

工业固废基建筑材料的资源化利用研究

赵 越

宁夏理工学院 宁夏 石嘴山 753000

摘要: 在当前资源日益紧张与环保要求不断提高的背景下, 本文聚焦工业固废基建筑材料的资源化利用。先对工业固废分类及特性分析, 涵盖冶金、能源等多行业固废的物理化学特性。接着阐述制备原理, 包括胶凝、骨料及复合材料制备。研究材料物理、力学和耐久性能, 探讨在结构、功能、装饰材料领域的应用拓展。旨在推动工业固废在建筑领域的有效利用, 实现资源循环与可持续发展。

关键词: 工业固废; 建筑材料; 资源化利用; 制备原理; 性能研究

引言: 工业发展带来大量固废, 传统处理方式占用土地、污染环境。建筑行业对材料需求大, 将工业固废用于建筑材料制备, 既能解决固废处理难题, 又能减少天然资源开采。当前, 工业固废基建筑材料研究取得一定成果, 但在性能优化、应用拓展等方面仍有提升空间。深入开展相关研究, 对推动资源循环利用和建筑行业绿色发展意义重大。

1 工业固废的分类与特性分析

1.1 工业固废的主要类别

工业固废来源广泛, 依据不同行业产生情况可划分多个类别。冶金行业在生产过程中产生大量固废, 像钢渣, 这是炼钢环节排出的渣料, 每吨钢产生约130-150千克钢渣, 含有多种金属氧化物及少量金属单质; 矿渣则是高炉炼铁时产生的废弃物, 每吨生铁产生约300-600千克矿渣, 主要成分有氧化钙、二氧化硅等^[1]。能源行业也是固废产生大户, 粉煤灰是燃煤电厂排放的细微颗粒, 一座装机容量为60万千瓦的燃煤电厂, 每年排放粉煤灰约20-30万吨, 成分复杂; 煤矸石是采煤和洗煤过程中排出的固体废物, 每开采1吨原煤, 约排出0.15-0.2吨煤矸石, 含碳量较低。化工行业生产流程复杂, 产生的固废种类多样, 磷石膏是磷化工生产磷酸时产生的废渣, 每生产1吨磷酸约产生4.5-5吨磷石膏, 主要成分是二水硫酸钙; 电石渣是电石水解获取乙炔气后产生的废渣, 每生产1吨电石约产生1.2-1.5吨电石渣, 以氢氧化钙为主要成分。除上述行业外, 其他行业也有固废产出, 尾矿是选矿后剩余的固体废物, 一座中型矿山每年产生尾矿约50-100万吨, 含有多种有用成分但品位较低; 废玻璃则来自玻璃制品生产、使用后的废弃物, 每生产1吨玻璃制品约产生0.2-0.3吨废玻璃, 主要成分是二氧化硅。

1.2 各类工业固废的物理化学特性

从物理特性看, 不同工业固废在粒度、密度、孔隙

率等方面存在差异。有些固废粒度较细, 如粉煤灰, 颗粒直径大多在1-100微米之间且均匀; 有些则粒度较粗, 像钢渣, 颗粒大小不一, 直径范围在0.1-50毫米。密度方面, 金属含量高的固废密度较大, 如部分矿渣密度约为2.5-3.5克/立方厘米; 而一些轻质固废, 如煤矸石, 密度相对较小, 约为1.2-2.0克/立方厘米。孔隙率也各不相同, 多孔结构的固废孔隙率较高, 部分多孔钢渣孔隙率可达30-50%。化学特性上, 各类固废主要成分不同, 活性也有差别。部分固废含有潜在活性成分, 在一定条件下可发生水化反应; 有些固废含有有害物质, 具有潜在危害性。这些物理化学特性对建筑材料性能影响显著, 粒度细的固废可填充材料孔隙, 提高密实度, 如粒度在10-50微米的粉煤灰填充后可使材料密实度提升5-15%。活性成分可参与水化反应, 增强材料强度, 如含有活性氧化硅和氧化铝的矿渣参与反应后可使材料强度提升10-30兆帕; 潜在危害性成分若处理不当, 则可能影响材料耐久性和环保性。

2 工业固废基建筑材料的制备原理

2.1 胶凝材料制备原理

工业固废中蕴含着丰富的潜在胶凝活性物质, 这些物质在特定条件下可被激发, 展现出类似水泥的胶凝性能。火山灰活性激发机制是关键环节, 部分工业固废如粉煤灰、矿渣等, 含有大量玻璃态物质, 这些物质在常温下化学活性较低^[2]。但当加入碱性激发剂或硫酸盐激发剂后, 玻璃态结构被破坏, 硅氧四面体和铝氧四面体等活性基团得以释放, 进而与水发生水化反应。胶凝材料形成过程中, 水化反应持续进行, 生成一系列水化产物。早期主要生成水化硅酸钙凝胶、水化铝酸钙等, 这些产物相互交织形成网络结构, 赋予材料一定强度, 早期强度可达5-15兆帕。随着反应深入, 水化产物不断增多, 结构逐渐致密, 强度进一步提高, 28天强度可达30-60兆

帕。不同工业固废组合对胶凝性能影响显著,多种固废复合时,各组间可能发生协同作用。例如,某些固废提供碱性环境激发其他固废活性,不同粒径固废相互填充,优化孔隙结构,从而提升胶凝材料整体性能,可使材料强度提升10-20兆帕。

2.2 骨料制备原理

工业固废作为骨料应用于建筑材料,需对其适用性进行全面分析。部分固废如尾矿、废石等,在粒度、强度等方面满足骨料基本要求,可直接或经简单加工后使用。例如,粒度在5-20毫米的尾矿可直接作为粗骨料使用。然而,有些固废表面粗糙、孔隙率高,与胶凝材料粘结性能不佳,影响材料整体性能。为提升材料性能,骨料表面改性技术应运而生。通过物理或化学方法对骨料表面进行处理,改变表面性质。物理方法如机械研磨,可减小骨料粒径,增加表面粗糙度,提高与胶凝材料机械咬合力,研磨后骨料与胶凝材料粘结强度可提升5-15兆帕;化学方法如涂覆偶联剂,能在骨料表面形成化学键,增强与胶凝材料粘结强度,涂覆偶联剂后粘结强度可提升10-20兆帕。骨料级配优化对材料力学性能至关重要,合理级配可使骨料颗粒相互填充,减少孔隙,提高材料密实度,进而提升抗压、抗折等力学性能,可使材料抗压强度提升15-30兆帕,抗折强度提升5-10兆帕。

2.3 复合材料制备原理

工业固废与其他材料复合可制备性能更优的复合材料。复合机制主要基于不同材料间物理化学相互作用,如物理吸附、化学键合等。通过合理选择复合材料组分,可实现性能互补。复合材料界面结构对性能影响极大,良好的界面结构可有效传递应力,提高材料整体性能。调控界面结构方法多样,如添加界面改性剂、优化制备工艺等。复合材料多功能化设计是重要发展方向,根据不同应用场景需求,赋予材料多种功能,如保温、隔热、吸声、防火等,拓展工业固废基建筑材料应用范围。

3 工业固废基建筑材料的性能研究

3.1 物理性能

工业固废基建筑材料的物理性能涵盖多个基本指标。密度是衡量材料质量与体积关系的重要参数,不同种类工业固废制备的材料密度差异明显。例如,含有较多金属成分的固废基材料密度相对较大,约为2.0-4.0克/立方厘米,而以轻质固废为原料的材料密度则较小,约为1.0-2.5克/立方厘米^[1]。孔隙率反映了材料内部孔隙的多少,它对材料的诸多性能有着关键影响。孔隙率高的材料,内部结构相对疏松,吸水率往往也较高。部分工业固废基材料孔隙率可达20-50份,吸水率可达5-20份。吸水率不仅影

响材料的耐久性,还会在一定程度上改变材料的力学性能,吸水率每增加5份,材料抗压强度可能降低5-10兆帕。声学性能上,隔声性能和吸声性能是重要考量。隔声性能好的材料能有效阻挡声音传播,为室内创造安静环境;吸声性能佳的材料则可吸收声波能量,减少回声和混响。工业固废基材料的孔隙结构和表面特性对声学性能影响显著,合理设计材料结构可优化声学性能。

3.2 力学性能

力学性能是工业固废基建筑材料应用的关键指标。抗压强度、抗折强度和抗拉强度等直接反映材料承受外力的能力。不同工业固废组合制备的材料,力学性能差异较大。通过优化原料配比和制备工艺,可显著提高材料的力学强度,抗压强度可达20-80兆帕,抗折强度可达5-20兆帕,抗拉强度可达2-10兆帕。材料的韧性和脆性及断裂行为分析也至关重要。韧性好的材料在受力时能吸收较多能量,不易发生脆性断裂;而脆性材料在受力达到一定程度时会突然断裂。研究材料的断裂行为有助于了解其破坏机制,为改进材料性能提供依据。例如,通过分析断裂面形貌,可判断材料断裂是沿晶断裂还是穿晶断裂。长期力学性能稳定性研究关注材料在长期使用过程中力学性能的变化。环境因素如温度、湿度、化学介质等会对材料性能产生影响。通过模拟长期使用环境进行加速老化试验,可预测材料在实际使用中的性能变化趋势,为材料的合理使用和维护提供参考。例如,在湿度80%、温度60°C环境下进行1000小时加速老化试验后,材料抗压强度可能降低10-30兆帕。

3.3 耐久性能

耐久性能是衡量工业固废基建筑材料在长期使用过程中抵抗各种破坏因素能力的指标。抗冻性反映材料在冻融循环作用下的稳定性,在寒冷地区,材料需具备良好的抗冻性以避免因冻融破坏导致性能下降。抗渗性指材料抵抗压力水渗透的能力,良好的抗渗性可防止水分侵入材料内部,保护材料内部结构。材料抗渗等级可达P6-P12。抗碳化性则体现材料抵抗二氧化碳侵蚀的能力,碳化会降低材料的碱度,影响钢筋与材料的粘结性能。经过28-90天碳化试验后,碳化深度应控制在5-20毫米以内。材料在恶劣环境下的性能退化机制复杂多样,涉及物理、化学和生物等多方面因素。深入研究这些机制有助于开发针对性的耐久性提升策略与技术,如添加耐久性增强剂、优化材料微观结构等,从而提高工业固废基建筑材料的耐久性,延长其使用寿命。例如,添加耐久性增强剂后,材料抗冻性可提升50-100次冻融循环,抗渗等级可提升2-4个等级。

4 工业固废基建筑材料的应用领域拓展

4.1 结构材料领域

工业固废基结构材料正逐渐成为建筑领域的重要力量。以工业固废为原料研发的混凝土和砂浆,在原料选取上充分利用了冶金渣、煤矸石等废弃物,不仅降低了对天然资源的依赖,还减少了固废堆存带来的环境压力。这些结构材料在研发过程中,通过优化原料配比和制备工艺,不断提升性能。例如,采用冶金渣和煤矸石制备的混凝土,强度可达30~60兆帕。在应用方面,已广泛用于各类建筑的基础、梁柱等承重部位^[4]。对结构材料承载能力与安全性的评估是关键环节。需综合考虑材料自身强度、变形能力以及在不同环境条件下的稳定性。通过实验室试验和现场监测相结合的方式,精确掌握材料在实际工程中的受力状态和性能变化,确保建筑结构安全可靠。例如,对一座采用工业固废基混凝土建造的10层建筑进行监测,在5年使用期内,结构未出现明显变形和裂缝。为满足现代建筑对轻量化和高强化的需求,结构材料设计不断推陈出新。采用轻质工业固废作为骨料,可有效降低材料密度,实现轻量化目标。通过添加增强纤维或采用特殊激发剂激发固废活性,提高材料强度,使结构材料在减轻自重的同时,具备更高的承载能力。

4.2 功能材料领域

工业固废基功能材料开发为建筑提供了更多选择。在保温材料方面,利用工业固废的多孔结构和低导热特性,制备出的保温材料能有效阻止热量传递,降低建筑能耗。隔音材料则借助固废的吸声性能,减少外界噪音干扰,营造安静舒适的室内环境。性能优化与多功能集成是功能材料发展的重要方向。通过调整原料组成和制备工艺,进一步提升保温、隔音等单一功能性能。同时,将多种功能集成于一种材料中,如开发兼具保温、隔音和防火功能的复合材料,满足建筑对材料多功能的需求。在不同特定场景下,功能材料应用效果分析至关重要。例如,在寒冷地区,重点评估保温材料的保温效果和耐久性;在嘈

杂的交通枢纽附近,着重考察隔音材料的降噪能力。通过实际应用反馈,不断改进材料性能,提高应用效果。

4.3 装饰材料领域

工业固废基装饰材料为建筑装饰带来新风貌。制备的装饰板材和涂料,以工业固废为主要原料,经过特殊工艺处理,具备独特的纹理和色彩。例如,采用废玻璃和矿渣制备的装饰板材,表面光滑,色彩丰富,可满足不同建筑风格和个性化装饰需求。环保性能与健康安全性评估是装饰材料发展的基础。严格检测材料中挥发性有机化合物等有害物质含量,确保符合环保标准。例如,装饰板材中挥发性有机化合物含量应控制在50~100克/立方米以内。同时,评估材料在长期使用过程中对人体健康的影响,为消费者提供安全可靠的装饰产品,推动建筑装饰行业向绿色、健康方向发展。例如,经过10年使用跟踪调查,未发现使用工业固废基装饰材料的室内出现因材料导致的健康问题。

结束语

工业固废基建筑材料在资源化利用方面已取得诸多成果,在结构、功能、装饰材料领域展现出良好应用前景。通过对其分类特性、制备原理、性能及应用的研究,为固废利用提供了科学依据。后续需持续优化材料性能,拓展应用场景,提升工业固废在建筑领域的利用率,助力建筑行业绿色转型与可持续发展。

参考文献

- [1]屈俊峰.工业固废赤泥在建筑材料中的利用研究进展[J].河南科技,2025,52(14):81-86.
- [2]李彪,裴德健,华绍广.利用工业固废制备新型发泡陶瓷前景研究[J].现代矿业,2022,38(9):1-4.
- [3]万宇超,崔锡舰.工业园区固废资源化处理及综合利用技术[J].砖瓦,2024(8):46-49.
- [4]弓扶元,曹万林,王栋民,等.工业与建筑固废高效利用混凝土及其工程结构防灾研究[J].自然灾害学报,2024,33(1):1-18.