

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology

Nanhua University

Master Thesis

污泥乾燥對工業區污水處理廠操作之效益評估

The Benefits of Sludge Drying for the
Operation of Sewage Treatment Plant

蘇文滄

Wen-Tsan Su

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 107 年 6 月

June 2018

南華大學
永續綠色科技碩士學位學程
碩士學位論文

污泥乾燥對工業區污水處理廠操作之效益評估

The Benefits of Sludge Drying for the Operation of Sewage
Treatment Plant

研究生： 蘇文滄

經考試合格特此證明

口試委員： 黃

林添益

指導教授： 凌耀明

系主任(所長)： 凌耀明

口試日期：中華民國 107 年 6 月 2 日

謝誌

離開校園進入職場工作已將近 30 年光景，經歷過不同工作領域，到現在從事廢水處理相關環境保護工作有 22 餘年，深感學識不足，期許自己能有機會充實學識，增加專業技能及增長不同領域知識，而有所成長、更充實，適逢有此機會進入南華大學再重拾起書本，踏入校園再一次當學生學習並認識來自各行業職場的同學，讓我獲益良多也蛻變成長。

感謝洪教授耀明及工業區環境保護中心洪副執行長清水的鼓勵促成與在論文撰寫期間的教導與督促，能持續從學習到對於研究的執著與態度，並獲得更多專業知識，也感謝各位教授長們一路以來認真敦敦教誨。

在此也要對我親愛的家人說聲謝謝，求學期間忽略對你們關愛與陪伴，也感謝老婆全力相挺，讓我無後顧之憂，得以完成學業。

中文摘要

本研究以中壢工業區污水處理廠為例，進行污泥乾燥處理效益評估，乾燥前污泥含水率為 80~90%，將乾燥溫度設定 50 度左右，經過乾燥機 2~4 小時乾燥處理後，污泥含水率降至 30~50% 左右。同時紀錄乾燥過程中操作參數，以計算乾燥處理所需消耗的能源及成本及減量後所節省之處理費用，並完成乾燥減量之成本效益評估。

有鑒於污水處理廠污泥處理費用越來越高，有必要進行污泥減量。本研究進行污泥乾燥處理之效益評估；成本包括乾燥機之設置成本及操作成本，效益則為因重量減量所減少之清運費。以中壢工業區污水處理廠為例，成本包括設置成本為 1,799 萬元，操作成本平以均電費 12,828 元/day 估算。乾燥後污泥含水率減少 42%，平均重量可減少 56.3%，以平均污泥處理量 10.23 ton/day，每日減重 5.63 ton/day，以污泥清運價格 6,450 元/噸計算，日效益為 24,317 元/day。假設乾燥設施運轉 10 年，則總成本為 167,980,760 元，產生效益為 69,637,240 元，本益比為 24.12，因此污泥乾燥值得污水處理廠推廣。

關鍵字：污泥乾燥、成本效益、污水處理廠

ABSTRACT

In this study, the sewage treatment plant of Zhongye Industrial Zone was adopted as an example to evaluate the effectiveness of sludge drying treatment. The moisture content of the sludge before drying was 80 to 90%, and the drying temperature was set at about 50 degrees. After drying for 2 to 4 hours, the moisture content of the sludge dropped to about 30 to 50%. At the same time, the operating parameters in the drying process are recorded to calculate the energy consumption and cost required for the drying process and the processing costs saved after the reduction, and the cost-benefit assessment of the drying reduction is completed.

Sludge reduction is necessary based on the rise of sludge treatment cost. In this study, the benefits of sludge drying treatment are evaluated. The cost includes the setting cost and operating cost of the dryer, and the benefit is the sludge removal fee of weight reduction. The practical data of sewage treatment plant in Zhonghe Industrial Zone was used in this study. The cost includes the setup cost of N.T. 17.99 million, and the operating cost of N.T. 12,828 per day for the average electricity charge. The moisture content of sludge after drying is reduced by 42%, and the average weight can be reduced by 56.3%. Based on the average sludge treatment capacity 10.23 ton/day, the reduced weight is 5.63 ton/day. According to the sludge removal price N.T. 6,450 per ton, the daily benefit can be calculated as N.T. 24,317 per day. Assuming that the drying facility can be operated for 10 years, the total cost will be N.T. 167,980,760, and the benefit will be N.T.69,637,240. The profit-to-expenditure ratio is 24.12 Therefore, the drying sludge is worth promoting in the sewage treatment plant.

Key Words: drying sludge, cost-effectiveness, sewage treatment plant

目錄

謝誌.....	i
中文摘要.....	ii
ABSTRACT.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究架構	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 工業區污泥來源與特性	4
2.1.1 工業區污水處理廠污泥來源	4
2.1.2 工業區污水處理廠污泥種類與特性	5
2.1.3 污泥性質	8
2.2 工業區污泥處理方法	11
2.2.1 污泥處理原則	11
2.2.2 污泥脫水原理及運用	12
2.2.3 污泥乾燥原理	16
2.2.4 污泥乾燥特性	16
2.2.5 污泥乾燥技術	18
2.3 污泥再利用及處置	26
2.3.1 污泥再利用策略	26
2.3.2 污泥再利用方法簡介	27

第三章研究方法	32
3.1 研究試區說明	32
3.1.1 中壢工業區污水處理廠介紹	32
3.1.2 污泥乾燥設備選定-熱泵冷凝乾燥機.....	37
3.1.3 熱泵冷凝乾燥機特性	41
3.2 污泥乾燥設備處理流程	41
3.3 效益評估方法	42
3.3.1 污泥含水率公式建立	42
3.3.2 成本效益公式	43
第四章結果與討論	45
4.1 污泥乾燥設備運轉結果	45
4.1.1 污泥乾燥設備功能運轉	45
4.1.2 污泥乾燥設備功能評估	46
4.2 污泥乾燥效益評估	48
4.2.1 污泥乾燥減重	48
4.2.2 污泥乾燥處理效益分析	50
4.2.3 冷凝乾燥機操作處理成本分析	53
4.3 各工業區污水處理廠污泥乾燥能耗分析	55
第五章結論與建議	58
5.1 結論	58
5.2 建議	58
參考文獻.....	59
附錄.....	62

表目錄

表 2.1 有機性污泥分類表.....	6
表 2.2 無機性污泥分類表.....	7
表 2-3 國內工業廢水污泥性質.....	10
表 2-4 各行業別之污泥種類.....	13
表 2-5 脫水技術操作特性及適用性一覽表.....	15
表 2-6 污泥內可利用之元素成份比例.....	27
表 3-1 中壢工業區污水處理廠歷年功能改善工程.....	34
表 3-2 中壢工業區廠商行業類別統計表.....	35
表 3-3 中壢污水處理廠污泥乾燥設備評選.....	38
表 3-4 工程設備清單.....	40
表 4-1 中壢工業區污水處理廠污泥乾燥設備操作績效功能評估.....	47
表 4-2 中壢工業區污水處理廠營運成本資料統計表.....	48
表 4-3 污泥含水率重量變化分析.....	49
表 4-4 中壢工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本、本益比分析比 對表.....	53
表 4-5 各工業區污水處理廠 104 年污泥處置成本調查表.....	55
表 4-6 各工業區污泥含水率及重量變化統計表.....	57

圖目錄

圖 1-1 研究架構圖	3
圖 2-1 廢(污)水污泥產生來源與種類示意圖	5
圖 2-2 污泥處理方法	11
圖 2-3 污泥乾燥曲線圖	17
圖 2-4 污泥乾燥技術分類	18
圖 2-5 熱風旋轉乾燥機	19
圖 2-6 氣流乾燥機	20
圖 2-7 流化床式乾燥機	21
圖 2-8 噴霧乾燥機	21
圖 2-9 輸送帶式乾燥機	22
圖 2-10 水蒸氣管式乾燥機	23
圖 2-11 槳式乾燥機	23
圖 2-12 除溼循環曲線	25
圖 2-13 常溫除溼乾燥系統示意圖	25
圖 3-1 中壢工業區地理位置交通圖	32
圖 3-2 廠商產業類別及用水量統計	35
圖 3-3 中壢污水處理廠處理流程圖	36
圖 3-4 冷凝乾燥機設備運作流程	42
圖 4-1 中壢污水處理廠 104 年度污泥產出統計圖	49
圖 4-2 污泥含水率之重量變化圖	50
圖 4-3 污泥乾燥前後含水率變化情形圖	51
圖 4-4 污泥乾燥前後重量變化圖	52
圖 4-5 污泥乾燥節省清運費及使用電力費分析	52

圖 4-6 污泥處置費與乾燥節省清運費統計分析54

圖 4-7 污泥含水率處理成本之本益比比較分析圖54

圖 4-8 各工業區污泥含水率及重量變化統計圖57



第一章 前言

1.1 研究動機

經濟部工業局為促進工業發展，增進地方繁榮，解決工業用地取得的困難，依據獎勵投資條例，於全省規劃開發工業區，提供給興辦工業人優良設廠條件及友善的生產環境，以加速國家的經濟發展，在設置工業區引進工廠生產過程中，產生的事業廢水則進入到我們生活自然環境中，為有效處理工廠產生之廢（污）水並降低處理營運成本，減少對環境破壞，並於工業區內設置污水處理廠，集中處理區內廠商所排放之廢（污）水，處理至符合國家放流水標準，再排放到各承受水體，達成維護環境保護的目的。

污水處理廠操作營運費用，污泥處理單元約占總工程建造費的20~50%，而污泥處理費用佔操作費40%，污泥處理所衍生技術或設備故障，又佔操作問題50%以上，故污泥妥善處理及處置已成為重要之環境問題（工業局，2001）。

行政院環境保護署103年1月檢討報告中，對101年6月份及102年6月份污泥貯存申報量資料，污泥貯存處理量有明顯增加趨勢，追究其原因係因部分收受污泥之處理機構減少，導致污泥清理費用上升，事業無法覓得合適之處理機構代為處理污泥，且未落實源頭減量及前處理管制作業，而暫存於事業機構或處理系統內，導致污泥貯存量增加，由此可見污泥處理與處置，已是各事業單位刻不容緩急待解決重要課題（環保署，2004）。如今公、民營掩埋場剩餘掩埋容量陸續飽和，而新設掩埋場又因土地資源有限，用地取得不易，導致新設場址更加困難重重。經濟部工業局所轄污水處理廠之污泥清理作業，若無法順利發包執行，將使得污水處理廠內

污泥暫存量逐漸增加，影響後續處理功能與放流水質。現工業區污水處理廠污泥清運平均價格，由 100 年 3,950 元／噸，到 105 年已攀升到 7,210 元／噸，污泥處理成本增加達 1.8 倍，加重工業區污水處理廠營運負擔，可見污泥處理與處置，已是各單位刻不容緩急待解決重要課題（陳宗慶，2016）。

經濟部工業局所轄 62 處工業區中，設有 42 座工業區污水處理廠，平均每年污泥總產生量約 5.8 萬公噸，為減少污泥量及降低污泥處置成本，工業局積極尋找低成本、高效率源頭污泥減量處理方式，以降低污泥產生量。常用降低污泥含水率以污泥曬乾床及冷凝除濕乾燥，達到污泥減量目的，污泥脫水減量可減少體積 60%~75%，工業區污水處理廠污泥處理流程，為經濃縮、消化、脫水或污泥曬乾床乾燥等，一般處理系統排出之污泥含水率約 95~98%，經機械脫水機後污泥含水率可降至 80~85%，雖然污泥含水率及體積已有減少，但污泥呈現鬆散狀、體積大、含水率仍有下降空間，為讓污泥能夠達到減量化、穩定化、無害化及資源化等目的，最簡單有效的方式就是運用污泥乾燥脫水技術處理，將污泥含水率從機械脫水後 80% 再度脫水降至 20~50%，體積可減少 60%~75%，除可有效的減容，污泥體積減少，有助於延長掩埋場之存儲空間，增加掩埋使用壽命，方便運輸與資源再利用，改善環保問題。

1.2 研究目的

本研究以中壢工業區污水處理廠為例，探討評估污泥乾燥設備及技術，以研究其操作處理成本效益，並探討對污水處理廠營運管理影響，提供其他污水處理廠日後辦理污泥乾燥處理設施規劃參考。

1.3 研究架構

本研究針對中壢工業區污水處理廠污泥處置方式，利用離心式污泥脫水機脫水後，評估各種乾燥機設備使用優劣點，增設一套冷凝除濕乾燥機進行污泥乾燥作業，乾燥過程中分析污泥產生量、污泥含水率、乾燥機電力耗能、污泥處理費等，以實際試車操作紀錄，利用污泥含水率變化運算污泥處理成本，評估污泥乾燥最佳化操作處理模式。

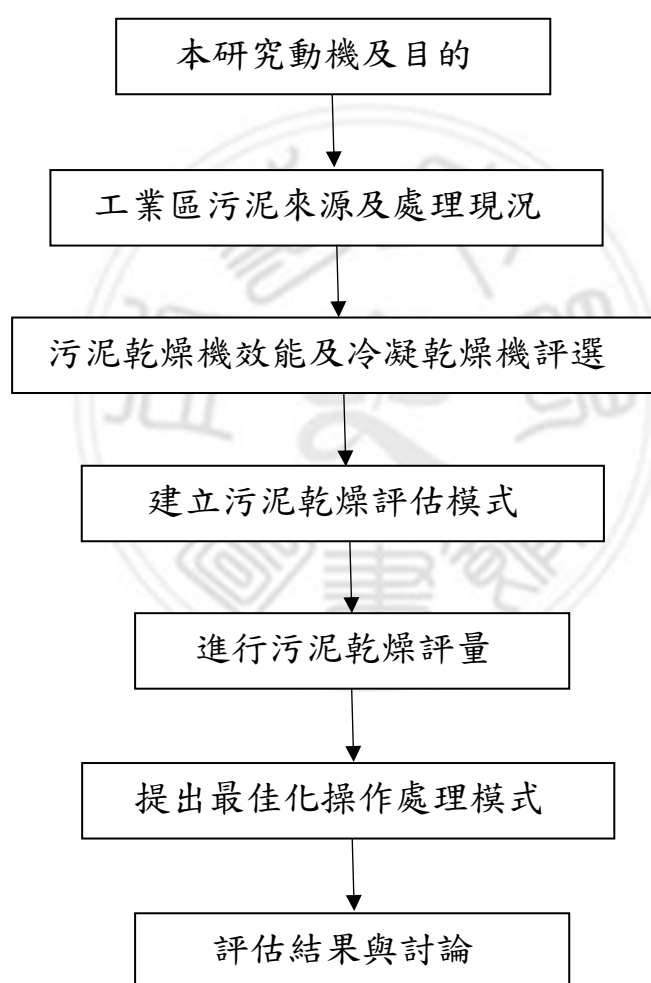


圖 1-1 研究架構圖

第二章 文獻回顧

隨著經濟快速發展進步，人類對各種物質的需求日愈增加，促使工業生產技術日新月異，廠商大量開發及生產過程中，產生許多污染環境廢棄物，其中水資源大量被使用，隨之排放廢水處理問題，更不可輕忽。為減少對環境衝擊，針對工業區污水處理廠產生之污泥進行減量、減容到再利用，以達到減少污泥量及降低污泥最終處理成本。

2.1 工業區污泥來源與特性

臺灣地區每年經由事業單位及下水道處理系統產出之污泥約 240 萬噸，現有處理機構及再利用機構有足夠容量來處理，卻常常因污泥處理技術問題，或發生業者違法事件而遭到取締停工、停業處分情形，造成市場供需失衡，致使污泥最終處理價格逐年攀升，亦使得污水處理廠營運成本大幅增加（環保署，2004）。

2.1.1 工業區污水處理廠污泥來源

污泥的來源是廢水處理過程中去除污染物質後，產生最終廢棄物質，隨著國內經濟的發展，環境保護意識覺醒和環保护法規日趨嚴格，工業區污水處理廠處理水量和處理深度也面臨不斷擴增和提升，所以產生的污泥量也將逐漸增加。污水處理廠營運成本中，污泥處置費用又佔操作維護費 3 分之 1 左右。污泥所含的成份非常複雜，污泥特性的各項指標以污泥含水率、含固率、揮發性固體、營養物質、有毒有害物質、脫水性能以及化學動力學等，如圖 2-1。工業區污水廠廢(污)水來源，均來自區內各種行業別工廠所排放水，處理後產生之污泥除了含有大量的有機物和豐富的氮、磷等營養物質外，部分帶有各種重金屬物質、甚致病菌和寄生蟲等有毒有害成分，因此從經濟及環保觀

點而言，為使污水處理廠能正常運作並防止污泥造成的二次污染，污泥應受到妥善的處置，在污水處理流程中扮演相當重要之角色（李光中等，2013）。

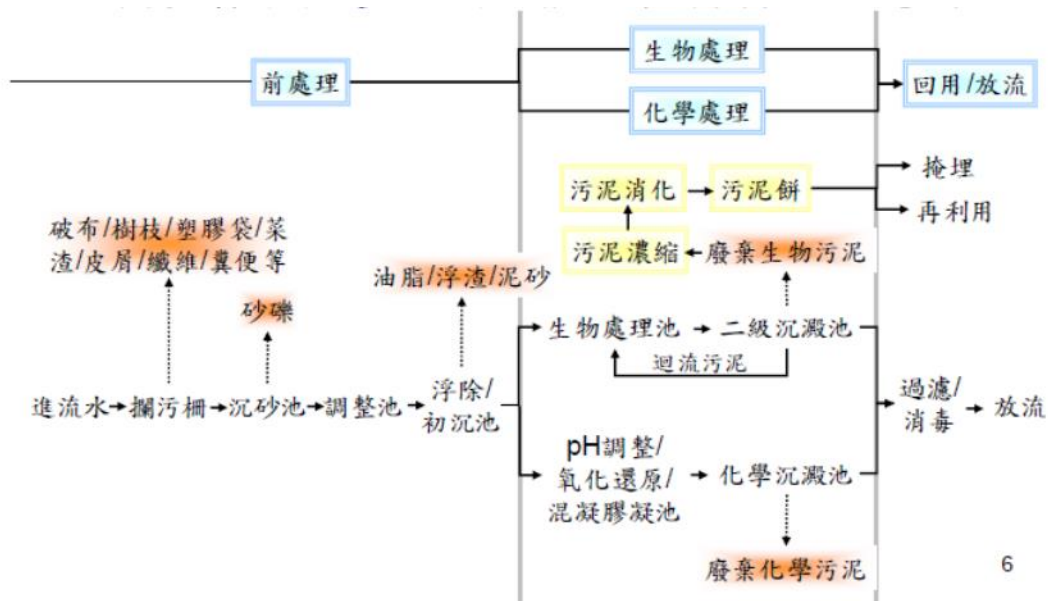


圖 2-1 廢(污)水污泥產生來源與種類示意圖

資料來源：吳俊哲（2009），「污泥減量技術及資源化應用」。

2.1.2 工業區污水處理廠污泥種類與特性

污泥依其化學成份分為有機污泥及無機污泥兩大類：有機污泥指污泥中含有較高之碳元素，其中包括生化污泥、油性污泥及樹脂膠乳類之污泥，如表 2-1，無機污泥則指含非碳化學成分之污泥（吳俊哲，2009），如表 2-2。

表 2.1 有機性污泥分類表

	產業	工業	污泥
1	紙漿	調木、蒸解	微細木屑，短纖維，短纖維滑石，黏土
2	纖維	天然纖維精緻、合成纖維、染色加工	有機質殘渣，有機質殘渣，沈澱污泥(廢水處理)
3	石油化學		有機性廢水處理污泥
4	水產加工	魚類加工處理	生物體加工殘渣
5	畜產		生物體加工殘渣、糞尿
6	食品	罐頭	肉醬，石灰餅
7	發酵	啤酒，酒精	麥芽渣
8	瓦斯，焦炭		煤焦油，含瓦斯液體
9	淨水廠		沈澱污泥
10	下水道處理		沈澱污泥
11	糞尿處理		沈澱污泥

資料來源：張添晉（2016），「污泥處理現況及減量技術」。

表 2.2 無機性污泥分類表

	產業	工業	污泥或粉塵
1	鋼鐵	高爐，轉爐，鑄造物、平爐，轉爐集塵鋼板表面處理	高爐渣，轉爐渣，粉塵，廢水處理污泥
2	非鐵金屬	銅，鉛，鋅，鋁等之提煉	污泥，粉塵
3	汽車	鍛造、電鍍，塗裝，機械加工	粉塵、污泥
4	電機	電鍍，塗裝、藥品處理	污泥
5	金屬表面處理	電鍍	污泥
6	窯業	集塵、廢水處理	粉塵，污泥
7	石油		廢白土，硫酸鈣，污泥
8	化學	鋁金屬提煉、鹼工業，工業藥品	紅泥，汞污泥，污泥
9	電力	排煙處理	污泥
10	核電廠		放射性污泥

資料來源：張添晉（2016），「污泥處理現況及減量技術」。

惟工業區污水處理廠負責處理區內各工廠所排放之廢（污）水，其各行業別事業單位產生之廢水皆進入污水處理廠處理，所以產生污泥成分樣態複雜亦屬混和，依其產生水量比例多寡而定。

2.1.3 污泥性質

污泥性質因隨著各種廢水來源的不同、放置時間長短及處理程序而有所變化，可分類以下項目，如表 2-3。

一、物理性質

(1)比重：初期廢棄污泥含水率極高，比重略大於 1，且與水之比重接近。

(2)污泥濃度：污泥濃度係指污泥中總固體物之濃度，而其中總固體物之組成可以細分為兩種：一種係以揮發成分區分：在 550°C 將固體物中揮發成分分離，分為固定性固體與揮發性固體。另一種又依可通過濾紙區分：通過濾紙為溶解性固體與懸浮固體。

(3)沉降性：污泥之沉降性表示處理水與污泥之分離程度，污泥沉降性好，代表處理水與污泥可固液分離良好。

①污泥之沉降性指標以污泥容積指標(sludge volume index, SVI)表之。

②標準活性污泥法之 SVI 範圍介於 50-150 mL/g，在此範圍內係表示污泥沉降性良好，SVI 過高表示污泥有膨化(bulking)現象，其處理水質恐產生變異。

(4)顆粒大小：污泥顆粒大小及形狀依處理程序有很大之變化。一般而言，污泥之顆粒小對消化有利，但較不易脫水。

(5)水分型態：廢水處理所產生之污泥，一般偏親水性，含水量相當高。污泥中所含水分主要以間隙水(自由水)、毛細管結合水、表面附著水及內部水之形態存在，其特性可歸納如下：

①污泥含水率依①排泥方法②剩餘污泥混合物③污泥固體物之粒徑分布④固體物之有機成分比等而不同。

②污泥粒徑小，有機成分高者含水率亦高。

③一般初沉污泥含水率約 96%-99%，剩餘污泥含水率 99%-99.5%，混合污泥含水率則為 97%-99%。

(6)流動性：污泥之流動性可以黏滯性表示，其隨溫度改變而改變，溫度越高黏滯性越低。

二、化學性質

(1)燃料價值：耗氧處理方式因污泥中含有高濃度之有機物，故具有燃料價值。以未處理初級污泥而言，乾污泥之熱值約為 6,000 kcal/kg，相較於燃料煤熱值 6,400 kcal/kg 已相當接近，但因污泥含水率極高，揮發份只佔小部分。以污泥濃度 5%之濕污泥而言，其熱值僅約 300 kcal/kg，因此濕污泥燃燒時常需另加輔助燃料，或需經由乾燥處理，提升為資源化及在利用。

(2)肥料價值：以未處理初級污泥而言，其中所含之氮(N=2.5%TS)、磷(P₂O₅=1.6%TS)、鉀(K₂O=0.4%TS)，具有肥料特性。若污泥中含有重金屬或有毒物質時，則不適宜作肥料使用。

(3)電荷：污泥之界達電位(zeta potential)可作為污泥調理時加藥量之指標。

三、生物性質

生物污泥其中常含有高量微生物，甚至含高濃度之病原體。某些消化污泥中亦有病原體存在（吳俊哲，2015）。

表 2-3 國內工業廢水污泥性質

項 目	範 圍	平 均 值	
三成份(%)	水分	10.2-87.6	62.2
	灰分	4.85-66.6	24.5
	可燃份	7.23-53.3	21.1
發熱值(kcal/kg)	乾基熱值	1,212-3,289	2,569
化學組成(%)	C	4.95-9.12	6.40
	H	0.71-2.3	1.2
	O	1.42-10.1	4.53
	N	0.23-1.4	0.68
	S	0.20-2.3	0.76
	Cl	0.01-0.16	0.05
碳氮比	C/N	3.7-20	11
酸鹼度	pH	5.2-7.7	6.8
重金屬(乾) (mg/kg)	Ag	-	1,281
	As	-	671.9
	Cd	0.67-2,000	500
	Co	18-48	33
	Cr	3-30,000	3,000
	Cu	222-91,000	19,000
	Fe	-	16,569
	Mn	-	1,092
	Ni	388-3,675	1,843
	Hg	0.000-150	31.8
	Pb	47-20,000	2,000
	Zn	1339-40,200	11,100
溶出試驗結果 (mg/L)	As	0-5.0 0.70	0.70
	Cd	0-0.51	0.07
	Co	0-0.3	0.2
	Cr	0-1.0	0.23
	Cu	0-44	7.9
	Hg	0-0.03	0.007
	Ni	0.31-9.6	3.1
	Pb	0-46	5.4
	Zn	0.28-100	37

資料來源：中興顧問社（1995）。

2.2 工業區污泥處理方法

2.2.1 污泥處理原則

工業區污水處理廠為減少污泥體積並提高固含量，需對不同來源及特性之污泥進行「調理」；常用之污泥調理方式包括物理調理、化學調理及生物調理等三種（吳俊哲，2009），如圖 2-2。

1. 物理調理：一般可分為淘洗、熱處理及凍融處理。
2. 化學性調理：在污泥處理過程中加入無機或有機化學藥劑，其中以添加有機性高分子凝結劑最廣泛使用，適用於各種廢水處理操作，國內幾乎採用此種調理方法。
3. 生物性的處理：藉由生物生長過程時養分所需，而改變污泥性質，通常生物處理後的污泥其脫水性有明顯的改善。

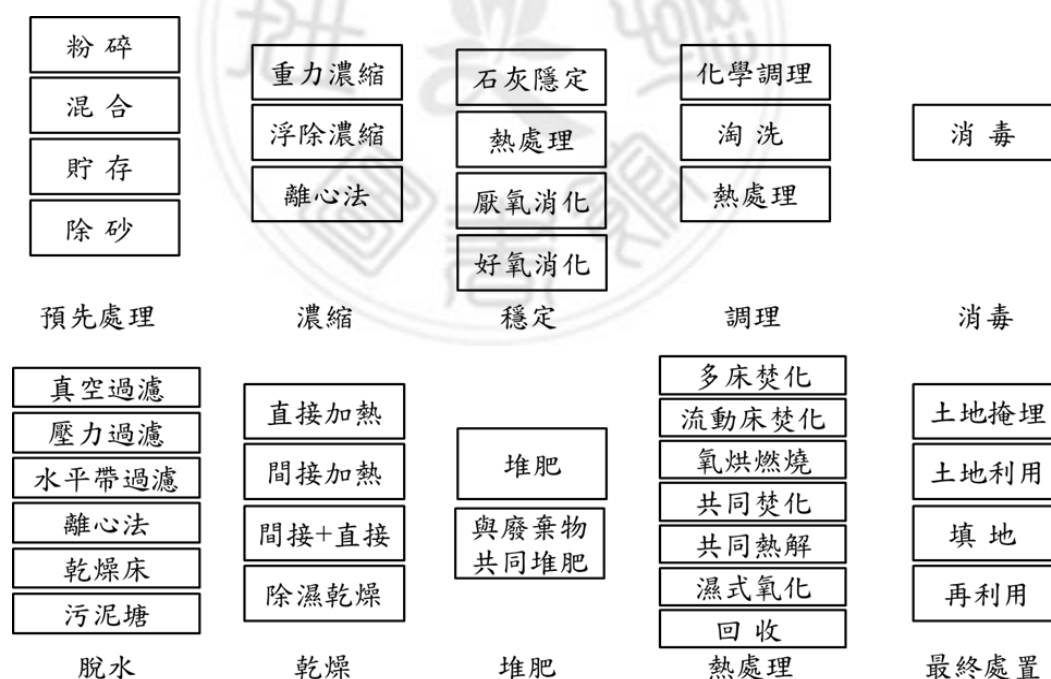


圖 2-2 污泥處理方法

資料來源：吳俊哲（2009），「污泥減量技術及資源化應用」。

工業區污水處理廠污泥處理流程，為經濃縮、消化、脫水或污泥曬乾床乾燥等，一般處理系統排出之污泥含水率約 95~98%，再經機械脫水機後污泥含水率可降至 80% 左右，雖然污泥含水率及體積已減少，但污泥呈現鬆散狀、體積大、含水率仍有下降空間，為讓污泥能夠達到減量化、穩定化、無害化及資源化等目的，最簡單有效的方式就是運用污泥乾燥脫水技術處理，將污泥含水率從機械脫水後 80% 再度脫水降至 20~50%，體積和重量可減少 60%~75%，達到有效的減容，污泥體積減少，有助於延長掩埋場之存儲空間，增加掩埋使用壽命，方便運輸與資源再利用，大幅降低處置費用，改善環保問題。

2.2.2 污泥脫水原理及運用

工業廢水(或可合併處理之廢液)在進入廢水處理廠(場)經一連串之物化及生物處理後，最後污染物則以「污泥」之型態與廢水分離。一般廢水處理程序中會產生污泥之處理單元包括攔污柵或沉砂池作用所產生之粗大固體、砂粒或浮渣；另由活性污泥程序所產生之生物污泥及浮渣；或由化學處理程序中所產生之化學污泥及浮渣。

污泥種類依廢水處理程序之處理單元加以區分，可分為「生物污泥」及「化學污泥」兩大類。然而，依各行業之廢水特性不同，其產生之污泥對環境危害程度亦有所差異，故污泥亦可區分為「一般性污泥」和「有害性污泥」，如表 2-4，依有害事業廢棄物認定標準，若其有毒化學物質含量或毒性特性溶出程序(TCLP)溶出量超過標準，則為有害事業廢棄物，即有害性污泥(工業局，2001)。

表 2-4 各行業別之污泥種類

行業別	污泥種類	特殊污染物
印染整理業	一般性	--
製革業	一般性、有害性	鉻鹽
紙漿製造業	一般性	--
石油化學業	一般性、有害性	有機溶劑、其他
造紙業	一般性	--
化工業	一般性、有害性	有機溶劑、其他
醱酵業	一般性	--
食品製造業	一般性	--
電鍍業	有害性	銅、鉻、鋅等重金屬
紡織業	一般性	--
印刷電路板	有害性	銅、鉻等重金屬
金屬表面處理業	一般性、有害性	銅、鉻等重金屬

資料來源：台南縣環境保護局（1990），污泥及廢液診斷輔導手冊。

污泥脫水之目的就是要去除水分以減少污泥的體積及重量，產生的污泥餅已經是固體而不再是液體。如此，有助於污泥的最終處置，且污泥體積的減少，更能使得污泥的處理及處置成本降低。一般而言，污泥脫水的主要目的可歸納如下：

- 1.減少污泥的體積。
- 2.減少污泥的含水量，才可以減少污泥焚化所需的燃料成本。
- 3.增加污泥的固體物含量，使得污泥更方便處理及處置，例如搬運、輸送及掩埋等。

常見污泥機械脫水技術如下，而脫水技術之操作特性與適用性，如表 2-5 所示。

1.自然脫水

自然脫水藉助太陽熱或風的作用去除污泥水分，亦可配合砂濾床的過濾來增加脫水效率，適用於上水，下水及工業污泥，缺點是脫水時間較長，所需土地面積較大，操作維護成本最低。

2.真空過濾

利用真空泵在迴轉體之濾材兩面產生壓濾，使污泥連續形成濾渣進行脫水及產生濾渣剝離；同時，可添加消石灰或氯化鐵等之凝聚劑調理污泥，以增加脫水效率。此法適用於大量污泥的連續脫水處理，缺點為真空泵會產生噪音、濾布需定期更換或清洗，維持脫水功能。

3.加壓過濾

利用空氣灌入過濾室內之污泥施加壓力，使污泥中水分被絞出而達到脫水效果，可添加石灰或氯化鐵等藥劑調理污泥以增加脫水效率，廣泛適合各種污泥之處理，缺點為空氣壓縮機會散發噪音，濾布需定期清洗或更換。

4.帶壓式過濾

污泥添加高分子凝聚劑後，利用上下濾布對污泥直接進行壓榨，使污泥之膠羽及附著水被脫出。

5.離心過濾

利用迴轉體之高速旋轉，藉由離心力將污泥與水份分離。而污泥在處理前，一般需要添加高分子凝聚劑來提高脫水效率。

(工業局，2001)

表 2-5 脫水技術操作特性及適用性一覽表

脫水技術	脫水能力 ² (kg/cm ²)	過濾周期	脫水濾餅 含水率(%)	過濾容量	適用領域
自然脫水	重力	數天至數十 天	-	-	上水污泥、下水污泥、 工廠廢水處理污泥，例 如染色排水、染毛排 水、電鍍排水。
脫水篩分	濾布張壓1~3	2~15(min)	帶式壓濾 型70~80%	30~100(kg/m ² 帶寬hr)	以工廠排水處理的適用 為主。
	濾布洗水壓2~6				以碎石排水之處理或工 廠排水處理的適用為 主。
真空過濾	濾渣形式 (400~550mmHg)	2~6(hr)	65~80%	-	比較適合於少量之污泥 處理。
	1. 脫水乾燥 (500~600mmHg) 2. 濾布洗淨 2~7	30~600 (sec)		10~25(kg/m ²)	廣泛適用於污泥量大的 連續脫水處理，特別對 於過濾性污泥之連續處 理，已開發了輥壓排放 方式。
加壓過濾	1. 脫水過濾1~8 2. 擠壓過濾5~15 3. 通氣乾燥 0.5~2.0	1~15(hr)	50~70%	1~3(kg/m ²)	廣泛被應用於污泥之脫 水處理。
		15~35 (min)		3~10(kg/m ²)	構造較複雜，因而適用 例較少，但最近已開發 或引進帶式。
離心沈降	離心效果 1,000~10,000 rpm	-	80~85%	-	下水道各種污泥之適用 例雖不少，但因對粒子 除去率一般而言有偏低 的缺點，所以多少需加 凝聚劑處理。
離心過濾					大多適用，但維護管理 較難，污泥處理還需添 加凝聚劑，做為其前處 理條件。

資料來源：經濟部技術處（1993），廢水處理單元設計及異常對策。

2.2.3 污泥乾燥原理

污泥乾燥是在機械脫水後，對污泥進行的深度脫水操作，從機械脫水後含水率 80%再度脫水至含水率 10~50%，一方面進行了有效的減容，另一方面也方便了污泥的存儲、運輸和利用。污泥在恆溫下受熱乾燥時，其重量變化曲線可分為三期，首先是恆速期，水份自固體內部迅速供給至污泥表面，以補足表面蒸發的水份，乾燥速率可以保持恆定，此時期內所移除的水份可視為自由水。接著是第一減速期，由於污泥顆粒表面蒸發速率已大於內部供給至表面的速率，造成乾燥速率下降，此時蒸發的水份可視為污泥餅形成時存在於毛細間的水，因而定義為間隙水。最後是第二減速期，污泥的水份變成自表面以下蒸發，由於質傳與熱傳均需透過一層逐漸加厚的半乾固體，因此蒸發速率也逐漸下降，直至為零，此一時期所移除的水份為以物理吸附方式附著於固體表面的水，故定義為表面水。在這之後尚未被移除的水份，則為以化學鍵結在固體顆粒上，故相當於化學結合水。如進行乾燥者為脫水後的污泥濾餅，自由水與間隙水均已被移除，故觀察到的重量變化曲線約從第一減速期開始（陳見財，1995）。

2.2.4 污泥乾燥特性

將溼污泥放置在一定的乾燥環境，如一定溫度、溼度與氣流速的大量空氣中，記錄其重量減少與污泥表面溫度對時間的變化，從而計算含水率的變化，可得如圖 2-3 之污泥乾燥曲線圖。

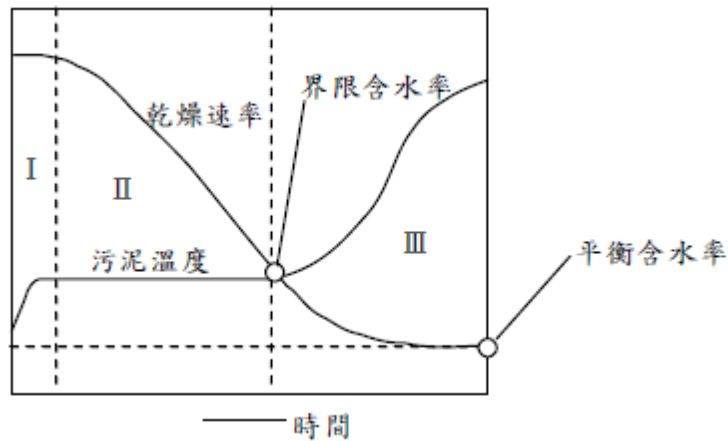


圖 2-3 污泥乾燥曲線圖

資料來源：賴重光等（2001），「常溫乾燥技術於污泥處理之應用」。

圖中可概分為三區，I 區為污泥預熱期間，此時污泥溫度逐漸升高，而水份蒸發速度較慢，因此污泥含水率徐徐減少；II 區為恒速率乾燥期間，此時水份自污泥內部迅速供給至表面，以補足表面所蒸發之水份，乾燥速率保持不變，而污泥含水率則快速減少，又因污泥所吸收之熱量均轉化成水份蒸發所需之潛熱，故污泥溫度維持一定；III 區為減速乾燥期間，此時污泥表面水份之蒸發速率大於污泥內部水份供給至表面之速率，因此乾燥速率下降，污泥表面溫度上升，含水率減少速率趨於緩和。當污泥溫度與環境溫度達成平衡時，乾燥速率降為零，此時污泥之含水率稱之為平衡含水率。界限含水率為污泥從恒速率乾燥期進到減速乾燥期之點，過了界限含水率後污泥乾燥速率即逐漸下降；此點必須靠實驗才能找出，但仍不很明確。平衡含水率為污泥在一定溫溼度的空氣中所能含有水份的極限，其值與污泥性質及環境溫溼度有關（賴重光等，2001）。

2.2.5 污泥乾燥技術

污泥乾燥技術的分類，其中最為常見的污泥乾燥技術多採用熱風加熱式；若依污泥受熱的形式，則又可分為直接受熱式和傳導受熱式。直接受熱式熱媒介主要為空氣，而傳導受熱式大多使用蒸汽或熱煤油為媒介。熱風直接受熱式依熱風和污泥的接觸方式不同，有多種不同的機型，如熱風旋轉乾燥機（有攪拌型和無攪拌型）、氣流乾燥機、流化床式乾燥機、多層床乾燥機、噴霧乾燥機和輸送帶式乾燥機等等。常見的傳導受熱式設備則有水蒸汽管式乾燥機和槳式乾燥機。輻射乾燥技術在國內產業界普遍應用在產品製程上，包括有微波乾燥和紅外線乾燥；此外還有在冷凍空調和食品業常用的常溫除溼乾燥與低溫冷凍乾燥技術。乾燥技術的選擇性很多，以下將分別介紹這些乾燥技術的特性：



圖 2-4 污泥乾燥技術分類

資料來源：產業服務基金會（1990）

(1)熱風直接受熱式

a.熱風旋轉乾燥機：

熱風旋轉乾燥機為歷史相當悠久的乾燥裝置，可連續操作、穩定且處理量大，適用於粒體、粉體、塊狀、泥狀等幾乎所有種類物質之乾燥程序。熱風旋轉乾燥機其主要裝置如圖 2-5 所示，包括一略為傾斜可旋轉之乾燥滾筒與熱風產生爐。熱風與污泥在滾筒內接觸，污泥溫度升高，同時水份蒸發為氣態與熱風一併排出。傳統上熱風旋轉乾燥機並無攪拌裝置，而係在圓筒內安裝提料板（扒上翼），當污泥被扒上到一定高度後會因重力而落下，落下的期間便會增加污泥和熱風的接觸效率，達到乾燥的目的。但要注意污泥在筒底是否產生滑移現象，當有滑移現象應設法排除，否則將減低污泥和熱風的接觸效率。一般而言，熱風旋轉乾燥機之圓筒直徑多在 0.3 ~ 3 公尺之間，而圓筒的長度與直徑比（L/D）則視乾燥空氣的溫度和污泥性質而設計，一般約在 6 以上。乾燥熱風的流向可與污泥走向相同（順向式）、或與污泥走向相反（逆向式）。

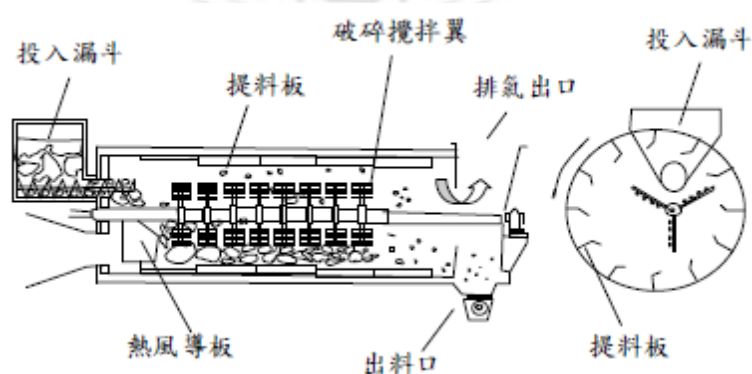


圖 2-5 熱風旋轉乾燥機

資料來源：黃嘉宏等（2001），「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」。

b. 氣流乾燥機：

氣流乾燥機首先以粉碎裝置將污泥粉碎至粉粒體，然後以熱風同向吹送，並流前進而達乾燥之目的，其主要裝置如圖 2-6 所示。此類型乾燥系統因污泥散佈於氣流中，因此乾燥效率與速率皆相當良好，污泥界限含水率可降到 0.5~2%，乾燥時間 1~10 秒，當以 350°C 以上高溫吹送時，乾燥效率可達 70%。

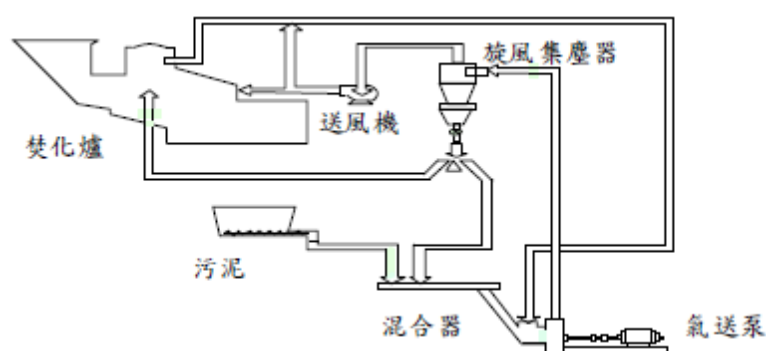


圖 2-6 氣流乾燥機

資料來源：黃嘉宏等（2001），「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」。

c. 流化床式乾燥機：

流化床式乾燥機將污泥置於以金屬網、多孔板或佈風板作成的空氣分散盤上，以高靜壓的熱風由下方吹送，污泥會徐徐流動，慢慢變成沸騰般的安定流動狀態，原理類似流體化床焚化爐，其裝置如圖 2-7 所示。此系統熱效率亦相當良好，但要注意污泥的性質，不要發生渠流現象（channeling），即污泥產生結塊，熱風過不去，最後只往某個渠道通過，如此，會大大降低污泥的乾燥效果。

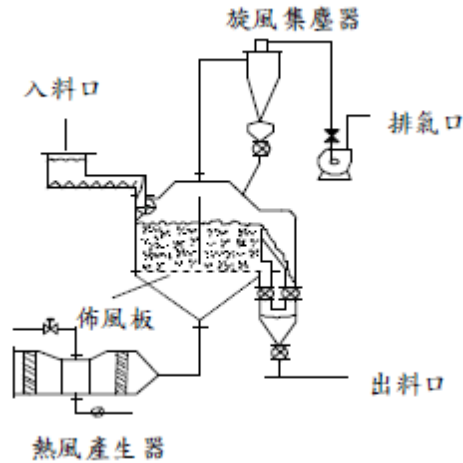


圖 2-7 流化床式乾燥機

資料來源：黃嘉宏等（2001），「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」。

d. 噴霧乾燥機：

噴霧乾燥機為極傳統的乾燥裝置，常用於食品、陶瓷等粉粒體製造程序。其原理係將漿液狀的污泥以霧化器（如轉盤霧化器或噴嘴）噴出霧化，造成污泥的微粒化，增加污泥與熱風接觸面積而達到乾燥的效果，其主要結構如圖 2-8 所示。

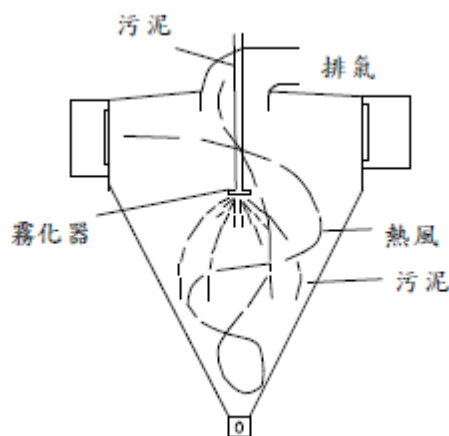


圖 2-8 噴霧乾燥機

資料來源：黃嘉宏等（2001），「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」。

噴霧乾燥機適用於高溼度的污泥（如濃縮污泥），對於脫水後的污泥餅因其無法霧化故不適用。噴霧乾燥機依污泥與熱風的接觸方式又可分為垂直逆流、垂直混流、垂直並流與水平並流等型式。

e. 輸送帶式乾燥機：

輸送帶式乾燥機是使用相當廣泛的一種機型，普遍應用於各產業，對污泥乾燥亦頗常用。應用在污泥乾燥時，為節省用地，多採用垂直多段的方式，其乾燥運轉模式如圖 2-9。輸送帶式乾燥機適用於粒狀或片狀的污泥，若無法成粒狀或片狀，則必須加上粉碎或擠壓成形裝置，以確保污泥可均勻地分布在輸送帶上。熱風可由輸送帶表面吹拂而過，亦有將輸送帶穿孔而使熱風與污泥作交流（cross flow）接觸方式者，此型乾燥機設備較為簡單，但效率亦無法與前述幾類乾燥機相提並論。

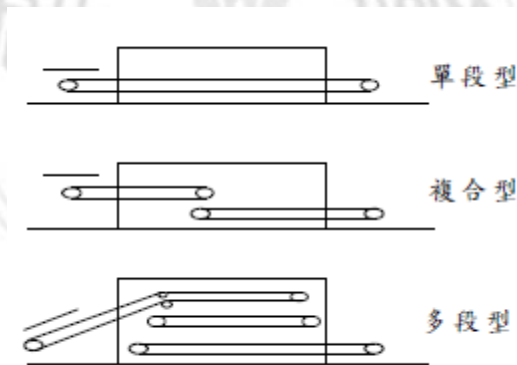


圖 2-9 輸送帶式乾燥機

資料來源：黃嘉宏等（2001），「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」。

(2) 熱風傳導受熱式

a. 水蒸汽管式乾燥機：

外觀類似旋轉式乾燥機，但旋轉筒內加設加熱管，利用加熱管之熱傳導使污泥受熱乾燥。加熱管內若走熱風，就是熱風式；走蒸

汽，就是蒸汽式。此類型乾燥機因乾燥排氣與熱源未直接混合接觸，因此產生的廢氣較少，自然吹出之灰份也較少。此型乾燥機最大缺點在於不適用於附著性強的污泥。

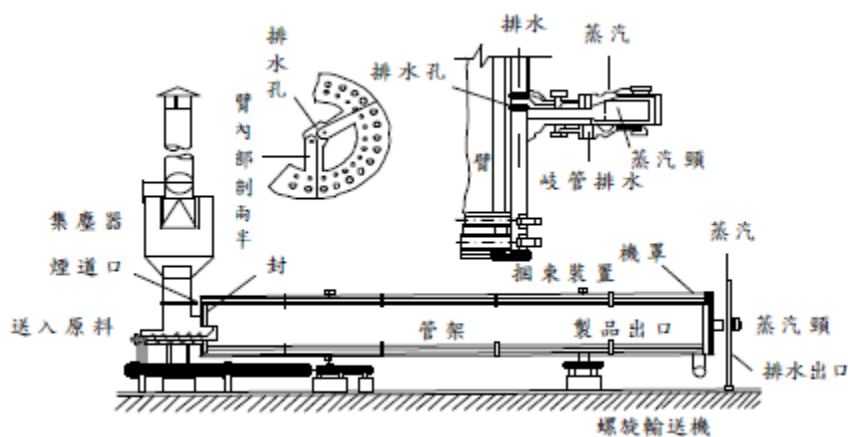


圖 2-10 水蒸汽管式乾燥機

資料來源：黃嘉宏等（2001），「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」。

b. 槳式乾燥機：

槳式乾燥機其主要結構為在有外套的圓筒中設槳葉型攪拌葉片，熱媒可通入夾套層及槳葉片與軸心，當污泥被送入乾燥器後，藉著槳葉片的旋轉，使污泥沿加熱面旋轉移動而乾燥，裝置如圖 2-11 所示。因為可將污泥擠壓成薄片狀，熱傳效果極佳，熱效率是以上所有乾燥機中最高的，但因為系統複雜程度高，造價極為昂貴。

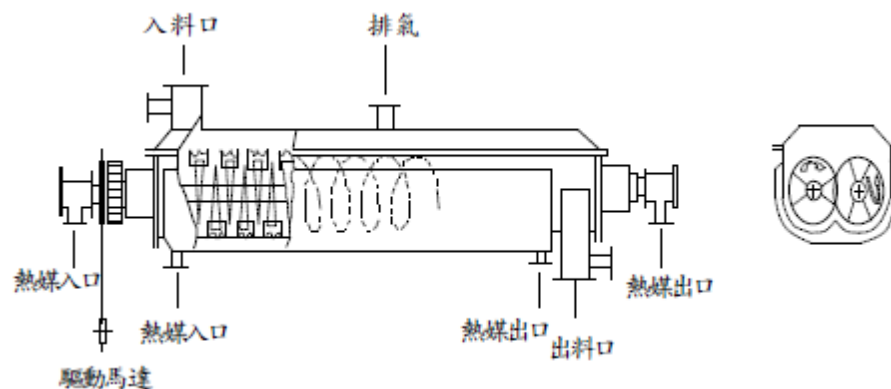


圖 2-11 槳式乾燥機

資料來源：黃嘉宏等（2001），「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」。

(3)輻射乾燥技術

輻射乾燥技術包括利用紅外線、紫外線、微波／射頻、電子束與雷射等輻射源，達到加熱乾燥的目的，其中以紅外線與微波乾燥技術較為市面常見。紅外線加熱乾燥是利用電磁輻射熱傳原理，以直接方式傳熱而達到加熱乾燥物體的目的，從而避免加熱熱傳媒體（如空氣）導致的能量損失，有益能源之節約。同時紅外線因有產生容易（可利用電力或瓦斯燃燒產生）、控制性良好、加熱迅速、乾燥時間短、設備空間節省等特質，因此可大幅提高生產力與改進產品品質，目前紅外線加熱乾燥已廣泛應用於塗裝業、電子業、紡織業、食品業、造紙業、印刷業、塑膠業及膠帶業等。但因污泥並非具經濟價值的產品，國內鮮少有應用在污泥乾燥之實績。

目前逐漸為各行業廣為應用的微波乾燥技術，其乃應用在高頻交流電場作用下，使介質內部產生磨擦消耗而生成熱量來達到加熱乾燥的目的。由於微波加熱為以直接方式傳熱，因此具有加熱時間短、加熱均勻、熱效率高、控制容易、響應速度快、產品品質高及加熱設備佔地面積小等優點。目前微波乾燥技術已應用於食品業、陶瓷業、化學工業、造紙業、印刷業、紡織業及橡膠工業等。雖然微波有以上優點，但初設成本極高，國內又無製造微波產生器的能力，而且微波產生器壽命只有數千小時，應用在污泥乾燥，並不符合理經濟效益。唯一的實績，只有應用在快速水份測定儀上。

(4)常溫除溼乾燥技術

除溼乾燥為一非常成熟的技術，不論是在工業界（如無塵室的環境控制）或是日常生活（如家用除溼機）中，都時常可見其應用的實例。典型除溼循環曲線如圖 2-12 所示，當帶有水氣的潮溼空氣經過除溼機冷排時，水氣被冷凝去除，而此時除溼機的冷媒則吸收

水氣凝結所放出的熱量而蒸發；蒸發後的冷媒經由壓縮機加壓成高壓氣體；然後經由熱排在等壓條件下釋放出熱量而凝結成飽和液體，同時除溼後的空氣則透過熱排回收冷媒釋放出之熱量，成為較高溫的乾燥空氣；最後冷媒透過一節流閥（ throttling valve ） 在等焓條件下膨脹蒸發回復起始狀態。

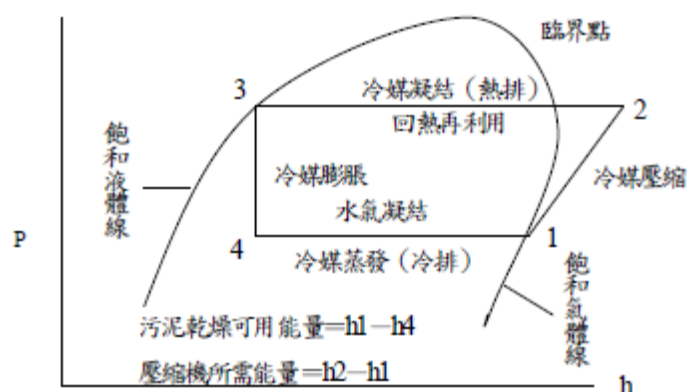


圖 2-12 除溼循環曲線

資料來源：蔡禎輝等（2000）「微波加熱乾燥技術與應用」。

應用除溼循環曲線的特性，便有可能以較小的輸入能量（壓縮機輸入功= h_2-h_1 ），獲得較大的熱量輸出（除溼機熱排釋出能量= h_2-h_3 ）；若能妥善利用此能量，回收加以利用至污泥乾燥上，便有可能達成相當好的乾燥成效（乾燥水量相當於 h_1-h_4 的冷凝水量）。由於此種乾燥模式所採用的溫度約在 $45\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，遠低於傳統熱風乾燥所使用的溫度（ $150\sim 400^{\circ}\text{C}$ ），因此我們稱他為常溫乾燥技術。

圖 2-13 為應用常溫除溼乾燥系統之示意圖，主要包括一提供污泥與乾燥空氣接觸的污泥乾燥筒，以及可將空氣中水分去除的工業級除溼機。應用常溫乾燥系統處理污泥的優點有：a.乾燥溫度接近

於室溫，對污泥本質影響不大（有機污泥經乾燥後仍可回收作為堆肥之原料）；b.採用電力作為系統乾燥能量來源，免除採用燃燒機的動火危險；c.整個系統為密閉式操作，免除污泥臭味溢散問題；d.污泥中的水分最後以冷凝水形態排出，可直接回送至污水處理池排放；e.無廢氣處理問題，不需設廢氣排放口；f.系統設備簡單，設備成本低。

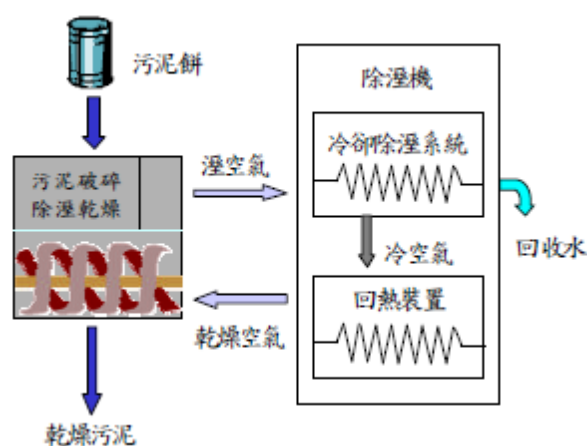


圖 2-13 常溫除溼乾燥系統示意圖

資料來源：蔡禎輝等（2000）「微波加熱乾燥技術與應用」。

2.3 污泥再利用及處置

2.3.1 污泥再利用策略

在進行污泥處置時，首先應了解其可視為有用物質與有害物質之混合體，而非全然的廢棄物與環境負擔。在經脫水、乾燥等減積處理後，仍需對污泥進行最終處置，以達穩定化、無害化之目標。目前常用處置方式包括衛生掩埋、海洋棄置、農業利用和焚化等。然而因各廠商基於處理成本與設備的考量，台灣泰半的廢棄污泥仍舊以衛生掩埋方式處理。隨著各種廢棄物數量的急速增

加以及新場址難覓，現有的衛生掩埋場中三分之二已經接近容量飽和狀態，顯然台灣地區繼續以掩埋方式為未來污泥處置方式實屬窒礙難行；而國際趨勢與台灣現行環保法規也已公告禁止污泥的海洋棄置。在這些限制下，其它具有資源化潛力的處置法，包括堆肥、焚化等，漸成為目前環保單位規劃與推動之方向。表 2-6 中列舉了國內代表性工業所產生之污泥中，能利用之元素資源成份比例：

表 2-6 污泥內可利用之元素成份比例

污泥種類	碳 (%)	氮 (%)	磷 (%)
初級污泥	30 ~ 40	4 ~ 6	0.5 ~ 3
二級生物污泥	35 ~ 45	8 ~ 12	2 ~ 6
消化污泥	20 ~ 30	4 ~ 5	2 ~ 3.5

資料來源：朱敬平等（2002），「污泥處置（IV）：策略與永續利用」。

在收集污泥資源時，也可能會造成污染；例如以污泥進行農業利用時雖可使用其中之碳、氮、磷作為土壤養份，但也會將有害的物質（如重金屬或致病菌）播送至土壤，再進行食物鏈之中。而去除污染物時，顯然也無法全然兼顧資源的回收，如焚化可以分離並破壞污泥中的有害物質，但同時也破壞了有用的成份。一個良好的處置策略應根據實際所需，於「穩定無害化」與「資源化」中取得平衡。主要以掩埋、焚化、土地利用（填埋、農地使用、土地新生等），原則上採取減量化、穩定化、資源化、能源化。

2.3.2 污泥再利用方法簡介

（1）生物處理技術：

堆肥醱酵處理之流程大致為翻堆→醱酵熟成（30~60 天）→風

乾→篩分→有機質肥料，主要收受非有害事業污泥，其產品需符合肥料品目取得肥料登記證

(2) 物理處理（乾燥）技術：

包含堆置乾燥及旋窯乾燥，堆置乾燥流程大致為堆置→翻堆→乾燥；旋窯乾燥以平均溫度 550°C 以下乾燥 20~40 分鐘，將含水率降至 40% 以下，其產品做為工程填料、CLSM 原料使用

(3) 物理處理（固化）技術：

大致為無機污泥混拌水泥（15~20%）與化學藥劑→澆模→養護→固化為混凝土塊或破碎成人工粒料，其產品需符合相關規範（包括產品規格及標準等）。

(4) 熱處理（燒結）技術：

大致為無機污泥經旋窯乾燥（130°C）→造粒→旋窯燒結（900~1100°C）→輕質骨材人工粒料，其產品做為 CLSM、級配料、園藝圍籬、輕隔間牆、地磚與紅磚等原料。

(5) 熱處理（煨燒）技術：

大致包含 SiO₂、CaO 等成分之無機污泥，作為水泥替代原料摻配使用，其製成水泥產品需符合 CNS 標準。

(6) 熱處理（焙燒）技術：

主要為處理含銅之有害污泥，其處理流程大致為旋窯焙燒（600~700°C），停留 40~60 分鐘→氧化銅粉，其產品氧化銅粉含銅量 20% 以上，主要出口做為煉銅原料

(7) 酸提氧化還原技術：

主要為處理含銅之有害污泥或含銅廢液，其處理流程為將含銅污泥先以酸溶解後，然後含銅液再加入氫氧化鈉等，使其再形成氫氧化銅及氫氧化鐵等物質，於反應槽中再倒入過氧化氫等

氧化劑後形成氧化銅及氧化鐵的沉澱，其產品主要作為化工或冶煉原料。

(8) 置換法技術：

本技術將污泥中所含重金屬成分經加酸溶提後，液體部分成為含銅溶液，再利用氧化還原電位差原理，藉由鐵粉置換溶液中的銅，屬自發性反應，可得到具高純度之銅粉。

(9) 氨浸法技術：

係以含氨之碳酸鹽溶液為浸漬劑，與污泥中如銅、鋅、鎳等金屬氫氧化物形成可溶性錯銨碳酸鹽，可溶性錯銨碳酸鹽經過濾後，浸漬殘渣部份可經乾燥、煨燒、萃取而資源化成鉻黃與鐵黑產品；而濾液主要是以銅、鎳、鋅之錯銨鹽為主，經通入蒸汽解離後會形成鹼式碳酸鹽沉澱並回收氨，之後加入硫酸溶解形成銅、鎳、鋅的硫酸鹽溶液，再利用有機溶劑進行重金屬溶劑萃取，將銅、鎳、鋅予以分離純化成各單一金屬的硫酸鹽溶液，最後再應用結晶技術，將其製成資源化產品。

(10) 焙燒法技術：

本技術係於含鉻污泥中添加碳酸鈉以進行混練，再經乾燥後，於 700~800°C 高溫下進行焙燒，並經水淬生成水溶性的鉻酸鈉及其他非水溶性之金屬化合物。

(11) 水泥原料替代技術：

本技術利用氟化鈣污泥中含有部分水泥製程中之副原料，如氧化矽、氧化鋁、氧化鈣等成份，經過適當之調配後，再經研磨、攪拌、旋窯高溫燒成（約 1,450°C）等程序，最後加入石膏後進行研磨，即成為水泥。

(12) 乾燥造粒技術：

本技術根據漿紙污泥的特性開發配料及造粒技術，將含高水分的漿紙污泥添加不同比例之添加劑，直接造粒成顆粒狀，再乾燥製成具高附加價值的輕質骨材，可用作輕質建材。

(13) 硬紙板製成技術：

本技術將漿紙污泥稀釋至 5%，經篩網分離出長纖維，再經由一般抄紙機抄成紙板，短纖維及白土則可加工再利用為其他產品。

(14) 防火板材製成技術：

本技術主要以大理石及花崗石污泥為資源化原料，利用其主要成分如碳酸鈣、氧化矽等具有低熱傳導係數之特點，作為防火板材絕熱耐燃之原料，將石材污泥與添加料及固化劑按比例拌合，再經震盪滾壓成型、烘乾及養生等程序製成防火板材。

(15) 造粒乾燥技術：

本技術以氫氧化鈣和花崗石污泥做為製造吸附劑的原料，另外添加少量的添加劑（氯化鈣或水玻璃等），以離心式造粒機造粒或以擠壓成型造粒，再經蒸煮、乾燥、篩分等程序製成吸附劑。

(16) 加熱發泡技術：

本技術係將水庫淤泥添加微量石材污泥做為發泡劑，再經捏練、擠出或造粒方式形成顆粒，經烘乾後再以 1,150~1,200℃加熱，則會產生發泡現象，可得骨材比重 0.7~1.3，單顆粒強度 30kgf 以上的發泡骨材，適合用於輕質建材、隔熱材料等。

(17) 燒結技術：

本技術係將火力發電、淨水等產業所產生無機污泥，依適當比例，經碾碎、研磨後，與黏土充分混合及加入一定比例之水分後，再經成型、疊坯、乾燥、燒結等步驟後，即製成磚。

(18) 焚化處理技術：

大致以有機污泥與生活垃圾或事業廢棄物混燒，利用熱值產生蒸汽，節省燃料使用。

(19) 熱處理（氣化）技術：

大致為乾燥有機污泥（ $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ ）→氣化爐（高溫缺氧， $950\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，與水蒸汽轉換為CO與 H_2 ）→可燃氣→鍛燒爐（ $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）→蒸汽，其產生之產品蒸汽可供發電或熱能使用，灰渣部分包含氧化鈣成分，可作為水泥原料。

(20) 掩埋處理技術：

大致為傾倒→覆土→壓實→掩埋，並需控制與妥善處理沼氣與滲出水。

第三章研究方法

3.1 研究試區說明

3.1.1 中壢工業區污水處理廠介紹

本研究以中壢工業區污水處理廠污泥處置系統增設乾燥設備進行污泥減量作業，針對處理成本效益分析探討，該廠相關基本資料如下：

(一) 地理位置及交通狀況

中壢工業區位於桃園縣中壢市，北界中山高速公路，並設有交流道，對外交通便捷。南臨縱貫公路，離台北市約三十公里，主要聯外道路有國道1號內壢交流道1公里、國道3號高速公路大溪交流道約九公里，台1線，距桃園機場12公里，距中壢火車站3公里，樹林站3公里，另高鐵青埔站7公里，交通十分便捷，是一個地理位置極佳的投資環境，如圖3-1。



圖 3-1 中壢工業區地理位置交通圖

資料來源：中壢工業區服務中心(2017)，「106年中壢工業區污水處理廠簡介」。

(二) 中壢工業區污水處理廠設置沿革

中壢工業區前身為內壢工業區，於民國五十六年由經濟部工業局依據獎勵投資條例規定，委託台灣土地開發公司開發為綜合性工業區，至五十八年十二月開發完成，面積為四十三公頃。內壢工業區開發完成後，為配合工業發展與高速公路之興建，乃於民國六十一年由行政院國軍退役官兵輔導委員會榮民工程事業管理處籌劃開發中壢擴大工業區，六十二年五月施工，至六十五年底全部開發完成，開發面積三九〇公頃，與原內壢工業區併稱中壢工業區，面積共計四三三公頃。

中壢工業區污水處理廠佔地三·八三公頃，係由中華顧問工程司設計、榮工處施工建造，以活性污泥法作三級生物處理，分三期建造，第一期工程以前處理為主，包括抽水站、攔污柵、沈砂池、除油槽、自動中和設備、曝氣氧化塘等及其他配合設施，自六十八年開始運轉處理區內工廠排放廢水。第二期工程為二級生物處理設施，含初步沉澱池、活性污泥曝氣池、二次沉澱及三次沉澱池、污泥濃縮池及污泥脫水機房等於七十五年六月完成試車運轉，處理容量為 21,500CMD。第三期為擴建工程，採純氧生物處理法，設計處理容量 12,000CMD，於民國八十四年六月施工，民國八十六年七月完工，如表 3-1。

表 3-1 中壢工業區污水處理廠歷年功能改善工程

項目	一期	二期	三期	四期	合計
平均設計水量 (CMD)	8,000	13,500	12,000	既有系統系統 1,000 純氧系統增加 600	35,100
建設費用 (萬元)	4,246.5	28,210.66	62,000	7,540	101,997.16
建設期間	67年/03月~ 68年/07月	71年/12月~ 82年/1月	82年/11月~ 93年/7月	100年1月18日 ~101年11月	
處理方式	以前處理設施為主	陸續增建二級物 處理及三級化處 理及部份設備換	增設純氧處理系 以處理染整業廢 水陸續增建初沉 池、流口、污泥 貯存之元等	增設 T02 污泥濃 縮池，過濾設備， 汰換污泥脫水機 2 部，曝氣沉砂除 油機組 2 組	
建造原因	污水廠新設	符合環保署 82 年 國家放流水標準	因應廢水量增加 環保署 87 年國 家放水標準	為符合環境保護 署 105 年國家放 流水標準	
設計監造	中華顧問工程公司	中華顧問工程公司	中華顧問工程公司	祥勝綠色科技股 份有限公司	

資料來源：中壢工業區服務中心(2017)，「106年中壢工業區污水處理廠簡介」。

(三) 產業別與廢水量

中壢工業區污水處理廠廠商納管情形，目前設廠 598 家，以電子、金屬、化學、機械、紡織及運輸業佔大多數，提供三萬餘人之就業機會，其中完成設廠生產中者計有 544 家、建廠中有 25 家、歇業有 15 家、停工中有 0 家、未建廠有 14 家，如表 3-2。

表 3-2 中壢工業區廠商行業類別統計表

行業別	家數	所佔比率	行業別	家數	所佔比率
電子業	147	27%	紡織成衣業	33	6%
金屬業	71	13%	食品業	30	5.5%
化學業	62	11.4%	塑橡膠業	32	5.9%
機械業	127	23.3%	其他	43	7.9%

資料來源：中壢工業區服務中心（2017），「106 年中壢工業區污水處理廠簡介」。

中壢工業區廠商家數及廢水排放量仍以電子業為大宗；染整紡織業現有 28 家，但廢水量及污染程度仍是相當可觀；另運輸業有國瑞汽車及多家修護、保養廠，食品業有統一、黑松等大廠，廢水排放量亦接近 1 成，如圖 3-2。

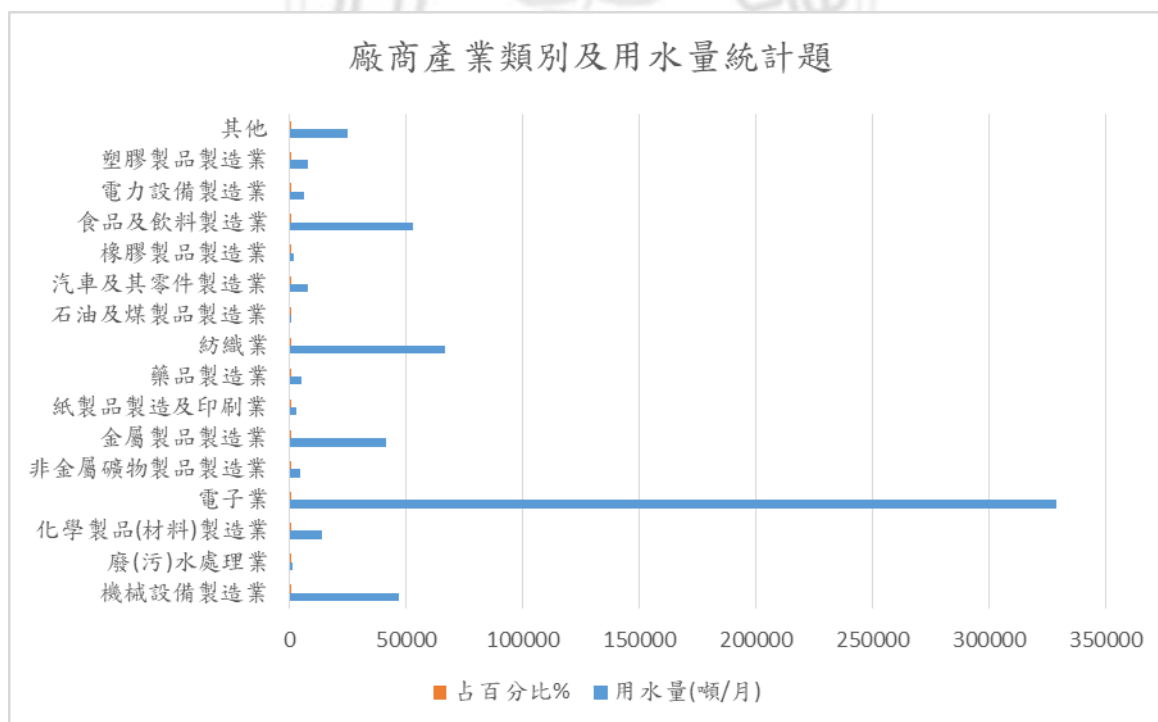


圖 3-2 廠商產業類別及用水量統計

資料來源：中壢工業區服務中心(2017)，「106 年中壢工業區污水處理廠簡介」。

(四) 污水處理廠基本資料

污水廠處理設置有兩套系統，如圖 3-3：既有系統為傳統活性污泥處理法，流程如下：

預先處理→初級處理→二級處理→三級化學加藥處理

第二套為純氧系統處理法，利用高壓氧氣取代傳統鼓風機於生物池進行曝氣，流程如下：

預先處理→初級處理→二級處理→三級化學加藥處理

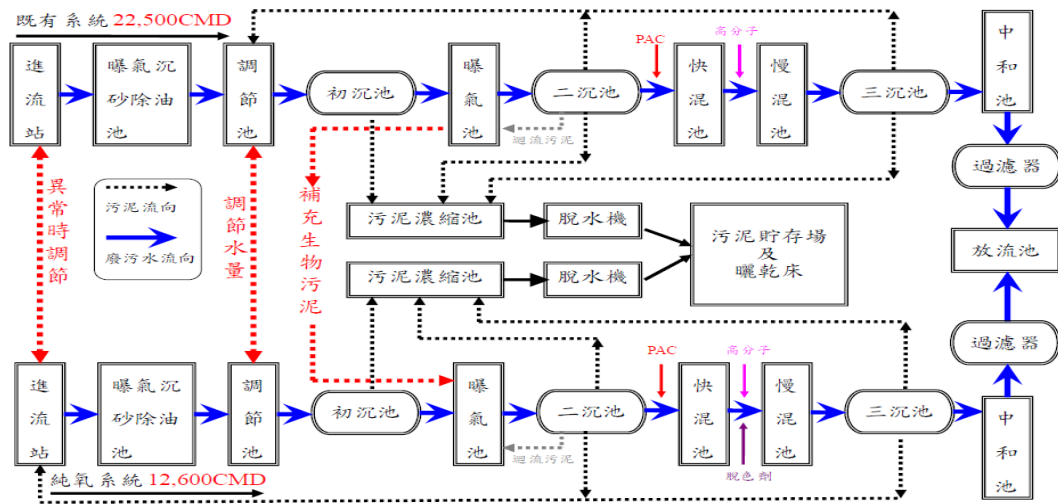


圖 3-3 中壢污水處理廠處理流程圖

資料來源：中壢工業區服務中心(2017)，「106 年中壢工業區污水處理廠簡介」。

設計處理量：一般系統處理量 21,500 CMD，擴建系統 12,000 CMD，合計共 33,500CMD，進廠限值：COD600mg/1，SS400mg/1
進廠水質：COD300-400mg/1，SS100-200mg/1，放流水質：
COD80mg/1 以下，SS25mg/1 以下，處理水量：26,000CMD，每日污泥產生量約 14.55 噸。

3.1.2 污泥乾燥設備選定-熱泵冷凝乾燥機

中壢工業區污水處理廠因污泥含水量高，最終處理費用過高，規劃增設污泥乾燥設備來處理廠內每日產生的污泥。污水廠原本已有4台帶濾式污泥脫水機，目前每日產出污泥餅約20公噸(含水率約84%)，計畫內容為達成污泥去化及減量，爰辦理增設污泥乾燥設備，計畫範圍為污泥乾燥機設備之規劃設計監造、安裝及試運轉，俾利達成中壢工業區污水處理廠系統污泥減量及去化。

中壢污水處理廠規劃設置污泥乾燥設備評選，以蒸氣乾燥機及熱泵冷凝機二種作用方式進行比較，蒸氣乾燥機在價格價格方面比熱泵冷凝機有優勢，但設置鍋爐需申請壓力容器使用執照，操作人員應參加「小型鍋爐操作人員課程」共20小時，以取得操作證照，且需設置臭氣洗滌塔設備，故需視空氣污染物之排放量是否超過環境保護署100年12月19日公告「第一批至第八批公私場所應申請設置、變更及操作許可之固定污染源」之管制量，判斷是否需申請空氣污染排放許可證，若以整體環保面考量，熱泵冷凝機則完全無任何尾氣需額外處理，亦無需設置鍋爐，便不需申請壓力容器使用執照與空氣污染排放許可證，最終選定設置熱泵冷凝機，如表3-3。

本工程經公開招標辦理發包施工，開工日期自106年01月04日起至106年09月10日完成，工程費用：新台幣17,990,000元整，如表3-4。

表 3-3 中壢污水處理廠污泥乾燥設備評選

特性評比項目	蒸氣乾燥機	熱泵冷凝機
廠牌	廠牌 A	廠牌 B
產地	臺灣	臺灣
熱傳方式、 污泥破碎方 式及尾氣處 理方式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 熱傳方式：濕污泥以批量方式導入蒸汽乾燥機，在最大傳導接觸面積下進行隔艙攪動加熱，把水分從濕污泥中蒸發分離。 2. 污泥破碎方式：間接傳導加熱及碟盤式攪動，使內外均勻受熱，除濕乾燥效率最佳。 3. 乾燥系統溫度在(130~140℃)環境以密閉蒸氣隔艙加熱及負壓/冷凝/淨氣處理，尾氣採用次氯酸鈉化學洗滌處理，無臭氣(VOC)污染問題。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用熱泵冷凝技術，讓冷媒將乾燥箱內的濕熱空氣降溫除濕，同時通過熱泵原理回收空氣中水分，並將潛熱凝結回收再循環。 2. 污泥破碎方式採用擠條成型，可使污泥充分與熱氣接觸，將水份分離。 3. 低溫(40~60℃)環境下全密閉進行乾燥處理，無有害尾氣排出，無需臭氣處理。(在低溫乾燥可避免污泥中各類 VOC 有機揮發性臭氣產生，鏈狀烴煙類及芳香烴類揮發溫度在 100~300℃；醛類、苯胺類揮發溫度在 250~300℃；環烴煙類揮發溫度 250~300℃；含氮化合物、胺類揮發溫度在 200~300℃；醇類、醚類、脂肪酮類揮發溫度在 300℃ 以上)
進料含水率	≤ 85%	
出料含水率	≤ 30%~55% (可依需求而調整設定)	
乾燥處理能力	可處理 30 噸/日濕污泥(含水率 85%)，至 10 噸/日乾燥污泥(含水率 55%)	
去除每 Kg 水 分之能耗	約 0.8~1.2 Kg 飽和蒸汽	約 0.48 Kwh 電量/kg-H ₂ O
能耗單價	蒸汽除濕= 0.64~1.0 元/Kg 水 (生產每 Kg 蒸汽費約 0.8 元估算)	熱泵冷凝除濕電費= 0.75~1.0 元/Kg 水 (每度電費約 1.5~2.0 元/Kwh 估算)
用地空間	可配合中壢污水廠現有場地，設置在廠內污泥暫存場旁既有 2F 廠房(RC)空間，另設置污泥輸送設備從脫水機房運送脫水污泥到 2F 廠房內進行乾燥處理。	
臭氣處理	尾氣溫度以熱交換器控制在 35℃ 左右，再以化學洗滌(次氯酸鈉)處理，可申請取得空污排放許可，確保無臭氣問題。	乾燥過程都在密閉低溫(40~60℃)環境下進行，只有少量換氣氣體排出，不會造成二次空污，無需臭氣處理設備。
建置費※處 理 30 噸/日 濕污泥(85%) 為基準	新台幣 18,800,000 元	新台幣 37,500,000 元
	設置在 RC 空屋 2F 內，另需增加污泥輸送設備費新台幣 250 萬元 ※輸送設備包含不鏽鋼暫存槽+角架+單螺旋泵+2 吋螺旋輸送管。	設置地點在 RC 空屋 2F 內，另需增加污泥輸送設備費新台幣 230 萬元。採用螺旋式輸送機。

主要設備	包括：貫流式鍋爐、螺旋輸送機、濕污泥儲存槽、蒸氣乾燥機、乾料螺旋輸送機、旋風機、冷凝器、冷卻水塔、液氣分離器、化學洗滌槽、洗滌塔、機械安裝與配管、配電及儀控工程。	包括：濕餅輸送設備、濕餅暫存槽、下料均配裝置、冷凝除濕式主機、連續式乾燥烘箱、污泥餅輸送設備、太空包支撐架、風管工程、粉塵過濾器、配管工程、電氣工程、控制箱及儀控工程。
營運成本	(1). 操維費= 242 萬元/年 (2). 能耗費= 700 萬元/年 (3). 折舊費= 125 萬元/年(以 15 年攤提)	(1). 操維費= 242 萬元/年 (2). 能耗費= 784 萬元/年 (3). 折舊費= 240 萬元/年(以 15 年攤提)
投資經濟效益=【污泥減量效益-操維費-能耗費-折舊費】÷初設費(可回收年限)	【4,905 - 1,570 - 242 - 700 - 125】萬元/年÷1880 萬元 =120%(投資後 10 個月可回收成本)	【4,905-1,570 - 784 - 240】萬元/年÷3750 萬元=61.6% (投資後 1.62 年可回本)
保固期限	機械設備保固 3 年；電機與控制元件保固 1 年	保固 1 年
鍋爐操作許可證	污水廠設置鍋爐應先申請壓力容器使用執照. 可由鍋爐廠商代辦。	冷凝式乾燥機系統不需要申請鍋爐操作許可證
操作人員證照	操作人員應參加工業科技安全衛生協會之「小型鍋爐操作人員課程」共 20 小時，取得操作證照。	冷凝式乾燥機系統操作人員不需要證照。
申請空氣污染排放許可	蒸氣碟盤式有設置臭氣洗滌塔設備，依據空氣污染防制法及環保署 100 年 12 月 19 日公告「第一批至第八批公私場所應申請設置、變更及操作許可之固定污染源」，本次公告應申請設置、變更及操作許可之固定污染源，各批次公告日前已設立者，應依各批次公告應申請之期限申請操作許可。	冷凝式乾燥機系統並無設置臭氣洗滌塔設備，不須申請排放許可。

資料來源：中壢工業區服務中心(2017)，「105 年中壢工業區增設污泥乾燥設備工程試運轉成果報告」。

表 3-4 工程設備清單

設備編號	設備名稱	數量	電力	型式	綱要規範	備註
T01-23	冷凝除濕乾燥機	1	350KW	冷凝除溼型	處理量： 10Ton/day(85%濕污泥)，除溼乾燥至 50%， 24 小時操作	
T01-22	離心脫水機	1	21KW	離心式	處理量： 5~8Ton/hr(98%濕污泥)，脫水至 85%最大處理 污泥乾重： 200Kg/DS/HR	最大脫水 能力應達 80%含水 率
T01-17-P3	污泥進料機	1	3.7KW	單軸螺旋式	水量：5~8Ton/hr(98% 濕污泥)揚程：3kg/cm ²	
T01-22-P1	污泥加藥機	1	0.37KW	隔膜定量泵	水量：5L/min 壓力： 5kg/cm ²	
T01-22-M1	污泥輸送機 1	1	1.5KW	無軸螺旋式	外徑約 30cm，長約 3m，輸送量 0.5Ton/hr	自離心脫 水機至冷 凝除濕乾 燥機
T01-22-M2	污泥輸送機 2	1	1.0KW	皮帶式	皮帶寬約 50cm，輸送量 0.5 Ton/hr	自污泥進 料斗至污 泥曬乾床
T01-22-P2	離心脫水機 清洗水泵	1	0.375KW	離心式	水量：75L/min 壓力： 1.3kg/cm ²	
T01-23-M1	污泥出料輸 送機	1	1.0KW	螺旋式	輸送量：0.5 Ton/hr	自冷凝除 濕乾燥機 至污泥乾 燥床

資料來源：中壢工業區服務中心(2017)，「105 年中壢工業區增設污泥乾燥設備
工程試運轉成果報告」。

3.1.3 熱泵冷凝乾燥機特性

熱泵冷凝機採連續網帶乾燥模式運作，而密閉式乾燥空間，不受天候影響控制溫度越高，除濕性能力越高(SMER(kg. H₂O/kw. h))，適合各類型污泥脫水機系統連接處理，使用壽命長，可將含水率 80%污泥餅乾燥成含水率 20%之污泥粒料，通過污泥特殊擠條成型技術，污泥減容量可達成 1/4 至 1/5，乾燥後污泥熱值可到達 3,000kcal/kg。

處理效能：熱泵冷凝機網帶傳送速度採用變頻控制，自動精確溫/濕度控制，解決傳統烘乾濕度不易控制難題，穩定及提高烘乾品質，污泥出料含水率可調為 10~30%，可將脫水機處理後含水率 80%之濕污泥乾燥至含水率 30%，所需花費時間約 2~4 小時（張庭福，2016）。

3.2 污泥乾燥設備處理流程

有關污泥乾燥操作流程，本次研究對象以中壢工業區污水處理廠設置冷凝除濕乾燥機系統，處理流程係使用熱泵技術進行高效冷凝除濕，而熱泵冷凝除濕乾燥原理過程，分別以空氣處理流程及製冷劑流程，如圖 3-4，敘述如下：

一、空氣流程：

乾燥房內熱空氣加熱濕污泥使水份汽化，空氣吸濕成濕熱空氣進入蒸發器，空氣降溫至露點溫度以下，水蒸氣冷凝並釋放冷凝潛熱→進入空氣冷凝器吸收冷媒熱量，冷凝過程釋放熱量加熱空氣至→主風機→乾燥房。

二、冷媒流程：

冷媒低壓液體油蒸發器吸收空氣釋放熱量汽化成低壓過熱氣體

→進入壓縮機→低壓過熱冷媒氣體經過壓縮機壓縮做功至高溫高壓氣體→進入風冷凝器釋放冷凝潛熱成高壓液體→膨脹閥，減壓成低溫低壓液體後→蒸發器。

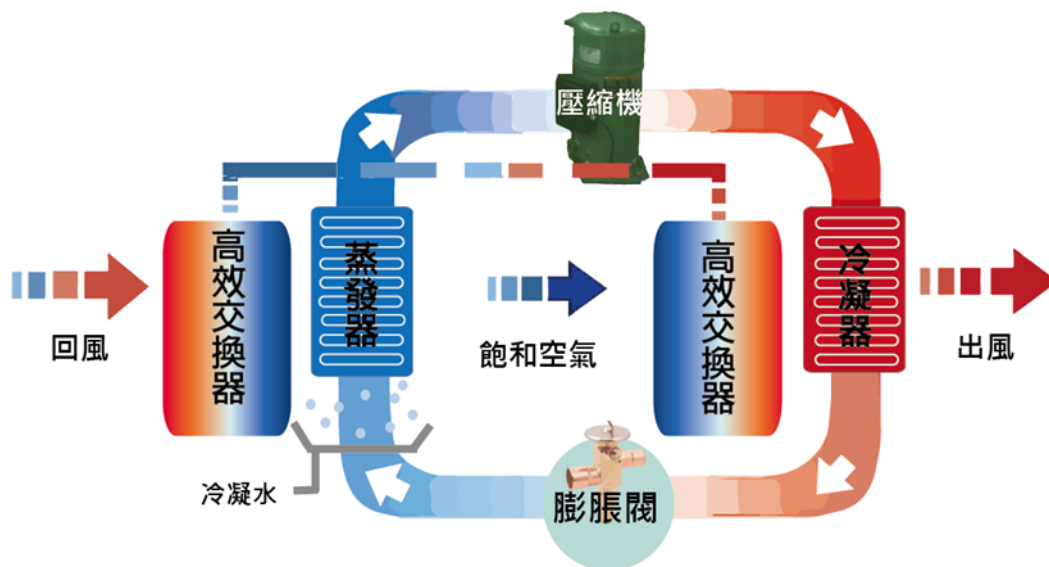


圖 3-4 冷凝乾燥機設備運作流程

資料來源：張庭福（2016），「高效冷凝除濕乾燥機簡介」元証環保科技有限公司。

3.3 效益評估方法

3.3.1 污泥含水率公式建立

計算污泥體積在不同乾燥階段之含水率

公式，假設如下：

SV：污泥體積

SW：污泥重量

C_1 ：污泥乾燥前所含乾固體重量百分率比

C_2 ：污泥乾燥後所含乾固體重量百分率比

γ ：污泥比重

P：含水率

WW：水重

SS：乾土重

$$\text{則 } SW = \gamma SV \quad P = \frac{WW}{SW} \quad C = \frac{SS}{SW}$$

SW₁：污泥乾燥前重量 SW₂：污泥乾燥後重量

$$\frac{SW_1}{SW_2} = \frac{\gamma SV_1}{\gamma SV_2} = \frac{SV_1}{SV_2}$$

$$1 - P_1 = \frac{SW_1 - WW}{SW_1}, \quad 1 - P_2 = \frac{SW_2 - WW}{SW_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1 - P_2}{1 - P_1} = \frac{\frac{SW_2 - WW}{SW_2}}{\frac{SW_1 - WW}{SW_1}} = \frac{\frac{SS}{SW_2}}{\frac{SS}{SW_1}} = \frac{SW_1}{SW_2}$$

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\frac{SS}{SW_2}}{\frac{SS}{SW_1}} = \frac{SW_1}{SW_2}$$

推得下列公式

$$\frac{SV_1}{SV_2} = \frac{SW_1}{SW_2} = \frac{1 - P_2}{1 - P_1} = \frac{C_2}{C_1} \dots\dots\dots (1)$$

上式將體積、重量、含水率及固體重量百分率關係，做了一個完整的連結。

3.3.2 成本效益公式

成本 (Cost) 可用下列式子表示

$$\text{Cost} = (M + C) \times SW_2 + \omega^1 \dots\dots\dots (2)$$

M：污泥處置費(元/噸)

C：污泥乾燥成本(元/噸)，以電力費計價

ω¹：間接成本

污泥清除費用：污泥重量(噸) x 處理費用(元/噸)

效益 (Benefit) :

$$\begin{aligned} B &= M \times (SW_1 - SW_2) = M \times SW_2 \left(\frac{SW_1}{SW_2} - 1 \right) \\ &= M \times SW_2 \left(\frac{1-P_2}{1-P_1} - 1 \right) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

依據污泥含水率公式，效益與成本之比較，可稱為本益比 (CB)

$$CB = \frac{(M + C) \times SW_2 + \omega^1}{M \times SW_2 \left(\frac{1-P_2}{1-P_1} - 1 \right)}$$

因本研究並未計算間接成本 ω^1 ，暫時忽略不計，可推得本益比公式如下：

$$\Rightarrow CB = \frac{(M + C)}{M \left(\frac{1-P_2}{1-P_1} - 1 \right)} \dots\dots\dots (4)$$

上式含水率可用 (1) 式中之其他值代換亦可。

第四章結果與討論

4.1 污泥乾燥設備運轉結果

本工程完成設置後辦理單體試車及系統試車，並進行全廠功能測試及調整，即全廠功能試運轉前先進行為期7天（自106年8月2日至8月8日）的參數調整測試，於確認各項操作參數均已正常後，自106年8月9日上午8時開始進行30天連續運轉測試，期間於每日上午8：00進行設備相關運轉數據的抄表，將當天上午所抄錄之累計數據扣除前一日之數據後，做為前一日之操作數據。並採脫水機後及乾燥機後污泥樣品進行含水率的自行檢測作業，於106年9月8日上午8時達成連續30天的運轉測試作業。期間於106年8月17日至8月18日二天，分別於9：00、13：00及17：00針對脫水後污泥及乾燥後污泥分別取樣委託環保署認證合格之檢驗機構進行檢驗，以確認污泥含水率是否可控制要求之範圍內。另於106年9月4日至9月6日三天，進行污泥脫水量及乾燥量的最大處理量測試。

4.1.1 污泥乾燥設備功能運轉

本設備離心脫水機系統最大可處理污泥乾重為：200Kg/DS/HR。脫水機最大處理量測試於於106年9月6日下午1點開始至9月7日下午1點進行，處理量測試結果與服務中心人員會同過磅，本批次測試處理量經實際過磅重量為：22,600KG，以公式換算污泥乾基處理量約為206Kg/DS/HR。而其當日過磅重量與9月6日，功能試運轉自主檢查紀錄表之重量為20,795.89 KG 稍有不同，主要是過磅污泥收集時間為9月6日下午1點開始至9月7日下午1點與自主檢查表抄錶之時間（抄錶時間約在每日上午8點）有週期上的差異所致。

本設施概要說明，離心式脫水機與冷凝除濕乾燥機系統處理後之污泥，運轉期間每日操作人員會在功能試運轉自主檢查紀錄表單中確實記錄累計總耗電量讀數，經統計及計算本試運轉全期平均每小時耗電量約為108KW。

冷凝除濕乾燥機乾燥前之污泥含水率為每日上午9時取樣自離心脫水機污泥出料口的脫水污泥進行含水率測試，而乾燥後之污泥含水率則取樣自乾燥機出料輸送機送至太空包內之污泥進行含水率測試。

4.1.2 污泥乾燥設備功能評估

功能試車進行期間於每日上午約9：00 固定時間，在採樣點處進行污泥採樣並分析含水率，用以確認相關處理後的含水率是否符合要求。另於全廠功能測試其期間的106年9月4日至9月6日三天，分別進行冷凝乾燥機及離心式脫水機污泥處理量之最大量測試，並會同共同過磅，用以確認處理量是否可符合，達到標準。冷凝乾燥機處理量之最大量測試分別於9月4日上午11點開始至9月5日上午11點結束第一天的測試及9月5日上午11點開始至9月6日上午11點結束第二天的測試；另脫水機處理量之最大量測試於9月6日下午1點開始至9月7日下午1點結束，如表4-1（中壢中心，2017）。

表 4-1 中壢工業區污水處理廠污泥乾燥設備操作績效功能評估

日期	電表累積 度數(度)	當日用 電數(度)	最大耗電率 (kw/Hr)	脫水機污泥 產生量(Kg/日)	脫水機產出污 泥含水率(%)	乾燥機污泥 處理量(Kg/日)	乾燥機產出 污泥含水率(%)	乾燥機烘 乾溫度(°C)	烘乾後減少 重量(Kg/日)	烘乾後減少 重量比率(%)	每噸乾燥污泥 所需度數電力
8月9日	4,281	2,609	50.38	10,937	76.29	3,284	21.04	55.1	7,653	0.70	340.9
8月10日	6,890	2,670	111.25	10,321	75.84	3,018	17.39	53.9	7,303	0.71	365.6
8月11日	9,560	2,854	118.92	10,921	75.11	4,190	35.13	57	6,731	0.62	424.0
8月12日	12,414	2,831	117.96	10,052	76.46	3,192	25.87	52.4	6,860	0.68	412.7
8月13日	15,245	2,563	106.79	10,316	75.94	3,761	34.01	50.2	6,555	0.64	391.0
8月14日	17,808	2,505	104.38	10,255	76.17	4,163	41.3	53.7	6,092	0.59	411.2
8月15日	20,313	2,471	102.96	10,576	76.39	5,116	51.19	56	5,460	0.52	452.6
8月16日	22,784	2,366	98.58	10,087	75.67	4,539	42.51	56.5	5,548	0.55	426.5
8月17日	25,150	2,503	104.29	10,376	76.05	5,968	58.36	55.5	4,408	0.42	567.8
8月18日	27,653	2,269	94.54	10,376	75.38	6,243	59.08	57.3	4,133	0.40	549.0
8月19日	29,922	2,563	106.79	10,659	76.33	4,019	37.23	52.6	6,640	0.62	386.0
8月20日	32,485	1,008	42	10,843	76.19	4,228	38.94	53.1	6,615	0.61	152.4
8月21日	33,493	2,873	119.71	10,890	76.01	3,973	34.25	56.2	6,917	0.64	415.4
8月22日	36,366	2,852	118.83	10,200	75.56	4,730	47.3	51.6	5,470	0.54	521.4
8月23日	39,218	2,924	121.83	10,313	75.64	3,833	34.47	55	6,480	0.63	451.2
8月24日	42,142	2,790	116.25	10,337	75.37	4,385	41.94	57	5,952	0.58	468.8
8月25日	44,932	2,674	111.42	10,512	76.22	4,743	47.3	57.1	5,769	0.55	463.5
8月26日	47,606	2,631	109.63	10,161	75.54	4,280	41.94	49.7	5,881	0.58	447.4
8月27日	50,237	3,190	132.92	10,375	75.67	4,029	37.36	56.7	6,346	0.61	502.7
8月28日	53,427	2,918	121.58	10,291	76.12	3,992	38.45	56.4	6,299	0.61	463.2
8月29日	56,345	2,904	121	10,502	76.03	4,404	42.84	53.8	6,098	0.58	476.2
8月30日	59,249	3,105	129.38	10,487	75.75	4,066	37.46	56.3	6,421	0.61	483.6
8月31日	62,354	2,158	89.92	10,577	75.91	5,006	49.1	55.5	5,571	0.53	387.4
9月1日	64,512	2,111	87.96	10,661	76.46	4,906	48.79	57.3	5,755	0.54	366.8
9月2日	66,623	2,574	65.58	10,359	75.88	4,984	49.87	53.6	5,375	0.52	478.9
9月3日	69,197	1,744	114.33	10,422	76.12	3,692	32.6	54.8	6,730	0.65	259.1
9月4日	70,941	4,188	174.5	15,848	78.17	8,854	58.02	55.1	6,994	0.44	598.8
9月5日	75,129	4,128	172	16,236	77.79	8,401	57.45	50.9	7,835	0.48	526.9
9月6日	79,257	1,766	73.58	20,795	78.11	11,446	51.2	51.6	9,349	0.45	188.9
9月7日	81,023	2,729	113.71	12,637	75.56	5,827	47.3	52.5	6,810	0.54	400.7

資料來源：中壢工業區服務中心（2017），「105年中壢工業區增設污泥乾燥設備工程試運轉成果報告」。

4.2 污泥乾燥效益評估

依據污泥乾燥機試車效紀錄資料，維持目前污水廠操作方式，將產出之污泥經由新設置冷凝除濕乾燥機處理後，其脫水污泥含水率由原 75.11~78.7%，下降至 17.39~59.08%，平均減重達 56.3%，有效達成減重、減容目的，成效良好。

4.2.1 污泥乾燥減重

以中壢污水處理廠 104 年度操作數據分析，如表 4-2，每月處理水量及污泥產生量如圖 4-1 表示，新設置污泥乾燥設備每日處理量為 10 噸，可有效處理目前之污泥產生量，達到整廠污泥減量，降低污泥處置費用。

表 4-2 中壢工業區污水處理廠營運成本資料統計表

月份	處理水量 (噸/月)	單位營運成本 (元/噸)	單位營運成本 (含折舊)(元/噸)	產生污泥量 (公噸/月)
1月	790,861	2.64	5.95	345
2月	622,932	6.83	11.20	372
3月	802,914	4.42	7.66	321
4月	682,649	8.42	11.08	273
5月	773,464	4.00	7.37	247
6月	708,057	6.40	10.08	259
7月	738,904	6.82	10.34	401
8月	751,838	8.20	11.66	282
9月	748,198	6.17	9.65	206
10月	778,086	5.15	8.48	207
11月	721,728	4.53	8.12	449
12月	725,206	35.32	38.97	320
總計	8,844,837	98.90	140.56	3682
平均	737,070	8.24	11.71	307

資料來源：經濟部工業局（2015），「工業區污水處理廠營運管理月報告書」。

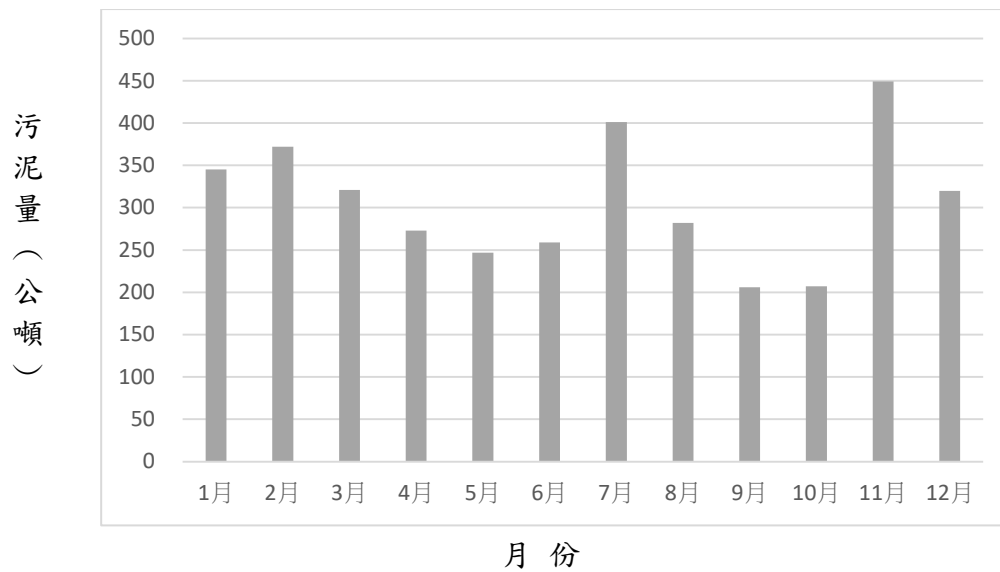


圖 4-1 中壢污水處理廠 104 年度污泥產出統計圖

資料來源：經濟部工業局(2015)，「工業區污水處理廠營運管理月報告書」。

本設備操作參數平均加熱溫度設定為 50°C，假設污泥中揮發性固體物(VS)比重為 1.05，另固定性固體物(FS)比重為 2.5，將計算污泥含水率自 74.22%降至 20%，乾燥過程中 VS 重量及體積降低的變化，污泥性質相同或不同體積差異，經推算結果其污泥總重與水重變化情形，如表 4-3。

表 4-3 污泥含水率重量變化分析

含水率%	74.22	70	60	50	40	30	20
單位重量							
污泥總重量(噸)	4.518	3.883	2.912	2.33	1.941	1.664	1.456
水重量(噸)	3.353	2.718	1.747	1.165	0.776	0.499	0.291
污泥乾重量(噸)	1.165	1.165	1.165	1.165	1.165	1.165	1.165
重量減少百分比(%)	-	14	35.5	48.2	57	63.1	67.7

資料來源：陳育新（2015），「工業區污水處理廠污泥乾燥技術與應用評估」。

由圖 4-2 得知污泥乾燥時會造成含水率與 VS 含量因蒸發而逐漸減少，污泥體積及重量也一併起了變化，為污泥乾燥達到一定程度，主要因素還是含水率的減少，而本設備係以冷凝除濕乾燥方式處理，未達到 VS 燃燒條件下，所以因揮發情形減少重量有限，且如使其以產生揮發所需的耗能又是一筆可觀成本，另產生尾氣處理又將投入空氣汙染防制設備及操作費用，亦應併入考量。

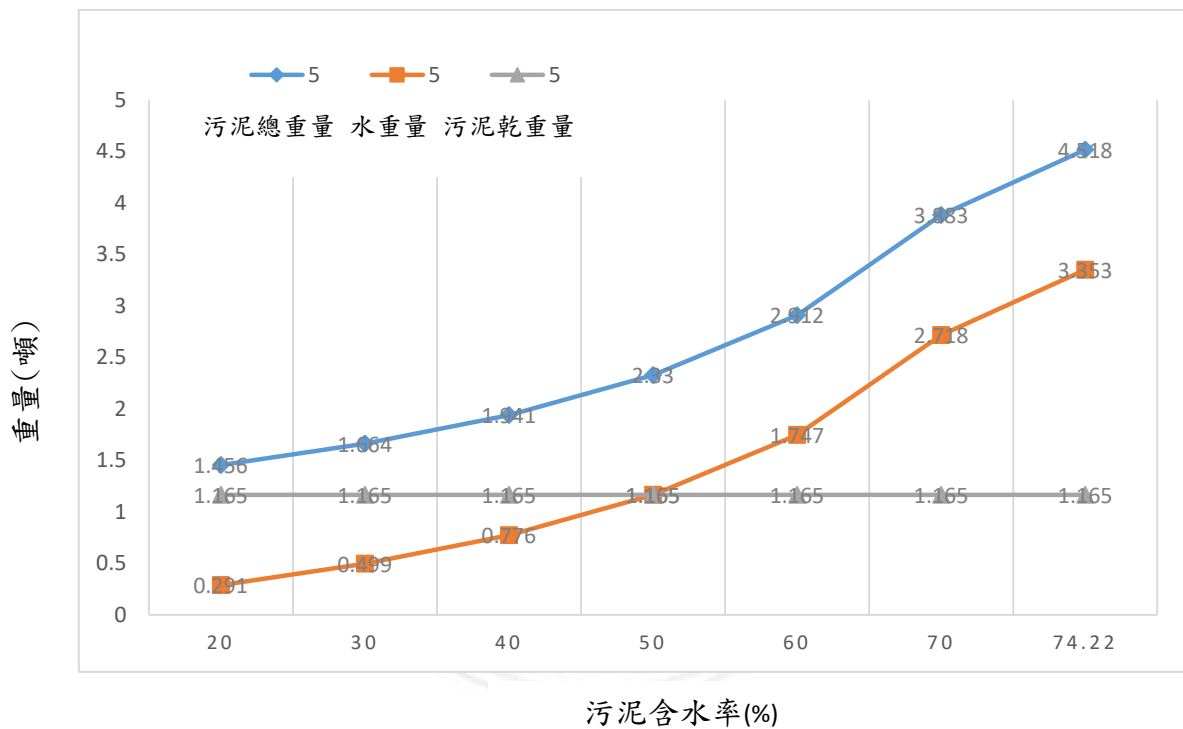


圖 4-2 污泥含水率之重量變化圖

4.2.2 污泥乾燥處理效益分析

中壢工業區污水處理廠將各處理單元所產生之廢棄污泥，經濃縮池到脫水機處理後之污泥含水率為 76.12%，以本案為例脫水後污泥再送至冷凝乾燥機進行乾燥處理，乾燥後之污泥含水率平均降到 41.99%，減重比例達到 56.34%，如圖 4-3，若將污泥含水率降至

30%左右再辦理清除處理作業，其處置費用相較直接掩埋方式甚至更低，如圖 4-4，因污泥性質未經高溫破壞，可針對後續資源化再利用進行處置，達到資源化目的，如圖 4-5。

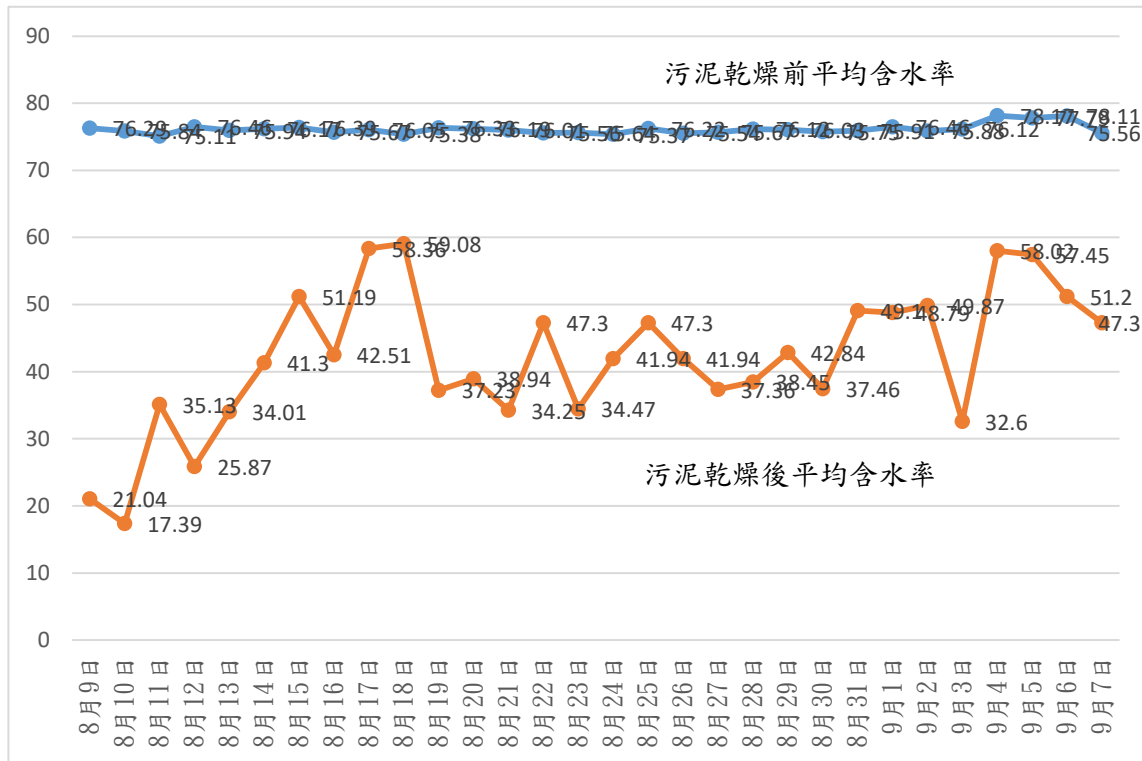


圖 4-3 污泥乾燥前後含水率變化情形圖

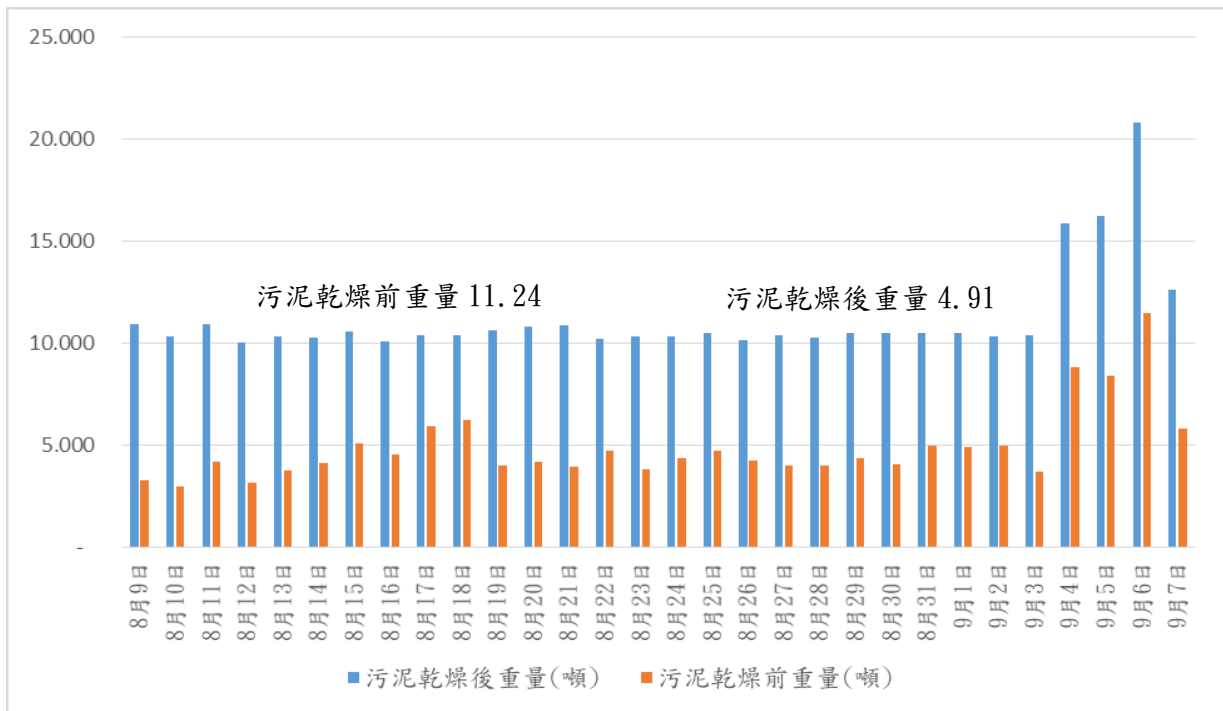


圖 4-4 污泥干燥前後重量變化圖

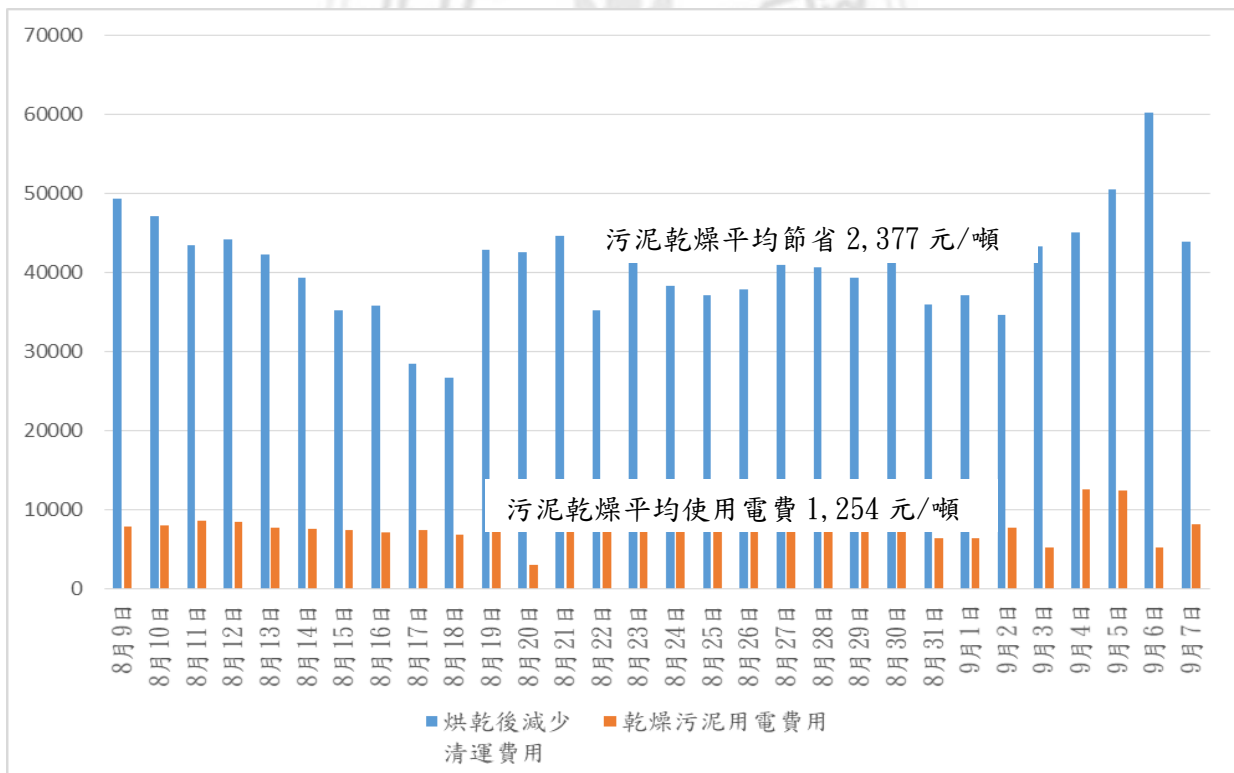


圖 4-5 污泥干燥節省清運費及使用電力費分析

4.2.3 冷凝乾燥機操作處理成本分析

本研究經中壢工業區污水處理廠運轉測試紀錄資料顯示，以 104 年度每月污泥產處理量 307 噸，污泥發包委外處理費單價 6,450 元/噸，電力費單價約 3 元/度，本設備操作由現有污水廠人員兼辦故無提列數，冷凝乾燥機設備建置金額 1,799 萬元。

污水處理廠乾燥後污泥含水率減少 42%，平均重量可減少 56.34%，以平均污泥處理量 10.23 ton/day，每日減重 5.76 ton/day，以污泥清運價格 6,450 元/噸計算，如表 4-4。每月節省費用 2,377 元/噸 x 307 噸/月 = 729,739 元/月，預計該項設備回收時間為 24.6 個月，假設乾燥設施運轉 10 年，則總成本為 167,980,760 元，產生效益為 69,637,240 元，本益比為 24.12。

表 4-4 中壢工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本、本益比分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		307	244.58	183.43	146.75	122.29	104.82	97.83	88.51
減少污泥量(噸)		0	62.42	123.57	160.25	184.71	202.18	209.17	218.49
減重比例(%)			20.3	40.3	52.2	60.2	65.9	68.1	71.2
用電度數	千瓦/小時	0	88471	118990	139387	153933	159784	160656	164847
用電費用	3元/度		265414	356970	418162	461799	479353	481969	494540
清運費(噸)	6,450	1980150	1577541	1183124	946538	788771	676089	631004	570890
總成本		1980150	1842955	1540094	1364699	1250569	1155442	1112972	1065430
乾燥處理節省費		0	137195	440056	615451	729581	824708	867178	914720
節省百分比(%)			7	22	31	37	42	44	46
本益比			4.58	1.93	1.32	1.05	0.89	0.82	0.76

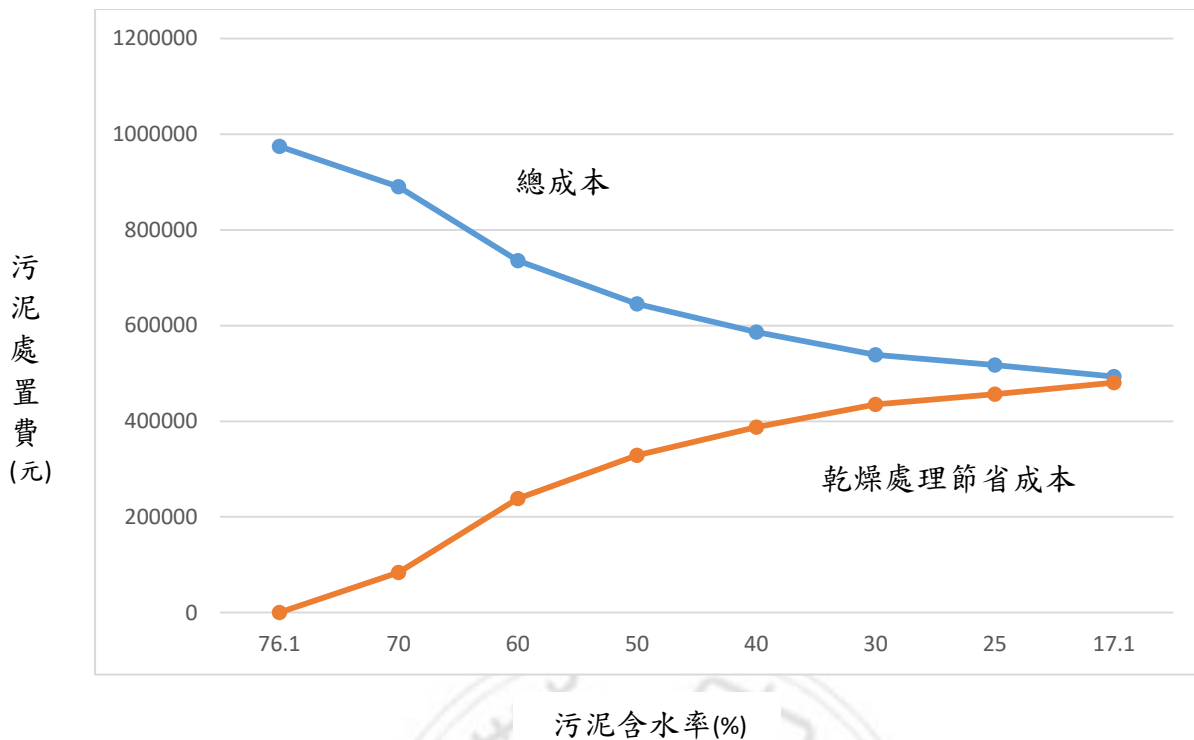


圖 4-6 污泥處置費與乾燥節省清運費統計分析

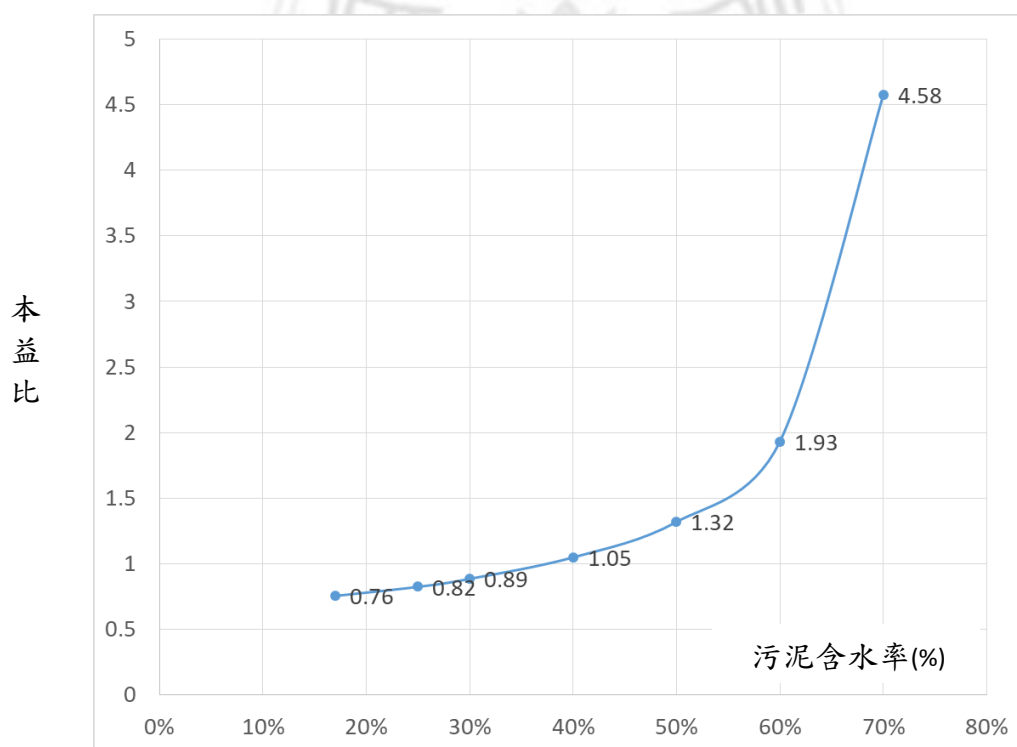


圖 4-7 污泥含水率處理成本之本益比較分析圖

由圖 4-6、4-7，當含水率為 17.1% 時，達到穩定的本益比，也就是含水率低於 17.1% 時，本益比不會再降低，因此 17.1% 為最佳量。

4.3 各工業區污水處理廠污泥乾燥能耗分析

經濟部工業局所轄 62 處工業區中，設有 42 座工業區污水處理廠，平均每年污泥總產生量 5.8 萬公噸，近年污泥清運費逐年增加，依據全國工業區污水處理廠污泥清運平均標出價格顯示，由 100 年 3,950 元／噸，至 104 年已攀升到 7,380 元／噸，污泥處理成本增加達 1.8 倍，加重工業區污水處理廠營運上負擔。目前各工業區污水處理廠所產生污泥處置方式，仍委託經環保署審查合格之清除處理機構辦理，104 年度經濟部工業局所轄工業區管理機構污水處理廠(自行操作單位)依政府採購法辦理招標，總計清運量達 500 噸以上，有 12 處完成發包作業，如表 4-5 所示。

表 4-5 各工業區污水處理廠 104 年污泥處置成本調查表

序號	單位	項目	(A)污泥單價：元/噸	(B)污泥數量：噸	總金額 (A*B)(元)
1	NA	有機污泥D-0901	6,588	500	3,294,000
2	NB	有機污泥D-0901	7,380	953	7,033,140
3	中壢	有機污泥D-0901	6,450	4,461	28,773,450
4	CA	無機污泥D-0902	5,536	550	3,044,800
5	CB	電鍍製程廢水處理 污泥A-8801	6,830	1,500	10,245,000
6	CC	無機污泥D-0902	5,700	642	3,659,400
7	CD	有機污泥D-0901	4,720	2,232	10,535,040
8	CE	有機污泥D-0901	5,800	501	2,905,800
9	SA	有機污泥D-0901	5,220	763	3,982,860
10	SB	有機污泥D-0901	5,850	560	3,276,000
11	SC	無機污泥D-0902	4,422	1,150	5,085,300
12	SD	有機污泥D-0901	7,040	1,100	7,744,000
	合 計			14,912	89,578,790

資料來源：經濟部工業局（2015），「工業區污水處理廠營運管理月報告書」。

本研究以中壢工業區污水處理廠為例，將 104 年度各工業區污水處理廠完成污泥清運處理招標作業，其決標金額自 4,422 至 7,380 元/噸，且為達到符合污泥乾燥處理經濟規模量，選定每月污泥產生量 60 噸以上之單位進行評估，計有 12 座污水處理廠，如表 4-6，假設污泥經脫水處理後含水率為 76.2%，每月污泥量有 1,971 噸，如圖 4-8，所需污泥清除處理費新臺幣 11,962,714 元，經冷凝乾燥設備進行乾燥處理，將污泥含水率降至 30%，每月污泥量僅剩 673 噸，平均重量可減少 50.6%，所需污泥清除處理費新臺幣 7,162,003 元，可節省新臺幣 4,162,003 元，污泥處置方式經設置乾燥處理設備其效益顯現，大幅降低污泥處理費用（如附錄）。

本研究以污泥處理及乾燥操作費用分析其本益比，依研究所求得計算公式（4），計算各污水處理廠污泥含水率自 76.1%~17.1% 本益比，當含水率小於 50% 時，本益比趨勢趨緩，而降至含水率等於 17.1% 時，本益比達最小值，顯示該廠最佳含水率為 17.1%，再往下烘乾已無必要。

表 4-6 各工業區污泥含水率及重量變化統計表

項目 單位	污泥含水率 76.2%重量(噸)	含水率76.2% 處理費用(千元)	污泥含水率 30%重量(噸)	含水率30% 處理費用(千元)
NA	142	935.496	48.48	541.106
NB	132	974.16	45.07	538.723
中壢	307	1980.15	104.82	1,155.44
CA	181	1,002.02	61.8	624.74
CB	270	1,844.10	92.19	1,051.20
CC	99	564.3	33.8	347.24
CD	222	1,047.84	75.8	704.409
CE	60	348	20.49	212.527
SA	130	678.6	44.39	434.699
SB	80	468	27.31	284.676
SC	126	557.172	43.02	386.972
SD	222	1,562.88	75.8	880.265

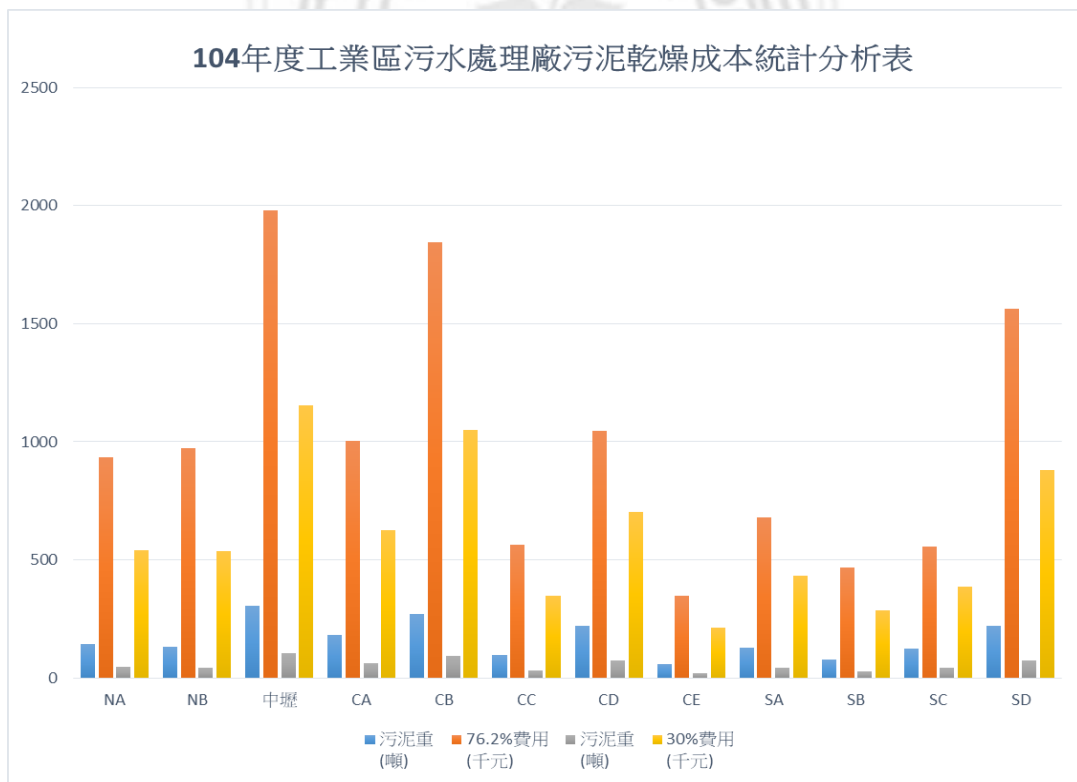


圖 4-8 各工業區污泥含水率及重量變化統計圖

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究以中壢工業區污水處理廠為例，投入設置污泥冷凝乾燥機，確實可將污泥含水率降至 20%~50%，經實際試車紀錄顯示，每月可節省污泥處置費用新台幣 729,739 元，而該項設備回收時間為 24.6 個月。未來可推擴延伸至其他工業區污水處理廠參考使用，應可達到大幅降低污泥處置費效益。同時經由本研究推得之本益比公式，可以計算成本效益最佳之烘乾、最佳含水量，本案例為 17.1%。

5.2 建議

本研究推演之本益比公式，並未考慮人力操作之間接成本，未來建議可以加入分析，會使得結果更加精確。

參考文獻

1. 經濟部工業局，「廢水污泥減容減量技術研析」，產業綠色資訊網，編號 30，2001。
2. 行政院環境保護署，「污泥處理現況檢討及因應策略」，行政院環境保護署研究報告，2004。
3. 陳宗慶，「產業特刊報導」，工商時報，2016。
4. 李中光，劉新校，侯佳蕙，「淺談污泥脫水及加熱乾燥技術」，桃園縣大學院校產業環保技術服務團環保簡訊第 20 期，2013。
5. 吳俊哲，「污泥減量技術及資源化應用」，逢甲大學環境工程與科學系研究報告，2009。
6. 吳俊哲，「污泥資源化再利用」，逢甲大學環境工程與科學系研究報告，2015。
7. 張添晉，「污泥源頭減量及處理現況」，國立台北科技大學環境工程與管理研究所研習報告，2015。
8. 賴重光、黃嘉宏、蔡啟明、黃家銘、黃珣玲、陳政澤、曾善訓、張贊淵，「常溫乾燥技術於污泥處理之應用」，經濟部工業局產業環保工程實務技術研討會論文集，第 351~369 頁，2001。
9. 產業服務基金會，「工業減廢叢書 3-事業廢棄物處理與資源化技術」，財團法人產業服務基金會編著，經濟部工業局發行，第 191~218 頁，1990。
10. 黃嘉宏等，「污泥乾燥技術特性與經濟效益評估」，廢棄物妥善處理與資源化技術研討會，2001。
11. 蔡禎輝，黃廷位，張志振，「微波加熱乾燥技術與應用」，微波加熱乾燥應用研討會論文集，p. 1-14，2000。
12. 張庭福，「高效冷凝除濕乾燥機簡介」元証環保科技有限公司，2016。
13. 陳瑞昌，「工業區廢水處理廠污泥減量及資源化之成效評估」，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，2011。
14. 賴重光，「污泥乾燥減量及妥善處理技術」，經濟部工業局，

- 2002。
15. 中壢工業區服務中心，「106年中壢工業區污水處理廠簡介」，2017。
 16. 陳育新，「工業區污水處理廠污泥乾燥技術與應用評估」，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，2015。
 17. 陳見財，「污泥加熱乾燥技術」，廢水污泥減量技術手冊，1995。
 18. 經濟部工業局，「工業區污水處理廠營運管理月報告書」2015。
 19. 王建隆、鄭宏德，「新式污泥乾燥技術」，經濟部工業局產業環保工程實務技術研討會論文集，第419~428頁，2001。
 20. 阮炯澤，「不鏽鋼業廢水處理與污泥乾燥之研究」，碩士論文，國立中正大學，2002。
 21. 中壢工業區服務中心，「105年中壢工業區增設污泥乾燥設備工程試運轉成果報告」，2017。
 22. 朱敬平、李篤中，「污泥處置(IV):策略與永續利用」，國立臺灣大學「台大工程」學刊第八十四期，第91~101頁，2002。
 23. 陳永輝，「臺北市(迪化污水處理廠)污泥處理現況」，污泥處理與減量技術研討會報告，2016。
 24. 林石逢，「下水污泥熱解減量及資源化技術探討」，第二十二屆下水道與水環境再生研討會論文集，2002。
 25. 高士嘉，「臺北市迪化污水處理廠污泥乾燥再利用」，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，2015。
 26. 劉沛潔，「以低溫加熱方式乾燥生活污水之可行性探討」，碩士論文，國立中央大學，2014。
 27. Eckenfelder, W.W., "Industrial Water Pollution Control." McGrawHill Book Co., New York, pp.41-43, 1989.
 28. Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse," McGrawHill Book Co., Fourth Edition, New York, 1998.
 29. H. W. Campbell, "Sludge management—future issues and trends," Water Science and Technology, Vol. 41 No. 8, p. 1, 2000.

30. Tsang, K. R., Vesilind, P. A., "Moisture distribution in sludge", Water Science and Technology., pp.135-142,1990.
31. Urbaniak, M., Hillebrand, B., "Sludge drying and granulation for further Top Their use", Czestochowa, 2004.



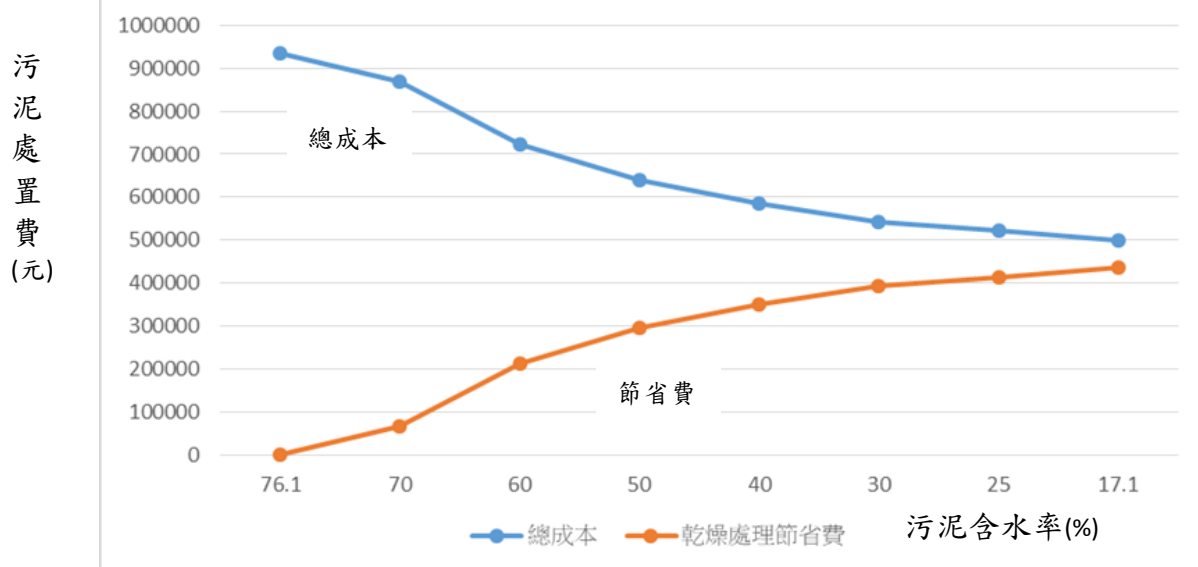
附錄



NA工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		142	113.13	84.85	67.88	56.56	48.48	45.25	40.94
減少污泥量(噸)		0	28.87	57.15	74.12	85.44	93.52	96.75	101.06
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	40922	55038	64472	71200	73907	74310	76248
用電費用	3元/度		122765	165113	193417	213601	221720	222930	228745
清運費(噸)	6,588	935496	745300	558992	447193	372617	319386	298107	269713
總成本		935496	868065	724105	640610	586218	541106	521037	498458
乾燥處理節省費		0.00	67431	211391	294886	349278	394390	414459	437038
節省百分比(%)			7.21	22.60	31.52	37.34	42.16	44.30	46.72
本益比			4.56	1.92	1.31	1.04	0.88	0.82	0.75

NA工業區污泥處置成本與節省費用統計圖

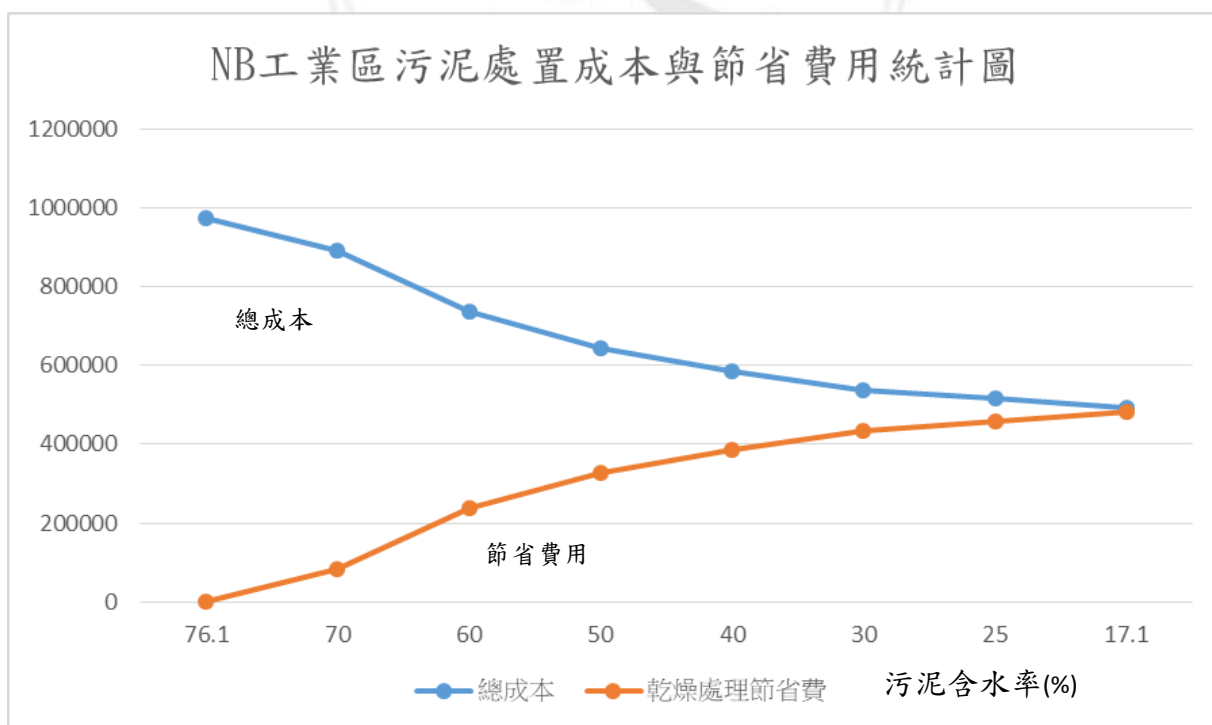


NB工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		132	105.16	78.87	63.1	52.58	45.07	42.06	38.06
減少污泥量(噸)		0	26.84	53.13	68.9	79.42	86.93	89.94	93.94
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	38040	51162	59932	66186	68702	69077	70879
用電費用	3元/度		114119	153486	179796	198558	206106	207231	212636
清運費(噸)	7,380	974160	776081	582061	465678	388040	332617	310403	280883
總成本		974160	890200	735546	645474	586599	538723	517634	493519
乾燥處理節省費		0	83960	238614	328686	387561	435437	456526	480641
節省百分比(%)			8.62	24.49	33.74	39.78	44.70	46.86	49.34
本益比			4.49	1.88	1.27	1.00	0.84	0.78	0.71

NB工業區污泥處置成本與節省費用統計圖

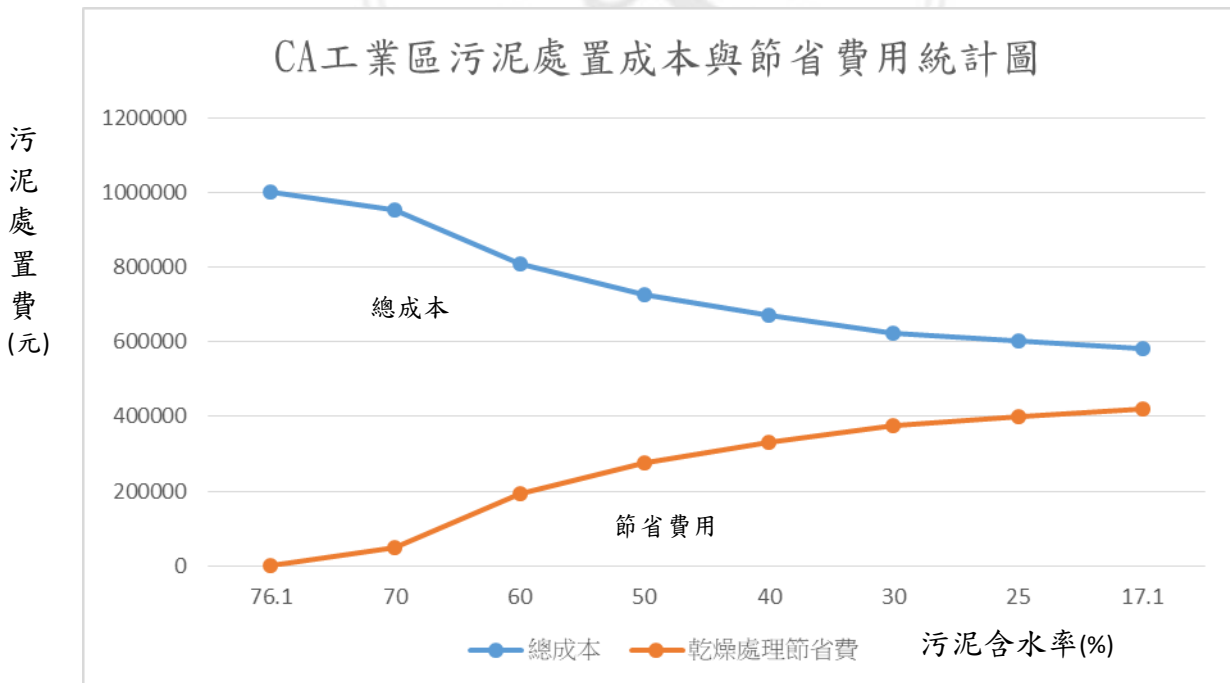
污泥處置費用(元)



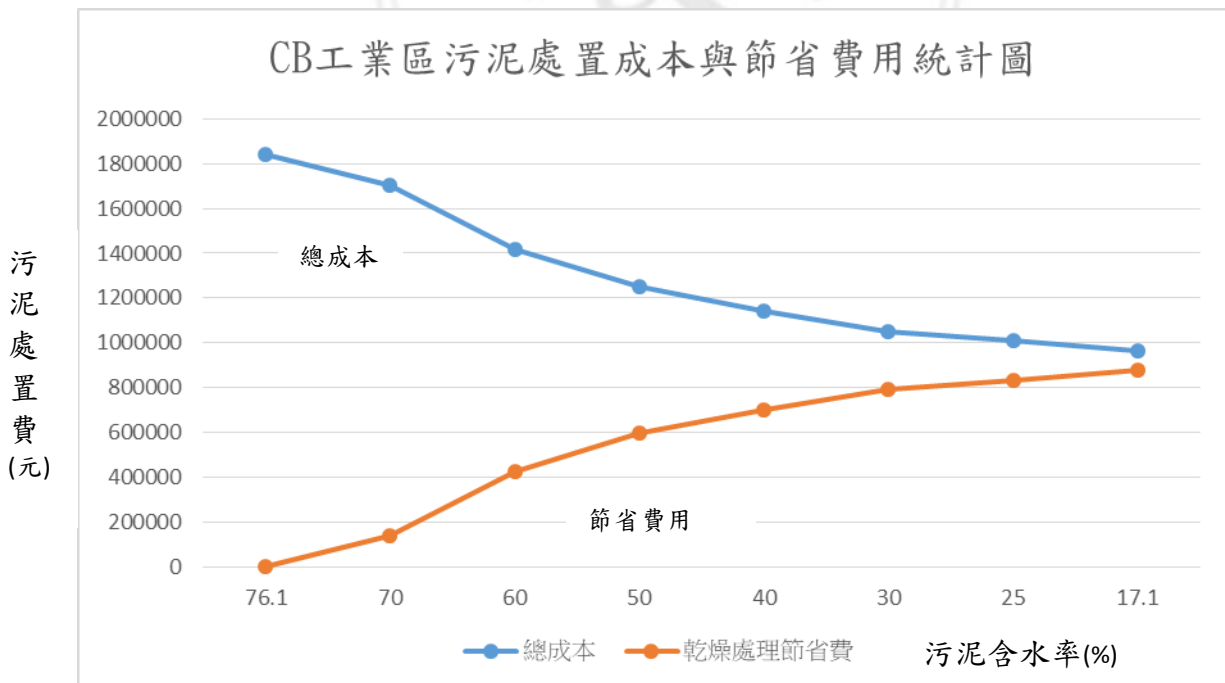
CA工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		181	144.20	108.15	86.52	72.10	61.80	57.68	52.18
減少污泥量(噸)		0	36.80	72.85	94.48	108.90	119.20	123.32	128.82
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0.00	52161	70154	82179	90755	94205	94719	97190
用電費用	3元/度		156482	210461	246538	272266	282615	284157	291569
清運費(噸)	5,536	1002016	798291	598718	478975	399146	342125	319316	288868
總成本		1002016	954773	809180	725513	671411	624740	603474	580438
乾燥處理節省費		0	47243	192836	276503	330605	377276	398542	421578
節省百分比(%)			4.71	19.24	27.59	32.99	37.65	39.77	42.07
本益比			4.69	2.01	1.39	1.11	0.95	0.88	0.81

CA工業區污泥處置成本與節省費用統計圖



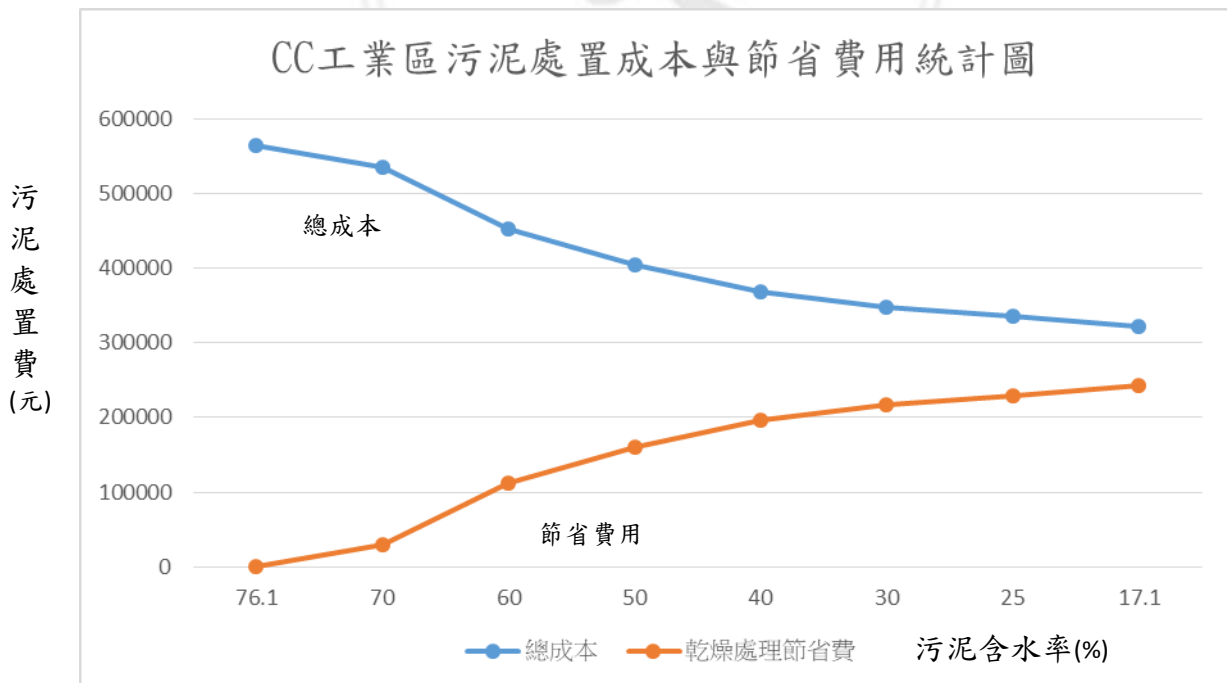
項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		270	215.1	161.33	129.06	107.55	92.19	86.04	77.84
減少污泥量(噸)		0	54.90	108.67	140.94	162.45	177.82	183.96	192.16
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	77809	104649	122588	135381	140527	141294	144979
用電費用	3元/度		233426	313948	367764	406142	421581	423881	434938
清運費(噸)	6,830	1844100	1469133	1101884	881480	734567	629624	587653	531647
總成本		1844100	1702559	1415832	1249244	1140709	1051204	1011534	966585
乾燥處理節省費		0	141541	428268	594856	703391	792896	832566	877515
節省百分比(%)			7.68	23.22	32.26	38.14	43.00	45.15	47.59
本益比			4.54	1.91	1.30	1.03	0.87	0.81	0.74



CC工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		99	78.87	59.15	47.32	38.44	33.8	31.55	28.54
減少污泥量(噸)		0	20.13	39.85	51.68	60.56	65.2	67.45	70.46
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	28530	38371	44949	49640	51527	51808	53159
用電費用	3元/度		85589	115114	134847	148919	154580	155423	159477
清運費(噸)	5,700	564300	449559	337155	269724	219108	192660	179835	162678
總成本		564300	535148	452269	404571	368027	347240	335258	322155
乾燥處理節省費		0	29152	112031	159729	196273	217060	229042	242145
節省百分比(%)			5.17	19.85	28.31	34.78	38.47	40.59	42.91
本益比			4.66	1.99	1.37	1.11	0.93	0.87	0.80

CC工業區污泥處置成本與節省費用統計圖

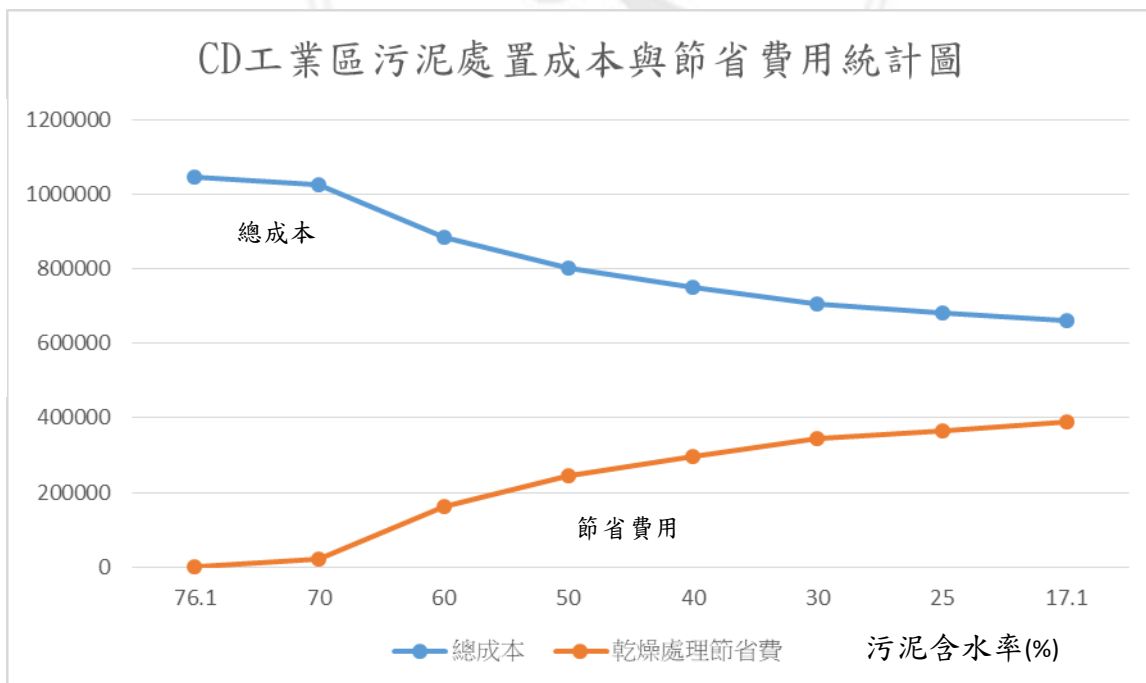


CD工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		222	176.86	132.65	106.12	88.43	75.8	70.74	64
減少污泥量(噸)		0	45.14	89.35	115.88	133.57	146.2	151.26	158
減重比例(%)			20	40	52	60	66	68	71
用電度數	千瓦/小時	0	63976	86045	100795	111313	115544	116175	119205
用電費用	3元/度		191928	258135	302384	333939	346633	348524	357615
清運費(噸)	4,720	1047840	834779	626108	500886	417390	357776	333893	302080
總成本		1047840	1026707	884243	803270	751329	704409	682417	659695
乾燥處理節省費		0	21133	163597	244570	296511	343431	365423	388145
節省百分比(%)			2.02	15.61	23.34	28.30	32.78	34.87	37.04
本益比			4.82	2.10	1.47	1.19	1.02	0.96	0.88

CD工業區污泥處置成本與節省費用統計圖

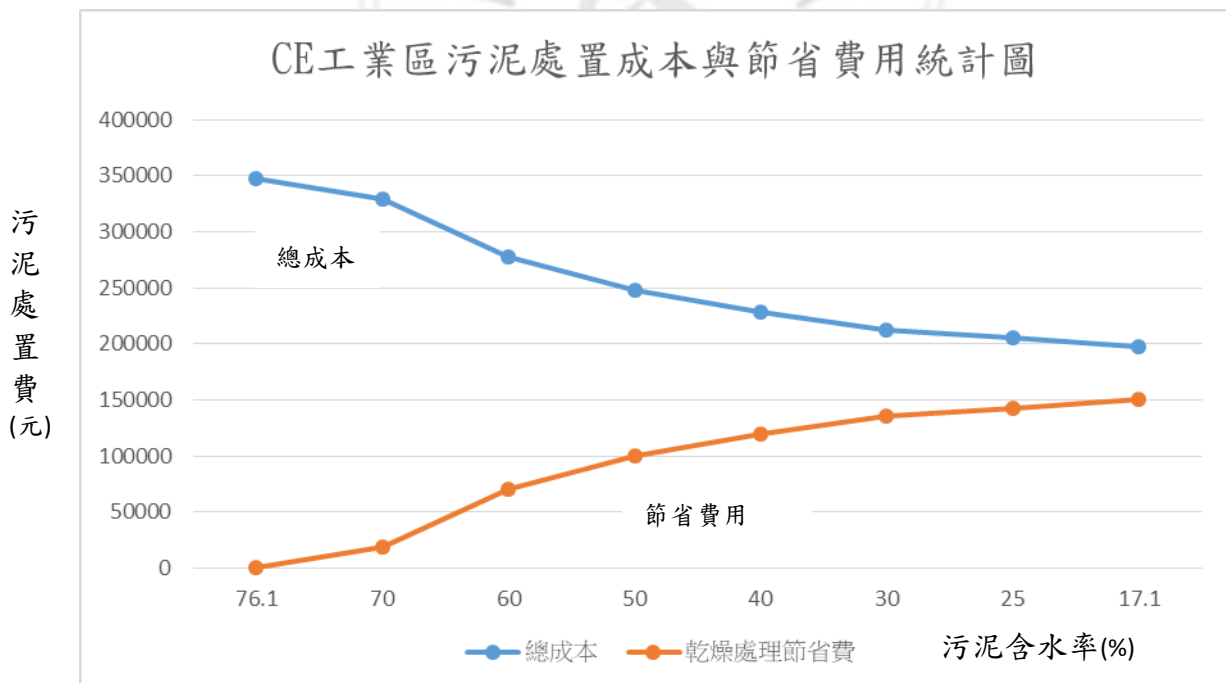
污泥處置費(元)



CE工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

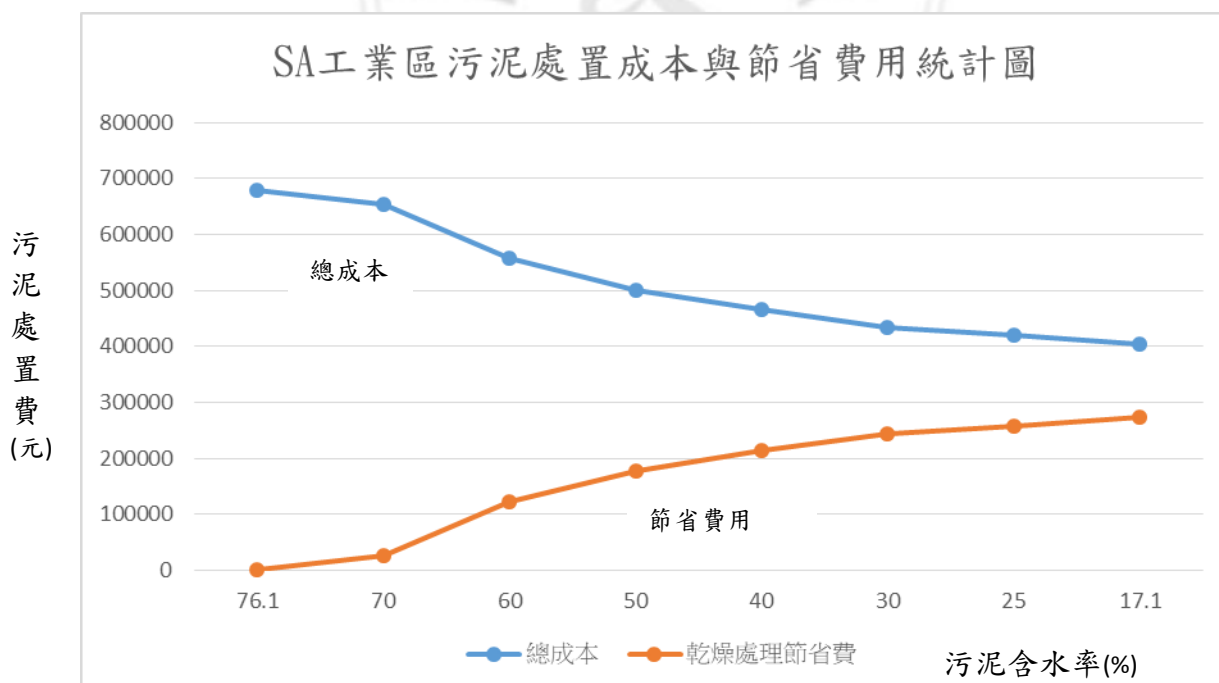
項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		60	47.8	35.85	28.68	23.9	20.49	19.12	17.3
減少污泥量(噸)		0	12.2	24.15	31.32	36.1	39.51	40.88	42.7
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	17291	23255	27242	30085	31228	31399	32218
用電費用	3元/度		51872	69766	81725	90254	93685	94196	96653
清運費(噸)	5,800	348000	277240	207930	166344	138620	118842	110896	100340
總成本		348000	329112	277696	248069	228874	212527	205092	196993
乾燥處理節省費		0	18888	70304	99931	119126	135473	142908	151007
節省百分比(%)			5.43	20.20	28.72	34.23	38.93	41.07	43.39
本益比			4.65	1.98	1.37	1.09	0.93	0.86	0.80

CE工業區污泥處置成本與節省費用統計圖



SA工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

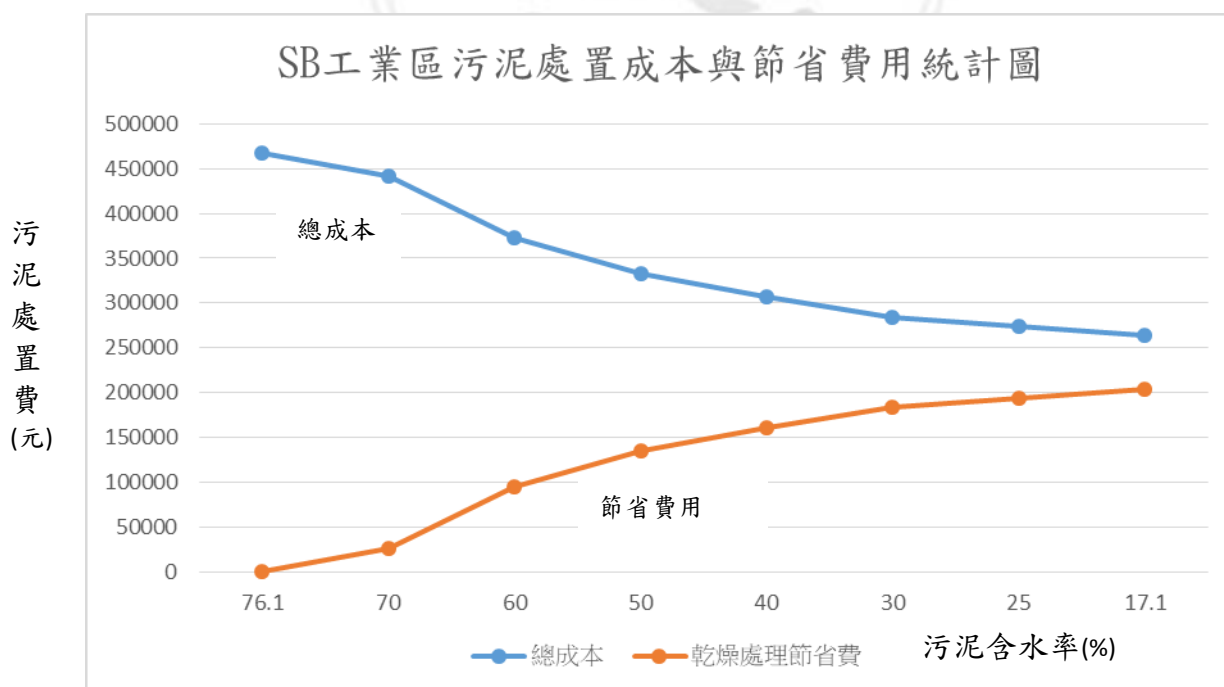
項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		130	103.57	77.68	62.14	51.78	44.39	41.43	37.48
減少污泥量(噸)		0	26.43	52.32	67.86	78.22	85.61	88.57	92.52
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	37463	50387	59024	65183	67661	68030	69805
用電費用	3元/度		112390	151160	177072	195550	202983	204091	209414
清運費(噸)	5,220	678600	540635	405490	324371	270292	231716	216265	195646
總成本		678600	653026	556650	501443	465842	434699	420356	405060
乾燥處理節省費		0	25574	121950	177158	212759	243901	258245	273540
節省百分比(%)			3.77	17.97	26.11	31.35	35.94	38.06	40.31
本益比			4.73	2.04	1.42	1.14	0.97	0.91	0.84



SB工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		80	63.73	47.8	38.24	31.87	27.31	25.49	23.06
減少污泥量(噸)		0	16.27	32.2	41.76	48.13	52.69	54.51	56.94
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	23054	31007	36322	40113	41638	41865	42957
用電費用	3元/度		69163	93022	108967	120338	124913	125594	128870
清運費(噸)	5,850	468000	372821	279630	223704	186440	159764	149117	134901
總成本		468000	441984	372652	332671	306778	284676	274711	263771
乾燥處理節省費		0	26016	95348	135329	161222	183324	193289	204229
節省百分比(%)			5.56	20.37	28.92	34.45	39.17	41.30	43.64
本益比			4.64	1.98	1.36	1.09	0.92	0.86	0.79

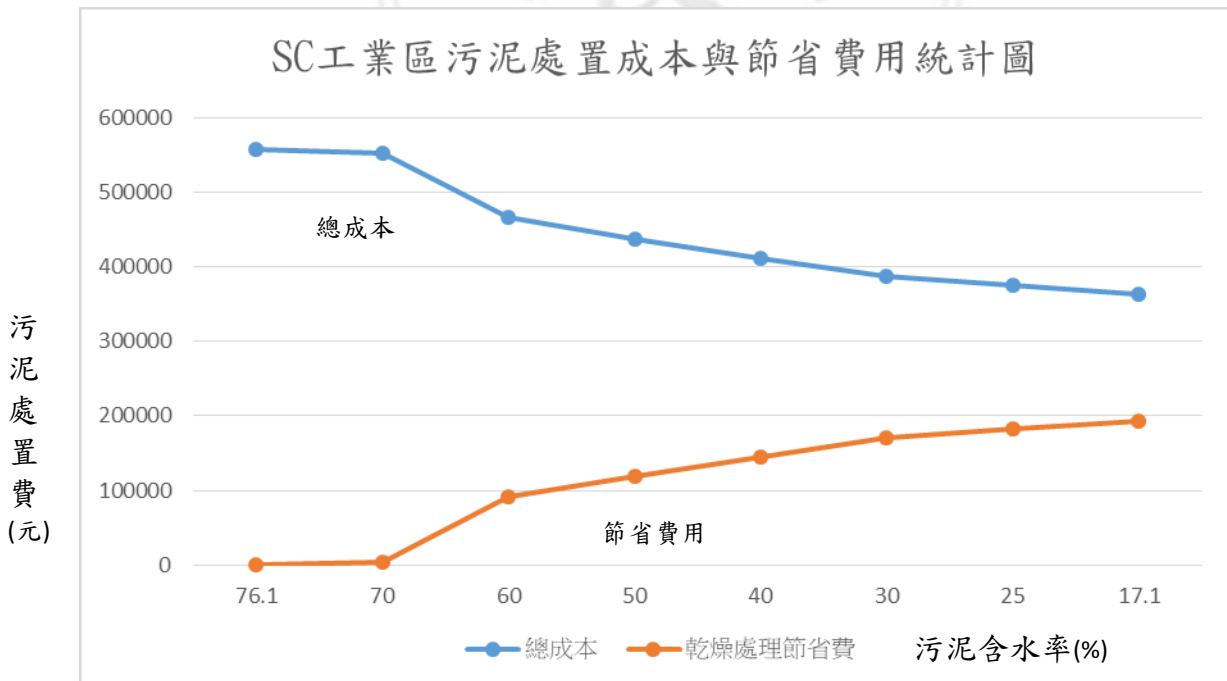
SB工業區污泥處置成本與節省費用統計圖



SC工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		126	100.38	72.26	60.23	50.19	43.02	40.15	36.33
減少污泥量(噸)		0	25.62	53.74	65.77	75.81	82.98	85.85	89.67
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	36311	48836	57208	63178	65579	65937	67657
用電費用	3元/度		108932	146509	171623	189533	196738	197811	202971
清運費(噸)	4,422	557172	443880	319534	266337	221940	190234	177543	160651
總成本		557172	552812	466043	437960	411473	386972	375354	363622
乾燥處理節省費		0	4360	91129	119212	145699	170200	181818	193550
節省百分比(%)			0.78	16.36	21.40	26.15	30.55	32.63	34.74
本益比			4.88	2.17	1.51	1.23	1.05	0.99	0.92

SC工業區污泥處置成本與節省費用統計圖



SD工業區污水處理廠污泥乾燥能耗及成本分析比對表

項目	參數	污泥含水率(%)							
		76.1%	70%	60%	50%	40%	30%	25%	17.1%
污泥量(噸/月)		222	176.86	132.65	106.12	88.43	75.80	70.74	64
減少污泥量(噸)		0	45.14	89.35	115.88	133.57	146.20	151.26	158
減重比例(%)			20.33	40.25	52.20	60.17	65.86	68.13	71.17
用電度數	千瓦/小時	0	63976	86045	100795	111313	115544	116175	119205
用電費用	3元/度		191928	258135	302384	333939	346633	348524	357615
清運費(噸)	7,040	1562880	1245094	933856	747085	622547	533632	498010	450560
總成本		1562880	1437022	1191991	1049469	956486	880265	846534	808175
乾燥處理節省費		0	125858	370889	513411	606394	682615	716346	754705
節省百分比(%)			8.05	23.73	32.85	38.80	43.68	45.83	48.29
本益比			4.52	1.89	1.29	1.02	0.86	0.80	0.73

SD工業區污泥處置成本與節省費用統計圖

