

煤矸石制备陶粒的应用和研究

宋珍妮¹ 杜旭升² 沈宝镜² 张志远² 黄 帅²

1. 黄陵循环生态新型建材有限公司 陕西 延安 727300

2. 西安建筑科技大学 陕西 西安 710055

摘 要：陶粒是一种轻骨料，制备原料包括黏土、泥质岩、矿物及工业固废如煤矸石等。煤矸石陶粒制备工艺包括原料预处理、成型与干燥、烧结处理。煤矸石陶粒因其密度小、重量轻、强度高、保温隔热性好等特点，在建筑、园林绿化、污水处理及工业领域均有广泛应用。为提高陶粒质量，可通过优化原料预处理与工艺参数、研发新型添加剂等措施进行性能优化。这些优化措施显著提升了煤矸石陶粒的性能和应用价值，推动了资源循环利用和可持续发展。

关键词：陶粒；制备工艺；性能优化

1 陶粒制备的主要原料及其特性

陶粒是一种在回转窑中经发泡生产的轻骨料，其制备的主要原料包括黏土、泥质岩、矿物（如长石、石英石）、膨胀粘土岩、页岩、粉煤灰等。而在当前环保和资源再利用的背景下，煤矸石作为一种常见的工业固废，因其丰富的储量和潜在的资源价值，成为制备陶粒的重要原料之一。煤矸石是煤炭开采和洗选过程中产生的固体废弃物，主要由黏土岩、炭质页岩、砂岩等岩石组成，含有一定量的碳质和无机矿物。利用煤矸石制备陶粒，不仅可以解决煤矸石的堆放和污染问题，还可以将其转化为有价值的建筑材料，实现资源的循环利用。煤矸石制备的陶粒具有一系列优异的特性。首先，密度小、重量轻，但具有一定的强度和耐磨性，适用于各种建筑工程；其次，内部多孔，具有良好的保温隔热性能，可用于墙体、屋面等保温材料；陶粒还具有良好的耐火性、抗震性、吸水率低和抗渗性等特点，使其在多个领域都有广泛的应用。

2 煤矸石陶粒的制备工艺流程

2.1 原料预处理

2.1.1 破碎与研磨

由于煤矸石的粒度大小不一，且可能含有较大块状物，首先需要进行破碎处理。通常采用颚式破碎机、圆锥破碎机等设备将煤矸石破碎至合适的粒径范围。破碎后的煤矸石再进入球磨机等研磨设备进行研磨，以进一步细化颗粒，提高其比表面积，使原料混合更加均匀，有利于后续的成型和烧结过程。在研磨过程中，需要控制好研磨时间和球磨机的转速等参数，以确保颗粒细度达到要求。

2.1.2 混合与均化

将研磨后的煤矸石与其他辅助原料（如少量的黏

土、添加剂等）按照一定比例在搅拌机中进行充分混合。混合过程中要确保各原料均匀分布，避免出现局部成分差异过大的情况。为了提高混合效果，可以采用多次搅拌、延长搅拌时间或采用特殊的搅拌装置等方法。混合后的原料应具有良好的可塑性和流动性，以便后续成型操作的顺利进行。

2.2 成型与干燥

2.2.1 成型

成型是将混合均匀的原料制成具有一定形状和尺寸的陶粒坯体的关键步骤。常用的成型方法有挤压成型、圆盘造粒成型、振动成型等。挤压成型适用于生产柱状或条状陶粒，通过模具将原料挤出并切割成一定长度的坯体；圆盘造粒成型则是利用旋转的圆盘，将原料在滚动过程中逐渐团聚成球形坯体；振动成型是借助振动设备使原料在模具内振动密实并成型。在成型过程中，要严格控制成型压力、模具尺寸等参数，以保证坯体的密度、强度和形状尺寸的一致性。例如，挤压成型时，压力过大可能导致坯体过于密实，影响后续烧结过程中的气体排出，从而产生裂纹；压力过小则坯体强度不足，容易在搬运和干燥过程中损坏^[1]。

2.2.2 干燥

成型后的陶粒坯体含有一定量的水分，需要进行干燥处理以去除水分，防止在烧结过程中因水分快速蒸发而导致坯体开裂。干燥方法可采用自然干燥或热风干燥。自然干燥成本较低，但干燥时间较长，受环境因素影响较大；热风干燥则可以在较短时间内完成干燥过程，但需要消耗一定的能源。在热风干燥过程中，要控制好干燥温度、风速和干燥时间等参数。一般来说，干燥温度不宜过高，以免坯体表面过早硬化，内部水分难以排出，导致开裂；风速过大可能会使坯体表面水分蒸

发过快,同样产生开裂现象。

2.3 烧结处理

烧结是煤矸石陶粒制备的核心环节,在这一过程中,坯体内部发生一系列复杂的物理化学变化,从而使陶粒获得良好的性能。烧结温度是影响陶粒质量的关键工艺参数,一般在1000℃-1200℃之间。在较低温度下,坯体中的矿物成分反应不完全,陶粒强度较低;随着烧结温度的升高,矿物逐渐熔融、结晶,陶粒的强度和硬度不断提高。但如果烧结温度过高,可能会导致陶粒过度烧结,出现玻璃化现象,使陶粒的孔隙率降低,密度增大,保温隔热性能变差。烧结时间也需要合理控制,时间过短,坯体内部反应不充分;时间过长则会增加能源消耗和生产成本,同时也可能影响陶粒的性能。烧结气氛(如氧化气氛或还原气氛)对陶粒的颜色、矿物组成和性能也有一定影响。在氧化气氛下,某些金属元素会被氧化,可能使陶粒颜色变深;在还原气氛中,则可能发生还原反应,改变陶粒的矿物结构。

3 煤矸石陶粒的应用领域

3.1 建筑领域

在建筑领域,煤矸石陶粒展现了其作为多种建筑材料的卓越性能。作为结构材料,煤矸石陶粒混凝土因其轻质高强的特性,在高层建筑、大跨度桥梁等建筑结构中,被广泛应用于填充和承重,显著减轻了建筑自重,降低了基础负荷,并提高了结构的抗震性能。与普通混凝土相比,陶粒混凝土具有较低的弹性模量,能更好地吸收和分散地震等外力作用下的能量,从而减少了结构破坏的风险。在墙体材料方面,煤矸石陶粒砌块、陶粒砖等轻质墙体材料因其良好的保温隔热性能、隔音性能和防火性能,被广泛应用于住宅、商业建筑和工业厂房的墙体建造,不仅提高室内舒适度,还实现节能减排。在屋面与地面工程中,煤矸石陶粒保温隔热层和陶粒垫层的应用,有效阻止太阳辐射热的传入,降低屋面温度,减少夏季空调制冷负荷,同时提高地面的承载能力和保温性能,减少地面开裂的可能性^[2]。此外,煤矸石陶粒还可用于制作轻质装饰板、艺术砖等装饰材料,这些材料不仅外观美观大方,还具备良好的物理性能,如质轻、环保等,广泛应用于室内装饰和室外景观设计,营造出独特的装饰效果和艺术氛围。

3.2 园林绿化

在园林绿化领域,煤矸石陶粒展现出了其多样化的应用价值。作为花卉种植的基质,煤矸石陶粒以其轻质、多孔的特性,为花卉根系提供了良好的生长环境,其出色的排水透气性能有效预防花卉烂根问题,并能吸

附、储存适量水分和养分,助力花卉生长,提升花卉盆栽的观赏价值。在草坪建设中,陶粒既可作为垫层填充材料,增强草坪的排水性,防止积水导致的根部腐烂,也可作为土壤改良剂,优化土壤结构,提高透气性和保水性,从而显著提升运动场地草坪或景观草坪的质量和耐久性。另外,煤矸石陶粒在景观设计中也发挥着重要作用,其轻质、易塑形的特点使得制作景观水景、假山等元素变得更加便捷,能够打造出更加生动自然的景观效果,如在水景中用作水下景观小品的制作材料或过滤介质,净化水质,以及在假山制作中作为填充材料,减轻重量,便于搬运和安装。

3.3 污水处理

在污水处理领域,煤矸石陶粒展现出广泛的应用潜力。作为生物滤池的载体,煤矸石陶粒的多孔性和大比表面积为微生物提供了丰富的附着位点,促进了微生物的生长和繁殖,有效提升了污水处理的效率,能够迅速降解污水中的有机物、氮、磷等污染物,确保出水水质达到排放标准。同时,在生物反应器中,煤矸石陶粒作为流化床或固定床的填料,为处理高浓度有机废水、印染废水、制药废水等难降解废水提供了良好的微生物生长环境,显著增强了微生物对污染物的降解能力,降低了废水的污染负荷。煤矸石陶粒还可用作污水处理设备中的过滤介质,如陶粒过滤器、陶粒曝气池等,有效过滤污水中的悬浮物、胶体等杂质,提高污水处理的效果和稳定性,尤其在小型污水处理站中,作为预处理设备,陶粒过滤器能够大幅去除污水杂质,减轻了后续处理工艺的负担。

3.4 工业用途

在工业用途方面,煤矸石陶粒展现出了广泛的应用潜力。在耐火材料领域,煤矸石陶粒作为耐火砖、耐火浇注料等耐火材料的骨料,能够在高温下保持良好的稳定性和强度,显著提高耐火材料的整体性能和使用寿命,有效抵抗高温熔融物的侵蚀和冲刷,确保钢铁、冶金等高温工业领域生产设备的正常运行。同时,作为保温隔热材料的填充成分,煤矸石陶粒可用于制作陶粒保温砖、陶粒保温板等,有效减少热量传递,降低工业设备和建筑物的能耗,在化工、电力等行业的保温工程中具有广阔的应用前景。煤矸石陶粒还可作为磨料或磨具的原料,用于制作砂轮、砂纸、砂带等,满足机械加工、金属表面处理等行业对磨削效率和精度的要求^[3]。在化工领域,煤矸石陶粒更是展现出了其作为催化剂载体、吸附剂等化工产品的原料的独特优势,其较大的比表面积和良好的化学稳定性,不仅能够有效负载催化剂

活性成分,提高催化反应效率,还能作为吸附剂吸附废气、废水中的有害物质,实现污染治理和资源回收利用,如在石油化工行业的催化裂化过程中提高催化剂的活性和选择性,在废水处理中去除重金属离子和有机污染物等。

4 煤矸石陶粒制备过程中的优化措施

4.1 原料预处理与工艺参数调整

在煤矸石陶粒的制备过程中,原料预处理与工艺参数的调整是确保产品质量的关键环节。首先,原料预处理阶段的优化至关重要。为了提升煤矸石陶粒的质量,必须加强对原料的筛选和检测,确保原料的纯度和稳定性。采用先进的破碎和研磨设备,如新型高能球磨机、超细破碎机等,能显著提高原料的破碎效率和研磨细度,使原料颗粒更加均匀细小,为后续混合和烧结过程奠定良好基础。引入自动化控制系统,对原料预处理过程中的各个环节进行精确控制和实时监测,确保各工艺参数的稳定性和一致性。例如,通过精确控制球磨机的转速、研磨时间、原料的进料量等参数,可以显著提升原料预处理的质量和效率;在工艺参数调整方面,除了烧结温度、烧结时间和成型压力等关键参数外,还应密切关注冷却速度、原料配比等参数对产品质量的影响。冷却速度过快可能导致陶粒内部产生应力,产生裂纹,因此需合理控制冷却速度,采用缓慢冷却或分级冷却的方式,以减少内部应力的产生。在原料配比方面,应根据煤矸石的成分和性能特点,优化其他辅助原料的添加比例,以达到最佳的陶粒性能。为了确定最佳工艺参数组合,需开展大量实验研究和数据分析,建立工艺参数与陶粒性能之间的数学模型,通过模型预测和优化工艺参数。同时,引入先进的生产设备和检测仪器,提高工艺参数的精确度和可控性,确保陶粒的质量稳定。

4.2 新型添加剂的研发与应用

为了进一步提升煤矸石陶粒的性能,研发新型添加剂成为一个重要方向。针对煤矸石陶粒制备过程中存在的问题,如强度不足、孔隙率不稳定、保温隔热性能有待提高等,可以研发具有特定功能的新型添加剂。例如,研发高强度添加剂,通过添加特定的金属氧化物或化合物,在烧结过程中与煤矸石中的成分发生反应,形成高强度的矿物相,从而提高陶粒的强度;研发孔隙调控添加剂,通过控制添加剂的种类和用量,调节陶粒在烧结过程中的气体产生量和排出速度,从而精准控制陶

粒的孔隙率,满足不同应用领域对陶粒孔隙率的要求;研发保温隔热性能增强添加剂,如添加具有低热导率的矿物或纤维材料,以提高陶粒的保温隔热性能。在研发新型添加剂时,要充分考虑添加剂与煤矸石原料的相容性,避免发生不良反应影响陶粒质量。要综合考虑添加剂的用量对产品质量的影响以及添加剂的成本,通过系统的实验研究和数据分析,筛选出性能优良、成本合理的添加剂配方^[4]。将研发出的新型添加剂应用于煤矸石陶粒制备过程中,严格控制添加剂的用量和添加方式;采用精确的计量设备,如电子秤、计量泵等,确保添加剂的用量准确无误;根据添加剂的性质和陶粒制备工艺的特点,选择合适的添加时机和添加方法;密切关注添加剂对陶粒质量的影响,根据检测结果及时调整添加剂的用量和配方,以优化陶粒的性能。为了推广新型添加剂的应用,可以加强与科研机构和高校的合作,共同开展新型添加剂的研发和应用研究;开展产品推广和示范项目,展示新型添加剂在提高煤矸石陶粒质量和性能方面的显著优势;加强市场宣传和客户服务,通过举办技术交流会、产品推介会等活动,向市场和客户宣传新型添加剂的特点和应用效果,促进其在煤矸石陶粒制备行业的广泛应用。

结束语

煤矸石陶粒的制备与应用,不仅解决了煤矸石堆放和污染问题,还将其转化为具有高附加值的建筑材料,实现资源的有效利用。未来,随着制备工艺的不断改进和新型添加剂的研发,煤矸石陶粒的性能将进一步提升,应用领域也将更加广泛。相信煤矸石陶粒将在推动绿色建筑、环保产业的发展中发挥更加重要的作用,为实现可持续发展目标贡献力量。

参考文献

- [1]薛文,王腾,程文杰,沈鸿儒,李乙,陈江瑛,朱瑶宏.低温冻融循环对陶粒混凝土动态力学性能的影响[J].硅酸盐通报,2021,40(03):38-39
- [2]王丽丽,辛明朗,张恩搏,等.轻质陶粒混凝土的配制及应用[J].建筑技术,2020,51(12):1460-1462.
- [3]李玉康,许立明等.建筑工程新材料技术应用研究[J].城乡建筑,2022,42(01):121-123.
- [4]景利刚.陶粒混凝土施工技术要点探究[J].城镇发展,2022(31):72-75.