

附件 9

《水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范》编制说明

(征求意见稿)

《水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范》编制组

2012 年 10 月

项目名称：水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范

编制单位：中国环境科学研究院、中国建筑材料科学研究总院、北京金隅红树林环保技术有限责任公司

编制组主要成员：

中国环境科学研究院固体废物污染控制技术研究所：王琪，黄启飞，闫大海，蔡木林，杨玉飞，李丽，黄泽春

中国建筑材料科学研究总院：何捷，萧瑛

北京金隅红树林环保技术有限责任公司起草：赵启刚，熊运贵，孙伟舰

标准所技术管理负责人：王宗爽

标准所技术管理承办人：李琴

标准处项目负责人：谷雪景

目 录

一、	任务来源.....	1
二、	目的和意义.....	1
三、	编制依据.....	1
四、	编制原则.....	3
五、	主要工作过程.....	3
六、	国内外相关标准和规范.....	3
1.	我国水泥窑烟气排放标准.....	3
1.1	使用常规原料、燃料的大气污染物排放限值.....	3
1.2	我国水泥窑协同处置危险废物的大气污染物排放限值.....	4
2.	国外水泥窑协同处置危险废物的管理规范.....	4
2.1	美国水泥窑协同处置危险废物的管理法规.....	5
2.2	欧盟国家有关水泥窑协同处置危险废物的管理法规.....	15
2.3	日本水泥窑销毁含氯氟烃类废物的技术导则.....	22
七、	我国水泥窑协同处置技术现状.....	23
1.	中国水泥工业利用常规工业废物（工业废渣）现状.....	23
2.	中国水泥工业协同处置危险废物和工业废物现状.....	23
2.1	协同处置的废物种类和协同处置企业.....	23
2.2	协同处置过程控制水平.....	24
2.3	协同处置业务管理水平.....	25
2.4	协同处置实验室水平.....	25
3.	中国水泥工业协同处置危险废物和工业废物潜力分析.....	25
3.1	技术水平潜力.....	25
3.2	管理水平潜力.....	26
3.3	废物来源.....	26
八、	规范内容结构.....	27
九、	主要条文说明.....	27
1.	适用范围.....	27
2.	规范性文件.....	28
3.	术语与定义.....	28
4.	协同处置设施环境保护技术要求.....	28
4.1	水泥窑.....	28
4.2	废物投加设施.....	32
4.3	贮存设施.....	33
4.4	预处理设施.....	34
4.5	厂内输送设施.....	37
4.6	分析化验室.....	37
5.	废物特性要求.....	38
5.1	禁止在水泥窑中协同处置的废物.....	39
5.2	入窑焚烧的废物特性要求.....	40

5.3 替代混合材的废物特性要求	44
6. 协同处置运行操作环境保护技术要求	44
6.1 入厂前废物的特性分析	44
6.2 废物的接受与分析	46
6.3 贮存的技术要求	54
6.4 预处理的技术要求	55
6.5 厂内输送的技术要求	59
6.6 投加的技术要求	59
7. 协同处置过程的末端污染控制	67
7.1 窑灰处置和旁路放风	67
7.2 水泥产品环境安全性评价	67
7.3 烟气排放	67
8. 协同处置设施性能测试（试烧）要求	68
9. 特殊废物协同处置的环境保护	70
9.1 医疗废物	70
9.2 铬渣	71
9.3 污染土壤	72
9.4 事故应急废物	73
9.5 不明性质废物	75
10. 人员与制度	75
10.1 专业技术人员配置	75
10.2 人员培训制度	76
10.3 安全管理制度	76
10.4 人员健康管理制​​度	78
10.5 事故应急管理制度	78
10.6 操作运行记录制度	78

一、 任务来源

2006 我国和挪威在北京签署了中挪合作《中国危险废物与工业废物水泥窑协同处置环境无害化管理》项目的政府间协议，该项目的目标之一是制定具有可操作性和实用性的水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范。国家环境保护部作为该项目的管理部门，委托中国环境科学研究院、中国建筑材料研究总院和金隅红树林环保技术有限责任公司负责编制本规范。

二、 目的和意义

2011 年规模以上水泥企业全年水泥产量约 20.8 亿吨，约占世界水泥产量 50% 以上。每年需要消耗约 22 亿吨原材料，1.9 亿吨煤，2100 亿度电能，并排放 12 亿多吨 CO₂ 和大量粉尘、NO_x 和 SO₂；与此同时，我国每年至少产生 1000 万吨危险废物，以及约 1.6 亿吨城市生活垃圾和 3000 多万吨污泥（80% 含水率），但这些固体废物的处置设施容量远远满足不了需求，急需改善。

在许多发达国家，危险废物的水泥窑协同处置已有 30 多年历史，对于危险废物的处理处置发挥了巨大作用。相比填埋和焚烧而言，水泥窑协同处置具有明显的经济效益和环境效益。

对于一些缺乏处置设施的发展中国家来说，危险废物的水泥窑协同处置具有较大的发展潜力。中国目前有水泥企业约 4000 家，协同处置废物种类主要限于常见的工业废渣，但仅有极少数水泥企业开展了危险废物的协同处置业务。由于对这一技术缺乏全面深入的研究，该技术的推广和应用受到了严重的制约。缺乏对这一技术操作和运行规范的研究，不了解利用水泥窑处理废物的特殊管理方式和关键技术；缺乏对水泥产品的安全评价研究，严重影响水泥生产者接纳废物的积极性和水泥产品的市场接受；对于可以接受哪些危险废物、危险废物添加量也缺乏系统的研究，导致环境管理部门在颁发经营许可证时难以进行判断；同时，国家也缺少相应的管理法律、法规和技术标准、规范对危险废物的水泥窑协同处置行业进行有效的规范和管理。这些问题始终困扰着水泥企业和环保管理部门。

因此，为促进我国危险废物水泥窑协同处置事业的健康发展，急需将国际先进的水泥窑协同处置经验与中国实际相结合，制定适合我国国情的水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范。

三、 编制依据

- 《中华人民共和国环境保护法》
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》

- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597）
- 《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》（HJ/T176）
- 《环境保护图形标志-固体废物贮存（处置）场》（GB15562.2）
- 《常用化学危险品贮存通则》（GB 15603）
- 《危险废物鉴别标准 易燃性鉴别》（GB5085.4）
- 《危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别》（GB5085.1）
- 《危险废物鉴别标准 反应性鉴别》（GB5085.5）
- 《医疗废物分类目录》
- 《工业固体废物采样制样技术规范》（HJ/T20）
- 《危险废物鉴别技术规范》（HJ/T298）
- 《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2）
- 《恶臭污染物排放标准》（GB14554）
- 《污水综合排放标准》（GB8978）
- 《水泥工业大气污染物排放标准》（GB4915）
- 《固定污染源排放烟气连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ/T76）
- 《医疗废物集中处置技术规范（试行）》（环发[2003]206号）
- 《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》（HJ/T177）
- 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》（HJ421）
- 《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ/T299）
- 《危险化学品安全管理条例》（中华人民共和国国务院令 第 344号）
- 《废弃危险化学品污染环境防治办法》
- 《生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则》
- 《通用硅酸盐水泥》（GB175）
- 《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB□□□□）

- 《固体废物生产水泥污染控制标准》(GB □□□□)
- 美国、欧盟、德国、日本等国家和地区的相关法令、标准、规范
- 国内外相关研究论文和报告

四、 编制原则

本规范的编制遵循以下原则：

(1) 保护环境，控制危险废物协同处置过程可能造成的环境污染，包括烟气排放控制、水泥产品环境安全控制、废物泄漏和逸散控制。

(2) 保护协同处置过程的人体健康和安全，降低协同处置过程的事故风险。

(3) 确保协同处置过程不影响水泥产品质量。

五、 主要工作过程

编制工作承担单位在工作过程中广泛收集、分析了国内外相关资料，深入协同处置水泥企业进行了现场调查研究，并选择典型危险废物在水泥窑内进行了试烧试验和分析评价，同时针对具体问题在实验室内进行了大量实验研究。在此基础上，组织起草了《水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范》。本技术规范起草过程中征求了有关专家的意见，经过反复修改和完善，形成了《水泥窑协同处置危险废物环境保护技术规范》的征求意见稿。

六、 国内外相关标准和规范

1. 我国水泥窑烟气排放标准

为控制水泥工业的大气污染物排放，国家环保总局和国家质量监督检验检疫总局发布了《水泥工业大气污染物排放标准》(GB4915-2004)。该标准对水泥工业的大气污染物排放限值做了规定，是中国目前有关水泥工业大气污染排放的唯一标准。该标准适用于水泥工业生产全过程，不但涉及了水泥制造(含粉磨站)过程的大气污染物排放，还对矿山开采现场破碎、预拌混凝土和混凝土预制件生产过程的颗粒物排放做了规定。由于工业废物和危险废物水泥窑协同处置技术和业务在中国还处于起步阶段，因此目前中国还没有发布专门针对工业废物和危险废物水泥窑协同处置的污染物排放标准，而目前有关水泥工业污染物排放的唯一现有标准《水泥工业大气污染物排放标准》中只是顺带着略微提及了水泥窑协同处置危险废物时某些主要污染物的排放限值，而且还是引用其他标准(GB18484-2001《危险废物焚烧污染物控制标准》)。

1.1 使用常规原料、燃料的大气污染物排放限值

《水泥工业大气污染物排放标准》对排放进行限制的大气污染物是颗粒物、SO₂、NO_x 和氟化物，其排放限制见下表。

表 1 水泥工业大气污染物排放要求

生产设备	颗粒物		SO ₂		NO _x (以 NO ₂ 计)		氟化物 (以总氟计)	
	排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t	排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t	排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t	排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t
水泥窑及窑磨一体机 ^(*)	100 ^(**) (50) ^(***)	0.30 (0.15)	400 (200)	1.20 (0.60)	800 (800)	2.40 (2.40)	10 (5)	0.03 (0.015)
烘干机/烘干磨/煤磨/冷却机	100 (50)	0.30 (0.15)						
破碎机/磨机/包装机/其他通风生产设备	50 (30)	0.04 (0.024)						

注：*指烟气中 O₂ 含量 10% 状态下的排放浓度及单位产品排放量；
 **现有生产线 2006 年 7 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日的排放限值；
 ***现有生产线 2010 年 1 月 1 日起以后的排放限值以及新建生产线 2005 年 1 月 1 日起以后的限值；

1.2 我国水泥窑协同处置危险废物的大气污染物排放限值

《水泥工业大气污染物排放标准》中顺带提及的水泥窑协同处置危险废物时主要污染物的排放值：颗粒物、SO₂、NO_x 和氟化物的排放限值与使用常规原料、燃料时的排放限值相同；二恶英排放浓度不超过 0.1ngTEQ/m³；其他污染物执行 GB18484-2001 《危险废物焚烧污染物控制标准》，见下表。

表 2 危险废物焚烧污染物控制标准

污染物	不同焚烧容量时的最高允许排放浓度限值 (mg/m ³)		
	≤300(kg/h)	300-2500(kg/h)	≥2500(kg/h)
烟气黑度	林格曼 I 级		
CO	100	80	80
HCl	100	70	60
Hg 及其化合物 (以 Hg 计)	0.1		
Cd 及其化合物 (以 Cd 计)	0.1		
As、Ni 及其化合物 (以 As+Ni 计)	1.0		
Pb 及其化合物 (以 Pb 计)	1.0		
Cr、Sn、Sb、Cu、Mn 及其化合物 (以 Cr+Sn+Sb+Cu+Mn 计)	4.0		

* 以上排放均是换算为含氧率为 11% 的条件下的数值

2. 国外水泥窑协同处置危险废物的管理规范

2.1 美国水泥窑协同处置危险废物的管理法规

2.1.1 概要

在美国，危险废物焚烧设施被划分为两种类型：

(1) 以处理废物为目的而设计的焚烧设施—专业焚烧炉

专业危险废物焚烧炉主要是设计专门用于处理各种危险废物，包括化工行业的剧毒的、腐蚀性的、以及反应性的危险废物：1) 旋转窑；2) 流化床式焚烧炉；3) 液体喷注式焚烧炉；4) 固定炉膛式焚烧炉。相关的法规在 RCRA 的 40CFR 264/265 部分的 Subpart O 节。

(2) 以能量回收和资源再利用为目的的焚烧设施—如锅炉和工业窑炉 (BIFs)

RCRA 在 40 CFR Part 266, Subpart H 中有相关规定。工业窑炉是指利用热处理方式来回收原料和燃料的一种整体的、封闭的设备，包括以下几种：水泥窑；石灰窑；骨料烧结窑；磷酸窑；焦化炉；高炉；冶炼炉；二氯化钛氧化炉；甲烷化炉；纸浆回收炉；废硫酸回收炉；卤素酸回收炉；其它管理机构认定的窑炉。

美国环保署 (EPA) 自 1991 年以来就对水泥窑中危险废物的焚烧处置进行了多项规定，在 1991 年 2 月 21 日制定的锅炉和工业窑炉焚烧危险废物的管理法规。1999 年 9 月，在清洁空气法案 (CAA) 的要求下，EPA 发布了更严格的危险废物焚烧新的有害气体排放制度。具体来说，美国的危险废物焚烧设施应遵循大的联邦法案主要有两个：资源保护和恢复法案(RCRA)和清洁空气法案(CAA)。

RCRA 中涉及水泥窑协同处置危险废物管理法规与标准有：1991 年发布的锅炉和工业窑炉 (包括水泥窑) 焚烧危险废物的 BIF 标准，即 40 CFR Part 266, Subpart H；1999 年发布的 RCRA 许可证管理要求的规定 (40 CFR Part 270)，其中 40 CFR Part 270.22 和 270.66 为锅炉和工业窑炉 (包括水泥窑) 焚烧危险废物的许可证管理办法。

清洁空气法案(CAA)中涉及危险废物焚烧设施污染物排放标准为危险废物焚烧设施的有害气体污染物国家排放标准 (NSHAPs)，即最大可实现控制技术 (MACT) 标准。该标准规定了二恶英 (PCDD/F's)、氯气总量、6 种重金属元素、粉尘、碳氢化合物以及有机物的焚毁去除率 (DRE) 等的限制，规定了在不同技术条件下有害气体污染的最大排放限度。

2.1.2 RCRA 管理下的焚烧设施管理规范 and 标准

1991 年由 EPA 发布的锅炉和工业窑炉 (包括水泥窑) 焚烧危险废物的 BIF

标准（40 CFR Part 266, Subpart H）的主要内容包括：标准的适用性、焚烧前的管理、焚烧设施的许可标准、焚烧设施的过渡期标准以及有机物、颗粒物、金属、HCl 和 Cl₂ 的排放的控制标准要求等。

2.1.2.1 污染物排放要求

该法规规定了四种主要的污染物的排放要求，即有机污染物、氯化氢和氯气、金属、颗粒物应符合标准中的排放限制。

（1）有机污染物

焚毁去除率（DRE）：在美国，危险废物的焚烧设施需要进行燃烧测试，证明它对将要处理的危险废物的燃烧性能，从而显示它对主要有机有害成分（POHCs）的焚毁去除率（DRE）。主要有机有害成份是指废物燃料中含量最多，且能代表其中最难燃烧成分的有机物质。但由于分析工具的限制，不可能达到100%的焚毁去除率。燃烧测试通常会设计为在特定的“最差条件”下进行，来证明水泥窑在此情况下有效运行的能力，为决策过程奠定基础。考虑到燃烧表现，燃烧测试必须满足 DRE 的要求：主要有机有害成分的 DRE 必须达到 99.99%或以上；一些含二恶英前体物的废物(如 F020, F021, F022, F023, F026, 和 F027)，焚烧这些废物的 DRE 必须达到 99.9999%。

HC/CO 标准：若 CO 小于 100ppmv，HC 不限制；若 HC 小于 20ppmv，CO 不限制。

（2）金属元素

金属元素的进料速率和排放限值实行分级管理方法：从一级到三级。

一级标准(Tier I)是控制金属的进料速率，单位 g/h，这些数值是根据烟气流量、烟囱高度、周边地形和土地利用情况来确定的。进料速率的计算是基于进料中的金属 100%可通过烟囱释放到大气中的假设。

二级标准(Tier II)是控制金属的尾气排放限值，这些数值是根据烟囱高度、周边地形和土地利用情况来确定的。

三级标准(Tier III)是控制金属的排放对周边环境的风险影响，EPA 没有制定有关限值。

金属有分为致癌金属和非致癌金属。其中致癌金属包括砷、镉、铬和铍（4种）；非致癌金属包括锑、钡、铅、汞、银和铊（6种）。设施所处的周边地形环境分为复杂地形和非复杂地形。所谓复杂地形是指焚烧设施周边方圆 5 公里范围内有高于烟囱的物理高度的地形，反之为非复杂地形。

三个级别的控制措施所要求的监测和控制手段水平不同。一级标准只要求控制金属的进料速率；二级标准需要控制烟气污染控制设施的效能，以保证烟气排放达标；三级标准则需要通过大气扩散模型来计算和控制金属的落地浓度是否会对当地居民和环境造成威胁。从一级到三级标准所需的监控水平逐步提高。

(3) 氯化氢和氯气

氯化氢和氯气的进料速率和排放限值实行分级管理方法(计算方法同金属)：从一级到三级。

(4) 颗粒物

不超过 $180\text{mg}/\text{m}^3$ (7%的含氧率)。

2.1.2.2 试烧规定和程序

在美国，焚烧危险废物的水泥窑在协同处置有机危险废物时必须进行试烧测试。试烧测试的进行条件必须代表水泥窑运行过程可能出现的最差条件。典型的选择条件包括以下几方面：最快的燃烧气体流速（即最短的气体停留时间）；旁路烟气中一氧化碳（CO）含量最高；最低的燃烧温度；烟气中最低氧气含量；投入的废物氯元素含量最高；投入的废物粉尘含量最高；其它相关最差条件。

通常建议对每套操作设备和不同特性的废物进行三次重复试验。不过在不同的条件下进行这几次试验也是可行的。主管机构必须批准燃烧测试计划，这份计划中必须要列明不同的情况下进行的测试的次数、需要的时间、需要的废物用料等等。由于每次测试可能至少需要 8 小时才能完成，因此必须准备好适量的用料，以便进行重复测试。由于所用废物中有害成分含量较少，或由于废物用量过少，燃烧测试都有可能没法得出满意的 DRE 效果证明。美国危险废物焚烧设备的申请许可过程一直以来就非常复杂，很耗时间，花几年时间才能拿到许可证也是可能的。

试烧程序包括：

(1) 提交试烧方案

进行试烧前 6 个月内，许可证申请人应制定试烧方案并提交到国家或地方环保局审批。试烧方案应包括现行相关环保部认可的测试方式和步骤，并可获得所需的数据。

(2) 试烧方案的审核

试烧方案必须通过环保相关管理部门或委托的专家组审核后方可开展正式试烧工作。

(3) 开展试烧

许可证申请人应按照审批通过的试烧方案中的具体规定进行操作，并监控水泥窑运行、大气污染控制系统，以及水泥产品质量等，获得焚毁去除率、有害元素的最大进料速率、烟气排放数据以及水泥产品质量等相关数据。试烧期限不应超过 720 小时（30 天）。

(4) 试烧数据的提交和证明

许可证申请人应在试烧完成后 6 个月内向地方或国家环保管理部门提交一份试烧报告、试烧阶段收集的所有数据的复印件以及监测单位的资质证明等材料。

(5) 试烧结果评估

试烧结果需通过环保相关管理部门或专家组进行论证，论证结论将为许可证的颁发提供依据。

2.1.2.3 主要有机有害成分（POHCs）的选择方法

美国的法规要求协同处置危险废物的水泥窑应证明随废物入窑的有机有害成分的分解去除率（DRE）至少能达到 99.99%。

作为 DRE 测试的主要有机有害成分的物质必须具有以下特性：

- (1) 该 POHC 应在协同处置的危险废物中具有代表性。
- (2) 该 POHC 应能从烟囱的排放物中与其它有机物很轻易地区别开来。
- (3) 该 POHC 在操作、检测和分析中都应有效存在。
- (4) 该 POHC 应能有效证明水泥窑对稳定化合物分解的能力，包括在高温模式和氧化模式都失效的情况下对稳定化合物的分解能力。

基于以上标准，选择用来进行 DRE 测试的最常见的主要有机有害成分（POHCs）一般为六氟化硫（SF₆）、氯苯、二氯苯、三氯苯、四氯苯和氯代甲烷等。

2.1.2.4 操作要求

焚烧设施的操作要求根据各个设施的具体情况进行分析，没有一个统一的操作要求。主要的操作要求参数包括：最大废物进料的速率；最大有害金属的进料速率；燃烧系统的控制；允许的温度范围；系统设计和操作程序的变动限制；气流速率。

许可证申请时应该确定的操作参数包括以下三类：

参数 A 包括：窑内的温度范围、最大烟气流速、最大废物进料速率、最大 CO 浓度、ESP 入口最大温度和最大电压等。参数 A 的许可限制是建立在燃烧试验结果和与自动废物进料切断系统互相关联的基础上。这些参数要连续的监测。

参数 B 包括：最大负压、窑的最低转速、金属最大进料速率、通过 ESP 的最大气流速率等。该许可限制是建立在燃烧试验结果的基础上，但与自动废物进料切断系统不互相关联。这些参数不需要连续监测。

参数 C 包括：窑的运转率、过剩氧气浓度、总热值的最大输入速率等。许可限制的控制参数是建立在设计需求、好的工程惯例、设备厂家的建议基础上的；有一些参数 C 与自动废物进料切断系统是互相关联的。这些参数不是建立在试验基础上的。

一般来说，协同处置企业通过综合效能测试(CPT)确定操作运行参数。采用连续监测系统(CMS)来监控操作参数（温度、压力和进料废物等）在规定的范围之内。如果工厂采用了连续尾气监测系统则不需要受到操作参数的限制。

2.1.3 CAA 法规下的最大可实现控制技术（MACT）标准

监测的有害气体排放指标包括：易挥发性金属 Hg；低挥发金属 Sb、As、Be、Cr；半挥发金属 Cd、Pb；颗粒物；HCl/Cl₂；CO；碳氢化合物；二恶英类。

“最大可实现控制技术”是在 1990 年的 CAA 中定义的。MACT 排放标准中，协同处置危险废物的水泥窑的排放限值是根据现有正在处置危险废物的测试效果监测数据进行统计分析而来。以排在前 12%水泥窑排放值的平均值作为标准值，又称为 MACT 基准值（MACT floor）。这些排放数据来自 77 个焚烧炉、35 个水泥窑和 12 个轻质骨料窑的综合效能测试结果。

RCRA 规定的有害金属成分包括 12 种金属：Sb、As、Be、Cd、Cr、Pb、Hg、Ni、Se、Ag、Tl、Ba。而 1990 年清洁空气法案的修正案(CAA)中规定了 11 种金属的排放指标，包括 Sb、As、Be、Cd、Cr、Pb、Hg、Ni、Se、Co、Mn。其中 7 种金属(Sb、As、Be、Cd、Cr、Pb、Hg)选择作为 MACT 制定标准的对象。原因是这 7 种金属在 RCRA 和 CAA 列表中都存在，其次是这 7 种金属的排放数据比较充分。

以下为欧盟和美国焚烧危险废物窑炉的尾气控制标准中金属控制指标的比较。

欧盟焚烧法令：Hg；Cd、Tl；Sb、As、Cr、Co、Cu、Pb、Mn、Ni、Sn、V。

美国水泥窑焚烧标准：挥发性金属，汞；半挥发性金属，铅+镉；低挥发性金属，砷+铍+铬。

可以看出欧盟的焚烧法令中对金属控制指标更为全面和严格，而美国只重点控制了6种重金属。

2001年，EPA应用MACT方法制订了最终的危险废物焚烧设施的有害气体污染物国家排放标准（NSHAPs）（Title40part63subpartEEE），由于新的法规有三年的磨合期，这套标准从2004年就开始执行。2005年，EPA发布了替换标准，2008年4月经过最终修订，于2008年10月14日将正式生效。

本标准适用范围共包括危险废物焚烧炉、水泥窑处置危险废物、危险废物制轻骨料窑、固体燃料锅炉处理危险废物、液体燃料锅炉处理危险废物以及盐酸生产熔炉处理危险废物等几种类型。标准的制定分为两个阶段：阶段I包括了危险废物焚烧炉、水泥窑处置危险废物、危险废物制轻骨料窑，阶段II包括固体燃料锅炉处理危险废物、液体燃料锅炉处理危险废物以及盐酸生产熔炉处理危险废物等几种类型。水泥窑处置危险废物的排放标准如下表所示。

表3 美国水泥窑处置危险废物大气污染排放标准（2008年4月修订）

	排放标准限值	
	现有水泥窑	新建水泥窑
二恶英/呋喃 ¹	0.20 或 0.40（一级除尘器进口温度不高于204℃）	0.20 或 0.40（一级除尘器进口温度不高于204℃）
汞	废物浓度 3.0mg/kg； 或排放浓度不超过 0.120mg/Nm ³	废物浓度 1.9mg/kg； 或排放浓度不超过 0.120mg/Nm ³
半挥发性金属 (铅+镉)	排放浓度不超过 0.33mg/MJ-废物热值和 0.33mg/Nm ³	排放浓度不超过 0.027mg/MJ-废物热值和 0.18mg/Nm ³
低挥发性金属 (砷+铍+铬)	排放浓度不超过 0.009mg/MJ-废物热值和 0.056mg/Nm ³	排放浓度不超过 0.007mg/MJ-废物热值和 0.054mg/Nm ³
总氯元素 (氯化氢+氯气)	120（以氯计，ppmv）	86（以氯计，ppmv）
颗粒物(PM) 不透明度	63mg/Nm ³ 不超过 20%（不适用于袋体泄漏检测系统和颗粒物监测系统）	5.175mg/Nm ³ 不超过 20%（不适用于袋体泄漏检测系统和颗粒物监测系统）
一氧化碳 (CO) 或 碳氢化合物 (HC, 以丙烷计) ²	有旁路： 旁路 CO 100ppmv 或 HC 10 ppmv； 无旁路系统： 主排气口 CO 100ppmv 或 HC 20 ppmv	有旁路： 旁路 CO 100ppmv 或 HC 10 ppmv，且主排气口 HC 50 ppmv(1996年4月19日后建，且之前无水泥窑存在) 无旁路系统： 主排气口 CO 100ppmv 且 HC 50ppmv(1996年4月19日后建，且之前无水泥窑存在)或 HC 20 ppmv；

有机污染物 ³	每种主要有机有害污染物（POHC）的破坏去除率应达到 99.99%。若燃烧危险废物含有 F020, F021, F022, F023, F026 或 F027 类废物(主要为含二恶英和呋喃类的废物), 则每种主要有机有害污染物的破坏去除率应达到 99.9999%。
--------------------	--

标准说明:

- 1、以上排放均是基于 7%含氧量，293 K，压力 101.3KPa。
- 2、在检测 DRE 效率的整个性能测试中，选择符合 CO 排放标准的检测对象必须满足 HC 的排放标准要求。
- 3、有机有害污染物破坏去除效率 DRE:

$$DRE = \left[1 - \frac{W_{out}}{W_{in}} \right] * 100\%$$

Win—废物进料中一种主要的有机危险组分（POHC）质量流速；

Wout—进入大气前排放气体中同一种 POHC 质量排放速度。

- 4、F020、F021、F022、F023、F026、F027 类危险废物主要指（见 Title40part261.31）:

F020—3, 4 氯酚生产过程和使用过程产生的废物，及 3, 4 氯酚生产杀虫剂等相关产品过程产生的废物

F021—五氯酚生产过程和使用过程产生的废物，及五氯苯酚生产相关产品过程产生的废物

F022—碱性环境下利用 4、5、6 氯苯进行生产时产生的废物

F023—3, 4 氯酚生产或使用过程采用的设备再用于生产其他材料时产生的废物

F026—碱性环境下利用 4、5、6 氯苯进行生产时采用的设备再用于生产其他材料时产生的废物

F027—丢弃的不再使用的含有 3, 4, 5 氯苯酚的物品，丢弃的不再使用的源自这些氯酚原料的产品

- 5、CO 和 HC 指小时移动平均值；不透明度指 6 分钟块平均值；其他监测指标指性能测试的三次运行工况的平均值，日常监测时可通过监测操作参数限值替代数值排放限值，该操作参数限值通过综合性能测试建立，即通过试验确定满足数值排放限值的操作参数限值，不满足操作参数限值等同于不满足树脂排放限值。

2.1.4 BIF 标准和 MACT 标准之间的关系

BIF 标准是 EPA 在 1991 年发布的锅炉和工业窑炉焚烧危险废物的标准（即

40 CFR Part 266, Subpart H), 所有焚烧危险废物的锅炉和工业窑炉应按照该标准中的各项要求(包括污染物排放的控制标准)进行许可申请, 获得 EPA 的经营许可后方可进行焚烧危险废物。

MACT 排放标准是 EPA 在 2001 年对危险废物焚烧设施的最终有害气体污染物国家排放制定的标准, 即 (NSHAPs) (Title 40 part 63 subpart EEE), 由于新的法规有三年磨合期, 这套标准从 2004 年就开始严格的执行。2005 年, EPA 发布了替换标准, 到 2008 年 10 月正式生效。因此, 在 2005 年 10 月 12 日以后对于所有新建的焚烧危险废物的锅炉和工业窑炉设施的许可申请将不再按照 BIF 标准的要求执行。对于现存的焚烧危险废物的锅炉和工业窑炉设施, 如果通过 EPA 规定的综合效能测试 (CPT) 证明符合 MACT 标准的设施也不需要执行 BIF 标准的要求, 而是执行 MACT 的标准。

2.1.5 RCRA 危险废物焚烧设施的许可证管理法规框架

RCRA 许可证管理法规(40 CFR Part 270)中水泥窑协同处置危险废物的许可要求(40 CFR Part 270.66)的主要内容如下:

- (1) 一般要求
- (2) 新设施的许可运行时期
 - a) 预备试烧时期: 从危险废物的准备到试烧开始的时间不超过 30 天。
申请者必须提交 part B 所要求文件的声明, 满足 266.102 (e) 的操作要求; 主管工程师审查这些声明, 保证这些文件符合要求
 - b) 试烧时期
 - c) 试烧后时期
 - d) 最终许可时期
- (3) 试烧计划的要求
 - a) 进料分析, 包括进料的危险废物、其他燃料等。分析项目包括热值、重金属含量、总氯含量、以及灰分含量; 进料的黏度和其他物理特征分析等。
 - b) 危险废物的分析项目: 废物鉴定; 废物中有害成分的定量分析; 废物混合程序; 混合后废物的成分分析。
 - c) 焚烧设施的工程描述
 - d) 取样和监测程序

- e) 试验程序和方案
- f) 停止进料的程序

(4) 试烧程序

- a) 试烧应按照试烧计划进行
- b) 试烧应不对人健康和周边环境产生突出的危害影响
- c) 试烧结果可为主管工程师制定操作要求提供依据

(5) DRE 试烧特殊程序要求：主管工程师应根据试烧废物的情况，选择适当的 POHCs 作为试烧 DRE 的标记有机物。

(6) 基于试烧结果的判定试烧结果是否符合法规要求。

- a) 主要重金属含量、总氯含量的定量分析
- b) DRE 的计算
- c) 二恶英类有机物的定量
- d) 颗粒物、金属和氯的分析
- e) CO/HC 的分析

2.1.6 水泥窑窑灰的管理法规

2.1.6.1 概要

水泥窑的窑灰（CKD）是来自与水泥窑尾气控制系统（除尘系统）的一种颗粒细小的、高碱性的固体废物。这些窑灰大多数实际上是由一些未发生反应的生料组成。所以这些窑灰大多数可以直接回窑利用，一部分需要适当的处理后才能使用。对于不能回窑利用的窑灰需要进行适当处置，处置方法一般采用填埋、堆放或表面围坝等方式。此外，一部分可出售给可利用窑灰的企业。

水泥窑窑灰在美国环保局的法规中定义为特殊废物，也被暂时排除在 RCRA 的危险废物管理 Subtitle C 范围之外。目前按照非危险废物 Subtitle D 的管理法规，如 1999 年 8 月 20 日发布的管理法规“Standards for the Management of Cement Kiln Dust; Proposed Rule” (64 FR 45632)。

2.1.6.2 有关水泥窑窑灰的立法历程

1978 年 12 月，水泥窑窑灰被划定为 6 中特殊废物之一，不按危险废物进行管理。但要求 1983 年以前进行有关水泥窑窑灰对环境风险影响的评价研究，为制定专门的管理法规提供依据。

1995年2月，EPA发布了60 FR 7366，确认了窑灰对人体健康和环境安全的具有较大危害，必须制定窑灰的管理法规。

1999年8月，EPA发布了“Standards for the Management of Cement Kiln Dust; Proposed Rule” (64 FR 45632)。该标准中规定了窑灰在满足一些特殊管理标准的基础上仍被认为是非危险废物，如果不满足这些特殊管理标准则被划分为“listed waste”，按照 Subtitle C 的法规进行管理。

2002年7月，EPA发布了 notice of data availability (NODA) (67 FR 48648)。EPA正在考虑对窑灰采用新的管理法规，但还需要3—5年的时间进行法规评价。在此之前EPA不会正式取消或实施1999年发布的CKD标准(64 FR 45632)。

2.1.6.3 水泥窑窑灰管理标准 (Standards for the Management of Cement Kiln Dust; Proposed Rule" (64 FR 45632))

(1) 美国水泥窑窑灰从危险废物中豁免的标准

采用 TCLP 金属浸出方法，对废物协同处置产生的残渣制定了豁免的标准。对于水泥窑协同处置废物而言，产生的残渣即为窑灰。如果满足下表中的标准，则不作为危险废物进行管理。

表 4 来自废物协同处置后残渣的豁免浸出标准

成分	浓度限值(mg/L)
Sb	1.0
As	5.0
Ba	100
Be	0.007
Cd	1.0
Cr	5.0
Pb	5.0
Hg	0.2
Ni	7.0
Se	1.0
Ag	5.0
Tl	7.0

(2) 美国水泥窑窑灰的农用标准

水泥窑窑灰不能直接做农用，需要进行必要的处理，除非窑灰的重金属含量低于下表中的标准。

表 5 水泥窑窑灰的农用标准

污染物种类	浓度限值 (mg/kg)
As	13
Cd	22
Pb	1500
Tl	15
二恶英	0.04 ngTEQ/kg

(3) 窑灰填埋处置的标准

窑灰填埋处置的设计要求在于确保窑灰填埋场周边的地下水最上层蓄水层的金属浓度限值不超过下表中的限值。

表 6 窑灰填埋处置的标准

污染物种类	浓度限值 (mg/kg)
Sb	0.006
As	0.05
Ba	2.0
Be	0.004
Cd	0.005
Cr	0.1
Pb	0.015
Hg	0.002
Se	0.05
Ag	0.01
Tl	0.002

2.2 欧盟国家有关水泥窑协同处置危险废物的管理法规

2.2.1 欧盟协同处置危险废物的规定

欧盟在研究用焚烧设备处理废物时区分为焚烧设备和掺烧设备。焚烧设备包括垃圾焚烧炉和特殊垃圾焚烧炉；掺烧设备是以生产产品为主以废物作燃料的设备，如水泥回转窑。针对不同设备制定了不同的排放极限标准，它们对环境保护要求的水平是一致的，只是考虑了各种燃烧工艺的特点而有所区别。欧盟针对水泥行业污染物排放控制的法规有主要两部：《关于综合污染预防与控制的指令（96/61/EC）》（IPPC）和《关于废物焚烧的指令（2000/76/EC）》（WID）。

2.2.1.1 关于综合污染预防与控制的指令（96/61/EC）

96/61/EC 指令旨在对能源工业、金属生产及加工、无机非金属矿业和制造业等各种活动所产生的污染实现综合预防和控制，规定了相应的措施进行预防，或在在预防措施不可行时，减少上述活动向大气、水体和土壤中的排放，包括有关

预防和减少废物的措施，有效地保护生态环境。该指令规定的污染物排放限值以最佳实用技术（Best Available Technology, BAT）作为基础。

2.2.1.2 关于废物焚烧的指令（2000/76/EC）

对于使用替代燃料的水泥窑，要满足欧盟废物焚烧方面的规定，2000/76/EC 指令整合和替代了原有的《垃圾焚烧厂指令》（Directives on municipal waste incineration plants (89/369/EEC 和 9/429/EEC)）和《危险废物焚烧指令》（Directive on the incineration of hazardous waste (94/67/EC)），规定了焚烧炉和工业窑炉焚烧或共烧（co-incineration）废物（含危险废物）的技术和管理要求，其核心的管理规定是不论是焚烧还是共烧，都要获得经营许可证，并规定了排放限值。排放限值不再根据废物是否是危险废物进行划分，而是根据焚烧炉或共烧的技术设备和监测设备而定，排放极限值不论废物利用量多少和是否为危险废物都适用，对危险废物仅在生产条件和接收方法上有不同要求。不过，当燃烧废物产生热量大于总热量的 40% 时，工业窑炉的污染物排放和管理要求按照焚烧炉执行。

由于水泥熟料煅烧的工艺特性，2000/76/EC 指令中对 SO₂ 和 TOC 的排放作了适当放宽，由原料条件所限造成的排放可以不计在内，总体上看，该指令对焚烧炉的排放限值和监测频次比水泥窑严格，如颗粒物和 NO_x 的排放限值更低，而协同处置废物的水泥窑的要求比不处置废物的水泥窑要求严格。

纳入许可证管理的不只是废物排放限值。2000/76/EC 指令对焚烧和共烧企业的废物检验、接收、预处理提出了相应要求，尤其对危险废物提出了更多要求，此外设定了焚烧和共烧操作设备的最低技术条件，以及监控方面的要求。

2003 年 2 月 13 日欧盟的裁决法庭判定水泥窑使用替代燃料是资源回收，而替代燃料在焚烧炉中焚烧归为废物处置。这将有利于欧盟的下一个版本的焚烧指令继续提倡共烧。比较 IPPC, WID 以及各国对水泥窑污染物排放的要求，烧废物严格于不烧废物。欧盟的《废物填埋指令（1999/31/EC）》限制填埋可生物降解的废物，禁止液态和未处理的废物填埋。德国、荷兰和瑞士法规更加严格地限定废物填埋处置，使这几个国家焚烧成为废物处置的主要手段。这一规定促进了水泥窑在内废物焚烧比例的提高。

在欧盟议会讨论中有些建议未被采纳，他们认为若采纳这些建议，会给水泥回转窑处理废物带来很大困难，甚至变得不可能实施。例如，不考虑原料条件限定 NH₃ 的排放极限为 10mg/m³(标况)；粉尘排放极限为 10mg/m³(标况)；NH₃ 连续监测，二恶英连续取样；完全拒绝生活垃圾，即使经过预处理的可燃部分也不允许掺烧；所有废物都遵守 40% 规则，将掺烧设备的废物利用率都限定在 40% 燃烧热功率的极限内。以上这些未被欧盟议会采纳的建议，但可供我们在制定相

关法规时参考。

2.2.1.2.1 2000/76/EC 关于排放限值的规定

在欧盟国家，水泥窑协同处置废物的排放标准（包括粉尘、氯化氢、氟化氢、氮氧化物、二氧化硫、12种重金属元素、总有机碳和 PCDD/F's）必须要与第 2000/76/EC 指令中关于废物焚烧的规定相符，该指令中明确了水泥窑协同处置是处理废物、销毁废物、以及能源再利用的可行手段。

2000/76/EC 指令对于二恶英和呋喃（PCDD/F's）的排放标准(0.1 ng-TEQ/m³)比美国更严格（美国标准换算成 273 K，压力 101.3KPa，10%氧气的干烟气后为 0.169 ng-TEQ/m³）。但是在欧洲，不需要经过试烧来检验设备性能。

欧盟 2000/76/EC 中关于水泥窑协同处置废物的大气排放限值如下表，表中同时列出了欧盟国家水泥窑排放限值的范围和水泥窑长期排放的平均值。

表 7 欧盟 2000/76/EC 水泥窑协同处置废物的大气排放限值

污染物	水泥窑	欧盟国家水泥窑排放限值的范围	欧盟国家水泥窑长期排放平均值
粉尘总量	30	50 – 150	20 – 200
TOC	10 ¹⁾		10 – 100
HCl	10	30	<25
HF	1	1 – 5	<5
NO _x	500 ²⁾ /800 ³⁾	500 – 1800	500 – 2000
SO ₂	50 ¹⁾	150 – 600	10 – 2500
CO	- ⁴⁾		500 – 2000
Cd+Tl	0.05		<0.1
Hg	0.05		<0.1
Sb+As+Pb+Cr+Co +Cu+Mn+Ni+V	0.5		<0.3
二恶英和呋喃（TEQ ng/m ³ ）	0.1	0.1	<0.1

1) 若 SO₂ 和 TOC 并非由废物产生时，经管理机构可以批准可不受该排放限值限制。

2) 新建的工厂。

3) 已有的工厂。

4) CO 的排放限制值可由管理当局设定。

排放限值单位为 mg/m³（二恶英和呋喃以 ng-TEQ/m³ 为单位）。测量结果应该在以下状态下进行标准化：温度 273 K，压力 101.3KPa，水泥窑为含 10%氧气的干烟气。对于连续监测项目，取日平均值；对于非连续监测项目，取采样周期内（重金属：0.5-8 小时；二恶英：6-8 小时）的平均值

2.2.1.2.2 2000/76/EC 关于排放监测方面的规定

NO_x、CO、颗粒物、TOC、HCl、HF 和 SO₂ 执行连续监测，但对 HCl、HF

和 SO₂ 可在确保排放不超标的条件下执行定期检测；重金属、二恶英和呋喃执行定期监测，新投产第 1 年每季度检测 1 次，以后每年测 2 次，若检测值不超过排放极限的 50%，可以申请减少检测次数，重金属元素每 2 年检测 1 次，二恶英/呋喃每年检测 1 次；多环芳烃（PAH）等其他污染物的排放限值和监测要求可由各成员国自行制定。

2.2.1.2.3 2000/76/EC 关于燃烧条件的规定

在燃烧条件限定方面主要涉及到烟气的最低温度和停留时间，并与所用废物中的卤素含量有关：废物中的卤素含量不超过 1%时，烟气温度应高于 850℃，最低停留时间 2s；废物中的卤素含量超过 1%时，烟气温度应高于 1100℃，最低停留时间 2s。

在以前的有关燃烧危险废物的法规中，如德国的“17. BImSch V”和“关于焚烧危险废物的 2000/76/EC 指令”都规定燃烧气体氧含量最低为 6%，在欧盟新修订的 2000/76/EC 指令的水泥回转窑排放限值中没有写入这个限定。水泥回转窑完全能够满足以上规定要求。

2.2.1.2.4 2000/76/EC 关于投料质量的限制

欧盟 2006/76/EC 指令的第 4 条的第 4 段明确提出效权威机构提供的协同处置许可证中必须明确列出协同处置的废物种类，将种类选择的决定权交给了各个国家/立法机构。但是欧盟的 2006/76/EC 指令限制了危险废物产生的热量在总热量中的替代百分比——40%。例如，挪威某水泥厂的协同处置许可证规定多氯联苯的最大投加速率为 50 千克/小时，卤素为 110 千克/小时，从窑尾或预分解炉的投加的卤素的最大投加速率为 35 千克/小时。

下表分别为欧洲部分国家对水泥窑协同处置废物进料参数的限值，可以看出，欧盟成员国国家对进料的各项参数都是根据各国的实际情况制定的，有些限值差异较大，但所有水泥窑协同处置废物时都应该符合 2006/76/EC 指令的要求。

表 8 欧洲部分国家对水泥窑协同处置废物进料参数的限值

参数	单位	西班牙	比利时	法国	瑞士	奥地利
热值	MJ/kg	-	-	-	25	15
卤素（以 Cl 计）	%	2	2	2	0.5	-
Cl	%	-	-	-	-	1
F	%	0.2%	-	-	-	600ppm
S	%	3	3	3g/MJ	-	5
Ba	mg/kg	-	-	-	200	-
Ag	mg/kg	-	-	-	5	-
Hg	mg/kg	10	5	10	5	2

Cd	mg/kg	100	70	-	5	60
Tl	mg/kg	100	30	-	3	10
Hg+Cd+Tl	mg/kg	100	-	100	-	-
Sb	mg/kg		200		5	-
Sb+As+Co+Ni+Pb+ Sn+V+Cr	mg/kg	0.5%	2500	2500	-	-
As	mg/kg	-	200	-	15	-
Co	mg/kg	-	200	-	20	-
Ni	mg/kg	-	1000	-	200	-
Cu	mg/kg	-	1000	-	400	-
Cr	mg/kg	-	1000	-	300	-
V	mg/kg	-	1000	-	100	-
Pb	mg/kg	-	1000	-	400	-
Sn	mg/kg	-		-	10	5000
Mn	mg/kg	-	2000	-		-
Be	mg/kg	-	50	-	5	-
Se	mg/kg	-	50	-	5	-
Te	mg/kg	-	50	-	-	-
Sn	mg/kg	-	-	-	10	-
Zn	mg/kg	-	5000	-	2000	-
PCBs	mg/kg	30	30	25	10	-
Br+I	mg/kg	-	2000	-	-	-
氰化物	mg/kg	-	100	-	-	-

表9 欧盟国家替代燃料的各种元素限值

参数	单位	可燃性废物	废塑料、废纸、废纺织物、废物料等	废溶剂、废油和废油漆等
As	mg/kg	5-15	0.5-15	15-20
Sb	mg/kg	5	0.5-120	10-100
Be	mg/kg	5	2	2
Pb	mg/kg	200	300-800	15-800
Cd	mg/kg	2	5-27	1-20
Cr	mg/kg	100	250-300	50-300
Cu	mg/kg	100	500-700	180-500
Co	mg/kg	20	12-100	25
Mn	mg/kg	-	150-300	70-100
Ni	mg/kg	100	80-200	30-100
Hg	mg/kg	0.5	0.6-3.0	1.0-2.0
Tl	mg/kg	3	2-10	1-5
V	mg/kg	100	15-60	10-100
Zn	mg/kg	400	<2000	300-3000
Sn	mg/kg	10	70	30-100

Cl	%	1	0.5-2.0	0.4
PCBs	mg/kg	50-100	-	-

明确规定允许将生活垃圾经过预处理后作为二次燃料进行协同处置。协同处置危险废物和生活垃圾仍适用“40%规则”，即在水泥厂处理危险废物时应限定在燃烧热功率之内，但废油和其它可燃性液体废物不计算在热功率之内，这个“40%规则”并没有什么科学技术上的依据，主要是从市场政策上考虑，将废物引向焚烧设备。

2.2.2 德国有关危险废物焚烧设施管理的法规

德国的废物焚烧应遵守“关于废物及类似可燃物焚烧设施的法令”，即“联邦污染防治法 V 第 17 条例”（17. BImSch V），该条例也废物的协同处置设施，如水泥窑和电厂等。水泥协同处置废物时必须遵守 17. BImSch V 中关于排放极限的规定，而使用常规燃料的水泥窑的排放限值在“空气质量控制技术指南”（TA-Luft）中做了规定。

2002 年 9 月，德国联邦政府对 17. BImSch V 的原有规定及排放标准作了一定修改和补充，确定焚烧废物的水泥窑排放标准如下表。

表 10 德国焚烧废物的水泥窑污染物排放标准

重金属	标准限值 (mg/m ³)
粉尘总量*	20*
HCl	10*
HF	1*
NOx	500*
SO ₂	50*
C	10*
Hg	0.03*
CO	50*
二恶英和呋喃	0.1 TEQ ng/m ³ **
Cd+Tl	0.05**
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Sn	0.5**
As+苯并a芘+Cd+Co+Cr	0.05**

*指日平均值

**指取样周期内平均值

在德国循环经济与废物法 KrW-/AbfG 中提出某种废物是否应该再利用还是应该处理处置，主要是根据污染排放量、产生的残余物质、对废物中所含物质和能量的利用以及产品中有害物质的富集等来确定。单纯根据微量元素含量的多少加以划分是不合适的。

2001年德国“替代燃料品质联邦协会”出台了“替代燃料品质和测试法规”(RAL-GZ 724),其中规定了替代燃料中重金属元素含量的限值标准,见下表。

表 11 德国替代燃料重金属元素含量标准

元素	重金属元素含量 (mg/kg) ^(d)	
	中间值	80%分布值
Cd	4	9
Hg	0.6	1.2
Tl	1	2
As	5	13
Co	6	12
Ni	25 ^(a) / 80 ^(b)	50 ^(a) / 60 ^(b)
Se	3	5
Te	3	5
Sb	25	60
Pb	70 ^(a) / 190 ^(b)	200 ^(a) / -- ^(c)
Cr	40 ^(a) / 125 ^(b)	120 ^(a) / 250 ^(b)
Cu	120 ^(a) / 350 ^(b)	-- ^(c)
Mn	50 ^(a) / 250 ^(b)	100 ^a / 500 ^(b)
V	10	25
Zn	30	70
Be	0.5	2

注: (a) 由工业废物制得的替代燃料; (b) 由城市垃圾高热值组分制得的替代燃料; (c) 限值待定; (d) 重金属含量对应于热值大于 16MJ/kg 的替代燃料(来自城市垃圾高热值组分)和热值大于 20MJ/kg 的替代燃料(来自工业废物),若替代燃料热值小于该值,重金属含量限值也随之线性减小。

2003年德国颁布了“VDI 法规 2094”,即“水泥厂排放控制”,该法规介绍了水泥生产及污染物排放控制技术,其中第4部分专门针对废物在水泥工业的协同处置。

2.2.3 瑞士水泥窑协同处置废物的技术导则

该导则主要由6部分组成:

- (1) 引言:介绍了该导则制定的背景、意义和原则。
- (2) 导则应用领域:明确了瑞士适合水泥窑协同处置的废物种类,以及废物协同处置的运行操作要求。
- (3) 允许处置的废物要求:提出了允许在水泥厂协同处置的废物的名录;不在许可名录上的废物,若其中污染物含量满足规定的标准限值要求也可在水泥

厂协同处置。

(4) 熟料、水泥和烟气质量要求：熟料和水泥中的污染物含量必须满足规定的标准限值要求，否则必须减少废物处置量；水泥厂烟气排放必须满足大气污染控制条例（OAPC）要求；协同处置废物的水泥厂烟气排放除了应满足 OAPC 的要求外，Hg 的排放浓度还应满足 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 的限值要求，同时，协同处置废物不能造成烟气中污染物排放浓度的显著增加，并周期性地对有机物的排放进行监测。

(5) 其它要求：规定了废物混合、暂存、运输及污染监测和质量控制方面以及特殊废物协同处置的相关要求。

(6) 固体替代燃料（CSS）制备和使用的特殊要求：明确了可用于制备替代固体燃料的废物类别，制定了替代固体燃料中重点污染物质的年处置负荷，可用于制备替代固体燃料的废物中重金属的最大容许含量标准限值，并提出了替代固体燃料生产和使用的一般要求。

瑞士环境森林与园林管理局（SAEFL）会定期对该导则进行修订。以此为目的，SAEFL 任命了一个由各州代表和水泥工业界及废物处理工业界的代表组成的专家组，专家组至少每年一次定期召集聚会。当专家组发现在导则文件中存在任何有必要改动的地方，专家组会向 SAEFL 提出建议。

该导则中的标准限值是由瑞士提出的一些指导参数，这些数据具有很强的地方性，尤其适用于瑞士及其周边国家，对亚洲或美洲等差别较大地区则只能作为参考。

2.3 日本水泥窑销毁含氯氟烃类废物的技术导则

2.3.1 设备的选择

为了使水泥生产过程中在原燃料中投加的含氯氟烃废物产生的粉尘、卤化物等有害物质的浓度满足相关标准，应选择悬浮预热回转窑或新型干法回转窑作为处理设施，并配置相应的烟气处置设备对粉尘等进行处理。

2.3.2 运行控制条件

含氯氟烃废物协同处置过程中，为确保排放尾气达标及运行安全，应进行与常规水泥生产相同的运行控制。

2.3.3 含氯氟烃废物的投加条件

投加含氯氟烃废物时应考虑水泥窑设施的废物共处理能力、烟气处理设备的处理能力以及对水泥熟料质量的影响。

2.3.4 含氯氟烃废物的投加方法

(1) 含氯氟烃废物应在正常的运行条件下从窑头喷嘴附近喷入。

(2) 含氯氟烃废物的投加装置应配置油过滤器、流量计等计量装置实现定量投料。

(3) 含氯氟烃废物的投加量应根据其流量进行适当控制。

七、 我国水泥窑协同处置技术现状

1. 中国水泥工业利用常规工业废物（工业废渣）现状

目前中国水泥企业协同处置废物种类主要限于常规的工业废渣，如电厂粉煤灰、烟气脱硫石膏、磷石膏、煤矸石、钢渣、高炉矿渣、硫酸渣等。这些工业废渣的化学成份与传统水泥生产原料近似，品质相对均匀、稳定，通常作为替代原料加入生料或作为混合材加入熟料中，协同处置易于操作，因此已被水泥企业广泛采用以节约原料成本。从废物利用的角度看，上述几种工业废渣的“资源”属性甚至高于其“废物”属性，再加上中国目前没有相关的法律法规对上述工业废渣进行规范管理，因此这些工业废物并未纳入政府管理体系而是进入了自由市场体系。正是因为如此，对上述废物进行协同处置的水泥企业不但没有向废物产生单位收取废物处置费，反而需要出钱购买。但由于废物购买费用仍低于天然原料，因此各水泥企业仍有很大积极性对上述工业废物进行协同处置。

根据统计，2004年，我国水泥工业利用高炉矿渣1.1亿吨、粉煤灰5000万吨、炉渣860万吨、煤矸石960万吨、硫酸渣1800万吨、电石渣和磷石膏680万吨，石灰石尾矿矿渣及其他废渣2700万吨，合计利用各种固体废渣2.3亿吨。随着我国水泥产量的快速增加，水泥工业利用各种工业废渣的量也相应的迅速增加，根据估算，2011年，我国水泥工业已综合利用了常规工业废渣约6.9亿吨，水泥工业已成为我国常规工业废渣综合利用的主要途径。

2. 中国水泥工业协同处置危险废物和工业废物现状

2.1 协同处置的废物种类和协同处置企业

非常规工业废物尤其是作为替代燃料的工业废物，以及危险废物的协同处置在中国属于起步阶段，仅个别企业成功开展了具有一定的规模和连续性的相关业务。

关于中国非常规工业废物和危险废物协同处置实践方面，北京水泥厂无疑走在全国前列，其已开展了不间断的大规模协同处置业务；除北京水泥厂外，也有几家其他水泥厂开展了间断的、小规模或单一的危险废物和非常规工业废物协

同处置业务或试验，还有一些水泥企业正在开展诸如垃圾焚烧飞灰、废弃农药、废白土、生活污水的试验工作。

2.2 协同处置过程控制水平

危险废物和非常规工业废物的协同处置包括废物评估、废物运输、废物入厂、废物分析、废物贮存、废物预处理、废物投加等过程。根据危险废物和非常规工业废物的协同处置业务规模，可以将考察的 12 家样本企业中已开展危险废物和非常规工业废物协同处置的企业分成以下 3 类：已开展多种废物协同处置连续性业务的企业，已开展单一废物协同处置连续性业务的企业，断续开展废物协同处置的企业。不同类型的企业具有不同的过程控制水平。

北京水泥厂是唯一一家已开展多种废物协同处置连续性业务的企业，废物协同处置各个过程都有较好的控制水平，但调查中仍发现某些预处理在室外露天进行，存在危险废物泄漏、逸散的风险。

广州珠江水泥厂开展了废皮革协同处置连续性业务，宁波科环新型建材有限公司开展了含重金属的电镀污泥协同处置连续性业务，由于是对单一废物进行协同处置，因此基本上没有废物评估和入厂程序，废物运输、分析、贮存、预处理、投加过程专门针对单一废物进行设计和控制，相对比较简单。

上海万安企业总公司虽然有危险废物经营许可证，但没有形成连续性的协同处置业务，只是断续开展，年处置量小。其主要原因是企业没有建立废物评估、入厂程序，废物运输未进行控制，废物分析、贮存、预处理简单，致使很多到场废物无法进行协同处置。还有一些间歇性开展废物协同处置的水泥企业是在某些特殊时期应急性的对某些废物进行协同处置，如重庆富皇水泥厂在三峡清库时应急处理了 1391 吨清库固体废物，有较为完善的贮存、投料设施，但缺少完备的废物评估、运输、入厂、分析程序，预处理设施简单，

另外还有一些企业间歇开展了替代原料为主的危险废物和非常规工业废物的协同处置业务，如大连小野田水泥厂将除锈冶炼废渣、废催化剂、建筑废排土作为替代原料加入生料配料系统，而在替代燃料方面仅协同处置过非常少量的废活性炭和厂内自产塑料、废纸、废油废物。由于协同处置的废物多以从生料配料系统加入的替代原料为主，因此没有系统的废物评估、运输、入厂程序，分析、贮存简单，无预处理设施。

综合所述，目前我国已开展危险废物和非常规工业废物协同处置业务的水泥企业中，仅北京水泥厂在废物评估、废物运输、废物入厂、废物分析、废物贮存、废物预处理、废物投加各个过程均有较好的控制水平，其他协同处置水泥企业均没有完善的废物评估、运输、入厂程序，废物分析等同于天然原料分析，仅分析

与熟料产品质量相关的 Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na 含量，而未考虑废物的环境安全特性，储存、预处理、投料设施一般为单一废物专门设计，相对较为简单，普适性较差。

2.3 协同处置业务管理水平

通过考察水泥企业协同处置业务专职管理部门、管理制度、协同处置应急设施和预案、协同处置业务人员培训状况，评估水泥企业的协同处置业务管理水平。在我国已开展危险废物和非常规工业废物协同处置业务的少数水泥企业中，仅北京水泥厂具有技术力量较为雄厚的协同处置业务专职管理部门，较为完善的已形成体系的协同处置管理制度、应急预案和人员培训制度，并在部分废物储库安装了摄像监控装置、红外报警装置、火灾报警装置等设施。其他协同处置水泥企业虽然有些已成立了废物协同处置的专职管理部分，但相关人员少技术力量薄弱，还有些企业并没有设立专门的废物协同处置管理部门，协同处置业务由原有的环保部门或技术部门兼管。而关于协同处置管理制度、人员培训制度、应急预案和设施，其他水泥企业要么没有，要么仅针对单一废物，相对简单未形成完整体系。

2.4 协同处置实验室水平

废物分析是危险废物和非常规工业废物协同处置过程中一个非常重要的必须环节。废物分析除了要分析与天然原料分析相同的项目外，如 Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na、Cl、S、F 含量、灰份、水分，还包括废物的其他特性分析，如重金属和有机有害化合物含量，热值、腐蚀性、毒性物质性质、易燃易爆性、反应性、相容性等。目前，北京水泥厂的实验室除了具备常规的天然原料成分分析、熟料和水泥质量检测能力外，还针对废物协同处置业务专门配备了多通道荧光分析仪、色谱—质谱仪、原子荧光光谱仪、原子吸收分光光度计、氧弹仪等仪器，具备了重金属、有机成分、热值等分析能力。宁波科环新型建材有限公司为了开展电镀污泥协同处置业务，专门配料了原子吸收分光光度计分析电镀污泥中的重金属含量。而其他水泥企业实验室一般仅限于常规原料成分分析、熟料和水泥质量检测，基本不具备重金属含量、有害有机化合物含量、热值等项目的分析能力。

3. 中国水泥工业协同处置危险废物和工业废物潜力分析

3.1 技术水平潜力

由于立窑自身的工艺特点，除特殊情况外（例如利用立窑内的还原气氛处理铬渣），一般不适合用于协同处置危险废物和非常规工业废物。而新型干法窑根据其技术特点以及国内外实践经验，非常适合对危险废物和工业废物进行协同处

置。利用新型干法窑对危险废物和工业废物进行协同处置，原则上无需对原有工艺进行大的技术改造，一般只需要根据实际情况对投料口改造和添置必要的预处理设施。尽管目前我国的新型干法生产线还存在着单线平均规模较小、污染控制水平发展不均衡的弱点，但已具备了危险废物和工业废物协同处置的基本技术平台。

开展危险废物和工业废物协同处置业务，尤其是危险废物协同处置，除了需要依托代表先进水平的新型干法生产线基础平台外，还需要必要的预处理设施、投料装置、符合要求的贮存设施和实验室分析能力，而这些正是目前我国水泥企业技术力量还较为薄弱的环节。但预处理设施、投料装置、贮存设施、实验室分析能力的技术壁垒和准入条件都相对较低，只要企业愿意承担必要的前期资金投入，预处理、投料、贮存设施和实验室是可以达到符合要求的技术水平的。

3.2 管理水平潜力

开展危险废物和工业废物协同处置需要有比常规水泥生产更高的环境管理水平，而目前我国水泥企业在这方面的力量尤其薄弱。开展废物的协同处置，尤其是危险废物的协同处置，必须有完善成体系的废物管理制度和专职管理部门，对废物的评估、运输、入厂、分析、贮存、预处理、投料等环节进行严格有效的控制；为了防止意外事故发生和减少事故后损失，必须有符合要求的应急设施和完善的应急预案；同时，为了使水泥专业操作人员具有必要环境专业知识和危险废物操作专业技能，必须有严格的人员培训和上岗制度。因此，水泥企业若想开展危险废物和工业废物协同处置业务，必须加大针对上述几个方面的投入，提高自身的协同处置管理水平。

3.3 废物来源

开展危险废物和工业废物协同处置业务，还需有较为稳定的废物来源。我国危险废物产生量最多的省份是贵州省，广西省，山东省，江苏省，青海省，是我国化工、有色金属矿产与冶炼等产生危险废物最多行业的主要分布地区，产生量最大的是西部地区，其次是东部和中部地区；工业固体废物产生量最大的都是中国矿产工业和冶金等重工业发达的地区。新型干法水泥窑尤其是熟料日产量2000吨以上的新型干法水泥窑是最适合进行废物协同处置的窑型，各省危险废物和工业废物的产生量分布与新型干法生产线规模和熟料产量分布并不完全一致，也即危险废物和工业废物产生量大的省份，其新型干法水泥熟料产量和日产熟料2000吨以上的新型干法生产线条数不一定多。因此，各省各地区水泥企业在开展水泥窑协同处置业务，以及相关管理部门在制订水泥窑协同处置政策前，应充分考虑当地的工业特点和废物产生特点。

目前，我国很多省市已建设或规划建设危险废物集中处置设施，有些地方已出现了废物来源不足，集中处置设施不能满负荷运行的问题。因此，水泥企业在开展废物协同处置业务之前，应与当地环境保护主管部门进行充分沟通，对废物来源进行充分调查和评估，尽量做到与当地的废物集中处置设施互为补充，避免恶性竞争。

八、 规范内容结构

本规范主要包括以下内容：

- (1) 适用范围：本规范的适用范围。
- (2) 基本原则：制定本规范遵循的原则。
- (3) 规范性文件：本规范中引用的标准、文件等。
- (4) 术语与定义：本规范中关键词语的解释。
- (5) 协同处置设施环境保护技术要求。
- (6) 废物特性要求。
- (7) 协同处置运行操作环境保护技术要求。
- (8) 协同处置过程的污染控制。
- (9) 特殊废物协同处置的环境保护技术要求。
- (10) 人员与制度建设。

九、 主要条文说明

1. 适用范围

本规范适用于利用水泥窑协同处置危险废物的设施选择、设备建设和改造、操作运行和污染控制等方面的环境保护技术要求。

目前我国水泥企业协同处置废物种类主要限于常规的工业废渣，如电厂粉煤灰、烟气脱硫石膏、磷石膏、煤矸石、钢渣、高炉矿渣等。这些工业废渣的化学成份与传统水泥生产原料近似，品质相对均匀、稳定，通常作为替代原料加入生料或作为混合材加入熟料中，协同处置易于操作，环境和安全风险小，已被水泥企业广泛采用以节约原料成本，因此本规范不对该类废物的协同处置做强制性要求。

除危险废物和和常规工业废渣的其他废物，如生活垃圾（包括废塑料、废橡胶、废纸、废轮胎等）、城市污水厂污泥、污染土壤以及含有机物的一般工业固

体废物等在水泥窑中协同处置的环境保护技术要求可参考本规范执行。

2. 规范性文件

本部分列出了在本规范中所引用的国家标准、行业技术标准、技术规范和国务院有关部门的相关管理办法和规定性文件。

3. 术语与定义

本部分为执行本规范制定的专门的术语和对容易引起歧义的名词进行的定义。

新型干法窑、立窑、窑磨一体机模式的定义均引自水泥行业普遍采用的定义。

水泥窑协同处置指将废物投入水泥窑，在进行水泥生产的基础上，同时实现对废物的无害化处置的过程。如果废物具有热值或含有 Si、Al、Fe、Ca 等水泥生产所需要的成分，协同处置在实现废物无害化处置的同时，还实现了能量和物质的回收利用；若废物无可利用的能量和物质，则协同处置本质上为废物的无害化处置。

协同处置原则上不包括将废物替代部分混合材掺入熟料的过程，但为完整性考虑，本规范 6.3 节“替代混合材的废物特性要求”也对该过程做了专门规定。

焚毁去除率（DRE）、有机标识物的定义均参考美国相关法规（CFR）。

投加量（FM, Feeding Amount）指协同处置过程中，每生产单位质量的熟料时，某种元素或成分的投加质量，单位： mg/kg -熟料。水泥企业的生产规模一般都表示为每天生产的熟料质量，将本规范规定的某种元素的最大允许投加量限制乘以单位时间的熟料产量，即为该元素的最大运行投加速率（FR, Feeding Rate），投加速率是便于监测的参数。

预处理的定义参考欧盟 IPPC（Integrated Pollution Prevention and Control）的 BREF（Best Available Techniques Reference Document）系列报告。

标准状态指温度为 273K，压力为 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ 时的状态。本规范规定的大气污染物排放浓度均指标准状态下 O_2 含量 11% 的干烟气中的数值，这与我国目前危险废物焚烧相关标准是一致的，而水泥行业相关标准一般采用的 O_2 含量 10% 的干烟气，但两者在数值上相差不大。

4. 协同处置设施环境保护技术要求

本规范第 5 章规定了协同处置水泥企业在硬件配置方面的要求。

4.1 水泥窑

本规范 5.1 节规定了适合协同处置危险废物的水泥窑设施技术要求，包括窑型、规模、功能、位置等。

(1) 窑型选择

水泥窑按生料制备方法可分为湿法、半湿法、干法、半干法四类；按煅烧窑结构可分为立窑和回转窑两类，其中回转窑又可分为湿法回转窑、半干法回转窑（立波尔窑）、干法回转窑（普通干法回转窑）、新型干法回转窑等多种类型。水泥窑类型如下表所示。

表 12 水泥窑类型

生料制备方法分类	煅烧窑结构分类	
湿法	回转窑	湿法长窑
半湿法	回转窑	湿法短窑（带料浆蒸发机的回转窑）
		湿磨干烧窑
半干法	回转窑	立波尔窑
	立窑	普通立窑
		机械立窑
干法	回转窑	干法中空长窑
		悬浮预热窑
		新型干法窑（悬浮预热和预分解窑）

从水泥生产的角度看，新型干法窑与其他窑型相比具有巨大优势，具有热耗低，生产效率高，单机生产能力大，生产规模大；窑内热负荷小，窑衬寿命长，窑运转率高等优点，代表了当代水泥工业生产水泥的最新技术，是水泥产业结构调整的方向；其他窑型均属于淘汰窑型，除立窑因数目众多仍需逐渐淘汰外，其他窑型在我国也基本不存在。

从废物协同处置的角度看，不同的回转窑窑型在废物处置效果上的优劣势差别不大，但相比立窑，回转窑具有明显优势。对于回转窑来说，无论什么窑型，熟料煅烧都需要经过干燥、黏土矿物脱水、碳酸盐分解、固相反应、熟料烧结及熟料冷却结晶等几个阶段，各阶段的气固相温度也基本相同。对于不同的回转窑窑型，只是干燥、黏土矿物脱水、碳酸盐分解等反应发生在不同的部位，以及各阶段的反应速率差异造成的反应时间有所不同，回转窑内固有的气固相温度和停留时间都足以实现废物的无害化处置。而立窑无论是窑内气固相温度分布、气固相停留时间、气氛以及火焰特点都与回转窑有较大差异，废物中的有机物和重金属极易随烟气排入大气，适合协同处置废物种类一般仅限于以替代原料为目的的常规工业固体废物和铬渣。

尽管不同的回转窑窑型在废物处置效果上的优劣势差别不大，但新型干法回

转窑相比其他回转窑具有废物投料点多，分解炉内分解反应对温度的要求较低，废物适应性强；气固混合充分，碱性物料充分吸收废气中有害成分，“洗气”效率高，废气处理性能好；NO_x生成量少，环境污染小等优点。

因此，综合考虑水泥生产和废物协同处置，新型干法回转窑是适合废物协同处置的最佳窑型。

（2）水泥窑规模选择

根据我国 2006 年 10 月发布实施《水泥工业产业发展政策》和《水泥工业发展专项规划》等水泥产业政策，可以看出熟料产量大于 2000 吨/天的新型干法生产线将成为我国水泥生产线的主流，熟料产量大于 4000 吨/天的新型干法生产线则是未来的发展方向，目前 2000 吨/天规模以上的新型干法窑在各省都有分布。

根据水泥企业现场考察发现，尽管目前我国的新型干法生产线还存在着单线平均规模较小、污染控制水平发展不均衡的弱点，但已具备了危险废物和工业废物协同处置的基本技术平台。开展多种危险废物协同处置业务，除了需要依托代表先进水平的新型干法生产线基础平台外，还需要必要的预处理设施、投料装置、符合要求的贮存设施和实验室分析能力，以及严格和先进的环境和安全管理水平和制度，而这对于经济和技术水平有限的小型水泥企业是难以达到的。因此，协同处置危险废物应选择 2000 吨/天及以上规模的新型干法窑。

对于改造利用原有设施用于协同处置危险废物的水泥窑，为了确保改造后的水泥窑在协同处置危险废物过程中的污染物排放可以满足本标准规定，该水泥窑设施在改造前应具有良好的窑况，因此要求原有设施在改造前至少连续两年满足水泥窑常规生产时的大气污染排放标准（即 GB4915）。

（3）水泥窑的附属功能

生料磨内的低温碱性生料有利于冷凝和吸附烟气中的重金属、二恶英、酸性气体等有害成分，大大降低排放烟气中污染物的浓度。因此，协同处置危险废物的水泥窑应采用窑磨一体机模式。

协同处置过程不影响水泥产品质量、不影响水泥生产过程是协同处置必须遵循的原则之一，即协同处置协同处置过程必须保持水泥窑内的正常运行工况。另一方面，只有在水泥窑保持正常运行工况的前提下，水泥窑内的气固相温度和停留时间才能保证危险废物的无害化处置。因此，应配备监测窑内关键位置的温度、压力、气氛等有关燃烧工况参数的在线监测设备，保证运行工况的稳定，包括窑头烟气温度、压力、流速、O₂ 浓度；窑表面温度；窑尾烟气温度、压力、O₂ 浓度；分解炉或最低一级旋风筒出口烟气温度、压力、O₂ 浓度；顶级旋风筒出口

烟气温度、压力、流速、O₂、CO 浓度。

烟气中的重金属、二恶英、酸性气体等污染物会吸附在粉尘上，提高除尘效率，间接上也提高了烟气中其他污染物的脱除效率，因此，必须保证烟气中粉尘浓度满足标准要求。目前水泥企业常用的除尘设备包括袋式除尘器和静电除尘器，袋式除尘器相比静电除尘器除尘效率更高，因此优先推荐袋式除尘器。

为实时监控烟气排放浓度，保证烟气排放达标，并考虑我国水泥企业现有的技术管理水平，协同处置危险废物的水泥窑排气筒还应配备粉尘、NO_x、SO₂、HCl、CO 浓度在线监测设备。

在水泥窑内的高温氧化气氛下，由燃料带入的二恶英会彻底分解，水泥窑内的二恶英主要来自于窑系统内二恶英的合成反应。二恶英的合成反应需要以下几个必要条件：合适的温度（200-450℃，最佳温度 300-325℃）；足够的停留时间（大于 2s）；有碳氢化合物和 Cl 元素的存在；有催化剂（如 Cu）和足够颗粒反应表面。新型干法水泥窑从预热器上部至除尘设备内的烟气温度和停留时间满足二恶英合成的温度和时间要求；燃料的不完全燃烧和原料中含有的有机物会提供二恶英合成所需的碳氢化合物，这些碳氢化合物在预热器内与由原料和燃料带入的 Cl 元素发生反应生成二恶英合成的前驱物；由燃料和原料引入重金属起到了催化剂的作用；气固相的充分接触提为二恶英合成提供了充足的颗粒反应表面。因此，水泥窑内的二恶英主要来自在窑系统低温部位（预热器上部、增湿塔、磨机、除尘设备）发生的二恶英合成反应。为减少二恶英的合成，最直接和易操作的措施就是采用烟气冷却装置将排放烟气温度从 300-400℃ 迅速降至 200℃ 以下，减少烟气在 200—450℃ 温度段的停留时间，考虑到窑磨一体机操作模式烟气烘干生料或预热发电的需要，可适当将下限温度从 200℃ 提高至 250℃。目前我国绝大多数新型干法窑已配置的增湿塔或窑尾预热发电机组，已属于满足上述急冷要求的烟气冷却装置。

窑灰吸附富集了烟气中重金属和二恶英等污染物，属于危险废物，必须按危险废物进行管理。另一方法，窑灰也是一种非常优质的水泥生产原料，将窑灰返回窑内是窑灰的最优处理方案。因此，协同处置危险废物的水泥窑英配备窑灰返窑装置，将将除尘器、增湿塔等烟气处理装置收集的窑灰返回送往生料入窑系统。从现场考察的情况看，我国的新型干法水泥窑基本上都已配备了该装置。

（4）水泥窑的位置要求

选择和确定协同处置危险废物的水泥窑位置时，首先应符合城市总体规划、城市工业发展规划以及环境保护和危险废物管理的专业规划。

为避免协同处置水泥企业贮存的危险废物在发生洪涝灾害时被浸泡或冲散，

协同处置水泥企业所在区域应没有受到洪水、潮水或内涝威胁。设施所在标高应位于重现期不小于 100 年一遇的洪水位之上，并建设在长远规划中的水库等人工蓄水设施的淹没区和保护区之外。

协同处置的水泥生产设施与周围人群的距离应按照经当地环境保护行政主管部门批准的环境影响评价结论确认。

选择协同处置危险废物的水泥窑时，还应考虑危险废物运输路线的影响，所选的协同处置水泥企业所处位置，应能够保证危险废物运输路线可不经居民区、商业区、学校、医院等环境敏感区到达该企业。

4.2 废物投加设施

本规范 5.2 节规定了废物投加设施的技术要求，包括基本要求，投加位置 and 不同位置的投加设施的特殊要求等。

(1) 基本要求

为降低危险废物投加过程对操作人员的暴露接触风险，危险废物的投加设施应实现自动进料，并保持密闭。由于需要根据不同危险废物的特性调节和控制危险废物的投加速率，因此需配置可调节投加速率的计量装置实现定量投料。危险废物通常投入水泥窑高温区，因此投加口应采取防回火设计。废物投加设施口径、下料角度、溜口、压力等参数的设计应考虑到能保持进料通畅，防止废物搭桥堵塞。只有在水泥窑保持正常运行工况的前提下，水泥窑内的气固相温度和停留时间才能保证危险废物的无害化处置，因此废物投加设施应具有自动联机停机功能，当发生水泥窑或烟气处理设施因故障停止运转，或者当窑内温度、压力、窑转速、窑电流、烟气中氧含量等运行参数偏离设定值时，或者烟气排放超过标准设定值时，可自动停止废物投加。危险多具有腐蚀性，投加和输送装置应采用防腐材料。

上述内容参考了我国危险废物焚烧相关标准和规范中有关投料设施的要求、以及欧盟 BREF 系列报告和美国 CFR 中的相关内容。

(2) 投加位置

新型干法回转窑有 2 个常规燃料投加点，分别位于窑头和窑尾，1 个常规原料投加点，位于生料磨。不影响水泥生产工艺是协同处置的原则之一，利用现有的水泥窑设施处置废物，节省设施建设成本也是水泥协同处置相比专业焚烧炉的优势之一。废物协同处置应尽量不对水泥窑做大的改造，选择废物投加位置时，既要考虑到该处气固相温度、停留时间等特性，也应考虑增设废物投加口的易操作性。因此，新型干法窑的废物投加位置应从以下三处选择（参考下图）：窑头

高温段，包括主燃烧器投加点和窑门罩投加点；窑尾高温段，包括预分解炉、窑尾烟室和上升管道投加点；生料配料系统（原料磨）。

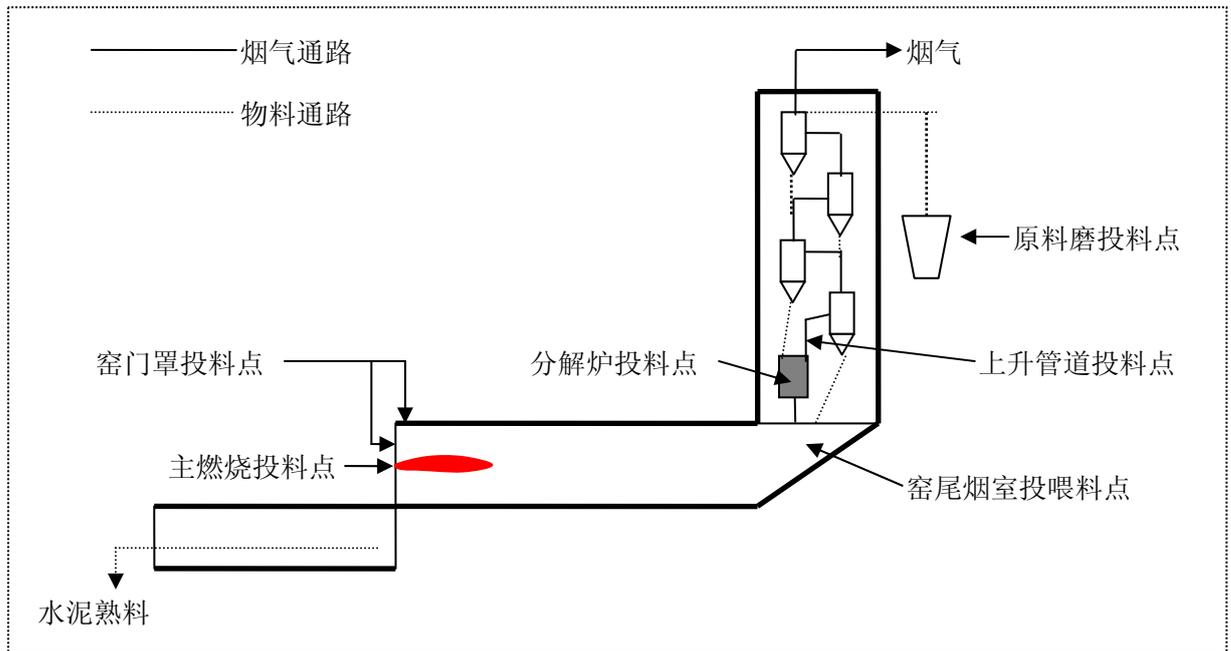


图 1 新型干法窑废物投料点

(3) 不同位置的投加设施的特殊要求

从原料磨投加的废物一般为替代原料为主的无机废物，无需专门设计的投料设施，可借用常规生料投料设施，通过简单的机械传送带输送入原料磨。

目前我国的新型干法窑窑头主燃烧器已普遍安装适用了多通道燃烧器，从窑头投加的废物一般为液态或粉状，因此应利用多通道燃烧器，并配备泵力或气力输送装置，从多通道燃烧器的不同通道喷入窑内。从窑门罩投加的废物一般为液态，因此应配备泵力输送装置，并在窑门罩的适当位置开设投料口。

从窑尾投加的废物包括各种形态，因此应配备泵力、气力或机械传送带输送装置，液态、浆状通过泵力输送，粉状、小颗粒状废物可以通过密闭的机械传送带或气力输送，大块状废物通过机械传送带输送；并在窑尾烟室、上升管道或预分解炉的适当位置开设投料口；可对分解炉燃烧器的气固相通道进行适当改造，使之适合液态或小颗粒状废物的输送和投加。

4.3 贮存设施

本规范 5.3 节规定了协同处置水泥企业的危险废物贮存设施技术要求。

危险废物在协同处置水泥企业的贮存设施首先应满足目前我国危险废物贮存设施相关标准规范中的要求，包括《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597)

和《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》(HJ/T176)。

协同处置水泥企业还应开设专门的危险废物贮存设施,以保证危险废物不与水泥生产原料、燃料和产品混合贮存。为降低不同性质危险废物发生反应的风险,危险废物贮存设施应满足分区贮存的要求,不同性质的危险废物应采取相应的分区隔离措施。协同处置水泥企业可能会接收不明性质的危险废物,为降低不明性质的危险废物与其他废物发生反应的风险,应专门设置不明性质废物暂存区,不明性质废物暂存区应与其他废物贮存区隔离,并设有专门的存取通道。

危险废物贮存设施应在显眼处标示有符合《环境保护图形标志-固体废物贮存(处置)场》(GB15562.2)的标志,标有明确的安全警告和清晰的撤离路线。

很多危险废物具有易燃易爆性,因此危险废物贮存设施应特别注意符合消防要求。贮存设施内应张贴严禁烟火的明显标识;应根据危险废物特性、贮存和卸载区条件配置相应的消防警报设备和灭火药剂;为防止电子设备产生静电火花,贮存设施中的电子设备应接地,并装备抗静电设备;贮存设施内应设置防爆通讯设备并保持通畅完好,禁止使用普通的通讯设备。

危险废物贮存区及附近应配备紧急人体清洗冲淋设施,并标明用途,在发生危险废物泄漏事故时用于人体的清洗。

4.4 预处理设施

本规范 5.4 节规定了预处理设施的技术要求,包括预处理设施基本要求和针对不同废物特性的预处理流程和预处理设施要求。

4.4.1 基本要求

危险废物在破碎、研磨、搅拌、混合等预处理过程中可能会产生粉尘或挥发性有机物,因此预处理设施应有较好的密闭性,并保证与操作人员隔离,预处理设施如果布置在室内车间,车间内应设有专门的 VOC 和粉尘排气管道,排气管道通过空气过滤装置后排空,或导入水泥窑高温区。

危险废物多具有腐蚀性,因此预处理设施所用材料需适应废物特性以确保不被腐蚀,并不与废物发生化学反应。

预处理过程若操作不当,易发生火灾甚至爆炸,因此预处理区域应与危险废物贮存区域一样,配备防火防爆装置(如火警系统、喷水设备、防爆闸等)、紧急人体清洗冲淋设备、防爆通讯设备等。参考欧盟 BREF 相关报告,灭火用水储量要大于 50m³。

易燃性危险废物在破碎和混合搅拌时易产生挥发性有机物,为防止发生火灾

爆炸等事故，破碎仓和混合搅拌仓应优先配备氮气充入装置，破碎设施一般应能承受 10bar 的压力，并能适应压力的波动。

4.4.2 不同废物特性的预处理工艺流程和预处理设施

本规范 5.4.5 条提出了针对不同废物特性和入窑要求确定预处理工艺流程和预处理设施的要求。不同废物的预处理工艺流程和预处理设施可参考如下：

(1) 适用于固态入窑废物的预处理设施

(a) 适用于从配料系统入窑的废物的预处理设施

破碎设施用于破碎粒径较大废物满足入磨要求。常用破碎工艺为机械破碎法。常用的破碎机包括颚式破碎机、锤式破碎机、反击式破碎机、圆锥式破碎机、反击-锤式破碎机、立轴锤式破碎机等。

烘干设施用于烘干水分含量较高的废物，满足入磨要求。废物烘干可采用两种方式：废物水分含量较高且入磨水分含量要求较高时，可采用堆放自然晒干方式；若入磨水分含量要求较低时，应采用烘干设备进行烘干，或先经自然晒干再用烘干设备的方式。常规烘干设备有回转式烘干机、流态烘干机、振动式烘干机、立式烘干机等，为加强余热利用节约成本，可以考虑利用窑尾废气余热作为热源对废物进行烘干。

配料设施用于控制废物投加速率，使混合物料石灰饱和系数(KH)、硅率(n)和铝率(p)满足企业目标值。废物配料控制系统可采用常规的生料配料控制系统。

(b) 适用于从窑头和窑尾入窑的废物的预处理设施

破碎和初筛设施用于破碎和初筛大粒径入厂废物或含有大粒径颗粒的入厂废物。常用破碎机类型：慢速破碎机（配备刀片的单转轴和双转轴），适用于易燃性和低闪点废物；锤式破碎机，适用于木质碎片、被污染的包装、塑料等；专用破碎机（如低温破碎机），适用于特殊废物，如橡胶等。常用初筛筛分机类型：振动筛；静电筛；回转筛。

搅拌和混合设施用于混合和搅拌性质相似且具有相容性的废物，以及浆状或液态废物与适当的吸附剂。常用混合搅拌系统有如下几种：在专门设计的混合坑中，利用吊车抓斗搅拌混合；在密闭的搅拌器中，利用安装在低转速水平轴上的叶片或螺旋搅拌混合，粒径大于 25cm 的硬质废物（如混凝土块、硬木、钢铁等）会堵塞或破坏叶片或螺旋，该系统不适用于该类废物；在密闭的搅拌器中，利用安装在转轴上刀片同时进行切割、破碎和搅拌混合。

分选和精筛设备分选用于分离回收混合废物中碎片和杂物，精筛用于确保混合物粒径满足入窑要求。利用磁力分选装置分离回收混合废物中的钢铁碎片；利用振动筛进一步筛分黏性混合物中的碎片；利用涡电流系统分离回收废物混合物中的有色金属。

若投料点对粒径要求宽松，如投料点为从窑尾烟室时，可省略分选和精筛设备。

(2) 适用于液态入窑废物的预处理设施

沉淀、过滤和中和设备用于液态废物混合前的沉淀、中和、过滤，分离出大颗粒固态残渣和浆状物，降低废物酸碱度。沉淀可在沉淀池内进行，中和可与沉淀在同一反应器内进行，过滤设施可根据废物粘度选择不同的膜式过滤装置，并配有离心泵或隔膜泵用以输送分离后的液态废物。

混合搅拌设施用于混合搅拌性质相似且具有相容性的液体废物。常用液态混合搅拌系统为安装有搅拌叶片或再循环泵系统的混合罐。若液态废物中仍存有较大的颗粒物，还可在混合搅拌系统内配加研磨装置。

若投料点对液态废物中的固体残渣和浆状物要求宽松，如投料点为从窑尾烟室时，可省略沉淀、过滤、研磨设施或装置；若预处理设施和投料设施采用了防腐材料，酸碱废液中和设备可省略。

(3) 适用于半固态（浆状）入窑废物的预处理设施

破碎设备用于破碎入厂固态和浆状废物中大颗粒物；分离设备用于分离废物中的金属或其他大颗粒杂物。常用破碎机类型与用于从窑头和窑尾入窑的废物的破碎机类型相似。常用分离技术有以下几种：带式磁性分离器适用于分离回收化学废物中的金属体；涡电流分离回收废物中的有色金属；振动筛或静电栅格使用分离大颗粒杂物。

混合设备用于固态和浆状物与溶剂、废水的混合搅拌；筛分设备用于分离出混合物中的大颗粒残渣。混合设备应适应含有大量的固态悬浮物的高黏性混合物，并能通过转轴将固态悬浮物不断研磨破碎，与液相充分混合。

研磨流态化设备用于进一步对混合物中固相悬浮物进行高速细磨，形成混合均匀、性质稳定、符合要求的浆状入窑废物。高速研磨设备应对粘度、悬浮固体密度和品质的波动具有充分的适应性，并可配备磁力分离装置和机械过滤装置，采用密封装置防止氧气透入研磨装置中。

若入厂浆状废物和固体废物中大粒径杂物较少，可省略破碎和分离设备；筛

分设备、研磨流态化设备也可简化或省略。若投料点对入窑浆状废物要求宽松，如投料点为从窑尾烟室时，筛分、研磨流态化设备也可省略。

4.5 厂内输送设施

本规范 5.5 节规定了废物在协同处置水泥企业内输送转运的设施要求。废物的厂内输送设施应能有效防止废物的滴漏、溢出、飘散、遗撒，应采用不被废物腐蚀和与废物发生反应的材料。对于危险废物的输送风险较大，因此，危险废物的输送设备还应在显眼处进行标记，危险废物的物料入口以及转运、输送路线应远离办公和生活服务设施。

对于不同的废物特性，可参考采用如下输送设施：

(1) 固态废物的转运设施

入厂废物从储存库至预处理设施的输送，应配备铲斗车、移动抓料斗、传送带、螺杆绞笼或升降机等装置。破碎后的废物从破碎设施至混合搅拌设施的输送，应配备混凝土输送泵、蜗杆、升降机、铲斗车或传送带等装置。预处理后废物至窑头主燃烧器的输送，应配备泵力或气力输送装置；至窑尾投加点的输送，应配备传送带、泵力或气力输送装置。传送带应加设防护罩，防止粉尘飘散。

(2) 液态废物的转运设施

液态废物在厂内的转运应配备耐腐蚀耐有机溶剂的密封容器，如 IBC 集装箱，或配备泵力输送装置，输送泵应适应液态废物品质的波动以及固态悬浮颗粒的存在。

(3) 浆状废物的转运设施

入厂废物从储存库至预处理设施的输送，应配备液压铲车或起重机桥和液压柱塞泵等装置。破碎分选调质后的废物至混合筛分设施的输送，应配备蜗杆或泵力输送装置，蜗杆输送坡度小于 15° ，泵力输送一般采用混凝土输送泵。经混合、筛分和研磨后的流态化废物至水泥窑加料点的输送，应配备泵力输送装置。

4.6 分析化验室

本规范 5.6 节规定了协同处置水泥企业分析化验室的配置要求，包括分析检测和样品保存要求。

(1) 分析检测

本规范 5.6.1、5.6.2 和 5.6.4 条规定了协同处置水泥企业分析化验室应具备的分析检测能力。

(a) 协同处置水泥企业分析化验室首先应具备常规水泥生产分析检测能力。

(b) 协同处置水泥企业在废物入厂前和入厂后都需进行采样分析，因此应具备《工业固体废物采样制样技术规范》(HJ/T20) 要求的采样制样能力、工具和仪器。

(c) 协同处置过程中应控制重金属的投加速率、并对水泥产品中重金属进行监测，因此应具备废物、水泥生产原料、水泥产品中相关重金属的分析检测能力。常用重金属分析检测仪器包括：多通道 X 荧光仪、原子吸收光谱仪、原子荧光光谱仪（用于分析 Hg、As 等挥发性元素）、电感耦合等离子体-质谱仪等。

(d) 协同处置水泥企业在废物准入分析和入厂后分析中需要进行相容性测试，以避免不同的废物在混合过程中发生化学反应，减小废物在运输、贮存、预处理过程中的风险。因此，协同处置企业实验室应具备开展相容性测试的能力和仪器。相容性测试实验一般需要配备搅拌机（涡轮式搅拌机、磁力搅拌机、慢速搅拌机等）、温度计、粘度仪、压力计、pH 计、合适的器皿、反应气体收集装置等。

(e) 协同处置水泥企业应具有废物危险特性分析能力，包括腐蚀性、易燃性、反应性等。腐蚀性、易燃性、反应性测试方法和程序可参考《危险废物鉴别标准》(GB 5085-2007)。

(f) 协同处置水泥企业应对排放烟气和水泥产品进行监控，因此应具有满足《水泥工业大气污染物排放标准》(GB4915)、《水泥窑协同处置危险废物污染控制标准》(GB □□□□) 和《固体废物生产水泥污染控制标准》(GB □□□□) 要求的监测分析能力。

(a) - (d) 条是关系到水泥质量、水泥生产和协同处置安全的重要因素，相关仪器也相对易于配置和操作，因此是协同处置水泥企业分析化验室必须具备的能力；(e)、(f) 条涉及的某些分析检测相对复杂，对于目前我国水泥企业的分析化验室还难以普遍达到，因此除 (a) - (d) 条外的其他分析项目（包括有机物分析）如果不具备条件，可经当地环保部门许可后委托有资质的分析监测机构进行采样分析监测。

(2) 样品保存

本规范 5.6.3 条为样品保存的要求。保存样品的目的是为了在发生事故或纠纷时，通过对备份保存样品的再分析查明事故原因或确定责任方。

5. 废物特性要求

本规范第 6 章规定了适合协同处置的废物特性要求。

5.1 禁止在水泥窑中协同处置的废物

(1) 放射性废物

通常放射性废物排除在常规废物之外，其处理程序受专门的核废物相关法律法规制约，必须有特定的许可。由于放射性废物对协同处置操作过程和水泥产品会造成不可控或未知的风险，因此不适合在水泥窑进行协同处置。

(2) 爆炸物及反应性废物

爆炸物和反应性废物，如硝化甘油、烟火、雷管、导火索、照明弹、弹药、某些有机过氧化物等在运输、预处理过程中可能有超出控制的爆炸或剧烈反应风险，在水泥窑内的爆炸或剧烈反应对工艺稳定有负面影响。

(3) 未经拆解的废电池、废家用电器和电子产品

废电池包括汽车电瓶、工业电池和便携电池。汽车电瓶主要是铅酸电池，工业电池包括铅酸电石和镉镍电池，便携电池包括通用电池（主要是锌碳电池和碱锰电池）、微型纽扣电池（主要是汞、锌气、氧化银、氧化锰和锂电池）和充电电池（主要是镉镍、镍金属氢化物、锂离子和密封铅酸电池）。这些物质协同处置过程中的烟气污染排放和水泥产品环境安全性不易控制，酸性电池中的废酸可能会腐蚀设备影响水泥生产正常运行。

废家用电器和电子产品中平均含有 45%（重量）的金属，其中重金属和稀有金属所占比例最高，其中的 Cl、Br、Cd、Ni、Hg、PCB 和高浓度溴化阻燃剂等对人类健康和环境有害的物质含量高，烟气污染排放和水泥产品环境安全性不易控制。

因此，未经拆解废电池、废家用电器和电子产品禁止在水泥窑内协同处置。废电池更适合通过专门的废电池处理技术进行处置，废家用电器和电子产品更适合经拆解后分别加以回收利用，拆解后的塑料成分可投入水泥窑替代部分燃料，稀有贵金属进行回收。

(4) 含汞的温度计、血压计、荧光灯管和开关

温度计、血压计、荧光灯管和开关含有大量挥发性的汞元素，在协同处置过程中的烟气污染排放不易控制，也不易通过预处理进行稀释满足汞的投加量限值，因此，禁止协同处置含汞的温度计、血压计、荧光灯管和开关。

(5) 未知特性和未经鉴定的废物

对未知或未经鉴定分析的废物进行协同处置，将会对处置过程的职业健康安全、水泥生产工艺的正常运行、烟气污染排放、水泥产品质量和环境安全性带来未知和不可控的风险。因此，未知或未经鉴定的废物禁止在水泥窑内进行协同处置。

上述各类废物不适合水泥窑协同处置的原因如下表所示。

表 13 不适合水泥窑协同处置的原因

废物种类	烟气排放	水泥质量	水泥生产运行	操作健康和安全的	有其他更优处置方式
放射性废物		×		×	
爆炸物及反应性废物			×	×	
未经拆解的废电池、废家用电器和电子产品	×	×	×		×
含汞的温度计、血压计、荧光灯管和开关	×				
未知特性和未经鉴定的废物	×	×	×	×	

5.2 入窑焚烧的废物特性要求

判断某种废物是否适合水泥窑协同处置，应从以下几个方面考虑：

(a) 是否具有替代燃料价值，即废物热值大小，通常认为热值大于 8MJ/kg 的废物即有替代燃料价值；

(b) 是否具有替代原料价值，即废物灰分含量，以及灰分中 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 含量，通常认为 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 含量大于 40% 的废物具有替代原料价值；

(c) 处置风险和难度大小，即废物中有害元素（重金属、Cl、F、S、Mg、K、Na）和有机有害化合物含量是否会造成烟气排放超标，是否影响水泥产品质量和环境安全性；水分含量是否影响窑内正常燃烧工况，热耗和烟气量是否过度增大超过预设限值；腐蚀性、毒性、易燃易爆性、与其他废物的反应性和相容性是否造成运输、贮存、预处理、窑内处置过程中的泄漏、机械腐蚀、着火等事故风险；物理特性（尺寸、硬度、粘度等）是否易于预处理满足进料要求。

除了几种明确的不适合协同处置的废物种类外（如 5.1 所列废物），其他废物原则上都可以通过一定的预处理工艺达到入窑要求后进行协同处置，即入窑废物不同于入厂废物，入厂废物可以依据自身特点和入窑废物要求，采取相应的预

处理工艺转变为符合要求的入窑废物。因此，确定适合水泥窑协同处置的废物种类，可以采用先排除几种明确的不适合协同处置的废物种类再规定入窑废物特性要求。

参考国内外的协同处置实践和经验，列举了一些适合协同处置的废物种类，根据协同处置目的，可分为替代原料、替代燃料和处置废物。其中某些废物在入窑前还需进行预处理，如分拣、烘干、破碎、配伍，未列出的废物也不意味不能进行协同处置。

表 14 作为替代原料的废物种类

替代用途	废物种类
替代石灰石质原料	电石渣、氯碱法碱渣、石灰石屑、石灰窑渣、石灰浆、碳酸法糖滤泥、造纸厂白泥，水厂污泥、窑灰、肥料厂污泥、高炉矿渣、钢渣、磷渣、油页岩渣
替代黏土质原料	粉煤灰、炉渣、煤矸石、赤泥、小氮肥厂石灰碳化煤、球灰渣、金矿尾砂、增钙渣、金属尾矿、催化剂粉末、城市垃圾焚烧底灰
替代铁质校正原料	低品味铁矿石、炼铁厂尾矿、硫铁矿渣、铅矿渣、铜矿渣、钢渣
替代硅质校正原料	碎砖瓦、铸模砂、谷壳焚烧灰
替代铝质校正原料	炉渣、煤矸石
替代矿化剂	铜锌尾矿、磷石膏、磷渣、电厂脱硫石膏、氟石膏、盐田石膏、柠檬酸渣、含锌废渣、铜矿渣、铅矿渣
替代晶种	炉渣、矿渣、钢渣、磷渣
替代助磨剂（用于生料、水泥粉磨）	亚硫酸盐纸浆废液、三乙醇胺下脚料
替代料浆稀释剂（用于湿法窑）	纸浆黑液、亚硫酸盐废液、制革厂废液
替代缓凝剂	磷石膏、电厂脱硫石膏

表 15 替代燃料类别（根据成分和来源）

废物类别	废物来源	废物描述
木质、纸质废物	农、林、牧、水产、食品加工业废物	林业开采废物
	木材加工和造纸业废物	锯末，木材、碎料板、片材切削边角废料，纸、纸版回收废物
	包装废物，吸附物、拭布、滤料、防护服	纸和纸版包装，木质包装
	建筑废物（包括污染土壤）	木质材料
	生活垃圾（包括单独收集的单组分垃圾）	废纸和废纸版，含有有害物质的木质材料
废织物	制革和纺织业废物	纺织业废物
	废物处置设施、污水和净水处理厂废物	织物类
	生活垃圾（包括单独收集的单组分垃圾）	布类
废塑料	农、林、牧、水产、食品加工业废物	废塑料

	金属和塑料物理加工业废物	塑料粒
	包装废物, 吸附物、拭布、滤料、防护服	塑料包装
	生活垃圾 (包括单独收集的单组分垃圾)	废塑料
RDF	包装废物, 吸附物、拭布、滤料、防护服	混合包装物
	废物物理化学处理 (脱铬、脱氰、中和) 废物	可燃物
	生活垃圾 (包括单独收集的单组分垃圾)	混合垃圾
废橡胶/轮胎		废轮胎、废橡胶 (传送带)
工业污泥	木材加工和造纸业废物	绿泥
	制革和纺织业废物	现场污水处理污泥
	石油精炼和煤热解处理工业废物	现场污水处理污泥
	无机化工废物	现场污水处理污泥
	有机化工废物	现场污水处理污泥
	涂料、黏合剂、密封剂和印刷油墨生产和使用过程中产生的废物	
	热加工业无机废物	
	金属加工、涂层和有色金属湿法冶炼业废物	
	金属和塑料成型、表面加工废物	
	含油废物	
	有机溶剂废物	
城市污泥	废物处置设施、污水和净水处理厂废物	污泥团、物理化学处理后污泥、城市污水处理污泥
动物饲料、脂肪	农、林、牧、水产、食品加工业废物	动物饲料和脂肪
煤和炭类废物	石油精炼和煤热解处理工业废物	焦油、沥青
	废物处置设施、污水和净水处理厂废物	废活性炭, 热解废物,
农业废物	农、林、牧、水产、食品加工业废物	植物纤维废物, 农业化学废物, 林业开采废物,
	木材加工和造纸业废物	树皮和软木废物
浸润锯末	木材加工和造纸业废物	浸润锯末
	废物处置设施、污水和净水处理厂废物	废物机械处理废物
废溶剂和相关废物	农、林、牧、水产、食品加工业废物	溶剂萃取废物
	有机化工废物	有机溶剂, 清洗液和母液, 精馏底渣和反应渣
	涂料、黏合剂、密封剂和印刷油墨生产和使用过程中产生的废物	废涂料、油漆和清漆, 废除漆剂, 废油墨, 清洗用废有机溶剂废黏合剂和密封剂, 废异氰化物
	摄影业废物	溶剂基显影液
	有机溶剂废物	溶剂和溶剂混合物
	废物处置设施、污水和净水处理厂废物	液态可燃物
	生活垃圾 (包括单独收集的单组分垃圾)	溶剂, 涂料, 油墨, 黏合剂, 树脂
油和油性废物	矿石开采和加工业废物	

	制革和纺织业废物	
	石油精炼和煤热解处理工业废物	
	金属和塑料成型、表面加工废物	
	废油	液压油，润滑油，绝缘油，传热油，船用油，油水分离器中固体废物

替代燃料还可根据物态进行的分类，包括固态和液态。固体替代燃料一般有废轮胎、废橡胶、废塑料、废皮革、废纸、石油焦、焦渣、废纺织物、化纤丝、漆皮、油墨渣、油污泥、木块、木屑、稻壳、花生壳、动物饲料和脂肪、RDF、页岩和油页岩飞灰、聚氨酯泡沫、包装废物、农业和有机废物、由动物脂肪或骨粉等制成的动物饲料、废漂白土、废白土、造纸污泥、生活污水污泥、蒸馏残渣、废煤浆、分拣后的城市生活垃圾和工业废物。液态替代燃料一般有醇类、酯类、废化学药品和试剂、废弃农药、废溶剂类(丙酮、丁酮、乙醇；甲苯、二甲苯、汽油类溶剂；三氯乙烷、二氯甲烷、四氯乙烯等)、废油及其产品、溶剂蒸馏釜底物、环氧树脂、胶粘剂及胶、油墨、废油漆等。

以处置为目的的废物包括不可燃废弃废化学药品和试剂，如废酸碱等，不可燃废弃农药、废乳化液等。

本规范 6.2 节规定了入窑废物的特性要求。

不应影响水泥生产过程和水泥产品质量是协同处置的原则之一，因此本规范 6.2.1 条要求入窑废物首先应该满足水泥生产对原料或者燃料的基本特性要求，应具有稳定的化学组成和物理特性，其化学组成、理化性质等不应对水泥生产过程和水泥产品质量产生不利影响。影响水泥生产过程和水泥产品质量的化学组成和理化特性对于替代原料主要包括：含水率、灰分含量、矿物成分（CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃）含量、有害元素含量（K、Na、Mg、Cl、F、S、P、重金属等）、尺寸大小等；对于替代燃料还包括热值、C、H、O 含量、燃尽性、粘度等。这些参数中，Cl、F、S 的含量在本规范的 6.2.3 和 6.2.4 条进行了规定，重金属含量对烟气排放和水泥产品环境安全性的影响更为显著，本规范 6.2.2 条对此做了规定。其他参数由于对环境保护的影响不显著，因此在本规范中未做强制性规定，由协同处置企业根据各自的具体情况自行控制。在本编制说明的适当章节，会对这些未强制性规定的参数提出指导性的限值或控制方法。

本规范 6.2.2 条从烟气排放以及水泥产品环境和健康安全性的角度规定了入窑废物中重金属的含量限值。由于烟气和水泥产品中重金属含量除了与废物中重金属含量有关外，还与废物的投加速率、水泥窑产量、常规原料和燃料中重金属含量等有关，因此废物中重金属含量的限值不是一个固定统一的数值，而应

满足本规范 7.6.7 条的要求。

由于新型干法水泥窑内的强碱性环境和气固相的充分混合，F、Cl 元素以 HF 和 HCl 随烟气排入大气的比例很小，主要是在窑内形成内循环和随熟料排出窑外，因此本规范从不影响水泥生产和水泥产品质量的角度规定了废物中 F、Cl 元素的含量。同废物中重金属含量限值规定的方法类似，废物中 F、Cl 元素含量的限值应满足本规范 7.6.8 条的要求。

SO₂ 的排放主要来自于原料带入的易挥发性硫化物和有机硫；另一方面，从窑头或窑尾高温区投入的 S 元素以及从配料系统投加的硫酸盐 S 易造成窑内结皮影响水泥生产过程。本规范从以上两个方面规定了废物中 S 元素的含量，同废物中重金属含量限值规定的方法类似，废物中 S 元素含量的限值应满足本规范 7.6.9 条的要求。

本规范对 6.2.5 条对入窑废物的腐蚀性进行了限制，即不能对设施造成腐蚀。对于高腐蚀性的废物，可通过中和预处理降低废物腐蚀性或对设施进行防腐性改造后再投入窑内。

5.3 替代混合材的废物特性要求

本规范 6.3 节规定了可掺入熟料替代混合材的废物特性要求。

可作为混合材掺入水泥熟料的废物主要为某些工业矿渣，如粒化高炉矿渣、粉煤灰、精炼铬铁渣、粒化电炉磷渣、粒化高炉钛矿渣、增钙液态渣、钢渣、火山灰质混合材（烧黏土、煤矸石、煤渣、硅质渣、沸腾炉渣）等，其中已制定国家标准或行业标准的有：粒化高炉矿渣、粉煤灰、精炼铬铁渣、粒化电炉磷渣、粒化高炉钛矿渣、增钙液态渣、钢渣、火山灰质混合材（烧黏土、煤矸石、煤渣、硅质渣、沸腾炉渣）。因此，作为替代混合材的固体废物应该满足国家或者行业有关标准，并且不对水泥质量产生不利影响，利用硅锰渣、锰铁渣做水泥混合材时，渣中氧化锰含量应低于 15%。

替代混合材只是将废物掺入水泥熟料，未经过高温过程。因此，未经处理的危险废物，含有机物的固体废物，液态和半固态固体废物不能作为混合材原料。

6. 协同处置运行操作环境保护技术要求

本规范第 7 章规定了协同处置水泥企业在运行操作方面的要求。

6.1 入厂前废物的特性分析

本规范 7.1 节规定了废物在入厂前进行特性分析的程序和要求。

为确保待接收的废物符合协同处置要求，降低废物在运输、贮存、预处理和

协同处置过程中的事故风险，在与产废单位签订协同处置合同及废物运输到协同处置企业之前，应对废物进行取样分析并进行准入评估。本规范 7.1.1 条指出了废物在入厂前进行特性分析的目的。

7.1.2 条规定了入厂前废物分析的程序。

废物产生单位可能掌握有关废物特性的大量信息，废物产生单位还可能会事先将几种废物混合。协同处置企业应通过与废物产生单位的沟通和交流，了解产生废物的生产工艺和废物产生过程，收集废物物理和化学特性、健康和安全风险的相关信息，这将有助于进行正确的取样和分析以及进行合理评估和判断，并大大简化分析和评估程序。

协同处置企业应尽量自行委派专业人员到废物产生地点进行采样，采样方法符合《工业固体废物采样制样技术规范》(HJ/T 20-1998)和《危险废物鉴别技术规范》(HJ/T 298-2007)中有关采样方法的要求，确保所采样品具有代表性，并充分考虑产废工艺波动的影响。若废物取样或/和分析由产废单位完成，则产废单位除了提供上述参数的分析结果外，还应符合以下要求，确保所采样品具有代表性，确保样品采集和分析符合要求：提供采样位置、份样量、份样数和废物量、采样方法、采样时的工艺工况（常规工况、停机工况、维护工况等）等相关信息；样品标签信息清晰完整，明确废物危险特性信息和安全操作信息，提供废物生产工艺和产生过程信息。记录和备案废物产生、采样、样品送交、样品分析等各环节相关信息（负责人、操作程序等）。

废物分析参数一般应包括：

- (1) 物理性质：容重、尺寸、物理组成；
- (2) 化学特性：pH 值、闪点；
- (3) 工业分析：灰分、挥发分、水分、低位热值；
- (4) 元素和成分分析：对于替代燃料，分析 C、H、N、O、S 含量；对于替代原料，分析 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 含量；
- (5) 有害元素和物质分析：Cl、S、Mg、碱金属（K、Na）、重金属（Cd、Hg、Tl 等）含量，主要有机物种类和含量；
- (6) 特性分析(腐蚀性、反应性、易燃性)、相容性。

经废物特性经双方确认后应在处置合同中注明，以便在废物入厂后进行对比分析和检查。

7.1.3 条规定了根据分析测试结果判断该废物是否可进行协同处置的标准。

(1) 确定待接收的废物是否属于不适合水泥窑协同处置的废物类别，是否符合经营许可证规定的废物类别要求，协同处置该类废物是否满足国家和当地的相关法律和法规；

(2) 针对废物在运输、卸载、储存和协同处置过程中可能对人员健康和环境安全风险，确定应对这些风险的所需的安全保护设备和管理措施是否安排到位，操作人员是否能安全地处理废物，一些危险废物的危险分类可参考下表；

表 16 一些危险废物的危险分类

废物种类	危险分类
废酸类	刺激性/腐蚀性（视其强度而定）
废碱类	刺激性/腐蚀性（视其强度而定）
废溶剂如乙醇、甲苯	易燃
卤化溶剂	有毒
油—水混合物	有害
氰化物溶液	有毒
酸及重金属混合物	有害/刺激性
重金属	有害
含六价铬的溶液	刺激性
石棉	石棉

(3) 评估废物对水泥窑尾气排放、水泥产品质量以及水泥生产工艺过程稳定性和的潜在影响，确定协同处置企业现有设施是否有能力协同处置该类废物；

通过以上分析和评估，确定是否接收该类废物进行协同处置。若该类废物通过了准入评估程序，协同处置企业即可与产废单位签订协同处置合同，启动运输程序。

对于同一产废单位同一生产工艺产生的不同批次废物，在生产工艺操作参数未改变的前提下，废物特性变化不大，因此可以仅对首批次废物进行采样分析，其后产生的废物采样分析在入厂后制定处置方案时进行。

本规范 7.1.5 条规定了入厂前废物分析样品保存的要求，用于事故和纠纷的调查。

6.2 废物的接受与分析

本规范 7.2 节规定了协同处置企业对废物的接受和入厂后分析的要求。

本规范 7.2.1 条规定了入厂时废物进行检查的程序和要求。通过废物的入厂检查，核实废物特性是否与准入评估时所得信息一致，对废物进行入厂控制。

其中 (1) 款规定了入厂检查的项目。入厂检查应快速、便捷、易于操作，可在废物入厂时并在进入贮存设施或预处理前快速完成检查，并作出判断是否可

进厂和进入下一步处理流程。

其中（2）款规定了对于入厂检查不符合要求的废物的处理程序。不符合要求的情况包括：拟入厂废物与转移联单或所签订合同的标注废物不一致，或者废物包装发生破损或泄漏，此时应立即与废物产生单位、运输单位和运输责任人联系，共同进行现场判断，并根据不同的情况按采用不同的处理程序：

（1）如果该废物在企业现有条件下可以进行协同处置，并确保在废物分析、贮存、运输、预处理和协同处置过程中不会对生产安全和环境保护产生不利影响。此时，该废物可以进入企业贮存库或者预处理车间，经特性分析鉴别后按照常规程序进行协同处置。

（2）如果无法确定该废物特性。此时，应将该批次废物作为不明性质废物，按照本规范 8.5 节规定处理。

（3）如果确定协同处置企业无法处置该批次废物。此时，应立即向当地环境保护行政主管部门报告，并退回到原产生单位，或送至有关主管部门指定的专业处置单位。必要时应通知当地安全生产行政主管部门和公安部门。

本规范 7.2.2 条（1）款指出了废物入厂后再次进行取样分析的目的和分析结果不符合要求的废物的处理程序。废物在入厂时的检查仅限于易于操作、适合现场进行并可立刻得到检测结果的项目，对于那些不能现场进行或不能立刻得到检测结果的项目，还需在废物入厂后及时进行详细的取样和分析，以判断废物特性是否与合同注明的废物特性一致，并为制定协同处置方案提供最直接和可靠的依据。

入厂后采样和分析程序和要求包括：

（1）废物入厂后进入卸载和临时贮存区卸载和临时存放废物，并立即进行采样分析。

（2）废物入厂后的采样方法符合《工业固体废物采样制样技术规范》（HJ/T 20-1998）和《危险废物鉴别技术规范》（HJ/T 298-2007）中有关采样方法的要求，确保所采样品具有代表性。

（3）废物入厂后的分析指标与废物入厂前分析类似。

（4）将分析结果与入厂前分析结果以及协同处置合同进行对比，确定废物是否接受。若废物符合接受要求，通过分析结果确定废物贮存、预处理和协同处置方案；若入厂后的分析结果与合同注明的废物特性不一致，仍按照本规范 7.2.2 的处理程序进行处理。

(5) 分析后的废物应进行明确的标签标注，标签一般应包括以下信息：废物编号、废物名称、主要有害成分、安全操作要求、产废单位、入厂日期等。

本规范 7.2.3 条 (2) 款提出了协同处置企业应对各个产废单位的相关信息进行定期的统计分析，评估其管理的能力和废物的稳定性，并适时协商对协同处置合同进行修订。若某产废单位具有较高的生产管理水平，废物特性长期保持稳定，废物入厂后分析结果始终与合同保持一致，则协同处置企业可将该产废单位归为高信誉合作单位，保持长期的业务往来。

本规范 7.2.3 节提出了入厂后制定协同处置方案的程序和要求。

其中 (1) 款条提出以废物入厂后的分析检测结果为依据，制定废物协同处置方案。废物协同处置方案应涵盖协同处置的各个环节，包括贮存、输送、预处理和入窑协同处置技术流程、配伍和技术参数，以及安全风险和相应的安全操作提示。

其中 (2) 款指出了制定了协同处置方案时应注意的关键环节。

(1) 不同废物在预处理的混合、搅拌过程中，不发生导致急剧增温、爆炸、燃烧的化学反应，不产生有害气体。

不同废物混合或接触过程可能产生的化学反应参考下表。

表 17 不同废物混合或接触过程可能产生的化学反应参考表

序号	反应物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	38	40	41					
1	非氧化性无机酸																																														
2	氧化性无机酸																																														
3	有机酸		G H																																												
4	醇/二醇	H	H B	H P																																											
5	醛	H P	H B	H P																																											
6	氨基化合物	H	H T																																												
7	胺	H	H T	H		H																																									
8	偶氮和重氮基化合物/肼	H G	H T	H G	H																																										
9	氨基甲酸盐	H G	H T							G																																					
10	苛性碱	H	H	H		H					H G																																				
11	氰化物	T F	T F	T F							G																																				
12	二硫代氨基	H	H	H		F		U	H																																						

(2) 废物及其混合物在贮存、厂内运输、预处理和入窑焚烧过程中不对所接触材料造成腐蚀破坏。

危险废物种类与一般容器的化学相容性可参考下表。

表 18 不同危险废物种类与一般容器的化学相容性

类别	容器或衬垫的材料							
	高密度聚乙烯	聚丙烯	聚氯乙烯	聚四氟乙烯	软碳钢	不锈钢		
						0Cr ₁₈ N ₁₅ (GB)	Mo ₈ Ti(GB)	9Cr ₁₈ MoV(GB)
酸（非氧化） 如硼酸、盐酸	R	R	A	R	N	*	*	*
酸（氧化）如 硝酸	R	N	N	R	N	R	R	*
碱	R	R	A	R	N	R	*	R
铬或非铬氧化 剂	R	A*	A*	R	N	A	A	*
废氧化物	R	R	R	A*-N	N	N	N	N
卤化或非卤化 溶剂	*	N	N	*	A*	A	A	A
金属盐酸液	R	A*	A*	R	A*	A*	A*	A*
金属淤泥	R	R	R	R	R	*	R	*
混合有机化合 物	R	N	N	A	R	R	R	R
油腻废物	R	N	N	R	A*	R	R	R
有机淤泥	R	N	N	R	R	*	R	*
废漆油（原 溶剂）	R	N	N	R	R	R	R	R
酚及其衍生物	R	A*	A*	R	N	A*	A*	A*
聚合先驱物及 产生的废物	R	N	N	*	R	*	*	*
皮革废物（铬 鞣溶剂）	R	R	R	R	N	*	R	*
废催化剂	R	*	*	A*	A*	A*	A*	A*

A:可接受；N：不建议使用；R：建议使用。

*：因变异性质，请参阅个别化学品的安全资料。

(3)入窑废物中有害物质的含量和投加速率满足本规范 5.2 节和 6.7 节要求，防止对水泥生产和水泥质量造成不利影响。可以通过不同废物的相互配伍调整有害物质的含量，在不减少废物处理能力的基础上满足有害物质含量和投加速率的要求。

其中（3）款指出在制定协同处置方案的过程中，如果无法确认是否可以满

足 7.2.3 条 (2) 款的要求, 应通过验证试验确认。通常的验证试验为相容性测试, 确定不同的废物在混合过程中或与包装容器是否发生化学反应, 以减小废物在运输、贮存、预处理过程中的风险。相容性测试一般包括以下几个程序:

(1) 将待接收的废物样品按一定的比例与待共同运输、共同贮存或混合处理的废物样品进行混合。

(2) 将待接收的废物样品与待盛装的容器材料进行接触或混合。

(3) 混合或接触的样品应代表最易发生反应的最差工况, 如有效成分浓度最高、接触面积最大等。

(4) 识别混合或接触过程产生的气体、异味、沉淀、分层、溶解、凝结、聚合、发热等化学反应和化学现象。

(5) 充分考虑实验过程和实际操作过程的差异, 如实际操作中的废物量远大于实验样品量, 实际操作中发生的化学反应可能远比实验中剧烈, 产生的更多气体、热量等, 因此应考虑到实际操作过程相对实验室相容性测试结果的同比例放大效应。

(6) 记录和备案相容性测试过程中发生的化学反应和化学现象, 如温度的升高、气体的产生、压力的升高、粘度的改变、沉淀和分层的产生、异味的产生、材料的溶解等。

本规范 7.2.4 条规定了废物入厂检查和分析结果应该记录备案, 与废物协同处置方案共同存档保存, 保存时间不应低于 3 年, 以加强对废物协同处置的全程跟踪和控制。

记录和备份的废物信息一般包括: 废物入厂日期, 产废单位详细信息, 入厂前分析、入厂时检查和入厂后分析结果, 包装信息, 运输信息, 贮存, 预处理和协同处置方案, 操作风险和安全操作要求等。为便于日后进行的追查和审核, 废物分析样品也尽量进行预留和保存。

6.3 贮存的技术要求

本规范 7.3 节规定了危险废物贮存的技术要求。

危险废物在协同处置水泥企业贮存的操作运行和管理首先应满足目前我国危险废物贮存相关标准规范中的要求, 包括《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597) 和《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》(HJ/T176)。

协同处置水泥企业应将危险废物与水泥生产原料、燃料和产品分开贮存。

协同处置水泥企业可能会接收不明性质的危险废物，贮存不明性质的危险废物具有不可控的未知风险，因此不明性废物应尽快进行特性分析，尽量降低暂存时间，不应超过 1 周。

在液态废物贮存区应设置足够数量的砂土、废布料或其它吸收性物质，用于液态废物泄漏后阻止其向外溢出，特殊情况下应用煤油等溶剂清洗被污染容器的表面，以洗去残留的危险废物。

6.4 预处理的技术要求

本规范 7.4 节提出了预处理的技术要求。

6.4.1 预处理目的

本规范 7.4.2 条指出了预处理的目的。

投入水泥窑的废物应具有均质性，物理特性，如热值、含水率、挥发份含量、灰分含量、粒度、粘度等，和化学组成，如矿物成分（ CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ）含量、有害元素含量（K、Na、Mg、Cl、F、S、P、重金属等）等符合进窑要求。除少数入厂废物可直接入窑外（如废油、废溶剂等），大多数入厂废物因不满足入窑废物要求，不能直接投入窑中，必须根据自身特点和对入窑废物的要求，采取相应的预处理工艺转变为符合要求的入窑废物后才能投入窑中。

预处理的目的即使为不满足入窑要求的入厂废物转变为均质性、物理特性和化学组成满足入窑要求的入窑废物，满足已有设施进行输送、投加的要求。同时，废物通过混合和均一化预处理后还可以增大进料量，提高处置效率。

6.4.2 预处理方式

本规范 7.4.1 条列举了废物预处理的各种方式。预处理方式包括废物的分选、干燥、脱水、破碎、筛分、搅拌、中和、流态化、物相分离、造粒压型、配伍、混合、搅拌、均质等工序。

对成分复杂的混合物需要按照成分进行分选，再根据各种成分的特点选择最佳处置方式，如生活垃圾可按厨余、可燃物、惰性成分进行分类，厨余用来发酵，金属、纸版等有回收价值的废物回收利用，其他低品质可燃物和惰性成分经均质化预处理后进入水泥窑协同处置等；对含水率高影响水泥生产工艺的废物需要进行干燥，如大规模协同处置污水厂污泥；体积大小和均一性不满足进料要求的废物需进行破碎和筛分；非均质性的废物需进行搅拌；酸碱性废物需要互相中和或加药剂中和减小腐蚀性，如无机酸碱废液；为增大废物流动性以便通过泵力密闭输送和进料，需要通过流态化增大废物流动性；通过沉淀、离心、萃取等方法进

行物相分离，分离后的各部分根据自身特点分别选择最佳处置方式，如油污染土壤分离出油类作为替代燃料从窑头加入，土壤作为替代原料从窑尾加入；某些可燃物可以通过造粒压型后制成便于运输、贮存、燃烧的固体燃料颗粒，如 RDF；为增大进料量和均质性，满足进料的要求（物相、粘度），确保废物协同处置不影响水泥生产过程、不影响水泥质量，可根据废物物理化学特性（成分、热值、物相、粘度等）将适当的废物进行混合和配伍。

各种预处理方式和特点如下表所示。

表 19 水泥窑协同处置预处理方式

预处理方式	过程描述	备注
分选	对成分复杂的混合物需要按照成分进行分类	适合成分复杂的混合物，如生活垃圾，分拣后各成分根据各自特点选择最佳处置方式
干燥	含水率高影响水泥生产工艺的废物需要进行干燥	适用于干法回转窑，如大规模协同处置污水厂污泥
破碎	体积大小和均一性不满足进料要求的废物	
筛分	需进行破碎和筛分	
搅拌	非均质性的废物需进行搅拌	
中和	酸碱性废物需要互相中和或加药剂中和减小腐蚀性	特别适用于无机酸碱废液
流态化	增大废物流动性以便通过泵力密闭输送和进料	
物相分离	通过沉淀、离心、萃取等方法进行物相分离，分离后的各部分根据自身特点分别选择最佳处置方式	如油污染土壤分离出油类作为替代燃料从窑头加入，土壤作为替代原料从窑尾加入
造粒压型	某些可燃物可以通过造粒压型后制成便于运输、贮存、燃烧的固体燃料颗粒	如制造 RDF
混合配伍	增大进料量和均质性，满足进料的要求（物相、粘度），确保废物协同处置不影响水泥生产过程、不影响水泥质量，可根据废物物理化学特性（成分、热值、物相、粘度等）将适当的废物进行混合和配伍。	适用于所用废物类型，尤其是液态废物

6.4.3 预处理过程的污染控制和环境保护

预处理过程可能产生粉尘、恶臭、废水等污染物，本规范 7.5.3 规定了预处理区域的环境质量应分别满足《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2）、《恶臭污染物排放标准》（GB14554）、《污水综合排放标准》（GB8978）的限值标准。

6.4.3.1 粉尘的排放控制和要求

（1）粉尘排放源

粉尘主要来自于吸附剂（如锯末）和粉末状废物的装卸、操作和处理过程。

（2）排放要求

预处理过程的粉尘排放应满足《工业场所有害因素职业接触限制》（GBZ 2）的要求。

（3）控制方法

粉末状废物的操作过程在密闭的室内进行，保持室内的负压，含尘废气由专门的排气管道经布袋除尘器处理后排出。

锯末、粉状废物、固态废物的装载输送过程应加防护罩。

各种预处理设施如各种容器、搅拌器、过滤器、筛分机、磁力分离器、均化混合器等应保持较好的密闭性。

采用喷淋装置增大工作空间空气湿度。

6.4.3.2 恶臭和 VOC 的排放控制和要求

（1）恶臭和 VOC 排放源

绝大多数入厂废物含有各种有机物，在预处理过程中，随着环境温度和压力的变化，挥发性有机物从废物中挥发释放，并引起恶臭。VOC 和恶臭的排放与废物特性有关，如闪点、蒸汽压、VOC 浓度等，同时受操作环境温度压力以及天气条件的影响。恶臭和 VOC 的排放主要发生在废物装卸、倾倒、处理过程中。

（2）排放要求

预处理过程的恶臭污染物排放应满足《恶臭污染物排放标准》（GB14554）的要求。

（3）控制方法

挥发性废物的操作过程在密闭的空间进行，操作空间内保持负压，处理设施和操作空间的 VOC 废气由专门的排气管道收集，导入水泥窑高温区，或经布袋除尘器和 VOC 吸附过滤设施后排入大气。

确保密闭操作空间内的 VOC 浓度低于爆炸极限下限，常见挥发性有机蒸气的爆炸极限见下表，可在操作空间内设置可燃气体检测报警装置；为确保低闪点高挥发性废物在破碎、搅拌混合装置中的操作安全性，可在破碎、搅拌混合仓中充入氮气，使氧浓度降至 6%-8% 以下，此时一般可确保闪点低于 0℃ 的废物的搅拌混合操作安全。

表 20 常见挥发性有机蒸气的爆炸极限

有机蒸气	爆炸极限浓度范围				有机蒸气	爆炸极限浓度范围			
	按容积/%		按重量/(g/m ³)			按容积/%		按重量/(g/m ³)	
	下限	上限	下限	上限		下限	上限	下限	上限
醋酸异戊酯	2.2	10	119	541	乙醚	1.85	40	57	1232
丙酮	2	13	48.3	314	甲乙酮	1.8	11.5	54	345
汽油	1.2	7			环乙酮	3.2	9	131	368
苯	1.4	9.5	45.5	308	甲醛	7	73	87.5	913
正丁醇	3.7	10.2	114	314	乙醛	4	57	73.3	1045
二氯乙烷	6.2	15.9	256	656	氯乙烯	4	22	104	573
二氯乙烯	9.7	12.8	392	517	丙烯	3	17	66.2	375
二甲苯	1.1	6.4	48.9	283	环氧乙烷	3.6	78	66	1430
醋酸甲酯	3.1	15.6	97.1	481	环氧丙烷	2.5	38.5	60.4	931
甲醇	5.5	37	73.4	493	吡啶	1.8	12.4	59.2	408
二硫化碳	1	50	31.6	1580	氰化氢	6	40	67.5	450
甲苯	1.3	7	49.8	268	乙醇	3.3	19	63.2	364
醋酸乙酯	2.2	11.4	80.6	418					

6.4.3.3 废水的排放

(1) 废水排放源

预处理过程的产生的废水主要来自于清洗废物（如盛装废物的容器、车辆的清洗、废物预处理设施的清洗等）以及预处理工艺（如废物干化、废物传输过程的沉淀等）。

(2) 排放要求

预处理过程产生的废水应尽量返回工艺流程循环使用，回用水质应满足《生活杂用水水质标准》（CJ25.1）。如需外排时，应进行处理，满足《污水综合排放标准》（GB8978）的要求。

(3) 控制方法

低污染废水经净化处理后尽量循环使用，如用于厂内各种清洗工艺。

难以净化处理的高污染废水可按照液态或浆状入窑废物的预处理方式预处理后投入水泥窑高温区。

6.4.4 预处理过程产生的副产物和废物

预处理过程中，还会产生一些副产物和废物，本规范 7.4.6 条规定预处理产生的各种废物均应作为危险废物进行管理和处置。

(1) 副产物和废物种类和来源

A) 废物包装物，包括各种盛装废物的金属容器、塑料容器、袋子等。

B) 预处理过程产生的碎片或残渣，包括分选、过滤、筛分过程产生的各种固体和浆状残渣。

C) 污染治理设施残渣：包括废水处理设施和空气净化设施产生的废活性炭等。

D) 实验室产生的废物和废弃的样品。

(2) 预处理过程产生的副产物和废物的处理

各种废物包装物尽量清洗后重复使用，清洗用水尽量取自厂内污水经处理后的循环水。污染严重不便清洗的包装物可按照固态入窑废物的预处理方式预处理后投入水泥窑高温区。

分选和分离过程产生的金属、塑料碎片尽量清洗后回收利用。污染严重不便回收利用的碎片和残渣可按照固态入窑废物的预处理方式预处理后投入水泥窑。

实验室产生的废物和废弃的样品应按照相应的预处理方式预处理后投入水泥窑。

6.4.5 预处理区域的安全防护

本规范 7.4.4 条和 7.4.5 条分别规定了预处理区域的防火和防泄漏外逸的要求。由于危险废物预处理区域和贮存区域一样，是发生火灾和泄漏事故的高风险区域，因此预处理区域的防火和防泄漏外逸要求与贮存区域一致。

6.5 厂内输送的技术要求

本规范 7.5 节规定了废物在厂内输送的技术要求。

废物在厂内各环节间进行输送时，应防止废物扬尘或泄漏，防止有害气体逸散。采用车辆在厂内运输危险废物时，应按照运输车辆的专用路线行驶。危险废物运输车辆应定期进行清洗，清洗废水按照预处理废水的要求进行处理。厂内输送设施管理、维护产生的各种废物均应作为危险废物进行管理和处置。

6.6 投加的技术要求

本规范 7.6 节规定了废物投加的技术要求。

6.6.1 投加的基本要求

只有在水泥窑保持正常运行工况的前提下，水泥窑内的气固相温度和停留时间才能保证危险废物的无害化处置，因此，本规范 7.6.2 条指出废物投加时应保

证窑系统工况的稳定。废物在投加过程还应保持密闭，防止废物泄漏、飘散、气体逸出、向窑内漏风。

6.6.2 投加位置的选择和投加方式

本规范 7.6.1 条和 7.6.3—7.6.6 条规定了废物投加位置选择的要求。

新型干法窑的煅烧过程如下图所示，物料和烟气流向相反。物料流向和反应过程：生料磨→预热器→分解炉→回转窑→冷却机；烟气流向：回转窑→分解炉→预热器→增湿塔→生料磨→除尘器→烟囱。

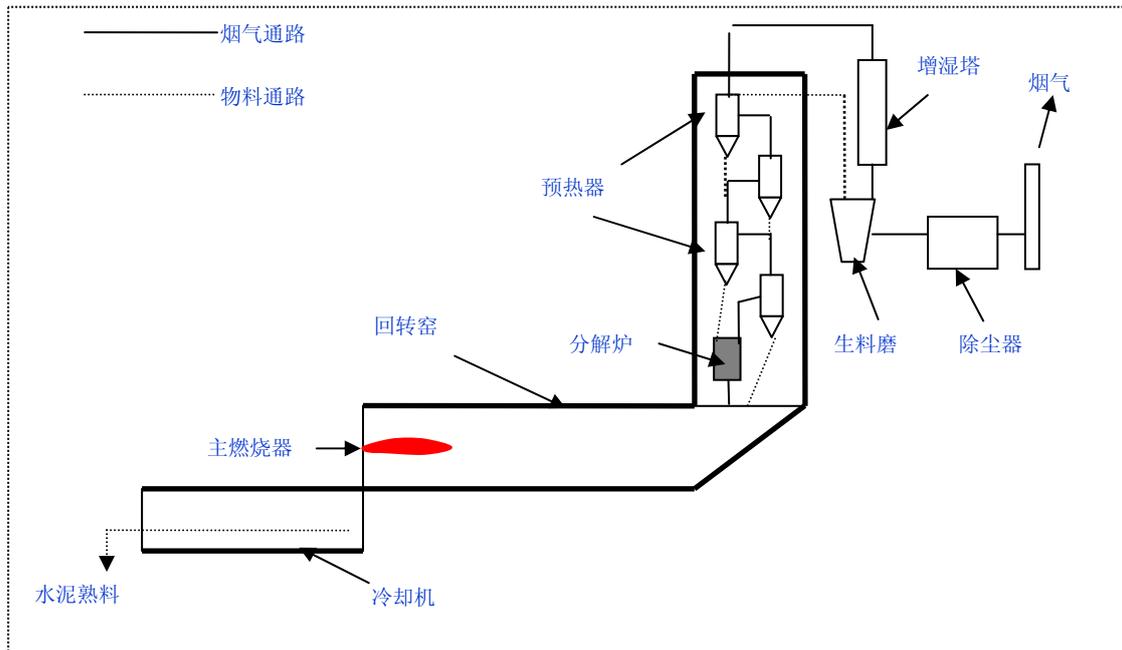
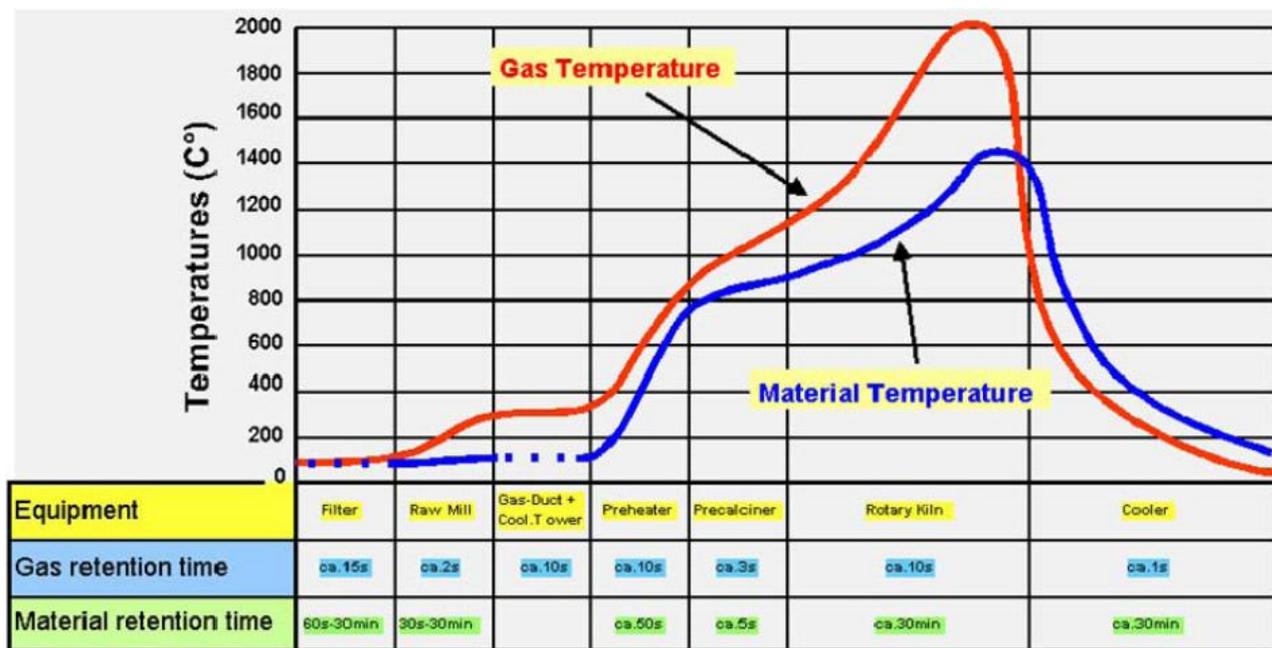


图 2 新型干法窑的煅烧过程

新型干法窑的气固相温度分别如下图。悬浮预热器内：物料温度 100—750℃，停留时间 50s 左右；气体温度 350—850℃，停留时间 10s 左右。分解炉内：物料温度 750—900℃，停留时间 5s 左右；气体温度 850—1150℃，停留时间 3s 左右。回转窑窑内：物料温度 900—1450℃，停留时间 30min 左右；烟气温度 1150—2000℃，停留时间 10s 左右。



由于不同的投加位置具有不同的气固相温度分布，废物投入后的停留时间也不同，因此，应依据废物的物理、化学特性以及不同投加点的气固相温度分布和停留时间，选择合适的废物投料位置。

6.6.2.1 窑头高温段投加点

(1) 主燃烧器投加点

(a) 特点

优势：温度最高，气相停留时间最长，废物喷入距离可调整；劣势：物料停留时间短，火焰易受影响，对废物物理特性有较多限制。

(b) 适合投入的废物特性

物理特性：液态废物；易于气力输送的粉状或小粒径废物。

化学特性：含 POPs 和高氯、高毒、难降解有机物质的废物；热值高、含水率低的有机废液。

(c) 投加方式

通过泵力输送投加的液态废物不应含有沉淀物，以免堵塞燃烧器喷嘴；通过气力输送投加的粉状废物，从多通道燃烧器的不同通道喷入窑内，若废物灰分含量高，尽可能喷入窑内距离窑头更远的距离，尽量达到固相反应带，以保证喷入

的废物与窑内物料有足够的反应时间。

(2) 窑门罩投料点

(a) 特点

优势：温度最高，气相停留时间最长，火焰不易受影响；劣势：废物喷入距离短，物料停留时间最短。

(b) 适合投入的废物特性

物理特性：通常为液态废物；少数情况下也可投加固体废物。

化学特性：热值低、含水率高的有机废液和无机废液，尤其适合含 POPs 和高氯、高毒、难降解有机物的废液。

(c) 投加方式

投加固体废物时，可以采用特殊设计的投加设施，确保将固体废物投至距离窑头更远的距离，避免废物未充分燃烧或燃烧残渣未充分与物料反应即随熟料排出窑外而进入冷却机；投加的液态废物通过泵力输送至窑门罩喷入窑内。

6.6.2.2 窑尾高温段投加点

(1) 窑尾烟室投料点

(a) 特点

优势：温度较高，气相停留时间较长，物料停留时间长，分解炉燃烧工况不易受影响，物料适应性广；劣势：温度和气相停留时间均大大低于窑头高温区，窑尾温度易受影响且不易调节。

(b) 适合投入的废物特性

物理特性：各种物态废物，包括液态、粉状、浆状、小颗粒状、大块状。

化学特性：有机废物；含有机物的废物；有机和无机废液；含 POPs 和高氯、高毒、难降解有机物质的废物因受物理特性限制不便从窑头投入时可从该处投入。

(2) 分解炉和上升管道投料点

(a) 特点

优势：温度较高，气相停留时间较长，物料停留时间长，有利于控制温度波动（通过调整常规燃料添加量）；劣势：温度和气相停留时间均大大低于窑头，

气流、压力和分解炉燃烧工况易受影响。

(b) 适合投入的废物特性

物理特性：粒径较小的固体废物。

化学特性：与窑尾烟室类似，但为了避免影响分解炉内气流、压力和燃烧工况，含水率高的废物尽量不从此处投加。

(3) 窑尾高温段投加方式

投加的液态、浆状废物通过泵力输送，粉状废物通过密闭的机械传送带或气力输送，大块状废物通过机械传送带输送。

6.6.2.3 原料磨投加点

(a) 特点

优势：物料停留时间最长，投料易于操作投料装置简单；劣势：温度最低，气相停留时间最短，有害成分和元素易挥发进入大气。

(b) 适合投入的废物特性

物料特性：固体废物，粒径适应性广，块状粉状均可。

化学特性：不含有机物和挥发半挥发性重金属的固体废物。

(c) 投加方式

采用与输送和投加常规生料相同的设施和方法。

6.6.3 重金属投加控制

本规范 7.6.7 条规定了入窑物料中重金属的最大允许投加量限值，以控制协同处置可能造成的重金属污染。

由水泥生产常规原燃料和危险废物带入窑内的重金属在窑内不会像有机物一样被分解，部分随烟气排入大气，部分进入熟料，部分在窑内不断循环累积。根据重金属的挥发特性，可将重金属分为 4 类，如下表。

表 21 微量元素在水泥窑内的挥发性分级

等级	元素	冷凝温度/°C
不挥发	Ba,Be,Cr,As,Ni,V,Al,Ti,Ca,Fe,Mn,Cu,Ag	—
半挥发	Sb,Cd,Pb,Se,Zn,K,Na	700-900
易挥发	Tl	450-550
高挥发	Hg	<250

不挥发类元素 99.9%以上被结合到熟料中；半挥发类元素在窑和预热器系统内形成内循环，最终几乎全部进入熟料，随烟气带入带出窑系统外的量很少；易挥发元素 Tl 在预热器内形成内循环和冷凝在窑灰形成外循环，一般不带入熟料，随烟气排放的量少，但随内外循环的积累，随净化后烟气排放的 Tl 逐渐升高；高挥发元素 Hg，主要是凝结在窑灰上或随烟气带走形成外循环和排放，不带入熟料。

因此，控制水泥窑协同处置的重金属污染，应从控制排放烟气中的重金属浓度和水泥产品中的重金属含量两个方面考虑。

6.6.3.1 排放烟气中重金属浓度控制

烟气中重金属浓度除了与废物中重金属含量有关外，还与废物的投加速率、水泥窑产量、常规原料和燃料中重金属含量等有关。因此，通过限制重金属的投加量（每生产单位质量的熟料时，重金属的投加质量）和投加速率（单位时间内重金属的投加质量）控制排放烟气中的重金属浓度满足《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 18484）规定的浓度限值。确定重金属的最大投加量和投加速率限值的方法如下：

通过实验数据和文献资料确定重金属的挥发率；根据《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 18484）规定的烟气中重金属排放浓度限值，以及生产 1kg 熟料产生 2.3 Nm³ 烟气（参考欧盟 BREF 报告），计算得到生产 1kg 熟料时重金属最大投加量，重金属最大投加量乘以单位时间熟料产量，即为重金属最大投加速率（不包括混合材带入的重金属）。

6.6.3.2 水泥产品中的重金属含量控制

水泥产品中的重金属在水泥产品使用过程会发生释放，从而污染环境和危害人体健康，重金属的释放量与水泥产品中的重金属含量有关。因此，通过限制重金属的投加量和投加速率（单位时间内重金属的投加质量）控制水泥产品中的重金属含量，从而控制重金属的释放量满足《固体废物生产水泥污染控制标准》（GB 18484）规定的释放量（即有效量）限值。

确定重金属的最大投加量和投加速率限制的方法如下：

通过实验数据和文献资料确定水泥胶砂块中重金属含量与《固体废物生产水泥污染控制标准》中定义的重金属有效量的关系（即浸出率）；协同处置过程中，除易挥发的 Tl 和高废物性的 Hg 外，假设其他重金属元素 100% 进入熟料；根据《固体废物生产水泥污染控制标准》（GB 18484）规定的释放量限值，计算得到生产 1kg 水泥时重金属最大投加量，重金属最大投加量乘以单位时间熟料产

量及水泥与熟料的质量比，即为重金属最大投加速率（包括有混合材带入的重金属）。

新型干法回转窑内的强碱性和强氧化气氛会将物料中的三价铬氧化为六价铬。因此，对于新型干法窑，根据最不利原则，假设煅烧过程中物料中三价铬氧化率为 100%，因此从《固体废物生产水泥污染控制标准》六价铬释放量限值计算入窑生料中的 Cr 时应计总 Cr。

6.6.3.3 重金属的最大允许投加量

由 6.6.3.1 和 6.6.3.2 节分别计算得到的重金属最大投加量限值，即为本规范 7.6.7 条规定的重金属的最大允许投加量限值。

6.6.4 氯元素和氟元素的投加控制

由于新型干法水泥窑内的强碱性环境和气固相的充分混合，F、Cl 元素以 HF 和 HCl 随烟气排入大气的比例很小，主要是在窑内形成内循环和随熟料排出窑外。因此，本规范 7.6.8 条从不影响水泥生产和水泥产品质量的角度规定了入窑物料中 F 元素含量不应大于 0.5%，Cl 元素含量不应大于 0.04%，该数据参考相关研究文献。

入窑物料中 F 元素或 Cl 元素含量的计算公式如下：

$$C = \frac{C_w \times m_w + C_f \times m_f + C_r \times m_r}{m_w + m_f + m_r}$$

式中：C 为入窑物料中 F 元素或 Cl 元素的含量，%；

C_w 、 C_f 和 C_r 分别为废物、常规燃料和常规原料中的 F 元素或 Cl 元素含量，%；

m_w 、 m_f 和 m_r 分别为单位时间内废物、常规燃料和常规原料的投加量，kg/h。

6.6.5 硫元素的投加控制

由原料带入的易挥发性硫化物和有机硫在温度较低的悬浮预热器内易转变为 SO_2 ，这是排放烟气中 SO_2 主要来源；另一方面，从窑头或窑尾高温区投入的 S 元素在高温区易和碱性物料发生反应形成硫酸盐，这些反应生成的硫酸盐以及从配料系统投加物料带入硫酸盐易造成窑内结皮影响水泥生产过程。本规范 7.6.9 条分别从以上两个方面规定了 S 元素的投加限值。

6.6.5.1 排放烟气中 SO_2 浓度控制

为确保排放烟气中 SO₂ 浓度满足《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB 18484) 规定的浓度限值, 确定从配料系统投加的物料中硫化物 S 与有机 S 总含量限值的方法如下:

根据文献中 SO₂ 在预热器、增湿塔、生料磨的系数率数据, 并依据最不利原则, 由原料带入的硫化物和有机硫产生的 SO₂ 的烟气分配系数取 50%; 根据《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB 18484) 规定的烟气中 SO₂ 排放浓度限值 (100mg/Nm³), 并假设生产 1kg 熟料产生 2.3 Nm³ 烟气, 计算出生产 1kg 熟料的硫化物 S 和有机 S 投加速率为 230mg/kg-熟料, 以料耗 1.6 计, 从配料系统投加的物料中硫化物 S 和有机 S 总含量应不大于 0.014%。

从配料系统投加的物料中硫化物 S 和有机 S 总含量的计算公式如下:

$$C = \frac{C_w \times m_w + C_r \times m_r}{m_w + m_r}$$

式中: C 为从配料系统投加的物料中硫化物 S 和有机 S 总含量, %;

C_w 和 C_r 分别为从配料系统投加的废物和常规原料中的硫化物 S 和有机 S 总含量, %;

m_w 和 m_r 分别为单位时间内废物、常规燃料和常规原料的投加量, kg/h。

6.7.5.2 硫酸盐结皮控制

为确保窑内不发生因硫酸盐过度累积发生结皮, 从窑头、窑尾高温区投加的全 S 与配料系统投加的硫酸盐 S 总投加量不应大于 3000mg/kg-熟料, 该数据参考相关研究文献。

从窑头、窑尾高温区投加的全 S 与配料系统投加的硫酸盐 S 总投加量的计算公式如下:

$$FM_S = \frac{C_{w1} \times m_{w1} + C_{w2} \times m_{w2} + C_f \times m_f + C_r \times m_r}{m_{cli}}$$

式中: FM_S 从窑头、窑尾高温区投加的全硫与配料系统投加的硫酸盐硫总投加量, mg/kg-熟料;

C_{w1} 和 C_f 分别为从高温区投加的废物和常规燃料中的全硫含量, %;

C_{w2} 和 C_r 分别从配料系统投加的废物和常规原料中的硫酸盐 S 含量, %;

m_{w1} 、 m_{w2} 、 m_f 和 m_r 分别为单位时间内从高温区投加的废物、从配料系统

投加的废物、常规燃料和常规原料的投加量，kg/h；

m_{cli} 为单位时间的熟料产量，kg/h。

7. 协同处置过程的末端污染控制

本规范第 8 章规定了协同处置过程的末端污染控制要求。

7.1 窑灰处置和旁路放风

本规范 8.1 节规定了窑灰处置和旁路防风的要求。

协同处置过程产生的窑灰一般不会排出，而是随生料返回水泥窑循环利用生产熟料。但为避免外循环挥发性元素（Hg、Tl）在窑内的过度累积，协同处置水泥企业在发现排放烟气中 Hg 或 Tl 浓度过高时可以将除尘器收集的窑灰中的一部分排出水泥窑循环系统。

为避免内循环挥发性元素和物质（Pb、Cd、As、碱金属氯化物、碱金属硫酸盐）在窑内的过度积累，协同处置工厂可以定期在预热器底部进行旁路放风，排出部分内循环挥发性元素和物质。

定期将部分窑灰排出水泥窑循环系统和进行旁路放风的目的是避免挥发性元素在窑内的过度累积，因此，从水泥窑循环系统排出的窑灰和旁路放风收集的粉尘不能再返回水泥窑生产熟料。可以从水泥窑循环系统排出的窑灰或旁路放风收集的粉尘直接掺加入水泥磨，必须严格控制其掺加比例，确保水泥产品中的氯、碱、硫含量满足要求，水泥产品环境保护品质满足《固体废物生产水泥污染控制标准》（GB □□□□）中的标准值。

7.2 水泥产品环境安全性评价

本规范 8.2 节规定了危险废物协同处置生产的水泥产品环境安全性评价的要求。

协同处置生产的水泥产品质量应满足《通用硅酸盐水泥》（GB175）的要求，该标准涉及了与水泥产品使用性能有关的指标。

关于协同处置的水泥产品环境安全性指标，应按照《固体废物生产建材环境保护控制标准》（GB □□□□）规定的方法进行重金属浸出分析测试，测试结果应满足《固体废物生产建材环境保护控制标准》（GB □□□□）的要求。

定期对水泥产品安全性进行评价监测，取样方法、监测频次等应按照《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB □□□□）的要求执行。

7.3 烟气排放

本规范 8.3 节规定了危险废物协同处置的烟气排放要求。

水泥窑协同处置危险废物的排放烟气和监测方法均应满足《水泥窑协同处置危险废物污染控制标准》(GB □□□□) 的要求。

8. 协同处置设施性能测试（试烧）要求

本规范第 9 章节提出了协同处置设施性能测试（试烧）的程序和要求。

8.1 试烧目的

协同处置企业在首次开展协同处置危险废物之前，应开展危险废物试烧测试和性能验证（临时应急处置的情况除外），试烧结果合格后方可颁发危险废物的经营许可证。试烧的目的是检验和了解协同处置所用水泥窑的污染控制水平和对有机化合物的分解破坏能力和效果。

试烧测试包括未投加废物的空白测试和投加有机标识物的试烧测试。空白测试的目的是检测水泥窑未协同处置废物时的污染物排放背景值，代表所用水泥窑常规生产时的污染控制水平；试烧测试目的是检验所用水泥窑对有机物的分解破坏能力，以及协同处置废物时的污染物排放值，代表水泥窑协同处置废物时的污染控制水平。

本规范 9.1.1 条即是针对上述内容提出的。

8.2 试烧测试操作程序和要求

本规范 9.1.2—9.1.9 规定了试烧测试的操作程序和要求。

首先进行空白测试，空白测试时的工况应与正常生产时工况相同，并采用窑磨一体机操作模式。然后进行试烧测试，应选择危险废物协同处置时的设计工况作为测试工况，采用窑磨一体机操作模式，按照废物设计的投加速率稳定投加废物，持续时间不小 12 小时。

为检验水泥窑对有机物的分解破坏能力，试烧测试时，应根据投加废物的特性和本规范 9.1.5 条的要求在废物中选择适当的有机标识物，测定其分解去除率（DRE）。由于分析检测仪器对有机标识物的检出能力有限，当废物中的有机标识物浓度过低时，可能得不到有效的 DRE 值。因此，本规范 9.1.7 条规定了试烧测试时有机标识物投加速率的最小限值，该值与采用的采样分析仪器对该有机标识物的检出限和单位时间的烟气产生量有关。如果试烧的废物不含有机标识物或其含量不能满足最小限值要求，需要外加有机标识物的化学品来进行试烧测试。

本规范 9.1.5 条规定了选择有机标识物的原则。根据 DRE 的定义，若烟气中残留的有机标识物不能与烟气中的其他有机物明确区分，会造成 DRE 计算误差。

因此，所选的有机标识物应可以与排放烟气中的有机物有效区分。测定有机标识物 DRE 的目的是验证水泥窑对有机物的分解破坏能力，因此，应选择具有较高的热稳定性和难降解等化学稳定性的有机物作为标识物，若该种标识物在试烧测试时可达到满足要求的 DRE，则意味在实际协同处置过程中，其他有机物的 DRE 也可满足要求。参考美国水泥窑协同处置的试烧经验，可以选择的有机标识物包括六氟化硫（SF₆）、二氯苯、三氯苯、四氯苯和氯代甲烷，这几类有机物均属于美国 EPA 推荐的有机物热稳定性排序表中最稳定的第一类。

有机物在水泥窑的投加位置包括窑头和窑尾两处，窑头和窑尾具有不同的气固相温度和停留时间，有机物的 DRE 与投加位置也有关。因此，在试烧测试时，含有有机标识物的废物应分别在窑头和窑尾进行投加，分别对 DRE 进行测定和检验。若只选择上述两投加点之一进行试烧测试，则在实际协同处置运行时，含有机污染物的废物禁止从未经试烧测试的投加点投入水泥窑。

本规范 9.1.8 和 9.1.9 条规定了试烧时的检测要求。空白测试和试烧测试时的检测项目应按照《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB □□□□）的要求。为测定和检验有机标识物的 DRE，有机标识物试烧测试时还应检测烟气中的有机标识物浓度。

为了确保烟气采样时的水泥窑处于稳态运行工况，开始烟气采用的时间应在含有机标识物的废物投加 4 小时后。

8.3 试烧结果合格的判断依据

本规范 9.2 条规定了判断试烧结果是否合格的依据：

空白测试和试烧测试过程的烟气排放物应满足《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB □□□□）要求。

有机标识物的 DRE 不小于 99.9999%。通过测得的排放烟气中有机标识物浓度、单位时间内烟气体积流量和有机标识物投加速率数据，计算 DRE，计算公式如下：

$$DRE_{tr} = \left(1 - \frac{C_{tr} \times V_g}{FR_{tr} \times 10^{12}}\right) \times 100\%$$

其中： DRE_{tr} 为有机标识物的焚毁去除率，%；

C_{tr} 为排放烟气中有机标识物的浓度，ng/Nm³；

V_g 为单位时间内的烟气体积流量，Nm³/h；

FR_r 为有机标识物的投加速率，kg/h。

9. 特殊废物协同处置的环境保护

本规范第 10 章对几种特殊废物的协同处置提出了环境保护技术要求。

9.1 医疗废物

本规范 10.1 节规定了医疗废物协同处置的技术要求。

水泥窑从技术条件上讲可以处理医疗类废物，但由于该类废物在职业健康和安方面对包装、运输、预处理等各个处置环节有特殊要求，因此医疗废物在水泥窑中协同处置，除应满足本规范的一般要求外，还应满足 10.1 节的特殊要求。

9.1.1 适用范围

根据《医疗废物分类目录》，医疗废物可分为感染性废物、病理性废物、损伤性废物、药物性废物和化学性废物。其中化学性废物中包括易爆和含汞性废物，因此本规范 10.1.3 条规定禁止在水泥窑内进行协同处置易爆和含汞化学性废物。

9.1.2 医疗废物的分析

由于医疗废物的特殊性，在入厂前的特性分析程序时禁止进行直接取样分析，而应采用间接方法：

(1) 主要通过收集医疗废物产生源相关资料和咨询医疗废物产生源相关人员等间接方法了解待处置的医疗废物信息，避免直接接触取样分析。

(2) 需要了解的信息可仅限于待处置的医疗废物的种类和大致比例，估算其中可燃物（如塑料注射器、橡胶管、棉球、棉牵、纱布、药品等）、金属（如针头、刀具等）、其他不可燃惰性材料（如玻璃试管、玻璃瓶等）等的大致比例；是否含有不适宜协同处置的化学性医疗废物。

9.1.3 医疗废物的收集、运输、贮存、输送和投加

本规范 10.1.2、10.1.4—10.1.6 条规定了医疗废物的收集、运输、贮存、输送和投加的要求。

医疗废物的收集、运输、贮存、输送和投加设施建设和运行应执行《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》(HJ/T 176)、《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》(HJ/T177)、《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ 421) 和《医疗废物集中处置技术规范（试行）》的相关要求。清洗污水除了可按

照上述规范中的要求进行处理后，也可收集导入水泥窑高温区。

由于医疗废物的特殊性，其接收、贮存、输送和投加应该在专用隔离区内进行，不得与其它废物进行混合处理处置，入窑前禁止破碎处理，应原包装直接入窑。

由于医疗废物未经预处理，以原包装投加，尺寸一般较大且不规则，因此适合从对废物适应性较广的窑尾烟室投加，该处的气固相温度分布和停留时间也充分满足医疗废物无害化处置的要求。为避免投加时医疗废物发生泄漏，应采用自动投料，不得损坏包装，投加装置和投加口应与医疗废物的包装尺寸相配备，投加口应配置保持气密性的装置，可采用双闸门连锁控制。

9.2 铬渣

本规范 10.2 节提出了协同处置铬渣的特殊要求。

9.2.1 适用范围

本规范 10.2.1 条提出了本节适用的废物类别，即指有钙焙烧工艺生产铬盐过程中产生的含六价铬废渣，其他含铬废物及其他危险废物在水泥窑中的协同处置不适用于本节。

铬渣中 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 总量占干基质量 60%，可替代水泥生产原料；铬渣含有低熔点化合物，可以替代立窑熟料生产中的矿化剂。但铬渣中含有 20% 的方镁石和较高含量的六价铬（水溶性 0.5-1.5%，酸溶性 0.4-1% 左右），因此协同处置铬渣时应主要消除六价铬和方镁石的影响。

9.2.2 适合协同处置铬渣的窑型

立窑特有的还原性气氛可还原铬渣中的六价铬，铬渣在解毒的同时又得到了资源化利用。回转窑内存在强碱强氧化气氛，但不利于铬渣的解毒反而可能使其中的三价铬氧化为六价铬增加铬渣的毒性。因此，本规范 10.2.3 条规定铬渣应在具有还原性气氛的水泥窑中协同处置，常规的新型干法窑不宜协同处置铬渣。

9.2.3 铬渣的投加要求

本规范 10.2.4 条规定了铬渣协同处置时的投加位置和投加量要求。

铬渣可作为替代原料或矿化剂与水泥生料混合投入水泥窑，为满足水泥成品 MgO 含量低于 6% 的标准，以及避免六价 Cr 因添加量过多而不能被充分还原，根据《铬渣污染治理环境保护技术规范》（HJ/T 301-2007）中的要求，铬渣的投加量不应超过水泥生料质量的 5%。

水泥厂在确定铬渣添加量时，应确保水泥产品中水溶性六价 Cr 含量低于 2ppm，水泥产品组成和性能符合标准，并根据企业实际情况对窑内最佳控制温度、水泥熟料的最佳配热量，水泥熟料的最佳石灰饱和系数、硅酸率、铝氧率以及黑生料细度等参数通过实验加以确定。经解毒后的铬渣，也可以作为矿化剂在立窑内进行协同处置，在保证水泥产品中 MgO 含量不超过 6%的前提下，可以适当增加解毒铬渣的掺加量，

9.2.4 解毒后铬渣作为混合材

铬渣作为混合材加入熟料的过程对铬渣没有还原解毒的作用，因此铬渣必须首先进行解毒，并满足《铬渣污染治理环境保护技术规范》（HJ/T 301-2007）中的相关要求后，即以《固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法》（HJ/T299）制备的浸出液中总铬、六价铬、钡的浸出浓度低于本规范表 2 中的限值，可以作为混合材加入水泥熟料。

表 22 铬渣作为水泥混合材的污染控制指标限值（单位：mg/L）

序号	有害成分	浸出液限值
1	总铬	15
2	六价铬	0.5
3	钡	10

9.2.5 水泥产品要求

本规范 10.2.5 条规定了协同处置铬渣生产的水泥产品和解毒铬渣作为混合材料生产的水泥产品应达到的要求，与其他危险废物协同处置的水泥产品要求相同，即应满足本规范 7.2 节的要求。

9.2.6 铬渣的运输、接收、贮存、预处理和厂内输送要求

铬渣的运输、接收、贮存、预处理和厂内输程序与其他危险废物的协同处置程序相同，无特殊性要求，因此本规范 10.2.6 条提出应按本规范其他章节的相关规定执行。

9.3 污染土壤

本规范 10.3 节对污染土壤的协同处置提出了要求。

9.3.1 污染土壤的分析

本规范 10.3.1 条提出了协同处置前对污染土壤分析检测的要求。分析检测可采用如下方法：

- (1) 通过收集污染土壤产生源相关资料、咨询污染土壤产生源相关人员等

间接方法了解污染土壤中的主要污染物。

(2) 对污染土壤进行取样, 分析下列特性参数: 成分分析: CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 含量; 有害元素和物质分析: Cl、S、Mg、碱金属 (K、Na)、重金属 (Cd、Hg、Tl 等) 含量, 主要有机物种类和含量。

(3) 根据分析结果, 按本规范 7.1.3 条要求判断该污染土壤是否可以进厂协同处置。

9.3.2 污染土壤的贮存

本规范 10.3.2 规定了污染土壤贮存的要求。

待处置的污染土壤一般数量较大, 应在专门的临时贮存区域内集中隔离贮存, 集中贮存场所应采取必要的防雨和防风措施, 防止产生渗滤液和扬尘。

9.3.3 污染土壤的协同处置的其他程序

污染土壤的协同处置的其他程序与其他危险废物的协同处置程序相同, 无特殊性要求, 因此可按本规范其他章节相关要求, 其预处理和投加过程一般可采用如下方式:

为满足污染土壤中有机物彻底分解、无机物充分结合入熟料的要求, 污染土壤应从窑尾投入水泥窑, 优先选择从对废物适应性较广的窑尾烟室投入。

满足入窑粒径和粘度要求的污染土壤可直接通过密闭的机械传输装置(传送带、螺杆绞笼、柱塞泵等)从窑尾烟室投入窑中, 也可与其他相容的废液混合成浆状物后通过密闭的泵力输送装置从窑尾烟室投入窑中。

通过与其他废物和常用原料配比或调整投加速率, 使入窑物料石灰饱和系数 (KH)、硅率 (n) 和铝率 (p) 符合企业目标值, 使有害元素 (K、Na、Mg、Cl、F、S、重金属等) 含量或投加速率满足相关标准和企业目标值。

9.4 事故应急废物

本规范 10.4 节规定事故应急废物的协同处置要求。

9.4.1 事故应急废物特性分析程序和要求

本规范 10.4.1 条规定对事故应急废物进行协同处置之前, 应该根据废物产生源特性对废物进行必要的检测, 确定废物特性后按照本规范要求确定协同处置方案。

如果无法确定废物特性, 将该废物作为不明性质废物, 执行本规范 10.5 节

规定。本规范 10.4.2 条即针对此提出。

9.4.2 协同处置事故应急废物的设施要求

本规范 10.4.3 条规定了协同处置事故应急废物设施的要求。由于事故应急废物协同处置的紧迫性，可对协同处置经当地环境保护主管部门批准，可采用不具有危险废物经营许可证的水泥窑设施进行协同处置，可以不受本规范 5.1.1 条第（2）款有关协同处置设施规模的限制，但需要遵循本规范 5.1.1 第（1）款和第（3）款的要求：窑型必须为新型干法窑（协同处置铬渣除外），因为立窑仅适合协同处置常规工业固体废物和铬渣；未进行协同处置作业时的烟气排放满足《水泥工业大气污染物排放标准》（GB4915）要求，以确保所用水泥窑达到最基本的污染控制水平。

9.4.3 事故应急废物的试烧

本规范 10.4.4 条规定了事故应急废物的试烧要求。由于事故应急废物协同处置的时间紧迫性，如果需要协同处置的事故应急废物数量较小，可以不经试烧直接进行协同处置。但如果预计协同处置时间超过 3 个月，则应该按照协同处置方案确定的工况参数进行试烧。试烧时可适当简化非应急试烧时的程序和要求，不限制标识物的类别，不规定标识物的投加最小速率，标识物可采用废物本身含有物质，按照设计废物投加速率和废物本身含量投加。其他试烧要求按照本规范第 9 章的规定执行。

9.4.4 事故应急废物协同处置适用条件

如果事故应急废物的数量巨大，短时间内不能完成协同处置，此时不再适用本节针对事故应急废物协同处置的紧迫性而专门制定的特殊要求。本规范 10.4.5 条即针对此提出，协同处置时间超过一年，不适用本规范 10.4.3 条有关处置设施和 10.4.4 条有关试烧的特殊规定。

9.4.5 事故应急废物协同处置的其他程序

事故应急废物的协同处置的其他程序与其他危险废物的协同处置程序相同，无特殊性要求，因此本规范 10.4.6 条提出应按照本规范其他章节的相关规定执行。

8.4.5 事故应急废物的试烧

本规范 9.4.6 条规定了事故应急废物的试烧要求。由于事故应急废物协同处置的时间紧迫性，如果需要协同处置的事故应急废物数量较小，可以不经试烧直接进行协同处置。

但如果预计协同处置时间超过 3 个月，则应该按照协同处置方案确定的工况参数进行试烧。试烧时可适当简化非应急试烧时的程序和要求，不限制标识物的类别，不规定标识物的投加最小速率，标识物可采用废物本身含有物质，按照设计废物投加速率和废物本身含量投加。其他试烧要求按照本规范 8.1 节的规定执行。

9.5 不明性质废物

9.5.1 不明性质废物的分析

待协同处置的废物在进行特性分析前，应了解产生废物的生产工艺和废物产生过程，收集废物物理和化学特性、健康和安全风险的相关信息，这将有助于进行正确的取样和分析以及进行合理评估和判断，并大大简化分析和评估程序。但对于不明性质的废物，由于无法通过上述渠道获得废物性质信息，因此对其分析需进行特殊的要求，本规范 10.5.2—10.5.3 条即规定了不明性质废物的分析要求。

在接收不明性质废物后，应立即报告当地环境保护行政主管部门的固体废物管理责任单位，必要时应报告当地安全生产行政主管部门和公安部门。

由于爆炸性、易燃性废物在取样分析操作过程中有极大风险，因此必须在确认不明性质废物不具有爆炸性、易燃性后，才可采取常规分析方法取样分析，确认废物性质后按照本规范其他章节要求进行协同处置。如果不明性质废物可能具有爆炸性、易燃性，或者无法判断不明性质废物是否具有爆炸性、易燃性，则应将不明性质废物交由当地有关主管部门指定的专业单位检测、处置。

9.5.2 不明性质废物的贮存

本规范 10.5.4 条规定了不明性质废物贮存的要求。不明性质废物在确认其性质之前，应单独贮存，以避免与其他废物发生不可控的未知反应。为尽可能降低贮存风险，不明性质废物单独贮存时间不得超过一周，如果在一周内无法确认其性质，应该将其交由当地有关主管部门指定的专业单位检测、处置。

10. 人员与制度

本规范第 11 章规定了协同处置企业的人员配置和制度建设方面的要求。

10.1 专业技术人员配置

本规范 11.1 节规定了协同处置企业专业技术人员配置的要求。

开展水泥窑协同处置危险废物的水泥厂除了具备水泥生产相关的专业人才外，还需要配备与化学和化工、废物处理处置、环境保护科学和技术相关的专业技术人才。从国内外水泥窑协同处置危险废物的实践来看，一般需要配置以下方

面的专业人员：

(1) 1 名以上具备水泥工艺专业高级以上职称的专业技术人员，主要包括水泥工艺设备选型和水泥工艺布置等专业技术人才；

(2) 1 名以上具备化学与化工专业中级以上职称的专业技术人员：主要包括危险化学品特性和安全处理方面的专业技术人才；

(3) 根据危险废物经营许可证管理办法要求，危险废物处置单位应有 3 名以上环境工程专业或者相关专业中级以上职称。因此危险废物协同处置企业对环境科学与工程专业人才的要求应适当提高。本规范 11.1.3 条要求有 3 名以上具备环境科学与工程专业中级以上职称的专业技术人员：主要包括固体废物的处理处置和管理技术、环境监测和环境污染控制技术等专业人才。

为确保安全生产，危险废物协同处置企业应配备具有资质的专职安全管理人员，主要管理人员必须取得上岗资质。

10.2 人员培训制度

本规范 11.2 节规定了协同处置企业人员培训的要求。

本规范 11.2.1 条规定了协同处置企业应针对水泥窑协同处置技术的特点，企业应建立相应的培训制度，培训对象为管理人员、技术人员和操作人员，不同的培训对象对应不同的培训内容，应分别进行专门的培训。

本规范 11.2.2 条规定了培训的主要内容，即危险废物管理、危险化学品管理、水泥窑协同处置技术、水泥生产管理技术、现场安全预防和人员防护等。

10.3 安全管理制度

本规范 11.3 节规定了协同处置企业安全管理的要求。

10.3.1 常规水泥生产的安全管理

针对常规水泥生产的特点，常规水泥生产的安全管理重点在于防重力伤害、防机械力伤害、防电力伤害、防热力伤害、防化学力伤害，应遵守水泥生产相关职业健康与安全生产标准和规范，包括：《水泥工业劳动安全卫生设计规定》(JCJ 10)、《工业企业设计卫生标准》(GBZ1)、《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2)、《工业企业厂界噪声标准》(GB12348)、《工业企业噪声控制设计规范》(GB J87)、《车间空气中呼吸性水泥粉尘卫生标准》(GB16238)、《生产性粉尘作业危害程度分级》(GB5817)、《高温作业环境气象条件测定方法》(GB/T 934)、《高温作业允许持续接触热时间限值》(GB935) 和《职业安全卫生管理体系试行标准》(GB/T28000) 等。

危险废物协同处置的过程也是水泥生产的过程，因此本规范 10.3.1 规定协同处置企业应首先遵守上述水泥生产相关的职业健康和安全生产标准和规范。

10.3.2 危险废物操作过程的安全管理

协同处置企业安全事故风险主要存在于危险废物的各个操作程序过程中，主要包括以下 4 种风险。

(1) 火灾风险：可燃烧物质的管理不当，会造成火灾的发生。在危险废物在收集、运输、贮存和预处理的过程中均要防止火灾事故的发生。

(2) 爆炸风险：可分为化学性爆炸和物理性爆炸。化学性爆炸是由可燃性气体、粉尘等与空气混合形成的爆炸性混合物接触引爆能源后发生的爆炸事故；物理性爆炸事故包括锅炉爆炸、容器超压爆炸和轮胎爆炸等。在危险废物的贮存和预处理的过程中容易出现爆炸事故。

(3) 危险废物泄漏风险：危险废物在收集、运输、贮存和预处理的过程中出现溢出、喷洒等泄漏事故，将会危害到人体健康并对周边环境造成不同程度的污染事故。

(4) 有害气体中毒风险：危险气体的泄漏或危险废物不相容反应所产生的有毒气体均有造成人体中毒、缺氧窒息和中毒性窒息等危险。在危险废物在收集、运输、贮存和预处理的过程中均要防止火灾事故的发生。

协同处置的危险废物多为各种废弃危险化学品。因此，为避免危险废物不当操作和管理造成的安全事故，本规范 11.3.2 条规定从事协同处置的企业应遵守危险化学品的相关安全法规，包括《危险化学品安全管理条例》和《废弃危险化学品污染环境防治办法》。

本规范 11.3.3 条规定了从事协同处置的企业应根据企业特点制定相应的安全生产管理制度以及制定方法。

安全生产管理制度应针对危险废物收集、贮存、运输、协同处置过程中可能出现的安全问题，包括安全生产守则基本要求、消防安全管理制度、危险作业管理制度、剧毒物品管理制度、事故管理制度及其他安全生产管理制度等一系列制度。

协同处置安全生产应特别注意防火和防爆，因此在制定各项安全生产管理制度时，应注意以下问题：

(1) 掌握废物的特性，如可燃性，爆炸性和反应性等。

(2) 划分出易发生爆炸的区域（如预处理车间），并做好标记和配备相应的

探测设备，并配备录像监控设施。

(3) 电子设备应接地，防止静电产生火花引起火灾爆炸等安全事故。

(4) 对操作人员进行培训并颁发防火许可证，操作人员应能合理使用消防设备。

10.4 人员健康管理制度

本规范 11.4 节规定了协同处置企业人员健康管理的要求。

由于协同处置企业作业人员长期从事危险废物作业，因此协同处置企业必须建立作业人员劳动保护制度，遵守《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》（HJ/T176）中有关劳动安全卫生和劳动保护的要求。为监控从业人员身体健康状况，协同处置企业应建立从业人员健康档案和定期体检制度，明确从业人员在上岗前、离岗前和在岗过程中的体检频次和体检内容，并按期体检。

10.5 事故应急管理制度

本规范 11.5 节规定了协同处置企业事故应急管理的要求。

本规范 11.5.1 条规定了协同处置企业必须建立事故应急管理制度。11.5.2 条规定了事故应急管理制度应包括的主要内容。11.5.3—11.5.7 条分别针对事故应急管理制度的主要内容提出具体要求。

本规范 11.5.8 条规定了发生事故时的应急处置要求。为提高应急救援效率，本规范 11.5.9 条提出了寻求应急救援协助的要求。

10.6 操作运行记录制度

本规范 11.6 节规定了协同处置企业操作运行记录的要求，需记录的内容主要包括 7 项。

其中第 1 项性能测试记录，包括：

(1) 试烧测试所用水泥窑的基本信息，包括窑型、规模、烟气冷却装置类型，除尘器类型等；

(2) 试烧测试时所选择的有机有害标识物及其投加速率、投加位置；

(3) 有机有害标识物的 DRE；

(4) 试烧测试时烟气排放物浓度；

(5) 试烧测试时水泥生产工况基本信息：窑头、窑尾温度和氧浓度，生料磨运行记录，烟气冷却装置和窑尾主除尘器工作状况等。

第 2 和 3 项为废物特性和物流信息，用以对废物流程进行全过程监控。

第 4 项为工艺控制参数、维修情况记录和生产事故的记录。工艺控制参数的记录应包括有害元素投加速率、废物投加速率、投加位置等，以便主管部门检查是否符合本规范的相关规定或对企业对工艺进行优化。

本规范 8.1 节规定了窑灰和旁路放风的要求，因此第 5 项规定了应对旁路放风和窑灰处置进行记录，以便主管部门的检查或对工艺进行优化。

本规范 8.2 和 8.3 节规定了应定期对烟气排放和水泥产品环境安全性进行监测和评价，因此第 6 项规定了应对上述环境监测数据进行记录，以便主管部门的检查或企业对工艺进行优化。

第 7 项为定期检测、评价及评估情况记录，主要包括：

- (1) 定期对危险废物协同处置效果的评价，以及相关的改进措施记录；
- (2) 定期对危险废物协同处置设施、设备运行及安全情况的检测和评估记录，以消除安全隐患；
- (3) 定期对危险废物协同处置程序和人员操作进行安全评估，以及相关的改进措施记录。