

调车作业推进土挡防撞项目研究报告

陶 裕

浙江金温铁道开发有限公司运输部台州南站, 浙江 温州 325000

[摘要]文章针对铁路平面调车作业中风险较高的尽头线推进作业开展研究,重点分析缺少主动预警和自动制动手段所导致的撞土挡风险。传统防护主要依靠人工瞭望和手信号控制,易受天气、设备故障及人为因素影响,存在信号误判、迟报等问题,严重时可能造成车辆、轨道设施损坏甚至人员伤亡。针对上述问题,文章提出一种基于雷达测距与 STP 系统深度融合的防撞预警与自动控制装置。在尽头线车挡前安装工业级激光雷达,实时检测列车与车挡间距离,并通过无线通信将数据传输至 STP 系统,经逻辑运算生成动态限速指令,由 STP 终端与 LKJ 设备协同执行,实现距离实时显示、分级限速和超速自动制动。系统进一步融合联锁状态、机车实时位置等信息,仅在作业机车进入指定股道时启动防护,有效避免误防护。试验结果表明,系统探测距离可达 100m 以上,测距精度 $\leq \pm 1\text{m}$,车载终端响应时间 $\leq 2.5\text{s}$,防撞动作准确率达到 100%,且不受车型、作业方式及运行状态影响,具有良好的稳定性和抗干扰能力。该成果为铁路尽头线调车主动防护提供了新的技术方案,对提升铁路运输安全水平具有重要的应用价值和推广前景。

[关键词]调车作业; 尽头线; 土挡防撞; 雷达测距; STP 系统; 无线传输; LKJ 制动

DOI: 10.33142/sca.v9i9.20355

中图分类号: U292.2

文献标识码: A

Research Report on the Promotion of Soil Barrier Collision Prevention Project in Shunting Operations

TAO Yu

Transportation Department Taizhou South Station of Zhejiang Jinwen Railway Development Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: This article focuses on the high-risk terminal line pushing operation in railway plane shunting operations, and analyzes the risk of soil blocking caused by the lack of active warning and automatic braking methods. Traditional protection mainly relies on manual observation and hand signal control, which are easily affected by weather, equipment failures, and human factors, resulting in problems such as signal misjudgment and delayed reporting. In severe cases, it may cause damage to vehicles, track facilities, and even casualties. In response to the above issues, the article proposes a collision warning and automatic control device based on deep fusion of radar ranging and STP system. Install industrial grade laser radar in front of the end line gear to detect the distance between the train and the gear in real time, and transmit the data to the STP system through wireless communication. After logical operation, dynamic speed limit instructions are generated, which are executed by the STP terminal and LKJ equipment in coordination to achieve real-time distance display, graded speed limit, and automatic overspeed braking. The system further integrates interlocking status, real-time locomotive position and other information, and only activates protection when the operating locomotive enters the designated track, effectively avoiding false protection. The experimental results show that the system can detect a distance of over 100m, with a ranging accuracy of $\leq \pm 1\text{m}$, a response time of $\leq 2.5\text{s}$ for the vehicle terminal, a collision avoidance accuracy of 100%, and is not affected by the vehicle model, operation mode, and operating status. It has good stability and anti-interference ability. This achievement provides a new technical solution for active protection of railway end line shunting, which has important application value and promotion prospects for improving the safety level of railway transportation.

Keywords: shunting operation; end line; soil barrier collision prevention; radar ranging; STP system; wireless transmission; LKJ brake

1 研究

1.1 研究背景

铁路平面调车作业是指将到达的车辆编组、解体、转场、取送等环节的机车车辆移动过程,是铁路货物运输生产活动的重要组成部分。其中,尽头线(又称土挡线)是指股道终端设有车挡(土挡)的线路,广泛应用于货场、专用线、段管线等场所。在尽头线进行推送调车作业时,机车将车列推进至车挡附近,完成货物装卸或车辆停留。然而,受当前技术水平的限制,现有平面调车设备在尽头线作业中存在明显的安全缺陷。

目前我国大多数铁路车站尽头线尚未安装主动预警或自动防撞系统。机车推送车列向终端方向运行时,司机主要依据连结员的手势、语音及目测距离调节速度并实施制动,存在较大的安全隐患,主要表现为:

一是信息传递易受环境影响。连结员目测距离易受光照、天气、线路弯度及车辆遮挡等因素影响,容易产生判断误差;灯显和语音通信设备还可能因电量不足、信号衰减、频段冲突等原因暂时失效。

二是制动存在滞后性。当推进速度达到 10~15km/h 时,从发现异常、传递信号到司机实施制动需要一定时间,列车惯性滑行距离可能超过安全距离,增加冲撞车挡的风险。

三是人为因素影响明显。连结员疲劳、注意力不集中或经验不足,可能造成信号漏发、误发或迟发,降低作业安全性。

四是缺少冗余防护手段。现有固定式、摩擦式车挡主要属于被动防护装置,发生冲撞后容易造成车辆损坏、脱轨及线路受损,严重时还可能危及人员安全。

据统计,在铁路调车作业的多发事故类型中,尽头线冲撞土挡事故占比居高不下,给运输安全带来极大的经济损失和不良社会影响。以某车站货场为例,该货场有 8 条货物线经常有存留车装卸货,调机需要频繁向货物线尽头车挡推进。其中,当推进至有存留车的货物线时,调机与存留车连挂后继续推进,既有 STP 系统无法对前方车挡提供任何防护,安全风险尤为突出。

1.2 研究必要性

从技术角度看,现有车站行车设施无法向调机传递车挡前的剩余距离信息,更无法实施相应的减速或制动控制。以典型的调车场尽头线为例,车挡前未设置任何预警信息告知司机“车列已接近车挡”。尽头线调车推送作业过程中,机车凭连结员瞭望控制速度与距离,在信号显示不及时或设备故障的情况下,极易发生事故。

因此,研制一套能够实时探测车列与车挡距离、自动

将距离信息传送至机车、并根据距离自动限速、超速自动制动的主动防撞系统,具有十分重要的现实意义和工程应用价值。该系统应具备以下特征:

主动性:不依赖人工瞭望,自动探测并传输距离。

实时性:距离更新延时短,满足动态控车要求。

可靠性:适应复杂天气、电磁环境,故障导向安全。

兼容性:与既有 STP 系统、LKJ 设备无缝融合,不干扰既有功能。

经济性:结构简单、成本可控、易于推广。

1.3 国内外研究现状

经项目查新检索,国内已有调车作业自动停车防撞土挡方面的文献报道,涉及基于 CTCSN 结合 STP 实现调车作业的系统、高效调车控制模块及智能调车方法、铁路调车紧急停车装置等。然而,现有技术方案中,未见将探测到的调车车列距离车挡的实时米数直接传输给 STP 系统,并由 STP 系统根据此距离自动给出实时限速值、当机车超速时通过 LKJ 实现自动停车的完整闭环控制方案。本项目在上述所检相关文献中未见具体提及,具有明显的创新性。

国际上,部分发达国家的铁路站场已采用激光雷达、毫米波雷达或超声波传感器进行接近探测,并与列车自动防护系统(ATP)结合。但由于我国铁路调车作业的复杂性、STP 系统的特殊性以及成本因素,国外方案难以直接移植。本项目立足国内既有装备基础,提出低成本、高可靠性的融合方案。

1.4 研究目标与主要内容

研究目标:在车站货场选取 1 条货物线作为试点,研发一套调车作业推进土挡防撞装置,实现当调机推送车列接近车挡时,STP 系统能准确显示车列前端距车挡的实时距离,并根据距离动态限速,超速时自动控制调机制动停车。主要技术指标如下:

雷达稳定探测距离 $\geq 100\text{m}$;

雷达探测精度误差 $\leq 1\text{m}$;

探测距离显示在车载设备上的延时 $\leq 2.5\text{s}$;

设备支持在车务终端等处显示低电告警、提示功能;

土挡防撞动作准确率 100%。

主要研究内容:

(1) 研究在车挡前安装雷达等探测传感设备,实时探测接近车挡车列的距离;

(2) 研究距离数据通过无线通信回传给 STP 系统的实现方案;

(3) 研究 STP 系统接收距离数据后,生成动态限速

指令并传送至车载设备的方法;

(4) 研究车载 STP 设备显示距离与限速值, 并通过 LKJ 实现超速制动的控制逻辑;

本文主要研究雷达启闭的智能化调节方法, 利用 STP 系统中进路联锁状态信息以及调车机实时运行数据, 提出了一种只有调车机进入作业区时才开始防护的控制方案。该方案目的在于达到节能目的, 防止误操作造成的隐患, 促进节能环保技术的应用。

2 系统总体方案设计

2.1 设计原则

系统设计遵循以下原则:

以保障体系的安全性为目标, 把安全性作为系统设计的关键因素。发生故障或者出现异常状况的时候, 需要自动切换到事先安排好的安全运行状态, 保证 STP 系统一直保持稳定运转, 对于可能出现的防护功能失效情况, 也要及时进行干预, 阻止危险向更广范围内扩散, 避免造成更大的影响。

该系统具有很强的兼容性, 它的架构依靠 STP 车地通信网络、车载终端和人机交互界面来创建。前端设备上集成测距传感器, 对相关软件组件做适配优化后可以快速实现系统集成以及功能拓展, 大幅度降低技术更新所需要的资金。

从可靠性角度来选用了工业级高精度电子元件, 大大提高了设备对于复杂环境的适应性。极端环境下高温、低温、高湿、高强震动、强电磁干扰, 依然可以保持长时间不间断的工作状态并且能有稳定性地运行情况。

本系统有很好的扩展性, 可以满足各个区域土挡和尽头线分布式协同管理的要求, 而且非常灵活, 功能参数可以依照实际的应用场景自由调节。该成果给大型交通设施的限速控制技术研究提供有力的理论支撑和操作参照。

技术创新一般被认为是提高经济效益的重要动力, 它本质上就是对设备的结构设计进行改进, 减少操作与保养工作, 使设备在它的整个寿命期间能够得到有效的降本增效。

2.2 系统组成

系统由以下四个子模块构成:

2.2.1 测距模块

本模块用高精度工业级激光雷达做为传感器, 一般固定安装在车辆端部立柱或者专用支架上。其主要性能参数有如下内容:

探测距离 0.1~150m;

根据雨雾等气象因素以及温湿度环境参数等众多因素的影响, 在经过整体评价之后, 对定位的精度要求应该

达到厘米级, 路径偏差不能超过米。

工作波长 905nm (Class 1 级激光, 对人眼安全);

防护等级 IP67;

工作温度范围 $-25^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$;

输出接口支持 RS232/RS485。

相比于传统的光电传感器来说, 激光雷达因为它的环境适应性很强而被广泛关注。不但有很高的穿透力, 而且具有很好的抗干扰性, 特别适合于雨雾等恶劣气象条件下使用, 具有明显的优越性。该设备同时使用周期性扫描和事件触发这两种工作方式, 具有低能耗休眠特性, 在外部环境发生变化的时候可以对智能化探测功能作出相应的调整。STP 系统检测环节, 在调车任务进入指定区域并且满足进路安全要求之后, 检测模块就会发出启动指令给控制单元, 控制单元接收到启动指令之后就会启动雷达数据采集流程。

2.2.2 控制与数据处理主机

本主机用的是嵌入式工业控制计算机, 安装在车挡外缘处的户外防护设备里。其主要的功能可以概括为以下几点:

接收雷达输出的距离数据并进行滤波、平滑等预处理;

接收 STP 系统下发的“调机进入股道”触发信号;

按照既定通信协议对处理后数据进行打包;

控制无线传输模块完成数据发送;

同时动态监测太阳能供电系统的电池电压、充电电流等关键参数, 一旦发现异常立即发出报警, 防止系统供电不稳。控制主机以 ARM 架构低功耗微处理器为硬件平台, 运行实时操作系统, 并配置看门狗定时器对系统运行状态进行监控, 确保设备长期高效、稳定可靠地工作。

2.2.3 无线传输模块

本模块利用 STP 系统既有的 400MHz MDS 数传电台完成信息传递, 该设备具备优良的抗干扰性能和超低传输时延 ($<100\text{ms}$), 技术指标成熟可靠。在大范围部署场景中, 可增配 4G/5G 模块构成冗余链路, 进一步提高通信可靠性。为节约电台资源并提升整体效率, 设计上采用“集中采集、集中处理”的策略, 即同一站场内多个土挡传感器采集的数据经由中央控制器汇总后, 通过单一电台接口与 STP 地面机柜进行交互。数据传输方式支持问答式和周期性更新两种模式。运行期间, 系统仅循环采集目标区段距离参数, 空闲时发送状态信息和心跳数据包, 从而大幅降低无线信道占用率, 提高通信资源利用效率。

2.2.4 供电模块

由于绝大多数尽头线车挡附近未布设交流电源, 系统采用太阳能供电方案。每套前端设备配置:

太阳能电池板：100W 单晶硅；

蓄电池：100Ah 胶体电池；

太阳能充放电控制器：具备过充、过放、反接保护、温度补偿功能。

在连续阴雨天气下，蓄电池可维持系统正常工作至少 7 天。

2.2.5 STP 系统侧适配

STP 地面机柜增加距离数据处理单元，接收无线传输发来的土挡编号与实时距离数据。STP 车务终端（车站值班员界面）显示每个土挡对应的当前距离（当有车列接近时）。同时，STP 核心逻辑模块根据距离值计算动态限速曲线，通过既有数传电台将限速指令发送至车载 STP 设备。车载 STP 设备在司机室显示屏上实时显示距离与允许速度，当机车实际速度超过限速值时，向 LKJ 输出制动接口信号，LKJ 触发常用制动或紧急制动，使调机停车。

2.3 系统工作流程

系统完整工作流程如下：

STP 系统实时获取联锁设备状态、调车机车及车辆位置等数据。当检测到调机驶入配置有防撞装置的尽头线且进路信号开放时，系统发出“唤醒”指令，传递至车挡前端控制终端。

雷达系统启动以后就进入周期性扫描状态，可以对 0 到 150 米之间的移动目标实施连续探测。采集到车队特征参数之后，就会得到相应的距离测量结果。

控制终端把测距数据综合起来，创建起包含土挡标识、距离数值（单位为米）、时间戳以及设备运作状况这些内容的数据包，然后依靠无线通信模块将该数据包传输到 STP 地面机柜那里加以处理。

STP 地面设备把里程数据传送到调度终端上，从而达到对列车位置的实时动态显示的目的。车载系统接收到的数据后，用“前方障碍物距离当前位置 X 米”的形式给司机乘客呈现出来，给出比较直观明确的提示信息。

地面控制系统安全防护模块用区间距离和列车速度相对应的方式给出安全限速。按照上面的设计思想，在区间长度大于 50m 的时候，给列车限速上限定为 25km/h，区间长度在[30m, 50m]区间内限速 15km/h，小于 15m 的区间内限速为 8km/h，小于 15m 时系统要求减速，并发送预防性停车命令，限速不小于 5km/h，在小于 5 米的范围内系统启动紧急制动，使其安全停靠。车站根据具体的运营环境来设置各个方面的参数。

STP 地面设备在超速防护模式下给车载系统发出实时限速信号，该信号可以对目标距离、速度限制等主要参

数做实时的更新。车载装置接收信息之后，就会对列车实际运行速度展开监测，接着采取相应安全控制措施。当检测出超速的时候，系统就会把 LKJ 发出制动信号，促使常用或者紧急制动程序启动，从而保证调车作业的安全可靠。

当调车作业结束，机车离开指定的运行区段时，系统会按照事先设置好的“休眠”指令来自动改变设备的状态，即停止对雷达数据的采集工作，把无线通信模块设置为待机模式，并转到节能状态，进而达到节能的效果以及资源的有效利用目的。

3 关键技术与创新

3.1 雷达测距与环境适应性优化

复杂气象条件（降雨、雾霾、降雪、高粉尘环境等）下，激光雷达的测距性能就会被明显影响。为了改善信号品质并且减小噪声干扰，必须利用多回波数据分析模型来挑选出最佳的回波数据当作处理的对象。

采用卡尔曼滤波算法对原始距离数据进行预处理，主要目的是降低由于突然变化而造成的干扰，改善数据序列的整体光滑度。

如果连续 5s 内不能得到有效的距离测量信息，那么故障检测模块就会认为雷达硬件或者通信链路出现了异常情况，并且向车载终端发出警报信号来提醒可能存在的问题。

从实验数据可知，该系统对雨天、雾天 100m 以上的列车目标识别可以达到铁路调车作业技术规范的要求。

3.2 STP 系统深度融合与闭环控制

该方案以前端传感器采集到的原始数据为依据，用 STP 模型创建起一个包含感知、传输、处理、响应的高效闭环系统。相比人工观察、协作方式来说，它具有快速反应的能力，在两秒钟之内就可以完成回应。

本系统使用动态连续限速调节算法，根据实时相对距离和平滑速度变化曲线进行优化控制，大大减少了传统分级限速模式下车辆反复制动的情况。

STP 系统依靠机车运行轨迹，速度参数，线路规划数据等各个方面进行对比检验。当系统判定机车没有到达指定的股道，但是雷达模块检测到机车正在向这个方向靠近的时候，就可以把它称为异常事件。因此 STP 不会执行降速指令，而是记录异常信息，触发报警信号来提醒后面的工作人员去进行核查和处理。

3.3 智能启动与节能策略

本文主要研究如何建立一个多级的智能启动控制策略，主要解决太阳能供电时间的增加和无线通信资源分配的问题。

如果目标股道目前没有机车运行需要,那么前端设备就应转为节能待机状态,只做周期性的心跳信号发送、电池状态监控等低功耗的工作。

二级预警机制运作之时,假如 STP 系统规划的进路终点处在雷达监测覆盖范围内的货场线路区,就会产生“待机预备”状况,前端装置会停止雷达操作并开启无线通信功能,从而达到能耗降到 0.5W 的节能效果。

三级管控模式(激活状态)调车作业推进到货物线方向的时候,系统就自动将模式调整成“完全功能开启模式”。该状态下雷达设备被激活,发射测距脉冲信号,固定频率。

从研究数据可知,在每天进行 10 次,每次持续 30min 任务的情况下,该系统具有全年连续稳定运行的特性,成功地将传统的外部电源供应方式全部抛弃。

3.4 高可靠性无线传输

利用 STP 目前的 400MHzMDS 数传电台设备,通过分频段、用抗干扰编码和重传技术来提高系统的稳定性、可靠性。

本设计使用专用无线通信链路把资源整合起来并且物理上隔离,具有非常出色的跨平台兼容性。对没有部署 STP 设备的偏远区域线路,在其上嵌入式 4G 通信单元连接铁路专用网络虚拟专网(VPN),使现场采集的数据能迅速传送到车务终端,提高新旧软硬件系统之间的协同运作效率。

3.5 模块化与可扩展性设计

该前端装置由雷达传感器、控制核心、无线通讯模块和供电管理系统组成,一体化的设计可以满足尽头线车挡处的安装要求。其使用专用编码来实现唯一的识别,单个设备可以覆盖到 2~4 条货场轨道,完成监控任务,而且整体结构比较独立,具有较好的适用性。

用配置文件保存节点的相关参数,例如设备编码和名称。在新增或者修改防护设施的时候,只需要对配置文件进行更新就可以完成功能的改变,不需要对核心程序代码进行重新编译和部署。

本硬件结构及其通信协议有很好的兼容性、扩展性,可以用于智能门禁、铁路平交道安全监控、便携式隔离设施的状态监测等诸多方面。

4 系统性能验证

本文在该车站货场的货 4 道上做了设备安装调试、参数优化调整和功能性能检测工作。实验内容有静态特征检测、动态运行监测、故障重现模拟和长期稳定性评价这四个部分。

4.1 静态测试

选取平板车作为研究对象,在距车挡 5m、60m、70m 和 100m(各个组的数据间隔都为 10m)处进行测量实验。用专业级激光测距设备做为参考标准来完成数据校准和验证分析。

从实测结果可知最大偏差为 0.8m,平均偏差小于 0.3m,大大小于设计规定范围内的正负 1m 误差。车务终端对于雷达原始数据处理精度高、无遗漏、无失真、无异常。

当车辆电池剩余电量低于 30%时,在 30s 内车载终端就要接收到信号、解码并开启预警。

4.2 动态测试

本研究选取三辆敞车型车辆作为实验对象,分别以 5km/h、10km/h、15km/h 和 20km/h 的速度进行调车推进试验。每次试验均从距土挡 200m 处开始,在车列前端距离土挡为 100 米的时候开启雷达跟踪系统,实时采集目标距离数据并做记录。

经过统计得知,雷达信号从被捕捉到显示在屏幕上所需的时间为 1.8s 左右,峰值没有超过 2.2s,完全符合技术指标中给出的响应时间小于等于 2.5s 的要求。

系统动态调节的时候,如果列车的实际行驶速度接近预设的最低限速并且低于某个数值(比如 3km/h)的时候,LKJ 就会发出警告信号;当速度达到或者超过了预先设定的临界值的时候,会立刻启动紧急制动。经过检验,所有工况的制动效果都达到了预期的目的,防撞系统可靠性能指标已经达到了 100%。

雷达系统对连续挂接作业、停靠车辆进行管理有重要的作用。该系统可以依靠实时采集到的数据来精确地计算出土挡设施和自身之间相距多少米,然后按照预先设定的安全阈值自动发出减速或者停车的信号。从实验结果中看出,在复杂的工况下采用该技术有明显提高传统机车信号防护系统可靠性和运转速度的效果。

4.3 故障模拟测试

当雷达模块出现故障的时候,车载终端就会发出一个目标四号位雷达异常报警信号,并且会切换到非碰撞防护工作模式。电源恢复之后,系统就会自动重启,重新建立网络通信连接从而达到恢复到正常工作状态的目的。

设计出一个无线通信异常检测系统,在车载终端前端采集单元出现故障并且没有接收到正常距离的数据超过 5s 时,就会产生预警。通信状态恢复正常以后,系统就会自动执行数据同步、更新以及存储的操作,进而保证数

据的准确性以及一致性。

当电池储能降低到 30% 以下的时候, 系统就会发出警报, 执行预先设定好的程序。

4.4 长时间稳定性测试

持续运行 15 天的 8~10 次调车, 120h 实际工况下没有出现宕机、数据丢失、制动失灵、功能故障情况。

晴天时光伏组件可以给电池组提供足够的能量来弥补。连续两天的阴雨过后, 电池储能降到 65% 的时候, 系统还可以正常工作。

综上, 系统各项技术参数均达到或优于设计指标, 具备工程应用条件, 具有良好推广价值。

5 应用效益与推广前景

5.1 安全效益

系统在货场上线试用后, 消除了尽头线推进作业中因人工瞭望失误或设备故障导致撞土挡的安全隐患。系统试用期间未发生任何冲撞事件, 降低了人身安全风险。

5.2 经济效益

每起尽头线撞土挡事故的平均直接损失较大, 若发生脱轨或人员伤亡则损失更大。全面推广该系统后, 可避免巨大直接经济损失。此外, 系统可减少因事故造成的线路封锁、作业中断时间, 提升货场作业效率, 间接效益更为可观。

系统单套设备成本(含雷达、工控机、电台、太阳能)安装施工较低, 批量推广后成本可大幅下降, 极大缩短投资回收期。

5.3 社会效益

该项目的成功实施, 为国内普速铁路、地方铁路、专用线等大量缺乏先进防护设施的尽头线提供了一种经济实用的智能化解决方案, 有助于提升铁路行业整体调车作业安全水平。项目成果可推广至地铁车辆段、厂矿铁路、港口铁路等场景, 具有良好的社会效益。

5.4 推广前景

目前, 该系统已在某地方铁路公司立项为科技推广项目, 计划在公司管内全部尽头线的安装部署。同时, 该系统可纳入 STP 系统标准配置选项, 向国铁各路局及地方铁路推荐。未来还可结合 5G-R、监控视频、北斗高精度定位等技术, 进一步降低对固定雷达和电台的依赖, 实现更灵活的移动式防护。

6 存在的问题与改进方向

在产品设计以及工程实践的过程中出现了许多问题, 急需进行系统的研究来寻求行之有效的解决办法。

目前浙南地区电网供电可靠性还达不到系统长期安

全稳定的标准。研究表明, 在冬天持续下雨的时候, 光伏组件的发电效率明显降低并且存在明显的随机波动现象, 这对电网安全稳定的运行来说造成很大的危害。为了提高能源利用率, 减少电力供需矛盾, 本研究认为可以增大储能装置的初始容量(50Ah)到 200Ah 以上, 并且利用风电技术建立多能互补的综合能源供应体系。在保证安全的前提下提高网架的冗余度及灵活响应能力主要从加强电网网架、增加备用容量等手段实施, 在输电线路规划中加入线路联络点的考虑、对电力负荷和用户性质的变化做出预测, 并且根据需要配置无功补偿设备, 合理规划变压器容量, 采用先进的无功补偿和自动无功调节技术。之后还要继续考察上面所述方案的技术可行性和经济合理性。

极端雨雾天气对激光雷达探测性能影响比较大。常规工作条件下其性能可以比较稳定, 在高强度的降水或者重污染的雾霾等特殊天气状况之下, 探测的有效范围被迅速地缩小到只有 80m 左右, 并且极大地削弱了该系统所具备的覆盖范围以及实时响应速度。为使设备在恶劣环境下保持可靠性及实用性, 在之后的研究中将 77GHzmm 波雷达技术和激光雷达结合起来使用, 从而达到提高目标识别准确率、增强数据可信度以及改善复杂气候条件下综合表现的目的。

多台调度终端并发工作时, 数据交互冲突问题较为突出。其根本原因在于单一频段通信资源有限, 并发操作易造成信道拥塞与负荷过载。为改善当前通信瓶颈, 拟引入 LTE 或 5G 专网通信技术, 构建具备高带宽、低时延及多冗余备份能力的并行传输系统, 有效提升多终端协同作业效率与数据传输可靠性。

7 结论

本文针对铁路平面调车作业中尽头线推进撞土挡事故频发的安全问题, 提出并研发了一套基于雷达测距与 STP 系统深度融合的主动防撞装置。系统采用工业级激光雷达实时探测列车与车挡距离, 利用既有 STP 数传电台实现车地数据交互, 通过 STP 系统动态计算限速值并联动 LKJ 实现超速自动制动。项目在某站货场完成了样机安装与全面试验验证, 结果表明: 系统探测精度高(误差 $\leq \pm 1\text{m}$)、响应快(延时 $\leq 2.5\text{s}$)、控车准确(防撞成功率 100%), 且具有智能启动、节能运行、故障导向安全等优良特性。该系统为全路首创, 填补了国内尽头线调车主动防护领域的技术空白。目前系统已具备批量推广条件, 预期可大幅降低尽头线调车作业安全风险, 产生显著的经济和社会效益。后续将重点解决供电可靠性、恶劣天气适应性及多信道融合等问题, 进一步提升系统性能。

[参考文献]

- [1]曹桂均,等.无线调车机车信号和监控系统技术条件[S].北京:国家铁路局,2018,TB/T 3505.
- [2]李晋升.无线调车机车信号和监控系统场强覆盖的研究与设计[D].兰州:兰州交通大学,2015.
- [3]王朋.无线调车机车信号和监控系统实际应用中无线通信解决方案研究[J].铁路通信信号工程技术,2020,17(2):71-73.
- [4]佟哲.STP-TH 型无线调车机车信号和监控系统研究[J].铁路通信信号工程技术,2019,16(9):19-22.
- 作者简介:陶裕(1986—),男,汉族,浙江省金华市武义县人,助理工程师,本科,毕业于西南交通大学交通运输专业;研究方向/现从事工作为运输管理(轨道与铁路)。