

# 2014第四届



## 中国水泥工业协同处置废弃物国际会议

2014 FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE CHINESE CEMENT INDUSTRY CO DISPOSAL OF WASTES

# 论文集

主办单位 协办单位

中国(上海)国际技术进出口交易会组委会执行办公室

华新环境工程有限公司

上海产业技术研究院

北京金隅红树林环保技术有限责任公司

上海建筑材料(集团)总公司

中材国际环境工程(北京)有限公司

承办单位

赞助单位

中国水泥网

安徽海螺川崎工程有限公司

中信重工机械股份有限公司

北京恩萨工程技术有限公司

杭州万得斯环保科技有限公司

# 清洁我们的生活环境

## 提供信赖的建筑材料

- ★ **品牌定位：生态环境保护专家**
- ★ **品牌价值观：诚信于心 责任于行 价值奉献 探索求新**
- ★ **环保处置：城市生活垃圾 市政污泥 漂浮物 危险废物及有机污染土**
- ★ **环保宗旨：安全 无害 资源 稳定**



### 华新环境工程有限公司

华新环境工程有限公司是华新水泥股份有限公司的全资子公司，公司以华新10余年对环保领域探索的实践经验为基础，以“降低能耗、技术领先、社会效益高、可持续发展”为理念，结合国际先进的水泥窑协同处置固体废弃物技术，倾力打造节能减排、绿色环保产业。

公司主要负责开展水泥窑协同处置和生态工厂建设，环保业务涵盖城市生活垃圾、市政污泥、水面漂浮物、危险废物、污染土、一般工业废弃物等。到目前为止，华新环境工程有限公司已在北京、上海、广东、湖南、河南、重庆及湖北等地成功开展了水泥窑协同处置环保业务，旗下已拥有13家分子公司。污染土、坝区漂浮物、生活垃圾处置等技术通过了湖北省科技厅的科技成果鉴定，并获得了9类危险废物处置经营许可证和60余项国家专利。





# @ 上网容易 坚持不易 且行且珍惜

**1997年** 中国水泥网雏形“中国水泥在线”上线  
**2000年** 获原国家建材局的正式授权，开始运营“中国水泥网”  
**2003年** 开始市场化运作，推出高级会员等多种服务  
**2005年** 第一所“中国水泥阳光小学”在云南永宁正式落成  
**2008年** 首次公布水泥企业熟料产能百强排行榜  
**2009年** 在行业内率先策划组织“通达中国水泥万里行”  
**2010年** 中国水泥研究院正式挂牌  
**2011年** 推出中国水泥工业第一家备品备件交易网站——中国水泥备件网

**2013年** 由中国建筑材料联合会、中国水泥协会、中国水泥网联合主办的“遏制水泥新增产能，加快第二代新型干法水泥技术装备研发万里行活动”启动  
**2014年** 推出水泥现货交易平台 首次发布中国水泥价格指数



## Contents 目录

01	对我国水泥企业燃料替代技术再思考
11	水泥窑协同处置生活垃圾技术介绍
27	利用新型干法水泥窑系统处置城市生活垃圾技术介绍
33	回转窑掺入颗粒状生活垃圾灰渣对水泥熟料性能影响的研究
39	SFL水泥烧成系统垃圾焚烧技术
43	试论我国水泥工业的利废发展方向
49	广州越堡水泥有限公司污泥处置和资源化利用情况介绍
59	关于水泥窑协同处置下水道污泥的做法
63	我国污泥处理处置的规划研究
67	水泥窑协同处置生活污水技术
75	水泥窑协同处置污泥技术探讨
85	污泥改性脱水和水泥窑协同处置新工艺介绍及经济和环保性评价
99	服务绿色北京 将企业打造成为首都的城市净化器——北京市琉璃河水泥有限公司绿色水泥发展之路
109	高湿废渣和污泥的烘干处理及工艺设备特点分析
113	水泥窑处置污泥仓储泵送系统
121	利用水泥窑协同处置污泥技术介绍
123	北京市污水处理厂污泥处理与处置探讨
129	水泥窑协同处置污泥技术工业试验研究



### 危险废物详细分析单

BJ-J-101-74

分析单编号: 2014011706  
 采样时间: 2014年1月17日  
 采样地点: 外送  
 危险废物编号:  
 完成时间: 2014年1月28日  
 采样人: 刘长江

废弃物基本信息表:

废弃物名称/编号	燃料棒	本批次数(重量)
废弃物来源	替代燃料制备车间	包装说明
物理形态	固态	其它说明

基本数据:

水分/%	20.75
热值 4779.5(生态岛) 4467.2(北水) (kcal/kg)	
烧失量/%	81.01(湿基)
挥发率/%	86.61

重金属 (mg/kg):

总砷	3.7582	总汞	5.9804	总铅	39.1503
总镉	9.085	总锰	232.9412	总硫	6.4082
总铬	58.2353	总镍	21.9608	总铜	0.7516
总钒	54.902	总磷	1777.7778	总锡	3.6275



燃料棒原样 荧光分析数据:

表1 燃料棒测试的数据



图3 破碎前后的片状类工业杂物

## 一、适合我国水泥企业燃料替代的大宗废物种类的认识

### 1、燃料棒（片状物）：这些燃料替代品来源于生活垃圾筛上物，主要成分如下：

测试项目	测试结果	单位	测试人	校核人	备注
1 Na <sub>2</sub> O	2.756	%	张进同	郑青田	
2 MgO	6.663	%	张进同	郑青田	
3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.792	%	张进同	郑青田	
4 SiO <sub>2</sub>	41.132	%	张进同	郑青田	
5 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.742	%	张进同	郑青田	
6 SO <sub>3</sub>	2.043	%	张进同	郑青田	
7 FeO	0.889	%	张进同	郑青田	
8 CaO	20.794	%	张进同	郑青田	
9 TiO <sub>2</sub>	2.391	%	张进同	郑青田	
10 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.046	%	张进同	郑青田	
11 MnO	0.130	%	张进同	郑青田	
12 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.990	%	张进同	郑青田	
13 NiO	0.018	%	张进同	郑青田	
14 CuO	0.026	%	张进同	郑青田	
15 ZnO	0.057	%	张进同	郑青田	
16 As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	%	张进同	郑青田	
17 Rb <sub>2</sub> O	0.004	%	张进同	郑青田	
18 SrO	0.059	%	张进同	郑青田	
19 Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.005	%	张进同	郑青田	
20 ZrO <sub>2</sub>	0.029	%	张进同	郑青田	
21 PbO	0.002	%	张进同	郑青田	
22 Cl	0.430	%	张进同	郑青田	

分析说明: 烧后物质的量, 归一前总和: 96.0%

### 2、燃料球及煤气

(1)燃料球: 这些燃料替代品来源于生活垃圾等废物, 主要成分如下:

表2 燃料球的物理化学特性

项目	符号	单位	燃料样品1	燃料样品2
1. 工业分析				
收到基全水分	Mt	%	22.2	24.0
空气干燥基水分	Mad	%	2.52	2.37
收到基灰分	Aar	%	27.95	28.32
收到基挥发分	Var	%	27.69	27.90
干燥无灰基挥发分	Vdaf	%	55.58	58.51
收到基低位发热量	Qnet, ar	MJ/kg	13.07	12.02
2. 哈氏可磨指数				
HGI				
3. 冲刷磨损指数				
Ke				
4. 元素分析				
收到基碳	Car	%	35.01	32.49
收到基氢	Har	%	2.87	2.72
收到基氧	Oar	%	9.63	10.38
收到基氮	Nar	%	1.84	1.57
全硫	Star	%	0.51	0.51

5. 灰熔化温度				
灰变形温度	DT(T1)	°C	1190	1160
灰软化温度	ST(T2)	°C	1220	1190
灰熔化温度	FT(T3)	°C	1250	1220
6. 灰分析资料				
二氧化硅	SiO <sub>2</sub>	%	45.00	45.37
三氧化二铝	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	16.82	14.93
三氧化二铁	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5.05	4.88
氧化钙	CaO	%	10.88	13.74
二氧化钛	TiO <sub>2</sub>	%	0.74	0.68
氧化镁	MgO	%	4.22	5.37
氧化钾	K <sub>2</sub> O	%	2.58	2.21



图4 燃料球

燃料球可以在相关设备内焚烧，如锅炉、预燃炉、热盘炉、热解炉等装备。

(2)煤气：燃料球通过煤化工技术，制成煤气，代替水泥窑部分燃煤；结合尾气治理除氮、除硫、除粉尘、除二恶英措施，代替锅炉部分燃煤。

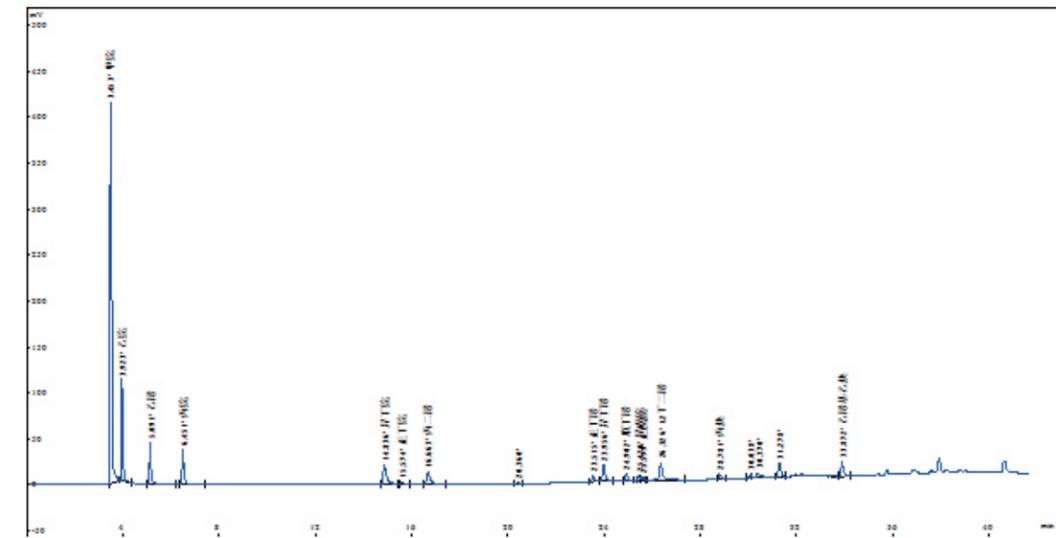
表3 燃料球制煤气的气体色谱分析报告

打印时间：2013年3月19日，8时54分11秒

进样时间：2013年3月14日，16时46分53秒

样品分析报告

样品编号：(1000立方米/小时)



序号	保留时间	名称	浓度	峰面积	序号	保留时间	名称	峰面积%	峰面积
1	3.453	甲烷	5386	1249933	1	3.453	甲烷	41.87	1249933
2	3.923	乙烷	690.4	299042	2	3.923	乙烷	10.02	299042
3	5.091	乙烯	390.5	178749	3	5.091	乙烯	5.987	178749
4	6.451	丙烷	296.3	181297	4	6.451	丙烷	6.072	181297
5	12.698	环丙烷	0	0	5	14.836	异丁烷	6.576	196340
6	13.262	丙烯	0	0	6	15.574	正丁烷	0.4736	14141
7	14.836	异丁烷	275.3	196340	7	16.663	丙二烯	3.915	116879
8	15.574	正丁烷	22.73	14141	8	20.360		0.2396	7153
9	16.663	丙二烯	280.7	116879	9	23.515	正丁烯	1.537	45893
10	18.880	乙炔	0	0	10	23.956	异丁烯	3.989	119108
11	22.638	反丁烯	0	0	11	24.902	顺丁烯	1.718	51303
12	23.515	正丁烯	80.09	45893	12	25.420	异戊烷	0.7606	22711
13	23.956	异丁烯	211	119108	13	25.599	正戊烷	0.5469	16328
14	24.902	顺丁烯	111.7	51303	14	26.326	1,2丁二烯	6.337	189210
15	25.420	异戊烷	35.41	22711	15	28.781	丙炔	1.103	32939
16	25.599	正戊烷	34.49	16328	16	30.038		0.5657	16891
17	26.326	1,2丁二烯	627	189210	17	30.370		1.932	57696
18	27.848	1,3丁二烯	0	0	18	31.278		3.145	93898
19	28.781	丙炔	79.54	32939	19	33.872	乙炔基乙炔	3.216	96028
20	33.872	乙炔基乙炔	227.2	96028					
总计			8748	2809901	总计			100	2985539

样品分析人：蔡先明  
分析日期：2013.3.14

在中试阶段，每小时产生1000立方米煤气，煤气热值为1146kcal/m<sup>3</sup>，未来应用于产业化阶段，通过调节水蒸汽压力，可以达到1200 kcal/m<sup>3</sup>。



图5 煤气在燃气锅炉内燃烧

3、生活污水：通过干化后，可以替代水泥窑部分燃煤，含水28%左右的干化后的污泥热值为2900kcal/kg以上（因污泥中含油率不稳定，热值存在波动）。



图6 含水28%左右的干污泥

## 二、预处理工艺

### 1、燃料棒

(1)燃料棒的处置工艺

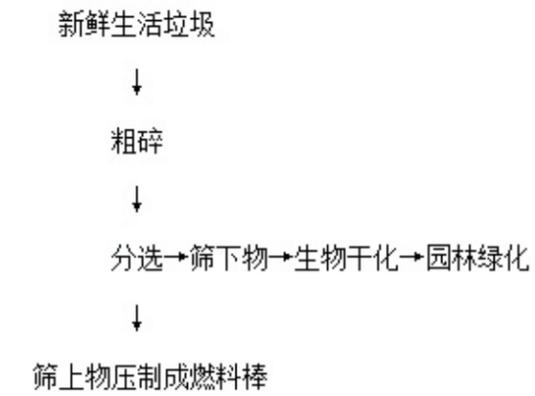


图7 新鲜生活垃圾、筛上物、燃料棒



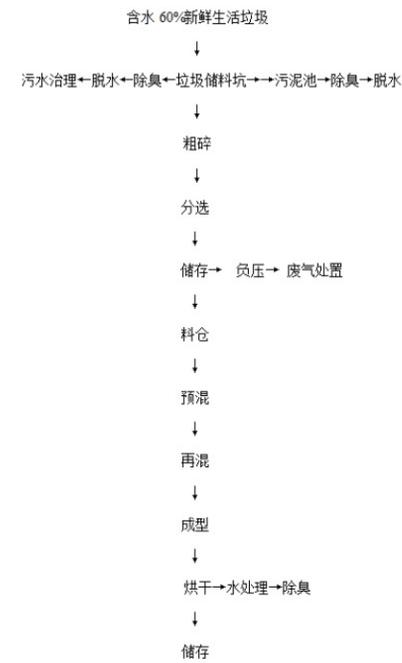
图8、筛下物经生物发酵后堆肥

(2)片状物：许多公司有工程案例，不再详述。

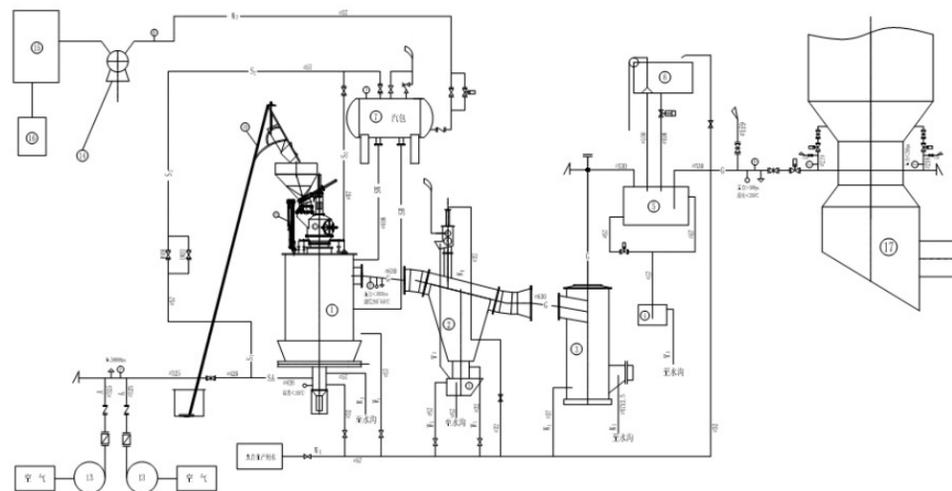
新鲜生活垃圾→粗破碎→分选→干化→细破碎

## 2、燃料球及煤气

### (1)燃料球制作工艺



### (2)煤气制作工艺



3、生活污水：许多公司有工程案例，不再详述。

## 三、入窑方式

当把各种废物制成含水小于20%的燃料棒、燃料球、片状物后，在水泥厂焚烧废物的入窑方式变得简单。如：通过预燃炉、热盘炉、热解炉、输送设备直接入窑焚烧等工艺。



图9 物料通过提升机入窑方式

## 四、技术指标

### 1、片状物料经预处理后输送给水泥企业的替代燃料建议指标

- (1)、筛上物粒径  $\leq 100\text{mm}$
- (2)、Cl  $< 1\%$
- (3)、灰份  $< 30\%$
- (4)、焚烧最低热值  $> 11000 \text{ kJ/kg}$
- (5)、温度  $\leq 50^\circ\text{C}$
- (6)、S  $< 1\%$
- (7)、 $\text{H}_2\text{O} < 20\%$

### 2、煤气的质量控制最低标准

- (1)、 $Q > 1200 \text{ kcal/m}^3$
- (2)、 $\text{CO}_2 < 8\%$
- (3)、 $\text{CO} > 20\%$
- (4)、 $\text{H}_2 = 10-18\%$
- (5)、 $\text{O}_2 < 0.80\%$
- (6)、 $\text{CH}_4 = 1.00-2.85\%$

公司是北京金隅集团水泥企业处置各种废物、转型升级的主要总承包单位之一，实施交钥匙工程，同时承担对外合作项目。

# 水泥窑协同处置生活垃圾技术

## ——技术介绍

Sinoma 中材国际  
中国中材

### 1、我国城市生活垃圾的现状

#### 1.1、国内城市生活垃圾产生情况

目前我国未经处理的城市生活垃圾累积堆存量已达70多亿吨，侵占土地面积5亿多平方米。2003年以后，城市生活垃圾量总量基本上稳定在每年1.5亿吨左右，预计2015年、2020年分别为2.60亿吨、3.23亿吨。

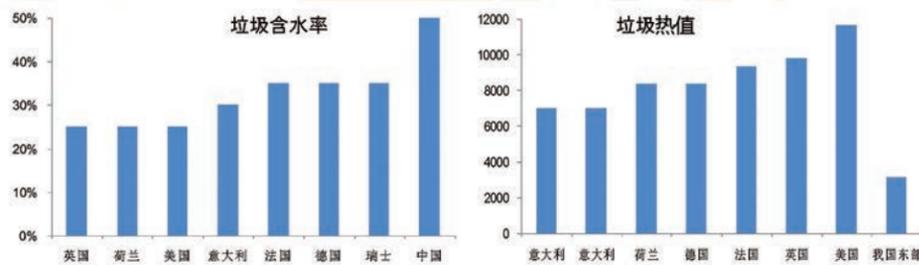


1.2、国内城市生活垃圾组成

城市	年份	可燃物 (%)				厨余 (%)	无机物 (%)		金属 (%)	
		纸类	塑料橡胶	竹木	织物		玻璃	渣石土砂		
上海	1998	8.77	13.48	1.27	1.90	67.33	5.15	1.37	0.73	
天津	1999	19.40	20.36	1.77	1.35	48.42	4.04	2.61	0.33	
深圳	2000	特区	8.60	16.90	4.20	9.80	51.00	2.50	1.80	0.90
		宝安区	7.80	21.70	2.80	11.40	45.40	2.50	2.10	1.20
		龙岗区	7.10	17.20	4.20	12.20	47.30	2.20	2.60	1.60
广东	广州	1998	5.63	15.59	5.86	4.44	47.86	4.39	14.92	0.55
	中山	1999	5.87	19.40	11.20	3.20	47.47	1.60	11.20	1.07
杭州	1997	3.68	7.63	1.20	2.23	58.19	2.09	24.00	0.98	
青岛	1997	4.00	11.20		3.20	42.20	2.20	36.10	1.10	
佳木斯	2000	8.94	12.88			38.43	2.93	29.07	0.74	
西安	1997	3.35	7.93	3.94	2.48	15.74	1.84	63.52	1.20	
南京	2003	4.50	13.00	3.20	0.10	17.40	0.50	61.10		
铜陵	2005	2.80	8.80	0.90	0.90	79.50	1.80	63.52		
北京	2009	7.11	22.50	12.27	2.94	44.90		10.35		
统计	平均	6.97	14.90	4.40	4.32	46.51	2.60	23.16	0.95	
	合计	30.59				46.51	25.76		0.95	
	含水率	~35				~85	~15			

国内垃圾变化趋势：可燃有机物逐年增加，无机物和厨余在逐年减少。

1.3、国内外垃圾的差异比较

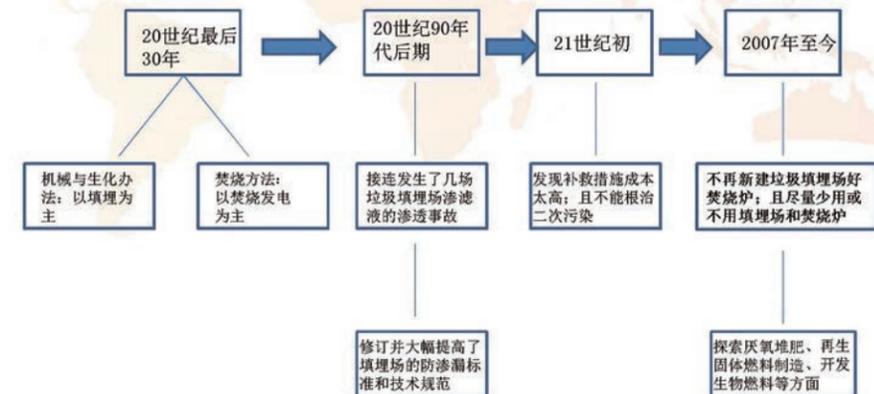


差异性的原因：  
 1、社会物质文化生活水平的差异；  
 2、垃圾产生源头控制规范性差异；  
 3、是否存在专门处理机构的差异；

一般认为：  
 垃圾的热值高于：3300kJ/Kg  
 才能不依靠补燃焚烧。  
 垃圾的热值高于：5000kJ/Kg  
 才能适宜于燃烧发电。

1.4、国内外垃圾处理的差异比较

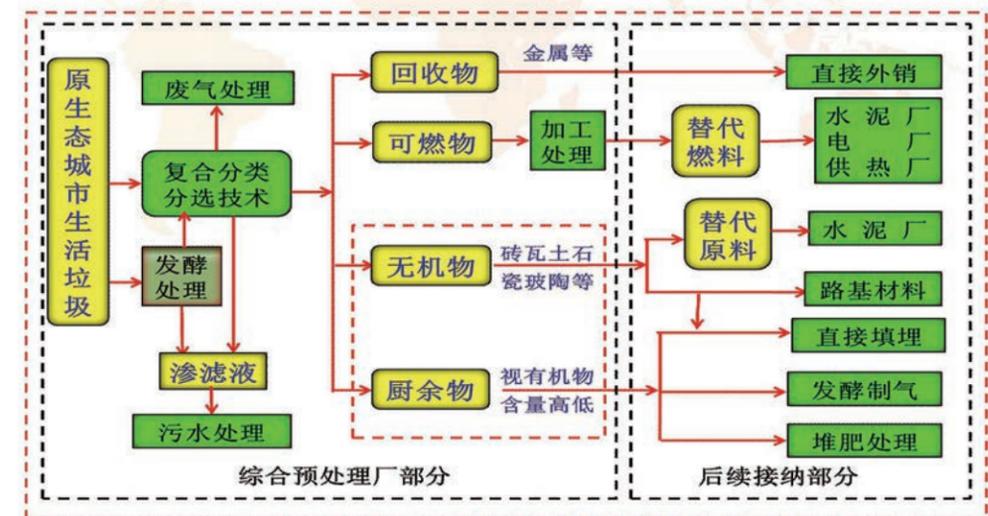
欧盟城市生活垃圾处理方法



2007年至今，德、英、等国终于相继作出了新决策，不再新建可燃废物与城市生活垃圾填埋场和焚烧炉厂；今后所有新产生的可燃废物和垃圾都要采取其他的更安全更经济的方法，尽可能地全部即时处置，一步到位，消纳干净，不留后患，尽量少用或不用填埋场和焚烧炉。

1.4、国内外垃圾处理的差异比较

欧盟城市生活垃圾处理方法

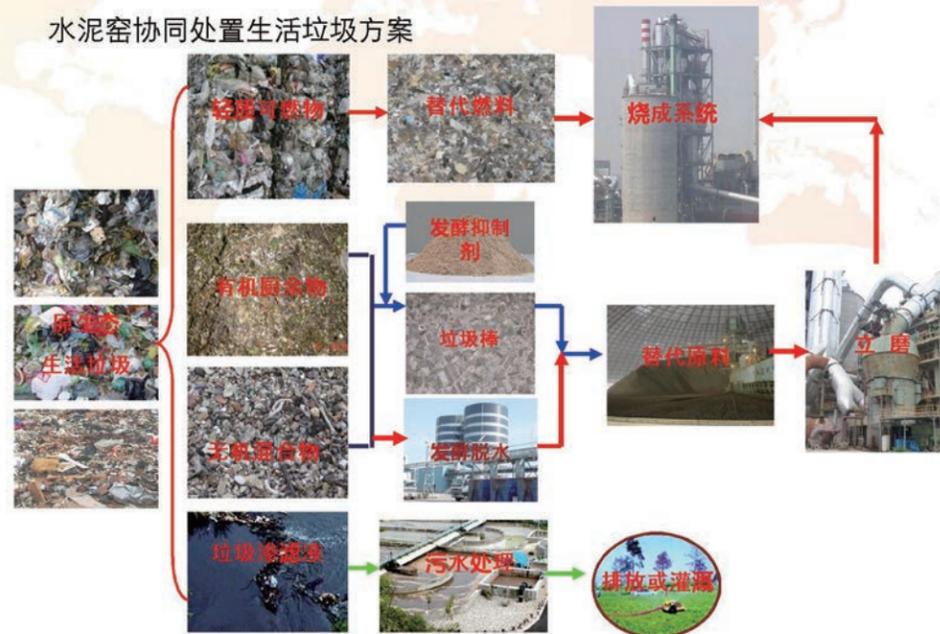


## 2、Sinoma采取的技术方案和技术路线

- 遵循原则：(1)、综合处理工艺的原则；  
 (2)、不影响相关系统和产品质量的原则；  
 (3)、处理能力最大化的原则；  
 (4)、不产生新的二次污染。

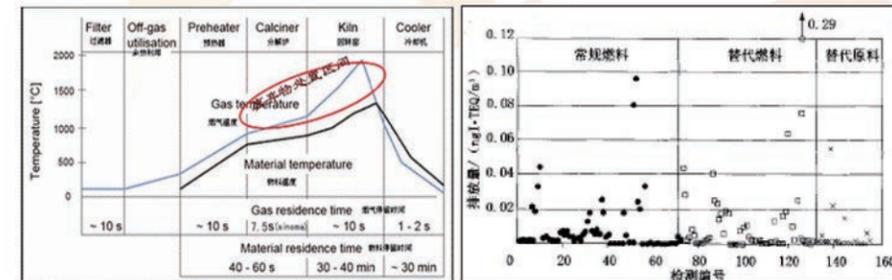
技术方案：在现有新型干法窑的基础上集成了生活垃圾预处理、发酵脱水技术，将生活垃圾按其组分特性差异进行分选，再将分选后的各部分按其处置要求以不同的处置方式进入水泥窑系统，既可以消除了生活垃圾组分波动对水泥窑生产过程的影响，又可以保证生活垃圾各组分得到彻底的销毁，处置过程无残渣排出，水泥窑产品质量和排放均可满足我国现行标准的控制要求。

### 水泥窑协同处置生活垃圾方案



## 3.1 技术特点

处置温度900°C~1800°C，停留时间长，可避免产生二噁英。



## 3.1 技术优点

- 固相碱性环境可有效地抑制酸性物质 (SO<sub>2</sub>和Cl<sup>-</sup>) 的排放。
- 可将垃圾中的绝大部分重金属离子固化在熟料矿物中。
- 利用水泥生产的中间态物料可以有效抑制城市生活垃圾的发酵。
- 处置过程无废渣排出，无需二次处置。
- 受垃圾成分影响较小，处置过程稳定。
- 投资小，运行成本低。

## 3.2 技术对比

处理方式		焚烧（发电/供热）	水泥窑协同处置
适用条件		适合处理可燃物较多的生活垃圾；垃圾低位热值须大于3300kJ/kg。	原生态生活垃圾；无热值要求。
选址		容易，可靠近市区建设。	容易；利用现有水泥厂，仅需预处理车间的用地。
运行稳定性		容易受到生活垃圾的组成、含水率、热值等因素影响。	不受生活垃圾特性波动的影响。
操作参数	气体最高温度（℃）	~1000	~1800
	气体停留时间（S）（>850℃）	1~3	6~12
	物料最高温度（℃）	~850	~1500
	物料停留时间（min）（>850℃）	2~15	~30
经济指标	处理量（t/d）	600	600
	投资（万元）	~26000	~12000
	单位投资（万元/t.d）	45	20
	处置成本（元/t）	80~150（扣除发电收益）	80~150（不含水泥生产系统的处置成本）

## 3.2 技术对比

处理方式		焚烧（发电/供热）	水泥窑协同处置
无害化	灰渣处置	炉渣需填埋，或用于建材；飞灰为危险废物，需填埋或处置；最终仍会污染环境。	灰渣被固化在熟料中，无灰渣外排。
	大气污染	需配置先进的烟气处理系统；但二恶英排放达标尚难保证。	无需新增烟气处置系统即可达标排放。
	水污染	灰渣填埋或处置不当易造成污染（二恶英、重金属等）；污水处置达标后排放。	污水处置达标后排放。
	土壤污染	灰渣填埋或处置不当易造成污染（二恶英、重金属等）。	无。
减量化		约10%原始量的灰渣需处置	全部消解，无剩余物。
资源化		不可回收其中的塑料、纸张等高热值组分；可回收金属。	可回收塑料、纸张、金属等。

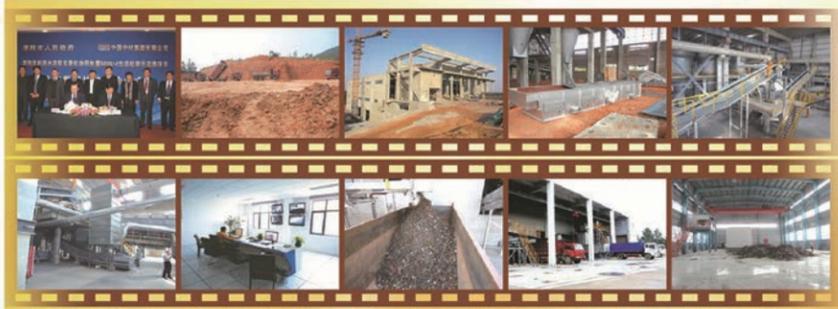
## 水泥窑协同处置生活垃圾技术

### ——溧阳示范线项目

## 1、项目概况

- **项目的规模**：450t/d城市生活垃圾
- **项目所在地**：溧阳市上兴镇曹山旁。
- **项目总投资**：1.05亿元
- **处置的方式**：利用水泥窑协同处置新建预处理厂，经处理合格后的物料送至水泥厂，按水泥生产系统特点分多点加入。
- **垃圾的收集**：溧阳市环卫局负责收集运送到预处理厂。
- **项目的投资方**：中材国际负责垃圾预处理厂部分的投资；溧阳天山水泥厂负责水泥厂区部分的接口改造。
- **技术来源**：国家科技部专项资金支持的“利用水泥窑协同处置城市生活垃圾科研项目”取得的科研成果和中材国际十多年来的科研成果和装备开发成果。

### 1、项目概况



- ◆ 2011年1月，溧阳市人民政府与中国中材集团签署溧阳市生活垃圾无害化处置的框架协议。
- ◆ 2011年3月，中材国际与溧阳市城市管理局签订30年生活垃圾特许经营权协议。
- ◆ 2011年4月，溧阳中材环保有限公司完成了项目的规划选址、土地预审、环评、可研报告批复等立项工作。
- ◆ 2011年6月，溧阳市生活垃圾处置示范线项目正式开工建设。
- ◆ 2012年1月，示范线开始单机试车；3月底完成单机试车、无负荷联动试车。
- ◆ 2012年4月，示范线预处理系统开始带料试车；
- ◆ 2012年5月，溧阳天山水泥厂区接纳系统带料试车。
- ◆ 2013年3月，示范线项目正常运行。

### 2、技术方案、遵循原则

技术方案：生活垃圾预处理+水泥窑协同处置



- 技术先进性：
- (1)、综合处理工艺；
  - (2)、不影响烧成系统运行和熟料质量；
  - (3)、环保项目，不新增二次污染；
  - (4)、处理能力最大化（500t/d生活垃圾，120t/d污泥，2万t/y危废）；

### 3、技术特点

(1) 预处理系统与配套工程系统既可联动运行也可独立运行，受当日生活垃圾进厂量、生活垃圾组分和含水率的波动影响较小，对原生态生活垃圾的适应性好，适合国内不同区域、不同季节时生活垃圾组分差异较大的现状。

(2) 与混合式处置技术相比，本项目资源化程度较高，且不影响烧成系统的产量和熟料质量。生活垃圾中的可燃物可作为矿物质燃料的替代物，不可燃物可作为水泥生产硅铝质原料的替代物，从而减少了熟料生产系统对燃煤、粘土质原料的需要量，减少了燃煤燃烧产生的二氧化碳的排放。

### 3、技术特点

(3) 针对可燃物成品的含水率高、尺寸大、易缠绕、易结拱等特点，集成开发了一套包括储存、输送、喂料等设备的可燃物处置系统，实现了可燃物无需细破碎、直接入分解炉进行处置的目标，节约了可燃物细破碎和脱水干化的能源消耗，提高了项目的经济效益。



可燃物细破碎机的能力普遍偏小，对国内含水率偏高的可燃物适应性较差，而且破碎能耗较大（30kW/h以上），刀头磨损严重（每2000t左右可燃物需更换刀头），设备运行、维护成本偏高。本项目的可燃物处置系统投入运行后，每吨可燃物的处置成本可节约40元左右。

3、技术特点

(4) 不可燃物成品包括厨余物、渣土、玻璃、砖瓦等，具有含水率高、极易发酵和结拱堵塞的特点。经多次技术改造和创新，集成开发了一套不可燃物处置系统，消除了不可燃物在运输、储存过程中的发酵，实现给料的连续、稳定，降低了其成分波动、高含水率对熟料生产工艺系统和过程装备的影响，提高了项目的经济效益。



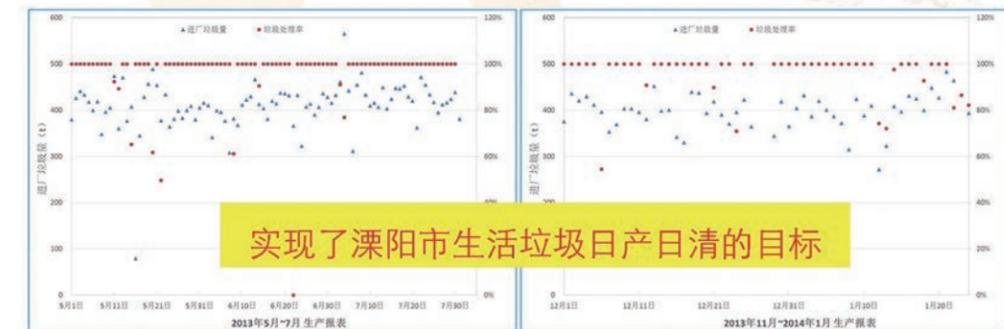
4、示范线运行情况

(1) 技术经济参数

处理能力 (t/d)	~430, (日产日清)
预处理系统能力 (t/h)	50~55, (8h/d)
可燃物处理能力 (t/h)	7~8, (20h)
不可燃物处理能力 (t/h)	12~15, (16h)
项目投资 (万元)	10564
处置补贴 (元/t)	75
生产人员 (人)	25 (预处理系统) +7 (配套系统)

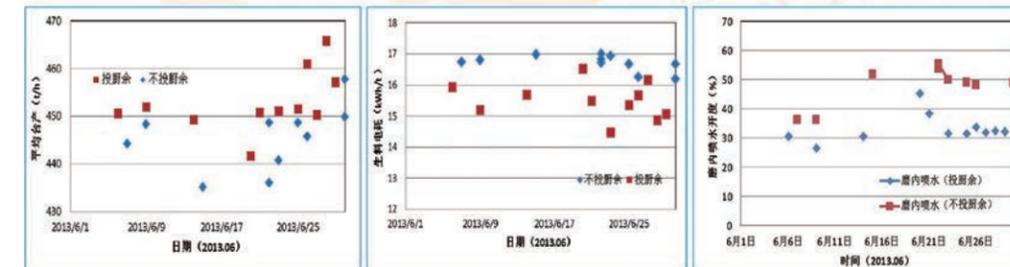
4、示范线运行情况

(2) 处置能力



4、示范线运行情况

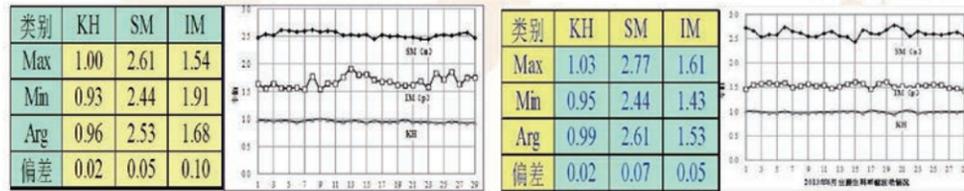
(3) 生料磨操作参数的变化



提高磨机产量、降低粉磨电耗、减少磨内喷水

Sinoma 中国中材 中材国际

4、示范线运行情况  
(4) 生料质量的变化



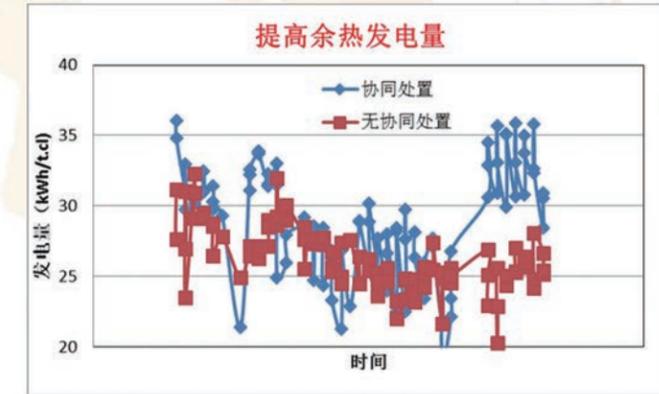
未加厨余物出磨生料率值波动情况

加厨余物出磨生料率值波动情况

处置生活垃圾后，出磨生料率值波动很小。

Sinoma 中国中材 中材国际

4、示范线运行情况  
(6) 余热发电量的变化



每年可增加余热发电量约346万kWh

Sinoma 中国中材 中材国际

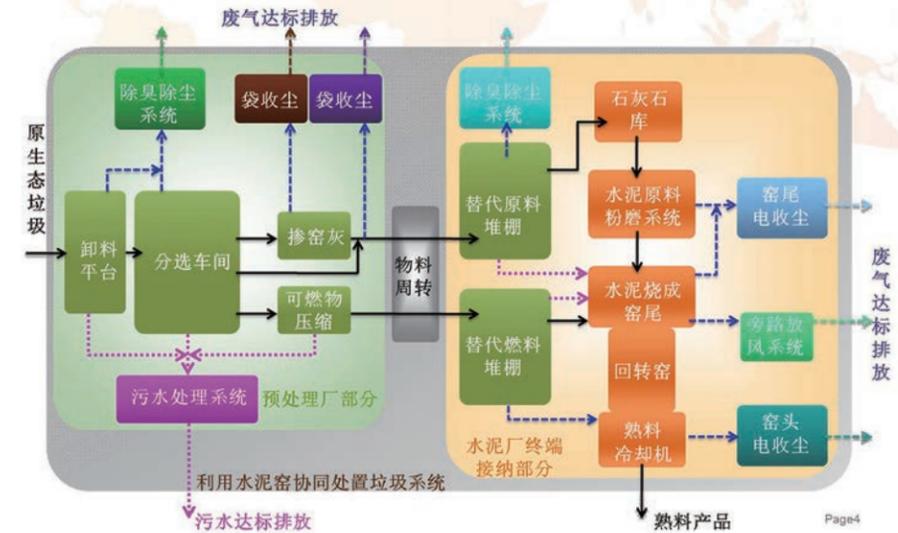
4、示范线运行情况  
(5) 烧成系统操作参数的变化

类别	标准煤耗	C1出口温度	余热发电量	NOx	
统计时段	单位	kg/t-cl	℃	kWh/h	mg/Nm <sup>3</sup>
2012.12	无协同处置	113.19	320	6465.8	790
2013.2	协同处置	106.46	335	6960.9	588
2013.5	协同处置				
2013.7	协同处置				

统计时段	类别	生料喂入量 (t/h)				熟料产量 (t/d)			
		最大	最小	平均	标准偏差	最大	最小	平均	标准偏差
2012.1~2012.12	无协同处置	393	333	375	12.2	5829	4933	5562	186
		394	325	374	10.1	5837	4814	5543	154
2013.5~2013.7	协同处置	394	325	374	10.1	5837	4814	5543	154
		394	325	374	10.1	5837	4814	5543	154

Sinoma 中国中材 中材国际

5、环境保护  
(1) 本项目的污染控制点



5、环境保护

(2) 粉尘

粉尘排放检测分析结果 单位: mg/Nm<sup>3</sup>

工艺阶段	排放位置	实测结果			参考排放限值
		Max	Min	Avg	
生活垃圾预处理厂	原生态垃圾卸料及车间除臭除尘系统排放口	TL0	TL0	TL0	《水泥工业大气污染物排放标准》(GB4915-2013) 对于重点地区, 粉尘的排放限值分别为 20mg/Nm <sup>3</sup> ; 现有设施粉尘排放 在2015年6月30日前仍执行GB4915-2004中规定的 50mg/Nm <sup>3</sup>
	窑灰卸料袋收尘排放口	16.5	6.8	11.2	
	不可燃物装车袋收尘排放口	9.6	3.4	6.3	
水泥厂接纳系统	替代原料堆棚除臭除尘系统排放口	TL0	TL0	TL0	
	窑尾电收尘 未协同处置垃圾	35.2	31.7	34.0	
	窑尾电收尘 协同处置垃圾	37.7	34.2	36.3	
	旁路放风系统废气排放口	32.6	16.4	25.8	
	窑头电收尘排放口	17.5	15.8	16.7	

注: Max=最大值, Min=最小值, Avg=平均值, TL0=未检出, 下同。

控制措施:

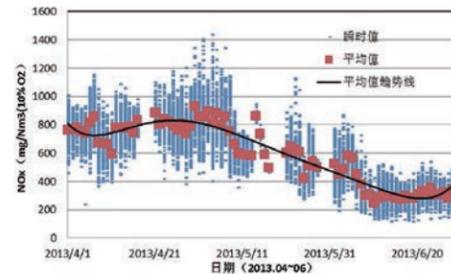
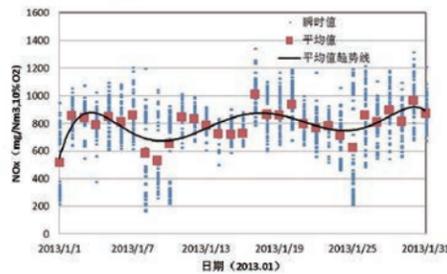
1. 微负压状态
2. 物料转接位置配备集气装置
3. 合理设计, 减小扬尘
4. 统一收集, 除尘装置
5. 调整工艺参数, 以适应水泥

厂原有收尘系统

5、环境保护

(3) NOx

- 水泥窑在协同处置城市生活垃圾时, 焚烧垃圾有利于抑制水泥窑系统NO<sub>x</sub>的产生, 减少废气中NO<sub>x</sub>的排放。
- 借助于SNCR脱氮作用, 调整合适的喷氨量, 其废气中NO<sub>x</sub>最终排放指标, 完全可以控制在国家相关标准要求的范围以内。



5、环境保护

(4) 恶臭气体

类别	预处理厂				水泥厂			
	无组织排放		有组织排放		无组织排放		有组织排放	
	厂界 (mg/Nm <sup>3</sup> )	排放限值 (二类区)	除臭系统 (kg/h) 烟囱高度: 20m	排放限值	厂界 (mg/Nm <sup>3</sup> )	排放限值 (二类区)	除臭系统 (kg/h) 烟囱高度: 15m	排放限值
氨	0.009	1.5	0.002	8.7	0.010	1.5	0.000208	4.9
三甲胺	TL0	0.08	0.00029	0.97	TL0	0.08	0.0000326	0.54
硫化氢	TL0	0.06	0.0031	0.58	TL0	0.06	0.000427	0.33
甲硫醇	TL0	0.007	TL0	0.08	TL0	0.007	TL0	0.04
甲硫醚	TL0	0.07	TL0	0.58	TL0	0.07	TL0	0.33
二甲二硫	TL0	0.06	TL0	0.77	TL0	0.06	TL0	0.43
二硫化碳	TL0	3	TL0	2.7	TL0	3	TL0	1.5
苯乙烯	TL0	5	TL0	12	TL0	5	TL0	6.5
臭气浓度 (无量纲)	TL0	20	12	6000	TL0	20	13	2000

本检测采样情况说明: 参照《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93), 对于无组织排放源, 监测采样点设置在工厂厂界的下风向侧, 或有臭气方位的边界线上, 连续排放源相隔2h采一次, 共采集4次, 取其最大测定值; 对于有组织排放源, 监测采样点为除臭系统排气口, 生产周期大于8h的, 每4h采集一次, 取其最大测定值。

5、环境保护

(5) 重金属

- 熟料样品的重金属含量检测统计值显示, 处理垃圾后熟料中的重金属含量满足《水泥工厂设计规范》(GB 50295-2008) 中的控制要求。
- 水泥窑协同处置系统向环境排放废气中的挥发性重金属检测结果显示, 废气中挥发性重金属 (如Hg、Tl、Cd) 的含量远低于国内外排放限值 (GB30485-2013及欧盟2000/76/EC)。

## 5、环境保护

## (6) 二噁英

检测类别	检测位置	单位	检测值	标准限值	备注	
排放气体	窑尾烟囱排气	ng-	<0.1	0.1	GB 30485-2013	
	旁路放风烟囱排气	TEQ/Nm <sup>3</sup>	<0.1			
水泥厂周边	水泥厂周边大气 <sup>(1)</sup>	pg-TEQ/Nm <sup>3</sup>	上风向	0.16	0.6	参考日本的环境标准
			下风向	0.193		
	水泥厂周边土壤 <sup>(2)</sup>	ng-TEQ/g	上风向	0.005	1	
			下风向	0.0073		

注：(1) 指5km上风向1个点，下风向3个点；(2) 指1、3、5km上下风向各1个点。

## 5、环境保护

## (7) 小结

- 在示范线项目的设计、建设和运行过程中，主要针对粉尘、硫氧化物、氮氧化物、重金属、氯化物、氟化物、二噁英、放射性、异味气体及挥发性有机物等10项，采取了合理而有效的控制措施，达到了良好的控制效果。
- 利用水泥窑协同处置生活垃圾工艺技术在二次污染物的控制方面具有较大优势，各项排放指标均能达到国家标准的控制要求，是一种经济环保的新工艺技术。



# 利用新型干法水泥窑系统处置城市生活垃圾

## 技术介绍

赵峰娃

中国海螺创业控股有限公司

### 一、背景

生活垃圾无害化处理是全球性难题，倍受社会各界的高度关注。随着经济发展水平和人们对环境保护的认识不断增强，环保问题、资源问题和可持续发展问题日益成为制约社会和经济发展的最重要因素之一。利用新型干法水泥窑无害化处置城市生活垃圾技术可减少对不可再生能源的开发，具有工艺简洁、资源化程度高、处理过程卫生、安全、有效等特点，可达到垃圾减量化、资源化、无害化的处理目标。随着该技术的成功开发和应用，以及国务院下发《关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》（国发〔2013〕41号）文件要求支持利用该技术，利用新型干法水泥窑无害化处置城市生活垃圾技术将成为生活垃圾处理的重要方法之一。

中国海螺创业控股有限公司是一家港股上市公司（HK00586），参股海螺集团，主要从事节能环保、新型建材、装备制造、港口贸易等产业。公司一直致力于推动行业的技术进步和转型升级。在充分调研国内生活垃圾处理现状和国外先进处理技术的基础上，探索利用新型干法水泥生产协同处置废弃物技术，公司于2007年启动“利用新型干法水泥窑无害化处置生活垃圾系统的开发与应用”科研项目（以下简称“CKK系统”），2010年完成该项目的研发工作，同年在安徽省铜陵市建成首套示范线，整体技术处于国际先进水平。

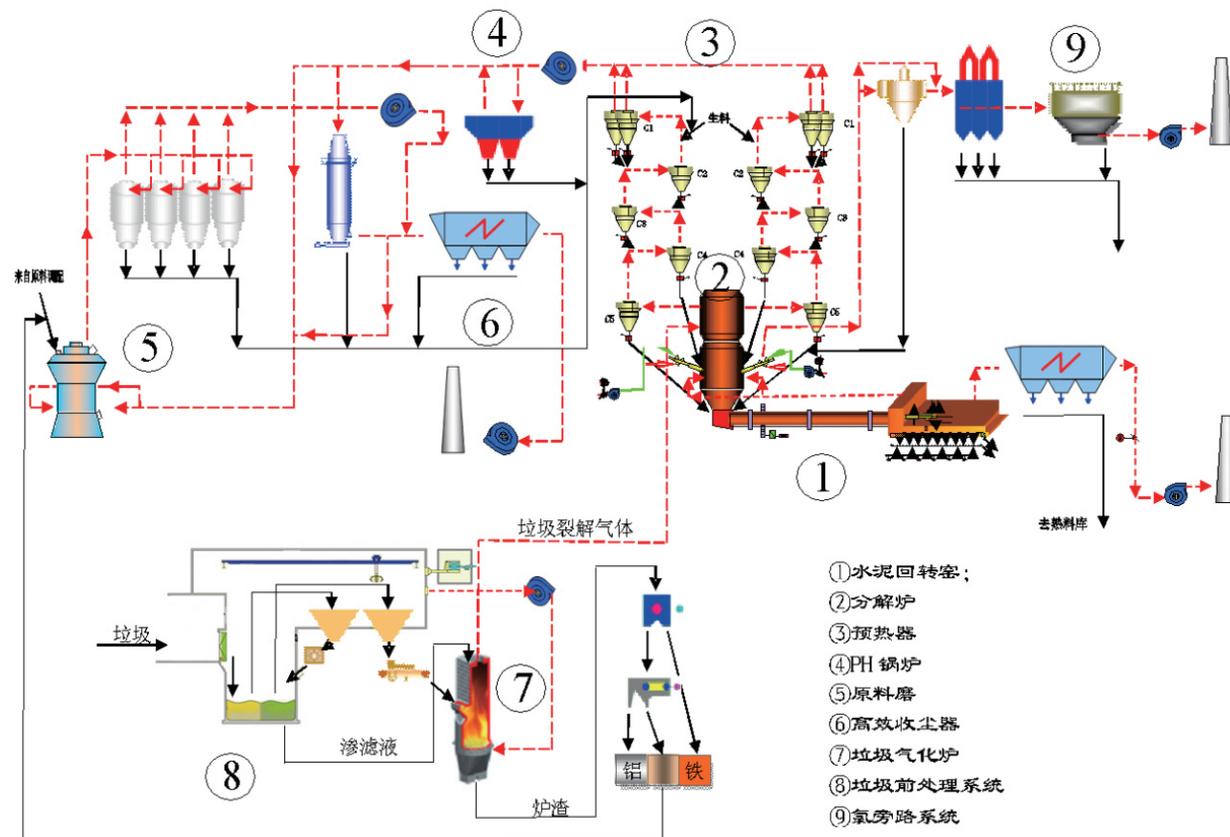
### 二、技术开发的意义

- 为推进循环经济发展，积极参与美丽中国建设，确保“减量化、资源化、无害化”处置生活垃圾，改善城市环境，构建和谐社区，创造良好的社会效益和环境效益；
- 克服填埋或焚烧发电处理技术不足，减少土地占用及垃圾处理散发恶臭，保护土壤及地下水源免受污染，高效降解二噁英，合理利用残渣，不产生“二次污染”，净化美化周边环境；
- 积极履行大企业的社会责任，探索将水泥行业改造成绿色环保型产业，引导行业走可持续发展道路，实现水泥工业和经济社会的和谐发展。
- 该技术实现了垃圾处置与水泥窑生产工艺的有机结合，达到了节能减排，改善环境的目的，推动了水泥工业结构调整和产业升级，践行了走新型工业化发展道路的方向；
- 通过对该项目的技术研发、集成创新，形成了拥有自主知识产权的、国际先进的利用水泥窑协同处置生活垃圾系列化技术和装备，推动了垃圾处理行业的技术进步；
- 该技术有效降解了二噁英，各项环保指标完全达标排放，实现了垃圾处置的100%减量化、资源化、无害化。

### 三、主要技术内容及特点

#### 1、主要技术流程

本项目首次将垃圾处理和水泥熟料烧成两个独立系统进行有机融合和无缝对接，创建一种新的垃圾处理方式。通过工程设计、工艺优化、系统集成等方法，解决了垃圾气化后的低温废气及灰分对水泥熟料烧成系统的影响，实现了利用水泥窑安全、稳定、无害化处理生活垃圾。生活垃圾通过收集车运送到垃圾坑内储存，用行车进行搅拌和均化，破碎后用行车送入垃圾供料系统，定量输送至气化炉中气化焚烧。投入炉内的垃圾与炉内高温流动介质（流化砂）充分接触，一部分通过燃烧向流动介质提供热源，另一部分气化后形成可燃性气体送往水泥窑分解炉内进一步焚烧，垃圾气化后气体中有害物质经分解炉焚烧分解，分解后的生成物被水泥窑内碱性物料吸收固化，剩下的废气经水泥窑尾废气处理系统净化后排出。垃圾中的不燃物在流动介质中不断沉降，到了炉底部时排出。从排出的炉渣中分离出金属，剩下的块状物料作为水泥原料进行配料。垃圾坑中的垃圾污水经过收集和过滤后，送入气化炉顶部高温区进行氧化分解，达到无害化处理的目的。其工艺流程图如下：



子系统主要包括前处理及供料系统、垃圾气化系统、灰渣处理系统、垃圾污水处理系统、除氯系统等，主要设备有气化炉、回转式剪切破碎机、双梁桥式行车、除臭机、热风炉、磁选机、有色金属分选机、气体冷却器等。各个子系统工作流程介绍如下：

#### 1) 前处理及供料系统

生活垃圾用密封运输车运送进厂，称重后进入全封闭卸料大厅，到达绿色指示灯下卸料门区域，卸料门自

动打开，运输车将垃圾倒入全封闭的垃圾坑内。垃圾行车抓斗将垃圾坑内未经破碎的垃圾抓入垃圾料斗内，通过输送设备将垃圾输送到垃圾破碎机内，破碎后的垃圾回到垃圾坑，垃圾行车抓斗对破碎后的垃圾进行搅拌，使垃圾得到均化。垃圾行车抓斗将搅拌后的破碎垃圾抓入破碎垃圾料斗内，破碎后的垃圾经过密封的双螺旋输送机定量的输送到气化炉中。

#### 2) 垃圾气化系统

气化炉内部铺设有一定深度的石英砂，通过风机将全封闭的卸料大厅和垃圾坑中的垃圾臭气经过气化炉中部的散气管鼓入气化炉内，将炉内石英砂吹起成沸腾状态，启动时由热风炉加热空气将炉内石英砂加热至工作温度后，破碎后的垃圾喂入气化炉内，与500~550℃的高温、流动的石英砂充分接触，一部分垃圾通过燃烧向石英砂提供热量，维持气化炉内部温度，另一部分垃圾气化形成可燃性气体，送入水泥窑分解炉进一步焚烧，垃圾焚烧后产生的炉渣在重力作用下沉降到炉底，并随砂排出，石英砂通过砂循环装置进行循环利用，灰渣中的金属回收利用，剩下的灰渣作为水泥原料。在本过程中采用气化炉设备，耗用的空气量和产生的废气量小，避免对水泥窑生产运行的影响；实现设备小型化，减小布置空间；金属以游离态回收利用；散气管方式易于排渣。

#### 3) 垃圾处理系统

气化炉内垃圾焚烧后的不燃物灰渣从炉底排出，采用水冷设备将温度从500℃降到300℃以下，经过磁选机分选出铁，再经过有色金属分选机分选出铝等有色金属，剩下的块状灰渣用作水泥生产的原料。

#### 4) 污水处理系统

垃圾坑渗出的垃圾渗滤液主要成份是有机物，具有不耐热的特性，经过过滤后送入贮存槽，采用专用泵喷射到气化炉或水泥窑分解炉内，进行高温氧化处理，完全分解有机成分，实现无害化。针对垃圾含水率较高的地区，采用生物法处理污水，做到污水处理后达标排放。

#### 5) 除氯系统

在垃圾气化过程中生成的二恶英，进入水泥窑分解炉内得到彻底分解。二恶英分解后的氯离子与分解炉内水泥原料分解生成的CaO反应形成稳定的 $2CaO \cdot SiO_2 \cdot CaCl_2$ 进入水泥窑内进行高温煅烧。在水泥窑窑尾烟室处设置除氯系统，抽取部分含氯粉尘气体，通过冷却系统急冷后用收尘设备回收粉尘，减小对水泥窑运行及产品质量的影响。

### 2、技术核心装备——气化炉的介绍

针对我国生活垃圾特点，气化炉的设计采用低空气比燃烧工艺，内部采用散气管、流化砂层结构，利用流化砂层的蓄热、传热功能，使生活垃圾在低温状态下能够稳定气化焚烧。利用气化炉焚烧温度相对较低（500~550℃）的优势，利用流化砂层对垃圾不断气化，一部分转换成可燃性气体从气化炉中导出送至水泥窑分解炉，一部分在炉内和流化砂层进行内循环，不需其他热源即可达到气化炉内燃烧的稳定性的。

针对生活垃圾气化焚烧，CKK系统配套开发了破桥、防压实的垃圾防堵装置、垃圾供料装置，炉渣排出装置以及气体冷却和稀释装置。

### 3、处理系统与水泥窑接口技术的研究与开发

采用CFD软件对喷旋管式分解炉进行了数值模拟试验，对垃圾气体入口位置进行了模拟分析。为减小气化炉烟气进分解炉后对水泥窑系统工况的影响，对烟气进分解炉位置和角度进行了多次深入的分析研究和测

试，包括运用计算机模拟分析，确定进分解炉烟气流速、烟气入口位置。根据上述研究，我们开发了一种水泥分解炉进气装置，其结构简单，且能将垃圾燃烧得到的可燃气化物输送至分解炉内的适当位置，既保证含有有害成份的垃圾可燃气化物在水泥窑分解炉中得到完全处理，又对分解炉设备的运行影响最小。

通过对典型中心剖面温度云图分析表明，该位置对水泥窑生产运行影响最小，满足分解炉高温降解二恶英的要求，并发现垃圾低位热值高于850kcal/kg 时，就能满足系统自身热平衡的要求。

#### 4、技术特点

##### 1、对垃圾适应性强

生活垃圾通过密闭垃圾车送入厂区，系统内设置一系列破碎、均化、计量、喂入设备，物流顺畅，处理彻底，能够顺利处理低热值的垃圾。

##### 2、资源化程度高

垃圾焚烧产生的热量可替代部分水泥窑燃料，采用分选设备分选出炉渣、金属，炉渣可替代部分水泥原料，游离态铁、铝等金属可分别回收。

##### 3、处理流程简洁

利用水泥窑烧成系统代替垃圾焚烧处理工艺的尾气净化系统，简化了处理流程，降低了相应投资。

##### 4、对水泥窑生产无影响

针对中国生活垃圾现状，采用气化炉技术，气化时空气消耗量小，产生废气量少，避免对水泥窑生产的影响。

##### 5、高效处理二恶英

水泥窑系统的分解炉内温度高达900℃左右，垃圾气化气体燃烧时间长达4秒以上，气化炉中产生的二恶英在分解炉中完全分解，再与高温、高细度、高浓度、高吸附性、高均匀性分布的水泥碱性物料充分接触，有利于吸收氯离子，控制氯源，避免二恶英类物质的二次生成。

##### 6、有效控制恶臭

垃圾坑和处理厂房采用全密封结构，且用通风机将垃圾坑内产生的垃圾臭气抽出送入气化炉内燃烧，使垃圾坑处于负压状态，避免了垃圾恶臭的扩散。另外，还配置了除臭机，当气化炉停机时，将垃圾坑内臭气抽出净化后排出，防止垃圾臭气的污染。

##### 7、无害化处理污水

垃圾坑渗出的垃圾渗滤液喷射到气化炉或水泥窑分解炉内进行高温氧化处理，完全分解有机成分，实现无害化。

##### 8、安全固化重金属

垃圾中的重金属焚烧后进入水泥熟料矿物中，以稳定的化合态形式与水泥熟料形成混和结晶体，实现安定化。

#### 四、技术认可情况

##### 1、取得的专利及奖项

项目通过开发，现已取得发明专利7项，实用新型及外观专利9项，软件著作权1项，2011年该项技术已通过科技成果鉴定，达国际先进水平；项目实施后，获得全球可再生能源领域最具投资价值的十大领先技术“蓝天奖”提名奖，并先后获国家工程咨询成果和建材行业工程设计一等奖。

天奖”提名奖，并先后获国家工程咨询成果和建材行业工程设计一等奖。

#### 2、推广应用情况

2010年4月，首套示范线在安徽省铜陵市试运行；2012年11月，第二套垃圾处置系统在贵州省贵定县投运，两项目自投运后运行情况良好。目前，在贵州遵义市、贵阳清镇市、甘肃平凉市、重庆忠县、广东省阳春市、云南保山市等地多个项目正在建设，另有10余个项目正在地计划实施中。

#### 五、经济及社会效益

本项目为社会公益类项目，属国内首创。现阶段已建、在建和计划实施的近20个项目垃圾处理总规模达6000t/d，年处理能力约2000万吨，年减少温室气体排放超过800万吨；铜陵海螺利用水泥窑无害化处理生活垃圾示范项目自2010年4月投产以来，已处理生活垃圾量40多万吨，彻底解决了铜陵市74万人的生活垃圾问题。

二恶英类物质得到有效降解，德国Eurofins GfA GmbH实验室检测，二恶英排放浓度最高仅为0.0376ngTEQ/m<sup>3</sup>，优于GB30485—2013《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》规定的限值：0.1ngTEQ/m<sup>3</sup>。没有二次污染，且建设投资小，占地少，体现了显著的社会、环境效益。

按照2013年下发的《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》国发〔2013〕41号，协同处置生产线数量比重不低于10%。全国现有2000t/d以上的干法生产线1640余条，新型干法水泥窑系统处置城市生活垃圾技术有较大的应用前景，可以为各地环保事业做出重要的贡献。

# 回转窑掺入颗粒状生活垃圾灰渣对水泥熟料性能影响的研究

任沁新<sup>1</sup> 袁曙光<sup>2,3</sup> 许卫革<sup>2,3</sup> 余佳<sup>2,3</sup> 金树宝<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>中信重工机械股份有限公司 河南洛阳 471039

<sup>2</sup>洛阳矿山机械工程设计研究院有限责任公司

<sup>3</sup>矿山重型装备国家重点实验室 (中信重工机械股份有限公司)

**摘要:** 城市生活垃圾焚烧后产生了大量的灰渣, 若处理不当会造成严重的二次污染。鉴于灰渣的主要化学成分与生产水泥熟料所用的硅质原料成分相近, 将垃圾灰渣按一定的比例加入水泥窑内生产灰渣水泥熟料, 能彻底解决城市生活垃圾灰渣问题。将占熟料产量3%和6%的原始生活垃圾灰渣加入水泥回转窑进行煅烧试验, 并对相应的灰渣水泥的主要性能进行了分析研究。结果表明, 添加灰渣对水泥的安定性和早期强度均有不利影响, 且有一定的离散性, 因此不宜将颗粒状生活垃圾灰渣直接掺入回转窑内生产水泥。

**关键词:** 城市生活垃圾; 灰渣; 熟料强度; 熟料安定性

**中图分类号:** X705

**文献标识码:** A

**论文编号:** 1001-3954(2010)24-0069-03

## Research on influence of adding granular urban rubbish slag into cement kiln on clinker performance

REN Qinxin<sup>1</sup> YUAN Shuguang<sup>2,3</sup> XU Weige<sup>2,3</sup> YU Jia<sup>2,3</sup> JIN Shubao<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>CITIC Heavy Industries Co., Ltd., Luoyang 471039, Henan, China

<sup>2</sup>Luoyang Mining Machinery Engineering Design Institute Co., Ltd.

<sup>3</sup>State Key Laboratory of Mining Heavy Equipment (CITICHIC)

**Abstract:** Burning of urban rubbish brings about a large amount of slag, which is prone to cause the second pollution if disposed improperly. In view of the main chemical elements of the slag is similar with that of the siliceous material used for producing clinker, addition of rubbish slag into the cement kiln as certain proportion to produce slag-bearing clinker can completely dispose the urban rubbish slag. 3% and 6% rubbish slag was added into cement kiln separately to carry out calcination experiments, and the main performances of the slag-bearing cement separately obtained were analysed and studied. The results show that the addition of the slag has adverse influence on the stability and early strength of the cement, and has certain disperse effects on experimental data. So it is not appropriate to add granular urban rubbish slag into cement kiln to produce cement.

**Keywords:** urban rubbish; slag; strength of clinker; stability of clinker

我国城市生活垃圾的处理方法主要有填埋法、焚烧法和堆肥法，其中焚烧法发展迅速，因此产生了大量的垃圾焚烧灰渣<sup>[1]</sup>，但目前尚无完善的方法处理焚烧灰渣。鉴于城市生活垃圾灰渣的主要化学成分是SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和CaO，属于CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>化学体系<sup>[2]</sup>，与生产水泥所用的硅质原料成分相近，故可替代部分硅质原料用于生产水泥熟料。国内外研究成果表明，水泥水化反应凝固后能够固化垃圾灰渣中的重金属<sup>[3-4]</sup>，可以避免产生二次污染。因此，掺入一定量的垃圾焚烧灰渣生产水泥熟料是可行的。由于原始生活垃圾灰渣为颗粒状物料，能否直接加入水泥窑参与煅烧是该试验的主要目的。将垃圾灰渣按一定比例加入水泥窑生产熟料，通过工业试验研究垃圾灰渣对水泥熟料主要性能的影响，确定该技术路线是否可行。

### 1、试验原料

试验是在某水泥厂500t/d干法中空窑内进行，试验所用生料和煤粉与该厂的正常生产相同，垃圾灰渣取自山西某垃圾焚烧发电厂。垃圾焚烧灰渣和水泥生料的化学成分如表1所列。

表1 原料化学成分  
Tab1 Chemical composition of raw material %

化学成分	烧失量	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	R <sub>2</sub> O
垃圾灰渣	5.19	56.72	14.63	4.07	9.86	2.11	1.20	0.143	3.11
石灰石	41.02	4.04	1.34	0.68	49.88	2.49	1.03	0.017	0.36
石英砂	2.21	76.16	6.93	3.82	3.64	1.24	1.11	0.069	2.92
硫酸渣	-4.51	32.48	5.75	35.75	9.87	6.47	0.10	0.104	2.69

### 2、试验方法

将垃圾灰渣与原厂水泥生料一起进行配料计算，但是灰渣不参与粉磨，直接由窑尾加入水泥窑。试验分2组进行：第1组，按照垃圾焚烧灰渣的掺入量占熟料产量的3%进行配料，投料生产熟料3h，每0.5h对熟料取样1次；第2组，考虑到垃圾焚烧灰渣是颗粒状物料，可能只有部分参与反应，将垃圾焚烧灰渣的掺入量提高到6%，投料生产熟料3h，每0.5h取样1次。灰渣参与配料后，生料的化学成分如表2所列。

表2 配料后生料的化学成分  
Tab2 Chemical composition of mixed raw material %

化学成分	烧失量	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	R <sub>2</sub> O
含3%灰渣生料	36.80	10.36	2.64	1.91	45.11	2.30	0.15	0.031	0.82
含6%灰渣生料	35.43	12.36	3.27	2.03	43.55	2.30	0.17	0.036	0.88
原厂生料	36.65	12.15	2.77	1.82	43.49	2.40	0.17		

### 3、该验结果及分析

第1组试验取6组熟料试样，编号为A1~A6；第2组试验取6组熟料试样，编号为B1~B6；该水泥厂原熟料试样取1组，编号为C。

#### 3.1 灰渣熟料安定性分析

熟料试样游离钙及安定性检测结果如表3所列。从表3可知，绝大部分灰渣熟料游离钙含量超标，安定性也

不合格。只有第1组试验中的A4、A5和第2组试验中的B1、B2这4个试样游离钙含量较低，安定性也合格。灰渣熟料游离钙含量过高，影响了熟料的安定性。

表3 灰渣熟料安定性检测  
Tab3 Safety inspection of slag-bearing clinker

编号	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C
f-CaO/%	4.15	3.91	3.03	1.20	0.72	1.63	0.60	0.60	1.67	3.47	3.47	3.27	1.44
安定性	不合格	不合格	不合格	合格	合格	不合格	合格	合格	不合格	不合格	不合格	不合格	合格

灰渣熟料游离钙偏高的原因是：①垃圾灰渣中部分大颗粒的硅质原料没有参与反应，导致钙的含量偏高；②由于垃圾焚烧灰渣的参与，改变了生料在水泥窑中共熔体的性质，影响了物料在水泥窑中的熔融状态，形成了以大颗粒灰渣为核的球体，不利于生料进行充分的反应；③颗粒状的垃圾灰渣化学成分和粒径差异过大，造成了试验结果具有一定的离散性。

#### 3.2 灰渣熟料的强度及矿物成分分析

灰渣熟料中4种主要矿物的化学成分如表4所列。该试验的灰渣熟料中，C<sub>3</sub>S含量比原厂熟料低，C<sub>2</sub>S含量较高，C<sub>3</sub>A和C<sub>4</sub>AF含量相差不大。可以推测，灰渣熟料的前期强度较低，后期强度会有所回升。

表4 灰渣熟料矿物成分  
Tab4 Mineral components of slag-bearing clinker %

编号	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C
C <sub>3</sub> S	33.56	29.92	38.39	38.92	43.52	31.19	31.89	46.84	37.08	28.61	35.47	36.45	47.59
C <sub>2</sub> S	37.34	41.22	33.66	33.67	30.91	41.24	41.35	28.30	36.19	42.37	35.85	34.54	25.32
C <sub>3</sub> A	8.22	8.32	8.12	8.84	7.60	8.75	9.05	8.75	7.70	8.44	8.41	8.62	8.44
C <sub>4</sub> AF	11.07	11.07	10.85	11.80	11.80	11.43	11.80	11.07	11.80	11.43	11.61	11.43	11.43

灰渣熟料3d和28d强度如图1、2所示。从图中可以看出，灰渣熟料的前期强度与原厂熟料相差较大，后期强度虽然也偏低，但差距较小。这个结果与灰渣熟料矿物成分相符。

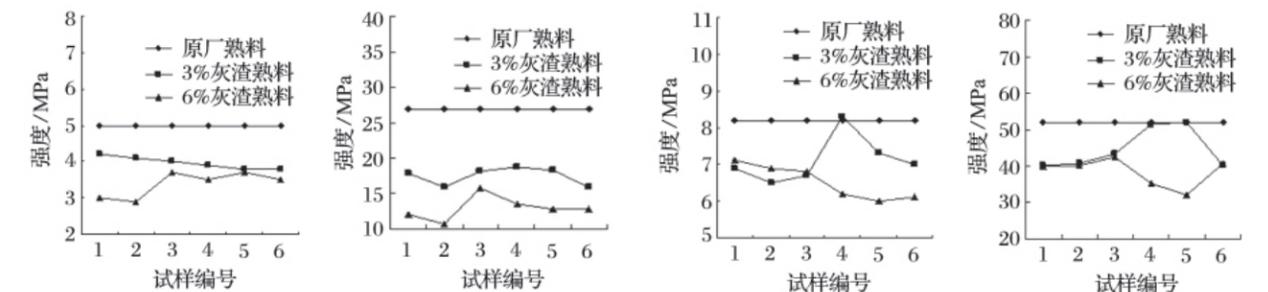


图1 灰渣熟料3d强度

Fig1 3d strength of slag-bearing clinker

图2 灰渣熟料28d强度

Fig2 28d strength of slag-bearing clinker

第1组试验中有2个试样(A4和A5)早期强度偏低，但其28d强度基本达到原厂熟料水平，而且这2个试样游离钙不超标，安定性合格，说明熟料的强度也受游离钙的影响。

该试验产生的灰渣熟料的强度偏低，主要有2个原因：①灰渣熟料中的C<sub>3</sub>S含量低，C<sub>2</sub>S含量较高；②熟料中游离钙含量过高，安定性不合格，影响熟料强度。

### 3.3 灰渣熟料的岩相分析

取3%和6%的灰渣熟料各1组进行岩相分析, 岩相图分别如图3、4所示。

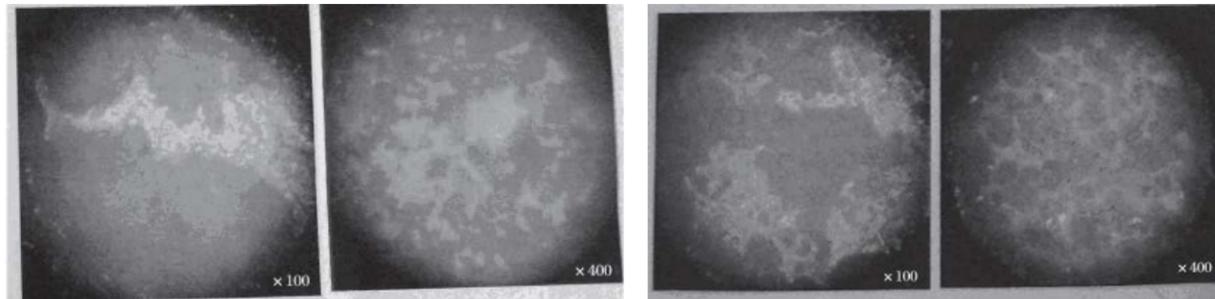


图3 3%灰渣熟料岩相

Fig3 Lithofacies map of 3% slag-bearing clinker

图4 6%灰渣熟料岩相

Fig4 Lithofacies map of 6% slag-bearing clinker

硅酸三钙晶体发育较好, 轮廓清晰, 晶形比较完整, 边棱平直, 绝大多数呈完整的长柱状或六角板状, 晶体尺寸在 $5\sim 20\mu\text{m}$ 之间, 占晶体总量的 $55\%\sim 60\%$ 。有少量包裹物, 麻点较多。

硅酸二钙晶体轮廓不太清晰, 分布不均匀, 裂纹较多, 占晶体总量的 $10\%\sim 20\%$ , 尺寸在 $6\sim 20\mu\text{m}$ 之间。铝酸三钙呈大片状分布, 占中间相的 $70\%\sim 75\%$ 。孔洞大面多, 尺寸在 $100\sim 800\mu\text{m}$ 之间, 少数甚至超过 $1000\mu\text{m}$ , 面积约占一半。

镜下可看到 $1\%$ 左右的高反光物质。

显微结构表明, 熟料含有一定量杂质, 混合不够均匀, 煅烧正常, 硅酸三钙矿物成分含包裹物、麻点和硅酸二钙晶体裂纹可能是游离氧化钙、燧石类杂质和慢冷造成, 黑色中间相形态也表明冷却速度偏低。

岩相分析结果表明, 在水泥窑中, 处于熔融状态的生料以灰渣中的某些大颗粒为中心结球, 使反应不能充分进行, 影响了熟料的质量。

### 3.4 灰渣熟料和易性与易磨性分析

熟料稠度和凝结时间如表5所列。从表5可知, 灰渣熟料初凝时间和终凝时间基本满足国家标准, 且稠度较低, 说明灰渣熟料的和易性较好。

表5 熟料稠度和凝结时间  
Tab5 Density and setting time of clinker

编号	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C
稠度/%	24.2	24.1	24.2	24.2	24.4	24.2	25.9	26.2	24.7	24.6	25.1	24.0	25.0
细度/%	6.3	6.3	7.1	5.2	5.7	6.9	4.9	3.5	5.7	6.7	5.9	6.7	3.3
比表面积/ ( $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	365	385	365	370	386	368	383	377	378	372	384	388	404
初凝时间/ /min	78	76	76	81	91	90	98	96	90	70	71	73	96
终凝时间/ /min	136	134	137	137	143	140	149	148	140	130	121	124	155

在相同的粉磨条件下, 灰渣水泥的细度( $80\mu\text{m}$ 筛余)比较高, 说明灰渣熟料的易磨性比原厂熟料差。

### 4 结语

(1) 本次进行的掺入垃圾灰渣生产熟料试验, 产生的灰渣水泥熟料质量整体较差。绝大部分熟料安定性不合格, 强度较低, 但灰渣熟料的其他性能都符合国家标准。

(2) 灰渣熟料质量较差的主要原因是: 由于垃圾焚烧灰渣中有一些大颗粒物料, 不能完全熔化参与反应; 水泥窑中生料熔融体以一些灰渣颗粒为中心结球, 也影响熟料质量。

(3) 由于原始状的垃圾灰渣中的大颗粒物质是不可避免的, 会对水泥熟料的质量造成影响, 特别是熟料的安定性具有一定的离散性。因此, 不宜将颗粒状城市生活垃圾灰渣直接掺入回转窑内生产水泥。

### 参考文献

- [1] 袁锋, 范伊, 宋展路. 城市生活垃圾焚烧灰渣作水泥混合材的研究[J]. 建筑石膏与胶凝材料, 2004(6): 17-19.
- [2] 祁非, 高飞. 城市生活垃圾焚烧灰渣作为水泥混合材的试验研究[J]. 水泥工程, 2009(4): 84-86.
- [3] K L Lin, K S Wang, B Y Tzeng, et al. The reuse of municipal solid waste incinerator flyash slag as a cement substitute [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2003, 39(4): 315-324.
- [4] 辛美静, 蔡玉良, 杨学权. 水泥工业处理城市生活垃圾时重金属渗滤性研究[J]. 水泥工程, 2006(3): 54-58.

# SFL 水泥烧成系统垃圾焚烧技术

高玉宗

北京四方联新技术开发有限公司

垃圾是人类日常生活和生产中产生的固体废弃物，由于排出量大，成分复杂多样，给处理和利用带来困难，如不能及时处理或处理不当，就会污染环境，损害人类和动物的健康。

我国目前正面临着城市垃圾之困，成为世界上垃圾围城最严重的国家，每年可产生垃圾1.5亿吨。高速发展中的城市，正在遭遇“垃圾围城”之痛。一边是不断增长的城市垃圾，一边是无法忍受的垃圾恶臭，成为城市垃圾处理中的棘手问题。

垃圾处理就是要把垃圾迅速清除，并进行无害化处理，最后加以合理的利用。

垃圾处理的目的是无害化、资源化、经济化和减量化。

## 垃圾的危害

在日常的垃圾处理过程中会产生毒王二噁英。又称二氧杂芑，是一种无色无味、毒性严重、无色无味的脂溶性物质，所以非常容易在生物体内积累，对人体危害非常严重。

二噁英是一种在工业上没有用处的副产物，大约有419种类似二噁英的化合物被确定，实验证明，二噁英一旦进入人体，就会长久驻留并且损害多种器官和系统，因为其本身具有化学稳定性且容易被脂肪组织吸收，并从此长期积蓄在体内，可能透过间接的生理途径而致癌。它们在体内的半衰期估计为7~11年。

在环境中，二噁英容易聚积在食物链中。食物链中依赖动物食品的程度越高，二噁英聚积的程度就越高。自然界的微生物和水解作用对二噁英的分子结构影响较小，因此，环境中的二噁英很难自然降解消除。它的毒性十分大，是氰化物的130倍、砒霜的900倍，有“世纪之毒”之称。国际癌症研究中心已将其列为人类一级致癌物。环保专家称，二噁英常以微小的颗粒存在于大气、土壤和水中，主要的污染源是化工“金工业、传统垃圾焚烧、造纸及生产杀虫剂等产业。日常生活所用的胶袋，PVC渊聚氯乙烯冤软胶等物都含有氯，燃烧这些物品时便会释放出二噁英，悬浮于空气中。

垃圾在储存、运输、焚烧过程中会释放出恶臭气体，这种气体不但会严重危害人的身体健康，还会产生二次污染。特别是在填场运行过程中，因其量大、持续时间长、影响范围广等特点，近年来已引起人们的广泛关注。

按其组成可分成五类：①含硫化合物，如 $H_2S$ 可在 $900^{\circ}C \sim 1400^{\circ}C$ 的高温分解， $SO_2$ 、硫醇、硫醚可在温度为 $390^{\circ}C$ 分解等；②于含氮化合物，如氨气、胺类、酰胺、吡啶等；③卤素及衍生物，如氯气、卤代烃等；④烃类及芳香烃；⑤含氧有机物，如醇、酚、醛、酮、有机酸等。其中大多数可以在温度为 $900^{\circ}C$ 以上分解。

“地沟油”泛指在生活中存在的各类劣质油，如回收的食用油、反复使用的炸油等，地沟油最大来源为城市大型饭店下水道的隔油地，长期食用可能会引发多种癌症，对人体的危害极大。

毒性：地沟油的毒性高于砒霜上百倍，每年多达300万吨的地沟油流向国人餐桌……也就是说你吃10顿饭，可能有1顿碰上的就是地沟油。

检测：截至目前，科学家们还没有找到一种理想的检测和鉴别地沟油的手段，给控制地沟油带来困难。

危害：长期摄入，人体将出现体重减轻和发育障碍，易患腹泻和肠炎，并有肝、心和肾肿大及脂肪肝等病变。此外，地沟油受污染产生的黄曲霉毒性，不仅容易使人诱发肝癌，在其他部位也可以发生癌变，如胃部、肾部、直肠及乳腺、卵巢、小肠等部位产生癌变。

2002年，国家出台的“食品生产经营单位废弃食用油脂管理的规定”明确要求，不得将废弃油脂加工以后再作为食用油脂使用或者销售。

## 垃圾的分类

垃圾可分为可回收垃圾、厨余垃圾、有害垃圾和其他垃圾。一般经过分类、分选等预处理后垃圾热值已接近发达国家城市垃圾的热值。

- 1、可回收垃圾主要包括废纸、塑料、玻璃、金属和布料五大类。通过综合处理回收利用，可以减少污染，节省资源。
- 2、厨余垃圾包括剩菜剩饭、骨头、菜根菜叶、果皮等食品类废物，经生物技术就地处理堆肥，每吨可生产0.3吨有机肥料。
- 3、有害垃圾包括废电池、废日光灯管、废水银温度计、过期药品等，这些垃圾需要特殊安全处理。
- 4、其他垃圾包括除上述几类垃圾之外的砖瓦陶瓷、渣土、卫生间废纸、纸巾等难以回收的废弃物，采取卫生填埋可有效减少对地下水、地表水、土壤及空气的污染。

在日常生活中每天都会产生生活垃圾，如果在垃圾产生的第一时间，即在每个家庭就已经分类好了再放到各个小区的垃圾点，垃圾处理厂的工作就少了不少。

## 垃圾分类处理的优点

减少占地。生活垃圾中有些物质是不易降解的，使土地受到严重侵蚀。进行垃圾分类挑出能回收的、不易降解的物质，可以减少垃圾数量达50%以上。

减少环境污染。废弃的电池含有金属汞、镉等有毒的物质，会对人类产生严重的危害；土壤中的废塑料会导致农作物减产；抛弃的废塑料被动物误食，导致动物死亡的故事时有发生。因此，垃圾的回收利用可以减少不必要的危害。

变废为宝。我国每年使用塑料快餐盒达40亿个，方便面碗5~7亿个，废塑料占生活垃圾的4%~7%；1吨废塑料可回炼600公斤的柴油。回收1500吨废纸，可免于砍伐用于生产1200吨纸的林木；1吨易拉罐熔化后能结成1吨很好的铝块，可少采20吨铝矿。生产垃圾中有30%~40%可以回收利用，应珍惜这个小本大利的资源。

## 常见的垃圾处理方法

目前，世界上常见的垃圾处理方法大体分为填埋、堆肥、焚烧、协同处置、资源化处理，其中垃圾填埋处理就是将垃圾在一定场地上集中堆放，并分层覆土填埋的处理方式。严格说填埋不是无害化处理，只是将垃圾从城里运输到填埋场，其中的一个缺点是占地面积大。垃圾填埋的另一个缺点是还会导致严重的地质性水土污染，因为人类的生活垃圾包括很多有毒有害物质和病菌、病毒及各种重金属元素，极易危害人类和生物的正常生存繁衍。由于我国土地面积大，所以这种方法是最常用的。

垃圾堆肥处理是利用垃圾或土壤中存在的细菌、酵母菌、真菌和放线菌等微生物，使垃圾中的有机物发生生

物化学反应而降解（消化），形成一种类似腐殖质土壤的物质，用作肥料并用来改良土壤。由于经济效益不佳，从堆肥到农田成本高，实施起来比较困难。因此，此种方法在我国难以形成规模并实行产业化。

垃圾焚烧处理就是将垃圾进行焚烧。垃圾焚烧处理时产生的二噁英会严重影响人的身体健康，因此，焚烧垃圾往往会遭到市民的强烈反对，所以兴建垃圾焚烧厂自然而然地会存在很大的阻力，况且在城市中心及边缘建立垃圾焚烧区域弊大于利。人类垃圾的最佳处理方式已不单单是我们以往所采用的最简单的焚烧和填埋办法。

垃圾焚烧炉方式曾在欧美国家盛行过，但二噁英污染风险和投资运行成本过高这两大弊端，使得垃圾焚烧在经历了上个世纪80年代的高潮之后，已经成为了一种“夕阳产业”。德国、荷兰、比利时、意大利等都早已相继颁布了“焚烧炉禁令”或部分禁令。日本高峰期建设有6000多座垃圾焚烧设施，但到目前仅存1280座。即使经济不是很发达的菲律宾，也颁布了垃圾焚烧设施建设的禁令。

水泥窑协同处置就是利用水泥烧成系统的热工环境、工艺特点和废气处理设备，在生产水泥熟料的同时处置或焚烧垃圾，具有得天独厚的天然优势。

利用水泥窑协同处置城市垃圾、污泥、危险废物的技术已被国际公认为是最有效、最安全的方法。

水泥窑协同处置与其他方式的废弃物处置相比具有节能、环保、经济等优势，水泥企业利用水泥窑协同处置除了具有明显的优势外，还可替代部分燃料和原料，减少天然矿物质资源的消耗，有利于水泥行业低碳发展。同时还可以大大节约土地资源，减少当前城市垃圾处理需要不断征用土地进行填埋的浪费，也避免了相应的社会矛盾。

资源化是最有潜力，也是最有希望的解决方法。但由于目前技术不成熟，制度不完善，而且市民的意识还不能完全认同，因此资源化的第一步，也是最关键的一步就是垃圾分类，做得并不是很理想，因此各个城市垃圾处理厂就索性把垃圾给一次性填埋掉了。

## 垃圾处理概况

全世界垃圾年均增长速度仅为8.42%，而我国的垃圾增长率则达到了10%以上。据《京华时报》报道，去年全国600多个城市共清理垃圾1.6亿吨，县城的生活垃圾8000多万吨，农村的生活垃圾约1.5亿吨。全国生活垃圾产生量约4亿吨。另外，每年还有5亿吨左右的建筑垃圾。中国的垃圾总量基本上是世界上数一数二的。此外，还有餐厨垃圾1000万吨左右。中国城市生活垃圾累积堆存量已达70亿吨，给环境保护带来了巨大压力。

目前我国垃圾的处理方法还大多处于传统的堆放填埋方式，不但占用大量的土地资源，而且虫蝇乱飞，污水四溢，臭气熏天，对环境污染相当严重。因此进行垃圾分类收集可以减少垃圾处理量和处理设备，从而降低处理成本，减少土地资源的消耗，具有社会、经济、生态三方面的效益。

在城市化进程中，垃圾作为城市代谢的产物已经是城市发展的负担，世界上许多城市均有过垃圾围城的局面。而如今，垃圾被认为是最具开发潜力的、永不枯竭的“城市矿藏”，是“放错地方的资源”。

从国外多种处理方式的情况看，有以下趋势：一是工业发达国家由于能源、土地资源日益紧张，焚烧处理比例逐渐增多；二是填埋法作为垃圾的最终处置手段一直占有较大比例；三是农业型的发展中国家大多数以堆肥为主；四是其他一些新技术，如热解法、填海、堆山造景等技术，正在不断地取得进展。

焚烧是目前世界各国广泛采用的城市垃圾处理技术，目前国外工业发达国家主要致力于改进原有的各种焚烧装置及开发新型焚烧炉，使之朝着高效、节能、低造价、低污染的方向发展，自动化程度越来越高，正逐渐上升为焚烧处理的主流。

# 试论我国水泥工业的利废发展方向

高长明  
中国水泥网高级顾问

**摘要：**本文主要对我国水泥工业的消纳利用废弃物的现状及其发展方向作进一步的探讨。

**关键词：**利废，废弃物，生态环境

现今，水泥工业在发达国家已经走上了循环经济和可持续发展的道路。我国水泥工业在经历了近10年的现代化大发展与大力淘汰落后生产方式以后，也开始走上了这条正确的发展道路。水泥工业实现“四零一负”——对生态环境的零污染，对外界电能的零消耗，对废物废水的零排放，对天然化石燃料的零消耗，以及对全社会部分废物的负增长(消纳利用)——可持续发展的战略目标，已在国内外大量成功地实践中逐步形成了中外业界人士的普遍共识。本文特对我国水泥工业的消纳利用废弃物的现状及其发展方向，即所谓的“一负”潜力，作进一步的探讨。

## 1、水泥工业的利废功能

随着国民经济的发展，全社会的三产(农业、工业、服务业)所产生的废弃物数量日益增加，如何综合利用和高效消纳这些废弃物，减少或消除填埋，节省占地，保护环境，促进循环经济，已经成为一项严峻而长期的挑战和必须要妥善解决的使命。

鉴于水泥工业的固有特征，使其在利废领域具有显著优势。其利废功能主要表现在三方面。首先是利用各种工业废弃物作为混合材，掺入水泥熟料中一并粉磨成相应品种的水泥。这种方式简便易行，既可以利废又能直接增产水泥，降低生产成本。第二是将有些废物(赤泥、电石渣、有色冶炼渣、铸造砂等)用作水泥原料，替代一部分或全部石灰石、砂页岩、粘土等天然矿石。这种利废方式往往会给原有的水泥生产工艺或水泥性能带来某些难题，需要采用较高的技术和装备，增加一定的投入才能实施。第三是利用各种含可燃质的废物(工农业废料和城市垃圾等)作为水泥窑的燃料，替代一部分或全部的天然化石燃料。这种利废方式不仅对水泥厂的技术装备要求更高，而且更主要的是涉及全社会的政策导向、技术路线、法规、标准、环保等诸多方面，没有政府的引导与扶持，单靠水泥企业的努力是难以实现的。近10年来，德国和我国正反两方面的实践效果与经验教训足以说明这一点。

还有一些废弃物，兼含可燃质和水泥原料的成分，例如煤矸石、油页岩、生活垃圾、污泥等，因而可以同时用作替代燃料和替代原料；丹麦史密斯公司的热盘炉，我国海螺集团的CKK炉，以及天津院、合肥院、华新集团等研发的装备均能适应我国水泥厂烧垃圾和污泥的要求。

2010年我国水泥工业综合利用社会废弃物的基本数据及其与德国、日本和美国水泥工业的对比情况，如表1所列。应该说明，表中所谓的吨水泥利废量(kg/t.c)，并不是一个很科学严谨准确的指标，它只是整体综合地表明，每生产1吨水泥总共利用消纳了多少公斤的社会废弃物。其中用作混合材(含替代石膏)、替代原料和替代燃料的数量分别有多少公斤。显然这里并未考虑到混合材、替代原料，尤其是替代燃料等原始形态及品位差异的因素，只是一个单位水泥利废量的重量概念。该值越大则利废量越多，但并不一定代表其利废中的技术含量最高，难度最大，贡献最大。

## SFL水泥烧成系统焚烧垃圾——国际合作专利技术

传统的垃圾焚烧方法，在城市生活垃圾焚烧处理过程中也会产生对环境的重度污染和浅表性、漫长性侵害，包括垃圾燃烧后的空气污染。其主要流程是垃圾经过分类、分选后，用焚烧炉焚烧含有大量热值的垃圾，可以用于发电。

发达国家也有采用水泥烧成系统分解炉焚烧垃圾的，比如圆盘炉。国外和国内还有采用三次风管热风焚烧垃圾的，目前来看都不成熟。比如，德国回转的焚烧炉串联在三次风管上，问题是漏风、排渣困难，回转部分载荷庞大，土建、设备投资都很大；国内某厂回转的焚烧炉并联在三次风管上，除了漏风、排渣困难之外，主要是垃圾投入后对系统压力影响很大，并联的管道无实现压力平衡，不能正常工作。

针对上述问题，北京四方联新技术开发有限公司与加拿大莱昂公司合作发明了SFL水泥烧成系统焚烧垃圾系列专利技术，此技术具有以下几方面的特点：

特点1：焚烧床串联在三次风管上的新方法。焚烧床在三次风管中间固定不动，垃圾投到焚烧床上，理论上可以保证有足够的焚烧时间，并且由于系统阻力不变，不会影响系统工作。焚烧残渣经排渣口排出，可以通过输送直接掺入到原料制备系统，也可以输送到熟料里，由于其量很小不会对熟料质量产生过大影响。这种方法更适合于垃圾分类及处理较差的中小城市。

特点2：将垃圾从窑头罩的上面或侧面投入，窑头罩相当于焚烧炉。垃圾投入后空中被加热燃烧，没有来得及燃烧的垃圾落入篦冷机篦床的高温物料上继续燃烧。同样，焚烧残渣直接掺入到熟料里，由于其量很小不会对熟料质量产生过大影响。

特点3：将垃圾从篦冷机入料端立面或侧面或壳体顶面投入，垃圾落入篦冷机篦床的高温物料上或物料里燃烧。同样，焚烧残渣直接掺入到熟料里，由于其量很小不会对熟料质量产生过大影响。首先，由于垃圾在焚烧前处于吸热状态，所以对熟料有机冷的作用，有利于提高熟料质量，同时，燃烧后发出的发过来又将二次风温提高，有利于水泥煅烧。其次，垃圾中的重金属遇到1370℃的炽热熟料，在熔融状态大部分固化到熟料上，进一步减少了重金属的污染。现阶段，这种方法更适合于垃圾分类及处理较好的大中城市。

特点4：将垃圾的渗沥液或工业废液或地沟油直接随喷煤管喷入回转窑或篦冷机高温熟料表面进行焚烧，焚烧前的吸热过程防止了烟气的温度过高，从而减少了NO<sub>x</sub>生成，有利于环境保护。尤其是采用喷煤管或篦冷机焚烧地沟油，不仅可以回收大量的热，减少地沟油再加工后流入社会，对食品安全和人民的健康有非常大的保护作用。

特点5：将垃圾通过烘干投入分解炉进行燃烧，目前，这种方法在国外已经有应用，比如圆盘炉。

特点6：上述焚烧垃圾，尤其是焚烧塑料等会使烟气中的氯离子升高，造成系统无法运行，用已经成熟的旁路放风的办法解决。

特点7：理论上当烟气温度超过800℃，垃圾中的二噁英就会分解，所以上述方法中烟气温度都能满足要求。但是，在400℃~250℃时，如果时间超过N秒，二噁英再合成。四方联窑尾防止二噁英再合成技术，由于从水泥窑尾预热器投入的生料的吸热过程恰恰使烟气温度在瞬间降低到250℃以下，最大限度地阻止了二噁英再合成，彻底克服了传统焚烧的缺点，实现了技术的最佳匹配，同时大大地降低了烧成系统的热耗。

特点8：由于垃圾里的热值通过焚烧会全部释放出来，另外，窑尾控制二噁英装置的使用同样回收大量热，所以，SFL水泥烧成系统垃圾焚烧技术的应用可以节约大量的热，降低了烧成系统的热耗。

上述技术可以组合使用，也可以单独使用。

表1 2010年我国和德日美水泥工业综合利用消纳社会废弃物基本情况比较

国别	全社会废弃物			水泥工业利废消纳量												
	产出量 (亿吨)	利用消纳量 (亿吨)	综合利用率 (%)	水泥产量 (亿吨)	熟料产量 (亿吨)	熟料系数 (%)	替代原料		混合材+石膏		替代燃料			合计		占社会总利废量 (%)
							总量 (万吨)	吨水泥用量 (kg/t)	总量 (万吨)	吨水泥用量 (kg/t)	总量 (万吨)	吨水泥用量 (kg/t)	按热量计替代率 (%)	总利废量 (万吨)	吨水泥用量 (kg/t)	
中国	33.49	15.07	45	18.6	11.8	63.4	14880	80	68000	366	17	0.09	0.04	82890	445	55
德国	0.768	0.676	88	0.31	0.25	80.2	496	160	614	198	242	78	62	1352	436	20
日本	1.599	1.375	86	0.55	0.43	82.5	1287	234	962	175	226	41	15	2475	450	18
美国	1.991	1.274	64	0.66	0.59	89.1	707	107	720	109	231	35	25	1657	251	13

## 2、对水泥工业三种利废方式的分析

### 2.1 用作混合材

这是一种最简便最粗放的利废方式，实际上就是把矿渣、粉煤灰、石灰石、火山灰、页岩等当作填充料，掺于熟料中一并粉磨直接增加水泥产量的办法，谈不上什么技术难度和技术含量问题。对立窑熟料来说，矿渣或粉煤灰的掺入还有补救其固有缺陷的“救命稻草”之功效。

上世纪50年代开始，在我国水泥工业立窑一统天下的畸形发展中，“小水泥”不顾国家水泥标准规定，故意超标掺混合材的“积极性”一贯就十分高涨。加之后来国家原意为鼓励水泥企业利废，规定利废率超过30%的才能获得奖励的政策，无形中就把我国水泥中的混合材掺入量提高到了30%左右。否则那些混合材掺不到30%的水泥企业就领不到利废补贴。在行业生态扭曲，某些经营者弃诚逐利的驱使下，市场监管缺失，原本意在鼓励利废的政策却部分地走向了反面，变成了刺激某些人超标掺混合材，制造假冒伪劣水泥的动因。笔者赞成多掺混合材，但是必须以诚信为本，必须遵守国家水泥标准规范，加强市场监管，确保水泥品质。

### 2.2 用作替代原料

因为多数替代原料往往含水量高，易粘堵，难储运，有的还含有若干影响正常生产或水泥性能的少量有害物质(钾、钠、氯、硫、磷、锌……)或影响环境安全的重金属等，可能会提高技术装备的投资和生产成本。全社会对此应该进行技术、经济和环保等各方面的综合考量；水泥企业也要作出相应的协作，在政府激励政策下履行一定的社会责任。

显然，这种利废方式是有其技术难点和技术含量的，而且我国还有较大的改进完善的发展空间。这里有必要重申笔者的一个观点，那就是电石渣的问题。我国现在已经成功地在新型干法水泥窑上采用电石渣100%的替代石灰石生产出熟料，这一成果值得称赞。但是从全社会的节能减排环保来考察，我们并不希望再产生更多的电石渣。因为电石渣是由电石(CaC<sub>2</sub>)加水(H<sub>2</sub>O)生成有机化工所需的原料乙炔气(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)后所剩余的残渣氢氧化钙(Ca(OH)<sub>2</sub>)。电石则需要用石灰石和焦炭在电炉中高温煅烧而成，在该过程中要消耗大量的电能，排放大量的CO<sub>2</sub>。这种电石法生产乙炔气的工艺，在30多年前已经开始被由石油裂解直接生成乙炔气的方法所取代。这就是现今发达国家之所以没有电石渣的原因。笔者的体会是，电石法生产乙炔气犹如立窑生产水泥，均属应抓紧淘汰之列。我们的目标就是要把我尚且还存在的每年产出近2500万吨电石渣及其存量全部消纳干净。今后我国电石渣的产出量应该是渐趋减少的。

### 2.3 用作替代燃料

发达国家水泥工业采用可燃烧废物作为替代燃料已有30年的历史，在这期间全球有约300台水泥窑燃烧了近3亿吨废物，进行过约7000套次排放废气的环境安全检测和近8000套次的水泥混凝土制品的重金属浸析检测。实践表明，水泥窑协同燃烧废弃物不会影响窑的正常生产和熟料品质，对环境安全也是有充分保障的。

现今水泥窑兼烧废弃物的技术与装备已相当成熟，发达国家的相关法规、规章、制度也较完善。我国为此转轱了近10年，如今终于盼到了开始正式启动之势。然而政府的引导协调与扶持尚亟待给力，真正落实。显然这种利废方式是涉及全社会的一项系统工程，政府的作为是不可缺失的，是责无旁贷的；同时也是对政府预见力、判断力、领导力、执行力的现实考验。我国水泥工业在采用替代燃料方面已经延误了好多年的时间，现在该到了总结经验教训、正确决策的时候了。2011年4月国务院批转了建设部、环保部等16部门《关于进一步加强城市生活垃圾处理工作的意见》，对处置不力的省市要追究责任。看来水泥窑烧垃圾等废弃物的潮流即将到来。

## 3、对我国水泥工业利废水平的分析

### 3.1 粗放型的初级阶段，过分偏重于多掺混合材

表面上看，我国水泥工业吨水泥利废量达445kg/t，与德、日的相接近，比美国的高不少，似乎还挺不错。实际上，这445kg/t之中有336kg/t来自混合材的大量掺用，替代燃料几乎没有，替代原料也很少。与德、日、美三国三种利废方式相对较均衡的数据相比较，可以看出我国的差距不小，尤其与德国的差距更甚。何况，混合材还有超标掺之嫌，岂不令人堪忧。所幸随着立窑水泥的大量淘汰出局和水泥质量监管的加强，这种混合材超标掺的现象有望得到一定的遏止与管控。

### 3.2 开展混合材深加工，提高混合材品质

面对我国水泥工业大量掺用混合材的事实，我们更应加紧混合材深加工的研发工作，例如对矿渣和粉煤灰等的超细粉磨，将混合材由填充料转变成提高或改进水泥某些品质的“激发剂”，或改性成为可以基本替代熟料的新材料，这方面的工作我国有些单位已经获得一定进展，还有许多研发要做。

### 3.3 成功地采用电石渣100%替代石灰石

为推广各种高水分尾矿用作为替代原料创造了良好的开端。

虽然电石渣的产出量势将缩减，但是该项研发的技术含量将为其各种高水分、难储运的冶炼尾矿用作替代原料提供了有益借鉴。我们应该在开拓替代原料方面继续研发，努力争取在“十二五”之内把吨水泥替代原料的利废量由2010年的80kg/t提高到现今德日的水平，200kg/t左右。

### 3.4 我国替代燃料的水分高，热值低，其消纳废物的环保意义或者更甚于节省熟料烧成用煤。

2010年美德日三国水泥工业采用替代燃料的大致情况，如表2所列。

表2 2010年美德日三国水泥工业采用替代燃料的组成

项目	美国	德国	日本	
按热量计的替代率 (%)	25.6	61.7	14.7	
替代燃料平均水分 (%)	3~5	5~8	4~6	
替代燃料平均热值 (KJ/kg)	36780	23400	13380	
替代燃料相当于标煤 (t/t)	1.1	0.8	0.35	
替代燃料组成 (%)	废轮胎	67	18	7
	家具、塑料、织物、皮革等	8	25	46
	废机油、溶剂等	11	25	32
	石油焦、油墨等	10	7	—
	垃圾、污泥、秸秆等	4	25	15
	合计	100	100	100

可以看出，美国的替代燃料以废轮胎为主，平均热值高于标煤，吨固废相当于1.1吨标煤；德国则以家具、废油、垃圾等各占25%。吨固废相当于0.8吨标煤；日本则以家具、塑料、废油、溶剂为主，平均热值较低，吨固废相当于0.35吨标煤。而我国当前急需消纳的则是城市垃圾和下水污泥，其平均水分高达30%左右，平均热值仅约10500KJ/kg。扣除其中水分蒸发所需的热耗，其可用作替代燃料的热值仅剩5000—7000KJ/kg。吨固废相当于0.18~0.24吨标煤。

因而一台5000t/d水泥窑，消纳垃圾300t/d(水分30%，热值10500kJ/kg)，理论上其对煤的替代率可达11.5%，实际上其节煤为4~5%(铜陵CKK数据)。这种情况下其消纳垃圾的环保价值或大于节煤。所以更须要政府的扶持政策才能推进。看来铜陵市政府给予海螺每烧1吨垃圾190元补贴，相对于全国一般垃圾发电厂所得到的总补贴来说，是比较公平合理的，是有远见的。呼吁国家主管部门，总结10多年来垃圾发电项目的经验教训，公平、公正地审视水泥窑协同消纳垃圾的项目，并给以必要的扶持政策。2015年水泥工业采用替代燃料的替代率有望达30%左右，相当于节省标煤4500万吨，在替代燃料平均品位较低条件下，吨水泥替代燃料量约100kg/t。

#### 4、对我国水泥工业固废激励政策导向的浅见

我国水泥工业固废激励政策以30%固废量为门槛的办法已实施了多年，总体上看正面效果是肯定无疑的。这里笔者提出几点不成熟的改进想法，仅供参考。

加大对采用替代燃料和替代原料的奖励力度；

增设对采用深加工混合材的奖励条款及验证制度；

削减甚至取消对通用混合材的奖励，加强对超标滥掺的监管与惩处；

根据其固废量，更主要的是其在技术、经济、环保、社会责任等各方面贡献的大小制定不同等级的奖励办法，逐步改变笼统地按30%固废量来规定有或无奖励的办法，争取修订得更科学精确一些。

当然修订固废奖励办法，其工作量肯定不小，需要落实到具体的部门和人员。另外我们是否可以考虑勤修订的方法，不求面面俱到，一步到位，常年不改，是否可以根据形势要求和出现的新问题及时进行修订。

最后应该指出，我国水泥行业固废量竟高达全国固废总量的55%，这种情况揭示了我国许多其他行业的固废功能尚没有发挥到其应有的水平。相反地却是各种废弃物似乎都可以往水泥这个巨大的麻袋里装，对照德国和日本，虽然其水泥工业也属固废大户，固废量达全国总量的18~20%。说明其他行业的固废功能也有较均衡的发挥。我国水泥工业如此热衷于“固废”所造成的“一枝独秀”局面，值得全社会各行各业，特别是水泥工业本身认真反省。2005年笔者曾提出过要注意扭转这种倾向，考虑到熟料质量提高的因素后，至今仍未见好转趋向。敦请有关主管部门关注并采取切实措施，科学引导，具体指导落实，必须要花大力气刹住超标滥掺之歪风，把这个问题牢牢地置于市场和政府的共同掌控之中，不能放任。

#### 参考文献

[1]高长明.再论水泥窑焚烧废弃物的环境安全问题.中国水泥2010年第2期

[2]高长明.关于国际国内水泥工业固废潜力的分析.中国建材报2005年2月21日

# 广州越堡水泥有限公司污泥处置 和资源化利用情况介绍

## 前言

新型干法水泥工艺具备彻底无害化处置固体废弃物的先天优势，具有很强的生态补偿能力，利用城市周边的新型干法水泥企业处置城市废弃物，是大中城市循环经济产业链的重要一环。国际公认的水泥窑处理工业废弃物有七大优势：

(1) 水泥窑内温度高，气体和物料温度分别可达到1750°C和1450°C（焚烧炉的气体温度最高1200°C，物料温度800-900°C）。

(2) 水泥窑内气体通过时间长，一般为40分钟，在大于1100°C的通过时间超过4秒（焚烧炉内仅2秒），且水泥窑热惯性大，工况稳定。

(3) 水泥窑内高温气体湍流强烈，有利于气固两相的混合、传热、传质、分解、化合、扩散。

(4) 水泥窑内的碱性物质可以和废料中的酸性物质相化合稳定的盐类，便于其废气的净化（脱酸）处理。

(5) 水泥窑可以将废料中的绝大部分重金属固化在熟料中，避免再次扩散。

(6) 焚烧废物的残渣进入水泥熟料，最终进入水泥成品，不再对环境产生二次污染物。

(7) 可燃废弃物可替代部分燃料，可减少水泥工业对天然燃料的消耗，节约能源。

目前在欧美、日韩等发达国家已相当普及，也是未来中国水泥行业两大发展趋势之一。国内北京、上海、重庆等的水泥企业已陆续开始了废弃物处置实践。

为了在资源、环境压力不断增加的广东水泥市场中找到一条科学可持续、环境友好的发展道路，近年来，越堡水泥发挥企业紧邻广州的区位优势，积极与国内外科研机构合作，开展利用水泥窑协同处置污泥、工业和生活废弃物的研究与试验，在废弃物综合利用领域取得了丰硕的成果。

## 1、广州市越堡水泥有限公司基本情况

### 1.1 发展历程

公司前身是广州水泥厂，成立于1929年，是中国最早的水泥厂之一。

2003年，为满足城市发展需求，对原广州水泥厂实施环保搬迁。

2005年4月2日，广州市越堡水泥有限公司6000t/d生产线点火试产。

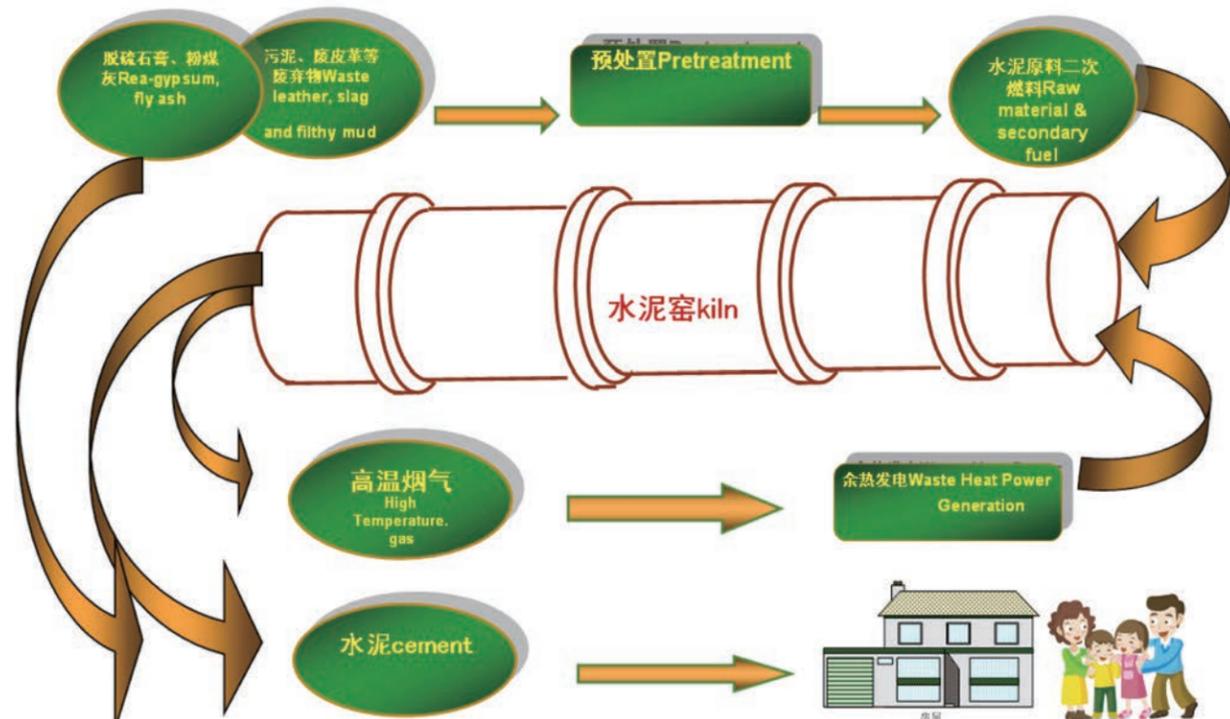
2010年，华润水泥与越秀水泥成功携手，越堡两大股东分别为华润水泥与德国海德堡水泥集团。

公司项目设计规模为日产熟料6000吨、年产水泥227万吨，于2003年8月开工建设、2005年5月点火试产、2006年1月投入营运。

目前，公司生产能力达到日产熟料7000吨、年产水泥330万吨规模；

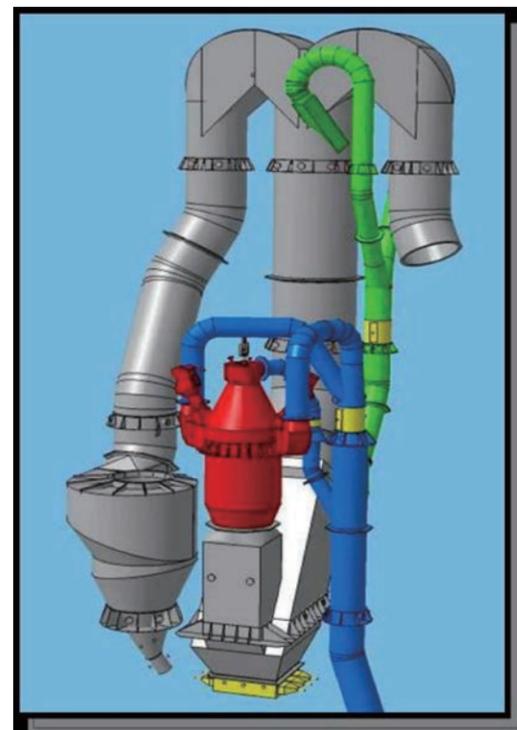
公司是广东省、广州市优秀清洁生产企业，广东省第二批循环经济试点单位；

### 1.2 水泥窑循环经济模式

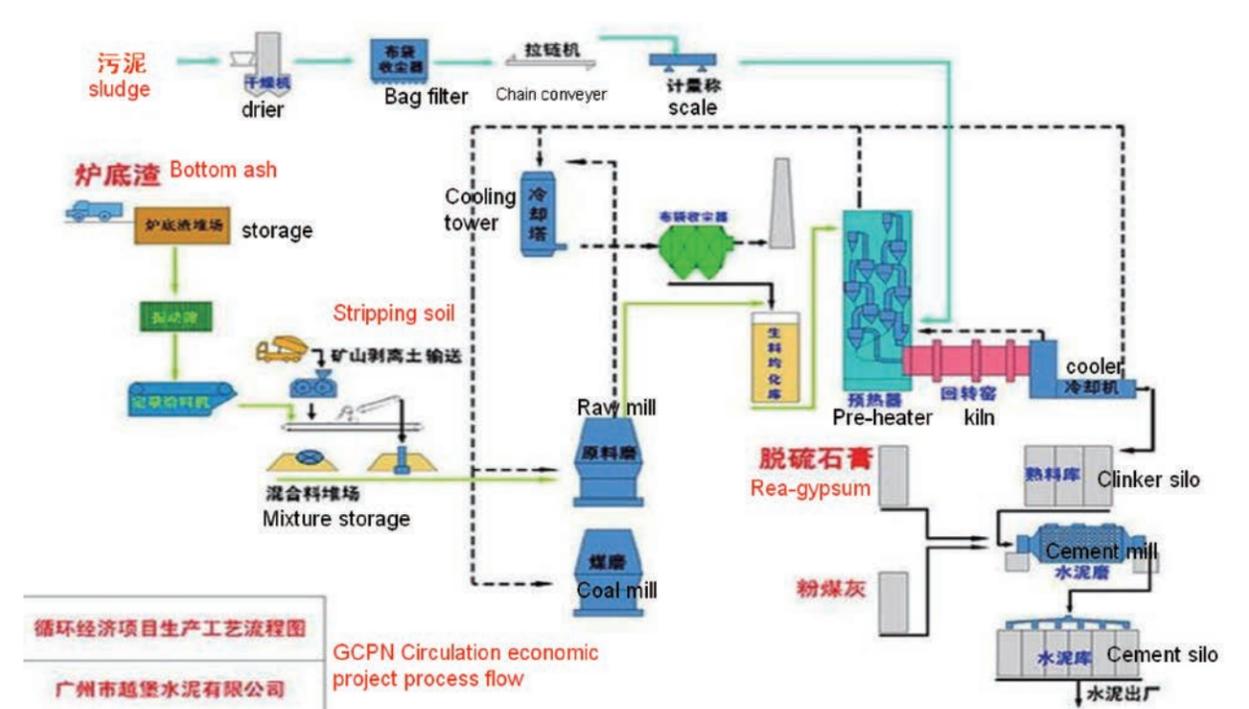


### 1.3 先进工艺设备保障

越堡建设之初，为窑系统预留了处置废弃物的空间与能力。烧成系统选用德国洪堡公司的回转窑，配予高效预分解炉、低压损双系列五级旋风预热器。



### 1.4 越堡处置工业和生活废弃物工艺简图



## 2、利用水泥窑协同处置污泥项目

### 2.1 项目建设背景及意义

(1) 污泥处置成为亟待广州市政府棘手难题

2010年，全市城镇污水处理能力提升至339万t/d，将产生污泥2204t/d；

2020年，全市城镇污水处理能力提升至784万t/d，将产生5096t/d；

受到土地、能耗、投资、二次污染等内在因素及新标准等外在因素制约，现有处置方式始终无法实现规模化、无害化的处置目标。因此，广州市政府急需妥善的方法处置污泥！

(2) 对广州生态环境保护 and 资源循环利用具有重要意义

越堡毗邻广州市区，污泥焚烧设备与水泥生产设备共用，有效降低了分散建设污泥处置项目基地在建设、营运、运输等环节的经济投入及环保风险。

利用水泥窑协同处置污泥，污泥焚烧后的残渣组份与水泥原料相似，可替原料用于制备熟料，降低天然资源消耗。

(3) 有利于企业转型升级，提高企业核心竞争力

量大而且急需处置的污泥是传统水泥产业提升至新型环保产业的最好切入点。

在进行了大量的调研及试验前提下，越堡最终选择了把处置污泥作为切入点，率先进行绿色转型。

(4) 为污泥无害化处置提供技术示范及标准

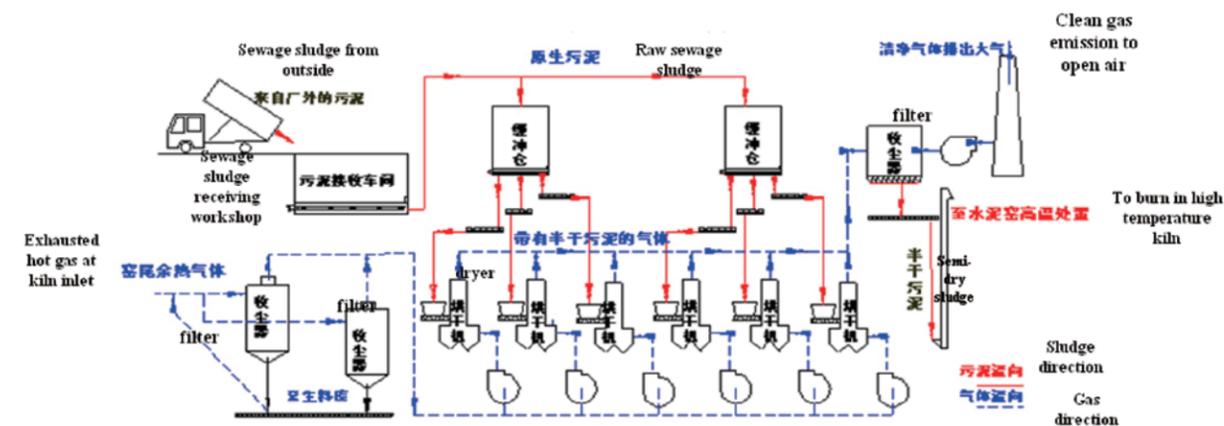
目前，我国污泥处置主体技术路线并不明了；

利用水泥窑协同处置可以克服专业焚烧炉处置成本高、投资大，资源化程度效率低、二次污染等；为我国污泥处置提供新的模式、思路及技术示范和标准！

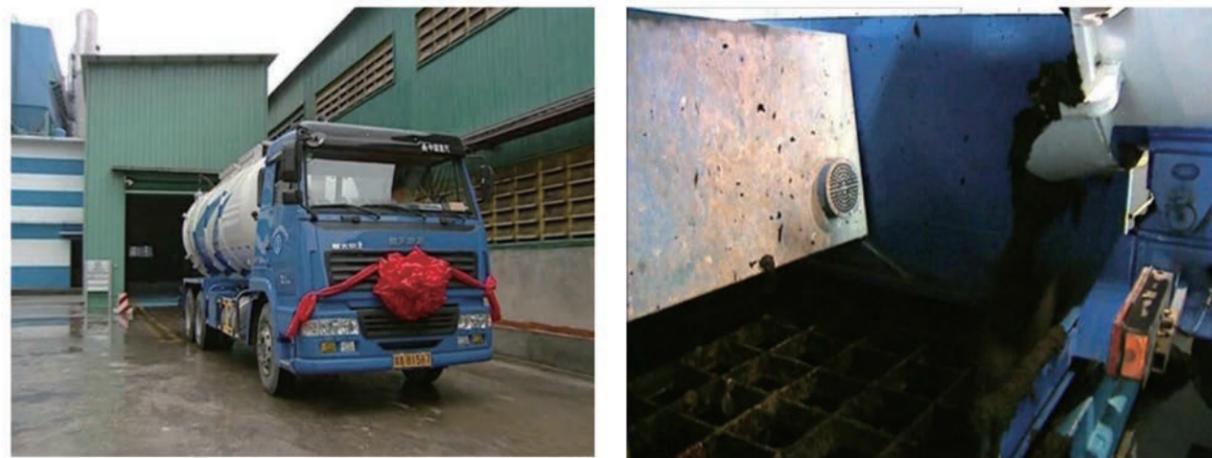
## 2.2项目工艺流程

原理：废气低温烘干、窑炉高温煅烧。

污水处理厂产生的污泥(含水率约80%)经专用密封罐车运至水泥工厂，通过缓冲仓进入烘干机，在此由窑尾废气余热烘干为半干污泥(含水率约30%)，半干污泥经输送系统喂入窑系统高温煅烧，煅烧过程中污泥的有机成分被彻底分解，其他成分则被固化在熟料中，无二次污染。



### 2.2.1湿污泥运输进厂



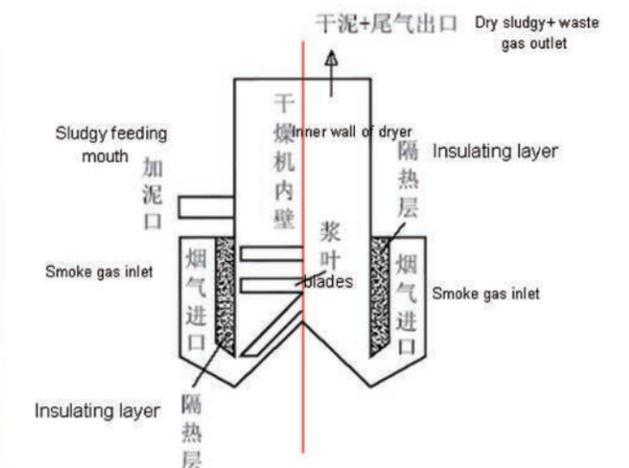
采用密闭专用运输车，将从污泥处理厂收集的湿污泥运输进越堡，运输过程无遗洒和臭气外泄。

### 2.2.2湿污泥接收及输送



湿污泥由运输车倒入污泥接收仓，经柱塞泵泵送到2×300吨的污泥缓冲罐，再经液压移动滑架、无轴绞刀输送到污泥进料小仓称量。整个接收及输送过程均在专用密闭车间和管道中微负压运行，无恶臭气体外溢。

### 2.2.3湿污泥干化



污泥经称量后进入烘干机，烘干机采用旋流喷动干燥工艺，原理是闪蒸-旋流换热，湿污泥与热源直接接触，烘干速度快、停留时间短(约10秒)、烘干效率高(含水率低于30%)。污泥烘干车间为全封闭式，并维持负压，所抽取的混合气体经管道送入水泥窑窑头高温区高温裂解，不产生二次污染。

### 2.2.4半干污泥的收集及输送

烘干后的半干污泥随气体进入高效的布袋除尘器，进行气固分离。半干污泥被布袋除尘器拦截收集，经拉链提升机输送至位于窑尾预热塔的干泥缓冲仓，再送入分解炉高温处置。

2.2.5干化污泥入窑高温处置

半干污泥经皮带称计量后喂入窑尾分解炉(喂入点温度约为900度),并随生料进入回转窑,参与熟料煅烧过程。污泥中的有机物被彻底分解,重金属及无机物等被晶化在熟料中,无底渣及飞灰等二次污染物排出。

2.2.6废气处理

污泥干化、高温处置过程产生的含尘废气由高效袋收尘器处理后再经烟囱排放。接收车间、烘干车间等臭气经微负压收集后,经风管送入回转窑中高温处置。

2.3项目进展

2008年3月9日,越堡污泥处置项目动工。设计处置能力600t/d(18.6万t/d),分两期建设,建设时为国内规模最大的水泥窑处置污泥项目。

项目被列为国家“十一五”科技支撑计划(工业及城市废弃物在水泥窑中的处置技术及装备研究)攻关项目和广东省水泥窑协同处置固体废弃物试验的试点示范工程。

2009年3月9日,项目正式启动试运行。

同年8月18日,项目一期(300t/d)正式投入商业运营,目前已经具备了“收集-运输-干化预处理-最终焚烧处置”循环经济体系无害化处置污泥的能力。

项目二期建设已于2010年3月投入运行,总体处置能力提升至600t/d以上。目前为止共安全无害化处理湿污泥16万吨。

2.4 项目运行分析

2.4.1污泥的成分

接收的原生湿污泥的收到基水份为80.7%,经烘干后的半干污泥水份约为27.2%,达到设计要求。另外,污泥的热值约为2844kcal/kg,相当于劣质煤或者泥煤。

污泥无机成分分析结果

	Loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
原生污泥	59.94	44.27	20.24	7.48	8.20	2.65	8.50	1.95	0.98
半干污	47.01	27.54	12.52	7.53	37.11	2.33	8.09	1.30	0.44

污泥热值分析结果

分析项目	工业分析(收到基)%			低位热		
	Mar	Aar	Var	Fcar	kJ/kg	kcal/kg
煤粉	2.1	28.7	20.1	47.6	23355	5585
半干污泥	2.34	42.32	53.27	2.06	11900	2844

2.4.2大窑产量

项目试运行以来,设备运转正常,对窑系统运行影响不大,窑台时产量在烧污泥前后保持7000t/d。

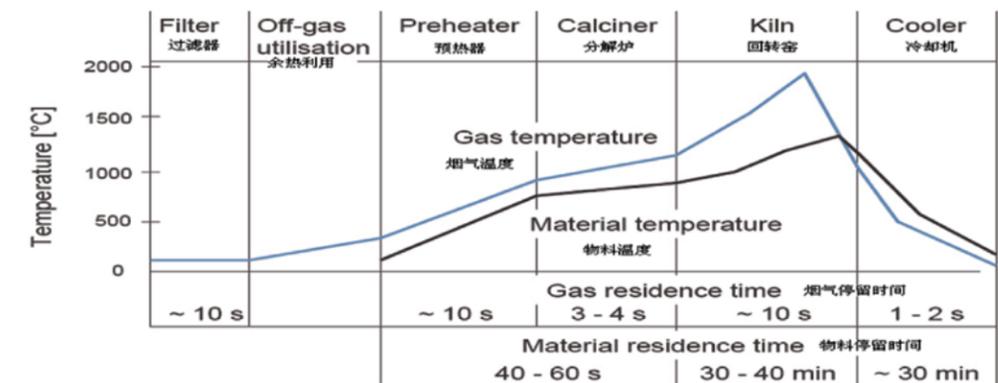
2.4.3熟料强度

项目试运行以来,熟料强度基本没变化,3天、28天平均抗压强度对比见下表:

	2009.1-2009.9	2009.10-2010.2
3天强度平均	33.1Mpa	33.4Mpa
28天强度平均	60.8Mpa	60.7Mpa

2.4.4持续性有机污染物(如二噁英等)

半干污泥从分解炉(温度≤950℃)及富氧区域喂入,停留时间大于10s,保证了污泥在分解炉内迅速被高温焚毁。



水泥窑中物料及热烟气停留时间曲线图

	环境条件	物质条件	介质条件
POPs 生成条件(一般理论)	缺氧状态、温度 300~650℃之间的低温不完全燃烧状态	有机氯化物及有机苯环化合物等存在	催化剂的存在,主要是铜、镉等副族元素化合物
水泥窑	稳定高温(约为 1400℃),富氧燃烧,停留时间大于	氯离子主要以无机化合物形式存在,不存在苯环化合物	重金属以矿物形式存在,晶化在水泥熟料中

试运行期间二噁英监测结果

危险气态污染物	二噁英	执行标准
浓度 I-TEQ (pg/m <sup>3</sup> )	15.75	危险气态污染物执行《生活垃圾焚烧污染控制标准》GB18485-2001
标准 I-TEQ (pg/m <sup>3</sup> )	1000	

国内外处置固体废物水泥窑生产线的二噁英监测情况

生产线名称	处置固体废物种类	二噁英排放浓度(ngTEQ/m <sup>3</sup> )	排放标准
北京水泥厂有限公司	处置工业危险废物 9 万吨/年	0.005	0.1ngTEQ/m <sup>3</sup>
广州市珠江水泥有限公司	处置废皮革试验	0.015	
荷兰	生活污水	<0.01	

注：欧洲标准为<0.05ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>，我国标准为0.1 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>

#### 2.4.5 重金属

污泥中的重金属元素进入水泥窑后有三个去处：随烟气和粉尘排放、窑系统内循环、进入熟料中。

试运行期间尾气重金属监测结果

特殊气态污染物	汞 (Hg)	铅 (Pb)	铬 (Cr)	镉 (Cd)	砷 (As)
实测浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	<0.01	0.039	0.001	0.176	<0.1
标 (mg/m <sup>3</sup> )	0.01	0.7	-	0.85	1.5

中国某污水污泥中重金属元素测试值 (mg/L)

Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	As
2.00	8.50	1900	1.44	20.0	84.3	5.13	4.64

重金属浸出毒性试验结果比较 (mg/L)

项目	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	As
GB5085-85	50	3.0	50	0.3	1.5	25	0.05	1.5
污泥制水泥熟料	0.090	0.545	0.024	0.055	0.466	0.245	0.003	1.49

#### 2.4.6 污泥烘干系统排放气体臭气浓度

序号	氨气 (mg/m <sup>3</sup> )	硫化氢 (mg/m <sup>3</sup> )	臭气浓度 (无量纲)	监测温度 (°C)
1	1.47	<0.006	4060	139
2	0.565	<0.006	1685	
3	0.732	0.008	927	
平均值	0.922	0.007	2224	98
4	0.535	0.009	3033	
5	0.413	0.014	7257	
6	0.342	<0.006	2263	
平均值	0.43	0.001	4184	
标准值	1	0.03	30000	GB 14554-93

### 3、结束语

越堡污泥处置项目，既是一个能源再生项目，更是治理污染的环境保护项目，项目的建成很好地解决广州市市政污泥处理处置问题；本项目的工程实践，也为国内其他城市污泥的处理处置和资源化利用探索了一条具有循环经济特点的示范途径。

企业与环境、社会和谐发展是企业可持续发展永恒的课题。越堡将一如既往坚持节能减排、绿色经营，践行循环经济，促使企业可持续发展，成为一个生态水泥企业。

# 关于水泥窑协同处置下水道污泥的做法

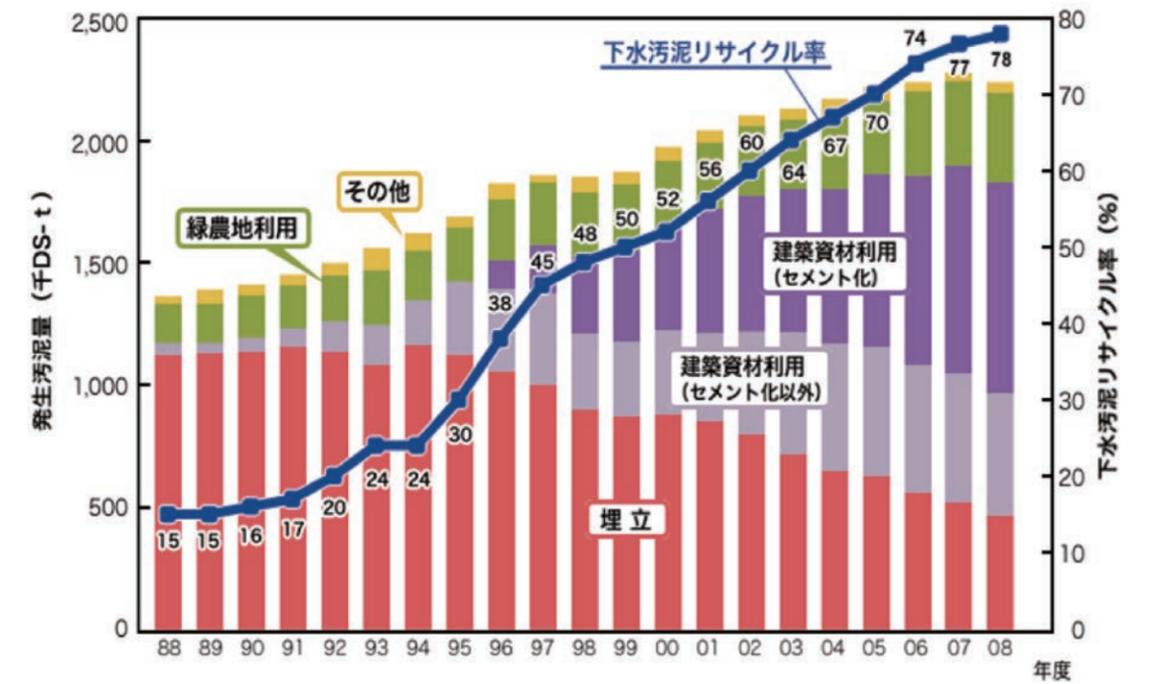
深见慎二

太平洋水泥株式会社绿色环保创新促进部

摘要：本文主要介绍日本关于下水道污泥处理现状及太平洋水泥如何处置利用下水道污泥。

关键词：污泥，日本

## 1、日本的下水道污泥



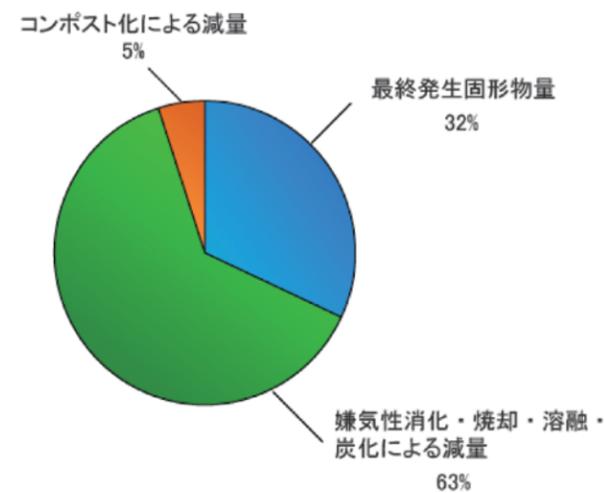
源自：财団法人 日本下水道协会HP

発生固形物量と最終形態固形物量(平成20年度)

	発生固形物量 (濃縮汚泥 ベース) (DS-t/年)	最終形態固形物量 (DS-t/年)
生汚泥	14	14
濃縮汚泥	5	5
脱水汚泥	187,855	163,979
移動脱水車汚泥	356	356
コンポスト	238,155	134,284
機械乾燥汚泥	53,856	53,856
天日乾燥汚泥	1,329	1,329
炭化汚泥	5,494	4,292
焼却灰	1,510,891	312,754
溶融スラグ	210,431	43,559
合計	2,208,386	714,428

各工程の減量化内訳(平成20年度)

最終発生固形物量	714,428
嫌気性消化・焼却・溶解・炭化による減量	1,390,087
コンポスト化による減量	103,871



源自：財団法人 日本下水道協会HP

### 1.1 污泥的产生

截至2008年，日本的下水道普及率为72.7%，每年处理生活用水(污水)145亿吨。由于下水道污泥的水分相差各异，所以日本在统计上以干基重量表示。每年大约产生220万吨DS(DS=Dry Sludge=干污泥)的下水道污泥。每年实际产生脱水污泥的数量为925万吨。

### 1.2 污泥的处理

日本的下水道污泥的处理特征是：为实现减量化，80%被焚烧熔融。下水道污泥在焚烧过程中生成的一氧化氮(N<sub>2</sub>O)温室气体效应为二氧化碳的310倍，曾为课题。然而由于开发出生成量较少的流化床焚烧炉，其焚烧方式得到普及。

以减量化为目的对下水道污泥进行消化。然而生成的消化气体中，10%用于发电燃料、其他用于厂内消化池的加温、焚烧用燃料等，尚未做到消化气体供外部使用。在消化过程中，存在着污泥处理费和气体供应制度上以及基础设施上尚未完善等问题，所以最终判明，还是焚烧处理方式更为经济合理。另外，还有用下水道污泥做固体燃料的探讨。也有一部分做法是将下水污泥干燥碳化后，用做发电燃料，但因其碳化过程中发热量低，只有2000~3000kcal/kg(约为煤炭的二分之一~三分之一)，很难取得经济效果等，所以未被推广。

### 1.3 有效利用

上个世纪90年代初，约占85%的下水道污泥被填埋。1995年以后，做为水泥原料开始得到利用，利用率骤然升高。2008年利用率已达78%，其中用于水泥原料40.3%，建材22.6%，肥料13.8%，固体燃料0.7%。对

于下水道污泥的有效利用，水泥行业发挥了很大的作用。

## 2、太平洋水泥公司处置利用下水道污泥的做法

水泥厂接受处理的下水道污泥，分别为焚烧灰和污泥两种，实际处理业绩如下。

### 2.1 污泥

2010年实际接收约25万吨。下水道污泥进厂时，首先要对其充分采取防止异味外泄的措施。由太平洋水泥开发的特殊箱型车就充分顾及到了搬运接收时防止异味外泄。污泥入窑的方法有两种，一是污泥从集装箱直接进入窑尾的方式，二是通过我公司自行开发的利用窑尾废气的烘干系统(TSDS=Taiheiyo Sewage Drying System)入窑的方式。污泥主要由小型下水处理设施排出。该小型处理设施即使焚烧设备完善，但经济性差。所以普遍的做法是全部委托水泥企业进行处理。水泥制造设备可以处理热值低的下水道污泥以及直接有效利用焚烧灰，所以受到污泥排放方的好评。



下水道污泥干燥系统(TSDS)



密闭式箱型车

### 2.2 焚烧灰

2010年实际接收5万吨。焚烧灰与普通循环原料一样从原料系统投入。焚烧灰因磷成分浓缩，为25%左右，所以在使用时应注重水泥质量。不同场所的下水道污泥中有时含有较高的重金属。焚烧灰约为下水道污泥的4%，被浓缩25倍，所以有必要在使用前就其成分予以充分确认。

在日本，消化后的污泥也属于废弃物，不容许当做填埋土利用。下水道污泥填埋费用高昂(平均16000日元/吨)，然而采用水泥窑协同处置方式，既能实现下水道污泥的有效利用、又能实现减量化，这种方式受到广泛好评。在中国，想必水泥企业今后会大力开展协同处置下水道污泥。伴随适当的协同处置，会发生相应的处理成本，对此，需给予必要的认识。

# 我国污泥处理处置的规划研究

张 韵

北京市市政工程设计研究总院

**摘要：**本文主要介绍了污泥处理处置规划的必要性、重要意义及规划主要内容和相关原则。

**关键词：**污泥，十二五，规划

## 1、制定污泥处理处置规划的必要性及重要意义

“十二五”期间我国将完成每年新增污水集中处理能力1500万 $m^3/d$ ，以新增污水处理量运行负荷率为75%以及污泥(含水率80%)占污水质量比例为0.6%计算，“十二五”期间污泥年产量将以246万 $m^3/年$ 的速度递增。

在污泥产量迅速增加的同时，污泥的处理处置也存在着诸多问题。目前国内大部分城市都把脱水作为主导污泥处理工艺，而像深度脱水、消化、干化、焚烧等稳定化程度较高的处理方式却应用较少，造成了污泥处理形式单一，减量化、稳定化程度不高等现象。同时存在于污泥处理处置方面的一系列问题也随之凸显出来，如设施能力不足；污泥处理处置关键技术不够成熟；污泥处理处置产业保障体系缺失，技术标准滞后，行业监管不到位，产业政策不完善等。由此可以看出，污泥处理处置规划的制定存在着很大的必要性及重要意义。

## 2、污泥处理处置规划的主要内容

为了更好地实现污泥处理处置目标，首先要明确污泥处理处置工作目标的具体内容、总体布局、发展战略和重点任务，同时要认真分析实现目标所需的投资和保障措施，根据各地的经济社会发展水平和地域特征进行统筹规划。

### 2.1 规划编制的原则

为了保证污泥处理处置规划的有效实施，在编制规划时要遵循以下几项原则。

(1)全面规划，统筹兼顾。合理制定重点城市、地级市、县城及重点镇的处置目标要求，应与全国污水处理设施建设规划相衔接。

(2)近远期结合。在长期规划指导下，重点研究当前已显现的问题。

(3)东、中、西部协调发展。结合污水处理厂提标改造建设，使污泥处理处置与社会发展状况相适应。

(4)合理安排、稳步推进。根据各地区自然条件和经济社会发展水平，合理推荐技术路线与方案。

(5)工程措施与非工程措施结合。提出保证规划有效实施的技术、资金、标准及政策法规体系等方面的要求。

### 2.2 规划编制的主要内容

在进行污泥处理处置规划编制时，首先要对当前污泥处理处置的现状和存在问题有着清楚的认识，其次要

结合当地的污水处理设施建设规划，制订污泥处理处置规划。在制订规划时要统筹考虑污泥处理与污泥处置两个环节，使其二者能够有效地结合起来。一般建议规划期不要超过5年。在进行规划编制时要时刻把握规划应遵循的思想理论，阐明规划的出发点、落脚点及与经济社会和自然环境间的关系。同时要遵循规划编制的基本原则：要正确处理污泥处理处置与污水处理设施建设的关系，污泥处理处置与自然条件和社会经济发展水平的关系，设施建设与运营的关系，政府监管与政策扶持的关系等。要明确规划编制的目标任务，包括宏观目标和微观目标。宏观目标是指预测污泥产量，污泥处置比例等规划指标；微观目标是指对36个重点城市、地级市、县城分类确定规划目标。

编制规划时要注重规划的总体布局和重点技术方案的推介。要按照各地区的城镇规模、自然条件和社会经济发展水平，进行技术经济比较，明确污泥最终出路。根据各地区实际情况推荐设施选址、规模及用地面积，同时推荐重点技术方案和消纳主体。

为了保证规划编制的顺利进行，各地区要从技术、资金、标准及政策法规体系等诸多方面给予大力的支持和保障。

### 3、污泥处理处置的推荐技术路线

#### 3.1主导技术路线

在《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策》中提出了三种鼓励使用的污泥处理工艺，一是鼓励城镇污水处理厂采用污泥厌氧消化工艺；二是鼓励以高温好氧发酵方式处理污泥；三是鼓励在污泥填埋、污泥焚烧前进行高干度脱水处理。

在《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策》中提出了三种鼓励使用的污泥处置工艺，一是鼓励符合标准的污泥进行土地利用；二是有条件的地区，应积极推广污泥建筑材料综合利用；三是不具备土地利用和建筑材料综合利用条件的污泥，可采用填埋处置，逐步限制未经无机化处理的污泥在垃圾填埋场填埋。根据政策提到的主导技术路线，各地方要结合自身实际提出推荐技术路线。

#### 3.2技术路线组合（见图1）

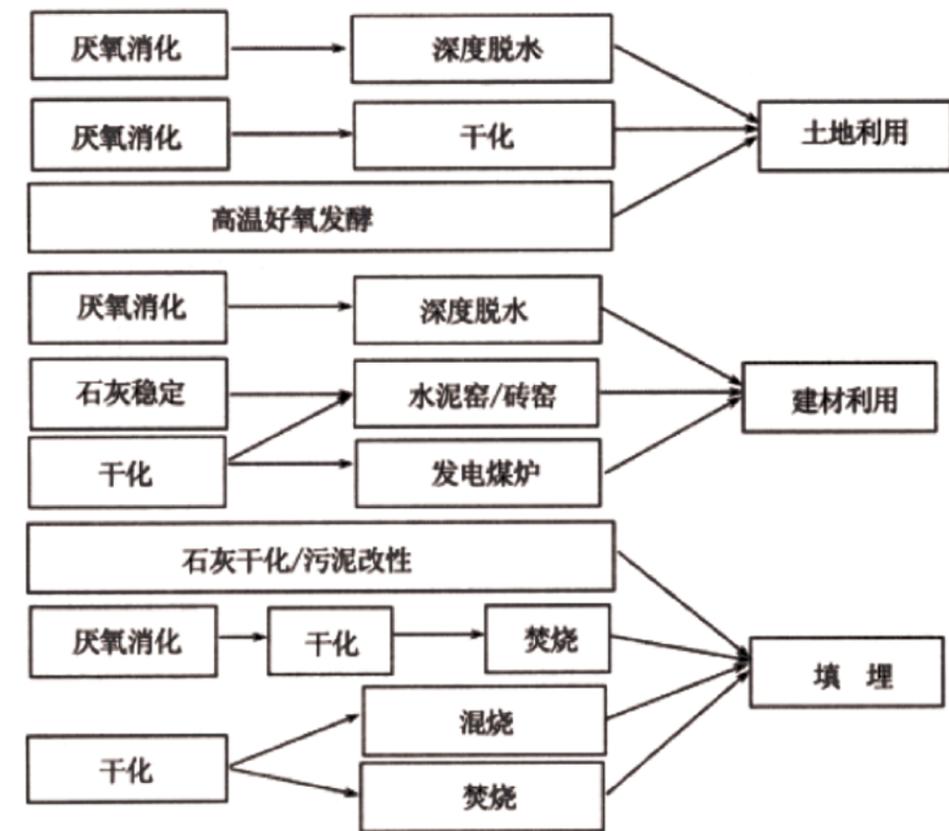


图1 技术路线组合

### 4、污泥处理处置的经济指标分析

#### 4.1编制依据

参考标准：《城市生活垃圾卫生填埋处理工程项目建设标准》、《城市生活垃圾堆肥处理工程项目建设标准》、《城市生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》、《城市污水处理工程项目建设标准》。经济指标数据来源：多项工程的可行性研究报告的投资估算及初步设计的工程概算。

#### 4.2 项目构成

污泥处理处置的经济指标主要由三部分构成。一是建设投资。指从立项筹建到竣工验收、试车投产的全部建设费用；二是经营成本。包括能源消耗费、药剂费、人员薪酬、大修理费、日常维护检修费、管理费等；三是总成本。包括经营成本，折旧、摊销等，详见表1。

表1 污泥处理处置经济指标

项目	好氧发酵	石灰干化	热干化	焚烧	填埋
建设投资/万元/t泥	25~30	10~12	45~50	40~70	20~35
经营成本/万元/t泥	60~100	130~150	180~200	160~280	70~80
总成本/万元/t泥	120~150	180~200	330~400	330~470	100~120

## 5、污泥处理处置规划实施的保障措施

### 5.1 科学制定污泥处理处置技术标准

技术标准是污泥处理处置相关法律法规的定量化和指标化。建立健全污泥处理处置标准体系是科学编制污泥处理处置规划的前提条件，同时也是污泥处理处置产业发展的内在要求，见图2。

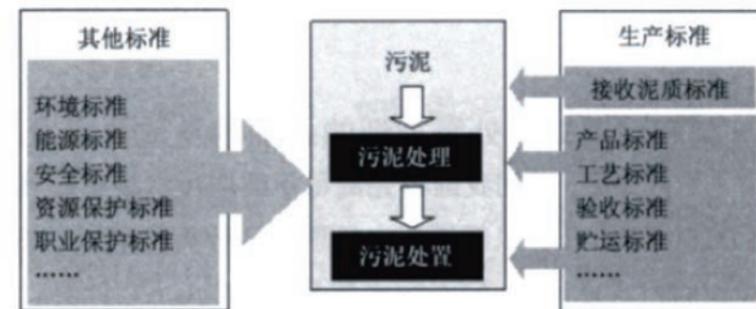


图2 污泥处理处置技术标准体系

污泥处理处置生产标准应该朝着功能专业化、技术和验收系列化的方向发展。目前已经制定了农用、土地改性良用、园林绿化用、混合填埋、单独焚烧、制砖、水泥熟料添加料方面的标准。待制定的是建材添加料等方面的标准。同时还应制定污泥处理处置工程建设标准、污泥处理处置设施运行管理标准。

在完善污泥处理处置生产标准的基础上，还应该完善污泥处理处置相关的其他标准。诸如：污染物排放及环境卫生、消防、节能、劳动安全、职业卫生等标准；污泥处理处置产品用于农业、林业、园林、建筑等领域的专项技术标准；污泥运输专门管理办法；污泥处理处置合格标准的第三方服务机构评定。

### 5.2 制定基础数据调查分析制度

要做好分析制度的制定，重点做好两项调查工作。其一是污泥性质调查。准确掌握污泥产量和特性信息是确定污泥处理处置方法的前提条件。调查内容包括金属含量、固体含量、泥饼透气度、碳/氮/磷/钾的比例、毒性物质含量、致病菌含量、含水量、热值、氯含量等。其二是污泥流向调查。开展污泥产量、污泥性质及污泥流向的调研工作，建立污水处理厂的污水污泥定期调查制度。参照国家水质监测网的设置，建立国家污泥泥质监测网，利用中心城市的先进技术设备，对污泥泥质跟踪监测。

### 5.3 建立污泥处理处置评估体系

建立污泥处理处置评估体系主要是要进行风险评估和技术经济评价。

# 水泥窑协同处置生活污水污泥技术

杨长青、裴莹(安徽海螺川崎工程有限公司, 安徽芜湖 241070)

汪克春(安徽海螺建材设计研究院, 安徽芜湖 241136)

**摘要：**当前，随着我国对生活污水处理规模的不断增大，生活污水的产生量也日益增长，迫切需要对生活污水进行妥善处置。为了科学解决生活污水处理的难题，我们继成功开发铜陵市利用水泥窑协同处置生活垃圾的技术后，也开始研发具有自身特色的污泥处理技术。在铜陵CKK项目的基础上，我们建设了污泥与垃圾混烧的项目，完成了污泥混烧的试验运行，掌握了全面的试验数据，并对项目的环保排放指标、物料成分及产品质量进行了全面检测。下一步，根据各项检测的结果，我们将做进一步的分析和总结。

**关键词：**CKK系统，垃圾，污泥，混烧技术

## 1、项目研发背景

目前，我国城镇污水处理厂污泥年产生量已达3000万吨<sup>[1]</sup>，但大部分污泥只是简单脱水后外运弃置，只有很少一部分被规范处置。污泥含有污水中约50%的污染物<sup>[2]</sup>，弃置后有再次污染水体、环境的风险，污泥的处理与处置已不容忽视。

污泥处理的主流工艺卫生填埋会占用大量土地资源。由于污泥中部分重金属含量接近或者超过了我国农用污泥中污染物控制标准，部分限制了污水处理厂污泥的农业应用。且国内生活污水和工业废水大多合并处理，使生活污水的成分非常复杂，特别是重金属和持久性有机污染物的含量较高，堆肥的方法不能去除有毒有害物质容易造成二次污染。

干燥的污泥是一种低热值的燃料，平均每吨污水污泥可产生16.65~20.93兆焦的热量<sup>[3]</sup>。污泥的处置与资源化的结合，必将成为城市污水污泥唯一的最终出路。

2010年4月，我们在安徽铜陵海螺水泥有限公司建成了世界上首套利用水泥干法窑处置城市生活垃圾的CKK系统，年设计处理城市生活垃圾约20万吨，节约标煤达1.3万吨，减排二氧化碳约3.25万吨。它是利用水泥工业新型干法窑系统处置城市生活垃圾，对垃圾焚烧产生的废气、灰渣及渗滤液完全无害化处理及有效利用的一种全新的垃圾处理技术。该技术除了具有传统垃圾焚烧法的优点外，而且很好地解决了环境恶臭和二噁英处理的难题。该项目运行一年多以来，经检测各项环保指标完全合格，水泥产品重金属浸出法含量控制在国家相关标准范围内。二噁英排放量仅为0.024ngTEQ/m<sup>3</sup>，优于国家规定的0.1ngTEQ/m<sup>3</sup>水泥窑排放标准及国家垃圾焚烧控制标准。CKK项目的成功投用，在社会上产生了很大的反响，受到广泛关注。

在污泥处理逐渐成为社会问题的背景下，为研究水泥窑和CKK系统结合处理污泥的最佳方案，我们在现有铜陵市利用水泥工业新型干法窑处理城市生活垃圾工程(即CKK系统)上进行污泥混烧试验。研究开发利用CKK系统的现有设施进行生活污水的处理，最大限度的发挥CKK系统处理城市固体废弃物的作用，最终达到城市生活废弃物零排放的目标。

## 2、项目实验研究

### 2.1 污泥特性研究

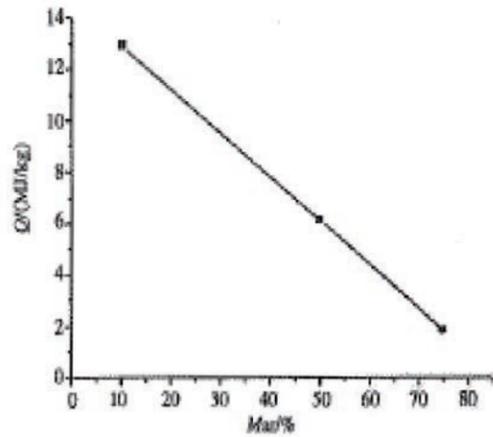


图1: 污泥含水率与发热量的关系

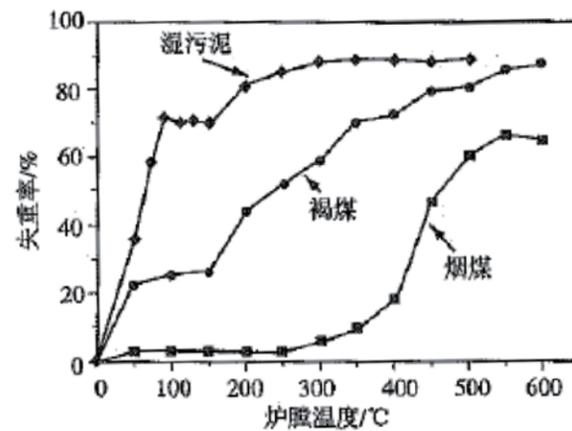


图2: 湿污泥和煤的热失重与反应温度之间的关系

根据已经进行的污泥特性试验, 污泥(干态)分析基在物理性质、元素分析、工业分析和低位发热量等方面与褐煤有许多相似之处, 尤其灰分和低位发热量相近, 固定碳的含量则低得多, 所以可充当低档燃料使用。

如图1<sup>[4]</sup>污泥含水率与发热量关系所示显然污泥中较高的含水率对燃烧是不利的, 无论利用那种方式对污泥进行燃烧处理, 都要设法减少污泥中的含水率。因此寻找经济的可用热源代替辅助燃料, 对于污泥焚烧处理尤为重要。

在通过失重测试仪对比测量分析湿污泥、褐煤及烟煤在不同干燥温度下的热失重情况, 如图2<sup>[5]</sup>发现在不同的干燥温度下, 湿污泥、褐煤及烟煤的重量变化很大, 污泥的焚烧特性与煤又有一定的差异, 它有较低的分解温度、起燃温度和燃尽温度, 完全燃烧所需的时间也较少。产生这种差别的主要原因是由于它们具有不同的组成和结构, 污泥主要由低级的有机物组成, 如氨基酸、腐殖酸、细菌及其代谢产物、多环芳烃、杂环类化合物、有机硫化物、挥发性异臭物、有机氟化物等, 其结构比较简单, 并且已经过二级生物氧化, 受到不同程度的分解破坏, 易于高温分解; 而煤主要由多环芳烃网状物组成, 结构致密, 含碳量高, 受高温不易分解, 分解所需时间长。

此外, 污泥中 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 的释放温度均低于煤。一般污泥中的硫以有机硫的形式存在, 硫铁矿硫及硫酸盐硫含量很少, 而煤中的有机硫含量较低, 硫铁矿硫及硫酸盐硫占多数, 有机硫在高温下易于分解、挥发, 而硫铁矿硫结合较牢固, 分解需要一个过程, 因此污泥易于释放 $\text{SO}_2$ 。试验表明, 在含硫量相同的条件下, 污泥释放的 $\text{SO}_2$ 比煤高出4倍。污泥中的氮主要以有机氮的形式存在(蛋白质氮、低级脂肪胺等), 有机氮在高温下容易挥发; 煤中的氮主要以杂环型氮的形式存在, 杂环型氮的分解需要一个过程, 这种结构形式的差异决定了氮分解温度的不同。

从以上分析可以看出, 干态污泥比煤容易燃烧。但是脱水污泥因含有70%~80%水分, 燃烧工况完全不同(脱水污泥的低位发热量仅为2,713~971kJ/kg), 为了使脱水污泥能在锅炉中直接燃烧, 一般都需添加适量辅助燃料(煤或油)稳燃, 但这样需要消耗大量煤或油及其它能源。

## 2.2 城市生活垃圾和污泥混烧工艺处理技术的开发

由于铜陵CKK处理的生活垃圾进行了预处理, 使得垃圾与其渗滤液可以分开处理, 气化炉处理的垃圾发热量比污泥高, 因此在CKK系统中污泥同生活垃圾的混烧能够减少煤、油等辅助燃料的消耗量, 降低焚烧费用。同时垃圾焚烧系统的设计已经考虑了燃尽、污染物处理和能量回收等问题, 显然污泥与垃圾进行混合处理是行之有效的处理方法。本项目采用气化炉混合焚烧垃圾和污泥的方法, 结合新型干法水泥窑预分解生产中高温煅烧工艺, 研究混烧后与水泥窑系统的最佳结合点, 优化系统配置, 使系统技术的节能效益、环保效益得到充分发挥。

## 2.3 混烧处理的关键技术

### (1) 污泥喂入气化炉的位置

通过详细分析气化炉内部燃烧环境情况, 选择适当的污泥喂料点, 计算合理的污泥喂料量, 避免污泥直接送入气化炉后对气化炉内部产生负面影响, 保证气化炉的正常运行。

### (2) 混烧工艺与水泥窑运行间的适应性

将污泥投入气化炉后, 通过研究污泥混烧后产生废气和灰渣的成分, 对水泥、熟料质量的影响因素加以分析, 确保水泥窑、垃圾气化两大系统运行可靠和稳定, 气化炉运行时对水泥生产的适应性达到最佳状态, 提高资源化利用的程度, 实现污染物的零排放。

### (3) 污泥混烧成套设备的开发

结合脱水污泥的特性, 在探讨利用水泥工业新型干法窑处置城市生活垃圾项目的基础上增加生活污水处置的功能, 开发污泥处理的成套装备。利用原有的CKK处理技术, 将污水处理厂产生的含水率为75%~85%的脱水污泥直接送入气化炉焚烧, 研究开发污泥储存及喂料计量设备。

**储存设施:** 脱水污泥为非牛顿流体, 它的流动性与水等流体不同, 可能结块造成储存仓架桥及输送通道堵塞。针对不同规模的设计能力, 合理设计储存仓的容积、形状及密封效果, 保证污泥合理的储存量及通过性, 设置带有橡胶密封结构的仓盖, 配置除臭风管进行除臭。通过特殊设计, 改变污泥取出装置输送轴前后构造, 解决污泥长期储存在储存仓中架桥的问题。

**喂料计量设备:** 脱水污泥的含水率高、热值低, 喂入气化炉后, 可能对气化炉的运行产生影响。研究开发污泥喂料计量设备, 必须能够准确、及时反馈信号, 切断或调整污泥的喂料量。

研究如何准确计量污泥输送的流量, 确定污泥合理的流速, 选用合适口径的电磁流量计, 结合污泥输送泵转速的调整与台时输送量的关系, 综合监测污泥的输送量。

## 2.4 对环境的无害化影响进行分析、检测和评价

针对污泥在收集时、处理时及处理后的不同工序, 考虑解决方案和措施, 确保不对周围环境产生影响, 从而验证该系统处理污泥时能够达到无害化。

## 3、项目的实施

针对铜陵CKK系统对应的垃圾气化炉设计规模为300t/d, 由于垃圾供应时不足, 目前垃圾处理量达不到设计值, 所以考虑铜陵污泥混烧试验项目设计规模为60t/d, 不影响对垃圾的处理, 又能充分发挥现有处理设施

的能力。

污泥混烧实验项目所用污泥是污水处理厂处理污水后产生的脱水污泥。垃圾及污泥的混合处理将城市生活污水污水处理过程中产生的脱水污泥送入CKK系统与生活垃圾一并处理，即在CKK系统的基础上设置专门的污泥储存及输送装置，通过此装置将生活污水按一定的比例喂入气化炉，与生活垃圾混合焚烧处理，借助水泥窑系统的优势对生活垃圾和生活污泥焚烧产生的废气、灰渣及垃圾渗滤液进行无害化处理及有效利用，最终达到城市垃圾、污水及污泥零排放的目的。污泥混烧实验项目流程示意图如图3所示：

污泥混烧实验主要增加设备：

- 1、污泥料斗 1台
- 2、污泥取出装置 1台
- 3、污泥小料仓 1台
- 4、污泥泵 1台
- 5、污泥喂料装置 3台

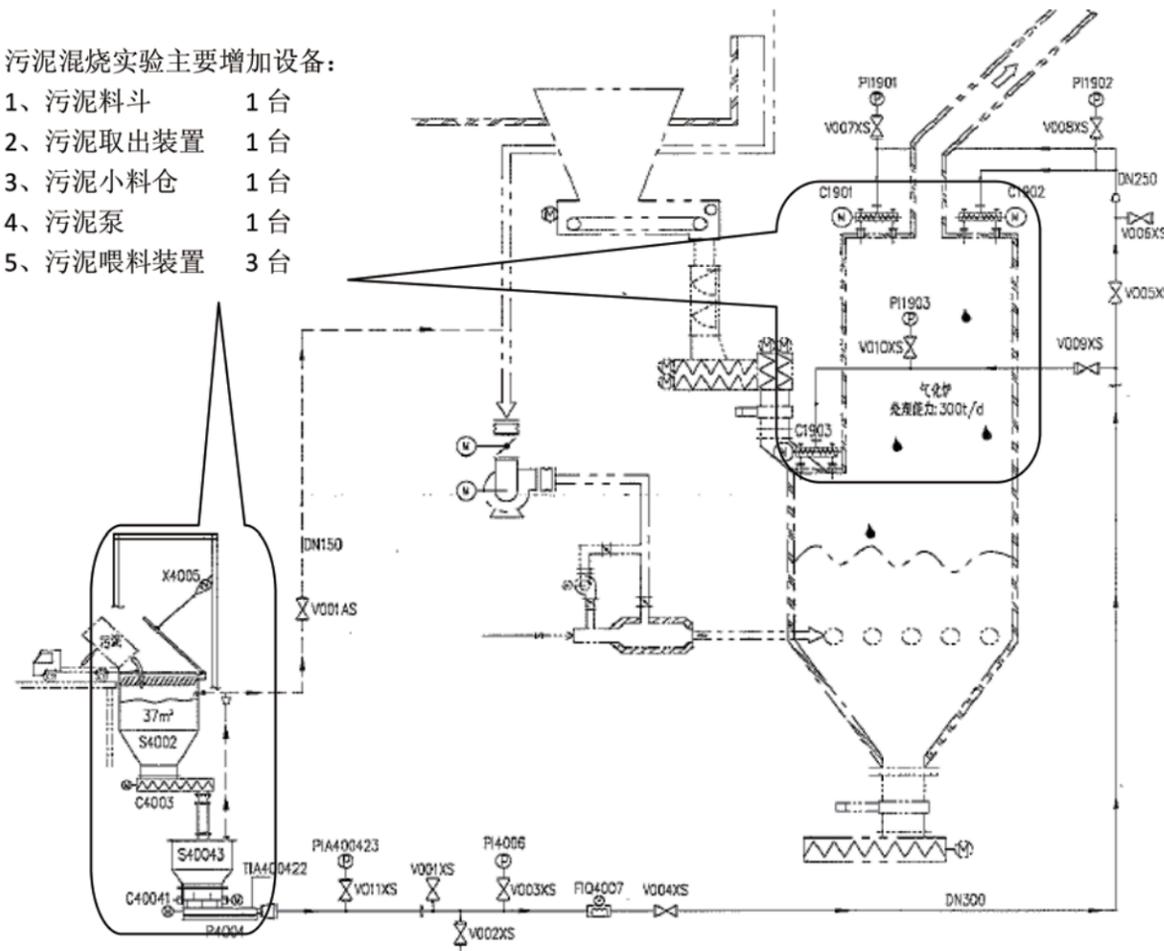


图 3: 生活垃圾与污泥混烧工艺流程图

2010年12月，开始项目前期论证。2011年4月确定技术方案，进行设备配置、工程设计及实施。

污泥混烧试验于2011年9月9日开始，试验分为两个阶段(见表1)至2011年11月14日，项目已累计处理污泥量为927.74t。

表1: 各实验阶段安排及目的

名称	时间	目的
第一阶段试验	9月14日—9月19日	在水泥窑系统稳定运行的情况下,CKK系统可以在稳定处理垃圾的同时进行污泥处理
	10月17日—10月19日	
第二阶段试验	11月10日—11月11日	确认污泥混烧项目运行情况及各主要数据的采样及检测

#### 4、项目实施效果

第一阶段：污泥试验在只使用1、2号污泥投料口进料的情况下，确认在没有使用辅助燃料对流化空气加热或在气化炉中添加煤的情况下沙层温度能维持的污泥混烧率为0.2(详见表2)。

表2: 污泥进料量对混烧率的影响

时间	垃圾进料量 (t/h)	污泥进料量 (t/h)	混烧率 <sup>注</sup>
9月16日	10	2.52	0.201
9月17日	10	2.61	0.206
9月19日	10	2.55	0.203
10月17日	10	3.26	0.245
10月18日	10	1.91	0.16
10月19日	10	3.12	0.237

注：污泥混烧率=污泥进料量/（污泥进料量+垃圾进料量）

图4、5、6分别为9月16日垃圾进料量、污泥进料量及加煤量变化图，流化空气量变化图，流化层温度、自由空间温度、流化空气温度变化图。由三图可看出：在污泥混烧率为0.2时，气化炉可不加燃煤，只要垃圾摄入量一定，污泥量的少量变化对气化炉的运行没有不利影响，混烧是成功的。



图4: 垃圾进料量、污泥进料量及加煤量变化图

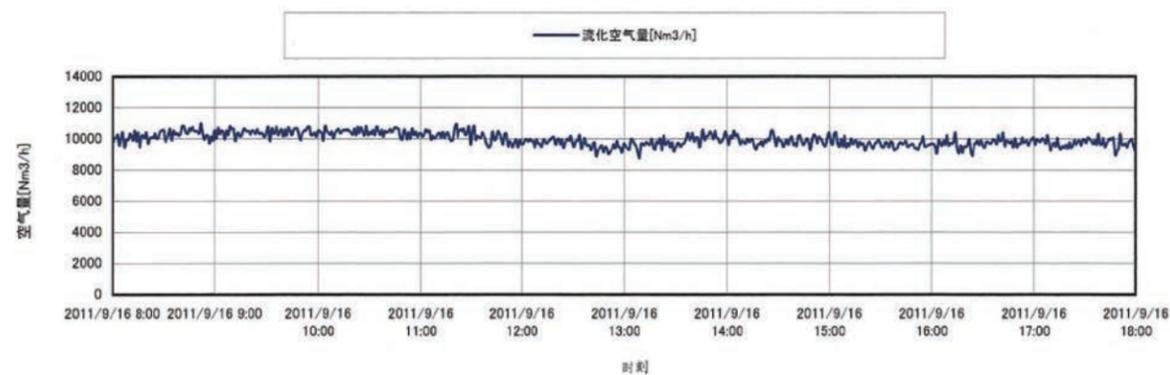


图5: 流化空气量变化图

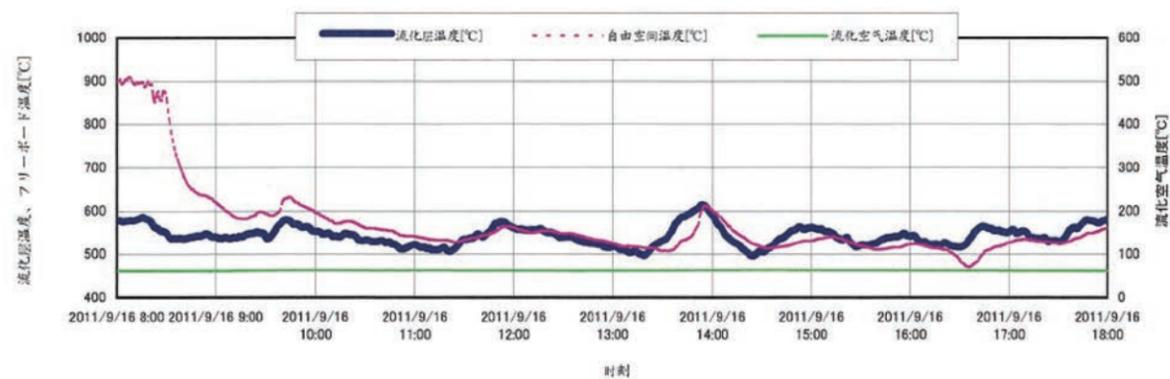


图6: 流化层温度、自由空间温度、流化空气温度变化图

第二阶段: 污泥试验除进行常规的气、固态二噁英检测、气体排放浓度检测、水泥物料及浸出液重金属的检测外, 还进行了气化炉炉渣及除尘飞灰中水泥质成分的检测如 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、锰、铁、钾、铝、总磷的含量。目前, 受委托的检测机构正在对相关样品进行专业分析。

## 5、结论

通过成功的试验运行, 对全面的试验数据进行分析 and 对比, 我们认为该技术具有以下特点和优势:

(1) 在完全消解城市生活垃圾的同时处理生活污水, 解决了其他污泥处置方法可能产生二次污染的问题。利用CKK系统的设备将污泥气化所产生的二噁英等其它有害气体与垃圾气化所产生的一并进行处理; 将污泥焚烧产生的废渣作为水泥生产的替代原料, 完全实现了污泥处理的“减量化、资源化、无害化”。

(2) 减少对不可再生自然资源的开发, 实现资源的循环再利用和经济的可持续发展。项目较好解决了生活污水难处理的问题, 不需要再规划污泥处置的填埋用地, 节约了大量的填埋有土地; 避免了生活污水在填埋过程中对环境的二次污染。

(3) 在CKK原有设备的基础上增加了污泥储存及污泥输送设备, 利用CKK系统设备代替了污泥气化设备及尾气处理设备, 工艺简洁可靠, 且投资经济。

(4) 避免由于生活污水填埋处理所产生二氧化碳排放的问题。以污泥处理量每天60吨为例, 每年将减少二氧化碳排放量43000吨。

## 6、混烧技术的推广应用前景

我国中小城市生活污水的产生量较小, 如果单独建设污泥处理系统, 则投资和运行成本较高。如果将污泥直接投入水泥窑中焚烧, 可能对水泥窑的运行产生较大影响。在有条件的中小城市周边建设CKK项目, 利用CKK系统混烧处理污泥, 可以提高综合效益, 降低投资和运行成本。

针对不同城市的多种情况, 研究垃圾和污泥处理的规模与城市发展的规模相适应, 探索垃圾与污泥混烧比例的极限。在能源充足的地区, 研究采用燃油或燃煤助燃, 保证污泥在气化炉内得以顺利烘干和焚烧; 在能源紧张的地区, 研究利用水泥窑窑头或窑尾废气的余热, 开发烘干设备, 保证污泥得以顺利烘干更加利于焚烧, 节约燃料。根据上述情况, 开发污泥处理系统的系列化产品, 以配套系列化的气化炉产品, 综合处理相应城市的垃圾和污泥, 可以为我国中小城市的建设提供先进、可靠、全面的废弃物处理技术和设施。

### 参考文献:

- [1]李兵, 张承龙, 赵由才. 污泥表征与预处理技术. 冶金工业出版社. 2010.
- [2]李兵, 张承龙, 赵由才. 污泥表征与预处理技术. 冶金工业出版社. 2010.
- [3]汪恂. 污泥合成燃料实验研究. 中国建材科技. 2002, 04.
- [4]胡龙, 何晶晶, 邵立明. 城市污水厂污泥热干燥处理技术及其应用分析. 重庆环境科学. 1999, 20.
- [5]W.J, O.T, B.VA, and D.VI. Devola-tilisation and combustion kinetic parameters of wet sewage sludge in a bubbling fluidized bed furnace, presented at Proc.Inst.Of Energy's 2nd International Conference on Combustion and Emission Control. London, 1995.

# 水泥窑协同处置污泥技术探讨

毛志伟  
合肥水泥研究设计院

**摘要：**本文介绍了目前城市污泥处理和处置现状，分享合肥院水泥窑协同处置污泥技术方面的心得，与行业人士共同探讨。

**关键词：**水泥窑，污泥，合肥院

## 1、污泥处置技术概况

### 1.1城市污水处理厂的污泥处理和处置现状

据中国环境科学研究院测算，到2010年，所有城市，污水处理率不低于60%，污泥处理率不低于70%。全国每年废水排放总量约1500多亿吨，产生的污泥约3000万吨/年。而工业污泥的产生量估计为3.5~4亿吨/年。

### 1.2水泥行业十二五发展要求

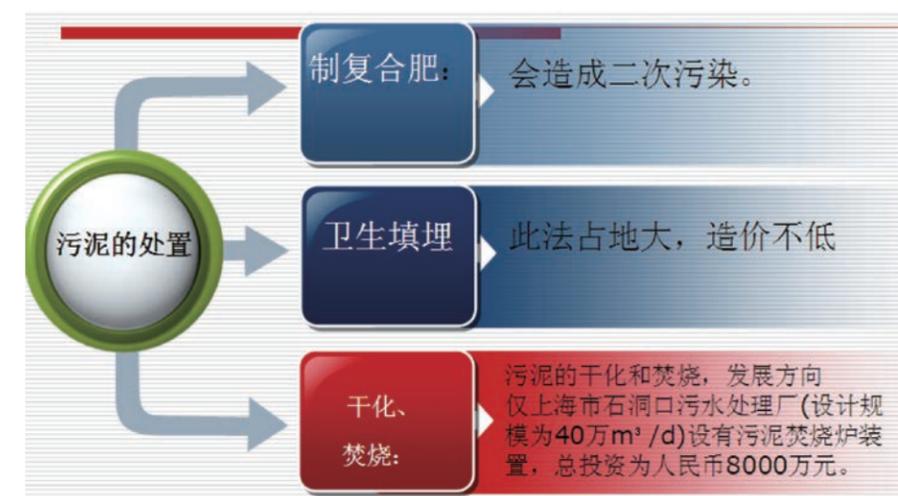
熟料综合能耗小于114kg标准煤/t，水泥综合能耗小于93kg标准煤/t；

颗粒物排放比2009年基础上降低50%，NO<sub>x</sub>比2009年降低25%，二氧化碳排放强度进一步下降；

应用余热发电、高效粉磨技术、电机变频等技术；

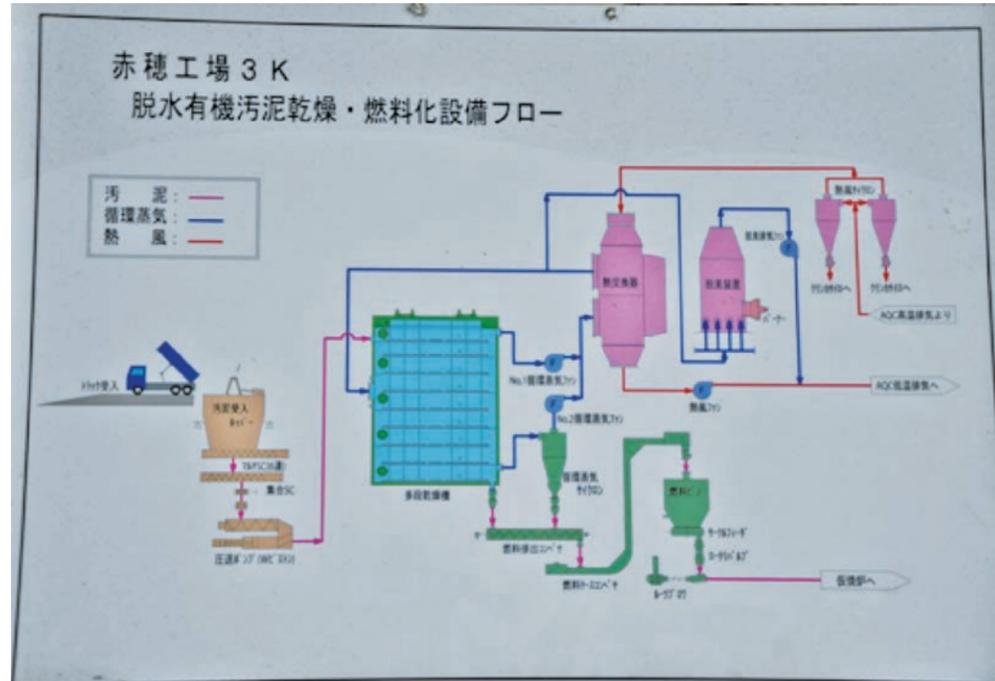
城市周边的水泥企业基本形成协同处置城市生活垃圾和城市污泥的能力。

### 1.3污泥的处置的主要方法



1.4国外污泥焚烧已是方向

- 1.4.1美国马里兰州的LEHIGH(利哈伊)水泥厂焚烧生活污水污泥作为替代燃料，其热值为煤的60%。
- 1.4.2日本住友大板水泥株式会社赤穗工厂采用水泥窑焚烧污泥的流程。



1.4.3三菱综合材料自1997年在黑崎工厂安装污水污泥处理设备。

系统简单可信性高，并且窑炉利用现有的水泥窑，可降低设备成本；污泥被供到1100℃的炉内，升温至水泥烧成温度约1450℃，成为熟料(水泥矿物)，不产生二次废弃物；由于污泥直接被供到高温部位，污泥的恶臭成分，有害成分(氨、硫化氢)等被瞬间分解，不会产生臭气；污泥中的氨可降低烧成炉内氮氧化物(NO<sub>x</sub>)。

1.5国内污泥焚烧情况

1.5.1海宁马桥大都市热电公司(浙江大学试验项目)

1.5.2浙江嘉兴嘉爱斯热电公司

总投资2.91亿元，建设处理2050t/d污泥干化生产线，二台220吨/时高温高压循环流化床污泥焚烧炉，配套50MW背压式汽轮发电机组一台。现已投产1000t/d的规模。

2、水泥窑协同处置污泥技术及比较

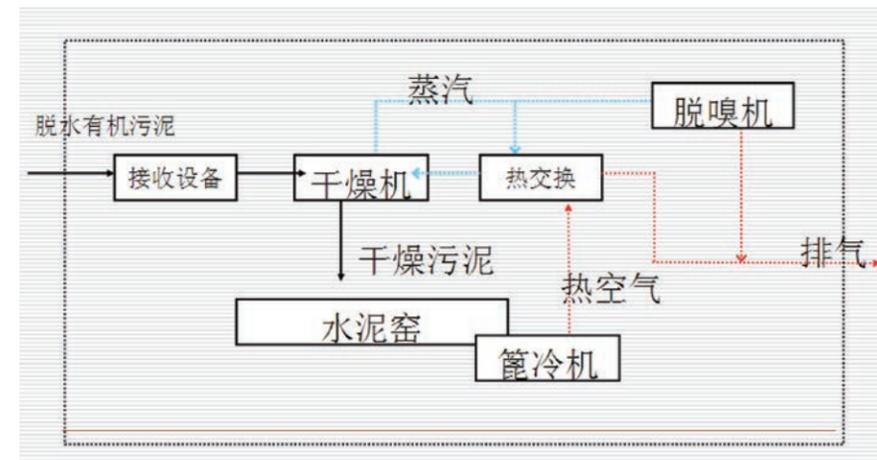
2.1水泥厂实现污泥循环再利用

2.2目前国内各种方案技术及比较

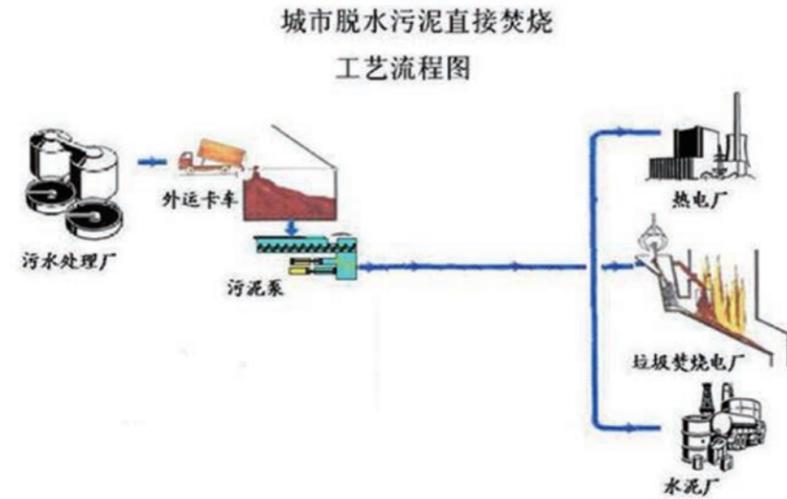
序号	水泥窑处置方式	投资(万元)	特点	能耗(以标准煤计吨)	适宜地区
1	直接用泵送入窑尾	600	简单,不产生第二次污染	650 t/d, 处置量小5%	污泥量不大的小城市
2	直接干化后入窑	2400	替代部分燃料,产生第二次污染	240 t/d, 处置量可达25-30%	污泥量大的城市
3	间接干化后入窑	1400	替代部分燃料,废水产生量小。	240 t/d, 处置量可达25-30%	污泥量大的城市
4	化学改性加特种压滤深度脱水干化	1200	能替代部分燃料,废水产生量大	240 t/d, 处置量可达25%	最好用于污水处理厂
5	直接进入生料后再入窑尾	200	与生料一起烘干后,大量废气未经高温焚烧,产生二次污染。	处置量小于4%	不易推广
6	加石灰后入窑	200	与生料一起烘干后,大量废气未经高温焚烧,产生二次污染。		不易推广

2.3推荐二种污泥处置方案

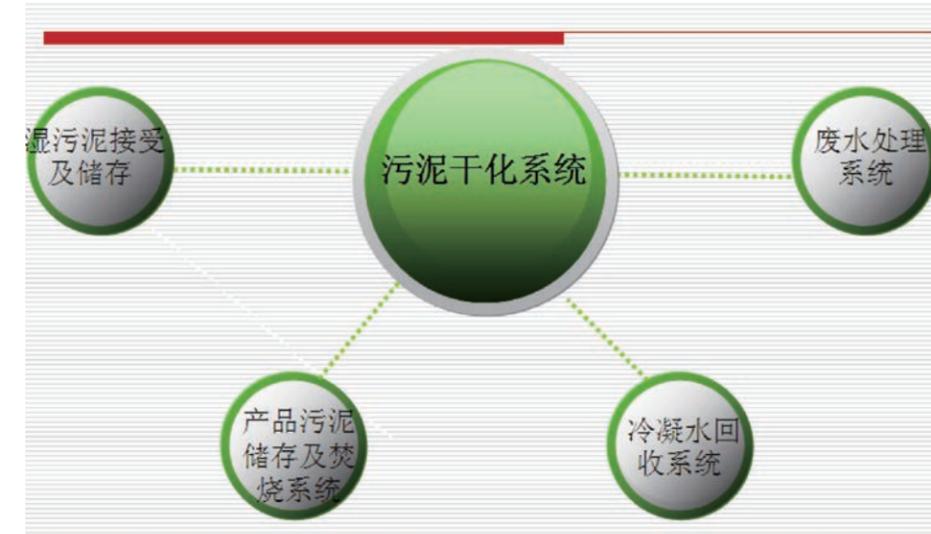
2.3.1间接干燥法流程介绍



2.3.2直接焚烧工艺流程图（抚顺已施工）

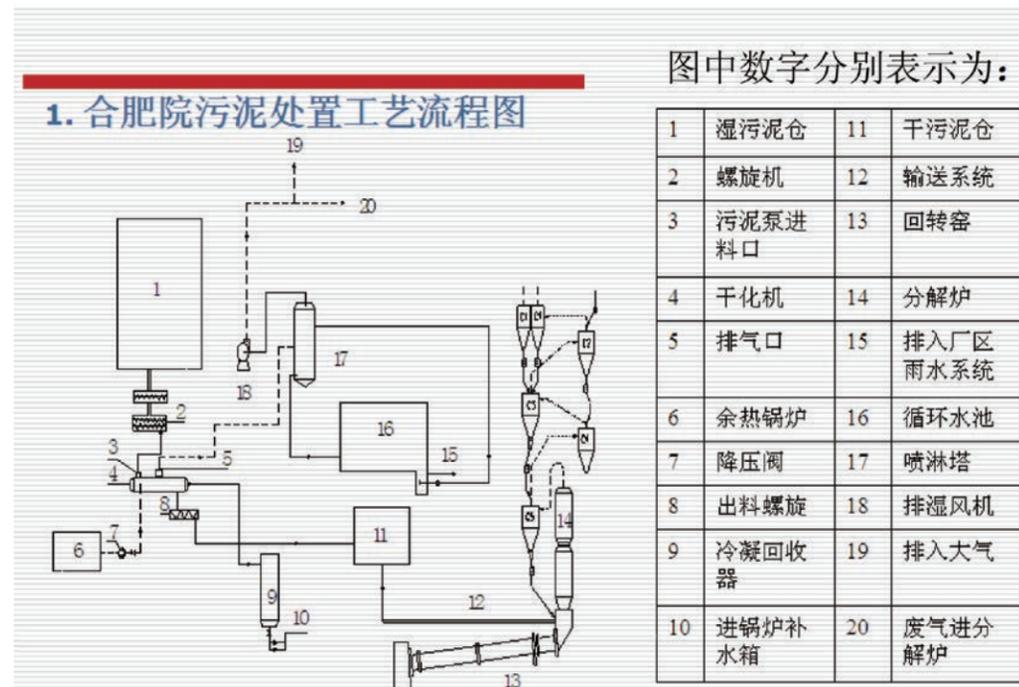


3.2协同处置污泥系统组成



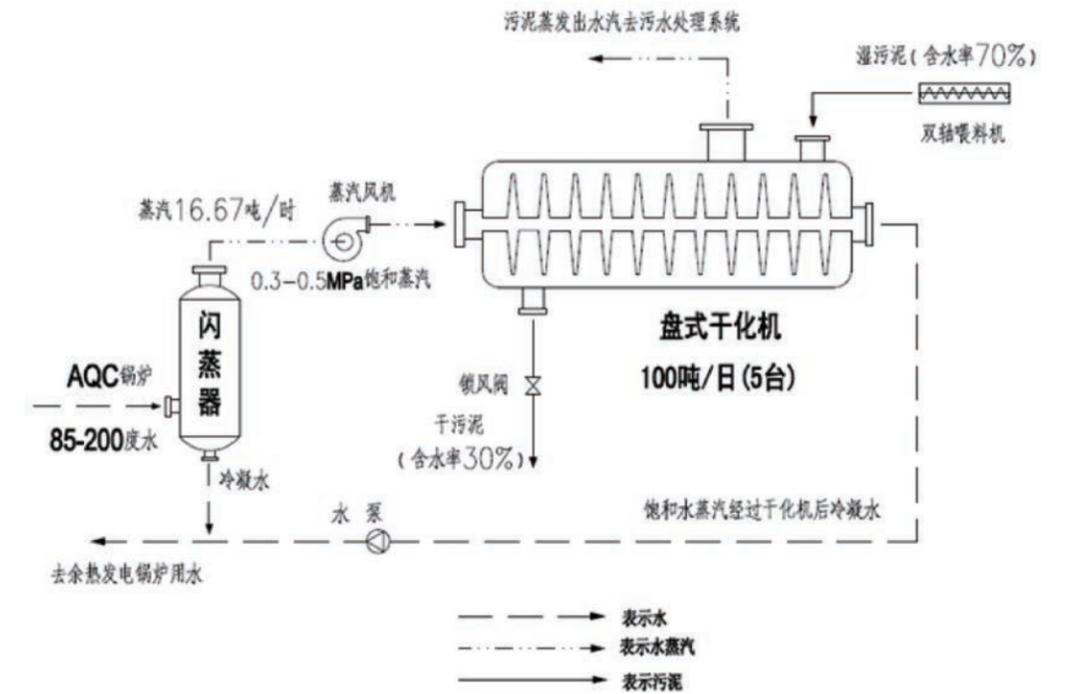
3、合肥院水泥窑协同处置污泥技术介绍

3.1合肥院污泥处置工艺流程图

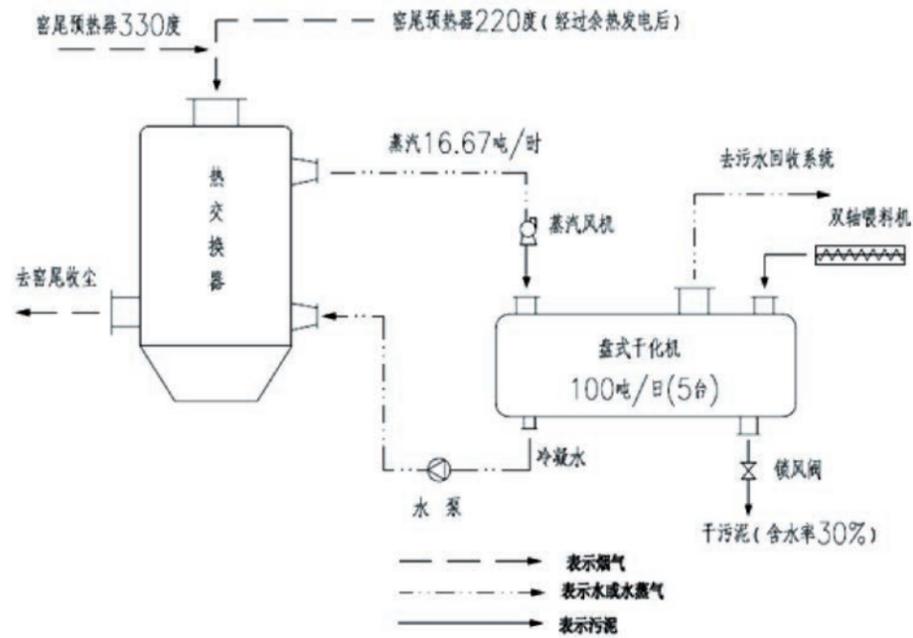


3.3干化方案的比较（根据不同水泥厂）

3.3.1直接采用蒸汽进行干化



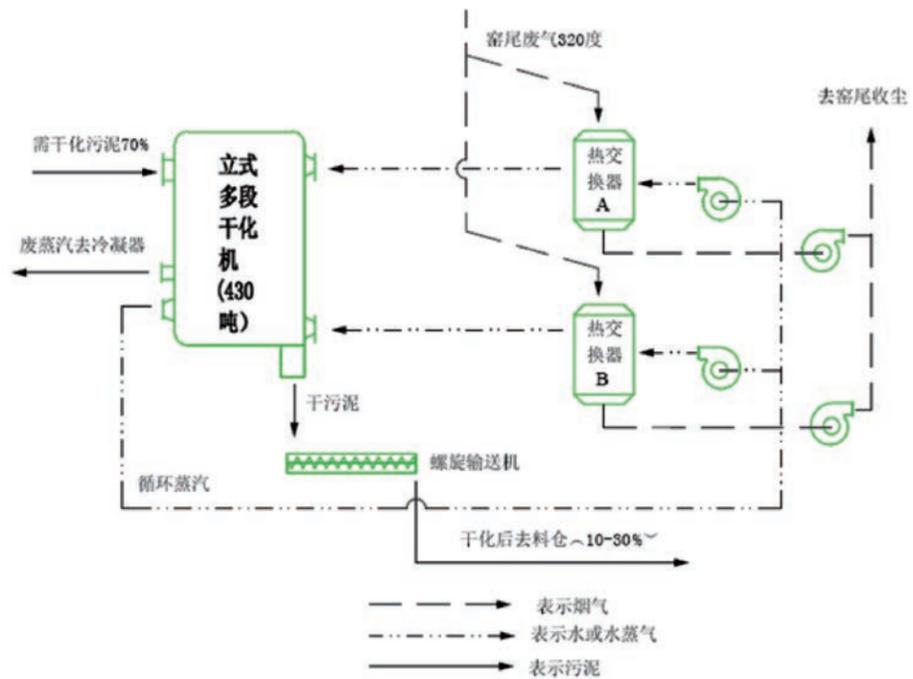
3.3.2采用窑尾部份废气余热



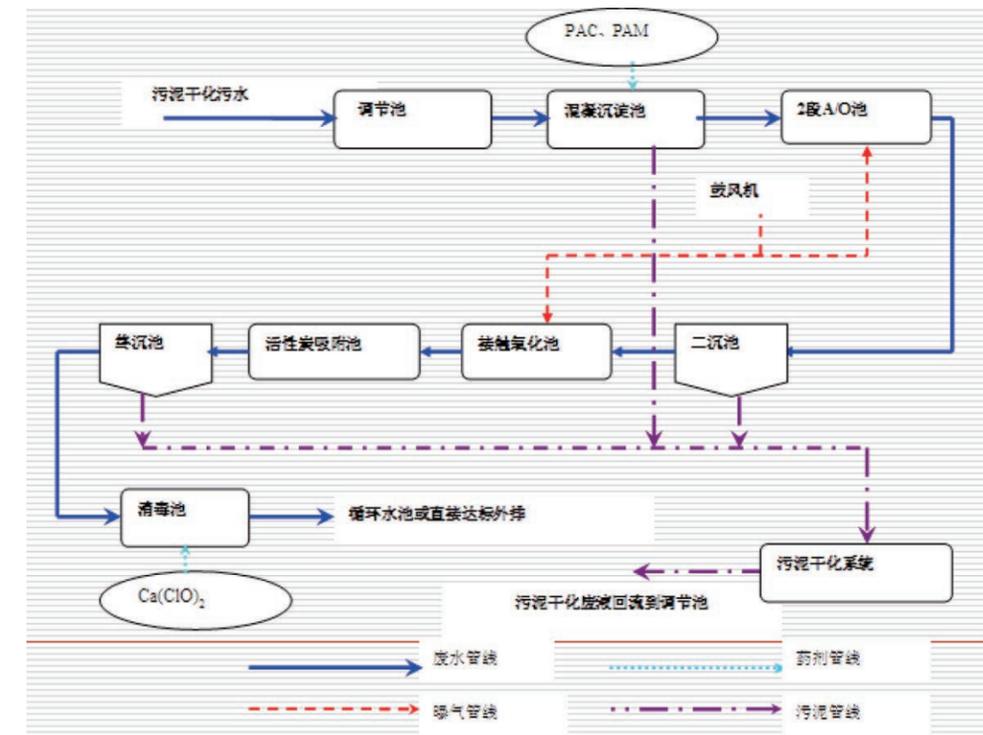
3.3.4热量利用比较(以kg标准煤/H)

序号	方案组合	余热利用	增加煤耗	干化污泥替代燃煤
1	直接蒸汽+干化机 (三菱SDK-370D转盘式干燥机)	利用余热锅炉的蒸汽 (不利用废气)	1032	1512
2	热交换器+干化机 (针对200t/d)	余热锅炉出口 (220℃废气 +15%, 330℃废气)	165	850
3	热交换器+干化机+ 循环风机2台(住友大板的热交换器+多段干化机)	余热锅炉出口 (220℃废气 +35%, 330℃废气)	859	1685

3.3.3采用窑尾废气余热进行干化

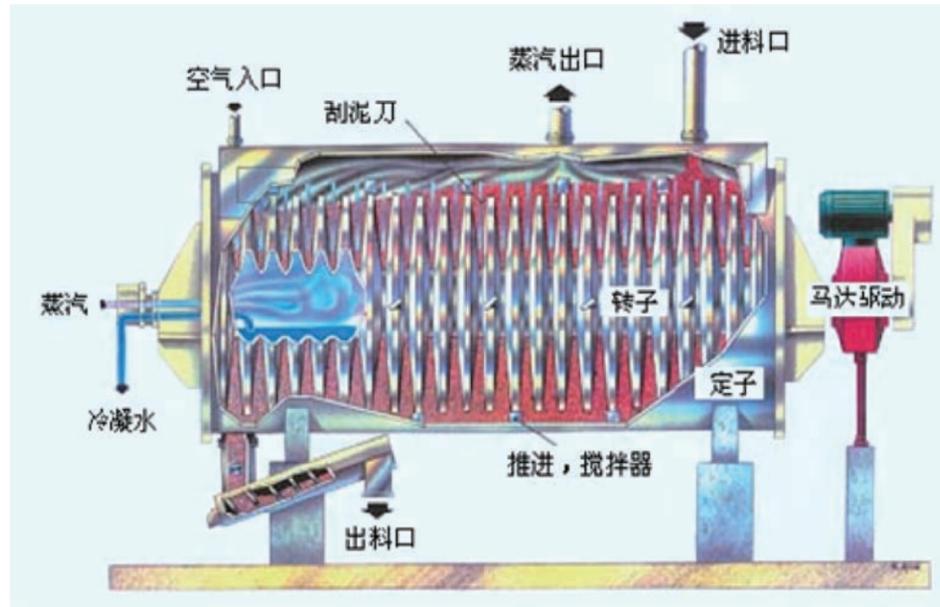


3.3.5废水处理流程图

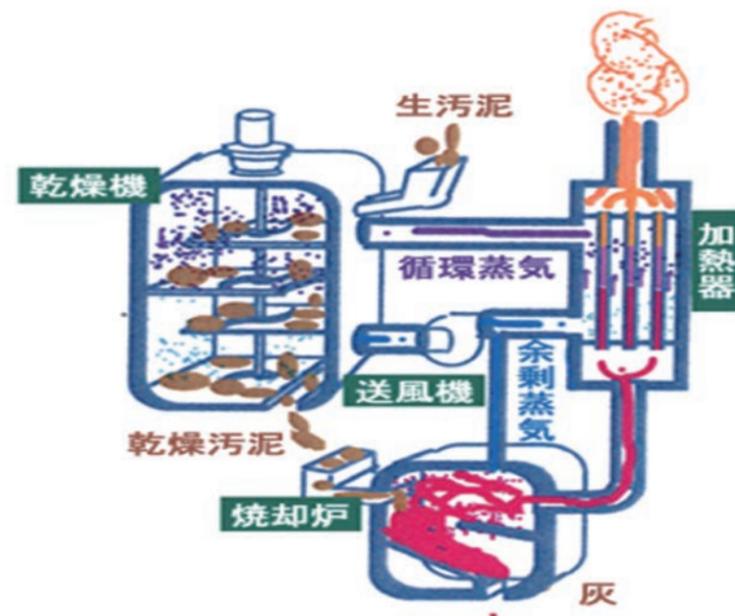


### 3.4 采用的主要干化设备

#### 3.4.1 圆盘式干燥机 (日本三菱公司)



#### 3.4.2 多段式干化机 (日本住友大板技术)



### 3.5 余热发电与污泥焚烧的效益比较



### 3.6 对水泥生产过程的影响

利用污泥和污泥焚烧灰制造出的水泥, 与普通硅酸盐水泥相比, 在颗粒度、相对密度等方面基本相似, 而在稳固性、膨胀密度、固化时间方面较好。

# 污泥改性脱水 and 水泥窑协同处置新工艺介绍 及经济和环保性评价

潘 洞 杨学权 刘 渊  
中国中材国际股份有限公司

**摘要：**利用水泥窑系统的高温煅烧功能处理污泥，一方面可利用污泥的发热量，另一方面其灰分也可成为水泥配料的一部分，实现了污泥处理的零排放，是一项两全齐美的处理途径。本文主要介绍了污泥改性脱水 and 水泥窑协同处置新工艺及经济和环保性评价。

**关键词：**污泥，水泥窑，环保

## 引言

随着城市化进程的加快，城市污水处理过程中产生的污泥排放量大幅增加，如何合理、科学地处置城市污泥已成为一项迫在眉睫的环保课题，并已在全球范围内引起了极大的关注。

目前我国的污泥处理形势十分严峻，多数情况下仅实现了污泥的转移，而未能将污染成分无害化。污染控制与资源化利用有机结合是当今固体废物处理领域的大趋势，在有效控制污染的同时，积极探索新的资源化利用方法已成为污泥处理的研究热点。到目前为止我国每年污水处理厂产生的干污泥量约为550万t以上。污泥的干基热值约为10–20MJ/kg，而污水处理厂经机械脱水后的污泥含水率较高。如何进一步降低污泥中的水分，使污泥的热量有效发挥作用，降低污泥处理成本，为污泥后续利用创造条件，仍是目前迫切需要研究的课题。

利用水泥窑系统的高温煅烧功能处理污泥，一方面可利用污泥的发热量，另一方面其灰分也可成为水泥配料的一部分，实现了污泥处理的零排放，无疑是一项两全齐美的处理途径。如何使这一处置方式付诸实施，其重要因素是必须保证该处置方式的经济性和环保性，只有在经济上有利，环保上达标，才能具有推广利用价值。但如何满足以上要求，就涉及到采用技术方案的科学性、安全可靠、操作可控性，因此本文拟就以上内容进行研究探讨。

## 1、市政污泥的基本特点

市政污泥颗粒较细，密度较低，含水率极高且脱水异常困难。污泥成分复杂，其中含有大量的挥发性固体、碳水化合物、脂肪、蛋白质及灰分，还可能含有有毒、有害、难降解的有机物、重金属、病原菌及寄生虫(卵)等，容易腐化发臭。一般经浓缩、消化、脱水后的污泥含水率为75%~85%；当污泥干物质含量为55%~65%时，污泥会变得黏稠，从而导致输送、搅拌困难。

污泥的成分复杂，与污水的来源地有关。下面列举几个城市污泥的化学成分，见表1

表1 污泥的化学成分 %

名称	Loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
污泥1	40.58	33.05	8.64	5.05	4.51	2.86	1.35	1.06	4.96	0.004
污泥2	55.68	22.42	7.08	3.81	3.94	2.26	0.92	0.67	5.04	0.004
污泥3	58.96	18.85	7.38	2.27	6.58	1.70	0.85	0.70		

从表1可见，污泥的烧失量较高，主要是污泥中含有一定的有机质，不可燃物的成分中大多与生产水泥所需氧化物相同，但K、Na、S、Cl等挥发组分的含量也偏高，如果掺量合理，其灰分应该能作为水泥生产的原料。

污泥中含有一定的可燃有机物，其工业分析结果见表2

表2 污泥的工业分析

名称	M <sub>ad</sub> /%	A <sub>ad</sub> %	V <sub>ad</sub> /%	FC <sub>ad</sub> /%	Q <sub>net,ad</sub> / (MJ/kg)	S <sub>t,ad</sub> /%
污泥1	5.3				8.26	1.35
污泥2	3.6	59.3	33.2	3.84	7.4	1.86
污泥3	1.35	40.98	45.4		15.97	0.9

表2中分析结果显示，污泥中有机成分差别较大，直接导致污泥的发热量不同，干基热值差别达一倍以上，巨大的差异也将影响到污泥的处理成本。

由于城市污水中有一定比重的工业废水，故污泥中还含有一定的重金属，表3中列出了不同来源污泥的重金属种类和含量。

表3 污泥中重金属的含量 mg/kg 干基

名称	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	Mn	As	Hg
污泥1	1830	3510	126	13	282	1780	478	25.6	2.05
污泥2	405	310	8.4	2.4	238	171	394	21.2	30
污泥3	98.8	348	51.1	0.355	22.7	67.6		26.32	5.76

表3显示，污泥中的重金属种类较多，因污水来源的差异，含量差异很大，因此在处理前一定要对污泥做全面分析，而且还需要将污泥成分、重金属含量的波动范围调查清楚，唯此才能有的放矢地进行处理方案的规划和设计，否则将会导致环境风险。

## 2、污泥利用与脱水

污泥特性显示，尽管其中含有一定的发热量，灰分可作为水泥生产的原料，但污泥中含有大量水分是水泥生产所不愿意接受的。水分高导致污泥处理量变大，不仅不能给系统提供热量，还将增加系统烟量。

就生产控制而言，污泥水分越小，对水泥生产的影响越小。但对污泥脱水来说，拟脱除的水分越多，脱水难度越大，脱水成本越高。如何取得一个控制平衡点，来约束两者的技术控制参数，下面尝试从污泥减量和热量贡献两方面进行分析对比。以100kg干污泥量做基准，将不同含水率时对应的污泥质量绘成曲线，见图1：

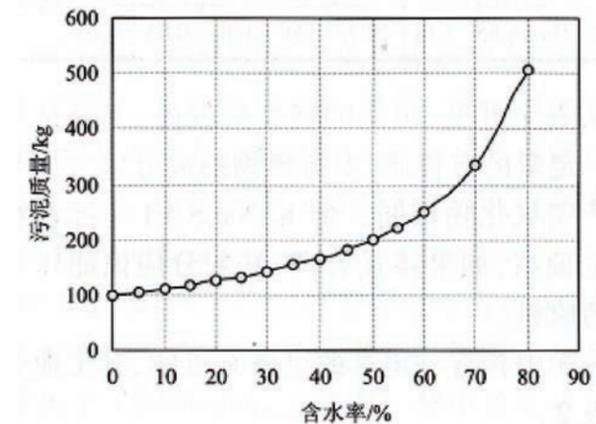


图1 100kg干固含量污泥不同含水率的质量

图1显示，污泥含水量从80%降到50%，污泥减量效果显著，而从50%降到20%，污泥减量放缓，20%以下继续脱水污泥减量效果不明显。

假定污泥干基发热量在1500~3000kcal/kg (6.27~12.55MJ/kg) 之间，设定4档，分析其不同含水率时对系统的热量贡献，其结果见图2：

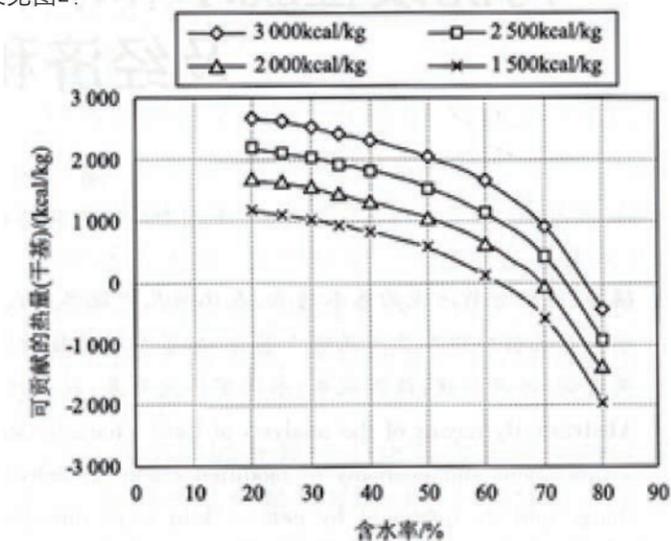


图2 不同含水率的污泥可提供的热量

图2显示,当污泥干基发热量为1500kcal/kg (6.27MJ/kg)时,污泥的含水率60%是分界线,大于60%需要消耗处理系统的热量,小于60%逐渐有热量贡献,含水40%时,可贡献热量840kcal/kg (3.51MJ/kg)含水20%时可贡献热量1180kcal/kg (4.93MJ/kg)。可见降低水分是污泥实现有价值利用的前提。

### 3、污泥脱水技术的进展简述

污泥中的水可分为间隙自由水、毛细结合水、表面黏附水和内部水等四类。前三种均为外部水,其[除间隙自由水比较容易脱除外,其他两种水很难脱除,脱除毛细结合水需克服毛细水表面张力,脱除表面黏附水需克服粒子间电荷引力。而内部水则是指微生物细胞内部的水分,去除内部水必须破坏细胞结构。因此后两种外部水和内部水统称为束缚水。

多年来污泥脱水方式一直是围绕着机械脱水干化和热能脱水干化的技术路线进行。而机械脱水干化的主要设备有带式压滤机、板框压滤机、螺旋压榨水机、离心式脱水机等,这些装备在压力上或离心力上进行了不断的改进,来提高其脱水性能,但对克服束缚水的内力来说,依靠机械设备的机械力显然是相当困难的。经以上装备脱水后污泥含水率约为65%~75%,污泥后续处理和利用难度仍较大。

热能脱水干化则较容易达到脱除目的,因此出现了许多热干化的装备和技术,如:回转干燥机、带式干燥机、流化床干燥机等均为直接干化装备,而桨叶干燥机、盘式干燥机等为间接干化装备,干化采用的热源有烟气、蒸汽、导热油等。但无论是直接干化还是间接干化,都是以消耗大量热能去完成脱水任务。使用热能干化,每脱除1Kg水需耗热能800~1000kcal (3.34~4.18.MJ),并产生1.24~2.5m<sup>3</sup>(标态)的有害烟气需要进一步处理。因而导致热能干化技术的推广、普及比较缓慢。

如何经济、适用地实现污泥干化,也是众多环保科研机构研究的课题。改性干化是近年来发展起来的一项新技术。国内外研究机构通过研究污泥含水的结构特征后认为,污泥中的束缚水被固体颗粒吸附或被包裹在细胞内部,“束缚”的水分子其外围被十分强大的负电荷紧固着,它与水核内的正电荷取得平衡,确实很难脱除,但通过添加化学改性剂,可以破坏原水核的正负平衡,使水分子解脱束缚,形成“自由”态,再利用机械压滤方式使脱水变得相对容易。经过试验和实际应用,证明其技术有效,脱水能耗低。

### 4、化学改性脱水的关键技术简介

采用化学改性剂是化学改性脱水关键技术核心。化学改性剂除具有调理吸附架桥外,还具有疏水亲油及疏油亲水的双亲性,有增溶和分散作用,使污泥细胞间质水发生解体,释放出间隙水;同时改性剂还通过自身的带电离子破坏细胞间隙亲水基团的电荷平衡,促使其释放表面吸附水;然后再偶联疏水剂,将分散的解体物偶联聚合成为大疏水絮体,由于其疏水性使得新生成的网格构架中含水极少,这一过程也有效防止了有机质在脱水过程中的流失。通过添加化学改性剂可实现高效改性,为下一步采用机械方式脱水干化创造了条件。

化学改性药剂是数种无机物与有机物药剂的复合体,由于不同污泥其性质各异,因此要达到有效改性,需要有针对性的复合配方,针对某一种污泥会有一组适合的改性药剂配方,这种配置并不复杂,只要在使用前对污泥的成分进行微观分析,即可有针对性地组成相应配比,一旦确定就形成可控操作。另外需要注意的是所选择的改性药剂应在实现污泥有效脱水的同时,切不可破坏污泥固体物的原有属性,影响脱水污泥资源化利用的价值。

针对重金属含量超标的污泥,还可添加稳定转化剂,将污泥中的重金属转化为不溶于水的化合物,使之钝化不再被水溶出,同时还可杀灭污泥中的细菌等病原体微生物,达到杀菌、除毒的无害化效果。

由于改性药剂掺入比例很小,要使改性药剂有效渗入污泥中,并对污泥中的水分子充分发挥效用,首先必须破坏污泥的分子絮凝团,使得药剂能均匀地分散到污泥毛细结构中去,因此还需要设置具有高速剪切性能的改性机,才能达到改性的作用。

经过改性的污泥,将束缚水变成了间隙水,脱水变得相对容易,但因污泥的颗粒很细,在压滤过程中既要有利于排水,又使滤布不被污泥颗粒堵塞,故要选用专用滤布和保证压滤机较高的操作压力,这都是保证高效脱水的关键。

以上三项技术措施构成了化学改性脱水干化的关键技术。其工艺流程见图3:

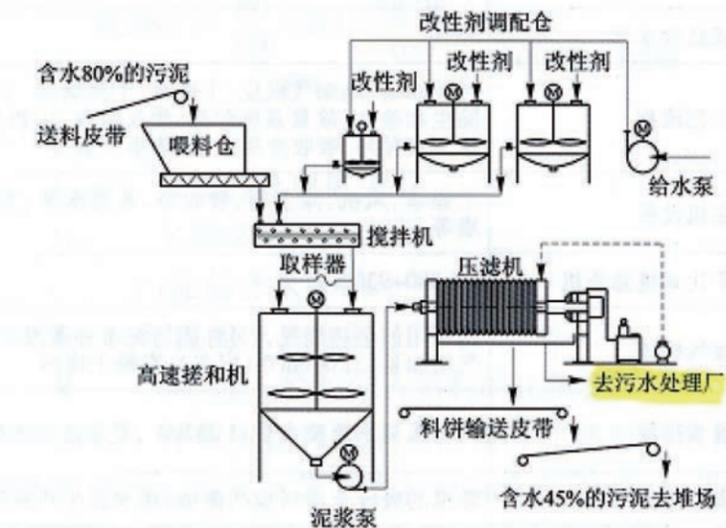


图3 污泥改性干化工艺流程

总之,污泥的化学改性技术综合利用了物理、化学及过程动力学等基本原理,通过界面活性剂、界面中和剂及偶联疏水剂三者之间的相互配合,协同作用,破坏了污泥原有的网架结构,促使污泥中亲水性有机胶体物质分解,减少泥水间的亲和力,改变了污泥中水分存在形式及性质,最终使污泥实现了“改变亲水性、提高脱水性、改善稳定性”的三大改性效果经过改性后的污泥,再经过专用特种脱水机械压榨后,污泥含水率可以降低到45%左右,减量化效果显著,出泥基本无臭,性质稳定,污泥失去了亲水性,遇水不还原。

### 5、污泥的脱水方案比较

化学改性脱水干化技术与一般的热干化相比不耗费热能,故具有明显的优势。但与采用余热干化的系统比较具有怎样的结果是人们关注的重点,由于余热干化的形式多种多样,大多是因地制宜,而本文探讨的是水泥窑协同处置污泥,故选择采用水泥窑出C1的部分废气的余热作为污泥热干化的热源,对两种系统主要技术经济指标进行比较,见表4

从表4可明显看出,化学改性脱水干化工艺简单、易行、环保、节能,投资低,具有一定的优势。

## 6、水泥窑处理污泥工艺流程及影响因素介绍

从前文讨论可知，污泥可提供有效发热量和具有利用价值的含水率应该在40%以下，因此水泥窑处理污泥的水分应控制在35%以下比较适宜。压滤后的污泥饼水分可降到45%左右，这种改性后的泥饼在存放。

内容	余热干化	化学改性脱水干化	备注
处理规模	620t/d	620t/d	污泥为湿基
干化方式	利用余热采用直接接触式热干化技术	添加化学改性剂，机械压滤干化	添加剂费用 40 元/t (湿基)
干燥介质	窑尾出 C1 热烟气：320℃，200000m <sup>3</sup> /11 (标态) 以上	不需热源	
成品含水率	35%	45%	
工艺流程	污泥储运、热烟气供应、干燥机、干泥储运、干燥废气除尘和除臭。除臭系统包括：废气吸收、生物过滤、气污泥储运、改性剂调配、污泥搅拌压水分离循环、吸收介质脱水、废水排放等	污泥储运、改性剂调配、污泥搅拌压滤、干泥储运、废水排放	
主机设备	干燥塔，风机，除尘器，吸收塔，各类水泵，生物滴滤塔等	专用压滤机	
干化系统总装机	~ (1880+930, )kW	2000kW	热干化后项为除臭系统装机
废气排放	除利用的余热烟气，另外因污泥水分蒸发产生的废气增加量：22000m <sup>3</sup> /h (标态)；有粉尘排出	无废气	
废水排放	烟气除臭系统废水量：1032t/d，要求送污水处理厂	有废水，700t/d，要求送回污水处理厂	
废渣排放	除臭的吸收介质形成的废渣，送水泥生产系统利用	无废渣排出	
干化过程环保风险	在干燥过程中，低温易燃物可能分解或燃烧，废气需要除臭处理，存在环保风险	处理过程无臭味，无噪音，不存在环保风险	
污泥去向	送入回转窑煅烧	送入回转窑煅烧	
工艺系统	工艺系统流程相对复杂，系统装备多	工艺系统流程相对简单，系统装备少	
水泥窑余热利用状况	余热用于干燥污泥，无余热利用	余热用于发电，发电系统额定装机：9000kW	
投资	13000 万元	4800 万元	

表4 余热干化工艺与化学改性脱水干化工艺主要技术经济指标对比

过程中水分容易挥发，堆放1天后水分可降低5%~10%，其水分挥发量视当地的环境温度和湿度确定。

堆放在通风的堆棚中2~3天，含水量降低10%是有保证的。需要说明的是，如果将污泥干化部分建在污水

处理厂或污水处理厂附近，可降低运输费用，利用成本会更低。如果没有条件，则压滤的污水应送回污水处理厂，以减少污水处理的投资。

水泥窑处理污泥工艺流程见图4：

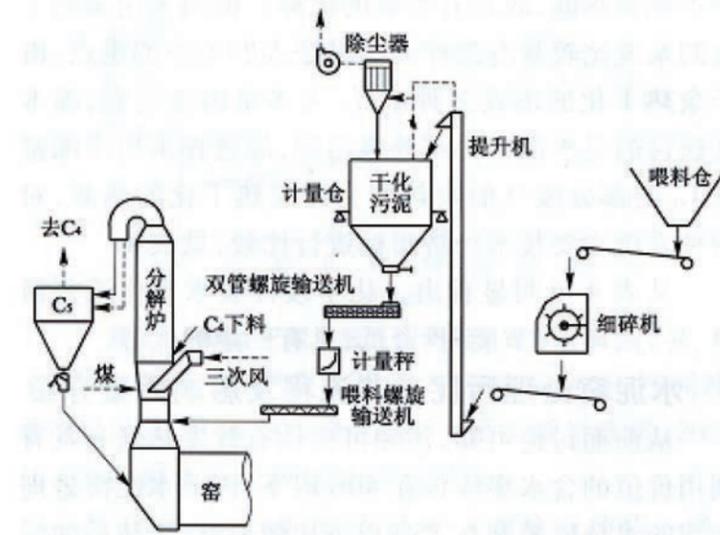


图4 水泥窑处理污泥的工艺流程

从图4中可以看到，污泥通过计量后入炉。由于污泥灰分高，处理量大时污泥灰分应参与原料配料控制，以保证入窑生料质量及稳定性。经过对污泥成分进行测算，一般一条5000t/d生产线可配置620t/d（湿基，含水率80%）的城市污泥处理量，窑年运行310d。

但通常给污泥干化配置的污泥处理量是600t/d，年运行320d。如果污泥中有害成分和重金属成分不超标，处理量还能略有增加，这取决于原料的配料。

从图4流程可见，污泥投料点设在分解炉底部，其原因是污泥的可燃物成分大多是含有苯类、烃类、酯类等有机物，着火点低，其着火温度通常在260~320℃，远低于普通的烟煤。污泥颗粒的孔隙结构发育良好，并且颗粒很细小，燃烧速度很快，燃尽时间短，因此污泥不适合和生料混合从预热器入口处喂入，如此处理会导致污泥在上部预热器发生燃烧，易造成燃烧不充分，热量不能充分回收，还可能导致预热器系统操作不正常，更重要的是将导致废气中有毒、有害污染物的产生。而在分解炉底部喂入，烟气温度在1100℃，投入后虽使局部温度降低，但因污泥在整个系统中含量相对较低且对水分有所控制，故对温度影响有限。入炉污泥在高温烟气的裹挟下迅速分解着火燃烧，分解炉底部本身就有煤粉喷入，分解炉内的燃烧温度通常在850~900℃污泥中可燃物很快能在炉内燃尽，其灰分汇同炉内的生料在气流的作用下可充分混合均匀，成为生料的一部分进入C5，收下后入窑，被更高的温度煅烧。因此利用水泥窑生产工艺处置污泥，从流程设置上必须考虑避免因污泥本身的成分特性所导致的污染源扩散，充分利用高温将污染消除，不留隐患，同时将污泥的可利用部分充分利用。

污泥从分解炉底部加入对污泥的无害化利用应该是安全可行的。但要注意控制好污泥带入的钾、钠、硫、

氯不超标,控制好水泥窑可接纳的污泥量,不会对水泥窑正常生产构成不利影响。但处理污泥导致系统烟气量增加和系统电耗增加,这些因素不可忽视。若新建系统应适当放大废气处理设备的能力。另外污泥的水分高低对系统影响较大,直接影响系统的处理风量和热耗,因此要严格控制污泥水分。

以5000t/d生产线、处理620t/d(含水率80%)污泥为例,折合成含水率35%的湿污泥为191t/d, 7.96t/h;绝干污泥124t/d, 5.17t/h。假设污泥的烧失量为45%,污泥带入的灰分为2.84t/h,约占灼烧生料的1.36%,因此污泥的成分波动对生料成分影响有限,且烧失量越大,对生料成分的影响越小。但由于各地区的污泥成分差别较大,因此,配料时还是应考虑污泥成分的影响。入炉污泥必须考虑计量,并要求与入窑生料计量同步控制,以减小因污泥导致的成分波动,这样可更有效地控制产品质量和污泥重金属的掺入量。

## 7、利用水泥窑处理污泥对水泥产品质量的影响分析

利用水泥窑处理污泥,可燃部分在系统内燃烧放热并产生废气,其影响在前面已阐述,不可燃部分与生料参与矿物反应,形成水泥熟料矿物。但考虑到污泥中成分复杂,含有多种重金属,掺入熟料后是否对环境、水泥品质有影响需进行必要的分析和评判。下面以某市的污泥为例,污泥成分见表1~表3中列出的污泥3,假定水泥窑的规模为5000t/d生产线,处理污泥的能力按620t/d考虑,对处理过程中的所有影响逐一分析评判。

### 7.1 污泥中有害成分的影响分析

水泥窑在接纳污泥前首先要分析污泥中有害组分和含量,主要对 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $Cl^-$ 、S、P、F含量进行分析,然后按其处理量折算到生料中,与原料、燃料中固有的有害物累计,看是否超过水泥生产的安全控制线,如果超标则需要调整污泥处理量,减小对水泥生产及产品质量的影响。表1中的污泥3,有害挥发组分虽然没有超过控制标准,但成分总量不足,还有2.6%的物质未知,按上面设定的污泥处理量计算,污泥带入的灰分在熟料中的比例为:

$$R = \frac{G_d \times (1 - \frac{v}{100}) \times (1 - \frac{L}{100})}{G_c} \times 100\%$$

$$= \frac{620 \times (1 - \frac{80}{100}) \times (1 - \frac{58.96}{100})}{5000} \times 100\% = 1.02\%$$

式中:

$G_d$ ——污泥的处理量,t/d;

$G_c$ ——水泥窑的产量,t/d;

$v$ ——污泥的含水率,%;

$L$ ——污泥的干基烧失量,%;

$R$ ——污泥带入的灰分占熟料的比例,%。

由以上计算所得污泥带入的灰分在熟料中的比例为:1.02%,污泥灰分中的未知物质占2.6% $\times$ 1.02%=0.026%,虽然这部分物质对烧成的影响比较小,但对有害物质排放和熟料的质量有影响,因此从严格意义上讲,还是应该把这部分物质的成分分析清楚,污泥成分中的未知物质应控制在1%以内。

### 7.2 污泥中普通氧化物对产品及其环境的影响分析

研究及设计单位大量的研究试验表明,城市污泥中的几种氧化物的化学特性与水泥生产所用的原料基本相似,处理污泥制造出的水泥,与普通水泥相比,在颗粒度、相对密度等方面基本相似,而在稳固性、膨胀密度、固化时间方面较好,对水泥的早期、后期强度影响不大[1]。

### 7.3 重金属对产品的影响分析

由于污泥中含有多种重金属,所以必须分析评价重金属对生产、产品质量和环境的影响。这里所要研究的重金属主要是对生物有明显毒性的金属元素或类金属元素,如汞、镉、铅、锌、铜、钴、镍、锡、砷等。由于水泥熟料需要经过高温煅烧,因此各类重金属在高温煅烧条件下的特性值得关注。重金属元素的熔点、沸点见表5:

表5 重金属元素的熔点、沸点  $^{\circ}C$

元素	As	Cd	Pb	Zn	Cu	Co	Ni	Sn	Tl	Ni	Cr	Hg
熔点	817	320.9	327.5	419.6	1083	1493	1453	232	303.5	1453	1857	38.8
沸点	613*	765	1744	907	2567	2900	2732	2602	1457	2732	2672	356.7

注:“\*”此温度为升华温度。

从表5看出,这些重金属中除Hg以外,气化温度普遍较高,因此从气体中逃逸的可能性较小,但是否会和挥发性物质结合成气化温度低的物质值得关注。研究人员在实验室模拟水泥熟料的配料和煅烧温度条件,用化学试剂掺烧和废物掺烧形式,测试重金属在熟料中的固化率,其结果见表6:

表6 重金属在熟料中的固化率 %

Cd	Pb	As	Zn	Cu	Co	Ni	Cr	备注
88.1	86.3	89.3	74.3	74.3	86.1	86.5	83.8	废物
58.14				58.14	87.21		54.91	化学试剂

研究人员根据实际检测和理论分析,重金属元素并非是以单质形态,而是以某种易挥发化合物的形态挥发。所以,这些重金属元素在水泥回转窑工况条件下所形成化合物的特性将直接影响它们在熟料中的固化率。而这些重金属元素易挥发化合物的生成同原、燃料组成,特别是原、燃料中的碱和氯密切相关:碱和氯的存在会使这些重金属元素以挥发性氯化物和碱盐的形式挥发,并随着氯碱循环在窑系统循环富集。同时,工况时的燃烧条件和燃烧气氛也对重金属元素易挥发化合物的生成有不同程度的影响[2]。由于以上试验是在开放的燃烧环境下进行的,因此循环富集的影响不能体现。

德国水泥研究所于1984~1987年间对许多台悬浮预热器窑微量元素的吸收率与排放量作了监测, 所得结果汇总于表7:

表7 悬浮预热器窑对重金属的熟料吸收率和排放量

元素	熟料吸收率/%	单位熟料排放量/(mg/kg)
As	83~91	0.000~0.005
Cd	74~88	0.000~0.001
Pb	72~95	0.000~0.033
Zn	80~99	0.003~0.047
V	90~95	0.001~0.020
Ni	87~97	0.003~0.020
Cr	91~97	0.010~0.011
Tl	~0	0.000~0.223

德国研究人员认为微量元素在水泥回转窑系统的挥发性反映了这些元素在熟料煅烧过程中的特性, 也可以说反映了这些元素被熟料吸收的程度。因此依此将这些元素划分为4类, 如表8所示:

表8 微量元素按挥发性的分级

等级	元素	冷凝温度/°C
不挥发	Zn、V、Be、As、Co、Ni、Cr、Cu、Mn、Sb、Sn	
难挥发	Cd、Pb	700~900
易挥发	Tl	450~550
高挥发	Hg	≤250

1) 不挥发类元素与熟料中的主要元素钙、硅、铝及铁和镁相似, 完全被结合到熟料中。除表中列出的11种元素外, 还有钼 (Mo)、铀 (U)、钽 (Ta)、铌 (Nb) 和钨 (W)。这类元素90%以上直接进入熟料。

2) 难挥发类元素Pb和Cd在水泥熟料煅烧过程中, 首先形成硫酸盐和氯化物, 铋 (Bi) 也与此相似。这类化合物在700~900°C温度范围内冷凝, 在窑和预热器系统内形成内循环, 很少带出窑系统外, 即外循环量很少。

3) 易挥发的元素Tl一般在450~500°C的温度区冷凝, 93%~98%都滞留在预热器系统内, 其余部分可随窑灰带回窑系统, 随废气排放的约占0.01%。

4) 高挥发元素Hg在预热器系统内不能冷凝和分离出来, 主要是随窑废气带走形成外循环和排放[3]。

根据以上不同研究机构的研究发现, 大部分重金属在熟料煅烧过程中可以被固化在水泥熟料中, 只有在原料中的挥发组分高时, 会影响到某些重金属的挥发。但因为新型干法窑排烟温度低, 在烟气排放口有大量冷生料喂入, 又将这些挥发物质重新收回, 形成内循环。只有易挥发的Hg是通过烟气排放的。以表3中的污泥3重

属含量为例, 按前面的假定处理量时可根据污泥中重金属含量计算出熟料中重金属残留量和烟气中重金属的浓度, 计算结果列在表9中, 表中同时也列出了标准控制量, 看其残留量是否符合国标。

表9对照结果显示, 按文中假定的污泥处理量, 其灰渣掺入后的产品可满足国标的限量要求。表9中的固化率是借鉴不同研究机构的研究结果给出的保守假设。但表9的计算结果中仅考虑了污泥带入的重金属, 事实上还应该将原料中的重金属合并考虑。实际生产管理中还应该周期性地跟踪检测产品中的重金属含量, 若发现超标可适当减少处理量。我国利用水泥窑处理废物起步较晚, 对处理过程中的影响研究还较少, 国标中对重金属的上述限量标准实际上是参考欧洲标准制定的, 已充分考虑了水泥产品在使用中的重金属溶出对环境的影响, 标准限制比较严格。研究人员还发现污泥带入水泥回转窑的微量重金属, 经高温固相反应生成复合型矿物, 成为熟料矿物晶体中的部分原子替代物, 被固化在水泥熟料中, 不仅不会对水泥生产过程、熟料矿物形成及产品性能带来不禾I影响, 相反有些重金属元素对熟料煅烧过程反而有利, 起到了助熔剂或者矿化剂的作用[2]。依据以上研究结果可知, 利用水泥窑系统处理污泥, 对重金属的固化相当有利。因此采用该工艺处理城市污泥, 不仅具有焚烧法的减容、减量化特征, 且燃烧后的残渣成为水泥熟料的一部分, 没有多余的焚烧灰渣需要填埋处置, 是一种资源化的处理途径。

表9 熟料中重金属含量和烟气中重金属浓度

内容	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	Ni	As	Hg
污泥带入量/(mg/kg熟料)	0.009	1.678	2.452	8.636	0.531	0.563	0.653	0.143
固化率/%	80	95	95	95	85	90	85	30
熟料中的含量/(mg/kg)	0.007	1.594	2.329	8.204	0.451	0.507	0.555	0.043
排放的浓度 <sup>①</sup> /(mg/m <sup>3</sup> , 标态)	0.001	0.035	0.052	0.182	0.034	0.024	0.041	0.042
重金属限量标准 <sup>②</sup> /(mg/kg熟料)	1.5	150	100	500	100	100	40	0.5*
烟气排放标准 <sup>③</sup> /(mg/m <sup>3</sup> , 标态)	0.05	总和小于0.5						0.05
烟气排放标准 <sup>④</sup> /(mg/m <sup>3</sup> , 标态)	0.10				1.60			0.20

## 8、处理方式的环保性评价

污泥中不可燃物作为水泥原料, 其重金属已被固化在水泥熟料矿物中, 固化量可控制在GB50295—2008《水泥工厂设计规范》标准允许的范围内, 实现了污泥灰渣的零排放, 产品符合环保要求。但处理过程中是否有有毒有害气体和物质产生, 是否符合环保要求, 需要从污泥的处理流程和排放物分析。

从图4污泥处理流程可知, 干化后的污泥由分解炉底部喂入, 喂入点温度为1100°C, 污泥入炉后在此温度下迅速干燥, 可燃物很快着火燃烧, 并与入炉煤粉混合在一起燃烧, 由于污泥的燃尽温度低, 故在炉内将优先于煤粉迅速燃尽, 炉中气体平均温度可保持在880°C左右, 而污泥燃烧后自身温度一定大于880°C。通常在850°C以上, 停留时间超过2s, 二恶英的分子结构会被分解和破坏。预分解系统中, 880°C的废气温度, 至少可保持5s以上, 因此污泥自身带入的二恶英将在分解炉环境中被彻底分解和破坏, 而炉中环境又不具备二恶英再生成的条件。出C5的废气将入上部预热器, 然后逐级换热降温至320°C后被排出预分解系统进入原料磨。在这一系列降温过程中, 是否具有二恶英再次合成的可能仍是人们所担心的。

首先分析该项目从分解炉掺烧的污泥量折成干基为5.17t/h, 分解炉的喂煤量在17t/h以上, 污泥中的可燃物约占入炉燃料量的15.20%; 而污泥燃烧产生的废气占系统废气量的8.0%左右, 已被水泥生产过程中的废气

大大稀释。其二，在整个系统降温过程中，充满着高浓度碱性氧化物粉尘，碱性氧化物可抑制二恶英的生成。其三，缺乏合成二恶英的氯源。虽然在原料和污泥中含有Cl<sup>-</sup>，但大都是以氯盐的形式带入系统中的，而在系统内的富集循环也是以氯盐形式出现，基本不具备Cl<sub>2</sub>形成的条件，所以再度合成二恶英的条件不充分。另外高温条件下，生成的氯酸盐还可以氧化破坏已生成的二恶英污染物[4]。有专家在查阅了德国某研究所对替代燃料、替代原料进行的大量研究实验的结果后，认为水泥回转窑系统除能完全破坏燃料中的有机化合物外，在烟气系统中也不会像垃圾焚烧设备那样再形成二恶英和呋喃，因为形成二恶英、呋喃的主要基本条件是有起催化作用的重金属存在，在水泥回转窑系统废气中的重金属浓度很低，除尘器粉尘在二恶英重新形成的临界温度区停留时间又很短，所以水泥回转窑不需要像垃圾焚烧炉那样设立二恶英专用过滤器，二恶英、呋喃的排放浓度可控制在0.1ngTEQ/m<sup>3</sup>（标态）以下[5]。因此采用本文介绍的处理方式对污泥的处理更彻底，更不利于二恶英的生成。

前面分析了重金属的挥发性污染，其中Hg是最易挥发的物质，通过前面的计算方式测算，只要污泥及生料中的Hg总含量小于6.9mg/kg熟料时，5000t/d规模的窑系统，日处理污泥620t/d时，气体中Hg的排放量可低于0.05mg/m<sup>3</sup>（标态），符合GB50295-2008的排放标准。

综上所述，本文介绍的污泥处理工艺不会对环境构成新的污染。

## 9、处理方式的经济性评价

目前最常见的污泥处理方式是由污水处理厂将沉淀的污泥脱水至含水率80%左右，然后采用填埋、焚烧、堆肥。而这三种方式都有后续处理成本，因此取用的比较基准也为后续的处理成本。中国科学院地理科学与资源研究所环境修复中心张义安等学者在研究了北京市的城市污泥不同处置方式的成本得出的结论为：当电费取值为0.6元/kWh时，污泥堆肥成本约350元/t（干基），堆肥销售可以补偿部分处理成本，使污泥堆肥达到微利。但首先要评估污泥潜在的环境风险，也就是在污泥污染物、重金属含量较低时可考虑采用。污泥填埋操作简单，但其成本约760元/t（干基），高于堆肥处理。因在填埋的过程中需要加拌泥土以保持填埋场土质的力学稳定性，并占用大量土地，考虑到土地资源日益稀缺及二次污染问题，且从发达国家的经验来看污泥填埋将逐步受到限制，因此其应用比例会逐渐减少，此法不可持续。污泥焚烧减量效果最明显，但其初始投资及运行费用最高，综合成本约1000元/t（干基），其设备维护复杂，如果对尾气、废渣处理不当，也可能造成二次污染[6]。且焚烧后约有40%~60%（占干污泥）的废渣量需要填埋，对此仍会占用土地。

从上述处理方式看，污泥堆肥虽可微利但有限制条件，而其他两种方式不仅成本高，且没有彻底解决污泥的污染问题。

采用水泥窑协同处置污泥，首先需将污泥采用改性脱水干化技术脱水至40%以下，此时的干化成本约360元/t（干基），该污泥水泥厂可接纳直接利用，但需要增加部分装备，主要有堆棚、输送设备、喂料、破碎、计量等，投资约300~400万元，对已建成的工厂需要进行部分改造，投资视其难度还会有所增加。在水泥窑处置过程中，因增加污泥喂料系统和污泥带入的水分会增加窑尾废气处理系统的风量，以5000t/d规模水泥窑处理620t/d污泥测算，风量约增加150%~20%，故电耗会有所增加，单位熟料电耗增加约2~3kWh/t，又因污泥燃烧会带入热量，系统热耗有所降低，若污泥发热量有1500kcal/kg（干基），可降低熟料热耗20kcal/kg，按5000kcal/kg原煤每吨价格600元计，每吨熟料可节煤2.4元，而电耗增加吨成本约1.8元（电价0.6元/kWh计）。两者相抵略有盈余。也就是说如果给水泥厂提供含水量40%的污泥，干基污泥发热量高于1500kcal/kg，水泥厂替市政处理污泥可以不亏损，如果污泥热值高、有补贴就会有较大的盈利空间。如果提供含水为80%的污泥，则需要给水泥厂提供大于360元/t（干污泥）或大于72元/t（含水80%湿污泥）的补贴，作为污泥干化的运行费

用。因此，采用改性干化和水泥窑协同处置污泥的方案比上述填埋、焚烧的处理方式经济、可行，可实现污泥处理的零排放，且不存在二次污染的环保风险。

## 10、结论

污泥的化学改性干化技术，可改变污泥的亲水性、提高脱水性、改善稳定性，经过改性后的污泥，经特种压滤机脱水后，污泥的含水率可降低到45%以内，出泥基本无臭，性质稳定，污泥失去了亲水性，遇水不还原，后期堆放会继续失水。相比其他干化方式工艺简单，处理成本低，优势明显，为后续の利用提供了良好的保证。

水泥窑协同处置经干化至含水率40%以下的污泥，对水泥产品质量影响不大，大部分重金属有害物质会被固化在熟料矿物内部，产品质量符合GB50295-2008《水泥工厂设计规范》对掺烧废物时规定的水泥熟料中的重金属限量要求。

污泥采用水泥窑协同处置工艺，其处理过程为直接将污泥投入到1100℃以上的高温中焚烧，其焚烧全过程保证在850℃以上，停留时间超过5s。由于水泥窑整个系统充满高浓度碱性氧化物的粉尘，污泥中二恶英的分子结构会被分解和破坏，且不具备二恶英再度合成的条件，系统废气排放符合国家标准，采用该工艺处理污泥不会对环境构成新的污染。

采用改性干化和水泥窑协同处置污泥的方案比目前通常采用的污泥填埋、焚烧的处置方式经济、可行，可实现污泥处理的零排放，不存在二次污染的环保风险。该处理方式可真正实现污泥的减量化、稳定化、无害化，并实现了资源化利用，是一项值得推广的处置技术。

## 参考文献：

- [1]黄健、吴笑梅、樊粤明等.掺垃圾焚烧飞灰烧制的水泥熟料对水泥性能影响的试验研究.2008(9)
- [2]张江.水泥熟料固化危险工业废弃物中重金属元素的研究.2004
- [3]乔龄山.水泥厂利用废弃物的有关问题(一).2001(10)
- [4]曹青、吕永康、鲍卫仁.抑制焚烧衍生垃圾燃料过程中产生二恶英的途径.2006(11)
- [5]乔龄山.水泥厂利用废弃物的有关问题(三).2003(2)
- [6]张义安、高定、陈同斌等.城市污泥不同处理处置方式的成本和效益分析[J].生态环境,2006(2)
- [7]葛守飞、杨家宽、周国清等.污泥改性深度脱水技术及应用[R].

# 服务绿色北京

## 将企业打造成为首都的城市净化器

### ——北京市琉璃河水泥有限公司绿色水泥发展之路

赵向东、周治平、张国亮

#### 前言

国家“十二五”规划提出“节能环保产业重点发展高效节能、先进环保、资源循环利用关键技术装备、产品和服务。”水泥工业是发展循环经济的重要节点产业，利用水泥窑协同处置有毒有害废弃物、城市污泥、生活垃圾、焚烧飞灰等难以处置、危害环境的工业和生活废弃物，有着无可比拟的优势。

北京市琉璃河水泥有限公司(下简称疏水)紧密对接首都城市功能定位，积极调整产业结构，大力发展循环经济和环保产业，逐步成为首都城市功能中一个不可或缺的城市净化器，2009年成为北京市首批循环经济试点企业之一。多年来疏水在循环经济和环保领域取得了突破性进展，多个利用水泥窑协同处置废弃物示范项目的研究及建设陆续展开，具有代表性的项目及技术主要有：低温余热发电技术、市政污泥处置技术、垃圾焚烧飞灰处置技术等。

#### 1、创新型低温余热发电项目

##### 1.1项目简介

疏水凭借着雄厚的技术实力和丰富的发电运行经验，自主研发了具有国际领先水平的创新型低温余热发电技术，在新型干法水泥生产线上配套开发了余热发电系统。创新型低温余热发电项目将余热发电站与水泥窑系统有机结合，不但未对窑内煅烧带来不利影响，而且起到了稳定窑系统热工制度的作用，吨熟料的余热净发电量达到了45KWh以上，创同行业之最，处于国际领先水平。

##### 1.2技术简介

创新型低温余热发电技术在保证原水泥生产线熟料产量和质量不变，单位熟料烧成热耗不变的前提下，根据水泥窑余热的能量梯度分布情况，采用先进的余热锅炉设计理念，开发出不同于传统的余热锅炉和汽轮机及相关技术设计，根据高温蒸汽的品质进行汽轮发电机系统的设计和选型，不同能级的余热分别合理利用，从而实现了低温烟气的高效回收和锅炉高质量的运行，通过提高汽轮机进汽参数至2MPa，大大提高热电转换效率，降低汽耗，使汽轮发电机组发电功率提高效率15%，使吨熟料发电能力由目前国内26~28KWh/t提高到45KWh/t的国际先进水平，水泥窑余热发电的热能回收率达到87%的先进水平。

##### 1.3项目成果

创新型纯低温余热发电示范项目是国家发改委“2006年国家十大重点节能工程示范项目”之一，是北京市

发改委“清洁生产示范工程”。项目技术目前已经获得4项国家发明和实用新型专利，得到世界知识产权组织认可，在国际上有一定影响，其中“一种用于新型干法水泥生产线的余热发电系统”于2010年获得“中国专利优秀奖”，2011年获得北京市科学技术三等奖。

## 2、利用水泥窑共处置垃圾焚烧飞灰技术

### 2.1 技术提出背景

飞灰是指垃圾焚烧发电厂在烟气净化系统收集而得的残余物。飞灰中含有苯系物、二噁英等有机污染物和Pb、Cr等痕量重金属，是危险废弃物（代号HW18）。在我国，飞灰处理目前面临着一个尴尬的局面——绝大部分城市没有危险废物处置设施，没有很好地将飞灰进行安全处置。

目前北京危险废物处置中心只有12万吨的容量，填埋容量有限，而且有很多其他危险废弃物需要填埋处置，不适于全部用来填埋飞灰，而其他处理设施很难达到工业化处理飞灰的要求。

疏水积极进行产业结构调整，大力发展循环经济，加大科技研发投入，承接了北京市“垃圾焚烧飞灰资源化”重大研发课题。2009年建成国内首条飞灰水洗预处理与水泥窑共处置技术相结合的中试生产线，国内第一条飞灰处置工业化环保示范线目前已经开工建设。

### 2.2 技术优势

目前垃圾焚烧飞灰无害化处理的方法主要包括湿式化学处理、固化稳定化和高温处理三大类。但当前的大多数的处置技术很难达到工业化推广应用的要求。

目前湿式化学处理方法还处于实验室研究阶段，没有工业化应用的条件。国内较为普遍的处置方法是对飞灰进行单独收集，经水泥固化处理后，送入危险废物填埋场进行填埋。但该方法，面临着重金属固定效果差、有害物质浸出率高的缺陷，而且国内绝大多数城市没有危险废物填埋场。在高温处理方面，主要包括等离子技术和水泥窑共处置技术。国内外最新研究的等离子体技术可以达到处置效果，但其处理成本在6000~10000元/吨，处理成本过高，且仍处于实验室研究阶段。

利用水泥窑共处置垃圾焚烧飞灰不但技术安全可靠，而且处置最彻底，无二次污染，处置成本低，可以进行工业化处置，在国外已经推广应用，是目前国内从根本上解决垃圾焚烧飞灰处置问题的最优选择。

### 2.3 工艺简介

利用水泥窑共处置垃圾焚烧飞灰技术采用逆流漂洗工艺，在低耗水量的条件下，使得预处理后的垃圾飞灰达到煅烧水泥的工艺要求，同时预处理过程中的飞灰经过化学共沉淀、多级过滤、PH调节、蒸发结晶等多项工艺技术处理后全部回用于预处理过程，真正实现了废水零排放。

飞灰水洗与水泥窑共处置技术的生产工艺主要包括水洗飞灰、污水处理、水泥窑共处置等三大部分。

#### 2.3.1 飞灰水洗部分

飞灰经计量后输送到搅拌罐中与经计量的水混合洗涤，料浆过滤烘干后进入暂存料仓待处置，滤液进入污水处理单元处理。

#### 2.3.2 污水处理部分

飞灰水洗预处理过程产生的污水先通过水处理系统后进入蒸发结晶系统，蒸发结晶得到的冷却水全部回

用，蒸发结晶产生的盐作为工业用盐使用。水处理过程中产生的沉淀物质(包括钙镁沉淀和重金属沉淀)送入烘干设施进行烘干处理后与经过预处理的飞灰一起进入水泥窑共处置。

#### 2.3.3 水泥窑共处置部分

飞灰经洗涤、烘干后，除去了大量的氯离子及钾钠离子，预处理后的飞灰，利用气力输送设备直接输送到窑尾1000℃高温段(窑尾烟气室)，进入水泥窑煅烧。在共处置过程中二噁英被完全分解，而重金属被有效固定在水泥熟料晶格中，实现了垃圾焚烧飞灰的无害化与资源化处置。

## 2.4 工业化示范技术方案的研究及确定

### 2.4.1 进厂飞灰成分分析

表1 进厂飞灰化学成分分析

样品	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	Loss
1	17.70	5.98	2.13	35.12	4.91	3.49	4.39	3.87	10.97	9.36
2	18.82	5.68	2.84	42.31	5.58	5.49	3.12	3.03	9.15	13.92
3	18.31	5.59	2.33	36.12	5.12	4.49	3.54	3.17	9.65	9.38
4	16.3	5.96	2.13	35.43	4.53	3.53	4.42	3.67	10.24	9.91
5	16.91	5.11	1.98	37.01	4.62	3.66	4.12	3.62	9.69	9.36
平均	17.61	5.66	2.28	35.56	4.95	3.92	3.92	3.47	9.94	9.79

从表1可知，飞灰中主要成分为CaO，SiO<sub>2</sub>，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及大量钾、钠、氯离子。由于其中氯化物含量较大，若直接作为水泥工业原料，极易引起窑系统结圈、结球和预热器结皮、堵料等事故，直接影响设备运转率和水泥熟料质量。根据疏水的工业化试验，飞灰在没有进行水洗预处理时，有害成分含量较高，随着水泥窑共处置时间的延长，有害成分在预热器系统循环富集浓度越高，窑尾部开始结副窑皮，熟料结粒变大，有小料球产生，并且对熟料质量造成了一定的不良影响。

### 2.4.2 飞灰水洗预处理后飞灰成分分析

表2 水洗预处理后飞灰化学分析

样品	烧失量	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>
1	16.33	21.96	7.41	2.13	34.37	5.80	1.14	1.26	0.48
2	15.88	20.12	6.98	2.53	32.91	6.12	1.74	1.83	0.41
3	16.44	19.15	7.01	1.98	34.01	6.24	1.36	1.34	0.38
4	17.81	20.56	7.41	1.86	35.05	5.67	1.09	0.94	0.45
5	16.21	21.05	6.89	2.21	33.55	5.98	1.2	1.11	0.33
平均	16.53	20.57	7.14	2.14	33.98	5.96	1.31	1.30	0.41

由表2可知,水洗工艺去除有害离子效果十分明显,洗涤后飞灰中氯含量降到0.5%以下,成份全分析与生产水泥用铝质原材料砂岩、粉煤灰、粘土等原材料的成份接近。

#### 2.4.3 飞灰掺加量的确定

经水洗预处理后的飞灰,虽在一定程度上减少了有害离子含量,但其比例仍不容忽视。为保证生产线的正常运转,避免结圈、结球和结皮、堵塞等现象发生,必须严格控制原材料的碱含量及氯离子的含量,一般来说,生料中氯含量的上限是0.015%,按氯的限值推算,飞灰的掺量不能超过生料量的5%。

为确定飞灰合适掺加比例,疏水进行了大量试验,从试验情况看,喂料掺加量为5%时,出现五级下料堵塞等问题,对熟料产量质量有一定的负面影响;而飞灰喂料掺加量降低为3%左右时,共处置过程对水泥窑炉影响较小,基本能保证正常运转,且熟料质量未出现较大波动,水泥产品的质量能够得到有效保障。

表3 试验研究工程中的重金属迁移过程

重金属平衡表									
重金属	飞灰 mg/kg	水洗 飞灰 mg/kg	洗灰 废水 mg/L	结晶 盐 g/h	入窑量 g/h	烟气 排放 量 g/h	熟料中 重金属 g/h	熟料 重金 属含 量 mg/kg	固化率
汞	6.84	10.8	其中重金 属的含量 属于痕量 范围(万 分之一以 下),只 对重金属 总量进行 计算。	0.011	27.54	0.33	27.21	0.26	98.80%
砷	27.8	27		0.014	68.85	1.7	67.15	0.65	97.53%
铅	202	239		0.639	609.45	4.9	604.55	5.81	99.20%
镉	48.5	38.4		—	97.92	—	97.92	0.94	>99.99%
铬	55.3	68.6		0.972	174.93	2.2	172.73	1.66	98.74%
镍	26.3	29.9		—	76.25	—	76.25	0.73	>99.99%
铜	318	308		—	785.40	—	785.40	7.55	>99.99%
锰	446	563		—	1435.65	2.4	1433.25	13.78	99.83%
锌	1860	1900		—	4845.00	—	4845.00	46.59	>99.99%
合计	2990.74	3184.7		130	1.636	8120.99	11.53	8109.46	77.98
平衡备注 (kg/h)	8.97	8.12	0.85	0.0016	8.12	0.01	8.11		99.87%

说明:飞灰3t/h,入窑飞灰2.55t/h,熟料产量2500t/d,结晶盐0.45t/h。——表示未检出

## 2.5 环保问题的解决

### 2.5.1 重金属问题

飞灰经水洗预处理后重金属并没有有效去除,疏水选择在窑尾烟室(温度在1000℃以上)加入水泥窑共处置。

表3是工业化试验研究得到的水泥窑共处置飞灰的重金属迁移过程。

通过表3可以看出,利用水泥窑共处置飞灰的重金属固化率超过了99%,主要原因是这些重金属已经有效固化在水泥熟料的矿物晶格之中。根据我们的中试研究及工业试验,水泥回转窑尾气中的重金属检测结果满足北京市《大气污染物综合排放标准》的要求。

### 2.5.2 二噁英问题

二噁英极难溶于水,这是水洗预处理工艺具有可行性的技术基础。二噁英不溶于水,只能吸附在水中的悬浮物中,所以我们只要将水中的悬浮物去除,就会避免水中二噁英的污染。我们的实验研究及中试研究检测结果显示飞灰的洗灰水中二噁英含量为0.012ng/L(《生活饮用水卫生标准》中二噁英的标准限值为0.03ng/L)。

水泥窑具有抑制二噁英产生的优势,符合“3T+E”的控制要求:燃烧温度(Temperature)、烟气停留时间(Time)、搅动现象(Turbulence)和空气供给量(Excess Air),满足环保的控制要求。

本技术利用水泥窑的优势抑制二噁英的产生及排放主要包括以下几个方面:

#### 2.5.2.1 从源头上减少二噁英产生所需的氯源

飞灰水洗预处理过程去除了飞灰中95%以上的氯离子,而共处置过程带入水泥窑的少量氯离子也以2CaO·SiO<sub>2</sub>·CaCl<sub>2</sub>的形式进入水泥熟料矿物组分之中,不会成为二噁英的氯源,使得二噁英失去了形成的第一条件。同时,水泥窑内的高温强氧化性环境可使随燃料带入窑体内的碳氢化合物完全分解,只有原料可能会向烟气中释放少量碳氢化合物。这两点使得二噁英失去了形成的元素组成条件。

#### 2.5.2.2 高温焚烧确保二噁英彻底分解

大量试验表明,二噁英类有机物在500℃时开始分解,800℃时2,3,7,8-TCDD可以在2.1秒内完全分解,如果温度进一步提高,分解时间将进一步缩短。回转窑内气体温度在900~1800℃,气体停留时间长达20秒,这些条件完全可以保证二噁英等难降解有机物的完全燃烧和彻底分解。

#### 2.5.2.3 快速冷却,防止二次合成

一般而言,水泥熟料采用风冷降温,降温速度较快;现代新型干法窑的预热器和增湿塔设计,可以使温度大于450℃的焚烧烟气温度迅速降至200℃以下,越过二噁英易合成的温度区。

#### 2.5.2.4 硫元素抑制二噁英的形成

有研究表明,水泥生产中,煤和原料所含硫元素可以抑制二噁英的形成:一则硫使得氯元素以盐酸的形式存在;二则硫降低了铜离子的催化活性;三则硫可形成磷酸盐前体物或含硫有机化合物,阻止二噁英的生成。

#### 2.5.2.5 烟气处理系统抑制二噁英的再次合成

水泥烧成系统的出口烟气一般要经过增湿塔、原料磨和收尘器等构成的多级收尘系统,收集下来的物料返回到烧成系统中。水泥工业中的增湿塔是生产高分散水雾的一种装置。主要用于提高电除尘器的效率,降低出窑废气中的比电阻值,并向进入电除尘器的烟气增加湿含量,同时也可以起到急冷烟气的作用。该系统的收尘效率高,烟气冷却速度快,增湿活化吸收效果好,可以有效二噁英的再次合成。根据我们试验研究的检测结

果，水泥窑尾气中二噁英的含量满足北京市《大气污染物综合排放标准》的要求。

## 2.6 工业化推广应用前景

2009年全国城镇人口已达6.22亿，按每人每天产生1公斤生活垃圾计，全国每年城镇产生垃圾量为2.27亿吨，若全部得以焚烧，飞灰的产生量约为900万吨，按照北京市琉璃河有限公司工业化生产线的建设规模，相当于约300条2500t/d新型干法水泥生产线可将全国城镇所产生的垃圾焚烧飞灰全部得以安全处置。

该技术技术可靠，环保安全，无二次污染，处置成本合理，利用水泥窑共处置垃圾焚烧飞灰工业化示范项目的建成将有效解决北京市的飞灰处置难题，对目前困扰全国各大城市的“垃圾围城”问题提供了一条可行的产业链处置思路，对我国环境保护工作和可持续发展有重要的示范意义。

## 3、利用水泥窑协同处置污泥技术

### 3.1 技术背景

我国城市污水处理厂每年产生的湿污泥约为450~550万吨，并以每年15~20%的速度增长，污泥处理面临的环境问题将越来越严重和迫切。

污泥是污水处理后的副产品，是一种由有机残片、细菌菌体、无机颗粒、胶体等组成极其复杂的非均质体。污泥通常占污水量的0.3~0.5% (体积) 或者约为污水处理量的1~2% (质量)；如果属于深度处理，污泥量会增加0.5~1倍。随着城市发展水平和公众环境意识的提高，北京市的污水处理率逐年提高。2011年城区每天产生约3000吨污泥，郊区每天产生600吨污泥，面对日益增多的城市污水处理厂污泥，急需研究合理安全的处理处置技术以期实现污泥的减量化与稳定化。

### 3.2 国内主要的污泥处置方法比较

目前国内污泥处理方法主要有填埋法、厌氧发酵和堆肥法等，利用水泥窑协同处置污泥技术正方兴未艾。

#### 3.2.1 填埋法

将污泥与城市生活垃圾混合填埋，是目前很多城市处理污泥的方法之一。由于未经处理的污泥中含有80%以上的水分，很难进行压实操作，给生活垃圾的填埋带来很大的困难。另外，污泥的填埋处理需要占用土地，浪费土地资源；同时，污泥中含有大量病原菌，使垃圾渗滤液的成分更加复杂化。

目前，我国大部分污水厂并未对污泥做填埋处置，也未做其他处置，而是直接卖给或免费送给近郊菜农，造成对土壤和蔬菜等农产品的二次污染，直接危害人类健康。

#### 3.2.2 厌氧消化法

厌氧消化法是一种处理污泥的方法，其杀灭微生物病菌并生产部分可利用的沼气。该技术有三大缺点：一是厌氧消化罐、沼气回收和储存等配套设备投资较高；二是厌氧消化虽然做到了污泥稳定，但仅将体积减少约25%，仍需卫生填埋处置；三是系统运行复杂，成本高，隐患多。总之，厌氧消化工艺处理污泥需要较高的设备投资和运行费用，而且减量化不彻底，仍然需要进入填埋场，占用土地、污染地下水。

#### 3.2.3 堆肥法

堆肥法技术利用微生物群落在特定的环境中分解污泥中的有机物，将污泥改良成腐殖质，用于肥田或土壤改良。但是堆肥中的N、P、K混合含量一般不高，因此不能等同于传统的农家肥，而且堆肥中含有的重金属，

对于土壤的生态安全有影响。加上堆肥设备投资大，成品的成本偏高，其竞争力敌不过商品化肥，因而影响到堆肥技术和普及推广。

#### 3.2.4 水泥窑协同处置污泥技术

水泥窑协同处置污泥工艺通常由污泥干化和水泥窑焚烧处置两大工艺组成，污水处理厂的脱水污泥经干化处置后，再作为生产水泥的原料输入水泥窑进行焚烧处理，利用水泥窑处置污泥有其独特的优势。

水泥窑协同处置污泥技术又分为增钙热干化法、直接接触干燥工艺、导热油干化工艺和湿污泥直接泵入法等。

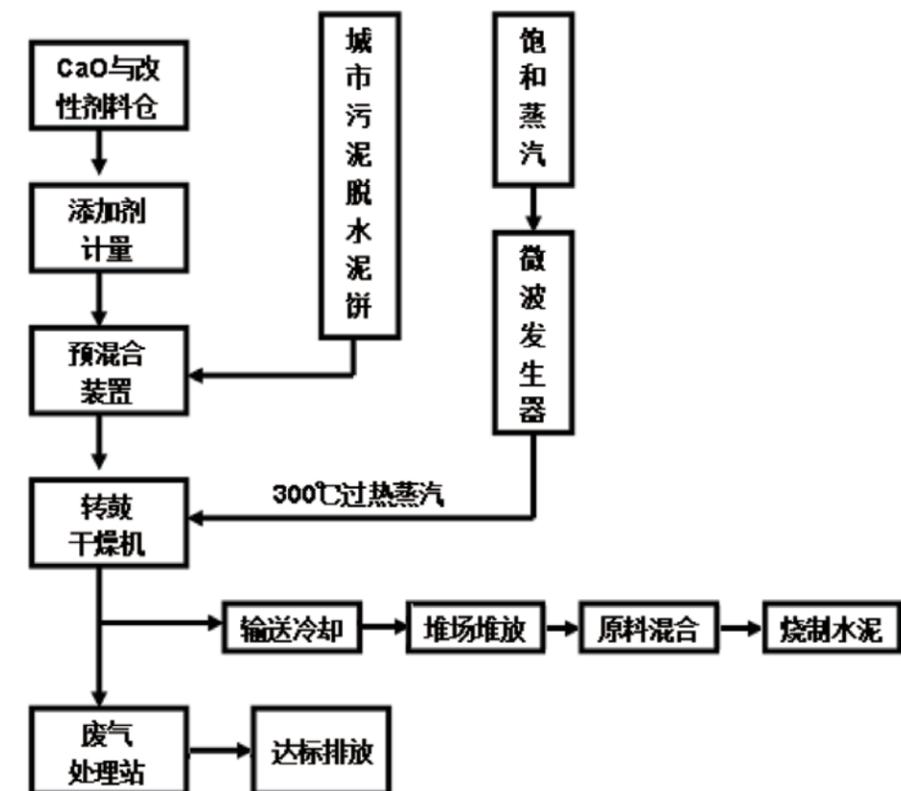
#### 3.3 北京市琉璃河水泥有限公司利用水泥窑协同处置污泥技术

北京市琉璃河水泥有限公司所应采用的污泥处置技术为增钙热干化法协同水泥窑污泥处置技术(石灰稳定干化污泥+水泥窑协同处置技术)，简称增钙热干化法。

##### 3.3.1 增钙热干化法技术方案原理

利用高活性的生石灰对湿污泥(含水率为80%)经污泥改性剂计量混合后，输送至转鼓干燥机内与水泥窑余热产生蒸汽经微波发生器加热后形成的过热蒸汽充分接触，酸、碱改性剂迅速刺破污泥细胞壁，在材料反应化学热和过热蒸汽辐射热的作用下，污泥的水分大量蒸发，且病原菌在高温下得到全面的消灭。经过干化处理后的污泥经堆场堆放5~9天，含水率下降为15%左右，可由输送系统送至水泥窑协同处置(见图1)。

图1: 增钙热干化法工艺流程示意图



### 3.3.2 增钙热干化法核心技术

将污泥与石灰均匀混合，氧化钙与污泥发生化学反应，大量降低水分，并通过过热蒸汽干燥污泥。

#### 3.3.2.1 污泥改性剂

污泥改性是一种运用无机添加剂对污泥进行前处理的方法。改性剂是由生石灰（CaO）与酸、碱化合物按比例合成的复合添加剂，其中的酸、碱成分可有效地去除污泥中恶臭气味，并可以在干化前对污泥细胞破壁，使之后的干化过程大幅度节约热能。另外，改性剂与污泥混合时，也产生放热反应，起到辅助干化的作用。污泥高效干燥、脱水、改性后，向稳定化和无机材料转化。

#### 3.3.2.2 用微波过热蒸汽利用技术

疏水水泥生产线均安装了余热发电锅炉，有足量的剩余蒸汽。发电后的蒸汽温度约200℃，余压约2Mpa。微波加热蒸汽到300℃过热蒸汽后污泥和以酸碱成分为主的污泥改性剂作用，转变为无机材料，这为污泥干化料进入水泥生料制备系统提供了合格的条件。

#### 3.3.2.3 转鼓干燥机

转鼓干燥机结构十分类似于水泥行业的回转烘干机，从外部结构、传动方式与回转烘干机一样，但内部构造与回转烘干机大不相同，其特殊的内部结构保证湿污泥与生石灰、改性剂充分接触，迅速发生反应。

### 3.3.3 增钙热干化法与其它利用水泥窑协同污泥处置技术的不同点

#### 3.3.3.1 建设投资低

增钙热干化法污泥处置技术建设投资为10万元/吨/日，堆肥处理工艺建设投资为25~3010万元/吨/日，直接接触干燥工艺、导热油干化工艺建设投资为45万元/吨/日，湿污泥直接泵入法建设投资为40~70万元/吨/日等。

#### 3.3.3.2 运行成本低

增钙热干化法污泥处置技术运行成本220元/吨湿泥，堆肥处理工艺运行成本120元/吨湿泥，直接接触干燥工艺、导热油干化工艺运行成本315元/吨湿泥，湿污泥直接泵入法运行成本360元/吨湿泥等（处置成本中不含运输成本费用）。

#### 3.3.3.3 处置大

以一条2000t/d新型干法水泥熟料生产线为例。增钙热干化法处置为30万吨湿泥/年，直接接触干燥工艺、间接干化工艺处置为10~15万吨湿泥/年，湿污泥直接泵入法处置为1~2万吨湿泥/年等。

#### 3.3.3.4 环保无污染

一是没有无组织现象，厂房、车间、周边环境没有任何异味，更没有粉尘，环境检测达标；二是回转窑煅烧处置完全达标排放。

### 3.3.4 增钙热干化法协同水泥窑污泥处置技术符合“三化”要求

#### 3.3.4.1 资源化——替代部分石灰石

由表4可以看出，80%含水率的湿污泥经过石灰干化后，干化效果十分明显，含水率仅为14%。污泥干化后有利于水泥窑的焚烧，并且主要成分为CaO，可替代部分石灰石，经过疏水的工业试验，污泥的添加比例可占到生料量的15%左右，有效地减少了自然资源的使用。

#### 3.3.4.2 无害化

采用水泥窑处置污泥，不可避免地导致水泥窑系统污染物形成发生变化，以下就重金属、恶臭气体等主要污染物进行论证分析。

##### 3.3.4.2.1 重金属问题

污泥内的重金属进入水泥窑后有三条出路：一是随着烟气和粉尘排放；二是进入熟料中；三是随窑灰带出又回到生产线重新利用，最终进入熟料中。水泥窑高温环境下，重金属元素与石灰石等物质分子进行矿化反应，大部分矿化在熟料晶体中，不会对水泥质量产生影响。而进入烟气的量非常少，根据我们对窑尾烟气检测的结果，重金属检测结果满足北京市《大气污染物综合排放标准》的要求。

##### 3.3.4.2.2 恶臭问题

污泥本身具有较强烈的恶臭、异味，在处置污泥的过程中，污泥储存在钢制的密闭罐体中臭气体的混合物被送入回转窑焚烧。该部分维持储仓系统负压的风量直接作为助燃风进入窑系统，占用的气体量很小，不会对窑系统的操作产生影响。生石灰（CaO）与酸、碱化合物按比例合成的复合添加剂，其中的酸、碱成分可有效地去除污泥中恶臭气味，污泥干燥机、烟气管道、收尘器内均按照负压操作，不存在工艺气体的外泄，在车间内没有恶臭排放源。

##### 3.3.4.3 减量化

经过石灰干化后的污泥全部进入回转窑内煅烧，完全转化为水泥熟料，使污泥减量为零。

### 3.3.5 增钙热干化法污泥协同水泥窑处置技术工业化推广应用前景

以2000t/d新型干法水泥熟料生产线为例，在不影响正常水泥生产的前提下，每天可以有效处置1000吨湿污泥（含水率80%），每年可以处理湿污泥30万吨以上。利用水泥窑协同处置污泥技术的污泥处置量大，而且变污泥为资源，减少了环境负荷，无二次污染，实现了最终处置，是环保、资源综合利用技术的创新。利用水泥窑协同处置污泥技术使水泥工业由耗能工业转变为环境自净能力强、与环境相容性好的绿色产业，产业化前景十分乐观。

## 4、绿色发展是水泥行业的必由之路

北京市琉璃河水泥有限公司将以科学发展观为统领，创新发展思路，转变发展方式，提升发展质量，发挥其“水泥生产科研基地、优秀人才培养基地、企业文化建设基地”的作用，继续加大科研投入，加快环保产业示范基地的建设，引进开发水泥窑协同处置废弃物的新技术、新工艺，充分消纳北京的工业和城市废弃物，实现企业健康、理性、可持续发展，争取在建材行业内率先实现产业结构的调整，服务绿色北京，将企业打造成为首都的城市净化器，为绿色北京的建设作出积极地贡献，为绿色水泥的发展开辟出一片新天地。

表4 污泥干化后化学成分分析

	loss	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	其它	水分
污泥	34.64	11.04	1.18	3.25	45.63	2.15	0.89	12.86	14

# 高湿废渣和污泥的烘干处理 及工艺设备特点分析

杨 刚

合肥水泥研究设计院, 安徽 合肥 230051

**摘要:** 针对高湿废渣和污泥的特性, 研究分析了其烘干难点, 并提出有效的技术方案, 其中研发的柔性拨料器保证了喂料顺畅; 烘干过程中提出“先结壳、后脱衣”的设想, 内部安装强化蒸发装置, 解决了物料粘堵, 提高了物料蒸发速度; 分析了尾气特点及收尘器的特殊工艺要求, 为设备及滤料的选择提供了技术支持。

**关键词:** 高湿废渣, 污泥, 烘干, 蒸发速度, 结露

## 1、前言

随着近年来我国经济发展速度的加快, 人们对提高资源利用率, 改善生存环境提出了更高的要求。结合建材行业对各类工业废渣和污泥进行综合利用, 使其资源化的有效途径, 减少环境污染的同时也给相关企业带来了可观的经济效益。但大部分废渣和污泥具有自身水分大、易粘堵等特殊性质, 实际处理利用起来十分困难, 对这些物料的烘干处理已成为其资源化的关键环节。

## 2、常见高湿废渣和污泥种类及特性

### 2.1电石渣与赤泥

电石渣是电石水解获取乙炔气后的废渣, 其主要成分为氢氧化钙。电石渣的比重为1.82, 干容重: 0.683 kg/m<sup>3</sup>, 湿容重: 1366kg/m<sup>3</sup>, 4900孔筛余量: 14.4%。生产中一般为湿排(水溶后成泥浆状, 排入沉淀池中)含水量在40%~80%左右。目前我国电石渣存量就达1亿多吨, 而且以每年1500万吨的量不断增加。

赤泥是从铝土矿中提炼氧化铝后排出的工业固体废物。其化学成分为: SiO<sub>2</sub>、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub>。物理性质: 颗粒直径0.088~0.25mm, 相对密度2.7~2.9, 容重0.8~1.0。目前我国每年排放赤泥约1000万吨。

### 2.2磷石膏

磷石膏是磷化工行业生产过程中排出的废渣, 其主要成分为二水硫酸钙(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), 其含量一般可达到70%~90%左右, 其中所含的次要成分随磷矿石产地不同而各异, 成分较为复杂, 一般都含有岩石成分Ca、Mg的磷酸盐及硅酸盐。相对密度为2.22~2.3, 容重0.733~0.88g/cm<sup>3</sup>, 颗粒直径一般为5~15 μm。我国每年排放磷石膏量约5000万吨, 目前累计堆存量超过1亿吨。

### 2.3造纸污泥

造纸工业在制浆造纸的过程中, 从不同工段产生大量的造纸废水。经过一段和二段的水处理生成大量的造

纸污泥。造纸污泥含水量高(60%以上),呈淤泥状态,成分复杂。造纸污泥中除了大量的细小纤维外,还含有丰富碳酸钙和高岭土成分。经过石灰法处理过的造纸污泥,更是含有大量的钙成分。据有关部门统计,目前我国每年造纸行业产生约2000万吨的污泥。

## 2.4城市污泥

城市污泥是城市污水处理厂在水处理过程中产生的高含水量的固体废物,其含水量在80%~90%。城市污泥因含有大量有机物质(36%左右)而具有较高的热值(1500~3000kcal/kg)。全国每年产生污泥900万吨左右。

## 3、高湿废渣和污泥烘干处理的难点

此类物料如进行综合治理时多数需要进行烘干处理后,才能输送、储存及合理利用。但由于它们多采用湿排方式出现,一般排出时含量在30%~90%,这对干法利用时的烘干处理难度非常大,其主要难点如下:

### 3.1输送及喂料困难

由于物料水分过大(物料基本呈“泥浆”或“牙膏”状态)不易送入烘干机内,输送过程中无法储存及计量喂料,而落入烘干机后极易出现堆料和粘堵现象,造成流动速度慢,产量无法提高。

### 3.2蒸发速率低、热耗高

由于物料30~80%的所含水分需在烘干机内蒸发产生水蒸气,才能使物料在干燥过程中逐步蒸发水分达到3%~5%的要求。这样的干燥过程类似于湿法回转窑的生产工艺要求。物料烘干时需克服原有蒸发速率低、料温下降快及物料周围环境湿含量过大的缺点。因此需持续供给其高温干燥热烟气,用于保持物料具有较高的蒸发水分的“动力”,故热耗很高。如图1的曲线指出物料水分与热耗之间的比率关系。

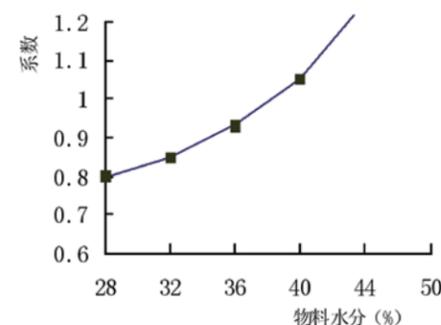


图1 物料水分与热耗的比率关系

### 3.3收尘设备粘堵及收尘困难

由于物料中30%~80%的水分需由烘干机内蒸发产生水蒸气后再经收尘器、风机排入大气中。因此其收尘器必须满足“先收水”“后收尘”的原则,这无疑是对收尘器形式及相关材料的一种挑战,其中对于轻质材料90%以上的烘干产品需从收尘器产生,因此是对收尘设备及工艺参数提出了更高的要求。

### 3.4供热温度及系统风速高

由于物料的物化特点,需要供热系统提供持续高温烟气(900~1100℃),为使蒸发后的高湿含量气体迅速被干燥烟气更换并使烘干后物料及时排出,需适当增加热风温度和系统风速。

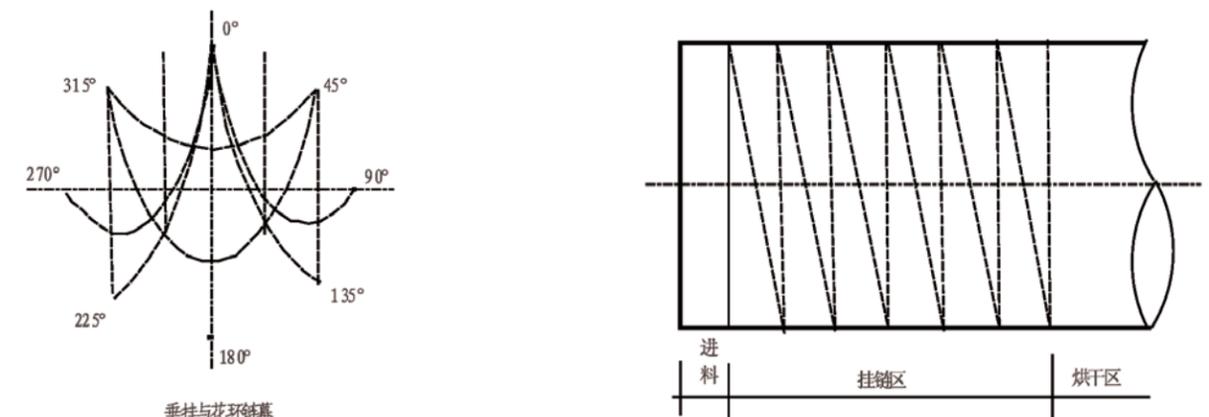
## 4、主要采取的技术措施

### 4.1预先分离,降低含水量

此类轻质物料由于具有细度高,遇水极易“稀释”等特性,因此应先采用贮藏的方法,自然沉淀部分水分。也可采用机械脱水方法。此种高湿含量的物料在烘干以前,可采用滚筒式离心脱水的方法去除大部分水分(一般可降低到15%~40%),这样便于物料储存及输送、喂料。也可采取“压滤”的方法进行预先的水分处理(目前国内工业生产中采用此方法较多)。此外针对高湿轻质物料喂料时易粘堵的问题,研发了柔性拨料器。

### 4.2安装强化蒸发装置

此方法是将链条装置安装在烘干机的进料端(链条装置如图2所示)。链条装置在此处能够起到传热均匀,增加蒸发水分的表面积,推动并输送物料。



### 4.3解决喂料及防堵问题

采用计量调速泵将高水分物料喂入烘干机内(脱水处理后物料直接用皮带机喂料),使其迅速与高温热烟气进行热交换,造成物料在高温的烘烤之下结壳,这样能减少粘筒体及堆积堵料现象。再采取分段处理,层层“脱衣”的方法使其能迅速干燥。烘干机内所垂挂的链条装置,不但能够传导热量,而且还能防止物料粘堵筒体,保证料流通畅。最重要的是链条装置是实现“先结壳、后脱衣”设想的主要手段。而链条为软体物,粘在其上的物料干燥后随链条抖动而自动脱落。

### 4.4解决高水分物料在高湿含量废气环境下蒸发速度的问题

首先对烘干机规格的选择力求其长径比较大( $L/D > 9$ ),这样能使被烘干物料在其有效烘干区域内有较充裕的干燥时间,由于该物料含水量很高,从物料进入烘干机内就会大量吸热,表层水分不断升温气化,此时具有较高的蒸发速度。随着物料的前进料温会开始下降,周围气体中湿含量增加,水分子移动速度减缓。如图3所示。

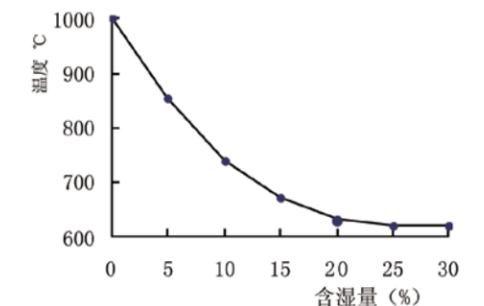


图3 废气含湿量的蒸发速度

如果要求较长时间地维持较高的蒸发速度，就必须具有良好的烘干环境。即物料应在持续供给的高温状态下，具有一定的负压氛围，并且要求其风速适中。特别是烘干机尾部因为此段废气中湿含量较高，温度已下降较多，更易影响蒸发速度，所以负压及风速在此段非常重要。如图4所示。

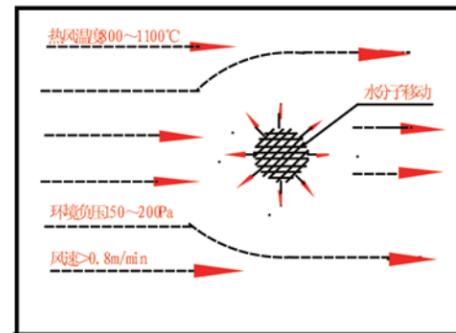


图4 烘干参数示意

#### 4.5 轻质物料烘干后易造成废气高浓度的问题

电石渣、污泥等属轻质物料，加之颗粒较细，干燥后在风速及负压相对较大的状态下，易随风抽入收尘器（废气含尘浓度为 $60\sim 120\text{g}/\text{Nm}^3$ ，其中 $20\mu\text{m}$ 以下的占95%以上）。因此收尘器的负荷相对较大，约占产品总量的80%~90%成品需在收尘器内产生。粉尘粒度对其收尘效率影响很大。见图5。而根据此类物料的特性选用旋风收尘器及电收尘器均不合理，应重点考虑使用过滤除尘的方式，故可优先选用能处理高浓度粉尘的气箱脉冲收尘器，但滤料要满足其粉尘细、水分大，透气性差的特点；可选用进口附膜技术的玻纤滤料系列。

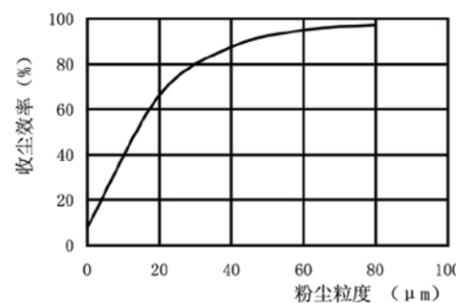


图5 粉尘粒度对收尘效率的影响

#### 4.6 气体温度与系统防结露的问题

由于所烘干物料具有较高含水量的特点，无论是使用抗结露袋式收尘器还是电收尘器，只能适应废气湿含量在15~25%，为此可考虑在进口处安装一台油水分离器先滤出部分水。如果要实现“先结壳、后脱衣”的设想，就应该使湿物料初始阶段保持在 $900\sim 1100^\circ\text{C}$ 的高温烟气包含之中，并使高温区域延长，使之蒸发速度较快。为使收尘器及风机保证能在不结露状态下工作，废气温度应控制在 $120\sim 150^\circ\text{C}$ ，另外收尘器的处理风量较正常状态增加25%~30%，过滤风速控制在 $0.8\sim 1.2\text{m}/\text{min}$ 。而供热部分应选用高温沸腾炉，该炉型能够保持供热温度相对稳定。

### 5、结论与展望

随着工业的发展和人类数量的增加，废渣和污泥的产生有其必然性。而工业废渣数量庞大、种类繁多、成分复杂，特别是高含水量就更难堆存或转化，需对其进行必要的烘干处理才能加以回收利用。目前高湿废渣和污泥经干燥处理后，可直接作为水泥的混合材或原燃料使用，具有良好的开发利用价值。工业废渣的循环综合利用符合科学发展观和可持续发展的要求，对节约资源和保护环境具有重大意义，值得深入研究和开发。

## 水泥窑处置污泥仓储泵送系统

张新明、侯晓春

徐州三原称重技术有限公司环境工程部

**摘要：**本文主要介绍了脱水污泥的仓储泵送技术及工程应用，工程经验表明这项技术是最适合中国污泥特点的一种方法，它具有节省空间、美化环境、维护量小等特点，是水泥窑处置污泥中最佳的输送解决方案之一。

**关键词：**污泥，回转窑，液压滑架，双轴螺旋输送机，柱塞泵

我国污水处理厂所产生的污泥，有80%没有得到妥善处理，污泥随意堆放及所造成污染与再污染的问题已经引起全社会的高度关注。国务院今年发布《“十二五”节能减排综合性工作方案》，城市污泥处理处置已成为“十二五”期间国家污染物减排重点工程。国家水泥工业产业政策也鼓励利用水泥窑协同处置城市垃圾和污泥。

利用水泥窑处置污泥有其独特的优势。因新型干法水泥窑容积大、碱性环境、高温、热稳定性好，作为废弃物处理，既不增加土地占用、投资较小，又可替代部分燃料，是目前无害化程度最高、节能减排效果最显著、资源综合利用最佳、经济性最优的固体废弃物处理方式。

回转窑处理脱水污泥目前方式有：直接泵送（处理量小），干化（余热），改性压滤（深度脱水）等。污泥在处理、处置和综合利用中，首先要解决的第一个问题就是输送。传统的污泥输送方式有皮带输送、螺旋输送、螺杆泵送等。

**皮带输送：**脱水后污泥含水率一般在80%左右，粘度大，易粘滞，容易造成皮带跑偏和打滑，同时容易对环境、空气造成二次污染；

**螺旋输送：**螺旋输送机无论从距离还是输送高度都受到了很大的限制，且输送量较小；

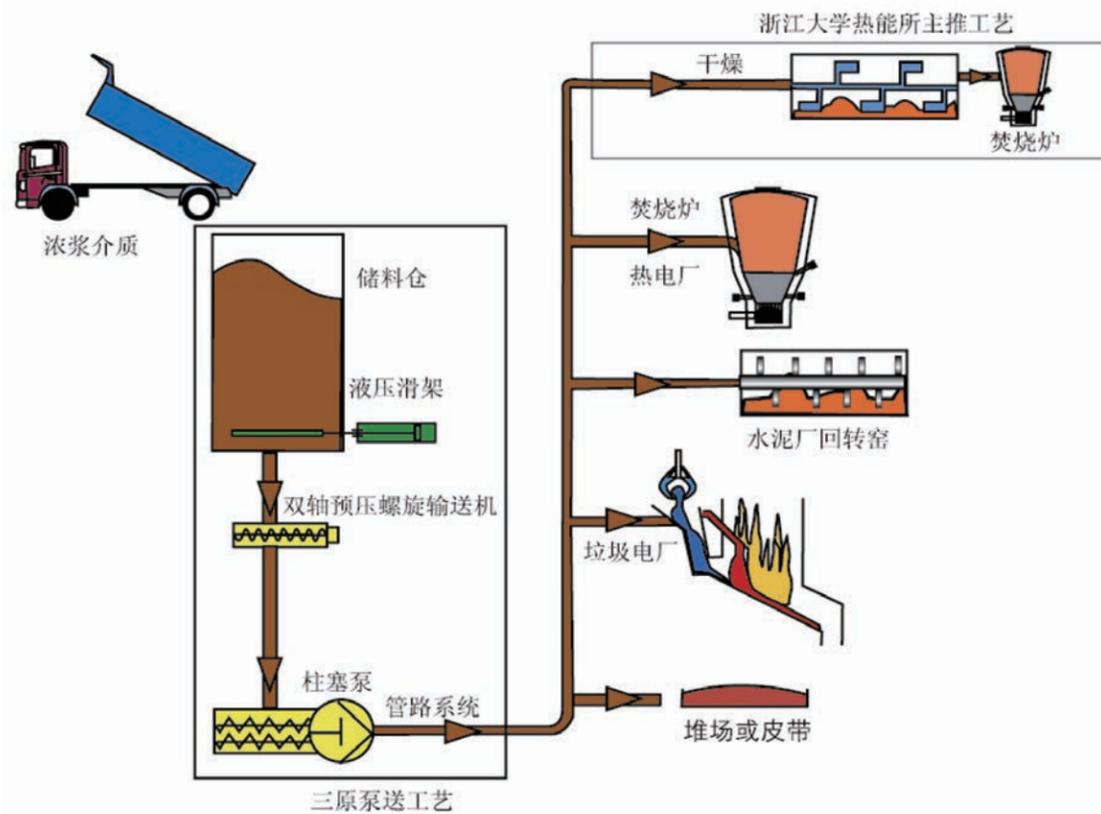
**螺杆泵送：**污泥通过螺杆泵送入卸料地点，但螺杆泵的泵送压力仅为 $2\sim 4\text{MPa}$ ，无法满足长距离和大流量的要求，且维护成本高。螺杆泵对污泥的洁净度要求要高，即污泥内不能掺杂块状杂物；对污泥的水分要求在80%以上。

经实践表明，传统的污泥输送方式虽能满足输送，但是没有整套完善的污泥输送系统及集中控制方式。鉴于目前污泥储存量大、处理量大，污泥水分波动大，对环境要求更高，脱水污泥中杂物多，有一定腐蚀及危害性，徐州三原称重技术有限公司环境工程部经过市场调研、产品研发、试验等工作，并与浙江大学开展技术合作，历经7年，结合客户现场能够提供一整套从污泥的储存到输送完整的解决方案。

### 1、系统介绍

脱水后的污泥由污泥专用运输车倒入污泥储存仓内，污泥储存仓内污泥经过液压滑架往复直线运动对污泥起破拱松动作用，使污泥不会起拱搭桥，流畅地流出污泥仓进入双轴预压螺旋输送机，其以正压的方式向柱塞式污泥泵送料。液压站作为柱塞式污泥泵的动力源，其执行部件以恒定高压的方式带动柱塞式污泥泵的活塞，活塞在污泥泵料缸里进行往复运动，将污泥以高压方式经低磨阻耐磨管路输送至污泥处置设备中。

## 2、工艺详见下图



## 3、设备介绍

### 3.1 污泥储存仓及滑架

污泥储存仓结构形式有方形和圆形，可根据客户要求设计。仓顶设有进料门，设置格栅防止杂物进入仓内。仓门关闭防止臭味污染。仓顶设有超声波料位计可以实时监测到仓内料位，实现高低位报警。同时仓顶设有沼气监测。仓底为平底，根据仓的形式滑架分为方形和椭圆形。材质为16Mn。液压作为滑架的动力源，油缸安装在仓的外侧便于检修，油缸通过连杆与滑架相连，与连杆密封处采用4道OR密封，防止污泥的外漏。对于较大方量的污泥仓采用双动力滑架，用于承担所需推拉力，保证运行稳定。

根据污泥输送量的不同，滑架运行周期时间一般定在1-3分钟/周期，速度很慢，磨损较小。滑架的外侧为楔形结构，倾斜面可以将污泥刮起，破坏污泥堆积状态，防止污泥搭桥，竖直面将刮起的松散污泥带入仓底的出料口。

滑架除了可以安装在钢结构的仓体内，也可以安装在平底的混凝土仓内。

滑架的主要组成部分：液压站、液压油缸、滑架等。

### 3.2 液压检修阀门

液压检修阀门安装在储存仓的出口处，便于在下级设备出现故障而仓内污泥较多无法清理时，将此阀门关闭不会有污泥渗漏。阀门的动力和液压滑架为同一动力源。闸板为不锈钢材质，具有较高的防腐性能。

### 3.3 双轴预压螺旋输送机

双轴预压螺旋输送机是将脱水后的污泥以一定的压力输送至污泥泵的料斗内，提高污泥泵活塞的吸收效率。动力为变频电机减速机驱动，根据污泥量的要求自动调节转速。螺旋的叶片为不锈钢或高锰钢材质，叶片互相啮合，防止污泥缠轴。

### 3.4 柱塞式污泥泵

柱塞式污泥泵是我司经过多年开发、试验、革新的新型污泥输送设备，具有出口压力大、输送距离远特点；输出量可无级调节。料缸内镀铬，油缸密封采用进口密封，活塞采用特殊的耐磨橡胶，眼镜板、活塞环等磨损件采用了硬质合金材料，硬度在HRC70以上，泵体液压件电磁换向阀，溢流阀均采用德国力士乐进口，控制元件采用施耐德产品，液压油管采用美国派克产品，配有水冷却系统使系统运行更为稳定，液压系统配有蓄能器，使运行更为平稳，有效延长设备寿命，系统具有自动加油润滑功能，泵送量调节比例为1:4，即最小可保证25%的最大流量运行。

### 3.5 高压低磨阻管路

污泥管路系统包括输送管道、清洗管道、管路连接法兰及紧固件等；污泥输送管道管段长度相同，以增强互换性。污泥输送管道应为法兰连接，两法兰间管道长度不应大于6m。污泥输送管道的弯头直径 $\geq 5$ 倍管径，禁止使用三通等90°直角变向的管路连接。污泥在管道中的流速应在0.1~0.4m/s，最大不超过0.5m/s。弯管直径不低于5倍管径；在弯头下级设有压力表在线监测，可根据压力指示进行判断。

## 4、典型业绩介绍

### 4.1 宁波电厂项目

工艺：蒸汽干化。含水76-80%左右的污泥通过柱塞泵进入圆盘式干化机，干化后的污泥送进电厂锅炉焚烧。

### 4.2 北京机电院呼市项目

工艺：水热干化、压滤。含水80%左右的污泥通过柱塞泵进入反应釜，污泥经高温高压热解，再进入压滤机脱水，脱水后污泥进电厂焚烧或填埋。

#### 4.3浙江嘉兴电厂项目

工艺：蒸汽干化。含水80%左右的污泥通过柱塞泵进入圆盘式干化机，干化后的污泥送进电厂锅炉掺烧。



#### 4.4天津机电进出口公司山西晋中项目

工艺：污泥碳化。含水80%左右的污泥经柱塞泵送入污泥碳化系统，碳化后的污泥送进电厂锅炉掺烧。



#### 4.5 宁波光耀热电厂项目

工艺：污泥直接入电厂锅炉焚烧。含水80%左右的污泥经柱塞泵直接送入电厂锅炉掺烧。



#### 4.6 上虞春晖环保能源公司项目

工艺：蒸汽干化。含水82%左右的污泥经柱塞泵送入桨叶式干化机，干化后的污泥送进电厂锅炉掺烧（垃圾焚烧炉）。



#### 5、结论

徐州三原称重公司仓泵系统优点：

- 1、污泥仓内因有液压滑架，仓内不板结、不积料；
- 2、对污泥的水分波动适用性强（75%—85%）；
- 3、对污泥的杂物有一定的适用性，允许污泥中有少许颗粒（粒度 $\leq 50\text{mm}$ ）；
- 4、经柱塞泵后的污泥呈流化状，流动性增强（一般工作压力6—10MPa），有利于后续其他方式的处置。

## 参考文献

- [1]徐强. 污泥处理处置技术及装置. 2003. 7  
 [2]金儒霖、刘永玲. 污泥处置. 1982  
 [3]伊军、谭学军. 污水污泥处理处置与资源化利用. 2005

# 利用水泥窑协同处置污泥技术介绍

杜杰

天通控股股份有限公司

**摘要：**本文主要介绍了天通三菱污泥干化处置技术。

**关键词：**污泥，水泥窑

## 1、目前国内污泥处置的难点

利用水泥窑来处置危险废弃物是近年来国际、国内流行的一项新技术。污泥可以作为水泥生产的燃料，焚烧后的产物可以作为水泥生产的添加材料。之前有企业直接将潮湿的污泥泵送入窑尾烟室中，没有进行预烘干处理，这样虽然节省出烘干处理的费用，但是由于潮湿污泥直接进入工作温度在1000多度的烟室后，会造成烟室内温度出现较大的波动，生成的碱性物质相对复杂，受热不均导致耐火材料表面易出现结皮现象，直接焚烧对水泥生产线的稳定运行造成很大的问题，甚至水泥品质受到了极大影响。

国内也有少量水泥厂是干化后焚烧的，包括进口国外昂贵的干化核心设备和采用烟气干化后焚烧，但是这些技术工艺目前都不够理想，集中表现在设备长期运行的磨损累积严重，大量的废烟气难以处置，稳定可靠运行程度不高，也是目前国内污泥处置的难点所在。

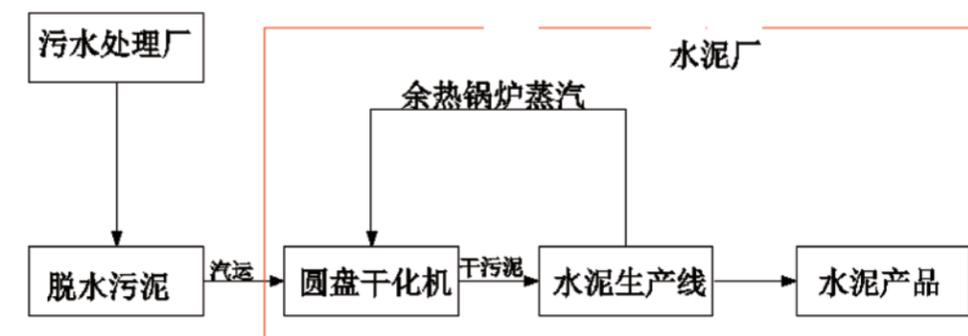
## 2、天通三菱污泥干化处置技术

天通三菱污泥干化处置技术是适应中国国情的污泥处置技术，技术先进，在国内发达城市污泥处置领域受到主流用户的青睐。

天通控股股份有限公司(以下简称TDG)已将环境保护产业作为企业未来发展的支柱之一，与日本三菱、日立等公司有十多年的合作关系，近年来从三菱公司全套引进适合中国国情的污泥“干化+焚烧”处置工艺，成为三菱公司在中国大陆唯一授权的圆盘干燥机制造商。

圆盘式干燥机与以往的单轴式或多轴式相比具有传热面积大，坚固耐用，产生磨损的倾向小，更能促进水份的蒸发和去除等诸多优点。

TDG污泥干化工艺利用水泥窑处置污水厂污泥的工艺情况如下图所示：



来自厂外的湿污泥经汽运并计量后，进入湿污泥料仓储存，污泥料仓中的污泥再被送入干燥机内干化。水泥窑的余热锅炉产生的蒸汽经圆盘干化机把热量传递给湿污泥，在干燥机内污泥被加热干燥，水分从80%降低到30%或10%。干燥后的颗粒经冷却螺旋冷却后污泥颗粒送入水泥窑中焚烧。干燥分离的尾气经过离心机抽取，尾气进入冷凝器冷凝成液体，干燥回路在微负压下进行，并将干燥所蒸发出的冷凝液排出，冷却过程产生的少量废水可送入污水处理站进行简单处理后达标排放。同时少量冷却后不可凝气体连同污泥储存过程中的臭气一并送入水泥窑内焚烧处理。

将干化后的污泥按照一定比例和水泥生产原料一起进入回转窑焚烧处理，使污泥中有机物得到焚烧分解，重金属离子被固化到水泥熟料晶格中，污泥中的无机物则参与水泥熟料矿物的形成，回转窑协同处置污泥的同时没有改变现有水泥窑的生产工艺和运行参数，从而既保证水泥产品的品质，干污泥焚烧产生的热量还可以作为余热去发电。

该工艺在发达国家的水泥生产线上成熟稳定运行，德国水泥行业替代燃料中大约有8—10%来自干化后的污泥，美国加利福尼亚某水泥企业采用全干化污泥替代燃料比例达到12—15%，日本水泥行业所处置的污泥大约有一半是干化后送入窑内焚烧处置的(总量约为100万吨干基污泥/年)，目前国内水泥行业多家企业纷纷启动利用水泥窑处置污泥，并将污泥协同处置列入水泥行业的十二五规划中。

# 北京市污水处理厂污泥处理与处置探讨

崔小浩、李五勤等

北京市发展和改革委员会 北京城市排水集团有限责任公司

**摘要：**本文通过对北京市城市污水处理与污泥处理处置现状的分析，结合北京市城市污泥的特性，参照国内外污泥处理处置技术，提出适合北京市的污泥处理处置技术路线，并对北京市的污泥处置的规划原则、方案进行初步探讨，同时提出北京市污泥处置工作的建议和意见，为今后的污泥处置规划、项目建设、运行监管等提供参考。

**关键词：**污水处理厂，污泥处理处置，堆肥，干化，焚烧

对于北京市的污水处理厂，目前每处理1万m<sup>3</sup>污水约产生10t含水率80%的泥饼，而随着污水处理量和处理标准的提高，污水处理的副产物污泥产量将进一步攀升。产量巨大的污泥如不经妥善处置和管理，将对首都污水处理厂的安全稳定运行带来巨大压力，并对北京市周边环境构成严重威胁。因此，如何合理规划城市污泥的处置方案，加快建设污泥处理处置设施，健全污泥处理处置的监管体系和政策支持，已成为北京市城市发展的重要课题。

## 1、北京市污泥处置现状及存在问题

北京预计2015年全市污泥年产量将达到184万吨，其中中心城区117万吨，郊区67万吨。目前北京市污泥处理处置主要存在以下问题：

### 1.1处理和处置设施严重不足

目前全北京仅有清河热干化厂、北京水泥厂污泥干化设施、庞各庄堆肥场、昌平区堆肥场和方庄石灰干化等5座污泥处理设施，年处理处置能力48万吨，不足当前污泥产量的50%，其余污泥只经浓缩脱水常规处理，含水率仍高达80%。

### 1.2未经无害化处置的污泥环境影响恶劣

大量脱水污泥通过车辆运输至远郊区县进行临时堆置，不仅在运输过程中存在遗洒、臭气以及交通压力等问题，而且在临时堆置地点会有明显的臭味，孳生蚊蝇等，给周围环境带来恶劣影响。此外对地下水、土壤等也有潜在的污染风险。

### 1.3污水处理厂运行费用不足

目前污泥运行费用中仅包含污泥外运费，达不到进一步处置所需的成本，并且随着各区县政府对污泥堆置的限制，污泥运输距离会进一步增加，带来成本增高。

## 2、北京市污泥特性分析

北京市污水处理厂以收集和处理生活污水为主,工业废水较少,污泥特性主要表现为:

### 2.1营养物质丰富

2009年北京市污水处理厂的泥质化验资料表明,污泥含有丰富的营养物质,中心城区污水处理厂污泥氮、磷、钾和有机质含量分别为3.1%、1.9%、4200mg/kg和62%,郊区污泥氮、磷、钾和有机质含量分别为4.4%、2.6%、740mg/kg和54%。

### 2.2有较高的热值

以中心城区为例,干污泥(含水率10%)的燃烧热值可达到2800kcal/kg,相当于0.47kg标准煤(热值6000kcal/kg)。

### 2.3重金属及有毒有机物符合标准要求

随着北京市产业结构的调整,工业废水逐年减少,生活污水比例逐年加大,城市污水处理厂污泥中重金属含量逐年降低。2006年以来,城区污水处理厂污泥重金属指标已基本满足现行资源化利用相关标准《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》(CJ/T291-2008)、《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》(GB/T 23486-2009)和《城镇污水处理厂污泥处置农用泥质标准》(CJ/T 309-2009)(B级)要求。郊区污泥重金属指标基本符合标准要求。仅个别污水处理厂存在局部时段超标,正在进一步溯源追踪调查。随着建设绿色北京进程的推进,产业结构将进一步优化,可以预计,污泥的重金属和有毒有机物质含量将持续降低。

根据北京市污泥特性的分析,污水处理厂污泥有机养分丰富,热值较高,重金属离子及有毒有机物质含量较低,因此污泥处置有广泛的途径:采用土地利用方式可实现有机养分的资源化利用;采用焚烧方式可实现热值的利用。

## 3、国内外污泥处理处置技术概述

当前,国内外污泥处理处置主要有填埋、堆肥、干化、焚烧等多种方式。填埋措施简单,但占地大、环境风险较大,填埋场地容量有限,对于用地紧张的城市不适宜采用,也有些城市已明令禁止采用。

堆肥是利用微生物分解污泥中有机物,并杀灭传染病菌、寄生虫卵和病毒,提高污泥肥分的污泥处理技术,产物可用于园艺和农业肥料。其优点为投资较小,运行费用较低;缺点是占地面积大,受外部因素如气候、堆肥产品出路等影响大。

污泥热干化指利用燃烧燃料所产生的热量或其他工业余热,通过专门的工艺和设备,使污泥失去部分水分的过程。其优点为占地小、处理能力大、减量率高、卫生化程度高、最终处置途径具有较广泛的适用性和灵活性等;缺点是建设投资大,运行费用较高。

石灰干化技术是利用混合设备将污泥与生石灰等固化剂充分搅拌接触,通过物理化学反应达到降低含水率、去除臭味、杀灭微生物和病原菌并有效钝化重金属的效果。其优点是建设投资小,设施建设周期短;缺点是石灰需求量大,易受到石灰来源不稳定以及产品出路不确定的影响。

污泥焚烧是破坏所有有机质,杀死一切病原体,并最大限度地减少污泥体积。其优点是占地小,且可最大限

度地实现污泥的减量化、无害化;缺点是污泥焚烧过程中需要重点关注产生的水、气、渣等排放物,如未经妥善处置,可能造成二次污染。

从发达国家的成功经验看,各国均根据各自的国情、生活水平和污泥特性等,制定了与其管理制度和经济发展水平相适应的技术与政策体系。欧美等西方发达国家处置方式以土地利用为主,如美国土地利用占60%以上,欧洲也有50%,并呈逐年递增趋势。日本由于土地资源紧张,污泥处置以焚烧为主,但其土地利用所占比例一直保持在15%左右。

## 4、北京市污泥处理处置技术路线探讨

北京城市发展迅速,中心城区人口密集,用地紧张,不适宜在城区内建设占地较大的填埋、堆肥等设施,郊区县用地资源丰富,可采用堆肥方式处置污泥;石灰干化方式减量化程度有限,对于污泥产量较大的城区,不宜大规模采用,但可作为过渡期污泥处理处置方式;采用热干化或热干化焚烧联合工艺,最大限度实现污泥减量化、无害化,可以在用地紧张的中心城区采用,如能够充分利用各种工业余热,可以降低运行成本,实现资源的循环利用。

目前,北京市区及周边分布着数家规模较大的水泥厂、热电厂,这些工业余热都为污泥减量化、无害化及资源化利用提供稳定途径;此外,北京市园林绿化、沙荒地治理、植树造林等用肥、用土量巨大,耕地有机质含量相对较低,而含有丰富养分、有机质的污泥经无害化处理后,再采取土地利用方式进行消纳,可有效解决污泥循环利用问题。

综上所述,基于北京市产业结构、土地资源等情况,以及污泥可循环利用途径,从技术可行性角度分析,适宜北京市的污泥处理处置主要方式为:①中心城区采用热干化+焚烧为主的处理处置技术(可考虑充分利用各种工业余热);②郊区县城可采用堆肥+土地利用的处理处置技术。具体有如下3条技术路线:

### 4.1工业余热或沼气干化

对临近工业热源(如热电厂),或自身具有污泥消化设施的污水处理厂,可以考虑采用工业余热或沼气等污泥干化方式,干化后的污泥可供工业锅炉作为替代燃料。工艺流程见图1:

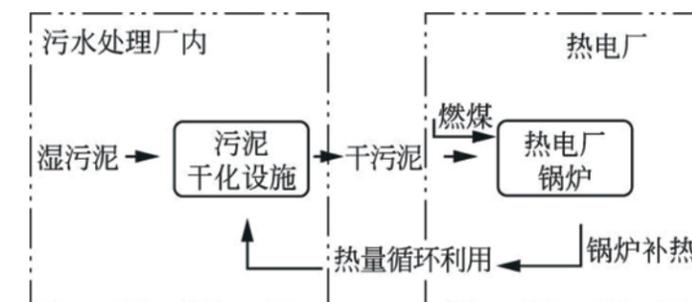


图1 热电厂提供热源干化方式

该方案的优势是湿污泥在污水处理厂内即可实现减量化,可避免大量湿污泥的远距离运输;同时实现无害化,降低环境污染,且工业余热一般较天然气等一次能源价格低廉,可降低干化运行成本;可利用水泥厂、热电厂等现有工业锅炉实现污泥的热值利用,不需新建污泥焚烧炉,降低建设投资。

其缺点是受限于周边是否具有充足的工业热源。该处置方式对中心城区,且临近工业余热(如工业蒸汽、沼气)的污水处理厂较适合。

#### 4.2 水泥窑干化+焚烧

对距离水泥窑较近的污水处理厂,可采用湿泥外运至水泥窑,利用水泥窑余热干化+窑内焚烧的方式。工艺流程见图2:

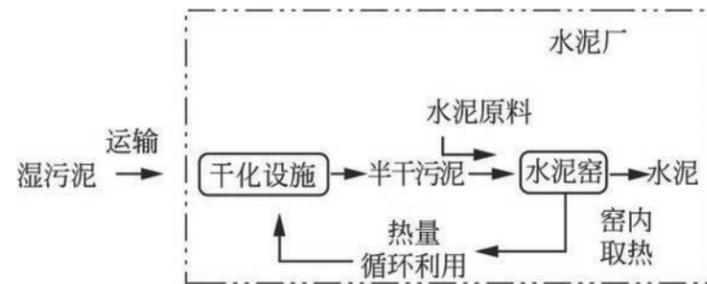


图2 水泥厂提供干化热源方式

该方案的优势是充分利用水泥厂的余热,实现余热的资源化利用。但该方案需将污水处理厂的湿污泥长距离运输,运输量较大,且在运输过程中存在遗洒导致的环境问题,此外污泥处理量受水泥厂生产限制。

#### 4.3 堆肥+土地利用

对污泥产量较小,布局分散的污水处理厂,特别是郊区县污水处理厂,可采用堆肥+土地利用的处理处置方式,工艺流程见图3:

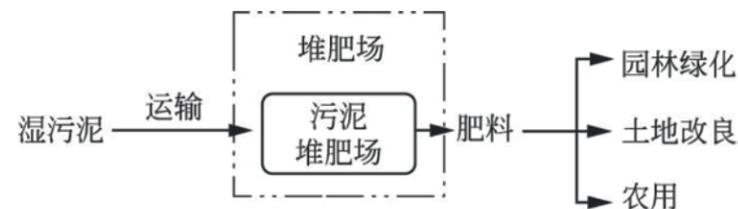


图3 堆肥+土地利用的处理处置方式

该方案的主要优势是充分利用污泥中的有机质,实现资源化,且建设投资小,运行费用低。但该方案占地较大,需将污水处理厂的湿泥长距离运输,运输量较大,且在运输过程中也存在遗洒导致的环境问题。

### 5、北京市污泥处置规划

按照建设资源节约型、环境友好型社会和人文北京、科技北京、绿色北京的发展战略,以无害化为基础,以循环利用为导向,按照政府主导、企业参与、城乡统筹、分级管理的总要求,建立和完善污泥处理处置的设施体系、运营体系、监管体系和政策标准体系。

根据因地制宜、协同处置、技术多元、循环利用的原则,以干化和焚烧方式为主,堆肥等土地利用方式为

辅。中心城区用地紧张,优先采用干化方式,郊区县土地资源相对丰富,优先采用堆肥方式,并按照近、远期规划,逐步建设污泥处置设施,实现全市污泥的无害化处置及资源化利用。污泥处置规划可根据各污水处理厂污泥产量,是否邻近工业热源等,确定处置方案。

对于处理规模较大,且邻近工业热源的污水处理厂,如高碑店污水处理厂临近华能热电厂,小红门污水处理厂内设有污泥消化设施,可作为干化热源,在污水处理厂内建设干化设施,干化后污泥产品作为工业锅炉的替代燃料,实现资源回收利用。

对于周边无工业热源,但距离水泥厂较近,且污泥产量不大的污水处理厂,如北小河、酒仙桥、北苑、肖家河等污水处理厂,可将湿污泥运至水泥厂,在水泥厂建设污泥干化设施,通过水泥窑余热干化污泥,干化后污泥作为水泥窑的原料及燃料,实现资源回收利用。

对于污泥产量小,且布局分散的污水处理厂,如中心城区的吴家村、卢沟桥污水处理厂,可运往庞各庄污泥堆肥场处置;郊区县土地资源相对丰富,可建设污泥堆肥集中处理设施,就地消纳。

根据此规划,中心城区污泥处理处置工作通过在污水处理厂内建设干化设施,增加处理能力约1100t/d;利用水泥窑协同处置污泥约1100t/d;利用堆肥+土地利用方式,建设相应处理设施,增加处理能力约300t/d,可实现中心城区全部污泥无害化处理处置。对于郊区县污泥处理处置工作,通过建设堆肥设施,逐步实现污泥无害化处置。

### 6、对北京市污泥处理处置工作的建议

#### 6.1 落实建设资金,保障资金投入

市政府制定污泥无害化处理和循环利用设施投资和运营政策,加大对污泥无害化处理设施建设的投资力度,鼓励引导企业参与无害化处理设施建设和运营。

#### 6.2 完善运营机制

推行污泥处理处置企业运营,建立完善市场准入、服务标准、考核指标、运营监管等各项制度,完善运营机制。

#### 6.3 完善相关政策

污泥循环利用处置方式能同时实现资源利用和污染减排双重目标。将污泥循环利用作为循环经济建设的一项重要内容,充分利用现有政策资源,对参与污泥循环利用的企业或个人给予资源循环利用的有关优惠政策;政府投资的沙荒地治理、园林绿化、土壤改良等项目,将优先采购符合国家相关标准的污泥衍生产品。

#### 6.4 完善标准和监管体系

加快建立污泥处理处置的技术标准体系,规范污泥处理处置及循环利用。凡进行污泥产品的资源化利用,必须满足相关标准要求。建立有毒有害污染物源头控制、环境影响、设施建设和运营、资源循环利用全过程跟踪监管体系,确保处置和循环利用安全。建立污泥处理处置及循环利用信息公开制度,鼓励公众参与,实行社会监督。

### 6.5 加大科技创新力度

将污泥处理处置与循环利用的科技创新工作作为建设科技北京的重要内容,鼓励企业与科研院所开展新技术、新工艺及相关技术标准研究工作,大力推广使用国内外的先进技术和设备,不断提高污泥无害化处理和资源化利用技术水平。

### 参考文献

- [1]周蓉.北京市污泥处理处置方式的探讨.2006
- [2]丁文川、郝以琼、汤子华.重庆市城市污水厂污泥的处理与处置.2000
- [3]张耀文.广州市污水处理厂污泥处置探讨.2006
- [4]李元宁、王敏、王琦.污泥处置技术分析探讨以哈尔滨市为例.2009
- [5]张建频.上海市城市污泥处理与处置方法探讨.2002
- [6]冯明谦、罗万申、蒋岭.深圳特区的污泥处置规划.2003
- [7]朱石清、张善发、张辰.上海市污泥处理处置专项规划简介.2005

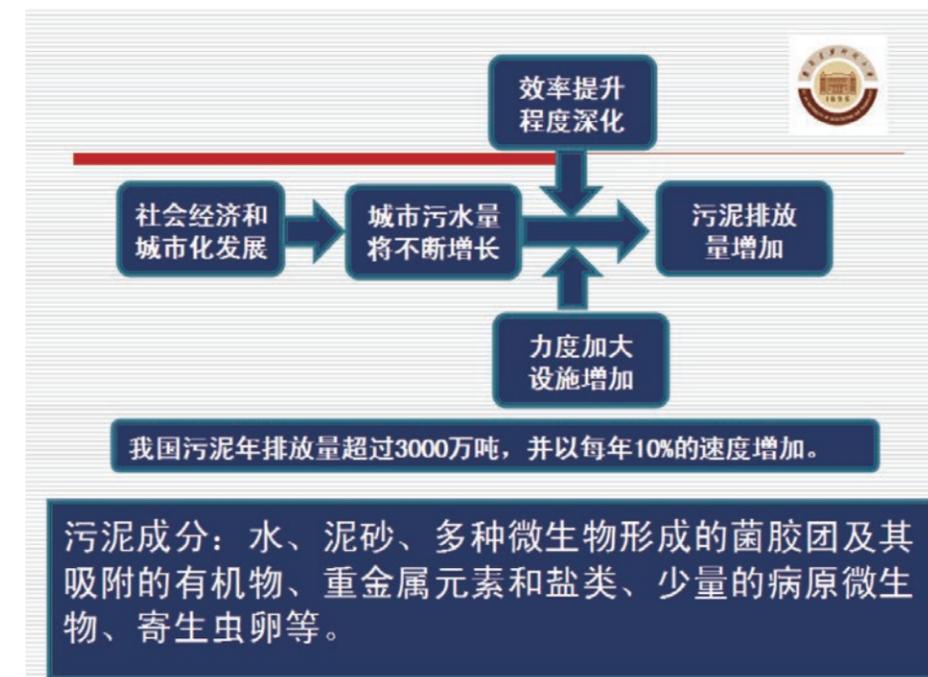
# 水泥窑协同处置污泥技术工业试验研究

张鹏 范海宏

**摘要:** 本文主要介绍了国内水泥窑协同处置污泥的现状及其水泥窑协同处置污泥技术工业试验研究的目的和意义。

**关键词:** 水泥窑, 协同处置, 污泥

## 1、研究背景



### 1.1 我国污泥处置的现状

据不完全统计,目前全国处置方式焚烧占6%,堆肥占8%,其余86%进行“填埋”。污泥“积压”,已经成为环境领域的重大问题之一。

## 国内外污泥的处理工艺



## 发达国家的污泥处置

国家	年份	焚烧 %	农用 %	填埋和其他 %
美国	1998	60	18	22
加拿大	2000	43	10	47
德国	2001	66	8	26
法国	2001	55	27	18
英国	2002	55	20	25
芬兰	2000	92	8	0
丹麦	1998	67	8	27
瑞典	2002	67	33	0
挪威	2002	55	45	0
西班牙	2000	53	39	8
日本	2003	55	9	36

### 1.2水泥窑协同处置污泥技术

最终转化成水泥熟料产品，无废弃物遗留；

水泥窑热容量大，温度高且稳定，可完全消解有害气体，能够大量处理；

不占用土地资源；

充分利用一次能源和资源；

投资少，建设周期短；

相比之下，水泥窑协同处置污泥技术在无害化、资源综合利用、经济性方面较优。

### 2、水泥窑协同处置污泥的现状

#### 2.1直接入窑

用污泥泵将脱水污泥送入回转窑窑尾，污泥在窑内焚烧。华新水泥宜昌公司每天处置能力为150吨。重庆拉法基采用相同的工艺，每天处理100吨。

存在问题：污泥入窑后，造成窑尾温度波动大，生成的碱性物质相对复杂，受热不均而导致耐火材料表面易结皮。

#### 2.2干化后入窑

在专门的干化设备中，利用窑尾锅炉余热将污泥含水率从80%干化至30%，然后送入分解炉燃烧。

广州越秀水泥集团越堡水泥公司投资7000万元建成600t/d处理能力的污泥处理线。北京金隅集团新北水泥有限责任公司投资1.75亿元，建成处理能力500t/d的处理线。

存在问题：需要专门的干化设备，投资较高；干化过程中废气难以处理，厂区空气污染。

#### 2.3增湿塔雾化干化——回转窑焚烧

综上所述，目前的研究应用方面存在下述问题：水泥窑负荷增加过高；投资运行成本过高；废气处理效果差，厂区环境污染严重。

针对以上问题，粉体所提出“利用水泥窑尾增湿塔雾化干化污泥-水泥回转窑焚烧干化后污泥”的思路，以实现污泥的无害化、资源化利用。

主要优势：不另行增加干化处理设备，节省投资和运行成本；不外加除尘、除气设备，采用增湿塔实现对废气的处理。

### 3、课题的目的和意义

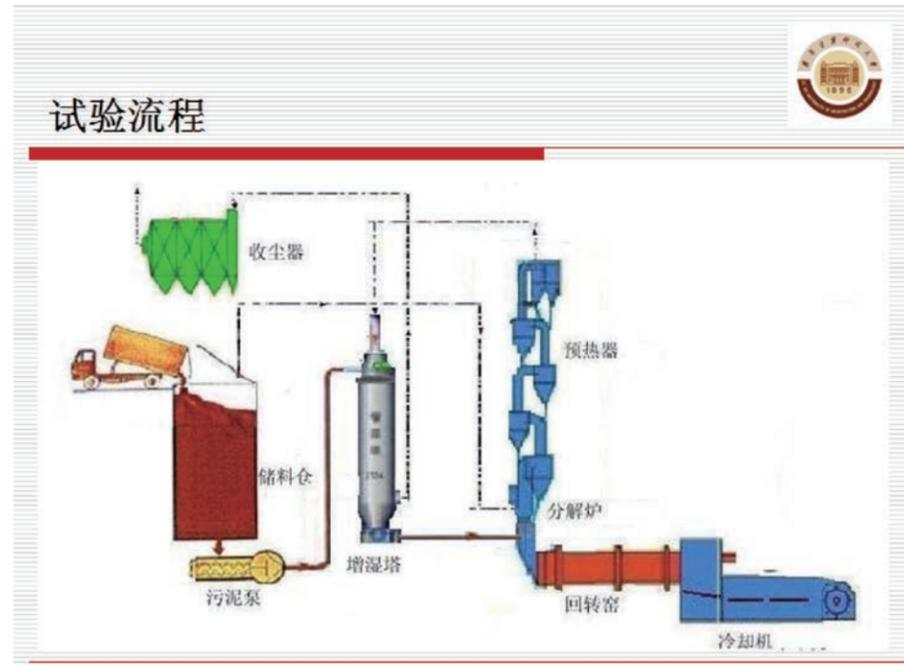
开展污泥雾化干燥、焚烧的工业试验，为工业生产提供参数。

将水泥窑尾增湿塔作为污水处理厂脱水污泥的干化设备，使污泥在其中雾化，并利用窑尾废气余热，实现快速干化；干化污泥送入回转窑焚烧。

## 4、研究内容和方案

### 4.1研究内容

污泥和雾化空气的输送压力、输送量等操作参数对干化效果的影响；污泥干化对窑尾系统运行的影响；污泥干化过程中有害气体和重金属的释放特性；干化污泥的焚烧试验；优化污泥的输送、雾化及焚烧工艺。



### 4.2研究（试验）方案

污泥在增湿塔中的雾化干化试验研究

①污泥的干化效果：调整雾化操作参数（污泥输送量、高压气量和压强），对干化后污泥采用烘干法检测其含水率，进行粒度分析，同时对污泥进行热值检测；

②对窑系统的影响：对窑系统运行情况（温度、湿度及压力场等）从中控室采集相关数据进行分析对比，主要监测窑尾系统的预热器和增湿塔的温度、压强分布变化，以及风机参数等；

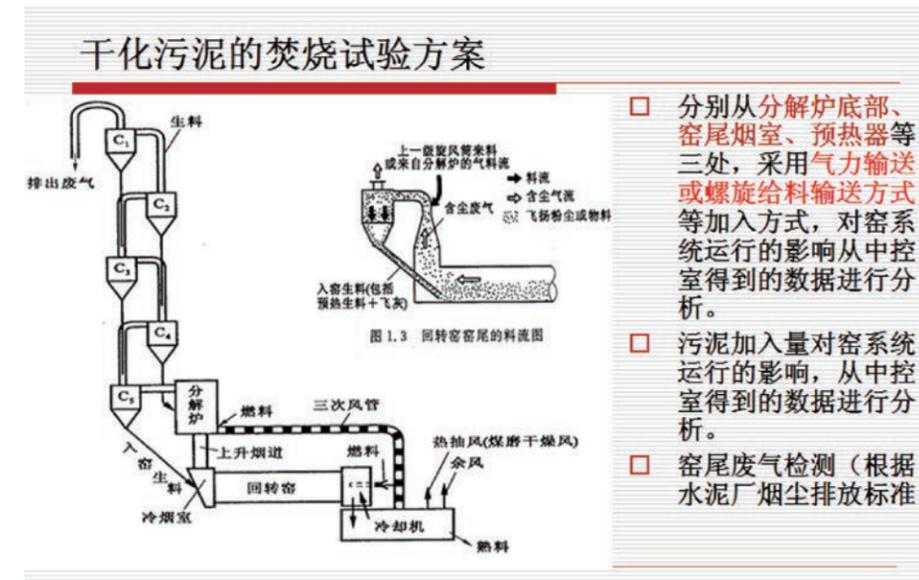
③废气处理：结合烟气监测，根据水泥厂废气排放标准对污泥雾化干化后的废气进行分析，检测干化后污泥的重金属含量。

干化后污泥的焚烧试验研究

①污泥焚烧废气及其污染防治分析：结合烟气监测，根据水泥厂废气排放标准对窑尾废气进行分析，确保有害气体的完全高温分解；

②对窑系统的影响：对窑系统运行情况（温度、湿度及压力场等）从中控室采集相关数据进行分析对比，主要监测试验前后窑的产量及煤耗等；

③产品质量检测：对利用污泥生产出的水泥熟料的混凝土性能进行比较试验，包括新拌混凝土的塌落度、泌水率、凝结时间，硬化混凝土的强度、弹性模量及耐久性等，并测试生产出的水泥熟料的重金属固溶性。



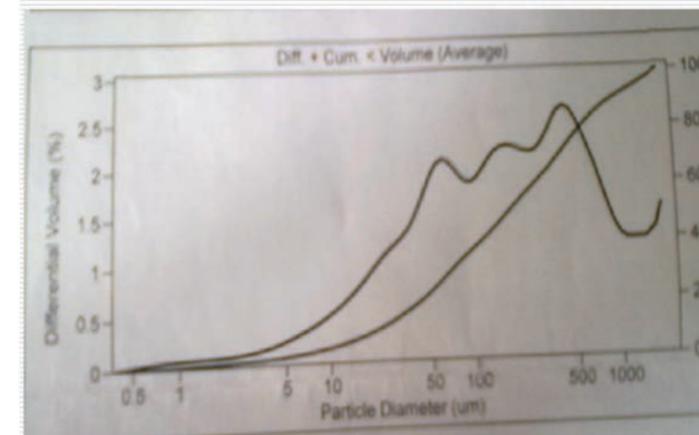
优化污泥输送和雾化、焚烧工艺

根据生产试验情况，不断调整设备及操作参数，采用不同的污泥掺量和加入速度研究其输送、雾化、及焚烧处理效果，以达到对生产设备运行和环境保护的最佳效应。

## 5、前期的工作和研究（试验）计划

### 1 污泥性质

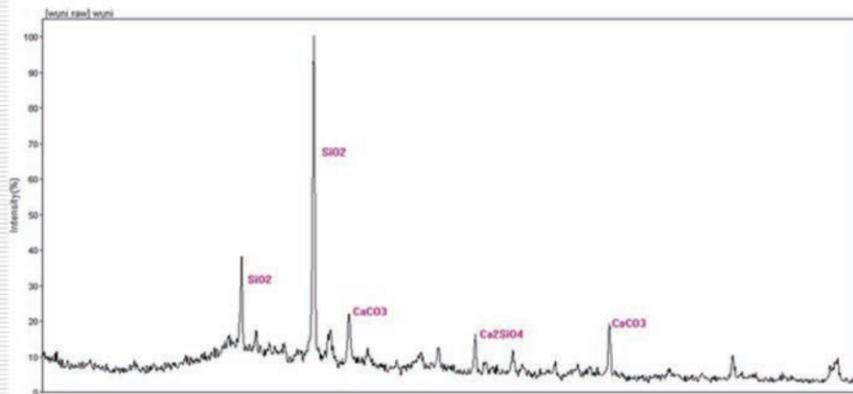
粒度分布（图示）



样品	平均粒径 μm
污泥	350.0

➤ 含水率：82.3%

## 2 污泥中的矿物组成



污泥中的无机物主要以 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaCO}_3$ 为主

## 3 工业和元素分析

项目	Mad%	Vad%	Aad%	Ecad%	Q(MJ/Kg)
污泥	2.113	48.023	41.97	7.894	18.267

元素	O	Mg	Si	Ba	S	K	Ca
含量 %	24.4	1.093	7.221	0.164	2.729	1.629	3.120
	Zn	Fe	Al	P	Cl	Cu	
	1.675	4.423	2.847	3.523	0.189	0.117	