

附件四：

HJ-BAT-10

环 境 保 护 技 术 文 件

规 模 畜 禽 养 殖 场 污 染 防 治 最 佳 可 行 技 术 指 南 （ 试 行 ）

**Guideline on Best Available Technologies for Pollution
Prevention and Control of Livestock and Poultry Farms (on Trial)**

环 境 保 护 部 发 布

前言

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》，防治环境污染，完善环保技术工作体系，制定本指南。

本指南可作为畜禽养殖污染防治工作的参考技术资料。

本指南由环境保护部科技标准司提出并组织制订。

本指南起草单位：清华大学、北京市环境保护科学研究院、北京德青源农业科技股份有限公司。

本指南 2013 年 7 月 17 日由环境保护部批准、发布。

本指南由环境保护部解释。

1 总则

1.1 适用范围

本指南适用于规模畜禽养殖场，畜禽养殖类型以猪、牛、鸡三大类畜禽为主，其他畜禽养殖品种、养殖小区和养殖大户可参照采用。

1.2 术语和定义

本指南中规模养殖场是指经当地农业、工商等行政主管部门批准，具有一定规模的畜禽养殖场。按养殖规模将养殖场分为特大型（存栏大于 50000 头猪单位）、大型（存栏 10000~50000 头猪单位）、中型（存栏 2000~10000 头猪单位）和小型（存栏 500~2000 头猪单位），规模以猪单位（体重 90kg）计量（20 只蛋鸡折算成 1 头猪，35 只肉鸡折算成 1 头猪，1 头奶牛折算成 10 头猪，1 头肉牛折算成 7 头猪）。

2 畜禽养殖污染源及主要环境影响

2.1 污染物的来源与特性

畜禽养殖生产的污染物包括固体污染物（粪便、病死畜禽尸体）、水污染物（养殖场废水）和大气污染物（恶臭气体）。其中养殖废水和粪便是主要污染物，具有产生量大、成份复杂等特点，其产生量、性质与畜禽养殖种类、养殖方式、养殖规模、生产工艺、管理水平、气候条件等有关。

2.1.1 固体废物污染

畜禽养殖产生的固体污染物主要包括畜禽粪便、垫料和病死畜禽尸体等，产生量及性质见表 1。

表 1 畜禽养殖主要固体污染物产生量及其性质

养殖种类	日排泄量 (kg/头)	COD (mg/kg)	NH ₃ -N (mg/kg)	TP (mg/kg)	TN (mg/kg)	TS (%)
猪	1.0~3.0	67000	5200	4300	11000	10-15
奶牛	20~30	34000	3500	1400	4400	20
肉牛	15~20					
蛋鸡	0.08~0.15	45000	4800	4400	10000	25
肉鸡	0.02~0.10					

2.1.2 水污染

畜禽养殖废水主要包括尿液、冲洗水及少量生活污水，产生量及其性质见表 2。

表 2 畜禽养殖主要水污染物产生量及其性质

养殖种类	清粪方式	日产生量 (kg/头)	COD _{Cr} (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	pH
猪	干清粪	10	2500~2770	230~290	35~50	320~420	6.3~7.5
	水冲粪	20	15600~46800	130~1780	30~290	140~1970	
牛	干清粪	20	920~1050	40~60	16~20	57~80	7.1~7.5
	水冲粪	50	6000~25000	300~1400	35~50	300~500	
鸡	干清粪	0.1-0.25	2740~10500	70~600	13~60	100~750	6.5~8.5

2.1.3 大气污染

畜禽养殖大气污染物主要来自畜禽粪尿、毛皮、饲料等含蛋白质废物厌氧分解产生的氨气、二甲基硫醚、三甲胺和硫化氢等臭味气体。

2.2 主要环境影响

畜禽养殖污染物中含有丰富的有机质、氮、磷、钾等各种微量元素和活性物质，可被资源化利用。但若处理利用不当，可导致面源污染；畜禽养殖污染物含有大量寄生虫卵、病原微生物等病原体，易导致人畜疾病传播；同时，畜禽养殖所产生的臭气如处理不当，也会对环境造成污染。

3 畜禽养殖污染防治技术

3.1 畜禽养殖污染预防技术

3.1.1 畜禽科学饲喂技术

采用培育优良品种、科学饲养、科学配料、使用无公害绿色添加剂等措施，并利用高新技术改变饲料品质及物理形态（如生物制剂处理技术、饲料颗粒化、饲料热喷技术），提高畜禽饲料的利用率（尤其是氮的利用率），降低畜禽排泄物中氮的含量及恶臭气体的排放。

科学配料畜禽养殖饲料应采用合理配方，在饲料中补充合成氨基酸，提高蛋白质及其他营养的吸收效率，减少氨气排放量和粪便的产生量。

科学饲养分阶段饲喂，即用不同养分组成的日粮饲喂不同生长发育阶段的畜禽，使日粮养分更接近畜禽的需要，可避免养分的浪费和对环境的污染。

使用无公害绿色添加剂畜禽养殖饲料中添加微生物制剂、酶制剂和植物提取液等活性物质，可减少污染物排放和恶臭气体的产生。

3.1.2 干清粪技术

干清粪技术是指畜禽排放的粪便一经产生便通过机械或人工收集、清除，尿液、残余粪便及冲洗水则从排污道排出的清粪方式，根据养殖场规模情况可选择人工或机械清粪工艺。

人工清粪就是利用清扫工具人工将畜禽舍内的粪便清扫收集。该技术具有设备简单、能耗低、投资少等优点，但劳动量大，生产效率低。

机械清粪指采用专用的机械设备进行清粪。机械清粪效率高，但一次性投资较大，运行维护费用较高。

3.1.3 病死畜禽尸体的处理与处置

采用厌氧发酵技术的养殖场可采用高温灭菌方法，将畜禽尸体破碎后进入沼气发酵反应器。

对于未采用厌氧发酵技术的大型养殖场或在养殖密集区的大型养殖场应集中设置焚烧设施，同时焚烧产生的烟气应采取有效的净化措施，防止烟尘、一氧化碳、恶臭等对周围大气环境的污染。

不具备上述条件的养殖场应设置安全填埋井。

3.1.4 养殖场臭气污染控制技术

3.1.4.1 物理除臭技术

向粪便或舍内投（铺）放吸附剂减少臭气的散发。可采用沸石、锯末、膨润土以及秸秆、泥炭等含纤维素和木质素较多的材料。

3.1.4.2 化学除臭技术

向养殖场区和粪污处理厂（站）投加或喷洒化学除臭剂防止臭气的产生。可采用双氧水、次氯酸钠、臭氧等不含重金属的化学氧化剂。

3.1.4.3 生物除臭技术

即微生物降解技术，利用生长在滤料上的除臭微生物对硫化氢、二氧化硫、氨气以及其他挥发性恶臭物进行降解。生物除臭包括生物过滤法和生物洗涤法等。

3.2 畜禽粪便堆肥发酵技术

3.2.1 技术原理

堆肥发酵是指在有氧条件下，微生物通过自身的生物代谢活动，对一部分有机物进行分解代谢，以获得生物生长、活动所需要的能量，把另一部分有机物转化合成新的细胞物质，使微生物生长繁殖，产生更多的生物体；同时好氧反应释放的热量形成高温（ $>55^{\circ}\text{C}$ ）杀死病原微生物，从而实现畜禽粪便减量化、稳定化和无害化的过程。

3.2.2 工艺流程及产污环节

堆肥发酵过程通常包括前处理、好氧发酵、后处理和贮存等环节。发酵前需与发酵菌剂、秸秆混合，同时调节水分、碳氮比等指标，发酵过程中不断进行翻堆，从而促使其腐熟。堆肥工艺流程及产污环节见图 1。

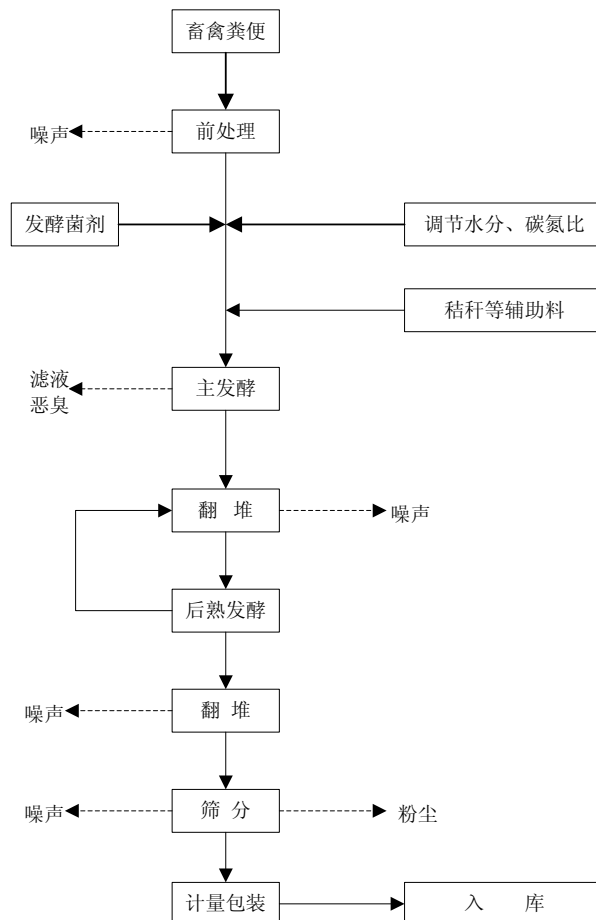


图 1 堆肥工艺流程及产污环节

3.2.3 工艺类型及技术经济适用性

3.2.3.1 自然堆肥

自然堆肥是指在自然条件下将粪便拌均摊晒，降低物料含水率，同时利用好氧菌的作用下进行发酵腐熟。

该技术投资小、易操作、成本低。但处理规模小、占地大、干燥时间长，易受天气影响，且堆肥时产生臭味、渗滤液等环境污染。

该技术适用于有条件的小型养殖场。

3.2.3.2 条垛式主动供氧堆肥

条垛式主动供氧堆肥是将混合堆肥物料成条垛式堆放，通过人工或机械设备对物料进行不定期的翻堆，通过翻堆实现供氧。为加快发酵速度，可在垛底设置穿孔通风管，利用鼓风机进行强制通风。条垛的高度、宽度和形状取决于物料的性质和翻堆设备的类型。

该技术成本低。但占地面积较大，处理时间长，易受天气的影响，易对大气及地表水造成污染。

该技术适用于中小型畜禽养殖场。

3.2.3.3 机械翻堆堆肥

机械翻堆堆肥是利用搅拌机或人工翻堆机对肥堆进行通风排湿，使粪污均匀接触空气，粪便利用好氧菌进行发酵，并使堆肥物料迅速分解，防止臭气产生。

该技术操作简单，生产环境较好。但一次性投资较大，运行费用较高。

该技术适用于大中型养殖场。

3.2.3.4 转筒式堆肥

转筒式堆肥是指在可控的旋转速度下，物料从上部投加，从下部排出，物料不断滚动从而形成好氧的环境来完成堆肥。

该技术自动化程度较高，生产环境较好。但一次性投资较大，运行费用较高。

适用于中小型养殖场。

3.2.4 消耗及污染物排放

好氧堆肥能耗由于原料成份、处理规模及配备装置不同而有较大差异，条垛式堆肥能耗通常为 1~7 kWh/m³ 发酵产品；机械翻堆式堆肥能耗通常为 5~15 kWh/m³ 发酵产品。

好氧发酵微生物对有机质进行分解时产生恶臭气体，主要包括氨、硫化氢、甲基硫醇以及烷烃类气体。好氧发酵的翻堆和通风过程中会产生粉尘。

好氧发酵过程产生的滤液中通常化学需氧量（COD_{Cr}）浓度为 2000~6000mg/L，五日生化需氧量（BOD₅）浓度为 800~4500mg/L。好氧发酵过程中的噪声主要来源为前处理设备、翻堆设备和通风设备，设备噪声为 70~85dB（A）。

3.3 畜禽养殖生物发酵床技术

3.3.1 技术原理

生物发酵床技术是按一定比例将发酵菌种与秸秆、锯末、稻壳以及辅助材料等混合，通过发酵形成有机垫料，将有机垫料置于特殊设计的猪舍内，利用微生物对粪便进行降解、吸氨固氮而形成有机肥。

3.3.2 工艺流程及产污环节

首先利用高效复合微生物菌，按一定比例将菌种、锯末以及一定量的辅助材料混合、发酵形成有机垫料，将有机垫料填充到经过特殊设计的猪舍里。猪长期生活在有机垫料上，猪的排泄物能够与有机垫料充分混合，并被微生物迅速降解、消化为有机肥料。工艺流程见图 2。

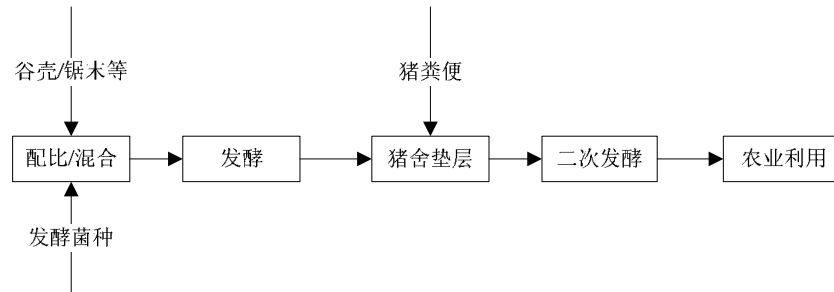


图 2 生物发酵床工艺流程

3.3.3 工艺类型与技术经济适用性

该技术能使猪粪尿在猪圈内充分降解，养殖过程无污染物排放，能够实现养殖过程清洁生产。与传统方法相比，具有操作简单、节约水资源等优点，适用于中小型养猪场。发酵床按建设模式不同可分为地上式、地下式和半地下式。

地上式发酵床优点是能够保持猪舍干燥，防止高地下水位地区雨季返潮，但建设成本较高，适用于南方地区以及江、河、湖、海等地下水位较高的地区；地下式发酵床优点是建设成本相对较低、保温性能好，但透气性较差，且日常养护成本较高，适用于北方干燥或地下水位较低的地区。

3.4 畜禽养殖粪污厌氧消化及发酵产物综合利用技术

3.4.1 技术原理

畜禽粪污厌氧消化技术是指在厌氧条件下，通过微生物作用将畜禽粪污中的有机物转化为沼气的技术。该技术可降低畜禽粪污中有机物的含量，并可产生沼气作为清洁能源。发酵后的沼气经脱硫脱水后可通过发电、直燃等方式实现利用，沼液、沼渣等可以作为农用肥料回田。

3.4.2 工艺流程及产污环节

畜禽粪污经匀浆池（或调节池）调节水质水量后，提升到厌氧消化池。厌氧消化池产生的沼气经净化后再利用，出料经固液分离后，沼渣可制备有机肥后回田利用，沼液除部分回流外，其余部分可作为液体肥料利用或进一步处理，畜禽粪污厌氧消化工艺流程及产污环节见图 3。

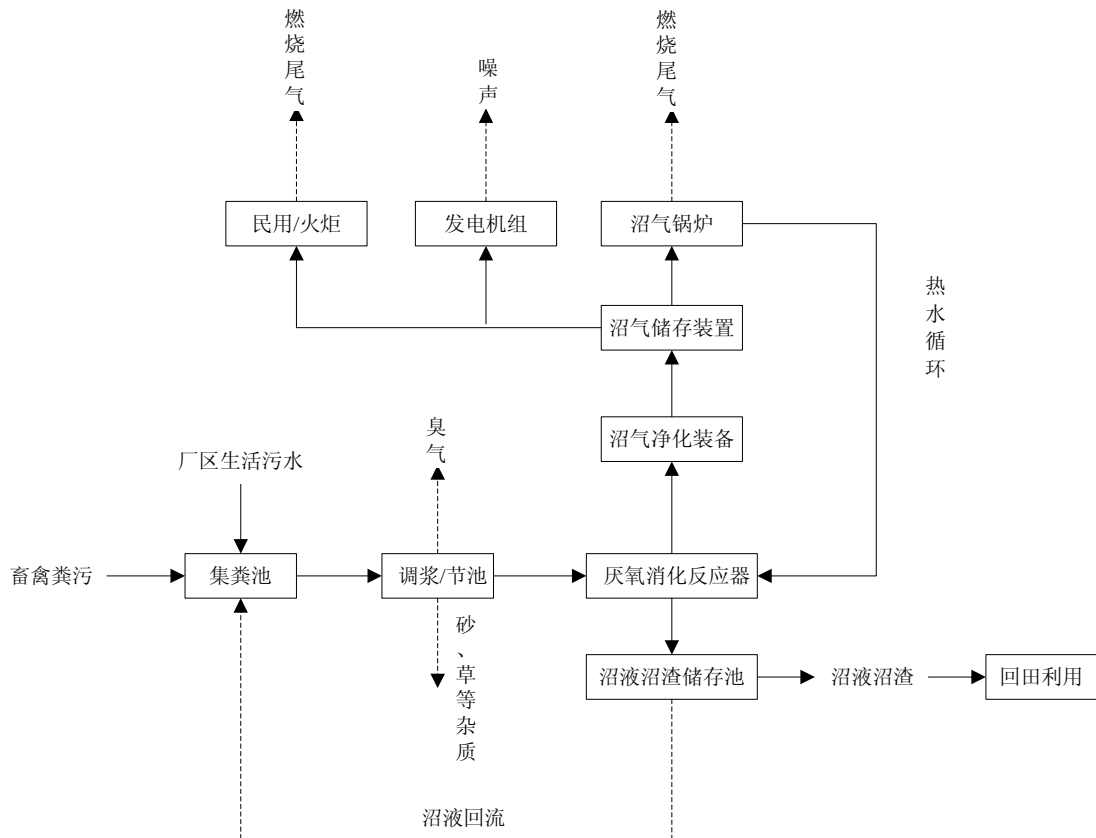


图 3 厌氧消化工艺流程及产污环节

3.4.3 工艺类型及技术适用性

3.4.3.1 连续搅拌反应器（CSTR）技术

连续搅拌反应器技术是指在一个密闭厌氧消化池内完成料液的发酵、产生沼气的技术。发酵原料的含固率通常在 8% 左右，通过搅拌使物料和微生物处于完全混合状态，一般采用机械搅拌。投料方式可采用连续投料或半连续投料方式，反应器一般运行在中温条件(35℃ 左右)，在中温条件下的停留时间为 20~30d。

该技术可以处理高悬浮固体含量的原料，消化器内物料均匀分布，避免了分层状态，增加了物料和微生物接触的机会。该工艺处理能力大，产气效率较高，便于管理，适用于大型和超大型沼气工程。

3.4.3.2 升流式固体厌氧反应器（USR）技术

升流式固体厌氧反应器技术是指原料从底部进入反应器内，与反应器里的厌氧微生物接触，使原料得到快速消化的技术。未消化的有机物和厌氧微生物靠自然沉降滞留于反应器内，消化后的上清液从反应器上部溢出，使固体与微生物停留时间高于水力停留时间，从而提高了反应器的效率。USR 技术对布水均匀性要求较高，需设置布水器（管）。为了防止反应器顶部液位高度发生结壳现象，建议在反应器顶部设置破壳装置。USR 运行温度与停留时间与 CSTR 基本相同，目前国内多采用中温发酵。

该技术优点是处理效率较高，管理简单，运行成本低，适用于中、小型沼气工程。

3.4.3.3 升流式厌氧污泥床（UASB）技术

UASB 由反应区、气液固三相分离器（包括沉淀区）和气室三部分组成。在反应区内存留大量厌

氧污泥。污水从厌氧污泥床底部流入，与反应区中的污泥进行混合接触，污泥中的微生物将有机物转化为沼气。污泥、气泡和水一起上升进入三相分离器实现分离。同时，由于畜禽养殖废水中悬浮物含量较高，因此畜禽养殖废水 UASB 有机负荷不宜过高，采用中温发酵时，通常为 $5\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 左右。

该技术优点是反应器内污泥浓度高，有机负荷高，水力停留时间长，无需混合搅拌设备。缺点是：进水中悬浮物需要适当控制，不宜过高，一般在 $1500\text{mg}/\text{L}$ 以下；对水质和负荷突然变化较敏感，耐冲击力稍差。适用于大中型养殖场污水处理的预处理。

3.4.3.4 沼气脱硫技术

畜禽粪污发酵所产生的沼气中含硫量通常为 $0.1\%\sim 0.6\%$ ，沼气需经过脱硫处理后方可利用。沼气脱硫技术通常包括干法脱硫、湿法脱硫、生物脱硫三类。

干法脱硫是指沼气通过活性炭、氧化铁等构成的填料层，使硫化氢氧化成单质硫或硫氧化物的一种方法。

湿法脱硫是将沼气与添加了催化剂的碱性溶液，或溶解态的脱硫剂充分混合，将硫化氢脱除。

生物脱硫是在生物的作用下，将硫化氢氧化成单质硫、亚硫酸的一种方法。

干法脱硫结构简单，使用方便，工作过程中无需人员值守，但运行费用偏高。湿法脱硫设备可长期连续运行，运行费用相对较低，但工艺复杂，需要专人值守和定期保养。生物脱硫不需催化剂和氧化剂，不需处理化学污泥，能耗低，并可回收单质硫，处理效率高，缺点是过程不易控制，条件要求苛刻。

3.4.3.5 沼气脱水技术

畜禽粪污发酵所产生的粗沼气中含水量很高，沼气均需经过脱除水分后方可利用。常见的脱水方法有冷分离法、溶剂吸收法、固体物理吸水法。

冷分离法是利用压力能变化引起温度变化，使水蒸汽从气相中冷凝下来的方法。

溶剂吸收法是利用氯化钙、氯化锂及甘醇类等脱水溶剂实现对水的吸收。

固体物理吸水法是通过固体表面力作用实现水分的脱除。

沼气脱水技术处理效率较高，且投资和运行成本均较低，目前多选用冷分离法脱水。

3.4.3.6 沼气热电联产技术

沼气热电联产技术是指利用以沼气为燃料的发电机组，以及配套的余热回收系统，将沼气转化为电能和热能的技术。一般沼气 $30\%\sim 40\%$ 可利用的能量以电能形式回收， 1Nm^3 沼气发电 $1.5\sim 2.0\text{Kw}\cdot\text{h}$ 。剩余能量大部分以热能形式回收，一般占沼气 $40\%\sim 50\%$ 可利用的能量。

该技术适用于大中型养殖场发电自用或发电并网，发电前需对沼气进行脱硫、脱水处理。

3.4.3.7 沼气直燃技术

沼气直燃技术是指采用沼气直接燃烧以产生热能，通过锅炉或专用灶具实现沼气能量的利用。该技术适用于中小型养殖场或沼气工程沼气自用或居民集中供气，利用前需对沼气进行脱硫、脱水处理。

3.4.3.8 沼渣、沼液土地利用技术

沼渣、沼液养分含量较为全面，含有丰富的氮、磷、钾、钙、镁、硫等微量元素以及各种水解酶、有机酸和腐殖酸等生物活性物质，具有刺激作物生长、增强作物抗逆性及改善产品品质的作用，是优质的有机肥料，可广泛应用于农业、园林绿化、林地、土壤修复和改良等领域。

3.4.4 消耗及污染物排放

中温厌氧发酵对有机物的降解率通常可以达到 50% 以上，畜禽粪污厌氧消化会产生沼气，通常产气能力为 0.2~0.4L/kgTS，沼气中甲烷含量为 50%~70%，二氧化碳含量为 30%~50%，硫化氢含量为 0.1%~0.6%。畜禽粪污厌氧消化能耗主要用于维持厌氧反应温度及维持泵、搅拌等设备运转。其中搅拌的能耗水平取决于厌氧消化搅拌方式，通常为 0.005~0.008kWh/m³。沼渣、沼液利用过程的主要能源消耗来自固液分离设备、泵等驱动力消耗。沼气净化与综合利用过程的能耗主要用于维持各级设备的运转，如风机等。沼气净化与综合利用过程的消耗主要包括脱硫剂、脱水剂、脱碳溶剂等。

发酵产物沼渣、沼液体积较大，含固率较高，通常在 1%~2% 之间，并且沼液中含有大量未降解的有机物和氮、磷等营养元素，其中化学需氧量为 8000~20000mg/L、氨氮为 1000~5000mg/L，总磷为 50~200mg/L。如不妥善处理会造成二次污染。沼渣、沼液处理过程会产生少量恶臭气体；沼渣制取有机肥过程中会产生粉尘。沼气净化过程排放的主要污染物为更换的脱硫药剂，以及排放的单质硫。沼气燃烧或发电会产生尾气，尾气中主要污染物为氮氧化物、二氧化硫和一氧化碳。

3.5 畜禽养殖废水治理技术

3.5.1 技术原理

畜禽养殖废水处理技术是指依赖有氧条件下优势菌种的生化作用完成污水处理的工艺。废水中的污染物在微生物的作用下，转化为二氧化碳、氮气、硝酸盐氮等无机物。

3.5.2 工艺流程及产污环节

采用粪便堆肥技术而排放的废水，应利用厌氧+好氧的方式进行处理。废水依次经过初次沉淀池、厌氧反应器、好氧反应器、二沉池等处理设施，出水排放或回用。其中厌氧技术部分见 3.4 节。

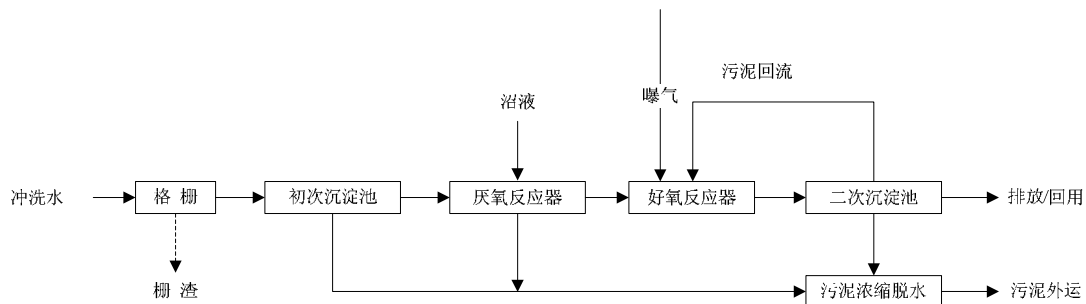


图 4 养殖废水处理工艺流程及产污环节

畜禽养殖废水自然处理及好氧处理过程所产生的主要污染物包括栅渣、剩余污泥以及曝气过程产生的恶臭、二氧化碳等。

3.5.3 工艺类型与技术经济适用性

3.5.3.1 畜禽养殖废水自然处理技术

畜禽废水自然处理技术包括土地处理技术和氧化塘处理技术。按运行方式的不同，土地处理技术可分为慢速渗滤处理、快速渗滤处理、地表漫流处理和湿地处理等技术。氧化塘按照优势微生物种属和相应的生化反应的不同，可分为好氧塘、兼性塘、曝气塘和厌氧塘四种类型。

好氧塘的水深通常在 0.5m 左右，BOD₅ 去除率高，在停留 2~6 天后可达 80% 以上。兼性塘较深，一般在 1.2~2.5m，可分为好氧区、厌氧区和兼性区，在多种微生物的共同作用下去除废水中的污染

物。厌氧塘有单级厌氧塘和二级厌氧塘。在处理畜禽废水时，二级厌氧塘比一级厌氧塘处理效果好。曝气塘一般水深 3~4m，最深可达 5m，塘内总固体悬浮物浓度应保持在 1%~3%之间。

自然处理法基建投资少，运行管理简单，耗能少，运行管理费用低；但是，自然处理工艺占地面积大，净化效率相对较低，适用于具备场地条件的中小型养殖场污水处理。

3.5.3.2 完全混合活性污泥法

完全混合活性污泥法是一种人工好氧生化处理技术。废水经初次沉淀池后与二次沉淀池底部回流的活性污泥同时进入曝气池，通过曝气废水中的悬浮胶状物质被吸附，可溶性有机物被微生物代谢转化为生物细胞，并被氧化成为二氧化碳等最终产物。曝气池混合液在二次沉淀池内进行分离，上层出水排放，污泥部分返回曝气池，剩余污泥由系统排出。完全混合活性污泥法停留时间一般为 4~12d，污泥回流比通常为 20%~30%。 BOD_5 有机负荷率一般为 $0.3\sim 0.8\text{ kg}\cdot BOD_5/m^3\cdot d$ ，污泥龄约 2~4d。

完全混合活性污泥法的特点是：承受冲击负荷的能力强，投资与运行费用低，便于运行管理。缺点是：易引起污泥膨胀，出水水质一般。该技术适用于中小型养殖场污水处理。

3.5.3.3 序批活性污泥法（SBR）

序批活性污泥法是集均化、初沉、生物降解、二沉等功能于一池，无污泥回流系统的一种处理工艺。序批活性污泥法（SBR）停留时间一般为 3~5d，污泥回流比通常为 30%~50%。 BOD_5 有机负荷率通常为 $0.13\sim 0.3\text{ kg}\cdot BOD_5/m^3\cdot d$ ，污泥龄约 5~15d。

该工艺可有效去除有机污染物，工艺流程简单，占地少，管理方便，投资与运行费用较低，出水水质较好，适用于大中型养殖场污水处理。

3.5.3.4 接触氧化工艺

生物接触氧化法也称淹没式生物滤池，其在反应器内设置填料，经过充氧的废水与长满生物膜的填料相接触，在生物的作用下，污水得到净化。接触氧化工艺停留时间通常为 2~12d， BOD_5 有机负荷率通常为 $1.0\sim 1.8\text{ kg } BOD_5/m^3\cdot d$ 。

生物接触氧化法具有体积负荷高，处理时间短，占地面积小，生物活性高，微生物浓度较高，污泥产量低，不需要污泥回流，出水水质好，动力消耗低等优点；但由于生物膜较厚，脱落的生物膜易堵塞填料，生物膜大块脱落时易影响出水水质。该技术适用于大中型养殖场养殖场污水处理。

3.5.4 消耗及污染物排放

畜禽养殖废水自然处理技术 BOD_5 去除率通常在 50%~80%之间，对总氮、总磷的去除效果较差。

完全混合活性污泥法、序批活性污泥法、接触氧化工艺 COD 去除率通常在 65%~95%左右。

养殖废水好氧处理技术的主要能源消耗来自提升泵、鼓风机、污泥浓缩脱水设备等驱动力消耗。能耗与废水水质、出水标准有较大关系。通常能耗为 $0.3\sim 1\text{ kW}\cdot h/m^3$ 。

养殖废水好氧处理过程所产生的主要污染物包括栅渣、剩余污泥等。污泥浓缩脱水后仍残余大量泥饼，需进行安全处置。

3.6 畜禽养殖粪污处理及综合利用新技术

3.6.1 畜禽粪便干发酵技术

干发酵技术是将高含固率的畜禽粪便直接作为发酵原料，利用厌氧微生物发酵产生沼气，反应体系中的固体含量（TS）通常在 20%~40%左右。

干发酵技术具有系统稳定、处理量大、占地面积小等优势，其容积产气率较传统湿式发酵高 2~3 倍，且发酵残余物含固率较高，避免了发酵沼液处理处置困难等问题。但是，由于干发酵底物固体含量较高，接种物与底物混合困难，因此导致发酵过程传质、传热均存在一定问题。

3.6.2 沼液高值利用技术

沼液高值利用是指采用浓缩技术减少沼液产出量，提高液肥中有机质和营养物质含量。在浓缩过程中，浓缩液营养成分不损失，通过性质稳定化、营养元素复配以及添加植物促生剂和微生物防菌剂，生产有机沼液营养液；清液回流到厌氧消化，减少工艺需水量和排放量。沼液浓缩比例一般在 4~5 倍左右。

沼液高值利用技术适用于大型养殖场沼气工程，可有效实现沼液的减量化，大大降低了运输成本，具有较好的经济效益，缺点是一次性投资较大。

3.6.3 沼渣高值利用技术

沼渣高值利用是指通过沼渣改性、添加生物菌剂、进行养分的配比调控，制造兼有肥效和防病特性的优质复合有机肥和沼渣人工基质。

3.6.4 沼气提纯技术

畜禽粪污发酵所产生沼气的二氧化碳含量通常为 30%~45%，通过沼气提纯技术可将沼气的甲烷浓度提高。沼气提纯技术通常包括水洗法、化学吸收法和变压吸附法（PSA），去除率一般在 95% 以上。化学吸收法是利用吸收液（通常为碱性）吸收沼气中的二氧化碳的方法；变压吸附法主要利用分子筛对混合气体中的二氧化碳和甲烷进行分离；水洗法是利用二氧化碳在水中的溶解度与甲烷的差异，通过物理吸收过程，实现二氧化碳和甲烷的分离。

适用于大型养殖场沼气工程，一次性投入较大，但经济效益较好，沼气提纯后可作为天然气并入城市燃气管网或车用燃料，脱碳前需对沼气进行脱硫、脱水处理。

4 畜禽养殖污染防治最佳可行技术

4.1 畜禽养殖污染防治最佳可行技术概述

畜禽养殖污染防治最佳可行技术根据养殖规模、畜禽种类和地域特性等特点分为畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术、畜禽粪污堆肥处理最佳可行技术、以及发酵床畜禽养殖污染防治最佳可行技术。

4.2 畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术

4.2.1 最佳可行技术工艺流程

畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术主要包括畜禽养殖生产中的污染防治技术、粪污的预处理技术、粪污厌氧消化技术、沼气净化与综合利用技术、沼液沼渣处理及综合利用技术等。

畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术工艺流程见图 5，图 6。

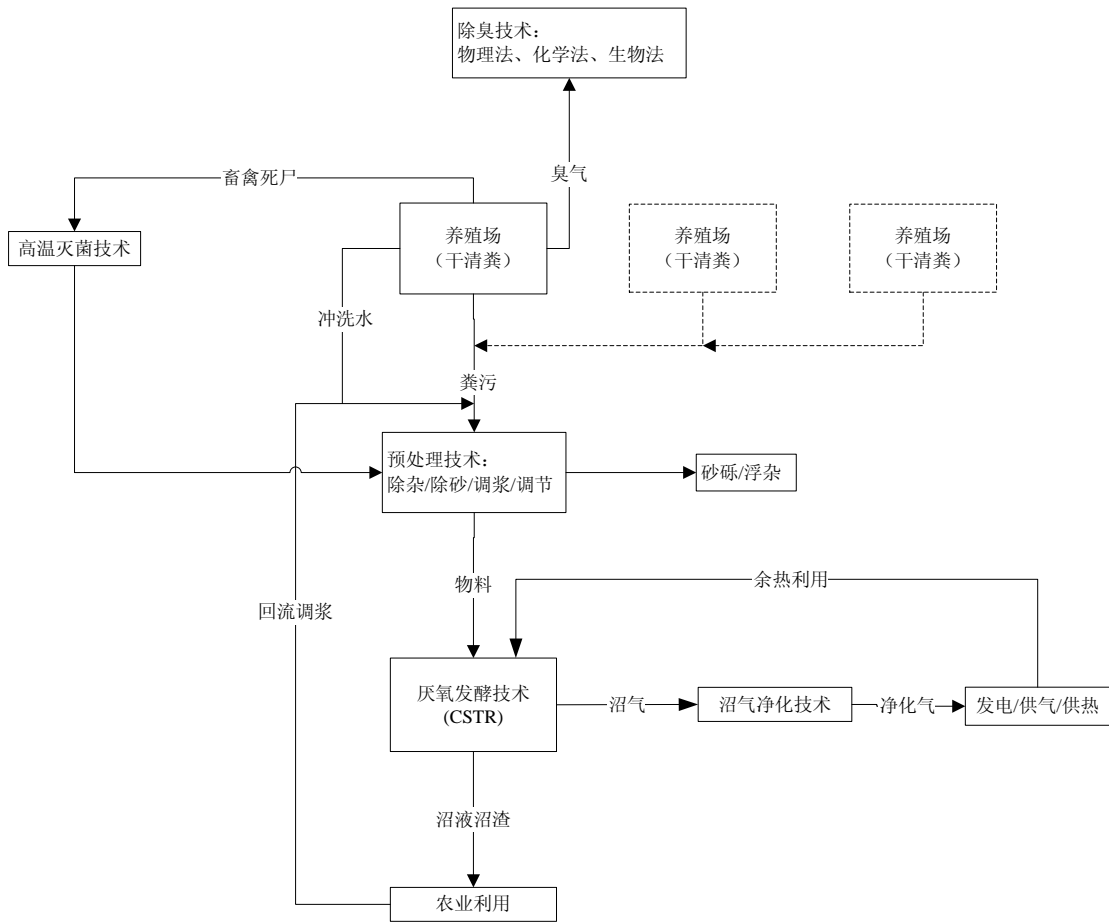


图 5 畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术组合一

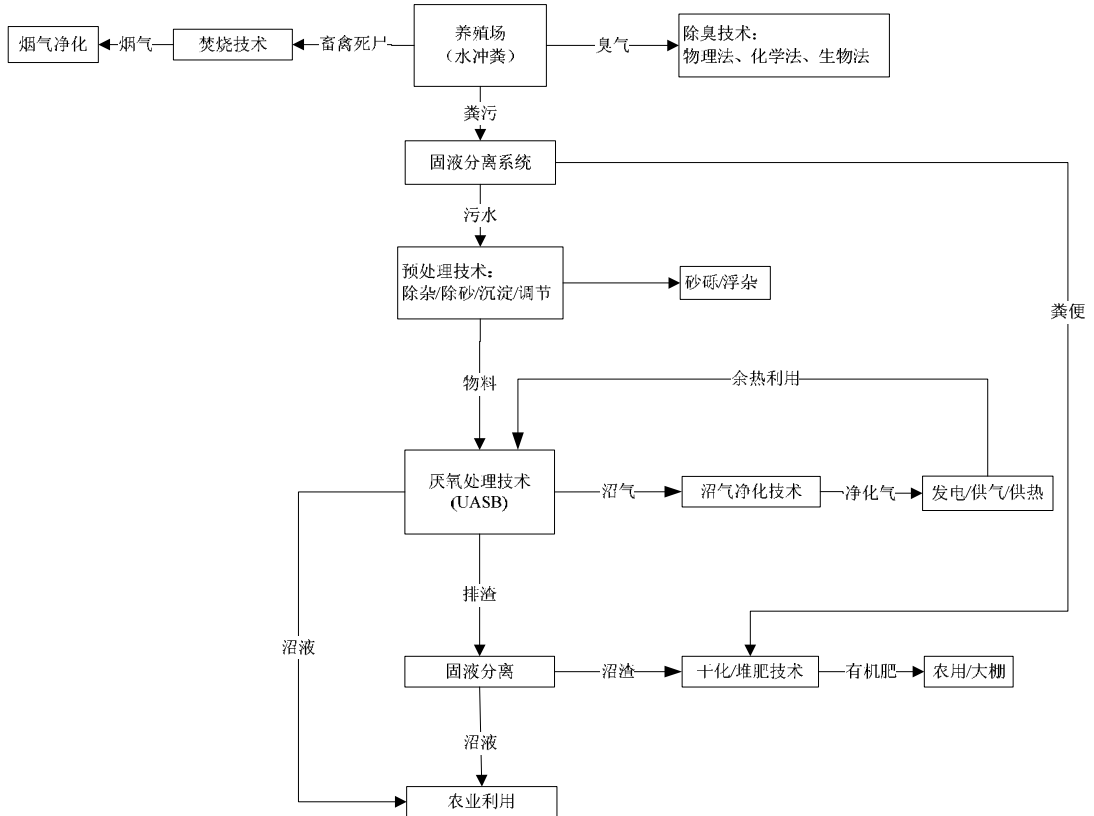


图 6 畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术组合二

4.2.2 最佳可行工艺参数

畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术指标见表3。

表3 畜禽粪污厌氧消化最佳可行技术指标

处理工艺	技术环节	最佳可行技术指标
预处理	除草、除毛	采用机械格栅，同时定期采取机械或人工方式对调浆池进行清捞处理。养牛场应设置机械破碎装置，对牛粪进行破碎预处理。养鸡场应特别考虑除毛问题。
	调浆	采用厂区生活污水、养殖场冲洗水或回流沼液调浆，一般含固率8~12%为宜；搅拌应采用机械搅拌方式，搅拌器以中心搅拌为宜；
	除砂	采用机械除砂，根据原料含砂程度不同，1~2周除砂一次；对于养鸡场、养牛场应特别考虑除砂问题。
	调节	应采用蒸汽或热水盘管等方式进行增温，厌氧段采用CSTR，应设置机械搅拌装置，以实现物料均质。调节池停留时间一般为1~2d。
	水解	大型畜禽养殖场粪污处理工程宜设置水解池，停留时间一般为2~4d，水解池内pH应维持在5~6。
厌氧消化	反应器类型	连续搅拌反应器（CSTR）
	罐体型式	应采用全地上式发酵装置
	运行温度	中温（35℃）
	罐体增保温	应采用热水盘管加热物料，热水盘管应设置在罐体内部。罐体外应设保温层，保温层厚度应根据地区气候状况确定。
	厌氧消化时间	20~25d
	pH	7.0~7.5
	产气率	1.0~1.2m ³ /m ³
	压力	应设置正负压保护装置，维持罐体内压力小于5000Pa
厌氧废水处理	搅拌	宜采用机械间歇搅拌方式，搅拌型式可以选择顶搅拌、侧壁搅拌等方式，当池内各处温度的变化范围不超过1℃时认为搅拌均匀。
	反应器类型	采用升流式厌氧污泥床（UASB）
	罐体型式	应采用全地上式发酵装置
	运行温度	中温（35℃）
	增保温	应采用热水盘管加热物料，热水盘管应设置在罐体内部。罐体外应设保温层，保温层厚度应根据地区气候状况确定。
	污泥床高度	3~8m
	沉淀区表面负荷	0.7m ³ /m ² ·h
	沉淀槽底流速	不大于2m ³ /m ² ·h
沼气净化及综合利用	有机负荷	5kgCOD/ m ³ ·d
	脱水	一般采用冷分离法或固体物理吸水法。
	脱硫	大型可采用生物脱硫或化学脱硫。采用干法脱硫时，接触时间不低于2~3min；采用湿法脱硫时，宜采用2%~3%的碳酸钠溶液吸收，沼气用于直燃时，H ₂ S应小于20mg/Nm ³ ，沼气用于发电时，H ₂ S含量应根据发电机组的设备要求而定。
	沼气储存	可根据气候、投资情况选择干式双膜压储气装置或湿式常压储气装置；沼气用于发电或燃烧锅炉使用时，应根据沼气供应平衡曲线确定容积。

		沼气供居民使用时，储气柜容积不应低于总供气量的 40%~60%。
	沼气输配	沼气管网宜采用低压供气。
沼液沼渣处理及综合利用	沼液储存	沼气工程应建设沼液储存及利用设施。在具备沼液后处理设施时，沼液站内储存时间不应低于 5d，沼液回用于农田时，储存时间不低于 90d。
	沼渣堆肥	沼渣经固液分离后含水率小于 85%，堆肥时间不小于 2 周。

4.2.3 污染物削减和防治措施

经厌氧消化后畜禽粪便有机物降解率不小于 70%。

采用脱水、脱硫等措施对沼气进行净化处理，采用生物脱硫所产生的单质硫应妥善处置，沼气经净化后应采用直燃或发电的方式进行利用。

沼气发电机组等设备产生的噪声应采用消声、隔声、减振等措施进行防止，室外设备须加装隔声罩。

沼液（渣）池的建设须布设防渗材料。沼气发酵产生的沼液（渣）经沉淀后单独收集，沼渣、沼液储存后回用于周边农田，不具备回田能力的应建设后续污水处理系统。

4.2.4 技术经济适用性

该技术适用于中型及以上且周边具有土地利用条件的畜禽养殖场或畜禽养殖密集区粪污的厌氧处理，采用干清粪生产工艺的中型养殖场亦可选用 USR 工艺；养殖场发酵剩余液经处理后农业利用。

工程投资费用约 15~20 万元/吨鲜粪，以存栏 1 万养猪场为例，日产粪便约 20 吨，按照收集系数 0.8 计算，日可收集粪便约 16 吨。建设厌氧发酵工程投资约 240~320 万元，日运行费用约 70~100 元，日产沼气约 1000 立方，日发电量为 1500~2000Kwh，则每日收益约 1000 元左右。

4.2.5 技术应用注意事项

(1) 采用水冲粪、水泡粪等湿法清粪工艺的养殖场要逐步改为干法清粪工艺，尽量推广高压水枪等节水设施。

(2) 粪污处理厂（站）应制定全面的运行管理、维护保养制度和操作规程，各类设施、设备应按照设计的工艺要求使用。

(3) 运行管理人员上岗前均应进行相关法规、专业技术、安全防护、紧急处理等理论知识和操作技能培训，熟悉沼气站处理工艺和设施、设备的运行要求与技术指标，做到持证上岗。

(4) 沼气利用时制定安全管理制度。在消化池、储气柜、脱硫间周边划定重点防火区，并配备消防安全设施；非工作人员未经许可不得进入厌氧消化管理区内；在可能的泄漏点设置甲烷浓度超标及氧亏报警装置。

(5) 在沼气贮气柜的运行维护中保证压力安全阀处于正常工作状态；保证冬季气柜内水封不结冰，必要时在气柜迎风面设移动式风障，防止大风对气柜浮盖升降造成影响。

(6) 采用还田综合利用的，应达到农业利用相关标准的要求。粪肥用量不能超过作物当年生长所需养分的需求量。在确定粪肥的最佳施用量时，需要对土壤肥力和粪肥肥效进行测试评价，并满足当地环境容量的要求。

4.3 畜禽养殖粪污堆肥处理最佳可行技术

4.3.1 最佳可行技术工艺流程

畜禽养殖粪污堆肥处理最佳可行技术工艺流程见图 7。

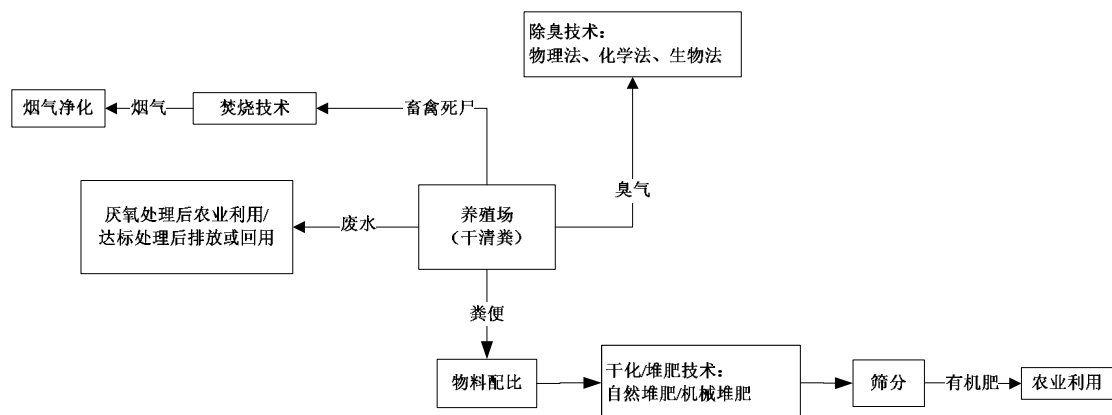


图 7 畜禽养殖粪污堆肥处理最佳可行技术组合

4.3.2 最佳可行工艺参数

畜禽养殖粪污堆肥处理最佳可行技术指标见表 4。

表 4 畜禽养殖粪污堆肥处理最佳可行技术指标

处理工艺	技术环节	最佳可行技术指标
粪便堆肥处理	初始有机物含量	20%~60%
	初始含水率	40%~65%
	发酵温度	50~70℃（高温维持时间 7 天以上）
	初始碳氮比	20~40:1
	初始 pH	中性或弱碱性
	一次发酵	10~30d
	翻堆频率	2~10d/次，发酵过程不少于 7 次

4.3.3 污染物削减和防治措施

经堆肥处理后的物料含水率小于 40%，蠕虫卵死亡率大于 95%，粪大肠菌群菌值大于 0.01，种子发芽指数不小于 70%。

堆肥过程中产生的恶臭气体应集中收集后进行除臭处理。硫化氢排放浓度应小于 0.06 mg/m³，氨排放浓度应小于 1.5 mg/m³，臭气浓度小于 20（无量纲）。

粉尘集中收集后采用除尘器进行处理。

堆肥场产生的滤液以及露天发酵场的雨水集中收集处理，部分回喷至混合物料堆体，补充发酵过程中的水分要求，回流到城镇污水处理厂或自建处理装置。

对于堆肥设备产生的噪声采取消声、隔振、减噪等措施。

4.3.4 技术经济适用性

该技术适用于采用干清粪生产工艺的畜禽养殖场粪便的堆肥处理，尤其适用于鸡、牛养殖场；具有土地利用条件的，污水部分可经厌氧处理后农业利用，无土地利用条件的应经过达标处理后回用或

排放。

以日处理 100 吨粪便堆肥处理工程为例，投资约 2000 万元，运行成本约 430 元/吨，肥料销售价一般为 600-900 元/吨。

4.3.5 技术应用注意事项

(1) 设置完善的堆肥产品监测系统，严格控制堆肥产品的质量。仅允许符合国家相关标准要求的好氧发酵产品出厂、销售或施用。

(2) 定期对粪便堆体温度、氧气浓度、含水率、挥发性有机物含量及腐熟度等进行监测。

(3) 在好氧发酵车间布设气体收集系统，通过引风装置将车间内的恶臭气体送入除臭装置，保证车间及场区内的环境安全和操作人员的健康。

4.4 以发酵床养殖工艺为核心的污染防治最佳可行技术

4.4.1 最佳可行技术工艺流程

以发酵床养殖工艺为核心的污染防治最佳可行技术工艺流程见图 8。

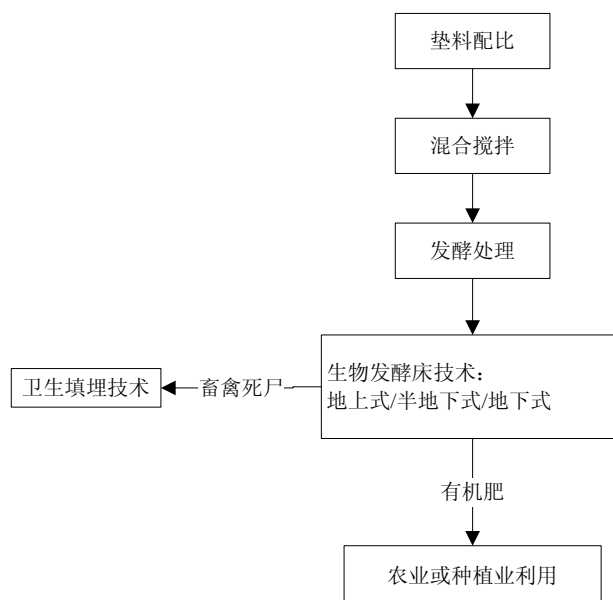


图 8 以发酵床养殖工艺为核心的污染防治最佳可行技术组合

4.4.2 最佳可行工艺参数

以发酵床养殖工艺为核心的污染防治最佳可行技术指标见表 5。

表 5 以发酵床养殖工艺为核心的污染防治最佳可行技术指标

处理工艺	技术环节	最佳可行技术指标
生物发酵床技术	圈体	单个圈体宜在 20~40m ² ，高度为 2.5~3.5m，圈舍跨度 9~13m
	饲养密度	小猪 0.75~1.0 m ² /头，大猪 1.2~1.5 m ² /头
	垫料原料	保水性原料(锯末等)与通透性原料(稻壳、花生壳等)重量比例一般为 1: 1，并经发酵后使用。
	垫料深度	垫料深度为小猪 60~80cm，大猪 40~50cm，当垫料下沉超过 10cm 时及时补料。

	地面湿度	60%左右
	垫料管理	翻床深度一般为 25~30cm，翻床时间 7~15 天/次，并适量施用微生物原种与营养剂。
	采食饮水台	宜设置自动料槽及饮水器，水泥台宽度宜为 1.2~1.5m，台面面积一般为猪栏面积的 20%
	通风控制	应配备强制通风装置，换气率为 1~1.25 次/分钟；风速为 2.0m/秒以下

4.4.3 污染物削减和防治措施

应严格按相关要求设置病死畜禽尸体安全处理设施。

4.4.4 技术经济适用性

该技术适用于大型及以下养殖场的清洁生产。

采用发酵床生产工艺的养殖场，通常造价在 150~200 元/m²；运行成本主要包括：锯末 12~15 元/m²，菌种 4~10 元/m²。

4.4.5 技术应用注意事项

- (1) 采用发酵床技术的养殖场的应委托专业的设计单位进行设计。
- (2) 猪舍宜坐北朝南建设，保证舍内外空气的充分交换，南方地区应考虑通风降温设施，北方地区应考虑除湿保温设施。
- (3) 严格按照要求控制养殖密度，避免床体超负荷工作。
- (4) 垫料要完全发酵腐熟后利用，并保持垫料含水率适宜，垫料的使用年限一般为 2~3 年。
- (5) 外购猪进发酵床前，须进行严格的隔离和消毒处理。
- (6) 对采用喂食酵素工艺的，应取得有关部门的认可方可实施。