Biogas Go Global

沼气生产

沼气行业先驱---丹麦的经验与案例

Food & Bio Cluster Denmark

WBA

Energistyrelsen

State of Green
Connect. Inspire. Share. Think Denmark

INDUSTRIENS FOND
FREMMER DANSK KONKURRENCEEVNE
The Danish Industry Foundation

丹麦是沼气生产领域的全球领导者

出版方

丹麦农业、食品与生物集群，Niels Pedersens Allé 2, 8830 Tjele, Denmark

封面照片

Nature Energy

作者

Michael Støckler，丹麦农业、食品与生物集群；Bodil Harder，Daniel Berman和Thomas Young Hwan Westring Jensen，丹麦能源署

投稿者

Reza Jan Larsen，欧洲Biogasclean沼气清洁公司；Niels Østergaard，丹麦国家农业知识中心；Jørgen Fink，Nature Engergy；Lars Villadsgaard Toft，丹麦国家农业知识中心；Anna-Marie Bøgh，凯米拉

审核方

Claus Gunge Mortensen和Louise Krogh Johnson，丹麦农业、食品与生物集群

制作

丹麦农业、食品与生物集群

平面设计

DANSK DESIGNRUM
Trine Elmstrøm
www.danskdesignrum.dk

Marie Poulsen
丹麦农业、食品与生物集群公司

支持单位

丹麦工业基金会

丹麦工业基金会

2020年6月

目录

1 引言5

2 丹麦畜禽粪便利用政策 7
2.1 丹麦沼气支持计划 8
2.2 丹麦可再生天然气交易市场模式 9
2.3 有机沼气厂 12

3 沼气厂设计 13

4 丹麦沼气生产 15
4.1 沼气生产规划 17
4.2 商业计划与沟通 17
4.3 可用生物质 17
4.3.1 畜禽粪便 18
4.3.2 残渣和残留物 22
4.3.3 家庭生活垃圾 22
4.4 废水处理厂 25
4.5 能量含量 25
4.6 质量守恒 26
4.7 组织 26
4.8 案例：Månsson ，绿色有机沼气合作伙伴 26

5 沼气应用 29
5.1 沼气损失 29
5.2 丹麦生物甲烷气质量标准 29
5.3 提纯净化 30
5.3.1 脱硫 33
5.4 硫的化学沉淀 34
5.4.1 铁是影响沼气生产的主要元素 34
5.4.2 沼气生产所需的微量元素 34
5.4.3 支持厌氧过程的化学物质 35
5.5 热电联产 35
5.6 运输和物流 36
5.7 Power2X 37

6 沼渣沼液的利用 39
6.1 肥料的价值和回收利用 39
6.2 营养成分 40
6.3 营养价值 40
6.4 施肥方法和氨损失 44

7 降低环境 问题风险 47
7.1.1 防止疾病传播 47

8 研发 48
8.1 高校 48
8.1.1 奥胡斯大学 48
8.1.2 奥尔堡大学 48
8.1.3 南丹麦大学 48
8.1.4 罗斯基勒大学 48
8.1.5 丹麦技术大学 49
8.2 知识机构 49
8.2.1 丹麦技术研究所 49
8.2.2 丹麦沼气协会 49
8.2.3 丹麦国家农业知识中心 49
8.2.4 丹麦食品、农业与生物集群 50

9 产业集群、供应商和顾问 50

丹麦是全球饲养密
度最高的国家之一

1 引言

丹麦是全球饲养密度最高的国家之一。
此外，丹麦周围包括波罗的海在内的自然环境十分脆弱。这两大因素叠加，为丹麦大力发展符合环境安全的畜禽粪便处理技能和创新技术铺平了道路。

随着人们对资源枯竭和气候变化的认识日益提高，将畜牧业产生的粪便转化为能源和肥料对减少温室气体排放的作用日益重要。丹麦许多养猪户和奶农会使用畜禽粪便生产沼气，其中大多数生产都是通过农民合作社所有的工业规模沼气厂进行的。

目前人们对使用畜禽粪便殖土作为有机肥料的方法还存在较大争议。有机肥料虽然是一种重要的养分来源，但如果处理不当也会对环境造成不良影响。为确保有效利用有机肥料中的营养物质，降低对环境的影响，丹麦各大企业一直致力于提高肥料施用技术。丹麦的研究机构和大学也进行了许多实地实验，寻找最佳施用策略。。这些努力彻底改变了过去20年来畜禽粪便的施用方式。与此同时，欧盟及其成员国出台了有机肥料施用规定，希望尽量减少施用有机肥料对环境造成的直接和间接影响。

2012年以来，丹麦沼气产量迅速增长，预计2023年可再生天然气将占据丹麦天然气网络的30%。每年用于生产沼气和肥料的生物质超过1100万吨。

本手册适合以下人士阅读：有兴趣通过创新方法减少畜牧业和大量城市废弃物对环境和气候的影响，同时增加可再生沼气能源的产出，应对城市产出的大量废弃物，以及日益增长的人口对动物产品的需求。

丹麦不仅是风力发电
行业的领跑者，
同时也在沼气生产
领域居于领先地位。

PHOTO Nature Energy

2 畜禽粪便利用的相关政策

丹麦政府坚定的政策和法律促进了畜禽粪便处理先进技术方案的发展。

畜禽粪便一直被认为是丹麦的一项重要资源。丹麦农业以大量畜牧生产为特色（丹麦是全球最大的猪肉出口国），是非常重要的经济组成部分。丹麦每年产生的畜禽粪便约为3500万吨，相当于580万丹麦居民每人每年占有6吨畜禽粪便!

环境政策

直到1980年代初，畜禽粪便还仅仅只被认为是一种天然的农作物肥料。在作物高产和能源低价的压力下，1960-70年代畜禽粪便还曾一度被矿物肥料所取代。然而1985年，由于日益严重的养分流失和水质问题，丹麦政府启动了NPO计划。NPO计划要求养殖面积与牲畜数量适当平衡，并规定了农场需要确保的最低畜禽粪便存储能力。从那以后，欧盟和丹麦政府更加严格的规定刺激了技术的发展，如今畜禽粪便中大量氮和磷的利用效率几乎和矿物肥料相当，减轻了氮磷对环境的影响，也降低了农民购买肥料的成本。

如今人们在环境方面的考量更加深入：这不仅是一个保护环境不受污染的问题，也是一个资源利用效率和本地资源（如有机生活垃圾）使用的问题，并且还伴随着对全球磷和化石燃料储量消耗的担忧。

气候政策

丹麦国内及国际社会都意识到了全球变暖的现象及其有害影响，开始出台政策以降低全球变暖的影响。根据联合国《京都议定书》（Kyoto Protocol），丹麦需从2005年起减少二氧化碳排放。

生物安全方面

欧盟2003年出台的卫生包装法规规定，食品安全取决于从田野到餐桌整条供应链的所有环节，即每个农场都是食品供应链的一部分。食品安全问题系指食品受到微生物、塑料、化学品和异物的污染。对于牧场而言，确保高食品质量的重中之重在于防止畜禽粪便对牛奶等产品造成污染。在丹麦，农民组织、兽医组织和其他当局机构共同制定了国家指导方针《卫生商业准则》（Hygiene Business Code）。此外，丹麦还设立了一些私人质量认证制度。出于对食品安全和卫生的重视，丹麦提高了对粪便处理和处理技术的要求，确保粪便不会泄露、易于清洁。

丹麦沼气市场驱动因素：

- 专门的政府支助计划
- 投资支持
- 沼气上网电价（FIT新能源补贴政策）
- 限制田间氮磷肥施用
- 禁止将有机废物弃置于垃圾堆填区（1998）
- 到2023年实现至少回收50%生活垃圾的国家目标
- 废物处理费用⇒ 共同消化
- 技术挑战后续项目
- 允许沼气进入天然气网络
- 燃料二次运输的综合义务（5.75%-10%）

2.1
丹麦沼气支持计划

三十年来，各种激励和补贴计划推动着丹麦沼气技术的发展。2012年开始实施的补贴计划，加快了沼气的开发，提高了沼气的产量，增加了天然气网络内可再生天然气的体量。

沼气生产把能源生产和处理粪便及有机废物联系在了一起。在丹麦，牲畜粪便通常与来自于工业、服务业及家庭有机废物一起在农场规模的沼气厂进行处理。

使用粪便生产沼气可以减少处理及储存粪便时产生的温室气体排放。沼气是一种可再生能源，提纯净化后可以代替化石天然气。此外，沼气生产过程中产生的副产品是高质量的天然肥料，能够代替矿物肥料。

丹麦沼气产量正在迅速增加。2012至2020年间，丹麦沼气产量增长了四倍，年总产量达到了约20兆焦耳。此前，丹麦生产的大部分沼气都用于电力生产。而如今，越来越多沼气经过提纯净化后 进入了天然气网络，代替化石天然气用于工业、交通运输、供热和供电。

丹麦的沼气产量正在迅速增长。

2018年，丹麦消耗的天然气中约8%为提纯净化沼气，创下了欧盟的记录。丹麦预计到2030年，天然气网络中30%的天然气将采用可再生天然气。图2-1显示了2012年至2020年丹麦过去和预计的沼气生产和使用情况。2018年，丹麦32家沼气厂生产了7.2PJ生物甲烷（相当于1993千兆瓦时生物甲烷）。

2012-2020年丹麦过去及预计沼气生产与使用情况（单位：兆焦耳）

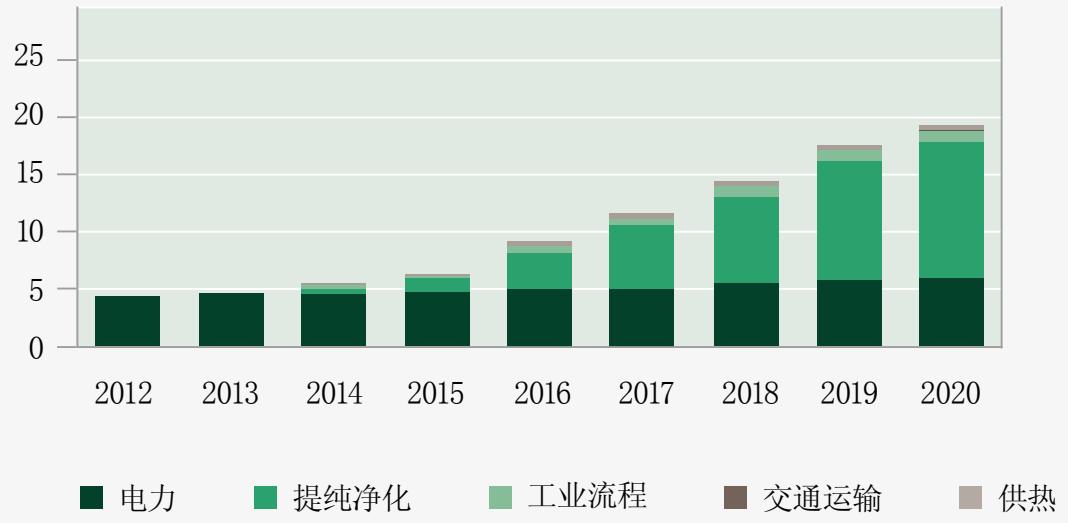


图2. 1

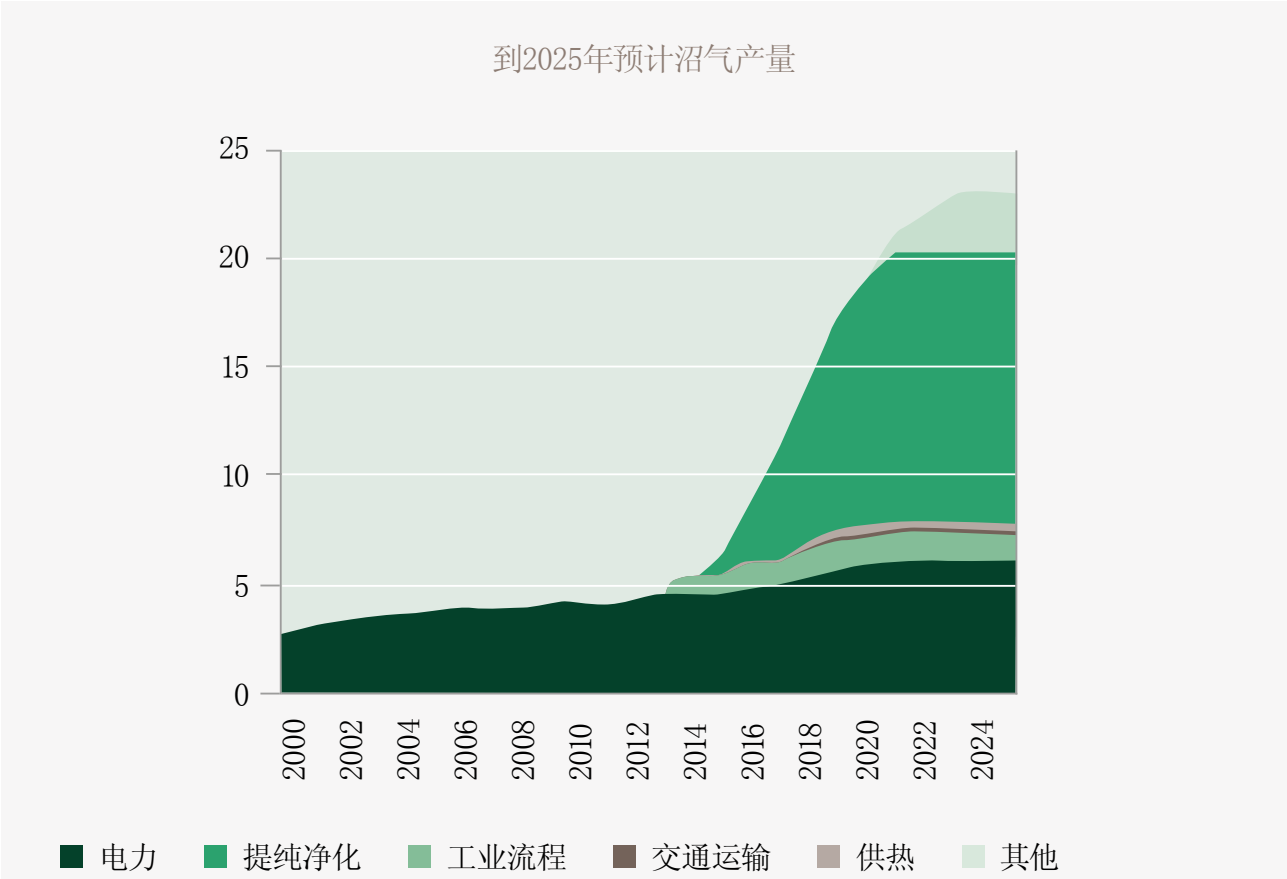


图2.2

沼气生产激励措施

丹麦通过一系列环境、农业和能源监管激励政策，实现了如今在沼气生产方面的发展，具体如下：

- 专门的政府支助计划
- 化石燃料消费税
- 限制田间氮磷肥施用
- 禁止将有机废物弃置于垃圾堆填区（1998年起）
- 垃圾处理费用
- 通过后续项目和沼气专责小组（Biogas Taskforce）与重要利益相关方展开交流对话及协作
- 支持新技术的研发和示范
- 限制沼气生产过程中能源作物的使用

政府支持计划

下表罗列了政府支持的沼气用途：

- 电力生产
- 沼气经过提纯净化后进入天然气网络或经过清洁后进入城镇天然气网络
- 在工业流程中使用沼气
- 使用沼气作为交通运输燃料
- 使用沼气供热

如需申请政府补贴，沼气生产过程中原料在能源作物中的占比不得超过5%。补贴对象为沼气用于使用者，包括使用沼气生产可再生天然气的用户。此前丹麦还出台了一项针对沼气厂的投资支持计划，不过该计划已于2016年中止。

沼气产量增加以及极低的天然气价格，大幅提高了补贴计划的成本。不断增长的支出促使政府针对能源协议（2018年6月起）做出了一项政治决策，规定从2020年起停止2012年批准的新沼气厂补贴计划。不过，政府会制定并实施一项全新的可再生天然气计划，将生物甲烷和氢气等其他绿色

燃气都囊括在内。这将有助于确保相关技术在丹麦继续扩大应用范围、提高效率。其中一部分资金专门用于有机沼气生产。

丹麦之所以更重视可再生天然气而非直接利用沼气发电，是因为可再生电力在丹麦的能源系统中占据了很高比例，而且丹麦正逐渐面临需要利用风能和太阳能以外的其他可再生能源发电的情况。

2.2
丹麦可再生天然气交易市场模式

可再生天然气的市场模式大致包括以下三点要素：

- 市场：传统天然气市场的能源交易。
- 天然气网络：可再生天然气在天然气网格中的实际输送。
- 绿色价值：可再生天然气“绿色”价值虚拟交易。

传统天然气市场的沼气交易与输送

为了在传统天然气市场上交易沼气，沼气生产商或沼气提纯净化设施所有方必须与沼气销售商达成协议，或者在丹麦天然气输送运营商Energinet处注册成为沼气销售商。

此外，沼气销售商还必须与运输商签订协议，或者注册成为运输商，因为运输商要负责将沼气输送到天然气市场和天然气网络中。

沼气进入天然气市场开始商业流通后，传统的化石天然气和可再生天然气是无法区分开来的。也就是说，沼气一旦进入天然气网络，开始在天然气市场进行商业流通后，就被视作天然气，并且将按照与常规天然气相同的条件进行交易和定价。

虚拟交易

如前所述，沼气进入天然气网络后是无法与其他天然气区分开来的。为此，人们根据市场需求设置了各种虚拟交易方案。

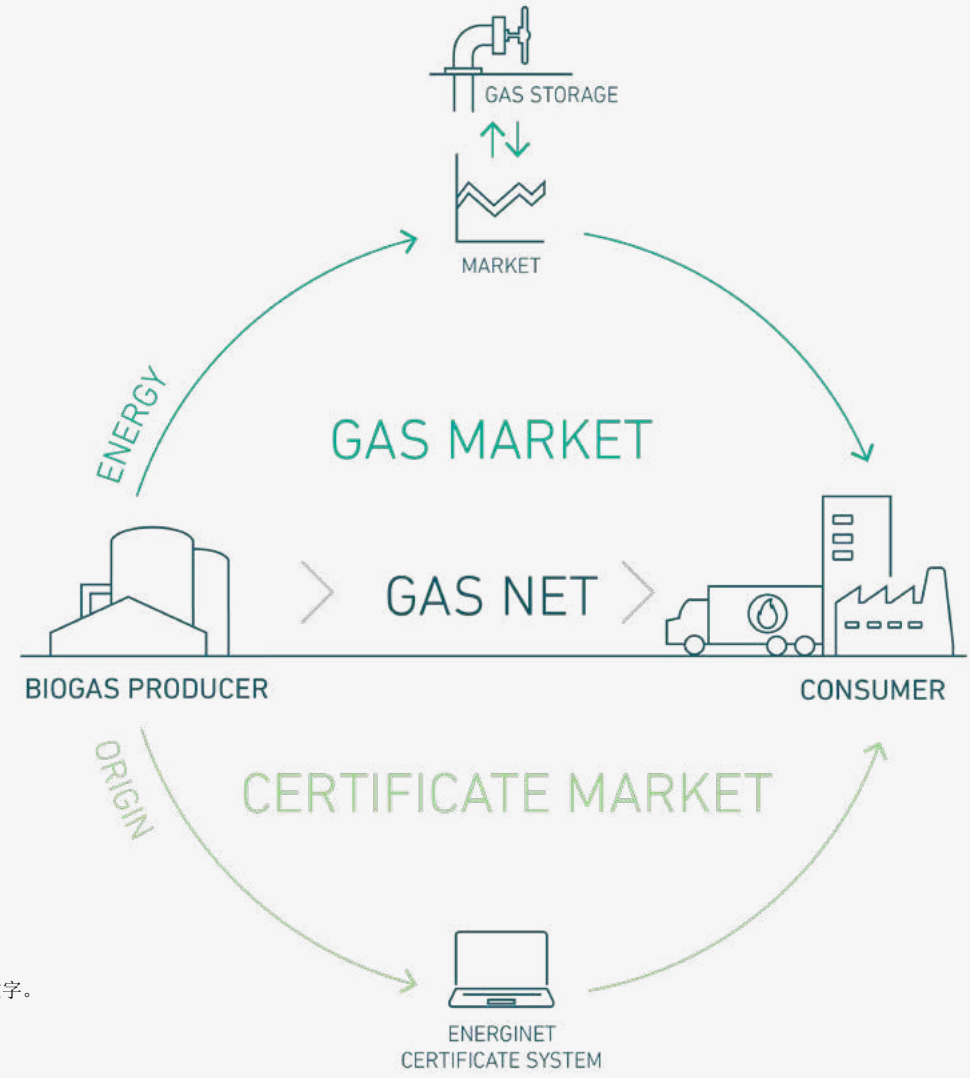


图2. 1
第十页：图片文字。

原产地担保

丹麦和其他一些欧洲国家已经自愿建立了国家原产地担保（Guarantees of Origin，简称GO）注册机制，目的是记录提供给天然气网络的沼气“可再生能源”的身份特点。因此，GO机制的作用是验证能源来自可再生来源，所采购的可再生能源只能销售一次，防止重复计算。

GO被认为是一种市场工具，个体家庭或企业可以利用这一工具，自愿选购可再生天然气，满足部分或全部天然气消费需求。自愿购买GO可再生天然气的主要是具有社会责任战略的企业，小部分为个体家庭。近来，市政府也开始购买GO可再生天然气，以供公共交通系统中的燃气公交车使用。GO可再生能源受到欧盟碳排放交易体系（EU ETS）认可。也就是说，欧盟碳排放交易体系下的企业可以通过披露GO可再生能源的消费情况，抵消其在欧盟碳排放交易体系资产负债表中的二氧化碳排放量。

在欧盟，燃料供应商有义务确保其供应的燃料中拥有一定比例的可再生燃料。如果燃料供应商供应的燃料中可再生燃料占比超过最低应占比例，燃料供应商将可以获得“生物票”。随后，这些燃料供应商可以将“生物票”卖给可再生燃料占比未能达到最低应占比例的燃料供应商。据推测，大部分GO都用作了满足这一义务的文件证明。

大部分欧盟国家尚未建立GO注册机制，已建立GO注册机制的欧盟国家则各有不同的规则和计算机系统。目前为止，只有丹麦和德国之间在进行两种不同注册机制的GO可再生能源交易。

为确保跨国交易更加透明可信，所有欧洲GO注册机制构成了一个泛欧洲协会“欧洲可再生气体登记处”（European Renewable Gas Registry），以便处理不同GO注册机制的规则和计算机系统差异。

实例：原产地担保

一家沼气生产商使用提纯净化设施将沼气提纯净化为可再生天然气。该提纯净化设施所有者负责连接天然气网络，并将可再生天然气输入天然气网络。天然气网络公司负责天然气的实际输送和处理。可再生天然气以能源形式在天然气市场上作为常规天然气进行交易。绿色价值诸如可再生能源、二氧化碳减排等实际上是通过，如原产地担保等各种方案计划进行交易的。

图 2.4
第十一页：图片文字 PHOTO Nature Energy。

原产地担保只向沼气供应商发放，可在原产地担保账户持有者之间进行交易。最终消费者购买与其天然气消耗量相对应的原产地担保，即视作消费者购买了相应数量的可再生天然气，减少了相应的二氧化碳排放量

重要的不仅是气生产本身，而是生产有机肥料

2.3
有机沼气厂

有机农场主对沼气厂有着特殊的兴趣。他们主要感兴趣的不仅是沼气生产本身，而是有机肥料生产。

Nature Energy Månsson工厂是一座巨大的有机工厂，每年可生产多达600万立方米的提纯净化沼气（生物甲烷）。这些提纯净化沼气会进入丹麦全国天然气网络。也就是说，目前有3600多户家庭可以使用到该工厂生产的二氧化碳中性天然气。

工厂主要接收有机牛粪和鸡粪，但也会使用猪粪和貂粪。此外，也使用Axel Månsson公司在生产有机蔬菜时产生的剩余物以及三叶草等为原料。有机生物质和传统生物质的比例很接近，因此沼气生产的残余产物可以用在农业栽培中，用作天然肥料，生产有机产品。

工厂设有若干沼气池、搅拌罐和储气罐。卡车卸下生物质，然后装上脱气肥料。所有的生产都在封闭的系统中进行。即是说所有的罐子都呈密封状态，装货和卸货都发生在紧闭的大门后。处理大厅和罐子都会定期通风，每小时会更换几次空气。空气被排放出去前要接受过滤器的微生物净化处理，尽可能消除空气中的异味。卡车每次造访过工厂后都要进行清洗，工厂四周也有围墙。

Nature Energy Månsson能够处理来自Axel Månsson共计15万吨的畜禽粪便，有机三叶草以及蔬菜残渣。

沼气和有机农业是一对共赢的伙伴。沼气厂可以对畜禽粪污 绿色废弃物、有机三叶草草等有机废弃物进行处理，还可以对生物质进行脱气。处理后余下的天然肥料可以增加农田产量，更容易被植物吸收，并且减少了水生环境中的氮淋溶问题。此外，卫生也是很重要的一点。

有机肥料在丹麦是一种稀缺资源。有机产品需求增长时，这可能会成为一个有待解决的问题。但在沼气领域，有机农场主可以做到自给自足。

3 沼气厂设计

丹麦有专门从事沼气厂设计和沼气厂组件生产的公司。生物质预处理方案、消化罐、搅拌罐和提纯净化设备是沼气厂的主要组成部分，其设计和功能对沼气厂的生产效率和经济效益至关重要。

消化池的一大重要特点是保持池内温度稳定，不受外部温度影响，同时尽可能减少热量需求。绝缘材料相对便宜。工厂不宜采用太薄的绝缘层，高温发酵建议使用20-30厘米的绝缘层，中温发酵建议使用15-20厘米的绝缘层。稳定的温度对沼气生产至关重要。

高温或中温发酵

- 高温厌氧消化是丹麦使用最广泛的沼气生产技术
- 牛粪等降解缓慢的生物质通过高温发酵方式生产的沼气停留时间较短（<20天），但产量比通过中温发酵高出约30%。
- 生物质中氨含量较高（> 3g NH4-N/L）时，高温厌氧消化可能会出现问题

温度范围

- 低温　（10℃-25℃）
- 中温　（25℃-45℃）
- 高温　（50℃-60℃）

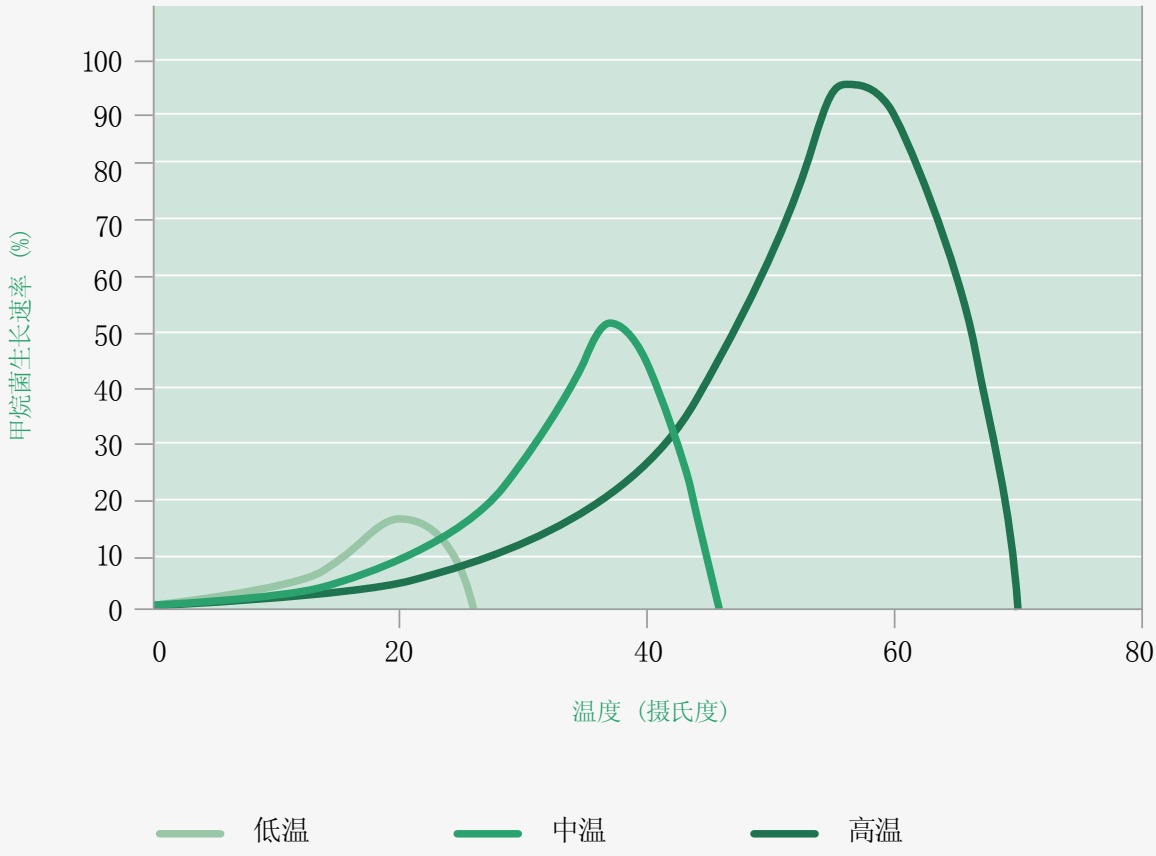


图3.1
沼气厂转化率。

图片来源：NATURE ENERGY

	中温	高温
沼气生产	对高氨含量和其他抑制剂较不敏感	在一定的停留时间下，处理速度快、沼气产量高。对高氨含量较敏感。
厌氧分解产生的沼渣沼液	病原体中度灭活	病原体高度灭活。
能源输入	中等	高，除非安装热交换器——如果热值较高将产生作用。

图3. 2
第十五页：图片文字。

运用合理设计实现高效生产

灵活的预处理方案为工厂主提供了使用不同类型生物质的机会，同时工厂主也可以根据不同的废弃物类型收费，提高工厂的经济效益。热交换器能够提供较高热能替代价值，为沼气厂带来利润，尤其是对采用高温发酵工艺的工厂而言。

在许多情况下，为额外获得10%-15%的沼气，沼气厂会建造两个相连的消化罐，一个主消化罐和一个次级消化罐。

搅拌是沼气生产中十分重要的一步。搅拌一方面能给微生物产甲烷创造最佳的环境条件，另一方面也能让沼气从沼渣沼液中被释放出来。沼气厂通常会使用潜水搅拌机完成搅拌工作。沼气厂耗费电力最多的环节是搅拌和加热消化罐。因此，高效节能的搅拌是衡量盈利型沼气生产成功与否的一大重要标准。当消化池呈圆柱形，且高度大于直径时，搅拌消化池内的粪便生物质所消耗的能量最少。

粪便固液分离通常是一项独立的技术。不过，许多粪便固液分离机都会与沼气生产装置相连，作为消化池处理前或消化池处理后的一道工序。

4 丹麦沼气生产

丹麦生产的大部分沼气都使用了大型集中连续搅拌槽反应器（CSTR），沼气厂会配备联合发酵和提纯净化设备，将生产出的可再生天然气直接输入天然气网络。

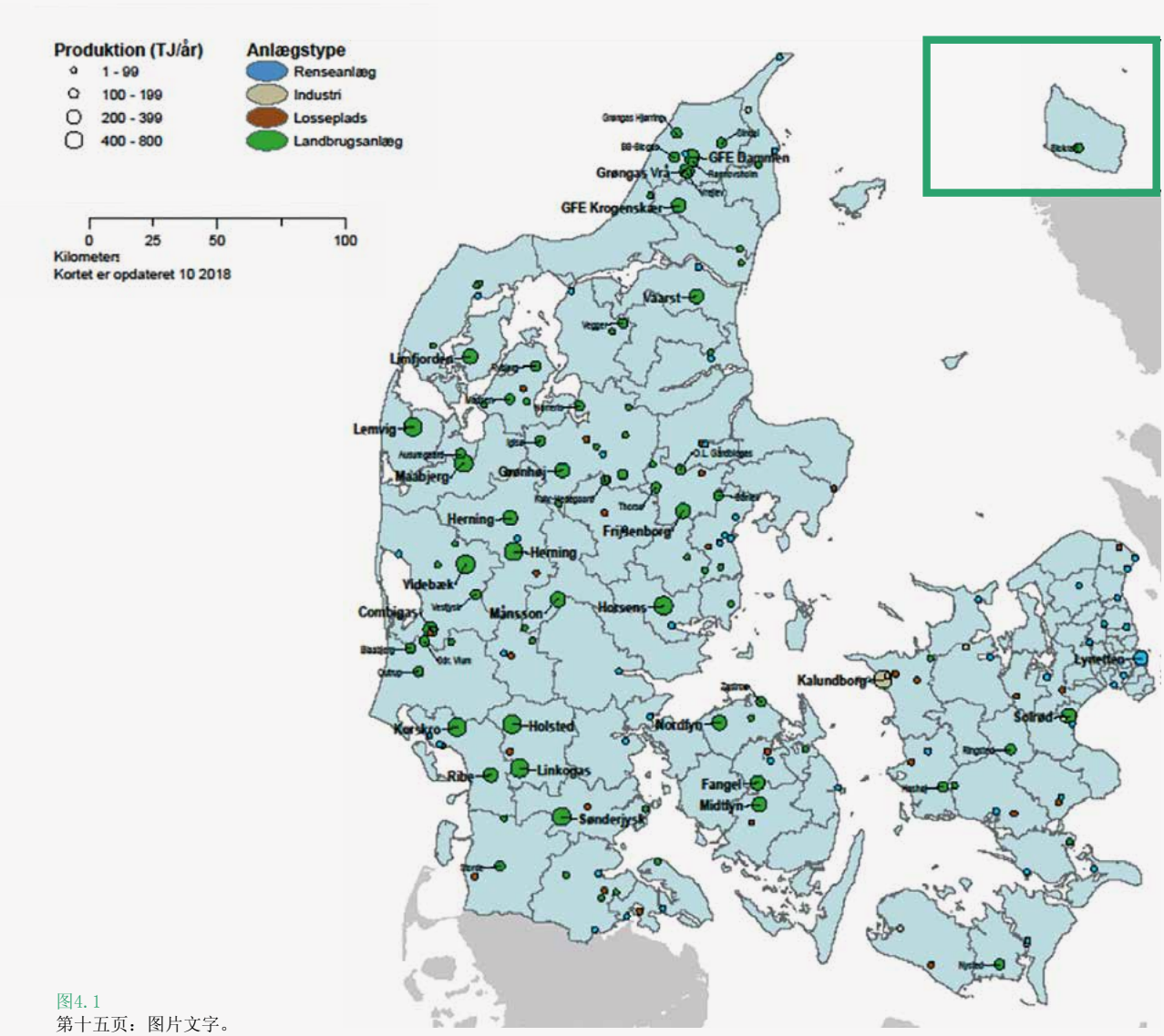


图4.1
第十五页：图片文字。

合理的筹建规划是成功的关键

PHOTO *Grøn Gas.*

4.1
沼气生产规划

筹建规划沼气厂并组织利益的相关方。

沼气生产或者说厌氧发酵系指微生物在缺氧情况下分解有机分子，从而产生气体混合物的一系列生物过程。这一过程中产生的气体混合物名为“沼气”，主要由甲烷和二氧化碳构成。

生产规划

沼气厂的技术设置和操作很复杂，需要诸如工程、生物、化学、贸易、农业和物流等领域的知识。因此，专业咨询公司的参与对于沼气厂的成功至关重要。咨询公司可以通过几种不同的方式为沼气厂提供协助，其中一些最重要的服务包括可行性研究、向当局申请环境批准、准备投标材料、监督建设/安装和工厂的调试。

沼气厂的筹建规划阶段有许多利益相关方参与。为了更好地推进沼气厂的筹建规划，我们需要明确参与其中的利益相关方以及他们在这一阶段所扮演的角色。

以下为沼气厂筹建规划阶段常见的利益相关方：

- 项目发起人或投资方（农民、公用事业单位、市政当局）
- 经济合作伙伴
- 生物质供应商（农民、工业等）
- 沼渣沼液接收方（农民、市政部门等）
- 沼气采购方（热电联产电厂、天然气公司、工厂等）
- 当地市政部门
- 当地利益相关方（社区、政府、非政府组织、当地协会等）
- 技术提供方和咨询顾问
- 承包商

通过将组织架构和其中的工作活动可视化，我们可以清楚地了解到这一阶段内外所涉人员的总体概况。架构清晰的组织必须明确各项工作的负责方和参与方。以下为筹建规划阶段各项主要工作活动：

- 沼气厂融资
- 当局沟通与审批流程
- 设计沼气厂（选址、建筑和技术）
- 与生物质供应商沟通并签订合同
- 与沼渣沼液接收方沟通并签订合同
- 与沼气采购方沟通并签订合同
- 与当地利益相关方沟通
- 建筑施工
- 获得当局批准

建议为每项工作活动设立工作小组，并组建一个全面的指导委员会，协调筹建规划阶段的主要工作，并为重要决策制定时间表。丹麦强烈建议邀请当地利益相关方加入工作小组。这些工作活动中有许多需要其他领域工作活动的支持。因此，为了更好地推进筹建规划，我们需要重点关注相关工作活动的协调工作。审批过程漫长耗时，必须在合适的时间获取准确的信息。

4.2
商业计划与沟通

沼气厂筹建规划阶段，项目管理工作往往侧重于技术方面，针对供应商和承包商的技术说明和图纸自然少不了。但除此之外，不妨再准备一些面向其他利益相关方的资料。

利益相关方分析可以厘清不同类型利益相关方需要的不同信息。经济合作伙伴想了解项目背后的商业案例和计算。生物质供应商和沼渣沼液接收方想了解经济效益、物流、沼渣沼液质量等。当局想了解气候和可再生能源方面的益处，以及沼气厂对当地社区和整体环境的影响。当地政治家、社区和利益相关方想了解沼气厂可能给当地带来的影响，包括就业机会、本地生产的能源、更便宜的能源价格、交通和气味影响以及对当地景观的影响等。

以下列表罗列了有助于推进项目内部沟通交流的项目相关信息：

- 商业计划，针对投资者和经济合作伙伴。
- 介绍沼气厂概况的介绍，针对投资者、经济合作伙伴、当地政治家、邻里和当地利益相关方（如相关工厂）。
- 关于沼气厂投入、产出、技术选择和经济效益等情况的专业信息，针对生物质供应商和沼渣沼液接收方。
- 关于沼气厂技术、生产和沼气产量的专业信息，针对沼气采购方。
- 根据法律程序编写的审批材料，针对当局。
- 技术说明和图纸，针对承包商和技术供应商。

可以准备的信息包括文字介绍、图纸、视频等，可用于针对不同利益相关方的不同出版物。

这么做是为了有针对性地提供信息，满足不同类型利益相关方的需求，确保每一类利益相关方都能得到最有用的信息，更好地了解项目整体情况。此外，信息透明还可以证明牵头的项目组织方关心沼气厂的各个方面。

4.3
可用生物质

由于每立方米猪粪和牛粪能够产生的沼气有限，建议与能量含量较高的生物质混合发酵，以便产生更好的经济效益。

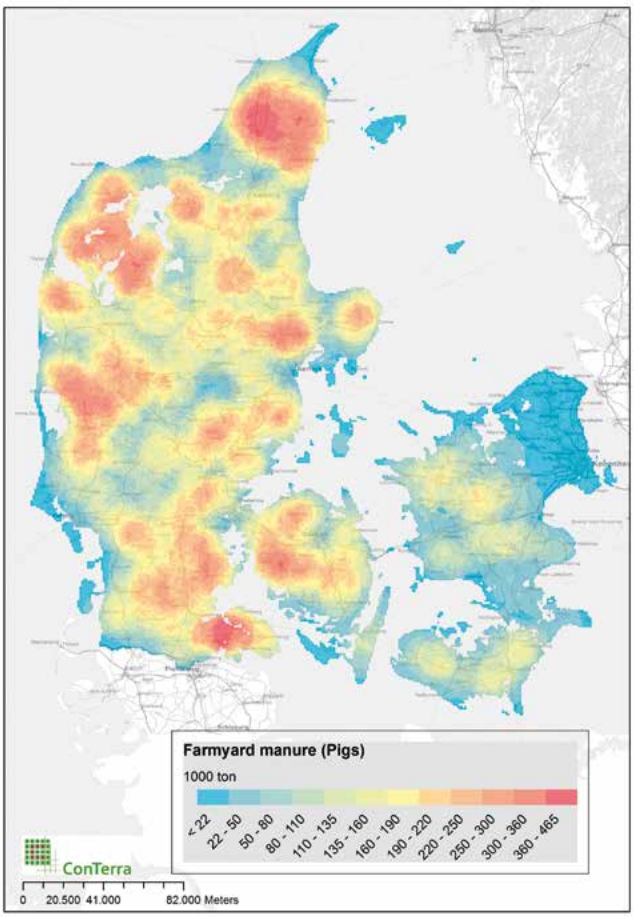


图4.2
丹麦猪粪产出分布图。图片来源：Conterra.

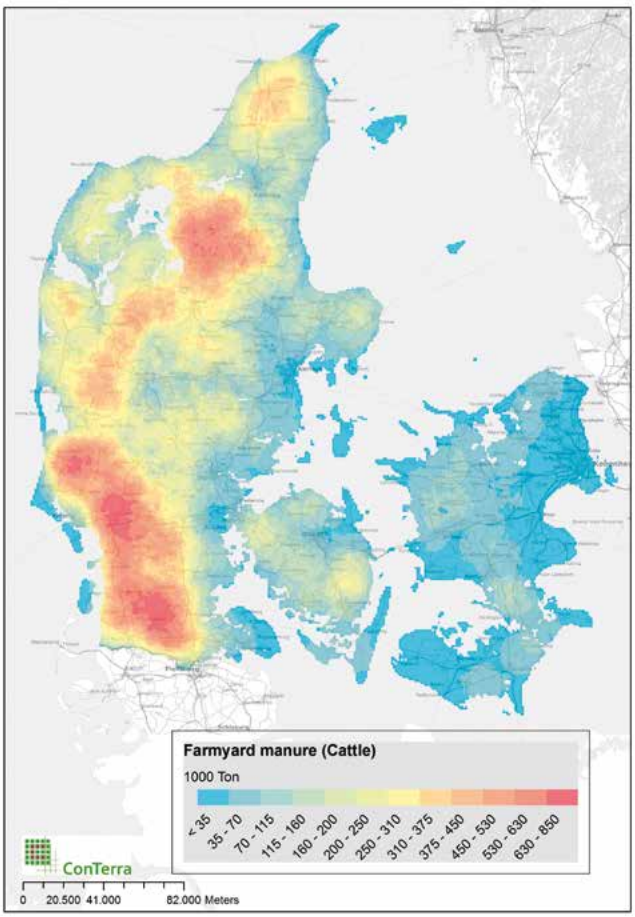


图4.3
丹麦牛粪产出分布图。图片来源：Conterra.

丹麦的牲畜养殖主要集中在丹麦西部

然而实际应用中，由于以下方面的差距，沼气厂的实际生产力存在较大差异：

- 技术配置，包括预处理技术；
- 各底物和混合底物整体的优质程度；
- 沼气厂的管理。

粪便和有机工业废弃物混合发酵的好处包括：

- 提高沼气产量——如果使用能量含量较高的有机废弃物与畜禽粪污进行混合发酵，每立方米原料可以产出更多沼气
- 稳定的发酵过程——废弃物与畜禽粪污混合发酵可以确保发酵过程稳定。
- 规模优势——集中式沼气厂会向许多不同行业收集废弃物，比许多独立的发酵厂更易于管理。规模优势也能帮助沼气厂从收到的废弃物中获取新的收益。
- 营养利用与回收——农民负责回收末端产品用作肥料，形成一个低成本、具有环保可持续性的废弃物回收系统。

4.3.1 畜禽粪便

丹麦沼气技术国际闻名，适合处理畜禽粪便为主的混合底物；能够有效利用能源，确保较高的净能源生产力；并且可以扩大规模，适合农场规模和工业规模的工厂。

畜禽粪便是一种有机物质，主要由畜禽的粪便和尿液或多或少均匀混合而成（包括垫料），其次是畜牧业生产中其他被丢弃的废弃物，如饲料残渣、青贮料渗出液和生产用水。

最重要的畜禽粪便次级分类如下：

- 常规畜禽粪便
- 厚垫料/垫草
- 畜禽粪便-液体
- 畜禽粪便-固体

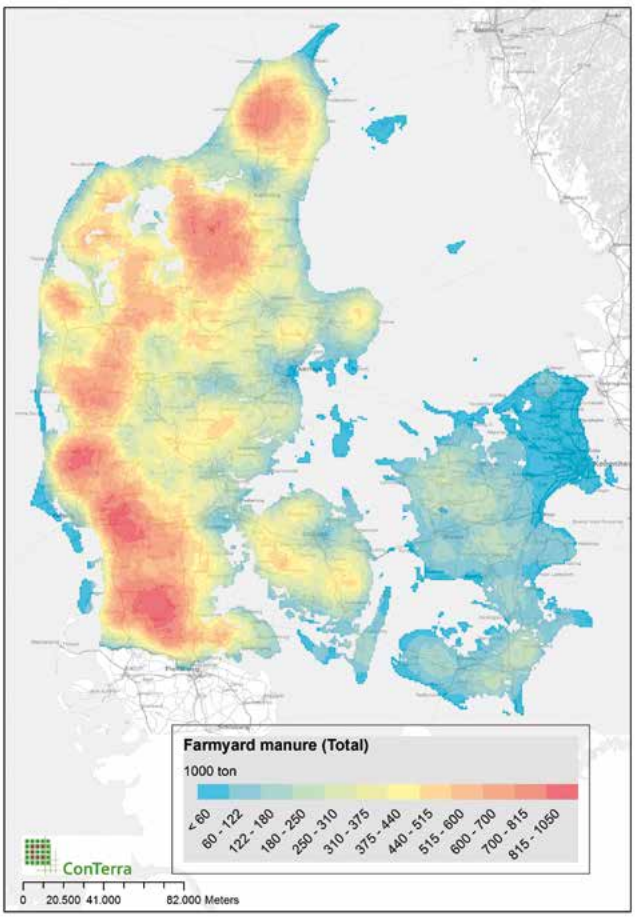


图4.4
丹麦畜禽粪便总产出分布图。图片来源：Conterra.

畜禽粪便相关术语均为约定俗成的用语，并非法律规定的术语。丹麦法律规定，，牲畜养殖场必须有能力储存至少9个月的畜禽粪污，这一指标是根据粪便生产的官方默认值计算出来的。安全充分地储存畜禽粪便是良好管理畜禽粪便的前提条件。

这么做可以保持畜禽粪便质量，春天植物需要营养时还可以用作农作物肥料。

畜禽粪便可用于能源生产。如今丹麦约20%畜禽粪便被用于能源生产。这一数据表明，丹麦在这个领域全球领先，但同时也还有巨大的潜力尚未开发。

粪便的能源价值主要取决于其新鲜程度，以及其中的有机质、粗灰分和水含量。

一般来说，所有类型的新鲜畜禽粪便和一些经过处理的畜禽粪便都可以用于厌氧消化，尤其是分离出的固体物质。

计算粪便的沼气产量时，我们通常会用到“挥发性固体”（VS）这一概念。根据经验，除非有具体的分析，否则畜禽粪便的挥发性固体含量一般认为是干物质（DM）含量的75%。

粪便处理

本节将介绍有机肥料最常用的术语和使用方法，探讨如何利用畜禽粪便、厚垫草和脱气生物质最大程度提高养分利用效率、减少环境影响。过去25年间，丹麦通过更好的粪便管理，将矿物肥料消耗的氮素减少了约50%。

减少氮素消耗量的关键在于根据肥料标准规划肥料的存储使用，采用安全的存储办法和正确的施肥时机，同时运用创新技术净化空气、在田间施肥。丹麦农民因此节省了大量成本。

无论畜禽粪便是否用于能源生产，我们的目标始终是在既定的生产体系中尽可能地产出高质量的畜禽粪便，并通过适当处理保持其良好的品质。

Madsens沼气生物反应器
提纯净化设施
与生物质储存设施

PHOTO *Ammongas.*

粪便通常是浓度越高越优质，尤其是对用于沼气生产的粪便而言，有机质含量对这一能源生产工序至关重要。

畜禽粪便中的有机质在一定程度上取决于饲料的成分配比，包括饲料中的盐和糖含量、磷和蛋白标准以及饲喂猪时使用的苯甲酸和/或植酸酶。然而，畜禽产出的粪便类型和品质很大程度上取决于建筑设计和处理粪便的技术。

丹麦人很喜欢探究如何使用技术确保新鲜排泄的粪便在装入存储设施前保持良好品质。这其中的关键在于防止氨的挥发。粪便中超过一半的氮会随着空气流失，给农民造成巨大的经济损失。而且，氨会污染空气和环境，危害人类和动物身体健康。另一个重要方面是避免过度用水清洗，过度清洗会造成粪便被水稀释和水资源浪费。

粪便储存

固体粪便和厚垫草的储存设施是混凝土粪垫，这种粪垫带有排水沟，周围设有支承墙或至少2米高的混凝土围边，防止泄露和渗漏。粪污通常存放在储存罐中。

丹麦传统上习惯使用预制混凝土制成的圆形储存罐存放泥浆。这种容器十分耐用，因此被认为是成本最低的储存方案，同时也能安全储存粪污。如果养猪场和养貂场使用的新建储存罐距离邻近住宅区不到300米，储粪罐上必须铺盖布料、帐篷罩等覆盖物。如果粪便外层自然结壳并定期监控，则可以不安装固定篷盖。

4.3.2
残渣和残留物

食品生产和生物质处理过程中产生的残渣和残留物可用作沼气生产的重要底物。丹麦几乎所有有机残渣和残留物都会被收集起来加以利用，即使不用于其他目的，也会用于沼气生产。

4.3.3
家庭生活垃圾

丹麦制定了一项资源战略，旨在循环利用50%的家庭生活垃圾。为实现这一目标，丹麦大多数城市都被要求对各个家庭的有机垃圾进行分类收集并单独存放，以便后续回收利用。

为利用这些分类收集的生活垃圾，有必要开发技术，将这些生物质加工成可用于沼气厂的浆状物质。Gemidan公司的ECOGI工厂开发了一项此类技术，

这些有机垃圾经过处理后转化为均质的原料，供当地厌氧消化工厂转换成沼气。工艺的灵活性和底物的纯度是ECOGI这项技术的重要效用指标。这项预处理技术已经过独立的性能测试，证明在处理高度受污染的原料（包括塑料、玻璃和金属）方面非常有效。底物同样经独立检验证实，纯度高达99.96%，不含有机物物理污染。这项技术可以防止塑料污染农田，还有助于节约用水，堪称环保循环经济领域最先进的技术。

通过这样的技术生产的生物制浆可用于产生能源（沼气）和沼渣沼液，后者是一种营养丰富的农田肥料。为了让这一处理过程更符合可持续发展要求，每个环节的水都会被重复利用。此外，收集雨水可以将每年处理食物垃圾所需的淡水量减少2.5万立方米。这样就完成了对食物垃圾的循环再利用。

图 4.7
该设施用于处理各种类型（家庭、商业和工业）的分类有机废弃物（即食物垃圾），支持循环经济。这套强大、高效、可靠的过程可以去除塑料袋、金属罐、塑料瓶和其他包装物中的非有机杂质，确保生产出高纯度的生物制浆。 图片来源：Gemidan.

图 4.6
上图为丹麦腓特烈港ECOGI集中式食物垃圾预处理厂。这间预处理厂由Gemidan垃圾管理集团所有并经营，预处理容量超过5万吨。原料包括当地的分类家庭、工业和商业食物垃圾。图片来源：Gemidan.

在丹麦，食物垃圾被认为是沼气和肥料生产的重要原料。

图4.8
丹麦腓特烈港的预处理厂。图片来源： Gemidan.

图4.9
处理完毕的生物制浆，准备投入消化池使用。

PHOTO *Food & Bio Cluster Denmark.*

4.4
废水处理厂

废水处理厂目前正从根本上转型，把资源利用和资源效率视作和环境保护一样重要的指标。废水处理属于能源密集型产业。与此同时，废水本身含有大量能量和营养物，近年来技术的发展使得这些能量和营养物得到了更好的利用。

一些废水处理厂证明，它们也可以成为能源的净生产者。也就是说，这些废水处理厂生产的能源多于它们消耗的能源。它们专注最大限度地利用有机碳（COD）生产沼气/电力/热能，同时通过优化操作减少能源消耗。
一些丹麦废水处理厂会对它们生产的污泥进行厌氧发酵（沼气生产）。这些污泥部分是初沉污泥，部分则是剩余污泥。

废水处理厂和农业沼气厂的沼气生产最主要的不同之处在于，废水处理厂会对腐烂的生物质进行机械脱水。这
大大提高了待处理生物质的干物质含量，降低了运输成本。对脱气污泥进行脱水处理有助于提高废水处理厂的内部存储容量。

4.5
能量含量

筹建规划一家新的沼气厂及后续运营沼气厂时，我们必须先全面彻底地了解可用生物质的沼气产量。粪便、污水污泥等最常使用的生物质含有的能量有限，因此沼气厂可能需要在原料中添加能量含量更高的生物质，以便实现盈利。

此外，用于给料的生物质组成部分必须确保具有所有必需的营养素且含量充足。

另外，还要防止生物反应器中的过程抑制物达到抑制浓度，例如氨。以下图表罗列了不同生物质生产沼气的常规潜力。

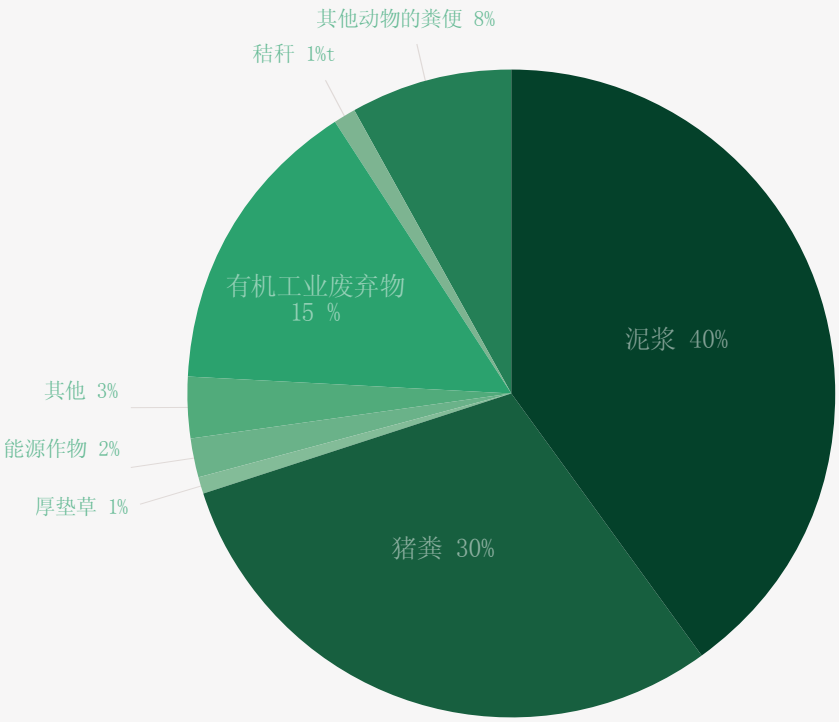


图4.10
年农业沼气厂混合原料沼气产量预计将达到平均水平

有机物质	反应式	产出，毫升沼气/克	毫升甲烷/克	甲烷浓度，%
纤维分解	$(C_6H_{10}O_5)n + n\ H_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	830	415	50,0
蛋白质	$2C_5H_7NO_2 + 8H_2O \rightarrow 5CH_4 + 3CO2 + 2(NH_4)(HCO_3)$	793	504	63,6
脂肪	$C_{57}H_{104}O_6 + 28H_2O \rightarrow 40CH_4 + 17CO2$	1444	1014	70,2

4.6
质量守恒

沼气厂沼渣沼液的营养物质含量完全取决于工厂接收的生物质。规划沼气生产时，需要通过计算实现养分物质平衡。

混合消化十分重要，因为：

- 必须确保有充分可用的生物质
- 保证营养成分
- 提高沼气生产力
- 沼气生产过程保持稳定
- 循环再利用营养物质

物流运输

在禽畜养殖场和沼气厂之间运输畜禽粪便和沼渣沼液是工业规模的沼气厂的一项重要工作。运输卡车必须拥有很大的装载容量，以便最大限度减少运输次数。而且，卡车必须易于清洁，每次运输都要进行清洁，以便减少交通和噪音滋扰以及疾病传播风险。最后，运输或装卸货过程中，卡车不能将运输品倾洒在外。

4.7
组织

农业沼气厂用于农场或工业规模的沼气生产。工业规模沼气厂的一大特点就是规模大。丹麦工业规模沼气厂平均每年处理10万多吨畜禽粪便和其他底物。这类沼气厂通常是以农民所有的合作社形式组织起来的，有时也可能是由能源公司等其他利益相关方组织建设的。它们通常可以处理40-100个甚至更多农场的粪便，会雇佣几位员工负责工厂的日常操作运转。工业规模沼气厂的主要优势在于，它们可以利用规模经济，投资更有效的技术。这对需要处理粪便的农民而言十分重要，除了必要的保证金外，他们无需再狭隘地将资金锁在工厂中。而且，工厂还可以作为经过厌氧消化处理的粪便（即沼渣沼液）的区域分配中心。

农场规模沼气厂的一大特点是只接受少数禽畜养殖场的粪便，是某一家农场法律和经济上的一部分。农场规模沼气厂对于大型禽畜养殖场而言特别有吸引力。由于规模较大，这类养殖场可以一定程度上利用规模经济。而且，有沼气厂的养殖场在生产过程中对邻居造成的滋扰比没有沼气厂的养殖场更少。

农场规模沼气厂的优势包括：

- 决策和工厂建设更加简单快速
- 工厂可以自行产热，这点对于养猪场尤为有利
- 最大程度减少交通运输

4.8
案例：Månsson 绿色有机沼气合作伙伴

Nature Energy是全球最大的沼气生产商之一。2017年，Nature Energy与有机农业巨头Axel Månsson达成合作，携手将废弃物转变为绿色天然气。他们将会扩建沼气厂，并且准备生产大量沼气，使用绿色的二氧化碳中性天然气为约1.2万户家庭供热。

在丹麦，沼气被认为是向可持续社会转型的一大重要助力。丹麦气候变化理事会（Danish Council on Climate Change）和丹麦气候合作组织（Danish Climate Partnerships）的报告重点指出，沼气是丹麦实现绿色转型的关键助力。丹麦气候合作组织代表丹麦商界，丹麦气候变化理事会则是一家独立的专家机构。这两家机构提出的建议被认为对丹麦未来的气候政治至关重要。

沼气是实现绿色未来的第三大基本要素，另外两大要素是风能和太阳能。Nature Energy和Axel Månsson怀抱着这一想法，于2017年建造了一家彻底的有机沼气厂。

2019年，随着越来越多农民表示有兴趣成为供应商为沼气生产做贡献，双方决定扩大工厂规模。除了扩大规模，他们还增设了一条单独的传统生产线，将该地区传统粪便和食物垃圾处理能力提高了17万吨，从而生产更多绿色气体，并在当地创造新的绿色就业机会。

共有38位农民为工厂提供畜禽粪便。扩建后的工厂全面投产后，甲烷总产量将达到170万标准立方米（Nm3），相当于用二氧化碳中性的沼气为约1.2万户家庭提供能源。

为避免混杂有机和传统生物肥料，有机生产线与传统生产线会分开运转。

图4.11
Månsson沼气厂。图片来源：Nature Energy.

沼气是循环经济的典范

T这家有机沼气厂主要处理有机物质，如牧场粪便、养鸡场粪便、有机三叶草和Axel Månsson等公司的蔬菜残渣。

扩建后，沼气厂每年可将25.5万吨生物质转化为绿色天然气，并向有机农民提供生物肥料。

Nature Energy正在分析这些营养物质，以便帮助农民制定农田施肥计划，并确保他们遵守氮和磷的相关规定。

此外，沼气厂也在尝试重新分配养分，优化生物肥料的使用效果，减少购买有机肥料或矿物肥料的需求。

泥浆由Nature Energy自有卡车负责运输，平均运输距离15-20千米。卡车在某一农场收集粪便的同时，会向农场提供沼液。从这方面来看，沼气堪称循环经济的典范。

关于Axel Månsson

- 成立四十多年来，Axel Månsson主要生产蔬菜和鸡蛋，是丹麦最大的蔬菜生产商之一，拥有1100公顷农田。
- 公司一半产品为有机产品。此外，公司拥有14万只母鸡，每年生产4500万个有机鸡蛋。

关于Nature Energy

- Nature Energy是全球最大的沼气生产商之一，能将粪便等有机废弃物转化为生物肥料和气候友好型的绿色天然气，从而减少农业领域破坏气候的气体，以及对化石天然气的需求。
- 2021年起，Nature Energy每年将超过470万吨粪便和其他生物质转化为有益的生物肥料，并且每年可生产约1.7亿标准立方米甲烷，相当于用二氧化碳中性能源为12万户家庭供暖。Nature Energy目前在丹麦设有10家工厂，还在国外经营着两家工厂。

图4.12
Nature Energy的Månsson沼气厂安装的沼气提纯净化设施。
这家沼气厂从当地农场获取有机原料。
图片来源：Nature Energy.

5 沼气应用

丹麦生产使用沼气已有多年。传统上，热电联产电厂会使用沼气发热供电，大多数老式发电厂也都配有热电联产装置。

2012年推出的一项支持政策使沼气提纯净化为生物甲烷气并输入国家天然气网络成为了可能。此后，丹麦生产的大部分沼气都经提纯净化转化为了生物甲烷气，并通过天然气网络进行销售。天然气输送网络分布广泛，可在丹麦几乎任何地方使用。

2019年，丹麦议会批准了一个雄心勃勃的气候目标，即到2030年二氧化碳排放量相较1990年减少70%。因此，丹麦需要在节省能源和电气化方面进行大量投资。随着绿色转型，能源生产与消费开始逐渐脱节。电力需求并不总是与风能和太阳能的高发电量相符，相反，有时发电量反而大大高于消费量。

丹麦亟需吸收多余电量，但同时还应保有巨大的储能能力，以便应对需要使用大量能源但太阳能与风能无法提供能源的情况。

目前现有的天然气网络是丹麦最大的储能设施。天然气网络的储能量相当于丹麦年用电量的三分之一。丹麦许多地区的供暖系统也可以吸收电力。但与天然气网络不同的是，这些供暖系统无法储存能量，也无法将电力送回电网。

沼气是一种
具有许多应用价值的产品

沼气生产可以平衡风能和太阳能的产量波动，稳定电网。

随着可再生能源在电网中的比例逐渐提高，电网承受着巨大的压力，而沼气有助于舒缓这一压力，同时还能降低消费者使用能源的成本。在寒冷季节，燃气锅炉可以保证供热价格合理，减轻电网负荷。

沼气可用于工业和交通运输。预计未来多年都不会选择电气化的地区则更需要沼气。同样需要沼气的还有重运输、重加工的行业等。

沼气厂和天然气网络有助于减少食品生产对气候的影响，还可以提供稳定供应电力及绿色电力的绿色能源解决方案。天然气网络是丹麦最大的绿色能源储存设施，有助于稳定电网，令发电量和用电量保持一致。

5.1 沼气损失

2016年，沼气行业协会（Biogas Industry Association）与丹麦能源署（Danish Energy Agency）合作，发起了一项自愿检测甲烷损失的计划。沼气行业自愿甲烷损失检测计划指出，丹麦沼气厂的甲烷损失已有所降低，正逐渐接近1%的目标。

此前的试点项目显示，丹麦沼气厂可能存在沼气损失，但现在已经有办法找到泄漏点并量化具体损失，而且有可能将甲烷的损失降到最低。这不仅有利于经济，而且还是一项重要工具，可以提高沼气厂改善气候的效果。

自愿检测计划包括以下三大要素：1.自我监控程序，2.泄漏检测，以及3.量化甲烷损失。

丹麦当局还在继续着手解决甲烷损失问题，并且有望制定一项监测沼气厂甲烷排放的永久性强制政策

5.2
丹麦生物甲烷气质量标准

生物甲烷气的质量必须与传统天然气相同，并且必须时刻遵守丹麦天然气规定和质量规范。

绿色天然气的生产与化学成分都与传统天然气有着很大不同。在丹麦，向天然气网络供应绿色天然气还是一项比较新的尝试，直到最近才开始对天然气网络的互通性产生重大影响。随着绿色天然气输入量的增加，出现了一个问题：如何既保证天然气网络安全运转，又不过分抬高要求，以免提纯净化成本过高阻碍生物甲烷气入网。

此外，由于天然气可跨境交易，天然气质量规范的差异可能也是一个有待解决的问题。在欧洲，天然气质量规范由各国自行管理，具体情况因国家不同而有所不同。在生物甲烷气入网这一问题上，天然气质量规范的差异可能会对竞争环境造成影响，因为在天然气质量规范较不严格的国家，沼气生产商的提纯净化成本较低。也许更重要的一点在于，这会阻碍天然气系统之间的实物交易。

5.3
提纯净化

厌氧消化生产的沼气常常用于燃气轮机生产电力。为提高沼气价值、增加沼气用途，对沼气进行提纯净化是有利的。提纯净化可以去除沼气中的二氧化碳和各种杂质，产出生物甲烷气。如上所述，生物甲烷气类似天然气，用途也与天然气类似，可输入天然气网络，也可用作汽车燃料等。

目前共有三种高效利用沼气的方式：

- 在热电联产电厂将沼气转化为能源
- 输入天然气网络
- 用作汽车燃料

在任何情况下，粗制沼气使用前都必须进行清洁。沼气厂会一定程度上去除沼气中的硫化氢。输入天然气网络或用作汽车燃料的沼气必须先在提纯净化设施中进行清洁和提纯净化。在这一装置中，去除沼气中的二氧化碳、硫化氢、水蒸气和氨。

目前市场上有多种不同的沼气提纯净化技术。其中一些技术利用了二氧化碳和甲烷在不同溶剂中的不同溶解性。通过选择能高度溶解二氧化碳但甲烷通过时不会带来变化的溶剂，可有效将沼气中的二氧化碳与甲烷分离出来。

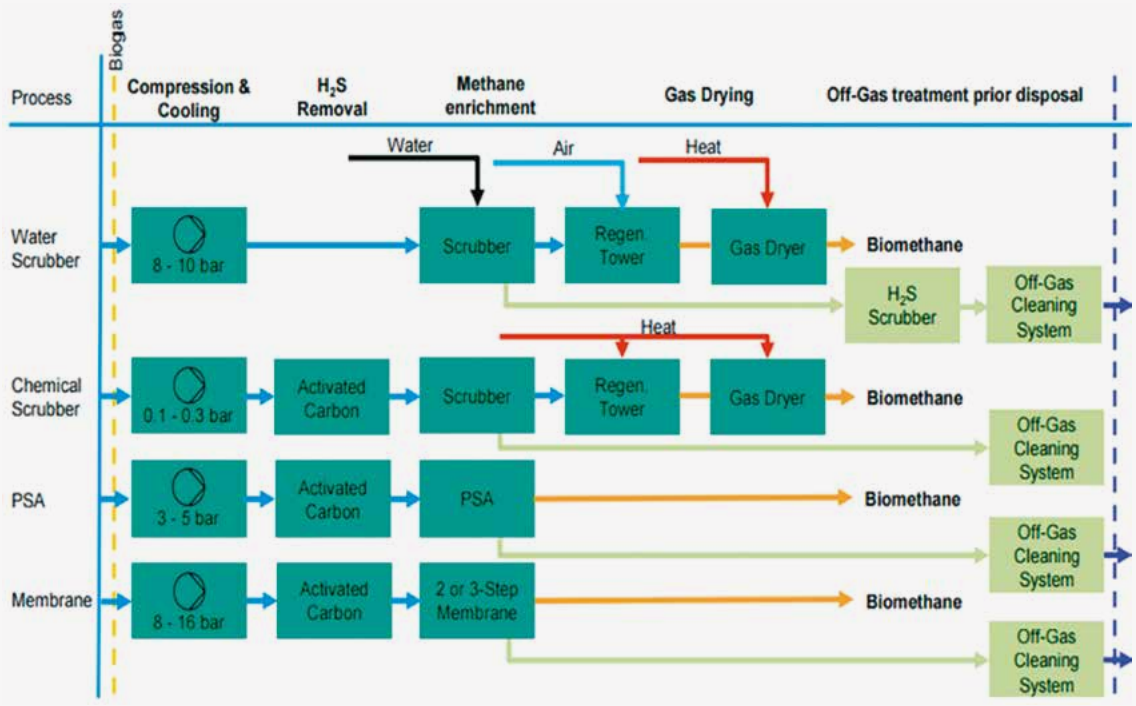


图5.1
不同类型的提纯净化技术（DGC=丹麦燃气技术中心）

用于沼气提纯净化的溶剂包括水、胺以及Genosorb等有机溶剂。在变压吸附（PSA）中，利用的是不同压力下同一表面对二氧化碳和甲烷吸附行为的差异，借此来实现二氧化碳与甲烷的有效分离。另一种常见的沼气提纯净化技术利用的是二氧化碳比甲烷更容易通过半渗透屏障的特性，譬如膜。将沼气从此类膜中通过，去除沼气中的二氧化碳，留下集中在产物流中的甲烷。最后一种技术利用的是，甲烷和二氧化碳不同的沸点，在低温精馏分离沼气。

由农业残余物、生物废弃物或污水污泥等各种底物产生的沼气含有低浓度的多余物质，比如杂质，包括硫化氢、硅氧烷、氨、氧气和挥发性有机碳(VOC)。大多数沼气提纯净化技术，多是分离甲烷中的硫化氢。不同技术之间，去除效率以及是否足以满足产品气体要求均千差万别。利用水、胺或有机溶剂吸收原理的洗涤器，一般能去除大部分的硫化氢，而膜净化提炼和变压吸附技术需要用到增泽过滤器。不过，从甲烷气体中分离出来的硫化氢最终进入富含二氧化碳的旁流中，如汽提塔的空气，然后根据环境法规的要求将其去除。（资料来源：Energiforsk 2016）。

沼气提纯净化的基本概念是通过分离进入气体的二氧化碳（约40%）和其他微量气体（硫化氢、水、氢气、氮气、氧气和挥发性有机碳），从而精炼原生沼气中的甲烷气体（约60%）。通过运用不同类型的分离技术来实现这一过程，这些分离技术均利用了此类气体不同的化学和物理性能。因此，也可以根据其主要用于分离的化学物理机制类型对这些技术进行分组。

现有提纯净化技术：

1. 变压吸附
2. 水洗
3. 胺洗
4. 有机物理洗
5. 膜分离
6. 深冷提纯

经过提纯净化的沼气品质高。

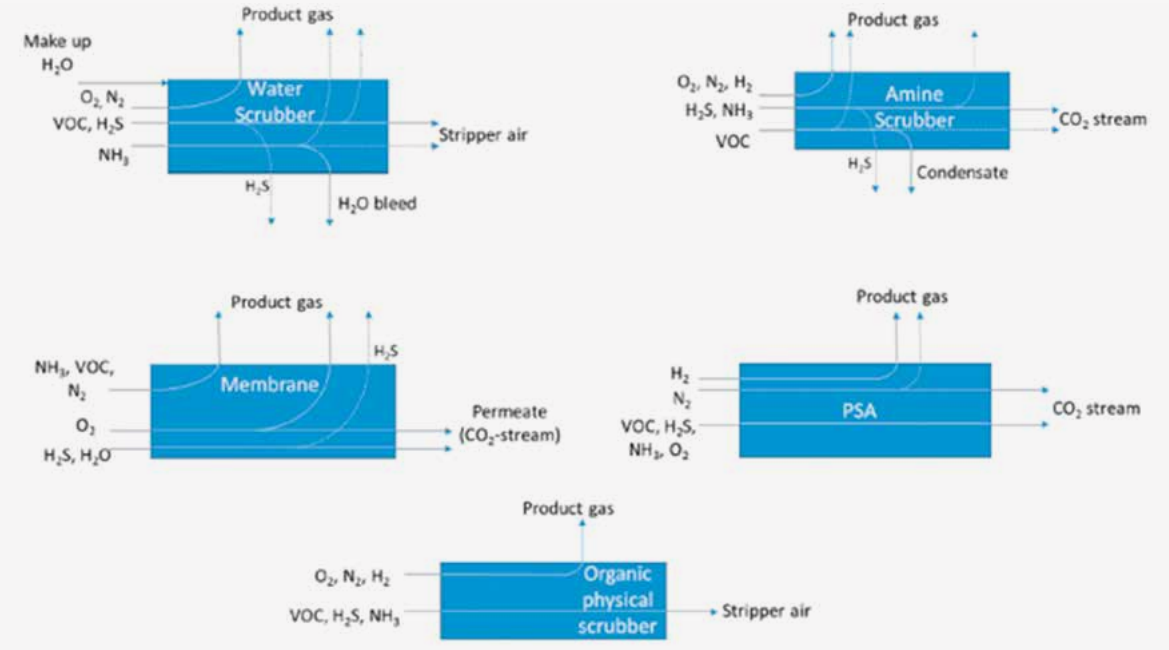


图5.2
不同沼气提纯净化过程沼气中杂质的路径Eneriforsk 2016。

丹麦AMMONGAS公司的沼气提纯净化厂现在每年生产9 兆焦耳生物甲烷（占丹麦2020年总产量的3/4），这将丹麦的化石二氧化碳排放量减少50万吨/年。

值得一提的是Ammongas的胺基提纯净化技术，其在分离二氧化碳和生物甲烷方面极为高效，甲烷损失率只有0.04%。此外，由于高效的二氧化碳分离，经过提纯净化的天然气可用于液化过程。

升级后的装置相当耐用，可用于处理未经任何预处理的原生沼气。每立方米原生沼气的耗电量不足0.12千瓦时，每立方米的沼气的净热需求约为0.2千瓦时（提纯净化和脱硫过程的总和），因此能耗很低。提纯净化厂的利用率高，包括定期维护在内平均可达到98.5%，而且因为无预处理环节，所以不存在沼气被添加的氧气和氮气污染的风险。

丹麦大多数新建的沼气厂都使用胺洗技术将沼气提升至可输送至天然气供气网的品质。

图5.3
Ammongas公司Madsens Bioenergy工厂的提纯净化塔。向丹麦天然气供气网输送经过提纯净化的生物甲烷，平均可用率达到99%以上。该提纯净化装置由秸秆和木屑组合式原料的生物质锅炉供电，而这个装置回收的热量反过来又为整个沼气厂供电。

PHOTO *Ammongas.*

图5.4
位于丹麦布兰德市Nature Energy Maansson工厂的Biogascleaner QSR脱硫装置。
图片来源： 欧洲Biogasclean沼气清洁公司。

图5.5
位于丹麦NGF Nature Energy Korskro工厂的Biogascleaner QSR脱硫装置 图片来源 欧洲Biogasclean沼气清洁公司

5.3.1 脱硫

在丹麦开展的大多数提纯净化项目中，一般会将胺净化与丹麦Biogasclean沼气清洁公司的Biogascleaner QSR脱硫系统结合起来使用。Biogascleaner QSR脱硫系统安装在胺净化装置的下游，用于净化二氧化碳气流。参考上述数据，这一技术的结合使用有着显著的竞争优势，运营成本最低，甲烷损失最低。从2017年1月到2020年1月，丹麦Biogasclean沼气清洁公司被选中在丹麦开展16个提纯净化项目，生产输送至供气网的生物甲烷。除了这些提纯净化项目外，丹麦Biogasclean沼气清洁公司的系统还向全球580兆瓦以上的燃气发动机输送清洁的天然气。

Biogascleaner QSR安装在胺提纯净化装置的下游，可减少二氧化碳气流中的硫化氢浓度，可将约7500 ppm的硫化氢缩减到最多50 ppm。

Nature Energy Korskro工厂每年向公共供气网生产约2200万立方米的生物甲烷。

Biogascleaner QSR安装在胺提纯净化装置的下游，可减少二氧化碳气流中的硫化氢浓度，可将约8000 ppm的硫化氢缩减到最多50 ppm。对净化后的二氧化碳进行进一步的处理，用于食品行业。

图5.6
氯化铁储罐装置
图片来源：凯米拉。

硫的控制于沼气厂的运行和沼气质量而言至关重要

5.4
硫的化学沉淀

沼气厂通常使用含有3-15%固含量的原料进行生产。在大多数情况下，干固形物的可降解量约50%，而排出物，即消化池产生的沼渣沼液，一般的固含量是2-7%。作为干固形物的有机负荷通常为2-5 kg的干固形物/立方米消化池容积/天。

在生产甲烷的同时，也会生成硫化氢。根据底物的类型，硫化氢的产量也各有不同。粪肥装置产生沼气的硫化氢含量高达2000-8000 ppm，生活垃圾装置产生的沼气的硫化氢含量通常为600-800 ppm。使用铁盐去除有毒的硫化氢，并在需要时注入到消化池或底物收集槽中。根据不同的底物，减少硫化氢含量所需的铁含量也各不相同。

并且基于底物的类型，可能需要加入微量元素等添加剂。

对于能源作物、农业残余物和非农业物质，由于其底物中微量元素含量较低，所以需要补充。如果不向消化池补充微量元素，那么微生物的进程将会受限。这一进程的受限将影响有机负荷的增加和进程稳定性，同时也会导致消化池/反应器中挥发性脂肪酸（VFA）的高含量问题。这会对消化池/反应器中微生物进程的平衡造成巨大影响，挥发性脂肪酸和长链脂肪酸的低降解度将减少沼气产量。这些物质无法降解转化为理想的甲烷和二氧化碳，反而会在经过处理的沼渣沼液中转化为甲烷气体，并释放到大气中，即所谓的甲烷滑脱。甲烷滑脱会减少工厂总体产量，降低工厂盈利能力，并且会造成环境问题，因为甲烷气体是一种极强的温室气体，不应排放到大气中。消化池中的挥发性脂肪酸含量不得超过1500毫克/升。

根据底物中的能量含量，沼气产量会有大幅的变化。通常，养猪场粪便带来的沼气产量为每吨挥发性固体200立方米甲烷，而食品和餐厅厨余垃圾底物的沼气产量为每吨挥发性固体660立方米甲烷。

FIGURE 5.7
作为容器解决方案的储罐装置 图片来源：凯米拉

5.4.1
铁是影响沼气生产的主要元素

铁是厌氧消化的关键要素，参与所有的细菌过程。

在沼气生产中，会使用不同产品来降低硫化氢的浓度。减少硫化氢还可以防止装置设备、气体处理系统和气体提纯净化系统腐蚀。如果提纯净化后的生物甲烷气被用作汽车燃料、输送至公共天然气网络或被当作普通能源，则通常需要将气相中的硫化氢含量降低到100 ppm以下。

含铁产品主要用于沼气系统中硫化氢的控制。加入的铁元素Fe与二价硫离子S2反应，构成硫化铁，这种固态成分会连同固态的沼渣沼液一同排出系统。含铁产品会直接添加到消化池中或在消化作业开始前添加。铁类的商用品有液态和固态两种形式。

5.4.2
沼气生产所需的微量元素

厌氧消化池/反应器环境中的微生物通过新陈代谢的方式利用酶和辅酶降解纤维素、淀粉、蛋白质、脂肪、糖、脂肪酸，并将中间化合物转化为主要的最终产品甲烷和二氧化碳。

厌氧降解过程中对微量元素的需求与微量元素的自然含 量有关。来自生活类的底物，如城市废水污泥和畜禽粪便，一般不需要添加微量元素，因为底物中的微量元素含量已充足。但如果有机负荷增加超过4kg VS/ ($m^3 \cdot d$)，则需要补充微量元素，以保持甲烷产出，保证沼气厂的产量不会减少。

来自能源作物、农业残渣、工业有机残渣、生活垃圾、生物废弃物和工业废水的底物中的微量元素含量通常很低，因此在厌氧降解过程中需要大量加入微量元素。否则，微生物将碳水化合物、蛋白质和脂肪转化为沼气的作用就将受到影响。

5.4.3
支持厌氧过程的化学物质

A如上所述，运行良好的沼气厂对化学物质有所需求。在BDP（凯米拉沼气消化产品）组合中，有专门用于沼气厂和工业厌氧废水处理厂使用的纯铁产品。这一组合还包括含有不同类型和浓度的微量元素的特殊铁盐。在选择沼气消化产品时需要根据底物、设计、厌氧消化过程以及过程的负荷而定。

添加铁产品的目的是为了减少所生产沼气中的硫化氢含量，防止装置和设备腐蚀，并提供能够用于燃气发动机、天然气网络和/或用作汽车燃料的沼气。含微量元素的沼气消化产品用于提高沼气的产气率和产量。

这类产品可以提高有机负荷率，降低消化池/反应器中的挥发性脂肪酸含量，并减少泡沫问题的发生。在消化池/反应器中，如果挥发性脂肪酸和长链脂肪酸的减少率越高，则酸转化为甲烷和二氧化碳的比例越高。这一过程也减少了甲烷滑脱，从而减轻对环境造成的负面影响。

一般来说，添加沼气消化产品能够在不需要投资的前提下提升工厂产能。它能增加沼气产量和产气率，从而提升工厂的经济产出。在降解途径中，铁既是宏量元素，也是厌氧消化的关键要素，参与所有的细菌过程。它能沉淀硫化物S2，并抑制硫化氢H2S的毒性作用。

有机物质的成分对沼气的形成和甲烷产量具有重要影响。

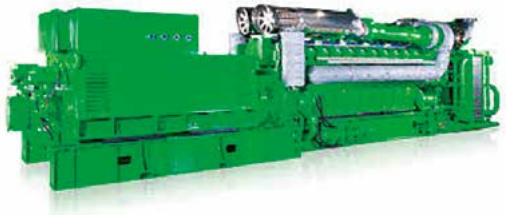


图5.8
颜巴赫（Jenbacher）为沼气厂提供的燃气发动机和发电机
图片来源：颜巴赫

5.5
热电联产

数十年来，丹麦沼气厂一直采用热电联产装置，即使用热电生产的发动机装置。

通过在燃气发动机中使用沼气，可以实现相当于沼气能量含量35%-40%的发电量，而其余能量部分以热烟气或热水的形式排出。这意味着沼气中约60%的能量会转化为热能，为实现盈利，有必要以合理的价格出售热能用于其他用途。然而，在全年最热的季节很难以适当价格出售热能，这是丹麦热电联产装置面临的一大挑战。

5.6
运输和物流

与沼气厂运营相关的运输和物流构成了一项重要的运营成本。良好的运输和物流管理对实现经济效益至关重要。

废水处理厂和工业工厂的沼气生产与农业工厂的沼气生产不同，因为前者工厂的大部分生物质通常可以通过泵送运输，而农业工厂所有的生物质几乎都是靠卡车运输的。专门设计的卡车将液态生物质作为肥料运送到工厂内，经过腐烂处理后将沼渣沼液排出。对收集生物质并将沼渣沼液运送到农场的物流进行规划，是一项极其重要的任务。

生物质的供应运输和物流对实现经济效益至关重要

图5.9
专门设计用于肥料运输的卡车。
图片来源：丹麦农业、食品与生物集群

Power-2-X（以清洁能源为主体的能源转化）

- 氢气：可直接用于热电生产（如热电联产装置）、运输行业（如燃料电池）和化工原料（如炼油厂）。少量氢气也可以投入到天然气网络。通过电解水产生氢气，是P2X的第一个步骤。

- 合成甲烷：可直接输送至天然气网络，与天然气用途相同。合成甲烷在生产过程中需要二氧化碳作为原料，这一过程有时被称为电能转化为甲烷（P2G）。

- 合成液态燃料：包括甲醇、汽油、煤油（喷气燃料）、柴油和轻柴油。可用于与相应化石油产品相同的用途。这类燃料在生产过程中需要二氧化碳作为原料，这一过程有时被称为电能转化为液态燃料（PtL）。

- 氨气：氨气是肥料的基本成分，可以用作氢气的能量载体或直接用作燃料。氨气在生产过程中不需要二氧化碳作为原料，只需要直接从空气中获取的氮气。自2018年出台国际航运的二氧化碳减排目标以来，主要参与者大力发展电解氨作为无二氧化碳的航运推进剂。

5.7
Power2X

对于丹麦而言，在未来几十年内实现100%可再生能源的转化是一项艰巨而复杂的任务。多年来，对能源系统的长期分析表明，电解能成为整个能源系统转换的核心元素，但预计2030年之后，电解可能不再具有重大的影响力。

Power2X（P2X）是通过电解将可再生电力生产转化为氢气，并进一步用于生产为气态燃料和液态燃料。在向具有成本效益的可再生能源清洁供应转变的过程中，这些流程有望成为必要的核心要素。

许多分析表明，通过所谓的行业连接实现各种能源系统的大规模电气化对丹麦能源系统的发展至关重要。电热泵可以有效提供室内供暖所需的能源，而电力通常是运输领域最节能、最清洁的能源。目前，风能和太阳能发电是生产可再生能源的一种廉价方式。随着近年来价格的大幅下跌，全球范围内风能和太阳能的可再生发电势头日益强劲，风能和太阳能发电所占的份额也相当可观。

图5.10
在奥胡斯大学的测试设施中，将二氧化碳和氢转化为甲烷。
图片来源：丹麦农业、食品与生物集群

分析表明，2050年约有40%-60%的能耗不能转化为直接用电。这一能耗必须由其他燃料来弥补。预计大部分船舶、飞机和重型运输、工业、后备发电等对液态燃料和气态燃料依旧有着很大的需求。这些都促使Power2X生产和以沼气为源头的产品引起了人们的关注。

图5. 11
丹麦托普索国际公司位于奥胡斯大学的试点装置，其能将二氧化碳和氢气转化为甲烷。
图片来源：丹麦食品与生物集群

6 沼渣沼液的利用

6.1 肥料的价值和回收利用

大多数禽畜饲料由各类植物组成，含有多种营养成分。这些营养成分中有一部分经过动物的吸收转化成奶、肉或鸡蛋，其余部分则变成畜禽粪污。如果把这些粪便播撒在作物上，就会形成一个循环，让作物得到所需的几乎所有营养成分。不过，为部分补偿禽畜肥料中流失的一些营养成分，通常需要从家庭或工业废物中补充一定量的无机肥料。

随着全球磷资源自然储量的枯竭，利用营养物质替代工业生产的无机肥料变得日益重要。沼气厂的沼渣沼液是一种优良的植物肥料，富含营养物质和有机物质，比未经处理的粪便更容易获取营养物质。在丹麦和欧洲，未经处理的粪便/泥浆和沼气厂的沼渣沼液都直接用作农作物肥料，无需进一步加工。

用沼渣沼液代替矿物肥料要求对沼渣沼液进行有效、安全的处理和使用。

丹麦的相关法规

丹麦环境和食品部负责管理粪便用作肥料方面的法规工作，并执行相关的欧盟法律。

以下列出最重要的规定：

- 规定畜牧业生产粪便管理的法令。
- 规定农业和植被使用肥料的法令。
- 规定农田使用有机废弃物作为肥料的法令。
- 丹麦兽医和食品管理局规定的动物（如屠宰场）残留物的使用。

本法规中的重要内容包括：

- 允许在农业用地上使用未经处理的畜禽粪便。该规定同样适用于消化道内容物、奶和奶制品。
- 畜禽粪污必须储存在密闭且加盖的储罐中。
- 畜禽粪污中的营养成分必须用作农田肥料。其唯一的替代方案是将粪便和泥浆送至通过审批的焚烧厂进行焚毁。
- 对在每公顷农业用地上合法施加的氮和磷数量加以限制。
- 如果农场产生的粪便数量超过法律规定的用地施肥数量，农场必须提供一份将多余粪便分配给另一家农场、沼气厂或焚烧厂的书面协议。
- 在施加液态肥料或脱气生物质时必须采用某些技术，以避免臭味和排放。
- 必须在生长季前和生长季期间施加液态肥料或脱气生物质，以有效地利用营养成分，避免浸出。
- 生活垃圾等有机废弃物无需经过许可便可用于农田，但其他类型的垃圾则需要获得施用许可。上述有机废弃物对重金属、环境有害物质和塑料等物理杂质都设有限制。该限制由第三方控制。
- 在将有机废弃物施用到土地前必须经过合理的特定卫生处理：稳定化、控制堆肥化或控制灭菌（视具体类型而定）。
- 动物副产品必须符合欧盟法规。这项规定禁止使用高风险的动物副产品作为沼气生产原料。高风险原料，比如死于某些疾病的动物尸体，必须进行焚烧。虽然低风险原料可用于沼气生产，但有时只能在经过加压灭菌后方可使用。为处理此类原料，沼气厂必须拥有一套经核准的灭菌装置。

	干物质%	氮总量 千克/吨	氨氮 千克/吨	磷 千克/吨	钾 千克/吨
畜禽粪便-奶牛	8	4,9	3,0	0,8	4,4
育成猪泥浆	6	5,0	3,5	1,2	2,6
母猪泥浆	4	3,8	2,6	0,9	1,9
腐殖土（固体）	20	6,0	1,5	1,6	2,5
尿液	3	5,0	4,5	0,2	8,0
厚垫草	30	10,0	2,0	1,5	10,0

图6.1
来自动物的有机肥料中最重要营养成分的一般含量。

6.2 营养成分

来自动物的有机肥料由占70%-98%的水以及仅占2%-30%的营养成分和有机化合物组成。固态有机肥料和厚垫草有着高含量的秸秆、较高含量的营养成分和固态物。畜禽粪便等液态有机肥料含水量高，秸秆含量少，所以固态物和营养成分的含量相对较低。

有机肥料中含量最多的营养成分被称为宏量元素（如氮、磷、钾和镁），其他营养素的含量则较低（如钠、铜、锌、硼和钼）。大部分的营养成分可以直接被植物吸收。

有机肥料中的氮以两种形式存在：

- 铵，可直接用于植物。
- 有机氮，在被植物吸收前必须在土壤中进行转化。硝酸盐是无机肥料中的一种重要成分，但在来自动物的有机肥料中未发现高含量的硝酸盐。

表中所示含量是丹麦实例中常见的含量。不过，由于饲养方式、废水、禽畜舍设计、秸秆使用等方面的差异，农场之间存在很大差异，这些都会影响畜禽粪便的成分。

6.3 营养价值

农场中的畜禽粪便和脱气生物质拥有巨大价值。在田间使用时，有机肥料能够部分或全部替代无机肥料。因此，如果能将这些原料运用得当，便可以节省无机肥料的花费。来自动物的有机肥料虽然没有价格表，但可以参照被替代的无机肥料价值来估算有机肥料价值。

下表显示了不同类型和规模农场的肥料总价值。计算得出的价值取决于无机肥料中使用的磷、钾和氮的等量价值。为充分发挥肥料价值，最重要的是在适当时间利用最佳设备将泥浆、腐殖土和脱气生物质施加到正确的作物中。

产量指代的是标准年产量。在计算该价值时，畜禽粪便中营养元素平均含量的标准取决于禽畜类型、饲养方式、禽畜舍类型等。

利用率（%）是在施肥当年（第一年效果）作物消耗氮量（总氮量）的衡量指标。无机肥料中氮的利用率定义为100%效率。第一年效果主要指有机肥料中氨氮含量的结果。

残留效应被用于衡量畜禽粪便施加后数年内氮带来的影响。残留效应主要指有机氮含量的结果。据估计，10年后，猪粪的残留效应为7%-10%，牛粪的残留效应为10%-15%，固态有机肥料的残留效应为16%-24%。

氮的利用率千差万别。作物吸收的氮量之所以各不相同，是因为畜禽粪便与难以消化的植物残渣的有机结合量有所不同，导致这些物质无法被植物吸收。粪便和尿液所含氮的生物利用度最高。这就是液态有机肥料中的氮利用率高于固态有机肥料的原因所在。

利用程度的不同在于有些氮在被植物吸收之前就已经流失到环境中。如果最大限度减少这些损失，就可以实现氮的最佳利用。例如，利用最合适的施肥设备在最佳时间施加适量肥料，就可实现这一目标。

建议在春季施用大部分的有机肥料。因此，在秋冬季需要对畜禽粪便进行储存，最佳储存量为8-9个月的产量。

	生产的肥料			
肥料类型	吨/来源动物	总产量，吨	每吨价值，欧元	总价值，欧元
肥料类型	9,60	8.160	4	36.680
母猪泥浆	0,54	5.400	6	32.227
育成猪泥浆	38,00	11.460	6	71.408
养牛泥浆	38,00	19.100	6	119.013
养牛泥浆				

图6.2
2016年11月丹麦典型肥料类型的价值估算。

肥料类型	作物及施加方法	第一年的使用效率%
养猪泥浆	利用挂车向冬季作物（谷类、油菜）进行软管施肥	65
养牛泥浆	利用挂车向冬季作物（谷类、油菜）进行软管施肥	45
养牛泥浆	注入草地内	50
养牛泥浆	利用挂车向草地进行软管施肥（酸化）	50
液态有机肥料	利用挂车向冬季作物（谷类、油菜）进行软管施肥	85
固态有机肥料	向冬季作物（谷类、油菜）大面积撒播施肥	25
厚垫草	向冬季作物（谷类、油菜）大面积撒播施肥	85

图6.3
有机肥料在春夏生长作物中的氮利用。丹麦国家农业知识中心P/S。

肥料类型	作物及施加方法	第一年的使用效率%
养猪泥浆	对春季谷类或玉米进行注入式施肥	75
养牛泥浆	对春季谷类或玉米进行注入式施肥	70
养猪泥浆	对冬油菜进行注入式施肥	65
液态有机肥料	对春季谷类或玉米进行注入式施肥	90
固态有机肥料	在春季谷类播种前进行犁地式施肥	40
厚垫草	在春季谷类播种前进行犁地式施肥	30
厚垫草	在玉米或甜菜播种前进行犁地式施肥	35

图6.4
播种前施用氮肥。

沼气厂的沼渣沼液是宝贵的肥料产品

PHOTO *Samson.*

Samson

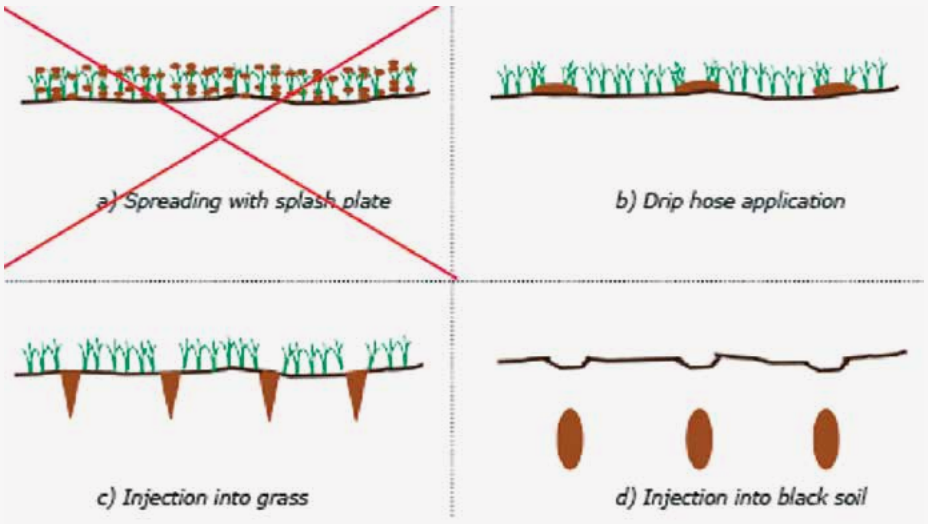


图6.5
施肥后肥料在作物或土壤中的位置。

6.4
施肥方法和氨损失

施肥前的混合至关重要。在储粪罐中，营养物质在储存过程中会发生分离。特别是干物质、磷、有机氮和一些微量元素会在底层和浮层中分离并大量积累。氨氮和钾不会分离，因为这些营养元素是水溶性的。

通过在施肥前充分混合粪污，具有两大优势：

- 粪污变得比较均匀，更便于泵送，完全排空储罐中的粪污。
- 从第一次到最后一次装载的粪污，其营养物质（尤其是磷）含量是一致的。

固态有机肥料，如厚垫草，只能用撒肥机进行施肥。将这些有机肥料施加后，应尽快进行翻耕，以减少此类有机肥料的氨损失

另一方面，液态有机肥料可以使用许多不同的技术。根据具体作物和施加时间选择最合适的施肥方法，从而优化营养成分的利用。图中显示了液态有机肥料的合适施肥方法。

黑线表示土壤表面，棕线表示粪便。请注意，在四种施肥方法中，肥料与大气的接触各不相同。使用挡溅板施肥时，接触很重要，因为它的氨挥发量最大，因此氮的损失也最大。所以，这种方法在丹麦被禁止使用。

暴露在空气中的时间越长，氨挥发/排放造成的氮损失就越大。因此，最好使用施肥器、液体肥料撒播车和滴灌管，而不是用挡溅板撒播。

为获得最佳的肥料效果，必须对沼渣沼液进行正确处理。

自2001年和2002年以来，出于健康和环境考虑，分别禁止了灌溉法和大面积撒播液态肥料的方法。

对于沼渣沼液而言，使用防止氨挥发的技术尤为重要，即将其储存在有盖的泥浆罐中，并通过注射或带状铺设系统进行撒播。事实上，沼渣沼液的pH值较高，并且含有较多的矿化态氮，这使得氨挥发的风险更高。

图6.6
2 由于氮损失非常大，因此不再允许大面积撒播和喷洒施肥。Torkild Birkmose，丹麦国家农业知识中心。 图片来源：丹麦国家农业知识中心。

图6.7
通过挂车软管进行土地施肥。与大面积撒播相比，氮排放量减少约50%。
图片来源：GØMA.

图6.8
向草地注入式施肥。与挂车软管施肥相比，氮排放减少约25%。
图片来源：萨姆森农业公司。

图6.9
向黑土注入式施肥。与挂车软管施肥相比，氮排放减少约85%
图片来源：萨姆森农业公司。

奥胡斯大学沼气厂：
世界上最大的沼气研发工厂

7 降低环境风险

可能产生的环境挑战包括：

- 氨气挥发
- 硝酸盐浸出
- 脱氮
- 磷损失
- 地表径流
- 有气味

所有这些风险都可以通过在适当时候采用正确的技术来降低或消除。

沼气厂的沼渣沼液比未经处理的粪便气味小，肥料价值高。尽管氨蒸发的风险较高，但沼渣沼液的气味比未经处理的畜禽粪便要小得多。这是因为其粘度较低，更均匀，粒径更小，因此能更快渗透到土壤中。由于周围居民对畜牧养殖场的主要担忧在于气味，这一情况对农民投资沼气生产的决定往往具有重要意义。

使用沼渣沼液施肥的农场，由于沼渣沼液中氨氮量的增加，通常在获得相同施肥效果的情况下，施肥剂量可以减少10%-20%。

7.1.1 防止疾病传播

一毫升畜禽粪便可能含有超过10亿个微生物。其中一些微生物具有传染性，会诱发动物和人生病。这就是为何在处理时必须采取预防措施，以尽量减少疾病传播。

不过，在运输和施加畜禽粪便的过程中，由于运输和施肥设备可能受到量激增、溢流和清洁不当造成的病原体污染，疾病有可能在不同畜群之间传播。因此，使用在灌装过程中不会溢流或洒落的设备很重要，并确保对设备进行维护和防水性检查，以便运输过程中的量激增不会构成问题。经常清洁设备也将疾病传播的风险降至最低。

一般来说，疾病传播对于未成熟收割的作物（如谷类）风险很小。因为施肥和作物收割之间的间隔时间很长，而且在这段时间内，感染性病菌会被紫外线辐射非常有效地分解。

疾病传播的最大风险是在草地上进行施肥作业时，因此草地施肥应当遵循特殊指南。

丹麦法规的建立基于厌氧消化能够有效消除相关病原体的经验之上。

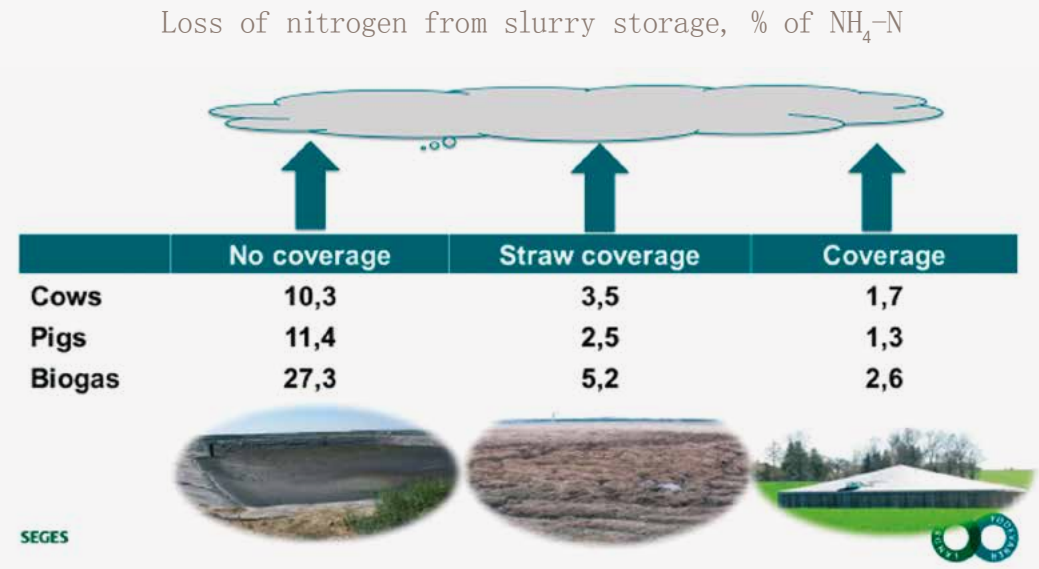


图7.1
不同储存设施的损失。Lars Villadsgaard Toft，丹麦国家农业知识中心。

8 研发

8.1 高校

丹麦有多所大学和研究所从事沼气生产方面的研究。研究的主要目标是提高以畜禽粪便为主要原料的沼气生产的可持续性以及盈利。比如通过先进的预处理技术、使用添加剂和酶、优化原料组成以及挖掘新底物，寻找例如秸秆或其他废弃物作为畜禽粪便补充的沼气生产原料。

图8.1
位于Foulum的完整规模的测试和试验设施。
图片来源：丹麦农业、食品与生物集群

8.1.1 奥胡斯大学

奥胡斯大学（AU）是丹麦最大的一所大学，约有4.25万名学生和1.15万名职工。2017年，该校制定了未来的研究战略，设立了水资源研究中心（Watec）和循环生物经济中心（CBIO）。工程学院拥有致力于建立生物社会和循环生物经济的强大生物资源技术组合。奥胡斯大学一直在水资源研究、沼气和生物净化领域的优良实验设施方面投资，包括实验室分析设备以及中试规模和商业规模的反应器。该大学还拥有一个沼气厂，包括输气管道和燃气发动机。以及一套中试规模的沼气测试装置，包含不同尺寸的厌氧反应器。反应器的尺寸：沼气厂为1200立方米，中试装置含2个30立方米和2个10立方米厌氧反应器。通过预处理和生产高价值的沼渣沼液产物，该校正在进行一些提高产气量的试验。

奥胡斯大学Foulum中心是奥胡斯大学沼气研究小组的领导者。奥胡斯大学沼气研究与厌氧消化研究有着紧密的产业合作关系，涉及预处理、过程控制、反应器设计、高速消化池、环境影响、天然气提纯净化、沼渣沼液分离和价值链等大部分领域。除了多年的研究外，工作人员还一直在与沼气装置设计相关的行业展开合作。该校现有沼气基础设施升级至最先进的技术，包括甲烷化法和power2x项目。

8.1.2 奥尔堡大学

奥尔堡大学（AAU）在生物炼制概念和沼气生产、厌氧消化和生物能源系统实施项目领域拥有多年的经验。沼气有望在实现欧盟未来能源政策目标方面发挥重要作用。然而，由于用于能源作物生产的农业用地所占份额不断增加，沼气原料的可持续性一直备受争论。奥尔堡大学的研究人员针对不同类型的农业废弃物的生物质及沼气产量进行了测试，并测试了其对于厌氧共消化的促进作用。其研究的生物质包括畜禽粪便，农作物秸秆，牧草以及野生草等。

结果表明，欧盟所有成员国都有玉米这一主要能源作物的可持续替代品，其规模足以确保欧洲沼气行业的持续稳步发展。

该校从事的主要研究活动涉及工程生态系统中微生物群落的结构和功能，主要涉及废水处理、资源（如磷）的生物回收和生物能源生产。通过各种组学方法（元基因组学、环境转录组学、宏蛋白质组学和代谢组学）结合单细胞微生物学对未培养的微生物进行研究，例如使用显微镜和示踪剂。主要研究的重点是生物除磷脱氮和引起污泥膨胀和泡沫的生物。

Aalborg University
生物能源与绿色工程中心 丹麦埃斯比约校区

Aalborg University
微生物群落中心 化学与生物科学院系

8.1.3 南丹麦大学

南丹麦大学（SDU）在沼气生产研究方面开展了广泛的活动，尤其还涉及不同类型生物质的使用、天然气潜力和过程优化等方面。该校最近进行的一次数据采样，确保了共计9个沼气提纯净化系统的可靠结果。通过一个简单的设计过程，该模型模拟了一个独立设计的沼气提纯净化系统。EXCEL模型将提供有关系统经济性、能源成本和能源流动方面的知识。该模型包括四个传统的提纯净化系统：胺洗涤器、变压吸附、膜和湿式洗涤器，以及三种氢气辅助的沼气提纯净化（HABU）方法：化学催

化剂、原位生物沼气提纯净化和非原位生物沼气提纯净化。此外，还包括一个有关使用生物滴滤器和胺洗涤器的联合解决方案也包括在内。

该校主攻通过生物化学处理、环境健康的好氧和厌氧生物修复和生物能源生产实现生物质转化的高价值产品。

- 沼气生产的厌氧消化工艺及混合消化的优化
- 产甲烷能力和难降解有机物的近红外无损分析
- 多变量数据分析（化学计量学），PLS建模
- 污水污泥处理工艺技术
- 沼气生产的预处理、预储存技术
- 碳价值链分析
- 生物炼制与生物经济

化学系

生物与环境技术DU Biotechnology

Campusvej 55

丹麦欧登塞中部Campusvej 55号。邮编：5230。

8.1.4 罗斯基勒大学

考虑到丹麦和国外仍存在扩大沼气产量方面的巨大潜力，罗斯基勒大学（RUC）正在开展沼气研究。沼气不仅仅是可再生能源，它还有助于为气候、环境和当地社区创造多不胜数的收益：

- 降低肥料的购买成本。
- 由于氮供应的增加，提高农业产量。
- 无用剩余产物的价值创造（如秸秆和工业废弃物）。
- 营养循环。
- 创造当地的就业机会。

罗斯基勒大学中心（RUC）

丹麦罗斯基勒Universitetsvej 1号。邮编：4000。

8.1.5 丹麦技术大学

丹麦技术大学（DTU）将致力于开发一种更具盈利性的沼气生产方式，开启用于卡车和飞机的生物燃料生产。

能源技术开发和示范计划（EUDP）向eFuel项目提供数百万资经费 麦克朗），该项目旨在开发一种将沼气厂排放的二氧化碳转化为甲烷的新成熟技术，并且这种甲烷有可能在未来作为环保航空燃料和塑料制造的绿色原材料。

如今沼气厂产生的二氧化碳都会向大气排放，而这一项目将从沼气厂回收40%的二氧化碳。这一举措将推动沼气生产的环保化，并且令二氧化碳的收集产生盈利。

这个过程中的另一种原料是氢，它通过水的电解获得。随着风电在电网中的使用量越来越大，这项技术也是人们对风电储能的迫切需求之一。eFuel技术将使生物质的产量提高60%以上，从而让沼气转化为重型货物运输和航空运输先进生物燃料的加工工艺变得更具盈利性。

丹麦技术大学在生物燃料（沼气、生物产氢、生物乙醇）生产、厌氧工艺优化以及有机废物和废水处理可持续解决方案开发领域拥有大量的专业知识。丹麦技术大学环境学院的生物能源小组致力于以下领域的工作：沼气、生物燃料、微生物电化学、藻类作为生物源和生物炼制。

丹麦技术大学生物能源小组目前正从事各类的生物炼制项目，在这些项目中，除了能源和燃料外，还会将废弃物和残余物转化为各种生物制品。关于沼气使用的一个新途径案例是在有氧过程中将甲烷通过微生物的方式转化为可作为动物饲料的单细胞蛋白质。丹麦技术大学与多家公司和哥本哈根市政府在MUDP项目（FUBAF）中开发了这一应用途径。另一个有趣制品是，将沼气中的二氧化碳与有机物残渣原料一同用于生产生物基琥珀酸，它是一个可用于多种最终产品、相当奇妙的平台化合物。这一概念目前正通过一项欧盟资助项目（Neosucces）进行规模的推升。

8.2 知识机构

丹麦有大量公司和机构能够从事沼气厂设计、规划、建立和运营方面的业务。本节将重点介绍其中的一些公司和机构。

8.2.1 丹麦技术研究所

丹麦技术研究所（DTI）在沼气生产和生物质应用的化学和生物技术方面拥有15年以上经验。其帮助丹麦本土和跨国公司完成概念、原型和商业解决方案的开发、测试及验证，以及沼气厂营养元素的利用。

在向生物社会转型的过程中，沼气厂起着核心作用。沼气厂不仅将有机废弃物和农业剩余生物质转化为绿色能源，还能把这些物质的营养成分和碳元素循环利用到农业土壤中。丹麦技术研究所在脱气生物质最优利用解决方案的开发和归档方面拥有10余年的经验。该所开展了大量的现场试验，以确定脱气粪便及其副产品的肥料价值。

丹麦技术研究所在以下方面提供咨询服务：

- 脱气生物质的分离及深度处理技术的开发
- 基于脱气生物质的新型肥料制品和土壤改良剂
- 纤维组分的应用
- 提高脱气生物质肥料效应的机遇
- 在农用土地上限制施磷量的施肥解决方案
- 脱气生物质技术投资的财务评估
- 用于证明各种解决方案有效性和运行稳定性的脱气泥浆处理技术的演示、测试和验证

丹麦技术研究所

生物与环境技术

丹麦奥胡斯北部农业食品科技园13号。

邮编：8200。

8.2.2 丹麦沼气协会

丹麦沼气行业协会致力于将畜禽粪便、工业和家庭剩余品以及其他有机残留物和生物质转化为环保的可再生能源和肥料，确保社会脱离对石化制品的依赖，保障未来的能源和粮食供应。沼气行业协会代表有志于沼气行业的所有参与方，包括沼气生产商、工厂和设备供应商、顾问、生物质供应商、能源、运输、废弃物和农业部门、知识机构等。

沼气行业协会的工作是在丹麦国内和国外推广沼气生产和使用。

8.2.3 丹麦国家农业知识中心

S丹麦国家农业知识中心和丹麦农业咨询委员会拥有在农业领域（包括肥料领域）从事咨询工作的数千名员工。

丹麦国家农业知识中心也提供沼气领域的咨询服务，并拥有一份经年积累下的包含沼气农场、沼气联合工厂、工业沼气净化厂和废水处理厂的厌氧消化池等领域的参考名册。

丹麦国家农业知识中心的咨询服务包括：

- 沼气厂的系统设计、装备和控制概念
- 质量守恒计算，包括工厂的标杆管理
- 现有工厂的运行优化，包括生物工艺优化、机械和控制相关条件
- 与生物质认证和沼气生产相关的审计
- 与有机生物质和沼气生产相关的特殊条件
- 卫生系统的尺寸和设计，包括用于加热车间和沼气厂的浆料和污泥热交换器
- 硫处理装置和臭气净化装置的设计和优化。

丹麦国家农业知识中心的员工来自世界多个国家和地区，包括日本、中国、中国台湾、泰国、南非、保加利亚和其他欧洲国家和地区。

此外，丹麦国家农业知识中心还执行与贸易和纠纷以及沼气厂相关的尽职调查、视察和评估工作等。中心与丹麦农业咨询委员会合作，对在丹麦国内开展的工作拥有处置权。

8.2.4 丹麦农业、食品与生物集群

丹麦农业、食品与生物集群作为集群创新和增长的集体平台，该机构服务于丹麦本土公司、国际公司和知识型机构。推动研究和商业之间的合作，并为其成员提供一站式的网络、资金、业务开拓、项目和设施。该机构提供各种咨询服务，如编写软性资金申请、组织主题游和商务考察、撰写专业领域内不同主题的报告等。

如需了解更多信息，请访问www.foodbiocluster.dk。

9 公司、供应商和顾问

丹麦公司在建立和运营沼气生产方面拥有多年经验，可提供：

- 专业的技术和建议
- 设备交付
- 整套装置和工厂的交付
- 规划合作
- 工厂的设计和尺寸
- 执行合作
- 运营合作

可交付：

- 沼气厂一站式方案
- 提纯净化设施一站式方案
- 预处理设施一站式方案
- 燃气电机装置-热电联产
- 天然气冷却装置
- 储存设施

商标	联系方式	说明	生物质的处理与预处理	工程设计/咨询一站式方案	工厂装置	天然气的调节和使用	肥料使用	研发	其它
AEM Engineering	AEM Engineering工程设计公司 丹麦维因斯贝克Hyrdeengen37号。 邮编：2625。 +45 2480 9024 www.aem-engineering.dk	公司是FRICHS燃气发动机和发电机组的供应商。 公司提供沼气、气化煤气和其他可燃气体的发电厂和发电机组、SIVACON电源和控制柜、以及控制和报警系统。此外，公司还负责FRICHS发动机等主要品牌的安装、服务和维修。		●	●	●			
BioCover	BioCover股份有限公司 丹麦瓦伊恩 Veerst Skovvej 6号。 邮编：6600。 +45 2963 4936 www.biocover.dk	SyreN系统能够在施肥过程中保持泥浆的稳定。该系统能防止氨排放，将氮的利用率提高到80%，相当于为每公顷土地添加50千克以上的氮。系统不仅可以使植物多获得40%以上的磷，还能添加适量的硫作为硫酸盐肥料 还能添加适量的硫作为硫酸盐肥料。					●		
BIO GASCLEAN	欧洲Biogasclean沼气清洁公司 丹麦欧登塞西南部Magnoliavej 10号。 邮编：5250。 +45 6617 2177 www.biogasclean.com	欧洲Biogasclean沼气清洁公司提供全自动的生物脱硫系统，运行成本低、可用性高、具有性能保证且不使用化学品。公司能够为580兆瓦以上的燃气发动机提供270多种供应清洁气体的参考方案。			●	●			
BYGGERI & TEKNIK I/S	Byggeri & Teknik I/S 丹麦海宁Birk中心公园24号。邮编：7400。 +45 4024 3081 www.byggeri-teknik.dk	公司致力于设计和规划畜禽屋舍，包括泥浆的储存和泵送系统。		●			●		●
c-biotech	C-Biotech 丹麦哥本哈根Fruebjergvej。 邮编：2100。 +45 2882 9953	C-Biotech公司致力于将新技术推向市场。公司与科学界紧密合作， 希望为丹麦和斯堪的纳维亚沼气市场的沼气生产商带来成熟的技术和科学，同时作为欧洲市场的一座沟通桥梁。	●		●			●	
Combigas® Complete biogas solutions	Combigas ApS 丹麦吉弗Ryttervangen 11C。邮编：7323。 +45 2779 1346 www.combigas.dk	Combigas负责设计、开发、实施全方位的沼气解决方案，并提供配套支持。公司的沼气技术将有机废弃物转化为清洁、可持续的能源和有价值的肥料。		●					
COPENHAGEN CAPACITY Invest in Greater Copenhagen	Copenhagen Capacity 丹麦哥本哈根Nørregade 7b三楼。邮编：1165。 +45 4022 1436 www.copcap.com	Copenhagen Capacity致力于帮助外国公司和投资者在大哥本哈根地区寻找和实现商业机会。丹麦的沼气生产和使用得到了宏大政治气候目标的积极鼓舞和政府各项倡议举措的大力扶持，丹麦国内庞大的农业行业拥有2500万头猪，为沼气行业奠定了坚实基础。	●	●	●	●	●	●	
DANISH BIOGAS CONSULTING	丹麦沼气咨询公司（Danish Biogas Consulting） 丹麦锡尔克堡Glarmestervej 18B。 邮编：8600。 +45 8683 7483	公司提供沼气生产各个阶段的咨询服务，包括项目规划、开发、设计、实施、运行和维护。运行服务包括实验室分析、生物监测和优化以及可持续性认证。	●	●	●	●	●	●	●

商标	联系方式	说明	生物质的处理与预处理	工程设计/咨询一站式方案	工厂装置	天然气的调节和使用	肥料使用	研发	其它
Danish Energy Agency	丹麦能源署 丹麦哥本哈根 Carsten Niebuhrs Gade 43号。邮编：1577。 +45 3392 6700 www.ens.dk/en	丹麦能源署生物能源部负责制定必要的监管框架，确保欧盟指令的执行，以及丹麦沼气行业的可持续发展。能源署还负责制定和管理沼气补贴计划。							●
DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE	丹麦技术研究所 丹麦奥胡斯中部Kongsvang Alle 29号。邮编：8000。 +45 7220 2000 www.teknologisk.dk	丹麦技术研究所在沼气生产和利用的各个领域拥有超过15年的经验。研究所为丹麦本土和国际公司提供生物质原料、工艺优化、可行性研究以及实验室和中试验证服务。	●	●	●	●	●	●	
DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE	丹麦技术研究所-农业科技 丹麦斯凯比北部农业食品科技园15号。邮编：8200。 +45 72 20 32 95 www.dti.dk	丹麦技术研究所-农业科技在厌氧消化问题的广泛领域拥有超过30年的咨询和技术开发经验。研究所的客户包括公司、农民和政府当局。	●		●	●	●	●	●
Food & Bio Cluster Denmark	丹麦农业、食品与生物集群 丹麦斯凯比北部农业食品科技园13号。 邮编：8200。 +45 8999 2500 www.foodbiocluster.dk	丹麦农业、食品与生物集群是丹麦国家食品和生物资源的集群。作为集群创新和增长的集体平台，公司服务于丹麦本土公司、国际公司和知识型机构。						●	●
GEMIDAN	Gemidan Ecogi股份有限公司 丹麦霍尔斯泰兹Drivervej 8号。 邮编：6670。 +45 7678 2101 www.ecogi.dk	Ecogi基于在废弃物处理方面积累的多年经验开发相关技术。该技术树立了纸浆纯度的新标准，尤其是最低塑料含量的标准。Ecogi以生产独特的底物产品而闻名，这些底物产品通过了环境保护技术验证评价（ETV）的纯度和质量认证。	●		●				
kemira	凯米拉 丹麦凯斯楚普Amager Strandvej 390号。 邮编：2770。 +45 6991 8893 www.kemira.com	为提高沼气产量并降低提纯净化成本，必须将硫化氢保持在较低的含量水平。凯米拉 BDP产品组合是控制消化池中硫化物含量的最有效方法。	●			●			
KINETIC BIOFUEL BOOSTING SUSTAINABILITY	Kinetic Biofuel股份有限公司 丹麦拜卢姆Solbjergvej 19号。 邮编：9574。 +45 21640090或 +45 21495940 www.kineticbiofuel.com	公司提供谷物秸秆等农业残留物的最新预处理技术，能够在沼气厂中与动物粪便进行混合消化。该工艺基于机械成型技术，会产生蒸汽喷发，使秸秆燃料在成型后的吸收量扩大7倍。具备500千克/小时及以上的完整生产线交付能力。	●						
SEGES	Landbrug & Fødevarer 食品理事会-丹麦国家农业知识中心 丹麦奥胡斯北部农业食品科技园15号。邮编：8200。 +45 8740 5000 www.seges.dk/en	丹麦国家农业知识中心涵盖农业和农场管理的各个领域，同时对营养成分管理和利用的各个方面具备广泛的了解。此外，丹麦国家农业知识中心还提供沼气行业的咨询服务，同时负责设计和优化诸多沼气农场和沼气联合工厂的运行。	●	●	●	●	●	●	●

商标	联系方式	说明	生物质的处理与预处理	工程设计/咨询一站式方案	工厂装置	天然气的调节和使用	肥料使用	研发	其它
Landia	Landia股份有限公司 丹麦莱姆 Industrivej 2号。 邮编：6940。 www.landia.dk	Landia为包括农业和沼气行业在内的诸多领域提供高质量的泵送和混合解决方案。Landia的设备能够有效应对各种难以处理的液体，且因为周到的服务而广受好评。如需了解详情，请登录www.landiaworld.com	●		●				
LIND JENSEN BIOGAS	Lind Jensens Maskinfa-brik股份有限公司 丹麦莱姆霍尔马克 Kroghusvej 7号。 邮编：6940。 +45 9734 3200 www.ljm.dk	公司在制造、维修和销售优质的沼气厂生物质和其他介质处理设备方面拥有30多年的经验。公司每天都在努力为全球客户提供价格合理、品质优良的合适产品。			●				
LSH-BIOTECH	LSH-Biotech ApS 丹麦奥泽 Katrineholmsalle62号。 邮编：8300。 +45 2960 3008 www.lsh-biotech.dk	LSH-BIOTECH是一家在专业工业设备设计、规划和开发领域拥有多年知识经验的公司， 以沼气技术为主。因此，公司的解决方案基于对业务和技术专业知识的深入了解。	●	●	●	●			●
Lundsby BIOGAS | Waste to energy	Lundsby Biogas股份有限公司 丹麦勒格斯楚普 Hjarbækvej 65号。 邮编：8831。 +45 9649 4300 www.lundsbybiogas.dk	公司凭借自身经验，打造持久、灵活、简单技术的高品质定制解决方案，以管理和构建沼气厂一站式方案。公司与各提纯净化厂的供应商开展合作，协助工厂向天然气网络输送生物天然气。若有电力/供暖工厂供气方面的需求，公司也会予以考虑。	●	●	●	●	●	●	
ON:OFF MANAGEMENT	ON/OFF Management ApS 丹麦维堡 Toldboden 3, 1 sal D。 邮编：8800。 +45 2943 7648 www.onoffmanagement.dk	公司在国内外拥有30多年沼气领域的经验，并具备在以下领域的业务开展能力：商业案例和项目开发，项目管理，沼气厂设计，执行，调试，合作和优化。		●					
PlanEnergi	PlanEnergi 丹麦斯克平 Jyllandsgade 1号。 邮编：9520。 +45 9682 0400 www.planenergi.dk	PlanEnergi致力于为那些希望开展可再生能源系统计划、实施和运营业务的客户提供咨询服务。公司提供的咨询服务包括沼气厂的规划、设计、招标、实施过程中的监督、调试和优化运行。	●	●	●	●	●	●	
PurFil ApS	PurFil ApS 丹麦欧登塞南部 Blaabaervej 61号。 邮编：5260。 +45 4015 8777 www.purfil.com	PurFil®拥有一系列全新的“非化学消耗”液态“废弃物”分离模块：PURROT®、PURUF®、PURRO®、PURNIT®、PURDRY®、PURCOMP®。 公司产品作为附加模块出售（如同乐高积木那样），与畜牧业、污水处理厂和沼气厂的前期与/或后期分离程度紧密关联。	●	●	●		●		
RAMBØLL	Ramboll股份有限公司 丹麦哥本哈根南部 Hannemanns Allé 53号。 邮编：2300。 +45 5161 1000 www.ramboll.com/energy	Ramboll在沼气生产方面拥有超过30年的经验，为斯堪的纳维亚半岛最新的大型工厂提供过咨询服务。公司还为沼气生产商、污水处理和废弃物管理公司、地方/中央政府、项目开发商、投资者和银行提供咨询服务。		●				●	

商标	联系方式	说明	生物质的处理与预处理	工程设计/咨询一站式方案	工厂装置	天然气的调节和使用	肥料使用	研发	其它
Renew energy	Renew Energy股份有限公司 丹麦斯文堡 Kullinggade 31号。 邮编：5700。 +45 6222 0001 www.renewenergy.dk	Renew Energy是一家专门从事厌氧消化和高级分离解决方案的沼气工程服务公司，在农业、食品和净化行业的设计、工程、采购、施工管理、调试和运营服务方面拥有30多年的经验。	●	●	●	●	●	●	
Samson	SAMSON AGRO股份有限公司 丹麦维堡 Vestermarksvej 25号。 邮编：8800。 +45 8750 9300 www.samson-agro.com	SAMSON AGRO是一家总部位于丹麦的国际性有机肥施用优质机械和设备制造商。公司的目标是满足全球农业领域对营养成分优化利用解决方案的需求，并以高效和无害环境的方式使用畜禽粪便。					●		
DTU	丹麦技术大学 丹麦灵比 Bygningstorvet建筑115号。 邮编：2800。 +45 4525 2525 www.dtu.dk	丹麦技术大学是一所以发展和创造价值为愿景的理工学院，旨在利用自然科学和技术科学造福社会。根据“莱顿2019年影响力排行榜”，学校被评为斯堪的纳维亚最佳大学，并在欧洲最佳大学和世界最佳大学中分别名列第49位和第119位。						●	
unibio	Unibio 股份有限公司 地址 Langebjerg 1 丹麦- 4000 Roskilde +45 63 10 40 40	Unibio是丹麦领先的工业生物技术公司，在以甲烷或浓缩沼气为原料的发酵领域具有核心竞争力。公司开发了一种创新、独特的发酵技术——U-Loop®，可将任何来源的甲烷转化为高度浓缩的有机蛋白质产品。	●	●	●			●	
SDU University of Southern Denmark	南丹麦大学 Campusvej 55 DK-5230 Odense M wwww.sdu.dk/en/	南丹麦大学在沼气系统领域内开展了广泛的活动，以实现从原材料到沼气提纯净化的环保转型。专门研究：1）先进的生物质预处理技术；2）快速测定甲烷潜力的非破坏性光谱生物量分析；3）连续发酵和厌氧消化过程的先进生物反应器配置；4）沼气系统的碳价值链模型；5）涉及二氧化碳捕集，将二氧化碳直接转化为有价值产品的沼气提纯净化。我们与丹麦沼气工业展开密切的合作，从实验室试验到生产性试验，探索全新生物性制沼反应器的设计与开发。	●	●				●	
WH-PlanActior	WH-PlanAction咨询工程公司 Danmarksvej 8 DK - 8660 Skanderborg +45 8745 3900 www.wh-pa.dk	为沼气行业投资者和生产商提供独立项目咨询服务。依托25年的行业经验，我们为客户提供沼气厂的规划、设计和厂房建立服务，开启现代化沼气生产的盈利运营，并为农民提供经过改良的肥料。	●	●	●	●	●	●	
Aalborg University	丹麦奥尔堡大学 Niels Bohrs vej 8 DK - 6700 Esbjerg +45 2166 2511 www.et.aau.dk	“丹麦奥尔堡大学是丹麦一所有着良好声誉的全科类大学。工程类学科位列全球第四。我们在全球开展各类可持续性方面的研究和绿色变革项目，包括可再生能源、节能增效方面的大型项目。可再生能源领域的一些特殊项目包括风能、太阳能和包括沼气在内的生物能。在过去25年里所开展的各类国际项目、研讨会和培训项目中，沼气-厌氧消化方面的研究和项目一直是其中的一大核心领域。”	●				●	●	●

参考文献

1. 畜禽粪便的能源化
丹麦2012年的现状、技术与创新，农业产业园
2. 2019年能源集市介绍 BODIL HARDER
3. 沼气提纯净化 - 技术评论 ENERGIFORSK 2016
4. 丹麦沼气行业 WWW.BIOGASBRANCHEN.DK
5. 分布式垃圾回收，对沼气提纯净化的审视 2017年9月项目报告
6. ENERGIFORSK 2016
7. 丹麦沼气行业 BRUNO SANDER NIELSEN 2020年4月21日
8. 斯堪的纳维亚沼气手册 沼气厂规划方面，ABP 2014
9. 2030年的丹麦PTX行业I ENERGINET，2019年4月
10. 丹麦国家农业知识中心 LARS VILLADSGAARD TOFT
11. 沼气清洁 2020年4月笔记，REZA JAN LARSEN
12. NATURE ENGERGY 2020年4月笔记，JØRGEN FINK
13. NETTOENERGIPRODUKTION I VANDSEKTOREN NIRAS，2017年12月
14. 沼气的研究与应用 在丹麦FOULUM的奥胡斯大学的体验，HENRIK BJARNE MØLLER
15. 凯米拉2020年5月13日笔记 化学沉淀
16. 沼气的利用 BRITT NILSSON和ANNA-MARIE BØGH，2020年5月13日发布，凯米拉 OYJ P.O.BOX 330，FI-00101 HELSINKI FINLAND

欧盟项目创新中心

EU Project Innovation Centre

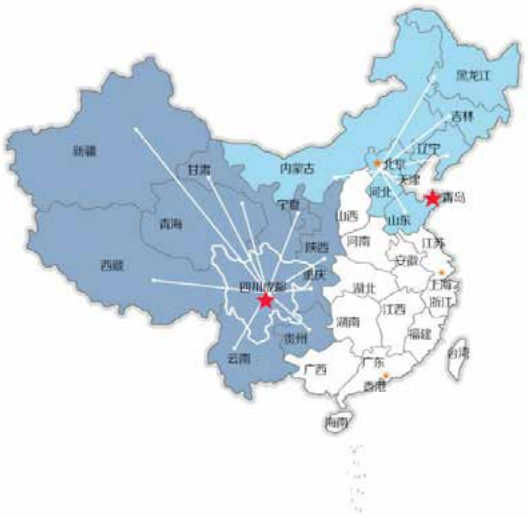
www.eupic.org.cn

欧盟项目创新中心是 2006 年是中欧双边政府共同支持搭建的国际合作平台。作为专业化服务机构与国际项目执行平台，欧盟项目创新中心旨在推动促进中欧双边在科技、贸易、文化以及投资等领域的全方位合作。

欧盟项目创新中心（成都）&（青岛）

EEN 欧洲企业网 中国西部 & 北部中心

作为中欧双边全方位合作平台，欧盟项目创新中心在中国成都以及青岛设有中心，同时也是欧盟全球最大的官方企业网络 - EEN（欧洲企业网）的中国西部与北部运营中心，联动超过 64 个国家、17 个产业集群、760 个国际合作机构以及 130 万企业数据库资源，辐射中国西部与北部十八个省市。



联系我们

作为丹麦农业、食品与生物集群在中国的长期合作伙伴，掌握丹麦顶尖沼气行业企业对华合作诉求及全新的行业发展资讯。可为中方企业提供高效精准的免费咨询服务，帮助其对接丹麦先进的集中式沼气生产及管理模式，促进中丹沼气行业在联合研发、技术转移、投资等多领域的合作与交流。

电话：0532-8386 0670

0532-6801 3853

电子邮箱：info_qingdao@eupic.org.cn

Food & Bio Cluster
Denmark

丹麦农业、食品与生物集群
Niels Pedersen Alle 2
DK-8830 Tiele
+45 8999 2599
www.foodbiocluster.dk