

一种适用于分散小规模养殖的小型好氧保温堆肥装置的设计探索

李嘉良 张雪

北京一零一中学, 中国·北京 100101

摘要: 针对公园、校园及小型农场等分散、小规模化畜禽养殖场景中畜禽粪便处理措施缺少、易产生二次污染等问题, 笔者设计出一款单次处理量约 27 L 的小型好氧保温堆肥装置。该装置采用内外双层不锈钢圆柱套筒结构, 夹层填充高密度 EPE 珍珠棉保温; 堆肥桶设冷凝水收集环槽与堆肥托架, 并配备主动通气系统 (可调流量微型气泵 + 浮子流量计) 与基于 4G 通信的实时温度监测, 顶部预留尾气处理仓。该小型堆肥装置, 堆肥周期内的堆肥桶内温度在 3 天内升温至 50℃ 以上, 最高达 60℃, 50℃ 以上持续 7-8 天, 20 天堆肥期内的桶内温度基本都保持在 45℃ 以上, 装置保温与基本堆肥性能良好, 满足 GB/T 36195-2018 中 “50℃ 以上 ≥ 7 天或 45℃ 以上 ≥ 14 天” 的无害化要求。该装置适合场地有限、技术支撑较弱的小型户外场景推广。

关键词: 小型好氧堆肥装置; 畜禽粪便; 无害化处理; 保温设计; 主动通气; 温度监控

Design Exploration of a Small-Scale Aerobic Insulated Composting Device for Decentralized, Small-Scale Farming

Li Jialiang, Zhang Xue

Beijing No. 101 Middle School, China Beijing 100101

Abstract: To address the lack of effective manure treatment measures and the risk of secondary pollution in decentralized, small-scale livestock farming settings such as parks, campuses, and small farms, this study designed a compact aerobic insulated composting unit with a single processing capacity of approximately 27 L. The device features a double-layered stainless steel cylindrical sleeve structure, with high-density EPE foam insulation filling the interlayer. The composting barrel includes a condensate collection ring groove and a composting tray, and is equipped with an active aeration system (adjustable-flow miniature air pump + float flow meter) and real-time temperature monitoring based on 4G communication, along with a reserved exhaust gas treatment chamber at the top. During the composting cycle, the internal temperature of the barrel rises above 50℃ within three days, reaching a maximum of 60℃, and remains above 50℃ for 7-8 days. Throughout the 20-day composting period, the internal temperature generally stays above 45℃, demonstrating excellent thermal insulation and basic composting performance. The unit meets the disinfection requirements specified in GB/T 36195-2018—temperature above 50℃ for at least 7 days or above 45℃ for at least 14 days. This compact composting unit is suitable for promotion in small outdoor settings with limited space and relatively weak technical support.

Keywords: Small-scale aerobic composting unit; Livestock manure; Harmless treatment; Thermal insulation design; Active aeration; Temperature monitoring

0 引言

好氧堆肥是利用好氧微生物的代谢作用, 将畜禽粪便中的有机物分解转化为稳定腐殖质的过程^[1]。该技术能有效杀灭粪便中的病原菌和寄生虫卵, 实现粪便的无害化、减量化和资源化处理, 最终产物可作为有机肥料用于园林种植和农业生产, 形成 “养殖 - 废弃物 - 种植” 的生态循环。通过调查发现, 传统的好氧堆肥方式存在占地面积大、

腐熟周期长 (30-60 天)^[2,5]、异味难以控制、受天气影响大等缺点, 无法满足公园、校园等小型场所的使用需求。专业的大型堆肥设施需要大量投资和专业人员的配备, 同样不适合上述小型养殖场景。市场上一些较为简陋的堆肥箱, 既没有温度监控, 没有必要的保温措施, 也没有保障通气效果的功能^[3]。因此, 本研究的主要目标就是设计一种操作简单、成本较低、腐熟效率高的小型好氧堆肥装置^[4],

为小型养殖场提供稳定、绿色、安全的养殖粪便堆肥解决方案。

1 小型堆肥装置的设计制作

国家标准 GB7959-2012《粪便无害化卫生要求》对机械式堆肥的要求是超过 50℃的持续时间是 2 天^[6]；另一套国家标准 GB/T36195-2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》中规定，对固态禽畜粪便，“宜采用反应器、静态垛式等好氧堆肥技术进行无害化处理，其堆体温度维持 50℃以上的时间不少于 7d，或者 45℃以上不少于 14d”^[7]。

该小型堆肥装置设计预设，首先是符合国家标准，并使用简单、安全环保。设计目标为单次处理量 20-30L 固态禽畜粪便，堆肥周期控制在 20 天左右，以确保堆肥最终产品能够充分腐熟，并符合国家规定的无害化标准。

1.1 整体设计思路

本小型好氧堆肥装置的设计大致包括如下环节：（1）容量：在堆肥的总体过程大致相同的前提下，堆肥装置的容量决定着堆肥产出效率。为不同的产出效率适配相应的容量尺寸，并尽量在尺寸上方便可调、制作上方便施工；（2）保温：为确保堆肥过程中的高温持续时间，本堆肥装置采用两层套筒模式，套筒之间添加保温效果较好的保温材料，以确保装置在堆肥过程中足够的温度保持能力。（3）通气：在堆肥过程中，为保证装置内部良好的通气效果，堆肥装置采取主动通气设计。（4）温度监控：在堆肥过程中，实现温度随时可查并自动记录存档。

1.2 堆肥装置主体的设计方案

在主体结构上，我们借鉴并改进了既往的一些设计方案^[8-9]，整体设计框架如图所示：堆肥容器主体装置分为内外两层的圆柱形套筒模式（如图 1），其外层为保温桶，材质为厚度 1.2MM 的耐腐蚀 201 不锈钢；内层为堆肥桶，材质同为厚度 1.2MM 的耐腐蚀 201 不锈钢；内外层之间填充高密度 EPE 珍珠棉泡沫板。另外在堆肥容器主体装置的顶部，专门设计了一个能够容纳尾气收集处理系统的尾气处理仓。



图1 堆肥装置的整体设计方案

（1）堆肥桶：堆肥桶主体（见图 2）为上下两个主要结构对扣设计，下部为堆肥桶主仓（图 2-b），上部为盖仓（图 2-a），用来聚集冷凝水及通气；主仓的尺寸决定着整个堆肥装置的产量，根据不同的产出要求，主仓的尺寸在制作时最好做到方便调整。为做好密闭，盖仓和主仓之间用硅胶垫密封，并采用法兰连接；主仓内部需要考虑通气质量和上桶冷凝水收集，故专门设计了冷凝水收集环槽（集水槽，图 2-c）和堆肥托架（图 2-d）。依据方便设计、方便生产的原则，尺寸上采取取整的办法，暂定尺寸为：

直径：300mm；高度 500mm；整体容量 $V_{总}$ 为：

$$V_{总} = (3 \div 2)^2 * 3.14 * 5 \approx 35.33 \text{ (L)}$$

实际容量需要扣掉堆肥托架和集水槽占据的体积空间，其中：

托架占据的空间 $V_{托架}$ 为：

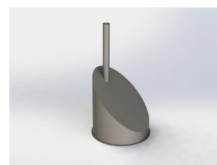
$$V_{托架} = (3 \div 2)^2 * 3.14 * 0.75 \approx 5.30 \text{ (L)}$$

集水槽占据的空间 $V_{集水槽}$ 为：

$$V_{集水槽} = [(3 \div 2)^2 - (2 \div 2)^2] * 3.14 * 0.75 \approx 2.94 \text{ (L)}$$

所以最终的设计容量 V 为：

$$V = V_{总} - V_{托架} - V_{集水槽} = 35.33 - 5.30 - 2.94 = 27.09 \text{ (L)}$$



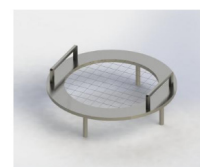
(a) 堆肥桶盖仓



(b) 堆肥桶主仓



(c) 集水槽



(d) 堆肥托架

图2 堆肥桶整体结构分解图

（2）保温桶：保温桶同样为上下两个桶对扣设计，并通过法兰连接。根据保温效果的要求，保温桶尺寸需要考虑的因素包括：①环境温度以及昼夜温度变化情况；②季节变化影响；③环境通风情况等等。本次制作过程中，我们借鉴经验值，暂定保温隔热层的厚度为 150mm，所以保温桶的大致尺寸定为：

高度：由于保温材料需要整体性包裹堆肥桶，所以保温桶上桶和下桶分别比堆肥桶对应的盖仓和主仓要高 150mm；

直径：保温桶直径要比堆肥桶大 300mm（150 mm *2）；

（3）尾气处理仓：尾气处理的方案有多种，包括活性炭吸附、化学制剂洗涤、生物降解等，根据规模及成本等因素，可以作不同的选择^[10-11]。本次设计中，选用化学制剂洗涤方案，通过弱酸吸收氨气的释放。

另，根据冷凝水需随时排放的需要，在堆肥桶和保温桶底部贯通一条冷凝水排放管路。

如上各部件尺寸的设定，尤其是保温方案的落实，是基于前期各种综合调研的分析，后续的实验可以看到，完全可以满足堆肥保温的基础要求。后续设计和生产时，可以在本设计成果的基础上，进一步优化保温系统的设计，包括材料、厚度和整体结构等参数。

1.3 堆肥装置温度检测的方案设计

以往的设计方案中，温度检测主要是两种方式：（1）临时手动检测；（2）专门制作检测组件并与电脑连接以完成温度记录，多是仅适用于实验室的简易方案，不太适用于实际的户外使用的场景。经过调研分析，我们采用了一套现成的商用实时在线双路温度检测系统（精创 GSP-8G）。该系统可通过 4G 通信利用手机接收检测器发来的实时温度信息，方便户外远距离的数据监测，尤其适合本次设计假定的户外的使用环境。温度检测系统如图 3 所示。



a、温度记录仪



b、温度传感器

图3 温度检测系统

1.4 堆肥通气控制装置的方案设计

主动通气需要考虑到堆肥桶内的堆肥量、物料压实度以及含水率、温度以及环境通风情况等决定因素，同时通气量不仅影响堆肥桶内的含氧量，也影响着桶内温度的实时波动，设计通常来说需要严谨的堆肥桶内部含氧量及温度的实时测算等。在实际生产过程中可依据现实需求进行通气量的设计生产。本设计中，堆肥桶的设计容量 27.09L，如果堆肥是满量装填，每分钟通气量大约需要 1.35-5.4L^[12]。根据这一参数，我们选定了一款常规的通量可调的小型通气泵 YT-304，其通量范围为：0-6L/min，刚好满足满量装填时的通气需求。为满足后续实验的需要，本设计还在通气泵后端添加了一支可调气流量为 0.5-8L/min 的

浮子流量计，其产品型号为 DFG-6T。整个小型通气控制装置的实物构成如图 4 所示。



图4 通气装置实物图

1.5 堆肥装置整体加工成品实物

最终设计生产出的小型好氧堆肥装置实物如图 5 所示。其中，（1）保温桶和堆肥桶内外连接法兰处留缺口放置传感器信号线；（2）底部为万向轮，可在一定的场地范围内方便移动。



图5 堆肥装置加工成品图

2 小型堆肥装置的性能测试

基于上述小型好氧堆肥装置，我们在校园内对禽畜粪肥分别进行了三次堆肥试验（A\B\C），重点考察了装置的保温效果。三次试验（A\B\C）时间在 12 月到 2 月，结果大致如下：

三组试验中，堆肥桶内的温度随时间变化情况的统计如图 6 所示。其中：

温度变化规律：三组试验的桶内温度都是在三天内迅速升高到了 50℃以上，并在第四、五天到达了最高温度，随后缓慢降温，但在 20 天的堆肥过程中最终都可以保持到 45℃附近；

最高温度：全部三组试验的桶内温度都在第三天升高超过了 50℃，其中，试验 B 到达了 60℃，试验 A 和试验 C 的最高温度也都到达了 56℃以上；

温度保持情况：三组试验中，试验 B 的温度在 50℃以上的温度保持了 8 天，试验 A 和试验 C 的温度在 50℃以上的温度保持了 7 天，均满足了国家标准 GB/T36195-2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》中所规定的时间

限度。

综上,本次设计的堆肥装置具备了基本的堆肥能力,符合堆肥的温度变化规律,满足了禽堆肥所需要的基本要求。

3 结语

本次小型好氧堆肥装置的设计,主要是针对类似于公园、小型农场或校园养殖等场景中畜禽粪便处理难题,目标是设计出一款结构简单、成本较低、易于操作且能达到良好堆肥效果的堆肥装置。本次设计出的堆肥装置通过施加主动通气功能与可靠的保温设计,在户外真实养殖场地中实现了堆肥温度快速上升(三天内升温超过 50℃,并保持 50℃以上超过 7-8 天)。该温度保持效果能够有效促进有机物降解与病原菌灭活,保证最终堆肥成品符合腐熟标准。

本装置设计具有以下特点:(1)采用分体化设计,便于组装与搬运;(2)通过主动通气的方式,能够确保堆肥最终产物的品质;(3)可靠的保温层对堆肥保温起到了决定性的作用;(4)温度实时检测并通过 4G 网络上传用户手机 APP,极大的提高了工作效率,保障了堆肥效果;(5)预设了尾气收集装置,可在需要的情况下避免二次污染。这些特点使这一设计成果尤其适合在场地有限、技术支撑薄弱的小型户外养殖场景中推广应用。

实际制作和测试过程中,我们也总结了该设计方案的一些不足,未来可以此为基础,进一步完善相关细节,比如:(1)保温方案如何适配不同气温环境;(2)研究温度与通气的自动反馈及控制机制设计,使其更加智能化与自动化;(3)改善堆肥桶的结构设计,探索改进物料投放和排出设计,进一步完善堆肥箱的使用便利性,更有效助力小型养殖场景中对养殖废弃物的科学管理;(4)未来还可以探索太阳能辅助保温、供电等绿色节能的设计等等。

基于本次设计与试验验证,该小型好氧堆肥装置已具备良好的实用性。下一步,可将装置推广至各中小学校园以及社区生态农场。在推广过程中,可根据不同场地灵活调整该装置的尺寸,逐渐形成可复制的推广方案。通过在

校园与社区的广泛落地应用,可切实解决分散养殖的粪便污染难题,同时普及生态循环理念,为绿色校园与生态社区建设提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 教育信息速报. 2026 年 3 月 31 日. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1861148691484083284&wfr=spider&for=pc>.
- [2] 林丽萍等. 一方学校“试验田”的多维突破. 安徽日报. 2025 年 12 月 4 日第 012 版.
- [3] 杨玲等. 基于“校园有机农场”资源的跨学科教育实践探索[J]. 科学教育与博物馆, 2023(5): 107-113.
- [4] 辽宁省生态环境厅. 用制度治理规模以下养殖业污染.(2016-07-14)[2026-05-13]. <https://sthj.ln.gov.cn/sthj/zwdt/snyw/9D0AE0AD1EA94B0BAA7BB451C07AE9D9/index.shtml>.
- [5] 凌云等. 禽畜粪便好氧堆肥研究进展. 上海化工. 2003 (06): 7-10.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 7959-2012 粪便无害化卫生要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [7] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 36195-2018 畜禽粪便无害化处理技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [8] 张锐. 小型实验室好氧堆肥反应器系统研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [9] 王军等. 利用密闭箱式堆肥系统处理畜禽粪便研究. 中国农学通报, 2004 (01): 159-160+230.
- [10] 陆日明等. 生物滤池填料及工艺参数去除鸡粪堆肥臭气效果研究. 农业工程学报, 2008, 24(1): 241-245.
- [11] 张昊等. 畜禽粪便好氧堆肥末端除臭装置的设计与除臭效果分析. 中国家禽, 2020, 42(10): 105-108.
- [12] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 442-2019, 畜禽粪便堆肥技术规范.

作者简介: 李嘉良 (2009.01-), 男, 汉族, 北京生人, 高中学历, 北京一零一中学。