

**各位领导、专家和同行好！**

祝贺第五届污泥高峰论坛在海口隆重召开

城镇污水处理厂污泥处理处置  
工艺技术路线的选择及稳定化的重要意义

唐建国 13061702548

上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司

2019年1月12日 海口

德国著名的 Klaus R.Imhoff教授在1993年说：

“Am meisten Schwierigkeiten bereitet uns der Klärschlamm. Er macht als Rohschlamm zwar nur 1% der behandelten Abwassermenge aus, verursacht aber rund 30% der Abwasserbehandlungskosten und 90% der Kopfschmerzen.”

**“最多的困难是污泥带给我们的，虽然原生污泥量仅为处理污水量的1%，但是处理成本要占污水处理厂成本的30%，并带给我们90%的头疼事”。**

Imhoff教授所说的头疼事：

——在德国是指设施的运行维护；

——对我们而言：**还有没地方建、处理产物没地方去！**

OUTLINES

报告  
大纲

- 一. 污泥处理处置面临的形势
- 二. 污泥处理与处置的关系
- 三. 污泥（处理产物）处置的基本要求
- 四. 污泥处理满足处置要求
- 五. 污泥稳定化处理的重要意义
- 六. 几点想法

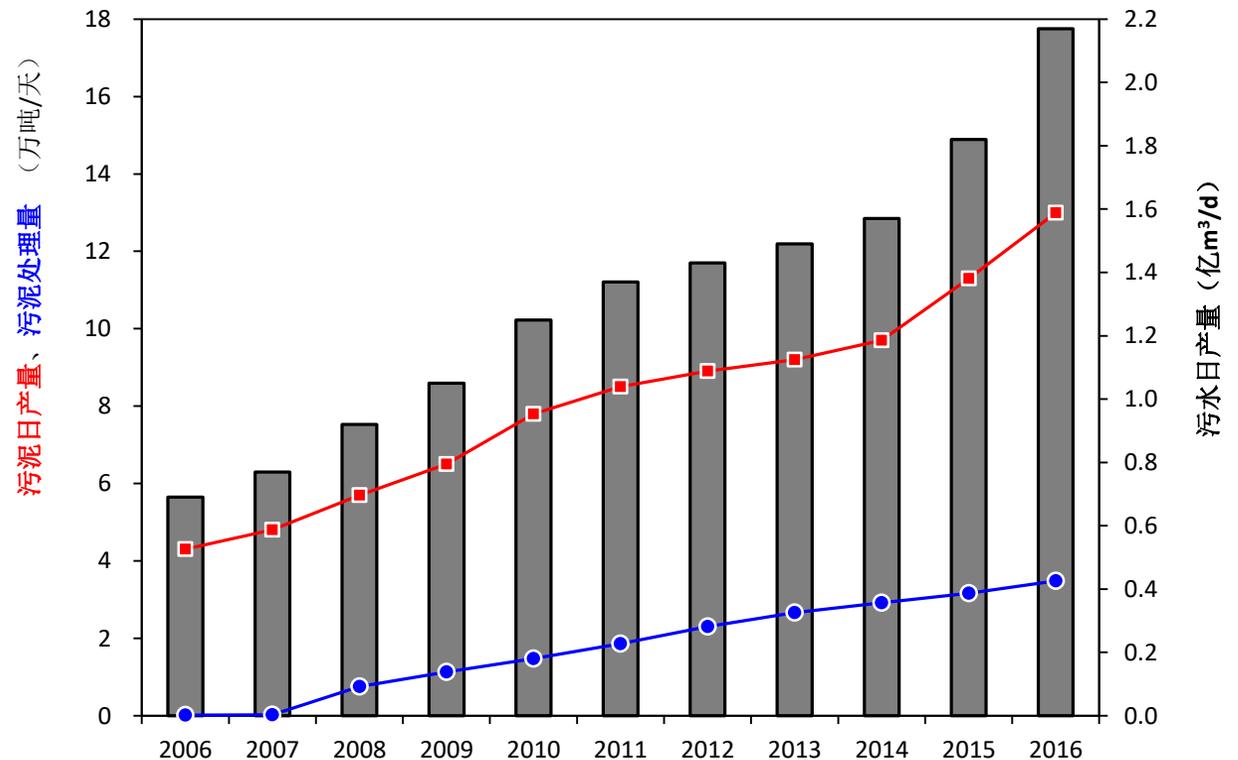


# 一、污泥处理处置面临的形势

# 一、污泥处理处置面临的形势

- 按照处理万立方米污水平均产生8立方米污泥计算（含水率80%），2017年我国日均处理污水量**1.89亿立方米**，污泥产量约为：**15万立方米/日**，折合干物质**量3万吨/日**。
- 实际处理量不足30%，实际处理量在4万立方米/日左右。
- 相差11万立方米/日。

——根据2017年国家住建部统计。



# 一、污泥处理处置面临的形势

## 1. 污泥处理需求差距大

### 三、投资估算与资金筹措

#### (一) 投资估算

“十三五”城镇污水处理及再生利用设施建设共投资约 5644 亿元。其中，各类设施建设投资 5600 亿元，监管能力建设投资 44 亿元。设施建设投资中，新建配套污水管网投资 2134 亿元，老旧污水管网改造投资 494 亿元，雨污合流管网改造投资 501 亿元，新增污水处理设施投资 1506 亿元，提标改造污水处理设施投资 432 亿元，新增或改造污泥无害化处理处置设施投资 294 亿元，新增再生水生产设施投资 158 亿元，初期雨水污染治理设施投资 81 亿元。“十三五”期间地级及以上城市黑臭水体整治控源截污涉及的设施建设投资约 1700 亿元，已分项计入规划重点建设任务投资中。

“十三五”期间，新增或改造污泥（按含水率 80% 的湿污泥计）无害化处理处置设施能力 6.01 万吨/日。其中，设市城市 4.56 万吨/日，县城 0.92 万吨/日，建制镇 0.53 万吨/日。

污泥处理投资仅占总投资：5.2%；

折合处理单位污泥投资：49 万元/立方米。

加上现有 4 万立方米/日，还相差 5 万立方米/日。为什么不敢说：**实现泥水同步处理？**

**按照处理单方污泥 100 万元计算，目前余 11 万立方米/日污泥全部处理——1100 亿元。**

**多么？？？**

# 一、污泥处理处置面临的形势

## 1. 污泥处理需求差距大

“十三五”主要目标及建设任务

指标		2015年	2020年	“十三五”新增
污水处理率 (%)	城市	91.9	95 其中：地级及以上城市建成区基本实现全收集、全处理	3.1
	县城	85	≥85 其中：东部地区县城力争达到90	/
	建制镇	/	70 其中：中西部地区建制镇力争达到50	/
污泥无害化处置率 (%)	城市	53	75 其中：地级及以上城市90	22
	县城	24.3	力争达到60	35.7
	重点镇	/	提高5个百分点	5
再生水利用率 (%)	京津冀地区	35.0	≥30*	/
	其中：北京	65.9	68.0	2.1
	其中：天津	28.5	30.0	1.5
	其中：河北	27.7	30.0	2.3
	缺水城市	12.1	≥20	7.9
	其他城市和县城	4.4	力争达到15	11.6
污水管网规模 (万公里)		29.65*	42.24	12.59
污水处理设施规模 (万立方米/日)		21744	26766	5022
污泥无害化处置设施规模 (万吨/日)		3.74*	9.75	6.01
再生水生产设施规模 (万立方米/日)		2653*	4158*	1505*

注：表中\*不含建制镇数据。

# 一、污泥处理处置面临的形势

- 为了强化对处理措施和处理后污泥管理，欧盟的相关污泥规章正在修改之中。
- 对重金属金属和持久性有机物的要求愈加严格。
- 不再允许未经处理，或者经过传统处理（如仅做到传统的厌氧消化，或者石灰稳定）的污泥不再允许进入土地。

# 2. 管理要求日趋严格

作物种类	未处理的污泥	传统处理的污泥	高级处理的污泥	
水果	×	×	√	10个月的收割间隔
色拉菜	×	×	√	
蔬菜	×	×	√	
园林盆栽	×	×	√	
用于化学合成和动物喂养的作物	×	√	√	
牧草	×	×	√	3周不开放牧场，不可收割牧草
草饲料	×	√	√	

- 新版《水污染防治法》第五十一条规定：“城镇污水集中处理设施的运营单位或者污泥处理处置单位应当安全处理处置污泥，保证处理处置后的污泥符合国家标准，并对污泥的去向等进行记录”。
- 新版《水污染防治法》第八十八条规定：“城镇污水集中处理设施的运营单位或者污泥处理处置单位，处理处置后的污泥不符合国家标准，或者对污泥去向等未进行记录的，由城镇排水主管部门责令限期采取治理措施，给予警告；造成严重后果的，处十万元以上二十万元以下的罚款；逾期不采取治理措施的，城镇排水主管部门可以指定有治理能力的单位代为治理，所需费用由违法者承担。”
- 污泥处理设施建设责任主体是政府，如果不建污泥处理设施怎么办？

- 受能源价格膨胀的影响，高耗能的处理工艺，如不带污泥厌氧消化的干化焚烧处理工艺将受到限制。
- 向污泥要能源已是大势所趋。
- 我国每年污泥产量950万吨（以干固体计），有机质按50%计，则含量约480万吨。
- 污泥厌氧消化产生的沼气是清洁的生物质能源——按照降解降解1kg有机质产生0.8标立方米沼气计算，降解率按照50%计算，可产生20亿标立方米沼气。
- 1标立方米沼气可发2.5度电，则每年可发50亿度电。

- 世界磷矿资源面临枯竭和市场磷的价格的不断上涨。
- 2008年比2006年增加了近8倍。世界各国愈加重视从污水和污泥中回收磷和氮的资源。
- 生物固体是非常好的氮磷来源，每kg城市污水处理厂污泥干物质中，含有24g的磷化合物和44g的氮化合物。
- 理论上，污水和污泥中所含的磷能够替代工业肥料的44%。

# 一、污泥处理处置面临的形势

## 4. 资源回收不断重视

### 污泥产量和其价值量

	Deutschland * 德国	EU <sub>27</sub> ** 欧盟27国	Welt geschätzt 2050***世界
Klärschlammmenge t TR/a污泥	2.000.000	9.866.000	150.000.000
Org. Trockenmasse 30% TR有机质	600.000	2.959.800	4.500.000
Stickstoff (N) 5 % TR氮	100.000	493.300	750.000
Phosphat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 6 % TR磷	120.000	591.960	900.000
Kalium (K <sub>2</sub> O) 0,4 % TR钾	8.000	39.464	60.000
Magnesium (MgO) 0,9 % TR镁	18.000	88.794	135.000

### 价值与风险

物质	市场价	原污泥价值 [€/tTR]	德国的价值潜力 [€/a] (82 Mio. E)	世界价值潜力 Welt €/a] (6 Mrd. E)
Phosphor (P)	1,41 €/kg P	40,15 €	96.125.183	7.033.549.975
Stickstoff (N)	0,54 €/kg N	20,42 €	48.890.655	3.577.365.000
Feststoffe (TS)	0,094 €/kg TS	93,60 €	224.115.840	16.398.720.000
→Σ = 369 Mio. €/a (D)				
→Σ = 27 Mrd. €/a (Welt)				
→bzw. 世界154 €/ t TR Rohschlamm				

VS.

—医药残留；—重金属；—有机有害物质；—病原菌；—内分泌物质等

污泥处理处置技术路线选择实际上就是在做价值与风险的博弈

- 日本更改了下水道的定义，新的下水道定义是：**收集从城市排放出的资源、能源并进行再生的设施。目标是：“创造健康水循环、资源循环的——循环之路的下水道”。**
- 2009年3月，日本修改了《社会资本建设重点计划》用下水道**生物质循环利用**率，取代了下水污泥循环利用率。2012年的目标是达到39%。
- 2008年下水道生物质循环利用率为23.4%，其中，沼气利用13%，污泥燃料0.7%，绿农地利用9.7%。

请教：有谁知道，达到了吗？

# 一、污泥处理处置面临的形势

- 对气候变化的影响不断受到关注。
- 除了技术经济分析外，碳足迹分析已成为比选和评价污水处理和污泥处理工艺技术路线的重要方法。
- 国外一方面愈加重视处理工艺“碳足迹”的分析，**今后将只支持具有可靠“碳足迹”分析数据的项目投资**；另一基于可持续发展，污水处理和污泥处理方面也积极研究和**发展能够适应气候变化影响的新工艺。**

# 5. 碳排放控制不断严格

各类污泥处理处置技术“碳足迹”数据表

排名	工艺	碳足迹 (吨二氧化碳当量/年)
1	热水解+厌氧消化+沼气利用+替代煤	-543
2	厌氧消化+沼气利用+填埋(填埋气利用)	-7
3	热水解+厌氧消化+沼气利用+土地利用	211
4	厌氧消化+沼气利用+堆肥+土地利用	439
5	厌氧消化+沼气利用+土地利用	957
6	替代煤(含水率10%)用于发电厂或水泥窑	1,295
7	堆肥+填埋(填埋气利用)	1,946
8	堆肥+土地利用	2,394
9	气化+能源回用	4,745
10	石灰稳定化+土地利用	4,879
11	焚烧+热能回用	5,857
12	填埋(填埋气利用)	6,232
13	厌氧消化+沼气利用+填埋(无填埋气利用)	6,314
14	热干化(65%含水率)+土地利用	7,572
15	堆肥+填埋(无填埋气利用)	8,269
16	热干化(40%含水率)+土地利用	10,044
17	填埋(无填埋气利用)	29,942

注意：绿色—碳中和或接近碳中和，琥珀色—中等碳排放，红色—高碳排放

## 二、污泥处理与处置的关系

## 二、污泥处理与处置的关系

污泥处理和处置是污泥进入环境之前和其处理产物进入环境之后的两个不同阶段。

### 污泥处置

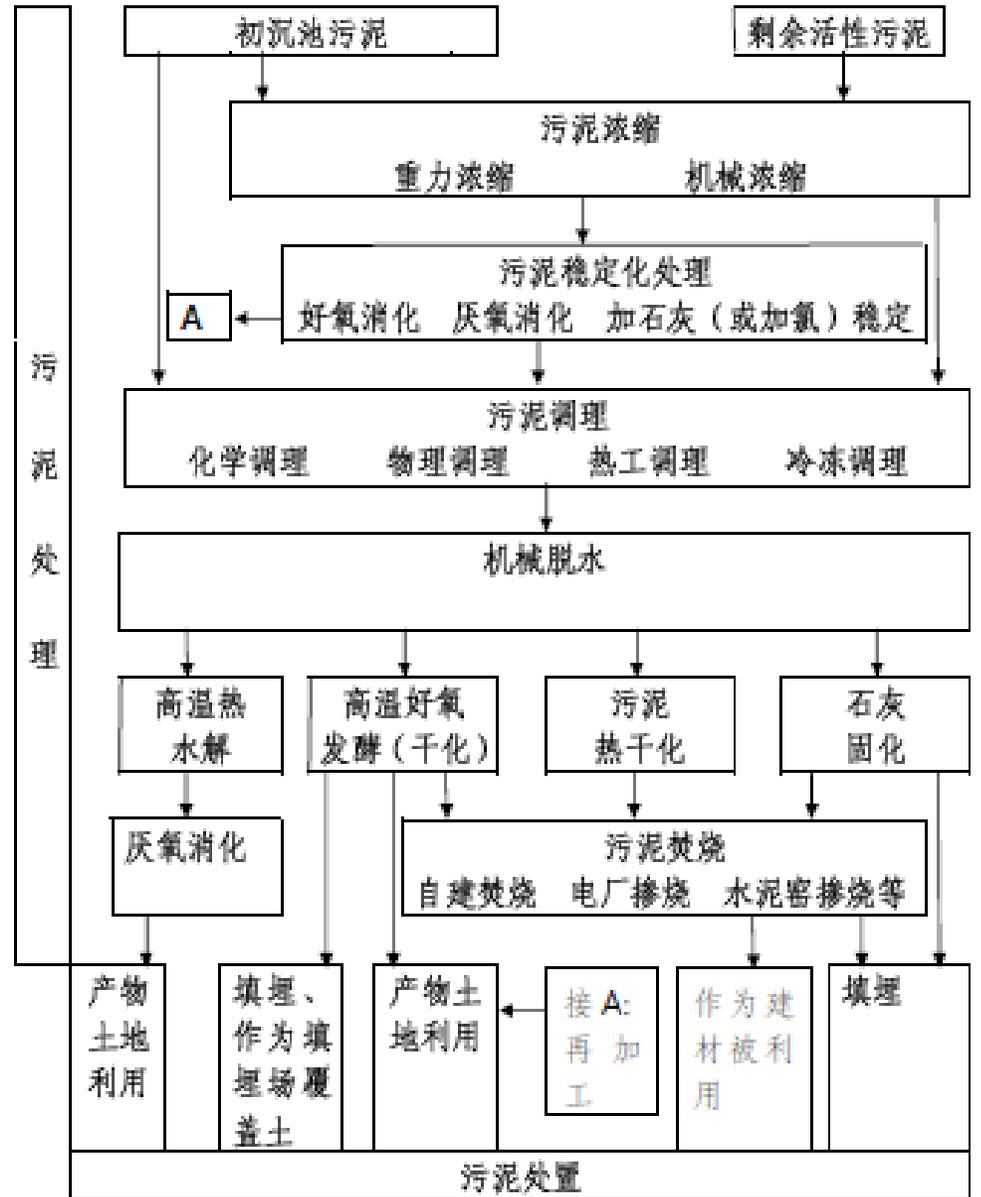
- **污泥处置**——是指处理后的污泥产物（而非原生污泥）在环境中的消纳方式；
- **处置方式有**——处理产物在土地中加以利用、以建材的形式被利用、在填埋场填埋等

### 污泥处理

- **污泥处理**——则是指为了满足污泥产物进入环境消纳要求，而要采取的的必要措施，以使其在处置中不会对环境产生有害的影响；
- 污泥处理主要包括污泥浓缩、污泥机械脱水、污泥稳定、污泥干化、污泥焚烧等等。
- 处理得当的污泥，在环境中处置时才会最大程度上避免有害影响的产生

## 二、污泥处理与处置的关系

- 污泥处理和处置作为解决污泥问题的两个不同阶段，既不能够混淆，也不能够替代。
- **两者的关系就是：处置决定处理，处理（产物）必须满足处置要求。**不同的处置方式，对应有相应的处理过程。
- 正如污水处理后才能够排放，不处理就会污染水体，更不能够被再利用。而处理到什么程度是按照接纳水体的要求，或者再生利用的要求来决定的。
- 同样，污泥只有做到满足相应处置要求的处理，才能够实现相应的安全处置。



## 二、污泥处理与处置的关系

污泥土地利用害死人!!!

### 特别说明:

- 处理的是污泥，处置的是处理后产物。
- 填埋不是处理，焚烧不是处置。
- 一定要计算处理后的产物量，处置是按产物量安排的。



这是一张上世纪90年代的照片。这位老伯伯说：“你们说污水处理厂污泥是好东西，我就用了，土地板结了、减产了……。”

——脱水污泥、聚丙烯酰胺、没有稳定化、不是处理产物。

### 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

### 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

- 虽然称**污泥处置**，但处置的对象不应是原生污泥，也不是仅做到浓缩和脱水处理污泥，而是**处置起码经过稳定化处理后产物**，也就是说：土地利用的至少应是有机土，建材利用的是可以用于路基、沟槽回填的灰渣，甚至是水泥等。
- 污泥经过一定的处理，与原生污泥相比，产物的形态已发生很大变化，甚至发生根本变化。

准确把握处置的处理产物这一点，是非常关键的。否则不是“走投无路”，就是“谈泥色变”。

### 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

- 如高温好氧发酵处理、（高温热水解）厌氧消化后的产物为有机土（或者生物炭土、园林绿化行业也称为营养土）；
- 焚烧处理后的产物为灰渣；
- 在水泥窑中掺烧后的产物为水泥等。
- 除此之外，**所处置的产物量与原生污泥量也是不同的**，如好氧发酵后的有机土量约仅为原生污泥量的50%；焚烧灰的灰渣量不足原生污泥量的10%。

- 土地利用是指——经过好氧发酵、（高温热水解）厌氧消化等稳定化处理后的产物——有机土（生物碳土）用于园林绿化、土壤改良，国外甚至用于农业。
- 土地利用概念在我国太宽泛，缺少与后续衔接；
- 好氧发酵、（高温热水解）厌氧消化等稳定化处理也是一个有机物向有机质转化的过程。如：产生腐殖酸——胡敏酸、富里酸等——腐殖酸是构成土壤基质的重要组成部分。
- 为什么《**农用污泥污染物控制标准**》（GB4284-2018），非要叫这个名字？为什么不能改成：《**污泥处理产物农用污染物控制标准**》？而且控制的就是产物，我们给自己找不痛快！！！

解释也没说明白

3.2

农用污泥 sludge for agricultural use

经过无害化处理达标后可用于耕地、园地、牧草地等城镇污水处理厂的污泥产物。

### 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

### 1. 土地利用的基本要求

- 土壤改良利用：
- 相关标准包括《农用污泥污染物控制标准》（GB4284-2018）、《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》（GB/T24600-2009）等；
- 园林绿化地和林地建设利用：
- 相关标准包括《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》（GB/T23486-2009）、《城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质》（CJ/T362-2011）等。

污泥处置方式	处置基本要求	要求的主要处理方法
土地利用	具有一定的养分：总养分[总氮(以 N 计)+总磷(以 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 计)+总钾(以 K <sub>2</sub> O 计)](%)>3%；有机物含量 25%。	1) 高温好氧发酵处理，一般必须经过温度为 60℃ 以上，持续 20 天以上的发酵周期。 2) 厌氧消化，处理后宜进一步好氧发酵，以消毒和进一步腐熟。
	腐熟度的要求：避免发酵后的污泥烧苗，对植物无抑制效应，种子发芽指数大于 60%。耗氧速率应小于 0.1(O <sub>2</sub> %)/min。	
	满足卫生学指标要求：粪大肠菌群菌值大于 0.01；蠕虫卵死亡率大于 95%。	
	防霉变的要求：处理后污泥含水率低于 40%。	
	有毒有害物质含量不超标：重金属不超过国家农用标准；有机有害物质得到消解。	必要时，投加腐植酸“钝化”重金属，投加专用菌降解有机有害物质。
满足相关产品标准的要求：如绿化用泥质、有机肥标准。	必要时，对发酵和消化污泥进行二次加工，使之满足相关产品要求。	

### 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

#### 1. 土地利用的基本要求

上海绿地对污泥好氧发酵产物的消纳量（吨/年）

相当于可以解决  
2000立方米/日  
(含水率80%)  
的原生污泥好氧  
发酵后的出路。  
——实际呢？

序号	用途	消纳量
1	现有绿地养护	181709
2	新建绿地	195000
3	盆栽花销售	1200
4	滩涂改良	10000
5	草坪建植、追肥等	50000
合计	发酵产物按照含水率 40%计	437909

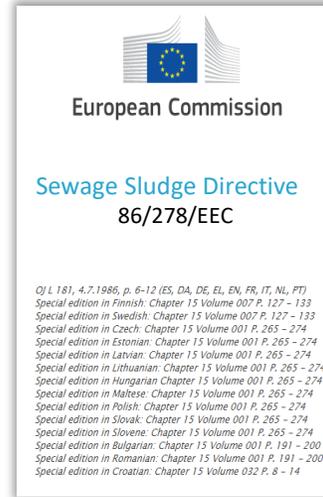
# 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

# 1. 土地利用的基本要求

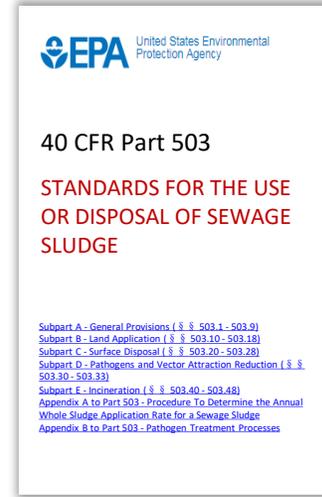
## 国际上污泥循环利用情况

- 美国：60%农业利用
- 英国：79%土地利用
- 丹麦、挪威：70%以上
- 法国：50%农业利用
- 澳大利亚：55%农业利用
- 奥地利：部分地区支持农用
- 荷兰、比利时：禁止农用
- 德国：2017年8月出台污泥法  
(AbfKlärV)，强制磷回收，减少土地  
利用，但仍有30%农用和景观用

### 欧盟 (1986)



### 美国 (1993)



### 我国(2009-2011)



## 土地利用是世界多国鼓励和常用的污泥处置方式



### 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

### 2. 填埋的基本要求

➤ 卫生填埋处置是把处理后的污泥产物，其具有一定的承载力，运到限定区域（填埋场）进行堆置。承载力是衡量处理产物填埋的根本性指标——横向抗剪强度 25kN/m<sup>2</sup>——用含水率小于50%是错误的。

德国对填埋污泥的性能要求一览表

参数名称	规定值		参数名称	规定值	
	I类填埋场	II类填埋场		I类填埋场	II类填埋场
横向剪切强度	25 kPa	25 kPa	单轴抗压强度	50 kPa	50 kPa
灼烧减量	≤3%	≤5%	水溶解物质	≤3%	≤6%
TOC	≤20 mg/l	≤100 mg/l	酚	≤0.2 mg/l	≤50 mg/l
砷	≤0.2 mg/l	≤0.5 mg/l	铅	≤0.2 mg/l	≤1 mg/l
镉	≤0.05 mg/l	≤0.1 mg/l	六价铬	≤0.05 mg/l	≤0.1 mg/l
汞	≤0.005mg/l	≤0.02 mg/l	铵氮	≤4 mg/l	≤200 mg/l

填埋	力学指标的要求：横向抗剪强度大于 25kN/m <sup>2</sup> ，轴向抗剪强度大于 50 kN/m <sup>2</sup> ，含水率小于 65%。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 采用石灰、或者无机药剂（铁盐、铝盐）调理，并采用板框脱水机脱水；</li> <li>2) 脱水污泥采用加石灰、固化剂等其他物质改性；</li> <li>3) 固态高温好氧发酵；</li> <li>4) 焚烧。</li> </ol>
	稳定化的要求：降低污泥中的有机物含量，以减少污泥在填埋场的发酵，减少温室气体产生量。 德国要求污泥的灼烧减量小于 3%~5%，即只允许灰渣填埋。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 厌氧消化；</li> <li>2) 好氧发酵；</li> <li>3) 焚烧（德国标准要求）。</li> </ol>

# 三、污泥（处理产物）处置的基本要求

## 2. 填埋的基本要求

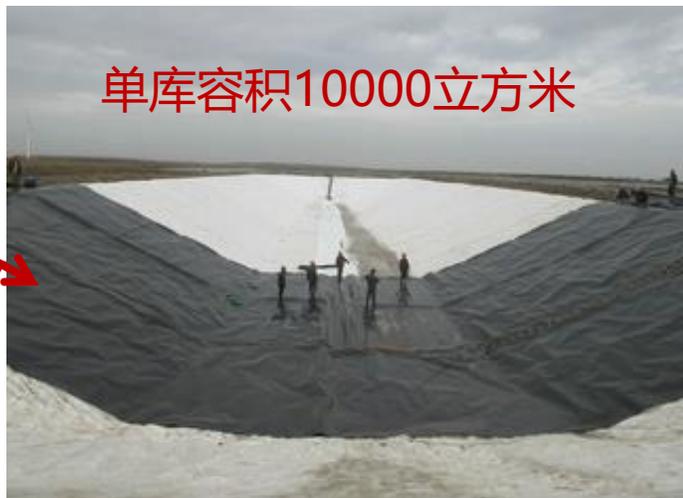
上海2005左右污泥在老港所谓“填埋”——晾晒（6万平方米）——臭不可闻！



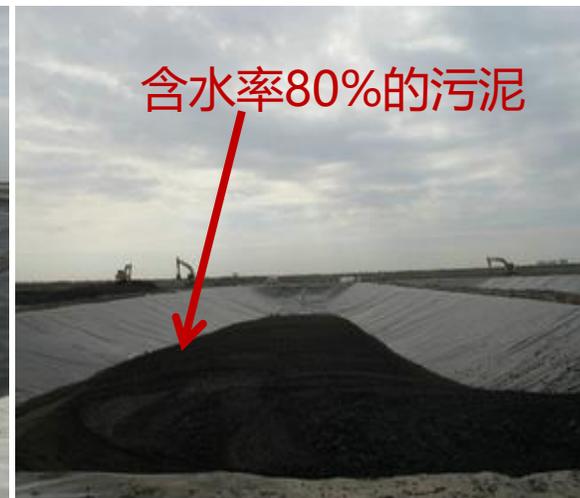
脱水污泥就这样堆在厂里



2007年陆续建了120个暂存库，已作为督查问题整改！



单库容积10000立方米



含水率80%的污泥

2007年建了规模1500立方米/日的深度脱水设施，23台2米板机，3台1.5米板机。



配方：石灰、三氯化铁、污泥、水

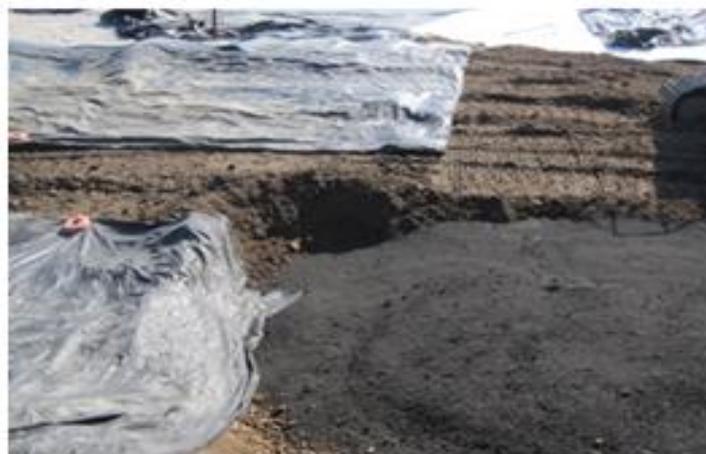
在专用填埋场填埋

操作人员说：宁肯加班管垃圾填埋，也不愿意管污泥填埋。污泥气味太不一样了——氨气！



上海深度脱水应急工程处理后污泥在老港填埋场填埋

问题：污水在通常情况下，是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ （铵氮），还是 $\text{NH}_3 - \text{N}$ （氨氮）？



- 填埋需占用大量的土地资源，并且污泥填埋并未最终避免环境污染，而只是延缓了污染产生的时间。污泥卫生填埋方式包括以下几种：

污泥与生活垃圾混合填埋、污泥与石灰混合填埋、污泥与矿化垃圾混合填埋、

污泥作为垃圾填埋场覆盖土——**都是坐在办公室想出来的!!!**

- 《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质》（GB/T23485-2009）**错误表述：**经过干化处理后，污泥含水率一般已低于45%，可直接作为垃圾填埋场日覆盖材料，不需要添加矿化垃圾进行改性。——**对吗???**
- **焚烧灰渣填埋需要专用填埋，不可以与垃圾混填。**

污泥的材料利用主要是指以污泥作为原料制造各种建筑材料，其处理的最终产物是以建材的形式，在各种类型建筑工程中使用。

污泥处置方式	处置基本要求	要求的主要处理方法
建材利用	无机化的要求：处理后的污泥不再含有有机物，使之成为初级建材产品、或者成为制作建材的骨料和成为建材产品。	<b>1)</b> 焚烧(灰渣用于制作建材)； <b>2)</b> 在热电厂炉中掺烧（其灰渣用于路基材料，或者用于作为制作建材的骨料）； <b>3)</b> 在水泥窑中掺烧，制成水泥等，以此为最佳。
	产品要求：满足路基材料、水泥、陶粒骨料，或者成为水泥等。	

主要的建材制品包括以下几种：

- 砖——直接压制的砖，肯定是胡说八道！烧制的砖，其尾气是否达标？环保能够过关吗？
- 水泥——以一定的比例和形式进入水泥窑炉中掺烧，其产品为水泥，是可行的。
- 陶粒——还是问问环保能够过关吗？
- 焚烧灰（布袋）——可以作为制作建材的原料，也只是试验。

## 四、污泥处理满足处置要求



## 四、污泥处理满足处置要求

- 污泥处理的对象是原生污泥。
- 处理目的就是使之成为满足所选择处置方式要求的产物。
- 污泥处理是由不同的污泥处理单元，根据处置要求组合而成的。
- 组合的基本原则就是，确保处理后的产物满足所选择的处置的要求。
- **业内有一个非常不好的现象——用单一技术来“包打污泥处理之天下”。**

## 四、污泥处理满足处置要求

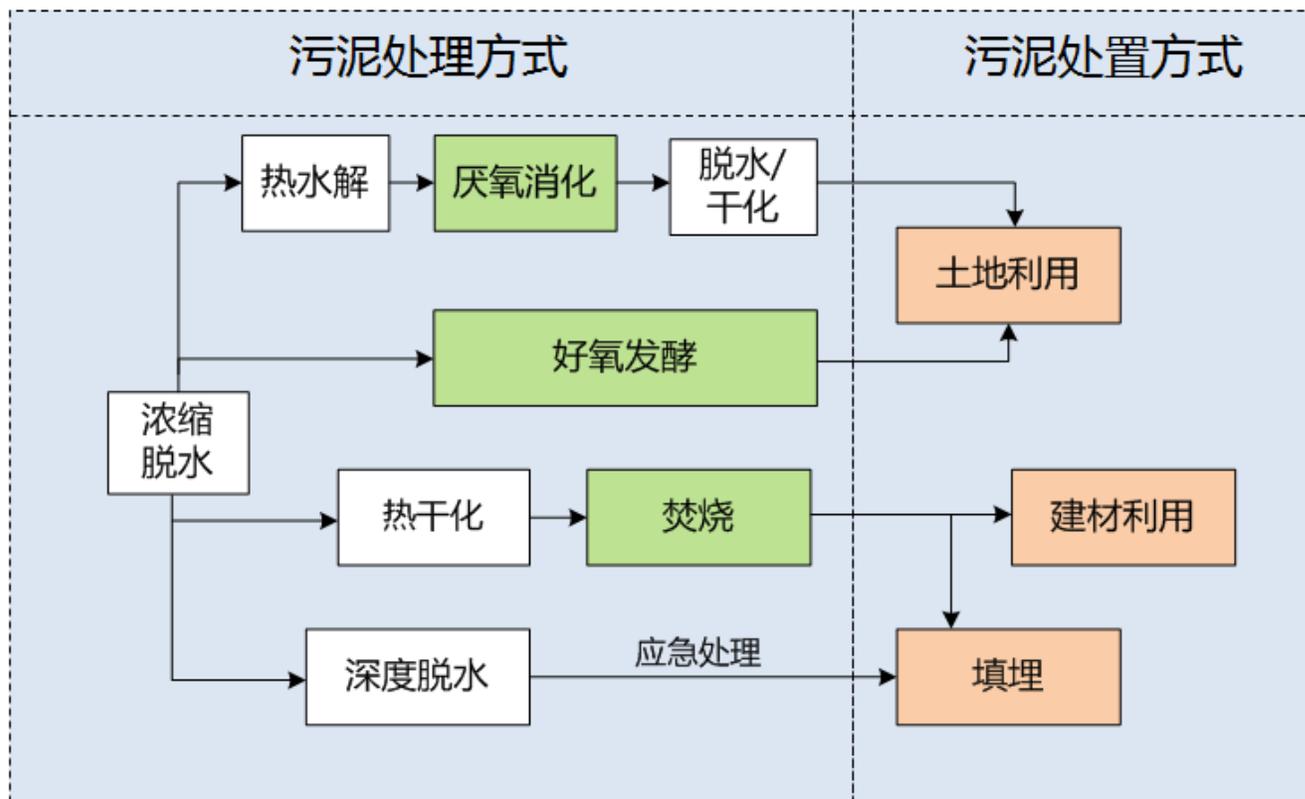
**在满足处置要求的前提下，污泥处理工艺的确定要体现：**

- **——以体积减量处理为基础；**
- **——以稳定化处理为核心；**
- **——以资源化利用为处置目标；**
- **——以对环境总体影响最小为宗旨。**

## 四、污泥处理满足处置要求

- 污泥处理与处置的关系：**处置决定处理，处理（产物）必须满足处置要求。**
- 处理的是原生污泥，处置的是处理后产物。

### 三条主流技术路线：



### 值得注意的是：

- 1、应急不能够替代主流；
- 2、土地利用概念在我国太宽泛，缺少与后续衔接；
- 3、焚烧不低碳。

# 四、污泥处理满足处置要求

## 污泥处理工艺的选择:

### 最基本和重要的处理工艺

参数	干化焚烧	热解碳化	厌氧消化	好氧发酵
作用原理	通过高温破坏污泥中的有机物和细菌、病原体	污泥中的有机质在加热和无氧条件下发生裂解, 转化为生物能源	利用厌氧微生物使污泥和有机物转化为生物能源	利用好氧微生物使有机物/污泥矿化、腐殖化
优点	处理效率高、占地小、无需长期贮存	不产生二噁英、固化重金属、高能量利用率和低能量损失	产生沼气能源, 污泥稳定化处理后可土地利用, 回收磷矿资源	处理成本低(60-80元/吨), 发酵产物可作园林绿化养殖土和土壤改良剂
缺点	投资及处理成本高(250-350元/吨), 且产生烟气、灰飞、二噁英等有害物	投资及处理成本高(300-400元/吨), 热解产物的利用受限制	投资及处理成本较高(150-250元/吨), 存在H <sub>2</sub> S的释放	发酵过程有臭气、气溶胶、病毒的散发, 环境影响差
适用场合	占地紧张、经济发达大城市, 或作应急处理方案	经济发达、能源紧缺的国家或地区	经济相对发达, 资源能源紧缺的城市或地区	土地资源丰富、土壤沙化、经济欠发达的地区
处置方式	填埋、建材利用	作低级燃料利用	土地利用或干化焚烧后建材利用	土地利用

## 五、污泥稳定化处理的重要意义

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

厌氧消化的主要目的是：

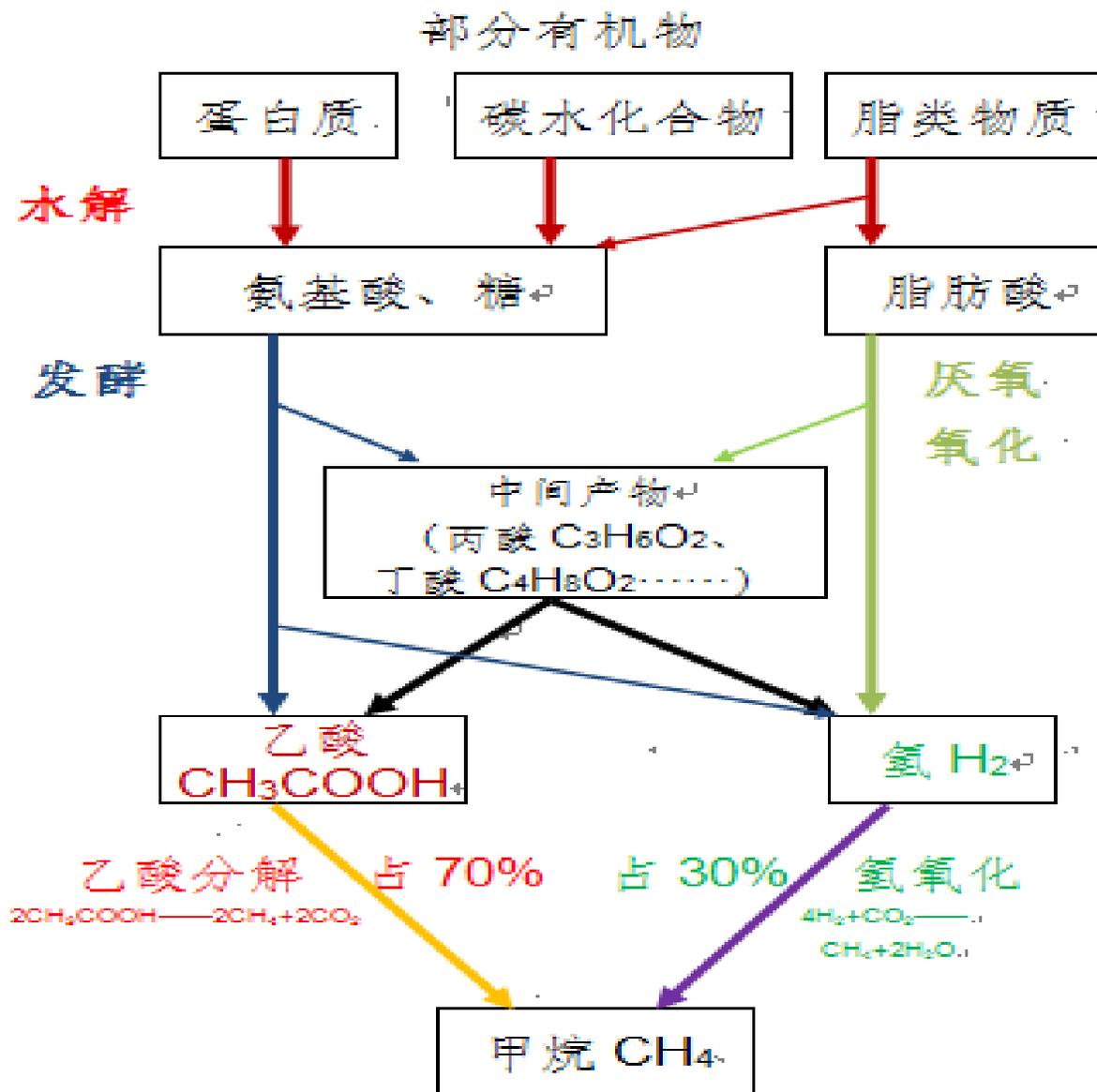
- 减少气味物质含量；
- 减少有机物的含量；

厌氧消化的次要目的是：

- 改善污泥脱水性能；
- 减少病原菌含量；

得到的产物是：

- 沼气和生物碳土，碳土产物土地利用。
- 能够得到生物质能源是厌氧消化处理与其它技术明显不同。



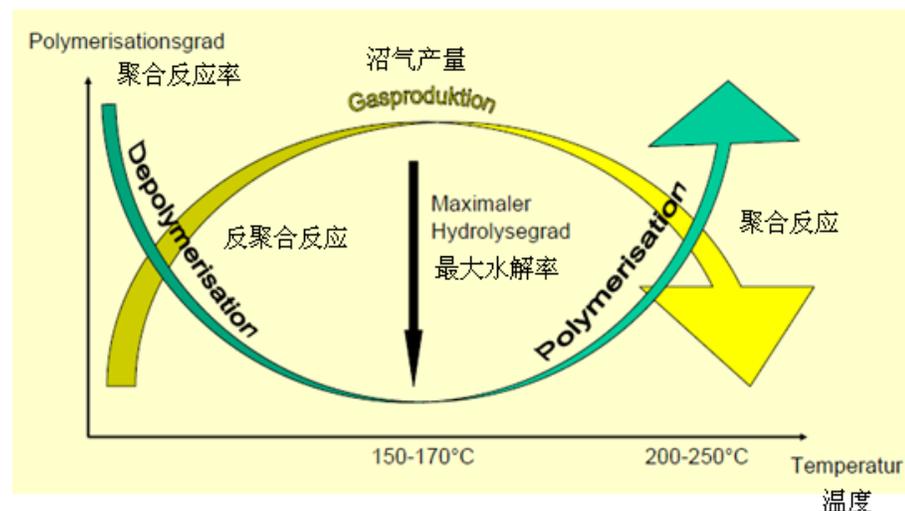
# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 高温热水解的作用:

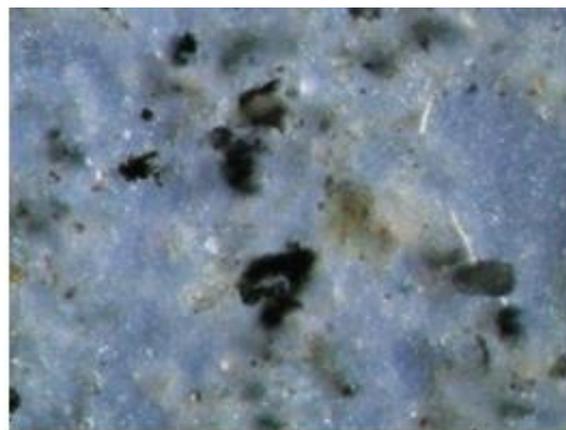
- ①水解以改善厌氧消化反应条件为目标，是一个预处理过程；
- ②分解不可降解，或者难降解的物质，如胞外聚合物 (EPS) ；

## 高温热水解效果:

- ①高温热水解提高了整个厌氧消化系统的效率。
- ②热水解、厌氧消化后污泥种树不生虫。



温度对水解的影响



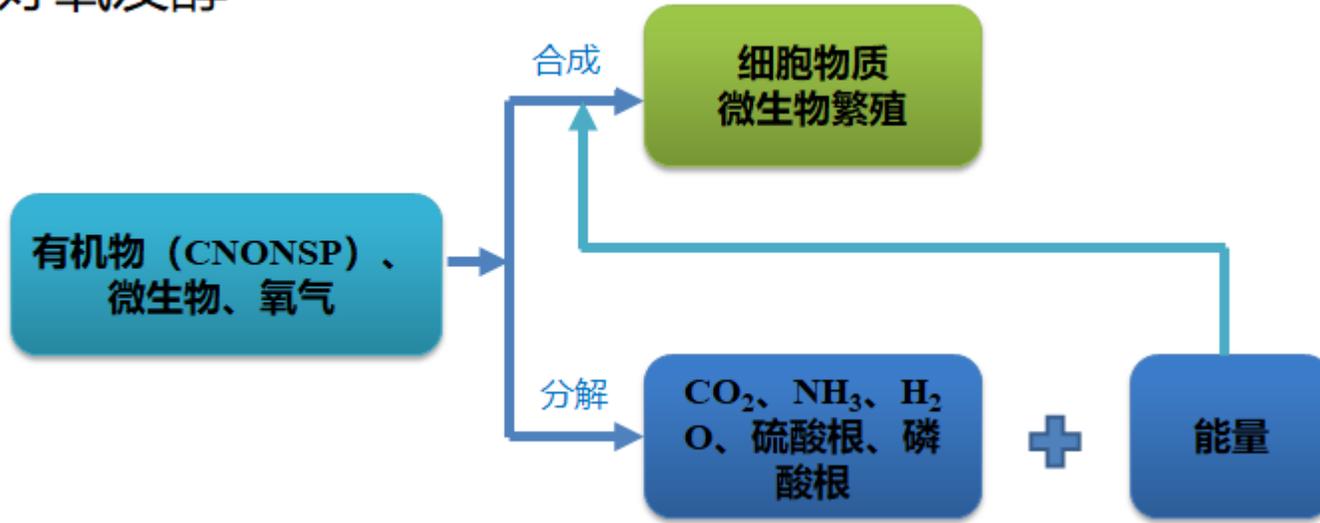
传统厌氧消化后的污泥：其大量的水分被凝胶结合在一起。



水解后的污泥：其凝胶结构被打破，凝胶在后续处理中被降解。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

- 好氧发酵

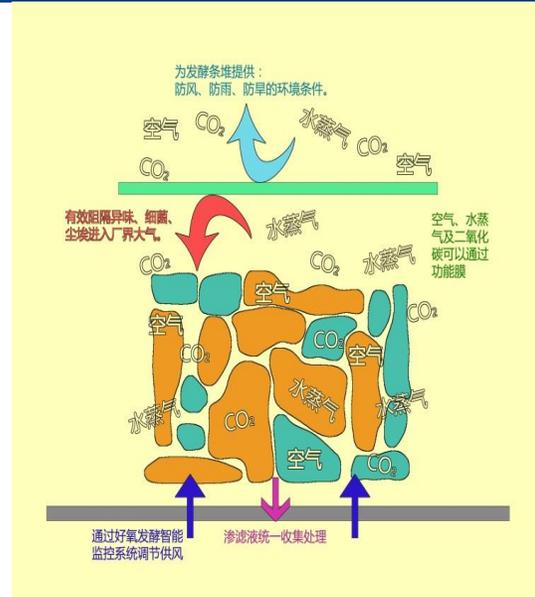


好氧发酵通常是指高温好氧发酵，是通过好氧微生物的生物代谢作用，使污泥中有机物转化成稳定的腐殖质的过程。代谢过程中产生热量，可使堆料层温度升高至55 °C以上，可有效杀灭病原菌、寄生虫卵和杂草种籽，并使水分蒸发，实现污泥稳定化、减量化——产物土地利用。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 膜覆盖好氧发酵:

- 利用其半渗透功能，为其覆盖区域提供一个较为稳定的气候环境，以保证水蒸汽和空气在发酵体中得到有效扩散；
- 在鼓风作用下，使堆体供氧充分，温度均匀，有效杀灭致病微生物使发酵物达到安全性指标，并大大减少有毒有害气体的排放；
- 发酵过程中，功能膜能有效阻止有害气体或物质以气溶胶的形式扩散至发酵体外，并以冷凝液的形式收集于覆盖膜内侧，使其溶解在膜内，直至返回到发酵体内，在微生物的作用下得到进一步的分解。



# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 存在问题：

### 1. 对稳定化处理的内涵认识不到位

德国DIN4045对稳定化的定义：为了进一步减少污泥产生气味的物质、固体物含量和改善脱水性质和减少病原菌的处理过程——处理后不再腐败发臭、微生物对稳定化处理产物的作用是缓慢的。

Verfahren der Schlammbehandlung u.a. zur weitergehend den Verringerung von geruchsbildenden Inhaltsstoffen , Verringerung der Schlammfeststoffe ,aber auch zur Verbesserung der Entwässerbarkeit und Verminderung von Krankheitserregern.

污泥的稳定化处理一方面是有机物的降解（多糖、蛋白质等的分解过程），另一方面是**有机物向有机质的合成**（多糖、蛋白质等分解的中间产物向对土地、植物、微生物等有益、稳定、有价值物质的腐殖酸转化的过程），**但这一过程有待进一步揭示**；

稳定化产物中的腐殖酸（包括富里酸和胡敏酸）是自然生态系统中重要的有机碳源，对土壤保水保肥、农林作物增产有重要意义，**但生物腐殖酸的价值尚未得到充分重视。**

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 存在问题:

### 2. 国内外衡量稳定化程度的标准欠合理

(a) 国内衡量稳定化的标准是**有机物降解率**(《室外排水设计规范》、《城镇污水处理厂污染物排放标准》等), 是不充分且不合理的, 比如好氧发酵加入大量辅料导致有机物降解率失去意义, 且未考虑进泥泥质的差异;

(b) 美国503法案对污泥稳定化程度的判定 (主要是病原体的控制) 采用**过程参数控制**, 如停留时间、反应温度等;

不充分&不合理, 比如好氧发酵加入大量辅料导致有机物降解率失去意义

表5 污泥稳定化控制指标

稳定化方法	控制项目	控制指标
厌氧消化	有机物降解率 (%)	>40
好氧消化	有机物降解率 (%)	>40
好氧堆肥	含水率 (%)	<65
	有机物降解率 (%)	>50
	蠕虫卵死亡率 (%)	>95
	粪大肠菌群菌值	>0.01

表1 美国503法案对病原体控制所规定的污泥处理工艺

A级污泥 (能有效降低病原体数量)	B级污泥 (能进一步降低病原体数量)
1. 污泥厌氧消化: 在15的水力停留时间下, 反应温度控制在35~55℃, 在20℃运行时水力停留时间需60d;	1. 污泥堆肥: 通过内置式通风管、固定式曝气管方式, 使污泥堆体温度在55℃以上保持3d以上, 在使用添加草料共同堆肥条件下在55℃以上连续运行15d以上; 在55℃条件下运行, 至少翻转5次;
2. 污泥好氧堆肥: 通过使用内置式通风管、固定式曝气管或者添加草料共同堆肥的方式, 使堆肥温度在40℃以上保持5d, 或55℃下每天保持4h, 至少连续5d运行;	2. 高温好氧消化: 污泥通过热空气或氧气搅拌维持稳定的反应温度和水力停留时间, 温度控制在55~60℃, 反应时间持续10d以上;

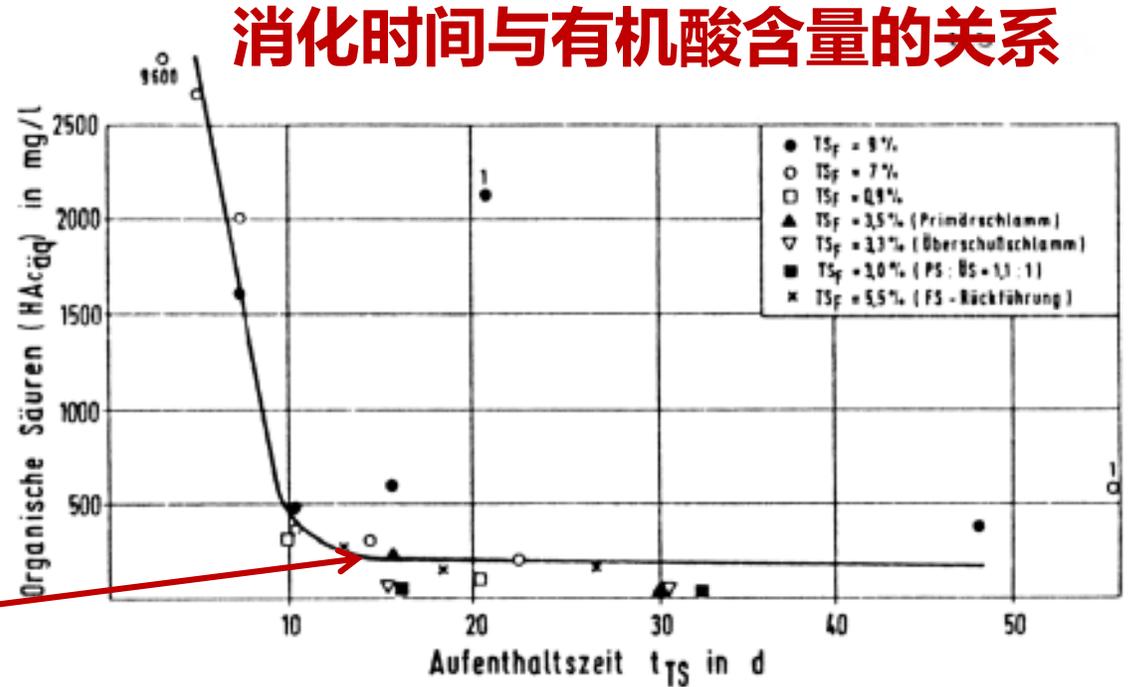
# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 存在问题:

### 2. 国内外衡量稳定化程度的标准欠合理

(c) 欧盟《污泥利用指导规程》规定：稳定化后污泥中**VS降低38%**，或稳定化污泥的**氧利用率**低于 $1.5 \text{ mgO}_2/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$ ;

(d) 有文献提出，用厌氧消化后污泥中的**有机酸含量**判断污泥稳定化程度（有机酸含量小于 $300 \text{ mg/L}$ 认为稳定）；



### 3. 稳定化处理产物的出路问题

对稳定化产物认识的不充分、处置过程潜在的环境影响，使得处理与处置未得到有效衔接。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

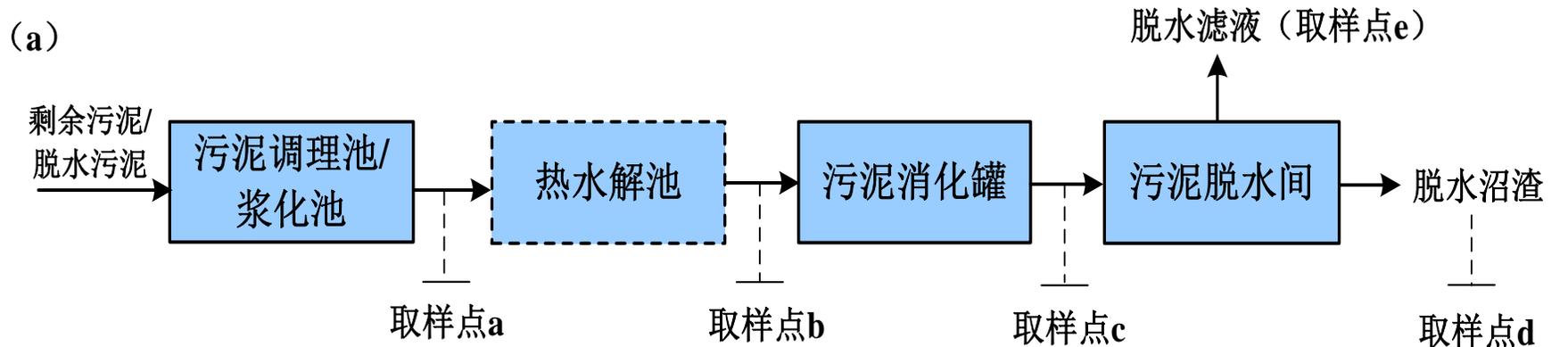
## 污泥样本来源:

污泥样本来自于全国十六座污水处理厂的污泥处理工程、城市污泥处理处置中心以及典型污泥处理工程。其中，7座采用厌氧消化处理工艺，5座采用好氧发酵处理工艺。

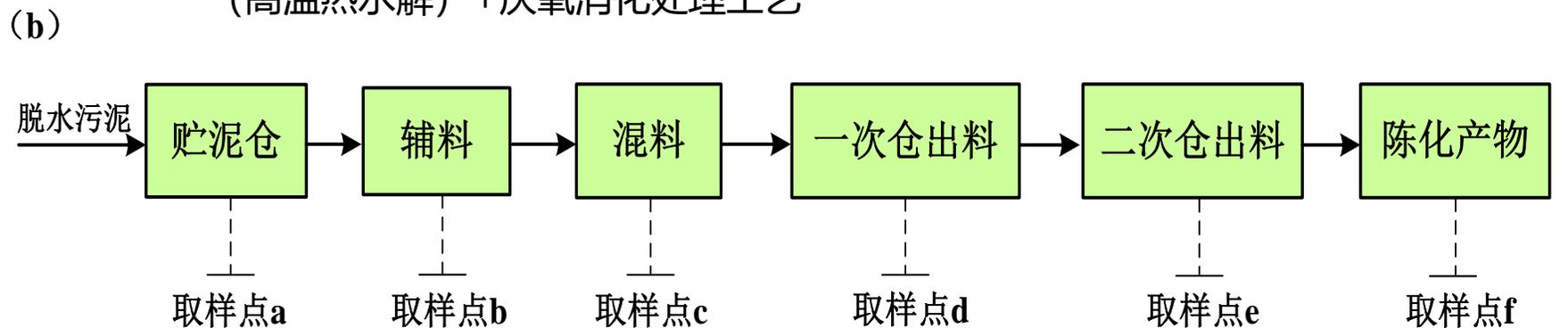
尝试揭示污泥稳

定化过程!

感谢梅晓洁博士!



(高温热水解) + 厌氧消化处理工艺



好氧发酵处理工艺

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 各厂进泥泥质:

厂名	处理工艺	含固率 (%)	含水率 (%)	有机物含量 (%)	
A1	厌氧消化	5.3	94.7	48.3	南方
A2	厌氧消化	16.0	84.0	59.1	北方
A3	厌氧消化	4.6	95.4	50.5	
A4	厌氧消化	15.3±0.8	84.7±0.8	69.7	
A5	厌氧消化	17.1±0.9	82.9±0.9	61.5	
A6	厌氧消化	11.4	88.6	64.9	
A7	厌氧消化	10.8	89.2	40.3	南方
A8	厌氧消化	15.6	84.4	52.7	北方
A9	厌氧消化	13.8	86.2	47.9	南方
B1	好氧发酵	14.9±2.5	85.1±2.5	73.5±1.5	北方
B2	好氧发酵	23.9	76.1	35.4	南方
B3	好氧发酵	26.8	73.2	36.9	
B4	好氧发酵	24.9	75.1	65.9	
B5	好氧发酵	18.9±1.3	81.1±1.3	66.1±0.2	南方
B6	好氧发酵	18.7	81.3	50.3	北方
B7	好氧发酵	19.3	80.7	51.6	

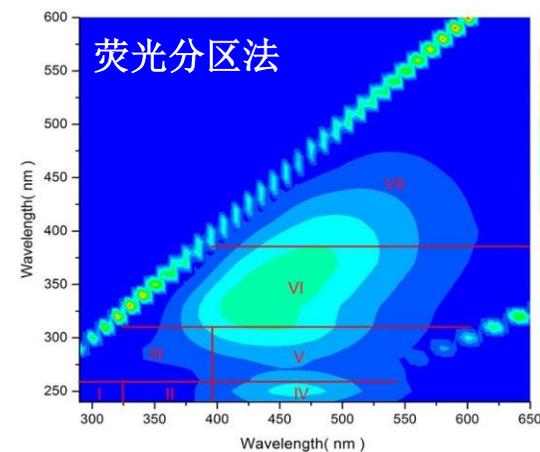
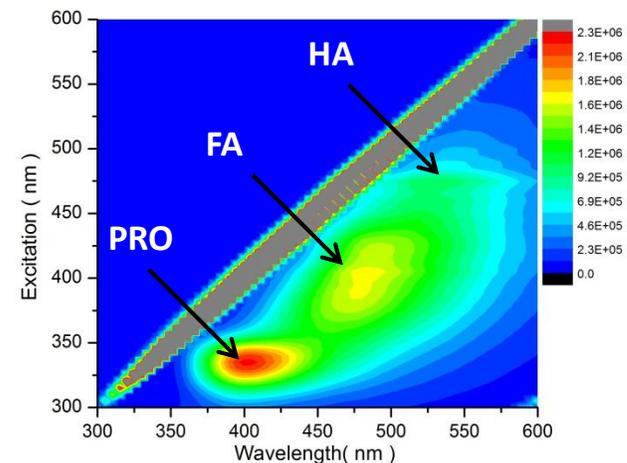
北方泥质:  
VS/SS  
50.3%~73.5%

南方泥质:  
VS/SS  
35.4%~52.7%

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 三维荧光图谱表征蛋白质和腐殖酸

- 蛋白质类和腐殖酸类物质是具有荧光特性的有机物，三维荧光（3D-EEM）图谱的半定量分析能将**蛋白质的减量**和**腐殖酸的增量**耦合起来。
- 3D-EEM采用三维荧光光谱仪（FluoroMax-4, Horiba, 日本）测定；
- 对于荧光光谱，通过荧光区域整合法（Fluorescence Regionalization Integration, FRI）进行分析；
- 在FRI法的基础上，参考Muller等的方法，借助Origin和ImageJ软件对光谱图进行半定量分析；
- **荧光复杂指数**（Complexity Index, CI），反映了**复杂有机物与简单有机物含量的比值**，也在一定程度上反映了物料中易生物降解组分（蛋白质类物质）的减少和复杂、稳定组分（腐殖质类物质）的增加，也称之为**荧光稳定化指数**。



$$V_f(i) = V_{imageJ}(i) \times \frac{\sum_{i=1}^2 S(i)}{S(i)} \quad \text{Complexity Index} = \frac{V_f(2)}{V_f(1)}$$

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 厌氧消化过程

表1 各厂厌氧消化进泥及产物特征分析

厂名	进泥泥质					产物性质					
	有机物 %	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl	有机物 %	有机物 减量%	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl
A1	48.3	164.8	51.8	75.8	0.7	46.3	7.9	151.8	44.8	122.2	2.0
A2	59.1	191.8	49.7	173.3	1.1	50.0	30.8	119.8	40.4	205.9	1.4
A3	50.5	156.4	83.8	113.0	2.0	50.1	1.6	134.5	80.8	137.6	2.2
A4	69.7	136.3	62.3	140.6	0.9	47.8	60.2	70.3	40.4	253.8	7.5
A4*	67.0	139.1	58.3	114.0	0.8	50.8	49.0	60.7	44.5	202.4	5.7
A5	61.5	148.9	56.1	184.2	1.3	46.1	46.5	73.1	41.0	277.0	6.6
A5*	63.5	159.5	55.6	125.3	0.9	50.7	40.8	78.4	35.3	194.0	5.5
A6	64.9	182.9	79.4	121.1	1.0	49.0	48.1	40.3	37.5	186.1	5.5
A7	40.3	141.8	68.0	112.8	0.6	29.5	38.0	76.3	71.9	146.1	1.0
A8	52.7	123.9	46.3	127.9	1.6	42.2	34.4	82.3	52.5	157.8	5.3
A9	47.9	108.4	83.3	108.5	0.9	40.8	25.1	98.1	86.5	105.4	1.0

注：A1-A3为传统厌氧消化处理工艺，A4~A8为高温热水解-厌氧消化处理工艺，A9为餐厨与污泥协同厌氧消化处理工艺。

\* 为二次采样。腐殖酸包括富里酸和胡敏酸。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 厌氧消化过程

表1 各厂厌氧消化进泥及产物特征分析

厂名	进泥泥质					产物性质					
	有机物 %	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl	有机物 %	有机物 减量%	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl
A1	48.3	164.8	51.8	75.8	0.7	46.3	7.9	151.8	44.8	122.2	2.0
A2	59.1	191.8				0	30.8	119.8	40.4	205.9	1.4
A3	50.5	156.4				1	1.6	134.5	80.8	137.6	2.2
A4	69.7	136.3				3	60.2	70.3	40.4	253.8	7.5
A4*	67.0	139.1				3	49.0	60.7	44.5	202.4	5.7
A5	61.5	148.9				1	46.5	73.1	41.0	277.0	6.6
A5*	63.5	159.5				7	40.8	78.4	35.3	194.0	5.5
A6	64.9	182.9	79.4	121.1	1.0	49.0	48.1	40.3	37.5	186.1	5.5
A7	40.3	141.8	68.0	112.8	0.6	29.5	38.0	76.3	71.9	146.1	1.0
A8	52.7	123.9	46.3	127.9	1.6	42.2	34.4	82.3	52.5	157.8	5.3
A9	47.9	108.4	83.3	108.5	0.9	40.8	25.1	98.1	86.5	105.4	1.0

1) 厌氧消化的九个厂中, 仅A4~A6厂有机物减量40%以上  
 2) A4~A6厂进泥有机物>60%且采用高温热水解工艺;  
 3) 进泥泥质和处理工艺影响有机物的降解率。

注: A1-A3为传统厌氧消化处理工艺, A4~A8为高温热水解-厌氧消化处理工艺, A9为餐厨与污泥协同厌氧消化处理工艺。

\* 为二次采样。腐殖酸包括富里酸和胡敏酸。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 厌氧消化过程

表1 各厂厌氧消化进泥及产物特征分析

厂名	进泥泥质					产物性质					
	有机物 %	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl	有机物 %	有机物 减量%	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl
A1	48.3	164.8	51.8					151.8	44.8	122.2	2.0
A2	59.1	191.8	49.7					119.8	40.4	205.9	1.4
A3	50.5	156.4	83.8					134.5	80.8	137.6	2.2
A4	69.7	136.3	62.3					70.3	40.4	253.8	7.5
A4*	67.0	139.1	58.3					60.7	44.5	202.4	5.7
A5	61.5	148.9	56.1					73.1	41.0	277.0	6.6
A5*	63.5	159.5	55.6	125.3	0.9	50.7	40.8	78.4	35.3	194.0	5.5
A6	64.9	182.9	79.4	121.1	1.0	49.0	48.1	40.3	37.5	186.1	5.5
A7	40.3	141.8	68.0	112.8	0.6	29.5	38.0	76.3	71.9	146.1	1.0
A8	52.7	123.9	46.3	127.9	1.6	42.2	34.4	82.3	52.5	157.8	5.3
A9	47.9	108.4	83.3	108.5	0.9	40.8	25.1	98.1	86.5	105.4	1.0

1) 采用高温热水解工艺的蛋白质减量明显高于传统工艺;  
2) 多糖的减量相对不明显, 如A9厂, 产物中的多糖反而增加, 采用有机物降解率作为稳定化判定指标值得商榷。

注: A1-A3为传统厌氧消化处理工艺, A4~A8为高温热水解-厌氧消化处理工艺, A9为餐厨与污泥协同厌氧消化处理工艺。

\* 为二次采样。腐殖酸包括富里酸和胡敏酸。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 厌氧消化过程

表1 厌氧消化各厂进泥泥质及产物特征分析

厂名	进泥泥质					产物性质						
	有机物 %	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	CI	有机物 %	有机物 减量%	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	CI	
A1	48.3	164.8	51.8	75.8	0.7	1) 厌氧消化处理后, 腐殖酸含量和CI指数均有不同程度地增加, 腐殖酸增幅24~117 mg/gVS; 2) A9厂协同餐厨餐厨废弃物厌氧消化, 在有效的消化时间内, 有机物降解不彻底。				122.2	2.0	
A2	59.1	191.8	49.7	173.3	1.1					205.9	1.4	
A3	50.5	156.4	83.8	113.0	2.0					137.6	2.2	
A4	69.7	136.3	62.3	140.6	0.9					253.8	7.5	
A4*	67.0	139.1	58.3	114.0	0.8					202.4	5.7	
A5	61.5	148.9	56.1	184.2	1.3					277.0	6.6	
A5*	63.5	159.5	55.6	125.3	0.9		50.7	40.8	78.4	55.5	194.0	5.5
A6	64.9	182.9	79.4	121.1	1.0		49.0	48.1	40.3	37.5	186.1	5.5
A7	40.3	141.8	68.0	112.8	0.6		29.5	38.0	76.3	71.9	146.1	1.0
A8	52.7	123.9	46.3	127.9	1.6	42.2	34.4	82.3	52.5	157.8	5.3	
A9	47.9	108.4	83.3	108.5	0.9	40.8	25.1	98.1	86.5	105.4	1.0	

注: A1-A3为传统厌氧消化处理工艺, A4~A8为高温热水解-厌氧消化处理工艺, A9为餐厨与污泥协同厌氧消化处理工艺。

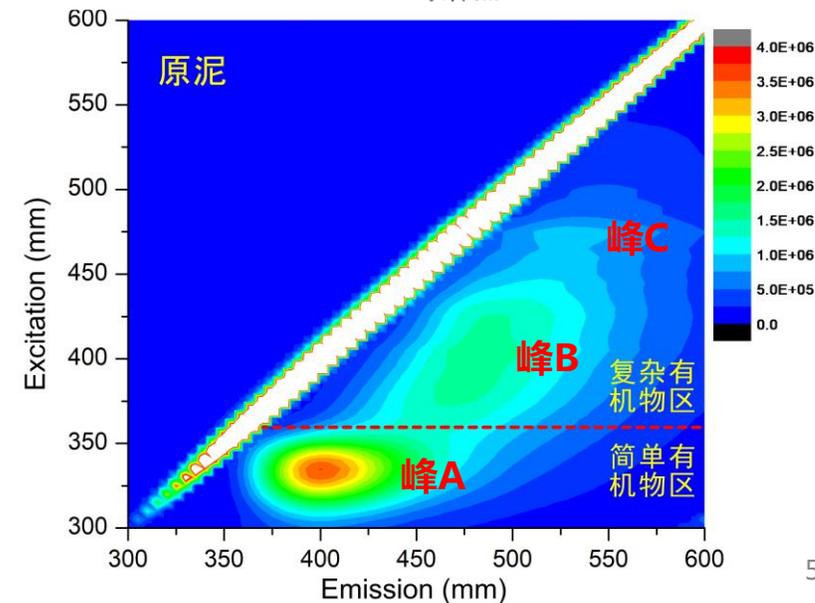
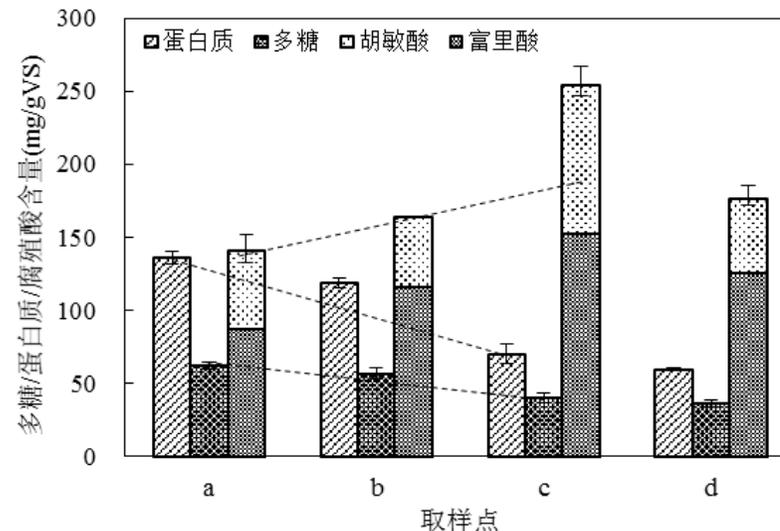
\* 为二次采样。腐殖酸包括富里酸和胡敏酸。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 厌氧消化有机物转化过程分析

以A4厂为例，采用“高温热水解+中温两级厌氧消化+板框脱水”处理工艺，处理规模100万m<sup>3</sup>/d。

- (1) 经热水解和厌氧消化后，蛋白质减量64.6%，多糖减量55.5%，腐殖酸增量23.8%，简单有机物向复杂有机物转化；
- (2) 经板框脱水后，14.2%的腐殖酸随脱水滤液带走，滤液中检测出多糖139.2mg/L和腐殖酸911.0mg/L，可作液态肥料；
- (3) 荧光谱图分析：热水解过程，简单有机物向富里酸转化；厌氧消化过程，简单有机物降解，同时富里酸逐渐转化、聚合成胡敏酸类物质；脱水滤液中，主要是富里酸和腐殖化中间产物；
- (4) 荧光稳定化指数：热水解前后CI指数变化不大，厌氧消化后，CI指数显著增加 (CI=7.5)，板框脱水后，CI指数回降至5.4，与腐殖酸变化规律一致。



# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 好氧发酵过程

表1 好氧发酵各厂进泥泥质及产物特征分析

厂名	进泥泥质					产物性质					
	有机物 (%)	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl	有机物 %	有机物 减量%	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl
B1	74.0	170.1	47.2	167.0	0.3	36.0	80.2	30.5	32.5	334.5	5.9
B2	35.4	178.6	60.9	245.3	0.7	41.0	-	41.0	80.6	145.9	3.2
B3	36.9	156.5	72.8	117.1	0.4	50.0	-	13.5	85.9	84.5	4.9
B4	65.9	172.7	80.4	153.0	0.8	48.8	50.7	41.4	64.5	242.4	10.6
B4*	64.0	148.9	84.1	110.4	0.8	46.8	50.4	21.0	65.1	216.0	27.1
B5	66.1	132.4	63.4	191.7	1.1	66.0	0.5	39.7	67.7	227.9	341.8
B6	50.3	159.2	68.8	132.1	0.7	37.9	39.8	31.6	47.4	226.3	84.9
B7	51.6	143.5	69.0	154.8	1.5	50.0	6.1	18.8	77.0	464.1	∞

注：“-”因加入辅料引入外源有机物，有机物减量率无法计算出，\*为二次采样。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 好氧发酵过程

表1 好氧发酵各厂进泥泥质及产物特征分析

厂名	进泥泥质					产物性质					
	有机物	蛋白质	多糖	腐殖酸	Cl	有机物	有机物	蛋白质	多糖	腐殖酸	Cl
	(%)	mg/gVS	mg/gVS	mg/gVS		%	减量%	mg/gVS	mg/gVS	mg/gVS	
B1	74.0	170.1	47.2			80.2		30.5	32.5	334.5	5.9
B2	35.4	178.6	60.9			-		41.0	80.6	145.9	3.2
B3	36.9	156.5	72.8			-		13.5	85.9	84.5	4.9
B4	65.9	172.7	80.4			50.7		41.4	64.5	242.4	10.6
B4*	64.0	148.9	84.1			50.4		21.0	65.1	216.0	27.1
B5	66.1	132.4	63.4			0.5		39.7	67.7	227.9	341.8
B6	50.3	159.2	68.8	132.1	0.7	37.9	39.8	31.6	47.4	226.3	84.9
B7	51.6	143.5	69.0	154.8	1.5	50.0	6.1	18.8	77.0	464.1	∞

1) 好氧发酵的七个厂中, 有机物降解率差异较大, 有些厂无法计算, 主要是由于大量辅料的加入;  
2) 好氧发酵的蛋白质减量明显高于厌氧消化, 产物中蛋白质的残余量也更低;

注: “-” 因加入辅料引入外源有机物, 有机物减量率无法计算出, \*为二次采样。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 好氧发酵过程

表1 好氧发酵各厂进泥泥质及产物特征分析

厂名	进泥泥质					产物性质					
	有机物 (%)	蛋白质 mg/gVS	多糖 mg/gVS	腐殖酸 mg/gVS	Cl	有机物 %	有机物 %	蛋白质 %	多糖 %	腐殖酸 mg/gVS	Cl
B1	74.0	170.1	47.2	167.0	0.3	36.0	-	-	-	334.5	5.9
B2	35.4	178.6	60.9	245.3	0.7	41.0	-	-	-	145.9	3.2
B3	36.9	156.5	72.8	117.1	0.4	50.0	-	-	-	84.5	4.9
B4	65.9	172.7	80.4	153.0	0.8	48.8	-	-	-	242.4	10.6
B4*	64.0	148.9	84.1	110.4	0.8	46.8	-	-	-	216.0	27.1
B5	66.1	132.4	63.4	191.7	1.1	66.0	0.5	39.7	37.7	227.9	341.8
B6	50.3	159.2	68.8	132.1	0.7	37.9	39.8	31.6	47.4	226.3	84.9
B7	51.6	143.5	69.0	154.8	1.5	50.0	6.1	18.8	77.0	464.1	∞

1) 好氧发酵后腐殖酸含量显著增加，产物中含量高于200 mg/gVS;  
2) B2和B3厂，因进泥有机物含量低于40%，添加了大量辅料，产物中腐殖酸含量“被稀释”。

注：“-”因加入辅料引入外源有机物，有机物减量率无法计算出，\*为二次采样。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 好氧发酵过程有机物转化过程分析

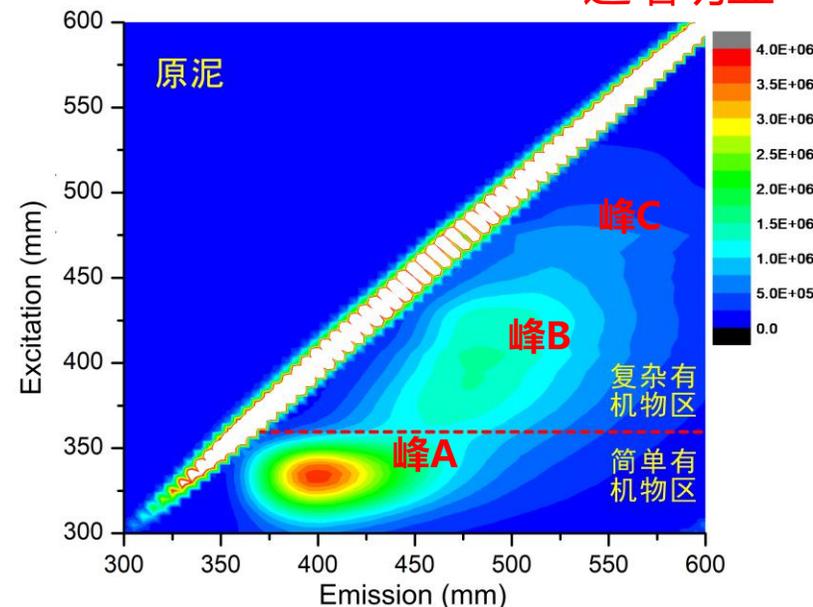
以B4厂为例，处理规模600 t/d，采用蘑菇渣作辅料，混合比例为回料：原泥：辅料 = 2:1:0.2，一次仓发酵14天，二次仓发酵20天，共计34天（冬季）

- 发酵过程蛋白质减量显著，多糖减量明显但不彻底，这主要是由于辅料的加入，引入的多糖（以纤维素为主）所致；
- 经过发酵和陈化后，腐殖酸增量28.0%；从腐殖酸组分上来看，经过一次发酵，富里酸增加，经过二次发酵和陈化，富里酸减少，胡敏酸增加，说明好氧发酵过程是富里酸合成、转化并聚合成胡敏酸的过程，且**陈化是重要的腐殖化过程**。
- 荧光图谱分析佐证了这一过程：一次发酵，多糖蛋白质等降解，合成富里酸；二次发酵过程，富里酸缩合成腐殖化中间产物和胡敏酸；陈化过程，腐殖化中间产物聚合成大量胡敏酸。

好氧发酵过程污泥中有机物成分分析

mg/gVS	蛋白质	多糖	腐殖酸	富里酸	胡敏酸
原泥	172.7	80.4	153.0	125.5	27.5
辅料	24.4	57.1	214.3	112.3	102.0
混料	160.2	73.0	178.8	127.0	51.7
一次仓出料	45.9	67.8	226.8	173.6	53.0
二次仓出料	41.4	64.5	242.4	172.5	69.9
陈化产物	50.7	60.4	305.7	182.9	122.7

递增明显

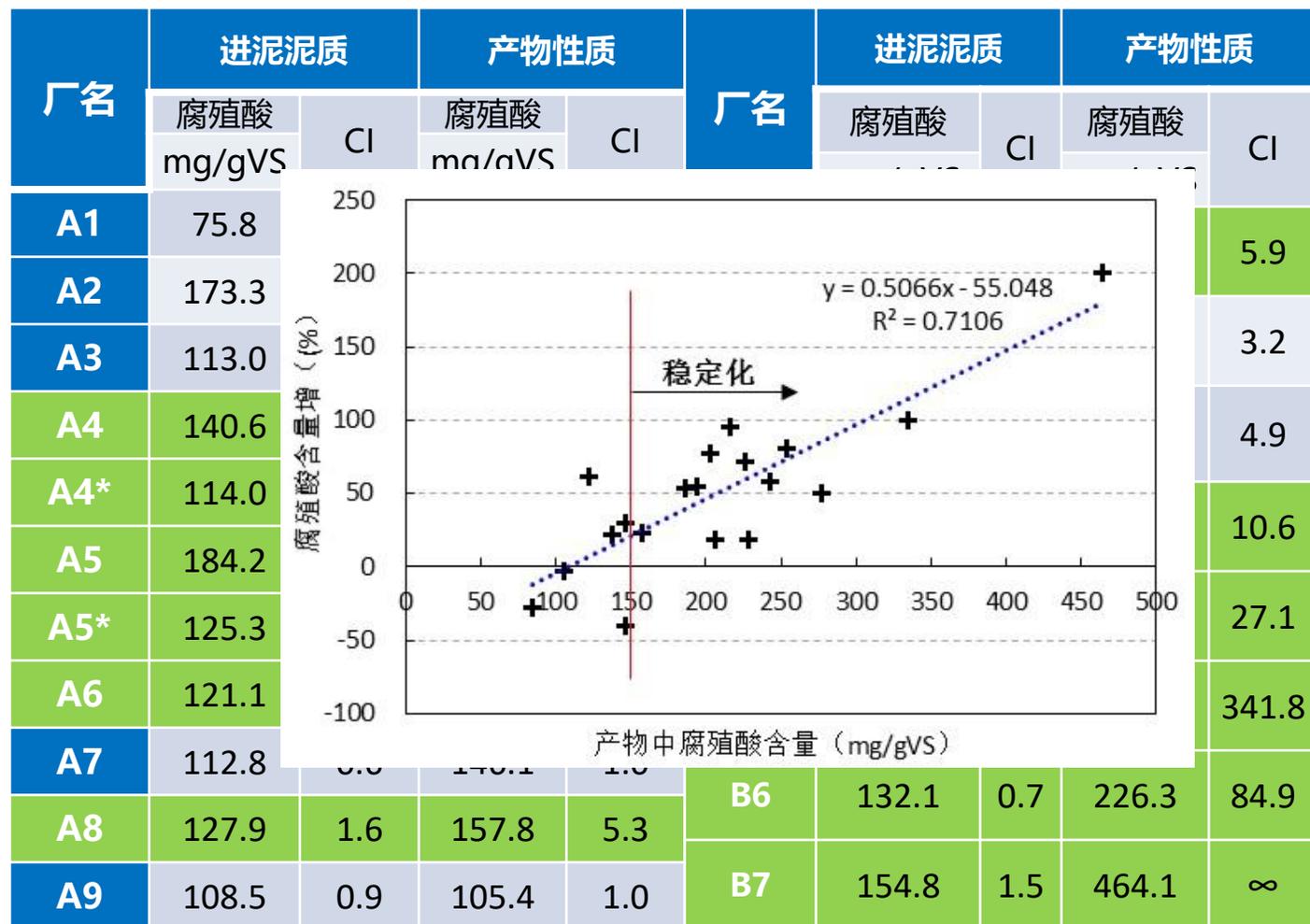


# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 污泥稳定化程度的判定方法：

结合各厂的实际运行情况，利用统计学分析方法，初步得出，当稳定化过程腐殖酸含量增幅大于20%，产物中腐殖酸含量高于150 mg/gVS，此时，CI指数大于5.0。

- **腐殖酸含量**：反映产物的价值
- **CI指数**：反映蛋白质的降解程度和腐殖酸的合成率



# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 污泥稳定化程度的判定方法：

1. 稳定化产物中的腐殖酸总量，富里酸和胡敏酸之和 $\geq 150$  mg/gVS；
2. 稳定化产物的荧光稳定化指数 $\geq 5.0$ ；

认为厌氧消化或好氧发酵达到稳定化水平，否则未达到稳定化水平。

## 优点：

1. 充分考虑了简单有机物的降解和复杂有机物的合成；
2. 充分体现了稳定化产物的生态利用价值（生物腐殖酸）；
3. 有效避免了进泥泥质的差异和添加辅料的影响。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

**经厌氧消化、或者好氧发酵处理后的稳定化产物**（又称之为有机炭土、生物炭土）因富含有机质、腐殖酸、微量营养元素、多种氨基酸和酶类等，被认为有重要的土地利用潜力。其中，腐殖酸是一种富含多种活性含氧官能团的大分子有机物。

## 1、腐殖酸的分类

腐殖酸按其在环境中的形态又分为富里酸和胡敏酸。

**富里酸**——是一类水溶性的小分子腐殖酸，在土壤中有较好的扩散性和渗透性，可被植物直接吸收利用；

**胡敏酸**——是一类非水溶性的大分子腐殖酸，化学结构相对稳定，在土壤中的迁移性较差，不能被植物直接吸收利用，但在固定、储存营养元素、改善土壤肥力等方面发挥着重要功能。

# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 2、腐殖酸在地球化学中的重要性

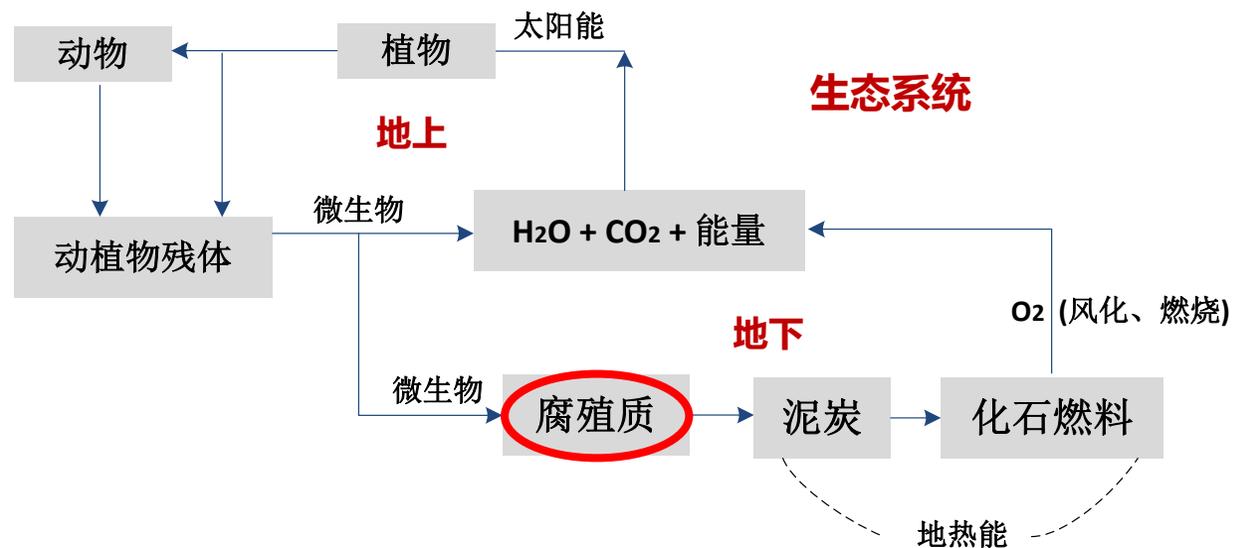
- 在碳循环中，腐殖酸是动植物残体回归自然生态系统的中间介质，是能量交换的载体，也是化石能源（煤、石油、天然气）形成的前驱物。
- 污泥的稳定化过程是模仿自然过程，用工程化手段实现了微生物残体、有机物向腐殖酸的转化，促进了腐殖酸在地球化学中的碳循环。

### 注：

东北黑土地的有机质中有32%的腐殖酸；

**稳定化处理后的沼渣、发酵物**的腐殖酸占总有机质的10-20%。

这些有机质、腐殖酸、微量营养元素、多种氨基酸和酶类等，能起到改良土壤的作用，有重要的土地利用价值。



# 五、污泥稳定化处理的重要意义

## 3、腐殖酸对土壤生态系统的作用

- **土壤结构的稳定剂**：腐殖酸的胶体性能改善土壤的团粒结构，使土壤吸水量增大，透气性增强，孔隙度和持水量增加，有助于提高土壤的保水、保肥能力，从而改善作物的土壤环境。
- **土壤的改良剂**：腐殖酸含有较多的活性基团，盐基交换容量大，能够吸附土壤中更多的可溶性盐，同时阻碍较大数量的有害阳离子，降低土壤盐浓度和酸碱度，达到酸碱平衡，从而起到改良盐碱土壤的作用。
- **重金属的固定剂**：腐殖酸含有多种类的活性基团，与重金属离子、放射性核素以及芳香化合物等物质发生吸附、离子交换、氧化还原、络合螯合等各种物理化学反应，对转化和降解污染物，净化土壤环境起重要作用。
- **微量元素的溶解剂**：腐殖酸可以与中、微量元素发生螯合反应，生成溶解性好、可被植物吸收和利用的螯合物，从而有利于植物对其吸收和利用。
- **植物养料的仓库**：腐殖酸虽不能被植物吸收利用，但在固定、储存营养元素方面有重要作用。

## 六、几点想法

# 六、几点想法

## 1、处理工艺选择的原则——四句话

### 第一句：污泥体积减量是污泥处理的基础

只有把污泥中的水分降下来，才能够降低设施规模、投资和运行成本。

讨论：目前流行的加三氯化铁、石灰——板框压滤是否是降低含水率的正确方法？？？

——作为以“临时，或者应急”时期的填埋处置的处理是合适的；

——为了减少运输压力，在各厂内进行这种方式的深度处理是不合适的

原因：

- ① 因有三氯化铁，对焚烧和稳定化产物利用都有问题；
- ② 其性状没有与后续处理要求结合起来；
- ③ 这种深度脱水的方式，导致生产过程中大量的氨气释放，臭气处理费用较高，否则对环境影响较大；

**体积减量是污泥处理的基础，但前提是不能影响后续处理。**

# 六、几点想法

## 1、处理工艺选择的原则

**第二句：污泥稳定化处理是污泥处理的核心**——污泥稳定化处理是污泥处理的核心，没有稳定化处理，就不算是污泥处理。

### **第三句：污泥处理产物资源化利用是处置目标**

国家发布的《水污染防治行动计划》和《2015年循环经济推进计划》等文件要求：

——污水处理设施产生的污泥应进行稳定化、无害化和资源化处置。

——推广污泥经厌氧消化产沼气或好氧发酵处理后资源化利用，并且按照国家有关标准用于土壤改良、园林绿化等。

——禁止处理处置不达标的污泥进入耕地。

国家政策明确了处理产物资源化利用和达标可进入土地的处置方式，为处理产物的资源化利用提供了政策保障。我们应当抓住当前国家政策利好的难得机遇，加快实现污泥处理处置向“资源化”的转型升级。

# 六、几点想法

## 1、处理工艺选择的原则

### 第四句：以对环境总体影响最小为宗旨

——污泥处理处置是系统工程，必须要综合考虑水、气、产物等对环境的综合影响。

——日本为什么要积极推进“污泥碳化”技术，其中焚烧会产生较高“碳足迹”和NOx是考虑重要因素之一。

### 上海污泥处理处置技术路线优化研究：

A方案：原污泥直接干化焚烧

B方案：厌氧消化+干化焚烧

C方案：热水解+厌氧消化+干化焚烧

角标1：指干化到自持燃烧的含固率

角标2：是指干化到含固率70%

绿色：不含溢出性排放

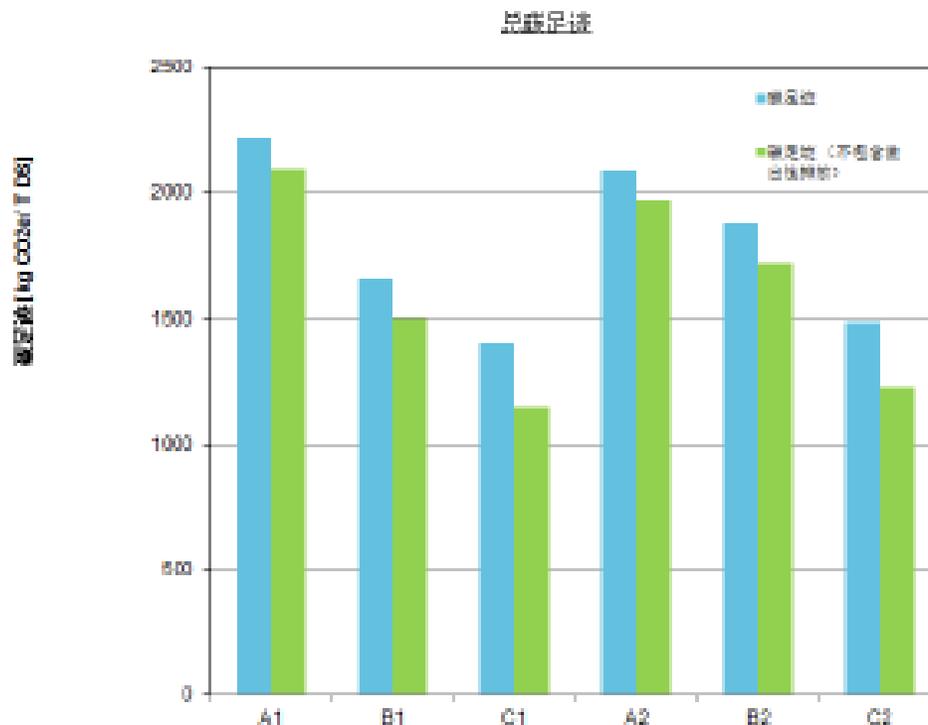


图 48 各方案碳足迹比较

# 六、几点想法

## 2、处理设施要有足够的能力

污泥处理设施是按照一定规则对污泥量测算后，由设计文件提出，并经有关部门批准的，其最大用途是设施统计、比较。

鉴于：

——污水处理厂运行情况；污泥量月际变化、年际变化、处理设施运行情况、处理设施检修等，污泥处理设施不能够按照规模量来设计处理设施。

——污泥处理设施的实际能够发挥的能力应是规模的1.5倍，也就是说污泥处理设施的正常符合应不超过70%。

**规模是规模，能力是能力！！！！**

# 六、几点想法

## 3、正确理解重金属的限值

我国的泥质标准存在如下问题：

——除农用外，园林、土壤改良和填埋，水泥焚烧重金属限值基本一样

——超标就没有办法了？

——没有说清楚是针对原污泥，还是针对处理后的产物。

——稳定化处理后，污泥形态发生了变化，重金属含量也发生了变化，标准值还有用吗？

——用重金属总量值不合理。

——重金属在处理过程，其形态会发生变化。

## 六、几点想法

要求不是都一样吗？

重金属超标，不能够土地利用，

也不能够治水泥，也不能够到

填埋场哎？

重金属名称 处理、处置方式		铅	镉	铬	铜	镍	汞	锌
		农用泥质	A 级	300	3	500	500	100
	B 级	1000	15	1000	1500	200	15	3000
土地改良	酸性土壤	300	5	600	800	100	5	2000
	碱性土壤	1000	20	1000	1500	200	15	4000
园林绿化	酸性土壤	300	5	600	800	100	5	2000
	碱性土壤	1000	20	1000	1500	200	15	4000
用于水泥熟料生产		1000	20	1000	1500	200	25	4000
水泥产品浸出液 ug/L		10	1	10	50	50	0.05	500
单独焚烧处理时的 污泥浸出液 mg/L		3	0.3	10	50	10	0.05	50
垃圾填埋场覆盖土添加料		1000	20	1000	1500	200	25	4000
注：本表数据摘自我国城镇污水处理厂污泥处置泥质相关标准 未注明单位者，均以 mg/kg 干物质计。								

# 六、几点想法

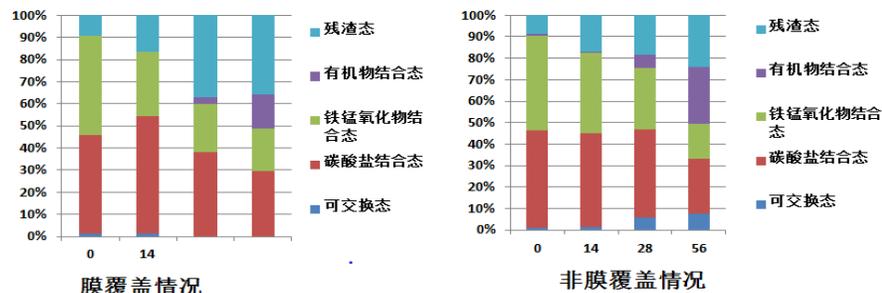


不同形态的重金属毒性影响是不一样的，何以能够“一视同仁”

硫化物的溶度积常数表

名称	分子式	溶度积常数
硫化镉	$CdS$	$8.0 \times 10^{-27}$
硫化铜	$CuS$	$6.3 \times 10^{-36}$
硫化汞	$HgS$ (红)	$4.0 \times 10^{-53}$
硫化汞	$HgS$ (黑)	$1.6 \times 10^{-52}$
硫酸汞	$Hg_2SO_4$	$6.5 \times 10^{-7}$
硫化铅	$PbS$	$1.0 \times 10^{-28}$
硫酸铅	$PbSO_4$	$1.6 \times 10^{-8}$
硫化镍	$NiS$	$1.1 \times 10^{-27}$

好氧发酵条件下的重金属形态转化试验——Cd

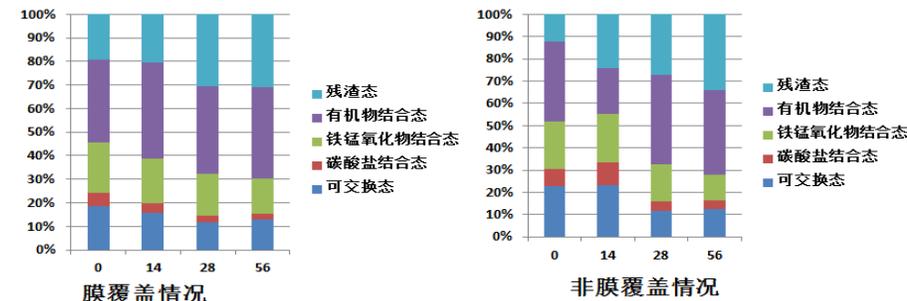


奉贤东部厂污泥中Cd主要以碳酸盐结合态和铁锰氧化物结合态存在，残渣态次之。

经过好氧发酵，残渣态、有机物结合态增加，可交换态略有增加。原碳酸盐结合态和铁锰氧化物结合态减少。

膜覆盖情况下，残渣态转化趋势略强，可交换态转化略弱。

好氧发酵条件下的重金属形态转化试验——Cr



奉贤东部厂污泥中Cr以次以有机物结合态、铁锰氧化物、残渣态和可交换态、碳酸盐结合态存在。

经过好氧发酵，残渣态、有机物结合态增加。原铁锰氧化物结合态和残渣态减少。

膜覆盖情况下与非膜覆盖差异不大。

# 六、几点想法

## 4、正确理解无害化

- 污泥处理处置四化：减量化、稳定化、**无害化**、资源化。
- 减量化是指以减少污泥体积和固体含量为主过程，以脱水为代表，但是稳定化处理也是减量过程；
- 稳定化是指经处理后污泥不再腐败发臭，主要是厌氧消化、好氧发酵，当然干化焚烧（协同焚烧）也是；
- 资源化则是指污泥处理产物在环境中的消纳方式。
- **“无害化”指什么？**——没有对应多处理方法，也没有对应的考核要求，要是真能够无害了，还要各种泥质标准做什么？
- **一个没有经过认真思考的“化”，还给出无害化处理率的考核指标——让做污泥的人无所是从。**
- “无害化”不科学，是不可实现的“理想”，是对污泥的恐惧，是对处理过程的不理解，是对处理产物价值的不尊重的表现。
- 有人说：无害化就是稳定化，就是卫生化！——也不对。

# 六、几点想法

## 5、创新污泥处理产物土地利用的方式

- 没有创新的处置方式，好氧发酵、厌氧消化后的产物土地利用是一句空话。

“肥料棒”

移动森林



屋顶绿化



垂直绿化



## 六、几点想法

- 只有把处理产物出路做通了，才能够体现“绿色、循环、低碳”

### **“治理污染，重在循环，赢在循环”**

- ——资源化利用不仅表现在对当地生态文明建设提供了直接的支持，而且在循环中赢得了良好的经济效益；
- ——在经济上实现赢，就为污染治理持续进行、有效进行提供了机制上的保障；
- ——从循环中得益，也就促成了治污的良性循环，让污染治理不再被动，而是走向主动。

## 六、几点想法

**习总书记在2013年11月9日：《关于〈中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定〉的说明》：**

山水林田湖是一个生命共同体，人的命脉在田，田的命脉在水，水的命脉在山，山的命脉在土，土的命脉在树。

国家林业局2013年下发了《关于切实加强和严格规范树木采挖移植管理的通知》（林资发〔2013〕157号）。将为这种苗木栽培做法提供有力的政策和法律保障。

——要积极引导承担和实施绿化任务的单位和个人，坚持以苗木绿化为主，以大苗栽植替代大树移植，**切实减少城乡绿化对树木移植的依赖。**

——禁止采挖：古树名木、……坡度25度以上林地内的树木。

——**胸径5厘米以上的树木必须纳入采伐限额管理。**

**Thanks for your listening!**

**谢 谢**

