

# 团体标准编制说明

## 一、工作简况

### 1. 任务来源

我国难生物降解垃圾（如干垃圾、陈腐垃圾、危险废物等）年产生量超 3 亿吨，存量达 80 亿吨，其处理与资源化利用已成为“无废城市”建设及“双碳”目标实现的关键挑战。垃圾热解制氢技术虽为重要资源化路径，但其产生的热解灰渣存在重金属浸出、二噁英污染等环境风险，亟需安全高效处置方案。为了积极响应《“十四五”循环经济发展规划》《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》等政策要求，开展“垃圾热解灰渣制备复合水泥”技术攻关，旨在通过标准化推动灰渣无害化与建材化协同发展。本标准的制定任务由参与单位联合提出，经联盟标准化技术委员会审议立项，依托国家重点研发计划“固废资源化”专项成果，针对灰渣基水泥的组分设计、工艺控制及环保性能等核心环节形成规范性要求，填补垃圾热解灰渣建材化利用标准空白，为垃圾制氢全产业链环保能效提升提供技术支撑，助力循环经济与绿色低碳产业体系建设。

### 2. 起草单位、参编单位

起草单位：中国矿业大学（北京）、四川大学、华东理工大学、清华大学、中广核环保产业有限公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司。

参编单位：中国矿业大学（北京）、四川大学、华东理工大学、清华大学、中广核环保产业有限公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司。

### 3. 主要起草人

最终名单尚未确定。

## 二、制定（修订）标准的必要性和意义

### 1. 必要性

我国垃圾清运量逐年增加，且垃圾成分复杂，与传统的垃圾处理方式相比，采用热解灰渣制备水泥基建材，是垃圾低碳再利用的一种新尝试。传统方式中，垃圾热解灰渣通常被焚烧或填埋。焚烧灰渣产生较多的碳排放，填埋则会带来次生环境问题。本研究结合国家重点研发项目的需求，将灰渣经过热等离子体技术无害化处理后作为水泥建材的原料，避免灰渣中的潜在污染物进入到环境中，有效的将其资源化利用。标准的制定可破解灰渣处置难题，通过明确热解灰渣熔融工艺、组分比例及环保指标，系统性解决灰渣中污染物稳定化难题，实现重金属固化与二噁英零排放。同时，将垃圾热解灰渣转化为水泥原料，可减少天然资源消耗，降低水泥行业碳排放（灰渣利用减排约 15%），推动垃圾制氢全产业链绿色闭环。

### 2. 意义

通过研究灰渣基水泥建材制备技术，探究不同灰渣组分对复合水泥性能的综合耦合调控机制问题，通过解决这一问题研发高能效并具有特殊性能的水泥建

材，为建筑行业提供材料获取新思路，创造新型环保材料，并推动建材产业的低碳化发展。具体意义体现在以下几个方面

环境效益：通过标准化控制灰渣预处理、熔融工艺及水泥环保性能，杜绝污染物扩散，助力“十四五”生态环境质量改善目标。

经济效益：以标准引领灰渣高值化利用，降低垃圾处理成本，激活千亿级固废建材市场。

产业协同：衔接垃圾热解制氢与建材产业，促进“无废城市”基础设施跨领域融合，为氢能社会建设提供可持续技术路径。

本标准的实施将推动垃圾热解灰渣资源化利用从实验室研究向产业化应用转化，为构建绿色低碳循环经济体系提供重要技术支撑。

### 三、主要起草过程

#### 1. 立项与筹备

由中国矿业大学（北京）牵头，联合四川大学、华东理工大学、清华大学、中广核环保产业有限公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司等单位成立标准起草组，系统梳理垃圾热解灰渣处理技术现状、行业需求及政策需求，明确标准定位为“灰渣无害化与建材化协同”技术规范，完成标准框架设计与任务分工。

#### 2. 技术与数据积累

依托国家重点研发计划“固废资源化”专项，开展灰渣基水泥实验室研究及中试生产验证：

针对不同来源热解灰渣（干垃圾、陈腐垃圾等），测试熔融温度（1400℃）、停留时间（10~30min）对重金属固化率、二噁英降解率的影响，确定核心工艺参数；

性能优化：通过 200 余组配方实验，建立灰渣熟料掺量（50%~94%）与水泥强度、安定性的量化关系，筛选出满足胶凝材料（抗压强度 $\geq 42.5\text{MPa}$ ）与污染物固化用途的适配方案；

环保评估：依据 GB 5085.3、GB 6566 等标准，完成灰渣基水泥浸出毒性、放射性等指标的长期监测，验证环境安全性。

#### 2. 标准草案编制与意见征集

起草组基于实验数据及工程案例，参照 GB 175、GB/T 30810 等现行标准，形成标准初稿。通过 3 轮行业意见征集，重点针对以下内容达成共识：

1) 组分分类：根据灰渣掺量与应用场景，细化“热解灰渣复合水泥”“硅酸盐-热解灰渣复合水泥”等分类；

2) 环保指标：增设“水溶性铬（VI）”“二噁英残留量”等特色限值要求，严控环境风险；

3) 工艺衔接：补充热解灰渣预处理（配伍、破碎）、熔融炉运行监控（在线温度监测）等环节的技术细则。

#### 3. 专家评审与报批

组织生态环境部固管中心、中国水泥协会等多名专家召开审定会，对标准技

术内容的科学性、可操作性进行逐条审议，重点验证以下内容：

1) 工艺兼容性：熔融温度（1400℃）、停留时间（≥10min）与主流等离子体熔融设备的适配性；

2) 指标合理性：强度分级（胶凝材料/污染物固化）与实际工程需求的匹配度；

3) 标准协调性：与 GB 175、GB/T 25032 等现行标准的衔接，避免交叉矛盾。

根据专家意见修改完善后，形成报批稿并通过联盟理事会批准发布。

## 四、制定（修订）标准的原则和依据

本标准的制定遵循“环保优先、资源协同、技术可行、标准衔接”的核心原则，以科学研究和工程实践为支撑，兼顾行业需求与政策导向，具体原则与依据如下：

### 1. 制定原则

#### 1) 无害化与资源化协同控制

以“污染物稳定化”为前提，通过高温熔融工艺实现二噁英降解和重金属固化，确保灰渣基水泥的环保安全性；同时以“资源高效利用”为目标，最大化灰渣掺量，减少天然原料消耗，推动循环经济。

#### 2) 科学性与实用性并重

基于 200 余组实验室配方验证和 5-10t/d 中试生产线数据，确定水泥组分比例、强度分级等核心指标；结合垃圾处理企业与水泥厂商的实际需求，简化灰渣预处理流程，提升标准可操作性。

#### 3) 创新性与协调性统一

填补垃圾热解灰渣建材化利用标准空白，新增“水溶性铬”“熔融工艺监控”等条款；同时与现行标准全面衔接，如组分要求兼容《通用硅酸盐水泥》（GB 175）、环保指标对标《建筑材料放射性核素限量》（GB 6566），避免技术冲突。

#### 4) 全生命周期低碳导向

通过灰渣替代传统原料、优化熔融工艺能耗，减少水泥全生命周期碳排放，支撑“双碳”目标。

### 2. 制定依据

#### 1) 政策法规依据

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年修订）关于“固体废物资源化与无害化协同”的要求；《“十四五”循环经济发展规划》《“无废城市”建设实施方案》中“推动垃圾热解灰渣高值化利用”的专项任务；《国家标准化发展纲要》中“健全新兴领域标准，加快绿色低碳技术标准研制”的导向。

#### 2) 技术标准依据

参照《通用硅酸盐水泥》（GB 175）、《水泥化学分析方法》（GB/T 176）等基础标准，构建水泥组分、性能检测框架；结合《生活垃圾焚烧炉渣集料》（GB/T 25032）、《能源行业危险废物无害化处理技术规范》（T/GRM 012-2020）等专项标准，细化灰渣预处理、熔融工艺及环保限值要求；采纳《水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法》（GB/T 30810）等检测方法，确保污染物控制可验证。

### 3) 科研与工程实践依据

依托国家重点研发计划“固废资源化”专项研究成果，包括灰渣熔融机理、重金属迁移规律等关键数据；参考垃圾热解灰渣制备水泥试点项目的工程经验，优化工艺参数与成本控制方案；基于中试生产线检测数据，验证标准技术指标的可行性。

## 五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准严格遵循国家法律法规、产业政策及技术标准体系要求，与现行文件形成“基础衔接、专项补充、特色强化”的协同关系，具体如下：

### 1. 与法律法规的符合性

#### 1) 《固体废物污染环境防治法》

本标准中热解灰渣的预处理、熔融工艺及污染物控制要求（如浸出毒性限值、二噁英零排放）全面落实该法对危险废物“无害化、资源化”的规定，确保灰渣处理过程符合“污染担责”原则。

#### 2) 《大气污染防治法》《水污染防治法》

通过规定热等离子体熔融炉封闭负压设计（4.5 条）、烟气净化与在线监测（4.7 条）、废水收集处理（4.4 条）等条款，严控灰渣处理过程中的废气、废水排放，与污染防治法律要求直接对应。

#### 3) 《循环经济促进法》

以“灰渣替代传统水泥原料”为核心路径，推动资源高效循环利用，支撑该法“减量化、再利用、资源化”目标的实现。

### 2. 与现行标准的协调性

#### 1) 基础标准衔接

组分与性能：水泥组分要求（5.2 条）兼容《通用硅酸盐水泥》（GB 175），强度（6.2.3 条）、凝结时间（6.2.1 条）等物理指标与其保持一致，保障产品通用性；

检测方法：化学分析（GB/T 176）、放射性（GB 6566）、水溶性铬（VI）（GB 31893）等检测方法直接引用现行标准，确保数据可比性。

#### 2) 专项标准扩展

灰渣特性补充：针对垃圾热解灰渣重金属含量高、氯硫成分复杂的特点，在《生活垃圾焚烧炉渣集料》（GB/T 25032）基础上，增设熔融工艺、灰渣配伍等专属技术要求；

环保强化：在《能源行业危险废物无害化处理技术规范》（T/GRM 012-2020）的框架下，进一步明确灰渣基水泥的浸出毒性、二噁英残留量等指标，提升污染控制精度。

#### 3) 特色标准创新

工艺融合：首次将等离子体熔融技术（3.2 条）与水泥制备工艺结合，填补《垃圾裂化焚烧装置》（GB/T 35251）未涵盖的灰渣建材化利用空白；

分类创新：突破传统水泥分类模式，按灰渣掺量与应用场景新增“热解灰渣复合水泥”“污染物固化水泥”等品类，拓展固废基建材标准体系。

### 3. 与政策规划的协同性

### 1) “无废城市”建设

通过灰渣替代天然原料、降低填埋量，直接响应《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》中“推动大宗固废综合利用”的任务部署。

### 2) “双碳”战略

灰渣利用可减少水泥行业原料煅烧能耗，与《建材行业碳达峰实施方案》中“替代原料应用比例提升至 20%”的目标高度契合。

## 六、标准主要内容说明

本标准围绕垃圾热解灰渣制备复合水泥的“无害化处理-组分设计-性能控制-应用验证”全链条技术环节，系统规定了工艺参数、材料组分、性能指标及检测方法，核心内容的技术依据与验证分析如下：

### 1. 技术指标与参数设定依据

#### 1) 熔融工艺参数

熔融温度 1400℃：基于不同温度下灰渣重金属固化率试验数据，Pb、Cd、Cr 的浸出浓度分别降至 0.05mg/L、0.003mg/L、0.05mg/L（低于 GB 5085.3 限值），二噁英降解率≥99.9%；停留时间≥10min：通过中试生产线验证，10min 停留可确保灰渣完全熔融形成玻璃体结构，过短会导致灰渣颗粒残留，影响水泥安定性。

#### 2) 水泥组分比例

灰渣熟料掺量（50%~80%）：当灰渣熟料掺量在 50%~80%时，水泥 28 天抗压强度≥42.5MPa；掺量>90%时，因活性组分不足导致强度骤降。掺量 50%~80%的复合水泥可兼顾强度与固废消纳量。

#### 3) 环保性能指标

浸出毒性限值：参考北京某试点项目 100 批次灰渣基水泥检测数据，熔融工艺下重金属浸出浓度仅为传统水泥的 10%~30%。

### 2. 试验方法与检验规则

#### 1) 检测方法

重金属浸出：采用 GB/T 30810 模拟酸性环境，与 HJ/T 299 浸出方法对比，数据偏差<5%，确保环保风险可控；

二噁英检测：委托第三方机构（CMA 认证）采用高分辨气相色谱-质谱法，检测限低至 0.001ng-TEQ/g，覆盖本标准要求的“未检出”水平（<0.01ng-TEQ/g）。

#### 判定规则

型式检验：当灰渣来源、熔融工艺或配方变动时，需按 GB/T 17671、GB 6566 等标准全项检测，连续 3 批合格方可投产；

出厂检验：每批次必检强度、凝结时间、安定性，放射性每月抽检 1 次，确保质量稳定性。

### 3. 技术经济论证与预期效果

#### 1) 成本与效益分析

原料替代收益：以年产 10 万吨灰渣基水泥计，可消纳灰渣 6~8 万吨，节省石灰石开采 4.8~6.4 万吨，降低原料成本 120~160 万元/年；

减排效益：灰渣利用减少水泥熟料煅烧 CO<sub>2</sub> 排放 0.4~0.6 吨/吨水泥，年产

10 万吨规模年减排 4~6 万吨 CO<sub>2</sub>，折合碳交易收益 80~120 万元。

## 2) 市场需求与推广潜力

据测算，我国垃圾热解灰渣年产量超 3000 万吨，若 30%用于水泥生产，可形成 900 万吨/年灰渣基水泥产能，市场规模约 27 亿元，带动垃圾制氢、等离子熔融设备等相关产业协同发展。

## 3) 环境风险控制

通过熔融工艺与组分优化，灰渣基水泥二噁英残留量 $<0.01\text{ng-TEQ/g}$ （传统垃圾焚烧飞灰水泥约  $0.05\sim0.1\text{ng-TEQ/g}$ ），环境风险降低 80%以上。

# 七、分歧意见的处理过程、依据和结果

在标准制定过程中，起草组针对关键技术指标、环保限值及工艺要求等核心内容，通过多轮研讨、实验验证与行业协商，妥善处理了以下主要分歧意见：

## 1. 熔融工艺参数

企业代表提出，熔融温度设定为 $\geq 1600^{\circ}\text{C}$ 可能增加能耗成本，在产业化应用中，现存水泥窑生产线不可能为了适应灰渣处理将温度烧成至  $1600^{\circ}\text{C}$  以上，建议降低至  $1400\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 。

处理依据：实验数据：对比  $1400^{\circ}\text{C}$ 、 $1600^{\circ}\text{C}$  两组试验， $1600^{\circ}\text{C}$  时二噁英降解率较  $1400^{\circ}\text{C}$  无显著提升， $1400^{\circ}\text{C}$  工况综合环保与经济性好；

处理结果：采用  $1400^{\circ}\text{C}$  的工况，补充“鼓励采用余热回收技术降低能耗”的引导性条款，平衡环保要求与成本压力。

## 2. 灰渣熟料掺量范围

水泥厂商担忧灰渣掺量上限（94%）可能影响产品强度稳定性，建议限制为 $\leq 80\%$ ；而环保企业主张提高掺量以最大化固废消纳。

处理依据：灰渣掺量 80%~94% 的水泥 28 天抗压强度均值为  $28.5\sim 32.5\text{MPa}$ （标准差 $\pm 2.1$ ），低于常规硅酸盐水泥（ $42.5\text{MPa}$ ），满足胶凝材料最低要求（ $\geq 32.5\text{MPa}$ ）；明确掺量 $>80\%$ 的水泥主要用于“污染物固化”场景，其强度要求（ $\geq 0.2\text{MPa}$ ）与高掺量特性兼容。

处理结果：为适应水泥行业发展趋势，采用灰渣掺量 50%—80%范围的工况。

## 3. 二噁英残留限值

检测机构提议增设“二噁英残留量 $\leq 0.01\text{ng-TEQ/g}$ ”的定量限值；部分企业认为检测成本高，建议仅作定性要求。

处理依据：依据《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485-2014），二噁英限值为  $0.1\text{ng-TEQ/m}^3$ ，折算灰渣基水泥残留量安全阈值为  $0.01\text{ng-TEQ/g}$ ；通过熔融工艺优化，中试产品二噁英残留量均 $<0.005\text{ng-TEQ/g}$ ，可减少抽检频次。

处理结果：采用“二噁英残留量不得检出”的表述，兼顾风险控制与检测成本。

# 八、采用国际标准或国外先进标准情况

本标准在制定过程中充分参考了国际标准与国外先进技术规范，通过技术指标对标、方法兼容性优化及本土化适配，实现与国际接轨的同时兼顾国情需求，具体如下：

## 1. 国际标准对标与引用

### 1) 工艺参数参考

熔融温度与停留时间：参照欧盟《废弃物焚烧指令》（2000/76/EC），结合垃圾热解灰渣特性，将熔融温度设置为 1400℃、停留时间 $\geq 10\text{min}$ ，确保二噁英降解率和重金属固化效果优于欧盟限值。

烟气净化要求：借鉴日本《废弃物处理法》中“二噁英排放限值 $\leq 0.1\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ ”的规定，要求配置高效布袋除尘+活性炭吸附系统，实测烟气二噁英浓度 $\leq 0.05\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ （日本 JIS K 0311 方法验证）。

### 2) 环保指标衔接

重金属浸出限值：与美国 EPA《毒性特性浸出程序》（TCLP, Method 1311）同步，采用醋酸缓冲液法模拟严苛环境，但限值严于 TCLP 标准；

放射性控制：直接引用国际原子能机构（IAEA）《建筑材料放射性豁免水平》（RS-G-1.7）中  $I_{\text{Ra}} \leq 1.0$  的要求。

### 3) 检测方法兼容

二噁英检测：采用 ISO 18073:2005《高分辨气相色谱-质谱法(HRGC-HRMS)》，检测限低至 0.001ng-TEQ/g，与欧盟标准 EN 1948:2006 等效；

强度测试：水泥胶砂强度检验（GB/T 17671）等同采用 ISO 679:2009，确保数据国际互认。

## 2. 国外先进技术转化

### 1) 等离子体熔融技术

对于美国能源部（DOE）《等离子体废物处理技术指南》中对“熔融玻璃体重金属包覆率 $>95\%$ ”的工艺要求，结合国内灰渣成分特点（高氯、高硫），优化等离子体炬功率与进料速率，实现设备国产化适配。

### 2) 灰渣预处理配伍

参考《废物热解处理技术规范》（DIN 51730）中“灰渣热值均衡化”原则，通过动态混配降低熔融炉能耗波动，提升运行稳定性。

## 3. 本土化创新与提升

### 1) 分类体系创新

首创基于灰渣掺量（50%~80%）与应用场景（胶凝材料/污染物固化）的“垃圾热解灰渣水泥”分类体系，更契合我国固废资源化需求。

### 2) 特色指标强化

水溶性铬（VI）控制：严于欧盟 EN 196-10（ $\leq 2\text{mg}/\text{kg}$ ），设定限值 $\leq 0.1\text{mg}/\text{kg}$ （按 GB 31893 检测），降低水泥接触性污染风险；在复合水泥组分设计方面突破日本 JIS R 5210《混合水泥》中矿渣/粉煤灰单一掺混模式，允许灰渣与硅酸盐熟料、火山灰等多组分协同，提升固废消纳能力。

## 九、贯彻标准的措施建议

### 1. 完善政策配套与激励机制

#### 1) 纳入绿色产业目录

将符合本标准的垃圾热解灰渣水泥产品列入《绿色建材产品认证目录》，优

先纳入政府工程采购清单，并在招投标中给予加分或价格优惠（如 5%~10% 价格扣除）。

## 2) 区域协同管理

在“无废城市”试点地区，强制要求垃圾热解项目配套灰渣建材化设施，并将灰渣资源化率纳入地方政府考核指标。

## 2. 强化技术支撑与能力建设

### 1) 技术推广与培训

编制《垃圾热解灰渣水泥生产技术指南》，针对熔融温度控制、灰渣配伍优化、重金属检测等关键环节，开展企业技术人员专项培训；建立“产学研用”协同平台，推动清华大学、中国建材研究院等机构提供工艺诊断与优化服务。

### 2) 检测能力提升

在省级质检机构增设灰渣基水泥专项检测实验室，配备高分辨气相色谱-质谱仪等设备，降低二噁英检测成本。

## 3. 健全监管与标准协同机制

建立垃圾热解灰渣溯源管理平台，要求灰渣出厂前标注放射性、重金属本底值；对熔融炉运行参数实施联网实时监测，数据同步至生态环境部门；市场监管部门按年产量的 1% 进行灰渣基水泥随机抽检，重点核查重金属、二噁英等污染指标。

## 十、其他应予说明的事项

废止现行有关团体标准的建议等。

无