



中德能源与能效合作  
Energiepartnerschaft  
DEUTSCHLAND - CHINA



国家能源局  
National Energy Administration

Supported by:



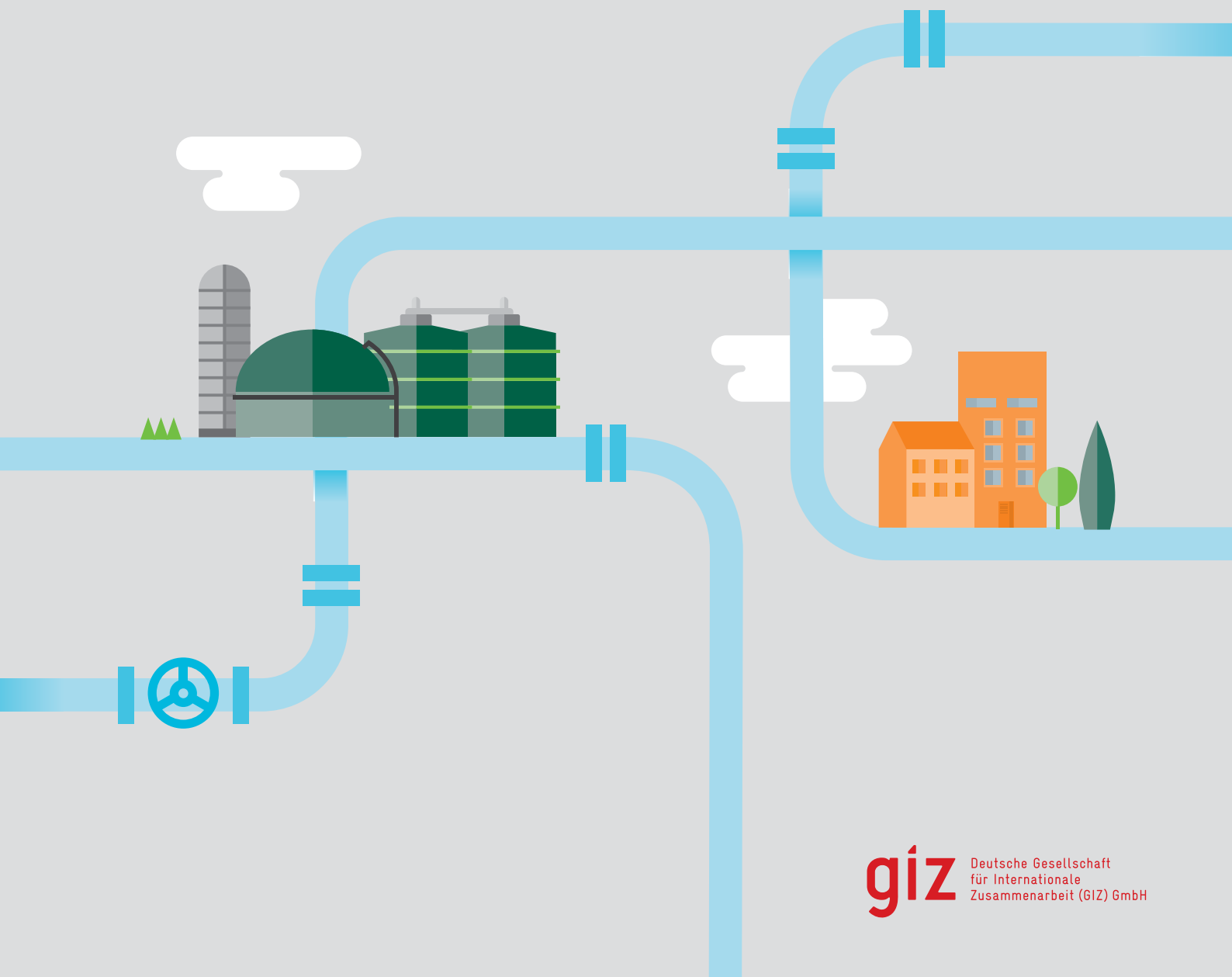
Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy

on the basis of a decision  
by the German Bundestag

# 德国生物天然气发展思索

## 生产及并网的激励政策、商业模式、技术与标准

中德能源与能效合作伙伴



## 版本说明

《德国生物天然气发展思索——生产及并网的激励政策、商业模式、技术与标准》在中德能源与能效合作伙伴项目框架下发布。中德能源与能效合作伙伴项目立足于政府层面，致力于促进中德两国政府在推动能源转型领域的政策对话，同时也促进两国企业的交流。中德能源与能效合作伙伴在两国主管部委领导下开展活动，中方负责整体协调的部门是国家发改委和国家能源局，德方是德国联邦经济与能源部（BMWi）。受德国联邦经济和能源部委托，德国国际合作机构（GIZ）负责该项目德方的具体实施。

### 出版方：

中德能源与能效合作伙伴  
北京市朝阳区亮马河南路14号  
塔园外交办公楼2-5  
邮编：100600  
c/o  
德国国际合作机构  
Torsten Fritsche  
Köthener Str. 2  
柏林10963



### 研究负责人：

尹玉霞, Maximilian Ryssel  
德国国际合作机构

### 作者：

Frank Scholwin, Johan Grope, Angela Clinkscales, Stephan Bowe  
德国沼气、废弃物管理与能源研究所



### 致谢：

特别感谢中国产业发展促进会生物质能产业分会秘书长张大勇，副秘书长刘洪荣为本研究提供的支持，尤其是德国生物天然气产业发展对中国的启示部分的意见和建议。



### 中文翻译和校对：

中国产业发展促进会生物质能产业分会

### 排版：

Flow.asia

flow.asia

### 图片来源：

德国联邦经济和能源部（封面）  
Shutterstock 1413617345 by Animaflora PicsStock（第5页）  
Shutterstock 440785312 by u\_photostock（第8页）  
BSR Document（第19页）  
Grabsleben.jpg（第20页）

© 北京，2020年7月

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前，德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对，但不对其中所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本出版物中涉及到的外部网站发行方将对其网站相关内容负责，德国国际合作机构不对其内容承担任何责任。

# 目录

图目	1
表目	1
德国生物天然气产业部分甄选企业目录	2
缩略词表	2
1 引言	3
2 什么是生物天然气	5
3 为什么要为生产和使用生物天然气提供激励措施	8
4 德国的沼气生产和使用	11
5 案例研究	15
5.1 柏林市政废弃物管理公司	16
5.2 GraNott公司——Grabsleben村沼气厂	17
5.3 汉堡市污水处理厂	18
5.4 中德生物天然气先进技术战略联盟	19
6 生物天然气生产工艺与天然气管网并网技术	21
6.1 沼气供应与洗涤	23
6.2 沼气提纯	24
6.3 天然气管网并网	29
7 德国生物天然气的政策框架	30
7.1 生物天然气生产	31
7.2 生物天然气并入天然气管网	32
7.3 生物天然气交易与认证	33
7.4 生物天然气用于供热	34
7.5 生物天然气用于发电	35
7.6 将生物天然气用作车辆燃料	37
7.7 温室气体排放要求和激励措施	38
8 其他国家生物天然气生产和使用的有利条件	39
9 生物天然气生产和使用的商业模式	42
9.1 热电联产	43
9.2 生物天然气作为车辆燃料	44
10 化石能源价格剧烈波动背景之下，靠政策推动发展的可再生燃气市场面临的挑战	45
11 生物天然气领域的相关技术规范	46
12 德国经验对中国的适用性	49
12.1 德国生物天然气产业发展对中国的启示	50
12.2 产业发展思路	51
12.3 产业起步期政策建议	52
13 文献目录	54
14 拓展阅读	55

## 图 目

图 1: 沼气厂的价值供应链	6
图 2: 温室气体减排比较	9
图 3: 2006年至2020年4月沼气净化提纯厂数量及其天然气管网并网容量增长情况	12
图 4: 德国的生物天然气市场——2012年至2019年的年消费水平	12
图 5: BSR公司厂区图, 左上角为沼气净化提纯装置	16
图 6: BSR公司沼气装置封闭循环	16
图 7: Grabsleben村沼气厂及沼气净化提纯厂的所有权和运营权分配	17
图 8: Grabsleben村沼气厂的热电联产机组、ORC机组及沼气净化提纯装置	17
图 9: 汉堡水务集团厂区鸟瞰图	18
图10: 科右前旗现代农牧园区图	19
图11: 沼气提纯/脱除二氧化碳的常用方法	24
图12: 沼气提纯技术市场份额, 左图为全球工厂数量, 右图为德国工厂数量	27
图13: 天然气管网并网单元示意图	29
图14: 生物天然气市场激励措施, 及其在2006至2020年4月间对沼气提纯厂数量和管网并网容量的影响	31
图15: 工厂经营者与天然气管网运营商分摊生物天然气厂并网和安装的费用	32
图16: 生物天然气生产交易认证结构与体系	33
图17: 生物天然气认证与激励体系中的能源流向与认证/现金	34
图18: 热电联产机组生物天然气激励结构	36
图19: 将生物天然气用作车辆燃料的激励结构	37
图20: 配额系统简略图	37
图21: 各类燃料的减排情况	38
图22: 2012年至2020年欧洲各国制定的生物天然气激励措施情况一览	40
图23: 《可再生能源法》下各类商业模式案例	43
图24: 德国生物燃料配额价格的变化	44

## 表 目

表 1: BSR公司沼气装置关键数据	16
表 2: Grabsleben村沼气厂关键数据	17
表 3: 汉堡水务集团废水处理厂关键数据	18
表 4: 脱硫工艺优缺点概述	23
表 5: 所选供应商不同沼气提纯系统的一般参数	28
表 6: 各沼气提纯系统的优势与挑战	28
表 7: 部分欧洲国家采取的鼓励生物天然气发展的措施概述	40
表 8: 德国全国燃气和水工业协会工作文件G260规定的德国燃气入网要求	48
表 9: 按照欧洲能源贸易合理化委员 (EASEE) 规定, 将生物天然气注入欧洲高压输气网中的要求	48

## 德国生物天然气产业部分甄选企业目录

冰得集团 (Binder Group AG) .....	20
BMF HAASE能源技术有限公司 (BMF HAASE GmbH) .....	25
德国EnviTec沼气环保技术股份有限公司 (EnviTec Biogas AG) .....	27
德国卡尔博气体净化技术有限公司 (Carbotech Gas Systems GmbH - Germany) .....	25
DGE有限公司 (DGE GmbH) .....	26
ETW能源技术有限公司 (ETW Energietechnik GmbH) .....	25
南方生物沼气处理有限公司 (Biogasaufbereitung Süd GmbH) .....	25
农业综合体有限公司 (agriKomp GmbH) .....	27
欧绿保再生资源技术服务 (北京) 有限公司 (ALBA China Recycling Solutions Ltd.) .....	25
日立佐森创新股份有限公司 (Hitachi Zosen Inova AG) .....	26
赢创纤维有限公司 (Evonik Fibres GmbH) .....	27
泽尔曼生物能源技术 (北京) 有限公司 (German Bio Energy Technology (Beijing) Co., Ltd) .....	26
智康集团-格罗斯曼工程设计咨询有限责任公司 (GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH) .....	21

## 缩略词表

EEG	《可再生能源法》
CHP	热电联产 (机组)
CNG	压缩天然气
LNG	液化天然气
ORC	有机朗肯循环
RED II	《可再生能源指令》第二版
GHG	温室气体
BTL-FTD	费托合成生物质制油
FAME	脂肪酸甲酯
HVO	氢化植物油
NGV	天然气汽车

# 1 引言

生物天然气为灵活替代常规天然气以及其他化石能源载体提供了绝佳的机会。生物天然气可与天然气互相替代——两者具有相同的物理和燃烧特性。生物天然气是通过将沼气净化提纯至天然气级质量制取而成，因此可用于任意天然气应用场景，并且使用天然气管网不会带来任何技术风险或挑战。生物天然气与氢气等可再生燃气一起，为未来全球范围内天然气管网的长期使用奠定基础。此外，与其他可再生燃气相比，生物天然气的发展已经历20多年的探索和实践检验，目前生物天然气技术成熟可行。

德国自1991年以来大力推广可再生能源发电，以减少化石能源发电带来的温室气体排放。2000年，德国颁布了第一部《可再生能源法》（Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG），为沼气发电厂商提供固定上网电价，进而吸引对沼气发电厂的投资。从瑞典、瑞士和荷兰的经验来看，将沼气净化提纯至天然气级质量表明，分散生产生物天然气以及并入天然气管网可以使天然气利用更加灵活，特别是在市中心等无法建造沼气发电厂的地方。因此，德国于2004年首次引入了生物天然气生产的激励措施——最初几年仅适用于热电联产（CHP），后来扩展适用于车用燃料和供热领域。

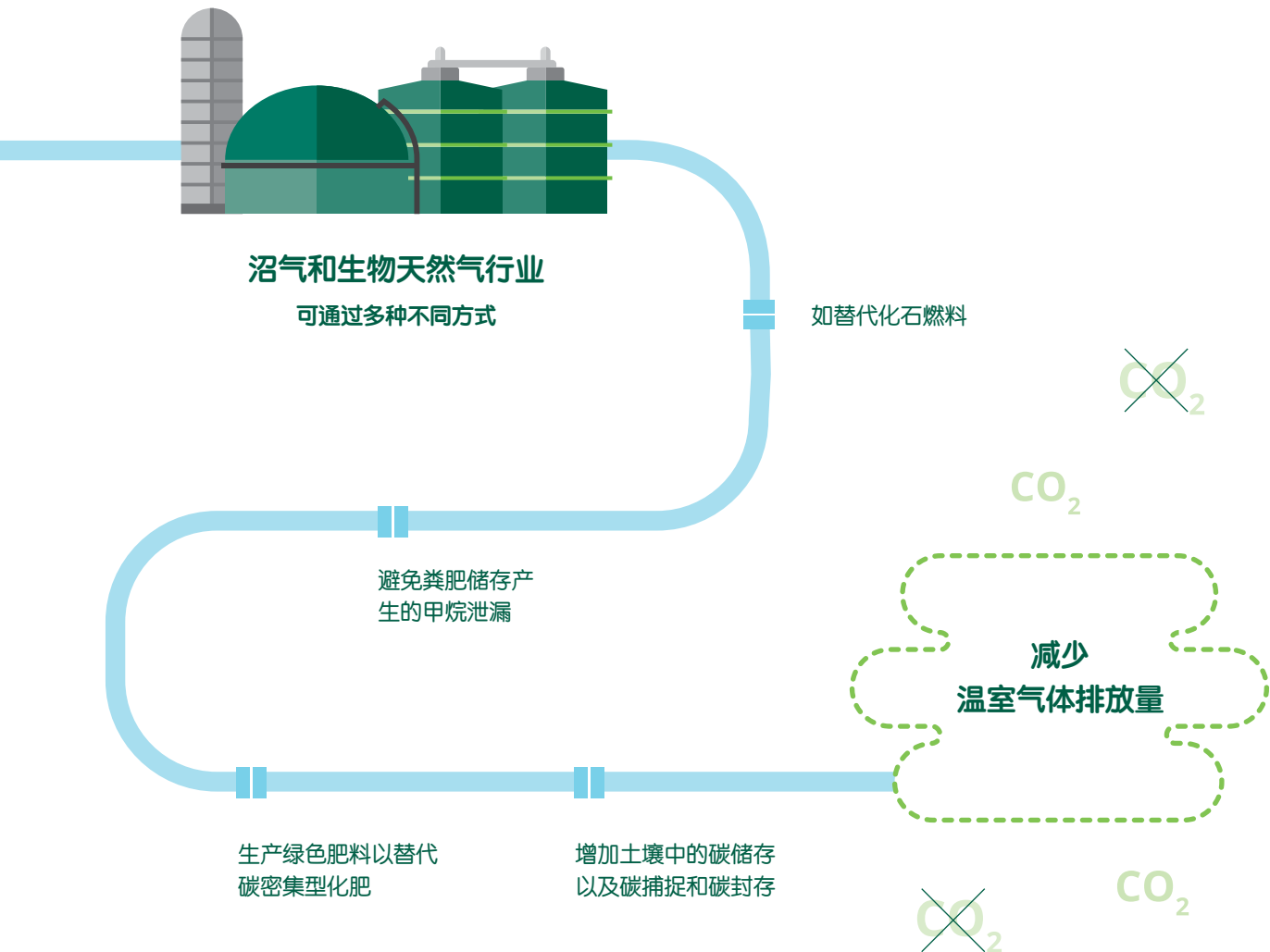
生物天然气为未来全球范围内天然气管网的长期使用奠定基础。

生物天然气

互相替代

生物天然气可用于任意天然气应用场景，并且使用天然气管网不会带来任何技术风险或挑战。

天然气



鉴于德国政府和欧盟委员会致力于在2050年之前实现气候中和的雄伟目标，政府采取激励措施，支持以温室气体排放较少的可再生燃气替代燃气管网中的化石燃气。此外，与电力输送相比，管网中的燃气输送损耗要低得多。与之相应的是，在未来100%可再生能源系统中，能源输送面临的挑战将与日俱增，例如必须将风能从海岸输送到工业区。沼气和生物天然气行业对2050年之前实现气候中和这一目标来说具有重要意义，并且其贡献将与日俱增。据世界沼气协会（World Biogas Association）估算，沼气和生物天然气行业减排潜

力巨大，可减少10-13%的全球温室气体排放量（世界沼气协会，2019）。沼气和生物天然气行业可通过多种方式减排，例如通过替代化石燃料以避免排放、避免粪肥储存产生的甲烷泄漏、生产绿色肥料以替代碳密集型化肥、增加土壤中的碳储存以及碳捕捉和碳封存等。

如今，从农业、工业和市政废弃物中获取生物质能的潜力仍然巨大，其最佳用途莫过于沼气生产进而提纯为生物天然气以及将生物质转化为高附加值的有机肥料。

# 2

## 什么是生物天然气

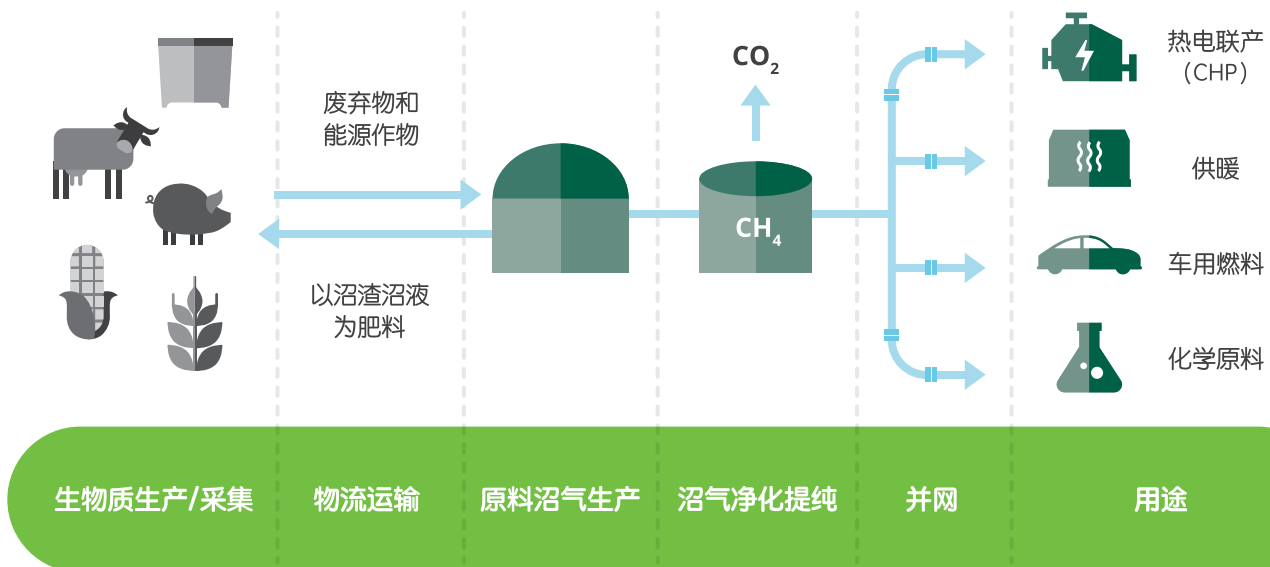


生物天然气的最初形态通常是沼气。沼气是生物质厌氧发酵的产物之一，它含有约55%至60%的甲烷（CH<sub>4</sub>）和40%至45%的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）以及其他微量气体（包括水蒸气和二氧化硫SO<sub>2</sub>）。沼气净化提纯是指从混合气体中去除二氧化碳并得到甲烷含量不低于90%的最终产品的过程。生物天然气根据其质量可以用于天然气应用或并入公共燃气管网，如今公共燃气管网主要用于运输天然气。

沼气可以在沼气厂由多种不同的有机基质生产制取。在德国，基质通常分为以下几个类别：

- 能源作物
- 畜禽粪污
- 市政有机废弃物
- 工业和商业有机废弃物
- 农业蔬菜尾菜
- 高浓度有机废水，例如污水污泥或工业流程中的残留物

图 1：沼气厂的价值供应链



生物质在沼气厂中发酵后将形成沼渣沼液。由于养分在沼气生产过程中得以保留，沼渣沼液可在农业中用作化肥的替代品。此外，沼渣沼液有利于增加土壤腐殖质、改善土壤结构，利用沼渣沼液可以使养分利用形成闭环。

据德国沼气协会（German Biogas Association）估计，欧洲各地的13000个沼气厂每年产生约1.28亿吨沼渣沼液。德国这方面没有确切的数字，但据估计，每年大约有8000万吨的沼渣沼液用作肥料。大多数沼渣沼液未经进一步处理即可使用，在田间作物能够吸收沼渣沼液所含养分的时节，用罐车将沼渣沼液运到田间，并采用氮排放量较低的技术施肥（大多采用拖拽软管，有时采用深土注入）。许多沼气厂使用固液分离技术（例如螺旋压榨机或离心机）来区分固体（沼渣）和

专门针对不同基质而开发的沼气反应器类型多样。由于含水量极高，废水对设备的要求与其他基质差别很大。对于市政和工业/商业有机废弃物，根据不同的原料，例如含水量和杂质（例如收集垃圾的塑料袋）有多种工厂类型可供选择。沼气厂以能源作物、畜禽粪污和农业尾菜为主要基质，由于基质的质量相对稳定，它通常是德国标准化程度最高的工厂。

如图1所示，生物天然气有多种应用场景。热电联产单元可同时用于发电和供热。这在供热需求高的地区，尤其是全年供热需求（例如建筑物供暖或工业中的工艺用热）一直较高的地区，格外有益且高效。生物天然气还可作为燃料，用于压缩天然气（CNG）驱动车辆，或直接用于供热，例如作为建筑物供热或工业工艺用热的锅炉燃料。生物天然气相对较新的一种应用是材料方面的应用，例如在化学工业中，用生物天然气代替以天然气为基础的产品。

液体（沼液），以改善处理方式，从而优化物流运输和存储方式。进一步处理的成本高昂，但德国的部分沼气厂采用了以下技术：

- 干燥/蒸发
- 制粒
- 生物处理
- 液体制备
- 养分提取

德国沼气协会对沼渣沼液利用和处理的其他说明请参见拓展阅读。

焦点

1

## 沼气生产过程中可产生有价值的副产品

沼气厂不仅仅是可再生能源生产工厂。除甲烷外，发酵过程还会产生可捕捉的二氧化碳以及化肥的替代物——有机肥料。

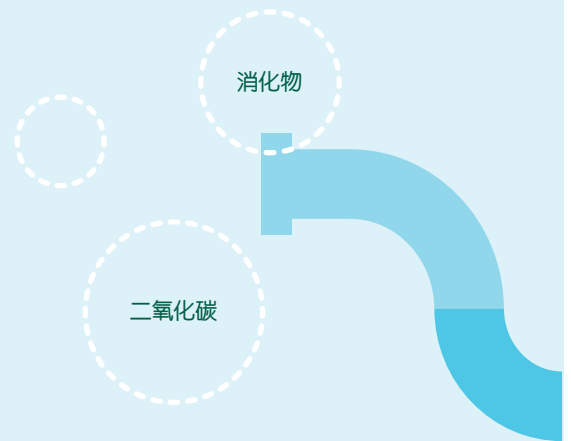
### 消化物（沼渣沼液）

使用“消化物”一词是因为其描述了发酵后从沼气厂运走的剩余物。沼渣沼液富含营养，通常用于农业领域。沼渣沼液通常无需进一步处理即可用作肥料。在许多沼气厂，沼渣沼液被分离为液体（沼液）和固体（沼渣），随后可以通过传统的施肥设

备和优化的物流技术应用于田间。现有几种技术可以对沼渣沼液进行进一步处理，以生产出具有附加价值的产品，例如将沼渣变为富含氮、磷等营养物质的肥料，并将沼液处理为可以排入天然河流或用于灌溉的净水。

### 二氧化碳

沼气净化提纯过程中去除了沼气中的二氧化碳。因采用的净化提纯技术不同，二氧化碳纯度也不尽相同。二氧化碳对于许多工业流程都具有重要意义和价值，例如食品、制冷或天然气提取（回灌）行业以及需要二氧化碳的其他应用场景。未来，深度利用二氧化碳（例如在电产气应用中）的重要性可能会越来越高。氢气可以通过电解产生，并可进一步与二氧化碳结合产生可再生甲烷。随着气体的存储和应用潜力的提高，这一模式可能益处颇多。



# 3

为什么要为生产和使用  
生物天然气提供激励措施

生物天然气具有许多经济和生态方面的优势。生物天然气不仅是循环经济的完美典范，而且能够通过提供本地价值链来强化本地和区域经济体。生物天然气生产储存灵活、功能多样。它可以由多种有机材料制取产生，并且存储方式简便、存储时间长。与大多数其他可再生能源不同，由于通过沼气生产生物天然气的过程可规划、可控制，特别是可将生物天然气存储在天然气管网或储气库中，这使其适用于基本负荷发电甚至更灵活的能源供应。

生物天然气不仅由有机废弃物制成，而且通常是废液的一部分。例如，生物天然气可以利用废水为原料来生产，而生产中的发酵过程有助于减少污水污泥量。这适用于市政废水和工业废水，例如制浆造纸厂废水。

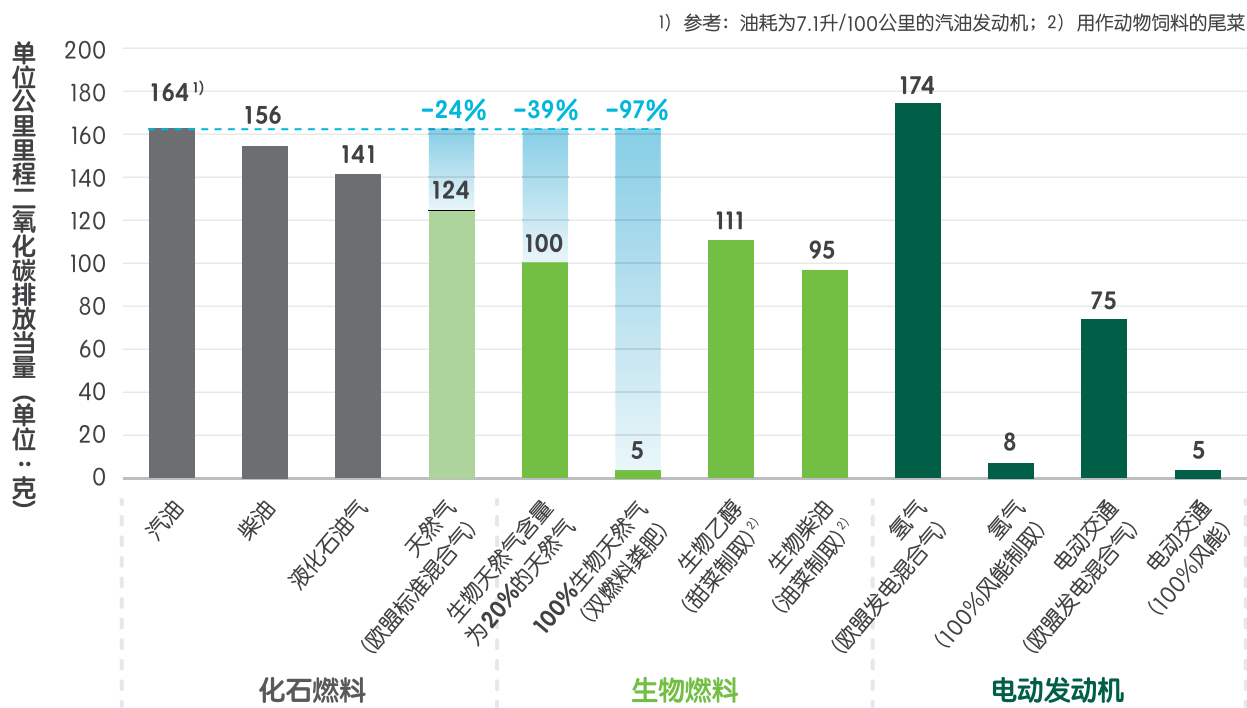
适用于生物天然气的基础设施和设备易于获取，与其他新能源领域相比，具备相关专业知识的人员也相对充足。由于生

物天然气可与天然气互相替代，通常很容易建立备用的天然气管网连接。

生物天然气被认为是交通运输或供热中最清洁的燃料之一。此外，与使用柴油或汽油作为车用燃料相比，生物天然气最多可减少90%的颗粒物、80%的氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和50%的噪声排放。当用生物天然气替代燃油锅炉、燃煤锅炉或发电厂中的相关工艺时，也同样可以降低氮氧化物和颗粒物的排放。生物天然气还可将二氧化硫（SO<sub>2</sub>）的排放量降至接近零。因此，使用沼气和生物天然气可以极大改善当地的空气质量。将生物天然气用于车用燃料，另一个重要的方面在于其行驶里程潜力较大。压缩天然气车辆的行驶里程通常能够接近或媲美传统燃料车辆。

然而，生物天然气的生产成本高于化石燃料。因此，为了实现目标宏伟的气候行动计划，政府需要帮助设定恰当的框架

图 2：温室气体减排比较



资料来源：（国际可再生能源署，2018）

条件，以支持生物天然气生产商商业模式的建立。如果温室气体减排本身不能形成积极的商业模式，就需要采取激励措施，以加速生物天然气替代化石燃料的进程。如图2温室气体减排比较。

焦点

2

## 德国生物天然气生产和使用的典型商业案例

在德国，根据生物天然气应用的不同市场，有不同的生物天然气生产商业案例。以下示例展示了典型案例及其潜在的考虑因素。

### 用于热电联产

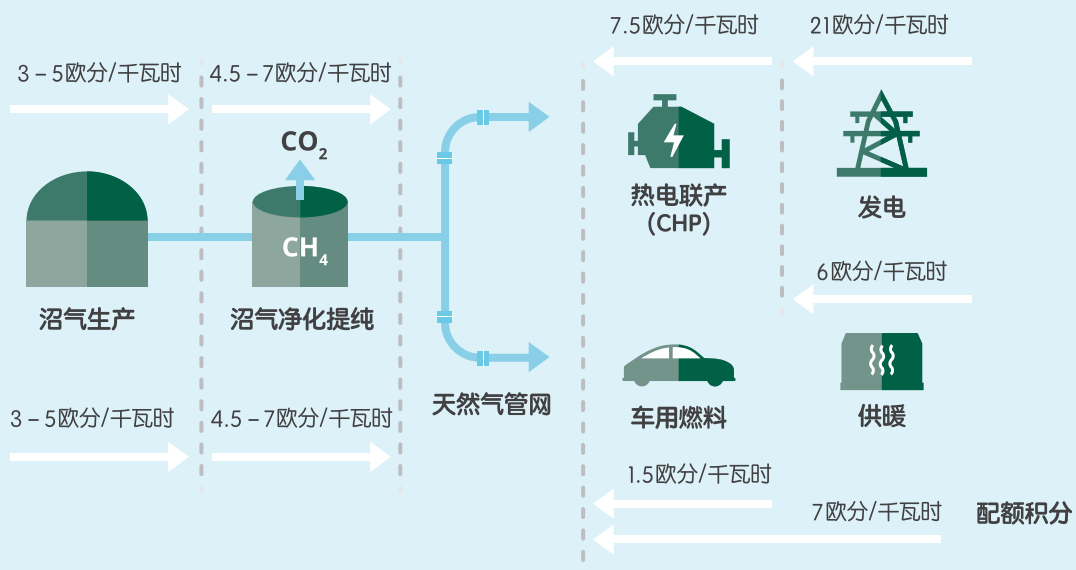
在许多情况下，生物天然气从天然气管网中获取，并直接用于热电联产机组。只有在当地存在供暖需求且热能可以有价（价格与天然气或生物质锅炉等其他供暖选择相比有竞争力）出售时，热电联产机组才会运行。通常将产生的电力并入电网，并从电网运营商处获得绿色电力的上网电价。热电联产机组由热用户或基于供热合同出售热能的能源供应公司运营。

### 用于车用燃料

过去，用于车用燃料的生物天然气一直是小众市场，但是随着人们越来越关注交通运输行业的脱碳化进程，其重要性越来越高。欧盟《可再生能源指令》第二版（RED II）为以生物质为原料生产的先进低碳燃料的立法和激励措施奠定了基础。与以能

### 用于供热

生物天然气可在天然气应用中与常规天然气互换使用，因此可用于集中供暖锅炉。德国约有200家天然气公司提供天然气供暖产品，其中生物天然气含量为5%至100%不等。不论本地天然气管网归谁所有，连接到天然气管网的居民和工业用户都可以自行选择其天然气供应商。

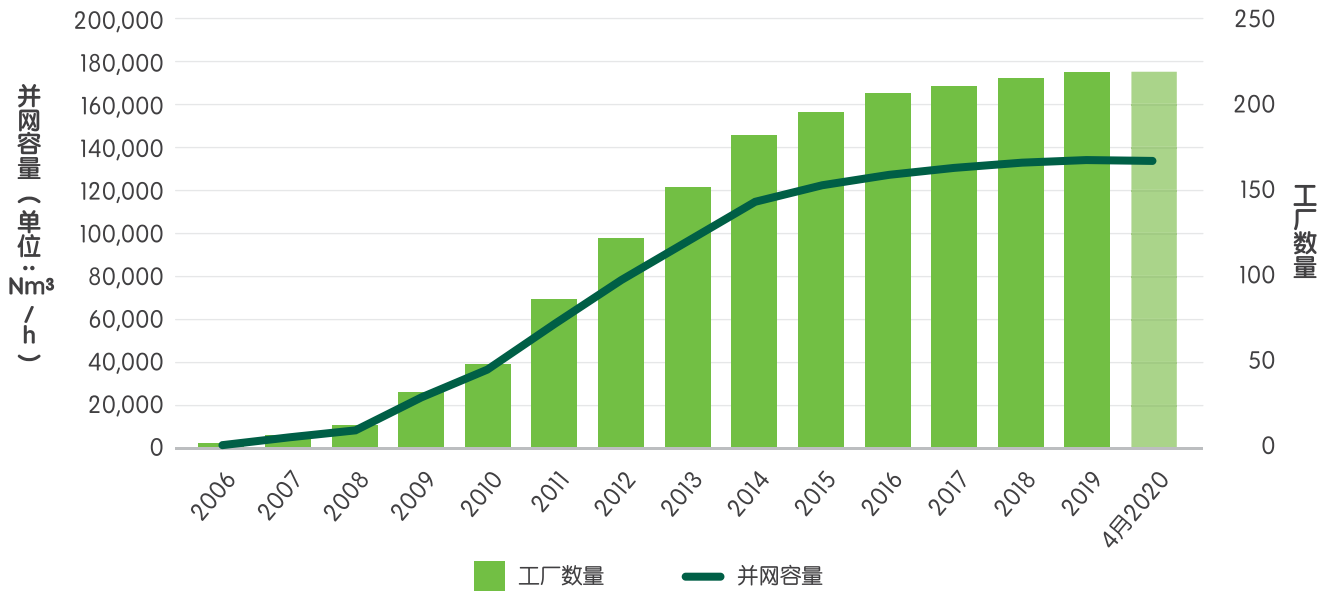


# 4

## 德国的沼气生产和使用

如图3所示，2006年至2014年间，沼气净化提纯厂的数量迅速增加。此后，由于市场条件相对不利和激励措施力度减弱，沼气净化提纯厂的数量增长放缓。影响增长的具体激励措施详见第7节。如今，德国每年的沼气发电量超过11太瓦时（TWh）。

图 3：2006年至2020年4月沼气净化提纯厂数量及其天然气管网并网容量增长情况

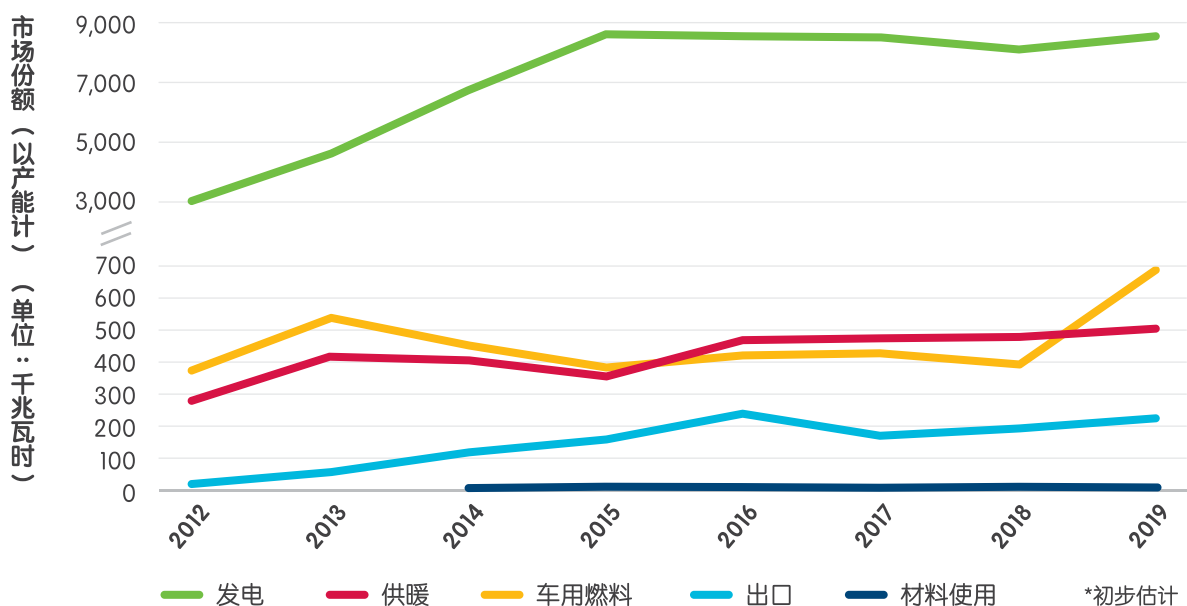


资料来源：（德国能源署, 2020）

德国的生物天然气应用市场多样，主要包括车用燃料、发电和供暖（详见图4）。生物天然气利用的主要途径是热电联产。在德国，仅有约5%的生物天然气用于燃气锅炉供暖，约5%用于车用燃料，不过后者比例呈现出强劲的上升趋势。这

主要是由于生物天然气用于发电的激励措施力度更大。在供暖方面，生物天然气直到最近才获得了优于天然气的优惠待遇。

图 4：德国的生物天然气市场——2012年至2019年的年消费水平



资料来源：（德国能源署, 2020）

鉴于德国沼气生产和使用的现状，沼气生产商的关注重点由当前以发电为重点的支持计划向新的长期商业模式转型。预计新增沼气的数量有限，并将主要集中在用于发电的小型畜禽粪便处理厂以及利用有机废弃物生产车用燃料生物天然气的中型厂商。

对于沼气厂而言，随着20年的上网电价补贴期限到期（首批将于2020年到期），主要问题将在于如何降低沼气生产成本，以及如何为沼气、二氧化碳以及有价值的肥料建立新的价值链并吸引新的消费者。许多厂商希望实现以下策略：

- 从以能源作物为原料向以畜禽粪污、垫料以及废渣为原料转型。
- 从依赖上网电价向满足沼气厂自身电力和供暖需求以及灵活供应上网电力（风能和太阳能）相结合转型。

- 从发电向通过沼气净化提纯生产生物天然气并进行天然气管网并网转型，或向自有车队（例如自有卡车和拖拉机）使用生物天然气作为车用燃料转型。

通常，将上述选项相结合看起来也是持续推进沼气生产和使用的一种策略。然而，由于化石能源价格极低、可再生能源供应竞争激烈，可以预料，德国的一些沼气厂将难以为继。尽管生产的沼气和发电量可能减少，沼气厂运营商仍普遍期望能够找到维持运营的解决方案。就生物天然气在德国的重要性而言，显然可以预见，将来对天然气这一重要能源的替代品的需求将与日俱增，而生物天然气是目前唯一技术可行、价格合理的选择。因此，预计未来几年德国的沼气净化提纯厂数量将显著增长，其中大部分将以现有的沼气生产厂为基础。

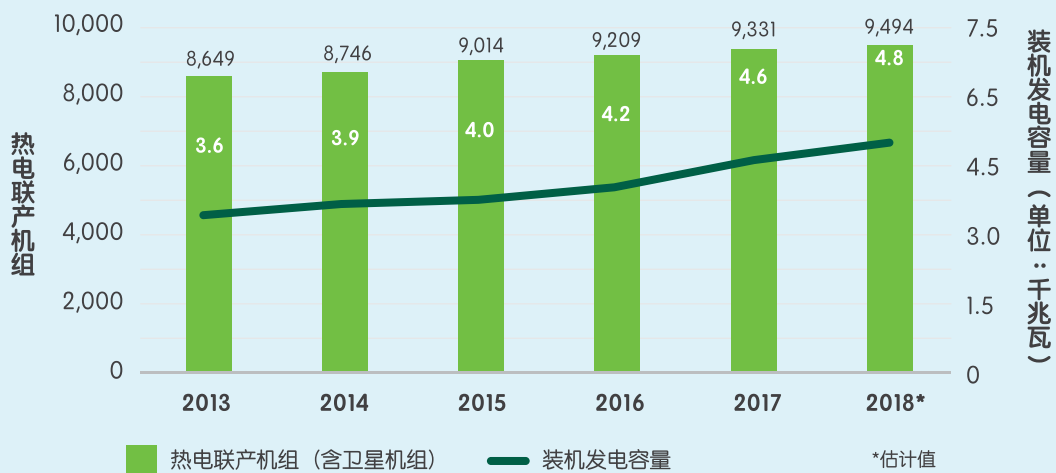
焦点

3

## 德国服务于当地供暖和发电需求的沼气生产

与生物天然气相反，沼气在德国主要用于当地的电力和供暖生产。为便于比较，下图显示了德国热电联产机组的情况。

20年前，德国政府意识到，可再生能源替代以化石燃料发电可以最大程度地降低能源行业的温室气体排放。基于这一事实，德国政府引入了强有力的激励措施来鼓励生产可再生能源，包括太阳能、风能以及沼气。受此推动，此后直至2012年，德国的沼气发电量一直强劲增长，并且发电至今仍在德国的沼气使用中占主导地位。



资料来源：德国可再生能源署 (FNR) 基于德国生物质能源研究中心 (DBFZ) 和德国沼气协会资料整理 (2018年)

© FNR 2018

焦点

4

## 德国沼气和生物天然气相关的常见问题解答

### 在德国，为什么生物天然气主要以能源作物为原料生产？

德国能源作物的发展与2000年欧盟的农业政策紧密相关。由于当时的粮食进口和粮食生产过剩，欧盟向农民支付补贴，让部分耕地休耕，不允许种植粮食和饲料作物。在补贴结束后，德国政府找到了一种替代方案，鼓励重新利用这些耕地。德国《可再

生能源法》（EEG）于2004年生效，极大地激励了能源作物的种植。《可再生能源法》保证在20年内提供有利可图的上网电价补贴，并为投资沼气厂提供了良好的商业模式。因此，德国建立了许多以能源作物为原料的沼气厂。

### 在德国，为什么生物天然气厂的产能通常相同？

根据规模经济效应，生物天然气厂的规模越大，净化提纯的成本就越低。因此，德国《可再生能源法》激励计划为规模较小的厂商提供了更多的支持，由此为建立特定规模的净化提纯厂创造了有利环境——700立方米/小时（ $m^3/h$ ）及以下的生物天然气产能可获得3欧分/千瓦时电（ct/kWhel）的

补贴，700至1000立方米/小时的产能可获得2欧分/千瓦时电的补贴，1000至1400立方米/小时的产能可获得1欧分/千瓦时电的补贴，1400立方米/小时以上的产能无补贴。因此，德国大多数生物天然气净化提纯厂的产能都在350至1000立方米/小时之间。

### 在德国，为什么生物天然气主要用于热电联产机组？

由于现有的《可再生能源法》激励措施，发电是德国生物天然气利用最有利可图的商业模式。如果热电联产机组附近还有热用户，则该商业模式的利润将更高。但是，随着太阳能和风能发电的成本不断下降，这一商业模式的经济可行性值得商榷。预计

未来几年生物天然气市场将发生改变。近期，德国的政策制定者颁布了新的间接激励措施（例如，对化石能源征收碳税，并为车用燃料的温室气体减排提供激励措施），这很可能会刺激交通运输和供暖行业生物天然气的发展。

# 5

## 案例研究

本章介绍了三个不同的案例，分别展示了三种不同的生物天然气生产和使用模式。三家工厂分别由市政废弃物处理公司、农民合作社以及市政废水处理厂运营。无论是处理市政生活垃圾还是废水，废弃物处理厂通常会收取废弃物处理费，而不仅仅依靠生产燃气作为收入来源。

## 5.1 柏林市政废弃物管理公司（Berliner Stadtreinigung BSR）

柏林市政废弃物管理公司（BSR公司）是最早采用生物垃圾堆桶系统的公司之一，近20年来一直负责收集市政有机废弃物。BSR公司利用柏林市的部分有机废弃物生产生物天然气，

并以此为柏林市150辆垃圾收运车提供燃料。沼渣沼液则在多种场景中用作肥料。生物天然气车辆的广泛使用提高了人们对有机废弃物作为能源利用潜力的认识。

图 5：  
BSR公司厂区图，左上角为沼  
气净化提纯装置



图 6：  
BSR公司沼气装置封闭循环



表 1：  
BSR公司沼气装置关键数据

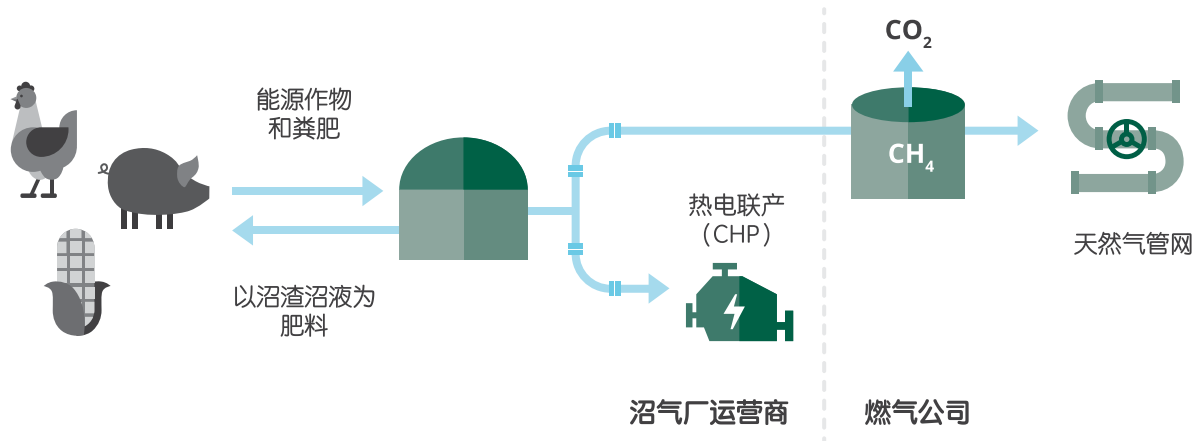
开始运营时间	2012年
并入管网气量	3600000立方米/年
沼气净化提纯技术	胺洗涤塔
原料基质：市政有机废弃物	60000吨/年
沼渣	19000吨/年
沼液	30000吨/年

资料来源：BSR公司

## 5.2 GraNott公司——Grabsleben村沼气厂

Grabsleben村的沼气和生物天然气厂由农民和区域燃气公司共同所有。其中，沼气厂和热电联产机组由农民所有并运营，沼气至生物天然气的净化提纯厂则由区域燃气公司所有并运营（参见图7）。

图 7: Grabsleben村沼气厂及沼气净化提纯厂的所有权和运营权分配



Grabsleben村沼气厂的原料来自农民合作社自己的农产品，以及当地农民和其他外部来源的鸡粪。生产的沼气中约有50%用于电网并网的本地发电，约有50%用于净化提纯和天然气管网并网。该沼气厂从电力市场购买其运营所需的电力，并收取其所发电力的上网电价。尽管沼气厂始终是净发电方，但通常情况下，沼气厂会以较高的价格出售全部发电电力，然后从电网购买电力。热电联产机组产生的部分热能（约30-50%，不同季节比例不同）并不用于出售，而是在现场用于干燥沼渣沼液、运行有机朗肯循环（ORC）机组（低温余热发电），并为沼气净化提纯的胺洗涤塔提供运行所需的热能。生产的沼气将出售给当地的一家燃气公司，而该公司经营位于沼气厂的净化提纯厂，也就是说，现场即可转运。随后，燃气将并入天然气管网并在德国各地出售。

图 8: Grabsleben村沼气厂的热电联产机组（左）ORC机组及沼气净化提纯装置（右中/右上）



表 2: Grabsleben村沼气厂关键数据

开始运营时间	2010年
并入管网气量	约6000000立方米 / (仅部分沼气净化提纯)
沼气净化提纯技术	胺洗涤塔
原料基质:	
能源作物	45000吨/年
猪粪	40000吨/年
鸡粪 (和牛粪)	20000吨/年
沼渣沼液肥料	约95000吨/年

## 5.3 汉堡市污水处理厂

汉堡市污水处理厂的废水处理量位居德国首位。为了促进沼气生产，污水污泥中添加了餐厨废弃物和生物柴油生产的副产品甘油等混合基质。生物天然气以生物天然气/天然气混合气的形式出售给汉堡市居民。污水污泥不直接用作肥料，而是在专用焚烧厂进行单独焚烧。单独焚烧可提高焚烧灰中的

养分浓度，并可通过养分分离技术（尤其是磷）进行农业方面的再利用。不过，养分循环利用技术仍在不断发展，并且在获得丰厚利润之前仍需不断改进。根据政府要求，规模等级大于10万人口当量的污水处理厂必须进行磷循环利用，而相关技术目前尚处于试验阶段。

图 9：汉堡水务集团厂区鸟瞰图，背景为发酵罐



资料来源：汉堡水务集团（Hamburg Wasser）

表 3：汉堡水务集团废水处理厂关键数据

开始运营时间	2011年
并入管网气量	约2500000立方米/年
沼气净化提纯技术	胺洗涤塔
原料基质： 污水和混合基质（餐厨废弃物和生物柴油生产的副产品甘油）	158700000立方米/年
焚烧污水污泥	35400立方米/年

资料来源：（汉堡水务集团, 2020), (汉堡水务集团, 2019)

## 5.4 中德生物天然气先进技术战略联盟

在中德生物天然气先进技术战略联盟中，政府和企业合作伙伴将根据内蒙古的最佳可行技术（BAT）和最佳环境实践（BEP）建立可复制的生物天然气示范旗舰项目。该项目由德国国际合作机构（GIZ）、智康集团-格罗斯曼工程设计咨询有限责任公司、赢创特种化学（上海）有限公司和冰得集团合作开发。依托develoPPP.de计划，项目资金来源包括相关德国公司、中华人民共和国农业农村部（MoARA）和德国联邦经济合作与发展部（BMZ）。

图 10：  
科右前旗现代农牧园区图



资料来源：内蒙古希望蒙能能源环境科技有限公司

这一示范旗舰项目将与农业农村部合作，建立一个覆盖全中国的现代化在线监测系统，以在线监测中国沼气厂的运行情况。示范厂将成为第一家连入该系统并传输实时数据的工厂，这对于制定新的基于产出的补贴计划具有重要意义。设备将由冰得集团提供。同时，中德合作工厂也将为农业农村部提供政策建议，以进一步促进中国生物天然气产业的发展。到目前为止，项目提出的建议已在《大规模生物气天然气工程技术规范》和《沼气工程远程监测技术规范》（均为农

项目期为2018年6月至2022年5月，总投资为7000万元人民币（约合870万欧元），其中包括农业农村部2000万元人民币（约合250万欧元）的建设补贴。示范厂位于内蒙古乌兰浩特市科右前旗现代农牧园区，为内蒙古希望蒙能能源环境科技有限公司所有。根据智康集团提供的总体设计，示范厂将建造三个直径为18.5米、高度为18.5米的厌氧发酵罐。农作物秸秆与猪粪混合后将运送至全混式连续流搅拌槽式反应器（CSTR）厌氧发酵罐。生产的沼气将通过赢创公司三级膜沼气净化工艺提纯为生物天然气，并进行天然气管网并网。对残留物进行固液分离后，固体部分将进行好氧处理并用作有机肥料，液体部分则将被加工成液体有机肥料，并用于有机大米和蔬菜农场。

业农业农村部行业标准）的制定过程中予以采纳。基于示范厂的经验，一项有关环境和安全的新标准也正在起草过程中。该项目还为德国和中国的沼气行业提供了参与中德战略联盟项目以及开展技术和标准交流的机会。

如欲了解该项目的更多信息，请联系德国国际合作机构的侯靖岳女士（jingyue.hou@giz.de）。

<b>开始运营时间</b>	<b>预计 2021 年</b>
<b>并入管网气量</b>	约 3600000 立方米/年
<b>沼气净化提纯技术</b>	膜结构
<b>原料基质：</b>	
能源作物	13500 吨/年
猪粪	146000 吨/年
<b>沼渣沼液肥料</b>	约 50000 吨/年



## 中德生物天然气先进技术战略联盟合作企业

### 冰得集团

Binder Group AG

技术	COMBIMASS®气体分析和气体流量测量系统
标准容量	0.08-400Nm <sup>3</sup> /h原料沼气
全球运行机组数量	> 5500
中国机组数量	> 220
中国客户联系人	Gavin Liu先生
电话	+86 13817172998
邮箱	gavin.liu@binder-instrumentation.cn
网址	www.bindergroup.info

### 智康集团-格罗斯曼工程设计咨询有限责任公司

GICON Großmann Ingenieur Consult GmbH

技术	湿式厌氧消化和两级固液厌氧消化工艺（智康工艺）
处理能力	10-100吨/日干质量当量不等，视原料量而定
历史项目数	180+
中国机组数量	2
中国客户联系人	Max Ren先生
电话	+86 755 8253 0401
邮箱	max.ren@gicon-aet.com
网址	<a href="https://www.gicon.de/en/">https://www.gicon.de/en/</a>
历史项目参考链接	<a href="https://www.gicon.de/en/geschaeftsbereiche.html">https://www.gicon.de/en/geschaeftsbereiche.html</a>

### 赢创纤维有限公司

Evonik Fibres GmbH

技术	SEPURAN® Green分离膜技术
标准容量	15 - 5,000Nm <sup>3</sup> /h原料沼气
全球运行机组数量	> 350
中国机组数量	> 35
中国客户联系人	Bruce Wu先生
电话	+86 136 5185 7662
邮箱	bruce.wu@evonik.com
网址	www.sepuran-green.com
历史项目参考链接	<a href="https://www.sepuran.com/product/sepuran/en/biogas-upgrading-membranes/references/">https://www.sepuran.com/product/sepuran/en/biogas-upgrading-membranes/references/</a>

# 6

生物天然气生产工艺  
与天然气管网并网技术

焦点

5

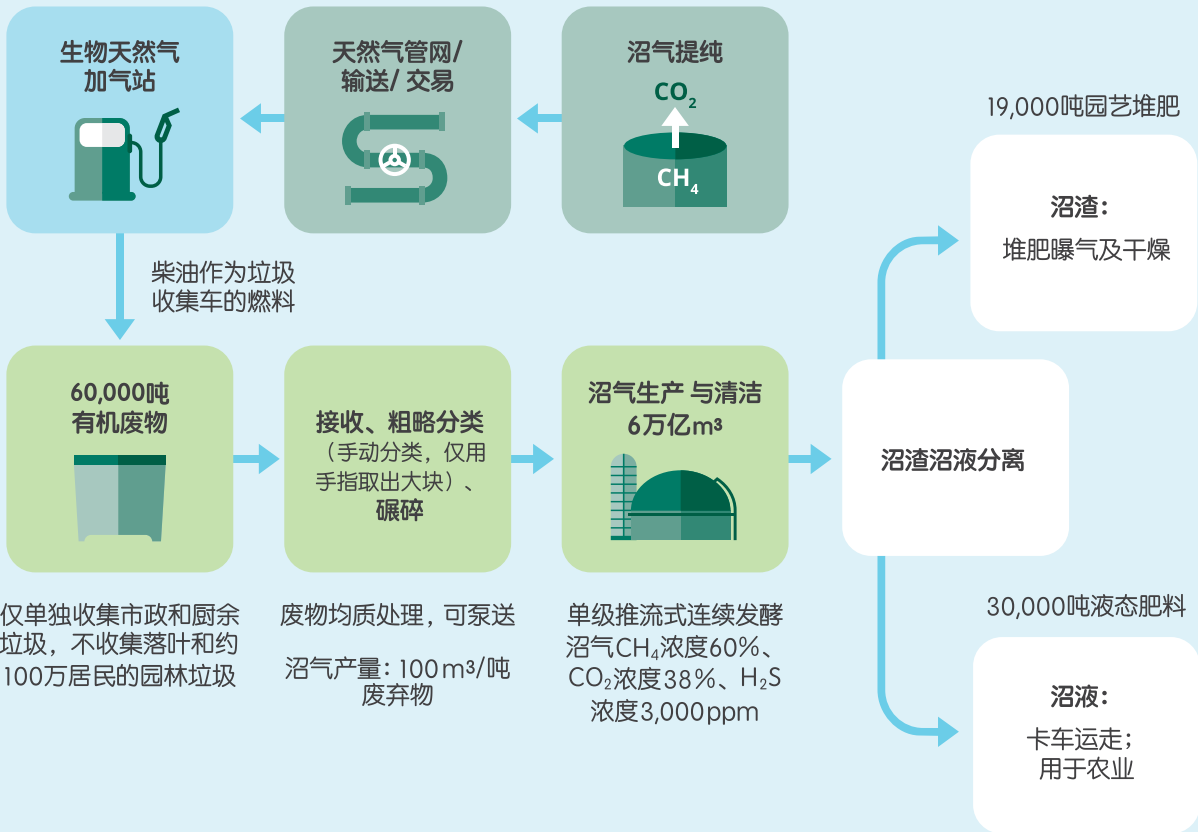
# 柏林的城市有机废弃物回收

CNG取代250万升柴油

本地天然气管网，压力为4-16 bar

3.6万亿m<sup>3</sup>生物天然气

总计：CO<sub>2</sub>减排9,000吨，可持续养分供应与能源循环



## 6.1 沼气供应与洗涤

沼气洗涤与提纯是两种工艺，但有时会重叠。沼气洗涤在热电联产机组中也是不可或缺的，目的是为了脱除沼气中可能有害的杂质。“洗涤后”的气体依旧是甲烷和二氧化碳的混合物。沼气提纯指的是把甲烷和二氧化碳分离，生产出“纯净”的生物天然气，这是德国生物天然气并网的先决条件。

### 6.1.1 脱硫

沼气洗涤工艺里，最重要的步骤就是脱硫。为避免腐蚀和二氧化硫排放等问题，必须进行脱硫处理。此外还要去除沼气中的微量气体和杂质。例如，硫化氢（H<sub>2</sub>S）会腐蚀气体管道中的碳钢部件。因此，并网对硫化氢限值非常低（参见表8）。

目前一般运用生物脱硫、化学脱硫和物理脱硫法，将几种方法结合使用，以达到天然气管网并网标准。

生物脱硫可采用如下形式：将空气（氧气）通过拱盖导入沼

气池，即使用滴滤工艺或生化气体洗涤工艺的外部反应器。为避免沼气中氮浓度过高（很多工厂难以同步除氮），通常使用纯氧脱硫。

化学脱硫即指向发酵罐中加入氢氧化铁和/或铁盐来脱硫。这种方法简单有效，但是操作成本更高。

在并网前，脱硫的最后一步往往要借助活性炭过滤器，只有这样才能确保沼气中硫化氢浓度低于5ppm。

表 4: 脱硫工艺优缺点概述

工艺	优点	缺点
内部生物脱硫	<ul style="list-style-type: none"> <li>预脱硫廉价、简便，可用于下一步沼气处理</li> <li>除小型压缩机外，无需额外设备足以用于热电联产</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>难以掌控</li> <li>空气（氮气）降低热值</li> </ul>
外部生物脱硫	<ul style="list-style-type: none"> <li>高负荷下净化率达99%</li> <li>无需化学品</li> <li>发酵罐腐蚀程度更低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要大量空气（取决于所用技术）</li> <li>空气（氮气）降低热值</li> <li>过滤器需要维护</li> <li>资本投入高</li> </ul>
生物洗气塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>净化率达95%</li> <li>发酵过程无氧气</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需加入营养元素</li> <li>资本投入高</li> </ul>
发酵时硫化沉淀	<ul style="list-style-type: none"> <li>发酵时加入铁盐或氢氧化铁，工艺简单</li> <li>脱除率高</li> <li>氧气不会影响沼气制备（不会降低热值）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>附加成本高</li> <li>难以确定最佳比例</li> <li>安全成本高</li> </ul>
活性炭过滤器	<ul style="list-style-type: none"> <li>精细脱硫（可并网并作为车用燃料），能安全达到远低于5ppm的浓度阈值</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需投入过滤器再生成本</li> </ul>

根据德国可再生资源研究机构 (FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2014) 整理

### 6.1.2 干燥

干燥是沼气洗涤工艺的必备环节，因其能防止下游设备与部件（压缩机、发动机）受到腐蚀。沼气从沼气池排出时，浸润了高温水蒸气。沼气干燥的首选工艺就是冷却。一些沼气提纯工艺需要完全除去冷凝水蒸气，才能够保证使用寿命。

冷却过程一般借助地下燃气管道，并在汽提塔中收集冷凝水。

此外，该工艺还可去除其他杂质，如水溶性气体和气溶胶。但要提纯生物天然气并与天然气并网，还要结合使用电冷却。

根据所使用的提纯技术（参见6.2），冷却和干燥可分为独立步骤进行，并且干燥可在提纯（脱除二氧化碳）之前或之后进行。

### 6.1.3 脱除其他杂质

根据基质成分不同，微量气体中可能还有挥发性有机成分（VOC），氨和硅氧烷。为保护沼气提纯设备，必须借助特殊的活性炭过滤器等措施来减少这些成分。

## 6.2 沼气提纯

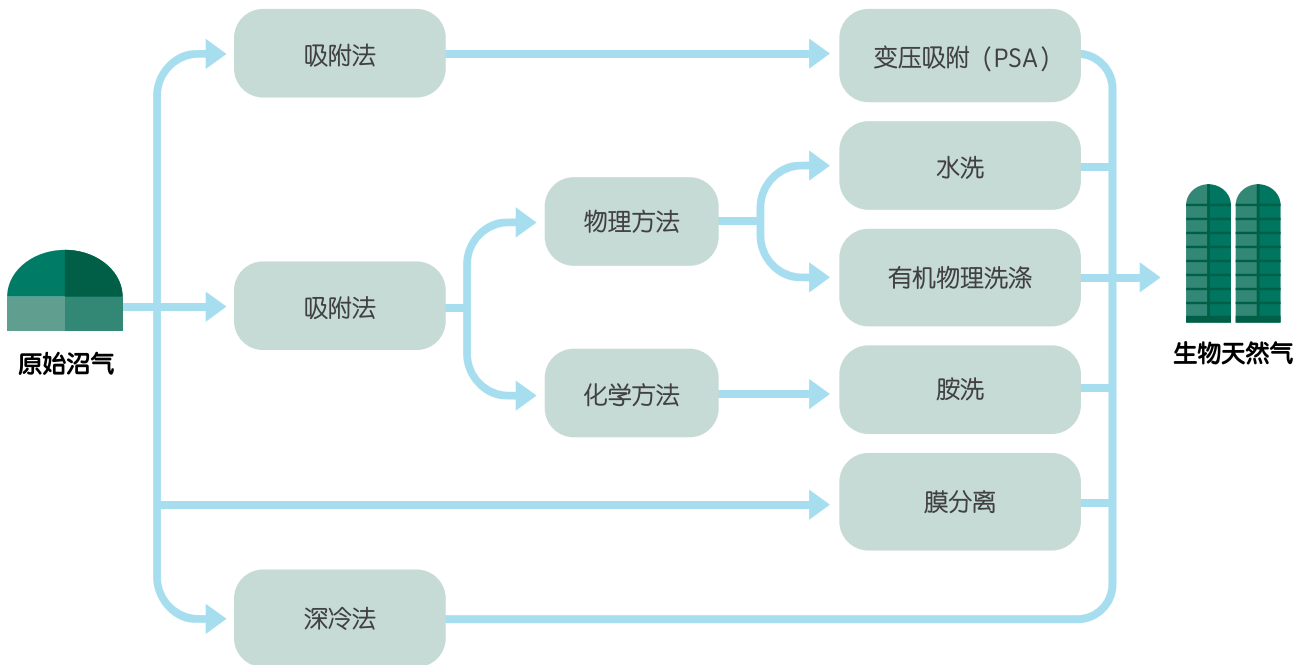
原料沼气里很大一部分是二氧化碳，根据来源或原材料的不同，浓度在35%到45%不等(Korres, et al., 2013)。要增加沼气能量值，则必须脱除二氧化碳。并网对生物天然气的纯度（即甲烷含量）要求相对较高，这样才能使沼气质量，尤其是燃烧特性（如热值）与天然气等同。

有多种技术可以脱除二氧化碳。一种技术是基于甲烷和二氧化碳在不同压力水平下的吸附作用。其他技术则基于气体可溶性原理，即使用对二氧化碳溶解度较高的水、胺等有机溶剂，让甲烷通过时不改变其性质。另一种技术则是基于两种气体分子的体积差异，使用膜滤法完成分离。

一些技术会产生纯二氧化碳或二氧化碳浓度很高的废气。目前正在测试和开发相关解决方案，来使用和出售这些高价值的副产物。还应考虑在生物天然气工厂，如生物精炼厂，或在电转气这类概念中完全集成这些解决方案。

基于不同分离原理的技术见图11。最常见的方法有变压吸附（PSA）、水洗物理吸附、膜分离和胺洗化学吸附。图12展现了自2019年起，德国和全世界使用上述各类技术的提纯厂数量。

图 11: 沼气提纯/脱除二氧化碳的常用方法



变压吸附（PSA）使用相对广泛，并且历史更久。它的基本原理是：在不同压力下，特定材料的分子筛对二氧化碳的吸附度不同。压力增加时，气体流过分子筛。二氧化碳保留在分子筛中，与甲烷分离。随后压力降低，二氧化碳被释放，分子筛再生。这种技术通常在约10bar的高压下输送生物天然气，有利于直接并网。



## 德国生物天然气产业部分甄选企业

### 欧绿保再生资源技术服务（北京）有限公司

ALBA China Recycling Solutions Ltd.

技术	水洗涤法、膜技术
水洗涤法	1250 Nm <sup>3</sup> /h原料沼气
膜技术	1000 Nm <sup>3</sup> /h原料沼气
中国机组数量	2（1个在建中）
中国客户联系人	张云飞
电话	13436506319
邮箱	yunfei.zhang@albagroup.asia
网址	www.alba.info

### 南方生物沼气处理有限公司

Biogasaufbereitung Süd GmbH

技术	膜分离、变压吸附
标准产能	150 - 2000 Nm <sup>3</sup> /h原料气
运行机组数量	> 25个
中国机组数量	2个
中国地区咨询联系人	Xi-Lou先生
电话	+86-13521764619
邮箱	xi.lou@biogasaufbereitung.de
网址	www.biogasaufbereitung.de
参考链接	www.beispielanlagenliste.de

### BMF HAASE 能源技术有限公司

BMF HAASE GmbH

技术	聚乙二醇有机物理吸附，电力驱动洗涤塔
产能	500 - 5500 Nm <sup>3</sup> /h 原料气
运行机组数量	20个
中国机组数量	0个
中国客户联系人	蒂姆·史坦布雷彻 (Tim Steinbrecher)，首席执行官
电话	+49-878-110
邮箱	tim.steinbrecher@bmf-haase.de
网址	www.bmf-haase.de

### 德国卡尔博气体净化技术有限公司

Carbotech Gas Systems GmbH - Germany (中国电建100%持股)

技术	膜分离、变压吸附、洗涤
标准产能	100 - 4000 Nm <sup>3</sup> /h原料气
运行机组数量	> 90个
中国机组数量	1个在建
中国地区咨询联系人	阿方斯·舒尔特博士 (Dr. Alfons Schulte)
电话	+49 201 50709-303
邮箱	alfons.schulte@carbotech.info
网址	www.carbotech.info
参考文献链接	www.carbotech.info

### ETW 能源技术有限公司

ETW Energietechnik GmbH

技术	ETW SmartCycle®变压吸附技术	电话	+49 28419990203
标准产能	300 - 5000 Nm <sup>3</sup> /h原料气	邮箱	jende@etw-energie.de
运行机组数量	> 10个	网址	www.etw-energie.de
中国机组数量	0个	参考链接	http://etw-energie.de/produkte/biomethan-anlagen/
中国地区咨询联系人	奥利弗·詹德先生 (Oliver Jende)		

吸附技术有很多种，其吸附原理各不相同。第一个区别就是物理和化学吸附。最常用的物理吸附方法是水洗。这一工艺的原理是基于甲烷在水中的溶解性和极性（甲烷是非极性分子，而二氧化碳和硫化氢是极性分子）。物理吸附的优点是不需要化学品、可同步移除二氧化碳和硫化氢，并且不需要预先干燥。在提纯前只需要粗略脱硫即可。但缺点是用水量大，而且可能出现腐蚀和微生物。生物天然气一般在大约10bar的高压下输出。

物理吸附（如洗涤）通常使用有机溶剂，工艺原理与水洗相同，即利用化合物在化学品当中的溶解度差异。水洗所需的

化学溶剂比水少，且通常用于封闭系统。强烈建议事先脱除硫化氢。生物天然气一般在大约10bar的高压下输出。

化学洗涤主要依靠胺，它对二氧化碳有很好的选择性溶解度。残余的硫化氢也会被移除。与其他常用技术相比，这种方法能使生物天然气中的甲烷浓度最高，废气中甲烷的损失最低。但这种技术需要化学品来操作，并且需要很高的热量输入（通常在130或140℃左右）来回收胺。这种情况下，可以借机寻找有大量废热的场所。生物天然气一般在接近环境条件的低压下输出。

### 日立佐森创新股份有限公司

Hitachi Zosen Inova AG

技术	膜分离、胺洗
标准产能	150 - 2000Nm <sup>3</sup> /h 原料气
运行机组数量	> 50个
中国机组数量	0个
中国地区咨询联系人	贝努瓦·布卢戈瓦 (Benoît Boulinguez)
邮箱	info@hz-inova.com
网址	www.hz-inova.com

### DGE有限公司

DGE GmbH

技术	胺洗、物理洗涤系统
标准产能	50 - 3000Nm <sup>3</sup> /h 原料气
运行机组数量	> 50个
中国机组数量	0个
中国地区咨询联系人	DGE-INFO@t-online.de
网址	www.dge-wittenberg.com
参考链接	<a href="https://www.dge-wittenberg.de/english/default.html">https://www.dge-wittenberg.de/english/default.html</a>

### 泽尔曼生物能源技术（北京）有限公司

German Bio Energy Technology (Beijing) Co., Ltd

技术	生物质处理技术，将农业和市政垃圾转变成能源。用沼气生产生物天然气。 3种核心技术包括：水洗、氨洗、膜洗涤技术。	
标准产能	领域包括市政和农业有机固体废弃物处理。 1. 市政厨余垃圾项目生物质干式厌氧MBT处理：300吨原生垃圾产沼气：6700000 Nm <sup>3</sup> /年 2. 农业畜禽粪便项目生物质产沼气项目：1000m <sup>3</sup> /d 牛粪水，60t/青贮 产沼气：8760000Nm <sup>3</sup> /年	
运行机组数量	9个（4个在建机组）	
中国机组数量	14个	邮箱 info@germanbiowaste.com
电话	+86-10-8532/3549/3548 +0或拨分机号：118	网址 <a href="http://www.germanbiogas.com/index.php?lang=en">http://www.germanbiogas.com/index.php?lang=en</a>
参考链接	<a href="http://www.germanbiogas.com/reference/img.php?lang=en&amp;class1=102">http://www.germanbiogas.com/reference/img.php?lang=en&amp;class1=102</a>	

膜分离是近几年才出现的技术，一开始是用于小型工厂，但现在适用所有规模。分离的原理是：根据气体分子大小（能否渗透）进行分离。膜装置结构紧凑，可通过添加或移除单个薄膜装置，灵活适应不同气体流量。可以通过调整膜的级数来控制气体纯度和甲烷损失，但会影响运行中的能源需求及投资成本。生物天然气通常在约8bar的高压下输出。

深冷法是新兴技术，市场上目前还没有德国供应商。分离工艺原理是不同气体在远低于0℃的极低温条件下的冷凝。深冷法能耗高，但能产出极为纯净的液态二氧化碳，如果进一步冷却，还能从沼气中提纯液态甲烷，即液化天然气（LNG）。该技术对气体中的杂质非常敏感，目前研发工作仍在进行。

### 德国EnviTec沼气环保技术股份有限公司

EnviTec Biogas AG

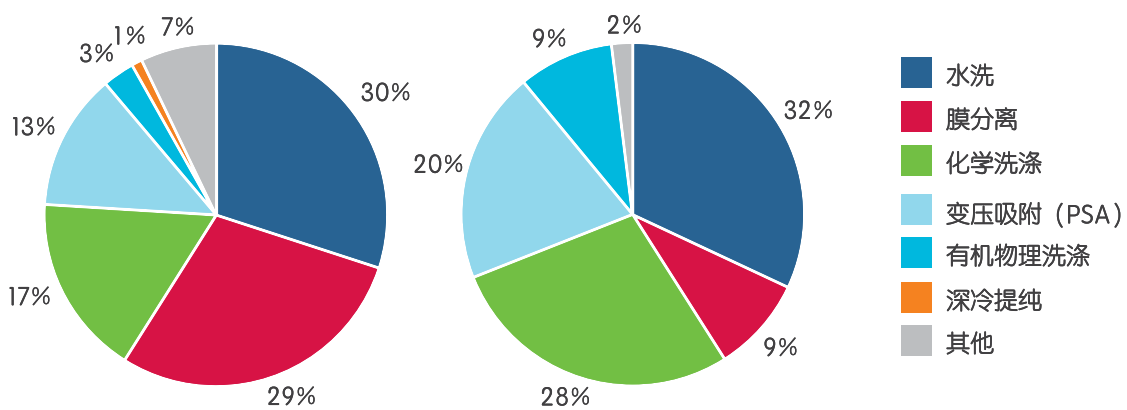
沼气提纯技术	膜分离
标准产能	200 - 2500Nm <sup>3</sup> /h 原料气
运行机组数量	> 40个
中国机组数量	4个
中国地区咨询联系人	刘晓林先生 (Liu Xiao Lin)
电话	+ 86 139 103 454 09
邮箱	liu.xiaolin@envitec.cn
网址	www.envitec-biogas.com
参考链接	www.envitec-biogas.com

### 农业综合体有限公司

agriKomp GmbH

技术	膜分离
标准产能	150 - 2000Nm <sup>3</sup> /h 原料气
运行机组数量	> 3个 (15个在建)
中国机组数量	0个 (1个热电联产沼气厂)
中国地区咨询联系人	克里斯·隆 (Chris Long)
电话	+44 7769 168586
邮箱	chris.long@agrikomp.co.uk
网址	www.agrikomp.com
参考链接	https://agrikomp.com/de/home-ak-de/anlagen/biogasaufbereitung

图12：沼气提纯技术市场份额，根据运行工厂数量确定



左图为全球工厂数量，右图为德国工厂数量 数据 来源：(IEA Task 37, 2020)

表 5:

所选供应商不同沼气提纯系统的一般参数（没有针对不同的大致数据）

工艺	提纯能力 [Nm <sup>3</sup> /h 原料气]	热能需求 [kWh热/Nm <sup>3</sup> 原料气]	电能需求 [kWh电/Nm <sup>3</sup> 原料气]	甲烷损失率 [%]
胺洗	250 - 2000	0.60	0.09	<0.1
水洗	250 - 2000	0	0.20 - 0.23	1
变压吸附 (PSA)	250 - 3000	0	0.14 - 0.20	1-1.5
膜分离	40 - 2800	0	0.12 - 0.35	0.5
聚乙二醇洗涤	110 - 2600	0	0.19 - 0.28	0.5-2

来源：(BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2019) 与 (Energiforsk, 2016)

表 6: 各沼气提纯系统的优势与挑战

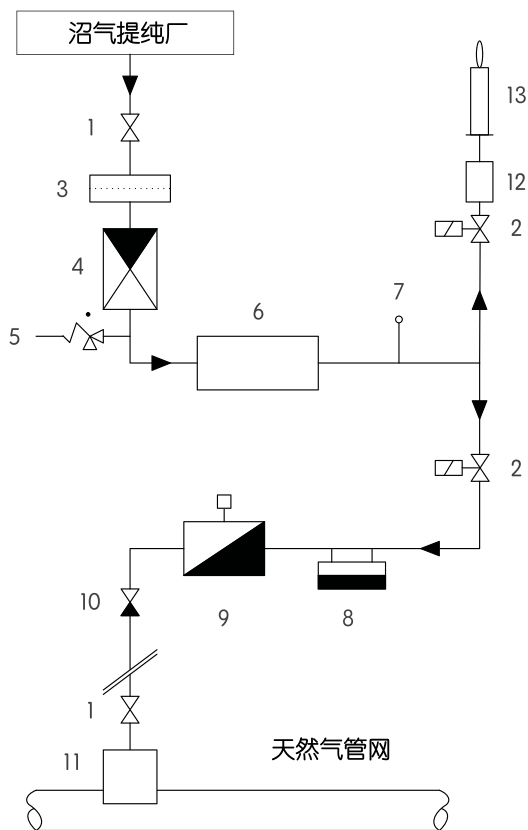
工艺	优势（依所在地条件而定）
胺洗	<ul style="list-style-type: none"> <li>甲烷纯度最高，可高于99%</li> <li>废气中甲烷损失最少（少于输入甲烷的0.1%）</li> <li>耗电最低，但在一些地区可能需要供热</li> <li>常压输出气体，只在低压应用场景下才成为有利条件</li> <li>提纯效果对环境气温依赖程度低</li> <li>可承受50%到100%的负荷</li> </ul>
水洗	<ul style="list-style-type: none"> <li>无需化学品，但填料可能被微生物堵塞</li> <li>原料气中可以有硫化氢及水蒸气</li> <li>产品气在8bar以上的压力条件下输出，只在施加高压时才成为优势</li> <li>可承受50%到100%的负荷</li> </ul>
变压吸附 (PSA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>干燥工艺，清洁产品气中水蒸气含量低</li> <li>无需液体化学品</li> <li>产品气在8bar以上的压力条件下输出，只在施加高压时才成为优势</li> </ul>
膜分离	<ul style="list-style-type: none"> <li>无需化学品</li> <li>产品气在8bar以上的压力条件下输出，只在施加高压时才成为优势</li> <li>可承受50%到100%的负荷</li> <li>可灵活扩大或缩小规模</li> <li>一般使用二级膜分离工艺，才可实现高纯度</li> </ul>
聚乙二醇洗涤	<ul style="list-style-type: none"> <li>填料不会出现微生物腐蚀</li> <li>原料气中可以有硫化氢</li> <li>产品气在8bar以上的压力条件下输出，只在高压应用场景下才成为优势</li> <li>可承受50%到100%的负荷</li> </ul>

## 6.3 天然气管网并网

天然气管网并网单元指的是：把生物天然气注入为用户供能的天然气管网的接口。图13是并网单元结构图。

图13:

天然气管网并网单元示意图（可能需要加入调节系统，可加在“6”之后）



1. 闭塞阀
2. 自动闭塞阀
3. 过滤器
4. 气压控制器
5. 安全阀
6. 气质检测仪
7. 温度传感装置
8. 加臭装置
9. 装有电力变压器的燃气表
10. 背压阀
11. 气体混合与流量调节设施
12. 火炬电柜
13. 沼气火炬

在并网时，燃气管网运营商必须向用户保证燃气达到一定质量标准。德国的燃气质量标准见第11章。为此，要：

- 确保注入气体符合燃气管网条件，以使管网中的燃气质量不会受到明显影响，或者
- 监控燃气管网中的混合气体质量，以及注入管网的生物天然气质量，以便在与用户核算时，能够考虑到混合所产生的气体质量。

气质主要受所选提纯技术及其运行参数的影响。当浓度为99%的生物天然气注入高热值（H型）气网时，必须添加液化石油气（LPG，主要组分为丙烷和丁烷）来加以调节。德国某些地区的天然气中丙烷浓度很高，就采用这种做法。此外，还有一些地区天然气热值低（L型），则在并网前向生物天然气中混入空气，来降低其热值。

所有的燃气应用场合都需要考虑安全，无论是什么气体注入气网，都要加臭。生物天然气入网前，要在其中加入气味强烈的的气体，如硫醚或硫醇。

天然气管网常在给定压力范围内运行。在德国，低压气网一般为400mbar，输气管道在4到85bar之间。根据沼气提纯技术不同，生物天然气的输出压力在100mbar到12bar之间。因此，很多时候要使用压缩机才能达到天然气管网标准。

最后，工艺监控必须到位，利用流程测量与控制技术，以便测量质量和数量、掌控与管理并网单元的所有部件，以及达到燃气并网标准。德国所有的燃气并网设施均安装了自动化、机械化安全设备，来实现安全掌控，包括在压力、温度及气质方面保护上下游设备。

如果因维护或其他问题，导致生物天然气无法进入气网，则必须连接沼气火炬，把甲烷氧化成无害的二氧化碳。火炬氧化还可以降低因直接释放生物天然气而导致的温室效应。

# 7

## 德国生物天然气的 政策框架

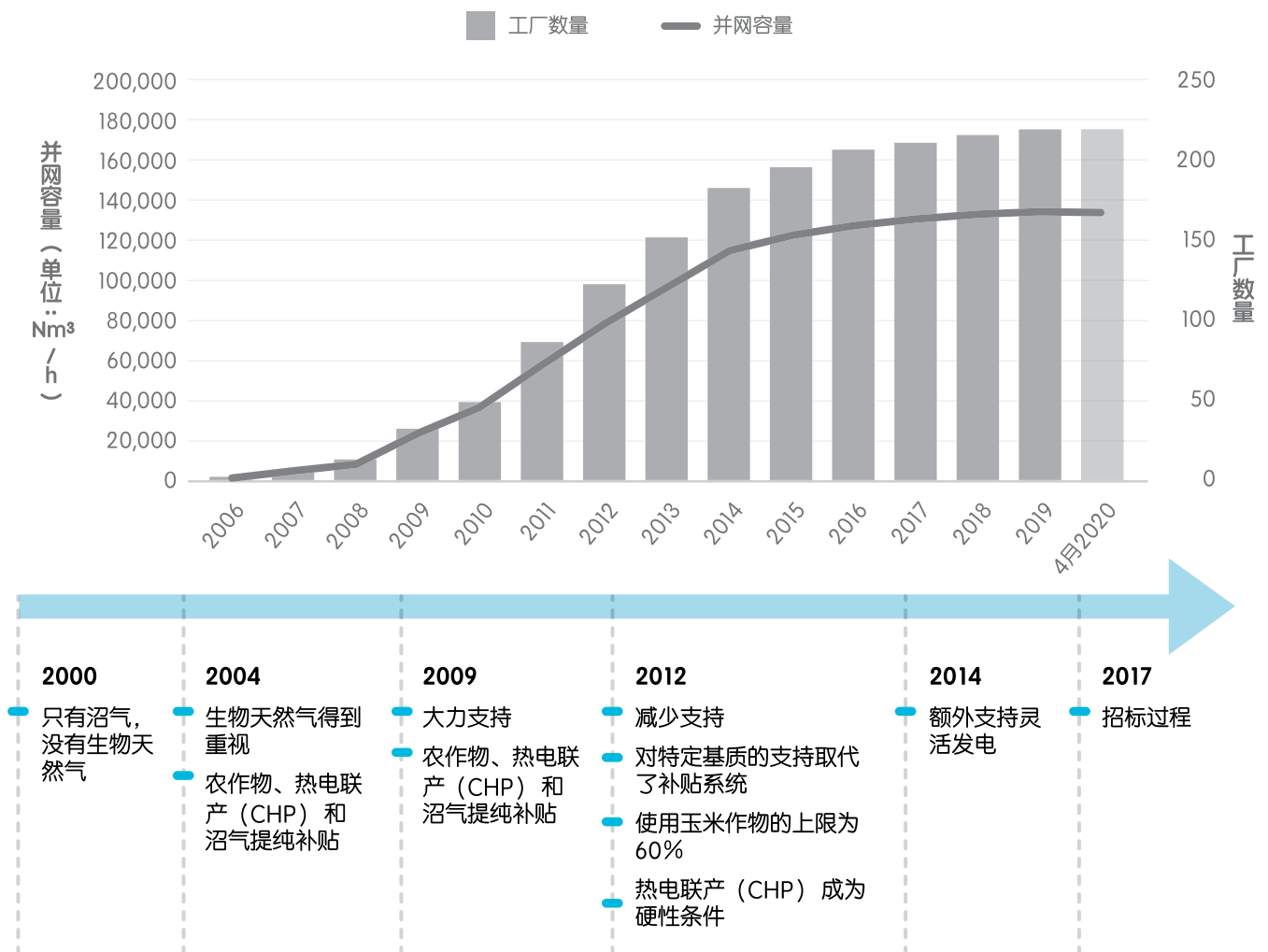
本章详细介绍了生物天然气在不同应用中的框架条件，如支持和激励使用生物天然气供电供热的法律法规。其中定性评估了德国政策框架的效果，及其对生物天然气产业的影响。

## 7.1 生物天然气生产

目前，德国是欧洲生物天然气生产/并网量最大的国家，约有200家工厂将生物天然气注入天然气管网。其中大多数都是沼气发电厂。《可再生能源法》（EEG）支持用生物天然气发电。

图14是德国生物天然气行业的发展趋势以及相关政策走向。

图 14：生物天然气市场激励措施及2006至2020年4月间对沼气提纯厂数量和管网并网容量的影响



来源：(dena Deutsche Energie-Agentur, 2020)

与其他国家不同，德国的支持计划既不直接补贴生物天然气并网，也不直接资助生物天然气生产。德国提供几种方式的间接支持，以期增加可再生能源（包括生物天然气）在发电、供热和交通运输供能中的份额。生物天然气开发最重要的激励计划包括：

- 热电联产 (CHP) 机组发电
- 天然气汽车燃料
- 建筑物供暖与制冷

图4显示，近几年来，生物天然气最有前景的市场就是电力市场。其他包括供热、交通运输（车用燃料）。在7.4-7.6中，我们将详细讨论对不同应用的支持措施。

## 7.2 生物天然气并入天然气管网

生物天然气并网或管道输送受到法律约束。生物天然气厂需得到《燃气网络接入法规》（GasNZV）的许可才能入网。该法令确保所有生物天然气厂都能接入天然气管网，并为天然气管网输送生物天然气创造有利条件。本小节将展开讨论德国生物天然气并网相关的法规。

### 7.2.1 《燃气网络接入法规》

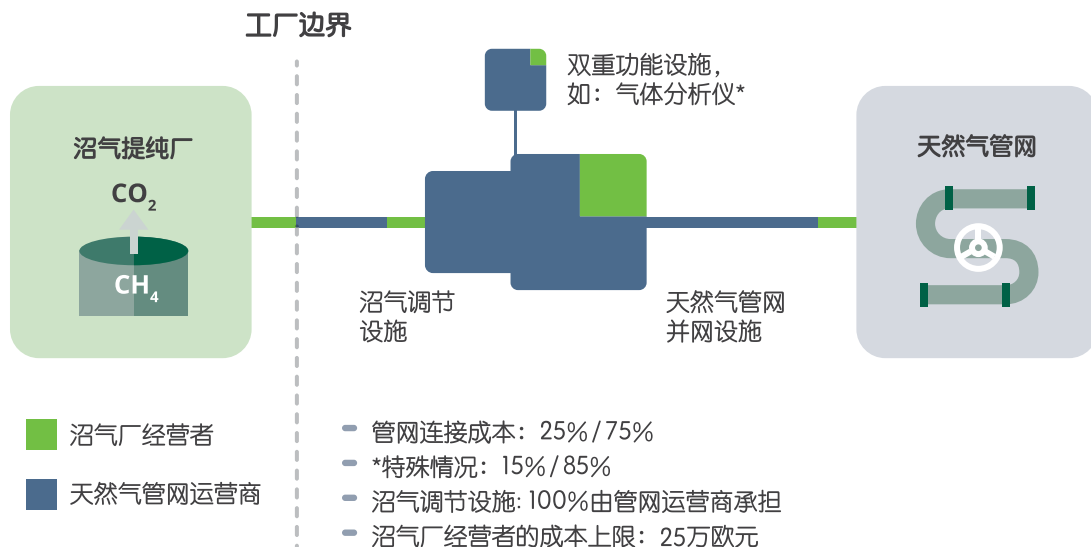
所有想接入天然气管网的生物天然气厂都会获得接入许可。

《燃气网络接入法规》确定了可靠的入网时间与成本框架。成本由生物天然气厂经营者和天然气管网运营商分摊。图15展现了生物天然气厂和天然气管网运营商如何分摊并网安装成本。

- 沼气厂经营者承担其工厂和天然气提纯的所有费用。
- 工厂及沼气调节/提纯设备与管网的连接费用由管网运营商和工厂经营者分摊，分别承担75%和25%。
- 并网设施的成本也按照同样的比例分摊（75%/25%）。

沼气厂经营者的成本上限为25万欧元，超出部分由天然气管网运营商承担。此外，如果生物天然气注入量超出管网容量，管网运营商必须提供解决方案，如本地管网扩容或负责运输至输气管网。天然气管网运营商通过管网费的形式，将成本转移给管网消费用户。

图 15：工厂经营者与天然气管网运营商分摊并网和安装的费用。



来源：W. Urban的演讲报告

### 7.2.2 生物天然气厂优先入网权与管网平衡规则

在并网时，往往是生物天然气混输天然气，入网后无法再把它们分离。为了实现生物天然气管道输送的可行性，天然气管网法律框架引入了以下假设：利用质量平衡系统来追踪入网气体，并假设在管网任何点位都可提取被注入的生物天然气。德国的生物天然气厂享有优先入网权，这意味着所有生物天然气生产商都有权把所生产的生物天然气注入天然气管网，尽可能地取代化石燃料天然气。管网运营商要确保能容纳入网的气体量。

德国有约600个天然气管网，一般性气体平衡规则简化了生物天然气的平衡方式。《燃气网络接入法规》（GasNZV）允许在一年内平衡生物天然气的注入和输出，组织工作交给由市场参与者管理的地域平衡系统。天然气注入和输出每天都需要平衡。此外，生物天然气的总体平衡水平只需要达到75%，而天然气则要求实现100%平衡。这样就简化了平衡过程，为生物天然气生产商提供了长期销量保障，这也是支持计划预设的目标。同时，这也反映了德国对沼气生产季节性波动，以及与需求不匹配问题的考虑。

### 7.2.3 降低管输费

生物天然气分布式并网能减少管网运营成本，有效降低生物天然气厂负担的管输费。一旦天然气境内和跨境输送量的减少，分布式并网的生物天然气厂对国家输气网的需求也会随之降低。在《燃气网络接入法规》（GasNZV）中，生物天然气厂根据输入气体量，每千瓦时（高热值）可节约0.7欧分的管输费用，有助于工厂的经济性和生存延续。但是该法规仅适用于工厂运营的前十年。由于生物天然气的市场价格已经非常低廉，十年后管输费用不可规避时，会对很多在运营工厂构成严重威胁。

天然气管网部门已经制定出一些强制标准。比如，德国所有管网运营商共同制定了《德国天然气管网运营商合作协议》（KOV），来规范沼气厂和管网运营商的合同。

此外，德国燃气与水工业协会（DVGW）制定了气质技术标准，以保障管网气质。最重要的标准是G260（气体质量）与G262（公用燃气供应中可再生能利用）。

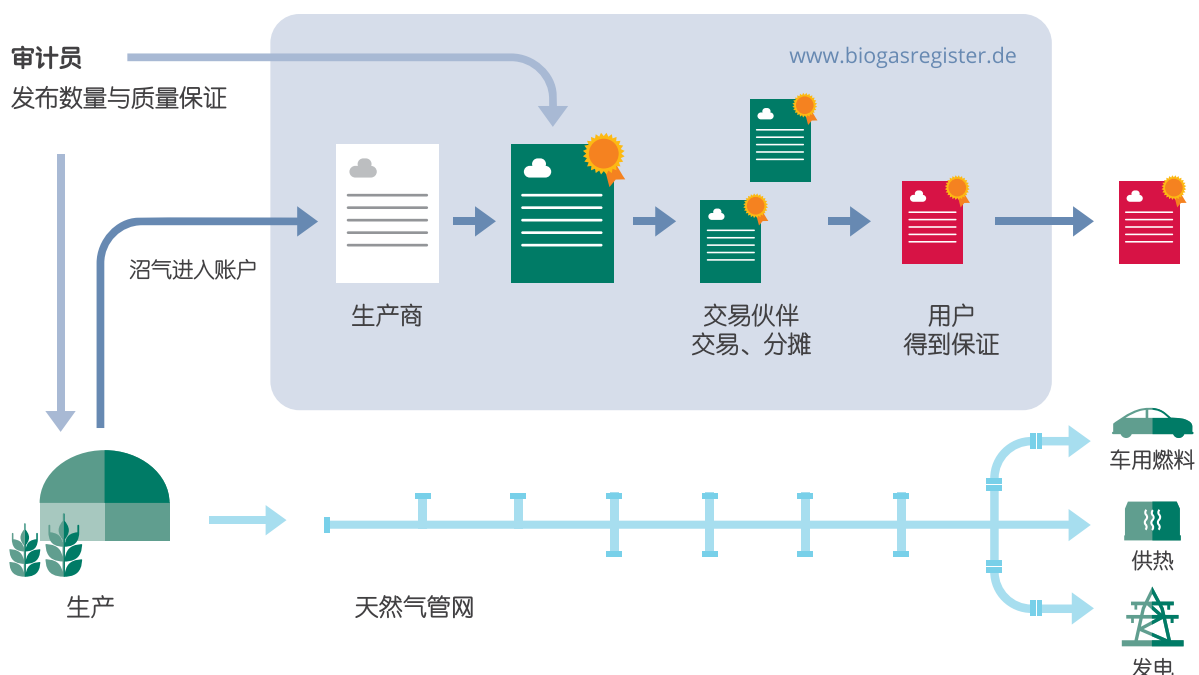
## 7.3 生物天然气交易与认证

上述所有支持/责任规定里，都要求生物天然气生产符合相关要求。不同规定及其修订版本中，细节要求大相径庭。

为确保符合可再生气体使用与认证标准，需进行定期现场审计，一般是包含在已确定的认证计划里的年度审计。生物天然气厂在《可再生能源法》（EEG）框架下出售天然气用于发电时，一般在一年的前两个月进行审计。对于生物燃料配额（鼓励使用生物天然气作为车用燃料的激励计划），则可在一年中的任何时间进行年度审计。审计通常包括实地访问和基质日志检查。

德国法律中制定了EEG认证计划，以EEG中的管理计划审计为基准，而后者则是以《欧盟生态管理和审核计划》（EMAS）为基础，通常由环境审计员执行。除此之外，还要在可再生能源指令（RED）中的欧洲认证体系下，进行可持续性标准审计。根据该法规规定，私人的可持续性认证也能得到欧盟委员会的认可。德国采用REDCert和ISCC两种认证方案，由认证机构进行审计，认证机构在认证过程中采用该体系的规则。

图 16：生物天然气生产交易认证结构与体系

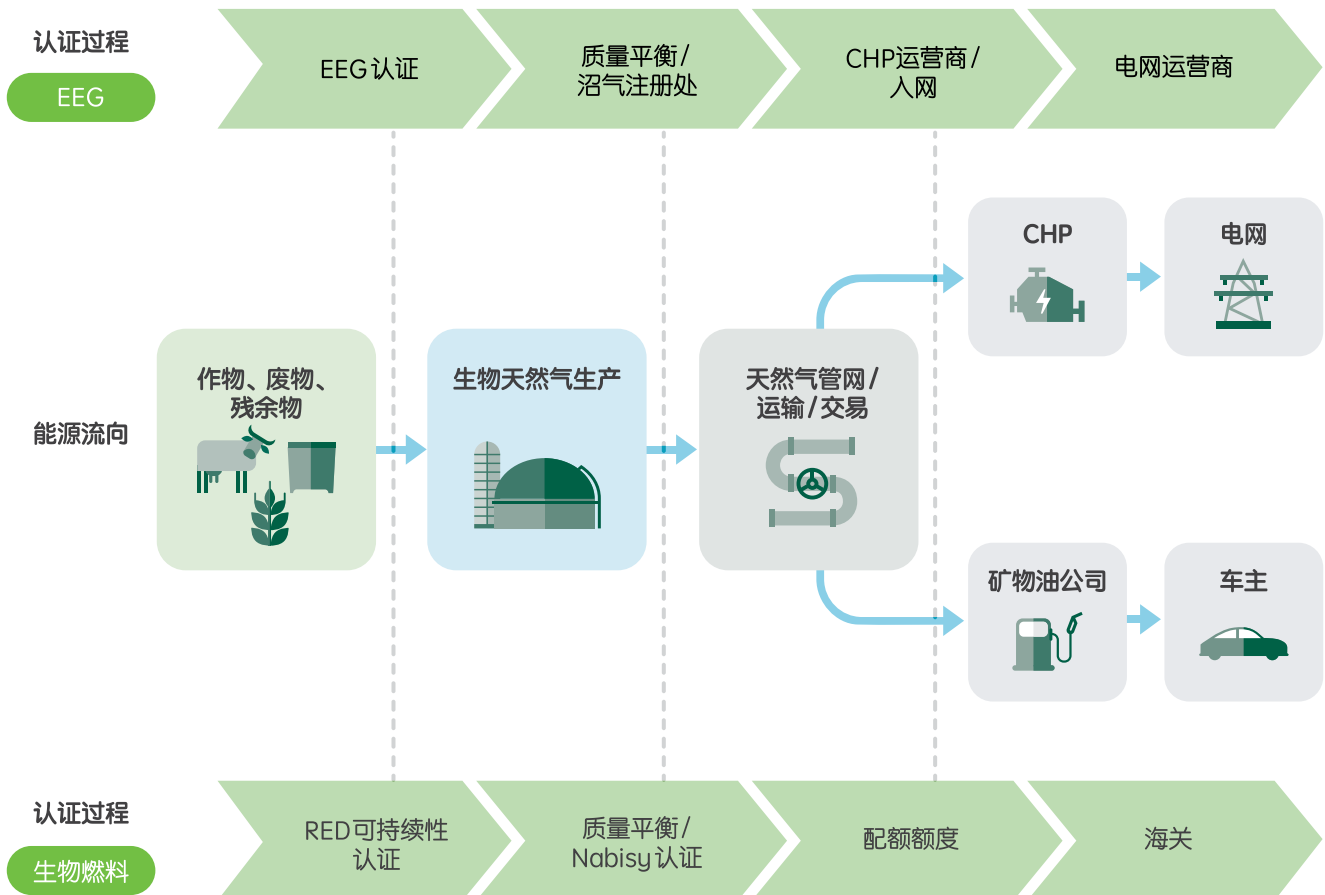


来源：(dena Deutsche Energie-Agentur, 2018)

一般由专业的生物天然气交易公司负责商业分销。为了分别追踪天然气与可再生、已认证的生物天然气，德国设立多个沼气注册机构，其主要任务是（使用质量平衡法）跟踪生物天然气量，使其在天然气管网中实现近乎独立运输，并避免生物天然气重复出售。最主要的生物天然气注册机构是

德国能源署下属的德国沼气注册处（www.biogasregister.de，见图16）。可持续生物燃料（车用燃料）则必须通过Nabisy（可持续生物质能体系）注册（德国联邦农业和食品局）。二者有望在未来合并。

图 17：生物天然气认证与激励体系中的能源流向与认证/现金流



## 7.4 生物天然气用于供热

德国一些责任计划制定了供热规则，旨在减少新建筑或翻新建筑的化石能源消耗量。在德国，建筑设计的核心原则就是提高能效，尤其是热绝缘性。但是，房主可以自由选择以下的可再生能源来实现这个目标：

- 太阳能
- 生物质燃料
- 热泵
- 植物油
- 生物天然气

第一部针对使用可再生能源为建筑供热的国家法是《可再生能源供热法》（EEWärmeG），最近被《建筑能源法》（GEG）

所取代，后者预计于2020年底生效。为达到对能效及可再生能源供热消耗的最低要求，生物天然气是一种理想选择。目前尚无法预见新法规的影响。

一些联邦州政府还自行制定了更加严苛的供热要求。比如，巴登-符腾堡州政府在其《可再生能源供热法》（EEWärmeG）中规定，建筑物供热的能源需求至少要降低15%；在建筑物翻新或更换供暖系统后，至少有15%的热能需由可再生能源供应。

在这些情况下，生物天然气就是一个简单易行的解决方案，能轻松达到可再生能源规定指标。常规的燃气取暖器无需任何改造，便可直接使用天然气管网里的生物天然气。业主只需购买生物天然气产品即可。

## 7.5 生物天然气用于发电

德国生物天然气厂蓬勃发展，首先要归功于《可再生能源法》（EEG），该法律于2004年首次支持沼气发电。2009年法律修订后，对生物天然气加大支持，推动了该行业的繁荣发展。但2012及2017年的修订版本中，相关支持减少，导致生物天然气厂的数量增长停滞。一旦投入运行，生物天然气供能的热电联产机组将保证获得长达20年的高额上网电价补贴，这极大地加强了投资信心。因此，大多数工厂现在仍在运行，但新的在建工厂数量没有增加（见图14）。

几次修订后，《可再生能源法》（EEG）已经从上网电价补贴制（FiT）过渡到溢价制（FiP）。在当前版本中，溢价水平通过公开招标确定。如今最高的上网电价约为14欧分/千瓦时电，已经无法达到激励生物天然气发电的效果。但是，2004年实行的补贴价仍然适用现在的工厂，补贴期为20年。因此，未来几年里，生物天然气的最大市场仍然会是电力市场。

### 焦点 6

## 2004至2014年生物天然气发电 上网电价补贴规则

2014年前的《可再生能源法》（EEG）修订版采用差异化补贴体系，让比如满足下述条件的热电联产机组运营商获得更高的溢价：

- 工厂规模较小
- 有生物天然气提纯及并网业务
- 使用特定基质，如有机废物或浆料

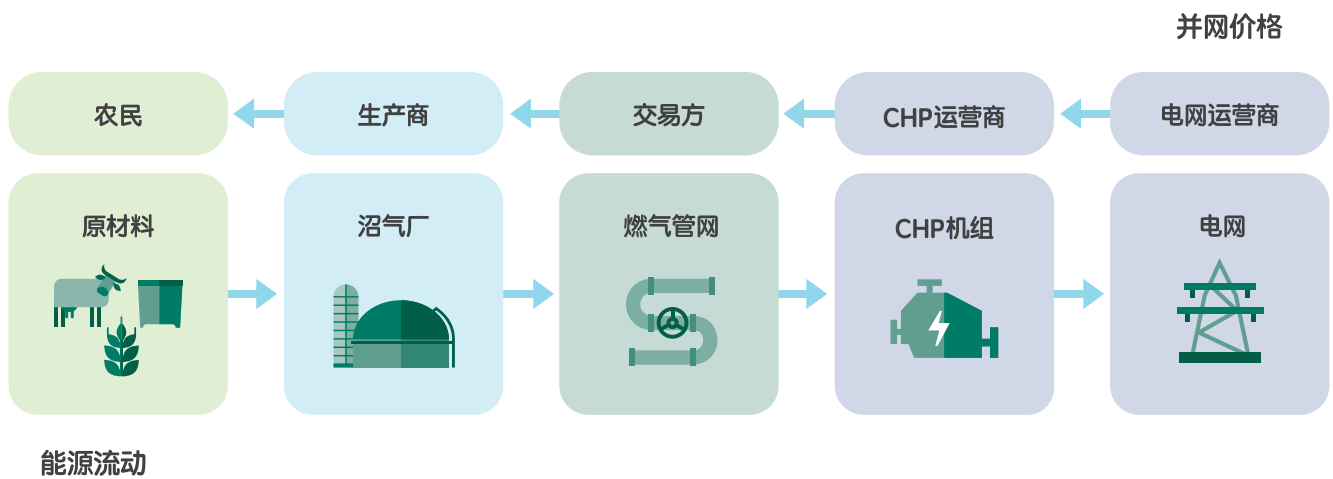
同时，补贴体系会逐渐退坡，来降低《可再生能源法》补贴机制下生物天然气的总体成本，并逐渐倾向于性价比更高的工厂。下表总结了补贴机制的一些数据。

上网补贴电价	最低水平	正常水平	最高水平
<b>基本电价</b>	6欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，装机容量高于20兆瓦 <sub>电</sub> 的工厂)	13欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，装机容量为0.5兆瓦 <sub>电</sub> 的工厂)	14.88欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2017年，无其他费用)
<b>使用能源作物与畜禽粪污等基质的补贴电价</b>	0欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，装机容量高于20兆瓦 <sub>电</sub> ，或使用废弃物的工厂)	6欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，装机容量在500-5000千瓦 <sub>电</sub> 之间，使用能源作物和粪肥的工厂)	8欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，装机容量低于5000千瓦 <sub>电</sub> ，使用自然基质的工厂)
<b>沼气提纯的补贴电价</b>	0欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，工厂生物天然气产量高于1400Nm <sup>3</sup> /h的热电联产机组)	2欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，工厂生物天然气产量低于700Nm <sup>3</sup> /h的热电联产机组)	3欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (从运营首日起至2014年，工厂生物天然气产量低于350Nm <sup>3</sup> /h的热电联产机组)
<b>总计</b>	6欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (此类工厂数量为0)	21欧分/千瓦时 <sub>电</sub>	23欧分/千瓦时 <sub>电</sub> (上述最高补贴不能叠加使用，此处为混合计算)

除了补贴体系外，EEG还对生物天然气生产提出了额外的要求：生物天然气提纯的最高功耗为0.5 kWh / Nm<sup>3</sup>，此举是为了只向高效的产商提供支持。考虑到

甲烷较强的温室效应，逸散性甲烷排放量不得超过总产量的0.2%。生产过程中（尤其是发酵罐加热）的热量必须由可再生能源供应。

图 18：生物天然气CHP机组激励结构



有几部法规涉及到生物天然气生产使用的农业基质。过去多年来，补贴政策发生巨大变化，也导致基质补贴相应出现根本性变化。在《可再生能源法》补贴计划推行的最初几年里，曾对农作物使用给予激励。但是，集约化的生物能源农业产生的后果引发了激烈争论，最终导致这类补贴大幅收缩。起初是将单个发酵罐中的玉米使用量限制在60%，并且补贴仅适用于利用废弃物和残渣的工厂，补贴对象还要符合可持续标准。

生物天然气热电联产机组的另一个补贴计划是《热电联产法》（KWKG）。最近的修订版将生物天然气列为一种创新性可再生能源。但由于补贴力度较低，暂时还没有对生物天然气的利用产生明显影响。

一般性补贴机制的运作是基于以下原理：基于已计量的入网电量，向工厂运营商提供上网溢价补贴，由电网运营商直接支付给电厂运营商。这些费用以税费的形式由电网消费者分摊。

可再生能源电厂的强势发展导致税费增加，在电费结构中占据较高比例，因此人们开始尝试降低成本，最终导致新建工厂数量增长停滞。

《可再生能源法》对热电联产的大力支持推动生物天然气在德国强势发展。但由于补贴力度降低，现在要促进生物天然气的发展，则要依靠更加复杂的商业模式，更加关注温室气体排放。

## 7.6 将生物天然气用作车辆燃料

根据《联邦排放控制法》（Bundes-Immissionsschutzgesetz）的规定，按照德国生物燃料配额的要求，所有销售发动机燃料的公司都必须在燃料中添加部分可再生燃料。该法规将欧盟法规平移德国法律中来，允许并承认将生物天然气用作压缩天然气（CNG）汽车的燃料。

该配额体系基于市场而设计：可再生燃料生产公司每生产一批燃料，则获得相应配额积分；销售发动机矿物燃料的公司也需要在其特定燃料销售比例中购买配额积分。下方图19显

示了配额积分买卖市场的运作流程。加油站业者向海关部门提供其生物燃料（例如生物天然气）的销售数量证明，并获得相应的温室气体减排配额积分。然后，他们可以将其积分转让/出售给化石燃料公司，而化石燃料公司则必须在对相同海关部门的年度报告中，提交相应的积分情况。

图 19：将生物天然气用作车辆燃料的激励结构

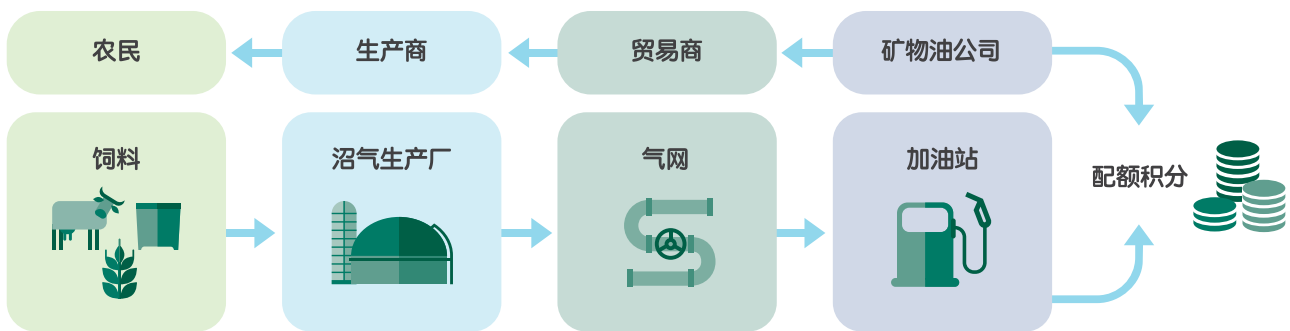
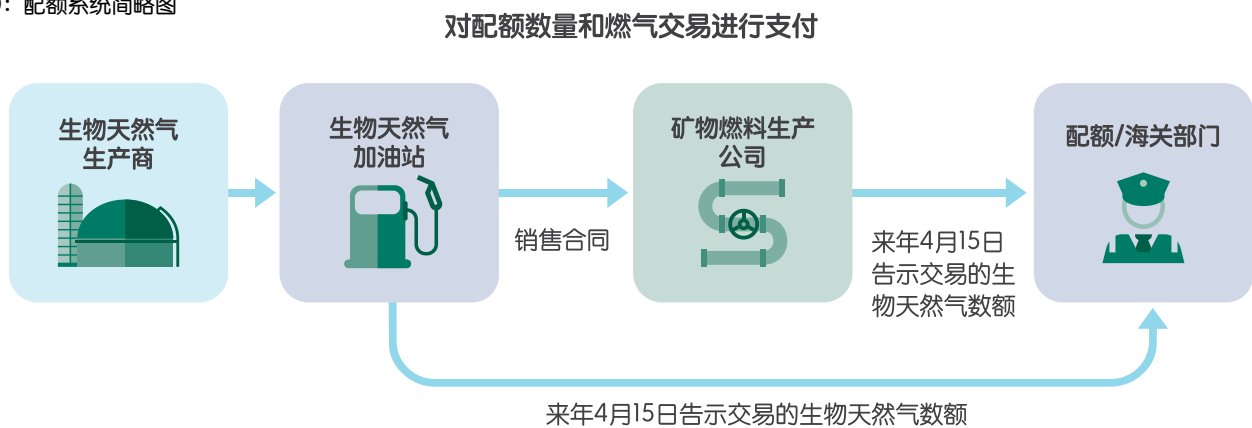


图 20：配额系统简略图



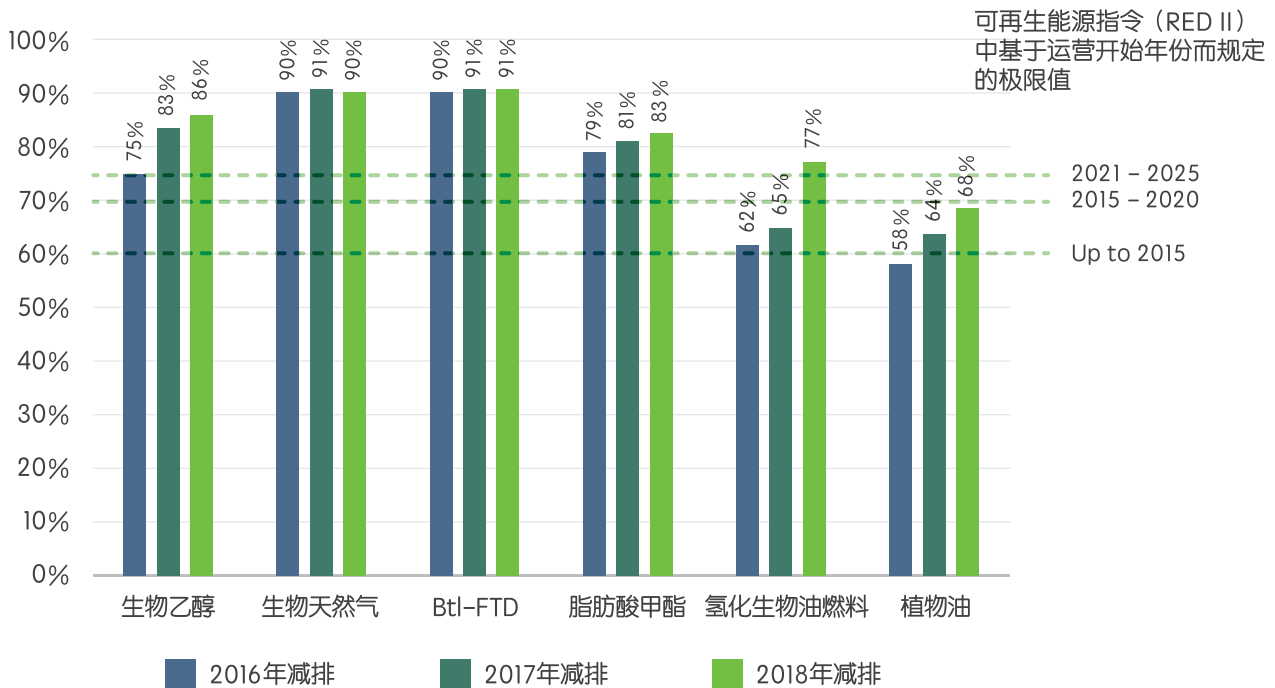
来源：德国生物气体贸易协会（Fachverband Biogas）（官网：[www.biogas.org](http://www.biogas.org)）

德国的法规中规定了如何计算配额积分的发放数量，即积分的发放与温室气体的减排数额有关。也就是说，温室气体减排量较高的燃料可获得较高的配额，因此售价也更高。而通过对生产路径的生命周期分析，则可以落实、计算（与化石燃料相关的）温室气体减排量。除了一般的生物燃料配额外，针对高级生物燃料还设立了拥有特殊条款的“子配额”。基于废弃物和残渣材料生产的生物天然气可以视为高级生物燃料，因此在核算中，可以增加其配额积分。

图21显示了德国可持续生物质统计部门汇报的各类生物燃料的平均温室气体减排量，以及基于燃料生产工厂生产启动

日期的减排阈值（绿色虚线）。所谓的减排阈值，指的是与《可再生能源指令》（RED/Renewable Energy Directive）中规定的化石燃料标准排放值相比，生物燃料生产厂生产的燃料必须实现的最低温室气体减排量。提高阈值（温室气体减排50%-65%），为未来生物燃料生产中如何实现温室气体进一步减排指明了方向。低于此阈值的生物燃料就不能被选为生物燃料。与其他生物燃料相比，生物天然气的温室气体减排率较高。因此，未来这种优势可能会增加运输领域对生物天然气的需求。

图 21: 各类燃料的减排情况



资料来源：联邦农业和食品机构 (2019)

在德国，由于车辆燃料中对天然气的总体需求较小，这也限制了生物天然气作为燃料在交通运输领域的使用。为了增加这种需求，政府为天然气汽车提供购买补贴，并且降低了压缩天然气和液化天然气卡车的道路通行费。作为一个传统的汽油和柴油国家，德国采取的这些措施能刺激新型燃料的开发；生物天然气也可从这一发展中受益。

## 7.7 温室气体排放要求和激励措施

如上所述，基于其温室气体减排的潜力，德国制定了相应的生物燃料配额机制，鼓励生物天然气的发展。作为发展方向，根据德国能源署2018年和联邦环境署2016年的报告，将生物天然气作为能源供应来源所产生的温室气体排放量应该控制在36-158g二氧化碳当量/千瓦时之间。在欧盟法律提供的计算方法中，以废弃物和残渣为基质可降低排放量；而由于忽略了甲烷和其他温室气体大气排放，浆液制生物天然气甚至可能实现负排放。除基质外，发酵残渣的存储设施还能将生产过程中的温室气体排放减少最多达10%。

除了温室气体减排的奖励措施外，两种碳税机制也能与生物天然气挂钩。

“欧盟碳排放交易计划”（EU-ETS）通过其总量管制和交易制度，主管着欧洲温室气体总排放量降低的工作。每排放一吨温室气体，排放者需要购买一份欧盟碳排放配额（EUA）；否则，将按照每吨排放100多欧元的标准收取罚款。欧盟碳排放配额总量每年都会减少，且该配额可自由交易。这么做的目的是在经济上最为有效的节点上，引导企业减排。在这种机制下，企业可以选择减少碳排放或在市场上购买更多的碳

排放配额。该配额的价格是根据欧洲的需求由市场决定的。在“欧盟碳排放交易计划”中，虽然生物天然气是通过天然气网络运输的，但其仍被视为碳中性物质。这样就可以申请以生物天然气来替代天然气。由于天然气的每千瓦时碳排放量相对较低，因此相较于碳密度更高的褐煤或煤炭，其碳排放税费也较少。在目前碳交易价格下，天然气的碳排放价格约为0.2 欧分/千瓦时。

目前，德国正在制定一个单独的、全新的国民排放权交易计划。简而言之，这个体系就是基于碳排放对燃料销售征税。在向最终消费者出售燃料（例如天然气）时，必须支付碳排放费。2025年之前实行固定的排放费，但是会从2021年的25欧元逐步提升到2025年的55欧元。这样的话，天然气价格会增加大约0.5-1欧分/千瓦时。

目前，这两种温室气体税制实际上对生物天然气都没有影响。碳排放费对碳含量更高的燃料有更大的影响，例如褐煤。虽然两个税制的历史价格和预期价格范围不足以导致燃料使用从天然气转换为生物天然气，但可能会增加生物天然气的整体竞争力。

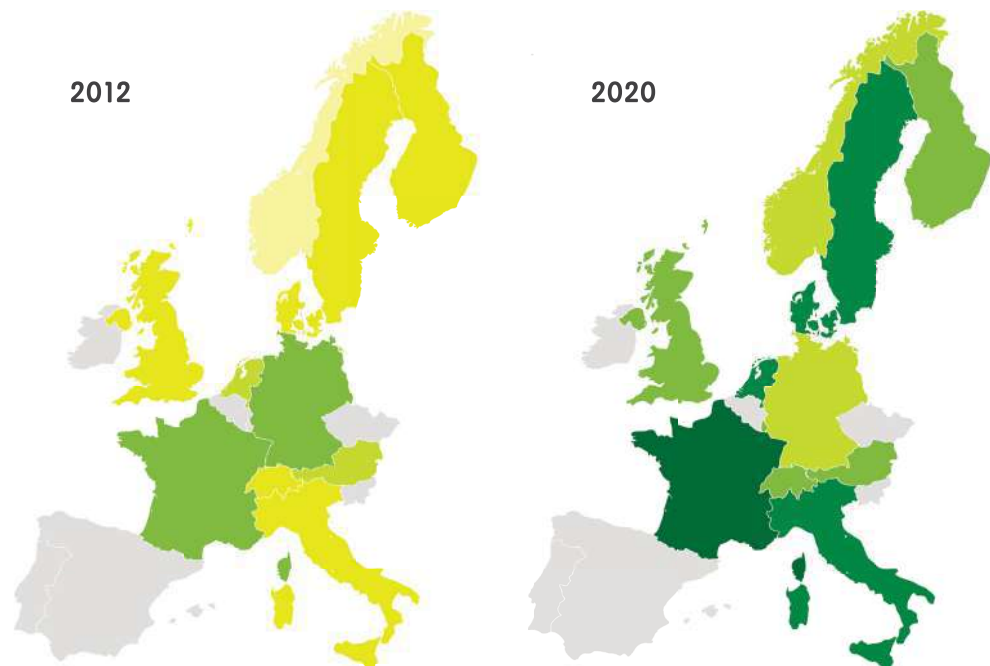
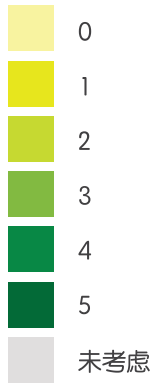
# 8

## 其他国家生物天然气生产和使用的有利条件

德国是欧洲最早鼓励生物天然气生产的国家之一，许多国家也对德国的经验进行了借鉴。德国财政拨款制度比较复杂，但是也促成了强有力的工业化发展。不到几年时间，德国运营中的生物天然气生产厂占全球总数已经接近50%。

图 22：2012年至2020年间，欧洲各国制定的生物天然气激励措施情况一览

## 生物天然气激励政策数量



资料来源：Sia Partners和作者调研

如今，许多的其他国家、地区针对生物天然气的生产和使用也都制定了激励措施。表7罗列了2020年，相关激励措施生效的主要欧洲国家。不同激励措施的作用方式在后文中也会详细介绍。

表 7：部分欧洲国家采取的鼓励生物天然气发展的措施概述

欧洲国家	优先接入气网	生物天然气上网价格补贴	配额绿色证书	投资补贴	免税
德国	✓		✓		
奥地利	✓	✓	✓		
丹麦		✓	✓	✓	✓
芬兰			✓	✓	✓
法国	✓	✓	✓	✓	✓
意大利	✓	✓	✓	✓	
挪威				✓	✓
英国		✓	✓		✓
瑞典		✓	✓	✓	✓
瑞士		✓	✓	✓	
卢森堡	✓	✓		✓	

资料来源：Sia Partners和作者调研

## 优先接入气网

“优先接入气网”指的是，在气网容量足够的情况下，任何生物天然气生产商优先获得并网的权利。在气网容量有限的情况下，针对气网运营商的做法，各国也都有不同的规定，以保证生物天然气能从技术上实现并网。在制定了生物天然气优先并网政策的国家，当生物天然气生产商将生物天然气注入气网时，要首先减少化石燃气的注入量。“优先接入气网”对于降低投资风险至关重要。

## 配额/绿色证书

在“配额/绿色证书”制度中，通常会通过设立一个硬性目标的方式，推动可再生能源的生产。此类目标，既可以是可再生能源在能源结构中所占的份额，也可以是温室气体减排的最低量；但其效果与碳排放交易制度是不相上下的。生物天然气生产商有两种获益方式，一是以市场价格向电网出售能源，二是在绿色证书市场上出售证书。

## 免税

免税或减税通常是额外的（和次要的）辅助机制。生物天然气的生产或销售可以获得一定的免税（如碳税、能源税）作为补偿，以增加其在能源或汽车燃料市场的竞争力。

## 上网价格补贴

所谓的“上网价格补贴”，就是对并入公共气网的可再生能源进行补贴。各国政府在10到20年的固定时间内确定并保证上网价格，并且保证100%能够并网。政府的补贴多少通常基于生物天然气生产成本高低来确定。大多数欧洲国家、地区的补贴在7-12欧分/千瓦时<sup>高热值</sup>之间，但会根据项目规模、生产生物天然气的基质类型和其他标准而有所差异。“上网价格补贴”的优势在于，生产商不必参与市场营销和销售。这是快速发展生物天然气的最有效驱动力，从某些国家的发展情况中，如法国（5年内产能达到0.7太瓦时）、丹麦（6年内产能达到1.75太瓦时）和英国（6年内产能达到4.0太瓦时），就能可见一斑。

## 投资补贴

对于行业推手，尤其是市政部门而言，投资补贴降低了投资风险，减少了投资壁垒。在某些国家（如瑞典），所有生物天然气工厂享受投资补贴的条件是一致的；但在其他国家，工厂必须采用创新的解决方案或在特定的区域内发展生物天然气。投资补贴通常按投资成本的10%到40%来支付，但有时，投资补贴仅对工厂创新的部分进行覆盖。在大多数情况下，由于运营成本在生物天然气的生产成本中起着更大的作用，因此补贴对于生物天然气市场的发展起着次要作用。

## 市场发展支持

国家或地区政府有能力不断通过各类行动来明确支持某一市场的发展。因为这一政策并非专门针对生物天然气而提出，因此并未列入表7之中。这一政策下，可以制定各类战略，提升压缩天然气（CNG）和液化天然气（LNG）作为车辆燃料的地位，通过对加油站加大补助，替换柴油动力的汽车、大巴、卡车和船只，这种做法在欧洲各国都很普遍；或者，强制要求新建筑物采纳可再生能源供暖，作为颁发建筑许可的前提；或者，允许生物天然气动力的车辆可以在市区免费停车，或免费使用公交车道；亦或者，将其纳入到公共采购的指导方案中来（如供热时，或购买新公务车辆时），这样就能树立榜样，起好带头作用；此外，还可以通过支持市场营销和品牌战略，与潜在的终端用户全体积极沟通等方式，推动市场的发展。

# 9

## 生物天然气生产 和使用的商业模式

各类支持政策中不同的基于市场的方式促进了不同市场的发展，也推动了生物天然气价值链中各类商机的涌现。基于德国《可再生能源法》和生物燃料配额（参见前几章内容），本小节将着重介绍可以实行的主要商业模式。这些模式的共同点是，最终的收入需要覆盖价值链中所有步骤的成本，这些步骤包括：

- 废弃物收集/农业业务
- 沼气生产（包括认证）
- 沼气提纯为生物天然气、并网
- 气网运输（包括质量平衡和平衡管理）
- 生物天然气销售
- 向终端用户送气

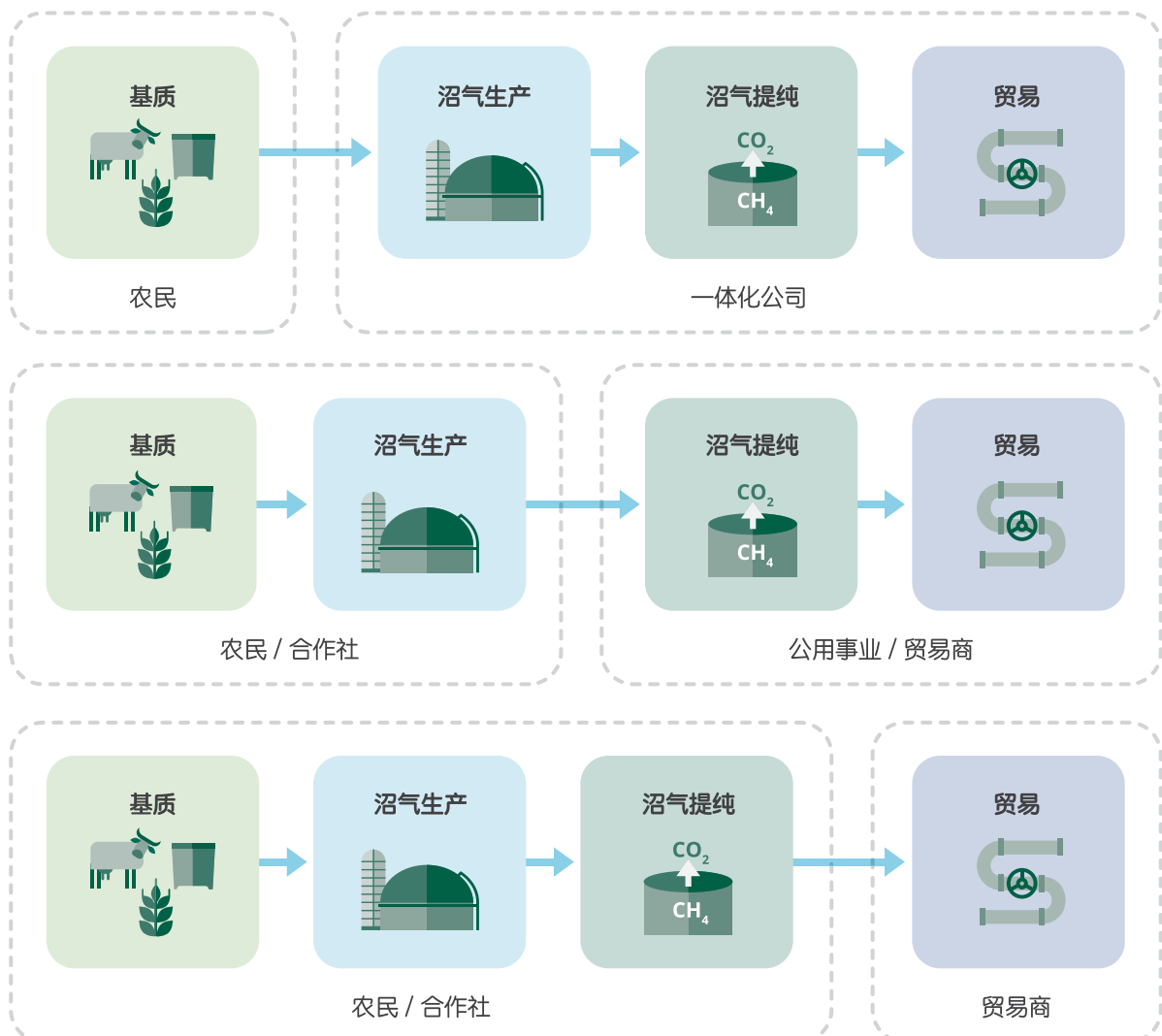
伴随着生物天然气行业的发展，更多的服务类型商业模式纷纷涌现，例如专门的认证服务、计量服务或新生物天然气厂的规划或建设服务等。

## 9.1 热电联产

基于德国《可再生能源法》中的政策支持计划而制定的生物天然气基本商业模式，覆盖了整个价值链，从农业/废弃物收集，一直到最终在热电联产厂中从生物天然气转换为电热。热电联产运营商从气网获取生物天然气，然后可以获得相应

政策支持（按发电量获得上网电价补贴），并且在上网电价溢价的情况下，还从电力销售中获得收益。此外，热电联产经营者还可从热能销售中获得额外收入。图23对《可再生能源法》下各类商业模式进行了可视化展示。

图 23：《可再生能源法》下各类商业模式案例



在德国市场上,《可再生能源法》颁布多年以来,衍生出了不同的业务集成模型:有些专业公司的业务仅覆盖价值链的某一部分,例如生物天然气贸易、气网输送或厂区运营。通常,沼气生产的部分会被整合到农业公司下,然后在即将并网或并网之后(取决于整个提纯流程的步骤)出售,之后由德国能源市场上为数不多的专业沼气贸易公司之一进行分销,或进行跨境贸易。面对消费者的终端销售,尤其是绿色

燃气产品,是由能源供应商完成的。一些较小的企业业务范围会着眼于特定地区,可能会被纳入到市政综合供应中来。另一方面,也有一些大型公司和企业集团,其业务领域包括从生产到最终销售的所有步骤。由于市场发展的速度放缓,行业内部出现了整合;为数不多的几家大型企业开始逐步主导市场。

## 9.2 生物天然气作为车辆燃料

生物燃料配额的基本商业模式要求生产者(或贸易商)与加油站签订合同,将生物天然气以发动机燃料的形式进行售出。生物天然气可以单独售出,也可以与天然气混合后再售出。卖出生物天然气后,可获得配额积分。而矿物燃油生产公司又需要购买这些积分(详情参见第7.6节)。如果该公司没有足够的配额积分,就必须按照每吨温室气体470欧元的价格支付高额罚款。不过,这一步骤尚未实现。此罚款(相当高的)就决定了配额积分价格上限,从而引发了对配额积分的需求。所有生物燃料能够提供的配额都用于满足矿物油公司的需求,后者也就决定了最终的配额价格。如图24所示,配额价格的上限在过去几年中一路攀升,从2017年的200欧元/吨,2018年的250欧元/吨,一直增加到2020年的420欧元/吨。

在加油站出售生物天然气燃料和配额所获得的收入必须能覆盖价值链中必要步骤的成本(参见图24)。

两种模式的风险结构非常不同:

- 《可再生能源法》商业模式包含20年运营期内的固定溢价或电价,这是德国法律所规定的,因此对投资者而言,风险相对较低。上网电价溢价模式因为与电力销售挂钩,因此风险会稍多一点。如果价值链上的所有参与单位都能持续经营的话,在政策支持有效期之内,这会是一个比较稳健的模式。
- 生物燃料配额制商业模式在许多层面要承担更高的风险。加油站在燃料销售价格和数量方面会面临竞争。此外,生物燃料配额的价格也受许多因素的影响,其中许多因素甚至都不在生物天然气业务的范围之内。生物燃料市场虽然面对的是欧洲的市场,但是仍然需要依靠全球的供应链。

图 24: 德国生物燃料配额价格的变化



资料来源: SCB Brokers有限公司, H. Lückmann

# 10

## 化石能源价格剧烈波动背景之下， 靠政策推动发展的可再生燃气 市场面临的挑战

迄今为止，化石能源价格达到历史新低。可再生能源的生产成本，尤其是风能和太阳能的生产成本，虽然正在稳步下降，但仍然会有一个最低成本，一旦触底就很难再进一步降低。沼气和生物天然气的生产与人力、生物质和沼渣的运输物流相关，因此工厂必须在区域内进行整合。虽然技术创新不断出现，但短期内技术成本实现突破性降低的机会比较渺茫。一般来说，愿意投资生物天然气技术的通常是中小型企业，但他们应对财务风险的能力有限，因此需要有可靠的投资回报基础。

为了保证生物天然气生产的激励措施实施到位，就需要对这些激励措施的目标群体和使用路径进行清晰识别，保证激励措施能够奏效。如果要以快速的市场增长为目标，那么就需要一个非常可靠、稳健且能应对危机的模型。由于相比于投资成本所占比，运营成本所占比更高，因此投资补贴似乎并

不是最佳选择。相反，上网电价补贴或上网溢价似乎是开启市场发展的最有效措施——当然这样的政策体系成本也很高。这些体系必须基于生物天然气的实际生产成本而建立。在建立生物天然气市场后，可以建立健全绿色证书模型，或要求对生物天然气设置最低配额的模型，然后就能减少对政府支持措施的依赖。但是，在危机情况下，这些体系仍需保持稳健，并且要让在数年前已经建立的现有生物天然气生产装置有机会进行调整适应，生存下来。

投资的主要驱动力体现在两方面：合理的投资回报，以及为减少温室气体做出积极贡献。为确保实现这两个驱动力，激励制度应建立在温室气体减排效果之上，并且应提供长期的财务安全。这样就意味着这些规则——在不考虑是否符合未来变化的情况之下——能够保持稳定，让投资可以保证至少10年的稳定运营。

# 11

## 生物天然气领域的相关技术规范

在沼气和生物天然气厂的价值链上，存在着各类规范工作安全、环境保护和产品质量的技术规范。以下是各类规范的简要概述，有关更详细信息的链接，请参见第15节。

**基质**的管理方式，根据其来源而有所不同。《循环经济法》对废弃物进行了分类，分类的不同，处理程度和要求也会不同。《生物质法规》则对生物质相关内容进行了厘清，例如上网补贴价格的金额。

对于一些废弃物存在的安全隐患，必须加以管理。无论是市政有机废弃物，还是食品生产过程中产生的废弃物，必须根据《有机废弃物条例》进行巴氏消毒。该法令明确了食物垃圾的种类、有关污染物的要求以及有关卫生处理的技术要求。保证产品卫生的方法有很多，例如巴氏消毒罐（70摄氏度下放置至少一小时）或发酵后堆肥，在更长的时间内也可以达到70摄氏度左右的温度。《动物副产品处置法》就规定了针对动物废弃物，如来自屠宰场的废弃物，应该采取的预防措施。

**存储**是农业废弃物基质，尤其是畜禽粪污，所面临的主要问题。如果畜禽粪污没有储存在封闭的箱体中，则基底就会开始发酵，甲烷就会释放到大气中。因此，德国《联邦排放控制法》就针对其存储进行了规定。该法规针对处理的基底的数量多少也做了规定，基底数量的多少决定了工厂批复过程的详细程度。

**沼气生产厂**必须遵守各类**安全**和**排放**法规。不言而喻，由于燃气生产的性质，沼气生产的主要危害之一就是沼气的泄漏或易燃易爆。例如，《工厂安全技术法规》(TRGS 120)中就明确指出了存在爆炸危险的特定区域，也规定了必须采取的预防措施以及检查的频率。此外，《有害物质法令》(GefStoffV)中规定了需对哪些材料（例如某些工艺添加剂）加以控制，而《工业工厂中危及水资源的材料的处理法令》(AwSV, Ordinance on the handling of water-endangering Material from industrial plants)则规定了为防止工厂污染物不进入水体而采取的预防措施。更多信息请参见第15节。

**热电联产机组**必须符合相关的排放法规。《排放控制法》下有44条法令，涉及各种排放企业单位。《联邦44号排放控制法令》(The 44th BImSchV Federal Immission Control Ordinance)主要针对额定热量输入在1MW-50MW的内燃机或燃气轮机，如热电联产机组，对其排放物（如一氧化碳、氮氧化物、氨气、硫氧化物、粉尘、甲醛等）做出了限定。此外，《空气质量技术指南》(TA Luft)对有机碳排放（不包括二氧化碳）的排放限制也明确了其他标准。

为了确保**生物天然气**作为标准化产品流入市场，并且保护燃气管道和设备免受污染物和腐蚀的侵害，从欧洲标准化委员会到德国全国燃气和水工业协会（DVGW），都对相关标准进行了多个层次的明确。德国全国燃气和水工业协会下属的技术委员会中制定了工业标准，用作德国和欧盟监管框架的基础。

生物天然气是一种主要由甲烷组成的气体，可以通过处理沼气或甲烷化制生物合成气获得。在去除化学和机械物质（例如二氧化碳、硫化氢、挥发性有机碳氢化合物和水）进行提纯后，生物天然气就可以作为燃料进行使用了。“用于交通运输的天然气和生物天然气以及可并入天然气网中的生物天然气——第2部分：机动车辆燃料规范”（编号DIN EN 16723-2，2017年10月版）中对燃料用生物天然气质量提出了

最低要求，允许使用有限比例的伴生物质，但通常必须在沼气提纯之前将其降低到最低限度。上面提到的伴生物质包含以下几项：

- 总挥发性硅0.3 mgSi /m<sup>3</sup>
- 氢气2 mol%
- 氧气1 mol%
- 硫化氢和羰基硫化物（以硫计）5 mg /m<sup>3</sup>
- 全硫含量（包括加臭）30 mgS /m<sup>3</sup>
- 胺10 mg /m<sup>3</sup>

除最低限度的压缩机油和与灰尘相关的污染物以外，用作燃料的生物天然气必须不含任何污染物。

高级烃的含量受烃露点的限制。其绝对压力应保持在0.1MPa至7MPa，温度为零下2°C。

调试系统时，压缩天然气作为燃料，其质量标准需进行一次认证，可以选择德国莱茵TÜV等认证机构。

注入到系统进行调试的生物天然气的质量条件，即各种气体成分的极限值和技术特性（热值和沃泊指数-参见表8），应比照并网的相关要求。

具体要求在德国全国燃气和水工业协会工作文件（尤其是编号G260、G262和G685的文件）的《气网接入规定》中有所规定。在将生物天然气接入气网之前，将对其进行处理和调节，以满足这些极限值要求。

表 8：根据德国全国燃气和水工业协会工作文件G260规定、德国燃气入网要求

极限值（按照德国全国燃气和水工业协会工作文件G260规定）			
指标	单位	气网“最低值”	气网“最高值”
甲烷	Mol%	≥ 90	≥ 95
二氧化碳	Mol%	≤ 10	≤ 5
硫化氢	mg/m <sup>3</sup>	5（临时可达10）	
氧气	%	干燥的管道为3, 湿润的管道为0.5	
氢气		无特定值	
全硫含量	mg/m <sup>3</sup>	30（临时可达150）	
硫醇	mg/m <sup>3</sup>	6（临时可达16）	
含水量	mg/m <sup>3</sup>	管道压力小于等于10巴时, 需 ≤ 200, 管道压力大于10巴时, 需 ≤ 50	
沃泊指数 (WS,N)	kWh/m <sup>3</sup>	10.5 – 13.0	12.8 – 15.7
相对密度	d	0.55–0.75	
连接压力 (pan)	mbar	18–24	
燃烧值 (HS,N)	kWh/m <sup>3</sup>	8.4 – 13.1	

在将生物天然气注入欧洲高压输气网中时，阈值标准将会更严格。欧洲气体能量交换合理化协会（EASEE European Association for the Streamlining of Energy Exchange）对此有明确规定，请参见下表9。

表 9：按照欧洲气体能量交换合理化协会（EASEE）规定，将生物天然气注入欧洲高压输气网中的要求

极限值（按照EASEE之规定）			
指标	单位	最低	最高
沃泊指数 (WS,N)	kWh/m <sup>3</sup>	13.6	15.81
二氧化碳	Mol%		2.5
氧气	Mol%		0.001

# 12

德国经验对中国的  
适用性

## 12.1 德国生物天然气产业发展对中国的启示

### 走非电领域应用之路

生物质能是唯一可直接转化为电、气、热、燃料等多种能源产品的可再生能源，对于生物天然气项目而言，还可以利用沼液沼渣等副产物生产有机肥。放眼欧洲，生物天然气在产业起步阶段就确定了以规模化生物天然气工程替代传统化石能源的发展思路，坚持走高附加值发展道路，从需求侧为生物天然气创造优惠宽松的市场环境。

随着可再生能源发电技术的进步，风电、光伏发电成本持续走低，据预测到2025年其成本可低于燃煤机组上网电价，生物质能持续走发电之路不具备价格优势，同时，中国可再生能源电价补贴拖欠已成为常态，因此，探索生物质能非电领域应用和循环梯级利用，是未来生物质能发展的新方向。发展生物天然气，开创生物质能清洁燃气应用新领域，开发有机肥替代化肥巨大市场潜力，是探索生物质能发展新道路的具体实践，有利于促进生物质能行业可持续健康发展。

### 需规模化发展

德国沼气行业已经发展成集设计、生产、运营、服务、设备制造及出口为一体的专业化模式，大型沼气工程由专业公司运营管理，自动化程度高，运行成本低，这与德国以规模化沼气工程为重点的发展方向不无关系。根据欧洲沼气协会的调查报告，虽然德国《可在生能源法》的修订过程对小型电站的补贴高于大型沼气电站，德国的单个沼气工程仍然朝着更大规模发展。

推进全国生物天然气产业化发展，以规模化开发促进项目成本降低，通过提升系统效率、建立原料收集和产品销售商业模式，加快工程国产化进程，建立技术研发平台，健全装备制造体系，推动生物天然气工程技术进步和成本下降，形成全面战略性新兴产业。

### 奖补政策设计须考虑退坡机制

德国可在生能源法在制定之初，以固定度电入网电价的补贴模式支持可在生能源发展，没有设计与行业规模增长趋势相匹配的补贴退出机制，特别是EEG-2000及EEG-2009的出台，技术储备和商业模式还未成型的背景下大量建设沼气发电项目，补贴政策的修订滞后于行业发展速度，补贴成本升高给国家财政造成巨大的负担。

中国的生物天然气产业奖补政策设计需要考虑规模经济递增效应。随着生物天然气向着集约化、专业化、规模化的方向发展，有机肥替代化肥的市场潜力被开发，技术和装备体系逐步完善，生产运行成本逐渐降低，生物天然气产业可以发展形成自负盈亏的市场化商业模式，为了不给国家财政造成负担，同时避免补贴“闪退”对产业造成打击，生物天然气的奖补政策应设计合理的退坡机制。

### 产业化须建立有机肥产业链

有机肥是生物天然气项目的两大产品之一，也是项目收益的重要来源，必须加以重视。一方面因为绝大多数项目依靠单一生物天然气产品收入难以实现盈利，另一方面沼液沼渣作为副产物必须进行回收利用，否则难以达到环保要求。生物天然气产业要探索市场化的商业模式，必须以有机肥产业链为突破口，依托国家有机肥替代化肥行动方案等产业利好政策，坚持以技术创新的方式提高有机肥产品品质，坚持以整县推进的方式建设配套设施设备，通过末端退坡补贴政策激励，示范项目带动，循序渐进稳步培育有机肥市场，最终使生物天然气产业发展成为不依赖补贴政策的良性生态循环产业。

## 12.2 产业发展思路

### 产业起步阶段

目前中国的生物质天然气年产量不足1亿方，工业化、规模化、商业化的大型工程屈指可数，应该说正处于萌芽状态。根据产业发展特点，可将产量达到30亿方定义为产业的起步阶段，发挥国家产业政策激励引导作用，给予原料和后端产品补贴支持，该阶段需以强刺激政策为主，吸引大型投资主体进入，帮助企业降低成本的同时，鼓励企业打通沼渣沼液生产有机肥的下游产业链，统一产品标准，出台配套政策解决好产品消纳问题，提高投资收益，有利于行业的快速发展。

### 快速发展阶段

待生物质天然气年产量由30亿立方发展至100亿立方前视为产业快速发展阶段，产业政策适度调整，由强刺激政策过渡为弱刺激政策，建立补贴退坡机制，逐渐将生物天然气纳入与页岩气、煤层气等同属的非常规天然气管理并适时启动配额制，提高生物天然气的市场消纳能力。

### 稳定发展阶段

当生物天然气年产量达到100亿方以上后，产业进入稳定发展期。产业政策更加完善，已建立成熟的生物天然气营商环境，按照“谁污染谁付费，谁处理谁受益”的环境治理机制。国家产业政策需处理好生物天然气产业的社会属性与商品属性二者间的关系，前端处理有机废弃物环节需建立有偿处理机制，后端产品（生物天然气、有机肥料）走市场化发展道路，让生物天然气产业在健康可持续发展的轨道上，以创新和市场驱动方式为主要手段，促进产业高质量发展。

## 12.3 产业起步期政策建议

### 尽快出台生物天然气后端奖补政策

上网电价补贴是德国可再生能源法的灵魂，德国立法者通过合理制定上网电价补贴，有效的调节德国沼气行业发展，EEG-2004引入能源作物补贴和EEG-2009增加补贴都对沼气行业腾飞起到立竿见影的效果。由于EEG规定的补贴方式是后端补贴，业主必须保证其所建电站质量可靠，采用技术先进，才能保证沼气站的健康稳定运营。

中国各级政府对沼气工程给予不同程度的补贴，但是补贴方式与德国不同。《农村沼气建设国债项目管理办法》等规定对沼气工程建设给予部分财政补贴，这对于解决沼气工程建设资金短缺，引导农村推广应用沼气技术发挥了积极作用。

### 政策法规通过效果评估不断完善

德国历次修订的《可再生能源法》都规定，联邦政府相关部门应对法规进行评估并定期向德国联邦议会提交进展报告。如EEG-2004规定，2007年12月31日之前，联邦政府环境、自然保护及核安全部等部门需要向德国联邦议会提交《可再生能源法》发展报告以评估法律实施效果。2007年，该部门递交的报告详细汇报了法规实施以来德国可再生能源市场发展、电力生产成本、环境评估等情况并提出了政策建议，为联邦议会2008年修订《可再生能源法》提供了翔实而科学的基础。

### 加快建设生物天然气监测和诊断平台

结合当前生物天然气工程建设和运营中存在的问题，建设基于互联网的生物天然气运营监测和诊断平台，服务中国沼气和生物天然气产业，为沼气和生物天然气的开发提供技术支持，为企业间对标升级和改进提供技术服务。通过对生物天然气工程的原料、生产过程及产出的全产业链系统跟踪研究，设计研发具有计量监测、资质认证、运行监督、数据统计等功能的计量监测平台，为国家生物天然气后端补贴提供基础数据支撑，为政策实施提供可靠权威的监测平台信息。

但从多年的实践来看，这种单一的前端补贴方式既影响工程建设质量，又影响项目运营效果，不能调动业主主动建设好并运营好沼气项目的积极性，还容易给一些不良工程承建商偷工减料骗取国家建设资金以可乘之机，严重阻碍沼气行业可持续健康发展。因此，尽快出台有利于行业发展的后端奖补政策，尤其是对于沼气提纯项目，研究制定按照实际生产量给予补贴的机制体制，包括生物天然气产品、沼液沼渣有机肥、温室气体减排效果等方面政策法规和补贴效果评价机制，调动生物天然气工程投资商的积极性，建设高水平工程项目，使行业健康发展。

虽然中国农业和能源部门每年对可再生能源发展情况做了大量统计工作，但是很少进行系统的效果评估工作，以此作为调整相关配套政策措施的依据。《中华人民共和国可再生能源法》并没有明文规定相关职能部门应定期向立法机关汇报法律实施情况，评估实施效果。由于缺乏反馈及评估机制，立法机构无法及时掌握可再生能源发展最新状况而及时调整政策，相关政策也因缺乏有力法律保障而无法出台实施。因此，中国亟待建立可再生能源法实施效果反馈及评估机制，助力相关行业发展。

### 建立行业监管体系

通过政府监管和第三方监督，建立“企业自我监测、行业平台监测、第三方监督、政府监管”四位一体全过程监管机制，实现生物天然气工程全方位、全维度和全过程的监管和监控。达到经济成本最优、效率最高的政府监管模式，促进补贴资金有效监管和发放，支持行业健康发展。

由国家财政、能源主管部门为政府监管主体，指导和督促建立行业自我管理、委托第三方独立监管的行业监管体系。建设生物天然气工程的企业为自我监测的主体，按照相关要求建立全过程监测体系，实现全过程自我监控。行业组织建立精确至每个项目的在线监测平台和数据库，形成与企业监测成果的联动机制，按照日精度收集和分析项目信息和数据。第三方独立监管机构建立补贴资金管理系统，对行业监测平台和具体项目开展督查和评价工作，每年向政府监管主体提交监测报告，作为补贴计划拟定和发放的重要依据。

## 奖补政策灵活调整促进产业市场化

纵观德国《可再生能源法》四次调整，德国政府对沼气发展从鼓励培育到放归市场的思路清晰可见：起初，业主担心不能盈利，没有主动投资修建沼气发电站的意愿。EEG-2000通过法律条文保障了沼气业主的利益，使德国沼气发展有了起色。

EEG-2004和EEG-2009连续提高了对小型沼气发电站的基本补贴，加入了各种名目的额外补贴，有效培育了大批沼气发电企业。EEG-2012开始引导沼气发电进入电力市场，而EEG-2014进一步削弱了对沼气产业的扶持力度，鼓励电力直接进入市场参与竞争。

尽管中国《可再生能源发展“十三五”规划》提出要实现生物质燃气商品化和产业化，各级政府部门在推动沼气产业化和市场化方面也有过许多尝试，但结果不甚理想，截至目前，全国范围仅有少数几个成功的沼气工程运营商。因此，相关部门应在兼顾沼气行业始终有其公益性特点的同时确立沼气行业发展不同阶段的市场化目标：短期内加大对沼气企业的扶持力度，争取培育出一大批优质企业，使沼气产业化初具雏形；中期扶持力度逐渐减弱，减少补贴，让沼气产品价格逐步回归市场，完善沼气产业链，逐步形成部分市场化竞争机制。

## 建立行业标准及检测认证体系

欧盟和德国沼气协会制定了沼气技术标准体系，用以对沼气工程运营进行质量控制，除产品及设备通过检测或质量认证外，还需重点控制工程运行的安全和质量。

目前，中国生物天然气行业标准尚未健全，亟需制定实施覆盖工程设计、施工建设、运行管理、并入管网、污染物排放、沼渣沼液回收利用、设备制造等产业链各个环节的工业化标准，推进工程认证、企业认证等认证体系建设，建设行业检测认证中心，提高行业发展水平。

## 建设科技研发平台及装备体系

经过多年发展，欧盟国家实现了生物天然气装备制造标准化、技术工艺规范化、设计建设模块化、运营管理智能化和产品服务系列化等，形成了完整的产业体系和成熟的商业模式。借鉴欧洲经验，建设中国生物天然气科技研发平台及装备体系，充分引进和消化国外技术成果，立足中国国内生物天然气发展实际，以企业为主体，科研机构为载体，行业组织统筹协调开展生物天然气重点技术难题攻关工作，逐步建立以厌氧发酵、净化提纯、沼肥生产、自动控制为核心的技术和装备研发体系，随着行业深化发展，围绕生物天然气产业形成一批行业认可、高水平、高知名度的装备生产企业。

## 13

## 文献目录

联邦农业和食品局（编辑），2019。2018年评估和经验报告，波恩：s.n.

联邦粮食和农业部，2019。高效微生物沼气处理厂项目的最终报告，s.l.：s.n.

联邦农业和食品局，2020。联邦农业和食品局。

网址：[https://www.ble.de/DE/Themen/Klima-Energie/Nachhaltige-Biomasseherstellung/nachhaltige-biomasseherstellung\\_node.html](https://www.ble.de/DE/Themen/Klima-Energie/Nachhaltige-Biomasseherstellung/nachhaltige-biomasseherstellung_node.html)

【检索日期2020年7月2日】

联邦电力、天然气、电信、邮电和铁路网络管理局（编辑），2014。2014年沼气监测报告，波恩：s.n.

德国能源署（编辑），2019。沼气合作伙伴——一起纳入沼气：沼气在德国和欧洲的并网和使用——市场，技术和参与者，柏林市：s.n.

德国能源署，2018。供热转型中的生物天然气，柏林市：s.n.

德国能源署，2020。2020年生物天然气行业晴雨表，s.l.：s.n.

瑞典Energiforsk能源公司，2016。沼气提纯——技术评审，斯德哥尔摩：s.n.

德国可再生资源研究机构德国可再生资源研究机构（FNR），2012。生物天然气 Gölzow-Prützen s.n.

德国可再生资源研究机构德国可再生资源研究机构（FNR），2014。沼气升级和喂养指南：s.n.

汉堡水务公司，2020。

网址：<https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/unser-wasser/der-weg-des-wassers/abwasserreinigung/klaerwerk-hamburg/energieerzeugung/>

【检索日期2020年6月23日】

汉堡水务公司，2019。环保声明2018，汉堡市：s.n.

国际能源署第37项任务，2020。国际能源署生物能源。

网址<http://task37.ieabioenergy.com/plant-list.html> 【检索日期2020年7月2日】

国际能源署，2020。沼气和生物天然气的发展展望：实现有机增长的前景，s.l.：s.n.

国际可再生能源署，2018年。沼气用于道路车辆：技术简介。阿布扎比：国际可再生能源署。

Korres, N. E., O' Kiely, P., Benzie, J. A. H. & West, J. S., 2013. 厌氧消化法生产生物能源——利用农业生物质和有机废物。Oxon:Routledge.

德国联邦环境署，2016。德国生物技术和生物能源公司，德绍罗塞劳：s.n.

Urban杂志（编辑），W., 2010。未来的气网，斯图加特：Fraunhofer Verlag 世界沼气协会，2019。全球沼气发展潜力报告，s.l.：s.n.

# 14

## 拓展阅读

### 沼气生产、提纯和生物天然气的相关信息

欧洲沼气协会：有关生物天然气对减少温室气体的贡献的背景文件。

可由下方链接获取：<https://www.europeanbiogas.eu/category/publications/>【最后检索日期2020/06/29】

国际能源署：《沼气和生物天然气发展展望：实现有机增长的前景》，2020。

可由下方链接注册后获取：<https://webstore.iea.org/outlook-for-biogas-and-biomethane>【最后检索日期2020/06/29】德国可再生资源研究机构（FNR）：《沼气信息指南》，2010。

可由下方链接获取：[https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/g/u/guide\\_biogas\\_engl\\_2012.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/g/u/guide_biogas_engl_2012.pdf)【最后检索日期2020/06/29】德国可再生资源研究机构（FNR）：《沼气信息指南》，2016。

可由下方链接获取，但只有德语版：<https://mediathek.fnr.de/leitfaden-biogas.html>【最后检索日期2020/06/29】

### 沼渣处理和治理

德国沼气协会：变沼渣为肥料

可由下方链接获取英语、德语版：[https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/BJHCPA-DE-Digestate-as-Fertilizer/\\$file/Digestate\\_as\\_Fertilizer.pdf](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/BJHCPA-DE-Digestate-as-Fertilizer/$file/Digestate_as_Fertilizer.pdf)

### 配料管理法规

《德国联邦建筑法规》（BauGB）

可由下方链接获取德语版：<https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BauGB.pdf>，英语版（可能存在不一致情况）  
请由下方链接获取：<https://germanlawarchive.iuscomp.org/?p=649>【最后检索日期2020/06/29】

《有机废物法条》可由下方链接获取德语版：<https://www.gesetze-im-internet.de/bioabfv/BioAbfV.pdf>【最后检索日期2020/06/29】

《循环经济法》可由下方链接获取德语版：<https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>【最后检索日期2020/06/29】

## 工厂批准和排放控制规定

根据《德国联邦排放控制条例（第四版）》可判断常规的建筑许可是否足够，或者是否根据该法案严格执行了相关批准程序。

可由下方链接获取德语版：[https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_4\\_2013/](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_4_2013/)，英语版：<https://germanlawarchive.iuscomp.org/?p=315>【最后检索日期2020/06/29】

《联邦44号排放控制法令》中规定了热电联产机组以及其他内燃设备的排放限值。可由下方链接获取德语版：[https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_44/BJNR080410019.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_44/BJNR080410019.html)【最后检索日期2020/06/29】

《空气质量控制技术指导意见》。可由下方链接获取：

[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Luft/taluft\\_engl.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/taluft_engl.pdf)【最后检索日期2020/06/29】

## 健康和环境安全法规

Giannina Bontempo, Manuel Maciejczyk, Lucas Wagner, Clemens Findeisen, Mareike Fischer和Frank Hofmann (Fachverband 沼气公司)：《将沼气安全放在第一位》，2016。

可由下方链接获取：[https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE-biogas-safety\\_eng](https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE-biogas-safety_eng)【最后检索日期2020/06/29】

《工厂安全技术规范》，可由下方链接获取德语版：<https://www.kas-bmu.de/tras-entgueltige-version.html>【最后检索日期2020/06/29】

《有害物管理法条》可点击下方链接获取德语版：[https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv\\_2010/](https://www.gesetze-im-internet.de/gefstoffv_2010/)【最后检索日期2020/06/29】

《工业工厂中危害水资源的材料处理条例》，可由下方链接获取德语版：<https://www.gesetze-im-internet.de/awsv/>【最后检索日期2020/06/29】

## 上网电价补贴

《可再生能源法》，可由下方链接获取：[https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Downloads/renewable-energy-sources-act-2017.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D3](https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Downloads/renewable-energy-sources-act-2017.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D3)【最后检索日期2020/06/29】

## 燃气质量

德国可再生资源研究机构德国可再生资源研究机构（FNR）。《将沼气接入气网的研究》，2014。

可由下方链接获取：[https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfaden\\_biogaseinspeisung-druck-web.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfaden_biogaseinspeisung-druck-web.pdf)【引用日期：2017/08/11】

网站



微信

