

# 车帮自动清扫装置的研究与应用

姚壮 岳智努

根据国家相关部门进行的数据统计,2020年全国煤炭产量为39.02亿t,其中铁路运输17.9亿t,2021年全国煤炭产量40.7亿t,铁路运输占比进一步扩大。我国煤炭运输最主要的方式为铁路运输,约占全国煤炭总产量1/3,铁路运输发挥着巨大作用。

目前煤炭火车装车站场所,当火车车厢装运完成后,需进行车帮清扫作业,将车帮上撒落的煤清扫进车厢内。清扫作业目前大部分采用人工作业。作业时,车厢每侧2~3人站在操作台上,用扫把、铁锹将煤清理进车厢内。根据装车进度,操作员一般需在2 min内完成清理工作,每装一列车,连续工作100~200 min,如果装车站连续装车,清扫作业需连续进行。长期人工清扫作业过程中,发现存在以下问题:

- (1) 需要人工多,劳动成本较高。
- (2) 工人连续作业,劳动强度较大。
- (3) 工作环境恶劣,粉尘较大,冬季气温较低。
- (4) 清扫效果不佳,经常有疏漏和残余。

基于以上问题,急需开发可行、可靠、高效、高质量的车帮自清扫系统。

## 装置组成及功能

车帮自动清扫装置为全自动化清扫装置,可实现自动检测车厢高度尺寸、车帮实时位置,各清扫机构根据车厢位置和高度,自动调整工作高度并完成清理作业,清扫全过程,无需人工参与。清扫装置由控制系统、竖直信标、水平信标、前后车帮清扫机构、左右车帮清扫机构、前后车帮沟槽清扫机构组成,车帮自动清扫机结构如图1所示。

此系统通过PLC程序控制,结合定位信标识别车厢具体位置,程序控制伺服电机正反转,使升降

装置到达或回到指定位置,控制清扫电机清扫车帮,整个系统只需工人在集控室一键操作即可。

### (1) 竖直信标

竖直信标安装在清扫设备最前端,由一定高度的对射光栅构成,光栅中各个光柱等间距布置。当火车厢从竖直信标经过时,车会遮挡光柱,通过被遮挡的光柱换算出车厢高度方向的尺寸,包括煤堆的高度。竖直信标如图2所示。

### (2) 水平信标

水平信标为一组水平布置的对射激光柱,紧邻竖直信标布置,光柱等间距布置,测量原理与竖直信标相同,当车厢在其中通过时,可实时获取车厢在其中的位置,通过与竖直信标测量结果结合,得到车厢的侧向投影尺寸图,通过数据分析,控制系统可获得车帮高度和煤堆高度,判断清扫机构的清扫器清扫高度。信标检测车厢的侧向投影如图3所示。

### (3) 前后车帮清扫机构

前后车帮清扫机构布置在竖直光栅之后,由升降机构、清扫滚刷构成,前后车帮清扫机构如图4所示。当水平信标显示,车厢前后车帮已经进入清扫区域时,伺服驱动系统带动升降机构下降至清扫位置,系统分析确定清扫位置为前车帮或后车帮,然后确定清扫滚刷转动方向,将车帮上的煤清理到车厢内。为了确保清理效果,设计2组清扫滚刷,以增加车帮与清扫滚刷接触时间,确保清扫效果。为避免车帮与清扫器碰撞,升降机构达到工作高度时,滚刷转轴与车帮保持一定间距,确保仅毛刷与车帮接触;同时当前后车帮离开清扫区域后,升降机构立即升至最高安全点。

### (4) 左右车帮清扫机构

左右车帮清扫机构由升级机构和斜置清扫刷构

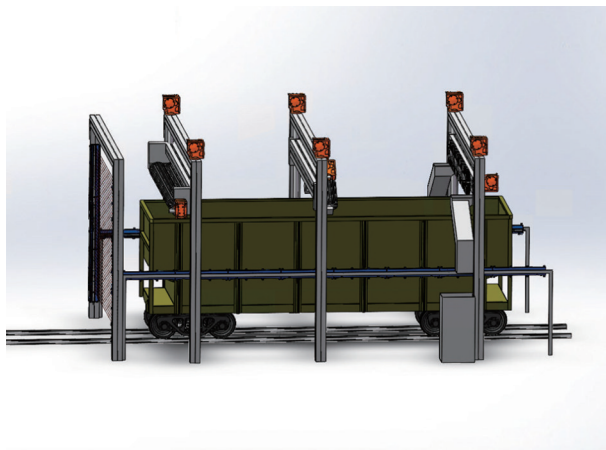


图1 车帮自动清扫机结构

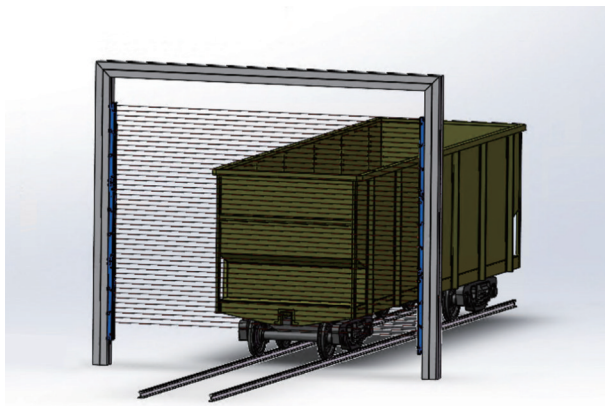


图2 竖直信标

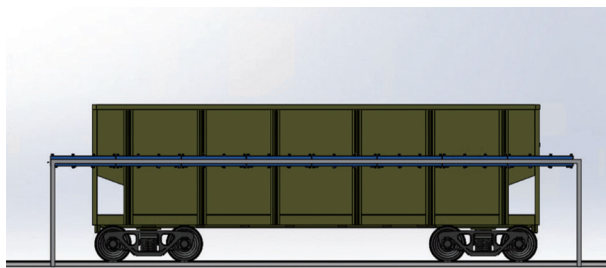


图3 信标检测车厢的侧向投影

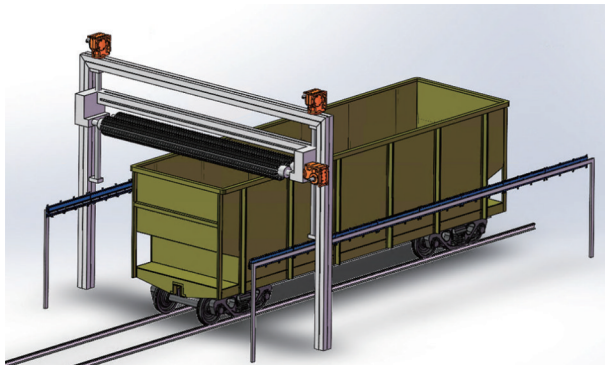


图4 前后车帮清扫机构

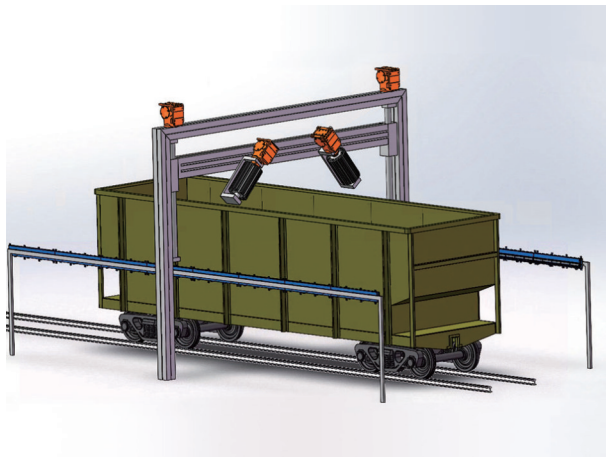


图5 左右车帮清扫机构

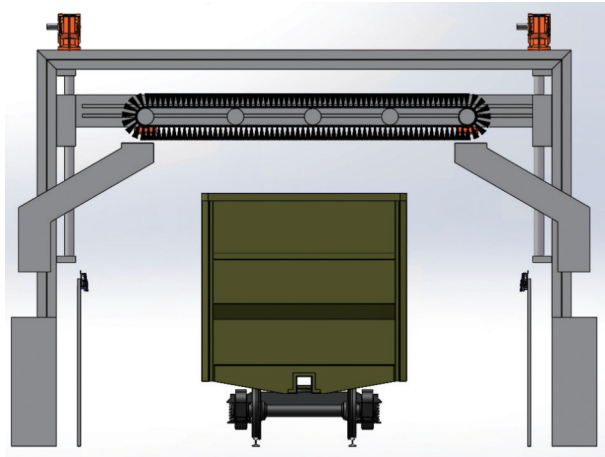


图6 前后车帮沟槽清扫机构

成，左右车帮清扫机构如图5所示。当水平信标判断车辆到达清理位置时，伺服驱动系统带动升降机构下降至清扫位置，清扫滚刷开始转动，在滚刷与车帮接触点，滚刷转动方向与车厢前进方向相反，因滚刷轴斜置，扫落的煤被抛向车厢内侧，同时为提高清扫效果，每侧设计2组滚刷。为避免车帮与

清扫器碰撞，升降机构达到清扫工作高度时，滚刷转轴与车帮保留一定安全间距，确保仅毛刷与车帮接触；同时车厢离开清扫区域后，升降机构立即升至最高安全点。

#### (5) 前后车帮沟槽清扫机构

当完成了上述清理工序，敞车车厢即可实现车

帮自动清扫。但因集装箱的前后车帮各有一条通常的U型槽,上述2个清扫机构无法实现彻底清理,仍需单独清理U型槽。前后车帮沟槽清理机构布置在最后,由升降机构、带式清扫滚刷、导料槽、储煤厢构成,前后车帮沟槽清扫机构如图6所示。

当水平信标显示车厢前后车帮已进入清扫区时,伺服驱动系统带动升降机构,下降至清扫位置,清扫滚刷开始转动,将煤由车帮中部向车厢两侧清理,被清理的煤沿导料槽进入储煤厢。为确保清理效果,清扫滚刷设计为合理宽度,以增加车帮与清扫滚刷接触时间,确保清扫效果。为避免车帮与清扫器碰撞,升降机构达到清扫高度时,保证滚刷转轴与车帮保持一定间距,仅毛刷与车帮接触;同时当前后车帮离开清扫区域后,升降机构立即升至最高安全点。

当车头经过竖直信标时,系统通过高度尺寸识别为车头,后序各清理装置全部升至最高安全位置躲避,避免发生安全事故。

## 设备工作流程

### (1) 车型尺寸检测

车厢向前行驶,几乎同时经过竖直信标和水平信标,经过水平信标是记录车厢的长度值,类似于直角坐标系中X值,经过竖直信标时获取对应X坐标的Y坐标值,由此,车型的长和高的坐标就可以建立起来。通过一系列的坐标值,提取出车帮的高度,实时确定车型前后端的位置。这些值为后续清扫机构的动作提供数据支撑。

### (2) 前车帮清扫

当信标系统检测到车厢前端进入到前后车帮清扫区域时,控制系统控制升降机构降低接近车帮高度,使得前后清扫机构的毛刷可以和车帮有效接触,并启动驱动电机带着毛刷旋转,在接触点位置毛刷与车厢运动方向相反,将车帮上的煤扫入车厢内,车厢前端向前行驶一定距离后(此距离有信标系统测得),清扫机构快速升起至待机区域,毛刷停止转动。

### (3) 左右车帮清扫

当信标系统检测的车厢前端进入左右车帮清扫区域,左右车帮清扫机构在升降系统控制下降低到接近车帮高度,此时毛刷与车帮可以有效接触。毛刷驱动电机开始旋转,在接触点位置,毛刷与车厢运动方向相反,并成一定夹角,毛刷运动方向指向车厢内部,车帮上的煤被清扫至车厢内部。清扫至车厢尾部时,清扫机构升起至待机位置,毛刷停止转动。

### (4) 后车帮清扫

当信标系统检测到车厢后端进入到前后车帮清扫区域时,控制系统控制升降机构降低接近车帮高度,使前后清扫机构的毛刷可以和车帮有效接触,并启动驱动电机带着毛刷旋转,在接触点位置毛刷与车厢运动方向相同,毛刷转动速度高于车厢速度,毛刷将车帮上的煤扫入车厢内,车厢后端向前行驶一定距离后,清扫机构快速升起至待机区域,毛刷停止转动。

(5) 前后车帮沟槽清理,信标系统检测到车厢前端或者后端进入到清扫区域后,清扫机构快速降低至接近车帮高度,确保毛刷与沟槽底部可以有效接触,旋转电机带动毛刷快速旋转,将煤从沟槽扫出,进入倒料槽,煤经倒料槽进入储煤厢存储,待满厢后人工运出。

## 装置性能优势

### (1) 抗干扰性能

车厢定位信标系统为系统关键设备,为避免现场环境存在灰尘、烟雾、雨水等情况时,微波雷达、超声波雷达、激光雷达等测量设备会受到干扰和影响,测量传感器会产生较大测量偏差,不能提供可靠数据。系统采用了等间距布置对射激光柱作为测量工具,每对激光柱的通断分别输出0和1,每遮挡1个光柱,表示向前移动一定距离。在灰尘、雾气、雨水的恶劣使用环境中,只要光能够穿透,就可输出准确清扫位置,确保车帮自动清扫系统的稳定和可靠性。



### (2) 毛刷耐磨性能

清扫过程中毛刷与车帮接触，毛刷必须具备较高的耐磨性和弹性，减少磨损和弯折情况。系统采用高弹性不锈钢丝毛刷，具备高耐磨、高弹性的特点。

### (3) 安全躲避性能

为避免清扫机构与车厢和车头碰撞，升降机构需具备较高行程，即向上可快速升至高点，高点位置超过车头位置；同时升降机构需具有较高行进速度，以及位置定位精度，确保多次重复运动不会出现定位精度降低；同时升降系统电机为带有抱闸功能的电机，停止升降时可固定在停止位置，避免因火车振动导致脱位。

### (4) 信标长度覆车厢性能

为实现控制安全，信标满足水平信标长度大于所兼容的车厢最大长度；竖短信标长度覆盖敞车和集装箱的最大装煤高度。同时满足上述2个条件，确保正确建立车长与车高的坐标值。

## 装置安全防护措施

### (1) 防掉落措施

因工作环境特殊，火车行驶振动较大，升降机



图7 自动清扫装置实物

构设计时均为带抱闸的驱动电机，确保电机停止时，能抱死在固定位置，避免产生滑动；同时升降机构运动时，不会因车辆振动引起滑动，确保上升和下降的位置准确。

### (2) 防人员误入措施

在设备工作区两侧，安装安全监测摄像头，覆盖火车道两侧及车厢顶部，实时监测覆盖区域，当出现人员进入工作区时，控制系统及时发出警报提醒人员远离现场，同样提醒集控人员，注意现场情况。

### (3) 防碰撞功能

通过竖短信标和水平信标组建的信标系统，每节车厢的高度和长度可很清晰的输入到控制系统中，车厢前后车帮可同时呈现，当系统运行时，控制系统可根据前后车帮位置，实时控制各升降机构的动作和高度，避免产生碰撞。

## 应用效果与待改进点

### 应用效果

设备调试完成后，各机构运行稳定，信标系统准确测量车厢的长、高尺寸及行车有效数据；当车厢行进速度小于15 km/h时，各清扫机构满足根据



图8 自动清扫装置现场应用

车厢移动过程,自动执行清扫动作,设备各功能稳定正常,未出现异常停机或碰撞等事故。各清扫机构清扫效果良好,在定期更换清扫毛刷的前提下,可实现前后车帮、左右车帮、前后车帮沟槽的有效清理,且能够将煤清理到车厢内,未现场环境产生不良影响。

设备稳定运行后,只需集控员在集控室监控,现场无需人员操作,可减少现场操作人员3名,有效降低了用人成本。自动清扫装置实物如图7所示,自动清扫装置现场应用如图8所示。

### 待改进问题点

(1) 装置升降系统较多,因处于室外应用环境,受雨、雪、结露等情况影响较大,目前装置未设计整体防护设施,存在水渗入行走机构中的隐患,后续设计增加对各行走结构有效防护方案,避免产生生锈腐蚀等异常情况。

(2) 装置设计中未考虑自动识别的节能设计。若车帮很干净,设备仍然按程序自动完成清扫,存在浪费能源、消耗易损件等问题。后续改进方案增加车帮覆煤量自识别功能,清扫机构可定点清理。

(3) 车厢前后车帮沟槽清扫时,因车帮与清扫机构相对运动,导致毛刷会被车帮带动向前弯曲变形,长期运行后影响清扫效果变差,毛刷没有明显磨损的情况下,需要更换毛刷。后续需增加行走机构和测速机构,在一定时间和距离内,毛刷可和车

帮同步运行,减少毛刷拉扯变形。

(4) 建立定期维护保养机制,目前设备应用中未得到定期维护和保养,导致设备信标系统出现激光点被遮挡的现象,信标定位精度降低。各行走机构中,位置测量传感器,因粉尘覆盖出现数据飘移。后续需建立定期维护保养机制,严格按照保养基准书要求定期对设备进行维护和保养。

### 结语

(1) 应用该装置能够实现车帮清扫业务的自动化,有效清扫车帮及沟槽中的物料,解决了业内减人降本的广泛需求,提升用户现场自动化水平。

(2) 该装置仍存在能耗较高的不足,对于无需清扫的车厢,装置会无差别的执行清扫动作。该问题主要因为目前尚无能够精准判断车帮有无物料的传感器,目前采用多线激光雷达方式已是最佳效果,但并未达预期。

(3) 鉴于视频识别技术在相似领域的成功应用,后续拟基于视频技术开发算法,识别车帮上积煤情况,并结合信标信号数据,确定积煤位置,从而实现定点清理,有效解决高能耗问题。

■ 策划:李金松 编辑:黄小丽

#### 作者简介:

第一作者:姚壮,产品经理,注册安全工程师。

作者单位:陕西西煤云商信息科技有限公司

### 热点问答

#### 智能矿山对通信系统的要求有哪些?

- (1)大带宽:以视频监控为例,1080p摄像头至少需4Mbps带宽,设计带宽大于60Mbps
- (2)低时延/高可靠:远程驾驶最低时延5ms、可靠性为99.999%、通信速率上行25Mbps、下行1Mbps,自动驾驶最低时延3ms、可靠性99.999%、通信速率53Mbps
- (3)移动性:满足自动巡检、自动驾驶、大型采掘设备远程操控等都满足移动性要求
- (4)数据安全:矿山通信网络为封闭业务,对数据安全性要求高,且与公网业务需做好隔离
- (5)设备安全:井下设备需通过认证获得安全证书,保证5G无线网络、F5G光纤+有线网络融合的矿井通信网络安全。

——来源:《中国煤矿智能化发展报告(2022年)》