

附件 3

《医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南》

(征求意见稿)

## 编制说明

环 境 保 护 部

二〇一一年二月

# 目 录

1. 任务来源 .....	2
2. 任务背景 .....	2
3. 指南编制的原则、方法和法律依据 .....	2
3.1 编制原则 .....	2
3.2 编制方法 .....	3
3.3 法律依据 .....	3
3.4 指南的使用 .....	4
4. 主要工作过程 .....	4
4.1 工作进度安排 .....	4
4.2 工作实施内容 .....	5
5. 指南主要内容 .....	5
5.1 医疗废物处理处置技术及主要环境问题 .....	5
5.2 医疗废物处理处置技术应用及发展趋势 .....	8
5.3 医疗废物焚烧技术 .....	9
5.4 医疗废物非焚烧技术 .....	14
5.5 医疗废物处理处置新技术 .....	19
6. 医疗废物处理处置技术评估与指标体系 .....	21
6.1 医疗废物处理处置技术分析 with 评估 .....	21
6.2 医疗废物处理处置技术适用性分析与评估 .....	23
6.3 医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指标体系构建 .....	28
7. 最佳可行技术指南实施环境效益与经济技术分析 .....	31
7.1 采用最佳可行技术的总体要求 .....	31
7.2 环境效益分析 .....	32
7.3 经济效益分析 .....	32
8. 指南实施建议 .....	36

## 1. 任务来源

2007年,环境保护部下达了《关于印发<国家环境技术管理体系建设规划>的通知》(环办[2007]150号),其中提出了制订《医疗废物处置污染防治最佳可行技术指南》技术指导文件的工作任务。沈阳环境科学研究院、环境保护部环境规划院、中国科学院高能物理研究所和环境保护部环境保护对外合作中心联合成立课题组承担该技术文件的编制工作。

## 2. 任务背景

医疗废物是指医疗卫生机构在开展医疗、预防、保健及其他相关活动中产生的具有感染性、毒性或其他危害性的危险废物。随着社会的进步和科学技术的不断发展,医疗废物的管理和处置越来越引起国际社会和各个国家的广泛关注。作为一个人口大国,中国医疗废物的产生量巨大。2002年中国产生65万t医疗废物,平均每天1780t。随着人口和医疗机构的增加、医疗条件的改善,医疗废物的产生量也在逐年增加。估计2010年产生量约为68万t,平均每天将达到1870t。医疗废物中的塑料等含氯产品和其他传染性或有毒有害物质的量比普通垃圾高,因此焚烧过程中容易产生二噁英、HCB、PCB等污染物。如果对医疗废物的管理和处置不当,将会对人体健康和环境安全带来潜在威胁。从行业的排放量情况来看,医疗废物焚烧是产生二噁英/呋喃最大的行业,约占中国二噁英/呋喃总体排放量的11.5%。从国际及国内医疗废物处置技术应用发展趋势上来看,呈现出焚烧技术和非焚烧处置技术并举的局面,且非焚烧处理技术的应用呈现出上升趋势。我国于2004年颁布实施的《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》指出,我国的医疗废物将建立以焚烧为主,以其他处理工艺为补充的总体技术路线。

无论采用焚烧技术还是非焚烧技术,在具体应用环节呈现出百家争鸣之态势,从目前中国的情况来看,可以生产和销售医疗废物处置设备的厂家有50多家,其中焚烧技术30多家,非焚烧技术近20家。但是在技术应用过程中,也出现了鱼目混珠的情形,不同技术类型、不同处理效果和不同价位的处理设备同时出现在市场上,再加上中国在医疗废物领域的处理处置技术,尤其是新技术应用方面还缺乏成功的经验,导致市场比较混乱。因此如何妥善解决医疗废物处置问题,并减少和避免医疗废物处置过程所带来的环境污染已成为中国现阶段该领域的新课题。而如何更好的选择和应用好各种类型的焚烧处理技术,以便更好地推进我国医疗废物安全无害化处理处置的进程,推进可持续的医疗废物的管理和处置技术的应用已经成为当前环境管理部门面临的重要挑战。

正是在这种特定背景下,环境保护部将医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南的编制工作列为国家环境技术管理体系的重要组成部分,旨在为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》,加快建立环境技术管理体系,确保环境管理目标的技术可达性,增强环境管理决策的科学性,提供环境管理政策制定和实施的技术依据,也为引导污染防治技术进步和环保产业发展提供技术和管理依据。

## 3. 指南编制的原则、方法和法律依据

### 3.1 编制原则

针对本指南的定位,在最佳可行技术确定的过程中应遵循以下原则:

(1)坚持技术筛选和技术应用相结合的原则。通过多技术介绍、规范化评估和分类别筛选,为医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术的选择和应用提供标准和依据。针对特定技

术的应用问题提出切实可行的应用保障措施。

(2)坚持生命周期和全过程管理原则。从医疗产品研发、生产、使用、收集、分类、处理、处置等各个环节管理实际出发提出技术应用的具体模式和要求。并围绕现行的技术评估和认证、工程技术规范、试运行管理、监督管理以及监测管理的实际需要出发，切实规定最佳可行技术应用模式和要求，并在此基础上，全面促进管理与技术的系统化、技术与技术的一体化以及管理与管理的藕合性和衔接性。通过系统化规定，针对医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术提出具体的应用模式，提供专门性的技术应用指导，为促进现行医疗废物环境技术管理体系的建立提供依托。

(3)坚持区别对待，可操作性原则。针对新源和现有源执行不同的管理措施和不同的时限要求；针对不同的区域特点，提出符合区域特点和条件的最佳可行技术。

(4)坚持因地制宜的原则。应考虑区域特性、经济水平以及环境特征，综合考虑技术可行性、成本有效性、可行收的环境风险水平、可操作性、社会可接受性、可持续性、生态友好性等方面，确定切实可行的最佳可行技术标准和选择依据。

(5)坚持与国际公约的规定和要求相结合的原则。切实融合 POPs 公约、巴塞尔公约以及世界卫生组织针对医疗废物管理和处理处置的具体要求，推进中国履约进程和对国际的承诺，并切实贯彻执行我国履约规划所提出的既定目标。

### 3.2 编制方法

在项目的实施过程中，课题组围绕项目的总体目标，系统采用调研、资料分析、类比分析、专家咨询、论证、案例验证等方法，从推进实现危险废物和医疗废物可持续环境管理的角度出发，深入研究国内外在医疗废物管理和处置方面的先进经验以及国际公约对医疗废物管理的基本要求，并对中国目前的医疗废物政策、法规、标准体系进行深入地研究和分析，在此基础上结合中国的实际国情，开展医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南的研究，另外，结合医疗废物全额项目的开展完成相关基础性研究工作，进而在以上工作基础上编制完成医疗废物处理处置污染控防最佳可行技术指南。

### 3.3 法律依据

本指南是根据下列有关医疗机构和环境保护的法律、法规和技术政策等制订的：

- (1) 中华人民共和国环境保护法
- (2) 中华人民共和国环境影响评价法
- (3) 中华人民共和国大气污染防治法
- (4) 中华人民共和国水污染防治法
- (5) 中华人民共和国固体废物污染环境防治法
- (6) 中华人民共和国环境噪声污染防治法
- (7) 中华人民共和国清洁生产促进法

(8) 中华人民共和国循环经济促进法

(9) 中华人民共和国节约能源法

### 3.4 指南的使用

#### 3.4.1 法律定位

医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南是指导性文件,是医疗废物处理处置和管理达到国家政策要求和污染物排放标准后更高的环境管理要求。医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南具有明显的时限特征,随着社会的不断进步需要定期更新。

#### 3.4.2 适用范围

本指南适用于除放射性废物外其它医疗废物的处理处置。

## 4. 主要工作过程

### 4.1 工作进度安排

2008年1月—6月:系统分析了国内外医疗废物管理和处置技术,尤其是国际公约、欧美等发达国家在医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术和最佳环境实践方面的具体做法和经验,并结合中国当前技术和管理体系现状,并逐步细化了项目实施的技术路线和思路,为编制符合中国环境技术管理体系需要的最佳可行技术指南提供基础条件。

2008年7月—9月:结合现有典型医疗废物处理处置技术,即焚烧和非焚烧技术,对其所涉及的污染控制环节进行深入的研究和分析,并提出了具体的污染控制技术路线和具体要求。

2008年10月—12月:对国内现有医疗废物处理处置技术,包括焚烧技术和非焚烧技术的技术优化和管理模式优化的具体对策措施进行了研究,为推进旧源医疗废物处理设施的工艺改造提出相应的要求。

2009年1月—3月:对国内所广泛采用的医疗废物处理处置技术,包括焚烧技术和非焚烧技术在新源建设方面的应用进行深入研究,探讨相应的医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术和最佳环境实践,为推进新源建设提出相应的要求。另外,也将在调研的基础上,针对国外最新实用技术及其在中国应用前景进行分析,从前瞻性角度提出该类医疗废物处理处置技术应用的管理要求。

2009年4月—5月:开展医疗废物处理处置技术评价指标体系和评价方法研究,为最佳可行技术的选择提供条件。

2009年6月—12月:开展医疗废物处置设施运行性能测试研究,为医疗废物最佳可行技术和最佳环境管理实践的探索提供条件。

2010年1-10月:完成最佳可行技术指南初稿,参加了环境保护部组织的中期评估会,并召开专家研讨会修改完善。

2010年11月-2011年1月:完成最佳可行技术指南的编制,根据环境技术指导文件编

制的程序和要求，提交征求意见稿。

## 4.2 工作实施内容

本项目实施初期，课题组系统评估了发达国家的医疗废物处理处置技术、管理和经济政策，明确了国外医疗废物管理体系以及医疗废物领域推进建立医疗废物处置污染防治最佳可行技术的对策与措施；调研了国内医疗废物处理处置技术及相关政策，并进行了评估，明确了中国在推进采用最佳可行技术方面的基础条件和差距；全面研究了斯德哥尔摩公约、巴塞尔公约、世界卫生组织以及美国、欧洲、加拿大等国家在医疗废物领域推进采用最佳可行技术的实际经验和具体做法，尤其是实施二噁英污染控制方面的相关经验和做法，为医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南的编制提供了基础。

本项目课题组为使研究成果与现行法律、法规体系更好衔接，系统回顾了我国危险废物和医疗废物领域的法律、法规和标准体系；为使项目研究成果更具有针对性，到天津、上海、杭州、北京、长春、南昌、孝感、平凉、益阳、鞍山等医疗废物处置设施进行了实地调研，了解医疗废物处理处置设施建设、运行及管理状况，以使医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南编制工作能够结合我国医疗废物处置的实际需求，更具有可操作性。

本项目课题组查阅了大量的文献资料，并结合履约办相关项目工作的开展，对湖州市医疗废物处置中心的热解焚烧处置技术的案例研究成果进行了进一步分析和总结；在项目的实施过程中，也同中国疾病预防控制中心及相关企业密切合作，针对化学消毒和微波+高温蒸汽两种技术分别在鞍山市医疗废物处置中心、平凉市医疗废物处置中心开展了相关案例研究，以便为推进中国医疗废物可持续管理进程提供技术依据，相关研究成果都在本研究报告中予以体现。

参加了医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南的中期评估会议，相关专家的意见都在本研究报告中予以体现。

在项目的实施过程中，课题组围绕医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术开展了系统的调研和评估工作，多次召开专家研讨会和阶段性成果审议会，广泛征求了本领域不同部门专家的意见和建议，为项目阶段性目标的实现提供了基础和条件。

## 5. 指南主要内容

### 5.1 医疗废物处理处置技术及主要环境问题

#### 5.1.1 医疗废物的产生及危害

##### 5.1.1.1 医疗废物的产生及产生量

医疗废物主要来源于各类医疗卫生机构在医疗、预防、保健、教学、科研以及其他相关活动，是在上述活动中产生的具有直接或间接感染性、毒性以及其他危害性的废物。医疗废物可按多种方式进行分类，如按照危害和后果可分为传染性废物、损伤性废物、细胞毒性废

物；按照含有的有害物质类型可分为重金属废物、化学废物、放射性废物；按照外观性质可分为病理性废物、药物性废物。按照《医疗废物分类目录》，我国医疗废物通常分为感染性废物、病理性废物、损伤性废物、药物性废物、化学性废物，如表 1 所示。

表 1 我国医疗废物类型的划分

类别	特征	常见组分或者废物名称
感染性废物	携带病原微生物，具有引发感染性疾病传播危险的医疗废物	(1)被病人血液、体液、排泄物污染的物品，包括： > 棉球、棉签、引流棉条、纱布及其他各种敷料 > 一次性使用卫生用品、一次性使用医疗用品及一次性医疗器械 > 废弃的被服 > 其他被病人血液、体液、排泄物污染的物品 (2)医疗机构收治的隔离传染病病人或者疑似传染病病人产生的生活废物 (3)病原体的培养基、标本和菌种、毒种保存液 (4)各种废弃的医学标本 (5)废弃的血液、血清 (6)使用后的一次性使用医疗用品及一次性医疗器械视为感染性废物
病理性废物	诊疗过程中产生的人体废弃物和医学实验动物尸体等	(1)手术及其他诊疗过程中产生的废弃的人体组织、器官等 (2)医学实验动物的组织、尸体 (3)病理切片后废弃的人体组织、病理腊块等
损伤性废物	能够刺伤或者割伤人体的废弃的医用锐器	(1)医用针头、缝合针 (2)各类医用锐器，包括：解剖刀、手术刀、备皮刀、手术锯等 (3)载玻片、玻璃试管、玻璃安瓿等
药物性废物	过期、淘汰、变质或者被污染的废弃的药品	(1)废弃的一般性药品，如：抗生素、非处方类药品等 (2)废弃的细胞毒性药物和遗传毒性药物，包括： > 致癌性药物，如硫唑嘌呤、苯丁酸氮芥、萘氮芥、环孢霉素、环磷酰胺、苯丙胺酸氮芥、司莫司汀、三苯氧氨、硫替派等 > 可疑致癌性药物，如：顺铂、丝裂霉素、阿霉素、苯巴比妥等 > 免疫抑制剂 (3)废弃的疫苗、血液制品等
化学性废物	具有毒性、腐蚀性、易燃易爆性的废弃的化学物品	(1)医学影像室、实验室废弃的化学试剂 (2)废弃的过氧乙酸、戊二醛等化学消毒剂 (3)废弃的汞血压计、汞温度计

注：

(1)一次性使用卫生用品是指使用一次后即丢弃的，与人体直接或者间接接触的，并为达到人体生理卫生或者卫生保健目的而使用的各种日常生活用品。

(2)一次性使用医疗用品是指临床用于病人检查、诊断、治疗、护理的指套、手套、吸痰管、阴道窥镜、肛镜、印模托盘、治疗巾、皮肤清洁巾、擦手巾、压舌板、臀垫等接触完整黏膜、皮肤的一类一次性使用医疗、护理用品。

(3)一次性医疗器械指《医疗器械管理条例》及相关配套文件所规定的用于人体的一次性仪器、设备、器具、材料等物品。

医疗废物来源于医疗机构，由于各地的医疗水平、人口数量和经济状况不同，医疗废物分布具有明显的地域特征。一般情况下，医疗卫生机构病床数量在 10000-13000 张左右的地级城市，医疗废物产生量在 6-7t/d 左右；医疗卫生机构病床数量在 6000-8000 张范围左右的地级城市，医疗废物产生量多在 4-5t/d 左右；医疗卫生机构病床数量在 5000 张以下地级城市，医疗废物产生量多在 3t/d 以下。

根据 2007 年统计数据，我国东部地区医疗废物的产生量远超过中、西部地区，东部地区医疗废物的产生量约为中部地区的医疗废物产生量 1.5 倍，为西部地区医疗废物产生量的

2 倍。

### 5.1.1.2 医疗废物的特性和危害

#### 5.1.1.2.1 医疗废物的特性

医疗废物产生的危害主要是其传染性和生物毒性，主要导致原因是医疗废物中含有大量的病原体，如细菌、病毒、真菌、放线菌、支原体、螺旋体、衣原体、立克次体等。

由于医疗废物受时间、病人活动、医疗机构特点、社会生活及经济因素影响，医疗废物性质差异较大，如含水量、热值、密度等不尽相同。

在医疗废物处理处置技术的工艺选择方面应重点考虑医疗废物的物理化学性质和生物特性。医疗废物的成分及类型都比较复杂，主要含有有机物、卤化物（主要是 Cl）、水分、灰分、重金属等，其成分和特性如表 2 和表 3 所示。

表 2 医疗废物成分统计表

成分	玻璃	塑料	纸类	敷料	厨余	木竹	生物组织	金属	砖瓦石	其它
含量 (%)	26.61	22.81	15.89	16.63	9.66	2.79	1.73	1.25	0.28	2.34

表 3 物理化学特性统计表

可燃组分	热值	湿度平均	密度	氯含量	汞含量	钙含量	铅含量
83 % -99 %	3000-6000kcal/kg	35 %	0.3kg/m <sup>3</sup>	0.4 %	2.5mg/kg	1.5mg/kg	28mg/kg

就医疗废物的物理性质而言，医疗废物中主要含有玻璃、塑料、纸类、敷料、厨余、木竹、生物组织、金属、砖瓦石和其它成分；医疗废物的物理化学性质主要考虑可燃组分、热值、湿度、密度、氯含量、汞含量、钙含量、铅含量。

就医疗废物生物特性而言，主要包括：细菌总数、大肠菌数、沙门氏菌等，体现出较强的感染性。

#### 5.1.1.2.2 医疗废物的环境危害

医疗废物是环境污染和疾病传播的双重载体，具有传染性、损失性、遗传毒性、化学毒性、厌恶性和放射性等危险特性，会对水体、大气、土壤造成污染并直接危害人体健康。

##### (1) 传染性

传染性主要来自感染性废物，可通过针刺伤、擦伤或皮肤切割伤，或者通过人体粘膜、呼吸道、消化道等途径进入人体，是对人体健康和环境具有较大潜在风险的主要医疗废物。

##### (2) 损伤性

损伤性主要来自被血液、体液等污染的皮下注射针头、外科用手术刀锋利物，它们不仅可造成割伤或刺伤，而且还可能同时引起感染，具有极强的风险性。

##### (3) 生物毒性

生物毒性主要来自具有毒性的废弃药物，可通过空气中的气溶胶进行传播，一些细胞毒

性药物与皮肤、眼直接接触后，具有极强的刺激性和局部伤害作用。

#### (4)化学毒性

化学毒性主要来自卫生保健机构的化学品、消毒剂、显影、定影液等，通常以小剂量存在于医疗废物中，通过呼吸、吞咽及皮肤和眼接触导致的粘膜损伤，最常见的伤害就是烧伤。

#### (5)厌恶性

厌恶性主要来自人们对医疗废物对健康危害具有恐惧和对解剖性废弃物的视觉厌恶，产生厌恶性的废物主要包括手术和解剖过程中产生的器官和死胎等。

## 5.2 医疗废物处理处置技术应用及发展趋势

### 5.2.1 医疗废物处理处置技术应用

医疗废物处理处置技术应用可达到五个目标，首先是杀灭医疗废物中含有的病菌，减少传染性和生物危害性；其次是医疗废物毁型到5厘米以下，以消除损伤性废物的损伤性，并避免重新流入社会；再次是消除医疗废物的厌恶性和大幅减少医疗废物的体积；最后是控制处置过程中的二次污染，特别是二噁英等污染物的排放。

#### 5.2.1.1 医疗废物处理处置技术的分类

医疗废物处理处置技术按照处置机理可分为热处理技术、化学处理技术、辐射处理技术以及生物处理技术，其中热处理技术根据处理温度不同分为可分为低温热处置技术、中温热处置技术和高温热处置技术。

医疗废物处理处置技术按照工作原理通常分为焚烧处技术和非焚烧技术。焚烧技术是指中温热处置技术和高温热处置技术，如热解气化技术、高温焚烧技术和有氧等离子处置技术等；非焚烧技术包括等离子处置技术、低温热处理技术、化学处理技术、辐照处理技术及生物处理技术等。

目前我国医疗废物处理处置技术主要有热解焚烧技术、高温焚烧技术、高温蒸汽灭菌技术、化学消毒技术和微波消毒技术等。

#### 5.2.1.2 医疗废物处理处置技术的应用

医疗废物焚烧技术是一种高温热处理技术，是指将医疗废物置于焚烧炉内，在一定的过量空气和温度(850—1100℃)条件下，有机组分经过燃烧氧化反应达到稳定化的过程，可大大减少医疗废物的体积和重量，是医疗废物处置的重要方法之一。医疗废物焚烧处置设施一般包括燃炉或炉窑、二燃室、烟道气净化装置、废水处理设备等单元。焚烧设施的主体设备焚烧炉主要有热解炉(包括连续热解和间歇热解)和回转窑炉等。医疗废物焚烧处置过程产生的烟气含有重金属的飞灰(颗粒物)、二噁英、呋喃、耐热有机化合物、氮氧化物、硫氧化物、碳氧化物和卤化氢等污染物。

医疗废物非焚烧技术是指采用焚烧以外的方法对医疗废物进行消毒处理的过程，主要适用于处理感染性和损伤性医疗废物。医疗废物非焚烧处理技术主要有高温蒸汽消毒、化学消

毒、微波消毒、高温蒸汽+微波消毒、电子束辐照消毒以及高压臭氧消毒等。医疗废物非焚烧处理主要包括破碎、消毒、干燥等过程。医疗废物非焚烧处理过程产生的尾气含有 VOCs、恶臭等污染物，还可能存在一定数量的细菌病毒。

### 5.2.2 医疗废物处理处置技术发展趋势

医疗废物污染防治和处理处置的首要目标是消除其感染性、保护人体健康，目前医疗废物处置尚存在设备技术水平参差不齐、管理措施不完善、处置过程产生或轻或重二次污染等问题。

目前，国际上共有 40 多种医疗废物技术以及 70 多个设备提供商，遍布于美国、欧洲、中东以及澳大利亚等地区。尽管各国家、地区医疗废物处置设施的处置能力不同，自动化程度存在着一定的差别，减量化程度也存在着一定的差异，但都通过采用一种或者一种以上方法实现对医疗废物的处置。随着社会进步，新型医疗废物处置技术尚在不断探索、完善之中。

医疗废物处理处置技术发展主要体现为不断实现现有技术升级，降低处置技术建设及运行成本，提高医疗废物处置安全性和二次污染控制水平，进而提高加强医疗废物安全处置能力。从全球的发展趋势来看，医疗废物处置技术发展是一个不断总结经验和推陈出新的过程，世界各国都在沿着一个类似而又存在不同特点的发展方向前进。

医疗废物焚烧处置技术的最大问题是会产生二噁英等污染物，必须结合二噁英的生成过程及其生成条件促进技术的升级，在处置过程中尽量消除二噁英的产生量的方式从而减少二噁英的排放。对于已经建设的医疗废物焚烧处置设施，一方面要确保该类设施在今后的更新改造和完善过程中，不断提高污染控制水平；另一方面，应重点从管理入手，切实推进该类设施的规范化运行和管理，实现在安全处置医疗废物的同时，污染物达标排放。

对于已经建设的规模较小的（<5t/d）医疗废物焚烧处置设施，建议在更新改造过程中逐步用非焚烧技术代替。医疗废物非焚烧处置技术具有可间歇运行、运行费用低、适应性强、二次污染少、不产生二噁英等污染物、易于操作管理、工艺运行效果稳定等优点，适用于小规模医疗废物处置，特别是 3-5t/d 规模的处置设施。医疗废物非焚烧处置技术主要污染物为恶臭和 VOCs，需要逐步提高恶臭和 VOCs 的控制水平，目前非焚烧技术处置的医疗废物量已经超过焚烧技术的处理的废物量。医疗废物非焚烧处置技术不适用于处理药物性废物、化学性废物和一部分病理性废物，因此要求采用非焚烧处置技术的地区医院机构内部必须具备严格分类管理程序。

## 5.3 医疗废物焚烧技术

### 5.3.1 医疗废物热解焚烧处置技术

#### 5.3.1.1 技术原理

##### (1)热解技术

医疗废物热解气化技术一种热化学反应技术，其工艺主要分为两个过程：一是热解气化室内医疗废物在 600-900℃的缺氧条件下热解气化，医疗废物裂解成短链有机气体、甲烷、

氢气、一氧化碳等可燃气体；二是可燃气体经二燃室 850-1100℃ 的高温焚烧达到完全燃烧状态。根据医疗废物进料方式的不同，医疗废物热解气化技术可分为连续热解气化技术和间歇热解气化技术。

连续式热解气化技术是指废物进料系统对所处理的物料采用一定的间隔周期、分批次的连续投入热解炉内，从而能够维持热解炉内连续、稳定的热解反应过程。在整个工作过程中，热解炉出口的热解产物波动较小或基本不变。

间歇热解气化技术是指废物进料系统对所处理的物料采取一次进料方式，热解炉的进料和炉内热解过程均采用分批次、间歇的工作方式。进料系统和热解炉按照进料→热解→出灰→进料→热解→出灰的循环模式运行。在整个工作过程中，热解炉内的温度和出口的热解产物呈波浪状循环波动。

医疗废物热解气化技术主要具有以下 3 方面的特点：

① 医疗废物首先在还原条件下分解产生可燃气体，废物中的金属没有被氧化，废物中的铜、铁等金属不易生成促进二噁英形成的催化剂；

② 热解气体燃烧时的空气系数较低，能大大降低排烟量、提高能量的利用率、降低 NO<sub>x</sub> 的排放量、减少烟气处理设备的投资及运行费用；

③ 含碳的灰渣在 1000℃ 左右的高温状态下进行焚烧，能扼制二噁英类毒性物质的生成，并使已生成的二噁英分解，熔渣被高温消毒可实现它的再生利用，可以最大限度的实现垃圾的减量化和资源化。

## (2) 回转窑焚烧技术

医疗废物回转窑焚烧技术是一种高温热化学反应技术，其焚烧系统由回转窑和二燃室组成。回转窑呈略微倾斜状，窑头略高于窑尾，回转窑内采用富氧燃烧方式，燃烧温度控制在 850-1000℃，医疗废物从窑头进入窑内，随着窑体的转动，医疗废物在窑内沿着回转窑内壁向下移动，从而完成干燥、焚烧、燃尽和冷却过程，冷却后的灰渣由窑尾下发排出，沸化的蒸汽及燃烧气体进入二燃室。二燃室的温度维持在 900-1200℃，烟气停留时间为 2s 以上，确保烟气中可燃成分达到完全燃烧状态以及二噁英高度分解。

医疗废物回转窑焚烧技术具有以下特点：

① 结构简单、控制稳定、技术成熟、运行历史悠久，对医疗废物的适应能力强，可以处理各种不同形状的固液态废物；

② 医疗在炉内能得到充分的搅拌、翻滚，与空气混合效果好、湍流度好，炉内不存在因分布不均匀或料层太厚而产生未烧到的死角；

③ 医疗废物在窑内翻腾前进，三种传热方式（辐射、对流、传导）并存一炉，热利用率高，窑体转动速度可调节，医疗废物的停留时间可控制，回转窑以及二燃室有足够的空间使医疗废物焚烧完全。

### 5.3.1.2 工艺流程及产污环节

医疗废物热解焚烧装置一般包括进料单元、热解单元（或一段焚烧炉）、二次燃烧单元、余热回收单元、残渣收集单元、气体净化单元、水处理单元、自动控制单元及其他辅助单元等功能单元。医疗废物热解焚烧处置过程中会产生二次污染物，主要有烟气污染物烟尘粉尘、二噁英、SO<sub>2</sub>、HCl、重金属等，还有废水、噪声等，工艺流程及产污环节如图 1 所示。

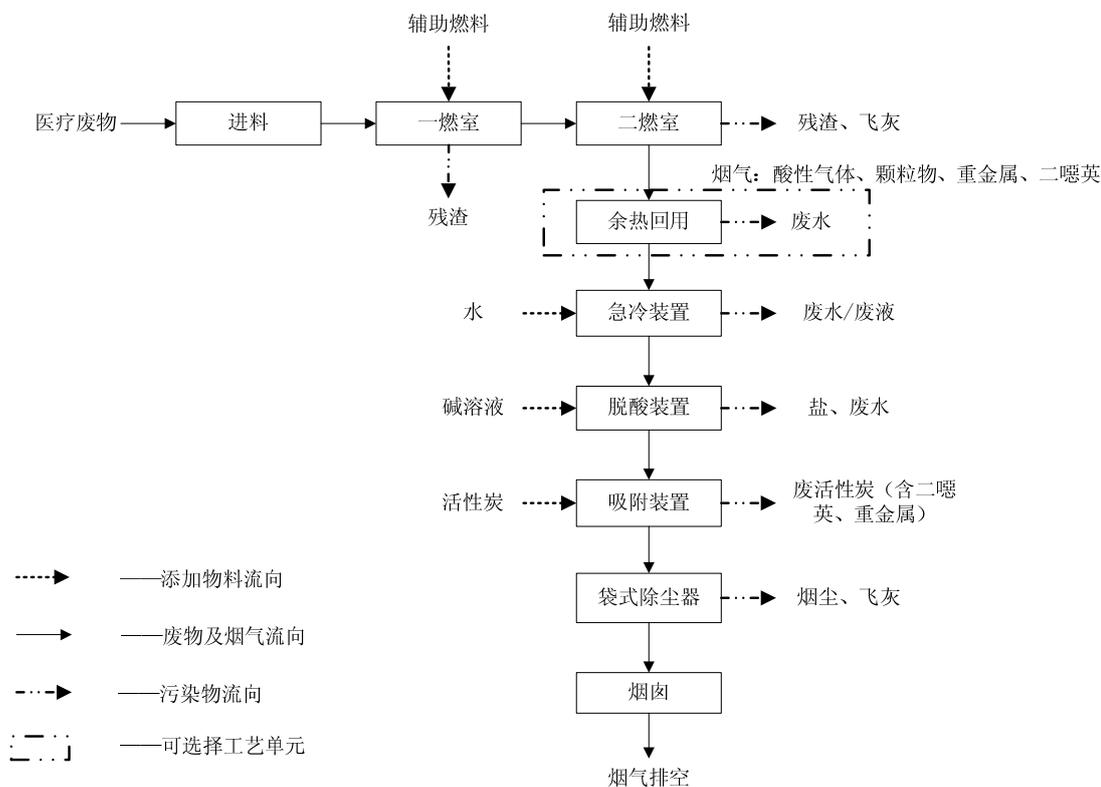


图 1 医疗废物焚烧技术工艺流程及产污环节

### 5.3.1.3 物料能源消耗

医疗废物热解焚烧处置工艺主要物料与能源消耗为柴油、电和水，具体消耗量如表 4 所示。

表 4 物料与能源消耗情况表(以 t 废物计)

序号	名称	单位	消耗量		
			连续热解气化	间歇热解气化	回转窑焚烧
1	柴油	Kg	20 ~ 50	16.2 ~ 23.3	398 ~ 520
2	电	Kwh	390 ~ 520	394 ~ 456.7	300 ~ 400
3	水	t	3.5 ~ 8	8 ~ 11.2	10 ~ 14

### 5.3.1.4 污染物排放

医疗废物热解焚烧排放的污染物主要有以下四类。

#### (1) 大气

医疗废物热解焚烧所产生烟气中污染物的种类和含量均有较大的变化范围。通常，烟气中含有烟尘、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、氟化氢、重金属和二噁英类等污染

物，具体数值如表 5 所示。

**表 5 医疗废物热解焚烧大气污染物排放情况表**

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	烟尘	mg/Nm <sup>3</sup>	40~120
2	一氧化碳	mg/Nm <sup>3</sup>	40~120
3	二氧化硫	mg/Nm <sup>3</sup>	50~300
4	氮氧化物	mg/Nm <sup>3</sup>	30~300
5	氯化氢	mg/Nm <sup>3</sup>	10~105
6	氟化氢	mg/Nm <sup>3</sup>	3.5~15
7	重金属	mg/Nm <sup>3</sup>	0.05~0.15
8	二噁英	ngTEQ/Nm <sup>3</sup>	0.1~1.5

(2)废水

废水为工艺工程中排放的废水和少量生活废水，主要有收运车辆消毒冲洗废水、周转箱消毒冲洗水、软化水排放废水、卸车场地暂存场所和冷藏贮存间等场地冲洗废水、生活污水等，水质主要污染物具体数值如表 6 所示。

**表 6 医疗废物热解焚烧废水污染物排放情况表**

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6-9
2	BOD <sub>5</sub>	mg/L	10-20
3	CODcr	mg/L	30-60
4	SS	mg/L	15-30
5	氨氮	mg/L	5-15
6	大肠杆菌群数	MPN/L	100

(3)固体残渣

固体残渣可分为焚烧渣和飞灰两大类。焚烧渣为热解焚烧炉和二段燃烧炉底部排出的炉渣，其组分主要为玻璃等无机物，焚烧渣是无害渣，可作为城市生活垃圾直接送至生活垃圾处理场进行处理。飞灰主要包括余热锅炉和袋式除尘器收集的净化渣，含有重金属和二噁英等污染物，须按危险废物进行管理和处置。

(4)噪声

噪声主要集中在厂房和辅助车间各类机械设备和动力设施，如鼓风机、引风机、发电机组、各类泵体、空压机和锅炉安全阀等，最高可达 85dB 以上。

5.3.2 医疗废物热解焚烧处置过程中污染物控制技术

5.3.2.1 烟气脱酸技术

(1)半干法脱酸控制技术

半干法脱酸控制技术是通过喷雾干燥吸收塔将浓度为 5%-10%的氢氧化钙浆液喷淋入吸收塔，烟气从吸收塔的上部进入、下部流出，停留时间不小于 8s 与喷淋入的浆液充分接触并发生中和作用，可有效降低烟气温度，中和烟气中的酸性气体，并且喷入的浆液可在吸收塔中完全蒸发。半干法脱酸工艺，一方面起到脱酸的作用，另一方面降低烟气的温度到布袋滤袋适宜的范围，起到保护滤袋的作用。

(2)干法脱酸控制技术

干法脱酸控制技术是采用消石灰中和剂，将消石灰喷射装置设置在急冷塔和袋式除尘器

之间，通过烟道上的混合器，在压缩空气作用下，使消石灰均匀地混合于烟气中，在袋式除尘器袋壁上沉积，形成反应层，使消石灰与烟气中的气态酸性物质进行中和反应，达到去除酸性物质的目的。为了加强反应速率，实际碱性固体的用量约为反应需求量的 3-4 倍，固体停留时间至少需 1s 以上。

### (3)湿式脱酸控制技术

湿式脱酸控制技术是在湿式洗气塔内，通过对流方式使烟气与碱性洗涤溶液在塔内填料空隙及表面接触、反应，去除酸性气体。常用的吸收药剂主要有质量分数 15%-20%的 NaOH 溶液或 10%-30%的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液。该技术对酸性气体去除效率很高，对 HCl 去除率为 98%， $\text{SO}_x$  去除率为 90%以上，并可附带去除重金属物质（如汞、铅、镉等）；但造价较高，水电消耗亦较高，产生的含重金属和高浓度氯盐的废水需再处理。

#### 5.3.2.2 袋式除尘技术

袋式除尘器通常由多个直径在 16-20cm，长度在 2-3m 左右，由玻璃纤维材料或者聚四氟乙烯(PTFE)材料制成的布袋，按照序列排列组成，织物的多孔性和滤袋表面形成的滤饼形成了袋式除尘器的过滤层，可以去除颗粒大小在 0.05-20 $\mu\text{m}$  范围，压力降在 1-2kPa 左右，可高效去除烟气中的含尘物质，还可去除尾气中吸附在烟尘颗粒物上的重金属（特别是 Hg）和二噁英物质。除尘效率一般可达 99%以上。实际运行过程中，控制进入袋式除尘器的烟气温度在 170℃左右，出口烟气温度在 160℃左右，确保整个工艺运行温度都在烟气露点温度以上。

#### 5.3.2.3 二噁英类及主要重金属过程控制技术

##### (1)烟气高温燃烧技术

烟气高温燃烧技术是指在过剩空气条件下，利用高温将一燃室生成的可燃气体完全燃烧，最大程度上减少有害物质尤其是二噁英排放的技术。该技术主要有三个控制因素：850-1100℃的高温；2s 以上的烟气停留时间；充分的空气涡流搅拌。通常要求燃烧效率在 99.99%以上，可用出口烟气中的 CO 浓度来进行判断燃烧是否完全。

##### (2)烟气急冷技术

烟气急冷技术是指利用冷热交换和喷淋的方式，使高温烟气急速降温，以避免二噁英再合成的温度段，从而达到抑制二噁英再生成的目的。该技术对烟气的降温分为两个阶段，第一阶段以空气或冷却水为冷却介质，采用冷热交换的方式，将烟气温度从 850℃将至 600℃；第二阶段通过喷淋的方式喷入冷却水与烟气直接接触，使烟气在 1s 内温度从 600℃将至 200℃。

在烟气急冷过程中，还有洗涤、除尘的作用。另外，部分蒸发的重金属气体会重新凝结或团聚到灰尘的颗粒上，通过除尘器收集灰尘去除重金属。

##### (3)活性炭吸附技术

活性炭吸附技术是指利用活性炭内部孔隙结构发达、比表面积大、吸附能力强的特性，

在烟气中添加粉状活性炭同烟气混合，活性炭对二噁英类物质进行初步吸附；然后混合均匀的烟气进入袋式除尘器，活性炭颗粒被截留在滤布表面，在滤布表面继续吸附，从而提高二噁英类物质的去除效率，按填充方式可分活性炭流化床吸附和活性炭固定床吸附。固定床吸附技术尤其适合废物变化较大的医疗废物焚烧设施，一般作为末端控制技术。流化床吸附技术适用于任何规模，根据焚烧炉的二噁英产生情况灵活使用，通常放在袋式除尘器之前，与活性炭注入加袋式除尘技术联合使用。

#### (4)催化分解技术(SCR)

催化分解技术(SCR)是指在相对较低的温度下，利用催化剂的活性分解技术，将二噁英分解成为无机物质，从而彻底消除二噁英的存在。由于催化剂的存在，在适宜的温度情况下（150-500℃），二噁英气体会在催化剂表面发生脱氯反应，使二噁英的苯环破坏，从而将二噁英分解为无害的CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O和HCl，同时由于氯的缺失可以保证后续不会再重新形成二噁英，能够实现95%以上的分解效率。

#### 5.3.2.4 飞灰残渣控制技术

袋式除尘产生的飞灰以及其他设施截留的粉尘，由于含有相当数量的二噁英和重金属，属于危险废物，应按有关规定和要求实行无害化处理。由于产生量较少，一般来说，各医疗废物集中处置设施不宜配置固化稳定化等无害化处理设施，建议安全贮存，由各地危险废物集中处置单位进行收集和集中处置。燃烧段产生的残渣属于生活垃圾，运送到生活垃圾填埋场填埋。

#### 5.3.2.5 水污染控制技术

厂区产生的废水可根据实际情况和排水要求，选用一级强化处理+消毒工艺、二级处理+消毒工艺或深度处理+消毒工艺等常规污水处理技术进行处理。

#### 5.3.2.6 固废污染控制技术

袋式除尘产生的飞灰以及其他设施截留的粉尘按危险废物进行处置。燃烧段产生的残渣可按生活垃圾进行处置。

#### 5.3.2.7 噪声污染控制技术

噪声污染主要从声源、传播途径和受体防护三个方面进行防治。尽可能选用低噪声设备，采用设备消声、隔振、减振等措施从声源上控制噪声。采用隔声、吸声、绿化等措施在传播途径上降噪。

### 5.4 医疗废物非焚烧技术

#### 5.4.1 医疗废物高温蒸汽处理技术

##### 5.4.1.1 技术原理

医疗废物高温蒸汽处理技术是将医疗废物暴露于一定温度的水蒸汽氛围中并停留一定的时间，利用期间水蒸汽释放出的潜热，使医疗废物中的致病微生物发生蛋白质变性和凝固，进而导致医疗废物中的致病微生物死亡，从而使医疗废物无害化，达到安全处置的目的。

### 5.4.1.2 工艺流程及产污环节

医疗废物高温蒸汽处理一般包括进料、抽真空、蒸汽供给、蒸汽灭菌、排气泄压、干燥、破碎等工艺单元。医疗废物高温蒸汽处理工艺在抽真空过程会产生恶臭、VOCs、病菌微生物、噪声等，蒸汽灭菌过程会产生废液，排气泄压过程会产生恶臭、VOCs等，干燥过程会产生恶臭、VOCs和废液等。工艺流程和产污环节如图2所示。

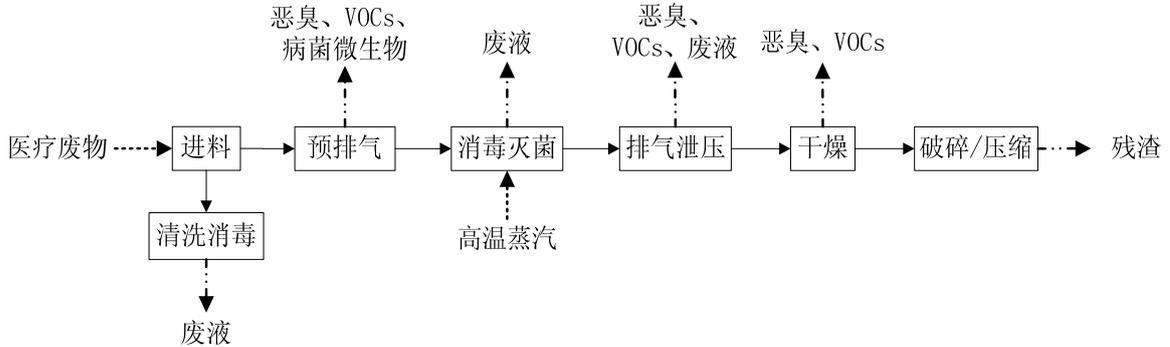


图2 医疗废物高温蒸汽处理工艺流程和产污环节

### 5.4.1.3 物料能源消耗

医疗废物高温蒸汽处理工艺主要物料与能源消耗为水、电、过氧乙酸和过滤膜，具体消耗量如表7所示。

表7 物料与能源消耗情况表(以t废物计)

序号	名称	单位	消耗量
1	冷却用水	Kg	55-65
2	生产蒸汽用水	t	1-1.5
3	过氧乙酸	kg	0.5—0.6
4	电	Kwh	70-80
5	过滤膜	次/年	2-3

### 5.4.1.4 污染物排放

医疗废物高温蒸汽处理工艺排放的污染物主要有以下四类。

#### (1)大气

医疗废物高温蒸汽处理工艺在抽真空过程和高温蒸汽处理过程中会产生含恶臭、VOCs、重金属和致病微生物等气体，具体数值如表8所示。

表8 医疗废物高温蒸汽气体污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	恶臭	无量纲	100-350
2	TVOC	mg/Nm <sup>3</sup>	25-39
3	Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0.03-0.06

#### (2)废水

废水为工艺工程中排放的废水和少量生活废水，主要有转运车和周转箱的冲洗废水、消毒废水、卸车场地暂存场所和冷藏贮存间等场地冲洗废水、生活污水等，主要污染物浓度具

体数值如表 9 所示。

表 9 医疗废物高温蒸汽废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6~9
2	BOD <sub>5</sub>	mg/L	20
3	COD <sub>Cr</sub>	mg/L	60
4	SS	mg/L	20
5	NH <sub>3</sub> -N	mg/L	15
6	大肠杆菌群数	MPN/L	100
7	肠道致病菌	MPN/L	不得检出
8	肠道病毒	MPN/L	不得检出
9	结核杆菌	MPN/L	不得检出
10	总余氯	mg/L	0.5

### (3) 固体残渣

固体残渣为高温蒸汽消毒灭菌后的医疗废物，可按生活垃圾进行填埋处理。

### (4) 噪声

噪声主要集中在锅炉房、高温蒸汽设施和破碎设施等车间，最高可达 85dB。

## 5.4.2 医疗废物化学消毒技术

### 5.4.2.1 技术原理

医疗废物化学消毒处理技术是将破碎后的医疗废物与化学消毒剂混合均匀，并停留足够的时间，在消毒过程中有机物质被分解、传染性病菌被杀灭或失活。

### 5.4.2.2 工艺流程及产污环节

医疗废物化学消毒处理一般包括进料、药剂供应、化学消毒、破碎、出料等工艺单元。医疗废物化学消毒处理破碎过程中产生噪声、恶臭、粉尘等；化学消毒过程中产生的恶臭、VOCs 等。工艺流程和产污环节见图 3。

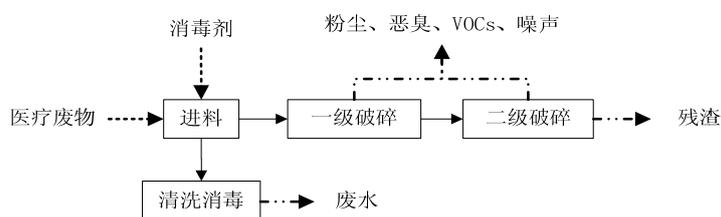


图 3 医疗废物化学消毒技术工艺流程及产污环节

### 5.4.2.3 物料能源消耗

医疗废物化学消毒工艺主要物料与能源消耗为水、电、消毒药剂和过滤膜，具体消耗量如表 10 所示。

表 10 物料与能源消耗情况表(以 t 废物计)

序号	名称	单位	消耗量
1	水	kg	7
2	消毒药剂	kg	70
3	电	kwh	50
4	过滤膜	次/周	3

#### 5.4.2.4 污染物排放

医疗废物化学消毒处理工艺排放的污染物主要有以下四类。

##### (1)大气

医疗废物化学消毒处理工艺在进料和破碎过程中会产生含恶臭、VOCs 和致病微生物等气体，具体数值如表 11 所示。

表 11 医疗废物化学消毒气体污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	恶臭	无量纲	100-200
2	TVOC	mg/Nm <sup>3</sup>	14-17
3	Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0.01-0.02

##### (2)废水

化学消毒处理工艺产生的废水主要有转运车和周转箱的冲洗废水、卸车场地暂存场所和冷藏贮存间等场地冲洗废水、生活污水以及极少量化学消毒处理过程排出的废液等，水质主要污染物具体数值如表 12 所示。

表 12 医疗废物化学消毒废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	6-9
2	BOD <sub>5</sub>	mg/L	3-20
3	COD <sub>Cr</sub>	mg/L	20-60
4	SS	mg/L	10-40
5	NH <sub>3</sub> -N	mg/L	2-15
6	大肠杆菌群数	MPN/L	100-350

##### (3)固体废物

固体废物为化学消毒后的医疗废物，可按生活垃圾进行填埋处置。

##### (4)噪声

噪声主要集中在锅炉房、高温蒸汽设施和破碎设施等车间，最高可达 85dB。

#### 5.4.3 医疗废物微波消毒技术

##### 5.4.3.1 技术原理

医疗废物微波消毒处理技术是通过微波激活医疗废物内部或表面上的水分子并引起它们振动而产生热量来实现消毒目标，同时微波还通过电磁场效应、量子效应、超电导作用等影响微生物生长与代谢。消毒时使用的频率通常为 915MHz 和 2450MHz。

##### 5.4.3.2 工艺流程及产污环节

医疗废物微波消毒处置技术一般包括进料、破碎、微波消毒、脱水等工艺单元。医疗废物破碎过程中会产生恶臭、病菌微生物、粉尘以及噪声等，微波消毒过程会产生恶臭、VOCs 等，运输车辆和周转容器的清洗消毒以及脱水过程会产生废水。工艺流程及产污环节见图 4。

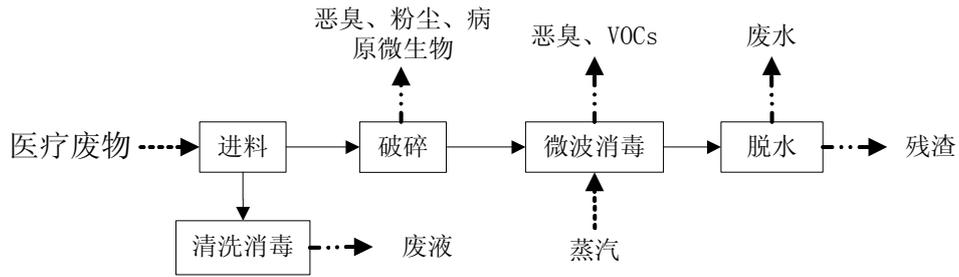


图4 医疗废物微波消毒处理工艺流程和产污环节

#### 5.4.3.3 物料能源消耗

医疗废物微波消毒工艺主要物料与能源消耗为水、电和过滤膜，具体消耗量如表 11 所示。

表 11 物料与能源消耗情况表(以 t 废物计)

序号	名称	单位	消耗量
1	蒸汽	kg	0.5-1
2	电	kwh	50-100
3	过滤膜	次/周	2-3

#### 5.4.3.4 污染物排放

医疗废物微波消毒处理工艺排放的污染物主要有以下四类。

##### (1)大气

医疗废物微波消毒处理工艺在破碎和微波消毒处理过程中会产生含恶臭、VOCs 和致病微生物等气体，具体数值如表 13 所示。

表 13 医疗废物微波消毒气体污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	恶臭	无量纲	100-250
2	TVOC	mg/Nm <sup>3</sup>	20-30
3	Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0.03-0.05

##### (2)废水

微波消毒处理工艺产生的废水主要有转运车和周转箱的冲洗废水、卸车场地暂存场所和冷藏贮存间等场地冲洗废水、生活污水、以及微波消毒后脱水干燥产生的废水等，主要污染物具体数值如表 14 所示。

表 14 医疗废物微波消毒废水污染物排放情况表

序号	污染物控制项目	单位	数值
1	pH	mg/L	8.42-8.70
2	BOD <sub>5</sub>	mg/L	<5.7
3	COD <sub>Cr</sub>	mg/L	14.8-20.3
4	SS	mg/L	15
5	NH <sub>3</sub> -N	mg/L	0.41-1.19
6	大肠杆菌群数	MPN/L	460-468

##### (3)固体残渣

固体残渣为微波消毒灭菌后的医疗废物，可按生活垃圾进行填埋处理。

##### (4)噪声

噪声主要集中在提升设备、锅炉风机和破碎设施等车间，最高可达 85dB。

#### 5.4.4 医疗废物非焚烧处理污染控制技术

##### 5.4.4.1 水污染控制技术

医疗废物非焚烧处理工艺的废水主要来自医疗废物盛装容器清洗消毒废水、洗车废水、初期雨水以及极少量处理过程中排出的废液。可根据厂区实际情况采用多种切实可行的废水处理技术。

##### 5.4.4.2 大气污染控制控制技术

医疗废物非焚烧处理工艺的废气主要来自医疗废物在贮存、非焚烧处理、破碎以及装卸料过程中产生的气体，含有颗粒物、微生物、VOCs、重金属等污染物以及恶臭。对于废气的处理一般采用尾气过滤器和活性炭吸附装置，依据具体情况可考虑增设 VOCs 化学氧化装置。

##### 5.4.4.3 固废污染控制技术

经高温蒸汽、化学消毒和微波消毒处理后的医疗废物在确保处理效果后，可以作为一般生活垃圾进行处置，具体处置方法可以纳入地方生活垃圾处置规划，采用卫生填埋进行处置。

##### 5.4.4.4 噪声污染控制技术

噪声污染主要从声源、传播途径和受体防护三个方面进行防治。尽可能选用低噪声设备，采用设备消声、隔振、减振等措施从声源上控制噪声。采用隔声、吸声、绿化等措施在传播途径上降噪。

#### 5.5 医疗废物处理处置新技术

##### 5.5.1 电子束辐照处理技术

电子束辐照处理技术的原理是由电子加速器产生的低能或高能电子束射线(通常电子束能量为 10MeV，束流功率为数十千瓦以上)，通过高能脉冲直接作用破坏活体生物细胞内 DNA 或通过间接作用使水和小分子物质辐解，产生 $\cdot\text{H}$ 、 $\cdot\text{OH}$ 等活性自由基，与核内物质作用，发生交联反应，以改变分子原有的生物学或化学特性，从而达到对医疗废物灭菌消毒的目的。

电子辐照处理技术具有如下优点：

###### (1) 操作安全可控性强

电子束辐照处理技术具有较好的环保性能，辐照室通过合理设计、施工和严格使用管理，作业时可以完全避免电子射线泄漏。电子束辐照的产生和消失则完全可以通过电源开关来控制，不需要辐射源，不污染环境，操作简单，对操作人员无伤害，可直接应用于连续化生产。

###### (2) 操作简单方便可实现规模化生产

电子束由电子加速器产生，它的产生和消失完全可以通过加速器的电源开关控制，电离辐射能量的大小也可以通过加速器来调节，系统操控比较方便。电子束具有很高的能量并且对纸张、木板等有较强的穿透能力，因而对医疗废物包装可直接进行处理。电子束穿透距离

较短，与被辐照物的密度有关，电子束具有较快的剂量率，采用动态的传送装置，其产品吸收剂量的不均匀度小于 5%，适用于形状规则、小厚度的产品。

### (3) 无有害物质残留

电子束辐照处置技术在常温下操作，不需要向医疗废物施加任何东西，也不会产生任何的有毒废液、废气、感生放射性排放，除了微量的臭氧，但辐照过程中产生的臭氧有助于除去废物的异味和辐照场所、辐照室的消毒，在排放时，应将残余的臭氧转化成  $O_2$ 。

该技术目前已广泛应用在医疗用品消毒灭菌领域，未来可在医疗废物处置领域予以应用。

## 5.5.2 高压臭氧处理技术

臭氧是一种强氧化剂，可以氧化大多数物质的分子结构，包括金属物质（金、铂和铀除外）。臭氧非常不稳定，易分解，易溶于水，常温下 30min 左右即可衰变为氧气 ( $O_2$ )。臭氧在消毒灭菌方面有特殊价值，它能加速氧化分子结构中的碳-碳键(C=C)，在生物、有机物和绝大多数药品分子结构中都有碳-碳键(C=C)，因此，臭氧可以有效杀灭病原体，包括细菌、病毒、真菌、衣原体等等，更可以有效降解较大的药物分子结构。

臭氧处理医疗和生物有害性废弃物的关键因素是臭氧浓度水平，系统处理舱的臭氧浓度达 2000ppm(mg/L)，电脑程控装置保证达到这个浓度水平，消毒时间为 10min。装配有强大的工业级粉碎装置可以快速粉碎包括感染性废物、病理性废物、损伤性废物等在内的所有医疗废物。粉碎装置配有颗粒大小感应器以保证将废物粉碎成足够小的颗粒，使其受到高浓度臭氧气体的处理。

高压臭氧技术的优点是适用范围广，可以感染性废物、病理废物、损伤性废物、药物性废物和化学性废物；不产生二噁英等有害气体；处理后的医疗废物可以按照一般废物进行管理和处置。

该技术应用的关键是如何快速生成高浓度的臭氧？如何控制臭氧浓度？如何储存臭氧？如何安全地清除残留臭氧？目前国外现有技术可以有效解决上述问题。

## 5.5.3 等离子体处置技术

等离子体处置技术是美国在 20 世纪 90 年代开始研发用以处理危险废物的一种新技术，该技术将医疗废物置于一种惰性气体氛围中，通入电流施加能量使惰性气体发生电离，产生辉光放电，在 1/1000s 内达到 1200~3000℃ 的高温，使有医疗废物迅速脱水、热解、缓解，产生氢气、一氧化碳和烷烃类等可燃气体，再经过二次燃烧室进行完全燃烧，尾气经过简单的净化处理后排入大气，医疗废物变成玻璃状固体或炉渣，可直接进行最终填埋处置。

等离子体处理技术的优点是低渗出、高减容、高强度，处置效率高，可处理任何形式医疗废物，无有害物质排放，潜在热能可回收利用。缺点是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。

## 6. 医疗废物处理处置技术评估与指标体系

### 6.1 医疗废物处理处置技术分析

#### 6.1.1 医疗废物焚烧技术的分析与评估

医疗废物焚烧处置设施硬件构成及污染物控制措施如图 5 所示。

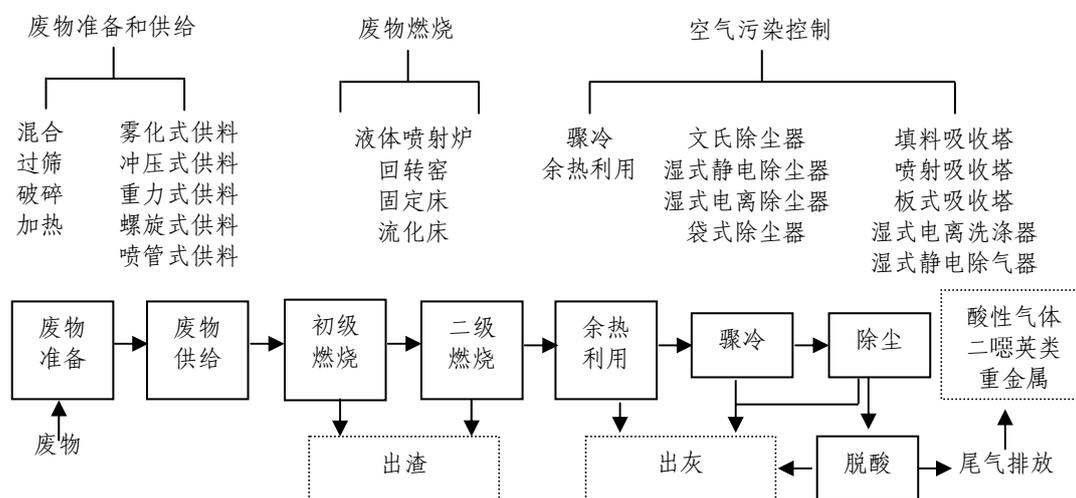


图 5 医疗废物焚烧处置设施硬件构成及污染控制措施

由图 5 可以看出，医疗废物焚烧处置是一个系统工程，充分体现了各个系统的不同功能以及不同系统之间的衔接性。因此，对于一套设施的性能评价一方面要结合焚烧工艺的总系统构成特点来考证，另一方面还要根据不同的焚烧设施配置做到因地制宜。不同类型的医疗废物处置技术具有不同的使用范围。

回转窑焚烧炉技术成熟，适合各种不同物态(固态、液态、半固态)及形状(颗粒、粉状、块状)的废物处理，二次污染少，但因其一次性投资大，用于焚烧医疗废物时运行费用高，一般需要与其它焚烧用途组合，主要应用于规模大于 10t/d 的医疗废物处置或者危险废物和医疗废物统筹处置的项目。具有处置效果好、适应性强、运行稳定等特点，适合较大的城市和地区的医疗废物集中处置。在焚烧技术中，回转窑技术处置效果最好，较适合连续运转，但处置费用较高。国产回转窑式医疗废物焚烧炉存在的问题是，点火升温 and 停炉降温时间较长，连续运转时间短，运行费偏高；在焚烧过程中，辅助燃料消耗量也较大；耐火材料等材质档次低，运营经验少。

固定床焚烧炉适用于处理感染性、损伤性、化学性和药物性的废物，对于一般体积不大的病理性废物也有一定的适应性，但由于一燃室温度低，因此对于体积较大的病理性废物或药物性废物，会产生焚烧不完全的现象，使其应用受到了一定的影响。固定床焚烧炉适合处置量为 1.5~8.0t/d 的中小规模医疗废物焚烧，具有投资少，操作简单，运行稳定，处置成本低等特点，但缺少完善成熟的烟气净化系统，会对周围环境产生二次污染。

相对而言，近年来热解焚烧技术发展较快，并在加拿大、美国、英国和墨西哥等国使用，

效果很好。目前，热解焚烧技术在外国的处置医疗废物等危险废物领域得到了较多的使用。我国目前生产并投入运行的城市医疗废物焚烧炉较多的采用了热解气化焚烧技术。热解气化焚烧处置技术在处置效果和处置成本方面均有较大优点，是一种主要用于处置医疗废物等危险废物的焚烧炉。具有燃烬率高、辅助燃料消耗量小、产生的烟气量少、烟气中污染物浓度低、后处置的负荷较小、粉尘夹带很少等优点。但热解焚烧的技术设备差异较大，难以实现稳定燃烧、良好的自控，热解段、燃烧段、燃尽段相互影响，在实际运营中往往由于进料状态与设计相差太大、自控系统难以调控到理想状态、尾气系统负荷频繁变化等原因，也演变成固定炉床的过氧燃烧，实际效果不理想，门槛较低，技术市场混乱。

炉排焚烧炉应用也较多。我国采用炉排焚烧炉的有广州、天津、鞍山、吉林、大连、贵阳、顺德等城市。但在实际应用中存在焚烧物燃烬率低，辅助燃料消耗量大等缺点。但是考虑到安全问题，应禁止仅配置单燃烧室的炉排炉应用于医疗废物处置。

等离子体对处置医疗废物效果显著，其主要的特点是在超高温下焚烧难降解危险废物(PCBs 等)，用于医疗废物尚不能充分发挥其特点。此外高额的建设和运营费用也阻碍了其应用于医疗废物处置领域。

除了以上炉型所涉及的主体设施外，还应包括围绕医疗废物收集、运输、处置全过程的其它辅助设备。对于在特定时间、特定地点用于某些特殊医疗废物焚烧处置以及偏远地区的区县城市使用的小型焚烧炉，应在连续进料、烟气净化、自动控制技术等方面进一步改进和完善。

### 6.1.2 医疗废物非焚烧技术的分析与评估

中国在医疗废物非焚烧处理技术方面应用较晚，2001 年中国第一台高温蒸汽和微波处理设备开始在天津投入运行，2005 年国家环境保护总局颁布实施非焚烧领域的相关标准，如针对化学、微波和高温蒸汽在各不同处置技术的建设和设施运营出发，提出了三个工程技术规范。2007 年前建设的高温蒸汽处理设施仅仅分布在天津、扬州等少数几个城市，采用微波技术的仅为天津，采用化学处理的仅有鞍山和丹东等少数几个城市，而国外有所应用的电子辐射等技术还没有在中国应用的案例。高温蒸汽处理技术、微波消毒技术和化学消毒技术在技术、运行费用、投资等方面的对比分析如表 15 和 16 所示。

表 15 医疗废物非焚烧处理方法对比分析

序号	项目	高温蒸汽处理	微波处理	化学处理
1	技术原理	利用蒸汽的强潜热与强穿透性灭活	利用微波的所及之处的菌体内、外水分迅速激化产热灭活，作业后期蒸汽积聚，由蒸汽的强潜热与强穿透性灭活	利用消毒剂结合破碎，对医疗废物中致病菌灭活，实现医疗废物消毒和减容
2	技术可靠性	满足灭菌程度要求	满足灭菌程度要求	满足消毒程度要求
3	技术成熟度	国产化设备已成熟	依靠进口	依靠进口
4	设备要求	密闭，耐高温、高压，保温	密闭，耐高温，电磁防护	负压操作，耐腐蚀
5	适用范围	适应于中小规模，间歇工作，运行成本低	适用于中小处理规模，连续作业，运行成本低	适用于小规模处理，间歇工作，运行成本低

6	技术优点	操作简单, 但处理周期相对较长, 间歇工作, 投资及运行费用均较低	设备投资最小, 自动化程度高, 劳动强度小, 运行操作简单, 处理周期短、高效, 微波作用较为节能	协同作业, 作业时间短, 节能, 运行费低
7	技术缺点	配备蒸汽锅炉废气需处理、冷凝液需处理, 操作劳动条件差、强度大	废物需先破碎, 增加了生物安全风险, 电磁辐射存在防护问题, 设备金属罩防护, 操作人员戴特制防护眼镜和防护服	容易产生二次污染, 医疗废物处理效果保障程度不高
8	作业方式	间歇作业	连续作业	间歇作业
9	操作要求	主设备自动化, 劳动定员多	自动化程度高, 劳动强度小	主设备自动化, 劳动定员少
10	污染物排放	VOCs 排放, 冷凝液排放	VOCs 排放, 电磁辐射	无气体排放, 有化学消毒剂排放
11	占地面积	相对较小	相对较大	相对较小
12	运行维护	压力设备, 耐压耐温管件、阀门多, 运行维护要求较高	较为简单, 设备可靠程度高	破碎设备依赖程度大, 检修存在危险, 运行维护要求高

表 16 医疗废物处置技术投资比较

处置技术	适用范围	减容率 (%)	处置费用(近似值)	
			操作费用 (元/t)	单位投资费用(设备和安装费用)(万元)
高温蒸汽处理	感染性废物、损伤性废物	60-80	450-580	15-50
化学处理	感染性废物、损伤性废物	60-90	650-780	
微波处理	感染性废物、损伤性废物	60-90	720-910	

由表 15 和表 16 可以看出: (1)高温蒸汽处理技术在处理效果保证、投资规模等方面具有相对优势, 操作简单但工人劳动强度稍大; (2)微波消毒处理技术在处理效果保证、处理周期方面具备优势, 但设备投资相对较大; (3)化学消毒技术在处理效果保证方面可靠性相比较其他两种工艺技术来说较弱, 且容易产生消毒剂排放等二次污染问题, 但运行费用相对最低, 如果能采用二次污染小的消毒剂则会有更为广泛的应用前景。

## 6.2 医疗废物处理处置技术适用性分析与评估

根据医疗废物优化处置技术指标体系中所确定的 23 项指标, 在进行系统的评估和比较前, 首先针对集中技术之间的关键性问题进行论述和比较。

### 6.2.1 处置对象适用性比较

医疗废物处置技术的适应范围是进行技术应用的基础, 不同医疗废物处置技术适用范围如表 17 所示。

表 17 不同医疗废物处置技术适用范围

处置技术		感染性废物	病理性废物	损伤性废物	药物性废物	细胞毒性类药物废物	化学性废物
焚烧	回转窑焚烧	√	√	√	√	√	√
	热解焚烧	√	√	√	√	√	√
	炉排炉	√	√	√	可处理部分	√	允许一小部分
非焚烧	高温蒸汽处理	√	×	√	×	×	×
	微波处理	√	×	√	×	×	×
	化学处理	√	×	√	×	×	×

处置技术	感染性废物	病理性废物	损伤性废物	药物性废物	细胞毒性类药 物废物	化学性 废物
电子辐照	√	×	√	×	×	×

### 6.2.2 处置技术规模适宜性比较

焚烧技术较适合规模较大的医疗废物处置和危险废物处置，10t/d 以上的医疗废物处置和危险废物处置往往采用回转窑焚烧等技术。

但对于小规模医疗废物焚烧设施(如 3t/d、5t/d)，其所有工艺环节(如尾气急冷、脱酸、袋滤等)都与大规模焚烧设施类似，但是实现起来有较大的难度，实际上，仅配置国家标准要求的焚烧尾气在线监测装置就需要 100 万元左右的投资；小规模焚烧设施来料不稳定，3t/d 规模全额收集实际上往往仅 1t/d 左右，难以实现稳定连续运行，对尾气处理工艺造成的波动较大，在频繁的起炉和停炉间歇污染严重，维持燃烧需要的辅助燃料成本极高，实现达标排放只具有理论上的可能。另外，我国已经加入了《控制持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》，未来将要求焚烧二噁英排放标准从现有的 0.5 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> 提高到 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>，对于小规模焚烧设施带来的压力非常大。

对于中小规模医疗废物处置项目，高温蒸汽、微波、化学和电子辐照等技术因其可以间歇运行、运行费用低、适应性强、二次污染少、不产生二噁英等污染物、易于操作管理、工艺运行效果稳定等优点，比较适用于中小规模的医疗废物处置。

### 6.2.3 处置技术可靠性比较

焚烧处置技术对不同的废物具有较高的适应性，因其能使医疗废物处理达到无害化、减量化、稳定化和彻底毁形处理的目的而得到较大的应用。但是目前国内在运行的热解技术设备水平难以支撑其设备的可靠性。我国医疗废物热解焚烧门槛低，技术不成熟，市场混乱，实际运营中往往偏离原设计的理论焚烧工艺，运行效果差，根据未来发展需要，大部分属于面临改造或者淘汰范围。

而对非焚烧处置技术而言，不同技术针对医疗废物的处置有其不同的适应性，因此，应按照技术设备可靠程度考虑(即无论操作水平、分类水平、技术水平，杀灭细菌的可靠程度)。

### 6.2.4 处置技术污染物排放比较

焚烧处置技术在处置医疗废物的过程中还产生二噁英以及重金属等污染物质，尤其是在废物来料不稳定的情况下，会造成尾气净化方面的诸多问题，环境风险较大。非焚烧处理技术是对焚烧技术一种积极的补充，其间歇式的运行方式和工艺特点使该技术具有操作灵活、运行简单、处理成本低廉的特点，更适合产生量较小、来料不稳定、小规模医疗废物的处理，与焚烧技术相比，非焚烧处理过程的温度最多不超过 200℃，医疗废物中塑料等含氯高分子化合物的物质不会分解，因而不会产生二噁英致癌物质，可以实现二噁英的“零排放”。

### 6.2.5 处置技术建设成本和运行成本比较

同焚烧技术相比，非焚烧处置技术在建设成本和运行成本都具有较为显著的优势，从建设成本来看，非焚烧处置设施因其不具有类似焚烧处置技术所应具备的复杂的尾气净化系

统，因此其建设成本较低，同规模的相比，建设成本仅为焚烧处置设施的 1/2。从运行成本来看，一般情况下可认为非焚烧技术处理消耗的燃料、动力和原辅材料成本是焚烧技术的 1/3-1/4，低廉的运行成本使该技术更具有吸引力和竞争力，产生的废水、废气量小，易于处理，处置效果保障程度较高。非焚烧处理技术不改变医院内部现有的分类包装收集体系，不能纳入其处置体系的废药品、化学性废物、病理组织类废物往往所占比例较小，且一般都有相应的处置体系，也没有纳入焚烧体系。该技术尤其适用于 3t/d、5t/d 等小规模医疗废物处置项目。

#### 6.2.6 处置技术管理匹配性比较

为了规范焚烧处置设施的工程建设，环境保护部先后于 2004 年和 2006 年分别颁布实施了针对医疗废物集中焚烧处置以及非焚烧集中处理的工程技术规范，从建设和运行两个方面提出了严格的要求。相对而言，焚烧设施因工艺复杂需要较高的运营操作水平，而非焚烧技术的局限性在于它不是一种广谱的处置技术，对于药物性废物、病理性废物、化学性废物不适用，因而非焚烧技术的应用需要医院内部具备严格分类管理程序，卫生部门和环保部门已颁布多部部门规章，对医疗废物的分类管理和收集进行了严格规定，从源头减少了废物量和有害成分。因此，非焚烧技术需要较高的医疗机构内部管理和全过程监管能力，以便解决不同处置技术的适用性问题。

通过规划的实施，使我们对焚烧技术与非焚烧技术的适用性有了更清楚的认识。地级市医疗废物处置规模规划主要是 3—5t/d，但其主要医疗机构分布较为分散，往往乡镇一级医疗机构和城市卫生诊所等难以纳入集中处置范围的医疗机构的床位数占到地区总床位的一半，考虑受到收集运输条件的限制，项目运营初期实际能集中收集收到的废物一般仅为规划规模的 30%-70%左右。废物数量少，且来源、数量和性质的不稳定，选用焚烧工艺势必造成对焚烧和尾气净化系统的冲击，频繁启炉、停炉，实际运行中不可能按照理论设想的工作周期和工作状态运行，就更不用说达标排放的实现。

#### 6.2.7 不同处置技术的综合性比较分析

经总结前面章节关于焚烧和非焚烧处置技术的评估与分析，现结合技术优化的 23 项指标，对中国目前应用以及潜在应用的主要医疗废物处置技术进行系统得分析和评估，如表 18 所示。

表 18 中国主要以疗废物处置技术选择评估分析

序号	考虑范畴	编号	选择指标	焚烧处置技术				非焚烧处置技术			
				回转窑焚烧炉	热解焚烧炉	炉排式焚烧炉	等离子	高温蒸汽	微波	化学消毒	电子辐照
A	技术性能	A1	处置规模适宜性	10t/d 以上	5-8t/d	10t/d 以上	10t/d 以上	3-5t/d, 最高不超过 10t/d			
		A2	处置效果有效性	减量 90%	减量 85%	减量 90%	减量 95%	减容不减量, 处理后的参照还需按照生活垃圾进行处置			
		A3	处置废物适用性	原则上适合于处置各种医疗废物, 但是从伦理和美学角度考虑不处理病理性废物				适用于感染性废物、损伤性废物, 不适用于化学性废物和药物性废物			
		A4	系统配置完备性	应具备完善的处置设备和单元方能采用, 具体应符合国家标准要求				应具备完善的处置系统方能采用, 具体应符合国家标准要求			
		A5	单元设计先进性	各处置单元的应具有先进性, 符合国家标准要求				各处置单元的应具有先进性, 符合国家标准要求			
		A6	自动化控制水平	处置设施对相关工况参数和运行参数应能实现自动化控制, 具体应符合国家标准要求				处置设施对相关工况参数和运行参数应能实现自动化控制, 具体应符合国家标准要求			
		A7	处置设施的安全性	处置系统应有完备的应急保护方案, 在突发紧急事故时, 可以通过设置由工作区监视系统、分级报警显示、联动自锁装置、应急供电及设备 etc 组成的应急安全系统, 以确保系统的安全。				处置系统应有完备的应急保护方案, 在突发紧急事故时, 可以通过设置由工作区监视系统、分级报警显示、联动自锁装置、应急供电及设备 etc 组成的应急安全系统, 以确保系统的安全。			
		A8	需配套的基础设施	需配套供水、供电、供油以及二次污染物控制设施等。				需配套供水、供电以及二次污染物控制设施等。			
		A9	节能性能情况	燃油、燃气, 节能效果较差	燃油、燃气, 节能效果较好	燃油、燃气, 节能效果较差	耗电, 节能效果较差	燃油、燃气、耗电, 节能效果较差	耗电, 节能效果一般	耗电, 节能效果较差	耗电, 节能效果一般
		A10	处置设施的易操作性	运行维护要求高、操作难易程度、操作强度较大	运行维护要求较高、操作难易程度一般、操作强度较大、操作时间较长	运行维护要求高、操作难易程度、操作强度较大	运行维护要求较高、操作难易程度、操作强度较大	运行维护要求较高, 操作简单、操作强度较大	运行维护要求较高, 操作简单、操作强度较大	运行维护要求一般, 操作简单、操作强度小	运行维护要求较高, 操作简单、操作强度较大
		A11	监管手段可实现性	可实现在线监控, 监管软硬件条件具备				可实现在线监控, 监管软硬件条件具备			
B	环境影响	B1	产生有毒有害污染物风险	易产生二噁英等 POPs 物质			二噁英产生较少	不产生二噁英等 POPs 物质			
		B2	产生二次污染物风险	产生飞灰等固体废物, 还需进行安全处置			不产生有害固体废物	消毒处理后的残渣还需按照生活垃圾进行处置			
		B3	职业安全健康风险	具有烫伤风险				蒸汽伤害和病原体感染	微波辐射伤害和病原体感染	药剂泄露风险和病原体感染	电子辐射伤害和病原体感染

序号	考虑范畴	编号	选择指标	焚烧处置技术				非焚烧处置技术			
				回转窑焚烧炉	热解焚烧炉	炉排式焚烧炉	等离子	高温蒸汽	微波	化学消毒	电子辐照
		B4	对周围居民环境影响风险	尾气排放对周围居民健康危害的可能性较大			影响较小	处置过程中会产生恶臭，对周围居民产生影响			
		B5	生态环境影响风险	对周围土壤、水体、大气影响较大			影响较小	对周围土壤、水体、大气影响较小			
C	经济性能	C1	建设成本	高	中	中	非常高	较高	较高	较高	高
		C2	运行成本	高	中	中	高	较高	中	低	低
		C3	收益水平	中	高	中	中	中	中	高	中
D	社会条件	D1	公众可接受程度	低	中	低	高	高	中	高	中
		D2	政策允许程度	高	高	低	中	高	高	高	低
		D3	选址难易程度	高	高	高	高	中	中	中	中
		D4	技术获取难度	中	高	高	低	高	重	中	低

### 6.3 医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指标体系构建

中国履行 POPs 公约的实质是减少医疗废物焚烧处置过程中产生的二噁英，以便实现保护人体健康和保护环境的目的。根据 POPs 公约以及国内外医疗废物管理和处置实践要求，要从根本上解决医疗废物的管理和处置问题，推进医疗废物可持续管理进程，其管理和处置应符合以下几方面标准：中国目前医疗废物管理和处置的最终目标是要建立既满足国际公约要求，有符合中国国情的医疗处置技术和管理模式，最终实现可持续环境管理。医疗物处置有多种技术路线，众多的技术均有其各自的特点及适用性，如何推进一项医疗废物处置技术？在一个地区的应用究竟应该考虑哪些因素？同时如何应用这些因素来最终确定技术的选择问题。应综合国际公约以及国际组织关于医疗废物处置技术应用的选择标准，并结合我国的实际情况进行确定。经研究和分析国内外技术应用状况，认为一项技术的选择应考虑如下因素：

- 环境目标可达性(Environmental desirability): 是指采取的废物处置技术和管理能力能够确保确保公共健康和环境安全。
- 管理持续性(Administrative diligence): 是指相应的管理能力能够确保采取的政策和措施得以落实并长期有效，重点为环境影响情况。
- 经济有效性(Economic effectiveness): 是指采取的处置技术和管理手段成本有效，并同时考虑了废物本身的经济价值。
- 社会可接受性和有效性(Social acceptability and equity): 是指采取的处置技术和管理手段能够为当地社会所支持和接受，包括废物管理方法的有效性。

针对技术选择的考虑因素问题，美国和欧洲的医疗废物无害化组织(Health Care Without Harm)都在其医疗废物处置技术选择时，需要考虑的因素应包括：废物处置能力、处置废物的类型、微生物灭活效率、污染物排放、政策接受水平、空间要求、附属设施要求、废物减量、职业安全和健康、噪声和恶臭、自动控制、技术可靠性、商业化水平、技术和设备提供商背景、成本、社会及公众接受程度等因素。

围绕以上考虑的因素，经综合国内外研究成果，对医疗废物处置技术选择过程中所涉及的影响因素进行分析和总结，得出医疗废物处置技术选择考虑的指标体系，如表 19 所示。

**表 19 医疗废物处置技术选择考虑的指标体系**

序号	考虑范畴	编号	选择指标	重点考虑因素
A	技术性能	A1	处置规模适宜性	与地方规划规模的适应性
		A2	处置效果有效性	与地方配套设施匹配性
		A3	处置废物适用性	与地方废物类型和配套设施互补性
		A4	系统配置完备性	与标准和规范相符性
		A5	单元设计先进性	与标准和规范相符性
		A6	自动化控制水平	与标准和规范相符性以及自动化先进性
		A7	处置设施的安全性	考虑设施安全防护措施配置情况
		A8	需配套的基础设施	考虑配套设施的难易程度

序号	考虑范畴	编号	选择指标	重点考虑因素
		A9	节能性能情况	考虑节能效果的比较优势
		A10	处置设施的易操作性	考虑设施的复杂程度和可操作性
		A11	监管手段可实现性	考虑相应的地方监管及监测能力
B	环境影响	B1	产生有毒有害污染物风险	考虑 POPs 等有毒有害物质的产生情况
		B2	产生二次污染物风险	考虑废气、废水、废渣、噪声等环境因子
		B3	职业安全健康风险	考虑技术应用对操作人员的健康风险
		B4	对周围居民环境影响风险	考虑污染物排放对周围居民的影响程度
		B5	生态环境影响风险	考虑污染物排放对生态环境的影响程度
C	经济性能	C1	建设成本	考虑主体设备及配套设施的成本
		C2	运行成本	考虑废物处置成本和设备折旧
		C3	收益水平	利考虑润水平和运行可持续能力
D	社会条件	D1	公众可接受程度	从污染程度以及公众反应进行综合评价
		D2	政策允许程度	从对技术应用的政策角度进行评价
		D3	选址难易程度	从卫生和安全防护距离角度评价
		D4	技术获取难易程度	从技术获取的难易程度进行评价

表 3-6 列出了在进行技术选择时应考虑的主要因素，关于具体因素的内容阐述如下：

技术性能指标 A:

A1-处置规模适宜性：指医疗废物处置系统在规定时间内所能处置废物的量。

A2-处置效果有效性：指处置医疗废物所能达到杀灭病原性微生物的效率、减容减量毁形程度及后续处置要求。

A3-处置废物适用性：指处置技术对各种医疗废物类型的适用范围。

A4-系统配置完备性：指处置设施应具备的全套设备和单元情况。

A5-单元设计先进性：指各个处置单元的先进程度。

A6-自动化控制水平：指处置设施对相关工况参数和运行参数实现制自动化控制的程度。

A7-设施安全性指标：医疗废物处置系统要有完备的应急保护方案，在突发紧急事故时，可以通过设置由工作区监视系统、分级报警显示、联动自锁装置、应急供电及设备等组成的应急安全系统，以确保系统的安全。

A8-需配套的基础设施：主要指除了主体设备和附属设备外，还需配套哪些其他设施，如供水、供电、二次污染物处置等。

A9-节能性能情况：通常用处置单位废物量所消耗的能源量来衡量处置系统能耗性能。

A10-处置设施的易操作性：主要体现在处置操作难易程度、操作强度大小及操作时间长短等。

A11-监管手段可实现性：主要结合处置技术水平，考虑地方的实施监管硬件和软件条件的可实现程度。

环境影响指标B:

**B1-产生有毒有害污染物风险：**各种医疗废物处置技术均会或多或少产生的有毒有害气体、液体或固体污染物等对环境危害的可能性大小。

**B2-产生二次污染物风险：**指处置过程中产生的有毒有害物质经污染控制装置处置之后排放，排放物对环境产生二次污染可能性大小。通常用污染控制装置出口的排放物种类和浓度来反映。

**B3-职业安全健康风险：**指在处置过程中对工作人员造成的不安全可能性大小和危害后果，不安全因素包括有毒有害物的危害和危险性作业的危害，如机械性损伤、热表面烫伤、辐射、化学性伤害及病原体感染等。

**B4-对周围居民环境影响风险：**指处置活动对周围居民健康危害的可能性大小。

**B5-生态环境影响风险：**指在医疗废物处置活动中产生或排放的有害物对处置单位所在地的土壤、水体、大气等生态环境状况造成的负面影响。

**经济性能指标C：**

**C1-建设成本：**指估算项目所投入的总资金，包括建设投资、流动资金及建设期内分年资金需要量。

**C2-运行成本：**指项目生产运营支出的各种费用。通常用单位废物量处置成本和总成本费用反映成本费用多少。

**C3-收益水平指标：**收益水平反映了项目盈利能力的高低。财务内部收益率、财务净现值和投资回收期是主要的盈利性指标。

**社会条件指标D：**

**D1-公众接受程度指标：**指公众根据对医疗废物处置方式和工艺技术的认知，所表现出的排斥性大小或认可接受程度。

**D2-政策许可程度指标：**指所选用的处置技术得到国家以及地方相关标准和法规认可或偏向性程度。

**D3-选址难易程度指标：**针对备选医疗废物处置技术，项目所在地可用场地条件与选址要求相匹配、相适应程度。

**D4-技术获取难易程度指标：**技术获取难易程度与技术供应商背景、技术商品化程度、技术引进方式及国产化程度等有关。

每个方面又各自包含了许多指标因素，其中既有定量指标因素，又有定性指标因素，这此均反映了技术方案评价的整体性、综合性、相关性和阶层性特征。实际上，一项技术的成功应用将最终要体现在工程上。同时，医疗废物处置工程技术方案的综合评价是一个由相互关联、相互制约的众多因素构成的复杂系统，涉及技术、经济、环境及社会制约等方面，基于中国医疗废物处置设施所存在的问题，正如前面所陈述的那样，中国现在运行的处置设施在推进其应用方面还存在着较大的差距，尤其是在中国履行斯德歌尔摩公约，加严二噁英等相关标准限值的特定背景下，如何针对现有源和源源采取相应的技术优化措施尤为重要。

## 7. 最佳可行技术指南实施环境效益与经济技术分析

### 7.1 采用最佳可行技术的总体要求

随着《关于持久性有机污染物国际公约》(POPs 公约)的签订,该公约于 2004 年 11 月进入实施阶段,公约要求所有签约国家减少二噁英类等副产品的产生,而医疗废物焚烧是以上副产品的重要来源,无疑也是公约所限制的主要内容之一。该公约提出,医疗废物焚烧过程中容易产生二噁英类、HCB、PCB(多氯联苯)和其他微量重金属污染物,公约要求各缔约国采用最佳可行技术(BAT)和最佳环境实践(BEP)。在二噁英类减排控制时间要求方面,公约提出缔约方应在公约正式生效的两年内制定实施计划,应在公约正式对该缔约方生效不晚于四年内提出针对新源的最佳实用技术要求。联合国环境规划署 POPs 公约秘书处制定的《最佳可行技术与最佳环境实践指南》认为焚烧技术是危险废物处置中最为成熟的技术,并对主流焚烧技术,如回转窑、热解、流化床等焚烧炉的工艺设计和运行参数进行了严格的规定,也对危险废物的产生、收集、分类、贮存、运输、处理及最终处置过程提出了详细的要求。在标准方面,BAT/BEP 指南对焚烧处置过程的二噁英类没有提出强制性的标准,但是认为采用 BAT 技术的焚烧炉尾气二噁英类排放应达到  $0.01-0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  的水平,而  $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  的排放限值是该指南推荐的最低标准限值要求。

POPs 公约于 2004 年 11 月 11 日对中国正式生效,也就是说中国应在 2008 年 11 月 11 日前对新源提出最佳实用技术要求,尤其是二噁英类污染控制指标。为全面推进中国履行 POPs 公约进程,国家环境保护总局会同各部委编制完成了《中国履行持久性有机污染物公约国家实施计划》(以下简称“国家实施计划”或“该计划”),并已于 2007 年 4 月 14 日获得国务院的批准,该计划确定了中国 POPs 履约过程的优先领域。在二噁英等副产物类 POPs 控制的具体目标方面提出,“到 2015 年,对重点行业推行 BAT/BEP,基本控制二噁英排放的增长趋势。”我国针对副产物类 POPs 管理和控制领域相关工作的开展,标志着中国在推进 POPs 履约方面所取得的关键性进展,为中国推进副产物类 POPs 的污染控制以及国际履约工作的开展指明了方向。

根据我国现行的危险废物焚烧污染控制标准,中国的二噁英类控制标准为  $0.5\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ ,考虑到中国的履约要求和国情,经过修订后将有可能将二噁英类污染物排放标准根据规模及技术特点确定为  $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ 。自 2015 年 1 月 1 日起,新源和现有源均应执行该标准更加严格的限值要求。而对新源可能自《危险废物焚烧污染控制标准》修订发布后即执行新标准限值要求。

另外,在技术导向方面,公约指出,在进行医疗废物处理技术选择时,应优先选择不排放二噁英的非焚烧处理技术,如微波、高温蒸汽、化学消毒等,进而避免二噁英的排放。

## 7.2 环境效益分析

### 7.2.1 医疗废物焚烧处置最佳可行技术环境效益分析

医疗废物焚烧处理技术作为目前中国医疗废物处置技术的重要技术选择,还将在其处置过程中发挥重要的作用。通过采用最佳可行技术,将对于推进二噁英、重金属以及 HCl、SO<sub>2</sub> 等酸性气体的排放产生积极的影响,环境效益显著,特别是随着"POPs 公约"履约进程的加快,今后的工作重点将推进最佳可行技术的应用,该技术指南的应用将会对环境效益产生积极的影响。

### 7.2.2 医疗废物非焚烧处置最佳可行技术环境效益分析

医疗废物非焚烧处理技术作为焚烧的替代技术,因其所具有的建设成本和运营成本低、社会易接受程度高、不排放二恶英等优点将具有广泛的应用前景,尤其是在中国履行 POPs 公约的特定背景下,推进非焚烧处理技术在医疗废物处理领域的实际应用将会产生积极的影响。按照 120 家医疗废物处理设施采用非焚烧处理技术来看,同焚烧设施相比,将极大地推进二噁英的减排。另外,还会对与减少 HCl、SO<sub>2</sub> 等污染物的排放产生积极的影响,环境效益显著。就非焚烧技术而言,其排放的污染物主要为 VOCs、恶臭和粉尘;另外,其处置过程还存在着消毒效果不彻底而带来的环境风险。但是通过加强管理,推进过程控制和末端控制,规范处置设施运行管理将会有效的控制相关污染物的产生和排放。

另外,通过推进采用最佳可行技术,对于推进国内相关技术的研发和应用,全面推进非焚烧处理过程中 VOCs 和恶臭污染控制将会起到积极的推动作用。考虑目前国内的现有技术储备,该类技术的应用在目前的政策以及经济运行机制框架下问题不大,但是非焚烧处理技术的应用一定要从推进技术规范化的角度推进技术研发的先进性和技术应用的规范性,确保其技术应用过程中的污染控制。

## 7.3 经济效益分析

### 7.3.1 焚烧处置最佳可行技术经济效益分析

#### 7.3.1.1 单项处置最佳可行技术经济效益分析

##### (1) 活性炭注入加袋式除尘技术

##### ① 投资成本

活性炭注入加袋式除尘技术的直接工程投资包括袋式除尘器、活性炭喷入系统、压缩空气反吹系统等设备费及配电、控制等其它配套费用。表 20 以 1t/h 的焚烧规模(烟气体积 10000Nm<sup>3</sup>/h)为例,进行工程投资分析。

表 20 活性炭注入加袋式除尘技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资(万元)		单位烟气投资 (元/Nm <sup>3</sup> )
		单项投资	总投资	
活性炭注入加袋式 除尘技术(A)	袋式除尘器,过滤面积 277m <sup>2</sup> ,含聚酯、 尼龙、PIFT、聚酰亚胺等滤袋	50	80	80
	活性炭喷入系统,加入速率 1.0kg/h	15		
	压缩空气反吹系统,气量 4m <sup>3</sup> /min	10		

	其它配套	5		
活性炭注入加袋式除尘技术 (B)	袋式除尘器, 过滤面积 590m <sup>2</sup> , 含戈尔滤袋	120	150	150
	活性炭喷入系统, 加入速率 1.0kg/h	15		
	压缩空气反吹系统, 气量 4m <sup>3</sup> /min	10		
	其它配套	5		

注: 表中 A 表示袋式除尘器的烟气流速为 1m/s, 布袋材质采用聚酯、尼龙、PIFT、聚酰亚胺等普通材质的情况; BA 表示袋式除尘器的烟气流速为 0.1-0.5m/s, 布袋材质采用聚四氟乙烯材质的情况。

### ②运行成本

活性炭注入加袋式除尘技术的运行成本包括设备折旧、活性炭消耗、动力消耗、布袋消耗等费用。表 21 以 1t/h 的焚烧规模 (烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h) 为例, 进行运行成本分析。

**表 21 活性炭注入加袋式除尘技术运行成本分析**

技术名称	主要设备	成本 (元/h)		单位成本 (元/t)
		单项成本	总成本	
活性炭注入加袋式除尘技术 (A)	设备折旧 (10 年)	9	42	42
	活性炭消耗 1.0kg/h	8		
	动力消耗 16KWh	8		
	布袋消耗 0.06m <sup>2</sup> /t	17		
活性炭注入加袋式除尘技术 (B)	设备折旧 (10 年)	18	184	184
	活性炭消耗 1kg/h	8		
	动力消耗 16KWh	8		
	布袋消耗 0.06m <sup>2</sup> /h	150		

注: 表中 A 表示袋式除尘器的烟气流速为 1m/s, 布袋材质采用聚酯、尼龙、PIFT、聚酰亚胺等普通材质的情况; B 表示袋式除尘器的烟气流速为 0.1-0.5m/s, 布袋材质采用聚四氟乙烯材质的情况。

### (2)固定床吸附技术

#### ①投资成本

固定床吸附技术的直接工程投资包括吸附塔及配电、控制等其它配套费用, 活性炭填料费用。表 22 以 1t/h 的焚烧规模 (烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h) 为例, 进行工程投资分析。

**表 22 固定床吸附技术工程投资分析**

技术名称	主要设备	投资 (万元)		单位烟气投资 (元/Nm <sup>3</sup> )
		单项投资	总投资	
固定床吸附技术	吸附塔 Φ3500×5000	34	51	51
	活性炭 15m <sup>3</sup>	13		
	其它配套	4		

#### ②运行成本

固定床吸附技术的运行成本包括设备折旧、活性炭消耗、动力消耗等费用。表 23 以 1t/h 的焚烧规模 (烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h) 为例, 进行运行成本分析。

**表 23 固定床吸附技术运行成本分析**

技术名称	主要设备	成本 (元/h)		单位成本 (元/t)
		单项成本	总成本	
固定床吸附技术	设备折旧 (10 年)	6	20	20
	活性炭消耗 0.5kg/t	4		
	动力消耗 20KWh	10		

### (3)SCR 技术

①投资成本

SCR 技术的直接工程投资包括催化反应器及配电、控制等其它配套费用，SCR 催化剂费用。表 24 以 1t/h 的焚烧规模（烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行工程投资分析。

表 24 SCR 技术工程投资分析

技术名称	主要设备	投资（万元）		单位烟气投资 （元/Nm <sup>3</sup> ）
		单项投资	总投资	
SCR 技术	催化反应器 3m×4m×5m	45	225	225
	SCR 催化剂 18m <sup>3</sup>	170		
	其它配套	10		

②运行成本

SCR 技术的运行成本包括设备折旧、动力消耗等费用。表 25 以 1t/h 的焚烧规模（烟气量 10000Nm<sup>3</sup>/h）为例，进行运行成本分析。

表 25 SCR 技术运行成本分析

技术名称	主要设备	成本（元/h）		单位成本 （元/t）
		单项成本	总成本	
SCR 技术	设备折旧（10 年）	25	29	29
	动力消耗 8KWh	4		

7.3.1.2 组合技术应用环境和经济效益分析

(1)已有设施改造需要的投资

二噁英减排从 0.5ngTEQ/Nm<sup>3</sup> 提高到 0.1 ngTEQ/Nm<sup>3</sup> 所需要的投资，如表 26 所示。

表 26 焚烧处置设施实现二噁英排放所需要的投资估算

规模 t/d	数量(个)	烟气量 Nm <sup>3</sup> /h	技术选择	单位改造投资 （元/Nm <sup>3</sup> ）	尾气处理总投资(万 元)
≤15	117	435604	急冷+活性炭注入+循环流化床+袋式除尘+固定床吸附	225~437	9801-19036
			急冷+活性炭注入+循环流化床+袋式除尘+ SCR	418~620	18208-27007
15-35	51	543070	急冷+活性炭注入+袋式除尘+固定床吸附	193~395	10481-21451
			急冷+活性炭注入+袋式除尘+SCR	376~578	20420-31390
≥35	5	156600	急冷+活性炭注入+袋式除尘	122~324	1910-5074
			急冷+活性炭注入+循环流化床+袋式除尘	164~366	2568-5731

(2)新建设施建设需要的投资

新建设施的建设造依据二噁英排放水平直接达到标准要求 0.1ngTEQ/Nm<sup>3</sup>，分别估算单个不同类型设施组合实现二噁英减排所需要大约投资，如表 27 所示。

表 27 新建设施实现二噁英排放所需要的投资估算

规模 t/d	烟气量 Nm <sup>3</sup> /h	技术选择	单位建设投资 （元/Nm <sup>3</sup> ）	单套尾气处理设施 总投资（万元）
-----------	---------------------------	------	--------------------------------	---------------------

≤15	≤6250	急冷+活性炭注入+循环流化床+袋式除尘+固定床吸附	225~437	140-273
		急冷+活性炭注入+循环流化床+袋式除尘+ SCR	418~620	261-388
15-35	6250-14580	急冷+活性炭注入+袋式除尘+固定床吸附	193~395	120-576
		急冷+活性炭注入+袋式除尘+SCR	376~578	235-843
≥35	≥14580	急冷+活性炭注入+袋式除尘	122~324	177-472
		急冷+活性炭注入+循环流化床+袋式除尘	164~366	240-534

以上是达到  $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$  的标准限值所需要的经济投入。虽然目前现在已有的设施基本上已经能达到标准规定的最低要求，但是还有相当一部分设施不能达到要求。因此，还需要对这部分进行一些经济投入，满足最佳可行技术所应达到的污染控制水平。

### 7.3.2 医疗废物非焚烧处理污染防治经济可行性分析

同焚烧技术相比，非焚烧处理技术在污染物排放方面具有极大的优势，在污染物产生类型、数量、环境影响以及监测手段和监测成本等方面都具有显著的优势。一方面，采用非焚烧处理技术将会大大减少医疗废物处置设施的建设成本，以 5t/天热解焚烧处置技术为例，尾气净化设备成本约为 200-300 万元，而同类型的非焚烧处理设备尾气净化设施成本约为 15-50 万元。另一方面，在运营成本方面，热解焚烧处置技术处置医疗废物的成本为 1200-1700 元/t，回转窑处置医疗废物的成本会更高，而非焚烧处理技术约为 450-900 元/t。再有，非焚烧处理技术的运行管理监测成本大大低于焚烧处理技术，如热解焚烧处理技术的二噁英监测成本为 10000-15000 元/样品，一般需要采 6-9 个样品，总计 60000-150000 元。而非焚烧处理技术的消毒效果监测全部下来约 30000-50000 元。因此，从经济角度，非焚烧处理污染控制的标准的实施在经济方面可行。

就非焚烧技术而言，其排放的污染物主要为 VOCs、恶臭和粉尘；另外，其处置过程还存在着消毒效果不彻底而带来的环境风险。但是通过加强管理，推进过程控制和末端控制，规范处置设施运行管理将会有效的控制相关污染物的产生和排放。从目前国内相关监测数据情况来看，医疗废物高温蒸汽处理设施的 VOCs 以 VOCs 计算的排放值为  $140-220\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均  $180\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；化学消毒处理设施为  $15-55\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；微波+高温蒸汽处理设施为  $100-140\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，平均  $120\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。因此，应采取切实可行的污染控制技术，加强污染控制，实现 VOCs 污染控制。

## 8. 指南实施建议

本指南围绕医疗废物处理处置过程中污染防治的实施需要,在对各种医疗废物处理处置技术进行系统分析和评估的基础上,结合国际发展趋势和要求,提出了最佳可行技术和最佳环境管理要求,对于推进医疗废物处理处置设施建设中技术选择、工程设计、工程施工、设施运营、监督管理等方面工作具有重要的指导意义。

医疗废物污染防治最佳可行技术是随着社会的不断进步医疗废物的管理和处置也将不断的取得进步和发展的必然选择,是多项国际公约对医疗废物管理的共同要求。医疗废物污染防治最佳可行技术应围绕如何更好的实现医疗废物感染控制和污染控制而展开。针对我国医疗废物污染防治最佳可行技术实施提出如下建议:

(1)中国应充分结合医疗废物的特性和地方的特点,围绕最佳可行技术和最佳环境实践的要求,选择切实可行的处理处置技术,用于解决区域性的医疗废物管理和处置问题。

(2)医疗废物处理处置技术和管理模式的优化要将生命周期管理作为医疗废物管理的基本因素,并将全过程管理理念纳入到医疗废物处置技术的应用过程,切实解决医疗废物处置中的感染性控制和污染控制问题,并将其纳入医疗废物管理和处置实践。

(3)医疗废物处理处置技术和管理模式优化需要建立切实可行的技术优化评价方法。应进一步落实性能评价方法的应用,进一步推进非焚烧处理过程中的处理效果检测,推进实现医疗废物安全化和无害化管理和处置。