



新农村新能源丛书

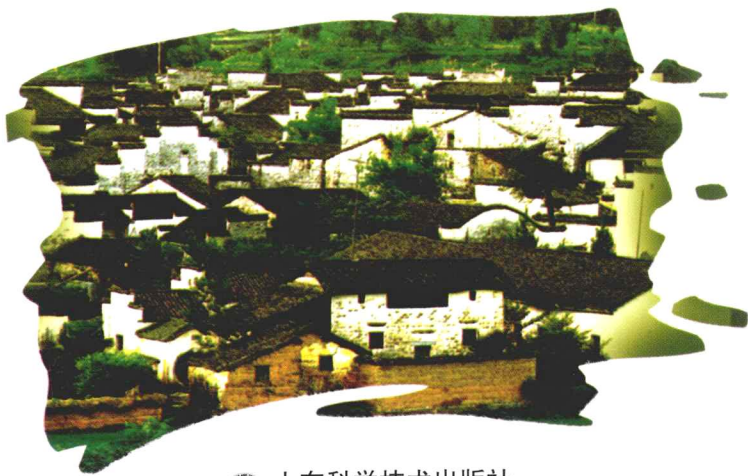
农村

沼气建设与利用

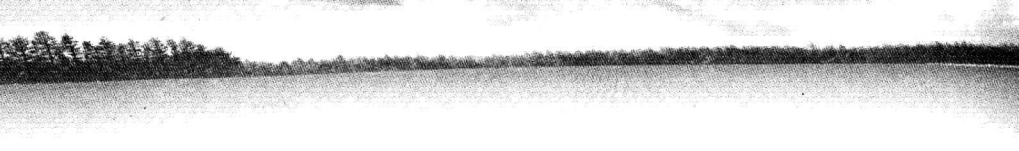
NONGCUN ZHAOQI JIANSHE YU LIYONG

XINNONGCUN XINNENGYUAN CONGSHU

主编 刘培军 张曰林 王泽洋



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

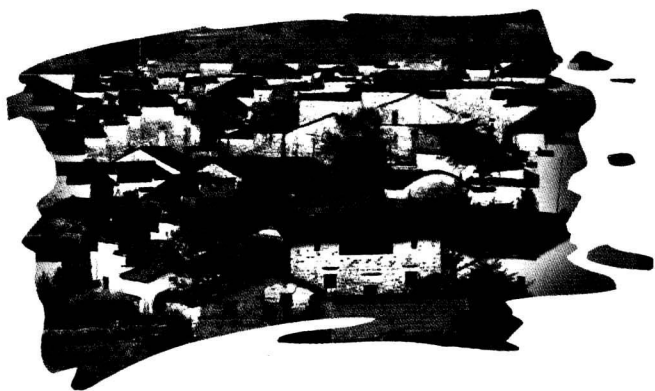


农村

沼气建设与利用

NONGCUN ZHAOQI JIANSHE YU LIYONG

主编 刘培军 张曰林 王泽洋



图书在版编目(CIP)数据

农村沼气建设与利用/刘培军,张曰林,王泽洋主编.
—济南:山东科学技术出版社,2009
(新农村新能源丛书)
ISBN 978-7-5331-4478-4

I. 农… II. ①刘… ②张… ③王… III. 农村—甲烷—
综合利用 IV. S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 180739 号

新农村新能源丛书

农村沼气建设与利用

主编 刘培军 张曰林 王泽洋

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:临沂县书刊印刷厂

地址:临沂县城南工业区

邮编:276700 电话:(0539)6280890

开本:850mm×1168mm 1/32

印张:5.25

版次:2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-4478-4

定价:11.00 元

丛书编委会

主 任	张 霞			
委 员	张曰林	刘培军	王泽洋	成 冰
	王媛媛	刘兆勇	柳洪艇	王 强
	马根众	侯方安	强 莉	徐建堂
	牛贞福	王淑芬	张希民	张 奎
	张 杰	陈 宁	秦 波	

主 编	刘培军	张曰林	王泽洋	
副主编	刘兆勇	柳洪艇	王 强	
参 编	张希民	才利伟	张新峰	赵 冰

序 言 PREFACE

能源是经济社会发展的基础,也是发展现代农业、建设社会主义新农村的重要物质保障。当前,随着全球性能源短缺问题的日益突出,新能源、可再生能源的开发和利用正被越来越多的国家所关注。我国作为一个人口大国、农业大国,在能源方面面临巨大的缺口和压力,发展农村新能源和可再生能源,不仅是缓解目前能源短缺压力的有效方式,而且也是减少农业环境污染、改善农村环境的重要途径,更是建设社会主义新农村、实现农村社会和谐发展的必要举措。党的十七大明确要求,在2020年全面建成小康社会时,要基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式,循环经济形成较大规模,可再生能源比重显著上升。这一目标的提出,将发展新能源和可再生能源提到了战略的高度,使之成为一项重要的历史使命。

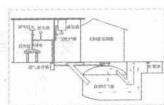
山东是一个农业大省,农业人口占70%,在发展农村新能源和可再生能源方面具有丰富的资源和广阔的前景。每年大约产生7 000万吨农作物秸秆、2.9亿吨人畜粪便,生物质能源总量折合标准煤达6 000万吨;可开发利用的风能储量为8 800万千瓦,居全国前三位,太阳

能更是丰富。近年来山东省委、省政府高度重视农村可再生能源工作,将其作为生态省建设和节能减排等全局性工作的重要内容,制定优惠政策,拿出专项资金,支持发展。到 2007 年底,全省农村户用沼气累计总量达到 100 万户,大中型沼气工程 263 处,全省年产沼气 5 亿立方米,节能折合标准煤 37 万吨,累计推广太阳能热水器 670 万平方米,取得了明显的生态、经济和社会效益。

应该看到,我们在农村可再生能源开发方面取得了一定的成绩,但是与其巨大的潜力和省委、省政府的要求相比还有相当的距离,也还有不少制约因素,其中技术力量不足就是“瓶颈”之一。该丛书包括农村沼气建设与利用、作物秸秆综合利用、农村太阳能开发与利用以及农村风能开发与利用等四个方面的内容,立足山东,面向全国,既符合山东实际,又对全国有很好的借鉴意义,是从解决农村粪堆、草堆和垃圾堆“三大堆”入手,本着实用、实效、实践的原则,针对农村可再生能源发展过程中存在的实际问题,组织基层技术人员和有关专家,在总结实际工作经验、适应农民实际需求的基础上编写完成的。这套新农村新能源丛书内容丰富全面、语言深入浅出、形式图文并茂、技术实用易学,必将为新能源开发、新农村建设知识的普及、打通技术“瓶颈”起到积极的促进作用。

山东省农业厅 李占祥

2008 年 11 月



目 录 CONTENTS

第一章 沼气基础知识/1

- 第一节 什么是沼气/1
- 第二节 沼气产生的原理/2
- 第三节 沼气发酵的条件/7
- 第四节 沼气的用途/13

第二章 农村户用沼气池的设计与建造/16

- 第一节 农村户用沼气池的种类、构造/16
- 第二节 户用沼气池的工作原理/19
- 第三节 户用圆柱形水压式沼气池的设计/20
- 第四节 户用圆柱形水压式沼气池的施工/34
- 第五节 户用沼气池的质量检查验收方法/53
- 第六节 强回流沼气池的设计/56
- 第七节 联户小型沼气工程/60

第三章 沼气池的启动与运行/65

- 第一节 沼气池的发酵启动/65
- 第二节 沼气池的运行/73
- 第三节 利用农作物秸秆作沼气发酵原料/77

第四章 沼气输气管路、灯、炉具的安装与使用/82

- 第一节 沼气输气系统的构成/82
- 第二节 沼气的燃烧和净化/85
- 第三节 沼气输气管路的施工与安装/87
- 第四节 沼气灯、炉具的配套安装与使用/91

第五节	沼气常见的故障及排除/100
第五章	沼气池的管理与维护/103
第一节	沼气池的日常管理/103
第二节	沼气的正确使用/108
第三节	沼气池的保养与维护/111
第四节	沼气池越冬管理/113
第五节	户用沼气池日常管理常见问题与防治/116
第六章	沼气的综合利用/126
第一节	沼气的利用/126
第二节	沼液的综合利用/132
第三节	沼渣的综合利用/141
附录	
一、农村家用水压式沼气池施工操作规程/145	
二、农村家用沼气管路施工安装操作规程/151	
三、农村家用水压式沼气池质量检查验收/156	

第一章 沼气基础知识

中国是一个农业大国,有 80% 的人口居住在农村,人口众多,能源消费水平低,但具有大量的生物能资源,通过沼气发酵将人畜粪便、秸秆、农业有机剩余物、农副产品加工的有机废水、工业废水和垃圾等转化为沼气,是一种利用生物质能的有效方法,所生产的沼气是一种清洁的气体燃料,既可以作为生活用能,还可以作动力,又能使废弃的有机物得到充分的处理与利用,有利于农业生态建设和环境保护。

第一节 什么是沼气

一、沼气的形成

沼气是各种有机物质如农作物的秸秆、杂草、人畜粪便、垃圾、污泥、工业有机废水等在厌氧条件下,通过各类厌氧微生物的分解代谢而产生的一种可燃气体。它广泛存在于自然界的许多地方,如臭水沟、水塘和大粪池中,我们从中经常看到有气泡产生,这些气泡中的气体就是沼气。气温越高,气泡就冒得越多。另外,在稻田、城市生活污水地下管网、城市生活垃圾填埋场也会产生大量的沼气。由于这种气体最初是在沼泽、湖泊、池塘中发现的,所以人们叫它沼气。沼气在农业生产和农村生活中是一种优质的燃料,是一种清洁的可以燃烧的混合气体,它与城市使用的天然气性能差不多,只是沼气的热值比天然气低一些。

二、沼气的成分

沼气之所以能够燃烧,主要是靠甲烷成分。甲烷是一种可燃气体。沼气的组成中,可燃成分包括甲烷、硫化氢、一氧化碳和重烃等气体;不可燃成分包括二氧化碳、氮和氨等气体。其中,甲烷占 60% 左右,二氧化碳占 40% 左右,此外还有少量氢气、硫化氢、一氧化碳、氮气和氨等。沼气未燃烧时略有蒜味或臭鸡蛋气味,是因为沼气中含有少量硫化氢气体的缘故,硫化氢对人体有害,使用时必须进行处理。

三、沼气的性质

沼气是一种无色、有味、有毒、有臭的混合气体,它的主要成分甲烷在常温下是一种无色、无味、无臭、无毒的气体。甲烷的分子式为 CH_4 ,是一个碳原子与四个氢原子所结合的简单碳氢化合物,不含氮、磷、钾等元素,所以在燃烧时不会把发酵原料中的肥分烧掉。

当甲烷完全燃烧时,呈蓝白色火焰,燃烧温度可达 $1\,400^{\circ}\text{C}$,能够产生大量的热。每立方米甲烷气体完全燃烧时,发热量为 36.4 兆焦(8 717 大卡)。每立方米人工沼气的发热量为 20.9 兆焦(5 000 大卡)左右,相当于 1 千克优质煤或 0.7 千克汽油的发热量。沼气是一种优质的气体燃料,不仅能用来烧菜、煮饭、点灯,还可以用作动力燃料,开动内燃机。每立方米的人工沼气,能供 3~4 口之家三餐饭菜的燃料,能使一盏 60 支光的沼气灯照明 6 小时,能使 1 马力的内燃机工作 2 小时,能发电 1.25 千瓦·时。

第二节 沼气产生的原理

有机物质产生沼气是一个复杂的微生物发酵过程。沼气细

菌分解有机物,产生沼气的过程,叫沼气发酵。根据沼气发酵过程中各类细菌的作用,沼气细菌可以分为两大类:第一类细菌叫做分解菌(不产甲烷菌),第二类细菌叫产甲烷细菌,通常叫产甲烷菌。

一、沼气微生物种类及其代谢规律

沼气发酵是一个复杂的微生物学过程,了解这一过程中各类微生物的作用及其活动规律,才能把沼气发酵建立在科学的基础之上。只有有了大量的沼气微生物,并使各种类群的微生物得到最佳的生长条件,各种有机物原料才会在微生物的作用下转化为沼气。

1. 沼气发酵微生物的种类和作用

沼气发酵微生物是一个统称,包括发酵性细菌、产氢产乙酸菌、耗氢产乙酸菌、食氢产甲烷菌、食乙酸产甲烷菌五大类群。这些微生物按照各自的营养需要,起着不同的物质转化作用。从复杂有机物的降解,到甲烷的形成,就是由它们分工合作和相互作用而完成的。

在沼气发酵过程中,五大类群细菌构成一条食物链,从各群细菌的生理代谢产物或它们的活动对发酵液 pH 的影响来看,沼气发酵过程可分为水解、产酸和产甲烷阶段。前三大类群细菌的活动可使有机物形成各种有机酸,因此,将它们统称为不产甲烷菌。后两大类群细菌的活动可使各种有机酸转化成甲烷,因此,将它们统称为产甲烷菌。

(1)不产甲烷菌:不产甲烷菌能将复杂的大分子有机物变成简单的小分子量的物质。它的作用是将复杂的有机物分解成简单的有机物和二氧化碳(CO_2)等。它们当中有专门分解纤维素的,叫纤维分解菌;有专门分解蛋白质的,叫蛋白分解菌;有专门分解脂肪的,叫脂肪分解菌。

(2)产甲烷菌:产甲烷菌是沼气发酵的主要成分——甲烷的

产生者。它的作用是把简单的有机物及二氧化碳氧化或还原成甲烷,是沼气发酵微生物的核心,它们严格厌氧,对氧和氧化剂非常敏感,最适宜的 pH 范围为中性或微碱性。它们依靠二氧化碳和氢生长,并以废物的形式排出甲烷,是要求生长物质最简单的微生物。

2. 沼气微生物的生长规律

生物生命活动以新陈代谢为基础,沼气发酵微生物的生长和代谢过程可分适应期、对数生长期、平衡期、衰亡期四个时期。

(1)适应期:菌种刚刚接入新鲜培养液中,细菌的各种生理机能需要有一个适应过程,细胞内各种酶系统要经过一番调整,这一时期细菌并不马上进行繁殖。适应期的长短与细菌的种类及环境变化条件有关。例如,繁殖速度快的酸化菌,一般适应期较短,繁殖速度慢的产甲烷菌适应期就较长。此外,接种量的多少、接种物所处的生长发育阶段及其前后生活条件都对适应期的长短有所影响。

(2)对数生长期:细胞经过一段适应后,逐步以最快速度进行繁殖,即按 1,2,4,8,16……的对数上升。这一段时间内发酵产物的增长速度随细胞数量的增加而上升。如果微生物所处的环境条件能够不断得到更新,所需的营养物质能够及时得到供应和保障,这种增长速度就可以一直保持下去。这就是连续投料发酵可以获得高产气率的理论根据。

(3)平衡期:微生物细胞经过一定时期高速繁殖后,由于养料的消耗和代谢产物的积累以及环境条件(如酸碱度、氧化还原势等)的变化,使得细胞繁殖速度减慢,少数细胞开始死亡,表现在一定时期内繁殖速度与死亡速度相对平衡。这一时期发酵液内细胞总数达到最高水平,是积累代谢产物的重要时期。

(4)衰亡期:由于培养基中营养物质的显著减少,环境条件越来越不适宜微生物的生长繁殖,细胞死亡速度加快,以至细胞死亡数目大大超过新生数目,活菌总数明显下降。

通过以上对微生物生长规律的分析可以看出,微生物在旺盛生长期内生长的速度高,生理活性也最强,如采用这一时期的微生物进行接种就可以缩短适应期。在发酵工艺上,采用连续投料发酵的方法,可以保证微生物始终在适宜条件下旺盛生长,从而获得较高的产气量。

3. 沼气发酵微生物的特点

理论和实践证明,沼气发酵过程实质上是多种类群微生物的物质代谢和能量代谢过程,在此过程中,沼气发酵微生物是核心,其发酵工艺条件的控制都以沼气发酵微生物学为理论指导。沼气发酵微生物具有以下特点:

(1)分布广,种类多:上至 1.2 万米的高空,下至 2 千米的地层深处都有微生物的踪迹。目前,已被人类研究过的微生物有 3 万~4 万种之多。沼气微生物在自然界中分布也很广,特别是在沼泽、粪池、污水池以及阴沟污泥中存在各种各样的沼气发酵微生物,种类达 200~300 种,它们是可利用的沼气发酵菌种的源泉。

(2)繁殖快,代谢强:在适宜条件下,微生物有很高的繁殖速度。产酸菌在生长旺盛时,20 分钟或更短的时间内就可以繁殖一代,产甲烷菌繁殖速度较慢,约为产酸菌的 1/15。微生物之所以能够出现这样高的繁殖速度,主要因为它们具有极大的表面积和体积比值,例如直径为 1 微米的球菌,其面积和体积的比值为 6 万,而人的这种比值却不到 1。所以,它能够以极快的速度与外界环境发生物质交换,使之具有很强的代谢能力。

(3)适应性强,容易培养:与高等生物相比,多数微生物适应性较强,并且容易培养。在自然条件下,成群体状态生长的微生物更是如此。例如,沼气池里的微生物(主要是厌氧和兼性厌氧两大菌群)在 10~60℃ 条件下,都可以利用多种多样的复杂有机物进行沼气发酵。有时经过驯化培养后的微生物可以加快这种反应,从而更有效地达到生产能源和保护环境的目的。

二、沼气产生的原理

沼气发酵又称为厌氧消化、厌氧发酵和甲烷发酵,是指有机物质(如人畜家禽粪便、秸秆、杂草等)在一定的水分、温度和严格的厌氧环境条件下,通过种类繁多、数量巨大且功能不同的各类微生物的分解代谢,最终形成甲烷和二氧化碳等混合性气体(沼气)的复杂的生物化学过程。因此,有机物变成沼气的过程,就好比工厂里生产一种产品的两道工序:首先是分解细菌将粪便、秸秆、杂草等复杂的有机物加工成半成品——结构简单的化合物;再就是在产甲烷菌的作用下,将简单的有机物加工成产品——即生成甲烷。大致分三个阶段进行。

1. 水解阶段

沼气池中使用的原料都是复杂的有机物质,它们不能直接产生沼气(甲烷),而是通过一些微生物的作用,先将粪便、农作物秸秆、杂草等有机物进行腐烂,分解为结构比较简单的有机物,即把固体的有机物质通过酶的作用转变为可溶于水的有机物质。

在沼气发酵中首先是发酵性细菌群利用各种酶,如纤维酶、淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶等,对有机物进行分解,也就是把畜禽粪便、作物秸秆等高分子有机物分解成能溶于水的单糖、氨基酸、甘油和脂肪酸等低分子有机物。这个阶段叫水解阶段。

2. 产酸阶段

水解阶段产生的低分子有机物进一步分解为乙酸、丙酸、丁酸、氢和二氧化碳等,再由产氢产乙酸菌把发酵性细菌产生的丙酸、丁酸转化为产甲烷菌可利用的乙酸、氢和二氧化碳。在这个过程中,不产甲烷的细菌种类繁多、数量巨大,它们主要的作用是为产甲烷菌提供营养和为产甲烷菌创造适宜的厌氧条件。

3. 产甲烷阶段

产甲烷阶段是由产甲烷菌来完成的,在此阶段中,由产甲烷

细菌把产生的乙酸、丙酸和醇类等小分子化合物进一步分解产生甲烷。

沼气发酵时,70%的甲烷是由乙酸生成的。但这并不等于说,发酵液中乙酸浓度越高,产生甲烷的速度越快,恰恰相反,发酵液中乙酸浓度过高,反而会导致产生甲烷的速度很慢,甚至停止产生甲烷气体。因为,在发酵料液浓度高时(填料多、水少)甲烷菌受到抑制,产甲烷菌分解不了过多的酸,沼气池易酸化,就是产酸与产甲烷速度的不平衡。在实际操作中遇到此情况,最好的解决办法就是停止进料。

第三节 沼气发酵的条件

一、合适的发酵原料

沼气发酵原料是沼气微生物赖以生存的物质基础,也是沼气微生物进行发酵产生沼气的原料。在自然界中,沼气的发酵原料十分广泛而丰富,几乎所有的有机物都可以作为沼气发酵原料。不同的沼气发酵原料其特性各不相同,按物理形态分为固态原料和液态原料两类,按来源分为农村沼气发酵原料、城镇沼气发酵原料和水生植物三类,通常我们按营养成分将发酵原料分为富氮原料和富碳原料两类。

富氮原料主要是指富含氮元素的原料,如人、畜和家禽的粪便,这类原料经过了人和动物肠胃系统的充分消化,颗粒较细,含有较多低分子化合物,氮素含量较高,其碳氮比一般都小于25:1。因此,在进行沼气发酵时,它们不必进行预处理,就容易厌氧分解,产气很快,发酵期较短。这种原料是我国农村沼气发酵原料的主要来源之一。

富碳原料主要是指各类农作物的秸秆,其碳元素含量较高,原料的碳氮比一般都在30:1以上,这类原料富含纤维素、半纤

纤维素、果胶以及难降解的木质素和植物蜡质。干物质含量比富氮的粪便原料高,且质地疏松,比重小,进沼气池后容易飘浮形成壳层。其产气特点是分解速度较慢,产气周期长,但单位原料总产气量较高,发酵前一般需经预处理,以提高产气效果。

原料碳氮比(C/N):氮素是构成沼气微生物躯体细胞质的重要原料,碳素不仅构成微生物细胞质,而且提供生命活动的能量。发酵原料的碳氮比不同,其发酵产气情况差异很大。从营养学和代谢作用角度看,沼气发酵细菌消耗碳的速度比消耗氮的速度要快 25~30 倍(表 1)。因此,在其他条件都具备的情况下,碳氮比例配成 25 : 1~30 : 1 可以使沼气发酵在合适的速度下进行。如果比例失调,就会使产气和微生物的生命活动受到影响。

表 1 常用原料的 C/N 值

原料种类	碳素含量(%)	氮素含量(%)	C/N
鲜猪粪	7.8	0.6	13 : 1
鲜牛粪	7.3	0.29	25 : 1
鲜人粪	2.5	0.65	3 : 1
鲜羊粪	16	0.55	29 : 1
鲜马粪	10	0.24	24 : 1
玉米秸	40	0.75	53 : 1
干麦草	46	0.53	87 : 1
干稻草	42	0.63	67 : 1
野 草	14	0.54	26 : 1
落 叶	41	1.00	41 : 1

原料浓度:在沼气发酵中,保持适宜的发酵料液浓度,对于提高产量、维持产气高峰是十分重要的。在生产上,一般都采用总固体浓度来表示和计算发酵料液的浓度。总固体浓度是指发酵原料的总固体(或干物质)重量占发酵液重量的百分比。沼气

发酵通常采用 6%~10% 的发酵料液浓度较为适宜。

二、足量、有活性的接种物

为了加快沼气发酵的启动速度和提高沼气池产气量而向沼气池加入的富含沼气微生物的物质,统称接种物。

因此,沼气发酵的前提条件就是要接入含有大量这种微生物的接种物,或者说含量丰富的菌种。

沼气发酵微生物都是从自然界中来的,而沼气发酵的核心微生物菌落是产甲烷菌群,一切具备厌氧条件和含有有机物的地方都可以找到它们的踪迹。它们的生存场所,或者说我们采集接种物的来源主要有:沼气池中的沼渣、沼液;各种湖泊、沼泽、池塘及阴沟不流动的水;动物粪便及积水粪坑;屠宰场、酿造厂、豆制品厂、副食品加工厂等阴沟水。

无论是大、中型沼气工程,还是户用沼气池启动时,一定要加入 10%~30% 的接种物。因此,在其他条件相同的前提下,加大接种量,对于沼气池尽快启动、产气快、气质好是非常重要的。

三、严格的厌氧环境

沼气发酵微生物分不产甲烷菌和产甲烷菌两大类,产甲烷菌是一种严格的厌氧性细菌,对氧特别敏感,它们在生长、发育、繁殖、代谢等生命活动中都不需要氧气,空气中哪怕有微量的氧存在也会使其生命活动受到抑制,甚至死亡,发酵受阻。因此,产甲烷菌只能在严格厌氧的环境中才能生长。所以,修建沼气池,要严格密闭,不漏水,不漏气,这不仅是收集沼气和贮存沼气发酵原料的需要,也是保证沼气微生物在厌氧的生态条件下生活得好、使沼气池能正常产气的需要。这就是为什么把漏水、漏气的沼气池称为“病态池”的道理。