



移动扫码阅读

黎少辉, 顾 军, 钱建生, 等. 封闭储煤场高空轨道盘煤机器人系统设计[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(9): 208-213. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.09.026

LI Shaohui, GU Jun, QIAN Jiansheng, et al. Design of high altitude orbit coal volume measuring robot system for closed coal yard[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(9): 208-213. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.09.026

## 封闭储煤场高空轨道盘煤机器人系统设计

黎少辉<sup>1</sup>, 顾 军<sup>2</sup>, 钱建生<sup>2,3</sup>, 蔡利梅<sup>3</sup>, 吉 智<sup>1</sup>

(1. 徐州工业职业技术学院 机电工程学院, 江苏 徐州 221140; 2. 华洋通讯科技股份有限公司, 江苏 徐州 221116;  
3. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:**针对目前储煤场高效盘煤的无人机自动盘煤系统存在拍照抖动、定位精度不稳定、封闭空间盘煤适应性差的问题,结合封闭储煤场大棚结构特点,设计一款封闭储煤场高空轨道行走机器人自动盘煤系统。该系统主要由地面操作系统、轨道系统、行走机器人系统构成。地面系统实现应急手动操作控制、数据接收与处理,由手控遥控器及操作箱构成;轨道系统包含棚顶轨道系统与机器人升降轨道系统,棚顶轨道及轨道上设置的位置感应器实现机器人的行走轨迹及位置信息确定,升降轨道系统设置有固定开关及行程位置开关,保障机器人的机体固定,升降轨道与棚顶轨道有效结合,实现行走机器人的安全提升、行走与下降;行走机器人系统包括动力模块、数据采集模块、控制模块 3 个部分,动力模块为机器人在轨道上行走提供动力源,包括电池与行走机构,数据采集模块实现图像采集与位置信息融合,PLC 控制系统实现机器人远距离遥控、行走控制及高清图像采集与传输。试验证明,该系统保留了无人机盘煤系统的高效数据采集分析的优点,解决了无人机盘煤系统的不足。轨道机器人自动盘煤系统虽然前期整体投入较高,但使用成本低、易操作。

**关键词:**全封闭储煤场;高空轨道系统;升降轨道系统;盘煤;机器人

**中图分类号:**TD67      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-2336(2019)09-0208-06

## Design of high altitude orbit coal volume measuring robot system for closed coal yard

LI Shaohui<sup>1</sup>, GU Jun<sup>2</sup>, QIAN Jiansheng<sup>2,3</sup>, CAI Limei<sup>3</sup>, JI Zhi<sup>1</sup>

(1. School of Mechatronic Engineer, Xuzhou College of Industrial Technology, Xuzhou 221140, China; 2. Huayang Communication Sci-Tec Company Limited, Xuzhou 221116, China; 3. School of Information and Electric Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of camera shake, unstable positioning accuracy and poor adaptability of closed space in automatic coal volume measuring system of unmanned aerial vehicle (UAV), according to the characteristics of roof structure of closed coal storage yard, an automatic measuring coal storage volume system is designed based on the high altitude orbit walking robot. This system is mainly composed of the ground operating system, the orbit system and the walking robot system. The ground system realizes emergency manual operation control and data receiving and processing, which is composed of hand-controlled remote control and operation box. The orbit system includes the roof orbit system and the lifting orbit system of robot. The roof orbit of shed and the position sensor set on the orbit realize the determination of walking path and the position information of robot. The lifting orbit system is equipped with a fixed switch and a stroke position switch to ensure that the robot fixation and the lifting orbit is effectively combined with the top orbit of the shed, so as to achieve the safety promotion, walking and descent of the walking robot. The walking robot system consists of three parts: power module, data acquisition module and control module. The power module provides the power source for the robot to walk in orbit, including battery and walking mechanism. The data acquisition module realizes image acquisition and position information fusion, and the PLC control system realizes remote control, walking control and high definition image acquisition and transmission of the robot. The test results show that the system retains the advantages of data acquisition and analysis of UAV automatic measuring coal storage volume system, and solves the shortcomings of UAV automatic measuring coal storage volume system. Although the initial overall investment of the automatic measuring coal

收稿日期:2019-04-11;责任编辑:赵 瑞

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801808);江苏高校“青蓝工程”资助项目(201812);徐州市科技计划资助项目(KC16HQ239)

作者简介:黎少辉(1974—),男,河南驻马店人,教授,博士。E-mail:lishaohui@mail.xzcit.cn

storage volume system of the high altitude orbit walking robot is high, but the system is low use cost and easy to operate.

**Key words:** closed coal storage yard; high altitude orbit system; lifting orbit system; coal volume measuring; robot

## 0 引言

盘点储煤场中的储煤量是燃煤火力发电厂生产管理的重要工作,是电厂安排生产计划和核算经济效益的重要环节,因而迅速、准确地测量出煤场上煤堆的体积和质量是各电厂进行成本核算和科学管理的周期反复性工作<sup>[1]</sup>。目前国内储煤场盘煤主要采用人工测量、激光雷达盘煤测量、无人机盘煤等方法<sup>[2]</sup>。人工测量方法不仅需要耗费大量的人力和物力,其测量精度差,方法笨拙、费时费力,与现代化火电厂生产运作极不相称,严重制约了电厂现代化管理水平的提高。近年来随着计算机技术的快速发展,激光雷达盘煤测量盘煤方法得到有效推广,这种新型的自动盘煤方法在盘煤的实时性和准确性方面都有显著的改善<sup>[3-6]</sup>,但是激光雷达的成本太高,并且实施过程复杂,维护成本高,测量距离短,透视几何定位存在测量死角和盲区等不足。无人机自动

盘煤系统是目前各种盘煤方法中高效经济的一种盘煤方法。通过无人机搭载高清相机获取储煤场煤堆的高清图像,并融合 GPS 精确定位信息,再通过基于二维图像的三维重构技术获取储煤场内煤堆的三维模型,从而获得煤堆的体积<sup>[7]</sup>。无人机盘煤高效、成本低,但存在拍照抖动、定位精度不稳定、封闭空间盘煤适应性差的问题,较适合露天煤场盘煤需求,但随着国家环保要求,露天煤场逐渐被全封闭储煤场取代<sup>[8-11]</sup>。基于上述分析,针对全封闭储煤场设计了一款高空轨道盘煤机器人系统,试验证明,该设备能有效提高盘煤速度,降低盘煤工作量,提高燃煤电厂的管理水平。

## 1 封闭储煤场轨道盘煤机器人系统组成

封闭储煤场轨道盘煤机器人系统主要有地面操作系统、轨道系统、行走机器人系统,如图 1 所示。

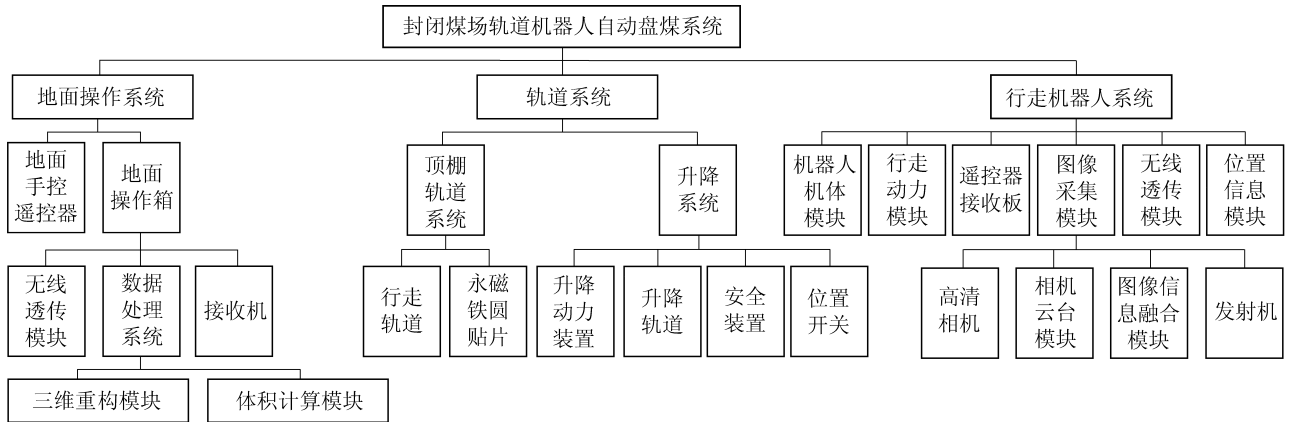


图 1 轨道机器人自动盘煤系统框图

Fig. 1 Block diagram of high altitude orbit coal volume measuring robot system

地面操作系统包括地面手控遥控器和地面操作箱。地面手控遥控器是应急控制系统,在机器人和地面控制系统的无线异常时作为备用应急控制;地面操作箱主要实现信息接收、发射、显示、处理功能。

轨道系统包含机器人高空行走轨道、机器人提升与回收系统、机器人行走定位装置。高空行走轨道主要实现盘煤机器人按照一定的高度平稳运行,包含高度位置信息;提升与回收系统主要实现提升轨道与棚顶固定轨道有效对接,保证机器人安全到达棚顶固定轨道,并在完成盘煤工作后顺利返回地面,便于维修与保养,且一套设备可满足多个储煤场使用,降低投资成本;机器人行走定位装置是在棚顶

轨道两端附近及轨道中间多点设置霍尔接近开关匹配的永磁铁,利用永磁铁与机器人上设置的接近开关来检测及校验轨道行走机器人位置信息。

行走机器人系统主要包含机器人本体、行走动力模块、行走控制模块、位置信息模块、图像采集模块、无线透传模块。行走控制模块采用直流无刷有感电动机,配套驱动器具备闭环位置控制模式,控制信号采用脉冲+方向驱动模式;位置信息模块是通过行走机器人内部的霍尔接近开关与轨道上设置的永磁铁产生位置信息,对机器人位置确定及行走方式控制;数字图像采集模块包括高清相机、相机云台模块和图像信息融合模块。高空轨道行走机器人通过搭载的高清摄像头获取储煤场的图像,再通过图

像信息融合模块将获取图像时的位置信息融合到图像中。相机姿态调整采用三轴自稳定云台,在通电后动态调整至预设的相机姿态,保证拍照的清晰度;无线透传模块是由发射机和接收机组成,发射机将视频的模拟信号转换成无线信号通过棒状天线发射出去,地面控制盒通过接收机接收此无线信号,并转换成视频的模拟信号供显示屏显示。

## 2 盘煤机器人行走轨道系统设计

基于工字钢过重与成本过高等因素,行走轨道及升降系统轨道均采用角钢来实现。整体行走轨道及升降系统如图2所示。盘煤机器人行走轨道整体呈U型,通过拉杆及U型卡子固定在棚顶横向拉杆上,行走轨道底部按一定的距离设置永磁铁贴片,该永磁铁贴片与盘煤机器人上安装的霍尔接近开关,实现其位置矫正与位置信息确认。盘煤机器人的升降是由升降轨道系统实现的,其包含升降动力模块、牵引模块、安全保护装置、位置信息提示系统。安全保护装置是避免升降系统提升或下降时牵引绳或滑轮出现故障,而导致升降轨道倾斜引起机器人滑动或脱落。位置信息模块功能是判断提升轨道是否与棚顶固定轨道对齐,由于棚顶轨道位置较高,通过位置开关点亮灯泡的方式判断升降轨道到位情况。

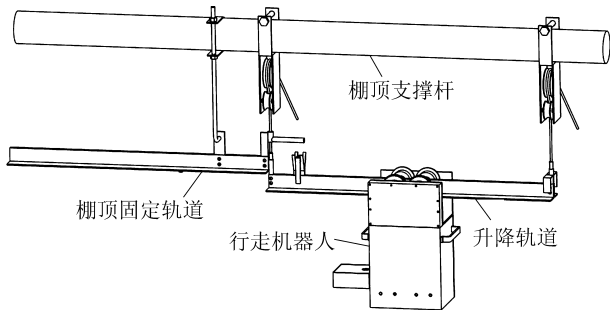


图2 盘煤机器人行走轨道及升降系统

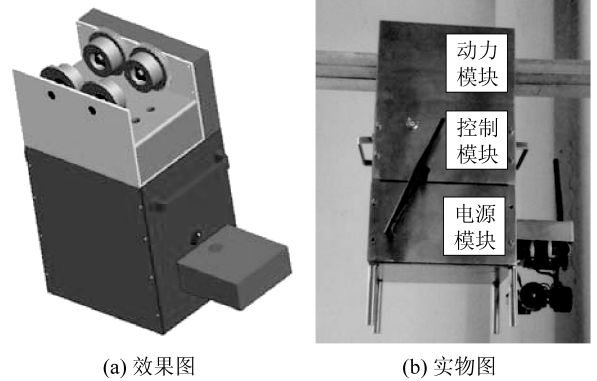
Fig. 2 Walking orbit and lifting system of coal volume measuring robot

## 3 盘煤机器人系统设计

### 3.1 盘煤机器人机体设计

盘煤机器人结构设计首先满足角钢轨道上以预期的速度平稳运行,具有一定的转弯能力,同时具备体积小、质量小、重心稳定、外观整洁,并能够提供足够的空间安装动力源及控制设备。基于此,整体结构尺寸设计以现有的动力源及控制设备(电池、电动机、控制板、驱动器等)的大小与形状为依据,采用悬挂式结构,最重的电池放在最下部,降低设备整

体重心。较轻的相机云台挂架放在机箱侧面,既方便相机的取挂,又易于盘煤机器人的放置;电动机盖板上设置有接近开关的安装孔,安装孔的位置与行走轨道上的永磁铁位置相对应。整体结构设计及实物如图3所示。盘煤机器人的运行速度是提高盘煤效率及质量的关键,通过对轨道滚轮的直径、齿轮传动系统传动比的选择及电动机功率速度等多方面的综合优化,既要满足运行速度要求,又要保证空间的需求。



(a) 效果图

(b) 实物图

图3 盘煤机器人机体效果及实物

Fig. 3 Impression and physical drawings of coal volume measuring robot

### 3.2 动力模块

机器人吊装在高空,电源选用锂电池作为能源,相应的驱动部分采用直流无刷有感电动机。直流无刷电动机噪声低,电磁干扰小,使用寿命长。驱动板采用AQMD3605BLS型,此控制板功能丰富,具有速度模式、位置模式、转矩模式。

### 3.3 盘煤机器人控制系统设计

盘煤机器人控制系统主要由4个部分构成:应急遥控装置、地面控制系统、云台悬挂装置及机器人运动主体,如图4所示。

应急遥控装置由遥控IO板与手持按键遥控器构成,接入PLC板的输入点,采用315 MHz无线电通信,在小车和地面控制系统的无线异常时作为备用应急控制;地面控制系统由彩色显示屏和接收机组成,通过操控盒上配置的触摸屏及无线透传系统实现机器人控制、参数配置与状态显示;云台悬挂装置主要悬挂3轴自稳定云台,该云台带有3只直流无刷电动机和1只陀螺仪,在通电后动态调整至预设的相机姿态,以保证拍照的清晰度;机器人运动主体上PLC模块中的RS485接口通过无线透传模块将数据传送至地面控制系统,发射机将视频的模拟信号转换成无线信号通过棒状天线发射出去,地面控制系统通过接收机接收此无线信号,并转换成视

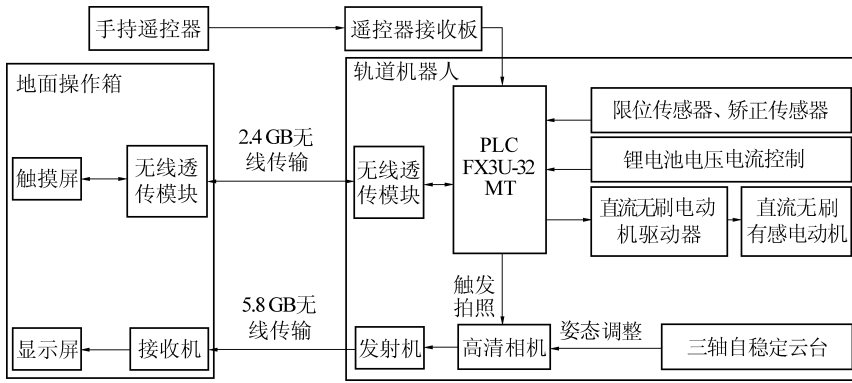


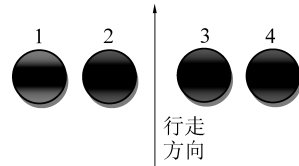
图4 盘煤机器人控制系统

Fig. 4 Control system of coal volume measuring robot

频的模拟信号供显示屏显示,视距传输距离可达2.5 km。

盘煤机器人的行走位置信息是实现精确盘煤的关键,行走过程中驱动轮与轨道的滑动容易造成位置误差,确定与矫正机器人位置显得尤为重要。通过在轨道的两端设置感应器,确定机器人的行走范围,并作为起始点的零位基准;机器人行走过程中位置的确定通过输入脉冲数和直流无刷有感电动机内部的霍尔元件作为反馈组成闭环系统来实现;对于驱动轮与轨道滑动造成的位置偏差,采用在移动行程中布置矫正点的方式来消除累计偏差,限位矫正采用霍尔接近开关,感应距离10 mm,在电动机盖板上齐平安装,箭头为前进方向,如图5所示。盘煤机器人工作过程中需要确定前后终点位置及位置矫

正,接近开关1为前限位,接近开关2为后限位,接近开关3为位置矫正1,接近开关4为位置矫正2,为有效实现行走机器人的位置确定与矫正控制,对接近开关工作状态进行分析,见表1,分析结果表明,分别采用状态2、状态3、状态5与状态9组成感应系统,因为每个感应器仅在其预设的感应位置上被感应,所以该系统非常稳定可靠,软件处理也很简单。



1—4为接近开关编号

图5 盘煤机器人接近开关布置示意

Fig. 5 Proximity switch layout of coal volume measuring robot

表1 接近开关工作状态分析

Table 1 Working status analysis of proximity switch

识别状态	状态															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
接近开关1	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
接近开关2	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
接近开关3	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
接近开关4	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
干扰状态项	—	—	—	2,3	—	2,5	3,5	2,3,4,5,6,7	—	2,9	3,9	2,3,4,9,10,11	5,9	2,5,6,9,10,13	3,5,7,9,11,13	15

### 4 试验与分析

盘煤系统主要将图形采集与传输系统的搭载平台由无人机改为轨道行走机器人,图像采集与处理系统仍采用文献[7]中的无人机盘煤系统中的图像采集与分析系统,文献[7]中详细对比了无人机露

天煤场盘煤试验结果与国内先进的激光雷达盘煤结果,证明无人机盘煤系统的高效性。本系统试验以徐州华美电厂封闭储煤场作为研究场所,以无人机盘煤系统为试验对比对象,2个系统搭载的图形采集系统相同,且该封闭储煤场对煤炭的进出量具有详细的记录,方便进行试验对比分析。无人机的试

验过程与文献[7]一致,试验人员独立优化飞行轨迹、采集与分析试验数据。

轨道盘煤机器人通过搭载4K高清相机在储煤场棚顶轨道上行走,拍照获取含有高精度三维位置信息的高清图像。在拍照图像时,记录每张图像的位置数据,保证每一张图像与前一张拍摄的图像都有重合,以便于图像之间的特征匹配。通过图像的特征提取与匹配、稀疏重建和稠密重建3个步骤获得储煤场中煤堆的三维模型,基于该三维模型算出煤场中的储煤量<sup>[7,12-16]</sup>。试验对比分析如下:

1) 操作性方面,无人机盘煤系统操作难度大,需要专业人员完成,操作技术可移植性差,且操作技术对试验结果影响大。而轨道盘煤机器人系统行走轨道及位置信息事先已经确定,操作人员只要保证轨道机器人的安全升降与行走,重点培训一下应急操作及数据处理即可,操作技术迁移性、稳定性高,操作过程对试验结果影响小。

2) 盘煤速度方面,无人机盘煤前需要详细地优化飞行轨迹及操作规范性要求<sup>[17-19]</sup>,这个工作将需要20~30 min。有时基于试验结果需要反复优化飞行轨迹,时间可控性差。2个系统的数据采集、传输、分析系统相同,而轨道盘煤机器人的行走轨迹已经确定,无需事先规划。因此,轨道机器人系统盘煤时间平均高于无人机系统20 min以上。

3) 盘煤精度方面,无人机在封闭大棚内飞行过程中,受到棚顶透气窗多方向风吹的影响,出现飞行的不稳定,造成位置信息误差及图片采集不清晰现象,后期数据处理困难,数据分析耗时长,结果误差大<sup>[20]</sup>。而轨道机器人盘煤系统的行走稳定,受风吹影响小,且行走位置高于无人机的飞行高度(避免无人机碰到棚顶,飞行轨迹规划较低)。因此,轨道机器人行走位置信息稳定性及拍照清晰度高,相应的数据分析精度与速度均高于无人机盘煤系统。

## 5 结 论

随着我国对环境保护的日益重视,全封闭储煤场将成为工矿企业储存煤炭的必然方式。堆取料机储煤场因其具有诸多优点,是目前燃煤电厂最常用的一种全封闭储煤方式。针对该储煤场设计一款高空轨道盘煤机器人系统,系统经徐州华美电厂试验证明具有以下特点:

1) 盘煤速度快:该系统30 min内可以完成一个封闭储煤场的盘煤工作。

2) 盘煤精度高:轨道系统设计保证机器人高空平稳行走及位置确定,确保获得高清晰图像;齐平安

装的接近开关控制方式及控制状态选择,保证了行走机器人的位置精确控制且稳定可靠,软件处理简单。

3) 使用成本低:虽然该盘煤系统前期投入成本较高,但其操作简单,使用成本低。升降系统设计可实现一个设备完成多个封闭储煤场的盘煤需求,便于设备的维护与保养。

## 参考文献(References):

- [1] 林 森,程耕国.基于激光扫描的储矿场散装物料计量系统[J].微计算机信息,2007,23(9):113-114.  
LIN Sen, CHENG Gengguo. The measurement system for bulk material in mine yard based on laser-scanning[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(9): 113-114.
- [2] 刘艳玲,刘海焯,秦 健.露天煤场自动盘煤方法的研究[J].制造自动化,2011,33(7):93-96.  
LIU Yanling, LIU Haiye, QIN Jian. Study for the method of automatic disk coal in the open coal yard[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(7): 93-96.
- [3] 张谢华,张 申,方 帅,等.煤矿智能视频监控中雾尘图像的清晰化研究[J].煤炭学报,2014,39(1):198-204.  
ZHANG Xiehua, ZHANG Shen, FANG Shuai, et al. Clearing research on fog and dust images in coalmine intelligent video surveillance [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(1): 198-204.
- [4] 李现国,明紫旭,苗 笛,等.基于线激光和ARM的输送带纵向撕裂监控系统设计[J].煤炭科学技术,2017,45(2):146-150.  
LI Xianguo, MING Zixu, MIAO Di, et al. Design on monitoring and control system of conveyorbelt longitudinal tearing based on line laser and ARM [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(2): 146-150.
- [5] 董丽丽,杨德山,许文海,等.手提盘煤仪的动态俯仰角获取方法[J].仪器仪表学报,2016,37(6):1241-1247.  
DONG Lili, YANG Deshan, XU Wenhai, et al. Dynamic pitch angle measurement for portable coal inventory instrument [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(6): 1241-1247.
- [6] 郭复胜,高 伟.基于辅助信息的无人机图像批处理三维重建方法[J].自动化学报,2013,39(6):834-845.  
GUO Fusheng, GAO Wei. Batch reconstruction from UAV images with prior information [J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(6): 834-845.
- [7] 程 健,祖丰收,王东伟,等.露天储煤场无人机自动盘煤系统研究[J].煤炭科学技术,2016,44(5):160-165.  
CHENG Jian, ZU Fengshou, WANG Dongwei, et al. Study on unmanned aerial vehicle automatic coal volume measuring system of open coal storage yard [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(5): 160-165.
- [8] 李迁威,陈旺生,李丹天,等.栈桥式储煤场移动式喷雾降尘系统研发[J].煤炭技术,2016,35(5):192-193.  
LI Qianwei, CHEN Wangsheng, LI Dantian, et al. Research on mobile spraying dedust system for trestle type coal storage [J]. Coal

- Technology, 2016, 35(5): 192-193.
- [9] 张振宇, 李进, 郑军鹏. 大直径封闭式储煤场结构设计探析[J]. 煤炭工程, 2015, 47(4): 27-29.  
ZHANG Zhenyu, LI Jin, ZHENG Junpeng. Structure design on closed coal yard with large diameter[J]. Coal Engineering, 2015, 47(4): 27-29.
- [10] 赵学良, 申晋伟, 尚玮炜. 圆柱形储煤仓自然通风排瓦斯实践及研究[J]. 煤炭工程, 2014, 46(10): 137-139.  
ZHAO Xueliang, SHEN Jinwei, SHANG Weiwei. Practice and research on natural ventilation of cylindrical coal bunker for gas exhaust[J]. Coal Engineering, 2014, 46(10): 137-139.
- [11] 冯真. 大型储煤场技术经济性能比较[J]. 煤炭技术, 2014, 33(4): 275-277.  
FENG Zhen. Technology and economics comparison for large coal-storage digging area[J]. Coal Technology, 2014, 33(4): 275-277.
- [12] STRECHA C, PYLVNINEN T, FUA P. Dynamic and acalable large scale image reconstruction[C]. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). San Francisco, USA: IEEE, 2010: 406-413.
- [13] BARTOLI A, STURM P. Constrained structure and motion from multiple uncalibrated views of a piecewise planar scene[J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 52(1): 45-64.
- [14] ZHOU Z H, JIN H L, MA Y. Robust plane-based structure from motion[C]. Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Rhode Island, USA: IEEE, 2012: 1482-1489.
- [15] 程德强, 陈亮亮, 蔡迎春, 等. 边缘融合的多字典超分辨率图像重建算法[J]. 煤炭学报, 2018, 43(7): 2084-2090.  
CHENG Deqiang, CHEN Liangliang, CAI Yingchun, et al. Image super-resolution reconstruction based on multi-dictionary and edge fusion[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(7): 2084-2090.
- [16] 智宁, 毛善君, 李梅. 基于照度调整的矿井非均匀照度视频图像增强算法[J]. 煤炭学报, 2017, 42(8): 2190-2197.  
ZHI Ning, MAO Shanjun, LI Mei. Enhancement algorithm based on illumination adjustment for non-uniform illuminance video images in coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(8): 2190-2197.
- [17] 徐博, 陈立平, 谭或, 等. 基于无人机航向的不规则区域作业航线规划算法与验证[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 173-178.  
XU Bo, CHEN Liping, TAN Yu, et al. Route planning algorithm and verification based on UAV operation path angle in irregular area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(23): 173-178.
- [18] 任鹏, 高晓光. 人机协同智能航迹规划算法[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(2): 313-319.  
REN Peng, GAO Xiaoguang. Man-machine coordinated intelligent flight path planning algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(2): 313-319.
- [19] 程向红, 祁艺. 基于栅格法的室内指示路径规划算法[J]. 中国惯性技术学报, 2018, 26(2): 236-241.  
CHENG Xianghong, QI Yi. Indoor indicator path planning algorithm based on grid method[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2018, 26(2): 236-241.
- [20] 李登峰, 马跃龙, 陈丁, 等. 基于视觉slam的无人机序列影像快速拼接[J]. 系统仿真, 2017, 29(1): 30-39.  
LI Dengfeng, MA Yaolong, CHEN Ding, et al. Rapid mosaic of UAV sequence images based on visual slam[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(1): 30-39.