

基于图像识别的垃圾焚烧炉膛燃烧状态诊断方法

郭天宇, 姚心, 贺迪龙, 刘兵

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 目前我国城镇生活垃圾的主要处理方式是焚烧处理。国内垃圾水分高、热值低,在焚烧过程中需操作人员时刻观察焚烧炉炉膛的燃烧状态,继而不断调整焚烧炉运行参数,确保焚烧正常稳定进行。人工判断具有很强的主观性,并需大量人力。本文介绍了一种基于图像识别的垃圾焚烧炉膛燃烧状态诊断方法,通过图像处理及人工智能技术,实现对焚烧炉膛垃圾燃烧状态的快速判断,将识别出的火焰燃烧状态接入自动控制系统,可提高垃圾焚烧炉的智能化控制水平。经工程实践验证,采用该方法对火焰状态进行诊断,准确率可达95%。

[关键词] 图像识别; 状态诊断; 垃圾焚烧

[中图分类号] X705

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2022)06-0043-05

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.06.006

我国城市化进程不断推进,城镇生活垃圾量逐年增加,传统的堆放或填埋等方式无法实现垃圾无害化处理,挤占土地资源的同时,又对生态环境造成破坏。利用焚烧技术处理生活垃圾,不仅有效减少垃圾体积,减轻环境污染,还能利用焚烧炉产生的余热发电,实现垃圾热能的合理利用、变废为宝,产生清洁能源。^[1]

垃圾焚烧的火焰燃烧状态影响焚烧装置的运行。从给料斗入炉的垃圾组分不连续、含水量变化、抓料量不均匀等因素,都会导致焚烧炉膛内的火焰燃烧状态发生变化,产生垃圾偏烧、炉膛窜风等异常情况。如未能及时诊断出火焰状态的变化并调整运行参数,长时间的异常燃烧则会影响焚烧系统运行的稳定性,甚至可造成烟气中氮氧化物、二噁英等污染物超标,危害环境及生物健康。^[2]

当前,我国垃圾焚烧厂的运行人员主要通过人眼实时观测判断焚烧炉内火焰的燃烧状态,继而给出操作指令,保证垃圾焚烧炉正常平稳运行。这种人工观测的方式依赖个人经验,主观性强,无法形成

统一的判别标准,且消耗大量人力,限制了垃圾焚烧行业的智能化发展。本文研究了一种基于图像识别的垃圾焚烧炉膛火焰燃烧状态诊断方法,实现火焰偏烧、垃圾过厚、烟雾扬尘等燃烧状态的快速自动识别,操作人员可根据识别指令进一步调整焚烧系统运行参数,也可将火焰燃烧状态诊断结果接入到燃烧控制系统,实现垃圾焚烧的智能控制。

1 垃圾焚烧炉排结构

利用垃圾焚烧炉对城镇生活垃圾焚烧处理,不需提前对垃圾进行分拣^[3-4]。本文所介绍技术的应用主体为某垃圾焚烧发电厂的一套机械炉排焚烧炉,炉排结构如图1所示。机械炉排有一定的倾斜角度,垃圾在炉排上的燃烧一般可分为三个阶段,由上至下分别为干燥段、燃烧段和燃烬段。垃圾由给料器推入干燥段后,由于炉壁辐射热能、高温烟气及高温助燃空气的共同作用,垃圾水分逐渐蒸发析出。垃圾进入燃烧段后发生剧烈的燃烧化学反应,产生大量火焰,这是燃烧的主要阶段。经过充分燃烧后的垃圾进入燃烬段,未充分燃烧的物质继续燃烧至灰化,最后垃圾化渣排出,至此完成垃圾焚烧的全部过程。

2 垃圾焚烧火焰采集

以某省垃圾焚烧发电厂的三号垃圾焚烧炉为例,图像采集设备安装在炉排上方的拱壁上,该监控设备为广角,视野范围为燃烧段的末端和燃烬段的

[收稿日期] 2022-06-02

[作者简介] 郭天宇(1988—),女,黑龙江安达人,高级工程师,博士,主要从事有色矿冶数字工程研发工作,现任中国恩菲工程技术有限公司数字智能技术公司数字化业务部副主任。

[引用格式] 郭天宇,姚心,贺迪龙,等.基于图像识别的垃圾焚烧炉膛燃烧状态诊断方法[J].有色设备,2022,36(6):43-47.

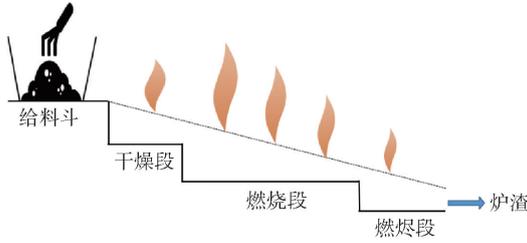


图 1 焚烧炉排示意图

全部, 监控画面清晰, 燃烧段和燃烬段的面积比例如图 2 所示。



图 2 某垃圾厂 3 号炉监控画面

为保证火焰燃烧状态诊断模型的准确性, 与该厂工作人员共同商讨, 确定八种典型的燃烧状态及特征原因, 如表 1 所示。

表 1 典型燃烧状态及特征原因

火况	特征
燃烧正常	燃烧段火焰旺盛均匀, 台阶上无明显黑色区域, 燃烬段火势小或局部有火焰。
烟雾扬尘	画面模糊不清, 雾蒙蒙一片, 看不清炉排结构。
垃圾过厚	台阶上呈现连片的黑色, 火焰较小, 垃圾没有充分燃烧。
火线后移 (缺料)	燃烧段缺料, 台阶上火线往干燥段方向退, 台阶结构明显。
火焰偏烧	炉排一侧火焰旺盛, 另一侧呈现黑色无火焰, 一般为左偏烧或右偏烧。
炉排窜风	画面上局部火焰旺盛, 亮度相对很高。这种状态主要针对燃烧段, 燃烬段出现局部火焰属于正常。
燃油辅助	开炉时或燃烧状态不好时, 需向炉膛内喷柴油辅助燃烧。
锅炉停炉	视野内一片漆黑。

每种燃烧状态的典型样本, 如图 3 所示。

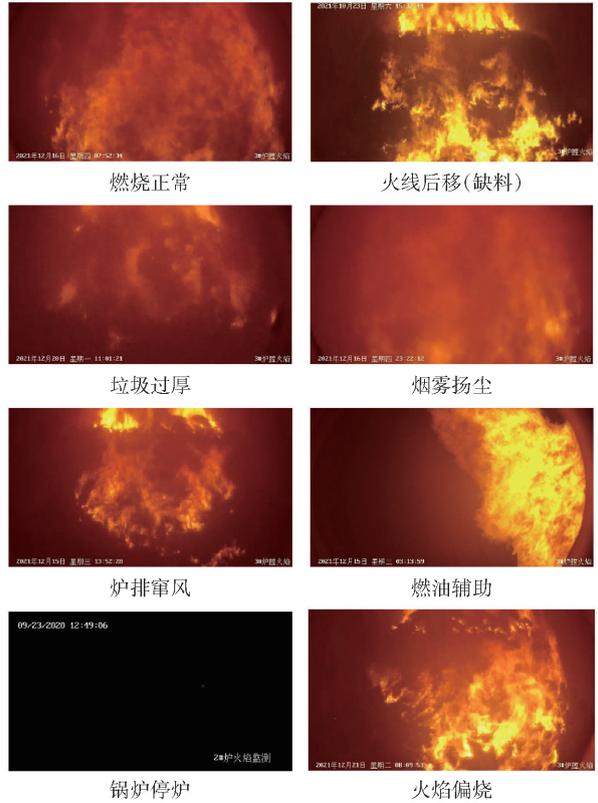


图 3 八种燃烧状态的典型样本

3 图像处理及深度学习

图像识别是计算机科学的重要研究领域之一, 其综合运用图像处理、精密测量、人工智能等技术, 根据已有的先验知识, 对采集到的图像进行处理分析, 以完成对不同目标、不同状态的捕捉与判别。通过图像识别技术按照应用场景对图像进行合理的处理和分析, 即可获得所需的数据及信息^[5]。图像本身携带大量的信息数据, 识别过程中还需对图像进行复杂的处理变换, 因此对计算机的速度及存储空间等配置有较高的要求。

传统的图像识别方法主要依靠提取像素特征并人为处理来获取图像的中低级信息, 人工设计特征等操作会直接影响图像的识别精度。采用深度学习方法, 构建卷积神经网络来模拟人脑分析及处理图像数据, 能够提取图像的深层次信息^[6]。目前, 卷积神经网络是完成图像识别的最佳算法之一, 其学习及泛化能力强, 训练模型精确掌握图像特征后, 识别的准确性可观。

图像识别在各行各业的应用中取得了重大的进展和成果, 技术与设备相结合, 通过算法计算处理,

得到可靠的识别结果,从而取代人类工作,这为监控设备智能化奠定了基础。在工业领域成功应用图像识别技术,能够节约人工成本、消除人为主观判别带来的差异性,从而大力提升生产效率^[7-9]。

4 燃烧状态诊断

针对该焚烧炉的八种典型火焰燃烧状态,本文

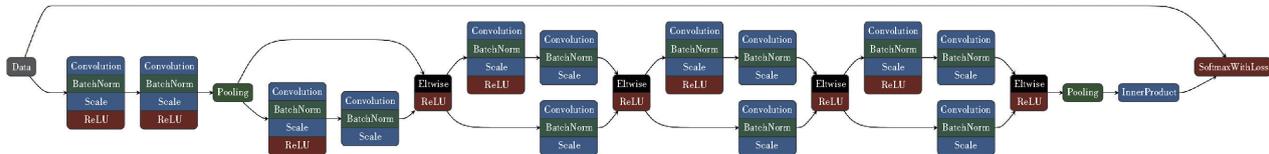


图4 火焰燃烧状态识别网络模型结构

将现场采集的火焰燃烧图像样本根据工况分为8个标签,除“锅炉停炉”外,其余7种燃烧状态经过数据挑选及数据清洗后,按照一定的比例划分为训练集、验证集和测试集,采用图4所示的深度学习网络模型后进行模型训练。经过上万次的迭代后,模

型在测试集上的准确率可达95%。模型在线应用时,通过火焰探测器实时提取垃圾焚烧炉膛内的火焰燃烧图像,将图像送入训练好的神经网络进行燃烧状态诊断。这7种火焰燃烧状态诊断的模型识别流程如图5所示。

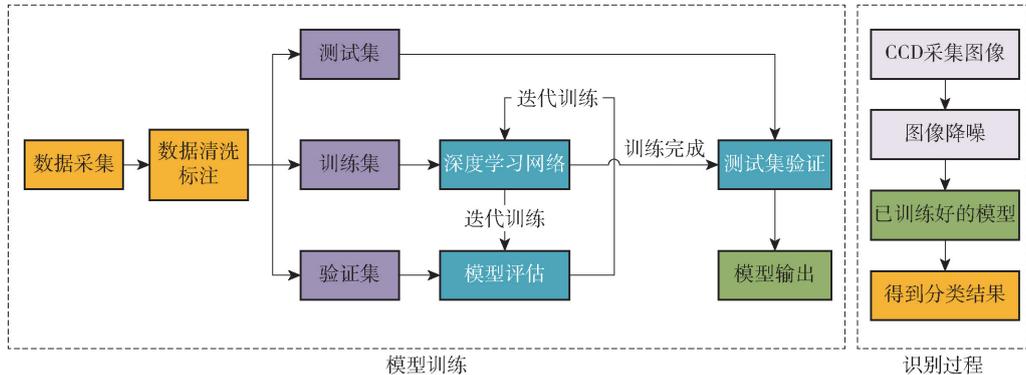


图5 火焰燃烧状态模型识别流程

由于焚烧炉实际运行时炉膛内各种燃烧状态的出现概率不同,每种燃烧状态采集的样本规模也不尽相同,训练模型时,训练集和验证集中各燃烧状态的样本数量分别如表2和表3所示。

表2 训练集中各燃烧状态的样本数量

火况	样本数量
燃烧正常	25 816
烟雾扬尘	2 857
垃圾过厚	12 235
火线后移(缺料)	7 127
火焰偏烧	5 012
燃油辅助	4 251
锅炉停炉	1 571

表3 验证集中各燃烧状态的样本数量

火况	样本数量
燃烧正常	4 557
烟雾扬尘	500
垃圾过厚	2 159
火线后移(缺料)	1 256
火焰偏烧	847
燃油辅助	824
锅炉停炉	472

经过27 840次迭代后,得到的训练集loss值和验证集loss值随迭代次数的变化曲线如图6所示,

验证集的准确率如图 7 所示。可以看出,在迭代的前 15 000 次的过程中,训练集 loss 值和验证集 loss 值均不断下降,验证集的准确率不断提升,神经网络仍处于学习过程中。在随后的迭代中,这三个数值都趋于平稳,其中验证集的准确率趋于 0.975。

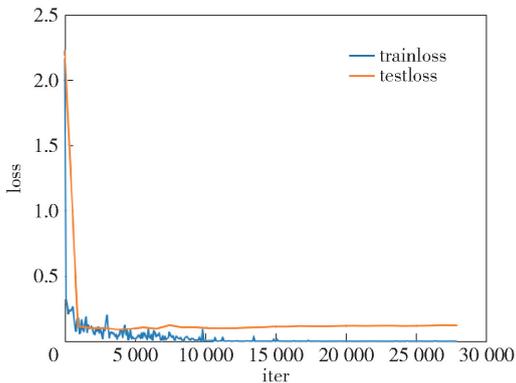


图 6 训练集和验证集的 loss 值曲线

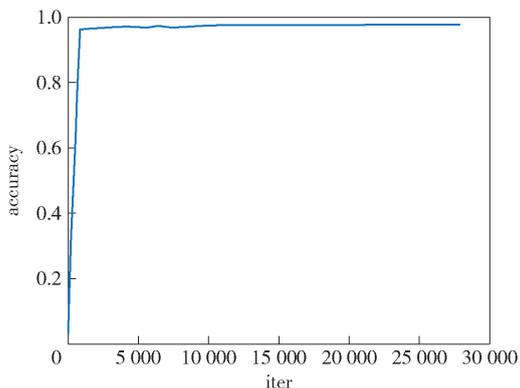


图 7 验证集的准确率曲线

为清晰直观展示燃烧状态诊断结果,开发了一个软件界面,软件开发工具包的开发环境为 Windows10、VS2013 专业版、QT-5.10.0.exe,开发语言为 C++。将该识别方法应用于工业现场,工控机软件界面上用于诊断火焰状态的区域识别结果如图 8 所示。可以看出,该方法的火焰燃烧状态识别结果准确可靠,可为现场工作人员提高参考。

5 结论

垃圾焚烧炉内的火焰燃烧状态直接影响设备的运行情况及发电效率,本文研究了一种基于图像识别的垃圾焚烧炉膛火焰燃烧状态诊断方法,采用计算机视觉技术及图像处理技术,取代传统的人眼观测,可以实时、准确识别出当前炉内火焰燃烧状态,

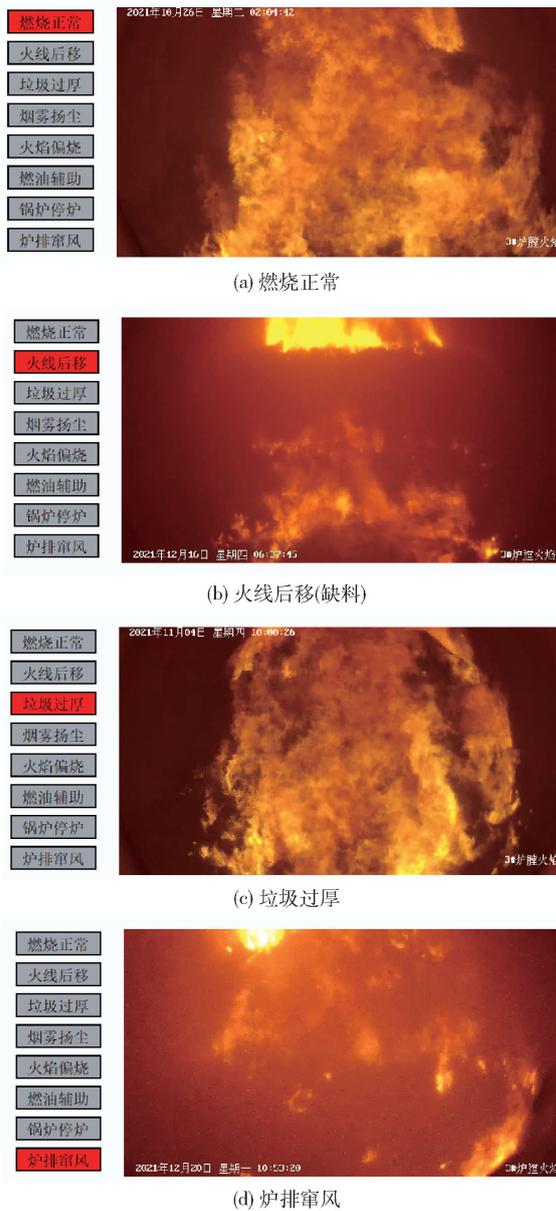


图 8 现场火焰状态识别结果

为现场人员调整运行参数提供依据。经离线测试及工程实践验证,该方法诊断准确率高、响应速度快。

[参考文献]

[1] 杜军,王怀彬,金霄. 城市垃圾焚烧发电现状概述[J]. 节能技术,2003,21(5):25-26.
 [2] 王亚飞. 城镇生活垃圾焚烧火焰辐射特性及其燃烧优化的研究[D]. 杭州:浙江大学,2019.
 [3] 顾恬,曹汉鼎,胡兴胜. 城市生活垃圾焚烧炉结构对燃烧的影响及结构选型的研究[J]. 动力工程,2003(1):2185-2195,2200.
 [4] 余震,曾晓雁. CCD 传感器在工业测控中的应用现状及展望[J]. 计量与测试技术,2002,29(3):30-32.

- [5] 李亚奇. 计算机图像识别技术的发展现状与应用实践[J]. 信息与电脑(理论版), 2019(14): 30-31, 34.
- [6] 周志成. 基于图像处理和人工智能的垃圾焚烧炉燃烧状态诊断研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [7] Zhang H L, Zou Z, Jie L I, et al. Flame image recognition of alumina rotary kiln by artificial neural network and support vector machine methods[J]. 中南工业大学学报: 英文版, 2008, 15(1): 5.
- [8] Kurihara N, Nishikawa, et al. A Combustion Diagnosis Method for Pulverized Coal Boilers using Flame-Image Recognition Technology[J]. Energy Conversion, IEEE Transactions on, 1986.
- [9] Sun P, Chai T, Zhou X, et al. Flame image recognition system for alumina rotary kiln burning zone[J]. Journal of Chemical Industry & Engineering, 2008, 59(7): 1839-1842.

Diagnosis Method of Combustion State in Waste Incinerator Based on Image Recognition

GUO Tian-yu, YAO Xin, HE Di-long, LIU Bing

Abstract: At present, the main treatment method of urban domestic waste in China is incineration. Domestic waste in China has high moisture content and low calorific value. During the incineration process, operators need to observe the combustion state of the incinerator at all times and then constantly adjust the operating parameters of the incinerator to ensure normal and stable incineration. Manual judgment is highly subjective and requires a lot of manpower. This paper introduces a diagnosis method of combustion state in waste incinerator based on image recognition. Through image processing and artificial intelligence technology, we can quickly judge the waste combustion state in the incinerator, and connect the recognized flame combustion state to the automatic control system, which can improve the intelligent control level of the waste incinerator. The engineering practice shows that through this method of combustion state diagnosis, the accuracy can reach over 95%.

Key words: image recognition; condition diagnosis; waste incineration

▲