

ICS XX
CCS XX

T/ CAPID

团 体 标 准

T/ CAPID-XXXX

露天煤矿无人驾驶安全运营要求

Requirements for safe operation of unmanned open-pit coal mines

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

202XX-XX-XX 实施

中国产业发展促进会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	4
5 无人驾驶作业设备要求	4
6 网络要求	7
7 安全运营要求	8
8 数据管理	18
9 环境要求	18
附录 A（规范性）无人驾驶非公路自卸车主要参数班前日检	19
附录 B（规范性）无人驾驶非公路自卸车主要参数周检	20
附录 C（规范性）无人驾驶非公路自卸车主要参数月检	21
参考文献	22

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由徐州数字空间矿山研究院有限公司提出并解释。

本文件由中国产业发展促进会归口。

本文件起草单位：徐州数字空间矿山研究院有限公司、内蒙古大唐国际锡林浩特矿业有限公司、中国矿业大学煤炭精细勘探与智能开发全国重点实验室、新疆天池能源有限责任公司、新疆宜化矿业有限公司、国家电投集团内蒙古白音华煤电有限公司、内蒙古白音华蒙东露天煤业有限公司、内蒙古电投能源股份有限公司北露天煤矿、内蒙古电投能源股份有限公司南露天煤矿、易控智驾科技股份有限公司、上海伯镭智能科技有限公司、西安主函数智能科技有限公司、盟识科技（苏州）有限公司、河南跃薪智能机械有限公司、新疆行路智驾新能源科技有限公司、踏歌智行科技有限公司、北京机械设备研究所、博雷顿科技股份公司、杭州数梦工场科技有限公司、海南亿矿通数字科技有限公司

本文件主要起草人：周伟、王伟、詹刚、杨孝新、林巧、何玉东、陈慧勇、高德旭、李机智、李涛、郑金铎、卜凡、杨扬、庞亚娜、顾嘉俊、秋昊林、梁晨、常戈、胡芸、赵志学、高铁楠、赵海涛、悦中超、张登军、常利忠、李忠飞、邵杏红、田雨、李兵、宋建锋、高玉青

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国产业发展促进会。

引 言

为规范露天煤矿无人驾驶运输系统的安全运营，推动矿山智能化、绿色化转型，提升生产安全与运营效率，特制定《露天煤矿无人驾驶安全运营要求》。

本文件立足于露天煤矿实际生产环境与无人驾驶技术特点，系统整合智能驾驶、协同作业、网络通信、数据管理与安全防护等多领域要求，构建覆盖“组织职责—设备性能—网络支撑—安全运营—数据合规”的全流程、全生命周期管理体系。

标准内容明确无人驾驶非公路自卸车及协同作业设备的功能与性能要求，确立以“预防—监控—应急”为核心的安全运营机制，提出针对极端天气、有人驾驶与无人驾驶混行、通信中断等典型场景的应对措施，并规范数据采集、存储、传输与使用等环节的合规管理要求。

本文件的实施，旨在为矿方、工程方、无人驾驶公司三方提供共同的安全管理与运营协同依据，促进矿山行业向智能化、高效化、可持续方向健康发展。

露天煤矿无人驾驶安全运营要求

1 范围

本文件规定了露天煤矿无人驾驶安全运营要求的无人驾驶作业设备要求、网络要求、安全运营要求、数据管理、环境要求。

本文件适用于露天煤矿固体矿产资源开采行业的非公路自卸车及协同作业设备在作业区域内安全运营所需的管理规范及要求。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件，不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改）适用于本文件。

- GB/T 25605 土方机械 自卸车 术语和商业规格
- GB/T 34679-2017 智慧矿山信息系统通用技术规范
- GB/T 35194—2017 土方机械 非公路机械传动宽体自卸车 技术条件
- GB/T 35195—2017 土方机械 非公路机械传动矿用自卸车 技术条件
- GB/T 35196—2017 土方机械 非公路电传动矿用自卸车 技术条件
- GB/T 41862—2022 土方及矿山机械 自主和半自主机器系统安全
- GB 50197-2015 煤炭工业露天矿设计规范
- GB 50689-2011 通信局(站)防雷与接地工程设计规范
- GB 51282-2018 煤炭工业露天矿矿山运输工程设计标准
- JB/T 15173-2025 土方机械 无人驾驶非公路自卸车
- YD/T 944-1998 通信电源设备的防雷技术要求和测试方法
- YD/T 3615-2019 5G 移动通信网核心网总体技术要求
- YD/T 3618-2019 5G 数字蜂窝移动通信网无线接入网总体技术要求（第一阶段）
- YD/T 3627-2019 5G 数字蜂窝移动通信网增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）
- YD/T 5054-2019 通信建筑抗震设防分类标准
- YD/T 5060-2019 通信设备安装抗震设计图集
- T/CNCA 116.2-2025 露天矿卡车无人驾驶运输技术要求的规定

3 术语和定义

GB/T 41862—2022、JB/T 15173—2025、T/CNCA 116.3—2025 界定的以及下列术语和

定义适用于本文件。

3.1

无人驾驶模式 autonomous mode

一种运行模式，在这种模式下，无人驾驶非公路自卸车在没有操作人员交互（3.6）的情况下执行全部的安全关键功能以及与其定义的操作相关的土方运输或采矿功能。

[来源：GB/T 41682—2022，3.1.3，有修改]

3.2

无人驾驶非公路自卸车 autonomous non-road dumper

在露天煤矿开采过程中，运用人工智能、计算机、自动化、智能控制等技术，以自动运行方式持续地执行作业任务的车辆，具备线控、感知、定位、导航、通信、决策、规划、协同、调度、安全、应急等功能和性能，包括非公路机械传动宽体自卸车、非公路机械传动矿用自卸车、非公路电传动矿用自卸车、非公路电传动宽体自卸车、非公路甲醇（混动）宽体自卸车、非公路氢能（混动）宽体自卸车等在正常工作循环内以无人驾驶模式（3.1）运行的非公路作业车辆。

[来源：JB/T 15173—2025，3.2，有修改]

3.3

协同作业设备 collaboration equipment

露天煤矿上与无人驾驶非公路自卸车协同采掘、排卸、洒水、平路等工程作业设备。

3.4

协同作业系统 collaborative operation system

协同作业系统是安装部署在协同作业设备上，与无人驾驶非公路自卸车进行实时交互与任务协同。

3.5

调度管理 dispatch management

将作业区域相关作业车辆实现统一调度和协同，实现作业任务协同、速度协同、安全协同，支持对设备的工艺参数、施工参数修改与信息同步，并具备数据统计分析管理、质量分析、作业报表等功能。

[来源：JB/T 15173—2025，3.5，有修改]

3.6

无线通信系统 wireless communication system

覆盖整个作业区域，实现无人驾驶非公路自卸车与智能调度系统、其他无人驾驶非公路自卸车、有人驾驶非公路自卸车、辅助设备、路侧设备的无线数据实时传输。

[来源：JB/T 15173—2025，3.6，有修改]

3.7

感知系统 perception system

由传感器组成，是无人驾驶非公路自卸车用于探测、定位和识别有意了解的潜在特征的系统。

[来源：GB/T 41862—2022，3.1.19，有修改]

3.8

决策系统 decision-making system

具有避障、跟车、会车、停车等情况的无人驾驶决策规划功能，形成控制指令并下发给线控系统，同时具备开机自检、硬件故障检测、软件故障检测以及轨迹偏离检测等功能，保障行车安全的系统。

[来源：JB/T 15173—2025，3.8]

3.9

定位系统 positioning system

通过对惯性导航模块及全球导航卫星（GNSS）定位系统等硬件和软件的应用，结合感知系统数据，实现无人驾驶非公路自卸车高精度定位的系统。

[来源：JB/T 15173—2025，3.9]

3.10

线控系统 drive-by-wire system

各类操作指令采用电信号通过线缆或其他方式传递到无人驾驶非公路自卸车各执行机构，实现无人驾驶非公路自卸车控制的软硬件系统。

[来源：JB/T 15173—2025，3.10]

3.11

操作人员交互 operator interaction

操作人员向无人驾驶模式（3.1）下运行的无人驾驶非公路自卸车提供信息或控制的介入行为，或提供任何类型的异常处理。

[来源：GB/T 41862—2022，3.1.10，有修改]

3.12

时延 time delay

无线通信系统（3.6）接入网络所需的时间。

[来源：JB/T 15173—2025，3.12]

3.13

冗余 redundancy

从安全角度考虑，当一个系统失效时另一个可以代替失效系统执行其功能，或并联可相互替代功能的两个独立系统（如并联、备用等）。

[来源：JB/T 15173—2025，3.13]

3.14

无人驾驶车载控制系统 autonomous on-board control system

接收任务信息并对无人驾驶非公路自卸车各个子系统传递的信号进行处理，实现各个子系统协调整车完成无人驾驶和各种功能的软硬件系统，包括通讯子系统、感知子系统、定位子系统、决策子系统。

[来源：JB/T 15173—2025，3.14，有修改]

3.15

规控系统 planning and control system

非公路自卸车车载子系统，能够根据感知、定位与地图信息，通过算法匹配，实现合理路径规划和决策控制功能。

[来源: T/CNCA 116.3—2025, 3.4, 有修改]

3.16

动态防护圈 dynamic safety buffer zone

以无人驾驶非公路自卸车为中心, 利用车载传感器、路侧单位、高精度定位及车路协同通信等技术, 实时构建并动态调整的虚拟安全防护空间。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GIS: 地理信息系统 (Geographic Information System)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

HDMI: 高清多媒体接口 (High Definition Multimedia Interface)

V2X: 车联网 (Vehicle-To-Everything)

DMS: 驾驶员监控系统 (Driver Monitoring System)

5 无人驾驶作业设备要求

5.1 无人驾驶非公路自卸车要求

露天煤矿无人驾驶非公路自卸车基本要求包含 13 个模块, 见图 1:

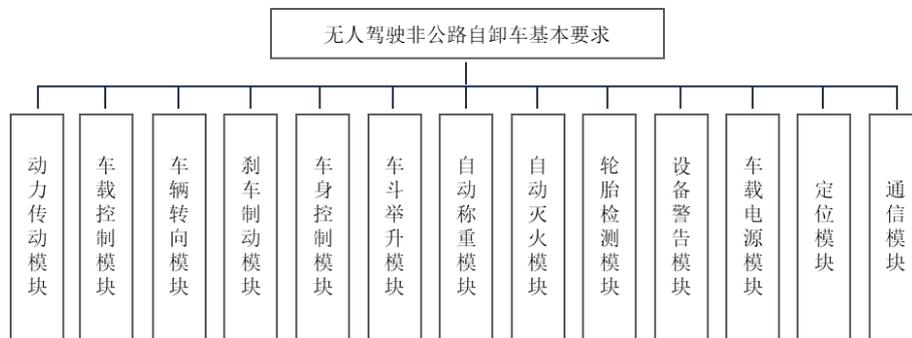


图 1 无人驾驶非公路自卸车基本要求

5.1.1 动力传动要求

实现高精度扭矩与速度控制, 支持多模式动力输出 (电动/混动/燃油), 具备冗余设计与故障自诊断功能。要求实时响应控制指令, 实时反馈动力传动系统的运行数据及故障信息, 反馈周期应小于或等于 100ms。

5.1.2 车载控制要求

采用高性能中央处理单元, 支持多系统协同控制与实时数据交互, 具备多协议兼容性。

5.1.3 车辆转向要求

线控转向性能应符合 GB/T 41862-2022 中 4.6 的规定。线控转向系统应实时反馈运行数据及故障信息，反馈周期应小于或等于 100ms；转向角度误差小于或等于 0.5° 。

5.1.4 刹车制动要求

刹车制动应符合下列要求：

- a) 具备行车制动的控制能力，并能反馈制动强度信息；
- b) 具备停车制动的控制能力，并能反馈其状态信息；
- c) 具备应急制动的控制能力，并能反馈其状态信息；
- d) 线控制动系统应实时反馈运行数据及故障信息，反馈周期应小于或等于 100ms。

5.1.5 车身控制要求

车身控制模块包括灯光、喇叭、雨刮、喷淋、空调等功能。车身控制模块能够根据矿区工况环境和具体工作场景需求，下发线控指令，实现灯光开关、喇叭声音提醒、雨刮喷淋工作、空调启停等功能。

5.1.6 车斗举升要求

车斗举升应符合下列要求：

- a) 对符合 GB/T 35194 规定的非公路机械传动宽体自卸车及符合 JB/T 14813 规定的纯电动非公路宽体自卸车，应能控制货箱举升、保持和下降；
- b) 对符合 GB/T 35195 规定的非公路机械传动矿用自卸车及符合 GB/T 35196 规定的非公路电传动矿用自卸车，应能控制货箱举升、保持、浮动和下降；
- c) 线控举升系统应实时反馈货箱举升状态、角度数据和故障信息，反馈周期应小于或等于 100ms；
- d) 举升角度误差应小于 0.5° 。

5.1.7 自动称重要求

无人驾驶自卸车宜有自动称重系统，自动称重系统应实时反馈无人驾驶自卸车载重数据及故障信息，自动称重系统误差应在 $\pm 10\%$ 范围内。

5.1.8 自动灭火系统要求

自动灭火系统应符合下列要求：

- a) 无人驾驶自卸车的自动灭火系统应符合 GB/T 41862—2022 中 4.4 的规定；
- b) 提供自动灭火系统的无人驾驶自卸车，自动灭火系统应实时反馈系统的状态，反馈周期应小于或等于 100ms。

5.1.9 轮胎监测要求

轮胎监测应符合下列要求：

- a) 实时采集胎压、温度及磨损数据，无线传输至车载终端；
- b) 胎压胎温监测系统应实时反馈胎压胎温数据及故障信息，反馈周期应小于或等于

2s。

5.1.10 设备警告要求

集成多级声光报警，支持故障代码显示、上传调度平台及语音提示，覆盖动力、制动、胎压等关键模块。模块实现故障分类，触发远程通知并生成维修工单。

5.1.11 车载电源要求

支持双路冗余供电与智能配电管理，模块具备过充/过放/短路保护，以及低温启动。

5.1.12 定位要求

定位要求需融合 GNSS、惯性导航与轮速信号。模块支持辅助纠偏、电子围栏等功能。

5.1.13 通信要求

通信应符合下列要求：

- a) 支持多模传输，延迟及带宽满足连续生产运输及规范要求；
- b) 应采用端到端加密通信机制，防御数据篡改与恶意入侵，实施异地容灾备份；
- c) 应采用通信链路冗余机制，保证极端情况下系统持续可用。

5.2 协同作业设备要求

5.2.1 协同作业设备功能要求

协同作业设备功能应符合下列要求：

- a) 无人驾驶区域生产指挥车辆与辅助生产设备应当安装无人驾驶交互终端，应在行驶过程中与无人驾驶非公路自卸车之间保持安全距离，作业期间须保持交互终端全程开启。严禁未安装交互终端的车辆设备进入无人驾驶非公路自卸车行使及作业区域；
- b) 推土机协同作业宜具备扩展排土场地图功能。平路机协同作业宜具备路面结冰、撒块信息功能。洒水车协同作业宜具备记录洒水开始与洒水结束位置、自动形成洒水轨迹、自动开启防侧滑、上传云端调度管控平台功能；
- c) 采掘设备协同作业管理系统应具有为无人驾驶非公路自卸车指定装载点功能；
- d) 采掘设备协同作业管理系统应能引导无人驾驶非公路自卸车进出装载区域；
- e) 采掘设备协同作业管理系统应具备当采掘设备移动后对无人驾驶非公路自卸车快速指定装载位置的功能。

5.2.2 协同作业设备定位性能要求

协同作业设备性能应符合下列要求：

- a) 定位精度应满足水平：小于或等于 0.1m；垂直：小于或等于 0.2m；
- b) 定位数据输出频率应满足： $\geq 20\text{Hz}$ ；
- c) 航向精度应满足： $\leq 0.5^\circ$ 。

5.2.3 协同作业设备软硬件配置要求

协同作业设备软硬件配置应符合下列要求：

- a) 具有网络接口、串行通信接口以连接各传感器；
- b) 具有数据存储模块，对定位数据、告警数据、操作指令等进行存储；
- c) 具有 HDMI 视频传输接口；
- d) 具有高精定位模块；
- e) 所有器件应选用工业级器件。

5.3 其他要求

远程操控及无人作业设备必须具备状态监控、周边人员设备环境监测、故障检测、自动避让和紧急停车功能。

6 网络要求

6.1 功能要求

功能应符合下列要求：

- a) 露天矿应宜采用 5G 专网，其性能指标需综合考虑用户速率、传输时延及可靠性等要素，并结合业务发展规划预留相应网络余量，以适应未来业务的新增或调整需求；
- b) 网络系统应在关键节点采用软硬件冗余备份等机制，确保网络持续稳定运行。同时，专网须具备完善的安全防护能力，满足与互联网数据交互及对接外部应用系统时的边界防护与隔离要求；
- c) 网络架构总体技术要求应符合 GB/T 34679-2017 中关于智慧矿山信息系统的规定，架构由核心网、传输网、无线网及配套设施组成，其结构与功能应满足 YD/T 3615-2019 与 YD/T 3618-2019 的相关规定。基站及网络系统架构宜参照 3GPP TS 38.141 和 3GPP TS 23.501 执行；
- d) 在设备与设施方面，基站的防雷接地设计应遵循 GB 50689-2011，抗震要求应满足 YD/T 5060-2019 和 YD/T 5054-2019 的相关规定。接入终端设备应符合 YD/T 3627-2019 的技术要求，电源设备的防雷要求则应满足 YD/T 944-1998 的规定；
- e) 根据生产作业推进，应定期检测调整网络通信覆盖状态，实时满足生产需求。

6.2 性能要求

露天矿专网应确保其网络性能达到以下核心指标：单小区承载能力不低于 150Mbps，空口时延不高于 30ms，切换时延不高于 100ms。同时，网络还需满足不同类型设备的接入与正常运行需求，见表 1：

表 1 网络性能要求

业务场景	上行平均速度	下行平均速度	空口丢包率
露天矿卡无人驾驶	10-15Mbps/台	≥200Kbps/台	<1%

露天矿卡远程遥控推土机	40-60Mbps/台	≥200Kbps/台	<1%
露天矿卡协同作业卡车数据业务	1-5Mbps/台	≥200Kbps/台	<1%

[来源：T/CNCA 116.6—2025，4.2]

6.3 网络安全要求

6.3.1 防护策略要求

防护策略应符合下列要求：

- 在关键网络边界部署防火墙、访问控制列表等设备，依据最小权限原则实施严格的访问控制；
- 部署入侵检测系统或入侵防御系统，对网络流量进行实时监测与分析，及时发现并处置恶意攻击行为；
- 对车-路-云之间传输的控制指令、环境感知数据、车辆状态等关键数据采用国家密码管理部门认可的加密算法进行加密处理；
- 在服务器、关键工作站及车载计算单元上安装防病毒软件，并定期更新病毒库。

6.3.2 安全通信协议与身份认证

安全通信协议与身份认证应符合下列要求：

- 车-车、车-路、车-云之间的通信应采用符合国家及行业标准的安全通信协议。
- 建立基于公钥基础设施的数字证书管理体系，为系统中的车辆、路边设备、云端服务及授权用户签发和管理数字证书。
- 所有接入车-路-云协同网络的实体在接入网络和发起通信前，必须进行双向身份认证，防止非法节点接入。

7 安全运营要求

7.1 岗位与职责

表2 岗位与职责

岗位	职责
调度管理	<ol style="list-style-type: none"> 与矿方总调度系统融合，通过智能调度系统，实时监控无人驾驶车辆的位置、速度、载重、能源等运行状态，并合理分配运输任务。 处理作业过程中的动态变化，如临时道路封闭、设备突发故障、远程接管，及时下达调度调整指令。 日常维护无人驾驶云控平台，并详细记录调度日志，每日统计并上报关键运营数据，如设备利用率、运输量、问题处理情况。 通过调度系统监控充换电站运行状态及异常处置协调，协同生产动态编制并下发充换电指令，确保车辆出勤率最大化。 协同维修部门，在设备需要检修时及时调度备用车辆，保障生产作业的连续性。

	6. 运行期间出现异常工况或突发故障，通过远程接管及时介入操控，确保车辆与现场安全，并恢复现场正常运行。
维保管理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 执行出车前、收车后对运输车辆及辅助车辆的日常设备检查，重点检查线控制动、定位系统、感知传感器等的工作状态，及设备清洁。 2. 负责无人驾驶云控平台系统软件更新、网络通信检测、功能测试、故障排除等。 3. 负责无人驾驶核心硬件套件（如遥控驾舱、路侧单元、定位基站、辅助作业终端）的维修、更换与校准。 4. 执行每周、每月定期检修计划，重点检查传感器清洁与校准、线控模块连接牢固性、差分定位数据有效性等。 5. 详细记录维修台账，统计分析硬件套件故障率，并将结果反馈至技术团队以优化系统可靠性。 6. 负责充换电站设备故障诊断、预防性维护及电池健康管理，保障系统安全可靠运行。 7. 管理无人驾驶备件库，负责关键备件的储备、申购与库存管理。
现场管理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 每班巡查矿山现场环境，及时发现并反馈可能影响无人驾驶安全运行的问题，如路面损坏、边坡滑塌、落石、充换电设施异常等。 2. 现场出现突发故障，现场管理人员及时配合调度中心接管并处置，支持应急作业，确保现场安全并恢复现场正常运行。

7.2 安全作业流程

7.2.1 生产前

7.2.1.1 现场巡检

编组发车前，现场管理人员应对计划作业区域实施全面巡检及动态环境安全评估。评估内容应至少包括道路状况（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。

7.2.1.2 班前日检

每日班前检查应符合下列要求：

- a) 车辆调度中心人员应执行无人驾驶非公路自卸车强制性系统自检程序，维保人员协同调度开展班前人工目测检查。检查应涵盖动力系统、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；
- b) 维保人员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。
- c) 车辆调度中心人员验证高精度地图数据、任务指令包与路径规划数据是否准确。完整下发至车端，并获取车辆反馈确认；
- d) 车辆调度中心根据任务要求与车辆特性，制定并配置单车及编队运行策略。策略内容宜包括作业区规划、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。

7.2.1.3 指令下发

根据当日生产计划，车辆调度中心人员下发指令任务分配应综合考虑装卸点位置、物料类型、运输周期及车辆实时状态，并确保信息、协议满足互操作性要求。

7.2.2 生产中

7.2.2.1 运营调度

运营调度的管控范围应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、运维支持与应急预案的闭环，见图 2。

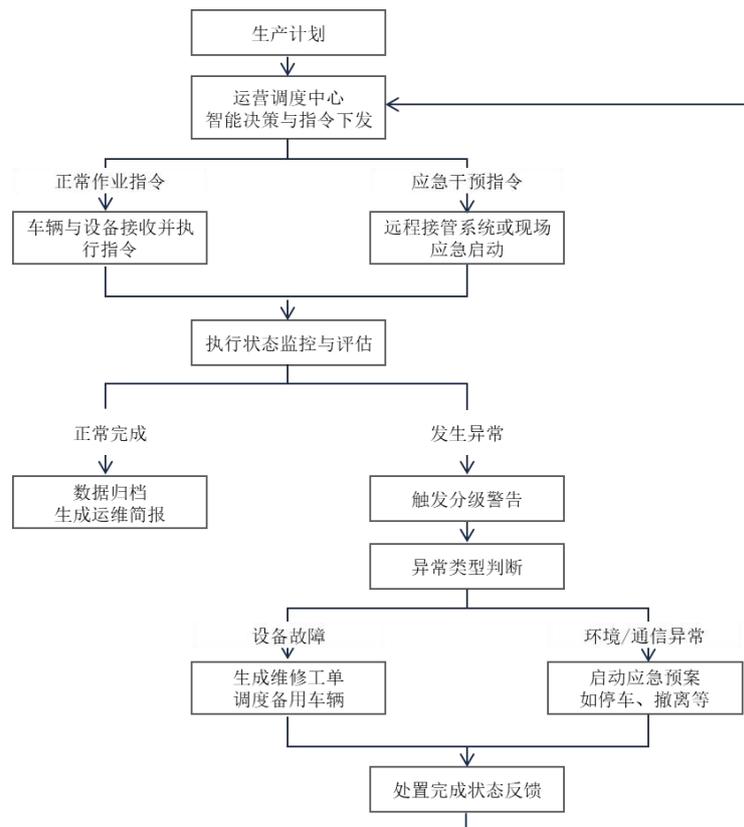


图 2 运营调度闭环流程

7.2.2.1.1 调度

调度应符合下列要求：

- 具备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；
- 具备在车辆故障、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；
- 具备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。

7.2.2.1.2 动态派车

动态派车应符合下列要求：

- a) 当无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆装载完成后，应生成调度指令，给出当前无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆将去卸载的目的地；
- b) 当无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆卸载完成后，应生成调度指令，给出无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆将去装载的目的地；
- c) 无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆运输过程中，应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，给出当前无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆将分派的目的地。

7.2.2.1.3 统一调度

统一调度应符合下列要求：

- a) 应调度管理无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆、采掘设备以及辅助作业车辆协同实现生产场景作业；
- b) 无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆的调度应采用强约束管控，无人驾驶非公路自卸车/有人驾驶车辆均应严格遵照调度指令进行作业。

7.2.2.1.4 远程接管

远程接管应符合下列要求：

- a) 远程接管车辆时，应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；
- b) 远程接管车辆应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；
- c) 远程接管完毕后，车辆应停放在规划电子围栏地点并退出远程模式；若需维修，应停放在不影响其他车的安全位置，移交现场维保人员；
- d) 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。

7.2.2.1.5 交通管理

应具备交通管理功能，能基于车辆状态、类型及道路条件规则引导无人驾驶非公路自卸车行驶，并对违规行为生成报警。该功能主要包括：

- a) 明确车辆通行优先级等交通规定；
- b) 通过路权动态管理，预防车辆在行驶中发生冲突；
- c) 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。

7.2.2.2 监测与监控

7.2.2.2.1 实时状态监控

应通过云控平台对无人驾驶车辆的实时运行状态进行监控，以确保监控的实时性。实时监控数据包括：

- a) 车辆实时位置、速度、行驶方向及姿态；
- b) 车辆载重状态、举升状态；
- c) 动力系统状态（电池电量、电流、电压、燃油量等）；
- d) 系统关键模块的在线状态及健康度。

7.2.2.2.2 环境监测

应利用边坡雷达、环境传感器等设备，对车辆作业环境进行实时监测。环境监测要求：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 对突现落石、大型杂物、塌陷等动态障碍物时，车辆须具备自动触发停机的快速响应能力；
- d) 能根据天气条件，自动执行预设的车辆运行管理策略；
- e) 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。

7.2.2.2.3 通信状态监控

应建立完备的通信状态监控体系，保障车-云、车-车、车-路等所有通信链路的可靠性。

7.2.2.2.4 异常情况处置

应建立异常情况分级分类处置机制，明确不同级别异常的响应流程、上报时限及责任人员。

7.2.3 生产后

7.2.3.1 交接班管理

7.2.3.1.1 交接班制度

交接班制度应符合下列要求：

- a) 运营单位应建立严格的交接班制度，并明确固定的交接时间与地点；
- b) 明确界定调度、运维、现场管理各岗位人员职责。交班方须完整汇报，接班方须主动核实，双方共同确认，确保责任清晰；
- c) 应制定交接班纪律并纳入规程，同时，将交接质量纳入绩效考核。

7.2.3.1.2 交接班流程

交接班流程应符合下列要求：

- a) 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）；
- b) 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；

- c) 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；
- d) 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；
- e) 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；
- f) 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。

7.2.3.1.3 交接记录与责任追溯

交接记录与责任追溯应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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。

7.2.3.2 收车后维护

7.2.3.2.1 设备清洁

设备清洁应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 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。

7.2.3.2.2 能源补给

能源补给应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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；

- d) 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；
- e) 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；
- f) 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。

7.2.3.2.3 数据备份

数据备份应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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。

7.2.3.2.4 维护记录更新

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，包含：

- a) 车辆编号，
- b) 维护日期与时间，
- c) 执行人员，
- d) 各项检查维护的项目，
- e) 发现的问题或异常，
- f) 采取的处理措施及结果。

7.3 车辆与系统检查

7.3.1 检查方法

宜采用循环检修，循环过程中常规检查项以日、周为周期覆盖。重点检查项以月度为周期覆盖。

7.3.2 每日检查（班前）

每日班前检查应符合附录 A 要求（规范性）

7.3.3 每周检查

每周检查应符合附录 B 要求（规范性）

7.3.4 每月检查

每月检查应符合附录 C 要求（规范性）

7.4 运营环境管理

7.4.1 人员安全

人员安全应符合下列要求：

- a) 所有作业人员须考核合格上岗，无安全培训合格证禁止入作业区。外来人员须由持证人员全程陪同。特殊应急时，经备案可由持证人员陪同进入；
- b) 进入作业区须按规定穿戴防护装备，包括工作服、安全帽、反光背心、防砸鞋等。夜间作业须佩戴肩灯和手电等照明与警示装备；
- c) 作业区人员须乘坐指挥车工作，禁止下车。确需下车须经批准并佩戴安全帽与反光背心；
- d) 车辆维护人员须在设置电子围栏的指定点检查；
- e) 无人驾驶时，严禁人员上下设备及维修。在无人驾驶区域内，如遇设备或人员误入，车辆须限速并停车。

7.4.2 道路安全

道路安全应符合下列要求：

- a) 无人驾驶道路宜采用双车道，未经许可不得变更为开放道路；
- b) 无人驾驶道路与有人驾驶道路应分道布置，交叉路口应设置智能通行控制装置。
- c) 道路设施应便于智能识别，并支持电子地图的及时更新；
- d) 道路设计应符合 GB 51282 和 GB 50197 的相关规定；
- e) 路面应保持平整、稳定，不得存在对无人驾驶车辆传感器、控制系统造成干扰的坑槽、隆起等缺陷；
- f) 各作业区路面应及时维护，确保满足无人驾驶非公路自卸车及协同作业设备运行条件。

7.4.3 安全挡墙

道路边带、排土场等区域应设置连续安全挡墙，尺寸应符合 GB 51282 和 2025 版《煤矿安全规程》要求。

7.4.4 运输安全

运输安全应符合下列要求：

- a) 无人驾驶车辆作业时车速不得超过 40km/h；
- b) 无人驾驶卡车在交叉路口、30m 范围内有轨迹交汇时应当减速慢行，车速不得超过 30km/h。

7.4.5 采装作业区安全

采装作业区安全应符合 2025 版《煤矿安全规程》要求。

7.4.6 停车场安全

停车场安全应符合下列要求：

- a) 无人驾驶运输车辆停车场应设置为独立区域，并通过物理隔离设施与有人驾驶作

- 业区域明确分隔，严禁非授权车辆与人员进入；
- b) 停车位的尺寸设计应充分考虑车辆安全停泊、舱门启闭、出行转向及必要的应急操作空间，确保车辆进出顺畅，避免发生刮蹭；
 - c) 停车场周边应设置完整、连续的安全防护设施，并保留符合安全要求的车辆出入口；
 - d) 停车场选址宜靠近车辆常规空载行驶路径，以减少空驶距离，提升运行效率，并降低不必要的能耗与冲突风险。

7.4.7 充换电站安全

充换电站安全应符合下列要求：

- a) 充换电站的选址、设计、施工及设备选型，须符合国家、行业相关标准及 2025 版《煤矿安全规程》要求；
- b) 从事充换电站建设、运维、电池检修等特种作业的人员，须按照国家有关规定经专门的安全作业培训，取得相应资格，方可上岗作业。

7.4.8 天气影响应对

运营单位应根据天气预警机及现场实际情况，建立分级预警与响应机制。

7.4.8.1 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。

7.4.8.2 降水与冰雪天气

降水与冰雪天气应对应符合下列要求：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 出现中雪及以上强降雪，或出现大面积结冰，应暂停运行。

7.4.8.3 极端温度天气

极端温度天气应对应符合下列要求：

- a) 当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；
- b) 当环境温度持续高于要求时，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。

7.4.9 人车隔离

人车隔离应符合下列要求：

- a) 无人驾驶区域设置物理隔离，如栅栏、警示灯；
- b) 非认证人员进入车辆动态防护圈时，立即触发报警并在安全距离内执行紧急制动，同步向控制中心发送人员定位及影像；
- c) 持认证电子标识的维保/现场管理人员进入车辆动态防护圈时，则车辆自动降速，待其超出安全距离后恢复运行。

7.4.10 环境安全

环境安全应符合下列要求：

- a) 控制车辆噪音、尾气排放及扬尘，宜采用新能源动力系统及协同作业控制措施；
- b) 规划运输路线避开生态敏感区，减少对周边动植物栖息地的干扰；
- c) 制定废电池、废油液等危废收集、存储、处置回收流程，满足国家相关法规要求；
- d) 配备防泄漏装置与应急处理物资。

7.5 应急管理

7.5.1 故障处理

7.5.1.1 危机故障处理

运输作业过程中出现人员伤亡、重大设备损坏、重大环境事故的情况下（如车辆失控、预警失效、通信中断、传感器完全失灵、火灾等），故障处置应符合下列要求：

- a) 系统触发最高级紧急制动并原地锁止；
- b) 向调度中心发出声光报警，并自动推送至最高级别负责人；
- c) 受影响区域或全场生产必须立即停止作业；
- d) 须由维保、现场管理人员协同调度、监控中心及应急中心现场紧急处置和故障排查。

7.5.1.2 高风险故障处理

运输作业过程中出现严重威胁安全生产的情况下（如传感器失效、定位偏差严重、通信系统严重延迟或频繁中断、车辆性能严重下降等），故障处置应符合下列要求：

- a) 调度中心控制车辆转移至设置电子围栏的安全区域，并上报位置和状态；
- b) 故障车辆所在区域或线路应暂停无人驾驶运营；
- c) 调度人员立即远程接管，维保、现场管理人员协助或现场接管处置。

7.5.1.3 一般故障处理

运输作业过程中出现影响运营效率的情况下（如传感器故障、通信数据包丢失、胎压异常、地图更新延迟等），故障处置应符合下列要求：

- a) 系统自动切换至降级模式（如降低车速、扩大安全距离等）；
- b) 车辆完成当前作业量后转移至指定地点进行检修。

7.5.2 自然灾害应急处理

自然灾害应急处理应符合下列要求：

- a) 接到预警后立即通知所有车辆返回安全区域；
- b) 停止作业，疏散人员至安全地带；
- c) 启动环境监测系统，实时跟踪灾情发展；
- d) 灾后对设备、道路进行全面检查；
- e) 确认安全后逐步恢复生产作业。

7.5.3 应急保障

应急保障应符合下列要求：

- a) 储备应急救援物资、装备并定期检查补充；
- b) 煤矿应当有创伤急救机构为其服务，创伤急救机构应当配备救护车辆、急救器材、急救装备和药品等；
- c) 针对雨季和地质灾害应当及时撤出受威胁区域的人员，并采取防治措施。

7.5.4 应急演练

每年至少组织 1 次全员应急救援培训，每半年至少组织 1 次应急演练。

8 数据管理

数据管理流程应包含数据采集、标准、清洗、开发、服务、应用等全生命周期管理，如下：

- a) 数据采集应包括车辆运行数据、设备状态数据、环境数据以及作业任务数据；
- b) 统一数据标准应包括数据格式标准、数据编码标准、数据字典标准等；
- c) 数据清洗过程应包括去除异常数据点、纠正错误数据、填补缺失数据、消除重复数据等操作；
- d) 数据开发是将清洗后的数据进行进一步加工和处理。宜包括数据的转换、整合、聚合等操作；
- e) 数据服务宜通过数据接口、数据报表、数据可视化等多种形式进行提供；
- f) 数据应用应包括数据分析、数据挖掘、机器学习等技术的应用。

9 环境要求

满足露天矿正常生产的环境条件：

- 环境温度为-25℃~40℃，
- 海拔高度不超过 2000m，
- 相对湿度不大于 90%。

附录 A

(规范性)

无人驾驶非公路自卸车主要参数班前日检

无人驾驶非公路自卸车主要参数班前日检应符合表 A.1 的要求：

表 A.1 无人驾驶非公路自卸车主要参数班前日检

分类	检查项	标准要求	检查方法
车辆端	线控制动	气制动、电制动、驻车功能正常	1. 目视检查仪表盘状态反馈 2. 原地测试
	线控换挡	N、P、D、R 换挡有效、锁档有效	1. 目视检查仪表盘状态反馈 2. 原地测试
	线控转向	左、右满打轮平顺正常	原地测试
	线控车身控制	1. 车灯、喇叭、举升控制与反馈正常 2. 称重数值显示正常	原地测试
	车载供电	各无人驾驶部件供电正常	目视检查各设备供电指示灯状态
	轮胎状态	胎温、胎压数值显示正常	目视检查传感器反馈数值
	外观	检查车辆外观（如车身、轮胎、灯光等部件）是否有碰撞、刮擦痕迹，轮胎磨损情况、胎压正常	目视检查车辆外观
传感器	感知传感器（激光雷达、毫米波雷达、摄像头等）	无遮挡、无污损，数据正常、精度校准、安装牢固	目视检查系统自检
	定位传感器	GNSS、差分定位固定解，厘米级定位	目视检查程序自检
网络端	V2X 通讯状态	通信信号稳定	管控平台查看 车端域控查看
	高精度地图	与现场道路匹配，无偏移	系统对比 人工复核
	差分数据状态	差分数据有效、稳定	定位基站查看或 CORS 服务器查看

附录 B

(规范性)

无人驾驶非公路自卸车主要参数周检

无人驾驶非公路自卸车主要参数周检应符合表 B.1 的要求：

表 B.1 无人驾驶非公路自卸车主要参数周检

分类	检查项	标准要求	检查方法
车辆端	轮胎状态	轮胎花纹及外观正常	目视检查
	线控模块机械状态	安装牢固、无松动	目视检查
	线控模块润滑情况	润滑油量正常	目视检查
	制动模块 (EBS、ABS、EPB 等)	安装牢固、无松动、无破损	目视、耳听/手感检查
	举升模块	安装牢固、无松动、无破损	目视、耳听/手感检查
	电气模块	安装牢固、无松动、无破损	目视检查
	应急安全 (ASR 等)	安装牢固、无松动、无破损	目视/手感检查
传感器	感知传感器 (激光雷达、摄像头等)	安装牢固、无松动、无破损	目视/手感检查
	定位传感器 (含天线)	安装牢固、无松动、无破损	目视/手感检查
网络端	V2X 通讯设备	安装牢固, 无松动、无破损	目视/手感检查
	网关	线速及插头牢固、无松动、无破损	目视/手感检查
	交换机	安装牢固, 无松动、无破损	目视/手感检查
	自驾控制器	安装牢固, 无松动、无破损	目视/手感检查
辅助设备	终端	辅助设备、终端设备安装、调试、维护	包含有人矿卡混行设备+外单位设备售后
	采图车	采图设备安装、调试、维护、升级	包含外单位设备售后
	防疲劳 (DMS)	设备安装、调试、维护 (信息化专员)	行车记录仪前后摄像头通道无画面、防疲劳监测故障、GPS 无定位、摄像头损坏及延长线束磨损

附录 C

(规范性)

无人驾驶非公路自卸车主要参数月检

无人驾驶非公路自卸车主要参数月检应符合表 C.1 的要求：

表 C.1 无人驾驶非公路自卸车主要参数月检

分类	检查项	标准要求	检查方法
车辆端	线控制动校正	测试满足线控模块《技术要求》	使用《试验大纲》规定的测试方法进行检测
传感器	传感硬件检查校正	检查传感器是否满足自动驾驶系统对其技术要求	利用专业设备对传感器进行校正
网络端	网路安全进行深度检查	漏洞扫描、入侵检查	在线服务器上使用专业检测工具进行检测
	网络设备进行维护和升级	设备软件版本更新	在网络设备配置页面对其进行更新升级

参考文献

[1] 煤矿安全规程
