

# 豬糞發酵 沼氣發電 台灣第一個生質能源村 可行嗎？

生物發酵槽設備

國立台灣大學和中州技術學院在農委會補助下，合作研究「台灣建置生質能源村之規劃模式」，綜合結論是：以台灣小島的環境，評估10萬頭豬所產生之沼氣發電為較理想之生質能源村規模。台灣要建置一個生質能源村，技術面不成問題，癥結在政府與居民有無發展生質能源的決心和貫徹到底的精神。德國雲德村結合學界、政府和村民的成功經驗，非常值得台灣學習。

**台**灣養豬業發達，2006年的在養頭數約700萬頭，每天產生的豬糞尿如不妥善處理，對環境勢必造成沉重的負擔；其次，所產生之生物氣體其實是可利用之生質能源，國外已有許多成功案例。高油價時代的來臨，政府應重視此項化腐朽為神奇的乾淨能源。

## 台灣養豬現況

10萬頭豬之生物氣體一天之排放量約為25,000m<sup>3</sup>，經由轉換相當於5,117度電量。使用16台30 kW的微渦輪熱電聯產發電機系統(Microturbine combined heat and power production, CHP)，每台滿載時淨輸出為20 kW，產生的熱為111,000 BTU/hr，以一天運轉16個小時計算，16台該CHP發電機可產生5,000 kWh和2,800萬BTU熱能。以一戶家庭每天用電量10度來計算，10萬頭豬的一天沼氣量可供應500戶之小型能源村使用一天。而產生的熱量直接用以加熱覆蓋式發酵槽或熱水器。該微渦輪熱電聯產系統之廢氣排放方面，完全符合美國環保署法規，適用於台灣作參考。

根據農委會統計，2006年台灣毛豬總頭數為692.1萬頭，以彰化縣、雲林縣、嘉義縣、台南縣、高雄縣及屏東縣為主要產區。養豬戶12,165戶，以中小型養殖戶居多，飼養1-99頭規模之飼養戶有4,933戶，占總戶數之40.55%；飼養100-999頭規模之飼養戶有5,352戶，占總戶數之44

%。

每頭豬每天平均排泄物以2公斤估算，每天約有1,400萬公斤的豬糞尿需處理。台灣環保法令對於養豬場放流水的管制十分嚴厲，民間常有各自因應的措施。經由厭氣發酵，糞尿之化學需氧量(COD)和生化需氧量(BOD)值可以降低10倍，幾近放流水之標準。

## 國外成功案例

### (一) 德國經驗

雲德村是德國第一座生質能源村(Juene Bioenergy Village)，位於哥廷根南方一處被山林包圍起來的小村莊。自2005年9月以來，200多戶村民就不再依賴石化能源了。村子裡所有的能源都是來自於動物糞尿產生的生物氣體和燃燒生質材料(木材)。在高齡76歲的老村長努力爭取下，4年來花費500萬歐元，折合新台幣2.3億元成立了生物能源村，吸引了全球各地的學術機構、政府單位和民間企業到該村考察，學習經營模式。村子目前不但足夠生產所需的能源，更有能力將多餘的電力出售給政府。目前一年可以產出400萬度電，村子僅需200萬度的電力。燃燒生質材料的熱



德國雲德村的生質能源計畫

量則直接供應給家庭冬天當熱源。有效減少了3,300噸的二氧化碳排放到空氣中，且每戶人家一年可省下28,000元的電費。

雲德村的成功，多歸功於德國開發的塊型熱電發生系統 (Block-type thermal power station, BTTP)。那是一種同時產生熱和電的系統，由內燃機產生的電流發電機，與其同時，它產生的熱能也可以同時被收集起來以管路傳送到村子裡的每一戶去，目前德國已開發家庭個體戶的微型商用機型。

內燃機所燃燒的有天然氣、木材或生質柴油燃燒。所產生的電流直接匯入電網，而熱能則集中到加熱網。這套發電系統目前多只應用在德國家庭、住宅和商業區內，但在全球其他地方，尚未有商業化利用。

目前在雲德村使用的BTTP燃料，是來自10,000 m<sup>3</sup>的大型發厭氧發酵槽。每年的餵料量為10,000噸的牛糞尿(固形物稀釋至3%以下)和12,000噸的小麥、玉米、油菜等作物。一年可發電量為450萬度，其中有300萬度的電流進入村子的熱網，可維持水溫80℃，足以滿足一整年熱需求量的67%。

雲德村使用的動物糞尿來源是牛隻。從適用性而言，台灣的牛隻飼養型態，乳牛主要為圈養，肉牛以放牧式為主，成牛每日排出糞尿量糞約30公斤，尿約20公斤，且牛糞一般含有較多的纖維質成分，水分含量高(80%)，故較少使用密閉型發酵槽，通常採用堆肥堆積或機械攪拌方式。發酵時需使用大量的水分調整材料如稻殼、木屑或牛糞壓榨機，在處理程序上不如使用豬糞尿來得有經濟效益。

另外，BTTP的餵料也來自作物的生質柴油，對台灣而言，生質柴油的使用還在學術研究之列，並未普及化。故在選擇適地適用最佳條件化的情況下，加上台灣是養豬王國，為求解決豬糞尿再利用和水資源利用等環保問題，故以豬糞尿發酵實為更適切之方案。

但是參訪雲德村學習到的經驗是學界、政府和民眾的緊密結合。這個生質村最早是哥廷根大學於2000年開啓的概念，經由從21個村莊大規模的評估和篩選，加上聯邦政府跨部會的整合運作

和投入大量的經費(25%來自中央政府)，才可在短短幾年內將糞土化作黃金，並開啓農村靠科技、觀光的再造重生之重責大任。由上到下的貫徹精神，村民的實質收入增加，也得到來自世界各地的讚賞和認同。

## (二) 智利經驗

以智利一座120,000頭成豬場的單槽加熱覆蓋式發酵槽來說明，該養豬場的12萬頭豬集中在120個豬舍，採統進統出管理系統，即將一批豬隻育成後送出，將豬舍全面清洗消毒後，再進行下一批的仔豬進舍餵養作業。豬舍內建構糞尿沖洗系統，並統一排放到一個約35公頃、3公尺深的儲存槽內。該槽可儲存約6個月的糞尿量。由於採露天覆蓋式，並未裝設任何臭味消除系統，衛生條件不良。

為徹底解決這個長期的環境問題，業主找了一家環保公司來設計低成本的加熱系統的覆蓋式混合發酵槽，並以多座小型的發酵系統用以取代大型的發酵槽。每獨立的小單位的發酵系統含有儲存槽，可每日收集自豬舍沖洗來的排流物量體為900~

1,800 m<sup>3</sup>。

發酵槽大小為99,225 m<sup>3</sup> (105 mX105 mX 9 m)，往下開挖表面覆以氣密漂浮塑膠布。可以儲存20天左右的糞尿量(約32,000 m<sup>3</sup>)。

發酵皆維持在35℃的溫度，由外部的加熱器供給熱源。並以連續式的攪拌槳進行拌料。

由此規模發酵槽所產生的甲烷量足以加熱鍋爐和加熱發酵槽本身，多餘者則直接以火焰燃燒掉。在初期的2個月內可產生的氣體量達10,200 m<sup>3</sup>，在運轉2個月後可達平均每日15,100 m<sup>3</sup>。系統在經半年的運轉後相當理想，操作簡便，僅需僱用極少的人力來維持。

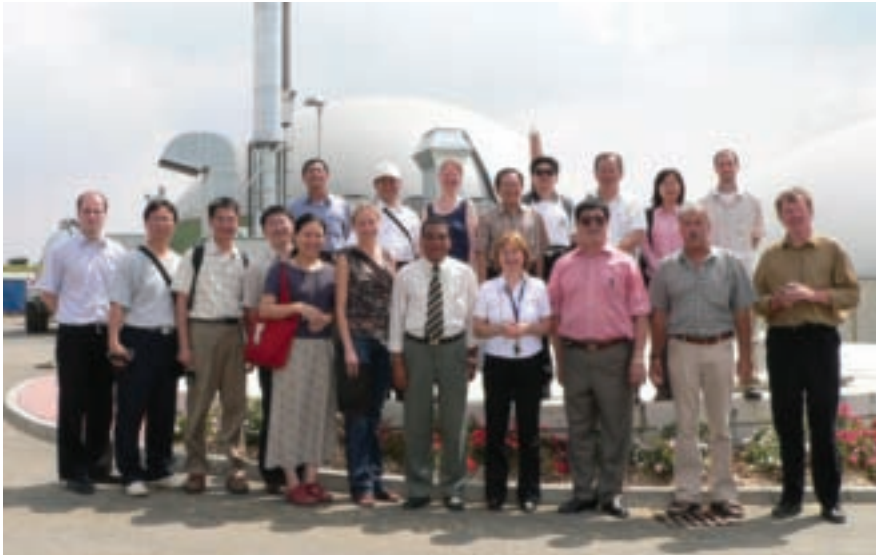
平均每頭豬的投入約為10美元。其中以硬體設備佔了80%左右，其他20%為先期基地探勘工程費用等。建置後的人力費用維持在1.5個人力，主要的工作是管控糞尿的幫浦流向。整個系統在運作4個月後已完全解決原本豬糞尿氣味的問題。

## (三) 中國經驗

廣東深圳市農牧實業有限公司綠美特農業園，養豬10萬頭，目前已經實踐了6年利用沼氣



生物氣體貯氣槽



台灣和德國學者進行交流

發電，類似之大規模沼氣發電可行性佳，經濟效益良好。

綠園豬場的養豬採用1,700 m<sup>3</sup>的鋼筋混凝土臥式發酵池，日處理污水可達850 m<sup>3</sup>，因為加熱系統，故產氣量隨氣溫變化，冬季產氣不低於500 m<sup>3</sup>，夏季最高可達1500 m<sup>3</sup>以上。

除發酵池(包括固液分離池、調節池)外，沼氣要經過脫硫塔入貯氣罐，再進入發電機系統，為防腐蝕，輸氣管一般用塑膠管比較好。

發電設備為1台改裝後的柴油發電機(現增為2台)，每台功率為100 kW。

投資成本400萬元，投資包括：(1) 發酵裝置、脫硫塔及管道共投資284萬元。(2) 貯氣罐為74萬元。(3) 100 KW發電機(包括改裝的二手55 kW柴油機)42萬元。

本項目運行至今已6年多，運行一直良好，運行成本較低。厭氧發酵部分全部採用自流方式，只需1人操作，發電部分也只有3人，其中包括發電機管理及維修。

#### (四) 卜蜂經驗

台灣國內豬糞發電系統尚未有完整的營運案例，目前仍處於研發和商業利用之轉型階段。然而台商在國外卻有類似的成功案例，如卜蜂集團在泰國經營的豬糞發電，於一座3,000頭豬的農場內興建一套完善的瀉湖沼氣發電系統(covered lagoon)。2007年該養豬場每個月平均節省的電費約新台幣17萬元，換算約節省22.8 %的電費。卜蜂集團不僅在自己一貫化生產的養豬場導入沼氣發電系統，更將該沼氣發電系統技術移轉給與該集團有契約關係的豬農，發現豬農省下的電費更是可觀。

卜蜂集團在當地的投資約新台幣184萬元，投資五棟豬舍、水簾飼養設備等，飼養約3,100頭豬。更投資230萬元，興建了沼氣發電設備。每小時可發電42 kW，每天用電的17小時中，有高達10個小時都可使用自家沼氣所發電的電力，其餘7小時才用到公共電力。估計只要50個月時間，所投資的發電設備成本就能回收了。

回到國內，由行政院農委會畜產試驗所開發的豬糞沼氣發電技術，預估用在國內800萬頭豬進行沼氣發電估計，每天約可產生280萬度電力，以每度3元計算，全年可省下約31億元電費。目前建議以1~2千頭養豬場的規模，在負載正常情況下，每產生一度電約需0.7m<sup>3</sup>的沼氣，以在養1,000頭的肉豬場，每日沼氣產量約250m<sup>3</sup>立方米計算，運用於發電，每日可產生350度電。

畜產試驗所目前採用專供沼氣使用的套裝並聯式沼氣發電機發電，每套發電機成本僅40餘萬元，且與台電電力的電壓、頻率及相位相同，確保電機組在最正常的狀況下運轉，將取代原獨立式發電機。目前已有3家的養豬場完成技術轉移。但仍未有報導相關廠商之營運狀況和成果。

#### 結論和建議

經評估台灣現狀，設置豬糞尿發酵槽之成功率非常高。由前面的案例可看出，發酵槽建置的類型和規格的差異非常大。中國綠園10萬頭豬場的建置費用僅在400萬元左右，而智利12萬頭豬的建置費用為4,000萬元，美國設置5,000頭豬發酵槽的費用則為600萬元左右，營運費用每年約150萬元。為考量到日後豬隻糞尿來源為鄰近各種規模養豬場地區收集而來，故以10萬頭仔豬和成豬糞尿量發酵槽，提出綜合結論和建議如下：

(一) 從雲德村經驗可體悟到學術、政府政策和民眾教導和配合的緊密結合之重要性。三者的合作力量從能源角度自給自足面，乃至帶來農村復興再造的精神面，已超越商業化技術可以帶來的無窮效益。

(二) 在政府大力鼓吹生質能源村的前提下，

表一、台灣設置發酵槽之評量表 (評量表來自RCM Digester, Inc.)

主要影響因數	內 容	是/否	說 明
地點之永久性	計畫地區和設備只有少於10年的使用權	否	政府介入永續管理應可排除
基地狀況	沙質	否	慎重挑選計畫用地
限制	乳牛：草地放牧或是半乾地飼養(drylots raising)	否	豬糞尿來源將從各地養豬場取得，非單一化統進統出管理方式糞尿供應者
	豬隻：統進統出	否	
糞尿的清除方式	沖洗	是或否	原料可由刮糞系列取得。沖洗來之原料亦將佔有若干比例。運輸費用勢必龐大。
發展地點的限制	無法取得 150m x 150m之基地大小	否	政府介入永續管理應可排除
水源的管制	無水錶	否	慎重設計計畫用地
	有雨水進入系統	否	慎重設計計畫用地
	儲水區進入糞肥區	否	慎重設計計畫用地
管理層面	無人管理系統	否	政府介入永續管理應可排除
	不具優良農機人員和服務廠商	否	政府介入永續管理應可排除

註:以上如有任何一點的狀況是“yes”，則設置發酵槽的可能性和系統的成功率將減低。

且台灣位處亞熱帶國家，以覆蓋性發酵槽技術層面最易克服，且有國外大型案例可作參考。但需考量到用水量，因覆蓋性發酵槽之糞尿固形物需控制在3%以下。糞尿水力留滯時 (hydraulic retention times) 為40~60天。

(三) 根據美國環保署的推算(Mueller, 2004)，10萬頭仔豬和成豬每天產生的生物氣體為900,000 ft<sup>3</sup> (相當25,700 m<sup>3</sup>)，以僅有50%甲烷氣體，即450,000 ft<sup>3</sup>之甲烷。又每ft<sup>3</sup>甲烷可產熱為1,000 BTU，故相當於每天可產生450 MMBTU(百萬BTU)熱能。經由轉換相當於5,117 kWh (1 kWh=3,412 BTU)。以目前1度電3元來計算，一年

可節省560萬元的電費。

(四) 建議使用30 kW的微渦輪熱電聯產發電機系統(Microturbine combined heat and power production, CHP)。該CHP系統為美國環保署應用在科羅拉多州5,000頭豬糞尿沼氣生產系統，滿載時淨輸出為20kW，產生的熱為111,000 BTU/hr。以每台一天運轉16個小時計算，可產生320 kWh和178萬 BTU熱能。若應用於10萬頭豬沼氣場，16台該CHP發電機可產生5,000 kWh和2,800萬BTU熱能。以一戶家庭每天用電量10度來計算，100,000頭豬的一天沼氣量可供應500戶之小型能源村使用一天。而產生的熱量直接用以加熱覆蓋式發酵槽或熱水器。CHP渦輪之廢氣排放方面，完全符合美國環保署法規，適用於台灣作參考。

(五) 豬糞尿發酵系統在設立期初需多面向考量原料運輸費用、法規面、民眾接受度、硬體建造成本和維護成本等。目前從基礎理論技術、石化能源價格昂貴等現狀評估，發展豬糞尿相當具成功性。但實際面需結合更多農機專門人員配合才更有可行性。另外，乳牛之糞尿發酵產氣成效較豬隻高出許多，小型之乳牛糞尿發酵系統亦是值得發展的另一生質能源產業。

表二、台灣設置發酵槽之評量表 II (評量表來自RCM Digester, Inc.)

加權項目					加權分數	選擇	說 明
為何需要發酵槽	純粹因為是個“好的概念”				1	-	興建生質能源村增加農村經濟收入
	環境考量				3	-	
	經濟上的誘因				6	6	
動物的數量	荷仕登牛	仔豬到宰豬	仔豬到斷奶豬	待宰肉豬	1	-	100,000頭豬來源為仔豬、斷奶豬和待宰肉豬
	<300	<500	<1,000	<3,000	1	-	
	300-500	500-1,000	1,500-2,500	3,000-5,000	3	-	
	500-1,000	1,000-1,500	2,500-5,000	5,000-10,000	6	-	
	>1,000	>1,500	>5,000	>10,000	8	8	
電費 (每度電費)	<1.7				1	-	台電從每度2.1-3.74元不等(依用電量和季節不同)
	1.7-2.0				3	-	
	2.0-2.38				6	-	
	>2.38				8	8	
地面加熱	基地是否有地表加熱系統				10	-	
燃料價格	<4.6元/公升液化天然氣		<3.6元/m <sup>3</sup> 天然氣		1	-	中油目前自用車輛LPG價為17.7元/公升;天然氣家庭用戶直營價為14.8元/m <sup>3</sup>
	4.6-6.90元/公升液化天然氣		3.6-4.8元/m <sup>3</sup> 天然氣		3	-	
	6.90-9.20元/公升液化天然氣		4.8-6.0元/m <sup>3</sup> 天然氣		6	-	
	>9.20元/公升液化天然氣		>6.0元/m <sup>3</sup> 天然氣		8	8	
設備可否用以稅收折舊	不可				0	-	政府宜有租稅減免等相關配套措施
	部分可				3	-	
	全部可				8	8	
						38	

累加分數註解：0-20 = 成功性值得懷疑，21-35= 可能成功，35-46= 成功性非常大 (依96年政府油價為準)