

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.05.023

# 基于 X 光检测的烟丝异物在线剔除系统

## On-line elimination system of foreign materials in cut tobacco based on X-ray

韩 明 吴雪芹 韩慧丹 赵淑华 朱建新

HAN Ming WU Xue-qin HAN Hui-dan ZHAO Shu-hua ZHU Jian-xin

(河南省中烟工业有限责任公司安阳卷烟厂, 河南 安阳 455004)

(Anyang Cigarette Factory, Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Anyang, Henan 455004, China)

**摘要:**利用不同密度物质吸收 X 光能力的差异,设计了基于 X 光检测的烟丝异物在线剔除系统。该系统利用 X 光透射烟丝后,形成原始密度值数据,利用原始密度值的突变进行烟丝异物判别,实现烟丝异物在线检测识别的功能。该系统设计了独特的平行四边形喷吹异物剔除方式,使得异物处于接近平行四边形中心点的位置,提高了异物剔除的有效性。经实验验证,将设备安装于制丝线贮丝柜出口处,能有效实现对各类金属、非金属异物识别和剔除,其对烟丝异物平均识别率达 99.5% 以上,平均剔除率达 95.8% 以上。

**关键词:** X 光; 烟丝异物; 判别; 剔除; 喷吹

**Abstract:** The system was based on the difference of X-ray absorption capacity of different density materials to design On-line elimination system of foreign materials in cut tobacco based on X-ray. The system uses X-ray to transmit the cut tobacco to form the original density data, and uses the mutation of the original density value to distinguish the foreign materials, so as to realize the function of on-line detection and recognition of foreign materials. And a unique method of screening out foreign materials by parallelogram injection which made the foreign materials close to the center of the parallelogram was designed to improve the effectiveness of screening out the foreign materials in cut tobacco. The experimental results showed that the device could effectively identify and eliminate all kinds of metallic and non-metallic foreign materials when it was installed at the outlet of cut tobacco cabinet of primary processing line. The average recognition rate of foreign materials in cut tobacco is above 99.5%, and the average elimination

rate is above 95.8%.

**Keywords:** X-ray; foreign materials in cut tobacco; distinguish; screening out; injection

烟丝作为影响成品烟支质量的核心,其纯净度将直接影响卷烟质量<sup>[1]</sup>。为了使制丝线能够在较低误剔率的情况下对烟丝中所含异物进行高效可靠的剔除,提高烟丝纯净度,国内外学者开展了较多研究,目前常见的烟草异物识别剔除设备有风分异物剔除设备、光学异物剔除设备、金属异物剔除设备。风分异物剔除设备利用异物与烟草悬浮速度不同实现剔除重质烟草异物的目的<sup>[2]</sup>,但对于悬浮速度与烟草相差不大的异物则无法剔除。光学异物剔除设备主要采用激光除杂和 CCD 摄像除杂两种方式剔除烟草中的非金属异物,激光除杂是通过皮带输送机高速摊薄烟丝后,利用烟草和异物对激光选择性反射吸收特性的差异实现异物的识别,由信息处理系统发送异物剔除信号至气动执行机构,并控制气动执行机构剔除异物<sup>[3]</sup>,如比利时 BEST 公司的自由下落式激光分选机等;CCD 摄像除杂设备是通过皮带输送机高速摊薄烟丝,先由摄像机获取图像,再由实时图像处理系统识别出异物,并发出相应的异物剔除指令给剔除模块的电磁阀,控制高压气流剔除异物<sup>[4-5]</sup>,如南京大树科技股份有限公司的烟草异物智能剔除系统<sup>[6]</sup>、云南紫金科贸有限公司的烟草杂物剔除系统、昆明船舶设备集团有限公司的智能烟草异物剔除机等。此类光学烟草异物剔除设备只能检测烟丝层表面,故均需对烟丝进行摊薄操作,若烟丝层摊薄效果不佳,容易产生异物判断错失的情况,而且此类除杂设备价格高昂且维护成本高。金属除杂设备是基于电磁转换原理<sup>[7]</sup>或金属除杂仪剔除烟草中含有的金属异物,如切丝机前的金属除杂仪等,但此类设备对磁性较弱异物的剔除效果不佳。

X 光技术的透射功能对物质内部进行无损检测,已被广泛应用于医疗、交通运输、材料、安保等领域<sup>[8-10]</sup>。X 光

**基金项目:**河南中烟工业有限责任公司科技创新项目(编号: ZW2015033)

**作者简介:**韩明,男,河南中烟工业有限责任公司安阳卷烟厂工程师,硕士。

**通信作者:**朱建新(1970—),男,河南中烟工业有限责任公司安阳卷烟厂高级技师。E-mail:1044792533@qq.com

**收稿日期:**2021-01-23

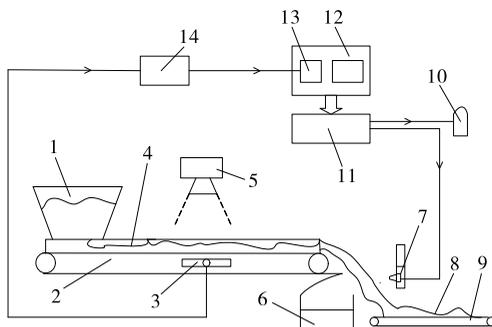
穿透能力强对物料进行处理时无需摊薄即可进行异物识别,包括金属及非金属异物,而且成本低、易于维护、对烟丝品质无影响,但该技术烟草除杂方面的应用尚未见报道。研究拟将 X 光检测技术应用于烟丝异物在线剔除系统中,以期实现烟丝中金属及非金属异物的识别、剔除功能。

## 1 系统设计

基于 X 光检测的烟丝异物在线剔除系统直接与制丝生产现场烟丝输送带配合使用,X 光烟丝异物检测系统位于烟丝输送带的正上方,平行四边形喷吹异物剔除系统位于烟丝输送带的末端<sup>[11]</sup>。其工作流程如图 1 所示,当中控发送输送带启动命令时,烟丝输送带 2 和 9 运转,同时输送带 2 上方的震槽经进料口 1 往输送带 2 入口送料,烟丝随着输送带 2 往前运行。当烟丝通过 X 光发射装置 5 照射口时,X 光透射烟丝,X 光探测器点阵 3 对原烟丝 4 数据进行采集,并将采集到的原始数据传送到数据采集卡 14。原始数据经数据采集卡 14 整理后送达主机系统 12 的图像处理模块 13 进行锐化、剥皮、灰度化等图像处理形成烟丝图像<sup>[12-14]</sup>,同时对整理后的原始数据进行异物判别处理,如发现异物,将含有异物的烟丝图像存储至主机系统 12 的硬盘中,并将发现异物的信息经 I/O 模块(即输入/输出模块)11 发送给声光报警器发出警报,同时发送至烟丝异物喷吹系统 7,将异物喷吹至杂物盒 6 中。其中 I/O 模块 11 通过串行口 RS232 与主机系统 12 通信,输入模块可接收设备信号,反馈至主机系统 12;输出模块将主机系统 12 提供的信号输出至被控设备,使被控设备动作。

### 1.1 X 光烟丝异物检测系统

1.1.1 结构组成 如图 2 所示,X 光烟丝异物检测系统主要由支撑架 1、归一推杆 2、冷却系统 3、调平装置 4、X



1. 进料口 2、9. 输送带 3. X 光探测器点阵 4. 原烟丝 5. X 光发射装置 6. 杂物盒 7. 异物喷吹系统 8. 除杂后烟丝 10. 声光报警器 11. I/O 模块 12. 主机系统 13. 图像处理模块 14. 数据采集卡

图 1 工作流程图

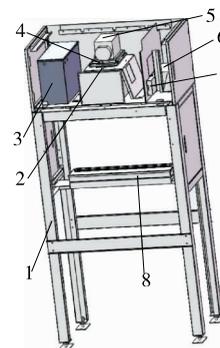
Figure 1 Work flow diagram

光源 5、X 光机 6、PD 点阵 8、通讯装置 7 等组成。其中支撑架 1 在 X 光烟丝异物检测系统中起支撑作用;X 光源 5 是系统的核心部件,以设定的强度发射出 X 光扇形束,透射烟丝;X 光机 6 是 X 光源 5 的控制器,用来给 X 光源 5 提供电源以及设定工作电压及电流等;X 光源 5 发射过程中需要散热,冷却系统 3 是以水作为热交换介质使 X 光烟丝异物检测系统保持良好的散热功能;PD 点阵 8 是由 7 块 X 光探测器板构成,一共包含 448 个探测器,完成辐射测量、信号变送、放大,A/D 转换等功能,接收 X 光透射烟丝后的原始数据;通讯装置 7 是 X 光烟丝异物检测系统与主机通讯的连接,它内含数据采集卡,将 PD 点阵 8 接收到的烟丝原始信号数据以以太网协议的方式传输到 PC 机进行处理;调平装置 4 能够在设计范围内调整 X 光的发射方向,使 X 光透射烟丝后准确被 X 光探测器点阵所接收;归一推杆 2 是系统标定的功能部件,由于 X 光探测器离 X 光光源位置距离、角度不同,故需要对 X 光进行归一标定,消除由距离不同造成的差别。

1.1.2 技术实现 物质吸收 X 光的能力与 X 光的能量及被穿透的物质性质有关,利用物质吸收 X 光的差别可以将不同的物质区分开来<sup>[15]</sup>。烟丝与异物的物质性质区别在于密度值不同。主机系统对接收到的原始烟丝数据进行锐化、剥皮、灰度化等形成烟丝图像,如图 3 和图 4 所示。

同时利用烟丝与异物密度值区别实现异物判别。先对全部原始密度值从第 1 个到第 N 个进行相邻比值计算与初步过滤,其方法:

$$\begin{cases} R_1 = \frac{X_{i_{原1}}}{X_{i_{原2}}} \\ R_2 = \frac{X_{i_{原2}}}{X_{i_{原3}}} \\ \vdots \\ R_{N-1} = \frac{X_{i_{原N-1}}}{X_{i_{原N}}} \end{cases}, \quad (1)$$



1. 支撑架 2. 归一推杆 3. 冷却系统 4. 调平装置 5. X 光源 6. X 光机 7. 通讯装置 8. PD 点阵

图 2 X 光烟丝异物检测系统结构

Figure 2 Structure of X-ray foreign materials detection system in cut tobacco



图 3 烟丝图像

Figure 3 Image of cut tobacco

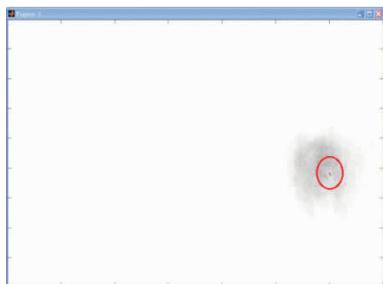


图 4 含有异物的烟丝图像

Figure 4 Image of cut tobacco with foreign body

式中:

$X_{i_{原1}}、X_{i_{原2}}、\dots、X_{i_{原N}}$  ——第 1、第 2、 $\dots$ 、第  $N$  个 X 光探测器接收到的经数据采集卡处理后的烟丝原始密度值;

$R_1、R_2、\dots、R_{N-1}$  ——第 1、第 2、 $\dots$ 、第  $N-1$  个相邻比值。

经计算得到  $N-1$  个相邻比值。 $N-1$  个相邻比值要通过阈值预处理计算模型  $F$  进行初步的异物特征过滤<sup>[16]</sup>,即:

$$R_{\text{滤出}} = F(R_{\text{全部}}, X_{T_{i_1}}), \quad (2)$$

式中:

$R_{\text{全部}}$  ——全部相邻比值(包含  $N-1$  个相邻比值);

$X_{T_{i_1}}$  ——原始密度阈值;

$R_{\text{滤出}}$  ——滤出的全部相邻比值。

将滤出的相邻比值作为自动判断异物的基础数据。通过二次密度阈值进行二次过滤去除误判因素。采取的计算模型为:

$$S = F(R_{\text{滤出}}, X_{T_{i_2}}), \quad (3)$$

式中:

$R_{\text{滤出}}$  ——所有滤出的相邻比值;

$X_{T_{i_2}}$  ——二次密度阈值;

$S$  ——判断出的异物个数(其值  $> 0$  则认为有异物存在)。

当烟丝中有多个不同密度异物存在时,通过上述方法均可识别。

1.1.3 归一标定方法 当 X 光透射同等密度值烟丝时,

由于 X 光到达 X 光探测器的距离不同会造成 X 光探测器接收到的 X 光原始数据不一致,因此对数据进行归一化处理使 X 光探测器接收到原始数据一致<sup>[17]</sup>。通过设置归一化系数进行归一标定。采用同一标准重量负荷,标定  $N$  个 X 光探测器,使其各探测器测量的同一物质原始密度值相一致。

原始密度计算数学模型为:

$$X_{Ni} = G \times \ln\left(\frac{U_{Ni}}{U_{N0}}\right), \quad (4)$$

式中:

$X_{Ni}$  ——测量负荷原始密度;

$U_{Ni}$  ——有负荷时探测器输出的信号;

$U_{N0}$  ——无负荷时探测器输出的信号;

$G$  ——归一化系数。

标定归一化系数:先无负荷时,数据采集卡采集  $N$  个 X 光探测器输出信号,经  $t$  时间后测得各信号平均值为  $U_{10}、U_{20}、\dots、U_{N0}$ 。归一推杆推出标准重量负荷板,使其位于测量区,数据采集卡采集  $N$  个 X 光探测器输出信号,经  $t$  时间后测得各信号平均值为  $U_{1i}、U_{2i}、\dots、U_{Ni}$ ,标定结束后,归一推杆回端归位标准重量负荷板。

根据  $\ln\left(\frac{U_{Ni}}{U_{N0}}\right)$  以及标准负荷板面密度值  $F_{\text{标}}$  计算归一化系数,即:

$$G = \frac{F_{\text{标}}}{\ln\left(\frac{U_{Ni}}{U_{N0}}\right)}, \quad (5)$$

式中:

$G$  ——归一化系数;

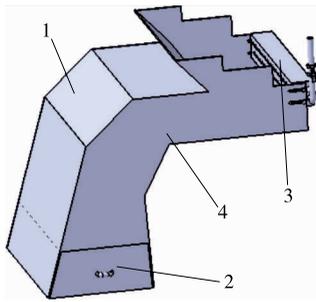
$F_{\text{标}}$  ——标准负荷板面密度值;

$U_{Ni}$  ——有负荷时探测器输出的信号;

$U_{N0}$  ——无负荷时探测器输出的信号。

## 1.2 喷吹烟丝异物剔除系统

1.2.1 结构组成 如图 5 所示,平行四边形喷吹烟丝异物剔除系统主要由喷吹系统 3、料筒 1、密封板 4 和杂物盒 2 组成。该系统具有自主研发的喷吹控制器,在喷吹控制器接收到喷吹信号时启动喷吹系统,异物被驱动并在料筒的引导下落入杂物盒 2 中。其中,喷吹系统 3 是烟丝异物剔除的核心,由上、下两排共 59 个喷管组成,喷管连接高压气源,根据异物的位置由喷吹控制器控制接通相应的喷管喷出高压气流喷吹异物,完成异物剔除动作,为保证喷管顺利将烟丝中可能存在的所有异物喷吹出,应以喷吹异物时烟丝低带出比、异物和烟丝高速分离为原则,以烟丝中可能出现的最大异物为上限,根据计算流体力学(CFD)和 Realizable  $k-\epsilon$  模型进行计算分析<sup>[18]</sup>,最终确定喷吹系统参数为:喷管左右间距 22.4 mm,上下间距 11.2 mm,喷管直径 5 mm,喷管气源压力 0.5 MPa,喷



1. 料筒 2. 杂物盒 3. 喷吹系统 4. 密封板

图 5 异物剔除系统结构图

Figure 5 Structure diagram of foreign materials blowing system

吹系统对烟丝中异物进行无差别喷吹剔除,故经上述设计后,喷吹系统产生的喷吹力可将烟丝中可能存在的最大异物喷吹出,则此喷吹力可将烟丝中可能含有的所有异物喷吹出去;料筒 1 的作用是引导被剔除出的异物进入杂物盒,并封闭防尘;落料口的大小调整后,由密封板 4 将落料口旁边的敞开部分封闭,防止飞尘散出落料出口外;杂物盒 2 是收纳被剔除的异物及不可避免伴随异物一同被吹出的烟丝,经挑选后烟丝可回收利用。

1.2.2 技术实现 喷吹系统由 59 个喷管组成,其喷管排列方式如图 6 所示,喷管分为上、下两排,其中上排 30 个喷管,下排 29 个喷管。系统喷吹采用平行四边形喷吹方式,选取相邻 4 个喷管以左偏斜或右偏斜平行四边形排

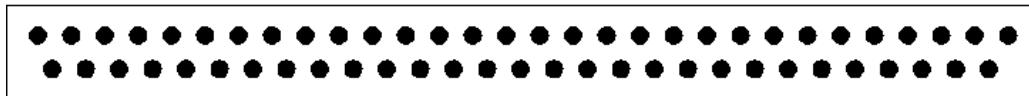


图 6 喷管排列示意图

Figure 6 Nozzle arrangement diagram

列方式进行喷吹,使异物应处于平行四边形中心点的位置,能提高烟丝异物剔除的有效性。

进行喷吹的 4 个喷管的位置采用以下计算模型:

$$i_{BP} (i_{BP_1}, i_{BP_2}, i_{BP_3}, i_{BP_4}) = C_{BP} (Z_{iRP_1} [30], Z_{iRP_2} [29], X_2), \quad (7)$$

式中:

$i_{BP} (i_{BP_1}, i_{BP_2}, i_{BP_3}, i_{BP_4})$ ——经计算平行四边形喷吹方式 4 个喷管的位置;

$Z_{iRP_1} [30]$ ——第一排 30 个喷管的各自位置;

$Z_{iRP_2} [29]$ ——第二排 29 个喷管的各自位置;

$X_2$ ——异物所处的位置。

不管是左偏斜或右偏斜平行四边形喷管排列方式,当烟丝中仅有一个异物被检测出来需要剔除时,均先启动上排 2 个喷管,隔 50 ms 后启动下排 2 个喷管。整个喷吹过程时间为 550 ms,每一个喷管单独喷吹的时间为 500 ms,为防止剔除异物的遗漏,提高异物剔除的成功率,采用交错的喷吹时序。若烟丝中同时有两个异物(异物 A 和 B)被检测出来需要剔除时,喷吹动作交叉进行。当启动第一排喷管喷吹异物 A 后,间隔 50 ms 再启动第一排喷管喷吹异物 B,再间隔 50 ms 启动第二排喷管喷吹异物 A,间隔 50 ms 后启动第二排喷管喷吹异物 B。从而保证烟丝中同时出现异物时剔除的成功率。

## 2 应用效果

目前该系统已在制丝生产线贮丝柜出口处安装并联机使用,此处烟丝额定流量为 1 000 kg/h,烟丝输送带电机频率为 35 Hz,为测试系统对金属及非金属异物识别及剔除功能,根据 YC/T 489—2014《片烟异物剔除装置异物剔除率的测定方法》,在实际工况下,收集 500 kg 的不

含异物纯净烟丝,在其中分别混入金属异物和非金属异物(见表 1),每种异物 40 个进行试验。按额定烟丝流量将混入异物的纯净烟丝在基于 X 光检测的烟丝异物在线剔除系统输送带前端合适位置均匀布料,使系统进入异物检测剔除状态,将含有异物烟丝全部通过异物检测剔除系统,试验重复测试 3 次,消除因样本异物混合不均等特殊因素造成的影响,计算该系统的异物识别率、剔除率以及误剔率<sup>[19]</sup>。其中,异物识别率为被识别异物数量占掺入异物总数量的百分比;异物剔除率为被剔除异物数量占掺入异物总数量的百分比;误剔率为异物误剔次数占异物总剔除次数的百分数。

由表 2 可知,该系统对螺母、铝片等金属异物以及石头、橡胶、绳头等非金属异物的平均识别率达到 99.5% 以

表 1 异物样本规格

Table 1 Foreign material sample specification

序号	样本异物名称	颜色	样本规格
1	铁片	白色	10 mm×10 mm×1 mm
2	铜片	黄色	10 mm×10 mm×1 mm
3	铝片	白色	10 mm×10 mm×1 mm
4	垫片	铁质白色	M4(公称直径 4 mm,厚度 0.8 mm)
5	六角螺母	铁质白色	M8(公称直径 8 mm,厚度 4 mm)
6	橡胶块	绿色	50 mm <sup>2</sup> ×1.5 mm
7	木块	褐黄色	10 mm×10 mm×1 mm
8	石子		300 mm <sup>3</sup>
9	电线头	黄色	Φ 1 mm×15 mm
10	纸片	黄色	10 mm×10 mm×1 mm

上,平均剔除率达到 95.8%以上,误剔除率 $<0.52\%$ 。对比目前多种除杂设备,激光除杂设备、CCD 除杂设备只能对非金属异物进行识别剔除,剔除率分别可达到 95%和 85%以上<sup>[20]</sup>,金属除杂设备只能对金属异物进行剔除,剔除率可达到 97%以上<sup>[21]</sup>。基于 X 光检测的烟丝异物在线剔除系统能同时实现对金属及非金属异物的剔除,且剔除率相

比现有除杂设备也毫不逊色。通过上述烟丝异物剔除试验及与多种除杂设备比对,可以看出,对于多种类别异物,基于 X 光检测的烟丝异物在线实时剔除系统都具有良好的异物检测识别性和剔除性,且对烟丝异物的误剔除率较低。该设备相比现有激光、CCD 等烟草除杂设备成本及人工日常维护成本都较低,具有较大的推广应用价值。

表 2 烟丝异物识别、剔除及误剔除结果

Table 2 Result for identification and elimination of foreign matter in cut tobacco

异物	试验	掺入的异物数	异物识别数	异物剔除次数	异物剔除个数	异物误剔次数	平均识别率/%	平均剔除率/%	平均误剔除率/%
螺母、铝片等 金属异物	1	200	199	191	190	1	99.5	95.8	0.52
	2	200	200	194	194	0			
	3	200	198	193	191	0			
石头、橡胶等 非金属材料 异物	1	200	198	195	195	0	99.7	97.3	0.34
	2	200	200	194	193	0			
	3	200	200	197	196	1			

### 3 结论

试验设计的剔除系统基于物质对 X 光吸收特性的不同,利用 X 光透射烟丝后形成原始数据进行烟丝图像处理并基于物质密度不同判别异物,通过独特的平行四边形喷吹异物剔除方式实现烟丝中异物的高效剔除。经实验验证,在 1 000 kg/h 的生产物料情况下,该系统对各类金属、非金属异物识别和剔除均有效,其中平均识别率达 99.5%以上,平均剔除率达 95.8%以上。同时对设备进行了 X 光辐射强度检测,仪器表面(1.0 m 处 X 光当量率)达到天然本底水平,辐射安全指标符合国家安全标准。但该系统针对与烟丝密度接近的异物识别效果较差,下一步将尝试基于 X 光增加颜色等分析因素,完善识别算法,提高与烟丝密度接近异物的识别剔除率。

#### 参考文献

[1] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中央文献出版社, 2003: 6-8.

[2] 李晓,熊安言. FX6 型就地风选器在梗签风选中的应用[J]. 烟草科技, 2006(8): 9-11.

[3] 陈福. HELIUS 激光除杂在制丝生产线异物剔除中的应用[J]. 工业设计, 2016(1): 152-153.

[4] 马亚,杨白凡,杭建军. 垂直风送片烟多光谱异物剔除系统的设计[J]. 烟草科技, 2015, 48(8): 76-81.

[5] 高翔,张超,陈杰,等. 关于 AEROSORT 除杂效果的研究[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(12): 104-108.

[6] 南京大树科技股份有限公司. 烟草异物剔除系统: 2010205779334[P]. 2010-10-02.

[7] 江苏中烟工业有限责任公司. 一种新型的金属除杂装置: 201921079942.8[P]. 2020-04-28.

[8] KIM S, SCHATZKI T F. Apple water-core sorting system using X-ray imagery I: Algorithm development [J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(61): 1 695-1 702.

[9] 丁杰,王明泉,张俊生,等. 汽车轮毂缺陷检测中的缺陷增强与字符去除技术[J]. 科学技术与工程, 2017, 35(17): 76-81.

[10] KHERLOPIAN Armen R, SONG Ting, DUAN Qi, et al. A review of imaging techniques for systems biology[J]. BMC Systems Biology, 2008, 2(1): 74.

[11] 濮良贵,陈国定,吴立言. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 3-38.

[12] 王庆根,张入通,郭彦斌. 工业射线检测用灰度图像处理方法应用研究[J]. 制造业自动化, 2005(7): 75-77.

[13] 卢艳平,王珏,覃仁超. 一种剥皮算法在工业 CT 图像分割中的应用[J]. 无损检测, 2005(5): 235-237.

[14] 田伟,沈浩,李晓,等. 基于图像处理的廊道表面裂缝检测技术研究[J]. 电子设计工程, 2020, 28(5): 148-151.

[15] MCMAHON P J, PEELE A G, PATERSON D, et al. X-ray tomographic imaging of the complex refractive index [J]. Applied Physics Letters, 2003, 83(7): 1 480-1 482.

[16] 张文建. 基于 X 射线的食品异物图像的边缘检测算法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2016: 20-46.

[17] 纪连恩,邹银龙,辛冰. 面向三维导航的智能终端传感器数据处理技术[J]. 计算机应用, 2015, 35(1): 252-256, 288.

[18] 于辉,尹凤福,闫磊,等. 塑料近红外分选设备喷吹分离的仿真研究[J]. 机电工程, 2019, 36(4): 378-382.

[19] 朱文魁,刘斌,毛伟俊,等. 基于低能 X 射线透射成像的打叶片烟中烟梗在线检测[J]. 烟草科技, 2015, 48(2): 69-74.

[20] 杨俊杰,陶文华. 基于激光分拣技术的烟草异物剔除系统[J]. 机械制造与自动化, 2019, 48(6): 214-216.

[21] 陆晓东. 自动电磁除杂技术在烟草除杂工艺中的应用[J]. 测控技术, 2015, 34(4): 93-96.