

医疗废物焚烧 技术基础

王华 卿山 著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

医疗废物焚烧技术基础

王华 卿山 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2007

内 容 提 要

本书介绍了一种新型的医疗废物焚烧技术——集成式医疗废物焚烧技术,作者在理论研究和试验结果的基础上,对该技术做了综合阐述。全书共7章,主要内容包括:医疗废物焚烧过程动力学,医疗废物快速焚烧试验,医疗废物焚烧过程数值模拟,医疗废物焚烧过程脱氯脱硫机理研究,医疗废物焚烧过程清洁排放以及医疗废物焚烧环境负荷评价等内容。

本书可供能源工程、热能工程、环境工程等相关部门的技术人员和高等院校相关专业的师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

医疗废物焚烧技术基础/王华等著. —北京:
冶金工业出版社,2007.1

ISBN 978-7-5024-4201-9

I. 医… II. 王… III. 医院—废物处理
IV. X799.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 006991 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 杨 敏 谭学余 美术编辑 李 心

责任校对 朱 翔 李文彦 责任印制 丁小晶

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2007 年 1 月第 1 版,2007 年 1 月第 1 次印刷

850 mm×1168 mm;1/32;6.375 印张;168 千字;190 页;1-2500 册

18.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

医疗废物携带大量病毒、病菌,具有空间传染、急性传染、交叉传染和潜伏传染等危险特征,是一种对生态环境和人体健康危害极其严重,管理和治理难度很大的危险固体废物。规模小、分布广的中小医院、卫生院等医疗机构的医疗废物无害化处理,一直是急需解决的难点和热点。目前,医疗废物处理方法主要有消毒灭菌法、卫生填埋法和焚烧法三种,而焚烧法具有杀毒灭菌彻底、减容率高、处理量大、稳定性好等优点,是当前我国医疗废物处理的首选方法。

为了掌握医疗废物焚烧特性和规律,为医疗废物焚烧装置的设计与运行提供依据,笔者首先对最基本的医疗废物典型组分进行了焚烧动力学试验。试验结果表明,医疗废物焚烧过程可分为干燥脱水、挥发分析出与燃烧、过渡阶段、固定碳表面燃烧四个阶段;试验得到了各组分和部分混合组分的一级反应动力学方程和动力学参数,为集成式医疗废物焚烧炉的设计建立了动力学模型。

快速焚烧是医疗废物投入高温焚烧炉燃烧室所表现出来的焚烧行为,它对人们认识焚烧炉内焚烧反应和焚烧过程,掌握医疗废物焚烧设备的设计与运行,减少有害污染物的产生,评价焚烧设备的性能,有着重要的意义。由试验可知,焚烧炉炉温越高,医疗废物的挥发分析出量越大,焚烧的时间越短;医

疗废物水分含量越高,析出并焚烧的时间越长。

针对中小城市医疗废物产量小、分散广的特点,结合国外先进技术及发展趋势,笔者提出了“集成式医疗废物焚烧技术”,并针对 1.5 t/d 集成式医疗废物焚烧炉进行了数值模拟。比较计算结果与试验结果可知,焚烧炉内温度场分布和污染物排放的计算值和实测数据都基本吻合,表明所建立的数学模型能比较准确地描述集成式医疗废物焚烧炉内的焚烧情况,是比较可靠的。数值模拟也为焚烧炉设计和优化提供了帮助。

医疗废物焚烧过程中会释放 HCl 和 SO_2 等酸性气体,因此需对 HCl 与 SO_2 进行脱除。在小型固定床上进行了医疗废物中氯的析出试验,得知医疗废物焚烧中氯主要以 HCl 的形式析出。空气流速、温度和水蒸气都直接影响着氯的析出。

从吸收剂脱氯的热力学计算看出,在焚烧过程中加入吸收剂脱氯,钙基吸收剂的脱氯效率明显高于镁基吸收剂。小型固定床中的脱氯试验,证明了热力学的计算结果。试验表明,最佳的 Ca/Cl 比应控制在 2.5~3 之间,水蒸气的参与能提高脱氯率, CO_2 的参与则会降低脱氯效果。

从脱硫热力学计算和试验得出,CaO 吸收剂是脱硫效果最好的吸收剂。温度、吸收剂粒径、Ca/S 是影响焚烧过程脱硫的主要因素。在 1.5 t/d 集成式医疗废物焚烧装置中进行的“炉内喷钙脱氯脱硫”工业性试验表明:当 $\text{Ca}/(\text{S} + \text{Cl}) = 3$ 时,焚烧炉炉温控制在 $800 \sim 900^\circ\text{C}$,有较高的脱氯脱硫率。

利用病毒病菌检测、SEM、XRD、EDS、激光粒度分析仪、色谱-质谱联用仪、化学分析法、原子吸收光谱等先进的分析手

段,对 1.5 t/d 集成式医疗废物焚烧装置的灰渣和烟气进行了详尽的检测和分析。结果表明,焚烧灰渣中的病菌病毒被全部杀死,焚烧完全;飞灰的颗粒尺寸主要分布在 50~500 μm ,炉渣的尺寸分布为 100~10000 μm ;灰渣的元素分布为难挥发的元素在炉渣中分布较多,易挥发的元素则主要分布在飞灰中;SEM 形貌观察发现飞灰的孔隙率高,是由于飞灰经受烟气二次焚烧的高温所致;XRD 分析显示医疗废物焚烧飞灰和炉渣的主要成分基本一致,含有氧、硅、钙、铁、硫、氯等元素,主要是 $\alpha\text{-SiO}_2$, $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$, CaCl_2 , CaSO_4 等矿物相;EDS 结果与化学分析、SEM 形貌观察和 XRD 晶相分析结果可互为印证。虽然灰渣浸出的重金属含量远远低于国家标准,但其仍属危险废物,必须经固化处理后方可填埋;对灰渣吸附的有机物的分析结果显示,炉渣中二噁英毒性相对浓度最大的 PCDDs 是 2,3,7,8-PCDDs,为 0.504 ng/g;飞灰中二噁英毒性相对浓度最大的 PCDDs 是 2,3,7,8-TCDDs,为 0.122 ng/g;烟气中的 PCDDs 和 PCDFs 分析得知,它们在烟气中的含量较少,在烟尘中含量较多,因此在收集处理烟尘时,应该多考虑烟尘的收尘效率。以上结果表明:集成式医疗废物焚烧装置的灰渣和烟气的排放达到了清洁排放的要求,实现了清洁排放。

环境负荷评价可以对医疗废物收集、运输、管理、焚烧等过程进行评价,从而设计、选择适合当地条件的医疗废物管理与焚烧方式,并对医疗废物进行全过程管理。环境负荷评价结果显示,昆明市医疗废物焚烧处理总成本为 1.37 元/(人·年)(即 1.2 元/kg 医疗废物),总能耗为 99.6 MJ/(人·年)(即

88.1 MJ/kg 医疗废物),环境影响潜力为 3.96×10^{-4} 。焚烧医疗废物可以在短时间内将病毒病菌彻底杀死,实现医疗废物的无害化、减量化,减轻了医疗废物的环境负荷;同时,焚烧医疗废物还可以回收利用热量,实现医疗废物的资源化利用。医疗废物焚烧过程中产生的 CO_2 、 NO_x 、 SO_2 、 HCl 等气体和二噁英类有毒物质,造成了全球变暖、酸化、光化学臭氧合成和生态毒性的环境影响。因此,必须采取有效措施,减少酸性气体及二噁英类有害气体的排放。焚烧会让重金属以气态形式随烟气排放,因此,必须采用高效的净化除尘技术对其进行捕集,并将捕集下来的飞灰和炉渣进行固化填埋处理,以此控制重金属的排放,减少它的环境负荷。

本书是云南省科技攻关项目“强传染性医疗废物焚烧技术及成套化焚烧设备的研发”(项目编号:2003CX01)和昆明理工大学基金项目“强传染性医疗废物焚烧炉的研发”(项目编号:200305)资助的研究成果之一,在此感谢云南省科技厅和昆明理工大学的大力支持。在本书的编写过程中,还得到了昆明理工大学环境调和型能源新技术研究所全体同仁的支持和帮助,在此向他们表示由衷的谢意。

由于作者水平有限,书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者
2006 年 9 月

目 录

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 医疗废物的环境污染	4
1.2.1 医疗废物对环境的污染	4
1.2.2 医疗废物对人体健康的影响	7
1.3 医疗废物处理方法	13
1.3.1 医疗废物处理原则	13
1.3.2 医疗废物处理技术	13
1.4 医疗废物处理技术发展动态	17
1.4.1 国内外医疗废物处理技术	17
1.4.2 集成式医疗废物处理技术	25
1.4.3 医疗废物处理的环境负荷评价	26
2 医疗废物焚烧过程动力学	29
2.1 引言	29
2.2 医疗废物焚烧过程动力学试验	29
2.3 试验结果与讨论	31
2.3.1 医疗废物焚烧过程	36
2.3.2 着火温度	37
2.3.3 着火性能指数	38
2.3.4 混合物焚烧特性	39
2.3.5 水分和升温速率对焚烧过程的影响	40
2.3.6 医疗废物焚烧动力学模型	44
3 医疗废物快速焚烧试验	47
3.1 引言	47

3.2 试验	47
3.2.1 试样及仪器	47
3.2.2 试验方法及条件	49
3.2.3 数据计算	49
3.3 试验结果与讨论	49
3.3.1 温度对医疗废物快速焚烧的影响	49
3.3.2 医疗废物类型对医疗废物快速焚烧的影响	51
3.3.3 挥发分对医疗废物快速焚烧的影响	54
3.3.4 水分对医疗废物快速焚烧的影响	54
3.3.5 快速焚烧底渣 SEM 分析	57
3.3.6 快速焚烧与慢速焚烧的区别	59
4 医疗废物焚烧过程数值模拟	61
4.1 引言	61
4.2 模拟对象和网格处理	63
4.3 医疗废物焚烧过程	64
4.3.1 水分蒸发过程	64
4.3.2 挥发分挥发过程	65
4.3.3 挥发分燃烧过程	65
4.3.4 固定碳的燃烧过程	66
4.3.5 固体颗粒物理特性	66
4.3.6 混合物特性	67
4.4 医疗废物焚烧过程数学模型	68
4.4.1 气相控制方程	68
4.4.2 固相控制方程	70
4.4.3 湍流模型	71
4.4.4 焚烧模型	71
4.4.5 辐射模型	73
4.4.6 计算方法	75
4.4.7 数学模型及试验验证	76

4.5 医疗废物焚烧过程计算结果与分析	79
4.5.1 边界条件	79
4.5.2 工况 1 模拟情况	80
4.5.3 工况 2 下模拟情况	84
4.5.4 工况 3 模拟情况	87
5 医疗废物焚烧过程脱氯脱硫机理和试验	92
5.1 引言	92
5.1.1 氯乙烯等有机氯化物焚烧产生氯化氢	93
5.1.2 氯化钠、氯化钾等无机氯化物焚烧产生氯化氢	93
5.2 医疗废物焚烧过程中氯的析出试验	95
5.2.1 样品制备与试验方法	95
5.2.2 结果与讨论	96
5.3 医疗废物焚烧过程脱氯机理与试验	101
5.3.1 脱氯热力学与吸收剂选择	101
5.3.2 试验方法	105
5.3.3 结果与讨论	106
5.4 医疗废物焚烧过程脱硫机理与试验	112
5.4.1 脱硫热力学	112
5.4.2 试验方法	117
5.4.3 结果和分析	118
5.5 医疗废物焚烧过程脱氯脱硫的工业性试验	121
5.5.1 试验主要设备和原料	121
5.5.2 试验方法	123
5.5.3 试验结果与讨论	124
6 医疗废物焚烧过程清洁排放	128
6.1 引言	128
6.2 集成式医疗废物焚烧炉简介	129
6.2.1 焚烧工艺	129

6.2.2 集成式医疗废物焚烧炉	131
6.2.3 焚烧稳定的关键因素	132
6.3 医疗废物焚烧的清洁排放	135
6.3.1 焚烧灰渣清洁排放	135
6.3.2 焚烧烟气清洁排放	150
7 医疗废物焚烧环境负荷评价	153
7.1 前言	153
7.1.1 LCA 研究方法	153
7.1.2 LCA 在固体废弃物上的应用	158
7.2 医疗废物焚烧处理环境负荷评价	160
7.2.1 研究目标与功能单位	161
7.2.2 环境参数表征	161
7.2.3 系统边界	161
7.2.4 清单分析(Life cycle inventory, 简称 LCI)	162
7.2.5 医疗废物焚烧环境负荷影响评价	176
参考文献	181

1 绪 论

1.1 引言

随着生活水平提高,医学的快速发展及一次性医疗用品的普及,医疗废物不断增加,已经成为医院和社会环境公害源,引起各国政府的普遍重视。据卫生部统计^[1],2001年,全国共有320万张病床,年诊疗21.23亿人次,按每日每床产生医疗废物0.8 kg计算,每年产生医疗废物93万t左右,并且医疗废物产量以每年8%的速度递增。而2003年初的SARS在我国爆发,更让公众及政府深切感受到医疗废物无害化处理的紧迫性。

医疗废物是指“城市、乡镇中各类医院、卫生防疫、病员疗养、畜禽防治、医学研究及生物制品等单位产生的废弃物”^[2],具体指医疗机构、预防保健机构、医学教育机构等卫生机构在医疗、预防、保健、检验、采供血、生物制品生产、科研活动中产生的对环境对人体造成危害的废物。它包括《国家危险废物名录》所列的HW01医院临床废物、如手术、包扎残余物;生物培养、动物试验残余物;化验检查残余物;传染性废物;废水处理污泥等;HW03废药物、药品,如积压或报废的药品(物);HW16感光材料废物,如医疗院所的X光和CT检查中产生的废显(定)影液及胶片。国家已明确规定医疗废物为危险废物。

医疗废物是具有传染性的危险废物,其传染性根据废物的产生源不同而不同。根据卫生部疾病控制司发布的《1995年中国疾病检测年报》中“全国疾病检测系统甲、乙、丙类法定报告传染病估计发病率”数据,累计估计发病率占总发病率97%以上的包括:甲、乙类为痢疾,肝炎,淋病,伤寒,出血热,麻疹等;丙类为感染性腹泻、腮腺炎、肺结核、流感、急性结膜炎等共11类。依此作为依

据,可认为医疗废物主要携带的传染病菌种类是引起上述传染性疾病的微生物种类,具有传染期长、传播面广、危害性大等特点。

按照来源和特性,医疗废物一般可分为如下 7 种:

I 类 - 传染性废物

带有传染性和潜在传染性的废物(不包括锐器)主要包括:

(1) 受到污染的外科手术废物,如床单、手套、擦布及治疗区内其他污染物,与血及伤口接触的石膏、绷带、衣服及用以清洁身体的洗涤废液或血液的物品;

(2) 来自传染病患病区的污物,医疗废物及患者的活检物质、粪尿、血、剩余菜饭、果皮等生活废物;

(3) 病理性废物,包括手术切除物、人体组织、器官、肢体、胎盘、胚胎、试验动物尸体组织及相关物质;

(4) 试验室产生的废物,包括病理性的、血液的、微生物的、组织的废物等,如血尿、粪、痰、培养基等。太平间的废物以及其他废物。

II 类 - 锐器

主要是用过废弃的或一次性的注射器,针头,玻璃,解剖锯片,药盒,解剖刀和手术刀片及其他可能引起切伤刺伤的器物。

III 类 - 药物废物

主要是过期或废弃的药品、疫苗、血清,从病房退回的药品和淘汰的药物等。

IV 类 - 细胞毒废物

包括过期的细胞毒药物,在准备、转运或应用细胞毒药物治疗时被细胞毒药物污染的相关物质,如镊子、试管、手巾、锐器等。细胞毒药物最常用于治疗癌症病人的肿瘤或放射治疗病房,在其他病房的应用量也有增加的趋势。细胞毒药物大多为静脉注射或输液给药,有些为口服片、胶囊或混悬液。人们与其接触的主要机会是药物准备与注射过程,因为它可能是冷冻物质或粉剂,需与其他溶液混合;还可以通过打开胶囊等途径接触。

动物试验表明,许多高剂量的细胞毒物都是致癌与致突变的,有的还有致畸作用,许多有强刺激作用,接触皮肤与眼睛后能产生

局部伤害。细胞毒物进入人体的途径有:吸入途径,但处理不当可形成气溶胶或灰尘污染;通过消化道摄入途径;接触皮肤途径,这种途径除局部反应外,有些还可能被吸收,不易洗掉。

细胞毒废物属于高危险性废物,在医疗卫生机构内部和处置后都会引起严重的安全问题。

V类—化学性废物

主要来自临床试验室或相关地方,如诊断与试验工作、清洁与消毒过程等。有固体、液体、气体等形态。可将其分为有危害的和无危害的两类。

有危害性化学废物包括:有毒、具有腐蚀性(如酸、碱等)、易燃易爆等物质。具体在医院产生的有危害性的化学废物是:(1)甲醛(福尔马林);(2)洗相用的化学品:定影液和显影液中含有的银、戊二醛、醋酸、米吐尔等;(3)溶剂:如氯仿、三氯乙烯、三氯甲烷、氟里昂及其他溶剂(乙醇、异丙醇、甲醇、丙酮及硝基丙酮等);(4)氧化乙烯(常用于消毒医疗器械,无色无味,但可引起一系列中毒反应,可能致癌,氧化乙烯废物都会排入大气中);(5)其他化学废物,包括消毒剂、清洁剂及废油清洗剂等。

VI类—放射性废物

包括体外分析用、体内显影用、肿瘤定位或治疗用的放射性核污染的固体、液体及气体废物。固体有:盛装放射性同位素或接触放射性物质的药水瓶、注射器、玻璃器皿、吸湿纸、试纸等;液体有:剩余的同位素药物、病人的尿液及其他分泌物,用于放射免疫的闪烁液;气体有: ^{85}Kr 、 ^{133}Xe 等。

VII类—废物压力容器

主要有气缸、气罐等。

被污染的利器,特别是注射器针头和病原体富集物品,对人体健康威胁最大。不仅可以引起物理伤害,而且有可能感染伤口。废弃的利器被列为最危险的废物之一。注射器针头常被病人的血液污染,由于其在利器中数量最大,与人群的接触最多,因此受到普遍的关注。

1.2 医疗废物的环境污染

1.2.1 医疗废物对环境的污染

医疗废物的毒性(浸出毒性、急性毒性和其他毒性)、腐蚀性、可燃性、反应性等其他危害特性都会对自然环境造成直接负面影响。它属于危险废物。

医疗废物的危害特性也表现为短期的急性危害和长期的潜在性危害,短期的急性危害主要指急性中毒等,长期的潜在性危害主要指慢性中毒、致癌、致突变、污染地面或地下水等。这些危害中与安全相关的性质有腐蚀性、可燃性、反应性;与健康相关的性质有致癌性、传染性、刺激性、突变性、毒性、放射性、致畸变性。

医疗废物中有毒物质不仅能造成直接的危害,还会在土壤、水体、大气等自然环境中迁移、滞留、转化,污染土壤、水体、大气等人类赖以生存的生态环境,从而最终影响到生态环境^[3,4]。

1.2.1.1 对土壤的污染

医疗废物伴随医疗服务过程而发生,如处置不当,任意露天堆放,不仅占用大量的土地,导致可利用土地资源的减少,而且大量的有毒废渣或废液在自然界到处流放,很容易就接触到土壤,有的医疗卫生机构甚至将医疗废物简单掩埋,这对土壤的污染则是非常大的。而医疗废物的有毒物质一旦进入土壤,会被土壤所吸附,对土壤造成污染,杀死土壤中的微生物和原生动物,破坏土壤中的微生态,反过来又会降低土壤对污染物的降解能力;其中的酸、碱和盐类等物质会改变土壤的性质和结构,导致土壤酸化、碱化、硬化,影响植物根系的发育和生长,破坏生态环境;同时,许多有毒的有机物和重金属会在植物体内积蓄,人体吸入后,对肝脏和神经系统会造成严重损害,诱发癌症和使胎儿畸形。

1.2.1.2 对水域的污染

医疗废物可以通过多种途径污染水体,如可随地表径流进入河湖泊,或随风迁徙落入水体,特别是当医疗废物露天放置或者混

人生活废物露天堆放时,有害物质在雨水作用下,很容易流入江河湖海,造成水体的严重污染与破坏。最为严重的是有些医疗卫生机构甚至将医疗废物直接倒入河流、湖泊或沿海海域中,造成更大污染。其中的有毒有害物质进入水体后,首先会导致水质恶化,对人类饮用水安全造成威胁,危害人体健康;其次会影响水生生物正常生长,甚至会杀死水中生物,破坏水体生态平衡;医疗废物中往往含有重金属和人工合成的有机物,这些物质大都稳定性极高,难以降解,水体一旦遭受污染就很难恢复;对于含有传染性病原菌的医疗废物,一旦进入水体,将会迅速引起传染性疾病的快速蔓延,后果不堪设想。许多有机型的医疗废物长期堆放后也会和城市废物一样产生渗滤液。渗滤液危害众所周知,它可进入土壤使地下水受污染,或直接流入河流、湖泊和海洋,造成水资源的水质型短缺。

1.2.1.3 对大气的污染

医疗废物在堆放过程中,在温度、水分的作用下,某些有机物质发生分解,产生有害气体;有些医疗废物本身含有大量的易挥发的有机物,在堆放过程中还会自燃,放出 CO_2 、 SO_2 等气体,不仅污染环境,而且火势一旦蔓延,则难以救护;以微粒状态存在的医疗废物,在大风吹动下,将随风飞扬,扩散至远处,既污染环境,影响人体健康,又会玷污建筑物、花果树木,影响市容与卫生,扩大危害面积与范围;此外,医疗废物在运输与处理的过程中,如不采用严格的封闭措施,产生的有害气体和粉尘也是十分严重的。扩散到大气中的有害气体和粉尘不但会造成大气质量的恶化,而且一旦进入人体和其他生物群落,还会危害到人类健康和生态平衡。

1.2.1.4 危险废物中有害物质的物理、化学和生物转化

医疗废物对健康和环境的危害除了和有害物质的成分、稳定性有关外,还和这些物质在自然条件下的物理、化学和生物转化规律有关。

(1) 物理转化。自然条件下医疗废物的物理转化主要是指成分相的变化,而相变化中最主要的形式就是污染物由其他形态转化为气态,进入大气环境。气态物质产生的主要机理是挥发、生物

降解和化学反应,其中挥发是最主要的,属于物理过程。挥发的数量和速度同污染物的相对分子质量、性质、温度、气压、比表面积、吸附强度等因素有关。通常低分子有机物在温度较高、通风良好的情况下较易挥发,因而挥发是医疗废物污染大气的主要途径。

(2) 化学转化。医疗废物的各种组分在环境中会发生各种化学反应而转化成新的物质,这种化学转化有两种结果:一是理想情况下,反应后的生成物稳定、无害;二是反应后的生成物仍然有毒有害,比如不完全燃烧后的产物,不仅种类繁多,而且大都是有害的,甚至某些中间产物的毒性还大大超过原始污染物(如无机汞在环境中会转化成毒性更大的有机汞等),这也是医疗废物越来越被关注的原因之一。在自然环境中,除反应性物质外,大多数医疗废物的稳定性很强,化学转化过程非常缓慢,因此,要通过化学转化在短时间内实现医疗废物的稳定化、无害化必须采用人为干扰的强制手段,比如焚烧法。

(3) 生物转化。除化学反应外,医疗废物裸露在自然环境中,在迁移的同时还会和土壤、大气和水环境中的各种微生物及动植物接触,这就给医疗废物的生物转化创造了条件。医疗废物中的铬、铅、汞等重金属单质和无机化合物可能被生物转化成一些剧毒的化合物,例如在厌氧条件下,会产生甲基汞,二甲硒等剧毒化合物;温度计中的汞被释放出来,在厌氧条件下,经过几年就会发生汞的生物转化。医疗有机物同样如此,但是降解速率很慢。可生物降解的化合物在降解过程中往往会经历以下一个或多个过程:氨化和酶的水解、脱羧基作用、脱氨基作用、脱卤作用、酸碱中和、羟基化作用、氧化作用、还原作用、断链作用等。这些作用多数使原化合物失去毒性,但也不排除产生新的有毒化合物的可能,有些产物可能会比原化合物毒性更强。

(4) 化学和生物转化的协同作用。除了化学和生物转化,某些医疗废物的转化是化学与生物转化共同作用的结果。它们在转变过程中既有化学作用又有生物作用,两者相互协同,共同作用,缺一不可。