

工业固体废物的资源化利用途径探讨

杨晓良

运城市生态环境保护综合行政执法队 山西 运城 044000

摘要: 工业固体废物的大量产生对环境造成了严重压力,同时也蕴含着巨大的资源潜力。本文深入分析了工业固体废物资源化利用的重要意义,系统探讨了工业固体废物在建筑材料、能源回收、化工原料等领域的资源化利用途径,剖析了当前资源化利用过程中存在的技术、政策、经济等方面的问题,并针对这些问题提出了加强技术研发、完善政策体系、优化经济激励机制等促进工业固体废物资源化利用的对策建议,旨在推动工业固体废物的高效利用,实现环境效益与经济效益的双赢。

关键词: 工业固体废物;资源化利用;途径;对策

1 引言

随着工业的快速发展,工业固体废物的产生量逐年攀升。据统计,我国每年工业固体废物产生量已达数十亿吨。大量工业固体废物的堆放不仅占用大量土地资源,还可能通过渗漏、扬尘等方式对土壤、水体和大气环境造成污染,引发一系列生态环境问题。然而,工业固体废物并非毫无价值的废弃物,其蕴含着丰富的金属、非金属矿物等资源,若能实现资源化利用,既能缓解资源短缺压力,又能减少环境污染,具有显著的环境效益和经济效益^[1]。因此,深入探讨工业固体废物的资源化利用途径,对于推动工业绿色发展、实现可持续发展目标具有重要意义。

2 工业固体废物资源化利用的重要意义

2.1 缓解资源短缺

工业固体废物中含有大量可回收利用的资源。例如,尾矿中含有多种有价金属,粉煤灰、煤矸石等工业固体废物中富含硅、铝等元素,通过合理的技术手段对这些资源进行提取和再利用,可以有效补充原生资源的不足,缓解资源短缺对工业发展的制约^[2]。

2.2 减少环境污染

传统的工业固体废物处置方式以填埋和露天堆放为主,这种方式不仅占用大量土地,还容易造成土壤污染、水体污染和大气污染^[3]。将工业固体废物进行资源化利用,可大大减少其堆放量,降低污染物的排放,减轻对生态环境的压力,改善环境质量。

2.3 推动循环经济发展

工业固体废物资源化利用是循环经济的重要组成部分。通过将工业生产过程中产生的废弃物转化为可利用的资源,实现资源的循环利用,能够构建“资源-产品-废弃物-再生资源”的闭环经济模式,推动工业产业结构的

优化升级,促进循环经济的发展。

2.4 创造经济效益

工业固体废物资源化利用能够带来可观的经济效益。一方面,通过回收利用其中的有价资源,可降低企业的生产成本;另一方面,以工业固体废物为原料开发新产品,形成新的产业,能够创造新的经济增长点,为企业和社会带来经济收益。

3 工业固体废物的资源化利用途径

3.1 用于生产建筑材料

3.1.1 制备水泥

粉煤灰、煤矸石、钢渣等工业固体废物具有一定的活性成分,可作为水泥生产的原料或混合材。在水泥生产过程中,适量掺入这些工业固体废物,不仅能够替代部分黏土、石灰石等传统原料,降低生产成本,还能改善水泥的性能,如提高水泥的后期强度、改善抗硫酸盐侵蚀性能等。例如,在硅酸盐水泥生产中掺入一定比例的粉煤灰,可使水泥的水化热降低,适用于大体积混凝土工程^[4]。

3.1.2 生产混凝土和砂浆

将工业固体废物加工成细骨料或粗骨料,可用于生产混凝土和砂浆。如利用建筑垃圾、尾矿等破碎筛分后制成的骨料,与水泥、水等混合制成混凝土,其性能可满足一般建筑工程的要求。此外,利用粉煤灰、硅灰等工业固体废物作为矿物掺合料,能够改善混凝土的工作性、强度和耐久性。在道路工程中,使用工业固体废物制备的混凝土和砂浆,可有效降低工程成本,同时减少对天然砂石资源的开采^[5]。

3.1.3 制作墙体材料

工业固体废物可用于制作多种墙体材料,如蒸压加气混凝土砌块、粉煤灰砖、煤矸石砖等。这些墙体材料具有轻质、保温、隔热、隔音等优点,且生产过程中可

大量消纳工业固体废物。以蒸压加气混凝土砌块为例，它是以粉煤灰、石灰、水泥等为主要原料，经配料、搅拌、浇注、发气膨胀、切割、蒸压养护等工艺制成，具有良好的建筑性能和节能效果。

3.2 能源回收利用

3.2.1 焚烧发电

对于可燃性工业固体废物，如有机污泥、废塑料、造纸废渣等，可通过焚烧进行能源回收。在焚烧过程中，工业固体废物中的化学能转化为热能，产生的高温烟气可驱动蒸汽轮机发电。例如，城市污水处理厂产生的有机污泥经过脱水、干化处理，可送入焚烧炉进行焚烧发电，实现污泥的减量化、无害化和资源化^[6]。然而，焚烧过程中可能会产生二噁英等污染物，需要配备先进的污染控制设备，确保污染物达标排放。

3.2.2 气化制燃料

煤矸石、生物质废弃物等工业固体废物可通过气化技术转化为合成气（主要成分是一氧化碳和氢气）。合成气可作为燃料用于工业锅炉、燃气轮机发电，也可作为化工原料生产甲醇、二甲醚等清洁燃料。例如，煤矸石气化后产生的合成气经过净化处理，可用于生产合成氨，实现煤矸石的资源化利用。气化技术能够提高工业固体废物的能源利用效率，减少污染物排放，具有较好的应用前景。

3.2.3 厌氧发酵制沼气

含有机质丰富的工业固体废物，如食品加工废渣、酿酒废料等，可通过厌氧发酵产生沼气。沼气是一种清洁能源，主要成分是甲烷，可用于供热、发电或作为汽车燃料。在厌氧发酵过程中，工业固体废物中的有机物在厌氧微生物的作用下分解转化为沼气，同时实现固体废物的稳定化处理。例如，在一些食品加工厂附近建设厌氧发酵装置，将食品加工废渣转化为沼气，既解决了废渣的处理问题，又获得了清洁能源。

3.3 提取有价金属和非金属矿物

3.3.1 提取金属

尾矿、冶炼废渣等工业固体废物中含有多种有价金属，如铁、铜、铅、锌、金、银等。通过物理选矿、化学浸出、生物冶金等技术，可从这些工业固体废物中提取有价金属。例如，对于铜尾矿，可采用浮选法进一步富集铜矿物，然后通过冶炼工艺提取铜金属；对于含金、银的冶炼废渣，可采用氰化浸出法或生物浸出法提取金、银。随着技术的不断进步，金属提取的效率和回收率不断提高，能够有效实现工业固体废物中金属资源的回收利用^[7]。

3.3.2 提取非金属矿物

粉煤灰、煤矸石等工业固体废物中富含硅、铝等非金属矿物，可通过化学处理、高温煅烧等方法提取这些非金属矿物，用于生产陶瓷、玻璃、分子筛等产品。例如，从粉煤灰中提取氧化铝，可采用碱石灰烧结法、酸浸法等工艺，提取的氧化铝可作为电解铝的原料或用于生产高档耐火材料。此外，利用煤矸石中的硅质和铝质成分，可制备高性能的陶瓷原料，用于生产建筑陶瓷、卫生陶瓷等产品。

3.4 其他资源化利用途径

3.4.1 土壤改良剂

一些工业固体废物，如钢渣、粉煤灰等含有钙、镁、硅等元素，可作为土壤改良剂改善土壤结构和肥力。钢渣中的钙、镁等碱性物质能够中和酸性土壤，调节土壤pH值；粉煤灰具有较大的比表面积和吸附性能，可改善土壤的保水保肥能力，促进农作物生长。在酸性土壤地区，合理施用钢渣和粉煤灰作为土壤改良剂，能够提高土壤质量，增加农作物产量。

3.4.2 化工原料

部分工业固体废物可作为化工原料用于生产化工产品。例如，磷石膏是磷肥生产过程中产生的废渣，可用于生产硫酸、水泥、石膏板等产品。通过对磷石膏进行预处理，去除其中的杂质，然后采用合适的工艺将其转化为硫酸和水泥，实现磷石膏的资源化利用。此外，电石渣是电石法生产聚氯乙烯过程中产生的废渣，可用于生产氢氧化钙、碳酸钙等化工产品，减少废渣的排放。

4 工业固体废物资源化利用存在的问题

4.1 技术水平有待提高

目前，我国工业固体废物资源化利用技术虽然取得了一定进展，但整体技术水平仍有待提高。部分资源化利用技术存在处理效率低、能耗高、成本大等问题，难以实现大规模工业化应用。例如，一些金属提取技术对复杂成分的工业固体废物适应性较差，金属回收率较低；某些能源回收技术在处理过程中污染物排放难以有效控制，环保成本较高。此外，新技术的研发和推广应用速度较慢，制约了工业固体废物资源化利用的发展。

4.2 政策体系不够完善

尽管我国出台了一系列鼓励工业固体废物资源化利用的政策法规，但政策体系仍不够完善。部分政策缺乏具体的实施细则和配套措施，导致在实际执行过程中难以落实。例如，对于工业固体废物资源化利用项目的税收优惠、财政补贴等政策，在具体操作中存在标准不明确、申请流程复杂等问题，企业享受政策优惠的难度较

大。此外，政策对不同类型工业固体废物的管理和引导不够细化，未能充分发挥政策的导向作用。

4.3 经济激励机制不足

工业固体废物资源化利用项目前期投资较大，回收周期长，经济效益相对较低。目前，我国缺乏有效的经济激励机制，对企业开展工业固体废物资源化利用的吸引力不足。一方面，资源回收利用的价格体系不合理，工业固体废物中回收资源的价格与原生资源相比缺乏竞争力，企业回收利用的积极性不高；另一方面，缺乏对资源化利用企业的金融支持，企业融资困难，限制了项目的建设和发展。

4.4 公众认知和参与度低

社会公众对工业固体废物资源化利用的认识不足，存在误解和偏见，认为工业固体废物即使经过处理仍存在环境风险，对相关产品的接受度较低。此外，公众参与工业固体废物管理和监督的渠道有限，难以形成全社会共同推动工业固体废物资源化利用的良好氛围。

5 促进工业固体废物资源化利用的对策建议

5.1 加强技术研发与创新

加大对工业固体废物资源化利用技术研发的投入，鼓励科研院所、企业等开展产学研合作，集中攻克关键技术难题。重点研发高效、低耗、环保的资源化利用技术，如新型金属提取技术、能源回收技术、工业固体废物高附加值利用技术等。建立技术推广平台，加快新技术、新工艺的示范和推广应用，提高工业固体废物资源化利用的技术水平^[8]。

5.2 完善政策体系

进一步完善工业固体废物资源化利用的政策法规，制定具体的实施细则和配套措施，提高政策的可操作性。明确不同类型工业固体废物资源化利用项目的税收优惠、财政补贴、信贷支持等政策标准，简化申请流程，确保企业能够切实享受到政策优惠。加强对工业固体废物的分类管理和引导，针对不同特点的工业固体废物制定差异化的管理政策和资源化利用目标。

5.3 优化经济激励机制

建立合理的资源回收利用价格体系，提高工业固体废物中回收资源的价格竞争力，鼓励企业开展资源回收利用。加大对工业固体废物资源化利用项目的财政补贴和税收优惠力度，降低企业的生产成本。引导金融机构加大对资源化利用企业的信贷支持，创新金融产品和服务，拓宽企业的融资渠道。此外，探索建立工业固体废物排放收费制度，通过经济手段促使企业主动开展资源化利用。

5.4 提高公众认知和参与度

加强对工业固体废物资源化利用的宣传教育，通过媒体、科普活动等多种形式，普及相关知识，提高公众对工业固体废物资源化利用的认识和理解，消除公众的误解和偏见。建立公众参与机制，拓宽公众参与工业固体废物管理和监督的渠道，鼓励公众对违法行为进行举报，形成全社会共同推动工业固体废物资源化利用的良好氛围。

6 结论

工业固体废物资源化利用是解决工业固体废物环境问题、实现资源可持续利用的重要途径，具有显著的环境效益、经济效益和社会效益。虽然目前我国在工业固体废物资源化利用方面取得了一定成绩，但仍面临技术、政策、经济和公众认知等方面的问题。通过加强技术研发与创新、完善政策体系、优化经济激励机制和提高公众认知和参与度等措施，能够有效推动工业固体废物的资源化利用，促进工业绿色发展，实现经济与环境的协调发展。未来，随着技术的不断进步和政策的日益完善，工业固体废物资源化利用将迎来更广阔的发展前景。

参考文献

- [1]赵鹏.环境工程建设中固体废物的治理策略[J].造纸装备及材料.2023,52(2).DOI:10.3969/j.issn.1672-3066.2023.02.050.
- [2]马敏.固体废物浸出液中金属元素铜的不确定度评定[J].山东冶金.2023,45(1).
- [3]祝浪.固体废物对土壤的污染与修复方法研究[J].造纸装备及材料.2023,52(5).DOI:10.3969/j.issn.1672-3066.2023.05.066.
- [4]张冰洁,宋鑫,王恒广,等.基于“无废城市”建设的工业固体废物管理新策略[J].环境工程学报.2022,16(3).DOI:10.12030/j.cjee.202111112.
- [5]温宗国,唐岩岩,王俊博,等.新时代循环经济发展助力美丽中国建设的路径与方向[J].中国环境管理.2022,14(6).DOI:10.16868/j.cnki.1674-6252.2022.06.033.
- [6]肖文革,牛飞,王立,等.正丁基黄原酸钠干燥品的生产工艺研究[J].有色矿冶.2016,(3).DOI:10.3969/j.issn.1007-967X.2016.03.005.
- [7]黄文博,李金惠,曾现来.固体废物无害化精准定量评估及科学启示:以典型工业废物为例[J].科学通报.2022,67(7).DOI:10.1360/TB-2021-1191.
- [8]辛宝平,王佳.涉重危废三维属性及其精细化分级分类体系[J].环境工程学报.2022,16(2).DOI:10.12030/j.cjee.202112159.