

大型沼气工程的关键技术

蔡昌达

杭州能源环境工程有限公司

2016年11月4日



目录

- 一、原料和预处理
- 二、发酵工艺和关键设备
- 三、沼气的净化与高值利用
- 四、工程案例



农业沼气转型升级政策的出台，为发展大型沼气工程带来了发展机遇。

一、原料和预处理

1、资源量

(1) 猪粪尿排放量

存栏母猪日排粪量3.0 kg，排尿量4.0 kg

存栏商品猪日排粪量1.5 kg，排尿量2.0 kg

(2) 牛粪尿排放量

一头成年奶牛日排粪量为25 kg~30 kg，排尿量为30 kg

一头肉牛日排粪量为10 kg~20 kg，排尿量为25 kg

(3) 鸡粪排放量

每羽肉鸡日排粪量为0.05~0.1 kg/羽·d（一批45天）

存栏蛋鸡的日排粪量为0.11 kg/羽·d



一、原料和预处理

2、产气量

畜禽粪便及秸秆产气量

原料	TS /%	产气量		CH ₄ 含量 /%
		m ³ /t 原料	m ³ /t TS	
牛粪	20	50	250	60~65
猪粪	20	60	300	60~65
鸡粪	30	96	350	60~65
秸秆	40	150	380	60~65

3、原料收运

根据发酵原料的**可收集量、收集半径和运输方式**，以及**沼液、沼渣的消纳半径**，来确定沼气工程的建设规模。

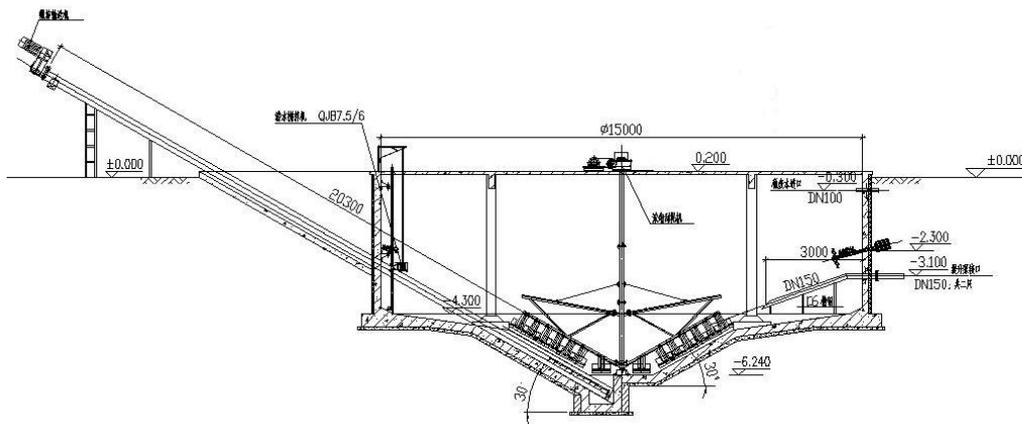
- 猪粪和牛粪的收运半径≤6公里，车运或管道输送。避免在输送沟渠中厌氧损失。
- 鸡粪的收运半径≤12公里，车运。

一、原料和预处理

4、粪污的水解除砂

鸡粪含沙量高，蛋鸡饲料中有8%的贝壳粉和砂砾，这些砂与消化液粘在一起，分离难度大。牛粪、秸秆和其他有机垃圾中也含砂需去除。

通过中温水解工艺除砂可去除85~90%的砂，避免贝壳粉和砂在厌氧罐和管道内沉积、堵塞及磨损设备，保证后续工艺正常运行。



螺旋除砂工艺

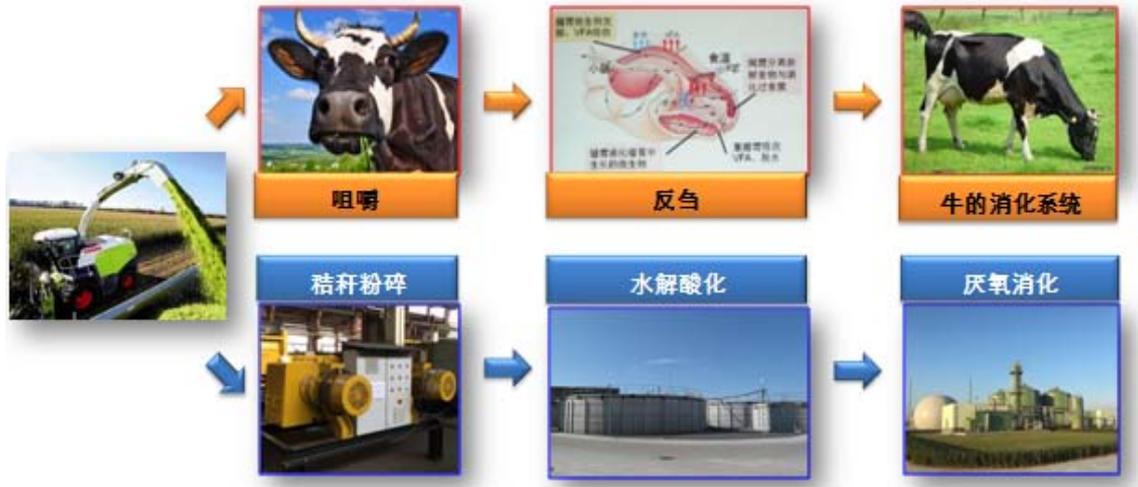
一、原料和预处理

5、 秸秆的预处理技术

动物瘤胃是一个非常高效的沼气发酵系统。将仿瘤胃原理应用于秸秆预处理。

仿生工艺：先对青贮或黄贮秸秆进行二次粉碎，再微曝气中温水解酸化2天，可以缩短厌氧发酵停留时间，提高产气率。水解池中必须每次留有三分之一的水解液作为接种母液。

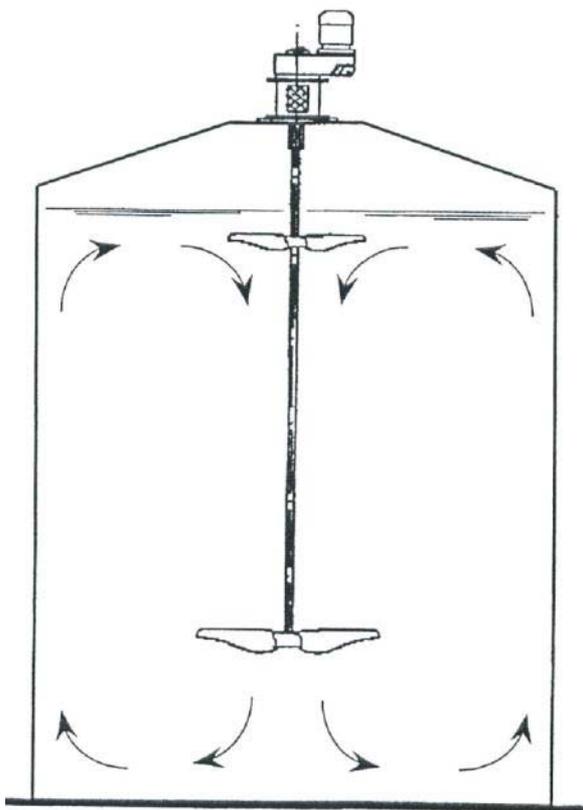
传统的厌氧工艺与瘤胃和仿生工艺比较：



预处理技术	负荷	发酵温度	发酵时间	TS转化率
传统厌氧	<5g/L·d	38℃	>30d	未经青贮处理<30% 经青贮处理>50%
瘤胃系统	>100g/L·d	39℃	<3d	1天为40%-50% 3天为60%-70%
仿生工艺	>5g/L·d	38℃	<15d	>50%

二、发酵工艺和关键设备

1、厌氧发酵工艺



➤ 高浓度CSTR厌氧发酵

发酵罐是整个工程的“心脏”，设计的好坏直接影响沼气工程的可靠性。

- **规模**：根据大型化和集中式沼气工程设计原则，应选择2座以上厌氧罐的串联运行为宜，选择 $3000\text{m}^3\sim 6000\text{m}^3$ 规模为宜；
- **尺寸**：径高比1:1为宜；
- **材质**：采用碳钢防腐结构材质，经济实用，性价比高，使用寿命在20年以上；
- **搅拌**：采用顶部悬挂式低转速的中心搅拌机；
- **发酵浓度**：CSTR工艺TS 8~12%

全混式沼气工程虽然不是最先进的，但是非常成熟可靠。

二、发酵工艺和关键设备

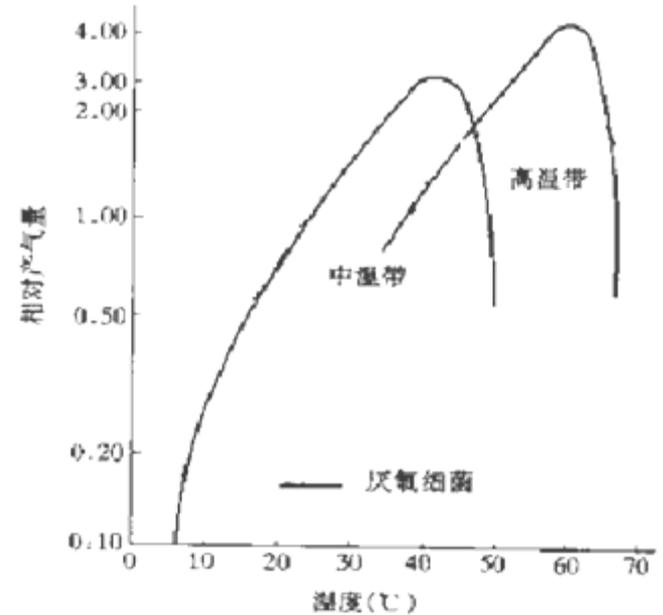
2、发酵温度

厌氧生物反应温度范围很宽（5-83℃）

- 高温厌氧消化：50-55℃
- 中温厌氧消化：35-38℃
- 常温厌氧消化：15-35℃
- 5-15℃：产气很少
- 5℃以下：不产气

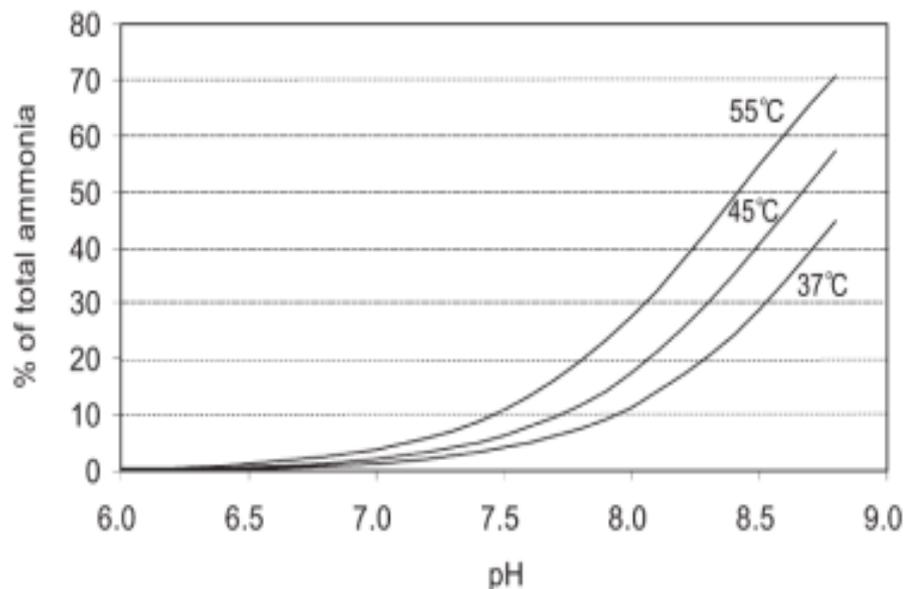
发酵温度每升高10℃，厌氧反应速度可增加1倍

- **发酵温度**是沼气工程不可逾越的基本条件
- **增温保温技术**是沼气工程**成败的关键**



二、发酵工艺和关键设备

3、耐高氨氮技术



✓ 耐高氨氮菌种的驯化

粪污发酵后80%的总氮以氨氮形式存在，采用厌氧菌驯化技术可以使耐氨氮能力从3000 mg/L 提升至6000 mg/L, 适用于处理高氨氮的物料。菌种驯化要循序渐进。

按照进料单位**TS浓度**、**发酵温度**来控制氨氮浓度。

单一鸡粪厌氧发酵过程控制：

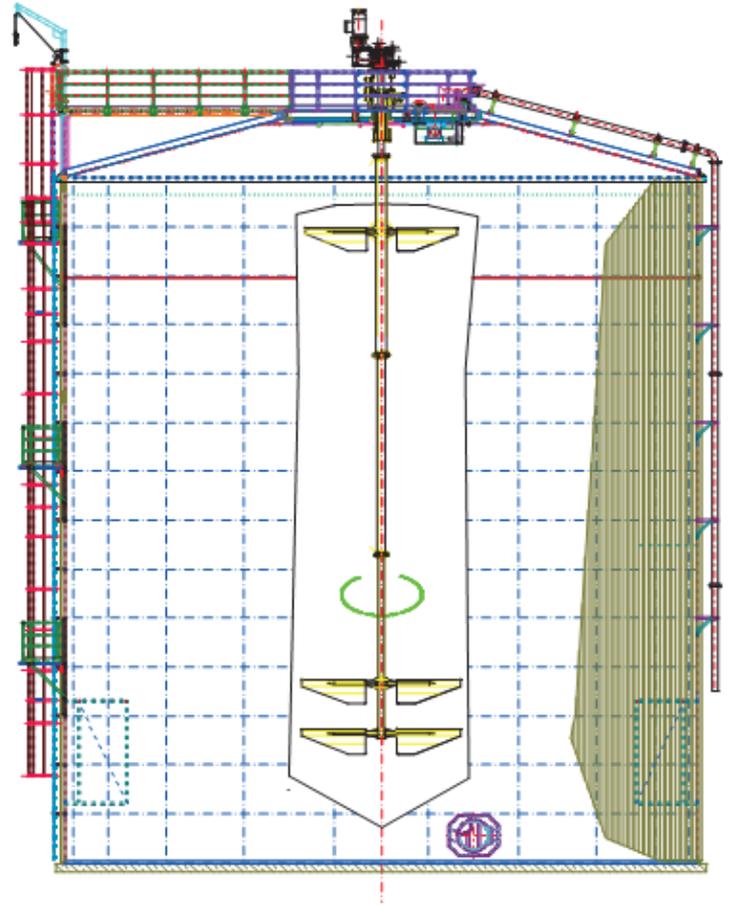
- 38°C中温时输入最大总氮量<6.6g/L，鸡粪TS<10%；
- 55°C高温时输入最大总氮量<3.0g/L，鸡粪TS<4%；

高氨氮物料厌氧发酵不能用沼液回流稀释原料

二、发酵工艺和关键设备

4、搅拌技术

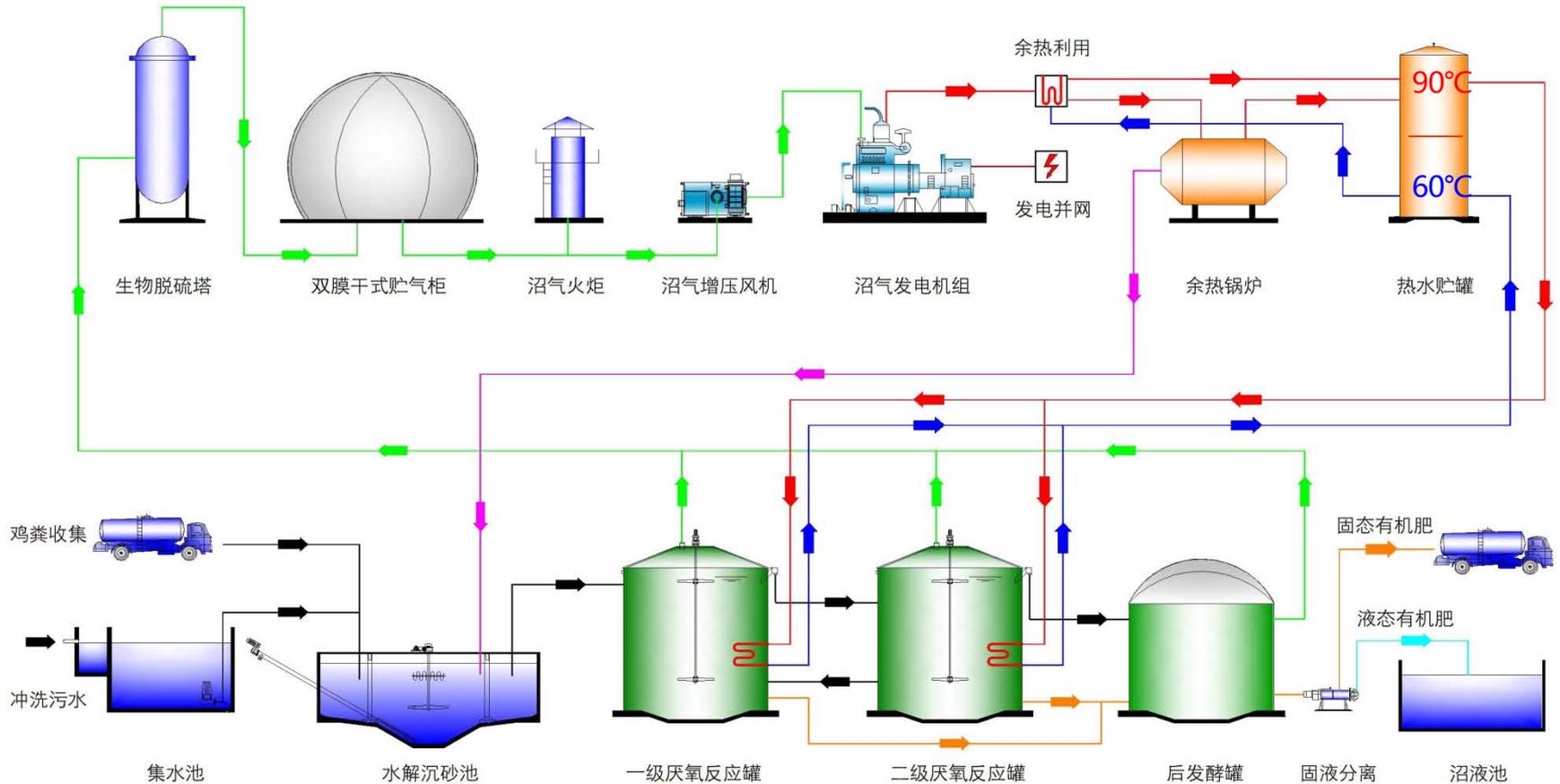
- ✓ 低转速**中心机械搅拌**，单位罐容装机 $<4\text{ W/m}^3$ ，转速16~18转/分钟
- 比常规搅拌机节能60%；
- 保证物料充分混合搅拌；
- 工艺成熟，多用在大型项目中；
- 双层或三层桨叶设计，并设有破壳装置，有效防止罐内浮渣及结壳。
- 新型套管式水密封技术解决了机械密封易磨损、易渗漏和维修更换困难的问题，性能可靠，密封装置，免维护。



二、发酵工艺和关键设备

5、热电联产

➤ 热电联产工艺流程



二、发酵工艺和关键设备

5、热电联产

➤ 热电联产发电机组

- 发电效率为38%，余热利用效率为42%。冬季发电机余热增温，38°C中温发酵，无需外加热源。以北京为例：

TS 6%：冬季余热100%用于厌氧罐增温；

TS 8%：冬季余热80%用于厌氧罐增温；

TS 10%：冬季余热60%用于厌氧罐增温；

TS 12%：冬季余热40%用于厌氧罐增温。

多余热量还可用于厂区供暖。

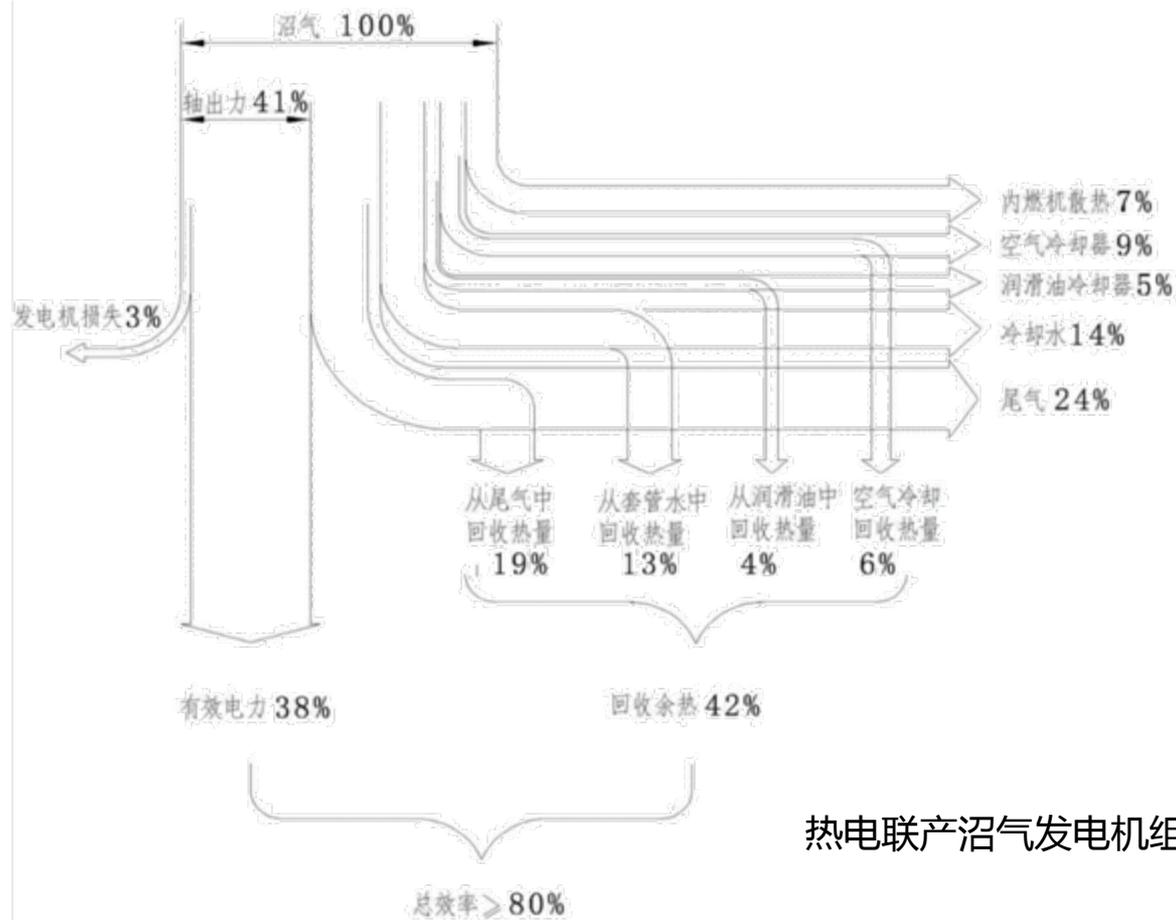
- 夏季利用余热烘干沼渣；
- 沼液、沼渣全部用于有机肥料。



二、发酵工艺和关键设备

5、热电联产

➤ 热电联产能量平衡



热电联产沼气发电机组能量平衡图

二、发酵工艺和关键设备

5、热电联产

➤ 增温技术

✓ 厌氧罐增温

- 罐内增温
- 罐外增温
- 换热器增温

◆ 罐体增温只有在搅拌良好运作的情况下，换热才是有效的



二、发酵工艺和关键设备

5、热电联产

➤ 保温技术

✓ 常用保温材料

名称	导热系数 (W/m·K)	密度 (kg/m ³)	常用厚度 (cm)
岩棉	0.029~0.046	50~200	10~15
泡沫板	0.030	22.8	5~10
聚氨酯	0.035	40~60	3~6
高密度挤塑板	0.028	40~45	3~6

- 必须根据不同的地理位置来选用和设计保温厚度；
- 厌氧罐底板的保温十分重要，是必须做的。

二、发酵工艺和关键设备

5、热电联产

➤ 保温技术

✓ 管道保温

管道保温常采用预制聚四氟乙烯材料保温，常用厚度30~50 mm；也可采用聚氨酯材料保温，常用厚度50 mm。

✓ 泵、阀门等易冻设备必须安装在室内有暖气的操作间。

✓ 注意事项：

- 保温材料必须选用**阻燃型**，阻燃材料必须过了稳定期后才能用；
- 保温板的安装宜采用**两层错缝安装**方式；
- 保温层外侧应有严格的**防水防潮防护板**，确保良好的保温性能。
- 必须严格按照相关**保温施工标准和规范**作业。

三、沼气的净化与高值利用

1、沼气脱硫



➤ 湿式酸法脱硫

沼气中 H_2S 含量可高达6,000 ppm，采用湿式酸法脱硫工艺，可使沼气中的 H_2S 含量降至100 ppm以下，脱硫效率98%。脱硫成本0.015元/ m^3 ，比传统干式化学脱硫降低70%。

该工艺的优点：

- 脱硫效率高、成本低；
- 处理量大，操作简单；
- 不必添加化学药剂，无二次污染；
- 能耗低，脱硫效率稳定
- **由于空气的引入，湿式酸法脱硫更适用于沼气热电联产项目。**

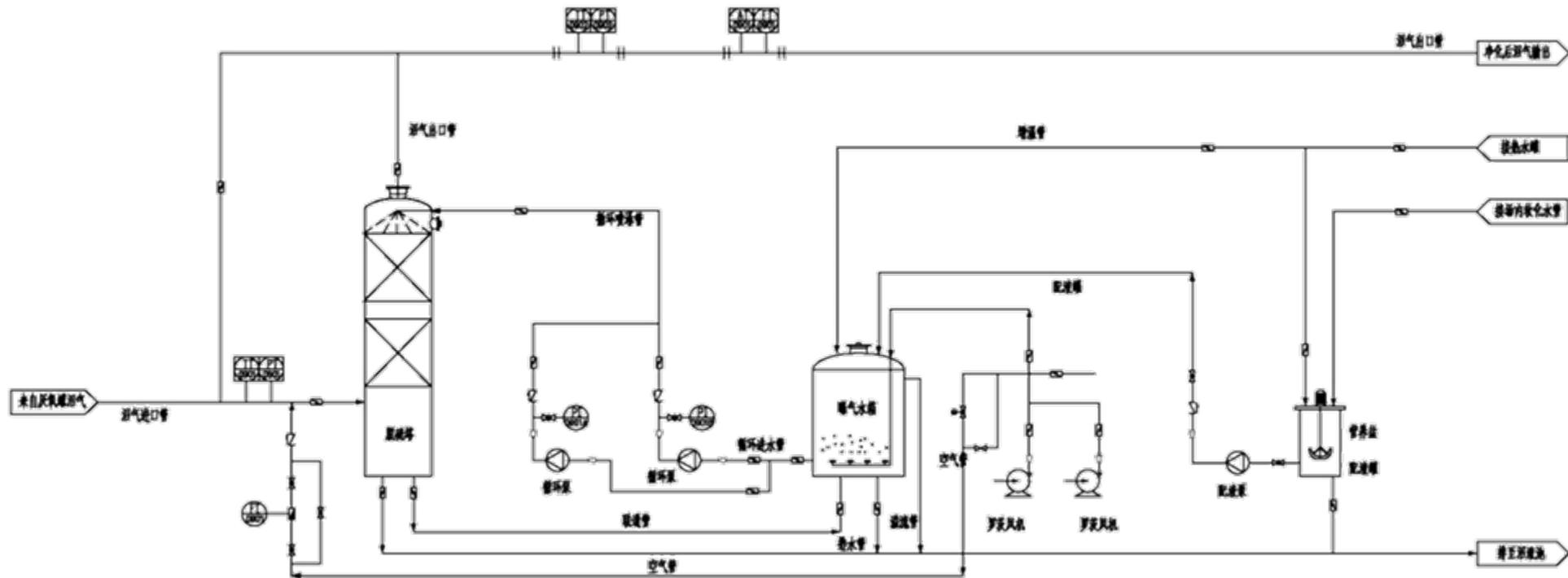
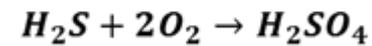
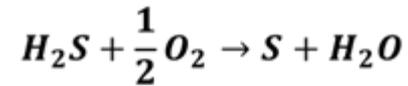
三、沼气的净化与高值利用

1、沼气脱硫

➤ 湿式酸法脱硫

✓ 湿式酸法脱硫工艺流程：

主要反应：



三、沼气的净化与高值利用

1、沼气脱硫



➤ 湿式碱法脱硫

用碱液吸收 H_2S ，在 O_2 和催化剂的作用下，再生为碱、单质硫和水。

湿式碱法脱硫工艺，可使沼气中的 H_2S 含量从6000 ppm降至100 ppm以下。

该工艺的优点：

- 脱硫效率高（ $\geq 98\%$ ）、对沼气气质适应性好；自动化程度高，操作管理方便，运行稳定；
- 循环液可循环使用，药剂用量少，动力消耗低，总运行成本低（ < 0.03 元/ Nm^3 沼气）；
- 脱硫系统不会使空气进入沼气中，**对沼气品质影响小，更适用于沼气提纯项目，用于生物天然气。**

三、沼气的净化与高值利用

2、沼气提纯生物天然气

➤ 常用工艺比较

常用纯化工艺：加压水洗、膜分离、变压吸附（PSA）、乙醇胺吸收（MEA）

纯化技术	水洗	膜分离	变压吸附 PSA	乙醇胺吸收 MEA
预处理	否	是	是	是
操作弹性（%）	50-100%	50-100%	±10%	50-100%
甲烷回收率（%）	> 97%	> 97%	> 95%	> 98%
操作压力（bar）	7-10	17	4-7	20
成本（元/Nm ³ ）	0.22	0.25	0.20	0.34
热量消耗（℃）	否	否	否	是

三、沼气的净化与高值利用

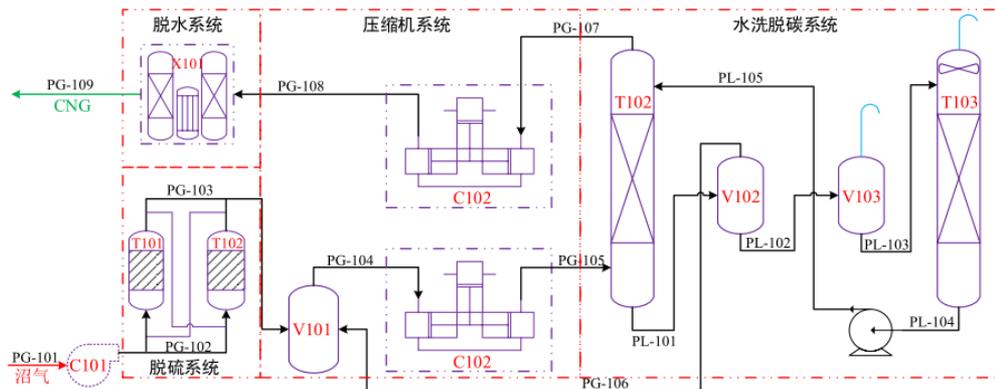
2、沼气提纯生物天然气

➤ 加压水洗提纯技术

原理：利用水在加压条件下对 CO_2 和 CH_4 的溶解度不同而实现沼气脱碳；

效率：提纯后甲烷浓度可达97%以上，
甲烷回收率大于97%；

特点：操作简单，溶剂为水，可再生循环使用，无二次污染。



三、沼气的净化与高值利用

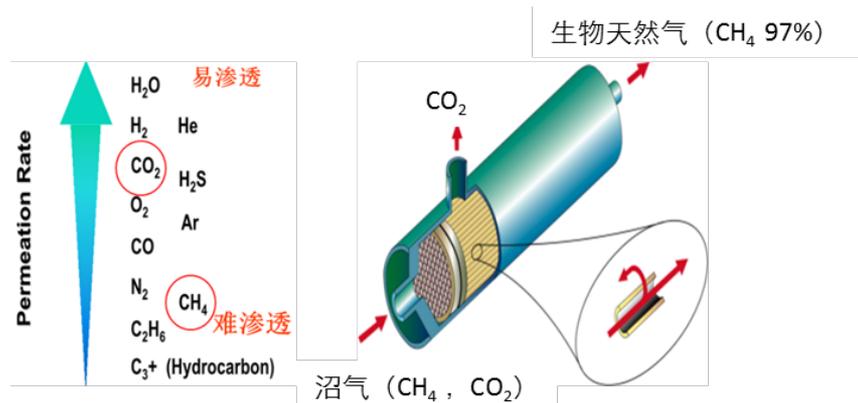
2、沼气提纯生物天然气

➤ 膜提纯技术

原理：利用不同种类气体在膜中具有不同的溶解度和扩散系数，导致相对渗透速率不同，从而达到分离的目的；

效率：提纯后甲烷浓度可达97%以上，
甲烷回收率：97%（两级膜）
99%（三级膜）

特点：集装箱式设备，安装方便，运行成本低。



三、沼气的净化与高值利用

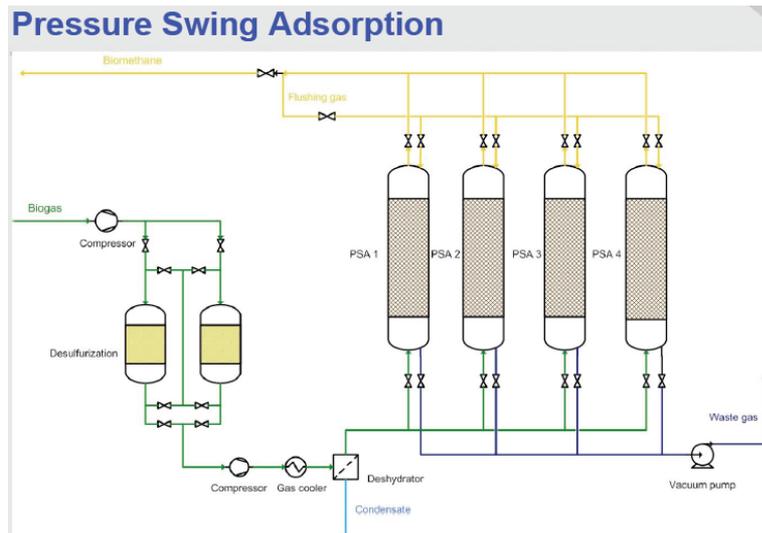
2、沼气提纯生物天然气

➤ 变压吸附

原理：利用吸附剂对气体混合物中各组分的吸附能力随着压力的变化而呈现差异的特性，对混合气中的不同气体组分进行选择性吸附，实现不同气体分离的装置；

效率：提纯后甲烷浓度可达**96%**，甲烷回收率大于**95%**；

特点：装置投资低，运行成本低，对原料气气质要求低。



三、沼气的净化与高值利用

3、沼液、沼渣的利用

➤ 沼液膜提纯



沼液通过固液分离系统、超滤系统、纳滤系统浓缩处理后，沼液中有机物及磷酸盐等被截留浓缩，制成高端叶面肥，喷洒植物叶片，更容易被植物吸收、转化。浓缩过程产生的清液可用作中水回用于养殖场冲洗用水或经简单生化处理后达标排放。



三、沼气的净化与高值利用

3、沼液、沼渣的利用

- 沼液用于各种农作物、果园、饲料地的优质液态有机肥料；
- 沼液用于水培营养液；将氨态氮转化成硝态氮后再使用；
- 沼渣用于蔬菜大棚土壤修复剂、育秧基质；
- 沼渣用于生产固态有机复合肥。



直接喷施



育秧基质



无土栽培



固体肥料

四、工程案例

山东民和牧业3MW沼气发电工程

山东省蓬莱市
2008

国内首个完成CDM交易的农业沼气发电项目
世界银行项目

处理能力：	鸡粪 300吨/天，污水500吨/天
沼气产量：	30,000立方米/天
发电装机容量：	3兆瓦
沼气发电量：	60,000千瓦时/天
减排温室气体：	每年70,000吨CO ₂ 当量



山东民和牧业（二期）日产70,000 m³沼气提纯车用燃气工程

山东省蓬莱市
2015

2015国家发改委/农业部生物天然气试点项目

处理能力：	鸡粪 700吨/天，污水800吨/天
沼气产量：	70,000立方米/天
生物天然气产量：	42,000立方米/天
减排温室气体：	每年266,000吨CO ₂ 当量



中广核新疆呼图壁种牛场日产36,600m³沼气提纯工程

新疆自治区呼图壁县
2015

处理能力：

牛粪污1133吨/天，集中收集

沼气产量：

36,600立方米/天

生物天然气产量：

22,200立方米/天

2015国家发改委/农业部生物天然气试点项目 减排温室气体：

每年144,000吨CO₂当量



中广核新疆呼图壁种牛场日产36,600m³沼气提纯工程



江苏大丰粪污处理中心日产20,000m³沼气提纯工程

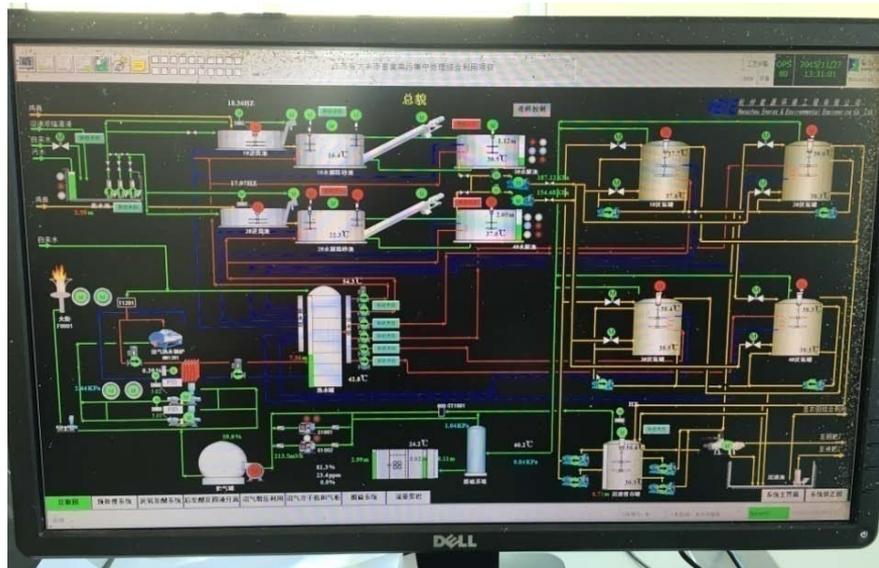
江苏省大丰市
2014

2014财政部/农业部畜禽粪污处理试点项目

处理能力：	鸡粪220吨/天（集中收集）
沼气产量：	20,000立方米/天
生物天然气产量：	12,000立方米/天
减排温室气体：	每年80,000吨CO ₂ 当量



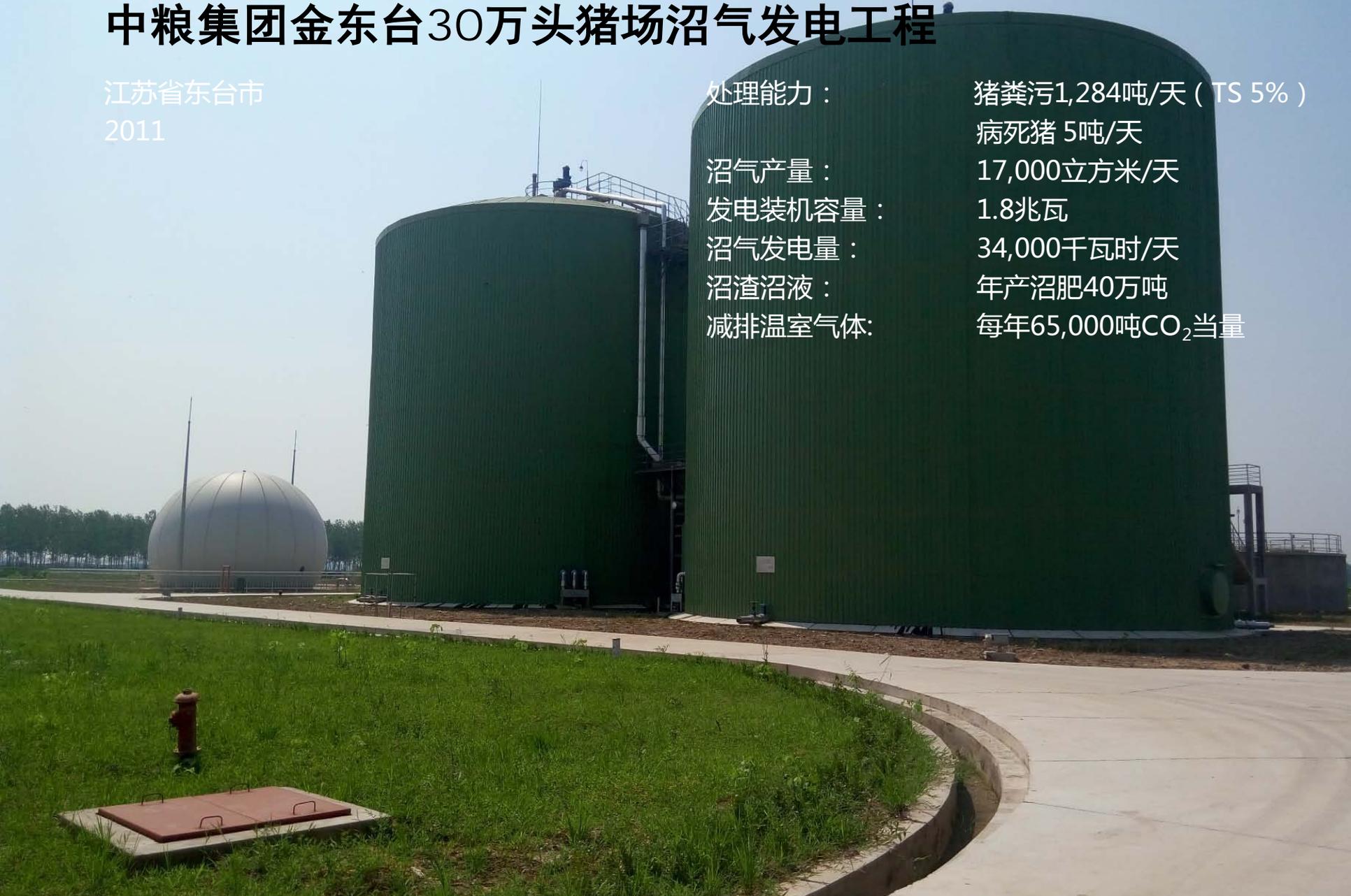
江苏大丰粪污处理中心日产20,000m³沼气提纯工程



中粮集团金东台30万头猪场沼气发电工程

江苏省东台市
2011

处理能力：	猪粪污1,284吨/天 (TS 5%)
	病死猪 5吨/天
沼气产量：	17,000立方米/天
发电装机容量：	1.8兆瓦
沼气发电量：	34,000千瓦时/天
沼渣沼液：	年产沼肥40万吨
减排温室气体：	每年65,000吨CO ₂ 当量



北京德青源2MW沼气发电工程

北京市延庆县张山营镇
2007

农业部大型沼气发电示范项目
UNDP/GEF示范项目

处理能力：	鸡粪212吨/天 (TS 30%)
沼气产量：	20,000立方米/天
发电装机容量：	2兆瓦
沼气发电量：	40,000千瓦时/天
沼渣沼液：	年产沼肥18万吨
减排温室气体：	每年80,000吨CO ₂ 当量



内蒙古蒙牛澳亚牧场1MW沼气发电工程

内蒙古和林格尔澳亚牧场

2007

农业部大型沼气发电示范项目

联合国开发计划署UNDP/全球环境基金GEF

大型沼气发电技术示范工程

处理能力：牛粪280吨/天，TS 18%

沼气产量：10,000立方米/天

发电机装机容量：1兆瓦

沼气发电量：20,000千瓦时/天

年产有机肥：复合肥8,000吨/天，沼液18万吨/年

减排温室气体：每年35,000吨CO₂当量



河北裕丰京安猪场日产18,000m³沼气发电工程

河北省安平县
2014

2014财政部/农业部畜禽粪污处理试点项目

处理能力：	猪粪污2500吨/天
沼气产量：	18,000立方米/天
沼气发电量：	36,000千瓦时/天
减排温室气体：	每年72,000吨CO ₂ 当量



常州200吨/天餐厨垃圾处理工程

江苏省常州市
2015

处理能力：
沼气产量：
减排温室气体：

餐厨垃圾200吨/天
15,000立方米/天
每年60,000吨CO₂当量



青岛十方日处理200吨餐厨垃圾车用生物天然气工程

山东省青岛市
2013

处理能力：	餐厨垃圾200吨/天
生物天然气产量：	15,000 立方米/天
车用燃气产量：	9,000 立方米/天
减排温室气体：	每年 60,000吨CO ₂ 当量



台湾石安牧场沼气发电工程

台湾省
2014

处理能力： 鸡粪80吨/天 (TS 20%)
沼气产量： 8,000立方米/天
发电装机容量： 1 MW
沼气发电量： 16,000千瓦时/天



台湾石安牧场沼气发电工程



台湾康全养牛场沼气发电工程

台湾省
2012

处理能力：	养牛场粪污1800吨/天 (TS 5%)
沼气产量：	4,800立方米/天
发电装机容量：	380 kW
沼气发电量：	9,600千瓦时/天



谢谢大家，欢迎指正！

杭州能源环境工程有限公司 
Hangzhou Energy & Environmental Engineering Co., Ltd.

Tel: 86 0571 8604 1861

Fax: 86 0571 8603 1060

Email: heee-gm@163.com

www.heee-biogas.com