《规模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化利用技术指南》

编制说明

《规模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化利用技术指南》

编制组

二〇二六年十一月

目 次

1 工作简况 3

1.1 任务来源 3
1.2 协作单位 3
1.3 主要工作过程 3

2 标准制定必要性、编制依据、编制原则 6

2.1 制定必要性和重要意义 6
2.2 编制依据 7
2.3 编制原则 8

4 国内外相关标准研究 9

5 标准主要技术内容及说明 10

5.1 畜禽养殖液体粪污特性及建设规模 10
5.2 畜禽液体粪污低碳处理及资源化利用技术确定 11
5.3 运行与管理 27

6 畜禽养殖废水有机质回收及厌氧氨氧化低碳脱氮技术典型案例 28

6.1 项目概况 28
6.2 工艺流程介绍 29
6.3 工艺流程说明 33
6.4 现场实际运行情况 34

7 标准实施的环境效益与经济技术分析 36

8 标准实施建议 37

8.1 与现行法律法规及其它相关标准的关系 37
8.2 实施本标准的管理措施及建议 37

9 征求意见处理情况说明（送审稿） 5

10 技术审查工作情况说明（报批稿） 5

1 工作简况

1.1 任务来源

本任务来源于中华环保联合会。为了建立规模化畜禽液体粪污处理技术的规范化指南，对传统技术进行改造、优化和集成，有效地预防和限制一些不成熟技术甚至落后技术的滥用，开发高效、低成本的畜禽养殖液体粪污控制技术，引导规模化大型畜禽养殖企业选择最佳的生产工艺和适宜的污染防治技术路线和措施，提高规模化畜禽养殖液体粪污资源化利用水平，推进养殖污染治理，实现节能减排，改善环境，为畜禽养殖业持续健康发展提供动力和保障。中华环保联合会于 2024 年 1 月下达了关于《规模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化利用技术指南》团体标准的标准编制任务。

1.2 协作单位

本标准编写主要起草单位：北京交通大学、内蒙古大学、北京林业大学、中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、四川省畜牧科学研究院畜牧业经济与生产系统研究所、吉林大学、德昌巨星农牧科技有限公司、福建农林大学、北京沃土天地生物科技股份有限公司。

1.3 主要工作过程

主要研究路线为：编制工作计划及编制大纲—国内外资料调研—规模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化技术现场考察和调研—调研数据、资料汇总和分析—编制指南初稿—召开座谈研讨会—经反复论证提出指南征求意见稿。本项目技术路线图如下：

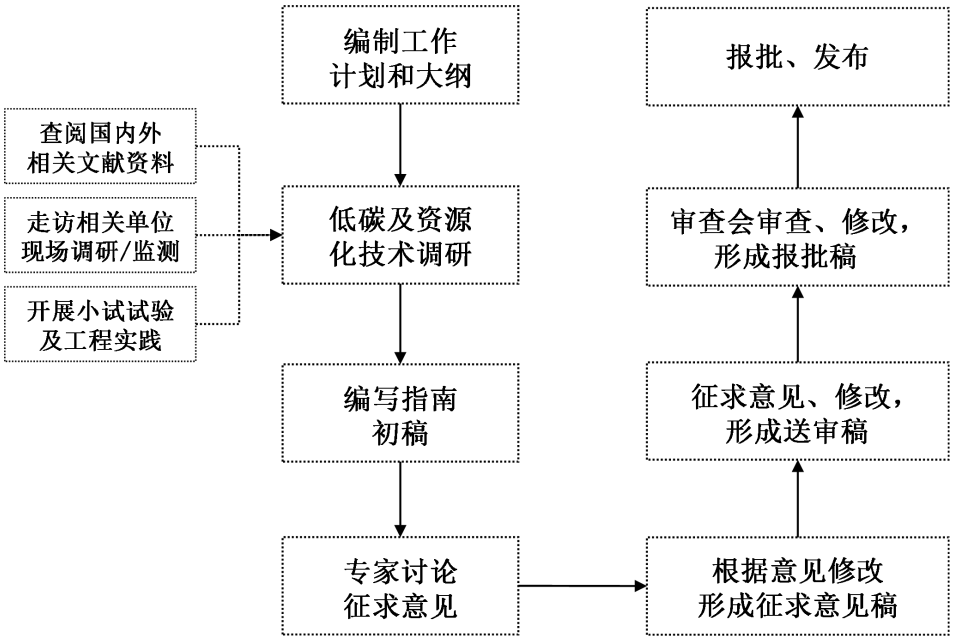


图 1 技术指南制定的主要工作流程图

1.3.1 成立标准制订编制组

2024 年 1 月任务下达后，项目承担单位北京交通大学即成立标准制订编制组(以下简称编制组)。编制组初步拟定了标准制订的原则、工作目标、工作内容和技术路线，讨论了在标准过程中可能遇到的问题、标准定位及侧重点，并根据标准编制任务，制定了详细的标准编制计划与任务分工。

1.3.2 查询国内外相关标准和文献资料、编制大纲及草案稿

2024 年 3 月~9 月，编制组根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》(国环规科技〔2017〕1 号)相关规定，通过全国标准信息公共服务平台，对国内外现有标准进行学习总结，并通过国内外网站进行检索、查询和收集国内外文献资料，对现有关于畜禽养殖行业污染低碳治理与资源化利用技术的研究进展以及存在的问题进行了调研，同时走访畜科院科研基地及多家猪、牛、鸡养殖企业，调研各畜禽养殖场粪污处理处置和资源化利用技术现状，深入畜禽粪污资源化利用专业化公司，考察交流现有技术工艺、产品特性及市场销售情况等，基于大量的的文献调研和实地走访及对目前的低碳处理及资源化技术整理借鉴，并依据编制组在畜禽养殖污染物资源化方面做的大量研究，对标准的范围、技术要求、工艺流程、检验规则等主要内容进行了初步的探讨和总结，确定了规模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化利用技术路线、低碳资源化工艺以及主要开展的工作内容。

1.3.3 召开立项评审会

2024 年 10 月 17 日，中华环保联合会组织召开了本项目立项评审会。编制组就该标准立项背景及必要性、国内外标准情况、标准的主要内容及编制基础向专家进行汇报，专家委员会听取了编制汇报，经质询和讨论，通过了本项目的立项审查，并提出以下主要修改意见：

1. 建议在指南中进一步凸显低碳处理和资源化利用的核心内容，确保技术的实施能够显著减少碳排放并提升资源利用效率。

2. 在“规范性引用文件”部分，应清晰界定并引用与畜禽养殖液体粪污排放及资源化利用相关的国家和行业标准，以确保指南的合规性和科学性。

3. 为增强指南的实用性和可操作性，建议在编制说明中补充具体的工程应用案例。

会后，编制组根据意见进一步对标准草案稿进行了修改，并对低碳处理与资源化利用技术参数进行了完善。

1.3.4 召开征求意见稿技术审查会

2025 年 7 月 28 日，中华环保联合会组织召开了本项目技术审查会。编制组就该标准编制过程、开展的工作、主要内容等向专家进行汇报，专家委员会听取了编制汇报，经质询和讨论，通过了技术审查，并提出以下主要修改意见：

（1）第六章标题调整为“处理系统及流程”，内容包括系统构成、工艺流程确定、处理工艺；

（2）将原第七章“工艺技术”分为“第七章 低碳处理技术”和“第八章 资源化利用技术”，并对相应的内容进行优化；

（3）按照 GB/T1.1-2020 标准语言要求修改标准条文格式。

1.3.5 召开报批稿技术审查会

2026 年 4 月 24 日，中华环保联合会组织召开了本项目技术审查会。编制组对该标准已公开征集反馈意见的修改情况向专家进行汇报，专家委员会听取了修改汇报，经质询和讨论，通过了技术审查，并提出以下主要修改意见：

（1） 3.3 畜禽养殖液体粪污低碳处理的术语，建议量化低碳处理指标，定量二氧化碳减排量的阈值；

（2） 第六章中，固液分离技术不属于低碳技术，建议说明低碳特性，例如采用节能设备、回收资源等；

（3）第八章中，参考 CCER 核算方法学，增加温室气体的定量监测、监测流程及相应的监测方案。

1.3.6 征求意见处理情况说明（送审稿）

根据专家意见，对草案稿进行修改，最终形成了征求意见稿，并进行了公示，对外公开征求意见。收到相关机构、单位对征求意见稿提出的修改建议 28 条，其中采纳或部分采纳 23 条，未采纳 5 条。采纳的建议已经根据要求修改完成，未采纳的建议进行了说明，并汇总整理提交至中华环保联合会。

1.3.7 技术审查工作情况说明（报批稿）

本标准于 2026 年 4 月 24 日，线上召开了《规模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化利用技术指南》团体标准技术审查会。内蒙古大学代表标准起草单位向审查会汇报了标准编制说明、送审稿及主要技术内容。专家组听取了编制工作汇报，对标准内容进行了逐条审查和质询。经充分讨论和投票表决，专家组一致同意通过该标准审查，审查结论：（1）标准

送审稿内容完整，技术路线合理，技术指标科学可行，符合团体标准编制要求；（2）建议起草单位根据专家审查意见，对标准送审稿进行修改完善，形成报批稿后按程序报批。起草单位根据专家组提出的审查意见，对标准送审稿进行了逐条修改和完善，修改过程中，对专家意见逐条进行了研究和采纳，修改后的报批稿经专家组组长审阅确认。

2 标准制定必要性、编制依据、编制原则

2.1 制定必要性和重要意义

近年来，随着畜牧业的发展，养殖规模不断增加，畜禽粪污的处理也日益变成养殖业必须面对和解决的难题。我国畜禽养殖水污染物排放量已成为农业污染源之首，也是水体污染重要排放源之一。规模化畜禽养殖场水污染物排放量基本占到畜禽养殖行业的 60%，是行业污染主体贡献者。针对畜禽养殖粪污对环境造成污染的问题，我国陆续出台了《关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》等一系列关于畜禽养殖环境治理和资源化利用的政策性文件，对全国畜禽养殖污染防治提出具体要求。而目前规模化畜禽养殖场（户）的粪污治理水平处于中等水平，尚有提升空间，行业污染治理尚未完成由“治”到“用”的转变，粪污的资源价值未能得到较好体现，无法为养殖场带来与其增加的生产运营成本相匹配的经济绩效。

目前，我国畜禽养殖行业资源化利用对象主要是经过固液分离后的固体废弃物，而针对于液体粪污的资源化利用研究相对较少。而畜禽养殖液体粪污在畜禽养殖各类污染中占据重要比重，影响深远。液体粪污主要包括动物粪、尿、外漏饮水和冲洗水以及少量散落饲料等组成的液态混合物（含粪浆），含有大量的氮、磷、有机物等污染物质及粪便、生活杂质等悬浮物质，腥臭味大、携带病原细菌多，不当处理会危害周围的水体、土壤、空气等，甚至威胁到人类健康。因此，畜禽养殖液体粪污处理可能造成的环境污染问题不容忽视。但液体粪污中含有高浓度的氮磷等营养元素，同样具有很高的利用价值，所以液体粪污的处理以及资源化也成为一大研究热点。目前，液体粪污处理方面依然处于起步阶段，缺乏先进的处理技术，多数养殖户采用沼气工程处理，方式相对单一，同时传统的处理方法都需要投入大量的资金、人力和物力，导致其处理成本高。

我国已发布的畜禽养殖行业污染治理的标准中，都是以粪便、废弃物等为核心的资源化、无害化处理处置及液体/固体粪肥还田技术规范，已有这类标准涉及少部分关于液体粪污的控制技术要求内容，这些标准所包含的液体粪污治理新技术相对缺乏，且处理技术种类单一、适用范围较广，并无较为详尽的针对不同污染特征及不同排放要求的畜禽养殖液体粪污防治

技术的指导。可见，畜禽养殖行业液体粪污的污染治理技术标准体系尚不健全，治理技术标准仍很薄弱，尚不能为规范畜禽液体粪污处理提供具体指导。另外，《关于推进畜禽粪污资源化利用标准体系建设的指导意见》政策中，也指出要“推进畜禽固体粪污和液体粪污处理的操作技术标准制定”，提出建立液体粪污深度处理技术标准的需求。因此，制定高效、低成本的畜禽养殖液体粪污污染控制技术规范显得尤为重要。

鉴于以上诸多原因，在生产和环保的双目标下，将各种实用的、低成本的、处理效果好的畜禽液体粪污处理和资源化利用技术纳入国家技术规范体系，对畜禽污染治理进行全过程管理是非常必要的。本规范的编制即为了建立规模化畜禽液体粪污处理技术的规范化指南，对传统技术进行改造、优化和集成，有效地预防和限制一些不成熟技术甚至落后技术的滥用，开发高效、低成本的畜禽养殖液体粪污控制技术，以适应当前及未来对畜禽液体粪污的污染防控新要求，与环境标准相结合，构筑起一道有效的环境技术管理防线。此外，本规范的颁布意在引导规模化大型畜禽养殖企业选择最佳的生产工艺和适宜的污染防治技术路线和措施，避免企业在实施污染防治时走弯路，引导企业污染治理技术开发的方向使技术开发与实际需要紧密结合，提高规模化畜禽养殖液体粪污资源化利用水平，推进养殖污染治理，实现节能减排，改善环境，为畜禽养殖业持续健康发展提供动力和保障。畜禽粪污资源化利用实现变废为宝，从整体上降低生产成本，提升养殖效益，从而实现畜禽养殖者节本增收，获得良好的经济效益。总之，本标准的编制将为提高养殖行业污染治理的管理水平，推动国家环境污染治理技术标准体系的建立健全，以及国家环保事业的健康发展发挥重要作用。

2.2 编制依据

2.2.1 政策法律依据

在本标准的编制过程中，以国家环境保护现有法律、法规、标准为主要依据，依据的现有法律法规有：

《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国节约能源法》、《畜禽养殖污染防治管理办法》等。

2.2.2 技术依据

在本标准的编制过程中，借鉴、参考畜禽养殖行业相关的技术指南和工程技术导则等，同时结合国内外有关模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化利用技术的先进经验，深入开

展该技术指南的编制和研究。其中，水质水量、处理工艺流程及技术参数的确定，以及运行管理技术要点的提出主要参考及引用的国家标准及行业标准有：

GB 5084	农田灌溉水质标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 14554	恶臭污染物排放标准
GB 15562.1	环境保护图形标志-排放口（源）
GB 18596	畜禽养殖业污染物排放标准
GB/T 27522	畜禽养殖污水监测技术规范
GB/T 32151.22	温室气体排放核算与报告要求 第 22 部分：畜禽养殖企业
GB/T 40750	农用沼液
GB 50014	室外排水设计标准
GB 50187	工业企业总平面设计规范
CJJ 60	城市污水处理厂运行、维护及其安全技术规程
CJJ/T 64	粪便处理厂技术标准
HJ 497	畜禽养殖业污染治理工程技术规范
HJ 1252	排污单位自行监测技术指南 畜禽养殖行业
HJ-BAT-10	规模畜禽养殖场污染防治最佳可行技术指南（试行）
NY/T 122	规模化畜禽养殖场沼气工程设计规范
NY/T 4046	畜禽粪水还田技术规程
NY/T 4243	畜禽养殖场温室气体排放核算方法
NY/T 4755	畜禽粪尿产生量及主要成分参数

2.3 编制原则

本规范编制主要遵循以下原则：

（1）规范性、统一性原则

本标准按照 GB/T 1.1-2020 有关规定，确定标准的结构和内在关系，标准条文层次的划分符合 GB/T 1.1 的规定。

本标准的编写和表达方式在三个方面实现统一：一是标准结构的统一，即标准中的章、条、段、表、图和附录的排列顺序与 GB/T 1.1 的要求统一；二是文体的统一，即类似的条款由类似的措辞来表达，相同的条款由相同的措辞来表达；三是术语的统一，即同一个概念使用同一个术语，每一个术语尽可能只有唯一的含义。

（3）科学性、完整性原则

在技术选用方面，本标准以国家现已颁布的有关畜禽养殖行业环境管理的标准、规范为基础，通过参考大量国内外相关的行业污染治理技术资料和工程实例，结合行业特点，将适合我国国情和技术水平，且经工程实践证明的经济、可靠、成熟的处理工艺和管理列入本标

准的内容。

在内容的安排上，本标准主要针对规模化畜禽养殖污染的低碳治理及资源化利用，以工艺路线为基础，工艺技术选择内容力求完整，体现污染控制全过程管理。内容涵盖了规模化畜禽养殖污染中的液体粪污治理技术要求，涉及工艺流程确定、全流程工艺技术选择及运行管理等方面，尽可能全面考虑该行业液体粪污治理所涉及的技术要求和环境管理要求。

（4）系统性、兼容性原则

由于畜禽养殖业的污染治理涉及环保、农业等相关部门，具有跨行业、跨部门的特点，因此在标准的制定过程中尽量与其它行业的相关标准保持兼容和协调。

（5）符合国家产业政策、服务环境管理、排放标准实施原则

本标准制定的内容均符合国家相关的环保政策，不鼓励发展的技术不列入标准的技术内容之内。本标准配合环境保护政策、法律、法规、环境标准的实施，可用来指导政府部门的环境管理，为《畜禽养殖污染物排放标准》的实施提供技术保障。

4 国内外相关标准研究

目前我国已发布的畜禽养殖行业污染治理的标准中，都是以粪便、废弃物等为核心的资源化、无害化处理处置及液体/固体粪肥还田技术规范，而以液体粪污资源化的污染治理技术体系尚不健全，液体粪污治理新技术相对缺乏，且处理技术种类单一；世界上许多发达国家和地区制定了相关的法律、法规或规定，有效地遏制了畜产公害事件的发生。如有关法律、法规规定了一个生产点的最高允许养畜头数；粪便和污水的贮存、处理和利用设施的建立；污水的排放去向；粪肥施入耕地的条件等，同时还制定了相应的处罚条例。通过法律制约（一般体现在水质保护、恶臭防治和废弃物处理几个方面）和严格的监管，很快收到效果。芬兰是最早开展畜禽粪便污染防治立法的国家，而立法最多的是日本，此外，美、加、德、英、法、韩、丹麦、荷兰、比利时、挪威等国都有这方面的法律、法规。

我国并未有单独的液体粪污资源化处理技术指南，主要涉及到液体粪污处理的标准包括《畜禽养殖业污染防治技术规范 HJ/T 81-2001》、《畜禽养殖业污染治理工程技术规范 HJ 497-2009》、畜禽场环境污染控制技术规范《NY/T 1169-2006》。而这些标准发布时间相对较早，随着政策的变化及技术的发展，一些低碳资源化技术并未包含在内。因此，本标准是在现有标准的基础上修改后，根据养殖场的养殖种类、养殖规模、粪污收集方式、决定资源回收的需要、当地的自然地理环境条件以及排水去向等因素确定液体粪污处理工艺路线及处理目标，总体上以“资源回收-高效产能-低碳脱氮-高值定向转化-回用或排放”的原则进行治理

技术的选择，优先采用处理效率高、节省建设投资的处理工艺，追求运行费用、能耗、物耗最小化。

本标准内容和依据需符合国家法律法规及相关强制性标准的要求，是对现有《畜禽养殖业污染防治技术规范 HJ/T 81-2001》、《畜禽养殖业污染治理工程技术规范 HJ 497-2009》、畜禽场环境污染控制技术规范《NY/T 1169-2006》标准的有效扩展。

本标准在处理工艺流程及技术的选择上具有先进性，更符合国家政策。此外，本标准对未来技术发展趋势的预见和适应能力强，考虑到了行业发展的长远需求和技术革新方向。

5 标准主要技术内容及说明

5.1 畜禽养殖液体粪污特性及建设规模

规模化畜禽养殖行业液体粪污的低碳及资源化处理技术的应用与推广与诸多因素有关，编制组基于对北京、四川、内蒙古等长黄流域的城市中不同规模、不同养殖类型的企业开展了调研，同时基于已发表及公布的研究资料，总结了行业液体粪污的产生和排放特点，以供畜禽养殖液体粪污处理工程建设参考。

养殖场液体粪污通常主要由尿液、填棚料（桔杆粉或木屑等） 、部分残余的或全部粪便和饲料残渣、冲洗水组成，有时还包括少量的工人生活生产过程中产生的废水。畜禽粪尿的产生量与养殖种类、品种、性别、生长期、饲料、天气条件等诸多因素有关，同时各养殖场生产方式和管理水平不同，废水排放量存在较大差异。如肉牛场产生量比奶牛场少、鸡场的产生量比猪场少、采用乳头式饮水器的鸡场比水槽自流饮水者产生量少；各种情况相同的养殖场，南方比北方产生量大；同一牧场夏季比冬季产生量大等。采用水冲或水泡粪工艺比干清粪工艺的产生量大且有机浓度高；鸡场液体粪污的含磷量较高、猪场液体粪污含铜、铁量较高等。尽管各养殖场液体粪污的污染物浓度差异很大，但总体趋势可以看出其污染物浓度与养殖场的清粪方式关系十分密切。以养猪场为例，采用干清粪方式的养殖场液体粪污，比水冲粪方式的 CODcr 浓度平均值约低一个数量级，其它指标也相差 3～6 倍。畜禽养殖液体粪污低碳处理及资源化利用工程的建设规模，应根据养殖企业的动物养殖数量、清粪工艺类型和最大养殖能力条件下的排水量以及清洁生产水平综合考虑后确定。

表 1 畜禽养殖液体粪污中污染物浓度

养殖种类	清粪方式	日产生量（kg/头）	CODcr（mg/L）	TN（mg/L）	NH_4^+-N（mg/L）	TP（mg/L）	pH
猪	干清粪	10	2500~2770	320~420	230~290	35~50	6.3~7.5

	水冲粪	20	15600~46800	140~1970	130~1780	30~290	
牛	干清粪	20	920~1050	57~80	40~60	16~20	7.1~7.5
	水冲粪	50	6000~25000	300~500	300~1400	35~50	
鸡	干清粪	0.1~0.25	2740~10500	100~750	70~600	13~60	6.5~8.5

$$Q_{排}=N \cdot Q \quad (1)$$

$Q_{排}$——畜禽养殖场/区液体粪污每日产生量，m^3/d；

N——畜禽养殖场/区的动物养殖数量，猪和牛的单位为百头，鸡的单位为千只；

Q——畜禽养殖业每天最高允许排水量，猪/牛场单位为 m^3/百头/d，鸡场为 m^3/千只/d；

在畜禽养殖液体粪污处理工程建设中，水质水量均应以实测数据为依据进行设计，对新建、改建、扩建项目缺少实测数据时，处理水量可参考相似工程设计或参照 GB18596-2001 的第 3.1.2 条规定的最高允许排水量进行设计；设计水质没有实测数据的可参考相似工程设计或 HJ 497-2009、 NY/T 4755 的进行计算。正文 4.2 中规定了畜禽养殖场产生的液体粪污量及其污染物浓度。

5.2 畜禽液体粪污低碳处理及资源化利用技术确定

5.2.1 低碳处理技术说明

低碳处理技术的判定以同等处理目标、同等边界和同等核算期为基础，综合比较能源消耗、药剂消耗、甲烷与氧化亚氮逸散、污泥或副产物处置、沼气或生物天然气替代效益、养分回收替代效益等因素。

低碳处理技术宜满足下列条件：a）出水或利用产物符合相应用途标准；b）年净温室气体减排量大于 0；c）单位处理量温室气体排放强度较基准线降低不低于 20%，或单位污染物削减量温室气体排放强度较基准线降低不低于 20%[1]；d）不存在污染物转移或不可控二次污染。

温室气体排放强度降低率可按式（1）计算：

$$R = (CI_{_BL} - CI_{_PJ}) / CI_{_BL} \times 100\% \quad (1)$$

式中：R 为温室气体排放强度降低率，%；$CI_{_BL}$ 为基准线情景的单位处理量或单位污染物削减量温室气体排放强度；$CI_{_PJ}$ 为项目情景的单位处理量或单位污染物削减量温室气体排放强度。

单一预处理设施（如格栅、沉砂、普通调节池）一般不单独认定为低碳处理技术；当其通过节能设备、源头减量、资源回收或减少后续曝气、药剂和污泥处置负荷产生可量化减排效果时，可作为低碳处理系统的前置减排单元。

[1] 数据说明：（1）CCER-15-001-V01《规模化猪场粪污沼气回收利用工程》方法学，基准线为液体贮存后农田利用，项目情景为厌氧消化回收沼气，净减排量显著为正；（2）大连市、福建省农业农村局《畜禽规模养殖场减污降碳技术指导意见》：存栏 1 头猪粪污沼气回收利用替代燃煤年减排 CO_2 约 0.5 t，较敞口贮存减排率可达 50%以上；（3）《环境工程技术学报》整县推进项目评估：实施后单位牲畜粪污处置碳排放降低 97.79%。考虑不同地区和技术组合差异，取 20 %作为最低判定阈值，具有工程合理性。

5.2.2 基本原则

畜禽液体粪污既是严重的污染源，也是宝贵的资源，因此，我国的畜禽养殖场液体粪污治理应结合国内外先进经验和最新的环境保护理念，以改善环境质量为宗旨，以畜禽液体粪污资源化和循环利用为基本立足点，尽量实现畜禽养殖液体粪污的减量化、无害化和资源化，提高资源利用率，以环境质量为基准，从实际出发、合理规划、防治结合、综合管理。

正文 4.1 条，规定了畜禽养殖液体粪污低碳处理及资源化技术选择应按照《畜禽养殖业污染防治技术政策》的要求，应遵循先进、可操作、成熟可靠、高效节能、运行稳定等选取原则。建议从畜禽养殖液体粪污的产生、处理和排放全过程控制，严格执行雨污分离、固液分离、干式清除，实现源头削减、清洁生产，实现畜禽养殖液体粪污的减量化、无害化和资源化，提高资源利用率。未经处理的畜禽养殖液体粪污不排放或回用，减少二次污染。新建项目符合“三同时”要求。

正文 4.2 及 4.3 条分别对畜禽养殖液体粪污的污染特性、工程建设规模及厂址选择与平面布置进行了规定。

正文 4.2 条，明确了工程建设规模的确定，建设规模根据养殖企业的动物养殖数量、清粪工艺类型和最大养殖能力条件下的排水量以及清洁生产水平综合考虑后确定。废水水量、水质应以实测数据为准，缺少实测数据时可按 NY/T 4755 估算，也可参考相似工程确定。

正文 4.3 条，明确了厂址选择和平面布置原则，畜禽养殖厂址选择应注重考虑养殖场建成后与周边环境和人群的相互影响，以及畜禽液体粪污就地消化的可行性。总体布置应纳入养殖企业总体规划，并满足环境影响评价、审批文件的要求。场址选择、平面和竖向设计、总图运输、管线综合及绿化布置按照 GB 50187、CJJ 64、GB50014 要求执行。液体粪污处理材料，药剂根据需要存放场所。液体粪污处理站设污泥临时堆放场地，采取防腐、防渗、防雨淋等措施。在寒冷地区，处理构筑物采取覆土防冻或保温。平面布置以液体粪污处理系统为主体，其他设施按处理流程合理安排。

5.2.3 处理系统及流程

正文 5.1 条，明确了畜禽养殖液体粪污处理系统的构成。正文 5.1.1~5.1.4 条，明确了处理系统组成、设计准则及技术路线，总体上应以以减污降碳协同增效为目标，以能源回收和养分回收为核心，结合养殖规模、资源利用需求及环境管理要求进行系统构建。畜禽养殖液体粪污低碳处理及资源化利用系统包括源头减量与预处理单元、能源回收单元、低碳脱氮单元、高值资源回收单元、尾水生态利用单元及其配套设施。系统设计应遵循“源头减量优先、资源回收优先、能源利用优先、末端治理保障”的原则，实现污染物削减、能源回收和温室气体减排协同优化。正文 5.1.5 条，明确了液体粪污处理后排放水质要求，出水水质依排水去向与综合利用途径的不同，要求其应满足 GB 18596-2001 或有关地方排放标准的规定；处理出水用于农田灌溉的，应满足 GB 5084-2021 的规定；处理后作为回用水的应满足相应的回用水水质标准的规定。正文 5.1.6 条，规定按照《排污口规范化整治技术要求(试行)》的规定建设废水排放口，安装连续监测设备。

正文 5.2.1~5.2.2 条，明确了畜禽养殖液体粪污处理工艺流程的确定原则。应根据养殖场的养殖种类、养殖规模、粪污收集方式、决定资源回收的需要、当地自然地理环境条件以及排水去向等因素确定工艺路线及处理目标。应综合考虑技术成熟、基建投资、运行成本、使用寿命、资源占用、能源消耗等因素，充分考虑畜禽养殖废水的特殊性，在实现综合利用或达标排放的情况下，优先选择低运行成本的处理工艺。

正文 5.2.3~5.2.6 条，根据最终处理后的排放要求，确定了处理工艺流程（图 1）。对于养殖场位于非环境敏感区，周围的环境容量大，远离城市，有一定能源需求，周边有足够土地能够消纳全部的沼液，宜采用①的技术路线。对于养殖场位于非环境敏感区，以有机物能源化、污染物无害化处理、降低有机物及氮污染物浓度为目的，并且附近有排水管网，宜采用②的技术路线。对于养殖场没有足够的土地进行沼液消纳，且废水必须经处理后达标排放或农田灌溉/厂区绿化等回用要求的，宜采用③的技术路线。

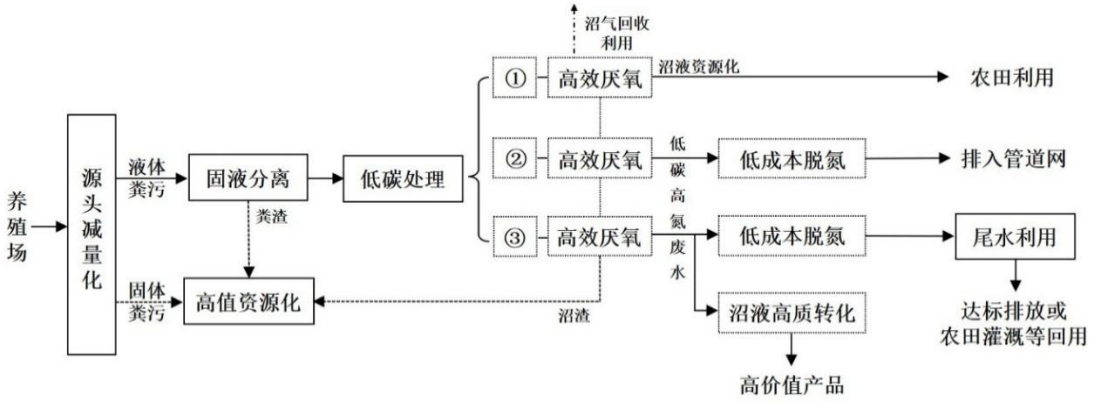


图 1 规模化畜禽养殖液体粪污处理工艺流程

正文 5.2.7~5.2.9 条，规定了规模化畜禽养殖场建立排水设施并保持畅通，废水收集输送系统不采取明沟布设，排水系统实行雨污分流制。畜禽养殖液体粪污处理配套建设二次污染的预防措施，保证污泥、恶臭、噪声等污染物排放执行 GB 14554 和 GB 12348 要求。对于有条件的养殖场，宜建立数字化管理平台，实现污染物削减量、资源回收量和温室气体减排量的动态管理

5.2.4 低碳处理技术的技术选择及要求

（1）源头减量及预处理技术

目前我国规模化养殖场采用的清粪工艺主要有水冲粪和干清粪。水冲粪是耗水量大的工艺，排出的污水和粪尿混合在一起，粪便中的大部分可溶性有机物进入到废水中，给废水处理带来很大困难。相对而言，干清粪是比较理想的清粪工艺，在我国北京、天津、上海等一些地方的养殖场也已经广泛得到应用，并显示出其明显优越性。因此，为了降低液体粪污产生量及污染物浓度，正文 6.1.1~6.1.3 条，明确了畜禽养殖场应采用干清粪工艺并实施雨污分流。正文 6.1.4~6.1.8 条，针对预处理技术，包括固液分离、加药、输送系统等，应选用低扬程、低转速、高效率、变频控制和易维护设备以降低系统能耗从而减少碳排放。机械固液分离设备选用螺旋挤压式分离机，配备节能电机，能耗控制在 0.8-1.2 kWh/m^3 粪污[2]，同时采用联动控制模式，仅在粪污达到设定液位时启动，减少无效能耗。输送系统优先采用短流程、低扬程和重力流布置。泵送设施采用高效电机、变频控制和自动液位联锁，避免长时间空转和过量回流。预处理出水满足后续厌氧消化、低碳脱氮和资源化利用的进水要求，产生的固体物质及时转运至堆肥、厌氧发酵、基质化或有机肥生产单元。

低碳特性说明：通过选用节能设备，可降低预处理环节单位能耗，减少电能消耗带来的间接 CO_2排放；通过固相残渣回收利用，可减少固废填埋产生的甲烷（CH_4）逸散，同时替代化肥生产所需的化石能源消耗，间接实现 CO_2 减排，预处理环节整体可实现单位粪污处理 CO_2 减排 ≥5%。

[2] 数据说明：设备厂商工程参数：180 型主机 4 kW+泵 1.5 kW=5.5 kW，处理量 10 m^3/h，单位能耗约 0.55 kWh/m^3；230 型 8.5 kW/15 m^3/h 约 0.57 kWh/m^3（河南创之源、郑州顺鑫等产品样本）。考虑不同含固率（8%~15%）、管路输送及液位控制等附加能耗，工程实际确定为 0.8~1.2 kWh/m^3。

（2）厌氧消化回收有机物

正文 6.2 条，规定了厌氧消化回收有机物相关技术参数。

技术原理：指在厌氧条件下，通过微生物作用将液体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。发酵后的沼气经净化后可通过发电、直燃等方式实现利用，沼液、沼渣等可以作为农用肥料回田。

系统组成：厌氧消化处理单元通常由厌氧反应器、沼气收集与处置系统（净化系统、贮气罐、输配气管和使用系统等）、沼液和沼渣处置系统组成，如图 2 所示。

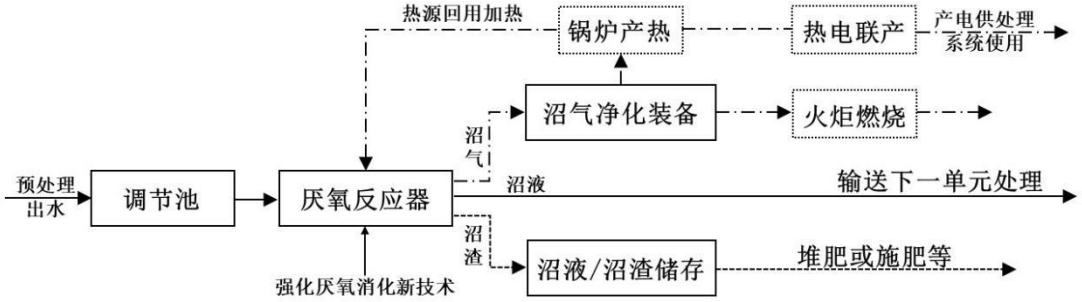


图 2 规模化畜禽养殖液体粪污厌氧消化处理系统组成

工艺类型：厌氧消化反应器设形式包括：UASB、EGSB、CSTR、IC、ABR、USR 等，多类型可选择，应根据液体粪污的水质和特点进行确定。

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℃），在中温条件下的停留时间为 20～30d[3]。 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。

2）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。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。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 kgCOD/m^3·d 左右，最经济、有效的反应器高度为 5m 到 7m [4]。该技术优点是反应器内污泥浓度高，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 1500mg/L 以下 [4]，适用于大中型养殖场污水处理的预处理。

3）升流式固体厌氧反应器（USR）技术：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。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。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。

厌氧消化工艺的选择与废水水质及场地条件等因素有关，各工艺对比如图 3 所示。



图 3 三种厌氧消化工艺的选择及优势

沼气贮气柜和沼气净化装置的运行管理参照《规模化畜禽养殖场沼气工程运行、维护及其安全技术规程》（NY/T 1221-2006）第 13 章、第 14 章的有关规定执行。

低碳特性说明：厌氧消化过程可将粪污中 80%以上的可降解有机物转化为沼气（主要成分为甲烷，CH_4），甲烷作为清洁能源替代煤炭、天然气等化石能源，每立方米沼气燃烧可替代 0.8 kg 标准煤，减少 2.1kg CO_2 排放；同时，厌氧消化过程无需曝气，较传统好氧处理工艺节能 70%以上，单位 COD 去除能耗控制在 0.5-1.0 kWh/kg COD，大幅减少电能消耗带来的间接 CO_2排放；此外，发酵后的沼液、沼渣作为有机肥回田，可替代化肥使用，每施用 1 吨沼肥可减少化肥生产过程中约 0.3 吨 CO_2 排放，实现“能源回收+养分循环”双重低碳效益，该技术可实现单位粪污处理 CO_2减排 ≥40%。

[3] 数据说明：（1）DB37/T 3117-2018：CSTR 的 TS 浓度 5%~10%，HRT 15~30 d，温度 33~35℃；（2）T/GXDSL-2026：CSTR 的 HRT≥20 d；（3）《农业工程》湿发酵 CSTR 项目：HRT 15~30 d，进料 TS 8%~12%；（4）NY/T 1222-2008：中温消化 HRT 不少于 20 d。

[4] 数据说明：（1）HJ 2013-2012：UASB 有效水深 5~8 m，上升流速<0.8 m/h；GB 50684-2011：中温容积负荷 3~8 kgCOD/(m^3·d)；（2）山东中晟环境 UASB 处理养鸡废水工程：中温 35±2 ℃，容积负荷 2.0~5.0 kgCOD/(m^3·d)；（3）HJ 2013-2012 规定 UASB 进水 SS 一般宜控制在 1500 mg/L 以下。该标准中的数据选取畜禽废水偏保守范围。

（3）低碳低成本脱氮

正文 6.3 条，规定了低碳低成本脱氮相关技术参数。

技术原理：指依赖好氧/缺氧条件下优势菌种的生化作用完成污水处理脱氮除碳的过程，且在处理过程中消耗较少的物质、能源及产生较少的温室气体排放。液体粪污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。

工艺类型：厌氧消化处理出水为低碳高氮废水，可采用具有脱氮功能的好氧脱氮工艺（图 4 所示），如 SBR、氧化沟法、缺氧/好氧（A/O）等生物处理工艺，要求进水碳氮比（BOD_5/TN）宜＞4，总碱度（以 $CaCO_3$ 计）/氨氮的比值宜≥3.6，整体运行费用较高。

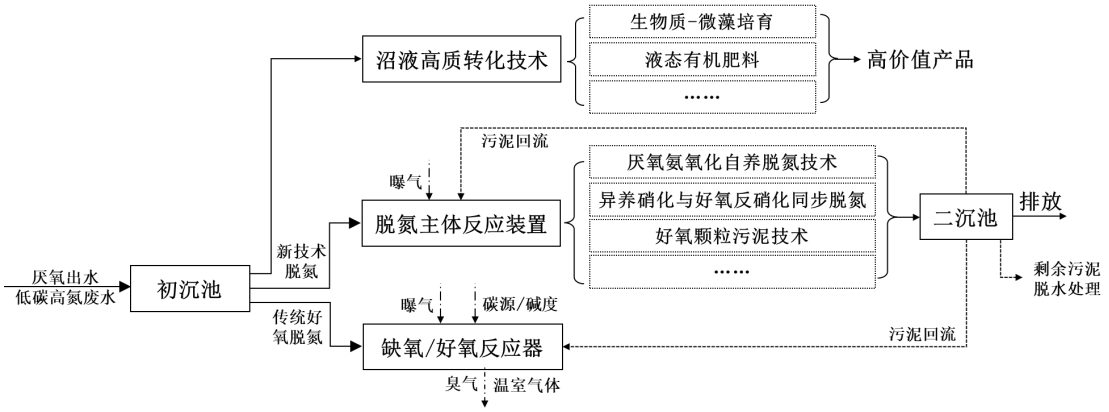


图 4 规模化畜禽养殖低碳高氮废水的脱氮系统组成

综合考虑技术及经济性，采用低碳低成本脱氮技术代替上述工艺，可用技术包括但不限于以下技术：

1）厌氧氨氧化技术：在缺氧条件下以亚硝酸盐为电子供体，将氨氮氧化为氮气的过程。该过程无需有机碳源，需氧量仅为传统硝化反硝化工艺的 1/3，为自养低耗脱氮提供了新途径，具有显著的低碳减排降耗特性。

厌氧氨氧化生物膜脱氮系统进水 pH 值宜为 7.0～9.0，水温宜为 30～35 ℃，当进水 SS 浓度宜小于 500mg/L。当出水要求 TN 浓度≤50mg/L 时，在厌氧氨氧化生物膜脱氮系统后端应增加自养反硝化或异养反硝化以去除多余的 NO_3^-残留，实现出水 TN 达标。厌氧氨氧化池的容积按照 TN 去除容积负荷来计算确定，一段式厌氧氨氧化脱氮负荷取值范围为 0.2~1kg TN/(m^3·d)，两段式厌氧氨氧化脱氮负荷取值范围为 0.5~5kgTN/(m^3·d)。系统的二沉池污泥回流比宜为 100%～300%。厌氧氨氧化生物膜脱氮系统一般不主动排泥，若需排泥，污泥龄宜为 50~100 天，且在系统内应设置菌种持留设备，防止菌种流失[4]。

适用范围及选择依据：适用于经过厌氧处理后的高氨氮、极低碳氮比的畜禽废水的深度脱氮，是能耗最低的生物脱氮途径。具有大幅节能（节省 60%以上曝气能耗）、无需碳源、污泥产量低、温室气体排放少（减少 90%以上）等优势。

2）好氧颗粒污泥技术，微生物在不需要载体的情况下，自发聚集为颗粒状污泥。好氧颗粒污泥的体积较大，氧和水中的物质无法全部进入和渗透到颗粒的核心，因而在颗粒径向上形成了浓度梯度，达成 COD、和氮、磷的同时高效去除。

好氧颗粒污泥的培养宜采用序批式反应器（SBR），也可采用连续流反应器，其设计有机负荷宜控制在 1 - 6 kg COD/(m^3·d)[5]。反应装置的高径比宜为 3~6 之间[6]，水力负荷宜为 0.2~1.5 $m^3/m^2/h$[7]，表面上升气体流速宜控制在 0.5~2.0 cm/s [8]。污泥浓度宜控制在较高值，一般宜为 4~15 g/L [5]，污泥龄宜为 15~30d [5]。进水 C/N 比宜控制在 5~15 [9]，pH 值宜控制在 6.5-8.5，温度宜在中温条件下（20-30℃），不宜超过 40℃。适当的 HRT 有助于颗粒污泥的生长和污泥的稳定，一般宜为 6~10h[5]。根据处理水量、污泥浓度和氧气需求确定曝气量，一般宜为 0.5~2.0 $m^3/m^3/h$，DO 浓度宜保持在 2-4 mg/L[10]。曝气可采用鼓风曝气或机械曝气，鼓风曝气的氧转移效率较高，机械曝气则具有较好的水力剪切力[10]。

适用范围及选择依据：追求高度集约化、一体化处理，并需同步高效除磷时优选。占地极小（节省 75%占地）、出水水质优、抗冲击能力强、能耗低于传统活性污泥法。适用于用地紧张的大型养殖场并对出水的氮、磷指标要求均严格的场合。

3）自养反硝化技术，指自养反硝化菌利用无机碳作为碳源，以无机物作为硝酸盐氮还原的电子供体完成微生物新陈代谢，将缺少有机碳源废水中的硝酸盐还原为氮气的过程。该反应过程对有机碳源需求量较少，因此适合低有机物废水的脱氮过程。

主要包括氢、硫、铁自养反硝化，投加比例分别为 H_2:NO_3^--N = 3:1（摩尔比）、S:NO_3^--N = 1.2-1.5（质量比）、Fe:NO_3^--N = 2.5-3.0（摩尔比），分别适用的进水 NO_3^--N 为 50-100 mg/L、100-300 mg/L、>300mg/L[11]，需补充碱度，维持 C/N 比 ≥1.5（以 CO_2 计）；pH 下降时投加石灰石或碳酸氢钠[12]，投加量≤1.0 kg/m^3。NO_3^--N 去除率可达 95%以上[13]，需控制溶解氧＜0.5 mg/L、游离亚硝酸＜0.1 mg HNO_2-N/L[14]。采用悬浮污泥系统，污泥浓度应控制在 2000-4000 mg/L[15]，生物滤床/填料系统比表面积≥300 m^2/m^3[16]，硫磺滤床的反冲洗周期应为 15-30 天（气水联合冲洗），铁填料床需定期酸洗[11]（pH=2.0，浸泡 2 小时）。

适用范围及选择依据：专门用于处理 C/N 比极低，且富含硫化物或亚铁等无机电子供体的废水深度脱氮。完全无需有机碳源、污泥产量极低、可与硫、铁循环耦合。适用于厌氧消化沼液（含一定硫化物）的深度脱氮，同时科与含硫、含铁废水协同处理。

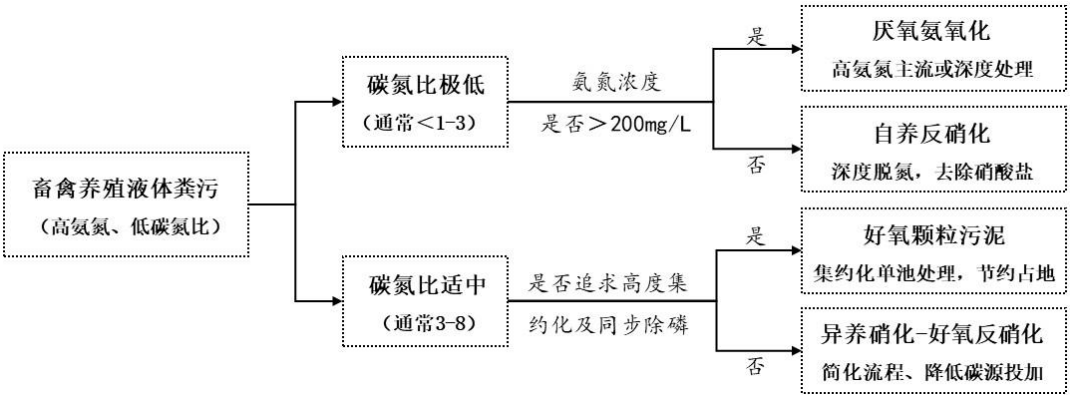


图 5 低碳脱氮工艺的选择依据及优势

低碳特性说明：低碳低成本脱氮技术较传统好氧脱氮工艺，无需投加大量有机碳源，可减少有机碳源生产、运输过程中的 CO_2 排放，同时大幅降低曝气能耗（节能 30%-60%），单位 TN 去除能耗控制在 0.8-1.5 kWh/kg TN；通过抑制 N_2O 等强温室气体产生，减少温室气体直接排放；其中厌氧氨氧化技术无需曝气，单位 TN 去除能耗可降至 0.3-0.8 kWh/kg TN，较传统好氧脱氮工艺 CO_2 减排 ≥35%；自养反硝化技术无需投加有机碳源，可实现单位 TN 去除 CO_2 减排 ≥45%，同时实现 CO_2 循环利用，进一步提升低碳效益。

[4] 数据说明：（1）国家标准《高氨氮废水厌氧氨氧化处理应用技术规范》（征求意见稿）：一段式 PN/A 进水 pH 7.0~9.0，温度 25~38℃，一段式厌氧氨氧化脱氮负荷取值范围为 0.2~1kg TN/(m^3·d)，两段式厌氧氨氧化脱氮负荷取值范围为 0.5~5kgTN/(m^3·d)；（2）团体标准 T/CPCIF 0417-2025：pH 值宜为 7.0～9.0，水温宜为 30～35 ℃，SS≤500 mg/L，系统的二沉池污泥回流比宜为 100%～300%，污泥龄宜为 50~100 天。（3）《北京工业大学学报》综述：一段式 ANAMMOX 脱氮负荷 0.2~1.0 kgN/(m^3·d)，两段式 1.0~5.0 kgN/(m^3·d)。

[5] 数据说明：（1）BioMed Research International 期刊论文-Aerobic Sludge Granulation in a Full-Scale Sequencing Batch Reactor：全规模 SBR（5 万 m^3/d）运行 OLR 为 3.9~4.5 kgCOD/(m^3·d)，污泥龄控制在 30~40 d，MLSS 满负荷后约 8000 mg/L，HRT 从 29 h 逐步降至 6 h 后稳定运行。（2）《中国给水排水》期刊论文-《Nereda®好氧颗粒污泥工艺的脱氮除磷性能及工程实例》：Nereda®全规模工程 MLSS 为 8~12 g/L，容积负荷 0.6~2.7 m^3/(m^3·d)，国内连续流 AGS 中试有机负荷 0.3~0.66 kg/(m^3·d)，SRT 约 30 天，HRT 约 12~18 h（含沉淀和闲置），实际反应时间约 6~10 h。（3）《中国给水排水》期刊论文-《好氧颗粒污泥技术的工业废水处理工程实例》：MLSS 8000 mg/L，HRT 9.36 h，污泥负荷 0.11 kgBOD_5/(kgMLSS·d)。

[6] 数据说明：（1）《中国给水排水》期刊论文-《Nereda®好氧颗粒污泥工艺的脱氮除磷性能及工程实例》：荷兰 Ede 全规模 Nereda®反应器深度 7 m，通过矩形池设计替代传统高

径比，工程 H/D 约为 2~3；（2）《中国给水排水》期刊论文-《好氧颗粒污泥技术中试研究及应用进展》：中试反应器直径 0.6 m、高 6 m，H/D=10（实验柱式）；工程应用中 500 m^3/d AGSR 装置 H/D 约为 5~6。（3）专利技术-《一种脱氮除磷处理农村生活污水的好氧颗粒污泥反应器》：农村生活污水 AGS 反应器主体高径比为 6~8:1，兼顾颗粒化与工程经济性。

[7] 数据说明：（1）《中国给水排水》期刊论文-《连续流好氧颗粒污泥技术升级现有污水处理工程》：好氧反应区 HRT 5.8 h，沉淀时间 2.9 h，对应水力负荷约 0.6~1.0 $m^3/(m^2 \cdot h)$。（2）《净水技术》期刊论文-《连续流好氧颗粒污泥技术处理生活污水的中试》：水量 1743 m^3/d，HRT 10.8 h，对应水力负荷约 0.4 $m^3/(m^2 \cdot h)$。

[8] 数据说明：《中国给水排水》期刊论文-《Nereda®好氧颗粒污泥工艺的脱氮除磷性能及工程实例》：（1）反应器表面气速 0.18 cm/s（低剪切，长 HRT 工况）。（2）BioMed Research International 期刊论文-Aerobic Sludge Granulation in a Full-Scale Sequencing Batch Reactor：5 万 m^3/d 的 SBR 表面气速控制在 1.3 cm/s，成功实现好氧颗粒化。（3）Water Science & Technology 期刊论文-《Aerobic granular sludge treating anaerobically pretreated brewery wastewater at different loading rates》：啤酒废水 AGS 反应器表面上升气速为 0.5 cm/s。

[9] 数据说明：（1）Sustainability 期刊论文-《Enhanced Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal Performance of the AGS-SBR Reactor Based on the Effects of the C/N Ratio and Microbial Community Change》：AGS-SBR 同步脱氮除磷，C/N 比为关键调控参数，5~15 范围内均可稳定运行。（2）Water Science & Technology 期刊论文-《Aerobic granular sludge treating anaerobically pretreated brewery wastewater at different loading rates》：AGS 处理啤酒废水最佳 C:N:P 比为 100:6:1（即 C/N≈16.7）。

[10] 数据说明：（1）《西南大学学报》期刊论文：《统一构型连续流好氧颗粒污泥系统的颗粒化机制与运行表现》，连续流 AGS 系统 DO 维持在 3 mg/L 以上；实验阶段 DO 保持 2 mg/L。（2）Water Environment Research 期刊论文-《Case study of aerobic granular sludge and activated sludge - Energy usage, footprint, and nutrient removal》Wiley 全规模 AGS 工程 AGS 采用盘式微孔曝气，DO 设定值正常为 2 mg/L，短周期时升至 3 mg/L，采用 360 个盘式微孔曝气器，由 4 台罗茨风机供气。（3）《中国给水排水》期刊论文-《Nereda®好氧颗粒污泥工艺的脱氮除磷性能及工程实例》：Nereda®工艺推荐采用微孔鼓风曝气，氧转移效率高，能耗较传统活性污泥降低 20~35%。

[11] 数据说明：（1）Bioengineering 期刊论文-《Synergistic Inorganic Carbon and Denitrification Genes Contributed to Nitrite Accumulation in a Hydrogen-Based Membrane Biofilm

Reactor》：考虑生物量合成后 H_2/NO_3^-摩尔比约为 2.8~3.2:1。（2）Water 期刊论文-《Sequential Nitrification—Autotrophic Denitrification Using Sulfur as an Electron Donor and Chilean Zeolite as Microbial Suppor：考虑生物量合成和硫磺纯度（约 90%），工程实际投加 1.2~1.5 g。（3）《中国给水排水》期刊论文-《零价铁还原水中硝酸盐的机理及影响因素》：考虑铁表面钝化和利用率，工程投加 2.5~3.0:1，酸洗可去除钝化层，恢复 Fe^0表面活性。

[12] 数据说明：（1）Desalination and Water Treatment 期刊论文-《Pilot-scale sulfur autotrophic denitrification biofilter in denitrification of pig farm wastewater biological tail water》：每 m^3 废水投加石灰石或 $NaHCO_3$ 约 0.5~1.0 kg，具体根据进水碱度和 NO_3^--N 浓度计算，养猪废水生物尾水碱度较高，投加量偏下限。（2）《北京工业大学学报》期刊论文-《ρ(C)/ρ(N)对 3BER-S 工艺特性及反硝化细菌群落特征的影响》：S/CH=1.5 时，硫自养产酸与氢自养/异养产碱恰好平衡；C/N≥1.5（CO_2计）保证无机碳源充足。

[13] 数据说明：（1）《天津科技大学学报》期刊论文-《自养反硝化技术在工业污水处理厂的应用》：硝氮平均去除率 87.7%，最高 96.9%。（2）Desalination and Water Treatment 期刊论文-《Pilot-scale sulfur autotrophic denitrification biofilter in denitrification of pig farm wastewater biological tail water》：启动期 40 d，稳定运行 NO_3^--N 去除负荷 0.45 kgNO_3^--N/(m^3·d)，最佳 HRT 条件下 NO_3^--N 去除率>95%。

[14] 数据说明：（1）《工程技术研究》期刊论文-《自养反硝化生物滤池在污水处理厂的应用》：自养反硝化为缺氧/厌氧过程，DO 过高会抑制反硝化酶活性并消耗电子供体，工程上 DO<0.5 mg/L 为常规控制要求。（2）《环境科学》期刊论文-《FNA 的抑制作用及反硝化过程的交叉影响》：FNA（游离亚硝酸）在 0.01~0.025 mg/L 时反硝化受到 60%抑制，>0.2 mg/L 时完全抑制，控制<0.1 mg/L 可保证反硝化正常进行。

[15] 数据说明：（1）《天津科技大学学报》期刊论文-《自养反硝化技术在工业污水处理厂的应用》：MLSS 控制在 2500~3500 mg/L，硝氮平均去除率 87.7%。（2）《地学前缘》期刊论文-《硫自养反硝化技术工程应用现状及展望》：自养反硝化污泥增殖缓慢，SRT 较长（30~60 d），MLSS 不宜过高，2000~4000 mg/L 为工程最优范围。

[16] 数据说明：（1）《环境工程技术学报》期刊论文-《生物炭对硫自养反硝化人工湿地深度净化污水厂尾水的影响》：生物炭比表面积>300 m^2/g，填料层比表面积>500 m^2/m^3，NO_3^--N 去除率 96.66%。（2）《硫基复合填料在污水脱氮的应用》：工程比表面积设计值≥300 m^2/m^3，为生物膜附着提供充足载体。

[17] 数据说明：（1）（1）Desalination and Water Treatment 期刊论文-《Pilot-scale sulfur

autotrophic denitrification biofilter in denitrification of pig farm wastewater biological tail water》：进水 SS 经过前处理后<50 mg/L，反冲洗周期 20~25 d，运行稳定。（2）《低碳脱氮新方案：硫自养滤料在污水深度处理中的实践应用》：常规工况每 3~7 d 气水联合反冲洗一次；悬浮物偏高时 2~4 d；畜禽废水尾水 SS<100 mg/L 时可延长至 15~30 d。

（4）尾水生态利用技术

正文 6.4 条，根据可供利用的土地资源面积和适宜期刊论文-的场地条件，规定了适宜的尾水利用工艺的技术参数。

1）人工湿地：是由人工建造和控制运行的与沼泽地类似的地面，将污水、污泥有控制的投配到经人工建造的湿地上，污水与污泥在沿一定方向流动的过程中，主要利用土壤、人工介质、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用，对污水、污泥进行处理的一种技术。适用于有地表径流和废弃土地，常年气温适宜的地区。选用人工湿地的进水悬浮物宜控制为小于 500 mg/L。表面流、潜流、垂直流湿地水力负荷分别宜为 2.4～5.8 cm/d、 3.3～8.2 cm/d、3.4～6.7 cm/d [18]。设置填料时，可适当提高水力负荷。冬季保温措施可采用覆盖秸秆、芦苇等植物。

适用范围及选择依据：生态友好、景观效应好、运行能耗极低、维护相对简单。适用于追求生态化、景观化处理，且有适量闲置土地的项目，尤其适合作为尾水的深度净化单元。对出水水质要求为农田灌溉或生态补水标准或养殖场周边有坑塘、洼地等可利用空间。

2）稳定塘：是一种利用天然净化能力对污水进行处理的构筑物的总称。其净化过程与自然水体的自净过程相似。通常是将土地进行适当的人工修整，建成池塘，并设置围堤和防渗层，依靠塘内生长的微生物来处理污水。主要利用菌藻的共同作用处理废水中的有机污染物。适用于有湖、塘、洼地可供利用且气候适宜、日照良好的地区。蒸发量大于降雨量地区使用时，应有活水来源，确保运行效果。稳定塘宜采用常规处理塘，如兼性塘、好氧塘、水生植物塘等。塘址的土地渗透系数（K）大于 0.2 m/d 时[18]，应采取防渗处理。

适用范围及选择依据：投资与运行成本最低、管理简单、有效去除病原体。适用于土地资源充裕、气候温暖、且追求极低运行能耗与成本的地区。土地成本低的偏远地区或处理非紧急、可长周期贮存的水量。

3）土地处理：是指在人工控制的条件下，将污水投配在土地上，通过土壤-植物系统，进行一系列物理、化学、物理化学和生物化学的净化过程，使污水得到净化的一种污水处理工艺。该技术充分利用了污水中的营养物质和水，强化农作物、牧草和林木的生产。采用土地处理应采取有效措施，防止污染地下水。慢速、快速、地表渗滤系统水力负荷分别宜为 0.5～

5.0 m/a、 5～120 m/a、3～20 m/a[18]。土地处理设计时，应根据应用场地的土质条件进行土壤颗粒组成、土壤有机质含量调整等。

适用范围及选择依据：实现了水资源和养分（氮、磷、钾）的彻底资源化；运行成本低；能改良土壤。适用于拥有大面积配套农林用地，且以水肥资源化利用为最终导向的养殖场。粪污经厌氧发酵等无害化处理后，作为液态有机肥进行科学还田或养殖场自有或签约大量农田、林地、草地。

4）消毒：由于畜禽养殖用水量较大，从节水减排的角度，积极鼓励废水的循环利用，处理出水经深度处理和消毒处理后，可考虑作为畜舍等的冲洗水源。根据 HJ/T 81-2001 的有关规定，为防止产生氯代有机物或其他的二次污染物对环境及畜禽的影响，废水的消毒处理宜采用紫外线、臭氧、双氧水等非氯化消毒措施。

适用范围及选择依据：杀菌效率高、效果稳定、见效快。当出水需回用于场区冲洗、绿化或达到特定排放标准，且必须控制病原微生物风险时的必备终端单元。粪污处理后循环回用于养殖场冲洗或出水排入敏感水体或有严格的卫生学指标要求。

低碳特性说明：尾水生态利用技术主要依赖太阳能、风能等自然能源，无需人工曝气、加热和大量药剂投加，单位废水处理能耗控制在 0.05-0.1 kWh/m^3，较传统人工处理工艺节能 90%以上，几乎不产生直接 CO_2 排放；同时，人工湿地、稳定塘中的水生植物可吸收 CO_2 进行光合作用，固定大气中的碳，进一步降低碳足迹；土地处理可实现粪污养分的农田循环，替代化肥使用，间接减少化肥生产过程中的 CO_2 排放，该类技术可实现单位废水处理 CO_2 减排 ≥80%。

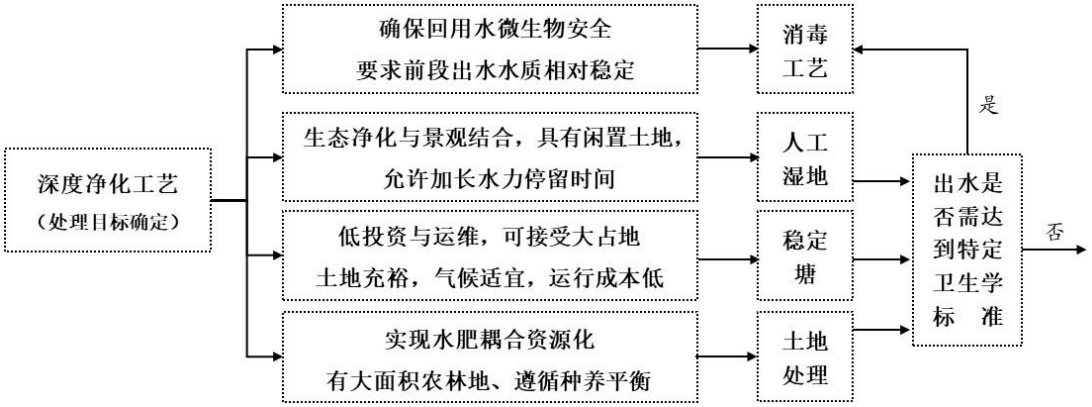


图 6 深度净化工艺的选择依据及优势

[18] 数据说明：（1）HJ 497－2009：通常表面流湿地水力负荷 2.4～5.8cm/d；潜流湿地水力负荷 3.3～8.2cm/d；垂直流人工湿地水力负荷 3.4～6.7cm/d，天然土壤渗透系数大于 0.2 m/d 时应采取防渗措施，为水环境工程设计通用标准。（2）GB 50014-2021：表面流、水平潜

流、垂直潜流人工湿地的表面水力负荷分别要求≤0.1 $m^3/m^2/d$、≤0.3 $m^3/m^2/d$、＜0.5 $m^3/m^2/d$。

5.2.5 资源化利用技术的技术选择及要求

正文 7.1~7.3 条，提出了针对畜禽养殖液体粪污的推荐性资源化利用路径，主要包括高值沼气回收、沼气利用和沼液营养物质回收三种途径。

（1）贮存发酵技术

在敞口、封闭或半封闭的贮存设施中，通过好氧、兼氧或厌氧微生物的作用，使粪污中的有机物分解转化为稳定的粪肥，实现养分的回收与农田利用。主要类型为敞口贮存设施及封闭贮存设施。

①敞口贮存设施常见氧化塘、舍内深坑等，适用于土地资源丰富、气候条件适宜的地区。封闭贮存设施常见密闭罐、覆膜塘（黑膜厌氧塘）等，适用于对环境要求较高、土地资源有限的地区。

②敞口贮存设施贮存发酵周期不低于 180 天，封闭贮存设施不低于 90 天[19]，可通过添加微生物菌剂或发酵后作为基肥使用，适当缩短贮存期。

③发酵控制条件包括温度、湿度、通气量等。常温发酵适用于气候温和地区，中温发酵（35-40℃）可提高发酵效率，需配备保温或加温设施。适宜含固率为 3%~12%，pH 值为中性至弱碱性。

④贮存设施需具备防渗、防溢流功能，周围设置防护设施，防止粪污泄漏污染环境。容积设计需根据养殖规模、粪污产生量和贮存周期计算，确保满足处理需求。

⑤发酵后的沼液和沼渣可作为有机肥还田，粪肥施用参照 NY/T 4046 执行。

适用范围及选择依据：设施结构简单，运维无需大量能耗与药剂，维护成本低。工艺稳定，对运行人员技术要求不高。将粪污中的氮、磷、钾等营养物质最大程度保留在液态粪肥中，是连接处理与农田利用的关键环节。大容积的贮存设施保障系统连续稳定运行。可作为独立处理单元，也可作为厌氧消化或好氧处理的前置贮存或后端稳定化单元，工艺衔接灵活。

低碳特性说明：贮存发酵技术可将粪污中的有机物转化为稳定的有机肥，替代化肥使用，每施用 1 吨发酵粪肥可减少 0.3-0.5 吨 CO_2 排放（替代化肥生产能耗）；封闭贮存设施可收集发酵产生的沼气，避免甲烷逸散（每立方米甲烷逸散相当于 28 立方米 CO_2 的温室效应），沼气可作为清洁能源利用，进一步实现碳减排；通过微生物菌剂加速发酵，可缩短发酵周期，减少发酵过程中的温室气体排放，同时减少土地占用，降低基建过程中的碳排放，该技术可实现单位粪污处理 CO_2 减排 ≥30%。

[19] 数据说明：（1）团标 T/GXDSL-2026：敞口式液体粪污氧化塘贮存设施，设计存放周期不少于 180d；密闭式专业化贮存设施，设计存放周期不少于 90d。（2）乌海市农牧局《畜禽粪污资源化利用明白纸》：粪污在氧化塘或深坑中贮存发酵的时间总和不少于 6 个月，在封闭贮存设施中贮存发酵的时间不少于 3 个月。

（2）沼气利用技术

通过厌氧消化技术产生的沼气，可进行热电联产发电或提纯生物天然气，实现1000m³/d产气量年收益大于50万。

①沼气热电联产技术。一般沼气30%～40%可利用的能量以电能形式回收，1N m^3沼气发电1.5～2.0 Kw·h。剩余能量大部分以热能形式回收，一般占沼气40%～50%可利用的能量[20]。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预处理及脱水处理，沼气应满足甲烷含量＞50%，硫化氢浓度＜200 ppm，总硫含量≤200 mg/m^3。

②提纯生物天然气。采用膜分离技术进行沼气提纯生物天然气，实现甲烷直接回收85%~92%转化为高纯生物天然气（CH_4 ≥95%），能量损失仅 8%~15%。生产1 Nm^3 生物天然气需耗电 0.3~0.5 kWh，生物天然气价格是发电收益的2~3倍。该技术适用于大中型养殖场可进行加气站燃料、燃气管道注入，膜分离前需对沼气进行深度脱硫（总硫含量≤20mg/m^3，硫化氢含量≤20 ppm）[21]、脱水处理。

低碳特性说明：沼气作为可再生能源，替代煤炭、化石天然气等不可再生能源，每立方米沼气燃烧可减少2.1kg CO_2排放，每立方米生物天然气替代化石天然气可减少2.4kg CO_2排放；沼气热电联产实现能源梯级利用，能源利用效率可达70%以上，较传统沼气直接燃烧（能源利用效率30%-40%）大幅提升，进一步减少能源浪费；沼气提纯后的生物天然气可实现规模化利用，替代化石能源，推动能源结构低碳化，该技术可实现单位沼气利用CO_2减排 ≥85%，同时避免甲烷逸散带来的温室效应，双重提升低碳效益。

[20] 数据说明：（1）NY/T 1222-2008：沼气发电机组电效率 30%~40%，热效率 40%~50%；1 m^3 沼气低位热值约 21~23 MJ，按 35% 效率发电约2.0 kWh；（2）GB/T 41328-2022：内燃机进气H_2S≤200 mg/m^3，总硫≤200 mg/m^3。

[21] 数据说明：（1）国内品牌膜分离设备：甲烷回收率92%~94.1%，电耗0.4~0.55 kWh/Nm^3；国际品牌沼气提纯（膜分离）系统：生产 1 Nm^3 生物天然气需耗电0.4~0.55 kWh，行业报告平均 0.38 kWh/Nm^3。（2）Semantic Scholar 综述：商业规模膜分离能耗 0.18~0.20 kWh/Nm^3 原料气，约占沼气能量 8%~12%。（3）biogasflux工程数据：膜分离CH_4回收率98.5%~99.5%，CH_4产品97%~99%。（3）GB/T 41328-2022：一类气CH_4≥95%，总硫≤20 mg/m^3。

（3）沼液营养物质回收

厌氧消化后的废水中的含有高浓度的氮磷物质，对这些营养物质回收并进行定向转化，实现污染物的资源化回收再利用过程（如图 4 所示），可转化途径包括但不限于以下方向：

①微藻培育。微藻培育。微藻能够通过光合作用，将废水污染物中所含的氮、磷等无机营养盐转化为生物质，降低废水中COD、NH_4^+-N以及TP的含量，在实现自身生长繁殖的同时净化水质，同时固定大气中的二氧化碳，收获的微藻生物质能够加工成肥料等，实现资源的回收利用。针对畜禽养殖液体粪污达标排放难、资源转化率低等问题，基于水质特点与冲击波动，可进行生长快、固碳强、抗污染性好、高值资源产物的微藻选育。

养猪废水微藻净化培养系统进水pH值为6.5-8.5，水温为20-35℃。在接种小球藻密度为5×10^6- 2×10^7个细胞/L时，废水经过固液分离处理后，进水中COD最大耐受阈值为3000 mg/L，最高NH_4^+-N耐受值为200mg/L，最高TN耐受值为300 mg/L[22]。微藻培养净化处理后液体作为微藻肥等植物生长促进剂，在初始接种小球藻密度为5×10^6-2×10^7个细胞/L条件下，经培养处理10 d后，控制混合培养液中藻密度再次为1×10^7个细胞/L，用于浸泡种子，对油菜、油麦菜、小麦、玉米、生菜、萝卜、花生种子萌发呈现出一定的促进效果。

适用范围及选择依据：沼液富含氮、磷、钾及微量元素，是微藻生长的天然培养基，降低培育成本。微藻光合作用可高效固定CO_2，若耦合沼气工程烟气，能实现系统内碳的负排放。收获的藻粉蛋白质含量可超过50%，可开发为优质饲料蛋白、生物肥料、生物柴油原料等高附加值产品。微藻可作为浮游动物的饵料，进而用于水产养殖。该技术适用于水质稳定的厌氧消化沼液，实施前需评估场地光照条件、土地利用可行性及藻类产物市场渠道。

[22] 数据说明：（1）《农业工程学报》期刊论文-《猪粪沼液培养微藻系统中试试验》：跑道池生物量最高250 mg/L，COD、NH_4^+-N、TP去除率分别40.05%、95.06%、97.52%；（2）《农业工程学报》期刊论文-《牲畜粪污沼液培养微藻工艺参数优化》：猪粪沼液原液 COD 约 4288 mg/L，小球藻可耐受 COD≤3000 mg/L（经固液分离后）。（3）Water Practice and Technology期刊论文-《Nutrient removal from anaerobically treated pig farming wastewater by microalgae-bacteria consortia in outdoor raceway ponds》：经氨吹脱预处理后 NH_4^+-N 降至 200 mg/L 以下可稳定培养，200 mg/L为小球藻耐受上限。（4）Microorganisms期刊论文-《Exploration of Microalgal Species for Nutrient Removal from Anaerobically Digested Swine Wastewater and Potential Lipids Production》：灭菌后沼液 TN 约 258.5 mg/L，微藻可正常生长；猪场沼液原液 TN 约 854 mg/L，需稀释至 300 mg/L 以下。（5）Frontiers in Energy Research期刊论文-《Optimization of inoculum cell concentration for enhanced lipid production in

laboratory-scale cultivation of the marine microalga Chlorella sp. for biofuel applications》：微藻种子液接种后培养至对数期，密度约 10^7个 /mL，用于浸种时稀释至 10^7个细胞/L。

②水肥一体化。厌氧消化沼液 C/N 含量较适宜生产微生物有机肥，可促进植株叶绿素的合成，增强光合作用，利于碳水化合物的形成，从而提高农作物产量，又能减少病虫害。同时，沼液可用于制备高腐植酸含量、低水不溶物腐植酸液体肥，促进农作物生长与增产。

采用“好氧发酵→固液分离→营养强化”三步转化制成液态有机肥料，要求沼液性质：pH值 6.5-8.0、COD、NH_4^+-N及SS浓度分别不大于5000 mg/L、300 mg/L及1000 mg/L。好氧发酵曝气量为0.5~1.0 m^3空气/(m^3沼液·h)，发酵周期7~10天。通过离心或过滤实现固液分离，澄清液SS浓度不大于50mg/L。添加腐殖酸稳定养分，产品总养分（$N+P_2O_5+K_2O$）不小于8.0%，达 GB/T 40750要求。同时可制成富碳沼液肥等功能型肥料，原料沼液进行5~10倍的浓缩处理，浓缩液中通二氧化碳，CO_2净携带量为0.1~0.16 mol/L，吸收体系pH值不低于9.0[23]。

低碳特性说明：微藻培育可吸收大气中的CO_2，每培养1kg微藻可固定1.8kg CO_2，同时回收沼液中的氮磷养分，减少化肥生产过程中的CO_2排放；液态有机肥生产过程中，采用节能型固液分离设备，发酵曝气采用变频控制，减少能耗，同时利用厌氧消化产生的CO_2进行富碳处理，实现碳循环利用，减少CO_2排放；该技术可实现单位沼液处理CO_2减排≥35%，同时实现养分回收与碳固定双重效益，推动粪污资源化与低碳化协同发展。

[23] 数据说明：（1）《农业工程学报》期刊论文-《提高沼液生物有效性的曝气参数优化》：最优气水比20，折算曝气量约 0.5~1.0 m^3空气 /(m^3沼液・h)。（2）某粪污制液态肥料参数：液态粪水好氧发酵7~15 天达到可直接浇灌标准。（2）《工业水处理》期刊论文-《膜耦合技术对沼液浓缩及净水效果的影响》：体积浓缩倍数分别为 5 倍和 10 倍时，浓缩液中 TN、TP 等养分高效截留。（4）《农业机械学报》期刊论文-《以富 CO_2吸收液为汲取液的沼液中水正渗透回收特性研究》：碱性沼液浓缩液（pH 9~10）吸收 CO_2后生成碳酸氢根，净携带量约 0.1~0.16 mol/L。（5）《农业资源与环境学报》期刊论文-《富碳沼液施用对水稻分蘖期生长的影响》：向浓缩沼液通纯 CO_2，从碱性（pH≥9.0）降至 6.5~7.0 制备富碳沼液肥，吸收初始 pH 越高，CO_2吸收容量越大。

5.3 监测与管理

正文 8 条，规定了畜禽养殖场/区的液体粪污处理系统运行管理及运行监测要求。畜禽养殖场/区的液体粪污处理系统运行管理宜参照 CJJ 60-2011 和相应工程技术规范有关规定执行。畜禽养殖场液体粪污低碳处理及资源化系统的监测项目、采样布点、样品采集、样品

运输、交接和保存、质量控制等技术要求按 GB/T 27522 的规定执行。畜禽养殖排污单位在生产运行阶段对其排放的水、气污染物、噪声以及对周边环境质量影响开展自行监测时，按照 HJ 1252 的规定执行。正文 8.1.6~8.1.8 条，明确了温室气体定量监测及核算的要求。应参照按 GB/T 32151.22 及温室气体自愿减排项目方法学开展，检测范围应覆盖液体粪污低碳处理与资源化利用项目边界内的主要设施，包括收集和预处理系统、厌氧消化反应器、沼气净化与利用系统、脱氮和尾水处理系统、沼渣沼液处理系统、能源计量系统和资源化产品输出系统。开展监测前应编制监测方案。监测方案应明确监测目的、项目边界、工艺流程、排放源、监测点位、监测参数、仪器设备、采样和分析方法、频次、质量控制、数据管理、异常工况处理和安全要求。具体检测参数、监测位点及频次。畜禽养殖场温室气体排放核算边界、核算步骤及报告要求按 GB/T 32151.22 执行，畜禽粪污管理环节的温室气体排放量核算方法按 NY/T 4243 执行。

6 畜禽养殖废水有机质回收及厌氧氨氧化低碳脱氮技术典型案例

编制组对国内畜禽养殖废水的低碳及资源化处理工程进行了广泛调研，并对典型项目的工艺路线、系统配置、技术参数等进行了重点梳理，主要涉及的技术包括厌氧消化有机物高质回收技术、厌氧氨氧化低碳脱氮技术。

6.1 项目概况

四川德昌县某智慧园区养殖废水“高效厌氧+厌氧氨氧化”处理项目，主要废水来源为养猪废水，处理规模：猪粪物料为含固率 3%左右的粪污 4000 吨/天，包括经固液分离后的高浓废水 3800 m^3/d、除臭系统排水 1000 m^3/d，该项目 2025 年投入使用。

废水处理工艺包括预处理系统、生化处理系统、深度处理系统及配套污泥及臭气处理系统。其中，废水预处理及厌氧处理系统工艺流程为“粪污来水+机械粗格栅+集粪池+两级固液分离机+调节池+初沉池+配水池+高效厌氧反应器+厌沉池”；厌氧氨氧化生化处理系统工艺流程为“厌沉池出水+预生化 A/O 池+一沉池+厌氧氨氧化池+二沉池+中间水池+深度生化 A /O 池+三沉池”；传统 A/O 工艺处理工艺流程为“厌沉池出水+一级 A/O 池+二级 A/O 池+二沉池+三级 A/O 池+三沉池+深度处理工艺”；深度处理系统工艺流程为“终沉池+臭氧接触氧化+达标排放或至深度处理车间回用”；污泥处理系统工艺流程为“污泥浓缩池+污泥脱水机+堆肥处理”；臭气处理系统采用“碱喷淋+生物除臭”一体化设备。该项目的设计进水指标如表 2 所示，精处理后出水指标满足下游污水厂接纳要求，具体指标如表 2 所示。

表 2 项目设计进、出水水质

项目	CODcr	BOD_5	NH_4^+-N	TN	TP	SS
进水	≤12000	≤5000	≤1300	≤1500	≤200	≤30000
出水	≤350	≤150	≤35	≤40	≤4	≤250

6.2 工艺流程介绍

（1）预处理+厌氧系统

该工程采用 UASB 厌氧处理系统，实现废水中有机质的高效回收，具体工艺流程如图 7 所示。

为了尽量利用原水中的 COD 转换为清洁能源沼气，又尽量控制投资，厌氧系统选择 AE 厌氧反应器。主要目的（1）尽量多的产生沼气清洁能源，用于原水的升温，保证厌氧系统及后续生化系统稳定运行；（2）尽量提升原水温度，保证后续生化系统处于高效段运行，减少后续生化系统的运行费用；（3）沼气为清洁能源，可以减少污水处理系统碳排放指标，响应国家号召，低碳环保。

AE 厌氧反应器是针对 “三高”（高有机物、高悬浮物、高黏度）水质特点而研究开发的一种新型厌氧反应器，在结构形式上，AE 厌氧反应器是第一代厌氧反应器 AC 与第三代厌氧反应器 EGSB 的优化组合。使其既具有 AC 耐高悬浮物，耐冲击负荷、产气率高的特点，又具备 EGSB 高径比大，搅拌能力强，污泥浓度高、污泥活性好的优势。目前已成功应用于高悬浮物有机废水厌氧生物处理领域。

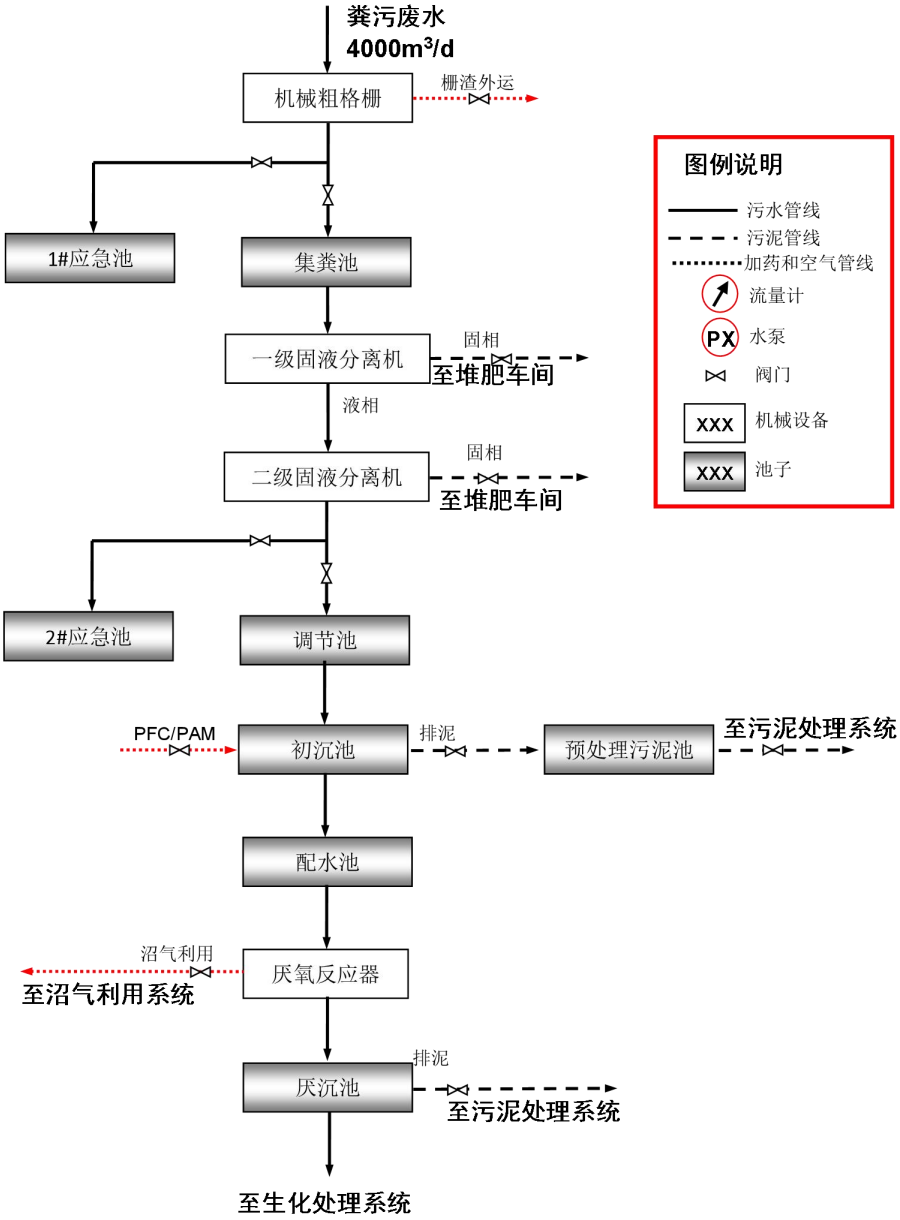


图 7 预处理及厌氧系统工艺流程图

AE 由污泥反应区、沉淀区和气室三部分组成。反应区是 AE 厌氧反应器主要部位， 在反应区内存留大量厌氧污泥，具有良好的沉淀性能和凝聚性能的污泥在下部形成污泥层，要处理的污水从厌氧污泥床底部流入，与污泥层中的污泥进行混合接触，污泥中的微生物分解污水中的有机物，把它转化成沼气。沼气以微小的气泡形式不断放出，微小气泡在上升过程中不断合并，逐渐形成较大的气泡，在污泥床上部由于沼气的搅动作用形成一个污泥浓度较稀薄的污泥和水混合物，上升进入沉淀区的三相分离器，沼气碰到分离器下部的反射板时，折向反射板的四周，然后穿过水层进入气室，集中在气室沼气用导管导出。固液混合液经过反射进入三相分离器沉淀区，污水中的污泥发生絮凝作用，颗粒逐渐增大，并在重力作用下沉降。沉淀至斜壁上的污泥沿着斜壁滑回厌氧反应区内，使反应区内积累大量的污泥。与污

泥分离后的处理出水从溢流堰上部溢出，从而排出反应器。

AE 厌氧反应器集中了全接触式厌氧反应器耐冲击的特点，又具备高处理效率的优 点，以其进料截面小、脉冲动力大、对废水中的 COD 去除率高且不需要设置附加动力， 运行费用低、性能稳定、安全方便等特点被成功应用于各类高浓度有机废水处理领域，特点如下：

（1）布水截面小，容易达到布水均匀；

（2）同样的废水流量，进水流速比 UASB 提高许多倍，进水脉冲动力大，扰动强；

（3）采用大量上清液回流的方法提高水力负荷，增加液体上流速度，强化传质过程，增加微生物与有机物的接触机会，提高有机负荷率；

（4）利用液体高度压力可以很容易的将剩余污泥自流排出，防止过量污泥积累占用 有效容积；

（5）细高反应器反应区容积大，反应时间长，有机负荷率高。

（2）生化处理单元（一体式厌氧氨氧化及传统 A/O）

该工程生化处理单元包括两套处理工艺流程，一体式厌氧氨氧化及传统 A/O 工艺。相较于传统 A/O 工艺，采用一体式厌氧氨氧化处理系统，在低药剂和低能源消耗下，实现废水低碳脱氮。传统 A/O 工艺和厌氧氨氧化工艺两组并列设计，每组分两个独立的系列，具体工艺流程如图 8 所示。

厌氧氨氧化工艺是国际最先进的生物脱氮工艺，在厌氧条件下以氨为电子供体，亚硝酸盐为电子受体反应生成氮气，厌氧氨氧化脱氮工艺脱氮效率高、负荷高、总氮脱除无需外加碳源，大幅降低脱氮过程输入的能耗和物耗，温室气体减排 90%以上，是目前最经济高效的污水脱氮技术。解决了传统硝化反硝化工艺存在曝气能耗高、依赖外加碳源脱除总氮、污泥产量大等弊端。

厌氧氨氧化反应过程中无需有机碳源（COD）和氧（O_2）。比传统硝化-反硝化脱氮方式具有明显优势。彻底改变过去需要通过投加电子供体（碳源）才能脱氮的传统途径（反硝化），节省曝气能耗达 60%以上。同时，厌氧氨氧化过程也可以使剩余污泥产量降至最低，从而节省大量的污泥处置费用。厌氧氨氧化负荷高、节省占地和投资。此外能量消耗减少便意味着 CO_2 排放的降低，是可持续发展、绿色、低碳的废水生物脱氮技术，在废水生物脱氮工艺中具有非常广阔的应用前景。

厌氧氨氧化工艺技术特点：

（1）氨氮去除负荷高，是传统脱氮工艺的 2～5 倍；

（2）根据化学计量关系，厌氧氨氧化工艺可节省 62.5％的供氧动力消耗；

（3）厌氧氨氧化反应无需外加有机碳源，耦合系统可节省了 90%的反硝化碳源；由于节省碳源消耗量，污泥产量减少，节省了污泥处理费用；由于节省碳源消耗量，提升厌氧系统处理有机物量，增加沼气收益；可防止由于补充大量原水或外碳源导致的污泥膨胀；

（4）反应池内安装固定化生物载体，稳定截留并保障系统的厌氧氨氧化菌种生物量，提高系统运行稳定性；

（5）厌氧氨氧化工艺不但可以减少 CO_2 等温室气体的排放，而且可以消耗 CO_2，碳减排效益明显。

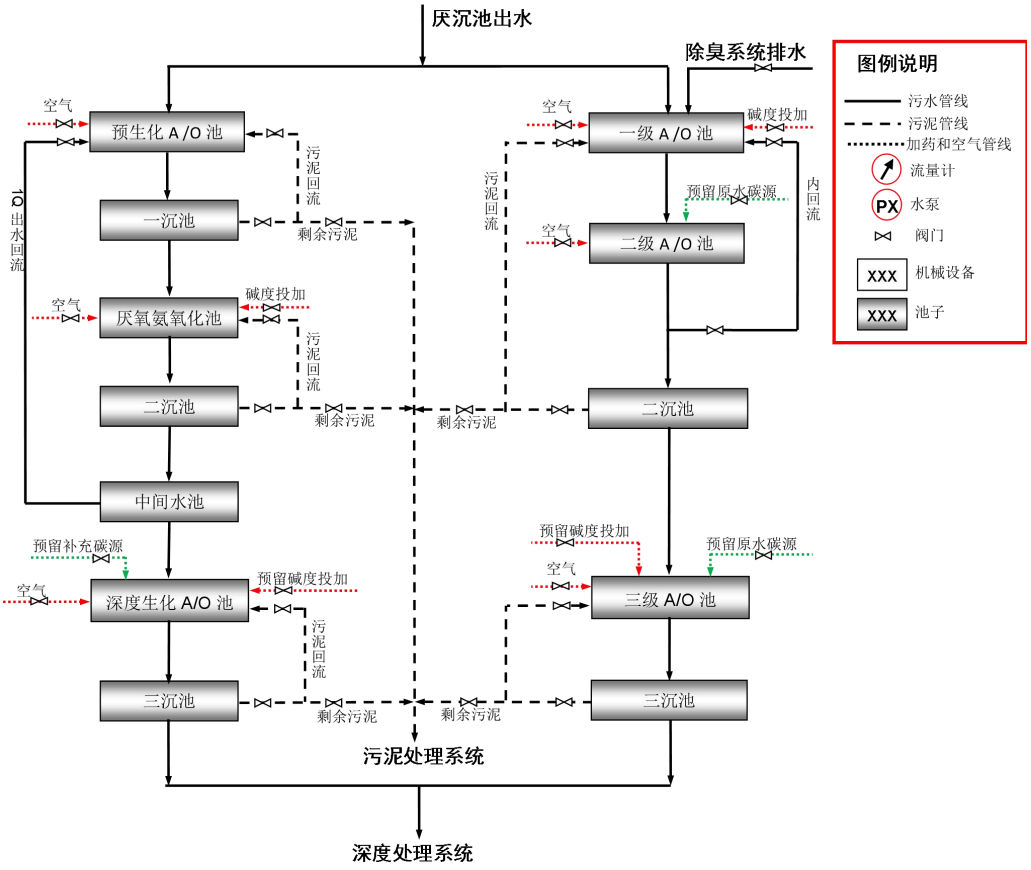


图 8 生化处理系统（厌氧氨氧化及传统 A/O）工艺流程图

一体式厌氧氨氧化生物膜脱氮工艺为絮体、颗粒、生物膜共生的一体化厌氧氨氧化体系，具有多种形态的污泥，可以提高厌氧氨氧化脱氮效率及稳定性，同时实现去除 COD 及 TP 的功能，提高 TN、COD、TP 的去除效果。

（3）深度处理单元

深度处理系统工艺流程为终沉池+臭氧接触氧化+达标排放或至深度处理车间回用，具体工艺流程如图 9 所示。

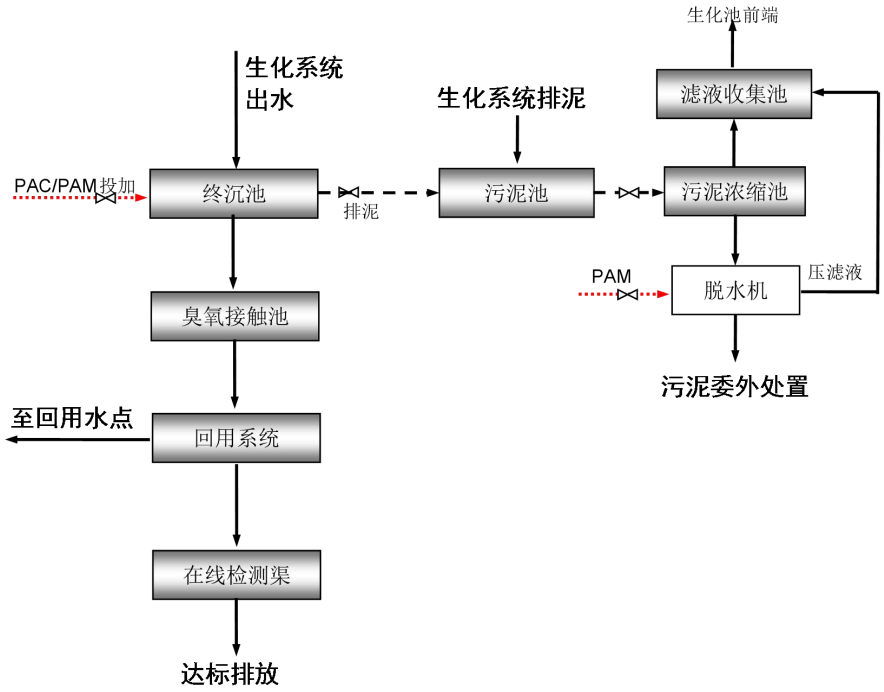


图 9 深度处理系统（终沉池+臭氧接触氧化+达标排放）工艺流程图

6.3 工艺流程说明

（1） 机械粗格栅：主要作用去除来水中较大的固型颗粒，防止后续系统堵塞；

（2） 集粪池：主要收集猪舍的来水及粪便等物质，期缓冲作用，配套搅拌机及无堵塞提升泵；

（3） 一级固液分离机：一级固液分离采用水切网式固液分离机，主要作用将来水中≥0.48mm 的固体颗粒与废水分离，去除废水中大部分的固体颗粒物，为后续处理提供有利条件；

（4） 二级固液分离：采用转筒式微滤固液分离机，过滤孔径 80 目，进一步去除水中的固体颗粒物，保证后续处理系统稳定运行。

（5） 调节池：主要作用调节水量及水质，并配套搅拌系统及提升泵等；

（6） 初沉池：通过投加 PAC 或 PFC（加药量及加药种类通过现场实验确定）和 PAM 强化混凝沉淀，将废水中大部分的悬浮物去除并去除部分总磷防止厌氧鸟粪石的产生。

（7） 高效厌氧反应器：主要作用是将大部分有机物转化为清洁能源沼气，为后续生化系统稳定运行提供更有利的条件；沼气经净化后至沼气锅炉，产生的蒸汽用于废水系统加热或厂区供暖等；

（8） 厌沉池：主要去除厌氧反应器出水的悬浮物，防止厌氧跑泥并回收部分厌氧污泥；

（9） 厌氧氨氧化耦合工艺：采用预生化 A/O+厌氧氨氧化+深度生化组合工艺；

1) 预生化 A/O 池：主要作用①充分利用厌氧出水带来碳源与二沉池出水回流带来的硝氮和亚硝充分反应，提高系统的脱氮效率；②进一步降低原水带来的有机物和悬浮物，为后续系统稳定运行；配套缺氧池机械搅拌系统及好氧池曝气系统；

2) 一沉池：预生化 A/O 池出水自流至一沉池进行泥水分离，配套污泥回流泵，大部分污泥回流至缺氧池前端，保证一级 A/O 池污泥量；

3) 厌氧氨氧化池：厌氧氨氧化池为整个系统的核心工艺，通过厌氧氨氧化菌去除废水中 80%以上的总氮。配套厌氧氨氧化专用填料和曝气系统及仪表控制系统；配套营养盐投加系统；

4) 二沉池：主要作用进行泥水分离，配套污泥回流泵，大部分污泥回流至厌氧氨氧化池前端；

5) 中间水池：主要作用配水，将厌氧氨氧化出水回流至系统前端，稀释来水，减少由于氨氮过高对系统的冲击，配套出水回流泵；

6) 深度生化池：为保证工艺的稳定性和最终水质达标的可靠性，在厌氧氨氧化末端增加深度生化池，强化系统 TN 及氨氮去除率，保障系统稳定达标排放。配套曝气系统、缺氧池机械搅拌系统及硝化液回流泵和碳源投加装置及生物强化填料；

7) 三沉池：主要作用进行泥水分离，配套污泥回流泵，大部分污泥回流至生化池前端，剩余污泥至污泥处理系统；

（10） 传统 A/O 工艺：采用多级 A/O 分段配水工艺；连续流分段进水缺氧/ 好氧(A/O) 是一种高效的污水生物脱氮工艺。原水多点进入系统, 可省去硝化液内回流设施（为保证处理效果，内回流一般保留），并充分利用原水中有机碳源进行反硝化，节省药剂费用。

（11） 终沉池：主要包括反应区及絮凝沉淀区，通过投加药剂对难降解 COD、悬浮物、TP 等进行去除，保证系统最终水质达标；

（12） 中水回用系统预留：预留中水回用系统，具体中水回用工艺由甲方最终确定；

（13） 在线检测池：按环保局要求配套在线检测仪表。

（14） 污泥处理系统：生化污泥与化学污泥分开处理，压滤后污泥及固液分离后的猪粪至堆肥车间。

（15） 除臭系统：采用“碱喷淋+生物除臭”工艺。

6.4 现场实际运行情况

经过现场实地考察及与运行人员讨论，得出的结论如下：

（1）现场处理工艺为高效厌氧+一体式厌氧氨氧化+深度生化 A /O 池+深度处理工艺；

（2）通过运行统计，该系统污水处理量为 4000m^3/d，无需投加药剂。

（3）该项目实施后，出水可达到排放要求，具体如表 3 所示。

（4）该项目采用实现了低碳低成本处理，运行费用为 10.12 元/m^3 水，如表 4 所示。

（5）该项目采用厌氧消化技术，实现了资源有效回收利用，沼气产量约为 10000 Nm^3/d，沼气的发热量约为 20800～23600 kJ/ m^3，这部分沼气产生的热量用于厌氧氨氧化系统的进水水温提升（15℃加热至 35℃），节省了能源消耗。

表 3 该项目处理效果一览表

项目		**COD_{cr} (mg/L)**	**BOD_5 (mg/L)**	**SS（mg/L）**	**NH_3-N（mg/L）**	**TN（mg/L）**	**TP（mg/L）**
单元	**数据**						
机械格栅+两级固液分离+调节+初沉	**进水**	**12000**	**5000**	**30000**	**1300**	**1500**	**200**
	出水	12000	5000	4000	1300	1500	100
	去除率	——	——	95%	——	——	50%
AE 厌氧反应器+厌沉池	进水	12000	5000	4000	1300	1500	100
	出水	3600	1000	1600	1300	1500	90
	去除率	70%	80%	60%	——	——	10%
预生化 A/O 池+一沉池	进水	3600	1000	1600	1300	1500	100
	出水	1260	400	800	1200	1350	70
	去除率	65%	60%	50%	8%	10%	30%
厌氧氨氧化池+二沉池	进水	1260	400	800	1200	1350	70
	出水	504	200	400	120	200	35
	去除率	60%	50%	50%	90%	85%	50%
深度生化 A/O 池+三沉池	进水	504	200	400	120	200	35
	出水	202	50	200	14	30	14
	去除率	60%	75%	50%	88%	85%	60%
终沉池	进水	202	50	200	14	30	14
	出水	**181**	**50**	**40**	**14**	**30**	**2.10**
	去除率	10%	——	80%	——	——	85%
排放标准		**350**	**150**	**250**	**35**	**40**	**4**

表 4 该项目运行费用一览表

序号	**费用名称**	**运行费用（元/m^3）**	**备注**
1	电费	4.08	
2	药剂费	4.37	
3	人工费	0.63	15 人，人均工资 6000 元/月
4	维修及保养费	0.54	年费用按设备投资 2%
5	其他	0.5	化验、劳保、污泥转运等
6	**合计**	**10.12**	

该项目现场的建设及运行示意如图 10 所示。



图 10 现场工程施工及运行效果图

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

在环境污染治理方面，标准实施后成效显著。通过规范处理流程，可大幅减少液体粪污中含有的氮、磷等污染物向水体排放，降低水体富营养化风险，有效保护周边河流、湖泊等水域生态。 对生态系统保护也有积极作用。合理处理后的液体粪污作为肥料还田，能改善土壤结构，增强土壤保水保肥能力，为农作物生长提供良好环境，促进农业生态系统良性循环，保护土壤生态环境。 从技术层面来看，该标准推动了行业技术升级。鼓励采用如厌氧氨氧化低碳脱氮技术、微藻培育资源化回收利用等先进技术设备，提高处理效率与质量。经济层面，存在多重效益。一方面，资源化利用创造收益，产生的沼气可用于发电、供热，沼渣沼液作为优质有机肥料用于农业生产，带来直接经济效益。另一方面，降低处理成本，优

化处理流程与技术应用，减少能源消耗与药剂使用，长期来看降低养殖场环保投入。 在就业与产业发展上，标准实施带动相关产业发展，创造就业机会。同时，推动农业与环保产业融合，形成新的经济增长点。此外，该标准的实施有利于减少液体粪污对环境的污染，降低疾病传播风险，保障周边居民身体健康。同时改善农村及养殖场周边环境卫生状况，提升居民生活质量，对美丽乡村建设与乡村振兴战略实施起到积极推动作用。

8 标准实施建议

8.1 与现行法律法规及其它相关标准的关系

本标准制定的内容均符合国家相关的环保政策。鉴于《规模化畜禽养殖液体粪污低碳处理与资源化利用技术指南》不同于以往发布执行的各类相关排放标准和防治技术规范，属于环境污染治理工程技术规范中的行业通用实用技术规范，应是环境标准体系之环境工程技术规范的一个组成部分，应与《重点污染源治理工程技术规范》、《污染治理设施运行规范》、《环境污染治理方法类工程技术规范》配套使用。同时，该工程技术规范作为我国环境技术管理体系中的一部分，在编制过程中，有关条款能引用国家现有国家标准或行业标准的直接进行了引用，尽量避免重复，力求简化。内容上力求突出畜禽养殖行业液体粪污污染治理特有的技术要求，层次上尽量体现与各标准之间的衔接配套关系。对于环境污染治理应遵守的通用技术要求在本标准中没有做出规定，在实际的环境管理及使用中应与《环境污染治理工程技术导则》一并使用。

8.2 实施本标准的管理措施及建议

为了推行本标准的实施，改善现在畜禽养殖行业液体粪污治理工程的市场状况，使废水处理状况得以改进，需要国家和地方政府实施一系列畜禽养殖行业液体粪污低碳处理及资源化利用工艺的相关政策和污染治理设施运行管理的政策，强化污染设施运行监管力度；需要政府采用鼓励措施，调动企业采用低碳及资源化利用工艺的积极性，从源头消减、控制污染物。同时，建议各级环境保护部门及相关监督管理部门在环境影响评价、建设项目环境保护管理、排污许可证管理和日常环境监督管理等各项工作中积极采用本技术规程，以加强对环境保护设施的监管。

鉴于本标准为首次制定，在实施过程中可采用先试行一段时间，根据反馈的问题和技术进步情况，进行进一步的修订完善，力争最终形成适用的、先进的行业污染治理的规范性技术管理文件，更好的满足我国环境保护管理的需要。此外，随着经济的发展和技术的进步，以及对环保技术研究的不断深入及实践经验的积累，根据环境管理的实际需要，标准的内容

应不断得到完善、拓展、深入和更新。