

# 某化工公司副产硅渣的危险特性鉴别

郑汝荣

贵州楚天环境检测咨询有限公司, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年6月13日; 录用日期: 2025年7月10日; 发布日期: 2025年7月23日

## 摘要

本研究针对氟硅酸法制备无水氟化氢工艺产生的副产硅渣, 依据国家危险废物鉴别系列规范, 按照“名录对照-溯源解析-特性初筛-实验检测-得出结论”的流程对副产硅渣开展危险特性鉴别。通过检测腐蚀性、急性毒性、浸出毒性、反应性、毒性物质等危险特性指标, 证实该硅渣各项特性值均低于规范限值, 不属于危险废物。研究结果为该固废资源化利用提供了合法依据, 企业据此每年可降低危废处置成本数百万元, 同时为同类新兴工业固废的鉴别提供了方法学参考。

## 关键词

危险废物, 硅渣, 危险特性鉴别

# Hazard Identification of Silicon Residue By-Product from a Chemical Company

Rurong Zheng

Guizhou Chutian Environmental Testing and Consulting Co., Ltd., Guiyang Guizhou

Received: Jun. 13<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jul. 10<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2025

## Abstract

Based on the national series of standards for hazardous waste identification, this study conducted a hazard characteristic assessment of the by-product silicon residue generated from the production of anhydrous hydrogen fluoride via the fluosilicic acid method. The identification process followed a systematic procedure: "comparison with the inventory - source tracing - preliminary screening - experimental testing - conclusion drawing." Through testing of hazard characteristic indicators including corrosivity, acute toxicity, leaching toxicity, reactivity, and toxic substances, the results confirmed that all parameters of the silicon residue fall below regulatory limits, indicating it is not classified as hazardous waste. The research findings provide a legal basis for the resource utilization of this solid waste. This enables enterprises to reduce hazardous waste disposal costs by several million yuan

annually, while also offering a methodological reference for the identification of similar emerging industrial solid wastes.

## Keywords

Hazardous Waste, Silicon Residue, Hazard Characteristics Identification

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

固体废物与危险废物全过程监管作为生态文明制度建设的核心环节,已纳入生态环境治理现代化体系。依据生态环境部《关于加强危险废物鉴别工作的通知》(环办固体〔2021〕26号)明确要求,产废单位应依法履行危险废物鉴别主体责任,建立“应鉴尽鉴”的主动识别机制;《贵州省固体废物污染环境防治条例》(贵州省人大常委会公告2020年第15号)第二十四条特别规定,对物理化学特性不明的工业固废,产废单位需委托具备CMA资质的专业机构实施危险特性鉴定,并依据鉴别结论执行分级管控。然而生态环境部固体废物与化学品管理技术中心公布的2023~2024年度全国鉴别报告质量复核数据显示[1],在抽查的5321份报告中,存在技术规范性缺陷(占比9.7%)、关键参数缺失(占比4.1%)及判定依据错误(占比2.2%)等问题的报告合计达859份,问题检出率达16.15%。这一数据暴露出当前鉴别机构在检测方法适用性、特征污染物识别能力及标准体系衔接度等关键技术环节的明显不足,凸显出我国危险废物鉴别技术支撑体系亟待完善的发展现状[2]。

本文聚焦氟硅酸法制备无水氟化氢副产硅渣属性鉴定问题,选取贵州省典型磷化工企业A公司为研究对象。该企业创新采用磷肥副产氟硅酸替代传统萤石原料制备无水氟化氢,实现氟资源循环利用,显著降低对萤石矿的资源约束,这对萤石矿保有资源储量位列全国第11位[3]但磷矿位列全国第3位[4]的贵州省具有特殊战略意义。A公司工艺过程产生的硅渣主要成分为二氧化硅,二氧化硅理论上可作为水泥掺合料、脱氟吸附材料或橡胶补强剂等多领域应用,但依据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第三十七条,未完成危险特性鉴别的固体废物禁止转移处置。根据全国危险废物鉴别信息公开服务平台显示,目前国内尚无该生产工艺硅渣的危险废物鉴别报告,目前各硅渣产生企业均参照危险废物对该工业固废进行管理,每年需承担数百万元的危险废物处置费用,同时也造成了该工业固废无法资源化利用,不符合国家循环经济发展规划。本文以氟硅酸法制备无水氟化氢的A公司为例,对其副产硅渣是否属于危险废物进行鉴别,以为氟硅酸法制备无水氟化氢企业的危险废物鉴别工作提供一定参考。

## 2. 鉴别对象

A公司以某公司磷酸装置副产18%左右的氟硅酸与浓硫酸为原料,反应生成 $\text{SiF}_4$ 和HF, $\text{SiF}_4$ 气体在浓缩系统中被水吸收,该过程产生硅渣,硅渣经过滤机过滤后作为工业固废处置,本次鉴别对象即为过滤后的硅渣。

## 3. 危险特性初步识别

根据A公司的生产工艺情况,本研究的鉴别对象属于《固体废物鉴别标准通则》(GB34330-2017)中4.2生产过程中产生的副产物“c在物质合成、裂解、分馏、蒸馏、溶解、沉淀以及其他过程中产生的残

余物质”，判断为固体废物，不属于《国家危险废物名录》(2021年版)中的危险废物，需要对鉴别对象进行采样检测等，分析其是否具有腐蚀性、急性毒性、浸出毒性、易燃性、反应性及毒性物质含量等危险特性。

### 3.1. 溯源分析

A公司无水氟化氢的生产工序包括：

① 浓缩、反应工序：浓缩氟硅酸进入  $\text{SiF}_4$  发生器中，在硫酸的作用下，氟硅酸分解生成四氟化硅和氟化氢。反应生成的氟化氢在  $\text{SiF}_4$  发生器塔中被硫酸吸收下来并返回  $\text{SiF}_4$  发生器。自  $\text{SiF}_4$  发生器流出的液体含有  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{HF}$  等，进入蒸馏系统以得到粗  $\text{HF}$ 。蒸馏出的粗  $\text{HF}$  气体经净化精馏得到合格的  $\text{HF}$  产品。离开吸收塔并含有  $\text{SiF}_4$  的气体在接触器中与氟硅酸接触反应，浓缩的含  $\text{SiO}_2$  副产物的氟硅酸溶液经  $\text{SiO}_2$  过滤器分离后，产生硅渣，氟硅酸则用泵输送至  $\text{SiF}_4$  发生器。

② 吸收、蒸馏：反应工序产生的四氟化硅及小部分氟化氢通入吸收系统，在吸收系统中氟化氢经浓硫酸吸收，得到含氟化氢的硫酸液体，进入蒸馏系统中蒸馏得到粗品  $\text{HF}$  气体。

③ 预净化、精馏：粗品  $\text{HF}$  气体通入净化塔内，气体在塔内降温并除去大部分杂质，液体杂质经塔底回流至蒸馏系统。粗品液化  $\text{HF}$  经泵送至加压精馏系统中进一步净化。无水氟化氢经塔底流出进入酸冷却器中冷却后送至贮槽储存。预净化及精馏工序产生含  $\text{SiF}_4$ 、 $\text{SO}_2$  净化工序废气，通入吸收系统回收尾气中的  $\text{SiF}_4$  后再通入尾气洗涤工序处理。

④ 汽提：将硫酸稀释液通入汽提塔脱出  $\text{HF}$ ，其脱出的  $\text{HF}$  气体进入吸收系统；同时汽提塔脱出的硫酸，供园区内磷酸装置使用。其尾气进入吸收系统后经浓硫酸吸收气体中的水分及  $\text{HF}$  后分离出  $\text{SiF}_4$ ，此部分  $\text{SiF}_4$  可回用至浓缩工序；其余尾气送至尾气洗涤系统内经工艺水洗涤后达标排放，尾气洗涤废水用于洗涤硅渣滤饼。

从上述工艺来看，硅渣在第一步浓缩反应过滤后即产生，除了原料(氟硅酸、浓硫酸)可能带入的物质，过程不带入其他物质。通过对硅渣所涉及的生产工序、相关原辅料的技术指标进行分析，得到鉴别对象中可能引入的污染物如表 1 所示。

**Table 1.** Potential contaminants introduced in the identified subjects of this study

**表 1.** 本研究的鉴别对象中可能引入的污染物

序号	污染物名称	可能的引入途径
1	氟化物	原料氟硅酸，根据其技术指标分析，成分为 $\geq 18\%$ wt 的 $\text{H}_2\text{SiF}_6$ (氟硅酸)
2	砷	原料氟硅酸中可能含有 As (砷) $\leq 0.0002\%$ wt、原料浓硫酸可能含有 As (砷) $\leq 0.00005\%$ wt
3	pH	原料氟硅酸及原料浓硫酸，可能影响硅渣 pH

### 3.2. 危险特性初步筛选

结合鉴别对象的特征，可以排除鉴别对象具有易燃性，可能具有腐蚀性、急性毒性、浸出毒性、毒性物质、反应性 5 种危险特性，需要做进一步的采样检测。危险特性初筛分析如表 2 所示。

- (1) 腐蚀性鉴别：浸出液 pH
- (2) 急性毒性鉴别：经口摄取固体 LD50
- (3) 浸出毒性鉴别：砷、氟化物
- (4) 毒性物质含量鉴别：砷、氟化物
- (5) 反应性鉴别：硫离子、氟离子

**Table 2.** Preliminary screening analysis of hazardous characteristics

**表 2.** 危险特性初筛分析

危险特性	是否可排除	排除依据
腐蚀性	不可排除	原辅料中氟硅酸和硫酸的使用可能会影响硅渣浸出液的 pH。
急性毒性	不可排除	待鉴别硅渣是经过滤后产生的固体物质，其通过蒸汽、烟雾或粉尘吸入不是主要的污染途径，因此无需进行吸入毒性实验，可以排除吸入毒性。根据人体可能的染毒途径分析，经口摄入对机体产生毒性具有可能性，不排除急性经口毒性。
浸出毒性	不可排除	根据原辅料分析，硅渣中涉及的浸出毒性指标有砷、氟化物，因此不能排除硅渣的浸出毒性危险特性。
易燃性	可排除	硅渣为固态，不含易燃性的物质及化学成分，且在标准温度和压力下不会因摩擦或自发性燃烧而起火，也无法点燃，不会剧烈而持续地燃烧并产生危害，并结合其生产过程，可以排除其易燃性危险特性。
反应性	不可排除	硅渣主要成分为二氧化硅，遇氢氟酸会反应，因此不能排除其遇酸反应的危险特性。
毒性物质含量	不可排除	根据原辅料分析，硅渣中涉及的毒性物质含量指标有砷、氟化物，因此需要对二氧化硅的毒性物质含量进行检测。

**Table 3.** Tested parameters of preliminary screening samples

**表 3.** 初筛样品检测指标

检测因子	检测指标选取原因
VOCs、SVOCs	为了进一步确认本次鉴别二氧化硅中潜在的有机污染物，对初筛采集的样品进行有机物 GC-MS 定性分析。
浸出液 pH	通过初筛分析，pH 为特征污染因子，根据 GB 5085.1-2007，符合下列条件之一的即具有腐蚀性危险特性：① 浸出液 pH ≥ 12.5 或 pH ≤ 2.0；② 钢材腐蚀速率 ≥ 6.35 mm/a。本次研究采用检测浸出液 pH 进行腐蚀性鉴别。
氟离子、汞、六价铬、铍、铬、镍、铜、锌、砷、硒、银、镉、钡、铅、苯、苯乙烯、1,2-二溴乙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷、1,4-二氯苯、1,2-二氯苯、2-氯酚、2-甲基苯酚、2-硝基苯酚、4-硝基苯酚、苯并(a)蒽、苯并(b)蒽、苯并(k)蒽、苯并(a)芘、邻苯二甲酸二正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、N-亚硝基二甲胺、异佛乐酮、2,6-二硝基甲苯、2,4-二硝基甲苯、六氯乙烷、六氯丁二烯、4-氯苯胺、2-硝基苯胺、3-硝基苯胺、4-硝基苯胺、甲基汞、乙基汞	通过初筛分析，氟离子、砷为特征污染物，本次研究补充常规金属及其他指标的检测，用以辅助判断鉴别对象中的物质含量，判断其浸出毒性。
氟离子、氯离子、汞、六价铬、铍、钒、铬、锰、钴、镍、砷、硒、镉、锑、钡、铊、铅、苯、苯乙烯、1,2-二溴乙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、二氯甲烷、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,1,2-三氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷、1,3-二氯苯、1,4-二氯苯、1,2-二氯苯、1,2,4-三氯苯、2-氯酚、2-甲基苯酚、2-硝基苯酚、4-硝基苯酚、邻苯二甲酸二正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、N-亚硝基二甲胺、异佛乐酮、2,6-二硝基甲苯、2,4-二硝基甲苯、六氯乙烷、六氯丁二烯、4-氯苯胺、2-硝基苯胺、3-硝基苯胺、4-硝基苯胺、苯并(a)蒽、苯并(b)蒽、苯并(k)蒽、苯并(a)芘	通过初筛分析，氟离子、砷为特征污染物，本次研究补充常规金属及其他指标的检测，核算毒性物质含量。
经口摄取固体 LD <sub>50</sub>	通过初筛分析，排除其吸入毒性，本次研究进行急性经口毒性试验，判断其急性毒性。
硫离子、氰离子	通过初筛分析，不排除其遇酸反应性，本次研究检测其遇酸反应性

针对上述无法排除的危险特性，本次鉴别对样品进行了初步采样分析，对应检测指标如表 3 所示。经按照上述初步筛选检测方案进行检测，得出下述初步筛选结果：

(1) 腐蚀性初筛：初筛样品浸出液 pH 为 8.94、8.44、8.43，不具备腐蚀性。

(2) 浸出毒性初筛：初筛样品中检出了铜、锌、铬、铅、汞、钡、银、氟离子，检出毒性物质成分的浸出毒性浓度均未超过 GB5085.3-2007 中浸出毒性鉴别标准值；根据样品浸出毒性占标率分析，样品浸出毒性中铜、锌、铬、铅、汞、钡、银成分占标率均低于 1% 较低，毒性较小，因而不考虑其浸出毒性，氟离子占标率为 34.80%，最大浓度占标准限值 1% 以上的危害成分需浸出毒性检测，因此本次鉴别对象在后续的鉴别中浸出毒性分析指标为**无机氟化物**。

(3) 毒性物质含量初筛：初筛样品中检出涉及 GB5085.6 中的汞、砷、硒、钡、钒、镉、铬、钴、锰、镍、铅、氟离子，因硒、钒、钡、镍、镉、钴、铅对应化合物对物质毒性含量累积贡献较小，因此不考虑后续检测，因此本次鉴别对象在后续的毒性物质含量鉴别中将**汞、砷、锰、氟、铬**作为后续的鉴别指标。

(4) 急性毒性初筛：初筛样品急性经口毒性试验结果表明，雌、雄性 KM 小鼠急性经口毒性 LD50 > 2000 mg/kg 体重下，小鼠在 14 天观察期内未出现死亡事件，其体重变化在合理范围内。因此，本次鉴别对象不具有急性毒性。

(5) 遇酸反应性初筛：对初筛样品遇酸反应生成硫化氢、氰化氢反应性进行检测，检测结果发现，3 个硅渣初筛样品在酸性条件下，氰化氢未检出，硫化氢检出值远低于《危险废物鉴别标准反应性鉴别》(GB5085.5-2007)标准限值，本次鉴别对象不具有反应性。

## 4. 危险特性鉴别

根据鉴别对象初筛结果显示，A 公司无水氟化氢生产工艺中浓缩工序产生的硅渣不具有腐蚀性、易燃性、反应性和急性毒性，排除 4 项危险特性，可能具有浸出毒性、毒性物质含量 2 项危险特性。为了进一步识别其属性，明确可能存在的危险特性，需要对其进行浸出毒性、毒性物质含量的检测。因此在初步筛选检测的基础上，按照《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)制定更精密的鉴别方案，包含具体检测方案、采样方案、质控措施对鉴别对象浸出毒性、毒性物质含量进行更加科学地检测，以准确判定其是否具有浸出毒性、毒性物质含量危险特性。

### 4.1. 鉴别检测方案

Table 4. Tested parameters and analytical methods for samples in the identification phase

表 4. 鉴别阶段样品的检测指标及检测方法

危险特性	检测项目	检测方法
浸出毒性	无机氟化物	危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别 附录 F 固体废物 氟离子、溴酸根、氯离子、亚硝酸根、氰酸根、溴离子、硝酸根、磷酸根、硫酸根的测定 离子色谱法 GB 5085.3-2007。
	总砷	HJ702-2014 固体废物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法。
	铬 锰 砷	固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法 HJ 766-2015。
毒性物质含量	汞	HJ702-2014 固体废物汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法。
	氟	危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别 附录 F 固体废物 氟离子、溴酸根、氯离子、亚硝酸根、氰酸根、溴离子、硝酸根、磷酸根、硫酸根的测定 离子色谱法 GB 5085.3-2007。

危险特性鉴别阶段需要对鉴别对象硅渣进行采样检测，根据溯源分析、初筛分析的结果确定检测指标，检测指标及检测方法具体见表 4。

### 4.2. 鉴别采样方案

危险特性鉴别阶段采样工作方案严格按照《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)执行，采样方案如表 5、表 6 所示。

Table 5. Sampling methods for samples in the identification phase

表 5. 鉴别阶段样品的采样方法

类别	详细说明
采样对象	A 公司无水氟化氢生产工艺中浓缩工序产生并过滤后的硅渣。
采样点位	采样点位依据 HJ298-2019 “4.5.3b) 将压滤机各板框顺序编号，用 HJ/T20 中的随机数表法抽取与该次需要采集的份样数相同数目的板框作为采样单元采取样品。采样时，在压滤脱水后取下板框，刮下固体废物。每个板框内采取的固体废物，作为 1 个份样”的要求进行采样，但 A 公司板框压滤机下方连接着 3~4 米的料仓无防护装置，采样人员在压滤机板框处进行采样有掉落风险，因此选择在料仓下方连接的皮带机处进行采样。
采样份样数	A 公司硅渣 1~6 月湿基产生量最大值为 5809 t，对照鉴别规范，最小采样份样数为 100 个，在采样过程中采集 10%的平行样品，即 10 个平行样，总计 110 个样品。
采样份样量	A 公司硅渣粒径处于 $d \leq 0.5$ 厘米，因此每份样品最小采样量为 500 g。为满足分析操作需要，采样的最小份样量不少于 500 g，平行样的份样量不低于 500 g。
采样的时间和频次	A 公司硅渣为连续产生。采样时间和频率根据《危险废物鉴别技术规范》(HJ298-2019)中“4.4.2 连续产生样品应分次在一个月(或一个产生时段)内等时间间隔采集；每次采样在设备稳定运行的 8 小时(或一个生产班次)内完成。每采集一次，作为 1 个份样”的要求进行采样。具体采样频次和时间安排如表 6 所示。

Table 6. Sampling time and frequency schedule for samples in the identification phase

表 6. 鉴别阶段样品的采样时间和频次安排

时间	频次安排							
第一周	时间(第 n 天)	1	2	3	4	5	6	7
	采样数(个)	10 + 1			10 + 1			10 + 1
第二周	时间(第 n 天)	8	9	10	11	12	13	14
	采样数(个)	10 + 1			10 + 1			
第三周	时间(第 n 天)	15	16	17	18	19	20	21
	采样数(个)	10 + 1			10 + 1			
第四周	时间(第 n 天)	22	23	24	25	26	27	28
	采样数(个)	10 + 1			10 + 1			10 + 1
第五周	时间(第 n 天)	29	30					
	采样数(个)							

上述硅渣危险特性鉴别阶段采样方案实施后，采样及监测过程均按照《危险废物鉴别技术规范》(HJ 298-2019)及《工业固体废物采样制样技术规范》(HJ/T20-1998)规范执行，采样过程做好人员安排、采样记录、采样照片、样品流转、设备检定校准等工作[5]，实验室分析采用空白、校准曲线控制、精密度控

制、准确度控制、标准物质测定、加标回收等质控措施保证监测结果可信度，避免出现质控问题致使鉴别结论依据不充分甚至错误。

### 4.3. 鉴别检测结果分析

#### (1) 浸出毒性鉴别

依据《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》(GB5085.3-2007)规定的检测方法对硅渣浸出毒性相关指标进行了检测，共计采集 100 份样品(不含平行样)，统计分析结果如表 7 所示。

**Table 7.** Summary of leaching toxicity test results for samples in the identification phase

**表 7.** 样品浸出毒性检测结果统计表

危害成分	标准限值 mg/L	平均值 mg/L	最小值 mg/L	最大值 mg/L	检出率%	方法检出限	超标数量/个
砷	5	0.001505	ND	0.0184	27%	0.1 µg/L	0
氟离子	100	33.998	22.3	59.4	100%	0.05 mg/L	0

根据检测统计结果可知，100 份鉴别样品中所有指标的浸出毒性均低于《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》(GB5085.3-2007)规定的限值，因此浸出毒性鉴别结果为鉴别对象不具有浸出毒性。

#### (2) 毒性物质检测

依据《危险废物鉴别标准毒性物质含量鉴别》(GB5085.6-2007)规定的检测方法对硅渣毒性物质含量中特定指标进行了检测，统计分析检测结果如表 8 所示。

**Table 8.** Summary of leaching toxicity test results for samples in the identification phase

**表 8.** 样品浸出毒性检测结果统计表

毒性物质	分类	毒性物质		同类毒性合计		GB5085.6-2007
		最大值	超标份样数	合计	超标份样数	标准限值
碘化汞	剧毒物质附录 A	0.00%	0	0.0019%	0	0.10%
三碘化砷		0.01%	0			
锰	有毒物质附录 B	0.00%	0	0.4368%	0	3.00%
氟化铅		0.73%	0			
铬酸铅	致突变性物质附录 D	0.01%	0	0.0039%	0	0.10%
毒性物质累计			0.4426		1	

由上表统计结果可知，剧毒物质附录 A 中涉及毒性物质累积值为 0.0019%，小于 GB5085.6-2007 中规定标准限值(<0.10%)；有毒物质附录 B 中涉及毒性物质累积值为 0.4368%，小于 GB5085.6-2007 中规定标准限值(<3%)；致突变性物质附录 D 中涉及毒性物质累积值为 0.0039%，小于 GB5085.6-2007 中规定标准限值(<0.10%)。因此毒性物质鉴别结果为鉴别对象不具有毒性物质危险特性。

## 5. 结论

本研究依据《危险废物鉴别技术规范》(HJ 298-2019)及《危险废物鉴别标准通则》(GB5085.7-2019)等对 A 公司氟硅酸法生产无水氟化氢副产硅渣进行危险特性鉴别，通过资料收集分析、样品采集检测，确定了硅渣不具有腐蚀性、急性毒性、浸出毒性、易燃性、反应性、毒性物质等危险特性。

## 参考文献

- [1] 国家危险废物鉴别专家委员会. 2024 年度全国危险废物鉴别报告复核工作情况[Z]. 国家危险废物鉴别专家委员会工作简报(总第三期), 2024-10-08.
- [2] 周玲苑. 危险废物鉴别监测现状、问题及建议研究[J]. 工程技术研究, 2022(14): 74-76.
- [3] 管云. 走进“氟”矿精开两条路——产业新势力系列报道之十五[N]. 贵州日报(天眼新闻), 2025-06-22(8).
- [4] 贵州省统计局. 2023 年磷矿保有储量统计[Z]. 统计年鉴 2023. 北京: 中国统计出版社, 2024.
- [5] 郝雅琼, 黄泽春, 杨玉飞, 等. 危险废物鉴别采样技术要点解析[J]. 环境工程技术学报, 2024, 14(3): 1043-1047.