

污水处理厂沼气系统工程设计

陈怡

(北京市市政工程设计研究总院, 北京100082)

摘要：从工程设计角度对沼气的不同利用方式、处理方法、安全保障措施等方面进行了论述和总结，提出了在沼气系统设计中应把握的要点和注意的问题。

1 污水处理厂污泥消化处理工艺介绍

污泥是城市污水处理过程中的副产品，随着污水处理量的不断增加、处理技术的不断完善以及污水处理程度的不断深化，尤其近年来除磷脱氮要求的增加，污泥的产量快速增长。由于污泥成分复杂、处理与处置难度大、费用高，我国许多污水处理厂的大量未经稳定处理的污泥没有正常处理出路，污泥问题已成为影响城市环境卫生水平和限制经济发展的环境问题之一。目前污泥处理常用的方法有浓缩、脱水、消化、干化、有效利用、卫生填埋及焚烧或土地利用，或采用几个方法的组合处置。

污泥的厌氧消化是一项传统而有效的污泥处理技术，能同时实现污泥减量化、稳定化、无害化和资源化的最终处理目标，一直成为城市污水处理厂首选的污泥处理工艺。

由于大型污水处理厂产生的污泥量多，污泥中的有机物未完全降解，直接采用浓缩脱水方法处理污泥，不仅脱水后的污泥很不稳定，而且对有机物降解过程中产生的沼气未能充分予以利用，因此污泥处理工艺一般采用剩余污泥浓缩，然后与初沉污泥一起进行中温厌氧消化，最后通过脱水机进行污泥脱水的工艺流程。污泥处理工艺流程见图1。

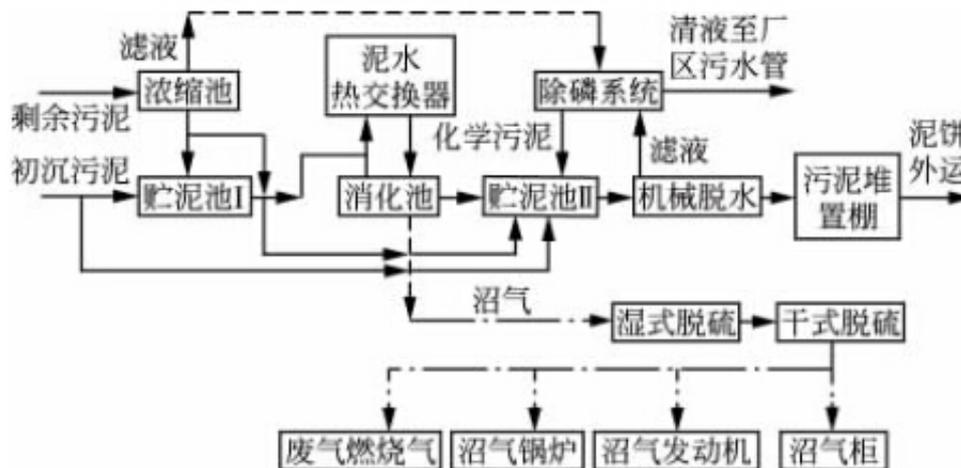


图1 污泥处理工艺流程

厌氧消化处理过程中产生大量的沼气，其热量

可达 $5000 \sim 6000 \text{KJ/m}^3$

，可作为燃料（用于锅炉，燃烧1

m^3 沼气可相当于1Kg煤），又可作为动力资源（1 m^3

沼气可发电 $1.25 \text{kW} \cdot \text{h}$ ）。工程设计中多将沼气用于发电或拖动鼓风机、燃烧厂区采暖锅炉及污泥加热热水锅炉等。

2 沼气特点

2.1 组成

沼气是一种混合气体，主要成分是甲烷和二氧化碳。甲烷占55%~70%，二氧化碳占30%~40%，还有少量氢、一氧化碳、硫化氢、氧和氮等气体。甲烷是可燃气体，可做燃料。

2.2 产生条件

沼气是细菌在厌氧条件下分解有机物的一种产物。城市有机垃圾、污水处理厂的污泥、人畜粪便、作物秸秆、餐厨垃圾等，皆可做产生沼气的原料。细菌分解有机物的过程，大体分为两个阶段：第一阶段，将复杂的高分子有机物质转化为低分子的有机物，例如乙酸、丙酸、丁酸等；第二阶段，将第一阶段的产物转化为甲烷和二氧化碳。

在上述过程中，起发酵分解作用的是多种细菌共同作用的结果。为了使沼气发酵持续进行，必须提供和保持沼气发酵中各种微生物所需的生活条件。产生甲烷的细菌是厌氧的，少量的氧也会严重影响其生长繁殖。这就需要有一个能隔绝氧的密闭消化池。温度在厌氧消化过程中是一个重要因素，甲烷菌能在0~80 的温度范围内生存，有分别适应

低温（20 ）、中温（30 ）、高温（50 ）的各类细菌，最适宜的繁殖温度分别为15 、35 、53 左右。甲烷菌生长繁殖最适宜的pH约为7~7.5，超出此范围，厌氧消化的效率就会降低。在厌氧消化过程中担负废弃物发酵作用的细菌，还需要氮、磷和其他营养物质。投入沼气池的原料比例，大体上要按照碳氮比等于20 1~25 1。此外，还应控制影响沼气发酵的有害物质浓度。

2.3 沼气的特性

表 1 沼气的特性参数

项目	数值
密度/kg/m ³	1.221
相对密度	0.944
热值/kJ/m ³	21542
理论空气量/m ³ /m ³	5.71

（1）沼气的组成影响着沼气的特性，不同组分沼气的特性略有不同，上表为甲烷含量为60%，二氧化碳含量40%时的沼气特性参数。

（2）沼气的燃点高，为650~700 。

（3）沼气具有较强的腐蚀性。硫化氢来源于发酵原料中的含硫化合物，是一种有毒气体，燃烧后生成二氧化硫会污染大气。同时硫化氢还会强烈腐蚀管路中的金属部件。

（4）沼气燃烧空气混合比大，沼气在燃烧时需要大量空气，正常情况下，一份沼气需要5.7倍的空气。

（5）厌氧消化产生的沼气含水量较多。

3 系统设计

3.1 系统组成

沼气系统包括沼气的收集、输送、贮存、处理、利用以及系统压力控制、安全保证等方面。

3.2 沼气收集

消化池在运行过程中不断产生沼气，沼气从水中不断上升，集聚在消化池顶部；由于消化池是密闭池体，气体不能溢出池外，随着气体的不断产生，压力逐渐加大；同时消化池内污泥中的一些浮渣、浮泥等也随着沼气的产生积聚在消化池内的液面上；在消化池顶部设沼气收集装置，收集并输送不断产生的沼气；收集装置需有消除消化池内液面处泡沫、浮渣的功能，保证产生的沼气中少含浮渣、浮泥，且含水量尽可能少。同时需在消化池顶部设压力控制阀（真空压力安全阀），以维持沼气在输送过程中所需的压力。

3.3 沼气输送

在消化池顶部设置压力控制装置，沼气由输送管线输送出消化池。输气管需按日产气量确定管径，为减少管道水损，还需按照高峰产气量核算。

沼气输送管最好设在室外或埋地，管道坡向与沼气走向最好一致，坡度通常为5%。

沼气输送管管材可采用不锈钢管或塑钢复合管。近年来发现某些不锈钢埋地管线也发生腐蚀现象，因此建议不锈钢埋地时外部最好考虑采取防腐措施。

3.4 沼气贮存（气柜）

沼气柜在系统中起平衡系统压力的作用。当用气量小于供气量时，多于气体进入沼气柜；当气柜充满沼气后，用气量仍小于供气量时，废气燃烧器再自动启动，燃烧多于气体。当系统用气量大于供气量时，沼气柜中贮存的沼气和作系统的补充气量。同时沼气柜在系统中还起到平衡沼气压力的作用。沼气柜储气量为6~10h。

沼气柜多为低压或无压气柜，型式有湿式、干式等；近年来，干式双膜气柜在沼气系统中也逐步得到应用。

湿式气柜的气体贮存在钢质柜体内，柜体设有浮动顶盖，顶盖随进气流量变化而上下浮动；顶盖与柜体之间用水封密封。由于气体直接与钢柜体接触，长时间运行会有腐蚀现象，存在安全隐患。北方地区对冬季水封处的防冻问题要采取相应措施，需慎重选用。

干式气柜外表为钢结构的圆柱罐体，顶部可升降并装备配重以控制气柜压力，其内是与沼气接触的特种薄膜，其材质为高质量聚酰胺，两面涂塑料涂层；薄膜具有防漏、抗紫外线、防菌、不易燃等特点。

该薄膜下部与罐体固定，上部的顶端与圆柱罐的顶部固定，并可随圆柱罐体顶部升降而上下移动。

干式双膜气柜由外层和内层两层膜组成，外层膜为球形，内层膜与底膜围成内腔储存沼气。两层膜之间气密，通过鼓风机将空气送入两层膜之间，使外层膜保持球体，同时在恶劣天气条件下保护外层膜，并为内层膜内的沼气提供压力。膜材料为经特殊处理的高强度聚酯纤维，并具有防漏、抗紫外线、防菌、不易燃等特点。

所有气柜均需设超压/真空保护装置；干式气柜和双膜气柜还设有机械超压保护装置、真空安全装置和水封超压保护装置，当气体充满或基本排出后，保护装置能够发出气柜负荷信号并及时动作，对气柜进行保护。

3.5 沼气处理

消化池产生的沼气含水量很大，携带一些杂质，气体中还存在大量硫化氢，硫化氢遇水溶解，形成酸性液体，对输送管路系统及后续设备造成腐蚀。为减少其对管路及设备的损坏，需对沼气进行除水、过滤、脱硫处理。

3.5.1 除水

消化池内温度较高，沼气排出消化池后，沼气管内外温差较大，气体中的水分很快就冷凝为水，聚集在沼气管的底部，沼气输送系统中不断有冷凝水从沼气中分离出来。水量的不断增加将减少输气管路的断面，从而影响气体的输送。工程设计中在沼气管路的低点处设置冷凝水罐，在沼气进入鼓风机或发电机房、锅炉房、脱硫系统、废气燃烧器前端的管路上均设置冷凝水罐，以收集并排除管路系统中的冷凝水；埋地沼气管路上的冷凝水罐设在井中，井内有集水坑，采用潜水泵定期排除。

3.5.2 过滤

粗过滤：消化池顶部有浮渣、浮泥，多少会随沼气的排出进入沼气系统；为防止杂质在管路中沉积，尽量在距消化池较近处设沼气过滤器以排除杂质。

该类过滤器可采用卵石或砾石等粗颗粒过滤材料，同时该过滤器要求具备收集冷凝水的功能。

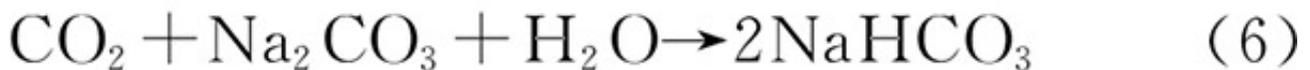
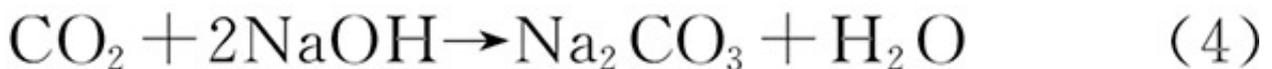
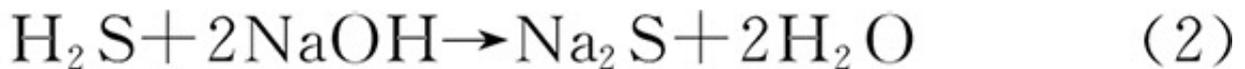
细过滤：当沼气进入沼气利用设备前，为保证设备的稳定运行，需对其进一步进行过滤；此时多采用精细过滤器，

过滤材料可为陶质等；同时该过滤器要求具备收集冷凝水的功能。

3.5.3 脱硫

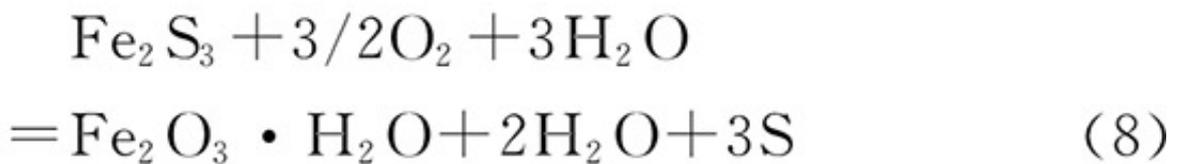
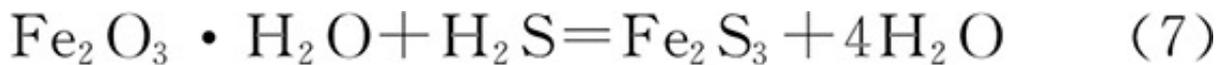
工程设计中可采用湿式脱硫、干式脱硫、生物脱硫等方式进行脱硫。脱硫后的沼气再分别送至鼓风机房（或发动机房）、锅炉房、沼气柜及废气燃烧器。

湿式（碱洗）脱硫法是把碳酸钠、氢氧化钠或次氯酸钠等的水溶液作为吸收液，与沼气接触，除去其中的硫化氢。湿式脱硫反应式如下所示：

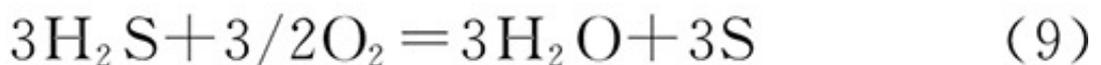


沼气从湿式脱硫塔底部进入，上部排出；而喷淋液则从脱硫塔顶部喷出，与沼气逆向接触并发生化学反应，将气体中的硫化氢去除。喷淋塔底部设有化学药剂水箱，水箱旁放置喷淋液提升泵，不断将喷淋液抽送至脱硫塔顶部，实现喷淋液的循环使用；喷淋液不断消耗，系统效率下降，通过监测pH值，自动补充新药液，以维持喷淋液的除硫化氢能力。湿式脱硫可处理 H_2S 浓度范围从5%（50000ppm）到50ppm，去除率可达到90%以上。

干式脱硫是将脱硫剂装填在反应塔内。沼气和脱硫剂相接触后除去其中的硫化氢。干式脱硫反应式如下所示：



式(7)与式(8)相加得



含有硫化氢的沼气进入干式脱硫塔下端，并且穿过脱硫填料层到达顶端，气体中的硫化氢得以去除。运行过程中，反应器中发生反应的脱硫剂（ Fe_2O_3

）从反应器底端排出，在底部排放废弃脱硫剂的同时，相同体积的新鲜脱硫剂从顶部填充到反应器中，从而保证脱硫填料的高度保持恒定，确保良好的脱硫效果。

干式脱硫过程中脱硫剂 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

作为反应的催化剂，其表面不可避免地会被生成的硫磺覆盖，阻止沼气通过，当硫磺覆盖达到总重的25%时，脱硫剂便失去活性而需要更换或再生。若沼气中的硫化氢浓度过高，脱硫剂的人工更换变得十分频繁。

一般情况下进入干式脱硫系统的初始硫化氢浓度不应高于1000mg/L；干式脱硫可以将硫化氢处理到20mg/L的浓度，是一种良好的精细脱硫方法。

生物脱硫是通过

硫杆菌属和丝硫菌属在新陈代谢的过

程中吸收硫元素进而达到脱硫的效果， CO_2

作为细菌新陈代谢的碳源。将一定量的空气导入含有硫化氢的沼气中，硫杆菌属、丝硫菌属从混合沼气中吸收硫化氢，并将他们转化为单质硫，进而转化为硫酸。生成的硫酸在营养液的缓冲中和作用下，与营养液一起排出系统。生物脱硫化学反应式如下所示：



混合气体通过生物脱硫塔以去除硫化氢。在塔体内部安装填料层，它们为脱硫细菌新陈代谢提供充分的空间。营养液的循环使填料保持潮湿状态，并且补充脱硫细菌生长繁殖所需的营养。一般情况下，营养液可采用液体有：消化后的污水；消化或脱水污泥的上清液；垃圾填埋渗沥液；人造营养液。

生物脱硫所需要的控制因素有：反应温度，pH（营养液），空气量。

硫化氢去除的效率依赖于进入气体中的硫化氢浓度，对于城市污水处理厂消化系统产生的沼气，生物脱硫可以将硫化氢处理到50mg/L的浓度，一般处理效率可达90%。

近年来城市污水处理所产生的沼气中硫化氢含量非常高，为保证脱硫效果，有时可采用两种脱硫方式联合使用的方式。如先对沼气进行湿式脱硫，然后再进行干式脱硫。该方式使各脱硫工艺的优势得到充分发挥。

3.6 沼气利用方式

污水处理厂污泥消化过程中产生的沼气多用于沼气发电或沼气拖动鼓风机。为充分利用能源，通常首先考虑将沼气发电或拖动鼓风机过程中产生的热能用于消化污泥的加热，如果未达到要求的污泥温度时，再采用沼气锅炉对污泥进行补充加热。还可以通过沼气锅炉对厂区建筑进行冬季供暖。

3.7 压力控制

沼气的收集、输送、处理、利用组成了沼气系统，该系统需要在一定的压力下进行有效运行，工程设计中多将该压力值设定在3~6KPa。

压力的控制通过设置在消化池顶部的压力控制阀（真空压力安全阀）实现，设定压力控制阀的压力以提供产气源处的沼气压力，该压力需保证沼气顺利输送到各利用设备的前端。同时，系统中由于沼气柜贮存了相当量的沼气，在系统中发挥了压力平衡作用，是保证系统压力稳定的重要因素。

压力控制阀的设置不但能提供给沼气管路一定的输送压力，而且还能对消化池气室压力增高时进行压力释放以及压力降低时的进行系统保护；当沼气管路系统出现负压时，该阀自动开启，防止池内负压现象的出现。压力控制阀有机械式和水封式等，均需具备压力设定和负压安全的功能，机械式压力控制阀与空气相通处需配备阻燃器，水封式压力控制阀由于水封具备阻火功能，故不需配置阻燃器。

由于沼气系统的设定压力较低，通常不能满足沼气利用设备进气端的压力要求，因此通常在沼气利用设备的前端需设置增压机，将沼气压力增加后送入设备中。

3.8安全保证

由于沼气是易燃易爆气体，因此沼气系统的安全尤为重要，设计中需对该系统的安全距离、安全设施、安全措施等给予高度重视。

3.8.1安全距离

污泥消化系统中各建筑物、构筑物及设备（如沼气柜、燃烧器）等的安全距离必须满足《建筑设计防火规范》等相关规范的规定和要求。需明确爆炸性气体环境危险区域，在设计电力装置时应满足《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》的规定和要求。

3.8.2安全设施

- (1) 消化池顶部气相部分安装真空压力释放阀，在沼气收集装置出气口处安装火焰阻燃器。
- (2) 沼气柜上设置超压保护装置和真空保护装置，在沼气柜进、出气管线上安装火焰阻燃器。
- (3) 沼气进入脱硫装置前、后端均安装火焰阻燃器。
- (4) 在废气燃烧器前端安装火焰阻燃器。
- (5) 在沼气进入发电机、拖动鼓风机、沼气锅炉等设备前端安装火焰阻燃器。
- (6) 在安装有沼气应用设备（发电机、拖动鼓风机、沼气锅炉）、沼气脱硫设备、沼气过滤器、沼气压缩机、污泥泵、泥水热交换器、污泥管道等的设备间内安装硫化氢气体监测报警装置。
- (7) 所有污泥处理系统的设备间均需安装通风机，以保证设备间的通风换气。
- (8) 在沼气系统区域（如沼气柜、消化池等）的进口处，设置放电装置。
- (9) 废气燃烧器周围地面采用砾石铺装。

3.8.3安全措施

在沼气区域各设备间门前张贴禁止有明火的标识。进入污泥处理区域不能携带火源（如火柴、打火机等）。

3.9沼气燃烧

当沼气系统产气量大于用气量，而沼气柜也完全充满时，系统对产生的沼气无法容纳，此时考虑将多余的沼气燃烧，工程设计中多采用全自动点火燃烧器。

4系统设计中应注意的问题

- (1) 沼气管路上的阻燃器有条件时可并联安装2套，互为备用，以便在清洗1套时，不影响沼气管路的正常运行。
- (2) 整个污泥消化系统的污泥管路、沼气管路上应多考虑跨越管，为实现灵活多种的运行提供便利。
- (3) 消化池排出用沼气管最好有一定的坡度，坡向与流向最好一致，这样将便于排出沼气中的冷凝水，同时应尽可能近的在消化池附近安装冷凝水罐（可与沼气过滤器合并），以尽快排出沼气系统中的冷凝水。

参考文献

1张自杰，林荣沈，金儒霖.排水工程（下册）.第四版.北京：中国建筑工业出版社，1999

2北京设计院给水排水设计手册（第5册）.北京：中国建筑工业出版社，2000

3金儒霖.污泥处置.北京：中国建筑工业出版社

4杨振沂译.厌氧消化设备设计手册，中国市政工程西南设计院，香港艺高工程有限公司

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/100720.html>