

农业行业标准

《畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量 静态箱法监测规范》 (公开征求意见稿)

编制说明

农业行业标准《畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测规范》起草组

2025年1月

一、工作简况，包括任务来源、制定背景、起草过程等

（一）任务来源

2011年，农业部下达了农业行业标准《畜禽养殖污水甲烷排放监测技术规范》的计划，项目计划号为2011409。污水贮存中不仅仅会排放甲烷这一种温室气体，同时氧化亚氮，二氧化碳这两种温室气体也会相伴产生；在国家温室气体清单编制过程中，需要将甲烷和氧化亚氮同时计入；此外对于二氧化碳的监测记录可以有效支撑对污水内有机质分解状况的分析，同步解析气体排放特性；而这三种温室气体往往可以由同一套方法同时监测获得。静态箱法和动态箱法均可实现对三种气体的同步监测，相较于动态箱法，静态箱法由于其操作简单、使用成本低等优势在行业中广泛应用；而动态箱法则一般需要构建较为复杂的采气系统、配套高精度的仪器设备、且要求采样人员有较高的技术水平等在一定程度上限制了动态箱法在行业的广泛应用，因而在本标准中仅对静态箱法进行规定。另一方面，最新的国家标准[GB/T 25171-2023]中采用液体粪污来替代前期养殖场污水这一说法，经起草组研讨和征求行业专家意见，项目名称修改为《畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测规范》，起草单位为XXXX。

（二）标准制定背景

全球气候变化是当今国际社会普遍关注的全球性问题，也是人类面临的最严峻的环境挑战。全球气候变化的主要原因是由于人类活动向大气中排放的大量的CO₂，CH₄和N₂O等温室气体，其中农业生产

活动是重要的温室气体人为排放源。随着国内社会经济的发展和人民生活水平的不断提高，对肉蛋奶等产品的需求越来越多，使得畜禽养殖业规模迅速增加，但同时出现的畜禽粪便排放量大、处理率低和易造成环境污染等问题也日益突出。据第二次全国污染源普查数据测算，目前我国畜禽粪污年产量在 30.5 亿吨；中国畜牧业造成的 GHG 排放占到全球畜牧业排放总量的 10%；其中由于大规模的生猪养殖，中国畜牧业粪便管理的 GHG 排放占到全国畜牧业 GHG 排放总量的 40-50%，而其他国家这一比例一般在 10%左右。随着规模化养殖的发展，液体粪污管理方式由于其管理的简便性在行业中的应用将变得更为普遍。由于粪污管理过程中，碳氮气体排放均是来自粪污内含碳元素和含氮元素的微生物转化；液体粪污贮存中厌氧环境的形成造成甲烷等大量产生；粪污内微生物的活动致使 CO₂ 同步产生，同时对于一些特殊环境如表面结壳，或者污水好氧水平较高时，也会出现大量的 N₂O 排放。因而液体粪污管理成为重要的温室气体排放源。《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》（国发〔2021〕23 号）提出要健全法律法规标准；建立重点企业碳排放核算、报告、核查等标准，探索建立重点产品全生命周期碳足迹标准。《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》（2021 年 9 月 22 日）提出要建立健全碳达峰、碳中和标准计量体系；加快完善地区、行业、企业、产品等碳排放核查核算报告标准，建立统一规范的碳核算体系。开展科学、标准化的监测是进行科学核算的基础，但目前并无相关畜禽液体粪污温室气体排放监测技术的指导规

范。静态箱法可实现对 CO₂, CH₄ 和 N₂O 等三种温室气体的同步监测；相较于动态箱法，静态箱法由于其操作简单、使用成本低等优势在行业中广泛应用。因此，为落实国务院相关工作要求，科学指导养殖场粪污管理温室气体排放监测，支撑后续液体粪污管理温室气体减排，有必要制定畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测规范。

（三）主要起草过程

（1）成立标准编制组

全国畜牧业标准化技术委员会下达标准制订任务后，2019年1月，项目单位成立了标准编制组，主要由XXXX作为牵头单位，参与单位包括XXXX。XXX副研究员为标准编制的首席专家，参与标准编制的主要人员包括XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。2019年6月制定了详细的实施方案和技术路线。

项目工作组成员XXX研究员负责实施方案和技术路线的制定，XXX和XXX负责国内外畜禽液体粪污温室气体排放监测技术规范和方法等相关文献资料的收集，XXX对以上收集资料进行充分分析的基础上，结合国内畜禽粪污温室气体排放监测技术研究现状，负责确定标准内容提纲并起草《畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测规范》标准草案，XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX等在标准制定过程中负责对标准内容的校核以及编制说明的审核；参与单位XXXX开展了对标准内容初稿的撰写，并开展了

相关内容的验证工作。

(2) 编写标准文本和编制说明初稿

工作组成员根据以上任务分工，于 2019 年 1 月至 2019 年 12 月收集了国内外相关文献资料和数据，并根据 GB/T 1.1—2020 的规则，于 2021 年 12 月起草完成了《畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测规范》标准草案和编制说明。

(3) 形成标准定向征求意见稿

2022 年 1 月，标准起草组进一步参阅了畜禽粪便国内外最新发布的相关指南、规范、规程和标准，经标准起草组内部讨论和首席专家审核后，形成了《畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测规范》标准文本和编制说明定向征求意见稿。

(4) 定向征求意见

2022 年 2 月，标准起草组向有关科研院所、大学和畜禽养殖企业发送标准征求意见稿和编制说明，进行定向征求意见。共向 26 个相关单位进行征求意见，截至 4 月底，共收到意见回函的单位 26 个，其中有意见的单位 25 个，回函无意见的单位 1 个。标准起草组对所有回函的意见进行整理和归总，共汇总形成相关意见 183 条，标准起草组认真吸纳相关意见，进一步完善标准文本和编制说明。共采纳了意见 103 条，部分采纳了意见 28 条，上述意见占总的意见的 71.6%，不采纳的意见 52 条，在标准征求意见汇总整理表中对所有未采纳的意见和部分采纳意见进行了理由说明，在此基础上形成了标准文本和编制说明预审稿。

(5) 预审阶段

2024年12月12日，标准起草组在北京组织召开了标准预审会，专家组由相关领域专家共8人组成，叶小梅为标准预审组组长。专家组在听取了起草组介绍后，本着科学求实、协调一致的原则对该项标准送审稿的各项内容进行了充分、认真、细致的讨论和审查，并提出了若干修改意见。

专家组一致通过对该标准的审查，建议起草单位根据审查修改意见修改后形成公开征求意见稿，报全国畜牧业标准化技术委员会秘书处。

二、 标准编制原则、主要内容及其确定依据

(一) 标准编制原则

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草，同时遵循以下原则：

(1) 科学性：制定本文件直接关系到对畜禽养殖业关键排放源-液体粪污贮存过程温室气体排放量的准确计量，准确的计量是国家气体排放量评估、开展碳交易、以及减排技术确定的基础。因此，在制定过程中通过收集国内外相关文献，确保制定的技术规范可科学准确地实现对气体排放的计量。

(2) 先进性：对本文件中有关内容的确定，力求反映本研究领域的国内外先进技术和经验，保证该文件的技术内容具有一定的先进性，使标准中所规定的技术内容有利于对畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放监测。

(3) 规范性：在本文件征求意见稿的编制过程中力求做到技术

内容的叙述正确无误，文字表达准确和简明易懂，标准的构成严谨合理；内容编排、层次划分等符合逻辑。

(4) 可操作性：可操作性是制定标准的必备因素，因此，在制定标准的过程中，始终把经济实用和可操作性作为重要的依据，以便在执行中容易操作。

(二) 主要技术内容确定依据

1 范围

本文件规定了畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测的采样准备、气体采样、气样检测、数据有效性、排放通量计算、记录等内容。

本文件适用于畜禽养殖场液体粪污开放式贮存过程温室气体排放的监测。

依据和理由：

随着规模化养殖的发展，水冲粪、水泡粪等液体粪污管理方式由于其节省人工、对粪污处理机械要求低等优势被养殖场广泛应用，如基于 2005 年和 2018 年在国家温室气体清单编制过程中对畜牧业粪污管理方式的调研，生猪采用液体粪污管理方式的占比从 12% 上升到 39%，这导致了液体粪污的大量增加。污水贮存、氧化塘等液体粪污管理方式下污水内部主要保持厌氧状态，氧化塘内污水的甲烷转化系数（MCF）将达到 66-80%，而固体管理方式下如固体贮存 MCF 仅为 2-5%，因而液体粪污管理方式将导致甲烷为主的温室气体排放的大量排放，成为畜禽养殖业温室气体重要排放源。由于粪污管理过程中，碳氮气体排放均来自粪污内含碳元素和含氮元素的微生物转化，无论是好氧还是厌氧环境，微生物对有机物的分解都会导致 CO₂ 的同步产生；此外对于一些特殊环境如表面结壳，或者污水好氧水平较高时，也会出现一定的 N₂O 排放。根据 2022 年 6 月由农业农村部和国家发改委联合发布的《农业农村减排固碳实施方案》，提出要开展监测体系构建活动，优化不同区域稻田、农用地、养殖场等监测点位设置，推动构建科学布局、分级负责的监测评价体系，开展甲烷、氧化亚氮排放和农田、渔业固碳等定位监测。因而有必要制定本行业标准，以支撑相关工作的开展。基于此目的，本文件规定了畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放通量静态箱法监测的采样准备、气体采样、气样检测、数据有效性、排放通量计算、记录等内容。本文件适用于畜禽养殖场液体粪污开放式贮存过程温室气体排放的监测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 8984 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 气相色谱法

依据和理由：

上述标准引用的内容中包含了开展对液体粪污贮存中温室气体采样获得的气体样品进行分析需要遵循的方法。

3 术语和定义

本标准给出了与液体粪污贮存温室气体排放监测直接相关的 4 个术语，包括液体粪污、温室气体、排放通量、静态箱法。

3.1

液体粪污 liquid manure of livestock and poultry

干物质（DM）含量<15%的畜禽粪污。[GB/T 25171-2023，定义 3.6]

依据和理由：

根据《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》（GB/T 25171—2023），畜禽液体粪污的定义为：干物质（DM）含量<15%的畜禽粪污，英文定义为：liquid manure of livestock and poultry。

3.2

温室气体 greenhouse gas, GHG

畜禽生产过程中产生的具有温室效应的气体。[GB/T 25171-2023，定义 4.3.12]

注：本文件主要监测甲烷（CH₄）和氧化亚氮（N₂O）。

依据和理由：

直接引用《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》（GB/T 25171—2023）中定义。

3.3

排放通量 emission flux

单位排放源截面的排放速率。[HJ492-2009，定义2.32]

依据和理由：

直接引用《空气质量 词汇》（HJ492-2009，定义2.32）中定义。

3.4

静态箱法 static chamber method

在待测对象表面上安装能够密闭的箱体，监测箱体中一定时间范围内气体浓度的变化，计算箱体覆盖单位面积的气体排放通量的方法。

依据和理由：

通过在待测区域表面罩上箱体，待测区域内粪污在罩箱后以一定速度排放气体。通过人为定时采样检测这段时间内的所罩箱体内的目标气体浓度变化，核算出浓度随时间的变化率（ dc/dt ），即可最终核算出所覆盖面积上的气体排放通量。

基于以上认识，给出静态箱法的定义：在待测对象表面上安装能够密闭的箱体，监测箱体中一定时间范围内气体浓度的变化，计算箱体覆盖单位面积的气体排放通量的方法。

4 采样准备

4.1 现状调查

养殖场的基本情况，液体粪污收集、处理、贮存工艺，贮存设施的容积、贮存周期等信息，并填写液体粪污管理基本信息调查表，见附录 A。

4.2 工具和设备

4.2.1 静态箱参照附录B制备和使用。

4.2.2 采气工具可采用医用塑料注射器，真空管（12 mL）或采气袋、气压计、温度计。

依据和理由：

（1）开展现状调查是合理设计气体监测方案、分析气体排放特性规律的基础。本标准设计的畜禽养殖场液体粪污管理基本信息调查表主要对养殖场的基本信息、污水管理参数这两类参数进行记录。参照《畜禽养殖污水监测技术规范》（GB/T27522—2023），该标准要求在对污水进行监测时，需要对养殖场基本信息进行采集；因而本标准也对相应信息的采集进行了规定。同时养殖场的清粪方式、污水处理工艺等决定了液体粪污的基本特性；贮存池的贮存面积将用于核算养殖场污水的整体排放量，同时不同的面积也决定了布设的静态箱的数量；贮存池深度、贮存周期等决定了污水在该贮存池中水质特性情况，直接影响气体排放量，因而需要对以上信息进行调查和记录。

（2）工具和设备中，静态箱用于覆盖于待监测的污水水面上形成一个污水

上部气体逐渐积累的封闭空间，静态箱包含底座，悬浮装置，箱体，以及安装在箱体上的风扇、采气过壁接头，测温装置等构成，附录 A 给出了静态箱的设计。

采气工具中，真空管和采气袋用于贮存采集好的气样的贮存，常见的可直接上气相色谱的真空管为 12 mL。气压计和温度计用于测定静态箱内的气压和温度，这两个数据将用于核算排放通量。

5 气体采样

5.1 采样点

5.1.1 布点数量

液体粪污贮存设施面积小于等于 1000 m²应布设不少于 3 个点，面积大于 1000 m²应不少于 5 个点。

依据和理由：

参考《室内环境空气质量监测技术规范》(HJ/T 167-2014)，对于室内空气样品采样点位的数量根据室内面积大小和现场情况而确定，要能正确反映室内空气污染物的污染程度。原则上小于 50 m² 的房间应设 1 ~ 3 个点；50 m² ~ 100 m² 设 3 ~ 5 个点；100 m² 以上至少设 5 个点。

同时参考《公共场所卫生检验方法 第 3 部分：空气微生物》(GB/T 18204.3-2013) 附录 A 中现场采样检测布点要求，A2.1 室内面积不足 50 m² 的设置 1 个采样点，50 m² ~ 200 m² 的设置 2 个采样点，200 m² 以上的设置 3 ~ 5 个采样点。

结合以上文件的布点原则，以及考虑到养殖场的氧化塘一般面积较大，如内蒙古一存栏 5000 头奶牛的规模化奶牛场，拥有 4 个氧化塘，4 个氧化塘分别为 2000、2000、5000 和 5000m²；北京市昌平区一个存栏 2200 头的奶牛场，拥有 2 个氧化塘，分别为 2300m² 和 6000m²。密云一个母猪存栏为 500 头的万头猪场，拥有 1 个氧化塘，表面积为 900m²。部分小型养殖场可能单个氧化塘或贮存池的面积更低。考虑到重复性要求，要求最低至少布置 3 个采样点满足空间重复要求；若是超过一定的面积范围，则需设置至少 5 个采样点。结合以上数据，将采样点设置为：液体粪污贮存设施面积小于等于 1000 m² 应布设不少于 3 个点，面积大

于 1000 m² 应不少于 5 个点。

5.1.2 布点方式

5.1.2.1 根据粪污贮存设施表面情况，采样点避开入水口和出水口以及其他影响采气效果的设施均匀分布。

5.1.2.2 静态箱布设在距离设施液面边缘不小于 0.5 m 处。

依据和理由：

参考《室内环境空气质量监测技术规范》(HJ/T 167-2014)，要求对于室内空气多点采样时应按对角线或梅花式均匀布点，应避开通风口，离墙壁距离应大于 0.5 m，离门窗距离应大于 1 m；

同时参考《公共场所卫生检验方法 第 3 部分：空气微生物》(GB/T 18204.3-2013) 附录 A 中现场采样检测布点要求，要求采点样按均匀布点原则。要求采样点应距离墙壁不小于 1m。采样点应避开通风口、通风道等。

结合以上 2 个文件规定的布点方式，并考虑到养殖场氧化塘或贮存池水深 (2-10 m)、污染严重，实际中难以在氧化塘中部布点等问题；而在水稻田领域气体监测中常用的架设浮桥等操作在氧化塘的监测中依然存在很大风险等问题，认为在氧化塘或污水贮存池的气体监测中不能参考相关技术对池体中部气体排放进行监测。同时在静态箱采样中，需要人为盖箱，抽气等等动作，所以这些操作只能在贮存池壁周围进行。所以参考《室内环境空气质量监测技术规范》(HJ/T 167-2014) 中的要求，将采样点设置在距离贮存池边缘 0.5 m 处；同时结合《室内环境空气质量监测技术规范》(HJ/T 167-2014)，要求采样点要避开氧化塘或贮存池的入水口和出水口以及其他影响采气效果的设施均匀分布。

5.2 采样频次和时间

5.2.1 每个季节连续采样 5 d~10 d，每天至少采样 1 次。

5.2.2 采样时间以 8:00~11:00 或 17:00~19:00 为宜，避开液体粪污进水和出水时间段。

依据和理由：

为了保证数据的准确性，一般要求每个季节要保证获取 3 个典型日的气体排

放数据。如 Qi 等（2015）年发表的文献中，他们对四川某猪场的不同阶段的贮存池进行了静态箱气体采样，采气参数设置为每个季节连续测试 3 天。考虑到养殖场现场环境复杂，受前端处理排水、现场气象等条件的多重影响，本标准要求每个季节至少连续采样 5 天，以保障获取充足的数据。同时对于每日的采样频率，Kavanagh 等（2019）采用静态箱-气相色谱法研究污水贮存中的 GHG 排放，采用每日一次的采气频率。Li 等（2022）针对堆肥气体的采样频率设置为每日 1 次。污水贮存和堆肥同属于畜禽粪便管理的主要模式，因而参考堆肥的气体采样方法，建议在采样期内可以按照每天在典型时段内采样一次进行。

考虑气温变化对温室气体排放产生的影响，应该选取相应温度和日均温度相近的时间段进行采样。参考《陆地生态系统-大气碳氮气体交换通量的地面观测方法》中的建议，气体采样通常被设定在当地时间上午 8:00—11:00 或下午 17:00—19:00 完成。这是考虑到，这两个时段的小时通量最能够代表逐时通量的日平均值。本标准参考这一推荐时间对液体粪污温室气体的采样时间进行规定。

5.3 采样

5.3.1 静态箱安装

5.3.1.1 底座

根据采样布设点的要求，将带有漂浮固定装置的底座安装固定。

5.3.1.2 箱体

采样时将箱体放入底座水槽中密封，采样完成后应及时取出箱体。

依据和理由：

将底座先固定在液体粪污内，使底座保持静止状态。底座的水槽中加入水，然后再将采气箱四壁放入水槽内，即可形成水封作用，确保箱体的密封状态，利于后续采气的工作。在完成采样后，及时取出采气箱，使下部的污水恢复自然状态，有效减少覆盖对气体排放造成的影响。

5.3.2 气样采集

5.3.2.1 箱体放入底座后立即用注射器从箱外空气中采集第一个气体样品；

5.3.2.2 密闭采样箱后每隔 5 min~10 min 采集一个气体样本，在 30 min 内至少采集5个样品，每次收集量至少20 mL。

依据和理由：

静态箱对温室气体排放通量测试的原理是，液体粪污这一排放源和大气之间的温室气体浓度梯度相当大，因此可以认为温室气体以恒定的速率排放。因而依据静态箱箱体覆盖后在不同时间点对箱内所采集的气样中温室气体浓度变化的分析，核算出气体在该时间段内的产生速率，以此来代表这一覆盖区域的气体排放速率；并结合箱体内的温度的变化对这一结果进行修正。这一方法参考了日本国家农业环境科学研究所发布的以静态箱法对水稻田温室气体排放监测这一指南（Minamikawa et al., 2015）以及国家发明专利“一种测定畜牧场开放源温室气体排放通量的静态箱法”（CN 111413469 B）。

在覆盖箱体后，需要采集初始阶段的气体样品，之后再按照一定的时间间隔进行气体样品的采集。设置为密闭采样箱后每隔 5~10 min 采集一个气体样本，在 30 min 内一共收集 5 个样品（姚凡云，2019）。一般要保证气体注射进真空管后，真空管内要形成 2 倍的常压，以保证 1 次测量失误后还可以进行 1 次复测，所以注射进入真空管的气体大约是 20 mL 左右。

5.4 气样保存

采集的气样应避光、室温保存，应在15d内完成检测。

依据和理由：

N₂O在紫外线作用下会发生光解。因而采集的温室气体样品需要避光保存。

根据王婧瑜（2022）发表的论文：样品保存条件对温室气体浓度的影响，研究发现：保存在12 mL真空玻璃样品瓶中的样品，与保存 1 d 内的气体样品相比，CO₂、CH₄和N₂O浓度在保存天数分别为60、120、90 d 时降低了1.5%、0.5%和2.0%。最终文章指出，田间温室气体样品如果在室温条件下保存应在 20~30 d 内完成检测，如不能及时检测，建议在冷冻条件下保存。本标准将气样保存时间规定为15d，在王婧瑜（2022）推荐的保存时间范围之内，因而可以更有效地保证样品的安全性。

5.5 采样安全

警告：使用本文件的人员具备现场采样经验十分重要。现场采样人员应采取适当的安全预防措施，穿戴防护服、胶鞋、手套和口罩，必要时应穿戴救生衣，避免滑倒落水；现场采样时至少两人同时在场；不在搅拌设备运行时采样；不得进入有限空间采样。

注：有限空间是指封闭或者部分封闭，与外界相对隔离，出入口较为狭窄，自然通风不良，易造成有毒有害、易燃易爆物质积聚或者氧含量不足的空间。

依据和理由：

在本标准规定的内容中，气体采样环节是最具危险性的一个环节，因而在此设置“警告”段以突出安全防护的重要性。

《畜禽养殖污水监测技术规范》（GB/T 27522-2023）中对“采样安全”规定指出“7.3.4.1 现场采样人员应采取相应的安全预防措施,穿戴防护服、胶鞋、手套和口罩等防护设备,必要时应穿戴救生衣,避免滑倒落水。7.3.4.2 现场采样人员应身体健康,适应工作要求,现场采样时至少两人同时在场。7.3.4.3 不应在粪水搅拌过程中采样。7.3.4.4 不应进入有限空间采样。”

畜禽养殖场液体粪污贮存过程气体监测采样位置都位于畜禽场污水贮存处理设施中，污水贮存处理设施容积都较大，且污水设施都比较深，深度甚至可达6米~8米，而且部分养殖场在污水贮存处理设施周边未建设防护设施，采样过程中存在一定的安全隐患；此外，由于有限空间中安全风险较大，本标准明确规定了“不得进入有限空间采样”，确保采样过程的人员安全。

参考《畜禽养殖污水监测技术规范》（GB/T 27522-2023），设置“警告”内容，对采样安全进行了规定。

6 气样检测

CH₄浓度按 GB/T 8984测定，N₂O浓度按附录C测定。

依据和理由：

《气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 气相色谱法》GB/T 8984-2008给出了CO₂和CH₄的检测方法；

附录B给出了 气体中氧化亚氮浓度测定 气相色谱法的操作步骤；该方法主要参考了团体标准《气体中甲烷、氧化亚氮和二氧化碳浓度测定 气相色谱法》

(T/LCAA 005-2021) 中对于N₂O分析的步骤、参数进行撰写，并且邀请三家实验室完成了对该方法的验证。

可参照以上相关方法进行样品的检测分析。

7 数据有效性

各采样点每次 5 个气样的浓度与采样时间进行线性拟合，若 5 次浓度观测值全部都有效 (n = 5) 时，需使线性拟合相关系数 r 大于 0.87；或只有 4 次观测值有效 (n = 4) 时，r 大于 0.95；或只有 3 次浓度观测值有效 (n = 3) 时，r 大于 0.996。当数据不能满足以上条件时，测定数据无效。

依据和理由：

参考著作《陆地生态系统-大气碳氮气体交换通量的地面观测方法》中的建议，只有当样本相关系数r大于等于皮尔逊相关的临界值 (p<0.05)，才能得出相关显著的结论。本标准参考这一推荐的相关系数阈值对数据有效性进行规定。

8 排放通量计算

8.1 静态箱法温室气体日排放通量按公式 (1) 计算。

$$F = \rho \times h \times \frac{dC_i}{dt} \times \frac{273.15}{273.15+T} \times \frac{P}{P_0} \times 24 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- F —— 温室气体排放通量，单位为毫克每平方米每天 (mg/m²/d)；
- ρ —— 温室气体密度，单位为千克每立方米 (kg/m³)；
- h —— 采样箱内液面至箱顶高度，单位为米 (m)；
- dC_i/dt —— 箱内被测气体浓度变化率，单位为微摩尔每摩尔每小时 (μmol/mol/h)；
- T —— 采样箱内气体温度，单位为摄氏度 (°C)；
- P —— 采样箱内气压，单位为帕 (Pa)；
- P₀ —— 标准状况下气压，单位为帕 (Pa)；
- 273.15 —— 标准条件下的热力学温度，单位为开尔文 (K)；
- 24 —— 小时换算为天的系数。

8.2 将各采样箱的日排放通量算术平均值作为该设施的日排放通量。

8.3 将各采样箱各季节的日排放通量平均值加权作为该设施的年排放通量。

依据和理由：

该方法的原理是，液体粪污这一排放源和大气之间的温室气体浓度梯度相当大，因此可以认为温室气体以恒定的速率排放。因而依据静态箱箱体覆盖后在不同时间点对箱内所采集的气样中温室气体浓度变化的分析，核算出气体在该时间段内的产生速率，以此来代表这一覆盖区域的气体排放速率；并结合箱体内的温度、气压的变化对这一结果进行修正。这一公式的给出参考了日本国家农业环境科学研究所发布的以静态箱法对水稻田温室气体排放监测这一指南（Minamikawa et al., 2015）以及国家发明专利“一种测定畜牧场开放源温室气体排放通量的静态箱法”（CN 111413469 B）。

由于在每个设施上监测时至少会同步采用3个静态箱，因而需将多个静态箱的气体排放通量结果进行算术平均作为该设施的日排放通量。

由于不同季节气体排放通量差异很大，在核算年排放通量时需先核算出各季节的排放通量，再考虑各个季节在一年中占据的时长，通量取各季节加权平均值的方式作为设施的年排放通量。

9 记录

9.1 记录采样布设点位及编号，并绘制布置图，见附录 D；

9.2 对样品进行编号，并填写箱内液面至箱顶高度、气压、温度等，见附录 E。

依据和理由：

表 D.1 畜禽养殖场液体粪污气体监测点位记录表主要用于记录采样点布设位置等信息。参照《畜禽养殖污水监测技术规范》（GB/T27522—2023），该标准要求在对污水进行监测时，需要对现场采样点位布设等信息进行采集。这些基本信息对于日后进行数据溯源、分析气体排放特征产生的原因具有重要作用，因而建议进行采集；

表 E.1 静态箱采样记录表对于气体样品采集地点，样品编号，采样日期，采样时间，采样箱内液面至箱顶高度，箱内气温、气压以及污水温度等信息进行记录。采样箱内空气温度、箱内气压、采样箱内液面至箱顶高度信息将直接用于公式 1 中静态箱法对气体排放量的核算。同时对样品编号等信息进行记录有助于核对采样数量，方便后续样品上气相色谱分析的有序操作，避免样品遗漏等问题。所采样品位置水温、采样日的环境天气、气温等将直接影响污水气体排放，所以

对于气体排放通量特征的分析有重要意义，因而需对这些信息均进行记录。

10 附录 A 给出了液体粪污管理基本信息调查表

附录 A

(资料性)

液体粪污管理基本信息调查表

液体粪污管理基本信息调查表内容和格式见表 A.1

表 A.1 液体粪污管理基本信息调查表

养殖场(区、户)名称:			
养殖场(区、户)地址: 省(市、自治区) 县(市、区) 乡(镇) 村			
养殖场(区、户)联系人:		联系方式:	
畜禽品种:		养殖方式:	
畜禽数量: 头/只(存栏)		清粪方式:	
头/只(出栏)		污水处理工艺:	
液体粪污贮存池情况			
一号贮存池面积:	m ² , 贮存池深度:	m, 贮存周期:	天;
二号贮存池面积:	m ² , 贮存池深度:	m, 贮存周期:	天;
三号贮存池面积:	m ² , 贮存池深度:	m, 贮存周期:	天;
四号贮存池面积:	m ² , 贮存池深度:	m, 贮存周期:	天。
备注:			

记录人: _____

日期: 年 月 日

依据和理由:

开展现状调查是合理设计气体监测方案、分析气体排放特性规律的基础。本标准设计的畜禽养殖场液体粪污管理基本信息调查表主要对养殖场的基本信息、污水管理参数这两类参数进行记录。参照《畜禽养殖污水监测技术规范》(GB/T27522—2023)，该标准要求在对污水进行监测时，需要对养殖场基本信息进行采集；因而本标准也对相应信息的采集进行了规定。同时养殖场的清粪方式、污水处理工艺等决定了液体粪污的基本特性；贮存池的贮存面积将用于核算养殖场污水的整体排放量，同时不同的面积也决定了布设的静态箱的数量；贮存池深度、贮存周期等决定了污水在该贮存池中水质特性情况，直接影响气体排放量，因而需要对以上信息进行调查和记录。

11 附录 B 提供了静态箱的结构及设计

附录 B

(资料性)

静态箱的结构及设计

(1) 静态箱结构包括采气箱和悬浮底座。可为方形、圆柱形结构。

依据和理由：

通过查阅国内外文献，目前使用的采气箱大部分为方形和圆柱形。

(2) 箱体尺寸：箱体覆盖面积通常处于 $0.2 \text{ m}^2 \sim 1.0 \text{ m}^2$ 之间，箱体高度大于 20 cm ；静态箱体箱底面积 (cm^2) 与箱底周长 (cm) 之比 ≥ 10 。

依据和理由：

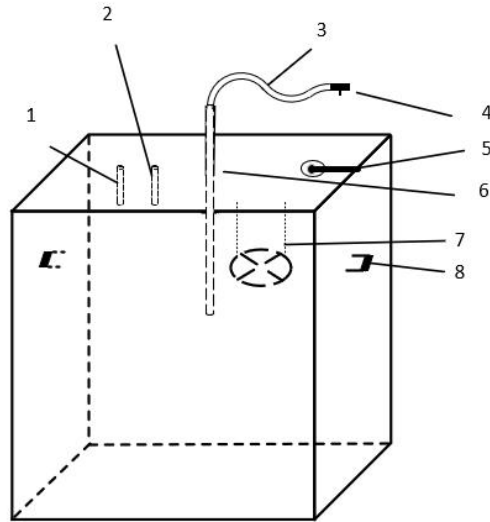
采样箱尺寸设计要考虑操作的简便性以及合理性。一般情况下养殖场污水贮存池本身面积较大，气体监测的采样箱面积可以设计较大，为 $0.2 \text{ m}^2 \sim 1.0 \text{ m}^2$ 。依据 Rochette 等 (2008) 关于土壤 N_2O 测定的静态箱设计的文献，为了在尽量减少箱体顶部空气仓体环境过大变化的同时实现较高的检测精度，结合采样时间，要求箱体高度最好可以保持为 $\geq 40 \text{ cm/h}$ 。按照采样时间为 $20 \sim 30 \text{ min}$ 计，使箱体高度保持至少 20 cm 可以满足这一指标。

(3) 采气箱材料：通常为不锈钢材质，也可为 PVC 板，有机玻璃等。

依据和理由：

为保障采气箱可悬浮于水面上，采气箱的材料选择应以较为轻便、不易破碎的材质类型即可。

(4) 箱体设计：箱内装有采气过壁接头、电源过壁接头、温度探头，和防爆混流风扇。采气接头外部端口安装可接注射器的塑料三通阀。箱体外罩隔热聚苯板 (见图 B.1)。



标引序号说明：

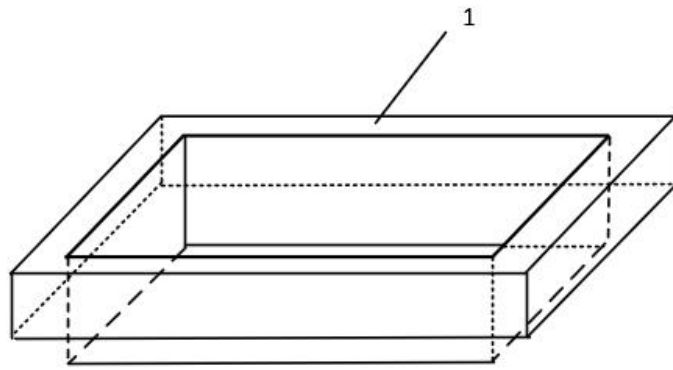
- 1——测温过壁探头；
- 2——测压过壁探头；
- 3——橡胶软管；
- 4——三通阀；
- 5——电源过壁接头；
- 6——过壁采气口；
- 7——风扇；
- 8——把手。

图 B.1 采气箱示意图

依据和理由：

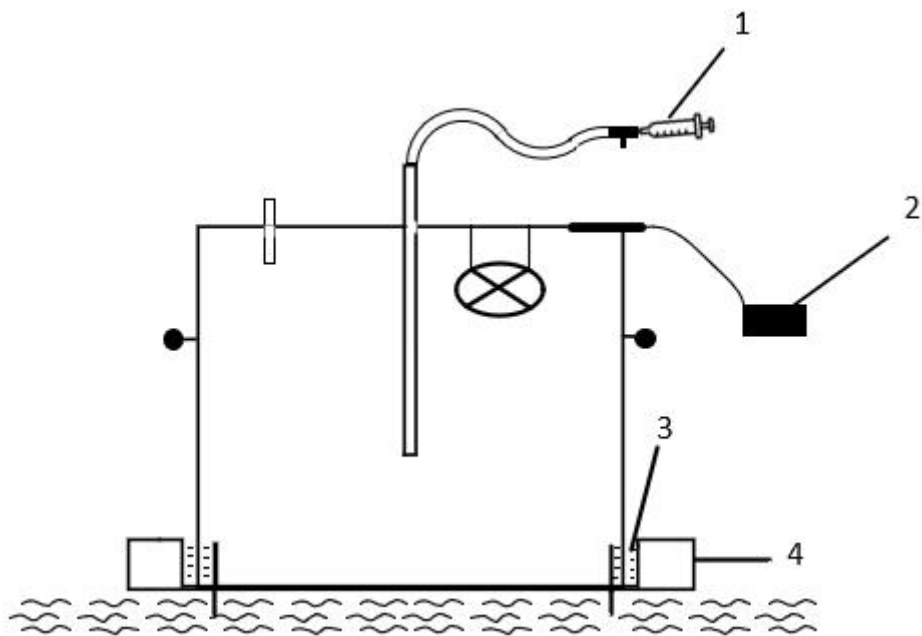
采气过壁接头用于实现对箱内气体的采样；电源用于给风扇供电，风扇用于混匀箱内气体，以使采集的气体均匀有代表性；箱体内部的气体温度参数直接用于静态箱气体排放量的核算。采气接头外部一般接橡胶软管再接三通阀，可连接注射器简便地实现对箱内气体的采样。由于受太阳照射后密闭箱体内气温非常容易升高，影响箱内气体排放的准确监测，因而一般需要箱体外罩隔热聚苯板。

(5) 悬浮底座：静态箱底座上端有深 2.5 cm、宽 2 cm 的密封水槽；同时水封槽内壁下部需保持在槽底以下 5 cm，用于采样时加水实现箱体密封（见图 B.2）。底座安装在泡沫板、可充气的轮胎、救生圈等可漂浮物内（见图 B.3）。



标引序号说明：
1——浮板。

图 B.2底座示意图



标引序号说明：
1——注射器；
2——电源；
3——水封槽；
4——浮板。

图 B.3 静态箱采气示意图

依据和理由：

用于农田中气体监测的典型静态箱底座一般只需要考虑水封槽。但是由于本文件中静态箱要实现对水面气体排放的监测，因而需要使底座能悬浮在水面上。因而选择将底座安装在悬浮的介质上，可为泡沫板、可充气的轮胎、救生圈等可漂浮物。

在图 B.2 中，表现的是水封槽嵌在悬浮泡沫板上的情况。

12 附录 C 给出了气体中氧化亚氮浓度测定 气相色谱法

附 录 C

(规范性)

气体中氧化亚氮浓度测定 气相色谱法

C.1 仪器设备

C.1.1 测量仪器及设备

该方法所需的仪器及设备如下：

- a) 气相色谱仪：带有电子捕获检测器ECD、分析用色谱柱和前置柱；
- b) 自动进样系统；
- c) 计算机：带有色谱用工作站软件。

C.1.2 气源

该方法所需的气源如下：

- a) 载气：高纯氮气（纯度 99.999%）；
- b) 标准气体：从国家拥有特种气体资质的机构和商家订购的混合气体。单点定标的标气要求 N_2O 含量约为 $0.350 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ($\mu\text{L L}^{-1}$)。标准曲线定标需要5种浓度的标准气。

C.1.3 气相色谱分析条件

气相色谱参考条件如下：

- a) 前置柱：柱长 1 m，内径 2 mm，填充 80~100 目Poropak Q；
- b) 分析柱：柱长 3 m，内径 2 mm，填充 80~100 目Poropak Q；
- c) 载气：高纯 N_2 ，流量30 mL/min；
- d) 柱温：55 °C；
- e) 检测器温度：330 °C；
- f) 缓冲气：10% CO_2 ，流量 2 mL/min。

C.2 测量步骤

C.2.1 开机

气相色谱仪应在检测前一天开机稳定。

C.2.2 通气和检漏

打开高纯氮气钢瓶主阀，将分压调至 0.4 MPa；用检漏液检查钢瓶、连接管路的气密性，确认无漏气。

C.2.3 打开检测器

打开气相色谱工作站软件，等待电子捕获检测器（ECD）升至设定温度。

C.2.4 色谱仪基线

ECD基线趋于平稳。

C. 2. 5 仪器标定

C. 2. 5. 1 当气相色谱响应信号（峰面积或峰高）随气体浓度变化的关系直线在纵坐标上的截距接近于0，可采用单点定标进行标定。当所述截距不接近于0以及气体样品的浓度跨度较大时，宜采用工作曲线标定方式。

C. 2. 5. 2 将标准样品经取样管与仪器连接。开启试样充分吹扫取样系统直至取得代表样后，转动取样阀，向仪器进样。测量仪器响应值（峰面积或峰高）。重复进样至少2次，直至响应值相对偏差小于5%时取其平均值。

C.2.6 测定

在与标定完全相同的条件下进行。将样品气经取样管与仪器连接。开启试样充分吹扫取样系统直至取得代表样后，转动取样阀，向仪器进样。测量仪器响应值（峰面积或峰高）。重复进样至少 2 次，直至响应值相对偏差小于 5%时取其平均值。

C.3 氧化亚氮气体浓度计算

C. 3. 1 单点定标的检测气体浓度

$$C = \frac{C_0}{A_0(\text{或 } h_0)} \times A(\text{或 } h) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中，

C: 检测气体中组分浓度， $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ；

C_0 : 标气浓度， $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ；

$A_0(\text{或 } h_0)$: 标气的响应平均值[峰面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）或峰高，单位为毫米（mm）]；

$A(\text{或 } h)$: 检测气体的响应平均值[峰面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）或峰高，单位为毫米（mm）]。

C.3.2 标准曲线定标的检测气体浓度

通过不同浓度的标气响应值与标气浓度之间建立一个线性回归方程，再用该方程计算检测气体响应值下的检测气体浓度

$$C=a \times A(\text{或 } h) + b \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中，

C : 检测气体中组分浓度， $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ；

$A(\text{或 } h)$: 检测气体的响应平均值[峰面积，单位为平方毫米 (mm^2) 或峰高，单位为毫米 (mm)]；

a 和 b : 标准气体线性回归系数。

C.3.3 以两次平行测定结果的算数平均值作为最终分析结果。两次测定值相对偏差不大于 $\pm 10\%$ 。

依据和理由:

参考 T/LCAA 005-2021 《气体中甲烷、氧化亚氮和二氧化碳浓度测定 气相色谱法》该标准中给出的测试方法和步骤，以及 GB/T8984-2008 《气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 气相色谱法》相应的描述方法，结合本标准中仅需对 N_2O 的测试方法进行规定这一需求，删除了有关甲烷和 CO_2 的测试方法部分，保留了确保 N_2O 分析的相关部分。

同时，在 C.2.5.2 和 C.2.6 最后，相比 T/LCAA 005-2021 的描述，补充了“重复进样至少 2 次，直至响应值相对偏差小于 5%时取其平均值”这一描述。以及补充了 C.3.3 条“以两次平行测定结果的算数平均值作为最终分析结果。两次测定值相对偏差不大于 $\pm 10\%$ ”。相应的补充主要是参考了 GB/T8984-2008 《气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 气相色谱法》，对于结果的精确性给出了要求。

中国科学院大气物理研究所理化分析测试中心，中国科学院南京土壤研究所公共技术中心，农业农村部畜牧环境设施设备质量检验测试中心（北京）三家实验室进行了方法的验证，证明该方法可以实现对 N_2O 浓度的准确测定。

13 附表 D 给出了液体粪污贮存气体监测点位记录表


附录 D

(资料性)

液体粪污贮存气体监测点位记录表

液体粪污贮存气体监测点位记录表内容和格式见表 D.1

表 D.1 畜禽养殖场液体粪污气体监测点位记录表

气体监测点位布置示意图

() 号贮存池
注：以三角形标注采样点位并标出序号

记录人：_____ 校核人：_____ 日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

依据和理由：

畜禽养殖场液体粪污气体监测点位记录表主要用于记录采样点布设位置等信息。参照《畜禽养殖污水监测技术规范》(GB/T27522—2023)，该标准要求在对污水进行监测时，需要对现场采样点位布设等信息进行采集。这些基本信息对于日后进行数据溯源、分析气体排放特征产生的原因具有重要作用，因而建议进行采集。因而本标准也对相应信息的采集进行了规定。

14 附录 E 提供了静态箱采样记录表的内容和格式

附录 E

(资料性)

静态箱采样记录表

静态箱采样记录表内容和格式见表 E.1

表 E.1 静态箱采样记录表

采样日期 (年 月 日) 天气: 气温:

序 号	样 品 编 号	采 样 点 位	采 样 时 间 (时:分)	采 样 箱 内 液 面 至 箱 顶 高 度 (m)	箱 内 气 压 (Pa)	箱 内 气 温 (℃)	水 温 (℃)	备 注

记录人: _____ 采样人: _____

备注栏(请参考以下内容填写):

天气现象: 晴、多云、阴、雾、雨、雪、大风等。

意外情况: 采样过程中突然发生的情况, 如采样箱故障、采样瓶破损或采样员特殊原因等。

注: 每箱样品填写相应记录表, 并随同样品运输保存。

依据和理由:

样品采集负责人应当具有专业化的知识, 熟悉并掌握样品采集与保存的操作流程; 记录样品采集时间及采集地点可对样品的来源及产生时间进行追溯; 天气情况及突发事件的记录可以判断外界因素是否会对样品采集产生影响; 采样箱内空气温度、箱内气压、采样箱内液面至箱顶高度等数据的记录, 将在静态箱法的气体排放核算中用到。采样期间的水温也是直接影响污水气体排放特征的重要参数。对本表信息进行设计, 主要在于记录样品采集过程中的关键信息和数据以便后续准确有序地对样品进行分析, 确保数据信息完整、清晰。

三、 试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

(1) 采用静态箱测试液体粪污贮存中的温室气体排放试验

Qi 等 (2015) 运用静态箱法在 2013 年夏季和秋季对四川内江某猪场的三段式污水贮存池的甲烷和 CO₂ 的排放量进行了检测。

该三段式污水贮存池包含 3 个混凝土池子 (图 1c)，每一个的尺寸分别为 4.5m 长，7m 宽，和 1.1m 深。这三个池子分别命名为 ABC 池，ABC 三池子相连形成一个长矩形；各池体之间有 20 cm 厚的墙体，但是墙体的底部有开口因而可确保 ABC 3 个池子之间的水是联通的。

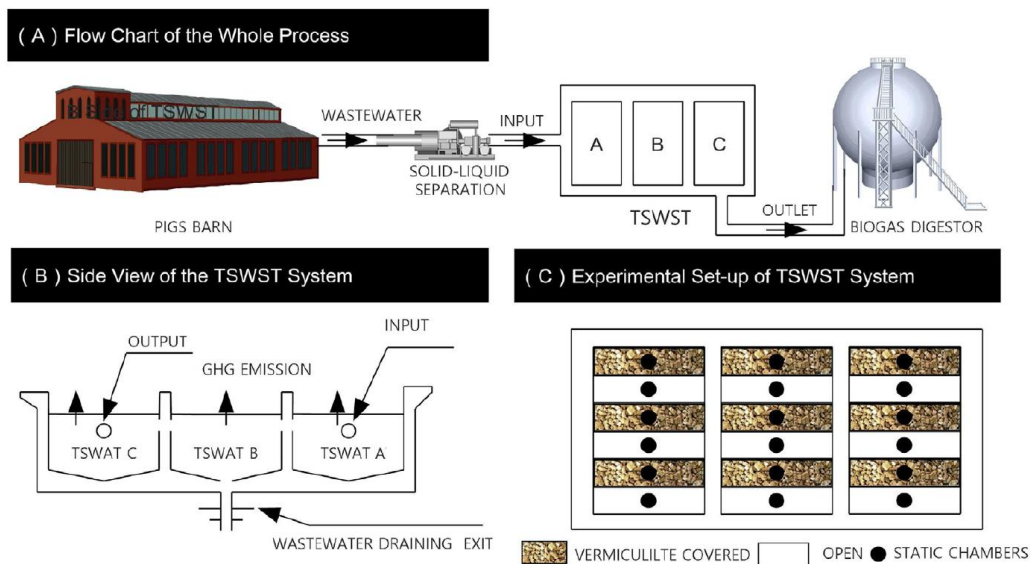


Fig. 1 – Schematic diagram of the TSWST system.

图 1 三段式污水贮存池 (Qi et al.,2015)

在该实验中，主要是考察蛭石覆盖于污水后对污水气体的减排效果。将 ABC 每个池子再采用人工隔开的方法再分成了 6 个部分，3 个覆盖蛭石，3 个不进行覆盖。采用静态箱法对 CH₄ 和 CO₂ 排放进行监测。监测分为夏季和冬季 2 个时期，冬季的监测时间为 2013 年 1 月 14 日至 2 月 3 日，夏季的监测时间为 2023 年 8 月 15 日至 8 月 29 日。对于 A 池，B 池，C 池，每个池子的气体排放分别进行 3 天的连续监测，按照每 3 h 采样一次的方式连续进行，得到日排放量变化情况。每个池子上的蛭石覆盖位置设计 3 个采样点，不覆盖位置也设计 3 个采样点以作为 3 个重复。

静态箱的底面直径为 305mm，高度为 600mm。悬浮于塑料泡沫板上。采用 50 ml 的注射器进行采气，之后打入真空管保存待测。

CH₄ 和 CO₂ 气体排放监测结果如图 2 和图 3，不同季节水质指标如表 1。

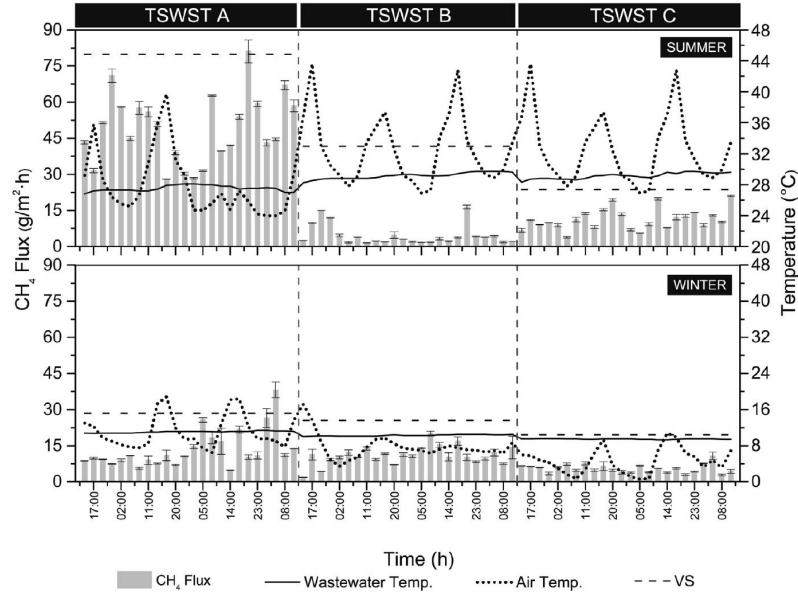


Fig. 2 – CH₄ emissions from TSWSTs correlated to VS content and temperature in summer and winter.

图 2 三段式污水贮存池在夏季和冬季的 CH₄ 排放通量 (Qi et al.,2015)

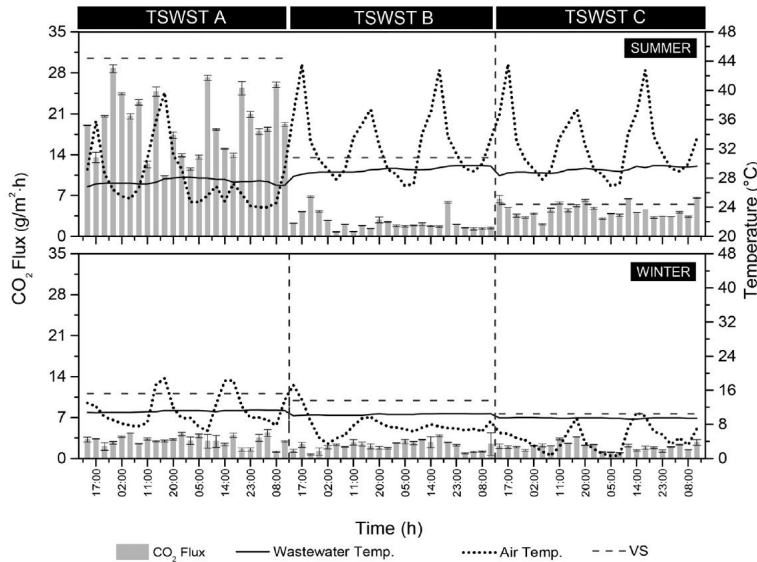


Fig. 3 – CO₂ emissions from TSWSTs correlated to VS content and temperature in summer and winter.

图 3 三段式污水贮存池在夏季和冬季的 CO₂ 排放通量 (Qi et al.,2015)

表 1 三段式污水贮存池在夏季和冬季的水质指标 (Qi et al.,2015)

Season	Wastewater storage tank	pH	VS	SCOD	STOC	NH ₄ -N
Summer	TSWST A	7.3 ± 0.3	7100 ± 440	2467 ± 405	1851 ± 508	993 ± 318
	TSWST B	7.3 ± 0.2	3700 ± 500	2984 ± 389	2040 ± 603	885 ± 127
	TSWST C	7.5 ± 0.1	2100 ± 400	2412 ± 374	1484 ± 307	267 ± 151
Winter	TSWST A	7.3 ± 0.1	1949 ± 668	2604 ± 591	1807 ± 410	1814 ± 38
	TSWST B	7.4 ± 0.1	1684 ± 449	2909 ± 295	2019 ± 295	1806 ± 17
	TSWST C	7.4 ± 0.3	1230 ± 657	2651 ± 598	1839 ± 415	1811 ± 159

通过分析发现夏季时, A 池的 CH₄ 和 CO₂ 排放通量分别为 35 和 15 g m⁻² h⁻¹, B 池和 C 池 CH₄ 和 CO₂ 排放通量分别低于 10 g m⁻² h⁻¹ 和 5 g m⁻² h⁻¹。A 池较高的温室气体排放主要是由于 A 池内较高的 VS 含量所导致的(表 1)。

在冬季时, ABC 三池的甲烷排放均保持在 8 g m⁻² h⁻¹ 左右, CO₂ 排放保持在 3 g m⁻² h⁻¹ 左右。由于较低的气温导致了较低的 GHG 排放。

Qi 等(2015)的研究证明了本标准规定的畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放监测技术是可行的。

此外, 在典型的污水贮存条件下, 一般污水处于厌氧状态, 因而污水贮存中的 N₂O 排放极低, 甚至完全没有。IPCC(2006)指南指出对于不产生结壳的污水贮存, 其 N₂O 排放因子推荐参数为 0, 所以这可能是导致 Qi 等未对 N₂O 排放进行监测及分析的原因。

同时, 标准编制团队于 2021 年 4 月 21-28 日期间, 采用静态箱法对奶牛场污水贮存气体排放进行了监测。污水 pH 为 8.1-8.2, COD 为 34000-35000 mg/L。气体排放检测值如表 2。

表 2 奶牛场污水贮存气体排放监测

mg/m ² /h	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
CO ₂	918.2	952.7	968.4	780.4	853.6
CH ₄	35.0	29.7	69.6	29.4	50.6
N ₂ O	0	0	0	0	0

这一实验也证明了一般情况下液体粪污贮存过程中温室气体排放主要以甲烷和 CO₂ 为主, N₂O 排放较低或几乎不产生。

四、 与国际、国外同类标准技术内容的对比情况, 或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况;

本文件是结合中国畜禽养殖业生产实际制定的, 国际上没有同类标准, 本文

件在制定过程中没有采用同类国际标准。

五、 以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

本文件制定过程中根据国内实际情况制定，未以国际标准为基础进行起草。

六、 与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本文件为首次制订，在制订过程中参考了我国现行的、相关标准和规范。本文件属于技术规范的要求内容，与现有的法律、法规和相关标准间无冲突。

七、 重大分歧意见的处理经过和依据

本文件在编制和征求意见过程中无重大分歧意见。

八、 涉及专利的有关说明

本文件不涉及具体专利的应用。

九、 实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

建议畜牧行业和环保行业统一采用该标准方法进行畜禽养殖场液体粪污贮存过程温室气体排放监测。

十、 其他应予说明的事项

无其他应予说明的事项。

主要参考文献

- 1) GB/T 18204.3-2013 公共场所卫生检验方法 第3部分: 空气微生物
- 2) GB/T 8984-2008 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 气相色谱法给出了CO₂和CH₄的检测方法;
- 3) GB/T 32760-2016 反刍动物甲烷排放量的测定 六氟化硫示踪 气相色谱法
- 4) HJ/T 167-2014 室内环境空气质量监测技术规范
- 5) T/LCAA 006-2021 农田甲烷和氧化亚氮静态箱法排放 监测技术规范
- 6) T/LCAA 005-2021 气体中甲烷、氧化亚氮和二氧化碳浓度测定 气相色谱法
- 7) DB64/T 725-2011 静态箱法测定水稻田温室气体技术规程
- 8) 郑循华, 王睿著, 2017. 《陆地生态系统-大气碳氮气体交换通量的地面观测方法》——(静态箱-气相色谱法观测CH₄和N₂O通量的方法与数据质量控制规范), 气象出版社
- 9) Cao Y, Wang X, Zhang X, Misselbrook TH, Bai Z, Wang H, Ma L. The effects of electric field assisted composting on ammonia and nitrous oxide emissions varied with different electrolytes. *Bioresource Technology*. 2022 Jan 1;344:126194.
- 10) Kavanagh I, Burchill W, Healy MG, Fenton O, Krol DJ, Lanigan GJ. Mitigation of ammonia and greenhouse gas emissions from stored cattle slurry using acidifiers and chemical amendments. *Journal of Cleaner Production*. 2019 Nov 10;237:117822.
- 11) Li D, Yuan J, Ding J, Wang H, Shen Y, Li G. Effects of carbon/nitrogen ratio and aeration rate on the sheep manure composting process and associated gaseous emissions. *Journal of Environmental Management*. 2022 Dec 1;323:116093.
- 12) Minamikawa, K., Tokida, T., Sudo, S., Padre, A., Yagi, K. (2015) Guidelines for measuring CH₄ and N₂O emissions from rice paddies by a manually operated closed chamber method. National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan.
- 13) Qi, X., Wu, S., Wang, Z., Zuo, Z., & Dong, R. (2015). Seasonal and daily emissions of methane and carbon dioxide from a pig wastewater storage system and the use of artificial vermiculite crusts. *Biosystems Engineering*, 131, 15-22.

- 14) Rochette, P., & Eriksen-Hamel, N. S. (2008). Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: are absolute values reliable?. *Soil Science Society of America Journal*, 72(2), 331-342.
- 15) 国家发明专利“一种测定畜牧场开放源温室气体排放通量的静态箱法”（CN 111413469 B）
- 16) 王婧瑜, 刘志铭, 曹玉军, 吕艳杰, 魏雯雯, 吴兴宏, 王永军, 姚凡云. (2022). 样品保存条件对温室气体浓度的影响. *东北农业科学*.
- 17) 姚凡云, 王立春, 多馨曲, 刘志铭, 吕艳杰, 曹玉军, 魏雯雯, 王永军. 不同氮肥对东北春玉米农田温室气体 周年排放的影响. *应用生态学报*. 2019, 30(4), 1303—1311.