

3.6 时间—速度曲线构建

基于匀变速直线运动中平均速度等于中间时刻瞬时速度的原理，选取视频序列中的关键时段，计算每个时间节点的瞬时速度值。以云 GW8777 号小型普通客车为例，选取 40.4s 至 41.6s 时段，每隔 0.04s 提取一组速度数据，建立时间 - 速度坐标系，采用多项式拟合算法绘制曲线，该曲线可直观反映车辆加速、匀速、制动等运动状态变化。

曲线分析需关注特征节点：速度峰值点对应车辆最大行驶速度，斜率变化点对应加速或制动起始时刻，曲线平缓段对应匀速行驶状态。通过曲线积分可计算车辆在特定时段内的行驶距离，与视频中参照物间距进行比对，进一步验证速度计算的准确性（见图 5）。

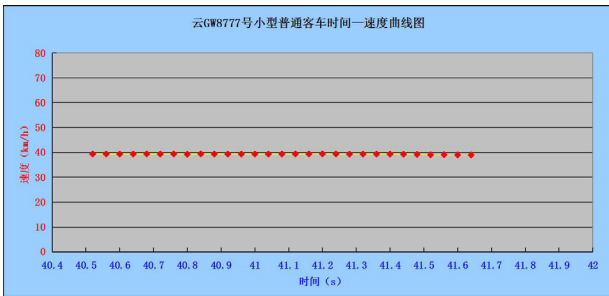


图 5 云 GW8777 号小型普通客车时间 - 速度曲线图

4 案例分析

4.1 案例背景

城市主干道追尾事故中，前方云 G87W17 号轿车被后方云 GW8777 号 SUV 追尾，事故路段限速 60km/h，固定式监控与 SUV 车载记录仪完整记录全过程，需鉴定 SUV 制动前行驶速度。

4.2 视频分析过程

对固定式视频进行去噪、畸变校正，车载视频采用图像稳定算法处理抖动。采用双特征点跟踪策略，通过 Kinovea 软件逐帧跟踪并补全 3 帧缺失数据（有效帧率 25fps）。识别制动起始与终止帧，结合道路标线计算制动距离 8.9m（误差 < 0.3m）。

4.3 力学计算

通过 SUV 车辆技术手册获取关键参数：制动力系数

$\varphi = 0.65$ ，滚动阻力系数 $f = 0.011$ ，车辆质量 $m = 1607\text{kg}$ 。结合制动距离 s ，采用制动速度公式计算制动前速度：

$v = \sqrt{2gs(\varphi + f)}$ 其中 g 为重力加速度 9.8m/s^2 ，代入数据计算得 $v = 38.3\text{km/h}$ 。

同时采用视频分析方法进行速度解算：基于固定式视频，通过轴距 2.78m 与跟踪帧数计算得速度 38.9km/h。基于车载视频，运用射影几何交比不变性原理修正视角误差，计算得速度 39.6km/h。三种方法计算结果偏差均小于 1%，验证了数据可靠性。

4.4 结果分析

综合视频分析与力学计算结果，确定 SUV 制动前行驶速度为 38.9km/h，该速度低于路段限速 60km/h，但结合制动距离与碰撞程度分析，车辆未保持安全车距是事故主要原因。该鉴定结果与现场勘查的制动痕迹长度、车辆碰撞变形量等数据高度吻合，同时得到双方当事人认可，为事故责任认定提供了坚实的技术支撑。

5 结论

本文整合力学原理与视频分析技术，以运动跟踪软件为核心，通过特征点动态跟踪与多源误差修正，构建了科学客观的车速鉴定方法。经案例验证，该方法准确性、实用性与可靠性突出，可为交通事故责任认定提供坚实技术支撑。未来可进一步优化算法，提升鉴定精度与效率。

参考文献

- [1] 董浩存,聂中国.基于车载式视频图像的车辆行驶速度鉴定[J].汽车实用技术,2021,46(07):195-198.
- [2] 李浩宇.事故车辆基于视频图像计算车速特征点选取的浅析[J].汽车维修与保养,2025,(08):75-76.
- [3] 周海,尹向东,田召阳.利用视频图像计算车辆速度[J].黑龙江交通科技,2024,47(06):151-154+160.
- [4] 张劲斌,张志华.基于近景摄影测量的单镜头视频车辆速度检测方法[J].测绘通报,2024,(03):19-24.
- [5] 黄磊,王迪,何仲华,等.道路交通事故司法鉴定中翻拍视频图像车速计算方法的研究[J].交通科技与管理,2023,4(14):20-23.
- [6] 杜辉,毕嗣东,毕彦硕,等.基于视频图像鉴定车速中的参照物选定两例[J].刑事技术,2023,48(06):640-644.

Application Practice Research on Intelligent Scheduling of Autonomous Vehicles in Raw Material Warehouses of Steel Mills

Haipeng Li

Zhenshi Holding Group Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314500, China

Abstract

As the primary link in steel production, the raw material yard for steelmaking is crucial to the efficiency and quality of the entire production chain. This project involves the storage of smelting raw materials such as nickel iron, chromium iron, lime, fluxes, and alloys, with 80% sourced from shipping and unloaded at the company's own wharf, and 20% from road transport by truck, serving as a supplement to the shipping materials. Facing the challenges of a competitive market environment, the transformation driven by innovation aims not only to improve the efficiency of raw material processing, reduce costs, and optimize the working environment but also to enhance the company's market competitiveness. The development of unmanned, intelligent material yards represents the trend and future direction of digital and intelligent transformation in the industrial sector. This project combines an intelligent driving system with intelligent warehouse management scheduling, adopting advanced technologies such as big data, artificial intelligence, image recognition, and digital twins to address technical bottlenecks including intelligent process scheduling, raw material tracking, automatic inventorying of material warehouses, unmanned stacking and reclaiming, and intelligent equipment supervision. It aims to build an integrated solution for intelligent material yards centered around the full-process management scenarios of smart material yards.

Keywords

Unmanned driving; IGV; Fleet management; Intelligent guidance; Remote driving; Smart inventorying

炼钢厂原料库无人驾驶智能调度应用实践研究

李海鹏

振石控股集团有限公司, 中国·浙江 嘉兴 314500

摘要

炼钢原料场作为钢铁生产的首要环节,关系到整个生产链的效率和质量。本项目研究涉及到存储炼钢的镍铁、铬铁、石灰、熔剂、合金等冶炼原料,其中80%来源于船运,在自有码头进行物料装卸,20%来源于陆路汽车运输,作为船运原料的补充。在面临市场竞争环境挑战的当下,通过创新驱动的智能化转变,不仅要提高原料处理的效率,降低成本,还要优化工作环境,增强企业的市场竞争力。无人化作业智慧料场的发展,代表了工业领域数字化、智能化转型的趋势和未来方向。本项目研究的智驾系统与智能库管调度相结合,将采用大数据、人工智能、图像识别、数字孪生等先进技术,解决流程智慧调度、原料物料跟踪、料仓自动盘库、堆取料无人化、设备智能监管等技术瓶颈,围绕智慧料场全流程管控场景构建智能料场的一体化解决方案。

关键词

无人驾驶; IGV; 车队管理; 智能导引; 远程驾驶; 智能盘库

1 引言

本项目实践研究范围包括炼钢原料区域(库区及码头),分为码头区、IGV自动管理存储区、石灰钢板筒仓区、汽车运输存储区、上料设备等区域,冶炼的主原料镍铁和铬铁通过链板机给合金熔化炉上料,其他熔剂、合金、石灰通过皮带上料输送系统给炼钢的料仓上料。主要实现对码头区、IGV自动管理存储区进行IGV无人化运输及库存管理,对

汽车运输存储区进行汽车入库调度及库存管理,与石灰钢板筒仓及上料设备系统做联动,相关系统通过通信接口进行信息交互。

2 料场管理子系统

料场管理包括码头管理、实现自动盘库、料场料格管理、IGV调度管理、停车场管理、入储管理、配料出库管理、库存管理、数字孪生料场、接口管理等内容。核心内容如下:

- (1) 码头管理: 码头的信息、码头所属装卸机械、码头的作业调度,码头船舶停泊信息等。
- (2) 自动盘库: 通过激光雷达,其安装在轨道机器人上,

【作者简介】李海鹏(1978-),男,中国河北张家口人,本科,高级工程师,从事信息技术研究。

实现扫描料堆三维形态，自动按照料仓调度系统计算料堆体积，以实现智能库管调度与无人驾驶车辆指令的下达。

(3) 料场料格管理：料格的库存状态、物料、设备关联情况，可视化及异常管理。

(4) IGV 调度管理：3D 自动化料场管控集成了自动化、信息化、智能化功能的综合管控一体化平台。统一调度无人驾驶 IGV 车和有人驾驶装载机作业。实现安全驾驶作业的交叉作业。

(5) 停车场管理：实现进出厂作业的有人驾驶车辆的作业管理，车牌识别系统采用高清摄像头与智能识别算法相结合的技术。系统内置车牌数据库比对功能，可实时与 WMS 系统进行数据交互，自动记录车辆进出时间并生成报表。

(6) 入储管理：按货运方式的不同分类管理进行管理并入库，计量数据由计量系统对接自动生成，生成入库单，最后更新料格实际库存。

(7) 配料出库管理：根据炼钢上料作业需求，通过智能库管调度系统，对无人车及有人装载车辆下达炼钢上料计划，由智能系统安排无人车到指定料格等待装料，由有人装载机按照作业计划指令（车载平板指示）执行装车作业，最后完成装车后，运输到计量地磅，称重后记录出库，同步扣减原料库对应料格中库存数据。

(8) 库存管理：基于期初库存、当期入库、出库，实时计算各料格当前库存数据，可多维度查询与库存预警。结合业务需求生成查询分析报表。

(9) 接口管理：无人车智能库需要与公司物流系统、MOM 系统、无人计量系统、道闸、运输线等系统交互。

(10) 数字孪生料场：建立设备数据采集与可视化平台，能够将现场各类设备的运行状态、作业参数和健康指标实时映射到三维数字模型中。通过与设备控制系统、传感器网络的深度集成，系统能够自动采集关键设备的运行数据，包括 IGV 车辆位置、作业进度、电池电量、故障报警等信息。所有数据经过统一处理后，以直观的图形、色彩和动画形式在三维模型中动态展示，便于管理人员快速掌握全局运行状况。通过设备状态的可视化，数字孪生系统提升料场的透明度和管理响应速度。

3 智能驾驶子系统

3.1 IGV 自动引导系统

IGV 自动引导系统是由 IGV 车、IGV 管理监控系统、智能充电系统等组成，系统的目的就是使 IGV 系统运行安全、可靠，并协调各辆 IGV 协同工作，提高 IGV 系统整体的工作效率，以确保 IGV 完成输送任务的同时还要考虑以后系统扩展的方便快捷，IGV 系统需重点关注：

3.1.1 IGV 系统必须安全可靠

IGV 系统的安全可靠运行对于整个物流系统至关重要，对 IGV 系统的安全问题的考虑，要对人、机、物及相关条件统一考虑。

3.1.2 IGV 系统必须易于扩展

随着工厂自动化的日益发展，原有自动化系统的可扩展性及灵活性十分重要，IGV 管理监控系统可管理多台 IGV 车，并具备扩展 IGV 车数量的功能。当需扩展 IGV 车数量时，IGV 管理系统配置即可具备扩充车辆的能力。

3.1.3 充电方式与充电站的设置原则

在一般情况下，IGV 的电池电量在低于 20% 去充电站充电，IGV 管理系统也可以调度 IGV 车进行充电，当充电完毕或有任务时就可以投入运行，在最大程度上提高运输效率。IGV 充电完全由 IGV 管理监控主机和地面智能充电站监控。

3.1.4 合理进行 IGV 自动导引车辆系统路线的布局规划

由于各台 IGV 工作于相同的物流路线上，因此不可避免地存在着路线争用和任务冲突等矛盾，所以要实现合理进行 IGV 系统物流路线的布局。

3.1.5 IGV 自动导引车辆系统的路径规划

IGV 输送系统的路径规划是根据生产设备布置图和工艺流程，安排最佳的 IGV 输送路线，以达到输送路径最短、简洁流畅的目的，并尽量地避免多台车之间的干涉，以提高系统的运行效率，降低企业的运营成本。

3.2 无人驾驶系统核心功能

- 1) 自主导航与定位功能
- 2) 智能避障与超车功能
- 3) 精准停靠与装卸货功能
- 4) 车队管理和运维功能
- 5) 数据统计与分析功能
- 6) 远程控制与故障预警功能
- 7) 水平运输地图定位功能
- 8) 水平运输交互功能
- 9) 水平运输安全功能
- 10) 具备避让行人、车辆、障碍物等能力
- 11) 动态规划作业车辆的行车路径

12) 不需要额外建设围栏或立柱用于车辆辅助定位。具有自诊断系统，能够自主诊断雷达、相机、组合导航等传感器工作出现异常，能够自主诊断各类运行数据，出现异常时能够将诊断信息上传到车管调度系统。

4 其他行车及人工装卸车辆终端管理

4.1 各相关车（龙门吊、叉车、装载车、抓钢机）

配置 12 寸信息终端（工业级驾驶室信息终端），用于显示调度任务，调度配方信息，信息终端含喇叭，可以对调度信息声音播报；当使用港机及抓机进行 IGV 装料完成时，通过车载信息终端，确认装车完成，IGV 收到信息后，进入转运流程。区域内相关行车已配置显示屏。

4.2 手持终端

汽车运输入库物料提供管理系统信息录入接口、库存