随着人们生活水平的提高和城市化进程的不断推进，与人们活动息息相关的城市生活垃圾产量越来越大、也越来越集中，垃圾包围城市的问题越来越突显。现有垃圾处理工艺难以彻底消除垃圾对环境带来的影响，与合理利用资源，实现环保无污染的控制目标要求尚有一定的差距。同时也给政府决策带来许多无形的压力。因此，寻求一种环保、有效、彻底、经济的垃圾处理方案是摆在政府和企业之间需亟待协调解决的问题。

垃圾这种人人都产生，人人都想远离的东西，由于其成分的复杂性、处理目标和方法的多样性，增添了方案选择和决策的难度。在环境保护的总体发展要求下，彻底解决城市生活垃圾处理难的问题，已成为我国“十二五”期间的工作目标之一。利用水泥窑协同处置城市生活垃圾技术，已有大量的有志之士呼吁了多年，国内也出现了一两个案例，但就整体状况来说仍处于难产时期，关键的问题是人们对该技术尚不了解，存在大量的疑虑。

利用水泥窑协同处置城市生活垃圾技术，既可将垃圾作为原、燃料，减少对资源的消耗，既可充分利用水泥回转窑内碱性微细浓固相的高温燃烧环境等优点，彻底将有害物质处理掉，真正实现垃圾处理的“无害化、资源化、集约化”的多元化目标要求，使水泥工业走上可持续发展的道路。本文的目的在于为企业和政府提供一些参考资料，以期促进水泥企业积极地利用水泥窑协同处置城市生活垃圾，政府能够制定相应的政策与支撑条件，以促进利用水泥窑协同处置城市生活垃圾技术的推广实施。

1利用水泥窑协同处置垃圾的原则

在利用水泥窑炉协同处置城市生活垃圾的过程中，应根据垃圾的形态、成分、特性确定其处理方案，以确保在不影响水泥生产系统正常稳定运行和产品质量的同时，垃圾能够彻底地得到消解，且不产生新的污染，实现资源的合理利用和环境保护的控制目标要求。在水泥工业处置生活垃圾方面，必须遵守如下原则：

(1)政府应在资源利用、利益分配等方面为水泥企业提供合适的政策支撑条件；

(2)处理过程应不干扰水泥生产系统的正常稳定运行，也不影响水泥熟料产品质量；

(3)处理过程不造成新的二次污染(如：重金属、二嗯英、臭气、其它有毒害的物质等)，水泥产品在后续使用、再生以及废弃处置过程中无重金属等渗透污染，不给人类健康和环境带来负面影响。

(4)水泥企业应根据生产系统的情况，确定合理的垃圾接纳量和接纳半径，并在处理过程中获得一定的经济利益。

(5)处置过程中的各项记录应具有可追溯性，不易被水泥生产过程固化的污染物需限制其浓度；烧成系统启动和停窑等非稳态过程不得擅自处置废弃物。

2 Sinoma的技术路线

由于我国城市生活垃圾为混合垃圾，为了不影响水泥熟料煅烧过程和产品质量，最大限度地提升水泥窑系统的接纳能力和过程控制能力，必须设置预处理系统。按水泥生产系统的接纳要求，将垃圾预处理分选，然后再进行精细化处理，在满足环境控制指标要求的同时，提高城市生活垃圾的利用价值和经济效益。

城市生活垃圾成分复杂，按照水泥窑协同处置垃圾综合利用要求，可将垃圾分为轻质可燃物、有机厨余物、无机混合物、渗滤液四大部分。轻质可燃物主要包括塑料、纸张、树枝、织物、橡胶等，经加工后用作原料；有机厨余物主要指厨房中产生的各种蔬菜、剩饭残余、动物内脏等，经过发酵抑制后低温烘干，用作原、燃料使用；无机混合物包括渣土、石块、砖瓦、玻璃、陶瓷、废砼等，直接用作水泥原料；处置过程如有稍量的金属也将被单独分选回收；渗滤液经污水系统处理达标后，可直接排放或用于灌溉。Sinoma利用新型干法水泥窑处理垃圾时的技术路线如图1所示。

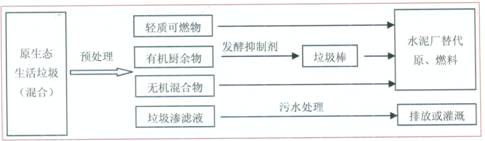


图1 利用新型干法水泥窑处理垃圾技术路线

除此以外，如果城市周边没有水泥生产线，可将预处理过程进一步延伸，作精细化处置，以满足进一步利用的要求。

3预处理过程的关键技术及控制要求

3.1影响水泥窑系统稳定和产品质量的主要因素及其控制指标

大量的实验研究和生产实践证明：决定水泥窑接纳城市生活垃圾能力的关键因素不是垃圾中主要化学成分高低，而是垃圾中的含水量、干扰成分及其主要化学成分的波动幅度，以及解决这些问题的代价高低。

3.1.1含水量

随季节的不同，垃圾的含水量差异很大，一般约为40％～70％，这是影响垃圾有效利用的重要因素之一，应严格加以调整和控制。根据水泥生产系统余热量的利用情况，决定进入系统的垃圾含水量，必要时应采用补充方法，对垃圾厨余物进行脱水处理，否则将会对水泥生产系统带来较大的影响。Sinoma在入窑垃圾含水量对窑系统稳定性的影响方面做了大量研究，结果表明：在控制水泥窑合适接纳量的情况下，其水分应控制在30％以内。

3.1.2钾、钠、硫、氯等干扰成分

众所周知，钾、钠、硫、氯是干扰现代新型干法系统正常稳定生产的重要因素，无论这些元素来自原料，还是燃料，均应给予重视。这些元素在高温烧成系统中，会随着时间的推移而产生富集，造成预分解系统、回转窑系统结皮、堵塞，干扰系统正常稳定运行。由于碱、氯属于高挥发性物质，在富集过程中可采用旁路放风技术加以控制。硫在高温过程中会生成SO2，也易循环富集，引起窑尾烟室结皮堵塞或窑内后结圈。由于硫挥发度低、相转变较快，难以采用旁路放风技术解决，应对其严格控制。此外，过高的碱、氯、硫的化合物也会对回转窑耐火材料造成化学侵蚀。因此，必须对上述腐蚀元素进行协同限量控制，其要求如下所述：

K20+Na20<1.0％、硫碱比S／R在0.6～1.0、Cl<0.015％～0.020％(若有旁路放风系统，Cl含量可适当放宽)

垃圾中氯含量比水泥原、燃料中的氯含量要高许多，实验分折和实践证明，在垃圾的这些干扰元素中，氯是决定性的因素，因此为提高城市生活垃圾处理量，应尽量控制城市生活垃圾中的氯含量，有条件可采用氯放风技术。

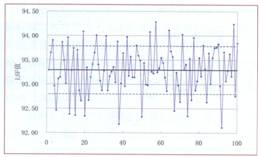
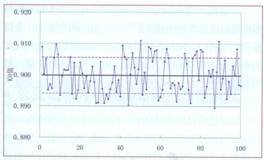


图2 熟料KH值随垃圾成分波动的变化情况 图3 熟料LSF值随垃圾成分波动的变化情况

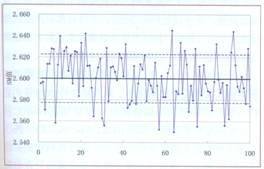
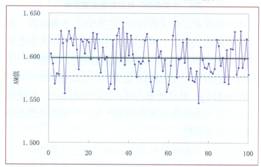


图4 熟料SM值随垃圾成分的波动情况 图5 熟料IM值随垃圾成分的波动情况

3.1.3生活垃圾成分波动对烧成系统的影响及控制

如果考虑一个5000t/d的水泥厂接纳450t/d生活垃圾，熟料率值正常控制要求分别为KH=0.900，LSF=93.29，SM=2.60，IM=1.60，生活垃圾焚烧后灰渣的掺入量（干基)占原料的3.770％。下面针对两种情况，分析生活垃圾成分波动对水泥熟料产品质量的影响。

(1)生活垃圾灰渣参与配料计算

在考虑生活垃圾掺入量不变的情况下，如果其焚烧后的灰渣成份产生±l5％波动时，熟料各率值的波动情况如图2～图5所示。图中粗线为平均值，虚线为标准偏差线范围。从图中不难看出，KH值处于0.890～0.910之间的概率达97％，SM值处于2.50～2.70之间的概率达l00％，IM值处于1.50～1.70之间的概率达100％。表1为各率值的平均值和标准偏差。从上述分析可以看出，在配料时考虑垃圾灰渣参与配料，其成分发生±15％的波动时，对熟料的烧成质量不会带来不利的影响。

表1 垃圾参与配料时熟料各率值变化

率值 KH LSF SM IM

平均值 0.900 93.292 2.600 1.598

标准误差 0.005 0.493 0.023 0.021

(2)生活垃圾不参与配料

在配料时不考虑生活垃圾的校正问题，当生活垃圾掺入量和率值控制不变的情况下，如果其焚烧后的灰渣成份产生±15％波动，熟料各率值变化情况如表2所示。从表2中不难看出，KH值降低了0.066，LSF值降低了6.14，SM值增加了0.018，IM值降低了0.159。随着垃圾接纳量的增加，影响和偏差则更大。由此可见，在配料过程中不采取措施对所配生料进行必要调整和配合，将会造成水泥熟料不合格等一系列问题。否则必须降低垃圾的处理量，才能确保水泥熟料质量达到控制要求。

表2 垃圾不参与配料时熟料各率值变化

率值 KH LSF SM IM

平均值 0.834 87.154 2.618 1.441

标准误差 0.004 0.410 0.022 0.017

比较上述两种计算结果可知：在利用水泥窑协同处置垃圾的过程中，必须考虑焚烧后灰渣参与配料计算问题，除非垃圾接纳量少到一定的规模。同时还要考虑垃圾灰渣成分波动范围可能对熟料烧成带来的影响，达到控制水泥熟料质量的目的。为了提高系统的垃圾处理能力，在垃圾预处理过程中必须对其进行均化处理。

3.1.4可燃物燃烧对烧成系统的影响及控制

Sinoma课题组对生活垃圾中约60余种可燃物的燃烧特性做了大量仔细的研究，三类典型可燃物的热失重曲线如图6所示。结果表明：垃圾中各可燃组分在空气中的热失重过程大致可分为三阶段：干燥阶段、挥发份析出燃烧阶段、固定碳燃烧阶段，其中大多数植物类的热值位于在15～20MJ／kg范围内，动物类位于20MJ／kg左右，合成类相对复杂，热值最低的棉纱布只有6.66MJ／kg，最高的聚乙烯可达47.4MJ／kg。垃圾中绝大部分可燃物的可燃性指数比煤的可燃性指数高得多，更容易燃烧。

此外，课题组还利用Fluent软件平台，模拟研究了回转窑内替代燃料用燃烧器的火焰特性及其他各物理场的情况，结果表明：替代燃料热量替代率为l5％时，替代燃料的加入并未给水泥窑热工状态带来不利影响。

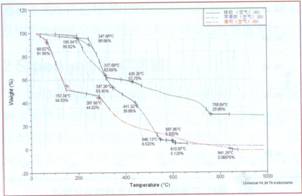


图6 三类典型可燃物的热失重曲线

3.1.5重金属含量对烧成系统的影响及控制

水泥生料中常见的重金属种类有Cu、Zn、Cd、Pb、Cr、Ni、Mn、As等，大量的水泥生产统计数据表明：其含量一般处于mg／kg数量级。生活垃圾中的常见重金属与生料中的类似，含量也处于同一数量级，因此，生活垃圾作为水泥生产的替代原、燃料时，不会超过安全生产的许可范围。

重金属对烧成系统的影响主要表现在重金属对熟料形成过程以及熟料质量等影响。大量的研究指出：含量低于0.5％的Cr、Ni和Zn可以降低f-Ca0的含量，对于C3S的形成没有任何影响；Mn02可以提高C3S的含量，其固溶度大约是l％；Ni优先进入铁相，即使很高含量，对于熟料的形成和水化作用都不明显；0.5％的Cu0至少可以把烧成温度降低50℃，1％的Cu0可以降低60％的f-Ca0。由此可知：生料中的重金属含量只有达到百分数量级上，才会对熟料中f-Ca0含量、熟料的化学组分和矿物组成等产生不良影响。生活垃圾中的重金属含量均属微量，不会超过1‰，因此，不会对水泥产品的质量带来不利的影响，相反有些重金属元素还具有助熔剂或者矿化剂的作用，对熟料的煅烧过程有利。

重金属随烟气、粉尘排放到大气中的浓度受其挥发性、在熟料中的固化率、以及粉尘中含量等的影响。水泥回转窑内的煅烧温度一般控制在1400℃以上，难挥发的重金属(如Zn、Cu、C0、Ni、Cr、Pb、Cd等)90％以上会发生化合反应，进入熟料相的矿物晶格内，其中即使有一定挥发性的重金属也只在窑和预热器系统内形成动态平衡的内循环，最终被固化在水泥熟料中，很少带出窑外；极少数挥发性金属(如Hg)以气相状态或者吸附在微细粉尘上，往复于系统循环，仅有痕量随烟气排出。Sinoma课题组在入窑重金属总量、重金属逃逸率均取最大值的苛刻情况下，模拟计算了附着在微细粉尘中重金属的排放浓度，技术合作方也分别2005年和2009年针对利用水泥窑处置相关废弃物时，检测了废气出口中各种重金属排放浓度，结果如表3所示：

表3 模拟计算与实际生产中重金属排放浓度(mg/m3)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | As | Cd | Cr | Cu | Hg |
| 模拟计算 | 0.008 | 1.93×10-4 | 0.011 | 0.005 | 9.85×10-5 |
| 水泥厂1 | 6.1×10-5 | 9×10-6 | 2.99×10-4 | 1.9×10-3 | 2.15×10-2 |
| 水泥厂2 | 0.007 | ＜3×10-6 | 0.009 | ＜2×10-4 | 1.34×10-3 |
| 类别 | Ni | Pb | Tl | V | Zn |
| 模拟计算 | 0.007 | 0.059 | 0.002 | 0.007 | 0.091 |
| 水泥厂1 | 1.24×10-3 | 4.6×10-4 | — | — | — |
| 水泥厂2 | ＜3×10-6 | 0.020 | ＜5×10-5 | 0.008 | — |
| 重金属浓度(mg/m3) | Cd+Pb | Cd+Tl | Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V | As+Be+Cr | Hg |
| 欧盟限制 | — | 0.5 | 0.5 |  | 0.05 |
| 美国限制 | 0.67 |  | — | 0.063 | 0.072 |
| 我国GB50295-2008 | Cd+Tl |  | 重金属总量 | Hg |  |
| 0.05 |  | 0.5 | 0.05 |  |
| 我国GB18485-2001 | Pb | Cd | — | Hg |  |
| 1.6 | 0.1 | — | 0.2 |  |

从表3可看出，模拟结果和实际生产过程中，各重金属含量的排放浓度处于痕量级别，均远远低于美国、欧盟及我围GBl8485—2001和GB50295—2008等规范的限值，不会对

4处置过程对环境的影响及控制要求

在垃圾预处理和利用水泥窑焚烧垃圾的过程中，存在或产生硫化氢、硫醇、胺类等恶臭气体的可能性；同时还可能产生二嗯英，以及在烟气中附加的其它有毒有害气体，因此必须采取技术措施消除和尽量降低这些物质，达到环境保护的的指标控制要求。一般情况下，城市生活垃圾不会含带超剂量的放射性物质，在水泥生产过程中，也不会产生大量焦油，在此对其不做评述。

4.1恶臭气体的控制

Sinoma课题组开展了有机厨余物发酵及其抑制实验，常见的臭气成分见表4所示。结果表明：加入l0％的抑制剂后，可以在60hr内明显抑制生活垃圾发酵过程、有效控制臭气的产生，为垃圾的无臭处理提供时间保证。技术研究合作单位某水泥厂于2009年4月，针对水泥窑处置相关废弃物时，检测了废气出口中复合臭气的排放浓度”，结果如表5所示。

表4 几种主要臭气成分

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 化合物 | 典型分子式 | 特性 | 嗅觉阈值\*(ppm) |
| 胺类 | CH3NH2，(CH3)3N | 鱼腥味 | 0.0001 |
| 氨 | NH3 | 氨味 | 0.037 |
| 二胺 | NH2(CH2)4NH2  NH2(CH2)5NH2 | 腐肉味 | — |
| 硫化氢 | H2S | 臭鸡蛋味 | 0.0005 |
| 硫醇 | CH3SH,CH3SSCH3 | 烂洋葱味 | 0.0001 |
| 粪臭素 | C8H5NHCH3 | 粪便味 | 3.3×10-7 |

注：\*嗅觉阈值指可以嗅觉气味存在的感觉阈值。

表5 某水泥厂处置废弃物时复合臭气的排放浓度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 检测结果 | |
| 烟囱高度(m) | 排放浓度(无量纲) |
| 臭气 | 100 | 1738 |
| GB14554-1993 | ≥60 | 60000 |

注：\*臭气浓度是指用无臭的清洁空气对臭气样品连续稀释至嗅辨员阈值时的稀释倍数，是根据嗅觉器官试验法对臭气味的大小予以数量化标志的指标。

由表5不难看出，臭气的排放浓度远低于国家标准规定的限值，表明合理的操作和处理方式能有效控制垃圾不发酵或产生臭气，不会对环境造成影响。

4.2固体类污染物的控制

4.2.1类生料粉尘

现有的水泥生产系统具有先进的除尘系统，实践证明：粉尘的排放浓度完全能够满足30mg／m3的现有控制标准。利用现代干法水泥生产系统焚烧生活垃圾，并没改变原有系统的固体粉尘排放点和排放量。因此，水泥生产系统原有的收尘系统，完全能够有效地满足环保规范的控制要求。

4.2.2二嗯英

利用水泥窑炉焚烧处置垃圾的过程，不具备二嗯英产生的条件，从而能有效地抑制二嗯英的产生，具体的论述如下：

(1)从源头上减少了二嗯英产生所需的氯源

为了保证窑系统操作的稳定性和连续性，现代干法水泥生产系统常对生料中干扰生产操作的Cl-的含量进行控制。一般情况下，进入烧成系统的Cl-总含量低于0.015％～0.02％。而这部分Cl-在水泥煅烧系统内可以被水泥生料完全吸收，以氯硅钙石(2Ca0·Si02·CaCl2)的形式存在，最后夹带在熟料矿物中被带出烧成系统。即使在900℃～1000℃之间，氯以气态离子状态存在，经冷却后直接形成无机盐，可采用旁路放风系统排出，不会形成有机的多氯联苯物质，即二嗯英有机物。

(2)高温焚烧确保二嘿英不易产生

为确保不产生二嗯英，国家标准GBl 8485—2001《生活垃圾焚烧污染控制标准》中规定的焚烧炉技术要求指标为：烟气温度≥850℃，烟气停留时间≥2s，或烟气温度≥1000℃，烟气停留时间≥1s。

在分解炉底部，温度均在900℃以上，气体停留时间大于7s，固体物料的停留时间高达20s以上，而回转窑中气相温度最高可达l800℃以上，物料温度约为1450℃，因此，无论将垃圾的可燃物加入分解炉或回转窑，都完全可以保证有机物的完全燃烧和彻底分解，杜绝了二嗯英的产生条件。

此外，在燃烧过程中高温气流与高温、高细度的碱性物料(Ca0、CaC03、Mg0、K20、Na20等)充分接触，有利于抑制二嗯英的产生。

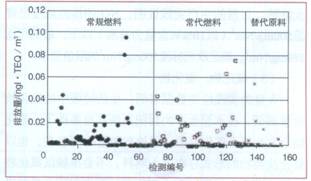


图7 德国二噁英检测结果

图7为德国某机构针对常规燃料、替代燃料和替代原料的多条水泥窑检测结果。从大量的检测结果中不难看出，在160个检测样中，二嗯英有机物的浓度均在0.1ngTE／m3以内，大多数情况在0.002～0.05ngTEQ／Nm3，其平均值约为0.02ngTEQ／Nm3。

技术研究合作方某水泥厂于2009年，针对水泥窑处置相关废弃物时，检测了其废气出口中颗粒物粉尘和二嗯英排放浓度，结果如表6所示。

表6 某水泥厂处置废弃物时固体颗粒物排放浓度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 粉尘(mg/Nm3) | 二噁英(ng/TEQ/Nm3) |
| 检测结果1 | 19 | 0.0032 |
| 检测结果2 | 5.4 | 0.083 |

项目 粉尘(mg/Nm3)

二噁英(ng/TEQ/Nm3)

检测结果1 19 0.0032

检测结果2 5.4 0.083

由表6可知：采用现代干法水泥窑系统处置生活垃圾时，能够有效地抑制二嗯英的产生，其排放浓度完全能够控制在国标GB 50295—2008中0.1ng／Nm3的限值以下，达到国家规定的环保标准要求。

4.3其它毒害气体的控制

(1)硫的氧化物(S0x)

水泥生产系统本身就是一种脱硫装置，其燃烧产生的S0x将和生料中的碱性金属氧化物生成相应的钙硅硫酸盐等矿物(2(C2S)·CaS04；CaS04·1.75Si02；2CaS04·K2S04；3Na2S04·CaS04等)，随熟料排出窑外。因此随气体排放到大气中的S0x，一股情况下低于20mg／Nm3，完全能够满足现行国家环保要求的200ng/Nm3。

(2)氮氧化物(N0x)

sinoma课题组开发设计了新一代的低N0x水泥生产系统，具体做法如下：

①采用新型高效多介质煤粉燃烧器；在不降低火焰整体温度的情况下，消弱火焰峰值温度，并在根部产生相当量的还原气氛，以降低高温煅烧过程中的热力NOx的产生。

②在回转窑窑尾和分解炉之间增设一个有效的脱氮还原区，用于还原高温产生的NOx。两项技术综合作用的结果，使得现有的水泥生产系统NOx排放量大大降低。目前的生产实践证明，NOx的排放浓度已降至500mg／Nm3(以10％氧含量为基准)以下，最低可达289mg／Nm3。满足欧洲标准500mg／Nm3的限值要求。

(3)氟化物、氯化物

大量的实践检测数据表明：生活垃圾中的氟化物含量很低，在水泥生产的封闭系统高温条件下，氟化物会发生复合矿化反应，即使有微量的F-存在，也以复合盐类物的形式存在进入熟料，不会单独以氟化物的形式进入大气中。在水泥生产过程中Cl不会单独以HCl的形式存在，不必担心利用水泥窑炉处置城市生活垃圾时会产生HCl对环境造成影响。

技术研究合作单位某水泥厂于2009年，针对水泥窑处置相关废弃物时，检测了废气出口中有毒有害废气污染物的排放浓度，结果见表7。

表7 废气污染物排放浓度限值及检测结果(mg/m3)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 二氧化硫 | 氮氧化物 | 氯化氢 | 氟化物 |
| 检测结果 | ＜3 | 439 | ＜0.9 | ＜0.06 |
| 国标 |  |  |  |  |
| GB50295-2008 | 50 | 500 | 10 | 1 |
| 国标 |  |  |  |  |
| GB4915-2004 | 200 | 800 | — | 5 |

由表7不难看出，焚烧废弃物后，各主要有毒有害气体的排放浓度均低于国家相关标准规定的限值，不会对环境造成影响。

4.4有机厨余物处置过程的环境指标控制

(1)低温烘干时的控制情况

经预处理系统分选出来的厨余物，在添加发酵抑制剂后，压制成型，再与原料混合后进入生料粉磨系统，进行低温烘干处理，出磨气体温度控制90℃～ll0℃。Sinoma课题组对烘干后的气体进行了多次采样分析，其分析结果如图8所示。

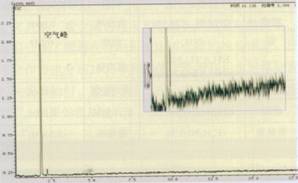


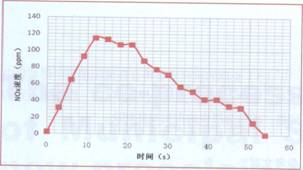
图8磨机出口气体GC—MS分析图

从图8中不难看出，磨机出口气体中只有空气峰，无其它气体峰，可能原因是其他气体含量很少，低于仪器的检测限而无法检出。这表明有机厨余物在立磨内低温烘干过程中无显著毒害物质产生。实际生产过程中依靠人的嗅觉也无明显异味存在。

(2)中高温燃烧时的控制情况

sinoma课题组针对混入发酵抑制剂后的有机厨余物进行了中高温燃烧实验研究，将混有抑制剂的有机厨余物以堆积态方式置入管式炉内，通过加热至不同温度，测得其产生的气体成分，结果表明，加热在300℃以下时，混有生料的有机厨余物基本无气体产生；加热至500℃以上时，产生的气体中仅含有微量的挥发性长链酯类物质。

将含有厨余物的合格生料粉放入自动控制的高温悬浮实验装置，通过加热至532℃，测量了含厨余生料在高温悬浮态情况下N0x的产生量，其中试样量为3004mg，空气通入量为6 L／min，结果如图9所示。



由图9不难看出，在本实验条件下，随着反应时间的增加，N0x的浓度出现了先增加再减小的趋势，且其峰值浓度不到120ppm，不会对环境造成不良影响。

图9含厨余生料在高温悬浮态下N0x的产生规律

4.5渗滤液的处理

垃圾渗滤液是一种成分复杂的高危害有机废水，必须加以处理，才能排入环境，否则会造成严重的污染。城市生活垃圾渗滤液的处置大致可分为两种情形，一是经必要的预处理后汇入城市污水处理厂合并处理，二是在垃圾处理场区内进行专门的现场处理。将垃圾渗滤液直接排人城市污水处理厂合并处理，可节省单独建设渗滤液处理系统的费用，降低处理成本，是最为简单的处理方案。但应严格监控渗滤液特有的水质及变化特点，否则将对城市污水处理造成冲击。

我国垃圾渗滤的处理已取得丰富的经验，且有很多可参照的成功典例。若采用现场单独处理时，应针对渗滤液水量、水质波动大，成份复杂，有机物含量多，BOD、COD和氨氮浓度高等特点，详细测定垃圾渗滤液的各种成份，根据实际情况选择合理的工艺组合。

4.6水泥产品中重金属的扩散与渗透

在水泥产品的长期使用过程以及水泥构件作为废弃物处置时，重金属会随着周边环境的变化而发生迁移，不可避免地会对周边环境安全性带来一定的影响，而影响的程度则是人们关心的主要内容。sinoma课题组设计了更新浸取液的长期浸出试验，模拟水泥制品在实际应用过程中，雨水尤其酸雨的反复淋滤等较为严格的场景下重金属的浸出特性，长期浸泡的实验结果如图l0所示；并通过翻转振荡实验，考察了作为废弃物时胶砂样品中重金属浸出迁移性，结果如表8所示。

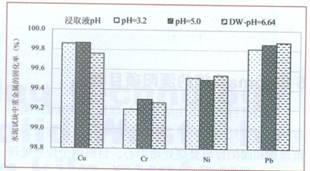


图10长期浸泡实验各重金属的固化率

表8 各种翻转振荡方式试验结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验方法 | Cu | Zn | Cd | Pb | Cr | Ni | Mn | As |
| 浸出液浓度(μg/L) | | | | | | | | |
| HJ/ T299-2007  (pH=3.2酸液) | ＜0.25 | 13.0 | ＜0.6 | 7.10 | 31.8 | 7.53 | ＜0.5 | 46.3 |
| TCLP  (pH=2.88HAc) | 2.93 | 8.29 | ＜0.6 | ＜1.2 | 1291.5 | 35.2 | 1.09 | 60.6 |
| HJ/ T300-2007  (pH=2.64HAc) | 3567.5 | 5966.0 | 92.48 | 472.8 | 2719.5 | 1345.9 | 3117.3 | 577.6 |
| GB5085.3-2007中允许最高浓度(μg/L) | 100,000 | 100,000 | 1,000 | 5,000 | 5,000(Cr(Ⅵ))15,000(总Cr) | 5,000 | - | 5,000 |

研究结果表明：各重金属的表面浸出率均小至10-5cm·d-1数量级，浸泡l80d后，水泥制品对Cu、Cr、Ni、Pb的固化率均在99％以上，这表明在水泥产品使用过程中，重金属的渗透是一个缓慢而长期的过程，不会发生重金属的渗透污染。由表8可知，即使使用pH=2.64的醋酸作为浸取液，所有浸出液中的重金属浓度亦远低于GB5085.3-2007危险废物鉴别标准浸出迁移性鉴别的要求，说明水泥构件作为废弃物填埋处理时，重金属不会对环境造成浸出危害。

5 Sinoma实施的溧阳项目概况

溧阳市目前城市生活垃圾处理量为450t／d，溧阳市共有垃圾处理场两座，分别是溧阳市生活垃圾卫生填埋场和溧阳垃圾焚烧处理中心，目前两个垃圾处理场已处于超负荷运转状态。

溧阳市利用水泥窑无害化协同处置500t／d生活垃圾示范线项目，将建于江苏省溧阳市上兴镇，厂址选择拟定在溧阳市生活垃圾填埋场及江苏天山水泥集团有限公司溧阳分公司厂区内，年处理溧阳市城市生活垃圾总量18.25万t。本工程拟分两期投资建设，一期投资约7200万元，建设日处理500t城市生活垃圾处理线；二期工程投资约4500万元，建设有机厨余物发酵、沼气发电系统设施，二期工程是对一期工程分选出的有机厨余物进行深度处理，实现资源的再生利用。

本项目建成后可以消解溧阳市每天产生的450t生活垃圾，不需要再规划相应的生活垃圾填埋用地，节约了土地资源。将生活垃圾中可燃物和无机物分别作为水泥生产的替代原料和燃料，提高了生活垃圾资源回收再利用。处理过程不会产生二次污染，确保了生活垃圾处理的“无害化、资源化、集约化”处置目标。本项目的建成有助于溧阳市循环经济的发展，改善城市环境，具有很好的社会效益和环境效益。

6 结束语

综合上述分析不难得出以下共识：

理论分析和实践生产检测的结果均表明，在利用水泥窑炉协同处置城市生活垃圾时：

(1)能有效的控制粉尘、有毒有害气体的排放，使其排放浓度低于国家相关规范的控制要求限值；

(2)系统出口废气中附着的重金属和二嗯英的排放浓度均远低于国标GB 50295-2008中的控制要求限值，也满足欧美等发达国家的相关标准的要求；

(3)添加l0％的发酵抑制剂，可以在60hr为明显抑制生活垃圾发酵过程，有效地控制臭气产生，为厨余物的有效合理利用提供了条件。

(4)水泥产品在后续使用、再生以及废弃处置过程中，有关重金属的扩散和渗透对环境的影响能满足GB5085.3-2007的要求，不会对环境造成不良影响。

(5)长期的研究成果将会在溧阳项目中得到集中展示。也许在以后的生产过程中存在一些预想不到的问题，相信会很快的得到彻底解决。

