

尾矿库尾砂资源化利用工程技术探索

樊宇姣

中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司 河北 秦皇岛 066004

摘要：矿产资源作为工业发展的核心物质基础，在开采与加工过程中产生的尾矿库尾砂，已成为制约矿业可持续发展的关键环境与资源难题。本文聚焦尾矿库尾砂资源化利用工程技术展开探索。首先分析尾砂的成分及物理、化学特性，为后续利用提供基础依据。接着详细阐述尾砂在建筑材料、矿山回填、土壤改良、环保材料制造等多个领域的资源化利用工程技术，涵盖具体应用方式与技术要点。最后探讨该工程技术的发展趋势，包括多技术耦合、智能化自动化应用以及绿色可持续发展方向。旨在推动尾砂资源化利用技术的进步，实现尾砂的高效利用与环境保护的协同发展。

关键词：尾矿库尾砂；资源化利用；工程技术

引言：随着矿产资源的大规模开发利用，尾矿库尾砂堆积量与日俱增，不仅占用大量土地资源，还带来环境污染和安全隐患等诸多问题。如何实现尾砂的资源化利用，成为当前矿业领域亟待解决的关键课题。尾砂虽为矿山开采的废弃物，但蕴含着丰富的可利用价值，其成分和特性决定了在多个领域具有潜在的应用前景。开展尾砂资源化利用工程技术探索，不仅能有效缓解尾砂堆积带来的环境压力，还能实现资源的循环利用，创造显著的经济、社会和环境效益，对推动矿业可持续发展具有重要意义。

1 尾砂的成分与特性

1.1 尾砂的成分

尾砂是矿石经选矿工艺处理后产生的细粒废弃物，其成分复杂多样，与原矿石种类、选矿方法等因素密切相关。主要成分包含多种金属和非金属氧化物，如二氧化硅、氧化铝、氧化铁等，是构成尾砂的基本骨架。此外，还含有一定量的重金属元素，像铜、铅、锌、汞等，这些重金属若处理不当，易对环境造成污染。同时，尾砂中可能存在一些选矿药剂残留，如黄药、黑药等，它们具有一定的化学活性和毒性。不同矿山产出的尾砂成分差异显著，准确分析其成分是开展资源化利用的重要前提。

1.2 尾砂的物理特性

尾砂的物理特性对其资源化利用方式影响显著。从粒度特征看，尾砂颗粒细小，多集中在微米至毫米级，且粒度分布不均，这种特性使其在不同应用场景中性能差异明显。在堆积状态上，尾砂的孔隙率受颗粒级配影响较大，粗细颗粒合理搭配可降低孔隙率，增强结构密实度。其含水率受堆积方式与环境条件共同作用，若含水率过高，尾

砂易黏结成团，导致流动性变差，在输送、充填等环节易出现堵管现象，增加处理难度与成本。

1.3 尾砂的化学特性

尾砂的化学特性决定了其在资源化利用过程中的化学反应活性和稳定性。多数尾砂呈弱酸性或弱碱性，pH值一般在4-9之间，不同成分的尾砂酸碱度有所差异，这会影响其与其他物质的反应情况。尾砂中的一些成分具有氧化还原性，例如部分金属离子在不同价态间可发生氧化还原反应，在环保材料制造等领域可利用这一特性进行污染物的处理。同时，尾砂中的某些矿物成分具有一定的胶凝性，在建筑材料制备中，可作为胶凝材料的组成部分，经过适当处理后能发生水化反应，形成具有一定强度的结构体^[1]。

2 尾砂资源化利用工程技术

2.1 在建筑材料领域的应用技术

(1) 制备水泥混凝土。将尾砂应用于制备水泥混凝土是一种有效的资源化利用途径。尾砂可部分替代水泥或细骨料。当替代细骨料时，由于尾砂颗粒细小且表面粗糙，能增强骨料与水泥浆体之间的粘结力，提高混凝土的密实性。若替代部分水泥，尾砂中的活性成分在一定条件下可发生二次水化反应，提升混凝土后期强度。在制备过程中，要先对尾砂进行筛分、除杂等预处理，根据混凝土性能要求确定尾砂掺量。通过合理配比和搅拌工艺，可制备出满足不同工程需求的水泥混凝土，如普通建筑用混凝土、道路混凝土等，既降低生产成本，又减少尾砂堆积对环境的压力。(2) 制备墙体材料。利用尾砂制备墙体材料具有广阔前景。常见的有生产烧结砖和非烧结砖。在烧结砖生产中，尾砂与黏土等原料按一定比例混合，经成型、干燥、烧结等工序制成。尾

砂中的某些成分在高温下可参与化学反应,形成稳定的矿物结构,增强砖的强度和耐久性。非烧结砖则多采用压制成型工艺,将尾砂与水泥、石灰等胶凝材料混合,加入适量外加剂和水,经高压压制而成。这种砖无需烧结,能耗低,且尾砂的掺入可改善砖的保温、隔热等性能。此外,尾砂还可用于生产加气混凝土砌块等新型墙体材料,通过调整原料配方和工艺参数,能生产出符合不同建筑节能要求的墙体产品。(3)制备道路基层材料。尾砂用于制备道路基层材料能实现资源的有效利用。尾砂可与水泥、石灰等稳定剂结合,形成半刚性基层材料。其工作原理是稳定剂与尾砂中的活性成分发生化学反应,产生胶凝物质,将尾砂颗粒胶结在一起,形成具有一定强度和稳定性的整体结构。在制备时,要对尾砂进行级配调整,使其满足道路基层材料对颗粒组成的要求。同时,合理控制稳定剂掺量和含水率,保证材料的压实度和强度。与传统的道路基层材料相比,尾砂基层材料具有原材料来源广泛、成本较低、环保等优点。经实际应用验证,用尾砂制备的道路基层材料能满足道路工程的使用要求,具有良好的路用性能。

2.2 在矿山回填领域的应用技术

(1)干式充填技术。干式充填技术是较早应用于矿山回填的一种方法。该技术主要将经过破碎、筛分等预处理后的尾砂,通过运输设备(如皮带输送机、矿车等)输送到井下需要回填的采空区。在充填过程中,尾砂呈松散干燥状态,依靠自身重力逐渐堆积填充采空区。干式充填的优点在于工艺相对简单,设备要求不高,投资成本较低。然而,其也存在明显不足,由于尾砂松散,充填体强度较低,难以承受较大压力,在后续开采过程中可能出现塌陷等问题。而且,干式充填过程中尾砂粉尘较大,对井下作业环境造成污染,危害工人身体健康。为提高干式充填效果,可对尾砂进行适当压实处理,增加充填体密实度,同时采取有效的降尘措施,改善作业环境。(2)水力充填技术。水力充填技术是利用水的力量将尾砂输送到井下采空区进行回填。先将尾砂与水按一定比例混合制成浆体,通过管道以压力输送的方式将浆体输送至充填地点。在采空区,水逐渐渗出,尾砂沉淀堆积形成充填体。水力充填的优点是充填效率较高,能在较短时间内完成较大面积的采空区回填;而且充填过程中尾砂分布相对均匀,充填体质量较好。但该技术需要建设完善的输水系统和沉淀排水设施,投资较大;同时,水的渗出可能导致井下涌水量增加,给矿山排水带来压力。在实际应用中,要合理控制尾砂与水的比例、输送压力等参数,确保充填效果,并

做好井下排水工作,保障矿山安全生产。(3)高浓度全尾砂充填技术。高浓度全尾砂充填技术是近年来发展起来的一种先进回填技术。它将未经分级处理的全尾砂与水、胶凝材料(如水泥、粉煤灰等)按特定比例混合,制成高浓度的浆体(浓度一般大于70%),通过管道输送到井下采空区。高浓度浆体在采空区脱水后,尾砂颗粒紧密堆积,胶凝材料发生水化反应,使充填体快速形成较高强度。该技术能有效利用全尾砂,减少尾砂排放,同时充填体强度高、稳定性好,可承受较大地压,为后续开采提供安全保障。不过,高浓度全尾砂充填对设备和工艺要求较高,需要配备高效的搅拌设备和输送管道,且胶凝材料用量较大,成本相对较高。

2.3 在土壤改良领域的应用技术

(1)改善土壤物理性质。尾砂在改善土壤物理性质方面具有独特作用。首先,尾砂颗粒细小且具有一定级配,将其掺入土壤中,能够填充土壤孔隙,改善土壤的孔隙结构。合理的孔隙结构有助于增强土壤的透气性和透水性,使土壤中的空气和水分能够更顺畅地流通,为植物根系的生长提供良好的环境条件。其次,尾砂的加入可以增加土壤的松散度,降低土壤容重,减轻土壤板结程度。板结的土壤会限制植物根系的伸展和养分吸收,而经过尾砂改良后,土壤变得疏松,根系能够更自由地生长,扩大养分吸收范围。此外,尾砂还能提高土壤的抗侵蚀能力。其颗粒间的粘结作用可以减少土壤颗粒在水力和风力作用下的流失,保护土壤资源。在实际应用中,需根据土壤类型和植物需求,合理确定尾砂的掺入量和掺入方式,以达到最佳的改良效果。(2)调节土壤化学性质。尾砂对土壤化学性质的调节作用显著。一方面,尾砂中含有多种矿物质元素,如钾、磷、钙、镁等,这些元素是植物生长所必需的营养成分。将尾砂施入土壤后,能够缓慢释放这些养分,为植物提供持续的营养供应,改善土壤的肥力状况。另一方面,尾砂可以调节土壤的酸碱度。对于酸性过强或碱性过大的土壤,尾砂中的某些成分能够与之发生中和反应,使土壤pH值趋于适宜植物生长的范围。例如,含有碱性物质的尾砂可以中和酸性土壤,提高土壤的缓冲能力。同时,尾砂还能吸附土壤中的重金属离子和有害物质,降低其活性,减少对植物的毒害作用,改善土壤的生态环境。

2.4 在环保材料制造领域的应用技术

(1)制造吸附材料。尾砂可用于制造高效的吸附材料,在环境治理领域发挥重要作用。尾砂中含有的多种矿物成分,如硅酸盐、铝硅酸盐等,具有较大的比表面积和丰富的孔隙结构,这为吸附污染物提供了良好的条

件。通过特定的改性处理,如酸碱改性、热处理等,可以进一步增加尾砂的比表面积和孔隙率,提高其吸附性能。改性后的尾砂吸附材料对重金属离子、有机污染物等具有良好的吸附效果。例如,对于水体中的铅、汞、镉等重金属离子,尾砂吸附材料能通过物理吸附、化学吸附和离子交换等作用将其固定在表面,从而降低水体中重金属的含量。在处理有机废水时,尾砂吸附材料可以吸附苯、酚等有机物,净化水质。(2) 制造过滤材料。利用尾砂制造过滤材料是实现其资源化利用的有效途径之一。尾砂经过筛选、分级等预处理后,可根据不同需求与其他纤维材料(如玻璃纤维、聚酯纤维等)或粘结剂混合,通过成型工艺制成过滤材料。尾砂基过滤材料具有多孔结构,能够有效拦截和截留液体或气体中的固体颗粒、杂质等。在水处理方面,它可用于污水处理厂的二级处理出水深度过滤,去除水中的悬浮物、胶体等,提高水质。在空气净化领域,尾砂过滤材料能吸附空气中的粉尘、花粉等污染物,改善空气质量。与传统的过滤材料相比,尾砂过滤材料具有原料成本低、制备工艺简单、过滤性能良好等优点^[2]。

3 尾砂资源化利用工程技术的发展趋势

3.1 多技术耦合利用

未来尾砂资源化利用将朝着多技术耦合的方向发展。单一技术往往存在局限性,难以充分发挥尾砂的潜在价值。例如,将尾砂制备建筑材料时,可耦合物理改性技术与化学激发技术,先通过物理方法调整尾砂粒度分布,再用化学试剂激发其活性,提升材料性能。在矿山回填领域,把水力充填与高浓度全尾砂充填技术结合,根据不同采空区条件灵活选择,提高回填效率与质量。多技术耦合能实现优势互补,拓展尾砂利用途径,提高资源利用率,创造更大的经济与环境效益。

3.2 智能化与自动化技术应用

智能化与自动化技术将深度融入尾砂资源化利用工程。在生产环节,借助传感器、物联网技术实时监测尾砂成分、粒度等参数,通过智能控制系统自动调整工艺参数,确保产品质量稳定。在设备运行方面,利用自

动化技术实现尾砂输送、搅拌、成型等设备的无人化操作,提高生产效率,降低人力成本。同时,运用大数据和人工智能技术对生产数据进行分析,优化生产流程,预测设备故障,提前采取维护措施。智能化与自动化技术的应用将推动尾砂资源化利用向高效、精准、安全的方向发展。

3.3 绿色可持续发展

绿色可持续发展是尾砂资源化利用的必然趋势。在资源利用过程中,要最大程度减少对环境的影响,采用清洁生产工艺,降低能源消耗和污染物排放。例如,开发低能耗的尾砂改性技术,减少化学药剂使用。同时,注重尾砂利用产品的环保性能,确保其在使用过程中不会对环境造成二次污染。此外,加强尾砂资源化利用与生态修复的结合,在矿山回填等工程中,促进生态系统的恢复和重建。通过实现绿色可持续发展,尾砂资源化利用将更好地服务于环境保护和资源循环利用的大局^[3]。

结束语

尾矿库尾砂资源化利用工程技术探索意义重大且任重道远。通过不断研究与实践,我们已取得诸多成果,在尾砂制备建筑材料、提取有价值元素等方面取得突破,实现了资源的高效利用与环境保护的双赢。然而,技术仍面临成本、稳定性等挑战。未来,需持续加大研发投入,加强多学科交叉融合,完善相关标准规范。相信在各方共同努力下,尾矿库尾砂资源化利用技术将不断完善,推动矿业可持续发展,为构建资源节约型、环境友好型社会贡献更大力量。

参考文献

- [1]谢欢欢.尾矿库选址勘察中的环境(水文)地质特征及工程适宜性评价——以贵州某金矿新建尾矿库为例[J].冶金管理,2022,(09):103-105.
- [2]刘念新,盛超.赤泥尾矿库溃坝抢险勘察工作要点浅析[J].陕西水利,2021,(09):149-151.
- [3]许汉华,何训,眭素刚,聂闻,王光进.个旧市岩溶区尾矿库勘察与防治措施探讨[J].现代矿业,2021,37(06):175-178+182.