

活性炭生产过程能耗分析与优化

闫志富

国能新疆能源化工有限公司 830000

【摘要】活性炭作为具备发达孔隙结构与优秀吸附性能的材料，广泛用于污水处理、大气污染治理、食品医药干燥、新能源等领域，是支撑我国生态文明建设与绿色发展的关键材料。然而，活性炭制作过程中，出于工艺限制，具有高能耗、高碳排放的特征，这也成为影响活性炭产业高质量发展的核心瓶颈限制。因此，本文针对活性炭生产工艺以及用能特征进行分析，讨论活性炭生产高能耗环节的影响因素，针对性提出能耗改进策略。希望通过分析可以为活性炭生产企业的节能改造工作提供理论依据与技术参考，为我国“双碳”目标下活性炭产业的绿色低碳转型起到推动作用。

【关键词】活性炭；生产；能耗；分析；优化

Energy Consumption Analysis and Optimization in Activated Carbon Production by

Yan Zhifu

Guoneng Xinjiang Energy & Chemical Co., Ltd. 830000

【Abstract】As a material with a well-developed pore structure and excellent adsorption properties, activated carbon is widely used in wastewater treatment, air pollution control, food and pharmaceutical drying, and new energy applications, serving as a critical material supporting China's ecological civilization construction and green development. However, due to technological limitations, the production process of activated carbon is characterized by high energy consumption and high carbon emissions, which has become a core bottleneck hindering the high-quality development of the activated carbon industry. This paper analyzes the production processes and energy consumption patterns of activated carbon, examines the factors influencing its energy-intensive stages, and proposes targeted energy-saving improvement strategies. The analysis aims to provide theoretical foundations and technical references for energy efficiency upgrades in activated carbon manufacturing enterprises, thereby facilitating the green and low-carbon transformation of the industry under China's "dual carbon" goals.

【Key words】activated carbon; production; energy consumption; analysis; optimization

活性炭凭借巨大的比表面积、丰富可调的孔隙结构与稳定的化学性质，现如今已经开始成为全球应用最为广泛的吸附材料之一。随着我国生态环境保护力度的不断增加，尤其是《新污染物治理行动方案》的深入实施，活性炭在水污染治理等领域的需求快速增长，预计2030年我国活性炭市场规模将突破500亿元。随着产业规模的扩张，对现有产业结构与生产流程开展优化，所产生的正向影响也将随之扩大。但目前针对活性炭生产环节的能耗优化研究主要集中在单一环节或单一技术，缺乏对整个生产流程中高能耗环节的全流程分析与优化方案构建，因此应对其进行全面分析，提高能源利用效率。

一、活性炭生产工艺及用能特征概述

（一）典型活性炭生产工艺分类

活性炭生产工艺根据活化方式的不同，分为物理活化、化学活化、复合活化三类。物理活化主要利用气体进行活化，也是目前活性炭生产期间应用最为广泛的工艺，约占全国活

性炭产能70%以上。这一工艺在生产期间，需要将材料加热到400℃-600℃实现炭化，形成初步孔隙结构，再提升温度到800℃到1000℃，通过水蒸气、二氧化碳、空气活化剂等进行氧化，最终形成复杂的孔隙结构。物理活化工艺的好处在于技术成熟、产量稳定、无污染，缺点是能耗较高、活化时间较长。化学活化主要是将原材料与氯化锌、磷酸、氢氧化钾等化学成分按比例混合后，在400℃-700℃温度环境下同时完成炭化与活化，通过化学的脱水、缩聚等效应形成孔隙结构。这一工艺的反应时间短、效果好，但消耗较大、成本较高。复合活化则是结合了两项技术的优点，也是近些年来活性炭生产期间的主要技术研究方向^[1]。

（二）主要用能形式与来源

活性炭生产期间，用能以热能为主，化学活化期间还需要使用电能与少量化学能，但节能降耗核心环节依旧以热能为主。目前活性炭生产期间，热能来自外购煤炭、天然气、重油等化石燃料，以及生产期间的各类副产物，例如炭化气、活化尾气、焦油等。现如今国内生产企业大部分以煤炭为燃料，因此活性炭生产期间产生的碳排放较高。除了热能之外，约有10%—15%能耗为电能，主要用于原料破碎、筛分、输

送、风机、水泵等辅助设备,以及各类辅助电气系统。活性炭的不同生产工艺用能结构差异明显,物理活化法以热能为主,化学活化法则是以化学能和电能为主。同时,两项工艺均存在明显的余热回收不足问题,节能潜力巨大。

二、高能耗环节的深度分析与影响因素研究

(一) 活化炉的能耗剖析

活化炉作为活性炭生产过程中能耗最高的核心设备,占总能耗的45%—55%。现如今,国内各类生产商主流选择斯列普炉热效率仅为30%—40%之间,造成如此高热能损失的原因来自多方面。首先,高温烟气将带走大量热量,占活化炉输入总热量的40%—50%之间,在生产时,烟气的最高温度可能高达800℃—900℃。其次,炉体表面也将起到散热作用,带走约15%—20%的热量。传统活化炉生产期间主要使用耐火砖作为保温结构,此类结构导热系数较大,炉壁表面温度超过150℃,热量在散热的过程中不断流失^[2]。相比之下,多膛炉(多段炉)凭借独特的立式多层结构和逆向换热设计,热效率显著优于前两种炉型。传统多膛炉基础热效率可达45%—55%,单位产品燃料消耗比回转窑低30%以上。近年来,随着余热回收技术的集成使用,改进型多膛炉的综合热效率可进一步提升到60%以上。

(二) 炭化与干燥过程的热效率分析

炭化与干燥过程合计占总能耗的30%—35%,其平均热效率仅为25%—35%,也是能量流失的关键环节。在对活性炭进行干燥期间,热损失主要来自废气带走的热量,占干燥输入热量的50%—60%之间,干燥环节排放的废气温度约为120℃—150℃,并且废气中含有大量的水蒸气,进一步影响内部温度。传统的直接加热式干燥设备的热效率不足,物料与热空气无法实现全面、充分接触,需要较长的干燥时间。目前国内活性炭生产企业使用的炭化炉主要分为外热式炭化炉和内热式炭化炉两大类,两者在加热原理、热效率水平、能耗表现、产品质量上存在明显差异。内热式炭化炉凭借直接换热的先天优势,热效率比传统外热式炭化炉高出30%—50%,但受限于产品质量问题,无法全面替代外热式炉型。而外热式炭化炉虽然产品质量较高,但热传导效率较低、炉体散热大的结构缺陷难以通过常规改造的方式彻底解决。

(三) 设备散热与余热排放

设备散热与余热排放作为活性炭生产期间的主要能源损失,占总输入能量的40%左右。除了活化炉、炭化炉在使用期间的正常散热之外,各处管道接口、阀门位置、换热器等设备的热量损失也需要关注。生产产生的余热在排放过程中具有温度跨度大、分布范围广的特点,由此导致余热利用难度较高。高温余热来自活化炉烟气与炭化炉烟气,中温余热来自活性炭生产后的冷却散热,低温余热来自废气、循环冷却水。当前多数企业的余热回收仅侧重高温余热,将烟气

用于原料干燥环节,但中低温余热并未利用,平均热回收率为30%。大量余热无法利用,不仅导致企业能源浪费,也导致车间环境恶劣,工人作业困难^[3]。

(四) 电气系统与辅助系统能效

电气系统与辅助系统占总能耗的10%—15%之间,能效水平普遍较低。在生产设备当中,风机与水泵作为最大的电耗设备,合计占电量损耗的60%—70%之间。当前多数企业使用定速电机驱动,通过阀门或者挡板来调节流量,但这种方式导致大量电能因此浪费,系统运行效率并未充分发挥。除此之外,大型电机带动小型设备的情况也经常存在,为了设备稳定运行而使用冗余型号电机属于正常操作,但目前这一冗余供电量设置较高,电机负载率普遍低于50%,造成能源的无效消耗。另外,原料输送设备、破碎筛分设备也存在能效较低的问题,同时对于此类设备的能源计量不准确,难以对所有设备的能耗进行全面监督管控,尤其是能源浪费问题难以及时发现与解决。

(五) 原料特性与工业参数对能耗的敏感性分析

原料特性与工业参数对于活性炭生产的能源损耗具有显著影响,在原料特性方面,水分增加,将会导致干燥能耗提升,所需要的干燥时间更长。灰分含量的增加,导致生产单位活性炭需要更多的原料,影响能耗控制。在工业参数方面,活化温度作为敏感元素,活化温度升高也会导致能耗随之增加,这需要系统提供更多的燃料用以升温。同理,活化时间的延长,也将导致能耗增加。在活性炭生产过程中,厂商需要使用活化剂用以对原料开展处理,因此活化剂流量也将影响能耗。一旦流量过大,可能导致过度活化,降低产品获得率。炭化温度与升温速度也将对能耗产生重要影响,过快的升高速度可能会导致挥发分快速析出,同时快速带走大量热量,影响热效率。通过对上述影响因素进行分析,有助于确定能耗优化控制指标,为工艺参数优化提供参考与依据^[4]。

三、活性炭生产能耗优化策略

(一) 工艺改进与参数优化

工艺改进和参数优化,是生产厂商降低活性炭生产能耗的最佳措施。在活化工艺方面,今后可以考虑使用“分段加热+气氛调控”技术体系,将活性炭原材料的活化过程分为低温余热、中温造孔、高温扩孔三个阶段,按照不同阶段活性炭原材料的反应特征、反应温度、气氛条件进行分析,将降低15%左右的活化能耗。通过开发催化活化技术,在原材料当中添加少量碱金属或碱土金属催化剂,降低活化反应产生的活化能,缩短活化耗时。在炭化工艺方面,通过梯度升温炭化技术,控制炭化过程中挥发分的析出速度,在保障产品可得率的同时稳定炭化料质量,减少后续活化环节产生的能耗。在生产过程中,可以考虑结合使用的原料特质进行正交试验与响应面分析,确定最佳的生产工艺参数,例如活化

温度、活化时间、活化剂流量、炭化升温速率等,从而维系产品质量与能耗两者的平衡。

(二) 热能回收与梯级利用

为提升能源利用效率,今后可以开展热能回收与梯级利用。通过打造出“高温-中温-低温”三级余热回收系统,达成对余热的全面利用。将高温余热用于生产过热蒸汽,产生的蒸汽再用于汽轮机发电,降低电力损耗。将中温余热用于活性炭生产中的原料干燥与炭化炉余热工作,减少燃料消耗。将低温余热用于生生活热水和车间环境改造,提升工作场所舒适度。对于产出的尾气,不仅需要回收温度,还需要将炭化气与活化尾气当中的可燃成分充分利用,将其过滤后作为燃料送入活化炉当中燃烧,替代外购燃料。通过高效率的换热器技术,提升余热回收的整体效率,包括热管换热器、板式换热器等。除此之外,对炭化炉、管道等设备进行保温处理,降低散热损失。

(三) 高效节能设备应用

推广应用高效节能设备将成为控制活性炭生产期间能耗的主要方式,在活化设备方面,目前活性炭生产设备可以考虑优化成为新型连续式流态化活化炉,此类设备热效率在60%以上,相较于传统斯列普式炉提高50%,并且物料受热均衡,产品质量均衡稳定。对于炭化设备,今后可以考虑使用内热式连续炭化炉,相较于传统的外热式炭化炉,内热式连续炭化炉热效率更高。在干燥设备方面,使用气流干燥机或流化床干燥器,热效率相较于传统滚筒干燥机提高20%。在电气设备方面,对电机进行优化,使用节能电机搭配变频调速技术,对风机、水泵等设备进行改造升级,有助于节电20%—30%^[5]。对于变压器、LED照明等其他耗能设备,适当对其优化也将有助于降低辅助系统能耗。

(四) 生产管理与智能控制

加强生产管理和智能控制,将成为活性炭生产过程中持续节能的重要保障。通过建立起完善的能源管理体系,制定能源消耗定额与考核制度,将能耗指标分解给各个环节与各个岗位,多方入手持续优化能耗。加强能耗计量管理,安装三级能源计量仪表设备,达成对各个环节能耗的全方面监督管控与分析。使用工业互联网、大数据技术、人工智能技术,打造出活性炭生产智能监管平台,对生产期间的各项数据进

行监督管控,做出智能调度与优化控制,让生产始终维持在最优能耗状态。例如,发现烟气排放温度过高,对其进行适当调整,避免带走大量热量。最后,做好对炭化炉、活化炉的设备管理,定期对拐角、管道等位置进行检修保养,保障设备处于最佳运行状态

(五) 碳化活化过程新技术的探索

积极探索炭化、活化过程中的各类新技术,为活性炭产业绿色低碳发展提供技术支持。例如,当前出现的微波加热技术开始逐渐用于活性炭生产领域,这一技术的加热速度快、物料受热均匀、热效率较高,将这一技术用于炭化与活化过程,将降低40%左右的能耗,同时也让加热周期缩短。等离子体活化技术,利用高能等离子体与原材料发生反应,相比较于原本的气体活化和化学活化,这种活化方式可以在较低温度下发生活化反应,能耗仅为传统制造工艺的30%—40%之间。除此之外,连续式一体化炭化、活化技术将炭化与活化过程集成在一个设备当中进行,无需进行二次加热,所产生的余热损耗也随之降低,有效提升能源利用效率。在今后发展期间,可以考虑探索太阳能、生物质能替代化石燃料,降低活性炭生产期间的碳排放量。

结束语:

今后,活性炭生产行业应进一步加快成熟节能技术的规模化推广与使用,优先开展余热梯级利用、设备保温改造、变频调速等投资回报率较高的节能项目改造,有效提升活性炭生产的能耗控制水平。同时,加大对微波活化、等离子体活化、一体化炭化活化等前沿技术的深度研发,构建产学研用协同创新场所,改善以往的关键技术瓶颈限制,推动各类新技术的验证以及产业化应用。随着环保要求越发严格与绿色发展理念的深入人心,活性炭产业将开展新一轮的技术变革与产业升级,通过持续改进的技术创新与管理优化,我国活性炭产业将从高耗能、高排放行业向绿色低碳、高效率、可持续化的转变升级,为我国生态环境保护与经济社会发展作出贡献。

参考文献

- [1]向景昕,董俊杰,张慧,李伟铿,陈彦凯,石海佳,张毅强.基于生命周期理论的工业活性炭资源化利用减碳效益评估[J].环境科学研究,2026,39(03):554-565.
- [2]赵钦.基于精益生产的Q公司压块活性炭生产线优化研究[D].太原理工大学, 2025.
- [3]马紫朝,陈生婧.生物质活性炭的利用现状及现实意义[J].山东化工,2024,53(04):136-138+144.
- [4]施恩,张帅,张森,刘沙沙,邹钰良,张祥志.基于生命周期的污泥基活性炭制备工艺环境影响研究[J].环境工程,2024,42(02):40-47.
- [5]伍英,唐舒扬.宝钢二烧结活性炭烟气净化系统生产实践[J].宝钢技术,2023,(05):46-52.

作者简介: 闫志富(1989.3-)男,山西晋中人,大学本科,工程师,研究方向:煤制活性炭生产工艺技术。