

《规模化畜禽养殖场氨减排技术指南》

征求意见稿

编制说明

标准编制组

二〇二〇年八月

目 录

| | |
|----------------------------|----|
| 1 项目背景..... | 1 |
| 1.1 任务来源..... | 1 |
| 1.2 工作过程..... | 1 |
| 2 标准制订的意义和必要性..... | 2 |
| 2.1 养殖场氨的性质和环境危害..... | 2 |
| 2.2 我国养殖场氨排放的现状特点..... | 3 |
| 2.3 养殖场氨排放管理存在的问题..... | 6 |
| 3 国内外养殖场氨管理 | 7 |
| 4 指南制订的基本原则和技术路线 | 8 |
| 4.1 标准制订的基本原则 | 8 |
| 4.2 标准制订的技术路线 | 9 |
| 5、指南主要条文说明 | 9 |
| 5.1 适用范围 | 9 |
| 5.2 要求性引用文件 | 10 |
| 5.3 术语和定义 | 10 |
| 6 规模化养殖场氨排放特性 | 13 |
| 7 规模化养殖场不同管理环节氨排放控制技术..... | 13 |
| 7.1 饲料标准 | 13 |
| 7.2 饲舍设计 | 14 |
| 7.3 储存管理环节 | 15 |
| 8 规模化畜禽养殖场氨减排技术 | 16 |
| 8.1 可行技术工艺流程 | 16 |
| 8.2 可行技术工艺参数 | 17 |
| 8.3 氨减排和废弃物循环利用 | 18 |
| 8.4 技术经济适用性 | 18 |
| 8.5 技术应用注意事项 | 19 |
| 附录 A 养殖场尺度氨排放估算模型 | 20 |
| 附录 B 减排情景效果估算与成本分析 | 21 |
| 附录 C 氨减排技术成本核算 | 22 |

1 项目背景

1.1 任务来源

依据《中华人民共和国标准化法》、《国家标准化管理委员会、民政部关于印发<团体标准管理规定的通知>》（国标委联<2019>1号）文件精神，根据《中环环保联合会团体标准管理办法（试行）》（中环联字<2018>79号）的相关规定，中华环保联合会组织专家对《规模化畜禽养殖场氨减排技术指南》团体标准立项报告进行了评审立项。由河北农业大学、中国农业大学、北京市环境保护科学研究院、中科院南京土壤研究所等单位组建专家组共同编制《规模化畜禽养殖场氨减排技术指南》团体标准，经费来源于国家重点研发计划项目《农业源氨排放控制技术及其标准研究（2016YFC0207906）》资助。

1.2 工作过程

（1）成立标准编制小组

2019年成立了标准编制小组，成员主要为有多年污染源排放标准和相关技术规范制定经验的技术人员。

（2）查询国内外相关标准和文献资料

编制组收集了国内外有关畜禽养殖场氨排放的研究成果，全面跟踪了解养殖场氨的减排技术效果、经济成本和可操作性等研究现状。

（3）编写开题报告并进行论证

召开论证会听取开题论证报告，确定规模化养殖场氨减排技术指南编制的技术路线。针对畜禽养殖场氨排放控制存在的难题进行了重点研究，旨在筛选可操作性强、经济成本相对较低、减排效果较好的减排技术，并设计规模化养殖场氨减排可行技术组合和关键工艺参数。

（4）编写标准征求意见稿和编制说明并组织验证

组织有关专家对要求适用范围、术语定义、主要技术内容，进行了深入剖析和探讨，编制了《规模化畜禽养殖场氨减排技术指南》（初稿）。

标准编制组按照计划任务书的要求，筛选了可操作性强、经济成本相对较低、减排效果较好的减排技术，设计规模化养殖场氨减排可行技术组合和关键工艺参数。

2 标准制订的意义和必要性

2.1 养殖场氨的性质和环境危害

大气氨是导致雾霾形成的主要组分之一，这是由于进入大气中的氨仅有约 10%通过沉降过程回到当地的陆地和水体，而其余 90%存留在大气中与 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 等形成无机铵盐，或与有机气溶胶结合产生有色气溶胶，其中铵盐可占 $\text{PM}_{2.5}$ 无机颗粒物含量的 26.1-41.3%。研究发现，我国氨排放总量从 2000 年的 12.1 Tg N 上升到 2015 年的 15.6 Tg N，年均增长率为 1.9%，期间农业源氨（种植业和养殖业）的贡献率始终维持在 80%左右（图 1），依据中国 74 个重点城市的原位实测 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度数据和卫星遥感探测的污染物网格排放数据对比分析，发现我国氨排放可能被严重低估。随着“大气十条”的成功实施，京津冀及周边 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和重污染天数实现“双降”，然而，由于城市的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染同时受 SO_2 、 NO_x 和氨排放影响，若要实现区域空气质量完全达标，需要在大力控制硫化物和氮氧化物排放的基础上，进一步有效控制大气氨浓度，如在京津冀地区，农业氨减排使京津冀地区 $\text{PM}_{2.5}$ 的年均浓度下降 $12.04\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，下降比例约为 18.36%，因此，有效控制农业氨排放，实现与 SO_2 和 NO_x 协同减排，已成为当前大气雾霾与酸雨污染防治的共同要求，且已引起社会的高度关注。作为世界畜禽养殖大国，畜禽养殖粪污氨排放所造成的环境污染问题，已成为制约行业可持续发展的重要因素之一。

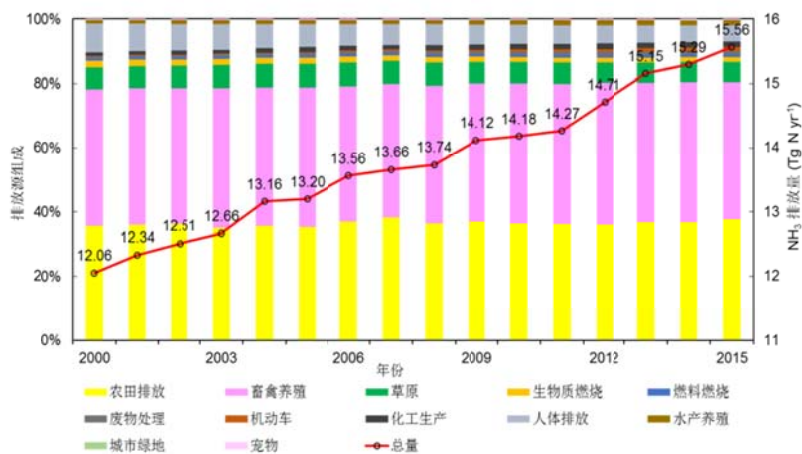


图 1 2000-2015 年中国氨排放总量和各排放源贡献

2.2 我国养殖场氨排放的现状和特点

2.2.1 氨排放现状

随着农业生产的发展，不同类型农业源氨排放组成也随之发生变化。研究发现，1980-2012年间，我国养殖业粪尿的排放量从 2.86 Tg 增加到 6.16 Tg，而后降低到 5.5 Tg，其中肉牛业对养殖业的氨排放贡献率最高，其次为蛋鸡和生猪养殖；由于肥料形态的改变（如碳酸氢铵用量的大幅减少），化肥的氨挥发从 2.1 Tg 增加到 4.7 Tg，之后降低 2.8 Tg。通过估算我国 1978-2008 年我国农业肥料的氨排放情况，发现 2008 年我国农业肥料氨排放量为 8.4 Tg，在 1978-2008 年间，分别于 1987，1996 和 2005 出现了氨排放高峰，总排放量从 3.2 增加到 8.4Tg，其中养殖业粪尿施用后的氨挥发从 37.0%增加到 45.5%，这是由于施肥措施的变化和养殖业的发展。城镇化的发展导致农村人口减少，人粪尿的贡献从 20.3%降低到 8.5%，饼肥和秸秆还田的占比为 3.8%和 4.5%，一直比较小而稳定。2010 年我国农业肥料的氨排放量为 10.7（8.9-12.3） Tg，其中有机肥施用引起的氨挥发贡献率为 47.5%，化肥氨挥发贡献率为 41.9%，农村人粪尿施入农田后氨挥发的占比为 5.0%，饼肥的氨挥发为 5.5%。本课题研究结果发现，我国农业肥料氨的排放与温度、播种时间和栽培模式密切相关，排放主要集中在华北、松辽、长江中下游、珠江三角洲、四川盆地、塔里木盆地和雷州半岛（图 2）。我国 76 个城市的氨排放占总量的 50%，农业源氨的季节性排放特征明显，夏季最高贡献率为 42%（7 月份最高），冬季最低（1 月份最低），约为 14%。

综上所述，前期研究基本明确了养殖业（养殖场粪尿存储）和种植业（化肥氨挥发、粪尿有机肥氨挥发）是构成农业源氨排放的 2 个主要排放源，农村人粪尿施用以及饼肥、秸秆堆肥对农业源氨排放贡献率较小；氨气排放的季节性特征也较明显，春季和夏季比较高，冬季较低。然而也明确发现，由于构建清单时不同研究所采用的排放因子差异，导致不同研究结果的氨排放估算量、排放的地区特征都存在较大的不确定性。因此需增加我国农业源氨排放的测定等基础研究，进一步降低我国各主要农业源氨排放因子的不确定性，从而为我国农业源氨管理和减排提供理论依据和技术支持。

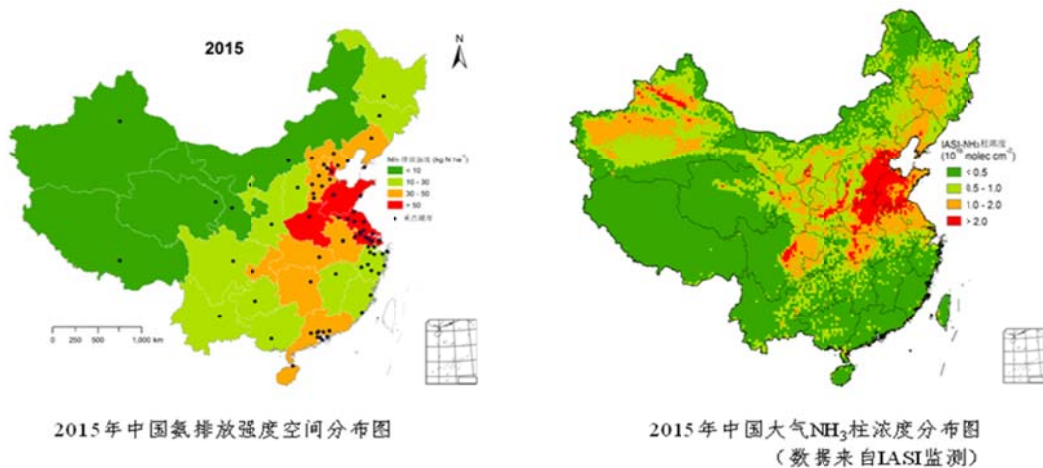


图 2 2015 年中国氨排放与卫星监测数据对比

2.2.2 养殖场氨排放特点

从污染物来源来看，规模化养殖场的氨排放隶属于农业源，是养殖业氮素气态损失的最重要途径，其排放源主要包括畜禽饲舍、粪污存放/加工/处理设施以及田间施用等环节。据估计，饲舍液态和固态粪尿的氨排放分别占氮素排泄量的 4.7-25.7%和 4.7-50.4%，而舍外的粪污存储过程中，液态与固态粪污的氨排放分别占粪污氨氮的 3.8-15.8%和 0.8-4.6%。本课题研究表明，规模化畜禽养殖场的氨排放源，如露天牛圈、粪污露天存放设施等，占地面积较大（通常数个公顷-数个平方公里），不存在统一的排放口，属于无组织排放，其氨排放速率受环境因素如温度、风速、湿度影响大，具有明显的日排放特征和季节排放特征（图 3）。上述特点与本项目课题一提出的大气面源污染的定义（即在一定区域范围内，气态或颗粒态污染物从非特定地点或多个特定的呈面状的地点，在空气扩散作用下以低矮密集的方式自地面或近地面的高度排放污染物，弥散到大气环境中并引起大气质量降低的污染）基本吻合，因此规模化养殖场氨排放源属于大气面源污染。

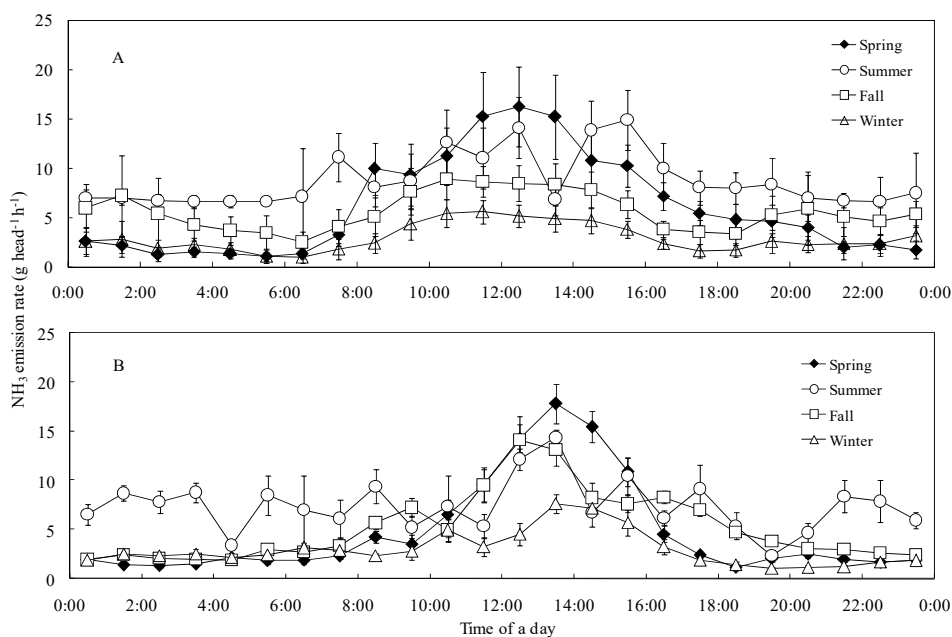


图 3 奶牛养殖场氨排放特征

从规模化养殖场氨气浓度来看，本标准测定了奶牛、肉牛等露天养殖区氨浓度，如图 4 所示，其氨气浓度范围通常低于 $2.5\text{mg}/\text{m}^3$ ，符合畜禽场环境质量标准(NY/T388-1999)，即低于畜禽场区浓度标准 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。然而，与农业源氨的另一个重要组成部分种植业相比，规模化畜禽养殖场的氨排放源面积相对较小，但排放速率高，例如，一个养殖规模 1000 头、占地面积约为 4 公顷的奶牛养殖场，其氨年排放量可达到 48 吨，约相当于 800 公顷（如年氮素投入量为 400 公斤、氨排放系数为 15%）大田种植面积的氨排放，其单位面积氨排放量约是大田作物的 200 倍。规模化养殖场地点明确，场界清晰，养殖场内部的氨排放源易识别（如饲舍通风口、沼液存储池、粪污堆放场所、有机肥加工厂等），管理控制对象明确，养殖场法人（负责人）易于联系沟通，监管和执法目标可量化（图 5）。此外，相对种植业氨排放的短期行为（主要发生在施肥后 1-2 周内），养殖业氨排放具有持续稳定排放的连续源特征，因此，在冬季雾霾相对较严重和集中爆发的时期，控制养殖业氨排放应是农业源氨的重点管控时期。鉴于此，在当前大气污染形势异常严峻的阶段，养殖业理应被优先列为农业氨排放的重点管控对象，国家和地方各级政府有必要在制定环境治理目标规划中，设定养殖业的氨减排近期和远期目标，并制订相应的实现氨减排目标的具体措施。

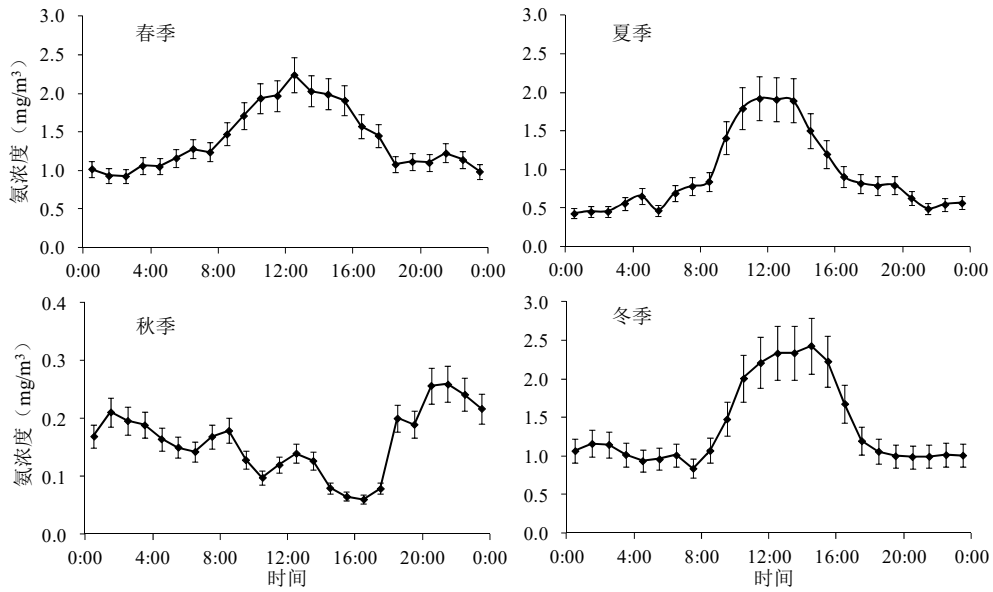


图 4 奶牛养殖场氨浓度特征

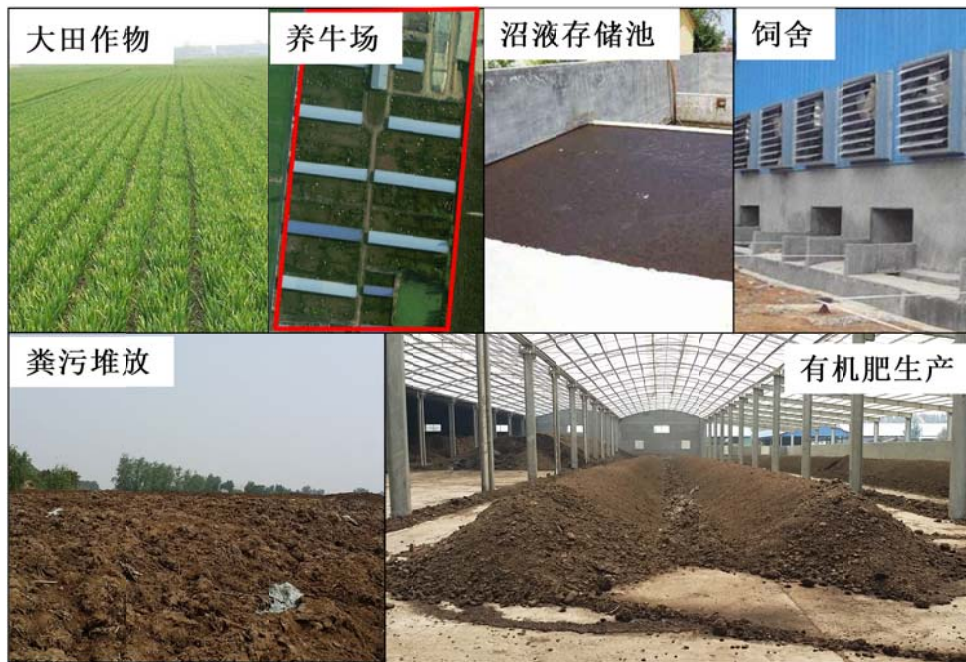


图 5 规模化养殖场主要氨排放源

2.3 养殖场氨排放管理存在的问题

养殖场的粪尿多长期暴露在空气中，受环境因素如温度、风速、湿度影响，其氨排放通常具有明显的日排放和季节排放特征，具备常年排放的持续源特征。根据氮素的流动途径，规模化养殖场氨排放源分布在粪尿排泄、管理、存储与利用环节，主要包括畜禽饲舍、运动场、粪污堆放场所、污水氧化塘、沼液池和农田场所。《畜禽养殖污染防治技术规范》规定了养殖场的清粪工艺、畜禽粪便贮存、污水处理、固体

粪肥的处理与利用等污染防治的基本技术要求，并要求畜禽养殖场产生的畜禽粪便应设置专门的贮存设施，其恶臭及污染物排放应符合《畜禽养殖业污染物排放标准》；《畜禽养殖业污染防治技术政策》中规定规模化畜禽养殖场（小区）应加强恶臭气体净化处理并覆盖所有恶臭发生源，排放的气体应符合国家或地方恶臭污染物排放标准。与发达国家相比，尽管我国养殖业已经有了长足的发展，但高排放、低效益仍然是我国养殖业目前的基本特点。我国控制畜禽养殖污染法规在日益完善，但缺乏针对性的控制方法与技术，因此，有必要建立统一规范的适合不同规模与管理方式的养殖场氨减排技术，不仅可有效地降低畜禽粪污氨排放污染的影响，同时也为我国畜禽养殖业氨减排研究提供理论支撑。

3 国内外养殖场氨管理

畜禽粪便是重要的氨气排放源之一，畜禽养殖业氨排放控制措施主要涉及饲料、畜禽饲舍、粪便堆存与处理、农田利用 4 个阶段：（1）饲料措施包括阶段性饲喂、降低饲料粗蛋白含量、采用低蛋白氨基酸补充饮食以及饲料添加剂等；（2）畜禽饲舍措施主要通过减少粪尿暴露的表面积，提高清除粪尿到饲舍外堆存区的频率，以及增设空气吸收/过滤装置来减少氨排放，如对猪舍采用漏缝地板、对于大规模养殖场采用湿式洗涤器处理废气等；（3）粪污堆存措施主要是为粪污储存装置增添覆盖物，以减少与空气的交换；（4）粪肥土地利用措施主要是通过施肥机械降低液态粪便的表面面积或迅速将粪肥（液态、固态）翻耕入土壤中，如使用粪液肥注入机、犁或耕耘机等。

为指导各国开展畜禽养殖业氨排放控制工作，欧盟先后制定了预防和减少氨排放的相关指导文件。2001 年，欧盟颁布了《大气污染物国家排放限值指令》，该指令确定了欧盟氨气的排放总量和各国的减排目标。欧盟《整合污染预防与控制指令》中的集约化畜禽养殖最佳实用技术也包含了氨的减排措施。丹麦、荷兰和瑞典等国家关于畜禽粪便的贮存及粪污土地施用上有很明确的规定，荷兰在控制粪便储存流失量方面，法令要求粪污储存设施必须密封以阻止氨气排放，同时要求只有在耕作季节才能施入畜禽粪肥，2014 年起，荷兰强制畜牧业对产生的所有多余粪污进行加工处理。研究表明，粪便的氨排放量与臭气强度相对应，美国有些州基于可达到的控制技术制定了臭气排放限值。同时，为减少畜禽粪尿挥发的氨气，可采取的措施包括：（1）使用有充足容量的厌氧塘对粪便进行处理，通过冲洗、刮除或者排水提高清除粪便的频率，可

有效地降低氨气排放；（2）使用湿式洗涤器、土壤过滤系统等来捕获和处理氨气；（3）控制饲料蛋白含量、使用饲料添加剂等也可降低氨气的排放强度。我国在 2001 年，国家环保总局颁布的《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》中规定：必须设置固体废物的固定储存设施和场所，储存场所要有防止粪液渗漏、溢流的措施。我国控制畜禽养殖污染法规在日益完善，但缺乏针对性的养殖场尺度氨减排技术指南和相应的技术工艺组合。

4 指南制订的基本原则和技术路线

4.1 标准制订的基本原则

充分考虑了国家现有的与养殖场废弃物管理办法、粪污处理技术规范、饲料管理等多种法令、条例和相关标准等，如《畜禽养殖业污染防治技术规范》（HJ/T 81-2001）、《畜禽规模养殖污染防治条例》（国务院令 643 号）、《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》（HJ497-2009）、《污水稳定塘设计规范》（GJJ/T54 93）、《畜禽场场区设计技术规范》（NY/T 682-2003）、《标准化奶牛场建设规范》（NY/T 1567-2007）、《畜禽粪便无害化处理技术规范》（NY/T1168-2006）、《规模化畜禽养殖场沼气工程设计规范》（NY/T1222-2006）、《规模化畜禽养殖场沼气工程设备选型技术规范》（NY/T 2600-2014）、《规模化畜禽养殖场沼气工程运行、维护及其安全技术规程》（NY/T1221-2006）、《仔猪、生长育肥猪配合饲料》（T/CFIAS 001-2018）、《蛋鸡、肉鸡配合饲料》（T/CFIAS 002-2018）等，以及环境质量控制标准、工业源氨排放控制标准，如《畜禽场环境质量标准》（NYT388-1999）、《畜禽场环境质量及卫生控制规范》（NY/T1167）、《奶牛场舍区、场区、缓冲区环境质量》（DB11/T 426-2007）、《无公害食品 畜禽场环境质量》（DB11/T 551-2008）、《恶臭(异味)污染物排放标准》（DB31/1025-2016）和《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB 18596-2001）以及《畜禽养殖场环境影响评价准则》（DB11/T 424-2207），并结合当前规模化养殖场氨排放控制技术的减排潜力，以畜禽养殖氨的综合利用和资源化的技术路线，力争做到全链条管理。首先推动畜禽废弃物循环利用，完善有机肥农田施用技术，这是促进种养结合实现农业可持续发展的基础；通过规范固态和液态废弃物存储方式，降低储存过程中的氨排放；同时要完善堆肥、厌氧发酵等工艺，答复降低养殖场废弃物处理过程中的氨排放；此外，加强饲舍粪污管理，改良饲舍粪污存储设施，利用生物化学等手段去除养殖

饲舍废气的氨；最终，提倡与鼓励采用低蛋白饲料、使用饲料添加剂等技术从源头削减废弃物氮素排放。

4.2 标准制订的技术路线

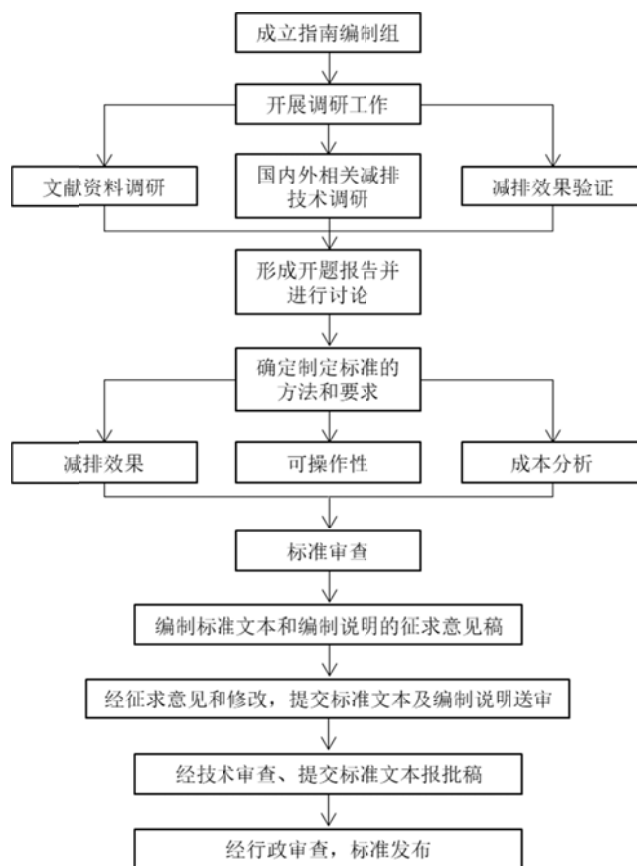


图 6 技术路线图

本研究根据规模化养殖场氮素流动途径可将养殖场分为饲料管理、饲舍管理、粪污存储与处理和农田施用四个环节，在准确理解不同管理措施对氨排放影响的基础上，根据不同环节的氨减排技术的效率与成本，通过情景分析的形式筛选各个环节经济高效的氨减排技术，从而确定最佳的养殖场尺度氨减排技术方案。

5、指南主要条文说明

5.1 适用范围

本指南适用于生猪出栏量超过 500 头、奶牛存栏量超过 100 头、肉牛出栏量超过 200 头、蛋家禽存栏量超过 15000 羽、肉家禽超过 30000 羽的具有一定养殖规模的畜禽养殖场的氨排放管理。

规模低于上述养殖量的养殖场（户），推荐使用本指南。

本指南不包括牧区放牧氨排放管理。

5.2 要求性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

HJ/T 81-2001 畜禽养殖业污染防治技术规范

GB 18596-2001 畜禽养殖业污染物排放标准

国务院令 第643号 畜禽规模养殖污染防治条例

NY/T 1167 畜禽场环境质量及卫生控制规范

HJ497-2009 畜禽养殖业污染治理工程技术规范

DB11/T 424-2207 畜禽养殖场环境影响评价准则

NY/T 388-1999 畜禽场环境质量标准

GJJ/T54 93 污水稳定塘设计规范

NY/T 682-2003 畜禽场场区设计技术规范

NY/T 1567-2007 标准化奶牛场建设规范

NY/T 1168-2006 畜禽粪便无害化处理技术规范

NY/T 1222-2006 规模化畜禽养殖场沼气工程设计规范

NY/T 2600-2014 规模化畜禽养殖场沼气工程设备选型技术规范

NY/T 1221-2006 规模化畜禽养殖场沼气工程运行、维护及其安全技术规程

DB31-1025-2016 恶臭（异味）污染物排放标准（上海市）

DB11/T 426-2007 奶牛场舍区、场区、缓冲区环境质量（北京市）

T/CFIAS 001—2018 仔猪、生长育肥猪配合饲料

T/CFIAS 002—2018 蛋鸡、肉鸡配合饲料

5.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

5.3.1

规模化畜禽养殖场 *intensively confined animal feeding operation*

指以企业化运营为主要模式从事畜禽养殖活动的场所，或者以个体经营模式从事经营性畜禽养殖活动但达到省级人民政府规定的养殖规模标准的场所（表 1），以及从事畜禽养殖科研活动的场所。

表 1 集约化畜禽养殖场的适用规模（以存栏数计）

| 类别规模分级 | 猪（头） (25kg 以上) | 鸡（万只） | | 牛（头） | |
|--------|-------------------|----------|--------|-----------|-----------|
| | | 蛋鸡 | 肉鸡 | 成年奶牛 | 肉牛 |
| I 级 | ≥3000 | ≥10 | ≥20 | ≥200 | ≥400 |
| II 级 | 500≤Q<3000 | 1.5≤Q<10 | 3≤Q<20 | 100≤Q<200 | 200≤Q<400 |

注：Q 表示养殖量。对具有不同畜禽种类的养殖场和养殖区，其规模可将鸡、牛的养殖量换算成猪的养殖量，换算比例为：30 只蛋鸡折算成 1 头猪，60 只肉鸡折算成 1 头猪，1 头奶牛折算成 10 头猪，1 头肉牛折算成 5 头猪。

5.3.2

畜禽养殖区 *collectively confined animal feeding operation*

指以集中建造畜禽圈舍、农户分户饲养为主要模式，按照畜禽养殖场所与居民生活区分离的原则，由地方人民政府、村民委员会、农村集体经济组织、畜牧业合作经济组织划定，或者由专门从事畜禽产品生产经营的龙头企业按照有关规定设置，集中从事畜禽养殖活动达到省级人民政府规定的养殖规模标准的区域（参见表 2）。

表 2 集约化畜禽养殖区的适用规模（以存栏数计）

| 类别规模分级 | 猪（头） (25kg 以上) | 鸡（万只） | | 牛（头） | |
|--------|-------------------|---------|---------|-----------|-----------|
| | | 蛋鸡 | 肉鸡 | 成年奶牛 | 肉牛 |
| I 级 | ≥6000 | ≥20 | ≥40 | ≥400 | ≥800 |
| II 级 | 3000≤Q<6000 | 10≤Q<20 | 20≤Q<40 | 200≤Q<400 | 400≤Q<800 |

注：Q 表示养殖量。对具有不同畜禽种类的养殖场和养殖区，其规模可将鸡、牛的养殖量换算成猪的养殖量，换算比例为：30 只蛋鸡折算成 1 头猪，60 只肉鸡折算成 1 头猪，1 头奶牛折算成 10 头猪，1 头肉牛折算成 5 头猪。

5.3.3

粪污 *manure*

指畜禽排泄的粪便、尿液。

5.3.4

畜禽饲舍 animal house

畜禽生活的场区之一，通常分为开放式、半开放式和封闭式三种类型。

5.3.5

运动场 play ground for dairy cows

主要存在于奶牛养殖场，是奶牛日常活动、饮水、休息和补饲的场所之一。

5.3.6

堆肥场 the composting area of manure

将畜禽粪便等固体废弃物集中堆放并在微生物作用下使有机物发生生物降解的场所。

5.3.7

沼液池 digestate pond

存放养殖场粪便污水经厌氧消化后产生的废液的场所。

5.3.8

稳定塘/氧化塘 stabilization pond/oxidation pond/lagoon

以塘为主要构筑物，利用自然生物群体净化污水的处理设施。根据溶解氧含量和微生物种类分为厌氧塘、兼性塘、好氧塘、曝气塘、生物塘。根据处理后达到的水质标准分为常规处理和深度处理塘。

5.3.9

完全贮存塘 complete containment pond

污水贮存不外排，仅靠蒸发减少水量的稳定塘。

5.3.10

舍区 the housing area of livestock farm

畜禽所处的半封闭的生活区域、即直接的生活环境区。

5.3.11

场区 the working area of livestock farm

围栏或院墙以内、舍区以外的办公区域。

5.3.12

畜禽养殖氨挥发 ammonia volatilization from manure storage in animal operations

畜禽粪污露天存放场所（自然堆肥、氧化塘、沼液存贮池等）向大气排放气态氨的过程。

6 规模化养殖场氨排放特性

养殖场粪尿多长期暴露在空气中，受环境因素如温度、风速、湿度影响，其氨排放通常具有明显的日排放和季节排放特征，具备常年排放的持续源特征。规模化养殖场氨排放源分布在粪尿排泄、管理、存储和农田施用环节，主要包括畜禽饲舍、运动场、粪污堆放场所、污水氧化塘、沼液池、农田等场所。由于这些排放源占地面积较大，故单位面积氨排放强度通常比较低，因此养殖场氨排放应归为无组织排放，属于大气面源污染类型。由于养殖场粪尿管理属于链条式，根据养殖场粪尿流动环节列举了主要氨排放控制技术。

7 规模化养殖场不同管理环节氨排放控制技术

7.1 饲料标准

7.1.1 降低饲料蛋白水平

为了避免营养过剩，提高养分利用率，应该根据动物的需要水平以及畜禽对饲料能量、蛋白质等的利用效率，采用平衡膳食配方。低蛋白日粮补充合成氨基酸可以在不影响动物生长的情况下，减少畜禽粪污对环境的影响。这是因为降低饲喂动物饲料中可被降解的蛋白含量时，降低了尿氮的含量，且粪便 pH 值可能会降低、干物质含量升高，能够降低粪便的氨排放量。

7.1.2 饲料添加剂

在饲料中添加微生态制剂，可以改善畜禽肠道内的有益菌群，而这些有益菌在生长繁殖期能以氨、硫化氢等物质为营养或受体，有一定的固氮功能，可减少在碱性条件下的挥发，从而减少氨的排放。在饲料中添加适量的粗纤维以及沸石、酶制剂、酸制剂、丝兰提取物等，也可降低畜禽的氨气排放。

7.2 饲舍设计

7.2.1 漏缝地板

漏缝地板可以使尿液快速渗入到地下储存装置而使固态粪便存留在饲舍内，达到粪尿快速分离的目的，与传统硬化地板相比，漏缝地板可以及时的将动物粪尿排放至相对凉爽的地下储存设施内，进而降低氨挥发。

7.2.2 添加脲酶抑制剂

使用脲酶抑制剂能够抑制脲酶活性，使尿液中的尿素以酰胺的形式保存在粪尿混合物中，显著降低氨挥发。N-丁基硫代磷酰三胺（NBPT）、苯基磷酸二酰胺（PPDA）、T-磷酸三环己胺（CHPT）等抑制剂的使用均可有效降低饲舍中的氨挥发。

7.2.3 垫料

添加垫料改变了混合物的 C/N 比，促进微生物的活性，增加对氮素的固定。添加垫料还可降低自然或机械通风时圈舍中地面气流的作用，同时垫料本身对氨的吸附固定，生物反应后粪尿 pH 下降。

7.2.4 空气过滤器

空气过滤器是一种阻止污浊、污染的空气进、出入饲舍中的一种先进设备，主要有酸性过滤器和生物过滤器。空气过滤是采用具有填充物的反应器用管道与饲舍连接一起。污浊的空气通过与饲舍相连的管道与充满填充物质的反应器相连，这些填充物质由惰性的或生物活性物质组成（酸性过滤器），或者木屑、沙土以或矿石棉组成的复合物（生物过滤器）。在酸性过滤器中，通过添加酸使循环水的 pH 值需要一直保持 4 以下，释放出的氨气被酸性溶液转变成 NH_4^+ 。在生物过滤器中，填充媒介物质添加特定的好养微生物，可以转化非有机物质或破坏有机复合物。因此，氨气被氧化 NO_2^- 和 NO_3^- 。经过反硝化作用变成无污染的氮气而减少氨气排放。

7.2.5 提高清粪频率

提高粪便清除频率，及时将畜舍内粪便转移到密闭的存储设施内，可降低饲舍氨挥发。

7.2.6 自动传送带装置

传送带式清粪机承粪板安装在每层家禽笼下面，当机器启动时，将家禽粪输送到一端，被末端设置的

刮粪板刮落，完成清粪工作。缩短粪便在饲舍滞留时间可降低氨排放。

7.3 储存管理环节

储存管理环节将粪污分为固态及液态两种管理方式，其中固态存储场所主要有运动场、自然堆肥场以及强化堆肥处理设施等，液态粪污储存设施主要包括固液分离的沉淀池、稳定塘、完全贮存塘、沼液池等。氨减排措施主要包括酸化、覆盖、吸附添加剂等。

7.3.1 堆放酸化

使用酸化剂能调节畜禽粪便中氨和 NH_4^+ 的比例。在酸性条件下，液体中的 H^+ 浓度比较高， NH_4^+ 的解离平衡向左移动 ($\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$)，抑制了氨的形成，减少氨氮的挥发，提高作为有机肥施用时的氮含量。此外，适宜的酸度可以减少细菌的滋生，减弱生成氨的酶的活性。

7.3.2 堆肥添加剂

添加剂是指为了加快堆肥进程或提高堆肥产品质量，在堆肥物料中加入的微生物、有机或无机物质。常用的添加剂一般包括有机物添加剂、微生物添加剂以及一些无机添加剂。微生物添加剂，利用添加外源微生物的办法来调控堆肥过程中氮、碳的代谢，通过氮素物质分解为 NH_4^+ 后的气态挥发损失来控制臭味的产生，并保留更多的氮养分。沸石，沸石表面远比一般颗粒的内表面大，每克沸石的内表面积竟有千余平方米，因此沸石的吸附量特别大。脲酶抑制剂，畜禽粪便含尿素和氨态氮较多，在堆肥过程中，其中的一部分尿素在脲酶的作用下分解为 NH_4^+ ，后又挥发损失掉。脲酶抑制剂对脲酶活性具有很强的抑制能力，从而抑制尿素的转化率。

7.3.3 覆盖

粪便在存储过程中形成的天然结壳可有效减少粪便存储过程中产生的气体排放。实际生产操作中通常采用人工添加覆盖物的方法以减少粪污存储过程中的气体排放。传统的透过性覆盖物包括珍珠岩、油脂、粘土球、织布或塑料等；生物性覆盖物包括玉米秆、锯屑、木屑、谷壳等。

7.3.4 固液分离

固液分离是将固体粪污和液态粪污分开处理的一种工艺，固体粪污主要为粪便，其主要成分为蛋白质、脂肪、微生物、无机盐以及未消化完全的纤维素类物质；而液态粪污中氮主要以不稳定的尿素形式存在，

当接触粪便中脲酶时转化为易挥发的氨。固液分离可消除液体中的大量有机物质，削弱了厌氧微生物的活动，从而减少了有害气体的挥发和氨气的释放。

7.3.5 提高自然结壳率

由于粪污表面自然风干，形成一层保护层，防止氨的挥发，是最简单、最经济的方法，当粪污中的纤维素和固体含量较高，并很少扰动时，可形成这种风干保护层。

8 规模化畜禽养殖场氨减排技术

8.1 可行技术工艺流程

根据养殖场氨排放源的组成特点，养殖场尺度的控氨工艺应该是基于饲料管理、饲舍粪污清理方式与频率、饲舍粪污管理、粪污传输方式、粪污堆放管理以及粪污处理（堆肥或厌氧发酵）等环节的全链条工艺流程。

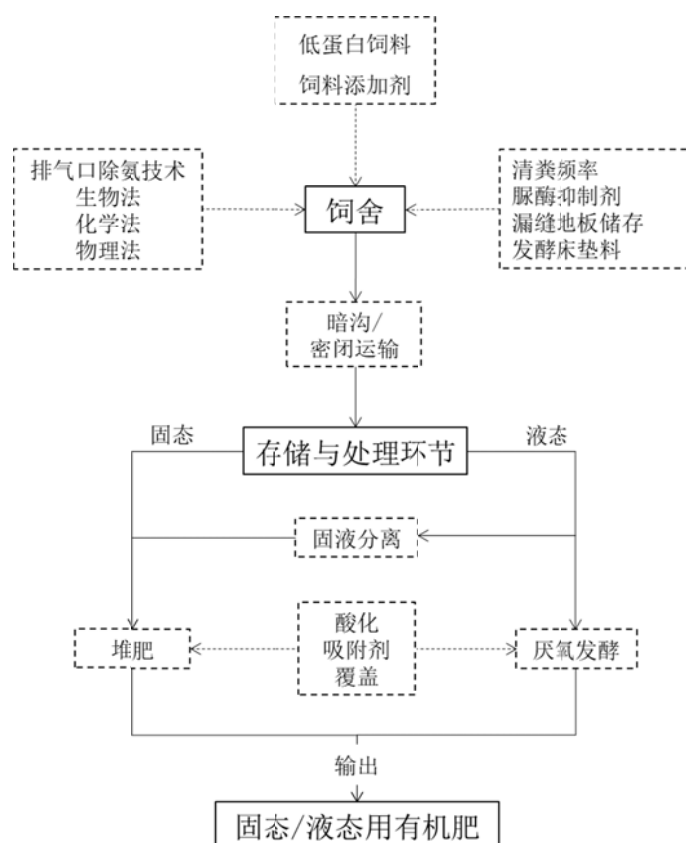


图 7 规模化养殖场氨减排技术组合

8.2 可行技术工艺参数

养殖场不同管理环节的粪污处理工艺适宜参数。

表 3 养殖场不同环节氨减排工艺适宜参数

| 管理环节 | 处理工艺 | 技术环节 | 推荐技术指标 | |
|------|-------|---------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 饲料 | 低蛋白饲料 | 粗蛋白含量 | 猪饲料下降 1.5 个百分点，鸡饲料下降 1.0 个百分点 | |
| | 饲料添加剂 | 饲料 | 丝兰提取物用量 120-200mg/kg | |
| 饲舍 | 粪污管理 | 空气过滤器 | 化学 | 酸性空气净化器（47mm 玻璃纤维，6m ³ /h 气泵）， |
| | | 清粪频率 | | 至少每天清理一次。 |
| | | 漏缝地板 | | 漏缝面积:地板面积为 50:50，下面建有液态储粪池。 |
| | | 脲酶抑制剂 | | nBTPT，100mg/kg。 |
| | 垫料 | | 全覆盖主要粪污区，材料为秸秆、锯末等，奶牛和肉牛饲舍用量 4.7 kg/头/天；猪饲舍用量 8.0 kg/头/周。 | |
| 粪污传输 | 暗沟传输 | 沟渠 | 全覆盖硬化。 | |
| 粪污存储 | 常规储存 | 覆盖 | 秸秆，塑料膜，土工布 | |
| | | 酸化 | 磷酸、弱酸盐（pH<6.5）。 | |
| | | 吸附剂 | 沸石（鲜基 10%）、生物炭（干基 5%）。 | |
| 粪污处理 | 堆肥 | 初始有机物含量 | 20%~60% | |
| | | 加入沸石 | ~2% | |
| | | 初始含水率 | 40%~65% | |
| | | 发酵温度 | 50~70℃（高温维持时间 7 天以上） | |
| | | 初始碳氮比 | 20~40:1 | |
| | | 初始 pH | 加磷酸调节至弱酸性（6.0-6.5） | |
| | | 一次发酵 | 10~30d | |
| | 翻堆频率 | 2~10d/次，发酵过程不少于 7 次 | | |
| | 厌氧发酵 | 除草、除毛 | 采用机械格栅，同时定期采取机械或人工方式对调浆池进行清捞处理。养牛场应设置机械破碎装置，对牛粪进行破碎预处理。养鸡场 | |

| | | | |
|--|--|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | 应特别考虑除毛问题。 |
| | | 调浆 | 采用厂区生活污水、养殖场冲洗水或回流沼液调浆，一般含固率8~12%为宜；搅拌应采用机械搅拌方式，搅拌器以中心搅拌为宜； |
| | | 除砂 | 采用机械除砂，根据原料含砂程度不同，1~2周除砂一次；对于养鸡场、养牛场应特别考虑除砂问题。 |
| | | 调节 | 应采用蒸汽或热水盘管等方式进行增温，厌氧段采用CSTR，应设置机械搅拌装置，以实现物料均质。调节池停留时间一般为1~2d。 |
| | | 水解 | 大型畜禽养殖场粪污处理工程宜设置水解池，停留时间一般为2~4d，水解池内pH应维持在5~6。 |
| | | 沼液储存 | 沼气工程应建设沼液储存及利用设施。在具备沼液后处理设施时，沼液站内储存时间不应低于5d，沼液回用于农田时，储存时间不低于90d。储存池应该用薄膜覆盖。或用加入沸石等吸附材料、用磷酸调节pH为弱酸性。 |
| | | 沼渣堆肥 | 沼渣堆肥沼渣经固液分离后含水率小于85%，堆肥时间不小于2周，具体可参考堆肥工艺流程。 |

8.3 氨减排和废弃物循环利用

经过上述工艺后，养殖场尺度的氨减排率超过40%。控氨过程中所添加的物料均可满足农田施用的要求，确保所产生的含有控氨材料的粪污在满足配方施肥、当地环境容量要求的基础上仍可以实现粪污还田。

8.4 技术经济适用性

本指南估算管理工艺的经济投入时，未包括堆肥设备或厌氧发酵工艺设备的建设费用，仅考虑了存储或处理过程中控氨措施本身所需要投入的物料、添加剂、覆盖物等材料成本及其相关的运行维护成本。以年出栏量为4000的猪场为例，若考虑养殖场尺度氨排放减排目标为20-25%时，仅针对养殖场粪污存储与农田有机肥施用技术环节执行相应的减排工艺即可达到目标，运行成本最低为6000元/年左右；如果减排目标为40-50%时，需要在上述管理环节基础上针对饲舍和饲料进行必要的管理，运行成本最低约为9000元/年。若减排目标为70%以上，需要全链条减排，运行成本最低为24万元/年。其他养殖类型减排目标与运行成本详见下表。

表 4 不同类型养殖场氨减排目标与最低运行成本

| 养殖场 | 规模（头、羽） | 减排目标 | 最低运行成本（万元/年） |
|-----|---------|--------------------|-----------------|
| 奶牛 | 400 | 20-25%，40-50% | 0.6，10.00 |
| 猪 | 4000 | 20-25%，40-50%，>70% | 0.60，0.90，24.00 |
| 蛋鸡 | 120000 | 20-25%，40-50%，>70% | 0.35，1.50，21.00 |

8.5 技术应用注意事项

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

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

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

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

（5）本工艺是建立在养殖场固态和液态废弃物可充分实现农田循环利用基础上的，粪肥用量不能超过作物当年生长所需养分的需求量。在确定粪肥的最佳施用量时，需要对土壤肥力和粪肥肥效进行测试评价，并满足当地环境容量的要求。

附录 A 养殖场尺度氨排放估算模型

本指南通过综合国内外相关文献的研究与实际调研情况，根据养分流动规律与物质守恒定律，建立了养殖场尺度的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 流动损失评价模型--养殖场氨与温室气体智能管理系统(Ammonia and Greenhouse gases Intelligent Tool, 简称“AGRIT”模型)。规模化养殖场氨排放源分布在粪尿排泄、管理、存储等环节，主要包括畜禽饲舍、运动场、粪污堆放场所、污水氧化塘、沼液池等场所(图 A.1)。参考 Webb 等人评价英国养殖业氨排放的质量流动模型，根据养殖场内 N 素的流动途径，“AGRIT”模型将养殖场内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 流动途径分为：饲料管理、饲舍设计、储存管理和农田施用四个阶段。该模型可具备以下功能：以饲料氮素投入为养殖场氮素循环体系的输入项，根据氮素流动规律与物质守恒定律，逐级计算不同环节的输入项与输出项，得到养殖场尺度的氨排放量，从而评价养殖场氨排放年变化特征；以基准年的前十年(包括基准年)内，每年的日平均气温、日平均风速之和的平均值为分母，基准年的日平均温度和风速为分子，得到氨日排放量的校正系数，以此得到基准年的氨日排放量及变化特征；根据预测年某天的日平均温度和风速为分子可预测未来某一天的氨日排放量；通过引进不同的氨减排技术，模拟不同的氨减排情景，估算不同氨减排情景的减排效率；由于氨排放因子、氨减排效率等参数通过查阅相关文献获得，具有一定的变异范围，模型根据蒙特卡洛法可评价养殖场氨排放量不确定性。

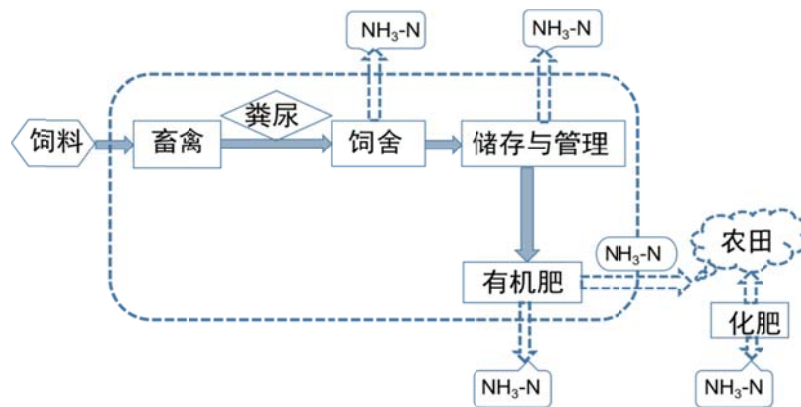


图 A.1 粪尿氮素流动与氨排放模式图

附录 B 减排情景效果估算与成本分析

本指南通过整理近年来国内外与养殖业氨减排的文献可知，集约化养殖模式下养殖场尺度氨排放主要来源于饲舍、粪尿储存场、粪尿处理场地 3 个环节。畜禽饲舍的主要控氨技术包括粪尿分离、增加清粪频率、脲酶活性抑制、垫料、安装空气过滤或净化装置等技术；粪尿存储或处理场地可通过改善粪尿储藏设备、增添覆盖物、施用添加剂（如金属盐类、吸附物质、微生物、酸、可利用碳）等技术来降低氨挥发；另外，加强饲料控制，可从源头控制氨排放，降低饲料粗蛋白含量、分阶段饲养或增添饲料添加剂（沸石、益生菌等）等均可显著减少氨排放。养殖场内不同氨减排技术的效率值见表 B.1。

表 B.1 养殖场不同氨减排技术效率值

| 养殖类型 | 阶段 | 氨减排技术 | 减排效率 (%) |
|-----------|------|-----------|----------|
| 奶牛、肉牛 | 饲料管理 | 饲料添加剂 | 4.0 |
| | 饲舍设计 | 地面添加脲酶抑制剂 | 59.5 |
| | | 地面添加化学添加剂 | 85.0 |
| | | 添加褐煤添加剂 | 41.3 |
| | | 垫料添加锯末 | 20.0 |
| | | 提高清粪频率 | 38.5 |
| | | 空气过滤器 | 72.0 |
| | 储存管理 | 堆放覆盖 | 36.8 |
| | | 堆肥添加剂 | 30.0 |
| | | 氧化塘覆盖 | 94.6 |
| 生猪 | 饲料管理 | 饲料剂添加剂 | 43.0 |
| | 饲舍设计 | 提高清粪频率 | 20.0 |
| | | 空气过滤器 | 72.0 |
| | | 设计漏缝地板 | 25.0 |
| | 储存管理 | 堆放覆盖 | 12.0 |
| | | 堆肥添加剂 | 42.0 |
| | | 堆肥覆盖 | 14.0 |
| | | 氧化塘覆盖 | 94.6 |
| 堆肥设置空气过滤器 | | 91.2 | |
| 蛋鸡、肉鸡 | 饲料管理 | 饲料剂添加剂 | 40.0 |

| | | | |
|--|------|-----------|------|
| | 饲舍设计 | 粪便传送带 | 50.0 |
| | | 提高清粪频率 | 30.0 |
| | | 空气过滤器 | 72.0 |
| | | 地面添加化学添加剂 | 85.0 |
| | 储存管理 | 堆放覆盖 | 75.0 |
| | | 堆肥添加剂 | 40.0 |

附录 C 氨减排技术成本核算

本文研究氨减排技术经济成本主要指减排场所的建设费用和减排设施购买费用，本文应用的数据参考《An Inventory of Mitigation Methods and Guide to their Effects on Diffuse Water Pollution, Greenhouse Gas Emissions and Ammonia Emissions from Agriculture》，应用汇率将文献内成本数据转换为人民币，具体数值见表 C.1。

表 C.1 养殖场氨减排技术经济成本

| 养殖环节 | 减排技术 | 经济成本（元/头，元/只） | | | |
|------|---------|---------------|--------|-------|-------|
| | | 奶牛 | 肉牛 | 生猪 | 蛋鸡/肉鸡 |
| 饲料管理 | 低蛋白饲料 | 180.00 | 180.00 | 5.00 | 0.03 |
| | 饲料添加剂 | 40.00 | 40.00 | 11.00 | 0.10 |
| 饲舍设计 | 地面化学添加剂 | 14.00 | 11.00 | -- | 0.10 |
| | 空气过滤装置 | 1126.00 | 936.00 | 36.00 | -- |
| | 漏缝地板 | -- | -- | 15.00 | -- |
| | 粪便传送带 | -- | -- | -- | 1.00 |
| 储存管理 | 堆放覆盖 | 2.50 | 2.50 | 0.50 | 0.02 |
| | 堆肥覆盖 | 10.00 | 10.00 | 5.00 | 0.10 |
| | 氧化塘覆盖 | 12.00 | 12.00 | 1.00 | -- |