

煤气化渣在烧结砖领域的应用现状与发展趋势——以安徽淮南为例

张林林 刘衢州 蒯伟

国家煤化工产品质量监督检验中心（安徽）淮南市产品质量监督检验所，安徽淮南，232001；

摘要：随着我国现代煤化工产业的快速发展，煤气化渣年排放量逐年增加，其堆存填埋引发的土地占用、环境污染等问题日益突出，资源化利用成为行业可持续发展的关键。烧结砖作为建筑行业用量最大的墙体材料之一，为煤气化渣大宗消纳提供了有效路径。本文以安徽淮南这一煤炭资源型城市为例，围绕煤气化渣在烧结砖领域的应用展开研究。系统阐述煤气化渣的理化特性，深入分析其在烧结砖领域的应用现状、关键技术瓶颈，结合淮南本地产业优势与实践探索，展望未来发展趋势，为煤气化渣资源化利用与烧结砖行业绿色转型提供参考。

关键词：煤气化渣；烧结砖；安徽淮南；应用现状；发展趋势

DOI：10.69979/3029-2727.26.01.045

引言

我国“富煤、贫油、少气”的能源禀赋决定了煤炭在能源消费结构中的核心地位，尽管近年来清洁能源占比持续提升，但煤炭作为基础能源的支撑作用仍不可替代。安徽淮南素有“华东工业粮仓”之称，是我国重要的能源基地。近年来，为推进煤炭清洁高效利用，淮南市大力发展现代煤化工产业，建设了多个大型煤制天然气、煤制烯烃等项目。煤气化技术作为煤炭清洁高效利用的核心技术，在合成氨、甲醇制取、煤制油等工业领域得到广泛应用，推动了我国能源结构优化与煤化工产业升级。然而，煤气化过程中产生的固体废弃物——煤气化渣，已成为制约煤化工产业绿色发展的突出瓶颈。据统计，我国每年煤气化渣排放量超过 3300 万吨^[1]，陕西、内蒙古、山西、安徽等煤炭资源富集地区成为排放集中区，其中安徽淮南作为国家级煤炭基地，伴随 SE-东方炉等先进气化技术的应用，煤气化渣产生量持续增长。传统的堆存填埋处置方式，不仅占用了宝贵的土地资源，其含有的微量重金属、可溶性盐分等可能在雨水淋溶下对土壤和地下水造成潜在污染，与当前国家大力推进的生态文明建设背道而驰。因此，寻求煤气化渣大规模、资源化的消纳途径，已成为淮南市实现绿色转型和可持续发展的紧迫课题。烧结砖作为一种历史悠久、应用广泛的建筑材料，其生产原料正从传统的粘土向页岩、煤矸石、粉煤灰等固体废弃物拓展。利用工业固废制备烧结砖技术成熟，市场接受度高，是消纳大宗固废的理想载体。将煤气化渣作为内燃料和骨料引入烧结砖生产，既能替代部分粘土资源，保护耕地，又能利用其残余碳的热值降低烧结能耗，实现“变废为宝”和节能降碳的双重目标。本文立足于淮南地区的产业实际，系

统梳理煤气化渣在烧结砖领域的应用现状与发展趋势，对于淮南地区的资源循环利用和可持续发展具有典型的示范作用。

1 煤气化渣的基本特性

1.1 煤气化渣的产生机制

煤气化渣是煤炭在高温、高压条件下与气化剂（如氧气、水蒸气）反应后产生的固体废弃物，根据颗粒大小和分离方式可分为粗渣和细渣。粗渣主要是煤炭中未完全反应的矿物质在气化炉底部沉降形成，颗粒较大（粒径通常大于 0.1mm），结构相对致密；细渣则是随合成气带出的细小颗粒，经洗涤、过滤分离得到，粒径较小（多为微米级），比表面积大，含有较多未完全燃烧的残碳。淮南地区煤气化企业主要采用水煤浆气化和干粉煤气化工艺。煤炭经破碎、磨粉后与气化剂混合送入气化炉，在 1300~1500℃ 的高温下发生不完全燃烧和气化反应，煤炭中的碳、氢等元素转化为 CO、H₂ 等合成气，而矿物质则经历熔融、冷却、结晶等过程，形成以玻璃体为主的煤气化渣。

1.2 化学成分

煤气化渣的化学成分决定其能否用于烧结砖制备的核心因素，主要包括二氧化硅（SiO₂）、氧化铝（Al₂O₃）、氧化铁（Fe₂O₃）、氧化钙（CaO）、氧化镁（MgO）等。以淮南地区煤气化企业产生的煤气化渣为例，其主要化学成分如表 1 所示。

表 1 淮南某煤气化渣主要化学成分

| 成分 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | 烧失量 |
|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|------|
| 含量，% | 45~55 | 17~30 | 3~6 | 4~10 | 1~4 | 8~15 |

从表中可以看出,煤气化渣的主要化学成份与粘土相似,以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 等为主,这是其能够作为烧结砖原料的化学基础^[5]。

1.3 物理性质

煤气化渣的物理性质对其在烧结砖中的应用也至关重要。气化粗渣多呈不规则颗粒状,孔隙发达,质地疏松,表观为黑灰色;细渣则类似于粉煤灰,粒度更细,比表面积大。淮南地区的煤气化渣颗粒较为细小,大部分颗粒粒径在 0.075mm 以下,属于细粉范畴。其堆积密度约为 1.2-1.8g/cm³,表观密度约为 2.4-2.6g/cm³,比表面积为 400~500m²/kg。此外,煤气化渣具有一定的孔隙率,作为烧结砖原料时,能改善坯体的成型性和干燥性能。同时,煤气化渣的颜色多为灰黑色,含有一定的碳质残留,具有一定的热值,在烧结过程中可起到部分燃料的作用,有助于降低烧结能耗。

煤气化渣主要矿物为无定形的玻璃相,以及石英、莫来石、钙长石等结晶矿物。无定形玻璃相活性较高,在烧结过程中更易参与液相反应,促进制品烧结,降低烧成温度。

2 煤气化渣在淮南烧结砖领域的应用现状

2.1 国内应用现状

我国煤气化渣在烧结砖领域的应用研究始于 21 世纪初,近年来随着环保政策的收紧和固废利用技术的进步,相关研究与应用不断深入。冯向港等^[2]对煤气化渣的高值化研究进行了总结与展望,张瑞梅等^[3]对气化细渣的综合利用进展进行了综述。目前,国内已有多个省份开展了煤气化渣制备烧结砖的试点项目,如宁夏、陕西、山东等地企业通过技术改造,实现煤气化渣掺量 20%~30%,产品符合《烧结普通砖》(GB/T 5101-2017)要求。在技术研究方面,国内学者围绕原料预处理、配合比优化、工艺参数调整等开展了大量实验,煤气化渣经粉磨至比表面积 400m²/kg 以上时,可显著提高其活性,与粘土复配后制备的烧结砖强度提升 15%~20%;高海洋等^[4]通过添加石灰、水玻璃等复合激发剂,改善了煤气化渣的可塑性和烧结性能,使渣掺量提高至 35% 以上。然而,国内应用仍存在区域发展不平衡的问题,煤炭资源匮乏地区应用较少,而煤炭基地和煤化工集聚区应用相对集中,但多数企业仍处于小规模试点阶段,规模化、产业化应用尚未普及。此外,不同地区煤气化渣理化特性差异较大,缺乏针对性的技术方案,导致部分企业产品性能不稳定,制约了该技术的推广。

2.2 淮南地区应用现状

2.2.1 产业基础

淮南作为华东地区重要的建材生产基地,拥有烧结

砖生产企业 30 余家,年产能超 50 亿块,主要分布在凤台县、寿县、潘集区等工业园区。这些企业大多具备隧道窑、转窑等焙烧设施,其中东辰集团、恒发新型建材有限公司等龙头企业已开展固废利用实践,东辰集团年产 1.5 亿块煤矸石保温砌块项目,年消耗煤矸石 80 余万吨,积累了丰富的固废制备建材的生产经验,为煤气化渣的应用提供了成熟的工艺基础和设备条件。在煤化工产业方面,淮南拥有中安联合煤化工有限责任公司,年产生煤气化渣数百万吨,为烧结砖生产提供了充足的原料保障。目前,部分煤化工企业已与烧结砖企业建立合作意向,探索煤气化渣的点对点供应模式,降低运输成本,提高资源利用效率。

2.2.2 应用实践

目前,淮南地区煤气化渣在烧结砖领域的应用已从实验室研究走向工程实践,呈现出多层次的发展态势。

具体工艺如下:1.原料预处理:煤气化粗渣经烘干(温度 105℃,时间 24h)、破碎、筛分(粒径小于 2mm),去除大块杂质和未燃尽的大块残碳;粘土经破碎、陈化(72h),提高可塑性;煤矸石破碎至粒径小于 3mm,作为骨料增强砖块强度。2.配合比设计:根据实验优化结果,确定原料质量配比为:粘土 40%、煤气化粗渣 25%、煤矸石 35%,含水率控制在 18%~22%。3.成型工艺:采用半硬塑挤出成型,挤出压力 15~20MPa。4.干燥与焙烧:砖坯自然干燥 7~10d,含水率降至 10%以下后送入隧道窑焙烧,焙烧温度 980~1100℃,焙烧时间 25~35h,其中预热段(300~600℃)主要燃烧残碳,烧结段(980~1100℃)促进矿物反应和颗粒粘结,冷却段采用自然冷却至室温。试点生产的烧结砖经检测,抗压强度达 MU15 级,密度 1.8~2.0g/cm³,吸水率 15%~18%,各项指标符合 GB/T 5101-2017 标准要求,可用于承重墙体和非承重墙体。

通过使用 30%的煤气化渣,一方面节省了约 30%的粘土原料成本,另一方面利用其约 8%的残余碳含量,综合生产成本显著下降。同时,有效减轻了气化企业的固废处置压力和环境风险。产品经检测,其放射性、重金属浸出毒性等环保指标均符合国家标准,实现了安全资源化。

2.2.3 政策驱动与市场接纳

安徽省及淮南市相继出台了《安徽省“十四五”固体废物污染环境防治规划》、《淮南市工业资源综合利用基地建设方案》等政策文件,明确鼓励和支持煤气化渣等大宗固废在建材领域的应用。在“禁实限粘”的政策背景下,以煤气化渣等固废为原料生产的烧结新型墙材,获得了市场准入的便利和一定的政策倾斜,市场接纳度逐步提高。

3 煤气化渣在烧结砖领域的发展趋势

3.1 技术创新方向

未来技术发展将聚焦于“高掺量、高性能、低能耗、多功能”。一方面,开发复合激发剂和微波预处理技术,激发煤气化渣活性,实现渣掺量 40% 以上的规模化生产;另一方面,通过纳米改性、纤维增强等技术,提升烧结砖的强度、保温、隔音等性能,开发出 MU20 级高强砖、导热系数好的保温砖等高端产品。同时,推广智能化生产技术,采用在线检测、自动配料、智能焙烧等系统,实现原料性能实时监测和工艺参数动态调整,保障产品质量稳定性。

3.2 产业融合发展

形成“煤化工企业-固废预处理中心-烧结砖生产企业-建筑应用”的全产业链协同模式。煤化工企业负责煤气化渣的初步预处理,固废预处理中心提供精细化加工,烧结砖企业专注于产品生产与研发,建筑企业负责终端应用,通过产业链分工协作,降低成本、提高效率。此外,推动煤气化渣烧结砖与装配式建筑、绿色建筑融合,成为绿色建材的重要组成部分,拓展应用场景。

3.3 低碳化发展

响应“双碳”目标,开发低碳生产技术。一方面,优化焙烧工艺,采用富氧燃烧、余热回收等技术,降低单位产品能耗;另一方面,利用煤气化渣中的残碳替代部分焙烧用煤,减少化石能源消耗,同时探索碳捕集与封存技术在焙烧窑中的应用,降低 CO₂ 排放。未来煤气化渣烧结砖将向“负碳建材”方向发展,通过固碳技术实现 CO₂ 的固定与利用。

4 面临的挑战与对策建议

4.1 挑战

尽管前景广阔,但淮南地区煤气化渣制烧结砖的规模化发展仍面临诸多挑战。主要有:(1)残余碳含量波动大。不同批次气化渣的含碳量不稳定,直接影响烧结制度的稳定和产品质量的均一性。(2)重金属潜在环境风险。煤气化渣可能含有 Cr、Ni、As 等微量重金属,其在烧结过程中的固化稳定化效果及长期环境安全性需持续关注。(3)目前缺乏针对煤气化渣烧结砖的专用国家或行业标准,产品性能评价、环保要求等只能参照现有普通烧结砖标准,无法体现其特性,也制约了市场的规范发展。

4.2 建议

(1) 建立严格的原料进场检验制度,实施“分质

分级”利用。含碳量高的优先用于对热值需求高的产品;开发在线碳含量快速检测技术与前馈-反馈控制系统,动态调整烧结曲线。(2) 系统研究不同烧结条件下重金属的迁移转化规律与固化机理^[6]。建立从原料到产品的全生命周期环境风险评估体系,确保产品长期使用的环境安全性。(3) 鼓励淮南市龙头企业与安徽理工大学、淮南师范学院牵头,联合制定地方标准或团体标准,明确煤气化渣掺量范围、技术要求、环保指标等,为产品质量控制和市场推广提供依据。同时,积极推动将其纳入国家绿色建材产品认证目录,获得政府采购优先权。

5 结论与展望

煤气化渣作为煤化工产业的主要固体废弃物,其资源化利用是解决环境问题、实现产业绿色转型的关键路径。将煤气化渣应用于烧结砖制备,符合“以废代土、减污降碳”的发展理念,兼具环境、经济和社会效益当前,淮南地区在该领域已从技术探索走向初步产业化,证明了其在大宗消纳、节能降耗和环境保护方面的显著效益。展望未来,通过完善标准体系、加大政策扶持、构建循环经济产业链,煤气化渣烧结砖产业必将在淮南焕发出强大的生命力,不仅为本地“无废城市”建设提供坚实支撑,也为全国同类地区工业固废的资源化利用提供可复制的“淮南模式”,最终服务于国家“双碳”战略目标的实现。

参考文献

- [1] 朱菊芬, 李健, 闫龙, 等. 煤气化渣资源化利用研究进展及应用展望[J]. 洁净煤技术, 2021, 27 (6): 11-21.
- [2] 冯向港, 葛奋飞, 张印民, 等. 煤气化渣高值化利用的研究进展及应用展望[J]. 洁净煤技术, 2023, 29 (11): 122-132.
- [3] 张瑞梅, 刘定桦, 何浩, 等. 煤气化细渣综合利用与碳灰分离技术现状[J]. 煤炭工程, 2023, 55 (5): 175-182.
- [4] 高海洋, 梁龙, 靳开宇, 等. 煤气化渣资源化利用综述[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52 (8): 192-208.
- [5] 王栋, 张磊, 李静. 煤气化渣的特性及其在建材中的应用研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2021, 40 (4): 1125-1133.
- [6] 郭昭华, 董宪姝, 姚素玲. 气化渣在烧结砖中重金属的固化与浸出特性研究[J]. 环境科学学报, 2019, 39 (7): 2350-2357.