

基于机器视觉的矿井主煤流流场信息监测技术研究

胡而已 李梦雅 张耀

带

式输送机是主要的煤炭运输设备，与其他运输系统相比，带式输送机运输系统具有运输持久、运量大、运输距离长等优点。带式输送机是一种以摩擦驱动的输送机械，可将带式输送机运煤看成是一个散装物料的复杂移运过程，带式输送机上煤流的运动速度与堆煤量大小、带式输送机宽度及煤层间摩擦力等诸多因素均有关，是一个复杂的非线性耦合过程。带式输送机上物料的速度与带式输送机速度是不等价的，当带式输送机上的煤堆过大时，带式输送机与煤堆的摩擦力就越大，导致带式输送机上煤堆速度远小于带式输送机的传送速度，则使用带式输送机的速度计算煤流量会大幅地影响其计算精度。在现实的煤炭运输过程中往往会增加带式输送机上煤炭堆放量来提高煤炭的运输效率；因此，为准确计算煤流量，需获得带式输送机的表面速度与内部速度场间的关系，实现带式输送机运行速度和煤流速度间的解耦。综上所述，测量带式输送机上的煤流速对于煤流量的监测具有重要意义。

测量带式输送机上煤流速度的方法有光幕靶测速、雷达测速、激光多普勒测速、GPS测速及机器视觉测速等。光幕靶测速根据两光幕靶之间的距离，可以计算出运动物体通过光幕靶的平均速度，其缺点是光幕所需的探测器件费用较高，此外以光幕作为靶区易受环境光干扰；雷达测速受被测场地的局限性较大，且不能进行连发测试，测试系统比较复杂、价格高昂；激光多普勒测速是测量流体或固体运动速度的一种非接触式速度测量方法，速度测试范围能覆盖从每秒几毫秒到超音速间较高的速度范围，且测量过程中受外部环境的影响程度较

小，是目前世界上速度测量精度最高的仪器，但激光多普勒测速要求被测物体有一定的透明度，且价格昂贵，不适用于煤流速度的测量；GPS测速计算一般较复杂，且不能进行更高精度要求的测量。

与上述方法相比，机器视觉因其非接触、精度高和可行性强等优点被众多学者关注。张晓玲^[1]等利用光轴平行的双目视觉系统得到炮弹运行中的速度、俯仰角及偏航角等信息。高越^[2]等提出采用多目立体视觉进行飞行速度测量，通过多目相机标定、图像匹配技术来实现对试件整个飞行过程中的运动速度测量。刘佳^[3]则通过最小二乘法对运动目标在各采样时刻的质心进行拟合后提高精度及效率。和建荣^[4]提出基于带式输送机同侧滚筒间距的坐标转换模型计算煤块的实际运行速度。

笔者提出基于数字图像相关的煤流速度测量技术，可以非接触测量带式输送机上煤流的实时运移速度；根据模板匹配原理，测量煤堆在一定时间内运动的距离，最终实现煤流速度的测量，提高了煤流量的测量精度。

目标追踪原理

目标追踪原理是通过分析视频图片序列，对检测出的各个候选目标区域实施匹配，定位出这些目标在视频序列中的坐标。如图1所示，通过光学CCD相机连续获取不同时刻的刮板输送机上部运煤图片，采用数字图像相关处理技术，提取不同帧图像间特征煤块质心的位移矢量，结合相机的拍摄频率，即可计算出煤流的实时速度。

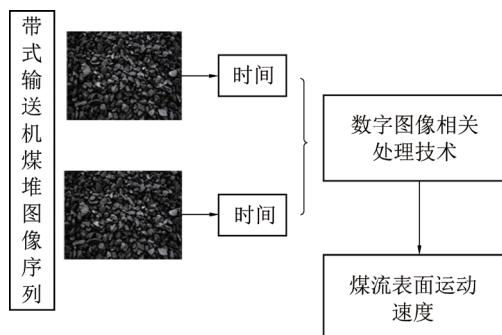
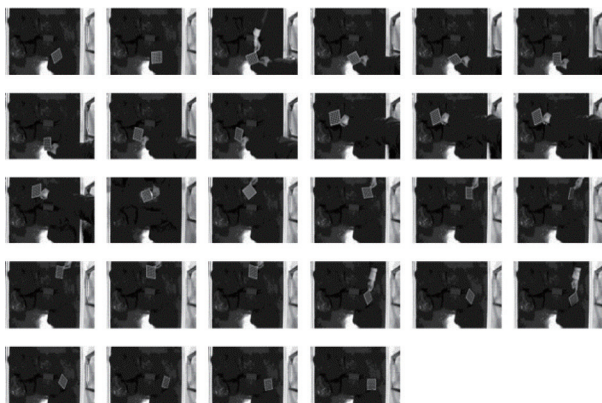


图1 目标追踪技术原理

3	2
1	

图2 试验系统装置

图3 标定板图像

试验方法

基于视觉测量煤矿井下带式输送机上煤流速度测量系统的整体设计主要由硬件和软件2部分组成。其中,硬件主要包括工业相机、镜头等部分;软件则由以HALCON为基础编写的图像矫正模块、模板匹配模块及参数测量模块等部分组成。

相机根据测量范围、精度、深度等要求,选用大恒水星系列的MER-230-168U3M/C面阵相机;将相机的分辨率设为 $1\,920 \times 1\,200$ 、帧率设为168 F/s。此外,光学镜头的质量也起着至关重要的作用,因此,试验选择型号为V1214-MP的镜头与相机适配。该试验将镜头的焦距设为12.5 mm, F 值设为1:1.4,像素设为200万pix。考虑到算法的数量和执行效率及软件开发平台的效率和开发周期等因素,本试验的图像处理算法由大恒公司提供的HALCON机器视觉软件完成。HALCON机器视觉软件具有跨平台的高可移植性,支持Windows、Linux操作系统,可以在C、C++、C#、Visual



Basic中轻松调用。最后,进行试验设备的搭建和调整,搭建的测量系统装置实物如图2所示。

视觉标定

为保证测量的精度,并获得图像点与物体点之间的关系需进行相机的标定。相机标定的实质就是获得世界坐标系与图像像素坐标系之间的转换关系。通过相机标定确定其内外参数,实现像素坐标系到世界坐标系的转换。

相机标定板采用100 mm × 100 mm的圆点型标定板,用相机拍摄标定板图像,标定板放置图像采集范围内的不同位置,采集含有圆点型标定板的试验视野图片28张;其中,第1幅标定图像中的标定板要直接放在测量平面上拍摄,作为参考平面。相机所拍摄的标定板图像如图3所示。

通过调用`caltab_points()`函数从标定板的描述文件中得到标定点在世界坐标系中的坐标值。从CCD传感器和镜头的说明书中得到相机初始内参。标定点的像素坐标采用算子`find_caltab()`和`find_marks_and_pose()`得到,其提取步骤为:首先使用算子`create_calib_data`、`set_calib_data_cam_param`、`set_calib_data_calib_object`为处理采集数据创建采集模式;然后通过算子`grab_image`、`find_caltab`、`find_marks_and_pose`、`set_calib_data_object_points`采集所有图像标记位置,估计位姿参数;待所有图片采集完成且数据处理完成后,通过算子`calibration_cameras`和`get_calib_data`执行实际

的校准任务；圆点型标定板存在实际厚度，需要通过算子`set_origin_pose`获取相机的内外参数。通过标定获得相机内部参数见表1，相机外部参数见表2。

为确保标定的准确性与稳定性，在标定完成后不能更改相机的位置，否则将重新标定。通过标定后获得相机的内外参数，就可以对立体图像进行校正，图像的校正效果如图4所示，图4a和图4b中红色圆框内为标定板，红色方框内为所拍摄带式输送机的边缘框架，由于图像系统的畸变导致图4a中的框架发生了明显的变形，经过图像校正后，图4b中的框架形状得到了明显矫正。

图像处理

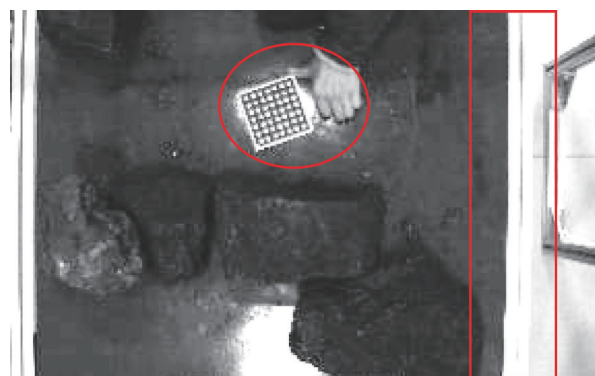
在实验室构建基于数字图像相关法测速试验系统，研究煤流中形状特征相对明显的煤块颗粒。首先，将其进行分割提取和Blob分析等数字图像快速处理；然后将带有明显特征的煤颗粒分割出来，并进行形状模板的训练；最后根据图像目标追踪的方法，实现放煤口煤流表面速度的精确测量。数字图像相关法测速试验具体流程如下：图像采集 → 图像分割 → Blob分析 → 模板匹配 → 计算移动距离。

表1 相机内部参数

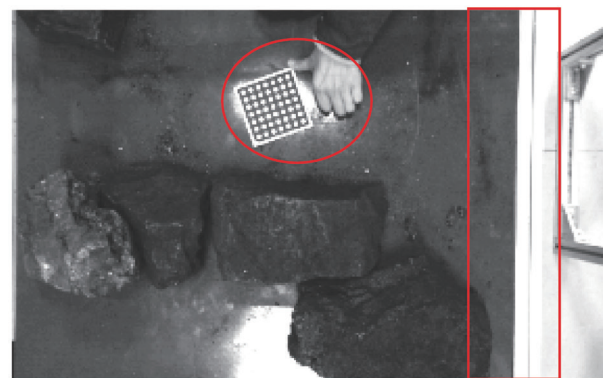
相机内参数	标定值
焦距 f / mm	13.002 8
畸变 k	-1 428.54
单个像元高 $d_x / \mu\text{m}$	$5.866\ 16 \times 10^{-6}$
单个像元宽 $d_y / \mu\text{m}$	5.86×10^{-6}
中心坐标点 S_x / pix	980.716
中心坐标点 S_y / pix	644.767

表2 相机外部参数

相机外参数		标定值
平移矩阵	$\Delta x / \text{mm}$	-62.440 5
	$\Delta y / \text{mm}$	-160.691
	$\Delta z / \text{mm}$	1 130.58
旋转矩阵	$\alpha / (^{\circ})$	0.932 192
	$\theta / (^{\circ})$	359.691
	$\gamma / (^{\circ})$	70.601



(a) 矫正前

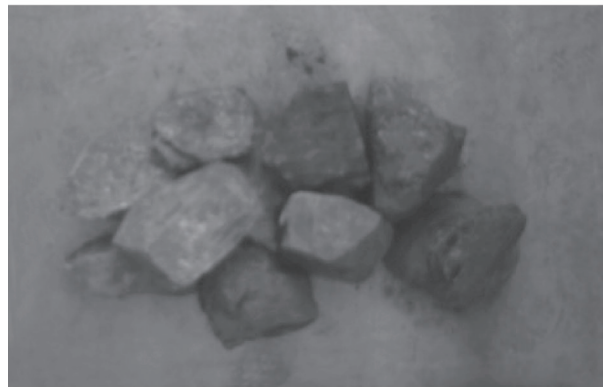


(b) 矫正后

图4 图像矫正前后对比



(a) 第1帧



(b) 第2帧

图5 2帧图像

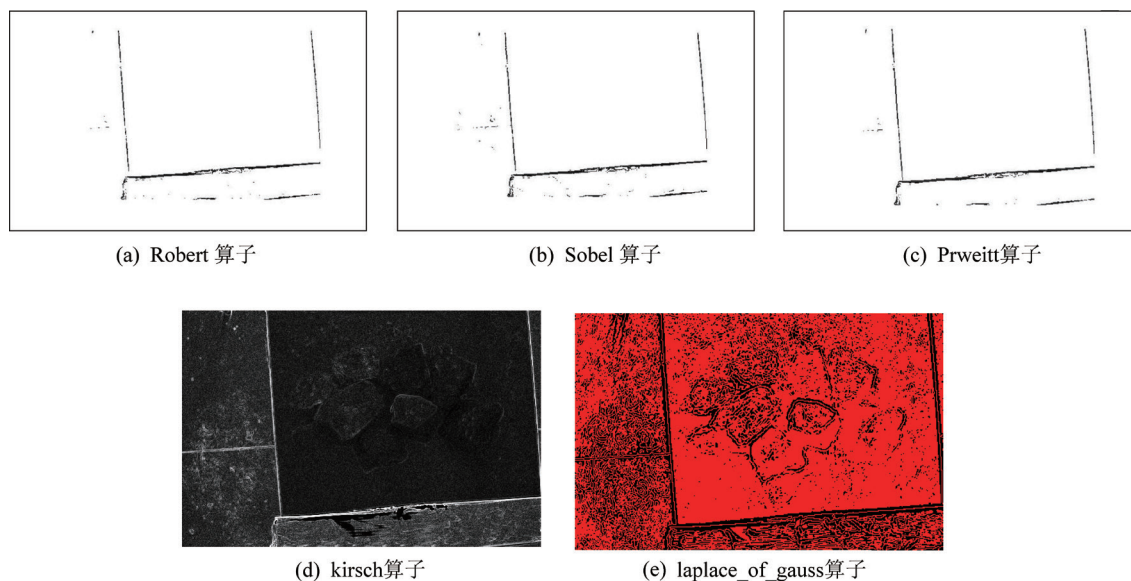


图6 不同的边缘检测算子

图像采集

图像采集是先用工业相机拍摄照片，然后把真实的图像转换成数字图像的过程。在HALCON机器视觉软件中，可调用open_framegrabber算子来连接并初始化工业相机，然后用grab_image_start算子命令打开相机，利用grab_image_async算子进行异步采集，选择的其中2帧图像如图5所示。

图像分割

特征煤块颗粒的提取是形状模板匹配的第一步，在采集的第1帧图中提取形状特征表露最明显的1块煤块颗粒；由于带式输送机上煤堆因环境光、噪声等因素影响，导致采集的图像分辨率低，煤块颗粒之间的灰度值差异微小，而煤块和带式输送机的颜色又十分接近，所以背景和前景的分割及煤块之间边缘分割的阈值是困难的。在此情况下直接对采集的图像进行分割，按照目前的技术是难以满足特征煤块颗粒提取和追踪要求的；为解决此问题，试验选择采用HALCON机器视觉软件中自带的一些一维及二维边缘检测算子分别对图像进行分割，并修改算子中参数，直到能分割出大概的轮廓为止，所用的5种边缘检测算子如下：

1) Robert算子。对于边缘陡峭和包含噪声的图

像有很好的处理效果，但对于背景和前景像素差别不大的图像没有什么效果，处理结果如图6a所示。

2) Sobel算子。可以平滑噪声，并且可以获取边缘上有关方向的信息，但同时也会检测出来一些伪边缘，因此Sobel算子精度不是很高，且无法提取出物体的边缘信息，处理结果如图6b所示。

3) Prewitt算子。该算子是一维边缘提取常用的算子，使用2个掩模板组成边缘检测器，在使用的过程中将较大的幅度设为输出值；Prewitt算子和Sobel算子类似，无法提取物体的轮廓线，处理结果如图6c所示。

4) kirsch算子。该算子先将图像进行滤波处理，再提取其边缘，可以得到大致的物体的轮廓线，处理结果如图6d所示。

5) laplace_of_gauss算子。该算子是二阶导数中常用的算子，对噪声非常的敏感，且幅值会产生双边缘；通过设置laplace_of_gauss算子中的第3个参数，可以改变边缘的提取效果，根据经验值设为3.5，处理结果如图6e所示。

对比图6a—图6e边缘分割效果可知，使用kirsch算子分割出图像的边缘轮廓最明显。通过kirsch算子对图像进行处理后，采用图像增强和Blob分析，获取分割后图像中颗粒轮廓明显的煤块轮廓，分割效果如图7所示。

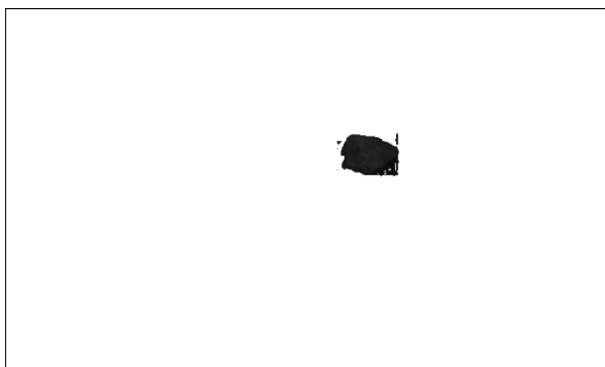


图7 图像分割

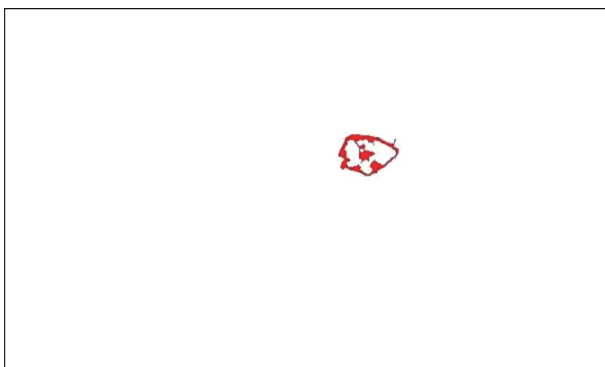
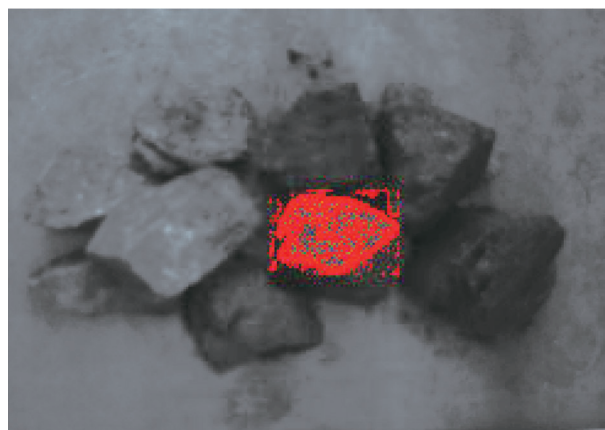


图8 模板轮廓提取

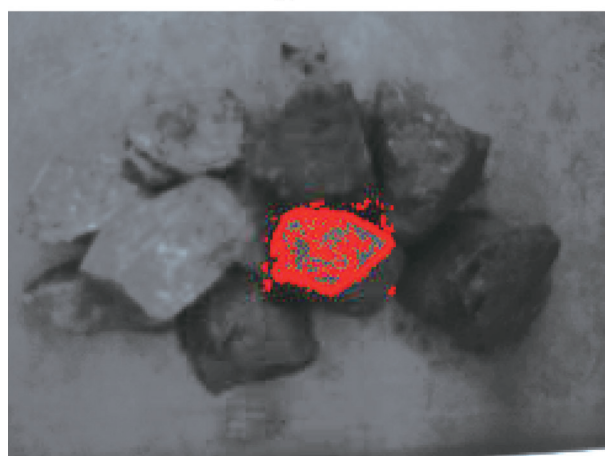
模板匹配

模板匹配是机器视觉工业现场中较为常用的定位方法。模板匹配主要是通过匹配算法，在新的图像中找到模板图像的相对位置。HALCON机器视觉软件的模板匹配种类有很多种，各有优缺点，一般有基于像素的匹配和基于形状的匹配等。基于像素匹配，适用于定位对象内部的灰度值没有太大变化，图像没有缺失部分，且没有干扰图像和噪声场合；基于形状匹配，适用于定位对象内部的灰度值可有变化，但对对象轮廓一定要清晰平滑的场合，根据边缘检测已经分割出清晰的边缘轮廓，选择基于形状匹配的方法进行试验。模板匹配的详细过程如下：

1) 首先确定出ROI的矩形区域。这里只需要确定矩形的左上点和右下点坐标即可。通过`gen_rectangle1()`算子选择矩形的左上点和右下点坐标，再利用`area_center()`找到这个矩形区域的中心点；从图像中获取这个矩形区域的图像，使用`reduce_domain()`算子在原图中剪切出选择的矩形区域。



(a) 原图



(b) 匹配图

图9 模板匹配

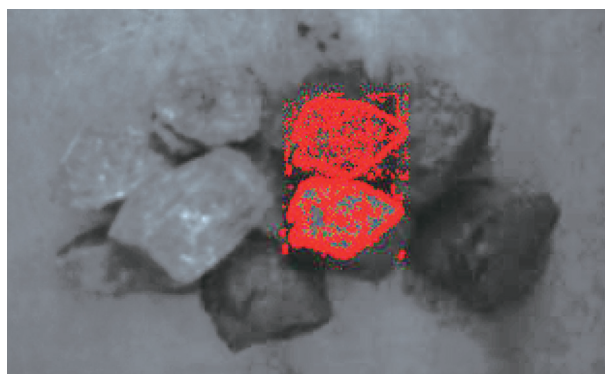


图10 合并后效果图

2) 利用`create_shape_model()`来创建形状模板，这个函数有许多参数，其中金字塔的级数由`Numlevels`指定，值越大则找到物体的所需时间越少；`AngleStart`和`AngleExtent`决定可能的旋转范围，`AngleStep`指定角度范围搜索的步长；`MinConstrast`

将模板从图像的噪声中分离出来,如果灰度值的波动范围是10,则MinConstrast应设为10;Metric参数决定模板识别的条件,设为 use_polarity,表示图像中的物体和模板需有相同的对比度。

3)创建好模板后,还需监视模板,该步骤用 inspect_shape_model()来完成,它可检查参数的适用性,帮助找到合适的参数;另外,还需获得这个模板的轮廓,用于后面的匹配,用get_shape_model_contours()算子提取模板的轮廓如图8所示。

4)创建好模板后,读入第2帧图像,调用find_shape_model()算子来进行模板匹配,匹配结果如图9b所示。find_shape_model()拥有许多的参数,这些参数都将影响寻找模板的速度和精度;其中参数SubPixel决定是否能将像素精确到亚像素级;将参数设为 interpolation,则位置和角度都是亚像素精度的,这个模式不会占用太多时间。若需更加精确,则可将参数设为least_square或least_square_high,但这样会增加额外的时间;因此,需要在时间和精度上做个折中,将需要和实际联系起来做决定。在find_shape_model()中,比较重要的2个参数是MinSocre和Greediness;MinSocre用来分析模板的旋转对称和它们之间的相似度,值越大则越相似;Greediness是搜索贪婪度,这个值在很大程度上影响着搜索速度,若值为0则为启发式搜索,很耗时,若值为1则为不安全搜索,但最快。在大多数且能够匹配的情况下,尽可能地增大其值。

5)找到模板形状之后,使用vector_angle_to_rigid()和affine_trans_contour_xld()算子通过1个点和角度计算1个刚体仿射变换对其进行位置转换,使之能够显示在合适位置。

堆流速度测量

为直观表示某块煤颗粒在2帧图像中运动的距离,合并图像中特征煤块颗粒匹配前后的区域如图10所示。

通过计算可得煤流速度小于真实带式输送机运行速度。因此基于激光三角法测量煤流量不能采用带式输送机的运行速度代替煤流速度。

结语

笔者采用基于机器视觉的方法测量带式输送机上煤堆真实的运行速度。使用HALCON机器视觉软件编写代码以满足实际测量需求,重点阐述了目标追踪原理,详细介绍了通过标定进行相机内外参数的获取及像素单位与世界坐标之间的物理转换,并通过不同的边缘提取算子对比进行清晰的边缘分割提取,有效区域的分割;基于形状的模板匹配算法计算出煤堆在2帧图像中的移动距离,最终,根据帧率计算带式输送机上煤堆的运行速度;该过程计算方法简单,精度高,高精度的煤流速度测量提高了煤流量测量的准确性,充分保障了带式输送机的运输安全性,提升了基于煤矿机器人的开采作业效率和安全保障水平。

■ 助理编辑: 李艾稣

作者简介:

第一作者: 胡而已, 副教授, 博士。

E-mail: horyhu@126.com

作者单位: 中国矿业大学机电工程学院;

应急管理部信息研究院信息技术研究所



参考文献

- [1] 张晓玲, 罗印升, 张宝峰. 基于双目立体视觉测量原理的物体运动速度测量[J]. 光电子·激光, 2016, 27(9):935-940.
- [2] 高越, 杜文略, 李红薇, 等. 基于多目立体视觉的试件飞行运动速度测量方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(3):68-71, 136.
- [3] 刘佳. 基于视觉的速度测量算法[J]. 网络安全技术与应用, 2019(2):27-29.
- [4] 和建荣. 井下带式输送机的智能视频测速方法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2018.