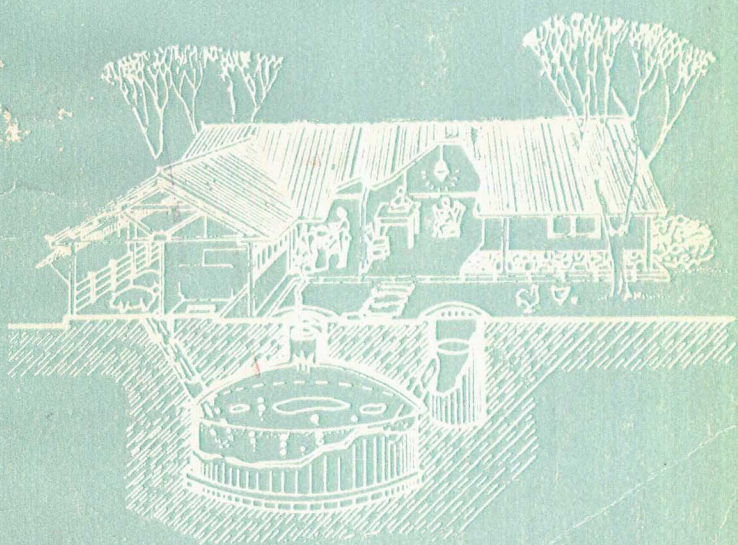


# 沼气发酵与综合利用

邱 凌 杨松甫 郭士英 编著



天則出版社

# 沼气发酵与综合利用

邱 凌 杨松甫 郭士英 编著

天则出版社

1990年

## 内 容 提 要

本书作者用精练的语言，流畅的笔触，系统而又通俗地介绍了沼气发酵的有关理论和综合利用技术。全书共分八章，内容包括沼气的基础知识、发酵工艺、发酵装置、配套装置、沼气的综合利用、沼气发酵剩余物的综合利用、沼气的安全使用与事故预防等。本书取材丰富，内容科学、准确、实用，并侧重于沼气发酵的科学管理和综合利用，具有广泛地使用价值。

本书可供从事农村能源研究、管理的科技人员，广大沼气用户使用，也可供农村各级领导干部及有关大专院校师生参考，亦可作为农村能源短训班的培训教材。

## 沼气发酵与综合利用

邱 凌 杨松甫 郭士英 编著

天则出版社出版

(陕西杨陵邮箱1号)

陕西省新华书店发行

陕西柴油机厂印刷厂印制

开本 787×1092毫米 1/32 印张 6 字数 128千字

1990年5月第1版 1990年7月第1次印刷

印数：1—2000

ISBN 7—80559—268—3/S·46 定价：2.80元

## 序 言

农村能源是当今世界上面临的重大问题之一，特别是发展中国家80%以上的人口居住在农村，农村能源短缺而又浪费严重的情况极为普遍。随着人口的日益增多和经济的发展，能源需要量增加很快。因此，必须大力发展以沼气为纽带的生态农业和农村节能技术，以扭转这一趋势。

我国八亿农民的生活燃料中，约有80%直接燃烧柴草和作物秸秆，且利用装置非常落后，热效率只有10%左右，这不仅烧掉了大批可作饲料、肥料的自然资源，而且浪费了大量的砍柴劳力，毁坏了大量的林木、植被，造成水土流失，生态环境恶化，直接影响农、林、牧、副的发展。从生物能的合理利用来说，直接燃烧生物质，只部分地利用了它的热量，未充分利用它的肥料成分；另一方面，把作物秸秆沤肥或直接还田，虽可利用它的肥料成分，却损失了可以利用的热量，两者都不是有效地和合理地利用生物能源。如果先将生物质作为人类食物和牲畜饲料，而后将人畜排泄物和作物秸秆等一起投入沼气池发酵，就可不仅得到高品位气体燃料和有机肥料，还可进一步由此进行多功能综合利用，生产和制取多种产品。这样就使生物资源得到多层次综合利用，协调了农村所需燃料、饲料、肥料之间的关系，使农业生产和庭院经济纳入良性循环的生物链轨道。因此，沼气发酵是生物能源的一种最有效的转换方式。

制取和利用沼气的设备简单，使用方便，投资少，见效

快，并且，具有产气、造肥和除害灭病等综合效益。所以，大力发展农村沼气是农业现代化的能源建设、肥料建设、环境卫生建设的重要战略，同时，对提高农村科学文化水平，建设社会主义新农村，都具有重大的战略意义。

正因为如此，农村发展沼气，日益为农民群众、广大基层干部，以至各级政府所重视，在一些地区已形成了大力发展沼气的热潮，“沼气村”、“沼气县”不断涌现，这说明农民群众的科技意识和素质较之以往有了很大的提高。在这样的形势下，更应因势利导，把农村沼气提高到更高的科学水平上去。

然而，沼气发酵是一项技术性很强的工作，在沼气池的修建和日常管理上稍有不当，就会事倍功半，甚至出现半明半灭、气息奄奄的状态。至于沼气及其发酵剩余物的综合利用，则更须掌握一整套技术，方能见效，从而创造更大的经济效益、生态效益和社会效益。

著者有鉴于此，根据我国广大农村的特点和实际情况，写成了这本书，力图比较全面系统地介绍沼气发酵的基本理论、沼气发酵工艺、沼气发酵装置、沼气输配、使用、出料装置、沼气池的建造与科学管理、沼气及其发酵剩余物的多功能综合利用、以及安全使用规范等，使之成为当前发展农村沼气，进行综合利用的一本较为实用的参考资料。

但终究限于水平，错讹疏漏之处在所难免，热忱欢迎广大读者、农村能源研究、管理科技工作者、国内专家学者以及沼气用户提出宝贵意见，以便再版时补充修正。

作者

1990年3月

# 目 录

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 序 言 .....              | ( 1 )  |
| 第一章 沼气的的基础知识 .....     | ( 1 )  |
| 第一节 沼气的起源和分布 .....     | ( 1 )  |
| 第二节 沼气的组成和性质 .....     | ( 2 )  |
| 一、沼气的组成 .....          | ( 2 )  |
| 二、沼气的性质 .....          | ( 2 )  |
| 第三节 沼气发酵的基本原理 .....    | ( 5 )  |
| 一、沼气发酵的生物化学过程 .....    | ( 6 )  |
| 二、沼气发酵的有机物分解代谢过程 ..... | ( 7 )  |
| 第四节 沼气的生态效应 .....      | ( 9 )  |
| 一、庭院生态系统的概念 .....      | ( 10 ) |
| 二、庭院生态系统的循环模式 .....    | ( 10 ) |
| 三、沼气引入农业循环后的生态效应 ..... | ( 11 ) |
| 第五节 沼气的环卫效应 .....      | ( 12 ) |
| 一、沼气池处理粪便的作用 .....     | ( 12 ) |
| 二、沼气池管理粪便的优点 .....     | ( 13 ) |
| 三、沼气池管理粪便的环卫效果 .....   | ( 14 ) |
| 第二章 沼气发酵工艺 .....       | ( 15 ) |
| 第一节 沼气发酵工艺类型 .....     | ( 15 ) |
| 一、按投料方式划分的沼气发酵类型 ..... | ( 15 ) |
| 二、按发酵温度划分的沼气发酵类型 ..... | ( 16 ) |
| 三、按发酵级差划分的沼气发酵类型 ..... | ( 17 ) |
| 四、两步沼气发酵工艺 .....       | ( 17 ) |
| 第二节 沼气发酵工艺条件 .....     | ( 18 ) |
| 一、严格的厌氧环境 .....        | ( 18 ) |
| 二、充足和适宜的发醇原料 .....     | ( 19 ) |

|            |                 |      |
|------------|-----------------|------|
| 三、         | 合适的发酵原料浓度       | (21) |
| 四、         | 适宜的发酵温度         | (23) |
| 五、         | 适宜的发酵料液酸碱度      | (24) |
| 六、         | 优良和充足的接种物       | (25) |
| 七、         | 坚持不懈的搅拌         | (27) |
| 第三节        | 沼气发酵工艺过程        | (27) |
| 一、         | 半连续发酵工艺过程       | (27) |
| 二、         | 干发酵工艺过程         | (33) |
| 三、         | 连续发酵工艺过程        | (35) |
| 四、         | 两步发酵工艺过程        | (38) |
| 五、         | 分层满装发酵工艺过程      | (39) |
| <b>第三章</b> | <b>沼气发酵装置</b>   | (43) |
| 第一节        | 沼气池的构造和工作原理     | (43) |
| 一、         | 沼气池的基本构造        | (43) |
| 二、         | 沼气池的工作原理        | (44) |
| 第二节        | 沼气池的型式与选择       | (45) |
| 一、         | 沼气池的类型和特点       | (45) |
| 二、         | 沼气池池型的选择        | (55) |
| 三、         | 沼气池建筑材料的选用      | (56) |
| 第三节        | 沼气池设计参数的确定和池址选择 | (57) |
| 一、         | 沼气池设计参数的确定      | (57) |
| 二、         | 建址地点的选择         | (58) |
| 第四节        | 沼气池施工和检修的技术要点   | (59) |
| 一、         | 做好施工前的技术准备工作    | (59) |
| 二、         | 按照施工技术要求精心施工    | (59) |
| 三、         | 严格进行检漏和修补       | (64) |
| <b>第四章</b> | <b>沼气配套装置</b>   | (68) |
| 第一节        | 沼气输配系统          | (68) |

|            |                        |              |
|------------|------------------------|--------------|
| 一、         | 输气管道和附件的质量标准·····      | (68)         |
| 二、         | 输气系统的设计计算·····         | (69)         |
| 三、         | 管道施工与附件的制作及安装·····     | (74)         |
| 四、         | 输气系统的施工验收·····         | (78)         |
| 第二节        | 沼气燃烧用具·····            | (80)         |
| 一、         | 沼气炉具·····              | (80)         |
| 二、         | 沼气灯具·····              | (86)         |
| 三、         | 几种家用沼气用具·····          | (88)         |
| 第三节        | 沼气池出料机具·····           | (91)         |
| 一、         | 沼气池出料机具的类型·····        | (91)         |
| 二、         | 沼气池出料机具的结构和原理·····     | (93)         |
| 三、         | 沼气池出料机具的合理选配·····      | (107)        |
| <b>第五章</b> | <b>沼气发酵的控制与管理·····</b> | <b>(109)</b> |
| 第一节        | 发酵原料的收集和预处理·····       | (109)        |
| 一、         | 发酵原料的来源·····           | (109)        |
| 二、         | 发酵原料的收集·····           | (110)        |
| 三、         | 发酵原料的预处理·····          | (111)        |
| 第二节        | 发酵启动与科学管理·····         | (112)        |
| 一、         | 合理配料, 综合进料·····        | (112)        |
| 二、         | 沼气发酵的启动·····           | (114)        |
| 三、         | 日常管理和调节措施·····         | (116)        |
| 四、         | 对沼气池采取保温措施·····        | (121)        |
| 第三节        | 发酵装置的维护与保养·····        | (122)        |
| 一、         | 沼气池的保养·····            | (122)        |
| 二、         | 沼气池常见故障与处理方法·····      | (123)        |
| <b>第六章</b> | <b>沼气的综合利用·····</b>    | <b>(125)</b> |
| 第一节        | 沼气做饭和点灯·····           | (125)        |
| 一、         | 沼气充分燃烧的条件·····         | (125)        |

|     |                       |       |
|-----|-----------------------|-------|
| 二、  | 沼气的科学使用.....          | (127) |
| 三、  | 沼气炉具的使用与维护.....       | (128) |
| 四、  | 沼气灯具的使用与维护.....       | (130) |
| 第二节 | 沼气的调贮藏粮果.....         | (131) |
| 一、  | 沼气的调贮藏粮果的作用机理.....    | (131) |
| 二、  | 沼气的调贮藏粮果的方法和技术要点..... | (133) |
| 三、  | 沼气的调贮藏粮果的技术经济性.....   | (136) |
| 四、  | 沼气的调贮藏技术的应用前景.....    | (137) |
| 第三节 | 沼气的二氧化碳施肥.....        | (138) |
| 一、  | 二氧化碳施肥的设施和技术要求.....   | (138) |
| 二、  | 二氧化碳施肥的作用和效果.....     | (139) |
| 三、  | 二氧化碳施肥的经济效益和社会效益..... | (140) |
| 第四节 | 以沼气为热源孵化小鸡.....       | (141) |
| 一、  | 沼气孵鸡的设施和类型.....       | (141) |
| 二、  | 沼气孵鸡的操作方法和技术要领.....   | (142) |
| 三、  | 沼气孵鸡的经济效益.....        | (144) |
| 第五节 | 沼气发电与做动力燃料.....       | (146) |
| 一、  | 沼气用做气体燃料内燃机的燃料.....   | (146) |
| 二、  | 汽油机的改装和应用.....        | (146) |
| 三、  | 柴油机的改装和应用.....        | (146) |
| 四、  | 异步电动机的改装和使用.....      | (150) |
| 第六节 | 沼气灯诱虫喂鱼.....          | (152) |
| 第七节 | 沼气在供热和化工上的应用.....     | (153) |
| 第七章 | 沼气的发酵剩余物的综合利用.....    | (154) |
| 第一节 | 沼液做畜禽饲料的添加剂.....      | (154) |
| 一、  | 沼液的成份和作用.....         | (154) |
| 二、  | 添加沼液饲养畜禽的方法.....      | (155) |
| 三、  | 添加沼液饲养畜禽的效果.....      | (157) |

|                    |                           |              |
|--------------------|---------------------------|--------------|
| 四、                 | 技术要点和注意事项·····            | (158)        |
| 第二节                | 沼肥做淡水养殖的营养饵料·····         | (159)        |
| 一、                 | 沼肥的结构特性和营养特点·····         | (159)        |
| 二、                 | 沼肥养鱼的方法和技术要领·····         | (160)        |
| 三、                 | 养殖效果和作用机理·····            | (161)        |
| 第三节                | 沼渣栽培蘑菇与养殖蚯蚓·····          | (161)        |
| 一、                 | 沼渣育菇的方法和技术要领·····         | (161)        |
| 二、                 | 沼渣养殖黄鳝和蚯蚓·····            | (163)        |
| 第四节                | 沼液浸种和无土育秧·····            | (164)        |
| 一、                 | 沼液浸种和育秧的作用机理·····         | (164)        |
| 二、                 | 沼液浸种和育秧的方法与技术要领·····      | (165)        |
| 三、                 | 沼液浸种和育秧的效果·····           | (166)        |
| 四、                 | 沼液浸种和无土栽培的应用前景·····       | (167)        |
| 第五节                | 配制营养土与做有机肥·····           | (168)        |
| 一、                 | 营养土和营养钵的配制方法·····         | (168)        |
| 二、                 | 沼肥的施用方法和增产效果·····         | (168)        |
| 第六节                | 沼液用于处理电镀废水·····           | (170)        |
| 第七节                | 沼气发酵剩余物制取轻工原料·····        | (171)        |
| <b>第八章</b>         | <b>沼气池的安全使用与事故预防·····</b> | <b>(172)</b> |
| 第一节                | 建池安全与工伤事故的预防·····         | (172)        |
| 第二节                | 安全管理和维修,防止发生中毒·····       | (173)        |
| 第三节                | 安全用气,避免发生火灾和爆炸·····       | (175)        |
| 第四节                | 事故类型与急救措施·····            | (177)        |
| 一、                 | 沼气窒息中毒事故的类型·····          | (177)        |
| 二、                 | 沼气窒息中毒事故的抢救·····          | (177)        |
| <b>主要参考文献·····</b> |                           | <b>(180)</b> |

# 第一章 沼气的的基础知识

厌氧发酵产生沼气是生物质能生物学转换的有效方法之一。各种作物秸秆、人畜禽粪便、垃圾以及工农业有机废弃物都可以在一定的温度、湿度和厌氧条件下，通过沼气微生物（产甲烷菌群）的作用，转换为沼气。沼气是一种方便、清洁的高品位气体燃料，可用于炊事、照明；农副产品的烘干、灭虫；果品的保鲜及制取化工原料等；还可以代替柴油，用于动力、发电；或液化成甲醇，做双料发动机燃料等。沼气发酵后的剩余物不仅是一种缓速兼备并具有改良土壤功能的优质肥料，而且是一种养分全面的养殖营养体，可用于培育蘑菇；养殖蚯蚓和无菌蛆饲喂家禽；养鱼，浸种，育秧；作畜禽饲料添加剂及生产菌体蛋白等等。正因为如此，这项技术引起了世界各国的普遍重视。我国利用沼气的历史悠久，目前，小型沼气池的技术水平和发展速度均居世界领先地位，全国沼气池的保有量已达480万户之多。

## 第一节 沼气的起源和分布

沼气发酵是自然界中极为普遍而典型的厌氧发酵，是自然界中物质循环的一个极其重要的组成部分。

沼气微生物在自然界中分布很广，特别是在沼泽、粪池、污水池和各种有机污泥中都极为丰富。由于沼气最初是从沼泽、池塘中发现的，所以称之为沼气（marsh gas）。因为它又是由生物质所产生的气体，故又称其为生物气（biogas）。

沼气不但在自然界中，如沼泽、池塘、湖泊、污水沟、粪坑等处能够产生，而且在一定的条件下，用人工方法也能够制取。人工制取沼气，就是将多种有机物质（如人畜粪便、作物秸秆、杂草、有机垃圾等）作为原料，在特制的密闭沼气池中发酵而产生的，再通过一些设备，既可用于煮饭和点灯，又可发电或做动力燃料等。

总之，在自然界各种厌氧生态系统中，都普遍存在着微生物产生甲烷的作用，因此，都可以产生沼气。每年从这些地方释放到大气中去的甲烷，估计可达5.5~13亿吨，占大气中甲烷来源总量的90%。

## 第二节 沼气的组成和性质

### 一、沼气的组成

无论是天然产生的或人工制取的沼气，都是以甲烷为主要成分的混合气体。其组成不仅随发酵原料的种类及相对含量不同而有变化，而且因发酵条件及发酵阶段各有差异。一般情况下，沼气中普遍含有甲烷( $\text{CH}_4$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、氮( $\text{N}_2$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、氢气( $\text{H}_2$ )、硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、氧气( $\text{O}_2$ )。其中甲烷含量为60%左右，二氧化碳含量为35%左右，其它成分含量极少，尤其是氧气更是微量。

甲烷、一氧化碳、氢气等是可以燃烧的气体，人们主要是利用这一部分气体的燃烧来获得能量。

### 二、沼气的性质

因为沼气的主要成分是甲烷，所以它的性质也主要由甲烷来决定。

(一) 物理性质 甲烷的分子式是  $\text{CH}_4$ ，分子量为

16.043，是由一个碳原子和四个氢原子结合的简单碳氢化合物。

1. 甲烷是一种无色、无味、无毒的气体。但因沼气中含有少量的硫化氢，所以，沼气在燃烧前略带有蒜味或臭鸡蛋味。

2. 甲烷比空气轻一半，其相对密度为0.55克/厘米<sup>3</sup>。

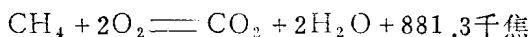
3. 甲烷的溶解度很小，在20℃、一个大气压时，100单位体积的水，只能溶解三个单位体积的甲烷，即溶解度为3%。

4. 甲烷的扩散速度比空气快三倍，熔点-182.5℃，沸点为-161.5℃，着火点为537.2℃。

(二) 化学性质 甲烷的化学性质比较稳定，在一般条件下，不易与其它物质发生化学反应，但在外界条件适宜时，也就发生反应。

1. 甲烷的燃烧 甲烷是一种优质的气体燃料，当它与适量的空气混合完全燃烧时，产生淡蓝色火焰，最高温度可达1,400℃，并放出大量热量。

甲烷燃烧的化学反应式如下：



(甲烷)(氧气)(二氧化碳)(水)(热量)

1米<sup>3</sup>甲烷在标准状况下(一个大气压、温度为0℃时)，可放出35,822.6千焦的热量。因沼气中甲烷含量一般为50~70%，所以1米<sup>3</sup>的沼气完全燃烧时，可放出17,911.3~25,075千焦的热量。其计算公式如下：

沼气发热量(千焦/米<sup>3</sup>) = 35,822千焦/米<sup>3</sup> × 可燃气体的百分含量

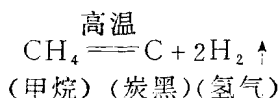
甲烷与氧气燃烧的体积比为1:2,而在空气中完全燃烧的体积比为1:10,其燃烧的热值高于其它燃料。即1米<sup>3</sup>的沼气相当于1公斤煤,或0.7公斤汽油,能发1.25度电,如表1—1。

表 1—1 几种燃料的燃烧热值

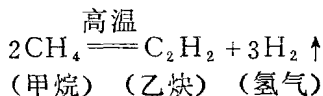
| 燃料名称 | 燃料量<br>(米 <sup>3</sup> ) | 热量<br>(千焦) | 备 注 | 燃料名称 | 燃料量<br>(公斤) | 热量 (千焦)     | 备 注 |
|------|--------------------------|------------|-----|------|-------------|-------------|-----|
| 甲烷   | 1                        | 35822      | 纯甲烷 | 汽油   | 1           | 43681~47025 |     |
| 沼气   | 1                        | 25075      | 含甲烷 | 柴油   | 1           | 39170       |     |
| 煤气   | 1                        | 16720      | 70% | 原煤   | 1           | 22990       |     |

空气中如混有4~5%的甲烷,遇明火就会发生爆炸;含甲烷量达25~30%时,对人畜会产生一定的麻醉作用。因此,使用沼气时要注意安全。

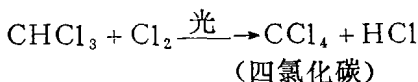
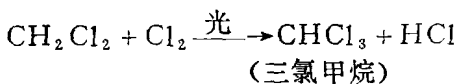
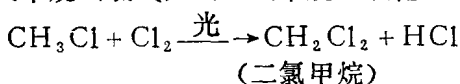
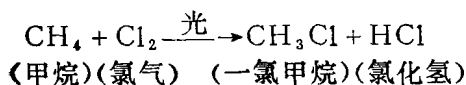
2. 甲烷的受热分解 甲烷在隔绝空气加热(1,000~1,200℃)的条件下,便可裂解生成炭黑和氢气,其反应式为:



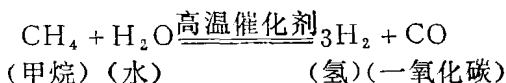
如果在1,000℃高温下裂解,甲烷可以转变为乙炔和氢气。这个反应要求在极短的时间内,将生成的乙炔尽快地引出反应区,并急剧降温至300℃以下,其反应式为:



3. 甲烷与氯气反应 在光照或加热至400℃的条件下,甲烷与氯气可以发生剧烈反应,其反应式分别为:



4. 甲烷与水反应 甲烷在650~800℃高温和有催化剂的条件下, 与水蒸汽发生反应, 生成氢气和一氧化碳, 其反应式为:



从以上甲烷的一系列化学反应中可以看出, 沼气不仅是优质的气体燃料, 同时又是化学工业的重要原料。

### 第三节 沼气发酵的基本原理

沼气的产生, 简单地说, 是有机物质在隔绝空气和保持一定水分、温度、酸碱度等条件下, 经过多种微生物(统称沼气细菌)的分解而产生的。沼气细菌分解有机物质产生沼气的过程, 叫做沼气发酵。

根据沼气发酵过程中细菌的作用, 沼气细菌可以分为两大类: 一类细菌叫做分解菌, 它的作用是将复杂的有机物, 如碳水化合物、纤维素、蛋白质、脂肪等分解成简单的有机物(如乙酸、丙酸、丁酸、酯、醇类)和二氧化碳等; 另一类细菌叫做甲烷菌, 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。

## 一、沼气发酵的生物化学过程

沼气发酵的生物化学过程，大致可分为三个阶段：

**（一）第一阶段为液化阶段** 微生物的胞外酶，如纤维素酶、淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶等，对有机物质进行体外酶解，将多糖水解成单糖（或二糖），将蛋白质转化成肽和氨基酸，将脂肪转化成甘油和脂肪酸。也就是把固体有机物质转化成可溶于水的物质。

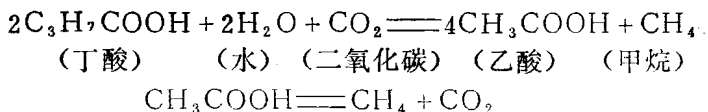
**（二）第二阶段为产酸阶段** 第一阶段的液化产物进入微生物细胞，在胞内酶的作用下，转化成低分子化合物，如低级脂肪酸、醇等，其中主要是挥发性酸（包括乙酸、丙酸和丁酸），乙酸所占比例最大，约占80%。因此，第二阶段称为产酸阶段。

第一和第二阶段是一个连续过程，统称为不产甲烷阶段。在这个阶段中，除形成大量的小分子化合物外，还产生大量的二氧化碳和少量的氢气，这些都是合成甲烷的物质。因此，可把不产甲烷阶段看成是一个合成甲烷的准备阶段，即将复杂的有机物质转化成可供沼气细菌利用的物质，特别是低分子的乙酸。乙酸是脂肪、淀粉和蛋白质发酵后，所形成的一种最普遍的副产物。大致70%的甲烷都是在发酵过程中由乙酸形成的。它可以为甲烷菌提供丰富的营养，为产生大量甲烷奠定物质基础。

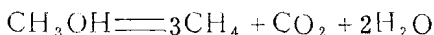
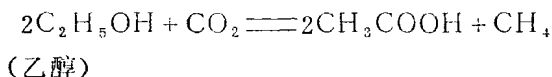
**（三）第三阶段为产甲烷阶段** 在此阶段中，产甲烷细菌大量活动，使氨态氮浓度增高，氧化还原势降低，为甲烷菌生活提供适宜的环境条件。在甲烷菌的作用下，将不产甲烷阶段所产生的合成甲烷的物质，最后转变为甲烷。此阶段生

成甲烷的反应式如下：

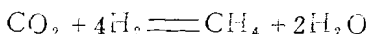
由挥发性酸形成甲烷：



由醇与二氧化碳形成甲烷：



由氢还原二氧化碳成甲烷：



沼气发酵的三个阶段是相互依赖和连续进行的，并保持动态平衡。在沼气发酵初期，第一、二阶段的作用为主，也有第三阶段作用；在沼气发酵后期，则是三个阶段的作用同时进行，到一定时期，保持一定的动态平衡才能持续而正常地产气。

如果第一步（包括第一、第二阶段）进行得太快，第二步（第三阶段）慢，则有机酸积累太多，pH值下降很低，会抑制沼气发酵，甚至使发酵停止；如果第二步快，第一步太慢，沼气发酵一段时间后，第二步势必因缺少原料而减慢。因为甲烷产生是以第一步的产物作为原料的，它不能直接得到复杂的高分子有机物质。以上情况说明，如果动态平衡受到破坏，沼气发酵就会受到破坏，甚至停止。

## 二、沼气发酵的有机物分解代谢过程

沼气发酵过程十分复杂。在这个复杂的过程中，有机物中的碳水化合物、蛋白质和脂肪等，在厌氧的条件下，经过