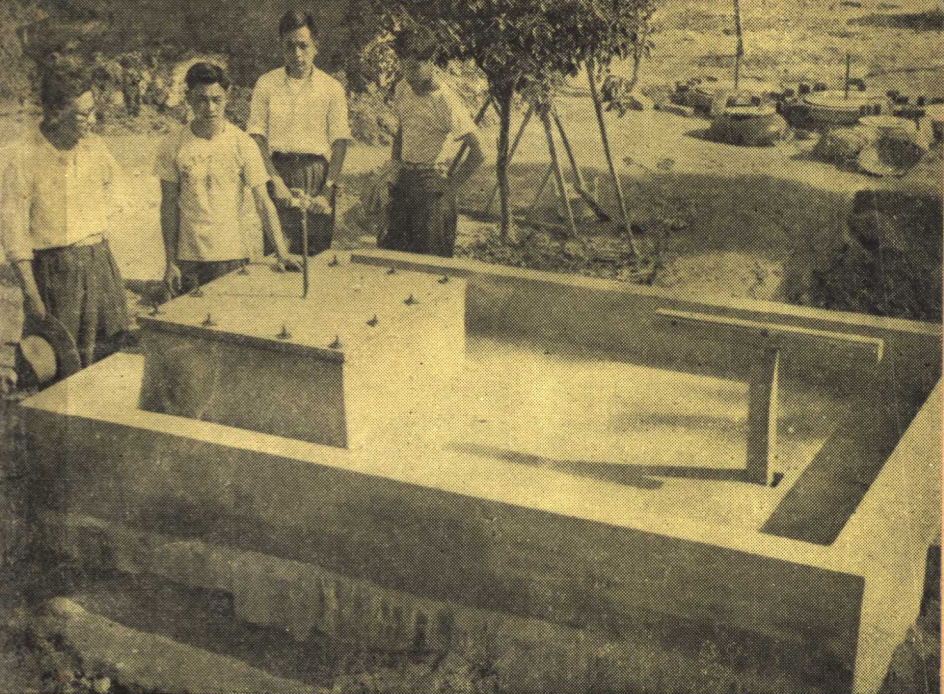




沼 气

——發酵法制沼氣及其綜合利用

浙江省沼氣試驗組編寫
浙江人民出版社

編 者 的 話

利用动物粪便、植物纖維質、垃圾污泥等密閉发酵而取得的沼气，可以利用来照明、燃燒和作为动力。动物粪便等在制取沼气后是一种速效性的肥料，粪便中的若干种病原体 and 虫卵，也基本上消灭。因此，研究沼气的制取方法及其綜合利用，发动城乡群众利用动物粪便等来制取沼气，不仅对城乡环境卫生有利，更重要的是可以推动工农业生产大发展。

由于省委的重視，本省从1958年1月开始，就組織了沼气試驗組，学习湖北省发酵法制沼气的經驗，并在浙江农学院等單位，进行粪便等有机物发酵制沼气的实际試驗，随后，又在全省范围内建立了41个試点。經過三个多月来的努力，现在各試点在利用发酵法制沼气及其綜合利用上，已初步摸出了一些經驗。为适应当前各县市广大群众对制取沼气的迫切要求，特根据这些經驗以及湖北省和苏联等国家的有关資料，編写成这本小册子，供各地参考。但因限于時間，編写过程比較仓促，差錯可能較多，望讀者随时指正。

浙江省沼气試驗組

1958年6月

目 录

一、概 說.....	(1)
二、沼氣發酵的工藝過程.....	(4)
沼氣發酵的原料配合	
沼氣發酵的操作過程	
沼氣成分的測定	
三、發酵設備.....	(16)
四、沼氣的綜合利用.....	(24)
五、發酵後肥料的肥效問題.....	(38)

一、概 說

自然界中存有三大能量，即原子能、物理化学能和生物能。从人类发展的历史来看，首先被应用的是物理化学能，如利用风力推动风車，利用水力推动水車，和利用煤、柴燃燒产生蒸气发电等。近年来已开始利用原子能，并建成了原子能电站，但是，由于技术的复杂和原料的限制，还不能大规模地应用。利用生物能是近代較新的一个课题。人类把几千年来通过生物体不断散失在空中的能量，加以回收利用，这也是人类利用自然能的一个新的发展。

生物能是什么？所谓生物能是指地球上的植物，吸收太阳能，經光合作用而生长成各种有机物质，如淀粉、油脂、纖維等。这些有机物质被动物体食用以后，一部分被动物体吸收，供作工作或运动时的能量而被消耗了，另一部分能量（占一半以上）却变成废物——粪便被排泄出来。

人类自远古以来，对于动物体粪便中能量的利用，只晓得用来作有机肥料，以促使植物生长。但是，由于在露天下制造堆肥，其中能量的损失很大（占50%）。据估计，每吨新鲜粪便的能的损失量，平均达350,000卡，如换算为电能，达400瓩小时。因此，充分利用生物能，对我国实现农业机械化、电气化有重大的促进作用。

利用生物能的途径，主要是藉嫌气菌（即不能接触空气的菌）对粪便、植物纖維质的发酵作用产生沼气，利用沼气中能燃燒的甲烷来供作燃燒、照明、动力和发电原料。同时，发酵后的粪肥，肥效也比过去提高，有利于农产品产量的提高。

什么是沼气？沼气是一种气体，最早发现在池沼底下，故称。沼气的产生是因为有机物质在水面下，不接触空气和有一定温度的情况下，受嫌气菌作用而产生的。一般在夏季池沼水面上有气泡发生，即表示池底有沼气。杭州的名胜玉泉珍珠池，当人们在池边石板上用力一蹬，由池底翻出的水气泡如珍珠一般滾滾而出，实际上就是沼气泡。

沼气除天然存在以外，可用化学方法制备。其中最经济而有效的制备方法，是将城乡废物如人畜尿粪、茎秆、杂草、落叶、污泥、屠宰场污水、厨房废物、垃圾等经密闭发酵后制取。

过去，资本主义国家在大城市中对粪便污水的处理，一般都是消极清除，若干较大的城市将污水排除入海，从中收集一些污土供附近农村肥田之用，在资源的利用上仍有很大浪费，而且投资大，积累困难。近二十年来，苏联科学家对粪便污水的处理，研究了用嫌气菌发酵制取沼气的方法，从此把消极的清除工作，转变为积极的废物利用，对国民经济的发展有重大的意义。

目前，各国制取和利用沼气情况各不相同。苏联在1948年开始，在梯不利斯这个地方，利用当地牲畜的粪便，建立了一个4000瓩的发电站。在民主德国也已设计出一套完整的沼气发生器，可以加工制取100头牛所产生的腐肥的沼气，供农场照明和作动力之用。印度也有沼菌发酵装置的生产，多属小型，供农户应用，价格很便宜。日本从1940年开始，也进行了粪尿、厨房废物及沟渠污泥混合发酵的试验，并设计了西原式装置和设备，每天能处理相当于500人的粪尿及厨房废物，使其产生沼气。我国在抗日战争以前，在各地也设有一种小型沼气池，将池内沼气供住宅点灯之用。解放后，湖北省在1957年首先创建沼气发酵池，制取沼气供作照明、发电之用。以后，本省在省委领导下，也进行了适合本省农村使用的小型发酵池试验，现正在重点进行中。

发酵法制得的沼气，其主要成分是甲烷（ CH_4 ），约占60～

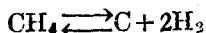
70%，另有20~30%是二氧化碳和少量的氫氣、氧氣、氮氣、一氧化碳、硫化氫以及低級的不飽和碳氫化合物等。因此，沼氣的性質可以用甲烷的性質來說明。

純粹的甲烷是無色、無味的可燃氣體，有時因含有雜質而帶臭氣。甲烷和足量空氣配合燃燒時，發出大量的熱，其發熱值每立方公尺氣體可達5000~6000大卡，最低着火溫度是650°C。甲烷

的化學結構式是
$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$$
，是一種很穩定的烷屬碳氫化合物。它

的分子量是16.14，沸點是-162°C，熔點是-182.5°C，臨界溫度是-82.15°C，臨界壓力是45.8大氣壓，臨界密度是0.1615公升/毫升。在標準狀態時，干氣體的密度是0.715公升/毫升，沸點時液態甲烷密度是0.43公升/毫升。對空氣的比重是0.55，能微溶於水，20°C時，溶解度是0.033%，壓縮度在80大氣壓，-70°C時，可將甲烷體積壓縮到原有體積的三百分之一。200大氣壓，在常溫時，可將10立方公尺甲烷，壓縮到50立升的鋼瓶中。

甲烷的熱穩定性最大，只有在900°C以上才有顯著的分解，在隔絕空氣加熱到1200°C高溫時，可使甲烷受熱分解：



以上反應是可逆反應，在平衡狀態時，混合物中甲烷含量的變化是：300°C時，99%；600°C時，31%；1000°C時，2%。

甲烷與空氣混合達到一定比例時，可構成具有爆炸性的混合氣體。在常壓下，甲烷與空氣混合時的爆炸極限是5~15%。當甲烷在空氣中的含量低於5%時，遇着明火是不會爆炸的，但是，大於15%時，也不會爆炸，可以燃燒。因此，不論如何，應該防止甲烷的溢出，有可能存在甲烷的房屋內，應注意通風，以免引起爆炸或失火。

二、沼氣發酵的工藝過程

大家知道，農業上利用人畜糞尿、糞杆、垃圾及污水廢物等有機肥料，都必經一個發酵過程，把不溶解的複雜的有機物質，一部分分解轉化為可以溶解的簡單物質，供給農作物吸收利用，另一部分含半分解的腐植質用來改良土壤。這種發酵分解和合成變化過程，是一種極其複雜的生物化學變化，發酵生成物也是多種多樣的。發酵過程中的變化和生成物的數量以及轉化過程的速度，與有機物料的种类和發酵分解方法關係很密切，特別是採用發酵方法的不同，可使同類有機物料的發酵產物發生差異，所獲得結果也各不相同。

有機肥料的發酵方法有兩種，一種叫做嫌氣性發酵（又叫甲烷發酵，也有人叫沼氣發酵）。這種發酵方法要求有機物料在密閉不通空氣的狀況下進行發酵，其發酵溫度較低，約在 $25-40^{\circ}\text{C}$ ，發酵後所產生的氣體，主要是甲烷（ CH_4 ）、氫氣等可燃氣體和二氧化碳。其中，甲烷的含量約占 $60-70\%$ ，二氧化碳約占 $30-40\%$ 。另一種發酵方法叫做好氣性發酵（又叫氧化發酵）。這種發酵方法要求有機物料在發酵時，要有充分的空氣供應，因此須在曠野處進行（如農村露天廁所和堆肥等，就是這種發酵類型），發酵後所產生的氣體，主要是二氧化碳和水蒸氣，原有機肥料中的大部分能量都在發酵過程中散失掉。所以，有經濟價值的發酵方法是嫌氣性發酵，它具有許多優點：

（1）可將大量生物能收回充分利用，為人類服務。

（2）在密閉不通空氣的狀況下發酵，氮的損失減少。據本省農業科學研究所試驗，糞缸加蓋保存183天，氮素的損失率是

32—33%，露天糞缸保存183天，氮素損失率達55%，特別是在發酵初期，露天糞缸氮的損失更快更多。

(3) 在密閉不通空氣的狀況下發酵，合成的腐植質的量較多，也就是說有機物料消耗量較少。據蘇聯費多羅夫的研究，用1 仟克馬廐肥，溫度18°C時，在好氣性發酵條件下，可在24小時內產生1.95克的二氧化碳，而在嫌氣性的發酵條件下，同樣時間內只產生0.17克二氧化碳。這說明嫌氣性發酵，對有機物料的消耗比好氣性發酵要少得多。

有機物料在嫌氣發酵中主要的缺點是可能分解出多種還原性物質如硫化氫、磷化氫等，對農作物有毒害作用的氣體，但可在施用前清除（清除辦法可見“發酵後肥料的肥效”）。總之，對有機物料的發酵處理，不論從肥料價值或從能源的利用上來說，採取密閉嫌氣性發酵處理是最合理的。因此，要從有機物料中獲得沼氣，採用的發酵方法是嫌氣性發酵方法，這就是我們通常所說的發酵法制沼氣。它的工藝過程如下：

沼氣發酵的原料配合

前面已經說過，沼氣是有機物質，特別是纖維質，在不接觸空氣，而有適當溫度和濕度的情況下，受嫌氣菌作用而產生的可燃氣體。由此可以看出，發生沼氣所用的原料，首先是應含有纖維的物質，如稻草、麥杆、野生植物、垃圾及馬糞、豬糞、人糞等。原料中纖維素含量高，發酵後生成沼氣就多。如馬糞中含有多量的纖維素，發酵時產生沼氣的量就多。人糞中纖維素含量較少，發酵時產生沼氣的量也就少。但是，由於嫌氣菌的生長，除需利用纖維素以外，還需要氮素及磷等作養料，因此，光用稻草等纖維質作為發酵的原料，要想提高沼氣產量也是不可能的。為了提高沼氣的產量和質量，不僅對原料要進行選擇，而且要使原料中所含有的如纖維質及氮、磷等分量配比適宜。根據本省浙江

农学院最近实验室内初步试验的结果，以干物质（就是指扣除水分后的原料）计算，马粪四分加入稻草一分，或人粪、牛粪、猪粪以1：1的比例混合配方，都比单独使用马粪、人粪、牛粪、猪粪等发酵快，沼气产量也多。据此，我们以为：在我国北方利用马粪加入一定量的麦杆，在我国南方用人、牛、猪粪混合制取沼气，均有较好的效果。

从沼气发酵细菌的性质来说，除选择一定原料按一定比例配合以外，在原料发酵中还须加入适量的水。苏联资料指出，发酵液中含水量以91—92%较为适当。据湖北省资料，原料与水的配合比例是1：0.85（若以马粪为原料，这样配合，发酵液含有固体物质在20%以上）。根据苏联资料以及浙江省肥料的干湿情况，我们认为含水量以90%为宜。因为原料过干，不仅发酵池中下料困难，进口处容易堵塞，（避免洞口堵塞，可在进料前，将原料在池外拌和均匀后再倾入），而且发酵液太浓，细菌作用缓慢，反而延长出气时间；如原料中水分过多，发酵池内干物质较少，沼气总产量就会因此降低。

此外，由于考虑到原料在发酵过程中能够分解一定数量的有机酸，使发酵液酸度增加，从而影响沼气发酵细菌进一步分解纤维，因此，在下料时，可加入约占发酵液总量0.1%的碳酸钙，或0.2%磨碎的石灰石（烧石灰用的岩石或贝壳），以便中和发酵时生成的有机酸。湖北省沼气发酵试验时，曾在发酵液内加入万分之一的小苏打，道理也就在这里。根据以上所述，以30立方公尺发酵池的容积计算，配料数量一般如下：

人粪（含水量90%）	15,000斤
牛粪（含水量80%）	7,500斤
猪粪（含水量75%）	6,000斤
水	16,500斤
碳酸钙	45斤或石灰90斤

过磷酸钙

20斤

配料时，原料应先与水混合均匀后倾入发酵池内。在冬季配料时，宜用40—50°C 温水稀释（检验水温可用手试，稍觉温热即可，千万不要把水煮沸）。

根据捷克斯洛伐克生物能实验设备的发酵，在不同温度下，每公斤干燥物质所产生的沼气量（以公升计算）如下：

发 酵 温 度（攝氏）	每公斤干物質所生沼氣量
10	450
15	530
20	610
25	710
30	760

苏联曾用不同的原料进行发酵，得出每一吨干物质能产生沼气体量如下：

原 料 名 称	气体产量（标准立方米/吨）
青 草	630
野 草	615
玉 蜀 黍 莖	425
燕 麦 稈 和 泥 炭	350
小 麦 稈	340
馬 鈴 薯 莖、叶	290~420
畜 粪	260~380

根据德国的试验，各种不同废料发酵制得沼气的百分率如下：

廢料名稱	1 公 斤 总 干 渣 的 气 体 量 (公升/公斤)	沼 气 含 量 (%)
污水格除后的殘渣	250~312	56~31
污水的污泥	320	67
污水浮渣	570	70
干 草	326	57
苹果渣滓	160	50
香蕉莖梗	360~374	62
活性污泥	134	—
酿酒厂廢水	500~600	58
酒精厂廢水	500~645	—
糠	615	62
蛋 白 質	700	—
脂 肪	1,250	—
虎尾櫟叶	37	69
濾紙纖維素	676~855	50
亞麻渣滓	210~240	57
亞 麻 莖	300~359	59
制革厂污泥	104	—
金雀枝梗	385	58
草	630	70
山 芋 叶	290~420	60

軟 煤	113	79
叶 叢	210~390	59
玉蜀黍根莖	425	55
玉蜀黍叶	151	55
玉蜀黍梗	424	53
乳漿(干滓67.39/公升)	670	50
牛奶厂廢水	700	50
廢物污泥	640 *	50
硬紙版污泥	95	—
米 皮	47	62
牲畜腸中污物	200~300	58~62
猪腸中污物	300~400	—
屠宰場廢水格除后的殘渣	561	—
向日葵壳	300	60
含有玉蜀黍梗的馬糞	200~500	50~60
含有草梗的馬糞	250	56~60
草紙厂廢水	500	70
番 茄 叶	390	70
杂 草	122~320	59
麦 梗	245~342	58
报館廢物	272	56
甜 菜 叶	490	60

我国湖北省試驗产生沼氣量（以立方公尺計算）如下：

廢料名称	产生气体量	内 甲 烷 含 量 %
人 糞（含尿）1 吨	20	12
馬 糞 牛 糞（风干料）1 吨	100	60

各地区可根据以上各种廢料产生沼氣量的情况，就地取料，选择配合，并注意掌握一定的酸度、湿度、溫度，加上攪拌，当可制得能供动力用的沼氣。

沼氣發酵的操作过程

发酵制取沼氣的一般操作过程如下：

（1）儲备发酵原料：將准备发酵的各种原料堆集儲藏。原料中除动物糞便外，其他纖維原料須經切断、湿水和短期堆积腐爛的过程。

（2）原料入池：

1. 先測定原料的溫度和含水量，以便决定料、水的配合比。据已有的經驗，配料含水量应在90%左右。
2. 下料时，应將原料和水充分攪拌，使其均匀混合后，才傾入池中。
3. 溫度应控制在25—40°C之間，冬天应加溫水拌和。
4. 原料裝入量，以不超过发酵池容积的%为原则，但也不能低于进料間或卸料間門洞的高度。

（3）調节酸度：加料时，应測定混合液（原料加水經充分攪拌均匀混合后的溶液）的酸度，以便确定加入碱剂（也可用石灰石）的分量，这样，可以加速发酵時間。加碱調节酸度，应掌握使PH值（PH值是描述酸碱程度的数值。普通蒸餾水的PH值是

7) 在6.4—7.2之間，不宜過多。

(4) 排除池內空氣：甲烷須隔絕空氣才能發生。如有空氣存在，有機物質奪取空氣中的氧氣，產生二氧化碳，一方面分泌出水和熱能的能，一方面妨害了纖維沼氣分解細菌的繁殖，因此，發酵池內空氣必須排除干盡。

(5) 導氣管檢查：當池中空氣排除以後，將導氣總管開關打開與各部分支管連接，並用肥皂液塗抹在各個接頭和開關上，檢查是否漏氣。如有漏氣，應拆開塗漆或加墊層，直到不漏氣為止，然後放氣點火，如發藍色火焰，證明氣體已經發生。

(6) 發酵池的保溫：氣體發生量的多少，取決於溫度的高低，這在我國北方是一個相當重要的問題。在南方，這問題雖較次要，但仍不可忽視，必須將發酵池的溫度保持在25—40°C之間。據湖北省的資料，池內溫度在10°C時，原料約需60天才能發酵腐熟完全，氣體發生量僅60%；溫度在30°C時，原料約須20—30天發酵腐熟完全，氣體發生量升高到80%。為了保持池內的一定溫度，在試驗中，有幾個池採取循環加熱和蒸汽加熱的辦法處理。這在目前的條件下，普遍推廣還有困難。因此，建議南方各地在建池時，盡量不使池身露出地面，以便利用地層來保溫，在冬天再加蓋稻草墊子保溫。

(7) 經常攪拌：攪拌，一方面可以加速原料的發酵，另一方面可以改善出氣情況。如不經常攪拌，發酵物結成一層表皮，是要影響發酵物的腐熟和沼氣的產生的，因此，經常攪拌很重要。

(8) 發酵池的管理：發酵池需要專人管理。管理中，每天至少要檢查1—2次水壓閥循環門是否暢通，並注意測定酸度、溫度等事宜。

(9) 發酵池的加料：發酵池自第一次進料後，第一個月中可不必要加料，以後看發酵物質成熟情況，酌量增添新料和水分，

也可以一面取出熟料，一面添进新料。

(10) 注意安全：

1. 沼气发酵刚开始时，由于粪便分解产生硫化氢 (H_2S) 气体 (硫化氢有臭味)，室内必须通风，以免中毒。

2. 在发酵池附近应严禁烟火，以防火灾。

3. 初次燃点沼气时，必须将管道中空气排除干尽。如需经常在室内使用沼气时，应注意适当打开门窗，使空气流通，以免形成混合气爆炸的意外事故发生。

沼气成分的测定

一、测定原理：有机肥料 (指人粪、猪粪、牛粪、马粪、稻草、麦稈、糖类等) 经发酵后所产生的气体，是一种混合气体。其中除甲烷 (CH_4) 外，还有比较大量的二氧化碳 (CO_2) 和少量氢气 (H_2)、氧气 (O_2)、氮气 (N_2)、一氧化碳 (CO) 以及低级的不饱和碳氢化合物等。这种混合气体中能够用来照明、燃烧和作为动力的主要成分是甲烷 (其中氢、一氧化碳和不饱和碳氢化合物等也能燃烧，但其量极少)。混和气体中的二氧化碳不能燃烧，如混合气体中二氧化碳含量超过50%以上时，将使甲烷也不能维持燃烧，因此，对于混合气体中各种气体成分含量的测定，是非常必要的。

混合气体中各种成分的测定，可以采用奥萨脱 (Orsat) 氏气体分析器进行。其方法是將一定体积的混合气，先后通入各种气体的吸收剂將其吸收来测出各种气体的含量。如先将混合气体通入氢氧化钾溶液，其中，二氧化碳被氢氧化钾溶液吸收，气体中减少的体积，就是二氧化碳的含量。將剩余的气体再通入焦性没食子酸的碱性溶液中，其中，氧气被焦性没食子酸的碱性溶液吸收，气体中减少的体积就是氧气的含量。將剩余的气体通入溴水中，其所减少的体积就是低级不饱和碳氢化合物的含量。將剩余

气体通入氯化亞銅的氨溶液中，其所减少的体积就是一氧化碳的含量。最后，留下来的气体就是不能为上述各种吸收剂所吸收的甲烷和极少量的氢气和氮气（以上分析方法的詳細过程可参考一般气体分析書籍）。

应用上述方法，可以比較精密地測定气体中各种成分的含量，但是，这种分析方法比較复杂，奥氏气体分析器价格較貴（70多元），还需要許多化学藥品配合使用，因此，在一般条件下不便采用。

为了經濟方便，測定混合气体中各种成分的含量，可采用簡易方法来进行。所謂簡易方法，主要是根据气体中的氧气、一氧化碳和不饱和的碳氢化合物等含量都很少，但除氧气外，都能燃燒；所以，不一定分別測定，总的归算在甲烷的含量內无多大妨碍。因此，在測定时，只需測定二氧化碳一項的含量即可。这样，不仅簡化了手續，省略了复杂的仪器和許多化学藥品，同时，也节省了時間。

二、簡易方法的測定：

（1）仪器裝置（見14頁附图）：

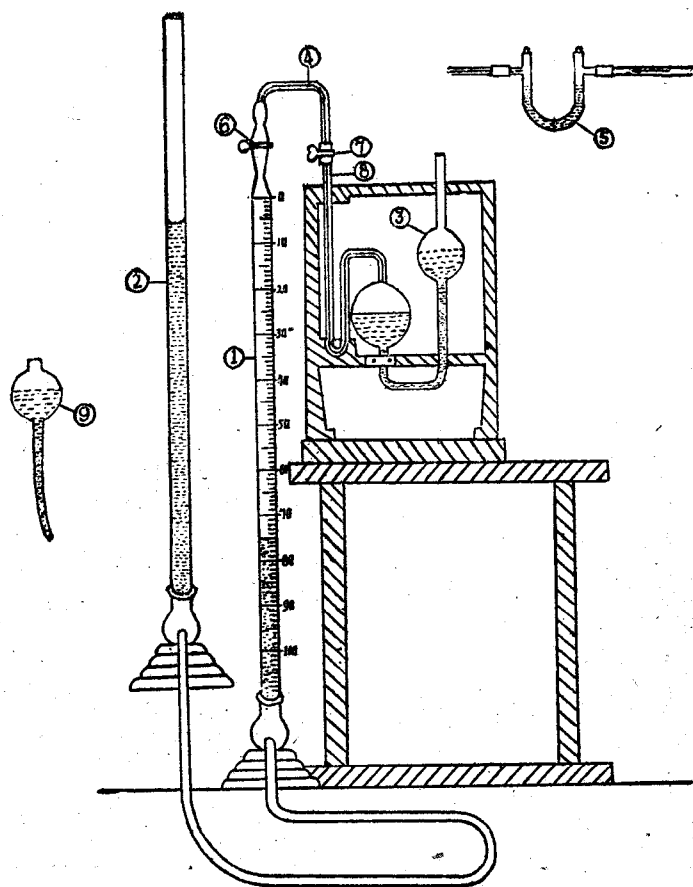
1. 是刻度0.1毫升的100毫升体积的气体量管。

2. 水准管（或水准瓶），通过橡皮管和气体量管相連接。管中裝以饱和食鹽水（28%），并加5—6滴濃鹽酸使食鹽水呈酸性，或用沼气饱和过的水代替也可。

3. 二氧化碳吸收球。球中裝以氫氧化鉀溶液（33%），毛細管一端与“4”U形毛細管用橡皮管連接，中間加一夾子“7”。氫氧化鉀溶液加入后，放低水准管，將氫氧化鉀溶液引到刻度处“8”并立即关闭“7”。

4. U形毛細管，通过橡皮管分別和气体量管和气体吸收球相連接。在与气体量管連接处也裝上夾子“6”。

5. 氯化鈣管，其中裝以粒狀氯化鈣，用来吸收分析气体中的



测定仪器示意图

- | | | |
|----------|---------|-----------------|
| 1. 气体量管 | 4. 毛细管 | 7. 橡皮管 (中央加一夹子) |
| 2. 水准管 | 5. 氯化钙管 | 8. 刻度 |
| 3. 气体吸收球 | 6. 夹子 | 9. 水准瓶 |