

# Technology and Implementation Strategies for the Resource Utilization of Livestock and Poultry Wastewater

Chunxia He

Nanning Shiyuan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

## Abstract

In view of the characteristics of high organic load, high nitrogen and phosphorus content, and coexistence of pathogenic microorganisms in the wastewater from large-scale livestock and poultry farming, this paper systematically elaborates on the main pollution hazards. It also analyzes the principles, applicable conditions, and engineering effects of resource utilization technologies from aspects such as ecological land application, biological treatment, physical-chemical treatment, and combined processes. Combined with typical parameters and operation data, it explains the roles of different technologies in reducing organic matter, recovering nutrients, and ensuring the quality of reclaimed water. Based on this, a ground-up strategy centered on matching processes and equipment, standardizing operation management, providing professional support, and promoting "equipment + service" is proposed. This provides technical references and engineering paths for the transformation of livestock and poultry wastewater from "end-of-pipe treatment" to "resource conversion".

## Keywords

Livestock and poultry farming; Wastewater; Resource utilization technology; Ground-up strategy

## 畜禽养殖废水资源化利用技术与落地策略

何春霞

广西南宁师源环保科技有限公司, 中国·广西南宁 530000

## 摘要

针对规模化畜禽养殖废水高有机负荷、高氮磷及病原微生物并存的特征, 本文系统阐述其主要污染危害, 并从生态还田、生物处理、物化处理及组合工艺等方面, 对资源化利用技术的原理、适用条件与工程效果进行分析。结合典型参数与运行数据, 说明不同技术在有机物削减、养分回收与回用水质保障中的作用机理。在此基础上, 提出以工艺与设备匹配、运行管理规范化、专业人员支撑及“设备+服务”推广为核心的落地策略, 为畜禽养殖废水由“末端治理”向“资源转化”转型提供技术参考与工程路径。

## 关键词

畜禽养殖; 废水; 资源化利用技术; 落地策略

## 1 引言

随着规模化畜禽养殖业的快速发展, 养殖废水排放量持续增加, 其高浓度有机物、氮磷营养盐及病原微生物对生态环境和公共健康构成显著威胁。推进畜禽养殖废水资源化利用, 是实现污染减排与农业循环发展的重要途径。系统分析畜禽养殖废水的主要污染特征及其环境危害, 有助于为后续技术选择与工程化应用提供科学依据。

## 2 畜禽养殖废水的污染及危害

### 2.1 有机污染物浓度高, 对地表水体富营养化风险显著

畜禽养殖废水主要包括畜禽粪便、场地冲洗水以及饲

料残留等, 其中有机污染物占比较高。例如, 在规模化猪场中, 废水 COD 浓度通常都在 3000~8000mg/L 范围内波动, 一些高密度养殖场甚至可以达到 10000mg/L 以上, 这远远超出了一般生活污水中的含量<sup>[1]</sup>。这样高浓度的有机物质, 如果不能得到妥善的处理而排放到沟渠、河流甚至是鱼塘中, 将会快速耗氧造成水中鱼类和底栖生物窒息死亡。有机物被微生物分解产生氮、磷等物质释放到水中, 促进水体富营养化进程, 在中小型河道以及封闭型水体更容易引起藻类爆发性生长和水华发生, 降低水体透明度和改变水体颜色, 伴有较重的腥味。从长远看, 富营养化会导致水生态系统的结构遭到破坏, 降低了水体自净的能力, 导致水体污染具有一定的积累作用, 从而对周边水体环境造成不良影响。

### 2.2 氮磷排放量大, 对土壤与地下水环境形成长期压力

猪、牛、羊等动物粪便中均含有浓度较高的  $\text{NH}_3\text{-N}$ 、

【作者简介】: 何春霞(1984—), 女, 中国广西南宁人, 本科, 工程师, 从事生态环境保护研究。

TN及TP。据相关资料报道<sup>[2]</sup>，猪粪尿中的NH<sub>3</sub>-N质量浓度一般为300~1200mg/L，TP则可高达50~200mg/L，如果未经处理就任意排放或粗放式灌溉农田，则会导致土壤养分超标。过量的氮营养不能被植物有效吸收而以NO<sub>3</sub>--N的形态随着降水渗透至地下水源中，增加地下水硝态氮污染的风险。地下水被硝态氮所污染后，恢复期长，处理成本高，并影响着农村饮水的安全。另外，过多的磷素留在土壤里，降低了土壤养分的缓冲作用，在雨水或灌溉的作用下进入地表径流水系，导致水体富营养化的风险增大。畜禽粪污中含有的氮素和磷素会对环境造成即刻影响，并在一段时间内积累，形成潜在危害，威胁当地的生态环境安全。

### 2.3 病原微生物含量高，对农村公共卫生安全构成威胁

猪粪污水中含有大量的有机污染物和氮磷养分，附着有致病的大肠杆菌、沙门氏菌及一些寄生虫卵等有害细菌，在排入环境水体或者土壤之后，很容易随着灌溉用水、饮用水甚至食物进入人的身体中，引起各类肠道疾病和人畜共患疾病的传播流行。有的农村地区，因排污设备简陋或管理不善等原因，养殖污水通过渗坑、明沟等形式直接排放，容易污染附近水井以及农田，如果造成病原菌扩散，不仅影响周围群众的身体健康，还会对农产品的质量构成威胁。另外，在炎热季节，污水中有机物质腐烂发酵会散发出硫化氢、氨等恶臭气味。不仅影响周围群众的身体健康，还会对农产品质量安全构成威胁。因此，畜禽养殖废水污染从公共卫生和社会管理角度来看，已经不再是单纯的环境问题，更成为与农村生态文明建设、乡村振兴目标密切相关的问题<sup>[3]</sup>。

## 3 畜禽养殖废水资源化利用技术

### 3.1 生态还田技术路径明确，兼顾减污与养分循环利用

生态还田是基于废水、土壤、作物的减污降损及资源回用技术模式，在保证减少悬浮物和病原体排放的前提下，依据不同农作物需求量进行灌溉施肥管理。该模式主要采用机械过滤+沉淀池+输配水管道的形式应用于规模化养殖场粪污还田利用工程。如猪粪污水在螺旋压力机脱水后，悬浮物(SS)可以下降40%~60%，COD去除率在20%~30%之间，为下一步还田创造基本条件。

在施用控制方面，应以氮负荷为主要约束指标。常用控制值为年施氮量不超过作物需氮量的1.0倍，一般折算为废水施用量约300~500m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>·a)。在水稻或玉米种植区，按该负荷施用后，土壤硝态氮积累不明显，地下水硝酸盐浓度可稳定控制在20mg/L以下。

关键点为时间控制和匀速施放，采用喷灌或者滴灌的方法将废水匀速施放在地面，可以减小面源流失以及局部渗透的风险，并避免在雨水较多季节大量施加，从而减小氮磷入河的风险。此方法成本相对低廉(约3~6万元/套的小型

系统)，适合于周围有足够配套农田的中小型规模猪场<sup>[4]</sup>。

### 3.2 生物处理技术成熟稳定，实现有机物与氮素协同去除

生物处理是目前畜禽养殖废水资源化利用的主流技术，主要包括厌氧消化与好氧生物处理两类。

一般采用UASB反应器或者全混式的厌氧罐进行厌氧消化过程，控制温度在35℃左右的中温环境。对于COD浓度在5000~8000mg/L之间的猪场废水来说，厌氧段的COD去除率达到60%~70%，可产生沼气约为0.30~0.35m<sup>3</sup>/kgCOD去除量。按照每天生产废水100m<sup>3</sup>来算的话，可以得到沼气大约是150~200m<sup>3</sup>/d，这部分沼气可以通过用于锅炉供热或者发电等方式达到能源的回收利用<sup>[5]</sup>。

好氧处理通常设置为接触氧化池或序批式活性污泥法(SBR)，主要功能是进一步去除残余有机物和氨氮。经厌氧-好氧组合处理后，出水COD可稳定降至300~500mg/L，氨氮可控制在50mg/L以下，满足农灌或回用预处理要求。

在脱氮方面可以通过缺氧-好氧交替运行进行硝化反硝化，在工程实践中发现，如果将DO控制在2.0~3.0mg/L之间，SVI控制在50~150mL/g之间，则TN的去除率为50%~65%；运行较稳定，但是需要配套曝气装置及电力，适合于中大型规模化养殖场使用。

### 3.3 物化处理技术针对性强，适用于高浓度废水快速净化

物化处理以混凝沉淀、化学氧化和吸附过滤为代表，主要用于高浓度或水质波动较大的废水场景。混凝沉淀常添加聚合氯化铝(PAC)或聚丙烯酰胺(PAM)，通过电荷中和与絮凝作用去除悬浮物和部分有机物。实验数据表明，在PAC投加量为200~300mg/L时，SS去除率可达80%以上，COD可降低30%~40%。

化学氧化技术如臭氧氧化或芬顿反应，适用于色度高、难降解有机物比例大的废水。以芬顿反应为例，在pH=3~4、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>与Fe<sup>2+</sup>摩尔比为5:1条件下，COD去除率可达60%以上，但运行成本较高，通常作为强化处理单元使用。

物化技术优势在于处理速度快、受温度影响小，但药剂消耗大、运行费用较高，一般用于应急处理或作为生物处理前的预处理单元，以减轻后续系统负荷。

### 3.4 组合处理系统集成多种工艺，提高整体处理与回用效率

由于单一方法很难达到高效率降解污染物并回收资源的目标，在实践中往往将几种技术联合使用。主要流程包括分离、厌氧发酵、好氧处理、土地消纳或膜过滤循环再利用。

以某存栏500头生猪养殖场为例，废水量约20m<sup>3</sup>/d。采用固液分离+厌氧反应器+接触氧化池+农田回用工艺后，系统总体COD去除率达85%以上，氨氮去除率约70%，出水用于玉米灌溉，每年可替代化肥氮约1.5t、磷约0.3t。

若对回用水质要求更高,可在生化处理后增加超滤或反渗透膜系统,出水COD可降至100mg/L以下,用于场区冲洗或循环冷却水补充。膜系统回收率一般为60%~75%,浓缩液需经蒸发结晶或固化处理后,再根据盐分含量判断是否返回厌氧系统,形成闭路循环。

工艺匹配+负荷分配是组合系统的核心,前端以厌氧削减有机负荷,并回收能源;中端以好氧强化脱氮;末端以生态或膜技术进行回用与养分利用。采用模块化的理念,根据不同规模的养殖场水量及用途来选取相应的工艺单元,在保证污染物控制的同时兼顾了资源化利用。

## 4 畜禽养殖废水资源化利用技术的落地策略

### 4.1 科学配置处理工艺与专用设备,实现技术方案工程化应用

畜禽养殖废水资源化利用就是要将成熟的处理技术变成能稳定运行的工程系统。针对不同规模、水量变化和水质差异,可以按照不同的级别设置处理工艺路线:对于小规模、中型规模的养殖场,可采取固液分离—厌氧发酵—生态还田的简单处理方式。而大型规模化的养殖场则要考虑固液分离—厌氧发酵—好氧生化处理—深度处理再利用这样的一整套流程,既要治污又要变废为宝。

在设备选型方面,遵循“适配水质特性、适应负荷变化”原则。固液分离设备可考虑采用螺旋挤压制泥机或者带式压滤机,确保悬浮物去除效果稳定达到50%以上为宜;厌氧单元建议采用防腐钢制或混凝土反应器并配备气体收集及安全保障装置;好氧单元宜匹配高效曝气装置和DO在线监控仪。对以上装置进行模块化处理,形成一套可推广的技术方案,促进实验室研究走向实际应用并保证系统稳定性及一致性。

### 4.2 健全运行管理与维护制度,提升设施与设备稳定运行水平

建成后的长期正常运行才是技术落地的关键,需建立以运行参数控制为主的管理程序,对进水水量、水质、反应器温度、溶解氧等进行日常检测并做好记录;厌氧主要控制温度为30~35℃,好氧主要控制DO为2.0mg/L左右,以免造成处理速度不稳定。

同时,编制设备巡检及维护规程,对泵、风机、搅拌机、加药装置进行定期检修及维护,避免由于局部故障造成系统的不稳定。对于一些易损坏的部位建立备品备件机制,可以减少修理时间,减小停产的可能性。以制度化的运行管理模式,把废水处理系统从建设性的项目变成持续运转的项目,确保资源化利用效益持续释放。

### 4.3 加强专业技术人员培训与岗位配置,夯实系统运行的人才基础

资源化处理系统对运行管理人员的技术理解和操作能

力要求较高,仅依靠简单劳务人员难以保障稳定运行。应通过分层次培训方式,提升人员技术素养:对管理人员侧重工艺原理与风险识别培训,对操作人员重点强化设备操作规程与异常工况处置能力。

在人员安排方面,可以设立专人负责运行维护,在养殖场统一纳入生产管理系统进行统筹调配,避免重养殖、轻处理。对于大型养殖场可以委托第三方技术服务队伍协助完成调试、巡查和技术提升等工作。通过稳定的人力投入及定期培训确保技术体系能够会用、能管、长用。

### 4.4 构建设备应用联合技术服务推广机制,提升规模化应用水平

鼓励各地因地制宜开展资源化利用技术和装备推广应用工作,探索形成以设备应用为载体、技术服务为支撑的技术推广新模式,即通过成套化、模块化的设备产品让广大养殖场户能按需选型、快速安装,并由专业技术服务机构提供工艺设计、运行指导及效果评价服务,防止技术应用中出现“建而不适”或者“适而不畅”。

在区域层面,可依托规模化养殖区或农业园区建设示范工程,通过实际运行数据验证工艺稳定性与经济性,为周边养殖场提供可参照样板。通过示范工程+技术服务网络的方式,实现技术由单点应用向区域推广转变,逐步形成畜禽养殖废水资源化利用的规模化、规范化应用格局。

## 5 结语

畜禽养殖废水资源化利用的关键不在于单一技术突破,而在于技术体系与工程管理的协同构建。通过将厌氧消化、好氧处理、物化强化及生态利用等单元进行合理组合,可在实现污染控制的同时回收能源与养分,提升系统综合效益。配套以标准化设备选型、规范化运行维护 and 专业化人员保障,可显著提高工程稳定性与推广可行性。未来,应在示范工程基础上推动工艺集成与智能化管理,使资源化利用由试点实践逐步走向规模化试点、规模应用,为畜禽养殖业绿色转型提供可持续支撑。

### 参考文献

- [1] 丁义展,谭晓波.畜禽养殖废水处理与资源化利用技术研究进展[J].现代农业研究,2025,31(07):85-91.
- [2] 于贞,侯欣妍,敖敏.畜禽养殖废水处理存在的问题及解决对策[J].农村科学实验,2025,(08):165-167.
- [3] 李艳波.电化学技术在畜禽养殖废水处理中的应用与展望[J].福建畜牧兽医,2025,47(01):54-58.
- [4] 孙旭,谢彤,张超杰,等.光合微生物在畜禽养殖废水资源化处理中的研究进展[J].工业水处理,2024,44(10):40-51.
- [5] 杨智,陈丹艳,段婧婧,等.磷在畜禽养殖废水中的去除及回用途径[J].环境工程,2023,41(S1):186-189.