

中德沼气工程比较

邓良伟¹, 陈子爱¹, 龚建军²

(1.农业部沼气科学研究所, 四川 成都 610041; 2.四川省畜牧科学研究院, 四川 成都 610066)

摘 要: 在考察中国和德国沼气工程现场及查阅大量文献报道的基础上,就中德沼气工程发展现状、政策法规、技术进展(包括发酵原料、发酵工艺、沼气净化、沼渣沼液利用以及沼气发电)等方面进行了比较,提出了中国农业废弃物沼气工程的差距以及改进的措施。

关键词: 可再生能源; 农业废弃物; 厌氧消化; 沼气工程; 沼气发电机

中图分类号: TK6 **文献标志码:** C **文章编号:** 1671-5292(2008)01-0110-05

Comparison of biogas plant between China and Germany

DENG Liang-wei¹, CHEN Zi-ai¹, GONG Jian-jun²

(1.Biogas Scientific Research Institute of the Ministry of Agriculture, Chengdu 610041, China; 2.Sichuan Academy of Animal Science, Chengdu 610066, China)

中国和德国是世界上农业废弃物沼气工程发展最快的 2 个国家,在沼气工程政策、技术以及运行管理等方面各自积累了许多有益的经验,值得相互借鉴。本文在参观考察中国和德国沼气工程现场,查阅大量文献报道的基础上,对中德沼气工程发展现状、政策法规、技术进展等方面进行比较,以期找出差距,为今后我国沼气工程的发展提供参考和借鉴。

1 政策法律框架

德国于 1990 年颁布实施了《电力并网法》,特别是国家鼓励沼气发电上网的《可再生能源优先法》(2000 年)的出台,为广大农场主建设沼气工程并通过发电上网增加收入创造了极好的法律环境。2004 年,德国国会对《可再生能源优先法》进行了修订,使小型农场沼气发电上网更具吸引力。除了上网电价实行优惠政策外,装机容量低于 70 kW 的沼气工程还可获得 15 000 欧元的补助金以及低息贷款。从新颁布的法律、法规来看,德国政府更加支持小型的和以农场为基础的沼气发电工程。在这样的政策激励机制下,许多农场主纷纷建造沼气工程,“发电赢利”成为沼气工程发展的主要动力。

2000 年,中国农业部组织编制了《大中型畜

禽养殖场能源环境工程建设规划》,在规划期内(2001~2005 年)建设 300 个示范工程,希望通过能源环境示范工程建设项目的实施,基本解决重点区域畜禽养殖场对周围环境的污染问题,明显改善项目实施区农业生产和人民生活的环境质量。这期间,每年国家投入大约 6 000 万元用于畜禽养殖场大中型沼气工程的建设,每个沼气工程补助 80~150 万元。根据农业部制订的《2006~2010 年全国农村沼气建设规划》,在建设农村沼气的同时,重点在东部沿海城市和部分大中城市郊区“菜篮子”养殖基地支持建设各类沼气工程,计划在 2006~2010 年新建 5 000 处。

2001 年,中国国家环境保护总局发布了《畜禽养殖污染防治管理办法》以及《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001),该办法和标准的实施,促进了养殖场污染的防治,同时也带动了畜禽养殖场大中型沼气工程的建设。从 2003 年起,由国家环境保护总局组织、监督和管理,国家每年投入资金 1 000 万元,用于补助畜禽养殖场污染防治示范工程的建设,每个养殖场大约补助 40~80 万元。2006 年 10 月,国家环境保护总局发布了《国家农村小康环保行动计划》,在 2010 年前完成 500 个规模化畜禽养殖污染防治示范工程建设,

收稿日期: 2007-08-09。

作者简介: 邓良伟(1966-),男,博士,副研究员,主要从事沼气工程研究、设计及调试工作。Email: dlwbtrc@yahoo.com.cn

其中在东、中、西部分别建设200, 180, 120 个示范工程。厌氧消化技术作为防治畜禽养殖污染的重要手段, 在畜禽养殖污染防治示范工程建设的过程中, 沼气工程的建设必将得到相应的发展。

2005 年 2 月 28 日, 我国通过了《中华人民共和国可再生能源法》, 并于 2006 年 1 月 1 日正式实施。一系列配套法规, 如《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》、《可再生能源发电有关管理规定》、《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》也相继出台, 对沼气发电工程建设有一定的刺激作用。2006 年, 日产沼气10 000 m³ 的蒙牛澳亚示范牧场牛粪处理沼气发电工程、日产沼气 20 000 m³ 的北京德清源农业科技股份有限公司

鸡粪处理沼气发电工程相继开工, 但多数养殖场及投资商还处于观望状态。由于国家尚未制订强制性的可再生能源发电收购法案, 电力公司以各种借口拒绝以高于成本的电价购买沼气发的电, 因此不管是大型的沼气发电工程还是较小型的沼气发电工程, 目前均未实现发电上网。

作为促进可再生能源发展的关键内容, 上网电价在中国和德国的法律法规中都得到了明确的规定。从上网电价来看(表 1), 德国作了比较详细的规定, 不仅鼓励可再生能源发电上网, 而且特别鼓励农场废弃物沼气工程发电上网, 尤其是中小型沼气工程, 对热电联产、新技术也有额外补贴。中国对可再生能源发电上网电价只有一个笼统的

表 1 中国和德国沼气发电上网价格(2006 年)的比较
Table 1 Comparison of purchase price of biogas electricity between China and Germany

德国 ¹				中国
农场沼气发电基本上网电价及补贴		填埋气和污水处理厂沼气发电基本上网电价及补贴		生物质发电项目上网电量实行政 府定价, 由国务院价格主管部门分地区 制定标杆电价, 电价标准由各省(自治 区、直辖市)2005 年脱硫燃煤机组标杆 上网电价加补贴电价组成。补贴电价标 准为 0.25 元/kWh。发电项目自投产之 日起, 15 a 内享受补贴电价; 运行满 15 a 后, 取消补贴电价。自 2010 年起, 每年 新批准和核准建设的发电项目的补贴 电价比上一年新批准和核准建设项目的 补贴电价递减 2%。
≤150 kW 机组	11.16 欧分/kWh	≤500 kW 机组	7.67 欧分/kWh	
150~500 kW 机组	9.6 欧分/kWh	500 kW~5 MW 机组	6.65 欧分/kWh	
500 kW~5 MW 机组	8.64 欧分/kWh	新技术	2 欧分/kWh	
5~20 MW 机组	8.15 欧分/kWh			
能源作物、动物粪便、农 产品加工废弃物作原料	4~6 欧分/kWh			
热电联产	2 欧分/kWh			
新技术(干发酵、燃料电 池、气轮机、多燃料发电)	2 欧分/kWh			
购买电价从 2005 年 1 月 1 日起, 每年递减 1.5%。				

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。就目前规定的上网电价而言, 沼气工程要想通过发电上网赢利还很困难, 因此, 沼气工程对养殖场业主投资还没有足够的吸引力。

2 沼气生产利用现状

德国的可再生能源激励系统刺激了沼气工程的快速发展, 沼气工程数量从 1996 年的 370 处增加到了 2005 年的 2 700 处, 沼气发电总装机容量达 650 MW。特别是新的《可再生能源优先法》(2005 年)实施后, 2005 年新建沼气工程数量迅速增加(图 1)。根据德国沼气协会估计, 到 2020 年, 沼气发电总装机容量将达到 9 500 MW。截至 2005 年底, 德国在沼气行业投资 6.50 亿欧元用于沼气工程建设, 提供了 8 000 个工作岗位。目前, 德国大约有 400 家公司从事农业废弃物沼气工程

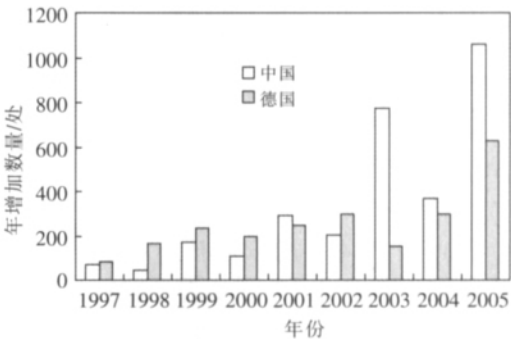


图 1 近 10 年中国和德国新增农业废弃物
沼气工程数量比较

Fig.1 Comparison of numbers of increased biogas plants for treatment of agricultural wastes between China and Germany in recent ten years

的规划、设计、建造与服务。在国内市场快速发展的基础上, 德国沼气工业的出口份额也持续增长, 2004 年达到 2 700 万欧元, 占行业总产值的大约

10%, 在不久的将来, 预计会达到 30%^[2,3]。

2000 年以前, 中国每年新建沼气工程数量都在 200 处以下, 2000 年以后, 特别是 2003 年以后, 中国农业废弃物沼气工程建设速度加快, 2005 年新增沼气工程数量达到 1 000 处(图 1)。农业部的生态富民家园计划、农村小型公益设施建设、农村沼气建设国债项目、大中型畜禽养殖场能源环境工程建设以及国家环保总局的畜禽养殖场污染防治示范工程建设等项目均在这几年实施。

尽管中国农业废弃物沼气工程的数量一直比德国多, 但其规模及产生的效益远远不如德国(表 2)。中国沼气工程的平均池容只有 283 m³/处, 基本上是一些中小型沼气工程, 池容在 100 m³以下的小型沼气工程大约占 66%; 池容为 100~1 000 m³ 的中型沼气工程大约占 25%; 池容在 1 000 m³ 以上的大型沼气工程仅占 9%左右。德国

表 2 2005 年中国与德国沼气工程相关数据比较 Table 2 Data comparison of biogas plant between China and Germany in 2005		
	中国	德国
运行数量/处	3 556	2 700
平均池容/m ³ ·处 ⁻¹	283	1 000
年产气量/万 m ³	22 985.11	130 280
平均每处日产气量/m ³	177	1 322
沼气发电装机容量/MW	6.699	650
沼气发电量/GWh	8.73	5564.0
发电沼气占沼气总产量的比例/%	2.53	98.5

沼气工程的平均池容大约为 1 000 m³/处。中国沼气工程平均产气量只有 177 m³/(处·d), 德国则达到 1 322 m³/(处·d)。中国沼气工程沼气年产量只有德国的 17.6%, 沼气发电装机容量只有德国的 1%, 沼气发电量只有德国 0.16%。

由于受法律和经济利益的影响, 德国沼气工程产生的沼气基本上用于发电, 大约占总产气量的 98.5%。小型沼气工程主要用于分散供热(如烧锅炉), 而且这些工程都是在《可再生能源法》(2000 年)颁布之前建造的。由于没有沼气并入燃气网的法律规定, 德国沼气并网问题基本上被忽视。随着 2005 年 7 月《能源经济法》的修订, 这一情形发生了改变, 《能源经济法》明确将沼气定义为燃气, 为沼气并网奠定了法律基础; 另一个刺激因素是石油和天然气价格的波动, 沼气替代天然气变得更有吸引力。专家评估, 德国沼气可以替代

天然气实际消耗量的 10%。但是, 沼气的生产成本大约是进口天然气价格的 3 倍, 因此, 尽管《能源经济法》鼓励沼气并网, 但沼气发电仍然是唯一合理的选择。在德国, 沼气也用作汽车燃料。W üsthof Biogas GmbH 在德国北部 Jameln 建立的第一个公共沼气加气站已于 2006 年 6 月开张营业^[4]。

最近几年, 沼气作为燃料电池燃料的试验已经在整个欧洲进行。在欧盟 EFFECTIVE EU-project 的支持下, 沼气作为熔碳燃料电池[Molten Carbon Fuel Cell(MCFC)]燃料的试验已在德国展开。

我国农场沼气工程产生的沼气仅有少量(约占总产气量的 2.53%)用于发电, 集中供气大约占总产气量的 1%, 其余基本上用作养殖场食堂炊事燃料。养殖场炊事需要的沼气很少, 例如 1 个万头猪场的职工只有 50 人左右, 每天炊事所需的沼气大约为 30 m³, 即使干清粪工艺的万头猪场, 其沼气工程的沼气产量也有 200 m³/d, 如果粪尿全部进入沼气工程, 沼气产量大约为 500 m³/d。由此可见, 养殖场大约有 90%的沼气没有被有效利用。

目前, 中国还未开始进行沼气用作汽车燃料以及沼气燃料电池燃料的研究。

3 中国和德国沼气工程技术的比较

3.1 沼气工程发酵原料

德国农场沼气工程发酵原料主要有能源植物、畜禽粪便、有机废弃物。大约有 94%的农业废弃物沼气工程采用混合原料发酵, 有 30 多种有机副产品、农产品食品加工废弃物、能源植物及其收割残余物是最常用的发酵原料。在东北地区很少采用混合原料发酵, 因为这些地区大型养殖场采用粪便发酵很经济, 不需要添加其它发酵原料。玉米秸和青草是最常用的能源植物, 因为玉米秸的甲烷产量高, 青草具有成本低的特点。只有很少的工程采用单一的能源植物发酵, 多数工程主要采用牛粪或猪粪发酵, 占发酵原料的 50%~80%^[4]。

能源植物与畜禽粪便混合发酵能保证系统稳定, 只采用能源植物或有机废弃物发酵, 沼气的运行很困难, 系统的缓冲能力低, 产气反应被回流液中盐或氨氮抑制, 系统容易失去稳定性。

中国农场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及能源植物与其它有机物混合发酵的农场沼气工程。

3.2 沼气发酵工艺

德国农场沼气工程进液 TS 质量分数一般为 10%左右,我国基本上为 6%以下。由于要满足环保达标要求,为了减轻后续达标处理的难度,干粪一般不进入厌氧消化装置,因此农场沼气工程发酵料液 TS 质量分数大部分在 2%以下。

在德国,大约 90%的沼气工程发酵装置是立式发酵罐,采用完全混合式工艺,装置容积为 800~1 500 m³,有的集中式沼气工程发酵装置容积为 2 000~5 000 m³。卧式发酵罐主要用于小工程或高固体含量的原料,卧式发酵罐采用推流式工艺,约占沼气工程的 4%,典型容积为 150~600 m³。卧式发酵罐主要在东南地区应用,该地区的养殖场规模小。大约有 6%的工程采用完全混合式与推流式组合工艺。卧式发酵罐第 1 级平均水力停留时间为 50 d,第 2 级为 55 d。立式发酵罐水力停留时间为 20~25 d。立式发酵罐第 1 级容积负荷(VS)为 7 kg/(m³·d),第 2 级为 4 kg/(m³·d);卧式发酵罐第 1 级容积负荷(VS)为 4 kg/(m³·d)^[4]。

在德国,容积达到 1 000 m³ 的立式发酵罐顶部常常装有双膜贮气柜,即发酵、贮气一体化,受结构限制,这种反应器的容积最大不超过 1 200 m³。大约 30%的沼气工程采用 2 个发酵罐串联发酵,第 1 个发酵罐的出料进入第 2 个发酵罐储存并在其中继续产气,同时该罐采用双膜贮气柜收集后消化产生的沼气,该部分沼气大约占沼气总产量的 5%~20%^[4]。

在中国,大中型沼气工程发酵装置主要采用立式罐,少部分采用地埋折流式装置;大部分小型沼气工程是农村户用沼气池的简单放大。几乎所有常规的、高效的厌氧消化工艺在中国都有应用,如完全混合式厌氧反应器(CSTR)、厌氧接触反应器(AC)、厌氧序批式反应器(ASBR)、厌氧挡板反应器(ABR)、厌氧复合反应器(UBF)、上流式厌氧污泥床(UASB)、升流式固体床(USR)、内循环厌氧反应器(IC)等。由于畜禽粪便固体物质含量高,在常温发酵条件下,这些工艺的效率没有显著差异。90%的德国沼气工程采用中温发酵,大约 9%的沼气工程采用高温发酵。中国普遍采用常温发酵(表 3)。德国农场沼气工程一般采用机械搅拌,早期普遍采用快速潜水推进式搅拌,目前低速搅拌逐渐成为发展趋势。中国农场沼气工程基本上没有采用

表 3 中国与德国沼气工程发酵工艺比较 Table 3 Comparison of fermentation technology of biogas plant between China and Germany		
	中国	德国
进料 TS 质量分数/%	<2	<10
发酵温度/	常温	中温(35)、高温(35)
发酵工艺	几乎所有厌氧消化工艺	完全混合式、推流式工艺
搅拌方式	有或无水力搅拌	机械搅拌
水力停留时间/d	5~10	完全混合式(20~25) 推流式工艺(50~55)
容积负荷(VS) / kg·(m ³ ·d) ⁻¹	1.2~1.5	4.0~7.0
池容产气率/m ³ ·(m ³ ·d) ⁻¹	0.5~0.6	1.3~2.5
贮气方式	湿式	干式
加热热源	燃煤或沼气锅炉热水	发电余热

机械搅拌,有一部分工程采用回流搅拌。德国沼气的池容产气率一般为 1.3~2.5 m³/(m³·d);中国沼气的池容产气率只有德国的 1/3~1/2(表 3)^[4]。

从 20 世纪 90 年代起,德国大量资助了新型间歇式干法沼气发酵技术的研发。20 世纪 90 年代末,德国间歇式干法沼气工艺和装备通过了中试,2002 年,德国生产出工业级装备并投入实际运行。中国在 20 世纪 80 年代就开始研究户用沼气池干法发酵技术,由于户用沼气池的局限性,一些技术问题难以克服,因此没有得到推广应用;工业化的干法沼气发酵技术的研发目前刚刚起步。

中国重视厌氧消化工艺本身的研究开发,往往忽视配套设备的研制与引入。德国农场沼气工程采用很传统的完全混合式(CSTR)工艺,但是很注意引入化工行业、造纸工业、发酵工业先进高效的输送设备、混合搅拌设备等。

3.3 沼渣、沼液的处理利用

德国农场沼气工程都建有沼渣、沼液储存池,储存的沼渣、沼液都可作为肥料还田利用。每个沼气工程都配有运送沼渣、沼液的罐车。对于混有其它有机物的沼气工程,在沼渣、沼液利用前,必须经过消毒处理。中国人口密集,土地分散经营,沼气发酵料液浓度低,养分含量少,沼渣、沼液很难作为肥料还田利用,大部分畜禽场沼气工程的沼渣、沼液需要处理后达标排放。近几年新建了许多生态型沼气工程,沼渣、沼液可作为肥料还田利用,但是相当数量的沼气工程,既没有足够的沼渣、沼液储存设施,也没有输送管网或输送设备,沼渣、沼液的还田利用也仅仅是一个概念而已。

3.4 沼气净化

德国农场沼气工程普遍采用生物法脱硫,大部分采用发酵罐内生物脱硫,少部分采用罐外生物脱硫。中国农场沼气工程主要采用化学法脱硫,大多数工程根本没有进行脱硫,或者只是在运行初期进行了脱硫,脱硫剂失效以后,也不及时进行更换^[3]。

3.5 沼气发电

98%的德国沼气工程是热电联产(CHP)工程。200 kW以下的机组主要是双燃料机组,需要8%~15%的柴油机燃料用于气体点火,发电效率为33%~37%。这种发动机的特点是可调节柴油、沼气燃料比,当沼气不足甚至停气时,发动机仍能正常工作。双燃料机组可以在甲烷含量比较低的情况下(如能源植物的发酵)使用。该机组的缺点是系统复杂,所以大型沼气发电工程往往不采用这种发动机,而多采用点燃式纯沼气发动机。200 kW以上纯沼气机组采用火花点火,发电效率为34%~37%,使用寿命比双燃料组长,但造价稍高。其特点是结构简单,操作方便,而且无需辅助燃料,适合在大、中型沼气工程条件下工作,这种发动机已成为沼气发电工程中的主流机组。德国政府在2004年对《可再生能源法》的修订条款中明确规定,2007年1月1日以后所建的沼气发电工程若使用化石燃油将不能享受有关的优惠政策。

我国沼气发电领域的研究始于20世纪80年代初,先后有一些科研机构进行过沼气发动机的改装和提高热效率方面的研究工作。早期比较注重沼气——柴油双燃料发动机的研究开发工作,近年来主要集中在纯沼气机组的研究与开发。在中国,已有10~700 kW系列沼气发电机组问世,其中以40, 80, 200, 500 kW机组居多,而且技术比较成熟。通过几年的努力,我国研发和生产的沼气发电机组在性能和质量方面已缩小了与德国先进机组的差距,特别是大功率机组的各项性能已经接近德国先进机组的技术指标。单机容量在200~600 kW的纯燃气发电机组的发电效率可达到27%~30%,耗气率为0.57~0.7 m³/kWh(沼气热值约为21 MJ/m³),比德国同类型的沼气发电机组的发电效率低近7%。多数沼气工程尚未建立发电余热回收系统,余热回收效率最高也只有35%

左右,比德国机组至少低5%^[9]。

4 结束语

经过十几年的实践和发展,德国农业废弃物沼气工程的工艺水平和技术装备已经趋于成熟,相关的发电设备、机械搅拌装置、自动控制系统、余热利用技术等已进入专业化设计和制造阶段,工程技术和设备质量得到了有效的控制,沼气发电的工程设计和技术服务等专业服务组织也相当完善。尽管我国农业废弃物厌氧消化产沼气的研究取得了一定的进展,但是实际工程应用与德国相比差距仍然较大。我国沼气工程技术及相关设备没有形成专业化设计和制造,沼气工程系统中各个环节的质量无法得到有效的控制,工程设计和技术服务等专业服务组织也很不健全,导致我国沼气工程整体水平较低,循环经济效益不能充分显现出来。这需从政策、法律、技术、资金投入等方面继续努力,关键是通过法律、政策的支持,提高可再生能源价格,建立起沼气工程自身赢利模式,吸引更多投资商进入沼气工程领域,扩大沼气工程市场,带动相关产业的发展与技术进步,最终提升沼气工程整体技术水平和经济效益。

参考文献:

- [1] PORSCHE G. The impact of national policies and economic frames for the development of biogas in Germany [A]. Proceedings of the future of biogas in Europe - [C]. Denmark Esbjerg: University of Southern Denmark, 2007.44- 50.
- [2] EUROPEAN RENEWABLE ENERGY CENTERS AGENCY - The renewable energy barometers: biogas barometer [EB/OL]. http://www.observe-er.org/observe-er/stat_baro/observ173a.pdf, 2006.2007- 04- 18.
- [3] GERMAN ENERGY AGENCY. The German biogas industry [EB/OL]. <http://www.renewables-made-in-germany.com/en/biogas>.2007- 04- 19
- [4] WEILAND P, RIEGER C H, EHRMANN T H. Evaluation of the newest biogas plants in Germany with respect to renewable energy production, green house gas reduction and nutrient management [EB/OL]. <http://webbarv5.sdu.dk/bio/work%2003/Pres/Peter-Weiland.pdf>.2005- 10- 29.
- [5] 李景明, 颜丽. 关于沼气发电设备生产行业发展情况的调研报告[J]. 可再生能源, 2006(3): 1- 5.