

第1章

认识工业固废

1.1 工业固废的产生来源

1.1.1 产生源和分类

《固体废物污染环境防治法》中定义“工业固废”是指“在工业生产活动中产生的固体废物”。这个定义概括出工业固废的来源非常广泛,所有与工业生产直接相关的活动都可能是工业废物的产生源,涉及的行业主要有冶金、化工、煤炭、矿山、石油、电力、交通、轻工、机加工、机械制造、制药、汽车、通信和电子、建材、木材、玻璃、金属加工等。工业生产产生的固体废物(简称“固废”)种类非常多,不同工业产生的废物类别也不同,主要包括生产过程中产生的废弃副产物或中间产物、报废原材料和设施设备、报废和不合格产品、下脚料和边角料,污染控制设施产生的工业垃圾、残余物、污泥、回收物。根据来源工业固废主要分为两大类,一类是产品生产过程中产生的副产品,如冶炼渣、污水处理污泥、化工生产残液等;另外一类是失效的原料、产品等,如边角余料、废酸废碱、不合格和报废产品、报废设施设备等。但是在工业企业中生活和办公活动产生的废物、交通运输产生的废物等一般不能算作工业固废。

工业固废分类方法有很多,按照危害程度可以分为一般工业固废和危险废物;按照产生行业可分为冶金工业固废、石油工业固废、化工固体废物、建材工业固废、电子废物、机械制造工业废物、印刷业废物、造纸业废物、橡胶和塑料工业固废、矿山固体废物、制药工业固废、金属表面处理业固体废物、汽车工业固废、木材加工业固废等;按照含有的化学成分可分为含黑色金属固体废物、含重金属固体废物、含碱土金属固体废物、含稀有金属固体废物、含卤化物固体废物、含有机溶剂固体废物、含磷固体废物、含硫固体废物、含氰化物固体废物、含氟化物固体废物等;按照化学类别可分为无机固体废物和有机固体废物

物等。

对于一般工业固废,国家标准《一般固体废物分类与代码》(GB/T 39198—2020)已于2020年10月11日发布,并在2021年5月11日正式实施。这份国标中按照来源将一般固废划分为以下6大类:①废弃资源;②采矿业产生的一般固体废物;③食品、饮料等行业产生的一般固体废物;④轻工、化工、医药、建材等行业产生的一般固体废物;⑤钢铁、有色冶金等行业产生的一般固体废物;⑥非特性行业生产过程中产生的一般固体废物,同时对应6大类来源按照主要成分又细分40个小类,覆盖工业生产中绝大部分固体废物。具体分类详情见表1-1。

表 1-1 一般固体废物分类与代码

来源	类别	代码	说 明
废弃资源	废旧纺织品	1	指从纺织品原材料生产、加工和使用中产生的废物
	废皮革制品	2	指从皮革鞣制、皮革加工和使用中产生的废物
	废木制品	3	指森林或园林采伐废弃物、木材加工废弃物及育林剪枝废弃物,包括废木质家具
	废纸	4	指从造纸、纸制品加工和使用中产生的废物
	废橡胶制品	5	指从橡胶生产、加工和使用中产生的废物,包括橡胶轮胎及其碎片
	废塑料制品	6	指从塑料生产、加工和使用中产生的废物
	废复合包装	7	指生产、生活中产生的含纸、塑、金属等材料的报废复合包装物
	废玻璃	8	指从玻璃生产、加工和使用中产生的废物及废弃制品
	废钢铁	9	指铁等黑色金属及其合金在生产、加工和使用时产生的废料和使用过程中产生的废物
	废有色金属	10	指各种有色金属及其合金在生产、加工和使用时产生的废料和使用过程中产生的废物
	废机械产品	11	指生产、生活中产生的报废机械设备
	废交通运输设备	12	指生产、生活中产生的报废车辆、飞机、船舶等交通运输设备
	废电池	13	指生产、生活中产生的报废电池,不包括已确定为危险废物的废铅蓄电池、废镉镍电池、废氧化汞电池
	废电器电子产品	14	指生产、生活中产生的废弃电子产品、电气设备及其废弃零部件、元器件

续表

来源	类别	代码	说 明
采矿业产生的一般固体废物	煤矸石	21	指采煤过程和洗煤过程中排放的固体废物,是一种在成煤过程中与煤层伴生的含碳量较低、比煤坚硬的黑灰色岩石。包括巷道掘进过程中的掘进矸石,采掘过程中从顶板、底板及夹层里采出的矸石及洗煤过程中挑出的洗矸石
	其他尾矿	29	指选矿中分选作业产生的有用目标组分含量较低而无法用于生产的部分矿石和破碎分选过程产生的废渣,包括洗煤过程中产生的煤泥,不包括表中已提到的煤矸石
食品、饮料等行业产生的一般固体废物	植物残渣	31	指植物在种植、加工、使用过程产生的剩余残物,包括植物饲料残渣,不包括表中已提到的林木废物、粮食及食品加工废物
	动物残渣	32	指动物原材料(如猪肉、鱼肉等)加工、使用过程产生的剩余残物
	禽畜粪肥	33	指养殖等过程产生的动物粪便、尿液和相应污水
	粮食及食品加工废物	34	指粮食在食品加工过程中产生的废物
	其他食品加工废物	39	指食品、饮料、烟草等行业生产过程中产生的其他废物,不包括表中已提到的植物残渣、动物残渣、禽畜粪肥、粮食及食品加工废物
轻工、化工、医药、建材等行业产生的一般固体废物	硼泥	41	指生产硼酸、硼砂等产品产生的废渣,为灰白色、黄白色粉状固体,呈碱性,含氧化硼和氧化镁等组分
	盐泥	42	指制碱生产中以食盐为主要原料用电解方法制取氯、氢、烧碱过程中排出的废渣和泥浆,主要含有镁、铁、铝、钙等的硅酸盐和碳酸盐
	磷石膏	43	指生产磷酸过程中用硫酸处理磷矿时产生的固体废物
	含钙废物	44	指工业生产中产生的电石渣、废石、造纸白泥、氧化钙等废物,不包括磷石膏、脱硫石膏
	中药残渣	45	指从中药生产中生产的植物残渣
	矿物型废物	46	指废陶瓷、铸造型砂、金钢砂等无机矿物型废物,不包括表中已提到的废玻璃
	其他轻工、化工废物	49	指轻工、化工、医药、建材等行业生产过程中产生的其他废物,不包括表中已提到的硼泥、盐泥、磷石膏、含钙废物、中药残渣、矿物型废物

续表

来源	类别	代码	说 明
钢铁、有色冶金等行业产生的一般固体废物	高炉渣	51	指在高炉炼铁过程中由矿石中的脉石、燃料中的灰分和溶剂(一般是石灰石)形成的固体废物,包括炼铁和化铁冲天炉产生的废渣
	钢渣	52	指在炼钢过程中排出的固体废物,包括转炉渣、平炉渣、电炉渣
	赤泥	53	指生产氧化铝过程中产生的含氧化铝、二氧化硅、氧化铁等的废物,一般因含有大量氧化铁而呈红色
	金属氧化物废物	54	指生产中产生的主要含铁、镁、铝等金属氧化物的废物,包括铁泥,不包括表中已提到的硼泥、赤泥
	其他冶炼废物	59	指金属冶炼(干法和湿法)过程中产生的其他废物,不包括表中已提到的高炉渣、钢渣、赤泥和含金属氧化物的废物
非特定行业生产过程中产生的一般固体废物	无机废水污泥	61	指含无机污染物质废水经处理后产生的污泥
	有机废水污泥	62	指含有机污染物废水经处理后产生的污泥,包括城市污水处理厂的生化活性污泥、渔业养殖产生的污泥等,不包括表中已提到的禽畜粪肥
	粉煤灰	63	指从煤燃烧后的烟气中收捕下来的细灰,是燃煤发电过程特别是燃煤电厂排出的主要固体废物
	锅炉渣	64	指工业和民用锅炉及其他设备燃烧煤或其他燃料所排出的废渣(灰),包括煤渣、稻壳灰等
	脱硫石膏	65	指废气脱硫过程中产生的以石膏为主要成分的废物
	工业粉尘	66	指各种除尘设施收集的工业粉尘,不包括粉煤灰
	其他废物	99	不能与本表中上述各类对应的其他废物

1.1.2 产生特性

1. 产生量大、增长迅速

工业固废产生量巨大,以我国为例,根据中国环境统计年报相关数据,近十年来,由于城市的高速发展和居民日益增长的物质需求,我国工业固废产生量呈逐年增长趋势(2020年受新冠疫情影响,工业活动减弱,工业固废产生量下降)。2021年我国一般工业固废和工业危险废物产生量分别高达39.70亿吨和0.87亿吨,相比2010年的24.1亿吨和0.16亿吨,分别上升64.73%和443.75%,具体数据变化如图1-1和图1-2所示^①。

^① 2011年后由于统计口径发生改变,统计数据大幅提升。

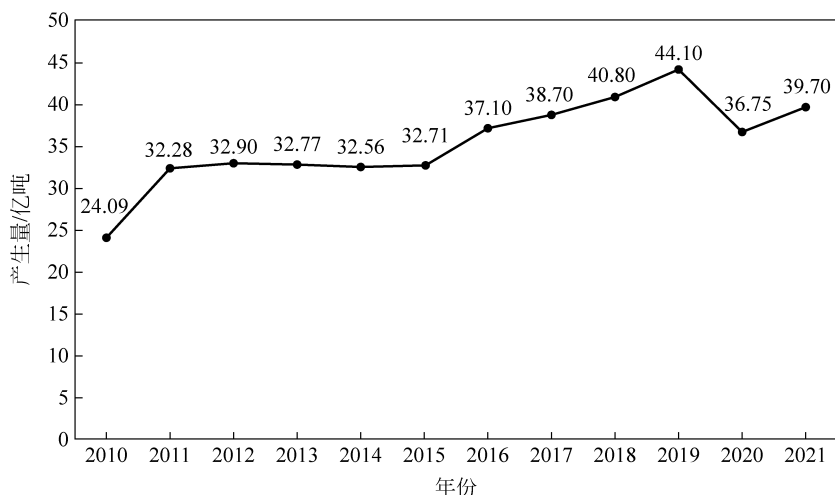


图 1-1 全国一般工业固废产生量

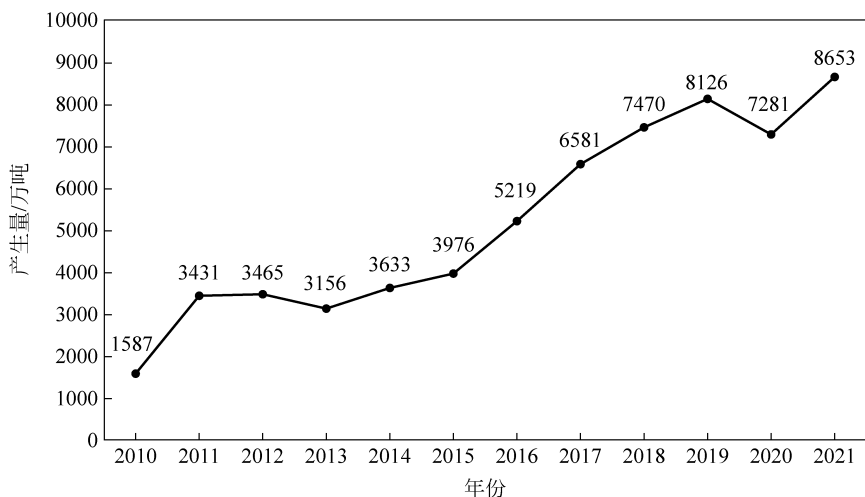


图 1-2 全国工业危险废物产生量

2. 资源化潜力空间大

随着国家的重视及技术的发展,2010—2021年,我国工业固废的综合利用量不断增加,从2010年的16.18亿吨到2021年的22.67亿吨,提高了40.11%,具体如图1-3所示。综合利用已成为工业固废的最大流向,但其近十余年间的综合利用率却不见增长,一直维持在50%~60%。另外,目前我国对工业固废的综合利用还仅限于初级的粗放式利用,如铺路、生产水泥建材、矿坑

填充等,高附加值的产品较少。由此可见,我国工业固废仍有较大的综合利用潜力。

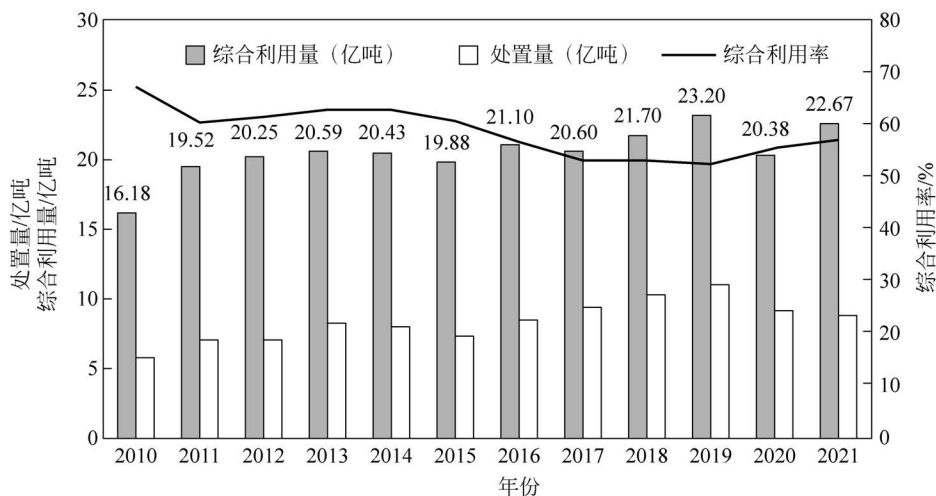


图 1-3 全国一般工业固废综合利用情况

3. 相对稳定性

工业固废的产生量具有一定的稳定性,例如,一个工业产品的生产在工艺条件没有大的改变的情况下,很可能十几年都保持在一个稳定的水平,而工业固废的产生系数在同一工艺条件下一般也维持在一个相对稳定的区间。表 1-2 是我国部分工业固废产生系数,即产品与固体废物之间的关系。

表 1-2 我国部分工业固废的产生系数

产品(工艺)	固体废物	单位	系数
重铬酸钠(氧化焙烧法)	铬渣	t/t-产品	1.8~3
重铬酸钠	含铬芒硝	t/t-产品	0.5~0.8
	含铬铝泥	t/t-产品	0.04~0.06
铬酸酐	含铬硫酸钠	t/t-产品	1.0~1.7
	含铬酸泥	t/t-产品	0.3~0.6
氰化钠(氨钠法)	氰渣	t/t-产品	0.057
黄磷	富磷泥	t/t-产品	0.1~0.15
	贫磷泥	t/t-产品	0.3~0.6
合成氨	悬浮物	kg/t-氨	11.6
	油	kg/t-氨	0.45
	氰化物	kg/t-氨	0.4
烧碱(水银法)	含汞盐泥	t/t-产品	0.04~0.05

续表

产品(工艺)	固体废物	单位	系数
磷酸(湿法)	磷石膏	t/t-产品	3~4
氮肥生产	变换废催化剂	kg/t-氨	0.47
	合成废催化剂	kg/t-氨	0.23
	甲醇废催化剂	kg/t-甲醇	4~18
	硝酸氧化炉废渣	kg/t-硝酸	0.1
纯碱(氨碱法)	蒸馏废液	m ³ /t-产品	9~11
氢氧化钠	盐泥	kg/t-产品	40~60
硫酸	酸性废水	t/t-产品	5~15
	酸洗工艺后的污酸	l/t-产品	30~50
	废渣(以硫铁矿为原料)	kg/t-硫酸	700
硝酸	废渣	t/t-产品	57
氢氟酸	氟硅尘	kg/t-产品	13.6
盐酸	废液	kg/t-产品	23~41
硼砂	硼泥	t/t-产品	4~5
氧化铝(拜耳法)	赤泥	t/t-产品	1.0~1.8
生铁(高炉法)	瓦斯灰	kg/t-产品	35~90
粗钢	钢渣	kg/t-产品	80~150
原煤	煤矸石	kg/t-产品	100~200
生铁	高炉渣	t/t-产品	0.3~1

4. 分布不均衡

工业固废的产生分布具有区域的不均衡性,不同国家和地区、不同经济发展程度、不同工业结构类型所产生的工业固废的性质和数量差异都很大。

(1) 地区分布不均衡

图 1-4 是 2021 年各地区一般工业固废产生情况,产生量排名前 5 位的地区依次为山西、内蒙古、河北、山东和辽宁,分别占全国一般工业固废产生量的 10.56%、10.38%、10.30%、6.36%和 6.20%。从图 1-4 可以看出,一般工业固废产生量大的地区都是我国煤炭、矿产和冶金等重工业发达的地区。图 1-5 是 2021 年各地区工业危险废物产生情况,产生量排名前 5 位的地区依次是山东、内蒙古、江苏、浙江和广东,分别占全国工业危险废物产生量的 12.1%、9.0%、8.0%、6.2%和 5.7%。不同于一般工业固废,工业危险废物产生量大的地区是我国制造业、有色冶炼、煤炭等工业发达的地区。

(2) 行业分布不均衡

几乎所有工业行业都产生工业固废,但产生量的差异非常大。图 1-6 和图 1-7 是我国 2019 年主要工业行业一般工业固废和工业危险废物产生量情况。

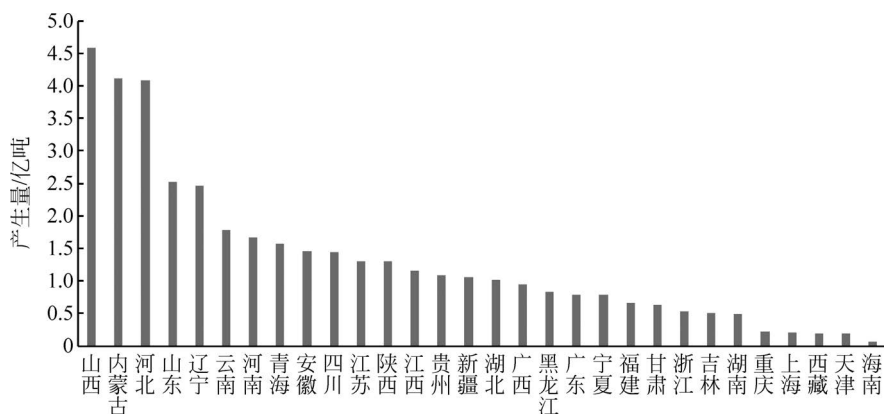


图 1-4 2021 年各地区一般工业固废产生情况

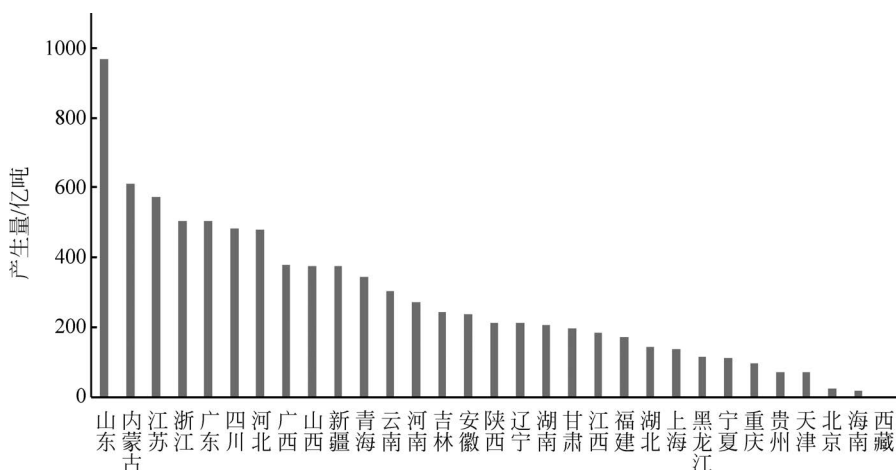


图 1-5 2021 年各地区工业危险废物产生情况

从图中数据可以看出,我国一般工业固废主要产自电力、热力生产和供应业,有色金属矿采选业,煤炭开采和洗选业,黑色金属冶炼和压延加工业,黑色金属矿采选业,分别占全国一般工业固废产生量的 17.5%、14.9%、14.0%、12.8% 和 12.2%,这 5 个工业行业的一般工业固废产生量占全国所有工业的 71.4%,这一现象与我国能源以煤炭为主、冶金产业发展迅速等工业基本特点有关。此外,我国工业危险废物产生量排名前 5 位的行业依次为化学原料和化学制品制造业,有色金属冶炼和压延加工业,石油、煤炭及其他燃料加工业,黑色金属冶炼和压延加工业,电力、热力生产和供应业,这 5 个行业的工业危险废物产生量占工业危险废物产生量的 68.3%。

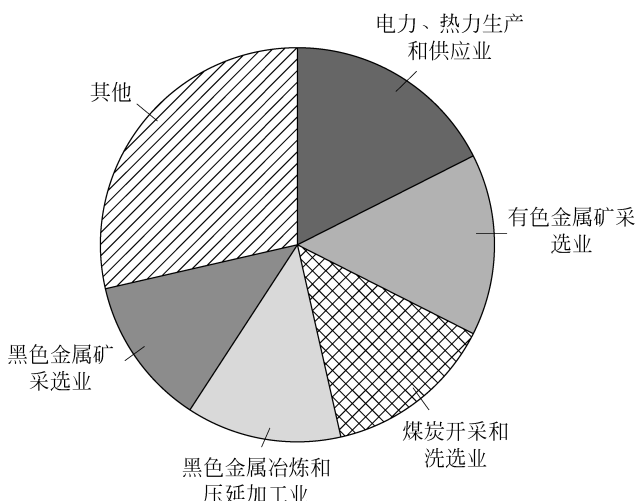


图 1-6 2019 年一般工业固废产生量行业构成

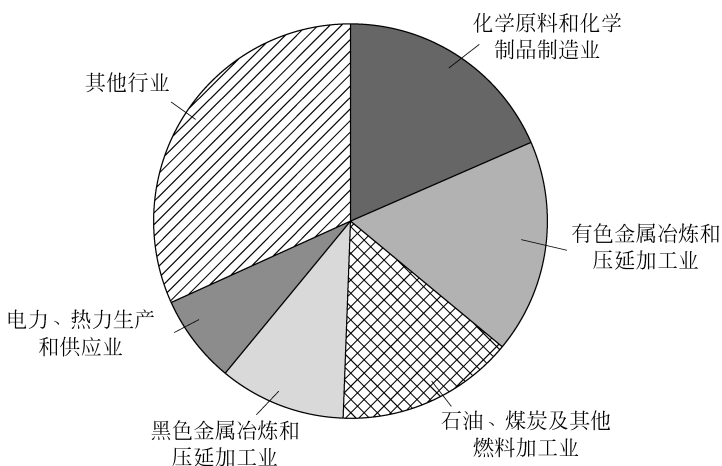


图 1-7 2019 年工业危险废物产生量行业构成

5. 产生形式多样

根据生产工艺和废物产生特性,工业固废的产生有连续产生、间歇产生、一次性产生和非正常产生等多种方式。

(1) 连续产生。指固体废物在整个生产过程中连续不断地产生,通过输送泵站和管道、传送带等排出。如热电厂粉煤灰浆、冶炼厂瓦斯泥、磁选尾矿浆、煤矸石等。连续产生往往产生于自动化程度比较高的生产过程中,废物的物理性质相对稳定,化学性质则根据原料的不同呈现周期性变化。

(2) 间歇产生。指固体废物在某一相对固定的时间段内分批产生,可能是一个生产班次、数日或数月产生一批。例如,有的冶炼高炉渣和钢渣是一渣罐一渣罐地产生,有的食品加工产生的废物是按照生产班次产生,有的电镀废液也是按照班组产生,有的除尘灰、废药是数日产生,有的废水处理污泥、废溶剂、废产品是数月产生等。间歇产生是比较常见的废物产生方式。根据生产的稳定程度,批量产生的废物质量或体积大体相等。同批产生的废物,物理化学性质相近,不同批次间可能存在较大的差异。

(3) 一次性产生。多指产品更新或设备淘汰、更新、检修时产生废物的方式。例如,石油炼制工艺中的废催化剂只有当催化剂失去活性后才能更换,可能是一年或几年更换一次;又如废吸附剂、设备检修或清洗产生的废物都是一次性的,可能是几个月产生一次;还有设备更新或工艺改造的周期比较长,一次性产生的固体废物也比较多。这类废物的产生量大小不等,有时常混杂有相当数量的车间清扫废物和生活垃圾等,所以组成成分复杂、污染物含量变化无规律。

(4) 非正常产生。指生产试运行、设备故障、突发性事故(如因停水、停电使生产过程被迫中断等)产生的报废原料和产品等废物。这类废物不是正常产生的,没有规律,污染物含量差异极大。

1.2 工业固废特性与环境影响

1.2.1 工业固废形态与特征

1. 工业固废的形态

《固体废物污染环境防治法》(简称《固废法》)中有关固体废物的范围明确包括固态、半固态和置于容器中的气态物品、物质及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质,同时还规定除排入水体的废水之外的液态废物也需要执行《固废法》的规定。因此,从法律和管理的角度,固体废物包括固态、半固态、气态和液态四种基本形态。

固态废物是在常温环境下有一定物理或机械形状的比较干的废物,是工业生产产生废物最为常见的形态,种类比较多,如尾矿渣、高炉渣、钢渣、煤矸石、煤渣、粉煤灰、废钢铁、铬渣、硫铁矿渣、锰渣、钡渣、废有色金属、废纺织品、电子废物、电器废物、石棉废物、污泥饼、除尘灰、纺织边角碎料、硬化的环氧树脂废物、废塑料、废橡胶、焊锡废物、油抹布、电石渣等。半固态废物是指那些呈黏稠状、泥状或者含水分比较高的废物,也是工业生产中比较常见的废物,尤其是石