

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: 高效厌氧消化和水质预警



关于我国污泥和污泥厌氧消化的思考 (2015年)

吴 静

wu_jing@tsinghua.edu.cn
2015年4月

提 纲

- 我国污泥现状
- 关于我国污泥工艺路线的思考
- 突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考
- 关于污泥厌氧消化工艺选择的思考

提 纲

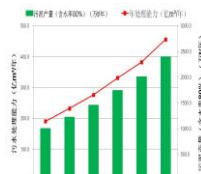
- 我国污泥现状
- 关于我国污泥工艺路线的思考
- 突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考
- 关于污泥厌氧消化工艺选择的思考

我国污泥现状

- 2014年, 已建成了**3622**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)。

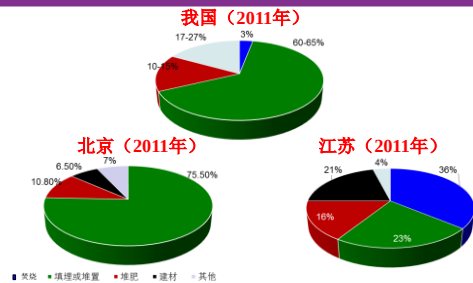
- 含水率高, 体积大
- 有机质含量高, 易腐败
- 病菌、寄生虫 (卵) 富集
- 含有重金属
- 含有二噁英等多环芳烃等

新的污染源



污泥处理处置已经成为我国最紧迫的环境问题之一。

我国污泥现状

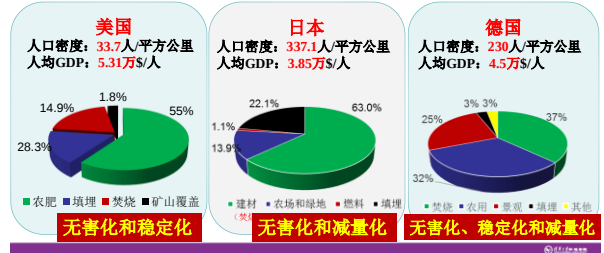


提 纲

- 我国污泥现状
- 关于我国污泥工艺路线的思考
- 突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考
- 关于污泥厌氧消化工艺选择的思考

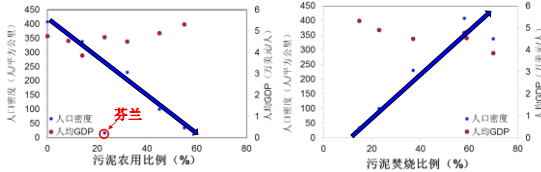
关于我国污泥工艺路线的思考

- 污泥处理的目标是**减量化、无害化和稳定化**。
- 污泥处理的目标是由处置决定的
- 污泥处置是由当地的经济、人口和地理等因素决定的



关于我国污泥工艺路线的思考

发达国家（人均GDP>3.8万美金）的污泥处理工艺



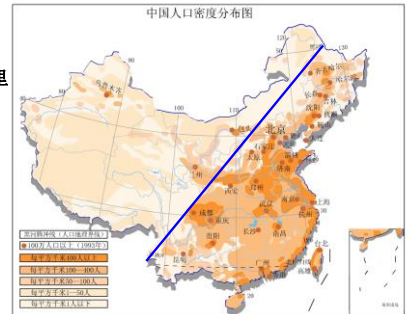
污泥农作的比例:
➢ 和人口密度的负相关性很显著

污泥焚烧的比例:
➢ 和人口密度的正相关性很显著

(来自德国 荷兰 奥地利 芬兰 比利时 美国 日本的统计数据)

关于我国污泥工艺路线的思考

人口密度:
139.5人/平方公里
0-683.5人/平方公里



关于我国污泥工艺路线的思考

2012年全国地级及以上行政区人均GDP数据示意图

人均GDP:
6747\$/人



- 资源化（尤其是土地利用）是我国污泥主要的处置方式。
- 焚烧在经济发达的人口稠密地区可能成为主要处置方式之一，并随着经济发展，在人口稠密地区的使用比例会逐渐增加。

关于我国污泥工艺路线的思考

- 污泥处置也与**污泥性质**有关

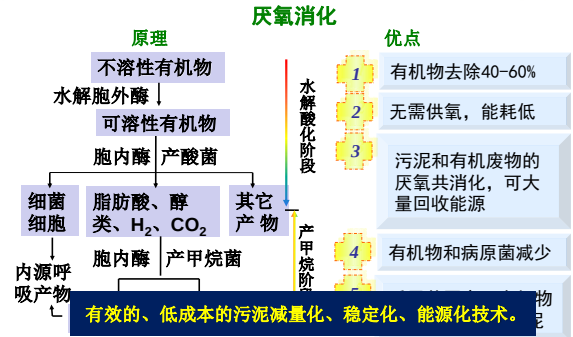


关于我国污泥工艺路线的思考



- 土地利用的污泥处理工艺:
 - 厌氧消化+深度脱水
 - 堆肥
- 焚烧的污泥处理工艺:
 - 厌氧消化+干化/焚烧

关于我国污泥工艺路线的思考



关于我国污泥工艺路线的思考



引入厌氧消化的优点:

- 缩小干化和焚烧规模
- ✓ 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, 可少建甚至不建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

关于我国污泥工艺路线的思考



• 厌氧消化+脱水+土地利用

奥地利Strass污水厂: 6万~25万PE
德国柏林的部分污水厂

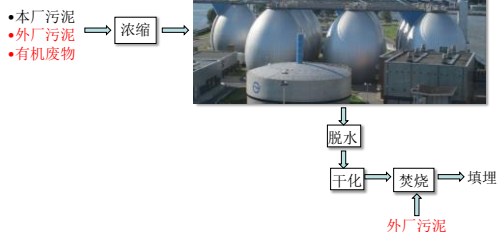


国外污泥厌氧消化的现状



• 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



关于我国污泥工艺路线的思考



• 厌氧消化+干化+焚烧工艺

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



关于我国污泥工艺路线的思考

• 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



关于我国污泥工艺路线的思考

- 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%**。



关于我国污泥工艺路线的思考

- 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泥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！

关于我国污泥工艺路线的思考

《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及污染防治技术政策(试行)》：鼓励**国家政策大力鼓励污泥厌氧消化！**沼气应综合利用。

为什么技术推广那么慢？

《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

提 纲

- 我国污泥现状
- 关于我国污泥工艺路线的思考
- **突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考**
- 关于污泥厌氧消化工艺选择的思考

突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考

厌氧消化推广的瓶颈 ---- 投资高、管理难

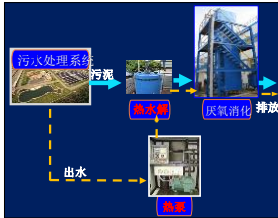
第一、厌氧消化本身反应慢，产气少

第二、国内消化引进技术不理想

第三、过程比较复杂，运行经验少，专业队伍薄弱

突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考

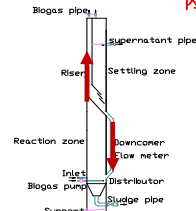
第一、厌氧消化本身反应慢，产气少
对策1：增加预处理和引入热泵



突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考

对策2：改善传质、开发新型反应器

内循环污泥厌氧消化器



- 沼气回流强化传质
- 较强的抗冲击负荷能力，运行稳定

60°C+高温消化

剩余污泥
VSS/SS = 0.4-0.65
HRT = 2+10.5d,
VSS降解率为
60.0%。

55°C+中温消化

剩余污泥VSS/SS
= 0.40-0.55
HRT = 1+15d, VSS降
解率为63.5%。

突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考

对策3：高固厌氧消化

小试 中试 示范工程

时间： 2009 2010-2011 2011-2012



突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考

高固污泥厌氧消化中试
(含固率8-15%)

40度热水解+中温消化

70度热水解+高温消化

70度热水解+高温消化+中温消化

高温消化

三套工艺：

40度热水解+中温消化

70度热水解+高温消化

70度热水解+高温消化+中温消化

HRT=25d，含固率8%：反应器容积=传统消化HRT为15.6d的容积，需热量仅62%左右。

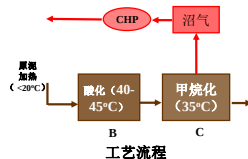
HRT=25d，含固率15%：反应器容积=传统消化HRT为8.63d的容积，需热量仅33%左右。

显著降低了投资和运行成本。

- 反应器温度间的，有机物去除率变同。
- 在相同HRT下，两级工艺的有机物去除率高于单级的去除率。

突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考

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(kJ/h)	加热能量(kJ/h)	沼气的能量(kJ/h)	能量净产出(kJ/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！

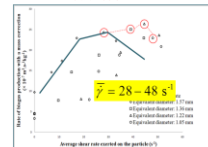
（中祥和清华）

突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考

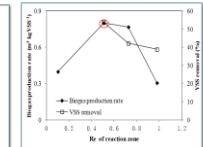
对策4：强化产甲烷的厌氧消化关键调控技术

通过水力调控，实现提高有机物去除率和沼气产率双优的目标

微观结果



大型反应器进行污泥消化的结果



污泥消化的Reynolds数在0.5-0.7为宜。

突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考



对策5：共消化

- 大连夏家河污泥厂：污泥+过期食品等
- 长沙污泥集中处理厂：污泥+餐厨垃圾
- 宁海污泥厂：污泥+粪便



突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考



第二、国内消化引进技术不理想

- ✓ 国内外污泥性质差异大
- ✓ 重视“硬件”引进，“软件”引进相对不足
- ✓ 运行人员专业水平与国外差异较大

对策1：掌握国内污泥性质

对策2：引进技术时，“硬件”和“软件”同时引进

对策3：重视专业人员的培养，尤其是高级技术人员



突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考



第三、过程比较复杂，运行经验少，专业队伍薄弱

过程复杂：

- ✓ 厌氧过程本身就是多步骤过程，产甲烷菌对pH、温度和有毒物质很敏感
- ✓ 厌氧消化工程的配套多：锅炉和加热系统，搅拌系统，回流系统，沼气贮存、净化、发电等，各系统差异大

对策1：污泥集中处理

对策2：加强控制自动化和控制自动化的专业化

对策3：行业层面，要强化相应专业的培训、成功运行经验的总结和及时推广，加强专业队伍建设等等

提 纲



- 我国污泥现状
- 关于我国污泥工艺路线的思考
- 突破污泥厌氧消化应用瓶颈的思考
- 关于污泥厌氧消化工艺选择的思考

关于污泥厌氧消化工艺选择的思考



几种污泥高固厌氧消化工艺：

中温厌氧消化

- 工艺简单
- 投资省

水热+污泥厌氧消化

- 消除了卫生风险
- 明显改善了脱水性能
- 明显改善了流动性能
- 有机物去除率高
- SRT短

低温热处理+污泥厌氧消化

- 卫生风险小
- 有机物去除率高
- 提高了净产气
- SRT短
- 工艺较简单

关于污泥厌氧消化工艺选择的思考



- 美国EPA的Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge (40CFR Part S03)

	粪大肠杆菌 (MPN)/TS	沙门氏菌 (MPN)/4g TS	细菌总数 (MPN)/TS
Solids A	1×10^3	3	
Solids B	2×10^6		2×10^6

- 我国污泥农用标准 (CJ/T309—2009)

序 号	控制项目	指 标
1	蛔虫卵死亡率	≥95%
2	粪大肠菌群值	≥0.01

关于污泥厌氧消化工艺选择的思考



几种污泥厌氧消化工艺：

中温厌氧消化

适合与焚烧结合

水热+污泥厌氧消化

适合经济发达地区、
最终处置为土地利用的
情况

低温热处理+污泥厌氧 消化

适合经济情况一般地区、
最终处理为土地利用的情
况



THANKS!

欢迎批评指正！

吴静

wu_jing@tsinghua.edu.cn

010-62789121

13801353077

© 2015 Tsinghua