

附件 4

环 境 保 护 技 术 文 件

水泥工业污染防治最佳可行技术指南

**Guideline on Best Available Technologies of Pollution Prevention
and Control for Cement Industry**

(征求意见稿)

目 次

前言	1
1 总则	1
1.1 适用范围.....	1
1.2 术语和定义.....	1
2 生产工艺及污染物排放.....	1
2.1 生产工艺及产污环节.....	1
2.2 污染物排放.....	1
3 水泥生产工艺污染预防技术.....	4
3.1 矿山开采与矿石输送.....	4
3.2 熟料生产.....	4
3.3 水泥粉磨.....	5
3.4 生产工艺污染预防新技术.....	5
4 水泥工业污染治理技术.....	6
4.1 大气污染治理技术.....	6
4.2 噪声治理技术.....	7
4.3 水污染治理技术.....	8
4.4 水泥窑协同处置废物（包括危险废物）技术.....	8
5 水泥工业污染防治最佳可行技术.....	10
5.1 水泥工业污染防治最佳可行技术概述.....	10
5.2 工艺过程污染防治最佳可行技术.....	11
5.3 污染物防治最佳可行技术.....	12
5.4 最佳环境管理实践.....	15
附表	17

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，防治水泥工业污染，促进生产工艺和污染治理技术进步，环保部组织制定水泥工业污染防治最佳可行技术指南。

本指南是指导性文件，供各有关单位在建设项目和现有企业的管理、设计、建设、生产、科研等工作中参照采用。

本指南为首次发布，将根据环境管理要求及技术发展情况适时修订。

本指南由环境保护部科技标准司提出。

本指南起草单位：中国环境科学学会、合肥水泥研究设计院、西安建筑科技大学、安徽海螺集团有限责任公司、中国联合水泥集团有限公司、中国水泥协会、西安西矿环保科技有限公司、南方水泥有限公司、河南中材环保有限公司、江苏科行环境工程技术有限公司。

本指南由环境保护部解释。

1 总则

1.1 适用范围

本指南适用于水泥工业生产全过程，包括矿山开采和破碎、水泥制造（含粉磨站），生产工艺只针对新型干法水泥生产线。

1.2 术语和定义

1.2.1 最佳可行技术

是针对生产、生活过程中产生的各种环境问题，为减少污染物排放，从整体上实现高水平环境保护所采用的与某一时期技术、经济发展水平和环境管理要求相适应、在公共基础设施和工业部门得到应用、适用于不同应用条件的一项或多项先进、可行的污染防治工艺和技术。

1.2.2 最佳环境管理实践

是指运用行政、经济、技术等手段，为减少生产、生活活动对环境造成现有及潜在的污染和危害，确保实现最佳污染防治效果，从整体上达到高水平环境保护所采用的管理活动。

2 生产工艺及污染物排放

2.1 生产工艺及产污环节

2.1.1 新型干法水泥生产工艺

通常包含以下生产过程：矿山开采、原料破碎；原/燃料预均化、原料配料，生料粉磨、煤粉制备、生料均化及窑尾喂料，生料预热分解、回转窑煅烧、熟料冷却、熟料储存与输送；水泥配料、粉磨、储存、包装和散装发送出厂。

2.1.2 水泥粉磨站

通常包含以下生产过程：水泥熟料、混合材、石膏等原料运输进厂，水泥配料、水泥粉磨、水泥库储存、水泥散装或包装后发运出厂。

2.1.3 生产工艺流程及产污环节

生产工艺流程及主要产污环节见图1。

2.2 污染物排放

水泥生产过程产生的污染包括大气污染、噪声污染、水污染和固体废物污染，其中大气污染是最主要环境污染。

2.2.1 大气污染

水泥生产过程中产生的大气污染物主要有：颗粒物、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳、氟化物等，还产生少量或微量总有机碳、重金属、二噁英、氯化氢等有害气体及大量温室气体二氧化碳。颗粒物产生于水泥生产的各个工序，其他气体污染物主要产生于水泥熟料生产的回转窑煅烧工序。

水泥生产工艺主要大气污染物及来源见表 1，主要生产设备产尘量及浓度见表 2，其他气体污染物排放浓度见表 3。

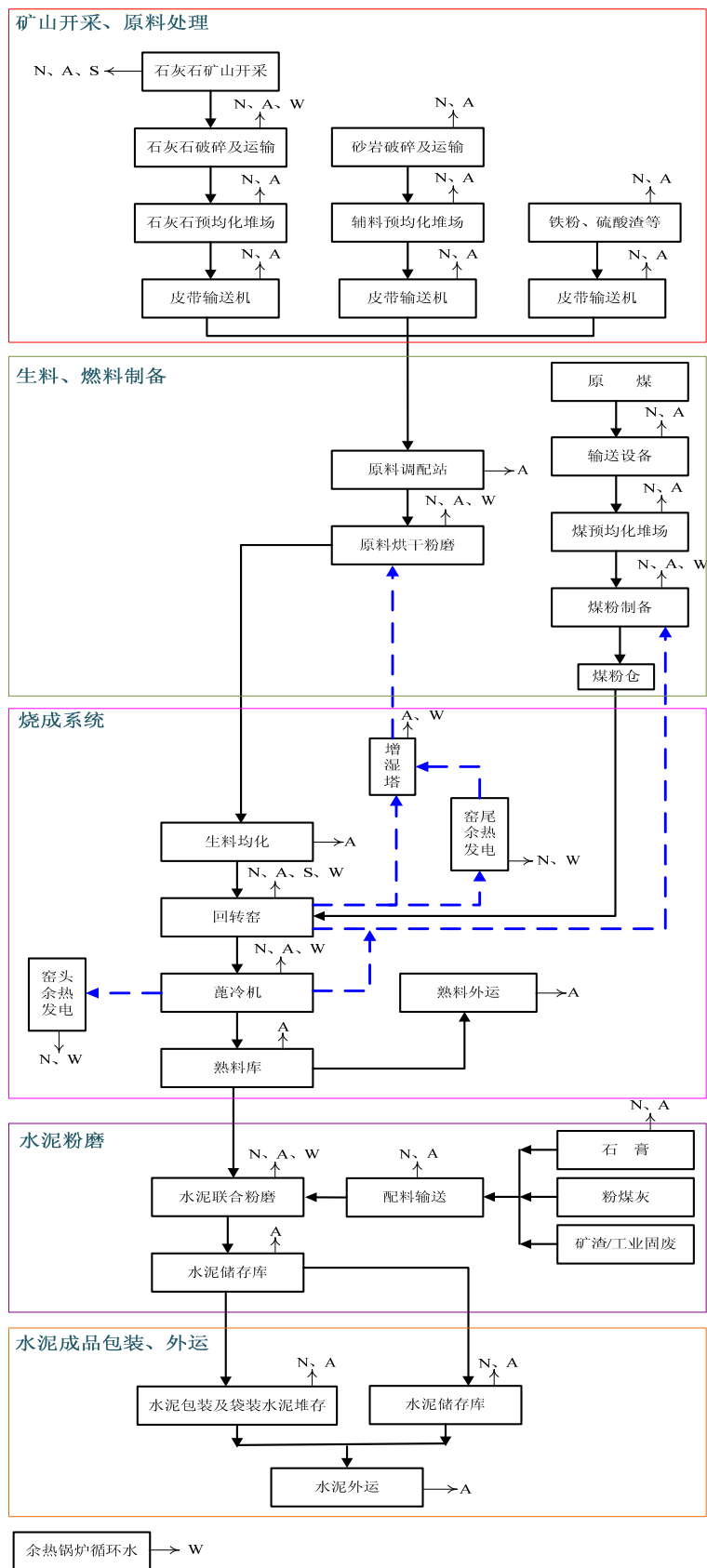


图1 水泥生产工艺流程及主要产污环节

表1 水泥生产工艺主要大气污染物及来源

工序	产污环节	主要污染物	排放方式
石灰石矿山	开采、破碎、输送	颗粒物	无组织
原料均化、 调配	石灰石、辅料、煤预均化堆场	颗粒物	无组织
	原料调配站、输送	颗粒物	无组织
生料制备、 均化	原料烘干、粉磨、煤粉制备	颗粒物	有组织
	生料均化、输送	颗粒物	无组织
熟料生产	回转窑	颗粒物；氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳、氟化物等，温室气体二氧化碳及少量或微量有害化合物，协同处置固体废物时会增加二噁英生成。	有组织
	熟料篦冷机	颗粒物	有组织
	熟料库、熟料外运	颗粒物	无组织
水泥制成	水泥添加剂及配送	颗粒物及油污（水泥添加剂为液体时）	无组织
	水泥粉磨	颗粒物；VOCs(助磨剂中的少量有机物挥发)	有组织
	水泥储库、包装、散装及袋装水泥储存	颗粒物	无组织

表2 水泥生产主要设备产尘量及含尘浓度

设备名称	新型 干法窑	篦式 冷却机	立 式 磨 粉 磨			水泥管磨	高效 选粉 机
			生料	熟料	煤粉		
含尘浓度 /g/m ³ (标)	30~80	2~20	400~800	300~500	250~500	20~120	800~1100
单位产品产 尘量/kg / t	75~120	5~44	1000	1000	1000	60~180	1000

表3 水泥生产过程其他气体污染物排放浓度

气体名称	二氧 化硫	氮氧 化物	氟化物	氯化氢	一氧 化碳	二氧 化碳	二噁英/呋喃类	有机 残碳	重金属
排放浓度 /mg/m ³ (标)	0~50	500~1000	0~5	10	4.3		0.1ngI-TEQ/m ³	10	0.5
单位产品排 放量/kg / t	0~15	1.5~3.0	0~0.015		0.013	0.254~0.279			

2.2.2 噪声污染

水泥生产过程中的矿山开采，原料、生料制备，熟料烧成，水泥制成，水泥厂附属设施等环节均存在噪声污染，如磨机、破碎机、物料输送机工作时产生的机械噪声，风机、空压机工作时产生的空气动力噪声，电机工作时产生的电磁噪声等。水泥企业噪声源性质较复杂、噪声污染比较严重。

2.2.3 固体废物污染

水泥生产过程中产生的固体废物有窑灰、炉渣、粉尘、废旧耐火砖、废水泥袋、废油桶、油棉纱、废钢材、废滤袋、废水泥石块等。

2.2.4 水污染

水泥生成过程中只产生少量设备冷却水。如果水泥厂协同处置污泥或生活垃圾，会产生一定量的污泥干化污水或垃圾渗滤液。

3 水泥生产工艺污染预防技术

3.1 矿山开采与矿石输送

3.1.1 防尘与除尘技术

采用带有干式除尘器的全液压潜孔钻机；输送矿石的皮带机应密封，用汽车运输时、应采取防撒落的措施。

3.1.2 噪声防治技术

采用带有密封性能的操作室、并配有空调设施的新型潜孔钻，在移动式空压机上安装消声器。

3.2 熟料生产

3.2.1 原料/燃料运输贮存中的防尘技术

粉状物料输送采用提升机和斜槽输送机等密闭式设备，采用胶带机输送的物料尽量降低物料落差，并在落差处采用管道负压集尘器；对块石、粘湿物料以及车船装、卸料过程，采用带有吸尘作用卸料装置；粉状物料储存采用密闭圆库。

3.2.2 立式磨技术

立式磨技术是电动机通过减速机带动磨盘转动产生离心力，使物料进入磨辊和磨盘间的辊道内，在液压装置和加压机构的作用下碾压成粉；同时，来自风环由下而上的热气流对物料进行悬浮烘干，并将其带至磨机上部的动态分离器中进行分选。

该技术集粉磨、烘干、选粉于一体。与传统球磨机相比，运转率高、电耗低、噪音小，可减少二氧化硫排放。

该技术适用于生料粉磨和原煤粉磨工序。

3.2.3 余热发电技术

余热发电技术是在水泥窑窑头、窑尾废气出口安装余热锅炉（通常安装窑头 AQC 炉和窑尾 SP 炉），利用水泥窑系统废气，通过余热锅炉产生过热蒸汽，进入汽轮发电机组进行发电。

该技术一般能提供熟料生产线 50%~60% 的生产用电。

该技术适用于 2000t/d 及以上规模水泥熟料生产线熟料烧成工序。

3.2.4 变频调速技术

变频调速技术是通过调节电机工作电源频率来改变电机的转速。

该技术效率高、调速范围宽、精度高、调速平稳、无级变速，一般可使电机节电 20%~30%。

该技术适用于水泥生产中要求调速的风机、泵类设备及其他设备。

3.2.5 第四代篦冷机

第四代篦冷机（带中段破碎）由三部分组成：熟料输送、熟料冷却及传动装置，与以往推动式篦冷机的最大区别在于熟料输送与熟料冷却是两个独立的结构。

该技术采用步进方式输送；篦床固定；采用模块化标准立体建模设计；与第三代篦式冷却机相比，运输效率提高3倍，吨熟料冷却电耗降低20%，维护费用降低70%左右。

该技术适用于水泥企业的新、改、扩建项目。

3.2.6 低氮氧化物燃烧技术

低氮氧化物燃烧技术主要包括低氮燃烧器技术和分解炉分级燃烧技术。

低氮燃烧器技术通过增加燃烧器风道，缩小一次空气的比例，使得煤粉分级燃烧。燃料在高温区停留时间短，可减少氮氧化物产生量5%~15%。

分解炉分级燃烧技术利用助燃风的分级或燃料分级加入，降低分解炉内氮氧化物的形成，并通过燃烧过程的控制，还原炉内的氮氧化物，从而实现系统的氮氧化物减排 10%~20%。

低氮燃烧器技术和分解炉分级燃烧技术综合使用，可将氮氧化物的产生量降低 20%~30%。

3.2.7 熟料散装防尘技术

熟料散装防尘技术采用密封式散装房，两端开口，通过电动帆布帘实现开启和关闭，房顶加装袋式除尘器。

3.3 水泥粉磨

3.3.1 联合粉磨技术

联合粉磨技术采用辊压机、打散分级机、选粉机、球磨机为基本设备组成的闭路粉磨工艺系统。

该技术电耗低、噪音小，可提高水泥产量。

该技术是现阶段最常用的粉磨工艺。

3.3.2 助磨剂技术

助磨剂技术是通过添加助磨剂降低颗粒间的摩擦力和粘附力，阻止微粒聚集。

该技术可降低电耗，提高磨机产量和水泥强度。

该技术适用于水泥粉磨系统。

3.4 生产工艺污染预防新技术

3.4.1 两档支撑新型超短窑技术

长径比为 9~11 的两档支撑超短窑，窑体长度比常规预分解窑减短 20%以上，物料在过渡带仅停留 5~6 min 就马上进入烧成带，可降低烧成温度及热耗，同时提高熟料质量。工业试验表明：该技术的基本建设投资可降低 20%~25%，砖耗可降低约 60%，熟料强度可达 66~67MPa 甚至 70MPa。

3.4.2 流化床水泥熟料煅烧技术

流化床水泥熟料煅烧技术是将水泥熟料的烧成环节置于流态化状态下，以期获得更低的能源消耗。工业试验结果表明：流化床水泥窑可选用烟煤、无烟煤或低质煤；可降低 10%~25%的热耗；二氧化碳排放减少 10%~25%，氮氧化物排放减少 40%以上；与同规格的回转窑相比，设备投资节约 20%左右，运行成本降低约 25%。

3.4.3 富氧助燃技术

富氧助燃技术是在以重油、煤、天然气等为主要能源的水泥窑中，供入附加的氧气使窑内特定区域的氧含量高于 21%，使燃料与高浓度氧气充分燃烧的一项新技术。该技术可降低排出烟气带走的热损

失，提高燃烧热效率，减少助燃空气量，达到节能减排的效果。

4 水泥工业污染治理技术

4.1 大气污染治理技术

4.1.1 除尘技术

4.1.1.1 袋式除尘技术

袋式除尘技术是利用纤维织物的过滤作用对含尘气体进行过滤，当含尘气体进入袋式除尘器后，颗粒大、比重大的粉尘，由于重力的作用沉降下来，落入灰斗，含有较细小粉尘的气体在通过滤料时，烟尘被阻留，使气体得到净化。

该技术除尘效率可达 99.80%~99.99%，颗粒物排放浓度可控制在 30 mg/Nm^3 甚至 10 mg/Nm^3 以下，运行费用主要来于更换滤袋和引风机电耗。

该技术适用于水泥企业各工序废气的除尘治理。

4.1.1.2 电除尘技术

电除尘是在电极上施加直流高电压后使气体电离，进入电场空间的粉尘荷电后在电场力的作用下，向相反电极的极板/线移动，沉积在它们的表面上，通过振打将沉积的粉尘落入灰斗而去除。

该技术除尘效率为 99.50%~99.97%，颗粒物排放浓度可控制在 50 mg/Nm^3 以内，消耗主要为电能。

该技术适用于窑头、窑尾高温废气的除尘治理。

4.1.1.3 电-袋复合除尘技术

电-袋复合除尘结合了电、袋除尘的优点，前级电场预收烟气中 70%~80%以上的粉尘并有预荷电作用；后级袋式除尘器收集剩余粉尘，提高了滤袋的透气性和清灰效果，减少运行阻力。

该技术除尘效率为 99.80%~99.99%，颗粒物排放浓度可控制在 30 mg/Nm^3 甚至 10 mg/Nm^3 以下。

该技术适用于窑头、窑尾高温废气的除尘治理。

4.1.2 氮氧化物治理技术——选择性非催化还原技术

选择性非催化还原技术（SNCR）通过向高温烟气（ 850°C ~ 1100°C ）中喷入还原剂（常用液氨、氨水和尿素），将烟气中的氮氧化物还原成氮气和水。

该技术系统简单，氮氧化物去除率可达 30%~40%。

该技术适用于 $400\sim 500 \text{ mg/Nm}^3$ 的氮氧化物排放要求。

4.1.3 二氧化硫治理技术

新型干法水泥窑中大部分硫以硫酸盐的形式保留在水泥熟料中，二氧化硫排放并不是突出问题。仅在使用较高挥发性硫含量的原燃料时，才会造成二氧化硫超标排放，需要采用的治理技术主要包括吸收剂喷注、湿式洗涤、热生料注入和活性炭吸附技术。

吸收剂喷注技术是在预热器 350°C ~ 500°C 区间均匀喷入吸收剂（主要采用消石灰）。

湿式洗涤技术是用消石灰的乳浊液作为吸收剂吸收废气中的二氧化硫。

热生料注入技术是从分解炉出口抽取部分窑废气进入外加的旋风除尘器，收集废气中含有的热生料喷入预热器最上面两级旋风筒的出风管。

活性炭吸附技术是活性炭吸附的二氧化硫被含有水蒸气烟气中的氧气氧化为三氧化硫、三氧化硫再和物料反应生成硫酸盐的过程，该技术也可吸附二噁英、汞等挥发性重金属及其他污染物，适用于窑尾

除尘器后。

上述技术适用于原料/燃料含硫量较高的水泥生产企业。

4.1.4 氟化物、氯化氢治理技术

防治氟化物污染的主要途径是控制原料中的氟含量，采用含氟低的原料。

氯化氢治理技术主要是利用水泥烧成过程中的吸酸作用来降低氯化氢排放浓度。该技术氯化氢吸收率可达 98%，烟气中氯化氢的排放浓度可符合《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）。

4.1.5 二氧化碳治理技术

水泥生产过程中二氧化碳主要来源于水泥原料中的碳酸盐分解、燃料燃烧和电力消耗，因此减少二氧化碳排放量主要采用新型干法水泥生产线代替其他高热耗水泥工艺、低温余热发电、替代原燃料等措施。

4.1.6 二噁英治理技术

水泥窑排放的二噁英量一般非常低，为使其排放量进一步降低，通常可采取如下技术措施：保持窑系统运行平稳和稳定；选择和控制入窑废物有害物质和量；限制和避免把含有有机氯等废物加入原料制备系统；窑启动和停机时不使用废物燃料；分解炉燃烧时不应使用卤素含量高的燃料；活性炭吸附。

4.1.7 重金属治理技术

对易挥发性元素汞、镉及铊，排放过高时，可采用活性炭吸附技术和高效袋式除尘器技术。

4.1.8 大气污染治理新技术

4.1.8.1 旋转电极式电除尘技术

旋转电极式电除尘技术可最大限度减少二次扬尘，节省场地和能源，在老电除尘器改造的末电场具有较好的应用前景。

该技术适用于高比电阻粉尘的治理。

4.1.8.2 氮氧化物治理新技术——选择性催化还原技术

选择性催化还原技术（SCR）是在适当的温度（300℃~400℃）下，在水泥窑预热器出口处安装催化反应器，在反应器前，往管内喷入还原剂（如氨水或尿素），在催化剂的作用下，将烟气中的氮氧化物还原成氮气和水。

该技术还原效率可达 70%~90%，但一次性投资较大，运行成本主要视催化剂的寿命。同时水泥窑废气粉尘浓度高，且含有碱金属，易使催化剂磨损、堵塞和中毒，需要采用可靠的清灰技术和合适的催化剂。

该技术适用于 100~200mg/Nm³ 的氮氧化物排放要求。

4.2 噪声治理技术

噪声污染主要从声源、传播途径和受体防护三个方面进行防治。尽可能选用低噪声设备，采用消声、隔振、减振等措施从声源上控制噪声；采用隔声、吸声、绿化等措施在传播途径上降噪。

4.3 水污染治理技术

4.3.1 设备冷却水治理技术

设备冷却水含有微量机油，集中收集后经隔油、沉淀处理，进厂区生活污水集中处理设施。

4.3.2 垃圾渗滤液及污泥析出污水治理技术

在协同处置生活垃圾时产生的垃圾渗滤液，可喷入窑内焚烧处理，处置污泥时污泥析出水需使用专门污水处理设施处理。

4.4 水泥窑协同处置废物（包括危险废物）技术

4.4.1 水泥窑协同处置废物技术分类

水泥窑协同处置废弃物，按其在水泥窑系统中的作用，分为替代燃料、替代原料和销毁处置三类，见附表 1。

4.4.2 水泥窑协同处置工业废物

4.4.2.1 废物作为替代原料/燃料

（1）废物作为替代原料的品质控制：

应对废物中硫、氯和碱等组分进行严格控制，确保生产出的水泥产品符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175）的规定；应控制高挥发性汞和铊等重金属，确保水泥熟料和水泥产品中重金属含量符合现行国家标准《水泥工厂设计规范》（GB 50295）的规定；含有硅、铝、钙、铁成分的废物，应满足生产配料要求；含有易挥发（有机和无机）成分的替代原料必须经过处理，禁止通过正常的生料喂料方式喂料。

（2）作为替代燃料的品质控制：

入窑实物基废物热值一般应大于 11MJ/kg，对替代燃料的检验应依据《固体生物质燃料检验通则》（GB/T 21923）进行；入窑灰分含量应小于 50%；入窑水分含量一般应小于 20%，或经过干化预处理后，入系统水分一般应小于 20%；处置一般工业废物时，应满足《一般工业固体废物贮存、处置污染控制标准》（GB 18599）和《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB 18485）的要求，当处置危险废物时，应满足《危险废物焚烧污染控制标准》（GB 18484）的要求。

4.4.2.2 废物销毁处置（包括危险废物）

一般工业废物焚烧处置应在 850℃ 以上区域投入，危险工业废物焚烧处置应在 1100℃ 以上区域投入，烟气停留时间应大于 2 秒。危险工业废物焚烧效率大于 99.90%，焚毁去除率大于 99.99%，焚烧残渣的热灼减率小于 5%。

4.4.3 水泥窑协同处置污泥技术

4.4.3.1 水泥窑直接焚烧处置污泥技术

水泥窑直接焚烧处置污泥技术是将污泥直接输送到烟室燃烧，工艺流程为：专用汽车运输（湿污泥）→污泥接受仓（密闭）→带计量的污泥泵→烟室。

该工艺流程简单，设备少，占地面积小，运行费用低，对环境基本没污染；但能耗较高，处理污泥量有限，污泥投入量一般不超过熟料产量的 4%，对熟料产量有所影响。

该技术适用于污泥量相对较少的城市和对处理污泥补助相对较少的欠发达地区。

4.4.3.2 水泥窑废气直接干化焚烧污泥技术

水泥窑废气直接干化焚烧污泥技术是将干化污泥输送到分解炉焚烧，作为替代原料和燃料使用。工

艺流程见图 2。其中，污泥直接干化过程须控制的安全要素应符合《水泥窑协同处置工业废物设计规范》（GB 50634-2010）。

该技术工艺流程较复杂，设备较多，占地面积大，运行费较高。

该技术适用于窑废气未被余热利用的企业、污泥量相对较大的城市或地区。

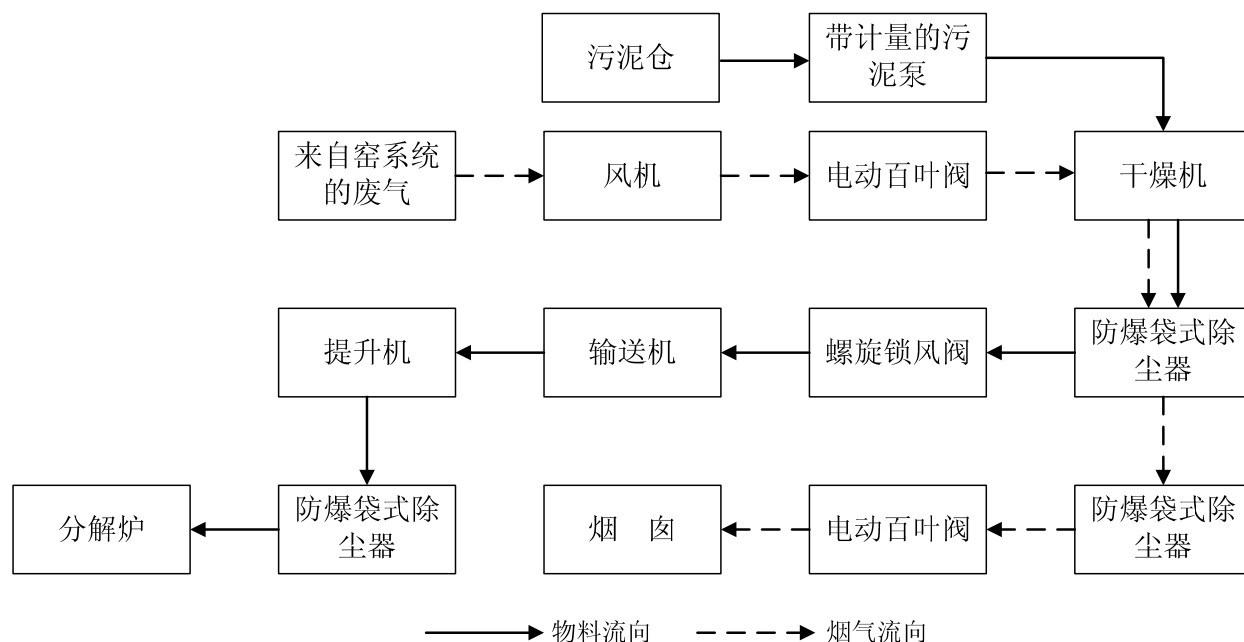


图 2 水泥窑废气直接干化焚烧污泥工艺流程图

4.4.3.3 间接干化焚烧处置污泥技术

间接干化焚烧处置污泥技术是利用废气余热加热导热介质来间接干化污泥，干化后的污泥作为替代燃料入窑系统。工艺流程见图 3。

该技术适用于污泥量相对较大和对污泥补助较高的城市或地区。

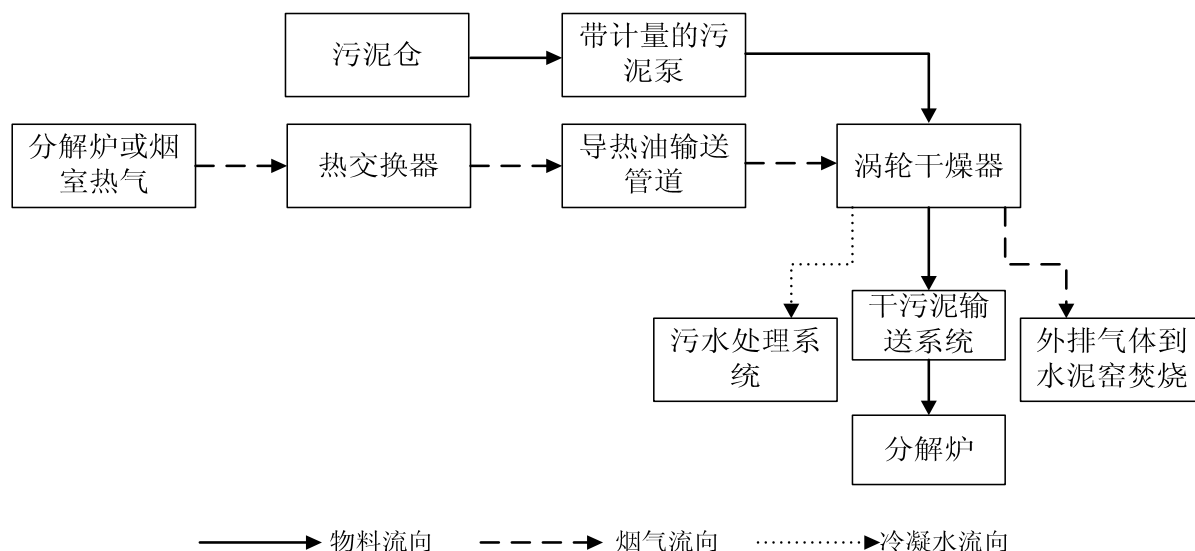


图 3 间接干化焚烧处置污泥工艺流程图

4.4.4 水泥窑协同处置生活垃圾技术

垃圾经热解气化，气体入分解炉，不燃物经除金属后作为原料，垃圾渗滤液进气化炉焚烧。工艺流

程见图 4。

该技术利用垃圾的热值替代部分燃料，适用于成分相对稳定的城市垃圾的处理。

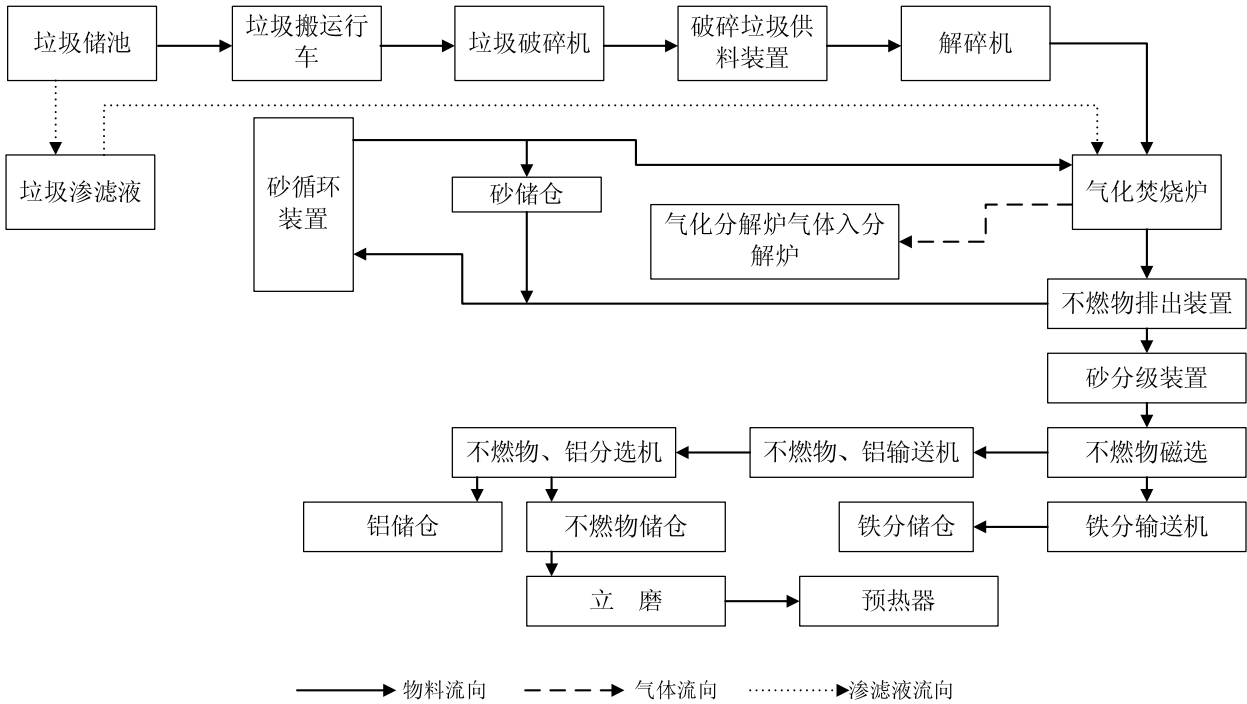


图 4 水泥窑协同处置焚烧生活垃圾工艺流程图

4.5 水泥厂自产废物利用及处置技术

窑灰、灰渣、粉尘等可以返回系统重新利用。水泥厂自产的少量生活垃圾、废油、油棉纱等可以入窑处置。不含铬的废旧耐火砖可以作为原料或作为混合材使用。含铬的废旧耐火砖必须由有资质单位回收利用处置。可燃的无毒无害的废滤袋入窑煅烧处置，不可燃烧的有毒有害的废滤袋必须送处置危险废物专门机构回收利用。

4.6 生料配料和水泥混合材综合利用废物技术

4.6.1 粉煤灰

粉煤灰作为原料或混合材使用，提供水泥熟料所需的 SiO₂、Al₂O₃。粉煤灰品质应符合《水泥工厂设计规范》（GB 50295）及《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB 1596）的要求。

4.6.2 脱硫石膏

使用脱硫石膏代替天然石膏。脱硫石膏的品质应符合《用于水泥中的工业副产石膏》（GB/T 213721-2008）的要求。

4.6.3 钢渣

钢渣作为铁质校正原料，钢渣中氧化镁含量应符合《水泥用钢渣化学分析方法》（YB/T 140-2009）的要求。

5 水泥工业污染防治最佳可行技术

5.1 水泥工业污染防治最佳可行技术概述

按整体性原则，从设计时段的源头污染预防到生产时段的污染防治，依据生产工序的产污节点和技

术经济适宜性，确定水泥工业污染防治最佳可行技术组合。

水泥工业污染防治最佳可行技术组合见图 5。

5.2 工艺过程污染防治最佳可行技术

水泥生产工艺过程污染预防最佳可行技术及主要技术指标见表 4。

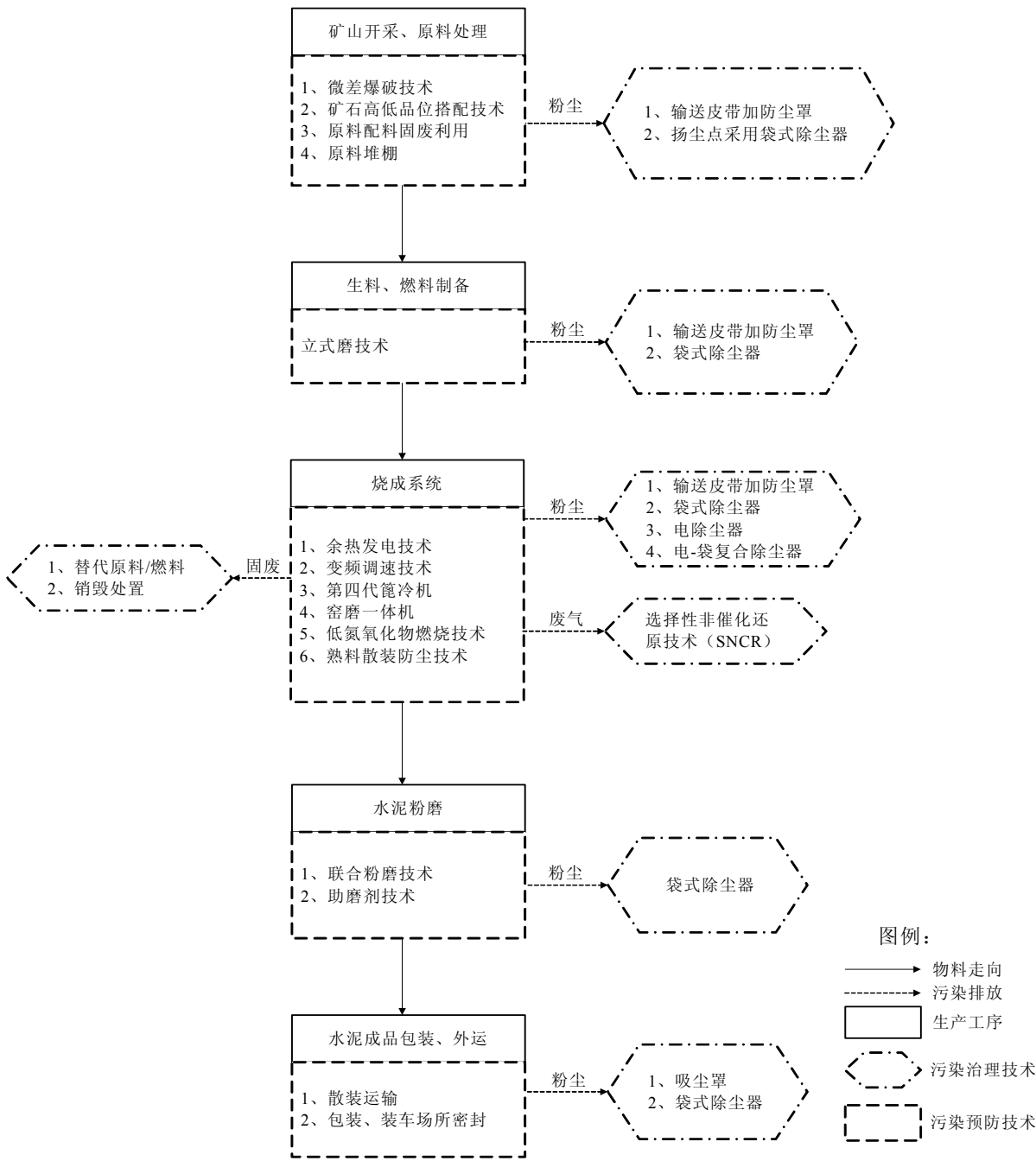


图 5 水泥工业污染防治最佳可行技术组合

表 4 水泥生产工艺过程污染预防最佳可行技术及主要技术指标

最佳可行技术	技术特点	技术适用性
立式磨技术	与传统球磨机相比，节电 10%~20%，减少二氧化硫排放量	生料粉磨和原煤粉磨工序

余热发电技术		为水泥熟料生产线节电 50%~60%	2000t/d 及以上规模水泥熟料生产线熟料烧成工序
变频调速技术		与传统调速方式相比, 节电 20%~30%	水泥生产中要求调速的大中型电机
第四代篦冷机		比第三代篦冷机相比, 节电 20%, 降低维护费用 70%左右	水泥企业的新、改、扩建项目
低氮氧化物燃烧技术	低氮燃烧器技术	减少氮氧化物的产生量 10~30%	水泥烧成工序
	分解炉分级燃烧技术	减少氮氧化物的产生量 20~50%	
熟料散装防尘技术		颗粒物排放浓度可控制在 30mg/m ³ 以下	熟料散装车间
联合粉磨技术		节电 15%~25%, 可提高水泥产量	水泥粉磨工序
助磨剂技术		节电 5%~13%, 可提高水泥质量和性能	水泥粉磨工序

5.3 污染防治最佳可行技术

5.3.1 颗粒物排放控制最佳可行技术

5.3.1.1 袋式除尘技术

5.3.1.1.1 最佳可行工艺参数

滤袋的过滤风速可根据除尘器及滤料种类、入口含尘浓度、水分等工艺条件以及排放要求进行选择。入口含尘浓度高、水分高时取较低的风速, 入口含尘浓度低、水分低时取较高的风速。脉冲袋式除尘器的过滤风速 0.9~1.2m/min, 非覆膜玻纤滤料的反吹风袋式除尘器, 净过滤风速宜≤0.4m/min。

袋式除尘器的运行阻力宜小于 1500 Pa, 除尘器漏风率应满足表 5 限值。

表 5 袋式除尘器本体漏风率

工作负 P(Pa)	P≤ 3000	3000<P≤ 6000	P> 6000
漏风率 a(%)	2.5	3.0	3.5

5.3.1.1.2 污染物削减和排放

除尘效率为 99.80%~99.99%, 颗粒物排放浓度可达到 30mg/Nm³ 甚至 10mg/Nm³ 以下, 并可去除烟气中的部分重金属。

5.3.1.1.3 二次污染及防治措施

除尘器收集的尘应入库利用。

5.3.1.1.4 技术经济适用性

该技术适应性强, 不受粉尘比电阻和物化特性等影响, 可在线检修。但设备阻力较大, 通常在 1000~1500Pa 之间, 占地面积和电除尘器相当; 滤袋破损需更换, 运行维护工作量较大; 对制造、安装、运行、维护都有较高要求。

该技术适用于水泥企业各工序废弃的除尘治理。

5.3.1.2 电除尘技术

5.3.1.2.1 最佳可行工艺参数

入口截面风速为 10~15 m/s，极板间距 400~450mm，除尘系统漏风率按 JC/T 358.1 执行。
窑头、窑尾电除尘器在不同排放要求下的设计参数还应满足表 6 的要求。

5.3.1.2.2 污染物削减和排放

除尘效率为 99.50%~99.97%；通常排放浓度可控制在 50mg/Nm³ 以内。

表 6 窑头、窑尾电除尘器在不同排放要求下的设计参数

	排放≤50mg/Nm ³	排放≤30mg/Nm ³
窑尾电除尘器	比集尘面积≥110m ² /m ³ /s；电场风速≤0.8 m/s；电场数：≥4	比集尘面积≥125m ² /m ³ /s；电场风速≤0.75 m/s；电场数：≥5
窑头（篦冷机）电除尘器	比集尘面积≥85m ² /m ³ /s；电场风速≤0.85 m/s；电场数：≥4	比集尘面积≥95m ² /m ³ /s；电场风速≤0.80 m/s；电场数：≥4
注：比集尘面积是指集尘极面积（m ² ）与烟气流量（m ³ /s）之比。		

5.3.1.2.5 二次污染及防治措施

除尘器收集的尘应入库利用。

5.3.1.2.4 技术经济适用性

该技术占地面积较大，对制造、安装、运行、维护都有较高要求；消耗主要为电能。
该技术适用于窑头、窑尾高温废气的除尘治理。

5.3.1.3 电-袋复合式除尘技术

5.3.1.3.1 最佳可行工艺参数

电除尘器电场风速为 0.9~1.1 m/s，袋式除尘器过滤风速一般为 0.9~1.2 m/min，阻力应小于 1500 Pa，漏风率应满足表 5 限值。

5.3.1.3.2 污染物削减和排放

除尘效率为 99.8%~99.99%，颗粒物排放浓度可控制在 30 mg/Nm³ 甚至 10 mg/Nm³ 以下。

5.3.1.3.3 二次污染及防治措施

除尘器收集的尘应入库利用。

5.3.1.3.4 技术经济适用性

该技术适应性强，不受烟尘比电阻性能影响；能够降低滤袋的阻力，延长喷吹周期，缩短脉冲宽度，降低喷吹压力，延长滤袋的使用寿命。但占地面积较大，对制造、安装、运行、维护都有较高要求。
该技术适用于窑头、窑尾高温废气的除尘治理。

5.3.1.4 水泥工业烟尘排放控制最佳可行技术及主要技术指标

水泥工业烟尘排放控制最佳可行技术及主要技术指标见表 7。

表 7 水泥工业烟尘排放控制最佳可行技术及主要技术指标

最佳可行技术	主要技术指标	技术适用性
袋式除尘技术	除尘效率99.80~99.99%，粉尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 甚至 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，入口烟气温度 $< 200^\circ\text{C}$ 。	水泥企业各工序废气的除尘治理
电除尘技术	除尘效率99.50~99.97%，粉尘浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，窑尾电除尘器入口烟气比电阻应在 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间。	窑头、窑尾高温废气的除尘治理
电-袋复合式除尘技术	除尘效率99.80~99.99%，粉尘浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 甚至 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，入口烟气温度 $< 220^\circ\text{C}$ 。	窑头、窑尾高温废气的除尘治理

5.3.2 氮氧化物排放控制最佳可行技术

氮氧化物最佳可行技术为选择性非催化还原技术，该技术氮氧化物去除率可达 30%~40%，可将氮氧化物排放浓度降到 $400 \sim 500\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

该技术最佳运行温度 $850^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ ，氨逃逸 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

5.3.3 噪声治理最佳可行技术及措施

噪声治理最佳可行技术及措施见表 8。

表 8 水泥厂噪声治理最佳可行技术及措施

高噪声系统	噪声控制措施	降噪效果 dB (A)
原料矿山及石灰石破碎	●矿山开采使用微差爆破。 ●将破碎机置于封闭车间或地下，在破碎机基础加装减震装置；在破碎车间内部的墙面安装吸声材料。	10~20
生料、燃料和水泥制备系统	●将球磨机置于封闭隔声车间，车间内部墙面安装吸声材料。 ●使用带有阻尼效果的耐磨衬板。 ●用隔声涂料在球磨机筒体外喷涂隔声层或用吸声材料进行筒体包扎。 ●采用立式磨替代管磨粉磨生料和煤粉。	15~30
烧成系统	●将电机置于封闭隔声车间，电机安装隔声罩或喷涂隔声涂层。 ●提高电机装配精度，降低机械噪声。 ●窑头、窑尾风机及高温风机搭建风机房，安装消声器，在壳体上喷涂吸声材料。	15~30
其他	●在风机进、出风管道上安装消声器，风机和管道连接采用软连接。风机基础配备减震垫。 ●将高噪声风机置于隔声室（罩）中，隔声室（罩）内可做吸声处理。 ●安置库体内部的风机，可在库体建筑安装隔声门、窗进行隔声改造，必要时可在内部墙面安装吸声材料或者吸声结构。 ●余热发电汽轮机和发电机车间封闭，在设备上安装吸声材料或加装隔声罩。 ●空压机房做好车间密封、为设备配置基础减震、在进风口加装消声器；	10~30

	●非标管道进行岩棉保温隔音； ●循环水冷却塔进风口安装消声器；在冷却塔旁安装隔声屏障。	
--	--	--

5.3.4 水污染防治最佳可行技术

水污染防治最佳可行技术包括设备冷却水治理技术和垃圾渗滤液及污泥析出污水治理技术，详见 4.3 节。

5.3.5 水泥窑协同处置废物（包括危险废物）最佳可行技术

水泥窑协同处置废物最佳可行技术包括水泥窑协同处置工业废物、污泥和生活垃圾的最佳可行技术。其中，水泥窑协同处置工业废物最佳可行技术包括废物替代原料/燃料最佳可行技术和废物销毁处置最佳可行技术，详见 4.4 节。

5.3.6 水泥厂自产废物利用及处置最佳可行技术

见 4.5 节。

5.3.7 生料配料和水泥混合材综合利用废物技术

见 4.6 节。

5.4 最佳环境管理实践

5.4.1 一般管理要求

- 设立完善的环境管理机构，按照 ISO14001 建立质量管理体系并有效运行；
- 采购、化验、配比相关成分指标合格的原料、燃料；
- 建立健全各项数据记录和生产管理制度；
- 加强操作运行管理，建立并执行岗位操作规程，制定应急预案，定期对员工进行技术培训和应急演练，设备运转严格按厂家提供的图纸和说明书要求执行，环保设备应与主机同步运转；
- 加强生产设备的使用、维护和维修管理，保证设备正常运行；减少生产设备的跑、冒、滴、漏造成的环境污染；
- 按要求设置污染源标志，重视污染物的检测和计量管理工作，定期进行全厂物料平衡测试；
- 按《水泥行业清洁生产评价指标体系》（国办发[2003]100 号）要求进行水泥企业内部的清洁生产审计。

5.4.2 工艺污染防治

- 选择低硫煤等原料/燃料；
- 选择扬尘少的工艺设备，尽量减少生产过程中的扬尘环节及频率；
- 加强对无组织排放的管理。按 GB 4915 的要求，将水泥生产过程中的无组织排放转化为有组织排放；厂内的物料应集中堆放，并有防尘措施；物料应专线运输，统一调度，道路人车分离，减少扬尘与物料抛洒；卸料、输送等环节加强密封，防止泄漏；对易发生无组织排放的分散扬尘点，可选用带集尘罩的袋式除尘器将其转化成有组织排放进行治理，具体治理方案见附表 2；
- 矿山高低品位资源搭配开采使用，充分利用矿山资源，提高资源综合利用率，实现矿山零排放；
- 矿山开采闭坑后，需要进行矿山生态系统恢复和环境综合治理工作；
- 具有放射源的企业应严格按照《中华人民共和国放射性污染防治法》相关要求，加强安全管理；
- 保持全窑系统稳定均衡运行；保持适宜的火焰形状和温度，减少过剩空气量，确保喂料量和喂

煤量准确均匀稳定，保障全窑系统的正常稳定运行，可有效降低氮氧化物的排放；

- 优化生产过程；保证回转窑的平稳运行，控制物料在预热器、分解炉、回转窑中均匀分布，加大硫与碱性物质的接触面积，同时控制合适的硫碱比，提高物料的易烧性，控制烧成带的一氧化碳含量及火焰形状等。

5.4.3 大气污染防治

- 依据标准，安装烟气污染物在线连续监测装置；
- 定期检查除尘器的漏风率、阻力、过滤风速、除尘效率和运行噪声等；
- 输送湿度大、易结露的废气时，采取保温措施使其温度保持在露点温度以上；输送高温气体的管道考虑热胀冷缩的补偿措施；
- 袋式除尘器切忌在低于气体露点温度下运行，要定期清灰，时常注意滤袋的工作情况，发现异常要分析原因、及时处理；
- 注意电除尘电场的工作情况，对粉尘比电阻、入电除尘含尘浓度、气流分布等发生异常的，要分析原因并及时处理。定期检查电除尘器振打系统及驱动装置、电加热或蒸汽加热系统、灰斗及卸（输）灰系统、供电及控制系统、测量和记录仪表等，发现问题及时处理；
- 对于电-袋复合式除尘器，分别按电除尘器和袋式除尘器的管理要求进行相应管理。

5.4.4 噪声污染防治

- 对机械设备、尤其是产生高噪音的设备要定期检修维护；
- 噪声车间要设置隔音工作间、观察间(注意门窗观察孔的隔音处理)，为高噪声环境的岗位工配备劳保用品。

5.4.5 水污染防治

- 加强化学运行管理。化验室工作人员将废酸、废碱中和至相应 pH 范围，才能排入外部环境。严格执行余热锅炉定期排污制度，防止锅炉和凝汽器、加热器等受热面以及汽轮机通流部分发生腐蚀、结垢和积盐，减少各种汽水损失，合理降低排污率；
- 处理后的废水加以利用，可用于增湿塔、篦冷机喷水等，尽量做到废水“零排放”。
- 为避免对矿山周围水源的污染，矿山的废水一般均往对主导水系无大影响的地带排放。

5.4.6 固体废物综合利用及处理处置

- 窑系统稳定运行，在设置好的工艺参数附近运行，能降低二噁英的排放；
- 控制入窑废物中有害物质的含量和投加速率，减少废物水分和有害物质波动性，防止对水泥熟料生产和质量造成不利影响；
- 控制废物预处理的混合、搅拌过程，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；
- 控制废物燃料的热值、水分、硫、氯和重金属（特别是汞、铬、铊）的含量，防治对煅烧过程热工制度的影响和对水泥熟料质量的影响；
- 各类危险废物应按照相关管理要求运输、贮存和处置，并建立健全安全管理制度；
- 制定异常工况应急预案。

附表

附表 1 水泥窑协调处置废物分类名录

废物应用领域	废物类型	
替代燃料	固态废物	秸秆（包括稻米壳）、木屑、屠宰业废料、棕榈油壳
		旧轮胎、塑料（粒状或混合物）、纺织废料、废皮革
		废油墨、废油漆、废白土、干化后污泥
		废纸、废纸板、塑料制品、分捡后的可燃生活垃圾
	液态废物	城市污泥、工业污泥、河湖淤泥、活性炭污泥
		废油、石化废物、油漆厂废物、溶剂废物
		蜡状悬浊物、沥青废浆、油泥、纸浆
		聚酯材料、聚氨酯材料
替代原料	钙质替代原料	干化污泥、工业石灰、石灰浆、电石渣、饮用水淤泥
	硅质替代原料	铸造砂、微硅、废催化剂载体、硅石废料、石英砂岩粉、石英砂岩尾矿
	铁质替代原料	炉硫铁矿尾矿、赤铁矿渣、赤泥、锡渣、转化炉灰
	硅铝钙综合质替代	洗矿场废物、飞灰、流化床灰渣、石材废物
销毁处置		各种废农药、杀虫剂、多氯联苯、废药品
不适于水泥窑处置的废物		核废弃物、电子废弃物、各类电池
		具有传染性和生物活性的医疗废弃物、无机酸和腐蚀剂、爆炸物
		包含石棉的废弃物、放射性废弃物、含高浓度的氰化物废弃物
		将要销毁的化学武器或生物武器、未分类市政垃圾、其他不知组成成分的废弃物

附表 2 水泥厂主要无组织排放点及推荐的除尘方式

无组织排放场合	推荐的除尘方式
库顶	脉冲单机袋式除尘器或气箱脉冲袋式除尘器
库底卸料器	脉冲单机袋式除尘器或分别用集尘罩抽吸、集中用袋式除尘器处理
散装车	集尘罩+袋式除尘器
皮带机转运处	集尘罩抽吸后单独或集中用袋式除尘器处理
包装机	集尘罩+ 袋式除尘器