

基于计算机视觉技术矿山运输智能调速 控制系统研究

Study on Intelligent Speed Control System of Mine Transportation Based on
Computer Vision Technology

马晓琳(晋能控股煤业集团忻州窑矿,山西大同 037000)

摘要:为了提高带式输送机运行效率并降低设备能耗,提出一种基于计算机视觉技术的带式输送机智能调速控制系统,并在1506运输大巷带式输送机中进行工业应用。结果表明:(1)将计算机视觉技术应用到输送机煤流量监测中具有监测点布置便捷、监测结果可信度高优点,同时也可为后续矿井带式输送机无人值守提供一定基础。(2)将模糊控制应用到带式输送机智能阶梯调速中,依据运输的煤炭变化情况制定合理的煤流量、运输速度区间,不仅可满足工作面煤炭运输需要而且可避免输送机频繁调速带来的电动机故障率增高等问题。在1506运输大巷现场应用后,该智能阶梯调速控制系统控制带式输送机长时间保持3.5 m/s运输速度,同时可依据输送煤炭量变化对运行速度进行智能调整,不仅满足了煤炭运输需要而且显著降低了输送机能耗。

关键词:计算机视觉技术;带式输送机;智能控制;阶梯调速

中图分类号: TD676 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2021)05-0067-04

Abstract: To improve efficiency and reduce energy consumption of belt conveyor, an intelligent speed control system of belt conveyor based on computer vision technology is put forth and applied to belt conveyors in the 1506 main roadway. The results show that: (1) applying the computer vision technology to coal flow monitoring of conveyor has such advantages as convenient arrangement of monitoring points and highly reliable monitoring results. Besides, this can provide certain basis for the subsequent unattended belt conveyor in the mine. (2) Applying fuzzy control to the intelligent tiered speed control of belt conveyor and formulating reasonable ranges of coal flow and conveying speed based on changes in coal amount, which not only meets the needs of coal conveyance in the working face, but also avoids issues such as a high failure rate of motors as a result of frequent speed control of conveyors. After adopted by the site of 1506 main roadway, this intelligent tiered speed control system can control the speed of belt conveyor at 3.5 m/s for a long time, and make intelligent adjustments to the speed based on changes in coal amount, which not only satisfies the need of coal conveyance but also remarkably reduces energy consumption of conveyor.

Key words: computer vision technology; belt conveyor; intelligent control; tiered speed control

1 前言

带式输送机是煤矿井下主要运输设备,具有运输连续、运量大、运送距离长等优点。受到煤层赋存条件限制,煤炭开采存在一定的不均衡性,带式输送机长时间处于轻载、空载状态,从而浪费大量的电能^[1]。带式输送机通过变频器不仅可实现软启动而且可实现变频调速,但是绝大多数矿井将变频器作为软启动设备使用,未能充分发挥变频器自动调

速功能或者仅通过手动方式调节带式输送机运行速度^[2-3]。因此,设计一种带式输送机智能调速控制系统,依据井下煤炭运输需要对输送机运行速度进行智能调速,对提高带式输送机运行效率并降低设备能耗具有重要意义。

带式输送机智能调速依据运输煤量自动调整,煤量监测以及运输速度控制是实现带式输送机智能调速控制关键,其中煤量监测是智能调速的基础。目前带式输送机常用的煤量监测方法有直接法、间接法^[4-6]。直接法是通过激光称、电子称等设备直接获取输送机带上瞬时煤炭量,具有煤量监测结果稳定、可信度高优点,但是也存在安装、移动困难、投入大等问题。间接法是通过获取采煤工作面刮板

[作者简介] 马晓琳(1991-),女,汉,山西大同人,本科,助理工程师,从事矿山机电管理工作。

[引用格式] 马晓琳. 基于计算机视觉技术矿山运输智能调速控制系统研究[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(5): 67-70.

输送机、带式输送机开关信号、电流、功率等间接参数获取到输送带上煤量,该种方式只能反应输送机上运输的总煤流量,无法掌握输送带上煤流分布以及瞬时煤量。随着矿井生产规模增加,带式输送机长度、宽度不断提升,如神东煤炭下属矿井单台带式输送机运输长度达到 8 700 m、输送带宽度达到 1 600 mm,即便输送机带上有一段处于满载,电动机电流波动较小,容易导致输送机出现洒煤或者堆煤问题。近些年来,随着计算机、图像识别技术等快速发展,计算机视觉技术在工业生产领域中应用逐渐增加,从而为输送机运输煤流量监测提供了一种新的技术方法^[7]。因此,本文将计算机视觉技术应用到输送机煤流量监测中,通过信号处理、图像处理等技术得到输送带上煤流位置及分布,从而实时掌握输送带上煤流量。依据获取到煤流量信息采用阶梯调速方式实现输送机运输煤量与运行速度间的智能匹配,通过变频器调整输送机运行,从而达到提高输送机运行效率并降低设备运行能耗目的。

2 带式输送机智能阶梯调速系统结构

基于计算机视觉技术的带式输送机智能阶梯调速控制系统包括视觉信息采集单元、图像处理单元、调速单元以及执行单元等结构模块,具体结构组成如图 1 所示。

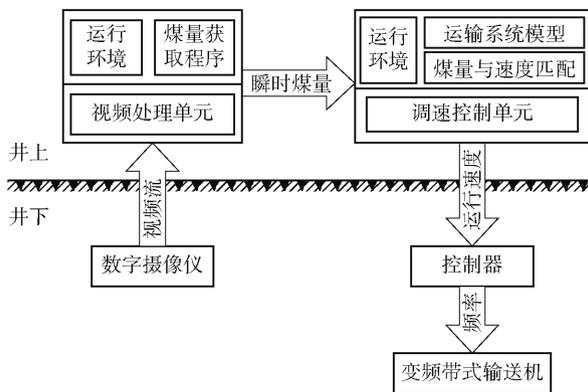


图 1 带式输送机智能阶梯调速控制系统组成

视觉信息采集单元主要通过使用数字相机获取到输送带上煤流图像,并通过井下布置的工业以太网将煤流图像实时传输给图像处理单元,图像处理单元通过图像处理技术、模式识别技术对获取到的煤流图像进行实时分析,从而获取到输送带上实时煤流量;调速单元结合输送机实时煤流量、运行速度等信息,采用模糊控制方式对实现带式输送机运行速度与运输量间的匹配,并将匹配结果传输给带式输送机变频器;最后通过调整变频器输出电流

频率实现对输送机运行速度的智能控制,从而达到提高带式输送机运行效率并降低设备能耗目的。

为实时掌握不同位置带式输送机运输煤流量,并对井下带式输送机运行速度的全覆盖控制,可在运输大巷、工作面运输巷、主斜井等位置均布置数字相机获取煤流图像。

3 煤流量识别

带式输送机智能控制系统煤流量识别主要依据计算机视觉技术对获取到的煤流图形进行分析、处理,从而实时获取到输送机煤流量。具体带式输送机上煤流量识别装置布置如图 2 所示,在输送带上方一定距离布置激光发射器、数字相机,激光发射器在输送带煤流上形成的激光条纹提高煤流图像质量,数字相机用以采集设定区域内输送带上煤流图像。

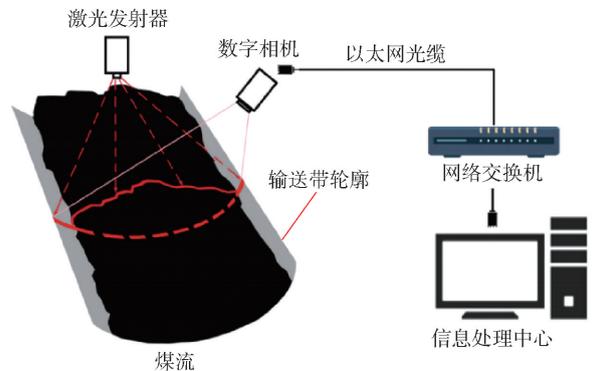


图 2 煤流量识别装置布置示意图

将数字相机实时的视频图像按照预处理→感兴趣区获取→煤流特征提取→图像分割处理等进行处理得到煤流区域面积,最后综合比对煤流区域以及感兴趣区面积,从而实时得到输送机运输的瞬时煤量,具体煤流量识别处理流程如图 3 所示。在对输送机运输的煤流量进行动态识别过程中,如何精准的获取煤流区域、感兴趣区域是较为关键的两个环节。感兴趣区域主要是定位输送带宽度、位置,从而降低背景给识别结果带来的影响,为获取到运输煤量提供参考;煤流区域在获取到的感兴趣区域基础上通过将煤流颜色、能量以及运动等特征作为频域、时域特征,在感兴趣区域内对满足频域、时域特征图像提取,从而获取得到煤流区域面积。

山西某矿 1506 运输大巷带式输送机额定运输量为 4 500 t/h,输送机在满载运行时获取到的感兴趣区内像素点数量为 120 000 个,如在某时刻获取到的煤流区图像中像素点数量为 59 800 个,则此时

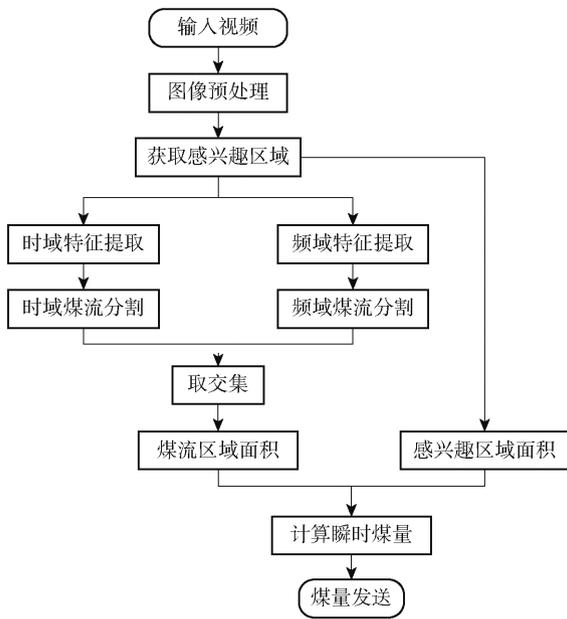


图3 煤流量识别处理流程

带式输送机运输的煤流量计算结果如图4所示。

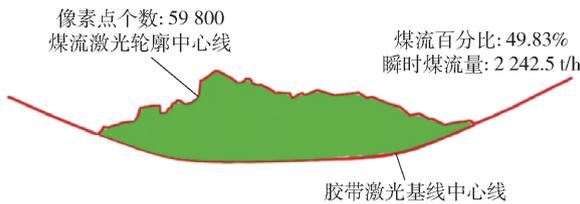


图4 煤流量计算结果

4 输送机智能调速控制

4.1 阶梯调速策略

通过计算机视觉技术获取煤流量,智能调速控制系统依据煤流量对输送机运行速度进行调控,由于煤流量处于动态的调整之中,若智能调速系统频繁调整带式输送机运行速度,则容易造成变频器、电动机以及输送带等设备磨损及故障发生率,同时不利于带式输送机高效运行。为此文中提出采用阶梯调速策略对带式输送机运行速度进行调整。具体为某一区间带式输送机煤炭运输量对应一运行速度,从而避免频繁调速带来的问题。根据矿井1506运输大巷煤炭运输需要,提出的带式输送机运行速度与煤流量间阶梯对应关系如图5所示。

4.2 智能调速控制

采用模糊控制方法实现带式输送机智能调速,具体调速原理如图6所示。采用计算机视觉技术实时掌握带式输送机机上实时煤流量、速度传感器掌握输送机运行速度,将获取到的信息输入到预先设定的动力学模型中进行自动计算;模糊控制器根据

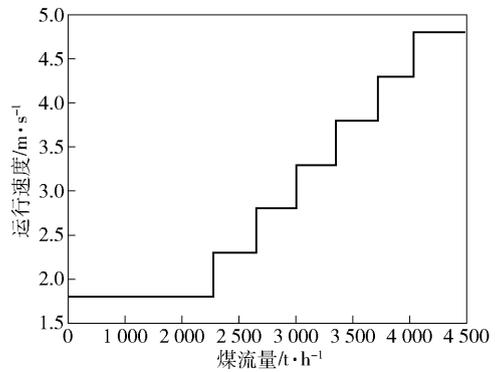


图5 机运行速度与煤流量间阶梯对应关系

煤流量信息以及动力学模型计算结果并依据预先设定的阶梯调速策略对变频调速系统发出调速指令,变频调速系统通过改变变频器输出电流频率实现对带式输送机运行速度调整,从而完成带式输送机智能调速。

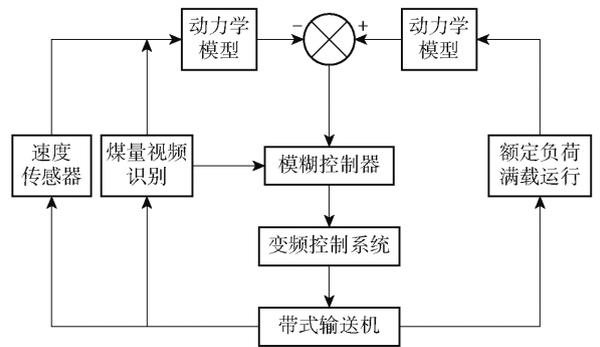


图6 输送机智能调速控制原理

为了简化阶梯调速流程,文中采用模糊控制策略进行智能调速。将获取到的输送机煤流信息、运行速度等信息通过模糊处理转换成模糊控制量,通过模糊控制器内置控制规则实现模糊决策,具体信息处理流程如图7所示。将计算机视觉技术获取到的煤流量 Q 、电动机电流 I 、输送机运输 V_1 等作为输入信息,经过处理后得到控制指令。

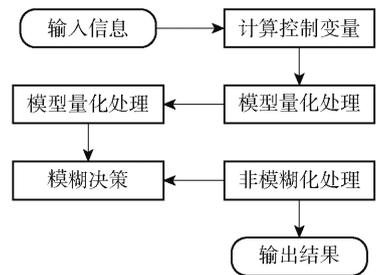


图7 模糊控制流程

5 现场应用分析

在山西某矿1506运输大巷使用智能阶梯调速

控制系统对带式输送机运行进行控制。运输大巷内使用的带式输送机型号为 DTL-1200、配套使用的电动机为 $3 \times 400 \text{ kW}$ ，输送带带强为 $2\,500 \text{ N/m}$ ，运输距离为 $1\,650 \text{ m}$ ，运送速度 4.8 m/s 。该运输巷现阶段主要服务于 3605 综放工作面煤炭运输，工作面开采的 6#煤层厚度 $3.6 \sim 8.9 \text{ m}$ ，受到煤层开采高度变化影响，工作面煤炭产量 $1\,600 \sim 3\,800 \text{ t/h}$ ，煤炭运输量变化较大。

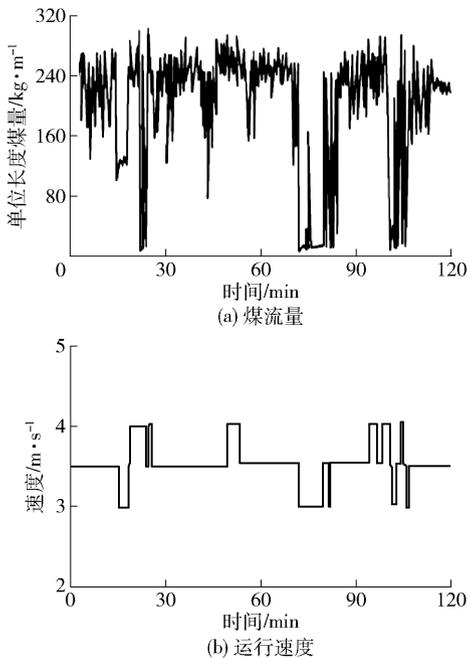


图8 输送机煤流量及运行速度采集结果

具体现场应用后基于计算机技术获取到的煤流量数据、智能阶梯调速控制的带式输送机运输速度曲线如图8所示。从图中看出：

(1) 采用计算机视觉技术可较为精准的掌握输送机上煤流量变化情况，同时智能阶梯调速控制系统在煤流量变化较小时保持输送机运输速度不变，当煤流量增加或者减少到一定程度后输送机运行速度则对应的增加或者降低。

(2) 在监测期间带式输送机最大运输煤炭量仅占额定运输量的 80%，带式输送机长时间保持 3.5 m/s 运行速度，在煤炭运输时未出现输送机异常停机、工作面堆煤或者溢煤等不良情况。智能阶梯控制系统控制的带式输送机运输量完全可满足工作面煤炭运输需要。

(3) 带式输送机运输处于高速运行(速度达到 4.0 m/s 及以上)、低速运行(速度在 3.0 m/s 及以下)时间仅为 12 min ，处于中速运行(速度在 3.5 m/s)

时间占比为 96 min 。带式输送机长时间处于中速运行，不仅可满足工作面煤炭运输需要而且避免频繁调速。

(4) 监测发现当带式输送机处于高度运行时出现一定程度的速度频繁增加问题，如在 $25 \sim 28 \text{ min}$ 间、 $100 \sim 110 \text{ min}$ 间智能阶梯控制系统分别有 2 次、5 次调速，调速速度较为频繁，分析主要是由于部分模糊控制策略存在一定缺陷，在后续应用过程中应针对性进行改进，以便确保带式输送机运行速度稳定。

6 结论

(1) 为了提高煤矿井下带式输送机运行效率并降低设备运行能耗，基于计算机视觉技术以及智能控制系统设计一种带式输送机智能阶梯控制系统，该系统依据计算机视觉技术获取到的煤流量作为调速依据，通过模糊控制策略对带式输送机运行速度进行调整。为了避免煤流量频繁变化引起带式输送机运行速度频繁调整问题，提出采用阶梯调速方式确保带式输送机运行速度相对稳定，具体为某一特定区间输送机煤流量对应一输送机运行速度。

(2) 在 1506 运输大巷带式输送机使用智能阶梯调速控制系统后，输送机运行速度可根据运输的煤流量进行调整，煤流量在一定范围内时带式输送机运行速度保持不变。现场应用后，带式输送机长时间保持在 3.5 m/s 速度运输，该运行速度不仅可满足 3605 综放工作面煤炭运输需要，而且显著降低了带式输送机能耗，应用效果较为显著。

[参考文献]

- [1] 宋俊斌. 煤矿井下带式输送机智能控制系统研究[J]. 煤矿现代化, 2021, 30(2): 184-186.
- [2] 崔融融. 带式输送机故障自动巡检机器人系统设计[J]. 煤矿机械, 2021, 42(3): 15-18.
- [3] 董征, 王泰华, 耿天普. 基于机器视觉的矿用带式输送机自动调速系统[J]. 煤矿机械, 2021, 42(3): 60-62.
- [4] 丁红平. 煤矿带式输送机常见故障分析及防范措施探究[J]. 中国设备工程, 2021(5): 55-56.
- [5] 刘颖, 朱栋栋, 张豪. 带式输送机智能控制系统研究与应用[J]. 能源与环保, 2021, 43(2): 123-126, 140.
- [6] 张倩倩. 带式输送机智能控制系统的应用[J]. 机械管理开发, 2020, 35(12): 244-245.
- [7] 韩东升. 基于预见控制的多级带式输送机调速节能研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2018.