

团 体 标 准

T/ZIUR XXXX—2026

水泥窑协同处置废弃物过程智能控制规范

Technical specification for intelligent control of waste co-processing in cement kiln

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 废弃物进厂智能管理	2
6 投料过程智能控制	3
7 窑系统工况智能调控	5
8 污染物排放智能管控	6
9 产品质量智能控制	7
10 运行效果评价	9

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由XXX提出。

本文件由浙江省产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

水泥窑协同处置废弃物过程智能控制规范

1 范围

本文件规定了水泥窑协同处置废弃物过程智能控制的术语和定义、总则、废弃物进厂智能管理、投料过程智能控制、窑系统工况智能调控、污染物排放智能管控、产品质量智能控制、运行效果评价。

本文件适用于水泥窑协同处置废弃物过程的智能控制工作。

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/T 176 水泥化学分析方法
- GB 5085（所有部分） 危险废物鉴别标准
- GB 8978 污水综合排放标准
- 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 18485 生活垃圾焚烧污染控制标准
- GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
- GB/T 19022 测量管理体系 测量过程和测量设备的要求
- GB/T 30760 水泥窑协同处置固体废物技术规范
- GB/T 35150.4 新型干法水泥生产成套装备技术要求 第4部分：水泥窑协同处置系统
- GB/T 41261 过程工业报警系统管理
- HJ 75 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范
- HJ 662 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范
- HJ 1134 生活垃圾焚烧飞灰污染控制技术规范（试行）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水泥窑协同处置 co-processing in cement kiln

将满足入窑要求或经预处理的固体废物投入水泥窑系统，通过高温煅烧实现固体废物无害化处置或资源化利用的过程。

[来源：GB/T 35150.4, 3.1]

3.2

固体废物 solid waste

在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的液态或者气态的物品、物质。

注：固体废物包括危险废物、工业固体废物、生活垃圾及其处理产物、建筑垃圾、城市和工业污水处理污泥、动植物加工废物、农林业废物、受污染土壤、应急事件废物（包括突发公共卫生事件、安全事故、重大灾害、环境保护专项行动等集中产生的废物）等。

[来源：GB/T 30760, 3.1]

3.3

危险废物 hazardous wastes

列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性和感染性等一种或一种以上危险特性，以及不排除具有以上危险特性的固体废物。

[来源：HJ 662，3.3]

3.4

焚毁去除率（DRE） destruction and removal efficiency

指投入窑中的特征有机化合物与残留在排放烟气中的该化合物质量之差，占投入窑中该化合物质量的百分比。DRE的表达式如下：

$$ORE = \frac{W_{in} - W_g}{W_{in}} \times 100\%$$

其中： W_{in} 为单位时间内投入窑中的特征有机化合物的总量，kg/h；

W_g 为单位时间内随烟气排出的该化合物的总量，kg/h。

[来源：HJ 662，3.12]

4 总则

- 4.1 智能控制过程应符合 GB/T 30760、GB 5085.7 及 GB/T 35150.4 的相关规定。
- 4.2 智能控制应遵循安全优先、环保达标、智能高效、协同适配的原则，兼顾废弃物处置效果与水泥生产稳定性，减少人为干预，提升处置过程的可控性。
- 4.3 智能控制系统应具备数据采集、分析处理、自动调控、异常预警、数据追溯等核心功能，各环节控制逻辑应连贯，数据传输应稳定、准确。
- 4.4 智能控制系统应与水泥窑原有生产控制系统兼容，废弃物处置与水泥生产数据的互联互通，避免数据孤岛。
- 4.5 智能控制设备应定期进行校准、维护与检修，校准周期应符合 GB/T 19022，确保设备运行精度与稳定性。
- 4.6 智能控制过程应建立完整的运行档案，记录控制参数、运行状态、异常情况 & 处理结果，档案保存期限不应少于 3 年，可采用电子化存储方式。
- 4.7 从事智能控制操作、维护的人员应经专业培训，熟悉系统功能及相关标准要求，具备相应的操作技能，考核合格后方可上岗。

5 废弃物进厂智能管理

5.1 废弃物识别分类

- 5.1.1 废弃物进厂时，应采用智能识别技术对其进行快速识别与分类，识别方式可结合图像识别、成分快速检测等技术。
- 5.1.2 识别内容应包括废弃物的种类、形态、危险特性及主要成分，识别结果应与 GB 5085.1~5085.7 的相关要求比对，明确废弃物类别。
- 5.1.3 宜建立废弃物智能识别数据库，实时更新废弃物种类、成分及识别特征，持续优化识别模型，提升复杂工况下的识别准确率。
- 5.1.4 对疑似危险废物的废弃物，应通过智能检测设备进行进一步鉴别，按危险废物进行管理。
- 5.1.5 识别分类过程应实现自动化记录，生成废弃物识别分类报告，明确识别结果、检测数据及分类依据，报告应纳入废弃物处置追溯体系。
- 5.1.6 可结合人工复核机制，对智能识别结果进行抽查，抽查比例不应低于当日进厂废弃物批次的 5%，发现识别偏差时，应及时调整识别模型。

5.2 预处理过程控制

5.2.1 破碎智能控制

- 5.2.1.1 废弃物预处理破碎环节应采用智能控制设备，根据废弃物的硬度、粒度要求，自动调整破碎参数，确保破碎后废弃物粒度符合入窑要求。

5.2.1.2 破碎设备应具备智能监测功能，实时监测设备运行负荷、破碎粒度，当出现粒度超标、设备异常时，应自动报警并调整运行参数，必要时停机检查。

5.2.2 筛分智能控制

5.2.2.1 筛分环节应采用智能筛分设备，根据废弃物粒度要求，自动调整筛分速度、筛网孔径，分离不符合要求的杂质及大颗粒废弃物。

5.2.2.2 智能筛分系统应实时监测筛网堵塞情况，当堵塞程度超过设定阈值时，应自动启动清堵程序，避免影响预处理效率。

5.2.3 均质化智能控制

5.2.3.1 预处理后的废弃物应进行均质化处理，智能均质化系统应通过在线成分检测设备，实时监测废弃物成分均匀性，自动调整搅拌速度与时间。

5.2.3.2 均质化过程应与后续配伍环节联动，根据配伍需求，调整均质化参数，确保废弃物成分波动符合配伍要求，减少对窑系统工况的影响。

5.2.4 渗滤液处理控制

5.2.4.1 预处理过程中产生的渗滤液，应采用智能收集与处理系统，实时监测渗滤液产生量、污染物浓度，自动调整处理工艺参数。

5.2.4.2 渗滤液处理应符合 GB 8978 的相关要求，处理后的废水可循环利用或达标排放，处理过程数据应实时记录。

5.3 配伍动态调度

5.3.1 应建立废弃物智能配伍模型，结合进厂废弃物的成分、热值、水分等参数，以及水泥窑系统工况，动态优化配伍方案，配伍参数可参考表 1。

表 1 废弃物智能配伍参数参考表

废弃物类型	主要控制参数	配伍比例参考范围 (%)
生活垃圾焚烧飞灰	重金属含量、可溶性氯含量	5~10
工业固体废物	热值、水分、灰分	10~20
危险废物（符合处置要求）	危险特性、污染物含量	3~8

注：配伍比例可根据水泥窑实际工况、废弃物特性及处置目标动态调整。

5.3.2 配伍模型应具备自学习功能，根据历史配伍数据、处置效果及窑系统运行反馈，持续优化配伍比例，提升配伍合理性。

5.3.3 配伍过程应实时监测各组分废弃物的投放量，宜采用自动配料系统，确保配伍比例误差不超过±5%。

5.3.4 当进厂废弃物成分、热值波动较大时，智能配伍系统应自动调整配伍比例，可联动预处理环节，调整废弃物均质化参数，确保配伍稳定性。

5.3.5 配伍调度应结合水泥窑处置能力、替代燃料替代率目标，优化废弃物投放计划，优先处置易降解、热值适宜的废弃物，提升处置效率。

5.3.6 应记录配伍调度的所有数据，包括废弃物组分、配伍比例、投放量、窑系统反馈等，形成配伍追溯档案，便于后续优化与核查。

6 投料过程智能控制

6.1 投料点选择与切换

6.1.1 应根据废弃物种类、特性及水泥窑系统实时工况，智能选择投料点，可参考表 2。

表 2 投料点选择参考表

废弃物特性	推荐投料点	控制要求
易挥发、高毒性、含重金属	分解炉	投料温度 $\geq 860^{\circ}\text{C}$ ，确保充分焚毁
高热值、不易挥发、成分稳定	窑头或分解炉	根据窑内温度动态调整
粒度较小、易悬浮	分解炉	控制投料速度，避免悬浮堵塞

6.1.2 易挥发、高毒性废弃物应选择分解炉投料点，确保其在高温环境下充分焚毁，减少污染物排放，符合 HJ 1134 要求。

6.1.3 热值较高、不易挥发的废弃物，可选择窑头或分解炉投料点，具体根据窑内温度、压力等工况参数动态确定。

6.1.4 投料点切换应具备自动切换功能，切换过程应平稳，避免因切换导致窑系统工况波动，切换时应同步调整投加速率与相关控制参数。

6.1.5 宜建立投料点选择模型，结合废弃物特性、窑内温度、氧含量等实时参数，自动推荐最优投料点，提升投料合理性。

6.2 投加速率自适应调节

6.2.1 投加速率应根据水泥窑系统热工参数、生料喂料量、废弃物特性等因素，通过智能控制系统实现自适应调节，保持窑系统工况稳定。

6.2.2 智能调节系统应采用模型预测控制技术，结合历史运行数据，提前预判投加速率对窑系统的影响，实现精准调节，减少工况波动。

6.2.3 当窑内温度、压力、氧含量等参数出现异常波动时，应自动降低投加速率或暂停投料，待工况稳定后，逐步恢复投加速率。

6.2.4 投加速率调节应循序渐进，调节幅度不宜过大，单次调节幅度不应超过当前投加速率的 10%，避免对窑系统造成冲击。

6.2.5 宜设置投加速率上下限，上限不应超过水泥窑最大处置能力，下限应满足废弃物焚毁充分的要求，具体限值根据窑型及处置目标确定。

6.2.6 投加速率调节过程应实时记录，包括调节时间、调节幅度、工况参数变化等，形成调节档案，为后续优化提供依据。

6.3 计量与进料联锁

6.3.1 进料计量设备应具备智能计量功能，计量精度应符合相关标准要求，计量误差不应超过 $\pm 2\%$ ，宜采用在线计量仪表，实时反馈进料量。

6.3.2 计量系统应与进料设备、窑系统控制系统联锁，当计量数据出现异常（如超量程、波动过大）时，应自动停止进料并报警，提示操作人员排查故障。

6.3.3 进料联锁逻辑应结合窑系统工况参数，当窑内温度过低、压力过高或出现其他异常工况时，应自动切断进料，避免加剧工况异常。

6.3.4 联锁报警阈值应根据水泥窑运行参数合理设定，符合 GB/T 41261 的要求，定期根据运行情况优化调整。

6.3.5 进料过程应实现自动化控制，可根据配伍方案及投加速率要求，自动调节进料速度，确保进料量与投加速率匹配，减少人为干预。

6.4 入窑生料重金属含量控制

6.4.1 应建立入窑生料重金属含量在线监测系统，实时监测生料中铅、镉、汞等重金属含量，监测方法应符合 GB/T 176 的规定。

6.4.2 入窑生料重金属含量不应超过 GB/T 30760 规定的参考限值。

6.4.3 监测数据应与投料系统、配伍系统联锁，当重金属含量超标时，应自动调整相关废弃物投料比例或停止对应废弃物投料，直至重金属含量符合要求。

6.4.4 宜采用智能预测模型，根据废弃物成分、配伍方案及历史监测数据，提前预测入窑生料重金属

含量，实现主动调控。

6.4.5 重金属含量监测数据应实时记录，形成监测档案，监测频次不应低于每小时 1 次，异常情况下应增加监测频次。

6.4.6 当监测系统出现故障时，应及时启动备用监测设备，确保监测工作连续，故障期间应暂停相关废弃物投料，避免重金属含量超标。

6.4.7 定期对重金属在线监测设备进行校准，校准方法应符合相关标准要求，确保监测数据准确可靠，校准记录应纳入运行档案。

7 窑系统工况智能调控

7.1 热工制度稳定控制

7.1.1 温度分层调控

7.1.1.1 应在窑内烧成带、过渡带、分解炉等关键区域布设智能监测点，监测数据实时传输至控制系统，传输延迟不应超过 3s。

7.1.1.2 烧成带温度调控应结合生料喂料量、废弃物投加速度，通过智能调节燃料供给量实现平缓调控，避免温度骤变。

7.1.1.3 分解炉温度应与投料系统联动，根据废弃物特性及投加速度，自动调整辅助燃料供给，维持温度稳定。

7.1.1.4 宜设置温度分层预警机制，不同区域预警阈值结合窑型及处置工况合理设定，预警后系统自动启动调节程序。

7.1.2 压力协同调控

7.1.2.1 应实时监测窑头、窑尾、分解炉出口及预热器各旋风筒的压力参数，监测精度符合相关标准要求。

7.1.2.2 智能调控系统应与窑尾风机、预热器阀门联锁，当压力出现异常波动时，自动调整风机转速、阀门开度，维持系统压力平衡。

7.1.2.3 窑尾负压调控应兼顾烟气排放与能源消耗，避免负压过大吸入冷空气，或负压过小导致烟气外逸。

7.1.3 氧含量动态调控

7.1.3.1 应根据氧含量监测数据，自动调整进风量及三次风比例，兼顾废弃物充分焚毁与燃料消耗优化。

7.1.3.2 氧含量调控应与温度、压力调控联动，当氧含量异常时，同步调整相关参数，避免单一调控导致工况波动。

7.2 分解炉焚烧控制

7.2.1 分解炉焚烧控制应符合 GB 18485 及 GB 18598 相关要求。

7.2.2 应智能控制分解炉内停留时间，通过调整气流速度，确保废弃物在炉内停留时间满足焚毁要求。

7.2.3 分解炉内温度应维持在适宜范围，通过智能调节燃料供给及投料速度，避免局部温度过低导致焚毁不充分。

7.2.4 应设置分解炉焚烧效果在线监测模块，结合氧含量、烟气成分等数据，实时判断焚烧状态。

7.2.5 当监测到焚烧不充分时，系统应自动调整相关参数，可适当增加辅助燃料供给或降低投加速度。

7.2.6 分解炉进料应与窑系统工况联动，当窑内温度、压力出现异常时，自动减少或停止分解炉投料。

7.2.7 宜采用智能清堵系统，实时监测分解炉锥部及管道积料情况，积料达到设定阈值时自动启动清堵程序。

7.2.8 分解炉运行参数应完整记录，包括温度、压力、投加速度、燃料供给量等，记录频次不应低于每分钟一次，档案保存期限不应少于 3 年。

7.2.9 清堵程序运行后，系统应自动检测积料清除情况，确认无积料后恢复正常运行参数，避免二次积料。

7.3 旁路放风调控

- 7.3.1 应实时监测窑内有害成分含量，监测方法符合相关标准要求，监测数据实时传输至智能控制系统。
- 7.3.2 当有害成分浓度超过设定限值时，旁路放风系统应自动启动，根据浓度数据自适应调整放风流量。
- 7.3.3 旁路放风流量调控应兼顾有害成分控制与能源消耗，避免流量过大造成能源浪费，或流量过小无法达到控制效果。
- 7.3.4 旁路放风系统应与废弃物配伍、投料系统联动，当有害成分浓度持续超标时，自动调整废弃物配伍比例。
- 7.3.5 旁路放风处理后的烟气应符合 GB 16297，处理过程参数应实时监测并记录。
- 7.3.6 宜建立有害成分浓度预测模型，结合废弃物成分、窑系统工况及历史数据，提前预判浓度变化趋势，实现主动放风调控。
- 7.3.7 旁路放风系统应定期进行维护与校准，确保运行稳定。

7.4 异常工况自诊断

- 7.4.1 窑系统异常工况自诊断应覆盖结皮、堵料、熄火、温度骤变、压力异常等常见工况。
- 7.4.2 智能诊断系统应结合实时监测数据与历史运行数据，通过算法模型识别异常工况，明确异常类型、发生位置及严重程度。
- 7.4.3 常见异常工况诊断应遵循以下要求：
- 结皮：监测点温度持续升高、压力波动增大，且常规调节无效；
 - 堵料：进料量异常下降、相关部位压力骤升，结合投料记录综合判断；
 - 熄火：窑内温度骤降幅度较大，氧含量急剧升高，无明确调控操作；
 - 温度骤变：温度变化幅度超过设定值，且持续时间超过 5 分钟；
 - 压力异常：压力偏离设定范围，且调整风机、阀门后仍无法恢复。
- 7.4.4 异常工况诊断后，系统应自动启动对应处理预案，轻微异常通过调整控制参数自行缓解，严重异常自动停机并报警。
- 7.4.5 宜建立异常工况数据库，记录每次异常的诊断结果、处理过程及处理效果，持续优化诊断模型，提升诊断准确率。
- 7.4.6 异常工况处理完成后，系统应自动检测工况恢复情况，确认恢复正常后，方可逐步恢复正常运行参数。
- 7.4.7 操作人员应定期对异常工况诊断系统进行校验。
- 7.4.8 当诊断系统出现故障时，应及时启动备用诊断机制，人工辅助监测工况，避免异常工况扩大。

8 污染物排放智能管控

8.1 窑尾烟气排放连续监测

- 8.1.1 窑尾烟气排放连续监测系统应符合 HJ 75，具备实时监测、数据传输、异常报警功能。
- 8.1.2 监测项目应包括颗粒物、SO₂、NO_x、HCl、HF、汞及其化合物等，监测精度符合相关标准要求，数据有效率不应低于 90%。
- 8.1.3 监测设备应定期进行校准，校准记录完整留存，可采用电子化存储。
- 8.1.4 监测数据应实时传输至智能控制系统及环保监管平台，传输延迟不应超过 10s，数据真实、准确，不得篡改、伪造。
- 8.1.5 当烟气中污染物浓度接近排放标准限值时，系统应自动报警，并启动预警调控程序，提前调整相关控制参数。
- 8.1.6 当污染物浓度超过排放标准限值时，应自动联动窑系统控制系统，降低废弃物投加速率或停止投料，直至浓度降至限值以下。
- 8.1.7 宜建立烟气污染物排放预测模型，结合废弃物特性、窑系统工况及历史监测数据，提前预判排放浓度变化趋势。
- 8.1.8 监测系统故障时，应及时启动备用监测设备，确保监测工作连续，故障期间暂停相关废弃物投

料，并向环保监管部门报备。

8.1.9 烟气排放监测数据应按日汇总、按月归档，保存期限不应少于5年，便于环保核查与后续优化管控措施。

8.2 有机物焚毁效果动态评估

8.2.1 有机物焚毁效果动态评估应符合 GB 18598 的规定，评估指标包括焚毁去除率、烟气中有机物残留量等。

8.2.2 应建立智能评估模型，结合窑系统热工参数、废弃物投加速率、烟气监测数据等，实时评估有机物焚毁效果，评估频次不应低于每30分钟一次。

8.2.3 有机物焚毁去除率应不低于99.9%，当去除率低于设定阈值时，系统应自动报警，并调整窑内温度、氧含量等参数。

8.2.4 烟气中有机物残留量应通过在线监测设备实时监测，监测方法符合相关标准要求，残留量超标时，联动投料系统调整废弃物投放比例。

8.2.5 评估模型应具备自学习功能，根据历史评估数据、焚毁效果及工况反馈，持续优化评估算法，提升评估准确性。

8.2.6 宜结合人工采样检测，对智能评估结果进行验证，采样检测频次不应低于每日1次，检测结果与智能评估结果偏差不应超过5%。

8.2.7 焚毁效果评估数据应完整记录，包括评估时间、评估结果、相关工况参数及调整措施，形成评估档案，便于后续核查与优化。

8.2.8 当废弃物种类发生变化时，应及时调整评估模型参数，确保评估结果贴合实际焚毁效果，避免因废弃物特性变化导致评估偏差。

8.2.9 人工采样检测应按照 GB/T 176 相关要求执行，检测结果纳入评估档案，作为模型优化的依据。

8.3 臭气与无组织排放联锁控制

8.3.1 臭气与无组织排放控制应符合 GB 14554，智能联锁控制系统覆盖废弃物贮存、预处理、投料等关键环节。

8.3.2 应在废弃物贮存车间、预处理车间等易产生臭气的区域，安装智能臭气监测设备，实时监测臭气浓度，监测指标包括硫化氢、氨等主要恶臭污染物。

8.3.3 臭气浓度超过设定阈值时，智能控制系统应自动启动除臭设备，调整除臭剂喷洒量、风机转速，将臭气浓度降至限值以下。

8.3.4 无组织排放监测应采用智能监测设备，监测点布置符合相关标准要求，实时监测无组织排放浓度，发现超标时，自动排查泄漏点并报警。

8.3.5 除臭设备应与废弃物处理环节联锁，当废弃物贮存、预处理设备运行异常时，同步加强除臭措施，避免臭气泄漏。

8.3.6 宜建立臭气与无组织排放预测模型，结合废弃物特性、环境温度、湿度等参数，提前预判排放浓度变化，实现主动管控。

8.3.7 除臭设备应定期进行维护与检修，维护周期根据设备运行情况确定，确保设备运行稳定，除臭效果达标，维护记录纳入运行档案。

8.3.8 无组织排放控制应结合车间密闭性优化，智能监测车间内压力，确保车间内保持微负压，避免臭气外逸，微负压控制参数根据实际情况设定。

8.3.9 当无组织排放持续超标时，系统应自动暂停相关废弃物处理环节，排查泄漏点并处理，待排放达标后恢复运行。

9 产品质量智能控制

9.1 熟料重金属含量在线预测

9.1.1 熟料重金属含量在线预测应符合 GB/T 176 及 GB/T 30760，预测指标包括铅、镉、汞等重金属，可参考表3。

表3 熟料重金属含量预测参考表

重金属类型	预测参考限值 (mg/kg)	主要影响因素
铅	≤100	入窑生料铅含量、废弃物投料比例
镉	≤5	危险废物投料量、窑内温度
汞	≤0.5	废弃物汞含量、分解炉焚烧效果

注：预测参考限值可根据水泥产品用途、当地环保要求及废弃物类型调整，应符合国家及行业相关标准。

9.1.2 应建立熟料重金属含量智能预测模型，结合入窑生料重金属含量、窑系统工况、废弃物配伍数据等，实时预测熟料重金属含量。

9.1.3 预测模型应整合多源数据，包括废弃物进厂检测数据、配伍比例数据、窑内温度压力数据等，提升预测精度。

9.1.4 当预测的熟料重金属含量接近限值时，系统应自动报警，并联动配伍、投料系统，调整废弃物投放比例。

9.1.5 宜结合在线检测设备，对预测结果进行实时验证，检测频次根据生产负荷及废弃物特性合理设定。

9.1.6 预测模型应具备自学习功能，根据历史预测数据、实际检测结果，持续优化模型参数，提升预测准确性。

9.1.7 熟料重金属含量预测数据应完整记录，包括预测时间、预测值、相关工况参数等，记录频次不应低于每小时一次。

9.1.8 当废弃物种类、成分发生较大变化时，应及时更新模型输入参数，确保预测结果贴合实际生产情况。

9.1.9 预测结果与实际检测结果偏差不应超过 10%，当偏差超过限值时，应及时调整模型，排查数据采集及模型算法问题。

9.2 熟料可浸出重金属调控

9.2.1 熟料可浸出重金属调控应符合 GB/T 30760 及 HJ 662 相关要求。

9.2.2 应建立熟料可浸出重金属智能调控体系，结合熟料重金属含量预测数据、窑系统工况，实现可浸出重金属精准调控。

9.2.3 可通过调整窑内烧成温度、保温时间，优化熟料矿物组成，降低重金属浸出速率，减少可浸出重金属含量。

9.2.4 应实时监测熟料冷却过程参数，冷却速度调控应兼顾熟料质量与重金属固化效果，避免冷却过快影响重金属固化。

9.2.5 当预测的熟料可浸出重金属含量接近限值时，系统应自动调整窑系统工况参数，必要时调整废弃物配伍比例。

9.2.6 宜采用智能检测设备，对熟料可浸出重金属含量进行在线检测，检测结果作为调控依据，检测方法符合相关标准要求。

9.2.7 熟料可浸出重金属检测数据应完整记录，包括检测时间、检测值、调控措施等，档案保存期限不应少于 3 年。

9.2.8 当可浸出重金属含量超标时，应暂停熟料出厂，分析超标原因，调整调控参数，直至检测达标后恢复出厂。

9.2.9 可结合生料配料调整，加入适量固化剂，辅助降低熟料可浸出重金属含量，固化剂选择应符合相关标准，不影响水泥产品质量。

9.2.10 定期对可浸出重金属调控效果进行评估，结合历史数据优化调控方案，提升调控的稳定性和精准度。

9.3 检测频次动态优化

9.3.1 熟料质量检测频次应结合生产负荷、废弃物特性、窑系统运行稳定性，实现动态优化。

9.3.2 应建立检测频次智能优化模型，结合历史检测数据、异常工况发生频次、废弃物成分波动情况，

自动调整检测频次，可参考表 4。

表 4 熟料质量检测频次动态优化参考表

运行工况	检测项目	检测频次	调整依据
正常生产（工况稳定）	重金属含量、可浸出重金属含量	每日1次	检测结果稳定、无异常
废弃物成分波动大	重金属含量、可浸出重金属含量	每4小时1次	废弃物成分波动 $\geq 10\%$
窑系统异常工况	重金属含量、可浸出重金属含量	每4小时1次	出现结皮、堵料等异常
检测结果连续稳定	重金属含量、可浸出重金属含量	每2日1次	连续7日检测结果偏差 $\leq 5\%$

注：检测频次可根据企业实际生产规模、废弃物处置量及质量控制要求，结合实际情况进一步优化调整。

9.3.3 检测频次调整后，系统应自动记录调整原因、调整时间及调整后的检测频次。

9.3.4 宜结合检测结果偏差情况，优化检测频次，当检测结果连续多次稳定、偏差较小时，可适当降低检测频次，但不应低于每 2 日 1 次。

9.3.5 检测人员应经专业培训，熟悉检测方法及相关标准要求，考核合格后方可上岗，检测操作应规范，记录应完整、准确。

10 运行效果评价

10.1 处置能力利用率

10.1.1 处置能力利用率评价应基于水泥窑设计处置能力与实际处置量，反映智能控制对废弃物处置效率的提升作用，评价周期不应少于每月 1 次。

10.1.2 应统计周期内实际处置废弃物总量、设计处置能力，计算处置能力利用率，统计数据应来源于智能管理系统的实时记录，确保真实准确。

10.1.3 处置能力利用率评价应结合废弃物类型、预处理效果及窑系统工况，分析利用率偏低的原因，针对性优化智能配伍与投料控制策略。

10.1.4 宜建立处置能力利用率动态分析模型，结合历史数据、季节变化及废弃物供给情况，预判利用率变化趋势，提前调整控制参数。

10.1.5 评价记录应完整留存，包括评价周期、实际处置量、设计处置量、利用率计算结果及优化建议，保存期限不应少于 3 年。

10.2 替代燃料替代率

10.2.1 替代燃料替代率评价应反映智能控制对替代燃料利用效率的优化效果。

10.2.2 替代燃料替代率计算应基于周期内替代燃料消耗量与总燃料消耗量的比值，优先采用热量替代法计算，确保评价结果贴合实际节能效果。

10.2.3 应明确替代燃料范围，主要包括：

- 生物质类替代燃料；
- 工业固废类替代燃料；
- 其他符合标准的可燃废弃物，统计时应剔除不可燃杂质。

10.2.4 评价周期应与处置能力利用率保持一致，每月开展 1 次，当替代燃料种类或供给量发生较大变化时，可增加评价频次。

10.2.5 应结合智能控制运行数据，分析替代燃料替代率与窑系统热工稳定性的关联，优化替代燃料投加速率与配伍比例，提升替代效率。

10.2.6 评价过程中应记录替代燃料的种类、消耗量、发热值等关键信息，作为后续优化智能控制策略的依据。

10.3 窑系统运转稳定性

10.3.1 窑系统运转稳定性评价应聚焦智能调控对窑系统连续运行的保障作用，评价指标包括运转率、异常停机次数及故障处理时长。

10.3.2 应统计周期内窑系统实际运转时间与计划运转时间的比值，计算运转率，运转率评价周期不应少于每月1次，年度评价周期不应少于每年1次。

10.3.3 异常停机次数统计应区分故障类型，主要包括智能控制系统故障、窑系统工况异常、设备故障等，分别记录停机时长与处理措施。

10.3.4 智能控制系统故障导致的停机，应分析故障原因，优化系统响应逻辑与参数设置，减少故障发生率；设备故障导致的停机，应联动智能监测系统完善预警机制。

10.3.5 宜结合窑系统传动电流、温度、压力等实时监测数据，建立运转稳定性评价模型，量化稳定性等级，为控制策略优化提供支撑。

10.3.6 评价结果应纳入运行档案，明确稳定性提升的重点方向，同步优化异常工况自诊断与处理预案，提升系统抗干扰能力。

10.3.7 运转稳定性评价应结合现场巡检记录，确保评价结果全面反映窑系统实际运行状态，避免仅依赖数据统计导致的偏差。

10.4 污染物排放达标率

10.4.1 污染物排放达标率评价应符合 HJ 75 及 GB 16297，可参考表 5。

表 5 污染物排放达标率评价参考表

评价项目	达标要求	评价频次	参考标准
颗粒物	排放浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ ，小时均值达标	每日统计，每月评价	GB 16297
SO ₂ 、NO _x	排放浓度分别 $\leq 200\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $\leq 300\text{mg}/\text{m}^3$	每日统计，每月评价	HJ 75
汞及其化合物	排放浓度 $\leq 0.05\text{mg}/\text{m}^3$ ，小时均值达标	每日统计，每月评价	GB/T 30760
整体达标率	各项目达标率均值 $\geq 95\%$	每月评价，年度汇总	HJ 662

10.4.2 应统计周期内窑尾烟气污染物排放达标时长与总运行时长的比值，计算达标率，监测数据来源于烟气连续监测系统，数据有效率不应低于 90%。

10.4.3 评价项目应包括颗粒物、SO₂、NO_x、HCl、汞及其化合物等，每个项目单独计算达标率，再综合计算整体排放达标率。

10.4.4 当污染物排放出现超标时，应在评价报告中明确超标时段、超标浓度及原因，结合智能管控记录，分析调控措施的有效性，提出优化方案。

10.4.5 评价报告应包含达标率统计结果、超标分析及优化建议，同步记录智能管控系统的调控过程，为后续环保管控优化提供依据。

10.5 智能控制投用率

10.5.1 智能控制投用率计算应基于投用的智能控制回路数与总控制回路数的比值，统计时剔除因工艺原因停用的回路，仅统计具备自动调节功能的闭环回路。

10.5.2 评价范围应覆盖废弃物进厂、投料、窑系统工况调控、污染物排放管控及产品质量控制等所有智能控制环节，确保评价全面性。

10.5.3 应定期开展智能控制投用率评价，每月统计 1 次，每季度综合评价 1 次，分析未投用环节的原因，制定投用计划与优化措施。

10.5.4 当智能控制投用率低于 90%时，应排查系统故障、参数设置及人员操作等问题，及时优化智能控制策略，提升投用率。

10.5.5 评价记录应包括各环节控制回路总数、投用数、投用率计算结果及改进措施，纳入智能控制系统运行档案，保存期限不应少于 3 年。

10.5.6 运行效果综合评价应结合本章各小节评价结果，每季度开展 1 次综合评分，形成综合评价报告，明确智能控制运行短板，提出持续优化建议，推动协同处置过程提质、节能、环保。综合评价报告应按年度汇总归档。