

# 一种基于立式发酵罐的高温好氧发酵工艺及应用

刘永泉

广州广兴三友环保设备有限公司 广东 广州 510080

**【摘要】**：早在上世纪末，国内科研人员便已采用罐式发酵装置开展禽畜废弃物好氧发酵制有机肥的相关探索与实践，其核心原理是借助好氧微生物的快速增殖与代谢作用实现有机物分解。通过对全球相关技术的考察与借鉴，早期罐式好氧发酵装置得以研发，这也成为了近年兴起的立式高温好氧发酵罐的雏形。在日本、韩国等发达国家及中国台湾地区，这类罐式高温好氧发酵技术早已实现规模化应用，用于禽畜养殖废弃物等有机固体废物的无害化处理与资源化利用。国内虽起步较早，但规模化推广应用直至近两三年才逐步展开，相关设备品牌也随之大量涌现。本文主要介绍了一种基于立式发酵罐的高温好氧发酵工艺及应用。

**【关键词】**：立式发酵罐；高温好氧发酵工艺；应用

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.004

## 1 引言

罐式好氧发酵技术虽在早期便有应用尝试，但受限于技术发展及推广力度不足，配套设备与工艺体系长期未能实现普及与优化；加之规模化应用直至近年才逐步兴起，受多方面因素制约，相关国家标准与行业规范尚未完善普及，致使多数设备生产企业缺乏统一约束，产品质量性能与工艺技术水平参差不齐。本文介绍了维持高温好氧发酵工艺中的主要因素和基于立式发酵罐的具体应用，通过工艺的介绍和说明，让更多使用者了解如何使用好立式发酵罐。

## 2 维持高温好氧发酵的主要因素

有机废弃物经投料系统送入密闭保温立式发酵罐，叶片搅拌物料，上下鼓风机配合换热装置，热风由叶片孔洞均匀布气。精准调控碳氮比、水份、氧气、温度，营造适宜的好氧发酵环境；依靠微生物分解，物料高温发酵、除臭腐熟，最终加工成农用有机肥。

### 2.1 碳氮比

碳、氮是微生物降解物料的关键营养，碳氮比直接决定堆肥升温与发酵效率。碳氮比偏高会因缺氮抑制微生物繁殖，物料分解变慢、发酵周期拉长，肥料入土后微生物抢氮，造成作物缺氮；比值低于 20:1 时碳源不足，氮以氨气挥发流失，降低肥效。碳氮比即物料碳氮总含量之比，行业标准 NY/T3442-2019 规定畜禽粪混配后 C/N 控制在 20:1~40:1，最优发酵区间 25~30:1。含水率 75% 鸡粪原生碳氮比多不足 20，需掺加高碳秸秆、锯末调配比，常规掺加 10%~20%（鸡粪秸秆配比约 5:1），辅料还能改善物料孔隙、提升透气性，加快好氧发酵进程。

假设鸡粪的碳氮比为 10，玉米芯的碳氮比为 90，要求鸡粪与玉米芯的混合比为 30，求鸡粪与玉米芯的混合比例。

设鸡粪的量为 x，玉米芯的量为 y，列方程：

$$10x+90y=30(x+y)$$

解得：x:y=3:1

碳氮比失衡严重影响有机肥发酵，发酵依靠微生物分解物料生成二氧化碳与腐殖质。碳氮比偏高（如木屑 491:1），氮源短缺抑制微生物繁育，发酵变慢、腐熟不全；碳氮比偏低则碳素不足，多余氮素变成氨气挥发、养分流失并产生臭味，延缓发酵。

常见的调节辅料种类有以下：

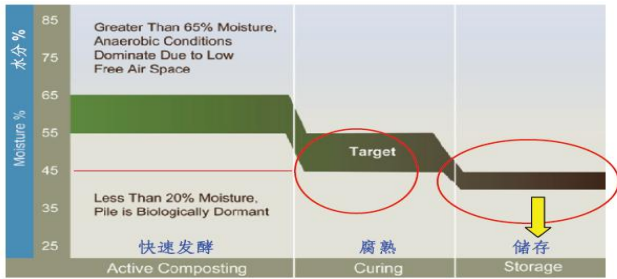
表 2.1-1 调节辅料种类及碳氮比

物料种类	碳(%) / 氮(%) = 碳:氮	辅料种类	碳(%) / 氮(%) = 碳:氮
杂木屑	49.2/0.10=491.8	玉米杆	43.3/1.67=26.0
稻草	42.3/0.72=58.7	豆秸	49.8/2.44=20.4
稻壳	41.6/0.64=65.0	野草	46.7/1.55=30.1
麦秸	46.5/0.48=96.9	甘蔗渣	53.1/0.63=84.2
玉米粒	46.7/0.48=97.3	棉籽壳	56/2.03=27.6
玉米芯	42.3/0.48=88.1	麦麸	44.7/2.2=20.3
米糠	41.2/2.08=19.8	啤酒糟	47.7/6=8.0
豆饼	45.4/6.7=16.76	花生饼	49/6.32=7.76

### 2.2 水份

水份在好氧发酵中有两项关键作用：溶解有机质、输送养分，同时依靠蒸发调节料温。含水率低于 40% 会阻碍微生物吸收养分、降解变慢，低于 15% 菌种基本失活；含水率超 65% 则挤占孔隙、隔绝氧气，转为厌氧发酵并滋生恶臭。工程实测表明，罐式高温发酵最佳含水率约 60%。

表 2.2-1 好氧发酵过程的理想水份



(数据来源于中国农业机械化科学研究院吴德胜专家享受国务院特殊津贴专家)

实际待处理有机物料普遍含水率偏高，需添加辅料调水。依据 行业标准 NY/T3442-2019，粪污混配后含水率控制 45%~65%、粒径≤5cm。集约化笼养鸡粪夏季含水率多超 70%，南方可达 80% 以上，高含水率造成物料透气性差，直接入罐会严重影响发酵效率与处理量。

一种水份调整料使用量的计算方式如下：

$$\text{原料 (kg)} \times \left\{ \frac{(\text{原料水份量} - \text{目标水份量})}{(\text{目标水份量} - \text{调整料水份量})} \right\}$$

= 达到目标水份量需要加入水份调整料的使用重量(kg)

例如原料 1000(kg)含水率 75%，调整料含水率 30%，目标含水率 60%：

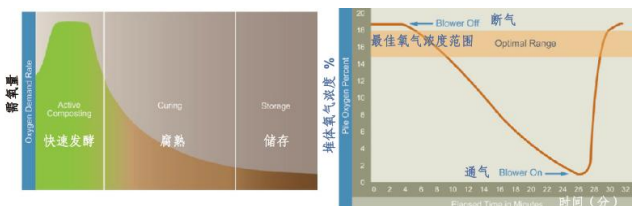
$$\text{调整料使用量 } X = 1000 \text{ (kg)} \times \left\{ \frac{(75-60)}{(60-30)} \right\} = 500(\text{kg}).$$

辅料种类繁多，合理选配既能调节物料碳氮比，可管控原料入罐含水率。干锯末（含水率≤10%）适配立式高温发酵罐，碳氮比高、质地疏松，透气保水，粒径符合发酵要求。受木料与加工影响，锯末品质、含水率参差不齐，采购投料需严格质检。

### 2.3 氧气

在好氧发酵体系中，供氧是把控发酵速度的关键，供氧不足或布气不均易导致局部厌氧，产生硫化氢、VOCs 等臭气，降低发酵效率、拉长发酵周期。通常情况下，体系内氧含量需保持 10%，旺盛发酵阶段耗氧极快，20 分钟便可耗尽，需控制在 13%~18%。依据行业标准 NY/T3442-2019，堆体含氧≥5%，单位物料曝气风量宜为 0.05~0.2m<sup>3</sup>/min/(以每立方米物料为基准)。

表 2.3-1 好氧发酵过程微生物理论需氧量



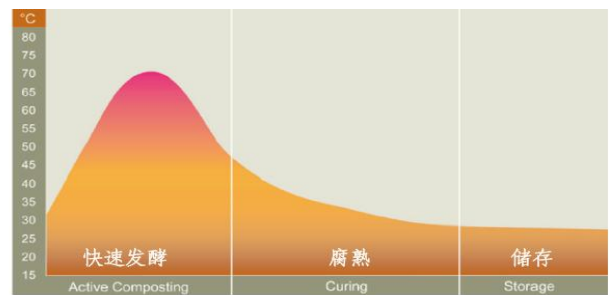
(数据来源于中国农业机械化科学研究院吴德胜专家享受国务院特殊津贴专家)

好氧发酵各阶段耗氧不同，立式发酵罐可通过参数调整曝气量，保障各阶段供氧最优。实测：100m<sup>3</sup> 罐体最大风量 30m<sup>3</sup>/min、风压超 30KPa，运行时按需调风，实现高效发酵。

### 2.4 温度

温度是好氧发酵关键指标，直接影响微生物活性，高温菌分解效率高于中温菌。发酵起始料温贴近环境，经 1~2 天中温菌代谢升温至 50~65℃，5~7 天便可实现物料无害化。温度偏低会拉长腐熟周期，超 70℃则会损伤、灭杀有益菌种。

表 2.4-1 好氧发酵过程温度变化曲线



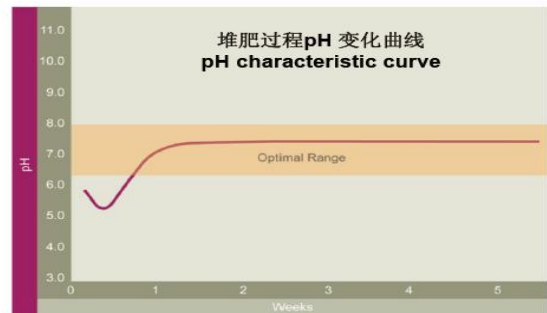
(数据来源于中国农业机械化科学研究院吴德胜专家享受国务院特殊津贴专家)

传统堆肥发酵温度易受外界气温干扰，立式发酵罐罐体带保温层，内部工况不受外界温度影响。设备配备辅热系统，夏季待机，冬季自动启动预热进风，全年稳定供气温度，保障发酵持续高效运行。

### 2.5 其他因素

pH、菌种同样影响好氧发酵。微生物适宜中性至弱碱性，pH<5.5 强酸或 pH>9 强碱都会抑制菌群；pH>9 易氨挥发、碳氮比失调；pH4.8~5 会析出难除杂质，降低肥效。发酵初期 pH 短暂走低，升温增氧后逐步回归合适区间，畜禽粪原生 pH 大多达标。添加专用菌剂或掺入 10%~20% 腐熟粪肥，可加快腐熟。立式发酵罐可在原料预混阶段统一调控上述条件。

表 2.5-1 堆肥过程 pH 变化曲线



(数据来源于中国农业机械化科学研究院吴德胜专家享受国务院特殊津贴专家)

### 3 立式发酵罐高温好氧发酵工艺及应用

前文已说明发酵关键控制要素。相较露天自然堆肥，立式密闭发酵罐隔绝外界干扰，可手动或自动调控各项工艺参数，加快微生物繁育，全年稳定高效发酵，提升粪污处理效率、缩减成本，适合用地紧张、不便转运粪污的场景，实现集约化无害化处置。想要发挥设备优势，还需掌握发酵原理与配套工艺，熟练规范操作高温好氧发酵罐。

#### 3.1 基本常识

(1) 在日常工作里安排好发酵罐的操作时间，定时排料和投料。

操作顺序：①确认发酵状况②排出③投入④做好维护等工作。排料之前不可以投料，如果排料产品状态不佳，需要终止投入等操作；感觉发酵状态不良时，有必要停止1天投入原料；发酵不良不及时采取有效措施，恢复正常发酵所需天数更久。

(2) 种粪的状态有变化，处理能力也随之变化。

罐体内种粪量多时处理能力较大；种粪的温度高时处理能力较大；种粪的含水率底时处理能力较大。

(3) 保持定量的排料/投料、掌握操作的平衡性。

罐体内种粪越多，罐体内的总含水率越低；水份蒸发量有极限。排料前，参照罐体侧面的显示温度，最终还是以排出料的状态作为是否继续排料的判断标准。

(4) 原料的含水率有变化，处理能力也随之变化。

原料含水率控制在60%左右设备处理效率最优，偏高或偏低都会降产能。可用腐熟成品或木糠调配，借助水分检测仪校准，提前一天预处理后进料；未经调整水份直接投料易造成料体透气变差，恶化发酵效果。

(5) 通风性的好坏直接影响到发酵状况。

原料松散、通透性好，通风性佳，好氧发酵状况越好。发酵状态出现恶化的话，首先出现在罐体下部。根据每天取出的产品状态进行比较，从而判断发酵状况（确认方式：打开排料板，取出少量的产品，观察状况）。

#### 3.2 发酵的前期准备

##### 3.2.1 材料的准备

①原料：鸡粪、猪粪、牛粪等有机废弃物。牛粪的情况：因能量不足，需要添加调整料。至少要提前准备1天以上的投入量。投入原料的含水率60%左右比较理想，80%左右的话也可以进行发酵处理，但是含水率越高，通透性越差，越容易出现不良发酵情况，相应的处理量越少。

②水份调整料（辅料）：使用调整料的目的是使原料密度

减小，保持通风性良好，更容易形成好氧性发酵。发酵成品、木糠等含水率40%以下，含水率越低作为调整料的话，效果更好。

一种水份调整料使用量的计算方式如下：

原料(kg)×{(原料水份量-目标水份量)÷(目标水份量-调整料水份量)}

=达到目标水份量需要加入水份调整料的使用重量(kg)

例如原料1000(kg)含水率75%，调整料含水率30%，目标含水率60%：

调整料使用量 X = 1000 (kg) × {(75-60)÷(60-30)} = 500(kg)。

③种粪（发酵成品）：使用含水率40%以下的发酵好的成品。准备发酵罐容积50%以上的量，越多的话形成发酵就越早。（种粪的含水率使用水份测量仪检测）

##### 3.2.2 测量工具

①蒸汽式水份计：投入前测量原料的含水率，投入一定含水率(含水率60%)的原料维持稳定运行。后续通过测量取出的发酵粪，确认发酵运行状况，再进行下一步操作。

②棒式温度计：投入前测量投入原料的温度，或者测量从罐体排出的气体温度。用于管理维持好氧性发酵的参数，方便把控好氧发酵的状况。

#### 3.3 发酵运行

以下以一台容积100m³的立式高温好氧发酵罐为例，图3.3-1所示为前期发酵到正常运行的基本投料工艺原理。

前期种粪的培养需要10~15天，种粪培养正常后就可正常运行生产，每天定量排料，定量投料，达到连续生产处理的过程。为确保每天正常运行生产，需特别注意以下几点：

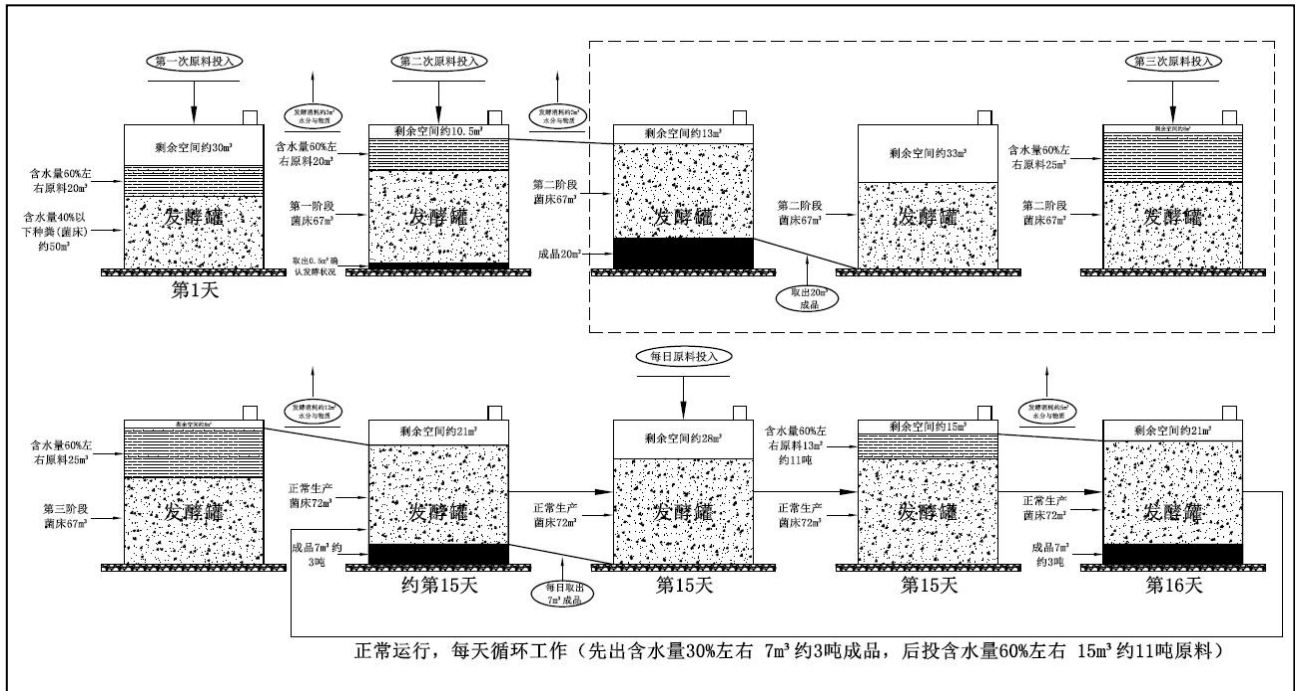
##### 3.3.1 取出操作

①出粪阀门先完全打开，顺利出粪后把阀门关至小于一半左右（防止顶部未发酵的原料过早落下）。②取出成品含水率需控制在35%以下（先取出1m³左右，确定含水率低于35%后再继续取出。若水份过高还继续取出，会导致种粪整体湿度大、通风性差、发酵不良等状况）。③每次取出后，种粪剩余含量要在罐体容积70%以上（若取出太多，会导致罐内种粪太少，一定要在投入原料前补充种粪（发酵好的肥料））。

##### 3.3.2 投入操作

①进料含水率控制在60%左右，含水率超标易结块堵塞气孔、加重搅拌负荷、发酵变差、产能下降，需提前混合搅拌调整水份后投料。②投入量不超罐体容积85%，过量易超负荷、堵塞排气孔。③投料尽量控制在30分钟内完成。④先出料，静置60分钟以上再投料，避免上层生料提前下坠。

图 3.3-1 容积 100m<sup>3</sup> 立式高温好氧发酵罐投料工艺



### 3.4 设备维护保养

立式高温好氧发酵罐正常运行生产后是 24 小时持续工作状态的，在熟悉和了解设备的使用工艺方法后，对设备的日常维护保养也是不可或缺的重要步骤。按要求定期对设备维护保养，可以降低或避免故障导致的设备停止，从而避免影响罐体内部持续的高温好氧发酵环境。

### 参考文献：

- [1] 禽畜粪便堆肥技术规范. 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 3442-2019, 中华人民共和国农业农村部, 2019-01-17 发布, 2019-09-01 实施
- [2] 王险峰,王庆华. 有机肥发酵技术新进展[J]. 现代化农业,2015(11):1-5.

### 4 结语

密闭立式高温好氧发酵罐占地小、适合粪污集约化、无害化制肥处理，目前行业发展迅速、深受养殖户认可。市面生产厂家众多，工艺各不相同，但发酵原理基本一致。本文结合发酵关键条件与罐体结构特点，介绍配套发酵工艺与应用，助力生产制造商推广、用户规范操作，将设备的使用效益达到最大化。