



生物质能源 沼气发电



沈剑山 主编



中国轻工业出版社

生物质能源沼气发电

沈剑山 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质能源沼气发电/沈剑山主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2009. 3

ISBN 978-7-5019-6845-9

I. 生… II. 沈… III. 生物质能源-应用-沼气发电
IV. TM611. 25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 014493 号

责任编辑: 江 娟

策划编辑: 涂润林 江 娟 责任终审: 劳国强 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王培燕 责任校对: 燕 杰 责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 15

字 数: 302 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6845-9 定价: 34.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119845 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

81443K1X101ZBW

本书编写人员名单

主 编 沈剑山

副 主 编 颜晓英 金树人 易金清

参编人员 张朝军 田 琦 马 磊 贺少君 易建和
蒋宏华 黄国华 李皓桢 何曦阳 奚文婷
王 婷 李祖华

序

随着大规模工业化与农业产业化发展，石油、煤炭等不可再生能源的日益短缺，人类文明生活的废弃物与环境矛盾日益加剧，充分利用人类生活各种废弃物，创造新型清洁能源，已经成为现代科学与文明发展的一个重要课题。

自然界里各种生物，通过各种光合作用，将太阳能转化为化学能固定在生物体内，这样储存的生物能量，可以通过各种形式释放出来，形成自然界中可不断再生的能源。沼气是各种生物质能源中一种使用方便、清洁而且适于各种用途的一种重要能源。沼气的利用，特别是用于清洁发电，可以将自然界中各种废弃生物体有机物，变为适于人类现代生活的重要能源，对于创造清洁、环保、和谐与可循环的自然环境，具有重大意义。

广东东莞康达新能源科技有限公司（以下简称康达公司）多年来从事生物质能源利用与研究开发，在工业废水发酵产沼气、城市垃圾沼气利用及沼气发电方面，积累了重要经验。多年来，康达公司领导与技术人员在董事长沈剑山的领导下，足迹遍布国内外，深入生产实践，对各种生物质能源做了大量的调查研究，并且对国外的先进技术做了大量消化吸收工作。作者深知，环境保护、生物质能源的充分利用，是一件关系人类千秋万代的大事，要在我国实现有机废弃物的全面综合利用，保护人类享有清洁和谐的环境，必须在全国干部、知识分子与工人、农民中全面普及生物质能源的知识，让更多的人掌握生物质能源清洁利用的手段。为此，康达公司的科技人员在总结与学习国内外生物质能源沼气利用，特别是沼气发电的基础上，结合我国的实际情况，编写成此书。

本书重点介绍国内外生物质能源沼气的生产与利用，以及生物质能源沼气发电的理论与实践，为我国关注环境保护的科技人员、生产工人、农民、大专院校师生、各行业的行政管理人员及领导干部，提供了一本理论与实践相结合的参考书。

书中对各种生物质能源沼气的产生，特别是沼气的精制与发电，有较详细的论述，还介绍了各种沼气发电机组的型号及性能，可供建设生物质能源沼气发电项目的工程技术人员参考。

环境问题已经日益成为我国经济发展的重要课题之一，本书介绍的利用城市垃圾、工业废弃物沼气发电等变废为宝的实例，将为我们在发展经济的同时，建设清洁和谐的环境提供一个崭新的思路。从这个意义上说，本书对从事社会科学研究的也有一定的参考价值。

我国作为世界上人口最多、土地与环境资源相对短缺的国家，正面临着经济

发展与清洁环境的重大矛盾。经济要发展，环境要保护，人民要富裕，国家要富强，解决这些矛盾，要依靠科学，依靠科学技术与工农产业的结合，作者在这方面所做的努力，反映了作者对社会的重大责任感。

感谢康达公司的员工对我国环保与生物质能源事业所做的不懈努力，同时希望本书的出版，将对我国的生物质能源利用与环境保护起到促进作用。

中国沼气学会理事长
农业部原环保能源司司长

王锡吾

前 言

生物质能源是指自然界中各种绿色植物通过叶绿素的光合作用，将太阳能转化为化学能固定在生物体内的一种能源。这种生物能量可以通过各种形式释放出来，是自然界中可不断再生的能源。沼气是各种有机物在隔绝空气时，在一定的湿度、浓度、酸碱度条件下，经过各类厌氧微生物的分解代谢而产生的一种可燃性气体。它是各种生物质能源中一种使用方便、清洁而且适于各种用途的重要能源。沼气的利用，特别是用于清洁发电，可以将自然界中各种废弃生物体有机物，变为适于人类现代生活的重要能源，对于创建清洁、环保、和谐与可循环的自然环境，具有重大意义。

为促进我国生物质能源，特别是废弃生物质制沼气的能源利用，我们编写了本书，以向国内广大从事食品与农产品加工业的工程技术人员、环保工作者、城市环境管理者以及在缺乏能源的农村工作的技术人员提供一本理论与实践相结合的专业书籍。

本书主要分为五个部分，前两部分介绍了沼气的性质与发生、收集；第三、四部分重点介绍利用沼气发电以及沼气发电机组的选型及维护；第五部分讨论了各种生物质能源沼气利用的评价与发展前景；最后附录了我国政府对发展生物质能源的有关政策、国际清洁发展机制（CDM）建构计划以及可再生能源法，可供有关进行沼气发电项目执行人员做决策或建设参考。

生物质能源的利用是国家能源政策的一个重要组成部分，沼气与沼气发电仅是其中的一个内容，我们希望本书的出版，能对生物质能源的利用产生积极的效果。本书编写过程中，参考了中国能源网、《能源思考》月刊关于能源战略的重要思路，并在沼气发电领域内具体化。

本书是在广东东莞康达新能源科技有限公司董事长沈剑山的主持下，由本公司部分科技人员合作编写而成。在编写过程中，得到康达机电工程有限公司有关领导和中国淀粉工业协会、中国淀粉工业协会糖醇专业委员会等单位的大力支持，在此表示感谢。

编者

2008. 12

目 录

第一章 沼气的来源与性质	1
第一节 沼气的来源	1
第二节 沼气的性质和用途	7
第二章 沼气的产生、收集及预处理	12
第一节 厌氧产沼气原理	12
第二节 废水厌氧处理产沼气	14
第三节 固体有机废物厌氧处理技术	24
第四节 厌氧消化沼气的收集	46
第五节 垃圾填埋场产气过程	48
第六节 填埋场气体的收集	49
第七节 沼气的预处理	51
第八节 沼气的提纯	59
第三章 沼气发电	67
第一节 概况	67
第二节 沼气发电的特点	73
第三节 垃圾填埋场沼气发电与楼宇冷热电三联供系统	77
第四节 垃圾填埋场沼气发电系统的优化配置	83
第五节 生物质沼气发电机组余热综合利用设备简介	91
第六节 并网发电	97
第四章 沼气发电设备与维修	101
第一节 内燃机基本知识	101
第二节 国产沼气发电机组	105
第三节 进口 OEM 沼气发电机组	110
第四节 原装进口沼气发电机组	125
第五节 机组选型需要考虑的问题	138
第六节 燃气发动机故障维修	141
第七节 燃气发动机的保养与维护	146
第五章 生物质能源沼气发电的前景	149
第一节 生物质能源的评价	149
第二节 秸秆沼气发电的生物质能源利用价值	161
第三节 蔬果废物厌氧消化生物反应器的运行	171

第四节 蓝藻的处理.....	176
附录一 国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）（摘要）	181
附录二 中华人民共和国可再生能源法（摘要）	187
附录三 国家发改委：我国应加快生物质能源的开发利用.....	191
附录四 国务院批转节能减排统计监测及考核实施方案和办法的通知.....	193
附录五 农村沼气能源标准.....	195
附录六 清洁发展机制（CDM）建构计划（摘要）	199
附录七 可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法.....	207
附录八 中华人民共和国农业行业标准——沼气 发电工程（征求意见稿）	210
附录九 能源计量单位近似换算系数.....	224
参考文献.....	226

第一章 沼气的来源与性质

沼气是各种有机物在隔绝空气时，保持一定的湿度、浓度、酸碱度等条件下，经过各类厌氧微生物的分解代谢而产生的一种可燃性气体。这种气体是一种可再生的生物质能源。所谓生物质能源是指自然界里各种绿色植物通过叶绿素的光合作用，将太阳能转化为化学能固定在生物体内的一种能源。所有生物质里都储存着以化学能存在的生物能量。沼气属于生物质能源，是自然界中可不断再生的能源，可以说是取之不尽、用之不竭的生物质能源。

第一节 沼气的来源

植物在水中或者沼泽等环境中会腐烂产生沼气，普遍存在于煤矿及地层中间的沼气，也称为天然气，其主要成分均为甲烷。公元前 1066 至公元前 771 年，我国西周《周易》一书在谈到一些自然界发生的现象时说：“象曰：‘泽中有火。’”这里的“泽”就是沼泽。“火井”是我国古代人们给天然气井的形象命名。根据现已发现的文字记载，在我国辽阔的土地上，北起长城内外，南到云贵高原，西至玉门关外，东临黄海之滨和中国台湾省，古代都曾发现过天然气，有的地方早在 2000 年前就钻凿了天然气井。

由于沼泽中的土壤含水量饱和造成缺氧环境，有机物在厌氧状态下降解会缓慢释放出沼气。1776 年发明电池的意大利物理学家 C. A. Volta (1745—1827) 在写给他友人的信中，叙述了发现甲烷的经过。他在意大利北部科摩 (Como) 湖中取得淤泥，用木棒搅动淤泥，让冒出的气泡通入倒转过来并充满水的瓶中，收集到一种气体。将此气体点燃时，火焰呈青蓝色，燃烧较慢，需要 10 ~ 12 倍体积的空气才会燃烧或爆炸，不同于氢气的燃烧。除了泥沼，海洋也是沼气的重要来源，它每年的沼气产生量占全球沼气排放量的 1% ~ 4%。有研究表明，海洋中沼气是磷酸甲基酯等有机物分解后的产物。此外，在污水沟、粪池和反刍动物瘤胃等厌氧环境中也会产生沼气。

1630 年，Van Helmont 首次发现在有机物腐烂过程中可以产生一种可燃气体，并且发现在动物肠道中也存在这种气体。Volta 认为这种可燃气体的产生量与可降解有机物的量有直接的联系。Humphry Davy 于 1808 年认定牛粪厌氧消化气体中存在甲烷气体。

虽然厌氧产沼气的现象很早就被人们发现，而有意识地利用有机物厌氧发酵生产沼气的技术却只有 100 多年的历史。

一、传统沼气池

沼气发酵是在没有硝酸盐、硫酸盐、氧气和光线的条件下，经过微生物氧化分解的作用，把复杂有机物中的碳素化合物彻底氧化分解成二氧化碳，一部分碳素彻底还原成甲烷的过程。我们可以人为地将秸秆、杂草、树叶、人畜粪便等有机废弃物投入到沼气池中，调节环境温度、湿度、酸度，隔绝空气，为有机物厌氧发酵创造适宜的条件，产生沼气供人们生活生产使用。

实际上，中国农村的沼气发酵就是典型的利用厌氧消化法处理农业废物获得能源的代表。我国农村沼气建设起步于 20 世纪 70 年代，初期主要以解决农村地区能源短缺为目标。20 世纪 80 年代中后期，随着农村经济的发展，农村能源短缺的矛盾得到缓解，为满足广大农民对清洁、方便和低成本能源的需求，沼气建设进入第二个发展阶段，以燃料改进和优质化能源开发为主要目标。

20 世纪 90 年代后，在广大农民积极参与和自主创新的推动下，沼气技术与农业生产技术紧密结合，形成了以南方“猪-沼-果（菜、稻、茶、渔）”和北方“四位一体”（猪-沼-菜-厕，即猪舍、沼气池、日光温室和厕所结合为一体）为代表的能源生态模式，沼气建设随之突破传统的燃料生产、供应领域，进入农村经济建设主战场。在 1995 年之后，进入了第三个发展阶段，其标志是“生态家园工程”和“能源环境工程”等示范项目的开展，将沼气建设与农户住宅、厨房、厕所、畜舍、庭院环境卫生等结合起来，促进农户生产与生活、农田与庭院的紧密联系和良性循环，以期达到家居温暖清洁化、庭院经济高效化和农业生产无害化。

2003 年的农村沼气国债资金建设项目涉及 540 个县，占全国县级行政区域的 1/5，按照这个发展趋势，农村沼气建设将在几年内普及全国大部分地区。截至 2006 年底农村户用沼气池已超过 1800 万口，预计到“十一五”末期，我国农村沼气池数量将达到 5000 万口。

二、高效厌氧消化

同传统的沼气池发酵产沼气相比，现代高效厌氧消化工艺对有机质的利用率、产沼率较高，并且产气速度快，有更广阔的工程应用前景，能更好地利用污水与有机垃圾制造可再生能源。高效厌氧消化的原料包括高浓度有机废水以及城市污水处理产生的污泥。高浓度有机废水主要包括养殖场废水以及啤酒、酒精、柠檬酸、味精、制糖、淀粉、食品和化工等行业所排放的工业废水。高浓度有机废水因其有机物含量高而多采用厌氧生物法进行处理，废水经过厌氧微生物的作用，其中大量的有机质被微生物利用转化成为沼气。厌氧消化的主要对象如下：

（1）工业废水 厌氧处理适用于有机物浓度较高的工业废水，例如发酵废水、淀粉废水、食品废水、纺织印染废水、抗菌素废水、中药废水、酱品废水、

含油废水、有机磷农药废水、造纸废水、制革废水等，同时也适用于生活污水以及稀释的工业废水等低浓度有机废水。截至 2003 年底，全国工业有机废水共建成 600 个沼气工程，厌氧池总容积 150 万 m^3 ，年处理有机废水约 1.5 亿 t，仅占应处理总量的 4%，年产沼气 10 亿 m^3 。这些工程主要分布在山东、四川、江苏等 18 个省市区，其中山东 105 处，占 25.9%。

(2) 城市有机垃圾 根据 De Baere 的资料，欧洲固体垃圾总的厌氧处理量由 1990 年的 12 万 t/年发展到 2000 年的 100 万 t/年以上，增长了 8.2 倍。欧洲的有机垃圾量已有 1/4 是经厌氧处理的，而且发展速度逐年增大，1990—1995 年的发展速度为 3 万 t/年，1996—2000 年为 15 万 t/年。在中国，随着人们生活水平的提高，所排出的固体垃圾中，有机垃圾的比例不断提高，这部分有机垃圾可以进行生物处理，包括好氧堆肥和厌氧消化。目前国内尚未进行分类收集，城市生活垃圾的成分复杂，有机成分和其它成分混杂在一起，若采用好氧堆肥，很难获得高质量的肥料，而以厌氧消化作为获得沼气的工艺，对于混合收集的城市生活垃圾来说，是一种更合适的处理方法。

(3) 污水污泥 我国早就对城市污水处理率提出了明确的要求，截至 2005 年底，中国城市污水处理率已达 52%，比 2000 年提高 18 个百分点，其中 135 个城市的污水处理率已达到或接近 70%。根据《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》，建设部提出，到 2010 年，全国城市和县城均应规划建设污水集中处理设施，城市的污水处理率不低于 70%。

在废水的处理中，通常要截留相当数量的悬浮物质，这些物质与水的混合体叫污泥。污泥中含有大量的有毒有害物质，如寄生虫卵、病原微生物、细菌、合成有机物及重金属离子，还含有各种植物营养素、有机物及水分等。污泥易于腐化发臭，颗粒较细，因此污泥需要及时处理，以确保污水处理厂正常运行，有害及发臭物质得到妥善处理或稳定，避免对环境造成二次污染。污泥的含水率较高，初沉池污泥的含水率为 95% ~ 97%，而剩余活性污泥的含水率高达 99% 以上，并且不易脱水，若进行焚烧，污泥中的大量水分则会影响燃烧效率；若直接进行填埋，则会增加后续渗滤液的处理量和处理难度。据估算，截至 2004 年，我国城市污水处理厂每年排放的污泥量（干重）大约为 130 万 t，年增长率大于 10%。

在污泥的处理中，厌氧消化是较为普遍的一种稳定化工艺。污泥通过厌氧消化，会使污泥的体积减小为原来的 1/2 ~ 2/3，污泥脱水效果提高，水分与固体易于分离，稳定性增强，无明显的恶臭，有毒细菌减少。目前世界各国在污泥处理的领域仍以污泥厌氧消化工艺为主，厌氧消化工艺是在 20 世纪 40 ~ 50 年代开发的成熟的污泥处理工艺，英国在 1977 年调查的 98 个城市污水处理厂中有 73 个建有污泥消化池，美国建有污泥消化池的污水处理厂总数为 4286 个，欧美各国多数污水处理厂都建有污泥消化池。

(4) 农村秸秆 我国是农业生产大国, 秸秆的分布广, 产量大, 根据我国主要农作物产量和谷草比计算, 2004 年我国秸秆产量约为 6 亿 t, 其中以稻草、玉米秸秆、麦秸秆为主, 占秸秆总量的 77.2%。近年来随着人民生活水平的提高, 使用商品能源的农村人口逐渐增加, 我国农村能源结构正在逐渐发生变化, 秸秆利用率呈明显降低的趋势, 在麦收和秋收季节, 出现了田间直接焚烧秸秆的现象。大量秸秆的露天燃烧, 不仅浪费了这部分资源, 还导致了 CO_2 、 SO_2 等气体的排放, 污染了空气。除燃烧外, 目前秸秆的处理方式主要有还田、饲料化、气化、固化、炭化以及制取化学品, 如乙醇等。

秸秆中含有丰富的有机质和氮、磷、钾等, 可以作为肥料直接还田, 简单易行, 适用范围广。秸秆还田利用可增加土壤有机质和速效养分含量, 培肥地力, 缓解氮、磷、钾比例失调的矛盾, 并可改良土壤结构, 使土壤容重下降, 孔隙度增加, 更加有利于涵养水分。同时, 秸秆还田还为土壤微生物提供了充分的碳源, 促进微生物的生长、繁殖, 提高土壤的生物活性。秸秆覆盖地面, 干旱期可减少土壤水分的地面蒸发量, 保持耕田的蓄水量; 雨季可缓冲雨水对土壤的侵蚀, 抑制杂草生长, 改善地-空热交换状况。此外, 秸秆还田还可以降低病虫害的发病率, 减轻土壤盐碱度, 增加作物的产量, 提高作物的品质, 优化农田生态环境。秸秆还田增产的机理主要是养分效应、改良土壤效应和农田环境优化效应。

秸秆还可以进行气化处理, 即在有限供氧条件下产生可燃气体的热化学转化。植物纤维性废弃物由碳、氢、氧等元素和灰分组成, 当它们被点燃时, 供应少量空气, 并且采取措施控制其反应过程, 使其变成 CO 、 CH_4 、 H_2 等可燃气, 生物质中大部分能量都被转化到气体中。气化后的可燃气体可作为锅炉燃料与煤混燃, 也可作为管道气为城乡居民集中供气。将气化后的可燃气体经过净化除尘与内燃机连用, 可取代汽油或柴油, 实现能量系统的高效利用。

以植物纤维性废弃物为原料制取化学制品, 也是综合利用秸秆、提高其附加值的有效方法。利用秸秆作为制取酒精的原料, 开辟了农业废弃物利用的新途径。酒精可以通过糖、淀粉和纤维素的生物质发酵过程得到, 但以秸秆作为原料生产酒精的技术难度就大多了, 主要的解决方法是对作物秸秆进行各种处理以提高纤维素酶的水解效率, 国内外在此方面进行了大量研究, 但是技术上还是存在很大的难度。

另外, 还可以采用固化技术和炭化技术处理秸秆。固化技术就是将秸秆粉碎, 用机械的方法在一定的压力下挤压成型, 这种技术能提高能源密度, 改善燃烧特性, 实现优质能源转化。炭化技术就是利用炭化炉将生物质压块进一步加工处理, 生产出可供烧烤等使用的木炭。经固体成型的燃料具有易着火、使用方便、燃烧效率高等特点, 而且造成的环境污染相对较小。

但是上述方法并不能解决现存的秸秆问题, 原因归纳为以下几方面: ① 农

业普遍增收之后,农作物秸秆越来越多,但综合利用滞后,秸秆过剩;②随着农民收入增加、生活水平不断提高,农民宁愿增用化肥和燃煤,而少用秸秆作肥料和燃料;③由于农作物复种指数提高,特别是近几年小麦机收面积扩大,麦秸留茬过高,灭茬机械和免耕播种技术推广没有跟上,造成农民为赶农时放火焚烧秸秆和留茬;④气化、固化和炭化的技术水平还处于初级阶段,小型设备比较成熟,但气化装置质量较差,大型气化技术与国际水平有一定的差距,大面积推广的成本较高,涉及秸秆气化炉、净化装置的性能、质量、燃气的安全使用、环境污染等方面的问题还需下大力气进一步研究解决;⑤通过秸秆生产燃料酒精,首先要将秸秆的纤维素、半纤维素,经降解生成葡萄糖与木糖,进而生产酒精,存在的关键技术瓶颈包括缺乏有效的秸秆类植物生物物质预处理技术,纤维素降解为葡萄糖的酶成本过高,以及缺乏高转化率利用戊糖、己糖生产酒精的微生物菌种等。厌氧消化则是对秸秆进行处理并综合利用的较好方式,该种方式不存在以上各种问题,而且设备较简单,容易推广。

(5) 畜禽粪便 随着养殖业的快速发展,我国畜禽粪便产生量很大,1999年全国畜禽粪便产生总量约为19亿t,预计到2020年,全国畜禽粪便产生总量达到120亿t。根据研究估计,2000年我国畜禽粪便主要污染物COD、BOD₅、NH₃-N、TP、TN的流失量分别为797.31万t、580.87万t、155.88万t、46.76万t和407.14万t。1999年全国工业废水的COD排放总量为691.74万t,生活污水COD排放量为697万t,则畜禽养殖的COD排放量已超过全国工业废水和生活污水的COD排放量。

畜禽粪便中含有大量畜禽饲料中没有被转化的有机质,以及氮、磷、钾等营养元素。由于大量添加钙、磷等矿物元素以及铜、铁、锌、锰、钴、硒和碘等微量元素,未被吸收的过量矿物元素又随畜禽粪便排出。因此,畜禽粪便所含营养丰富,资源化利用的潜力巨大。由于畜禽高度密集,养殖场内潮湿,粪便和草料会散发出恶臭气,若粪便直接进入地表水体,导致河流严重污染,水体富营养化,会导致供水中的硝酸盐含量及其它各项指标严重超标,其对水体的危害程度不亚于工业废水。畜禽废水还会引起传染病和寄生虫病的蔓延,传播人畜共患病,直接危害人的健康。如果不加处理地任意堆放畜禽粪便,会危害环境,造成恶臭熏天、蚊蝇滋生、细菌繁殖、传播疾病,严重影响周围居民的工作和生活。为了减少养殖业对农村环境的污染,对畜禽粪便污水的无害化处理显得尤为重要。养殖场产生的粪便可以采用好氧堆肥的方式,这种方式很难得到高质量的肥料,而且好氧堆肥需要大量能源输入。将养殖粪便污水经过发酵处理,可以显著降低废水中有机质的含量,改善排放废水的水质。

近年来,养殖场粪便处理沼气工程在我国得到了快速发展。根据农业部统计,到2004年底,全国有农业养殖场大中型沼气工程2492处,总池容222.2万m³,产气0.89亿m³,分布在全国24个省市,其中福建、浙江、江西、湖南

等四省均超过了 200 座。

(6) 餐厨垃圾 餐厨垃圾是指餐饮单位在日常营业和家庭在生活过程中所产生的食品垃圾,是城镇有机垃圾的主要组成部分之一,它包括食物加工下脚料(厨余垃圾)和食用残余(餐余垃圾,俗称泔水、潲水)。其成分复杂,包括食用油、蔬菜、果皮、果核、米面、肉食、骨头等,此外还包括有少量的废餐具、牙签及餐纸。餐厨垃圾以淀粉、食物纤维类、蛋白质、脂类等有机物质为主要成分,同时也含有无机盐类,具有高油脂、高盐分、高水分、高有机质含量以及易腐发臭、易酸化、易生物降解等特点。据估计,2000 年我国厨余垃圾产生量为 4500 万 t,同时,我国的垃圾产生量以每年约 10% 的速度递增,年新增厨余垃圾达 500 万 t。目前,我国仅泔脚产生量就超过 20000t/d,而北京、上海、重庆等地餐厨垃圾日产量均超过了 1000t。大量餐厨垃圾给城市环境造成了巨大的压力,会引起一系列严重的污染问题,并造成资源的浪费。目前我国最普遍的处理方式是混在普通垃圾中填埋处置或者直接运到农场喂猪,还没有建立健全的餐厨垃圾处理管理体系,也缺乏相应的管理政策和适宜的处理技术。

若直接填埋,餐厨垃圾的高含水率会导致渗滤液水量增大。若进行堆肥处理,高含水率也会影响垃圾堆体的温度升高而造成堆肥达不到卫生稳定效果,导致堆肥质量不达标。直接作为饲料喂猪的后果更加严重,这样会导致生物链的缩短,使得病菌滋生,重金属大量累积在生物体内,人若吃了“泔水猪”会存在重大的安全隐患。

我国尚未形成针对餐厨垃圾的成熟处理工艺,综合比较来说,厌氧消化具有明显的优势。餐厨垃圾含水率高,采用湿式厌氧消化技术几乎不用调节其含水率,反应过程不需要氧气的供给,餐厨垃圾中的大量有机物质通过厌氧消化过程可以转化为沼气,实现了清洁能源的回收利用。发酵沼液、沼渣营养丰富均衡,可作为良好的有机肥料。从整体处理过程来看,厌氧发酵对环境造成的负面影响较小。

三、垃圾填埋场

随着城市化的进程不断加快,人们向环境中排放了越来越多的垃圾。垃圾的不合理处置会产生一系列的影响:严重危害城市环境,破坏城市景观,传播疾病,威胁人类的生命安全等。近十几年来,我国城市垃圾产生量大幅度增加,1979 年以来,我国的城市垃圾平均以每年 8.98% 的速度增长,少数城市如北京的增长率达 15% ~ 20%,与日俱增的生活垃圾已成为困扰经济发展和环境治理的重大问题。

垃圾填埋场以其适用性强、处置效果好成为当今世界广泛应用的一种城市垃圾处置方式,垃圾填埋场根据内部环境的不同分为好氧型填埋场、准好氧型填埋场和厌氧型填埋场。因为厌氧填埋具有操作简单、投资少等优点,大多数填埋场

都采用厌氧方式进行填埋。城市垃圾在经过填埋压实之后,垃圾体内部有少量空气,经过一段时间,氧气被微生物耗尽,填埋场内处于缺氧甚至厌氧状态。由于填埋场内垃圾大部分是城市生活垃圾,有机成分比例较高,这些有机成分在厌氧环境中,经厌氧微生物的作用就会产生沼气。2006年,我国城市生活垃圾填埋场324座,年填埋处理量约为6400万t,占全国城市生活垃圾清运总量的43.2%。

第二节 沼气的性质和用途

一、沼气的成分

沼气是一种混合气体,根据发酵原料以及发酵时间的不同,气体成分有所差异,但是其主要成分都是甲烷和二氧化碳。在正常稳定产气阶段,甲烷占总气体体积的50%~70%,二氧化碳占30%~50%。除此以外,沼气中含有少量的水蒸气、硫化氢、氢气、一氧化碳、氨气、磷化氢、碳氢化合物、氮气、氧气和甲硫醇等,另外还含有少量的颗粒状杂质。甲烷、氢气和一氧化碳是可燃性气体。下面介绍主要气体成分的理化性质以及危害性。

(1) 甲烷 甲烷是最简单的有机化合物,分子式 CH_4 ,无色、无味、无臭气体;标准状况下,密度 0.707g/L ,对空气的相对密度是0.554;难溶于水,20℃时在水中溶解度为 0.0024g/L ,可溶于醇、乙醚;甲烷熔点 -182.5°C ,沸点 -161.5°C ,着火点约为 630°C ,液化比较困难;甲烷化学性质比较稳定,跟强酸、强碱或强氧化剂(如 KMnO_4)等一般不起反应;甲烷热值为 35.9MJ/m^3 ,充分燃烧时发出淡蓝色火焰,温度可达 1400°C 以上,产物为二氧化碳和水。

甲烷对人基本无毒,但浓度过高时,使空气中氧含量明显降低,使人窒息。当空气中甲烷达25%~30%时,可引起头痛、头晕、乏力、注意力不集中、呼吸和心跳加速;甲烷和空气成适当比例的混合物,遇火花会发生爆炸,爆炸范围为5%~15%(以体积分数计)。

(2) 二氧化碳 为无色无味的酸性气体,分子式 CO_2 ;标准状况下,密度 1.977g/L ;易溶于水,25℃时溶解度为 0.144g/L ;20℃时,将二氧化碳加压到5730kPa即可变成无色液体,可压缩在钢瓶中存放,在 -56.6°C 、527kPa时变为固体。液态二氧化碳减压迅速蒸发时,一部分气化吸热,另一部分骤冷变成雪状固体,将雪状固体压缩,成为冰状固体,俗称“干冰”;二氧化碳不可燃,不助燃。

二氧化碳无毒,但不能供给动物呼吸,是一种窒息性气体。在空气中通常含量为0.03%(体积),若含量达到10%时,就会使人呼吸逐渐停止,最后窒息死亡。枯井、地窖、地洞底部一般二氧化碳的浓度较高,所以在进入之前,应先用灯火试验,如灯火熄灭或燃烧减弱,就不能贸然进入,以免发生危险。

(3) 硫化氢 分子式 H_2S ，为酸性有毒气体，具有强烈的臭鸡蛋气味；易溶于水，常温时，硫化氢的溶解度为 $3.864g/L$ ；硫化氢可燃，燃烧时火焰呈蓝色，燃烧产物为二氧化硫和水。

硫化氢是一种神经毒剂，也为窒息性和刺激性气体，主要作用于中枢神经系统和呼吸系统。当硫化氢浓度超过 0.02% 时，可引起头痛、乏力、失明等。一般沼气中含千分之几的硫化氢。硫化氢溶于水之后形成硫酸，是一种弱酸，对沼气输送管道及其它机械设备有腐蚀性，在对沼气进行利用之前，一般要在预处理阶段去除硫化氢气体。

(4) 氢气 氢气是一种无色、无味、无毒的气体，密度约为空气的 7% ，在空气中的扩散速度最快。氢气熔点 $-259^\circ C$ ，沸点 $-253^\circ C$ ，在水中溶解度很小。纯净的氢气会在氧气或空气中平静地燃烧，但氢气和氧气或空气的混合物遇火会发生爆炸。

(5) 一氧化碳 无色无臭气体，不易溶于水，也不和酸碱反应。一氧化碳具有夺取生物组织中的氧而生成二氧化碳的特性，当空气中一氧化碳含量达到 0.1% 时，就会使人中毒，以致死亡。对一氧化碳的毒性，有关工业规定，空气中的含量不得超过 $0.02mol/L$ 。一氧化碳能燃烧，火焰呈蓝色，燃烧产物为二氧化碳。

二、沼气的物理性质

沼气是一种无色气体，略有气味，是因为其中含有少量硫化氢以及甲硫醇等恶臭气体。

(1) 密度和相对密度 沼气的密度是指单位体积沼气的质量，通常单位为 g/L 和 kg/m^3 。沼气密度可以利用沼气中各单一组分的密度来计算。 ρ_0 为沼气密度， ρ_i 为沼气中第 i 种组分的密度， x_i 为该组分所占的体积分数，则沼气的密度为：

$$\rho_0 = \sum \rho_i x_i \quad (1-1)$$

沼气的相对密度是指沼气的密度和空气的密度之比，以 γ 表示：

$$\gamma = \rho_0 / 1.293 \quad (1-2)$$

沼气的相对密度随着沼气中二氧化碳含量变化而变化，当二氧化碳含量达到 59% 时，沼气的 γ 大于 1 ，此时的沼气密度大于空气，泄漏后不易扩散；但是，正常稳定生产的沼气中二氧化碳含量一般小于 40% ，较易扩散。

(2) 绝对湿度和相对湿度 沼气中一般都含有不同程度的水蒸气，尤其是高温、中温发酵时沼气中水蒸气的含量较多。沼气中实际水蒸气的含量可以用沼气的绝对湿度来表示，绝对湿度是单位体积的湿气体中所含水蒸气的质量，通常单位为 g/m^3 。将沼气作为理想气体看待，设 D 为沼气的绝对湿度， V 为沼气的体积， m 为沼气中水蒸气的质量，则：