

附件 3

国家生态环境标准制修订项目

项目统一编号：2021-31

《地方畜禽养殖业污染控制标准制订 技术导则（征求意见稿）》 编 制 说 明

《地方畜禽养殖业污染控制标准制订技术导则》编制组

2025 年 11 月

目 录

1. 项目背景	1
1.1. 任务来源	1
1.2. 工作过程	1
2. 标准制订的必要性	2
2.1. 支撑打好污染防治攻坚战与美丽中国建设的需要	2
2.2. 生态环境主管部门和其他部门的相关要求	2
2.3. 我国畜禽养殖业转型升级的需要	2
2.4. 体现不同区域不同类型畜禽养殖业污染控制差异性的需要	3
2.5. 完善我国畜禽养殖业污染防治标准体系的需要	3
3. 行业概况	3
3.1. 行业基本情况	3
3.1.1. 国内畜禽养殖发展概况	4
3.1.2. 其他国家和地区畜禽养殖概况	7
3.2. 畜禽养殖业污染特征及环境影响	7
3.2.1. 主要品种产排污环节	7
3.2.2. 污染物种类及特点	12
3.2.3. 畜禽养殖业环境污染现状	19
3.3. 畜禽养殖业污染防治技术	21
3.3.1. 污染源头预防技术	21
3.3.2. 畜禽污水处理技术	21
3.3.3. 畜禽大气协同控制技术	23
3.3.4. 畜禽粪污处理处置技术	25
3.3.5. 畜禽粪污资源化利用模式	27
4. 国内外相关标准情况	30
4.1. 国外相关法律法规和标准	30
4.1.1. 美国	30
4.1.2. 加拿大	30
4.1.3. 欧盟	31

4.1.4 日本	31
4. 2. 国内相关法律法规和标准	32
4.2.1. 国家法律法规	32
4.2.2. 行业相关标准	32
5. 标准制订的基本原则	39
6. 标准主要技术内容及制定依据	39
6.1. 适用范围	39
6.2. 术语和定义	39
6.2.1. 与畜禽养殖相关的术语和定义研究	39
6.2.2. 与畜禽养殖排放相关的术语和定义研究	41
6.3. 基本原则	42
6.4. 技术路线	43
6.5. 制订排放标准技术内容	44
6.5.1. 地方畜禽养殖业和环境质量调查	44
6.5.2. 畜禽养殖业污染物排放标准的确定	44
6.5.3. 畜禽养殖污染物管控措施要求	47
6.5.4. 标准监测与实施监督要求	47
6.5.5. 其他要求	47
7. 标准实施建议	47
8. 参考文献	48

1. 项目背景

1.1. 任务来源

为支撑污染防治攻坚战，指导各地因地制宜加强农业畜禽养殖业的面源污染控制，生态环境部法规与标准司计划制订 2021 年国家环境标准项目《地方畜禽养殖业污染控制标准制订技术导则》（以下简称《技术导则》）（项目编号：2021-31），并委托中国环境科学研究院（以下简称中国环科院）牵头负责编制，联合生态环境部华南环境科学研究所（以下简称华南所）、河南省生态环境科学研究院、山东省生态环境规划研究院、云南省生态环境科学研究院、清华苏州环境创新研究院共同开展。

1.2. 工作过程

（1）成立标准编制组

接受任务后，中国环科院联合相关优势单位组织成立了标准编制组，在 2021 年 10 月，联合各编制单位召开内部讨论会，并讨论《技术导则》制订背景、工作方案，各单位相关成果，以及部署下一步工作计划。

（2）文献与实地调研工作

2021 年，开展相关资料收集及调研工作。与此同时，收集汇总分析了现行国家和地方的相关标准。总结国内外畜禽养殖特点，针对我国畜禽养殖业的特点，研究提出了《技术导则》的编制原则、体系框架、指标确定、处置利用技术分析等，并在 2021 年 11 月邀请农业、环境领域专家进行讨论。

（3）编制开题论证报告和标准草案

2023 年 9 月，草拟开题论证报告及标准草案编制工作，编制组内部召开工作推进会，准备向部法规与标准司汇报《技术导则》前期调研和编制思路。

2024 年 9 月，根据专家意见修改完善开题论证报告及标准草案，提请部法规与标准司组织开题论证。

2024 年 12 月 9 日，部法规与标准司组织召开标准开题论证会，来自清华大学、原生态环境部法规与标准司、中国环保产业协会副会长、原中国环境科学研究院固体所、中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、生态环境部华南环境科学研究所、中国农业大学资源与环境学院、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、生态环境部环境工程评估中心组成评审组。与会专家一致同意通过开题论证，同时对后续工作提出建议。

（4）进一步开展调研，并编制完成标准征求意见稿及编制说明

根据开题论证会专家意见，编制组于 2025 年对浙江、江苏、上海、广东等地进行调研，调研不同地区畜禽养殖管理现状、排放标准的制定现状，对优然牧业和中粮家佳康等大型养殖企业产排污及污染治理技术进行调研，编制组成员单位分别结合河南、山东、云南等地的管理现状及需求，对标准内容开展充分分析、讨论及总结，并广泛征求行业专家意见，编制完成标准征求意见稿文本及编制说明。

2. 标准制订的必要性

2.1. 支撑打好污染防治攻坚战与美丽中国建设的需要

《深入打好污染防治攻坚战的意见》要求持续打好农业农村污染治理攻坚战，整县推进畜禽粪污资源化利用，深入推进农用地土壤污染防治和安全利用，到 2025 年全国畜禽粪污综合利用率达到 80%以上。《美丽中国建设指导意见》中提出“推进畜禽粪污资源化利用”，“聚焦农业面源污染突出区域强化系统治理”。畜禽养殖业的污染防治工作已成为我国持续打好污染防治攻坚战，建设美丽中国的重要领域之一，相关工作亟需标准支撑。

《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》要求：着力推进养殖业污染防治。加强畜禽粪污资源化利用。健全畜禽养殖场（户）粪污收集贮存配套设施，建立粪污资源化利用计划和台账。加快建设田间粪肥施用设施，鼓励采用覆土施肥、沟施及注射式深施等精细化施肥方式。促进粪肥科学适量施用，推动开展粪肥还田安全检测。培育壮大一批粪肥收运和田间施用社会化服务主体。畜牧大县编制实施畜禽养殖污染防治规划。到 2025 年，全国畜禽粪污综合利用率达到 80%以上，京津冀及周边地区大型规模化养殖场氨排放总量削减 5%。

2.2. 生态环境主管部门和其他部门的相关要求

农业农村部与生态环境部联合发文《关于促进畜禽粪污还田利用 依法加强养殖污染治理的指导意见》，提出全面推进畜禽养殖废弃物资源化利用，鼓励畜禽粪污还田利用，明确还田利用标准规范，落实养殖场户主体责任，强化粪污还田利用过程监管，完善粪肥还田管理制度，加强技术和装备支撑等一系列措施。《农业面源污染治理与监督指导实施方案（试行）》要求统筹农业面源污染防治工作，以化肥农药减量化、规模以下畜禽养殖污染治理为重点内容。到 2025 年，重点区域农业面源污染得到初步控制。到 2035 年，重点区域土壤和水环境农业面源污染负荷显著降低，农业面源污染监测网络和监管制度全面建立，农业绿色发展水平明显提升。因此，本标准的出台是推动畜禽养殖业污染防治工作抓手的重要依据。

2.3. 我国畜禽养殖业转型升级的需要

2021 年印发的《“十四五”全国农业绿色发展规划》强调推进养殖废弃物资源化利用。健全畜禽养殖废弃物资源化利用制度，严格落实畜禽养殖污染防治要求，完善绩效评价考核制度和畜禽养殖污染监管制度，加快构建畜禽粪污资源化利用市场化机制，促进种养结合，推动畜禽粪污处理设施可持续运行。加强畜禽粪污资源化利用能力建设。建立畜禽粪污收集、处理、利用信息化管理系统，持续开展畜禽粪污资源化利用整县推进，建设粪肥还田利用种养结合基地，培育发展畜禽粪污能源化利用产业。推进绿色种养循环，探索建立粪肥运输、使用激励机制，培育粪肥还田社会化服务组织，推行畜禽粪肥低成本、机械化、就地就近还田。减少养殖污染排放，“十四五”期间京津冀及周边地区大型规模化养殖场氨排放总量削减 5%，推进畜禽健康养殖，减少养殖尾水排放。鼓励因地制宜制定地方畜禽养殖尾水排放标准。因此，本标准的出台，将推动地方根据区域特点制订畜禽养殖业污染控制标准。

2.4. 体现不同区域不同类型畜禽养殖业污染控制差异性的需要

我国地域广阔，各地资源禀赋和产业发展特征差别较大，环境问题多样，需求不一。由国家发布一个统一的标准，标准的可操作性和指导意义差。养殖场、养殖小区规模范围差距较大；规模越小，污染防治涵盖的单位范围越大；地方畜禽养殖污染防治中经济水平影响污染控制因子、限值和管理要求。《中华人民共和国畜牧法》（以下简称《畜牧法》）第三十九条规定：畜禽粪污无害化处理和资源化利用要求，由省、自治区、直辖市人民政府农业农村主管部门会同有关部门规定。污染控制标准是明确畜禽粪污无害化处理和资源化利用要求的手段之一。目前已有少数地方省级人民政府如上海、浙江、广州等相关部门发布了地方畜禽养殖业污染物排放标准，在标准分类分级、指标筛选和限值确定的原则和方法不尽相同。因此，为规范各地方畜禽养殖业污染控制标准的制订，由国家制订《技术导则》工作迫在眉睫。

2.5. 完善我国畜禽养殖业污染防治标准体系的需要

国务院办公厅发布《控制污染物排放许可制实施方案》（国办发〔2016〕81号）提到，建立健全基于排放标准的可行技术体系，推动企事业单位污染防治措施升级改造和技术进步。企业和环保部门在填报和审核排污许可申请材料时，需要参考行业污染防治可行技术指南来判断企业是否具备符合规定的污染防治设施或污染物处理能力。

当前国家出台的畜禽养殖业污染物排放执行《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB 18596—2001），标准中规定了废水、恶臭排放标准和废渣无害化环境标准。同时该标准指出“根据养殖规模，分阶段逐步控制，鼓励种养结合和生态养殖，逐步实现全国养殖业的合理布局”。该标准仅对规模以上的畜禽养殖进行要求，对于规模以下的畜禽养殖户并未做出要求。在畜禽养殖业污染物治理的技术规范及标准中，也都是针对规模以上的进行指导要求，对于养殖户的污染控制技术可操作不强。从畜禽养殖行业污染物种类主要为养殖废水、粪渣及恶臭气体，对兽药、饲料包装废物及粪污中激素抗生素残留的环境影响缺乏考虑；在畜禽养殖粪污、沼渣、沼液的转运环节上也缺乏环境风险的考虑，没有相应的约束指导。同时现有标准体系下，追求畜禽粪污还田利用过程，而缺乏还田利用环境风险考虑。因此，本标准可指导地方制定污染排放、污染控制等相应内容，完善畜禽养殖业污染防治标准体系。

3. 行业概况

3.1. 行业基本情况

畜禽是哺乳纲和鸟纲范围的家养动物，根据《畜牧法》第二条，畜禽是指列入依照本法第十二条规定公布的畜禽遗传资源目录的畜禽。按照须经过长期人工饲养，有稳定的人工选择经济性状等原则，2020年，经国务院批准，农业农村部发布了《国家畜禽遗传资源目录》（农业农村部公告 第303号），首次明确了家畜家禽的种类范围。目录共包括33种畜禽，其中传统畜禽17种（猪、普通牛、瘤牛、水牛、牦牛、大额牛、绵羊、山羊、马、驴、骆驼、兔、鸡、鸭、鹅、鸽、鹌鹑）、特种畜禽16种（梅花鹿、马鹿、驯鹿、羊驼、火鸡、珍珠鸡、雉鸡、鹧鸪、番鸭、绿头鸭、鸵鸟、鸮鹑、水貂（非食用）、银狐（非食用）、北

极狐（非食用）、貉（非食用）），均为经过人类长期驯化和选育而成的家养动物，具有一定群体规模、主要用于农业生产的品种，种群可在人工饲养条件下繁衍，为人类提供肉、蛋、奶、毛皮、纤维等产品，或满足役用、运动等需要。同时，农业农村部还配套发布了《国家畜禽遗传资源品种名录》（畜资委办〔2021〕1号），共收录畜禽地方品种、培育品种、引入品种及配套系 948 个。

我国畜禽遗传资源丰富，长期驯化和定向选育的家畜家禽，有效支撑了我国畜牧业发展。改革开放 40 年来，畜牧业发展步入快车道，总产值近 3 万亿元，增加了 142.5 倍；肉、蛋总产量位列世界第一位，分别占全球总产量的 26%、40%。畜禽种业已经成为我国现代畜牧业发展的战略支撑。

在养殖模式上，我国畜禽养殖模式可分为舍饲、放牧和半舍饲半放牧三大类，其核心差异体现在饲养环境、资源利用和管理方式上。舍饲是将家畜饲养于畜舍或圈养场地的集约化饲养管理方式，主要应用于农区、半农半牧区及集约化畜牧业生产体系，具有完全圈养、技术密集、规模化主导等特点。放牧模式是指畜禽在天然草场、林地或农田自由采食，依赖自然植被为主要饲料来源，具有人工干预较少、成本低廉、季节性明显等特点。半舍饲半放牧是指结合放牧与舍饲的混合饲养模式，核心是根据季节、牧草资源或畜禽生长阶段，灵活分配放牧采食与舍内补饲/圈养的时间或比例，具有混合管理、可动态调整等特点。

3.1.1. 国内畜禽养殖发展概况

3.1.1.1. 行业规模现状

畜禽养殖业是农业经济的重要组成部分，关系到国计民生。肉蛋奶是百姓“菜篮子”的重要品种。2024 年，我国畜牧业产值 38726.5 亿元，占农林牧渔总产值的 24%（见图 1），占我国 GDP 总量的比例约 2.86%，是我国国民经济的重要组成部分。2024 年全国猪牛羊肉产量 9663 万吨，其中猪肉产量 5706 万吨，牛肉产量 779 万吨，羊肉产量 518 万吨，禽肉产量 2660 万吨；禽蛋产量 3588 万吨；牛奶产量 4079 万吨。

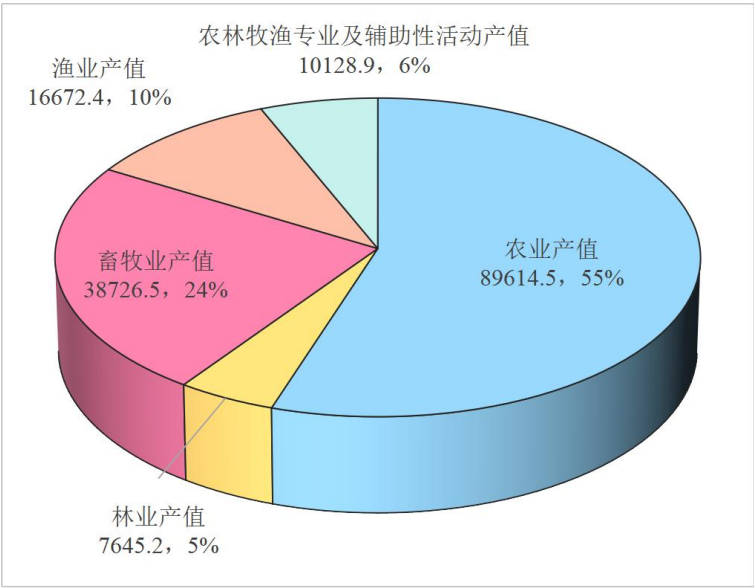


图 1 2024 年中国农林牧渔分项产值（单位：亿元）

根据《农业农村部 国家发展改革委 财政部 自然资源部关于印发<全国现代设施农业建设规划（2023—2030 年）>的通知》（农计财发〔2023〕6 号）》，截至文件发布时我国畜牧养殖规模化率为 69%，其中生猪、奶牛和蛋鸡肉鸡的规模化率为 60%、70%和 80%，肉牛和肉羊的养殖规模化率分别仅为 33%和 45%。提出到 2025 年，畜牧养殖规模化率达到 78%，到 2030 年达到 83%。

2024 年，全国生猪养殖规模化率（年出栏 500 头以上的规模养殖占比）超过 70%¹；我国奶牛养殖规模化率（存栏量 100 头以上的规模养殖占比）达到 78%²；我国肉鸡养殖规模化率（年出栏 1 万只以上的规模养殖占比）达到 87.9%³。

表 1 我国不同畜禽养殖种类的规模化养殖和散养比例、综合利用率以及污染物排放率⁴

		生猪	奶牛	肉牛	肉鸡	肉羊
散养	散养率	30%	22%	67%	12%	55%
	综合利用率	65%	60%	41.7%	60-70%	60-70%
	污染物排放率* ⁵	10.5%	8.8%	39.1%	4.2%	19.3%
规模化养殖	规模化率	70%	78%	33%	87.9%	45%
	综合利用率	93-95%	79.4%	89.3%	90-100%	90-95%
	污染物排放率*	4.2%	16.1%	3.5%	4.4%	2.3%

对全国不同品种畜禽规模化和散养的综合利用和污染排放情况进行分析（表 1）可知，由于规模化养殖的综合利用率较高，其污染物排放占比反而占比较小，而散养虽然在数量上占比较小，但其综合利用率低，污染物排放占比相对较高。以生猪为例，其规模化率为 70%，规模化生猪养殖的综合利用率为 93%-95%，污染物排放率仅为 4.2%左右；而散养的综合利用率为 65%，污染物排放率达 10.5%左右，为规模化养殖的 2.5 倍。因此，除规模化畜禽养殖外，对于规模以下畜禽养殖户的污染控制同样重要。

3.1.1.2. 地方主要畜禽养殖情况

我国畜禽养殖业具有周期性、地域性、季节性特点。全国各地畜禽养殖业生产发展的条件和原有基础、特点有很大差异。大致可从东北松嫩平原西部-辽河上游-阴山山脉-鄂尔多斯高原东缘（河套平原除外）-祁连山脉（河西走廊除外）-青藏高原东缘划一界线，此线以东以农区畜牧业为主，以西以牧区畜牧业为主；农、牧之间是一个农牧交错的过渡地带，一般称之为半农半牧畜牧区。此外，在大中城市及工矿区周围，一般都布局有副食品生产基地，称之为城郊畜牧业生产类型区（见图 2）。

¹ https://www.moa.gov.cn/ztzl/2024fzcj/202412/t20241220_6468368.htm
² <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1845136022874525463&wfr=spider&for=pc>
³ <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1815026273892299782&wfr=spider&for=pc>
⁴ 数据来源：《畜禽粪污资源化利用技术适配性报告》《畜禽粪污资源化利用行动方案（2017-2020 年）》评估报告、生态环境部 2024 年《畜禽养殖污染治理成效评估》以及农业农村部公布数据。
⁵ 污染物排放率=规模占比×（1-综合利用率）。

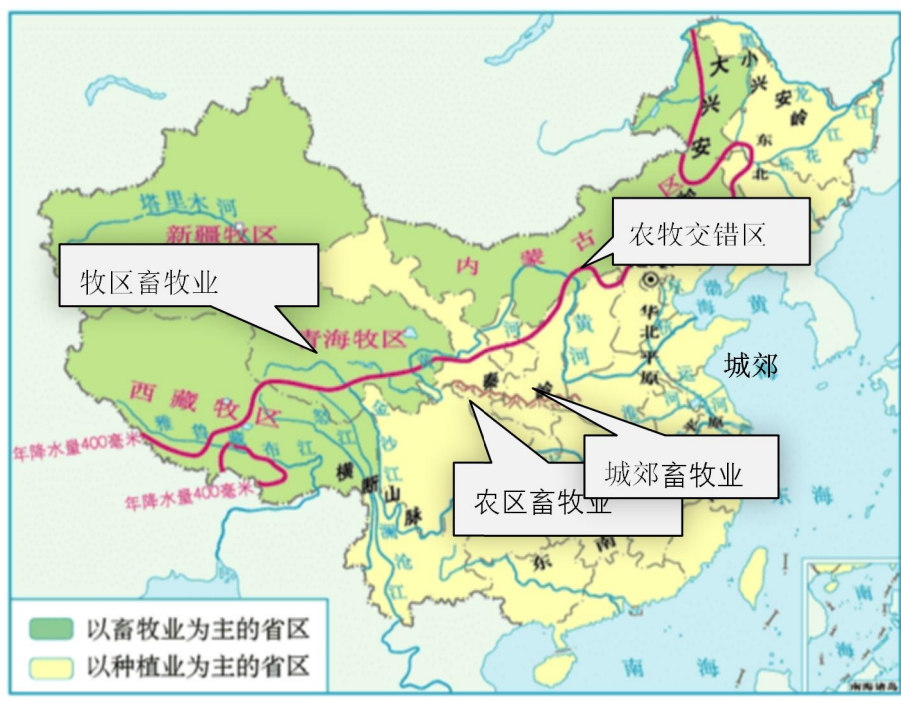


图 2 中国主要畜禽养殖区分布

在区域分布上,各类畜种的主要分布地区不尽相同。全国生猪出栏量较多的省份为四川、湖南、河南、云南、湖北、山东和河北,出栏量都超过 3000 万头,前七位省份肉猪产生量占全国产生量的 49.75%,青海、宁夏、北京和西藏的肉猪出栏量较低,不足百万头。全国肉牛出栏量较多的省份为内蒙古、河北、山东、云南、四川、黑龙江、新疆和吉林,出栏量都超过 250 万头,前八位省份肉牛产生量占全国产生量的 55.29%,浙江、北京和上海的肉牛出栏量较低,不足十万头。全国肉羊出栏量较多的省份为内蒙古、新疆、山东、河南和河北,出栏量都超过 2000 万头,前五位省份肉羊产生量占全国产生量的 54.96%,天津、北京和上海的肉羊出栏量较低,不足五十万头。国家禽出栏量较多的省份为山东、广东、河南、安徽和广西,出栏量都超过 10 亿只,前五位省份家禽产生量占全国产生量的 45.46%,上海、青海和西藏的家禽出栏量较低,不足 1 亿只。

2024 年我国主要畜禽的养殖数量和区域分布如表 2 所示。

表 2 我国主要畜禽的养殖数量和区域分布

畜禽种类	养殖数量	区域分布
生猪	2024 年全国生猪出栏 70256 万头,存栏 42743 万头。	主产省份:四川(出栏 6419.6 万头)、河南(6029.08 万头)、湖南(6016.0 万头)位列前三,合计占全国出栏量的 25.9%。
牛	肉牛:出栏 5099 万头,存栏 10047 万头。 奶牛:牛奶产量 1850.2 万吨。	肉牛:黑龙江(存栏 402.3 万头)、内蒙古(牛肉产量 89.1 万吨)、吉林(出栏 311.5 万头)为核心产区。 奶牛:内蒙古(存栏 163.1 万头)、河北、山东等华北地区为主要地区。

畜禽种类	养殖数量	区域分布
羊	2024 年羊出栏 32359 万只，存栏 30049 万只。	甘肃（存栏 2760.9 万只、出栏 2872.9 万只）、内蒙古、新疆等西部牧区占全国总量的 60%以上。
肉鸡	存栏 56.2 亿只。	山东（36.7 亿只）、辽宁（19.54 亿只）、广东（8.1 亿只）、广西为核心产区。
蛋鸡	存栏 12.88 亿只。	河北（1.6 亿羽）、湖北、山东占全国 38.67%。

3.1.2. 其他国家和地区畜禽养殖概况

国际畜禽养殖业发展模式可分为四种类型。

（1）大规模工厂化畜禽养殖业，以美国和加拿大为代表。大规模工厂化畜禽养殖业主要是指以规模化、机械化、设施化为主要特征的养殖业类型，资本和技术投入密集，产出率高。美国和加拿大土地资源丰富，资金和技术实力雄厚，但劳动力资源紧缺，以大规模工厂化畜禽养殖业为主。产业化发展模式主要是“公司+农户”的合同模式，通过核心企业（如大型畜产品加工、流通企业或合作社）带动，与大批农场建立稳定的供销合同关系，形成供销一体化经营。

（2）适度规模经营畜禽养殖业，以荷兰、德国和法国等畜牧业发达国家为代表。适度规模经营主要是指规模适度、农牧结合、环境友好的畜禽养殖产业模式，其典型代表主要有荷兰、德国和法国等。这些国家经济发展水平较高，人口规模相对稳定，劳动力资源紧缺，地理气候比较适合畜禽养殖业发展，倡导适度规模、农牧结合养殖，规定畜禽粪便输入田地 and 草地；对于粪肥，制定粪肥运输补贴计划，生产加工成颗粒肥料。荷兰奶牛存栏规模主要以 50-100 头为主，生猪以 700 头为主，蛋鸡以 30000 只为主。产业化发展模式主要以“家庭农产+专业合作社+合作社企业”为主。欧盟主要奶业生产国 90%以上的奶农都是各类奶业合作社的成员。

（3）集约化经营畜禽养殖业，以日本、韩国及我国的台湾地区为代表。集约化经营畜禽养殖业主要是指针对土地资源稀缺，以资金和技术集约为主要特征的畜禽养殖业发展类型，日本、韩国及我国的台湾地区最为典型。这些国家或地区的共同特点是，人多地少，经济和科技水平较高，养殖业资源相对贫乏，以家庭农场饲养为主，发展适度规模、集约化经营。产业化发展模式主要以“农户+农协+企业”为主。以日本为例，协会可以在畜产品生产和流通方面，对生产经营进行指导，统一购买生产资料，统一销售产品。

（4）现代草原畜牧业模式，以澳大利亚、新西兰、阿根廷和乌拉圭为代表。现代草原畜牧业模式，主要是指以天然草地或人工草场为基础，围栏放牧为主，资源、生产和生态协调发展的畜牧业类型。以澳大利亚、新西兰、阿根廷和乌拉圭等为代表。这些国家和地区草地资源丰富、自然环境优越，气候温和，适宜牛、羊等草原畜牧业发展。产业化发展模式主要是“家庭牧场+专业合作社+专业合作社企业”，专业协会服务较为完善，如澳大利亚肉类畜牧协会、全国羊毛协会、羊毛销售经纪人协会等。

3.2. 畜禽养殖业污染特征及环境影响

3.2.1. 主要品种产排污环节

我国畜禽养殖业主要养殖品种生产工艺流程及产排污环节分析如下。

(1) 现代化养猪以规模化养殖为主，普遍采用的是分段饲养、全进全出的生产工艺，各阶段一般为有计划、有节奏地进行流水作业，以 7 天为一个生产周期组织生产，实行常年配种、分娩、断奶、保育、生长肥育，连续生产。工艺流程中饲养阶段的划分必须根据猪场的性质和规模，以提高生产力水平为前提来确定。目前根据猪群生长、育成的不同阶段，常见的工艺流程有：两段饲养工艺流程（空怀、妊娠及哺乳期-生长肥育期）、三段饲养工艺流程（空怀、妊娠期-哺乳期-生长肥育期）、四段饲养工艺流程（空怀、妊娠期-哺乳期-仔猪保育期-生长肥育期）、五段饲养工艺流程（空怀配种期-妊娠期-哺乳期-仔猪保育期-生长肥育期）、六段饲养工艺流程（空怀配种期-妊娠期-哺乳期-保育期-育成期-生长肥育期）等（见图 3）。

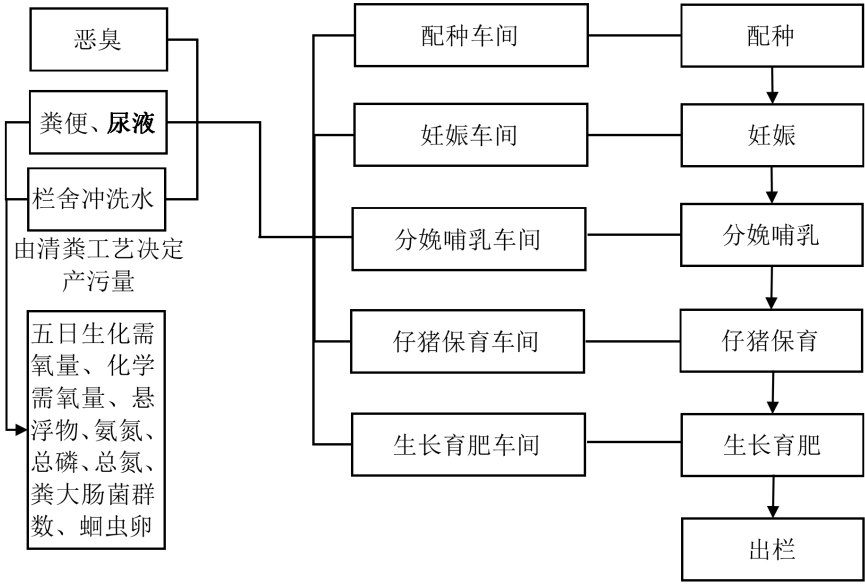


图 3 生猪养殖产排污环节

通过对全国养猪行业调研，养猪场易出现的环境问题主要包括：一是未及时收集和储存畜牧粪污，占比高达 20%；二是污水外渗问题，占比约 13%；三是水污染物超标排放，占比约 12%；粪污外渗和偷排污水并列第四，占比均为 11%左右。以年出栏量万头育肥场为例，猪粪的产生量大约为 1463 吨/年，受限于设备、成本、土地条件等因素，现有系统难以处理如此庞大的粪污量，导致了粪污外溢、处理不及时等问题频出。

(2) 牛的养殖可分为肉牛养殖（见图 4）和奶牛养殖（见图 5）。肉牛养殖：养殖对新购进的牛进行隔离饲养，有 10~15 天的适应期，让牛熟悉环境，适应草料，做好称重、防疫、驱虫、健胃、增重剂埋植等。此后进入育成期和肥育期两个阶段，育成期饲养目标是促进牛体骨骼、肌肉生长发育，在 15~18 月龄时体重达 350kg，可采用放牧或舍饲饲养。肥育期饲养分为两期：一是增重期，在此期增加体重，以加大优质肉块为目的，二是肉质改善期，以填充和沉积脂肪为主。奶牛养殖：根据奶牛不同阶段生长发育特点和生理阶段，习惯上把牛群划分为后备牛和成母牛，后备牛包括犊牛（0~6 月龄）、育成牛（7~18 月龄）、青年牛（19~产犊前），青年牛产犊后转入成母牛群，成母牛根据其生理、泌乳阶段为干奶牛、泌乳牛，不同的阶段采取分群管理。常见的饲养方式包括拴系饲养和散栏饲养。

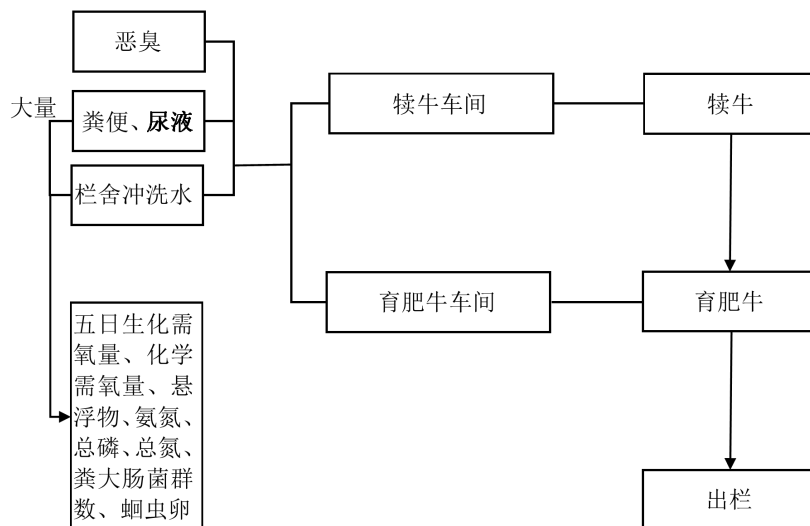


图 4 肉牛养殖产排污环节

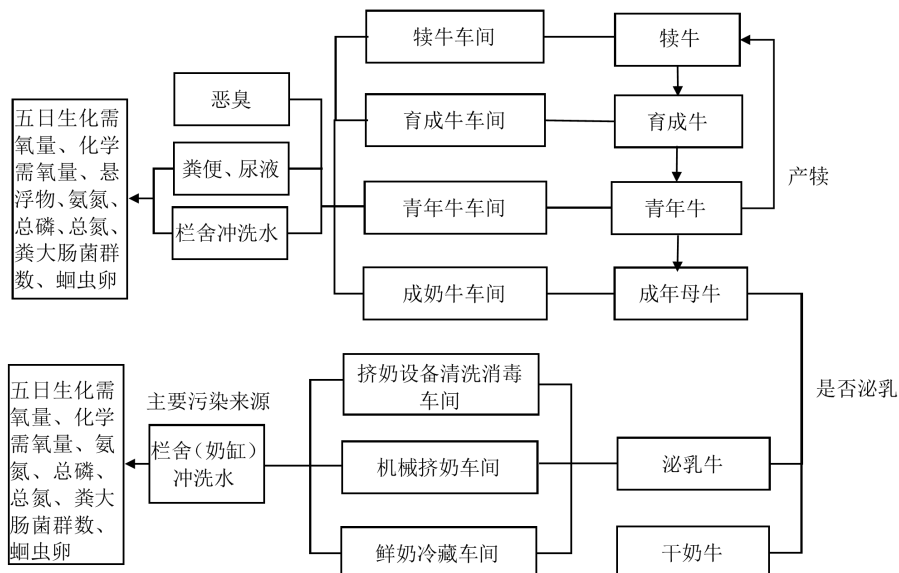


图 5 奶牛养殖产排污环节

通过对全国养牛行业调研，养牛场易出现的环境问题包括：一是养殖废水直接排放，牛尿、冲洗废水、消毒废水等未经处理直接排入沟渠、坑塘、农田或河流，如沈阳某养殖场混有雨水的养殖污水外排，导致多项污染物指标严重超标；二是固体废物露天堆放，牛粪、垫料、医疗垃圾等露天堆放，无防渗措施，雨水冲刷后外溢污染土壤和地下水，如宁夏贺兰县两家大型牛场因粪污形成坑塘、恶臭弥漫；三是设施缺失或闲置，部分养殖场未按要求建储尿池、无防渗设施，或虽有设施但出于成本考虑，不规范运行，甚至部分企业通过私设暗管、利用渗坑、渗井等方式偷排；四是超标排放，如化学需氧量、氨氮、总磷、总氮等指标超标。

(3) 鸡的养殖可以分为肉鸡养殖（见图 6）和蛋鸡养殖（见图 7）。肉鸡养殖分为舍饲和散养，舍饲周期较短，一般从雏鸡到出栏仅需 40 天。蛋鸡养殖一般为舍饲，在产蛋鸡饲养可分为三个阶段，从第一阶段开始到 40 周龄，40~60 周龄是第二阶段，60 周龄以后是第三

阶段，不同的阶段饲料配比有所变化。现代化鸡舍一般配有蛋鸡笼、清粪设备、喂料设备、通风降温设备、捡蛋机、供水设备、光照设备等。

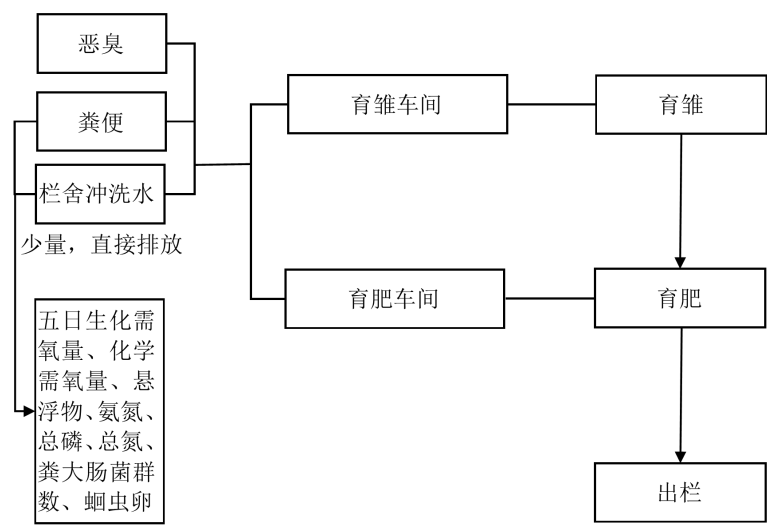


图 6 肉鸡养殖产排污环节

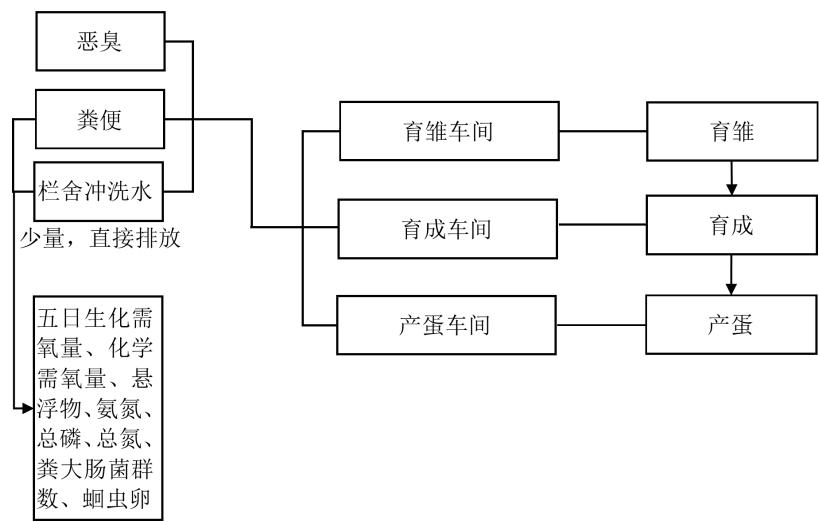


图 7 蛋鸡养殖产排污环节

养鸡场环境污染问题类型主要是废水外排及超标排放，其次是固体废弃物露天堆放、晾晒。具体体现在：一是环保设施不完善或未正常运行，例如部分养鸡场缺乏足够的储粪棚、废水处理池、防渗防雨设施，或设施年久失修，处理能力不足，导致污染物外泄或外溢，部分养殖场虽有设施，但日常管理松懈，设备不运行或运行效率低下，如消毒池常年无消毒液、污水处理设施长期闲置，部分企业甚至私设暗管、利用渗坑、渗井、软管、槽罐车等方式偷排、漏排、直排废水；二是粪污管理不规范，例如粪污未及时清运、长期露天堆放，遇雨易造成渗漏、外溢等问题。

根据 NY/T 4755—2025《畜禽粪尿产生量及主要成分参数》，不同饲养阶段畜禽的粪尿日产生量及主要成分参数如表 3 所示。

表 3 不同饲养阶段畜禽粪尿日产生量及主要成分参数

畜禽种类	饲养阶段	参考体重 kg	粪尿产生量 kg/头（只）		主要成分参数 g/头（只）				
			固体粪便	尿液	总固体	挥发性固体	总氮	总磷	总钾
生猪	保育猪	20.0	0.55	1.14	163	123	14.3	2.74	5.80
	育肥猪	75.0	1.17	2.87	400	302	38.4	7.29	21.8
	母猪	215	1.73	6.42	581	439	49.9	12.5	62.4
奶牛	犊牛	125	5.26	3.80	1277	1042	51.0	12.0	36.3
	青年牛	345	15.9	7.93	3289	2683	129	28.5	100
	泌乳牛	590	29.0	16.3	5672	4627	233	49.5	171
肉牛	犊牛	170	6.57	3.24	1390	1147	45.0	6.37	35.7
	育肥牛	425	13.7	7.55	2854	2356	101	14.3	89.3
	母牛	400	14.2	6.69	2871	2370	91.2	12.9	84.0
蛋鸡	育雏育成	1.2	0.10	—	29.5	21.5	1.19	0.32	0.36
	产蛋鸡	1.9	0.14	—	32.6	23.7	1.55	0.47	0.57
肉鸡	育肥肉鸡	1.7	0.13	—	36.7	30.9	1.62	0.33	0.51
肉鸭	育肥肉鸭	2.0	0.31	—	52.0	44.4	2.10	1.10	1.42
蛋鸭	育雏育成	1.5	0.22	—	24.4	20.8	0.85	0.32	0.45
	产蛋鸭	2.1	0.38	—	42.0	35.9	1.40	0.50	0.63
肉鹅	育肥肉鹅	2.5	0.47	—	77.0	65.8	2.30	0.80	0.80
羊	育肥羊	25.0	0.84	0.55	355	293	7.00	1.70	8.00
	母羊	50.0	0.87	0.57	410	338	11.0	3.00	16.0
兔	育肥兔	1.5	0.37	0.03	120	103	3.0	0.60	0.48

表 4 猪当量及畜禽粪便产生量换算表

猪当量换算（《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》）	按猪当量（氮磷排泄）100 猪=15 奶牛=30 肉牛=250 羊=2500 家禽
按粪便产生量换算（GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》）	1 奶牛=10 猪 1 肉牛=5 猪 1 猪=30 蛋鸡=60 肉鸡=3 羊

1 头猪为 1 个猪当量。1 个猪当量的氮排泄量为 11kg，磷排泄量为 1.65kg。按存栏量折算：100 头猪相当于 15 头奶牛、30 头肉牛、250 只羊、2500 只家禽。生猪、奶牛、肉牛固

体粪便中氮素占氮排泄总量的 50%，磷素占 80%；羊、家禽固体粪便中氮（磷）素占 100%¹。

3.2.2. 污染物种类及特点

3.2.2.1. 废水产生来源及特征

《第二次全国污染源普查公报》数据显示，2017 年，畜禽养殖业排放的 COD 为 1000.53 万吨，氨氮为 11.09 万吨，总氮为 59.63 万吨，总磷为 11.97 万吨（表 5），其中，畜禽规模养殖场水污染物排放量：COD 为 604.83 万吨，氨氮为 7.50 万吨，总氮为 37.00 万吨，总磷为 8.04 万吨。畜禽养殖业排放的 COD、氨氮、总氮、总磷在全国水污染物排放量占比约为 46.67%、11.51%、19.61%、37.95%（图 8）。

表 5 《第二次全国污染源普查公报》不同污染源排放量统计

排放源		污染物排放量（万吨）			
		COD _{Cr}	氨氮	总氮	总磷
农业源	水产养殖业	66.60	2.23	9.91	1.61
	种植业	/	8.30	71.95	7.62
	畜禽养殖业	1000.53	11.09	59.63	11.97
工业源		90.96	4.45	15.57	0.79
生活源		983.44	69.91	146.52	9.54
集中式污染治理设施		2.45	0.36	0.56	0.0113
合计		2143.98	96.34	304.14	31.54

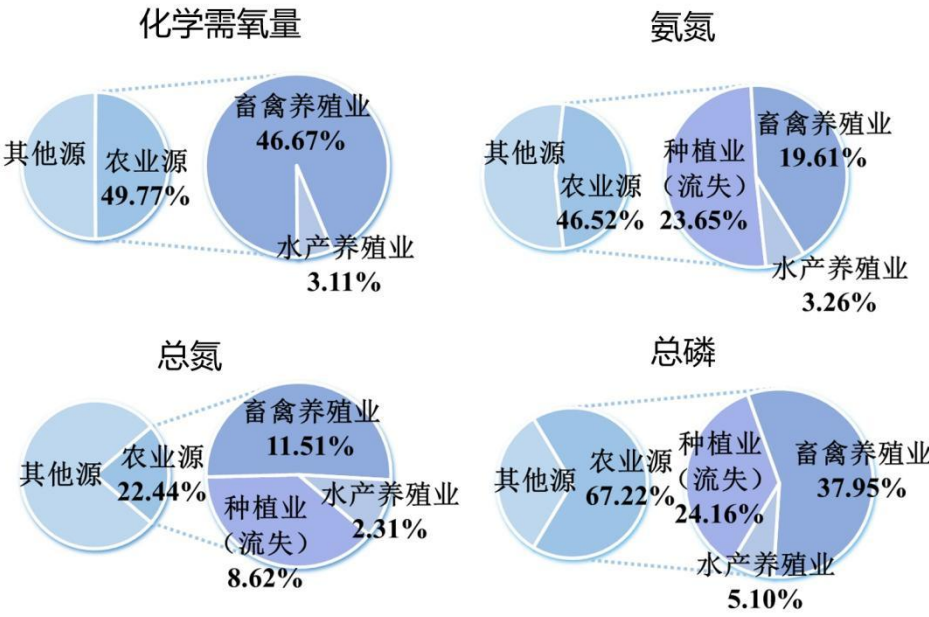


图 8 第二次全国污染源普查农业源水污染物排放量占比

¹ 《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》（农办牧〔2018〕1 号）

根据《2023 年生态环境统计年报》，2023 年，农业源排放的 COD 为 1897.1 万吨（占比 64.2%），氨氮为 29.2 万吨（占比 24.5%），总氮为 180.6 万吨（占比 52.7%），总磷为 28.8 万吨（占比 70.6%）。

表 6 《2023 年生态环境统计年报》不同污染源排放量统计情况

排放源	污染物排放量（万吨）			
	COD _{Cr}	氨氮	总氮	总磷
农业源	1897.1	29.2	180.6	28.8
工业源	32.6	1.2	7.6	0.2
生活源	1024.2	88.9	154.4	11.8
集中式污染治理设施	0.6	0.1	0.2	0.003
合计	2954.4	119.3	34.27	40.8

畜禽养殖污水主要为畜禽尿液、冲洗污水、生活污水等，其中主要来源为清理粪便的所产生的冲洗水，该类废水含有大量粪便、生活杂质等，腥臭味较强，含较多病原微生物，对水处理设施冲击负荷大。此外，废水中有机污染物、氨氮浓度高，悬浮物多，且废水中的有机氮经厌氧处理后以氨氮形式存在，进一步增加处理难度。

养殖场产生的污水量及其水质因畜种、养殖场性质、饲养管理工艺、气候、季节等情况不同会有很大差别。根据表 7 所示，冲洗方式与污水产量及污水性质有较大的关系，采用水冲或水泡粪工艺比干清粪工艺的污水量大，并且采用干清粪方式的养殖场污水通常会比水冲粪方式养殖场污水中的 COD 浓度低一个数量级，其他指标通常也会相差 3~6 倍，若能控制猪场冲洗用水量，则可大大减少猪场的污水产生量和排放量。

表 7 各类养殖场废水中污染浓度

养殖种类	清粪方式	COD _{Cr} (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	pH 值
生猪	水冲粪	15600~46800 平均 21600	127~1780 平均 590	141~1970 平均 805	32.1~293 平均 127	6.30~7.50
	干清粪	2510~2770 平均 2640	234~288 平均 261	317~423 平均 370	34.7~52.4 平均 43.5	
肉牛	干清粪	887	22.1	41.1	5.33	7.10~7.51
奶牛	干清粪	918~1050 平均 983	41.6~60.4 平均 51	57.4~78.2 平均 67.8	16.3~20.4 平均 18.6	
蛋鸡	水冲粪	2740~10500 平均 6060	70.0~601 平均 261	97.5~748 平均 342	13.2~59.4 平均 31.4	6.53~8.49
鸭	干清粪	27	1.85	4.70	0.14	7.39

3.2.2.2. 废气产生来源及特征

(1) 恶臭气体的来源及形成机制

畜禽养殖过程中产生的恶臭气体主要是由微生物及畜禽废弃物（包括粪尿、溢洒饲料及

废水、垫料等)在一定条件下降解产生的挥发性化合物混合而成。畜禽养殖场恶臭成分复杂多样、浓度变化大、滞留时间长,其复杂性和变化性甚至超过工业恶臭。

畜禽养殖场的恶臭气体可分为含氮化合物(如 NH_3 等)、含硫化合物(如 H_2S 、硫醇、硫醚等)、挥发性脂肪酸(VFAs)(如乙酸、丙酸等)、芳香族化合物(如酚类、吡啶等)四大类。 NH_3 有强烈刺激性气味,但与其他恶臭成分相比,氨的嗅阈值 $[(0.3\sim 53)\times 10^{-6}]$ 较高。除 NH_3 外,恶臭气体中含氮化合物还有挥发性胺,如甲胺、三甲胺、乙胺、腐胺和尸胺等。含硫化合物一般具有强烈刺激性气味,主要有 H_2S 、甲硫醇、丙硫醇、二甲基硫醚等。挥发性脂肪酸(VFAs)被认为是恶臭气体中的重要组成部分。其中,乙酸约占 VFAs 的 60%,其次有丙酸、正丁酸、异丁酸、戊酸等。畜禽养殖场中的 VFAs 一般是短碳链结构,相比于长碳链结构,短碳链结构的 VFAs 嗅阈值较高,因此养殖场中的 VFAs 一般不带有强烈刺激性臭味。养殖场中的芳香族化合物主要有酚类、吡啶和粪臭素,其中酚类浓度较高,吡啶浓度较低。畜禽养殖场的酚类物质中,甲酚浓度最高,且较其他芳香族化合物嗅阈值低,因此甲酚是畜禽养殖场芳香族化合物中产生恶臭的主要物质。

臭气中存在的化合物成分不同,且所有成分都有不同的气味和阈值。有研究发现,猪粪产生的臭气中含有 168 种挥发性化合物,以散发低级脂肪酸类臭气物质为主;鸡的粪与尿同时排出,其中 NH_3 和二甲基二硫的浓度特别高;牛粪散发出的臭气成分以低级脂肪酸为主,与猪粪、鸡粪相比,臭气成分种类少,浓度低。

畜禽养殖业恶臭气体主要有畜禽舍、粪污储存和处理场所(贮粪池、堆肥车间、污水池等)及农田施肥三种来源。其中,农田施肥可能是恶臭气体排放和投诉最大的来源。不同养殖场的恶臭气体主要来源不同,蛋鸡场恶臭主要来源是粪便堆肥,奶牛场恶臭主要来源是污水贮存,养猪场恶臭主要来源是各类猪舍。畜禽养殖场在不同产污环节的恶臭气体浓度情况如下图所示,可以发现在棚舍养殖、粪便堆肥环节恶臭气体浓度容易超标,且在春季影响大于夏季,而对与污水贮存环节恶臭气体相对稳定,但臭气刺激与堆肥、棚舍环节相当。

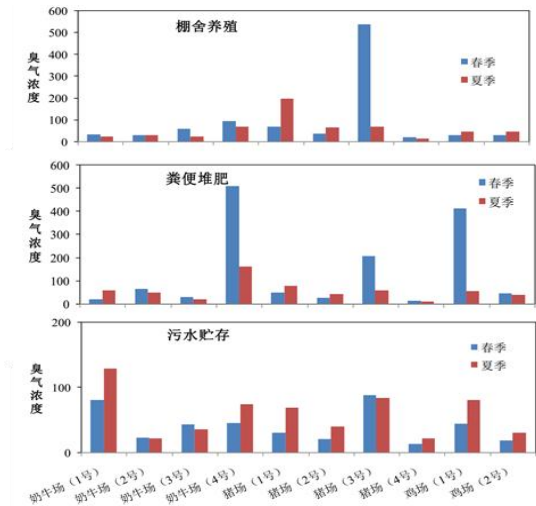


图 9 畜禽养殖场在不同产污环节的恶臭气体浓度情况

由于畜禽养殖业中大气污染主要来自粪便中的各种有机物质的挥发,在温度和湿度适合的条件下,会被微生物分解产生硫化氢、氨气、甲硫醇、等有多有害物质,同时粪污在无害

化降解过程所发生的有机物腐败发酵，以及粪污还田利用过程在土壤中产生的甲烷、二氧化碳等可造成温室气体效应，引发气候变化，同时粪污产生的有害气体夹杂灰尘一起以空气为介质传播病原微生物，刺激人与畜禽的呼吸道等。

(2) 温室气体的来源及形成机制

人类活动中产生的 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等温室气体，使大气中温室气体浓度上升，进而导致全球气候变暖。农业排放的 CH₄ 占人类活动造成的 CH₄ 排放总量的 50%，N₂O 占 60%。而畜牧业是农业活动温室气体排放的主要来源，根据《牲畜的巨大阴影：环境问题与选择》（FAO）中的相关调查数据显示，全球每年仅由牛、羊、马、骆驼、猪和家禽的温室气体排放量的 CO₂ 当量占到了全球人为温室气体排放量的 18%。联合国气候变化框架公约组织也预计畜禽养殖业所产生的碳排放量占比峰值在全球排放总量中接近 20%。

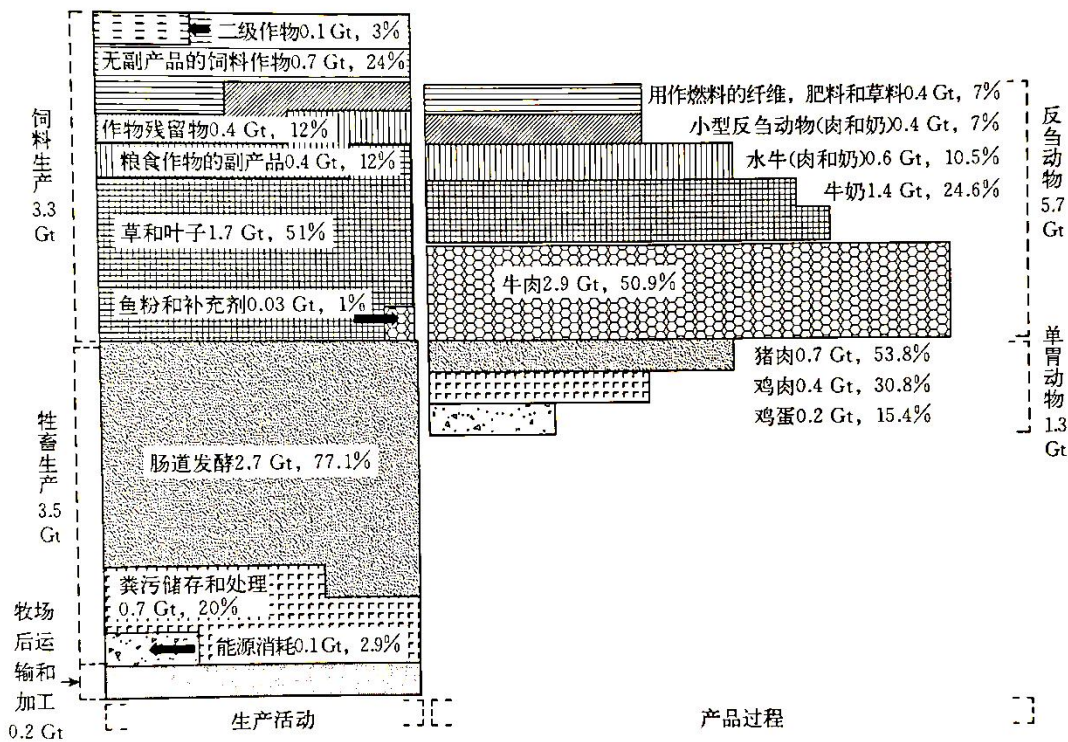


图 10 2013 年全球畜牧业温室气体排放（数据来源：GERBER, 2013）

在畜牧养殖的整个生产过程中，几乎每个环节都在排放温室气体（图 11）。畜牧业各类生产部门中，牛（不包含水牛）的生产环节温室气体排放量占畜牧业排放总量的 68%，是畜牧业中对温室气体贡献最大的物种。其中，牛肉生产占牛生产环节排放总量的 41%；牛奶生产占 20%。牛生产环节温室气体的主要排放源是牛的肠道发酵、饲料和肥料使用，其中肠道发酵是牛排放温室气体的主要源头，料和肥料使用环节是第二排放源，肥料使用环节产生的温室气体主要是 N₂O。不同牛群种类排放温室气体的强度不同，奶牛生产比肉牛生产排放的温室气体强度大，这主要是由于奶牛不但生产奶制品，还有一部分生产牛肉，因此排放温室气体的量比肉牛大。

除牛生产环节外，水牛和其他反刍动物的温室气体排放量约占畜牧业温室气体排放总量的 8%和 7%。

生猪生产环节温室气体排放量占排放总量的 9%。生猪生产环节的主要排放源中，饲料生产温室气体排放量最大，占猪类总温室气体排放量的 48%；其次是粪污存储和处理，占 27.4%；养殖场后续活动及运输占 3.5%。猪场中 N_2O 主要来自粪污储存和处理， CH_4 主要来自肠道发酵和粪污储存及处理。

鸡生产中温室气体排放量占排放总量的 8%。主要排放源为饲料生产，占鸡和鸡蛋生产环节的 57%；其次是粪污产生的温室气体，占鸡和鸡蛋生产环节的 20%。

不同畜种的温室气体排放占比

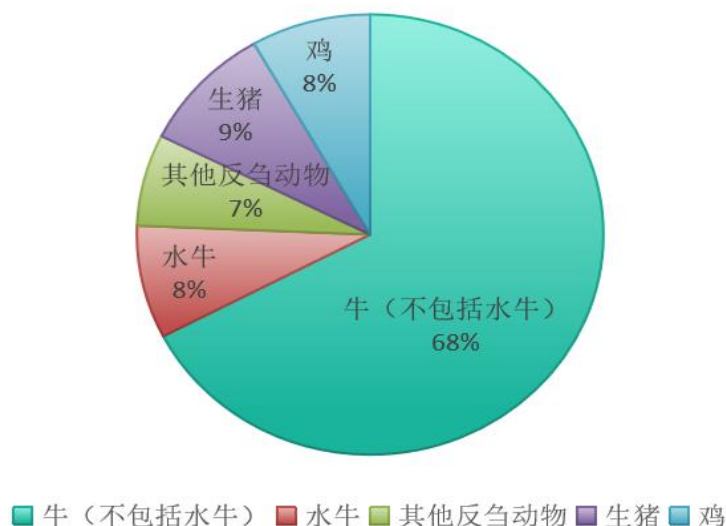


图 11 不同畜种的温室气体排放占比

畜牧业中温室气体的排放主要来自以下四个方面：

1.家畜肠道发酵

反刍动物和非反刍动物胃中食物发酵时都会产生 CH_4 。微生物发酵将碳水化合物分解成能被动物消化的简单分子， CH_4 就是能量代谢过程中的产物，由厌氧微生物产甲烷菌生成。反刍动物排放的 CH_4 产生于内含丰富微生物的瘤胃和后肠中。而非反刍动物，如单胃动物猪产生的 CH_4 主要来自大肠。不同类型家畜的 CH_4 排放量不同。反刍动物肠道发酵产生的 CH_4 排放量更大。据统计，反刍动物如牛、羊等的 CH_4 总产量约为全球动物和人类 CH_4 释放总量的 95%。

2.动物粪污分解

畜禽粪污厌氧储存和处理过程中产生的主要温室气体是 CH_4 。相反，若对粪污进行好氧处理，由好氧微生物和兼性微生物对粪污进行分解，则主要温室气体产物是 CO_2 。粪污中 CH_4 的释放过程：微生物将有机物分解，转化为 VFAs 、 CO_2 、和 H_2 这些中间产物，这一过程由于微生物活性的影响，粪污的温度增加，从而为产甲烷菌在嗜热环境下将乙酸盐、 CO_2 和 H_2 转化为 CH_4 提供了合适的条件。肉牛粪污产生的 CH_4 量是牛产生气体总量的 12%~17%。

畜禽养殖业中，氮的损失是从畜禽舍内粪污排出动物体外开始，并在之后的贮存和管理过程中不断损失。动物粪污储存和处理过程中，会产生大量的 N_2O 。 N_2O 的排放分为直接排放和间接排放，直接排放是通过粪污向空气中释放大量的氮，再通过硝化和反硝化作用转化成 N_2O 。间接排放主要是以 NH_3 和 NO_x 的形式产生的挥发性氮损失。有研究表明，畜禽舍

中 N_2O 排放量最高的是带垫料的家禽舍，因为该场所含有大量氧气和碳源，易于发生硝化和反硝化作用。畜禽粪污如果以液体形式储存，直接排放产生的 N_2O 较少，因为此时的缺氧环境不能发生硝化反应。

3. 畜禽饲料生产

饲料生产中， N_2O 的排放源来自饲料生产中使用的肥料（有机肥料或合成肥料），以及在养殖场堆肥区沉积或农田施肥过程中的肥料。

4. 饲养过程中的能源消耗

在整个畜牧供应链中都会存在能源消耗，除了畜禽饲料生产需要消耗大量的煤、石油等化石燃料，大规模的封闭式规模化养殖场也需要消耗大量的能源来照明、供暖、降温、自动化投喂和供水，以及保持空气流通，这些过程都会间接产生大量的温室气体。

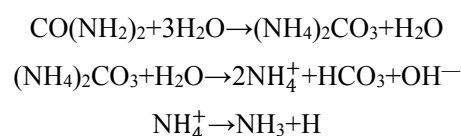
畜牧业温室气体排放的评估中通常不包含动物或动物粪污产生的 CO_2 ，因为植物通过光合作用吸收 CO_2 ，而动物通过食用植物排出 CO_2 ，形成循环。

（3）氨气的来源及形成机制

氨气（ NH_3 ）是大气中最主要的碱性气体之一。人类活动排放的 NH_3 主要来自农业，包括肥料施用、畜牧生产等。对全球来说，农业源 NH_3 排放占全球 NH_3 排放的 60% 以上，其中畜牧业 NH_3 排放是全球人为 NH_3 排放的最重要来源，占全球 NH_3 排放的 39%。《中国环境空气质量评估报告》（2016 和 2017 版）指出，我国是全球 NH_3 排放量最大的国家， NH_3 年排放量约为 1000 万 t，其中来自畜禽养殖和化肥施用的 NH_3 排放占 80% 以上。2005-2008 年的数据表明，中国年排放 NH_3 约 840 万 t，美国约 280 万 t，欧盟约 310 万 t。我国 NH_3 排放总量远超欧美。

畜牧业的 NH_3 是由畜禽粪污中的含氮有机物在尿素酶的作用下分解产生，主要来自畜禽舍内动物排出粪污的排放、粪污储存和处理过程中的排放及粪肥施用过程中的排放三个方面。此外，在高密度饲养系统中，禽类高死亡率会导致禽舍内的 NH_3 排放增加。对于 NH_3 产生场所，除畜禽舍外，粪污堆放处、堆肥场所、沼液储存池、氧化塘、运动场均是 NH_3 的排放源。

以猪场为例，据统计，猪场中约 50% 的 NH_3 来自尿液表面的散发，另外 50% 则是猪舍内粪便及堆肥过程中产生的。另有研究表明，家畜的氮利用率只有不到 30%，50%~80% 未被利用的氮通过尿液和粪便排出。但是这些排出的氮并未完全被回收利用，氮在粪尿中分别以蛋白质和尿素的形式存在，分别占总氮的 30% 和 70%。在猪粪污贮存过程中，有 25%~35% 的氮以 NH_3 的形式散发。下式为尿酸水解转化 NH_3 的步骤：



氮在粪污中经过脱氨作用、硝化作用、反硝化作用等转化为 NH_3 。微生物将粪污中的有机氮经过脱氨生成 NH_3 ， NH_3 易溶于水，形成铵态氮（ NH_4^+-N ）。 NH_4^+-N 受温度、pH 等影响，一部分继续通过 NH_3 形式向外界释放，一部分为微生物提供生长所需氮源，或被硝化细菌转化为硝态氮（ NO_3^--N ）。 NO_3^--N 一部分经反硝化作用产生 N_2 和 N_2O 等含氮气体释放，一部分通过地表径流损耗（图 12）。



图 12 粪污中氮的转化过程

实际上，在粪污回收利用的各环节（氨挥发、反硝化等），都有大量的氮损失，最终粪污中被回收利用的氮只有 50%~70%。 NH_3 的挥发发生在畜禽生产的各个阶段，主要是在粪尿排泄时、粪污贮存中及土壤施肥后。大气中的 NH_3 主要在对流层中扩散，与硝酸、硫酸发生反应，形成危害人体健康的硝酸盐、硫酸盐颗粒；与空气中的水蒸气结合，最终以降水的形式沉降到地面或水体中。

畜禽养殖场中，产生 NH_3 最多的是禽类养殖场，其次是养猪场，产生 NH_3 最少的是奶牛和肉牛养殖场。畜禽种类不同，粪污中的含氮量也不同。如家畜中，羊粪中含氮量最高，猪粪、马粪中其次，牛粪中含氮量最低。由于粪污不同的温度、理化性质等原因，其氮挥发时间也不同，猪粪、马粪中的氮挥发较慢，持续时间较长；牛粪、鸡粪、兔粪中氮挥发时间短，挥发快。

3.2.2.3. 废物产生来源及特征

畜禽养殖废物包括畜禽粪污、动物尸体、脱落毛羽、垫料、废饲料、废兽药、包装等固体废物。畜禽粪污是畜禽养殖废物的主要来源，在养殖场的清粪过程所产生，清粪过程包括干清粪、水冲粪及水泡粪等清粪工艺。根据表 8 所示畜禽粪污产生情况来看，畜禽粪污产生量与养殖场的畜禽种类、养殖方式、生产阶段有很大不同，同时也与清粪工艺、饲养管理水平、当地的气候条件等均有很大关系。通过表 9 所示不同养殖种类粪污的主要污染物成分含量有较大的差距，牛粪中悬浮物固体更多，而鸡粪中更偏酸性，在粪污中所含的氮、磷等是植物很好的养料。

表 8 不同养殖种类畜禽粪污产生情况对比

猪	体重/kg		20	40	60	80	100
	粪尿量/kg	限饲	2.88	3.36	3.84	4.32	4.79
		任饲	3.14	3.58	4.03	4.47	4.92
牛	体重/kg		140	270	380	400	500
	粪尿量/kg		7	14	21	27	45
鸡	0.1~0.15kg/只.d						

表 9 不同畜禽种类粪污组成成分

种类	BOD /mg/L	TSS /g/L	TN /mg/L	P_2O_5 /mg/L	K_2O /mg/L	pH 值
牛粪	24500	119000	9430	4400	1500	7.2~8.2
牛尿	4000	5000	8340	40	18900	
鸡粪	7000~15000	12000~22000	2500~4000	—	—	5.5~7.0

除常规污染物以外，畜禽养殖过程中还会使用抗生素、重金属等，导致污水、粪污中存在相应的污染物。

我国畜禽养殖中使用的抗生素主要包括四环素类、 β -内酰胺类、大环内酯类和喹诺酮类，四环素类如金霉素、土霉素、多西环素等，主要用于促生长和控制呼吸道、肠道感染，尤其在生猪和肉鸡养殖中广泛使用； β -内酰胺类如青霉素 G、阿莫西林、头孢噻吩等，用于治疗革兰氏阳性菌感染，如奶牛乳腺炎、猪链球菌病；大环内酯类如泰乐菌素、替米考星等，用于控制支原体感染和促进生长，在肉鸡和蛋鸡养殖中较为常见；喹诺酮类如恩诺沙星、环丙沙星等，用于治疗大肠杆菌病和沙门氏菌感染，尤其在规模化禽类养殖中应用广泛；其他类别如磺胺类常用于预防球虫病和肠道感染，多肽类用于促生长。

饲料中适量添加部分铜和锌等微量元素有利于提高饲料利用率、增加畜禽机体免疫力以及改善肉质等，例如铜能促进仔猪生长，锌可预防腹泻。由于饲料中添加的重金属和饲料原料中所含有的重金属被动物吸收的比例只有 5%-30% 左右，因此绝大部分都随着粪便排出，在畜禽污水中也可能存在一定浓度的重金属。从粪污类型来看，重金属含量由高到低分别是固体粪便、液体粪污和污水；从重金属类型来看，由高到低依次是锌、铜、铬、铅、砷和镉，其中锌和铜是主要的重金属。

3.2.3. 畜禽养殖业环境污染现状

据估算，我国规模化畜禽养殖粪污年产生量为 38.3 亿吨，其中新鲜粪便 6.4 亿吨，尿液 5.7 亿吨，污水 26.3 亿吨。畜禽粪污综合利用率不到 60%，未利用的畜禽粪污量大面广、乱堆乱放，给城乡生态环境造成了严重影响。

3.2.3.1. 大气污染

畜禽粪便中的各种有机物质，在温度和湿度适合条件下，会被微生物分解产生硫化氢、氨气、甲硫醇等有害物质，同时粪污里降解或未降解的有机物腐败发酵，可造成温室气体效应，引发酸雨；粪污产生的有害气体夹杂灰尘和以空气为传播介质的病原微生物一起刺激人与畜禽的呼吸道等，给空气环境造成较大的危害。

3.2.3.2. 水质污染

养殖场未经处理的清洁圈舍和设备的污水直接排出或因雨水冲刷进入河流湖泊，因这些污水中不但含有许多病原微生物，而且含有许多营养物质，因此不但直接造成水质污染，还会导致水体富营养化；污水长时间渗透至地下水中，使地下水造成有机污染和氮污染，恶化水质，无法饮用，甚至污染周边生活用水。

3.2.3.3. 土壤污染

畜禽养殖多在农村地区，由于养殖人员环境保护意识不足，未经处理的畜禽粪便直接用作肥料施入农田，易堵塞土壤空隙，降低土壤的通透性和透水性，使土壤板结，同时会导致农作物出现徒长，而且很容易导致农作物倒伏，推迟成熟期，造成减产；有的养殖者在饲料中添加饲料添加剂和含有重金属的药物，这些物质残留经粪污间接进入土壤，进而影响农作物的生长。

3.2.3.4. 药物残留的潜在污染

随着经济社会不断发展，人们的生活得到极大改善，食物变得越来越丰富，对于肉、蛋、奶及其制品的需求越来越大，但在食用某些动物性食品过程中，常受到一些残留化学药物影响，给身体造成一定伤害。这与养殖中一些化学药剂的滥用存在很大的关系，同时过量使用化学药物会导致某些病菌出现很强的耐药性，使其毒力进一步增强，加大了病毒病菌的防治难度，还可产生新的病毒病菌，严重影响人们的身体健康。

3.2.3.5. 病原微生物污染

畜禽废弃物内还有大量病原菌、微生物以及寄生的虫卵等，不仅滋生大量蚊蝇，还会造成寄生虫与病原菌的大量繁殖，倘若未得到有效处理，会对环境造成很大污染，引发畜禽疾病，同时还会在人与人之间传播，对人体健康造成很大威胁。

3.2.3.6. 农业面源污染

农村面源污染是指农村生活和农业生产活动中，溶解的或固体的污染物，如农田中的土粒、氮素、磷素、农药重金属、农村禽畜粪便与生活垃圾等有机或无机物质，从非特定的地域，在降水和径流冲刷作用下，通过农田地表径流、农田排水和地下渗漏，使大量污染物进入受纳水体（河流、湖泊、水库、海湾）所引起的污染。根据《第二次全国污染源普查公报》，2017年农业源水污染物的化学需氧量、氨氮、总氮、总磷排放量远超过工业源和生活源，其中畜禽养殖业水污染物排放量对农业水污染物总排放量的占比高达86.56%，比2010年第一次全国污染源普查中的占比增加了1.11个百分点。畜禽养殖对农业面源造成的污染的直接原因如下：

畜禽养殖中废水处理不达标。畜禽养殖业会产生大量废水，一些小规模养殖户直接将未进行加工处理的废水排出，污染了水资源。还有一些养殖业选择将废水进行简单处理，但是废水处理并未严格按照相关规定与办法执行，一些并未达到允许排放限值的水被排放了出来，也对环境造成了严重影响。

养殖场规划、选址不合理。在畜禽养殖中，很多农户借助自家的房前屋后建设圈舍进行养殖，不仅圈舍不规范，而且建设标准低，缺乏畜禽养殖污染的治理措施，畜禽粪便任意堆放，污水横流。

粪便综合利用率低。畜禽粪便通常缺乏有效利用，畜禽每天产生的大量污染物，不仅造成环境污染，也造成资源浪费。很多养殖户缺乏配套耕地，不能自行消耗如此多的畜禽粪便，存在较为突出的农牧脱节问题。

养殖方式与规模发生变化。在家庭中进行分散的畜禽养殖，因饲养量不大，畜禽产生的废物可以得到及时处理，通常不会影响环境，然而集中化、规模化的养殖模式使得畜禽废弃物产生的数量越来越多，对环境造成很大污染。

对粪便污染的严重性认识不足。相关政府部门以及一般的养殖户对畜禽的污染问题缺乏足够重视，治理工作开展缓慢，造成畜禽养殖污染问题不断加剧，因此要提高政府部门及养殖户对畜禽污染问题的重视程度，有效开展粪污治理工作。

对有机肥与化肥的认识存在偏差。当前普遍认为使用化肥较为方便，而有机肥的使用比较繁琐，但长期使用化肥，不仅会使土壤板结，理化性质下降，影响土壤中的微生物，还会

影响土壤的肥力，造成农产品质量下降。目前，随着有机肥生产工艺不断提升，有机肥的使用变得越来越便捷，不仅能有效改善土壤板结情况，增强土壤理化性质，同时还能降低化学肥料使用量，提升农作物品质，增加经济效益。

3.3. 畜禽养殖业污染防治技术

3.3.1. 污染源头预防技术

（1）科学配比饲料

动物摄入饲料时并不能完全吸收饲料中的各种营养成分，吸收不了的将随粪便排出。因此应采取科学的饲料配方，不仅可以满足畜禽的生产效率和产量，又可以大限度降低畜禽粪便中氮的排放、减少对环境的污染。

（2）清粪工艺优化

水冲粪的方法是粪尿污水混和进入缝隙地板下的粪沟，每天数次从沟端的自翻水放水冲洗。这种清粪方式劳动强度小，劳动效率高，在劳动力缺乏且较贵的欧美国家采用较多。其缺点是耗水量大，污染物浓度高。

水泡粪清粪工艺是在水冲粪工艺的基础上改造而来的，是在猪舍内的排粪沟中注入一定量的水，粪尿、冲洗和饲养管理用水一并排入缝隙地板下的粪沟中，储存一定时间后，待粪沟装满后，拨开出口的闸门，将沟中粪水排出。这种工艺虽然较水冲粪工艺节省用水，但是，由于粪便长时间在猪舍中停留，形成厌氧发酵，产生大量的有害气体如硫化氢、甲烷等，危及动物和人体健康。粪水混合物的污染物浓度更高，后处理也更加困难。目前，国家比较鼓励这种方式转为干清粪方式进行工艺优化。

干清粪工艺是粪便一经产生便分流，干粪由机械或人工收集、清扫、集中、运走，尿及污水则从下水道流出，分别进行处理。这种工艺固态粪污含水量低，粪中营养成分损失小，肥料价值高，便于高温堆肥或其他方式的处理利用。产生的污水量少，且其中的污染物含量低，易于净化处理，是目前比较理想的清粪工艺。

3.3.2. 畜禽污水处理技术

畜禽污水处理技术包括预处理、厌氧处理、沼液利用、沼液自然处理、好氧处理、厌氧-好氧组合处理、深度处理等工艺单元。

3.3.2.1. 预处理

畜禽养殖污水在进入生化处理之前的工艺单元统称为预处理。预处理包括除杂、均质和固液分离等。

（1）除杂主要是清除废水中较大的漂浮物和悬浮物，以免影响后续处理单元的处理效果和设备的正常运行，常见的除杂措施为格栅，栅条间隙一般为 15~30mm。

（2）均质的目的是均化废水水质水量，避免水质水量波动对后续处理单元造成冲击和影响，常见的均质措施是在集水池之后、主体工艺之前设置调节池。

（3）固液分离是最主要的预处理单元，通常采用物理方法将固体部分与液体部分分离，常用的固液分离方法有沉降分离与机械分离。

3.3.2.2. 厌氧处理

畜禽养殖污水有机物浓度高，因此通常采用厌氧消化（也称沼气发酵）工艺进行处理，采用该方法既能去除有机污染物，又能产生清洁能源——沼气。几乎所有厌氧消化工艺，包括传统消化工艺（如地下水压式沼气池、净化沼气池、黑膜沼气池）和高效的厌氧反应器（如完全混合式厌氧反应器、厌氧滤池、厌氧挡板反应器、厌氧复合反应器、上流式厌氧污泥床、内循环厌氧反应器）在畜禽养殖污水处理利用中都有应用，其中，上流式厌氧污泥床（UASB）、升流式固体反应器（USR）、连续搅拌釜式反应器（CSTR）为主要的厌氧处理技术。

UASB 工艺以颗粒污泥床为核心，废水自下而上流经污泥床时，颗粒污泥中的产甲烷菌与有机污染物充分接触反应，兼具高容积负荷（ $2\text{-}5\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ）和良好的固液分离效果，特别适合处理悬浮物含量中等、可生化性较好的养殖废水，能在高效降解 COD 的同时产出优质沼气，且占地面积相对紧凑，适配大中型规模化养殖场。

USR 工艺采用升流式流态+内置固液分离装置，无需额外沉淀池，废水与污泥在反应器内呈混合状态，污泥停留时间长，抗冲击负荷能力突出，尤其适配水冲粪工艺产生的高悬浮物、高固含率养殖废水，可减少污泥流失问题，操作维护简便，更适合中小型养殖场或分散式处理场景。

CSTR 工艺通过连续搅拌实现全混流反应，反应器内水质、温度、pH 值等参数均匀稳定，能适应养殖废水的水质水量波动，且对进料悬浮物的耐受性强，可直接处理未经深度预处理的高浓度废水，同时结构简单、设备投资成本低，既适用于单场独立处理，也可作为集中式处理站的核心反应器，搭配后续好氧工艺实现达标排放。

3.3.2.3. 好氧处理

在没有足够土地进行沼液还田利用或自然处理的养殖场，需要采用好氧生物处理工艺对沼液进行净化。活性污泥法是当前应用最为广泛的废水好氧生物处理工艺，但传统的活性污泥法对畜禽养殖污水的效果处理较差，且成本较高，故较少应用于畜禽养殖污水的处理中。目前畜禽养殖污水常用的方法是具有间歇曝气特点的好氧处理工艺，如序批式活性污泥法（SBR）、缺氧/好氧（A/O）工艺、膜生物反应器（MBR）等。对于浓度较低的畜禽养殖污水（COD 低于 4000 mg/L ），可以采用好氧工艺进行处理。

3.3.2.4. 厌氧-好氧组合处理

对于高浓度畜禽养殖污水，通常采用先厌氧后好氧的生化处理工艺，即传统的厌氧-好氧组合工艺。厌氧单元主要采用完全混合式厌氧反应器（CSTR）、上流式厌氧污泥床（UASB）、升流式固体反应器（USR）、厌氧挡板反应器（ABR）、厌氧复合反应器（UBF）、黑膜沼气池等。好氧单元以往主要采用 SBR 工艺，近年来主要采用 A/O 工艺或多级 A/O 工艺。

3.3.2.5. 深度处理

畜禽养殖污水经过厌氧-好氧二级生化处理后，为了达到严格的排放标准，必须对二级生化处理出水进行三级处理。三级处理也称深度处理或高级处理，主要方法有混凝、电解、臭氧氧化、芬顿氧化、膜分离等。

通过投加混凝剂使废水中难以自然沉淀的胶体物质以及细小的悬浮物聚集成较大的颗粒，从而与水分离的过程称为混凝。混凝是畜禽养殖污水处理中广泛采用的方法，该方法既可以作为独立的处理方法，也可以和其他方法配合使用，作为预处理、中间处理或最终处理。

混凝的优点是设备简单、操作容易、能耗低、处理效果较好，且间歇或连续运行均可；缺点是处理出水浓度仍然较高、污泥量比较大、药剂费用较高。常用的混凝剂有硫酸铝、聚合氯化铝（PAC）、三氯化铁、硫酸亚铁、聚合硫酸铁（PFS）、聚丙烯酰胺（PAM）等。

电解是在直流电的作用下，污染物生成不溶于水的沉淀物或生成气体而从水中逸出，从而实现废水的净化。根据电极反应发生方式的不同，可分为电絮凝法、电气浮法和电催化氧化法（也称电解氧化法）等，其中应用较多的是电解氧化法。电解氧化法既可以去除 COD，也能去除氨氮，COD 去除率超过 70%，氨氮去除率超过 90%，但是该方法能耗太高，去除 1 kg 氨氮或是 1kgCOD 的电耗基本上均在 90 kWh 左右。

化学氧化法是通过氧化剂的氧化作用，使难降解的有机物转化为易降解有机物，或将有机物彻底氧化为 CO₂ 和 H₂O 的方法。目前常用的化学氧化剂有臭氧、氯系氧化剂、过氧化氢等。

膜分离是以压力为驱动力，利用膜的选择透过性将离子或分子或某些微粒从水中分离的过程。根据膜的孔径大小可以分为微滤（MF）、超滤（UF）、纳滤（NF）、反渗透（RO）等。超滤、纳滤、反渗透对猪场废水生化处理出水 COD 的去除率分别可达 50%、70%、90%，对氨氮的去除率可达 28%、48%、79%。反渗透膜虽然能达到很好的出水效果，但是浓水比例达到 20%~50%。膜分离最大的问题是膜污染导致膜通量下降，因此需要经常洗膜或者更换膜。

3.3.3. 畜禽大气协同控制技术

3.3.3.1. 恶臭气体

畜禽养殖场大气污染防治目前主要是针对危害性较大的 NH₃、H₂S 等恶臭物质的排放。畜禽养殖场常用的恶臭控制技术主要包括物理除臭、化学除臭和生物除臭等方面工艺，对比分析了目前常用的除臭技术的优缺点，见表 10。

表 10 目前常用除臭方法的对比分析一览表

序号	方法		原理	优点	缺点
1	水洗法		臭气成分在水中溶解	只适用于消除易溶于水的臭气物质	不适用于难溶性臭气物质，耗水量大
2	燃烧法	高温燃烧法	臭气成分在 700-800℃ 下分解	效率高，高臭气浓度下有利	能耗高，运转费用高
		低温燃烧法	利用触媒在 250-300℃ 下氧化	效率高，高浓度下有利，与高温法相比设备简单、能耗低	触媒材料昂贵
3	吸附法		利用活性炭、硅胶、锯末、腐殖质土等将臭气吸附	适宜于消除低浓度臭气	使用一定时间后效果消失，再生困难。
4	药液处理法		利用酸、碱物质与臭气成分发生化学反应	适宜于脂肪酸类、胺类等在水中能溶解的臭气成分	药品费用高并要求有相应的废液处理对策

序号	方法		原理	优点	缺点
5	空气稀释法		利用大量新鲜空气稀释臭气成分至闻不到臭味为止	适宜于低浓度臭气	随着环境法规定的标准越来越严格,此法限制使用
6	臭氧氧化法		利用臭氧的强氧化性分解臭气	适用于含硫成分多的臭气	费用高,残留臭氧损害人的呼吸系统
7	生物法	生物过滤法	利用微生物的作用下将臭气分解转化	适于中、低浓度臭气除臭	/
		生物洗涤法		适用性广, 运转费用低, 无二次污染, 适于中、低浓度臭气除臭	/
		生物滴滤法		微生物生长条件易调节, 适合微生物长期生存, 能够承受较大的污染负荷	/

物理型除臭剂是利用除臭剂的物理性质, 在不改变畜禽养殖场内恶臭气体的化学性质, 只改变其浓度或者相对浓度, 通过固、液、气三相之间的转化消除恶臭气味, 此法没有从根本上消除恶臭物质, 只是降低了嗅觉对臭味的感知程度。物理除臭剂具有操作简单、方便快捷以及见效快的优点, 比较适合处理小范围内的恶臭, 但其费用较高, 存在二次污染的问题, 因此其应用推广受到一定程度的限制。吸附法、掩蔽法、稀释法、冷凝法和吸收法等是常用的物理法。

化学除臭方法包括燃烧法、催化燃烧法、酸碱吸收法、光催化氧化法和化学洗涤法等。通过添加化学试剂与恶臭物质发生化学反应, 改变其化学结构, 使恶臭物质转化为臭味较低或无臭味的物质。化学除臭剂包括过氧化钙、氯化钙、磷酸氢钙、过氧化氢、氯化亚铁和亚硝酸盐等。利用化学方法除臭效率高, 能够将恶臭物质彻底氧化分解, 但是成本较高, 持续时间短, 有可能产生有毒有害的副产物。

生物除臭技术的原理是通过添加外源功能菌种或生物酶, 对恶臭物质直接降解或对产恶臭微生物进行抑制以脱除恶臭。生物除臭法按处理方式分为生物过滤法、生物洗涤法、生物滴滤法等。生物过滤法主要用于恶臭和挥发性有机物的处理, 是一种相对较新的污染控制技术, 通过附着在滤料介质中的微生物利用恶臭物质中的有机物, 把恶臭和挥发性有机物等降解为二氧化碳、水和无机盐, 同时形成新的微生物的过程。生物洗涤法由喷淋系统、吸收系统和反应器系统组成, 在循环过程中, 反应器培养微生物, 吸收系统填充垫料, 然后通过喷淋系统产生的循环液与系统内的臭气进行逆向接触反应, 臭气被反应器内或吸收系统填料上的微生物吸附分解, 从而达到吸收恶臭的目的。生物滴滤法是介于生物过滤法和生物洗涤法之间的除臭方法。生物滴滤池中的微生物生长条件易调节, 适合微生物长期生存, 能够承受较大的污染负荷。当畜禽粪便产生的臭气进入生物滴滤池中, 气体中的恶臭物质被循环液和附着在填料上的微生物吸附、吸收, 从而达到净化气体的目的。

3.3.3.2. 温室气体

CH₄ 和 N₂O 等温室气体的去除技术比较如表 11 所示。在 CH₄ 处理技术中, 微生物氧化

法和富集回收法具有较低的处理成本,但微生物氧化法在养殖场尾气处理中的应用中存在一些报道,富集回收法在养殖场的应用还需要开展更多研究。催化转化技术和热氧化技术的转化和分解能力均较高,但设备投入成本较高,处理条件较为苛刻。在 N₂O 处理技术中,氧化分解法对 N₂O 具有较高的处理能力,但处理设备投入大,反应限制条件多。生物法去除率较高,但需要开展更多研究以提高该技术的适用性和去除率。

表 11 温室气体处理技术比较

气体类型	处理方法	处理效果	处理成本
			[元·kg ⁻¹ (NH ₃) 或 (CO ₂ eq)]
温室气体	CH ₄ 处 理方法	微生物氧化法	去除率: 25%~43% 1.04~6.93
		催化转化法	转化率: 9%~97% 11.19~16.84
		热氧化技术	分解率: 2%~100% 5~5.8
		富集回收法	回收率: 70%~95% 1.21~2.21
	N ₂ O 处 理方法	氧化分解法	去除率: 8.9%~93.3% —
		生物法	去除率: 40%~60% —

3.3.3.3. 氨气

目前针对畜禽养殖过程中氨气的处理技术主要包括吸附法、空气洗涤法以及生物法,生物法包括生物洗涤法、生物过滤法、生物滴滤法,如表 12 所示。

表 12 氨气处理技术比较

气体类型	处理方法	处理效果	处理成本 [元·kg ⁻¹ (NH ₃) 或 (CO ₂ eq)]	
氨气	物理化 学法	活性炭/生物炭:4~75 mg/g;硅胶: 5~45 mg/g;沸石: 24~38 mg/g	活性炭/生物炭: 52~800 硅胶: 220~2000 沸石: 105.2~333.6	
		水洗法去除率		
		20%~80%	水洗法: 4.2~5.2	
	生物法	空气洗涤法	酸洗法去除率 29.83%~90.88%	酸洗法: 5.24~6.24
		生物洗涤法	去除率: 79%~98%	20.82~90.60
		生物过滤法	去除率: 30%~92%	65.18~181.08
		生物滴滤法	去除率: 70%~98.5%	69.49~362.15

3. 3. 4. 畜禽粪污处理处置技术

3.3.4.1. 好氧堆肥技术

(1) 传统好氧堆肥

好氧堆肥制成农用有机肥是我国畜禽粪污资源化利用的主要方向之一。好氧堆肥是指微生物在有氧环境中,利用底物中的有机物进行新陈代谢,并将大部分有机物转化为稳定的腐殖质的过程。好氧堆肥不仅能去除堆肥原料中的臭味和病原菌,还可以作为土壤改良剂,改善土壤微生物结构,提高土壤肥力水平。

传统堆肥技术最高温度在 50~70℃ 之间，不仅存在腐熟时间长、气味大、易受季节影响等缺点，还可能产生大量温室气体（ N_2O 、 H_2S 、 NH_3 等）和挥发性有机化合物，且堆肥时间过长易导致最终产品中的氮素在堆肥过程中以 NH_3 形式损失。

（2）沤肥

沤肥技术也称为堆沤技术，是指将畜禽产生的固体粪污堆放在具有防雨、防渗、防溢流功能的堆粪场所，在自然条件下通过生物降解作用将混合物料转化为相对稳定且富含腐殖质的固态粪肥。与传统好氧堆肥相比，沤肥主要依赖自然通风和少量翻堆。该技术模式操作简便，建设和运行成本较低，但发酵周期较长，因此需要采取相应的臭气和蚊蝇控制措施。

3.3.4.2. 厌氧消化工艺技术

（1）传统厌氧消化

厌氧消化是指在厌氧条件下，蛋白质、脂质和碳水化合物通过厌氧微生物的水解、酸化、产乙酸等过程，逐步转化为甲烷和二氧化碳。畜禽粪污厌氧消化可产生再生能源沼气，经提纯后可进行发电或并入天然气管网，沼渣的深加工可生产营养丰富的有机肥料，相关工艺流程见图 12。此外，厌氧消化技术可同时减少传统粪肥储存或土地利用过程中产生的温室气体排放。目前国内外研究主要关注工艺优化、技术改进、高效菌种等方面，主要目的是提高畜禽粪污厌氧消化产甲烷的效率、稳定性及可持续性。目前改善畜禽粪污厌氧消化瓶颈问题主要策略：①改善厌氧消化水解过程木质纤维素的降解，如牛粪；②规避氮化合物降解对微生物产生的氨抑制，如鸡、鸭或猪粪等。

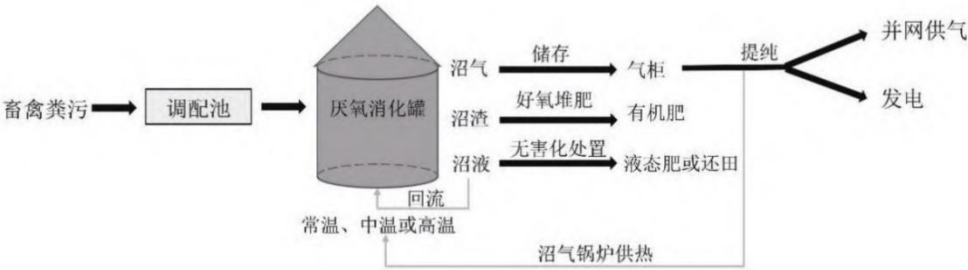


图 13 厌氧消化工艺流程

（2）畜禽粪污预处理技术

畜禽粪污预处理技术是提高底物生物消化率，增加沼气产量的重要手段，主要原理是通过预处理提高微生物对有机物质的可利用性。目前主要预处理方式有物理预处理、化学预处理、生物预处理和联合预处理等。其中物理预处理包括了机械预处理、超声波预处理和热预处理等方式，研究发现畜禽粪污分别通过三种方式适当的预处理后，在厌氧消化过程中均有提高甲烷产量的效果。化学预处理主要是通过酸、碱和氧化性物质来提高纤维素类等难降解物质的溶解率，增加化合物与厌氧消化菌的接触面积以提高甲烷产量的效果。生物预处理是指通过加入纤维素分解微生物、酶等物质，提高木质纤维素等难降解物质的降解效率，通过加速底物降解以加速甲烷的产生。联合预处理是指通过如热、碱、酸、超声波等预处理方式搭配组合而形成的预处理技术。研究发现通过热碱预处理（180℃，30min）可去除牛粪中部分木质素，提高牛粪厌氧消化过程中 50% 的甲烷产量，高于稀酸（6.8%）、亚硫酸盐（26.3%）、

冷碱或环境碱处理（19.8%~32.8%）等单一预处理方式。但是选择预处理尤其是联合预处理方式处理畜禽粪污时，在考虑厌氧消化产甲烷效果的同时，也要综合考虑经济性。

氨态氮的大量积累导致的氨抑制是制约鸡、鸭或猪粪等富氮物料厌氧消化产气效率的重要因素。在氨水平升高的过程中，对氨耐受性较低的乙酰裂解产甲烷菌的抑制是有机酸积累的一个重要原因。

（3）共厌氧消化

此外，近年来大量研究表明通过不同种类的畜禽粪污和多元有机废弃物进行共厌氧消化，调整底物的氮含量，控制 C/N 在一定的范围内（20~30），可能是解决富氮底物厌氧消化过程中氨抑制的主要策略。利用畜禽粪污、餐厨垃圾、秸秆等不同来源、不同类型原料的特性，合理调节发酵参数，增加发酵过程的缓冲能力，有助于取得较好的产沼气效果。

3.3.4.3. 异位发酵床技术

粪污发酵与畜禽分开，建设垫料发酵舍，配置粪污发酵床、喷污平台、自动翻耙机等设施，把集粪池中的粪污抽入铺有秸秆或松叶、锯末等垫料的发酵床槽内，翻耙烘干机对其进行翻耙加热，通过生物菌的吸收分解和无害化处理后，加工成为有机肥料，实现粪污水零排放。其优点为利用具有强大活性的微生物复合菌群，将粪尿一次性转化为能量和有用物质；畜禽不接触粪污，减少了寄生虫感染的几率；简单方便，占地面积小，垫料、菌种一次性投入，定期添加粪污；发酵床垫料产生的有机质含量达 30%以上，加工成有机肥，作为农作物的肥料。

3.3.4.4. 干燥技术

干燥处理是利用燃料、太阳能、风等能量，对畜禽粪便进行处理。干燥的目的，不仅在于减少粪便中的水分，而且还要达到除臭和灭菌（包括一些致病菌和寄生虫等）的效果。因此，干燥后的畜禽粪便大大降低了对环境的污染。且燥后的畜禽粪便可加工成颗粒肥料，或作为畜禽的饲料，具有多种用途。

3.3.5. 畜禽粪污资源化利用模式

3.3.5.1. 就近还田模式

养殖场（户）采用干清粪饲养，实行雨污分流，从源头减少污水产生量，自行配套或与周边农户签订协议落实粪污消纳用地，建设储粪池和污水沉淀池，固体粪便堆积发酵（堆沤），污水通过管道排入污水沉淀池腐熟，在施肥季节就地就近施入农田。适用于规模较小的养殖场，附近要有与养殖规模相适应的粪污消纳用地。

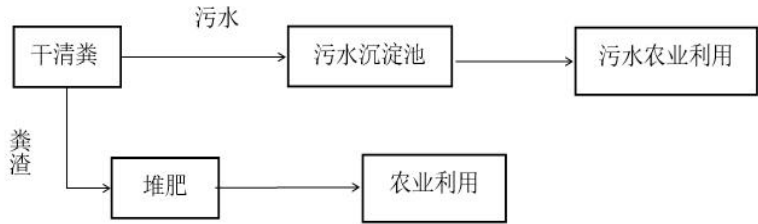


图 14 就近还田模式工艺流程

3.3.5.2. 垫料化利用模式

牛场粪污收集到集污池后先进行固液分离，分离后的牛粪含水率一般在 75%左右。固液分离后的固体混合辅料调采用好氧发酵的方式处理，处理后的粪污达到腐熟程度，含水量符合要求，用作牛床垫料。液体粪污经处理后施入农田。为减少牛环境性乳房炎的发生，对牛粪卧床视季节不同每 3-6 天进行消毒。适用于规模奶牛养殖场或有需求的规模肉牛场。

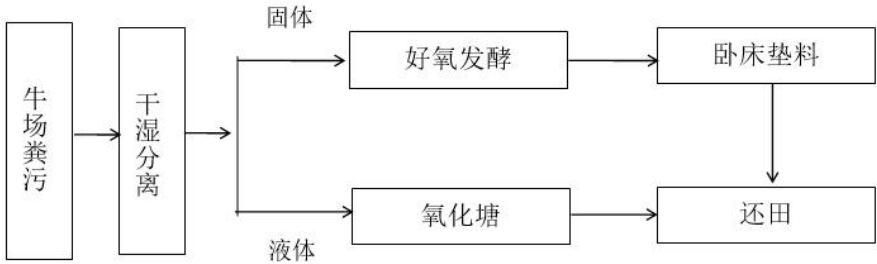


图 15 垫料化利用模式工艺流程

3.3.5.3. 园区种养自循环模式

园区通过土地流转，配套与养殖畜禽规模相适应的种植基地，用于消纳养殖过程产生的废弃物，形成种养一体化的园区内自循环种养业发展模式。即种植业生产的部分粮食作物及农作物秸秆、牧草等加工成饲料，供养殖使用；养殖产生粪污通过厌氧生产沼气或好氧生产有机肥。产生的沼气发电供园区内各个环节用电，沼渣加工成有机肥，有机肥直接用于园区蔬菜、瓜果等种植，沼液用于灌溉还田。通过发展循环产业链，有效将种植、养殖、沼气、饲料等产业紧密连接，使一个环节产品或副产品被下一个环节利用，实现变废为宝和产品的层层升值。适用于拥有自有消纳用地或附近具备流转土地条件的养殖企业，需要养殖企业具备长链条农业生产能力。

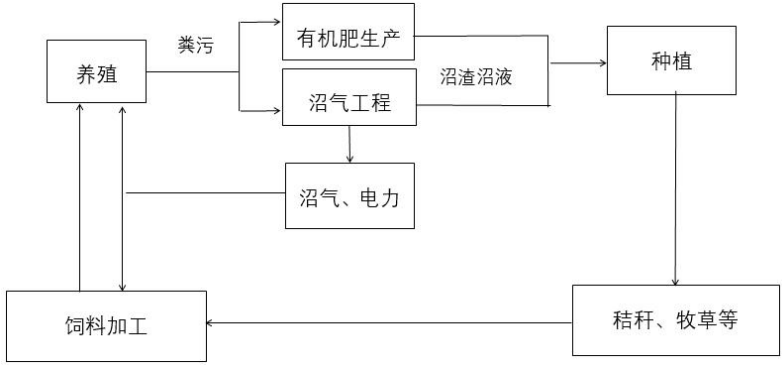


图 16 园区种养自循环模式工艺流程

3.3.5.4. 第三方治理模式

采用合同服务的方式引入第三方畜禽粪污处理企业对畜禽养殖废弃物进行处理利用，形成专业化第三方治理模式。由第三方收集养殖场产生粪污，并进行处理，生产有机肥等产品，有机肥按市场化运营方式进行销售。养殖密集区的中小养殖企业或场区粪污处理建设用地紧张的大型养殖企业，需要有第三方处理企业合作。

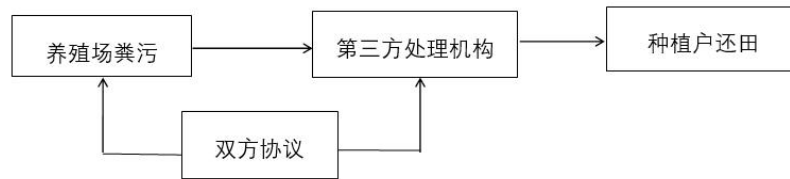


图 17 第三方治理模式工艺流程

3.3.5.5. 商业化肥料利用模式

商业化收集粪便、专业化生产有机肥、市场化运作经营的肥料化利用模式。与养殖户签订畜禽粪便收购合同，委托第三方经济人车队将签约养殖户的畜禽粪污运输至原料厂，畜禽粪污加菌种及除臭剂，加工初级原料，然后运输到总厂进行深加工，销售至市场。收、储、产、运、销各环节全部按照市场化运作，将普通有机肥转化为市场急需的高价值肥料，提升利润空间。受运输半径所限，有机肥厂应建在养殖相对较集中的区域，需要有一定的经营管理能力。

该模式由普通粪污变为高值商品有机肥；降低了签约养殖场固体粪污处理的设备投入，养殖场仅需建设液体粪污处理设施即可，对于鸡场而言，基本不用建设粪污处理设施。但大规模商品有机肥生产环保要求较严，需要建设厂房、臭气、生产用污水处理设施，投资较大。有机肥厂要具有适当盈利的持续运营能力，尤其是有机肥销售方面。

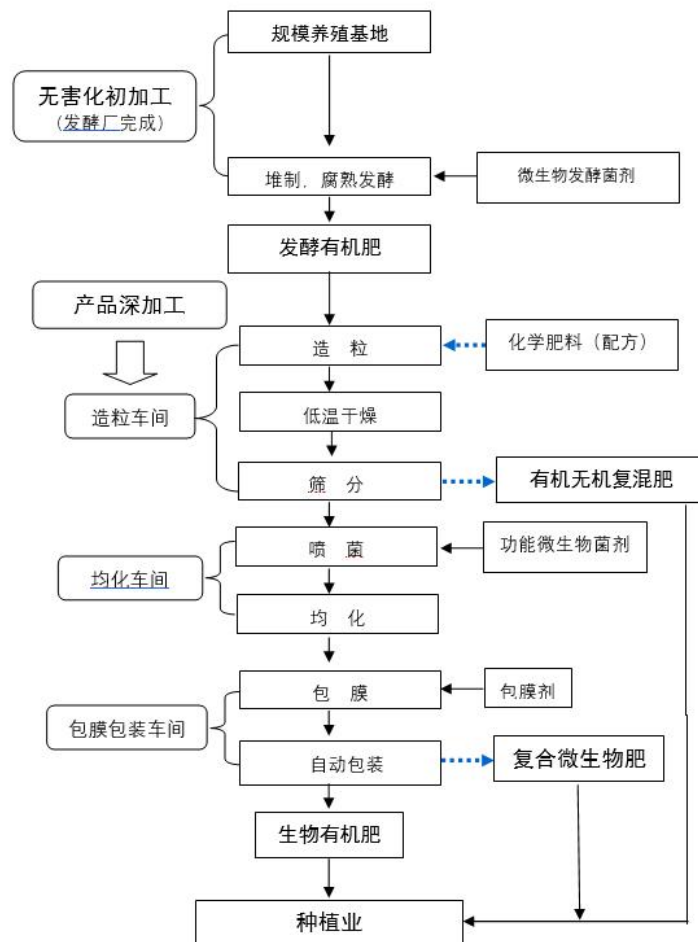


图 18 商业化肥料利用模式工艺流程

4. 国内外相关标准情况

4.1. 国外相关法律法规和标准

自 20 世纪 50 年代起,大规模的集约化养殖在发达国家兴起,大型畜禽养殖场在城镇郊区建立,排放的粪便和污水未得到合理处理和利用,导致了严重的环境污染。美国、加拿大、欧盟、日本等发达国家,相继制定出一系列合理有效的管理措施,防止畜禽养殖污染。

4.1.1. 美国

总体上,美国在畜牧业环境污染控制方面的法律法规和政策分为三级:联邦政府的环保法案、州一级府的环境保护法规和地方环境管理条例。美国以技术法规作为制定、实施环境质量和排放标准的基础,针对不同的工业部门制定不同的技术标准,并以此为基础再颁布各自相应的排放限值指令,从而实现对污染物排放的有效控制。美国的环境技术政策目前已在大气污染防治和大气污染防治等领域得以应用。美国 EPA 在水领域建立了 53 个行业的指南和标准,在大气方面完成了重点污染源治理技术标准,并开始制定针对面源的指南和标准。

以水污染防治技术政策为例,在美国《清洁水法》(CWA)中技术政策分为两类,一类是针对常规污染物,分别给出最佳可行控制技术(BPT)和最佳常规污染物控制技术(BCT);另一类针对毒性污染物,分别给出最佳经济可行技术(BAT)和现有最佳示范技术(BADT)。基本上形成了以基于污染控制技术的排放标准管理为主,以水质标准管理为补充,以总量控制和排污许可证为主要内容的水污染防治机制。同时,在《清洁水法》中将畜禽养殖场列入污染物排放源,同时还建立了污染物排放制度,对畜禽养殖业生产规模给予规定,如畜牧生产企业牲畜存栏头数在 1000 个畜牧单位以上(相当于 2500 头肉猪),通过人为或间接地将污染物排入水域,被定义为集中饲养畜牧业(点污染源)。

在《联邦水污染法》中的规定更侧重于畜牧场建设管理,规定规定 1000 标准头(如 1000 头肉牛,700 头奶牛,2500 头体重 25kg 以上的猪,12000 只绵羊或山羊,55999 只火鸡,18000 只蛋鸡或 29000 只肉鸡)或超过 1000 标准头的工厂化畜牧场,必须得到许可才能建场。

可持续农田和畜牧业饲养场实施法规(H.R.3232)比环保局的政策更为严格。该法规拟将畜牧饲养场的阈值削减 50%,从而使更多的畜牧饲养场列为点污染源。该议案拟在 10 年内逐步淘汰密集畜牧饲养场所使用的露天氧化塘,并确保在 3~5 年内一切现有和新建的氧化塘及其它粪便系统将加衬垫和予以妥善设置,从而防止这些设施对地面和地下水产生影响。

4.1.2. 加拿大

加拿大对畜禽养殖业环境污染的管理主要集中在各联邦省,由各联邦省制定本辖区畜禽污染控制措施。目前畜禽粪便环境污染的管理还没有专门法规,但为了加强畜禽污染防治工作,由各省制定畜禽养殖业环境管理的技术规范,主要针对水源的污染、臭气的散发、土壤中磷、氮的污染等问题。

加拿大政府认为畜禽养殖场建设是控制畜禽污染的重要措施,通过对畜禽养殖场建设的管理,也就控制了畜禽养殖污染的源头。为此,加拿大实行了新办牧场审批制度。凡新办牧场,在申报表中必须注明牧场所在的地貌条件、与水源的距离、可消化粪便的土地面积、土

壤养分平衡条件、化粪池容积、死亡畜禽的管理情况等内容。

加拿大各省制定畜禽养殖业环境管理技术规范，其目的就是向新建及扩建集约式畜禽饲养场提供指导，包括：粪肥管理的指导；如何保护地下水、地表水及土地资源；减小畜禽饲养对环境及土地的影响；降低集约式畜禽饲养的不利影响；为畜禽饲养者和市政官员提供解决矛盾的参考；为市政机构提供有关使用土地的规律和政策指导；提高公众信心等。

4.1.3. 欧盟

欧洲国家在畜禽养殖污染防治法律法规建设方面起步早，且体系较为健全，但各国有不同的特点。总体上，欧盟出台了一系列政策法规，如通过了新的环境法，规定了每公顷动物单位（载畜量）标准、畜禽粪便废水用于农用的限量标准和动物福利（圈养家畜和家禽密度标准），鼓励进行粗放式畜牧养殖，限制养殖规模的扩大，凡是遵守欧盟规定的牧民和养殖户都可获得养殖补贴。根据农场的耕作面积安装粪便处理设备，通过减少载畜量、选择适当的作物品种、减少无机肥料的使用、合理施肥等良好的农业实践减少对环境造成的负面影响。

欧盟的环境技术管理，主要是根据欧盟综合污染防治（IPPC）指令 96/61/CE 的规定，以采用最佳可用技术（BAT）作为能够达到对整个环境进行高水平保护的重要工具。BAT 参考文件由欧盟委员会工作小组，各成员国的权威部门和专家共同起草，文件详细描述了迄今为止被视为最佳的污染防治技术，并且给出了通过应用 BAT 可能达到的污染物排放量和资源消耗量水平。IPPC 指令要求企业尽可能采用最好的技术，防止污染物的产生，或者把污染物的排放减少到最低，要求企业在运行之前必须得到许可并按照要求的程序运行。

此外，欧洲各国如德、英、法、丹麦、荷兰、比利时、挪威等，也都各自制定了畜禽养殖污染防治的相关法律法规，对畜禽粪便废水用于农田数量的限制都采取了类似的法律和规定；关于畜禽粪便的贮存及施用也有详细规定，如最少贮存时间、允许饲养的最多牲畜、氮施用量、秋季使用规定等，可见欧洲各国对畜禽粪便污染控制的重视。

关于甲烷排放控制，英国政府实施了一系列旨在减少农业甲烷排放的政策和举措。减少农业甲烷排放的主要政策是自愿倡议计划。该计划方案分为两个不同的组成部分，其中农场管理实践部分主要侧重于实施专门设计用于减少甲烷排放的农场管理实践，最佳做法主要包括：种植覆盖作物，减少施用于土地的化肥，有效地使用饲料，确保适当的畜禽粪便管理和储存，以及选择低甲烷排放的牲畜品种。甲烷减排技术推广部分则主要提供财政支持，以激励农民和土地管理者购买专门设计用于减少甲烷排放的技术（如饲料添加剂等）。

4.1.4 日本

日本是在畜禽养殖污染防治方面立法最多的国家，日本法律的一大特色是法规制定的量化细致性与可操作性。日本制定了《废弃物处理与消除法》、《防止水污染法》和《恶臭防止法》等 7 部法律，对畜禽污染防治和管理做了明确的规定。如《废弃物处理与消除法》规定，在城镇等人口密集地区，畜禽粪便必须经过处理，处理方法有发酵法、干燥或焚烧法、化学处理法、设施处理等。《防止水污染法》则规定了畜禽场的污水排放标准，即畜禽场养殖规模达到一定的程度（养猪超过 2000 头、养牛超过 800 头、养马超过 2000 匹）时，排出的污水必须经过处理，并符合规定要求。《恶臭防止法》中规定畜禽粪便产生的腐臭气中 8 种污染物的浓度不得超过工业废气浓度。

为发展“环境保全型农业”，日本制定了一系列促进环保型农业的法律，如通称“农业环境三法”的《可持续农业发》、《家畜排泄物法》及《肥料管理法（修订）》，这些法律也都对畜禽养殖污染防治做出了相应规定。日本对危害农业环境的处罚提升到刑罚的高度，而且十分重视用财政补贴、税收等手段引导公众参与污染防治。为防治养殖业污染，日本政府还实行了鼓励养殖企业保护环境的政策，即养殖场环保处理设施建设费 50%来自国家财政补贴，25%来自都道府县，农户仅支付 25%的建设费和运行费用。

4.2. 国内相关法律法规和标准

4.2.1. 国家法律法规

在国家法律法规及部门条例中，都明确了畜禽养殖污染防治的要求。

《中华人民共和国水污染防治法》中支持畜禽养殖场、养殖小区建设畜禽粪便、废水的综合利用或者无害化处理设施。畜禽养殖场、养殖小区应当保证其畜禽粪便、废水的综合利用或者无害化处理设施正常运转，保证污水达标排放，防止污染水环境。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中规定从事畜禽规模养殖应按照国家有关规定收集、贮存、利用或者处理养殖过程中产生的粪便，防止污染环境。

《畜牧法》中规定了畜禽养殖场、养殖小区应当保证畜禽粪便、废水及其他固体废弃物综合利用或者无害化处理设施的正常运转，保证污染物达标排放，防止污染环境。

《中华人民共和国农业法》要求从事畜禽规模养殖的单位和个人应对粪便、废水及废弃物进行无害化处理或者综合利用。

《畜禽养殖污染防治管理办法》要求养殖场的排水系统应实行雨水和污水收集输送系统分离，在场区内外设置污水收集输送系统，不得采取明沟布设。新、改、扩建的畜禽养殖场应采取干法清粪工艺，采取有效措施将粪及时、单独清出，不可与尿、污水混合出；采用水冲粪、水泡粪湿法清粪工艺的养殖场，要逐步改为干法清粪工艺。畜禽养殖过程中产生的污水应坚持种养结合的原则，经无害化处理后尽量充分还田，实现污水资源化管理。污水的消毒处理提倡采用非氯化的消毒措施，要注意防止产生二次污染物。

《畜禽规模养殖污染防治条例》明确各级政府在畜禽养殖污染防治的组织领导及工作职责等工作；强调畜禽养殖的预防工作在生产布局、污染源头管控等措施要求，提出畜禽粪污综合利用与治理等方面的指导性意见；同时在激励措施和法律责任等做了一系列的要求等。

4.2.2. 行业相关标准

在畜禽养殖污染控制及利用技术标准方面，主要包括：

《畜禽养殖业污染防治技术规范》（HJ/T 81—2001）提出应坚持农牧结合、种养平衡的原则，规定了畜禽养殖场的选址要求、场区布局与清粪工艺、畜禽粪便贮存、污水处理、固体粪肥的处理利用、饲料和饲养管理、病死畜禽尸体处理与处置、污染物监测等污染防治的基本技术要求。

《畜禽养殖业污染物治理工程技术规范》（HJ 497—2009）中规定了畜禽养殖场污染治理工程设计、施工、验收和运行维护的技术要求。

《畜禽粪便无害化处理技术规范》（GB/T 36195—2018）、《畜禽粪便无害化处理技术规范》（NY/T 1168—2006）两项国行标均对畜禽粪便无害化处理做出技术要求，通过对畜

禽粪便处理场选址布局、收集贮存运输、粪便处理、粪便处理后利用进行规范来实现畜禽粪污无害化处理。

《畜禽粪便还田技术规范》（GB/T 25246—2025）、《畜禽粪便堆肥技术规范》（NY/T 3442—2019）等国行标及地方根据实际应用情况出台的多部畜禽粪污制备有机肥及全量还田技术规范地方标准，需有配套土地且均需达到排放要求。

在畜禽养殖污染物排放标准方面，《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）作为国家标准，规定了集约化的畜禽养殖场和养殖区，并根据养殖规模分阶段逐步控制，规定了畜禽养殖废水、恶臭排放标准和废渣无害化等指标要求。

表 14-表 17 对国家和各地方标准的畜禽养殖规模、排水量、排放因子、废渣无害化及恶臭污染标准进行了对比。

在畜禽养殖规模范围上，我国在畜禽养殖污染物排放标准值中，只对具有一定规模的养殖场及养殖区进行规定，未对养殖散户等进行约束，从国家标准《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB 18596—2001）来看，以生猪为例，达到二类排放的养殖场，规模为 500 头以上 3000 头以下，养殖小区为 3000 头以上 6000 头以下，对养殖场的规模约束较为宽松，较多的养殖户、养殖单位等未纳入到约束中，造成畜禽粪污的随意排放污染地下水及土壤等，在环境管理过程中无相关标准的依据，导致管理困难。部分省市制定了地方畜禽养殖污染排放标准，都将定义的集约化养殖场/养殖区的规模降低，相对于在国家标准规模的约束上有较大的缩减，从而使更多的养殖场/养殖区纳入标准的适用范围中，以对其污染排放进行控制。各地规模都以地方畜禽养殖发展的实际情况进行约束，各地之间的规模约束差距也较大。

2015 年修正的《畜牧法》第三十九条规定，省级人民政府根据本行政区域畜牧业发展状况制定畜禽养殖场、养殖小区的规模标准和备案程序。2022 年修订的《畜牧法》第三十九条规定，畜禽养殖场的规模标准和备案管理办法，由国务院农业农村主管部门制定。2025 年 6 月，《畜禽养殖场备案管理办法》（农业农村部令 2025 年第 2 号）发布，并于 2025 年 9 月 1 日起施行。该办法规定畜禽养殖场的规模标准由农业农村部制定并公布，各畜禽养殖场的养殖规模按照其设计生产能力进行测算，并要求达到养殖规模标准的畜禽养殖场应当具备与畜禽粪污无害化处理和资源化利用相适应的设施设备，方可予以备案。2025 年 7 月，《畜禽养殖场规模标准》（农业农村部公告 2025 年第 927 号）发布，并于 2025 年 9 月 1 日起施行。具体内容如下：

表 13 畜禽养殖场规模标准

序号	畜禽种类		规模标准
（一）	猪		年出栏量五百头以上
（二）	普通牛、瘤牛、水牛、牦牛、大额牛	肉牛	年出栏量五十头以上
		奶牛	存栏量一百头以上
		牦牛	存栏量二百头以上
（三）	绵羊、山羊		年出栏量二百只以上
（四）	马		存栏量五十匹以上
（五）	驴		存栏量五十匹以上

序号	畜禽种类		规模标准
(六)	骆驼		存栏量五十匹以上
(七)	兔		年出栏量五千只以上
(八)	鸡	肉鸡	年出栏量一万只以上
		蛋鸡	存栏量二千只以上
(九)	鸭	肉鸭	年出栏量一万只以上
		蛋鸭	存栏量二千只以上
(十)	鹅		年出栏量五千只以上
(十一)	鸽		年出栏量一万只以上
(十二)	鹌鹑		存栏量四万只以上
(十三)	梅花鹿		存栏量五百只以上
(十四)	马鹿		存栏量五百只以上
(十五)	驯鹿		存栏量五百只以上
(十六)	羊驼		存栏量三百只以上
(十七)	火鸡		年出栏量五百只以上
(十八)	珍珠鸡		年出栏量一千五百只以上
(十九)	雉鸡		存栏量二千只以上
(二十)	鹧鸪		年出栏量二万只以上
(二十一)	番鸭		年出栏量一万只以上
(二十二)	绿头鸭		年出栏量一万只以上
(二十三)	鸵鸟		年出栏量一百只以上
(二十四)	鸚鵡		年出栏量二百只以上
(二十五)	水貂（非食用）		年出栏量五千只以上
(二十六)	银狐（非食用）		年出栏量一千只以上
(二十七)	北极狐（非食用）		年出栏量一千只以上
(二十八)	貉（非食用）		年出栏量一千只以上

注：养殖规模按照畜禽养殖场的设计生产能力进行测算。

在畜禽养殖污染物的排放因子及限值上，《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）中，约定了集约化养殖场、养殖区的畜禽污水排放标准，内容上规定了五日生化需氧量、化学需氧量、悬浮物、氨氮、总磷、粪大肠菌群数及蛔虫卵，并且限值较为宽松，各地方畜禽污染排放标准的因子都参照国家标准进行制定，而上海市、广东省的地方标准同时还增加了总铜、总锌及总氮的限制。在排放限值上，各地的差距较大，以 COD_{Cr} 为例子，国家的标准为 400 mg/L，浙江的标准中的限值略低于国家标准为 380 mg/L，山东的标准为 120 mg/L，为国家标准的 0.3 倍，广东的标准为 100 mg/L，为国家标准的 0.25 倍，而上海的标准更为严格，限值为 60 mg/L，甚至其它指标的排放限值能满足大部分农田灌溉水质。因此，其它各地方标准的制定应根据本地畜禽粪污处理技术所达到的情况来制定相应的畜禽粪污排放标准的限值。

表 14 国家及地方畜禽养殖规模分类

相关标准	规模类别		主要畜禽规模分类								
			猪（头） (25kg 以上)	鸡（只）		牛（头）		鸭（只）	鹅（只）	鸽（只）	羊（只）
				蛋鸡	肉鸡	成年奶牛	肉牛	肉鸭	肉鹅	肉鸽	肉羊
《畜禽养殖场规模标准》（农业农村部公告第 927 号）	养殖场规模		500	2000	10000	100	50	10000	5000	10000	200
《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）	养殖场规模（存栏）	I	≥3000	≥100000	≥200000	≥200	≥400	/	/	/	/
		II	500≤Q<3000	15000≤Q<100000	30000≤Q<200000	100≤Q<200	200≤Q<400	/	/	/	/
	养殖区规模（存栏）	I	≥6000	≥200000	≥400000	≥400	≥800	/	/	/	/
		II	3000≤Q<6000	100000≤Q<200000	200000≤Q<600000	200≤Q<400	400≤Q<800	/	/	/	/
广东省《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 44/613—2024)	养殖场规模		≥500 （出栏）	≥2000（存栏）	≥10000（出栏）	≥100 （存栏）	≥50（出栏）	≥10000 （出栏）	≥5000 （出栏）	≥50000 （出栏）	≥100 （出栏）
浙江省《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 33/593—2005)	养殖场规模（存栏）	I	≥500	≥15000	≥30000	≥100	≥200	/	/	/	/
		II	200≤Q<500	6000≤Q<15000	12000≤Q<30000	40≤Q<100	80≤Q<200	/	/	/	/
	养殖区规模（存栏）	I	≥3000	≥100000	≥200000	≥200	≥400	/	/	/	/
		II	1200≤Q<3000	40000≤Q<100000	80000≤Q<200000	100≤Q<200	200≤Q<400	/	/	/	/

相关标准	规模类别	主要畜禽规模分类								
		猪（头） (25kg 以上)	鸡（只）		牛（头）		鸭（只）	鹅（只）	鸽（只）	羊（只）
			蛋鸡	肉鸡	成年奶牛	肉牛	肉鸭	肉鹅	肉鸽	肉羊
上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 31 /1098—2018)	畜禽养殖场（出栏）	≥500	≥15000	≥30000	≥100	≥200	/	/	/	/
山东省《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 37/534—2005)	养殖场规模（存栏）	≥500	≥15000	≥30000	≥100	≥200	≥15000	≥15000	/	≥1500
	养殖区规模（存栏）	≥3000	≥100000	≥200000	≥200	≥400	≥100000	≥100000	/	≥9000
安徽省《畜禽养殖业污染防治技术规范》（DB 34/T 4826—2024）	养殖场（小区）规模	≥500	≥2000	≥10000	≥100	≥50				≥100
	养殖专业户规模	50≤Q<500	500≤Q<2000	2000≤Q<10000	5≤Q<100	10≤Q<50				40≤Q<100

表 15 国家及地方畜禽养殖排水量

相关标准	工艺及地区分类	主要畜禽养殖排水量要求					
		猪[m³/（百头·天）]		鸡[m³/（千只·天）]		牛[m³/（百头·天）]	
		冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季
《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）	集约化畜禽养殖业水冲工艺最高允许排水量	2.5	3.5	0.8	1.2	20	30
	集约化畜禽养殖业干清粪工艺最高允许排水量	1.2	1.8	0.5	0.7	17	20

相关标准	工艺及地区分类	主要畜禽养殖排水量要求					
		猪[m ³ /（百头·天）]		鸡[m ³ /（千只·天）]		牛[m ³ /（百头·天）]	
		冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季
广东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 44/613—2024）	I 类区域	1.2 m ³ /百头猪·天，其他种类的畜禽可将存栏量换算成生猪当量折算单位产品基准排水量，30 只蛋鸡、60 只肉鸡、30 只肉鸭、15 只肉鹅、180 只肉鸽、3 只肉羊折算成 1 头猪，1 头奶牛折算成 10 头猪、1 头肉牛这算成 5 头猪。					
	II 类区域						
浙江省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 33/593—2005）	集约化畜禽养殖业水冲工艺最高允许排水量	2.0	3.0	0.5	0.8	16	25
	集约化畜禽养殖业干清粪工艺最高允许排水量	1.0	1.5	0.2	0.4	14	17
山东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 37/534—2005）	集约化畜禽养殖业最高允许排水量	1.0	1.2	0	0	14	16
上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 31 /1098—2018）	畜禽养殖最高允许排水量	0.8		0.27(0.13 肉鸡)		8（肉牛 5）	

表 16 全国及地方畜禽养殖污水排放及农田灌溉排放检测因子

相关标准及分类要求	畜禽养殖污水排放及农田灌溉排放检测因子										
	五日生化需氧量 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷(以磷计) (mg/L)	粪大肠菌群数(个/100ml)	蛔虫卵 (个/L)	其它项目			
《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）	150	400	200	80	8.0	1000	2.0				
上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 31/1098—2018）	60	20	30	5(8)	5.0	500	2.0	pH: 6~9	总氮: 15	Cu: 0.5	Zn: 2.0

相关标准及分类要求		畜禽养殖污水排放及农田灌溉排放检测因子									
		五日生化需氧量 (mg/L)	化学需 氧量 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷(以 磷计) (mg/L)	粪大肠菌 群数(个 /100ml)	蛔虫卵 (个/L)	其它项目		
浙江省《畜禽养殖污染物排放标准》（DB 33/593—2005）		140	380	160	70	7.0	1000	2.0			
山东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 37/534—2005）		60	120	70	25	5.0	1000	2.0			
广东省《畜禽养殖业污 染物排放标准》（DB 44/613—2024）	I 类区域	30	100	70	25	3.0	400	1.0	总氮 40	总铜 1.0	总锌 2.0
	II 类区域	50	150	100	40	5.0	1000	2.0	70	1.0	2.0
《农田灌溉水质》（GB 5084—2021）	水田作物	60	150	80	——	——	4000	2	基本控制项 16+选择控制项 20		
	旱田作物	100	200	100	——	——	4000	2			
	加工去皮果蔬	40	100	60	——	——	2000	2			
	直接入口果蔬	15	60	15	——	——	1000	1			

表 17 全国及地方畜禽养殖废渣无害化及恶臭污染标准

相关标准	废渣无害化环境标准		恶臭污染物排放标准
	蛔虫卵	粪大肠菌群数	臭气浓度（无量纲）
《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）	死亡率≥95%	≤10 ⁵ 个 / kg	70
广东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 44/613—2024）	死亡率≥95%	≤10 ⁵ 个 / kg	20
上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 31 /1098—2018）	死亡率≥95%	≤10 ⁵ 个 / kg	20
浙江省《畜禽养殖污染物排放标准》（DB 33/593—2005）	死亡率≥95%	≤10 ⁵ 个 / kg	60
山东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 37/534—2005）	死亡率≥95%	≤10 ⁵ 个 / kg	70

5. 标准制订的基本原则

（1）明确目标、建立框架

本标准主要用于指导和规范地方畜禽养殖业污染控制标准的编制工作，应能够指导地方明确标准编制的目的，明晰标准内容的基本要素，建立标准框架结构。

（2）全面系统、突出重点

全面给出畜禽养殖污染控制的主要方式，针对不同类型养殖品种和规模，提出养殖过程污染管控措施，提出应重点管控的内容和基本要求。

（3）规范程序、明确方法

指导地方把握标准编制的要点，规范标准制订工作程序要求和过程技术要点方法，促进提高地方标准的科学性、合理性和可行性。

（4）因地制宜、合理可行

在规定基本要求的基础上，给地方留出空间，在适用范围、分类管控分区分级控制、污染控制项目选择和要求确定等方面，地方可根据自身实际，综合评估提出适用可行的规定。

6. 标准主要技术内容及制定依据

6.1. 适用范围

本标准规定了地方畜禽养殖业污染控制标准制订的基本原则和技术路线、主要技术内容的确定等要求。

根据《畜牧法》，畜禽养殖和草原畜牧业是两类不同的生产方式，草原畜牧业中的放牧模式与畜禽养殖模式差异较大，而舍饲半舍饲圈养方式在草原畜牧业中也逐渐应用广泛，故本标准适用于地方畜禽养殖业污染控制标准的制修订，草原畜牧业中的舍饲半舍饲圈养方式的污染控制标准的制修订可参照本标准。

6.2. 术语和定义

标准给出畜禽养殖污染物的基本概念，明确“畜禽养殖”“规模化畜禽养殖”“规模以下畜禽养殖户”“畜禽养殖区”“畜禽粪污”“畜禽养殖污水”“畜禽养殖固体废物”等术语的定义，从而更好地统一指导各地对畜禽养殖污染控制的认识。同时，根据畜禽养殖污水不同排放去向，给出“直接排放”“间接排放”“污水集中处理设施”术语定义。

6.2.1. 与畜禽养殖相关的术语和定义研究

1) 已有标准或文件中的定义情况

国家标准《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）、生态环境部行业标准《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497—2009）以及浙江省、山东省地方标准中均对“集约化畜禽养殖场”和“集约化畜禽养殖区”两个术语作出了定义。

《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）中规定了“集约化畜禽养殖场”的定义为：指进行集约化经营的畜禽养殖场。集约化养殖是指在较小的场地内，投入较多的生产资料和劳动，采用新的工艺与技术措施，进行精心管理的饲养方式。同时，对“集约化畜

禽养殖区”的定义为：指距居民区一定距离，经过行政区划确定的多个畜禽养殖个体生产集中的区域。

《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497—2009）中对“集约化畜禽养殖场 Intensive livestock and poultry farms”定义与 GB 18596—2001 相同，并增加“本标准指存栏数为 300 头以上的养猪场、50 头以上的奶牛场、100 头以上的肉牛场、4000 羽以上的养鸡场、2000 羽以上的养鸭场或养鹅场。”对“集约化畜禽养殖区”的定义与 GB 18596—2001 相同。

浙江省《畜禽养殖污染物排放标准》（DB 33/593—2005）中对“集约化畜禽养殖场（含集约化畜禽养殖户）”的定义为：指进行集约化经营的畜禽养殖场（户）。集约化养殖是指在较小的场地内，投入较多的生产资料和劳动，采用新的工艺与技术措施，进行精心管理的饲养方式。同时，对“集约化畜禽养殖区（含集约化畜禽养殖小区）”的定义为：指按照区域布局规划和当地土地利用总体规划要求，距居民区一定距离，符合动物防疫规定，经过行政区划确定的多个畜禽养殖个体生产集中的区域。

山东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 37/534—2005）中对“集约化畜禽养殖场”和“集约化畜禽养殖区”的定义与 GB 18596—2001 中相同。

《畜禽养殖禁养区划定技术指南》（环办水体〔2016〕99 号）中规定了“畜禽养殖场、养殖小区”的定义为：指达到省级人民政府确定的养殖规模标准的畜禽集中饲养场所。

上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 31 /1098—2018）中对“畜禽养殖场 livestock and poultry farm”的定义为：是指经当地农业、工商等行政主管部门批准，具有法人资格，养殖规模达到国家和本市有关规定确定的养殖规模的畜禽养殖场，按以下标准确定：生猪≥500 头（年出栏）、奶牛≥100 头（存栏）、肉牛≥200 头（年出栏）、蛋鸡≥15000 羽（存栏）、肉鸡≥30000 羽（年出栏）。

安徽省《畜禽养殖业污染防治技术规范》（DB 34/T 4826—2024）中对“畜禽养殖场（小区）large scale livestock and poultry farm（community）”的定义为：畜禽养殖规模达到附录 A 规定的畜禽养殖场所。

广东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 44/613—2024）中对“规模化畜禽养殖场 large-scale livestock and poultry farm”的定义为：养殖规模达到以下规定的畜禽养殖场：生猪年出栏数≥500 头，奶牛年存栏数≥100 头，肉牛年出栏数≥50 头，蛋鸡年存栏数≥2 000 只，肉鸡年出栏数≥10000 只，肉鸭年出栏数≥10000 只，肉鹅年出栏数≥5000 只，肉鸽年出栏数≥50000 只，肉羊年出栏数≥100 只。

2) 综合分析

由上述对比可知，早期畜禽养殖多为“集约化畜禽养殖”，集约化主要强调的是在一定面积的土地上，投入较多的生产资料和劳动，使用先进的技术和管理方法，以提高单位面积土地的产量和效益。在农业领域，集约化经营可能包括使用先进的农业技术、提高土地利用率、优化种植结构等措施。

而规模化则主要侧重于扩大生产规模，通过增加生产要素的投入，如土地、资金、劳动力等，来扩大生产规模，提高产量和效益。在农业领域，规模化经营可能包括扩大种植面积、增加养殖数量、提高机械化水平等措施。

故本标准根据《畜牧法》，对“畜禽养殖 livestock and poultry breeding”定义为：在独

立、固定的生产场所饲养列入《国家畜禽遗传资源目录》的畜禽的生产经营活动。

本标准中对“规模化畜禽养殖 large-scale livestock and poultry breeding”定义为：距居民区一定距离，在一定场地内，养殖规模达到国家畜禽养殖规定规模及以上的畜禽养殖活动。

对“规模以下畜禽养殖户 below-scale livestock and poultry breeding households”定义为：未达到国家畜禽养殖规定规模，从事畜禽养殖活动的单位或个人。

对“畜禽养殖区 livestock and poultry breeding area”定义为：距居民区一定距离，经过行政区划确定的多个畜禽养殖个体生产集中的区域。

6.2.2. 与畜禽养殖排放相关的术语和定义研究

（1）畜禽粪污

1) 已有标准或文件中的定义情况

《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》（GB/T 25171—2023）中对“畜禽粪污 livestock and poultry manure”定义为：畜禽养殖过程产生的粪便、尿液、污水、养殖垫料和少量散落饲料等的总称。

《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497—2009）中对“畜禽粪污 Fecal residue and waste water”定义为：指畜禽养殖场产生的废水和固体粪便的总称。广东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 44/613—2024）、安徽省《畜禽养殖业污染防治技术规范》（DB 34/T 4826—2024）也引用 HJ 497—2009 中的定义。

2) 综合分析

本标准与 GB/T 25171—2023 保持一致，对“畜禽粪污 livestock and poultry manure”定义为：畜禽养殖过程产生的粪便、尿液、污水、养殖垫料和少量散落饲料等的总称。

（2）畜禽养殖污水

1) 已有标准或文件中的定义情况

《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497—2009）中对“畜禽养殖废水 Waste water”定义为：指由畜禽养殖场产生的尿液、全部粪便或残余粪便及饲料残渣、冲洗水及工人生活、生产过程中产生的废水的总称，其中冲洗水占大部分。

安徽省《畜禽养殖业污染防治技术规范》（DB 34/T 4826—2024）中对“畜禽养殖污水 livestock and poultry breeding waste water”定义为：畜禽养殖过程中产生的粪便、尿、外漏饮水和冲洗水及少量散落饲料等组成，且含固率低于 10%的液态混合物。

2) 综合分析

本标准中对“畜禽养殖污水 livestock and poultry farming sewage”定义为：畜禽养殖过程中产生的与生产有直接或间接关系的外排污水，包括冲洗水、畜禽粪水、生产车间的生活污水等。

（3）畜禽养殖固体废物

1) 已有标准或文件中的定义情况

《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》（GB/T 25171—2023）中对“畜禽养殖废弃物 livestock and poultry waste”定义为：畜禽养殖过程中产生的粪便、尿液、污水、畜禽尸体、废弃垫料等的总称；对“畜禽固体粪污 solid manure of livestock and poultry”定义为：干物质（DM）含量 $\geq 15\%$ 的畜禽粪污。

《畜禽养殖污染物排放标准》（GB 18596—2001）中对“废渣”定义为：指养殖场外排的畜禽粪便、畜禽舍垫料、废饲料及散落的毛羽等固体废物。

浙江省《畜禽养殖污染物排放标准》（DB 33/593—2005）中对“废渣”定义为：指养殖场养殖生产经营活动中产生的畜禽粪便、畜禽舍垫料、废饲料及散落的毛羽等固体废物。

山东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 37/534—2005）中对“废渣”定义为：指养殖场外排的畜禽粪便、畜禽舍垫料、废饲料及散落的毛羽等固体废物。

上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB 31 /1098—2018）中对“固体粪 fecal residue”定义为：指畜禽养殖场饲养畜禽过程中产生的畜禽固体排泄物、畜禽舍垫料、废饲料及散落的毛羽等固体废物。

2) 综合分析

本标准中对“畜禽养殖固体废物 livestock and poultry waste”定义为：畜禽养殖过程中产生的粪便、畜禽舍垫料、废饲料、脱落毛羽和各类包装物等固体废物。

此外，根据《国家水污染物排放标准制订技术导则》（HJ 945.2—2018），规定了“直接排放”“间接排放”和“污水集中处理设施”的定义。“直接排放 direct discharge”定义为：畜禽养殖排污单位直接向环境水体排放污染物的行为。“间接排放 indirect discharge”定义为：畜禽养殖排污单位向污水集中处理设施排放污染物的行为。“污水集中处理设施 centralized wastewater treatment facilities”定义为：为两家及两家以上排污单位提供污水处理服务的污水处理设施，包括各种规模和类型的城镇污水集中处理设施、工业集聚区（经济技术开发区、高新技术产业开发区、出口加工区等各类工业园区）污水集中处理设施，以及其他由两家及两家以上排污单位共用的污水处理设施等。

6.3. 基本原则

（1）生态优先原则

以地方生态环境质量改善为目标，分析畜禽养殖业污染物排放特征，明确管控对象，提出合理控制要求，减少畜禽粪污对生态环境质量的影响。

（2）综合施策原则

抓住地方畜禽养殖污染治理的主要难点问题，推动污染预防、过程控制和污染物利用处置控制的全过程管控模式。统筹考虑区域土地承载力及生态环境风险，综合考虑畜禽养殖业污染物系统治理、协同整治、综合评估，减少对生态环境的影响，促进畜禽养殖业生态养殖方式的推广。

（3）分类分级原则

根据地方畜禽养殖方式、规模、布局等因素和生态环境质量改善需求，分区分类合理设置不同畜禽养殖污染控制方式与分级排放限值要求。对规模化畜禽养殖以自建处理设施为主，其他畜禽养殖可采取纳管、集中处理等方式进行分级分类进行粪污处理。

（4）适用可行原则

根据经济社会发展阶段，基于畜禽养殖产业发展和污染防治技术经济评估，因地制宜合理设置各类污染物排放浓度限值水平，逐步加强畜禽养殖业污染控制，提出适用可行的标准实施与监督管理方式。

6.4. 技术路线

地方畜禽养殖业污染控制标准的制修订，可参照《国家生态环境标准制修订工作规则》的要求开展各阶段工作。

地方畜禽养殖业污染控制标准制修订的主要技术工作内容包括地方畜禽养殖业调查、地方生态环境质量状况与污染排放源调查、畜禽养殖业分类分区分级污染控制要求研究、标准主要技术内容的确定、编写标准文本和编制说明等，标准制订技术路线见图 21。

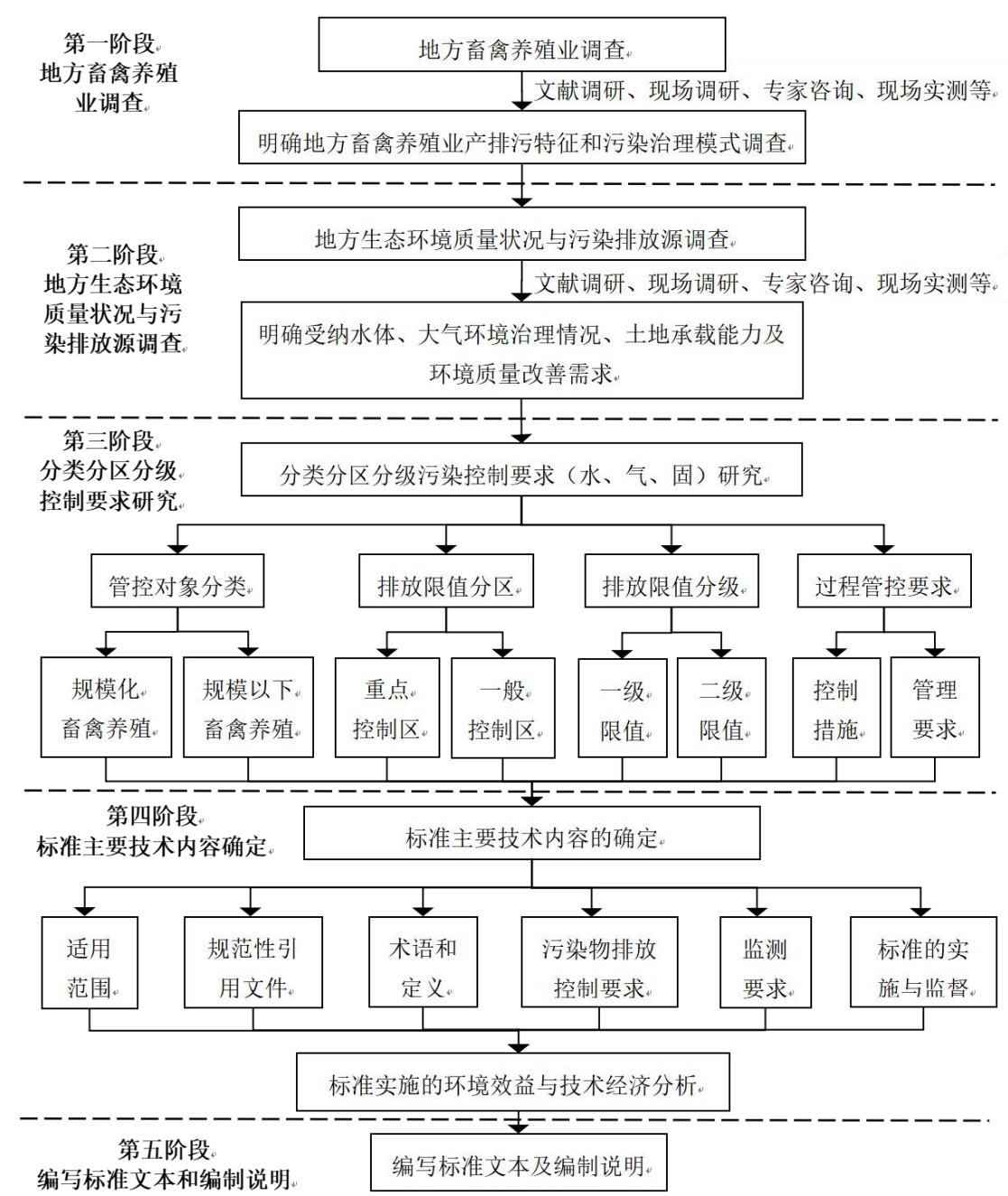


图 19 地方畜禽养殖业污染控制标准制订技术路线

6.5. 制订排放标准技术内容

6.5.1. 地方畜禽养殖业和环境质量调查

(1) 畜禽养殖业调研

地方畜禽养殖业产业发展特征和产排污特征及污染防治情况是制订地方畜禽养殖业污染物排放控制标准的重要基础之一。参照 HJ 945.1、HJ 945.2 及 HJ 945.3 中规定的方法，主要包括资料收集、现场调研和必要的现场实测。其中资料收集主要收集行业现状与发展规划，区域生产现状与发展规划，生态环境保护规划环境质量目标，以及针对该行业环境管理的相关内容；收集国内外针对该行业相关的生态环境保护法律法规和标准。现场调研主要了解区域畜禽养殖产品种类、生产模式、污染物治理与排放模式或去向，清洁生产技术等。如果对行业废水或废气中污染物情况或对处理设施处理效果不了解，可以采用现场实测的方法了解实际情况。

《畜禽养殖禁养区划定技术指南》（环办水体〔2016〕99 号）中规定了“禁养区”的定义为：指县级以上地方人民政府依法划定的禁止建设养殖场或禁止建设有污染物排放的养殖场的区域。应对本区域关于禁养区划定方案和生态环境分区管控等要求开展调查。

应调查地方畜禽养殖业的基本信息、产排污特征、环境管理现状、污染防治技术水平和污染物处理处置现状。

对于规模化以下的畜禽养殖户的调查，可结合地方实际情况，对规模化以下养殖的污染物排放量占当地畜禽养殖业污染物排放总量的比例进行测算，以评估是否需对其进行管控。

(2) 生态环境质量调查

地方环境质量状况及改善需求是制订地方畜禽养殖业污染物排放控制标准的另一重要基础。应对当地地表水、地下水、大气、土壤生态环境质量状况及变化趋势进行调查。

对于水环境，应调查重点畜禽养殖单位排水的受纳水体环境状况，根据受纳水体的环境功能、水环境质量达标情况、水生态状况及变化趋势，明确水生态环境质量改善需求和重点保护水域。同时，根据受纳水体环境质量特征及变化趋势，以及污染物毒性效应等，确定地方应优先控制的水污染物。

对于大气环境，应调查当地畜禽养殖企业周围空气质量状况及周围居民区分布情况，评估分析畜禽养殖恶臭气体对周围的影响。

对于土壤环境，应调查当地农田基本信息和分布情况，计算粪便安全还田施用量和土地承载力，地方可结合实际需求确定土地承载力计算范围。分析畜禽养殖还田利用对土壤污染的风险，评估还田利用过程对农业面源污染情况的影响。对于喀斯特等特殊地貌，提出需在承载力计算基础上针对性调整还田方式，避免养分流失和地下水污染。

6.5.2. 畜禽养殖业污染物排放标准的确定

(1) 畜禽养殖水污染物排放的确定

根据地方水环境质量改善要求，结合地方生态环境条件、养殖规模等对地方畜禽养殖业水污染物排放进行分类分区分级管控。

分类：对于不同规模的畜禽养殖业，可实施差异化管理，畜禽养殖场的规模划分应按照《畜禽养殖场规模标准》中有关规定执行。对规模化畜禽养殖和畜禽养殖区，可规定比 GB

18596 更严格或污染控制项目更完善的畜禽养殖水污染物排放标准；根据 3.1.1.1 可知，规模以下畜禽养殖户虽然在数量上占比较小，但其综合利用率低，污染物排放占比相对较高，故对其有必要进行污染物排放的评估与控制，规定对规模以下畜禽养殖户，若污染物排放量占当地畜禽养殖业污染物排放总量超过一定比例，可根据地方需求和技术经济评估，酌情制定污染物排放限值要求。

分区：根据环境功能目标和环境质量改善需求对受纳水体进行分区。一般来说，可将环境功能目标要求较高的受纳水体或水质不达标受纳水体作为重点保护水域，其他受纳水体为一般水域。

分级：排向不同水域的畜禽养殖污水，可要求分别执行不同级别的排放限值。排入重点保护水域的执行相对较严的一级排放限值，排入一般水域的执行二级排放限值。地方可根据需要，自行确定水域分区和排放限值分级。对于未明确环境功能的受纳水体，畜禽养殖污水可参照执行排入一般水域要求的二级排放限值，或者仅规定污染管控措施要求。

根据畜禽养殖污水排放污染控制项目的要求，应结合地方畜禽养殖业产排污特征，以及地方优先控制污染物，评估确定畜禽养殖污水排放污染控制项目。列入畜禽养殖污水排放污染控制的项目，应当具有配套的监测方法标准。

列入地方畜禽养殖业污染控制标准的畜禽养殖污水排放管控基本项目应至少包括：pH、五日生化需氧量、化学需氧量、悬浮物、氨氮、总磷、总氮、粪大肠菌群数、蛔虫卵。

由 3.2.2 可知，畜禽养殖过程中大量使用抗生素、重金属等，导致污水中存在相应的污染物。因此，除基本项目之外，臭味等感官指标、重金属、抗生素以及其他属于畜禽养殖排放污染项目，并且属于地方水环境质量改善需要控制的污染项目，可作为选择项目，地方可根据需要将其其中一项或多项纳入标准管控项目。

关于畜禽养殖污水排放浓度限值的确定，应区分直接排放和间接排放两种情形。

a) 直接排放浓度限值的确定

1) 对于悬浮物、化学需氧量等一般污染物，主要基于技术评估和受纳水体的环境功能目标，确定不同分级的排放浓度限值，可根据当地适用的先进技术确定一级排放浓度限值，可根据当地适用的可行技术（当地平均水平）确定二级排放浓度限值。

2) 对于重金属、抗生素等有毒有害污染物，主要基于受纳水体的环境质量标准或基准确定不同分级的排放限值，以 GB 3838 中相关规定为依据，可采用稀释倍数法计算排放限值（不宜超过 20 倍）。对 GB 3838 未作规定的污染控制项目，可参考国内外环境基准及风险评估结果进行规定。

b) 间接排放浓度限值的确定

1) 污染物间接排放限值应考虑污水管网运行安全和不影响后续污水处理集中处理设施的正常运行，避免发生干扰污水集中处理设施运行和污染物得不到有效处理即被排放的情况，防范环境风险。

2) 对于毒性强、具有持久性和易于生物富集的有毒有害污染物，间接排放浓度限值应与直接排放相同。

3) 对于其他污染物，应以协商为主确定间接排放浓度限值，如果排向专业处理畜禽污水的集中处理设施，可协商间接排放限值；如果排向城镇污水集中处理设施，应根据畜禽污

水特征、污染防治技术水平以及城镇污水集中处理设施处理工艺确定间接排放限值，原则上其间接排放限值不宽于 GB 8978 规定的间接排放限值，同时应特别关注总磷、总氮的浓度限值要求。

为促进污水循环利用，提高清洁生产水平，可规定单位产品基准排水量。单位产品基准排水量可通过实际调研法确定，根据不同养殖类型分别确定单位产品基准排水量要求。针对新建排污单位可规定较现有排污单位更严格的要求，如地方标准规定了单位产品基准排水量要求，则应规定产品和排水量的计量周期；当单位产品实际排水量高于单位产品基准排水量时，应给出将实际排放浓度换算为基准排水量排放浓度的计算公式，并规定应用基准排水量排放浓度进行超标判定。

针对新建、改建或扩建的畜禽养殖设施，可规定标准发布后半年内实施；针对现有畜禽养殖设施，可根据技术经济可行性，设置更长的合理过渡期。

（2）畜禽养殖气体排放的确定

恶臭气体作为基本项目应列入地方畜禽养殖业污染控制标准的大气污染物排放管控项目。氨气可作为选择项目列入地方畜禽养殖业污染控制标准的大气污染物排放管控项目。对于规模以上的畜禽养殖场，恶臭气体排放限值应根据地方通常恶臭气体处理处置技术的平均水平来制定，可规定与 GB 14554 一致或更严格。氨气排放限值应根据地方氨气处理处置技术的平均水平、地方大气污染防治需求以及人民群众投诉反馈情况等来制定。结合调查实际情况和地方生态环境条件，根据畜禽养殖的种类、规模等进行分级管控，可以进一步要求在养殖棚舍、粪便堆肥、污水贮存等区域的恶臭气体排放限值。对于规模以下畜禽养殖户，如恶臭气体排放量在当地畜禽养殖业排放总量占比超过一定比例时，可以结合地方可实际操作情况，提出恶臭排放限值要求及措施要求。

温室气体排放可作为选择项目列入地方畜禽养殖业污染控制标准的大气污染物排放管控项目。结合调查实际情况，可根据畜禽养殖的种类、规模等规定 CH₄、N₂O 等不同温室气体的项目。对于规模以上的畜禽养殖场，温室气体排放限值应根据地方温室气体处理处置技术的平均水平来制定，可以进一步要求稳定塘、养殖棚舍、粪便堆肥等区域的排放限值。对于规模以下的畜禽养殖户，如温室气体排放量在当地畜禽养殖业排放总量占比超过一定比例时，应结合养殖种类、不同区域提出温室气体排放管控措施要求。

（3）畜禽养殖废渣无害化环境标准确定

畜禽养殖粪污无害化的管理要求可规定与 GB 18596 一致的控制项目，如蛔虫卵、粪大肠菌群数等，还可以结合地方实际情况，规定如抗生素、生长激素、重金属离子等在地方生态环境管理过程中有必要进行约束的指标，其限值的确定可根据地方无害化处置技术的平均水平，以及无害化去向所带来的潜在环境风险影响，提出相应规定。畜禽粪污、沼渣、沼液进行还田利用时，应按照 GB/T 36195 进行无害化处理，并应符合国家和地方相关规定。对于畜禽养殖产生的饲料包装废物、垫草等的利用处置方式应按固体废物管理要求明确收集、贮存、利用或处置要求。对于规模以下畜禽养殖户，如粪污排放量超过当地畜禽粪污总排放量一定比例时，可结合地方生态环境管理需要，提出无害化的管理要求，满足还田利用要求。

6.5.3. 畜禽养殖污染物管控措施要求

地方可根据畜禽养殖规模、种类及地方畜禽养殖发展实际现状，严格执行雨污分离，通过优化饲料配方、提高饲养技术、管理水平、改善畜舍结构和通风供暖工艺、改进清粪工艺等措施减少养殖场环境污染。

畜禽养殖污水贮存设施应符合 GB/T 26624 的规定。

畜禽粪污的贮存设施应符合 GB/T 27622 的规定。

6.5.4. 标准监测与实施监督要求

（1）自行监测、自动监测要求。地方根据《环境监测管理办法》《污染源自动监控管理办法》等国家相关要求，并结合实际工作需要，可对执行畜禽养殖污水及废气排放浓度限值的排污单位，提出自行监测、自动监测要求，自行监测技术要求参照 HJ 1252，自行监测频次由地方根据畜禽养殖污水及废气排放特点、环境监管需求和技术经济可行性确定。

（2）畜禽养殖污水监测要求。排放监控位置一般设在养殖单位的总排放口。仅对于毒性强、具有持久性和易于生物富集的有毒有害污染物，其排放监控位置设在养殖车间或养殖单元预处理设施排放口。对执行畜禽养殖污水排放浓度限值的排污单位，地方应规定污染物监测采样点的设置与采样方法按照 HJ 91.1、HJ 493、HJ 494、HJ 495 执行。

（3）畜禽养殖废气监测要求。对执行畜禽养殖废气排放浓度限值的排污单位，地方应规定污染物监测采样点的设置与采样方法按照 HJ/T 397、HJ 905 执行。

（4）排放口标志牌要求。按照 GB 15562.1 和《关于印发排放口标志牌技术规范的通知》中有关规定，在污水排放口、废气排放口附近醒目处设置排放口标志牌，并长久保留。地方可参照 HJ 945.2 中有关规定确定监测方法标准。还应说明除标准所列的方法标准外，在标准实施后发布的其他污染物监测方法标准，如明确适用于本行业，也可采用该监测方法标准。

（5）应根据排放限值的具体含义，在标准中规定超标判定方法。

6.5.5. 其他要求

地方畜禽养殖业污染控制标准中关于标准的国内外对比分析、达标率分析、环境效益分析、技术经济分析等，可参照 HJ 945.2 执行。

标准文本结构与编制说明的编写，可参照 HJ 945.2 执行。

标准发布前，应当明确配套的污染防治、监测、执法等方面的指南、标准、规范及相关的制修订计划，以及标准宣传培训方案，确保标准有效实施。

7. 标准实施建议

（1）本标准发布实施后，相关省级政府，应按照国家有关要求，依据本标准积极开展地方畜禽养殖污染控制标准的编制工作。根据地方畜禽养殖业污染防治情况，因地制宜地确定畜禽养殖污染防治的主要模式，并制订发布地方畜禽养殖污染物排放控制标准。

（2）加强畜禽养殖污染防治监管体系建设，通过自行监测、台账记录、信息公开等要

求，以及必要的执法监测等手段，掌握畜禽养殖污染防治情况。

(3) 地方应加大畜禽养殖污染防治的投入力度，出台经济激励政策，推动行业污染防治水平提升。以典型带动全行业进步，评估推出畜禽养殖污染防治先进示范模式，并做行业推广。

8. 参考文献

- [1] FEILBERG A, LIU D, ADAMSEN A P, et al. Odorant emissions from intensive pig production measured by online proton-transfer-reaction mass spectrometry [J]. Environ Sci Technol, 2010, 44(15): 5894-900.
- [2] HOBBS P, WEBB J, MOTTRAM T, et al. Emissions of volatile organic compounds originating from UK livestock agriculture [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(11): 1414-20.
- [3] NGWABIE N M, SCHADE G W, CUSTER T G, et al. Abundances and Flux Estimates of Volatile Organic Compounds from a Dairy Cowshed in Germany [J]. Journal of Environmental Quality, 2008, 37(2): 565-73.
- [4] ALANIS P, SORENSON M A, BEENE M, et al. Measurement of non-enteric emission fluxes of volatile fatty acids from a California dairy by solid phase micro-extraction with gas chromatography/mass spectrometry [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42: 6417-24.
- [5] ZHUANG M, LU X, CARO D, et al. Emissions of non-CO₂ greenhouse gases from livestock in China during 2000-2015: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns [J]. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2019, 242: 40-5.
- [6] WANG Y-C, HAN M-F, JIA T-P, et al. Emissions, measurement, and control of odor in livestock farms: A review [J]. Science of The Total Environment, 2021, 776: 145735.
- [7] 邓隆华. 好氧堆肥恶臭气体排放特征及其生物法去除应用研究 [D], 2022.
- [8] HOU Y, VELTHOF G L, OENEMA O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment [J]. Global Change Biology, 2015, 21(3): 1293-312.
- [9] 王悦, 赵同科, 邹国元, et al. 畜禽养殖舍氨气排放特性及减排技术研究进展 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(12): 4249-59.
- [10] 梅林德, 陈军辉, 熊文朋, 等. 基于实测法的畜禽养殖氨排放特征研究; proceedings of the 中国环境科学学会 2021 年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场, 中国天津, F, 2021 [C].
- [11] 王悦, 杨金凤, 薛文涛, 等. 规模化笼养蛋鸡舍冬季氨气和颗粒物排放特征研究 [J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 170-8.
- [12] 周忠凯, 杨殿林, 张海芳, 等. 冬季侧窗通风猪舍氨气和温室气体排放特征 [J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(06): 1359-67.
- [13] 赵婉莹, 许立新, 王朝元, 等. 不同地面形式自然通风奶牛舍冬季温室气体和氨气排放量 [J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(01): 142-51.
- [14] 赵彦超, 王瑞宁, 李祥龙, 等. 不同季节不同类型羊舍空气质量分析 [J]. 家畜生态学报, 2020, 41(03): 57-61.
- [15] 周忠凯, 朱志平, 董红敏, 等. 笼养肉鸡生长过程 NH₃、N₂O、CH₄ 和 CO₂ 的排放 [J]. 环境科学, 2013, 34(06): 2098-106.
- [16] 朱伟, 冯培功, 马君军, 等. 环境温度对肉羊有害气体排放、环境微生物和血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(11): 4460-9.
- [17] 朱志平, 康国虎, 董红敏, 等. 垫料型猪舍春夏育肥季节的氨气和温室气体状况测试 [J]. 中国农业气象, 2011, 32(03): 356-61.
- [18] 焦伟娜. 新疆南北疆地区两集约化羊场羊舍四季环境变化及羔羊健康比较研究 [D], 2019.

- [19]LI H, XIN H. Lab-Scale Assessment of Gaseous Emissions from Laying-Hen Manure Storage as Affected by Physical and Environmental Factors [J]. Transactions of the ASABE, 2010, 53(2): 593-604.
- [20]VELASCO-VELASCO J, PARKINSON R, KURI V. Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(23): 10959-64.
- [21]CHEN B, KOZIEL J A, BANIK C, et al. Emissions from Swine Manure Treated with Current Products for Mitigation of Odors and Reduction of NH_3 , H_2S , VOC, and GHG Emissions [J]. Data, 2020, 5: 54.
- [22]周海滨, 丁京涛, 孟海波, 等. 中国畜禽粪污资源化利用技术应用调研与发展分析 [J]. 农业工程学报, 2022, 38(09): 237-46.
- [23]C. VANDERZAAG A, J. GORDON R, C. JAMIESON R, et al. Permeable Synthetic Covers for Controlling Emissions from Liquid Dairy Manure [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2010, 26(2): 287-97.
- [24]MCGINN S M, COATES T, FLESCHE T K, et al. Ammonia emission from dairy cow manure stored in a lagoon over summer [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2008, 88(4): 611-5.
- [25]AROGO J, WESTERMAN P W, HEBER A J. A REVIEW OF AMMONIA EMISSIONS FROM CONFINED SWINE FEEDING OPERATIONS [J]. Transactions of the ASABE, 2003, 46: 805-17.
- [26]李思, 张晓航, 王选, 等. 养殖场外排氨气及温室气体末端处理技术研究 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(11): 1821-38.
- [27]MARTINS T H, SOUZA T S O, FORESTI E. Ammonium removal from landfill leachate by Clinoptilolite adsorption followed by bioregeneration [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2017, 5(1): 63-8.
- [28]JAMALUDIN Z, ROLLINGS-SCATTERGOOD S, LUTES K, et al. Evaluation of sustainable scrubbing agents for ammonia recovery from anaerobic digestate [J]. Bioresource Technology, 2018, 270: 596-602.
- [29]ALINEZHAD E, HAGHIGHI M, RAHMANI F, et al. Technical and economic investigation of chemical scrubber and bio-filtration in removal of H_2S and NH_3 from wastewater treatment plant [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 241: 32-43.
- [30]余鑫. 腐熟堆肥基料生物滤池对猪粪沼渣堆肥过程氨气减排效果研究 [D], 2020.
- [31]DOBSLAW D, SCHULZ A, HELBICH S, et al. VOC removal and odor abatement by a low-cost plasma enhanced biotrickling filter process [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2017, 5(6): 5501-11.
- [32]谢珊珊. 低湿度生物滤池去除 NH_3 及 H_2S 的实验研究 [D], 2019.
- [33]MOUSSAVI G, KHAVANIN A, SHARIFI A. Ammonia removal from a waste air stream using a biotrickling filter packed with polyurethane foam through the SND process [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(3): 2517-22.
- [34]HERNÁNDEZ J, LAFUENTE J, PRADO O J, et al. Startup and long-term performance of biotrickling filters packed with polyurethane foam and poplar wood chips treating a mixture of ethylmercaptan, H_2S , and NH_3 [J]. J Air Waste Manag Assoc, 2013, 63(4): 462-71.
- [35]CAI X, HU Y H. Advances in catalytic conversion of methane and carbon dioxide to highly valuable products [J]. Energy Science & Engineering, 2019, 7(1): 4-29.
- [36]PERIANA R A, TAUBE D J, EVITT E R, et al. A Mercury-Catalyzed, High-Yield System for the Oxidation of Methane to Methanol [J]. Science, 1993, 259(5093): 340-3.
- [37]HEO J, LEE B, LIM H. Techno-economic analysis for CO_2 reforming of a medium-grade landfill gas in a membrane reactor for H_2 production [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 172: 2585-93.
- [38]MARÍN P, YANG Z, XIA Y, et al. Concentration of unconventional methane resources using microporous membranes: Process assessment and scale-up [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2020, 81: 103420.
- [39]XIAO-DONG L. Simulation and Analysis of Low-temperature Liquefaction and Distillation Process of Low-concentration CBM [J]. Coal Technology, 2010:

- [40]LOKHANDWALA K A, PINNAU I, HE Z, et al. Membrane separation of nitrogen from natural gas: A case study from membrane synthesis to commercial deployment [J]. *Journal of Membrane Science*, 2010, 346(2): 270-9.
- [41]KEIPI T, HANKALIN V, NUMMELIN J, et al. Techno-economic analysis of four concepts for thermal decomposition of methane: Reduction of CO₂ emissions in natural gas combustion [J]. *Energy Conversion and Management*, 2016, 110: 1-12.
- [42]曹雨来. 氧化亚氮催化分解催化剂的制备及中试实验研究 [D], 2017.
- [43]黄思齐, 王新承, 于泳, 等. 负载型铜铁催化剂直接催化分解 N₂O 的研究 [J]. *现代化工*, 2019, 39(08): 124-8+33.
- [44]RAMEZANI M, ZAMIR S M. Treatment of nitrous oxide in a trickling bioreactor in the presence of glucose or phenol as the carbon source: Performance, kinetic study, and characterization of microbial community shift [J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, 10(6): 108763.
- [45]李晨艳, 乔玮, 严新荣, 等. 养殖场粪污还田模式下氨减排技术比选 [J]. *四川环境*, 2017, 36(04): 55-61.
- [46]刘建伟, 栾昕荣. 规模化养殖场氨排放控制技术研究进展 [J]. *中国畜牧杂志*, 2016, 52(10): 49-55.
- [47]张增杰, 张双, 韩玉花, 等. 农业源氨排放控制对策初步研究 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(01): 439-42.
- [48]WANG Y, DONG H, ZHU Z, et al. Mitigating Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Swine Manure Management: A System Analysis [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(8): 4503-11.
- [49]WANG Y, LI X, YANG J, et al. Mitigating Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Beef Cattle Feedlot Production: A System Meta-Analysis [J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(19): 11232-42.
- [50]WANG Y, XUE W, ZHU Z, et al. Mitigating ammonia emissions from typical broiler and layer manure management – A system analysis [J]. *Waste Management*, 2019, 93: 23-33.
- [51]徐晓燕, 贾恩泽. 微生物治理畜禽粪便臭味的作用机理 [J]. *养殖与饲料*, 2019, (04): 45-6.
- [52]刘学军, 沙志鹏, 宋宇, 等. 我国大气氨的排放特征、减排技术与政策建议 [J]. *环境科学研究*, 2021, 34(01): 149-57.
- [53]王文林, 杜薇, 韩宇捷, 等. 我国畜禽养殖氨排放特征及减排体系构建研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2021, 40(11): 2305-16.
- [54]CASTRO-MONTOYA J, PEIREN N, CONE J W, et al. In vivo and in vitro effects of a blend of essential oils on rumen methane mitigation [J]. *Livestock Science*, 2015, 180: 134-42.
- [55]SAN VITO E, LAGE J F, MESSANA J D, et al. Performance and methane emissions of grazing Nellore bulls supplemented with crude glycerin [J]. *J Anim Sci*, 2016, 94(11): 4728-37.
- [56]NETO A J, MESSANA J D, RIBEIRO A F, et al. Effect of starch-based supplementation level combined with oil on intake, performance, and methane emissions of growing Nellore bulls on pasture [J]. *Journal of animal science*, 2015, 93 5: 2275-84.
- [57]CHUNTRAKORT P, OTSUKA M, HAYASHI K, et al. The effect of dietary coconut kernels, whole cottonseeds and sunflower seeds on the intake, digestibility and enteric methane emissions of Zebu beef cattle fed rice straw based diets [J]. *Livestock Science*, 2014, 161: 80-9.
- [58]STACKHOUSE-LAWSON K R, CALVO M S, PLACE S E, et al. Growth promoting technologies reduce greenhouse gas, alcohol, and ammonia emissions from feedlot cattle [J]. *J Anim Sci*, 2013, 91(11): 5438-47.
- [59]WANG W, LI X, HUANG P, et al. In situ Blending For Co-Deposition of Electron Transport and Perovskite Layers Enables Over 24% Efficiency Stable Conventional Solar Cells [J]. *Advanced Materials*, 2024, 36(36): 2407349.

- [60] XIU Z. Copper Silicate Nanoparticles: Effects of Intestinal Microflora, Nitrogen Metabolism and Ammonia Emission from Excreta of Yellow-Feathered Broilers [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013:
- [61] 李铁, 齐梦迪, 张克英, 等. 育雏育成期饲料添加益生菌对蛋鸡生长性能、血清指标、肠道健康及后续生产性能的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2024, 55(03): 1062-76.
- [62] LEE C, ARAUJO R C, KOENIG K M, et al. Effects of encapsulated nitrate on enteric methane production and nitrogen and energy utilization in beef heifers [J]. J Anim Sci, 2015, 93(5): 2391-404.
- [63] LEE C, ARAUJO R C, KOENIG K M, et al. Effects of Feeding Encapsulated Nitrate to Beef Cattle on Ammonia and Greenhouse Gas Emissions from Their Manure in a Short-Term Manure Storage System [J]. Journal of Environmental Quality, 2016, 45(6): 1979-87.
- [64] RAMÍREZ-RESTREPO C A, TAN C, O NEILL C J, et al. Methane production, fermentation characteristics, and microbial profiles in the rumen of tropical cattle fed tea seed saponin supplementation [J]. Animal Feed Science and Technology, 2016, 216: 58-67.
- [65] TOMKINS N W, COLEGATE S M, HUNTER R A. A bromochloromethane formulation reduces enteric methanogenesis in cattle fed grain-based diets [J]. Animal Production Science, 2009, 49: 1053-8.
- [66] WALTER L J, COLE N A, JENNINGS J S, et al. The effect of zilpaterol hydrochloride supplementation on energy metabolism and nitrogen and carbon retention of steers fed at maintenance and fasting intake levels [J]. J Anim Sci, 2016, 94(10): 4401-14.
- [67] STACKHOUSE-LAWSON K R, CALVO M S, PLACE S E, et al. Growth promoting technologies reduce greenhouse gas, alcohol, and ammonia emissions from feedlot cattle [J]. Journal of animal science, 2013, 91 11: 5438-47.
- [68] BUTTREY E K, JENKINS K H, LEWIS J B, et al. Effects of 35% corn wet distillers grains plus solubles in steam-flaked and dry-rolled corn-based finishing diets on animal performance, carcass characteristics, beef fatty acid composition, and sensory attributes [J]. J Anim Sci, 2013, 91(4): 1850-65.
- [69] CHEN D, SUN J, BAI M, et al. A new cost-effective method to mitigate ammonia loss from intensive cattle feedlots: application of lignite [J]. Scientific Reports, 2015, 5(1): 16689.
- [70] 朱海生, 左福元, 董红敏, 等. 覆盖材料和厚度对堆存牛粪氨气和温室气体排放的影响 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 223-9.
- [71] BASTAMI M S, JONES D L, CHADWICK D R. Reduction of Methane Emission during Slurry Storage by the Addition of Effective Microorganisms and Excessive Carbon Source from Brewing Sugar [J]. J Environ Qual, 2016, 45(6): 2016-22.
- [72] LIM S-S, PARK H-J, HAO X, et al. Nitrogen, carbon, and dry matter losses during composting of livestock manure with two bulking agents as affected by co-amendments of phosphogypsum and zeolite [J]. Ecological Engineering, 2017, 102: 280-90.
- [73] XUE N, WANG Q, WU C, et al. Enhanced removal of NH_3 during composting by a biotrickling filter inoculated with nitrifying bacteria [J]. Biochemical Engineering Journal, 2010, 51(1): 86-93.
- [74] HAO X. Nitrous Oxide and Carbon Dioxide Emissions During the Nongrowing Season from Manured Soils under Rainfed and Irrigated Conditions [J]. Geomicrobiology Journal, 2015, 32: 648-54.
- [75] CAHALAN E, ERNFORS M, MÜLLER C, et al. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide and methane emissions after cattle slurry application to Irish grassland [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 199: 339-49.
- [76] MAZZETTO A M, BARNEZE A S, FEIGL B J, et al. Use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) does not mitigate N_2O emission from bovine urine patches under Oxisol in Northwest Brazil [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2015, 101(1): 83-92.
- [77] DOREAU M, VAN DER WERF H M, MICOL D, et al. Enteric methane production and greenhouse gases

- balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system [J]. *J Anim Sci*, 2011, 89(8): 2518-28.
- [78] SHAH G M, SHAH G A, GROOT J C J, et al. Irrigation and lava meal use reduce ammonia emission and improve N utilization when solid cattle manure is applied to grassland [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 160: 59-65.
- [79] 闫志英, 许力山, 李志东, 等. 畜禽粪便恶臭控制研究及应用进展 [J]. *应用与环境生物学报*, 2014, 20(02): 322-7.
- [80] 汪涵, 周玉莹. 恶臭气体治理技术及其进展 [J]. *炼油与化工*, 2010, 21(06): 11-5+61.
- [81] QUINA M J, BORDADO J C, QUINTA-FERREIRA R M. Treatment and use of air pollution control residues from MSW incineration: An overview [J]. *Waste Management*, 2008, 28(11): 2097-121.
- [82] 谢国建, 吴昊, 朱英俊, 等. 生物过滤法处理恶臭和挥发性有机物的影响因素 [J]. *山东化工*, 2015, 44(17): 169-71.
- [83] 李辉. 关于生物处理技术控制 VOCs 的研究进展 [J]. *环境与可持续发展*, 2016, 41(06): 94-5.
- [84] 张家林. 畜用除臭剂的研究与应用 [J]. *中国畜牧杂志*, 1992, (04): 59-61.
- [85] 李训良. 沸石作为动物饲料添加剂的应用 [J]. *养殖与饲料*, 2017, (05): 46-7.
- [86] 石宝明 单. 饲用酸化剂的作用与应用 [J]. *饲料工业*, 1999, (01): 6-8.
- [87] 王洁, 柏文清. 饲用酸化剂作用机制及应用 [J]. *畜禽业*, 2017, 28(12): 16-8.
- [88] 林清, 张琪, 马翔. 微生态饲料添加剂在养殖业中的应用现状 [J]. *中国牛业科学*, 2018, 44(01): 52-3+9.
- [89] 程皇座, 赵旦华, 马渭青, 等. 益生菌制剂在育肥猪养殖中的应用研究进展 [J]. *中国饲料*, 2018, (21): 36-40.
- [90] 任建波, 胡忠宏, 张立彬, 等. 不同复合酶对断奶仔猪生产性能和饲料养分利用率影响的研究 [J]. *中国畜牧杂志*, 2012, 48(14): 67-70.
- [91] CHOI I H, LEE H J, KIM D H, et al. Evaluation of Probiotics on Animal Husbandry and Environmental Management as Manure Additives to Reduce Pathogen and Gas Emissions in Pig Slurry [J]. *Journal of Environmental Sciences-china*, 2015, 24: 25-30.
- [92] 《规模化畜禽养殖场氨气减排量核算技术指南（征求意见稿）》（环办标征函〔2025〕53号）