

发展中国家的可再生能源: 沼气的机遇和挑战

K C Surendra , Devin Takara , Andrew G Hashimoto , Samir Kumar Khanal

(University of Hawai Department of Molecular Biosciences and Bioengineering , 96822 , USA)

摘要: 能源对于现代社会至关重要,是社会发展最重要的指标之一。尽管科技不断发展,但仍然有约 30 亿人(主要集中在发展中国家的农村地区)继续通过在传统的炉灶中燃烧生物质资源(如柴薪、秸秆、动物粪便)的方式来满足烹饪的能源需求。这种方式对环境、社会、经济、公众健康都带来极大负面影响。这些地区要实现可持续性发展,开发干净清洁、价格低廉的可再生能源就势在必行。把现有的生物质资源(动物粪便、秸秆、餐厨垃圾、绿色废弃物)提炼成更加清洁高效的能源载体(例如厌氧发酵产生的沼气)不仅具有提供清洁、可靠能源的独特潜力,同时又能保护当地和全球的环境。尽管沼气对发展中国家来说意义重大,但其面临着成本高、设备安装和维护专业知识缺乏等问题,因而在地理位置分散的社区难以广泛应用。因此,政府和非政府层面的通力协作就显得至关重要,从而促进沼气技术的更新改造和传播,开发尚未被开发的潜力。文章旨在通过分析沼气技术的现状、挑战和潜力,明确它在发展中国家未来的研究方向和发展传播路径。

关键词: 厌氧消化; 沼气; 生物能源; 发展中国家; 温室气体; 粪便; 废弃物

中图分类号: S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1166(2015)01-0058-07

1 背景

能源是我们日常生活不可或缺的一部分,但人们享受着现代生活舒适的同时却忽略了能源的重要性。尽管全球范围能源需求持续扩张,但数百万家庭和社区仍然缺乏最基本的能源服务,例如电、液体燃料、和天然气等。在发展中国家,这一现象尤为严重。例如,大约 15 亿人(超过世界总人口的 20%)不能用电;大约 30 亿人(世界总人口的 45%)依靠固体燃料(如木柴、秸秆、牛粪和煤)来满足做饭的能源需求(见表 1 和表 2)。另外,在撒哈拉以南非洲地区,随着人口的增长速度超过了供电能力,越来越多的家庭不得不依靠传统固体燃料。与 2005 年相比,如果到 2030 年依然没有新的政策支持现代能源服务,发展中国家将会新增 5 千万到 2.2 亿人使用传统固体燃料和炉灶。全球能源总需求中,生物质占 10%~14%,而在许多发展中国家生物质占家庭能源消耗的 90%。尽管这些国家的政府每年投入 400 到 600 亿美元用于能源基础设施建设,但这些地区的绝大多数人们仍让用不上电。此外,发展中国家的人均能耗(常常作为发展程度的指标)也相当低。对于大多数发展中国家和撒哈拉以南非洲国家(如尼泊尔、印度、肯尼亚、加纳等国)而言,人均能源供应总量能分别为每年 0.34、0.54、0.47 和 0.14

吨油当量;远低于发达国家人均 1.83 吨油当量。

由于上述国家的发展和城市化进程的推进,垃圾管理将会成为地方和国家层面的一个重大问题。在发展中国家特别是欠发达国家,由于缺乏高效的固体废物和污水处理系统,环境和公众健康都面临着严重威胁。仅在亚洲,每天的垃圾总量就达到

表 1 欠发达国家和撒哈拉以南非洲地区

使用固体和现代燃料煮饭的人数 (百万)

地区	使用固体燃料的人数		总量	使用现代燃料的人数
	传统的生物质	煤		
发展中国家	2564	436	2999	2294
欠发达国家	703	12	715	74
撒哈拉以南非洲地区	615	6	621	132

表 2 使用固体燃料煮饭和发展

中地区未接入电网的人群分布 (%)

地区	使用固体燃料煮饭的比例	未接入电网的比例
撒哈拉以南非洲地区	21	39
拉丁美洲和加勒比海地区	3	2
南亚地区(除印度)	27	28
东亚和太平洋地区(除中国)	11	14
阿拉伯国家	11	13
中国	25	1

收稿日期: 2014-10-20

100 万吨,其中 70% 的城市固体垃圾由有机物质组成。尽管发展中国家投入巨资发展基础设施建设,但他们面临着不可逆转的环境损害挑战。缺乏对城市固体废弃物中有机物的可持续管理,导致了各种生态问题,例如土壤、地表水、地下水污染和不加节制的甲烷排放。

最近,世界能源委员会和联合国可持续发展委员会重申发展清洁、负担得起的可再生能源对于可持续发展的重要性。联合国把 2012 年作为“可再生能源国际年”,旨在 2030 年前让全世界的人民能够获得现代能源。利用传统生物质资源(例如厨房垃圾、牛粪、秸秆、绿色垃圾、工业和城市垃圾的有机部分)通过厌氧发酵生产清洁的可再生能源,能够改善公民健康以及当地环境和社会经济状况。厌氧发酵过程是在无氧的情况下把有机物质转化成能量丰富的沼气。沼气是由 CH_4 和 CO_2 组成的混合气体,是一种清洁的可再生能源,可用于做饭、供暖、供电,也可以通过进一步提炼成生物甲烷用作运输燃料。沼气发酵后产生的沼渣沼液营养十分丰富,可用作土壤改良剂和有机肥。由此可见,厌氧消耗对解决发展中国家和欠发达国家的能源和废弃物管理问题发挥着重大作用,同时还能提高农业生产力。

本文旨在分析发展中国家当下的能源使用状况,并阐明厌氧消化生产沼气在满足能源和废弃物处理需求中发挥的作用。本文讨论了沼气生产过程、组成和利用,并进一步回顾了发展中国家可利用的生物质资源、沼气生产潜力以及随之的温室气体减排潜力。尽管厌氧消化是一项成熟的技术,但发展中国家的厌氧消化技术仍然很原始。最后,本文对发展中国家发展和采用沼气技术作为可再生能源提出了建议。

2 沼气的生成、组成及利用

2.1 沼气的生成

将有机物质转化为沼气是由一个微生物菌群通过一系列的代谢步骤完成的,这些步骤包括水解、酸化、乙酸化和产甲烷 4 个阶段(见图 1)。在第一个阶段中,脂类、蛋白质和多糖等复杂有机物通过水解反应,或所谓的液化反应,被转化为单体或者低聚物,如氨基酸、长链脂肪酸、糖和甘油等。该过程主要由水解菌或者发酵性细菌等能释放胞外酶的微生物协助完成的。然后,产酸菌将简单的可溶性化合物分解发酵产生 CO_2 、 H_2 、醇类和小分子挥发酸(如丙酸、丁酸)等,该过程也被称为酸化阶段。

在乙酸化阶段中,产氢产乙酸菌在厌氧条件下

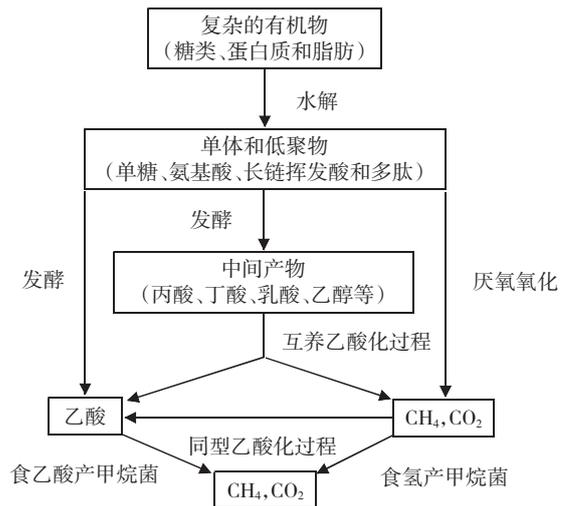


图 1 生物甲烷化过程的主要阶段

将醇类和挥发酸氧化为乙酸、 H_2 和 CO_2 。耗氢乙酸菌,即同型乙酸菌也可以利用 H_2 和 CO_2 生成乙酸。但同型乙酸化过程还未被广泛地研究和表征。

在最后一个阶段,食氢产甲烷菌和食乙酸产甲烷菌将乙酸、 H_2 和 CO_2 转化为气体产物— CH_4 和 CO_2 。在食乙酸产甲烷过程中,食乙酸产甲烷菌利用乙酸作为反应底物。而在食氢产甲烷过程中,食氢产甲烷菌利用 H_2 作为电子供体还原 CO_2 。70% 的甲烷是通过乙酸裂解生成,而其余的甲烷几乎是由 CO_2 还原生成的。少量的甲烷也由甲酸、丙酸和丁酸以及其他有机物生成。值得提出的是,对高固体原料而言,水解是限速步骤。而对可溶性原料来说,产甲烷阶段是限速步骤。

厌氧过程只将少量的可用能量(14%)转移给微生物生长(发酵性细菌 10%,甲烷菌 4%),而大多数能量(86%)被储藏在终产物 CH_4 中。

2.2 沼气的组成

沼气的组成随着原料的种类和厌氧消化器的操作条件而不同。总的来说,沼气含有 50% ~ 75% 的 CH_4 、25% ~ 50% 的 CO_2 以及其他微量的成分,如水蒸气、 H_2S 和 NH_3 等。沼气的典型成分以及各组分的性质总结在表 3 中。

CH_4 是沼气成分中唯一有热值的组分。例如,在标准温度和气压条件下,1 立方米甲烷含量为 60% 的沼气热值为 21.5 MJ(等效电量为 5.97 kWh),而在标准温度和压力下,每立方米纯甲烷的热值为 35.8 MJ(等效电量为 9.94 kWh)。

2.3 沼气的利用

沼气作为一种可再生能源载体,可用于加热、热电联产、运输燃料(提炼为生物甲烷)以及提炼为天

表3 沼气的主要组成以及成分的性质

成分	浓度(v/v)	性质
CH ₄	50% ~ 75%	能量载体
CO ₂	25% ~ 50%	降低热值,有腐蚀性(尤其是含水的情况下)
H ₂ S	0 ~ 5000 ppm	有腐蚀性,燃烧过程释放 SO ₂
NH ₃	0 ~ 500 ppm	燃烧过程释放 NO _x
N ₂	0% ~ 5%	降低热值
水蒸汽	1% ~ 5%	在 CO ₂ 和 H ₂ S 的情况下增加腐蚀性

然气。在大多数发展中国家,户用沼气池较为普及,但沼气的终端使用近限于煮饭和照明。这主要是由于发展中国家最为普及的沼气池尺寸为2~10立方米。这类大小的沼气池产气量不足以供给热电联产,或纯化为生物甲烷做其他用途。尽管如此,发展中国家大型沼气装置的产气主要是通过燃料电池发电或者供给热电联产发动机。这些利用技术与发达国家相似。比如在印度普拉,一组沼气池被成功地用于为改造后的柴油机供能使发电机运转。也许在最重要的是,发展中国家的烹饪能耗占据了绝大部分的家用能耗。如在印度,煮饭用掉了国家总能耗的60%。而在这些区域,人们主要是采用传统的烹饪炉具以及燃料传统的固体燃料来煮饭,因此能量利用率极低。如在孟加拉,超过90%的家庭使用泥铸的灶台,其热效率仅为5~15%。相对而言,沼气中的甲烷以清洁的蓝色火焰燃烧,比传统燃料的火焰热得多。依据外观设计和使用条件,发展中国家的沼气炉具效率一般在20%~56%,并且在大气压力为75~85 mm水柱时运行良好,沼气消耗率为每小时0.22~1.10立方米。在尼泊尔,大约0.33立方米的沼气可以满足于每人每天的烹饪需求。

照明是沼气仅次于烹饪的第二大用途,尤其是在一些电网尚未普及的地区。沼气照明主要是通过一些特殊的气幔灯。这类灯每小时的用气量约为0.07~0.14立方米,在大气压力为75~85 mm水柱时正常运行。

3 厌氧消化的优点

3.1 对人类健康的益处

在发展中国家的农村地区,大约30亿人依靠生物质如木柴、作物残余、动物粪便、木炭等作为做饭的能源。在许多国家,上述生物质资源占到家庭总能源消耗的90%。在传统的炉灶中直接燃烧生物质会导致一氧化碳、碳氢化合物和颗粒物质的排放量较高。由于做饭都在室内进行,如果通风不佳,也会导致室内的空气污染,对人的健康构成威胁。在

几个发展中国家,已有证据显示使用固体燃料和某些疾病的发生有关联,例如小儿肺炎、慢性阻塞性肺病和肺癌等。另外,研究还显示室内空气污染还其他一些疾病问题相关,例如哮喘、白内障、低出生体重、死胎、肺结核、高血压等。世界卫生组织估计,每年有大约150万人过早死与使用固体燃料导致的室内空气污染直接相关。值得注意的是,妇女和小孩由于一般都负责做饭,会长时间与烟雾接触,因此受到室内空气污染的影响最严重。

与木柴、农作物秸秆、干牛粪不同,沼气的能带来清洁无烟的环境。因此推广沼气项目能极大地缓解室内空气污染以及与此相关的疾病。另外,由于安装沼气池要求修建厕所,这一举措能最大程度地缓解随地排泄引发的疟疾和伤寒等水传染疾病。

3.2 对环境的益处

过度地使用木柴作为能源,对当地森林造成严重影响,这一情况在发展中国家尤为严重。在这些国家,燃料木材造成的森林砍伐占到54%。而世界范围的森林砍伐导致了17%~25%的人为温室气体排放。另外,森林砍伐又造成水土流失和土壤退化。每年一个户用沼气池能够避免燃烧3公吨木柴和576公斤粪便,可以减少4.5公吨的二氧化碳排入大气。因此,在发展中国家用沼气取代木柴不仅能够极大地减少森林砍伐,还能缓解温室气体排放。

3.3 减少其他物质排放

尽管与好氧处理有机废弃物相比,厌氧消化的过程更加复杂,但它能够极大地节约能源,使当地社区受益。不管是环境上还是经济上来说,厌氧消化都优于堆肥和焚烧,因为它能提高能源平衡、减少挥发性物质如酮类、醛、氨、甲烷等的排放。

3.4 沼液可用作有机肥

与堆肥和直接燃烧相比,厌氧消化能同时提供燃料和肥料。沼渣和沼液富含微量和大量营养成分,施加在土地里,能增强土壤的物理、化学和生物性能并提高作物产量。由于流动性增强,沼液能迅速渗入土壤,减少营养物质流失。此外,沼液能刺激土壤中的放射菌产生抗生素,对土壤中的病原体很具杀伤力。沼液含氮(1.8%)、五氧化二磷(1.0%)、氧化钾(0.9%)、锰(188 ppm)、铁(3550 ppm)、锌(144 ppm)、铜(28 ppm)等成分。表4中总结了沼液和其它有机肥中所含营养物质。由于人类排泄比牛粪营养更高,因此用人类排泄物作为沼气原料,能提高沼液的整体营养。如果使用恰当,沼液可完全用于肥料,而厌氧消化能把原料的臭气减少80%。

尽管如此,在偏远欠发达地区,装载、运输、分配沼液时存在病原体污染的问题。沼气原料中天然存在微生物病原体,包括沙门氏菌、李斯特菌、大肠埃希菌、弯曲杆菌、分枝杆菌、梭状芽胞杆菌、耶尔森氏菌等。尽管厌氧消化能大大减少微生物病原体,但沼渣沼液仍不是完全安全。因此,为了防止对公众健康造成威胁,沼液在用于土地之前应该经过恰当地处理。

表4 主要有机肥的营养含量 (%)

有机肥	有机物	C: N	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O
农家肥	25~55	15~20	0.40~0.80	0.60~0.82	0.50~0.65
沼液	60~73	17~23	1.50~2.25	0.90~1.20	0.80~1.20
蚯蚓粪	9.80~13.40	-	0.51~1.61	0.19~1.02	0.15~0.73

4 发展中国家的沼气技术现状

沼气的最早使用要追溯到几千年前,亚述人用腐烂物质生产沼气,用于加热澡堂的热水。直到20世纪50年代,沼气技术的研究才发展起来,并诞生了著名的沼气池设计,如 GramaLaxmi III,这一设计就是浮罩式沼气池的原型。户用沼气池在中国和印度这样的发展中国家得到极大地发展。到2007年,中国和印度分别有2650万和400万口沼气池。荷兰发展组织近20年来一直积极推动户用沼气池在亚洲和非洲的发展。到2012年底,荷兰发展组织已安装50多万口户用沼气池,为290万人提供做饭和照明用的清洁能源。表5选取了一些发展中国家的沼气池总数,表中可以看出近年来非洲的户用沼气池数量增幅明显。与2011年相比,2012年非洲的户用沼气池数量增长超过了44%。

表5 部分亚洲和非洲国家的户用沼气池数量 (个)

国家	项目	每年修建的数量		到2012年 累计数	
		2011年	2012年		
亚洲	尼泊尔	19246	17998	268464	
	越南	23372	28635	152349	
	孟加拉	5049	5555	25311	
	柬埔寨	4826	4201	19173	
	老挝	439	483	2888	
	巴基斯坦	860	877	2324	
	印度尼西亚	2970	3222	7835	
	不丹	40	225	265	
非洲	卢旺达	785	773	2619	
	埃塞俄比亚	1641	2511	5011	
	坦桑尼亚	1444	2409	4980	
	肯尼亚	2399	3510	6749	
	乌干达	1276	1181	3083	
	布基纳法索	609	1292	2013	
	喀麦隆	33	54	159	
	贝宁	20	22	42	
	塞内加尔	225	95	334	
	总数	-	65234	73011	504599

在各种沼气池设计中,中国的固定圆顶沼气池(见图2)和印度的浮罩式沼气池(见图3)最为普遍。这两种沼气池把人类和动物粪便转化成沼气,用于做饭和照明。典型的户用沼气池平均体积大约为5~7 m³,每立方米生产0.5 m³沼气。浮罩式沼气池由钢筋和混凝土建成,而圆顶沼气池由砖和石头建成。只有盖子在地面上,其他部位都位于地底下。

两种沼气池的工作原理很相似,原料通过一根管道直接或者混合以后送进沼气池槽中。产生的沼气在发酵液的上方搜集,并通过连接在沼气池顶部的管道输送出去。沼渣通过另一根管道排出到一个可移动的槽里面。消化槽有一个或两个分区,消化

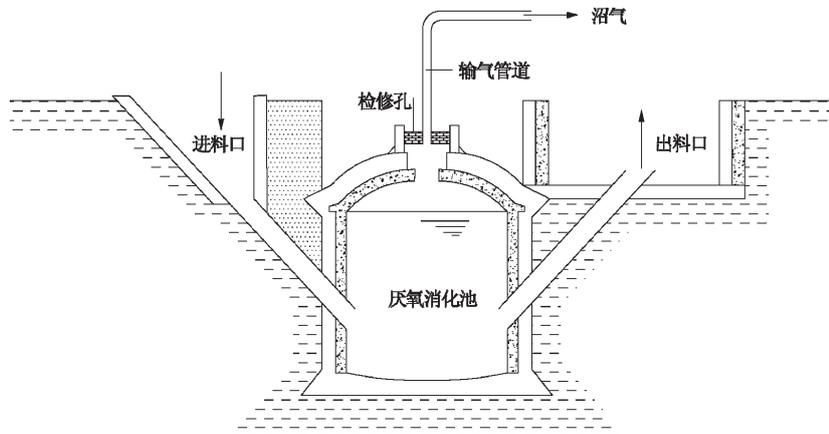


图2 固定圆顶沼气池

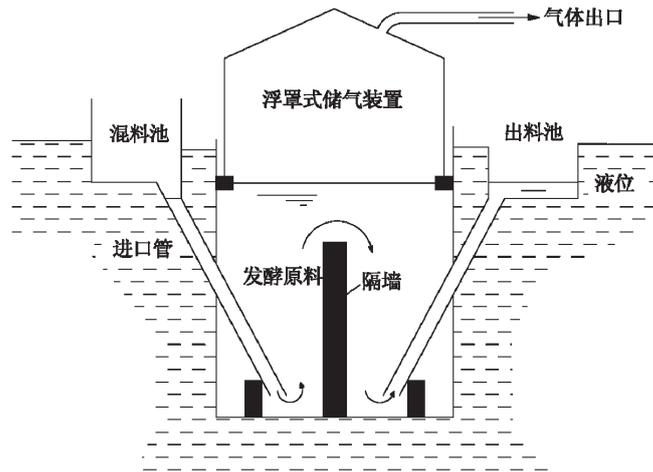


图3 浮罩式沼气池

物质在其中停留 20 ~ 30 天。浮罩式沼气池在粪便上方悬浮着一个钢盖,它能够垂直移动容纳沼气产生的压力。增加顶部重量能加大气压。圆顶沼气池中,沼气体积不变而气压不断变化。

在发展中国家,这两种沼气池没有能互相取长补短很好地结合,而且运行时还缺乏气温控制。另外,由于没有安装部件来移除沼气池中的残留物,日积月累,这些残留物大大地减小了消化池的有效空间。尽管沼气池由于没有移动部件,结构简单,使其操作简便,但对于许多农民来说安装费用仍然很高,并且需要技术娴熟的工人才能安装;这些因素限制了沼气技术在发展中国家的广泛传播。为了降低安装费用、简化沼气池操作和维护,发展中国家利用聚乙烯管式膜开发了低成本的沼气池。为了避免复杂的操作,聚乙烯管式沼气池依然没有混合装置和加

热系统(见图4),并且这种沼气池的建筑材料都是就地取材:主槽由塑料袋建成,而聚氯乙烯管用于沼气收集。原料经过聚乙烯管(作为生物反应器),而沼气由连接池顶部的一根管道收集。为了保持整个过程的气温稳定,使山区夜晚温度的波动最小化,管状塑料袋通常埋在沟中,上面覆盖三角墙或顶棚,以隔绝外部冷气。在不同地区沼气池、沟、顶棚的设计标准和规格各不相同。高纬度地区气温低,液压时间长,因此消化时间长达 60 ~ 90 天。由于这种沼气池设计简单、安装便利、人力操作轻松,在发展中国家的许多家庭得以推广,例如哥伦比亚、埃塞俄比亚、坦桑尼亚、越南、柬埔寨、哥斯达黎加、玻利维亚、秘鲁、厄瓜多尔、阿根廷、智利和墨西哥。然而由于聚乙烯管相对脆弱,这种沼气池容易损坏,寿命只有 2 ~ 10 年。

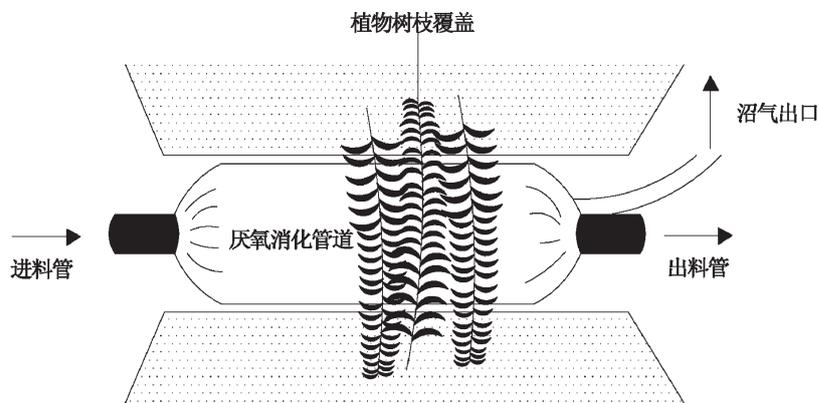


图4 聚乙烯管式沼气池

5 生物质资源和沼气生产潜力

生物质资源如动物粪便、人类排泄物、城市固体废弃物中的有机物、污水、农作物和森林残渣、能源

作物等都能用于生产沼气原料。就纯能源生产而言,上述物质生产的沼气与基于酒精的液体生物燃料相比,更有竞争力。此外,厌氧消化把温室气体排放降到最低,并为有机废弃物的再利用提供了机会。

不同的生物质原料生产沼气的潜力总结在表 6 中。值得注意的是,发展中国家已经利用城市、工业和农业垃圾中上百万吨的有机物质生产沼气,但发展中国家的有机废弃物利用远远不足。

表 6 不同有机原料的产气潜力 ($\text{Nm}^3 \cdot \text{kg}_{\text{DM}}^{-1}$)

原料	比产气量
牛粪	0.2 ~ 0.3
猪粪	0.25 ~ 0.50
鸡粪	0.31
羊粪	0.30 ~ 0.40
树叶	0.50
藻类	0.32
人粪尿	0.38
水葫芦	0.40
屠宰场废弃物	0.30 ~ 0.70
蔬菜废弃物	0.40
草屑	0.70 ~ 0.80
草青贮饲料	0.60 ~ 0.70
干草	0.5
青贮饲料	0.60 ~ 0.70
稻草	0.55 ~ 0.62
玉米秸秆	0.40 ~ 1.00
马铃薯泥、浆和皮	0.30 ~ 0.90
油料残渣(压榨)	0.90 ~ 1.00
糖浆	0.30 ~ 0.70
剩菜饭	0.40 ~ 1.00
城市固体废弃物的有机部分	0.10 ~ 0.93

动物粪便根据动物种类和地理位置的不同具有不同属性,但总体而言,粪便含水量很高(75% ~ 92%),挥发性固体占总固体的72% ~ 93%,以及良好的缓冲能力使其成为厌氧消化的理想原料。另外,由于动物粪便含有数量众多、种类多样的微生物群落,因此使用动物粪便作原料的厌氧消化池不需要外部加入培养菌就可启动发酵。然而,由于动物粪便中含有一种不易降解的物质,因此它的可生化性较差,消化过程较慢。此外,由于粪便类型和新鲜程度不同,在消化过程中会产生高浓度的氨,生成对产甲烷菌不利的环境。将动物粪便与碳水化合物丰富但缺乏氮源的原料共同发酵,能够极大地促进沼气生产。

同样地,城市固体废弃物的构成根据气候、收入水平、生活水平、地理位置、家用燃料和收集系统的不同有所变化。在发展中国家,城市固体废弃物中的有机物质占其总量的55%。尽管城市固体废弃物中的有机物质含的可发酵物少,而且缺乏氮和磷,但如果适当消化,它的甲烷产量比较高。预处理手段如减少颗粒物体积和与其他营养丰富的生物质共同发酵(城市废水或动物粪便),能够极大地增加城市固体废弃物有机物质的甲烷产量。

对于发展中国家来说,农业是国民经济的主要部分。这些国家每年生产大量的农作物残渣,其中很大一部分可用于沼气生产。尽管农作物残余的成分根据作物品种的不同有所变化,但总体来说,农作物残余物含水量相对较低、可发酵物质含量不断变化。由于大多数非豆科作物氮浓度低,因此农作物残余物与动物粪便或城市废水共同发酵能极大地提高甲烷产量。

食物和食品加工废弃物由于含水量(大于80%)和挥发性固体含量高,成为最好的生物产甲烷生产原料。除了肉业废弃物,大多数食品加工废弃物缺乏氮,但富含可发酵有机物质。因此食品加工废弃物和含氮丰富的原料(即城市污水和动物粪便)共同消化能够提升沼气工程的稳定性和整体甲烷产量。

6 发展中国家沼气发展面临的机遇和挑战

6.1 机遇

联合国可持续发展委员会把能够获得基本的能源作为可持续发展的关键因素。可持续发展委员会提到,为了达到国际社会的共同目标,即到2015年,把生活费不足1美元的人口减少一半,前提条件是能获得可靠和负担得起的能源。能否满足能源需求与教育、健康、城市迁移、获得自主权利、当地就业、收入增加以及整体生活水平的提高有着极大关联。针对发展中国家的现状,沼气技术在以下各方面都有着极大的潜力:改善垃圾处理、生产干净能源、减少工作量(特别是妇女和儿童)、创造当地就业等。发展中国家有着丰富的沼气生产原料,如动物粪便、作物残余、食物和食品加工废弃物以及城市固体废弃物中的有机部分等。此外,投入到垃圾处理的资源可转移到沼气工程建设。动物粪便和其它生物废弃物的厌氧消化能够提高沼渣价值、减少臭味、杀灭病原体,这对环境、农业、和社会经济都有积极地影响。另外,发展中国家推广沼气技术在减少温室气体排放方面具有巨大潜力,为全球市场碳交易提供新的可能性。而碳交易产生的利润又可用于推动国内沼气技术的研究、发展和传播。

6.2 挑战

尽管沼气在经济、环境、健康、社会等方面有着重大积极意义,但这项技术并未渗透到发展中国家的农村社区。阻碍其推广的一个重要原因是高昂的安装和维护费用。一个普通的户用沼气池的价格大概在435 ~ 1667美元,不同地区和不同类型的价格有所差异。而许多农村家庭根本负担不起。另外,许多发展中国家的经济结构更倾向于使用化石燃料而不是可再生能源。例如在中国,利用生物能发电

的成本是用煤发电的成本的 1.5 倍,当然这忽略了对环境不可逆转的破坏和使用化石燃料的机会成本。

沼气工程建设和维护专业知识的缺乏是这项技术普及的另一阻碍因素。尽管发展中国家意识到能源对于发展至关重要,但它的重要性还没有提升到政策层面。另外在发展中国家,高校提供的工程和技术相关的课程并没有深入地探讨能源技术和应用。因此,几乎没有一所技术或职业学校能够培养掌握可再生能源关键技术的人才,例如沼气技术。在许多农村地区,当地人连接受系统教育的机会有没有。尽管政府在过去实行了资助项目,但由于管理不善,许多沼气工程难以运行。例如 2007 年,中国共有 2650 万个沼气工程,但只有 60% 在正常运行。低成功率也会打击邻国推动沼气发展的积极性。

水对于沼气工程的安装和运行都至关重要,但许多发展中国家忽略了这一问题。每只牛每天需要至少 60 升水,每个消化池每天至少要加入 60 升水。而在山区和非洲地区,只有一小部分人能有足够的用水,因此缺水成了这些地区发展沼气的一大障碍。通过厌氧消化产沼气的最佳温度在 35 到 37 度之间。而中国、尼泊尔、印度北部的山区的气温并不适合沼气发酵。

7 建议

7.1 不同原料的共同消化

本文的建议之一是将不同的有机原料共同消化以应对原料不足的问题,同时提高沼气产量。将动物粪便与合适的有机废弃物(如作物秸秆)、食品加工工业副产品、城市固体废弃物的有机部分以及生物燃料生产过程的生物泥浆等共同消化,能够直接提高沼气产量、提升沼渣价值、减少有机垃圾处理费用以及减少温室气体排放。

7.2 政府的政策

安装费用是沼气技术普及的主要障碍之一,为了提高公众对这项技术的接受程度,应该降低建造成本,并且需要对沼气技术的直接和间接费用和好处进行量化和评估。通过发展低成本技术或提供政府资助,降低户用沼气的费用。在中国、印度和尼泊尔等国,由于政府和各种援助机构在资金和技术上的支持,沼气项目得以迅速发展。值得注意的是,在这些国家,当政府减少资助和计划项目时,沼气的数量就会大大减少。此时可以将沼气工程发展成为清洁发展机制(CDM)项目,以获得资金支持。发展中国家之一的尼泊尔是人均沼气工程数量最多的国家,已经将沼气工程发展成为 CDM 项目,而从中产生的利润又用于在尼泊尔国内推行沼气技术。

7.3 小额信贷

即使是在政府和援助机构的帮助下,人们仍有可能负担不起户用沼气池的安装费用,特别是对于那些处在边远地区的人们。为了让更多的农村人口用上沼气,我们应该提供这方面的信贷服务(软贷款)。这是一条小额信贷机构可以尝试在目标区域建立的途径,为此贫穷的农户可以轻松地找到合适的贷款服务。例如,尼泊尔是世界上人均沼气池数量最多的国家,大约有 260 多个小额信贷机构为不能支付沼气设备费用的家庭提供贷款服务。这些金融机构包括但不仅限于发展银行、小额信贷发展银行、信用社、信贷公司等。这类机构更平易近人,并能节约债务管理的时间。另外,相比于大型金融机构,贫困人口更愿意和小的信用社打交道。

7.4 意识提升计划

教育可以说是发展中国家沼气发展进程中面临的最大挑战。为了树立沼气是可靠的持续能源的观念,向人们传输沼气在经济、健康、社会和环境方面的有益影响显得至关重要。因此需要实施专门计划,通过多媒体手段和多方对话机制,把这一理念传播给广大人民群众。更重要的是,应该推动一类将沼气技术和知识从技术成熟的国家向全球其他国家转移的项目。

8 总结

全世界有大约 30 亿人仍然依靠传统的生物质资源作为能源,这些人群主要集中在发展中国家的农村地区。而绝大多数城市中依靠进口昂贵的化石燃料满足能源需求。过度开发和低效使用生物质燃料以及日益增加的化石燃料进口,对发展中国家的公众健康、环境和本来就脆弱的经济带来负面影响。倡导可持续同时又价廉的沼气能源对于这些国家的持续发展具有重大意义。厌氧消化是一项清洁简单的能源技术,并且与其他可持续能源技术相比,成本更低。因此对于发展中国家来说,沼气在原料供给、创造就业、降低环境影响、为改善生活质量提供清洁可靠的能源等方面具有巨大潜力。尽管厌氧消化技术已使用多年,但在不同地区该技术的运用方式存在巨大差异。因此厌氧消化技术的现代化(即达到价廉、坚固、操作简单的标准)和快速推广,对于开发沼气的巨大潜力来说至关重要。沼气对于改善发展中国家的环境、农业和社会经济有巨大潜力,虽然沼气在发展过程中面临着挑战,但政府层面、技术层面、以及意识层面的努力能够克服这些挑战,使发展中国家走上可持续发展道路。

(农业部沼气科学研究所 李谦译自“Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2014 31 846-859)