了《5G+煤矿智能化白皮书（2021 版）》。宝日希勒露天煤矿无人驾驶项目，凭借其对于极寒环境的突破以及全天候、真无人条件下能效的全面提升，入选白皮书典型应用案例。

### 三、智能化建设成效

本案例主要解决了运输环节决定运力和产量的瓶颈，无人驾驶通过先进的智能控制、协同管理、大数据处理、高精定位、融合感知、智能规划决策等技术，实现了矿卡的无人驾驶运输，推动了“机械化换人、自动化减人、智能化少人”

的高水平安全生产，从根本上杜绝因车辆侧翻、刮碰、失控、跌落等安全事故造成的人身伤害，达到本质安全的目的。

研究成果使用多产业链、多系统集成的煤矿智能化系统，建成智能感知、智能决策、自动执行的煤矿智能化体系，占领“智慧+能源”生产的技术制高点，填补了当前极寒地区矿山设备无人化技术领域的多项空白，其新技术、新思想、新方法、新工艺、新体系推进了煤炭产业与智能化技术深度融合，加快煤矿智能化建设防范，化解煤矿安全风险，实现煤炭行业高质量和可持续发展，满足矿工对美好生活向往的迫切需求，在国内相关领域起到示范引领作用。

本案例解决了矿区安全、适龄劳动力短缺两大痛点，同时也能为矿企节省成本，提高效率。相比有人，仅无人运输系统可将整体效率提高 30%，节油 15%，轮胎寿命提升 40%，不仅实现人工成本上的减员，更可以达到 24 小时作业。该场景便得到国务院、发改委、人民网、新华网和央视等权威媒体及部委报道。