

固体废弃物污染对生态环境的危害及资源化利用

何 畅 周 琪

新疆生产建设兵团第一师生态环境监测站 新疆 阿拉尔 843300

摘 要: 固体废弃物处置不当对土壤、水体与大气构成多重生态威胁,资源化利用成为缓解环境压力的关键手段。本文系统梳理了固体废弃物对土壤理化性质的破坏与有害物质迁移累积机制,分析了淋溶物对地表水与地下水的渗透污染路径,阐述了堆放、焚烧与扬尘环节对大气环境的危害表现,并从物质回收、能量转化与材料化再生三个维度探讨资源化利用的技术方向,为废弃物减量化与资源化处置提供理论依据。

关键词: 固体废弃物;生态环境危害;资源化利用;土壤污染;大气污染

引言: 城镇化加速与消费规模扩张推动固体废弃物产生量持续攀升,对生态环境的胁迫效应日趋显著。废弃物中重金属、持久性有机污染物等有害组分经土壤、水体与大气多条途径向外扩散,引发连锁性生态退化。传统填埋与露天堆放方式已难以应对当前处置压力,资源化利用作为兼顾环境保护与资源节约的替代方案受到广泛关注。从污染机理到利用路径的系统认知,是推动废弃物管理向绿色低碳方向转型的基础前提。

1 固体废弃物污染对土壤环境的危害

1.1 固体废弃物对土壤理化性质的破坏

固体废弃物进入土壤后,对土壤理化性质产生多层面的破坏效应。废弃物堆体中大量有机组分在降解过程中释放有机酸,导致土壤酸碱度发生显著偏移,原本适合作物生长的中性或微酸性土壤逐渐向强酸或强碱方向演变^[1]。土壤容重因废弃物填充与压实作用而明显增大,孔隙度随之降低,透气性与持水能力均受到不同程度的削弱。废弃物中含有的油脂类物质与重金属离子会在土壤颗粒表面形成包膜,阻碍土壤团聚体的形成与稳定,使得土壤结构趋于松散或板结。阳离子交换量作为衡量土壤保肥能力的重要指标,在受到重金属离子与高浓度盐分侵入后往往出现剧烈波动,土壤原本的养分缓冲功能因此大幅削弱。土壤氧化还原电位受废弃物降解耗氧过程的影响而持续走低,厌氧环境的蔓延进一步改变了铁锰等变价元素的存在形态,引发一系列连锁性的理化性质恶化。

1.2 固体废弃物中有害物质在土壤中的迁移与累积

有害物质从固体废弃物向周围土壤的迁移是一个受多重因素驱动的复杂过程。淋溶液作为最主要的迁移载体,携带重金属与有机污染物沿土壤剖面向下渗透,在黏土层或地下水位上方形成污染富集带。重金属离子凭借与土壤胶体的络合吸附作用在表层土壤中大量累积,尤

其是铅、镉、铬等元素因迁移性较强而更易向深层土壤扩散。持久性有机污染物因疏水性强而倾向于吸附在土壤有机质上,随着有机质的缓慢分解而逐步释放,形成长周期的二次污染。土壤中的氯离子与硫酸根离子浓度升高会改变重金属的赋存形态,促进原本稳定态重金属向可交换态转化,提升生物可利用性。干湿交替与冻融循环等物理过程加速了污染物在土壤孔隙中的对流转运,使得污染范围在时间维度上不断扩展。

1.3 固体废弃物对土壤生物群落的影响

土壤生物群落是维持土壤生态功能运转的关键驱动力,固体废弃物的侵入对各类土壤生物均产生不同程度的抑制与毒害。细菌与真菌作为土壤有机质分解的主要执行者,在高浓度重金属与有毒有机物的胁迫下,群落多样性显著下降,耐受性强的菌种逐渐占据优势地位,原本高效的物质循环链条因此出现断裂。放线菌对土壤中抗生素残留与重金属极为敏感,种群数量的锐减直接削弱了土壤对抗病原菌的天然屏障。蚯蚓等大型土壤动物因直接接触受污染土壤而出现生长抑制与繁殖障碍,土壤的物理混合与通气功能随之衰退。土壤酶活性作为反映土壤生物代谢强度的灵敏指标,在脲酶、磷酸酶与脱氢酶等关键酶类受到重金属抑制后,养分转化速率明显放缓,土壤的自我修复能力也因此持续弱化。

2 固体废弃物污染对水体环境的危害

2.1 固体废弃物淋溶物对地表水的污染

固体废弃物在自然降水或人工冲洗作用下产生的淋溶液,携带大量溶解态污染物向地表水体迁移,构成水污染的重要来源^[2]。淋溶液中富集的重金属离子与有机污染物随地表径流汇入河流、湖泊后,水体中化学需氧量与氮磷指标迅速攀升,富营养化趋势因此加剧。高浓度氨氮进入水体后会抑制水中溶解氧的自然补给,导致水生生物大面积缺氧死亡。铅、汞、镉等重金属在水体

中以溶解态或胶体态形式长期悬浮,难以通过自然沉降实现去除,水体自净能力在持续的污染输入下逐渐耗竭。淋溶液中还含有大量表面活性剂与酚类化合物,这些物质能够降低水面张力并在水面形成油膜,阻碍大气与水体之间的气体交换,进一步恶化水中溶氧环境。受污染的地表水在向下游扩散的过程中,污染浓度虽有所稀释,但由于污染物总量庞大,河道底泥对重金属与持久性有机物的持续吸附与释放使河流呈现出明显的内源污染特征,即便切断外部污染源,水质恢复仍需极长周期。

2.2 固体废弃物对地下水的渗透污染

地下水位于地表之下,一旦受到固体废弃物中有害物质的侵入,修复难度远高于地表水。废弃物堆体底部的防渗层在长期承受重力荷载与化学腐蚀后容易出现破损,高浓度淋溶液借由裂缝或孔隙向下渗透,直接威胁含水层水质。重金属离子在渗透过程中与地下水中的碳酸根、硫酸根等阴离子发生络合反应,生成溶解度更低的沉淀物,虽然降低了迁移速度,却在含水层介质中形成了持久性的污染蓄积带。有机氯农药与多环芳烃等疏水性强的污染物在地下环境中降解极为缓慢,可在含水层中存留数十年之久。地下水流速远低于地表水,污染物在含水层中的扩散以缓慢的分子扩散为主,污染羽的扩展范围往往远超废弃物堆体本身的投影面积,由于地下水流动方向受地质构造控制,污染可能向数公里之外的取水水源蔓延,对区域饮水安全构成严重威胁。

2.3 固体废弃物堆积对水体生态系统的干扰

固体废弃物的大面积露天堆放对周边水体生态系统产生多维度的干扰。废弃物堆体占据河道两侧或湖滨区域后,水生生物的栖息空间被大幅压缩,底栖动物因底质被覆盖而丧失附着与繁殖场所,鱼类产卵场遭到破坏,种群数量因此持续走低。废弃物分解释放的有毒物质渗入水体后,浮游藻类群落结构发生明显偏移,耐污种大量繁殖而敏感种逐渐消失,水体初级生产力的平衡被打破。重金属通过浮游生物向鱼类体内的生物富集效应在食物链中逐级放大,顶级捕食者体内的污染物浓度可达水体中的数百倍甚至上千倍。水鸟与两栖动物因直接接触受污染水体而出现繁殖成功率下降与畸形率上升,湿地生态系统的物种多样性与功能完整性在固体废弃物的持续干扰下不断退化,水体生态服务功能也随之大幅削弱。

3 固体废弃物污染对大气环境的危害

3.1 固体废弃物堆放过程中产生的气态污染物释放

固体废弃物在露天堆放条件下,内部有机组分经由微生物厌氧分解持续向大气释放多种气态污染物。甲烷作为厌氧发酵的主要产物从堆体大量逸散,温室效应潜

能远超二氧化碳,对全球气候变暖产生显著推动作用^[3]。硫化氢与氨气在有机物腐败阶段集中释放,带有强烈刺激性气味,对周边人群呼吸系统构成直接威胁。挥发性有机物从废弃物表面不断扩散,苯系物与氯代烃参与大气光化学反应后生成臭氧与过氧乙酰硝酸酯等二次污染物,使区域大气氧化性显著增强。填埋气体中还夹杂着二甲基硫醚与甲硫醇等含硫化合物,即便浓度较低也会引发大范围恶臭困扰。堆体内部温度在夏季迅速攀升,化学反应速率加快,气态污染物排放强度呈现明显季节性波动,高温时段排放量可达低温时段数倍,暖季大气环境承压状况尤为严峻。

3.2 固体废弃物焚烧过程中的大气污染

固体废弃物焚烧若缺乏严格尾气净化措施,大气污染物排放问题将十分突出。不完全燃烧条件下,二噁英与呋喃等持久性有机污染物在炉膛低温区发生重新合成,毒性极强且极难降解,可经长距离大气传输后沉降于远离焚烧设施的区域。焚烧烟气中携带的飞灰颗粒附着大量重金属元素,随烟气流向高空后在重力与气象条件综合作用下逐渐扩散沉降,对下风向土壤与水体构成连带污染。氯化氢与二氧化硫在烟气中与水蒸气结合形成酸性气溶胶,随降水回落地面即构成酸雨来源,对植被叶片与建筑外立面产生持续腐蚀。氮氧化物在高温环境中大量生成,参与光化学烟雾形成过程,使城市臭氧浓度在日照强烈时段急剧攀升。重金属汞以气态形式随烟气排出,因高挥发性而难以被常规除尘设备有效捕集,最终进入大气循环系统并在全球范围内重新分配。

3.3 固体废弃物扬尘对大气环境的影响

固体废弃物在堆放、转运与处理各环节均会产生大量扬尘,成为大气颗粒物污染的重要来源。废弃物堆体表面在风力作用下释放出的粗颗粒物携带细菌、真菌孢子与有毒化学物质,随气流扩散至周边居住区后显著拉低空气质量。细颗粒物在干燥季节因表面水分蒸发更易被风力卷起,空气动力学直径小于10微米的可吸入颗粒物能够深入人体呼吸道,引发呼吸系统与心血管系统疾病。扬尘中所含重金属组分经大气传输后沉降于城市绿地与农田,经地表径流冲刷重新进入水循环,形成大气与土壤及水体之间的跨介质污染链条。废弃物运输车辆行驶产生的道路扬尘含有大量微塑料碎片与轮胎磨损颗粒,在交通干道两侧形成明显污染带。建筑垃圾与工业废渣在破碎筛分过程中粉尘浓度极高,若除尘设施运行不畅,作业区域周边总悬浮颗粒物浓度将短时间内飙升甚至严重污染水平。

4 固体废弃物的资源化利用路径

4.1 固体废弃物的物质回收利用

固体废弃物中蕴含大量可被重新利用的物质资源,通过分类收集与精细分选可将有价值组分从混合废弃物中有效剥离^[4]。废纸、废塑料与废金属属于回收率较高的品类,经清洗、破碎与造粒等工序后可直接回用于生产环节,减少对原生资源的开采依赖。废玻璃经分色处理后可重新进入熔炉熔化成型,再生玻璃在节能方面优于原生玻璃制备。废旧纺织品与皮革制品可通过物理开松与化学溶解两种路径实现纤维回收,再生纤维在服装与工业用布领域已具备成熟的应用基础。电子废弃物中贵金属的提取依靠湿法冶金与火法冶金相结合的工艺路线,金、银、钯等高价金属从电路板与连接器中被逐步分离纯化。厨余废弃物中的油脂组分经酯化反应可转化为生物柴油,蛋白质组分则可加工为动物饲料添加剂。物质回收利用的关键在于前端分类的精准度,混合程度越低,后续分选成本越低,再生原料的品质也越接近原生材料标准。

4.2 固体废弃物的能量转化利用

能量转化利用是将固体废弃物中储存的化学能转化为热能或电能的技术路径,适用于热值较高且不易直接回收的废弃物组分。垃圾焚烧发电作为当前应用最广的能量转化方式,通过高温燃烧释放热能驱动汽轮发电机组运行,余热还可用于区域供暖,能源综合利用效率显著高于单纯填埋处置。热解技术在缺氧或无氧条件下将有机废弃物转化为可燃气体、生物油与炭渣三类产物,可燃气体经净化后可直接用于锅炉燃烧或发电。厌氧消化利用微生物在无氧环境中分解有机质,产生以甲烷为主要成分的沼气,沼气经脱硫提纯后可并入天然气管网或用于发电机组供电。废弃生物质与农业残余物可通过气化技术转化为合成气,合成气经催化合成可制备甲醇或二甲醚等液体燃料。能量转化过程需配备完善的烟气净化系统,二噁英与重金属的排放控制是决定技术能否持续运行的核心环节。

4.3 固体废弃物的材料化再生利用

材料化再生利用侧重将固体废弃物转化为可替代天然原料的新型建筑或工业材料,实现废弃物从末端处置

向前端资源化的跨越^[5]。建筑垃圾中的废弃混凝土经破碎筛分后可制备再生骨料,替代天然砂石用于路基填筑与非结构混凝土生产,再生骨料的力学性能经配合比优化后可满足工程使用要求。焚烧飞灰经水洗稳定化处理后可作为水泥生产的辅助原料,重金属被固化于水泥熟料矿物晶格中,环境风险得到有效控制。尾矿与粉煤灰等工业废渣具有火山灰活性,可部分替代水泥熟料制备胶凝材料,降低水泥生产过程中的碳排放强度。废旧轮胎经脱硫粉碎后可作为改性沥青的添加组分,提升路面材料的抗裂性能与耐久年限。污泥经高温干化与碳化处理后可制备土壤改良剂或陶粒,为园林绿化与轻质建材生产提供原料来源。材料化再生利用拓展了废弃物的应用场景,使原本被视为负担的固体废物转变为具有市场价值的二次资源。

结束语

固体废弃物对土壤、水体与大气的危害呈现多介质交叉、多途径叠加的特征,污染治理需从源头减量与末端资源化两个方向协同发力。物质回收、能量转化与材料化再生三条利用路径各有适用场景,技术选型应结合废弃物组分特征与区域环境承载力综合考量。将污染防治与资源化利用纳入统一管理框架,有助于在降低生态环境风险的同时挖掘废弃物的二次资源价值,为生态文明建设与碳中和目标的实现提供有力支撑。

参考文献

- [1]曾雅丽.固体废弃物对土壤生态环境的影响及修复策略分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(19):152-154.
- [2]李传豪,李皓,张奎,等.固体废弃物对生态环境的影响及利用生态环境材料的意义[J].建筑工程与设计,2025,4(6):81-82.
- [3]黄琼,王丽君.环境工程中固体废弃物的处理和污染防治探讨[J].资源节约与环保,2021(6):86-87.
- [4]李轶平.固体废弃物的危害与环保治理技术分析[J].山西化工,2025,45(8):255-256,259.
- [5]高继奎.固体废物污染对环境的危害及其防治对策[J].建筑工程技术与设计,2021(6):2252.