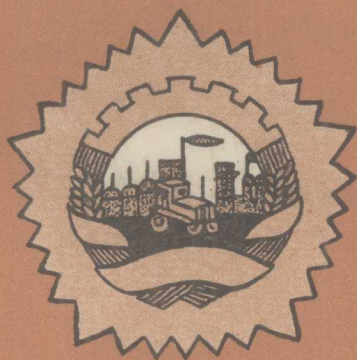




工业建設技术經驗小叢書

沼气的制造和利用

四川省工业建設經驗交流展览会編

重慶人民出版社

工业建設技术經驗小叢書

沼气的制造和利用

四川省工业建設
經驗交流展览会編

重庆人民出版社

前 言

为适应全党办工业,全民办工业,多、快、好、省地发展地方工业的需要,給專、县、乡兴办工厂提供一些参考資料,特从省工业建設經驗交流展览会的展出項目中,选編了这一套工业建設技术經驗小叢書。內容包括采矿和冶煉、化学、电力、机械、輕工业、房屋建筑設計及施工、交通運輸等七个部分,分二十余冊出版。

这些經驗,是我省广大职工辛勤劳动創造的积累,值得重視和推广。但在运用这些經驗时,希望有关部門充分發揮因地制宜、因时制宜的精神,結合自己的具体情况,創造性地从事生产实践。

我們在編选这些經驗的过程中,由于時間仓促和技术力量的限制,难免有不够完善的地方,希望讀者指正,使再版时得以补充和修訂。

編者

1959年6月

目 录

沼气的制造和利用	[1]
一 沼气的性質	[1]
二 沼气制造原理和应用的意义	[1]
三 关于沼气站的一系列問題	[8]
1. 沼气站設計前应注意的几个問題	[8]
怎样选择沼气站的地址	[8]
发酵池总体积的决定	[9]
发酵池型式和尺寸的决定	[15]
2. 搅拌問題	[17]
3. 保温問題	[24]
发酵溫度的选择	[24]
保温的有效措施	[25]
4. 貯气輸气問題	[30]
为何要有貯气輸气设备	[30]
貯气輸气的方式	[31]
輸气管路上的一些問題	[36]
5. 发酵池土建質量的要求及其检查法	[39]
6. 制造和利用沼气的安全技术問題	[42]
四 沼气的利用	[43]
1. 动力上的利用	[44]
2. 照明上的利用	[46]
3. 炊事上的利用	[51]
4. 化学上的利用	[53]
附录 沼气发酵池施工說明	[53]

利用沼气残渣提煉原油、氨水、焦炭等的初步試

驗.....〔58〕

猪、牛、馬糞发酵情况試驗报告.....〔61〕

北碚国营农场如何处理沼气发酵池漏气問題的初

步总结.....〔65〕

背风坡升降鐘罩式发酵池簡介.....〔72〕

石桥鋪沼气发电站簡介.....〔76〕

紅岩洞沼气发电站的設計.....〔79〕

沼气的制造和利用

重庆大学动力系热工教研组

一 沼气的性質

夏天,当你走过污泥池或粪坑时,发现池内冒出許多气泡。如果用火去点这些气泡,有时气泡就能燃烧起来,这种能够燃烧的气体,就是沼气。

沼气的学名叫甲烷,因为它的主要成分是甲烷,其化学分子式是 CH_4 。純甲烷是无色、无臭、无味的气体,通常由发酵池产生的沼气,含有少量的硫化氢(H_2S),所以微帶蒜味。沼气的重量比空气約輕一半。压力760公厘水銀柱,溫度攝氏零度时每公升空气重1.293克,每公升沼气仅重0.7166克。沼气与空气混合燃烧时,呈淡藍色火焰,可以产生大量热量,純甲烷的发热量为8580大卡/立方公尺,普通发酵池产生的沼气中,除甲烷外还含有許多不能燃烧的二氧化碳(CO_2),所以它的发热量要比純甲烷低些,在一个大气压, 20°C 情况下,发热量約为5200~5900大卡/立方公尺。

甲烷的化学性質极为稳定,与强酸(如硝酸、硫酸)、强硷(如苛性鉀)、强氧化剂(如溴)等作用时,不会被吸收,也不起任何变化。

二 沼气制造原理和应用的意义

发酵池中产生沼气,是由于复杂的微生物活动將有机物

发酵分解的结果,所以发酵产生的沼气又叫生物能,是世界三大能源之一(三大能源为原子能、物理化学能、生物能)。

发酵作用在日常生活中也是常见的、例如粿糟(又名酒酿)和酒,都是经发酵作用成功的。在作为媒介物的粿子中生长着的微生物,把糯米或高粱等酿酒的有机物原料,经过许多复杂的变化,最后就分解成酒或者其他东西,同时放出碳酸气和热能来。

按照微生物的生命活动和氧气的关系,可以将微生物分成两大类:一类微生物在发育过程中需要氧气,才能维持生命活动,称为好气性微生物;另一类微生物在发育过程中不需要氧气也能维持生命活动,称为嫌气性微生物。经发酵作用而产生沼气的微生物,属于嫌气性微生物。

利用微生物的发酵作用而产生沼气的原料是非常多的,几乎一切有机废物都可以作为发酵原料,例如人畜粪便、垃圾、污泥、野草、落叶、麦杆、稻草以及屠宰场、皮革厂的废物等,均可作为发酵原料。但不同有机物质所产生的可燃气体量是不相同的,兹在表1中列出1吨干燥物质一般能产生可燃混合气体的标准立方公尺的数量。

表 1

原料名称	气体产量(标准立方公尺/吨)
青草(长纤维的)	630
野草(短纤维的)	615
玉蜀黍茎	425
燕麦杆或泥炭	350
小麦杆	340
向日葵茎	300
马铃薯茎叶	290-420
畜粪	260-280

上面谈到发酵产生沼气的过程是由于复杂的嫌气性微生

物活动將有机物质分解的结果。也谈到几乎一切有机废物均可作为产生沼气的原料,但是仅有产生沼气的原料,还不能产生沼气。微生物和其他生物一样,要在一定环境条件下,才能生长发育。所以要使产生沼气的发酵过程正常进行,必须具备一定条件。这些条件如下:

1. 严格密闭的发酵室。

上面曾谈到經发酵作用产生沼气的微生物是嫌气性微生物,在有氧气的环境中,是不适于这种微生物的生命活动的。有机物的好气性分解和嫌气性分解情况不同,好气性分解产生二氧化碳和水分,并产生大量热量散失于空气中;而在嫌气性分解情况下,有机物中大部分碳变为沼气和一部分二氧化碳,并产生較少的热量。为了发酵过程的正常进行,必須建筑一个严格密闭的发酵室,如果发酵室沒有很好密闭,即使产生了沼气也不可能貯存起来利用,而会漏到空气中。目前已經建成的許多发酵池,由于沒有严格密闭,虽然产生了沼气,而池中仍然沒有压力,或者压力很小,无法充分利用。

2. 維持发酵室中一定温度。

发酵是否能正常进行与发酵室中的温度有很大的关系。一般說来,发酵温度愈高沼气产生量也愈高,根据德国人頗黑在3立方公尺的发酵桶中进行試驗,桶內温度为 30°C 时,每立方公尺发酵物每24小时排出沼气820公升,温度提高至 52°C 时,沼气排出量增至1570公升,几乎增加了一倍。但若温度高于 70°C ,发酵过程將要停止进行。

在低于 70°C 的情况下温度愈高,沼气生产量也愈高,但要維持較高的温度,必須从外部加入一部份热量,温度太高时往往得不偿失,所以一般发酵温度都維持在 30°C 左右。

同时,实践証明:由于发酵过程將有机物分解而产生沼

气的微生物,对温度的波动是非常敏感的。发酵温度波动 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$,都会明显的增加或减少沼气产量。

由于发酵过程与温度关系非常密切,所以在修建发酵池时必须考虑保温问题,应该做到即使在冬天没有加热设备情况下,也能保证发酵池温度每昼夜升降不超过 1°C 。我国北方由于冬天气温低而且持续时间久,发酵池的保温和加热问题更应该特别注意。

3. 中性反应环境。

要使产生沼气的微生物正常生长发育,必须使发酵环境成为中性,因此控制发酵过程的酸硷度,也是非常重要的。酸性硷性的程度用PH值来表示,PH值为7是中性,小于7是酸性,大于7则是硷性。发酵过程最适宜的酸硷度,广东资料介绍为PH7.2~7.8之间,内江采用的是PH7.0~7.4,这两个数字相差不远,即控制PH值在7~8之间。在原料刚进入时,可使PH值接近8,因为有机物与微生物作用的发酵过程中,能产生多种类型的有机酸,与微硷性中和,更易造成适合微生物生命活动的中性环境。如发酵液体是酸性,应加入硷性物质(如石灰)以中和,硷性物加入多少,根据原料的酸性程度而定。

PH值的测定,采用比色方法,最简单的方法是用PH试纸,使用时取试纸一小片,浸入欲测样品液体中,迅速取出与标准色纸比较,即可知其PH值。

4. 经常搅拌发酵液体。

发酵过程中产生的气泡,附有一些有机物的微粒。当气泡上升时,这些微粒也上升至液体表面,而且形成一层很厚的粘度很大的膜,(最厚可达30~40公分),气体不能穿过这层厚膜,产气量就会逐渐减少。经常搅拌的作用之一,就是使发

酵液表面不要形成厚膜而影响产气量。同时，經常攪拌，还可使发酵物混合均匀、溫度均匀，以促进更多更快的沼气产生。

5. 发酵原料和水分的一定比例。

发酵物太稀或太浓对发酵过程都是不利的。如果太浓，会影响微生物的活动而使产气量减少；太稀又不能充分利用发酵池，同样会使产气量减少。根据苏联資料：发酵物的含水率应控制在 91~92% 之間。一般未滲入雨水或污水的糞便含水率約为 80%，作为发酵原料时应加入适当的水，加水量可取为 1:0.8~1:1，即 100 斤糞便加入 80~100 斤水。这样，水和糞便混合物的含水量約为 90%。但是，在实际情况中，作为发酵原料的糞便常常是滲入了其他水份的，它的含水率就不容易估計，这种情况可以將糞与水拌成稀糊狀，宁可稍微稀些，不要太浓。

6. 供給微生物一定营养物。

經发酵过程产生沼气的微生物和其他任何生物一样，要正常的生長发育，必須供給它一定的营养物。例如对于分解纖維素而产生沼气的微生物（甲烷菌）而言，主要营养物是氮。在用来发酵的各种原料中，含氮和纖維素的量是不相同的。树叶、杂草、麦稈等成分主要是纖維素，牛馬等吃草的动物的糞便，也含有許多纖維素，如果能在配料时将含纖維素多的物質与含氮多的物質配合起来，那就供給了微生物的营养料，发酵情况就良好，产生的沼气也愈多。由这点可以看出，多种原料配合起来較單一原料发酵所产生的沼气要多些，广东的实践也証明了这点。他們采用單純猪糞、單純牛糞、人和牛的糞便混合，稻草和人的糞便混合等四种原料，都在相同溫度中进行发酵試驗，产生沼气的情况是：人、牛糞 > 猪糞 > 人糞、稻草 > 牛糞。人牛糞混合产生沼气多的原因是牛糞具有大量产生

沼气的纖維素，而人糞中含有大量分解纖維素的微生物所需的营养物，因此发酵良好。稻草中含纖維素也很多，为什么人糞、稻草产生沼气少呢？主要是因为試驗时所用稻草，都是新鮮的，沒有經過預先腐爛，发酵过程还没有正常进行。由此可知，如果配料恰当，可以提高沼气的量。但对于微生物的营养物应如何具体控制，各种元素之間的比例怎样才恰当，是值得繼續研究的。

上面我們談到了关于沼气的一般知識和发酵条件，下面談一談关于利用沼气的意义：

沼气可以利用来煮飯、点灯、发电、帶動拖拉机，汽車和动力机械等。利用沼气作为原料，可以制出許多化工产品。有机废物經密閉发酵后，肥效將大大增加，且易为农作物所吸收。內江利用已发酵后的熟料和一般糞肥分別施于原来生長情况相同的黄瓜秧上，經四天后即发现用发酵后熟料施肥的黄瓜秧显著長得好些。湖北生物能利用研究組利用发酵后肥料施于小白菜的結果，証明較利用未經发酵肥料施肥的小白菜叶大、茎肥、肥效速。广东省的試驗也得出类似的結果。

有机废物經密閉发酵，可以致死杂草种子。据苏联資料每吨糞約含有8000粒以上杂草种子，但若經過8晝夜的密閉发酵，就使它丧失了发芽能力，于是，施用这种肥料的田間杂草少。此外，有机废物經過密閉发酵，还能消灭其中大量对人体健康有危害的細菌和虫卵等。据內江的几次初步检查，所有經過发酵的糞便中，蛔虫和鈎虫卵的生活能力都比以前減弱或者死去。

最近重庆大学在化龙桥沼气站利用經发酵已产生沼气的残渣作試驗，煉出了9%的原油，原油再提煉，得到了汽油、煤油、柴油、柏油，提煉过原油的残渣又是質量很好的焦炭。（詳

見本書“利用沼氣殘渣提煉原油、氨水、焦炭等的初步試驗”一文)

前面已經談到几乎一切有机廢物都能作為發酵原料，因此，沼氣的原料是取之不尽用之不竭的。據廣東番禺縣統計，如果全部利用該縣的人畜糞便、農作物莖葉廢物、污泥等作為發酵原料，將產生的沼氣用於發電，則全年可以得到電能5.767萬度。以全縣人口計算，平均每人約180度，約為我國1956年每人平均電力的6倍；而且發酵後的肥料，可以提高該縣主要農作物產量58,000噸，每人平均提高約362市斤，為我國1957年每人平均糧食產量60%左右。再以全國來看：我國第二個五年計劃末期預計養豬250,000,000頭，牛90,000,000頭，馬11,000,000頭，平均每頭豬日產糞1.5~2公斤，每頭牛日產糞最低10公斤，每頭馬日產糞7.5公斤，加上每人每天的糞便約1市斤，合計全年我國人畜糞便總量達650,000,000噸，以每噸產沼氣100立方公尺計算，便可產沼氣65,000,000,000立方公尺，如果全部沼氣利用來發電，將生產電力855億度，約為1957年我國發電量5.4倍。由於糞便發酵後肥效增加，將大大提高我國農作物產量。產生沼氣後的殘渣可以提煉原油和焦炭，擴大燃料的資源。糞便經過發酵後，其中所存在的危害人民健康的病菌蟲卵（如鉤蟲、蛔蟲等）均被消滅，將大大改善我國人民的健康情況。危害農作物的病蟲害也將減少。由此可見沼氣利用的意義是很大的。

三 关于沼气站的一系列問題

在修建沼气站时必然要遇到許多問題，例如：如何选择沼气站的地址，怎样确定发酵池的体积、型式和具体尺寸，怎样解决攪拌、保温、气体贮存和輸送等問題。以及对发酵池土建質量方面有些什么要求和怎样检查土建質量，如何注意安全等。茲將我們在这些方面的体会介紹如下：

沼气站設計前应注意的几个問題。

(1) 怎样选择沼气站的地址。

認真选择地址对沼气站的建設是很重要的，如果不注意这个問題將會造成返工、浪費等情况，并影响沼气站的正常工作。

为了减少由于运输而造成的浪费，沼气站应该建設在靠近原料的地方。同时，应建設在負荷中心，以减少輸气管路或輸电綫路的投資。发酵后的肥料，其中含有大量的速效氮，不宜長途运输，这一方面也应考虑。如果这几方面互相矛盾时，应进行技术經濟比較后决定取舍。

沼气站附近应该有水源，其水量应保証足够供应发酵池拌料所需之水，如有污水可以利用，比用普通的水更好。

为了避免热能的大量散失，影响沼生产量，发酵池应该修建在土質干燥的地下。在这方面要特別指出：发酵池要建筑在高于地下水水位的地方，至少是发酵池底要高于地下水水位。地下水的存在必定使地基潮湿，使发酵池保温情况恶化。因此我們認為：在建筑大型发酵池前，必須先弄清楚地下水情况。如果建筑之前情况沒有弄清，在挖发酵池基时一旦发现地下水严重，就应该停止进行，另选池址。

发酵池之基础应该坚实，不允许有沉陷坍方等情况产生。如果发现池底松软，应进行夯土填实。重庆市石桥乡沼气发电站之发酵池，是建筑在大石滩上的，效果很好。四川地区石料很多，可以配合其他基本建设需要，一方面开采石料，开采后之石坑作为发酵池。其缺点主要是工程进度较慢，但如果与其他基本建设结合起来，这一缺点就显得次要了。四川还有一些地方的沼气站，利用了旧有的大粪窖建设发酵池，节约了人力物力，缩短了建设时间。涪陵县利用古坟的石料修建发酵池。这些经验也都值得采取。

(2) 发酵池总体积的决定。

发酵池的总体积应根据沼气需要量、原料产量、资金、单位发酵体积产气量和运行方式等方面情况来决定。

① 沼气需要量：在修建沼气站之前，首先应该了解沼气产生后作那些用途，每昼夜需要的沼气总量大约多少，以及用气时间的安排怎样等。

沼气作为动力燃料时，1 马力每小时耗气为 0.3—0.5 立方公尺；用于照明上，400 支光灯每小时耗气约为 0.2 立方公尺。在炊事上，每煮沸 1 公斤水（水温由 20~100°C）耗气为 0.0202 标准立方公尺。

了解用气每昼夜持续时间，对计划沼气站也很重要。沼气站开始运行后，不管是否用气，产气总是继续不断地进行。若每昼夜用气持续时间很短，如仅用在照明上，每昼夜只用 3~4 小时，则产生的气体要贮存起来，这样必然增加贮气设备的投资。因此，应尽量使用气持续时间长和单位时间用气量均匀。假如沼气是用来发电，可以和用户协商，将用电时间错开，以达到电负荷平稳和节约投资的目的。

② 原料情况：目前四川地区大都采用人畜粪便作为发酵

原料,每人每日的糞便約为0.5公斤,猪1.5~2公斤,奶牛30~35公斤。为了减少发酵原料的往返运输,原料应力求集中。

原料的可靠供給是很重要的,例如一个100立方公尺发酵体积采用連續运行方式的沼气池,第一次投干料約 50 立方公尺,經過一段時間后,每日需要加入干料約 1~2 吨;如果这个数字不能保証,沼气产量就可能减少。如果发酵池在修建前对原料来源的可靠性注意不够,就不能保証发酵池的連續可靠运行。

③單位发酵体积的产气率: 为了确定发酵池的体积,还必须知道每立方公尺发酵体积每 24 小时究竟能产生多少沼气。如前所述,产气量之大小是与密閉情况、攪拌、溫度、压力、酸硷度、原料种类、原料內微生物的营养物之多少等因素有关。目前这方面的情况了解得还不够多,茲列出国外和国内的一些发酵池产气率数据,供作参考。

表 2

国 家	發 酵 室 容 积/m ³	产气率标准m ³ /每24小时 m ³ 發酵体 积。	备 注
中 国 廣 东	125	≤0.2	原料中人糞尿占90% 猪牛糞少量。
中 国 廣 东	45	0.3~0.48	人、猪、牛糞之比為 2:1:1。
中 国 四 川	10	0.12	發酵室容积系指有效容积而言。
苏 联	1000	1	以下摘自苏联資料。
苏 联	200	1.1	
捷克斯洛伐克	100	0.8—1.0	
民 主 德 国	15	0.3~0.5	
西 德	720	0.9	
法、美、意、比	6~14	0.4	

一般地說，池之体积愈大，产气率也愈高。此外与发酵温度、干料成分也有很大关系，我們認為小池产气率可取为每24小时每立方公尺发酵体积0.3立方公尺，大池可取为0.5立方公尺或更大些，准确的产气率数据需待今后更多的試驗才能确定。

④运行方式：运行方式有兩種。第一种是同时修建几个发酵池，几个池产气的時間錯开，当一个发酵池发酵完毕停止供气时，另一个发酵池开始供气，停止产气的池进行换料。当供气的池停止供气时，已經换料的池又开始供气。这种方式的缺点是发酵池数目多，投資較高，同时大型发酵池需要原料量大，原料之加入和排出都是集中进行的，因此原料的事先收集和貯存及发酵后之处理均較困难。优点是发酵較為完善，單位原料所获得的总产气量高。

另一种方式是发酵池开始产气一段時間后（这个時間至少一个月以上，具体時間应視发酵成熟情况而定），逐渐加入新料取出旧料，以达到連續产气的目的。这种方式之优点是发酵池数目少，因此投資較少；原料发酵前后之处理較易。缺点是发酵原料沒有充分利用，由于經常攪拌的关系，可能几天前加入的新料，其中一部分几天后就排出池外。这一种方式因为投資少，是我国目前普遍采用的。

知道了上述各方面情况就可以确定发酵池之总体积了。
例如沼气利用来发电：設

V = 发电机功率(瓩)

T = 发电机晝夜連續运行時間(小时)

v = 內燃机耗气率。立方公尺/馬力一小时 = 1.36

v 立方公尺/瓩小时，（ v 是在发酵温度压力下的容积）。

η_r = 发电机效率(一般为0.9以上)。

V' = 发酵池之发酵体积(即装料体积), 立方公尺

V = 发酵池总体积, 立方公尺

g = 每立方公尺的发酵体积产气率。(g是在发酵温度压力下的容积, 一般为0.3~0.5立方公尺/24小时)每立方公尺发酵体积。则有下列关系:

$$V'g = \frac{1.36WTv}{\eta_r}$$

$$V' = \frac{1.36WTv}{g\eta_r} \dots\dots\dots (1)$$

由(1)式即可算出发酵池有效体积, 对小型发酵池, 取装料量为总体积之 $\frac{2}{3}$, 则得总体积为:

$$V = \frac{4}{3}V' = \frac{1.36 \times 4WTv}{3g\eta_r} = 1.813 \frac{WTv}{g\eta_r} \dots\dots\dots (2)$$

若取 $g=0.3$ 立方公尺/24小时, 每立方公尺发酵体积 $v=0.5$ 立方公尺/馬力小时, $\eta_r=0.9$ 代入(2)得

$$V = 1.813 \times \frac{0.5 \times WT}{0.3 \times 0.9} = 3.354WT \dots\dots\dots (3)$$

(3)式可供計算小型发电用发酵池总容积时参考

例: 某村欲建一小型发酵池, 供发电照明用, 发电机功效为2瓩, 每日用电4小时, 原料等均无問題, 試問发酵池应为多大体积?

解: 按(3)式得发酵池体积为:

$$V = 3.354 \times 2 \times 4 = 26 \text{ 立方公尺}$$

大型发酵池之体积可先将(1)式算出之发酵体积再加液面上部分体积而得出。