

文章编号:1671-251X(2021)S2-0056-04

原煤运输系统智能化关键技术研究

曹艳军, 柳骁

(国家能源集团准格尔能源有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要:长距离原煤运输系统受电铲运行、卡车运输故障和破碎效率等因素影响,造成供煤量稳定性差,原煤运输量不均匀,长时间空载或者轻载运行。为提高原煤运输系统运行效率和智能化管理水平,介绍了长距离原煤智能运输系统关键技术:带式输送机智能调速技术、受料斗煤位控制策略、胶带保护预警和智能动态点检系统。带式输送机智能调速技术通过煤流可视化功能实时检测胶带煤量,调整变频器频率控制带式输送机速度。受料斗煤位控制策略通过双目视觉测量原理测量受料斗分布范围和厚度,兼顾来煤卡车位置、车速监控,控制受料斗运转频率,实现煤位自动控制。胶带保护预警包括胶带纵撕检测、异物检测。智能动态点检系统中机器人配备有高清可见光摄像机、可见光摄像仪、避障传感器、烟雾传感器等功能模块,可全天候执行原煤运输系统电动机、滚筒、托辊状态监测。

关键词:长距离原煤运输系统;带式输送机智能控制;受料斗煤位控制;胶带纵撕检测;胶带异物检测;机器人巡检;双目视觉

中图分类号:TD67

文献标志码:A

Research on the key technologies of intelligent coal transport system

CAO Yanjun, LIU Xiao

(CHN Energy Zhungeer Energy Co., Ltd., Ordos 017000, China)

0 引言

在煤矿运输系统中,带式输送机是能量消耗的主要设备,对于长距离、高带速、大运量的带式输送机而言,其消耗的电能占煤矿生产用电量的比例会更大,对于长距离、高带速、大运量带式输送机的节能技术研究已成为当下研究热点。选煤厂原煤运输采用“单斗卡车+半移动式破碎站+带式输送机”工艺,其中带式输送机输煤线路长,从破碎到装车站,要经过数 10 次转载运输,单线输煤距离约 4 km,涵盖运输设备 50 余台套,占比 25%,运输系统功率占全厂总功率 70%左右。因此,解决运输系统的能耗问题是选煤厂做好节能降耗工作的关键。现用的传统带式输送机设计冗余大,运行过程中负载率低,生产过程经常出现“大马拉小车”现象,加之生产系统均采用逆煤流启动方式,导致运输系统能耗高、效率低。而且长时间低负荷运行也使运输系统的传动系统、胶带、刮板等形成无效磨损,缩短了设备使用寿命。选煤厂在进行提质增效工程改造后,引进永磁电动机对原有的驱动系统进行“智能化升级”。通过

引进高压永磁电动机,用高压变频器控制电动机运行,根据胶带上物料变化情况控制输出频率及转数,从而达到节能降耗目的。

1 带式输送机智能调速技术

带式输送机胶带运行速度精准调节的前提条件是对运煤量的精准测量。目前带式输送机运煤量检测方法主要包括电子胶带秤测量法、激光盘煤仪测量法、机器视觉三维重建等。其中电子胶带秤测量法应用广泛,但是受秤重托辊非准直度、胶带张力及运行阻力等“胶带效应”,实际操作过程难以准确修正称重误差、胶带速度误差、校准误差、环境影响误差等因素对煤量测量的影响。激光盘煤仪使用非接触高速激光测量方法采集运输煤料的三维信息数据,进而求出煤料的体积和质量,但其价格昂贵,难以大规模推广应用。机器视觉方法包含 2 种具体方式:一种为采用基于色彩灰度信息去识别煤料区域,进而估算煤料区域的宽度和高度信息,但是该方法在实际应用中,受环境光照影响较大,在光线变换较大的场景下误差较大;另一种方法为直接通过双目

收稿日期:2021-02-02;责任编辑:王晖。

作者简介:曹艳军(1989—),男,内蒙古乌兰察布人,工程师,主要从事选煤技术管理工作,E-mail:yanjun.cao.h@chnenergy.com.cn。

视觉方法检测传送带区域的深度信息,通过三维建模估计煤量,但该方法运算量大,实际应用达不到实时性。

通过对比以上 3 种称重方法,本文创新提出了通过检测煤料的运动信息来识别煤料区域,基于有限元思想的离散化算法计算煤料区域实时运煤量的方法。该方法基于运动追踪和双目立体视觉检测算法,包括基于运动追踪的煤料识别模块、煤宽检测模块、基于双目视觉的深度信息提取模块、高度和体积计算模块。

(1) 煤料识别模块:根据摄像机拍摄的图像,获取前端采集的图像,根据获取的图像,基于相邻两帧图像差,捕捉运动的煤料区域,实现煤料的识别。

(2) 煤宽检测模块:根据初步识别的煤料区域,基于 sobel 算子检测煤料区域的水平提取,设定一定读值,排除无关的运动背景,计算煤料区域宽度。

(3) 煤料三维信息提取模块:首先,通过张友正标定方法求解相机的内部参数和外部参数;其次进行双目校正和立体匹配,获得双目视差图,进而利用变换公式得到煤料高度值。

2 受料斗煤位控制策略

目前破碎站系统受料斗料位控制受上游露天供煤连续性影响,对下游来说,间接影响原煤运输能耗消耗。当受料斗处于高料位时,导致露天矿大车卸煤时溢煤和压车现象;当受料斗处于低料位时,容易造成受料斗排空,刮板机和带式输送机空转,增加能耗和设备损耗,由于缺少检测手段导致受料斗空置,卸煤冲击影响受料斗使用寿命。

为实现受料斗料位精准把控,利用视频分析技术精准检测分析出受料斗内煤量信息,结合露天煤矿卡车调度系统的车辆重载信息作为来煤预判信号,在带式输送机安全运力范围内通过调整刮板机的转速来合理控制受料斗料位。

破碎站系统根据相关数据判断当前受料斗是否具备卸煤条件、是否具备低速运转,同时将相关数据传送给集控系统,实现现场红、绿灯转换,以此提醒卡车司机当前是否允许卸料。通过对相机拍摄的画面进行分析,基于受料斗物料不同料位情况,划定受料斗满料程度类别,定量计算受料斗存煤数量。根据受料斗实际情况可分为以下 4 种情形:无煤料;少量煤料;较多煤料;即将溢满。

根据图 1 所示的受料斗煤量的模拟图片和相关说明,通过煤料在 B 面、C 面、D 面的煤料高度和形状分析,可以得出煤料体积。

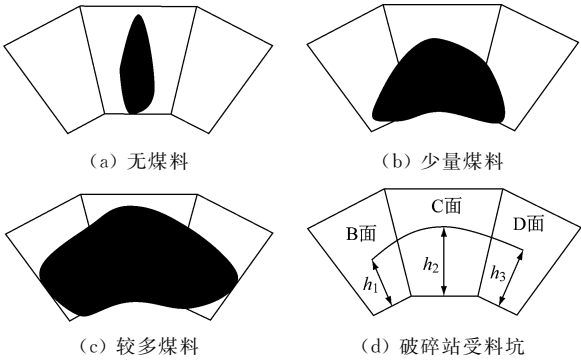


图 1 模拟俯瞰状态下破碎站系统

当煤料只在 C 面区域时,煤量所在 C 面煤料面积以及煤的厚度有关。煤厚度 d 可根据相似三角形近似计算(图 2):

$$d = \left[\left(\frac{h_c}{\tan \alpha} + s \right) \tan \beta - h_c \right] k \tag{1}$$

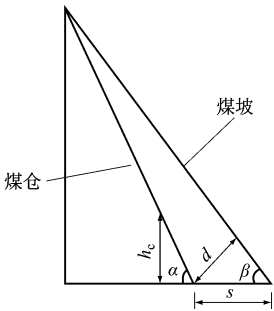


图 2 煤厚度计算

式中: α 和 β 分别为出料斗和煤坡的倾斜角; s 为煤坡和出料斗的平均距离; h_c 为煤料处的厚度。

煤量可通过积分获得:

$$V = \int_{h_{c1}}^{h_{c2}} \omega dh_c \tag{2}$$

式中: ω 为某一高度时煤截面积的宽度; h_{c1} 和 h_{c2} 分别为无煤料和较多煤料下的煤料厚度。

如煤料存在 B 面、C 面、D 面时,要综合考虑 3 个面的煤料分布来计算煤量。

根据实际现场情况,煤料的厚度不仅和 3 个面的煤料高度有关,还与煤料在 3 个面的分布情况有关,如图 3 所示。

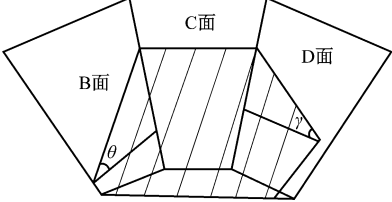


图 3 受料斗煤料示意图

此时,根据拍摄受料斗煤料区域面积和 B 面和 D 面的倾斜角度,计算煤量:① 若煤料区域面积较大,且和 B 面和 D 面的倾斜角度较小,此时可判断煤量较多。② 若受料斗区域面积较小或倾斜角度较大,此时可判定煤量较小。

倾斜角度的计算根据 B 面或 D 面中位置靠下且伸展最长的点确定,如图 3 中的 γ 角和 θ 角。

3 胶带保护预警系统

胶带保护预警系统主要包括纵撕检测单元和煤中异物监测单元 2 个部分。纵撕检测单元主要通过图像处理和识别技术,对胶带表面缺陷的在线检测,图像处理流程如图 4 所示。

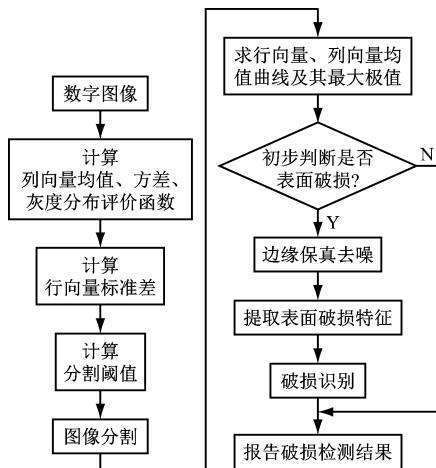


图 4 图像处理流程

采用高速摄像设备采集胶带运行图像,利用图像同列所感受光强的一致性,并且建立能抑制行向不均匀噪点的分割模型,实现快速分割,对行向量、列向量均值曲线进行边缘保真去噪,提取破损特征参数,对表面破损进行快速识别。

监控系统平台能够实时监测胶带带面的“健康”状况及状态诊断,包括破损及撕裂的大小、数量,实时显示当前胶带带面的整体状态,根据裂纹的破损程度显示在带面画面的相应定位上(图 5),并在相应位置上显示不同颜色(破损程度)、破损数量、破损尺寸等。通过智能算法及专家数据库的分析(图 6),对胶带“健康”状况进行判断,并能预测胶带使用寿命及提出维护建议。

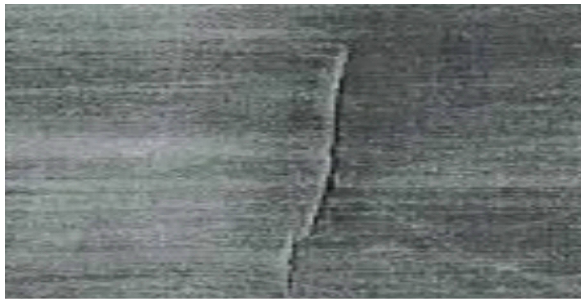


图 5 高速激光捕捉的画面

实时异物监测技术主要是指在带式输送机尾处合适的检测区域安装智能分析摄像机检测铁质、不锈钢等金属,实现对带式输送机煤中异物检测功能。检测信息通过平台智能视频处理软件,根据现场实



图 6 经算法处理后的画面

际工况要求设定区域报警与紧急停机规则限定,当在生产过程中有异物出现(如齿套、钢板等)并停留超过预设时间时,由系统软件产生报警信号并立即发出声光报警指示,同时将报警信息视频联动至指挥系统进行报警提示。

一般地,在带式输送机工作面的下方安装一套矿用隔爆型胶带纵撕检测装置,高速相机获取的运输胶带下的表面图像模拟信号经安装在工控机上的图像采集卡转换为数字信息,使用相应的图像处理软件即可得到最终的检测结果。当检测出表面纵向撕裂后,软件平台发出报警提醒,同时现场设备产生报警、停机信号,联动传输到巡视岗位工移动端。

4 带式输送机智能动态点检系统

智能动态点检系统主要由机器人本体、驱动模块、主控模块、监测模块(红外与可见光相机)、避障模块、牵引装置、电池组、声光报警、充电模块、手动控制遥控器、除尘排障等组成。带式输送机智能动态点检系统主要对全线路环境监控、胶带质量监控、机头机尾关键点定点定位检测、带式输送机附属装置巡检。采集托辊状态、托辊温度、胶带损伤、环境智能感知、故障定位等内容,服务器会对检测数据进行实时分析,对温度异常、托辊窜动、接触异常、声音异常等进行报警跟踪。

4.1 软件设计

带式输送机智能动态点检系统软件主要包括数据采集模块、显示控制模块、数据处理模块、数据存储。数据采集模块主要完成各传感器及各相机的数据采集;显示控制模块主要实现各个传感器、机器人的控制及相关信息的展示;数据处理模块主要是对采集的数据进行分析处理得到实时的处理结果及报警等;数据存储主要包括采集数据的储存、处理结果的存储及相关数据的数据库存储等。系统软件架构如图 7 所示。

4.2 系统功能

(1) 巡检机器人定速运动功能。可以在胶带式输送机的机头与机尾之间来回匀速运动,根据带式

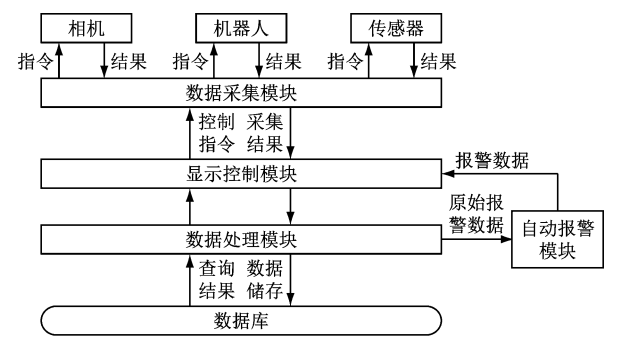


图 7 带式输送机智能动态点检系统软件构架

输送机复杂地形实现上坡和下坡平稳运动,并且不会出现打滑现象,机器人具有断电刹车抱闸功能,防止突然断电后,机器人不受控制运动。

(2) 恒温保护功能。因现场特殊的气温环境,需要保证各传感器及用电器受温度影响较小,所以机器人设计有加热器和过滤风扇,保证机器人内部温度恒定,温差不大。

(3) 自动充电功能。巡检机器人根据自身剩余电量,将自动返回充电桩自动充电。

(4) 巡检机器人和中央控制室采用无线通信。无线网络覆盖整个机器人轨道,可以实现在中央控制室对巡检机器人的直接控制。

(5) 自动定位功能。

5 结论

(1) 带式输送机智能调速技术通过基于运动追踪和双目立体视觉检测算法,借助变频驱动系统实现带式输送机智能调速,从而实现原煤运输系统节能降耗。

(2) 利用视频分析技术测量出受料斗内煤量信息,结合上游露天煤矿卡车运输信息,实现受料斗自保护以及受料斗料位精准控制,受料斗承接大车卸煤以及配合下游带式输送机智能调速功能。

(3) 通过对纵撕检测系统的研究,改进激光发射器的功率,改进相机采集图像的效果,实现带式输送机带面信息的获取。同时还在研究过程中优化算法,除了检测撕裂外,结合煤中杂物检测实现带式输送机带面健康诊断功能。

(4) 智能点检系统完成了运行过程中多因素、宽范围的监测,将监测的定位、温度等信息传送至机器人智能巡检平台,可实时观看动态画面,辅助工人对托辊的识别和更换,实现了对现场温度、湿度、声音、烟雾的检测及报警功能。

参考文献:

[1] 邢金岭. 变频驱动带式输送机功率平衡控制研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(7): 84-87.

[2] 肖鸿亮. 带式输送机的输送量检测与节能控制系统的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.

[3] 马广川. 煤矿生产物流系统瓶颈的诊断与优化[D]. 青岛: 山东科技大学, 2011: 1-10.

[4] 李鑫, 李仲学, 李翠平. 基于 Agent 技术的井下运输仿真模型研究[J]. 金属矿山, 2011, 40(12): 113-116.

[5] 王国法, 杜毅博. 煤矿智能化标准体系框架与建设思路[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(1): 1-9.

[6] 曾飞, 吴青, 初秀民, 等. 带式输送机物料瞬时流量激光测量方法[J]. 湖南大学学报, 2015, 42(2): 40-46.

[7] 张文军, 舒新前, 姜洪才, 等. 基于激光三维扫描的不规则煤场测量系统设计[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(5): 111-114.

[8] 韩建国. 神华智能矿山建设关键技术研发与示范[J]. 煤炭学报, 2016, 41(12): 3181-3189.

[9] 李瑜芳. 彩色结构光条纹中心线提取方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.

[10] 王莉. 智能矿山概念及关键技术探讨[J]. 工矿自动化, 2014, 40(6): 37-41.

[11] 李汉超. 基于激光三角法的物料体积计量方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.

[12] 查英, 刘铁根, 杜东. 图像识别技术在零件装配自动识别中的应用[J]. 计算机工程, 2006, 32(10): 178-179.

[13] 汪国云, 李济顺. 基于轮廓的物体识别与定位方法[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2006, 27(6): 42-45.

[14] 郝存根. 煤矿运输自适应控制系统的设计和应用[J]. 煤矿机械, 2019, 40(1): 124-126.

[15] 蒋卫良, 王兴茹, 刘冰, 等. 煤矿智能化连续运输系统关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 134-142.

[16] 孙继平. 煤矿信息化与智能化要求与关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 22-25, 71.

[17] 崔亚仲, 白明亮, 李波. 智能矿山大数据关键技术与发展研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3): 66-74.

[18] 宁志强, 陶元芳. 输送机中间架智能语音交互设计型专家系统研究[J]. 煤炭工程, 2018, 50(3): 116-121.

[19] 高晓强, 王宇挺, 李泽民, 等. 基于有限元分析的输送带覆盖层破坏过程研究[J]. 煤炭工程, 2020, 52(增刊 1): 152-156.

[20] 邵珠娟, 邓晓刚, 程豪杰, 等. 智能带式输送机巡检机器人在煤矿的应用[J]. 中国煤炭, 2020, 46(6): 35-39.