**国家标准**

**农用沼液无害化处理技术规范**

**(征求意见稿)**

编制说明

标准起草组

二〇一七年五月

**目 录**

[1 项目背景 4](#_Toc482208655)

[1.1 任务来源 4](#_Toc482208656)

[1.2 工作过程 4](#_Toc482208657)

[2 基本情况 4](#_Toc482208658)

[2.1沼液的产生 4](#_Toc482208659)

[2.2 沼液的成分与有害物质 4](#_Toc482208660)

[2.3沼液农业利用方式 6](#_Toc482208661)

[2.2.1沼液用于浸种 6](#_Toc482208662)

[2.2.2 沼液作为有机肥 6](#_Toc482208663)

[2.2.3 沼液用作杀虫剂 6](#_Toc482208664)

[3 标准制定的必要性 7](#_Toc482208665)

[3.1 顺应环境保护及农业可持续发展政策有关要求 7](#_Toc482208666)

[3.2为农业生态环境和农产品产品安全提供必要保障 8](#_Toc482208667)

[3.3 对现行畜禽养殖相关标准的有效补充 8](#_Toc482208668)

[4 国内外相关法规和标准 9](#_Toc482208669)

[4.1 国内相关法规和标准情况 9](#_Toc482208670)

[4.2 其他国家地区相关管理与标准情况 9](#_Toc482208671)

[5 标准主要技术内容 10](#_Toc482208672)

[5.1 标准制定原则 10](#_Toc482208673)

[5.2 标准适用范围 10](#_Toc482208674)

[5.3 术语和定义 11](#_Toc482208675)

[5.4 原则 11](#_Toc482208676)

[5.5处理工程要求 11](#_Toc482208677)

[5.5.1 沼液无害化项目选址 11](#_Toc482208678)

[5.5.2 沼液无害化技术工艺选择 11](#_Toc482208679)

[5.5.3 关键配套设备和设施 12](#_Toc482208680)

[5.6 无害化处理要求 12](#_Toc482208681)

[5.6.1 细菌和病原体去除 12](#_Toc482208682)

[5.6.2 重金属去除 13](#_Toc482208683)

[5.7抗生素和激素去除 15](#_Toc482208684)

[5.8 其它要求 16](#_Toc482208685)

[5.9 本标准与国外标准关键指标比对 16](#_Toc482208686)

[5.9.1病原体去除要求 16](#_Toc482208687)

[5.9.2 重金属去除要求 17](#_Toc482208688)

[5.9.3 抗生素和激素的去除要求 18](#_Toc482208689)

[5.9.4 其它要求 18](#_Toc482208690)

[6 环境经济效益分析 20](#_Toc482208691)

[6.1 环境效益 20](#_Toc482208692)

[6.2 经济效益 21](#_Toc482208693)

**国家标准**

**农用沼液无害化处理技术规范**

**（征求意见稿）**

编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

国家标准《农用沼液无害化处理技术规范》的项目编号为：20083158-Q-424，主管部门为国家标准化管理委员会，提出和归口单位为中国标准化研究院。

1.2 工作过程

标准起草从2009年开始，可分为三个阶段：

第一阶段：前期预研究及调研分析

调研国内外沼液处理和利用方面的技术、标准、政策和法律法规，为标准编制工作提供依据。

第二阶段：由强制性标准转为推荐性标准

按照强制性标准整合精简工作方案精神，于2016年2月对标准进行重新评估后将该标准转为推荐性标准。

第三阶段：标准起草阶段

2016年4月由中国标准化研究院、北京科技大学、山东民和牧业等有关单位组成的标准起草组成立。同年10月形成了国家标准草稿。先后召开标准组讨论会和实地调研3次，在此基础上形成了标准征求意见稿。

2 基本情况

2.1沼液的产生

近年来随着我国农业产业结构的不断调整，畜牧业的发展主要以集约化、规模化养殖为主导，以规模化管理、标准化生产和产业化经营为目标的同时，也带来了严重的环境污染。农业废弃物资源循环利用具有改善生态环境和降低二氧化碳排放、缓解温室效应等方面的作用，因此沼气工程逐渐在世界范围受到的广泛重视。《可再生能源中长期发展规划》中明确提出：到2020年可再生能源在能源构成中要达到15%左右。规模化沼气工程沼气产量到2010年发展到40亿立方米，到2020年更要达到140亿立方米的规模。

沼气工程在处理畜禽粪便、生产清洁能源的同时，还提供了可以作为有机肥料利用的厌氧发酵剰余物。厌氧发酵剩余物是由固体和液体两部分组成。浮留在表面的固体物叫浮渣；中间部分为液体（清液在上，悬液在下），称为沼液。沼液是一种优质、全效的有机肥料。但由于沼液产生量大，且含有相当数量的污染物，若沼液直接排放或过量还田，将成为新的污染源。因此，在进行农业利用之前，需要进行无害化等预处理过程，从而为沼液的安全、合理利用，以及农业可持续发展提供保障。

2.2 沼液的成分与有害物质

沼液一般被认为是发酵剩余物沉降后的上部液体，有时也将搅匀了的发酵剩余物统称为沼液。很多从业者将从厌氧消化器内得到的固形物统称为沼渣，将其他随同液体的混合物成为沼液。由于厌氧发酵的有机物来源多样，同时厌氧发酵所涉及的微生物群类相当复杂，有水解型细菌、产氢产乙酸菌、产甲烷菌以及某些具有合成功能的细菌等，所以厌氧发酵过程中代谢产生的各种产物是非常复杂的，是得沼液成分非常复杂。

沼液按照成分大致可分为3类：第一类为营养成分，由发酵原材料中作物难以吸收的大分子物质被微生物分解而成。由于其结构简单，可被作物直接吸收，向作物提供氮、磷、钾等主要营养元素（如表1所示）。第二类为矿物质元素，其本身存在于发酵原料中，多数经过厌氧发酵变成离子形式。同时沼液中也含有多种重金属元素，做肥料使用时可能对土壤和作物产生危害并造成环境污染。第三类物质相当复杂，包括氨基酸、生产素、赤霉素、纤维霉素、单糖、腐殖酸、不饱和脂肪酸、纤维素及某些抗菌素类物质，可以把这些东西统称为“生物活性物质”。

表1 浙江地区三处养殖张沼液中的主要营养元素含量（毫克/升）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 元素名称 | 猪牛混合沼液 | 鸡场沼液 | 猪场沼液 |
| pH | 8.08 | 7.87 | 7.57 |
| 总氮 | 3933 | 3992 | 4238 |
| 氨态氮 | 211 | 351 | 420 |
| 总磷 | 51 | 28 | 42 |
| 总钾 | 425 | 130 | 350 |

目前，规模化养殖过程中使用的存进畜禽生长的饲料、预防畜禽疾病的药物均含有一定的重金属，再加上各种化学添加剂，容易造成沼液中重金属含量超标。这些重金属存在被动植物吸收而进入食物链和在农业环境中积累而污染农产品及耕地环境的风险。

在集约化、规模化畜禽养殖过程中，抗生素、激素等添加剂有利于促进畜禽生长和减少疾病。但由于经济利益的驱动、监管措施不力和科学知识不足，滥用上述药物的现象普遍存在。现行厌氧发酵主要是针对COD、BOD5、总氮等常规指标，对抗生素和激素的去除效果不佳，因此大多数抗生素和激素最终残留在沼液中。聂莹等分析了湖南地区养猪场沼液中几种抗生素含量，发现土霉素（OTC）、四环素（TC）合金霉素（CTC）3种常见抗生素都有检出且含量偏高。

此外，由于沼液中含有大量的微生物，也包含有害微生物。研究表明沼液中可培养细菌含量在每毫升105~106cfu，其中的革兰氏阴性菌多于革兰氏阳性菌，杆菌多于其他形态的菌。对江苏地区大中型沼气工程的相关研究发现，沼液中大肠杆菌群的数超过了每毫升1000cfu。

2.3沼液农业利用方式

2.2.1沼液用于浸种

沼液中含有丰富的矿质元素，可以分为常量元素和微量元素，包括钙、钠、镁、铁、锰、锌等，大多数是作物生长发育所必需的。这些矿物质元素主要来源于沼气发酵的原料，且在厌氧发酵过程中参与微生物代谢活动，在微生物的作用下最终转移至沼液中。利用沼液浸种是近几年开发和逐渐形成的一项实用技术，沼液中营养物质、矿质元素和活性物质浸种时可以渗透到种子的内部，促进种子发芽和生长，可以有效提高种子的发芽率、成秧率和秧苗的质量，增强其抗寒、抗病和抗逆能力，有利于增产。

2.2.2 沼液作为有机肥

将沼液作为有机肥料连续施用能够改善土壤的理化性质，不仅补充土壤的营养还可以增加种植层深度，有利于土壤团粒结构的形成，为土壤耕作和农作物生长创造了良好的土壤条件，提高土壤氮、憐、钾和有机质的含量。施用沼肥可以不同程度的活化土壤中的铜、锋、铁等微量元素，调整土壤的碳氮比满足土壤微生物的营养需求，活化土壤中的某些酶，建立良好的土壤环境。沼肥对土壤中微生物群落有一定的影响，增加土壤细菌、真菌的数量，提高微生物的多样性。

2.2.3 沼液用作杀虫剂

经过沼气工程厌氧发酵后的沼液与发酵原料相比，含有较少的病原杂菌（如巴氏杆菌、丹毒杆菌、沙门氏杆菌、魏氏梭菌等）和虫卵，而且含有较高浓度的NH4-N、有机酸、水解酶以及植物激素等活性物质，一定程度上可以抑制和杀灭对农作物有害的病菌和虫卵，因而沼液直接喷施于农作物可以防治多种农作物病虫害，从而达到减少或者杜绝农药使用的目的。沼液用作杀虫剂的这一利用技术，使得沼液具备了“生物农药”的特性。

3 标准制定的必要性

近年来养殖业规模化程度不断提高和扩大，伴随而来大量的沼液，不能像过去一样直接作为肥料就地消纳。特别是沼液中含有一些有害重金属、抗生素、激素等成分，不经处理会造成二次污染。但沼液同时也含有一定的植物营养成分。由于其对农作物有害和有益成分并存，造成沼液处理工艺和技术上的复杂性。因此，沼液的无害化处理和综合利用使我国畜牧养殖业、沼气清洁能源、农业环境污染综合治理和农业可持续发展的关键问题。本标准制定具有以下几方面的意义。

3.1 顺应环境保护及农业可持续发展政策有关要求

党的十七届五中全会以及审议通过的“十二五”规划建议对农村环境保护提出了新的要求，各级党委政府把统筹城乡发展与环境保护摆上了重要议事日程，农村环境保护正处于历史上最好的发展机遇期。

2008 年以来，环保部等部门实行了“以奖促治”政策，加快解决突出的农村环境问题。在其实施方案中要求，通过“以奖促治”，采用生产有机肥、还田等方式，有效治理规模化畜禽养殖污染，对分散养殖场进行人畜分离，养殖废弃物得到集中处理。

2013 年11 月，我国发布了《畜禽规模养殖污染防治条例》（国务院令第643号）。该条例明确提出了推进畜禽养殖废弃物综合利用和无害化处理的污染防治思路：鼓励和支持采取粪肥还田、制取沼气、制造有机肥等方法，对畜禽养殖废弃物进行综合利用；鼓励和支持采取种植和养殖相结合的方式消纳利用畜禽养殖废弃物，促进畜禽粪便、污水等废弃物就地就近利用。同时也进一步明确“向环境排放经过处理的畜禽养殖废弃物，应当符合国家和地方规定的污染物排放标准和总量控制指标。畜禽养殖废弃物未经处理，不得直接向环境排放。

2016年国家能源局发布了《生物质能发展“十三五”规划》。规划提出到2020年，生物质能基本实现商业化和规模化利用。其中沼气发电50万千瓦；生物天然气年利用量80亿立方米；生物液体燃料年利用量600万吨；生物质成型燃料年利用量3000万吨。同时，开发畜禽粪便收集专用设备，解决能源化无害化处理问题；建立生物天然气、生物成型燃料工业化标准体系，出台生物质锅炉和生物天然气工程专用的污染物排放标准。

3.2为农业生态环境和农产品产品安全提供必要保障

农业生态环境和食品安全问题一直是我国社会关注的焦点之一。沼液的资源化利用不能以危害环境和人体健康为代价。而重金属、抗生素、动物激素、兽药残留等的普遍存在于沼液中。相关研究表明，沼液可检出较高浓度的抗生素和激素，并且可导致养殖场周围的水体和环境都存在较大的抗生素和激素的污染负荷， 若不经处理， 直接排放或利用，将会对环境造成严重污染，并对人类健康构成威胁。对于其中的重金属，饲料中有机砷化合物作为控制生猪疾病、增加体重、促进生长的添加剂也得到了广泛应用，其残留问题引起公众关注。重金属沉积造成的重金属污染会抑制土壤中磷酸酶和过氧化氢酶的活性，降低土壤质量，并直接威胁到农产品生产和安全。因此，这样高浓度且含有重金属、抗生素以及激素的沼液若不经处理直接排放或者利用，势必会对水体、土壤等环境造成污染，若被一些可以富集重金属的植物吸纳人体内，进而随着食物链进人人体内，将对人身健康造成伤害。

3.3 对现行畜禽养殖相关标准的有效补充

我国畜禽养殖相关标准中专门针对沼液的有行业标准6项，其中针对治理技术的仅有《沼气工程沼液沼渣后处理技术规范》一项。在该标准中，针对沼液的不同利用方式提出了典型治理工艺技术与要求，但是沼液处理后的水质没有进行明确的指标限定；另外由于相关要求只是针对典型工艺技术提出，使该标准的适用范围受到较大限制。《规模畜禽养殖场污染防治最佳可行技术指南》等畜禽养殖标准对于沼液的处理也有所涉及，但其治理的是为实现达标排放，并不以农业利用为最终目的。另外沼液的处理方面尚不存在国家标准，因此该标准制定可以进一步我国畜禽养殖标准体系，为我国沼液的处理处置与资源化利用提供依据。

4 国内外相关法规和标准

4.1 国内相关法规和标准情况

目前，我国农业部已经颁布了《NY/T 2065-2011 沼肥施用技术规范》、《NY/T 2374-2013 沼气工程沼液沼渣后处理技术规范》、《NY/T 2596-2014 沼肥》等相关行业标准。《NY/T 2065-2011 沼肥施用技术规范》规定了沼气池制取沼肥的工艺条件、理化性状，主要污染物允许含量、综合利用技术与方法，适用于以畜禽粪便为主要发酵原料的户用沼气发酵装置所产生的沼肥用于粮油、果树、蔬菜、食用菌等的施用。《NY/T 2374-2013 沼气工程沼液沼渣后处理技术规范》规定了从沼气工程厌氧消化器排除的沼液沼渣实现资源化利用或达标处理的技术要求，适用于以畜禽粪便、农作物秸秆等农业有机废弃物为主要发酵原料的沼气工程，以其他有机质为发酵原料的沼气工程参照执行。《NY/T 2596-2014 沼肥》规定了沼肥的术语、定义、要求、试验方法和检验规则，适用于以农业有机物为原料经厌氧消化产生的沼渣沼液经加工制成的肥料。

4.2 其他国家地区相关管理与标准情况

欧盟在2003年颁布了关于欧盟肥料框架法令（No 2003/2003）并颁布了欧盟硝酸盐框架法令（European Nitrate Directive 91/676/EEC，），欧盟废弃物框架法令（2008/98/EC）对施用在农田的氮素作出了相关限定，如每年每公顷氮肥施用量≤170kg（以N计）。德国也相继出台了德国市政污泥法令（German Sewage Sludge Ordinance AbKlärV 1992），德国生物废弃物法令（German Biological Waste Ordinance BioAbfV 1998），德国联邦土壤保护与污染场地法令（German Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance BbodSchV 1999），德国动物副产品规定（German Animal-by Products Regulation TierNebV 2006），新德国废弃物管理与产品回收法案（New German Waste Management and Product Recycling Act KrWG 2012），但对沼液无害化处理未做相关规定。欧洲的牲畜养殖饲料不含抗生素等，不同于国内，因此未对抗生素等做出规定。

早在1949年，美国颁布了《联邦水污染控制法案》（Federal Water Pollution Control Act），也叫《清洁水法案》（Clean Water Act）。美国环保署（EPA）下的AgSTAR项目旨在推动美国私人农场利用动物粪便厌氧发酵产沼气，并且鼓励将沼液沼渣回用于农田。但是对沼液沼渣的资源化和无害化处理还没有相关的标准。加拿大颁布了肥料法案（Fertilizers Regulations，C.R.C., c. 666），又被称为营养物管理法案（Nutrient Management Regulation）并且在2017年更新，允许将市政污泥和非农业来源沼液沼渣施用于农田，鼓励利用沼液沼渣生产商业肥料。安大略省规定脱水后的沼液沼渣可以进行堆肥处理。

5 标准主要技术内容

5.1 标准制定原则

《农用沼液无害化处理技术规范》的制定应以国家环境污染防治法、污染物排放标准和环境质量标准体系为指导，以我国目前沼气工程和农业生产技术、管理水平、污染物排放现状、治理水平以及行业未来发展趋势为基础，以国内外相关环境标准为参考进行编制，实现标准的科学性、先进性和可操作性。

本标准编制应遵循以下原则：

（1）保护生态环境和人体健康；

（2）以资源循环利用为指导，促进农业可持续发展；

（3）与我国现行有关的环境法律法规、标准协调配套；

（4）力求使标准做到科学合理，具有可操作性；

（5）促进我国沼气工程建设和运行，以及沼液处理与利用的规范化和标准化。

5.2 标准适用范围

GB/T 51063-2014中将沼气工程定义为“采用厌氧消化工艺，处理农业有机废弃物、工业高浓度有机废水、工业有机废渣、污泥，产生沼气可用于民用、发电和提纯压缩”的工程，“包括沼气站、输配管网和用户工程”；沼液一般被认为是发酵剩余物沉降后的上部液体，有时也将搅匀了的发酵剩余物统称为沼液。由于沼液中含有较多有机物质和营养成分，因此大量被利用于农业生产过程中，可行的利用方式包括浸种、作为有机肥、作为灌溉水等。但沼液中存在超过国家卫生和环境保护相关标准的微生物、抗生素、激素和重金属等有害物质，在资源化利用前需首先去除。鉴于上述情况，将本规范的适用范围限定为：农业沼气工程所产生沼液在用于农业生产用途时的无害化处理，以及在处理过程中储存、运输和记录方面的要求。

5.3 术语和定义

本标准采用NYT 1168-2006中“厌氧消化”的定义，在NYT 1168-2006 “无害化处理”术语定义基础上提出了“沼液无害化处理”术语定义，增加了“农用沼液”和“储液池”术语定义。

5.4 原则

沼液的农业化利用必须在不危害安全农产品安全和损害生态环境为前提，最大化沼液的资源效益，减少潜在危害。因此沼液无害化处置需要在对有害物质有效去除的前提下，尽可能保留有机质和营养成分。无害化处置工艺选择和项目建设还要充分考虑与前端沼气工程的衔接以及周边环境的协调，保证项目在经济和技术上的可行性。本规范提出了四项原则作为沼液无害化项目的基本要求。

5.5处理工程要求

5.5.1 沼液无害化项目选址

沼液用于农业生产应尽量以原位利用方式为主。因此以资源化利用为目的的沼液无害化处理项目的选址应考虑项目与沼液的产生地点（沼气工程），以及与沼液利用地（农作物种植地）的位置和交通关系。

5.5.2 沼液无害化技术工艺选择

在进行沼液无害化技术工艺的设计和选择时，需要综合考虑沼液产生量、水质和利用情况，在不危害环境和产生二次污染的前提下，控制成本，为区域畜禽养殖和种植业的可持续协同发展提供支撑。

5.5.3 关键配套设备和设施

不同作物按照当地地理、气候不同，存在禁止或限制施肥灌溉作业的周期。沼液的农业利用需要与作物生产周期一致。因此沼液无害化工作需要设有储液池存放待用沼液，避免因储液池容量不足导致沼液直接排放污染或强行还田伤害作物。储液池的容积计算：V（储液池）=L（单位畜禽粪水日排量）×S（禁限制施肥灌水天数）×Q（存栏量）-V（周转池等）

5.6 无害化处理要求

5.6.1 细菌和病原体去除

沼气工程的厌氧发酵对粪污中的微生物有杀灭作用，厌氧发酵温度越高、水力停留时间越长，杀菌效果越好。根据叶小梅等（2012）的调查结果可知，在常温条件下厌氧发酵能杀灭猪粪中93%的大肠杆菌。但我国沼气装置多为中、常温发酵，水力停留时间（HRT）一般较短（数小时到数天），因此我国多数大中型沼气工程发酵后出水很难达到《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB18596-2001）。丹麦等国家规定中温厌氧消化（35℃）过程至少要保持15天以上，高温厌氧消化（55℃）过程至少保持5天以上。但是沼气工程要保证足够的发酵水力停留时间和发酵温度，将大大增加投资和运行费用，这很难为我国目前的市场所接受。通过强化无害化处理段的卫生灭菌功能，可以弥补厌氧消化装置的不足，从而使沼液满足卫生要求。

目前几种主流的污水灭菌方法为液氯灭菌、二氧化氯灭菌、紫外灭菌和臭氧灭菌。由于，沼液灭菌后的用途主要是用于农业灌溉或施肥，过量的氯会危害作物和土壤，显然不能使用液氯和二氧化氯。因此本标准选择臭氧和紫外灭菌两种方式。

臭氧灭菌：臭氧是一种强氧化剂，可以作为光谱高效杀菌剂使用。臭氧半衰期为22~25分钟，在一定浓度下可以迅速杀灭细菌繁殖体和芽孢、病毒、真菌等。但是从厌氧发酵罐排出的新鲜沼液含有大量的还原性物质，会影响臭氧的杀菌效果。因此对沼液经过滤和稀释后再进行臭氧灭菌，过程参照《臭氧消毒技术规范》执行。

紫外线灭菌：紫外线辐射灭菌是指紫外灯辐射的电磁能（波长240~260纳米）被微生物内的遗传物质吸收，产生光化学反应使核酸链发生变性，从而杀灭微生物。污水杀菌采用254纳米紫外线，但是由于沼液浊度和色度高，会影响紫外线的投射率。因此需对找也进行适当过滤和稀释，直至其满足HJ 2522中的要求。

本规范对于沼液灭菌处理后出水卫生要求以几种常见病原体的量作为指标，限值水平采用了GB/T 19524和GB 7959。

5.6.2 重金属去除

曲明山等对北京郊区县大中型沼气工程20个样本的沼液进行了重金属检测，结果如表2所示。4种不同原料沼液中重金属含量较低，均低于有机肥料（NY525-2012）中重金属限量标准。其他研究结果也发现不同地区、不同发酵原料等导致沼液中重金属含量呈现出很大差异性。虽然大多数情况下重金属浓度均低于相关标准要求，但若长期过量使用沼液，有可能造成土壤重金属积累，对农产品安全带来影响，特别是将沼液用于养殖业时更应注意对重金属的检测和去除，以保证食品安全。

表2不同发酵原料沼液的重金属含量 （毫克/千克）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 重金属元素 | | 牛粪沼液 | 猪粪沼液 | 鸡粪沼液 | 猪牛鸡粪混合沼液 |
| 镉Cd | 检出率（%）  平均值 | 86  0.061 | 100  0.110 | 67  0.091 | 75  0.078 |
| 铬 Cr | 检出率（%）  平均值 | 100  0.762 | 100  0.595 | 100  3.818 | 100  0.567 |
| 铅 Pb | 检出率（%）  平均值 | 86  0.960 | 100  1.045 | 67  1.046 | 75  0.962 |
| 砷 As | 检出率（%）  平均值 | 29  0.060 | 67  0.010 | 33  0.018 | 25  0.060 |
| 汞 Hg | 检出率（%）  平均值 | 100  0.045 | 100  0.044 | 100  0.049 | 100  0.054 |

目前文献报道中有关沼液污染物安全风险风险分析较多，其处理方法却很少。有于沼液在一定程度上属于污水，因此沼液中重金属处理方法可一定程度上借鉴污水重金属处理方法。

1） 物理化学方法

对于污水中重金属常用的物理和化学去除方法有化学沉淀、氧化还原、电解、吸附、离子交换和膜分离等方法。相对工业废水，沼液重金属的物化处理技术研究较少，几种处理方法的主要的优缺点如表3所示。

**表3 沼液中金属物理化学去除技术的比较**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 优点 | 缺点 |
| 化学沉淀 | 设备简单、操作方便、可以处理重金属离子浓度高、量大的废水 | 费用高、污泥量大，若无你未能综合利用会造成二次污染 |
| 氧化还原 | 原料来源容易，处理效果好 | 占地多，污泥体积大，处理中金属后的污水呈碱性，若直接排放会造成土壤碱化 |
| 电解 | 占地少，设备简单，操作方便，可回收有价金属 | 电耗大、出水水质差，废水处理量小 |
| 吸附 | 可同时吸附多种重金属离子，吸附容量大 | 造价贵，需再生，使用寿命短，操作费用高 |

2）微生物去除

微生物去除重金属是利用某些生物对重金属具有吸收、沉淀、氧化和还原等特性，降低环境中重金属的毒性。虽然目前没有报道表明那些为生物可以处理沼液中的重金属，但是被广泛应用于去除污泥中重金属的主要微生物有氧化硫硫杆菌和氧化亚铁硫杆菌；微生物吸附是利用生物体本身的化学结构及成分特性来吸收溶于水中的重金属离子，在通过固液两相分离去除水溶液中重金属的方法；微生物絮凝是利用微生物或微生物的代谢物，进行絮凝沉淀。该方法具有安全方便无毒、不产生二次污染、絮凝效果好和微生物生长快等优点。但存在着活体絮凝剂保存难，难以工业化生产、生产成本较高的缺点。

3）植物去除——人工湿地

. 植物去除重金属是指通过植物系统及其根系移去、挥发或稳定水体环境中的重金属污染物，或降低污染物中重金属毒性已达到清除污染、修复或治理水体的目的。能利用的植物有藻类、草本植物、木本植物等，已有文献涉及玉米、燕麦、大麦、豌豆、烟草、莴苣、向日葵等。与其他方法相比，植物去除具有技术和经济上的双重优势，成本较低、实施较简便和对环境扰动少的优点，但具有治理效率低的特点。对于沼液而言，利用职务去除重金属的同时，还能降低沼液中N、P等含量。由于一种植物一般只能吸收一种或两种重金属，难以全面清除废水中的重金属，因此，筛选、培育生物量大、生长速度快、适应性强、吸收能力强，能同时吸收多种重金属元素的植物对植物修复技术具有重要意义。

本规范对于沼液无害化处理后出水中Cr、Cd、Pb、As和Hg的含量提出限值要求，指标和限量值依据GB 8172, NY 1110和NY/T 2065提出。

5.7抗生素和激素去除

抗生素主要使用于兽医用药、人体用药和饲料添加剂中，通过畜禽粪便，抗生素进入环境土壤、水体中，并通过食物链经生物富集后危害人体。抗生素中属于四环素类的土霉素、四环素、金霉素等是养殖业常用药物。激素中包括雌激素，类固醇等。根据研究显示，土霉素、四环素和金霉素在施用粪肥农田表层土壤中的平均残留量分别为未施粪肥农田的38倍、13倍和12倍。国内对抗生素和激素废水的处理主要以生物处理为主，即好氧、厌氧及厌氧——好氧组合处理，此外还有物理、化学处理或物化处理技术。

生物去除方法：生物处理在抗生素废水中的应用以厌氧——好氧组合工艺居多。主要是采用厌氧酸化作为好氧生物处理的预处理，经过厌氧酸化之后，提高废水的可生化性，使后续接触氧化处理效果更好。抗生素废水的生化处理主要有SBR、UASB、生物膜法等。

物理/化学去除方法：含抗生素、激素废水的物化处理技术包括沉淀、气浮、吸附和高级氧化处理等。物理处理方法对抗生素废水COD的去除大多在80%以下，工艺较为简单，主要目的在于减少废水中的悬浮物和降低抗生素的生物抑制性，提高废水的可生化性。用于抗生素废水处理的高级氧化技术主要有光催化、Fenton试剂氧化法和臭氧氧化法等。

目前我国尚未对有机肥中抗生素含量的提出限值要求，2017年3月实施的GB/T 32951提出了四环素、土霉素、金霉素以及氯霉素含量检测的方法。进行无害化处理后的沼液需按照该方法进行检测，并对四种抗生素的检出率和含量进行记录。

5.8 其它要求

无害化处理后的沼液可用于灌溉、作为肥料施用、浸种等。作为灌溉之用应满足GB 5084要求，作为肥料时的质量和施用要求应满足NY/T 2596和NY/T 2065。沼液浸种目前没有行业和国家标准，因此参考DB64/T 1046进行。

由于沼液产生量大，无论在进行无害化处理前和用于农业生产时都可以通过浓缩以节约运输和储存的成本。本规范针对膜浓缩和蒸发浓缩两种方式提出了有关技术要求。

最后，本规范也提出了沼液处理与利用环节中的记录要求。

5.9 本标准与国外标准关键指标比对

5.9.1病原体去除要求

欧盟将发酵后的产物统称为“digestate”（发酵剩余物）。根据原料不同，将发酵剩余物主要分为两大类，第一类是能源作物和农业有机废弃物（粪便等），第二类是市政有机废物，如餐厨垃圾等。对于第一类发酵剩余物，规定了基本的重金属和卫生学指标，对于第二类有机废弃物要求更为严格。为了保证沼渣沼液作肥料的生物安全，欧盟法律规定，对动物废弃物类沼气发酵原料需要采用特殊措施。根据原料情况，在进入沼气发酵装置前，需要进行不同的前处理。餐厨、食品废弃物以及生的动物副产品，应进行巴斯德消毒（70℃，1h，原料尺寸小于50mm）前处理。动物胃容物、肠容物、牛奶、初乳和动物副产品需要高压灭菌（133℃，3×105Pa，至少20min，原料尺寸小于50mm）前处理。

**表4 欧盟沼气工程运行条件要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 发酵温度/℃ | 高温条件下最小保证停留时间/ha | 在批式消毒池处理的最小保证停留时间/h | |
| 高温消化前\* | 中温消化前\*\* |
| 52.0 | 10 |  |  |
| 53.5 | 8 |  |  |
| 55.0 | 6 | 5.5 | 7.5 |
| 60.0 |  | 2.5 | 3.5 |

注：\*在沼气发酵装置中的水力停留时间至少7d；

\*\*温度20~32℃，水力停留时间至少14d。

与欧盟指标要求相比，本标准要求“中温厌氧消化（35℃）过程宜保持15天以上，高温厌氧消化（55℃）过程宜保持5天以上。”

欧洲主要根据《动物副产品法》控制沼渣沼液的生物安全，对于具有传播疫病风险的发酵原料，例如，动物副产品、餐厨垃圾，需要批式巴斯德消毒（70℃，1h）或高压消毒，并对颗粒大小和指示微生物如埃希氏大肠杆菌、沙门氏细菌、肠球菌进行限制（表5）。

**表5 欧盟各国对沼气发酵残余物的卫生规定**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 产品 | 根据欧盟相关规定，鉴定机关认定的沼气化或堆肥化产品 | |
| 消毒处理 | 最大颗粒直径为12mm，70℃以上，1h加热处理 | |
| 标准 | 沙门氏菌 | 不得检出（5组25g试验中检出0个菌群） |
| 大肠杆菌 | 5组1g试验中检出10~300个大肠杆菌在2组以内 |
| 保存 | 消毒后的消化液在密闭的容器中保存，未处理的消化液禁止二次加水 | |

本标准主要依据我国卫生要求对无害化处理后沼液中病原体含量进行了限值要求。两者都对大肠杆菌数量进行了限制，本规范未对沙门氏菌进行要求。

5.9.2 重金属去除要求

国外对堆肥中的重金属物质制定了限量标准。这些标准主要针对从城市固体废弃物（MSW）或含有MSW 和工业或农业废弃物的混合物以及污泥制成的堆肥，并严格用于农用商品堆肥的生产上。根据肥料的不同用途，重金属限量标准也有差异。为保证食品安全，粮食作物的肥料比用于观赏植物的肥料重金属限量低。不同欧洲国家的城市废弃物堆肥中的重金属含量不同，范围很大，因而限量标准各异（表6），这些差异的主要原因是：（1）工业化程度不同；（2）未考虑季节变化；（3）从废弃物准备原料的方法不同；（4）工艺方法不同；（5）重金属分析方法的不同。

表6 欧洲国家对有机肥中重金属限量标准（mg∙kg-1）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 奥地利 | 比利时 | 瑞士 | 丹麦 | 法国 | 德国 | 意大利 | 荷兰 | 西班牙 |
| Cd | 4 | 5 | 3 | 1.2 | 8 | 1.5 | 1.5 | 2 | 40 |
| Pb | 500 | 600 | 150 | 120 | 800 | 150 | 140 | 140 | 1200 |
| Hg | 4 | 5 | 3 | 1.2 | 8 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 25 |
| Zn | 1000 | 1000 | 500 | - | - | 400 | 500 | 500 | 4000 |
| Cu | 400 | 100 | 150 | - | - | 100 | 300 | 300 | 1750 |
| Cr | 150 | 150 | 150 | - | - | 100 | 100 | 200 | 750 |
| Ni | 100 | 50 | 50 | 45 | 200 | 50 | 50 | 50 | 400 |
| As | - | - | - | 25 | - | - | 10 | 25 | - |

本规范对农用沼液中Cr、Cd、Pb、As和Hg五种重金属进行了限量要求，指标水平严与或与欧洲国家限量水平相当。

5.9.3 抗生素和激素的去除要求

欧盟国家十分重视沼肥的安全利用和生态卫生研究。高质量的原料是保证沼渣沼液安全还田利用的前提。原料没有被有毒、有害物质和难降解化合物污染是原料质量管理的关键。因此许多国家采用“允许进入清单”控制发酵原料质量。在瑞典、德国、英国、瑞士、荷兰、比利时和加拿大，“允许进入清单”作为沼渣沼液质量条款的一部分。沼渣沼液用作肥料的沼气工程，其发酵原料有以下几类。

（1）畜禽粪便。

（2）能源作物。

（3）蔬菜副产品、残渣，也包括农业、园艺和林业废弃物。

（4）人类和畜禽食品工业的可消化有机废弃物、废水（动物来源和植物来源）。

（5）生活垃圾和食物残渣的有机部分（动物来源和植物来源）。

（6）欧盟1069/2009号法案定义的畜禽副产品。

（7）其他工业废渣（制革、造纸和纺织白泥、甘油等）。

由于对发酵原料的严格控制，同时欧洲的牲畜养殖饲料不含抗生素等，因此欧洲各国均未对沼液沼渣中抗生素和激素的处理、含量限值等做出规定。

5.9.4 其它要求

1）沼液农田施用要求

沼液还田是沼渣沼液可持续的利用方法，养分闭路循环和替代化石肥料是沼液利用的主要动力。简单利用时，发酵装置排出的所有沼渣沼液不经过处理，直接施到地里。施用量和时间按照国家肥料管理规定和施肥经验确定，同时也取决于土壤类型和作物种类（表7）。

表7 一些国家对农田营养负荷的规定

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 最大的营养负荷 | 所需的存储时间 | 强制施用季节 |
| 奥地利 | 170 kg N/ha/year | 6个月 | 2月28日—10月5日 |
| 丹麦 | 170 kg N/ha /year （牛）  140 kg N/ha/year （猪） | 9个月 | 2月1日—丰收 |
| 意大利 | 170 – 500 kg N/ha/year | 90-180天 | 2月1日—12月1日 |
| 瑞典 | 170 kg N/ha/year  （计算每公顷的牲畜） | 6-10个月 | 2月1日—12月1日 |
| 北爱尔兰 | 170 kg N/ha/year | 4个月 | 2月1日—10月14日 |
| 德国 | 170 kg N/ha/year | 6个月 | 2月1日 —10月31日耕地  2月1日—11月31日草地 |

対沼液的不同农业使用方法，本规范主要参考国内相关标准进行了要求。

2）沼液储存要求

合理储存可保持沼渣沼液作为肥料的质量，并且能防止氨挥发、甲烷排放、养分泄漏和流失、以及臭味和气溶胶的散发。德国《可再生能源法》规定，沼渣沼液储存设施覆盖是获得德国联邦污染防治许可以及获得沼气工程补贴的前提。因此，为了避免开放储存池的氨损失和甲烷排放，必须将沼渣沼液盖住，可采用切碎的稻草或储存装置加盖，以减少养分损失和氨挥发、残余物产生的甲烷的污染以及臭味释放，还可减少雨水对沼渣沼液的稀释。

不同规格的密封气袋型池顶盖被广泛使用，由高分子膜材料制成，四周固定在池边上，中间由柱支撑。膜顶盖常用在农场沼气工程和农田边上的储存池。大型联合发酵沼气工程，通常采用混凝土或钢盖板，这些盖板比膜顶盖更贵。如果不能采用膜顶盖覆盖，储存池至少应该有一层碎秸秆、黏土或塑料片形成的浮渣层或结壳层。结壳层必须人工产生，因为沼渣沼液不像生鲜粪污那样能形成表面结壳层。沼渣沼液准备外运利用或搅拌前，结壳层必须保持原貌。搅拌能使沼渣沼液作肥料时均质，只能在沼渣沼液被利用前才能进行，以避免不必要的散发和气味释放。储存池中沼渣沼液的搅拌可采用固定式或移动式。

本规范为针对沼液储存进行具体要求，但针对沼液浓缩处理和储存、运输过程中的记录提出了要求。

6 环境经济效益分析

6.1 环境效益

对于粪污污染的控制，以厌氧发酵为主要技术单元的沼气工程逐渐得到广泛关注及应用，截至2014年底，全国各种类型沼气工程达103036处，总池容达到1690万立方米。随着大型沼气工程的建设，大量沼液随之出现。沼液虽然富含氮、磷、钾、有机质等营养物质，但若将其作为肥料直接施用，沼液则具有养分含量低、使用量大、使用不便的缺点，这些因素严重制约着沼液资源化利用，特别是规模化沼气工程每天所产生的大量沼液，无法及时消纳就会造成严重的环境问题。

沼气工程是实现农业系统物质和能量循环利用的关键技术之一，而沼液的循环利用和无害化处置则是沼气工程可持续发展的关键。现在沼液的处理与利用尚缺乏规范化的管理，储存与运输设备又不完善，加之土地不足与运输成本的限制，沼液还田无法广泛实施。若将沼液直接排放又会对土壤、地表以及地下水造成污染，还会威胁人类健康。沼液须经过合理的处理和利用，才不会对环境产生破坏。沼液的处理是沼气工程急需解决的问题。

与此同时，化肥是维系我国农业生产和粮食安全的重要保障，经过“五五”至“十二五”的发展，我国已成为化肥生产和消费大国。国家统计局的数据显示，2015年我国农用化肥使用折纯量为6022.60万吨，农用氮肥施用折纯量为2361.57万吨，农用磷肥施用折纯量为843.06万吨，农用钾肥施用折纯量为642.28万吨。

化肥工业“十二五”发展规划指出我国化肥资源供应形势不容乐观，目前我国化肥生产的优惠气价已接近欧美等发达国家的天然气大宗交易市场价格（折0.972～1.215元/Nm3），天然气生产化肥难以保障。在相当长的时期内，我国能源和煤资源供应仍持续偏紧。

氮肥工业以煤、石油和天然气等不可再生的资源为生产原料，生产过程还需要消耗大量水和电，属于高耗能和高污染行业。我国70％的氮肥生产以消耗煤炭为主，氮肥生产年均消耗能源约1亿吨标准煤，而且正以每年接近1000万吨标准煤的速度增长。按照《合成氨工业水污染物排放标准》核算，国内氮肥行业每年排水量21.3亿m3，水污染物排放909 kt，其中氨氮148 kt。在国家发展改革委员会确定的全国年综合能耗超过180 kt标煤的1008家重点耗能企业中，氮肥企业占有165家。行业研究数据清晰表明，氮肥行业的高能耗情况，并且有进一步增长的趋势。

我国高品位磷矿短缺，造成生产成本上升。十二五化肥工业发展规划指出，我国钾资源短缺的局面较难扭转。青海柴达木盆地和新疆罗布泊仍是我国主要的钾资源产地，新发现大规模的钾资源难度较大。

据国土资源部的相关统计，现有的磷富矿资源仅能维持我国使用10年左右。因此，磷矿已被国土资源部列为我国2010年后不能满足国民经济发展需要的20种矿产之一。磷的生物化学循环与氮完全不同，是单向流动的，难以再生，因而是一种不可更新的资源。因此，必须高度关注正在发生的磷危机，开发磷矿替代物就成为一项紧迫的重大战略任务。

我国的钾肥发展比发达国家相对慢些，由于目前产能尚不能满足消费需求，仍需从主要钾肥生产国进口。但由于钾肥进口谈判的机制问题，钾肥的价格由主要生产国每年协商，并且国际钾肥供应体系过度集中，也不断推动钾肥价格上涨，造成我国钾肥消费滞后。

从以上现实可知，通过回收沼液中的营养物质氮、磷、钾，不仅可以降低城市污水处理厂的负荷，回收的营养物质回用于农田，也可以缓解我国化肥工业对资源和能源的消耗。同时，沼液中重金属含量远低于化肥中重金属的含量，因此，由沼液制备而来的肥料还可以降低施用化肥对环境和作物的不良影响。

6.2 经济效益

沼液中含有的重金属、兽药残留等成分可能对土壤以及作物品质造成危害，以及污染环境。沼液无害化处理的经济效益主要体现在对疾病的预防而节省的外部效益。此外，沼液可用来生产液态肥，而液态肥的使用可以替代化肥用量、提高作物产量、提高农产品质量，由此会产生额外的经济效益。例如，沼液供农田施肥100公顷，1公顷农田年均节省化肥农药费用按1800元计，则沼液利用可以节省化肥农药费用约18万元。施用沼肥双季稻一亩地粮食增产70公斤，按1公斤2.4元计价值168元，年增纯利25.2万元，还有双晚稻后冬闲田种植其他作物获得收益。