

中国城市生活垃圾处理现状及展望

Present situation and prospects of municipal solid waste treatment in China

■文/李磊 袁光钰

在十八届中央政治局第六次集体学习时,习近平同志强调,“在生态环境保护问题上,就是不能越雷池一步,否则就应该受到惩罚”。在另一次讲话中他更明确指出“绿水青山就是金山银山”。

随着中国经济发展,城市生活垃圾产生量在不断增加。全国垃圾年产量以每年8%–10%的速度增长,与GDP增速相当。预计到2020年城市垃圾产量可达3.23亿吨。目前,中国人均垃圾日产生量超过1kg,已经接近发达国家水平,由于中国东南部地区垃圾产生量巨大,经济水平与土地资源有限,垃圾处置的困难很大,导致垃圾围城现象不断发生。因此,虽然近年来中国环境质量得到了一定改善,但离“绿水青山”尚有较大的差距。

中国城市生活垃圾的处置方式主要以填埋为主、焚烧比例较小。据中国环境公报统计,2015年全国设市城市生活垃圾清运量为1.92亿吨,处理量1.80亿吨,处理率93.7%。其中,卫生填埋处理量为1.15亿吨,占63.9%,焚烧处理量为0.61亿吨,占33.9%,堆肥、厌氧消化等其他处理方式占2.2%。近年来焚烧比例有所上升。但无论是焚烧或填埋处置,均未达到真正的无害化,县级城市即乡镇的垃圾处理率仍有待提高。总体上,距离国务院所提出的“到2015年,直辖市、省会城市和计划单列市生活垃圾全部实现无害化处理,设市城市生活垃圾无害化处理率达到90%以上,县县具备垃圾无害化处理能力,县城生活垃圾无害化处理率达到70%以上”的要求,在事实上仍有差距。

一、中国垃圾处理概况

中国城市生活垃圾处理技术经历了从简单处理,到卫生填埋,再到大力发展焚烧处理等阶段。虽然处理技术不断升级,但仍然会产生二次污染物,影响生

态环境和人群健康。

(一) 卫生填埋

城市生活垃圾卫生填埋场需选择合适的场所,采用在底部铺以防渗层,将生活垃圾用土层覆盖起来的处置技术。通过自然界中的好氧、兼性厌氧和厌氧微生物对垃圾进行分解转化,使其最终达到稳定化。垃圾降解过程中产生的渗滤液通过埋在填埋场底部的管道收集并加以处理。填埋法具有处理量大、技术要求低、管理方便、处理成本低且适应性强等优点,适合于经济发展相对落后且土地资源丰富的区域。但其缺点是占用土地面积大,且存在填埋气和渗滤液的二次污染。

中国大城市中的填埋场均进行了严格选址,并设计为塑料/黏土复合防渗层与沼气收集系统,可以收集并处置全部渗滤液和沼气,因而比较有效地控制了填埋场的污染问题,例如,总面积为46.5公顷的北京六里屯垃圾填埋场,由于设施完备,自2007年运行以来,尚未发现对于周围地区形成污染。

但较小城市中的填埋场,则基本上在郊区人口稀少处选址,并未充分考虑城市总体规划。填埋场仅设置黏土防渗层,且大部分填埋场并不具备渗滤液的处理设施。对于地下水较浅的地区,则遭受污染的概率很高。

1. 填埋场的气体污染

根据填埋垃圾的来源和组成不同,填埋气体中含有30%–55%体积比的甲烷,30%–45%体积比的二氧化碳和少量的空气、恶臭气体。甲烷是可燃气体,如果不妥善处理,将会增强温室效应以及垃圾堆爆炸的风险。填埋气中的甲烷除属于人为的温室气体源外,由于其可以作为气体燃料开发利用,现代填埋场均加以收集进行回收利用。截至2016年,中国批准的清洁



六里屯填埋场渗滤液处理设施
袁光钰/摄



六里屯填埋场复合防渗层 袁光钰/摄

发展机制（CDM）项目中，甲烷占9.4%，主要是垃圾填埋气和沼气的回收利用。

填埋气简易处理方法是设置火炬将导出的填埋气体燃烧，以减少温室气体排放，并控制恶臭物质的释放。中国从1997年颁布的生活垃圾填埋污染控制标准开始，要求填埋场必须设置填埋气体导排系统并加以处理。目前，中国绝大多数填埋场均设置或者增设了填埋气导排装置。但是，对填埋气体热能回收利用的比例仍然很低，可查项目的规模约仅占总产生量的7%，例如，上海老港四期工程每年的气体处理量可达8000万立方米，场区已安装11台15兆瓦的发电机组，每年可发电1亿千瓦时。可减排二氧化碳66万吨，相当于200个上海植物园的吸碳量。

但是，目前回收利用的主要方式是发电和燃烧利用，从资源回收的角度来看，仍存在能源转化率不高，产品附加值较低的问题。未来填埋气综合利用的发展方向是提纯浓缩，制备高纯度甲烷，用作高附加值的管道天然气或者汽车燃气。这不但可减少石油消耗，由于车用燃气燃烧更加充分，还属于清洁能源。从这个角度来看，中国清洁发展机制将可能进一步促进填埋气的回收利用。

2. 垃圾渗滤液污染

城市垃圾填埋场渗滤液是指垃圾在堆放和填埋过程中由于雨雪淋溶、自身发酵、地表水和地下水浸

泡而产生的高浓度有机废水，其主要污染物是有机物和重金属，处理难度大。

由于中国的饮食习惯和居民居住条件的限制，给居民和餐饮业的垃圾分类造成很大的困难，因此在城市垃圾中的可降解有机物含量远高于其他国家。在欧洲，垃圾场渗滤液中的BOD约为数千毫克/升，而中国垃圾场的渗滤液中BOD则可高达十几万毫克/升。生活垃圾填埋污染控制标准中严格规定了渗滤液的排放限值，但如使用欧洲常用的生物滤池处理，即使要达到600毫克/升的三级标准也是完全不可能的。

目前，中国渗滤液常用的处理工艺是几种水处理方法的组合，例如中温厌氧系统+硝化/反硝化+膜生物反应器+反渗透系统，渗滤液经过复杂水处理系统后，达标排放。由于这种工艺成本很高，目前在小城市基本无法采用。基于这种情况，要避免填埋场渗滤液二次污染，不能仅靠渗滤液处理，而是要从改善废物管理、更新处置设施、减少废物量等方面加强治理的综合效果。

（二）垃圾焚烧发电

城市生活垃圾焚烧发电是指通过适当的热分解、燃烧、熔融等反应，使垃圾经过高温下的氧化燃烧进行减容，高温烟气加热锅炉产生过热蒸汽，并驱动涡轮机发电。垃圾焚烧对垃圾的减容量可达80%以上，分类收集的可燃性垃圾经焚烧处理后甚至可减容



90%，而且焚烧设施占地面积小，减量效率高且快。在工业发达国家中垃圾焚烧发电的比例较高，例如，日本约有6000多座垃圾焚烧炉，垃圾焚烧比例高达73%；丹麦和瑞典的垃圾焚烧比例也达到70%。近年来，焚烧发电在中国发展迅速，预计到2020年，城市生活垃圾焚烧比例可增加至50%。

相对于卫生填埋，焚烧对于设备、技术水平、人员素质和管理技术都有较高的要求，经济成本远高于垃圾填埋。例如，一个600吨/天的垃圾焚烧厂总投资高达2.5亿元人民币，运营成本每年也高达1400万元。垃圾焚烧还会产生气体、固体和液相的二次污染物。由于气态污染物中包括颗粒污染物、酸性气体、重金属以及在焚烧工艺不当时会产生高毒性的二恶英和呋喃类，使得多年以来，许多民众对垃圾焚烧持反对态度。颗粒物被除尘器捕集后以飞灰形式存在，由于大部分挥发性重金属，以及90%的二恶英类物质会吸附在飞灰上，因此飞灰是垃圾焚烧中最危险的双料危险固体废物。

目前国际开发应用于焚烧飞灰无害化和稳定化处理的方法可以归结为高温处理、湿式化学处理与稳定化3种。高温处理技术可让飞灰体积缩小2/3，包括熔融、高温烧结和高温煅烧3种类型。高温处理可分解全部有机物，使飞灰无害化。但该工艺成本较高，目前很难广泛推广使用。湿式化学处理是利用化学药剂，

通过酸化等反应使有害物质转变为不溶性和低毒性，该法化学药剂使用量大，成本高，废弃物体积增大，故很少使用。稳定化法主要包括以水泥和螯合剂将废物固化，达到稳定的目的。目前中国飞灰大多采用螯合稳定化，在固化过程中加入水泥和螯合剂，有效地防止重金属和有毒物质的浸出，同时也弥补了水泥固化不达标和螯合剂价格昂贵的缺点。该方法由于其经济适用，在中国应用比较普遍并达到了较好效果。

2014年，中国《生活垃圾焚烧污染控制标准》经过修订后正式施行，污染物排放标准进一步向国际先进水平看齐，控制生活垃圾焚烧“最后一公里”污染的重点转向飞灰处理。据推算，2014年中国生活垃圾焚烧飞灰产生量约400万吨。但是，目前中国飞灰处理的技术路线尚不明确。历年来，中国飞灰真实的无害化处理率尚无统计数据，但估计不超过10%，这是生活垃圾焚烧全过程污染控制和风险管理中最为薄弱的环节。目前世界上飞灰处理主要有固化稳定化后填埋处置和深部矿井贮存，以及水泥窑协同处置、烧结和熔融制备建材两条技术路线。固化稳定化后进入危险废物安全填埋场处置是安全风险最小的方式，但这将使每吨垃圾处置成本增加60–180元，而中国生活垃圾焚烧处理中标价格一般为每吨垃圾60–80元，因此无论从处置能力，还是在经济成本上，飞灰固化稳定化后进入危险废物安全填埋场的处置方式很难实

施。德国的飞灰主要采用深部矿井贮存方式处置,中国尚无此方面的系统研究与实践经验。水泥窑协同处置飞灰流程复杂,增加了污染物暴露途径,且技术尚不成熟,在世界上应用较少,但是其处理成本相对较低,也是飞灰处理的一个发展方向。

二、垃圾处理建议

(一) 做好垃圾分类及分选

卫生填埋场填埋气的产量以及渗滤液中重金属含量均与垃圾的成分密切相关。填埋场中渗滤液中BOD的主要来源是餐厨废物;垃圾焚烧厂中二恶英的形成根本原因则是垃圾中含有氯元素以及起催化作用的过渡金属。因此,要减少城市生活垃圾的二次污染,以及提高垃圾的资源化利用率,首要条件是将垃圾予以分类,然后进行适合于该类垃圾的处理和处置。垃圾分类后的成分趋于单纯,其中可利用资源的回收就更为容易实现。例如,对于焚烧处置,将可回收的废塑料、金属、不可燃垃圾与可燃垃圾分类处理,既提高垃圾热值,也减少了二恶英来源。由于日本垃圾分类做得最好,有用垃圾得以回收,有害垃圾得以安全处置,所以日本的垃圾焚烧也最发达和安全。纵观世界各国,垃圾分类好的国家大多倾向于焚烧处置;而分类越差的国家,由于二次污染物得不到控制,则均以填埋为主。

目前,中国垃圾分类存在前端和后端两方面的问题,前端是居民分类不到位,后端则是环卫部门分类收运系统建设滞后。垃圾是人类自身生活产生的,居民有责任将垃圾进行分类。但事实也充分证明,毕竟垃圾投放是无法进行有效控制的分散行为。限于中国居民居住条件大多是单元房,平均文化水平有限,要求每个居民精确分类投放是极其困难的。更有效的方案是:在居民基本分类投放的基础上,对在垃圾中转站设立集中分类设施,按照与之相连接的处置设施的要求,对初步分类的垃圾进行更加精确的二次分类。这不仅改善处置效果,减少污染,也便于更规范的垃圾资源回收。目前在居民楼前放置的分类收集桶在很多地方已经形成污染源,有关部门应该加以改善。分散的垃圾拾捡人员的乱翻乱捡,更是加重了这种污染。

(二) 加强城市废物管理机制

如何解决中国居民对于垃圾分类的认识问题?首先应该让人们明确,垃圾的属性是污染源,每个人

都是污染者,参与垃圾减量、分类、付费是理所应当的。必须让“不分类就是污染行为”的观念深入人心。此外,世界范围内垃圾分类做得好的国家,都有一条共同的经验,就是立法先行,以严格的立法和执法来保障推进。中国垃圾分类的建设,立法是很有必要的,任何一种文明习惯的形成都需要一定的强制力,用法律约束垃圾污染环境的行为,同时鼓励分类人员,是垃圾分类推进不可少的一种文化氛围。

近来这种趋势在中国已经开始显现。2017年3月,国家发展改革委、住房和城乡建设部发布《生活垃圾分类制度实施方案》,方案目标是到2020年年底,基本建立垃圾分类相关法律法规和标准体系,形成可复制、可推广的生活垃圾分类模式,在实施生活垃圾强制分类的城市,生活垃圾回收利用率也达到35%以上。

2017年10月,深圳市为加快推进深圳经济特区生活垃圾分类立法工作,修订了《深圳经济特区生活垃圾分类强制分类条例》,目前正处于推进阶段。条例将生活垃圾分为餐厨垃圾、大件垃圾、有害垃圾、废旧织物、年花年桔、绿化垃圾、果蔬垃圾、玻金塑纸共计8类。在前端最大化资源利用,并通过专业化分流处理手段最大限度地为焚烧与填埋“减负”,减少二次污染,提高垃圾回收利用率。目前,深圳八大类垃圾分流处理体系已初步建成并在不断完善。截至2017年8月初,深圳市共设置废电池专用回收箱约21800个,回收废电池约8吨,共设置废灯管专用回收箱约12100个,回收废灯管约31吨。并在全市10个区同步发放了《深圳市家庭生活垃圾分类投放指引》。深圳市是中国率先开展垃圾分类立法工作的城市,其分类条例也是中国推广垃圾分类工作的破局之举,相信深圳的创举也会为全国其他城市的垃圾分类提供宝贵的经验。

近年来,快递业在中国迅速兴起,据统计,2016年中国快递件总数已经达到300亿件以上。从目前趋势来看,快递包装在城市垃圾中的比例将会继续增长。快递包装的组成和形态比较单一,更便于资源回收,建议有关部门加强这方面的管理。从技术角度来看,做出具体规定,尽量简化快递件的包装、减少包装废物的产生量和建立包装物回收的程序与设施是首先应该考虑的两项措施。

作者单位:清华大学