



农业政策简报



可持续能源

中国和德国农业中可持续能源的生产和使用



Deutsch-Chinesisches Kooperationsprojekt
für nachhaltige Tierzucht und Tierhaltung

中德畜牧业可持续发展合作项目



农业政策简报



作为“中德畜牧业可持续发展合作项目”的一部分，根据项目目标，以书面建议的形式，为四个主题领域中的每个领域提交两份行动建议（政策简报）。将其引入中德农业中心，尤其是项目执行伙伴全国畜牧总站的农业政策对话中。“农业政策简报”系列以集中的形式，就四个主题领域的政治行动需求提出了建议：

- 生物安全及动物标识体系（企业生物安全，创建动物标识体系）
- 创新育种技术（加强牛育种，扶持建立皮特兰种群）
- 适合动物生长与生产性能发挥的营养饲喂系统（适合动物的养殖系统，降低抗生素用量和饲料种植与收割技术）
- 环境和气候承载力（降低异味和温室气体排放，粪污处理，加强营养物质循环利用）

这些政策简报介绍了德国和中国在动物疾病预防、兽医培训、牛养殖、动物福利、减少抗生素使用和畜牧业可持续能源生产等方面的情况。旨在展示两国如何在本国范围内应对和克服各种挑战，以及哪些机制也可在中国加以整合。

遵照德国联邦议院的决议，由



联邦
食品和
农业部

资助



中华人民共和国农业农村部
Ministry of Agriculture of the
People's Republic of China



被委托方: GFA农业技术咨询有限公司
General Agent: GFA



全国畜牧总站
National Animal Husbandry Service (NAHS)



德国ADT国际项目管理与咨询公司
ADT Project Consulting GmbH

简报简介

该简报涉及农业设施，尤其是畜牧业的电力和热能供应，特别考虑到设施通常位于技术基础设施有限的户外的情况。其目的是确定和解决基本能源需求，研究离网系统、电网连接或混合方法等解决方案，并讨论沼气、光伏发电和风力发电等各种能源的具体特点和潜力。此外，还重点介绍了创新方法，并对中德两国的能源实践进行了比较分析。该简报向决策者、从业人员和利益相关者介绍了可持续和实用的农业能源解决方案。

政策简介 - 可持续能源

中国和德国农业中可持续能源的生产和使用

报告员：约克·奥登伯格教授，21734 奥德夸特

中德畜牧业可持续发展合作项目（第三阶段 - PN: CHN 22-01）

目录

1	基础要求.....	5
1.1	电能	5
1.2	热能	6
2	独立供能、公共电网或组合应用.....	6
2.1	独立供能	6
2.2	公共电网	6
2.3	组合能源方案.....	7
3	不同能源形式的特点和特性	7
3.1	沼气生产	8
3.2	光伏	8
3.3	风能	9
3.4	小结	10
3.5	案例	11
4	中德能源对比	12
5	总结.....	13

1 基础要求

1.1 电能

在一个畜牧养殖场中，主要有如下的电力使用场景：

- 照明，尤其是在日照不足的情况下——例如有窗圈舍舍的夜间，日照时间短的冬季都比盛夏时节更需要照明。
- 风扇或通过气阀控制的通风系统。由于空气流速的控制通常取决圈舍内部期望温度和热量吸收能力，因此在高温的夏季，通风需求最大，因此通风所需的电能也最大，并且白天比晚上多。
- 加热系统和圈舍内热源的冷却。在热量需求量大圈舍区域，例如仔猪区或者整个产仔区，在冬季室外温度较低或夜间温度较低时热能需求相对较高，特别是在日间最高温度与夜间最低温度温差较大时，一般是在日出前不久（越干燥的地方，温差越大——在沙漠地区，昼夜温差可达40度，而在潮湿地区，昼夜温差往往在10度左右）。在产仔区、仔猪饲养区或办公室使用烧炭水暖的同时，也为仔猪通过燃气或红外取暖等针对性方法。降温，主要发生在炎热的夏季，特别是在白天，理论上圈舍和办公室区域都需要降温，但实际上往往只有办公室能实现。至于通过在交配区或者母猪产犊区实现降温来提高繁殖能力是否在经济价值上有意义，至今很少被讨论到。这里的一个特例是将地热换热器作为送风系统的一部分，夏季用于送风冷却和冬季用于送风加热。不过，这些系统仅限于使用在土壤湿润或潮湿的地方，因为只有在这些地方才能全年合理地利用相应的热能缓冲。
- 全自动或半自动饲喂设施。根据饲喂方式（定量或自由采食）和饲料类型（干料、湿料或液体）的不同，饲喂系统的运行时间和所需电能不同。
- 不同混合比例的饲料准备工作。如果农场中已经有粉碎和饲料混合混合设备（例如，因为没有足够数量、质量、价格或交货稳定性的现成混合饲料），那在设计供电时必须考虑到粉碎设备相对较高的电能消耗。
- 动物饮水和清洁系统供水，尤其内部供水系统。当没有公共系统供水，而养殖场所在地或附近有足够量和质的井水时，内部供水就会发挥作用。动物进食后对饮用水的需求量特别大，与进食时间有一定的延迟。工作人员和/或清洁机器人进行清洗活动时，对清洁水的需求量也很大。
- 粪便清除、分离和相关的泵使用。根据养殖场自动化程度，主要能源需求可能在白天（自动化程度较低，多依赖人工作业）或全天（完全自动化）。
- 电动运输车

- 所有其他养殖厂内设施需求（会计、现场维护、闸门、磅秤、消杀操作等）

1.2 热能

在一个畜牧养殖场中，主要有如下的热能使用场景：

圈舍和办公区域冬季和夜间取暖。仔猪窝的定点供暖可使用燃气散热器或红外线电加热器（见上文）房间供暖通常使用热供暖系统。通常用煤炭、天然气、石油，木材或稻草（很少见）或沼气厂的废热供热。通常不使用电热泵或区域供热网，因为农村地区的圈舍通常不具备这些条件。

2 独立供能、公共电网或组合应用

在中国和德国，电力、天然气和道路网络通常遍布全国。然而，要将非居住中心的单个系统连接到相应的网络上，所需的技术和资金成本相对较高。那么问题来了，独立供能方案是否可以成为公共电网连接的合理替代方案。

2.1 独立供能

在畜牧业设施所在地，如果没有足够近的本地能源网，则可以采用独立供能方案，即内部能源供应。独立供能方案（孤岛式能源方案）的优点是可以在没有电网的地方创建本地可用能源，以维持运转。与连接到公共电网相比，其缺点是缺乏能源的多样性和电力的稳定性：在大型电网中，不断变化的用电量会被电网中的大量用户所平滑，而且在小型、中等和高峰负荷发电厂的基础上，有更多的选择来控制不同的能源。与此相反，独立供能方案通常需要将自己限制在当地可用的能源范围内，并将更多精力放在协调负荷和收益曲线上。通常情况下，还需要解决储能问题。与使用公共电网相比，这将增加独立供能方案所在地畜牧场所的固定设施建设成本和运营成本。

2.2 公共电网

一般来说，养殖场所所在地都有足够大的电网接口。畜牧业基本上不是电能和热能密集型产业（主要能源输入来自饲料）。中国和德国的差异主要体现在能源价格水平上（中国的商业用电电价约为 0.6 元/度（民电电价约为 0.45 元/度），德国的商业用电电价约为 2 元/度（民电电价约为 2.8/度））。这意味着中国商电能成本比德国低约 2/3。

2.3 组合能源方案

由于德国的特殊法规，利用可再生能源发电（水力发电、沼气发电、光伏发电、风力发电）可获得政府补贴。在德国，沼气、光伏发电和风力发电尤其是典型的农业问题，因为这些能源形式依赖于土地，而农业需要利用大片土地。一个德国典型的情况是通过热电联产沼气厂产生的电、农业建筑屋顶上光伏板产生的电，以及农场附近总高度不超过 50 米、装机容量不超过 250 千瓦的小型风力涡轮机产生的电力（这种设施只有少量）要么全部并入国家电网（这是近年来的法律规定），要么越来越多地用于满足畜牧设施自身的需求，只有剩余电力才并入国家电网，或者在养殖场自身电力暂时短缺的情况下，再使用国家电网供电。由此产生的技术管理工作量巨大，为此制定的法律条款也日趋复杂。从而导致农场内部电力管理工作，对于以畜牧业为主的农场来说，无论是在技术上还是纯劳动力方面都是难以承受的。

3 不同能源形式的特点和特性

在德国和中国的农村地区，可再生能源的三种主要来源是沼气、风能和太阳能，后者主要是光伏发电，光热发电较少。

在德国，北纬 47 度到 54 度之间种植的青贮玉米生产沼气的电能产量约为 25 兆瓦时/年/公顷，光伏发电的电能产量约为 1000 兆瓦时/年/公顷（南部多，北部少），风力发电的电能产量约为 1000 兆瓦时/年/公顷（南部明显较少）。如果使用青贮玉米等可再生原料，在德国每年收割一次的条件下，沼气发电所需的土地约为光伏发电的 40 倍。这两种能源都占用了其他用途所需的土地，因此光伏组件之间的空间和光伏组件覆盖的区域可用作自然保护区，例如昆虫或植物生物多样性区，尤其是贫瘠的草地。因此，迄今为止，德国的区域光伏发电主要集中在水资源匮乏的低产地区。

从可再生原料中提取沼气的产量很低，但该技术在 2000 年代中期已经形成，主要因为当时国家对输入国家电网的电能的补贴很高，而且当时许多地方的谷物价钱低于市场价格。

在畜牧养殖场所中，配套沼气厂在技术上是合理的，主要是因为发酵原料（尿液、粪便和饲料残渣）是现存的，不必作为可再生资源进行种植，也不必用车辆运输到沼气厂，而且在沼气生产过程中，很大一部分能量是从现有残渣中提取的，有机氮的部分被分解和转化，从而浓缩了可以快速被植物吸收利用的氮（铵态氮）。此外，粪污的气味也会大大减少。尽管有这么多的好处，但由于种种原因，这种方法尚未得到广泛应用，因为除了需要在畜牧场投入一定的资金外，还增加了另一支需要进行管理的业务线。

风能的利用并没有完全占用耕地和牧场农业用地（除了风力涡轮机的必要停放位置和必要的道路建设）。其占地面积比例约为5%。然而，与青贮玉米田和光伏发电不同，风力涡轮机在运行过程中会产生技术噪音，可能还会有阴影，这可能会对附近居民造成干扰。因此，风力发电机必须安装在距离最近的居民楼至少几百米远的地方。

3.1 沼气生产

沼气生产过程其实是一个生化过程。为确保微生物始终在最佳环境中生存和起作用，必须对工艺参数进行持续监控，尤其是要将其保持在最佳运行界限内。这里运行参数主要是指运行温度和酸碱度（pH 值）。由于反应器或发酵罐的容积很大，热量会根据基质与环境温度之间的梯度从内向外散失。如果流出的热量大于基质中产生的固有热量，基质温度就会低于最佳温度，从而导致转化率降低。生产效率降低的结果就是沼气生产成本不成比例地大幅增加。虽然粪污，特别是牛粪（干物质含量为 8%至 12%）或鸡粪（干物质含量高达 25%）是良好的发酵基质材料，但粪污含水量过高会导致能量浓度降低和热量损失过多。猪粪的问题更大，即使不把清洁水计算在内，育肥猪粪便的干物质含量也仅约为 5-6%，母猪的粪便干物质含量仅为 2-3%：较低的干物质含量需要较大的沼气池容积，这增加了投资成本，降低了产气效率，导致相对热损失不成比例地增加。

目前沼气生产中需要有两个能源储存库：一个是粪污储存池，在产生后的短时间内就要尽快进入到发酵流程中，以避免产生大气转化损失。产生的沼气需要另外一个储存库将其暂时储存起来，然后后续再进行就地转换。如果热电联产装置（CHP）足够大，每天 12 小时就可以转换完每天产生的沼气。目前，德国经常使用这种方法来根据每日用电量调整发电量（即所谓的“平衡能源”）。这种方法会导致生产商的系统成本增加，但德国电网的价格仍高于增加后的成本。

多余的热能可根据需要用于加热暖气片，主要用于圈舍，如分娩区和仔猪培育区，或者肉鸡和蛋鸡鸡舍的前后，其他也可用于居民、办公场所取暖。

有关粪污产生量及能源生产效率的关键数据可参见 2024 年 3 月 5 日的相关政策简介。

3.2 光伏产电

当阳光被光伏板吸收后通过设备可产生电能。黑暗条件下不能产电，多云的天气会导致电力时断时续，阴天、日出前和傍晚时产电效率会大幅降低，雨天几乎不产电。此外，灰尘也会影响光伏产电效率。由此表明，光伏发电与太阳的出现是强相关的。发电

量和用电量完全一致的情况几乎从未出现过。不过，在使用空调或其他制冷系统的地区和场所，可能会出现发电量和用电量曲线几乎一致的情况。

近年来，光伏组件、变压器和其他系统组件的价格大幅下降。光伏系统的发电成本也在下降，根据不同的地点和平均云量，发电成本可能在 0.3 至 0.5 元/度左右。

在德国，为了最大限度地提高年发电量，当时价格昂贵的光伏组件过去一般都朝南安装。然而，这意味着最高发电量只出现在正午时分。如果光伏组件向西和向东排列，例如在屋脊线位于南北方向的坡型屋顶上安装光伏组件，最大发电量就会减少，但发电时间却会延长。例如，在德国北部纬度 54° 、屋顶坡度为 17° （这是常见的屋顶坡度）的屋顶上，如果朝南，光伏系统的年发电量约为 1,000 千瓦时/千瓦峰值。如果沿屋顶东西走向安装，则年发电量接近 800 千瓦时/千瓦峰值（kwp 是千瓦峰值，它表示的是系统在最理想、最佳工作条件下能够达到的最大功率输出），但从日出到日落的日照时间更长。

目前市场上的光伏组件峰值输出功率约为 440 瓦峰值，长度为 $1.80 * 1.2$ 米（包括安装间距），即 2.16 平方米，约为 200 瓦/平方米。这意味着，以育肥猪舍系统为例，光伏生产效率与动物数量之间的关系约为 200 瓦/头（育肥猪每头占地面积约为 1 平方米）对于奶牛来说，大约为 1-1.5 千瓦/头。

3.3 风能

在德国，总高度低于 50 米、装机容量不超过 250 千瓦的小型风力发电机的审批程序相对简单。然而，这种风力发电机并不常见。原因之一是系统成本相对较高，约为 4000 欧元/千瓦。它比目前常见的总高度约为 250 米、装机容量约为 6-7 兆瓦、成本约为 1,500 欧元/千瓦的风力发电机成本相比高出约 2-3 倍。另一个原因是总高度较低，受到建筑物和植被的影响，靠近地面的风速会大大降低，导致发电量明显降低，不同地方，年发电量约为 600 至 700 千瓦时。但在德国北部低地，总高度约为 250 米、风叶直径约为 160-175 米、装机容量为 6-7 兆瓦的风力发电机的年发电量约为 3,000 千瓦时。

上述提到的小型风力发电机没有太多的使用意义，因为这种发电机产生的电能并入到国家电网后只能得到 0.4 元-0.6 元/度左右的补贴。对于一些厂子来说，这种小型风力发电机只有在以下情况才有使用意义：一种是可以替代更贵的外购电力，另一种是厂家必须证明使用这种小型风力发电机在碳足迹监管方面取得了成功。

3.4 小结

与外购电力相比，独立能源方案和组合能源方案在减少工厂能源消耗方面是可以考虑的。维持工厂运营所需的能源控制不能完全依靠外部，而需要内部掌握主动权。工厂内部能源的生产和消耗必须同时管理。

为此需要注意以下几点：

- 有阳光才有太阳能。在雨天或云层较厚时，发电量会大大减少。而在阴天，由于云的飘动，发电量曲线会在短时间内剧烈波动。根据地点的不同，在日照最少的冬季，总发电量几乎可以忽略不计。因此，在光和热需求最大的冬季，需要一种替代能源。虽然太阳能通常非常便宜，但它的间歇性很强，在冬季几乎不可用。从地区的角度来看，太阳能只是一种补充能源，在阳光充足的时候可以缓解其他能源的压力。
- 如果没有足够的中间缓冲储能设备，比如电池，太阳能发电通常几乎不可能得到合理利用，即使在一年中光照充足的月份也是如此。然而，中间设备会导致电费增加，因为需要第二个资本密集型系统（电池储能）。
- 将那些与时间不是强关联的操作，如粪污分离、饲料研磨和混合、清洗等操作，安排到晴天环境下进行有助于合理利用能源。
- 如前所述，制冷和空调系统非常适合利用太阳能发电，因为用电量和产电量能够互补达到平衡。
- 除了小型风力发电机的发电成本比大型发电机高之外，风力发电其实特别是在夜间和下半年冬季时期进行的。例如，在德国北部，风力发电和太阳能发电的互补性相对较好。过去，风能和太阳能发电只有在全年大约 1%的时间里能同时产生峰值电力。如果此时关闭较昂贵的能源，更好地利用内部能源，那么这两种能源就能通过协调提高利用率。
- 沼气是农场或畜牧场除屋顶太阳能外第二大能源来源。将粪便、尿液、和饲料残渣转化为沼气，再通过热电联产装置转化为电能和热能，这是一个很好的概念，但沼气厂需要大量资金和维护，而且在寒冷冬天环境下需要有专业人员监控发酵设备的温度（通过对所有可能降温的工艺罐和管道进行良好的隔热处理），并保证基质中的能源浓度足够高（理想情况下通过对干物质含量低的泥浆进行预脱水）来维持运转。沼气发酵过程是一个很容易受影响的生化过程，只有技术过硬和专业人员知识足够才能够协调并管理。

3.5 案例

3.5.1 燃气加热

为了满足养殖场中产房区域、仔猪饲养区域、蛋鸡饲养以及鸡、鸭和火鸡育肥过程中的热量需求，还可以使用内部沼气厂产生的沼气取热，或者通过带有热水加热系统的中央供热发电机或加热套管来维持暖气运营。

3.5.2 热泵

利用热电联产装置，将光伏系统或风力发电机提供的电力转化热泵，来满足工厂（包括办公室）的热量需求。外部空气和其他内部热源都可用作热源，例如利用液态粪便（从而减少氨的排放或保持液态粪便的肥料价值）、废水和地热能。

3.5.3 热量回收

从牛奶冷却或内部冷库运行的冷却过程中回收的热量是一个非常重要的能源来源。热回收与制冷压缩机的过程基本相同。

3.5.4 废气热转换

废气热交换器作为通风系统（无压缩机、鼓风机或蒸发器）的一部分，不需要压缩机、鼓风机或蒸发器。在这些系统中，废气（出气）在热交换器中与进风产生逆流或横流而被冷却，进风则被加热。只要定期进行除尘，效率就会很高。这些系统尤其适用于冬季和夜间，可减少圈舍中热量需求量大的区域的热量损失，从而减轻供热系统的负担。当废气冷却到露点以下，氨溶解在水蒸气中，这对减少废气中的灰尘和氨的排放有积极的作用。减排效果在很大程度上取决于温度降到露点以下的快慢。

3.5.5 地热转换

地热转换器作为通风系统（无压缩机、鼓风机或蒸发器）的一部分，可以平均掉每天或者每年度内进气引起的温度波动，如在炎热的中午产生显著的制冷效果，在凉爽的夜晚和冬季产生供热效果。能产生此效果的热交换器需要使用塑料管安装在地下 1.5 至 2 米深处，在较凉爽的地区，也可安装在圈舍地面的下方。

为保证上述设备能够运行，有几个地质条件是必不可少的：

- 有一定含水量的矿质土壤，这样可以保证管道铺设
- 沼泽土地也适用

- 合适的安装深度，安装周围土壤应为湿润或潮湿的，这样可以足够的空间保证能量交换
- 岩石土质不适合
- 干燥土壤（沙质）也不适合.

4 中德能源对比

在选择可能的能源时，除了相关地点的内部要求外，工厂附近的不同能源政策也具有决定性的意义。

表 1- 能源对比

影响因素	情况对比	
	中国	德国
外部供电	可用	可用，但电费价格高，还需要缴纳公共税
外部供电成本	0.6 元 / 度	1.6-2.4 元/度 各地区价格和阶梯用电量有浮动
运营中产生的剩余电能并网	不可操作	可操作，但涉及及其复杂的管理。并网的价格取决于能源的类型和规模。工厂无自用电的情况下，并网价格较高（光伏和风能产生的电价格在 0.4-0.6 元/度，沼气产电价格在 0.9-1-6 元/度之间），各类型有不同输出限制（25 千瓦、30 千瓦、100 千瓦等）
沼气生产	如果基础设施、粪污价值高，沼气发电厂可以在白天利用足够大的热电联产装置进行稳定发电。因此，沼气发电厂的并网电价要高于常规发电厂。	
	不使用可再生原材料。废热往往得不到利用。向当地小型燃气网输送天然气，可	过去，由于补贴很高，即使没有畜牧业，也会大规模使用可再生原料为国家电网发电，热量作为副产品用于小型供热网络。出乎意料

	盈利。早期不发电。 粪污中的清洗水含量高，存在杀菌剂清洗剂	的是粪污厂只获得了限制性许可证。根据要求改造气体提纯、增压装置将气体并入区域燃气网。成本很高，且无剩余热量。
圈舍屋顶安装光伏设备	非常适合厂内有空调和制冷系统使用（使用和产电量相匹配）。在下雨或阴天时利用有限。电池存储会大大增加每千瓦时的成本。灰尘沉积会降低可用输出，建议每年清洁一次。并入国家电网时需要调整参数，会降低效率。	
	目前为止数据较少	目前此系统已经存在多年了，主要是并网拿补贴。由于外购电力的费用比补贴要高很多，所以越来越多人选择自用。
风力发电	很少有私人发电厂，夜间和冬季可以良好运作。 发电成本在很大程度上取决于系统的规模和所在地的风力。 森林稀少的沿海地区 and 山脊地区是首选地点。并网前需要调整电力参数，影响效率。在畜牧业中很少见。	

5 总结

可再生能源是通过土地耕种产生的。农业是唯一相关的产业。畜牧业作为绿色食品、谷物和其他饲料的使用者，会产生废弃物，而这些废弃物中也蕴含着相对较大的可用能源储备。

从操作和管理的角度来看，在固定条件下从电网采购电力或天然气（甚至石油或煤炭）通常是技术和组织层面最简单的方法。

过去，在全球少数不可能进行电网采购的地方，只能使用石油、天然气或煤炭等可移动的运输能源。

如果要从经济或社会政治角度推广可再生能源的使用，就必须将农场的能源生产与业务生产相结合。这必然会导致更高的投资以及更多的人员、培训和管理成本。使用可再生能源是否值得，永远没有一个统一的答案。必须根据具体情况来权衡。

在许多工厂使用光伏发电是合适的。然而，这种供能极不稳定，需要适当地融入到整个方案中。通常情况下，它只能作为一种补充能源。

整合厂内的风能发动机可以在冬季显著增加内部生产的可再生能份额。不过，与太阳能相同也面临一些问题。

沼气是畜牧设施的天然能源。但技术和组织成本相对较高。与光伏发电和风力发电相比，使用粪污的沼气厂仍需要大量的优化和研究工作，特别是对所用基质的预脱水。如果不对内部生产和消耗能源的操作进行日程调整，独立能源方案就不可能实现不受干扰的畜牧业。同时储能设备还会增加资金需求。

养殖场还可实现的一些能源设备，如废气热交换器、冷却系统、热回收等，应与农场自身的能源生产分开考虑。

哪种技术最适合每个地点的哪种操作，目前还没有统一的答案。