

出國報告（出國類別：考察）

考察中國大陸禽畜糞液回收再利用 及發酵沼渣沼液處理方式

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：許永興處長、魏文宜專門委員
李怡芬薦派技正

派赴國家：中國大陸

出國期間：102年9月4日至9月10日

報告日期：102年12月4日

摘要

我國全國養豬數約 600 萬頭/年，為減輕河川污染負荷，本署積極推動「清潔養豬綠能產業」省水減污計畫之豬廁所設置，由源頭減量、豬糞固形物有效收集、水污染有效防治及改善畜舍環境、提高育成率等多面向目標，多方開展養豬廢棄物及廢水處理技術，由源頭減量向能資源再利用，更為邁進。

為協助畜牧業改善廢水處理技術及妥善排放，處理畜牧業及禽畜糞液廢水污染兼收能資源循環利用，將畜牧糞液變黃金，朝環境經濟共榮目標邁進。本署派員赴中國大陸考察相關經驗技術，了解養雞場、豬場、農業綜合廢棄物、餐廚垃圾及有機生活垃圾等廠場廢棄物處理方法，包含收集運送、前處理、調勻、厭氧消化、沼氣純化利用、沼渣沼液處理等程序，並參訪不同厭氧消化槽設計運轉，沼氣、沼渣及沼液純化處理技術及利用範圍。本次參訪心得有助我國規劃禽畜糞液收集處理措施，減少廢污水排入河川，以及所衍生的再生能源利用方式參考。

目次

摘要.....	i
壹、目的.....	3
貳、參訪行程.....	3
參、參訪結果.....	4
一、山東民和牧業股份有限公司.....	4
二、青島膠南綠茵環保科技有限公司.....	9
三、青島十方生物能源有限公司.....	15
四、武進區農業廢棄物綜合治理中心禮嘉站.....	21
五、金康養豬合作社.....	27
六、杭州能源環境工程有限公司.....	32
肆、成果評估與心得.....	33
一、整體面.....	33
二、技術面.....	34
三、建議事項.....	36

壹、目的

我國全國養豬數約 600 萬頭/年，集中於彰化以南 7 縣市，飼養地區涵蓋中南部自新虎尾溪以南至高屏溪等 7 條重點河川。為減輕河川污染負荷，本署自 99 年底推動「清潔養豬綠能產業」省水減污計畫之豬廁所設置，由源頭減量、豬糞固形物有效收集、水污染有效防治及改善畜舍環境、提高育成率等多面向目標。至 102 年 8 月已設置 2 萬餘個豬廁所，有效收集 60 多萬頭豬每日 2,000 多公噸糞尿。但後端傳統之三段式畜牧廢水處理法仍面臨挑戰，其中好氧活性污泥單元需耗費大量能源，厭氧消化過程中溢散之沼氣如未妥善收集處理，將對全球暖化造成威脅。爰多方開展養豬廢棄物及廢水處理技術，由源頭減量向能資源再利用，更為邁進。

中國大陸近年推動規模化畜禽場污染減量，沼氣發電綜合利用，鼓勵種養結合、生態還田，建設低碳農業實踐區。推動沼氣利用、沼渣沼液等廢棄物綜合利用污染減量等工程。

為協助引進相關經驗技術，協助我國畜牧業改善廢污水處理技術妥善處理廢水，爰派員赴中國大陸考察禽畜糞液收集處理系統與營運、沼氣利用技術，及發酵沼渣、沼液處理去化方式。期使禽畜糞液全面回收、確實改善河川污染，具「省水減污、資源循環、節能減碳及生態保育」多元環境及經濟，開創更高之環境經濟共榮價值。

貳、參訪行程

日期	工作內容
102 年 9 月 4 日	去程
102 年 9 月 5 日	參訪山東民和牧場 ：收集處理周邊 23 個養雞場禽糞、沼氣發電及沼液去化規劃設計，發酵沼肥商業化生產應用。
102 年 9 月 6 日	1. 參訪山東青島綠茵環保科技有限公司 ：處理青島膠南市生活垃圾，進行沼氣發電。 2. 參訪山東青島十方生物能源有限公司 ：處理青島四城區餐廚廚餘，以密閉化、集約化處理廚餘，並進行厭氧消化，沼氣再利用作車用燃氣及熱能，沼渣及沼液規劃做有機肥。
102 年 9 月 7 日	路程（山東到江蘇）

日期	工作內容
102 年 9 月 8 日	<u>參訪武進區農業廢棄物綜合治理中心禮嘉站</u> ：收集處理周圍 15 公里 70 戶養豬戶豬糞尿及農田秸桿，進行厭氧共消化處理，沼渣沼液施灌於周圍農田。
102 年 9 月 9 日	<u>1.參觀金康養豬合作社：處理自場 2000 頭豬隻糞尿，厭氧消化後，沼氣進行發電，沼渣沼液作為田間利用。</u> <u>2.拜訪杭州能源環境工程有限公司，討論沼氣脫硫及發電技術應用。</u>
102 年 9 月 10 日	返程（杭州-臺北松山機場）

參、參訪結果

一、山東民和牧業股份有限公司

（一）背景

山東民和牧業股份有限公司生產肉種雞，以「生態健康養殖—安全綠色食品—資源高效利用—有機果蔬種植」建立生態農業循環產業鏈。其收集分散 23 場養雞場產生之雞糞，集中於厭氧發酵生產沼氣；沼氣經過熱電聯產、產生清潔電能，併入公共電網；發電餘熱煙氣導入鍋爐產生蒸氣、發電餘熱冷凝水回收熱水貯存利用。發酵後之沼液用於週邊葡萄、蘋果、櫻桃、蔬菜所需之有機肥料，建立民和有機果蔬品牌。禽畜廢污利用處理模式為「原料分散收集—集中厭氧處理—沼氣發電—沼肥分散消納」。

該公司 2007 年啓動特大型雞糞沼氣發電工程（3 MW），每日厭氧消化 300~400 公噸，沼氣處理項目為當地政府支持，2008 年 10 月竣工試運轉、2009 年 2 月發電併入公共電網。每日平均產生沼氣 30,000 立方公尺，每日發電平均 6 萬度，實現年收益 953 萬元人民幣（約新臺幣 4765 萬元/年）。

該公司目前正在建置高效率厭氧發酵系統，預計 2014 年初完成沼氣純化、壓縮、罐裝等設備，每日產生沼氣 70,000 立方公尺，淨化後每日產生生質燃氣 40,000

立方公尺，預計供當地 1,000 輛生質燃氣公共汽車、計程車、業務用車等使用。預估實現年收益 2,240 萬元（約新臺幣 1 億 1,200 萬元/年）。

該公司成立子公司從事生質燃氣研發、開發及營運，建立禽畜糞廢棄物資源化利用工程技術中心。

（二）處理說明

該公司現行禽畜糞之處理流程（圖 1~圖 5）為：收集集水、水解沉砂、一級厭氧反應、二級厭氧反應、後發酵，發酵後之沼渣沼液經固液分離，分別作為固態肥及液態肥。沼氣經生物脫硫、貯氣囊貯存、壓縮發電，所發電力併入電網，發電餘熱進入鍋爐產生蒸汽、冷凝水貯存利用。

- 1、收集集水池，收集雞隻批次出清後清洗雞舍之水，總固體物（TS）約 9~10%。
- 2、水解沉砂池，沉澱雞糞中之砂質，以鍋爐熱水調控進入厭氧發酵槽之總固體物(TS) 為 6~8%。集水池及水解沉砂池為開放空間，該公司第二期工程計畫改為密閉。
- 3、厭氧反應槽有三級，採連續攪拌式（CSTR）反應器設計，中溫反應，配置直立式攪拌器。該場依產生甲烷氣目標，設計反應槽級數及停留時間。後發酵槽之目的，在於再進一步發酵，增加沼氣尾氣收集，以因應溫室氣體減排目標。該場取得聯合國清潔發展機制(CDM) 2009 年註冊 10 年，二氧化碳減排量為每年 66,393 公噸。並依查核結果，每年約有 700 萬人民幣（約 3,500 萬新臺幣）收益。未來第二期工程厭氧反應槽之設計，依沼氣產氣目標、沼氣運用用途不同等因素加以設計。

厭氧發酵後幾乎無沼渣產生，經發酵後之沼液，運載至田間固定沼液池，經過稀釋配比後使用於田間。該公司將沼液視為產品推廣，推動示範服務，使農民了解沼液能提高其農產品之品質（例如，增加葡萄的糖度）。未來進一步考量將沼液濃縮，水回收再利用於沖洗雞舍，濃縮之沼液包裝作商品運用。

沼氣，目前以生物脫硫方式加以純化，壓縮後發電，發電效率 41%；發電餘熱與發電後冷凝水熱利用，作為辦公室加熱源、供熱水等，熱利用效率約 43%。第二期產生之沼氣除脫硫外，亦有去除二氧化碳之提純計畫，以進一步運用沼氣於車用燃氣，因應天然氣漲價的趨勢。

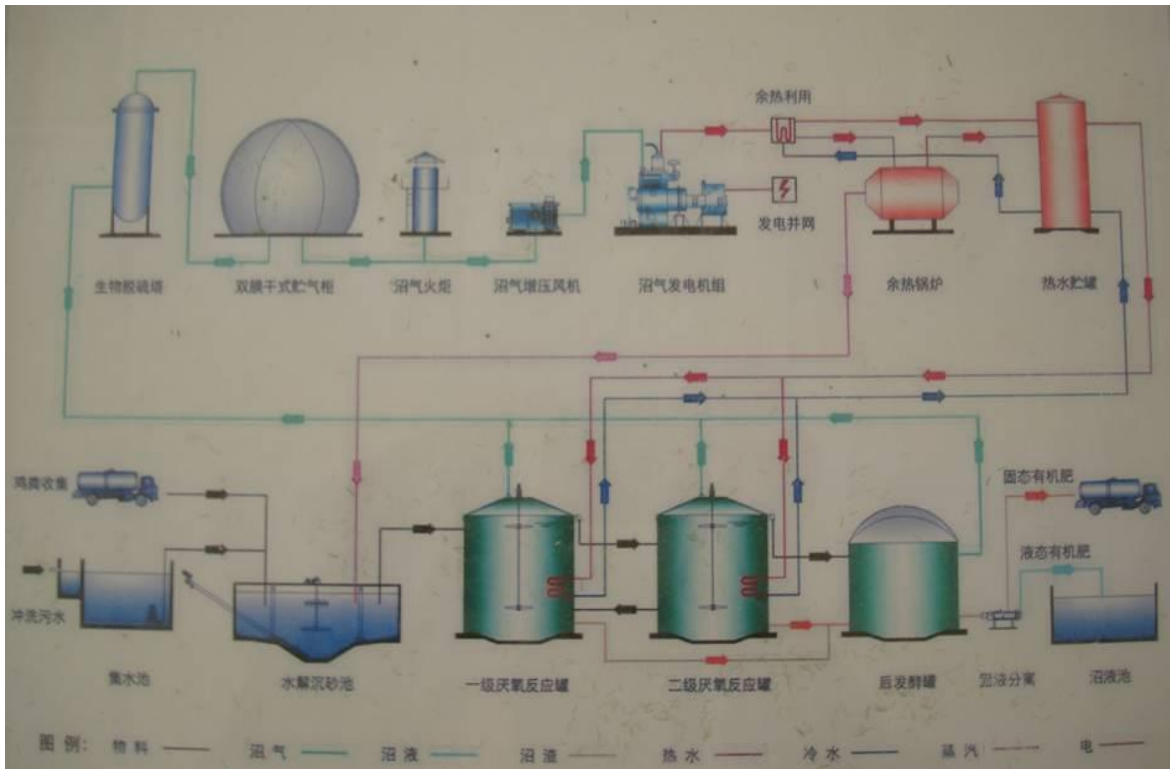


圖 1 民和牧場禽畜糞處理利用流程



圖 2 民和牧場禽畜糞厭氧處理模型



圖 3 民和牧場禽畜糞沉砂水解池模型



圖 4 厭氧發酵槽



圖 5 生物脫硫塔及雙膜式甲烷貯氣槽

二、青島膠南綠茵環保科技有限公司

(一) 背景

青島膠南綠茵環保科技有限公司成立於 2008 年 6 月，投資約 1.2 億人民幣（約新臺幣 6 億元），規劃處理青島膠南市生活垃圾，設計最大日處理量為 600 公噸。2008 年 12 月取得環境影響評估許可，2009 年 10 月開工，2010 年 12 月試運轉，2011 年 12 月驗收。目前處理膠南市城區及周邊 20 公里鄉鎮每日 350 公噸之垃圾，年處理量約 11 萬公噸。

該公司技術目標為生活城市垃圾無害化、資源化及最大程度之減量化。

(二) 處理說明

生活垃圾中種類多樣，部分物質會損壞設備致設備故障、物料外洩或產生異味。生活垃圾進廠後，先經分類，使進廠物料易於處理。該場分類如下（如圖 7、圖 8，廠區配置如圖 10）：

- 4、不可回收無機物，如磚瓦等，以衛生掩埋處理。
- 5、電池等危險廢棄物，進行專業處理。
- 6、金屬、塑膠瓶、電子產品及紙張等可回收物，回收處理。
- 7、竹木、織物、紙張及塑料等可燃物，視規模大小以燃燒系統處理，或 RDF 燃料棒處理。
- 8、廚餘等有機可分解物，先經油分離，回收油產生生質柴油，剩餘有機物以厭氧消化處理。

廚餘等有機物進入厭氧消化系統，處理流程如下（如圖 9）：

- 1、先經厭氧發酵預處理。包含分選分離輕物質、打漿調整溫度及進料濃度，使後續易於厭氧發酵、沉砂沉澱，泥沙或重質非有機物，分離無機物不進入厭氧消化槽（圖 11）。
- 2、再經厭氧消化系統，厭氧消化槽 CSTR 設計，中間置攪拌器。產生沼渣、沼液及沼氣（圖 12）。
- 3、沼液經污泥脫水系統後，產生之污水進入污水處理系統處理，達標排放或回收使用；沼渣經乾燥系統後造粒作為有機肥。
- 4、沼氣經生物脫硫、貯存、加壓後經沼氣發電系統，產生電力，供應工廠自用或併

入電網。沼氣發電系統產生之餘熱，作為厭氧消化槽加熱之熱能、污泥乾燥系統所需之熱能及中央空調系統（圖 6、圖 13）。

全廠沼氣發電每年約 2,700 萬度，其中上公共電網量 1,892 萬度，生產有機肥 4,500 公噸，燃料棒 9,000 公噸，塑膠顆粒 400 公噸，年實現收入 1,664 萬元（約新臺幣 8,320 萬元）。該公司與膠南市政當局簽約每公噸生活垃圾處理費約 95 元人民幣（約新臺幣 475 元）。



圖 6 沼氣發電機組電氣設施

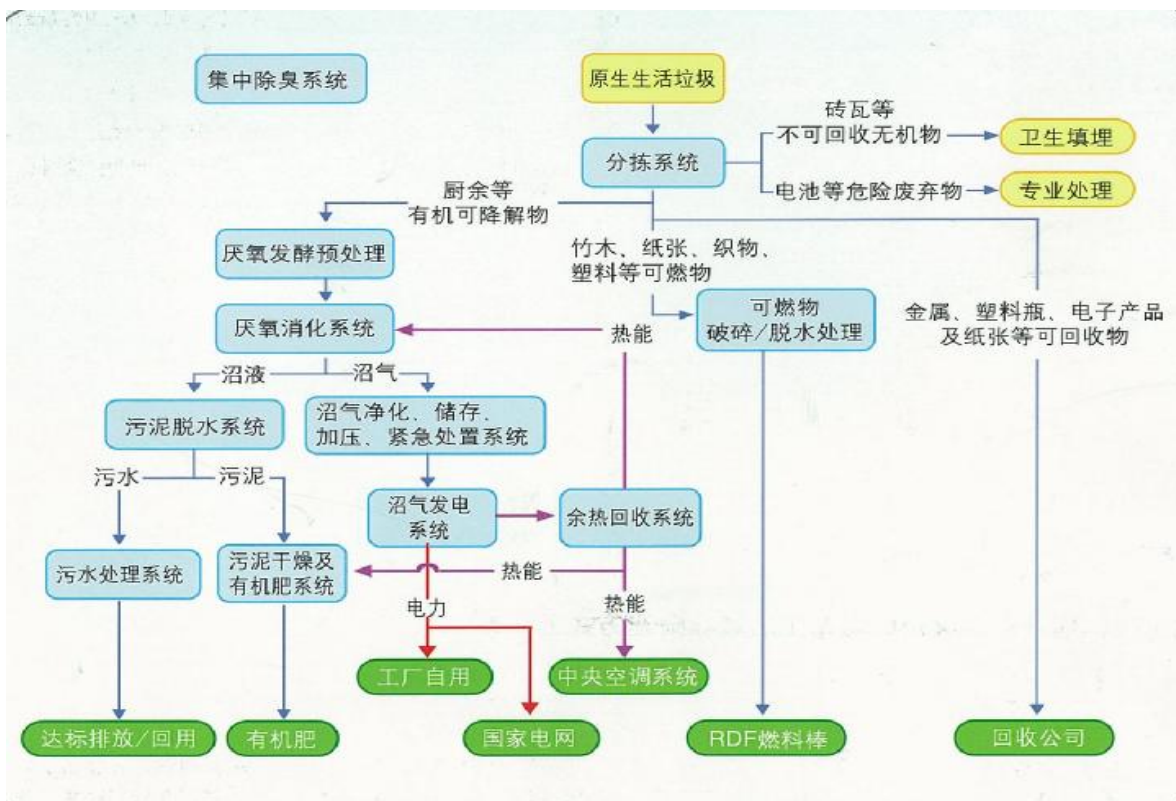


圖 7 小規模生活垃圾處理流程(資料來源:綠茵提供資料)

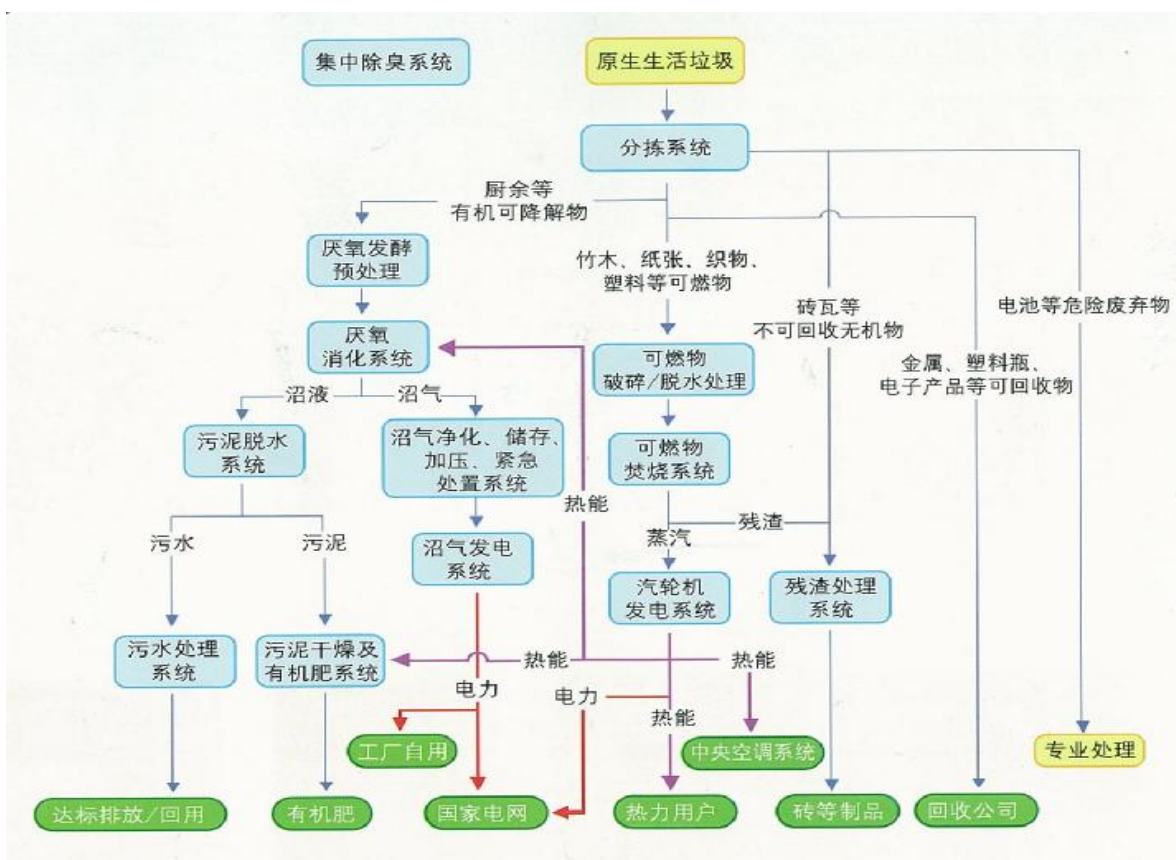


圖 8 大規模生活垃圾處理流程(資料來源:綠茵提供資料)



圖 9 有機可分解物厭氧發酵處理流程(資料來源:綠茵提供資料)



圖 10 廠區配置圖



圖 11 厭氧發酵預處理(資料來源:綠茵提供資料)



圖 12 厭氧發酵槽



圖 13 沼氣生物純化及雙膜式貯氣槽

三、青島十方生物能源有限公司

(一) 背景

該廠 2011 年 12 月興建，該廠以密閉化、集約化處理廚餘。考察時仍在興建中。設計每日處理 200 公噸青島四城區之餐廚廚餘。該廠係公開招標興建，每公噸 120 元人民幣處理費，建廠費用約 9,000 萬元人民幣(約新臺幣 4.5 億元)，特許經營 25 年。該公司與丹麥 Planenergi 公司簽定技術諮詢合作意向書，作為生質能源利用推動項目之一。

(二) 處理說明

該工廠規劃 32 輛廚餘車載運廚餘、2 線生產線。廚餘進料後，經螺旋輸送機輸送、破碎、分選、沉砂、製漿、厭氧發酵、產生沼氣、沼渣及沼液。

原料來源很重要，餐廳廚餘，原料分類較佳，惟大部分原料成分含有雜質，需預先處理。預先處理流程(圖 14、圖 15)如下：

- 1、螺旋輸送並立即分離大型物質，如刀叉。
- 2、破碎—將大顆粒破碎切割為小顆粒，8~10 mm。
- 3、分選—利用風將輕物質、有機含量低之物質吸走；重物質、有機物含量大，進入貯存系統。
- 4、於貯存系統中沉砂，並利用抽砂泵將砂抽離系統。

預先處理後，需高溫殺菌及製漿再經厭氧發酵處理(圖 16、圖 17)。

- 1、高溫殺菌及集油程序—目的在於透過蒸煮，1 atm 下溫度提高到 90°C，殺死廚餘漿液中之細菌，使符合歐盟規定(70°C 以上)，並同時進行集油。油雖不是影響厭氧發酵效率的關鍵性因素，但油有回收作為生質柴油之市場潛力。
- 2、製漿—目的在於調整漿液進入厭氧發酵槽進料溫度及進料濃度，提高厭氧發酵效率。以冷凝水調配漿液至所需濃度及溫度。
- 3、厭氧發酵處理—產生沼氣、沼液及沼渣。說明如下(圖 18 至圖 21)：
 - (1)厭氧發酵—設計為高溫厭氧反應，溫度設計約於 55~60°C。進料濃度控制在總固體物(TS)為 10%。廚餘中含有高量氨氮及鹽，厭氧菌需馴化。採高溫厭氧的目的，在於考量前一段高溫殺菌已加溫高達 90°C，為節省能源，採高溫厭氧發酵。

(2)沼氣－利用物理純化原理，以甲烷(CH₄)及二氧化碳(CO₂)分子量大小不同、變壓吸附(PSA)方法使甲烷氣含量高達95%以上、產率95%以上。自動化、穩定化操作純化沼氣作為車用燃氣。年產沼氣147萬公噸。另外，一小部分尾氣燃氣提供熱能，提供場內高溫蒸煮及集油之熱交換器熱能、製漿用之冷凝水及蒸汽。

(3)沼渣沼液規劃做有機肥。

場內採密閉設計，亦有收集管收集場內臭氣加以處理；而厭氧發酵前之輸送、破碎、沉砂、製漿、高溫殺菌等程序，皆在密閉房間內完成。



圖 14 廚餘進料處



圖 15 螺旋輸送及破碎



圖 16 高溫蒸煮與熱交換器



圖 17 製漿槽



圖 18 厭氧發酵槽



圖 19 沼氣貯存槽



圖 20 沼氣變壓吸附純化系統



圖 21 沼氣加氣站

四、武進區農業廢棄物綜合治理中心禮嘉站

(一) 背景

大陸湖泊約有 88% 優養化，太湖是重點整治湖泊之一，武進區有 97 項整治工程，禽畜糞處理為其中重點工作項目，2012 年 6 月歐盟農業委員會與中國農業部共同簽署「中歐農業與農村發展合作規劃綱要」之支持項目之一。中歐雙方 4 個重點研究發展：農業非點源污染綜合防控、生態有機農業技術發展、農業清潔生產關鍵技術應用監測與評估，及農業生態補償政策機制 4 項重點研發。武進區農業廢棄物綜合治理中心禮嘉站為中歐合作技術重點示範中心，目的在於建立農業清潔生產技術可行方法，擬訂具體農業生產生態補償政策。

推動以「零排放、零污染」為目標，以「低碳武進」為建設理念，採行分散養殖、高效種植進行有機結合為架構，全量收集處理禮嘉區萬頃規劃區（4,800 公畝）周圍 15 公里 70 戶養豬 15,000 頭豬糞尿，日處理 80~100 公噸，每年處理約 30,000 公噸，以豬糞尿及秸桿為原料進行厭氧共消化（co-digestion）處理，沼渣沼液施灌於萬頃良田、沼氣產熱產電進行三沼利用（如圖 23）。

(二) 處理說明

本廠之設計，以養戶收集、社會化清運及企業處理為主軸。因此，豬糞尿之收集，由養豬戶端執行，由當地農業單位出資進行系統性清運；秸桿由農戶運至處理廠；最後之處理，以企業化、工廠化及產品化角度進行禽畜糞之處理。

1、豬糞尿之收集

養豬戶應將雨水與廢水分流，使豬糞尿不與雨水混合。鼓勵鋪設密閉糞污道收集豬糞尿；並依飼養規模之大小及豬糞尿收集頻率，於豬舍排污口附近設置貯存 3~5 日之貯污池，一般分為大、中、小型三種規格，作為貯存豬糞尿及吸取豬糞尿之工作貯槽。同時，農戶需提供專用吸污通道之道路，在防疫下運作。

2、豬糞尿之清運

依路線、廢污水量等因素系統性規劃豬糞尿清運區域，禮嘉區清運區域分為三區，距離處理廠周圍 15 公里至 30 公里，擬定清污表（如圖 24）。

該處理廠有 4 輛清運車，有不同載運容量（如圖 25）。3~5 日至養豬戶抽取豬糞尿一次。考量防疫，一家一家清運，並每家清運、消毒後始至下一家載運。

3、厭氧發酵處理

本廠係以豬糞尿及秸桿為原料進行厭氧共消化，每日進料處理 100 公噸，處理規格工廠化，將豬糞尿及秸桿視為工廠製造產品之原料，沼渣、沼液及沼氣、熱、電為該工廠之產品。

秸桿投入厭氧消化之目的，係為解決露天燃燒之問題。秸桿進廠後，需預處理，切細至 2~3 mm，並混合沼渣及部分豬糞先行 10 日以上之初步發酵，目的在於增加發酵反應接觸面積，並使後續易於均質反應（如圖 26）。

初步發酵後，秸桿進料約每日 1 公噸，與豬糞尿充分混合攪拌，在未控制進料濃度下，進入 1,500 M³ 連續攪拌式（CSTR）中溫厭氧發酵槽（如圖 27）。產生之沼液（如圖 28），使用前以 1：1 或 1：2 稀釋，利用萬頃良田排灌、噴灌設施，以每公畝 6~8 公噸使用量還肥於田。沼渣經固液分離後，形成固態有機肥，作為農田追肥及基肥。產生之沼氣，貯存於貯氣槽中（600 M³），大部分以沼氣鍋爐產 95℃ 熱水，以每公噸 16 元人民幣（約新臺幣 80 元）賣至附近旅舍或家戶，並提供厭氧槽升溫用。沼氣以沼氣發電機產電，提供工廠所需用電。沼氣發電機組成套裝設備，82 kw，裝置於室內，具有壓縮機、發電機、尾氣燃燒單元（如圖 27、圖 29）。

該廠每年減少廢水化學需氧量（COD）排放 446 公噸、減碳約 10,034 公噸、減少化學肥料使用 260 公噸。環境補償效益約 140 萬元（新臺幣 700 萬元）。

本廠當地政府投資 1,000 萬元人民幣（約 5,000 萬元新臺幣）興建，當地地方區政府補貼每年 100 萬元人民幣（約 500 萬元新臺幣）運行。



圖 22 武進區農業廢棄物綜合治理中心



圖 23 武進區農業廢棄物綜合治理中心處理流程



圖 24 豬糞尿收集系統



圖 25 豬糞尿收集車



圖 26 沼渣與秸桿混合



圖 27 發電機尾氣燃燒單元、貯氣槽、厭氧消化槽



圖 28 沼液貯槽



圖 29 82 kw 沼氣發電機組

五、金康養豬合作社

(一) 背景

2004 年養豬場建廠約養 2,000 頭母豬，為大陸江蘇省禽畜糞利用示範工廠。

(二) 處理說明

該養豬廠產生之禽畜糞污，經勻漿、厭氧消化處理。厭氧消化槽為一體化厭氧消化槽（如圖 30）。發酵後產生之沼渣沼液，貯存作為田間利用，沼氣用來發電，作為廠內使用。

一體化厭氧發酵槽厭氧發酵及甲烷貯氣皆配置於同一槽體，攪拌器採斜側邊攪拌。主要單元有：

- 1、測量系統：視鏡、超音波距離探測儀、溫度計等。
- 2、安全系統：沼氣安全閥及空氣安全閥。
- 3、通風系統：風機及風管。用以支撐上半部甲烷貯氣膜。
- 4、錨固系統：槽體基礎。
- 5、貯氣囊：需抗紫外線、抗老化、抗硫化氫腐蝕及抗甲烷氣滲透，因此貯氣囊材質經表面處理。

該場採用 200 kw 燃氣發電機套裝機組，具壓縮機、發電機、尾氣燃燒單元（如圖 36）。



圖 30 一體化厭氧消化槽



圖 31 厭氧消化槽攪拌機



圖 32 風機支撐頂部貯氣囊



圖 33 貯氣囊連接風機



圖 34 厭氧發酵槽頂安全設施



圖 35 沼液槽



圖 36 200 kw 發電機組

六、杭州能源環境工程有限公司

杭州能源環境工程有限公司是一家從事大規模沼氣工程設計及統包建造之工程公司，其董事長具有三十餘年沼氣工程研發、設計、施工經驗。該公司至今已有 80 多個大中小型沼氣工程建設項目，處理物料包含雞糞、牛糞、豬糞尿、污泥、工廠廢水（酒廠、果汁廠、屠宰場、竹製品加工廠）等，近年並參與臺灣牧場、養豬場及雞場之禽畜糞利用沼氣工程設計。

該公司產品包含厭氧發酵攪拌槽、沼氣貯氣裝置、生物脫硫設備等項目。禽畜糞液厭氧發酵工程的設計，應先了解物料數量、總固體物量（TS）濃度、揮發性固體物（VS）濃度，來選擇適當發酵條件設計，一般濕式發酵 TS 濃度 12~15%。並根據物料數量、發酵濃度來確定厭氧消化槽停留時間，TS 在 18-25%時，停留時間一般為 10-12 天，TS 濃度在 10-12%時，停留時間為 20-25 天。

發酵溫度設計：高溫發酵溫度約為 52°C，中溫發酵溫度約 38°C，高溫發酵停留時間短（10 天左右），裝置產氣率高，殺滅病原菌和寄生蟲效果顯著，工程總造價低。在厭氧發酵槽要注意控制 pH 值，並適當攪拌，提供適當生長環境供甲烷生成菌充分發酵產生沼氣。為避免受沼氣中硫化氫腐蝕，該公司使用不鏽鋼材質建造厭氧發酵槽體及攪拌設備。另在生物脫硫及沼氣貯氣裝置等項目，均依實際工程需求規劃設計。

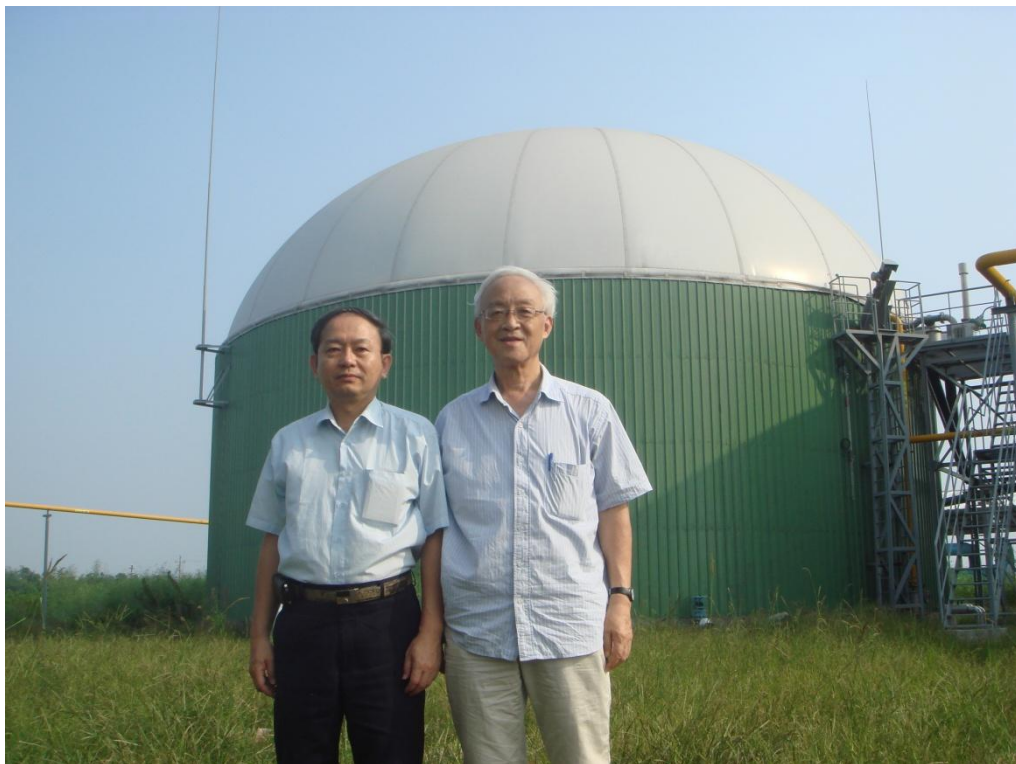


圖 37 與杭能蔡董事長合影

肆、成果評估與心得

一、整體面

(一) 以保護水體為出發點，解決多面向問題

中國大陸為了解決太湖優養化問題，農業面源污染為治理對策之一。本次參訪農業廢棄物處理站及養豬場等，即是與國外技術合作設立解決禽畜廢污技術示範中心，推動農業禽畜糞清潔生產技術。

除了要解決太湖水質污染問題，該農業廢棄物處理站為了當地農作物秸桿露天燃燒問題，因此將秸桿與豬糞尿共發酵。

禽畜糞液之處理方式以厭氧消化處理，消化後產生沼氣、沼渣及沼液，並依需求規劃沼氣、沼渣及沼液的再利用去化管道。例如，將沼氣發電的餘熱產製熱水，售予周遭飯店或浴場使用，增加收益；並將沼渣沼液作為肥料提供附近農地使用，紓緩農民購買肥料之需求，並對沼渣沼液之去化有了完整的規劃管網，促進農業循環經濟發展，實現生態農業。

(二) 企業化、工廠化及產品化處理禽畜糞液

綜觀本次參訪廠場均將禽畜糞液、廚餘及有機垃圾等廢棄物以企業化、工廠化及產品化方式規劃設計處理，並將產生之沼氣、沼渣及沼液以產品角度規劃去處，以增加營收，達環境經濟共榮效益。

例如某牧場，將沼液視為產品製成高價有機液肥，沼氣發電取得當地電業執照，並成立生物科技公司主要從事有機肥、生物有機肥、沼液肥料生產與銷售等業務。其他如餐廚垃圾及生活垃圾之處理類型，亦屬工廠型態。沼氣利用除了供給自廠用電用熱外，亦提供周圍用電用熱及車用燃料。

(三) 資源能源整合評估

禽畜糞液、廚餘及有機垃圾可以視為資源，也是能源的一部分。在處理富含有機物質的禽畜糞液時，利用生物質轉換為能源，而能源轉換後之殘餘物（沼渣、沼液）以材料化產品化應用。

有機廢棄物的處理、沼渣及沼液的去處規劃應用並非各自獨立，而是具有相當的關聯性，整合尋求最佳化。整合應用範圍可以包括：最佳技術、能源利用、能源與環境、及資源應用等項目，以「氣、電、熱、肥及溫室氣體減量」之多元經濟效益為評估執行。

二、技術面

(一) 前處理單元

厭氧發酵的環境、溫度、水分、酸鹼度等需予嚴格控制，俾提供甲烷生成菌適當厭氧環境生長與作用。因此禽畜糞液、廚餘等廢棄物在進入沼氣消化槽前，依其成分特性之不同應進行不同的前處理程序。

例如在處理稻作秸桿時先進行預處理，將秸桿切細至 2~3 mm，並混合沼渣及部分豬糞進行 10 日以上之初步發酵，目的在於增加發酵反應的接觸面積，並使後續易於均質反應，增加消化槽液的黏度(viscosity)，減少泡沫層的生成而阻礙消化反應及沼氣的排出，以提高產氣效果。

某牧場主要處理雞隻糞便，雞喜啄砂子，糞便含砂量高，因此，進入厭氧消化槽前先行水解除砂，去除雞糞中之砂質。

餐廚垃圾處理流程先經除油、破碎、除砂、製漿及提油等前處理程序。除油係為了油回收，製成生質柴油。破碎至 8~10 mm，即在增加消化液黏度，增加產氣量。在製漿過中，導入冷凝水混合，屬液體熱水前處理(liquid hot-water pretreatment)，破壞半纖維質(hemicelluloses)，增加產氣量。

另外，進料系統的設計，亦需搭配後端厭氧消化反應器的設計，使進料均質化，易於輸送，而不造成阻塞與厭氧消化反應的不均質化。

(二) 厭氧消化槽單元

本次參訪廠商使用之厭氧消化槽為連續攪拌式消化系統(CSTR)，可用於總固體物質 15%以下。物料於消化槽中攪拌消化分解，並依物料成分及產氣需求設計不同消化槽。

例如牧場厭氧消化槽之設計進料總固體物(TS)配料約 9~10%，以利物料輸送及熱交換。另外考量沼氣發電項目為世界銀行清潔發展機制(CDM)交易項目，為提高沼氣生產量，保證穩定的沼氣供應，並聯運作 2 套厭氧程序，每套含 3 座一級槽連結 1 座二級厭氧槽，共有 8 座厭氧槽。

單相(one-stage)反應槽因水解過程中容易產生大量的酸，而抑制甲烷的生成。多相消化槽的消化程序控制在不同階段、不同 pH 值進行厭氧消化。

消化槽的溫度亦是反應器的設計重點。本次參訪場址，大部分皆為中溫反應(25~45°C)。有一場為高溫反應(50~58°C)，主要是考量前處理程序已將溫度控制在 90°C 左右，為節省能源，以高溫反應器設計，節省反應時間。反應器的溫度會影響下列設計因子：

- 1、溫度愈高，有機物的分解速率愈快，所需的反應停留時間(HRT)愈短，所需槽體體積亦愈小。
- 2、溫度愈高，對程序穩定性敏感度亦愈高，特別是溫度、pH 值及進料的敏感度。而為了使反應器恆溫，避免溫度變化，反應器本身有加熱迴管，管線有隔熱設施。

(三) 沼氣貯存

因應沼氣產生的變動性，以及利用的頻率，需設置沼氣貯存設施。沼氣貯存設施有 2 種，1 種與厭氧消化反應器共構，另外 1 種與厭氧消化反應器分開獨立設置。例如參訪之養豬場為使用一體式厭氣槽，亦即沼氣直接在厭氣槽頂部收集，以厭氣槽頂作為沼氣儲槽，沒有獨立的儲氣貯槽以節省占地面積，降低工程成本。

(四) 沼氣純化與利用

厭氧消化後產生的沼氣中約有 50~60%是甲烷(CH_4)，其餘有 CO_2 (15~50%)、 H_2S 、矽烷類(siloxanes)及水分等。 CO_2 會與水分形成碳酸不純物。而甲烷(CH_4)相對於二氧化碳(CO_2)溫室氣體效益 25 倍強，所以少許的漏出，就有較負面的影響。

沼氣的純化程度與沼氣的利用型態有關，並且與經費有關。例如，工業用鍋爐可使用未純化的沼氣，小型發電機可容許 H_2S 濃度高達 1,000ppm。沼氣利用有發電產熱、工業鍋爐燃料、小型發電機(microturbines)、燃料電池、輸送性燃料（類似天然瓦斯）、加氣等。若直接納入加氣站作為車用燃氣，則必須將厭氧反應後之沼氣加以純化分離水分、二氧化碳及雜質。

厭氧發酵後之沼氣，含有飽和水分。本次參訪之養豬場在沼氣管線至發電機前之輸送管上設計傾斜管及閥門，將管線輸送中冷凝下來的水分排出，以避免影響後續沼氣的純化。通常後端若以洗滌(scrubber)法、分子篩法或膜法作沼氣純化，須裝設加壓縮機來保持系統的穩定。壓縮機冷卻即可將水分冷凝下來而分離。

發酵後的沼氣亦含有硫化氫。為防止設備腐蝕，小型發電機管件設備，包含尾氣排放管使用不銹鋼材質。若作為車用燃氣，則去除硫化氫是必須的。

去除硫化氫(H_2S)的方法主要有化學脫硫法（如用鐵鹽或氫氧化鐵）、加入微氧使微生物氧化成單質硫之生物脫硫法，或以氧化鐵吸附脫硫法。

但程序是否脫硫及是否設計脫硫程序，宜視原料含量而定。本次參訪亦有養豬場之發電設備前未有脫硫之處理，因此，在設計之前，宜測試原料之成分。

厭氧消化後沼氣分離二氧化碳(CO_2)方法主要有吸附(pressure swing adsorption, PSA)、吸收（如水洗、化學溶劑吸收）、滲透（膜分離）等方法。本次參觀 PSA 方法，即利用固體表面作為吸附劑吸附氣體分子。吸附劑有活性炭、沸石等，因氣體分子大小及極性不同，吸附 CO_2 而使 CH_4 通過。沼氣進入吸附塔前，水分及硫化氫即先去

除。純化後甲烷濃度可達 96~97%。其他分離 CO₂ 方法有氨水洗法(Amine Scrubber)、有機溶劑水洗法(SELEXOL® Process)及膜分離法，在本次參訪行程中，並未實見。

三、建議事項

國外將豬糞尿當作資源處理，沼氣發電利用，沼液作為有機肥回歸農田使用，無論在技術面及市場面均已有運作實例。為將禽畜糞液有效回收再利用，減少污染物排入河川，宜針對禽畜糞收集範圍、沼渣沼液利用範圍、沼氣用途、熱電利用、溫室氣體減量等面向進行整合評估，並將沼氣、沼渣及沼液產品化發展。