

廢棄物類

廢有機污泥減量與資源化處理技術

曾維忞*

摘要

傳統污泥脫水方式係利用絮凝劑使固體顆粒因電性吸引而形成大團塊顆粒，污泥中之間隙水並無法被有效脫除，本團隊研發深度調理與脫水技術來解決此問題。在污泥調理單元中，結合界面活性劑的細胞破壁功能與混凝、膠凝與結構骨架等藥劑，進行深度調理。搭配壓濾式污泥脫水機，將污泥由溶膠態(sol)的前驅物，通過溶膠-凝膠(sol-gel)法在室溫下重組，成為具穩定孔隙組態的固體網狀架構，其內部水分更易透過表面過濾的毛細現象流動和壓濾排出。

本技術除使用特殊之專利污泥調理藥劑外，另採用特殊之 CMDS 管道式自動調理加藥裝備整合系統，使污泥和藥劑在管道中充分混合調理，且根據污泥特性自動優化調理程式，來自動控制加藥方式。

本技術已在 A 城市實廠測試，該污泥處理廠設計處置污泥餅為 300ton/d，將污泥深度脫水後與煤摻燒，用於熱電廠供熱發電，目前脫水污泥與煤的進料比例可以達到 1:1。B 廠(水量 50,000 CMD)設置本專利設備後，污泥量由 40 噸/天(含水率 80%)降為原來的一半以下(含水率小於 60%)，脫水污泥再送往三公里遠的 A 廠進行燃燒發電。

【關鍵字】 污泥調理、污泥減量、污泥脫水、調理劑

*台灣高新環保科技有限公司 總經理

一、污泥處理問題面面觀

近年來廢水處理產生的污泥其處理與處置之規範逐漸嚴格，由於掩埋用地減少及處理成本高漲等因素，造成污泥處理成本節節高昇，但處理技術並未有突破性的進展。相關污泥處理與處置方式綜整如表 1 所示。

表 1 污泥處理與處置方式

污泥處理方式	投資規模	營運成本	能耗情況	二次污染風險	占地面積	減量效果
衛生掩埋	大	超低	無	大	大	無
好氧技術	大	低	低	大	大	好
厭氧技術	大	高	低	大	中	無
熱能乾燥	大	高	高	小	小	好
深度脫水加焚燒	小	低	低	小	小	好

註：分級按其相對數值加以比較

依據環保署資料顯示，廢水處理廠污泥處理設備約占總工程建造費的 20~35%；操作費方面，污泥處理費用約占 40%，而污泥處理所造成之操作或廠內故障，可能占全廠所有操作問題之 50% 以上，故污泥處理與處置已成爲重要之環境課題。

據表 2 及業者操作經驗，污泥中較難處理的是^[3]「有機性污泥」(D-0901)及其它的有機污泥，包括「有機性污泥」(D-0901)、「污泥混合物」(D-0999)、「食品加工污泥」(R-0902)、「釀酒污泥」(R-0903)、「漿紙污泥」(R-0904)、「紡織污泥」(R-0906)等。

表 2 污泥型式及其產量

廢棄物名稱	101 年清除量（公噸）及占比		101 年產出量（公噸）及占比	
有機性污泥	376,090	16.40%	374,606	15.9%
污泥混合物	91,477	3.99%	90,833	3.85%
食品加工污泥	41,491	1.81%	41,346	1.75%
釀酒污泥	11,396	0.50%	11,373	0.48%
漿紙污泥	226,661	9.88%	226,955	9.63%
紡織污泥	44,012	1.92%	45,747	1.94%

資料來源：行政院環保署事業廢棄物申報及管理系統（IWR&MS）

另一種較難處理且快速增加中的是「下水污泥」，經彙整全國運轉中污水處理廠申報資料，統計 101 年全年污泥量計約 7.7 萬公噸，換算每日平均污泥量約 213.3 公噸（濕基，約 80% 含水率），其中北部地區約占 72%，中、南部地區約占 8% 及 19%，外島地區產量約占 1%。

同時，由於污水管網的覆蓋率逐年增加，台灣每年污泥總量增長超過 20%，目前每年產生之廢水處理污泥接近 400 萬噸，僅少部分(<15%)進行焚燒或農業用途，大部分仍採掩埋方式處置，對生態環境造成嚴重影響。但由於土地資源緊張，多數掩埋場已接近飽和(至民國 101 年公有掩埋場總剩餘容量約 535 萬噸，對外收受一般事業廢棄物的民營掩埋場總剩餘容量僅剩約 30 萬噸)^[1]，新增掩埋場數量有限，無法承擔日益增長的污泥量，很多工廠或污水廠內已堆滿污泥餅。

另一方面，污泥焚化雖屬徹底污泥減量的方式，但污水處理廠廢棄污泥餅的含水率一般都在 80% 以上，污泥含水量太高，所需輔助燃料量太多，且容易產生空氣污染問題。因此，污泥減量技術具有未來市場前瞻性，亟須尋求經濟有效的新技術方案。

一般而言，污水處理廠的污泥減量可從減少廢污水處理單元中的污泥產生量與提高污泥處理單元效率兩方面著手^[2]。在正常的操作下，污水處理單元所產生的污泥量與廢水的特性有關，改善各項操作條件，雖可減少部分的污泥產生量，但減量

效益不大。典型污水處理廠污泥之處理程序為：將污泥排入污泥濃縮池，利用重力沉降脫除部分含水以提高污泥濃度後，再經由加藥調理，直接抽至帶式壓濾機、板框式壓濾機、螺旋式壓濾機或傳統式曬乾床等方式進行脫水乾燥，乾燥後之污泥餅則依廢棄物清理法相關規定處理。

提高污泥處理單元效率可分二個部分，一為污泥濃縮與水解消化，另一為污泥調理與脫水。污泥的水解是直接將微生物體破壞，使微生物體內的細胞質等流體流出細胞體外，此單元可直接對污泥破壞而達到減量目的。污泥調理與脫水，係經由加藥的絮凝作用後，將微生物體間的水分脫除，最終擠壓成污泥餅。

污泥處理處置的最終目標應是實現污泥的減量化、穩定化和無害化，因此應鼓勵回收和利用污泥中的能源和資源。環保署今年初提出的「污泥處理現況檢討及因應策略」中即指出，須協調大型焚化廠收受有機污泥^[3]，事實上含水率 50%有機污泥之熱值約為 1,200 ~ 3,000 kcal/kg，若能減少含水率，提高單位污泥重量之熱值，即可同時達到上述減量化和再利用為燃料化的雙重效益。

二、污泥調理技術綜合分析^[4]

污泥中水之存在形式包括自由水(Free Water)、間隙水(Interstitial Water)、表面水(Surface Water)及水合水(Hydration Water)。自由水與間隙水只要使用足夠之機械力即能脫除，表面水與水合水則是分別以氫鍵和化學鍵方式與污泥粒子表面結合之水。大多數之脫水程序只能除去自由水及間隙水，表面水及水合水不易去除，因此表面水及水合水的含量多寡也代表使用一般脫水設備之最大限制。污泥調理(Sludge Conditioning)即是污泥在脫水前做適當之改質或處理，以降低污泥餅的含水率。

污泥調理一般是加入無機化學品或有機化學品(尤其是高分子調理劑)以改進污泥表面之脫水效果，常使用之無機化學品包括氯化鐵、硫酸亞鐵、硫酸鋁、聚氯化鋁等，常用之有機化學品則是指水溶性之聚電解質(Polyelectrolyte)。

化學調理之作用機制有兩種—電中和與粒子架橋。污泥調理之作用機制與廢水處理程序之化學混凝作用機制雷同，但兩者目的不同。化學混凝係為獲得澄清液，

較強調廢水中污染物之去除效果及膠羽沉降速率；污泥調理則以改變膠羽性質為主，藉以產生易分離、易脫水之膠羽。

污泥調理能有效降低污泥含水率，其中毛細虹吸時間(Capillary Suction Time, CST)經常應用於污泥調理劑種類篩選及其最適化劑量之決定，以達到降低污泥餅含水率及減少污泥調理劑用量之目的。不易釋出水之污泥，具有較高 CST 值，CST 值較低表示污泥很容易釋出水，即脫水後應有較低的含水率。

三、污泥深度調理技術新思維－破壁、調理、能源化

污泥深度脫水是通過物理、化學調理改變污泥性能後結合高壓機械脫水技術，將污泥含水率降到 60% 以下。本文介紹的污泥深度調理技術，係將專利藥劑配方與污泥的混合調製採取凝聚相合成(溶膠－凝膠法)，首先加入有機調理劑與金屬離子形成錯合物，通過控制 pH 值、反應溫度等條件進行初步破壁，釋出的有機物經過水解、聚合，經溶膠至凝膠而形成一種較佳緻密化且氧化效率佳的類奈米陶瓷結構。經過專用反應器的高效混合調理後可掃除污泥中的鬆散懸浮膠羽，經由電位和 pH 值的調整重新形成的小顆粒經由沉降和錯合反應形成自組裝型態，再經過藥劑調理和通過前述的溶膠至凝膠過程排出胞內水分，形成更緻密的空間骨架結構，在最終的壓濾過程中使胞外水和中間水由均勻的骨架通道中順利排出。

此污泥深度調理與脫水之處理流程如圖 1 所示，主要需搭配專利研製開發的污泥深度脫水智慧調理設備 CMDS (Completely mixed dosing system, 如圖 2) 設備。主要包含(1)智慧診斷模組，包括：污泥參數診測傳感單元，其對污泥的各項參數進行診測；(2)電腦控制單元，其接收所述污泥參數診測傳感單元診測的參數資料，並對該參數資料進行處理後輸出一加藥控制信號；(3)加藥裝置，其接收所述加藥控制信號並根據所述加藥控制信號進行加藥。

140 廢有機污泥減量與資源化處理技術

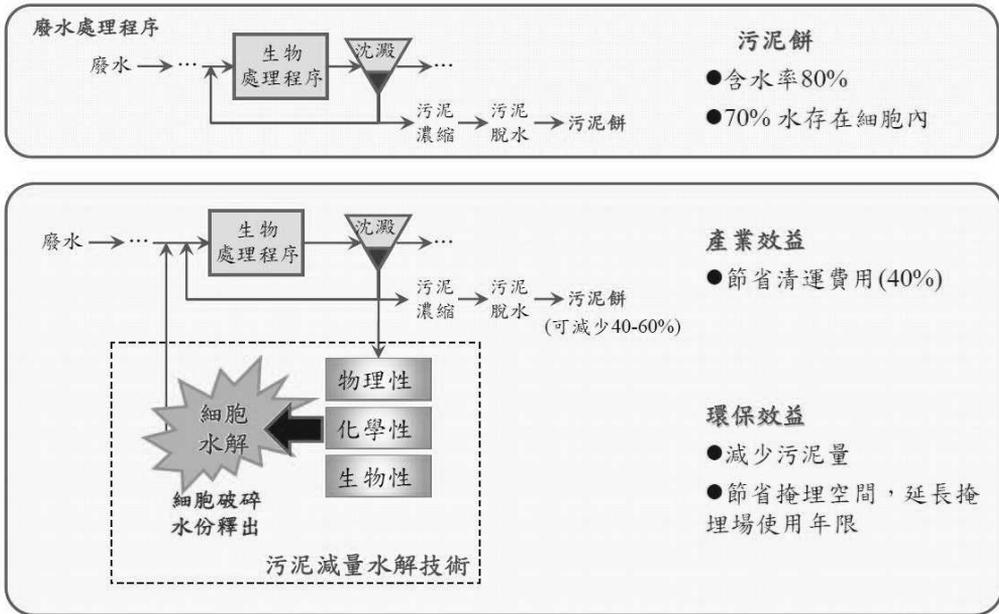


圖 1 污泥深度調理與脫水之處理流程

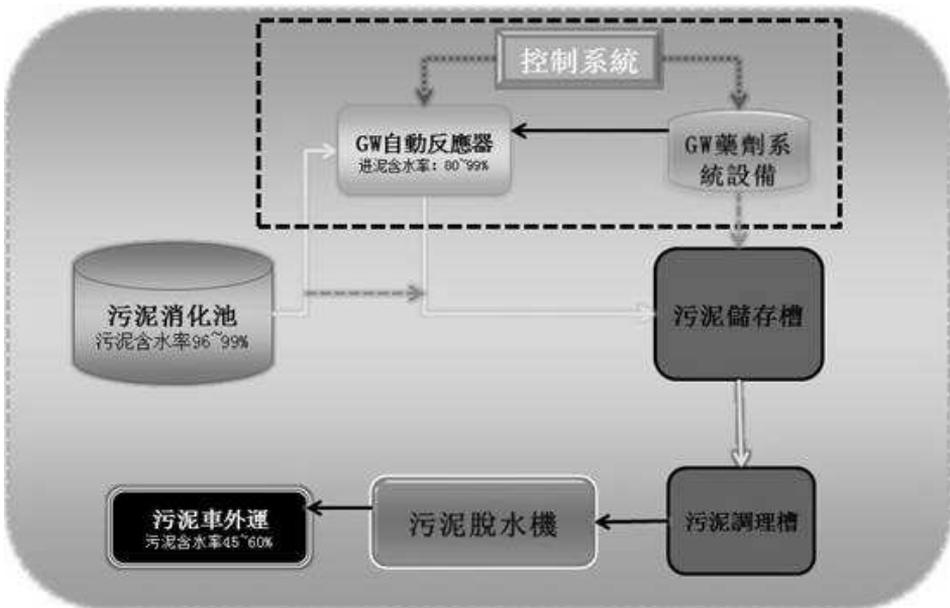


圖 2 污泥深度脫水智慧調理設備

通過智慧化診斷系統對污泥處理裝置的反應過程中的各個部分進行診測，並將該診測結果傳輸至後續的控制單元，對診測結果進行分析並根據控制結果自動調整加藥量和反應裝置運行參數，在高效率的混合調理後可有效改善污泥脫水性能，經過壓濾後污泥含水率可由 80~98%降低至 35~60%，最終污泥產出體積/重量減少至少 50%，壓濾後泥餅可保有原乾基熱值(2,000 ~ 3,500 大卡/千克)，供進一步資源利用(如製造環保建材或作為替代燃料)。

CMDS 自動加藥混合系統裝置由自動加藥系統、藥劑混合系統和污泥調理系統組成，通過檢測控制系統進行智慧化控制，系統在運行中線上檢測，自動進行資料比對，自動調整加藥量和混合比，控制污泥之物理及化學性質，取得最佳的脫水效果。自動加藥系統可依序加入 3 種以上的藥劑，系統可設置加藥劑量，按不同來源特性的污泥進行連續、自動配製加藥量，並將配製好的藥液在過程中連續計量投加，並可根據客戶要求進行遠端監視和控制，做到精確計量。藥劑混合系統採用高效混合裝置，在輸泥管道中進行加藥混合調理，使污泥和藥劑在管道中得到充分混合，系統為不間斷連續加藥，無臭味散發，也可使藥劑使用效率最優化。其特點歸納如下：

- (一) 連續式進出污泥操作，自動化運轉易於管理維護。
- (二) 全自動化運行，對於各種污泥進料預先進行感測診斷，運用電腦內建的調理程式安排不同的加藥順序、時間與劑量。
- (三) 大幅降低既有高價絮凝劑的使用，仍能得到較佳的污泥顆粒絮集效果。
- (四) 與各式壓濾機搭配效果最佳，經過調整過濾參數後，可大幅提高壓濾機的泥餅產量並節省相關壓濾及過濾的操作時間。

總而言之，污泥深度調理與脫水技術的應用，為一環境永續型的整體污泥處理與處置方案，兼具環保與經濟效益，如圖 3 所示。

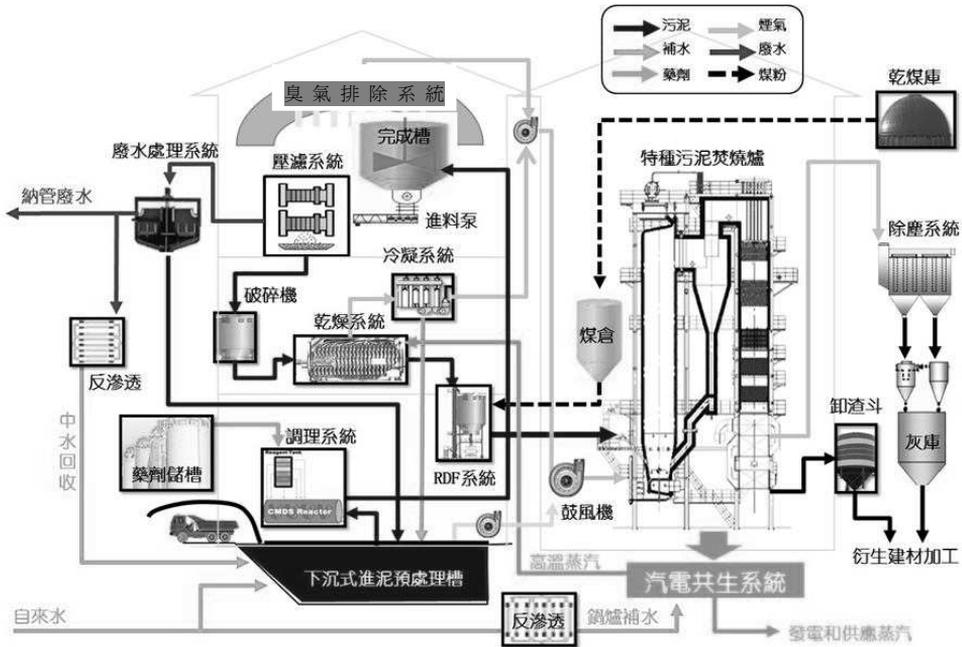


圖 3 環境永續型的整體污泥處理與處置方案

四、污泥深度調理技術在不同生物污泥上的應用結果

4.1 工業區濃縮污泥測試結果

北部某工業區區內廠商主要為化工業與電子業，污水處理廠日平均水量約 21,000 CMD，採用一般傳統延長曝氣活性污泥法，並以化學－生物－化學傳統方式進行工業廢水處理，所產生的生物污泥與化學污泥，經由濃縮與消化後，以污泥壓濾機脫水，脫水後污泥餅含水率約 70 ~ 75%。

為比較深度調理的破壁效果，利用現有的壓濾機進行調整，測試深度調理和現有一般單一 polymer 調理劑的差異，其實驗結果如下所示。利用現有調理劑和現有脫水方式(壓濾機操作條件進料 30 min；進料壓力 6 kgf，二次壓榨 12 kgf；壓榨時間 14 min)，脫水後污泥餅含水率約 71 ~ 74%。若脫水方式不變，將深度調理藥劑取代傳統的調理劑，則脫水後污泥餅含水率約 65%；但若採用深度調理藥劑，且改

變脫水方式(壓濾機操作條件進料 30 min；進料壓力 6 kgf，二次壓榨 12 kgf；壓榨時間 14 min)，則脫水後污泥餅含水率將降為約 53 ~ 56%。

另外 2 處工業區污水處理廠的濃縮污泥也進行了深度調理後的脫水測試，二廠均混合有生物污泥與化學污泥(VSS 所占比例均在 40 ~ 50%之間)，其中 A 工業區的污泥中含有不少來自造紙廠的紙纖維。二廠的操作條件和實驗結果顯示，既有的脫水污泥餅含水率約在 75 ~ 80%之間，A 工業區調理前 CST 為 53.1 sec，調理後 CST 12.4 sec，含水率降到 37.5%；B 工業區調理前 CST 為 39.2 sec，調理後 CST 7.2 sec，含水率降到 52.5%。

4.2 某化工廠生物污泥深度調理測試結果

某化工廠之廢水處理廠污泥的主要來源為活性污泥系統的廢棄生物污泥，目前每天需進行後端帶濾機脫水的濃縮污泥量約有 60 m³/d (含水率 97%)，最終產生約 10 ton/d (含水率 82%)的廢棄污泥餅，經多次測試 3 種調理藥劑的加藥量，找出最適當的調理藥劑配方，並比較壓濾機分別以中壓與高壓二次壓榨的脫水效果，其操作條件和實驗結果發現，中壓 6 kgf 與高壓 15 kgf 脫水後濾餅含水率分別為 68%與 60%，而當廢棄污泥餅的含水率由 82%降到 60%時，其廢棄污泥餅量即會由 10 ton/d 降低到 5 ton/d 以下。

另外，將各種不同行業所產生的濃縮污泥進行深度調理測試，其中高壓的測試為利用每批處理 2 ton 濃縮污泥的模廠後，模廠採用小型 CMDS 設備進行調理，再經由具有 10 片 80 cm 見方濾板的壓濾機進行脫水，其結果發現大部分 4 ~ 6 kgf 中壓的二次壓榨下，含水率多在 70%以下，但若在含 14 ~ 15 kgf 高壓的二次壓榨下，含水率幾可降到 60%以下。

五、污泥減量實例介紹與效益分析

5.1 A 案例^[5]

A 廠所在省市共有 20 多處生活污水處理廠，2011 年日均處理污水約 45 萬噸，每天產生的污泥約 300 噸。污水廠均採用帶式壓濾機或離心脫水機進行污泥脫水，廢棄污泥餅含水率為 80% 以上。為解決某市掩埋場不足問題，市政府引進前述污泥深度脫水技術，2011 年 10 月於 A 公司設置污泥集中處理廠。該污泥處理廠設計處置污泥餅為 300 ton/d，將污泥深度脫水後與煤摻燒，用於熱電廠供熱發電。

污泥深度脫水系統係由某環保公司與某 2 大學聯合研發，包括污泥接收系統、調理和加藥系統、壓濾脫水系統、輸送系統、污水處理系統、焚燒和煙氣淨化系統等。系統具有以下特點：

(一) 污泥調理效果良好

污泥深度調理技術採用具有破壁效果的高效率專利調理劑，至少由超過 3 種以上的藥劑組合反應。(a)能大幅降低污泥的過濾比阻，改善其脫水特性；(b)根據不同污泥特性，可制訂不同的藥劑配方；(c)固體添加物少。為避免添加過多的固體藥劑造成減量效果差和熱值明顯降低，固體藥劑比例不超過 2%；(d)有效減少二次污染，調理劑具有除臭、淨水、穩定作用，而且在焚燒時不會分解出腐蝕設備和污染氣體等物質(調理劑無含氮化合物)。

(二) 脫水設備和控制系統優化

採用 2 台 400 m² 板框式壓濾機，濾室容積 6 m³，每日開板 6 ~ 8 次，進料壓力在 0 ~ 1.2 MPa 區間分段調節控制，並在 2 MPa 壓力下對濾餅進行二次壓榨脫水。另根據污泥特性選擇濾布類型，壓濾機並配備自動拉板與清洗等裝置。控制系統多點多層 PLC 集中控制，自動化程度高。

綜合而言，本案例平均處理脫水污泥餅量約 120 ton/d，最大污泥處理量 165 ton/d，處理前平均污泥含水率 84%；深度脫水後泥餅平均含水率 48%，平均減量率 64%；平均熱值 980 大卡/千克，平均熱值利用率 92%。污泥在送入鍋爐燃燒後

僅產生少量飛灰(重金屬等有害物被固化，用於混凝土拌合場和水泥廠)，因此成爲一無害化、穩定化和減量處置及資源化綜合利用的示範案例。

5.2 B 案例

B 污水處理廠的廢污水主要來自某社區的生活污水和部分工業廢水(包括印染廢水)，第一期設置水量 25,000 CMD，2013 年規劃設置第二期水量再增加 25,000 CMD，達到設計污水處理量 50,000 CMD，主要廢水處理單元爲旋流沉砂池、改良型 A2/O、二沉池、高密度沉澱池和砂濾池，污泥經由帶濾式脫水機脫水，約產生 30 ton/d 含水率 > 80% 的廢棄污泥。

爲解決日益嚴重的污泥問題，在該污水處理廠設置污泥深度處理 BOT 項目，污泥處理採用先濃縮(污泥含水率從 99.3% 濃縮到 92%)、調理(加入複合深度調理藥劑)、再以壓濾機脫水(污泥含水率從 92% 降到 55%)，最終送至熱電污泥集中處理廠焚燒綜合回收利用。整個系統主要運行參數包括：二沉池出口污泥平均處理量 800 ton/d，深度調理脫水後泥餅含水率 ≤ 60%，廢棄污泥餅約 12 ~ 15 ton/d，平均減量率約 74%。

綜合而言，本項目除污泥減量 > 50% 外，兼具以下效益：(1) 年減少外運量 5,000 噸，節省相應的運輸工具燃油支出，(2) 節約掩埋場填埋空間 10,000 m³/年，(3) 廢棄污泥餅作爲燃煤替代燃料，節省煤 1,000 噸/年，相對應地減少該部分燃煤產生的 SO₂ 排放量 17.8 噸/年，減少粒狀污染物排放量 12.4 噸/年，減少 CO₂ 排放量 0.2 萬噸/年。由於本案之污泥资源化兼具多項綜合效益，故此新技術陸續被採用。

六、結論與建議

綜觀上述，污泥以掩埋處理，已面臨土地取得日益困難的瓶頸，同時衍生大量溫室氣體排放問題。如能充分利用污泥之有機成分熱含量，提昇污泥的脫水效果並轉製成燃料，取代部分煤/油，則可達到化廢爲寶與低碳綠能環保的綜合效益。未來另可進一步結合污泥破壁技術與生物處理技術，進而由源頭減少污泥量的產生。

參考文獻

1. 財團法人台灣營建研究院，下水道污泥再利用之思維及策略研議，台灣下水道協會，2013 台灣下水道協會實務研討會，2013 年 04 月。
2. 工研院，老舊工業區污水處理廠效能提升輔導推動計畫，經濟部工業局，2010 年 06 月。
3. 行政院環保署，污泥處理現況檢討及因應策略，2013 年 01 月。
4. 工研院，水處理與再生產業技術升級診斷報告，經濟部工業局，2012 年 12 月。
5. 薛龍國、向前，污泥深度脫水技術特點及其應用，中國建設信息(水工業市場)，2012 年 7 月。