

附件 3

《规模化畜禽养殖场氨气减排量核算 技术指南（征求意见稿）》编制说明

《规模化畜禽养殖场氨气减排量核算技术指南》标准编制组

二〇二五年六月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源	1
1.2 工作过程	2
2 标准制订的必要性	6
2.1 是改善区域空气质量的需要	6
2.2 是引导地方开展畜禽养殖氨气减排工作的需要	6
3 国内外相关标准和方法	8
3.1 国内外畜禽养殖氨气排放核算技术体系情况	8
3.2 国内外畜禽养殖氨气减排技术情况	13
4 标准的编制原则和技术路线	23
4.1 基本原则	23
4.2 编制思路与技术路线	23
5 标准主要技术内容报告	28
5.1 适用范围	28
5.2 规范性引用文件	28
5.3 术语和定义	29
5.4 核算边界	31
5.5 数据收集	31
5.6 核算步骤	33
5.7 对本标准的说明	52
6 标准实施的建议	58
7 参考文献	59

1 项目背景

1.1 任务来源

氨气（ NH_3 ）作为大气中唯一广泛存在的碱性气体，可与二氧化硫（ SO_2 ）、氮氧化物（ NO_x ）的氧化产物反应生成硫酸铵、硝酸铵等二次无机颗粒物，是 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要组分。2021年，大气氨排放控制相关措施逐步纳入“十四五”环保、农业等相关规划文件。其中，《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》中明确“到2025年，京津冀及周边地区大型规模化养殖场氨排放总量比2020年下降5%”，《“十四五”全国农业绿色发展规划》《“十四五”生态环境保护规划》，以及国务院于2023年11月30日印发的《空气质量持续改善行动计划》中，都对大气氨防控措施进行了进一步细化部署。

为深入贯彻落实《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》要求，按照“在京津冀及周边地区开展氨排放控制试点，到2025年，京津冀及周边地区大型规模化养殖场氨排放总量比2020年下降5%”的目标，2022年，生态环境部会同农业农村部起草《京津冀及周边地区大气氨排放控制试点工作方案》。2023年，两部委进一步研究形成了《关于在京津冀及周边地区开展畜禽养殖业氨排放控制试点工作的指导意见》，其中在“研究构建畜禽养殖氨减排标准体系”方面，提出了“组织制订畜禽养殖氨排放监测、核算评估、减排等技术规范”“跟踪做好氨减排成效分析”等工作，以准确核算规模化畜禽养殖场氨气减排量并评估其治理工程的减排效果。

根据文件中关于开展畜禽养殖氨气减排核算标准制定的工作要求，2022年，生态环境部大气环境司（以下简称“大气司”）组织生态环境部南京环境科学研究所（以下简称“南京所”）牵头编制《规模化畜禽养殖场氨减排量核算技术指南》（以下简称“技术指南”）。接到任务后，项目承担单位立即成立标准编制组，开展标准编制工作，形成标准草案和开题论证报告。2023年，大气司给部领导工作签报中提出《规模化畜禽养殖场氨减排量核算技术指南》已具备一定工作基础，提请法规司立项，并会签法规司，后获部领导批示同意，项目统一编号：2024-67。

1.2 工作过程

1.2.1 前期研究

2021 年 8—12 月，标准编制组根据《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）、《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565—2010）等相关规定，全面搜集和整理大量国内外相关法律、法规、标准和文献资料，总结承担的第二次全国污染源普查（以下简称“二污普”）中畜禽养殖氨气排放普查及部门事业费项目等相关工作成果，开展各典型畜禽养殖模式氨气排放特征分析。

在畜禽养殖氨气排放核算方法方面，通过总结国内外大量研究文献，梳理畜禽养殖氨气排放核算方法的发展历程，总结欧盟、美国和中国等代表性国家和地区的畜禽养殖氨气排放核算方法，结合养殖场实测数据，对比分析核算方法的适用性。

在氨气减排技术方面，聚焦有关畜禽养殖业氨气减排技术研究的公开发表文献，梳理出畜禽养殖粪污管理全链条各自潜在氨气减排技术，并围绕技术的减排效果、适用性和经济可行性进行整合分析。在与现行政策、规范的协调性分析方面，标准编制组在全国人大、国务院、农业农村部、生态环境部等与畜禽生产和污染治理相关政府部门网站，收集筛选各类畜禽养殖生产及污染防治相关政策与规范文本，开展政策、规范协调性分析，为本标准建立提供资料支撑。

1.2.2 现场调研

2021 年以来，标准编制组先后 4 次赴北京、河北、河南等地开展畜禽养殖场、粪污集中处理中心进行现场调研，与地方生态环境、农业农村部门、畜牧行业协会及骨干企业代表进行交流，深入了解畜禽养殖场养殖现状、氨气排放控制措施建设运行情况，以及氨气减排核算工作中存在的问题。召开相关视频研讨会、现场研讨会 10 余次，充分听取相关专家以及地方各级生态环境、农业农村部门对畜禽养殖业氨气减排核算方法的意见和建议，探究重点和难点问题。

在京津冀及周边地区的河南省濮阳市、南阳市和长三角地区的江苏南通市选取典型养殖种类（生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡、肉鸡）的规模化养殖场进行实地监测，获取典型养殖模式各排放节点的氨气排放通量。

1.2.3 编制标准草案

2022年3—4月，启动标准草案编制工作。梳理《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）、《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565—2010）等相关规定，明确标准编制规范。初步制定标准草案章节结构并完成初稿编写，初稿包含适用范围、规范性引用文件、术语和定义、核算范围、核算原理、信息收集、核算方法等7个核心章节。

2023年5—11月，开展专家意见咨询及初稿完善工作。召开视频研讨会、现场研讨会十余次，充分听取专家，以及地方各级生态环境、农业农村部门对畜禽养殖氨气排放控制及减排量核算工作的意见和建议，完善标准草案初稿，完成《规模化畜禽养殖场氨减排量核算技术指南（草案）》和开题报告编制。

1.2.4 召开开题论证会

2023年12月，组织召开开题论证会。《规模化畜禽养殖场氨减排量核算技术指南（草案）》和开题报告编制完成后，由生态环境部环境标准研究所组织召开开题论证会。邀请生态环境、农业农村、高校等多部门畜禽氨气排放领域专家及畜禽养殖骨干企业代表参会。与会专家在听取汇报、质询讨论后一致认为标准草案科学合理、技术路线切实可行，同意通过《规模化畜禽养殖场氨减排量核算技术指南（草案）》开题，并对标准编制组提出如下建议：（1）进一步加强调研，优化核算系数，研究补充标准系数校验和质控相关内容；（2）进一步细化减排技术及减排率，选择代表性养殖场加强实测验证。

1.2.5 开题后标准草案优化工作

2024年1月—2025年4月，按照开题论证会的专家意见开展标准草案优化工作。在文本修改完善方面，（1）增加了规范性引用文件，增强标准草案科学性；（2）规范了术语和定义的表达，增强表述标准化；（3）完善和检查了核算方法公式。同时，考虑了与IPCC国家温室气体清单指南公式的表达一致性，为后续开展氨碳协同减排、减污降碳工作做好衔接。

根据专家“进一步加强调研，优化核算系数，研究补充标准系数校验和质控相关内容”的意见，进行了氨气排放系数优化并开展数据校验和质控工作：

（1）参考《IPCC 2006年国家温室气体清单指南 2019修订版》（2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories，

简称 IPCC 指南)和欧洲环境署 (EEA)《EMEP/EEA 空气污染物排放清单指南手册》(EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, 简称 EEA 指南),对关键核算参数氨气排放系数 (emission factor, EF , $\text{kg NH}_3/\text{头 (羽)}/\text{年}$)进行优化;(2)搜集统计了国内外相关公开发表文献和二污普中有关我国规模化畜禽养殖场氨气排放系数的数据记录及当时当地气温用于氨气排放系数的本地化校正,并对校正系数结果进行差异检验。其中通过 Web of Science 和中国知网搜集研究论文 105 篇,获得数据记录 337 条,通过二污普实测获得数据记录 1047 条,总计 1384 条。圈舍环节 227 条数据来源于文献、548 条来源于二污普,共计 775 条。

根据专家“进一步细化减排技术及减排率,选择代表性养殖场加强实测验证”的意见,开展了氨气减排率参数优化并补充现场监测工作:(1)进一步细化减排技术,确保减排技术与现行各类政策、规范的协调性;(2)赴已完成氨气减排措施建设的代表性规模化畜禽养殖场进行减排率监测;(3)开展文献资料调研,搜集国内外现有所有公开发表的研究论文,获得数据记录 42 条,与实测报告结合整理后,给出减排率推荐范围。

1.2.6 召开征求意见稿技术审查会

2025 年 6 月,组织征求意见稿技术审查会。《规模化畜禽养殖场氨减排量核算技术指南(征求意见稿)》修改完成后,由生态环境部环境标准研究所组织召开征求意见稿技术审查会。邀请生态环境、高校等多部门畜禽氨气排放领域专家及畜禽养殖骨干企业代表参会。审查专家听取了标准编制单位关于标准征求意见稿的汇报,经质询、讨论后,认为本标准的征求意见稿材料齐全、思路清晰、内容完整,符合标准征求意见稿技术审查相关要求。专家组一致同意通过该标准的征求意见稿论证,并提出如下建议:(1)进一步修改完善术语和定义等相关表述,补充依据来源。(2)进一步明确核算边界与条件等相关内容。

1.2.7 技术审查会后标准征求意见稿优化工作

2025 年 6 月,按照征求意见稿技术审查会上的专家组建议开展标准征求意见稿优化工作。对于专家组建议(1),标准编制组进一步完善了本标准的术语和定义等相关标注,并补充了依据来源。例如,修改完善了 3.1“规模化畜禽养殖场”、3.2“畜禽粪污”、3.7“氨气减排技术”、3.8“氨气排放系数”等术

语和定义；增加了 3.11 “基准年”、3.12 “核算年”的术语和定义；增加了相关依据来源。对于专家组建议（2），通过修改 4 “核算边界”、6 “核算步骤”，并补充了对于氮排泄量推荐值（附表 B.2）和氨气减排技术减排率（附表 C.1）的说明，进一步明确了核算边界与条件等相关内容。

2 标准制订的必要性

2.1 是改善区域空气质量的需要

氨气 (NH_3) 是细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 形成的关键前体物之一, 主要来源于农业活动, 已成为重点区域空气质量进一步改善的制约因子^[1]。国内外研究已揭示氨气排放和大气污染的关系, 在 $\text{PM}_{2.5}$ 形成过程中, 氨气扮演着重要角色, 对雾霾的形成起关键性作用^[2]。氨气作为大气中唯一广泛存在的碱性气体, 能与 SO_2 和 NO_x 的氧化产物发生反应, 生成硫酸铵和硝酸铵等二次无机盐颗粒物, 成为 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要组成成分。另一方面, 在重污染期间, 充足的氨气会维持颗粒物的酸碱性, 进而加快在颗粒物表面加快非均相反应, 导致二次无机盐快速增加^[3, 4]。人为源是氨气的主要来源, 主要包括农业源排放、生物质燃烧排放以及其他源排放^[5]。根据欧盟全球大气研究排放数据库 (EDGAR) 报告, 截至 2022 年, 全球氨气年排放量达 5700 万吨, 其中农业源氨气年排放量约为 5040 万吨, 占比接近 90%。农业源氨气排放主要来源于种植业和畜禽养殖业^[6], 在我国, 畜禽养殖氨气排放约占农业源氨气排放总量的 65% (2020 年), 呈现出以畜禽养殖业为主导的农业氨气排放结构特征^[7, 8]。我国畜禽养殖场规模化率逐年提高, 2023 年规模化率达 73%, 规模化养殖场已成为我国氨气排放的重要来源。

近年来, 我国雾霾天气频发, 引起社会各界的广泛关注, 氨气在其中扮演着重要角色^[9]。据统计, 我国 2015 年人为源氨气排放量约为 990 万吨, 其中畜禽养殖业是我国氨气排放最大的贡献源 (约 51%), 而京津冀及周边地区是我国氨气排放强度较大的区域^[10]。研究表明, 在冬季重污染天气下 (2013 年—2015 年 1 月份), 我国北方 $\text{PM}_{2.5}$ 中有 13.2% 来自铵盐。其中 11.8% 来自农业源, 0.8% 来自工业源, 0.3% 来自交通源, 0.3% 来自生活源, 即铵盐大部分来自农业源的氨气排放 (约 89%)。

2.2 是引导地方开展畜禽养殖氨气减排工作的需要

经过多年治理, 我国重点区域 SO_2 排放已得到有效控制, 而 NO_x 因机动车快速增长对空气质量影响比重逐步增大, 现阶段对硫酸盐、硝酸盐等细粒子具有显著促生作用的农业氨气排放, 已成为空气质量进一步改善的制约因子。

“十三五”以来, 我国已逐渐将氨气防控提上环境管理日程, 《“十三五”生态环境保护规划》(2016 年) 在国家政策层面提出了“氨防控”的要求, 《关

于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》（2018 年）明确了在重点地区开展氨气排放控制试点的要求，《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（2018 年）提出了基于农业资源利用效率改善的氨气减排行动计划，其中畜禽密度高的集约化养殖业成为氨气重点减排试点方向。2021 年，《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》以及《“十四五”全国农业绿色发展规划》中提出“到 2025 年，京津冀及周边地区大型规模化养殖场氨排放总量比 2020 年下降 5%”，同时，生态环境部在《“十四五”生态环境保护规划》和《空气质量持续改善行动计划》中进一步细化了大气氨排放控制的措施任务，逐步引导地方开展畜禽养殖氨气减排工作。

在氨气排放量与氨气减排核算方面，目前我国已出台《畜禽养殖污染防治管理办法》和《畜禽养殖业污染物排放标准》规定了臭气的排放标准，但只针对场界范围，缺乏针对养殖场尺度及氨气排放关键环节的氨气排放量核算规范，导致目前地方对于氨气减排基数、减排目标的达成缺乏指南导引，严重制约了氨气排放控制工作。为做好标准完善和修订工作，亟须制定规模化畜禽养殖场氨气减排量核算技术指南，为准确核算我国畜禽氨气排放和环境质量管理提供依据。

3 国内外相关标准和方法

3.1 国内外畜禽养殖氨气排放核算技术体系情况

3.1.1 畜禽养殖氨气排放核算技术体系

(1) 实地监测法

实地监测法是开展畜禽养殖场氨气排放量核算的基础方法。该方法通常采用实地测量获取氨气排放系数，再乘以对应畜禽的养殖数量获得区域该种畜禽养殖的氨气排放量。实地监测法准确性较高，但由于所用的方法不统一，不同实测法的结果可比性较差。此外，在实际测量中，畜禽生长阶段的不同也会产生很大的结果差异。我国的第二次全国污染源普查（以下简称二污普）中对畜禽养殖业氨气排放核算是在实地监测的基础上展开的。首先，通过选取典型养殖场，监测不同温湿度条件下畜禽的各个生长阶段的圈舍和粪污储存阶段的氨气排放浓度，以此获取主要畜种典型养殖模式圈舍和粪污储存阶段的氨气排放速率。然后，基于氨气排放与重要气候因素（温度与湿度）响应关系构建模型，核算研究区域不同养殖模式全年氨气排放量，从而获取氨气排放系数，最终核算出区域畜禽养殖的氨气排放量。

(2) 整体系数法

编制畜禽养殖氨气排放清单是国内外畜禽养殖氨气排放量核算的最常用方法。大气氨排放清单作为空气质量模型的重要输入参数，可以协助分析大气污染物的时空分布特征，弥补监测在时空分辨率上的不足。畜禽养殖的第一个氨气排放清单计算方法（整体系数法，图 3.1-1）由 Buijsman 于 1987 年提出^[1]，其主要基于畜禽氨气排放源的排放因子（单位畜禽氨气排放系数）和养殖活动水平（畜禽养殖数量）这两个因素。以单头（羽）畜禽的氨气排放系数乘以对应畜禽的养殖数量（活动水平）获得区域该种畜禽养殖氨气排放量。基于氮物质流的思想，该方法认为氨气大多由畜禽粪尿中总铵态氮（total ammoniacal nitrogen, TAN）所释放而来，通过核算畜禽粪尿中 TAN 的分解量，结合氨气挥发率核算氨气排放量，并将氨气排放量分摊至单位牲畜量，得到每头动物的氨气排放系数，区域畜禽养殖数量则主要通过统计数据获取。该方法数据结构简单，运用方便，但忽略了如圈舍、粪污处理、粪肥还田等不同氨气排放节点因动物粪便理化性质改变而导致的 TAN 含量变化和氨气挥发率变化，从而导致

氨气排放系数精度不高，最终影响区域氨气排放量核算结果。

（3）阶段系数法

为解决不同氨气排放节点因动物粪污理化性质改变而导致 TAN 含量变化及氨气挥发率变化的问题，阶段系数法（图 3.1-1）应运而生，该方法考虑了放牧、圈养、粪污管理和粪肥播撒 4 个阶段的氨气排放因子差异，根据不同氨气排放节点动物粪污的 TAN 量及氨气挥发率核算不同阶段的氨气排放量，并将氨气排放量分摊至单位牲畜量得到每头动物在不同养殖阶段的氨气排放系数。除了区域畜禽养殖数量外，阶段系数法还需获取区域内圈舍类型、粪污处理和粪污还田等情况，以分别计算各排放节点的区域氨气排放量，最终获取区域氨气总排放量。阶段系数法中的氨气排放系数核算方法历经两个发展历程。首先，以 MSAT（Manure Storage and Ammonia Transfer）模型为例，直接独立利用养殖场不同氨气排放节点动物粪便的氨气挥发率核算氨气排放系数，即以养殖场不同管理阶段氨气排放因子代替每头动物的排放因子。在计算过程中各环节排放是相互独立的，排放总量是各环节的算术加和^[12]。该方法无法体现畜禽养殖粪污处理过程的连续性，不能反映养殖过程中粪尿理化性质连续变化而导致动物粪便 TAN 及氨气挥发率的变化情况，所以其对养殖场在早期环节（如圈舍环节）添加氨气减排措施而带来的后期（存储处理，还田环节）氨气减排潜力的识别力低。为此，有学者提出利用氮从饲料摄入到贯穿整个粪污管理过程的清单方法，即氮物质流方法，该方法显著提升了阶段系数法的核算精度。阶段系数法最先在欧盟区域得到运用，如欧盟梳理了主要畜禽种类粪尿的全氮含量，基于典型养殖模式及氮物质流，规定了圈舍、粪污处理及还田等连续养殖过程粪尿中 TAN 量及氨气挥发率，提出了圈舍、粪污处理及还田等过程的氨气排放系数。

在阶段系数法运用过程中，围绕阶段系数法的氨气排放节点动物粪便 TAN 量及氨气挥发率的获取问题，各国根据实际应用需求进行本土化修正。如根据畜禽年龄大小进行更细致的分类，添加温度因素对氨气排放的影响，考虑粪污存储过程中氮矿化和固化作用以及氮气（N₂）、一氧化氮（NO）和一氧化二氮（N₂O）等非氨气排放的损失过程等，最终在各环节对 TAN 量及氨气挥发率进行调整，显著提高了各氨气排放节点 TAN 量及氨气挥发率的精度，从而提升各节点氨气排放系数的准确性。但是，由于该方法的养殖活动水平基量数据较整体系数法获取难度显著增大而降低了计算效率。

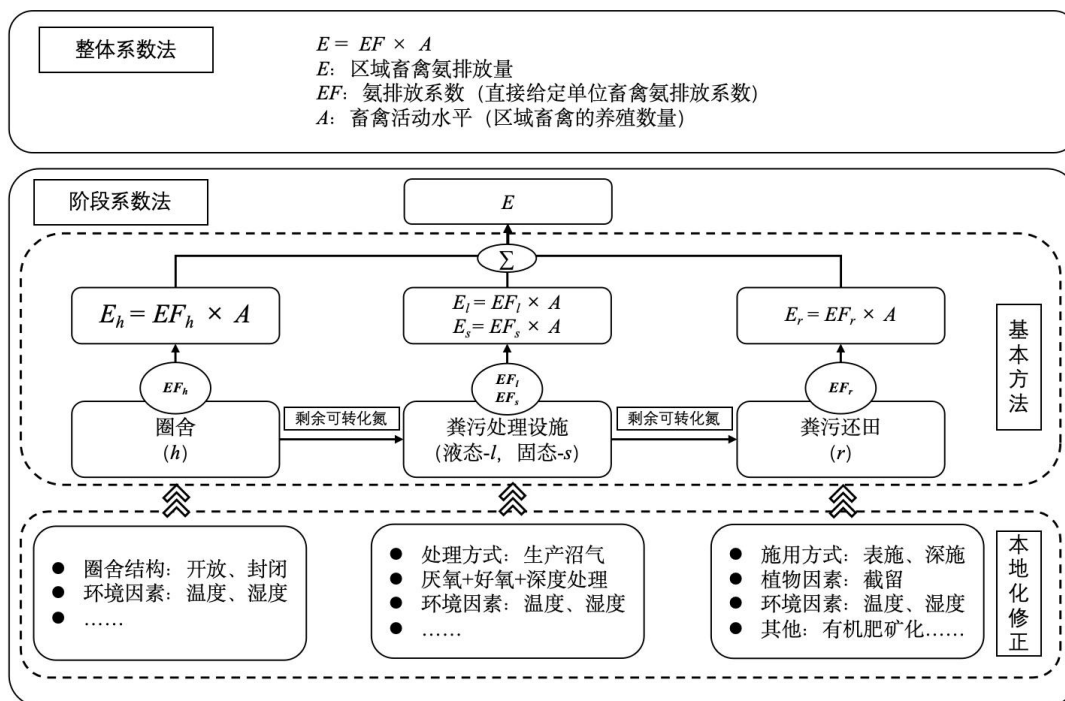


图 3.1-1 畜禽养殖氨气排放核算技术体系总结

3.1.2 畜禽养殖氨气排放核算技术标准应用

(1) 美国

目前, 美国正在使用 2004 年美国国家环境保护署 (US EPA) 编制的《美国国家排放清单——畜牧业活动中的氨气排放 (草案报告)》(National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations Draft Report) 中提出的估算方法^[13], 采用整体系数法和本土化修正的阶段系数法相结合的方式, 如绵羊、山羊、马等非主流养殖品种采用整体系数法, 直接给出单位畜禽氨气排放系数, 根据养殖数量核算区域氨气排放量; 而生猪、奶牛、家禽和肉牛等主流养殖品种则采用本土化系数, 根据本国实际情况对圈舍、粪污处理和粪污还田进行细致划分, 并提出粪尿中 TAN 量及氨气挥发率, 可计算不同阶段的氨气排放系数。

美国本土化修正的阶段系数法中以 AEIFA (Ammonia Emission Inventory for Fertilizer Application) 模型最具代表性^[14]。该方法类似于欧盟方法, 通过调查不同养殖方式和粪便管理模式的畜禽年均数量, 结合氮排泄率计算总量, 再针对不同管理环节给出氨气排放因子, 最终计算得到氨气排放量。该模型对时

间和空间精度进行了部分修正，将以月为单位的农村层面活动水平和排放因子等数据应用于氨气排放清单中，一定程度上提高了氨气排放清单的模型适用性和准确性。

（2）欧盟

早在 2001 年，欧盟颁布了《国家排放上限指令》（National Emissions Ceilings Directive），并于 2016 年进行修订^[15]。该指令直接确定了欧盟氨气的排放总量和各国分摊目标，要求成员国的氨气排放总量限值不超过 429.4 万吨。此外，欧洲环保署（European Environment Agency, EEA）出台的《EMEP/EEA 空气污染物排放清单指南手册》（EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook）规定了畜禽氨气排放清单的编制方法，并于 2016^[16]、2019^[12]和 2023 年^[17]三次更新。该指南中畜禽氨气排放清单制定方法包括整体系数法和阶段系数法（含本土化修正阶段系数法），用于指导本区域的氨气排放清单编制工作。由于各成员国发展水平不同，如东欧各国缺乏系统的畜禽活动水平基量数据，往往选用整体系数法核算本国畜禽氨气排放量；阶段系数法由于已经给定了畜禽养殖场养殖过程各阶段畜禽粪便中 TAN 量及氨气挥发率，只要各国具备对应的畜禽活动水平数据，一般都会选用此法，因此在欧盟内部应用最为广泛；而对于畜禽养殖活动水平统计非常完备的国家，为提高清单核算精度，对氨气排放系数进行本土化修正。

在本地化系数修正过程中，各国主要针对氮排泄量、TAN 产生量及各个环节的氨气挥发率与氮其他损失过程进行修正以精确化本国的清单模型。在圈舍与放牧环节，荷兰的 MAM 模型（Manure and Ammonia Emission Model）针对放牧动物（牛、羊等）提出氮排泄量与圈舍和放牧时间的非线性关系，同时提出了温度、湿度和环境风速等因子与氨气挥发率的关系^[18]。丹麦的 DanAm 模型（Danish Ammonia Emission Inventory Model）辨析了反刍动物与非反刍动物氮排泄量差异，为两者提供不同氨气排放因子，该模型为了解决温度变化对氨气排放影响的问题，根据丹麦气象的平均状况得出春、夏、秋、冬的季节性排放因子。在粪污存储处理环节。英国的 NARSES 模型（National Ammonia Reduction Strategy Evaluation System）增加了氮的矿化过程和固化过程对氨气损失的作用^[19]，欧盟则采用 IPCC 模型对存储环节中非氨气损失进行了估算。

（3）中国

中国有关氨气排放相关研究起步较晚，始于 20 世纪 90 年代中后期。2005 年之后有研究者开始对国家尺度及区域尺度的氨气排放分布或氨气排放清单的建立有了初步研究^[20]，近年来氨气排放清单研究逐渐受到关注。但此类研究大多直接采用国外已有的估算方法及排放因子，还不能较准确地反映中国氨气排放现状。同时，近年来有些学者借鉴国外的研究方法，结合中国实际情况，对某些主要氨气排放源的排放因子进行修正研究，开始尝试本地化排放系数研究。在畜禽氨气排放清单研究方面，杨志鹏结合国内的相关研究，对畜禽氮排泄量做了修正，并根据畜禽粪尿碳氮比来修正粪污的氨气挥发率^[21]。刘东等针对我国主流畜禽养殖品种，对氮排泄量进行了本地化修正，同时增加了对圈舍地面结构、粪污处理方式的考虑，研究其对氨气排放的影响^[22, 23]。原环境保护部于 2014 年发布了《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（以下简称“中国指南”），旨在为中国本土的氨气排放清单计算提供规范，以指导各省、市（县）、区域开展大气氨源排放清单编制工作^[24]。中国指南采用本地化系数法，参考欧盟的阶段系数法，立足于我国畜禽养殖情况，对主要畜禽品种年龄进行了更细致的分类，包含奶牛、肉牛、猪、羊、鸡、鸭、鹅和马等 21 种畜禽种类；划分了散养、集约化养殖和放牧养殖 3 类养殖模式，以及户外、圈舍内、粪便存储处理和后续施肥 4 个养殖阶段；提出了户外、圈舍-液态、圈舍-固态、存储-液态、存储-固态、施肥-液态和施肥-固态共 7 类氨气排放系数。考虑到中国地域辽阔，通过增加温度因子研究其对圈舍氨气排放的影响，同时在粪污存储过程中增加 N_2 、NO 和 N_2O 等非氨气排放的损失影响因子，由此提出了养殖过程中各氨气排放节点如圈舍、粪污处理过程及还田等过程中 TAN 量及氨气挥发率。此外，也提出在清单制定过程中如有地方 TAN 量及氨气挥发率等监测数据应优先使用，从而有效提高了清单准确性及适用性。

3.1.3 方法比较与改进

通过整理国内外核算相关标准与方法发现，畜禽养殖场氨气排放系数目前主要通过模型法或实测法获得。模型法从氮物质流角度，通过对畜禽氮排泄量进行估算，根据氮-氨转化参数计算养殖场各环节的氨气排放，但尚无法精确体现各环节内不同粪污处理模式的氨气排放特征。根据二污普项目实测氨气排放系数发现，系数值受到各排放环节内的粪污处理模式影响，如生猪圈舍氨气排

放系数值表现为水冲粪模式<干清粪模式<水（尿）泡粪模式，传统的氮物质流模型系数无法保证大区域内多样化的粪污处理模式下氨气排放量与减排量核算结果的准确性。此外，由于各氨气减排措施大多特异性地与不同粪污处理模式进行组合，如针对水泡粪模式的圈舍配置地沟风机实现减排、针对干清粪模式的圈舍提高清粪频率实现减排等，在衡量某种特殊清粪模式下的减排措施氨气减排量时，通过传统氮物质流模型获取的氨气排放系数由于精度问题无法实现核算。实测法可实现对养殖场各环节不同粪污处理模式的氨气排放系数的获取，但结果仅能代表实测养殖场，不适用于大区域尺度的核算应用。综上，在推进国家畜禽养殖业氨气减排工作中，一套易使用、易推广、考虑本地化差异的养殖场氨气排放系数与氨气减排核算方法是必要的。

针对此问题，本标准在养殖场氨气排放环节尺度内，以生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡、肉鸡 5 类我国主流养殖畜种为对象，梳理了我国规模化养殖场典型粪污处理模式，基于氮物质流模型方法，结合分析不同粪污处理模式对氮在养殖场不同环节内分配影响与地区气候差异，构建了一套规模化畜禽养殖场各环节不同粪污处理模式下氨气排放系数的率定模型，并进行模型试算，试算结果与当前模型与实测系数进行对比，旨在构建一种较准确且易于推广应用的氨气排放系数获取方法，为推进国家畜禽养殖氨气减排工作中氨气减排量核算提供技术支撑。

3.2 国内外畜禽养殖氨气减排技术情况

3.2.1 畜禽养殖氨气减排技术

（1）氨气排放影响因素

圈舍。畜禽圈舍结构影响圈舍内的温度、湿度等环境因子，进而影响圈舍的氨气产生与排放。一般情况下氨气排放量与周围的温度呈正相关。温度可以直接影响氨气排放，较高温度能提高脲酶活性，促进粪便中含氮物质分解释放氨气。此外，温度也间接影响牲畜排泄行为进而影响氨气产生与排放。增加通风频率可提高圈舍的氨气排放量，降低禽舍内氨气浓度。存积在圈舍内的粪、尿是舍内氨气释放的最主要来源，及时清理可显著降低舍内氨气浓度。目前我国常用的清粪方式主要有干清粪、水泡粪、水冲粪和垫草垫料等，清粪方式一般与圈舍地板类型相对应。综上，圈舍环节氨气排放影响因素主要有：圈舍环

境、清粪方式、地面结构等，详见图 3.2-1。

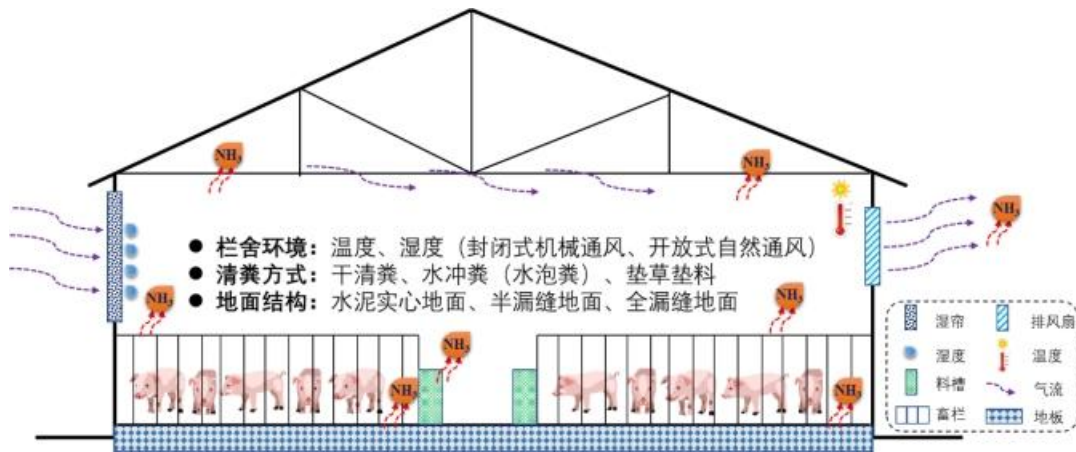


图 3.2-1 圈舍环节氨气排放影响因素示意图（以封闭式机械通风圈舍为例）

粪污储存与处理。粪污从圈舍清出后，进入粪污的储存处理环节。粪污形态（固态、液态）、存储设施的暴露面积、暴露设施内粪污存放周期、含氮物质削减率以及气象要素等是粪污的存储环节氨气排放的主要影响因素。除气象要素外，其他因素主要受粪污的处理工艺影响。我国目前粪污的常用处理工艺主要有粪污储存、沼气工程、有机堆肥和深度处理等。

（2）畜禽养殖氨气减排技术

通过梳理氨气排放影响因素，基于已有的畜禽养殖业氨气减排技术研究基础，对生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡和肉鸡养殖在圈舍和粪污处理环节的氨气减排技术进行梳理。

a. 圈舍

舍内喷淋技术：舍内喷淋技术是一种通过喷洒液体（如水、酸性溶液或微生物制剂等）来减少舍内氨气浓度的舍内环境控制方法。该技术主要通过物理吸附、化学中和或生物降解等机制降低氨气挥发，从而改善舍内空气质量。

喷淋技术通过物理吸附、化学中和及生物降解三种方法以减少舍内氨气浓度。物理吸附主要包括水雾捕捉和湿度调节两个方面，水雾捕捉指喷淋形成的细小液滴与空气中的氨气分子接触后将其吸收，并随沉降到地面；而湿度调节是增加舍内空气湿度，抑制粪污内部氨气的挥发。化学中和一般使用酸性溶液或氧化剂，酸性溶液喷淋（如柠檬酸、过磷酸钙溶液等）通过和碱性的氨气发生中和反应生成较稳定的铵盐固定于粪污中；氧化剂喷淋则直接通过氧化剂（如次氯酸盐）直

接分解还原性的氨气。生物降解主要使用含有硝化菌、异养菌的溶液喷洒至粪便表面，加速将氨气转化为硝酸盐。

优化圈舍清粪技术：圈舍清粪技术是减少氨气排放的关键措施之一，主要通过及时清除粪污、减少粪污在舍内的滞留时间从而降低含氮有机物的分解并达到减少舍内氨气挥发的目的。通过优化圈舍清粪技术（如增加清粪频率、采用更高效的技术等）可以在源头上降低氨气的排放潜力。

目前常见的清粪技术包括机械清粪技术（主要包括刮板清粪、传送带清粪、人工清粪）、水力清粪（主要包括水冲清粪和水泡清粪）以及添加微生物制剂或脲酶制剂的生物清粪三大类。其中，采用干清粪工艺的畜禽养殖场户，若原有舍内清粪频率较低，可适当将清粪频率增加 1~2 次/天，减少粪尿在舍内停留时间；采用水泡粪工艺的畜禽养殖场户，选择深坑贮存或浅坑贮存工艺，必要时配置地沟风机，每头育肥猪日均粪污产生总量不超过 0.015 m³。

生物发酵床技术：生物发酵床技术是一种基于微生物好氧发酵的粪污原位处理技术，通过垫料与功能菌群的协同作用，将畜禽粪便中的有机物（包括含氮组分）高效降解，实现氨气减排与粪污资源化。其核心在于构建稳定的微生物-垫料生态系统，通过代谢调控抑制氨气挥发，同时生成腐殖质等有益产物。此外，垫料的多孔结构能有效吸附氨气，发酵床中的微生物会产生酸性代谢产物，能够有效控制粪便的 pH 值，从而减少氨气的挥发和排放。

生物发酵床的技术原理在于其生化与热力学机理，主要分为氨气挥发抑制机制以及热力学驱动因素。其中，氨气挥发抑制剂又分为使用功能菌群（如放线菌、芽孢杆菌）将粪便中的 NH₄⁺直接同化为微生物蛋白（Microbial Protein, MCP），减少游离氨气生成的微生物同化作用；利用氨氧化菌（ammonia-oxidizing bacteria, AOB）将氨气氧化为 NO₂⁻，随后亚硝酸盐氧化菌（nitrite-oxidizing bacteria, NOB）将 NO₂⁻氧化为 NO₃⁻，最后反硝化菌（denitrifying bacteria, DNB）将 NO₃⁻还原为 N₂，实现脱氮的硝化-反硝化耦合以及借助微生物代谢产生有机酸（如乳酸、乙酸），降低垫料 pH，抑制脲酶活性并促进 NH₃ 质子化为 NH₄⁺的 pH 调控。而热力学驱动因素主要分为温度梯度和氧扩散控制。温度梯度是指发酵过程中微生物分解有机物释放热量，此时的床层温度可达 50~70℃，加速粪污内有机物矿化并抑制病原菌。氧扩散主要是控制通过垫料孔隙率和翻堆频率维持好氧环境（DO > 2 mg/L），避免厌氧条件下氨气的累积。

生物发酵床添加固态吸附剂技术：生物发酵床也常添加固态吸附剂进一步提升其氨气减排效率、重金属固定和水分调节能力，优化畜禽粪污的发酵过程。其作用机制包括使用多孔材料（如沸石、生物炭）对氨气分子的物理吸附；借助吸附剂中的酸性官能团（如-COOH、-OH）与 NH_3 反应生成铵盐的化学吸附以及添加沸石、膨润土等矿物材料通过阳离子交换来固定氮素的离子交换三类。

密闭圈舍废气净化技术：密闭圈舍废气净化技术旨在高效去除养殖环境中产生的包括氨气在内的多组分污染物（如 NH_3 、 H_2S 、VOCs、 CH_4 及 PM），通过物理、化学及生物技术的协同作用，实现废气达标排放与资源化利用。该技术在养殖舍内采用对流喷淋式或内循环式废气净化墙来处理氨气。这两种废气净化墙均具有氨气进入密闭除臭室内的功能，经过药液的喷淋洗涤或与墙内循环的药液反应后，氨气能够得到有效地净化，从废气净化墙排出。

废气净化核心技术及机理包括物理化学净化技术、生物净化技术及高级氧化技术多个方面。对于氨气的去除主要包括利用如活性炭、沸石、MOFs 等的多孔材料的表面吸附力来捕获氨气的吸附法；使用酸性或氧化性喷淋洗涤液去除氨气的化学洗涤法；还有利用微生物降解氨气的生物净化法等等。

b. 液态粪污贮存与处理设施

液态粪污酸化贮存技术：液态粪污酸化贮存技术通过向粪污中添加酸性物质（如无机酸、有机酸等），降低其 pH 值，促使游离氨气（ NH_3 ）质子化为铵离子（ NH_4^+ ），从而抑制氨气挥发。该技术兼具高效性与可控性，是粪污贮存阶段实现氮素保留与温室气体协同减排的核心手段。

酸化贮存的原理在于氨气-铵平衡调控和脲酶活性抑制，首先基于亨利定律与酸碱平衡，液态粪污中的 $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ 分布由 pH 与温度所决定，其中酸化粪污使得 pH 值降低后，粪污中的 NH_4^+ 占比显著增加，此时的 NH_3 占比极少，挥发被明显抑制。同时酸化降低 pH 也会直接抑制脲酶活性，延缓粪污中尿素的水解，从而阻止氨气向外逸出。市面常用的酸化剂有硫酸、过磷酸钙等，调节 pH 至 5.5~6.5，酸化后的液态粪污需继续贮存发酵。

液态粪污覆盖贮存技术：液态粪污覆盖贮存技术通过物理或生物屏障阻断粪污与大气的交换，抑制 NH_3 、 CH_4 及 H_2S 等气体的挥发，同时调节贮存环境以促进氮素保留与有机物稳定化。该技术兼具低成本与高效能特征，是粪污贮存阶段氨气减排的核心措施。

液态粪污中氨气的传质路径主要是气-液界面传质，基于双膜理论，氨气挥发速率受液膜与气膜传质系数所控制。其关键驱动因子如高 pH、高温及湍流会显著提升 NH_3 的挥发。液态粪污覆盖贮存技术的覆盖层抑制机制主要包括物理阻隔、生物降解以及化学吸附。根据气体透过覆盖物释放的速率可以把液态粪污覆盖贮存技术分为隔水覆盖和透水覆盖两种，隔水覆盖包括塑料、混凝土、木材等，这些材料可以阻止粪污向大气排放气体和气味等；透水覆盖包括稻草、自然结壳等，这些覆盖物会降低粪污向大气中排放气体的速率。隔水覆盖和透水覆盖都是通过降低太阳直射和风对粪污的扰动从而减少氨气的排放。

液态粪污覆盖废气处理技术：对于收集到的废气，可以使用负压收集系统进行处理，具体操作为在覆盖膜上方设置集气罩，并通过离心风机形成微负压，强制废气进入处理单元，后续接入化学洗涤塔、生物滤床等设施进一步处置。

c. 固态粪污贮存与处理设施

固态粪污密闭沤肥技术：固态粪污密闭沤肥技术是一种在缺氧环境下，利用厌氧微生物分解有机质，同时抑制氨气挥发和温室气体排放的粪污处理技术。相较于好氧堆肥，该技术能耗更低，适用于中小型养殖场或土地受限区域。固态粪污在密闭缺氧环境中，会经历水解阶段、酸化阶段、产氢产乙酸阶段和产甲烷阶段四个阶段的厌氧降解。其中在产氢产乙酸阶段的低 pH 环境促使粪污中的 NH_3 以离子态 (NH_4^+) 存在，大大减少了气态氨气的排放。同时最终产物沼气实现了能源回收，且整体操作方便简单，技术壁垒低。

固态粪污密闭堆肥技术：固态粪污密闭堆肥技术通过控制堆体氧气、温度、湿度及微生物群落结构，实现有机物的高效降解与氨气的定向转化，兼具粪污资源化与污染减排双重目标。其核心在于通过物理密闭与生物调控抑制氨气挥发，同时促进氮素固定与腐殖质合成。

固态粪污密闭堆肥技术的原理主要在于以下几个方面，首先是凭借反应器或覆盖膜阻断氨气直接逸散至大气，将散发的气体通入下一步的生物滤池或化学洗涤处理，经过微生物同化、化学吸附以及硝化-反硝化耦合固定氨气或还原为氮气。例如对条垛式、槽式好氧堆肥车间进行密闭化，通过排风风机将车间中堆肥发酵产生的臭气送入生物基滤床底部，通过水分膜吸收和堆体中微生物作用进行净化，生物基滤床一般使用腐熟堆肥、秸秆、木屑等生物质材料混合制成，含水量维持在 50%~60%，在净化氨气的同时，实现氮回收利用。

堆肥生物基除臭技术：堆肥生物基除臭技术通过微生物代谢、植物提取物吸附及酶催化等生物手段，高效降解堆肥过程中产生的 NH_3 、 H_2S 、VOCs、等恶臭物质。相较于化学法，该技术具有无二次污染、低成本、可持续等显著优势。

堆肥生物基除臭技术的核心机制如下：使用硝化细菌、反硝化细菌及硫氧化菌的微生物代谢法主要在于针对氨气的硝化-反硝化作用以及针对硫化氢的硫氧化作用。植物提取物吸附则是借助多酚类物质（如茶多酚、单宁酸）通过氢键与 NH_3 结合、萜烯类化合物（如桉树油、松油）包埋硫醇类恶臭分子进行除臭；酶催化分解主要是靠脲酶抑制剂阻断尿素水解为 NH_3 以及依靠氧化还原酶直接降解含硫 VOCs。

固态粪污密闭沤肥尾气处理技术：固态粪污密闭沤肥（厌氧沤制）过程中产生的尾气以 CH_4 、 NH_3 、 H_2S 、和 VOCs 为主，需通过高效的收集与净化技术实现达标排放。对沤肥产生的尾气通常采用生物滤床除去氨气等恶臭气体，化学洗涤塔和光催化氧化技术处理甲烷和挥发性有机物。整体流程中对于氨气的控制主要依靠生物滤床技术。采用火山岩（粒径 30~50 mm，孔隙率>40%）作为基础层，在功能层填充堆料并施加硫氧化菌剂及硝化菌剂。运行后可以利用硝化-反硝化作用有效去除尾气中的氨气等恶臭气体；辅以化学洗涤塔以及光催化氧化等技术去除其余的污染物，通过多级处理实现沤肥尾气净化。

堆肥尾气净化和过滤收集处理技术：固态粪污堆肥尾气净化和过滤收集技术是解决堆肥过程中产生的 NH_3 、 H_2S 、VOCs、 CO_2 及颗粒物（PM）等污染物排放的关键措施。主要的原理机制在于对尾气的收集与净化，包括利用文丘里效应增强气液接触，喷淋酸性溶液（如稀硫酸）中和 NH_3 的化学法、填充木屑等生物介质并接种硝化菌的生物法等等。在实际操作中，常对条垛式、槽式好氧堆肥车间进行密闭化，通过排风风机将空气送入尾气处理系统进行净化和过滤收集，采用化学固定剂、物理固定剂、生物固定剂喷淋吸收固定处理。最终整理得到的规模化畜禽养殖场主要氨气减排技术清单如表 3.2-1 所示。

表 3.2-1 畜禽养殖场主要氨气减排技术清单

氨气排放节点	减排技术	技术特点
圈舍	舍内喷淋技术	优点：夏季可降温增湿； 缺点：喷嘴易堵塞，温度要求高，湿度难以控制。
	优化圈舍清粪技术	优点：节省人工成本，操作简单； 缺点：一次性投资大，运行和维护费用高。
	生物发酵床技术	优点：简单易行，成本低； 缺点：易受消毒药物影响而降低活性。
	生物发酵床添加固态吸附剂技术	优点：简单易行，吸湿除臭； 缺点：垫料容易发霉，影响畜种健康。
	密闭圈舍废气净化技术	优点：节省人工成本； 缺点：一次性投资成本大。
液态粪污处理设施	液态粪污酸化贮存技术	优点：成本较低，可有效固持粪污中的氮素； 缺点：易腐蚀设备，易造成粪污起泡膨胀。
	液态粪污覆盖贮存技术（秸秆、塑料薄膜、轻质粘土颗粒覆盖）	优点：成本较低； 缺点：运行周期较短，稳定性差。
	液态粪污覆盖贮存技术（混凝土、玻璃纤维面板、聚酯板材、工膜、聚乙烯覆盖）	优点：运行周期长，密封性好； 缺点：增加粪污搅拌难度，一次性投资大。
	液态粪污覆盖废气处理技术	优点：多气体协同控制、成本低易操作； 缺点：使用寿命短，气候依赖性强。
固态粪污处理设施	固态粪污密闭沤肥技术	优点：减排率高，副产品可资源化； 缺点：技术要求高，投资成本高，适应性不强。
	固态粪污密闭堆肥技术	优点：操作简单； 缺点：无法连续生产，占地面积大；
	堆肥生物基除臭技术	优点：无二次污染、低成本、可持续； 缺点：现有菌剂存活率低，植物提取物成本高。
	固态粪污密闭沤肥尾气处理技术	优点：多污染物协调处理，副产品可资源化，适应性强； 缺点：投资成本高、维护复杂、处理周期长。
	堆肥尾气净化和过滤收集处理技术	优点：稳定性较好； 缺点：占地面积大，一次性投资成本高。

3.2.2 畜禽养殖氨气减排技术的政策、规范协调性分析

通过收集我国畜牧养殖相关的法律、法规、标准、规范、管理办法和行动计划，对畜牧业氨气减排相关条文进行梳理，结合养殖模式排放特征与减排技术减排效果及技术特点，筛选出现行畜禽养殖生产及污染防治政策、规范中具有氨气减排效果的养殖模式与污染防治技术，结果见表 3.2-2。

表 3.2-2 具有政策一致性的氨气减排养殖模式与污染防治技术列表

氨气排放节点	技术类型	依据政策及规范名称	依据内容
圈舍	舍内喷淋技术、生物发酵床技术、生物发酵床添加固态吸附剂技术、密闭圈舍废气净化技术	《畜禽场环境质量及卫生控制规范》（NY/T 1167—2006）	对于机械通风的密闭式畜舍，在排风风机外侧安装喷淋装置、湿帘等湿式净化设施，排出的空气通过喷洒弱酸性或含有次氯酸钠等氧化剂的液体进行过滤净化，其中酸性洗涤液 pH 值控制在 6 以下效果较优；或将畜舍排出的空气通过生物质填料进行过滤，生物质填料主要由木屑、秸秆等制成。
		《畜禽场环境质量及卫生控制规范》（NY/T 1167—2006）	6.2.2.4 适当进行通风换气，并在通风口设置过滤帘，保证舍内温度，及时排出、减少颗粒物及有害气体。
	优化圈舍清粪技术	《畜禽场环境质量及卫生控制规范》（NY/T 1167—2006）、 《中、小型集约化养猪场环境参数及环境管理》（GB/T 17824.4—1999）、 《畜禽粪便无害化处理技术规范》（NY/T 1168—2006）、 《“十四五”重点流域农业面源污染综合治理建设规划》（农计财发〔2021〕33 号）、 《畜禽粪污资源化利用行动方案（2017—2020 年）》（农牧发〔2017〕111 号）、 《畜禽养殖业污染防治技术政策》（环发〔2010〕151 号）	对于干清粪工艺（包括刮板式、传送带式等）畜禽养殖场，可适当增加清粪频率至 1~2 次/天，减少粪尿在舍内停留时间；针对水泡粪工艺的生猪养殖场，选择深坑贮存或浅坑贮存工艺，应配置地沟风机，地沟风机的通风量应为畜舍设计通风量的 10%左右。
液态粪污贮存与处理设施	液态粪污覆盖贮存技术	《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497—2009）	10.1.3 粪污处理各工艺单元宜设计为封闭形式，减少恶臭对周围环境的污染。
		《畜禽养殖业污染防治技术政策》（环发〔2010〕151 号）	第五章第 51 条：规模化畜禽养殖场（小区）应加强恶臭气体净化处理并覆盖所有恶臭发生源。

氨气排放节点	技术类型	依据政策及规范名称	依据内容
	液态粪污酸化贮存技术	《“十四五”全国畜禽粪肥利用种养结合建设规划》 (农计财发〔2021〕33号)	通过添加酸化剂降低液态粪污的 pH 值,将氮素以较稳定的铵盐形态保留在粪污中,减少氨气挥发量。常用的酸化剂有硫酸、过磷酸钙等,调节 pH 至 5.5~6.5,酸化后的液态粪污需继续贮存发酵。
固态粪污贮存与处理设施	固态粪污密闭沤肥技术	关于印发《畜禽养殖场(户)粪污处理设施建设技术指南》的通知 (农办牧〔2022〕19号)	畜禽养殖场(户)可采用堆肥、沤肥、生产垫料等方式处理固体粪污……沤肥宜采用平地或半坑式糊泥静置等兼氧工艺。生产垫料宜采用密闭式滚筒好氧发酵工艺,配套必要的固液分离、进料、混合、发酵、除臭或智能控制等设施设备分离出的液体粪污应参照 5.5 液体粪污贮存发酵设施中的要求进行处理。
	固态粪污密闭堆肥技术	《畜禽粪污资源化利用行动方案(2017-2020 年)》 (农牧发〔2017〕11号)	对条垛式、槽式好氧堆肥车间进行密闭化,通过排风风机将车间中堆肥发酵产生的臭气送入生物基滤床底部,通过水分膜吸收和堆体中微生物作用进行净化,生物基滤床一般使用腐熟堆肥、秸秆、木屑等生物质材料混合制成,含水量维持在 50%~60%,在净化氨气的同时,实现氮回收利用。
	固态粪污堆肥尾气净化和过滤收集处理技术、 固态粪污密闭沤肥尾气处理技术	《“十四五”重点流域农业面源污染综合治理建设规划》 (农计财发〔2021〕33号)	对条垛式、槽式好氧堆肥车间进行密闭化,通过排风风机将空气送入尾气处理系统进行净化和过滤收集,采用化学固定剂、物理固定剂、生物固定剂喷淋吸收固定处理。

最终整理得到的本标准考虑的氨气减排技术汇总清单如表 3.2-3 所示。

表 3.2-3 不同氨气减排技术汇总清单

氨气排放节点	养殖模式	氨气减排技术
圈舍	干清粪	舍内喷淋技术
	干清粪	优化圈舍清粪技术
	垫草垫料	生物发酵床技术/ 生物发酵床添加固态吸附剂技术
	干清粪/ 高床养殖/ 垫草垫料/ 水冲粪/ 水泡粪	密闭圈舍废气净化技术
液态粪污 处理设施	肥水贮存/ 氧化塘处理/ 固液分离/ 厌氧发酵	液态粪污酸化贮存技术
		液态粪污覆盖贮存技术/ 液态粪污覆盖废气处理技术
固态粪污 处理设施	堆肥发酵	固态粪污密闭沤肥技术/ 固态粪污密闭堆肥技术
		堆肥生物基除臭技术
		固态粪污密闭沤肥尾气处理技术/ 堆肥尾气净化和过滤收集处理技术

4 标准的编制原则和技术路线

4.1 基本原则

4.1.1 科学合理，准确核算

本标准参照京津冀及周边地区畜禽养殖业氨气排放控制试点工作中规定的工作程序、核算方法、技术要求进行氨气减排量核算，识别规模化畜禽养殖场所有涉及的氨气排放节点，按照规定选取核算参数，确保快速准确计算规模化畜禽养殖场氨气减排量，使核算结果能充分作为氨气排放控制的管理依据。

4.1.2 普遍适用，简便易行

本标准规定了规模化畜禽养殖场氨气减排量核算相关的术语定义、核算边界、核算步骤、核算方法等内容，可广泛适用于规模化畜禽养殖场氨气减排量的核算和评估。本标准根据当前规模化畜禽养殖场氨气减排量核算的难点与存在的主要问题，根据规模化畜禽养殖场的实际情况，制定切实可行的氨气减排量核算方法。

4.1.3 统筹兼顾，重点突出

本标准核算环节统筹圈舍、粪污储存与处理等畜禽养殖场全流程，聚焦国家重点推行的养殖模式和减排技术开展核算。核算范围包括生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡、肉鸡等 5 类我国规模化畜禽养殖业主流养殖畜种，其他畜种的规模化养殖场可参照执行。

4.2 编制思路与技术路线

4.2.1 编制思路

（1）核算原理

本标准的核算过程采用排放系数法，根据畜禽粪污中氮物质流动过程，针对养殖场内圈舍及粪污贮存与处理设施的关键暴露节点，考虑 3 个节点（圈舍、液态粪污贮存与处理设施、固态粪污贮存与处理设施）各自实施氨气减排措施的减排率，以此分别计算各节点氨气排放量，最终加和后得到该规模化养殖场氨气排放量（图 4.2-1）。

具体而言，规模化畜禽养殖场的氨气来源于畜禽粪污中含氮物质的发酵，

可用氮排泄量 (N_{ex} , kg N/头 (羽) /年) 表征; 在圈舍环节, 未被收集的粪污经过发酵会变成氨气等气态氮素发生损失, 因此, N_{ex} 乘以氨气在该环节的氮损失占比 ($Frac_{NH3_h}$, %), 等于该环节的氨气排放系数 (EF_h , kg NH_3 /头 (羽) /年); 被收集的氮素进入到粪污处理环节, 经过固液分离, 一部分进入液态粪污处理环节, 另一部分进入固态粪污处理环节; 在粪污处理环节, 未被收集的粪污同样发生气态氮素损失, 其中氨气在该环节的氮损失占比 ($Frac_{NH3_l}$ 和 $Frac_{NH3_s}$) 乘以进入对应粪污处理环节的氮素量, 即该环节的氨气排放系数 (EF_l 和 EF_s); 被收集的粪污最终作为粪肥还田。此外, 由于气温条件是氨气排放的重要影响因子, 我国幅员辽阔, 为达到准确核算的目的, 需对位于不同区域的养殖场各氨气排放节点的氨气排放系数进行本地化校正, 故引入本地化校正因子 (f)。相应地, 规模化畜禽养殖场的氨气减排具体可分为圈舍、液态粪污贮存与处理设施和固态粪污贮存与处理设施的氨气减排, 对于不同的氨气减排措施, 有对应的减排率 (η , %)。综上, 实施核算的关键在于明确各节点氨气排放系数 (EF)、氨气在各节点的氮损失占比 ($Frac_{NH3}$)、各环节氨气排放系数的本地化校正系数 (f) 和实施氨气减排措施的氨气减排率 (η)。

对规模化畜禽养殖场基准年与核算年氨气排放量求差得到减排量, 再对区域内 (例如, 县域内) 所有规模化畜禽养殖场减排量求和, 最终得到区域内规模化畜禽养殖场核算年的氨气总体减排量。基准年后新建的规模化畜禽养殖场不纳入核算。

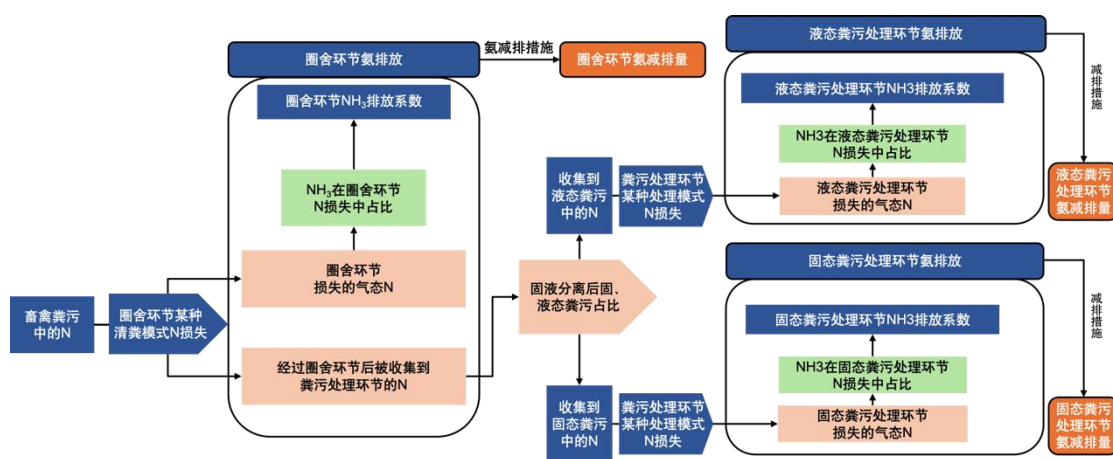


图 4.2-1 规模化畜禽养殖场氨气排放与减排过程

（2）关于规模化畜禽养殖场氨气排放量核算方法

本标准基于第二次全国污染源普查工作办公室组织制定的《第二次全国污染源普查（农业源）畜禽养殖氨排放系数手册》《第二次全国污染源普查（农业源）畜禽养殖氨排放量核算方法手册》，根据畜禽粪污在规模化养殖场圈舍及处理设施中的氮物质流过程，采用排放系数法，针对圈舍及粪污处理设施的暴露节点，分别计算各节点氨气排放量。对于不同畜种氮排泄量与进入粪污处理环节的氮收集率推荐值，主要参考了农业农村部发布的《畜禽粪便土地承载力测算方法》（NY/T 3877—2021）^[25]，对于氨气在氮素损失中占比推荐值，主要参考了生态环境部发布的《大气氨源排放清单编制技术指南》（环境保护部公告 2014 年第 55 号）^[24]。同时，广泛参考了联合国政府间气候变化专门委员会《IPCC 2006 年国家温室气体清单指南 2019 修订版》（2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories，以下简称“IPCC 指南”）、欧洲环境署（EEA）《2019 年 EMEP/EEA 空气污染物排放清单指南手册》（EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019，以下简称“EEA 指南”）^[12]、美国环保署（EPA）《美国国家排放清单——畜牧业活动中的氨气排放（草案报告）》（National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations）^[13]和英国环境、食品与农村事务部（Defra）《2021 年英国农业氨气排放清单》（Inventory of Ammonia Emissions from UK Agriculture 2021）^[26]等相关国际官方文件，为核算方法的确定提供了科学的依据和方法。计算过程中选取的指标为当前技术成熟、数据可获取的指标，确保方法的科学性与关键参数的权威性。

（3）关于畜禽养殖场不同氨气减排技术的减排率

本标准指出的规模化畜禽养殖场氨气减排技术是基于圈舍、粪污储存与处理等全流程考虑，并与现行各类政策、规范的协调性分析后提出，统筹了畜牧业绿色发展和污染治理，符合我国《畜禽规模养殖污染防治条例》《国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》《国务院办公厅关于促进畜牧业高质量发展的意见》等相关法律、法规。相关技术在牧原、温氏、德青源等大型养殖企业中得到广泛应用，并已列入《畜禽养殖场（户）粪污处理设施建设技术指南》（农办牧〔2022〕19 号）《规范畜禽粪污处理降低养分损失技术指导意见》（农站绿〔2021〕71 号）等文件中。同时，参考了联合国欧

洲经济委员会（UNECE）《减少氨气排放的良好农业实践框架准则》（United Nations Economic Commission for Europe Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions）^[9]、欧盟（EU）《国家排放上限指令》（National Emissions Ceilings Directive）^[15]和《集约化家禽或猪只养殖最佳可行技术（BAT）参考文件》（Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs）^[27]等相关国际上的官方指南文件。对于不同减排技术的氨气减排率，经过大量文献资料调研与实测报告整理后给出合理范围区间。

4.2.2 技术路线

本标准编制工作按照图 4.2-2 所示的技术路线进行制定。

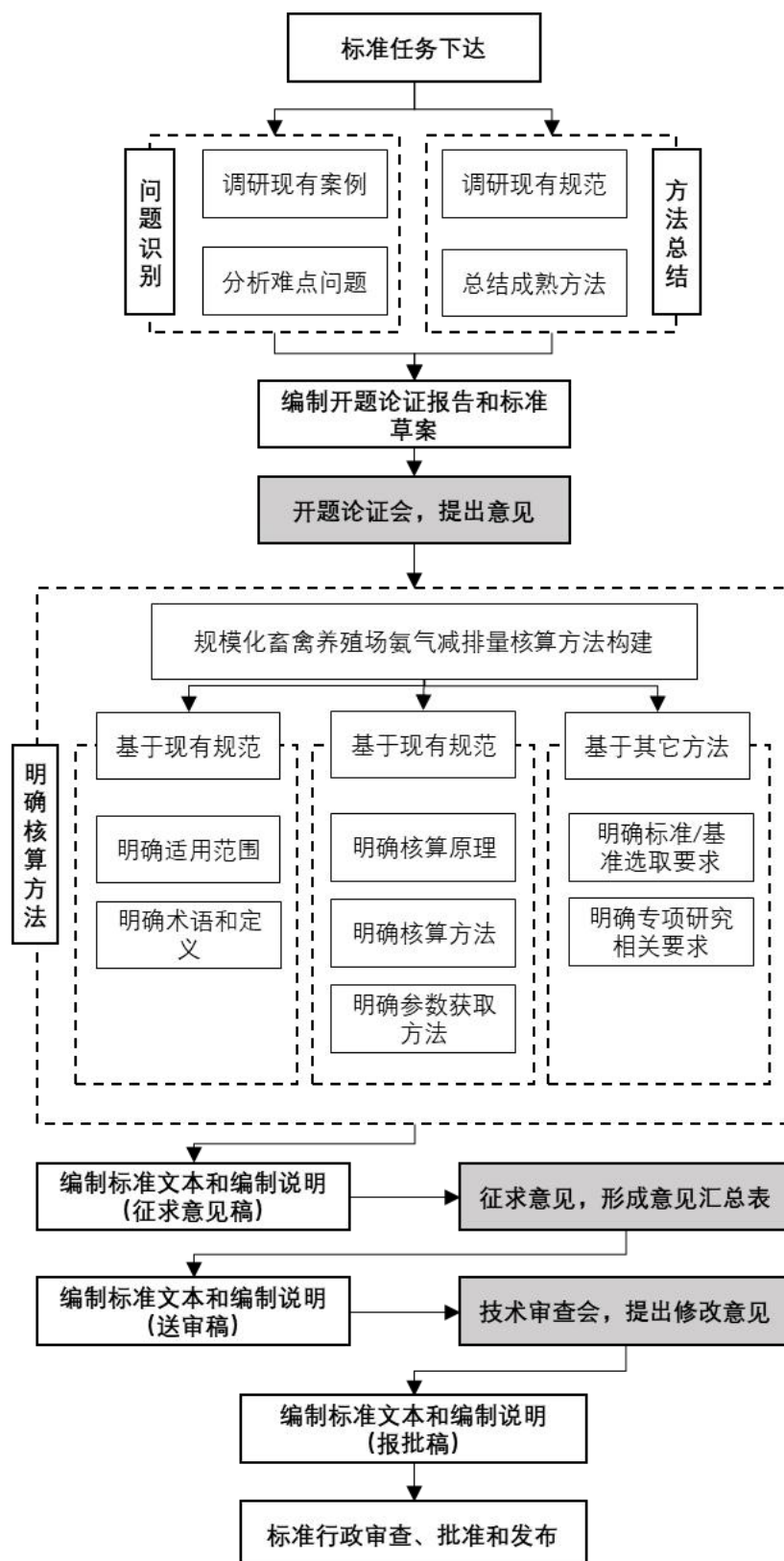


图 4.2-2 本标准编制技术路线

5 标准主要技术内容报告

本标准分为内容和附录，内容包括以下 7 个部分：

- 1 适用范围
- 2 规范性引用文件
- 3 术语和定义
- 4 核算边界
- 5 数据收集
- 6 核算步骤
- 7 核算方法

附录包括以下内容：

附录 A（规范性附录） 规模化畜禽养殖场基本信息

附录 B（资料性附录） 畜禽养殖氨气排放参数

附录 C（资料性附录） 畜禽养殖场不同氨气减排技术减排率推荐值

5.1 适用范围

根据《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》和国务院《空气质量持续改善行动计划》中关于畜禽养殖氨排放控制的相关要求，本标准针对畜禽养殖业氨气排放，制定了适用于规模化生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡、肉鸡养殖场普遍使用的氨气排放控制工程技术下的氨气减排量核算方法，其他畜种的规模化畜禽养殖场可参照执行。

此外，我国已出台的《畜禽养殖污染防治管理办法》和《畜禽养殖业污染物排放标准》规定了臭气的排放标准，但只针对场界范围，且并未规定氨气的排放标准，缺乏针对养殖场尺度及氨气排放关键环节的氨气排放量核算规范，导致地方目前对于氨气减排基数、减排目标的达成缺乏指南导引，制约了畜禽养殖氨气排放控制工作。因此，本标准规定了规模化畜禽养殖场氨气减排量核算相关的术语定义、核算边界、数据收集、核算步骤、核算方法等内容，适用于规模化生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡、肉鸡养殖场氨气减排量的核算，其他畜种的规模化养殖场可参照执行。各级生态环境管理部门可依据本标准对区域内规模化养殖场氨气减排总量进行核算。

5.2 规范性引用文件

标准主要引用了正文中涉及的术语定义、核算参数依据等。引用的有关文件，凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。术语定义参考《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB 18596—2001）、《畜禽粪便监测技术规范》（GB/T 25169—2022）、《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》（GB/T 25171—2010）、《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ 497—2009）、《排污许可证申请与核发技术规范 畜禽养殖行业》（HJ 1029—2019）、《排污单位自行监测技术指南 畜禽养殖行业》（HJ 1252—2022）《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年第 55 号）和《畜禽养殖场（户）粪污处理设施建设技术指南》（农办牧〔2022〕19 号）。

本标准根据畜禽粪污在规模化养殖场圈舍及粪污贮存与处理设施中的氮物质流过程，采用排放系数法，针对圈舍及处理设施的暴露节点，分别计算各节点氨气排放量，在计算畜禽养殖氨气排放系数时，同畜种的氮排泄量与进入粪污处理设施的氮收集率推荐值参考农业农村部发布的《畜禽粪便土地承载力测算方法》（NY/T 3877—2021），氨气在氮素损失中占比推荐值参考生态环境部发布的《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年第 55 号），氨气减排措施减排率参考了《规范畜禽粪污处理降低养分损失技术指导意见》（牧站（绿）〔2021〕71 号）。

5.3 术语和定义

5.3.1 规模化畜禽养殖场 large-scale livestock and poultry farms

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并精心管理，且养殖规模（按养殖场最大养殖能力确定）达到省级人民政府依法确定并公布规模标准的畜禽养殖场所。

该定义改编自 GB 18596—2001、HJ 497—2009、HJ 1029—2019、HJ 1252—2022 中“规模化畜禽养殖场”和“集约化畜禽养殖场”的定义。其中，规模化的定义与《畜禽规模养殖污染防治条例》“畜禽养殖场的具体规模标准由省级人民政府确定”保持一致；参考集约化的定义是由于本标准的核算核心为氮物质流方法，其中关键的氮素存留与损失率主要参考《畜禽粪便土地承载力测算方法》（NY/T 3877—2021），而该标准是基于集约化的规模养殖场提出

的，因此，本标准中对“规模化畜禽养殖场”的定义有助于实现精准核算，使标准有效落地。

5.3.2 畜禽粪污 livestock and poultry manure

指畜禽养殖过程产生的粪便、尿液等的总称，可区分为液态粪污和固态粪污。

该定义改编自《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》（GB/T 25171—2023）中“畜禽粪污”的定义和《畜禽粪便监测技术规范》（GB/T 25169—2022）中“畜禽粪便”的定义。

5.3.3 圈舍氨气排放 ammonia emissions from housing

指圈舍内畜禽粪污中含氮有机物分解造成的氨气排放。

5.3.4 液态粪污贮存与处理设施 liquid manure storage and treatment facility

指采用固液分离、肥水贮存、厌氧发酵、好氧处理、液体有机肥生产、氧化塘处理、人工湿地、膜处理等技术或方式，对畜禽液态粪污进行减量、收集、暂存、处理等的设施设备。

该定义改编自《畜禽养殖场（户）粪污处理设施建设技术指南》（农办牧〔2022〕19号）中“畜禽粪污处理设施”的定义。

5.3.5 固态粪污贮存与处理设施 solid manure storage and treatment facility

指采用堆肥发酵、有机肥生产、生产沼气、生产垫料、生产基质等技术或方式，对畜禽固态粪污进行减量、收集、暂存、处理等的设施设备。

该定义改编自《畜禽养殖场（户）粪污处理设施建设技术指南》（农办牧〔2022〕19号）中“畜禽粪污处理设施”的定义。

5.3.6 粪污贮存与处理设施氨气排放 ammonia emission from manure storage and treatment facility

指液态/固态粪污贮存和处理过程中粪、尿含氮物质的分解造成的氨气排放。

5.3.7 氨气减排技术 ammonia emission reduction technology

指能够减少规模化畜禽养殖场氨气排放的工程技术，包括圈舍减排技术、

液态和固态粪污贮存与处理设施减排技术等。

5.3.8 氨气排放系数 ammonia emission factor

指不同畜禽种类单位数量的畜禽在一定时间内向环境中排放的氨气量。

该定义改编自《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 55 号）中“排放系数”的定义。

5.3.9 氨气减排率 ammonia emission reduction ratio

指采用氨气减排技术减少的氨气排放量与采用技术前氨气排放量的比值，以百分数表示。

5.3.10 活动数据 activity data

指畜禽养殖场饲养的动物数量，生猪、肉牛、肉鸡取年出栏量，奶牛、蛋鸡取年末存栏量。

该定义改编自《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 55 号）中“年内饲养量”和“活动水平”的定义。

5.3.11 基准年 Baseline year

指用于确定减排前氨气排放基准值的年份，通常为氨气减排技术实施前的参照年份。

5.3.12 核算年 Accounting year

指对氨气减排量进行实际核算的年份，通常为氨气减排技术实施后的特定年份。

5.4 核算边界

针对我国规模化畜禽养殖业主流养殖畜种，对饲养占比较大的畜禽种类的养殖场进行氨气减排量核算。包括生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡、肉鸡 5 类畜禽种类，其他畜种可参照本标准执行。本标准参考《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年第 55 号）规定的畜禽养殖氨气排放环节，将规模化畜禽养殖场氨气排放核算范围划分为养殖场内圈舍、液态和固态粪污贮存与处理设施排放的氨气量。

5.5 数据收集

收集规模化畜禽养殖场基准年和核算年的活动数据、养殖模式及粪污处理工艺等信息，统计报表详见附录 A（表 5.5-1）。

表 5.5-1 规模化畜禽养殖场基本信息报表

01. 统一社会信用代码		□□□□□□□□□□□□□□□□ (□□) 尚未领取统一社会信用代码的填写原组织机构代码号: □□□□□□□□ (□□)
02. 养殖场名称及曾用名		养殖场名称: 曾用名:
03. 法定代表人		
04. 区划代码		□□□□□□□□□□□□
05. 详细地址		_____省 (自治区、直辖市) _____地 (区、市、州、盟) _____县 (区、市、旗) _____乡 (镇) _____街 (村)、门牌号
06. 企业地理坐标		经度: _____度 _____分 _____秒 纬度: _____度 _____分 _____秒
07. 联系方式		联系人: _____ 电话号码: _____
08. 养殖种类		1 生猪 2 奶牛 3 肉牛 4 蛋鸡 5 肉鸡
09. 核算年份		基准年: _____ 年 核算年: _____ 年
10. 活动数据		
11. 粪污处理设施运行情况 是否正常		基准年: ☐ 是 ☐ 否 核算年: ☐ 是 ☐ 否
12. 养殖 模式	11-1 圈舍通风方式	1 封闭式 ☐ 2 开放式 ☐ (按主要模式单选)
	11-2 圈舍清粪方式	1 干清粪 ☐ 2 垫草垫料 ☐ 3 高床养殖 ☐ 4 水冲粪 ☐ 5 水泡粪 ☐ (按主要模式单选)
	11-3 液态粪污处理工艺	1 固液分离 ☐ 2 肥水贮存 ☐ 3 厌氧发酵 ☐ 4 好氧处理 ☐ 5 液体有机肥生产 ☐ 6 氧化塘处理 ☐ 7 人工湿地 ☐ 8 膜处理 ☐ 9 其他 (请注明) ☐ ____ (按主要模式单选)
	11-4 固态粪污处理工艺	1 堆肥发酵 ☐ 2 有机肥生产 ☐ 3 生产沼气 ☐ 4 生产垫料 ☐ 5 生产基质 ☐ 6 其他 (请注明) ☐ ____ ☐ ____ (按主要模式单选)
13. 氨气 减排技术	12-1 圈舍减排技术	H-1 优化圈舍清粪技术 ☐ H-2 舍内喷淋技术 ☐ H-3 生物发酵床技术 ☐ H-4 生物发酵床添加固态吸附剂技术 ☐ H-5 密闭圈舍废气净化技术 ☐ (按主要模式单选)
	12-2 液态粪污处理减排技术	L-1 液态粪污酸化贮存技术 ☐ L-2 液态粪污覆盖贮存技术 ☐ L-3 液态粪污覆盖废气处理技术 ☐ (按主要模式单选)
	12-3 固态粪污处理减排技术	S-1 固态粪污密闭沤肥技术 ☐ S-2 固态粪污密闭堆肥技术 ☐ S-3 堆肥生物基除臭技术 ☐ S-4 固态粪污密闭沤肥尾气处理技术 ☐ S-5 堆肥尾气净化和过滤收集处理技术 ☐ (按主要模式单选)

注 1: ☐为基准年情况, ☐为核算年情况;

填报“08. 养殖种类”时, 仅限勾选一个, 若存在两种及以上养殖种类的应分别填写信息报表;

填报“10. 活动数据”时应采用养殖场基准年及其前后各一年 (共三年) 的畜禽养殖量年平均值。

注 2: 该表对应标准正文附录 A 表 A.1。

5.6 核算步骤

5.6.1 核算方法推导过程

(1) 区域规模化畜禽养殖场氨气减排量

区域规模化畜禽养殖场氨气减排量为实施减排基准年氨气排放量与实施减排核算年的氨气排放量之差，按照公式（1）进行计算：

$$\Delta E = \sum_i^n (E_{\text{基准年}(i)} - E_{\text{核算年}(i)}) \quad (1)$$

其中：

ΔE ——区域规模化畜禽养殖场在核算年的氨气减排总量，kg NH₃/年；

n ——基准年区域内规模化畜禽养殖场总数，个；

i ——基准年区域内第 i 个规模化畜禽养殖场；

$E_{\text{基准年}(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场在基准年的氨气排放量，kg NH₃/年；

$E_{\text{核算年}(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场在核算年的氨气排放量，kg NH₃/年。

(2) 第 i 个规模化畜禽养殖场的氨气排放总量

在核算区域内，第 i 个规模化畜禽养殖场的年度氨气排放总量为该养殖场内圈舍环节（housing）、液态粪污贮存与处理环节（liquid manure storage and treatment）和固态粪污贮存与处理环节（solid manure storage and treatment）各自产生的氨气排放量加和。按照公式（2）进行计算：

$$E_{(i)} = E_{h(i)} + E_{l(i)} + E_{s(i)} \quad (2)$$

其中：

i ——基准年区域内第 i 个规模化畜禽养殖场；

$E_{(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场的氨气排放总量，kg NH₃/年；

$E_{h(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场圈舍的氨气排放量，kg NH₃/年；

$E_{l(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场液态粪污贮存与处理设施的氨气排放量，kg NH₃/年；

$E_{s(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场固态粪污贮存与处理设施的氨气排放量，kg NH₃/年。

(3) 第 i 个规模化畜禽养殖场圈舍的氨气排放量

在核算区域内，第 i 个规模化畜禽养殖场内圈舍的氨气排放量按照公式 (3) 进行计算：

$$E_{h(i)} = \sum_T A_{(T,i)} \times \frac{PC_{(T)}}{365} \times EF_{h(T,a)} \times (1 - \eta_{h(T,ar)}) \quad (3)$$

其中：

$E_{h(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场圈舍的氨气排放量， $\text{kg NH}_3/\text{年}$ ；

T ——畜禽种类，取值范围包括：生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡或肉鸡等；

$A_{(T,i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场中第 T 种畜禽活动数据，对于含有存栏母猪/公猪养殖的规模化生猪养殖场，存栏母猪/公猪的年末存栏量应折算为年出栏量，折算方法为：年末存栏量 $\times 365 \div$ 生猪养殖周期（天）。

$PC_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的养殖周期，天；

a ——圈舍清粪方式，取值范围包括：干清粪、垫草垫料、高床养殖、水冲粪或水泡粪等；

$EF_{h(T,a)}$ ——第 T 种畜禽在第 a 种圈舍清粪方式下的圈舍氨气排放系数；

ar ——圈舍氨气减排技术，取值范围包括：优化圈舍清粪技术、舍内喷淋技术、生物发酵床技术、生物发酵床添加固态吸附剂技术或密闭圈舍废气净化技术等；

$\eta_{h(T,ar)}$ ——第 T 种畜禽在圈舍采用第 ar 种氨气减排技术的减排率，%，若无氨气减排技术，该值为 0。

(4) 第 i 个规模化畜禽养殖场液态粪污处理环节的氨气排放量

在核算区域内，第 i 个规模化畜禽养殖场液态粪污贮存与处理设施的氨气排放量按照公式 (4) 进行计算：

$$E_{l(i)} = \sum_T A_{(T,i)} \times \frac{PC_{(T)}}{365} \times EF_{l(T,a,b)} \times (1 - \eta_{l(T,br)}) \quad (4)$$

其中：

$E_{l(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场液态粪污贮存与处理设施的氨气排放

量，kg NH₃/年；

T ——畜禽种类，取值范围包括：生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡或肉鸡等等；

$A_{(T,i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场中第 T 种畜禽活动数据，对于含有存栏母猪/公猪养殖的规模化生猪养殖场，存栏母猪/公猪的年末存栏量应折算为年出栏量，折算方法为：年末存栏量 $\times 365 \div$ 生猪养殖周期（天）。

$PC_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的养殖周期，天；

a ——圈舍清粪方式，取值范围包括：干清粪、垫草垫料、高床养殖、水冲粪或水泡粪等；

b ——液态粪污处理方式，取值范围包括：固液分离、肥水贮存、厌氧发酵、好氧处理、液体有机肥生产、氧化塘处理、人工湿地或膜处理等；

$EF_{l(T,a,b)}$ ——第 T 种畜禽在第 a 种圈舍清粪方式及第 b 种液态粪污处理方式下，液态粪污贮存与处理设施的氨气排放系数；

br ——液态粪污贮存与处理设施氨气减排技术，取值范围包括：液态粪污酸化贮存技术、液态粪污覆盖贮存技术或液态粪污覆盖废气处理技术等；

$\eta_{l(T,br)}$ ——第 T 种畜禽在液态粪污贮存与处理设施采用第 br 种氨气减排技术的减排率，%，若无氨气减排技术，该值为 0。

（5）第 i 个规模化畜禽养殖场固态粪污处理环节的氨气排放量

在核算区域内，第 i 个规模化畜禽养殖场固态粪污贮存与处理设施的氨气排放量按照公式（5）进行计算：

$$E_{s(i)} = \sum_T A_{(T,i)} \times \frac{PC_{(T)}}{365} \times EF_{s(T,a,c)} \times (1 - \eta_{s(T,cr)}) \quad (5)$$

其中：

$E_{s(i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场固态粪污贮存与处理设施的氨气排放量，kg NH₃/年；

T ——畜禽种类，取值范围包括：生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡或肉鸡等；

$A_{(T,i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场中第 T 种畜禽活动数据，对于含有存栏母

猪/公猪养殖的规模化生猪养殖场，存栏母猪/公猪的年末存栏量应折算为年出栏量，折算方法为：年末存栏量 $\times 365 \div$ 生猪养殖周期（天）。

$PC_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的养殖周期，天；

a ——圈舍清粪方式，取值范围包括：干清粪、垫草垫料、高床养殖、水冲粪或水泡粪等；

c ——固态粪污处理方式，取值范围包括：堆肥发酵、生产沼气、有机肥生产、生产垫料或生产基质等；

$EF_{s(T,a,c)}$ ——第 T 种畜禽在第 a 种圈舍清粪方式及第 c 种固态粪污处理下，固态粪污贮存与处理设施的氨气排放系数；

cr ——固态粪污贮存与处理设施氨气减排技术，取值范围包括：固态粪污密闭沤肥技术、固态粪污密闭堆肥技术、堆肥生物基除臭技术、固态粪污密闭沤肥尾气处理技术、堆肥尾气净化或过滤收集处理技术等；

$\eta_{s(T,cr)}$ ——第 T 种畜禽在固态粪污贮存与处理设施采用第 cr 种氨气减排技术的减排率，%，若无氨气减排技术，该值为 0。

（6）圈舍氨气排放系数

圈舍氨气排放系数为养殖场内每头（羽）动物在单位时间（年）内的平均氨气排放量（kg NH₃），计算方法按照公式（6）进行计算：

$$EF_{h(T,a)} = Nex_{(T)} \times (1 - CR_{N(a)}) \times Frac_{NH3_h} \times \gamma \times f_h \quad (6)$$

其中：

T ——畜禽种类，取值范围包括：生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡或肉鸡等；

a ——圈舍清粪方式，取值范围包括：干清粪、垫草垫料、高床养殖、水冲粪或水泡粪等；

$EF_{h(T,a)}$ ——第 T 种畜禽在第 a 种圈舍清粪方式下的圈舍氨气排放系数，其中，生猪、肉牛、肉鸡的单位为 kg NH₃/头（羽），奶牛、蛋鸡的单位为 kg NH₃/头（羽）/年；

$Nex_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的每头（羽）年平均氮排泄量，kg N/头（羽）/

年；

$CR_{N(a)}$ ——第 a 种圈舍清粪方式下，粪污中的氮素被收集进入粪污贮存与处理设施的收集率，%；

$Frac_{NH3_h}$ ——氨气在圈舍氮素损失中的占比，%；

γ ——氮-氨转换系数，取 1.214；

f_h ——圈舍氨气排放本地化校正系数，无量纲。

(7) 液态粪污贮存与处理设施氨气排放系数

液态粪污贮存与处理设施氨气排放系数计算方法按照公式 (7) 进行计算：

$$EF_{l(T,a,b)} = Nex_{(T)} \times CR_{N(a)} \times \beta_l \times (1 - R_{N_l(b)}) \times Frac_{NH3_l} \times \gamma \times f_m \quad (7)$$

其中：

T ——畜禽种类，取值范围包括：生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡或肉鸡等；

a ——圈舍清粪方式，取值范围包括：干清粪、垫草垫料、高床养殖、水冲粪或水泡粪等；

b ——液态粪污处理方式，取值范围包括：固液分离、肥水贮存、厌氧发酵、好氧处理、液体有机肥生产、氧化塘处理、人工湿地或膜处理等；

$EF_{l(T,a,b)}$ ——第 T 种畜禽在第 a 种圈舍清粪方式及第 b 种液态粪污处理方式下，液态粪污贮存与处理设施的氨气排放系数，其中，生猪、肉牛、肉鸡的单位为 $\text{kg NH}_3/\text{头}(\text{羽})$ ，奶牛、蛋鸡的单位为 $\text{kg NH}_3/\text{头}(\text{羽})/\text{年}$ ；

$Nex_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的每头(羽)年平均氮排泄量， $\text{kg N}/\text{头}(\text{羽})/\text{年}$ ；

$CR_{N(a)}$ ——第 a 种圈舍清粪方式下，粪污中的氮素被收集进入粪污贮存与处理设施的收集率，%；

β_l ——液态粪污占总粪污的质量比重，%，若圈舍清粪方式非垫草垫料，则畜类取 50%，禽类取 0，若圈舍清粪方式为垫草垫料，则取 0；

$R_{N_l(b)}$ ——第 b 种液态粪污贮存与处理设施处理下氮留存率，%；

$Frac_{NH3_l}$ ——氨气在液态粪污贮存与处理设施氮素损失中的占比，%；

γ ——氮-氨转换系数，取 1.214；

f_m ——粪污贮存与处理设施氨气排放本地化校正系数，无量纲。

(8) 固态粪污贮存与处理设施氨气排放系数

固态粪污贮存与处理设施氨气排放系数计算方法按照公式 (8) 进行计算：

$$EF_{s(T,a,b)} = Nex_{(T)} \times CR_{N(a)} \times (1 - \beta_l) \times (1 - R_{N-l(c)}) \times Frac_{NH3_s} \times \gamma \times f_m \quad (8)$$

其中：

T ——畜禽种类，取值范围包括：生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡或肉鸡等；

a ——圈舍清粪方式，取值范围包括：干清粪、垫草垫料、高床养殖、水冲粪或水泡粪等；

c ——固态粪污处理方式，取值范围包括：堆肥发酵、生产沼气、有机肥生产、生产垫料或生产基质等；

$EF_{s(T,a,c)}$ ——第 T 种畜禽在第 a 种圈舍清粪方式及第 c 种固态粪污处理下，固态粪污贮存与处理设施的氨气排放系数，其中，生猪、肉牛、肉鸡的单位为 $\text{kg NH}_3/\text{头}(\text{羽})$ ，奶牛、蛋鸡的单位为 $\text{kg NH}_3/\text{头}(\text{羽})/\text{年}$ ；

$Nex_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的每头 (羽) 年平均氮排泄量， $\text{kg N}/\text{头}(\text{羽})/\text{年}$ ；

$CR_{N(a)}$ ——第 a 种圈舍清粪方式下，粪污中的氮素被收集进入粪污处理设施的收集率，%；

β_l ——液态粪污占总粪污的质量比重，%，若圈舍清粪方式非垫草垫料，则畜类取 50%，禽类取 0，若圈舍清粪方式为垫草垫料，则取 0；

$R_{N-s(c)}$ ——第 c 种固态粪污贮存与处理设施处理下氮留存率，%；

$Frac_{NH3_s}$ ——氨气在固态粪污贮存与处理设施氮素损失中的占比，%，推荐值见附表 B.4；

γ ——氮-氨转换系数，针对畜禽养殖业，取 1.214；

f_m ——粪污处理设施氨气排放本地化校正系数，无量纲。

5.6.2 关键参数推导与验证

养殖场氨气减排量为基准年和核算年氨气排放量的差值，而氨气排放量受畜禽活动数据 (A ，头 (羽)，年出栏量或年末存栏量)、养殖周期 (PC ，天)、氨气排放系数 (EF ， $\text{kg NH}_3/\text{头}(\text{羽})/\text{年}$)、氨气减排技术的减排率 (η) 等 4 项参数影响。其中， A 和 PC 可通过养殖场上报统计信息直接获取，相对

地， EF 和 η 需要准确率定，因此，准确获取 EF 和科学评估 η ，是提升模型核算结果准确性的关键所在。2023 年 12 月开展的《规模化畜禽养殖场氨气减排量核算技术指南》开题论证会，会上专家也针对标准编制工作给出进一步细化要求，具体包括：1) 进一步加强调研，优化核算系数，研究补充标准系数校验和质控相关内容；2) 进一步细化减排技术及减排率，选择代表性养殖场加强实测验证。

(1) 畜种的养殖周期

如下表所示：

表 5.6-1 畜种养殖周期

畜禽种类	养殖周期（天）
生猪	152
奶牛	365
肉牛	660
蛋鸡	365
肉鸡	48

(2) 氨气排放系数

本标准中的氨气排放系数（ EF ）使用氮物质流模型计算，并参考了 IPCC 指南的层级 1 和层级 2 方法相结合，基于不同单位畜种的标准氮排泄量，结合各暴露节点内不同清粪模式下的氮损失率及氨气在氮损失中的占比，折算出单位畜种排泄氮中的氨气释放量，即为该畜种对应的氨气排放系数。根据公式（6）～（8）具体的关键参数为氨气在各环节氮素损失中的占比 $Frac_{NH_3}$ （%）和各节点氨气排放的本地化校正系数 f （无量纲）。

a. $Frac_{NH_3}$ 的率定

由公式（6）～（8）可知，氨气排放系数核算结果受氮排泄量 N_{ex} （kg N/头（羽）/年）、圈舍氮素收集率 CR_N 、粪污处理设施处理下氮留存率 R_N 、液态粪污占总粪污的质量比重 β_l 和氨气在氮素损失中的占比 $Frac_{NH_3}$ 等 5 项参数控制。其中， N_{ex} 、 CR_N 、 R_N 等 3 项参数取值参考农业农村部已发布的《畜禽粪便土地承载力测算方法》（NY/T 3877—2021）； β_l 参考原环境保护部已发布的《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 55 号）。

$Frac_{NH3}$ 由于缺少可直接参考的国内标准规范或指南，参考了国际上相关官方指南，对该参数的取值进行率定。

畜禽粪污自圈舍环节产生后，其所含的氮素会以两种形式损失，分别为气态挥发（volatilization）以及淋溶或径流（leaching or runoff）损失。当前我国规模化畜禽养殖场在圈舍基本已采用硬化地面养殖，粪污处理设施也已进行防渗处理，因此，几乎不发生淋溶或径流造成的氮素损失，规模化畜禽养殖场中的氮素损失主要为气态挥发，主要产物包括 NH_3 、 N_2 、 NO 、 N_2O 、 NO_2 等，其中 NO_2 由 NO 转化而来，不纳入计算。

由于国内暂无明确指南和文献数据支撑，本标准参考《IPCC 2006 年国家温室气体清单指南 2019 修订版》（2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories，以下简称 IPCC 指南）和欧洲环境署（EEA）《EMEP/EEA 空气污染物排放清单指南手册》（EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook，以下简称 EEA 指南）^[12]提出的畜禽养殖场氨气排放氮物质流核算方法，圈舍节点发生的氮素损失主要为粪污中的有机氮转化为 NH_3 ，故本标准中 5 种畜禽圈舍氨气在圈舍节点氮素损失中的占比（ $Frac_{NH3_h}$ ）推荐值均为 100%。在粪污处理设施中， NH_3 在硝化反硝化过程中转化为 N_2 、 NO 、 N_2O 等气体，于是有：

$$\begin{aligned} Frac_{NH3} &= \text{氮素损失中 } NH_3 \text{ 的比例/总氮素损失比例之和} \\ &= EF'_{NH3} / (EF'_{NH3} + EF'_{N2O} + EF'_{N2} + EF'_{NO}) \end{aligned}$$

其中： EF' 为层级 2 排放系数，单位为 %TAN（本标准采用的 EF 为层级 1 和层级 2 混合方法，因此层级 2 排放系数采用 EF' 符号以避免混淆）。

EEA 指南和 IPCC 指南明确给出了上述 EF' 的具体数值，具体如表 5.6-2 所示。

表 5.6-2 粪污处理环节 $Frac_{NH3}$ 率定结果

畜种	EF'_{NH3}		EF'_{NO}		EF'_{N2}		EF'_{N2O}		$Frac_{NH3}$ (%)	
	液态粪污处理环节	固态粪污处理环节	液态粪污处理环节	固态粪污处理环节	液态粪污处理环节	固态粪污处理环节	液态粪污处理环节	固态粪污处理环节	液态粪污处理环节	固态粪污处理环节
生猪	0.11	0.29	0.0001	0.01	0.003	0.3	0	0.01	97	48
奶牛	0.25	0.32	0.0001	0.01	0.003	0.3	0	0.01	99	49
肉牛	0.25	0.32	0.0001	0.01	0.003	0.3	0	0.02	99	49
蛋鸡	—	0.08	—	0.01	—	0.3	—	0.002	—	20
肉鸡	—	0.3	—	0.01	—	0.3	—	0.002	—	49

注：该表对应标准正文附表 B.4。

最终，明确各环节中氨气在氮素损失中的占比推荐值如表 5.6-3 所示。

表 5.6-3 氨气在氮素损失中占比推荐值

养殖环节	畜禽种类				
	生猪	奶牛	肉牛	蛋鸡	肉鸡
圈舍 ($Frac_{NH3_h}$, %)	100	100	100	100	100
液态粪污贮存与处理设施 ($Frac_{NH3_l}$, %)	97	99	99	—	—
固态粪污贮存与处理设施 ($Frac_{NH3_s}$, %)	48	49	49	20	49

注：该表对应标准正文附表 B.4。

b. 本地化校正系数 (f) 的率定

由于气温条件为氨气排放的重要影响因子，我国幅员辽阔，在二污普时发现不同地区的规模化畜禽养殖场氨气排放系数存在明显差异，因此，在使用标准模型时，可能出现实测 EF 与模型预测 EF 差异较大的情况。为使模型公式平衡，达到准确核算的目的，需对不同区域的氨气排放系数进行本地化校正，故引入本地化校正因子 (f)，并对使用养殖场当地气温和实测 EF 对 f 的取值进行率定。

编制组搜集统计了国内外相关公开发表文献和二污普中有关我国规模化畜禽养殖场氨气排放系数的数据记录及当时当地气温用于氨气排放系数的本地化

校正。其中通过 Web of Science 和中国知网搜集研究论文 105 篇，获得数据记录 337 条，通过二污普实测获得数据记录 1047 条，总计 1384 条。圈舍环节 227 条数据来源于文献、548 条来源于二污普，共计 775 条；其中随机抽取 622 条数据用于推导圈舍环节本地化校正系数 f_h ，剩余 153 条数据用于验证（图 5.6-1）。粪污贮存与处理环节 110 条数据来源于文献、499 条来源于二污普，共计 609 条；其中随机抽取 487 条数据用于推导粪污贮存与处理环节本地化校正系数 f_m ，剩余 122 条数据用于验证（图 5.6-2）。

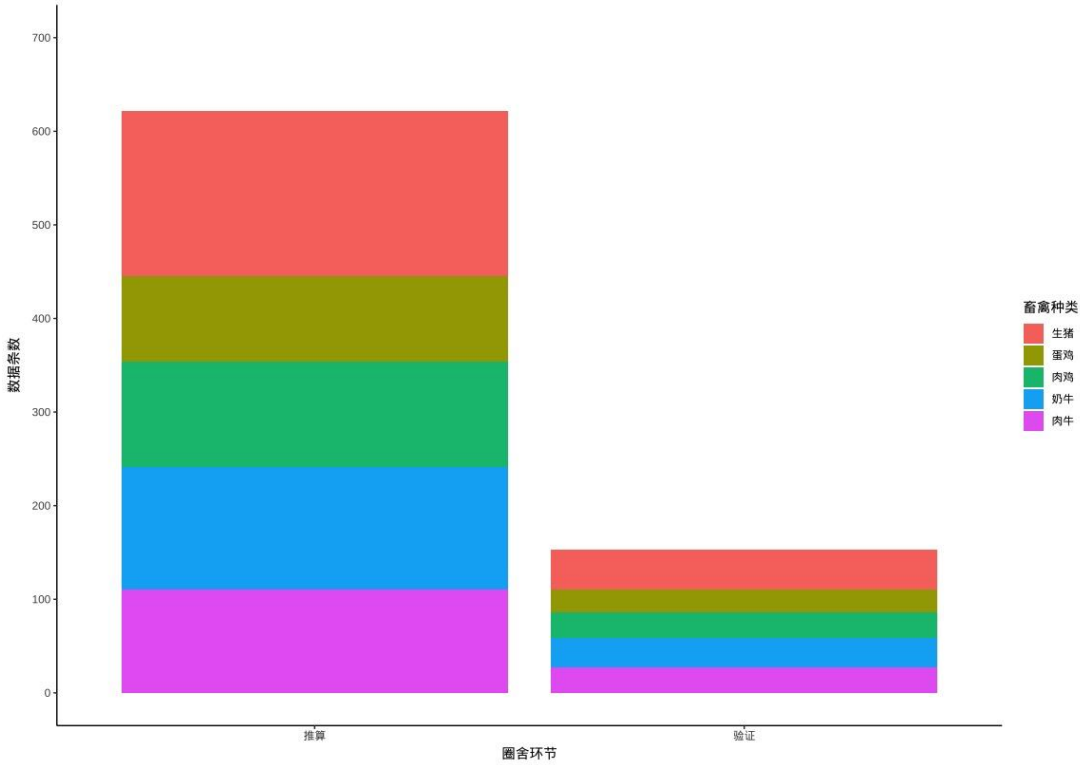


图 5. 6-1 所搜集的我国规模化畜禽养殖场圈舍环节氨气排放系数数据情况

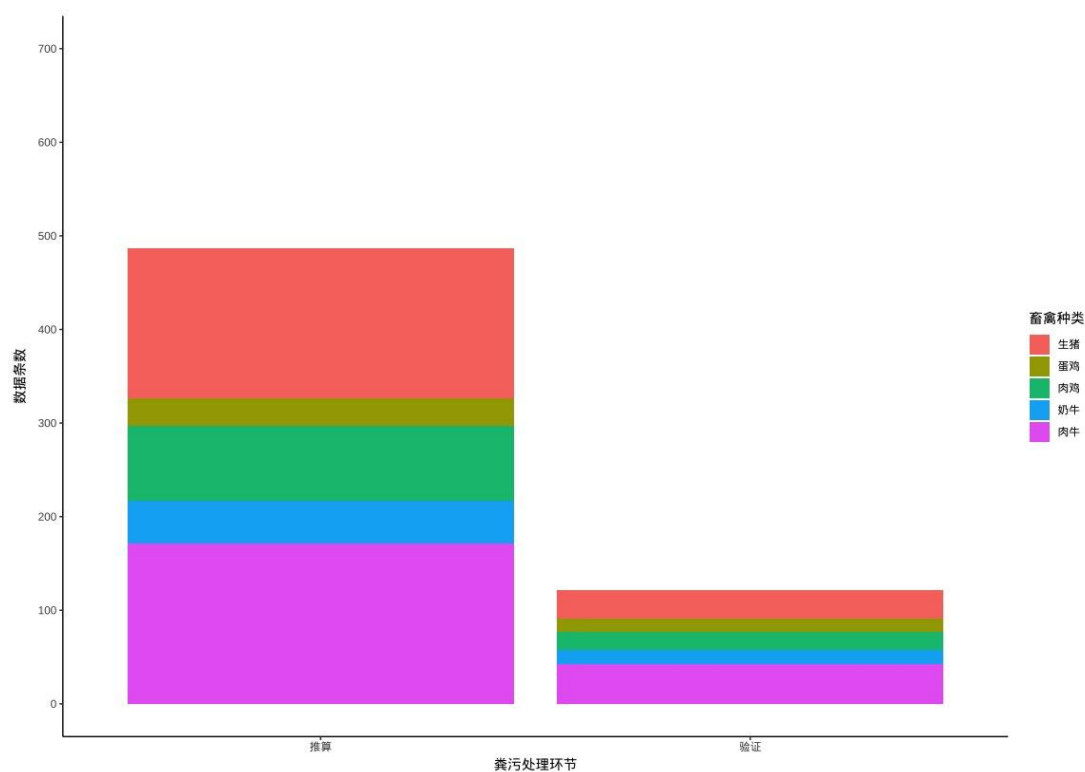


图 5.6-2 所搜集的我国规模化畜禽养殖场粪污贮存与处理环节氨气排放系数数据情况

根据搜集得到的实测 EF 数据，通过公式（6）～（8）反推得到 f_h 和 f_m ，发现 f 与当地温度基本呈正相关关系，且在 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 温度段时 f 接近 1，为方便管理使用，参考《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》，按养殖场所在地区（县域）的年均气温分为 $< 10^{\circ}\text{C}$ 、 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 和 $> 20^{\circ}\text{C}$ 三个温度区间，最终推导得出的本地化校正系数表 5.6-4 所示。由于我国规模化生猪、蛋鸡、肉鸡养殖场的圈舍环节已实现恒温封闭养殖， EF 几乎不受外环境温度影响，在圈舍节点，生猪、蛋鸡、肉鸡的 $f(f_h)$ 接近 1，因此，为方便使用，生猪、蛋鸡和肉鸡在圈舍环节的 $f(f_h)$ 可统一确定为 1，而其他 f 按对应推算数据的均值给出。

表 5. 6-4 规模化畜禽养殖场各节点氨气排放系数本地化校正系数推荐值

畜种 \ 温度 (°C) ^a	圈舍 (f_h)			液/固态粪污贮存与处理设施 (f_m)		
	< 10	10~20	> 20	< 10	10~20	> 20
生猪	1.0			0.7	1.0	1.3
蛋鸡				0.9		
肉鸡				0.7		
奶牛	0.8	1.0	1.4	0.8		
肉牛				0.9		

^a 温度指养殖场所在地区（县域）的年均气温。

注：该表对应标准正文附表 B.6。

为验证推导得到的本地化校正系数 (f) 推荐值的合理性，对于每个畜种的不同环节，在每个温度区间内，随机取 80%数据作为推导数据集，计算其均值作为 f_h 或 f_m ，同时，剩余的 20%数据作为验证数据集，计算其均值并与前者进行差异检验（独立样本 t 检验），以此验证所推导的 f_h 和 f_m 的准确性。 f_h 和 f_m 的推导与验证结果分别如图 5.6-5 和图 5.6-6 所示。独立样本 t 检验结果显示，在各个畜种、环节、温度区间分组下，所有构建的 f 与验证的 f 之间均无显著统计学差异 ($P > 0.05$)，误差率<10%，交叉检验通过，表明推导得到的本地化校正系数 (f) 推荐值设置合理。

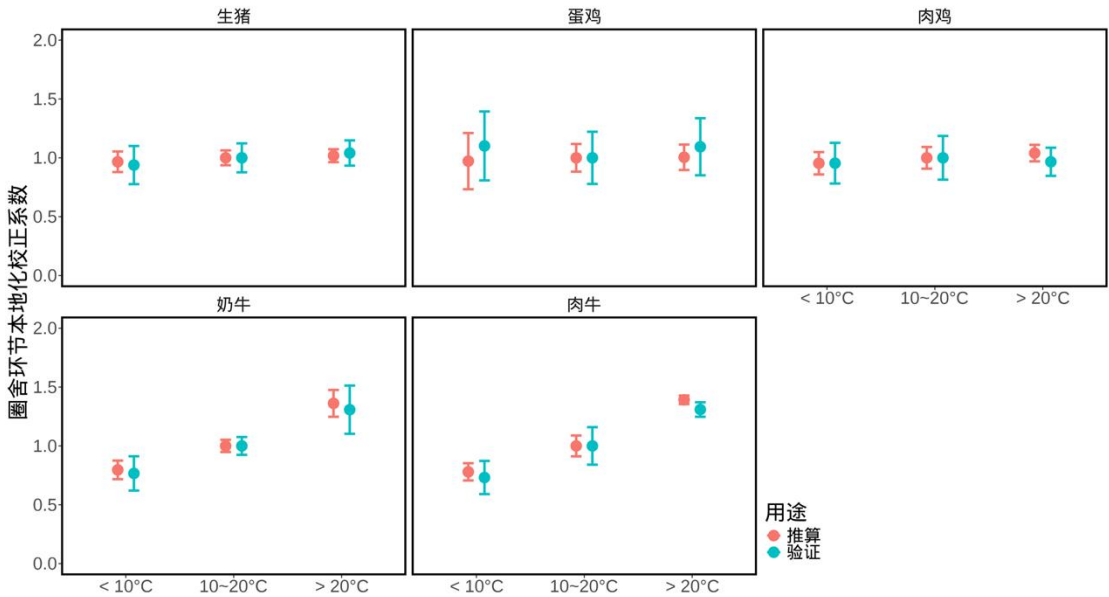


图 5. 6-3 各畜种圈舍环节本地化校正系数 (f_h) 的推导与验证

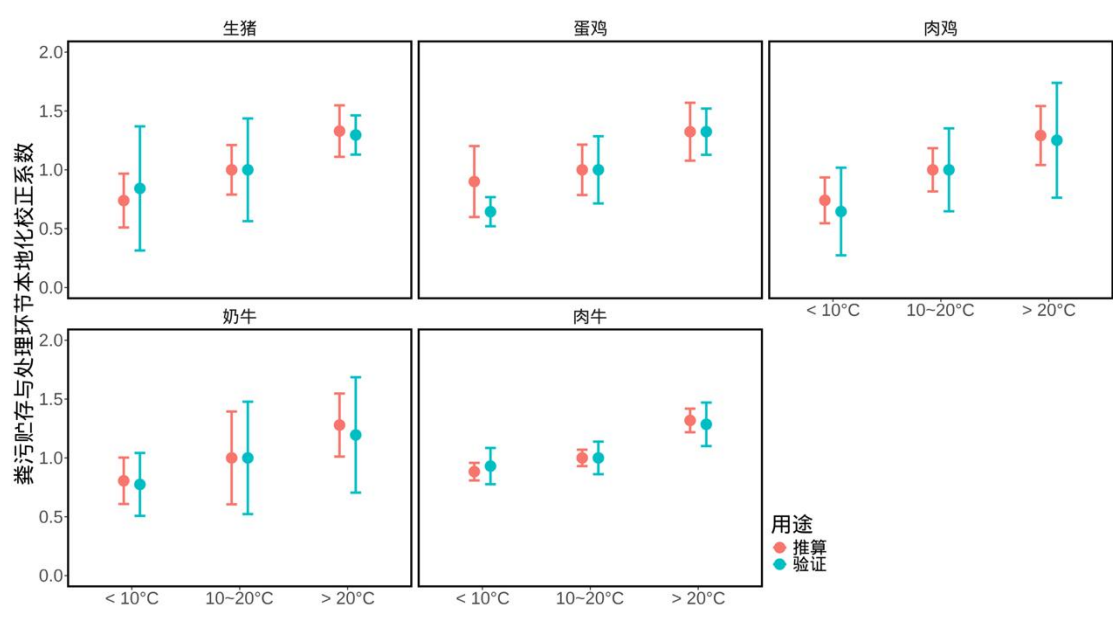


图 5.6-4 各畜种粪污贮存与处理环节本地化校正系数 (f_m) 的推导与验证

综上，完成对关键参数 $Frac_{NH3}$ 和 f 的优化，即完成对关键核算系数 EF 的优化。

c. 其他参数

氮排泄量：不同畜种的氮排泄量 ($N_{ex(T)}$) 推荐值参考《畜禽粪便土地承载力测算方法》(NY/T 3877—2021)，如下表所示：

表 5. 6-5 不同畜禽氮排泄量推荐值

畜禽种类	参考体重 (kg) ^a	氮排泄量 (kg N/头 (羽) /年) ^b
生猪	70	10.95
奶牛	550	71.54
肉牛	400	39.79
蛋鸡	1.3	0.44
肉鸡	1.3	0.44

^a不同畜禽的氮排泄量推荐值基于养殖场畜禽参考平均体重，其他平均体重的氮排泄量按照如下公式折算： $N_{ex_I} = N_{ex_default} \times W_I^{0.75} / W_{default}^{0.75}$ ，式中： N_{ex_I} 为需要计算的畜禽氮排泄量； $N_{ex_default}$ 为本表给出的不同畜禽氮排泄量推荐值； W_I 为需要计算的养殖场畜禽实际平均体重； $W_{default}$ 为本表给出的不同畜禽的参考平均体重。

^b鼓励养殖场采用低蛋白日粮等可从源头减少氮排泄量的方法措施，因采用相关方法措施导致畜禽实际氮排泄量低于本标准推荐值的，可按照实际检测数据执行。实际检测数据报告应由通过 CMA 认定或 CNAS 认可的具备相关检测能力的机构/实验室出具，并盖有 CMA 资质认定标志或 CNAS 认可标识章，否则应采用本标准推荐值。

注：该表对应标准正文附表 B.2。

进入粪污处理设施的氮收集率 ($CR_{N(a)}$)：参考《畜禽粪便土地承载力测算方法》(NY/T 3877—2021)，如下表所示：

表 5. 6-6 进入粪污处理设施的氮收集率推荐值

圈舍清粪方式	氮收集率 (%)
干清粪	88
垫草垫料	85
高床养殖	88
水冲粪	87
水泡粪	89

注：该表对应标准正文附表 B.3。

液态粪污占总粪污的质量比重 (β_l)：参考《大气氨源排放清单编制技术指南（试行）》（环境保护部公告 2014 年 第 55 号），若圈舍清粪方式非垫草垫料，则畜类取 50%，禽类取 0；若圈舍清粪方式为垫草垫料，则取 0。

粪污处理设施处理下氮留存率：参考《畜禽粪便土地承载力测算方法》(NY/T 3877—2021)，如下表所示：

表 5.6-7 粪污处理设施处理下氮留存率推荐值

环节	粪污处理方式	氮留存率 (%)
液态粪污贮存与处理设施 ($R_{N_l(b)}$)	肥水贮存/氧化塘处理/ 固液分离	75
	厌氧发酵/人工湿地/ 好氧处理/膜处理/液体有机 肥生产	95
固态粪污贮存与处理设施 ($R_{N_s(c)}$)	堆肥发酵/生产沼气	69
	有机肥生产/生产垫料/ 生产基质	64

注：该表对应标准正文附表 B.5。

(3) 氨气减排技术与减排率推荐范围

氨气减排技术是基于圈舍和粪污储存与处理畜禽养殖粪污管理全流程考虑，并与现行各类政策、规范的协调性进行分析后提出，统筹畜牧业绿色发展和污染治理，符合我国《畜禽规模养殖污染防治条例》《国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》《国务院办公厅关于促进畜牧业高质量发展的意见》等相关法律、法规。相关技术在牧原、温氏、德青源等大型畜禽养殖企业中得到广泛应用，并已列入《畜禽养殖场（户）粪污处理设施建设技术指南》（农办牧〔2022〕19号）、《规范畜禽粪污处理降低养分损失技术指导意见》（牧站绿〔2021〕71号）等文件中。氨气减排技术的减排率经过大量文献资料调研，搜集国内外现有所有公开发表的研究论文，获得数据记录 42 条；与实测报告结合整理后，给出减排率推荐值，具体技术及其减排率示例如下：

舍内喷淋技术。例如，郑炜超等探究在鸡舍内喷淋微酸性电解水对舍内氨气浓度的影响，测得其减排率为 33%^[28]。最终，舍内喷淋技术推荐减排率范围为 30%。

优化圈舍清粪技术。例如，阮蓉丹等针对不同清粪频次对生长猪舍内环境和粪污排放的影响进行研究，测得采用合理清粪频次后氨气减排率最低不低于 10%^[29]。最终，优化圈舍清粪技术推荐减排率范围为 10%。

生物发酵床技术。例如，帅起义等在猪舍发酵床铺设有机垫料，在垫料和饲料中添加不同的微生物菌制剂产品，与传统养猪进行对比试验，测得发酵床猪舍

减排率为 49.57%^[30]。最终，生物发酵床技术推荐减排率为 40%，其中添加吸附剂后氨气减排率可以进一步提高 10%。

密闭圈舍废气净化技术和固态粪污密闭沤肥尾气处理技术。例如，Manuzon 等研发并优化的多级湿式洗涤器在表观风速 3.3~6.6 m/s、入口氨气浓度 5~100 ppm 的工况下，三级湿式洗涤器氨气去除率为 $36\% \pm 3\% \sim 64\% \pm 1\%$ ^[31]。最终，密闭圈舍废气净化技术和固态粪污密闭沤肥尾气处理技术推荐减排率为 40%。

液态粪污酸化贮存技术。例如，Sokolov 等通过在中尺度室外储存罐中对液态奶牛粪污添加硫酸，发现液态粪污酸化在硫酸添加浓度为 1.2~2.0 g/L 的条件下可实现 20.6%~30.6% 的氨气减排^[32]。最终，液态粪污酸化贮存技术推荐减排率为 25%。

液态粪污覆盖贮存技术。例如，Baral 等采用活化消化物生物炭等作为覆盖材料，在贮存期内实现了 37%~51% 的氨气减排率^[33]。最终，液态粪污覆盖贮存技术推荐减排率为 30%，其中使用废气处理技术后氨气减排率可以进一步提高 20%。

固态粪污密闭堆肥技术。例如，Clanton 使用稻草覆盖猪粪的研究结果表明 NH₃ 的排放量下降了 37%~86%^[34]。最终，固态粪污密闭堆肥技术推荐减排率为 30%。

堆肥生物基除臭技术。例如，Chen 等通过鸡粪与木质生物碳共堆肥试验，测得其氨气减排率为 20.1%^[35]。最终，堆肥生物基除臭技术推荐减排率为 20%。

最终细化后的氨气减排技术及减排率推荐范围如表 5.6-8 所示。

如果养殖场所采用的氨气减排技术其对应减排率高于本标准推荐值的，可按照实际监测减排率进行核算。监测应按照相关标准开展并提供报告。报告应由通过 CMA 认定或 CNAS 认可的具备相关监测能力的机构/实验室出具，并盖有 CMA 资质认定标志或 CNAS 认可标识章，否则应采用本标准推荐值。养殖场固态粪污委托处理的，根据委托地氨气减排技术，参考表 5.6-8 确定氨气减排率。

表 5.6-8 规模化畜禽养殖场氨气减排技术及减排率推荐范围

氨气排放节点	养殖模式	氨气减排技术	减排率 (%)	来源示例
圈舍 ($\eta_{h(T,ar)}$)	干清粪	舍内喷淋技术	30	33% (郑炜超等, 规模化蛋鸡舍氨气纵向分布及喷雾消毒对氨气浓度的影响)
	干清粪	优化圈舍清粪技术	10	10.58% (阮蓉丹等, 不同机械干清粪频次对生长猪舍内环境和粪污排放的影响)
	垫草垫料	生物发酵床技术/ 生物发酵床添加 固态吸附剂技术	40 (添加吸附剂后 提高 10%)	49.57% (帅起义, 生物发酵床自然养猪技术养猪效果的试验报告)
	干清粪/ 高床养殖/ 垫草垫料/ 水冲粪/ 水泡粪	密闭圈舍废气净化技术	40	36%~64% (Manuzon et al., A Prototype Acid Spray Scrubber for Absorbing Ammonia Emissions from Exhaust Fans of Animal Buildings)
液态粪污 处理设施 ($\eta_{l(T,br)}$)	肥水贮存/ 氧化塘处理/ 固液分离/ 厌氧发酵	液态粪污酸化贮存技术	25	20.6%~30.6% (Sokolov et al., Response Curves for Ammonia and Methane Emissions From Stored Liquid Manure Receiving Low Rates of Sulfuric Acid)
		液态粪污覆盖贮存技术/ 液态粪污覆盖废气处理技术	30 (使用废气处理 技术后提高 20%)	28%~37% (Baral et al., The effect of biochar and acid activated biochar on ammonia emissions during manure storage)
固态粪污 处理设施 ($\eta_{s(T,cr)}$)	堆肥发酵	固态粪污密闭堆肥技术/ 固态粪污密闭沤肥技术	30	37%~86% (Clanton et al., geotextile fabric-straw manure storage covers for

				odor, hydrogen sulfide and ammonia control)
		堆肥生物基除臭技术	20	20.1% (Chen et al., Effects of different types of biochar on methane and ammonia mitigation during layer manure composting)
		固态粪污密闭沤肥尾气处理技术/堆肥尾气净化和过滤收集处理技术	40	参考密闭圈舍废气净化技术

注：该表对应标准正文附表 C.1。

根据开题论证会时专家“选择代表性养殖场加强实测验证”的意见，编制组于 2024 年 8、9 月对河南省周口市太康县某 2 座已实施氨气减排措施的规模化生猪养殖场（①场、②场）进行减排率现场监测（图 5.6-5），每座场挑选 2 个圈舍开展氨气减排监测工作，2 座场均采用密闭圈舍废气净化技术，其中①场为清水运行（减排设施刚建成未加药），②场为加药（次氯酸钠）运行，其余环境指标一致。

每座场连续监测 5 天，每天早（6~8 时）、中（12~14 时）、晚（18~20 时）、夜（0~2 时）共监测 4 轮，共获得实测数据 240 条，获取废气净化前后氨气浓度并计算减排率。对比本标准推荐的氨气减排率与实测氨气减排率，验证本指南推荐减排率的准确性。实测减排率如表 5.6-9 所示，实测减排率范围为 45%~85%，保守估计减排率可取 40%，实测验证结果准确。



图 5.6-5 现场监测照片

表 5.6-9 实测氨气减排情况

场地	圈舍 清粪方式	圈舍 氨气减排技 术	运行工况	核算减排率	实测平均 减排率 (%)
①场 1 舍	水泡粪	密闭圈舍 废气净化 技术	刚建成 清水运行	45%~85%	48.5
①场 2 舍					45.7
②场 1 舍			加药 稳定运行		78.9
②场 2 舍					83.1

5.7 对本标准的说明

规模化畜禽养殖场氨气减排量核算的工作内容包含信息收集、排放系数获取、排放量获取、氨气减排量核算四部分。

5.7.1 信息收集

基于资料收集、现场踏勘、人员访谈等方式，着重收集整理活动数据、养殖模式及粪污处理工艺信息，具体包括收集该规模化畜禽养殖场基准年和核算年的活动数据，以及该规模化畜禽养殖场圈舍养殖模式及液态粪污、固态粪污不同处理工艺信息。信息收集示例如表 5.7-1 所示。

表 5.7-1 信息收集示例

示例	所在地	所在地 年均气温 (°C)	畜种	平均体 重 (kg)	圈舍清粪 方式	液态粪污清 粪方式	固态粪污清 粪方式
A 场	江苏	15	生猪	70	干清粪	肥水储存	堆肥发酵
B 场	内蒙古	6	奶牛	550	干清粪	厌氧发酵	堆肥发酵
C 场	海南	25	蛋鸡	1.3	干清粪	—	堆肥发酵

5.7.2 排放系数获取

根据信息收集所获取的规模化畜禽养殖场养殖畜种、各氨气排放关键环节养殖模式等信息，获取不同畜种氮排泄量、进入粪污处理设施的氮收集率、氨气在氮素损失中占比、畜禽养殖周期、粪污处理设施处理下氮留存率等参数（表 5.7-2），计算获取规模化养殖场基准年和核算年规模化养殖场各氨气排放关键环节的氨气排放系数。

表 5.7-2 参数获取示例

示例	$Nex_{(T)}$ (kg N/ 头(羽)/ 年)	$CR_{N(a)}$ (%)	$R_{N_l(b)}$ (%)	$R_{N_s(c)}$ (%)	$Frac_{NH3_h}$ (%)	$Frac_{NH3_l}$ (%)	$Frac_{NH3_s}$ (%)	β_l (%)	f_h	f_m
A 场	10.95	89	75	69	100	97	48	50	1.0	1.0
B 场	71.54	88	95	69	100	99	49	50	0.8	0.8
C 场	0.44	88	—	69	100	—	20	0	1.0	0.9

其中：

$Nex_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的每头（羽）年平均氮排泄量，kg N/头（羽）/年；

$CR_{N(a)}$ ——第 a 种圈舍清粪方式下，粪污中的氮素被收集进入粪污贮存与处理设施的收集率，%；

$R_{N_l(b)}$ ——第 b 种液态粪污贮存与处理设施处理下氮留存率，%；

$R_{N_s(c)}$ ——第 c 种固态粪污贮存与处理设施处理下氮留存率，%；

$Frac_{NH3_h}$ ——氨气在圈舍氮素损失中的占比，%；

$Frac_{NH3_l}$ ——氨气在液态粪污贮存与处理设施氮素损失中的占比，%；

$Frac_{NH3_s}$ ——氨气在固态粪污贮存与处理设施氮素损失中的占比，%；

β_l ——液态粪污占总粪污的质量占比，%，若圈舍清粪方式非垫草垫料，则畜类取 50%，禽类取 0；若圈舍清粪方式为垫草垫料，则取 0；

f_h ——圈舍氨气排放本地化校正系数，无量纲；

f_m ——粪污贮存与处理设施氨气排放本地化校正系数，无量纲。

5.7.3 排放量计算

根据信息收集中规模化养殖场基准年和核算年所采用的不同氨气减排技术，获取所采用的圈舍氨气减排措施、液态粪污贮存与处理设施氨气减排措施或固态粪污贮存与处理设施氨气减排措施的减排率。结合计算获取的氨气排放系数与信息收集获得的养殖量数据，核算基准年和核算年氨气排放量。

5.7.4 氨气减排量核算

计算基准年与核算年氨气排放量差值，获取核算年规模化畜禽养殖场氨气

减排量。

5.7.5 核算试算案例演示

以我国某规模化生猪养殖场 A 场为例，计算该场核算年氨气减排量。

(1) 信息收集

通过资料收集、现场踏勘、人员访谈等方式，收集到生猪养殖场 A 场相关活动数据、养殖模式及粪污处理工艺信息等基础信息，其核算年及基准年相关养殖情况如图 5.7-1 和表 5.7-3 所示。

附录 A
(规范性附录)
规模化畜禽养殖场基本信息
表 A.1 规模化畜禽养殖场基本信息报表

01. 统一社会信用代码	XXXXXXXXXXXX (□□) 尚未领取统一社会信用代码的填写原组织机构代码号: □□□□□□□□ (□□)	
02. 养殖场名称及曾用名	养殖场名称: A场 曾用名:	
03. 法定代表人	张三	
04. 区划代码	□□□□□□□□	
05. 详细地址	某省(自治区、直辖市) 某地(区、市、州、盟) 某县(区、市、旗) 某乡(镇) 某街(村)、门牌号	
06. 企业地理坐标	经度: X度X分X秒 纬度: X度X分X秒	
07. 联系方式	联系人: 张三 电话号码: XXXXXXXXXX	
08. 养殖种类	☒ 生猪 2 奶牛 3 肉牛 4 蛋鸡 5 肉鸡	
09. 核算年份	基准年: 2020 年 核算年: 2023 年	
10. 活动数据	2000 头	
11. 粪污处理设施运行情况 是否正常	基准年: ☒ 是 ☐ 否 核算年: ☒ 是 ☐ 否	
12. 养殖模式	11-1 圈舍通风方式	1 封闭式 ☒ 2 开放式 ☐ (按主要模式单选)
	11-2 圈舍清粪方式	1 干清粪 ☒ 2 垫草垫料 ☐ 3 高床养殖 ☐ 4 水冲粪 ☐ 5 水泡粪 ☐ (按主要模式单选)
	11-3 液态粪污处理工艺	1 固液分离 ☐ 2 肥水贮存 ☒ 3 厌氧发酵 ☐ 4 好氧处理 ☐ 5 液体有机肥生产 ☐ 6 氧化塘处理 ☐ 7 人工湿地 ☐ 8 膜处理 ☐ 9 其他(请注明) ☐ ☐ (按主要模式单选)
	11-4 固态粪污处理工艺	1 堆肥发酵 ☒ 2 有机肥生产 ☐ 3 生产沼气 ☐ 4 生产垫料 ☐ 5 生产基质 ☐ 6 其他(请注明) ☐ ☐ (按主要模式单选)
13. 氨减排技术	12-1 圈舍减排技术	H-1 优化圈舍清粪技术 ☐ H-2 舍内喷淋技术 ☐ H-3 生物发酵床技术 ☐ H-4 生物发酵床添加固态吸附剂技术 ☐ H-5 密闭圈舍废气净化技术 ☒ (按主要模式单选)
	12-2 液态粪污处理减排技术	L-1 液态粪污酸化贮存技术 ☐ L-2 液态粪污覆盖贮存技术 ☒ L-3 液态粪污覆盖废气处理技术 ☐ (按主要模式单选)
	12-3 固态粪污处理减排技术	S-1 固态粪污密闭沤肥技术 ☐ S-2 固态粪污密闭堆肥技术 ☒ S-3 堆肥生物基除臭技术 ☐ S-4 固态粪污密闭沤肥尾气处理技术 ☐ S-5 堆肥尾气净化和过滤收集处理技术 ☐ (按主要模式单选)

注: □为基准年情况, □为核算年情况;
填报“08. 养殖种类”时, 仅限勾选一个, 若存在两种及以上养殖种类的应分别填写信息报表;
填报“10. 活动数据”时, 应采用养殖场基准年及其前后各一年(共三年)的畜禽养殖量年平均值。

6

图 5.7-1 案例演示：某规模化生猪养殖场氨气减排量核算试算案例基本信息报表

表 5.7-3 生猪养殖场 A 核算年及基准年养殖情况

畜禽种类	活动数据/头	年份	所在地年均气温/℃	平均体重/kg	养殖周期/天	圈舍清粪方式(a)	圈舍氨气减排技术(ar)	液态粪污处理设施(b)	液态粪污处理设施氨气减排技术(br)	固态粪污处理设施(c)	固态粪污处理设施氨气减排技术(cr)
生猪	20000	基准年	15	70	152	干清粪	—	肥水贮存	—	堆肥发酵	—
		核算年	15	70	152	干清粪	密闭圈舍废气净化技术	肥水贮存	液态粪污覆盖贮存技术	堆肥发酵	固态粪污密闭堆肥技术

(2) 排放系数获取

根据养殖场 A 场核算年和基准年养殖情况，对照附录 B，获取氨气排放系数计算参数，如表 5.7-4 所示。

表 5.7-4 生猪养殖场 A 核算年及基准年氨气排放系数计算参数

年份	N_{ex}	$CR_{N(a)}$	β_l	$R_{N_l(b)}$	$R_{N_s(c)}$	$Frac_{NH3_h}$	$Frac_{NH3_l}$	$Frac_{NH3_s}$	f_h	f_m	γ
基准年	10.95	88	50	75	69	100	97	48	1.0	1.0	1.214
核算年	10.95	88	50	75	69	100	97	48	1.0	1.0	1.214

根据附录 B 氨气排放系数计算公式，代入表 5.7-4 参数，获取生猪养殖场 A 核算年及基准年氨气排放系数：

a. 基准年 A 场圈舍氨气排放系数：

$$\begin{aligned}
 EF_{h(T,a)} &= N_{ex(T)} \times (1 - CR_{N(a)}) \times Frac_{NH3_h} \times \gamma \times f_h \\
 &= 10.95 \times (1 - 88\%) \times 100\% \times 1.214 \times 1 \\
 &= 1.60 \text{ (kg NH}_3\text{/头/年)}
 \end{aligned}$$

b. 基准年 A 场液态粪污贮存与处理设施氨气排放系数:

$$\begin{aligned} EF_{l(T,a,b)} &= Nex_{(T)} \times CR_{N(a)} \times \beta_l \times (1-R_{N_l(b)}) \times Frac_{NH3_l} \times \gamma \times f_m \\ &= 10.95 \times 88\% \times 50\% \times (1 - 75\%) \times 97\% \times 1.214 \times 1.0 \\ &= 1.42 \text{ (kg NH}_3\text{/头/年)} \end{aligned}$$

c. 基准年 A 场固态粪污贮存与处理设施氨气排放系数:

$$\begin{aligned} EF_{s(T,a,b)} &= Nex_{(T)} \times CR_{N(a)} \times (1 - \beta_l) \times (1-R_{N_s(c)}) \times Frac_{NH3_s} \times \gamma \times f_m \\ &= 10.95 \times 88\% \times (1 - 50\%) \times (1 - 69\%) \times 48\% \times 1.214 \times 1 \\ &= 0.87 \text{ (kg NH}_3\text{/头/年)} \end{aligned}$$

同理, A 场核算年圈舍氨气排放系数、液态粪污贮存与处理设施氨气排放系数、固态粪污贮存与处理设施氨气排放系数分别为 1.60 kg NH₃/头/年、1.42 kg NH₃/头/年和 0.87 kg NH₃/头/年。

(3) 排放量计算

根据养殖场 A 场核算年及基准年养殖情况, 对照附录 C, 获取对应的氨气减排技术减排率, 相关参数如表 5.7-5 所示。

表 5.7-5 生猪养殖场 A 核算年及基准年减排技术减排率

年份	$\eta_{h(T,ar)}$	$\eta_{l(T,br)}$	$\eta_{s(T,cr)}$	$A_{(T,i)}$	$PC_{(T)}$
基准年	0	0	0	20000	152
核算年	35%	30%	30%	20000	152

其中:

$\eta_{h(T,ar)}$ ——第 T 种畜禽在圈舍采用第 ar 种氨气减排技术的减排率, %, 若无氨气减排技术, 该值为 0;

$\eta_{l(T,br)}$ ——第 T 种畜禽在液态粪污贮存与处理设施采用第 br 种氨气减排技术的减排率, %, 若无氨气减排技术, 该值为 0;

$\eta_{s(T,cr)}$ ——第 T 种畜禽在固态粪污贮存与处理设施采用第 cr 种氨气减排技术的减排率, %, 若无氨气减排技术, 该值为 0;

$A_{(T,i)}$ ——第 i 个规模化畜禽养殖场中第 T 种畜禽活动数据, 对于含有存栏母

猪/公猪养殖的规模化生猪养殖场，存栏母猪/公猪的年末存栏量应折算为年出栏量，折算方法为：年末存栏量 $\times 365 \div$ 生猪养殖周期（天）。

$PC_{(T)}$ ——第 T 种畜禽的养殖周期，天，推荐值见附表 B.1。

根据附录 B 排放系数计算公式，代入表 5.7-5 参数、基准年及核算年有关氨气排放系数，获取生猪养殖场 A 核算年及基准年氨气排放系数。

(1) 核算年 A 场圈舍氨气排放量：

$$\begin{aligned} E_{h(i)} &= A_{(T,i)} \times [PC_{(T)}/365] \times EF_{h(T,a)} \times (1-\eta_{h(T,ar)}) \\ &= 20000 \times (152/365) \times 1.60 \times (1\% \sim 35\%) \\ &= 8661.92 \text{ (kg NH}_3\text{)} \end{aligned}$$

(2) 核算年 A 场液态粪污贮存与处理设施氨气排放量：

$$\begin{aligned} E_{l(i)} &= A_{(T,i)} \times [PC_{(T)}/365] \times EF_{l(T,a,b)} \times (1-\eta_{l(T,br)}) \\ &= 20000 \times (152/365) \times 1.42 \times (1\% \sim 30\%) \\ &= 8278.79 \text{ (kg NH}_3\text{)} \end{aligned}$$

(3) 核算年 A 场固态粪污贮存与处理设施氨气排放量：

$$\begin{aligned} E_{s(i)} &= A_{(T,i)} \times [PC_{(T)}/365] \times EF_{s(T,a,b)} \times (1-\eta_{s(T,cr)}) \\ &= 20000 \times (152/365) \times 0.87 \times (1\% \sim 30\%) \\ &= 5072.22 \text{ (kg NH}_3\text{)} \end{aligned}$$

(4) 核算年 A 场氨气排放量：

$$\begin{aligned} E_{(i)} &= E_{h(i)} + E_{l(i)} + E_{s(i)} \\ &= 8661.92 + 8278.79 + 5072.22 \\ &= 22012.93 \text{ (kg NH}_3\text{)} \end{aligned}$$

同理可得，基准年 A 场氨气排放量 $E_{\text{基准年}(i)}$ 为 32482.20 kg NH₃。

(4) 氨气减排量核算

最终可获得生猪养殖场 A 场核算年氨气减排量：

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_{\text{基准年}(i)} - E_{\text{核算年}(i)} \\ &= 32482.20 - 22012.93 \\ &= 10469.27 \text{ (kg NH}_3\text{)} \end{aligned}$$

6 标准实施的建议

本标准规定了规模化畜禽养殖场氨气减排量核算相关的核算边界、核算步骤、核算方法及数据质量管理等内容，适用于规模化畜禽养殖场氨气减排量的核算和评估。为了保证本标准的实施，建议生态环境部门、农业农村部门加强对规模化畜禽养殖场氨气减排研究的支持力度，为准确核算规模化畜禽养殖场氨气减排量并开展治理工程的减排效果评估提供更有力的技术支撑。建议加大对标准的宣传，扩大标准的影响力，促进标准的落地应用。本标准是第一次发布，还有诸多不完善的地方，建议结合地方实践不断修订完善。

7 参考文献

- [1] P. Xu, G. Li, Y. Zheng, et al. Fertilizer management for global ammonia emission reduction [J]. *Nature*, 2024, 626(8000): 792–798.
- [2] Baojing Gu, Lin Zhang, Rita Van Dingenen, et al. Abating ammonia is more cost-effective than nitrogen oxides for mitigating PM_{2.5} air pollution [J]. *Science*, 2021, 374: 758–762.
- [3] Shohei Hattori, Yoshinori Iizuka, Becky Alexander, et al. Isotopic evidence for acidity-driven enhancement of sulfate formation after SO₂ emission control [J]. *Science Advances*, 2021, 7(19): eabd4610.
- [4] Y. C. Lin, Y. Zhao, Y. L. Zhang, et al. China's SO₂ emission reductions enhance atmospheric ozone-driven sulfate aerosol production in East Asia [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2025, 122(24): e2414064122.
- [5] M. Van Damme, L. Clarisse, S. Whitburn, et al. Industrial and agricultural ammonia point sources exposed [J]. *Nature*, 2018, 564(7734): 99–103.
- [6] European Commission Joint Research Centre. Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) [EB/OL]. 2024.
- [7] Zhiling Gao, Wenqi Ma, Gaodi Zhu, et al. Estimating farm-gate ammonia emissions from major animal production systems in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 79: 20–28.
- [8] MEIC v2.0. Multi-resolution Emission Inventory model for Climate and air pollution research [EB/OL].
- [9] UNECE. Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions [R]. 2015.
- [10] 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 – 157.
- [11] Ed Buijsman, Hans F. M. Maas, Willem A. H. Asman. Anthropogenic NH₃ emissions in Europe [J]. *Atmospheric Environment*, 1987, 21(5): 1009–1022.
- [12] EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019 [R]. 2019.
- [13] USEPA. National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations [R]. 2004.
- [14] Marian Diaz Goebes, Ross Strader, Cliff Davidson. An ammonia emission inventory for fertilizer application in the United States [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, 37(18): 2539–2550.
- [15] National Emissions Ceilings Directive [J]. *Official Journal of the European Union*, 2016: 2016/2284.
- [16] EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2016 [R]. 2016.
- [17] EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2023 [R]. 2023.
- [18] G. L. Velthof, C. van Bruggen, C. M. Groenestein, et al. A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, 46: 248–255.

- [19] J. Webb, T. H. Misselbrook. A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(14): 2163–2176.
- [20] 王振刚, 宋振东. 湖北省人为源氨排放的历史分布 [J]. *环境科学与技术*, 2005, 01: 70 – 71.
- [21] 杨志鹏. 基于物质流方法的中国畜牧业氨排放估算及区域比较研究 [D]; 北京大学, 2008.
- [22] 刘东, 马林, 王芳浩, 等. 中国猪粪尿 N 产生量及其分布的研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4): 1591–1595.
- [23] 刘东, 王方浩, 马林, 等. 中国猪粪尿 NH₃ 排放因子的估算 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(4): 218 – 224.
- [24] 环境保护部. 大气氨源排放清单编制技术指南（试行） [R]. 2014.
- [25] 农业农村部. 畜禽粪便土地承载力测算方法. NY/T 3877—2021 [S]. 2021.
- [26] Defra. Inventory of Ammonia Emissions from UK Agriculture 2021 [R]. 2023.
- [27] EU. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs [R]. 2017.
- [28] 郑炜超, 李保明, 康润敏, 等. 规模化蛋鸡舍氨气纵向分布及喷雾消毒对氨气浓度的影响 [J]. *第五届中国蛋鸡行业发展大会会刊*, 2011.
- [29] 阮蓉丹, 曾雅琼, 蒲施桦, 等. 不同机械干清粪频次对生长猪舍内环境和粪污排放的影响 [J]. *生产与管理*, 2019, 55(8): 126 – 131.
- [30] 帅起义, 邓昌彦, 李家连, 等. 生物发酵床自然养猪技术养猪效果的试验报告 [J]. *养猪*, 2008, 5: 27 – 28.
- [31] R. B. Manuzon, L. Y. Zhao, H. M. Keener, et al. A prototype acid spray scrubber for absorbing ammonia emissions from exhaust fans of animal buildings [J]. *Transactions of the ASABE*, 2007, 50(4): 1395–1407.
- [32] Vera Sokolov, Jemaneh Habtewold, Andrew VanderZaag, et al. Response Curves for Ammonia and Methane Emissions From Stored Liquid Manure Receiving Low Rates of Sulfuric Acid [J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021, 5: 678992.
- [33] K. R. Baral, J. McIlroy, G. Lyons, et al. The effect of biochar and acid activated biochar on ammonia emissions during manure storage [J]. *Environmental Pollution*, 2023, 317: 120815.
- [34] C. J. Clanton, D. R. Schmidt, R. E. Nicolai, et al. Geotextile fabric-straw manure storage covers for odor, hydrogen sulfide, and ammonia control [J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2001, 17(6): 849–858.
- [35] W. Chen, X. Liao, Y. Wu, et al. Effects of different types of biochar on methane and ammonia mitigation during layer manure composting [J]. *Waste Management*, 2017, 61: 506–515.