

# 工業區污水處理廠

## 污泥資源化案例探討

▶ 環境資源中心 王景玟、鄭淑芬、劉蘭萍

▶ 工業局永續發展組技士 林政江

### 一、前言

經濟部工業局依據獎勵投資條例及促進產業升級條例於全省開發60處工業區，提供產業作為生產基地，並設置39處污水處理廠（32處屬工業局自行操作，7處為委外操作），以協助廠商廢水處理問題，惟在解決廢水排放問題後，大量產生的工業廢水污泥伴隨而來，形成新的廢棄物處理問題。

依據環保署事業廢棄物管制系統(IWMS)統計顯示，96年工業局自行操作之32處污水處理廠污泥申報量約有4.5萬公噸。以流向分析，其中採廠內貯存占30.67%、委託公民營廢棄物處(清)理機構以熱處理或物理處理方式處理占30.11%、委託公民營廢棄物處(清)理機構掩埋處理占19.16%、委託再利用機構再利用約占0.02%，而其他（含委託公民營廢棄物處理機構以化學處理方式及委託經濟部輔導設置之處理設施處理）占20.04%，有關32處污水處理廠污泥處理流向如圖1所示。

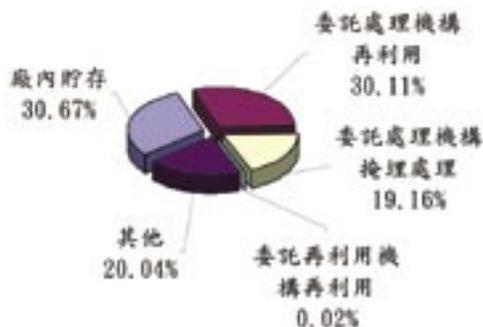


圖1 工業局自行操作之32處污水廠污泥處理流向

台灣地區掩埋土地嚴重不足，工業廢水污泥產生量又有逐年增加的趨勢，以掩埋作為最終處置的方式亦不符合環保精神，為降低環境的負荷及有效地利用資源，將工業廢水污泥資源再利用已是未來的處理趨勢。經濟部工業局96年「工業廢棄物清除處理與資源化輔導計畫」即以南部某工業區污水處理廠污泥(以下簡稱污水廠污泥)為推動示範專案，探討再利用於製磚原料之可行性。



表1 污水廠污泥燒結製磚原料之化學組成

| 原料 \ 氧化物 | SiO <sub>2</sub> (%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | CaO(%) |
|----------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------|
| 黏土       | 52.80                | 0.15                               | 3.56                               | 0.85   |
| 污水廠污泥    | 2.64                 | 0.27                               | 4.36                               | 32.88  |
| 污水廠污泥灰   | 4.97                 | 1.15                               | 5.08                               | 2.43   |

表2 污水廠污泥燒結製磚原料之基本性質

| 原料 \ 項目 | 水分(%) | 灰分(%) | 可燃分(%) | 灼燒減量(%) |
|---------|-------|-------|--------|---------|
| 黏土      | 20.10 | 75.24 | 4.66   | 3.25    |
| 污水廠污泥   | 11.53 | 57.49 | 30.98  | 23.66   |
| 污水廠污泥灰  | 0.57  | 85.19 | 14.24  | 6.80    |

## 二、污泥製磚再利用試驗

近年來由於污泥之產生量日益增多，且其化學成分與陶瓷材料相似，國外已有不少學者專家進行深度之研究，利用燒結技術處理污泥並使其再利用，且多有良好的應用成果，誠如Wunsch研究重金屬在廢棄物中的活化程度，由實驗證明，經過燒結處理（400°C~1,400°C）之試體，以六種萃取程序進行溶出試驗，其萃取溶出液Zn, Cd, Pb, Cu的濃度，皆遠低於未經燒結處理試體之萃取溶出液，故可證明燒結體對重金屬具有良好之固封性。而國內亦以不同類型的污泥原料或摻配料進行燒結製磚之研究，諸如林氏曾以污水廠污泥及PCB含銅污泥作為黏土之取代料，於磚窯廠進行資源化實驗，研究結果顯示，污泥經前處理後，分別可燒製污泥取代量為0~20%及0-15%之環保磚，並符合作為建築用磚之基本性質。

本試驗考量直接以工業區污水廠污泥進行實廠摻配、燒結所產生之紅磚若無法符合

產品標準，將衍生廢棄物清除處理的問題，因此，先以小型試驗進行先期評估，並利用小型試驗所得之經驗作為實廠試驗控制條件之修正。

### （一）小型試驗

小型試驗之原料為黏土及南部某污水廠污泥，其化學組成、三成分(水分、灰分、可燃分)及灼燒減量分別如表1及表2所示。由表1可知黏土及污水廠污泥之二氧化矽分別為52.8%及2.64%，而可燃分是為了推測污泥中所含揮發性有機物的含量，由表2可知，污水廠污泥之可燃分有30.98%，可燃分高於黏土，而將污泥先經燒結窯高溫處理，可去除多餘的水分及可燃分，得到成分更接近黏土的性質。

小型試驗之污水廠污泥摻配比例為0%-15%，以5%為增量變化，而試驗方法則分為兩部分進行，其一為污泥燒結製磚試驗，另一則先將污泥置於台車，經燒成窯燒成灰後，再與黏土混拌，試驗流程如圖2所示。



圖2 再利用試驗流程

表3 摻配污泥或污泥灰替代黏土燒結製磚之重金屬溶出情形

| 檢測樣品          | 有毒重金屬溶出 (mg/L) |        |       |       |       |        |       |       |
|---------------|----------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|               | 總汞             | 總砷     | 總鎳    | 總銅    | 總鉻    | 總鎘     | 總鉛    | 六價鉻   |
| 100%黏土        | N. D.          | N. D.  | 29.35 | 1.095 | 0.975 | N. D.  | N. D. | N. D. |
| 15%污泥         | 0.01431        | 0.0143 | N. D. | 0.623 | 0.752 | N. D.  | N. D. | N. D. |
| 15%污泥灰        | 0.02020        | 0.0123 | 6.76  | 0.664 | 0.902 | N. D.  | 0.35  | N. D. |
| MDL (mg/L)    | 0.00071        | 0.0038 | 0.01  | 0.042 | 0.035 | 0.0062 | 0.36  | 0.047 |
| 溶出試驗標準 (mg/L) | 0.2            | 5      | 100   | 15    | 5     | 1      | 5     | 2.5   |

小型試驗過程由於不同試體摻配組數較多，且每組試體數量較少，不易納入廠內現有磚坯調配成形製程，因此改以人工進行摻配拌合，並以油壓機將各試體加壓成形，其餘試驗過程則以磚窯廠內原有製程設備進行，燒結溫度及時間亦依循磚窯廠內實際燒成窯之控制條件。

因摻配採人工拌合，且以油壓成形機加壓成為濕磚坯，其成形壓力與生產線真空擠壓機不同，故暫不探討成形壓力對燒結成果之影響，僅探討於燒結前後有毒重金屬溶出變化情形，以分析燒結後磚體之重金屬是否超過毒性特性溶出程序(TCLP)之有毒重金屬溶出標準。

污水廠污泥及污泥灰摻配燒製之磚材，其TCLP檢測結果如表3所示。由表3可知，

以添加最大量之污水廠污泥（摻配比為15%）或污泥灰（摻配比為15%）進行燒結，其燒結磚之有毒重金屬溶出均較法規所規範之標準值低。

#### （二）實廠試驗

參酌前述小型試驗之經驗，實廠再利用試驗之原料及試驗程序亦同小型試驗，惟污泥及污泥灰之最大摻配比提高至20%，分別以5%、10%、15%及20%之比例摻配至黏土中製作試體，共計8組試體。為求比較再利用產品與100%黏土製成紅磚之燒結特性差異，以原製磚黏土製作一組對照組試體，相關再利用產品照片如圖2所示。

經前述配比實廠燒結之再利用產品，其重金屬TCLP、抗壓強度及吸水率之檢測結果彙整如表4及表5：



圖3 再利用產品照片

1. 重金屬溶出特性分析

重金屬之溶出試驗為評估有害事業廢棄物之判定基準，對於污泥再利用之前題下，尤應注意再利用產品之重金屬溶出問題，由表4可知，紅磚之重金屬溶出值均能符合法規標準值。

2. 抗壓強度及吸水率

當污泥摻配比為5~20%時，再利用產品之抗壓強度及吸水率如表5所示，其抗壓強度為308-575kgf/cm<sup>2</sup>，吸水率為12.2-13.7%，符合CNS382 R2002之三種

磚規範值。由吸水率之變化可知試體燒結反應的差異，試體燒結愈緻密，孔隙率相對減少，吸水率也就隨之下降，因此，在表5中，由污泥燒結製成之紅磚，其抗壓強度之變化趨勢與吸水率之變化趨勢相反，即吸水率較低之紅磚具較高之抗壓強度。

當污泥灰摻配比為5~20%時，燒結製成之紅磚抗壓強度為325-436kgf/cm<sup>2</sup>，吸水率為14.7-14.9%，均符合CNS382 R2002之三種磚規範值。

表4 實廠產製再利用產品之TCLP檢測結果

| 檢測樣品         | 有毒重金屬溶出(mg/L) |        |        |       |        |        |        |        |         |
|--------------|---------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
|              | 總汞            | 總砷     | 總硒     | 總銀    | 總銅     | 總鉻     | 總鎳     | 總鉛     | 六價鉻     |
| 100%黏土       | N. D.         | <0.100 | N. D.  | 0.193 | <0.010 | <0.010 | N. D.  | N. D.  | N. D.   |
| 20%污泥        | N. D.         | <0.100 | <0.100 | 0.231 | 0.026  | 2.11   | N. D.  | <0.020 | 2.02    |
| 20%污泥灰       | N. D.         | <0.100 | N. D.  | 0.166 | 0.060  | 0.015  | N. D.  | 0.073  | <1.00   |
| MDL(mg/L)    | 0.00056       | 0.026  | 0.036  | —     | 0.0032 | 0.0039 | 0.0090 | 0.0023 | 0.00056 |
| 溶出試驗標準(mg/L) | 0.2           | 5      | 1      | 100   | 15     | 5      | 1      | 5      | 2.5     |

表5 實廠產製再利用產品之抗壓強度及吸水率檢測結果

| 檢測樣品   |     | 機械性質                       |        | CNS382 R2002三種磚規範值         |        |
|--------|-----|----------------------------|--------|----------------------------|--------|
|        |     | 抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 吸水率(%) | 抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 吸水率(%) |
| 100%黏土 |     | 408                        | 13.1   | 150以上                      | 15以下   |
| 污泥     | 5%  | 575                        | 12.3   |                            |        |
|        | 10% | 562                        | 12.2   |                            |        |
|        | 15% | 308                        | 13.7   |                            |        |
|        | 20% | 328                        | 13.4   |                            |        |
| 污泥灰    | 5%  | 325                        | 14.8   |                            |        |
|        | 10% | 407                        | 14.8   |                            |        |
|        | 15% | 400                        | 14.9   |                            |        |
|        | 20% | 436                        | 14.7   |                            |        |

### 三、結 論

- (一) 在小型試驗中，污泥燒結磚及污泥灰燒結磚之配比為15%時，其所燒製之紅磚TCLP均可符合法規管制標準。
- (二) 在實廠試驗中，綜合重金屬TCLP溶出結果、抗壓強度及吸水率等檢測結果，以工業區污水處理廠污泥燒結製成紅磚，污泥及污泥灰之摻配比達20%時，其紅磚之品質均可符合TCLP溶出規範及CNS382 R2002普通磚之三種磚品質規範。
- (三) 部分污水廠污泥由於含有機質成分，可配合利用磚窯廠內既有之燒結窯（隧道窯）進行預熱前處理，以去除這些成分。同時，以污泥灰與製磚原料摻配混合製成燒結磚，較能有效地處理較大量之污水廠污泥。

- (四) 於再利用實廠試驗之過程中，無需對原有製程做任何調整或變動，即可藉由調整摻配原料比例，完成污水廠污泥之資源化工作，且其再利用成品紅磚之品質均可符合TCLP溶出規範及CNS382 R2002普通磚之三種磚品質規範。 

### 參考文獻

1. Wunsch et al., 1996, "Investigation of the Binding of Heavy Metals in Thermally Treated Residues from Waste Incineration", *Chemosphere*, Vol. 32, No. 11
2. 林凱隆等，2005，工業區及印刷電路板業廢水污泥燒結製磚之研究，*中華民國環境保護學會學刊*，第二十八卷第二期。