



逢甲大學學生報告 ePaper

有機污泥氣化產能利用之可行性評估

作者：呂承翰

系級：環境工程與科學系研究所碩士班一年級

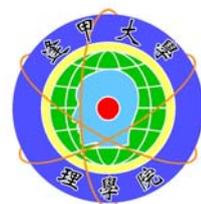
學號：M9706292

開課老師：江康鈺 老師

課程名稱：資源回收與管理

開課系所：碩士班一年級

開課學年：97 學年度 第2 學期



中文摘要

污泥為廢水或污水處理程序之最後產物，污泥產量會因污水處理程序之處理效率而受到影響，具有良好操作之污水處理廠便會產生可觀且大量之污泥。世界各國對於污泥處理仍以採土地處置為主，該方式會耗用土地資源，運送過程更因污泥含水量高之特性而增加運輸成本。熱處理是目前土地處理外可大量處理污泥之方式，而一般生活污水及部分工業污水所衍生之污泥具有機特性，可利用焚化法將其有機含量轉換為熱能產電利用，達到廢棄物資源化與能源化之目的。除焚化法外，熱解及氣化方式現今也正逐漸發展中，以熱解方式產生油品物質目前已知可將其應用在特殊引擎上，但熱解法仍需克服副產物及油品純度之挑戰。氣化技術已知可應用在有機廢棄物之處理上，不僅有效減容減重，還可產生合成氣進行應用，達到處理廢棄物及資源化之目的。因此，將有機污泥進行氣化處理，不僅可利用其中所含之有機成份轉為能源，同時藉其高含水率特性增加氣化效率，未來勢必能有效處理大量污泥產生之問題。

關鍵字：有機污泥、氣化、合成氣

目 次

| | |
|------------------|----|
| 目次..... | 1 |
| 一、前言..... | 3 |
| 二、有機污泥來源與特性..... | 4 |
| 三、有機污泥氣化..... | 6 |
| 四、結論..... | 11 |
| 參考文獻..... | 14 |



一、前言

因都市化的迅速以及人口的快速增加，所以對能源的需求與日俱增。以 1973 年標準來看資源量在已開發國家中已經有兩倍之多，但目前需求仍相當高。而以 2002 年的標準來看世界能源的需求已增加近 50%，未來將會增加 2.5 倍(Goyal et al.，2008)。全世界目前對於都市垃圾及下水道污泥的處理需求正逐漸增加，其中都市垃圾中包含可燃及不可燃物，分別來自於家庭、都會區、商業區及工廠。北美對於廢棄物管理的首要措施為掩埋及焚化處理。而對於掩埋的土地問題一直以來都是關注焦點，加拿大已準備付費將廢棄物運至美國掩埋(Dalai et al.，2009)。而將廢棄物進行焚化也是目前我國處理都市廢棄物的主要方式，但這些行為會產生大量溫室氣體並排放於環境中，如甲烷、二氧化碳、戴奧辛、呋喃、氮氧化物及硫氧化物等。雖然處理都市廢棄物一個理想的方法就是透過熱處理，但如何能將物質透過熱處理方法轉換為能源必須經過完整的研究及詳盡的探討。

生質物是地球上任一種能夠儲存太陽能且具生命現象之物質(Goyal et al.，2008)。其他研究學者的定義中，生質物的來源包含能源作物、農業廢棄物、林業木業廢棄物、一般工業及都市廢棄物(Leung et al.，2006)。生質能能耗 2004 年佔全世界再生能源利用 12%，預估於 2010 年可達到 15% (Han 及 Kim，2008)。而生質能可透過多種方法轉化進行利用，其中熱化學轉換法最為常見，包含焚化、熱解及氣化法，而氣化和熱解可產出應用於電廠的中熱值氣體或製造過程中所需要的富氫氣之氣體(H_2+CO)。氣化方法之結果為產生合成氣後再產能利用。而產生之合成氣便有應用之潛力，進一步將合成氣分離、純化後會使氣體熱值提高，可應用於電力供應、氫純化之原料、燃料電池之燃料與製造甲醇及氨的原料。利用可再生之生質物經生質能轉化技術製造液體燃料是目前的最大目標，例如將木類生質物進行氣化後，其產物可進一步製造液態運輸燃料，特別為甲醇與二甲基醚，因為這兩種物質可儲存並取代汽油或柴油而被稱為乾淨燃料(Hanaoka et al.，2005)。

由於污泥屬為生質物範疇，而污泥產量又有隨著城市與工業技術發展有漸增

之趨勢，同時污泥於現階段來說需要具永續意義之方法進行處理，1999 年廢清法修訂執行後使污泥處理處置費用提高，並規範有機性污泥須經中間處理得加以清除，另外水污染防治法第八條也已將污泥納入管轄範圍內。目前已知都市污水處理衍生之下水污泥具氣化價值，而經濟部工業局於全台開發共 60 個工業區，提供產業進駐作為生產基地，但伴隨而來之工業污泥卻為一待解決之問題，由於工業廢水與衍生污泥產量具增加之趨勢，現階段處理仍以掩埋為主。無機污泥目前已知可利用於燒結技術製造磚材達到資源化之目的，而現階段有機污泥大部分經中間處理後進行最終處置，此對國土狹小的台灣來說，並非一治本之方法。緣此本篇文章透過文獻回顧方式探討利用氣化方法處理有機污泥之方法，同時評估目前台灣地區既有與產量漸增之有機性污泥應用於氣化處理之可行性。

二、有機污泥來源與特性

污泥依性質區分可分為有機性與無機性污泥，而有機污泥依產出來源可區分為一般民生污水處理廠所衍生之污泥及工業製程所產生之有機污泥，而民生污水處理廠產出之污泥產生總量每年約 50 萬公噸，另外根據 2001 年全國廢棄物產量統計資料顯示，有機、生物及無機廢棄污泥年產量為 200 萬公噸，有機污泥佔 35%，無機污泥則佔 65%，而工業廢(污)水處理廠所產生之生物污泥之年產量達 60 萬公噸 (張添晉及陳俞穎，2008；經濟部工業局，2005)。

一般廢(污)水處理廠內之處理程序包含初級、二級與三級處理，還會視情況而加設高級處理，目的是為符合放流水標準或其他應用之需求。其中初級處理是利用像是攔污柵及初沉池等物理方法去除水中懸浮固體物、油脂及部份膠體、溶解性固體物及生化需氧量；而二級處理便是將初級處理出流水進行生物處理，去除污水中溶解性有機物；三級處理則是利用物化方法去除二級處理方法後出流水中含有的營養物質及低濃度的懸浮固體物，其中更包含加氯消毒與殺菌；高級處理即為去除一般生物處理後殘餘之溶解懸浮物質，可使其放流水純度更高可應用於

高科技或其他純水需求之工業製程。在一般污水處理程序中產生之污泥可區分為初級污泥與生物污泥。經混凝、沉澱或初級沉澱池所產生為初級污泥，為重力沉澱與鋁鹽、鐵鹽之無機性含量較高之污泥；另外生物處理單元產生之生物污泥為生物分解產生之剩餘污泥，雖經生物分解，但其有機含量部分為生物體，故有機比例仍具一定含量，可進行後續利用。

Fytli 及 Zabaniotou (2008) 對於目前歐盟針對下水污泥之傳統及舊有方法應用文獻回顧中列出典型下水污泥組成及其性質，將其列為表 1。此外經濟部工業局 (2005) 更指出污泥中含有之有機成份由碳氫化合物、脂肪、蛋白質所組成，其組成比例依污泥種類而異，無機物則由砂、矽土、鐵、鋁、其他金屬氧化物組成。

下水污泥之有機質含量亦會對後續處理應用造成影響，根據表 1 污泥經消化後揮發性固體物含量有明顯降低，但後續利用上若非生物處理則無明顯影響。於熱處理方式進行有機含量之影響表現在熱值與含碳量部分，焚化方式主要受熱值影響，排除含水率問題後，下水污泥可進行焚化處理，在熱解與氣化方面，則視含碳量而定，但對含碳量多寡進行熱解或氣化處理與否判定，目前仍無資料具可靠之判斷標準。

工業區內污水處理廠衍生之有機污泥來源可能為食品加工廠、皮革工廠、染整廠、造紙廠、飼料廠或其他加工廠，而工業區進駐之廠商眾多可能造成衍生污泥特性複雜之結果，但如將其產業進行全面普查及使製程透明化，不僅可獲得該工業區產生之污泥特性，分流後可針對不同污泥特性進行處理與處置，達到降低成本、妥善處理及資源再利用之目的。

表 1、典型下水污泥組成與性質 (Fytili 及 Zabaniotou, 2008)

| 項目/污泥類別 | 未經處理 | | 經消化 | | 活性污泥法 |
|--|-------------|-------|-----------|------|------------|
| | 範圍 | 典型數值 | 範圍 | 典型數值 | |
| 總固體物(TS), d.b. % | 2.0-8.0 | 5.0 | 6.0-12.0 | 10.0 | 0.83-1.16 |
| 揮發性固體物(% of TS) | 60-80 | 65 | 30-60 | 40 | 59-88 |
| 油脂(% of TS) | | | | | |
| 溶於乙醚 | 6-30 | - | 5-20 | 18 | - |
| 需萃取 | 7-35 | - | - | - | 5-12 |
| 蛋白質(% of TS) | 20-30 | 25 | 15-20 | 18 | 32-41 |
| 氮(N, % of TS) | 1.5-4 | 2.5 | 1.6-6.0 | 3.0 | 2.4-5.0 |
| 磷(P ₂ O ₅ , % of TS) | 0.8-2.8 | 1.6 | 1.5-4.0 | 2.5 | 2.8-11.0 |
| 鉀(K ₂ O, % of TS) | 0-1 | 0.4 | 0.0-3.0 | 1.0 | 0.5-0.7 |
| 纖維素(% of TS) | 8.0-15.0 | 10.0 | 8.0-15.0 | 10.0 | - |
| 鐵(非硫化物) | 2.0-4.0 | 2.5 | 3.0-8.0 | 4.0 | - |
| 矽(SiO ₂ , % of TS) | 15.0-20.0 | - | 10.0-20.0 | - | - |
| 鹼度 (mg/L, as CaCO ₃) | 500-1500 | 600 | 2500-3500 | | 580-1100 |
| 有機酸(mg/L as) | 200-2000 | 500 | 100-600 | 3000 | 1100-1700 |
| 含能 | 10000-12500 | 11000 | 4000-6000 | 200 | 8000-10000 |
| pH | 5.0-8.0 | 6.0 | 6.5-7.5 | 7.0 | 6.5-8.0 |

三、有機污泥氣化

一般來說，污泥都有含水率偏高之趨勢，含水率之多寡取決於污水處理廠對於污泥處理與後續脫水效率而定，污泥含水率高除體積龐大難以進行後續應用外，對運輸過程亦會造成影響。歐陽氏(2005)指出對於污泥之脫水方式可使用晒乾、離心脫水、加壓過濾、帶壓過濾或污泥塘等方法降低高含水率之問題。污泥

高含水率問題主要對於熱處理具明顯影響，因污泥熱處理採焚化、熱解及氣化等方式皆為高溫條件下進行，如含水率過高會使得高溫過程中因水蒸發吸熱而使得爐內溫度降低，若要達到良好之處理效率仍需額外加溫使得溫度達設定之條件。以焚化為例，含水率約 80%之污泥倘若直接以污泥管輸入至爐內，造成污泥中水分蒸發大量吸收爐內熱能，而為達到廢棄物完全燃燒之溫度要件，必然需提供更高熱值之油類或其他廢棄物以維持爐內溫度。同時因污泥中水分與爐體差異之比熱特性，如直接於爐床上噴入還會對爐床材料造成溫度差異的影響，可能會造成爐床材料壽命的降低或損壞。

經濟部能源局(2007) 指出氣化技術可應用在煤炭等生質物之處理並搭配氣化物複循環發電系統(Integrated Gasification Combined Cycles, IGCC)進行產能應用，基本概念如圖 1，為利用煤炭、石油焦或生質物透過像是空氣或蒸汽這些不同的氣化媒介進行氣化反應，反應產出之混合氣體經燃氣淨化系統產出純度較高之合成氣(Syngas)，該淨化合成氣可經由純化、分離或直接燃燒等方式進行後續利用，直接燃燒可帶動鍋爐進行蒸氣發電或供給其他設備之熱能使用，另外合成氣純化及分離後可獲得高純度之氫氣(H_2)，可利用在其他能源用途或儲存，氫氣與一氧化碳亦可做為原料進入工業製程(Fischer-Tropsch process)製造 F-T 燃料，即為碳氫化合物合成燃料，更可製成甲醇或二甲醚(Dimethylether, DME) 做為其他引擎或動力機械之燃料使用。圖 2 為氣化複循環發電概要圖，簡單來說以生質物作為原料進行氣化後產生合成氣，再以空氣污染防治設備與進行排煙脫硫與淨化程序達到燃氣淨化的效果，不僅可直接燃燒推動氣渦輪發電外，還可將廢熱與廢蒸氣回收，除可推動蒸氣鍋爐產電外還可做為氣化爐能量來源，這些單元總稱氣化複循環發電系統 (經濟部能源局，2007)。由於污泥包含在生質物(biomass)範疇中，故可將污泥做為氣化原料進行氣化處理。

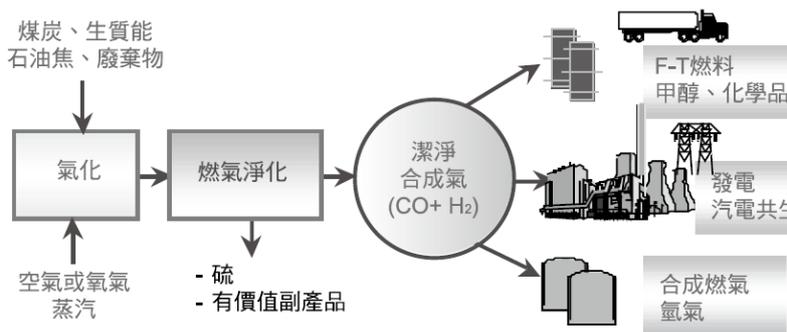


圖 1、氣化產能概念圖 (經濟部能源局, 2007)

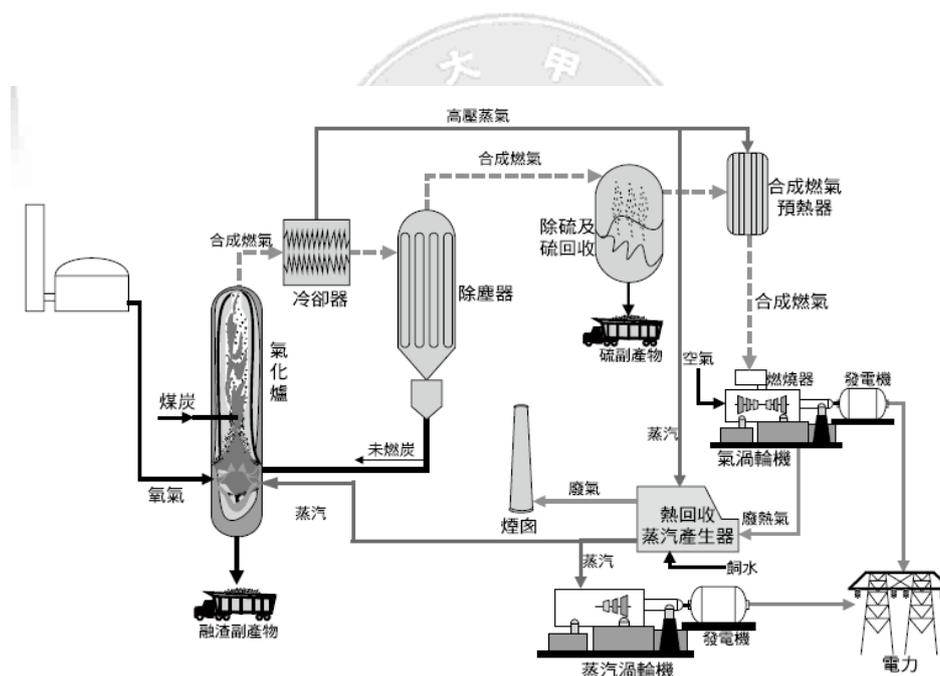


圖 2、氣化複循環發電系統概要圖 (經濟部能源局, 2007)

對於污泥進行熱處理方式之氣化處理主要仍受到污泥含水率而受到限制，故有學者提出一套污泥氣化處理流程供相關研究參考利用並繪為圖 3 (Groß et al., 2007)。原污泥經簡單之脫水過程後，藉適當的混合或其他乾燥方式調整含水率，之後再將乾燥後之污泥做為氣化原料使參數最佳化開始進行氣化反應，反應後產生之氣體為一級產氣，經適當之燃氣潔淨系統淨化後輸送至產電單元進行產電使用，所產生的電力可供其他單元使用，而伴隨產出之熱能亦可循環利用於整個系統中，如此減少能量使用與消耗，達到降低成本之效果。

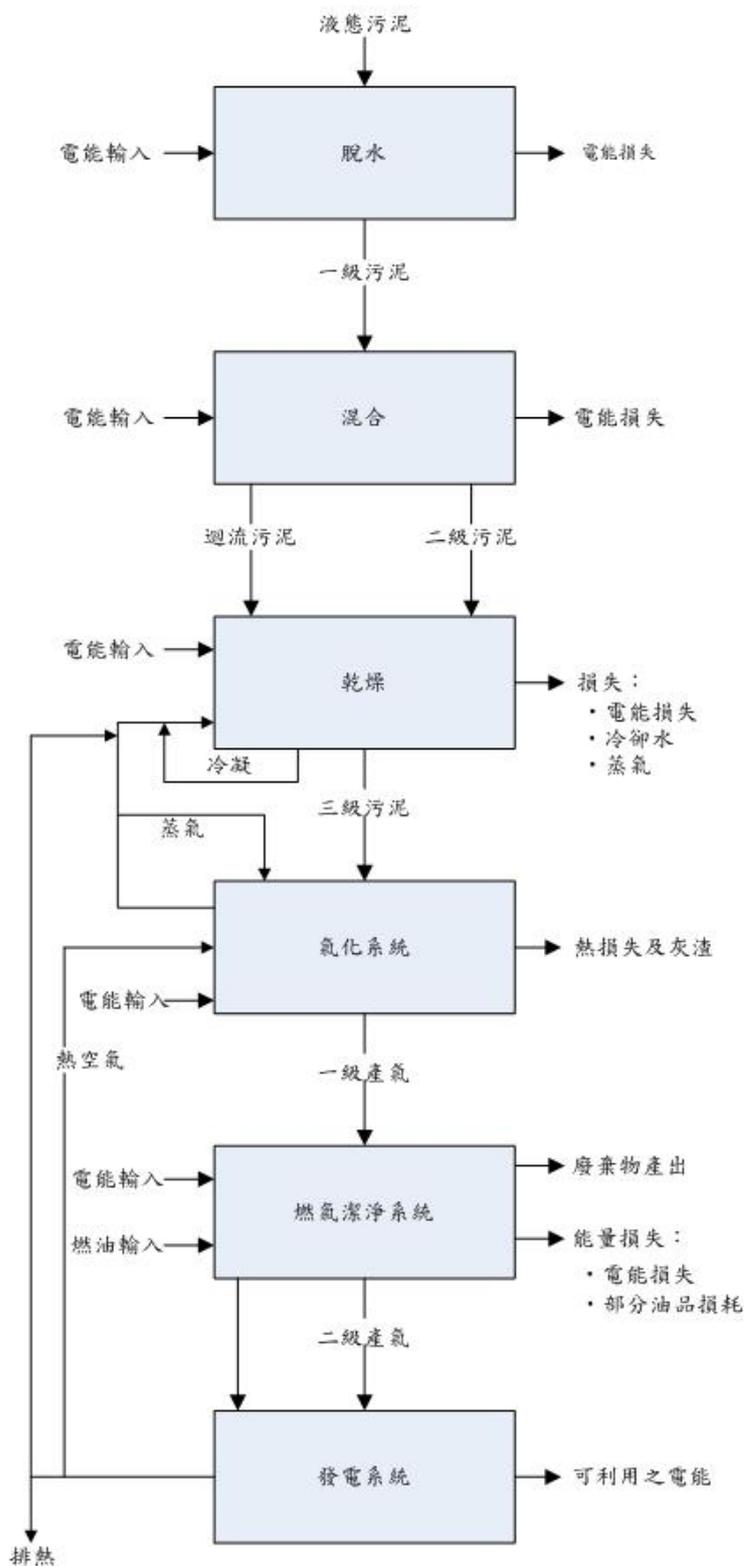


圖 3、污泥氣化處理流程 (Groß et al. , 2007)

Groß et al. (2007) 將廢水處理程序衍生之下水污泥利用 ETVS(脫水、乾燥、氣化及產電)及 NTVS(太陽能低溫乾燥、污泥氣化與燃氣淨化、產電)程序進行污水廠後端之現地氣化並轉化為其他可利用能源使用。現地氣化每年不僅可處理約

1000~8000 噸之乾固體污泥，還可除去運送含水污泥之運輸成本，僅需要之運輸成本為運送氣化灰渣之用。此外使用 ETVS/NTVS 程序對於處理每噸之乾固體污泥可節省約 350-400 歐元，對於整體污泥氣化處理之經濟性還需計算現有處置成本及污泥組成與性質。該兩種程序已獲得歐盟的專利，同時已獲准利用於現地氣化系統內。

Midilli et al. (2001) 利用下沉式固定床氣化模廠將乾燥後下水污泥進行 1100°C 高溫氣化，結果顯示可燃性氣體(H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_6)佔總產氣之 19-26%，而產出之可燃性氣體熱值為 2.55-3.20 MJ/Nm³，利用下水污泥做為該模廠之氣化原料後估計產能為 12.19-28.97 MJ/hr。該模廠內氣化爐之後端具熱電系統，該產生之電力可作為下水污泥進料前端之乾燥程序之用，證明利用下水污泥於模廠規模之氣化爐已可進行廠內產能利用。

Pinto et al. (2007；2008) 將下水污泥與煤炭或稻稈混合於流體化床氣化爐進行共同氣化並證明下水污泥與其他生質物共同氣化之可行性，由於下水污泥含有較高灰份含量之特性，故存在之重金屬問題仍須重視，而該研究中對於爐床底部排出之底渣進行溶出試驗並監測重金屬銅、鋅、鉻、鎘、鉛及汞，同時並測定硫酸根與氯含量。結果顯示重金屬溶出量皆低於歐盟對於掩埋處理之法規限定標準，然而在混合稻稈進行共同氣化之組數據有較高之氯含量，主要是由於稻稈原料氯含量偏高所造成。

目前利用氣化技術處理污泥仍針對高有機含量之下水污泥進行研究，而對於工業產出之有機污泥尚未有相關文獻進行探討。然而對於造紙廠所產生之紙漿污泥有相關研究。將乾燥後之紙漿污泥熱解後可產生約 30%之油品(Strezov 及 Evans, 2009)。而類似食品加工廠污泥特性之原料亦有學者探討，Soni et al.(2008) 利用肉粉及骨粉於兩階段固定床氣化爐進行氣化，結果顯示產氣中氫氣組成扣氮後佔 7.3-22.3 vol%，而合成氣最高可達 57.4 vol%，由此可推論與肉粉及骨粉組成類似之食品加工廠污泥或許有類似之結果。

Dufour et al.(2008) 指出木類生質物中所含之灰份對於氣化過程中之產氣組成不具顯著影響。由於木類生質物之灰份含量相當低，故對氣化產氣組成之影響不具顯著性，但不管是下水污泥或其他污泥其灰份含量都有略高之特性(Van der Drift et al., 2001)。在此灰份含量由於其量較其他生質物高，可能對於氣化產氣組成造成影響，而不同結合態之鉀、鐵、同及鎳等金屬化合物會改變產氣組成，還可作為催化劑提高氣化效率與轉化焦油及其他碳氫化合物成為低分子量之可燃氣體。

四、結論

目前已知將下水污泥脫水後氣化可實際進行，於都市污水處理廠後端直接進行現地氣化，可減去大量污泥運輸成本，所需之運輸成本僅剩氣化爐排出之灰渣使用。而將下水污泥與其他生質物混合後應用於氣化系統也已確定可行，但副產物之污染問題仍需重視，於實驗室規模之流體化床氣化爐正常操作下排出之底渣於歐盟之溶出試驗規範測試後其銅、鋅、鉻、鎳、鉛及汞皆低於偵測極限，另外由於使用之稻桿具有較高之氯含量故在溶出試驗中會有氯含量偏高之結果，所以對於氣化技術處理之原料會對產出物組成造成影響。

各文獻中對於焦油處理大部分使用爐內高溫分解去除焦油，致使產氣提升。而污泥中所含之灰份含量較其它生質物高，所含之部分結合型態金屬鉀、鐵、銅及鎳都可能具催化效果，得以促進焦油轉化分解，如具催化特性便可做為反應之催化劑進行自發性催化氣化。另外一般污泥具高含水率之特性，故污泥處理仍不適用於固定床式反應爐，需進行預乾燥脫除水分始得應用，而目前污泥焚化仍多採用機械爐床或流體化床反應爐進行處理，且小規模之固定床反應爐放大效果較流體化床式不佳。所以，污泥脫水技術、氣化爐建置與管線之搭配可進行其他相關研究使污泥氣化技術漸趨完整。

將有機污泥進行氣化處理，利用其有機成份將污泥轉化為合成氣，可透過能

源轉化等方式將其轉為電能供系統使用，更可輸出額外之電力進行其他利用。有機污泥之高含水率如將其轉為氣化媒介使用，不僅降低污泥體積，還可增加氣化效率，提升產氣品質。所以將污泥進行氣化處理後，能有效處理大量污泥所產生之問題。

未來研究方向可利用不同有機特性之污泥進行相關實驗與研究，探討其特性與操作條件之相關性，同時調整氣化反應過程中有機污泥之含水率，即控制反應中可容許之原料含水量。因污泥中所含之水份可透過吸熱反應蒸發形成水蒸氣，而水蒸氣於氣化系統中除可作為載氣外，亦可作為合成氣中氫之來源，可使產氣中氫含量提高，藉此達到參數最佳化與產能最大化之目的。



參考文獻

- Dalai, A. K., Batta, N., Eswaramoorthi, I., Schoenau, G. J., 2009. Gasification of refuse derived fuel in a fixed bed reactor for syngas production. *Waste Management* 29, 252–258
- Dofour, A., Celzard, A., Fierro, V., Martin, E., Broust, F., Zoulalian, A., 2008. Catalytic decomposition of methane over a wood char concurrently activated by a pyrolysis gas. *Applied Catalysis A: General* 346, 164-173
- Fytli, D., Zabaniotou, A., 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 116-140.
- Goyal, H. B., Seal, D., Saxena, R.C., 2008. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 12, 504-517
- Groß, B., Eder, C., Grziwa, P., Horst, J., Kimmerle, K., 2008. Energy recovery from sewage sludge by means of fluidised bed gasification. *Waste Management* 28, 1819-1826.
- Hanaoka, T., Inoue, S., Uno, S., Ogi, T., Minowa, T., 2005, Effect of woody biomass components on air-steam gasification. *Biomass and Bioenergy* 28, 69–76

- Kim, H., Han, J., 2008. The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis: An overview. *Renewable & Sustainable energy reviews* 12, 397-416
- Leung, D.Y. C., Ni, M., Leung, M. K. H., Sumathy, K., 2006. An overview of hydrogen from biomass. *Fuel Processing Technology* 87, 461-472
- Midilli, A., Dogru, M., Howarth, C. R., Ling, M. J., Ayhan, T., 2001. Combustible gas production from sewage sludge with a downdraft gasifier. *Energy Conversion & Management* 42, 157-172
- Pinto, F., Lopes, H., André, R. N., Dias, M., Gulyurtlu, I., Cabrita, I., 2007. Effect of experimental conditions on gas quality and solids produced by sewage sludge co-gasification. 1. Sewage sludge mixed with coal. *Energy & Fuels* 21, 2737-2745.
- Pinto, F., Lopes, H., André, R. N., Dias, M., Gulyurtlu, I., Cabrita, I., 2007. Effect of experimental conditions on gas quality and solids produced by sewage sludge co-gasification. 2. Sewage sludge mixed with biomass. *Energy & Fuels* 22, 2314-2325
- Soni, C. G., Wang, Z., Dalai, A. K., Pugsley, T., Fonstad, T., 2009. Hydrogen production via gasification of meat and bone meal in two-stage fixed bed reactor system. *Fuel* 88, 920-925

有機污泥氣化產能利用之可行性評估

Strezov, V., Evan, T. J., 2009. Thermal processing of paper sludge and characterisation of its pyrolysis products. *Waste Management* 29, 1644-1648

Van der Drift, A., Van Doorn, J., Vermeulen, J. W., 2001. Ten residual biomass fuels for circulating fluidized-bed gasification. *Biomass and Bioenergy* 20, 45-66

經濟部工業局，「廢水污泥減量技術手冊」，經濟部工業局，台北，2005

經濟部能源局，「2007年能源科技研究發展白皮書」，第342-347頁，2007

歐陽嶠暉，「下水道工程學(水環境再生工程學)」，長松文化興業股份有限公司，台北，2005

張添晉，陳俞穎，有機污泥之生物減量技術，技術專欄，永續產業發展雙月刊，第38期，第66-77頁，2008