畜禽粪便沼气工程处理技术

张东[1]，徐甦[1, 2]，陈斌[1]，张进[1]，单胜道[1]

(1.浙江农林大学环境与资源学院，浙江 杭州 311300；2.浙江商达环保科技有限公司，浙江 杭州 310016)

摘要：畜禽养殖业的迅速发展带来了严重的环境污染问题，沼气工程作为处理畜禽粪便的一种方法可以有效的解决其污染问题，综述畜禽粪便沼气工程处理技术进展及其制约因素并提出相应的措施。

随着市场经济的发展和人民生活水平的提高，对蛋、奶、肉等畜产品的需求量逐渐增多。我国主要的畜禽养殖种类有猪、奶牛、肉牛、蛋鸡和肉鸡。依据畜禽养殖组织模式的不同，分为规模化养殖场、养殖小区和养殖专业户3类。畜禽养殖业的迅速发展带来了严重的环境污染问题，沼气工程作为处理畜禽粪便的一种方法可以有效的解决其污染问题。

1我国畜禽养殖业的主要特点

畜禽标准化规模养殖快速发展，散养户逐年减少。近年来，在中央生猪、奶牛标准化规模养殖等扶持政策的推动下，各地标准化规模养殖加快发展，生猪和蛋鸡规模化比重分别达60%和77%，已成为畜产品市场有效供给的重要来源。以陕西省为例，2008年底，全省生猪出栏100～3000头养殖场户17199个，出栏生猪411万头，占全省出栏的30%，比2002年提高3.5%；奶牛存栏5～100头养殖户16427个，存栏奶牛158705头，占全省奶牛总存栏的27.8%，比2002年提高41.6%[1]。

在福建省2008年的普查中也显示，规模化养殖场占所有普查对象的12.9%，而出栏量占59.6% [2]。

畜禽养殖业优势区域布局初步形成。各地因地制宜，充分发挥地域优势，畜牧业产业布局逐渐明显。畜禽养殖业由改革开放初期的分散生产，逐渐向适宜生产区域集中。已基本形成了以长江流域、中原和东北为中心的生猪产业带，以中原和东北为主的肉牛产业带，以东部省份为主的禽肉产业带和以东北、河北和河南等中原省份为主的禽蛋产业带，以东北、华北及京津沪郊区为主的奶业产业带。同时在各个省份又因地域特点形成一定的产业分布。

畜禽养殖业内部结构进一步优化，畜牧业逐步走上了一条适合我国资源状况的节粮型道路。猪肉在肉类的总量中的比重由1995年的69.36%下降到2000年的65.81%，禽肉和牛羊肉的比重分别由18%和11.7%上升到19.7%和13.2%[3]。

2我国畜禽养殖业的发展趋势

为深入贯彻中央经济工作会议和2010年中央1号文件有关精神，农业部在农牧发[2010]6号《农业部关于加快推进畜禽标准化规模养殖的意见》中指出，力争到2015年，全国畜禽规模养殖比重在现有基础上再提高10～15个百分点，其中标准化规模养殖比重占规模养殖场的50%，畜禽标准化规模养殖场的排泄物实现达标排放或资源化利用，重大动物疫病防控能力显著增强，畜产品质量安全水平明显提升。同时兼顾与全国生猪、奶牛、肉牛优势区域布局规划相结合，与当地国民经济与社会发展计划、与种植业布局规划相衔接。

3畜禽养殖的污染现状

畜禽养殖粪便污水排放量和主要污染物排放问题急剧增加，成为我国一些以养殖为主要农业活动区域环境污染的重要污染源。在2010年2月公布的第1次全国污染源普查公报中，农业源普查对象为2899638个，其中畜禽养殖业1963624个，所占比重高达67.7%。畜禽养殖业主要水污染物排放量：化学需氧量1268.26万t，总氮102.48万t，总磷16.04万t，铜2397.23t，锌4756.94t。畜禽养殖业粪便产生量2.43亿t，尿液产生量1.63亿t。然而随着畜禽粪便排放量的大增，畜禽粪便作为农业肥料的比例不断大幅下降，而且大部分的粪便没有经过无害化处理。据调查全国90%的规模化养殖场缺乏必要的污染治理设施，养殖小区和养殖专业户对畜禽粪便的处理重视程度就更低，随时随地排放、堆弃，畜禽粪便对环境的污染逐年加大。畜禽养殖业已成为农业污染源之首，也是部分水体水质恶化的重要污染源，严重影响村镇人居环境和人体健康。畜禽养殖业发展所造成的环境污染问题已经引起各级政府的高度重视，开展规模化畜禽养殖污染减排已纳入国家“十二五”重点规划。畜禽粪便对环境的污染主要表现在对大气、水体和土壤的污染。

3.1对大气的污染

畜禽粪便堆放期间在微生物的作用下，其中有机物质被分解而产生一些诸如甲烷、硫化氢、氨气、甲硫醇等恶臭气体。每年出栏10.8万头的猪场，每小时向大气排放15.9kg氨、14.5kg硫化氢、15亿个菌体、25.9kg粉尘，污染半径可达4.5～5.0km[4]
。规模化养猪生产中产生的恶臭有230多种，主要是以氨气为主。排放的氨气一部分挥发到大气中形成酸雨，余下大部分被氧化成有害的硝酸盐渗入地下水，严重污染了空气、土壤和水源。以爱荷华州东北部距某规模化猪场半英里一所学校作为试验组，对照组为10英里范围内没有规模化畜禽场的一所学校。结果试验组患病率达19.7%，对照组患病率7.3%，而爱荷华州学生群体哮喘患病率约6.7%。

3.2对水体的污染

养殖场的畜禽粪便对水体的污染表现在对地表水和地下水的污染。畜禽养殖场排出的污水含有大量的有机物，其中化学需氧量浓度可高达12～15g · L^{-1}
，如不经处理直接排放，可使地表水化学需氧量含量远远超标，水体中氮磷等有机物的增加最终导致水体富营养化，危害水生生物生存，破坏水生态环境。根据王宣等对河南省3个具有一定代表性的规模化养殖场的研究，3个畜禽养殖场周围的地下水中氨氮、高锰酸盐指数、总大肠菌群、细菌总数4个监测因子均有超标现象，其中总大肠菌群和细菌总数超标现象十分严重，水位为9～130m深的地下水井均有超标现象，总大肠菌群超标率75%～100%，最大超标倍数为532倍，细菌总数超标率为25%～100%，最大超标倍数229倍[5]。

3.3对土壤的污染

养殖场粪污不经无害化处理直接进(施)入土壤，粪污中的有机物被土壤中的微生物分解，一部分被植物利用，一部分被微生物降解为二氧化碳和水，使土壤得到净化或改良。如粪污进(施)入量超过了土壤的承受力(土壤自净能力)，便会对土壤产生污染。据有关研究，尽管不同畜禽品种和不同区域会有所变化，但是一般每公顷土地能够负荷的畜禽粪尿为30～45t，如果高出这一水平，就会带来土壤的富营养化，对环境产生影响。在种养配套地区，我国畜禽粪便的总体土地负荷警戒值普遍超过环境胁迫水平(正常＜0.4)，很多养殖场周边的土地已经无法消纳畜禽养殖产生的沼液、沼渣和粪肥。另有研究发现，长期施用中、高量猪厩肥会明显提高稻田土壤中锌、铜和镉的生物有效性，其有效态含量分别比对照组增加87.3%、65.8%和41.4%，砷的总量提高明显[6]，最后通过植物链富集进入人体，危害人体健康。

4畜禽粪便的沼气工程处理技术

为了减少畜禽粪便对环境产生的污染，必须经过一定的处理才能排放。畜禽粪便处理的方法主要分为2大类，一是直接利用，主要是作为肥料和饲料；二是考虑其资源特性使其能源化，主要是利用沼气工程来解决畜禽粪便带来的环境污染问题。沼气法的原理是利用厌氧细菌的分解作用，将有机物(碳水化合物、蛋白质和脂肪)经过厌氧消化作用转化为沼气和二氧化碳。沼气法具有生物多功能性，既能够营造良性的生态环境、治理环境污染，又能够开发新能源，为农户提供优质无害的肥料，从而取得综合利用效益。沼气工程因其在处理畜禽养殖污染中的优势，已经纳入国家的“十二五”规划。

4.1沼气工程技术

沼气工程是以农业废弃物和有机垃圾的厌氧消化为主要技术环节，集污水处理、沼气生产、资源化利用为一体的系统工程。根据沼气工程中厌氧发酵干物质的含量不同，沼气工程发酵技术可以分为干法发酵和湿法发酵。湿法技术的底物干物质含量一般小于8%，是液态有机物的处理方法。在对畜禽粪便预处理时将固液进行调浆使其完全混合，然后进入发酵装置；干法技术的底物干物质含量一般在20%以上，是固态有机物的处理方法。用该法处理畜禽粪便时需要将固液分离，分离出来的干物质进入发酵装置，液体进行好氧处理。干法发酵因其水分停留时间较短，所需的发酵装置体积只有湿法发酵的一半，其成本投资也只有后者的一半，但是后者的产气量却是前者的4倍，通过沼气发电带来的效益远远超过干法发酵[7]。

沼气工程技术包括户用和大中型沼气工程2类。户用沼气主要集中在亚洲，以中国水压式沼气池和印度浮罩式(哥巴士)沼气池为典型代表。

发酵的主要原料为人畜粪便、污水等。中国户用沼气工程技术从20世纪90年代以来，在农业生产方面的应用呈现快速发展的局面，结合各地具体条件，建立了“三结合”、“四位一体”、和“五配套”等多种以沼气技术为纽带的生态农业应用模式。其核心是将种植、养殖、沼气发酵等有机结合，实现物质良性循环和能量梯级利用。

大中型沼气工程主要用于处理农业废物、工业废水、城市有机垃圾、污泥等生物质废弃物并回收能源。我国沼气工程的发酵原料主要是畜禽粪便，猪粪最多，牛粪次之，鸡粪最少。目前还没有能源植物或能源植物与其他有机物混合发酵的沼气工程。欧洲农场沼气工程则采用完全混合式厌氧反应器、推流式反应器或其组合工艺[8]。以德国为代表的欧洲沼气工程技术以高浓度有机废弃物联合消化工艺为主，绝大多数配备热电联产系统，即使在冬季环境气温低至-20°C，沼气工程仍然良好运行，中温装置产气率1.5～1.8$m^3 \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$，高温装置产气率2.0～3.0$m^3 \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$，经济效益显著。在欧洲，大约有94%的农业废弃物沼气工程采用混合原料发酵，混合原料以禽畜粪便为主，比例约50%～80%；能源植物(以玉米、青草为主)及其收割残余物、有机副产品、农产品食品加工废弃物等作为最常用的发酵补充原料，从原料产气率角度分析，玉米、甜菜等的干物质产气率可达600～1000$m^3 \cdot t^{-1}$，远远高于动物粪便的产气率[9]。这对于提高我国沼气工程产气率研究方面有一定的借鉴作用。

随着近年来我国标准化规模畜禽养殖的迅速发展，对大中型沼气工程研究也越来越多，工程工艺技术已日趋成熟，配套设备已达到或接近国际先进水平。在沼气工程的配套技术方面，可根据猪粪、鸡粪、牛粪等原料的特性的不同，对预处理系统、厌氧发酵系统、沼气输配系统、制肥系统、消化液后处理系统进行差异化的设计；在发酵工艺方面，生物厌氧发酵机理研究、不同粪便高效能发酵工艺的制定、沼气工程产气率、化学需氧量去除率已居国际领先水平；在配套设备方面，我国已研制出纯燃沼气发电机组，制罐、自动控制、脱硫脱水、固液分离等装置已形成标准化成熟产品[10]。除此之外，我国根据经济实力和具体国情，还开发出了2套以完全混合厌氧消化器和卧式推流厌氧消化器为主的“能源生态型”和以高效厌氧消化器和好氧处理相结合为主的“能源环保型”的典型处理工艺。

4.2沼气工程技术发展的制约因素

近年来在国家的大力支持下，我国的沼气工程发展迅速。据农业部2009年统计，自2003年起，中央累计投入190亿元资金用于农村沼气建设，支持建设1406万户农村户用沼气、1.3万处养殖小区和联户沼气工程、1776处大中型养殖场沼气工程和6.36万个服务网点。截至2009年底，全国农村户用沼气已达到3050万户，各类农业废弃物处理沼气工程3.95万处，年产沼气约122亿m^3，可替代1850万t标准煤，生产沼肥约3.85亿t，每年可为农户增收节支150亿元。然而沼气工程中的户用沼气池和大中型沼气工程的发展仍然受到很多因素的限制。

4.2.1户用沼气池

从技术本身来看，面临着以下的技术问题。沼气池进出料难的问题依然困扰着广大农民，根据北京郊区的一份影响农村沼气推广的调查，13.19%农民觉得沼渣沼液提取难而导致已建好的沼气池没有正常使用[11]；原料产气率需要进一步提高，单纯的畜禽粪便产气率低于混合进料的产气率；全国大部分地区冬天温度低于厌氧微生物正常发酵活动所需要的温度，导致产气率低甚至不能产气，这是当前制约户用沼气发展的一大关键因素；随着经济的发展，越来越多的农民已经不养猪或其他畜禽了，没有足够的进料来维持沼气池的正常运转。

从政策层面看来，与农村沼气建设相关的制度还不够完善。对沼气知识的宣传力度跟不上当前建设速度，部分农民对沼气的认识停留在原来的水平，缺乏对新技术的了解。管理服务机制不健全，重沼气池建设，轻建后管护，没有足够的沼气服务网点对沼气池的运行与维护提供技术服务，缺乏一支专业沼气生产和管理队伍，影响了沼气的长期有效使用[12]。对于沼气池的建设，政府与农户所持态度不同，在现有市场经济条件下，农户的经济行为是自愿的，完全可以按自己的标准选择从事某项经济活动，甚至可与社会有某些差异；当运用成本效益分析法对沼气池建设进行评价时，从农户和社会的角度作出的分析会出现不同的结果，这是因为大部分环境效益和生态效益对农户来说是外部效益，主要被社会获得，因此，在进行经济分析时，从社会角度看是可行的，从农户角度看却不可行，从而导致现实中政府和农户对待建池态度和行为的不一致；受经济利益的驱使，农民对建造户用沼气池的积极性不如政府高[13]；因而，政府采取一定的经济补偿有利于户用沼气池技术的进一步发展。

4.2.2大中型沼气工程

配套设施不完善，整体技术水平低。配套设施不完善，而且设备质量堪忧，使用寿命短、故障率高是我国沼气设备存在的普遍问题。同时沼气产量低，我国沼

气工程平均池容量只有283m^3，远低于德国的1000m^3，每处沼气工程产气量仅为314万$m^3 \cdot a^{-1}$。而且热电联产比例低，每立方米沼气产电量也低于国际先进水平，大多直接以沼气作为能源，冬季正常运行存在问题，增温保温设备能耗较高。

种养脱节，发酵产物无法完全利用。沼气工程厌氧发酵产生大量腐熟的沼渣和沼液。沼渣中有机质含量丰富，其他养分含量较高，而且也较全面，适合作底肥，可用于培肥改土，提高土壤肥力水平；沼液中速效养分含量较高，适合作追肥。另外，沼气肥有抑制作物虫害作用，可用于作物种子浸种以提高发芽率和作物产量[14]。但是随着标准化规模养殖的发展，许多养殖场附近没有足够的农田来消耗产生的大量沼肥，如果直接排放，达不到排放标准，需要进行好氧处理后才能达标排放，如果远距离运输到其他的农田中施用，因其数量巨大，会产生高昂的费用，降低沼气工程的经济性。

配套政策不完善。由于规模化养殖场的沼气工程基础建设投资大，一般养殖企业很难承担。我国在沼气工程建设的用地、用电、税收以及排污费收取等方面没有优惠政策和措施。以沼气发电为例，2000-2004年，德国政府连续出台了《可再生能源优先法》、《生物质发电条例》等，鼓励沼气发电上网，而且对上网电价的基本补偿和奖励价格做了明确的规定。而我国对可再生能源发电上网电价只有一个笼统的规定，对沼气发电上网，特别是农场废弃物沼气工程发电上网没有额外补贴，就目前的上网电价而言，沼气工程要想通过发电盈利还很困难。

5发展措施

加快沼气工程建设已经纳入国家“十二五”发展规划，要实现既定的目标，必须解决好制约沼气工程发展的诸多因素。

在技术方面，针对沼气工程中主要存在的产气率低与相关配套设备不完善的问题，重点加强对沼气池保温材料、保温技术、高效厌氧发酵微生物以及提高发酵原料中成分的混合度的研究，同时加大对国外先进技术的引进与吸收，尤其是对沼气工程配套的相关设备研究，开发出更加适合我国发酵成分特点的设备。

在政策方面，加大对沼气工程优点的宣传力度，提高人们对沼气工程的认识。为沼气工程设施的建设，设备的制造制定更加完善的行业标准，加强建设与运行的管理。加大财政补贴力度，制定更加具体的法律法规。

参考文献：

[1]王缠石，王韵，芦刚.陕西省畜牧业规模化养殖发展现状与探索[J].畜牧兽医杂志，2011，30(1)：54-56.

[2]阮妙鸿，沈荔花，陈婷，等.福建省畜禽养殖业污染源的普查与分析[J].中国农学通报，2011，27(5)：384-390.

[3]张克强，高怀友.畜禽养殖业污染物处理与处置[M]．北京：化学工业出版社，2004.

[4]倪姆娣，崔绍荣.生物过滤器在农业臭气处理中的应用[J].农机化研究，2005(3)：221-223.

[5]王宣，申剑.畜禽养殖场污染状况监测与评价[J].中国环境监测，2007，23(3)：94-96.

[6]吴二社，张松林，刘焕萍，等.农村畜禽养殖与土壤重金属污染[J].中国农学通报，2011，27(3)：285-288.

[7]李云，张建萍，张无敌，等.猪粪污固液分离处理对能源回收的影响[J].中国沼气，2008，26(3)：26-28.

[8]邓良伟，陈子爱.欧洲沼气工程发展现状[J].中国沼气，2007，25(5)：29-30.

[9]陈永生，朱德文，曲浩丽，等.大中型沼气工程原料预处理工艺及装备技术[J]，中国农机化，2010，232(6)：73-78.

[10]齐岳，郭宪章.沼气工程系统设计与施工运行[M].北京：人民邮电出版社，2011.

[11]王俞薇，顾科菲，朱筱洁，等.沼气池与人工湿地净化农村生活污水的效果[J].浙江农业科学，2010(5)：1091-1092.

[12]易小燕.江苏农村沼气建设的思考[J].中国农业资源与区划，2010，31(3)：90-94.

[13]刘明.农村沼气建设的可行性及其存在的问题[J].现代农业科技，2009(3)：289.

[14]王日照，吴青华，吴丽萍.贵池区沼气肥营养成分及应用效果[J].浙江农业科学，2010(1)：155-158.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/99592.html