



## 沼气 非洲的新兴能源

尼日利亚第二大城市伊巴丹，是Oyo州农业地区的中心。自十九世纪开始，残酷的部族间争斗和政治动荡致使大量难民和军事武装人员涌入到这座城市。这种混乱的局面阻碍了在发达社会被认为是理所当然的市政基础设施建

设。尽管如此，伊巴丹的能源需求很快将会在某种程度上得到改善，这就是在非洲大陆渐受欢迎，相对简单但却十分有效的能源：沼气。

将生物垃圾转化为能源的沼气发酵技术，被许多专家认为是发展中国家改善生活、提高寿命和健康水平的极好工具。据世界观察研究所（Worldwatch Institute）公布的《再生能源2005：全球状况报告》（Renewables 2005: Global Status Report）显示，全球范围内，约有1600万家庭在使用小型的沼气发酵装置。伊巴丹的装置将是非洲最大的沼气发酵装置之一，由它产生的沼气可以供5400户家庭使用一个月，而费用却只及液化天然气的四分之一。

伊巴丹沼气发酵池将利用Bodija市屠宰场，据2000年1月刊的《非洲环境评估与管理杂志》（African Journal of Environmental Assessment and Management）的资料，Oyo州近三分之二的动物在那里被宰杀。屠宰过程中的废弃物被冲洗到与地表水相连的排水系统，也可以渗透到地下水。据伊巴丹大学的地质专家Tijani Moshood介绍，约60%伊巴丹居民的饮用水取自人力开凿的水井，这些水井极易受到地表水的污染，只

有15%人的饮水是来自深层地下水。

屠宰场废弃物携带有大量的人畜致病微生物，如沙门氏菌、埃希氏大肠杆菌、裂谷热病毒以及可引起弓形体病和旋毛虫病的寄生虫。如果动物体内含有农药、抗生素、金属、工业化学品和导

致疯牛病的物质，动物宰杀后，这些物质可以进入人类的食物链当中。此外，腐烂的有机物可以释放出甲烷和二氧化碳。据政府间工作小组的气候变化报告《气候变化2001：科学的依据》（Climate Change 2001: The Scientific Basis），二氧化碳是导致气候变化的主要原因，但甲烷的作用更大，是二氧化碳的23倍。

对伊巴丹人来讲，幸运的是新沼气工厂将减少这些危害。这项被称为“奶牛到千瓦”的计划，是非政府组织——环境与经济发展研究全球网络组织尼日利亚分部、泰国唐布里 King Mongkut 大学沼气技术研究中心、尼日利亚非政府组织——青年、家庭和法律咨询中心，以及联合国动物栖息地项目中尼日利亚可持续发展计划的联合投资项目。“奶牛到千瓦”计划获得了2005年支持环境与发展企业奖（SEED），该奖项是授予世界范围内，为可持续发展而具有突出创新观念的企业的一项荣誉。

Joseph Adelegan是一名土木工程师，也是“奶牛到千瓦”计划的主管，他估计该计划需耗资30万美元。启动基金已经到位，预计2006

年7月开始兴建沼气工厂。伊巴丹沼气发酵设备将使用最尖端的设计，即厌氧固化薄膜发酵装置，其中活性微生物吸附在一种惰性介质上。厌氧固化薄膜技术缩短了完全发酵消化的时间，使得发酵装置更加小型化。

### 具体细节

生物能源包括曾经具有生命，并能产生能量的任何生物材料（不包括矿物燃料，因为它无法



再生），沼气只是众多生物能源中的一种。除了直接使用木材和木炭外，生物能源还包括酒精和生物柴油。与基本的生物消化相比，但制造这些生物能源需要相当多的投资、先进的技术或使用更多的资源。例如，生产酒精就需要先进的技术；虽然制造生物柴油相对较为简单，但却需要植物油。而沼气制造技术只是将自然界存在的分解过程简单地正式化。

沼气发酵装置是由一个或多个密闭的发酵池组成的，发酵池中分批或持续填入牛粪、人粪便和屠宰场废弃物。家庭用小规模沼气发酵装置通常由水泥、砖块、金属、玻璃纤维或塑料建成；大型商用的则主要是由砖块、灰浆和钢制成的。

消化分解过程是由两个阶段完成的。首先，产酸细菌将生物废弃物转变为不稳定脂肪酸和醋酸；然后，产甲烷细菌将上述化学物质代谢转化为一种富含甲烷气体和无味的磷-氮饱和泥浆的混合物，这是极好的肥料。根据荷兰的一家发展非政府组织 WASTE 提供的废弃物说明书称，不同的温度与湿度条件下，完整的消化分解过程需要6~25天的时间，如果是结构简单的发酵装置则需要更长的时间。

最终的分解产物中60%~70%是甲烷，20%~30%是二氧化碳，还有少量的硫化氢和其它杂质。沼气可与家庭炉灶连接，用于烹饪；与有金属网状灯罩的照明装置相连，用于照明；与其它天然气设备连接使用，它的燃烧与液化石油气一样。小型沼气发酵装置因设计与大小的不同，其造价从100~1700美元不等。

据 UNDP 全球环境设备数据清单的数据显示，单一个家庭使用的沼气发酵装置每天只需要1~2头牛，5~8头猪或4个成年人的排泄物作为原料。使用一头牛每天的尿液与粪便就可产生1~2千瓦（度）的电或8~9千瓦的热量，一年下来，这仅仅能够满足电冰箱的耗电量。在非洲，绝大多数的沼气发酵装置可以提供足够的能源用于家庭烹饪与照明。

### 环境卫生方面的回报

沼气发酵装置的合理设计与使用减轻了环境



屠宰场废弃物变能源：屠宰场将屠宰废弃物转换成能源，既能减少不利健康的废物，又能满足电力的需求。

卫生方面的诸多问题，如：改善了卫生条件；减少了温室效应气体的排放；减少了家庭烹饪对木材与木炭的需求，这有利于森林与天然植被的保护；可以提供高品质的有机肥料。一个维护使用得当的沼气发酵装置可持续使用20多年，而且在4年时间左右，就可以收回它的成本。对发展中国家来讲，使用沼气发酵装置最大的好处可能是它有助于缓解一个非常严重的卫生问题，即室内空气质量不良。

2004年，荷兰政府组织召开了“能源发展：再生能源在千年发展目标中的潜在作用”大会（*Energy for Development: The Potential Role of*

*Renewable Energy in Meeting the Millennium Development Goals*），会议形成的同名报告中谈到：世界上大约二百万人，包括89%的亚-撒哈拉沙漠非洲居民以植物作为日常烹饪与采暖的能源。在以植物作为廉价能源的地区，人们的日常活动多以无烟道的室内燃炉或开放式炉火为中心。该报告称，在亚-撒哈拉沙漠地区，每天几乎都是由妇女和儿童花费数小时时间来完成收集燃料的工作。由于妇女承担了绝大部分包括烹饪在内的家务劳动，所以她们和她们的孩子暴露于室内燃炉烟雾的程度要远高于男性。

因此妇女与儿童的呼吸系统健康问题较为突出。据《再生能源2005》的数据，在2000年，燃烧固体燃料造成的室内空气污染导致了1~2百万人的死亡，约占全球死亡率的3%~4%。世界卫生组织在2000年的报告《关注空气污染、家庭能源与人类健康的关联》（*Addressing the Links between Indoor Air Pollution, Household Energy and Human Health*）中指出，以植物为燃料造成的室内空气污染，可能会增加儿童患急性下呼吸道感染、成年人患慢性阻塞性肺部疾患、肺结核、低体重儿、哮喘、耳部感染和白内障等疾病的风险。在华盛顿特区的一个国际卫生保健专业性机构——世界健康委员会，指出：在全世界范围内的感染性疾病中，下呼吸道感染是引起死亡的主要原因。

很显然，燃烧后无烟雾产生的沼气可以极大地改善室内空气污染这一特殊卫生问题。虽然如此，但对于沼气可能带来的其它健康风险问题的忧虑，阻碍了沼气向更大范围的推广。

### 卫生问题

以人和动物的排泄物为原料，沼气发酵装置就可运行正常。当然还需要一定量的液体，通常使用水，但尿液也可以。不同种类的废弃物可以混合在一起，虽然植物中的纤维素和木质素不易分解，可能会导致发酵装置某些问题。

伊利诺斯州埃文斯通西北卫生保健中心内科系的一位研究人员Dhananjay Kunte，在印度政府的资助下，已经开展了几项关于减少沼气病原体的试验工作。他指出，由于担心沼气发酵装置会带来卫生问题，许多人不愿使用沼气。在发展中国家，这可不是一个小问题。据世界健康委员会的报告，在非洲，约40%的死亡是由腹泻引起的；在东南亚，这一比例会更高。

毫无疑问，人和动物的排泄物中携有病原体，如沙门氏大肠杆菌O157:H7、空肠弯曲杆菌、

小肠结肠炎耶尔森氏菌、肠兰伯鞭毛虫和数种隐孢子虫。绝大多数病原体是由粪-口途径进行传播的,会引起腹泻、腹痛、脱水、发热、呕吐,还会造成婴儿、儿童、老年人和免疫力低下等易感人群的死亡。虽然生物分解过程会使病原体数量减少,但添加沼气原料和使用沼气泥浆作为肥料,都会有一定程度引起感染的危险。

尚不十分清楚沼气泥浆中是否携带有足够量的病原体,可导致处理它的人或食用以它为肥料的农作物的人感染。在以人排泄物为沼气发酵原料的实验中, Kunte 对印度较为常见的病原体,如:沙门氏菌、志贺(氏)杆菌属和霍乱弧菌进行了研究。他发现可以将沼气分解发酵过程分为不连续的酸化过程和甲烷发生过程,在发酵池中,除了可以分离到酸化细菌外,其它病原体则无法存活。(虽然尚未得到实验证实,但生物消化过程可能无法破坏引起疯牛病的蛋白质感染颗粒。但在非洲,患疯牛病的危险较低,因为大多数牛是自然放养的,没有喂饲牛类蛋白。)

AGAMA 能源公司是位于南非Cape Town的一家新能源公司, Greg Austin 是该公司的主管,他说道:一旦人们看到沼气发酵装置的正常运转和受到卫生方面的培训(如操作过程中注意洗手)后,他们会意识到操作该装置的健康风险相对很小。Austin 本人就在农村地区安装了数部沼气发生装置。

#### 具体的应用

除上述卫生问题的担忧外,在发展中国家,沼气的使用在很大程度上取决于政策、经济、后勤和社会因素。另外,直接的观察和经验也是推动沼气应用的重要条件。“厌氧发酵技术看起来似乎很复杂,但事实上它非常简单”,农艺工程师 Paul Harris 在澳大利亚阿德莱德大学说道,“因为它看起来复杂,所以人们认为使用这一技术既困难又昂贵,但它落户在世界数千个农村地区这一事实证明了这种想法是错误的。”

据一篇发表在1999年7月的《乡村发展的家畜研究》(Livestock Research for Rural Development)的文章介绍道,1982年,坦桑尼亚推广的混凝土-钢制沼气发酵装置,单个价值为1400美元,到1991年,全国仅有200台装置。这篇文章的作者 Innocent Rutamu 是坦桑尼亚坦噶牛农场发展项目的官员,他测试了价值仅为50美元的塑料沼气装置。在对坦噶地区72家农场的调查中,他发现只有一半的人听说可以用牛粪制造沼气,但还没人

使用沼气发生装置。四分之三的人以为沼气发酵装置较为昂贵,但大多数人可以轻松支付建造沼气发酵装置(50美元)的一半费用。差不多所有的人都不希望在雨季收集木柴,也不希望在收集木柴时,冒着被蛇和荆棘伤害的危险。Rutamu 的团队在几个村落安装了46个塑料沼气发酵装置,在这些设备运行5个月之后,被调查者说他们每天的家务劳动时间平均减少了5小时。

在非洲的一些地方,稍大型的沼气发酵装置运行也很成功。据2005年6月30日BBC的报道,在卢旺达5个最大的监狱中,生物发酵装置负责提供半数以上监狱厨房的燃气需求。卢旺达报纸《新时代》在2005年11月30日的一篇文章称:基加利的科学研究与技术研究院计划在2009年底前,将在imidugudu人定居点安装1500台沼气发酵装置,该村庄是上世纪九十年代中期种族屠杀后,卢旺达人回迁的新居住地。

Harris 说,全球其它地区,沼气也得到一定程度的利用。几年前,尼泊尔就庆祝了一万台沼气装置的建成使用;越南则有数以千计的聚乙烯沼气装置在运行;在中国和印度也有大量的沼气装置。

在已有成熟的电力网地区,较难推行使用简单的沼气发酵装置,因为与水力、煤炭发电相比,沼气转化为能源的比例较低。同样,在大型的农场和牛奶场,需要处理动物和农作物产生的堆积如山的粪便和垃圾。俄勒冈州能源署再生能源部的专家 Mark Kendall 说:在成熟的市场经济条件下,能源公司都在寻找将100%生物能转化为能源的方法。据加州大学戴维斯分校生物与农艺工程系2003年的一份报告《固体废物转化:评估现有和新兴的技术》(Solid Waste Conversion: A Review and Database of Current and Emerging Technologies)称,单一使用沼气的能量转换效率只有10%或更低,与之相比,不可再生能源——天然气的能量转换效率为55%,但 Austin 认为,

这一数据取决于转换技术与转换能量的形式(如热能或电能),当使用热与动力相结合的结构时,生物发酵装置的效率可达88%。

尽管如此,沼气如果直接用于使用天然气为燃料的发动机或作为汽油替代品的运输用燃料,都显得太脏,因为沼气还含有硫化物和其它杂质。在许多非洲国家,与天然气相比,瓶装石油液化气的使用更为广泛,因为这些地区缺乏基础设施与较大的市场需求来引导在供气管网系统方面的投资。沼气不易瓶装化处理,所以只能就近使用。

#### 有利的一面

或许在非洲的亚-撒哈拉沙漠地区,基础的沼气技术会受到一定的限制,但同样在这些地区,沼气会带来很大的改变。Austin 说,在这些环境中,可运行15~20年的沼气发酵装置的费用要低于太阳能电力系统和架设传统电网系统的花费。

在非洲,沼气技术的推广还有很大余地。一份 AGAMA 能源报告估计,在南非有40万家庭拥有2头或更多的牛,但却没有电,这些家庭可以使用沼气发酵装置。这份报告还注意到,南非有45%的学校没有电,66%的学校只有简陋的卫生设施,27%的学校缺乏洁净的饮水,12%的没有任何卫生设施。沼气装置可以有助于解决上述问题。

据《再生能源2005》的数据,从1971年到2002年间,全球的能源需求量增加了将近一倍。无论是发达国家还是发展中国家,都面临因人口膨胀造成垃圾剧增和不可再生能源枯竭日趋迫近的双重压力。对洁净、可再生资源的需要,对发展中国家来说尤为迫切。本文提及的沼气发生技术,对解决当地能源需求和有利于人与生态环境的健康都是一个极好的解决办法。在全球能源选择余地渐小的情况下,通过政策提案和新技术的发展,沼气的进一步推广使用将成为一个耀眼的亮点。

-Valerie J. Brown

译自 EHP 114:A300-A303 (2006)

#### 参 考 读 物

- Adeyemo OK. 2002. Unhygienic operation of a city abattoir in south western Nigeria: environmental implication. Afr J Environ Assess Manag. 4(1):23-28.
- Flavin C, Aeck M. 2005. Energy for Development: The Potential Role of Renewable Energy in Meeting the Millennium Development Goals. Washington, DC: Worldwatch Institute.
- Intergovernmental Authority on Development. Biogas digesters [website]. Available: <http://igadrhep.energyprojects.net/Links/Profiles/Biogas/Biogas.htm>.
- REN21 Renewable Energy Policy Network. 2005. Renewables 2005: Global Status Report. Washington, DC: Worldwatch Institute.