



Distr.: General  
11 November 2011

Chinese  
Original: English

---

## 控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约

### 缔约方大会第十次会议

2011年10月17日至21日，哥伦比亚，卡塔赫纳

临时议程\*项目3(b)(一)

与执行《公约》有关的事项：

科学和技术事项：技术准则

### 技术准则

秘书处的说明

增编

## 关于对水泥窑中危险废物实行无害环境共处理的技术准则

缔约方大会第十次会议在文件 UNEP/CHW.10/6/Add.3 中所载的由智利政府编写的关于对水泥窑中危险废物实行无害环境共处理的技术准则草案的基础上，通过了经修正的技术准则。技术准则定稿的案文载于本文件附件。

---

\* UNEP/CHW.10/1。

## 附件

### 关于对水泥窑中危险废物实行无害环境共处理的技术准则 修订后的定稿（2011年10月31日）

## 目录

一、 导言 .....	9
A. 范围 .....	9
B. 水泥生产活动概述 .....	9
C. 水泥窑中危险废物的共处理 .....	10
二、 《巴塞尔公约》相关条款和国际联系 .....	13
A. 《巴塞尔公约》的一般条款 .....	13
B. 关于无害环境管理的一般考虑因素 .....	13
1. 巴塞尔公约 .....	14
2. 斯德哥尔摩公约 .....	15
3. 经济合作与发展组织 .....	15
三、 关于在水泥窑中实行无害环境共处理的一般指导 .....	15
A. 水泥生产中的共处理原则 .....	15
B. 在筛选共处理废物时需要考虑的因素 .....	17
1. 适于在水泥窑中加以共处理的危险废物 .....	17
2. 水泥窑中的废物回收或不会导致回收的处置 .....	20
3. 危险有机物质的销毁率 .....	23
C. 质量保证/质量控制 .....	24
D. 健康和安全方面 .....	25
1. 危险分析 .....	25
2. 接触和危险控制 .....	26
3. 个人防护设备 .....	26
4. 培训 .....	26
5. 医疗监视 .....	26
6. 紧急情况应对 .....	27
E. 宣传和利益攸关方的参与 .....	27
四、 以无害环境的方式接收和预处理废物 .....	28
A. 导言 .....	28
B. 废物接收 .....	28
1. 预接收 .....	29
2. 现场接收 .....	29
3. 不符合规定的废物 .....	31
4. 厂内追踪系统 .....	32
C. 废物储存和处理 .....	33
1. 设计方面的考虑因素 .....	33
2. 作业方面的考虑因素 .....	34
D. 废物预处理 .....	35
1. 设计方面的考虑因素 .....	35
2. 作业方面的考虑因素 .....	35
E. 共处理厂的关闭/淘汰 .....	36
F. 其他环境所涉问题 .....	37
1. 挥发性有机化合物、气味和粉尘 .....	37
2. 桶状容器和含铁金属 .....	37

3. 废水.....	37
G. 排放监测和报告 .....	37
五、对水泥窑中危险废物实行无害环境共处理 .....	38
A. 导言 .....	38
B. 作业要求 .....	38
1. 进料点的选择.....	38
2. 窑炉作业控制.....	41
C. 环境方面 .....	41
1. 空气排放.....	41
2. 水泥窑和旁路粉尘.....	42
3. 向水中排放.....	43
4. 成品控制.....	43
D. 监测 .....	45
1. 工艺监测.....	45
2. 排放监测.....	46
3. 环境监测.....	47
4. 报告编制要求.....	47
六、参考文献 .....	48
<b>附件</b>	
附件一： 水泥窑性能验证和试烧结果汇编（Kare Helge Karstensen 博士，个人通信，2009年11月6日） .....	52
附件二： 空气排放来源 .....	57

## 术语

**骨料：**沙子、沙砾、碎石和碎熔渣等建筑所用的粒状材料。

**碱性物质旁路：**焚烧窑进料端与预热器塔之间的输送管道。一部分窑尾废气通过此管道排出，并通过空气或水迅速冷却，以避免喂入生料上形成过量的碱性物质、氯化物和硫磺堆积。也将此称为窑排气旁通管。

**替代燃料和原料：**熟料生产中源自废物流的输入，以此作为能源和（或）原料。

**替代燃料：**具有可回收能量值且并被作为水泥窑燃料，替代煤炭等一部分常规矿物燃料的废物。其他名称包括：二次燃料、代用燃料或废物衍生燃料。

**替代原料：**含钙、二氧化硅、氯化铝和铁等可用矿物质且可被用于焚烧窑中替代粘土、泥板岩和石灰石等原料的废料。其也被称作二次原料或代用原料。

**最佳可得技术：**削减排放量并减轻对整个环境的影响的最有效的方法。

**旁路粉尘：**从悬浮预热器、预煅烧炉和带篦式预热器的焚烧窑旁路放风系统排出的粉尘，所含成分为充分煅烧的入窑生料。

**煅烧：**通过热诱导除去或丧失化学结合挥发性物质，而非水。在水泥生产中，这指的是热分解会产生金属氧化物（主要是氧化钙）及二氧化碳的方解石（碳酸钙）和其他碳酸岩类矿物质的过程。

**水泥窑粉尘：**通过空气污染控制装置从水泥窑排气中去除的强碱性微细固体颗粒。许多水泥窑粉尘属于未反应的原料，包括各焚烧阶段的混合生料和熟料颗粒。可将此术语用于表示水泥窑产生的任何粉尘，如来自旁路放风系统的粉尘。

**水泥：**经细磨的粉状无机材料，加水搅拌后成浆体，通过水化反应和各种过程硬化成型，硬化之后，在水中坚固耐久。

**烧成：**熟料矿物质的热化学形成。特别是在 1 300 摄氏度以上发生的反应；也是焚烧窑中反应发生的区域。也将其称作烧结或焚烧。

**混合焚烧厂：**根据欧洲议会和理事会第 2000/76/EC 号指令，主要目的是产生能源或生产材料产品、将废物用作常规或额外燃料，并采用热处理做法处置废物的任何固定或移动式工厂。如果采用工厂的主要目的不是产生能源或生产材料产品，而是对废物进行热处理的方式开展混合焚烧，则应将该工厂视为焚烧厂。

**共处理：**在生产过程中，使用适当的废料，以进行能源和（或）资源回收，并通过代用品由此减少常规燃料和（或）的使用。

**销毁去除率：**特定有机化合物的销毁去除率。在数学上，对销毁去除率的计算如下：

$$DRE = [(W_{\text{进入量}} - W_{\text{烟囱排出量}}) / W_{\text{进入量}}] \times 100$$

其中，W 进入量指的是喂入焚烧窑的废物流中主要有机危险成分的总喂料量，W 烟囱排出量指的是释放至大气之前排气中同一种有机危险成分的总排放量。

**销毁率：**计量通过燃烧过程销毁的特定有机化合物的百分比的方法。在数学上，对销毁率的计算如下：

$$DE = [(W_{\text{进入量}} - W_{\text{燃烧室排出量}}) / W_{\text{进入量}}] \times 100$$

其中，W 进入量指的是喂入焚烧窑的废物流中主要有机危险成分的总喂料量，W 燃烧室排出量指的是焚烧窑释放的同一种有机危险成分的总排放量（所有空气污染控制设备的上游）。销毁率代表的是进入焚烧窑且已被实际销毁的那部分有机物；销毁去除率代表的是进入焚烧窑及烟囱向大气排放的那部分机物。

**干法：**用于水泥生产的工艺技术。在干法中，将原料粉磨成细粉（称作生料粉）后，喂入干燥水泥窑。干法的能耗要低于湿法，采用后者时，须在粉磨原料的过程中加入水，然后形成生料浆。

**排放量测试：**手工收集烟囱废气样品，之后对其进行化学分析，以确定污染物的浓度。

**发（产）热值：**特定物质充分燃烧产生的每单位质量的热量。采用产热值表示燃料的能量值，通常以每公斤/兆焦计。

**高发（产）热值：**可通过燃料燃烧获得的最高能量值，其中包括聚合燃烧过程中产生蒸汽时释放的能量。也称为高发热值。

**焚烧窑线路：**水泥厂中生产熟料的部分；由焚烧窑本身、所有预加热器、预煅烧炉和熟料冷却装置组成。

**焚烧窑：**水泥厂用于生产熟料的加热装置。除非另有具体说明，可假定其系指回转窑。

**低发（产）热值：**高发热值减去燃料中氢燃烧形成的水蒸汽蒸发产生的潜在热量。也称之为净热量。

**预煅烧炉：**在碳酸盐矿物质进入焚烧窑之前，完成对这些物质近乎完全煅烧的一个焚烧窑线路装置，通常与预加热器相结合，并使用单独的热源。预煅烧炉减少了焚烧窑中的燃料消耗，并使焚烧窑的高度能够缩短，因为其无须履行完全煅烧的功能。

**预加热器：**在混合生料进入干窑之前，对其进行加热的装置。在现代干窑中，预加热器通常与预煅烧炉相结合。预加热器利用焚烧窑的热废气作为其热源。

**预加工：**作为替代燃料和（或）原料用于水泥厂之前，必须对来自不同废物流且不具备统一特征的此类物质进行预先处理。须开展预先处理过程或预加工，以产生符合水泥生产技术和行政规格的废物流，并且确保符合环境标准。

**高温过程系统：**包括焚烧窑、冷却器和燃料燃烧设备。

**混合生料/生料/生料：**按比例配合，粉碎到一定细度并完全混合的喂入焚烧窑线路的物料。

**回收：**工厂或其他经济部门通过替代否则将用于履行特定功能的其他材料使废物发挥有益作用，或对这些废物进行预先处理以履行该功能的任何作业。

**回转窑：**由内衬为耐火砖的缓缓倾斜及转动的钢管组成的焚烧窑。自焚烧窑的高端喂入原料，并主要通过底端的火焰加热，底端也是产品（熟料）的出口。

**试烧：**为表明符合销毁去除率及销毁率业绩标准和监管性排放限量而开展的排放量测试；被作为设定许可作业限额的依据。

**立窑：**一种立式圆柱体或烟筒型焚烧窑，从底端加热，并通过分批或连续装入由特定燃料和原料混合物组成的物料喂入。立窑基于一种不利于使用替代燃料的黑生料法，因此普遍认为对于水泥生产而言，其已经过时。

## 缩写和简称

ACGIH	美国政府工业卫生学家会议 ( <a href="http://www.acgih.org">http://www.acgih.org</a> )
ASTM	美国测试和材料学会 ( <a href="http://www.astm.org/">http://www.astm.org/</a> )
BAT	最佳可得技术
BAT-AEL	最佳可得技术相关排放水平
BEP	最佳环境做法
BREF	最佳可得技术参考文件 (欧洲综合污染防治局印发, <a href="http://eippcb.jrc.es/">http://eippcb.jrc.es/</a> )
CCME	加拿大环境部长委员会 ( <a href="http://www.ccme.ca/">http://www.ccme.ca/</a> )
CEM	排放连续监测系统
CEN	欧洲标准化委员会 ( <a href="http://www.cen.eu/">http://www.cen.eu/</a> )
CKD	水泥窑粉尘
CLM BREF	水泥、石灰和氧化镁生产最佳可得技术参考文件 (欧洲综合污染防治局印发, <a href="http://eippcb.jrc.es/">http://eippcb.jrc.es/</a> )
DE	销毁率
DRE	销毁去除率
EA	英格兰和威尔士环境署 ( <a href="http://www.environment-agency.gov.uk/">http://www.environment-agency.gov.uk/</a> )
EIPPCB	欧洲综合污染防治局 ( <a href="http://eippcb.jrc.es/">http://eippcb.jrc.es/</a> )
EPA	美国环境保护署 ( <a href="http://www.epa.gov/">http://www.epa.gov/</a> )
ESM	无害环境管理
GTZ	德国技术合作公司, 更名为德国国际合作机构 ( <a href="http://www.giz.de/">http://www.giz.de/</a> )
ICP	感应耦合等离子体
IOELV	指示性职业接触限值
IPPC	综合性污染预防和控制
I-TEQ	国际毒性当量
MSDS	材料安全数据表
NIOSH	美国国家职业健康和安全管理研究所 ( <a href="http://www.cdc.gov/niosh/">http://www.cdc.gov/niosh/</a> )
OECD	经济合作与发展组织 ( <a href="http://www.oecd.org/">http://www.oecd.org/</a> )
OSHA	美国职业安全与健康管理局 ( <a href="http://www.osha.gov/">http://www.osha.gov/</a> )
PAH	多环芳烃
PCB	多氯联苯
PCDD	多氯二苯并二噁英
PCDF	多氯二苯并呋喃

PEL	容许暴露极限值
PIC	未完全燃烧的产品
POHC	主要有机危险成分
POP	持久性有机污染物
PPE	个人防护设备
QA	质量保证
QC	质量控制
SBC	巴塞尔公约秘书处 ( <a href="http://www.basel.int/">http://www.basel.int/</a> )
TEQ	毒性当量
THC	总烃量
TLV	阈限值
TOC	总有机化合物
UNEP	联合国环境规划署 ( <a href="http://www.unep.org/">http://www.unep.org/</a> )
VOC	挥发性有机化合物
WAP	废物分析计划
WBCSD	促进可持续发展世界商业理事会 ( <a href="http://www.wbcsd.org/">http://www.wbcsd.org/</a> )
XRF	X 射线荧光

## 一、 导言

### A. 范围

1. 本技术准则系依照控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约缔约方大会第 VIII/17、IX/17 和 BC-10/8 号决定，以及巴塞尔公约不限成员名额工作组第 OEWG-VII/9 号决定拟定，旨在作为用于水泥窑的替代燃料和原料，对危险废物实行无害环境的共处理。
2. 对水泥窑中废物实行适当控制的共处理能够在生产水泥的同时，进行能源和材料回收，并为许多废料提供无害环境的回收选择。由于各国，特别是拥有很少或者没有废物管理基础设施的发展中国家力争在危险废物管理方面更能自给自足，适当控制的共处理能够为垃圾填埋和焚烧提供具有成本效益且有益环境的切实选择。总体而言，在耗费大量资源的过程中对废物实行共处理可成为更加持续的原料和能源管理系统的一个重要要素。
3. 共处理是使用替代燃料和（或）原料，以进行能源和（或）资源回收。其不同于混合焚烧，后者系指在作为燃料使用废物的同时生产材料，或者为处置目的对废物进行热处理。
4. 尽管这些技术准则提及的是《巴塞尔公约》定义的危险废物，并且由于除废物本身所具有的危险特性之外，诸多因素影响水泥窑中适于共处理的废物的筛选，一些准则指导可能也对无危险废物适用。这些准则不涵盖水泥生产中作为熟料代用物的废物的使用。

### B. 水泥生产活动概述

5. 水泥是非金属无机精细粉末，加水搅拌可硬化成型；是混凝土的主要成分。水泥生产涉及对按准确比例混合而成的含石灰和粘土的物质进行加热、煅烧和烧结（又称为“燃烧”或“烧成”）。通过此过程产生水泥生料，之后对其进行冷却和细磨，并加入石膏（一种缓凝剂）等骨料，做成水泥。
6. 熟料通常由约 67%氧化钙、22%二氧化硅、5%三氧化二铝、3%三氧化二铁和 3%其他成分构成（Taylor, 1997 年）。生成氧化钙需要天然形成的钙质沉积物，如石灰石、泥灰或白垩，其中的主要成分为碳酸钙。粘土或页岩通常提供剩余组分。水泥生产过程中使用的生料自然包含金属和卤素，这些成分的数量取决于生料被开采的地质构造；一些生料可能还包括有机碳如油母岩质。同样的，煤可能包含大量的硫、微量金属和卤素，其浓度取决于煤被开采的地区。初级燃料和传统生料中微量元素的平均浓度和范围参见 Mantus（1992 年）、Achterbosch 等人（2003 年）和促发世商会（2005 年）。
7. 除了在一些地理区域（主要是中国和印度）依然使用立窑（VSK）外（中央污染控制委员会，2007 年；Höhne 和 Ellermann, 2008 年），水泥熟料主要在回转窑中烧成，加热生料可采用四种不同的工艺之一：“干法”、“半干法”、“半湿法”或“湿法”工艺。欧洲和美国分别有大约 90%和 80%的水泥生产是在干法窑中进行的（欧洲综合污染防治局，2010 年；美国环境保护局，2007 年）。另一方面，湿法在前苏联、澳大利亚和新西兰依然占主导地位，在加拿大、印度、拉丁美洲和非洲依然意义重大（Watson 等人，2005 年）。
8. 水泥生产是一个耗费大量资源的过程，一般每产一吨生料需喂入 1.5-1.7 吨原料（Szabó 等人，2003 年）。此外，生产过程需要足够的能源，并且水泥

窑的温度须达到 2 000 摄氏度以上。每产一吨水泥一般需要 60-130 公斤燃油或相同燃油当量的燃料，以及约 105 千瓦时电力（Loréa，2007 年）。平均而言，燃料和电力这些能源成本占水泥生产成本的 40%（欧洲综合污染防治局，2010 年）。

9. 除其他事项外，关于水泥生产过程的更多具体信息可参见美国环境保护局（1993 年）、欧洲水泥协会（1999 年 a）、（van Oss，2005 年）和欧洲综合污染防治局（2010 年）。

10. 据估计，2008 年全球水泥产量为 29 亿吨，其中，中国占世界总产量的约一半（Da Hai 等人，2010 年；美国，地质调查局，2009 年）。估计到 2020 年世界水泥消费量将达到 34 亿吨（图一），能源、原料需求和污染物总排放量也将出现相应增长（Degré，2009 年）。

11. 在与水泥生产相关的环境影响方面，熟料煅烧是生产过程中最为重要的一个阶段。通过具体的生产工艺，水泥厂不仅向空气排放废物，而且还向地面排放废物。这包括水泥窑粉尘，在这种情况下，将粉尘再循环至生产过程可能会受到限制。在非典型情况下，还可能向水中造成排放。噪音和气味也会产生影响。

12. 向空气中释放的主要污染物是颗粒物、氧化氮和二氧化硫（欧洲综合污染防治局，2010 年）。其他排放物包括：碳氧化物（一氧化碳、二氧化碳）、多氯二苯并二噁英和多氯二苯并呋喃、挥发性有机化合物、金属和其他化合物、氯化氢和氟化氢。气体排放的类型和数量取决于不同的参数，例如所使用的原料和燃料，以及工艺类型。

13. 水泥生产还与资源（矿物燃料、石灰石和其他矿物质）开采对环境质量、生物多样性、景观美学、地貌美观，以及矿物燃料或地下水等非再生和再生速度很慢的资源（诸如）的损耗的影响相关（Battelle，2002 年）。

### C. 水泥窑中危险废物的共处理

14. 耗费大量资源的行业中的共处理涉及在生产工程中使用废物，以进行能源和资源回收，并通过代用品减少常规燃料和原料的使用。特别是，水泥窑中的危险废物的共处理得以在生产水泥的同时，从废物中回收能源和矿物值。

15. 共处理是基于产业生态原则的一个可持续发展概念，该原则的重点是在整个产品生命周期，工业在减轻环境负担方面的潜在作用（Mutz 等人，2007 年；Karstensen，2009 年 a）。工业生态最为重要的目标之一是使一个产业部门的废物成为另一个部门的原料（经合组织，2000 年）。在水泥业中，将废物用作燃料和原料是一个具有前瞻性的正面典范。

16. 废料共处理可在替换否则将用于水泥生产的材料从而保护自然资源方面发挥有益的作用。根据《巴塞尔公约》，这构成了《公约》附件四 B 部分 R1 类别（“作为燃料或以其他方式产生能量”）和（或）R5（“其他无机物质的再循环/回收”）下“可能导致资源回收<sup>1</sup>、再循环、直接利用或其他用途”的作业方式。

17. 《巴塞尔公约》责成各缔约国确保对危险废物和其他废物进行无害环境的管理。在这方面，确保更为持续的废物管理系统的指导原则是废物管理分级

1 根据欧洲法院于 2003 年 2 月 13 日在第 C-458/00 号案例中做出的判决。

做法，其中包括对保护环境和人类健康予以适当考虑。这将预防或避免废物的产生放到了突出位置。在不可能避免废物产生的情况下，废物再利用、循环和回收是无回收作业的更为可取的替代做法。例如，水泥窑中的共处理为垃圾填埋和焚烧提供了可取的无害环境的资源回收选择。

18. 自 1970 年代初起，澳大利亚、加拿大、欧洲、日本和美利坚合众国已利用水泥窑中的各种废物成功替代了矿物燃料和原料（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006 年）。除其他外，加拿大环境部长委员会（1996 年）、英格兰和威尔士环境署（1999 年 a）、Twigger 等人（2001 年）和 Karstensen（2007 年 a）对将水泥窑中的危险和无危险废物作为燃料和（或）原料的各个法域的经验进行了审查。

19. 虽然各个工厂的做法不尽相同，但水泥生产可作为燃料和非燃料原料消耗大量的废物。这一消耗反映了水泥窑的工艺特征，其确保将原料完全分解为氧化物组分，并使氧化物重新结合为生料矿物质。用于通过适当喂料口喂入焚烧窑的危险和无危险废物的工艺的基本特征，可概括如下（欧洲综合污染防治局，2010 年）：

- (a) 回转窑（主要烧成系统，火焰温度）的最高温度约 2 000 摄氏度；
- (b) 回转窑内的温度超过了 1 200 摄氏度，气体停留时间约 8 秒；
- (c) 回转窑烧成带的材料温度约 1 450 摄氏度；
- (d) 回转窑中氧化气体的气氛；
- (e) 二次燃烧系统内的温度超过了 850 摄氏度，气体停留时间在 2 秒以上；在预煅烧炉中，停留时间相应更长，温度也更高；
- (f) 二次燃烧系统和（或）煅烧炉中的固体物质温度为 850 摄氏度；
- (g) 因足够长的停留时间期间温度较高，来料波动的燃烧条件统一；
- (h) 足够长的停留时间期间温度较高造成有机污染物的销毁；
- (i) 气体成分（诸如氯化氢、氟化氢和二氧化硫）在碱性反应物上吸附；
- (j) 粒状重金属的高停留能力；
- (k) 废气在已知会促使形成多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃的温度范围内的短时间停留；
- (l) 通过完全使用燃料灰烬作为生料成分同时进行材料循环和能源回收；
- (m) 由于完全将材料用作生料填充料（虽然一些水泥厂对水泥窑粉尘或旁路粉尘进行处置），没有产生特定产品的废物；
- (n) 将挥发性的重金属与生料填充料进行化学和矿物结合。

20. 在水泥生产过程中，通过回收危险废物和其他废物材料和所含能量使这些物质可能带来的诸多潜在惠益包括：回收废物所含能量，保护不可再生矿物燃料和自然资源，减少二氧化碳排放，降低生产成本，以及利用现有技术处理危险废物（例如见 Mantus，1992 年；Battelle，2002 年；促发世商会，2005 年；Karstensen，2007 年 b）。

21. 最为直接的惠益是水泥厂所使用的替代燃料蕴含的能量，因为这能够替代对矿物燃料的需求（Murray 和 Price，2008 年）。对矿物燃料的依赖性减少，并通过资源保护产生节余。除其他外，被取代的矿物燃料的需求量取决于替代燃料的产热量和含水量。
22. 此外，代用燃料所含碳总量可能低于矿物燃料所含总量，并且加工过程不需要更多热量（和燃料）的替代原料可能会产生生产生料所需的部分氧化钙，这是除碳酸钙之外的另一个氧化钙来源（Van Oss，2005 年）。因此，水泥生产中废物共处理的另一个直接惠益是二氧化碳排放量可能会有所减少。相对于在不进行能源回收的情况下，在焚烧炉中焚烧废物的设想而言，在废物管理总体战略框架内实现水泥窑共处理的一体化可能会为减少全球二氧化碳净排放量带来潜力（英格兰和威尔士环境署，1999 年 b；欧洲水泥联盟，2009 年）。
23. 用替代材料代替传统原料可减少对自然资源的开采，以及此类活动的环境影响（促发世商会，2005 年；欧洲水泥联盟，2009 年）。
24. 通过用现有焚烧窑基础设施共处理无法尽量减少或否则将进行再循环的废物而产生的成本节约，能够避免投资专门建造的焚烧炉或垃圾填埋设施的必要性（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006 年；Murray 和 Price，2008 年）。不同于专门的废物焚烧炉，将水泥窑中加以共处理的废物所产生的灰尘残渣融入生料，这样就没有需进一步管理的最终产品。
25. 至关重要的是，只能在满足针对投入、加工和排放控制规定的要求的同时，根据最佳可得技术<sup>2</sup>对水泥窑中的危险废物实行共处理。在这方面，预防或尽量减少持久性有机污染物的形成和后续的无意释放是《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》第 5 条的主题。公约秘书处已印发并且公约缔约方大会第 SC-3/5 号决定已通过了关于最佳可得技术的指导，以及关于最佳环境做法的临时指导。尤为相关的其他资料来源是欧洲联盟委员会针对水泥、石灰和氧化镁生产（欧洲综合性污染控制预防局，2010 年），以及废物处理行业（欧洲综合性污染控制预防局，2006 年）印发的最佳可得技术参考文件，以及一般监测原则（欧洲综合性污染控制预防局，2003 年）。
26. 最佳可得技术参考文件介绍了欧洲联盟成员国、相关产业和非政府环境组织之间在欧洲联盟委员会协调下，根据第 2008/1/EC 号指令（综合性污染预防和控制指令）开展信息交流的结果。除提供其他具体部门的有用信息外，这些文件还为欧洲联盟成员国提供了最佳可得技术和相关排放水平方面的指导。
27. 可在其中计划并安全开展危险废物管理活动的适当的国家法律和监管框架应从产生地点到处置地点，确保通过各种作业适当处理废物。《巴塞尔公约》缔约方和《斯德哥尔摩公约》缔约方还应审查国家的控制措施、标准和程序，以确保其与各项公约及其中的各项义务一致，其中包括与对危险废物实行无害环境管理相关的义务。
28. 只能在水泥窑完全符合许可要求并遵循适用的地方条例的情况下，才对危险废物实行共处理。例如，对于欧洲联盟共处理危险废物和其他废物的设

---

2 立窑（VSK）不应视为最佳可得技术的选择（环境署，2007 年）。许多立窑水泥厂实际上没有制定环境控制方法，并且技术性质排除了现代粉尘（或其他排放）控制的有效利用（Karstensen，2006 年 a）。

施而言，应适用第 2000/76/EC 号指令（废物焚烧指令；将于 2014 年 1 月改为关于工业排放的第 2010/75/EU 号指令）和第 2008/98/EC 号指令（废物框架指令）的要求。

## 二、《巴塞尔公约》相关条款和国际联系

### A. 《巴塞尔公约》的一般条款

29. 1992 年 5 月 5 日生效的《巴塞尔公约》规定，危险废物的任何越境转移（出口、进口或过境）只有在此种物质的转移和处置无害环境的情况下，才准许进行。

30. 《巴塞尔公约》第 2 条第 1 款（“定义”）把废物定义为“予以处置的或打算予以处置的或按照国家法律规定必须加以处置的物质或物品”。第 2 条第 4 款把处置定义为《公约》“附件四所规定的任何作业”。第 8 款把危险废物或其他废物的无害环境管理定义为“采取一切可行步骤，确保危险废物或其他废物的管理方式将能保护人类健康和环境，使其免受此类废物可能产生的不利后果。”

31. 第 4 条第 1 款（“一般义务”）确立了各缔约国行使其权利禁止危险废物或其他废物进口处置时应采用的程序，即应将其决定通知其他缔约国。第 1 款(a)项规定：“各缔约国行使其权利禁止危险废物或其他废物进口处置时，应按照第 13 条的规定将其决定通知其他缔约国”。第 1 款(b)项规定：“各缔约国在接获按照以上(a)项发出的通知后，应禁止或不准许向已禁止这类废物进口的缔约方出口危险废物或其他废物”。

32. 第 4 条第 2 款(a)-(d)项逐项载列《巴塞尔公约》关于可减轻废物对人类健康和环境产生的不利影响的无害环境管理、尽量减少废物，以及废物处置做法诸方面的关键性条款：

“各缔约国应采取适当措施：

- (a) 考虑到社会、技术和经济方面，保证将其国内产生的危险废物和其他废物减至最低限度；
- (b) 保证提供充分的处置设施，用以从事危险废物和其他废物的环境无害管理，不论处置场所位于何处，在可能范围内，这些设施均应设在本国领土内；
- (c) 保证在其领土内参与危险废物和其他废物管理的人员视需要采取步骤，防止在这类管理工作中产生危险废物和其他废物的污染，并在产生这类污染时，尽量减少其对人类健康和环境的影响；
- (d) 保证在符合危险废物和其他废物的环境无害和有效管理下，把这类废物越境转移减至最低限度，进行此类转移时，应保护环境和人类健康，免受此类转移可能产生的不利影响。”

### B. 关于无害环境管理的一般考虑因素

33. 无害环境管理目前仅仅是一个广泛的政策概念，并且未为之订立一个明确的普遍定义。然而，关于适用于《巴塞尔公约》和《斯德哥尔摩公约》范畴之内危险废物，以及经济合作与发展组织（经合组织）的核心绩效要点（将在以下三个小节中作进一步讨论）的无害环境管理的各项条款，为我们提供了国

际指导，同时亦对各国和各工业部门正在努力进行的无害环境管理提供了支持。

## 1. 巴塞尔公约

34. 《巴塞尔公约》第 2 条第 8 款将危险废物或其他废物的环境无害管理定义为“采取一切可行步骤，确保危险废物或其他废物的管理方式将能保护人类健康和环境，使其免受这类废物可能产生的不利后果”。

35. 《公约》第 4 条第 2 款(b)项要求各缔约国采取适当措施，“保证提供充分的处置设施用以从事危险废物和其他废物的环境无害管理，不论处置场所位于何处，在可能范围内，这些设施应设在本国领土内”，而第 2 款(c)项要求各缔约国“保证在其领土内参与危险废物和其他废物管理的人员视需要采取步骤，防止在这类管理工作中产生危险废物和其他废物的污染，并在产生这类污染时，尽量减少其对人类和环境的影响”。

36. 《公约》第 4 条第 8 款规定，“拟出口的危险废物或其他废物必须以对环境无害的方式在进口国或其他处处理。《公约》所涉废物的环境无害管理技术准则应由缔约方在其第一次会议上决定”。本技术准则旨在对水泥窑中的危险废物实行共处理方面的无害环境管理给出一个更为精确的定义，其中包括对这些废物流适宜的处理和处置方法。

37. 于 1994 年订立的关于拟定对受《巴塞尔公约》制约的各种废物实行无害管理的技术准则的框架文件提出了若干项关键性原则。框架文件建议了一些法律、体制和技术条款（无害环境管理标准），例如：

- (a) 监管和执行基础设施应确保遵守各项适用条例；
- (b) 场址或设施应得到批准，并具备以所提议的方式对各种危险废物进行处理的适当的技术和污染控制标准，同时特别考虑到出口国的技术和污染控制程度；
- (c) 对危险废物进行处理的场址或设施的操作人员须酌情对其开展的活动的影响进行监测；
- (d) 在监测结果表明对危险废物的管理工作导致了不可接受的排放的情况下，采取适当的行动；
- (e) 从事危险废物管理的人员有能力胜任其工作，并得到适当的培训。

38. 在巴塞尔公约缔约方大会第五届会议上通过的 1999 年《实行无害环境管理的巴塞尔宣言》吁请各缔约国加大努力与合作，以实行无害环境管理，具体方法是：防止、尽量减少、再循环、回收和处置属于《公约》制约范围内的危险废物和其他废物，同时顾及社会、技术和经济方面的关切；以及进一步减少属于《公约》制约范围之内的危险废物和其他废物的越境转移。

39. 《巴塞尔宣言》还列出了应在这一范畴内开展的一系列活动，其中包括：

- (a) 查明并从数量上确定本国范围内正在生成的废物的类型；
- (b) 采取最佳做法，避免或尽量减少危险废物的产生，并减少其毒性，诸如采用更为清洁的生产方法或办法；

- (c) 提供经批准的属于以无害环境方式对废物，特别是危险废物实行管理的场址或设施。

## 2. 斯德哥尔摩公约

40. 虽然《斯德哥尔摩公约》并未对无害环境管理一词做出任何定义，但有关对由持久性有机污染物构成、含有此种物质或受其污染的废物的无害环境处置方法，则拟由缔约方大会与《巴塞尔公约》的各相关机构合作加以确定。

## 3. 经济合作与发展组织

41. 经合组织已通过一项关于废物无害环境管理的建议，其中载有不同的项目，诸如适用于废物回收设施的无害环境管理准则的核心绩效要点，包括制约各种相关残留物的收集、运输、处理和储存的绩效要点，以及储存、运输和/处置之后的各项要点。这些核心绩效要点指出，设施应具备：

- (a) 适用的无害环境管理系统；
- (b) 充分的保障职业及环境卫生和安全的措施；
- (c) 适当的监测、记录和报告方案；
- (d) 适当和充分的人员培训方案；
- (e) 适当的应急计划；
- (f) 适当的终止和安置计划。

## 三、关于在水泥窑中实行无害环境共处理的一般指导

### A. 水泥生产中的共处理原则

42. 人们认为以安全和无害环境的方式对水泥生产中的危险废物和无危险废物实行共处理具有长远的环境惠益（欧洲水泥联盟，1999年b；2009年）。为避免出现规划不当可能导致污染增加或者未能优先考虑更加有益环境的废物管理做法的情况，德国技术合作公司和豪西蒙集团支助股份有限公司制定了一套一般性原则（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年）。这些原则（表1）全面、扼要概述了共处理项目计划人员和利益攸关方的关键考虑因素。

43. 促进可持续发展世界商业理事会（促发世商会，2005年）也概述了类似的原则。Karstensen（2008年a，2009年a）阐述了南部非洲政府环境事务和旅游部（2009年）在水泥生产共处理框架内通过的专门针对水泥窑定期危险废物共处理的一般性要求（表2）。

表1

#### 对水泥窑中危险废物和其他废物实行共处理的一般性原则

原则	说明
应遵守废物管理分级	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 如果在生态和经济上没有更为有力的回收方法，则应对水泥窑中废物实行共处理</li> <li>- 应将共处理视为废物管理不可分割的一部分</li> <li>- 共处理做法应符合《巴塞尔公约》和《斯德哥尔摩公约》，以及其他相关的国际环境协定</li> </ul>
必须避免产生更多排放，以及对人类健康造成不利影响	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 必须预防或尽量减少污染对环境和人类健康产生的不利影响</li> <li>- 在统计上而言，水泥窑废物共处理产生的气体排放不能高于废物共处理不涉及的气体排放</li> </ul>

原则	说明
水泥的质量必须保持不变	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 不得将产品（生料、水泥、混凝土）作为重金属的吸收汇</li> <li>- 产品不得对环境产生任何不利影响（例如，根据沥滤测试）</li> <li>- 产品的质量必须使得能够进行寿命终结回收</li> </ul>
进行共处理的公司必须具备相关资格	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 保证遵守所有法律和条例</li> <li>- 拥有良好的环境和安全履约记录</li> <li>- 拥有致力于保护环境、健康和安全的相关人员、工艺和系统</li> <li>- 能够控制对生产过程的投入</li> <li>- 与参与地方、国家和国际废物管理计划的公共和其他当事方保持良好的关系</li> </ul>
实行共处理必须考虑到国情	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 条例和程序中必须体现国家的具体要求和需要</li> <li>- 实行必须使得能够建设所需能力，并设定体制安排</li> <li>- 共处理的实行必须与国家废物管理结构的其他改革过程相一致</li> </ul>

资料来源：德国技术合作公司/豪西蒙公司（2006年）。

表 2

### 对水泥窑中危险废物和其他废物实行共处理的一般性要求

(1)	一项经核准的环境影响评估，以及全部所需的国家/地方执照、准可、授权和许可证
(2)	遵守所有相关国家和地方条例
(3)	适当的地点、技术基础设施、储存和加工设备
(4)	水电供应可靠且充足
(5)	适用空气排放污染预防和控制最佳可得技术，同时连续开展排放监测，以确保遵守条例和许可（通过定期的基线监测进行核查）
(6)	在空气污染控制装置中保持废气调节/冷却和低温（< 200 摄氏度），以防止二噁英的形成
(7)	具有明确责任、报告路径和反馈机制的清晰的管理和组织结构
(8)	面向员工的错误报告系统（事件预防和纠正行动）
(9)	具有资质和技能熟练的员工，负责处理废物和健康、安全及环境问题
(10)	足够的应急和安全设备和程序，以及定期培训
(11)	授权和许可的危险废物收集、运输和处理
(12)	安全和无害环境地接收、储存和喂入危险废物
(13)	足够的实验室设施和设备，以进行危险废物的接收和喂入控制
(14)	适当的废物和排放记录保存
(15)	适当的产品质量控制例行办法
(16)	实施环境管理系统，其中包括一个不断改善的方案
(17)	进行独立审计（政府核准或其他形式）、排放监测和报告
(18)	利益攸关方与地方社区和当局开展对话，并出台回应评论意见和投诉的机制
(19)	定期公开披露业绩和履约核查报告

资料来源：根据南非政府环境事务和旅游部（2009年）和 Karstensen（2009年 a）改编。

## B. 在筛选共处理废物时需要考虑的因素

44. 针对水泥产品的严格质量控制及生产过程的性质意味着，只有经仔细筛选的危险和无危险废物才适用于共处理（促发世商会，2005年）。在欧洲联盟委员针对该行业印发的最佳可得技术参考文件中，最佳可得技术是仔细筛选和控制喂入焚烧窑的所有物质，以避免和（或）减少排放（欧洲综合污染防治局，2010年）。

45. 在确定加以共处理的危险废物适宜与否时，必须考虑到水泥的化学成分，以及可能对环境或公共健康和安全造成的损害。据建议，应在整个生命周期采用危险废物完整回收链做法，以评估现有的回收活动。

46. 作为一项基本规则，在水泥生产中使用危险废物应给此过程带来附加值（例如，发热值和矿物成分的材料价值），同时还应符合适用的条例和许可要求。虽然金属含量高的废物并不总适于加以共处理，但由于水泥厂的作业特征各不相同，因此可接收的废物的确切成分将取决于每个工厂处理任何特定废物流的能力。

47. 只应在产生环境惠益的情况下，才考虑作为不会导致资源回收的处置活动（即危险废物成分的销毁或不可逆变换），使用水泥窑：例如，通过消焰或者在地方一级没有其他具有成本效益和无害环境的处置办法时，削减氮氧化物。需相应制定许可要求。

48. 在利用水泥窑销毁危险废物成分时，必须仔细评估替代处置途径；遵守严格的环境、健康和安全标准；以及无损最终产品的质量。在没有严格的最终产品要求的国家，适用最佳可得技术和最佳环境做法更为重要（环境署，2007年）。

49. 鉴于废物的多样性，掺杂混合不同的危险和无危险废物流可能须保证同类给料符合水泥窑的使用规格。然而，不应以降低危险成分的浓度从而规避监管要求为目的，将危险废物进行掺杂。作为一般性原则，应避免废物的混合导致适用不当（非无害环境）的处置作业（欧洲综合污染防治局，2006年）<sup>3</sup>。

### 1. 适于在水泥窑中加以共处理的危险废物

50. 适于加以共处理的危险废物的范围广泛，但由于水泥窑的排放情况因场址而异，因此针对可用于具体工厂的废物类型的回答也不尽相同。对废物的筛选受各种因素的影响。其中包括：废物的性质、其危险特征、现有的废物管理作业、焚烧窑作业、原料和燃料成分、废物喂入点、废弃清洁工艺、由此产生的生料的质量、普遍的环境影响、形成和释放持久性有机污染物的概率、特定的废物管理考虑因素、遵守规章的情况，以及公众和政府的接受情况（Van Oss 和 Padovani，2003年；德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年；环境署，2007年；欧洲综合污染防治局，2010年）。

51. 操作人员应发展一项废物评价程序，以评估对工人和公众健康和安全的潜在影响、工厂排放情况、作业和产品质量。在筛选废物时应考虑的变量包括（促发世商会，2005年；环境署，2007年）：

(a) 焚烧窑作业情况：

3 在欧洲联盟，适用第 2008/98/EC 号指令中关于混合危险废物的要求。

- (一) 碱性物质（钠和钾等）、硫磺和氯化物含量：过量投入上述化合物可能会在焚烧窑系统中造成堆积和堵塞。在无法从水泥生料或焚烧窑粉尘中吸取到这些物质的情况下，可能需要一个旁路，去除来自预加热器/预煅烧炉焚烧窑系统的过量化合物。碱性物质含量高还可能限制焚烧窑本身水泥窑粉尘的再循环；
  - (二) 发（产）热值：向处理过程提供的能量的关键参数；
  - (三) 含水量：总体的水分含量可能会影响生产力、效率，还会增加能源消耗。需考虑废物的含水量，以及常规燃料和（或）喂入原料的含水量；
  - (四) 含灰量：含灰量影响着水泥的化学成分，可能须对混合原料的成分做出调整；
  - (五) 废气流动速度和废物喂入量：需要足够的停留时间，以销毁有机物，并防止因废物过量填充导致的不完全燃烧；
  - (六) 作业的稳定性和（例如，一氧化碳流动的持续时间和频率），以及废物的状态（液态、固态）、预处理情况（切碎、研磨）和同质性；
- (b) 排放：
- (一) 有机物含量：有机成分与二氧化碳的排放相关，如果废物的喂入点或作业条件不当，可能会产生一氧化碳和未完全燃烧的其他产物的排放；
  - (二) 氯化物含量：氯化物可能与碱性物质结合形成细碎且难以控制的颗粒状物质。在一些情况下，氯化物与石灰石喂料中的氨结合。这会产生明显分离且氯化铵含量很高的细碎颗粒；
  - (三) 金属含量：多数重金属的不可挥发性使得其中多数得以直穿焚烧窑系统，并融入生料。采用的挥发性金属部分通过在达到平衡前蒸发和浓缩，以此在内部进行再循环，其他部分则随废气被释放。铊、汞及其化合物具有很强的挥发性，镉、铅、硒及其化合物的挥发性较小。事实是粉尘控制系统只能吸取一小部分颗粒状的重金属，并且需要考虑到其化合物。在废气清洁系统的效率方面，还需特别考虑用含铜、铬和砷的防腐剂处理过的木材。汞是挥发性极强的金属，其根据废气的温度，在空气污染控制装置中呈现为颗粒状和水蒸汽状（欧洲综合性污染预防控制装置，2010年）；
  - (四) 可通过单独的排气烟囱或系统中装有适当旁路的主要焚烧窑烟囱释放碱性物质旁路废气。在主要烟囱和碱性物质旁路烟囱中发现了相同的危险气体污染物。在安装了碱性物质旁路系统的情况下，类似于要求对主要排气烟囱进行的控制，还需对旁路排气装置排入大气中的废气进行适当的控制（环境署，2007年）；
  - (五) 原料、燃料和废物中硫磺含量高可能会导致二氧化硫的释放；

- (c) 生料、水泥和最终产品的质量：
- (一) 磷酸盐含量高可能会延迟凝结时间；
  - (二) 氟含量高将影响凝结时间和强度；
  - (三) 氯化物、硫磺和碱性物质含量高可能影响产品的总体质量；
  - (四) 铈和铬含量会对水泥的质量产生不利影响，并可能致使敏感用户产生过敏反应。从混凝土残留物中过滤铬的做法可能比过滤其他金属更为普遍（Van der Sloot 等人，2008 年）。石灰石、沙子和粘土含有铬，这使得水泥中必然含有该物质，并且含量极不稳定。挪威国家职业健康研究所（Kjuus 等人，2003 年）审查了针对特别是涉及建筑工人的铬酸盐敏感症开展的若干项研究。审查发现，水泥中的铬主要源自原料、焚烧窑中的耐火砖，以及铬钢制研磨机。这些因素的相对作用因原料的铬含量和生产条件的不同而不尽相同。次要来源包括常规燃料和替代燃料（欧洲综合污染防治局，2010 年）。接触 pH 值高的湿水泥，以及与铬发生免疫反应会造成水泥湿疹，前者会引起刺激性接触性皮炎，后者会引起过敏性接触性皮炎（Kjuus 等人，2003 年）。如果在与水化合的情况下，其所含可溶解铬占到了水泥干重总量的 0.0002% 以上，则在有可能与皮肤接触的情况下，不可以使用或将水泥和含水泥的制剂置于欧洲联盟市场。<sup>4</sup>由于原料是铬的主要来源，因此减少水泥中铬的含量需要向成品加入还原剂。欧洲使用的还原剂主要是硫酸亚铁和硫酸亚锡（欧洲综合污染防治局，2010 年）。
  - (五) 可滤取的微量元素：所有喂料，包括常规和其他喂料中都含有重金属。然而，根据某些测试条件，除铬外，从其他金属混凝土中滤取的浓度可能接近饮用水标准（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006 年）。

52. 并非所有的废物均适于共处理。在水泥窑中，只有成分、能量和矿物值已知的废物才适于共处理。同样，需要解决具体工厂的健康和安全关切，并需适当考虑废物管理分级做法。只应在环境、健康和安全、社会、经济和作业标准的所有具体的先决条件和要求得到满足的情况下，才能适用共处理（环境署，2007 年）。

53. 原则上，适于在水泥窑中加以共处理的危险废物包括：石油提炼、天然气净化和煤热解处理过程中所产生的油箱底部油泥、酸烷基污泥、溢油和酸焦油；废弃机油；废弃液压油和制动液；船底油污；油/水分离器污泥、固体或乳状液；清洗液和母液，制造、配制、供应和使用基本有机化学品、塑料、合成橡胶、人造纤维、有机染料、颜料、有机农药和药品产生的底渣和反应残留物；废弃油墨；照相业产生的废物；阳极制造（铝热冶金）产生的焦油和其他

4 欧洲议会和理事会 2003 年 6 月 18 日第 2003/53/EC 号指令，对理事会关于限制销售和使用某些危险物质和制剂的第 76/769/EEC 号指令的第 26 次修正（Nonylphenol, Nonylphenol Ethoxylate and Cement）。

含碳废物；金属脱脂和机械维修产生的废物；织物清洗和天然产品脱脂产生的废物；电子工业产生的废物（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年）。

54. 原则上不得在水泥窑中对以下废物进行共处理：

- (a) 放射性废物或核废物；
- (b) 电子废物；
- (c) 整块电池；
- (d) 腐蚀性废物，包括矿物酸；
- (e) 爆炸物；
- (f) 含氰废物；
- (g) 含有石棉的废物；
- (h) 传染性医疗废物；<sup>5</sup>
- (i) 将销毁的化学武器或生物武器；
- (j) 将销毁的化学武器或生物武器；
- (k) 成分未知或不可预测的废物，其中包括未分类整理的城市废物。

55. 个别设施可能会拒绝接收其他废物，这取决于当地的情况。

56. 总体而言，鉴于健康和安全的关切，以及可能对焚烧窑作业、生料质量和气体排放可能产生不利影响，并且在拥有可取的替代废物管理选择的情况下，不提倡上述废物。有关上述废物的详细内容参见德国技术合作公司/豪西蒙公司（2006年）。

57. 应避免并尽量减少向焚烧窑中投入由汞组成、含汞或被汞污染的废物。由于限制废物中汞的含量不能确保焚烧窑实现较低的汞气体排放，还应对汞设定排放限值。

## 2. 水泥窑中的废物回收或不会导致回收的处置

58. 如果具有可回收能量值的选定废物流符合规格，则可在水泥窑中用作替代燃料，替代一部分常规燃料。同样，含钙、硅、氧化铝和铁等有用成分的废物流，如废轮胎可用于替代粘土、泥板岩和石灰石等原料。满足两项要求的废物可能适于以能源和材料回收为目的而进行的处理。

59. 相反，不得将水泥窑中没有任何代用用途，只是出于废物中危险物质的销毁和不可逆转换目的而进行的废物焚烧视为回收作业。<sup>6</sup>

5 尽管缺少有关医疗废物管理的条例，尤其是从源头上进行隔离的条例（或条例实施力度不够）可能导致一些设施出于健康和安全的考虑，拒绝接受此类废物，但是水泥窑的工艺条件适合处理传染性医疗废物。在国内职业健康和安全的立法允许的前提下，各国可以在水泥窑中对这些废物进行共处理。

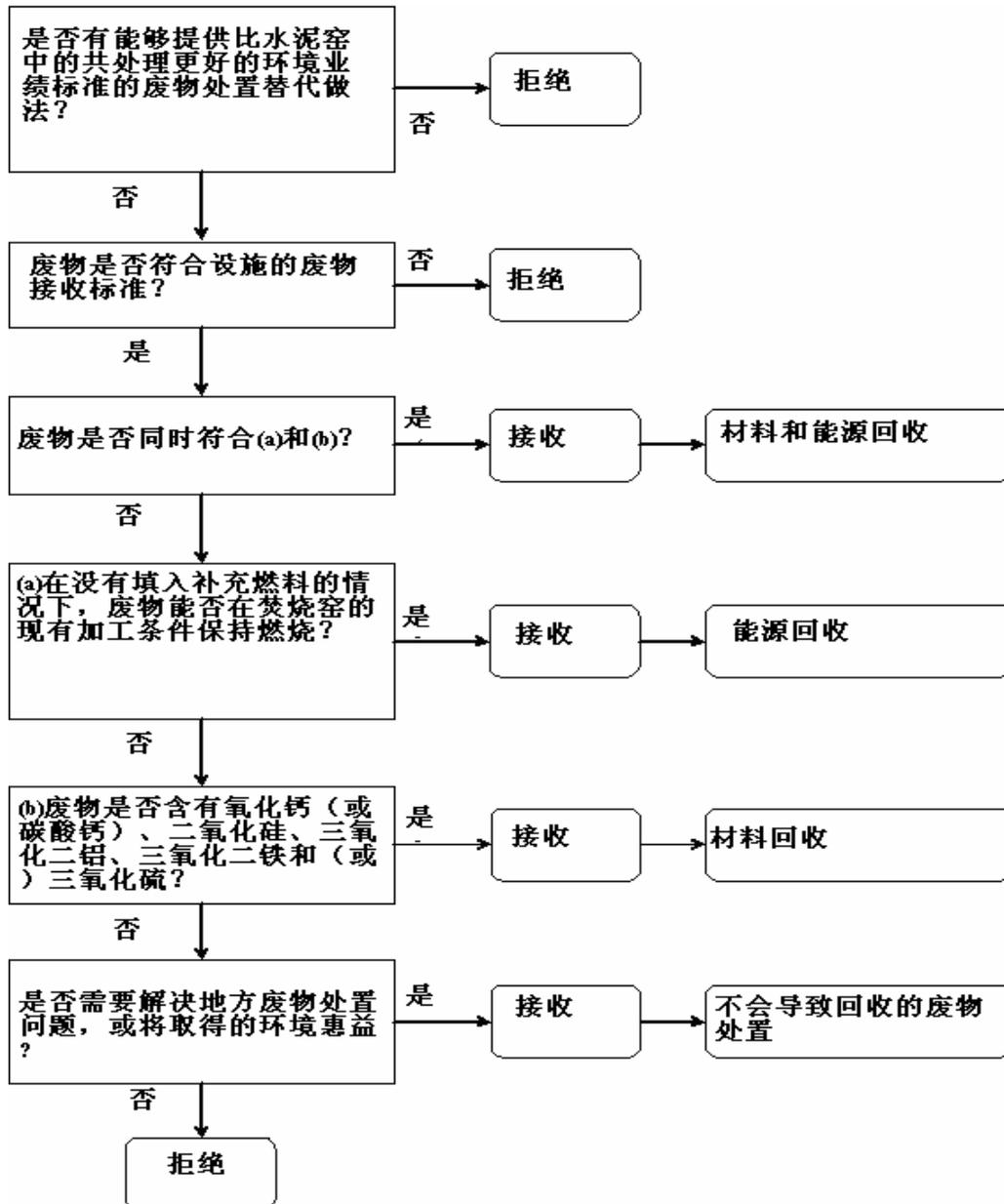
6 根据《巴塞尔公约》，“处置”一词系指附件四 A（不能导致资源回收、再循环、直接再利用或其他用途的作业方式）和附件四 B（可能导致资源回收、再循环、直接再利用或其他用途的作业方式）所列的作业。然而，在一些国家，处置仅指附件四 A 具体规定的作业，即不会导致任何回收形式的作业。附件四 R1 或 D10 类作业方式可能涵盖危险物质的销毁。

60. 为区分会导致资源回收和不会导致资源回收的活动，需要制定具体的标准，以评价废物对生产过程的贡献，如图一所述。已提出了一些方法，例如，考虑废物高发热值要么低发热值，以评估其能量值，并考虑材料的化学成分（灰烬、氧化钙、碳酸钙、二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁、三氧化硫和（或）水），以评估其矿物值（Zeevalkink，1997年；Koppejan和Zeevalkink，2002年；德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年）。图二提供了相关示例。

61. 虽然实际上不得将没有能量或矿物值的废物加以共处理，但水泥窑提供的高温、长停留时间和氧化条件使此做法成为了可能。应国家或地方政府的请求，可将焚烧窑用于特别是存在问题的废物流中危险物质的销毁或不可逆转换，诸如过时的杀虫剂库存。然而，这并不属于共处理的范畴，需逐一加以评估，并得到监管当局和操作人员双方的一致同意。可能需要进行试烧，以表明符合业绩标准。

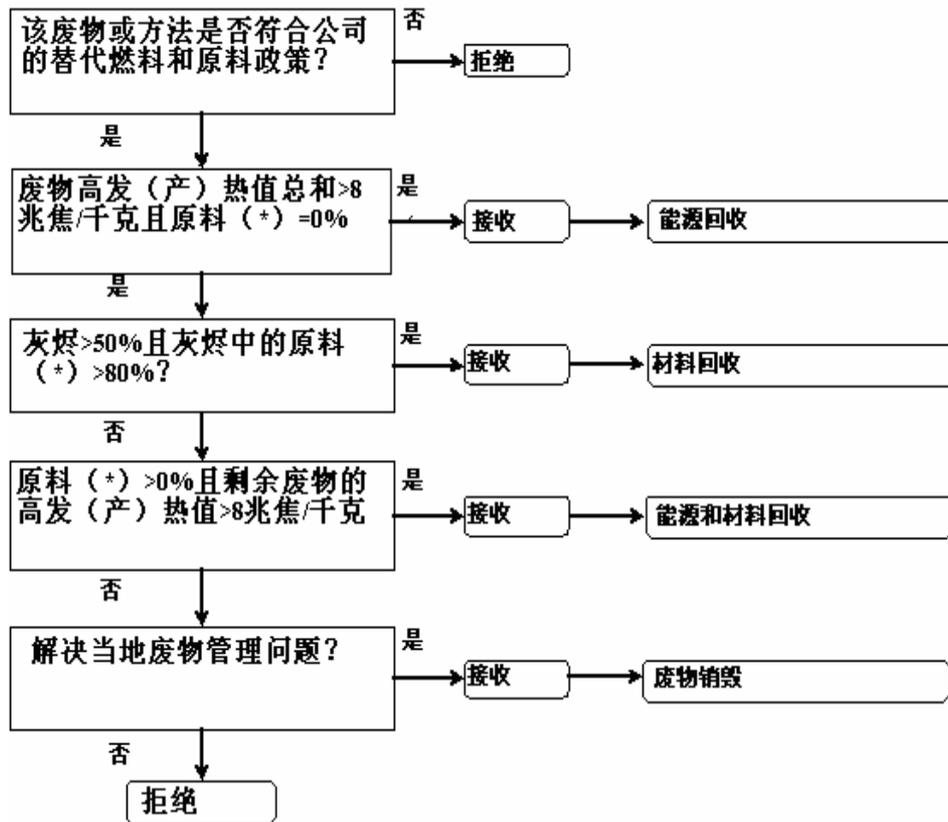
62. 应指出的是，水泥窑是生料的主要生产加工设备，并非所有作业条件是销毁危险物质的理想条件。例如，与运作良好的焚烧炉相比，水泥窑往往在废气含氧水平较低和一氧化碳浓度水平更高的情况下进行作业。热处理有机废物需要高温、长停留时间、充足的氧气供应，有机化合物与氧气需进行充分的混合。良好的设计和作业是将水泥窑用于这一应用的关键。如果投入方法不当或氧气供应量不足，废物便得不到充分的处理，在这种情况下，水泥窑可能出现各种情况（环境署，2007年）。

图一  
废物接收决策过程



图二

## 废物接收决策图示例



(\*) 代表氧化钙、二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁和三氧化硫

资料来源：德国技术合作公司/豪西蒙公司（2006年）

### 3. 危险有机物质的销毁率

63. 应进行有专业监督和独立核查的试烧，以表明持久性有机污染物的销毁情况（Karstensen, 2008年 a）。操作人员应预先表明，主管当局同意通过针对潜在有害环境的异常作业出台的安全措施适当控制基线作业。应充分考虑表 2 所载的要求。

64. 采用试烧是为了确定设施的销毁去除率或销毁率，以核查其以不可逆转或无害环境的方式销毁持久性有机污染物的能力。该过程涉及废物喂料中主要有有机危险成分的筛选、取样和分析，以确定其投入和排放量。试烧一般由一系列测试组成，每一项测试针对设施中的一套作业条件。每项测试通常分三步进行。

65. 试烧期间，应针对危险废物的最大喂料量和焚烧窑的最高生产率设定作业限额，这是可能对日常作业期间所示的销毁去除率或销毁率的实现产生不利影响的参数（Karstensen, 2009年 b）。在试烧之后，应针对上述参数设定允许限额。

66. 许多国家对使用水泥窑热销毁多氯联苯的可能性进行了调查。通过若干试烧确定的销毁去除率表明，精心设计和运作良好的水泥焚烧能有效销毁多氯联

苯。在若干法域，多氯联苯的销毁去除率须达到 99.9999%（例如，根据《美国有毒物质控制法案》），可将此作为一个指示性最佳可得技术标准（环境规划署，2007 年）。

67. 一个设施应表明其针对目标持久性有机污染物的销毁（燃烧）或去除（在管道系统或空气污染控制装置解决）能力至少为 99.9999%。而且，根据测试条件，应满足 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup><sup>7</sup>（即每立方米烟气中二噁英含量小于 100 亿分之一克）的多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃的排放限额（巴塞尔公约秘书处，2007 年）。还应满足现有的排放限值。

68. Karstensen 提出了一项替代做法，即在情况最差的情况下，向试烧提供相同质量的信息（2009 年 b）。这需要在不向焚烧窑喂入危险废物（危险废料）的情况下，开展基线排放研究。之后，开展一项测试，以获得销毁业绩和污染物排放数据，同时向焚烧窑喂入危险废物。两项测试均在正常的作业条件下进行，并满足多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>（即每立方米烟气中二噁英含量小于 100 亿分之一克）的排放限额和其他监管要求。据称，此项业绩核查方法，以及适当的安全安排、投入控制和作业程序的目的是确保与欧洲联盟现行条例具有相同的环境保护程度（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006 年）。采用此方法是为了表明，越南水泥窑中仲丁威的销毁去除率是 99.9999969%，以及氟虫腈的销毁去除率为 99.9999832%（Karstensen 等人，2006 年）。

69. 本准则附件一提供了业绩核查和试烧结果的汇编。

### C. 质量保证/质量控制

70. 应适用全面的质量保证和质量控制方案。目标是确保产品符合标准规格、使用危险废物不会对工厂作业产生不利影响、开展环境保护，并减少健康和安全风险。质量保证是确保所有数据和通过数据做出的决定在技术上合理、在统计上有效并得到适当记录的必要条件。

71. 应制定质量保证计划，以帮助确保监测、取样和分析数据实现精确、准确和完整的具体目标，并提供数据质量评价框架。该计划应涵盖设施处理的废物流和产品材料，并载有以下方面的详细说明：

- (a) 组织和责任；
- (b) 数据精确度、准确性、完整性、代表性和可比性计量方面的质量保证目标；
- (c) 取样程序；
- (d) 样品处理和保管；
- (e) 分析程序；
- (f) 质量控制检查（空白、添加分析、重复分析等）和频率；
- (g) 工具/设备测试、检查或维护；
- (h) 工具/设备校准程序和频率；

7 干基，精确至氧含量 11%，压力 101.3 千帕，以及温度 273.15K。

## (i) 数据审查、核查、确认和报告。

72. 应提供和保持适当的实验室设计、基础设施、设备和仪器，以确保及时完成全部所需分析。应考虑开展定期的实验室测试，以评价和提高业绩。

73. 在进行取样时，应考虑安全和健康问题。开展取样工作的员工须获得与废物相关的危害、处理程序及防护服和防护设备方面的培训。参与取样活动的人员应对适用的质量保证/质量控制程序有充分的了解。

74. 欧洲综合污染防治局扼要阐述了水泥生产过程中废物质量控制的最佳可得技术（2010年）：

(a) 适用质量保证系统，以保证废物的特征，并分析将用作水泥窑原料和（或）燃料的任何废物：各阶段保持质量的情况；物理标准，例如，排放形成情况、粗细程度、反应度、可燃性、产热值；化学标准，例如，氯、硫磺、碱性物质和磷酸盐以及相关金属的含量；

(b) 控制针对将用作水泥窑原料和（或）燃料的任何废物的相关参数，诸如氯、相关金属（例如，镉、汞、铊）、硫磺、全部卤素的含量；

(c) 针对每一种废物负载适用质量保证系统。

75. 定期开展内部审计，以确保使用质量保证/质量控制程序，并且相关人员遵守该程序。至少每年或应要求开展一次独立的第三方审计，以确定实施的质量系统的效率。应向管理层提交审计报告，并在其中载入纠正发现的不足的要求。

## D. 健康和安全管理

76. 在危险废物管理期间，应自觉将健康和安全管理作为一个优先事项，并将其纳入作业的方方面面。应明确设定总体和具体的人员要求、指挥系统、个人的作用和责任。

77. 应制定健康和安全管理方案，以确定、评价和控制安全和健康方面的危险，并对危险废物作业提供紧急对策。该方案的内容和范围应与同具体作业相关的危险及风险的类型和程度相称。

78. 应提供关于安全的危险废物处理、作业程序和应急措施方面的适当文件和信息。通过公开和透明，设施管理层应确保工作人员充分了解健康和安全管理措施及标准。应预先向员工和承包人提供易于理解的安全和紧急情况说明。

79. 在欧洲联盟，最佳可得技术包括用于处理、储存和喂入危险废物材料的危险废物安全管理设施。例如，利用取决于废物来源和类型的基于风险的方法对拟处理的废物张贴标签，进行检查、取样和测试（欧洲综合污染防治局，2010年）。

### 1. 危险分析

80. 应确定危险和可能的接触，并应出台适当的控制措施，以保证员工的健康和安全管理。应确定需要运用个人防护设备的危险。建议开展相关评估，诸如工作危害分析、工作安全分析、安全分析报告、工艺危害分析，以及工作、任务和危害分析。

## 2. 接触和危险控制

81. 为消除或控制工人与危险的接触，应按优先次序考虑以下措施：

- (a) 工程上的管制措施，以通过清除或隔离危险避免工人接触。例如，通风或采用遥控式材料处理设备；
- (b) 行政上的管制措施，以管理工人与危险的接触，并设定安全的工作程序。例如，防止未经授权或毫无防护地接触现场危险废物的安保措施；
- (c) 个人防护设备，如果工程和行政管制措施不可行，或者没有全部消除危险。

82. 这些管制措施旨在减少员工的接触，并将其接触保持在国家职业接触限值范围之内。如果没有这些管制措施，则应考虑国际公认的接触水平。

83. 相关实例包括：美国政府工业卫生学家会议的阈限值职业接触准则；美国国家职业健康和安全研究所的《化学品危害袖珍指南》；美国职业安全与健康管理局的允许接触限值；欧洲联盟成员国的指示性职业接触限值，或者其他类似来源。

84. 对于没有允许或适用的接触限值的危险物质和健康危害，操作人员应采用出版的文献和材料安全数据表，作为确定适当保护水平的指导。

## 3. 个人防护设备

85. 如果工程上的管制做法在将接触降至允许接触限值方面不可行，则应为设施的员工、承包人和访客提供个人防护设备。应选择保护免受任何现有或潜在危害，并且适于具体任务的条件和持续时间的个人防护设备。

86. 参与危险废物作业的所有人员应充分了解：设备的选择和使用、维修和储存、排污和处置、训练和正确安装、穿卸程序、检查、所用的监测、方案评价、以及设备的限制。

## 4. 培训

87. 应对员工开展有效培训，以使其达到工作职务和责任规定的水平。培训应在允许其参与可接触到危险物质及安全和健康危险的危险废物作业之前开展。应在课程、持续时间和参与者方面对培训活动进行适当监测和记录。

88. 培训应涵盖设施存在的安全和健康危害及其他危害；个人防护设备的使用；尽量减少危害带来的风险的工作做法；安全使用工程管制措施和现场设备；医疗监视，其中包括识别可表明过度接触危险的症状和迹象。还应对参与危险性紧急情况应对的人员开展适当的培训。

## 5. 医疗监视

89. 应实施一项医疗监测方案，以在就业前和就业期间评估和监测员工的健康状况。一项有效的方案至少应考虑到以下事项：

- (a) 就业前检查，以确定是否适合该职务，其中包括穿戴个人防护设备时的工作能力，并为今后的接触提供基线数据；
- (b) 定期医疗监测检查（检查内容和频率取决于工作和接触的性质），以确定可表明长期不利健康影响的早期迹象的生物态势；

(c) 提供急诊和紧急非急诊治疗。

## 6. 紧急情况应对

90. 应制定应急计划和程序，以在着手危险废物作业前，保护工人和公众。应出台紧急情况应对计划，确保采取适当措施，处理现场可能出现的紧急情况，并协调场外对策。该计划至少应涉及以下事项：

- (a) 紧急状况前规划，以及与外部紧急状况应对人员的协调；
- (b) 工作人员的作用、权力划分、培训和宣传程序；
- (c) 紧急状况的识别和预防程序；
- (d) 安全距离和避难场所；
- (e) 场址安全和控制程序；
- (f) 撤离路线和程序；
- (g) 突出危险区域、场址地形、场址无障碍情况、面临潜在风险的场外人口和环境的场址分布图；
- (h) 排除污染程序；
- (i) 急诊治疗和急救程序；
- (j) 设施的个人防护和紧急设备；
- (k) 紧急情况警报和应对程序；
- (l) 记录和向地方当局报告；
- (m) 对应对的批评以及后续程序。

91. 应在紧靠危险废物储存和加工的地区，放置应急设备，诸如灭火器、自我控制呼吸装置、吸附剂包，以及淋浴和眼部清洗装置。

92. 应通过演习和模拟活动对计划程序进行定期演练，并开展定期审查，以应对新的或不断变化的条件或信息。

93. 应做出各种安排，以让地方当局和紧急情况应对人员熟悉设施的布局；设施处理的危险废物和相关危害的特性；设施工作人员通常的工作场所；设施入口和可能的撤离路线。应在紧急情况应对计划中介绍地方当局、医院和紧急情况应对小组商定的安排。

## E. 宣传和利益攸关方的参与

94. 利益攸关方系指会受到设施作业的潜在影响的各方。他们可以是地方、国家或国际范围内的个人、组织，并包括相邻各方、社区组织、员工、工会、政府机构、媒体、非政府组织、承包人、供应商和投资者。

95. 公共宣传系指通过媒体提供信息，其中包括小册子、网站、报纸、广播和电视。利益攸关方的参与涉及对设施感兴趣的社区成员和其他成员通过公开会议、专题介绍、咨询委员会，以及个人接触进行的参与。这都构成了工厂正常作业的组成部分。

96. 各机构应设定与利益攸关方合作的明确目标。其中包括实际的参与时间表，承付必要资源，以及取得互惠成果的意愿。除其他外，美国环境保护署

(1996年)、Hund等人(2002年)，以及环境理事会(2007年)就设计和制定宣传和利益攸关方参与计划提供了咨询建议。

97. 操作人员和监管当局应能够解决公众对共处理可能产生的影响的关切，并努力制定有效的宣传方法，以解释各项活动。计划使用危险废物的操作人员应提供所有必要信息，以使利益攸关方得以了解水泥窑中废物的使用情况，同时阐明为避免不利影响将采取的措施。

## 四、以无害环境的方式接收和预处理废物

### A. 引言

98. 鉴于废物的多样性，必须进行预处理才能产生相对统一的废物流，供在水泥窑中加以共处理。这些废物流应符合水泥生产的技术和行政要求，并保证符合各项环境标准。<sup>8</sup>在一些情况下，例如废油或废旧轮胎，可能不对废物进行混合，并且不进行预处理。

99. 应注意的是选择适当的废料，不论是从废物产生者直接收集还是通过中间机构收集的材料。操作人员应确保只接收源自可信当事方的危险废物，拒绝不当废物的提供。

100. 应考虑通过供应链整合所有参与者。例如，只应使用有资格且获得授权和许可的运输公司，以避免因混合或一起存放未合理张贴标签或特征不清晰的废物的互不相容，发生事故或事件。

101. 上述建议仅提供了一般性指示。应根据个别废物流的化学和生物特征、环境和健康影响、人员安全、符合许可要求和地方条例的情况，确定具体的处理要求。

### B. 废物接收

102. 事先了解废物的情况是确保废物符合设施许可要求并且将不会对相关过程产生不利影响的必要条件。例如，为避免窑炉内部出现作业问题，避免危险废物对氯、硫或碱等循环挥发性元素的总输入量产生影响，要求在接收废物之前进行认真评估。应根据工艺类型和具体窑炉条件，为每项设施制定具体的废物接收标准。

103. 在多数情况下，危险废物生成者应知悉与其废物相关的成分、性质和问题，从而确保将所有相关信息传达给参与后续管理的人员。

104. 危险废物和无危险废物的接收包括两个阶段：预接收（或筛选）和现场接收。预接收涉及提供关于废物的信息和代表性样品，以使操作人员得以在出台接收安排前确定是否适宜。第二阶段涉及废物抵达设施时，确认预先核准的特征的程序。

105. 在接收前未能适当筛选废物样品，以及在抵达装置后未能确认其组成，可能会导致后续问题。可能发生储存不当、不相容物质相混合，以及废物累积的问题。

---

<sup>8</sup> 应进行预处理，因为这是焚烧窑操作人员的技术要求，目的是保证给料的同质性和稳定性，并且不会规避废物接收程序。

## 1. 预接收

106. 预接收，或者装运前筛选、试验应确保只核准将经过合理和安全处理的废物流运至设施。此类试验必须：

- (a) 确保通过筛选不当废物遵守相关条例；
- (b) 确认与成分相关的详情，并确定可用于测试抵达设施的废物的核查参数；
- (c) 确定废物中可影响其加工或可与其他试剂反应的任何物质；
- (d) 准确定义废物所示的危害的程度。

107. 操作人员应获得关于废物产生过程的性质，包括其变化的信息。其他所需说明包括：成分（所含化学品和单个的浓度）；处理要求和相关危害；废物的质量和形态（固态、液态、泥浆）；样品储存和保存技巧。最好应由废物生成设备的人员提供相关信息。另外，应考虑通过任何中间设备提供信息核查系统。

108. 应出台废物代表性样品提供和分析系统。应由有能力的技师开展废物取样工作，并应考虑最好是授权实验室通过强有力的质量保证/质量控制方法进行分析，保存记录，采用监管链程序。在针对每一种新废物计划进行的加工方面，操作人员应开展一项全面的特征分析（概况分析）和测试。如果没有开展任何取样和测试，不得接收任何废物。未使用、过时或不合格的未被污染且有适当材料安全数据表或产品数据表的产品除外。

109. 应编制并保持一项废物分析计划，以记录用于获得代表性废物样品的程序，并开展详细的化学和物理分析。废物分析计划应涉及用于确定可能发生反应和不相容的废物的各项措施。<sup>9</sup>它应包括测试代表性样品，以限定用于设施的废物（预接收），并核查其成分（接收）。应在废物预处理或混合期间或之后对样品开展进一步测试，以核查由此产生的废物流的质量。

110. 操作人员应确保由有资质和经验丰富且了解设施能力的工作人员开展技术评估。

111. 设施应保存预接收记录，以在废物接收阶段进行相互参照和核查。应记录、参考、随时提供、定期审查并根据废物的任何变化不断更新相关信息。

## 2. 现场接收

112. 现场核查和测试应通过预接收信息确认废物的特征。接收程序应涉及：

- (a) 抵达现场的预核准的废物，诸如确保提供足够接收力的预定系统；
- (b) 交通管制；
- (c) 检查装载随行的单据；
- (d) 装载检查、取样和测试；
- (e) 废物拒绝和差异报告程序；
- (f) 记录保存；

<sup>9</sup> 美国环境保护署关于“确定危险废物的相容性的方法”的文件（EPA-600/2-80-076）载有从质量方面评价各种危险废物的相容性的程序。

(g) 预接收信息的定期审查。

113. 不得接收没有确定来源、成分和危险程度的详细书面信息的废物。

114. 如果设施提供紧急服务，诸如清除溢漏或非法倾倒的危险废物，则可能会存在操作人员不能够遵循既定的预接收和（或）接收程序的情况。在这种情况下，操作人员应立即向主管当局报告发生的情况。

**(a) 抵达**

115. 如果具备足够的储存能力，并且场址配备了充分的人员，则应由具备适当资格且受过培训的人员监督危险废物的接收。在对遵守规格的情况开展积极核查之前，应作为未知和危险废物处理接收的所有废物。

116. 应对在交付危险废物时附上适当的说明，并在其中载入：废物产生者的姓名和地址；运输人的姓名和地址；废物分类和说明；数量和重量；废物的危害，诸如可燃性、反应度、毒性或腐蚀性。

117. 应酌情审查和核准运输单证，其中包括危险废物货单。应在收到废物前消除存在的任何差异。如果未予以消除，则应拒绝废物，并将其返还至初始废物产生者，或应其请求，返还至其他设施。

118. 应在可能的情况下，对装载废物开展实际的检查。应根据对危险货物运输适用的条例，在所有集装箱上张贴标签，并进行检查，以根据随附单证确认数量。应确保对其配备合适的盖子、封口和阀门，并进行检查，以避免泄露、渗透和生锈。应将所有受损、受腐蚀或未张贴标签的集装箱或桶状容器归入“不合规规格”的类别，并予以适当处理。

119. 应对所有将投入的装载进行称重，除非提供了与具体重量数据相关的其他可靠的容量体系。

**(b) 检查**

120. 只应在经全面检查后，在设施接收废物。不得接收仅依靠提供的书面信息的做法。应开展物理核查和分析确认，以确保废物符合许可的规格及监管要求。应对所有废物，不论是加以处理还是加以储存的废物，进行取样，并根据废物分析计划定义的频率和试验开展核查和测试，未使用、过时、不合格的未被污染的产品除外。

121. 应开展现场核查和测试，以确认：

- (a) 废物的特性和种类；
- (b) 与预接收信息的一致程度；
- (c) 符合设施许可的情况。

122. 检查技巧因为开展充分的化学分析而进行的简单目视评估的不同，各不相同。除其他外，采用的程序的范围将取决于废物的化学和物理成分，以及其变化；某些废物类型或某些原产地已知的困难；相关装置的具体敏感度（例如，引起作业困难的某些已知的物质）；以及是否存在废物质量控制规格。

（Karstensen, 2008 年 a）

123. 如果有进行临时储存以进行进一步取样和样品分析的充足空间，设施则应具备指定的取样或接收区域，以倾卸用集装箱内的废物。应立即对废物进行隔离，以清除因互不相容可能造成的危险。最好在卸载后 24 小时内进行取

样。在此期间，不得散装、掺杂或以其他方式混合危险废物。应检查并接收散装废物，以在卸载前进行处理。

124. 取样工作应符合具体的国家立法（如果存在），或国际标准。实验室工作人员应监督取样工作，在不存在相关条例的国家，应任命有资质的工作人员予以监督。取样应包括完善的程序，诸如美国测试和材料学会、欧洲标准化委员会，以及美国环境保护局制定的程序。应保存关于针对每次装载的取样制度和所选择的办法的合理理由的记录。

125. 实验室应通过强有力的质量保证/质量控制方案分析样品，其中包括但不限于适当的记录保存和独立评估。应按照设施程序规定的时间表开展分析。如果是危险废物，通常需在现场设立实验室。

126. 一般而言，应针对少数关键的化学和物理参数对废物进行取样和分析（指纹分析），以确认所附货单或其他单据上指明的废物成分。必须根据充分的废物概况信息和测试数据选择关键参数，以确保准确体现。在选择指纹参数时，应考虑到：确定未经许可的废物；在设施的作业接受限额范围内，确定适宜与否；确定潜在的反应度或不相容性；表明成分在运输或储存期间发生的任何变化。如果特定废物流的指纹测试结果不属于既定容许极限的范畴，可能要重新评价废物，以能够获得接受，从而防止在生成装置与装置之间出现不必要的来回转移。重新评价应考虑到设施的储存和加工条件；操作人员认为适当及废物分析计划规定的其他参数分析；许可要求。

127. 检查计划可能包括：评估燃烧参数；在储存前对液态废物进行混合性测试；控制爆发点；根据废物的类型和特征，以及设施的废物接收标准，筛选构成元素组成成分的废物投入，具体方法包括感应耦合等离子体、X 射线荧光和（或）其他相关技术等（Karstensen, 2008 年 a）。

128. 只应在接收后，将废物运至储存区域。如果检查或分析表明不符合接收标准，包括桶状容器受损或未张贴标签，则应将这些装载存放至检疫区，归入不符合规定的废物储存，并予以适当处理。

129. 处理危险废物的所有区域的地面应具有不渗透性，并有密封的排水系统。应注意确保，不相容的物质不会在作为取样点的蓄贮池中因取样产生的溢出物而出现相互接触。此外，应提供吸收剂。

130. 根据国家条例和做法，应做出适当规定，以核查收到的废物不具放射性，诸如利用塑料闪烁探测器。

131. 接收之后，应对集装箱中的危险废物张贴标签，标明到达日期和初步危害分类。在散装集装箱的情况下，应在散装集装箱上张贴散装货物最早的到达日期。每个集装箱应拥有一个专用编号，供进行厂内追踪。

### 3. 不符合规定的废物

132. 操作人员应拥有明确无误的拒绝废物的标准，其中包括未满足接收标准，或者桶状容器受损、受腐蚀或未张贴标签。关于追踪和报告此类未遵守规定情况的书面程序应包括通知客户、废物产生者和主管当局。

133. 操作人员还应出台明确无误的后续储存及被拒绝废物处置政策，其中包括最大储存量。这些政策应：

- (a) 确定被拒绝废物的危害；

- (b) 对被拒绝废物张贴能够出台适当储存和隔离安排所需的全部信息；
- (c) 如若可能，在清除之前，隔离和储存被拒绝废物，但时间不超过五个工作日。

134. 应将不符合工厂接收标准的废物返还废物产生者，除非与废物产生者达成了将被拒绝废物运至其他经授权的目的地地的协定。

#### 4. 厂内追踪系统

135. 应在预接收阶段出台内部废物追踪系统和存储控制程序，以保证废物加工的可追溯性，并有利于操作人员：

- (a) 配制最为适当的混合废物；
- (b) 防止发生意外或计划外反应；
- (c) 确保防止或减少排放；
- (d) 管理废物产量。

136. 追踪系统可能是纸面形式、电子形式或两种形式的结合，并应在接收、储存、加工和场外转移期间追踪废物。不论何时，操作人员均应能够确定具体废物在设施中的所在位置，以及在此处的时间长短。应将记录保存在远离危险活动的区域，以确保在任何紧急情况下可以获得。

137. 废物一经进入散装储存或处理过程，追踪个别废物的做法便不可行。然而，应保持相关记录，以确保充分了解哪些废物进入了特定的储存设施。例如，为避免与将投入的废物互不相容，必须追踪清除沉积物作业装置内堆积的残余物质。

138. 对于散装液体而言，废物储存控制措施应涉及记录整个过程的线路。应单独为桶状容器中的废物张贴标签，以记录储存的地点和持续时间。

139. 厂内废物追踪系统应保持在预接收、接收、储存、加工和场外转移期间获得的完整记录。应不断更新记录，以反映供料、现场处理和分配情况。追踪系统应作为废物库存、存储控制系统进行运作，并至少包括：

- (a) 一个专用编号；
- (b) 废物产生者和中间机构的详情；
- (c) 抵达现场的日期；
- (d) 预接收和接收分析结果；
- (e) 集装箱类型和大小；
- (f) 现场废物的性质和数量，其中包括对相关危险的确认；
- (g) 废物实际放置地点的详情；
- (h) 做出任何废物接收或拒绝决定的工作人员的身份。

140. 采用的系统应条理清楚，以报告：

- (a) 以适当单位计的任何时间的现场废物的总量；
- (b) 进行现场处理前，用于储存的废物数量的明细；
- (c) 用于只是等待转移目的而进行储存的现场废物数量的明细；

- (d) 按危害分类分列的废物数量的明细；
- (e) 相对于场址计划，废物所在地的说明；
- (f) 现场数量与允许总量的对比；
- (g) 废物在现场的时间与许可限额的对比。

### C. 废物储存和处理

141. 确定废物适宜与否之后，操作人员应出台以进行适当储存的安全转移制度和程序。

142. 装置废物储存的考虑因素应包括：

- (a) 储存区所在地；
- (b) 储存区基础设施；
- (c) 罐状容器、桶状容器、装置和其他容器的条件；
- (d) 储存控制；
- (e) 隔离储存；
- (f) 场址安全；
- (g) 火灾风险。

143. 关于废物储存的有用信息还可查阅针对废物处理行业的最佳可得技术参考文件（欧洲综合污染防治局，2006年）。

#### 1. 设计方面的考虑因素

144. 应设计转移和储存区，以处理意外溢出物。这可能需要：

- (a) 防止溢出物蔓延或者渗入土壤，储存区应设置适当的界限，并做到适当密封、防渗透、对所储存的废料具有抵抗性；
- (b) 应将所有溢出物收集并放入适当的容器，进行储存，以在焚烧窑中进行处置；
- (c) 如果发生溢出情况，应防止不相容废物出现混合；
- (d) 应能够通过阀门关闭罐状容器之间的所有连接。应将出现溢出的管道接至封闭式排水系统，诸如设置界限的区域或另一个装置；
- (e) 如若可能，应安装防漏的设备和装置；
- (f) 应提供检测泄漏的措施和适当的纠正行动；
- (g) 防止受污染的水流进入排水管和河道。应收集和储存任何水流，以在焚烧窑进行处置；
- (h) 应提供适当的异常情况报警系统。

145. 储存的设计应适于在整个储存期间保持废物的质量。应制定隔离储存的做法，以防止因废物不相容发生事故，并在发生此类事故的情况下，以此避免情况恶化。特定装置的单独储存要求将取决于对风险的充分评估。

146. 设施内特定储存区的特征应反映带来能够接受的最大风险的废物的性质。总体而言，储存标准还应考虑到废物未知的性质和成分，因为这会带来其

他风险和不确定因素。在许多情况下，这意味着较之充分特性化的原料，应对废物适用更高规格的储存系统。

147. 应将集装箱中的废物储存在封闭、避热、避免直接日晒或雨淋的地方，除非知悉废物不会受这些环境外界条件的影响。

148. 对于集装箱中的废物而言，设计应避免危险废物的堆积超出允许的存储时限。对于液态废物而言，应考虑避免出现固体沉淀的混合或搅拌。可能有必要通过机械搅拌器和液力搅拌器使罐状容器中的物质实现匀化。一些罐状容器可能需要加热和绝热，这取决于废物的特性。

149. 罐状容器、管道、阀门和密封装置的制作、材料选择和设计均应符合废物的特性。它们应具有充分的抗腐蚀性，并提供清洁和取样选择。

150. 根据适用的工作接触准则，应提供适当的通风。应考虑对露天储存的释放挥发性有机化合物的废物开展定期监测。

151. 应出台经地方当局核准的防火制度，例如地方消防部门。应在废物储存区、织物过滤器和静电除尘器、电控室，以及其他确定的风险区域中使用自动火灾探测系统。可对蓄贮池中废物的表层进行持续、自动的温度测量，以触发显示温度变化的声响报警器。

152. 在存储易燃液态废物时，以及在其他风险区域，应采用自动灭火系统。泡沫和二氧化碳控制系统在一些情况下具有优势，例如在储存易燃性液体的情况下。根据现场遇到的危险状况，恰当使用水炮系统、可选择使用水或泡沫的高压水枪，或干粉系统。

## **2. 作业方面的考虑因素**

153. 应出台现场卸载、处理和储存废物的书面程序。应保证隔离在化学上不相容的废物。应定期审计遵守情况。

154. 为避免进行更多处理和转移的必要性，应将危险废物存储于用于交货的同样的集装箱（桶状容器）。

155. 应在设施内明确确定运载特定危险废物的车辆的指定线路。现场运输应尽量减少对员工、公众和环境带来的风险。操作人员应确保车辆在遵守相关条例方面起到应有的作用。

156. 应适当确定、根据相容性隔离（这样潜在的溢出便不会产生任何化学安全危害），并保护所有装载，以防止运输期间出现滑动或移动。应向工作人员提供指导和培训，以便仅按照预期使用设备，并且不会超出集装箱、车辆和其他设备的额定容量。

157. 应在储存、堆放和罐状容器放置地点张贴表明危险废物性质的适当标志。

158. 应完好保存集装箱，避免碰撞、泄漏或膨胀，并在不使用时保持封闭。至少应每周对集装箱储存区开展一次检查。

159. 维护工作应获得工厂管理人员的授权，并应在监督人员对该区域进行检查及采取所有必要预防措施后开展。应针对日常作业出台特殊的程序、指示和培训，诸如：

- (a) 高空作业，包括适当的系挂做法和安全带的使用；

- (b) 封闭空间的进入，可能存在空气质量、爆炸性混合物、粉尘或其他危险；
- (c) 电器锁具，防止所维修的电子设备出现意外恢复；
- (d) 可能存有易燃材料区域的“高温作业”（焊接、切割等）。

160. 应考虑的安全措施包括：

- (a) 应避免在储存区域放置不可控制的易燃材料；
- (b) 如若存在不可避免或控制的风险，应张贴标准安全标示和信息标示；
- (c) 应在工作区域，提供紧急淋浴和眼部清洗装置，以在接触危险废物后立即紧急使用。应考虑到根据获取距离，可能需要多个紧急淋浴装置，并且可能出现多人同时受影响的情况；
- (d) 应提供适当的报警，以向所有人员发出紧急情况警报；
- (e) 应保持现场的通信设备，以在发生火灾时，能够立即与控制室和当地消防部门取得联系；
- (f) 电气设备应是接地的，并拥有适当的抗静电装置。

#### **D. 废物预处理**

161. 为避免有损焚烧窑的正常作业、产品质量，或者场址通常的环境业绩，水泥窑中使用的废物应具有同质性、相容的粒度、稳定的化学成分和热含量。为开展最佳作业，焚烧窑需要质量和数量非常统一的废料流。对于某些类型的废物而言，只能通过共处理实现这一点。

162. 根据废物的类型，预处理包括烘干、切碎、研磨或混合过程。通常在可能位于水泥厂外部或内部的专门设施中进行预处理。

163. 通常通过混合具有适当产热值和化学特性的不同产品预加工液态废燃料，诸如废溶剂和废油。往往只需要进行简单的预处理，诸如清除底部沉淀物和水。在机油/乳化液等一些情况下，化学处理必须去除金属污染物和添加剂。固体废物的处理程度（诸如分类、碾碎或制成颗粒）视具体应用情况而定。

##### **1. 设计方面的考虑因素**

164. 应认真考虑设施的布局，以确保便于了解日常作业、紧急逃离路线，以及工厂和设备的可维护性。

165. 在设计装置和设备时应适用公认的标准。应对任何更改进行记录。

166. 应就作业开展健康和评估，以确保设备安全，并尽量降低对人或装置造成威胁及破坏环境的风险。应采用适当程序，评估设计过程各阶段的风险或危险。只应由有能力和有资格的工作人员开展或监督此类危险和作业研究。

##### **2. 作业方面的考虑因素**

167. 虽然废物的混合和匀化能够改善喂入和燃烧，但其也会带来风险，并且应根据规定的预加工做法予以开展。

168. 用于废物预处理和混合的技巧范围广泛，其中可能包括：

- (a) 混合和匀化液态废物，以符合投入要求，例如，粘度、成分和（或）含热量；
- (b) 切碎、碾碎和剪切封装的废物，以及体积庞大的易燃废物；
- (c) 利用抓斗或其他机器，在蓄贮池或类似封闭场所混合废物。

169. 起重机操作人员应能够识别可能存在问题的装载，例如不能混合或可能造成装载和喂入问题的整捆废物和分散的物品。这样就能够清除、切碎或（酌情）直接与其他废物进行混合。

170. 应保持总体的整洁和清洁，以改善工作环境，并得以预先识别可能存在的作业问题。主要要素是：

- (a) 根据其风险，识别、放置和储存所收废物的系统；
- (b) 防止作业设备排放粉尘；
- (c) 有效的废水管理；
- (d) 有效的预防性维护。

#### **E. 预处理工厂的关闭/淘汰**

171. 关闭系指设施停止正常作业之后的阶段。在此期间，设施停止接收危险废物；完成现场所有废物的储存和处理；并处置或净化设备、结构、土壤，尽可能将场址恢复至最初状态，或符合预期的土地利用。应在总体项目的初期阶段对设施的淘汰进行规划。通过最初将淘汰要求纳入设施设计，在设施作业结束时，场址发展计划应符合适当的关闭要求。

172. 操作人员须关闭设施，具体方法是尽量减少进一步维护需求，并防止向环境泄露任何危险污染物。为确保这一点，应制定一项关闭计划，确定部分或全部关闭设施的必要步骤，其中包括：

- (a) 处理被清除库存的程序；
- (b) 排出污染和（或）处置的程序；
- (c) 确认排出污染的效率、破坏和挖掘的程序，其中包括开展样品收集和分析的程序；
- (d) 述及与关闭活动相关的所有健康和安全的健康和计划；
- (e) 防止未经授权进入受关闭活动影响的区域的安全系统。

173. 为防止设施停止作业，并且未能提出费用可能昂贵的关闭要求，操作人员须表明其拥有以保护人类健康和环境的方式进行适当关闭的财政资源。

174. 为尽量减少淘汰问题和相关的环境影响，建议现有装置在确定潜在问题的情况下，出台改善设计的方案（欧洲综合污染防治局，2006年）。设计的改善应确保避免地下罐状容器和管道系统。如果不可能进行替换，操作人员应提供二级密封装置，或制定适当的监测计划。除其他外，还应在拆卸之前，提供装置和管道系统排水和清除程序。

## **F. 其他环境所涉问题**

### **1. 挥发性有机化合物、气味和粉尘**

175. 废物预处理过程向空气中排放的物质取决于所处理的废物的类型和使用的工艺。应根据作业许可和适用的条例，进行排放监测和报告。

176. 应视需要制定消除技巧，并考虑针对噪音和气味的对策。往往通过袋式过滤器减少粉尘，并且如果需要，挥发性有机化合物排放控制技巧可包括碳吸附、热处理或生物处理等。

177. 欧洲联盟的最佳可得技术是，在整个废物处理部门适用下述技巧，防止或控制粉尘、气味和挥发性有机化合物的排放：限制使用开顶式罐状容器、装置和池子；在适当清除工厂使用封闭式萃取系统；运用大小适中的萃取系统；正确运作和维护清除设备；拥有泄露探测仪并出台维修程序；以及通过对预防和（或）清除技巧进行适当结合，减少空气排放（欧洲综合污染防治局，2006年）。

### **2. 桶状容器和含铁金属**

178. 应以无害环境的方式处置空桶和通过磁铁分离器清除的含铁金属。可以将不含任何致使其具有危害性的任何污染物的金属废料进行再循环，以用于炼钢。可将完好无损的空废桶送至经授权的废桶清洗/再循环商。

### **3. 废水**

179. 向地表水中排放废水不得导致污染浓度超出当地的环境水质标准，或者在没有此标准的情况下，超出其他公认的环境水质标准。考虑到排入受纳水体的其他来源，受纳水体的使用和同化能力也应影响可接收的污染负荷和废水排放的质量。

180. 向公共或私人废水处理系统的排放应符合于该污水处理系统的预处理和监测要求。不得直接或间接扰乱收集和处理系统的作业和维护，或者对工人健康和带来风险，或者来自废水处理作业的残留物造成不利影响。

181. 欧洲联盟的最佳可得技术是，在整个废水处理部门适用下述废水管理技巧：减少水用量和水污染；避免废水流经处理厂系统；收集溢出物，进行桶状容器清洗等；隔离水收集系统；所有处理区域拥有混泥土基体；最大限度地再利用经处理的废水；每天对废水管理系统进行检查；针对每种类型的废水采用适当的处理技巧；通过技巧的合理结合，在排放前达到适当的水排放值（欧洲综合污染防治局，2006年）。

## **G. 排放监测和报告**

182. 排放和空气质量监督方案应提供可用于评估相关管理战略的效率的信息。建议采取系统规划过程，以确保收集的数据足以发挥预期的作用，并避免收集不必要的信息。空气质量监测方案应考虑开展基线监测，以评估设施内和设施周边关键污染物的本底水平。

183. 在排放废水时，应制定并执行拥有足够资源和载有管理人员概述的废水和水质监测框架，以满足监测目标。

184. 为进行监测而选用的参数应表明处理过程关切的污染物，并应包括履约要求规定的参数。监测方案应适用国家或国际样品收集和分析方法，诸如国际标准化组织、欧洲标准化组织或美国环境保护署颁布的方法。应由经过培训的

人员开展或监督取样工作。应由经允许或有资格承担此项任务的人员开展分析。应适用取样和分析质量保证/质量控制计划，并进行相关记录，以确保数据质量足以发挥预期的数据用途。监测报告应包括质量保证/质量控制文件。

185. 与监测原则相关的更多有用信息可查阅欧洲联盟委员会关于一般性监测原则的参考文件，其中介绍了欧洲联盟成员国与相关产业根据第 2008/1/EC 号指令开展信息交流的结果（欧洲综合污染防治局，2003 年）。本准则第 4.4.4 部分介绍了报告监测结果的良好做法。

## 五、对水泥窑中危险废物实行无害环境共处理

### A. 引言

186. 为了取得最佳绩效（共处理但不造成额外排放），应当通过适当的进料点按适当比例、以恰当的废物质量和排放控制体系，向水泥窑提供替代燃料和原料。

187. 生产过程中，共处理具有以下特征（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006 年）：

- (a) 碱性条件和充分混合有利于从气相吸收挥发性成分。气体的这种内部清理导致二氧化硫、氯化氢和大多数重金属等组分的低排放，水银、镉和铊除外；
- (b) 1450 摄氏度的熟料反应使得金属产生化学键联以及灰烬与熟料相结合；
- (c) 高热量废料直接替代初级燃料，与“废物再生能源”技术相比，提高了能源回收的效率。

### B. 作业要求

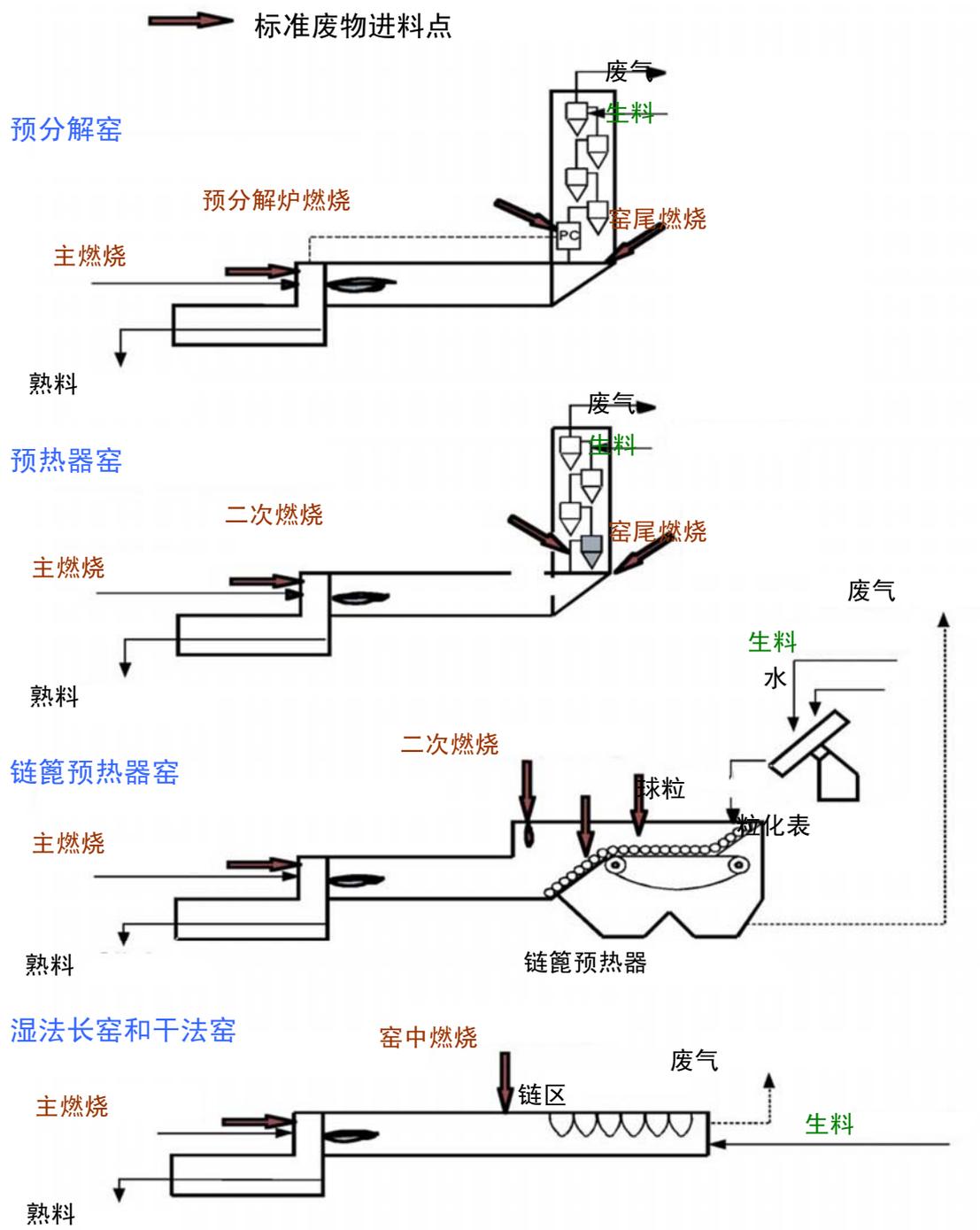
188. 安全负责的共处理要求认真选择窑炉系统的进料点，并实行与废料的特征和体积有关的综合作业控制。

#### 1. 进料点的选择

189. 应当根据废物的相关特征选择，包括物理特征、化学特征和毒理学特征（见图三），充分的进料点。可使用不同的进料点，最常见的做法是通过以下方式加入废料：

- (a) 回转窑卸料端的主燃烧器；
- (b) 回转窑进料端（使用块状燃料）过渡室的进料槽；
- (c) 升管二次燃烧器；
- (d) 预煅烧炉的预燃烧器；
- (e) 预煅烧炉（使用块状燃料）的进料槽；
- (f) 湿法长窑和干窑（使用块状燃料）的中窑阀。

图三  
标准废物进料点



190. 液体废物通常被注入窑炉的热端。固体废物可输入一些设备的煅烧带。这是在长窑的窑中位置，同时输入预热器窑/预分解窑高温区的输送带。

191. 用作替代性原料的固体废物通常经由正常生料供应进入窑炉系统，传统的原料也是如此。然而，包含可能在低温挥发的组分（如溶剂）的材料应当输入窑炉系统的高温带。包含挥发性有机和无机组分的废物不得经由正常生料供应馈给，除非在窑炉中进行控制试验，或者经过充分的实验室试验证明，可以避免产生不必要的烟道气排放。

192. 一些危险废物中发现的可燃性有毒组分，如卤代有机物质，必须通过适当的温度和停留时间销毁。在预热器窑/预分解窑中，危险废物一般应当通过主燃烧器或二次燃烧器馈给。通过主燃烧器馈给的危险废物和其他废物，在条件始终有利的情况下，以超过 1800 摄氏度的火焰温度在氧化条件下分解（见图四）。输入二次燃烧器、预热器或预分解器的废物将面临更低的温度，但预分解器中燃烧带的预期温度通常超过 1000 摄氏度（环境署，2007 年）。焚烧窑作业的方式应当是，加工产生的气体在最后一次注入燃烧空气之后，以受控制和均化的方式，甚至在最有利的条件下，其温度在两秒钟便上升到 850 摄氏度（参见第 2000/76/EC 号指令）。如果危险废物含有 1% 以上的卤代有机物质（用氯表示），至少在两秒钟内温度应当上升至 1100 摄氏度。根据美国《有毒物质控制法》，多氯联苯的处理要求 1200 摄氏度的温度和 2 秒钟的停留时间（烟道废气的过剩氧量为 3%）。

图四

#### 水泥生产过程中的温度和停留时间

特征	温度和时间	
回转窑②主燃烧器①的温度	>1450 摄氏度（材料） >1800 摄氏度（火焰温度）	
在主燃烧器的停留时间	>12-15 秒 > 1200 摄氏度 >5-6 秒 > 1800 摄氏度	
预煅烧炉③的温度	> 850 摄氏度（材料） >1000 摄氏度（火焰温度）	
在预分解器的停留时间	> 2-6 秒 > 800 摄氏度	

193. 对于输入焚烧窑的危险废物，应采用以下方法（欧洲综合污染防治局，2010 年）：

- (a) 采用温度和停留时间方面适合于焚烧窑的进料点，依焚烧窑的设计和作业而定；
- (b) 将包含可能在煅烧带之前挥发的有机组分的废料输入焚烧窑系统的足量高温带；
- (c) 采用以下作业方式：加工产生的气体以受控制和均化的方式，甚至在最不利的条件下，在 2 秒钟便上升到 850 摄氏度的温度；
- (d) 如果加入焚烧窑的危险废物含有 1% 以上的卤代有机物质，用氯表示，将温度升至 1100 摄氏度；
- (e) 连续不断地加入废物；
- (f) 如果未能维持或无法达到适当温度和停留时间（例如在启动或关闭时），并且在超过任何排放限值的任何时候，停止加入废物。

## 2. 窑炉作业控制

194. 使用传统燃料和原料的窑炉系统的良好作业控制一般性原则应适用于废物利用。尤其是，应当计量、记录和不断评估所有相关工艺参数。窑经营者应当针对与危险废物利用有关的要求，包括健康、安全和环境排放内容，进行适当的培训。

195. 关于窑作业中断，描述切断危险废物进料以确保最低作业能力条件的书面指导说明书，应当向窑经营者提供并使其有所了解。

196. 废物的矿物质含量可能影响熟料的特征。原料的混合组成应相应地调整，以符合给定的化学设定点。应当确定氯、硫和碱的输入限值，并且严格观察作业设定点。如果已确定所产生的旁路粉尘管理的适当解决方案，则仅应考虑旁路安装以避免这些化合物的富集循环。

197. 为了控制无意间形成的持久性有机污染物的排放，燃烧稳定性和工艺稳定性极为重要，以确保（环境署，2007年）：

- (a) 燃料（替代性燃料和化石燃料）特征的一致性；
- (b) 燃料供应率或批量进料频率的一致性；
- (c) 提供充足的过剩氧量以实现充分燃烧；
- (d) 检测废气中的一氧化碳浓度，并且该浓度不超过反映不完全燃烧条件的预定水平。

## C. 环境方面

### 1. 空气排放

198. 无论水泥厂是否正在使用废弃物，粉尘（微粒物质）、氮氧化物和二氧化硫排放极为令人堪忧，必须予以处理。其他应考虑排放是挥发性有机化合物（VOC）、多氯二苯并二噁英、多氯二苯并呋喃、氯化氢、一氧化碳、二氧化碳、氟化氢、氨气、苯、甲苯、乙苯、二甲苯、多环芳香烃化合物（PAH）、重金属及其化合物（欧洲综合污染防治局，2010年）。在一些情况下，排放量还包括氯苯和多联氯苯（巴塞尔公约秘书处，2007年）。这些排放量来源和用以防止或减少排放的最佳可得技术（按照欧洲联盟内部定义）在附件二进行了概述。

199. 水泥窑共处理危险废物时应符合多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃 0.1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>的排放限值；<sup>10</sup>其它污染物应遵守相关国家立法，如：

- (a) 智利：第45号最高法令，2007年3月5日；<sup>11</sup>
- (b) 欧洲联盟：欧洲议会和理事会2000年12月4日第2000/76/EC号指令<sup>12</sup>；将于2014年1月被第2010/75/EU号指令所取代；<sup>13</sup>

10 《斯德哥尔摩公约》附件C第四部分第2段中所指毒性当量（TEQ）。在干燥气体、压力101.3千帕、温度273.15K和含氧量11%的标准条件下的浓度。

11 西班牙语版参见：<http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=265301>

12 参见：<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0076:EN:NO>

- (c) 南非：关于一般废物和危险废物热处理的国家政策，《政府公报》(Staatskoerant)，2009年7月24日；<sup>14</sup>
- (d) 美利坚合众国：《联邦法规汇编》第40条第63节EEE分节，“国家危险性废物燃烧室危险性空气污染物排放标准”<sup>15</sup>，和第60节F分节，“波特兰水泥生产行业危险性空气污染物排放国家标准及波特兰水泥厂业务标准”。<sup>16</sup>

200. 主管机构应考虑针对净化设备或计量设备出现任何技术上无法避免的故障或失灵的情况，设定一个最长允许排放期限，在此期间向大气排放的数量可能超过规定排放限值。

201. Greer (2003年)和Karstensen (2008年b)阐述了控制技术。最佳可得技术和欧洲联盟内部的相关排放标准由欧洲综合污染防治局(2010年)提供。欧洲委员会的参考文件包括可得措施和技术的相关信息，如说明书、实用性、交错介质效应、经济情况等。它提供将作为最佳可得技术予以考虑的技术的相关实用信息和最佳性能数据。

202. 更多有关最佳可得技术的指南和最佳环境实践暂行指南已由斯德哥尔摩公约秘书处出版(环境署，2007年)，以防止和最大限度地减少水泥窑共处理危险废物时无意形成及随后释放的持久性有机污染物。上述指南阐述了一级措施，这些措施被视为足以达到新安装和现有装置中烟道气多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃排放量低于0.1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>的标准，并且这些选择方案不会导致性能降低到0.1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>；所引述的二级措施是，其安装目的是控制无意间形成的持久性有机污染物以外的污染物，但也可能导致《斯德哥尔摩公约》附件C所列明的化学品排放量同时减少(环境署，2007年)。

## 2. 水泥窑和旁路粉尘

203. 所有水泥厂的窑生产线都会产生细小粉尘，统称为水泥窑粉尘(CKD)。水泥窑粉尘的构成各不相同，即便是一条窑生产线产生的粉尘随着时间的推移也各不相同，但是包括焚烧各阶段的生料颗粒、熟料微粒，甚至是窑筒体和相关设备的耐火砖和/或整体炉衬被侵蚀而产生的微粒(Van Oss, 2005年)。粉尘也通过碱旁路系统排放，安装这些系统的目的是避免碱、氯化物和/或硫过度堆积，然而，与水泥窑粉尘不同，旁路粉尘由完全煅烧的窑炉进料物质所组成。

204. 在欧洲联盟，一般情况下，水泥生产处理废物的最佳可得技术是，在任何切实可行的情况下，在处理过程中重新使用已收集的微粒物质，或者在可能的情况下将这些粉尘用于其他商品生产中(欧洲综合污染防治局，2010年)。

205. 为了避免处理，大多数水泥窑粉尘和旁路粉尘直接返回到水泥窑或水泥熟料碎渣机中。在熟料生产过程中，水泥窑粉尘部分抵消对石灰石和天然岩石

13 参见：<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:EN:PDF>

14 参见：[http://us-cdn.creamermedia.co.za/assets/articles/attachments/22665\\_not\\_777.pdf](http://us-cdn.creamermedia.co.za/assets/articles/attachments/22665_not_777.pdf)

15 参见：<http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&rgn=div6&view=text&node=40:11.0.1.1.1&idno=40>

16 2008年6月16日后建造、改建或重建的所有水泥窑的氮氧化物和二氧化硫排放限值。参见：<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2010-09-09/pdf/2010-21102.pdf>

组分等原料的需求，从而避免与其萃取和加工有关的能源利用和排放。由于碱、氯和硫化合物浓度增加，可能损害熟料的质量，一些粉尘可能必须定期从该系统中清除。无法在处理过程中回收利用的粉尘从该系统清除，并且通常以堆放或单填的方式现场收集。

206. 没有返回到生产程序的适当水泥窑粉尘，可酌情以各种类型的商业利用方式回收，包括增加农业土壤肥力、稳定路基、废水处理、废物整治、低强度回填和城市垃圾填埋覆土（美国环境保护局，2011年）。这些应用主要取决于水泥窑粉尘的化学和物理特征。

207. 决定水泥窑粉尘性质的主要因素是生进料、窑炉作业类型、除尘系统和燃料类型。由于水泥窑粉尘的属性可能受水泥窑所使用的设计、作业和原料的极大影响，水泥窑粉尘的化学和物理特征必须根据水泥厂的不同而逐一评估（美国环境保护局，2011年）。直到水泥窑粉尘的可变程度确定之后才能建议进行频繁检测。

208. 依关注污染物的程度而定（例如重金属、持久性有机污染物），这种废物在有些情况下是危险废物，要求采用特殊处理和处置措施（环境署，2007年）。Karstensen（2006年b）的一项研究报告显示，水泥窑粉尘中多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃的平均浓度为 6.7 ng I-TEQ/kg，最大浓度为 96 ng I-TEQ/kg。同一研究表明，水泥行业产生的废物与鱼、黄油、母乳等食物具有相同数量的多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃含量，但少于农业用地适用的污水污泥的最大允许浓度 100 ng TEQ/kg。

209. 为确保对公共卫生和环境的保护，防止地下水污染，将危险废物用作补充燃料或原料的设施中排出的旁路粉尘或水泥窑粉尘，如果要在陆地上处理，应当分析其金属和有机渗滤液质量参数。这项分析应当在除地方监管机构可能要求的正在进行的检测以外的控制性检测期间进行。向空气中释放粉尘也应予以控制。

### 3. 向水中排放

210. 一般情况下，废水排放通常仅限于地表径流和冷却水，不是造成水污染的主要原因（欧洲综合污染防治局，2010年）。然而在欧洲联盟，利用湿式除尘器是减少窑炉焙烧和/或预热/预分解工艺的烟道气产生的硫氧化物排放的一种最佳可得技术（欧洲综合污染防治局，2010年）。因此，对于欧洲联盟共处理危险废物和其他废物的水泥窑而言，应适用第 2000/76/EC 号指令中关于清除废气时的污水排放要求，以限制污染物从空气转移到水中。

### 4. 成品控制

211. 熟料和水泥等成品需受正规控制程序制约，这是按适用的国家或国际质量标准所规定的常见质量规范的要求。

212. 一般而言，共处理应不改变所制造水泥的质量。这意味着熟料、水泥或混凝土不得用作重金属的洗涤槽。不得给环境造成负面影响，如对混凝土或灰泥等的浸出试验可能展示的一样。水泥质量也应当允许在其使用寿命期满后回收。

213. 窑炉系统高温区进料中的有机污染物几乎被完全销毁，而无机组分则与熟料产品和水泥窑粉尘区分开来。因此，在熟料焙烧过程中使用废物可能改变水泥产品的金属浓度，并且根据通过原料和燃料投入的总量，产品中的个别元

素浓度由于废物共处理而增加或减少（欧洲综合污染防治局，2010年）。然而，漫长的调查显示，废物对熟料重金属含量的影响在统计上是最低限度的，大量使用轮胎从而使锌含量增加的情况是例外（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年）。

214. 由于水泥与骨料混合形成混凝土或灰泥，正是这些建筑材料中的金属作用对于生产过程中使用废物的相关环境影响评价至关重要。研究表明，水泥和灰泥中的金属排放量较低，综合测试已确认，金属牢固地融入水泥砖砌基体中。此外，干捣实混凝土提供了高效扩散阻力，从而进一步阻碍金属的释放。对混凝土和灰泥的试验表明，洗出液中金属的浓度明显低于国家立法等规定的标准。另外，不同和部分极端条件下的贮存尚未导致与环境有关的释放，这也适用于在浸出试验前样本材料被压榨或粉碎的情况(欧洲综合污染防治局，2010年)。

215. 关于以上方面，为评估混凝土所含重金属的环境影响而进行的浸出研究的主要成果如下（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年）：

- (a) 整体浇灌混凝土（使用寿命和回收利用）中所有微量元素的浸出量低于或接近最敏感的分析方法的检测极限；
- (b) 尚未观察到使用或不使用替代性燃料和原料生产的不同水泥类别之间存在微量元素浸出作用方面的重大差别；
- (c) 对不同类别的水泥实施的混凝土浸出行为是类似的；
- (d) 铬、铝和钡等一些元素的浸出浓度，在一些试验条件下可能接近饮用水标准中规定的限度；水泥中的六价铬是水溶性的，可能在高于其他金属的水平上从混凝土中浸出，因此水泥和混凝土中的铬投入量应当尽可能限制；
- (e) 实验室试验和实地研究均表明，只要混凝土结构保持完整，就不会超过适用的限值，如地下水或饮用水标准。例如，在初始应用或有效寿命应用中就是如此；
- (f) 砷、铬、钒、铋或钼等一些金属可能具有更灵活的浸出性能，尤其是在灰泥或混凝土结构被销毁或粉碎时（例如，在路基中用作骨料等回收利用阶段，或者在垃圾填埋时）；
- (g) 由于混凝土或水泥中的浸出微量元素数量及其整体浓度之间不存在简单、一致的联系，水泥中的微量元素含量不能用作环境标准；

216. 水泥和混凝土的环境质量评估通常依据水和土壤中重金属的浸出特征。各种暴露情境均需考虑（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年）：

- (a) 混凝土结构与地下水直接接触（“初始”应用）；
- (b) 灰泥或混凝土与分配（混凝土水管）或贮存系统（混凝土贮水池）的饮用水接触（“有效寿命”应用）；
- (c) 在新骨料、道路建设、堤坝填筑等方面重新使用已粉碎和回收的混凝土残留物（“二次”或“回收”利用）；
- (d) 在垃圾填埋场倾倒粉碎的混凝土残留物。

217. 仔细挑选和监测废物，确保废物利用不会导致任何有害环境的金属排放（欧洲综合污染防治局，2010年）。然而，如果在没有废物的情况下发现灰泥中的重金属浓度超过正常范围，应当对灰泥和/或混凝土进行浸出试验（德国技术合作公司/豪西蒙公司，2006年）。

218. 对于“有效寿命”的混凝土和灰泥暴露情境，应当运用不同的浸出试验和评估程序。尽管废物管理条例和饮用水标准规定了规范程序，依然有必要根据上文概述的暴露情境协调和规范合规试验程序。建议至少每年由经认证的独立检测实验室开展上述工作。

## D. 监测

219. 应当实施排放监测，使得主管机关能够检查经营许可和条例所规定条件的符合情况，并帮助经营者管理和控制程序，从而防止向大气层随意排放。主管机关有责任确立和设定适当的质量要求，并考虑各种防护措施。利用以下方式进行合规评估值得推广（欧洲综合污染防治局，2003年）：

- (a) 标准计量方法；
- (b) 经认证的仪器；
- (c) 人员资格鉴定；
- (d) 经认可的实验室。

220. 对于自我监测活动，恰当的做法是，利用公认的质量管理系统和由经认可的外部实验室定期检查，而不是正式的自我认可（欧洲综合污染防治局，2003年）。

221. 有关监测原则的更多实用信息见欧洲委员会的《关于监测活动的一般性原则参考文件》（欧洲综合污染防治局，2003年）。

### 1. 工艺监测

222. 为了控制窑烧法，建议持续计量以下参数（环境署，2007年；欧洲综合污染防治局，2010年）：

- (a) 压力；
- (b) 温度；
- (c) 氧气；
- (d) 氮氧化物；
- (e) 一氧化碳；
- (f) 二氧化硫，硫氧化物浓度较高时计量（这种开发中的技术用于确定一氧化碳与氮氧化物和二氧化硫的最佳特性）。

223. 在欧洲联盟，整个水泥生产部门的最佳可得技术是，定期对工艺参数和排放量进行监测和计量（欧洲综合污染防治局，2010年），如：

- (a) 持续监测表明工艺稳定性的工艺参数，如温度、氧气、压力、废弃流量，同时持续计量利用选择性非催化还原（SNCR）时的氨气排放量；

- (b) 监测和稳定关键工艺参数，如同质生料配比和燃料馈给、定期投入量及氧气过剩量。

## 2. 排放监测

224. 为了准确计算排放量，必须持续计量最佳可得技术的以下参数（环境署，2007年）：

- (a) 废气流速；
- (b) 水分（湿度）；
- (c) 温度；
- (d) 粉尘（微粒物质）；
- (e) 氧气；
- (f) 氮氧化物；
- (g) 二氧化硫；
- (h) 一氧化碳。

225. 还建议持续计量有机碳总量。经营者应当保证连续排放监测系统（CEMS）的适当校准、维护和作业。为了持续评价和监测连续排放监测系统的性能，应当确立优质保障方案。

226. 对于以下物质，最好每年至少进行一次定期监测：

- (a) 金属（汞、镉、铊、砷、锑、铅、铬、钴、铜、锰、镍和钒）及其化合物；
- (b) 氯化氢；
- (c) 氟化氢；
- (d) 氨气；
- (e) 多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃。

227. 根据欧洲综合污染防治局（2010年），最佳可得技术就是定期对工艺参数和排放量进行监测和计量，如：

- (a) 连续计量粉尘、氮氧化物、硫氧化物和一氧化碳的排放量；
- (b) 定期计量多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃和金属的排放量；
- (c) 连续或定期计量氯化氢、氟化氢和有机碳总量的排放量。

228. 此外，对于欧洲联盟水泥窑共处理危险废物及其他废物，适用于第2000/76/EC号指令（将被2014年1月7日生效的第2010/75/EU号指令所取代）的要求。

229. 还可能连续计量和监测氨气和水银，同时对多氯联苯/多氯二苯并呋喃和PCB连续取样用于1至30天的分析（欧洲综合污染防治局，2010年）。

230. 水泥窑在正常条件下作业时，应当进行性能测试，以表明连续监测系统符合排放限值和性能标准。

231. 在特殊作业条件下，可能要求对以下方面进行计量（环境署，2007年；欧洲综合污染防治局，2010年）：

- (a) 苯-甲苯-二甲苯（BTX）；
- (b) 多环芳烃（PAH）
- (c) 其他有机污染物（例如氯苯、多氯联苯同源、氯萘等）。

232. 如果为了销毁和不可逆变地转化废物中的持久性有机污染物含量在水泥窑中进行危险废物处理，应当确定焚毁去除率（环境署，2007年），同时参考《关于对由持久性有机污染物构成、含有此类污染物或受其污染的废物实行无害环境管理的最新一般性技术准则》（巴塞尔公约秘书处，2007年）。

### 3. 环境监测

233. 对水泥厂的环境影响的合理担忧可能要求实施环境空气质量监测方案。这应当评估被确定为环境控制优先事项的主要污染物水平。相关安排应当包括控制和下风位置，包括烟囱排放最大地面沉积的面积。气象站应当规定在一个不受楼房或其他建筑重大干扰的区域进行大气取样的期限。

### 4. 报告编制要求

234. 对监测结果的报告包括，有效地总结和阐述结果、相关信息及合规调查情况。良好做法以考虑下列因素为基础：报告的要求和受众、编制报告的责任、报告的类别、报告的范围、良好的报告编制方法、报告编制的法律内容，以及质量考虑因素（欧洲综合污染防治局，2003年）。

235. 监测报告可分类如下（欧洲综合污染防治局，2003年）：

- (a) 地方和基本报告，通常由经营者编制（如作为其自我监测的一部分），并且应酌情符合任何许可要求。这些报告可能涉及个别安装、一次任务（期限较短，需要立即报告）或当地受众等；
- (b) 国家或战略报告，一般由主管机关编制。它们通常是概要报告，一般涉及若干安装、更长期限以显示趋势或全国受众；
- (c) 特别报告，这是关于为补充更多日常监测方法偶然使用的相对复杂或新颖的技术报告（例如遥测技术、神经网络或沉积调查）。

236. 报告监测信息的良好做法包括（欧洲综合污染防治局，2003年）：

- (a) 数据收集，其中涉及基本计量值和事实的获得。考虑以下项目是数据集中的良好做法：一览表（注明数据报告的方式、时间、报告人和接收人，以及什么类别的数据是可接受的）；收集数据使用的标准形式；详细的数据限制条件（用于记录数据值是否以计量、计算或估计为依据）；不确定和限制性数据（检测范围详情、现有样本数）；作业环境详情（现行过程操作和/或环境条件详情）。
- (b) 数据管理，包括数据编排及其转换为信息的情况。在数据管理中考虑以下项目是良好的做法：转让和数据库；数据处理；软件和统计；以及存档。
- (c) 展示结果，包括以清晰、实用的形式向用户提供信息。考虑以下项是展示监测结果的良好做法，依报告类别而定：报告范围（情况类型、计时要求、地理位置）；展示方案；趋势和比较；统计意义

（过量或变化的详情，在与计量和工艺参数的不确定性比较时具有重要意义）；临时性能（临时报告）；战略结果（符合不同政策、活动、技术等程度详情）；非技术性总结（面向公众）；以及发行报告。

237. 为了将监测报告用于决策过程中，这些报告应当随时提供且内容准确（在注明的不确定性范围内）。报告的可及性和质量方面的良好做法可通过考虑以下项目来实现：质量目标和检查；主管领域；应变安排；签核系统；数据存储；以及伪造数据。（欧洲综合污染防治局，2003年）

238. 关于监测原则的更多实用信息见欧洲委员会的《关于监测活动的一般性原则参考文件》（欧洲综合污染防治局，2003年）。

## 六、 参考文献

Achternbosch, M., Brautigam, K.R., Hartlieb, N., Kupsch, C., Richers, U., Stemmermann, P. and Gleis, M. 2003. Heavy metals in cement and concrete resulting from the co-incineration of wastes in cement kilns with regard to the legitimacy of waste utilisation. Forschungszentrum Karlsruhe. <http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA6923.pdf> [Accessed 27 September 2011]

Battelle (Battelle Memorial Institute). 2002. Toward a Sustainable Cement Industry. Commissioned by the World Business Council for Sustainable Development. Available from <http://www.wbcsd.org/web/publications/battelle-full.pdf> [Accessed 24 May 2009]

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1996. National Guidelines for the Use of Hazardous and Non-hazardous Wastes as Supplementary Fuels in Cement Kilns. Manitoba.

CEMBUREAU (The European Cement Association). 1999a. "Best Available Techniques" for the Cement Industry, A contribution from the European Cement Industry to the exchange of information and preparation of the IPPC BAT Reference Document for the cement industry. Brussels. Available from [http://www.coprochem.com/documents/holcim-cembureau-bat-1999.pdf/at\\_download/file](http://www.coprochem.com/documents/holcim-cembureau-bat-1999.pdf/at_download/file). [Accessed 27 September 2011]

CEMBUREAU (The European Cement Association). 1999b. Environmental Benefits of Using Alternative Fuels in Cement Production: A Life-cycle Approach. Brussels. Available from [http://www.coprochem.com/documents/cembureau\\_afr.pdf/at\\_download/file](http://www.coprochem.com/documents/cembureau_afr.pdf/at_download/file) [Accessed 27 September 2011]

CEMBUREAU (The European Cement Association). 2009. Sustainable Cement Production: Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials in the European Cement Industry. Brussels. Available from <http://www.cembureau.be/sites/default/files/Sustainable%20cement%20production%20Brochure.pdf> [Accessed 27 September 2011]

CPCB (Central Pollution Control Board). 2007. Comprehensive Industry Document on Vertical Shaft Kiln Based Mini Cement Plants. Ministry of Environment & Forests, Government of India. Available from [http://www.cpcb.nic.in/oldwebsite/New%20Item/mini\\_cement\\_plant.html](http://www.cpcb.nic.in/oldwebsite/New%20Item/mini_cement_plant.html) [Accessed 5 March 2009]

Da Hai Yan, Karstensen, K.H., Qi Wang, Qi-Fei Huang and Min-Lin Cai. 2010. Co-processing of Industrial and Hazardous Wastes in Cement Kilns: A Review of Current Status and Future Needs in China. *Environmental Engineering Science*. January 2010, 27(1): 37-45. doi:10.1089/ees.2009.0144

Degré, J.P. 2009. Co-processing in Cement Kilns: The Holcim Approach and Experience. Presented at "Taller Co-procesamiento de Residuos Peligrosos en Hornos Cementeros", Santiago. 9 June.

Department for Environmental Affairs and Tourism, Republic of South Africa. 2009. National Policy on Thermal Treatment of General and Hazardous Waste. Government Gazette (Staatskoerant), 24 Julie 2009.

EA (Environment Agency of England and Wales). 1999a. International Use of Substitute Liquid Fuels (SLF) Used for Burning in Cement Kilns. Research and Development Technical Report P282. Bristol: Environment Agency.

EA (Environment Agency of England and Wales). 1999b. Substitute Liquid Fuels (SLF) Used in Cement Kilns – Life Cycle Analysis. Research and Development Technical Report P274. Bristol: Environment Agency.

Environment Council. 2007. Designing Engagement for the Waste Sector. London: The Environment Council. Available from [http://www.the-environment-council.org.uk/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=78&Itemid=64](http://www.the-environment-council.org.uk/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=78&Itemid=64) [Accessed on 2 November 2009]

EIPPCB (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2003. Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the General Principles of Monitoring (July 2003). European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Seville. Available from [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/mon\\_bref\\_0703.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/mon_bref_0703.pdf) [Accessed 19 August 2009]

EIPPCB (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2006. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries (August 2006). European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Seville. Available from [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wt\\_bref\\_0806.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wt_bref_0806.pdf) [Accessed 4 November 2010]

EIPPCB (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau). 2010. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries (May 2010). European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Seville. Available from [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm\\_bref\\_0510.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm_bref_0510.pdf) [Accessed 21 October 2010]

Greer, W.L. 2003. Interactions Among Gaseous Pollutants from Cement Manufacture and Their Control Technologies. R&D Serial No. 2728. Portland Cement Association, Skokie, Illinois.

GTZ/Holcim. 2006. Guidelines on Co-Processing Waste Materials in Cement Production. The GTZ- Holcim Public Private Partnership. Available from <http://www.coprocem.com/Guidelines> [Accessed 9 October 2008]

Höhne, N. and Ellermann, C. 2008. A Sectoral Approach and Technology Transfer for the Cement Sector. Federal Office for the Environment (FOEN), Switzerland. Available from [http://www.bafu.admin.ch/klima/index.html?lang=en&download=NHZLpZeg7t,lnp6I0NTU04212Z6ln1ad1IZn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCFeyR6fGym162epYbg2c\\_JjKbNoKSn6A--](http://www.bafu.admin.ch/klima/index.html?lang=en&download=NHZLpZeg7t,lnp6I0NTU04212Z6ln1ad1IZn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCFeyR6fGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--).pdf [Accessed 5 March 2009]

Hund, G., Engel-Cox, J., Fowler, K., Peterson, T., Selby, S. and Haddon, M. 2002. Communication and Stakeholder Involvement: Guidebook for Cement Facilities. Battelle Memorial Institute and Environmental Resources Management (ERM) Ltd. Commissioned by the World Business Council for Sustainable Development. Available from [http://www.wbcscement.org/pdf/battelle/stakeholder\\_guide.pdf](http://www.wbcscement.org/pdf/battelle/stakeholder_guide.pdf) [Accessed 24 May 2009]

Karstensen, K.H. 2006a. Cement Production in Vertical Shaft Kilns in China: Status and Opportunities for Improvement. Report to the United Nations Industrial Development Organization. Available from <http://coprocec.ecs.ch/documents/3cementproductioniinverticalshaftkilnschina.pdf> [Accessed 5 January 2009]

Karstensen, K.H. 2006b. Formation and Release of POPs in the Cement Industry. Second edition. World Business Council for Sustainable Development/SINTEF. Available from <http://www.wbcd.org/plugins/DocSearch/details.asp?type=DocDet&ObjectId=MTgyNzM> [Accessed 10 November 2008]

Karstensen, K.H. 2007a. A Literature Review on Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials and Hazardous Wastes in Cement Kilns. Department for Environmental Affairs and Tourism, Republic of South Africa. Available from <http://www.environment.gov.za/hotissues/2008/cementproduction/cement.html> [Accessed 2 January 2009]

Karstensen, K.H. 2007b. National policy on High Temperature Thermal Waste Treatment and Cement Kiln Alternative Fuel Use: Cement Production Technology. Department Environmental Affairs and Tourism of the Republic of South Africa. Available from <http://www.deat.gov.za/PolLeg/GenPolicy/2008Sep25/cement.html> [Accessed 2 January 2009]

Karstensen, K.H. 2008a. National policy on High Temperature Thermal Waste Treatment and Cement Kiln Alternative Fuel Use: Guidelines for Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials and Treatment of Organic Hazardous Wastes in Cement Kilns. Department Environmental Affairs and Tourism of the Republic of South Africa. Available from

<http://www.deat.gov.za//PolLeg/GenPolicy/2008Sep25/cement.html> [Accessed 2 January 2009]

Karstensen, K. H. 2008b. Formation, release and control of dioxins in cement kilns - A review. *Chemosphere*, 70 (2008) 543–560.

Karstensen, K. H. 2009a. Guidelines for co-processing. Proceedings of "China International Conference on the Utilization of Secondary Materials and Fuel in Building Materials Industry". Institute of Technical Information for Building Materials Industry of China, No.1, Guanzhuang Dongli, Chaoyang District, Beijing, China. Beijing International Exhibition Center. 29 June 2009.

Karstensen, K. H. 2009b. Requirements for Co-Processing of AFR and Treatment of Organic Hazardous Wastes in Cement Kilns. Proceedings of "China International Conference on the Utilization of Secondary Materials and Fuel in Building Materials Industry". Institute of Technical Information for Building Materials Industry of China, No.1, Guanzhuang Dongli, Chaoyang District, Beijing, China. Beijing International Exhibition Center. 29 June 2009.

Karstensen, K.H., Nguyen, K.K., Le B.T., Pham, H.V., Nguyen, D.T., Doan, T.T., Nguyen, H.H., Tao, M.Q., Luong, D.H. and Doan, H.T. 2006. Environmentally sound destruction of obsolete pesticides in developing countries using cement kilns. *Environmental Science & Policy*, 9 (2006), 577-586

Kjuus, H., Lenvik, K. Kjørheim, K. and Austad, J. 2003. Epidemiological Assessment of the Occurrence of Allergic Dermatitis in Workers in the Construction Industry Related to the Content of Cr (VI) in Cement. Norwegian National Institute of Occupational Health. Available from [http://www.wbcsd.org/web/projects/cement/tf3/nioh-study\\_chromium\\_allergic\\_dermatitis.pdf](http://www.wbcsd.org/web/projects/cement/tf3/nioh-study_chromium_allergic_dermatitis.pdf) [Accessed 4 November 2010]

Koppejan, J. and Zeevalkink, J.A. 2002. The calorific value as a criterion for waste recovery in the cement industry. TNO-Report R 2002/325. TNO Netherlands Organisation for Applied Scientific Research. Apeldoorn: TNO. Available from <http://www.coprocem.com/documents/energy-rapport-2002-325lhv-cement.pdf> [Accessed 2 July 2009]

Loréa, C. 2007. The Co-processing of Waste in the Cement Industry. *Global Fuels Magazine*. June, p.12-15. Available from [http://www.propubs.com/GF/Articles/eGF\\_Jun07\\_Cembureau.pdf](http://www.propubs.com/GF/Articles/eGF_Jun07_Cembureau.pdf) [Accessed 1 April 2009]

Mantus, E.K. 1992. All fired up: Burning Hazardous Waste in Cement Kilns. Washington: Environmental Toxicology International.

Murray, A. and Price, L. 2008. Use of Alternative Fuels in Cement Manufacture: Analysis of Fuel Characteristics and Feasibility for Use in the Chinese Cement Sector. China Energy Group, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, U.S. Department of Energy. Available from <http://china.lbl.gov/publications/use-alternative-fuels-cement-manufacture-analysis-fuel-characteristics-and-feasibility->

Mutz, D., Andres, C., Hengevoss, D. and Morf, L. 2007. Co-Processing Waste Material in Energy-Intensive Industries (EII): A global study with focus on Europe. University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, GEO Partner AG Resource Management.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2000. Strategic Waste Prevention, OECD Reference Manual. ENV/EPOC/PPC(2000)5/FINAL.

SBC (Secretariat of the Basel Convention). 2007. Updated general technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs). Available from <http://www.basel.int/pub/techguid/tg-POPs.pdf> [Accessed on 1 April 2009]

Szabó, L., Hidalgo, I., Císcar, J.C., Soria, A. and Russ P. 2003. Energy consumption and CO2 emissions from the world cement industry. Report EUR 20769 EN. Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Center, European Commission. Available from <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur20769en.pdf> [Accessed 27 September 2011]

Taylor, H.F.W. 1997. Cement chemistry. Second edition. Thomas Telford, London.

Twigger, L., Ritchie, A., Hudson, B., Laban, K. And Davies, C. 2001. Solid Waste Derived Fuels for Use in Cement & Lime Kilns - An International Perspective. Research and Development Technical Report P4-087/TR/1. Bristol: Environment Agency.

- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1993. Report to Congress on Cement Kiln Dust. Available from: <http://epa.gov/wastes/nonhaz/industrial/special/ckd/cement2.htm> [Accessed 3 March 2009]
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1996. RCRA Public Participation Manual, 1996 Edition. Office of Solid Waste. Washington: U.S. Environmental Protection Agency. Available from <http://www.epa.gov/waste/hazard/tsd/permit/pubpart/manual.htm> [Accessed on 2 November 2009]
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2007. Cement. In: Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors: Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes. Available from: <http://www.epa.gov/sectors/pdf/energy/report.pdf> [Accessed 27 September 2011]
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2011. Materials Characterization Paper in Support of the Final Rulemaking: Identification of Nonhazardous Secondary Materials That Are Solid Waste Cement Kiln Dust (CKD). February 3, 2011. Available from: <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-RCRA-2008-0329-1814> [Accessed 19 October 2011]
- U.S. Geological Survey. 2009. Cement. In: Mineral Commodity Summaries 2009. Washington: U.S. Geological Survey. Available from: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/> [Accessed 2 March 2009]
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1999. Definitional Issues Relating to Persistent Organic Pollutants: Disposal, Destruction, Wastes and Stockpiles. Intergovernmental Negotiating Committee for an International Legally Binding Instrument for Implementing International Action on Certain Persistent Organic Pollutants. Third session. Geneva, 6-11 September 1999. UNEP/POPS/INC.3/3. Available from [http://www.chem.unep.ch/Pops/POPs\\_INC/INC\\_3/inc-english/inc3-3/inc3-3e.pdf](http://www.chem.unep.ch/Pops/POPs_INC/INC_3/inc-english/inc3-3/inc3-3e.pdf)
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2007. Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices Relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants: Cement Kilns Firing Hazardous Waste. Expert Group on Best Available Techniques and Best Environmental Practices. Geneva: UNEP.
- UNSD (United Nations Statistics Division). 2008. United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN Comtrade). <http://comtrade.un.org/db/>
- Van der Sloot, H.A., van Zomeren, A., Stenger, R., Schneider, M., Spanka, G., Stoltenberg-Hansson, E. and Dath, P. 2008. Environmental CRITERIA for CEMENT Based Products, ECRICEM. Executive Summary. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN). ECN Report N° ECN-E--08-011. Available from <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2008/e08011.pdf>  
[Accessed 10 March 2009]
- Van Oss, H.G. 2005. Background Facts and Issues Concerning Cement and Cement Data. Open-File Report 2005-1152. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Van Oss, H.G. and Padovani, A.C. 2003. Cement manufacture and the environment. Part II: Environmental Challenges and Opportunities. *Journal of Industrial Ecology*, 7 (1), 93-126.
- Watson, C., Newman, J., Upton, S. and Hackmann, P. 2005. Round Table on Sustainable Development: Can Transnational Sectoral Agreements Help Reduce Greenhouse Gas Emissions? SG/SD/RT(2005)1. Organisation for Economic Co-operation and Development. <http://www.oecd.org/dataoecd/35/53/39357524.pdf>
- WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). 2005. Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cement Manufacturing Process. Cement Sustainability Initiative (CSI). Geneva: WBCSD. Available from <http://www.wbcSD.org/includes/getTarget.asp?type=d&id=MTc4NjA>  
[Accessed 9 October 2008]
- Zeevalkink, J.A. 1997. The Materials and Energy Potential Method for the Quantitative Distinction between Waste Valorization and Elimination in the Cement Industry. TNO-Report TNO-MEP - R 96/502. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation. Apeldoorn: TNO.

## 附件一

## 水泥窑性能验证和试烧结果汇编（Kare Helge Karstensen 博士，个人通信，2009 年 11 月 6 日）

## 导言

1. 焚烧危险材料期间检测水泥窑排放以了解有机化学物质的情况自 1970 年代以来一直在进行，当时第一次考虑了在水泥窑中焚烧废物的做法。Lauber（1987 年）、Ahling（1979 年）和 Benestad（1989 年）描述了早期对美国、瑞典和挪威水泥窑的上述检测，证实水泥窑能够销毁废物给料的有机成分。例如，对二氯甲烷、四氯化碳、三氯苯、三氯乙烷和多氯联苯等化学物质的焚毁去除率通常计量为 99.995% 以上。

2. 燃烧煤等传统燃料以及焚烧危险废物时，开展了综合排放研究；这些研究通常得出结论，无法计量出使用这两种燃料之间的重大差别。例如，Branscome 等人（1985 年）发现，“焚烧废物燃料（而不是煤）时，没有观察到排放率在统计上有重要增长。”早期对二噁英排放量的研究也得出了这一结论（Branscome 等人（1985 年）、Lauber（1987 年）和 Garg（1990 年））。

## A. 1970 年代进行试烧的结果

3. 在 1970 年代中期，在加拿大圣劳伦斯水泥厂进行了一系列试验，以计量投入湿法水泥窑的各种氯化废水被销毁的情况。为氯化化合物确定的总焚毁去除率大于 99.986%。这一数值被视为人为压低，因为煤粉浆加料和生料进料所使用的水被污染，带有低分子量氯化化合物。

4. 1978 年，在瑞典斯托拉维卡水泥厂进行了一系列试验，以评价湿法水泥窑在焚毁各种氯化废水中的效率。尽管在烟道气中发现了三氯甲烷，大部分氯化化合物没有被检测。确定了二氯甲烷的焚毁去除率大于 99.995%，而三氯乙烯的焚毁去除率则表现为 99.9998%。

## B. 1980 年代进行试烧的结果

5. 1980 年代进行的试烧依然表明，在水泥窑中焚烧危险废物可获得有机成分较高的焚毁去除率。对一个湿法和一个干法水泥窑试烧的结果说明了所获得的焚毁去除率标准值。试烧所选用的主要有机危险成分是二氯甲烷、1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷（氟利昂 113）、甲基乙基酮、1,1,1-三氯乙烷和甲苯。如下表所概述，大多数焚毁去除率大于 99.99%。焚毁去除率小于 99.99% 是实验室污染问题或主要有害有机组分（POHC）选择不当的结果。

表 1: 湿法和干法水泥窑的平均焚毁去除率

选定的主要有害有机组分	湿法窑	干法窑
二氯甲烷	99.983 %	99.96 %
氟利昂 113	>99.999 %	99.999 %
甲基乙基酮	99.988 %	99.998 %
1,1,1-三氯乙烷	99.995 %	>99.999 %
甲苯	99.961 %	99.995 %

### C. 1990 年代进行试烧的结果

6. 1990 年代进行的试烧重点选择化合物为主要有害有机组分，它们通常不会作为污染物存在或从传统燃料燃烧中产生不完全燃烧产物。利用这种标准使得获取的焚毁去除率更为准确。

7. 在安装了预热器的干法水泥窑焚毁去除率试验中，四氯化碳和三氯苯被选定为主要有害有机组分。将其加入窑炉燃烧区时，所得到的四氯化碳焚毁去除率大于 99.999%，而三氯苯的焚毁去除率则大于 99.995%。为了确定该系统的限度，同样在将这些主要有害有机组分与轮胎一同加入窑尾（即冷端）时确定焚毁去除率。据此得到的四氯化碳焚毁去除率大于 99.999%，三氯苯的焚毁去除率大于 99.996%。

8. 在美国所有的水泥窑进行的焚毁去除率试验证明了上述结果。六氟化硫因其热稳定性和易于计量烟道气而被选定为主要有害有机组分。此外，利用这种化合物不可能产生“污染”问题和不完全燃烧产物。每种情况下得到的焚毁去除率均大于 99.9998%。

9. 1999 年，在哥伦比亚一座干法窑对加入窑尾的杀虫剂污染土壤进行了焚烧试验。焚烧试验结果显示，所采用的所有杀虫剂的焚毁去除率均大于 99.9999%。

### D. 近期试烧的结果

10. 2003 年，在越南通过主燃烧器对按每小时 2 吨的速度加入的过期氯化杀虫剂化合物进行焚烧试验。所使用的杀虫剂的焚毁去除率大于 99.99999%。

11. 2006 年，斯里兰卡一次为期三天的焚烧试验表明，水泥窑能够以不可逆转和无害环境的方式销毁多氯联苯。在多氯联苯最大加料速度下，焚毁去除率大于 99.9999%。

12. 2007 年，在委内瑞拉一座水泥窑对被持久性有机污染物所污染的土壤进行了为期五天的焚烧试验。土壤被各种有机氯农药污染的程度相对较低，主要是艾氏剂、狄氏剂和异狄氏剂（最高达 551mg/kg）。计量显示，没有加入污染土壤时烟道气狄氏剂含量（小于 0.019  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）与按每小时 2 吨的速度加入含有高达 522 mg/kg 狄氏剂的污染土壤时一样低。因此可以假设，所计量的最高进料浓度中达到的 99.9994% 焚毁去除率实际上可能更高。

13. 近期的一项研究评估了 2000 多项多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃水泥窑计量结果，表明大多数现代水泥窑共处理废物（以及有机危险废物）可达到 0.1 ng 多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃 I-TEQ/m<sup>3</sup> 的排放水平。

### E. 总结

14. 早期的数据表明水泥窑焚毁去除率低于 99.99%，很可能是来自过时的资料来源或设计不当的试验或两者并存的情况。在确定这一概念及取样和分析技术以评估环境绩效的最初几年，有若干事例表明选择主要有害有机组分时不符合必要的标准。例如，许多早期试验的主要问题在于，为评估焚毁去除率而选定的主要有害有机组分属于通常在仅燃烧化石燃料的水泥窑烟囱排放微量水平中发现的有机品种。虽然这些不完全燃烧产物排放量较低，但它们却给主要有害有机组分销毁计量带来极大的干扰。执行人员很快认识到，如果试验中使用的主要有害有机组分与生料中通常排放的不完全燃烧产物类型在化学上相同或

密切相关，可能无法正确计量焚毁去除率。为此，早期焚毁去除率试验结果（即 1990 年以前）应当始终谨慎对待。

15. 然而，在一些情况下，试验期间的操作因素或取样和分析技术可能产生较低的焚毁去除率结果。这些通常是仅在该技术发展阶段进行的最早试验中出现的问题，如今应当可以避免。试烧是表现窑炉特性和以不可逆转及无害环境的方式销毁废物的能力的一个好办法，但试烧设计和条件均至关重要。

#### F. 试烧规则在水泥窑评估中的早期应用

16. 自 1970 年代初以来，美国环境保护局、若干国家机构、加拿大、挪威、瑞典机构进行了利用水泥窑销毁危险废物的可行性研究。这些废物包括各种氯代烃类、芳香族化合物和废油。湿法和干法水泥窑、轻型组合窑和石灰窑一直用于这种试验。

17. 关于水泥窑的现有报告提供了有关以下具体化合物的性能数据：三氯甲烷（氯仿）；二氯甲烷（甲叉二氯）；四氯化碳；1,2-二氯乙烷；1,1,1-三氯乙烷；三氯乙烯；四氯乙烯；1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷（氟利昂 113）；氯苯；苯；二甲苯；甲苯；1,3,5-三甲基苯；甲基乙基酮；甲基异丁基酮；六氟碳；苯氧基酸；氯代烃类；氯代脂肪烃；氯化芳烃；多氯联苯和持久性有机污染物杀虫剂。

**表 2：1970 和 1980 年代选定化合物的焚毁去除率汇总表**

地点	主要有害有机组分或废物成分	焚毁去除率
圣劳伦斯水泥厂 (加拿大)	氯代脂肪烃	>99.990
	氯化芳烃	>99.989
	多氯联苯	>99.986
斯托拉维卡 (瑞典)	二氯甲烷	>99.995
	三氯乙烯	>99.9998
	所有氯代烃类	>99.988
	多氯联苯	>99.99998
	氯化苯酚	>99.99999
	苯氧基酸	>99.99998
布雷维克(挪威)	多氯联苯	>99.99999
	氟利昂 113	>99.99986
圣胡安水泥厂 (波多黎各)	二氯甲烷	93.292-99.997
	三氯甲烷	92.171-99.96
	四氯化碳	91.043-99.996
波特兰 (卢斯罗夫莱斯)	二氯甲烷	>99.99
	1,1,1-三氯乙烷	99.99
	1,3,5-三甲基苯	>99.95
	二甲苯	>99.99
General Portland (Paulding)	二氯甲烷	99.956-99.998
	氟利昂 113	>99.999

地点	主要有害有机组分或废物成分	焚毁去除率
	甲基乙基酮	99.978-99.997
	1,1,1-三氯乙烷	99.991-99.999
	甲苯	99.940-99.988
Lone Star Industries (奥格斯比)	二氯甲烷	99.90-99.99
	氟利昂 113	99.999
	甲基乙基酮	99.997-99.999
	1,1,1-三氯乙烷	>99.999
	甲苯	99.986-99.998
Marquette Cement (奥格斯比)	二氯甲烷	99.85-99.92
	甲基乙基酮	99.96
	1,1,1-三氯乙烷	99.60-99.72
	甲苯	99.95-99.97
Rockwell Lime	二氯甲烷	99.9947-99.9995
	甲基乙基酮	99.9992-99.9997
	1,1,1-三氯乙烷	99.9955-99.9982
	三氯乙烯	99.997-99.9999
	四氯乙烯	99.997-99.9999
	甲苯	99.995-99.998
地点一	1,1,1-三氯乙烷	99.88-99.98
	三氯乙烯	99.8-99.994
	苯	82.5-98.5
	四氯乙烯	99.87-99.989
	甲苯	99.7-99.90
	氯苯	99.3-99.4
	甲基乙基酮	99.93-99.98
	氟利昂 113	99.988-99.998
地点二	二氯甲烷	>99.99996->99.99998
	1,2-二氯乙烷	99.91->99.9993
	1,1,1-三氯乙烷	99.9998-99.9999
	四氯化碳	99.8-99.995
	三氯乙烯	99.996-99.9993
	苯	99.75-99.93
	四氯乙烯	99.998-99.9998
	甲苯	99.997-99.9998
	氯苯	99.92-99.97
	甲基乙基酮	99.996->99.999992
	氟利昂 113	99.99991-99.99998

地点	主要有害有机组分或废物成分	焚毁去除率
Florida Solite Corp.	甲基乙基酮	99.992-99.999
	甲基异丁基酮	99.995-99.999
	四氯乙烯	99.995-99.999
	甲苯	99.998-99.999

资料来源：美国环境保护局（1986年）。

18. 应当指出的是，焚毁去除率计算中不包括基准试验期间计量的试验化合物校正情况。

19. 不完全燃烧产物形成问题是公众通常较为关注的问题。一些窑炉试验表明，因焚烧废物使得不完全燃烧产物略有增加。然而，对燃煤设施开展的试验表明，不完全燃烧产物实际上是这些系统不可避免的。尽管窑炉加压期间在圣胡安计量到多氯二苯并二噁英和多氯二苯并呋喃的微小数量（少于 23 PPM），并且斯托拉维卡发现的数量也很细微，但环境保护局总结报告得出结论，它们并非确认为废物生产带来的不完全燃烧产物。

20. 如果向水泥窑热端加入废液有机化学品，则很容易看到，它们必须以水泥熟料生产工艺的高温和停留时间为条件。因此，它们因高温分解和氧化作用而几乎完全被销毁。

## 附件二

### 空气排放来源

#### A. 微粒物质

1. 水泥生产工艺包括通过与热气体直接接触对材料进行热处理（干燥、加热、焙烧、烧结、冷却）。还包括气动料运输机材料分类和分离。在这些工艺结束时，空气、气体和粉碎料必须进行分离。不完全分离会产生粉尘排放——窑炉/原料磨主烟囱、熟料冷却机烟囱、水泥磨机烟囱、原料转运点除尘排气口。
2. 在欧洲联盟，因有尘作业而不是窑炉燃烧、冷却和主要研磨工艺而产生的粉尘排放最佳可得技术是，利用过滤器实行干法废气净化，使有尘作业产生的沟槽式粉尘排放（考虑维修管理系统）减少到低于 10 mg/Nm<sup>3</sup>（与最佳可得技术相关的排放水平，又称为 BAT-AEL），作为取样期间的平均值（单点计量，至少半小时）。窑炉焙烧工艺中产生的粉尘排放最佳可得技术是，利用过滤器实行干法废气净化，减少窑炉焙烧工艺的烟道气产生的粉尘（微粒物质）排放。与最佳可得技术相关的排放水平小于 10-20 mg/Nm<sup>3</sup>，作为日常平均值。利用织物过滤器或升级的发泡聚苯乙烯时，可降低这一水平（欧洲综合污染防治局，2010年）。

#### B. 氧化硫

3. 二氧化硫因焚烧期间燃料中包含的硫化物或元素硫被氧化而产生。此外，如果存在充分的氧气且材料温度在 300 摄氏度 -600 摄氏度之间，生料中包含的硫化物或元素硫可在窑炉系统各区域被“焙烧”或氧化为二氧化硫。生混合料的硫化物也可能通过窑炉系统中的局部还原条件转化为二氧化硫。水泥碱性性质使得产品直接吸收二氧化硫，因而减少了排除气流中二氧化硫的排放量。
4. 排放范围取决于生料中的挥发性硫化物：大多低于 300 mg/Nm<sup>3</sup>；有时则高达 3000 mg/Nm<sup>3</sup>。
5. 在欧洲联盟，硫氧化物排放的最佳可得技术是，保持硫氧化物低水平排放，或利用以下一种措施/技术，减少窑炉焙烧和/或预热/预分解工艺的烟道气产生的硫氧化物排放：吸收性添加剂或湿式除尘器（欧洲综合污染防治局，2010年）。
6. 与最佳可得技术相关的硫氧化物排放水平如下（欧洲综合污染防治局，2010年）：

参数	单位	与最佳可得技术相关的排放水平（日平均值）(a)
硫氧化物表达式为 SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	<50 - <400

(a) 这一范围考虑了生料中的硫含量。

#### C. 氧化氮

7. 在水泥窑四种氮氧化物生成机制中，热型和燃料型氮氧化物生成最为重要。热型氮氧化物因高温条件下空气中的氮分子被氧化而生成。通常出现在水泥窑焙烧区温度高于 1200 °C 时的火焰周围。

8. 燃料型氮氧化物因水泥工艺中发现的任何焚烧温度条件下燃料中的氮被氧化而生成。由于在预分解器和一些辅助燃料燃烧中燃烧温度降低，在这些区域，燃料型氮氧化物的生成往往超过热型氮氧化物的生成。

9. 进料氮氧化物的产生仅通过在实验室的有氧条件下将含氮水泥生料加热至 300 °C -800 °C 来证明。湿法窑和干法长窑等慢速加热似乎增加了特定生料产生的氮氧化物。在预热器或预分解系统迅速加热生料时，进料氮氧化物的生成量可能降低。快速型氮氧化物通过一些燃料衍生基与烃火焰中的元素氮反应而生成，是促进整体氮氧化物生成的一部分原因。

10. 排放范围（未减轻）是 300-2000 mg/Nm<sup>3</sup>。

11. 在欧洲联盟，氮氧化物排放的最佳可得技术是，单独利用或结合使用以下措施/技术，减少窑炉焙烧工艺的烟道气所产生的氮氧化物排放量（欧洲综合污染防治局，2010年）：

- (a) 一级措施/技术，如火焰冷却；低氮氧化物燃烧器；中窑炉焙烧；为改善生料（矿化熟料）的可燃性添加矿化剂；工艺优化；
- (b) 分级燃烧（传统或废物燃料），也与预分解器结合使用或利用优化混合燃料；
- (c) 选择性非催化还原；
- (d) 选择性催化还原，以水泥行业中适当催化剂和工艺发展为条件。

12. 与最佳可得技术相关的氮氧化物排放水平如下（欧洲综合污染防治局，2010年）：

窑型	单位	与最佳可得技术相关的排放水平（日平均值）
预热器窑	mg/Nm <sup>3</sup>	<200 – 450 (b)
立波尔窑及长回转窑	mg/Nm <sup>3</sup>	400 – 800 (a)

(a) 取决于最初水平和氮逸出量。

(b) 与最佳可得技术相关的排放水平是 500 mg/Nm<sup>3</sup>，采用一级措施/技术后，最初氮氧化物水平大于 1000 mg/Nm<sup>3</sup>。现有窑炉系统设计、包括废物在内的混合燃料性能、生料可燃性均可能影响达到这一范围的能力。条件允许的窑炉可能低于 350 mg/Nm<sup>3</sup>的水平。只有三家工厂报告了月平均值低于 200 mg/Nm<sup>3</sup>（采用易燃混合料）。

#### D. 氧化碳

13. 一氧化碳是燃烧点氧气足量、燃烧点氧气和燃料混合不充分条件下碳燃料的不完全燃烧产物，另外，燃烧产品迅速冷却到一氧化碳完全氧化之前的着火点。一氧化碳可能在窑炉系统的任何燃烧点无意间生成。一氧化碳的排放通常表示燃料部分燃烧及不完全利用。

14. 然而，由于在上升烟道或焙烧炉将缺氧燃烧作为氮氧化物控制战略，一氧化碳可能有时在高温过程中生成，并且如果在生成后没有随之氧化，可能出现在烟道气排放中。

15. 二氧化碳因碳燃料燃烧和生混合料的碳组分焙烧而生成，这是水泥生产中不可避免和必然的结果。在水泥窑排放的二氧化碳总量中，大约一半从生料中

产生，而其余的则产生于燃烧过程。每生产一吨熟料大约排放一吨二氧化碳。系统热效率越高，排放量越少，而系统热效率越低，排放量越高。

## E. 有机排放量

16. 水泥窑的挥发性有机化合物排放因其在生成大气臭氧中的作用以及将一些挥发性有机化合物命名为危险性空气污染物而令人关切。总烃排放（挥发性有机化合物是其中一部分）主要因生料化合物中发现的石油和油母岩质组分蒸发和/或裂化而生成。

17. 潜在的有机排放量因选择生料和生料来源内部有机组分浓度的变化而各不相同。有机不完全燃烧产物也可能因高温处理系统内任何燃烧点的不完全燃烧而形成。

18. 排放范围取决于挥发性有机物生料的含量：大多低于  $50 \text{ mg/Nm}^3$ ；有时高达  $500 \text{ mg/Nm}^3$ 。

19. 在欧洲联盟，有机碳总量排放的最佳可得技术是，利用以下措施/技术，保持窑炉燃烧工艺的烟道气的有机碳总量排放：避免将挥发性有机化合物含量高的生料通过生料加料路径加入窑炉系统。此外，欧洲联盟境内共处理危险废物和其他废物的设施必须符合理事会第 2000/76/EC 号指令的要求。

## F. 酸性气体

20. 化石燃料的燃烧产品中存在将二氧化硫转化为三氧化硫所需的所有氧化剂。因此，三氧化硫和/或硫酸轻雾排放可能来自于水泥厂。采用“尾管湿式除尘器”的水泥厂也可能增加硫酸轻雾排放。

21. 如果氟自然存在于生料中或作为矿化剂被添加，水泥窑系统排放氟化氢是有可能的。

22. 水泥窑如何生成氯化氢尚未完全弄清楚。然而，氯化氢排放可能与窑炉系统的氯投入无关的证据有限，可能因为氯对钙和碱金属有亲和力。如果投入量超过熟料吸收氯的能力，就可能产生排放。

23. 氯化氢排放范围：SP/PC<sup>17</sup> 窑炉系统， $<10 \text{ mg/Nm}^3$ ；湿法窑，高达  $80 \text{ mg/Nm}^3$ 。

24. 在欧洲联盟，最佳可得技术是，保持氯化氢排放量低于  $10 \text{ mg/Nm}^3$ （与最佳可得技术相关的排放水平），作为日平均值或取样期的平均值（单点计量，至少半小时），单独利用或结合使用以下一级措施/技术：使用氯含量低的生料和燃料，和/或限制水泥窑将用作生料和/或燃料的任何废物的氯含量（欧洲综合污染防治局，2010年）。

25. 同样，最佳可得技术是，保持氟化氢排放量低于  $1 \text{ mg/Nm}^3$ （与最佳可得技术相关的排放水平），用 HF 表示，作为日平均值或取样期的平均值（单点计量，至少半小时），单独利用或结合使用以下一级措施/技术：使用氟含量低的生料和燃料，和/或限制水泥窑将用作生料和/或燃料的任何废物的氟含量（欧洲综合污染防治局，2010年）。

17 SP = 悬浮预烧窑；PC = 预分解窑

## G. 氨气

26. 水泥窑废气中含有少量氨气，可能是化石燃料和生料中含氮化合物高温分解的结果。水泥窑的氨气排放是主要关切问题，因为可能燃烧产生区域性烟雾。此外，大气反应仅在烟囱外在氨气和硫氧化物或氯化氢之间出现，产生硫酸铵、硫酸氢铵或氯化铵，作为精细的微粒物质（PM），并且观察到这些反应产品是不合意的、异常情况下称为“分离烟流”。依烟囱观测员的位置而定，分离烟流可能出现窑炉烟囱产生控制性差的微粒物质排放的不正确表象。

27. 排放范围一般小于 15 mg/Nm<sup>3</sup>，例外情况下高达 40 mg/Nm<sup>3</sup>。

## H. 苯

28. 苯可能存在于传统生料及替代性生料中，在原料预热时部分被烧掉。

29. 排放范围通常是 1-2 mg/Nm<sup>3</sup>；罕见情况下高达 3mg/Nm<sup>3</sup> 以上。

## I. 重金属

30. 重金属在所有水泥窑进料中普遍存在。由于清洁煤气粉尘（即经除尘系统清除后的粉尘）是一小部分进料，它也包含重金属。此外，半挥发性和挥发性重金属被蒸发和浓缩（主要方式）成小部分微尘。

31. 大多数重金属排放依然低于检测限值，并且所有排放量除水银外依然安全，低于通常采用的限值。如果过量投入原料，水银排放可能产 0.05 mg/Nm<sup>3</sup>。

32. 在欧洲联盟，金属排放最佳可得技术是，单独利用或合并使用以下措施/技术，最大限度地减少窑炉燃烧工艺的烟道气中产生的金属排放量（欧洲综合污染防治局，2010年）：

- (a) 选择相关金属含量低的原料，限制原料中的相关金属含量，尤其是水银含量；
- (b) 利用质量保障系统，保证所使用废物材料的特性；
- (c) 采用有效的除尘措施/技术。

33. 与最佳可得技术相关的金属排放水平（欧洲综合污染防治局，2010年）：

金属	单位	与最佳可得技术相关的排放水平 (取样期的平均值(单点计量,至少半小时))
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	<0.05 (b)
Cd + Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	<0.05 (a)
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V		<0.5 (a)

- (a) 已报告较低水平（欧洲综合污染防治局，2010年）。
- (b) 已报告较低水平（欧洲综合污染防治局，2010年）。高于 0.05 mg/Nm<sup>3</sup> 的数值必须进一步调查。接近 0.05 mg/Nm<sup>3</sup> 的数值需要考虑欧洲综合污染防治局（2010年）所描述的附加措施/技术。

## J. 多氯二苯并二噁英和多氯二苯并呋喃

34. 二噁英、呋喃或先进的前驱物质可能出现在传统原料中（罕见）或作为替代性原料的废物中，并且在原料预热前部分焙烧。有机材料中的任何氯投入可能造成加热（燃烧）工艺中多氯二苯并二噁英和多氯二苯并呋喃的生成。如果氯和烃前驱物质在 200° C 至 450° C 温度范围内数量充足，多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃可通过预热器中或之后或空气污染控制装置中的“从头合成机制”生成。

35. Karstensen (2006 年 b) 在一份报告中记述了对发达国家和发展中国家的水泥窑多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃排放的一项综合调查。

36. 在欧洲水泥协会开展的一项调查中，展示了对 10 个欧洲国家的 110 座水泥窑进行的多氯二苯并二噁英和多氯二苯并呋喃计量。考虑钙数据集成的所有数据之后，平均浓度为 0.016 ng I-TEQ/m<sup>3</sup>。计量到的最低和最高浓度范围是从小于 0.001 到 0.163 ng I-TEQ/m<sup>3</sup>。所有计量经过调整均符合标准条件（干气，273K，101.3 kPa 和 10% O<sub>2</sub>）。

37. 水泥窑经营遍布全球的豪西蒙公司水泥公司的一份报告提出，2001 和 2002 年多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃平均值分别为 0.041 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> (71 座窑)和 0.030 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> (82 座窑)。在这些计量值中，120 个来自经济合作与发展组织（经合组织）国家，平均值为 0.0307 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>；计量的最小值和最大值分别为 0.0001 和 0.292 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>，9 座湿法长窑超过 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>。对于非经合组织国家的 29 个计量值，平均值为 0.0146 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>；计量的最小值和最大值分别为 0.0002 和 0.074 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>，没有一个计量值超过 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>。

38. Karstensen (2006 年 b) 提出的多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃数据显示：

- (a) 如果采用了一级措施，大多数水泥窑可符合 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> 的排放水平；
- (b) 共处理加入主燃烧器、窑尾或预分解器的废物似乎并不影响或改变持久性有机污染物的排放；
- (c) 发展中国家干法预热器窑和预分解水泥窑的数据显示，排放水平比 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> 低得多。

39. 在欧洲联盟，最佳可得技术是避免多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃排放或保持窑炉焙烧工艺烟道气的多氯二苯并二噁英/多氯二苯并呋喃低排放，单独利用或合并使用以下措施/技术（欧洲综合污染防治局，2010 年）：

- (a) 仔细选择和控制在窑炉进料（生料），即氯、铜和合法性有机化合物；
- (b) 仔细选择和控制在窑炉进料（燃料），即氯和铜；
- (c) 限制/避免使用包含氯化有机材料的废物；
- (d) 避免在二次燃烧中加入卤素（即氯）含量高的燃料；
- (e) 将窑炉废气迅速冷却到低于 200 °C，并且最大限度地减少温度在 300 摄氏度至 450 摄氏度之间的区域烟道气和氧气含量的停留时间；

(f) 停止为启动和/或关闭等操作程序加入废物。

40. 与最佳可得技术相关的排放水平低于 0.05-0.1 ng 多氯二苯并二噁英/F I-TEQ/Nm<sup>3</sup>, 作为取样期间 (6-8 小时) 的平均值 (欧洲综合污染防治局, 2010 年)。

#### **K. 六氯苯和多氯联苯**

41. 六氯苯 (HCB) 和多氯联苯 (PCB) 迄今并非水泥厂监管监测的主体。已实施的大多数计量尚未检测六氯苯排放量。至于多氯联苯排放量, 2001 年在 13 座窑炉进行的 40 次计量显示, 最大浓度为 0.4 µg PCB /Nm<sup>3</sup>; 40 次计量中有 9 次没有检测多氯联苯。从越南共处理杀虫剂显示, 多氯联苯等二噁英排放量为 0.001 ng TEQ/m<sup>3</sup>, 六氯苯排放量则低于 31 ng/m<sup>3</sup> 的检测限值。

资料来源: 欧洲综合污染防治局 (2010 年)、德国技术合作公司/豪西蒙公司 (2006 年)、环境署 (2007 年)、Karstensen (2006 年 b)、Greer (2003 年)。

---