ICS xx.xxx.xx
CCS X XX

T/SDSES

山 东 环 境 科 学 学 会 团 体 标 准

T/SDSES XXX—202X

水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰技术规范

Technical specification for co-processing of waste incineration fly ash in cement kiln

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

202－ － 发布　　202－ － 实施

山东环境科学学会　　发 布

目　　次

前言.....II
1　范围.....1
2　规范性引用文件.....1
3　术语和定义.....2
4　总体设计.....3
5　工艺设计.....3
6　公用工程.....5
7　竣工验收.....7
8　运行管理.....8
9　环境保护与安全卫生.....8

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山东环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：山东大学、淄博市环卫市政中心、淄博市淄川区市政环卫服务中心、淄博晨越宝山环保科技有限公司、北京理工大学、北京中投润天环保科技有限公司、山东中岩重科新材料科技有限公司、山东环保产业集团有限公司、淄博绿能环保有限公司、山东宝山科技有限公司。

本文件主要起草人：毛岩鹏，张嘉政，李敬伟，王旭江，牛汝宝，王振，王建新，郑良树，李明，宋挺鲁，董婧炜，徐剑，张德群，李刚，杨振华，马晓东，任丽，王海蕊，杨新飞，韩国柱，国伟。

水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰技术规范

1 范围

本文件规定了垃圾焚烧飞灰预处理制备水泥类生料过程的术语与定义、总体要求、预处理技术要求、协同处置过程相关污染排放控制要求、产品质量和管理要求以及监测要求。

本文件适用于水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰相关建设项目的设计、建设、运营和监督管理，协同处置过程控制重点单元为预处理脱盐，其他控制单元包括协同处置污染物控制、过程控制、产品控制等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 2894 安全标志及其使用导则
GB 4915 水泥工业大气污染物排放标准
GB 5085 危险废物鉴别标准
GB 8978 污水综合排放标准
GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 14554 恶臭污染物排放标准
GB 16297 大气污染物综合排放标准
GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
GB 30485 水泥窑协同处置固体废物污染控制标准
GB 30760 水泥窑协同处置固体废物技术规范
GB 34330 固体废物鉴别标准通则
GB/T 176 水泥化学分析方法
GB/T 5462 工业盐
GB/T 7118 工业氯化钾
GB/T 11651 个体防护装备选用规范
GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定和气态污染物采样方法
GB/T 21372 硅酸盐水泥熟料
GB/T 30810 水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法
HJ 77.3 固体废物二噁英类的测定同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法
HJ 543 固定污染源废气汞的测定冷原子吸收分光光度法（暂行）
HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法
HJ 657 空气和废气颗粒物中铅等金属元素的测定电感耦合等离子体质谱法
HJ 662 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范
HJ 1091 固体废物再生利用污染防治技术导则
HJ 1134 生活垃圾焚烧飞灰污染控制技术规范（试行）
HJ 2025 危险废物收集、贮存、运输技术规范
HJ 2042 危险废物处置工程技术导则
HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法硫酸硝酸法
HJ/T 397 固定源废气监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 垃圾焚烧飞灰（以下简称飞灰） Municipal solid waste incineration fly ash

指生活垃圾焚烧产生的烟气净化系统捕集物和烟道及烟囱底部沉降的底灰。

3.2 水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰 Co-processing of Municipal solid waste incineration fly ash in cement kiln

指通过高温焚烧和水泥熟料矿物形成的高温烧结过程实现垃圾焚烧飞灰毒害物质的分解、降解、消除、惰性化和稳定化的处置技术手段。

3.3 洗涤预处理 Washing pretreatment

指通过水溶液（液态水、碱性水溶液、酸性水溶液）洗涤浸出的方式实现对飞灰中氯盐、重金属、二噁英等一种或几种物质一定程度的去除，使处理后的飞灰满足水泥窑协同处置要求的过程。

3.4 洗涤液水循环 Water circulation of washing leachate

指将飞灰浆体固液分离后的溶液，经钙/镁杂质回收、重金属去除、蒸发结晶等处理后，获得用于后续洗涤预处理环节的水溶液的循环过程。

3.5 水洗提盐 Extracting salt from washing leaching solution

指将飞灰浆体固液分离后的溶液，经杂质回收、重金属去除等处理后，以膜蒸馏、蒸发结晶等方式提取各类满足一定纯度要求的工业盐的协同处置过程。

3.6 焙烧预处理 Roasting pretreatment

指在低于物料熔融温度下通过热化学反应脱除飞灰中氯盐、部分重金属和分解二噁英的过程。

3.7 烟气净化 Flue gas purification

指通过物理或化学处理，对水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰产生的粉尘颗粒物、异味气体、有毒有害气体等废气进行脱除、收集、治理的处置过程。

3.8 水泥窑灰 Cement kiln dust

指水泥窑窑尾排放的废气经收尘设备补集和沉降的干燥粉尘。

3.9 类生料 Materials with similar characteristics to cement raw meal

指飞灰等固体废弃物经洗涤或焙烧等方式预处理后，与其他物质配伍获得的与水泥生料成分相似并符合入窑要求的材料。

4 要求

4.1 一般要求

4.1.1 应根据飞灰的来源、特性和产量，实施分级分类收集和管理，在洗涤预处理飞灰前，应针对性的设定洗涤预处理、洗涤液水循环和废气处理的工艺参数，确保处置过程连续稳定运行。

4.1.2 飞灰洗涤预处理应采用二次污染少、环境风险低、自动化程度高、安全可靠的洗涤、脱水、浓缩、结晶以及其他辅助措施和相应设备。

4.1.3 飞灰洗涤预处理环节可以利用现有水处理设施，如置于垃圾焚烧电厂的水处理车间，进一步降低水泥厂的管理与运营成本。

4.1.4 飞灰焙烧预处理应采用二次污染少、环境风险低、自动化程度高、安全可靠的加热、净化、收尘以及其他辅助措施和相应设备。

4.1.5 飞灰水洗提盐后的工业盐去向应实施分级分类管理，确保后续利用过程可追踪。

4.1.6 飞灰洗涤预处理装置应采用耐盐腐蚀材料。

4.1.7 飞灰焙烧预处理装置应采用耐盐腐蚀、耐高温材料。

4.1.8 水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰的设备应采用单线设计熟料生产规模不小于 2500t/d 的新型干法水泥窑，协同处置设施应满足 GB 30485 和 HJ 662 的要求。

4.2 场地要求

4.2.1 作业场地应为封闭或半封闭空间，且地面应硬化。

4.2.2 飞灰收集、贮存、运输过程中的污染物控制要求应符合 HJ 2025 和 HJ 1134 的相关规定。

4.2.3 飞灰预处理作业区域的设置应满足 HJ 2042 的要求，并按 GB 2894 的要求设置安全标志。

4.2.4 水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰的设施场地与贮存应符合 GB 30760 的要求。

4.3 人员要求

4.3.1 操作人员应实行培训上岗制度，并定期进行飞灰管理、安全操作、水泥生产管理、职业卫生和应急处理等方面的培训，企业应根据水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰的技术特点建立相应的培训和安全管理制度。

4.3.2 操作人员在作业过程中应按 GB/T 11651 的要求穿戴和使用防护装备。

4.3.3 操作人员应熟悉飞灰预处理设备的运行原理，并具备设备设施操作与检修技能。

4.3.4 飞灰预处理设备启动、运行时应至少有 3 名操作人员进行操作、巡检和监控。

4.3.5 水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰的启动、运行和停机过程应配置专业的技术人员，且符合 HJ 662 的人员要求，所有岗位人员均应进行有关水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰相关知识及技能的培训。

4.4 作业安全要求

4.4.1 飞灰预处理作业前，应全面检查设备设施，确定设备设施功能正常后方可操作；每次上料前应确保设备运转正常，设备密封良好，无飞灰溢出的现象。

4.4.2 操作人员应按照规划的路线到达操作平台，根据相关的管理文件进行操作。

4.4.3 飞灰预处理设备操作位置应具备良好的可视性，确保操作人员安全。

4.4.4 水泥窑在协同处置垃圾焚烧飞灰时，投料量应稳定，根据窑内的实际工况应及时调整操作参数，保证窑炉及其他工艺设备的正常稳定运行。当水泥窑或烟气除尘设备出现不正常状况时，应自动联机停止飞灰或类生料的投料。

5 垃圾焚烧飞灰预处理技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 垃圾焚烧飞灰洗涤预处理技术要求通过水溶液（液态水、碱性水溶液、酸性水溶液）洗涤浸出的方式实现对飞灰中氯盐、重金属、二噁英等一种或几种物质一定程度的去除，可采用搅拌和超声波清洗等方式加快飞灰中可溶性物质的溶解，应尽量减少飞灰中有益元素流失，应避免使用本身含有氯、钠、钾等元素的水溶液。

5.1.2 垃圾焚烧飞灰焙烧预处理技术要求以高温设备作为载体，应在低于物料熔融温度下通过热化学反应脱除飞灰中氯盐和部分重金属，并实现有机污染物（包括二噁英）的高效分解。焙烧过程中产生的烟气应在排放前进行净化，焙烧产生的水泥窑灰应进行水洗提盐处理。

5.2 工艺流程

5.2.1 洗涤预处理

飞灰经干燥、破碎、预均化处理后，输送至洗涤预处理设备进行洗涤预处理，洗涤后的飞灰经固液分离、干燥、粉磨后用于类生料的制备，飞灰洗涤预处理过程中的污染控制要求应满足HJ 1134的要求。洗涤液经调节加药将钙、镁、重金属等离子依次沉淀，通过膜蒸馏等方式将洗涤液浓缩，浓缩液经过杂盐分离、蒸发结晶等方式制备工业盐，氯化钠和氯化钾应分别满足GB/T 5462中精制工业盐二级和GB/T 7118工业盐二级的要求。整个过程分离出的净水应作为洗涤液水循环回用，洗涤预处理工艺流程框图如附录A图A.1所示。

5.2.2 焙烧预处理

飞灰经干燥、破碎、预均化处理后，输送至焙烧预处理设备进行焙烧预处理，焙烧后的飞灰经粉磨后用于类生料的制备，飞灰焙烧预处理过程中的污染控制要求应满足HJ 1134。焙烧烟气中低熔点的盐和重金属可以通过水泥窑现有的烟气净化系统补集和沉降，以水泥窑灰的形式获得富集的氯盐，并通过后水洗处理工艺回收。垃圾焚烧飞灰焙烧预处理技术工艺流程框图如附录A图A.2所示。

5.3 预处理后的垃圾焚烧飞灰特性

预处理后的垃圾焚烧飞灰应该具备以下特性：

5.3.1 破碎后的飞灰为粉状，并将粒径控制在 200μm 以下。

5.3.2 预处理后的飞灰组分应基本稳定，理化性质应较为均匀，保证工况连续稳定运行。

5.3.3 飞灰中的氯盐主要由易溶性氯盐、微溶性氯盐和难溶性氯盐三部分组成，预处理应全部去除易溶性氯盐（如：NaCl、KCl 和 $CaCl_2$等），尽可能去除微溶性氯盐（如：CaClOH 和 $Ca(ClO)_2$等）和难溶性氯盐（如：FeOCl、 AlOCl、复合盐 和 $Ca_6(CO_3)_2(OH)_7Cl$ 等）。预处理后飞灰的氯含量应低于 1%。

5.3.4 洗涤预处理后，飞灰中有益成分的流失量不应超过飞灰自身含量的 5%，并应在洗涤过程中尽可能避免钙的流失。

5.3.5 预处理飞灰后续处理应满足 GB 30760 中水泥窑协同处置固体废物技术规范的要求。

5.4 控制条件

5.4.1 洗涤预处理

飞灰洗涤预处理过程控制宜按照表 1 中的参数和条件运行。

表 1 洗涤预处理垃圾焚烧飞灰的工艺参数及控制条件

工艺参数	控制条件
水洗温度	20~80℃
搅拌时间	5~30min
水洗次数	1~3次
水固比	≥3 m^3/t且≤8 m^3/t
脱水后的含水率	低于35%
洗涤液浓缩率	20~40%
选择性透过膜分离	90%以上钙镁硬度去除率
水处理中间过程硬度	小于1000 mg/L
循环水回用率	90%以上

表 1 洗涤预处理垃圾焚烧飞灰的工艺参数及控制条件（续）

工艺参数	控制条件
辅剂	可控制添加辅剂的浓度以达到强化洗涤除氯的目的，选择使用酸类/碱类/碳酸盐类的辅剂，避免钠盐和钾盐的辅剂，减少氯、钠、钾等元素额外引入，同时尽量减少钙等有益元素的流失（参考辅剂：无机酸：硝酸、磷酸、硫酸等；有机酸：乙酸、乳酸、柠檬酸等）

说明：水固比过低（小于3 m^3/t）时，固液分离后的垃圾焚烧飞灰含水率较高，洗涤液的水分相对高比例地残留在飞灰中，在实际的大型洗水工程中脱水难度较大。水固比超过8 m^3/t后，随水固比增加，氯的浸出缓慢，耗水量大，经济性差。

5.4.2 焙烧预处理

飞灰焙烧预处理过程控制宜按照表2中的参数和条件运行。

表 2 焙烧预处理垃圾焚烧飞灰的工艺参数及控制条件

工艺参数	控制条件
焙烧预处理温度	700~1000℃
保温时间	15~30min
焙烧次数	1次
焙烧方式	旋转床等
辅剂	添加的辅剂应促进焙烧过程中易挥发元素（氯等）的去除和难挥发元素（重金属等）的固定（例如：铁、铝、氧化锌等）
后洗涤工艺	参考5.4.1中的工艺参数

说明：垃圾焚烧飞灰的有害组分脱除/热解温度普遍处于700~1000℃范围内。在焙烧预处理过程，飞灰有害组分的脱除/热解时间一般在15~30 min，超出此时间段后失重变化不明显。飞灰在焙烧过程与炉壁如有相对运动，有助于有害物质的挥发/分解。

5.5 主要设备

5.5.1 飞灰预处理设备宜优先选择符合国家相关规定，并具备自动化程度高、安全、节能、环保等性能的设备。

5.5.2 飞灰预处理工艺的设备应根据防腐要求选择材质，应具有耐盐腐蚀、抗酸碱和防堵塞等特点。

5.5.3 飞灰预处理设备宜采用可实现自动化连续运行控制的设备，洗涤和焙烧设备选型与处理规模相匹配。

5.5.4 用于处置垃圾焚烧飞灰的预处理设备应具备以下功能：

a) 应具有高效除尘系统，排放废气接入水泥窑烟气净化系统，最终排放废气应满足GB 30485规定的限值要求。
b) 应具备自动检测报警功能。
c) 设备应实现集成化与模块化，方便施工。
d) 设备应具备耐腐蚀与抗酸碱性能，可连续化稳定运行。

5.5.5 在项目的实际运行过程中，需要根据飞灰的特殊属性来合理调整设计工艺和设备选型，达到真正的可施行的效果。

5.6 处理后的垃圾焚烧飞灰入窑生料重金属含量参考限值

为确保水泥熟料中重金属含量满足要求，预处理后的飞灰经物料平衡后的混合物作为入窑类生料应低于HJ 662中重金属最大允许投加量的限值要求，即入窑混合生料的重金属含量不宜超过表3规定。预处理后的飞灰或产品应满足GB 5085中浸出毒性鉴别标准值。

表 3 入窑混合生料中重金属含量参考限值

重金属	单位	重金属的最大允许投加量
汞（Hg）	mg/kg-cli	0.23
铊+镉+铅+15*砷 （Tl+Cd+Pb+15As）		230
铍+铬+10*锡+50*锑+铜+锰+镍+钒 （Be+Cr+10Sn+50Sb+Cu+Mn+Ni+V）		1150
总铬（Cr）	mg/kg-cem	320
六价铬（Cr）		10（1）
锌（Zn）		37760
锰（Mn）		3350
镍（Ni）		640
钼（Mo）		310
砷（As）		4280
镉（Cd）		40
铅（Pb）		1590
铜（Cu）		7920
注（1）：计入窑物料中的总铬		

6 污染控制指标要求

6.1 大气污染控制

飞灰贮存、处置过程应满足GB 16297规定的排放要求。窑炉烟气排放采用高效除尘器除尘，除尘器的同步运转率为100%。窑尾安装大气污染物连续监测装置，烟气中排放的大气污染物应按照GB 4915、GB 30485和HJ 662的要求进行检测和处置并满足相关的规定。水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰时，窑尾烟气的各项污染物排放指标应满足GB 30485和GB 4915的要求，其中特征污染物应满足表4 的限制要求。

表 4 水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰污染控制参考限制

污染物	最高允许排放限制
氯化氢（HCl）	10

表 4 水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰污染控制参考限制（续）

污染物	最高允许排放限制
氟化氢（HF）	1
TOC	不应超过10mg/m^3 (1)
二噁英类	0.1ngTEQ/m
注（1）：因协同处置垃圾焚烧飞灰前后增加的TOC浓度	

6.2 废水污染控制

洗涤预处理过程中循环水以及废水应符合GB 8978的排放要求。

6.3 噪声污染控制

物料输送泵、风机、空压机等机械设备，宜选用低噪音设备，并采用合理的降噪、减噪措施，确保设备运转时厂界噪声符合GB 12348的要求。搬运、车辆运输等非机械噪声产生环节，应采取减少固体振动和碰撞过程噪声产生的管理措施。

6.4 其他污染控制

厂界恶臭污染物限值应按符合GB14554的要求。

7 水泥窑工况控制要求

7.1 配伍控制要求

根据各地区垃圾焚烧飞灰化学组分的实际差异、现阶段水泥厂原料的品质以及检测结果，科学合理地调整生料配比。水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰投料应有准确计量和自动控制装置。

7.2 入窑控制要求

垃圾焚烧飞灰或类生料进入水泥窑进行协同处置，应满足GB 30485和HJ 662要求，符合《国家危险废物名录》中的废物豁免条件。水泥窑在正常工况在稳定运行4小时以上后，可开始投加飞灰或类生料，在水泥窑计划停机前至少4小时内不应继续投加。

7.3 靶向投加位置

预处理后的飞灰或类生料可通过输送装置从高温段入窑，高温段包括窑头高温段和窑尾高温段，投加位置如附录A图A.3所示。窑头高温段宜利用水泥窑多通道燃烧器，通过主燃烧器投加点入窑焚烧。窑尾高温段宜在烟室、上升烟道、 分解炉适当位置开设投加点，但应注意烟室和上升烟道两处投加点因气力输送造成冷空气引入的负面影响。投料点应保持负压操作，并应具有防回火的功能。

7.4 重金属控制要求

参考采用循环倍率的方式评价重金属元素在水泥窑内的循环富集情况：
外循环倍率=窑灰重金属质量浓度/入窑生料重金属质量浓度
内循环倍率=热生料重金属质量浓度/入窑生料重金属质量浓度

8 水泥熟料产品质量控制要求

水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰时，水泥窑生产的水泥熟料应满足GB/T 21372的要求，水泥熟料中重金属元素含量不宜超过表5规定的限值。

表 5 水泥熟料中重金属含量限值

重金属	限值/（mg/kg）
砷（As）	40
铅（Pb）	100
镉（Cd）	1.5
铬（Cr）	150
铜（Cu）	100
镍（Ni）	100
锌（Zn）	500
锰（Mn）	600

附录 A

（资料性）

垃圾焚烧飞灰洗涤预处理技术工艺流程

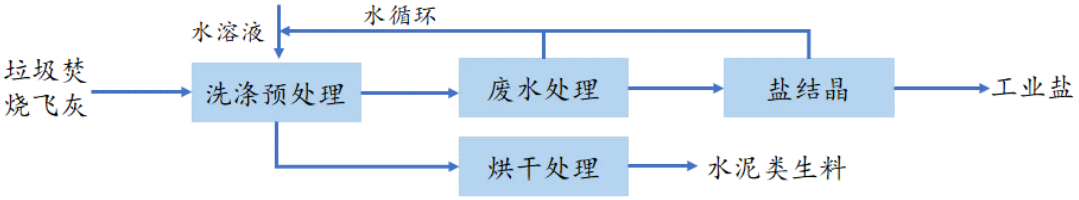

图 A.1 垃圾焚烧飞灰洗涤预处理工艺流程框图

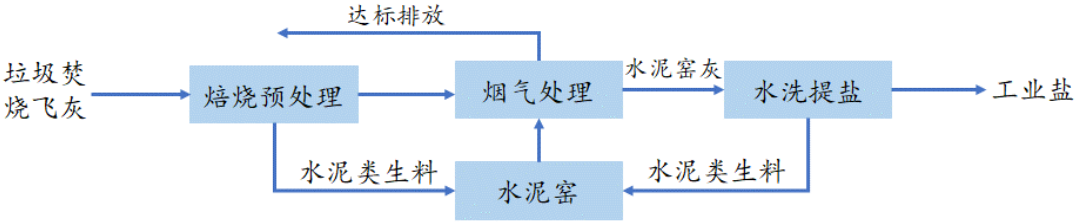

图 A.2 垃圾焚烧飞灰焙烧预处理工艺流程框图

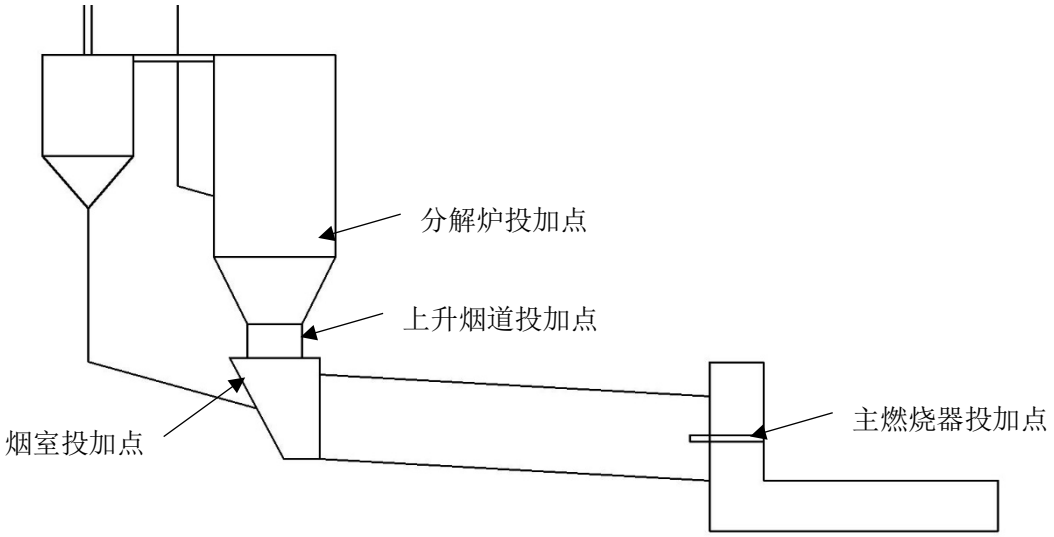

图 A.3 水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰投加点示意图