

# 医疗废弃物的闭环处理与安全管控

徐晓静 李 华

中城院(北京)环境科技股份有限公司 北京 100120

**摘要:** 医疗废弃物闭环处理与安全管控是保障公共卫生安全的关键。本文阐述闭环处理体系构建,涵盖核心逻辑与关键模块;分析安全管控技术支撑体系,包括全程追溯、环境风险防控及人员防护技术;探讨闭环处理中的资源化利用路径,涉及可回收物再生、能量回收及边界条件;最后提出安全管控的组织与制度保障措施。通过系统性研究,为医疗废弃物安全、高效处理提供理论支持与实践指导。

**关键词:** 医疗废弃物; 闭环处理; 安全管控; 资源化利用; 应急管理

引言: 医疗废弃物含大量病原体与有害物质,若处理不当将严重威胁生态环境与公众健康。传统处理模式存在流程割裂、风险管控不足等问题,难以满足现代公共卫生管理需求。闭环处理体系通过全生命周期管控,整合分类收集、暂存转运、无害化处理及最终处置等环节,形成物理隔离与流程隔离协同、信息流整合贯穿的双重保障机制。该体系不仅能有效控制交叉污染风险,还可通过资源化利用提升处理效率,是当前医疗废弃物管理领域的重要发展方向。

## 1 医疗废弃物闭环处理体系构建

### 1.1 闭环管理的核心逻辑

医疗废弃物闭环处理体系以全生命周期管控为基石,通过覆盖废弃物产生、分类、暂存、转运、无害化处理及最终处置的全链条,实现风险可控与资源高效利用<sup>[1]</sup>。体系设计强调物理隔离与流程隔离的协同作用:物理隔离通过专用设施与容器阻断废弃物与外界环境的接触,流程隔离则依托标准化操作规范确保各环节独立运行且信息互通。信息流整合是闭环管理的关键纽带,通过数字化技术实现废弃物从源头到终端的动态追踪,确保处理过程透明化、责任可追溯。这种双重保障机制既能防止交叉污染,又能提升应急响应效率,为医疗废弃物安全管控提供系统性解决方案。

### 1.2 闭环系统的关键模块

#### 1.2.1 分类收集模块

分类收集是闭环体系的起点,需建立基于废弃物危害特性的源头分类标准。感染性废弃物与损伤性废弃物须严格区分,化学性废弃物需根据成分进一步细分。操作规范需明确分类流程、人员职责及容器的使用条件,例如锐器应直接弃置于防穿刺容器,避免二次分拣风险。专用容器设计需兼顾功能性与安全性,采用耐腐蚀、防渗漏材料,并设置可视化标识系统,通过颜色、图案及文

字组合区分废弃物类型。标识信息应包含废弃物类别、产生科室及收集时间,为后续环节提供基础数据支持。

#### 1.2.2 暂存与转运模块

暂存场所选址需远离医疗区、生活区及环境敏感点,并满足通风、防渗、防火等要求。设施配置应包括独立隔间、消毒设备及应急收集装置,定期进行环境监测与消毒维护。转运工具设计以密封性为核心,采用双层结构与防泄漏密封条,配备定位追踪装置实时监控运输路径。车辆内部应设置分区存放架,避免不同类型废弃物混装,运输完成后需立即进行清洗消毒,防止残留物引发次生风险。

#### 1.2.3 无害化处理模块

无害化处理技术选择需匹配废弃物特性。高温蒸汽灭菌适用于耐高温的感染性废弃物,通过高温高压破坏微生物结构;化学消毒针对液体或小件废弃物,需根据病原体类型选择适宜消毒剂并控制作用时间;焚烧技术可彻底分解有机物,但需配备尾气净化系统控制二噁英等污染物排放。二次污染防控是处理环节的重点,需对废气、废水及残渣进行专项处理,例如焚烧灰渣需经稳定化处理安全填埋,防止重金属渗入土壤。

#### 1.2.4 最终处置模块

最终处置方式需综合评估环境风险与资源价值。填埋处置应选择地质稳定区域,设置防渗层与监测井,定期检测地下水水质;资源化利用需满足技术可行性条件,例如金属类废弃物经熔炼提纯后可回用于工业生产。处置后需建立长期环境监测机制,对土壤、水体及空气进行定期采样分析,确保处置活动未对周边环境造成长期影响。

## 2 安全管控的技术支撑体系

### 2.1 全程追溯技术

全程追溯技术通过电子标签与物联网技术的深度融

合,实现医疗废弃物全生命周期的动态追踪。电子标签采用耐腐蚀、耐高温材料制成,可承受处理环节中的极端环境,确保信息标识的持久性<sup>[2]</sup>。物联网技术依托无线传感网络,将废弃物产生、分类、暂存、转运及处置各环节的数据实时上传至云端平台,形成不可篡改的电子记录。数据采集系统涵盖重量、时间、位置等多维度信息,通过智能算法分析废弃物流向,识别潜在风险点。实时监控平台整合地理信息系统与视频监控功能,对转运车辆路径、暂存场所环境参数进行可视化展示,管理人员可随时调取数据并下达指令。异常情况预警机制基于预设阈值自动触发,例如转运超时、温度异常或容器破损时,系统立即向责任人推送警报信息,并启动应急响应流程,确保风险得到及时处置。

## 2.2 环境风险防控技术

环境风险防控技术聚焦废气、废水、废渣的协同处理,构建多级屏障体系。废气处理采用“喷淋吸收+活性炭吸附+紫外光解”组合工艺,先通过碱性溶液中和酸性气体,再利用活性炭捕集挥发性有机物,最后用紫外光分解残留污染物,确保排放达标。废水处理设置分级沉淀池与膜生物反应器,通过物理截留与生物降解去除重金属及有机物,处理后的中水回用于冲洗或绿化。废渣处理根据成分差异选择稳定化或固化技术,含重金属废渣添加螯合剂降低迁移性,有机废渣经高温焚烧后灰渣用于建材生产。微生物气溶胶扩散抑制技术通过负压环境与高效过滤装置实现,暂存场所安装定向排风系统,确保空气流向从清洁区向污染区流动,配合紫外线循环消毒降低空气中病原体浓度。应急处理设备包括移动式消毒装置、吸附材料及防化服,操作规范明确设备启用条件、使用方法及维护周期,确保突发事件中可快速投入使用。

## 2.3 人员防护技术

人员防护技术依据风险等级实施分级配置策略。高风险区域作业人员配备正压式呼吸器、防穿刺手套及全封闭防护服,中风险区域使用N95口罩与防化围裙,低风险区域采用普通医用口罩与工作服。防护装备材料需通过抗渗透、阻燃等性能测试,确保在接触化学消毒剂或高温环境时仍能提供有效保护。操作流程标准化设计将关键步骤分解为可视化指南,例如分类收集环节设置颜色编码容器与图文标识,转运环节规定车辆装载顺序与固定方式,减少人为失误导致的暴露风险。自动化技术应用进一步降低人员接触概率,例如采用机械臂完成锐器分拣,通过传送带实现废弃物密闭运输。职业暴露应急处理流程明确冲洗、消毒、报告及随访等环节,暴露

后立即用流动清水冲洗污染部位,根据污染物类型选择中和剂,随后上报安全管理部门并接受医学观察,确保风险得到全程管控。

## 3 闭环处理中的资源化利用路径

### 3.1 可回收物的分离与再生

医疗废弃物中塑料、金属等可回收材料的资源化利用需依托精细化分选与提纯技术。塑料类废弃物需通过密度分选、近红外光谱识别等技术实现不同材质的分离,例如聚丙烯(PP)与聚乙烯(PE)的区分需结合熔融指数检测与机械分选设备;金属类废弃物则需采用磁选与涡电流分选技术,针对不锈钢、铝等不同金属特性设计分选流程<sup>[3]</sup>。提纯环节需通过多级破碎、清洗与干燥工艺去除污染物,例如塑料需经高温清洗去除有机残留,金属需通过酸洗或电解抛光去除表面氧化层。再生材料的质量标准需明确物理性能与化学安全性指标,如再生塑料需满足拉伸强度、耐热性等工业要求,同时需通过重金属迁移量检测确保符合食品接触材料安全规范;再生金属需达到原生金属的纯度标准,并通过光谱分析验证成分均匀性。安全认证体系需覆盖生产全流程,包括原料溯源、加工过程监控与成品抽检,确保再生材料在医疗设备包装、非接触类器械等场景的合规应用。

### 3.2 能量回收的可行性研究

焚烧热能利用是医疗废弃物能量回收的主要方式,需通过高温焚烧炉实现完全燃烧,炉膛温度需控制在850℃以上以分解二噁英等有害物质,余热锅炉与汽轮机组成的发电系统可将热能转化为电能,供医院或周边社区使用。排放控制需配备布袋除尘、湿法脱酸与活性炭吸附装置,确保颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等污染物浓度低于国家标准。生物质能转化技术面临预处理成本高、反应效率低等瓶颈,需通过酶解与热化学联用技术提升转化率,例如采用蒸汽爆破预处理破坏木质素结构,结合厌氧发酵或气化工工艺生产沼气或合成气。突破方向包括开发耐高温耐腐蚀的催化剂、优化反应器设计以强化传质传热过程,以及构建微生物菌群协同作用体系提高产气稳定性。

### 3.3 资源化利用的边界条件

感染性风险控制是资源化利用的核心前提,需建立风险分级管理制度,对含病原体的废弃物严格禁止能量回收,对低风险废弃物采用高温灭菌或化学消毒预处理。经济效益评估需综合考虑处理成本、再生材料市场价值与政策补贴,例如塑料再生需平衡分选设备投资与成品售价,能量回收需核算焚烧设施运维费用与电力销售收益。公众接受度受安全认知与文化习惯影响,需通过科

普宣传消除对再生材料的偏见，比如展示再生塑料应用于医疗器械包装的实际案例，着重说明这类材料在投入使用前，均历经一系列严格检测流程，各项指标均符合安全标准，以此凸显其可靠性。社会责任考量要求企业公开处理流程与环境监测数据，接受第三方审计与社区监督，同时参与行业标准制定推动技术规范化发展。

#### 4 安全管控的组织与制度保障

##### 4.1 跨部门协同机制

医疗废弃物安全管控需构建卫生、环保、交通等多部门协同治理框架。卫生部门负责废弃物分类标准制定与感染性风险评估，需明确医疗机构内部收集、暂存的操作规范，并定期开展医疗场所废弃物管理合规性检查；环保部门承担处理设施监管职责，需审核无害化处理技术路线，监测处理过程中的污染物排放，并对违规处置行为实施行政处罚；交通部门负责废弃物转运环节的运输资质审核与路线规划，需确保专用车辆符合密闭运输要求，并协调处理跨区域转运中的衔接问题<sup>[4]</sup>。信息共享机制需依托统一数据平台实现部门间实时数据交互，涵盖废弃物产生量、处理进度、环境监测结果等关键信息，避免因信息滞后导致的监管盲区。联合执法流程设计需明确各部门在现场检查、证据固定、处罚决定等环节的分工，例如卫生部门主导感染性废弃物处置情况核查，环保部门负责处理设施运行状态评估，交通部门核查运输车辆合规性，最终形成联合执法报告作为处罚依据。

##### 4.2 人员培训与能力建设

分层级培训体系需针对管理者、操作员、监督员三类人群设计差异化课程。管理者培训侧重政策法规解读与管理体系构建，内容涵盖医疗废弃物管理条例、风险评估方法及应急预案制定，通过案例研讨提升决策能力；操作员培训聚焦实际操作技能，包括分类收集工具使用、暂存场所消毒规范、个人防护装备穿戴与脱卸流程，需通过模拟操作考核确保技能达标；监督员培训强调监管标准与执法程序，涉及废弃物处理全流程合规性检查要点、违法行为认定依据及行政处罚流程，需通过案例分析提升执法精准度。技能考核需建立标准化评估体系，理论考试覆盖法规知识、操作规范等内容，实操考核设置分类准确率、消毒效果检测等指标，未达标人员需参加补考直至合格。持续教育机制需结合行业技术更新与政策

调整，定期组织专题讲座与技能复训，例如新型处理技术推广时开展设备操作培训，法规修订后组织条款解读学习，确保人员能力与治理需求动态匹配。

##### 4.3 应急管理体系

突发事件分级响应预案需根据泄漏规模、火灾等级等要素划分响应级别。小型泄漏事件由医疗机构内部应急小组处置，启动现场封锁、污染物收集与场地消毒流程；中型泄漏需联合环保部门开展环境监测，评估污染扩散范围并实施区域隔离；大型泄漏或火灾需启动多部门联合响应，消防部门负责火势控制，环保部门监测空气与水质，卫生部门组织人员疏散与健康筛查。应急物资储备需涵盖防护装备、吸附材料、消毒药剂等品类，防护服、护目镜等个人防护用品需按最大处置需求量的1.2倍储备，吸附棉、中和剂等应急材料需定期检查有效期并及时更新。演练频率要求明确不同级别预案的演练周期，医疗机构需每季度开展小型泄漏处置演练，每年组织包含多部门协同的中型演练，政府层面需每两年开展覆盖全流程的大型综合演练，通过实战化训练检验预案可行性并优化响应流程。

##### 结束语

医疗废弃物闭环处理与安全管控，是保障公共健康与生态安全的关键环节。通过全生命周期管理体系构建、技术支撑体系强化及组织制度保障完善，可实现风险防控与资源利用的双重目标。资源化利用路径的探索需平衡感染性风险与经济效益，公众接受度与社会责任履行是推动技术落地的核心动力。唯有持续优化处理技术、完善监管机制并提升社会认知，方能构建高效、安全、可持续的医疗废弃物治理模式，为公共卫生安全与生态文明建设提供坚实支撑。

##### 参考文献

- [1]王孔晖,黄海斌,杨成才.医疗废弃物智能化管理的探索[J].中国信息界,2024,(04):211-213.
- [2]张慧,马聪,高萌.塑料医疗废弃物的循环利用[J].塑料助剂,2024,(05):65-68.
- [3]陈华.宠物诊疗机构医疗废弃物处理的法规探讨[J].中国畜禽种业,2021,17(9):35.
- [4]徐春方,平然,陈荣杰.黄河流域医疗废弃物处理问题与对策研究[J].再生资源与循环经济,2025,18(1):1-4.