

吴 静

清华大学环境学院副研究员
 1997年，获清华大学学士学位
 2001年，获清华大学硕士和博士学位
 2001年至今，清华大学环境系/学院教师
 2003-2004年，法国科学研究中心博士后
 2009年，法国科学研究中心外国研究员
 2014年，澳大利亚Deakin大学客座副教授
 主要研究方向：高效厌氧生物反应器和水质预警



提 纲

- 我国污泥处理现状
- 国外污泥处理现状
- 国内外污泥厌氧消化的现状
- 污泥消化的技术瓶颈及解决办法
- 结语

我国污泥处理现状

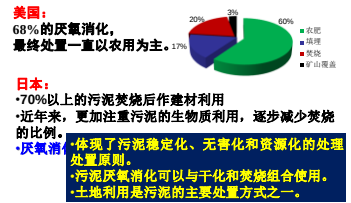
- 2011年底，已建成了3000余座城市污水处理厂。
- 城镇污水处理率已经超过82%。
- 大约产生3000万吨湿泥/年（80%含水率）。



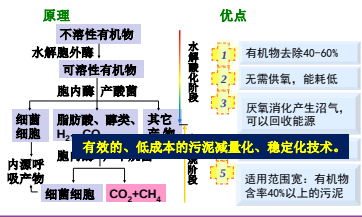
国外污泥处理现状



国外污泥处理现状



国外污泥厌氧消化现状



国外污泥厌氧消化现状

欧美各国大规模采用污泥厌氧消化技术

美国68%、英国96.7%、瑞士95.1%、德国86.7%、荷兰66.2%、瑞典55.6%、丹麦52.3%、法国39%

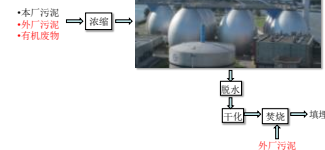
- 德国：大于3万人口当量的污水厂
- 法国：规模大于10万人口当量的污水厂
- 瑞士：5000人口当量以上的污水厂



国外污泥厌氧消化的现状

• 厌氧消化+干化+焚烧工艺

德国汉堡Kohlbrandhof污水厂：164万td⁻¹，2011年起实现能量自足



国外污泥厌氧消化的现状

• 厌氧消化+干化+焚烧工艺

德国慕尼黑Gut Gloßlappen污水厂：50万吨/d
德国KA heimstadt污水厂
法国SLAAP Seine-Amont污水厂



国外污泥厌氧消化的现状

• 厌氧消化+焚烧工艺

• 德国Bottrop 污水处理厂
• 荷兰Amersfoort污水处理厂
• 荷兰鹿特丹Dokhaven城市污水厂
• 德国Lingen污水厂



国外污泥厌氧消化的现状

• 主流工艺：厌氧消化与干化/焚烧结合

优点：

- 减小干化和焚烧规模
- ✓ 干化和焚烧的规模可减少35%以上
- ✓ 增加污泥脱水效果更好、污泥体积更小
- ✓ 污泥量和性质都更稳定，可减少甚至不需干化和焚烧的备用系统，进一步减小规模
- 干化和焚烧的运行费显著降低
- 干化和焚烧运行更稳定

• 主流工艺：污泥和有机废物共消化

我国的污泥处理技术路线的思考

1. 稳定化是污泥处理必不可少的工艺环节。
相关技术包括厌氧消化、好氧堆肥和焚烧。
2. 资源化将成为我国主流的污泥处置工艺路线，而含水率降到50%左右是污泥资源化的关键。
- 国情（地少人多污染多）决定的。
- 发展循环经济的需要。
- 国家政策导向：2011年国家发展改革委、住房城乡建设部联合出台的《关于进一步加强污泥处理处置工作组织实施示范项目工作的通知》明确提出“资源化、无害化、节能降耗和低碳环保相结合”为制定污泥处理处置技术路线的基本原则。

我国的污泥处理技术路线的思考

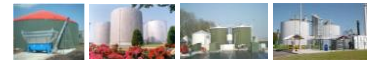
3. 污泥性质也是决定处理工艺的关键。
- 有机物含量低、含砂量高、有的含有重金属等
4. 提高效率。

• 我国大部分地区可以采用“厌氧消化+（干化）+土地利用”
• 发达地区污泥和含重金属等污染物的污泥可考虑“厌氧消化+干化+焚烧”工艺。
• 污泥集中处理和共消化。
• 无干化和焚烧时，热水解可以作为厌氧消化的预处理工艺。

我国污泥厌氧消化现状

我国污泥厌氧消化的优势：

- 原料充足，廉价，还有大量的共消化的有机废物
- 不受地域限制
- 不受季节限制
- 有成功经验可以借鉴



我国污泥厌氧消化现状

《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》：

(1) 厌氧消化后进行土地利用
厌氧消化→脱水→自然干化（或好氧发酵）→土地利用
脱水→厌氧消化→脱水→自然干化（或好氧发酵）→土地利用
厌氧消化（或脱水后厌氧消化）→罐车运输→直接注入土壤

《“十二五”期间污泥处置建议》：大中型厂宜优先选用厌氧消化污泥处理工艺

《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》
国家政策支持大力鼓励污泥厌氧消化！

《城镇污水处理厂污染物排放标准（2002）》：城镇污水处理厂的污泥应进行稳定化处理，并规定了厌氧消化的指标

我国污泥厌氧消化现状

- 全国大约仅有50家左右污水厂建有污泥厌氧消化系统。
- 经过厌氧消化的污泥不足2%。



我国污泥厌氧消化现状

- 新建了浙江宁海、北京小红门、上海白龙港、武汉三金潭、海口白沙门、杭州四堡、济宁市、重庆唐家沱等污水厂的污泥消化工程和大连夏家河污水厂等集中式污泥消化项目。



污泥厌氧消化的发展与污泥问题的紧迫性相比，仍然显得过慢！

为什么？建设成本与消化效率！

污泥消化的技术瓶颈及解决办法

厌氧消化推广的瓶颈：

第一、厌氧消化反应慢，产气少

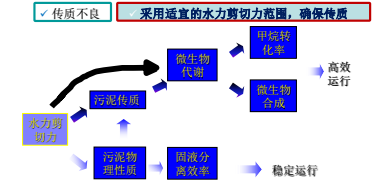
污泥消化的技术瓶颈及解决办法

污泥消化速率低的主要原因



污泥消化的技术瓶颈及解决办法

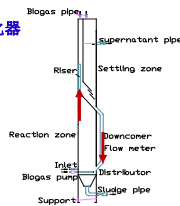
污泥消化速率低的主要原因



污泥消化的技术瓶颈及解决办法

内循环污泥厌氧消化器

- 升流式反应器
- 沼气回流强化传质
- 较强的抗冲击负荷能力，运行稳定



污泥消化的技术瓶颈及解决办法



• 预处理：60℃，40L
 • 反应器：55℃，210L
 • 接种污泥：
 无锡卢村污水厂中温厌氧消化污泥
 $SS=10.4g/L$ $VSS/SS=0.36$
 • 处理污泥：
 昆山某污水厂A/A/O工艺剩余污泥
 $VSS/SS=0.4-0.65$

**HRT=2+10.5d，VSS
 降解率为60.0%。**

污泥消化的技术瓶颈及解决办法



ICAD: 35度，6.5m³
 热水解温度55度
 种泥: 22.3 gSS/L
 $VSS/SS=0.56$

昆山某污水厂A/A/O工艺的剩余污泥， $VSS/SS=0.40-0.55$

预处理 HRT (d)	消化HRT (d)	VSS去除率 (%)
1	27	73.3
1	20	68.8
1	15	68.6
1	12	56.0
1	10	41.5

污泥消化的技术瓶颈及解决办法

厌氧消化推广的瓶颈：

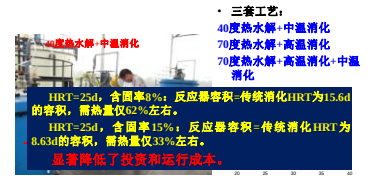
第二、厌氧消化加热能耗高

污泥消化的技术瓶颈及解决办法

- 加热能耗高
- 廉价热源（热泵）
- 高固消化（含固率8%以上）
- 共消化，提高产气量

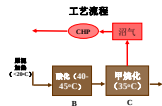


高固污泥厌氧消化中试（含固率8-15%）



- 反应温度高的，有机物去除率要高。
- 在相同HRT下，两级工艺的有机物去除率高于单级的去除率。

高固污泥厌氧消化示范工程（浙江宁海）



示范工程的能量平衡

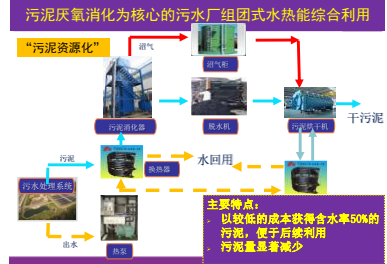
	输入能量(MJ/h)	沼气产量(MJ/h)	沼气(燃烧值)MJ/h	能量平衡(MJ/h)
冬季	1.21×10^6	0.35×10^6	1.27×10^6	0.41×10^6
夏季	0.88×10^6	0.35×10^6	1.08×10^6	0.55×10^6

能量完全能够自足！

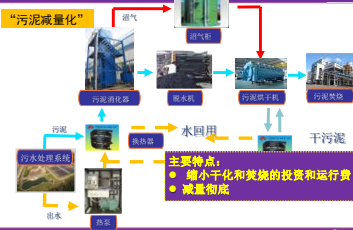
(中持和清华)

污泥消化的技术瓶颈及解决办法

厌氧消化的瓶颈：
第三、厌氧消化后污泥含水率高，还需
进行处理处置



污泥厌氧消化为核心的污水厂组团式水热能综合利用



污泥消化的技术瓶颈及解决办法

厌氧消化推广的瓶颈：
第四、运行管理难度大

污泥消化的技术瓶颈及解决办法

- 现场人员
一个硕士生 + 一个水电工



管对了，运行很简单！！

结语

综上所述，

- “污泥厌氧消化+（干化）+土地利用”有可能成为我国的主要污泥工艺路线
- 厌氧消化可作为预处理工艺与干化焚烧组合使用
- 当前已具备了厌氧消化推广的经济、技术等各方面的条件。



THANKS!

欢迎批评指正！

吴静
wu_jing@tsinghua.edu.cn
010-62789121
13801353077