

绿色环保

# 国内部分地区危废焚烧灰渣特征调研分析

李兴杰

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 对国内部分地区危废焚烧灰渣的化学组成、矿物组成、重金属毒性、渣系组成及结晶度等基础性进行调查。研究表明,由于危废类别、化学组成、赋存形态、原料配伍和焚烧处理工艺不同,灰渣化学成分和矿物组成差异明显,渣系组元亦不同。浸出毒性检测结果表明,灰渣浸出液中 Pb、Zn、Cu 和 Ni 等重金属含量均不同,部分地区超标重金属元素多且超标严重。结晶度计算结果表明,飞灰结晶度较炉渣高,一般大于 60%。该研究可为危废焚烧灰渣无害化处理和资源化利用提供支撑。

**[关键词]** 危险废物; 焚烧飞灰; 焚烧炉渣; 高温熔融技术; 无害化处理; 资源化利用; 重金属污染

**[中图分类号]** X701

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1008-5122(2022)04-0059-08

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.04.013

## 0 前言

危险废物是指能引起死亡或导致疾病增加的废物,其形态可以是固体、半固体以及除废水之外的任何液体<sup>[1]</sup>。统计数据显示,2020年我国危险废物产生量为 7 281.81 万 t,利用处置量为 8 073.73 万 t,贮存量为 11 899.99 万 t,其中利用处置量与 2019 年相比有较大增长<sup>[2-3]</sup>。我国目前常用的危险废物处理处置方法主要是安全填埋和焚烧,其中焚烧因可以有效破坏废物中的有毒有害有机废物,减少废物的体积和质量,有利于废物的最终安全处置,是实现危险废物减量化、无害化的最快捷、最有效的技术。

根据《国家危险废物名录(2021年版)》可知,危废焚烧产生的灰渣仍属于危废,因此仍需进一步处理处置才可填埋或利用<sup>[4]</sup>。日本早在 20 世纪末就开始进行飞灰熔融基础研究和工业化实践<sup>[5-6]</sup>。

国内广大科技工作者和技术研发人员也在灰、渣高温熔融处理方面进行了探索,并取得了一定的成果<sup>[7-10]</sup>。未来,灰渣高温熔融无害化处理市场前景良好。

本研究选择了国内部分地区危险废物焚烧产生的灰渣,对其化学成分、矿物组成、重金属毒性、结晶度及渣系组成进行检测、计算和分析,探索灰渣组分基础性特征,旨在为我国未来危废焚烧灰渣无害化处理及资源化利用提供一定的数据支撑和依据。

## 1 危废焚烧灰渣基础特性

危废焚烧飞灰和炉渣的化学成分和矿物组成是原料重要的基础特性,是无害化处理处置的关键依据和理论支撑。

### 1.1 化学成分分析

为明晰国内不同地区危废焚烧灰渣的特点,分别从国内 5 个地区(标识为地区 1、地区 2、地区 3、地区 4 和地区 5),获取灰渣样品 12 组,编号分别为样品 1、样品 2、...、样品 12。

其中,样品 1、2 分别为地区 1 医疗危废焚烧产生的飞灰、炉渣,其中灰渣为医疗废物采用热解焚烧炉设备处理后的残余物;样品 3、4 为地区 2 某废铁箱危险废物采用同向顺流干灰式回转窑焚烧炉和二燃室

**[收稿日期]** 2022-04-30

**[基金项目]** 国家重点研发计划项目(编号 2019YFC1907000)

**[作者简介]** 李兴杰(1980—),男,河北顺平县人,硕士,高级工程师,主要从事有色冶金工程、固体废物处置的工艺设计及技术研究工作。

**[引用格式]** 李兴杰. 国内部分地区危废焚烧灰渣特征调研分析[J]. 有色冶金节能,2022,38(4):59-66.

结合的焚烧工艺产生的飞灰、炉渣;样品 5、6 为地区 3 含氟危险废物与污泥经顺流式回转窑 + 二燃室 + 余热锅炉 + 烟气处理系统焚烧回收得到的飞灰、炉渣;样品 7~10 为地区 4 废有机溶剂及危废盛放容器经顺流式回转窑焚烧产生的飞灰(样品 7)、炉渣

(样品 8~10);样品 11、12 为地区 5 工业危险废物焚烧后产生的飞灰、炉渣,所用设备为顺流式回转窑,危险废物主要来自周边铅、锌及铜等有色行业。

不同地区的危险废物焚烧灰渣化学成分见表 1。

表 1 不同地区危废焚烧灰渣化学成分分析

地区	样品编号	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	MoO <sub>3</sub>	%
地区 1	1	3.12	0.06	10.25	1.29	22.55	8.719	0.15	7.62	37.44	0	0	
	2	25.89	4.50	22.40	2.50	3.95	0.697	0.46	1.67	6.44	0	0	
地区 2	3	28.47	0.16	0.46	0.58	1.22	2.084	0.14	1.54	1.56	0	62.91	
	4	12.26	10.11	19.72	17.26	7.47	0.881	8.64	2.52	2.38	0	0.18	
地区 3	5	37.55	0.50	2.61	0.74	12.44	3.769	0.15	18.13	1.75	19.90	0	
	6	5.27	8.94	12.36	17.41	11.72	3.132	1.51	12.38	12.61	2.11	0	
地区 4	7	47.76	2.16	6.68	2.24	14.68	1.340	1.37	12.35	8.15	0.99	0	
	8	11.76	14.58	28.22	25.28	2.99	0.442	1.47	2.68	0.61	0	0	
	9	9.78	17.51	39.77	19.44	2.21	0.777	2.68	0.23	0.05	0	0	
	10	13.18	19.28	36.21	15.02	4.99	0.619	5.13	0.19	0.12	0	0	
地区 5	11	0.85	0.03	0.30	0.38	28.95	8.73	1.34	12.11	46.92	0	0	
	12	6.29	7.65	41.01	3.37	23.95	1.33	6.55	2.77	0.87	0	0	

样品 1 为医疗危废焚烧飞灰,主要组成为 Cl<sup>-</sup>、SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 和 SO<sub>3</sub> 等,在飞灰成分中占比 85% 左右;样品 2 为医疗危废焚烧炉渣,主要组成为 Cl<sup>-</sup>、SiO<sub>2</sub>、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>O 等,在炉渣成分中占比 65% 左右。

样品 3 为含废铁钼催化剂危废产品焚烧产生的飞灰,主要成分为 CaO 和 MoO<sub>3</sub>,两者含量占比达到 90% 以上。样品 4 为含废铁钼危废产品焚烧后的炉渣,主要成分为 CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>O 等,在炉渣成分中占比 65% 左右。

样品 5 为含氟危废与污泥焚烧后的飞灰,主要组成为 CaO、Na<sub>2</sub>O、SO<sub>3</sub> 和 F<sup>-</sup>,为含氟危废焚烧过程高温挥发形成的烟气经碱液吸收后的产物。样品 6 为含氟危废与污泥焚烧后的炉渣,主要组分为 CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>O 等,在炉渣成分中占比 60% 左右。

样品 7 为废有机溶剂及危废盛放容器回收、焚烧后的飞灰,主要组成物质有 CaO、Na<sub>2</sub>O、SO<sub>3</sub> 和 Cl<sup>-</sup> 等,在飞灰成分中占比 80% 左右。样品 8~10 为 800~1 200 ℃ 温度区间危废焚烧残留的炉渣,主要组成为 CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等,在炉渣成分中占比 80% 左右。

样品 11 为某有色金属冶炼过程直接或间接产生的危险废弃物经焚烧处理后产生的飞灰,主要组成元素为 Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、SO<sub>3</sub> 和 Cl<sup>-</sup> 等,在飞灰成分中占比为 95% 左右。样品 12 为焚烧后残余的炉渣,主要组成物质有 CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等,在炉渣成分中占比 85% 左右。

由此可见,国内大部分地区危废焚烧飞灰和炉渣化学成分差异显著。危废焚烧飞灰中普遍存在 Cl<sup>-</sup> 或 F<sup>-</sup>,或同时存在两者。然而,危废焚烧飞灰中 Cl<sup>-</sup> 含量波动大,部分地区达 45% 以上。危废焚烧炉渣主要组成普遍包含 CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>O,但它们在炉渣成分中占比波动较大。与飞灰相比,炉渣中残留的 Cl<sup>-</sup> 或 F<sup>-</sup> 均较少,一般远低于 10%。

## 1.2 矿物组成分析

对上述灰渣的矿物组成进行检测分析,结果如图 1 所示。由图 1 可知,国内不同地区危废焚烧灰渣的矿物组成差异明显。

1) 样品 1 中主要矿物组成为石盐、硬石膏和 ZnNa<sub>21</sub>Cl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>10</sub>。其中,石盐一方面来源于医疗危废残留的含 K、Na 液态氯盐,另一方面来源于聚氯乙烯输液管燃烧分解产生的 Cl 被碱液吸收捕集的

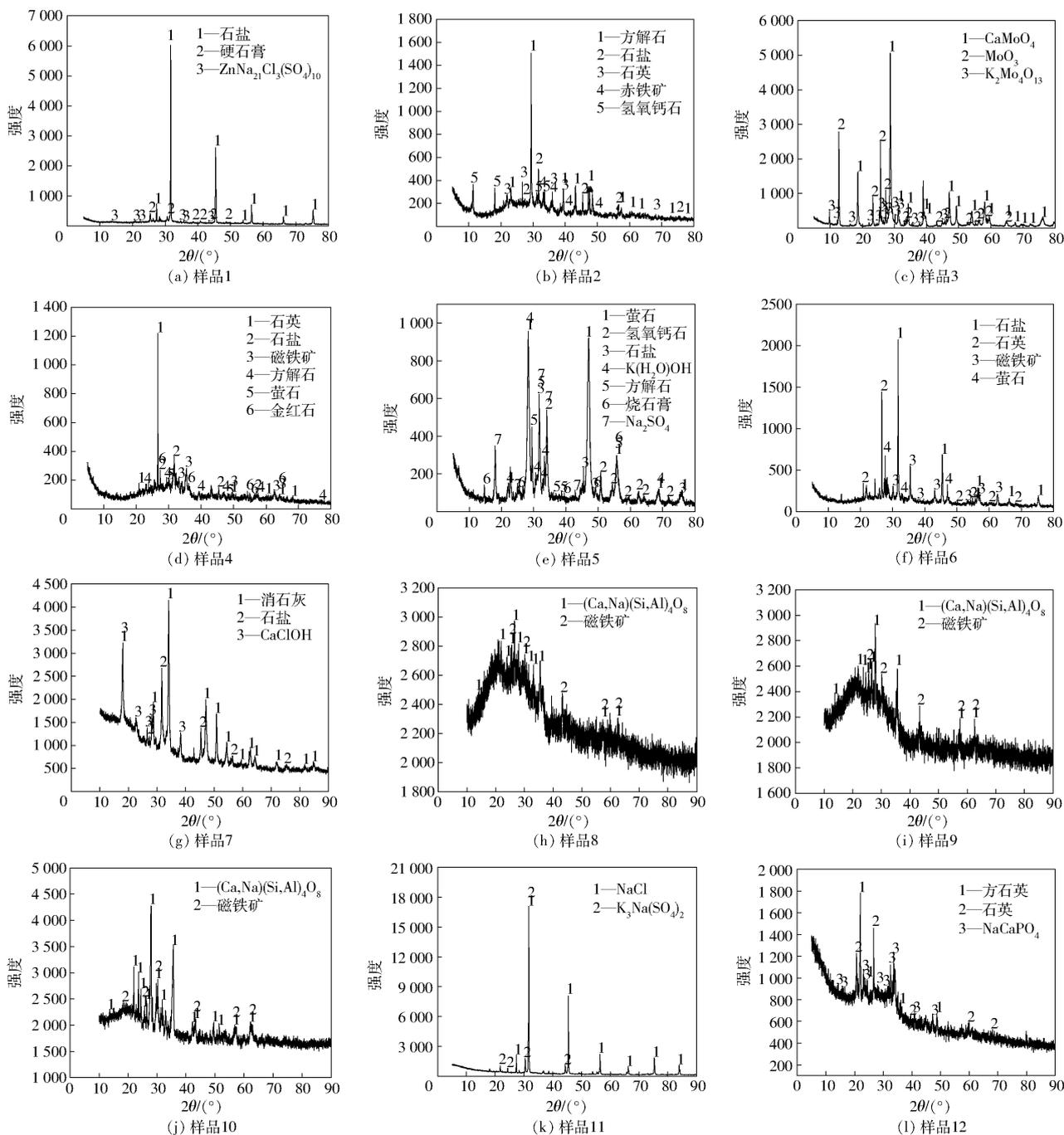


图1 不同地区危废焚烧灰渣矿物组成分析

产物。硬石膏为焚烧烟气中  $SO_2$  气体经干法、半干法脱硫产生的副产物。 $ZnNa_{21}Cl_3(SO_4)_{10}$  则往往是挥发的锌蒸气、氯盐和少量的钠蒸气在氧化性气氛条件下生成的复合物。样品2 医废焚烧残渣的主要矿物组成为方解石、石盐、石英、赤铁矿和氢氧化钙。其中,方解石、石盐和氢氧化钙是该医废经低温热解焚烧处理工艺未分解挥发的一部分;石英则是玻璃器皿焚烧后残余物,赤铁矿主要为铁质制品焚烧氧化后产物。

2) 样品3 为含废铁钼催化剂焚烧后分解挥发至烟气中的  $MoO_3$  在焚烧烟气净化处理过程中被碱液吸收后得到的产物,主要矿物组成为  $CaMoO_4$ 、 $MoO_3$  和  $K_2Mo_4O_{13}$ 。样品4 为焚烧后的炉渣,主要矿物组成为石英、磁铁矿,另外有少量的石盐、方解石、萤石和金红石,其中石盐和方解石为受焚烧温度影响未完全分解挥发而残留的部分,或者石盐挥发物在温度降低过程中冷凝沉积的产物。

3) 样品5 主要矿物组成为萤石、 $K(H_2O)OH$  和

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 另外有少量的氢氧化钙、石盐、方解石及烧石膏, 它们是焚烧烟气中  $\text{HF}$ 、 $\text{SO}_2$  被碱吸收的产物。样品 6 焚烧炉渣主要含石盐、石英、磁铁矿和萤石, 产生原因或与样品 4 类似。

4) 样品 7 中主要矿物组成为消石灰、石盐和  $\text{CaClOH}$ 。消石灰往往是  $\text{HCl}$ 、 $\text{SO}_2$  等气体吸收剂。样品 8~10 为焚烧产生的炉渣, 主要矿物组成为  $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$  和磁铁矿。

5) 样品 11 的主要矿物组成为石盐和钾芒硝 ( $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ )。其中, 钾芒硝为  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{SO}_2$  气体、钾蒸汽、钠蒸汽经烟气净化吸收后的产物。样品 12 主要矿物组成为方石英、石英和  $\text{NaCaPO}_4$ 。 $\text{NaCaPO}_4$  为磷灰石与碱金属氧化物结合形成的低熔点共熔物。

通过矿物组成分析可知, 危废焚烧飞灰和炉渣

中矿物组成普遍不同, 每种样品所包含的矿物种类、显著程度亦不同, 地区差异较为明显。然而, 也存在一定共同特点。危废焚烧飞灰中含  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$  的矿物往往是石盐和萤石, 而炉渣中含  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的主要矿物往往是方解石(或消石灰)、石英和磁铁矿。

## 2 危废焚烧灰渣有害元素分布

### 2.1 重金属元素分析

危废焚烧灰渣中的重金属含量直接影响其处置方式。目前, 危险废物焚烧灰渣中较为关注的重金属元素有铅(Pb)、锌(Zn)、铜(Cu)、镍(Ni)、砷(As)、汞(Hg)、铬(Cr)和镉(Cd)等。本研究重点对前述重金属元素含量进行检测分析, 结果见表 2。

表 2 不同地区危废焚烧灰渣中重金属元素含量分析

地区	样品编号	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
地区 1	1	0.009 3	0.004 8	0.005 4	0.510 8	0.000 7	0.026 4	0.217 0	5.599 0
	2	0.003 1	0.000 1	0.169 2	0.328 4	0.001 0	0.106 2	0.009 5	0.326 1
地区 2	3	0.009 6	ND	0.005 0	0.012 1	0.002 3	0.004 3	0.001 0	0.008 9
	4	0.0029	0.000 1	0.033 6	0.226 3	0.000 4	0.027 6	0.005 6	0.179 9
地区 3	5	0.003 3	0.000 3	0.006 7	0.279 8	0.000 4	0.005 3	0.034 0	1.067 9
	6	0.004 3	0.000 2	0.183 7	0.686 5	0.000 2	0.059 1	0.036 4	1.395 7
地区 4	7	0.003 4	0.000 2	0.012 4	0.077 2	ND	0.032 3	0.094 2	0.171 2
	8	0.001 2	0.000 2	0.133 8	0.204 7	ND	0.053 2	0.065 3	0.031 9
	9	0.002 9	0.000 2	0.172 6	0.086 7	0.000 1	0.079 7	0.008 0	0.029 7
地区 5	10	0.005 3	0.000 3	0.262 6	0.078 8	ND	0.098 5	0.012 2	0.053 6
	11	0.110 2	0.002 0	0.008 2	0.051 5	0.001 1	0.000 7	0.051 0	0.194 6
	12	0.057 0	ND	0.017 0	0.054 1	0.000 7	0.007 3	0.000 9	0.010 7

注: ND 为超出仪器检测限值而未被检测到

由表 2 可知, 不同地区危废焚烧灰渣中的重金属含量差异较大。样品 11、12 中 As 元素含量高于 0.01%, 均高于样品 1~10。样品 1、11 中 Cd 元素含量高于 0.001%, 其余样品均低于该值, 尤其样品 3、12 低于仪器检测量程。样品 1、3、5 和 11 中 Cr 元素含量均低于 0.01%, 其余样品均高于该值。样品 1、2、4、5、6 和 8 中 Cu 元素含量均超过 0.1%, 其余样品均低于该值。样品 2、3 和 11 中 Hg 元素含量均高于 0.001%, 其余大部分样品则低于该值。样品 2 中 Ni 元素含量高于 0.1%, 其余大部分样品低于该值, 且样品 3、5、11 和 12 中 Ni 元素含量低于 0.01%。样品 1 中 Pb 元素含量高于 0.1% 外, 其余样品均低于该值。样品 1、5 和 6 中 Zn 元素含量高

于 1.0%, 其余样品普遍低于该值。

重金属是危废属性的重要表征, 也是无害化处理处置的主要目标。不同地区危废焚烧过程中重金属迁移复杂, 导致在飞灰、炉渣中分配存在不确定性, 因此, 应基于重金属成分特点, 选择适宜的处理工艺。

### 2.2 重金属元素浸出毒性分析

根据《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》(GB 5085.3—2007) 的规定, 浸出液中各重金属限值见表 3。按照《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》(HJ/T 299—2007) 制备固体废物浸出液, 如果浸出液中任何一种危害成分含量超过表 3 中所列的浓度限值, 则判定该固体废物是具有浸出毒性特征

的危险废物。不同地区危废焚烧灰渣样品浸出毒性测试结果见表4。

表3 浸出毒性鉴别标准值

元素	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
限值	5	1	5	100	0.1	5	5	100

表4 不同地区危废焚烧灰渣中重金属元素浸出液浓度

地区	样品编号	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
地区1	1	0.39	4.53	1.85	398.75	0.99	4.57	85.96	5035.25
	2	ND	ND	1.13	0.76	0.56	ND	0.21	4.03
地区2	3	0.56	ND	1.49	0.68	1.40	0.40	ND	6.15
	4	ND	ND	1.01	0.51	0.57	0.075	ND	0.37
地区3	5	ND	ND	1.04	3.35	0.87	0.15	4.63	6.29
	6	ND	0.025	1.01	1.64	1.26	1.34	ND	131.74
	7	ND	ND	0.061	0.052	0.038	0.011	3.44	0.59
地区4	8	ND	ND	ND	0.0008	0.011	0.014	ND	ND
	9	ND	ND	ND	ND	0.0041	0.0046	0.006	ND
	10	0.024	ND	ND	0.0014	0.0016	0.0011	0.0031	ND
地区5	11	14.97	0.031	0.060	2.88	0.038	0.038	0.074	3.04
	12	1.37	0.0004	0.045	0.065	0.021	0.0058	0.077	0.016

由表3和表4可知,样品1的Cd、Cu、Hg、Pb和Zn浸出浓度均超标,分别约为国标规定限值的4.5倍、4倍、10倍、17倍和50倍。样品2~5的Hg浸出浓度值超标,分别约为国标规定限值的5.6倍、14倍、5.7倍和8.7倍。样品6的Hg和Zn浸出浓度值均超标,分别约为国标规定限值的12.6倍和1.3倍。样品11的As浸出浓度值超标,约为国标规定限值的3倍。

医疗危废焚烧飞灰中超标的重金属元素种类较多,重金属元素Zn的占比较大,且在浸出液中浓度较高,超标倍数较大。由于Zn是具有高附加值的重金属元素,未来处理过程中应考虑该元素的有效、高效提取回收。样品11的As元素浸出浓度超标较多,考虑其对环境危害大、附加值低,可将其无害化处理。

### 3 危废焚烧灰渣渣系组成分析

由于国内不同地区焚烧灰渣成分不同,其渣系组成也不尽相同。结合化学成分和矿物组成分析结果,对不同样品所属渣系进行分类汇总,为危废焚烧灰渣高温无害化处理处置提供理论支撑。

鉴于危废焚烧灰渣高温熔融过程氯盐多挥发溢

出的特点,其在渣系选择过程中将不予考虑,危废焚烧灰渣多元渣系选择见表5。

从表5可以看出,根据样品1、样品3、样品5、样品7及样品11的渣系组元,危废焚烧飞灰中的组元相对较少,一般为3种或4种组成渣系,然而,受组分中低熔点可挥发性氯盐影响,其软化、变形温度往往较低。危废焚烧炉渣中的组元相对较多,一般为4种及以上组成渣系。

根据表5渣系组成,基于热力学计算分析软件Factsage7.2,计算灰渣组元相图,结果如图2所示。

借助热力学分析软件进行危废焚烧灰渣样品的渣系分析,有利于在危废焚烧灰渣高温无害化处理实践中更加便捷地确定渣型组成范围,为辅助原料选择及添加比例计算提供依据。以样品12为例,对于目前物料化学成分,添加一定量的 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{CaO}$ 均能达到降低熔点、节约能耗的效果,但考虑到 $\text{Na}_2\text{O}$ 性质活泼,高温下易与耐火材料反应造成侵蚀,可选择添加 $\text{CaO}$ 取而代之,并根据相图中低熔点区域组成,确定添加量。然而,受灰渣中其余组成含量影响,热力学分析软件计算的温度与真实温度存在一定偏差,需结合其他测试手段进行比对验证。

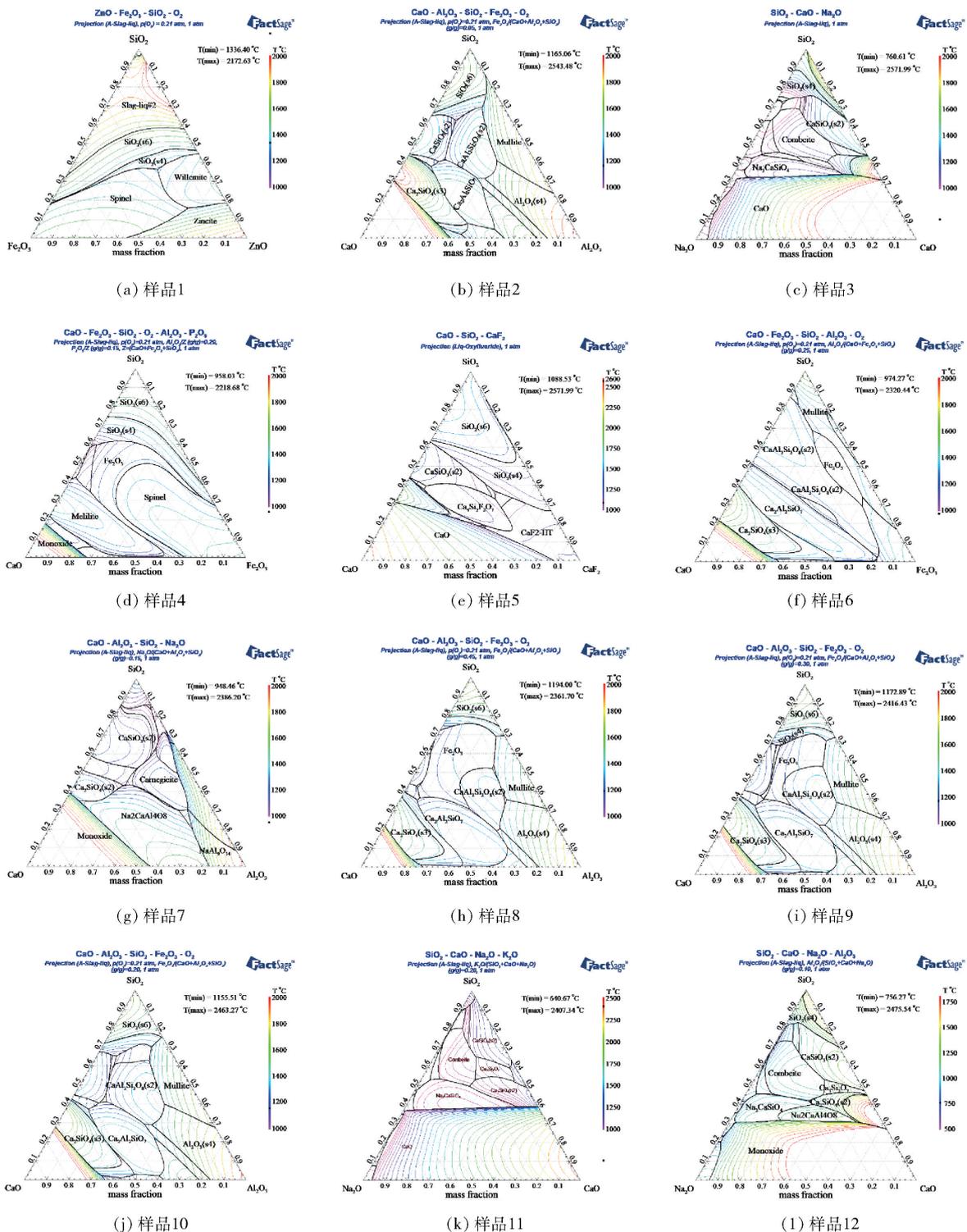


图2 不同地区危废焚烧灰渣相图分析

### 4 危废焚烧灰渣结晶度分析

结晶度多用来表示聚合物中结晶区域所占的比例,一般为质量百分比或者体积百分比。结晶度与非结晶度相对应,非结晶度则往往反映玻璃化程度。

危废焚烧过程中,如果焚烧产生的灰渣结晶度较好,则玻璃化程度较差,玻璃体含量则较少。国内不同地区危废焚烧灰渣的结晶度与非结晶度对应关系如图3所示。

表5 国内不同地区危废焚烧灰渣系组元分析

地区	样品编号	渣系组元								
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZnO	CaF <sub>2</sub>
地区1	1	○	√	○	√	○	○	○	√	○
	2	√	√	√	√	○	○	○	○	○
地区2	3	√	√	○	○	√	○	○	○	○
	4	√	√	√	√	○	○	√	○	○
地区3	5	√	√	○	○	○	○	○	○	√
	6	√	√	√	√	○	○	○	○	○
地区4	7	√	√	√	○	√	○	○	○	○
	8	√	√	√	√	○	○	○	○	○
地区5	9	√	√	√	√	○	○	○	○	○
	10	√	√	√	√	○	○	○	○	○
地区5	11	√	√	○	○	√	√	○	○	○
	12	√	√	√	○	√	○	○	○	○

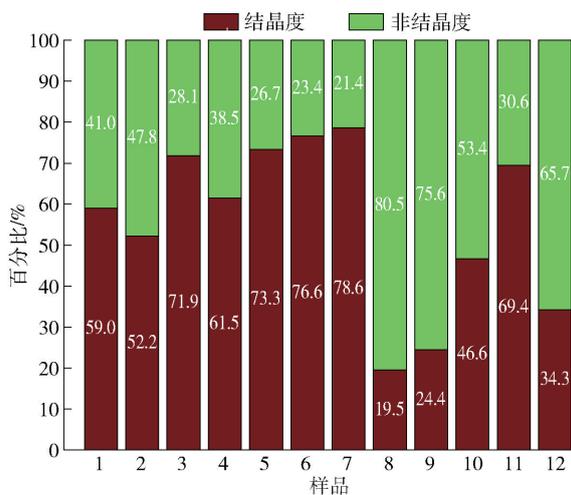


图3 不同地区危废焚烧灰渣结晶度与非结晶度的对应关系

由图3可知,危废焚烧灰渣结晶度均不同,且飞灰结晶度往往大于炉渣。炉渣在焚烧过程中产生了一定的低熔点液相,排出炉外后经水碎快速冷却,产生了一定的玻璃态物质,因此结晶度相对较低。

样品8~10的玻璃化程度相对较高,这主要是由于焚烧过程温度相对较高,炉渣中的液相较多,经快速水碎冷却后结晶度较低,形成了有贝壳状断口的玻璃态物质。因此,进一步添加助熔剂或提高焚烧温度,炉渣玻璃化程度或可达到国家标准《固体废物玻璃化处理产物技术要求》(GB/T 41015—2021)要求<sup>[11]</sup>。

## 5 结束语

本研究选择了国内不同地区危险废物焚烧产生的灰渣为研究对象,对其基础物性特征进行探索分析。

1)通过化学成分、矿物组成检测分析可知,由于所处理危废类别、化学组成、赋存形态、原料配伍和焚烧处理工艺不同,产生的灰渣化学成分和矿物组成亦不同,灰渣中Pb、Zn、Cu和Ni等重金属元素含量差别悬殊。

2)通过重金属浸出毒性检测分析可知,虽然各地区危废灰渣浸出毒性结果存在一定差异,但是大部分危废焚烧灰渣存在重金属超标的现象。尤其是地区1医疗危废焚烧飞灰中超标重金属元素最多,且超规定限值超标倍数较多,其中Zn元素浸出浓度值超国标规定限值50倍。

3)由结晶度计算分析可知,飞灰结晶度普遍较炉渣高。飞灰中矿物结晶较好,结晶度较高,一般大于60%。炉渣由于焚烧产生的高温液相经快速冷却后结晶不完全,玻璃化程度较高。

### [参考文献]

- [1] 国家环保总局污染控制司. 城市固体废物管理与处理处置技术[M]. 中国石化出版社,2000:18-25.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴[J]. 北京:中国统计出版社,2021.
- [3] 张鹏羽,赵强,马钟琛,等. 危废焚烧灰渣制备陶粒试

- 验研究[J]. 工程建设,2022(1):1-6.
- [4] 环境保护部,国家发展和改革委员会,公安部,等.《国家危险废物名录(2021年版)》(部第15号)[EB/OL]. [2020-11-27] [https://www.mee.gov.cn/gzk/gz/202112/t20211213\\_963867.shtml](https://www.mee.gov.cn/gzk/gz/202112/t20211213_963867.shtml).
- [5] 東康夫,鈴木富雄,清水由章等. 都市ごみ焼却灰のプラズマ熔融特性[J]. 廃棄物学会論文誌,1996,7(4):193-201.
- [6] 鈴木守也. 電気熔融炉による都市ごみ焼却飛灰の熔融[J]. 廃棄物学会論文誌,1996,7(1):18-27.
- [7] 许欣. 侧吹浸没燃烧技术在工业危废处置行业的应用[J]. 有色冶金节能,2021,37(4):41-44.
- [8] 高术杰,陈德喜,马明生. 国内外城市垃圾焚烧飞灰熔融技术综述[J]. 有色冶金节能,2018,34(1):14-18.
- [9] 胡明,虎训,邵哲如,等. 等离子体熔融危废焚烧灰渣中试试验研究[J]. 工业加热,2018,47(2):13-19.
- [10] 黄文有,梦月东,陈明周,等. 等离子体熔融生活垃圾焚烧飞灰中试试验[J]. 环境工程技术学报,2016,6(5):501-508.
- [11] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 固体废物玻璃化处理产物技术要求:GB/T 41015-2021[S]. 北京,中国标准出版社,2021.

## Investigation on Characteristics of Hazardous Waste Incineration Ash and Slag in Some Areas of China

LI Xing-jie

**Abstract:** The basic chemical composition and physical properties of hazardous waste incineration fly ash and bottom slag in some parts of China were investigated. The study shows that the chemical composition and mineral composition of ash and slag are obviously different and the components of slag system are also different due to the different types, chemical compositions, occurrence forms, raw materials compatibility and incineration treatment processes of hazardous wastes. According to the leaching toxicity test of ash residue, the contents of Pb, Zn, Cu, Ni and other heavy metals in the leaching solution are different. In some areas, there are many heavy metal elements exceeding the standard seriously. This study can provide support for harmless treatment and resource utilization of hazardous waste incineration fly ash and bottom slag.

**Key words:** hazardous waste incineration; fly ash and bottom slag; high temperature melting technology, harmless treatment; resource utilization; heavy metal pollution