

# 生物质制沼气的相关技术参数分析

马德金<sup>1</sup>，孔宪迪<sup>2</sup>，唐根生<sup>1</sup>

(1.安徽丰原化工装备有限公司，安徽蚌埠 233010；2.中矿国际淮南机械有限公司，安徽淮南 232052)

**摘要：**本文重点分析了生物质的范畴和能够生产沼气的生物质特性，运用工程经验和国内外文献资料，介绍与生物质制沼气相关的关键工程设施和工艺参数，对于水解酸化罐和沼气发酵罐的设计提出了基本思路，为充分利用秸秆等典型生物质，确保可持续发展指出目前存在的难点。

生物质(Biomass)是与生物有关的物质的总称，它包括所有动物、植物和微生物以及由这些有生命物质派生、排泄和代谢的许多有机质。可以作为能源利用的生物质主要有木材残余物、农业废弃物、动物粪便和城市固体垃圾等，开发生物质能(Biomass energy)意义深远并成为当今世界范围内最为广泛关注的课题之一<sup>[1]</sup>

。利用废弃有机质进行厌氧发酵制备沼气，虽然是历史悠久的传统技术，但如何解决好工艺技术与工程设备的规范化、标准化和提高资源综合利用率，仍然有诸多问题需要认识和解决。

## 1用于沼气发酵的生物质种类及固有特性

标准沼气(biogas)含有60%甲烷和40%

%二氧化碳，其混合气体的热值为21.52MJ/m<sup>3</sup>，甲烷(methane)的热值为35.82MJ/m<sup>3</sup>

。随着制备沼气所使用的原料不同，沼气的组分在一定范围内变动，通常的组分为：主要成分是甲烷，约占总体积的50%~80%，其次是20%~40%的二氧化碳和少量的其他气体，如0~5%的氮气、1%~3%的硫化氢和低于1%的氢气及0.4%的氧气。甲烷的爆炸下限(V/V)为5.3%，在沼气的混合气体中，即使甲烷的体积含量大于53%，其混合气体的理论爆炸极限低于10%，仍然属于易爆介质，同时沼气中可能含有的少量二氧化硫对人体、设备和环境有相应的危害，这是沼气发酵系统设计中应引起关注的安全参数。

### 1.1沼气工程常用的生物质种类

基于沼气发酵原理，把含有碳水化合物、蛋白质、脂肪等生物质作为营养源，可以利用厌氧菌(或称为甲烷菌)将具备此类特性的有机物转化为沼气、沼渣和沼液的物质，均可以作为沼气发酵原料。根据生化反应机理，在甲烷菌的作用下，含有二氧化碳与氢气的混合气体、甲酸、乙酸、甲醇、一氧化碳等物质可以产生甲烷，那么生物质中的秸秆、谷壳、树叶、杂草、零散木材、树皮、木屑、造纸残渣、畜禽排泄物、食品废弃物、海洋植物、下水道污泥、生活污水、工业废水等可以作为沼气工程的可再生资源。

### 1.2有机质原料之间配比关系

根据沼气发酵工程经验，适当控制有机物的碳氮比和碳磷比是甲烷菌产生甲烷的重要物质基础。国外资料介绍<sup>[2]</sup>：作为发酵原料的有机质中C:N:P:S的比例范围最好控制在500~1000:15~20:5:3或COD:N:P:S的比例为800:5:1:0.5，欧洲不少著名工程公司的经验资料推荐其对应比例为500:15:5:3。国内资料<sup>[3]</sup>表明：为了使甲烷发酵顺利进行，一般要保持微生物活性的碳氮比为25:1左右，产生甲烷的最佳碳氮比是12:16。为此，沼气工程设计时，应密切关注工程建设区域可用原料的营养源成分，基于Karki and Dixit(1984)和国内外文献资料分析整理，表1数据可供参考，当然在具体配料时尽可能采用实测数据，毕竟随着气候和生长环境等因素的变化，有机质含有的化学组分也是变化的。

有机质	C/N	有机质	C/N	有机质	C/N
鸭粪	8	大象粪	43	野草	26
人类粪便	8	玉米秸秆	60	水果废物	35
鸡粪	10	小麦秸秆	87-128	屠宰废物	2
山羊粪	12	干稻草	67	锯木屑	300-1000
鲜猪粪	18	树叶	41	下水污泥	5-15
绵羊粪	19	大豆秧	32	活性污泥	5-8
鲜牛粪	24	花生秧	19		
鲜马粪	24	水葫芦	25		

表 1 常用固体废弃生物质的碳氮数据表

### 1.3 沼气发酵原料的常用评估指标

在沼气工程设计中，对于沼气原料的正确利用和最大化发挥固有的生物质特性，是一项重要工作，虽然原料中的有机物组分复杂和变动因素较多，而设计时能够利用的基础数据匮乏，往往通过工程运行进行事后评估，这是目前沼气工程设计的普遍存在的缺陷。

为了便于评价发酵原料的质量，通常按照生物质的特性将其分成两大类：固体性发酵原料和液体性发酵原料。

对于固体性

原料，主要确定可以产生沼

气的有效成分，1kg可降解的有机物一般可以产生约0.63-1.0m<sup>3</sup>的沼气，文献3中介绍沼气原料的理论产量计算：

$$E=0.37A+0.49B+1.04C$$

式中，A为每克原料中碳水化合物的数量；B为每克原料中蛋白质的数量；C为每克原料中脂肪类化合物的数量。通过对有机组分进行分析并统计国内外工程资料，常用生物质的沼气产量可以参考表2。

生物质类型	每千克产沼气量 (m <sup>3</sup> )	生物质类型	每千克产沼气量 (m <sup>3</sup> )
牛马粪	0.023-0.040	人粪便	0.020-0.028
猪粪	0.040-0.059	干秸秆	0.37
家禽粪	0.065-0.116	水葫芦	0.45

表 2 常用生物质的沼气产量

当然对于固体废弃有机质的质量指标评定时，还要核定有机原料中总固体含量（TS）（从原料总重量中去除水分后的重量）和挥发性固体量（VS）（从总固体含量中去除灰分的数量），如不同种类畜禽粪便的含有每千克挥发性固体量的产沼气0.25~0.5m<sup>3</sup>，也即每千克干物质的产气量约0.3m<sup>3</sup>左右。

对于秸秆类中纤维素、半纤维素、木质素、果胶质和少量的蛋白质的具体运用，应该分析通过对秸秆纤维素或半纤维素的水解后可能产生的有机质数量，如秸秆中通常含有约50%的纤维素，而纤维素及少量蛋白质能转化为甲烷菌所吸收消化的营养成分含量也应该有实际的标定值，虽然学术界有很多的理论研究，但可以借鉴运用的工程数据仍有待进一步实践和总结，表3中的数据表明部分秸秆的营养组分<sup>[4]</sup>。

种类	干物质	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	粗灰分	钙	磷	热值 (MJ/kg)
稻草	85	4.8	1.4	35.6	12.4	0.69	0.60	14.02
麦秸	85	4.4	1.5	36.7	6.0	0.32	0.08	15.40
玉米秸	94	5.7	16.0	29.3	6.6	微量	微量	15.17
大豆秆	85	5.7	2.0	38.7	4.2	1.04	0.14	15.16
花生藤	90	12.2	-	21.8	-	2.8	0.10	13.42
蚕豆秆	85	2.9	1.1	37.0	9.8	-	-	14.76

表3 几种作物秸秆的营养成分

对于液体原料，通常要明确水质的物理特性、有机化合物特性和生物特性等指标，确定可以利用厌氧发酵产生甲烷的方式，其评价指标诸如：总固体（TS）、总挥发固体（TVS）、总悬浮物（TSS）、挥发性悬浮固体（VSS）、 $BOD_5$ 、COD等，通常 $BOD_5/COD$ 之间比值低于0.4时，认为可生物降解性较差。

基于上述可以用于沼气发酵的生物质种类及其特性，工程设计时应考虑一种物质及多种物质组合后的综合特性，充分利用建设区域的生物质资源条件。

## 2 沼气发酵消化器的设计

沼气发酵的任务主要应该解决两大类问题：其一是充分利用废弃固液有机质，提升其使用价值；其二是避免废弃生物质对环境造成污染和降低沼气生产过程可能引起的二次污染。

沼气工程设计时，应根据生物质的固有特性、可用生物质数量和沼气的使用途径等因素，选择适宜的沼气工艺路线和工程系统，而厌氧消化器（Anaerobic Digester, AD）也称为甲烷发酵罐（Methane Fermentation Tank）是沼气工程系统中的核心设备，通常对于酒精、淀粉、有机酸发酵行业所产生的工业废水或城市生活污水，可以采用厌氧过滤器（Anaerobic filter, AF）、上流式厌氧污泥床（Upflow Anaerobic Sludge Bed, UASB）、UBF型消化器等比较成熟工艺；对于农业固体废弃物并结合禽畜粪便的处理工艺，大多处于家用沼气范围，对于生物质的前期预处理和后期的沼渣、沼液的进一步处理和有效使用，仍然面临规模化、节约型、环保型和可再生循环利用问题，本文仍就农村或农业方面的固废有机质生产沼气以及其消化器的设计进行初步探讨。

### 2.1 计算投料配比和确定发酵工艺参数

农村废弃生物质中可以分为两大类：秸秆和粪便。一般而言，秸秆和粪便中的干物质可以分别按照85%和20%估算，其C/N比分别按照70%和15%计算，按照发酵原料的C/N比值为25%，发酵料液中固体干物质含量为8%，可以粗略确定秸秆、粪便与添加水的重量配比约1：4：15，从这组数据可以看出，如果想消耗更多的秸秆或其他类农业废弃物，必须补充相应的氮源，如尿素或碳酸氢铵等。

对于秸秆的有效利用须经过预处理，将秸秆进行粉碎至2~3mm用水或尿液浸泡（如果有条件利用工厂排放的含有NaOH、 $Ca(OH)_2$ 、KOH、 $NH_3 \cdot H_2O$ 等料液，也是更好的办法），控制浸泡温度在35~55℃，判断纤维素或半纤维素的水解状况，对秸秆通常肉眼可以观察到秸秆已经发褐色或有白色菌丝出现，然后将水解后的秸秆连同一定比例的粪便、活性污泥、沼渣或沼液、水或尿液等依次投入厌氧发酵池中。

### 2.2 消化器的结构

消化器的结构设计通常取决于工程经验、工艺路线、产沼气规模和资源综合利用等因素，使生物质中的有机质充分转化为甲烷为设计根本目的。

尽管将生物质投入到一个独立消化器中，可以完成水解、产酸、产甲烷等全过程，该单相发酵系统也被认为成熟工艺并且投资低，但这个过程由于会对菌群产生酸抑制或因发酵液中PH值及相关化学成分的作用，引起甲烷菌中毒，导致产气率低，同时也不适宜建立中型以上发酵系统。为了尽可能多利用秸秆等生物质，强化秸秆等水解作用和实现不间断产气功能，笔者倾向于推广两相发酵工艺，即在甲烷发酵罐之前设立原料预处理罐，即单独设立产酸反应器，

这对秸秆类生物质的预处理是非常必要的。

为了保证持续产气和供气，一个甲烷发酵罐可以配置两个产酸反应器，产酸反应器的池底面最好略高于甲烷发酵罐的发酵反应室的上口水平面，在此水平面上安装沼气集气室，集气室最好设计成标准化部件，按照水解周期依次调整产酸反应器的进料和出料，让难以水解的秸秆或其他有机质在产酸反应器中完全水解，让好氧与厌氧过程分开处理，保持甲烷发酵罐中浓度、PH值、均衡产气率及沼液的有序排出，根据季节和运行条件变化，适当增加消化器中有机质固体浓度，提高消化器的利用率，这是消化器设计的主体思路，有关自动排料装置可以借鉴<sup>[5]</sup>。

### 2.3消化器的主要设计参数

按照标准<sup>[6]</sup>

要求，提出了13项消化器的主要设计指标，并给出了处理不同原料所对应的结构尺寸，这是非常有实用价值的工具，为了能够更多的利用秸秆类生物质，仍有一些要素需要补充和完善。

第一，在消化器内增加加温装置，按照原料特性不同，对装置适当补充热能，事实上增加发酵液温度会引起成本上升，设计时应根据工程经验和各种要素予以综合测算。如利用酒精糟发酵制造沼气，其发酵温度一般控制在53~56℃；秸秆经过水解后，其发酵温度控制在35~42℃，即使加入适当配比的畜禽粪便，其混合液的发酵温度最好控制在35℃以上，这样会加快发酵速度和提高产气率。

第二，对于广泛使用秸秆等难以水解的生物质，或者单个沼气池容积大于30m<sup>3</sup>，除在水解池中考虑使用搅拌系统外，在发酵池中也可设置机械搅拌装置或沼气回流设施。

第三，配置在线PH计，给定某一操作条件下PH值的控制范围和工艺调整方法。

### 3结论

尽管利用秸秆制酒精已经取得明显的工业化成效，但能够更多地利用秸秆等农业废弃物制造沼气，因地制宜建立中等以上规模的沼气设施，深化沼气运用领域和沼渣沼液的充分利用，仍然是良好的发展前景。问题在于如何加快对农业废弃有机质的组分和水解过程与效果的研究，选择更适宜的发酵菌群和工艺，尚属于科研人员和工程人员研究的课题。

### 参考文献

[1]高虹，张爱黎.新型能源技术与应用[M].北京：国防工业出版社，2007：116-118.

[2]Dieter Deublein,Angelika Steinhauser.Biogas from waste and renewable resources[M].Weinheim:Wiley-VCH Press, 2008:116.

[3]杨建设.固体废物处理处置与资源化工程[M].北京：清华大学出版社，2007：112-130.

[4]石磊，赵由才，柴晓利.我国农作物秸秆的综合利用技术进展[J].中国沼气，2005，23(2)：12.

[5]叶森，魏吉山，等.自动排料沼气干发酵装置[J].中国沼气，1989，7(4)：19-21.

[6]GB/T4750-2002户用沼气池标准图集[S].

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/83341.html>