

医疗垃圾焚烧处理工艺简介

广州迪斯环保设备有限公司 汪波 (510663)

摘要: 采用热解--焚烧法处理医疗垃圾, 该系统主要包括: 热解焚烧炉、余热锅炉、脱酸塔、袋式除尘器、活性炭纤维吸附装置等。运行结果表明在一燃室 700℃、二燃室 1000---1200℃时, 通过热解---焚烧、脱酸、除尘、活性炭吸附等过程, 尾气中 CO、SO₂、HCl、二恶英、重金属等污染物的排放量远低于排放标准。

关键词: 热解 焚烧 二恶英 重金属 尾气 净化

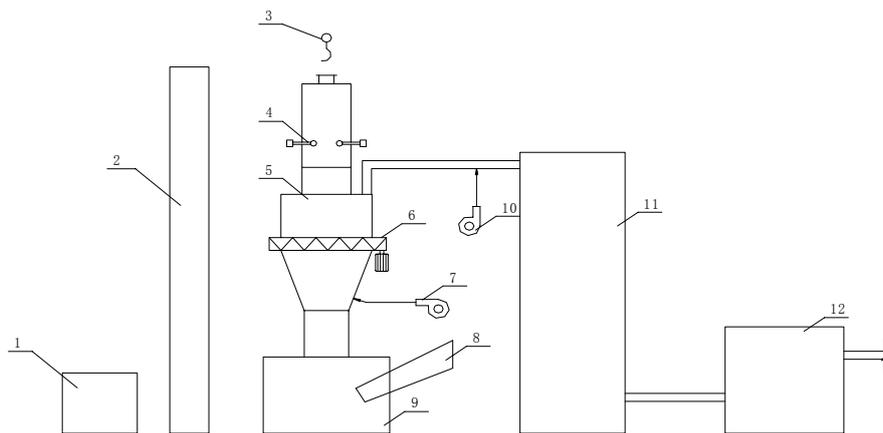
医疗垃圾是指医院、诊所、卫生防疫、保健等与卫生医疗有关的单位中产生的废弃物总称, 这些废弃物中含有大量的传染性废弃物(病菌、病人用品)、病理性废弃物(手术切除物、人体组织、器官)、药物性废弃物(过期、淘汰、变质药品)、损伤性废弃物(针头、手术刀、玻璃器皿)、化学性废弃物(影像室的化学试剂、消毒剂、汞温度计、汞血压计)等, 这些废弃物具有空间传染、急性传染、潜伏性传染等特征。与城市生活垃圾不同, 虽然医疗垃圾总量较少, 但其携带病菌数量巨大、种类繁多危害更大, 其毒性是普通城市生活垃圾的几十倍甚至数百倍, 直接威胁人身健及社会公共卫生安全。因此对其进行无害化处理就显得十分重要。

由于热解--焚烧具有简单、易于操作、处理周期短、处理效率高、减容率高达 90%以上。所以目前国内、外几乎都采用热解--焚烧法处理医疗垃圾, 被认为是比较理想的处理方法。但焚烧过程产生的尾气中含有大量的重金属、二恶英、HCl、HF、SO₂等危险物, 对周围环境的污染十分严重, 因此对尾气的净化也是至关重要的问题。

尾气净化主要有湿法、干法、半干法三种, 由于湿法存在后期污水处理较麻烦, 而且对二恶英、重金属等处理效果较差故应用较少。

1 焚烧处理工艺流程

医疗废弃物焚烧处理工艺系统主要由焚烧炉、余热锅炉及其辅助设备组成。图 1 为西北某医疗废弃物热解--焚烧处理工艺流程。



- 1 废料桶 2 密封电梯 3 吊车 4 双辊破碎机 5 一燃室 6 回转电机 7 一次风机 8 排渣机
9 水封槽 10 二次风机 11 二燃室 12 余热锅炉

图 1 热解—焚烧处理工艺流程

该处理厂焚烧采用热解—焚烧两段工艺，由各处收集来的医疗垃圾被收集在专用的密闭容器内通过危险品运输车送到处理中心，在封闭的卸料车间通过专用电梯密闭送到顶层上料车间，通过双辊式破碎加料机破碎后连续均匀地进入一次燃烧室内，由于焚烧炉炉体可转动，故垃圾在一燃室内保持相对运动状态下、并通过控制一次风量使其在缺氧条件下均匀热解，热解产物(残炭及分解气体)进入二燃室内在富氧高温条件下充分燃烧，并为一燃室热解提供热源。燃尽后的结焦状残渣经预热器将一次风预热同时也得到冷却，经炉排机械挤压破碎成 100mm 以下的块状物排至炉底水封槽内经湿式出渣机排出。焚烧所产生的热尾气进入余热锅炉进行换热，产生的蒸汽用于中心设备用气及冬季采暖，未使用的蒸汽进入换热器回收利用以节省水源。

热解—焚烧过程是从燃烧机理入手，人为地将垃圾的热解与热解产物的燃烧分开来进行，即先使垃圾在缺氧条件下使其在 600-750℃ 温度下进行裂解，其中可燃物质分解为短链的有机气体及微量氢气和低分子量的气体碳氢化合物。由于缺氧故在一燃室内未能完全燃烧，然后将热解的产物引入二燃室内并补入二次空气使其在富氧、高温(1000-1200℃)条件下充分燃烧，由于在高温下所以燃烧反应很快完成，抑制了焦油、烟炱等不完全燃烧产物的生成，达到了完全燃烧的目的。焚烧各部分温度见表 1

表 1 热解—焚烧温度

记录时间	一燃室 ℃	二燃室 ℃	余热锅 ℃	脱酸塔 ℃		风机出口 ℃
				进口	出口	
9.40	780.3	1162.4	691.7	267.5	175	165.3
9.50	785.7	1136.9	686.2	268.3	171.6	166.7
10.00	798.8	1108.8	677.1	268	170.7	165.9
10.10	812.3	1074.2	668	265.3	169.5	164.6
10.20	816.4	1061.2	663.4	265.4	169.3	164.5
10.30	816.3	1038.4	658	264.6	168.8	163.9
10.40	813.8	1062.8	661.6	265.1	168.8	164.1
10.50	814.2	1113.7	673.6	266.4	170.3	165.1
11.00	816.6	1111.3	675.2	267.3	170.5	165.5

表 1 中一燃室温度普遍大于设计值，其主要原因是一次风量过大造成的。

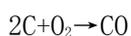
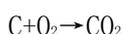
1.1 热解—燃烧的反应过程：

固体废弃物的热解

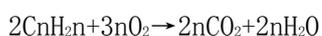
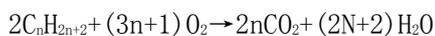
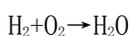
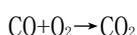
由于固体废弃物的种类繁多无法给出确切的热解反应方程式，对棉织物、纸、塑料(包括含氯塑料)、手术切出物、人体组织、器官等主要热解产物为：C、CO、H₂、C_nH_{2n+n}、C_nH_{2n}、HCl、SO_x等。

热解产物的燃烧

热解碳燃烧



热解气燃烧



1.2 热解—焚烧的主要参数

- 一燃室热解温度：600-750℃
- 二燃室燃烧温度：1000-1200℃
- 1.3 二燃室停留时间：>2S
- 1.4 过剩空气系数
- 一燃室为缺氧热解
- 二燃室过剩空气系数：5-10%

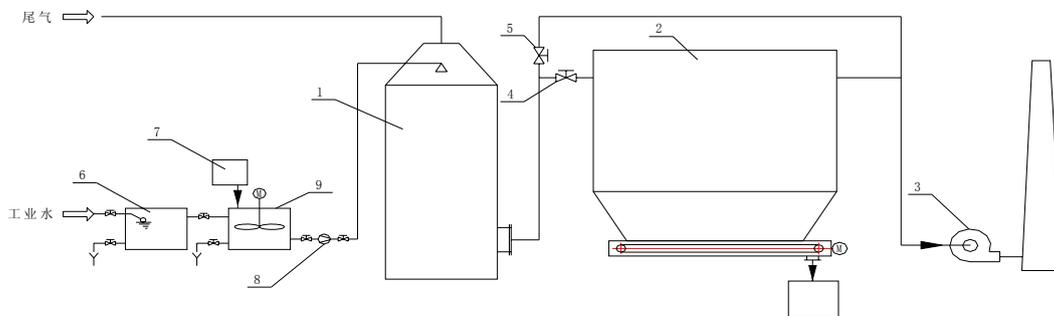
2 垃圾热解—焚烧主要技术参数：见表 2

表 2 垃圾焚烧主要技术参数

入炉燃料燃烧值	6280-12550KJ/Kg	焚烧能力	20T/D
入炉燃料设计值	105000KJ/Kg	最大能力	24T/D
炉渣热灼减率	<3%	一燃室温度	600-750℃
二燃室停留时间	>2S	二燃室温度	1000-1200℃
蒸汽量	2T/h	蒸汽温度	170℃ 0.7MPa
尾气量	12000Nm ³ /h		

3 尾气净化工艺流程

尾气净化系统采用喷雾干燥处理工艺，主要由脱酸塔、袋式除尘器、溶液制备装置、风机及辅助装置等组成。如图 2 所示。



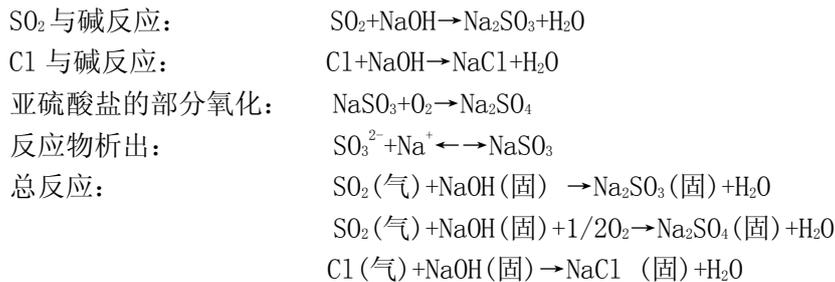
1 脱酸塔 2 袋式除尘器 3 风机 4 进风管 5 旁通阀 6 水箱 7 药箱 8 水泵 9 搅拌箱 10 烟囱

图 2 尾气净化工艺流程

3.1 酸性气体的去除

来自余热锅炉出来的尾气(260-270℃)由顶部进入喷雾干燥塔内,在塔的顶部喷入 NaOH 溶液,一方面利用尾气的热量将喷入的雾滴水分蒸发形成干燥的粉状固体颗粒收集下来。另一方面尾气中酸性气体与 NaOH 浆液同时发生化学吸收反应,达到脱酸的目的。在塔内完成脱酸反应后形成的产物部分在塔内由底部锥体出口排出,另一部分随反后的尾气进入袋式除尘器内经净化后排空。其反应过程如下:





3.2 二恶英、重金属的去除

据统计医疗垃圾焚烧产生的二恶英量最多，其次是城市垃圾焚烧，尾气中二恶英是以蒸汽状态(气相)和吸附在飞灰颗粒上(固相)二种状态存在，且各占 50%，因此仅靠滤袋过滤作用很难作到达标排放。

重金属污染源于焚烧过程中的蒸发，因此随着尾气温度的降低重金属凝结成粒状物被捕集而去除。熔点温度较低的重金属元素无法充分凝结，但在飞灰表面催化作用下会形成熔点温度较高且较易凝结的氧化物或氯化物，特别是汞和镉大部分吸附在飞灰颗粒上而被捕集下来。

飞灰采用侧插扁袋脉冲工除尘器进行收集，由于仅靠靠滤袋过滤作用难以达到对二恶英、重金属等污染物的排放标准，故在袋式除尘器的出口顶层又加设了二层活性炭纤维过滤层。活性炭纤维具有发达的微孔结构，因此具有比表面积大、吸附容量高、吸、脱附速度快、净化效果好，并耐酸、碱、高温，对二恶英吸附效率可达 65%不但比单独采用袋式除尘器时对除二恶英、重金属等污染物的去除率高。

单纯的活性炭对汞蒸汽的吸附容量较低，因而一般是使活性炭先吸附上某种化学物质，如 Cl、金属等。汞在被吸附的同时与活性炭上的化学物质化学反应造成汞化物(如 HgCl、汞齐等)，残留在活性炭上。但由于活性炭纤维没有进行改性处理，因此汞只有通过飞灰颗粒的吸附而被捕集下来。

在袋式除尘器入口设有旁通阀，当尾气温度超过滤袋的承受温度时，打开旁通阀，保护滤袋不受损害。

袋式除尘器是保证尾气达标排放的重要环节，而滤袋和清灰则是袋式除尘器能否正常运行的关键所在，现在清灰几乎全部采用脉冲方式。因此滤袋已成为除尘器瓶颈所在，滤袋在正常情况下，损坏原因主要有三种：(1)机械损伤；(2)腐蚀；(3)滤袋堵塞。

机械损坏主要在制作、运输、安装、运行时磨损造成的；

机械损坏除在制作、运输、安装、运行时滤袋与袋笼间相互磨擦及粉尘冲刷外，长期以来我们忽视了铁锈对滤袋的损害，由于上部箱体(净风室)顶部钢板锈蚀，氧化铁皮落入滤袋内，如落入袋底尚没有问题，最可怕的是卡在袋笼上，而铁锈都是有尖角的，在过滤、喷吹时对滤袋的磨损是非常严重的。

腐蚀主要有：水解、氧化、酸、碱腐蚀，其中主要是因水解、氧化原因造成损坏较多；而酸腐蚀较少；碱腐蚀则更少。

滤袋堵塞：堵塞除与清灰方式有关外，还与滤料的结构、表面处理有关。

尾气中某些微量元素对滤袋的损害，目前我们还无法对其作出合理的解释，因为这些元素的含量实在是太低了，低到甚至无法检测到。但它们是实实在在的在尾气中存在，其造成的危害是极大的。如溴蒸汽(Br₂)虽然其含量极微，但对滤袋造成的损害是致命的。而且这些微量元素在很多场合往往被忽视。这也许就是很多时候我们对滤袋的损坏难以找到真正原因的所在。

我国开展大规模垃圾焚烧处理是在上世纪 90 年代初期，早期滤料多选用 PPS 材质。但从十多年的运行效果及经验来看，PPS 滤料在垃圾焚烧尾气上应用成功例子不多，这是由于

PPS 滤料抗氧化性较差，因此其并不适合用在垃圾焚烧尾气净化上，这一点在欧洲也得到证实。欧洲早期应用 P84 较多，近年来有 80%左右改为 PTFE 或其复合滤料，从报道上看效果不错。而日本则采用玻纤滤料较多，从使用效果看可以排放标准，但玻纤滤料价格比 PTFE 或其复合滤料低得多，所以国内采用玻纤滤料较好。

4. 主要操作工艺条件

- 4.1 脱 SO_x 的 Na/S 比： 1.05:1
- 4.2 脱 HCl 的 Na/Cl 比： 0.5:1
- 4.3 进吸收塔烟气温度： 260℃
- 4.4 溶液浓度： 10~12%
- 4.5 溶液流量： 450~500L/h
- 4.6 吸收塔内烟气流速： 0.62m/s
- 4.7 塔内烟气停留时间： 4S
- 4.8 浆液喷嘴处压力： 2~3bar
- 4.9 压缩空气喷嘴处压力： 2.76bar
- 4.10 进除尘器烟气温度： 165~170℃
- 4.11 除尘器反吹压缩空气压力： 5~6 bar
- 4.12 除尘器阻力： <130mmH₂O

5 应用效果

经过近 2 年的运行于 2005 年 6 月通过当地环保部门验收，表 3 为监测试结果

表 3 尾气净化系统测定结果

序号	污染物	测试结果	标准值	备注
1	烟气量 (Nm ³ /h)	12000		采用标准： GB18484—2001 <危险废物焚烧污染物控制标准>
1	烟气温度 (°C)	165		
2	烟尘浓度 (mg/m ³)	28	80	
3	烟气氧含量 (%)	8.7		
4	过剩空气系数 (%)	5-10		
5	CO (mg/m ³)	3	80	
6	SO ₂ (mg/m ³)	40	300	
7	HCl (mg/m ³)	13.8		
8	HF (mg/m ³)	0.29	7	
9	NO _x (mg/m ³)	64	500	
10	二恶英 (ng/m ³)	0.1	1	
11	汞化合物 (以 Hg 计) (mg/m ³)	N、D	0.1	
12	镉及其化合物 (以 Cd 计) (mg/m ³)	N、D	0.1	
13	砷及其化合物 (以 As 计) (mg/m ³)	0.001	1.0	
14	铅及其化合物 (以 Pb 计) (mg/m ³)	0.01	1.0	
15	铬、锡、铋、铜、锰、镍及其化合物 (以 Cr+Sn+Sb+Cu+Mn+Ni 计) (mg/m ³)	0.115	4.0	

注：N、D 低于检出下限

6 讨论

6.1 目前不论是链条炉、流化床炉等都可以作到热解—焚烧二次焚烧处理垃圾，但在叫法上却不一样比较混乱，如有叫热解—焚烧、分段燃烧、二段燃烧、二次燃烧等，笔者认为叫二次燃烧较好；

6.2 尾气净化所用的滤袋，其材质不宜采用 PPS 或 P84，而 PTFE 或其复合滤料价格又相对较高，因此选择玻纤滤料较为理想，但玻纤滤料不宜采用玻纤毡或玻纤膨胀体，而宜采用克重较大的玻纤布；

6.3 由于垃圾焚烧产生的尾气中 SO_2 、 HCl 等酸性气体浓度不是很高，因此只要向尾气中喷入石灰干粉(在 $\text{Ca/S}:1.5$)条件下就能达到脱除酸性气体的目的，国外在垃圾焚烧尾气采用喷入石灰干粉脱酸实例也较多；

6.4 由于二恶英不像 SO_2 、粉尘那样可以通过在线检测，而二恶英的去除与喷入的活性炭量密切相关，但目前我们并不清楚活性炭喷入量与二恶英的去除率的定量关系，所以各厂喷入量也不相同，因此尽快确定活性炭喷入量已成为当务之急。

7 小结

7.1 可以焚烧低热值高水分的医疗垃圾；

7.2 热解—焚烧法处理医疗不需要分栋、破碎、消毒杀菌彻底，使垃圾中有机物转化为无机物，处理过程安全可靠；

7.3 炉体本体可以转动，垃圾在一燃室内分布均匀，使热解较彻底；

7.4 垃圾在一燃室和二燃室分段进行，比直燃炉产生的二恶英等污染物量少；

7.5 由于采用缺氧热解，一燃室尾气夹带的颗粒物较少；

7.6 垃圾减容量可达 90%以上，且采用湿式排渣操作环境好；

7.7 从实际使用情况看，喷雾干燥法脱硫工艺用在垃圾焚烧尾气净化，其脱酸率、系统的可靠性都是很高的，运行结果表明相对湿度、尾气温度、进口 SO_2 浓度、 Na/S 及氯化物存在等都会对脱酸率有一定的影响；

7.8 在正常运行条件下， Na/S 在 1.1 以上时，增加 Na/S 对脱硫率的提高已不明显；

7.9 袋式除尘器的脱硫率及收尘效率都比采用电除尘器高；

7.10 采用滤袋+活性炭纤维去除二恶英、重金属等污染物具有去除率高、维修方便等特点；

7.11 尾气中的溴(Br_2)等物质虽然含量极少，但对滤袋的损害却是十分严重的；

7.12 PPS 滤料不适合用在垃圾焚烧尾气。

8 参考文献

- | | | |
|-------------------------------|--------|----------|
| 1 汪波“喷雾干燥法烟气脱硫技术” | 环境保护 | 1996年9期 |
| 2 汪波“喷雾干燥法在垃圾焚烧应用” | 中国环保产业 | 2005年5期 |
| 3 陈泽峰、汪建国“小型废物焚烧炉烟气中二恶英的控制研究” | 中国环保产业 | 2004年10期 |
| 4 徐长忠、袁长友“医疗垃圾处理新工艺—高温热解” | 中国环保产业 | 2004年2期 |