

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.01.019

废有色金属分选中散布物料动态位置的实时计算*

王祺奥¹, 叶文华^{1*}, 熊田忠¹, 黄河¹, 黄艰生², 卢剑锋²

(1. 南京航空航天大学机电学院, 江苏南京 210016; 2. 江苏华宏科技股份有限公司, 江苏江阴 214423)

摘要:针对废有色金属分选中物料动态位置计算的问题, 提出了一种基于二值图像形心计算的改进算法, 以保证物料位置计算的准确性和高效性。对基于 X 射线透射技术的废有色金属分选进行了分析, 利用图像处理技术对探测数据进行了处理。考虑到待分选有色金属废料形状、尺寸、姿态各异, 移动速度快的特点, 选用了高精度的连通区标记法, 并在二值图像形心算法的基础上进行了改进, 实现了连通区标记后一次遍历计算多个物料目标形心, 解决了同一物料的探测数据被分割至两幅图的问题, 完成了物料位置计算。实验结果表明, 该计算方法能快速、准确地计算有色金属物料的动态位置, 算法的准确率可达 92.3%, 平均每幅图耗时 30.3 ms。

关键词:废有色金属; 分选; 图像处理; 位置计算

中图分类号: TP274

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2017)01-0094-06

Real-time calculation of dispersed materials' dynamic position in scrap non-ferrous metal sorting

WANG Qi-ao¹, YE Wen-hua¹, XIONG Tian-zhong¹, HUANG He¹,
HUANG Jian-sheng², LU Jian-feng²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. Jiangsu Huahong Technology Stock Co., Ltd., Jiangyin 214423, China)

Abstract: Aiming at the problem of calculation of materials' dynamic position in scrap non-ferrous metal sorting, an improved algorithm based on the shape center algorithm of binary image was proposed to ensure the accuracy and efficiency of position calculation. The scrap non-ferrous metal sorting based on X-ray transmission technology was analyzed, image processing technology was used to process the detection data. Considering non-ferrous metals materials had the characteristics such as differences in shape, size and attitude, high speed, high precision connected components labeling was adopted and an improved method was proposed based on the shape center algorithm of binary image. The shape centers of multiple objects could be calculated by scanning the image for once when the connected components labeling was completed. The problem of the detection data of the same material was divided into two images can also be solved and the position of non-ferrous metals materials could be calculated eventually. The results of experiment show that the algorithm can calculate the position of the non-ferrous metals materials quickly and accurately, the accuracy of the algorithm can reach 92.3% and the average running time is 30.3ms per image.

Key words: scrap non-ferrous metal; sorting; image processing; position calculation

0 引言

在废金属资源循环利用过程中, 将废金属按种类

区分并收集的废金属分选技术直接影响其循环利用率。目前, 针对废金属的分选国内应用较广的有依据金属物料磁性将铁等强磁性金属分离的磁选^[1]; 根据

收稿日期: 2016-09-13

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目 (BE2013715); 江苏省科技成果转化专项资金项目 (BA2014067); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目 (SJLX15_0124)

作者简介: 王祺奥 (1991-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事废有色金属分选技术方面的研究. E-mail: 1260286180@qq.com

通信联系人: 叶文华, 男, 教授, 博士生导师. E-mail: whye@nuaa.edu.cn

物料电导率与密度的比将有色金属和非金属分离的涡电流分选^[2];根据金属表面颜色差异进行分选的颜色分选^[3-4]。随着废金属物料中有色金属比例增大,铜、锌、铝等废有色金属细化分选的需求增加,上述常见的分选方法无法适应需求,需要新的自动化分选解决方案。

针对废有色金属的细化分选,当前比较有效的解决方案是双能 X 射线透射分选,国外学者和企业进行了相关研究和应用,M. B. Mesina 等^[5-6]利用双能 X 射线透射技术自动识别和分选出破碎废金属中的轻、重有色金属,并取得了较好的效果。德国 STEINERT 公司和挪威 TOMRA 公司已研制出分选有色金属的双能 X 射线透射分选机。

在分选系统中,磁选和涡电分选分别利用磁场引力和斥力实现对物料分离,不需要对物料位置信息进行判定;颜色分选采用彩色视觉得到物料图像,以基于颜色的图像处理技术进行判断,获得物料的位置信息,然后进行分离;X 射线透射分选通过对线阵列 X 射线透射信号采集、分析计算得到物料位置信息,然后控制物料分离。

金属分选与安检及工业检测相比,同样利用图像处理技术对 X 射线透射信号进行处理,但侧重有所不同。安检对种类识别,成像质量要求较高^[7];工业检测注重识别物体的特征细节^[8];分选系统由于物料输送带速度较快,对物料动态位置计算的实时性要求较高,所以算法需简洁高效。在双能 X 射线分选系统中,利用线阵列探测器采集 X 射线透射信号,其中采集的数据包括物料的透射数据,也包括非物料的透射数据。因此需要从采集到的大量数据中准确定位目标物料对应的有效数据区域,高效计算物料位置信息,为废有色金属物料的分离控制提供决策信息,此过程对分选的准确率有着决定性影响。

本研究将采用图像处理方面的技术,结合废有色金属分选系统的高速实时性要求,对线阵列探测器采集到的 X 射线透射数据进行分析处理,实现对废有色金属物料位置信息的准确高效计算。

1 线阵列数据采集与滤波

1.1 线阵列数据的采集

本研究利用线阵列探测器对透射数据进行实时高

频采集,在采集时需要将线阵列探测器的积分时间(线阵列探测器扫描每行数据所需的时间)与输送带速度参数匹配,否则会造成物料扫描数据的重复或缺失,从而影响分选的准确性。因此,需要对这两项参数进行匹配。

则积分时间与输送带速度之间需要满足关系:

$$t_l = l/v \quad (1)$$

式中: t_l —假设积分时间, l —线阵列探测器的每个像素点对应的空间分辨率, v —输送带速度。

则积分时间 t_l 的计算公式为:

$$t_l = \frac{60 li}{n_c \pi D} \quad (2)$$

式中: n_c —伺服电机转速, i —传动比, D —输送机滚筒直径。

1.2 透射信号噪声处理

线阵列探测器采集到的单行 X 射线透射信号数据(16 位灰度值)如图 1 所示。

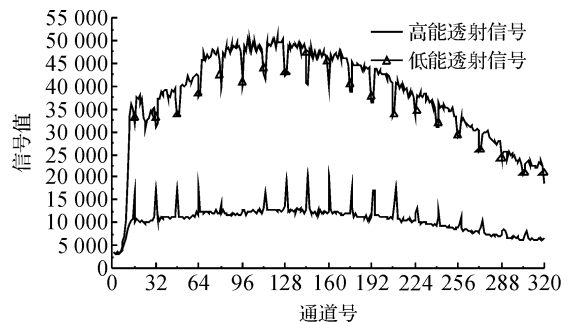


图1 原始线阵列信号

图中可以看出透射信号曲线存在周期性的尖峰信号,这些尖峰每隔 16 个通道出现一次,且出现的通道位置是固定的,是高低能采集电路之间的串扰噪声。产生的原因是由于本研究采用的探测器由若干 16 像元的硅光电二极管阵列组成,硅光电二极管彼此连接处的隔离相对困难,存在着信号干扰。

针对信号曲线中的串扰噪声,可用滤波方法处理,常用的滤波方法有均值滤波和中值滤波。

(1) 均值滤波方法^[9]。将邻近的值平均化,降噪效果随着邻域范围增加而增强,但降噪过程中不能很好地保护图像数据的边界特征,会增加后续处理的误差。而分选系统确定物料位置信息时不能出现边界不清的情况,因此均值滤波不符合系统的要求。

(2) 中值滤波方法^[10]。能够将噪声替换为邻域中的某一个值,对图像边界分割影响小,比较适合噪声的

信号值与邻近点的差别很大的情况,适用于消除图 1 中的串扰噪声。本研究所用的探测器,由于 0 ~ 64 通道和 298 ~ 320 通道处为探测器感应带超出输送带工作区间部分,不影响识别,可以略去。通过中值滤波并去除超出部分通道,滤波效果明显,滤波效果如图 2 所示。

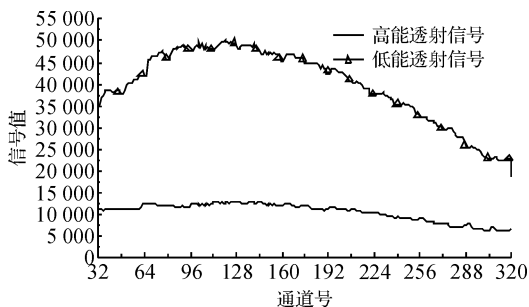


图 2 经滤波处理的线阵列信号

2 图像数据分析

分选系统连续运行时探测数据不断采集,为实现物料位置的实时计算需要将一定行数的线阵列探测数据拼接成图像数据,通过对不断产生的图像数据流进行实时处理,完成物料位置的实时计算。

2.1 图像区域分割

由于物料在输送带上随机分布,经滤波处理后,需要先将图像区域分割,以区分图像中的目标和背景。本研究采用阈值分割法,该方法简单有效、处理方便。

假设图像的像素值数据表示为 $f(x, y)$, 根据阈值 T 进行判断得到两种数值分别为 g_1 和 g_2 , 得到二值化的图像数据 $g(x, y)$, 数学表达式为:

$$g(x, y) = \begin{cases} g_1 & f(x, y) \leq T \\ g_2 & f(x, y) > T \end{cases} \quad (3)$$

阈值分割的关键是如何确定阈值。阈值分割根据确定阈值的方法不同分为直方图双峰法,最小误差法和迭代阈值法等^[11-12]。

(1) 直方图双峰法需要读取图像的直方图并进行分析计算,一般是取双峰之间谷底的值作为阈值,这种方法在复杂情况经常失效。

(2) 最小误差法基于像素灰度值的概率分布密度函数进行聚类分析,处理计算的过程比较复杂,不适合高实时性的分选识别系统。

(3) 迭代阈值算法利用初估阈值将图像分为两部分,将两部分各自平均灰度求均值作为新阈值迭代计

算,便于理解,程序执行简单,尤其适合信号峰谷明显的图像。

线阵列探测器采集到的物料透射后的信号中,峰谷之间的信号值差距较大,峰谷明显,因此本研究选用第 3 种方法确定阈值。根据得到的阈值,对图像数据进行转换,将物料透射部分数据置为 1,将背景部分数据置为 0,转化为二值图像数据。

2.2 物料目标连通区标记

由于每幅透射数据图像中可能有多个物料,需要对物料进行标记,以区分各个物料对应的数据。图中的物料目标通过邻域和连通的概念体现。

图像处理中常见的邻接关系有 4 点邻域和 8 点邻域^[13]。4 点邻域连通方式如图 3(a) 所示,8 点邻域连通方式如图 3(b) 所示。

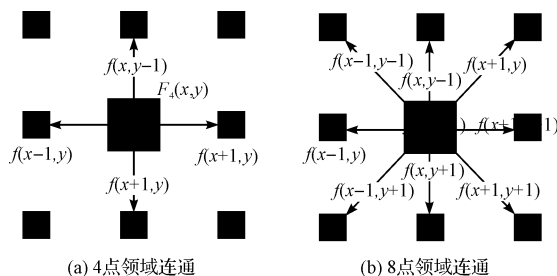


图 3 连通域

假设以 $F_4(x, y)$ 表示 4 点邻域,以 $F_8(x, y)$ 表示 8 点邻域,这两种方法的邻域分别可以表示为:

$$F_4(x, y) = \left\{ \begin{array}{l} f(x, y-1), f(x-1, y), \\ f(x+1, y), f(x, y+1) \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$F_8(x, y) = \left\{ \begin{array}{l} f(x-1, y-1), f(x-1, y), \\ f(x-1, y+1), f(x, y-1), f(x, y+1), \\ f(x+1, y-1), f(x+1, y), f(x+1, y+1) \end{array} \right\} \quad (5)$$

由于废有色金属在破碎机进行破碎时会产生各种折叠和扭曲,物料形状、尺寸各异,同一块物料的透射数据可能会出现 4 点邻域无法标记为同一连通区的情况。物料透射数据区域图如图 4 所示。

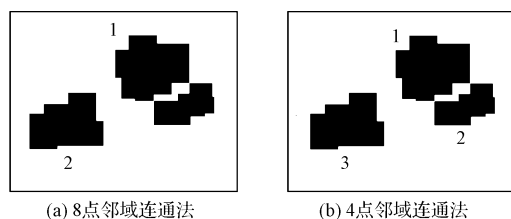


图 4 物料透射数据区域图

一定行数的线扫描透射数据拼接成的二值化图像如图 4(a) 所示,黑色区域表示物料透射数据区

域,白色表示背景,1为一物料数据区,2为另一物料数据区。

(1) 若采用4点邻域法,则如图4(b)识别为1、2、3共3块物料;

(2) 若采用8点邻域法,则如图4(a)正确识别为1、2两块物料。

故采用精度较高的8点邻域连通方式进行连通区标记分析。

常用的图像连通区标记算法一般分为两类^[14]:

(1) 种子填充法。由探测到的连通区域中的一个点作为“种子”,根据连通区条件,向四周发散寻找连通成分,常见的有递归法、深度优先搜索法和广度有限搜索法等。该类方法会消耗大量的堆栈空间,实时性不高。

(2) 两遍扫描算法。对整体图像按顺序扫描,扫描过程中对不同情况的图像像素进行标记并记录其中的等价关系,然后进行等价关系的归并。可以节省大量栈空间,实时性较好。

综上,本研究根据8点邻域连通条件,利用两遍扫描法对二值化后的图像数据进行区域标记。

2.3 多物料形心实时计算及物料数据分割的处理

在连通区标记完成的基础上,本研究通过计算物料形心坐标来确定物料的实时位置信息。由于废有色金属物料的形状、尺寸各异,本研究选择公式法对形心进行分析计算。经标记后的图像数据,物料区域像素值为对应的标号值(label),非物料区域像素值为0, x_0 、 y_0 为形心坐标, $f(x,y)$ 为数据图像在 (x,y) 处的像素值,其中 x 为图像宽度方向(对应线阵列探测器的排列方向), y 为图像高度方向(对应输送带运动方向)。则物料形心计算公式为:

$$f(x,y) = \begin{cases} label \\ 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$x_0 = \frac{\sum xf(x,y)}{\sum f(x,y)} \quad (7)$$

$$y_0 = \frac{\sum yf(x,y)}{\sum f(x,y)} \quad (8)$$

一般一幅图像中计算某个目标形心,只需利用形心计算公式针对目标进行一次遍历扫描即可完成;若同一幅图中需计算多个目标形心,则根据目标不同标号进行多次遍历扫描也可完成,但效率会严重降低。本研究所要分析的透射数据图像,每幅均

可能含有多个物料,多次扫描难以满足分选系统对实时性的要求。

另外,由于每幅图像数据是由一定行数的线扫描数据拼接而成,当分选系统连续运行时,同一个物料的透射数据可能被分割至相邻两幅图像中去。相邻透射数据区域图如图5所示。



图5 相邻透射数据区域图

由于每幅图数据行数一定,1和2两块物料的透射数据被分割至相邻两幅图,需要综合两幅图的邻接信息进行形心计算。

针对以上问题,本研究在公式法的基础上进行改进,实现一次遍历扫描完成多个物料形心的计算并解决相邻两幅图中同一物料信息匹配问题。

笔者定义label为2.2中物料目标连通区标记的标号,一个物料对应一个标号且该物料连通区的所有像素值均为label;定义sum_label为标号为label的物料连通区像素值累加和, x_label 为标号为label的物料连通区像素横坐标与像素值的乘积累加和, y_label 为标号为label的物料连通区像素纵坐标与像素值的乘积累加和; x 、 y 为像素横纵坐标值, x_0_label 、 y_0_label 表示标号为label的物料的形心横、纵坐标。该算法计算时将所有像素值label以1代替进行计算,省去乘法运算,结果不变,计算量减小,算法如下:

步骤1:沿图像宽度方向遍历扫描图像数据,访问当前像素 $f(x,y)$ 。若为首行或尾行像素,则记录下该首行或尾行像素信息。

步骤2:判断 $f(x,y)$ 的值。若 $f(x,y)$ 值为0,则继续访问下一像素;若 $f(x,y)$ 值等于某物料label,又label=1,则 $sum_label = sum_label + 1$; $x_label = x_label + x$; $y_label = y_label + y$ 。

步骤3:遍历扫描完成后判断标号为label的连通区是否有像素位于首行或尾行。若有像素位于首行则转至步骤4;若有像素位于尾行则转至步骤5;否则转至步骤6(由于物料连通区尺寸小于图像尺寸,故不会出现连通区同时位于首行和尾行的情况)。

步骤4:将当前图首行像素与上一幅图尾行像素按宽度方向即横坐标方向对应像素进行匹配,若同一

横坐标对应的两个像素值均为非零,则两像素所在的连通区属于同一物料,进行连通区合并,合并时将位于上幅图中被分割的连通区所有像素纵坐标减去图像高度值,然后转至步骤 6。

步骤 5:则暂时保存与下一幅图步骤 4 进行匹配合并。

步骤 6:公式法计算各 label 对应的物料横、纵坐标:

$$x_0_label = \frac{x_label}{sum_label}$$

$$y_0_label = \frac{y_label}{sum_label}$$

3 物料位置计算实验验证与分析

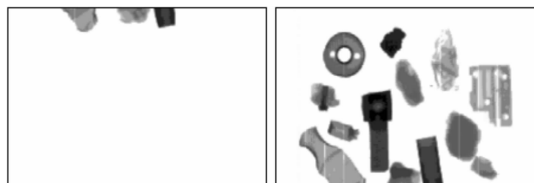
本研究将废有色金属碎料随机散放至输送带的情况如图 6 所示。



图 6 废有色金属物料

其中编号 1~8 为铝合金废料厚度在 5 mm ~ 50 mm 范围,编号 9~13 为铜制品废料厚度在 1 mm ~ 30 mm 范围。实验所用计算平台: Intel (R) Core (TM) i7-2600 处理器, 3.4 GHz 主频, Windows7-64bit 操作系统, 8G 内存, 开发环境为 Visual Studio 2012。

为方便验证算法的效果,本研究将图像数据以图片形式输出。线阵列探测器采集到的透射数据图像如图 7 所示。



(a) 前幅图

(b) 当前图

图 7 线阵列透射数据图像

9 所示。

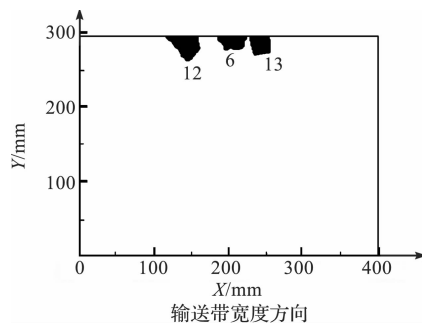


图 8 区域分割前幅图

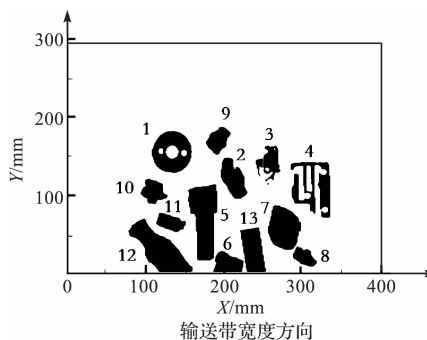


图 9 区域分割当前图

横轴表示输送带宽度方向的尺寸,传送带的总宽度为 400 mm。线阵列探测器分辨率为 1.6 mm 即横向或纵向两相邻像素中心距对应实际距离为 1.6 mm。

经 8 点邻域连通区标记后,笔者利用本研究物料形心算法计算位置,计算结果与实际测量结果进行比较,结果如表 1 所示。

表 1 废有色金属物料位置计算结果

| 物料标号 | 形心位置 计算结果/mm | 实测形心 坐标位置/mm | 位置计算 准确性 |
|------|---------------------|-----------------|-------------|
| 1 | (133,153) | (134,154) | √ |
| 2 | (11,119) | (213,121) | √ |
| 3 | (257,140)和(255,113) | (253,137) | × |
| 4 | (313,109) | (318,108) | √ |
| 5 | (174,68) | (175,70) | √ |
| 6 | (204,5) | (206,4) | √ |
| 7 | (275,57) | (277,59) | √ |
| 8 | (301,20) | (303,21) | √ |
| 9 | (192,169) | (191,169) | √ |
| 10 | (109,103) | (107,104) | √ |
| 11 | (131,64) | (130,65) | √ |
| 12 | (123,19) | (125,17) | √ |
| 13 | (38,18) | (238,19) | √ |

经降噪处理、区域分割后的数据图像如图 8、图

计算结果:编号3的铝合金废料位置计算结果与实际测量不符,其他物料正确,准确率约为92.3%。

对编号3物料位置计算错误可能的原因进行分析:由图7看出编号3物料外观呈蜷曲中空状,包含主体部分和片状伸出部分,由于两部分连接处较薄,造成连接处透射信号不明显,区域分割时刻为两个部分,最终得到两个形心,该情况因物料特殊性造成,除此外本研究算法能准确计算大部分物料位置。

透射数据图像为 320×210 的原始16位灰度数据图,每幅图的积分时间为336 ms。在所用计算平台下,本研究算法试验10次,平均耗时30.3 ms,远小于每幅图的积分时间,满足实时性要求。

4 结束语

本研究针对废有色金属分选系统中物料动态位置的实时计算进行研究,利用图像方面处理技术对线阵列探测器采集的数据进行实时处理,在形心算法的基础上进行改进,简洁高效地完成多个物料位置的计算。考虑到物料透射信号的复杂性,在保证实时性的情况下,采用更高识别精度的连通区标记法。对图像首尾行像素特殊处理,解决分选系统动态工作时,同一物料分割至两幅图的问题。

实验表明,本研究算法能够较好地实现物料位置的计算且准确性较好,但是对于形貌较为特殊的物料,因某部分透射信号不明显,算法可能出现计算偏差,有待进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 孙仲元. 磁选理论[M]. 长沙:中南大学出版社,2007.
[2] 孙云丽,段晨龙,左蔚然,等. 涡电流分选机理及应用[J].

- 环境科技,2007,20(2):40-42.
[3] 杜鸿运,董志国,辛爱芹,等. CCD色选机分选控制系统[J]. 仪器仪表用户,2011,18(5):36-38.
[4] KUTILA M, VIITANEN J, VATTULAINEN A. Scrap metal sorting with colour vision and inductive sensor array[C]// International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'06). Sydney: IEEE,2005.
[5] MESINA M B, DE JONG T P R, DALMIJN W L. Automatic sorting of scrap metals with a combined electromagnetic and dual energy X-ray transmission sensor[J]. **International Journal of Mineral Processing**,2007,82(4):222-232.
[6] DE JONG T P R, DALMIJN W L. X-ray Transmission Imaging for Process Optimisation of Solid Resources[C]// Proceedings, R'02 Congree, Recovery Recycling Re-integration. Geneva: EMPA,2002.
[7] 周正干,武卫,高翌飞,等. X射线安检设备数字图像品质综合评价方法[J]. 无损检测,2009,31(6):428-432.
[8] 魏大慧. X射线检测焊缝缺陷图像的预处理[J]. 中国西部科技,2010,9(30):31-32.
[9] 王英,曾光宇. 图像去噪算法研究[J]. 电脑与信息技术,2012,19(4):8-12.
[10] 杨斌,叶文华,熊田忠,等. 双能X射线透射系统的噪声分析与滤波方法研究[J]. 机电工程,2015,32(7):891-896.
[11] 韩思奇,王蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(6):91-94.
[12] 叶宏武. 机械零件图像表面瑕疵的检测算法[J]. 轻工机械,2015,33(2):44-46.
[13] 左文明. 连通区域提取算法研究[J]. 计算机应用与软件,2006,23(1):97-98.
[14] 张恒,倪永婧. 面向目标特征提取的连通域标记算法[J]. 计算机与网络,2015,41(7):58-61.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

王祺奥,叶文华,熊田忠,等. 废有色金属分选中散布物料动态位置的实时计算[J]. 机电工程,2017,34(1):94-99.

WANG Qi-ao, YE Wen-hua, XIONG Tian-zhong, et al. Real-time calculation of dispersed materials' dynamic position in scrap non-ferrous metal sorting[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017,34(1):94-99.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>