

德國斯圖加特2017生質沼氣研習參訪 (International Biogas Study Tour) 公差報告

核能研究所 化學組

2017-09-08



工廠	沼氣計畫開始年度	簡介
1 Erdgas Südwest	2012	供應德國西南部195個區域，63,000戶住家之天然氣與能源，擁有6座天然氣加氣站，一年可傳輸約35億千瓦小時的氣體。
2 Bioenergiehof Weitenau	2004	起初目標為氣體生產，並將氣體透過內燃機燃燒來產電與熱，近年來由於政府制度改變，開始建造CNG天然氣加氣站。
3 Hagmann Sauter	2011	2006年發展出發酵槽內無機械式之攪拌方式，全球有43座沼氣工廠，一年可生產75 kW至4 MW不等的發電量。
4 Maier Bioenergie	1999	2002年規模擴大至噸級廠，並研發出高效率槳式攪拌器，利用氣體驅動引擎產電，在2016年額外儲存約500 kW電力。



	工廠	沼氣計畫開始年度	簡介
5	Land- und Forstwirtschaft	2006	回收家庭廢棄物與廚餘，利用廚餘進行厭氧發酵產沼氣。公共垃圾場、自製堆肥、木片烘乾加工、製作再生PET塑膠
6	Hotel Weißner Hof	1996	位於慕尼黑的一間飯店，由於腹地廣大，因此設有沼氣工廠、以及農田與農場。
7	Rosenheimer Erdenwerk	2011	年需求量：草、木頭約6千噸(15歐元/噸)、馬糞約4千噸(運費：10歐元/噸)、穀物約1千噸(150歐元/噸)
	AVS Aggregatebau	-	製作發電機、熱電引擎、照明系統與設備為主。提供民間、軍事消防之固定式與移動式能源。



發酵原料

玉米桿、黑麥、草、廚餘、牛糞/豬糞/馬糞



前處理方式

進料方式

工廠	原料	進料比例
1	玉米桿(75%)、黑麥(15%)、草(10%)	日進料90噸(固體原料佔30~50%)
2	玉米桿(75%)、馬糞(15%)	-
3	玉米桿(70%)、草、冬麥、牛豬糞	一次發酵固+液 19,000噸
4	草、黑麥、牛糞	固體原料佔50~60%
5	生物垃圾、廚餘、牛糞	固體原料佔25%
6	玉米桿、廚餘、草、牛豬糞	廚餘：糞便汙泥 = 1：6
7	草、穀物、馬糞	-

發酵原料

1. 切割機粉碎成小片段/25 mm/5 mm
2. 廚餘經切割後固液分離
3. 廚餘靜置8小時後以50 mm-Hg、50 ~ 70 °C加熱一小時

前處理方式



進料方式



發酵原料

1. **地下管線輸送** -原料倒入氣密容器中，再透過地底管線運輸至發酵槽中
2. **螺旋切割壓縮機** -將原料切碎輸送進入發酵
3. **推土機人工進料** -透過推土機將原料以一定之速率推入發酵槽中進行發酵

前處理方式



進料方式

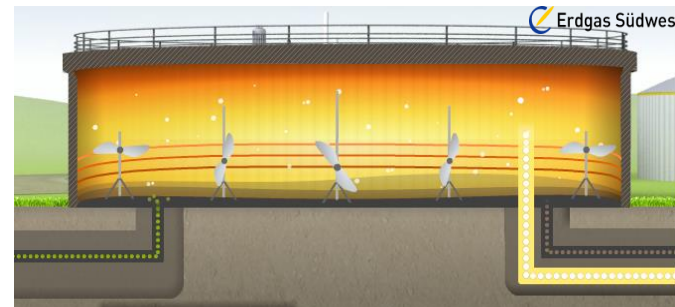


原料攪拌混和方式

厭氧發酵

氣體產量

工廠	攪拌方式	攪拌時間
1	連續式循環攪拌	必要時啟動
2	回流馬達混和	10分鐘
3	水循環噴灑	運轉1分鐘，休息間隔10~60秒

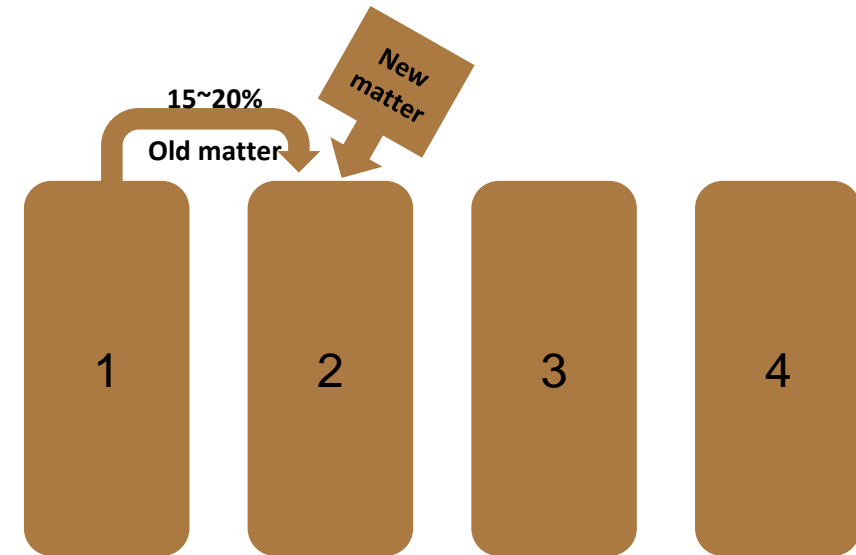
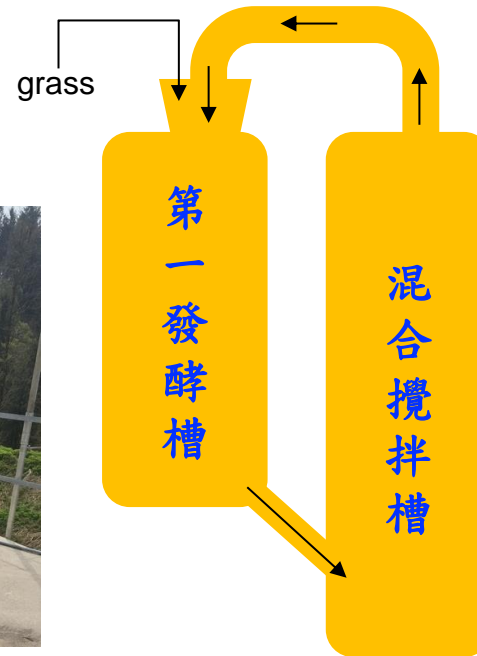


原料攪拌混和方式

厭氧發酵

氣體產量

工廠	攪拌方式	攪拌時間
4、5	發酵槽側邊由馬達帶動攪拌混合	必要時啟動
6	循環攪拌	依原料性質決定
7	內部循環	一天40次、一次七分鐘 運轉兩週，靜置兩週



原料攪拌混和方式

厭氧發酵

氣體產量

工廠	第一次發酵	第二次發酵	發酵完畢	總發酵天數
1	43 °C 發酵60天	室溫	固體量剩約10%	150天
3	40 °C	室溫	固渣剩約18 ~ 20%	150~220天
4	55 °C (500m ³)	50 °C (500m ³)	固渣含水率約30~35%	-
5	70 °C預混合 (700m ³)	純沼液發酵 (700m ³)	-	83天
6	室溫 (450m ³)	室溫 (450m ³)	-	45天
7	共4個發酵槽，每個槽體皆為1,000 m ³ ，壓力4 mbar，pH=7.5			112天



原料攪拌混和方式

厭氧發酵

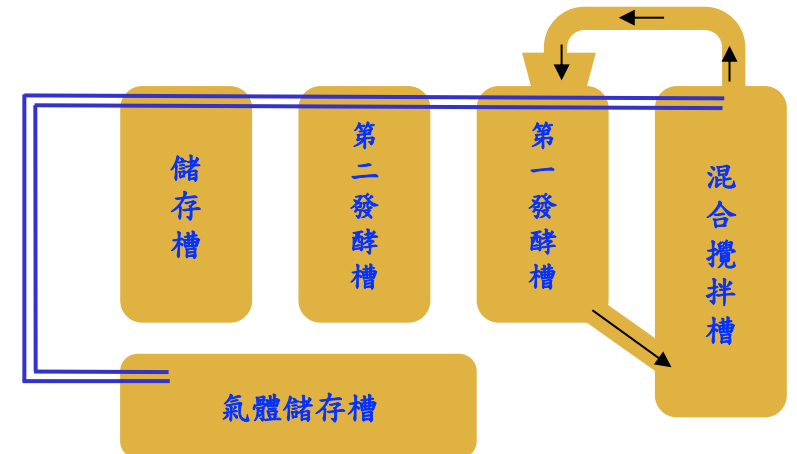
氣體產量

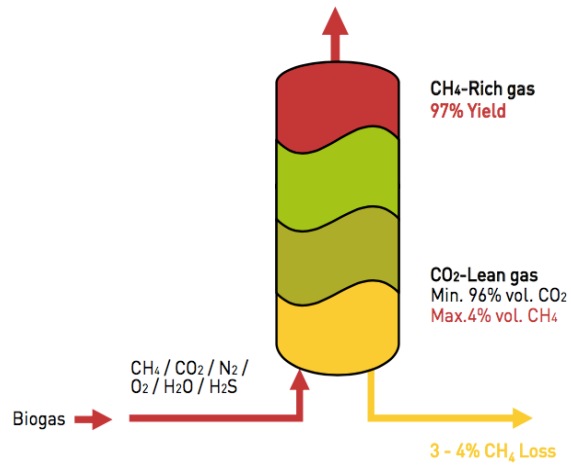
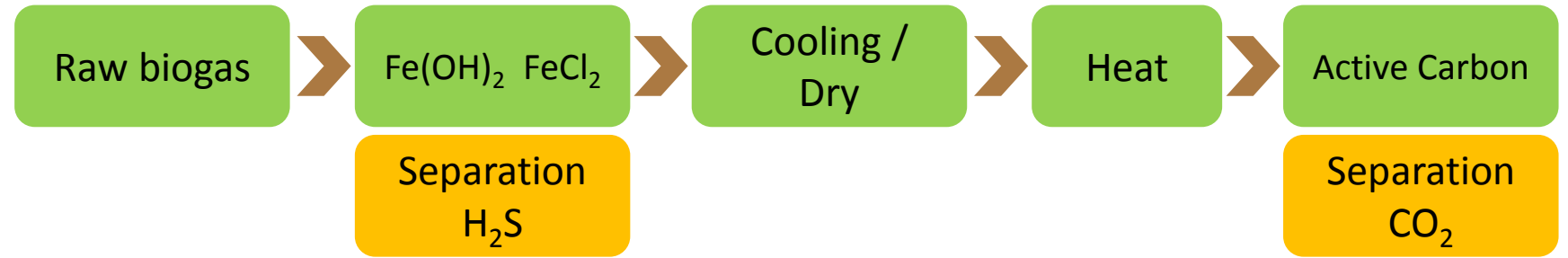
1. 此部分氣體未經純化，為原生質沼氣。
2. 氣體儲存槽體大小：100 m³、900 m³、2,000 m³不等

工廠	氣體產量	補充
1	1,200 m ³ /h	CH ₄ 約佔50~55%、CO ₂ 約佔40~45%
3	500 m ³ /h	一年約生產1~3百萬噸
6	10 m ³ /d	槽體安裝在地下，因此沼氣皆透過地下平行管線進行輸送。
7	900 m ³ /噸	草與木頭約100~120 m ³ 、穀物約600 m ³ 、馬糞約90 m ³



About 500 m³/h > 12,000 m³/day > 4,380,000 m³/a





PSA變壓吸附分離CO₂

- 活性炭吸附
- 真空幫浦負壓回收



Membrane Contact Method

- 分離CO₂、H₂S



沼氣純化

沼氣應用

沼渣處理

1. 轉換成熱能、電能與天然氣體供燃料使用
2. CNG(高壓甲烷)生質氣體，120 kg/d可供6台車使用
3. 熱能→烘乾原料、渣料與木片，保護與維持引擎於衡溫下運轉，發酵槽保溫
4. NH_3 轉換成 NH_4Cl 時，可製作出高品質礦物肥料作為農地施肥用

工廠	產電量
2	500 kW/h (37億kW/a)，可供1千戶住宅使用
3	10萬kW/d (36億kW/a)，一個月可帶來7000歐元之收入
5	170萬kW/a，20%自用，80%以40.8 cent/kW販售
6	80 kW/次，供自家飯店使用
7	300萬kW/a，1~1.5%供自家工廠設備使用



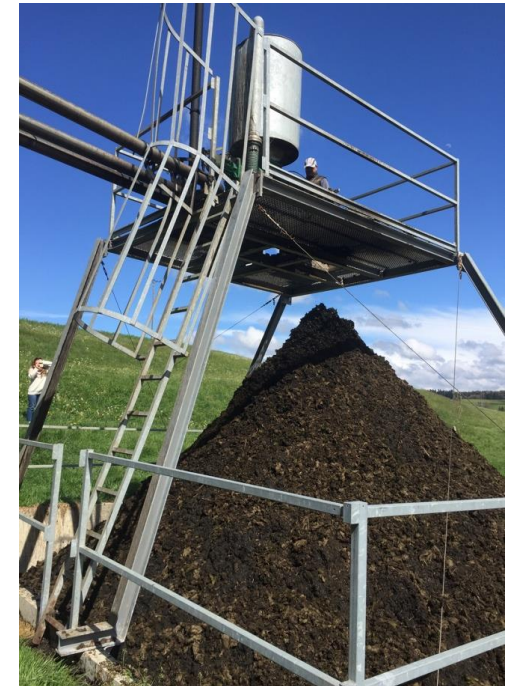
沼氣純化

沼氣應用

沼渣處理

1. 沼渣固液分離，液體回收再利用
2. 大部分工廠透過特定菌種來進行生物降解，可使沼渣作為農業堆肥用

工廠	沼渣處理
2	digestate-vacuum-vaporizer技術，將渣料以pH2.5、50°C 煮沸，可移除60%的水



	1. Erdgas Südwest	2. Bioenergiehof Weitenau	3. Hagmann Sauter	4. Maier Bioenergie	5. Land- und Forstwirtschaft	6. Hotel Weißner Hof	7. Rosenheimer Erdenwerk
原料	玉米、黑麥、草	玉米、馬糞	玉米、牛豬排遺、冬麥等	草、牛糞、黑麥	生物垃圾、牛糞、廚餘	玉米、牛豬排遺、廚餘、草	草、木頭、馬糞、穀物
處理、攪拌方式	連續式循環攪拌	回流混合10分鐘	切割成5 mm 液體噴灑循環混合	經粉碎機切割成小片段	經粉碎機切割成25~30 mm	廚餘：污泥=1:6	攪拌為40次/天、七分/次，運轉兩週後靜置兩週
發酵溫度	43°C	室溫	40°C	55°C、50°C	70°C預先混合	室溫	50°C 壓力 4 mbar， pH=7.5
發酵時間	一個發酵槽60天 整體150天	-	150~220天	-	83天	45天	一個發酵槽28天 整體112天
沼氣產量	1,200 m ³ /h。 660 m ³ /h CH ₄ 540 m ³ /h CO ₂	一天可生產120 kg之 CNG生質甲烷	500 m ³ /h	-	4,000 m ³ 儲存槽 可存一年沼氣 產量	10 m ³ /天	900 m ³ /噸
沼氣純化	Fe(OH) ₂ 去除H ₂ S PSA去除CO ₂	membrane contact method去除CO ₂ 及H ₂ S	Fe(OH) ₂ 去除H ₂ S 活性碳去除CO ₂	Fe(Cl) ₂ 去除H ₂ S 真空加熱去除CO ₂	Fe(Cl) ₂ 去除H ₂ S	-	活性碳去除CO ₂ 及H ₂ O
應用	熱能、電能與天然氣體，沼渣經生物降解後作為農業推肥	熱能、電能與天然氣體加氣站，沼渣經生物降解後作為推肥	熱能、電能	熱能、電能、礦物肥料	熱能、電能	熱能、電能	熱能、電能 沼渣加熱消毒後 作為農業推肥
投資金額	400萬歐元	-	400萬歐元	-	-	12萬歐元	180萬歐元

- 德國沼氣工廠選用的料源都非常穩定充足(如玉米桿)，除了農業廢棄物外，亦有工廠選用廚餘作為發酵基質，或是混摻其他植物、動物排泄物進行共發酵。然而大部分料源僅透過收割機進行切割，纖維成分未被破壞完全，造成厭氧發酵時間拉長，若能搭配前處理解聚技術來破壞木質纖維素之組成，勢必能有利於纖維素之分解，縮短發酵時間。
- 槽體龐大，槽體建置於地面上或地面下。依據原料基質不同之性質區分，參訪後認為，若原料中固體含量較高時，建議槽體建置地面上，一則易於觀察發酵過程，二則方便結束後之槽體清洗。
- 發酵槽攪拌方式非常多種(有馬達帶動攪拌、噴灑、循環攪拌等)，目的均是為了增加原料基質與污泥接觸的機會，提升沼氣產量，因此管線安置與引擎維護須格外留意。
- 德國於2011日本311大地震後關閉半數核電廠，政府積極推動能源轉型以求替帶核能發電，沼氣發電佔德國發電量30%，其境內近上萬間沼氣工廠，一年約儲存4,018百萬瓦的電力供應800萬家戶。
- 德國沼氣工廠不論規模大小，都能穩定運轉生產沼氣。從上游農畜牧業或生活廢棄物到下游沼氣發電或天然氣等應用，整合的非常完善。有些工廠甚至有自己的農場與畜牧場，不僅原料來源穩定也節省運輸成本，農作物與牲畜還能販售其他攤商。而其沼氣應用於發電、產熱以及天然氣的供應等，且高度重視資源再利用與環境保護。因此沼氣工廠大多都自給自足，不需向外購買能源，還能將能源提供給其他有需求者，藉此維護與提升設備運轉流暢度，使工廠規模與效益逐年增長。

- 德國生質能源發展規模龐大，由其生質沼氣發展現況與趨勢，到跨業合作與商業化之發展運作模式，其中上游到下游的整合體制值得台灣借鏡參考，有助於建立相關生質沼氣產業發展技術。
- 台灣農、畜產業與餐飲業相當發達，一年所產生之農業廢棄物、排泄物與廚餘等數量非常可觀，對比德國善加利用自有資源來發展沼氣生質能源，可借鏡參考並整合利用土地資源，除了可以減少廢棄物對於環境所造成之污染與衝擊之外，還能讓國人了解發展生質能源產業的效益與應用。
- 歐洲的生質能源發展多年，尤其德國生質沼氣工廠遍佈各地，與不同產業間技術合作相當密切，配合政府政策引導與資金協助，讓德國沼氣工廠設備與後續應用效益不斷提升、進步與擴大，相較之下目前台灣政府對於生質能源相關之政策並未明確規範，因此盼能促使相關規範之訂定、異業結合與資源整合，讓極具發展潛力之生質能源產業也能在台灣展現一定的成效。