

医疗废物安全处理技术优选方法

周丰¹, 刘永¹, 郭怀成^{1*}, 王丽婧²

(1. 北京大学环境学院, 北京 100871; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:从医疗废物的产生量、特性和处理要求出发, 定性分析了各类处理技术的优缺点和适宜性, 并初步筛选出 4 类可行技术: 高温处理法、高压蒸汽灭菌法、微波灭菌法和化学消毒法, 结合我国处置现状、经济水平、政策导向和国际趋势等因素, 基于 AHP 方法建立了“4 层-13 指标-4 方案”层次决策模型, 对 4 项处理技术进行了定量评估, 并以杭州市医疗废物安全处置项目为例进行验证, 其结果显示高温处理法为此项目的最佳选择. 对所建立的医疗废物安全处理技术优选方法体系进行了总结. 实例研究证明, 该体系可为医疗废物安全处理技术选择提供决策支持.

关键词: 医疗废物; 优选方法; 处理技术; 层次分析法

中图分类号: X321 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)06-1252-05

Optimal Selection Method of Technologies of Medical Wastes Treatment

ZHOU Feng¹, LIU Yong¹, GUO Huaicheng¹, WANG Lirjing²

(1. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: This paper investigate the medical wastes (MW) definition, production, characteristics and technical requirements, which is decisive for properly selecting methods for medical wastes treatment (MWT). Base on this, the advantages/disadvantages and adaptation of various treatment options are qualitatively analyzed and broadly compared. Then, four kinds of technologies, namely the thermal treatment, autoclaving, chemical disinfection, and microwave disinfection, are primarily chosen. Moreover, a hierarchy decision-making model considering the disposal status, economic level, policies and international turns is further set up. According to it, 4 proposed methods are effectively assessed. The result indicates that thermal treatment technology is the optimal choice for medical wastes treatment in Hangzhou city. Besides, the optimal selection method for medical wastes treatment is synthetically presented, which is suggested as a strong support for choosing optimal technology, and will contribute a lot to related research as well.

Key words: medical wastes; optimal selection method; treatment technology; analytical hierarchy process(AHP)

为了预防医疗废物危害性的发生, 需要对其进行无害化安全处置. 然而医疗废物的处理技术在我国还处于摸索阶段, 优选方法仍不够成熟. 目前相关的处理技术大体分为 3 类^[1], ①高温处理法, 如焚烧法、热解法和汽化法; ②替代型处理法, 如机械-化学消毒法、高温高压蒸汽灭菌法、干法热消毒法、微波处理法和安全填埋法; ③创新型技术, 如等离子技术、放射技术(本文不考虑). 医疗废物的特性决定了其处置要求的特殊性^[2~6], 而处理技术的特性则影响了处理的功效和费用^[1,3,7], 相应地, 不同的处理技术对各类医疗废物处理适宜性也有所差异^[8]. 目前国内外的研究^[1~3,7~9,10~13]多以定性比较分析为主, 尚未从定量角度进行深入研究. 同时, 由于我国医疗废物的特性、处置现状、相关政策以及经济发展水平与国外有显著差异, 造成了在处理技术选择上的特殊性.

为了找到符合国情、环境达标、经济可行与技术可靠的处理技术, 本文以降低健康与环境风险为目

标, 从医疗废物和处理技术定性分析出发, 初步筛选出基本可行技术, 然后结合国情, 基于层次分析法(analytical hierarchy process, AHP), 构建了“4 层-13 指标-4 方案”的层次决策模型, 对 4 项处理技术进行了定量评价和优选, 并以杭州市医疗废物安全处置项目为例进行验证.

1 医疗废物处理技术评价和初步筛选

1.1 医疗废物产生量及其特性分析

预计到 2010 年, 我国医疗废物产生量将达到 68 万 t(以床位数增加 5% 计). 到 2006 年要求处置能力达到 75 万 t^[14]. 医疗废物的特性与处理技术的选择息息相关, 同时也决定了其处置成本(医疗废物的处置成本是普通固体废物的 10~20 倍^[15]). 从物

收稿日期: 2005-06-23; 修订日期: 2005-09-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB724205)

作者简介: 周丰(1981~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为环境规划与管理.

* 通讯联系人, E-mail: hcguo@pku.edu.cn

质组分来看,以纱布木纸类、透析类(包括玻璃、塑料)为主^[16,17].从物理性质来看,热值为12 500~25 000kJ/kg^[2,3],可燃成分占72%~97%,水分和灰分低于一般固体废物^[18].从化学性质来看,有机物占64.5%~71%^[16],无机物以废弃玻璃残渣为主.从元素组成来看,Cl的含量为1.1%~2.1%^[19].从毒理学来看,具有强传染性和一定的毒性.由此,医疗废物的特性决定了其适合于热处理和化学处理等技术,并要求消除传染性和毒性等.

1.2 医疗废物处理要求

表 1 各种医疗废物处理技术的专业要求与污染控制要求^[6,7,18,21,22]

Table 1 Technical requirements and pollution control requirements for different technologies of medical wastes treatment		
处理技术	专业要求	污染控制要求
高温处理	焚烧技术:一、二燃烧室结构;一、二燃烧室温度:850~870℃和1 000~1 200℃;停留时间:大于2s;湍流程度:大于 1×10^4 ;热灼减率:小于5%(热解技术基本相似);高温蒸汽:温度:大于121℃;时间:大于60min;压力:100~500kPa;灭病菌率:大于99.999 9%;容器内空气去除率高.	各国要求不一.主要指标集中在SO ₂ ,HCl,NO _x ,重金属及其化合物,二噁英类等.具体参考文献[2]和[14].
微波技术	温度:95~100℃;时间:30min;辐射频率:2 450Hz.	
化学消毒	灭病毒病菌效率:大于99%;减容率:大于90%.	
等离子技术	燃烧区和出口处温度:大于1 700℃和大于1 200℃,停留时间:大于5s,林格曼黑度为0,热灼减率:不大于4%.	

当然,国家政策导向也是医疗废物安全处置的重要依据,我国《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》明确要求医疗废物处理技术先进实用且成熟可靠.

医疗废物的处置要求不同于一般固体废物,表现在^[7,20]:①需要消毒/灭菌,减轻危害性;②对损伤性废物进行销毁,减轻危险性;③需要进行破碎处理,减少厌恶性;④能大幅度减少体积.

相应地,从技术本身来看,处理技术在保证环保、安全及高效益的前提下,还需设有或制定:①自动控制及内置保险机制,②监察及记录系统,③紧急措施与设备,和④符合职业及安全标准^[1].此外,国内外对部分技术规定了处置技术的专业要求与污染控制要求(表1).

1.3 处理技术性质

本研究从处理能力、效果、操作性、二次污染和经济成本等重要指标对不同医疗废物处理技术的优缺点进行比较(表2).

表 2 各种医疗废物处理技术的优缺点比较^[1,11]

Table 2 Advantages and disadvantages of different technologies of medical wastes treatment		
处理技术	优点	缺点
高温处理法	体积和重量显著减少,废物毁形明显;适合大规模应用;运行稳定、处理效果好;潜在热能可回收利用;技术比较成熟.	易遭公众反对,成本高(800万元和1 232~8 808元/t),需要配置完善的尾气净化系统,底渣和飞灰具有危害性 ^[19] .
高压蒸汽灭菌法	成本低(8万元和880~1 232元/t),易于检测,残留物危险性较低,易于公众接受,消毒效果好.	体积和外观基本没有改变;可能有空气污染物排放,易产生臭气.
化学消毒法	操作简单方便;除臭效果好;消毒过程迅速.	建设和运行成本高(32~280万元和1 056元/t);消毒剂等具有高危险性;消毒效果不明显.
干法热消毒法	建设和运行成本低;处理后的废物可进行填埋处理或综合利用;处理过程不采用消毒剂.	需进行破碎化等预处理;消毒效果不明显;可能有空气污染物排放,易产生臭气.
微波处理法	体积显著减少,废物毁形效果好;环境污染很小;完全自动化,易于操作.	建设和运行成本不低(400万元和1 232~1 760元/t);重量无明显减少;可能有空气污染物排放,易产生臭气.
等离子技术	处置效率高,无有害物质排放,潜在热能可回收利用.	建设和运行成本很高;系统的稳定性易受影响;可靠性有待验证与提高.

1.4 处理技术的适宜性分析

在不同技术优缺点比较的基础上,需进一步分析其适宜性,也即适应性和满足程度.适应性比较(表3)表明,回转窑焚烧炉与立式热解汽化炉适应性最强,高压蒸汽灭菌法、微波灭菌法和化学消毒法其次,安全填埋与干法热消毒法基本不适应.

除了适应性,还需比较各处理技术相对医疗废物处理要求的满足程度.在不同机构或专家提出了相关的基本指标^[1,9,11]的基础上,本文从3方面提出11个指标(表4),结果表明安全填埋与干法热消毒法的满足程度最低.

同时,从国际应用情况来看,高温处理法最为流

行,但考虑到占地空间、社区与公众的接受程度等因素,高压蒸汽灭菌法、微波处理法和化学消毒法在逐步得到推广,被认为是替代高温处理法最好的选择,而其他技术应用较少^[8].

表 3 各种处置方法对医疗废物的适应性比较^{1)[8]}
Table 3 Comparison on adaptability of different technologies of medical wastes treatment

处理技术		感染性废物	病理性废物	损伤性废物	药物性废物	化学药剂废物
高温处理	机械炉排焚烧炉	✓	✓	✓	○	△
	回转窑焚烧炉	✓	✓	✓	✓	✓
	控气式热解炉	✓	✓	✓	○	×
	两段式热解汽化焚烧炉	✓	✓	✓	○	○
	立式热解汽化炉	✓	✓	✓	✓	✓
高压蒸汽灭菌法		✓	△	✓	×	○
微波灭菌法		✓	△	✓	×	○
化学消毒法		✓	△	✓	○	○
干法热消毒法		✓	△	○	×	○
安全填埋		✓	✓	×	○	×

1) ✓表示可以处理,○表示可以处理部分,△表示允许处理一小部分,×表示不可以处理

表 4 各种医疗废物处置技术相对处理要求的满足程度比较¹⁾
Table 4 Broad comparisons on abilities with different technologies of medical wastes treatment

项目	评价指标	高温处理	高压蒸汽灭菌	微波灭菌	化学消毒	干法热消毒	安全填埋
消除医疗废物的危险性	销毁感染性生物	6	5	5	5	5	5
	销毁药品等,或无害化	6	2	2	2	2	5
	销毁锐器	6	0	0	2	1	4
	销毁人体肢体、组织或器官	6	2	2	3	2	3
	转化为不可辨别或无害化形式	6	3	3	3	2	5
过程控制	长期的消除医疗废物的危险性	6	3	3	3	3	3
	处理技术适应不同废物组分	6	1	1	1	1	6
系统的环境影响	避免或减少二次污染	2	2	3	2	1	2
	预防人的接触	6	6	6	6	6	4
	控制土地、空气和水体污染	6	6	6	6	3	5
	避免疾病携带者(昆虫等)	6	6	6	6	4	3

1) 数字大小与满意程度成相关;“6”表示满意程度最高,“1”表示最低

1.5 初步筛选

由上述医疗废物与处理技术评价可知,安全填埋法和干法热消毒法对各类医疗废物适宜性差、效果差、环境影响较大、应用少;同样,等离子技术不成熟且不经济,都不适合作为我国医疗废物安全处理技术;对于其他技术,虽然高温处理技术在适应性和满足程度等技术层面上优于其他技术,但高压蒸汽灭菌法、微波灭菌法和化学消毒法在经济成本和二次污染方面仍占有一定的优势.综合考虑的各种影响因素,为选择符合国情、环境达标、经济可行与技术可靠的处理技术,需进一步对高温处理法、高压蒸汽灭菌法、微波灭菌法和化学消毒法进行定量分析与合理优选.

2 医疗废物处理技术评价优选模型

针对医疗废物处理技术目前尚无公认的定量优选方法.但环境工程领域中类似的方法有 AHP 法、

模糊分析法、定量分析法等^[23,24].医疗废物处理技术优选是一个复杂的多目标决策问题,本文选取简单易行的 AHP 法,建立评价指标体系,对上述 4 种处理技术进行优选.其前提假设处理技术满足表 1 的要求.

本文构建了医疗废物处理技术“4 层-13 指标-4 方案”层次决策模型(见图 1).其建模思路如下:为了实现 A 层目标,考虑我国经济水平与环境污染治理,选择了经济指标、环境指标和技术指标,保证了评价指标体系的完整.其中,总投资(C1)和运行成本(C3)是衡量工程经济性基础,同时考虑到处理技术的处置容量,增加单位投资(C2)因子.SO_x(C4)和 NO_x(C5)是我国大气污染重要污染因子,其排放量可以衡量处理技术的环境影响程度;二倍污排放量则衡量对职工安全与人类健康的影响程度,固体废物产生量可以指示处理技术的二次污染情况;环境风险大小(C8)则衡量处置技术风险大小,包括产生噪声与异味,公众接

受程度等. 技术指标是在表 2 和国家政策导向的基础上确定的, 集中处置的可能性(C9)指示“集中处置, 合理布局”^[14]要求, 与危险废物合并处理可能性(C10)符合“危险废物与医疗废物处置设施统筹规划和建设”要求, 对废物种类的适宜程度(C11)衡量处理技术

对各种医疗废物的适应性与满意程度, 技术成熟度(C12)体现技术可靠性及处理效果(包括灭菌、消毒、减容), 并符合“采用先进实用、成熟可靠技术”^[14]要求; 操作难易程度(C13)衡量技术操作性与自动化程度, 符合我国现状水平.

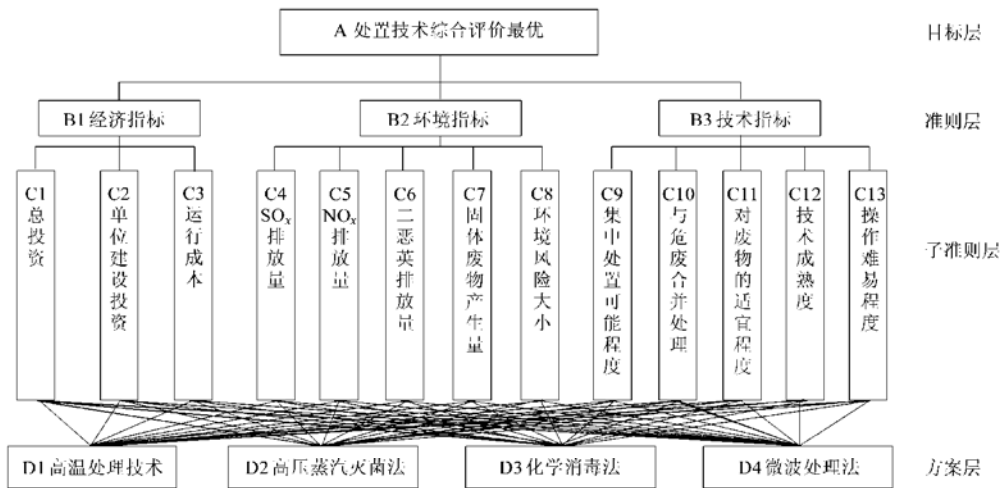


图 1 医疗废物安全处置技术递阶层次结构模型

Fig. 1 Index system for the assessment of different technologies of medical wastes treatment

3 方法验证

3.1 因子权重

由于上述因素地域性差异大, 本研究以杭州市医疗废物处理项目为例, 对评价因子采用的 6 级 6 分制划分等级进行评分, 采用 AHP 法进行权重赋值. 为此, 本研究特邀请来自中科院等机构的 20 位专家两两比较构造判断矩阵, 进而计算层次单排序

及总排序, 检验判断矩阵一致性, 最后采用加权几何平均综合排序向量法计算得到 D 层各评价因子相对与 A 层的权重.

3.2 评价优选结果

针对 4 个处理技术, 根据评价因子的评分, 按照上述技术过程计算权重, 得到总排序权值, 其中方案层评价结果如下表 5.

评价结果显示, 对于杭州地区的医疗废物安全

表 5 方案层(D 层)各因素总排序权值结果

Table 5 Results of factors (Level D) relative to all objectives

要素	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	总排序
权重	0.027	0.011	0.067	0.055	0.055	0.132	0.055	0.341	0.020	0.020	0.020	0.099	0.099	权值
D1	0.558	0.558	0.558	0.625	0.625	0.625	0.063	0.625	0.500	0.625	0.521	0.521	0.417	0.551 7
D2	0.096	0.096	0.096	0.125	0.125	0.125	0.313	0.125	0.167	0.125	0.201	0.201	0.083	0.138 0
D3	0.096	0.096	0.096	0.125	0.125	0.125	0.313	0.125	0.167	0.125	0.201	0.201	0.083	0.138 0
D4	0.249	0.249	0.249	0.125	0.125	0.125	0.313	0.125	0.167	0.125	0.078	0.078	0.417	0.172 6
检验	$CI' = 0.002\ 9; RI' = 0.9; CR' = 0.003 < 0.10$, 因此层次总排序矩阵满足一致性													

处置项目, 方案层的总排序为 $D1 \gg D4 > D3 = D2$, 故选用高温处理法(D1)方案, 而杭州也于 2005-01 正式启动了该方案的建设, 由此验证本文建立的优选方法体系的科学性和实用性.

4 结论

医疗废物安全处理技术优选方法是我国医疗废

物得到合适处置的关键环节. 本文提出的优选方法具有 3 个特点: ①定性与定量方法相结合, ②从医疗废物和处理技术本质出发、兼顾我国处置现状、经济水平、政策导向和国际趋势, ③结构清晰、体系完备, 符合实际. 其具体内容与步骤如下, 可为地方选择医疗废物处理技术提供参考.

(1) 基础调研 在本文的基础上, 进一步调研分

析当地医疗废物的产生量与特性等,处理技术的专业要求、处理费用,以此作为初步筛选的基础。

(2) 深入调研 在本文的基础上,进一步调研分析地方处置现状、经济水平、政策导向和国际趋势(如有变更的话),以此作为专家评估的参考。

(3) 初步筛选定性分析 针对 5 类医疗废物,比较各种处理技术(包括新技术与改良之后技术等)的适宜性,并根据消除医疗废物的危险性、过程控制和系统的环境影响等 3 方面的 11 个指标(见表 4)进行满足程度比较,得到基本可行技术。

(4) 优选评估定量分析 根据本文建立的“4 层-13 指标-4 方案”的递阶层次结构模型,通过专家对基本可行技术进行评估,计算得到优选结果。

参考文献:

- [1] Townend W K, Donaldson J D, Grimes S M. Review of clinical waste treatment technologies [R]. 2000.
- [2] WHO. Safe Management of waste from health-care activities [R]. 1999.
- [3] WHO. Healthcare waste management [R]. 2003.
- [4] Liberti L, Tursi A, Costantino N, *et al.* Optimization of infectious hospital waste management in Italy. Part I: Waste production and characterization study [J]. Waste Management and Research, 1994, **12**(5): 373~ 385.
- [5] Li C S. Physical and chemical composition of hospital waste [J]. Infection Control and Hospital Epidemiology, 1993, **14**(3): 145~ 150.
- [6] Lee C C, Huffman G L. Medical waste management/incineration [J]. Journal of Hazardous Materials, 1996, **48**: 1~ 30.
- [7] Environmental protection department of HK. Review of Alternative Technologies for the Treatment of Clinical Waste [R]. 2000.
- [8] URS Dames & Moore. Assistance in Development of National Plan for Hospital Waste Management: Bulgaria[R]. 2002.
- [9] Environmental agency of UK: Technical guidance on clinical waste management facilities[R]. 2003.
- [10] 刘锋,等. 医疗废物处理技术研究[J]. 中国环保产业, 2004, **2**(增刊): 57~ 59.
- [11] 陈红盛,白庆中,等. 我国医疗废物处理处置技术及其应用前景[J]. 中国环保产业, 2004, **2**(增刊): 32~ 35.
- [12] 李康敏,等. 国内外医疗废物处理技术发展概况[J]. 中国环保产业, 2004, **2**(增刊): 100~ 107.
- [13] 胡建杭,王华,马媛媛,等. 医疗废物处理技术的现状与发展趋势[J]. 工业加热, 2004, **33**(2): 16~ 19.
- [14] 国家环保总局规划与财务司编. 危险废物和医疗废物处置设施建设手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [15] Lee B K, Ellenbecker M J, Rafael M E. Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes [J]. Waste Management, 2004, **24**(2): 143~ 151.
- [16] 姚强. 发达国家危险废物和医疗废物处置现状和主流技术介绍[R]. 2004.
- [17] 鄢钢,等. 长沙市医疗垃圾处置现状[J]. 环境与健康杂志, 2002, **19**(5): 393~ 394.
- [18] Health Care Without Harm. Non-incineration medical wastes treatment technologies[R]. 2001.
- [19] Wang L C, Lee W J, Lee W S, *et al.* Effect of chlorine content in feeding wastes of incineration on the emission of PCDD/DFs [J]. The Science of the Total Environment, 2003, **302**(1-3): 185~ 198.
- [20] 周丰. 中国医疗废物安全处置全过程控制研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2004.
- [21] 周丰,刘永,郭怀成. 医疗废物焚烧处置过程中关键参数研究[J]. 环境科学研究, 2005, **18**(3): 24~ 28.
- [22] World Bank. Healthcare Waste Management Guidance [R]. 2001.
- [23] 慕金波. 层次分析法在评定最优环境工程方案中的应用[J]. 环境科学进展, 1997, **5**(4): 33~ 40.
- [24] 胡天觉,陈维平,曾光明,等. 运用层次分析法对株洲霞湾污水处理厂污水处理工艺方案择优[J]. 环境工程, 2000, **18**(1): 61~ 63.