



Toxics-Free
Corps

无毒先锋

第08期

DETOXIFICATION FILE

解毒档案

—— 令人堪忧的医疗废物
焚烧处置环境表现

导语

2019年底，一场突如其来的新冠肺炎疫情让全中国甚至全世界都进入了警戒状态。随之而来的除了恐慌、焦虑和不幸，还有较平时增长不少的医疗废物。

医疗废物（简称“医废”）是指医疗卫生机构在医疗、预防、保健以及其他相关活动中产生的具有直接或者间接感染性、毒性及其他危害性的废物。与生活垃圾相比，医疗废物存在传染性病毒、病菌、放射性污染物及化学污染物等有害物质，具有急性传染、空间传染和潜伏传染的特征，其病菌的危害性是普通垃圾的几十甚至上千倍，具有极大的危险性。我国2008年颁布的《国家危险废物名录》将医疗废物列为第一号危险废物，国际上也将其列入《控制危险废料越境转移及其处置巴塞尔公约》条款中，加以严格控制与管理。

由于焚烧处置具有快速减容、减量、减毒的能力，成为当前处置医废主要采用的方法。2014年，我国医疗废物主要的处置方式是焚烧，占总处置量的80%-90%¹。

表1 各种医疗废物处理技术对比

序号	处理方法	优点	缺点
1	高温焚烧法	废物毁形彻底，适合所有医疗废物；可大规模运用；运行稳定；消毒去污效果好；潜在热能可利用；技术成熟	成本高；空气污染严重；易产生有害气体；底渣和飞灰具有危害
2	热解法	处理彻底；运行成本低于常规焚烧；产生的烟量量少；产生有害物质少；适用范围广	有可能产生废气、废物。有潜在二次污染的可能
3	卫生填埋法	工艺简单、投资少、可处理量大	占用土地、产生有害气体和挥发性有机物、对土壤和地下水潜在危害
4	高温蒸汽灭菌法	投资少、操作费用低；易于检测；残留物危险性较低；消毒效果好；适用范围广	处理后体积和外观变化少；产生空气污染物；甲醛、苯酚和汞不能被处理
5	化学消毒法	操作简单方便；除臭效果好；成本低；对于干式处理效率高，不会产生废液、废气	对破碎系统要求高；对pH检测要求高；湿式处理会有有害物质产生；不适用于放射性废弃物。挥发或半挥发性有机化合物
6	微波处理法	废物毁形效果好；环境污染小；操作简便	建设和运行成本较高；不适合血液和危险化学品物质的处理
7	等离子体法	低渗出、高减容、高强度、处理效率高；处理类别不限；无有害物质排放；潜在热能可回收利用	成本高；系统稳定性易受影响；可靠性有待验证和提高

（图片来源：罗帅等，2017）

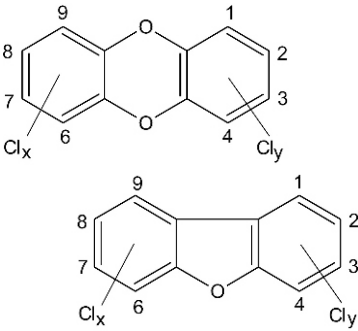
根据公开的信息，疫情期间很多医疗废物都被焚烧处理了。除了送到各个地区现有的医疗废物焚烧炉（Medical Waste Incinerators, MWI）外，也有将医疗废物送到生活垃圾焚烧厂或水泥窑进行处理的，产量高的地区如武汉还会使用移动式医疗废物焚烧炉对医疗废物进行就地焚烧处理。

焚烧过程排放的二噁英、多氯联苯、多环芳烃等持久性有机污染物以及重金属等多种高毒污染物，会对环境造成严重的二次污染，值得我们关注。而多项研究表明，我国的医疗废物焚烧处置设施的环境表现令人堪忧。

一、医疗废物焚烧炉烟气二噁英排放超标严重

二噁英是世界卫生组织列出的应引起重大公共卫生关注的10种化学品之一。作为一种典型的持久性有机污染物，它具有高毒、难降解、可生物累积、可远距离传输等特性。早在1997年，世界卫生组织下属的国际癌症研究所就将它列为一种已知的人类致癌物。近年来，二噁英的内分泌干扰毒性及低剂量暴露下的长期健康影响也得到更清楚的认识。

目前，我国医疗废物焚烧炉烟气二噁英的排放标准为0.5 ng I-TEQ/m³*，依据为于2002年1月1日正式执行的《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）²。根据《中华人民共和国履行〈关于持久性有机物的斯德哥尔摩公约〉国家实施计划》统计，我国2004年由于医疗废物焚烧产生的二噁英年排放总量(以I-TEQ计)为1.1763 kg，占全国二噁英排放总量的11.5%³。



(图：二噁英/呋喃分子结构)

针对医疗废物焚烧炉的烟气排放问题，我国自十余年前即有学者开始相关研究。解毒档案搜索到的较早国内文献，来自2006年刘劲松等针对三种不同炉型的医疗废物焚烧炉（炉排型焚烧炉、回转窑型焚烧炉、热解型焚烧炉）废气处理设施排放的废气中二噁英所做的调查，其发现我国医疗废物焚烧炉排放废气中的二噁英浓度超出国标限值（0.5 ng I-TEQ/m³）状况较为严重，超标范围在7.76~166倍之间⁴。

随后不同国内学者，针对此主题在全国不同地域进行了调查研究。李晓东等（2010）对7座医疗废物焚烧炉的烟气二噁英含量进行分析后发现，烟气二噁英浓度范围为0.32~16.43 ng I-TEQ/m³，平均浓度为5.85 ng I-TEQ/m³。他们指出，我国医疗废物焚烧炉的二噁英排放控制压力很大，建议加大对医疗废物焚烧污染物排放控制的研究和技术改造⁵。Li等（2017）分析了2016年全国12座医疗废物焚烧炉（年总处理能力为523440吨，占全国246家医废焚烧炉总

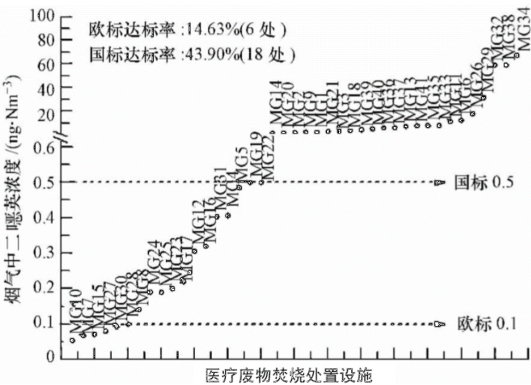
*二噁英是210种不同化合物的总称，包括75种多氯二苯并-对-二噁英（PCDDs）以及135种多氯二苯并呋喃（PCDFs），世界卫生组织癌症研究所和美国环保署已将其列为已知人类致癌物。环境中存在的二噁英以其混合物形式存在，评价接触这些混合物对健康产生的潜在效应并非含量的简单相加。为评价这些混合物对健康影响的潜在效应，提出了毒性当量（Toxic Equivalency Quantity, TEQ）的概念，并通过毒性当量因子（Toxic Equivalency Factor, TEF）来折算。

TEF是指其他PCDD/Fs异构体对某种作为标准的异构体的相对毒性大小，实际应用中一般以毒性最强的2,3,7,8-TCDD的TEF作为标准1，其他PCDD/Fs异构体与其比较所得的毒性值便是该异构体的相对毒性强度。

容量的8.1%)的二噁英的排放特征。发现烟气中二噁英的总浓度为0.516~122.803 ng/m³，毒性当量浓度为0.031~3.463 ng I-TEQ/m³。2016年这12座医废焚烧炉和全国所有医废焚烧炉的烟气二噁英排放总量分别为37.742和465.951 mg I-TEQ⁶。

杨艳艳等 (2019) 于2015-2018年冬季 (12-2月) 通过对广东省某医废焚烧厂排放烟气及焚烧设施周边2.5km范围内6个采样点，分别进行了4次烟气和环境空气样品采集及浓度测量，并根据 VLIER-HUMAAN 模型对成人及儿童吸入的二噁英进行健康风险评估，发现该医疗废物焚烧厂烟气二噁英毒性当量浓度为0.542~21.3 ng I-TEQ/m³，排放水平较高，且近源采样点空气中二噁英浓度较高，并随着与排放源的距离增加，出现先增高后降低的趋势。周边区域人群的二噁英呼吸暴露风险总体处于较安全水平，但部分个体的呼吸暴露贡献率超过了评价限值⁷。

欧盟有关医疗废物焚烧炉烟气二噁英的排放标准为0.1 ng I-TEQ/m³，该标准自1996年



(图片来源：陈佳等，2014)

底的欧盟指令94/67/EC中即开始实施，后于2000年底更新的欧盟废弃物焚烧指令 2000/76/EC中继续沿用此标准⁸。国内一些学者在进行我国医疗废物焚烧炉烟气排放研究中，结合国内标准评价的同时，亦积极参考欧标等国外标准进行达标率分析。Gao等 (2009) 分析了14座医疗废物焚烧炉烟气中的二噁英含量发现，烟气二噁英排放量变化很大 (0.08 ~

31.60 ng I-TEQ/m³)。其中9座焚烧炉的排放水平低于中国现行的排放标准 (0.5 ng I-TEQ/m³)，只有2座设施的排放水平低于欧盟的排放限值。有2座焚烧炉的烟气中二噁英的浓度高于10.0 ng I-TEQ/m³。经估计，2006年医疗废物焚烧炉共排放了4.87 g I-TEQ的二噁英到大气中⁹。陈佳等(2014)通过对全国41处医疗废物焚烧处置设施二噁英排放水平调查发现，2012年，我国医疗废物焚烧处置设施仅有43.90%的烟气二噁英排放是达标的 (其中日处置量10~30吨的达标率最低，仅有20%)，欧标达标率更是低至14.63%¹⁰。

从以上为数不多的研究，我们可以发现，我国医疗废物焚烧炉烟气二噁英超标排放问题普遍存在，达标率较低。这说明，我国医疗废物焚烧炉的焚烧技术和烟气处理技术亟待提升。

二、不能忽视的启停炉阶段的二噁英排放量

通常，医疗废物焚烧炉的烟气二噁英采样是在稳定工况下进行的。然而，一些小型焚烧炉由于体积小或来料不稳定，难以实现稳定连续运行。由于启停炉等非正常工况的存在，导致其二噁英排放总量远大于按照稳定工况计算所得的量。

王奇等（2015）对位于华东地区的某医疗废物焚烧处置设施，开展了启炉过程与正常工况下烟气和飞灰的二噁英排放特性对比研究。发现医废焚烧炉整个启炉过程中绝大多数阶段，烟气二噁英排放速率高于其正常达标时的排放水平，最高超过40倍。一个启炉周期，二噁英的排放总量达到0.785 mg I-TEQ，而达标正常工况下二噁英的年排放总量为8.4 mg I-TEQ。以平均每年3次启炉来计算，启炉过程二噁英的排放量占全年正常排放的28%¹¹。

Chen等（2015）发现，医疗废物焚烧炉停炉和启炉的二噁英毒性当量浓度分别可达 $1.47 \pm 0.17 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ 和 $7.73 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ 。停炉期间的平均毒性当量浓度比正常运行期间的高3.8倍，而启炉期间的平均毒性当量浓度则几乎高出20倍。研究人员建议监控应覆盖整个焚烧周期，包括启炉、运行和停炉阶段，而不仅仅是最佳工况之时¹²。

三、医疗废物焚烧炉烟气二噁英排放水平的影响因素

医疗废物焚烧炉烟气二噁英排放水平的影响因素有多个方面，如处置对象的成分、焚烧炉型、处置容量、烟气净化设施和管理水平等等。

1、处置对象的成分

医疗废物中的铜含量及焚烧烟气中的氯化氢（HCl）浓度，是促进其焚烧过程生成二噁英的主要介质。已有学者发现，在医废焚烧处理过程中，可起催化作用的铜含量和烟气中氯化氢类含氯物质的浓度高于生活垃圾焚烧，对烟气中二噁英生成比较有利，因此医废焚烧烟气中二噁英的发生浓度往往要高于生活垃圾烟气。

卢青（2013）研究了医废焚烧过程二噁英在焚烧线200~600℃区间不同烟道断面烟气中分布的变化情况。发现医废焚烧烟气中二噁英的平均浓度水平（ $5 \sim 23.3 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ ）要高于通常报道的城市生活垃圾焚烧烟气中约 4.4 ng I-TEQ/m^3 的水平。

促进焚烧过程中二噁英类物质生成的氯化铜、氯化铁等催化剂在传统城市生活垃圾焚烧炉排放的飞灰中含量分别为0.04%~0.07%和2%~3%，而医疗废弃物飞灰中的含铜量（约

2176 mg/kg) 往往要高于生活垃圾焚烧飞灰 (378.6~1435 mg/kg) , 为普通生活垃圾焚烧飞灰的2-4倍。

医疗废物焚烧烟气中的氯化氢不仅来自有机高分子氯化物, 同时医疗废物中含有的氯化钠 (NaCl) 、氯化钙 (CaCl_2) 、氯化镁 (MgCl_2) 、氯化铁 (FeCl_3) 、氯化铝 (AlCl_3) 等及医院使用的含氯消毒剂物质, 在焚烧过程中也会通过反应生成氯化氢。通常生活垃圾焚烧厂烟气中的氯化氢浓度基本上在600~1200 mg/m^3 范围内, 而医废焚烧烟气中氯化氢的浓度一般在700~4000 mg/m^3 , 远高于生活垃圾氯化氢的浓度¹³。

2、焚烧炉型

用于危险和医疗废物焚烧的处置设施, 其采用的炉型主要有两类组成, 分别是回转窑和热解炉。回转窑的处置容量更大, 对物料的适用性更好, 因而在国内被相关废物处置厂家广泛使用¹⁰。刘劲松等 (2006) 发现, 回转窑型医疗废物焚烧炉排放废气, 虽然经过烟气处理设施处理, 但排放废气中的二噁英浓度非常高, 超出国家标准80~106倍, 这可能与该回转窑炉体长度较短、锅炉降温过缓等因素有关⁴。陈佳等 (2014) 通过研究发现, 就达标率而言, 医疗废物焚烧选择热解炉时, 国标和欧标达标率均高于回转窑¹⁰。

3、烟气净化设施

我国危险及医疗废物焚烧处置设施的烟气净化装置主要以半干法脱酸、活性炭喷射和布袋除尘器为主, 另有部分采用干法脱酸, 但也有部分地区因地域、经济等限制, 采用更加简易的净化设施。如黄文等 (2017) 研究医疗废物焚烧炉周边环境介质中二噁英浓度时发现, 其研究对象——位于西北某地的医废焚烧炉, 其烟气净化设施仅为活性炭纤维网和水膜除尘, 非常简单, 监测结果表明烟气中二噁英毒性当量浓度均值为184 $\text{ng I-TEQ}/\text{m}^3$ 远超我国标准限值, 且周边环境空气、土壤和植物样本中二噁英毒性当量浓度亦处于较高的污染水平¹⁴。

四、医疗废物焚烧炉烟气中排放的其他污染物

除二噁英外, 医疗废物焚烧炉烟气排放的污染物还包括多氯联苯、多环芳烃 (形成二噁英的前驱物) 等。这些污染物对周边空气、土壤、水体、作物等均会造成不同程度的富集与二次污染。

Chen 等 (2009) 对一医疗废物焚烧炉烟气中的多氯联苯 (PCBs) 进行分析发现, 烟气中所有同系物 (单氯到十氯同系物) 的多氯联苯总浓度范围为 $138.01 \sim 855.35 \text{ ng/m}^3$, PCB-77 浓度是类二噁英多氯联苯中最高的。类二噁英多氯联苯在烟道气总多氯联苯浓度中的比例在 11.7% 和 26.0% 之间变化 (平均值为 18.7%)¹⁵。

五、医疗废物焚烧炉产生的飞灰和灰渣

医疗废物通过焚烧法可以实现将危险废物减量化, 但最终仍然会有一定量的固体废物 (以飞灰和灰渣的形式) 进入到环境中。刘汉桥等 (2007) 指出, 医疗废物经焚烧后, 会产生约 30% 的底灰和 3% 的飞灰¹⁶。存在于飞灰与灰渣中的有毒与有害物质, 将通过自然环境中的物理、化学以及生物作用, 进行迁移转化, 以各种可能的媒介 (主要为土壤、水体) 进入人体。如: 通过浸出液导致水体污染, 其中可能的暴露路线是: 浸出水 → 地下水 → 水塘 → 人体饮用。

王冬梅等 (2009) 采集某医疗废物集中处置场焚烧产生的烟气飞灰和炉底灰渣, 通过浸出实验与模式预测相结合, 研究出飞灰与灰渣中重金属通过水体途径对人体产生的健康风险值。结果发现, 化学致癌物由饮水途径所致健康危害的个人年风险以铬最大, 镉次之。其中, 铬在医疗飞灰和灰渣中个人年风险最大, 分别达 8.8865×10^{-5} /年和 8.2597×10^{-5} /年, 即每千人中因饮用水水质的化学致癌物而受到健康危害的人数高于 8 人, 超过国际辐射防护委员会 (ICR) 推荐的最大可接受风险 5.0×10^{-5} /年。铬等致癌性重金属作为医废焚烧产生飞灰及灰渣中的主要潜在污染物, 应作为风险决策管理的重点对象¹⁷。

陈佳等 (2014) 通过对全国医疗废物焚烧处置行业的二噁英排放特征进行分析发现, 医疗废物焚烧飞灰中二噁英均值浓度为危险废物焚烧飞灰的 6 倍之多, 在多个医废焚烧厂中, 仅有 1 处设施的飞灰二噁英含量满足国外 $1 \mu\text{g I-TEQ/kg}$ 的标准限值, 即使是国内《生活垃圾填埋场污染控制标准》规定的 $3 \mu\text{g I-TEQ/kg}$ 的标准亦仅有 16.67% 的设施满足。有近 83.33% 的设施高于国内标准限值, 平均浓度高达 $42786.54 \text{ ng I-TEQ/kg}$, 并且主要集中于 $5 \sim 20 \text{ t/d}$ 日处理量的焚烧设施间¹⁸。

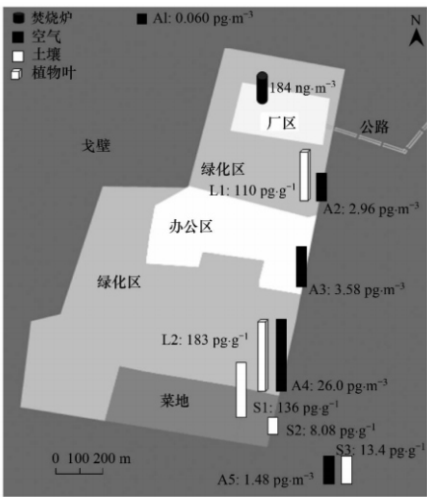
六、医疗废物焚烧炉对周边环境的影响

1、二噁英

排放到大气中的二噁英通过干、湿沉降方式转移到土壤，并容易吸附到表层土壤的有机物质上，被吸附的二噁英难以降解。土壤中的二噁英一方面可通过挥发作用或与土壤尘粒一起以悬浮方式转移，成为二次污染源，对环境、农产品、植被、人体产生负面的影响；另一方面也可通过生物根部吸收传播到食物链中，最终积累到人体内，危害人体健康。因此，监测排放源周边土壤二噁英的含量，对于评价医疗废物焚烧厂运行，对周边环境的安全影响和周边居民的健康风险十分必要。

现阶段，根据《关于进一步加强生物质发电项目环境影响评价管理工作的通知》（环发[2008]82号文）的要求，我国环境空气二噁英浓度标准参照日本的空气二噁英年均浓度标准即0.6 pg TEQ/m³。

而目前，我国尚无农用地土壤二噁英标准。在此，解毒档案参照国外的相关标准进行比照：为保证农业安全，荷兰规定农用地土壤二噁英含量须小于1 ng I-TEQ/kg，德国规定的标准为须小于5 ng I-TEQ/kg，瑞典、新西兰和日本等国的标准为须小10 ng I-TEQ/kg（单位换算：1 ng I-TEQ/kg=1 pg I-TEQ/g）。



采样分布及样品毒性当量浓度 (I-TEQ)

(图片来源：黄文等，2013)

针对医疗废物焚烧炉周边环境二噁英浓度的相关研究，我国也有一些学者已取得发现进展。如针对周边空气质量的研究，黄文等（2013）通过对我国西北某医疗废物焚烧炉周边空气上风向及下风向样品中二噁英含量及组成进行分析后发现，环境空气样本中二噁英含量均值为7.30 pg I-TEQ/m³，处于较高的污染水平。污染源下风向上的环境空气样品中二噁英浓度明显高于上风向上样品中的浓度，下风向样品中的浓度随与污染源距离的增加呈现先升高后降低的趋势，最高浓度的样本距污染源700m左右。且烟气样品二噁英同系物单体质量浓度(毒性当量)分布特征与主导风下方向空

气、土壤、植物样本中具有较强的相似性¹⁴。

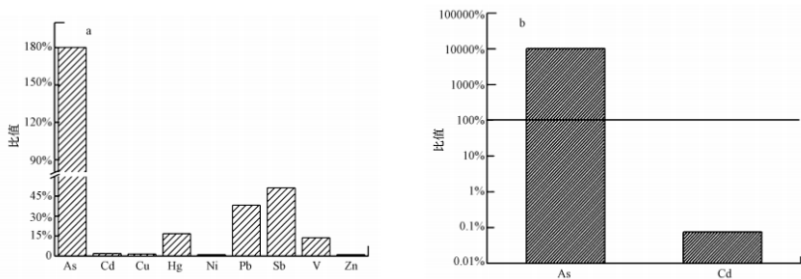
杨艳艳等 (2019) 于2015-2018年通过对广东省一医废焚烧厂周边2.5km范围内的5个居民聚集区和1个厂界区环境空气的二噁英含量进行4次监测发现, 该焚烧厂周边环境空气中二噁英毒性当量浓度变化范围为0.036~17.7 pg I-TEQ/m³。近源采样点空气中二噁英浓度水平较高, 并随着与排放源的距离增加出现先增高后降低的趋势 (与黄文等 (2013) 研究的变化趋势一致), 厂界区域可能受到焚烧设施的影响相对高于其他采样点, 周边环境空气中二噁英浓度明显受到排放源烟气落地点的影响。样品中二噁英分布特征和主成分分析表明, 该研究区域中环境空气二噁英主要来源于医疗废物焚烧烟气排放⁷。

我国学者针对土壤环境中二噁英浓度的研究, 也有取得了一些研究成果。严密 (2012) 对某特定医疗废物焚烧炉周围土壤中二噁英浓度进行了为期5年的跟踪监测。研究结果显示焚烧炉运行后, 周围土壤中二噁英的浓度出现了增加。焚烧炉运行前的2007年土壤样品平均二噁英含量为1.09 pg I-TEQ/g, 2011年达到了4.14 pg I-TEQ/g。并且焚烧炉运行后各土壤采样点的二噁英浓度平均增长量和采样点与焚烧炉烟囱的距离呈现出指数关系, 即增长量随着距离增加出现指数降低, 并建议设置500~600米半径的安全距离。另外, 空气样品采集和检测也显示, 厂区空气中具有较高的二噁英含量, 建议应对工作人员进行严格的工作防护措施¹⁸。

李敏等 (2016) 于2007~2014年期间, 对浙江省某医疗废物焚烧厂周边土壤二噁英含量和指纹特征分布进行跟踪调查后发现, 该焚烧厂运行7年, 其周边土壤二噁英的平均值和中值均发生变化, 整体呈上升趋势。2008年土壤二噁英均值相比2007年增加了96%, 焚烧炉运行对周边土壤二噁英含量产生了较大影响。2014年土壤二噁英含量范围为3.26~15.20 ng I-TEQ/kg, 均值为7.05 ng I-TEQ/kg, 是2007年运行前土壤二噁英含量值的6.47倍。运行7年, 土壤二噁英含量平均每年增长0.85 ng I-TEQ/kg。焚烧炉二噁英排放对周边土壤的影响程度与距离有关, 500米以内影响程度明显。并且, 随着运行时间的增加, 土壤二噁英的同系物指纹特征分布趋向于焚烧厂的指纹特征分布³。

2、重金属

目前, 国内学者针对医疗废物焚烧炉二噁英排放对周围环境的影响已有初步研究, 但重金属排放对周围环境影响的研究还较少。医疗废物焚烧炉烟气中的重金属以气态, 和富集于飞灰上的固态形式排放进入大气, 并通过干湿沉降直接进入土壤及水体中。而后以其环境生物毒性及生物累积性, 对生态及人类健康构成严重威胁。



2012 年研究区土壤金属非致癌风险 (a) 和致癌风险 (b)

(图片来源：杨杰等，2014)

杨杰等 (2014) 通过对浙江省北部某一医疗焚烧厂运行前 (2007年) 和焚烧厂运行5年后 (2012年)，其厂区周边土壤进行采样和重金属含量分析发现，该焚烧厂运行5年后周围土壤中，低于“土壤质量农业用地二级标准”的金属只有铜、镍和钒。汞超标最严重，达到限值的1111%；其次是镉，达到限值的456%，但所有金属含量都在“土壤质量居住用地和工业用地二级标准”之内。另外，主成分分析结果表明，医疗废物焚烧厂并不是周边土壤中重金属的唯一污染源，还存在其它潜在污染源。同时，利用美国环保署发布的“初步修复目标标准 (Preliminary Remediation Goals (PRGs))”规定的居民生活区安全值进行风险评估研究表明，砷在非致癌风险和致癌风险的评估中均超标，因此必须尽量减少砷释放到环境中的量¹⁹。

彭晓春等 (2013) 对广东省中部一医疗废物焚烧厂周边土壤和植物中的重金属进行分析后发现，医疗垃圾焚烧厂周边土壤中铬、锌和镉含量轻度超标，周围植物叶和茎中重金属含量轻度超标。土壤中重金属主要受医疗垃圾焚烧厂排放的重金属扩散、沉降的影响，其次受到土壤自身的生物地球化学作用，气候气相条件也影响该地区的重金属分布。植物中重金属主要受医疗垃圾焚烧厂排放的重金属至大气扩散、沉降而吸收累积，其次为通过土壤吸收累积²⁰。

总结

综上所述，我国医疗废物焚烧炉的烟气二噁英排放超标现象非常普遍，且超标程度很高。焚烧产生的飞灰和炉渣环境风险亦较高。焚烧炉的运行对周边的环境空气、土壤和植物造成了较为严重的环境影响。这不仅与焚烧本身的特性有关，也与医疗废物的组分、焚烧炉型、烟气净化设施和运营管理水平有关。

我们建议生态环境主管部门加强对医废焚烧企业的监管，督促其提标改造和稳定运营；建议有条件的地区引进其他更为环境友好的处置方式或设施来处理医疗废物，尽量将医疗废物处置对环境造成的二次伤害降至最低。

参考文献

- 1 罗帅, 张祥明, 吴江彬, 等. 我国医疗废物处置技术及现状[J]. 广东化工, 2017, 44(1):44-45.
- 2 国家环境保护总局. 国家质量监督检验检疫总局:《危险废物焚烧污染控制标准》(GB18484-2001), 2001年11月12日。
- 3 李敏, 王超, 倪明江, 等. 医疗废物焚烧厂二英排放对周边土壤的影响 (2007-2014 年)[J]. 环境科学学报, 2016, 36(10): 3804-3809.
- 4 刘劲松. 我国部分医疗废物焚烧炉二噁英污染评价及排放量分析[C]. 持久性有机污染物论坛2006暨第一届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集. 2006:123-126.
- 5 李晓东, 陆胜勇, 等. 医疗废物焚烧炉烟气中二噁英的指纹特性[C]. 持久性有机污染物论坛2010暨第五届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集. 2010.
- 6 Li J, Lv Z, Du L, et al. Emission characteristic of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/Fs) from medical waste incinerators (MWIs) in China in 2016: A comparison between higher emission levels of MWIs and lower emission levels of MWIs[J]. Environmental Pollution, 2017, 221: 437-444.
- 7 杨艳艳, 韩静磊, 尹文华, 等. 医疗废物焚烧厂周边环境空气中二英浓度分布及其健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2019, 39(12): 4215-4225.
- 8 European Environment Agency. Waste Incineration Directive (2000/76/EC). [EB/OL]. [2020-03-07]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0076&from=EN>.
- 9 Gao H, Ni Y, Zhang H, et al. Stack gas emissions of PCDD/Fs from hospital waste incinerators in Chi-na[J]. Chemosphere, 2009, 77(5): 634-639.
- 10 陈佳, 陈彤, 王奇, 等. 2014. 中国危险废物和医疗废物焚烧处置行业二噁英排放水平研究[J]. 环境科学学报, 34(4): 973-979.
- 11 王奇, 陈佳, 王超, 等. 医疗废物焚烧炉启炉过程二英排放特性[J]. 化工学报, 2015, 66(1): 419-425.
- 12 Chen T, Zhan M, Yan M, et al. Dioxins from medical waste incineration: normal operation and transient conditions[J]. Waste Management & Research, 2015, 33(7): 644-651. <https://doi.org/10.1177/0734242X15593639>.
- 13 卢青. 医疗废物回转窑焚烧线中二噁英的生成[J]. 环境工程学报, 2013, 7(02):743-746.
- 14 黄文, 张素坤, 杜国勇, 等. 医疗废物焚烧炉周边环境介质中二噁英的浓度、同系物分布与来源分析[J]. 环境科学, 2013, 34(08):3238-3243.
- 15 Chen T, Li X, Yan J, et al. Polychlorinated biphenyls emission from a medical waste incinerator in China[J]. Journal of hazardous materials, 2009, 172(2-3): 1339-1343.
- 16 刘汉桥, 蔡九菊, 齐鹏飞, 等. 医疗垃圾焚烧灰特性实验研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2007, 28(4): 533-536.
- 17 王冬梅, 孟宪林. 焚烧法处置医疗废物产生的废渣中重金属健康风险研究[J]. 化学工程师, 2009, 23(09):30-32.
- 18 严密. 医疗废物焚烧过程二噁英生成抑制和焚烧炉环境影响研究[D]. 浙江大学, 2012.
- 19 杨杰, 严密, 李晓东, 等. 医疗废物焚烧炉运行前后 5 年周边土壤重金属对比分析研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(2): 417-422.
- 20 彭晓春. 广东省医疗废物焚烧厂周围环境重金属污染特性[C]. 中国环境科学学会. 2013中国环境科学学会学术年会论文集 (第四卷). 中国环境科学学会. 中国环境科学学会, 2013:975-980.



无毒先锋

- 本刊是“深圳市零废弃环保公益事业发展中心”实施的“化学品管理民间网络与能力建设”项目的一部分，该项目是由联合国开发计划署负责管理的全球环境基金小额赠款计划支持的。
- 同时感谢北京市企业家环保基金会（阿拉善SEE）提供部分资金支持。
本文内容及意见仅代表主办单位的观点，与阿拉善SEE的立场或政策无关。



SGP The GEF
Small Grants
Programme



阿拉善SEE

创绿家



文字/校对：何玲辉，郭慧，毛达

版式设计：莫存柱 图片拍摄：部分专业图片来源于网络

版权所有：©深圳市零废弃环保公益事业发展中心，2020，保留所有权利

解毒档案

档案时间:2020.3

无毒先锋
第08期