

上海浦东益科循环科技推广中心

生活源危险废物 污染情况与处置技术

2019年 | 编写 蔡力萍 张淼





前言

在固体废物中，有一部分因为具有危险性，或对环境和健康有危害，被界定为危险废物。危险废物不仅仅在工业生产过程中产生，在日常生活产生的废弃物中，也有一部分被明确列入《国家危险废物名录》，例如水银温度计、荧光灯管、过期药品等等。我们将这部分危险废物称为生活源危险废物

相对于工业产生的危险废物，生活源危险废物的体量较小，同时又十分分散，不利于管理和收集。因此在生活垃圾分类尚未健全的情况下，绝大部分生活源危险废物都被混入了生活垃圾一同焚烧或填埋。

2017年3月国家发布《生活垃圾分类制度实施方案》中，明确将一部分生活源危险废物归为“有害垃圾”，要求进行单独分类收集处置。随着垃圾分类工作的逐步开展，部分城市政府开始了有害垃圾分类管理体系的建设，也一定程度提高了居民对有害垃圾，也就是部分生活源危险废物的认识。

但是我们发现有害垃圾被重视的程度仍存在不足，也有些问题尚不清晰。因此我们编写了本报告，希望能解答这样几个问题：

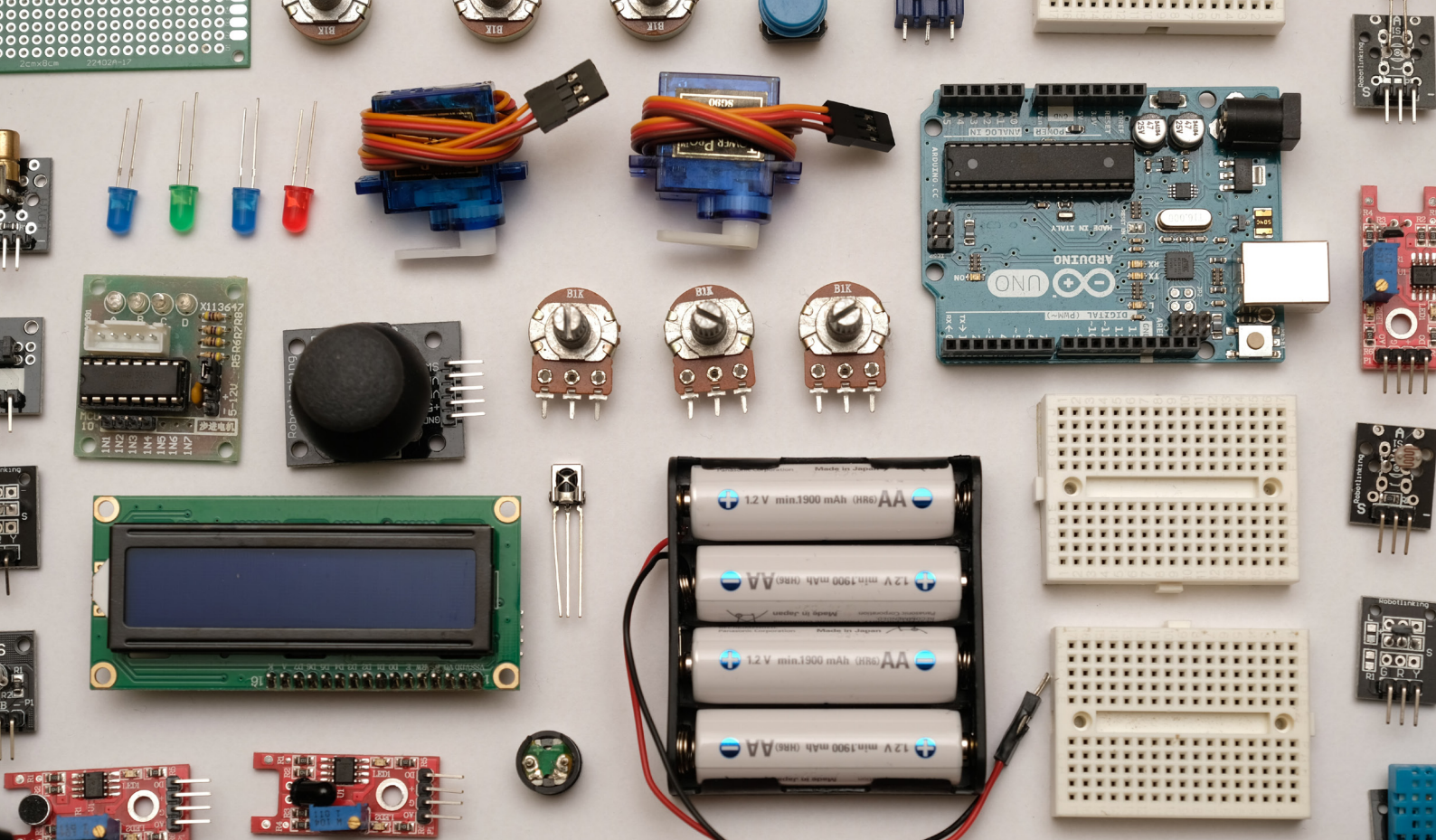
- 生活源危险废物包含哪些品类；
- 生活源危险废物本身有什么危害；
- 混入生活垃圾处置是否能够防治生活源危险废物可能造成的污染，如果不能，污染程度如何；
- 生活源危险废物可以用哪些技术进行处置，这些技术手段与普通生活垃圾的处置技术有何区别。

通过查阅大量的法规、标准和科研文献后，我们发现，尽管生活源危险废物占生活垃圾总量的比例很小，但是由于危害性大，仍会带来很多环境和健康的隐患。普通的生活垃圾焚烧和填埋技术无法彻底防治危险废物的污染。因此，应加强生活源危险废物的管理，并重视起生活垃圾分类中“有害垃圾”的收集、转运、处置全流程的管理。



目录

第一章 生活源危险废物定义、 危害及法规 1	第二章 我国城市生活源危险废物 污染现状与潜在风险 19	第三章 生活源危险废物处置技术 34
1.1 生活源危险废物的具体品类 3	2.1 城市生活危险废物的 产量与收集处置现状 19	3.1 危险废物的预处理技术 34
1.2 生活源危险废物的危害 6	2.2 生活源危险废物对生活垃圾填埋 场造成的污染情况 17	3.2 生活源危险废物的 无害化处置技术 35
1.2.1 含重金属/类金属废物 6	2.2.1 HHW对生活垃圾填埋场 造成的土壤和地下水 的污染现状 21	3.2.1 危险废物的安全填埋 处置技术 35
1.2.2 药物废物（HW03） 8	2.2.2 生活垃圾填埋场中的 HHW 造成的大气污染情况 .. 24	3.2.2 危险废物的焚烧处置技术 与非焚烧技术 36
1.2.3 农药废物（HW04） 9	2.3 HHW对生活垃圾焚烧厂造成 的污染情况 25	3.3 主流生活源危险废物的 再生利用技术 40
1.2.4 矿物油、油漆和染料废物 （HW08、HW12） 10	2.3.1 焚烧产生的污染物 25	3.3.1 废矿物油的再生利用 40
1.2.5 感光材料废物（HW16） 11	2.3.2 烟气排放导致的 重金属污染问题 26	3.3.2 废感光材料废物再生利用 40
1.2.6 电子废物 11	2.3.3 烟气排放导致的 二噁英污染问题 29	3.3.3 废电池的再生利用 40
1.3 国家相关法规政策 13	2.3.4 生活焚烧厂产生的 飞灰处置问题 30	3.3.4 废电子产品、 电路板的再生 42
1.3.1 现行法律政策、技术规范 与标准的构成 13	2.4 结论 30	3.3.5 废含汞荧光灯的 处理处置技术 42
1.3.2 生活垃圾中有害垃圾的 分类收集、转运与处置 15		
1.3.3 生活源危险废物 的豁免管理 16		



第一章

生活源危险废物定义、危害及法规

生活源危险废物指的是在日常生活中所产生的危险废物垃圾。本报告中危险废物的界定，以是否被纳入由环境保护部发布的《国家危险废物名录》为标准。生活源则是指由于日常生活产生，区别于工业生产或医疗产生的废弃物。

本报告所说的“生活源危险废物”不完全等同于生活垃圾分类中的“有害垃圾”，但二者有极大重合和相通性。住房和城乡建设部于 2008 年发布的《生活垃圾分类标志 GB/T 19095-2008 》中将有害垃圾定义为“含有有害物质，需要特殊安全处理的有害垃圾，包括对人体健康或自然环境造成直接或潜在危害的电池，灯管或日用化学品等”¹。在《生活垃圾分类实施方案》中列举的“有害垃圾”都在《国家危险废物名录》中，但具体到城市执行时，不同城市的有害垃圾清单中涵盖的品类略有差异。部分城市将一些不在《国家危险废物名录》中的品类也列为“有害垃圾”，例如深圳市的垃圾分类指南将碱性干电池也列为“有害垃圾”²；同时价值较高的危险废物，如废弃的笔记本电脑、手机等电子垃圾中的电路板，也在《国家危险废物名录》当中，但通常被列为可回收物或单独设置为一个回收品类。为了概念更加清晰，本报告使用“生活源危险废物”的名称，而非“有害垃圾”。

1.1 生活源危险废物的具体品类

《国家危险废物名录》中的废弃物中常见的生活源危险废物(以下简称“生活源危废”)可归纳为七大类（如表1.1所示）。而根据日常商品名称可将生活源危险废物归纳为8个大类（如表1.2所示）。

表1.1 常见生活源危废，摘选自《国家危险废物名录》		
废物编号及类别	危险废物	危险特性
HW03 废药物、药品	生产、销售及使用过程中产生的失效、变质、不合格、淘汰、伪劣的药物和药品 注：这里的药品特指获得国家药准字批号的药物，同时包括人用药和兽用药。保健品不包含在内，同时中药药渣属于湿垃圾而非危险废物	T
HW04 农药废物	销售及使用过程中产生的失效、变质、不合格、淘汰、伪劣的农药产品，及其包装物 注：如杀虫药剂、喷雾，废白蚁防治药剂，废消毒药剂，废杀菌药剂，废灭鼠药剂，以及以上产品的包装物	T
HW08 废矿物油与含矿物油废物	其他生产、销售、使用过程中产生的废矿物油及含矿物油废物，及其包装物 注：废机油，机油桶，废润滑油、链锯油、机油、润滑脂、废弃油、废柴油、废松香油、废煤油等	T,I
HW12 染料、涂料废物	1. 使用油漆（不包括水性漆）、有机溶剂进行喷漆、上漆过程中产生的废物 2. 使用各种颜料进行着色过程中产生的废颜料 3. 生产、销售及使用过程中产生的失效、变质、不合格、淘汰、伪劣的油墨、染料、颜料、油漆 注：油漆、油漆桶，指甲油、洗甲水、颜料、染料、及其包装物	T,I
HW16 感光材料废物	其他行业产生的废显（定）影剂、胶片及废像纸 注：废胶片、废相纸、X光片、定影液、显影液等	T
HW29 含汞废物	1. 生产、销售及使用过程中产生的废含汞荧光灯管及其他废含汞电光源 2. 生产、销售及使用过程中产生的废含汞温度计、废含汞血压计、废含汞真空表和废含汞压力计	T
HW49 含汞废物	1. 废弃的铅蓄电池、镉镍电池、氧化汞电池、汞开关、荧光粉和阴极射线管 2. 废电路板（包括废电路板上附带的元器件芯片、插件、贴脚及电子类危险废物等）	T

表1.2 | 根据日常商品名称，则生活源危废包含以下品类

产品名	备注
药品	特指获得国家食品药品监督管理总局批准文号（国药准字）的药物，同时包括人用药和兽用药。保健品不包含在内，同时中药药渣属于湿垃圾而非危险废物
电路板	电路板，及含有电路板的电子电器产品，例如家用电器、手机和电脑等电子产品等等。
含重金属电池	1. 镍镉电池（充电电池的一种，常用于电动玩具等，通常标注为 Ni-Cd battery） 2. 铅酸蓄电池（常用于汽车、电动车。但也有小部分小型日用产品的充电电池可能是铅酸蓄电池，例如部分电蚊拍所使用的电池，英文为 Lead-acid） 3. 氧化汞电池（即纽扣电池，目前已有不含汞的纽扣电池产品，在电池上会标注 Mercury free）
感光底片	胶卷底片，X光底片
含汞产品	1. 荧光灯管和节能灯（也叫紧凑型荧光灯、一体式荧光灯） 2. 水银温度计和水银血压计
油漆和溶剂及其包装	1. 废油漆桶（不包含水性漆） 2. 天拿水、松节水、指甲油和洗甲水及其包装、染发剂及其包装等等
杀虫剂和消毒剂及其包装	老鼠药（毒鼠强）、杀虫喷雾罐等等
矿物油及其包装	机油、润滑油、柴油、煤油等等

1.2 生活源危险废物的危害

生活源危险废物一般不到城市生活垃圾质量的1%，甚至更少。但是这一小部分废弃物却是整个城市生活废物流之中最具有危害性的³。生活源危废会对土壤、大气和水环境等造成污染³⁻⁶，而这些污染物往往会通过水源、空气和食物等途径对动植物和人类造成危害。

根据含有的有害物质的类别，将生活源危废分为以下5类分别讨论：

- 1. 含重金属/类金属废物；
- 2. 药物废物，农药废物；
- 3. 矿物油、油漆和染料废物；
- 4. 感光材料废物；
- 5. 其他（如电子废物等等）。

1.2.1 含重金属/类金属废物

生活源危废（如表1.1）中至少含有一种以上的危险成分，其中有毒重金属是最为普遍的组分，如：

HW04 农药中可能含有重金属制剂。

HW08 废矿物油中有重金属添加。

HW12 油漆染料中可能含铅、铬、砷、锌等^{7,8}。

HW16 感光材料中可含卤化银和铬等^[9]。

HW29 含汞废物含有大量类金属的汞。

HW49 电子垃圾中也存在着大量有毒重金属和类金属。

毒重金属

铅、汞、镉、铬和砷被视为最具有显著生物毒性的五种重金属¹⁰，且在《国家重金属污染综合防治规划》中列为重点防治类重金属和类金属物。表1.3中列举了这五大高毒重金属和类金属对人体健康产生的主要危害。

表1.3 五大有毒重金属对人体健康的危害	
五种金属元素	对人体健康的危害
铅	引起贫血、高血压，损伤肾脏、大脑等，导致孕妇流产，造成不孕不育，扰乱神经系统，对儿童大脑发育造成不可逆损害并导致终身性智力障碍、注意力缺失、行为异常等等 ^[11-13]
镉	损害肾脏、骨骼，诱发心血管疾病、贫血，对 DNA 造成损伤，致癌等等 ^{13,14}
铬	六价铬化合物可引起严重皮炎、肝脏异常、DNA 损伤、基因突变、染色体畸变、癌症等等 ^[15,16]
砷	导致胎儿先天畸形。长期接触砷可引起癌症、心血管疾病、神经系统疾病、消化道损伤和糖尿病。慢性砷中毒对身体脏器的损伤是不可逆的，甚至有着高致死率 ^{13,17}
汞	损害神经系统、大脑，对 DNA 和染色体造成损伤，引起身体过敏、疲乏、头痛、自身免疫系统疾病、心脏功能变异，损害生殖系统，导致胎儿畸形、孕妇流产等等 ^{13,18,19} 注：含汞废物（HW29）中所列举的物品是生活源含汞废弃物的主要组成。当含汞废物进入环境中时，可经由微生物转化为剧毒的甲基汞。甲基汞的毒性可通过食物链产生生物积累与放大作用，而后富集在食物链上层的水生物和哺乳动物的组织之中。如果人类食用了被甲基汞污染的食物，会危害身体健康。如 20 世纪 50 年代在日本发生的水俣病事件、70 年代发生在伊拉克的谷物汞中毒事件都是由甲基汞污染食物所致。孕妇、胎儿和儿童是最易被甲基汞毒害的敏感人群，当孕妇食用了甲基汞污染物或吸入了空气中的无机汞蒸汽时，这些污染物会经由母体传递给胎儿，哺乳期的妇女摄入的汞也会通过母乳传递给婴儿。并且，甲基汞可在胎儿体内富集，导致胎儿体内的甲基汞浓度大于母体。当母体摄入少量的甲基汞并传递给胎儿或幼儿时，可能会导致孩子的智商降低。而当母体摄入大量的甲基汞时，就会对胎儿或被哺乳的幼儿造成严重的危害，引起大脑损伤 ^{18,19}

有一部分重金属和类金属已被证明具有致癌风险，包括铍、铬、钴、镉、镍、硒、锌、钽、锰、砷、钷、锆、铅、钡等²⁰；

还有一些重金属可与其他污染物产生复合污染，例如含有银、镉、铜、汞、锌、砷等重金属的化合物可与抗生素、杀菌剂等环境中产生复合污染，导致更多的耐药性细菌的产生^[21,22]。

1.2.2 药物废物（HW03）

药品和个人护理品（Pharmaceutical and Personal Care Products，简称PPCPs）是新型有机污染物中重要的一个组分，其造成的污染已在全世界引起了广泛关注。在我国《国家危险废物名录》中也明确将

PPCPs 中的药品归入了危险废物的行列。药品污染物通常具有持久性与生物积累性的特质，可长期残留于环境中对生态环境与人类健康造成潜在威胁²³。根据科研文献，在我国环境中残留的药物污染种类主要集中于抗生素和激素类，尤其因为我国为抗生素使用大国，在环境中的药物污染物中抗生素占了最大的比例²³⁻²⁵。

抗生素污染的危害：抗生素可加速抗药性细菌的进化，促使新抗生素抗性基因（ARGs）的产生，并通过水源、农渔产品等途径感染生物和人类²²。另外，抗生素可与同存于环境中的含重金属、杀菌剂和农药等抗菌类化合物产生复合污染，即可与异源物质产生协同作用或拮抗作用，增加抗生素抗性细菌的多样性和丰度。每年全球大约 70 万人死于耐药性细菌感染^{21,22,26}。

激素类药物的危害：关于被激素类药物（如避孕药）所污染的环境会如何影响人类仍无明确的结论，对于存在于环境中的雌激素量的安全阈值也尚不清楚。但有证据表明，生长于被雌激素污染的环境中的植物会吸收雌激素。而积累于蔬菜水果中的雌激素会通过食物链被人类摄取^{27,28}。人体一旦摄入超过安全阈值的激素量就会危害健康，比如致癌、造成女性过早绝经、影响生殖系统发育等²⁸⁻³⁴。

需要强调的是，低浓度不代表危害小。虽然在环境中检测到的大多数药物浓度相对较低，但这些被混入垃圾中的废弃药物所处的环境是复杂的，用其单一物质的毒性来评估对环境的风险并不合适。它们可与其他同源或异源物质混合产生协同交互作用，从而改变其毒性，导致即使低浓度的污染仍可造成严重的生态毒性^{35,36}。

1.2.3 农药废物（HW04）

除了重金属以外，农药中还可能含有其他多种污染物，会对环境造成严重的影响。而含有杀菌剂和抗生素等成分的农药也可诱使细菌耐药性的进化。

高毒农药的危害：部分农药及其包装物中含有有机磷、有机氯和氨基甲酸酯等高毒成分。若长期暴露于被该类高毒农药污染的环境中，可能会导致胎儿先天畸形或死亡，以及癌症、神经退行性疾病、心血管疾病等慢性疾病^{37,38}。

主流家庭卫生用杀虫剂的危害：目前以防治蚊、蝇、蟑螂、蚂蚁等对象的卫生用杀虫剂主要以拟除虫菊酯为主要成分，虽然普遍毒性为微毒或低毒，但若不正当处置仍可对人体造成危害，尤其对于婴幼儿更易造成伤害。拟除虫菊酯具有神经毒性、生殖发育毒性、免疫毒性等，可能造成头痛、恶心、呼吸困难等急性中毒症状³⁹⁻⁴¹。

1.2.4 矿物油、油漆和染料废物（HW08、HW12）

矿物油、油漆和染料中可能含有有毒重金属，还可能含有芳香族化合物（如：多环芳烃（PAHs）、苯、甲苯、二甲苯、乙苯等）、多氯联苯（PCBs）等有毒物质⁴²⁻⁴⁵。

多环芳烃（PAHs）的危害：在环境中的 PAHs 有着半持久性，并且可以在生物体内富集，已经在鱼和贝类的体内发现比它们身处的环境中更高浓度的 PAHs。若长期暴露于被 PAHs 污染的环境中，可能会有基因突变、癌症、免疫系统损害、胎儿先天畸形等健康隐患^{44,46}。

苯、乙苯的危害：长期暴露于被苯污染的环境中可能导致骨细胞减少和贫血，而乙苯则可能会导致不可逆听力损害、肾脏损害等。这两种物质都具有致癌性^{45,47}。

多氯联苯（PCBs）的危害：具有高致癌性，易于在植物、鱼类和其他动物体内生物积累，也易于积累于水中的沉积物中。若长期暴露于被 PCBs 污染的环境中，除了导致癌症以外还可能影响免疫系统、神经系统、生殖系统、内分泌系统等等^{42,48}。

除了毒性外，矿物油的物理性质也导致它对环境 and 生态可能造成很大的污染。据研究，一桶200L的废矿物油可以污染约3.5 Km²湖、海的水面，严重破坏该湖、海的生态系统。除此之外，矿物油粘稠性强，会堵塞土壤缝隙、黏附于植物根部，从而导致植物大面积死亡，甚至导致被污染的土地3至5年寸草不生，并且通过空隙较大的土壤渗透至浅层地下水并造成污染^{43,49}。

1.2.5 感光材料废物（HW16）

废定影液、显影剂等感光材料废物中含有大量的银以及一些具有致癌性的害物质（如酚类化合物、芳香胺类化合物、酮类化合物、重金属铬等）^{9,45,50}。随意丢弃不仅仅造成金属银的资源浪费，也可污染环境并危害动植物以及人类的健康。

注：有些非银盐感光胶片，如蓝基胶片、纸介胶片等则不含金属银。

金属银的危害：长期接触废定/显影液等含银废物可能导致银质沉着症、损害肝脏和肾脏⁵¹。

酮类化合物（如苯醌）：除了可以致癌以外，还可能导致红细胞、骨髓细胞和血红素减少、脏器受损等⁴⁵。

酚类化合物（如甲酚、邻苯二酚、邻苯三酚）：可能会引起神经紊乱、身体虚弱、肠胃不适、肝脏肾脏受损等等^[45]。

1.2.6 电子废物

电子废物中的电路板也是包含于《国家危险废物名录》HW49中的危险废物。电子废物中含有强毒性物质，如铅、汞、砷、硒、钴、镉等重金属，其具体危害见表1.3。另外，电子废物中含有的多氯联苯和溴化阻燃剂等持久性有机污染物也会威胁人类健康与环境。有研究表明溴化阻燃剂污染会引发人体的内分泌系统，神经系统和生殖系统问题⁵²。已有的调查显示，被暴露于某电子垃圾拆解环境中的居民的甲状腺激素和性激素水平出现了异常⁵³。在另一份调查中显示电子垃圾的污染可造成当地居民的细胞遗传性损伤而影响当代及其子代的健康⁵⁴。

而如果用焚烧方式处置电子废物则会生成二噁英类污染物。焚烧电子垃圾是排放二噁英类污染物（PCDD/Fs）的主要污染源之一⁵⁵。PCDD/Fs是一级致癌物，并具有生殖毒性、免疫毒性和内分泌毒性，可长期积累于人体内损害脏器。PCDD/Fs在自然环境和生物体内不易降解，容易聚集于土壤和沉积物中，并且在食品内富集。如若长期食用含有PCDD/Fs的食品，除了致癌外，还可引起生殖障碍与胎儿致畸等⁵⁵。

1.3 国家相关法规政策

目前，我国已经构建了以《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》为本，防治危险废物污染的政策标准体系。并且，国家相关部门仍在继续修改和新增法规和政策标准，来进一步地改善该体系。在本章节中，我们仅列举了现行的适用于处理处置生活源危险废物的法律、政策标准等等，而正在起草和征求意见的新政策标准将不在此一一列举。

1.3.1 现行法律政策、技术规范与标准的构成

为了防治危险废物对生态环境与人类的危害，我国在《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中制定了《危险废物污染环境防治的特别规定》，以及违反有关《危险废物污染环境防治的规定》的法律责任。而为了贯彻《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，环境保护部等政府部门相继批准和发布了有关于处理处置危险废物的文件。图1.1示例了适用于处理处置生活源危险废物的主要法律、技术政策、标准和规范的构成。

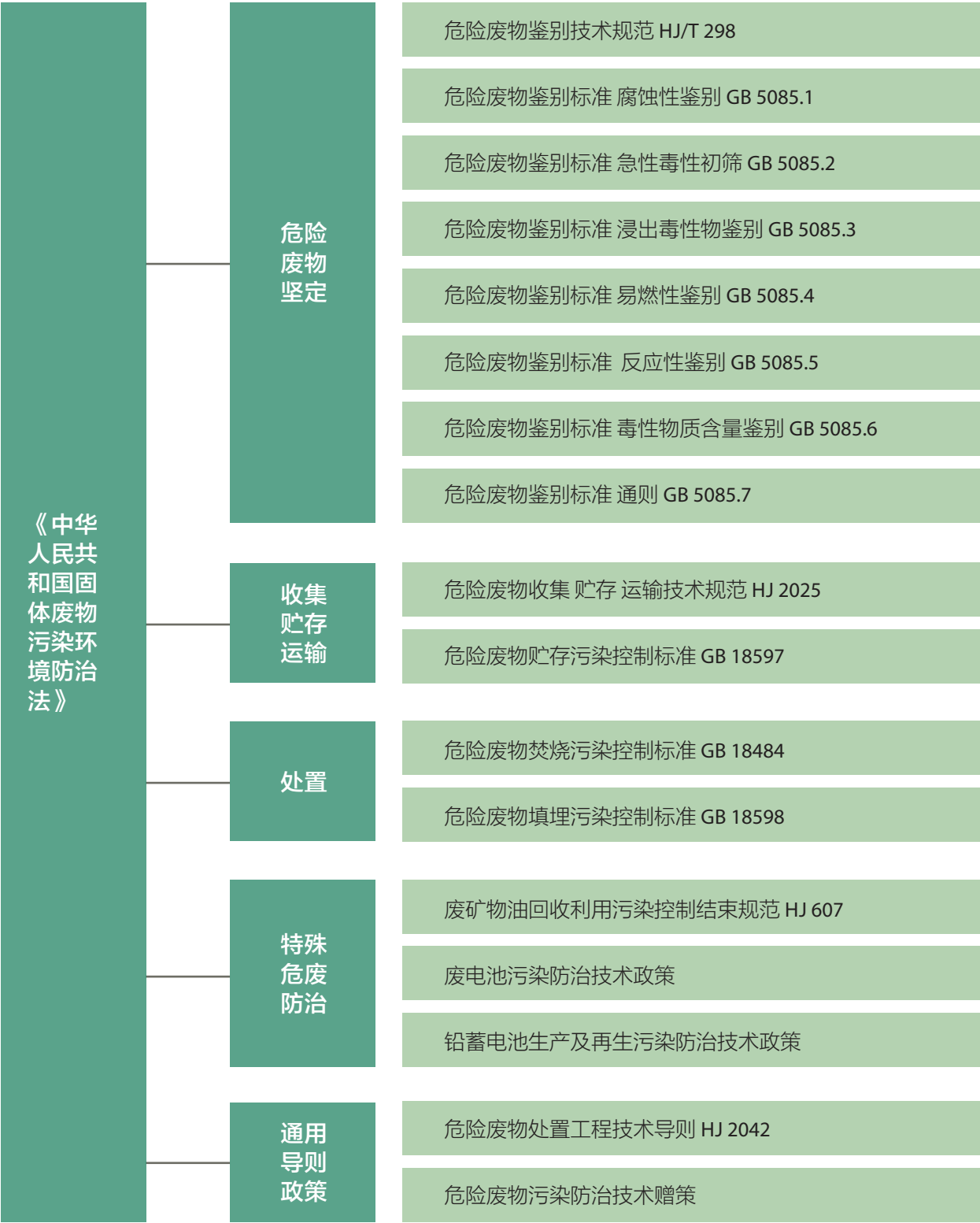


图1.1 | 适用于处理处置生活源危险废物的主要法律、技术政策、标准和规范的构成

1.3.2 生活垃圾中有害垃圾的分类收集、转运与处置

2017年3月底，国务院批准了国家改革委、住房城乡建设部发布的《生活垃圾分类制度实施方案》，其中要求实施生活垃圾强制分类的城市必须把有害垃圾作为强制分类的类别之一。该方案对有害垃圾的分类收集、转运和处置等提出了以下的要求与建议⁵⁶（见表1.4）。

《方案》中列举了有害垃圾的品种：

废电池（镉镍电池、氧化汞电池、铅蓄电池等），废荧光灯管（日光灯管、节能灯等），废温度计，废血压计，废药品及其包装物，废油漆、溶剂及其包装物，废杀虫剂、消毒剂及其包装物，废胶片及废相纸等。

除了废电路板之外的绝大部分生活源危险废物都包含在内。

表1.4 《生活垃圾分类制度实施方案》中对于有害垃圾收集、转运和处置的要求与建议	
收集	单独投放有害垃圾：居民社区应通过设立宣传栏、垃圾分类督导员等方式，引导居民单独投放有害垃圾。针对家庭源有害垃圾数量少、投放频次低等特点，可在社区设立固定回收点或设置专门容器分类收集、独立储存有害垃圾，由居民自行定时投放，社区居委会、物业公司等负责管理，并委托专业单位定时集中收运。
存放	投放暂存：按照便利、快捷、安全原则，设立专门场所或容器，对不同品种的有害垃圾进行分类投放、收集、暂存，并在醒目位置设置有害垃圾标志。对列入《国家危险废物名录》（环境保护部令第39号）的品种，应按要求设置临时贮存场所。
转运	收运处置：根据有害垃圾的品种和产生数量，合理确定或约定收运频率。危险废物运输、处置应符合国家有关规定。鼓励骨干环保企业全过程统筹实施垃圾分类、收集、运输和处置；尚无终端处置设施的城市，应尽快建设完善。
处置	完善与垃圾分类相衔接的终端处理设施：加快危险废物处理设施建设，建立健全非工业源有害垃圾收运处理系统，确保分类后的有害垃圾得到安全处置。

1.3.3 生活源危险废物的豁免管理

环境保护部联合国家发展改革委员会、公安部于2016年向社会发布了最新版《国家危险废物名录》（以下称《名录》），此次修订增加了《危险废物豁免管理清单》⁵⁶。该《名录》的第五条表示“列入本名录附录《危险废物豁免管理清单》中的危险废物，在所列的豁免环节，且满足相应的豁免条件时，可以按照豁免内容的规定实行豁免管理。”

《危险废物豁免管理清单》中被豁免的相关生活源危废的豁免条件与内容见表1.5。

表1.5 《危险废物豁免管理清单》中被豁免的生活源危废				
废物类别 / 代码	危险废物	豁免环节	豁免条件	豁免内容
家庭源危险废物	家庭日常生活中产生的废药品及其包装物、废杀虫剂和消毒剂及其包装物、废油漆和溶剂及其包装物、废矿物油及其包装物、废胶片及废像纸、废荧光灯管、废温度计、废血压计、废镍镉电池和氧化汞电池以及电子类危险废物等	全部环节	未分类收集	全过程不按危险废物管理
		收集	分类收集	收集过程不按危险废物管理

环保部对‘豁免内容’的解释⁵⁶：

- 全过程不按危险废物管理：全过程（各管理环节）均豁免，无需执行危险废物环境管理的有关规定；
- 收集过程不按危险废物管理：收集企业不需要持有危险废物收集经营许可证或危险废物综合经营许可证。

《危险废物豁免管理清单》的解读

根据环保部对《危险废物豁免管理清单》的解读，该豁免的具体解释为：

“《危险废物豁免管理清单》仅豁免了危险废物特定环节的部分管理要求，并没有豁免其危险废物的属性。列入《危险废物豁免管理清单》的危险废物，满足相应豁免条件时，可以在被豁免的环节中不参照危险废物进行管理。”⁵⁷

“《危险废物豁免管理清单》仅豁免了危险废物在特定环节的部分管理要求，在豁免环节的前后环节，仍应按照危险废物进行管理；且在豁免环节内，可以豁免的内容也仅限于满足所列条件下的列明的内容，其他危险废物或者不满足豁免条件的此类危险废物的管理仍需执行危险废物管理的要求。”⁵⁸

因此，若不分类收集家庭源危险废物和被污染的废物，那么根据《危险废物豁免管理清单》这些危险废物将被混入普通垃圾中处置，且可以全程不按危险废物管理，进而会造成环境污染与资源浪费。

而环保部相关人员对于制定《危险废物豁免管理清单》目的的解释是，为了完善危险废物分级分类的精细化管理体系，采取对部分危险废物在环境风险较小的环节进行豁免和排除管理的制度，以降低危险废物管理过程中的总体环境风险。该豁免排除制度不仅可提高危险废物的管理效率，也可使管理体系更具有弹性和适应性，并且降低了管理成本^{58,59}。



第二章

我国城市生活源危险废物污染现状与潜在风险

相对于工业源危险废物，生活源危险废物十分分散，给监管和收集带来困难。另外生活源危险废物产生者是普通公众，大部分缺乏相关的知识。且目前我国大部分地区收集和处置生活源危险废物的体系尚未完善，大部分的生活源危险废物没有得到妥善管理。

本章节将探讨生活源危险废物的收集处置现状，造成的污染和潜在风险。由于城市和农村产生的危险废物在构成上存在较大差异，而目前的大部分研究主要针对城市的生活源危险废物，故这里仅就城市的情况进行探讨。

2.1 城市生活危险废物的产量与收集处置现状

由于目前生活源危险废物的分类收集尚不完善，我国生活源危险废物的产量尚缺乏确切的官方统计数据。有研究表明⁶⁰，每个人每天产生的生活源危险废物（Household hazardous waste，下文简称

HHW) 量和家庭结构、消费偏好、文化程度等有显著的相关性, 并且一个城市的文化、习俗、居民的生活习惯与消费形式都会对该市的HHW产生造成影响。

根据以往的研究报告、专家分析和新闻报导中的评估, 生活源危险废物的产量大约占全部生活固体垃圾总量的0.1%~1.18%⁶⁰⁻⁶²。南京大学、苏州市环境卫生管理处和苏州科技大学的研究人员于2011至2012年对苏州市的240户居民做了系统性的跟踪调查, 统计了该市生活有害垃圾的年产量, 其中各类生活源危险废物的年产量约占生活固体垃圾的比例为⁶⁰:

- 废药物、药品: 0.4%
- 废电池(包括汽车电池): 0.25%
- 园艺类农药: 0.06%
- 汽车维修产品(汽油、润滑油、制动液等等): 0.06%
- 科教娱乐类(油漆、摄影材料等等): 0.23%
- 其他(溶剂、小型家电、鞋油等等): 0.18%

有害垃圾总计: 1.18%

由于现在国内分类收集垃圾尚未完善, 对于全国生活源危险废物的产量尚未有完善可靠的数据统计。而以往的研究数据与新闻报导所估测的数据统计有比较大的差距, 所以我们选择以数据区间(0.1~1.18%)作为参考, 来粗略估计国内城市生活源危险废物的产量。根据《2018年全国大中城市固体废物污染环境防治年报》统计, 在2017年全国202个大、中城市的生活垃圾产量约为20194.4万吨⁶³。这就意味在2017年全国总计至少有20万吨的城市生活源危险废物产生。

不同于易于进行集中管理的医疗危险废物和工业危险废物, 生活源危险废物过于分散的特点注定其治理方式更为复杂且不利于管理⁴, 而其对社会与环境的影响和危害早已引起争议与关注。目前我国尚缺少完善的生活源垃圾废弃物分类收集处理的政策, 每年有大量的危险废物进入生活垃圾而未被合理处置。

以上海为例, 根据《2017上海绿化市容行业年鉴》⁶⁴, 上海2017年仅有29.61吨有害垃圾被分类收集处置, 而根据《2017年上海市国民经济和社会发展统计公报》上海全年清运生活垃圾899.50万吨⁶⁵。当年被分类收集处置的有害垃圾仅占生活固体废物量的0.0013%, 远小于0.1%。

在上海开展强制垃圾分类后, 根据上海市绿化市容局公布的数据, 至9月下旬, 全市有害垃圾分出量0.62吨/日, 而总的垃圾收集量为29889.62吨/日, 有害垃圾的占比仍只有0.0021%。粗略分析原因, 除了可能有居民未正确分类的原因外, 还有一些生活源危险废物并没有进入生活垃圾分类的体系, 例如油漆桶大多混入建筑垃圾, 而汽车电池和电子产品通常被回收利用而不会作为垃圾处置。

我国生活垃圾的无害化处理方式主要为填埋与焚烧⁶⁶，大部分生活源危险废物都混入了城市生活垃圾中，被以简单填埋、焚烧或非法转移和倾倒的方式处置掉，其中也不乏一些具有重要资源价值的危险废物（比如荧光灯、废电池等）⁶⁷。随意处置这些废物不仅仅造成了资源浪费，也对环境造成了严峻的影响。大量研究表明，混入生活垃圾中的危险废物被填埋或焚烧后仍对土壤、地表水和地下水、大气环境等造成影响与危害。下文将回顾有关危险废物对国内生活垃圾填埋场、焚烧厂及周边环境所造成的影响的大量科学研究，并对其可能造成的危害进行了总结。

2.2 生活源危险废物对生活垃圾填埋场造成的污染情况

在我国卫生填埋是处置城市生活废物的主要方法，根据2018年《中国统计年鉴》显示，大约53%的生活垃圾被以填埋的方式处置⁶⁶。普通的生活垃圾在达到稳定期后对环境的危害程度会大大降低，但是危险废物没有稳定期，其危险特性会长期存在，对环境的风险也是长期存在的⁶⁸。虽然生活源危险废物仅占城市生活垃圾中很小的一部分，但是仍可对环境造成严重的影响。被危险废物产生的物质所污染的渗滤液可能会破坏填埋场的防渗层，并进入泥土中，造成地下水、含水层和土壤的污染³。用于填埋处置危险废物的垃圾填埋场应当符合国家发布的《危险废物填埋标准》，而普通的生活垃圾填埋场则并不适用于填埋危险垃圾。下面将分别针对 HHW 对生活垃圾填埋场造成的土壤、地下水和空气污染进行回顾与讨论。

2.2.1 HHW对生活垃圾填埋场造成的土壤和地下水的污染现状

城市垃圾填埋场是主要的土壤污染源之一，被填埋的垃圾在稳定化的过程中会产生大量的渗滤液。由于垃圾填埋场中的垃圾成分复杂且混有未被分类处理的危险废物，其渗滤液中含有高浓度且具有持久性的高毒混合物质，如重金属、多环芳烃、卤素化合物等等。若填埋场的渗滤液渗漏则会污染土壤与地下水，可严重危害周围环境与人类健康^{69,70}。

（1）土壤与地下水中的污染组分

来自成都理工大学的研究者们对1991-2014年的相关报告进行了回顾与分析并结合实地调研对我国32座城市的生活垃圾填埋场地下水污染进行了评测。结果表明这些城市生活垃圾填埋场地下水被严重污染，被检测出的污染物共计99种，其中包括高毒重金属、细菌性污染物、药物污染物和农药污染物等等。该研究发现华中、华东、华北和华南的垃圾填埋场为地下水污染的重灾区，东北、西南和西北地区垃圾填埋场污染相对较轻但地下水质量评测仍为较差⁶⁹。

（2）土壤与地下水中的药物污染情况

有许多研究者对我国不同城市的生活垃圾填埋场进行了检测，发现城市生活垃圾中混有大量的药物成分，显示垃圾填埋场周围的环境存在着药物污染的风险⁷¹⁻⁷⁸。

华东理工大学、同济大学和清华大学的研究者们对上海某垃圾填埋场的渗滤液进行了检测，共发现了14种药物，且浓度远大于污水处理厂的进水中的浓度。其中立痛定、美托洛尔、甲氧苄氨嘧啶、二甲苯氧庚酸等药物的浓度远大于美国、日本、挪威等其他国家所报告的渗滤液中的浓度⁷⁴。意味着上海该垃圾填埋场内药物污染严重，生活垃圾中的药物分类处理率较低。

中国科学院和广州质量监督检测研究院的研究者在广州兴丰填埋场内的渗滤液中发现了高浓度的药物成分，并且在填埋场附近的蓄水池中检测到了大量的药物污染物（如磺胺类抗生素、布洛芬等等）。研究结果显示距离填埋场最近的蓄水池的污染程度最高，且污染程度呈现出随着与填埋场的距离的增大而降低的趋势，表明该填埋场的药物污染可能已经对附近的蓄水池产生了负面影响⁷⁸。

（3）渗滤液中的新型抗生素抗性污染物

因为城市生活垃圾填埋场中的废物成分复杂，混有各种细菌等微生物与抗菌化合物（如抗生素、重金属、杀虫剂）等污染物，这种复杂的混合环境能够给予细菌更大的选择压力，促使大量抗生素抗性基因（ARGs）的出现与扩散²²。作为一种新型污染物，ARGs可通过水平转移的方式在细菌中传播扩散，导致更多的抗生素抗性细菌（ARBs）的产生，威胁着人类的健康安全。

来自中国科学院的研究者们对深圳、太原、西安、唐山、上海、重庆这六个城市的生活垃圾填埋场进行了调研，以五种ARGs和七种抗生素抗性异养细菌为检测目标。结果发现所有这些检测目标均普遍且广泛存在于这六个垃圾填埋场中。并且研究结果显示垃圾填埋场渗滤液中的细菌丰富度对ARGs的水平传播起到重要的作用⁷³。

由于兽用抗生素的滥用，抗生素在禽畜肉中也普遍存在，在餐厨垃圾未彻底分出的情况下，抗生素的来源不仅仅是过期和闲置药物。但家庭用药的随意丢弃，仍是生活垃圾中抗生素的重要来源。

（4）防渗层、渗滤液处理设施无法避免HHW对土壤和地下水的污染

为了降低垃圾填埋场渗滤液对土壤与地下水的污染，正规垃圾填埋场中装有防渗层，渗滤液导排与预处理设施，污染严重的渗滤液会被处理至合格水质后再被排放至河水等外环境中。然而，就算是最先进的防渗层也可能因为老化而最终出现渗滤液渗漏污染地下水的情况^{79,80}。

渗滤液处理系统不足以彻底防治此类污染。有相关研究发现传统的渗滤液处理技术并不能消除ARGs传播的风险。他们使用膜生物反应器技术（MBR）、超滤膜（UF）、紫外线消毒技术、高级氧化法技术

(AOP)等四种传统方法处理了于上海某垃圾填埋场提取的渗滤液,发现膜生物反应器技术(MBR)会增加ARGs的丰富度,导致处理后的出水中的ARGs量要比原渗滤液进水中的高上1至2倍。而剩下的三种处理技术虽然可以减少渗滤液中的ARGs量,但是却无法抑制遗留在出水中的ARGs在被排进河中后的繁殖与传播,这些ARGs的总量会短时间内在河水中迅速增长进而污染水源⁸¹。

2.2.2 生活垃圾填埋场中的 HHW 造成的大气污染情况

除了土壤污染和地下水污染,大气污染也是城市垃圾填埋场的主要问题之一。我国是最大的汞消费国之一,每年有大量的含汞废物进入城市垃圾填埋场^{81,82}。来自中国科学院的研究者在2012年对贵阳市高雁城市生活垃圾填埋场中的汞含量进行了调研,发现在被填埋的总汞质量的1.96%会进入周围环境中,其中大多数都被释放入了大气中。并且发现在填埋场的排气管中的甲基汞浓度远大于全球背景下大气中的甲基汞浓度,表明国内生活垃圾填埋场可能是甲基汞排放的重要源头之一,而这些汞化合物的主要来源是混入生活垃圾中的含汞废弃物⁸³。

另外,垃圾填埋场会排放大量的有毒且恶臭的气体,其中包括高毒的挥发性有机化合物(如芳香族化合物、卤素化合物等等),这些气体会对人体健康造成不可忽视的影响⁸⁴⁻⁸⁶。有多个研究者分别对北京^{80,87-90}、辽宁⁸⁷、上海⁹¹、西安⁸⁵等地的生活垃圾填埋场做了调查,发现高毒的挥发性有机化合物普遍存在于填埋场内的空气中。芳香族化合物和卤素化合物等气体的来源主要是混入生活垃圾中的有害废物,如油漆、染料、杀虫剂、清洁剂、消毒剂等等^{88,92}。

有相关研究对部分北京的生活垃圾填埋场的气体排放做了检测与风险评估,发现填埋场内存在着芳香类、卤素类化合物等致癌性空气污染物,且其在空气中的含量均超过了标准致癌风险值,其中六里屯填埋场超出了可接受标准值的数百倍^{84,90}。

2.3 HHW对生活垃圾焚烧厂造成的污染情况

焚烧是目前我国第二大处置生活废物的主要方式。根据2018年《中国统计年鉴》显示,大约40.2%的生活垃圾被以焚烧的方式进行处置⁶⁶。生活垃圾被焚烧后主要会产生三类排放物:炉渣,飞灰和烟气⁹³。

烟气中会含有大量有毒气体和飞灰,因此焚烧厂会配备烟气净化系统将烟气处理至符合标准后再向大气排放。然而被净化后的烟气中往往会留下一部分有害物质被排放至大气中造成污染,最后随着雨水进入水陆环境中^{3,94}。

飞灰是烟气净化系统捕集物和烟道及烟囱底部沉降的底灰⁹⁵，占垃圾总量的1%-6%左右但含有大量有毒有害物质，因此需要被特殊处置^{93,96}。

炉渣是垃圾焚烧后从炉床直接排出的残渣，以及过热器和省煤器排出的灰渣⁹⁵，通常占垃圾总重量的25%或总体积的15%，且会被直接埋入生活垃圾填埋场或作为建筑材料等被再利用⁹³。

我国对焚烧处置危险废物与焚烧处置生活垃圾规定了各自不同的控制标准，如焚烧厂选址原则，技术、运行、监测要求等等。焚烧处置危险废物的设施通常配备了较为完善的尾气处理装置、污染控制系统和自动化安全管理等。如若焚烧处置技术的应用或管理不当，例如将危险废物混入生活垃圾焚烧厂中处置，会污染周围环境和危害人体健康^{93,97,98}。

2.3.1 焚烧产生的污染物

在焚烧危险废物时，不同类型的污染物会以不同形式排放，其中所产生的污染主要有以下五类：不完全燃烧产物（废物中的碳氢化合物）、颗粒物（飞灰、烟尘）、酸性气体（包括卤化氢、硫氧化物、氮氧化物、无氧化磷和磷酸等）、重金属颗粒及其化合物、有机化合物（二噁英类、多环芳烃类等等）^{97,98}。其中垃圾焚烧产生的重金属、二噁英和多环芳烃类有机污染物的污染控制技术相对薄弱，是目前的重点研究方向⁹⁹。

同济大学的研究者们对上海两大生活垃圾焚烧厂进行了连续2年的检测分析，结果表明绝大多数的重金属变成了炉渣，而镉和汞因为其高挥发性而大多数都变成了烟气。变成烟气的重金属大部分被烟气净化系统移除变成了飞灰残留物，该研究表明约有47-73%的镉和60-100%的汞被从烟气中脱离，剩下的随着烟气被排入大气之中¹⁰⁰。

二噁英的排放主要集中在飞灰中，有对中国南方某大型生活垃圾焚烧厂的研究显示，在生活垃圾被焚烧后，约有14.42%的二噁英变成了炉渣，且在经过烟气净化系统后约有84.16%的二噁英留在了飞灰残留物中，剩下的1.41%随着烟气被排放到了大气中¹⁰¹。

2.3.2 烟气排放导致的重金属污染问题

高汞排放：有不同研究者分别于2008年、2013年、2016年对国内部分大中城市的生活垃圾焚烧厂的汞排放问题做了调研，如表2.1所示，虽然这些生活垃圾焚烧厂所排放的烟气中汞的平均质量浓度低于国家发布的《生活垃圾焚烧污染控制标准》中的50微克/立方米的限值⁹⁵，但大多数焚烧厂的排汞排放因子与大气汞排放浓度仍远高于韩国与日本的生活垃圾焚烧厂¹⁰²⁻¹⁰⁵。汞排放因子的高低主要取决于焚烧垃圾

内的含汞量与厂内烟气净化设施的脱汞率。表2.2列举了从这些报告中得到的国内12家生活垃圾焚烧厂的脱汞率，其中有近一半低于40%，远低于韩国、日本和美国等国^{100,103-108}。除了部分焚烧厂的脱汞率低的因素外，我国尚未完善对生活垃圾的分类收集，焚烧厂内入炉垃圾的含汞量要高于国外，这也是导致我国部分城市的汞排放大于国外的重要因素。

表2.1 部分城市与国家的生活垃圾焚烧厂的汞排放情况			
国家 / 地区 （被调查的生活垃圾焚烧厂的数量）	大气汞排放平均质量浓度（微克 / 立方米）	大气汞排放因子（微克 / kg）	来源文献
上海（1家）	-	156 ± 16	102
芜湖（1家）	24.1 ± 6	178 ± 27	
广州（1家）	9.5 ± 3.9	19.0 ± 2.0	
重庆（1家）	26.4 ± 22.7	126.7 ± 109	103
珠三角（8家）	19.5 ~ 51.4	208 ± 130	109
韩国（8家）	5.74	472	104
日本（-）	4.0	30.0	105

表2.2 部分城市与国家的生活垃圾焚烧厂的汞排放情况		
地区 / 国家	脱汞率（%）	来源文献
上海（2家）	60 ~ 100	100
东莞（2家）	66.8	106
深圳（2家）	30.6	
佛山（2家）	39.0	
中山（1家）	35.9	
广州（1家）	96.7	103
重庆（1家）	66.0	
芜湖（1家）	33.7	
韩国（8家）	85	104
日本（全国平均）	90	108
美国（115家）	91.5	107

高致癌风险：有2018年发表于《ENVIRON SCI TECHNOL》上的相关研究估计，在2015年中国222个生活垃圾焚烧厂向大气排放了总共33吨铬、33吨铅、20吨汞、6吨镉、4吨镍、0.4吨砷，以及94克毒性当量的二噁英。该研究通过使用高斯烟羽模型对焚烧厂所排放的污染物的传播进行了模拟，并对这些污染物在各省市内造成的健康风险进行了评估，结果表明虽然这些污染所造成的全国平均非致癌危害指数（hazard index）较低，但共有17个省的致癌风险指数（carcinogenic risk）超过美国环保署规定的可接受数值。另外，超过96%的致癌风险都来源于铬，因为铬具有高毒性且相对其他重金属有更高的排放¹¹⁰。

注：国家发布的《大气污染人群健康风险评估技术规范》¹¹¹中引用了EPA的相关文件，并采用了相同的致癌风险和非致癌危害指数计算模型。但是该文件中并未明确规定作为健康风险评估的参考限制。根据《大气污染人群健康风险评估技术规范》：致癌风险为“人群暴露于致癌效应污染物，诱发致癌性疾病或损伤的概率。”非致癌危害指数为“人群在经历如室内、室外，工作环境、居住环境等不同类型微环境的暴露后，在多种微环境中经吸入途径暴露于单一非致癌大气污染物危害商的和。”

土壤与食物污染：相关研究指出焚烧厂排放的烟气中的重金属可能会沉积在周围的土壤与农作物中¹¹²⁻¹¹⁴。北京大学的研究者们在深圳某生活垃圾焚烧厂附近进行了长达一年的采样，发现垃圾焚烧厂所排放的烟气中的铅、铬和锰可能通过干湿沉降等途径积累于周边的土壤中，然后富集于周围的农作物中，再被周围居民摄入。该研究发现在位于距焚烧厂约1千米的农场中的蔬菜中富集着铅和铬，其浓度要远高于从其他城市转运来的蔬菜。采样调查还发现该焚烧厂附近的居民血液中的铅和镉远高于距离焚烧厂5千米外的居民，而这些焚烧厂附近的居民食用的蔬菜主要来源于附近的农场¹¹²。

另外，深圳市环境科学研究院和北京大学的研究者们对珠三角东部某大型城市垃圾焚烧厂周边的表层土壤进行采样，发现汞的含量超出广东省土壤历史背景值的1倍，且其空间分布特征显示与垃圾焚烧厂存在很强联系。镉的空间分布特征与汞有着相似性，但并不明显。不过，研究者最后表明该区域土壤重金属的生态风险指数不高¹¹³。

2.3.3 烟气排放导致的二噁英污染问题

有不少研究证明烟气净化系统对二噁英有着高效的净化率，通常可去除烟气中超过95%的二噁英。如使用半干式涤气法（SDS）+活性炭喷射吸附方法（ACI）+布袋除尘器（FF）混合的净化系统的净化率可达99.2%¹⁰¹，使用干式吸收剂喷射+活性炭喷射吸附方法+布袋除尘器（DSI+ACI+FF）的系统的净化率可达96.6%¹¹⁵。因此生活垃圾焚烧厂排放的烟气所造成的二噁英污染可被忽略¹¹⁶。

但是与以上结论所不同的是，我国的生活垃圾焚烧厂仍存在着二噁英污染问题。浙江省疾病预防控制中心的研究者们对浙江省某生活垃圾焚烧厂的二噁英污染做了调查，结果发现居住在焚烧厂附近的孩

子体内的二噁英浓度要明显偏高。另外鸡蛋、土壤等环境样品中的二噁英浓度也要远远高于其他地区，并且可能已直接导致附近的孩子的基因改变和DNA甲基化¹¹⁷。

2.3.4 生活焚烧厂产生的飞灰处置问题

在《国家危险废物名录》中规定生活垃圾焚烧后产生的飞灰为危险废物。焚烧后被净化系统所捕集的飞灰富集着高浓度的重金属与二噁英¹¹⁸，若不妥善处置很容易造成二次污染，需要被无害化处理后再进行填埋或资源再利用。目前，对飞灰进行化学稳定化、水泥固化、熔融固化后再进行填埋的方法被许多国家所采用。其中水泥固化会增加废物的体积，而我国城市土地资源紧张，因此该技术推广困难；熔融固化法成本昂贵，在经济不发达的城市也难以推行¹¹⁹。

使用螯合剂做化学稳定化处理是目前最常用的方法，该方法简单、成本低且对垃圾的增容小，因此可以降低对填埋场的库容压力¹¹⁹。然而化学稳定化并非所有的重金属有显著效果，在某些特定环境下飞灰中的重金属还可能重新溢出^{120,121}。比如有相关研究发现在强酸的环境下（pH小于2~3），重金属较易从飞灰中大量溢出且可能导致环境污染。不过考虑到自然环境中很少出这种强酸的极端情况，所以稳定化后的飞灰中的重金属不易进入环境中^{121,122}。

2.4 结论

以上相关研究表明，生活垃圾填埋场和焚烧厂的处置手段和污染控制措施不足以彻底消除危险废物的危害。危险废物进入填埋场和焚烧厂后，仍会以多种形式对周围的大气和水体造成污染，并影响周围居民的健康。将HHW单独分类处置具有必要性。



第三章

生活源危险废物处置技术

我国对于危险废物的处置都要求以减量化、资源化和无害化为原则。危险废物的处置技术可分为预处理技术、无害化处置技术和再生利用技术。

本章节根据生态环境部发布的针对处置危险废物而发布的指导技术性文件进行了归纳总结。包括《危险废物处置工程技术导则》¹²³、《废矿物油回收利用污染控制技术规范》¹²⁴、《医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南（试行）》¹²⁵、《含汞废物处理处置污染防治可行技术指南（征求意见稿）》¹²⁶，《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》¹²⁷，《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》¹²⁸，等等。

本章节根据以上文件，结合行业专家的建议，简要介绍适用于生活源危险废物的主流处置技术，其中非焚烧技术主要为等离子技术、热脱附技术和熔融技术等。表3.1中列出了不同的生活危险废物的无害化处置工艺，以及可用于再生利用这些危险废物的主要技术。

表3.1 | 各类生活源危险废物的无害化处置的适用性，以及主要的再生利用技术

废物类别	适用的处置方法			
	无害化处置			回收利用法
	安全填埋	焚烧处置	非焚烧处置	
HW03 废药物、药品		✓	✓	
HW04 农药废物		✓	✓	
HW12 废矿物油		✓		1.再净化 2.再精制 3.再炼制
HW08 染料、油漆废物		✓		废油漆桶：作为废钢的补充料进行炼钢转炉协同焚烧
HW16 感光材料废物			✓	注：回收提取银 · 定 / 显影液：1.金属置换法 2.电解银回收法 3.化学沉降法 4.有机物还原液回收法 5.离子交换法 · 废胶片 / 相纸：1.焚烧法 2.机械洗刷法 3.化学溶解法 4.酶溶法
HW29 含汞废物	✓		✓	注：用于废含汞荧光灯 · 湿法处置 · 干法处置：1.切端吹扫分离技术 2.直接破碎分离法
HW49 其他废物	✓	✓	✓	注：回收提取金属 · 废铅蓄电池 a)分选 1.人工破碎分选法 2.机械破碎法 - 重介质分选法 3.机械破碎法 - 水力分选法 b)铅膏的脱硫和熔炼 1.简单混合还原熔炼法 2.转化脱硫还原熔炼法 3.铅精矿搭配氧化还原熔炼法 4.湿法冶炼工艺 - 电解法 · 废镉镍电池 a)火法 1.常压冶金 2.真空冶金 b)湿法 1.置换反应法 2.选择性浸出法与化学沉淀法 3.电化学沉积法 4.溶液萃取法 · 废电子产品、电路板 1.物理法 2.火法 3.湿法冶炼

注：非焚烧技术主要为等离子技术、热脱附技术和熔融技术等

需要特别声明的是，由于标准文件的制定和修改需要较长时间，往往缺乏时效性，因此在实际应用中部分技术可能已经被淘汰，或者经济上不适用而很少得到应用。也欢迎更多的专家对本章节提供建议和意见，我们会后续更新在新的版本当中。

3.1 危险废物的预处理技术

危险废物的预处理技术分为物理法、化学法和固化/稳定化等，主要适用于对危险废物进行焚烧、非焚烧、安全填埋处置前的预处理过程。表3.2中列举了危险废物的主要预处理技术¹²⁹。

表3.2 危险废物主要预处理技术	
物理法	压实：减少危险废物的容积和制取高密度惰性块料，便于运输、贮存与处理处置
	破碎：将废物破碎成小块或粉状颗粒，便于分选出有利用价值或有毒有害的物质。主要包括：机械破碎、低温冷冻破碎和超声波破碎
	分选：分选出可再利用的成分，并将有毒有害物质分离出来。对于不同物理、化学性质的废物应分别采用不同的分选法，其中包括：人工手选筛分、风力分选、淘汰机、浮选、磁选、电选等分选技术
	萃取：将溶液与另一种相互不混溶但对杂质有更高亲和力的液体相接触，使其中某种成分分离出来的过程
化学法	絮凝沉降：将悬浮于溶液中的微小、不易沉降的微颗粒凝聚成更易沉降的较大颗粒
	化学氧化还原：改变危险废物的化学性质来将其转化成无毒无害物
	酸碱中和：将酸性或碱性危险废物调至pH值约为6～9的范围
固化 / 稳定化	固化：将固化剂添加至危险废物中，将其变为不可流动固体或紧密固体
	稳定化：将有毒有害污染物转化为低溶解性、低迁移性及低毒物质。目前常用的固化 / 稳定化技术有：水泥固化、石灰固化、自胶结固化和药剂稳定化等

3.2 生活源危险废物的无害化处置技术

危险废物和生活垃圾有着不同的无害化处置标准，如果生活源危险废物被混入生活垃圾之中，那么就会以生活垃圾的标准被填埋或者焚烧并可能导致环境污染。

《危险废物处置工程技术导则》（以下简称《导则》）中主要概括了焚烧和填埋等适用于无法再生利用的危险废物的无害化处置方法。表3.1中列举了《导则》中不同生活源危险废物的焚烧、填埋和其它非焚烧无害化处置工艺的适用性。其中危险废物非焚烧处置主要包括热脱附处置、熔融处置、电弧等离子处置等。

《导则》中还规定了危险废物处置技术的选择原则。除了表3.1中的三项处置方法以外，有毒（T）生活废弃物也可选择解毒处置。而废矿物油、废油漆等具有易燃性（I）的废弃物适合优先选择焚烧处置技术，并且应该根据焚烧条件进行相应的预处理。

3.2.1 危险废物的安全填埋处置技术

根据《导则》中指出除了与填埋场衬层不相容的废物以外的危险废物可以被安全填埋，而有机危险废物则不适合被安全填埋。

与生活垃圾填埋处置的不同

危险废物填埋场和生活垃圾填埋场有着不同的建设、运行、污染控制和监督管理的要求与标准。生活垃圾的填埋需要满足《生活垃圾填埋场污染控制标准 GB16889》，而危险废物的填埋需要满足《危险废物填埋污染控制标准 GB18598》。填埋危险废物与填埋生活垃圾的主要不同之处有^{68,123,130}：

(1) 入场要求：

- 危险废物：在填埋前必须经过固化/稳定化等预处理，然后经过毒性分析后浸出液中的有害成分浓度满足《危险废物填埋污染控制标准 GB18598》的控制标准后方可被填埋。
- 生活垃圾：由环境卫生机构收集或者自行收集的混合生活垃圾可直接进入生活垃圾填埋场进行填埋处置。

(2) 分区填埋：

- 危险废物：混合填埋两种以上的危险废物时要求混合后不会发生反应。对于不相容的危险则需要分区填埋，且每区之间需要设有隔离措施。并且要求将废物特性和废物倾倒部位等信息完整得记录于填埋场的档案中。

- 生活垃圾：在《生活垃圾填埋场污染控制标准 GB16889》中仅要求分区填埋生活垃圾焚烧飞灰、医疗废物焚烧残渣和一般工业固体废物，对于生活垃圾则没有分区填埋的要求

3.2.2 危险废物的焚烧处置技术与非焚烧技术

有机成分多、热值高的生活源危险废物可被焚烧处置，但是含汞废物不适合进行焚烧处置¹²⁹。焚烧处置的最大优点是减量化，焚烧后的残渣仅占原始量的5~20%¹³¹。危险废物的焚烧处置主要为回转窑焚烧、水泥窑协同焚烧、热解焚烧等等，其中回转窑焚烧和热解焚烧是最主要的危险废物焚烧处置的方式¹²⁹。

应用于危险废物的非焚烧处置技术主要为等离子技术、热脱附技术和熔融技术等。其中热脱附技术主要用于处置被挥发性、半挥发性有毒物质污染的土壤、底泥等，而熔融技术则主要用于处置废物被焚烧处置后的残渣和飞灰等。因此这两种技术非处理生活源危险废物的主要手段，故在此不做详述^{123,129}。表3.3中简要罗列了这几种主流焚烧技术和非焚烧技术的适用范围，优缺点等等。

表3.3 主流焚烧技术和非焚烧技术的适用范围				
焚烧 & 非焚烧 处置技术	适用的废物种类	温度 范围 °C	优点	缺点
回转窑焚烧 ^{123,129,132}	除了有着高含量的重金属、水或无机物的不可燃物以外的各种不同物态的废物	窑内： 750-850 二燃室： 1100-1200	能耗比其他焚烧方式少，对废物成分适应性强，可直接将大块或桶装废物直接送入窑内，保养容易，可以分解任何有毒有害物质	投资成本高，耐火砖维护费高，运转时必须小心，过剩空气需求高，排气粉尘含量高，低热效率
水泥窑协同焚烧 ^{123,127,128}	具有稳定的化学组成和物理特性，其化学组成、理化性质等不应对水泥生产过程和水泥产品质量产生不利影响。 禁止投入的危险废物种类：放射性废物，爆炸性及反应性废物，未经拆解的废电池、废家用电器和电子产品，含汞温度计、血压计、荧光灯管和开关，铬渣，未知特性和未经鉴定的废物。	1600	炉体长、温度高、热惯量大，碱性环境气氛可抑制酸性物质排放与降低二噁英物质的生成，无废渣，废物适应性强，可固化重金属，投资小，运行成本低，减少社会废气排放量	对废物中硫和氯的含量有限制，处置热值太低、水分过大的危险废物时会降低经济效益，需要预处理含有挥发性有机物的危险废物，气体排放有严格的限制、需增加在线检测装置与除尘设备，增加了水泥生产线的复杂度和人力资源消耗

焚烧 & 非焚烧 处置技术	适用的废物种类	温度 范围 °C	优点	缺点
热解焚烧 ^{123,131,133,134}	有机物含量高的危险废物	一燃室： 320-1150 二燃室： 850-1100	设备结构简单，易于维护，动力消耗低，废物可不用分选，烟气中的氮氧化合物、重金属等污染物含量低，二次污染的排放及治理费用低	处理水分高、热值低的废物需要投油助燃，设备处置能力较小、吨位低，热量回收率低
电弧等离子体技术 ^{123,129,135-137}	毒性较高、化学性质稳定且能够长期存在于环境中的危险废物。能够处理各种形态的废物，包括液体、固体和气体。特别适合处置粉碎后的电子垃圾、液态或者气态有毒危险废物等	1500 以上	处理速度快；装置小而处理能力大；能更有效的地分解危险废物内的有害物质；能处理高熔点的难熔废物；比起焚烧产生的尾气量小很多，可避免二噁英类物质的合成，因而尾气处理成本低；同时适用于高浓度和低浓度污染物；处置后所生成的玻璃体炉渣和可燃气体可以被回收再利用；比起焚烧技术，可实现更快的启动和关闭，过程更易达到稳定状态	因为工作原理和进料机构的限制，不同的等离子体技术能适应的污染物不同，因而处理范围受限；通过电力来提供能源因而运行成本高；处置过程的温度很高，因而对耐火材料有要求，且容易对耐火材料造成损害。整个过程的控制参数多，因而有着很高的自动化控制的要求

与生活垃圾焚烧处置的不同

根据《导则》中规定焚烧处置危险废物的处置设施应采用技术成熟、高自动化水平、运行稳定的设备，并且需要重点考虑处置设施与后续废气净化设施之间的匹配性。危险废物焚烧厂的建设、运行、污染控制和监督管理的要求与标准不同于《生活垃圾焚烧污染控制标准 GB18485》，其控制条件应满足《危险废物焚烧污染控制标准 GB18484》的要求。焚烧危险废物与焚烧生活垃圾的主要不同之处有^{95,97,129}：

(3) 入炉物要求：

- 危险废物：不能焚烧放射性和易爆的危险废物。为了保障焚烧炉稳定运行与降低焚烧残渣的热灼减率，应根据危险废物的成分、热值等参数进行配伍后再入炉。
- 生活垃圾：由环境卫生机构收集或者自行收集的混合生活垃圾可直接进入生活垃圾焚烧炉进行处置。但是危险废物、电子废物及其处理处置残余物不得在生活垃圾焚烧炉中处置。

(4) 炉温要求:

- 危险废物: 焚烧温度应大于等于1100℃, 处置多氯联苯类废物的焚烧炉温度应大于等于1200℃。
- 生活垃圾: 焚烧温度应大于等于850℃。

3.3 主流生活源危险废物的再生利用技术

可以再生利用的生活源危险废物主要有废矿物油、废油漆桶、废定/显影液和胶卷/相纸、废含汞荧光灯和节能灯、废铅蓄电池、废镍镉电池、电路板等。表3.1中罗列了这些废弃物的主要再生利用技术。

3.3.1 废矿物油的再生利用

废矿物油及其包装物的再生利用主要为能量再生和物质再生。包装桶中的废矿物油可进入回转窑中单独焚烧或作为助燃剂与其他危险废物混合焚烧, 或者经由再净化、再精制或者再炼制等进行物质再生然后回收利用, 而包装桶洗净后可被回收再利用。在废矿物油再生过程中产生的废渣可以进入回转窑焚烧。废矿物油或者废矿物油渣在回转窑被焚烧时产生的热量可被综合利用^{124,138-140}。

3.3.2 废感光材料废物再生利用

城市生活垃圾中主要的感光材料废物为废胶片、废相纸、废X光片、废定显/影液等, 这些废物含中有大量的卤化银(除了蓝基胶片、纸胶片等不含盐银的胶片外)。银是自然界中匮乏的贵金属, 若不妥善回收这些废感光材料中的银, 则不仅会污染环境也会造成资源浪费¹⁴¹。表3.1中列举了用于回收定/显影液、废相纸和胶卷中的银的主要方法。

3.3.3 废电池的再生利用

被纳入《国家危险废物名录》中的废电池种类有废铅蓄电池、废镉镍电池和氧化汞电池, 其中生态环境部于2003年发布的《废电池污染防治技术政策》中明令禁止生产和销售氧化汞电池¹⁴², 因此目前在我国产生的属于危险废物的废电池主要为铅蓄电池和废镉镍电池等可充电电池。

铅蓄电池

在我国发布的《铅蓄电池生产及再生污染防治技术政策》中规定废铅蓄电池的再生工艺包括分选、脱硫和熔炼等工艺¹⁴³。在国内使用的分选工艺主要为人工破碎分选法、机械破碎法-重介质分选法、机械破碎-水利分选法等¹⁴⁴。

另外，在2016年发布的《废电池污染防治技术政策》中明令禁止人工、露天拆解和破碎废电池¹⁴⁵。而来自广东核力工程勘察院环评所的研究员在2017的报告中指出目前我国大部分再生铅厂对铅蓄电池的回收再生工艺为原始的火法工艺，且不对废电池做分选等预处理，仅通过简单的人工破碎后直接进入反射炉进行熔炼¹⁴⁶。

经过分选后回收的铅膏成分复杂，需要经过脱硫和熔炼等工艺进行处理再生。铅膏的处理工艺主要分成火法冶炼工艺和湿法冶炼工艺，而火法冶炼主要包括简单混合还原熔炼法、转化脱硫还原熔炼法、铅精矿搭配氧化还原熔炼法¹⁴⁶。

镍镉电池^{147,148}

在镍镉电池中含有大量的镍、镉和铁等重金属，若不妥善处理废旧镍镉电池，除了会对人体和环境造成危害以外，也将造成资源浪费。镍镉的回收再生法主要为湿法冶金和火法冶金。

火法冶金的过程为将废镍镉电池中的金属和化合物进行氧化、还原、分解、挥发和冷凝，包括常压冶金和真空冶金这两种方法。该工艺的缺点是极有可能将金属蒸汽释放到大气中。

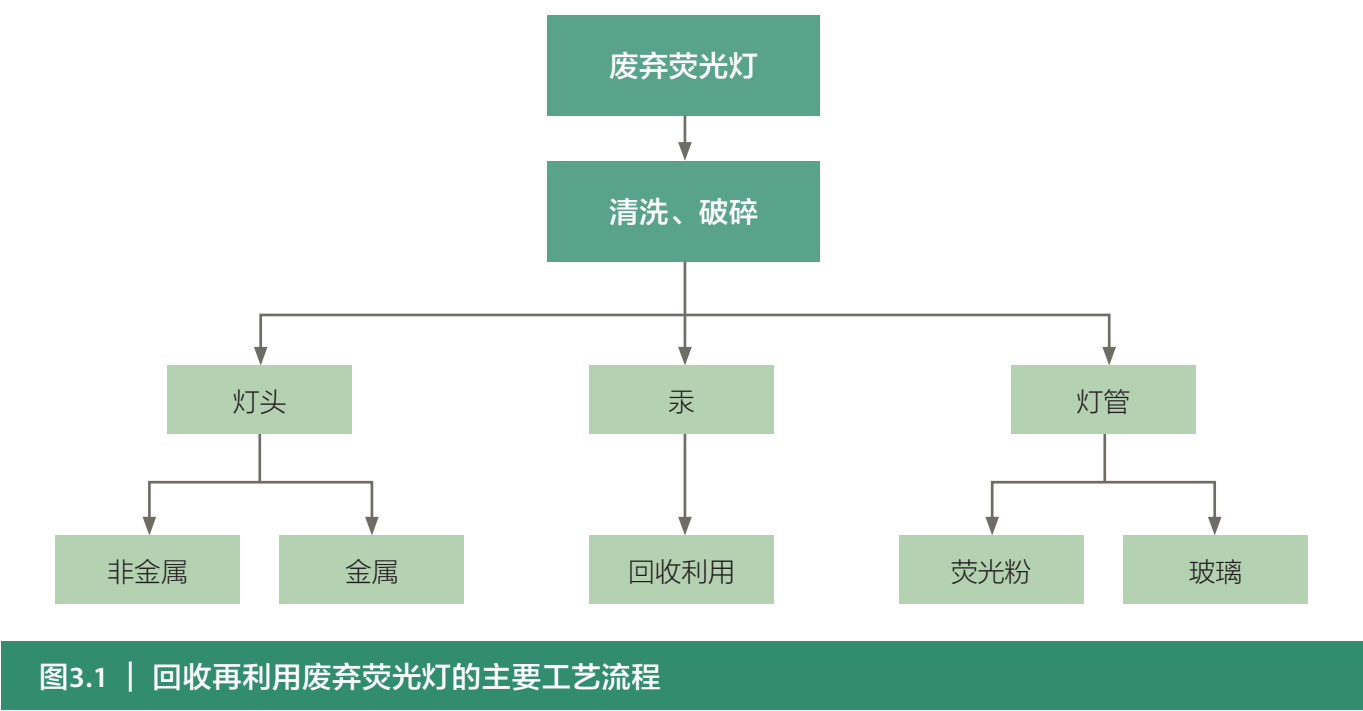
湿法冶金的原理是利用了废镍镉电池中的重金属及化合物能被酸性、碱性溶液或某种溶剂溶解的特性，将形成的溶液处理后分离回收有价金属。这些处理工艺包括了置换反应法、选择性浸出法与化学沉淀法、电化学沉积法和溶剂萃取法等。湿法冶金的优点是能耗低、工艺成熟，而缺点为处置周期长、会产生大量废液而导致大量的废水处理需求。

3.3.4 废电子产品、电路板的再生

在电子废弃物拆解后的部件中，电路板是最为核心且最难处置危险废物¹⁴⁹。用于回收废电路板中具有重要价值的金属的传统方法有物理法、火法冶炼和湿法冶炼，其中火法冶炼和湿法冶炼对环境的危害极大¹⁵⁰。而在物理法中被分离出的非金属富集体主要会被焚烧来进行无害化处理，该方法可能会生成二噁英等污染物^{149,150}。

3.3.5 废含汞荧光灯的处理处置技术

废荧光灯的主要处置方法分为三类：1.加硫填埋法，2.焚烧法，3.回收利用法。回收利用法有着工艺稳定、减少污染和达到循环再利用废物资源等优点¹⁵¹。图3.1 中列举了回收再利用荧光灯的主要工艺流程。



回收利用法可细分成湿法处置技术和干法处置技术，其中湿法处置技术有着利用水封防止汞蒸气污染空气的优点，并且通过水洗脱离玻璃上残留的荧光粉然后回收，但是该技术因其会产生含汞废水，成本高等问题而很少有工业应用¹²⁶。

干法回收技术可分为切端吹扫分离技术和直接破碎分离技术。切端吹扫分离技术可有效回收利用荧光灯中昂贵的稀土荧光粉。而直接破碎分离法中会含有玻璃粉，回收的荧光粉纯度不高，适用于回收价值不高的卤磷酸钙制的荧光粉^{126,151,152}。表3.4中列举了湿法和干法回收利用法的优缺点、适用范围和污染方式。

表3.4 湿法和干法回收利用法的优缺点、适用范围和污染方式			
处理方法	湿法处置工艺	干法处置－切端吹扫分离技术工艺	干法处置－直接破碎分离技术工艺
适用范围	使用液态汞的荧光灯	直管荧光灯	所有规格荧光灯
优点	· 可防止汞蒸气污染空气 · 有效地收集汞	· 高效回收利用稀土荧光粉 · 生成的汞纯度为 99.9%	· 工艺结构紧凑、占地面积小 · 投资小
缺点	· 产生含汞废水 · 需安装废水处理设备 · 成本高 · 工程应用少	· 投资大 · 设备复杂	· 回收的荧光粉纯度不高、较难被再利用
污染排放	· 大气污染：破碎、蒸馏程中产生的含汞和颗粒等污染物的废气 · 水污染：荧光灯破碎后水洗汞产生的含汞、SS、CODcr 和异常 pH 值等污染的废水 · 固体废物污染：部分无法被资源利用化的玻璃和金属 · 噪声污染：来源于破碎设施，最高可达 55dB	· 大气污染：破碎、蒸馏程中产生的含汞和颗粒等污染物的废气 · 固体废物污染：蒸馏后不可再利用的荧光粉等 · 噪声污染：来源于破碎设施，最高可达 55dB	· 大气污染：破碎、蒸馏程中产生的含汞和颗粒等污染物的废气 · 固体废物污染：蒸馏后不可再利用的荧光粉等 · 噪声污染：来源于破碎设施，最高可达 75dB

总结

很大比例的生活源危险废物被混入了生活垃圾一同填埋或焚烧。然而科学研究证明，普通生活垃圾的填埋和焚烧技术都不足以控制危险废物的污染，这已导致部分填埋场和焚烧厂周边地下水、土壤和空气的污染。

专门处理各类危险废物的技术，相比生活垃圾的无害化技术要求更高、更加严格，在控制危险废物的环境健康危害上会更加的有效。

因此尽可能将危险废物从生活垃圾中分离出来，采用专门的处置技术进行无害化或资源化是十分有必要的。

参考文献

- ¹ 吴文伟, 王伟, 吴其伟等. 《生活垃圾分类标志》(GB/T 19095-2008) [EB/OL]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2008. (2008)[2019-08-15]. <http://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=71F772D75A02D3A7E05397BE0A0AB82A>.
- ² 深圳市城市管理和综合执法局. 《家庭生活垃圾分类指引[2018版]》(A版) [EB/OL]. (2018)[2019-11-24]. http://cgj.sz.gov.cn/xsmh/ljfl/nxzdd/flzn/201812/t20181211_14899050.htm.
- ³ ELBESHISHY E. Improper Disposal of Household Hazardous Waste: Landfill/Municipal Wastewater Treatment Plant[G]//SALEH F O E-H E-D M. Rijeka: IntechOpen, 2019: Ch. 11.
- ⁴ 钊晓东, 赵文萍. 社会源废弃物的损害复合性及其法律控制研究[J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2017, 46(6): 1-11.
- ⁵ Effects of household wastes on surface and underground waters[J]. International Journal of Physical Sciences, 2009, 4(1): 022-029.
- ⁶ 唐素琴. 武汉市生活垃圾填埋场渗滤液毒性效应研究[D]. 华中科技大学, 2007.
- ⁷ INGLE A P, SEABRA A B, DURAN N et al. 9 - Nanoremediation: A New and Emerging Technology for the Removal of Toxic Contaminant from Environment[G]//DAS S B T-M B and B. Oxford: Elsevier, 2014: 233-250.
- ⁸ PORWAL T. PAINT POLLUTION HARMFUL EFFECTS ON ENVIRONMENT[J]. International Journal of Research - GRANTHAALAYAH, 2015, 3: 1-4.
- ⁹ CHEN J P, WANG L K, WANG M H S et al. Remediation of Heavy Metals in the Environment[M]. CRC Press, 2016.
- ¹⁰ 王济, 王世杰. 土壤中重金属环境污染元素的来源及作物效应[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2005, 23(2): 113-120.
- ¹¹ WORLD HEALTH ORGANIZATION. Childhood Lead Poisoning[R]. Geneva: 2010.
- ¹² NELSON L S, LEWIN N A, HOWLAND M A et al. Goldfrank's Toxicologic Emergencies, Ninth Edition[M]. McGraw-Hill Education, 2010.
- ¹³ JAN A, AZAM M, SIDDIQUI K et al. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants[J]. International journal of molecular sciences, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2015, 16(12): 29592-29630.
- ¹⁴ FAROON O, ASHIZAWA A, WRIGHT S et al. Toxicological profile for cadmium[J]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US), Atlanta (GA), 2012.
- ¹⁵ AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Chromium Toxicity[EB/OL]. (2008)[2019-08-18]. <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/csem.asp?csem=10&po=0>.
- ¹⁶ AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Toxicological Profile for Chromium[EB/OL]. (2012)[2018-08-18]. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=62&tid=17>.
- ¹⁷ CHOU C-H, HARPER C. Toxicological profile for arsenic[J]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US), Atlanta (GA), 2007.
- ¹⁸ RISHER J. Toxicological profile for mercury[J]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US), Atlanta (GA), 1999.
- ¹⁹ 蔡文洁, 江研因. 甲基汞暴露与人体健康影响[J]. 上海环境科学, 2008, 27(3): 129-134.
- ²⁰ 时圣刚. 重金属对环境与人体健康影响浅议[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6425-6426.
- ²¹ ZHU Y-G, JOHNSON T A, SU J-Q et al. Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, National Acad Sciences, 2013, 110(9): 3435-3440.

- 22 UNEP. Frontiers 2017: Emerging Issues of Environmental Concern[R]. Nairobi: 2017.
- 23 刘娜, 金小伟, 王业耀等. 我国地表水中药物与个人护理品污染现状及其繁殖毒性筛查[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(6): 1–12.
- 24 SUI Q, WANG B, ZHAO W et al. Identification of priority pharmaceuticals in the water environment of China[J]. Chemosphere, Elsevier, 2012, 89(3): 280–286.
- 25 LIU J-L, WONG M-H. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs): a review on environmental contamination in China[J]. Environment international, Elsevier, 2013, 59: 208–224.
- 26 刘晓晖, 董文平, 乔光明等. 水环境中药品和个人护理品的迁移转化, 毒性效应及其风险评估[J]. 科技导报, 2015, 33(16): 56–60.
- 27 LU J, WU J, STOFFELLA P J et al. Analysis of Bisphenol A, Nonylphenol, and Natural Estrogens in Vegetables and Fruits Using Gas Chromatography–Tandem Mass Spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, American Chemical Society, 2013, 61(1): 84–89.
- 28 ADEEL M, SONG X, WANG Y et al. Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: a critical review[J]. Environment International, Elsevier, 2017, 99: 107–119.
- 29 WOŁAWEK-POTOCKA I, MANNELLI C, BORUSZEWSKA D et al. Diverse effects of phytoestrogens on the reproductive performance: cow as a model[J]. International journal of endocrinology, Hindawi, 2013, 2013.
- 30 MOORE S C, MATTHEWS C E, OU SHU X et al. Endogenous Estrogens, Estrogen Metabolites, and Breast Cancer Risk in Postmenopausal Chinese Women[J]. Journal of the National Cancer Institute, Oxford University Press, 2016, 108(10): djw103.
- 31 TREVIÑO L S, WANG Q, WALKER C L. Hypothesis: Activation of rapid signaling by environmental estrogens and epigenetic reprogramming in breast cancer[J]. Reproductive Toxicology, 2015, 54: 136–140.
- 32 NELLES J L, HU W-Y, PRINS G S. Estrogen action and prostate cancer[J]. Expert Review of Endocrinology & Metabolism, Taylor & Francis, 2011, 6(3): 437–451.
- 33 BOLONG N, ISMAIL A F, SALIM M R et al. A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal[J]. Desalination, 2009, 239(1): 229–246.
- 34 JOFFE M, DEPARTMENT OF EPIDEMIOLOGY AND PUBLIC HEALTH LONDON, UK. M.JOFFE@IC.AC.UK I C S of M. Are problems with male reproductive health caused by endocrine disruption?[J]. Occupational and environmental medicine, BMJ Group, 2001, 58(4): 260–281.
- 35 CLEUVERS M. Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects[J]. Toxicology Letters, 2003, 142(3): 185–194.
- 36 EBELE A J, ABDALLAH M A-E, HARRAD S. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment[J]. Emerging Contaminants, Elsevier, 2017, 3(1): 1–16.
- 37 MOSTAFALOU S, ABDOLLAHI M. Pesticides and human chronic diseases: evidences, mechanisms, and perspectives[J]. Toxicology and applied pharmacology, Elsevier, 2013, 268(2): 157–177.
- 38 MORAIS S, DIAS E, PEREIRA M. Carbamates: Human Exposure and Health Effects[G]//2012: 21–38.
- 39 朱本浩. 夏季当防灭蚊剂中毒[J]. 解放军健康, 解放军健康杂志社, 2016(2016年03): 17.
- 40 赵奇, 高丽君, 钱丹等. 河南省卫生杀虫剂使用现状调查[J]. 中华卫生杀虫药械, 2015, 21(1): 26–28.
- 41 李蓓茜, 王安. 拟除虫菊酯杀虫剂的毒性和健康危害研究进展[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(6): 29–34.
- 42 UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Learn about Polychlorinated Biphenyls (PCBs)[EB/OL]. (2018)[2019-08-15]. <https://www.epa.gov/pcbs/learn-about-polychlorinated-biphenyls-pcbs>.

- 43 乔光明,董文平,王炜亮.我国废矿物油环境监管现状研究与建议[J].山东化工,2015,44(11):152-153.
- 44 ABDEL-SHAIFY H I, MANSOUR M S M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation[J]. Egyptian Journal of Petroleum, Elsevier, 2016, 25(1): 107-123.
- 45 PATNAIK P. A comprehensive guide to the hazardous properties of chemical substances[M]. John Wiley & Sons, 2007.
- 46 PUBLIC HEALTH ENGLAND. Polycyclic aromatic hydrocarbons (Benzo[a]pyrene) Toxicological Overview[EB/OL]. (2018).
- 47 AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Public Health Statement for Ethylbenzene[EB/OL]. (2010)[2019-08-15]. <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=381&tid=66>.
- 48 COUNCIL N R. A risk-management strategy for PCB-contaminated sediments[M]. National Academies Press, 2001.
- 49 任立明,王志国,郑磊.我国社会源危险废物产生、回收及处置现状及管理对策[J].中国环境管理,2013,5(2):59-64.
- 50 胡晓波,王庆华,倪小茗.感光材料废物处置与回收利用[J].河北工业科技,河北工业科技编辑部,2006,23(1):48-50.
- 51 DRAKE P L, HAZELWOOD K J. Exposure-related health effects of silver and silver compounds: a review[J]. The Annals of occupational hygiene, Oxford University Press, 2005, 49(7): 575-585.
- 52 徐龙,霍霞,徐锡金.妇女儿童多溴联苯醚暴露及其健康效应的研究进展[J].环境与健康杂志,2012,29(5):473-477.
- 53 居颖,陈兰,苏萍等.电子垃圾拆解区居民血清中甲状腺激素和性激素水平研究[J].环境与健康杂志,2008,25(6):499-503.
- 54 刘强,李克秋,杜利清等.电子垃圾污染物对人类遗传毒性的初步研究[J].癌变·畸变·突变,2013,25(6):448-453.
- 55 张杏丽,周启星.土壤环境多氯二苯并二噁英/呋喃(PCDD/Fs)污染及其修复研究进展[J].生态学杂志,2013,32(4):1054-1064.
- 56 国务院.《生活垃圾分类制度实施方案》[EB/OL]. (2017)[2019-08-15]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-03/30/content_5182124.htm.
- 57 新华社.你了解危险废物吗——环保部负责人解读新版《国家危险废物名录》[EB/OL]. 中央政府门户网站,2016. (2016)[2019-08-15]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/22/content_5084233.htm.
- 58 中华人民共和国生态环境部.《国家危险废物名录》(2016)版解读[EB/OL]. (2016)[2010-08-15]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201606/t20160621_354849.htm.
- 59 胡华龙,郑洋,郭瑞.发达国家和地区危险废物名录管理实践[J].中国环境管理,2016(4):76-81.
- 60 GU B, ZHU W, WANG H et al. Household hazardous waste quantification, characterization and management in China's cities: A case study of Suzhou[J]. Waste Management, 2014, 34(11): 2414-2423.
- 61 GU B, JIANG S, WANG H et al. Characterization, quantification and management of China's municipal solid waste in spatiotemporal distributions: A review[J]. Waste Management, 2017, 61: 67-77.
- 62 寇江泽,冯人基,崔东.有害垃圾 强制分类咋实现(绿色焦点:怎样推进垃圾分类4)[EB/OL]. 人民网-人民日报,2017. (2017)[2019-08-15]. <http://env.people.com.cn/n1/2017/0527/c1010-29303268.html>.
- 63 中华人民共和国生态环境部.2018年全国大中城市固体废物污染环境防治年报[R].2018.
- 64 上海市绿化和市容管理局.2017年上海绿化市容行业年鉴[M].王永文.上海文化出版社,2017.
- 65 上海市统计局.2017年上海市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2018)[2019-08-15]. <http://www.stats-sh.gov.cn/html/sjfb/201803/1001690.html>.

- 66 国家统计局. 中国统计年鉴2018[M]. 中国统计出版社, 2018.
- 67 蒋云飞, 罗实, 李金惠. 社会源危险废弃物治理中的政府责任: 依据, 问题与合理界定[J]. 生态经济, 2017, 33(11): 196–200.
- 68 《危险废物填埋污染控制标准》编制组. 《危险废物填埋污染控制标准》(征求意见稿) 编制说明[EB/OL]. 环境保护部, 2015. (2015) [2019-08-15]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201504/t20150414_299049.htm.
- 69 韩智勇, 许模, 刘国等. 生活垃圾填埋场地下水污染物识别与质量评价[J]. 中国环境科学, 2015, 35(9): 2843–2852.
- 70 RODRÍGUEZ-EUGENIO N, MCLAUGHLIN M, PENNOCK D. Soil pollution: a hidden reality[M]. FAO, 2018.
- 71 YU Z, HE P, SHAO L et al. Co-occurrence of mobile genetic elements and antibiotic resistance genes in municipal solid waste landfill leachates: a preliminary insight into the role of landfill age[J]. Water research, Elsevier, 2016, 106: 583–592.
- 72 YOU X, WU D, WEI H et al. Fluoroquinolones and β -lactam antibiotics and antibiotic resistance genes in autumn leachates of seven major municipal solid waste landfills in China[J]. Environment international, Elsevier, 2018, 113: 162–169.
- 73 WANG Y, TANG W, QIAO J et al. Occurrence and prevalence of antibiotic resistance in landfill leachate[J]. Environmental Science and Pollution Research, Springer, 2015, 22(16): 12525–12533.
- 74 SUI Q, ZHAO W, CAO X et al. Pharmaceuticals and personal care products in the leachates from a typical landfill reservoir of municipal solid waste in Shanghai, China: Occurrence and removal by a full-scale membrane bioreactor[J]. Journal of hazardous materials, Elsevier, 2017, 323: 99–108.
- 75 WU D, HUANG Z, YANG K et al. Relationships between antibiotics and antibiotic resistance gene levels in municipal solid waste leachates in Shanghai, China[J]. Environmental science & technology, ACS Publications, 2015, 49(7): 4122–4128.
- 76 奚慧, 孙金昭, 谢冰. 城市生活垃圾填埋场中抗生素残留特征研究[J]. 环境科学学报, 2018, 38(1): 300–309.
- 77 SUN M, YE M, SCHWAB A P et al. Human migration activities drive the fluctuation of ARGs: Case study of landfills in Nanjing, eastern China[J]. Journal of hazardous materials, Elsevier, 2016, 315: 93–101.
- 78 PENG X, WANG C, ZHANG K et al. Profile and behavior of antiviral drugs in aquatic environments of the Pearl River Delta, China[J]. Science of the Total Environment, Elsevier, 2014, 466: 755–761.
- 79 MUKHERJEE S, MUKHOPADHYAY S, HASHIM M A et al. Contemporary environmental issues of landfill leachate: assessment and remedies[J]. Critical reviews in environmental science and technology, Taylor & Francis, 2015, 45(5): 472–590.
- 80 周炼, 安达, 杨延梅等. 危险废物填埋场复合衬层渗漏分析与污染物运移预测[J]. 环境科学学报, 2017, 37(6): 2210–2217.
- 81 WU D, MA R, WEI H et al. Simulated discharge of treated landfill leachates reveals a fueled development of antibiotic resistance in receiving tidal river[J]. Environment international, Elsevier, 2018, 114: 143–151.
- 82 李政, 滕柯延, 吴晗. 城市垃圾填埋场中汞污染的来源与归趋[J]. 环境科学与技术, 2018, 1.
- 83 LI Z G, FENG X Bin, LI P. Fate of Mercury in a Modern Municipal Solid Waste Landfill in China[C]//Advanced Materials Research. Trans Tech Publ, 2012, 518: 3371–3374.
- 84 [84] LIU Y, LIU Y, LI H et al. Health risk impacts analysis of fugitive aromatic compounds emissions from the working face of a municipal solid waste landfill in China[J]. Environment international, Elsevier, 2016, 97: 15–27.
- 85 LIU Y, LU W, LI D et al. Estimation of volatile compounds emission rates from the working face of a large anaerobic landfill in China using a wind tunnel system[J]. Atmospheric Environment, Elsevier, 2015, 111: 213–221.

- 86 WU C, LIU J, ZHAO P et al. Evaluation of the chemical composition and correlation between the calculated and measured odour concentration of odorous gases from a landfill in Beijing, China[J]. *Atmospheric Environment*, Elsevier, 2017, 164: 337–347.
- 87 YUE D, ZHAO K, HAN B et al. Composition and Distribution of Non-Methane Organic Compounds at Municipal Solid Waste Landfill Surfaces[C]//2013.
- 88 DUAN Z, LU W, LI D et al. Temporal variation of trace compound emission on the working surface of a landfill in Beijing, China[J]. *Atmospheric Environment*, Elsevier, 2014, 88: 230–238.
- 89 吴传东, 刘杰民, 周鹏等. 垃圾填埋场覆膜与暴露作业区异味污染特征[J]. *环境化学*, 2015, 34(10): 1955–1957.
- 90 WU C, LIU J, LIU S et al. Assessment of the health risks and odor concentration of volatile compounds from a municipal solid waste landfill in China[J]. *Chemosphere*, Elsevier, 2018, 202: 1–8.
- 91 FANG J-J, YANG N, CEN D-Y et al. Odor compounds from different sources of landfill: characterization and source identification[J]. *Waste Management*, Elsevier, 2012, 32(7): 1401–1410.
- 92 DOBLE M, KUMAR A. Chlorinated Hydrocarbons and Aromatics, and Dioxins[G]//*Biotreatment of Industrial Effluents*. Elsevier, 2005: 65–82.
- 93 TIAN H, GAO J, HAO J et al. Atmospheric pollution problems and control proposals associated with solid waste management in China: A review[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2013, 252–253: 142–154.
- 94 ZHANG D Q, TAN S K, GERSBERG R M. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges[J]. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(8): 1623–1633.
- 95 环境保护部科技标准司. 《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014) [EB/OL]. 环境保护部, 2014. (2014)[2019-08-15]. http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzbz/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/201405/t20140530_276307.shtml.
- 96 SUN X, LI J, ZHAO X et al. A Review on the Management of Municipal Solid Waste Fly Ash in American[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 31: 535–540.
- 97 《危险废物焚烧污染控制标准》(修订)编制组. 《危险废物焚烧污染控制标准》(征求意见稿)编制说明[EB/OL]. 环境保护部, 2014. (2014)[2019-08-15]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201410/t20141028_290781.htm.
- 98 张泽生, 井鹏, 陈超. 生活垃圾焚烧厂废气治理措施[J]. *中国环保产业*, 2009(9): 42–44.
- 99 银正一, 王鸿飞, 张新月. 垃圾分类收集对生活垃圾焚烧污染物控制的影响[J]. *节能与环保*, 2016(4): 68–70.
- 100 ZHANG H, HE P-J, SHAO L-M. Fate of heavy metals during municipal solid waste incineration in Shanghai[J]. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, 2008, 156(1–3): 365–373.
- 101 ZHANG G, HAI J, CHENG J. Characterization and mass balance of dioxin from a large-scale municipal solid waste incinerator in China[J]. *Waste management*, Elsevier, 2012, 32(6): 1156–1162.
- 102 段振亚, 苏海涛, 王凤阳等. 生活垃圾焚烧厂垃圾的汞含量与汞排放特征研究[J]. *环境科学*, 2016, 37(10): 3766–3773.
- 103 段振亚, 苏海涛, 王凤阳等. 重庆市垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究[J]. *环境科学*, 2016, 37(2): 459–465.
- 104 KIM J-H, PARK J-M, LEE S-B et al. Anthropogenic mercury emission inventory with emission factors and total emission in Korea[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, 44(23): 2714–2721.
- 105 TAKAHASHI F, SHIMAOKA T, KIDA A. Atmospheric mercury emissions from waste combustions measured by continuous monitoring devices[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Taylor & Francis, 2012, 62(6): 686–695.
- 106 刘明, 陈来国, 许振成等. 珠三角地区生活垃圾焚烧厂汞的排放特征[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(11): 2953–2958.

- 107 UN ENVIRONMENT. Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Sources, Reference Report and Guideline for Inventory Level 2, Version 1.4[R]. Geneva, Switzerland: 2017.
- 108 TAKAHASHI F, KIDA A, SHIMAOKA T. Statistical estimate of mercury removal efficiencies for air pollution control devices of municipal solid waste incinerators[J]. Science of The Total Environment, 2010, 408(22): 5472–5477.
- 109 CHEN L, LIU M, FAN R et al. Mercury speciation and emission from municipal solid waste incinerators in the Pearl River Delta, South China[J]. Science of The Total Environment, 2013, 447: 396–402.
- 110 ZHOU Q, YANG J, LIU M et al. Toxicological Risk by Inhalation Exposure of Air Pollution Emitted from China's Municipal Solid Waste Incineration[J]. Environmental science & technology, ACS Publications, 2018, 52(20): 11490–11499.
- 111 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 大气污染人群健康风险评估技术规范[EB/OL]. (2019)[2019-11-24]. <http://www.nhc.gov.cn/fzs/s7848/201907/3baff64579a54d5585923a272dfcbcf2.shtml>.
- 112 LI T, WAN Y, BEN Y et al. Relative importance of different exposure routes of heavy metals for humans living near a municipal solid waste incinerator[J]. Environmental Pollution, Elsevier, 2017, 226: 385–393.
- 113 赵曦, 黄艺, 李娟等. 大型垃圾焚烧厂周边土壤重金属含量水平, 空间分布, 来源及潜在生态风险评价[J]. 生态环境学报, 2015, 24(6): 1013–1021.
- 114 郭彦海, 孙许超, 张士兵等. 上海某生活垃圾焚烧厂周边土壤重金属污染特征, 来源分析及潜在生态风险评价[J]. 环境科学, 2017, 38(12): 5262–5271.
- 115 CHANG M B, LIN J-J, CHANG S-H. Characterization of dioxin emissions from two municipal solid waste incinerators in Taiwan[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(2): 279–286.
- 116 MUKHERJEE A, DEBNATH B, GHOSH S K. A Review on Technologies of Removal of Dioxins and Furans from Incinerator Flue Gas[J]. Procedia Environmental Sciences, 2016, 35: 528–540.
- 117 XU P, CHEN Z, WU L et al. Health risk of childhood exposure to PCDD/Fs emitted from a municipal waste incinerator in Zhejiang, China[J]. Science of The Total Environment, 2019, 689: 937–944.
- 118 QUINA M J, BORDADO J C, QUINTA-FERREIRA R M. Treatment and use of air pollution control residues from MSW incineration: An overview[J]. Waste Management, 2008, 28(11): 2097–2121.
- 119 张楚. 城市垃圾焚烧飞灰处理方法及探讨[J]. 北方环境, 2017, 29(3): 158.
- 120 邹庐泉, 吴长淋, 张晓星等. 满足《生活垃圾填埋污染控制标准》的生活垃圾焚烧飞灰重金属药剂稳定化研究[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(3): 61–64.
- 121 田志鹏, 田海燕, 张冰如. 城市生活垃圾焚烧飞灰物化性质及重金属污染特性[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(9): 80–85.
- 122 徐颖, 陈玉, 冯岳阳. 重金属螯合剂处理垃圾焚烧飞灰的稳定化技术[J]. 化工学报, 2013, 64(5): 1833–1839.
- 123 危险废物处置工程技术导则. 《危险废物处置工程技术导则》(HJ 2042-2014) [EB/OL]. 环境保护部, 2014. (2014)[2019-08-15]. http://www.mee.gov.cn/gzfw_13107/kjbz/qthjbhzb/hjbhgcjsf/201605/t20160522_342692.shtml.
- 124 《废矿物油回收利用污染控制技术规范》编制组. 《废矿物油回收利用污染控制技术规范》编制说明[EB/OL]. 环境保护部, 2009. (2009)[2019-08-15]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/200911/t20091120_182043.htm.
- 125 环境保护部科技标准司. 《医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南(试行)(HJ-BAT-8)》[EB/OL]. (2011)[2019-08-18]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201201/t20120120_222827.htm.

- ¹²⁶ 环境保护部.《含汞废物处理处置污染防治可行技术指南》(征求意见稿)[EB/OL].环境保护部,2014[2019-08-15].http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201409/t20140911_288890.htm.
- ¹²⁷ 环境保护部科技标准司.《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB 30485—2013)[EB/OL].环境保护部,2013.(2013)[2019-08-15].http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzb/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/201312/t20131227_265767.shtml.
- ¹²⁸ 环境保护部科技标准司.《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ 662-2013)[EB/OL].环境保护部,2013.(2013)[2019-08-15].http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzb/bzwb/gthw/qtgzbz/201401/t20140107_266119.shtml.
- ¹²⁹ 《危险废物处置工程技术导则》编写组.《危险废物处置工程技术导则 编制说明》[EB/OL].环境保护部,2012.(2012).
- ¹³⁰ 环境保护部科技标准司.生活垃圾填埋场污染控制标准(GB 16889-2008)[EB/OL].(2008)[2019-11-24].http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/rdzl/yjcz/bzgf/201106/t20110601_211494.shtml.
- ¹³¹ 张晓明,王颖.垃圾焚烧技术的发展状况[J].建筑与预算,2017(4):31-33.
- ¹³² 张福滨,张富,于铭等.医疗固体废弃物的无害化焚烧处理(下)[J].节能与环保,2003(8):23-25.
- ¹³³ 俞勐海,沈宏建.垃圾热解气化技术的应用[J].产业与科技论坛,2015(15):58-59.
- ¹³⁴ 邹庆军.简谈热解气化焚烧工艺处理医疗废物[J].2007.
- ¹³⁵ 杜长明,吴焦,黄娅妮.等离子体热解气化有机废弃物制氢的关键技术分析[J].中国环境科学,2016,36(11):3429-3440.
- ¹³⁶ 陈明周,孟月东,倪国华.直流电弧等离子体处理核电站低中放射性固体废物[J].中国核科学技术进展报告——中国核学会2009年学术年会论文集(第一卷·第7册),2009.
- ¹³⁷ 潘燕凤,王冰.电弧等离子体垃圾处理技术初探[J].上海建材,2008(6):10-11.
- ¹³⁸ 崔瑞华.常见危险废物的处置方式[J].环境与发展,2018(5).
- ¹³⁹ 何树梅.危险废物集中处置及资源综合利用的探讨[J].中国化工贸易,2017,9(21).
- ¹⁴⁰ 梁扬扬,李金惠,董庆银等.我国废润滑油管理和再生利用技术现状[J].环境工程技术学报,2018,v.8(3):55-62.
- ¹⁴¹ 宋淑叶.感光材料废物对环境的污染问题及治理手段[J].中国环境管理干部学院学报,2005,15(4):88-89.
- ¹⁴² 国家环保总局.废电池污染防治技术政策[EB/OL].国家环保总局,2003.(2003)[2019-08-15].http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172236.htm.
- ¹⁴³ 环境保护部.铅蓄电池再生及生产污染防治技术政策[EB/OL].环境保护部,2016.(2016)[2019-08-15].http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201612/t20161228_378325.htm.
- ¹⁴⁴ 李卫锋,蒋丽华,湛晶等.废铅酸蓄电池铅再生技术现状及进展[J].中国有色冶金,2011,40(6):53-56.
- ¹⁴⁵ 环境保护部.废电池污染防治技术政策[EB/OL].环境保护部,2016.(2016)[2019-08-15].http://mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201612/t20161228_378325.htm.
- ¹⁴⁶ 李思航.我国废旧铅酸蓄电池的回收处理现状研究[J].广东化工,2017,44(16):165.
- ¹⁴⁷ 程俊华,张健,徐新民等.废镍镉电池处置和金属回收关键技术研究进展[J].环境工程技术学报,2012,2(6):540-544.
- ¹⁴⁸ 张凤玲.冶金方法处理废旧镍镉电池的研究进展[J].中国资源综合利用,2007,25(6):14-16.
- ¹⁴⁹ 张贺然,于可利,邱金凤等.废弃电器电子产品典型拆解产物处置方式综述[J].资源再生,2018.

- 150 孙卫红, 刘波, 高孔军. 电子废弃物的处置回收[J]. 能源研究与管理, 2016(1): 66-70.
- 151 李鹏辉, 邹晓燕, 张洪武. 废弃荧光灯处置技术研究进展[J]. 科技导报, 2018, 36(13): 50-57.
- 152 王敬贤, 郑骥. 含汞废弃荧光灯管处理现状及分析[J]. 中国环保产业, 2010(10): 37-41.



关于益科

上海浦东益科循环科技推广中心是一家循环经济领域的小型NGO，于2018年10月31日正式登记成立，业务主管单位为浦东新区科协。本机构致力于通过具有原创性和洞察力的调研寻找目前中国资源循环各环节中的“痛点”，并通过连接和粘合资源循环链条上的一些关键的参与方，解决这些痛点。同时机构也扮演循环经济的传播者角色，计划通过网站、社交媒体等渠道讲吸引人的循环经济故事，塑造循环经济议题的公共性，让更多受众对循环经济感兴趣、愿参与、齐讨论。

本项目由广东省千禾社区公益基金会资助



千禾社区基金会
Harmony Community Foundation

本报告基于桌面调查编写，欢迎提出意见或建议帮助完善。如对本报告有任何意见、建议或疑问，请发邮件至 caip@rcubic.cn