

火力发电厂灰渣综合利用途径探索

何金海 张旺世 石彪 王浩
华能平凉发电有限责任公司 甘肃 平凉 744000

摘要：火力发电厂灰渣是燃煤发电的产物，成分复杂，含硅、铝、铁等多种元素，兼具资源与污染特性。本文详细探讨了其多元利用途径，建材领域可制砖、作水泥掺合料等；农业领域能改良土壤或制肥料；环境治理可用于筑路、回填等；能源回收方面可发电、提取金属。然而，当前灰渣利用面临技术瓶颈、成本矛盾、产业失衡及物理特性限制等挑战。为此，需从技术创新、市场培育、产业协同及理念普及等维度发力，推动灰渣减量化、资源化利用。

关键词：火力发电厂；灰渣综合；利用途径探索

引言：在全球能源结构转型与环保要求提高的背景下，火力发电厂灰渣处理成为可持续发展关键议题。我国煤炭消费量大，每年灰渣产量惊人，传统堆放处理占地、污染且浪费资源。但灰渣富含矿物成分，有转化为多种材料的潜力，综合利用研究意义重大。通过梳理灰渣物理化学特性，深入剖析其在建材、农业、环境治理等领域的应用场景，同时指出当前技术与产业层面存在的痛点，并结合行业趋势提出系统性方案，旨在为火电行业绿色转型提供科学支撑，推动“双碳”目标下固废资源化产业高质量发展。

1 火力发电厂灰渣概述

火力发电厂灰渣是煤炭燃烧后产生的主要固体废弃物，其产量与煤炭消耗量密切相关。在煤炭燃烧发电过程中，煤炭中的不可燃矿物质经过高温煅烧、化学反应和物理分离，最终形成粉煤灰和炉渣等灰渣产物。其中，粉煤灰是由烟气携带的细小颗粒经除尘器收集而成，其颗粒细小、呈玻璃态，主要成分包括二氧化硅、氧化铝、氧化铁等，具有潜在火山灰活性；炉渣则是从炉膛底部排出的较大块状固体，质地坚硬，成分与粉煤灰相似，但颗粒粒径和物理特性存在差异。灰渣的产生量巨大，对环境和土地资源造成沉重负担。长期堆放的灰渣不仅占用大量土地，还可能因雨水淋溶导致重金属等有害物质渗入土壤和水体，引发环境污染问题。然而，灰渣并非毫无价值的废弃物，其丰富的化学成分和特殊物理性质，使其在多个领域具备显著的资源化潜力。通过合理的技术手段和应用途径，灰渣可转化为建筑材料、农业产品和环境修复材料，实现从“废物”到“资源”的转变。因此，深入了解火力发电厂灰渣的特性，探索其综合利用途径，对推动火电行业绿色可持续发展具有重要意义^[1]。

2 火力发电厂灰渣综合利用途径

2.1 建材领域的应用

2.1.1 制砖

火力发电厂灰渣用于制砖，是其在建材领域的重要应用方向。灰渣颗粒细小且具备一定胶凝性，与黏土、水泥等原料按比例混合后，经搅拌、成型、养护等工序，可制成粉煤灰砖、炉渣砖等新型墙体材料。这些砖体强度高、耐久性好，能有效替代传统黏土砖，减少对耕地资源的破坏。同时，灰渣制砖过程中，高温焙烧或蒸压处理可降低灰渣中潜在污染物的活性，实现固废无害化。此外，灰渣的大量掺入显著降低了生产成本，提高了资源利用率，助力建材行业向绿色环保转型，在建筑市场中展现出良好的应用前景。

2.1.2 水泥掺合料

将火力发电厂灰渣作为水泥掺合料，可有效改善水泥性能、降低生产成本。粉煤灰的火山灰活性使其能与水泥水化产物氢氧化钙发生二次反应，生成具有胶凝性的水化硅酸钙和水化铝酸钙，提升水泥石的密实度，增强混凝土的抗渗性、抗硫酸盐侵蚀能力和后期强度。同时，灰渣的掺入可减少水泥熟料用量，降低水泥生产过程中的能耗与碳排放。此外，不同品质的灰渣可通过合理配比，满足不同工程对水泥性能的需求，如在大体积混凝土中使用低钙粉煤灰，能有效抑制水化热，减少裂缝风险，使灰渣成为现代绿色水泥生产中不可或缺的组分。

2.1.3 保温纤维制造

火力发电厂灰渣在保温纤维制造领域也具有独特优势。通过高温熔融、离心喷吹等工艺，可将灰渣加工成玻璃态的纤维状物质。这些保温纤维具有质轻、导热系数低、化学稳定性好等特点，是优质的保温隔热材料。与传统岩棉、玻璃棉相比，灰渣基保温纤维以工业固废为原料，生产成本更低，且生产过程环保节能。制成的保温板、保温棉等产品，广泛应用于建筑墙体、屋顶、

管道保温及工业窑炉隔热等领域,既能有效减少热量传递,提升建筑与设备的能效,又为灰渣的高附加值利用开辟了新路径,推动建材产业向绿色化、功能化方向发展。

2.2 农业领域的应用

2.2.1 土壤改良剂

火力发电厂灰渣作为土壤改良剂,能有效调节土壤结构与理化性质。其颗粒质地疏松,掺入粘性土壤后,可增加土壤孔隙度,改善通气性和透水性,缓解土壤板结问题;而在沙性土壤中使用,又能增强土壤保水保肥能力。此外,灰渣呈碱性,对于酸性土壤有良好的中和作用,可调节土壤 pH 值,为农作物创造适宜的生长环境。同时,灰渣中含有的硅、钙、镁等元素,能够提升土壤有益微生物活性,促进土壤团粒结构形成,增强土壤保肥供肥能力,从多方面改善土壤质量,为农作物生长提供更有利的条件。

2.2.2 农用肥料

灰渣经加工处理后可制成农用肥料,助力农作物生长。灰渣中含有氮、磷、钾等植物生长必需的大量元素,以及铁、锰、锌等微量元素,能够为农作物提供多元养分。通过与有机物料混合堆肥,或添加化学活化剂进行改性,可进一步提升灰渣中养分的有效性。制成的灰渣基肥料不仅能满足农作物生长需求,还能减少化肥使用量,降低农业生产成本和环境污染风险。此外,长期施用灰渣肥料,可在一定程度上提高农作物抗逆性,改善农产品品质,实现灰渣资源在农业生产中的高效利用,推动农业绿色可持续发展。

2.3 环境治理领域的应用

2.3.1 筑路工程

在筑路工程中,火力发电厂灰渣凭借其独特的物理化学性质,成为极具潜力的筑路材料。灰渣颗粒级配良好,与石灰、水泥等固化剂混合压实后,可显著提升路基的承载能力与稳定性。其火山灰活性成分能够与固化剂发生化学反应,生成具有胶凝特性的物质,增强材料内部的粘结力,有效减少路面裂缝与沉降问题。同时,灰渣筑路可大量消耗固废,降低砂石等天然骨料的开采量,保护生态环境。此外,相较于传统筑路材料,灰渣基路面造价更低,后期维护成本也有所降低,在乡村道路、工业园区道路建设等领域已得到广泛应用,实现了经济效益与环境效益的双赢。

2.3.2 矿山回填

矿山开采后的矿坑与采空区极易引发地表塌陷、水土流失等生态问题,而火力发电厂灰渣为矿山回填提供了理想的解决方案。灰渣质地坚硬、化学性质稳定,与

尾矿、废石等混合后,通过胶结或非胶结方式回填至矿坑,能够有效支撑围岩结构,保障矿区及周边区域的地质安全。同时,灰渣的碱性特质可中和尾矿中的酸性物质,降低重金属的溶出风险,减少环境污染。此外,利用灰渣回填可大幅减少尾矿库的占地面积,降低溃坝隐患,加速矿区生态修复进程,促进矿山开采与环境保护的协调发展,为资源枯竭型矿山的生态治理提供了新路径。

2.3.3 废水处理

火力发电厂灰渣的特殊结构与成分,使其在废水处理领域展现出显著优势。灰渣具有多孔结构和较大的比表面积,能够通过物理吸附作用去除废水中的重金属离子、有机污染物及悬浮物;其含有的碱性物质可调节废水 pH 值,促进污染物沉淀,同时灰渣中的活性成分还能与污染物发生化学反应,增强处理效果。在印染、电镀等工业废水及生活污水处理中,灰渣作为低成本、易获取的处理材料,不仅可有效降低污染物浓度,且后续固液分离简便。与传统处理药剂相比,灰渣来源广泛、成本低廉,在解决水污染问题的同时,实现了固废的资源化利用,具有广阔的应用前景。

2.4 能源回收领域的应用

2.4.1 发电

火力发电厂灰渣用于发电,可实现能源的二次利用。部分灰渣中残留有未完全燃烧的碳,通过分选技术将其中的碳颗粒分离出来,可作为燃料再次投入锅炉燃烧发电。此外,采用气化技术,将灰渣与气化剂在高温高压下反应,生成以一氧化碳和氢气为主的可燃气体,这些气体可驱动燃气轮机发电,或作为合成气用于化工生产。该过程不仅提升了能源利用效率,减少了煤炭资源的消耗,还降低了灰渣的堆存量,实现能源回收与固废减排的双重目标,为火电行业的低碳化发展提供新方向。

2.4.2 提取有用物质

火力发电厂灰渣富含多种有价元素,通过先进的提取技术可分离出硅、铝、铁、锂等重要物质。利用酸浸、碱溶等化学方法,可将灰渣中的氧化铝、氧化硅等成分溶解提取,用于生产氧化铝、白炭黑等化工产品;采用磁选、浮选等物理方法,可富集灰渣中的铁元素,制备铁精粉。随着新能源产业的发展,从灰渣中提取锂、镓等稀有金属的技术也逐渐成熟,这些金属可用于锂电池、半导体等高新技术领域。灰渣中有用物质的提取,不仅实现了资源的高效利用,还为相关产业提供了稳定的原料来源,创造显著的经济价值与社会价值^[2]。

3 火力发电厂灰渣综合利用面临的挑战

3.1 复杂成分与技术瓶颈

灰渣成分因煤种、燃烧方式不同差异显著，除硅、铝、铁等常规元素外，常伴生砷、汞等重金属及放射性物质。现有技术难以高效分离复杂成分，例如从高钙灰渣中提取氧化铝时，杂质干扰导致提取率低；重金属固化技术不成熟，易引发二次污染。此外，气化发电、稀有金属提取等前沿技术仍处于实验室阶段，距离大规模工业化应用存在较大差距。

3.2 市场接受度与成本困境

市场对灰渣基产品存在认知偏见，部分用户质疑建材、肥料等产品安全性与耐久性，导致推广困难。生产端，灰渣预处理、深加工设备投入大，且工艺复杂，增加了生产成本。以灰渣制砖为例，因需添加额外添加剂维持性能，导致产品价格高于传统建材，企业利润微薄，难以形成规模化生产，市场竞争力不足。

3.3 地域失衡与产业脱节

灰渣产量与市场需求存在地域错配，火电集中区域灰渣堆积成灾，而需求旺盛地区因运输成本高难以实现跨区域调配。同时，灰渣综合利用涉及电力、建材、化工等多行业，各环节缺乏有效协同。企业间信息不对称，技术研发、生产、销售链条割裂，无法形成完整产业生态，制约了灰渣综合利用的整体推进。

3.4 物理特性难题

灰渣颗粒细、比表面积大，易扬尘污染环境，且在储存、运输过程中流动性差，易堵塞设备管道。此外，部分灰渣需水量大，用于混凝土掺合料时，会增加水胶比，导致混凝土早期强度降低、凝结时间延长，影响施工效率；保温纤维制造中，灰渣熔点高、粘度大，增加熔融加工难度，限制了其在相关领域的大规模应用。

4 推动火力发电厂灰渣综合利用发展的策略

4.1 技术创新驱动

加大科研投入，聚焦灰渣复杂成分分离与高值化利用的技术攻关。建立产学研合作平台，联合高校、科研院所与企业，开展重金属固化、氧化铝高效提取、稀有金属分离等关键技术研究，推动气化发电、纳米材料制备等前沿技术从实验室向产业化转化。利用人工智能、大数据技术优化工艺参数，提升生产效率与产品质量稳定性。同时，研发低成本、高效率的灰渣预处理设备，解决其物理特性带来的加工难题，为灰渣综合利用提供技术支撑。

4.2 市场培育拓展

加强市场宣传，通过权威机构认证、产品性能展示

等方式，消除用户对灰渣基产品的疑虑，提升市场认可度。政府出台补贴、税收优惠等政策，降低企业生产成本，提高产品价格竞争力。建立灰渣综合利用产品推广目录，将符合标准的建材、肥料等纳入政府采购清单。鼓励企业开展定制化生产，满足不同行业、不同场景的需求，拓展产品应用领域，逐步形成稳定的市场需求，推动灰渣综合利用产业可持续发展。

4.3 产业协同优化

打破行业壁垒，构建电力、建材、化工、农业等多产业协同发展的生态体系。建立区域性灰渣综合利用产业联盟，整合企业资源，实现信息共享、技术互补、协同生产。完善跨区域运输网络，降低灰渣调配成本，解决地域失衡问题。推动产业链上下游企业深度合作，例如电力企业与建材企业共建灰渣制砖生产线，化工企业与矿山企业联合开展有用物质提取与矿山回填，提高产业整体运行效率与经济效益。

4.4 循环理念推广

通过媒体宣传、科普活动等多种形式，向公众普及灰渣综合利用对环境保护与资源节约的重要意义，提升全社会对循环经济的认知水平。将循环理念融入教育体系，培养专业技术人才与环保意识强的消费者群体。鼓励企业开展绿色生产，通过发布循环经济发展报告、展示典型案例等方式，树立行业标杆，发挥示范引领作用，营造全社会共同参与灰渣综合利用、推动循环经济发展的良好氛围^[3]。

结束语

火力发电厂灰渣综合利用是实现固废减量化、资源化与无害化的关键路径，对推动火电行业绿色转型、践行循环经济理念意义深远。尽管当前在技术、市场、产业等层面仍存在诸多挑战，但随着科研创新的持续推进、政策体系的逐步完善以及社会环保意识的提升，灰渣在建材、农业、环境治理和能源回收等领域的应用潜力将不断释放。

参考文献

- [1]袁弘,孙利,刘政修,汤自强,梁浩,赵潇然,梁国杰.火力发电厂水资源智慧调控与运营[J].全面腐蚀控制,2022,36(03):111-112.
- [2]马祥.火力发电厂的废水处理和节水技术研究[J].化工设计通讯,2020,46(08):230-231.
- [3]李海彬.火力发电厂废水“零排放”节水技改分析[J].石化技术,2022,26(10):277-278.