



# 厨余垃圾处理工艺技术的 实践与思考

——厦门市联谊吉源环保工程有限公司

——厦门市生活垃圾分类处理厂

(厦门市厨余垃圾处理厂)

总工程师 刘军晓



# 目录

## CONTENTS

01

垃圾分类四环节

02

厨余垃圾处理技术

03

厌氧发酵项目推广难点

04

实践经验分享

05

未来愿景



01

# 垃圾分类四环节



2000年、2014年，建设部两次发起生活垃圾分类示范城市试点工作。但是从一开始的轰轰烈烈，到最后的无声无息，都是从终点又回到起点，收效甚微。究其原因，是因为没有把垃圾分类工作作为一个全民整体的社会行为来实施，仅做一个行业任务来开展。

直到2016年从中央层面提出了“普遍推行垃圾分类制度”开始，我国的垃圾分类工作才面目一新，迅速在全国推行。



## 垃圾分类四环节

01  
分类投放



02  
分类收集



03  
分类运输



04  
分类处置



垃圾分类投放后，应各自收集、运输、处置，严禁再次混装、混运、混合处置，否则就失去了垃圾分类的意义。



| 可回收物                                   | 厨余垃圾                                      | 有害垃圾                                     | 其他垃圾   |
|--|---|--|--|
| 玻璃类<br>牛奶盒<br>金属类<br>塑料类<br>废纸类<br>废纸箱 | 骨骼内脏<br>菜梗菜叶<br>果皮<br>茶叶渣<br>残枝落叶<br>剩菜剩饭 | 废电池<br>废药盒<br>废油漆桶<br>过期药品<br>废灯管<br>杀虫剂 | 纸尿裤卫生巾<br>烟头<br>污染纸张<br>破旧陶瓷品<br>瓦片尘土<br>一次性餐具 |



可回收物  
Recyclable waste



厨余垃圾  
Kitchen waste



有害垃圾  
Harmful waste



其他垃圾  
Other waste



不执行垃圾分类规定将会受到严厉处罚

厦门市市政园林局 厦门市垃圾分类管理中心(市市容环卫处)



不执行垃圾分类规定将会受到严厉处罚

厦门市市政园林局 厦门市垃圾分类管理中心(市市容环卫处)

# 国内普遍推行生活垃圾分类

## 厨余垃圾处理 是一个新的课题



垃圾分类的四个环节，难点在于“一头一尾”：前端的“垃圾分类投放”和末端的“垃圾分类处置”。

前端的“垃圾分类投放”是一项长久的工作，需要持之以恒的努力。这项工作与城市的经济发展程度、生活水平、城市文明、市民素质等息息相关，也需要政府部门持续的大量的财政投入、主管领导的强力抓手，因此目前国内各个城市的垃圾分类水平参差不齐，还需要长期的努力。

末端的“垃圾分类处置”难点在于厨余垃圾处理，因为厨余垃圾处理项目选用什么工艺技术、项目是否可以正常稳定运行，都和前端的垃圾分类效果紧密联系。

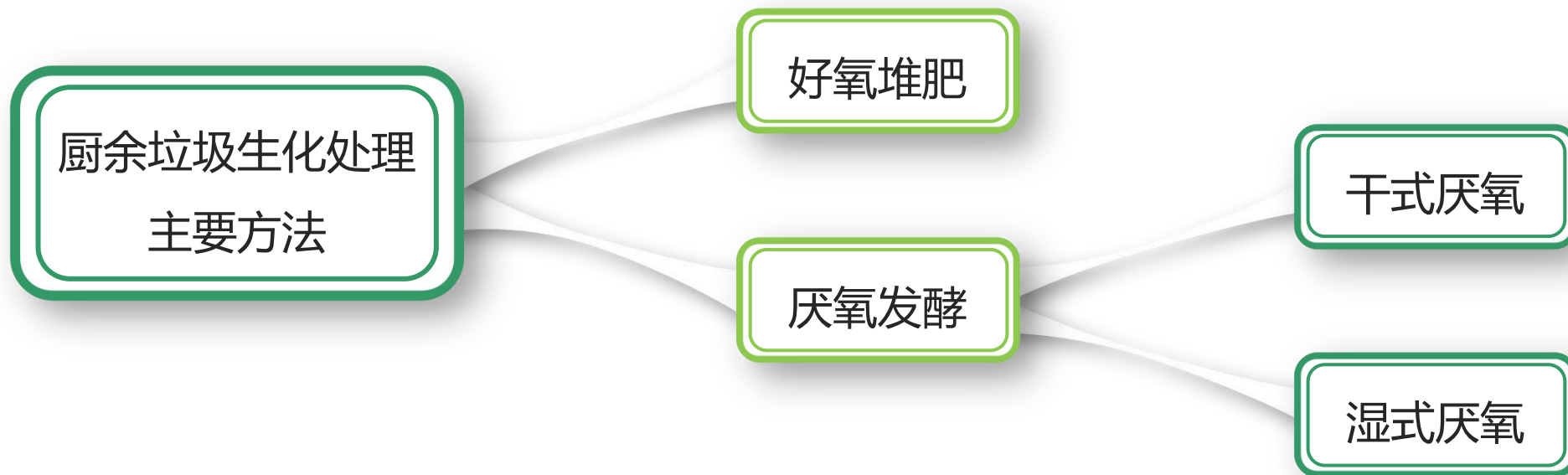


02

## 厨余垃圾处理技术



厨余垃圾因其可生物降解特性，适宜采用生化处理方法，包括好氧堆肥和厌氧发酵。



厨余垃圾好氧堆肥，可以将厨余垃圾制成有机堆肥产品，用于改善土壤、改良植物生长营养物质，实现有机质（腐殖质）回归大自然环境，资源化、减量化、无害化效果明显，是厨余垃圾很好的一个处理方向。但落实到具体项目时，在运行过程中仍存在很多困难：

**(1) 堆肥项目发酵周期长、用地面积大。**

厨余垃圾好氧堆肥要达到完全腐熟，满足堆肥产品品质，预计全发酵周期约60天。因发酵周期长，将导致厨余垃圾大规模好氧堆肥处理时需要很大的场地。城市土地有限，堆肥项目用地存在困难。

### (2) 堆肥项目臭气量大、环保投入大。

厨余垃圾好氧堆肥时，会散发高浓度的恶臭。堆体需要大量鼓风，加上堆肥车间空间大，导致堆肥产生的臭气量大，若要做到车间内符合相关职业卫生标准、车间外或厂界符合相关环保标准，需要大量的环保设施投入，导致项目投资及运行成本剧增，项目经济性下降。

### (3) 堆肥产品质量控制难度大。

目前厨余垃圾仍无法做到百分百准确分类，仍混有其它垃圾，甚至少量有害垃圾混入也是不可控的，从而导致厨余垃圾堆肥产品的质量和安全性存在不可控风险。

#### (4) 市场化使用经济效益差。

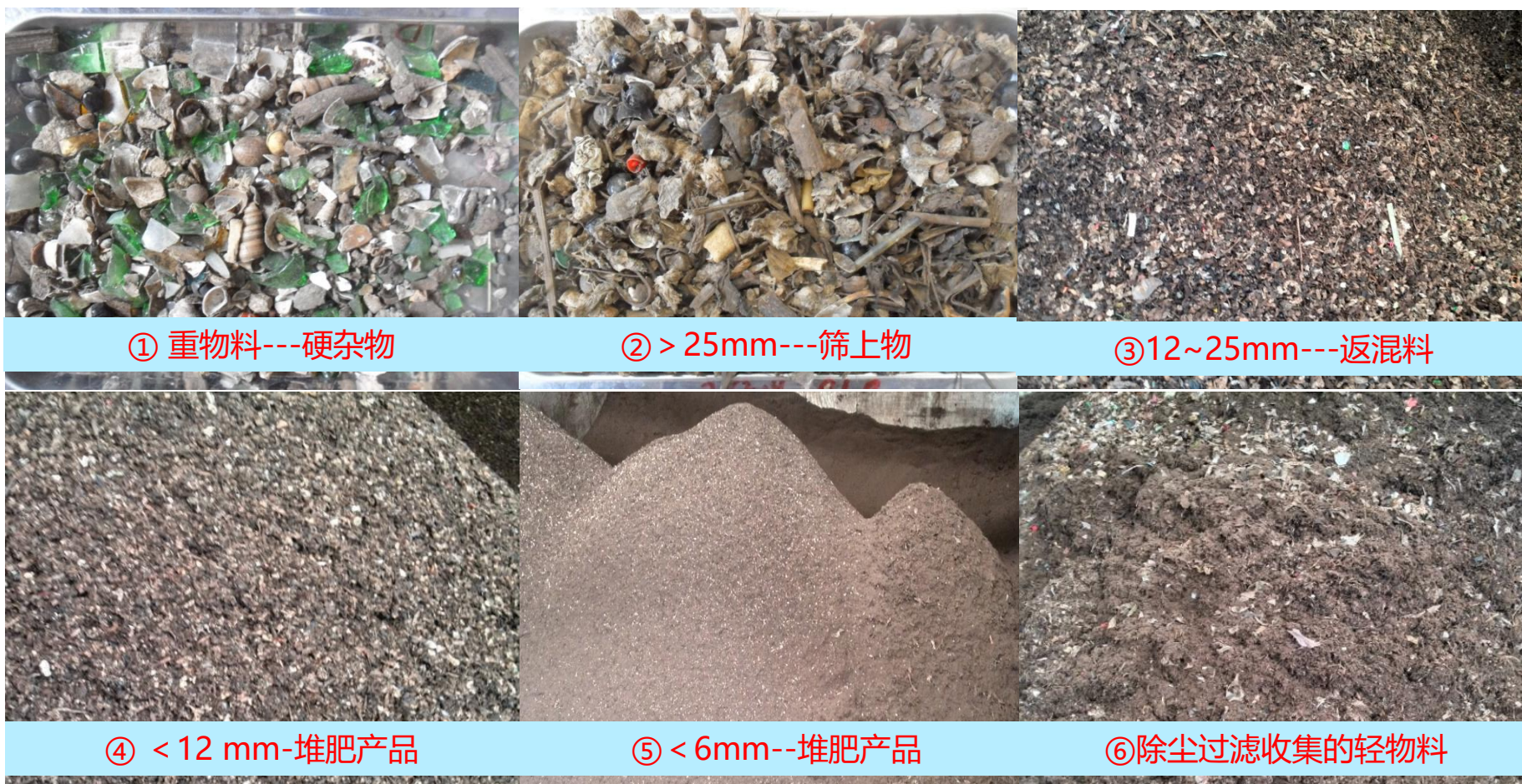
堆肥产品使用对象有限、施用具有季节性、施用场所需要注意臭味控制/环保问题、运距不能太远以及堆肥产品的肥效不如化肥等因素，导致堆肥产品市场化的成本较高，效益不突出。

需要政府提供较高合适的经济补贴、税收优惠等政策，才能让堆肥项目良性循环。

#### (5) 堆肥产品市场化存在政策和标准障碍。

目前堆肥产品无法取得农业部的肥料登记，无合法的肥料销售资质。

**示例：**厨余垃圾源头分类效果不好时，堆肥原料中仍含有大量杂质，最终仍残留在堆肥产物里，为此需要再次经过精细筛分后才能得到少量的品质较好的堆肥产品。



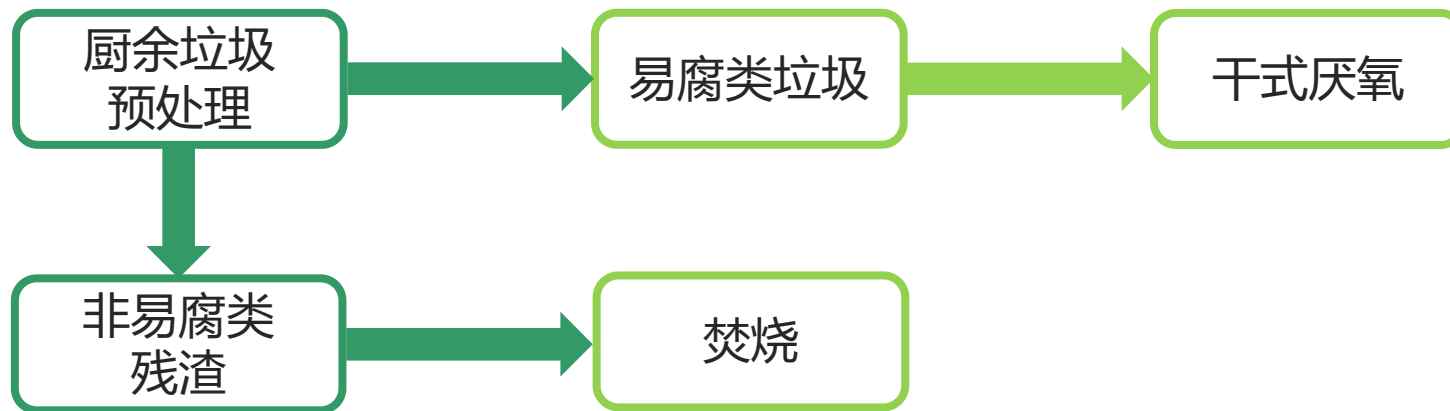


(1) 湿式厌氧发酵，厌氧工艺多采用CSTR，预处理工序则各显神通。目前湿式预处理方式主要有淋洗、破碎后固液分离制浆、超高压挤压制浆等方式。预处理方式是否适用，需要从有机质提取率、渣液比例以及生产能耗、设备耐用性、故障率、维保成本等方面来综合考虑。

(2) 湿式厌氧发酵的进罐物料含固率较低(相比干式厌氧)，处理同等规模的厨余垃圾需要更庞大的厌氧设施、项目占地。

(3) 几种湿式厌氧项目预处理环节，残渣中仍含有大量的有机质未经生化处置，有机质生化处理率较低，是否符合垃圾分类处置的精神需要探讨。

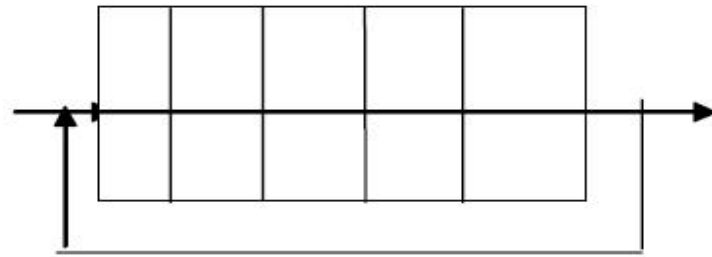
目前还未有关厨余垃圾中有机质生化处理率的指标标准，尚不能加以评价。



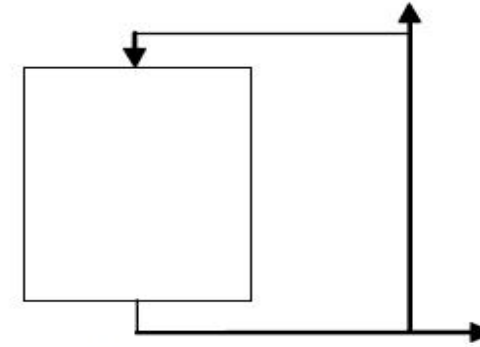
干式厌氧发酵进罐物料的含固率较高，处理等量的厨余垃圾(相比湿式厌氧) 需要的厌氧设施、项目占地较少。

| 序号 | 干式厌氧发酵工艺技术  | 形式          | 代表项目      | 目前状态         |
|----|-------------|-------------|-----------|--------------|
| 1  | 类VALORGA工艺  | 竖式          | 宁波厨余项目    | 运行中          |
|    |             |             | 北京董村项目    | 运行中          |
|    |             |             | 营口厨余项目    | 运行中          |
| 2  | 类DRANCO工艺   | 竖式          | 重庆厨余项目    | 在建           |
|    |             |             | 杭州天子岭厨余项目 | 运行中          |
| 3  | 类KOMPOGAS工艺 | 卧式<br>纵（长）轴 | 上海厨余项目    | 目前在调试        |
|    |             |             | 福州平潭厨余项目  | 目前在调试        |
|    |             |             | 南京厨余项目    | 目前在调试        |
| 4  | 类LARAN工艺    | 卧式<br>横（短）轴 | 厦门厨余厂     | 运行中          |
|    |             |             | 福州厨余厂     | 预计2020年底开始调试 |
|    |             |             | 合肥厨余厂     | 在建           |

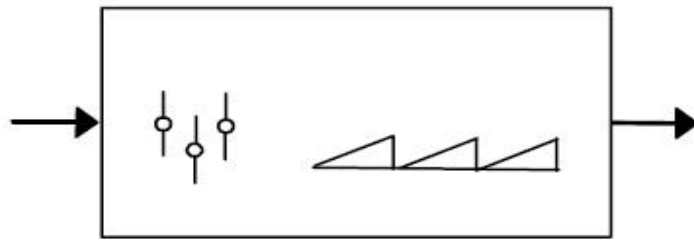
Figure 1.13: One Stage Dry Digesters



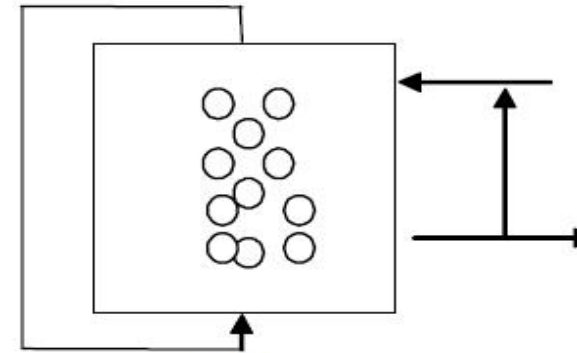
**Kompogas**  
Single-Step Horizontal Plug-Flow



**Dranco**  
Single-Step Vertical Plug-Flow

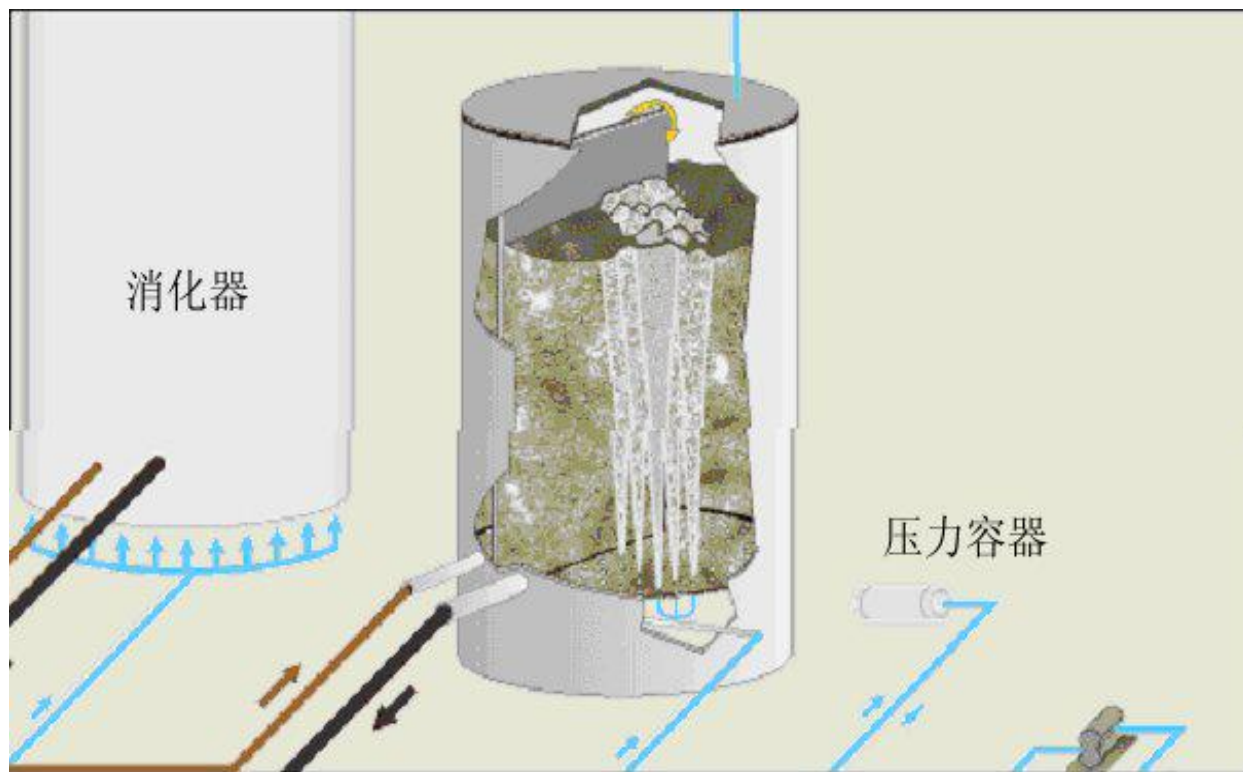


**Linde-KCA**  
Single-Step Horizontal Flow



**Valorga**  
Single-Step Vertical Gas-Stirred

## (1) 类VALORGA工艺 (代表项目: 北京、宁波、营口)



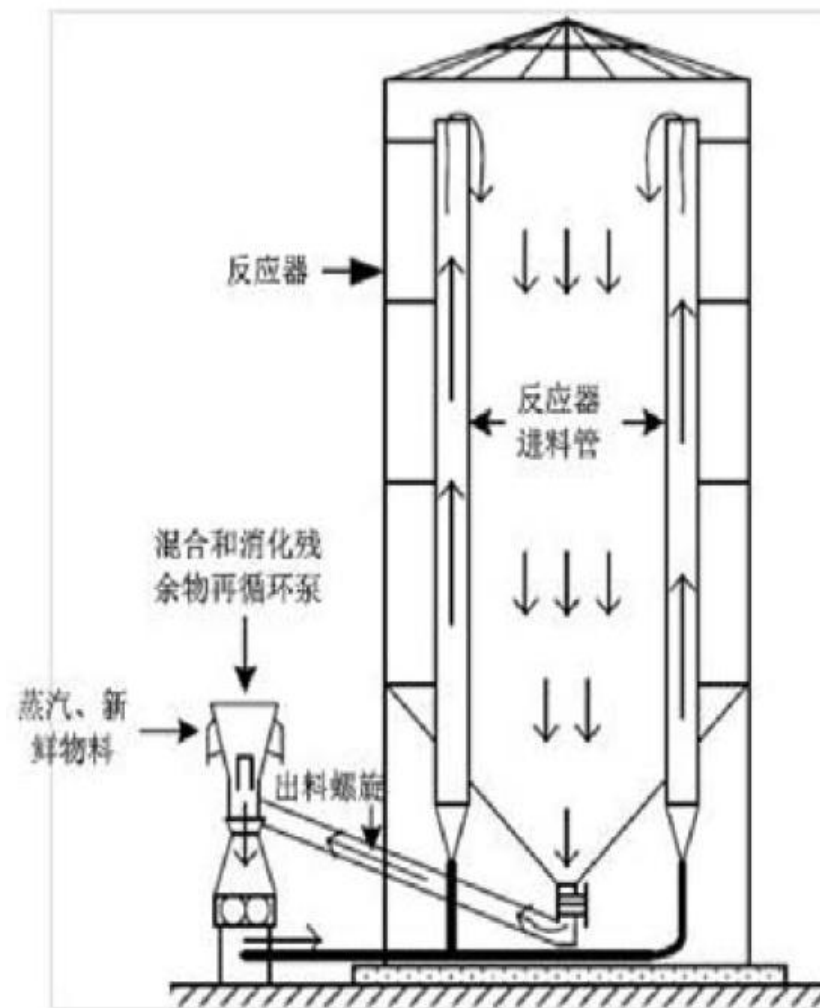
工艺特征:

- 立式罐, 消化罐直径方向从下到上设有局部隔断
- 消化罐采用底部沼气高压喷射进行物料搅拌。
- 可理解为两个串联的CSTR

## (2) 类DRANCO工艺 (代表项目: 杭州)

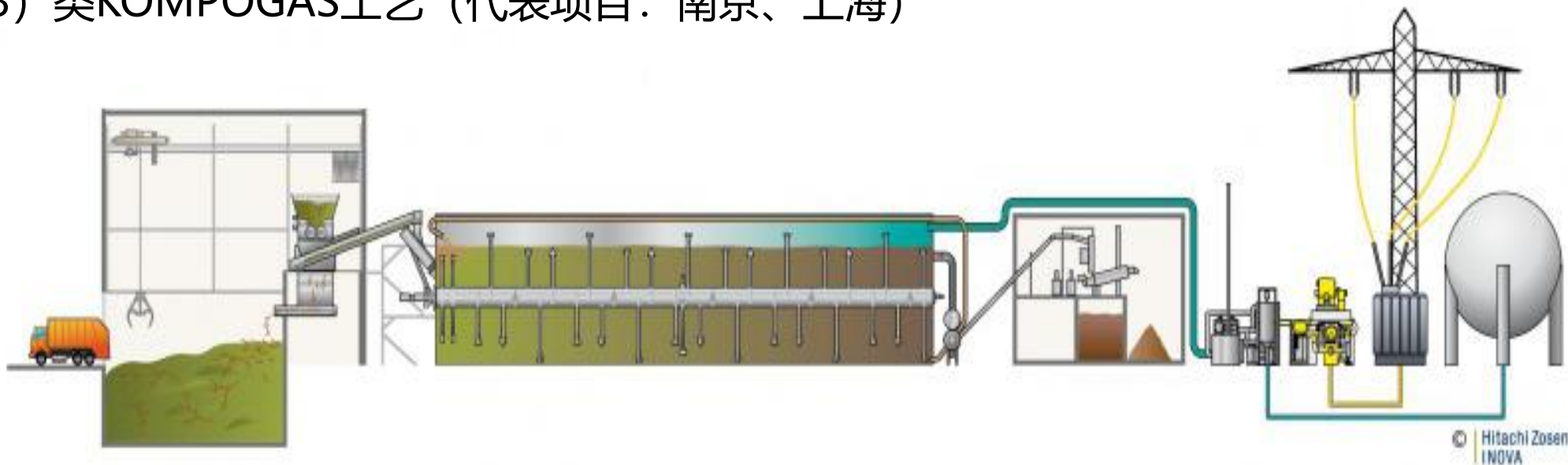
工艺特征:

- 立式罐, 顶部多路进料、底部出料。
- 采用大量物料回流、混料形式搅拌: 底部所出物料一小部分出料, 大部分物料与新鲜物料混合后, 泵入罐内顶部进料。
- 类似竖直式的推流工艺。



Dranco 干法厌氧消化工艺示意图

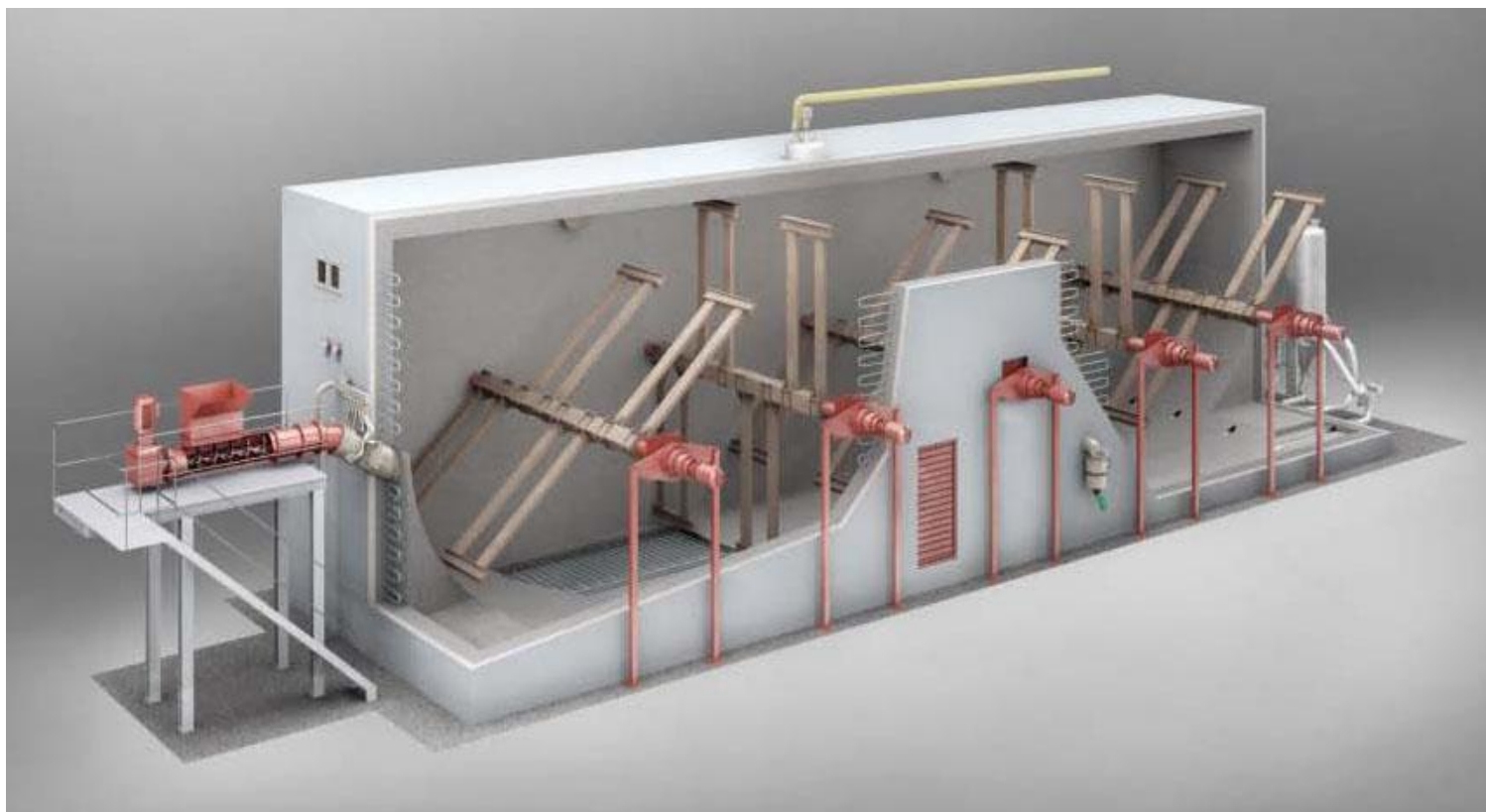
## (3) 类KOMPOGAS工艺 (代表项目: 南京、上海)



工艺特征:

- 卧式罐，一根纵向长轴，横向分布若干搅拌桨叶。
- 推流工艺：采用物料回流方式，进行接种、稀释、降低前端局部有机负荷。

#### (4) 类LARAN工艺 (代表项目: 厦门、福州)



工艺特征:

- 卧式罐, 横向若干短轴, 每根短轴上分布若干搅拌桨叶。
- 可理解为若干个CSTR串联起来的推流, 靠搅拌轴在局部混合、辅助推进。

- 1、为什么称呼以上技术为“类\*\*\*技术”：以上几类干式厌氧发酵技术，在欧洲国家经过几十年的发展，技术已经非常成熟，项目应用也比较普及。有些技术在欧洲或者具有专利保护，在中国不一定有专利保护，有些技术的专利已经过期。国内部分企业也申请了一些干式厌氧发酵技术的类似专利，用于项目拓展。
- 2、以上几类干式厌氧发酵技术，在欧洲国家都是经过几十年的发展，经历过不断的失败、调整、创新，才形成了现有的可靠的技术。国内有些企业在学习、模仿过程中，只得到了它的轮廓，未能得到它的精髓，比如：
  - (1) 未能摸清设备构造、设备参数的作用、在细节上不到位。
  - (2) 即使采用了全套的进口设备，但未能掌握工艺控制要领和参数指标意义，导致调试运营困难重重。
  - (3) 国内外项目处理物料的性质、成分不同，没有项目经验积累，无法在不同项目上做出调整决策。

因此，上述各类干式厌氧发酵技术都具有它们的“个性”，我们需要掌握其要领后，根据不同的项目进行量身定制，否则“依样画葫芦”，失败风险很大。



03

## 厌氧发酵项目推广难点



### (1) 行业缺乏相应的标准和技术规范来指导各项工作

厨余垃圾厌氧发酵项目迫切需要有针对性的标准及技术规范来指导各项工作。

### (2) 行业专家多为学术型人才，缺乏有实际经验的工程技术人员

行业专家多为学术研究出身，对厌氧发酵的技术原理及微生物菌群架构有非常深入理解，但缺乏大型厌氧项目的实际运行经验，缺少以实际问题为导向的研究，对解决项目运行的难题时只能提供理论分析，无法提供成熟、可靠、可实施的方案建议。

### (3) 学术研究理论与工程项目结合的不够，缺乏指导性

学术研究理论在工程运行人员看来往往非常的“高、大、上”，由于缺少平台性的桥梁，理论远偏离项目的实际需求。项目运行过程中所需要的解决方案既强调技术的可行性，更看重成本的可接受性。

#### (4) 可参照的项目运行经验非常少，更缺少成功的经验可以借鉴

国内建成并运营的干法厌氧项目本身就不多，而且无法持久的稳定、正常化运行，给厌氧行业带来非常大的压力。近几年又有许多新厌氧项目开工建设、调试运行，并没有国内成功的运行经验可以借鉴，造成项目的失败风险非常大，不利行业发展。

#### (5) 投资和运营成本高、减量化效果不明显是目前最大问题

相比垃圾焚烧处理，厨余垃圾厌氧发酵项目的投资和运营成本较高。

厨余垃圾厌氧发酵的主要价值在于将易腐有机垃圾中的生物质能转化利用。

厨余垃圾最终转化沼气，减量部分仅占易腐有机垃圾量的15%，剩余的分拣残渣、沼渣和沼液占进厂垃圾量的70-80%。

因此，我们需要正确认识厨余垃圾进行厌氧发酵的价值在哪？

不能单纯从经济角度考虑，更需要考虑环保价值、社会价值。



04

## 实践经验分享

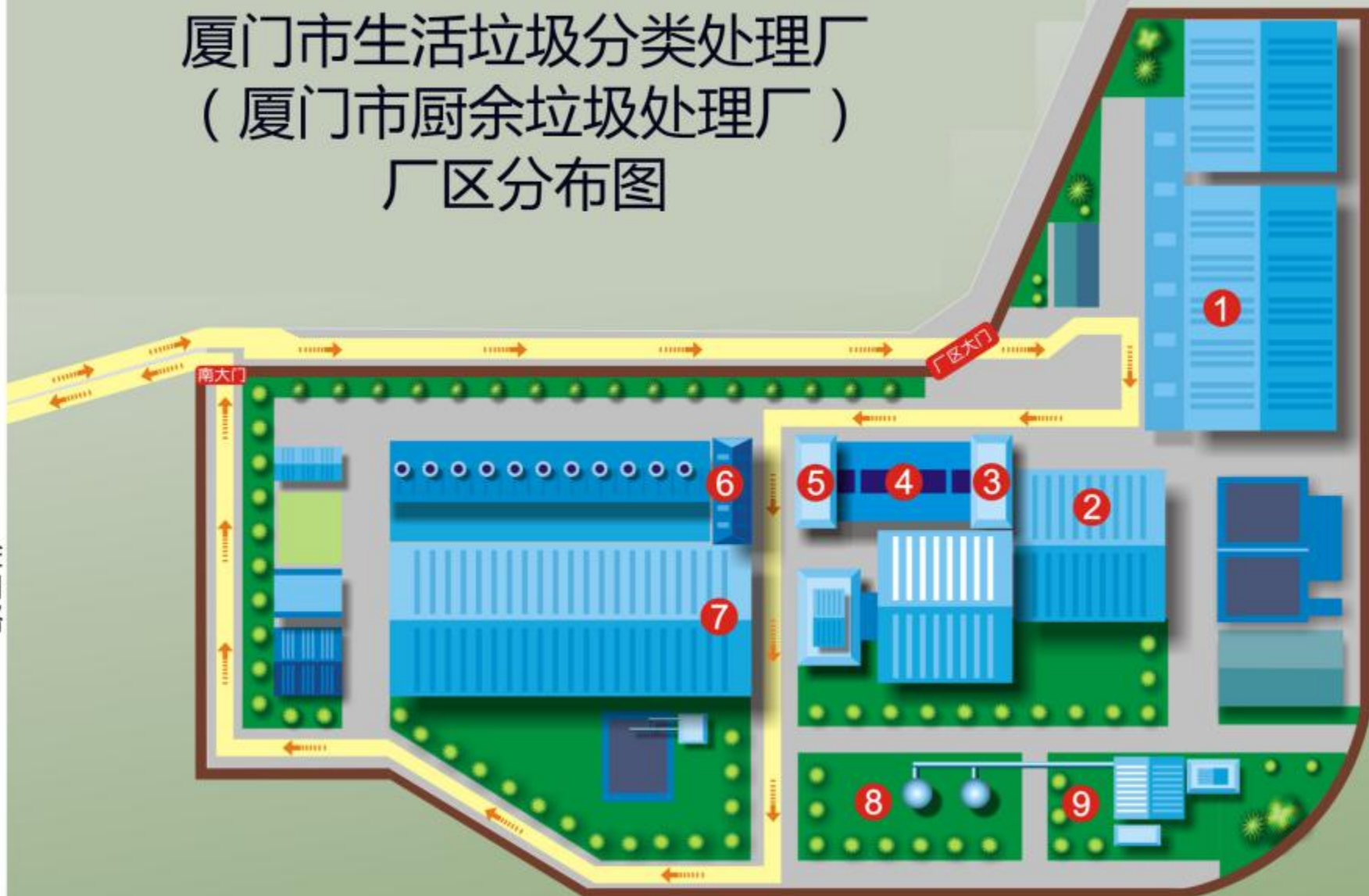


- 地址：后坑环卫基地内，紧邻焚烧厂、中转站；
- 占地面积7.6公顷，总建筑面积4万平方米；
- 总投资2.19亿元；
- 处理能力平均500吨/天，最大处理能力800吨/天；
- 采用“分选+厌氧产沼发电+沼渣好氧堆肥”的综合处理工艺；
- 布局：垃圾分拣中心（含卸料大厅、储料坑、分拣车间等）；  
有机垃圾处理中心（含厌氧发酵车间、脱水车间等）；  
沼气资源化区域（含沼气预处理区域、发电区域等）；  
残渣处理车间（含干化堆肥仓、精分选车间等）；  
辅助区域（含变配电车间、臭气处理区域、化验室、办公区等）

# 厦门市生活垃圾分类处理厂 (厦门市厨余垃圾处理厂) 厂区分布图

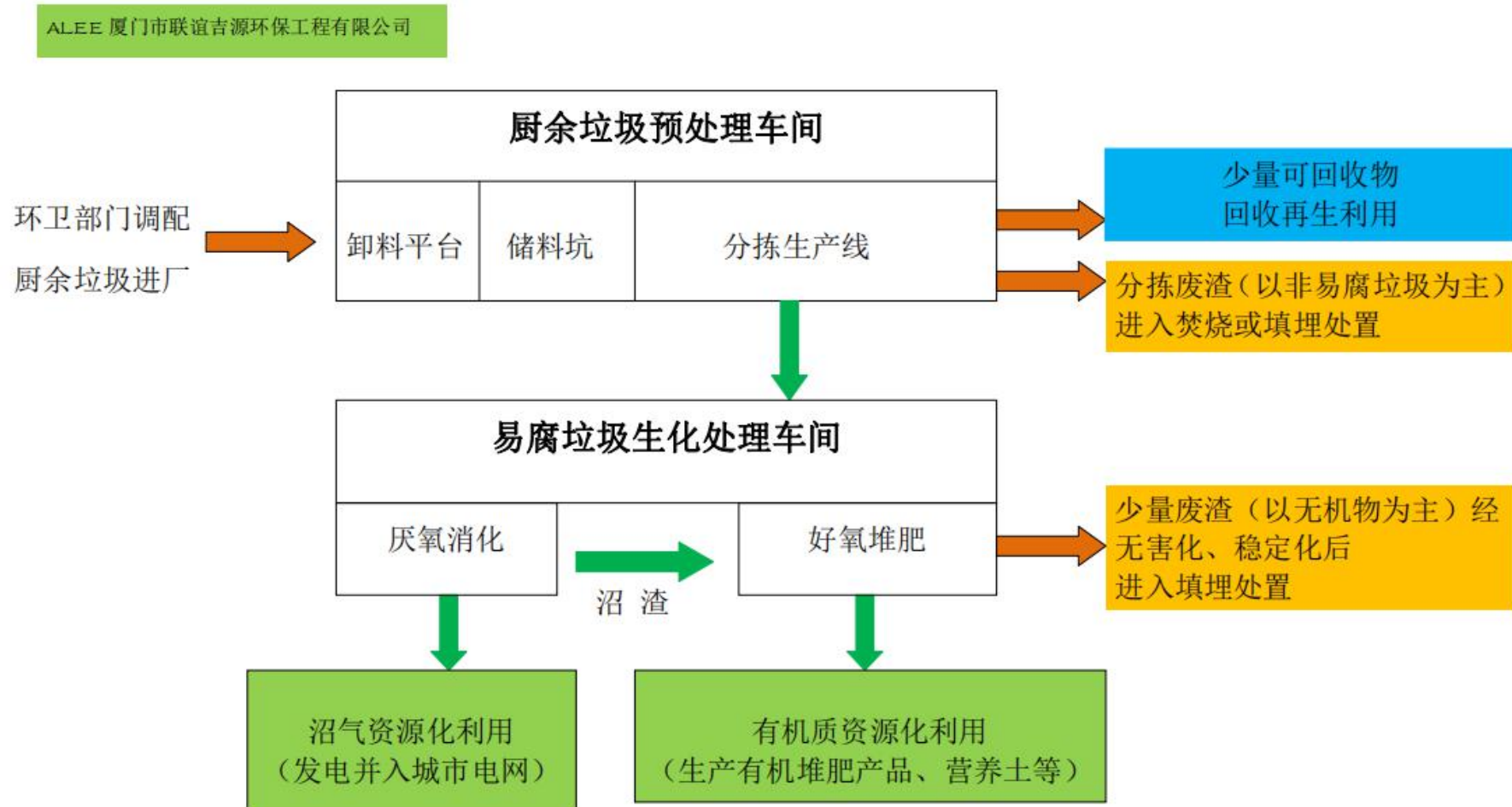
金山路

金山路



## 车间名称

- ① 分拣车间
- ② 有机车间
- ③ 进料间
- ④ 厌氧发酵罐
- ⑤ 出料间
- ⑥ 脱水间
- ⑦ 残渣处理车间
- ⑧ 沼气预处理区
- ⑨ 沼气发电区



厦门市厨余垃圾处理厂工艺流程示意图



小区分类厨余垃圾



厨余垃圾专用车进厂卸料



## 厨余垃圾收集、运输



厨余垃圾暂存池

## ✓ 厨余垃圾预处理环节

- (1) 滤水
- (2) 破袋
- (3) 滚筒筛分
- (4) 磁选
- (5) 重力分选

➤ 根据垃圾分类质量，酌情考虑是否需要增加人工辅助。



从进厂厨余垃圾中提取高纯度易腐有机垃圾



剔除混入的少量其它垃圾

## ✓ 厌氧发酵环节

- 水平推流式高温干式厌氧发酵工艺技术;
- 源自德国STRABAG工艺

- (1) 滤水缓存仓
- (2) 厌氧发酵
- (3) 真空卸料
- (4) 挤压脱水



储料箱/活动推板



厌氧发酵罐/搅拌轴



厌氧发酵系统

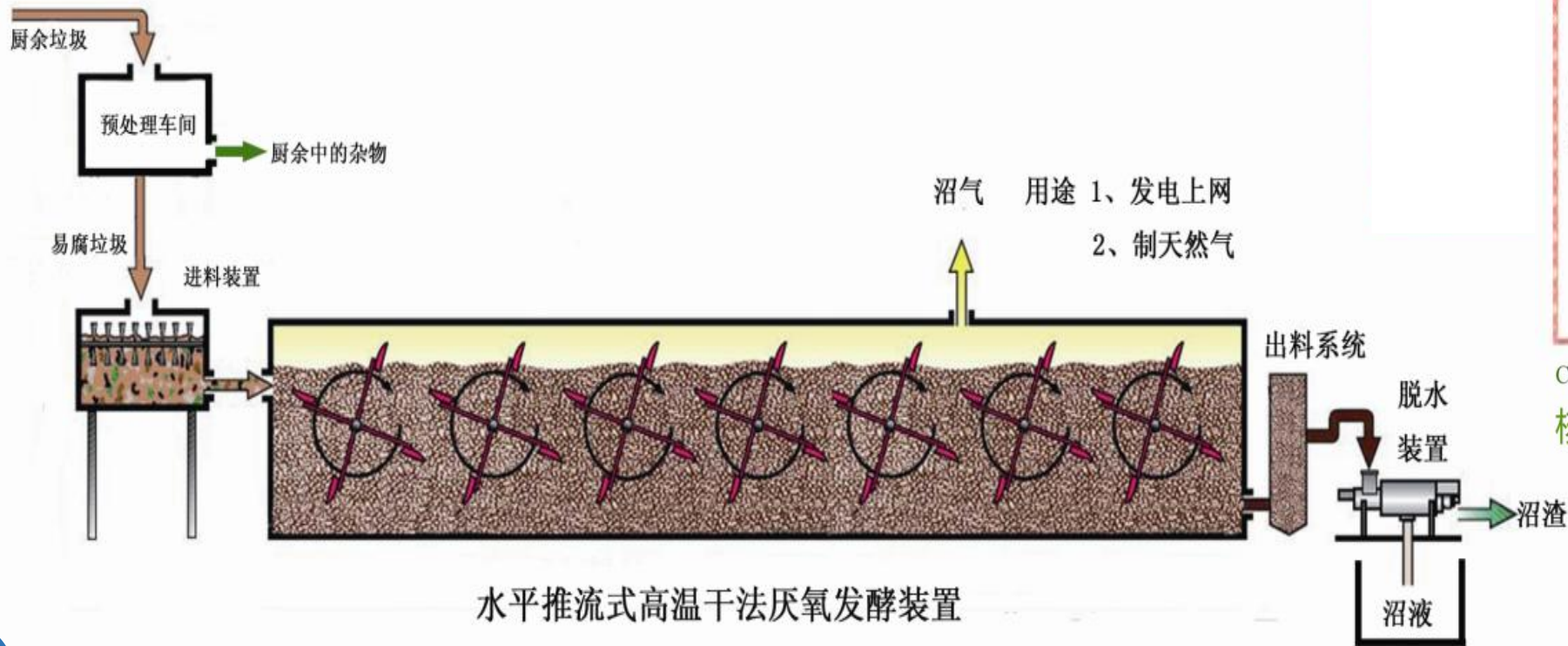


沼渣脱水设备



沼渣真空出料装置

# 厨余垃圾资源化工艺路线示意图



CORE PRODUCT  
核心产品 >>> 钢质厌氧发酵装置



## 厌氧设备装置特点

- (1) 多个搅拌器单独工作；区域性的混合搅拌，桨叶间有交叉，避免桨叶间的死角。
- (2) 多组式的搅拌器，单个搅拌器体积较小，便于生产、安装与维护、更换。

## 干化堆肥环节

- (1) 调节堆肥物料
- (2) 通风、翻堆
- (3) 精分选筛分



沼渣堆肥/干化系统



堆肥产品

厦门市联道吉源环保工程有限公司/福建省产品质量安全检测中心检测中心(CQC)

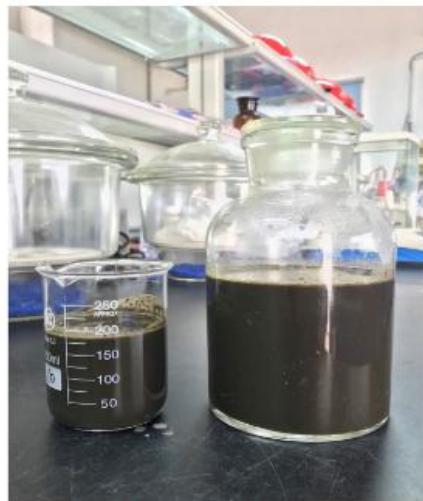
### 检测报告

报告编号: No. 201420183405  
A.2. 第 2 页

客户: 厦门市联道吉源环保工程有限公司

| 检测项目            | 检测限值    | 检测结果    | 单项判定 |
|-----------------|---------|---------|------|
| 蛔虫死亡率, %        | 90-100  | 97      | 合格   |
| 大肠菌群            | 0-14.0  | 6.0 MPN | 合格   |
| 总磷 TP, mg/kg    | 65      | 0.11    | 合格   |
| 总氮 TN, mg/kg    | 80      | 0.12    | 合格   |
| 总有机碳 TOC, mg/kg | 12000   | 10.2    | 合格   |
| 重金属 Cu, mg/kg   | 1000    | 0.17    | 合格   |
| 镉 Cd, mg/kg     | 100     | 0.16    | 合格   |
| 铬 Cr, mg/kg     | 200     | 0.21    | 合格   |
| 锰 Mn, mg/kg     | 300     | 0.32    | 合格   |
| 总砷 As, mg/kg    | 30      | 0.25    | 合格   |
| 总汞 Hg, mg/kg    | 30      | 1.06    | 合格   |
| pH              | 6.5-8.5 | 8.1     | 合格   |

堆肥检测报告



沼液产品

**PONY**  
Pony Testing International Group

### 检测报告

(For Quality)

| 样品名称 | 检测项目            | 检测单位 | 检测结果    | 检测标准            |
|------|-----------------|------|---------|-----------------|
| 沼液产品 | 总磷 TP, mg/kg    | 0.08 | 0.11    | GB 17350.2-2008 |
|      | 总氮 TN, mg/kg    | 0.08 | 0.12    | GB 17350.2-2008 |
|      | 总有机碳 TOC, mg/kg | 0.08 | 10.2    | GB 17350.2-2008 |
|      | 大肠菌群            | 0.08 | 6.0 MPN | GB 17350.2-2008 |
|      | 蛔虫死亡率           | 0.08 | 97      | GB 17350.2-2008 |
|      | 铜 Cu, mg/kg     | 0.08 | 0.17    | GB 17350.2-2008 |
|      | 镉 Cd, mg/kg     | 0.08 | 0.16    | GB 17350.2-2008 |
|      | 铬 Cr, mg/kg     | 0.08 | 0.21    | GB 17350.2-2008 |
|      | 锰 Mn, mg/kg     | 0.08 | 0.32    | GB 17350.2-2008 |
|      | 砷 As, mg/kg     | 0.08 | 0.25    | GB 17350.2-2008 |

PONY 检测认证

沼液检测报告



田间试验/花卉试验



**重要提示:** 厨余垃圾分类投放准确率, 以及沼渣、沼液能否成功推动资源化利用, 是实现厨余垃圾处理减量化的关键所在!

## ✓ 沼气资源化利用

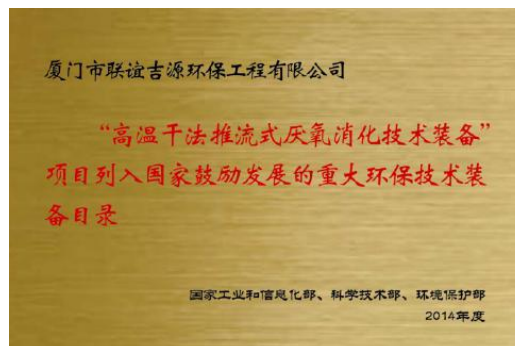
- (1) 生物脱硫
- (2) 气包暂存
- (3) 沼气预处理
- (4) 发电并网
- (5) 火炬系统



| 区域   | 起止时间            | 生产结果                          |
|------|-----------------|-------------------------------|
| 分拣车间 | 2011.08-2020.10 | 累积处理生活垃圾150万吨                 |
| 厌氧车间 | 2013.03-2020.10 | 累积处理易腐类垃圾19万吨<br>沼气产量2400万立方米 |
| 发电车间 | 2015.02-2020.10 | 累积发电量4200万千瓦时                 |

- 本项目核心的易腐垃圾厌氧发酵工艺，已经稳定运行七年，其产气效率、发电效益已经做到了国内领先水平。
- 该工艺是成熟、稳定、可靠的。

**知识产权：我公司已获得各类专利近40项、软件著作权5项、企业产品标准3项。**



2017年作为国家住建部召开全国垃圾分类工作现场会“厦门实践”重点推介观摩的示范项目，为全国46个重点城市的垃圾分类（厨余垃圾）处理提供了成熟的工艺技术展示及成功案例。



### 全国城市生活垃圾分类工作现场会在厦门召开

2017-12-01 17:44 环卫科技网

昨日，住房和城乡建设部在厦召开全国城市生活垃圾分类工作现场会。住房和城乡建设部党组书记、部长王蒙徽出席并讲话。

会前，王蒙徽和与会代表实地考察了厦门市生活垃圾分类工作开展情况，省委常委、市委书记裴金佳陪同。会议由住房和城乡建设部副部长倪虹主持。市长庄稼汉出席。

王蒙徽强调，普遍推行生活垃圾分类制度，是关系广大人民群众生活的大事，是我们当前的一项



### (1) 预处理工艺

- **清楚了解垃圾成分**：以便有针对性的设计预处理工艺、选择合适的预处理设备。
- **没有最好的预处理工艺（设备），适用的就好**：垃圾成分的特征是复杂性、多变性，各种预处理工艺（设备）总有一定的局限性或不足之处，我们需要找到每个项目预处理工艺的主要目的是什么？需要解决什么问题？从各种预处理工艺设备中选择效率最大化的那个，并接受它的不足之处。
- **预留可改造空间及工艺接口**：垃圾成分发生重大变化时，预处理工艺也需要进行优化调整，尽量在预处理工艺设计时留有余地，以便适应几年后垃圾成分变化时的需求。

## (2) 厌氧发酵工艺

- **保证品质：**进罐垃圾品质（包括含固率和可降解有机质含量）应满足进罐物料设计要求。
- **稳定进料：**厌氧罐内微生物环境脆弱，需要保持生产连续性、稳定性，不可大幅波动。
- **实时跟踪发酵状态：**实时掌握罐内各项生化指标，并用于生产、指导生产，及时发现问题、纠正问题，避免问题积累造成重大生产事故。
- **控制工艺要点：**综合的工艺参数管理和调节、合适的有机负荷（水力停留时间）、最佳的工艺温度、稳定和可控的进料量、合理添加营养素或辅助物料等。
- **生产全过程需要保持同步稳定运行：**从预处理到厌氧发酵，再到沼气资源化处理、发酵污泥处理等全生产过程，前后紧密关联，需要保持同步稳定运行、生产畅通，否则会因某个环节不畅，造成连锁反应、整体生产停滞。

### (3) 沼液如何处置

国外可将沼液进行资源化利用，但在国内进行沼液资源化仍存在瓶颈：

- 使用季节瓶颈、沼液储存问题；
- 使用对象规模、运输距离瓶颈；
- 使用场所对臭味控制/环保要求瓶颈；
- 沼液肥效与化肥肥效的差距，并影响到用户的成本与收益问题。

**建议沼液暂按垃圾废水进行处置。**

#### (4) 沼渣如何处置

沼渣已经经高温厌氧发酵充分反应，其卫生指标和腐熟度基本可满足要求，但再进行好氧发酵堆肥，仍存在一些瓶颈：

- 沼渣中的厌氧发酵菌转化为好氧发酵菌，需要合适的工艺技术手段、时间周期；
- 沼渣比较密实、颗粒较小，透气性较差，需要合适的堆肥辅料进行拌混；
- 沼渣堆肥规模化生产时，对场地的需求、沼渣堆肥生产成本与销售收益的性价比问题；
- 使用季节、使用对象、使用场地等问题。

**建议沼渣进行干化后进行焚烧或者填埋，有条件可制成堆肥产品使用。**



05

## 未来愿景



- ✔ 建立厨余垃圾厌氧发酵行业技术平台，从理论到实践进行全系统梳理，完善厨余垃圾厌氧发酵相关标准、指导性文件，使项目从设计、建设、运行有据可依。
- ✔ 根据垃圾分类后厨余垃圾的品质等，修订厨余垃圾好氧堆肥相关标准、规范。
- ✔ 农业部、住建部等相关部委统一明确厨余垃圾堆肥产品的使用标准、要求，建立市场化准入制度，并与财政部门协商出台一些优惠政策，鼓励堆肥产品的使用。

厦门市联谊吉源环保工程有限公司负责建设、运行厦门市厨余垃圾处理厂已经十年，积累了丰富的设计、建设和运营管理经验。我厂对外开放，欢迎各界领导、同行朋友莅临指导参观，并进行合作洽谈。

联系人：技术部经理 陈家钦

联系方式：13459209180



垃圾分类 低碳生活 从我做起

# 感谢聆听

刘军晓 2020年11月25日

---

THANK YOU TO LISTEN