



中丹可再生能源发展项目（RED）

丹麦国际发展援助署项目编号： DMK/09/103

中国沼气工程产业发展研究 产出一

国际沼气产业发展现状报告

轻工业环境保护研究所

2011 年 2 月

中国 北京

编写人员

项目负责人： 沈振寰 轻工业环保研究所
教授级高工、工学博士

主要编写人员：

钱静华 轻工业环境保护研究所
高工

张玮 轻工业环境保护研究所
教授级高工

李珊 轻工业环境保护研究所
硕士

金京华 轻工业环境保护研究所
副研究员、博士

摘 要

本报告主要对国际上沼气产业（工农业废弃物，城市生活垃圾、生活污水厂污泥沼气工程）发达国家的近况进行了调研，特别是对丹麦、德国、瑞典以及美国等发达国家的沼气产业开发利用状况进行研究。报告收集了国内外大量有关资料和信息，进行了比较和分析，主要内容如下：

(1)沼气工程数量和规模，主要国家年产沼气的量以及沼气发电量（截至 2009 年底）。

(2)沼气工程产品——沼气和沼渣、沼液的利用状况、沼气净化发电及制天然气的利用情况。

(3)沼气工程采用的先进技术：原料、工艺、主要厌氧反应器和配套设备等最新进展。

(4)沼气产业化及商业化运行情况、沼气服务体系情况以及欧洲沼气生产领域具有代表性的公司介绍。

(5)促进沼气产业化发展，主要国家采取的激励政策和措施。

(6)对今后沼气产业发展的展望（2020 年路线图）。

(7)案例。

本报告希望能为中国沼气工程今后的发展提供参考和借鉴。

目 录

第 1 章 沼气工程发展现状.....	1
1.1 沼气生产现状.....	1
1.1.1 世界经合组织沼气生产情况.....	1
1.1.2 主要国家生产沼气情况.....	6
1.2 沼气利用现状.....	16
1.2.1 在欧美、日本沼气利用主要有以下形式.....	16
1.2.2 主要国家利用状况.....	16
1.3 沼渣、沼液的利用.....	18
第 2 章 沼气工程采用的技术.....	22
2.1 发酵原料.....	22
2.2 发酵工艺.....	23
2.3 发酵温度.....	24
2.4 工程装备.....	25
2.5 沼气净化.....	30
2.6 沼气燃料电池.....	31
第 3 章 沼气产业发展状况.....	32
第 4 章 政策法律激励.....	36
4.1 德国.....	36
4.2 奥地利.....	37
4.3 法国.....	38
4.4 意大利.....	38
4.5 英国.....	39
4.6 丹麦.....	39
4.7 葡萄牙.....	39
4.8 瑞典.....	40
4.9 西班牙.....	40

4.10 荷兰.....	40
4.11 芬兰.....	41
4.12 美国.....	41
第 5 章 展望（2020 年）	42
第 6 章 案例.....	43
6.1 丹麦 Ribe 沼气站	43
6.2 丹麦 caribro 工艺（高固体厌氧消化工艺）	44
6.3 德国 Frondof 大型沼气工程（湿发酵）	45
6.4 德国 Bekon 技术公司干发酵大型沼气工厂	46

表格目录

表 1-1 源于可再生能源的贡献和发电量	1
表 1-2 非经合组织国家能源统计数据	5
表 1-3 世界能源统计数据	5
表 1-4 源自可燃烧的可再生能源和废物的主要能源产量和发电量（2008 年） ..	5
表 1-5 沼气能源产量	6
表 1-6 2008 和 2009 年欧盟主要沼气能源产量	6
表 1-7 2008 和 2009 年欧盟沼气发电总量	8
表 1-8 2009 * 年各欧盟国家人均主要沼气能源产量	10
表 1-9 日本生物质能资源量和利用率（2008 年）	14
表 1-10 日本城镇生活污水处理设施数及处理方式和能力的变化	15
表 1-11 德国沼气工程规模分类	16
表 1-12 1 头牛在 1 年内产生的肥料元素	20
表 3-1 欧洲沼气生产领域具有代表性的公司	32
表 4-1 德国沼气发电上网的价格	37
表 4-2 奥地利沼气发电上网价格	38
表 4-3 2006 年法国沼气发电上网价格	38

图形目录

图 1-1 带顶盖的沼肥储存池设计形式	20
图 1-2 拼接式沼液储存池池顶覆盖材料	21
图 2-1 厌氧工程全景图	25
图 2-2 发酵、储气一体化装置（池体为钢结构）	26
图 2-3 发酵、储气一体化装置(池体为钢混结构).....	26
图 2-4 立式搅拌器	27
图 2-5 侧式搅拌器	28
图 2-6 斜式搅拌器	28
图 2-7 沼气储柜	29
图 2-8 沼气发电站	30
图 6-1 工厂的示意图 (CADDET)	44

常用计量单位英文缩写

Mt 百万吨

Gt 10 亿吨

Mtce 百万吨煤当量或百万吨标准煤

Mtoe 百万吨油当量

MW 万千瓦（兆瓦）

GW 百万千瓦

Tw 10 亿千瓦

kWh 千瓦时

Mwh 万千瓦时（兆瓦时）

Gwh 百万千瓦小时

TWh 10 亿千瓦小时

J 焦耳

TJ 太焦耳(10¹² 焦耳)

Btu 英热单位

Quad 夸特

kcal 千卡

boe 桶油当量

第 1 章 沼气工程发展现状

随着全球能源和环境问题的日益突出。沼气工程作为一种能处理工农业废弃物，又能回收沼气能源的环境治理技术，在全世界受到重视。

在沼气工程的规模和取得的环境效益方面，欧洲、美国名列前茅。特别是近 10 年沼气工程在欧洲取得了快速发展，在沼气工程的技术、经济效益、模式和相关政策方面都走到了世界前列。

本报告重点是对欧美各国沼气工程产业化发展现状进行描述，希望能为我国沼气工程产业化发展提供借鉴。

1.1 沼气生产现状

1.1.1 世界经合组织沼气生产情况

根据国际能源署（IEA）2010 年统计数据，主要组织或国家沼气产量如表 1-1（源于可再生能源的贡献和发电量）。其中世界经济合作与发展组织（OCED）所属国家和地区 2008 年沼气产量为 264.82 亿 m^3 ，2009 年预计 301.94 亿 m^3 。

表 1-1 源于可再生能源的贡献和发电量

组织或国家	2008年	2009年
经济合作与发展组织（OCED）		
主要能源供应总量(Ktoe)	5,422,433	5,171,516（相当于301.94亿 m^3 ）
沼气能源的贡献(Ktoe)	13,241	15,097（相当于301.94亿 m^3 ）
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	34,628	39,946
OCED 欧洲		
主要能源供应总量(Ktoe)	1,821,502	1,720,899
沼气能源的贡献(Ktoe)	7,673	9,172（相当于183.44亿 m^3 ）
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	23,594	29,368

续表1-1 源于可再生能源的贡献和发电量

组织或国家	2008年	2009年
澳大利亚		
主要能源供应总量(Ktoe)	130,113	131,160
沼气能源的贡献(Ktoe)	307	317 (相当于6.34亿m ³)
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	1,001	873
奥地利		
主要能源供应总量(Ktoe)	33,246	32,423
沼气能源的贡献(Ktoe)	248	257
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	1,005	608
比利时		
主要能源供应总量(Ktoe)	58,583	55,758
沼气能源的贡献(Ktoe)	86	86
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	474	510
丹麦		
主要能源供应总量(Ktoe)	19,010	17,840
沼气能源的贡献(Ktoe)	94	99
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	249	255
芬兰		
主要能源供应总量(Ktoe)	35,255	33,001
沼气能源的贡献(Ktoe)	45	46
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	87	90
法国		
主要能源供应总量(Ktoe)	266,495	253,012
沼气能源的贡献(Ktoe)	452	298
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	683	695

续表1-1 源于可再生能源的贡献和发电量

组织或国家	2008年	2009年
德国		
主要能源供应总量(Ktoe)	335,284	318,828
沼气能源的贡献(Ktoe)	3,694	4,979 (相当于99.58亿m ³)
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	10,891	15,789
意大利		
主要能源供应总量(Ktoe)	176,032	162,713
沼气能源的贡献(Ktoe)	410	422
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	1,663	2,051
日本		
主要能源供应总量(Ktoe)	495,838	473,685
沼气能源的贡献(Ktoe)	128	97 (相当于1.94亿m ³)
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	15,079	11,842
荷兰		
主要能源供应总量(Ktoe)	79,681	77,227
沼气能源的贡献(Ktoe)	226	262
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	1,158	971
瑞典		
主要能源供应总量(Ktoe)	49,592	43,494
沼气能源的贡献(Ktoe)	102	128
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	136	148
瑞士		
主要能源供应总量(Ktoe)	26,710	26,917
沼气能源的贡献(Ktoe)	66	62
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	180	183

续表1-1 源于可再生能源的贡献和发电量

组织或国家	2008年	2009年
英国		
主要能源供应总量(Ktoe)	208,450	197,599
沼气能源的贡献(Ktoe)	1,637	1,889
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	5,323	6,143
美国		
主要能源供应总量(Ktoe)	2,283,722	2,172,107
沼气能源的贡献(Ktoe)	4,706	5,095 (相当于101.9亿m ³)
沼气/液体生物质能发电量(GWh)	8,582	8,287

注： ktoe为千吨石油当量，1吨石油当量相当于2000m³沼气。

国际能源署（IEA）是一个政府间组织，担任其 28 个成员国的能源政策顾问，并与成员国一起协力为其国民提供可靠及经济的清洁能源。国际能源署在 1973-74 年石油危机期间成立，其初始作用是负责协调应对石油供应紧急情况措施。随着能源市场的变迁，国际能源署的使命也随之改变并扩大。纳入了基于提高能源安全、经济发展和环境保护“3 个 E”的均衡能源决策概念。国际能源署当前的工作重点是研究应对气候变化的政策、能源市场改革、能源技术合作和与世界其它地区，特别是主要能源消费和生产国，如：中国、印度、俄罗斯和欧佩克（OPEC）国家展开合作。

目前经合组织共有 34 个成员国，它们是：澳大利亚、奥地利、比利时、加拿大、捷克、丹麦、芬兰、法国、希腊、匈牙利、爱尔兰、意大利、日本、韩国、卢森堡、墨西哥、荷兰、新西兰、挪威、波兰、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、英国、美国、智利、爱沙尼亚、以色列和斯洛文尼亚。

表 1-2 是非经合组织国家能源统计数据，其中没有具体的沼气数据，但有 2008 年非经合组织所产沼气的热量为 312957TJ，其中中国(包括香港)为 308050 TJ（包括农村户用沼气），占总量的 98.43%，表 1-3 是世界沼气能源产量（TJ），世界总量为 867423 TJ， 经合组织国家为 554, 466 TJ，占 63.92%，中国为 308, 050TJ（包括农村户用沼气），占 35.5%。

表 1-2 非经合组织国家能源统计数据

组织或国家	2008年	2009年
非经合组织		
可燃烧的可再生能源和废物 (TJ)	51,318,270	暂无
发电 (GWh)	9,515,976	
沼气 (TJ)	312,957	
其中		
中国 (包括香港)		
可燃烧的可再生能源和废物		
其中 固体生物质能 (TJ)	8,148,475	
沼气 (TJ)	308,050	
液体生物质能 (Kt)	2,050	
废物/其它 (TJ)	-	

表 1-3 世界能源统计数据

世界	2008年	2009年
可燃烧的可再生能源和废物		
固体生物质能 (TJ)	46,870,063	暂无
沼气 (TJ)	867,423	
液体生物质能 (Kt)	70,631	
废物/其它 (TJ)	1,539,406	

表 1-4 源自可燃烧的可再生能源和废物的主要能源产量和发电量 (2008 年)

	产量 (TJ)	发电量(GWh)
非经合组织国家	41,850,487	46,565
经合组织国家	9,467,782	220,518
世界总量	51,318,270	267,083

表 1-5 沼气能源产量 (TJ)

	2008年	2009年
非经合组织国家	312 957	
经合组织国家	554 466	632 196
世界总量	867 423	

1.1.2 主要国家生产沼气情况

为了更好的了解欧洲沼气生产和发电状况本处采用了欧洲一项研究报告。其中表 4 为欧盟各国主要沼气能源产量，表 1-7 为欧盟各国沼气发电量。

在 2009 年，欧盟 25 国生产了 8346ktoe(千吨石油当量)沼气，相当于 166.92 亿 m³ 沼气。其中垃圾填埋气占 35.96%，市政和工业污泥厌氧消化产沼气占 12%，分散农场沼气工程，市政固体废弃物沼气工程，集中联合发酵沼气工程占 52%。

2006 年到 2009 年三年间，欧盟沼气产量增长了 70.37%，主要得益于农业沼气和市政固体废弃物处理沼气工程沼气产量的增加。

农业和市政固体废弃物处理沼气工程产沼气的量增加了近 2.26 倍，垃圾填埋气仅增加了 5%，污泥厌氧消化沼气增加了 15.7%。

2009 年欧盟沼气发电量为 251.7Twh。

表 1-6 2008 和 2009 年欧盟主要沼气能源产量 (KTOE)

国家	2008年				2009年			
	填埋 气体	污泥 气体	其它 沼气	总量	填埋 气体	污泥 气体	其它 沼气	总量
德国	291.7	384.7	3,553.1	4,229.5	265.5	386.7	3,561.2	4,213.4
英国	1,416.9	208.6	0	1,625.4	1,474.4	249.5	0	1,723.9
法国	379.3	45.5	28.3	453.1	442.3	45.2	38.7	526.2
意大利	339.8	3.0	67.2	410.0	361.8	5.0	77.5	444.3
荷兰	44.4	48.8	132.5	225.7	39.2	48.9	179.8	267.9
西班牙	157.0	19.7	26.6	203.2	140.9	10.0	32.9	183.7
奥地利	4.8	21.9	147.8	174.5	4.9	18.9	141.2	165.1

续表1-6 2008和2009年欧盟主要沼气能源产量（KTOE）

国家	2008年				2009年			
	填埋 气体	污泥 气体	其它 沼气	总量	填埋 气体	污泥 气体	其它 沼气	总量
捷克	29.4	33.7	27.0	90.0	29.2	33.7	67.0	129.9
比利时	46.7	1.5	39.4	87.6	44.3	2.1	78.2	124.7
瑞典	32.9	56.3	13.3	102.4	34.5	60.0	14.7	109.2
丹麦	6.4	20.2	67.2	93.8	6.2	20.0	73.4	99.6
波兰	34.2	59.4	2.6	96.1	35.5	58.0	4.5	98.0
希腊	28.3	5.1	0.2	33.6	46.3	12.2	0.2	58.7
芬兰	34.1	10.9	0	45.0	30.6	10.7	0	41.4
爱尔兰	25.9	8.1	1.4	35.42	3.6	8.1	4.1	35.8
匈牙利	2.1	8.0	11.7	21.8	2.8	10.3	17.5	30.7
葡萄牙	0	0	23.02	3.0	0	0	23.8	23.8
斯洛文尼亚	8.2	3.1	2.7	14.1	8.3	3.0	11.0	22.4
斯洛伐克	0.2	9.5	0.6	10.3	0.8	14.8	0.7	16.3
卢森堡	0	0	9.2	9.2	0	0	12.3	12.3
拉脱维亚	6.6	2.2	0	8.8	7.0	2.7	0	9.7
立陶宛	0.4	1.7	0.9	3.0	1.3	2.1	1.2	4.7
爱沙尼亚	2.0	0.9	0	2.8	2.0	0.9	0	2.8
罗马尼亚	0	0	0.6	0.6	0.1	0.7	0.5	1.3
塞浦路斯	0	0	0.2	0.2	0	0	0.2	0.2
欧盟	22891.1	952.8	4,155.3	7,999.3	3,001.6	1,003.7	4,340.7	8,346.0

注：（1）ktoe为千吨石油当量，1吨石油当量相当于2000m³沼气；

（2）污泥气体：指市政和工业污泥沼气工程；

（3）其它沼气：分散农业沼气工程，市政固体废弃物沼气工程，集中联合发酵沼气工程。

表 1-7 2008 和 2009 年欧盟沼气发电总量（GWH）

国家	2008年			2009年		
	电厂	热电联产	总发电量	电厂	热电联产	总发电量
德国	8,837.0	1,142.0	9,979.0	11,325.0	1,237.0	12,562.0
英国	4,844.9	460.0	5,304.9	5,064.7	526.8	5,591.5
意大利	1,290.8	308.7	1,599.5	1,374.1	365.5	1,739.6
荷兰	83.0	651.0	734.0	82.0	833.0	915.0
法国**	605.6	94.7	700.3	671.4	175.0	846.4
奥地利	557.0	45.0	602.0	602.0	36.0	638.0
西班牙	540.0	44.0	584.0	479.0	48.0	527.0
比利时	174.2	159.1	333.3	175.2	286.7	461.8
捷克	63.2	203.7	266.9	241.6	199.6	441.3
丹麦	1.5	297.2	298.7	1.3	323.5	324.7
波兰	0.0	251.6	251.6	0.0	319.2	319.2
希腊	171.0	20.3	191.3	183.5	34.0	217.5
爱尔兰	110.0	17.0	127.0	100.0	17.0	117.0
匈牙利	0.0	68.2	68.2	0.0	95.2	95.2
葡萄牙	63.0	8.0	71.0	73.0	10.0	83.0
斯洛文尼亚	9.7	46.2	55.9	9.7	59.2	68.8
卢森堡	0.0	43.8	43.8	0.0	53.4	53.4
拉脱维亚	2.3	37.3	39.6	3.0	42.0	45.0
瑞典	0.0	30.0	30.0	0.0	34.0	34.0
芬兰	0.0	29.0	29.0	0.0	31.0	31.0
斯洛伐克	1.0	14.0	15.0	1.0	20.0	21.0
立陶宛	0.0	9.0	9.0	0.0	15.0	15.0

续表1-7 2008和2009年欧盟沼气发电总量（GWH）

国家	2008年			2009年		
	电厂	热电联产	总发电量	电厂	热电联产	总发电量
塞浦路斯	0.0	12.0	12.0	0.0	12.0	12.0
爱沙尼亚	9.3	0.0	9.3	10.0	0.0	10.0
罗马尼亚	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0
欧盟	17,364.5	3,991.8	21,356.3	20,397.4	4,773.0	25,170.4

注：不包括法国海外部门。

来源：EurObserv'ER 2010。

（1）英国

以前英国是欧洲生产与利用沼气最多的国家，2006 年这一位置被德国取代。但人均沼气产量在欧洲仍然名列前茅。沼气能源的增加，在英国主要通过垃圾填埋进行沼气回收。根据英国能源和气候变化部资料，英国 2009 年的沼气产量为 34.478 亿 m^3 ，其中填埋沼气为 29.488 亿 m^3 。占总量的 85.5%。该类沼气得益于英国的绿色证书制（被称为可再生义务责任证书制），绿色证书制要求电力提供商每年增加可再生能源发电所占的份额。在 2008 年 4 月 1 日～2009 年 3 月 31 日（整一年）期间，填埋沼气发电占可再生能源发电的 24.7%，仅次于陆地风能（32.7%），污水处理沼气占 2.2%。

（2）德国

德国因为激励政策刺激了农场沼气工程的快速增长，又通过鼓励种植能源作物，来开发沼气工程。使德国成为了欧洲沼气工程领先的国家。2009 年德国沼气产量达到 90 多亿 m^3 ，占欧洲沼气产量的 1/2，沼气发电量也占欧洲的总量的 49.9%。此外，人均生产商（发电量）为欧洲之首，达到 51.5 toe / 1000 居民（见表 1-8）。

根据德国沼气协会的数据，到 2009 年底，沼气工程的数量达到 4984 座，总装机容量为 1 893 MW，2009 年新建了 1 093 家沼气工程，发电能力增加了 516 MW。预计 2010 年沼气工程数将达到 5 800 座，总装机将达到 2 300 MW。2009

年德国在沼气行业上大约投资为 26 亿欧元，预计 2010 年的投资额约为 23 亿欧元。根据该协会统计，该领域在 2009 年创造了 16000 个工作岗位，2010 年这个数字将上升到 17000 个。

据德国能源局资料, 2009 年德国已有 35 家 沼气提纯工厂，并入管网的沼气为 1.9 亿 Nm^3 。 2010 年并入管网的还将增加 30 家，可将沼气的量提高到 3.8 亿 Nm^3 。

表 1-8 2009 * 年各欧盟国家人均主要沼气能源产量

单位: toe / 1000 居民

国别	人均沼气 能源产量	国别	人均沼气 能源产量	国别	人均沼气 能源产量
德国	51.5	瑞典	11.7	希腊	5.2
英国	27.8	比利时	11.5	拉脱维亚	4.3
卢森堡	24.5	斯洛文尼亚	10.9	西班牙	4.0
奥地利	19.7	法国**	8.1	匈牙利	3.1
丹麦	18.0	爱尔兰	8.0	斯洛伐克	3.0
荷兰	16.2	芬兰	7.7	波兰	2.6
捷克	12.4	意大利	7.4	葡萄牙	2.2
爱沙尼亚	2.1	塞浦路斯	0.2		
立陶宛	1.4	罗马尼亚	0.1	欧盟	16.7

(3) 意大利

意大利致力开发农业沼气。意大利是欧洲第四大沼气生产国，2009 年的产量为 444.3 ktoe (8.886 亿 m^3)，主要能源比 2008 年提高 8.4%，发电量比 2008 年提高 8.8% 。

该国预计在未来 5 年内至少达到 2 000 MWe 的能力，因此自 2010 起，会开始一个飞跃发展。意大利目前有大约 200 个装置，大部分是农场沼气工程，总生产能力约为 200 MWe。积极的立法大大促进了农业沼气的发展。Berlusconi 政府在 2009 年颁布了一项法规，确定农业原料沼气发电上网的固定电价为 € 0.28/kWh (28 欧分/kwh)。该价格（仅适用于小于<1 MW 的装置）在欧洲属最高。

（4）法国

2009 年法国生产沼气 526.2 ktoe (10.524 亿 m^3)，法国较少采用畜禽粪便和能源植物生产沼气，大部分沼气来自填埋场（约占 65%左右）。市政和工业废水（34%）。法国有 300 个垃圾填埋场，其中 200 个收集沼气，但仅有 65 个进行沼气转化。2009 年还有 74 个城市污水处理厂和 90 个工业废水沼气工程（污泥处理产沼气主要用于产热和少量发电）。农场设备不足，仅有十几个。此外还有 6 个生活废弃物沼气厂。因此 2009 年的沼气发电量仅为 846.4 GWh，仅为德国和英国的一小部分。

沼气工程（特别是农业沼气）似乎正在遇到暂时的困难。

法国最新建成的沼气化垃圾处理厂位于北部的加来市。于 2006 年 12 月 8 日正式投产。该工厂年处理垃圾为 28000 吨，主要是经过挑选的可发酵生物垃圾和农业食品工业垃圾（油和油脂），这些垃圾来自市区和周边 59 个村镇。垃圾沼气化处理后，产生的肥料将用于农业；产生的沼气将卖给法国电力（EDF），可发电 6600MWh/年；还可产生热水形式的能源 4900 MWh/年，用于垃圾干燥；3000 MWh/年的蒸汽，用于高压供热。

（5）丹麦

在丹麦，沼气工程已有 30 余年历史，许多沼气工程已成为城市与农村之间物质与能量交换的桥梁；城市获得能源，农村改善环境，获得肥料。城乡共同受益。

2009 年丹麦预计生产沼气 2 亿 m^3 ，发电 324.7GWh，大部分沼气来自 20 个集中式联合沼气发酵工厂（每个沼气厂接受 10~15 公里范围内 100 个以上农场的粪便）和 60 个农场沼气工程（占总量 62.3%），其余是填埋气（占 15.5%），生物固体处理沼气工程（占 22.2%）。

目前正在计划兴建大型联合沼气工程至少 10~15 个。热电联产（CHP）也发展很快，占整个国家沼气发电的 99.3%，占沼气工业的 84.6%。

（6）西班牙

2009 年预计沼气产量为 3.67 亿 m^3 ，填埋气占总沼气的 75.0%左右，这些增加主要得益于沼气发电，2009 年沼气发电达到 527 Gwh。

（7）奥地利

其沼气发展与德国类似，自从绿电法案颁布以来，农场沼气工程发展迅速。

2005 年后投入运行的沼气工程, 平均装机为 500Kw。目前沼气工程数已超过 350 座。2009 年预计产沼气 5.14 亿 m^3 , 沼气发电总量 638.0 Gwh。

(8) 瑞典

瑞典 2008 年沼气产量为 2.04 亿 m^3 (2009 年预计 2.56 亿 m^3)。沼气主要有两个来源: 污水处理厂 (140 座), 沼气产量占总量的 66%, 填埋厂 (60 座) 沼气产量占 34%。

2007 年瑞典建成世界上最大的处理市政污水的沼气工程, 沼气产量 1600 m^3/hr , 沼气净化后作为汽车燃料。

(9) 芬兰

因为目前法律允许采用如堆肥等廉价的方式处理禽畜粪便, 禽畜粪便沼气工程几乎没有。在 Vaasa 和 Stormossen 沼气工程, 用于处理市政固体废弃物, 每年生产大约 170 万 m^3 沼气 (10200MWh)。一些试验性的农场沼气工程正在运行。

2008 年芬兰产沼气 0.9 亿 m^3 , 2009 年预计产沼气 0.92 亿 m^3 。

(10) 荷兰

大约在 1980 年, 建立了大约 30 个农场沼气工程, 由于运行费用高, 消化液肥料价值低, 导致了大多数沼气工程不再运行。厌氧消化主要用于污泥处理和污水净化。2005 年联合消化的沼气工程还不到 10 座, 2007 年初, 已经达到 50 多座, 但是集中式沼气工程大规模的发展仍然存在困难, 并需要时间。

2008 年荷兰产沼气 4.52 亿 m^3 , 2009 年预计产沼气 5.24 亿 m^3 , 发电总量 915.0 GWh。

(11) 葡萄牙

在葡萄牙有几个地区猪场高度集中, 在 Lourinh, .q, .Rio.Major 和 Leiria, 有 4 个集中沼气工程在运行, 在中部, 南部大约 60 个农场沼气工程在运行。集中沼气工程的运行结果不满意, 因为选用了不适合的处理方式, 通常应用的是厌氧消化工艺 (塞流式、上流式污泥床、常规厌氧消化、厌氧滤池), 活性污泥法后处理, 条垛式堆肥。没有粪便与其它有机废弃物的联合消化沼气工程。

2008 年葡萄牙产沼气 0.46 亿 m^3 。

（12）美国

美国作为全球最大的能源消费国，1970~1990 年间，以能源为主要目的，大约建造了 140 座沼气工程。但由于设施简陋，设计不规范，安装不合理，管理差等问题，很多已报废或停止使用。近 10 年来，迫于能源短缺和环境保护的压力，沼气技术又日益受到重视，根据环境保护署（USEPA）2010 年的数据，全美约有 140 个养殖场修建了沼气工程，每个养殖厂的平均养殖量为 17000 头（奶牛）。沼气工程的平均投资为 100 万美元。据明尼苏达大学 2009 年在全美养猪企业作的一项调查，得知全美只有 10 家养猪企业设置了沼气工程。目前美国约有 70000 座奶牛养殖场，10 万家养猪场，而设置沼气工程的养殖厂很少，所以说农业沼气工程遭到冷遇。

美国在垃圾填埋气体产能工程方面做的很好，美国现有 420 多个运行的垃圾填埋气体回收厂，多数位于中西部和加利福尼亚州。还有 82 个新厂正在建设中。由于联邦政府和州政府的刺激政策 2/3 的垃圾填埋沼气用于发电。

美国有 3500 多个城市污水处理厂配有厌氧消化装置（美国沼气委员会网站信息），用以处理污泥（固体废物）。其中越来越多的处理厂正在收集沼气来代替电和天然气的用量。美国正在设计一些处理有机废物（例如来自城市固体废弃物、食品废弃物等）的设施。第一个设施于 2009 年 9 月在 Oshkosh, Wisconsin, 开工建设。

美国沼气发电量约占可再生能源发电量的 8%，其中填埋气体占 6%，其它生物质能（包括农业副产品、污泥和其它固体、液体和气体生物质能）占 2%。也就是说，填埋气体发电量占整个沼气发电总量的 75%。

美国作为一个大国，其沼气工程规模居欧美前列。2009 年约产沼气 101.9 亿 m^3 。但总体上看美国农业沼气工程与欧洲和中国相比发展缓慢。近几年美国联邦政府和各州政府制订了鼓励发展沼气工程的项目和提供财政支持，预计将有一个新的发展。

（13）日本

日本是一个岛国，国土狭窄、环境压力大，由于沼气工程占地面积大，是其发展缓慢的主要原因之一。

日本 2008 年生物质能资源量和利用率见表 1-9。从表 1-9 可见日本每年产生的食品废弃物和家畜排泄物，大部分用来堆肥或作饲料回收。近几年来生物质

发电在日本悄然兴起，已建成多处直接用牛粪进行发电的工厂。

日本垃圾处理技术较为先进，在其 1800 个城市中几乎都有垃圾处理场，其中垃圾焚烧处理厂有 1715 个，焚烧处理是日本主要采用的方法。

沼气工程在日本主要用于城市污水处理上，但近 20 年来，据日本环境省资料，厌氧处理污水设施的数量在逐年下降（表 1-10）。按国际能源署统计，2008 年日本产沼气量为 2.56 亿 m³，2009 年预计降为 1.94 亿 m³。沼气工程在日本处于不景气状态。

表 1-9 日本生物质能资源量和利用率（2008 年）

废弃物 (生物质能)	家畜排泄物 约8700万吨	堆肥等利用约90%	
		未利用 约10%	
	城市污水厂污泥 约7900万吨	制建筑材料和堆肥 约75%	
		未利用 约25%	
	造纸黑夜 约7000万吨	回收热能(发电) 约100%	
	废纸 约3600万吨	造纸原料和回收热能 约60%	
		未利用 约40%	
	食品废弃物 约1900万吨	制饲料肥料	约25%
		未利用 约75%	
	木材加工残材 约430万吨	造纸原料和回收热能等利用 约95%	
		未利用 约5%	
	建筑工程残材 约470万吨	造纸原料等利用约70%	
		未利用 约30%	
	农作物非食用部分 约1400万吨	堆肥饲料 约30%	
		未利用 约70%	
	林地残材 约800万吨		
		未利用	

注：热能回收指用于发电或热再利用。

表 1-10 日本城镇生活污水处理设施数及处理方式和能力的变化

(处理能力: kl/日)

处理方式		1991年度	1995年度	2000年度	2005年度	2008年度
厌氧处理	设施数	355	234	130	76	56
	处理能力	30,681	19,869	10,996	6,476	4,444
好氧处理	设施数	346	265	191	136	118
	处理能力	33,353	19,716	12,166	8,465	7,536
标准脱氮 处理	设施数	245	281	300	288	268
	处理能力	26,048	30,157	31,908	29,655	27,737
高负荷 脱氮处理	设施数	138	175	198	203	182
	处理能力	9,672	13,817	16,498	17,493	14,938
膜分离 处理	设施数	--	28	41	38	26
	处理能力	--	1,616	2,375	3,055	3,650
其 它	设施数	175	200	259,	317	389
	处理能力	18,053	20,028	25,917	30,277	35,441
合 计	设施数	1,259	1,183	1,119	1,058	1,039
	处理能力	117,807	105,203	99,860	95,420	93,745

(14) 印度

沼气在印度有着很长的历史,但真正的发展是在 1981 年提出沼气发展国家计划之后,这个计划在 1985~1992 年取得了巨大的发展,在这一阶段,每年都有 16 万到 20 万的农村沼气池被安装并用来处理动物粪便和下水道污泥。

1992 年以后,由于资金的短缺和政府资助的减少,沼气系统没有像原来那样发展。部分已建成的装置也没有使用。

1.2 沼气利用现状

1.2.1 在欧美、日本沼气利用主要有以下形式

(1)工业污水处理产生的沼气主要以热（蒸汽）的形式由工厂内部使用。

(2)市政污水处理厂、农场、固体废弃物处理沼气工程主要以热电联供形式（CHP）利用，发电上网、余热用于厌氧消化加温。

(3)垃圾填埋场产生的沼气主要用于发电上网。

(4)沼气提纯制天然气。

如果将沼气中甲烷含量提纯至 96%以上，则可以用作汽车燃料，或通入城市燃气管网替代天然气。瑞典、瑞士、法国、冰岛等都已将沼气作为公共汽车、火车、轿车燃料的事例。

表 1-7 是 2008 年、2009 年欧盟沼气发电量和热电联产的发电量。

1.2.2 主要国家利用状况

(1)德国

自从 2000 年德国颁布《可再生能源法》（Renewable, Energy, Act（EEG））后，由于受政策激励，目前德国大部分沼气产出用于发电上网，至 2008 年底全国总装机容量为 1893 兆瓦，预计 2009 年底总装机容量为 2300 兆瓦。其中装机容量大于 500kw 的工程占总数的 19.5%，装机容量在 70kw 和 500kw 之间的占总数的 65.6%，其余部分装机容量在 70kw 以下，占 14.9%。据相关报告显示，今后建设重点将会放在装机容量在 150kw 以下的小型沼气工程。

下表为德国沼气工程规模分类参考标准。德国 98%以上的沼气工程都产气发电，因此，在工程规模上往往根据发电机装机容量进行分类。

表 1-11 德国沼气工程规模分类

工程规模	装机容量
小型沼气工程	≤150kwel
中型沼气工程	150kwel-500kwel
大型沼气工程	>500kwel

为了有效利用沼气发电产生的热能，一般沼气工程采用热电联产模式，增加发电余热的利用率。有些工程将沼气经过脱水、脱硫和纯化后并入天然气网络。截止至 2009 年底，根据总装机容量估算全德沼气年发电达到 10.26Twh。

由于热电联产优惠政策的刺激作用，沼气发电余热的利用率将进一步提高。同时对于余热利用的优惠政策力度也有望有所加强。扣除沼气工程运行的自身热能需求，还有 54%的发电余热可被外部有效利用。目前，德国沼气发电转化率为 38%左右，热能转化率在 45%左右，分别相当于 3.8 Twh 的电能和 4.4 Twh 的热能。

发电余热主要用于公共建筑、房屋的供暖、农舍的供热、农作物干燥和沼渣烘干，也有少部分用于制冷和园艺需要。

关于沼气发电余热利用的最新技术为 ORC（Organic Rankine Cycle）有机朗肯循环技术，能将发电时产生的余热继续用于发电。这种技术现今德国只有几个沼气工程在实际生产中使用了该技术。因此该技术的应用还需积累更多的实践经验。

在德国，沼气净化得到了普遍的关注，大型沼气工程采用一定的净化设备和工艺将沼气净化后并入天然气网络进行集中供气。这一方式大大解决了部分地区对热能的高需求，从而达到更高的沼气总利用率。2008 年底共有 15 家沼气项目成功实现了沼气与天然气网络并网。

虽然瑞典几年前就已将沼气作为汽车燃料使用，但在德国目前只有一家沼气工程将净化后的沼气作为汽车燃料出售。

（2）英国

污泥消化沼气工程产生的沼气用于发电，发的电和余热供污水处理厂使用或并入国家电网。

（3）法国

大部分沼气就地燃烧，或发电用于处理站自身消化，或者内部供热。一些沼气作汽车燃料的项目得到了发展，法国里尔有 124 辆沼气燃料汽车。

（4）瑞典

瑞典是使用沼气作汽车燃料最先进的国家，沼气作汽车燃料开始于 1996 年，并建立了沼气作汽车燃料的标准。目前近千辆沼气燃料公共汽车，4500 辆汽油、沼气与 天然气混合燃料的小汽车，2004 年开始，火车开始也以这种方式运行。

在交通工具的气体燃料中，至 2009 年沼气占 60%，其余是天然气，未来则全部用沼气。

（5）丹麦

丹麦的沼气用来发电，电并入国家电网，农场主就地利用发电余热。丹麦的沼气可以并入天然气网。丹麦沼气工程的收入主要来源于三个方面：出售电网占 1/3，供热占 1/3，收购工业废弃物占 1/3。

（6）奥地利

沼气用于发电，电并入国家电网，农场主就地利用发电余热。

（7）荷兰

沼气主要并入天然气网作为燃气。

（8）冰岛

沼气用作汽车燃料，首都-雷克雅未克到 2006 年有 44 辆沼气燃料汽车。

（9）意大利

产生的沼气主要是养殖场使用或居民使用。

（10）美国

美国所产沼气大部分用于发电。美国沼气发电量约占可再生能源发电量的 8%，其中填埋气体占 6%，其它生物质能（包括农业副产品、污泥和其它固体、液体和气体生物质能）占 2%。

美国天然气价格要比生产沼气的成本高 3~5 倍，因此将沼气净化为天然气成为商业获利的可能。北美最大的再生天然气工程（在德克萨斯）于 2008 年 10 月投入运行，工程处理 10000 头奶牛粪便，总投资 1200 万美元。预计每年可生产 20 万吨可抵扣碳信用。

一些大型天然气和电力公司已签署购买厌氧消化产生的沼气。

加利福尼亚空气资源委员会已认定，作为交通燃料的可再生沼气为现今得到的生物燃料中生命周期碳排放最低的燃料。

1.3 沼渣、沼液的利用

合理规划和妥善消纳沼渣、沼液，是建设沼气和创建农业循环经济的瓶颈问题。在这方面，欧洲国家积累了丰富的经验，本文重点介绍丹麦在沼渣、沼液综合利用方面的技术及管理经验。

从上世纪 80 年代以来，丹麦的沼气工程业主面对如下要求：

(1)有责任确保沼渣、沼液的储存能力（起初为 6 个月，后来延长到 9 个月）。

(2)确定每种作物施用沼渣、沼液中氮的最高用量。即控制每公顷地沼渣、沼液的使用总量。

(3)降低消化液肥施用产生的臭味和磷的浸出。

丹麦沼气厂通过分离技术（例如离心离心机），将消化液肥分为二部分：

(1) 液体部分（沼液）总量的 80~85%，含氮 80%，其中几乎所有的氮可被农作物充分利用。

(2) 纤维部分（沼渣）总量的 15~20%，由于量的减少，可运至更远，需要有机土壤改良剂的地方。

丹麦国会 2006 年通过了一项新的法令，将纤维部分用做生物燃料来发电和热，规定为合法的作法，从而完全清除了对环境的影响。磷可以从灰分中得到回收。

丹麦的农场通常建有两个以上的储池，其中一个用于集中收集粪污，另一个用于储存沼渣、沼液，大部分沼气工程采用“以粪换肥”的方式，企业主用大型槽罐车将各农场粪污收集池的原料运送到沼气工厂进行资源化、无害化处理，再将沼气发酵后的沼渣、沼液运输到沼肥池储存，在施肥季节，再由罐车运输到田间进行灌溉。

少数大型沼气工程的沼液也以还田为主，剩余的沼液实行固液分离，脱水后的沼渣制成有机固体肥料，清液按工艺要求部分循环回流入沼气池，部分经灭菌处理后用作畜舍的冲洗水或再经过深度处理后排放。

大多数沼气工厂由农场主独立或联合建设，使用沼气设备可以将大量的有机废弃物（除畜禽养殖粪污之外，还收集废油脂、化工有机废液、过期食品）可转化成电能和热能以及高质量的经济肥料。在丹麦，沼肥价格通常不到化肥的 25%，但沼肥中的氮、磷、钾肥效的性价比远远高于史丹利复合肥，1 吨沼液的肥效约相当于 1.25kg 尿素，施用沼肥的农作物平均增产 20%以上。

通过沼气工程的消化过程，降低了氮素的流失，改变了畜禽粪污作为肥料的特性。（见表 1-12）

表 1-12 1 头牛在 1 年内产生的肥料元素 (kg/year)

种类	DM (%)	TN (kg/t)	NH ₄ -N (kg/t)	P (kg/t)	K (kg/t)	PH	NH ₄ -N (%)
牛粪	5.0	4.8	2.9	1.1	2.3	7.1	74
猪粪	7.5	3.9	2.4	0.9	3.5	6.9	61
沼肥	4.8	4.4	3.5	1.0	2.3	7.6	81

丹麦沼气工程沼渣、沼液的储存期约 9 个月，施于周围农田。从原料收集、投料、发酵、产气、脱硫、发电、出料、沼渣沼液储存、运输等全过程目前已全部实现机械化和自动化管理。

近年来，丹麦在沼渣沼液储池的设计上遵照欧盟标准对沼液池采用行三层膜结构，设置两层底膜，在沼液上面还覆盖一层顶膜，防止氨氮和气味散失散发，并在底膜以下设置防渗漏检测管道和监测井，避免对地下水源造成二次污染。

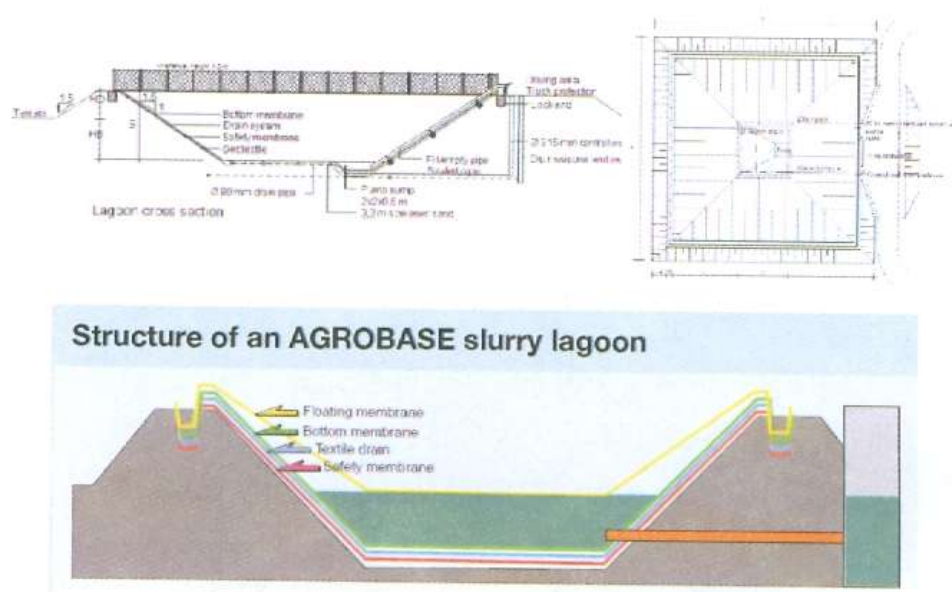


图 1-1 带顶盖的沼肥储存池设计形式

在储池顶膜的覆盖材料上，除采用 0.5mm 的 HDPE 防渗膜以外，丹麦还有专业公司开发了多种形式的柔软覆盖材料。



图 1-2 拼接式沼液储存池池顶覆盖材料

在沼渣沼液的固液分离上，主要有丹麦阿法拉法公司生产的卧螺式分离机。意大利维艾姆公司的螺杆积压式分离机等设备，也有少数工厂采用浓缩设备对沼液进行减量提浓，但因成本太高，目前基本不再运行。

由于丹麦政府严格控制畜牧业与种植业的协调发展，区域性的土地资源基本能消纳所在地沼气工程产生的沼渣沼液。相对于工程建设而言，沼气工程围绕原料收集、储存、运输进场和沼肥外运消纳的运行管理更加重要。

其主要经验是做好养殖场的粪污管理，做好粪污的存放、收集与运输。

从沼气工程运输沼液到各田间沼液池通常是由沼气工厂管理方负责完成，而从各田间沼液池运沼肥到农田则是由农场主自行负责。沼液的 TS 浓度在 4%~7% 之间，直接采用 20~30 吨的大型槽罐车运输，运输半径通常在 30 公里以内。

德国沼气工程都建有沼渣、沼液储存池，储存的沼渣、沼液经过 6 个月的存放作为农作物的肥料利用。每个沼气工程都配有运送沼渣、沼液的罐车。根据发酵料液的不同，要求对沼渣、沼液中含有的各种重金属含量不允许超过法律规定的最大值。

德国法律还规定，自 2009 年 1 月 1 日起运行的沼气工程，沼渣沼液储存池必须加盖，不允许有敞开式的储存池存在。经过有关部门调查，全德目前有 48% 的沼气工程中的沼渣沼液储存池是敞开式的。敞开式储存池会增加沼渣沼液中氮素通过好氧分解而流失。储存池加盖后还能改善卫生环境，防止由于长期堆放产生的异味逸出。

第 2 章 沼气工程采用的技术

2.1 发酵原料

欧洲工业废水处理沼气工程的原料主要是糖加工废水、土豆加工废水、造纸废水、啤酒废水等。污水处理厂沼气工程的原料是剩余污泥与初沉污泥。农场沼气工程发酵原料主要有三种：

畜禽粪便：牛粪、猪粪、鸡粪；

能源植物：主要是玉米及玉米秆，其它植物如青贮饲草、紫花苜蓿、三叶草、向日葵、甜稷、苏丹草也变得越来越重要；

有机废弃物：如食品与农产品加工废弃物，市场废弃物、市政垃圾有机物。

在德国，大约 94% 的农场沼气工程是混合原料发酵，牛粪或猪粪占混合发酵原料的比例在 50%~80% 之间。有机副产品、农产品和食品加工废弃物、能源作物以及作物收割残余物是最常用补充发酵原料。玉米和青草是最常用的能源作物，2009 年德国能源作物的种植面积为 56 万~58 万 hm^2 ，比 2008 年增加了 6 万~8 万 hm^2 ，根据政策规定，每种植 1 hm^2 能源作物可获得 45 欧元的补助。因为每公顷玉米的甲烷产量高，青草具有输入成本低的特点。很少的工程采用单一能源作物作为发酵原料。

在奥地利，大约 10% 的新建沼气工程只消化能源植物，消化能源植物与畜禽粪便混合原料的占 65%，消化畜禽粪便与有机废弃物混合原料的大约占 25%。新建的沼气工程很少采用单一发酵原料(占 3.1%)，往往是几种原料混合发酵，以 4 种、5 种发酵原料的沼气工程最多，分别占 26.1% 和 25%，有的多至 6~7 种发酵原料。能源植物与畜禽粪便混合发酵能保证系统稳定。如果只有能源植物或添加有机废弃物作原料，沼气工程的运行很困难，因为缓冲能力低、产气被回流液中的盐或氨氮抑制，系统容易失稳。

丹麦有 20%~50% 的沼气工程发酵原料来源于非农业废弃物。农场沼气工程十分依赖食品工业的废油如鱼油和动物油。每 m^3 废油可产沼气 700~1000 m^3 。在畜禽粪便中添加 2%~5% 的废油。沼气产量将翻倍，因此使投资变得更有吸引力。虽然目前只付运费，由于获得这种油的竞争日趋激烈。以后将不得不付费购买。一个沼气工程每年需要 500~900 吨废油，整个丹麦每年总需要量大约

5000 吨，显著高于可供量，因此还需要从汉堡和鹿特丹进口。

美国生产沼气大多数来自垃圾填埋场和城市废水处理的污泥处理，所用的原料主要是市政有机垃圾和污水处理厂的剩余污泥。

2.2 发酵工艺

在欧洲对于工业废水如糖加工废水、土豆加工废水、造纸废水、啤酒废水等原料，主要采用上流式污泥床(UASB)、膨胀颗粒床(EGSB)和内循环厌氧反应器(IC)等高效厌氧反应器。以污泥为原料的沼气工程采用完全混合式厌氧反应器(CSTR)。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。

德国农业沼气工程普遍采用湿式完全混合式发酵工艺。湿式发酵工艺的操作条件是发酵罐中的总固体浓度低于 10%，使之可用于全混合消化罐。干式发酵工艺的操作条件是发酵罐中的总固体含量在 15%和 35%之间。目前在农业上，湿式发酵工艺占绝大多数。

在德国采用湿式发酵工艺的沼气项目占总数的 89%，只有 40 个左右的沼气工程采用了干发酵法，占总数的 8%。沼气发酵罐以地上立式圆形为主。罐体材料为钢筋混凝土或搪瓷材料。罐体内部侧面或顶部中央安装有搅拌器。德国沼气的发酵罐平均容积为 1000m^3 左右。产气、贮气一体化发酵罐得到了普遍的使用，发酵罐顶部一般为双层沼气贮气膜结构。

卧式发酵罐（推流式工艺）主要用小工程或高固体含量的原料，在德国，约占沼气工程的 4%，容积一般为 $150\sim 600\text{m}^3$ 。

在奥地利采用完全混合式厌氧工艺的立式发酵罐沼气工程占 84%左右，标准容积 500 和 2000m^3 。完全混合式与推流式组合工艺占 16%左右。

在欧洲能源植物的原料 VS 产 CH_4 率 $0.33\text{ m}^3/\text{kg}$ ；能源植物与粪便混合原料 VS 产 CH_4 率 $0.45\text{m}^3/\text{kg}$ ；能源植物、畜禽粪便与有机废弃物混合原料 VS 产 CH_4 率 $0.32\text{ m}^3/\text{kg}$ 。

有机固体甲烷化从 1990 年以后成为厌氧消化新趋势。也是未来沼气产业的发展方向。这种类型的提供商在欧洲很多，每个公司都发展了自己的厌氧消化技术。主要技术包括：Valoiga, Linde BRV, Drsnco。BTA end Kompogas 工艺。

在德国和欧洲，由于越来越多的沼气工程使用能源作物进行发酵，从而发

展出新型的干湿同步发酵工艺。干湿同步发酵工艺由两个主要部分组成：一是用钢筋混凝土建造的干式发酵柜，二是大体积的循环水储存池。发酵原料经过好氧预处理后温度上升，然后进入干式发酵柜中，利用渗滤液回流原理，为干物质含量高的发酵原料增加水分。发酵柜中的原料经过干发酵的水解和酸化阶段后进入湿发酵罐，进入产酸和产甲烷阶段。

该工艺产气稳定，保证了沼气发电的持续稳定性。厌氧发酵结束时，通过换气系统向干式发酵柜中通入空气，避免沼渣产生异味污染空气环境。

在美国农场主要采用如下三种厌氧消化工艺：

（1）覆膜厌氧塘

在原有的畜粪储存塘上加盖一个膜收集沼气，处理粪污 TS 浓度 0.5~3.0%，有机负荷低，一般用于处理粪污水处理。占总沼气工程的 58%。

（2）全混合厌氧消化罐

罐内有搅拌机和增温设施，顶盖用固定密封顶或膜顶收集沼气。当前，德国产气储气一体化厌氧罐新技术已经在美国一些农场得到应用。因其造价低和技术可靠。已逐步成为主流池型。现占总沼气工程的 27%。

（3）塞流式厌氧消化器

常用于牛场粪污处理，处理粪污 Ts 浓度 5~13%。有机负荷为 1~6 KgCOD/m³·d。占总沼气工程的 19%。

其它少数农场也有采用 ASBR 和 UASB 工艺处理猪粪污水。

2.3 发酵温度

德国和奥地利的农场沼气工程，90%采用中温发酵，德国有大约 9%的沼气工程采用高温发酵。奥地利只有 3%左右采用高温发酵，另有 3%左右采用一级高温、二级中温的组合发酵。

美国绝大部分农业沼气工程采用中温发酵（35~40.5℃）。

丹麦自 1999 年以后，新的联合沼气厂的建立，管理得到改进，产沼气量逐年提高。一些工厂从中温发酵转为高温发酵（52~55℃）。目前丹麦的沼气工程多采用高温发酵工艺。研究表明：经过高温，厌氧消化大肠杆菌可以从 6~13 ×10⁴ 个/ml 降到 5 个/ml 以下，还可以消除臭味，减少温室气体排放。

2.4.工程装备

德国、丹麦、荷兰等发达国家的沼气工程装备已达到了设计标准化、产品系列化、生产工业化，质量得到有效的控制。工程装备的组装技术也已模块化、规范化。德国的大型厌氧消化装置（容积在 $2000\sim 5000\text{m}^3$ ）为圆柱型立式罐，多为钢结构，Lipp 罐居多，如图 2-1。



图 2-1 厌氧工程全景图

中小型厌氧消化装置(容积在 $200\sim 1500\text{m}^3$)多为圆柱型立式罐，钢结构或钢筋混凝土结构。二级厌氧消化装置(立式罐)顶部常常装有双膜储气罩，构成了发酵、储气一体化装置，既节省了单独设立储气装置的费用(比分体式降低 15%左右)和占地面积，又解决了在寒冷地区冬季储气装置水封防冻的问题(图 2-2、图 2-3)。



图 2-2 发酵、储气一体化装置（池体为钢结构）



图 2-3 发酵、储气一体化装置(池体为钢混结构)

配套设备，如：带切割装置的高固形物的进料泵、低速混合搅拌器、增温保温设施、生物脱硫装置等已形成专用、系列化产品，制造工业水平较高，产品性能稳定，很有实用价值和市场竞争力。

欧洲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，在奥地利，新建沼气工程 54%采用低速浆式搅拌器，9%采用长轴式搅拌器，7%采用快速潜水推进式搅拌器。大约 55%的消化池采用 1 个搅拌器，目前的趋势是采用 2 个（大约 42%）或 3 个搅拌器（大约 3%）。

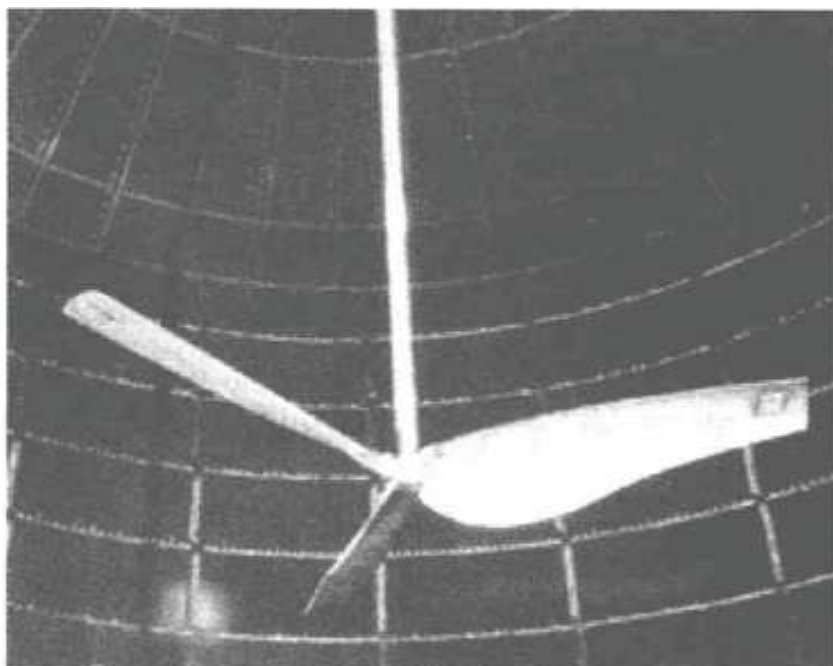


图 2-4 立式搅拌器



图 2-5 侧式搅拌器

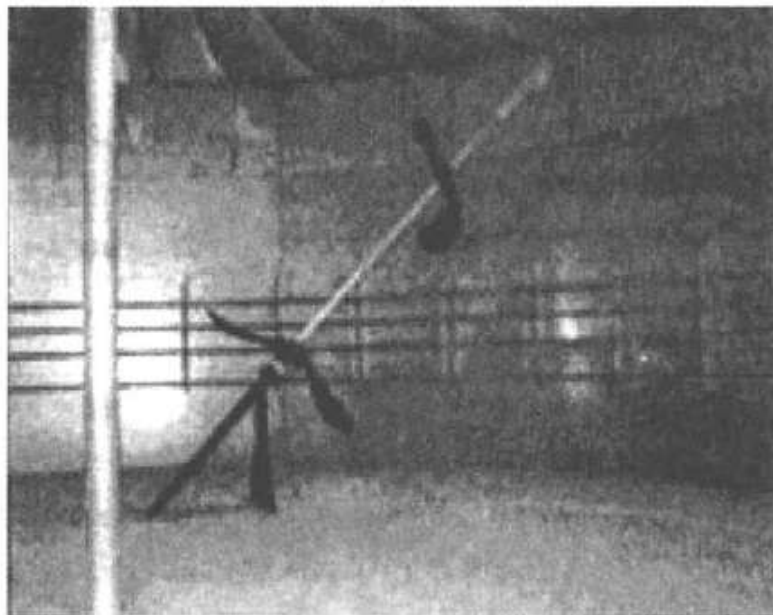


图 2-6 斜式搅拌器

图 2-4、图 2-5、图 2-6 为德国的低速机械搅拌器。搅拌器的选型是依据发酵原料的性质、厌氧消化工艺类型、消化装置的形态和容积以及混合料液的粘度等诸多参数确定。

德国的沼气储柜、沼气发电站见图 2-7、图 2-8。



图 2-7 沼气储柜



图 2-8 沼气发电站

另外，欧洲的沼气工程的机电设备操作基本实行自动控制，工程运行管理实施远程在线监测，工程运行管理人员很少，工程运行效果可控性强，能保证全年稳定运行。

2.5 沼气净化

沼气净化的程度取决于沼气的用途。沼气供热，需要脱水、脱硫；沼气发电，需要脱水、脱硫、脱有机卤化物；沼气作汽车燃料，需要脱水、脱硫、脱有机

卤化物、脱二氧化碳；沼气并网，需要脱水、脱硫、脱有机卤化物、脱二氧化碳以及去除金属。沼气作汽车燃料的净化要求最高：甲烷含量大于 96%，水分含量低于 $15\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ ， H_2S 含量不超过 $100 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ ，颗粒物限制在 $40\mu\text{m}$ 以下。

在欧洲沼气净化具体方法如下：

脱水：两相分离、冷却。当沼气用于并网时，脱水采用乙二醇或分子筛吸

附，用于燃料时，含水率低于 $15 \text{ mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$ 。

脱硫： Fe_2O_3 ，活性碳。水洗，可以同时脱硫和 CO_2 。生物脱硫，在德国农业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，少部分采用罐外脱硫。因为生物脱硫技术比较简单，费用低并能满足发电机组的要求。

脱有机卤化物、重金属：活性碳吸附法。

脱氧：催化处理。

脱 CO_2 ，水洗、变压吸附，可以同时脱硫和 CO_2 。正在进行藻类光和固定。

脱有机硅、碳氢化合物：活性碳吸附法。

德国采用的沼气净化工艺主要分为压力水洗法、压力交替吸附法和氨洗法。最新的膜净化工艺还处于试验阶段，尚未投入到实际应用中。

值得一提的是，德国要求沼气工程安装气体燃烧火炬，控制未利用的多余沼气排放到大气中，造成二次污染，产生爆炸、火灾隐患以及异味污染。根据法律条款 VD13575，沼气工程只被允许向大气中排放不多于 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 的未经净化或未燃烧的沼气。

2.6 沼气燃料电池

最近几年。沼气作燃料电池的试验已经在整个欧洲进行。欧盟 AMONCO 项目研究结果已经显示出沼气燃料电池的潜力。例如：与目前的气体发动机相比，热电联产机组中燃料电池能提高效率。采用现代发动机可以将沼气发电效率从 30% 提高到 35%，而燃料电池的电效率可以达到 60% 以上。在家庭，燃料电池能代替老的加热设备，直接供电供热。沼气燃料电池分为低温燃料电池和高温燃料电池。今后的发展趋势是高温燃料电池，因为它具有高效。甲烷纯度要求不高，沼气净化、转化系统简单，蒸汽需要量低(CO_2 用于转化)等优点。

在欧盟 EFFECTIVE EU 项目的支持下，沼气作熔碳燃料电池(Molten Carbon Fuel Cell(MCFC))的试验已在德国(工业废弃物)、斯洛伐克(农业废弃物)、奥地利(废水)、西班牙(填埋气)进行。

第 3 章 沼气产业发展状况

在过去的 20 年间，欧洲沼气工业得到了蓬勃发展。目前德国市场不再是欧洲唯一的市场驱动国，因为越来越多的国家都在为其本国沼气工业的发展奠定基础。意大利的发展预测尤其高，要与法国、西班牙和英国一争高低，东欧出现了新的市场例如捷克、斯洛伐克和匈牙利。

欧洲处理废弃物的沼气产业依靠自己建立、发展，并成功地成为羽翼渐丰的实业公司。在德国从事农业沼气工程开发、制造的沼气公司已达 400 家。

欧洲沼气产业的另一个发展重点是开发海外业务，主要是在北美地区。这种多元化形式使欧洲工业竞争力得到巩固和提高。

欧洲沼气生产厂适合于各种废弃物（废水处理、生活废弃物、食品加工废弃物、农业废弃物和能源植物）。下述企业是在沼气市场的能源生产行业运作的企业，目前有许多欧洲生产厂家打入国际市场，例如德国的 Biogas Nord; Weltec; BKN Biostrom; Strabag Umwelthanlagen; BTA international; Schmack Biogas 以及丹麦的 Xergi 等（见表 3-1）

表 3-1 欧洲沼气生产领域具有代表性的公司

企业或公司	国 家	2009年 工厂数量	处理能力 (吨/年)	2009年 发电能力
Strabag Umwelthanlagen GmbH	Germany（德国）	47	2,731,500	未公开
Axpo Kompogas AG	Switzerland（瑞士）	50	1,000,000	未公开
Biotechnische Abfallverwertung	Germany（德国）	40	1,170,000	未公开
Organic Waste Systems	Belgium（比利时）	16	1,231,000	未公开
Biogas Nord AG	Germany（德国）	240	未公开	90 MWe
Weltec BioPower GmbH	Germany（德国）	200	未公开	36 MWe
Envitec Biogas AG	Germany（德国）	320	未公开	185 MWe
MT-Energie	Germany（德国）	224	未公开	120 MWe
Malmberg Waters	Sweden（瑞典）	35	未公开	48,7 MWe

注：来源EurObserv' ER 2010。

Axpo Kompogas 公司 Axpo Kompogas SA 是 Axpo 瑞士新能源集团的一家专门生产可再生能源的公司。该企业从事工业有机废弃物和生活废弃物沼气处理厂的建设已有 19 年的历史。其所建工厂的废物处理能力为 5 000-300 000 吨，其中在欧洲最大的处理厂于 2008 年在法国的蒙彼里埃市调试运行，处理能力为 100 000 吨。该集团最大的处理厂在 Doha, Qatar，处理能力为 274 000 吨。该公司已经建立了 50 家采用 Kompogas 工艺（干式、高温厌氧消化技术）的甲烷化工厂。2009 年的销售额为 5400 万瑞士法郎(40.3 百万欧元)，2009 年雇佣了 125 人。

Mt-Energie 公司 自 90 年代初，德国 MT-Energie 公司就已经是一个先进的农业甲烷化生产系统的生产商。于 2006 年将其市场扩展到国外，自 2008 年起已在美洲市场立足。截止 2010 年 8 月底，该公司已建立了 224 家工厂，其中 197 家在德国、27 家在欧洲的其它国家（意大利 5 家、捷克 3 家、英国 2 家、Latvia 2 家）。2009 销售额提高了 40%，为 8000 万欧元（利息和税前利润为 330 万欧元）。同时雇佣人员数量从 250 人提高到 350 人。2009 年该公司建立了 70 家甲烷化生产厂，其中德国 60 家（国际市场份额为 15%）、欧洲其它国家有 10 家。据公司预测，在 2010 还要建设至少 100 家工厂（重点在东欧发展），营业额将达到 1.30 亿欧元。截止到 2010 年 3 月底，该公司定货簿上的订单额为 1.8 亿欧元。该公司的一个重点方向是要取得国外的市场份额，准备在 2010 在国外建立大约 20 家工厂。公司计划发展其对投资者进行指导的服务范围。此外还通过提供生物甲烷系统来满足市场需求。

Xergi 公司 总部位于丹麦，在英国、法国、德国和荷兰都有其公司。Xergi A/S 公司致力于欧洲和美国的能源与环境企业的开发、供应、运行和维修。业务涉及以粪便、食品废弃物、农作物和其它农业废弃物为原料的沼气厂的设计、计划、工程、开发、建设和采购。还致力于用于区域加热、工业和冷却等的热电联产厂。此外该公司还提供用于沼气、热电联产和区域加热的 SCADA 系统、污水和水处理厂以及工业自动化解方案（例如加工工业的电力供应解决方案）。另外该公司还提供试运行、技术、生物和操作管理方面的服务和 SCADA 厂和电力系统的服务和维修。其沼气和粪便的分离技术重点放在有机废弃物的能源和营养的开发；沼气的转换、天然气和填埋气体的发电、供热和冷却方案。Xergi 公司致力于通过有机废弃物、能源作物和其它环境友好燃料生产和提供沼气、

电、热和冷却，以为可再生能源的生产提供服务和产品。该公司兴建的沼气工程已涉及 15 个欧洲国家：丹麦、瑞典、芬兰、德国、奥地利、荷兰、比利时、波兰、西班牙、葡萄牙、法国、意大利、希腊、英国、爱尔兰、挪威。1993-2008 年共建有 38 个沼气工程。

Envitec Biogas 公司 Envitec 公司是德国一家致力于沼气工厂设计、建造和运行的公司。其特点是将废物处理污泥、食品工业和农场废弃物、牲畜粪便和能源作物等混合处理。该公司已设立了 320 家沼气厂，发电能力为 185 MWe。公司在 16 个国家有其代表处，包括印度（正在进行一个 30-MW 的项目），意大利也是该公司的一个不断兴起的市场（2010 年就建立了 10 个新厂。尽管有一些限制条件，但仍考虑将法国作为其未来的一个市场，因为在没有固定上网电价上网刺激条件下直接给予项目补助，使其盈利 *since direct subsidies are what dictate a project's profitability in the absence of incentive feed-in tariffs*。这种情况（即要求更多的保障措施和高额资本投入）使得投资者非常谨慎。Envitec 公司已在法国调试运行了其第一家工厂(Biowatt,526kW)，现正在建立第二个工厂 (Agrivalor, 1 400 kW) 并在申请执照建立另外 3 个工厂：Siper(1 600 kW), Agrienergie (1 000 kW) 和 Biogas 63 (1600 kW)。该公司 2008 年的销售额为 1.01 亿欧元，2009 年的销售额提高了约 20%，为 1.20 亿欧元，而在此期间其员工人数从 350 人提高到 410 人。

德国 Biotechnische Abfallverwertung 公司已经建有 40 个沼气工程，目前正在进军日本市场（每年 70000 吨废弃物）。德国 Schmack Biogas AG 公司擅长于农业沼气工程，其营业额从 2005 年的 3400 万欧元增加到 2006 年的 9000 万欧元，公司发展也反应在员工数量的增加，从 112 人增加到 297 人。到目前为止，Schmack Biogas AG 公司已经建立了 180 座沼气工程，市场已经从德国国内拓展到意大利和美国（2007 年数据）。德国 Linde BRV 公司在湿发酵方面拥有几种工艺，2005 年有 4 个新工程试运行；一个在葡萄牙，处理 4 万吨湿有机废弃物；一个在意大利处理液态粪便、有机固体和液态有机废弃物；另两个在西班牙，处理湿厨余垃圾；一个在 Burgos（40000 吨）；一个在 Salto del Negro（75000 吨）。2006 年，有 6 个正在施工中（德国 Zittau，Malchin 和 Kleinbautzen，法国 Lille，苏格兰岛，以及中国北京）处理能力 253500 吨废弃物。截止 2006 年底 Linde 已经建有 40 座沼气工程，2006 年底的营业额 1.6 亿欧元。

法国 Valorga 公司已有 12 个沼气工程使用 Valorga 工艺，每年处理 104.7 万吨废弃物生产沼气。位于法国加来第 13 个工程—Sevadec 沼气工程在 2006 年底启动，该工程具有 2.7 万吨的处理能力。该公司与中国伙伴签署了两个沼气工程将在 2008 年运行，一个在上海，处理 227500 吨新鲜废弃物（raw waste）以及 41000 吨有机废弃物；另一个在北京，处理 10.5 万吨分选后的厨余垃圾。

Mwm 公司 MWM 是一家生产高性能气体发动机（400 kW~4.3 MW 的世界顶尖制造商。该公司设计和建造交钥匙能源系统（包括对沼气、填埋气、农业气体和特殊气体的应用）。公司已安装了 1832 个发电机组（发电能力达 996 MWe），其中德国有 631 MWe、欧洲其它国家有 277 MWe、亚太地区有 53 MWe、非洲和中东有 30 MWe、美洲 America 有 5 MWe。公司在德国市场的份额为 51%。其世界运行的沼气厂达 1 300 家以上，而且每年的增长量为 200~300 家。

第 4 章 政策法律激励

沼气工程在欧美、日本的发展参差不齐，沼气发展很大程度取决于国家的政策，包括上网电价、沼液、沼渣处理利用，以及当地的燃料价格等。凡是沼气发展迅速的国家，都有相应的激励政策。欧盟的沼气发展表明，政策激励是目前沼气工程发展的原动力，例如：沼气工程发展快的德国、丹麦、瑞典、意大利、奥地利等国，都制定了促进沼气发展的法律法规。

4.1 德国

在欧洲国家中，德国是发展中小型农场沼气工程的典型代表，主要动力来自于一系列优惠鼓励政策的出台。1990 年实施的《电力并网法》。特别是 2000 年颁布的《可再生能源优先法》以及国家鼓励沼气发电上网的一系列配套政策的出台，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有吸引力。除了上网电价优惠外，对装机低于 70kW 的沼气工程还可获得 15000 欧元的补助金以及低息贷款。从新颁布的法律规定来看，德国政府更加支持小型的和以农场为基础的生物质能发电工程。

德国目前主要实行三种能源优惠政策，一是基本补助政策，二是可再生能源作物补助，三是热电联产优惠政策。其它的优惠政策还有比如鼓励创新政策。15%的沼气工程仅享受了基本补助政策。28%的工程同时享受了基本补助政策和可再生能源原料利用两项优惠政策。4%的工程同时享受了基本补助政策和热电联产优惠政策。有 46%的项目同时享受了这三项能源优惠政策，只有 7%的工程除了享受了三项主要优惠政策外，还享受了鼓励创新政策。

表 4-1 是德国沼气发电上网的价格，规定很细，尤其鼓励农业废弃物沼气发电上网。

表 4-1 德国沼气发电上网的价格（欧分/kwh）

农场沼气工程		填埋气和污水处理厂沼气工程		
基本上网电价	≦150kw机组	11.16	≦150kw 机组	7.67
	150-500kw机组	9.6	500kw-5Mw机组	6.65
	500kw-5Mw机组	8.64		
	5Mw-20Mw机组	8.15		
额外补贴	能源作物、动物粪便、农产品加工废弃物作原料	4~6	新技术	2
	热电联产	2		
	新技术（干发酵、燃料电池、汽轮机、多燃料发电）	2		

注： 购买电价从2005年1月1日起，每年递减1.5%。

2009 年起，基本发电并网补助在 8.25 欧分/kwh 和 11.67 欧分/kwh 之间。利用再生能源作物发电的沼气工程可额外享受 3 欧分/kwh。这比 2004 年的政策增加了 1 欧分/kwh。而技术创新补助金额为 2 欧分/kwh。

4.2 奥地利

根据欧盟的要求，2002 年制订了《绿色电力法》，鼓励建设消化能源作物与畜禽粪便的沼气工程，不鼓励消化有机废弃物的沼气工程。含有有机废弃物的沼气工程，上网电价比消化能源植物与畜禽粪便的沼气工程低 25%。对有 2004 年底前取得许可，以及 2006 年中期运行的所有生物质能工程，保证发电上网优惠价格到 2015 年。对沼气工程，国家没有财政支持，在特定条件下，联邦州政府和环境部对小型农场沼气工程给予支持。在欧盟资助的农村发展项目范围内(BMLFUW, 2003, 83)或在国家技术促进项目内(BGBl. INr. 149/2002)，政府补贴可以达到沼气工程投资的 40%。

表 4-2 是奥地利沼气发电上网价格，基本上是参照德国的做法。

表 4-2 奥地利沼气发电上网价格 (欧分/kwh)

机组	农场沼气工程	混有其它废弃物的农场 沼气工程
≤100KW	16.5	12.375
100-500 KW	14.5	10.875
1000 KW	12.5	9.375
≥100LW	10.3	7.725

4.3 法国

2006 年 7 月新上网电价的颁布 (表 4-3), 是法国沼气发展的重要转折点。新电价的执行期为 15 年。并且简化了上网手续。上网技术更方便易行。

表 4-3 2006 年法国沼气发电上网价格 (欧分/kwh)

	基本电价		额外补贴
≤150KW 机组	9	沼气工程	2
≥2MW 机组	7.5	热电联产	0~3

2009 年, 法国农业部开展了一项针对农场 (2009~2013 年) 的积极能源实施计划, 计划包括支持农场沼气工程投资, 建议使用畜禽废水生产沼气的一种专门的沼气发电上网固定电价, 以克服阻碍生物质沼气入网的障碍, 2009 年 3 月展开了一项投标, 支持经费约为 1.9 亿欧元, 选定了 82 个农业沼气工程项目 (发电能力达 23MW)。2010 年 6 月又开展了第二次招标, 支持经费为 7000 万欧元。

4.4 意大利

意大利没有沼气支持项目, 但是, 电力公司有义务以高于末端用户电价 80% 的价格购买沼气发的电。意大利 Berlusconi 政府在 2009 年颁布了一项法规。确定农业原料沼气发电上网的固定电价为 0.28 欧分/kwh, 该价格 (仅适用于 <1MW 的装置) 在欧洲属最高。这将大大促进意大利的沼气发展。

4.5 英国

2002 年英国开始实行绿色证书系统——《可再生能源义务证书系统》，该系统要求电力供应商逐年增加可再生能源发电的份额，从 2002-2003 年度的 3%，增加到 2003~2004 年度的 4.3%，2004~2005 年度 4.9%，2005~2006 年度 5.5%，在 2026~2027 年度达到 15.4%。在该系统中，沼气是最具代表性的可再生能源。对厌氧消化生产沼气，主要有三方面的激励机制：

(1)对沼气项目的研究、开发、示范项目进行支持。可再生能源项目覆盖了沼气产业的几乎所有类别：农场沼气工程、填埋气利用、市政垃圾厌氧消化、工业有机废水厌氧消化。

(2)对农场沼气工程、填埋气利用、市政垃圾厌氧消化、工业有机废水厌氧消化工程的沼气发电，非化石燃料义务项目(NFFO)提供上网电价补贴。

(3)通过增加废弃物生产者许可证、填埋税、填埋标准等措施提高废弃物处置管理费用。

与环境效益相比，厌氧消化技术的能源效益仍然较低。但是，能源利用对工程运行的经济贡献十分显著。通过非化石燃料义务项目 NFFO 的实施，英国政府的能源政策鼓励可再生能源生物质能发电量 2009 年达到 6143GWh。

4.6 丹麦

(1) 所有沼气工程得到了补贴，上世纪 80 年代末补助 30%~40%，90 年代末 20%。

(2) 沼气工程生产的沼气和热能免征能源税。

(3) 国家补贴 DKK0.27 /kwh (0.33 人民币/ kwh)

(4) 对沼气工程投资提供 20 年的软贷款。

4.7 葡萄牙

作为可再生能源的一部分，国家“能源”项目支持沼气生产，进一步支持由国营或私营企业进行。通常以研讨会的形式推广支持沼气技术。环境效益、分期付款(3 到 7 年)、能源产品商业利用是驱使沼气发展的主要动力。

4.8 瑞典

有几个政府部门都对厌氧消化很感兴趣。严格限制垃圾填埋以及填埋温室气体排放税的征收，促进了废弃物替代处理方法。沼气能源不上缴 CO₂ 排放税。并且中央政府向投资减排温室气体的地方政府或企业实行补贴。对购买以沼气作燃料的汽车给予很大的税收减免。农业部门对于能源植物和无害有机物作为原料的消化残余物很感兴趣，目的在于将营养物质还田并减少对化肥的依赖。这几个因素增加了沼气作为汽车燃料的市场价值。瑞典环保局发布的废弃物管理行动计划，提出了废弃物管理的目标，如：到 2005 年禁止有机废弃物的填埋，增加了人们对厌氧消化和堆肥的兴趣。

4.9 西班牙

随着废弃物处理重要性的日益增加，环境保护是沼气发展的主要动力。并且，相当大的沼气工程建设补贴在上世纪 80 年代末就已经实行。

生物质能发电和沼气发电得益于皇家法案 436/2004。该法案规定了不同来源的可再生能源价格。经营者有两种方法，一种是直接将电卖到市场，另一种是将电卖给电网公司。对于前一种情况，另给参考价的 40% 的作为奖励；对于后一种情况，皇家法案每年设定的电价相当于参考电价的 90%，20 年后降到 80%。

4.10 荷兰

荷兰在有机废水厌氧消化领域处于世界领先地位。但是，其农场沼气工程发展缓慢。影响因素主要包括：荷兰法律严格限制土壤中引入矿物质，消化残余物价值低；荷兰法律也严格要求高质量的堆肥，意味着限制消化残余物进入市场；肥料政策的主要核心是降低氨氮（《氨减少计划》1995 年 12 月）；粪便与其它有机物联合消化的消化残余物不允许作肥料；在荷兰，沼气和热能的价格低。

2004 年 6 月，荷兰出台了一项法令，在该法令中，农产品可以联合消化并且没有排斥消化残余物作肥料。最近的财政激励是沼气发电的补贴，从 2005 年 1 月起，每 kwh 的粪便厌氧消化沼气电，荷兰政府补贴 9.1 欧分，这是一项有效

的激励措施。

4.11 芬兰

没有真正的国家沼气发展促进项目。主要是“沼气中心”在促进沼气的利用，loensuu 大学也正在进行一些厌氧消化的研究，可以获得研发和示范项目的资助。有机废弃物主要采用填埋方式处置，沼气技术应用主要障碍是：芬兰法律允许采用廉价的方式处理畜禽粪便，与其他欧盟国家相比，电价和燃料价格相当低；由于农场分散，沼气工程建设费用高，公众倾向于填埋气收集。因为运输和气味问题，而对大型沼气工程集中处理废弃物的兴趣低，小型农场沼气工程可能会得发展。。随着环境保护法律要求的严格，垃圾填埋将会被抛弃，生产沼气的废弃物处置方式将会是一种可能的解决方式。

4.12 美国

近年来,为推动畜禽粪污沼气工程建设,实现节能减排,美国农业部(USDA),美国环境保护署(EPA),美国能源部(DOE)共同推出 AgSTAR 项目,建立沼气项目发展服务管理平台,提供沼气工程建设的政策、法律、技术、设备和市场服务信息。美国联邦政府和各州也制定鼓励发展沼气工程的项目和提供财政支持。因此,大多数沼气工程得到美国联邦政府和各州有不同的激励政策的财政补助。例如,2002 年《农场法》中的可再生能源和能源效率 9006 条款规定支持沼气项目,从 2003 年以来,美国农业部已经为厌氧消化系统总计拨款 3100 万美元。明尼苏达州农业厅的《产甲烷消化池贷款项目》为建沼气发电工程的农场主提供无息贷款。

第 5 章 展望（2020 年）

研究预测：欧盟 2020 年沼气发电能力将达到 56.4TWh（2010 年约为 27.8 TWh）。

大多数欧盟国家都已制定了沼气路线图作为其可再生能源行动计划的一部分。这些计划是在欧盟可再生能源令(2009/20/EC) 第 4 条的框架下制定的，该法令要求其成员国提交一份可再生能源行业发展计划，以在 2010 年 6 月 30 日之前实现各自的目标。荷兰能源研究中心（ECN）已经编制了所有从 21 NREAP 文件节选的资料，代表由欧洲环境署资助的一项研究于 2010 年 10 月 1 日提交欧盟委员会。该研究结果表明，欧盟预期实现沼气发电的大幅度提高，从 2010 的 27.8 TWh 提高到 2020 年的 56.4 TWh (相当于 7.3%的平均年增长率)。德国正在计划成为欧洲最大的贡献国(23.4 TWh)，其次是意大利(6 TWh) 和英国(5.6 TWh)。在此期间，这些工厂的发电能力将从 5177 MW 提高到 9 528MW，而回收的热产量将从 1.4 Mtoe 提高到 3.8 Mtoe (其中德国为 1.7 Mtoe)。但该报告未说明用于发电上网的生物甲烷的产量。以上数据充分表明了欧盟国家正致力于该行业的发展，尽管很难预料这些国家能否坚定不移的执行其路线图。预计 2010 年的主要沼气能源产量为 8.7 Mtoe。若按沼气发电量增幅计算，预计到 2020 年欧盟沼气能源产量将有可能达到 17.65 Mtoe（353 亿 m³）。

据另一项德国研究“欧洲的沼气市场”（由 Ecoprog and the Fraunhofer Umsicht 研究所发布）统计，在 2010 年初运行的甲烷化厂的数量约为 5 900 家，总发电量为 2 300 MW。该研究预测，2013 年还将建立 3000 家，发电能力增加 1700 MW；到 2018 年又将增加 3500 家，发电能力增加 1800 MW。整个市场额大约为 54 亿欧元。电能和热能的转换并不是甲烷化的唯一领域，因为瑞典和德国已鼓动其工业生产生物甲烷并通入天然气管网。德国的目标是到 2020 年将 60 亿 Nm³ 的生物甲烷通入管网，据德国农业局预计，需要建立 2000 个沼气提纯厂才能达到这一目标。

也就是预测到 2018 年，欧洲将建有 12400 家沼气工程。总发电量达 5600 MW。

第 6 章 案例

6.1 丹麦 Ribe 沼气站

丹麦 Ribe 沼气站是丹麦的第一批集中型沼气站之一。在 1987 年开始策划，1990 年 7 月正式开始运行。这个工厂以有限公司的形式组建，由相关的农场主们共同合作，在整个组建方案里也有其他股东，例如屠宰场、地方电力公司和一些公共养老金基金会。这个沼气站被丹麦的集中型沼气站这个活动系统以及 EU 选定为一个示范站。

80 个农场运用运输机向这个沼气站提供动物肥料，作为沼气站的供给。这些总计 120000t/y ($330\text{m}^3/\text{d}$)，其中 75% 为牛奶场牲畜肥料，21% 为养猪场废物和一些家禽和毛皮加工场废物。它们在进行混合和被加热到处理温度前，储存在两个当地的容积为 800m^3 的进料罐中。工业废物包括屠宰场废物、食品业废物以及来自于食品行业和医学方面的 DAF 污泥，在其混合前它们分别储存和加热。三个容积为 1745m^3 的适温消化池接收了大约为 $450\text{m}^3/\text{d}$ 的废物，其总固体含量约为 9.5%(VS 为 80%)。消化池底部为圆锥形，用 200mm 的羊毛绝缘并且在顶部安装了搅拌器使其能持续运行。

尽管废物的混合物会随着季节的变化而变化，但是沼气的平均产量大约可以达到 $13000\text{m}^3/\text{d}$ 。15.5% 用于加热当地的消化池，2.5% 用于满足其电力需求。所剩下来的 82% 的沼气被储存在一个容积为 1000m^3 的沼气储存罐中，然后在一个低压输送管中被输送到 3km 外的 Ribe 小镇中(人口数为 8000)，在那里的 CHP 站用沼气来发电(效率为 38~39%)，再将其卖给国家高压输电网。由 CHP 装置产生的热水可以提供给 Ribe 行政区的热力系统。所产生的电能和热水价值可达每月 104,000 美元，两者可以供给超过 500 个家庭的需求。

最后的排放液可以作为肥料给那些当初提供了废物的农场主，也可以给当地的那些耕种的农民。这些排放液被输送到 22 个分散的液体肥料罐中，其总体积为 45000m^3 ，足以能满足 9 个月的强制性的储存需求。每个罐能满足 1~9 个农民取回他们自己的肥料需求量，这些能创造每月 14,000 美元的价值。

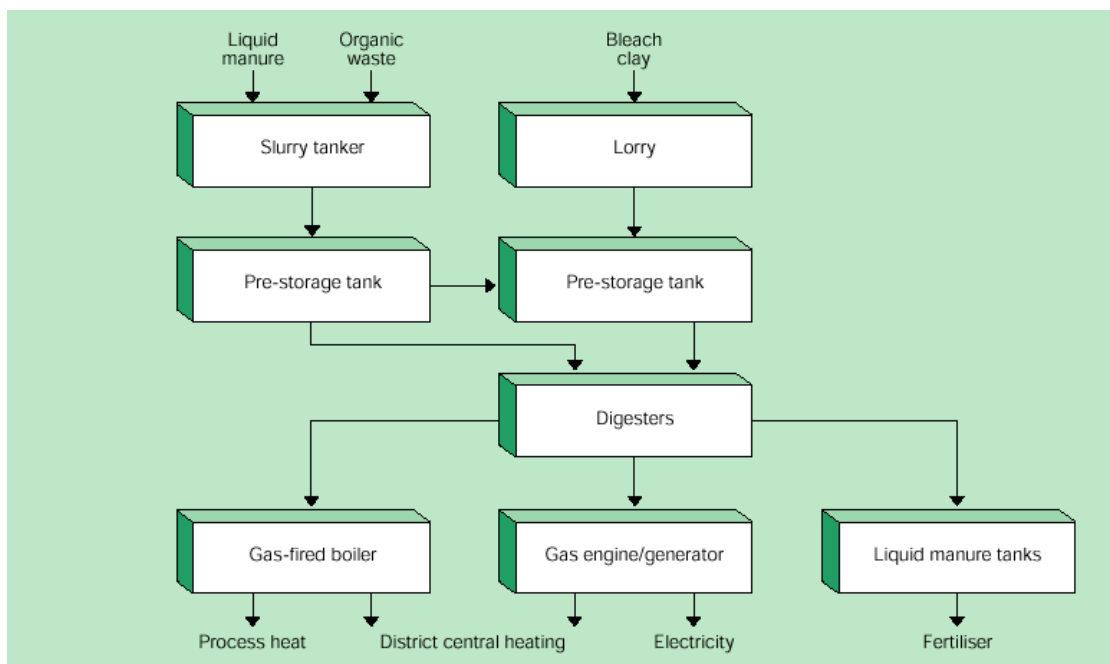


图 6-1 工厂的示意图 (CADDET)

1990 年 Ribe 沼气站的成本为 3860000 美元，从 EU 和丹麦政府获得的资助占总成本的 39%，然而如今这个仅占总成本的 0~15%。额外的投资高达 a value of US\$0.8m 均是由股东们筹集的。这个工厂接受了一笔工业污物的酬金，同时也从产生的电力和热水中获得一定的收入。每月的运行成本估计为 61,000 美元，所以其投资回收期大约为 6 年。2001 年该公司公布了它们宣称是迄今为止最佳的年收入数字——税前达到 300,000 美元。

该工厂已经成为集中型消化系统的一个典范，并在世界范围内被认可为大规模系统中最成功的案例之一。

6.2 丹麦 caribro 工艺（高固体厌氧消化工艺）

工艺简介：该工艺是进行高固体两级中温发酵。垃圾经过破碎分选，有机组分进入一级反应器，中温（35-37℃）停留 2~3d，进行水解酸化，PH6.5 左右，酸化后，进行固液分离。液体部分进入二级反应器，中温下停留 1~2d 产沼气，气液分离，所产沼气出售给电厂。

该工艺的主要特点是：两阶段消化，把酸化阶段和产沼阶段分离开来，可

节约用地，并便于管理；处理时间短，仅 3~5d，因此可充分利用有限的设备，降低投资成本；渗滤液加工成液肥出售，不但减少了废水处理量，还有一定收入。

工艺参数：垃圾平均产气量 $150\sim 175\text{m}^3/\text{t}$ ，VS 去除率 60%以上。

工程实例：丹麦 1991 年建立的第一座工业规模的城市垃圾厌氧处理厂，年处理垃圾量 20 万 t，初期投资 5500 万丹麦克郎，运行费 800 万丹麦克郎/年，其中 66%来自出售沼气，所产生的固体和液体肥料有很高的肥效，销路很好。处理厂的费用（包括初期投资与运行费用）低于同等规模的垃圾焚烧厂。

6.3 德国 Frondof 大型沼气工程（湿发酵）

该沼气工程位于德国魏玛附近一个存栏 1000 头奶牛的养殖场内，由 Bauhaus 大学提供技术支撑，帮助其优化工艺参数。由于奶牛场采用圈养水冲牛粪方式，且无砂混入，故在沼气工程中无除砂预处理系统。

工艺技术：1 沼气工程采用中温 CSTR 两级厌氧消化工艺，发酵温度 40°C 。2.发酵原料主要是牛粪污，并加入谷物类等能量作物，可提高产气率 5~10%。3.日进料量 120米^3 （ 80米^3 牛粪污+ 40米^3 回流液+1 吨谷物），24 小时均衡进料（进料 10 分钟/每小时，自动控制），进料浓度 6%~8%，水力停留时间 27 天。4.沼气脱硫采用生物脱硫技术。硫化细菌先从其他厂购入，再自己扩大培养。5.沼气全部用于发电上网，全天发电量 8600 千瓦时，其中自用 2600 千瓦（是由外电网上供电，而不是从发电机取用电力），发电机尾气和缸体热能均回收，可提供 70°C 的热水给厌氧发酵罐。6.沼渣液在冬季非耕季节暂时存储，耕种季节，沼渣液不经固液分离，而由吸污车直接抽走施于农田。

装备技术：①预处理采用 1 台地埋式钢筋混凝土搅拌罐（容积约 40 立方米），地面上配置谷物等能量作物搅拌混合机和螺旋输送机。②进料系统自控，主要设备由粉碎机、螺杆泵和进料阀门组构成。③厌氧罐采用 2 台 2000 立方米（直径 20×6 米）钢筋混凝土结构发酵储气一体罐，内置地热式加热盘管，2 台罐既可串联也可并联。一级罐装有 2 台侧搅拌（1 台上部斜入两挡式，1 台潜水式），二级罐装有 1 台侧搅拌（上部斜入一挡式），搅拌器 24 小时开启。气囊储气容积 $2\times 1000\text{立方米}=2000\text{立方米}$ 。④脱硫塔容积 74 立方米，全部自动控制。⑤热电联供设备由 2 台发电机（1 台 370 千瓦在用，1 台 180 千瓦停用）及其余热

回收系统组成,发电能力 360 千瓦时。⑥沼液储池 3 座,总容积 1.5 万立方米(此数据为 2009 年 10 月)。

6.4 德国 Bekon 技术公司干发酵大型沼气工厂

该厂位于 Erfurt 市郊。Erfurt 市每年产生有机生活垃圾及绿色废物如花园植物等 4 吨,可做发酵原料的垃圾送至该沼气厂,超过该工厂处理能力外的绿色废物送其他地方处理。

工艺技术:①采用中温序批式进出料的干发酵工艺,发酵温度 38℃。②发酵原料主要是有机生活垃圾,暂存料间的污浊气体由房顶排风管道引出。经活性炭过滤器过滤,进入生物过滤器处理后排空。③日处理量为 350~360 吨,单池每次进料 400 吨,其中新料进 50%,已发酵的料进 50%,含水率约 66%。停留时间 28 天。④进料后初期,若发酵池内甲烷含量小于 15%,排放掉,若甲烷含量在 15%-60%,通过火炬燃烧,若甲烷含量大于 60%,则进入沼气收集系统,送给发电机。⑤单池每天产气量 2 万米³,甲烷含量 50%~60%,折合产气率 80~120m³/(吨·天)(按新料计算,实际上有 50%为旧料)。⑥沼气全部用于发电上网,发电机尾气和缸体热能均回收用于发酵池增温用。⑦沼液做发酵鲜料喷淋液(接种)使用,发酵剩余干料放大棚内,堆置 20 天后与其他料混合做堆肥用。

装备技术:①暂存原料间采用轻钢结构,存储能力为 500 吨有机生活垃圾(实际每天送入生活垃圾 350~360 吨)。②发酵池 7 座。单座容积 860 米³(28 米×5.5 米×6 米),有效容积 500 米³。③发酵系统自动监测和控制,进出料采用装载机,机上安装有气体检测仪器和安全保护设备,当发酵池内甲烷含量大于 2%,即刻报警,驾驶人员可迅速撤出,保证人身安全。④无储气装置,发酵池产出的气体直接进发电机,一台发电机常开,另一台发电机启动与停车由沼气系统压力控制,压力超过设定值即刻启动。⑤发电机 330 千瓦 2 台,余热锅炉换热面积 8.7m²。

(该资料为 2009 年 10 月)

主要参考文献

- [1] Biogas barometer, <http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro200b.asp>. SYSTÈMES SOLAIRES le journal des énergies renouvelables N° 2009 – 2010, B A R O M È T R E B I O G A Z – E U R O B S E R V ’ E R – N O V E M B R E 2 0 1 0.
- [2] IEA Statistics, 2010 Energy Balances. Energy Balances of OECD Countries. IEA Statistics (2010).
- [3] IEA Statistics 2010 Energy Statistics of OECD Countries. Energy Statistics of OECD Countries, IEA Statistics (2010).
- [4] Promotion and growth of renewable energy sources and systems. Final report (2008). Rogier Coenraads, Gemma Reece, Monique Voogt – Ecofys, the Netherlands Mario Ragwitz, Anne Held – Fraunhofer ISI, Germany. Gustav Resch, Thomas Faber, Reinhard Haas – Energy Economics Group, Austria. Inga Konstantinaviciute – Lithuanian Energy Institute, Lithuania. Juraj Krivošík, Tomáš Chadim – Seven, Czech Republic.
- [5] RENEWABLE ENERGY IN THE U.S. , BIOGAS. Swedish Trade Council, USA , January, 2008 . (Presentation).
- [6] Development of renewable energy sources in Germany 2009. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety . BMU – KI III 1. Version: March 2010.
- [7] M. Sakulin, R. Braunstein, U. Bachhiesl, K. Friedrich, Graz University of Technology. Potential Analysis and further Aspects of Renewable Energy Sources in Austria. Conference Paper, International Conference on Clean Electrical Power, Capri, Italy, 2009.
- [8] Peter Weiland. Biogas production: current state and perspectives, Appl Microbiol Biotechnol (2010) 85:849 – 860. DOI 10.1007/s00253-009-2246-7.
- [9] Bruno S. Nielsen. European & Danish Biogas Experience. Advances in Pork Production (2007) Volume 18, pg. 237–243.
- [10] Mohamed Najib Sannaa. The Development of Biogas Technology in Denmark: Achievements & Obstacles. Department of Environment, Technology and Social Studies, Roskilde University RUC, Denmark (paper) .
- [11] Biogas perspective in Europe. Biogas Regions Seminar, 30 June 2010, Brussels. EBA.
- [12]. Xergi. 2nd Nordic Biogas Conference. Biogas Development and Resource Availability.

- [13] 日本环境省大臣官方, 日本废弃物排放及处理状况 (平成 18 年度实绩) .
- [14] 邓良伟, 陈子爱. 欧洲沼气工程发展现状 [J] . 中国沼气, 2007, 25(5):23-31.
- [15] 严丽, 邓良伟, 任颜笑. 中德农业沼气工程的发展, 2007 中国生物质能科学技术论坛.
- [16] 邓良伟, 陈子爱, 龚建军. 中德沼气工程比较, 可再生能源, 2008, 2.
- [17] 李子富, 余敏娜, 范晓琳. 德国沼气工程现状分析 [J] . 可再生能源, 2010, 28(4):141-144.
- [18] 寿亦丰. 美国沼气产业发展现状与趋势 [J] . 农业工程技术·新能源产业, 2009, (1): 22-24.
- [19] 刘琳. 丹麦沼气工程沼渣沼液的综合利用与管理. 天人友, 2010, No9~10.
- [20] 王淑宝, 张国栋, 曹曼. 欧洲大型沼气工程技术国产化方法探讨. 中国沼气, 2009, 27 (2):42-45.
- [21] 赵军, 田博, 汪国刚. 循环利用的典范: 欧洲沼气工程 [J] . 环境保护与循环经济, 2010, 30(1):13-14.