

# 沼气工程产品高值化利用科学技术普及模式研究

张晓川<sup>1</sup>，周磊<sup>2</sup>

(1.青岛汇君环境能源工程有限公司山东青岛266101；2.中国科协培训和人才服务中心北京100081)

**摘要：**随着沼气工程规模化和商业化发展，沼气工程项目持续盈利能力不强成为阻碍沼气行业良性发展的主要因素。文章通过分析沼气的三种主要产品：沼气、沼渣、沼液，结合国内外“三沼”产品的利用发展情况，探讨提出适宜我国国情的“三沼”高值化利用科学技术普及模式，以促进我国沼气产业快速发展。

## 1引言

中国是世界上沼气市场潜力最大的国家之一，但当前沼气产业的实际情况是：沼气发电难以上网，产出的热量因目前基础设施配套不完善往往难以有效利用，本地建网供气由于标准低，与天然气管网不匹配，导致投资大、气源小且不稳定，难以形成规模效应，除沼气工程自用及所在企业自用外，难以找到有价值的商业渠道；沼渣、沼液用作肥料看起来容易，但是实际真正有效利用和实现盈利的项目甚少；沼液消纳的问题仍然困扰沼气工程业主，尤其是特大型沼气工程业主。这与我国沼气规模小、原料分散难收集、运营成本高、产品市场开发不力、产品缺乏扶持政策等诸多因素相关。因此，探索构建适合我国国情的沼气产品价值链是促进我国沼气产业快速发展的有效途径。

## 2沼气高值化利用技术

### 2.1沼气国外利用现状与技术发展方向

我国目前对沼气的商业化开发还处于起步阶段，沼气利用率普遍较低，缺乏引导及商业渠道，不少沼气工程仍采用自给自足、燃烧放空等低值化利用方式，导致能源、资源的极大浪费，沼气工程运营困难。因此，借鉴国外商业化起步早、发展成熟的国家经验，对探索适宜我国的沼气发展方向具有重要的借鉴意义。

在沼气商业化利用方面，目前德国和瑞典走在了行业的前列。瑞典是世界上最早把沼气净化提纯成车用天然气的国家，在1996年就开始利用沼气制取车用燃料。瑞典政府十分重视可再生能源的发展，承诺2020年后全面使用生物质燃料，放弃石油燃料，力争成为世界上第一个全面使用可再生能源的无油国。在沼气发展方面，由于瑞典沼气发电的竞争力与其他清洁能源相比较弱，因此主要选择的是沼气制取车用燃料的高值化商业模式。目前，瑞典1/4的公共汽车、斯德哥尔摩3/5的出租车使用的是压缩生物天然气能源，压缩生物天然气加气站遍布全国[1]。同时，瑞典政府对沼气使用实施一系列

的优惠政策，推动沼气产业发展。

例如，沼气作为车用燃气可以免征能源税和CO<sub>2</sub>

排放税，减收气体燃料的车辆使用税等；另外，购买生物燃气汽车可以享受政府购车补贴等[2]。德国是世界上沼气发展最快的国家，得益于2000年德国出台的《可再生能源法》，这是第一部关于可再生能源的专门法律[3]。德国约有97%的沼气工程为热电联产，从2011年起，德国的沼气利用方式开始由热电联产向制备生物天然气转变，用沼气制备管道天然气和车用压缩天然气，计划到2020年建成沼气工程1.2万个，沼气发电量占全国发电总量的7.5%，提纯沼气的量占到天然气总用量的20%[4]。政府的政策引导、企业的市场化运作、沼气的高值化利用，是促进德国、瑞典沼气产业快速发展的关键因素。德国沼气利用以热电联产为主，开始注重发展生物燃气；瑞典沼气则以生物燃气为重点发展方向，特别是车用压缩天然气；两国走出了各自不同的商业化发展之路。

### 2.2沼气高值化利用技术

结合国际沼气发展，以及我国国情现状和政策导向，现对我国沼气高值利用的产品分析如下。

1) 车用生物燃气。沼气经净化提纯后，完全满足国家对车用燃气的要求——《车用压缩天然气》(GB18047-2017)，可以用于汽车燃用，在实际工程案例中甚至优于化石天然气的性能。我国的基本国情是“富煤、贫油、少气”，天然气长期依赖进口，价格也相对较高。在天然气资源相对缺乏的地区，利用有机质资源生产沼气，再将沼气净化提纯制成车用燃气，可替代化石燃气，降低对化石燃气的依赖度，实现沼气的高值化利用。

2) 管道生物燃气。在现实中，一些大型沼气工程生产的沼气不仅量大且稳定，可将沼气净化提纯制成生物燃气，生物燃气性能指标可超过国家一类燃气标准——《天然气》(GB17820-2018)，燃气公司可将其接入自身官网，以补

充自身气源。在中国沿海发达地区，以及城镇和农村密集的地区，建设沼气工程配套净化提纯沼气具有经济可行性，沼气工程项目能够获得持续稳定的收益，可降低对进口天然气的依赖度。

3) 罐装生物燃气。将沼气净化提纯制成生物燃气后，加压进行罐装销售，供给无燃气管网覆盖或不具备铺设管网条件的区域，特别是农村或山区等。在实际操作中，也有很多沼气工程只将沼气净化脱硫，不进一步提纯，加压罐装销售，供给周边对热值要求较低的工厂、饭店以及居民使用，性价比高，可替代常用的液化石油气，在给沼气工程带来利润的同时，也降低了周边企业和居民使用成本。

4) 热电联产。沼气发电上网及热电联产在德国备受推崇，而过去我国沼气工程存在沼气发电上网难，企业自用等一系列问题。随着近几年国家一系列政策完善，沼气发电上网条件逐步放宽，同时，引导沼气发电全面向热电联产调整，热电联产项目优先纳网，享受相关上网补贴。热电联产不仅可以避免单一发电或供热，能源效益、经济效益低的问题，而且热电联产整体投入较低，对老旧项目改造小，可以快速推广，大幅提高沼气工程收益，尤其是在我国北方地区，可直接替代燃煤供热，减轻冬季大气污染，形成循环发展模式。

### 3 沼渣高值化利用技术

#### 3.1 沼渣利用现状与技术发展方向

沼渣的利用是建设循环农业的一个重要环节，也是沼气工程的重要建设内容。但实际情况却是，大量工程的沼渣未发挥出自身的经济效益，处置不当还会造成环境污染。目前，沼渣利用方式主要为肥料化利用、商品肥料开发、基质土、饲（饵）料和垫料等。肥料化利用主要集中在粮食作物、果蔬方面，利用过程中缺乏统一的标准。在商品肥料开发方面，将沼渣进行深度加工，提高肥效及附加价值，目前已有沼渣高效缓释肥、腐殖酸型复合肥等方面的研究与应用。沼渣基质分育苗基质和食用菌基质两类，育苗基质能满足育苗所需营养条件，且有效防止多种病害发生；将沼渣作为食用菌基质，不仅杂菌少，还适合食用菌生长。将沼渣制作成饲（饵）料，可用于水产养殖和畜禽养殖，也可用于蚯蚓、沙蚕等的养殖，进而生产高蛋白饵料，提高产品附加值。在垫料方面，已在规模化奶牛场进行利用。

除上述利用方式外，也有学者在烧结材料、生物质型煤、生物炭等方面进行研究，但尚未形成完整的体系，处于发展阶段[5]。为保证沼气行业持续发展和沼气工程稳定运行，需要持续进行沼渣利用的标准化研究、利用方式的多元化探索、对应装备的创新研发，以提高沼渣利用率，提升产品附加值，服务行业发展，打造循环农业模式。

#### 3.2 沼渣高值化利用技术

1) 沼肥产品。沼渣含有30%~50%的有机质，10%~20%的腐殖酸，0.8%~2.0%的全氮，0.4%~1.2%的全磷，0.6%~2.0%的全钾[6]，富含植物生长所需的微量元素和植物生长激素等，是优质有机肥料，可直接作为一种经济适用的沼肥产品快速推向周边农村使用，也可用于人工草坪、绿化带等市政园林绿化，在国外十分常见。

2) 商品肥料。结合国家倡导的有机肥替代化肥计划以及绿色种养模式，利用沼渣制取高品质商品肥料，可提高沼渣附加值。通过造粒工艺将沼渣制成有机-无机颗粒复混肥，使其兼备有机肥和无机肥的双重优势，养分更全面均衡且用途广泛[7]。参照《有机肥料》标准（NY/Y525-2021），调整沼渣成分，可生产有机肥料、添加菌剂等制备微生物肥料以及生产腐殖酸型有机复合肥等商品肥料[8]，增加沼渣的附加值，提升肥料质量，延长产品运距。

3) 沼渣养蚯蚓。利用沼渣养殖蚯蚓已经在工程项目上得到应用，取得不错的经济效益。有数据表明，将沼渣与田土混合制成蚓种培养土，用这种培养土养殖蚯蚓，可提高蚯蚓总产量，蚯蚓总产量分别是利用牛粪、杂菜叶和稻草与田土混合的1.16倍和1.43倍[9]，表现出较好的适宜性。养殖蚯蚓可以获得蚯蚓体及蚯蚓粪，现已有较成熟的应用途径[10]。由蚯蚓体制成的蚯蚓粉作为动物蛋白，已在人类营养和动物饲养业中得到越来越广泛的应用，用从蚯蚓体提取的蚓激酶生产治疗心脑血管疾病的药物在市场上普遍应用[11]。蚯蚓粪具有良好的保水性、透气性，可以让土壤形成团粒结构，有利于水肥保持、改良土壤性状。同时，蚯蚓粪富含营养物质，包括微生物、植物激素等，有利于植物生长，不烧苗，是优质的有机肥料。

4) 牛场垫料。将沼渣作为垫料已在规模化奶牛场进行利用，实现了沼渣再生循环利用并节约牛场经营成本。使用无害化沼渣垫料，可节约垫料成本62%以上，发病率降低31%[12]。同时，可以提升奶牛生产性能和乳品质量。目前，国内常见的奶牛卧床以沙子作为垫料，当新鲜粪便和沙子混合在一起后，会形成易堆积的混合物，难以用泵输送，而且堵塞沼气池。使用奶牛场粪污厌氧产生的沼渣制作牛卧床垫料，大大提高了牛卧床的舒适度。一方面，奶牛卧倒在沼渣垫料的时间和次数显著增加，卧倒时间增长了26%，卧倒次数增长了36.8%；另一方面，提升了奶牛生产性能和乳品质量，泌乳量提高了7.7%，乳脂率提高了0.01%，乳蛋白率提高了0.05%，实现了废弃物的循环利用，变废为宝

[13]。该模式适合在规模化牛场推广使用，大大提高了牛场经济效益。

## 4 沼液高值化利用技术

### 4.1 沼液利用现状及技术发展方向

如何利用和处理沼液是困扰沼气行业发展和建设单位运营的难题。特别是在大型沼气工程中，每天会产生大量的沼液，很多项目因建设地远离农村，或因种养空间分布不均等，导致无适宜消纳的土地，如不合理转化、利用，必将形成二次面源污染。大多数沼气工程的厌氧处理，很难使沼液达到排放标准。进一步生化处置，则会增加项目投资成本、运营费用，既造成企业负担过重，又造成大量肥料资源浪费。如果将沼液合理利用，不仅可以避免肥料资源的浪费，给企业创造经济价值，还有利于发展绿色种养循环农业。但如何解决沼液的运输、深加工以及降低生化处置成本的问题，是行业发展面临的主要问题。

目前，对沼液的研究与应用集中在肥料应用、生化处理、生物农药、浸种及微藻养殖等方面。从沼液处理技术来看，生化处理技术具有占地少、适应性广等特点，但实际应用成本较高、技术要求高，仍需要进一步改进解决；微藻处理工艺流程较短，后续可提供具有商业价值的产品，关注度逐渐提高。从沼液利用方面来看，肥料应用仍然是沼液利用技术的研究热点和主流应用技术；沼液浸种技术已较为成熟，但对沼液的使用量有限；沼液作为生物农药可替代化学农药，实现绿色生产，也是未来沼液研究及应用的热点之一[5]。

### 4.2 沼液高值化利用技术

1) 液态有机肥。沼液富含营养成分，具有良好的肥效，对沼液进行超滤浓缩等处理，可生产液态有机肥，将高科技、高附加值的液态有机肥在市场销售，不仅能创造经济价值，还能延长产品运距，解决周边消纳土地不够的问题。充分利用沼液营养全面、缓急相济、活性物质丰富、绿色生态等特点，生产冲施肥、叶面肥、液体花肥、无土栽培营养液等，施用于有机果蔬、经济作物以及花卉等，可替代国外进口的叶面肥、花肥等高端产品，在效率、成本等方面具有很强的竞争优势。

2) 生物农药。沼液被认为是无污染、无残毒、无抗药性的“生物农药”，沼液对近30种农作物病害具有防治作用，其中，对20多种病害的防治效果达到或超过了现行使用的农药。同时，沼液对19种虫害有明显的防治效果，对17种农作物病原菌有不同程度的抑制作用。沼液之所以具有如此优良的抗病防虫能力，是因为沼液中含有120多种组成成分，其中有20多种成分使沼液具有抗病防虫作用[14-15]。因此，可以有针对性地生产生物农药，减少化学农药使用，降低环境污染。

3) 土壤改良。我国约有1亿hm<sup>2</sup>盐碱地，从南到北，自东向西，分布广泛，存在较大的改造利用空间，蕴藏巨大的经济价值。沼液是一种速缓兼备的有机液体肥，施入沼液能够显著增加土壤有机质[16]，提升土壤营养成分含量，促进土壤团粒结构的形成，提高微生物活性，从而达到改良土壤的作用。研究表明，对甘肃盐碱地施用沼液后，土壤肥力显著提高，同时，改善了土壤的理化性质，降低了土壤pH；在滨海盐碱地中施用沼液后，改良了土壤性状，降低了土壤pH值、EC值，改善了土壤的酸碱度，进而提高或恢复了土壤的肥力[17]。可见，利用沼液进行盐碱地生态改造是可行的，不仅可以有效利用沼液资源，改良盐碱地，而且可以获得较好的经济效益，提升沼气工程资源化利用的价值。

## 5 结束语

随着国家乡村振兴战略的深入实施，以及碳中和目标的提出，打造绿色种养循环农业，发展绿色低碳可再生燃气成为重点，“三沼”利用（沼气能源化利用+沼渣沼液肥料化利用）的“能肥模式”将成为适宜中国沼气工程发展的模式和方向。“能肥模式”可就近解决粪污、秸秆等城乡有机废弃物，就近生产分布式清洁能源，保障县域燃气使用，缓解我国天然气紧缺的局面，降低进口依存度，保障能源安全。同时，沼气工程产生的沼渣、沼液可生产有机肥等，供农业生产使用，带动绿色种养循环农业的发展，一举多得，实现资源良性循环，社会、环境与经济效益的统一。

## 参考文献

[1]隋斌, 孟海波, 沈玉君, 等.丹麦和瑞典农业废弃物资源化利用调研报告[J].农业工程技术, 2018, 38(2): 3-5

[2]刘京, 刘志丹, 袁宪正.沼气生产及利用——瑞典经验[J].中国沼气, 2008, 26(6): 38-41

- [3]乔玮,李冰峰,董仁杰,等.德国沼气工程发展和能源政策分析[J].中国沼气,2016,34(3):74-80
- [4]袁艳文,刘昭,赵立欣,等.生物质沼气工程发展现状分析[J].江苏农业科学,2021,49(6):28-33
- [5]屈安安,郑鑫,王阳,等.基于文献计量的沼渣沼液处理利用技术研究态势分析[J].中国沼气,2020,38(6):86-94
- [6]葛振,魏源送,刘建伟,等.沼渣特性及其资源化利用探究[J].中国沼气,2014,32(3):74-82
- [7]王宇欣,王越,刘志丹.沼渣制备有机-无机颗粒肥物料的造粒工艺特性研究[J].农业机械学报,2015,46(1):200-206
- [8]李庆晨,王良成,郝建民,等.用沼渣生产腐殖酸型有机复合肥技术及前景[J].河北化工,2012,35(7):67-68
- [9]郭强,牛冬杰,程海静,等.沼渣的综合利用[J].中国资源综合利用,2005(12):11-15
- [10]王冲,郑冬梅,孙振钧.蚯蚓在畜牧生态系统中的应用[J].家畜生态学报,2005,26(2):1-6
- [11]孙永明.规模化蚯蚓反应器系统研究[D].北京:中国农业大学,2006
- [12]岳庆磊,黄利娜,李晨,等.湿帘风扇降温对夏季奶牛生产性能和生理指标的影响[J].中国动物保健,2020,22(10):58-59
- [13]刘继华.沼渣垫料卧床对奶牛趴卧时间和生产性能的研究[J].山东畜牧兽医,2016,37(3):7
- [14]王远远,刘荣厚.沼液综合利用研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(4):1089-1091
- [15]曹汝坤,陈灏,赵玉柱.沼液资源化利用现状与新技术展望[J].中国沼气,2015,33(2):42-50
- [16]肖洋,田里,路运才,等.沼液和沼渣及化肥配施对土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2016,32(11):78-81
- [17]陆国弟,杨扶德,陈红刚,等.沼液应用的研究进展[J].中国土壤与肥料,2021(1):339-345

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/203029.html>