

沼氣利用技術及實例

一、摘要

畜牧廢水經厭氣醱酵處理後，產生大量沼氣，而農家所產生之沼氣大部分未利用直接排放，若將此能源規劃善加利用，合乎環保及達政府減排溫室氣體政策。畜試所在沼氣之利用研究方面，曾開發在家庭用沼氣爐具、熱水器，汽機車等機具用動力燃料應用於剪草機、抽水機、小型搬運車、汽車、機車及畜牧生產用之仔豬沼氣保溫燈、仔豬沼氣保溫板、火焰消毒器等用途。另外，對於沼氣純化、沼氣壓縮及發電等亦多所研究及應用。本文為簡要介紹本所歷年來沼氣利用研究成果，在此能源高漲之時代，提供此一潔淨能源使用之參考，節省牧場能源利用之開銷，並減少溫室氣體之排放。

關鍵詞：沼氣、厭氣醱酵、能源、利用

二、前言

過去台灣養豬飼養規模小，將糞養過程產生之豬糞尿供作肥料還原於農地。由於時代變遷，農家小規模飼養之副業型態逐漸淘汰轉而變成為大規模飼養型態。自民國 79 年起，鑒於豬排泄物的污染嚴重，農政單位建立以畜試所及其附屬分所、場為主之輔導系統，輔導全省養豬戶設置三段式廢水處理設施，在豬糞尿處理上，大致均採用畜試所三段式豬糞尿處理方式，亦即固液分離後，經分離後之固形物以堆肥化處理，液體部分則約經 10 天之水力停留時間之厭氣醱酵法處理後，再經活性污泥法處理後排放，目前飼養規模 200 頭以上規模者，近 95% 有此處理設施。起初畜牧業者處理畜糞尿是使畜牧業能在兼顧環保要求下，繼續正常經營為目的，生產沼氣能源為附帶產物，但是三段式廢水處理流程之厭氣醱酵處理過程中所產生的沼氣含甲烷、二氧化碳及微量的硫化氫及水氣，而甲烷為生質能之一。根據國際能源總署 (International Energy Agency) 的統計資料 (IEA, 2003) 顯示，目前生質能為全球第四大能源，僅次於石油、煤及天然氣，供應了全球約 11% 的初級能源需求，同時也是目前最廣泛使用的一種再生能源，約佔世界所有再生能源應用的 80%。

根據氣候變遷跨國委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) 報告指出：甲烷造成溫室效應的程度為二氧化碳之 24.5 倍，如以 20 年時間之直接影響評估之，更高達二氧化碳之 56 倍，顯見其相當驚人的污染力，故妥善規劃加以利用，可降低溫室氣體排放量又可充作替代能源，而本所歷年來的沼氣利用研究開發，將沼氣利用於家庭燃料或動力燃料，可代替石油系統的燃料，一般而言厭氣醱酵槽所產生的沼氣每 m^3 在空氣中燃燒，其發熱量在 6000 Kcal 左右，在有控制醱酵條件的醱酵槽所產生的沼氣可達 8000 Kcal 之值，平均大致在 7000 Kcal/ m^3 ，就 7000 Kcal/ m^3 而與 1 L 汽油的熱量相差無幾，若沼氣加以純化至 100% CH_4 含量時，同樣燃燒條件下可達 9000 Kcal/ m^3 。在動力方面的使用，實驗結果 $1m^3$ 的沼氣與 1 L 的高級汽油所作的功能相等。

二、沼氣來源

沼氣是潔淨能源，為自然界中之有機物質經由厭氣發酵過程被微生物分解所產生的氣體(Harasimowicz *et al.*, 2007)，最普遍而且容易得到的則是來自有機物之微生物的厭氣分解，尤其是畜牧廢水、農業殘餘物、家庭污水垃圾掩埋場等，來源充裕且價格便宜。Rasi *et al.*, (2007); Harasimowicz *et al.*, (2007)指出沼氣是潔淨能源，有機物質經微生物在厭氣環境下分解而成，沼氣含有甲烷(CH₄) 48~65%、二氧化碳(CO₂) 30~45%、氮(N₂)17%以上、微量的硫化氫(H₂S)及水氣。表1所示豬糞尿產生之甲烷含量高於一般農場廢棄物，而畜牧生產中體重 60 kg 之肉豬每天每頭約可生產 0.23 m³ 沼氣；沼氣成分含甲烷 60~75%、二氧化碳 25~40%、硫化氫 0.2~0.5%，每 g COD 可產生 0.22~0.39 L 的甲烷。鴨糞厭氣處理，每公升厭氣槽每日約產生 0.6~1.1 L 沼氣，每 g COD 約產生 0.2~0.36 L 沼氣，沼氣成分甲烷 55~65%、二氧化碳 35~40%、硫化氫 2.7~3.8%(郭等, 1999)。牛糞尿厭氣處理，每公升牛糞可產生 0.5~0.7 m³ 的沼氣，去除每公斤的 TS 約可產生 2.78 m³ 的沼氣。沼氣中甲烷、二氧化碳及硫化氫含量分別為 55~68%、31~45%及 0.03~0.23%。而沼氣最終產量視有機物成分及生物分解能力而定，沼氣生產速率則受發酵溫度、滯留時間及微生物族群等影響而有變動，如以豬糞處理為例一般都在上述之範圍(Lusk, 1998)。

三、沼氣之儲存及輸送

國內農民大多採用紅泥膠皮沼氣袋來收集沼氣，其方式是將紅泥膠皮封蓋於厭氣發酵槽上方，沼氣將在適當的發酵條件下生成，並且使紅泥膠皮沼氣袋逐漸膨脹，為了維持發酵槽的沼氣壓力以保護紅泥膠皮之故，因此發酵槽之沼氣輸出管線必須連接恆壓裝置，再引導入沼氣貯存袋將沼氣收集作利用。沼氣含微量水氣及硫化氫，對金屬具腐蝕性，故一般皆以塑膠管線連接收集厭氣發酵產生之沼氣後輸送至貯氣袋(如圖 1)。為防止輸送管內積水，於架設輸送管時需適當傾斜度及凝結水排除設備利於排水，以防止輸送管之阻塞，保持輸送管線暢通。

四、沼氣利用

沼氣的用途雖然很廣，但由於在利用上僅能以管線輸送因而受到很大之限制，且市售沼氣用具不普遍。此外，沼氣中因含有微量硫化氫和水蒸氣，在使用時如有漏氣發生，會腐蝕金屬用具。目前沼氣在台灣養豬農家之利用上，大都用於養豬場之輔助能源，例如家庭燃料用瓦斯爐、熱水爐、仔豬保溫燈、仔豬保溫板、焚化爐、沼氣動力車及沼氣發電用於自家牧場所需如飼料之加工、混合、畜舍或廢水處理場之操作等用途。

1. 家庭燃料用

台灣地區家庭烹煮及熱水器之使用燃料主要為天然氣，而厭氣發酵產生之沼氣可充當替代燃料。蕭(1991)指出沼氣應用在炊事利用，每年可替代 12 桶瓦斯，

每年節省 6000 元以上。Koh *et al.*,(1988)指出一般家庭用之瓦斯爐噴嘴孔徑 1.5 cm 消耗沼氣約 0.7 m³/h，而厭氣醱酵槽輸送之沼氣壓力低於 5 cm/H₂O，為使爐火氣焰相同於使用天然氣者，需將瓦斯爐噴嘴孔加大。沼氣用熱水器之改裝亦然，除擴大噴嘴孔徑外，尚需縮短自動點火與主爐之距離。沼氣用熱水器之沼氣消耗量與熱水量如表 2，水溫加熱至 40、60、90°C 所產生之熱水量與沼氣消耗量分別為 17.4 L/min 與 34 L、7.0 L/min 與 114 L、2.9 L/min 與 197 L。

2. 沼氣保溫燈

剛出生仔豬需輔以保溫設施，提供溫暖環境利其生長，以免受寒。利用燃燒液化石油氣的紅外線燈具作為保溫設施，改以沼氣作為燃料來源，即可供畜舍內仔豬保溫用。紅外線燈具原先燃燒液化油氣比是 1 比 23，在使用沼氣作為燃料時，其沼氣與空氣比則需調整為 1 比 7.5，沼氣才具有較佳之燃燒條件使其充分發揮熱效率，所以需將燈具之沼氣噴口改大，同時將空氣進口改小，以達到上述之沼氣與空氣比。當達到最佳燃燒狀況時，火焰呈藍紫色，熱度亦最高，但這必須先使空氣與沼氣在爐管中事先混合好，否則將會產生燃燒不完全之現象，而且多耗費沼氣，甚至會產生一氧化碳之有毒氣體，而危害到人畜安全。蕭(1991)指出使用紅外線沼氣保溫燈後不僅有效控制室溫(較燈泡之室溫高 5~6°C)及殺菌之雙重功效，每月節省電費 17,500 元與保溫燈泡及電線等材料 4,000 元，年支出共節省 258,000 元。由於在畜舍一般均使用多盞保溫燈，因此需有增壓裝置將沼氣壓力提升至 20 cm/H₂O，此可利用加壓貯氣槽或 1/4~1/2 Hp 之加壓馬達，以便將沼氣壓送至較遠處之保溫燈。沼氣保溫燈具的構造如圖 2 所示。沼氣用仔豬保溫燈屬紅外線保溫方式，可分成小型及大型兩種，小型及大型仔豬保溫燈之受熱面積與沼氣用量分別為 0.3 m² 與 300~400L 及 0.4 m² 與 500~600L，且在國內養豬場已普遍被應用。

3. 仔豬保溫板

本裝置乃由畜試所開發的溫差循環式仔豬保溫系統(邱，1991)，利用沼氣作為熱源。溫水器附有煙窗叢管式加熱器，其下端備有燃燒室，室內置一小型沼氣爐蕊，燃點沼氣當熱源。溫水器進水管與保溫板連接相通，管內充滿清水，當其底部接受由沼氣點燃的熱源時即升高溫度，減輕密度而往上昇流入保溫板，下端則取自保溫板中的冷水而補充，如此循環可免裝設為循環而設的電力泵。溫水器實際上是一小鍋爐，與保溫板之進出口相接，保溫板可用直徑 25 mm 之鋁管做成 6~8 道蛇形彎道，將其焊接於一多孔鍍鋅鐵板以便散熱，管內通以 32~40°C 之溫水，即構成保溫板，其構造如圖 3，在此保溫裝置中，溫水器以垂直方式安裝，並藉加熱器與溫度控制器之作用使加熱與散熱於所設定的溫度下達成平衡。

4. 沼氣剪草機與抽水機

使用汽油做為燃料之剪草機，經改裝後以沼氣進氣管取代原汽油用化油器，1/8 Hp 之剪草機每小時消耗 0.9 m³ 之沼氣，且可利用沼氣用進氣管之進氣量

控制剪草機轉速(圖 4)。另外，在農場或畜牧場常需要抽水機引水灌溉或清洗畜舍，將小型汽油引擎改裝以沼氣作為燃料運轉抽水，改裝機種由 1~5 Hp 或二衝程、四衝程引擎均可改裝，且可沼氣及汽油兩用。利用 5 Hp 引擎抽水機，出水口孔徑 4 吋，每小時 1 m^3 沼氣可抽水 16.3 m^3 。使用每立方公尺沼氣工作之水量與使用每公升汽油所得之效果相近。

5. 沼氣動力車

利用沼氣替代汽車汽油燃料，首先要加裝一空氣與沼氣比 7.5:1 之混合器於化油器上，且此比例需要使引擎轉速維持 700~6000 RPM 之間，引擎才能發出正常馬力運轉，使用於 1960 出廠之 1300 cc 之 TOYOTA 汽車，每 1 m^3 未純化沼氣可行駛 6~7 km。因為使用燃料為未純化沼氣，在停車之前需將引擎轉速提高到 3000 RPM 左右，在將沼氣停止閥關閉，讓引擎在無燃料狀態下空轉 2~3 秒鐘，其用意為將留在汽缸內之沼氣耗盡，避免引擎冷卻後水氣與硫化氫混合變成硫酸腐蝕汽缸壁和進排氣閥。引擎完全停止後，在無燃料進入混合器狀態下，再啟動引擎轉動一下，使汽缸內之氣體與水氣排出汽缸，並因活塞之上下移動，將黏度較高的潤滑油塗於汽缸壁，降低腐蝕及增加汽缸之氣密度，以維持下次使用順利啟動。沼氣儲氣設備分成貯氣袋與高壓鋼瓶兩種方式，貯氣袋方式則利用紅泥膠皮製成 1 m^3 之圓柱體如圖 5，以管線連接至改裝之化油器導入引擎室燃燒；沼氣亦可經由加壓設施，裝填入高壓鋼瓶中，置於後車廂以管線連接至引擎室燃燒。

6. 沼氣之純化

未純化沼氣因含有 20~30% 之 CO_2 和 0.2~0.5% 之 H_2S ，而 H_2S 與水氣結合成具腐蝕性硫酸，直接腐蝕金屬管壁故不可以直接壓縮裝瓶，而沼氣又不容易液化，如以紅泥貯氣袋方式讓車輛攜帶，則體積龐大，所能帶的能量密度較低，所以只能行駛近距離或農場內使用，若要行駛長距離(50km)以上，則必需壓縮於鋼瓶以提高能量密度。為避免壓縮鋼瓶受腐蝕，同時增加能量密度，就必需純化去除沼氣中之 CO_2 、 H_2S 和 H_2O 。

沼氣純化方法有固體吸收法、液體吸收法、螺旋藻水純化、生物脫硫及薄膜分離法等。固體吸收法是利用氧化鐵、石灰等做成顆粒吸收沼氣中 CH_4 以外的氣體。此方法因吸收體是顆粒狀或多孔體，容易因沼氣中的水氣凝結呈濕潤或膠狀，降低吸收率，同時飽和後需清理換新。液體吸收法分為高壓吸收法和低壓吸收法，高壓法則將沼氣和水，壓縮於容器內使壓力升高至 $60\sim 70 \text{ kg/cm}^2$ ，使 CO_2 和 H_2S 溶於水中，不容易溶於水的 CH_4 即可分離出來。低壓吸收法為利用 MEA(monoethanolamin)或其他液體狀態鹼性溶液利用幫浦循環之，另一幫浦系統則抽沼氣使與鹼性液體在純化塔中接觸，吸收 CO_2 和 H_2S ，不容於鹼性溶液的 CH_4 即可分離出來。吸收液一般都採用可加熱再生的 MEA，MEA 雖可以加熱再生，但吸收、加熱再生過程中會有 5% 左右的炭化和氧化損失，且 MEA 價錢較

貴，且加熱再生需要消耗能源。本所利用厭氣醱酵後排出液為基質培養螺旋藻，培養液之 pH 介於 9.5~10.5 之間，且螺旋藻在生長過程需要大量 CO₂ 供其行光合作用，非常適合用來純化沼氣吸收 CO₂ 和 H₂S。設置高 5m，直徑 20cm 的塑膠純化塔，導入螺旋藻培養液，於 pH 9.5、沼氣流量每分鐘 160 L 及螺旋藻水 36.5 L 的流速下之操作條件，使其在塔內接觸，每小時可純化沼氣 2.4 m³，含 CH₄ 99%、CO₂ 0.5% 以下、H₂S 0.08% 的燃料氣體(邱，1993)，再經冷凝脫水後，用塑膠管導引至 3 段式高壓壓縮機，裝填入 15~60 L 的鋼瓶加以儲存，以供作長距離或長時間運轉的車輛燃料用(如圖 6)。

7. 沼氣發電

本所 1974 年購入發電設備以 25 kw 之 2600 cc 汽油引擎發電機，水冷式、4 氣缸 4 衝程，發電機 1800 RPM，220V，60 Hz，3 相 4 線式。所發出的電力供給本所沼氣處理場全部所需電力，經常負載約 20 kw 之用。因本機本身額定負載只有 25 kw，本場所用電 20 kw 已近滿載，如遇部份馬達起動時，因其瞬間電流往往超過平常運轉電流之 5~6 倍，所以馬達起動瞬間發電會產生過負荷現象，使發電機速急速下降，因頻率下降使電機阻抗降低，馬達很容易發熱甚至損毀，故改善方法為將線路主幹分支開關採用電磁轉接機，先以台電之電力起動後轉接至本發電機負載如此可以避免超載，維持正常的運轉。引擎方面則先將原燃用汽油化油器的空氣過瀘網拆下，裝上自製沼氣專用的空氣-燃混合器，以符合沼氣與空氣約 7.5:1 的混合條件(純甲烷為 9.5:1)。沼氣進行獨立發電測試，每立公尺之沼氣可發出 1.2~1.4 度之電力，台電停電時亦可以獨立供電亦可與台電供電系統併聯，無沼氣時亦可以汽油為燃料照常發電(邱，1993)。

本所再於 2000 年購入使用天然氣為燃料之 30 kw 沼氣發電機(圖 7)，以併聯式發電，供給廢水處理場與部分豬舍用，約每 0.7 m³ 沼氣可產生 1 度電發電效率，使用至今時數已達 2,800 小時以上與產生電力約 84,000 度。因此只要定期維護保養，則沼氣發電機仍可長期運轉。

五、結論

三段式廢水處理之厭氣醱酵處理禽畜糞尿水，可產生潔淨能源—甲烷，若能規劃利用，則可降低對石油能源依賴程度，且減少甲烷溫室氣體的排放，減緩地球暖化程度。現階段對於畜禽糞沼氣之生產、收集、純化及利用技術，已具有良好基礎，現值能源高漲時刻，沼氣利用課題有重新發展與探討之必要性，故如何提升畜禽糞之沼氣產生量及透過沼氣利用機具開發，使更有效率與便利之利用，除更進一步之研究外，政府政策也需配合如加強能源利用與沼氣用具宣導、沼氣用具維修技術訓練等。

六、參考文獻

王豐文(1993)養豬場之沼氣發電研究。國立中興大學農業機械工程學系碩士論

- 文。
- 邱清選(1991)一貫式豬糞尿處理與沼氣利用。台灣省畜產試驗專輯第 10 號。台灣省畜產試驗編印。
- 邱清選(1993)沼氣利用說明會。台灣省畜產試驗專輯第 15 號。台灣省畜產試驗編印。
- 郭猛德、郭春芳、黃祥吉(1999)鴨糞廢水處理之研究。中畜會誌 28(1): 69-80。
- 雷鵬魁、邱清選(1992)畜禽沼氣利用機械。養豬業與環保研討會論文集。台灣省畜產試驗編印
- 蕭榮泉(1991)金龍種畜場沼氣回收利用之實例。豬糞處理、堆肥製造、使用及管理研討會論文專輯。中華生質能源學會。
- Harasimowicz, M, Orluk P Zakrzewska-Trznadel G and Chmielewski AG (2007) Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment. Journal of Hazardous Materials.144: 698-702.
- International Energy Agency. (2003). Renewables Information, IEA, Paris.
- Koh, MT, Chiu TH, Hong CM and Chung P (1988) Recent development in biogas and utilization in Taiwan. Proceeding of the utilization and poultry manure. FFTC EB.279.pp1-12.
- Lusk, P (1998) Methane Recovery from Animal Manures: The Current Opportunities Casebook. (<http://www.loe.org/images/0807041/report.pdf>)
- Rasi, S, Veijanen A and Rintala J (2007) Trace compounds of biogas from different biogas production plants. Energy. 32: 1375–1380.

表 1. 沼氣組成分

氣體	百分比(一般)	百分比(豬糞尿)
甲烷	54~70	60~80
二氧化碳	27~45	16~38
氫	1~10	1
氮	0.5~3.0	1~2
一氧化碳	0.1	—
氧	0.1	—
硫化氫	<0.1	0.2~0.5
水	—	0.2

(王 1993)

表 2. 沼氣用熱水器之沼氣消耗量與熱水量

	熱水溫度(°C)		
	40	60	90
熱水量(L/min)	17.4	7.0	2.9
沼氣用量(L)	34	114	197



圖 1. 沼氣貯氣袋



圖 2. 沼氣保溫燈



圖 3. 仔豬保溫板



圖 4. 沼氣動力剪草機



圖 5. 沼氣動力車



圖 6. 沼氣裝填鋼瓶



圖 7 沼氣發電機