

文章编号:1671-251X(2022)S1-0067-06

露天煤矿车辆防碰撞升级与无人驾驶联动的智能运输管理系统

韩勇

(国能新疆红沙泉能源有限责任公司, 新疆 奇台 831800)

摘要:国能新疆红沙泉露天矿创造性地升级现有车辆防碰撞预警及驾驶员行为分析系统,实现其与无人驾驶卡调系统的流程联动;在保护现有系统投资的同时,充分利用无人驾驶车辆卡调系统数据接入能力多样化、数据分析能力强、调度灵活,可集中控制,运距、运输时长可精确管理等特点,实现运输作业运行安全、过程可视、结果可管,整体运输作业效率,运输成本的可量化、可分析、可预测,为运输生产安全及高效经营管理打下坚实基础。

关键词:防碰撞系统;无人驾驶;卡车调度

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Intelligent transportation management system of open-pit coal mine
based on cooperation of unmanned driving system

HAN Yong

(CHN Energy Xinjiang Hongshaquan Energy Co., Ltd., Qitai 831800, China)

0 引言

国能新疆红沙泉能源有限责任公司(简称红沙泉露天矿)位于准东煤田西黑山矿区东南部,昌吉州准东经济技术开发区西黑山产业园内,地表开采境界东西平均长 9.4 km,南北平均宽 7.5 km,面积为 70.32 km²,最大开采深度为 700 m。可采煤层共 11 层,平均纯煤总厚度为 66 m,可采资源量为 36.76 亿吨。

煤矿规划建设规模 2 000 万 t/a,一期核准产能为 1 000 万 t/a,服务年限 417.8 a。2020 年 12 月 22 日通过国家安全生产标准化管理体系一级达标验收;2022 年 1 月 7 日通过国家应急管理部信息研究院组织的 2 000 万 t/a 产能现场核增。

矿井共划分为 5 个采区,首采区选择在矿田西北部煤层隐伏露头位置,沿煤层走向拉沟,倾向推进。首采区占地面积 7.58 km²,主采 B1 煤层平均厚度为 7.2 m,B2'煤层平均厚度为 16 m,煤层倾角为 3~5°,首采区可采原煤量为 2.08 亿吨。

煤矿坚持以科技创新为根本动力,以建设一流智能化煤矿为目标,推进智能化技术与煤矿生产融

合发展,制定了煤矿智能化建设项目实施方案,已建成车辆防碰撞系统、边坡监测系统、视频监控系统、生产系统集中控制系统、快速装车站系统、调度通信系统、无线对讲系统、安全监测监控系统、“双预控”信息管理系统等。2022 年将分步实施矿山工业环网及数据中心、110 kV 变电所无人巡检系统、采场高温寻源系统、快速装车站智能装车系统、带式输送机智能巡检机器人等智能化项目,整体推进智能化矿山建设。

1 运输管理现状分析

矿井采用露天采煤方法。采取自上而下的开采顺序,井田范围可采煤层为 11 层,自上而下编号为 B4、B4'、B3、B3'、B3 下、B2 上、B2、B2'、B1、B1'、B0,煤层厚度及煤层间距都有一定变化,下部主采煤层 B1 距上部 B2'煤层 3.02~56.92 m,平均 22.60 m,矿井开采剥离物多为中硬岩类,其抗压强度多大于 15 MPa,采煤生产工艺:剥离采用单斗-卡车间断式开采,采煤采用单斗-卡车间断工艺和单斗-卡车/胶带半连续工艺。

红沙泉露天矿地处偏远地区,采场区域大,生产

收稿日期:2022-04-02;责任编辑:李明。

作者简介:韩勇(1977—),男,河南驻马店人,高级工程师,硕士,主要从事矿山开采、露天矿智能化研究工作,E-mail:315638761@qq.com。

(6) 车辆实时监控。使用定位系统实时监控车辆的行驶轨迹,接收车辆数据,监控车辆行驶状态,包括车辆登录/登出、驾驶模式(自动驾驶/人工驾驶/远控驾驶)、车辆地理位置(经度、纬度、海拔)、车辆运行信息(车速、加速度)等。

(7) 高精地图或 2D 地图展示。在高精地图或 2D 地图场景中展示车辆位置和行驶状态,支持对高精地图或 2D 地图的拖拽移动、放大缩小等操作。

(8) 车辆历史回放。自动驾驶车辆的历史作业回放是矿山作业智能化的重要一环,有利于作业效率排查、故障定位和作业回溯。

(9) 车辆健康管理。可对车辆底盘、刹车、轮胎等设备状态进行监控,出现设备异常时车端上报故障告警信息。

(10) 车辆状态管理。根据车辆上报的状态信息,如车辆运行轨迹、心跳信息、作业状态等,管理车辆当前运行状态及驾驶轨迹。

(11) 车辆下发指令操作。车辆自检并上报自检结果、车辆签入调度系统、车辆签出调度系统。系统支持向车端发送移动测试指令,在车辆未签入期间,可通过云平台界面下发移动指令,进行车辆远程控制。

(12) 安全预警与考核。包括不安全行为监控、超速行为监控、防撞预警监控、异常停车监控、电子围栏监控、系统指令执行监控、偏离预定行驶轨迹监控、自动驾驶异常作业监控、自动驾驶异常行为监控。

(13) 故障事故及维修保养管理。提供车辆故障上报数据实时接收、故障解除、历史故障数据查询、故障回放等功能。

(14) 运营统计及智能排查。包括能耗效率统计、电子围栏管理、车辆作业效率排查、车辆自动驾驶档案、故障及事故统计。

(15) 车辆信息管理。包括车企管理、车型管理、车辆管理、启用时间、服役年限等。

(16) 车辆数据接入管理。支持车辆数据接入方式设置和车辆接入数据记录查询、回放与删除操作。

(17) 用户及权限管理。支持多等级用户,不同等级用户具备不同权限。

2.2 无人驾驶系统

无人驾驶系统包括车辆子系统和 5G 网络。车辆子系统是无人驾驶车辆,通过对矿卡进行车辆线控改造并安装车载控制单元完成,可接收中心端的综合路况信息和运输调度指令,实现单车轨迹规划及自动驾驶。矿区 5G 网络为无人驾驶车辆及中心

管理系统提供低时延、高带宽的通信能力。

2.3 防碰撞及驾驶员疲劳检测系统

防碰撞及驾驶员疲劳检测系统由车辆安全管控系统监控软件、防碰撞预警及驾驶员行为分析一体机和 RF 网络基站组成,实现防碰撞预警(防碰撞预警、定位、超速报警、轨迹查询等)和驾驶员行为分析(疲劳预警、接打电话监测、不系安全带预警、遮挡摄像头预警等)等功能。

通过露天矿车辆安全管控系统软件,管理者可以实时了解露天矿所有车辆的安防数据、违章数据等,也可在手机 APP 软件上实时监督露天矿生产车辆,方便各级管理者对下属矿山进行安全管控。

通过数据能力开发,防碰撞及驾驶员疲劳检测系统可将车辆、驾驶员数据上报至无人驾驶运输管理系统。

2.4 工程车辆考勤计数系统

工程车辆考勤计数系统主要用于工程运输车辆工作量核验及统计,具有远程控制、无人值守、云平台数据上传等功能,大大降低了矿山、砂石场及土石方等运输管理成本。系统主要由远距离识别系统、图像抓拍系统、LED 显示及语音播报系统、中央处理及存储系统、网络传输系统、平台管理系统组成,如图 2 所示。远距离识别系统对过往车辆进行数据采集;图像抓拍系统可实时对过往车辆进行监控,车辆刷卡瞬间进行图像抓拍并自动保存图像,方便管理人员随时查验;LED 显示及语音播报系统显示相关内容供司机及相关人员查看,使系统工作直观、人性化,并语音播报车号和次数;中央处理及存储系统对车辆信息进行实时处理和存储,内部存储读卡数据,供司机和管理者进行数据核对;网络传输系统支持联网(有线、WiFi、5G/4G)传送数据及照片;平台管理系统可查看记录及图片,也可对设备进行远程控制,可联机实时监控录像,对过往车辆进行监控。



图 2 工程车辆考勤计数系统

通过工程车辆考勤计数系统可获得车辆注册信息、运输次数信息,上报至无人驾驶运输管理系统后辅助进行统计及运输分析。

3 智能运输管理系统原理

3.1 车辆防碰撞+无人驾驶协同工作原理

车辆防碰撞+无人驾驶协同工作原理如图 3 所示。

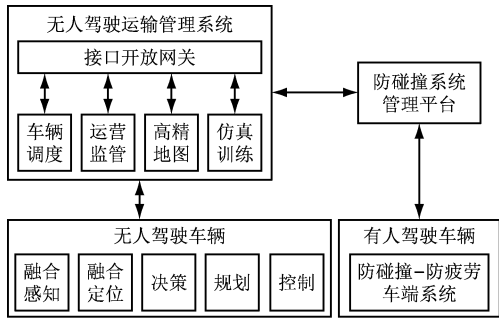


图 3 车辆防碰撞+无人驾驶协同原理

(1) 无人驾驶运输管理系统对外开放无人驾驶车辆的位置信息,如基于 GNSS 数据的大地坐标点位信息。

(2) 现有车辆防碰撞系统获得无人驾驶车辆位置信息后进行距离判断,基于防碰撞判断处理流程,如车辆位置距离在临界范围之内,则发送告警信息至车辆防碰撞系统进行告警处理。

(3) 现有车辆防碰撞系统将有人驾驶车辆上报的位置信息转发至无人驾驶运输管理系统,可通过无人驾驶车辆单车智能避障方式对有人驾驶车辆进行防碰撞处理,也可由无人驾驶运输管理系统发送调度指令进行防撞规避。

(4) 无人驾驶运输管理系统可根据获取的有人驾驶车辆位置信息进行进一步运输、运距统计等处理。

3.2 有人-无人驾驶车辆监管协同

有人-无人驾驶车辆监管协同原理如图 4 所示。针对车辆的运营监管主要涉及安全报表、设备统计、驾驶员统计、车队统计等,其核心是对车辆、人员运行状态及作业状态的数据获取及分析。鉴于无人驾驶车辆可通过车辆 CAN 总线获取详细的设备信息(状态、油耗、胎压、车辆及传感器状态等)、通过高精定位结合高精地图获取详细的地理位置信息,进一步计算出速度、运距等,本文不再赘述具体实现方案。

针对当前有人驾驶车辆的信息获取采用以下方案。

(1) 产量统计。根据打卡站获取车辆运输次数,通过实际统计的平均运量可简单计算单车运量信息,即单日运量=打卡次数×单车统计运量。

(2) 运距统计。基于防碰撞系统上报的地理信息,结合高精地图中采装点坐标、排放点坐标即可获

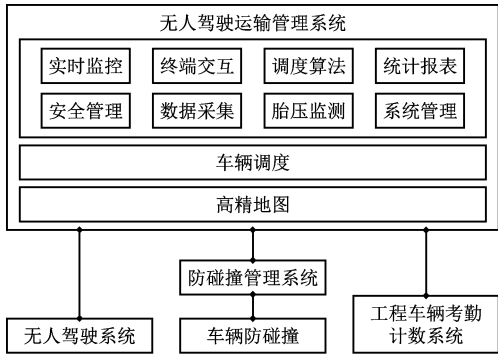


图 4 有人-无人驾驶车辆监管协同原理

取运距信息。单程运距为

$$P_a = \int_0^L \dot{P}_f dl \tag{1}$$

式中 $\dot{P}_f$ 为单位时间内 2 次位置点的距离差。

(3) 设备运行状态。在统计时间内,如单程平均运输时长的 2 倍,计算车辆进入装载点电子围栏、排放点电子围栏的次数,不为 0 即认为设备运行正常。

(4) 油耗统计。根据牛顿第二定律,车辆考虑空气阻力、滚动阻力、坡度阻力和加速度阻力的纵向动力学模型可定义为

$$F_T = F_{aero} + F_{roll} + F_{slope} + F_{acc} \tag{2}$$

式中 F_T 为车辆的牵引力。

$$\frac{T_e i_t \eta_T}{r_w} = \frac{C_D \rho A v^2}{2} + mg f \cos \theta + mg \sin \theta + ma \tag{3}$$

式中: T_e 为发动机输出转矩; i_t 为变速箱连同主减速器的传动比; η_T 为动力传动系效率; r_w 为车轮半径; C_D 为空气阻力系数; ρ 为空气密度; A 为迎风面积; v 为车辆当前速度; m 为车辆质量; g 为重力加速度; f 为摩擦系数; a 为车辆加速度。

$$a = \frac{T_e i_t \eta_T}{mr_w} - \frac{C_D \rho A v^2}{2m} - fg \cos \theta - g \sin \theta \tag{4}$$

节能实现方式是降低单位时间内的能耗,通常采用能源消耗率来表示,可描述为

$$\dot{q} = f(P_{out}, P_{in}, T_e, \omega_e) \tag{5}$$

在时间终点为 t_N 的时间段内,油耗统计函数可表示为

$$J = \int_0^{t_N} \dot{q} dt \tag{6}$$

针对油耗统计函数,建立与系统相关的状态约束,如发动机或电动机输出转矩、转速、行驶速度区间、加速度限值等。

对油耗统计函数可采用基于模型预测控制、动态规划等方法求解。以离散动态规划求解为例,对系统进行离散化,采用动态规划算法求解上述最优控制问题,根据 Bellman 方程,最优策略特性为无论初始状态和初始控制输入如何,其余控制输入对于

根据初始控制输入产生的系统状态构成最优策略。离散系统中基于 DP 的通用表示形式为

$$J[v(k), k] = \Phi[v(k_N), k_N] + \sum_{i=k_0}^{k_{N-1}} L[v(i), u(i), i] \quad (7)$$

统计函数关于位置点 k 处的初始状态 $v(k)$ 和控制输入序列 $u = \{u(k_0), u(k_1), \dots, u(k_{N-1})\}$ 。根据动态规划的后向性计算过程,有

$$J[v(k), k] = L[v(k), u(k), k] + J[v(k+1), k+1] \quad (8)$$

为了得到最优解,用 $J^*[v(k+1), k+1]$ 表示状态 $v(k+1)$ 在点 $k+1$ 处对应的统计函数, $J[v(k+1), k+1]$ 的最小值和最优控制策略 $u^* = \{u^*(k), u^*(k_1), \dots, u^*(k_{N-1})\}$ 。基于最优控制理论,最优统计函数 $J^*[v(k), k]$ 的递推公式可表示为

$$J^*[v(k_{N-1}), k_{N-1}] = \min_{\substack{u(k_{N-1}) \in U \\ x(k_N) \in X_k}} \{ \Phi[f[v(k_{N-1})], u(k_{N-1}), k_{N-1}], N + L[v(k_{N-1}), u(k_{N-1}), k_{N-1}] \} \quad (9)$$

$$J^*[v(k), k] = \min_{\substack{u(k) \in U \\ x(k+1) \in X_k}} \{ L[v(k), u(k), k] + J^*[f[v(k)], u(k), k], k+1 \} \quad (10)$$

式中: $k = k_{N-2}, k_{N-3}, \dots, k_1, k_0, J^* = J^*[v(k_0), k_0]$ 。

(5) 轮胎统计。单车单次油耗 = 轮胎系数 $\times$ 运距 $\times$ 立方数值。参考黑岱沟露天矿轮胎消耗统计模型,可通过轮胎消耗系数预测轮胎消耗次数,如一辆 930E 1 个月的运输能力约为 10 万 m^3 , 12 个月为 120 万 m^3 。若运输路程长 2.5 km, 1 a 300 万 $\text{m}^3 \cdot \text{km}$, 即 1 辆矿卡 1 a 换 3 条轮胎。

在现有有人驾驶车辆不做大规模嵌入式修改(嵌入 CAN 总线获取数据)的前提下,可通过 GNSS 地理位置信息结合无人驾驶高精地图进行运距测算,进而实现油耗、运行状态、轮胎消耗的数据分析及预测。

3.3 有人-无人驾驶车辆调度协同

有人-无人驾驶车辆的混编是当前调度协同的核心,如图 5 所示。

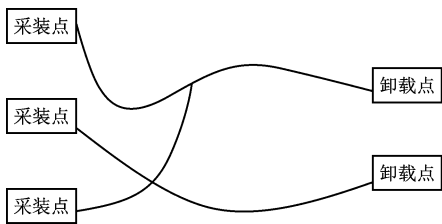


图 5 有人-无人驾驶车辆混编场景
精准配车、按时到达是无人驾驶车辆调度需要

解决的主要问题,困难在于交汇口等特殊场景的调度方案。在这些场景中,引入路权管理和全景调度,即可把控整个路网的运输,防止局部车流量过大导致死锁,影响连续作业。

交汇口内存在多条连接道路和连接车道,这些道路和车道相互重叠,如果不对交汇口通行进行管理,则极易在交汇口形成死锁。在交汇口通行管理中,用 2 种方式实现通行流量限制:① 通过交汇口容量进行约束。② 通过判断交汇口内车道的交错情况,确定 2 辆或多辆车能否同时通行,如果不能则让排序更后的车先在交汇口外等待,或适当交换某些车的顺序。

在实际使用中,存在 2 个交汇口距离很近的场景,且考虑到时延、车辆控制等因素,为了给车辆及时推送准确的规划路径,需要将交汇口的通行管理联系起来,而不是孤立地关注若干个单交汇口。只要实现了 2 个相邻交汇口的联合通行管理,就能实现多级交汇口的联合通行管理,进一步实现全路网的统一管理。

MPC(Model Predictive Control)模型预测控制算法是一种进阶过程控制方法。根据车辆模型、速度规划结果预测车辆未来行为,可以判断是否存在潜在冲突威胁。多辆无人驾驶车辆同时运行时,其互相之间路线会出现相交与冲突。在规划路径时,考虑时空一致性多车路径规划,尽可能避免路线冲突。

4 预期效果

露天煤矿车辆防碰撞升级与无人驾驶联动的智能运输管理系统预计 2023 年 1 月正式投入使用,通过升级车辆防碰撞预警及驾驶员疲劳检测分析系统,联动无人驾驶系统,期望达到如下效果:

(1) 运输作业统一管理。有人驾驶运输、无人驾驶运输的统一管理;实现一个系统、一张图、一张表进行全矿运输作业的统一呈现。

(2) 运输作业安全升级。引入无人驾驶运输系统,减少作业现场人员数量,提升生产安全系数;有人驾驶运输、无人驾驶运输纳入一套系统管理,进行统一调度、统一防碰撞预警,提升安全预警覆盖范围。

(3) 运输作业效益提升。通过无人驾驶运输系统部署,减少卡车司机雇佣数量,减少人力成本;卡调系统的智能调度功能实现车、铲科学配比,提升矿山整体运力和效益。

5 结语

红沙泉露天矿在集团及公司智能运输管控项目建设规划上,研究了基于现有系统升级改造及与无人驾驶系统协同工作的关键技术及方案,基于安全、调度、监管协同多方面,实现运输管理工艺整体智能化升级,搭载建设综合一体化管控平台。该技术将无人驾驶技术与现有防碰撞系统进行有机集合,通过“3 个协同”实现运输作业的状态可视、过程可管、经营可预测,打通 2 个独立系统之间的运行流程,提升生产组织效率和运行效率。该系统的成功应用将为其他露天矿运输系统智能化改造探索出一条经

济、可行的实践之路。

参考文献:

[1] 刘伟芳,吴迪. 国内外露天矿山无人驾驶技术发展现状[J]. 露天采矿技术,2020,35(4):32-34,38.

[2] 王国法,任怀伟,庞义辉,等. 煤矿智能化(初级阶段)技术体系研究与工程进展[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):1-27.

[3] 杨晓伟,焦步青,焦泽珍. GNSS 精密单点定位算法研究[J]. 露天采矿技术,2020,35(1):9-11.

[4] 王国法,杜毅博,任怀伟,等. 智能化煤矿顶层设计研究与实践[J]. 煤炭学报,2020,45(6):1909-1924.