

# 污泥处理处置工艺选择及工程案例

中国市政工程华北设计研究总院有限公司

2023年3月24济南



中國市政工程華北設計研究總院

# 主要内容

一.污泥处理处置现状

二.污泥处置途径与处理技术

三.工程应用案例

四.几点体会



# 一、污泥处理处置现状

## 1.总体情况

- 自2010年以来，国内建成了众多污泥处理设施，目前大中城市多**完成或部分完成**污泥处理设施建设，各种处理技术都有工程案例，为科学建设污泥处理工程奠定了基础。但是距达到无害化处理处置率还有相当大缺口。

主要是有很高比例污泥没有得到妥善处理(包括省会城市、尤其是地级及县级市)

没有达减量化、稳定化、无害化及资源化的处置要求，多完成污泥脱水（含水率80—60%）或干化。

- “水十条”规定，地级及以上城市污泥无害化处理处置率应于2020年底前达到90%以上。
- ◆ 经党中央、国务院批准，2019年至2022年，第二轮中央生态环境保护督察；督察大大促进了污泥处理工程建设；**污泥处理率在“十四五”期间会有大幅提高。**
- **关于印发《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》的通知（发改环资〔2020〕1234号）**到2023年，县级及以上城市设施能力基本满足生活污水处理需求。生活污水收集效能明显提升，城市市政雨污管网混错接改造更新取得显著成效。**城市污泥无害化处置率和资源化利用率进一步提高。**

# 一、污泥处理处置现状

- 国家发展改革委、住房城乡建设部、生态环境部 发改环资〔2022〕1453号 2022年9月27日

- 总体要求

到2025年，全国新增污泥（含水率80%的湿污泥）无害化处置设施规模不少于2万吨/日，城市泥无害化处置率达到90%以上，地级及以上城市达到95%以上，基本形成设施完备、运行安全、绿色低碳、监管有效的污泥无害化资源化处理体系。污泥土地利用方式得到有效推广。京津冀、长江经济带、东部地区城市和县城，黄河干流沿线城市污泥填埋比例明显降低。

- 具体路线

一是优化污泥处理结构。规范污泥处理方式，积极推广污泥土地利用，合理压减污泥填埋规模，有序推进污泥焚烧处理，推动能量和物质回收利用。

二是加强污泥处理设施建设。提升现有设施效能，加快补齐设施缺口。

三是强化过程管理。强化源头管控，强化运输储存管理，强化监督管理。

# 二。污泥处置途径与处理技术

GB/T 23484-2009城镇污水处理厂污泥处置 分类

## 城镇污水处理厂污泥处置 分类

农业农村部2021年9月发布153项标准  
污泥禁止作为农用有机肥的原料

| 序号 | 分类       | 范围       | 备注                           |
|----|----------|----------|------------------------------|
| 1  | 污泥土地利用   | 园林绿化     | 城镇绿地系统或郊区林地建造和养护等的基质材料或肥料原料  |
|    |          | 土地改良     | 盐碱地、沙化地和废弃矿场的土壤改良材料          |
|    |          | 农用       | 农用肥料或农田土壤改良材料                |
| 2  | 污泥填埋     | 单独填埋     | 在专门填埋污泥的填埋场进行填埋处置            |
|    |          | 混合填埋     | 在城市生活垃圾填埋场进行混合填埋（含填埋场覆盖材料利用） |
| 3  | 污泥建筑材料利用 | 制水泥      | 制水泥的部分原料或添加剂                 |
|    |          | 制砖       | 制砖的部分原料                      |
|    |          | 制轻质骨料    | 制轻质骨料（陶粒等）的部分原料              |
| 4  | 燃料利用     | 碳化后污泥作燃料 | 在专门污泥焚烧炉焚烧或参烧                |
|    |          | 与垃圾混合焚烧  | 与生活垃圾一同焚烧                    |
|    |          | 污泥燃料利用   | 在工业焚烧炉或发电厂焚烧炉中作燃料利用          |

## 处置途径可行性分析（某城市污水厂污泥）

| 途径                       | 现状<br>可接纳污泥量                  | 远期预测<br>可接纳污泥量             | 占远期规划<br>污泥量（%） |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|
| 绿化用土                     | 100万吨/年                       | 100万吨/年                    | 100             |
| 湿污泥电厂<br>直接焚烧            | 250吨/天<br>（湿污泥）               | 250吨/天<br>（湿污泥）            | 4.3             |
| 干化污泥<br>电厂焚烧             | 1366吨/天<br>（含水率30%，掺混<br>比2%） | 全接纳                        | 100             |
| 干化污泥<br>水泥厂骨料<br>（振兴水泥厂） | 150吨/天<br>（干污泥，含水率<br>30%）    | 150吨/天<br>（干污泥，含水率<br>30%） | 7               |
| 烧陶粒--建材用料<br>（宝通公司）      | 1000吨/天<br>（湿污泥）              | 1000吨/天<br>（湿污泥）           | 17              |
| 垃圾填埋场<br>覆盖土             | 临时200吨/天<br>（含水率40%）          | 临时 200吨/天<br>（含水率40%）      | 7               |

建成与在建 污泥厌氧消化后干化800 碳化300 独立焚烧1200 垃圾协同焚烧120 水泥窑100 堆肥300 综合处理厂500

**结论：堆肥、碳化后土地利用；干化焚烧做建材；综合利用是可实施的处置途径**

## 二。污泥处置途径与处理技术

经过十几年的探索污泥处置途径与处理技术—应用情况

- 1、在人口多、产业密集、产污量大，土地资源紧缺的城市实现污泥充分减量下的无害化、稳定化及资源化才能解决污泥的最终出路。
  - 南方大城市以污泥干化、焚烧（独立+协同焚烧）填埋或建材利用为主，堆肥土地利用以绿化途径为辅助（深圳、杭州、上海、重庆），有条件时开展污泥厌氧消化。
- 2、在人口多、产业密集、产污量大，土地资源、林地资源富裕的城市以土地利用为主解决污泥的最终出路。其他方式为辅。
  - 北方大城市以污泥厌氧消化、堆肥 干化 焚烧 与垃圾协同焚烧 处置以土地利用优先，综合利用为辅助。（北京、天津、长春、大连、青岛、南宁）
- 3、中等城市以污泥厌氧消化、炭化、堆肥土地利用（绿化）及干化协同焚烧 灰渣 综合利用。

## 二。污泥处置与处理技术

### 从低碳经济、循环利用角度分析，优先序为

- 高温热水解预处理—厌氧消化—深度脱水—高温好氧发酵—土地利用
- 高温热水解预处理—厌氧消化—深度脱水--干化—土地利用/燃料利用
- 脱水污泥--高温好氧发酵—土地利用
- 污泥热水解—回收蛋白—深度脱水—绿化用土/建材用土/燃料

污泥碳化 —燃料/肥料

污泥干化—焚烧—建材利用/填埋

污泥干化—协同焚烧（水泥窑/电厂/垃圾厂/陶粒）—建材利用

### 三、工程应用案例



# 1、污泥厌氧消化

## 1) 天津市津南污水厂高浓度污泥厌氧消化

- 津南污水处理厂近期污水55万m<sup>3</sup>/d、污泥800t/d（含水率80%）
- 污泥处理工艺：高浓度污泥厌氧消化+板框脱水+干化。
- 干化后产生含水率40%的污泥202t/d，交天津市环境建设投资有限公司作为生产有机肥料的原料。
- 消化污泥脱水的高浓度滤液2000m<sup>3</sup>/d，采用“磷酸铵镁除磷+ANAMMOX菌脱氮”工艺，处理后出水排至津南污水厂进水区进行再处理。除磷产生的鸟粪石500t/d，作为肥料外售。
- 本项目厂区占地面积6公顷，投资约59963万元。
- 目前还可以协同处理部分餐厨垃圾。

# 1、污泥厌氧消化

## (2) 长沙污泥集中处置工程---高温热水解厌氧消化

规模500m<sup>3</sup>/d，其中餐厨垃圾66m<sup>3</sup>/d，混合污泥有机物含量53%

- 1.提高消化速率，减小污泥消化时间，污泥的流动性更强，可提高进入消化池污泥浓度，减小消化池容积约；40-50%
- 2.污泥处于高温，高压环境下，细菌、病毒等基本均被灭活，因此经消化处理后的污泥细菌指标可达到美国EPA503中A级农用标准；
- 3.提高可溶解COD，沼气量得到较大的提高，沼气中H<sub>2</sub>S的含量更低，更有利于沼气的利用，消化过程中泡沫的产生量极少，污泥臭味小；
- 4.热水解消化后的污泥，经板框脱水含固率可以达到40%，可以减少污泥热干化的蒸发量。
- 工程总投资37785.36万元
- 单位生产成本347.9元/吨湿污泥
- 单位经营成本161.36元/吨湿污泥

## 2、污泥深度脱水

- 深度脱水还没有统一的概念，一般指污泥含固率大于常规脱水含固率时就为深度脱水。

- 因污泥后处理的要求:含水率达到25%以上时，一般选用高干污泥脱水设备，

- 当污泥含水率要求大于25%时，一般通过增加离心机台数来实现。如，10万m<sup>3</sup>/d的污水厂污泥，采用常规脱水时需要2-3台离心脱水机，当要求污泥含固率大于25%时需要8台离心脱水机。

- 当污泥含水率要求达到30-50%时，一般采用板框脱水机，污泥需要加石灰，无机絮凝剂或专用调理剂调理；另外，生物沥浸、臭氧氧化、碱式热水解低温碳化等处理技术也可实现深度脱水要求。



## 2、污泥深度脱水

2010年环保部157号文件要求，污水处理厂以储存为目的将污泥运出厂界的，必须将污泥脱水至含水率50%以下。技术上，从板框的滤板、滤布性能、自动卸料、药剂等方面已经能满足工程所需；

- 1) 常压板框
- 2) 高压板框—10兆帕
- 3) 滤布
- 4) 药剂
- 5) 低温真空负压抽吸

臭氧氧化+催化污泥深度脱水，  
脱水污泥含水率小于60%



## 2、污泥深度脱水



污泥碱性热水解+板框脱水  
泥饼含水小于40%，有机物去除率40%

体会

一种常温臭氧氧化

二种污泥热水解后脱水  
仅需按常规加药量都可使污泥含水小于60%，低温碳化在满足深度脱水要求前提下有机质减少，为污泥后续处理留有更多选择



污泥低温碳化后脱水污泥含水小于60%

## 2、污泥深度脱水

### 生物沥浸污泥改性脱水

#### 生物沥浸+深度脱水工艺

在城市污水处理厂的浓缩污泥中接种特殊的微生物菌群，投加少量专用营养剂条件下，进行污泥改性处理。污泥恶臭消除，病原微生物被杀灭，污泥脱水性大大增强。处理后污泥可不加絮凝剂，直接机械压滤脱水至含水率 60%以下。

该技术过程简单、设备少、药剂用量少相对环保绿色，占地面积大；为污泥后续处理创造良好的条件。



有无锡芦村污水处理厂 20 万 m<sup>3</sup>/d，哈尔滨 龙江环保污泥生物沥浸法处理处置项目 90 万 m<sup>3</sup>/d；宁波南区污水处理厂污泥生物沥浸处理项目 8 万 m<sup>3</sup>/d，远期 24 万 m<sup>3</sup>/d；南宁江南 72 万 m<sup>3</sup>/d

## 2、污泥深度脱水案例

- 规模 400吨/日含水率80%湿污泥有机质含量60%，深度脱水后50%含水率，到垃圾混和填埋。

采用隔膜压滤机械脱水机，最大进料压力0.7MPa，压榨压力1.3-1.5Mpa。单机处理能力80-100吨/天。

**设计范围：**污泥深度脱水车间内污泥深度脱水系统的工艺、土建、电气、自控、给排水、暖通、技经等专业的设计，包括污泥深度脱水系统主体设备和全部辅助设备的选型及设计

**工程投资**9-10万元/吨

- 污泥处理工程单位处理成本            70元/吨污泥
- 污泥处理工程经营成本：                55元/吨泥
- 增加水处理成本            0.06-0.07元/m<sup>3</sup>污水
- 调理剂 湿污泥量的8%
- 电耗 36度/吨
- 脱水间面积1400平方米



### 3、污泥（低温）干化案例

污泥低温干化含水率50-10%可调、投资与处理成本水平低，臭气、冷凝水处理简单、安全；  
干化产品储存时间不宜长

规模 250吨/日含水80%的湿污泥干化至含水率25%，

工艺 含水99%剩余污泥--高压带式脱水机（70%含水）--低温干化机（25%含水率）--料仓--  
外运垃圾焚烧厂，

臭气处理 生物滤池除臭 脱水液+干化冷凝液--污水处理

占地 3.9亩，建筑面积约2000立方米

工程投资 35.6万元/吨泥

处理成本 经营成本176.3元/吨

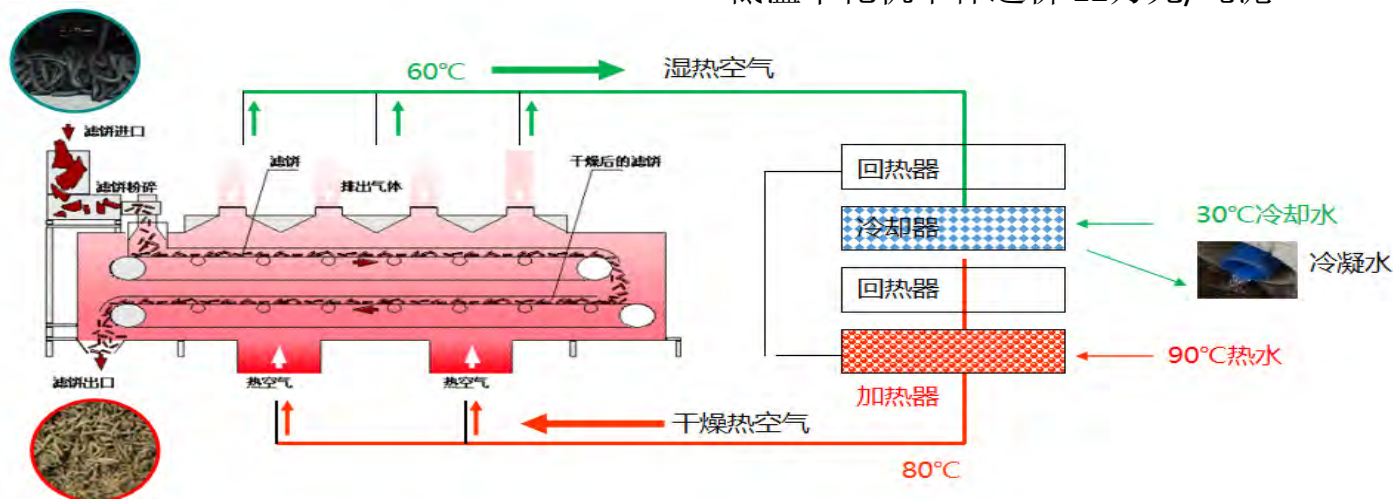
单位处理总成本 230元/吨

天然气 2.8元/立方米，吨污泥消耗30立方米

电耗，0.65元/度，吨泥耗电40度

药耗 50元/吨污泥

低温干化机单体造价 12万元/吨泥



### 3.热干化案例

国内某240T污泥/d的二段干化工程，投资1.8亿元，热源用天然气。

国内某100T污泥/d的二段干化工程，投资1.4亿元，（包括二期100T污泥/d的厂房）热源为垃圾焚烧厂的蒸汽，经营成本246元/T污泥。

国内某400T污泥/d的带式干化工程，初步设计概算为18634万元，单位生产成本为303元/吨湿污泥  
占地0.95公顷。干化热源热电厂的烟气转换成90℃的热水，将湿污泥干化至60%含固率后填埋。



# 3、污泥热干化案例

- 苏州开发区工业园污泥干化厂项目—热干化180度蒸汽
- 一期300+二期200吨/日分别于2011和2016年建成
- 工艺：二段法，80%含水率污泥干化至含水率25%，一段卧式薄层干化，二段带式干化，5条干化线，单条线日处理能力100吨，，吨泥耗蒸汽0.87吨与一段干化相比，能耗节省35%

项目有中新园区和法国苏伊士共同投资建设是行业里最标杆的水平。本项目建设与污水厂、电厂建设在一起，可以实现资源互补，干化产生的生产臭气，送电厂焚烧，臭气量6万立方米/h，换气次数8—10次/h。空间臭气在系统内生物滤池除臭除臭风量2\*1.4万立方米/h。

- 污泥干化厂与污水厂、电厂结合在一起，实现了资源的利用最大化，干化的冷凝液自己处理要十几元或30元，送污水厂5元/立方米水，还不用建设处理设施，这就是资源的相互利用。这些措施也有利于处理成本低的有利降低。
- 一期已经运转10年，设备完好程度非常好。



稳定卫生的干燥污泥  
Stable and sanitary dried sludge



二级带式干燥机干燥至70-90%  
Solid content after belt dryers : 70 -90%



### 3、污泥热干化案例

- 上海竹园二期污泥热干化电厂协同焚烧
- 规模1115吨/天，由80%含水污泥通过二级干化含水率达到20%
- 干化机类型，STS卧式薄层干化机
- 热源 10公斤180度蒸汽，价格240元/吨，电厂回购干化污泥80元/吨
- 蒸汽消耗 0.95吨左右/吨湿泥
- 吨泥投资 86万元



# 3、干化碳化

运营现场



- 特点
- 减量化程度高、无害化、稳定化及资源化
- 占地面积少
- 投资与运行成本低
- 污泥碳出路更宽
- 投资水平50-60万元 / 吨，经营成本大于200元/吨

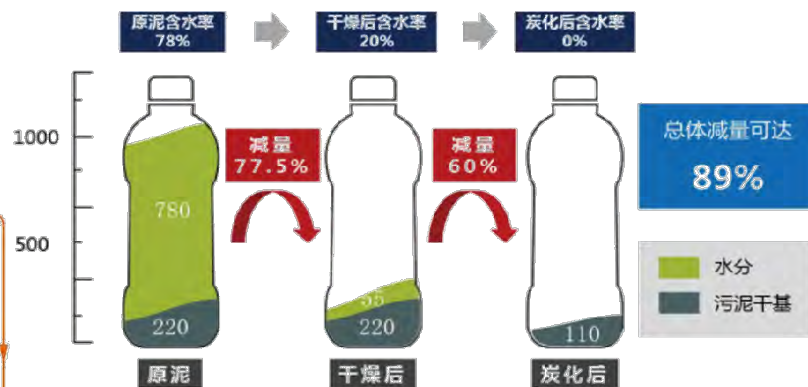
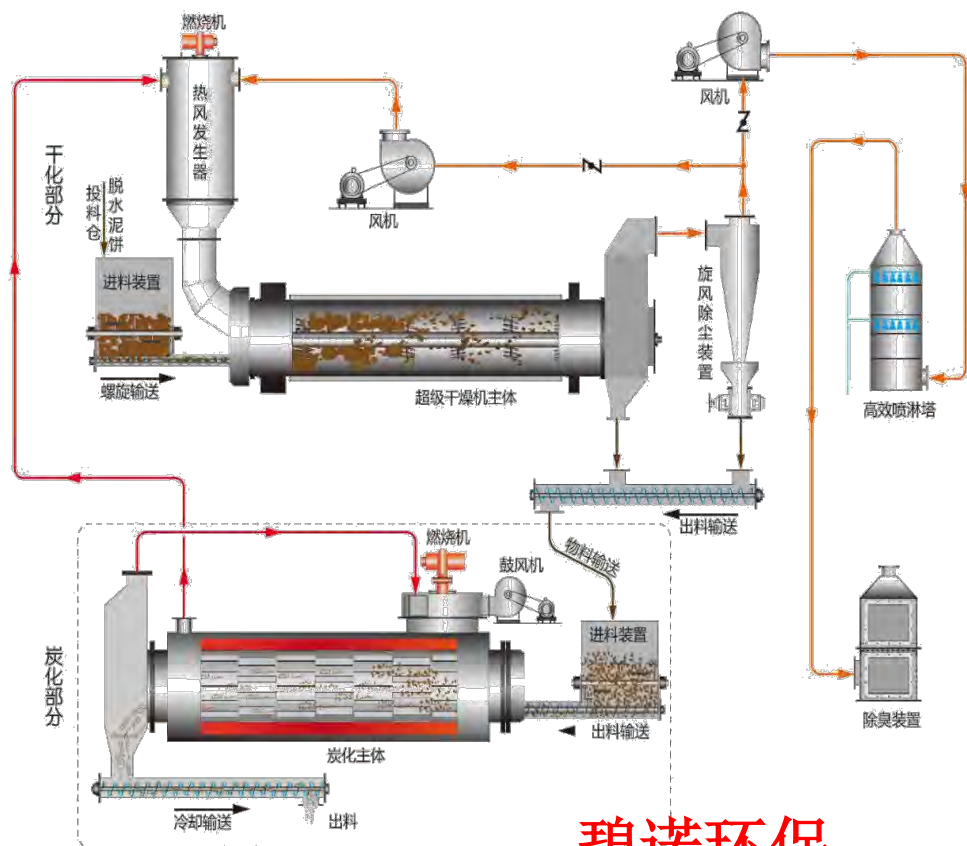
# 干化炭化系统



原泥，含水率78%

干燥后，含水率20%

炭化后，含水率0%



## 解决胶黏相问题

干燥机内部独特的粉碎搅拌装置，在筒体内干燥污泥的同时高速旋转，将污泥彻底粉碎成细小颗粒，可解决干燥过程中污泥胶黏相问题；

## 运行成本低，热能可回收利用

通过燃烧干馏气体进行炭化，无需提供额外的燃料；

## 污泥体积减少85%以上

污泥经干燥和炭化后，最终的体积和总量减少85%以上；

## 产品可资源化，具有广泛的用途

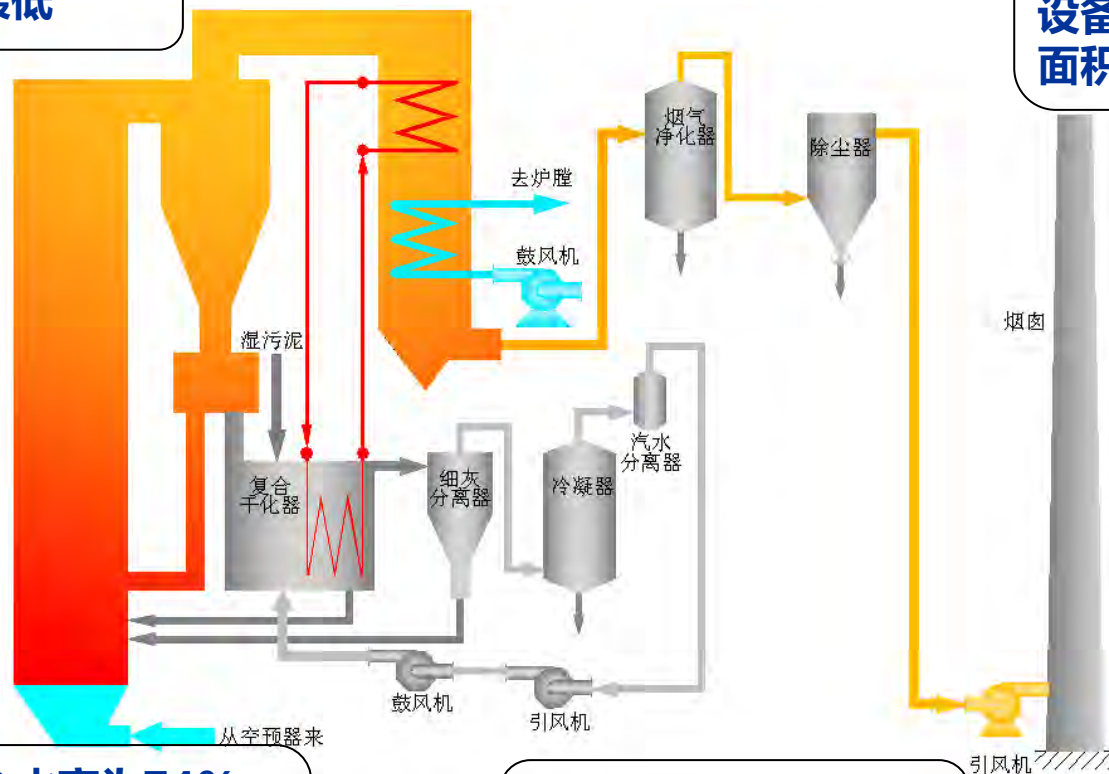
最终产品粒径为1-5mm性质稳定的颗粒，重金属被固化，产品可用于土壤改良、园林绿化、建材材料及能源颗粒（可替换部分煤能源）等。

碧诺环保

## 4、污泥干化焚烧

### 湿污泥循环流化床一体化焚烧工艺及特点

直接-间接联合干燥，  
实现能耗最低



在一个系统中，将湿污泥干化和焚烧有机耦合，全过程设备高效，结构紧凑，占地面积小

高效燃烧，低  
污染排放

投资和运行成本低

污泥初始含水率为74%  
(干基热值3143 kcal/kg)时，  
可实现污泥的自持燃烧

负荷调节范围宽，可在0  
~ 110%之间变动

# 示范工程

100t/d循环流化床一体化  
污泥焚烧炉



杭州七格污水厂100 t/d污泥焚  
烧示范工程外观



# 不同热值的污泥处理成本测算-按污泥含水率80%计算

| 序号 | 项目名称   | 单位       | 脱水污泥（含水率80%）处理运行费用（单位 元/吨） |      |                       |      |                       |      |
|----|--------|----------|----------------------------|------|-----------------------|------|-----------------------|------|
|    |        |          | 污泥干基热值<br>1500kcal/kg      |      | 污泥干基热值<br>2400kcal/kg |      | 污泥干基热值<br>3100kcal/kg |      |
|    |        |          | 助燃-油                       | 助燃-煤 | 助燃-油                  | 助燃-煤 | 助燃-油                  | 助燃-煤 |
| 1  | 电费     | 0.7元/kWh | 35                         | 35   | 35                    | 35   | 35                    | 35   |
| 2  | 柴油费    | 9500元/吨  | 380                        | —    | 219                   | —    | 95                    | —    |
|    | 煤费（标煤） | 1000元/吨  | —                          | 80   | —                     | 46   | —                     | 20   |
| 3  | 石灰石    | 800元/吨   | 24                         | 24   | 32                    | 32   | 32                    | 32   |
| 4  | 氮气费    | 38元/瓶    | 6                          | 6    | 6                     | 6    | 6                     | 6    |
| 5  | 高岭土    | 680元/吨   | 7                          | 7    | 7                     | 7    | 7                     | 7    |
| 6  | 人工费    | 6000元/月  | 44                         | 44   | 44                    | 44   | 44                    | 44   |
| 7  | 汇总     |          | 496                        | 196  | 342                   | 170  | 219                   | 144  |

●辅助燃料为柴油时，燃料成本占总成本的比例为43-77%

# 不同含水率的污泥处理成本测算

一按污泥干基热值3100kcal/kg计算

| 序号 | 污泥含水率 (%) | 辅助燃料为油<br>运行费用<br>(元/吨) | 辅助燃料为煤<br>运行费用<br>(元/吨) | 备注      |
|----|-----------|-------------------------|-------------------------|---------|
| 1  | 75        | 117                     | 117                     | 不添加辅助燃料 |
| 2  | 78        | 174                     | 130                     |         |
| 3  | 80        | 219                     | 145                     |         |

注：运行费用包括电费、燃料费、石灰石费、氮气费、高岭土费、人工费

●使用煤为辅助燃料较经济

## 4、干化焚烧案例

上海浦东滨海污泥处理厂  
建设期2021-2022年。规模800  
吨/日，污泥干化焚烧工艺  
EPC总包9.7亿元，苏伊士设备  
总成。



受料+接收仓，40+2\*100一条线，  
共4条线。干化机2\*4台共8台。干  
化到65%的含水率，炉子2\*400吨  
，可以达到1020吨的焚烧能力。  
污泥热值按2200—2300大卡/kg干  
泥考虑。

天然气作为能源烧锅炉产热水，  
天然气消耗量日7600立方米/一条  
线，



## 4、干化焚烧案例

- 案例1、  
400吨日，投资  
3.2亿元
- 案例2、  
600吨/日三条  
线，吨泥投资  
国产设备60万  
元，经营成本  
300、处理成本  
390元/吨



## 5. 高温菌发酵处理工序

### ❖ 混合堆积

高温菌发酵

### ▶ 搅拌堆积

一周重复一次，大约6周左右完成处理达到成品



## 四、几点体会

- 选择污泥处理处置工艺路线要因地制宜，在一座城市可有几种方式，实现互补。
- 污泥协同：电厂焚烧、水泥窑不能连续接收污泥（检修、季节性），独立建设污泥焚烧厂污泥安全处理有保障。
- 污泥碳化、焚烧占地省，便于在污水厂内建设，污水处理成本低，落地性好。
- 污泥、生活垃圾、热源电厂、污水厂集中建设，可以实现资源共享，节约投资与运行成本，也可以减少部分碳排放。
- 污泥干化焚烧产生的污水浓度高，投资与运行成本可观，不可忽视。
- 污泥要实现减量化、稳定化、无害化及资源化处理成本400-600元/吨，吨水处理成本增加0.3-0.6元/立方米



谢 谢

