

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 工業廢水污泥/淨水污泥之燒結資源化研究 ( )

Study on Sintering of

Industrial Wastewater and Water Works Sludges ( )

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-093

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：李公哲教授 國立台灣大學環境工程學研究所

共同主持人：林正芳教授 國立台灣大學環境工程學研究所

計畫參與人員：謝寅雲 國立台灣大學環境工程學研究所

郭學文 國立台灣大學環境工程學研究所

### 一、中文摘要

由於污泥產量日增，以傳統掩埋或覆土方式處理，對自然環境造成的負荷有增無減。因此近年來常將廢棄物資源化，以減少處理廢棄物容納空間，且能更有效率的利用資源，節省自然資源的消耗或開發。

本研究採用淨水廠的淨水污泥餅及含氟化鈣之半導體製程廢水污泥，分兩單元進行實驗。第一單元研究淨水污泥在不同操作條件（燒結溫度、燒結時間）[1]時，污泥燒結體物化性質（灼燒減量、體積燒失率、抗壓強度、密度、吸水率及重金屬溶出試驗）的相關變化，並找出資源化利用（製造普通磚或輕骨材等）的最適化條件。由實驗結果得到當燒結溫度達到 1000

以上，燒結時間至少 1 小時，成形壓力在 111.0 kg/cm<sup>2</sup> 時，可以符合固化物再利用標準[2]及製磚標準[3]。

第二單元應用第一單元得到之最適化操作條件，將工業廢水污泥加入淨水污泥中，改變其配比關係，探討添加物對淨水污泥燒結體物化性質的影響。結果顯示所有混合燒結體在第一單元的最適化操作條件下，都能符合固化物再利用及製磚標準。

而操作條件中，溫度對於燒結效果的影響最大，溫度增加可達到最佳的燒結效果；在固定燒結溫度時，延長燒結時間，

亦可促進燒結之效果。

關鍵字：燒結、淨水污泥、氟化鈣

### Abstract

As the amount of sludge produced each year continues to snowball, its disposal has become an increasing burden to the natural environment. This study examined sintering of sludge as a process for sludge reuse. The study is composed of two parts. In the first part, characteristics of sintering bodies under different operating conditions, such as temperature, pressure, and duration, was investigated to determine the optimal sintering condition for producing useable end product. In the second part, the influences of mixing ratio on the physiochemical characteristics of the sintering bodies was investigated, under the optimal operating conditions derived from part one. The sludge applied in this study included the sludge from a water treatment plant, and sludge from the industrial wastewater of a semi-conductor plant. It was found that with sintering temperature of 1000° C, sintering duration of at least one hour, and molding pressure at 110 kg/cm<sup>2</sup>, the sintering bodies produced were able to meet the CNS standards. Mixing ratio did not show any significant influences on the

sintering bodies. The sintering temperature was found to be the most important parameter, followed by neck growth, solidness, and density. Longer sintering duration under constant temperature resulted in better liquid-phase sintering. High molding pressure increased the density of the sintering bodies, and decreased its volume.

## 二、計畫緣由與目的

台灣工業區工業廢水污泥與淨水廠每日產生約 24500 293500 立方公尺[4]。而工業污泥、淨水污泥中，含多種元素資源，如 Si、Ca、Fe、Al 等，淨水污泥中並含有大量之黏土物質與  $Al_2O_3$ ，能提高燒結體硬度[5]。若是能將其視為天然礦物資源來再利用，則不但能解決廢棄物最終處置的問題，且能減少對自然資源之需求。

有鑑於工業廢水污泥及淨水污泥資源化之必要性，故本研究主題在於將污泥經由燒結的程序成為固態燒結體，包封住污泥中之有害物質，使其符合固化體的環保法規。更進一步利用其元素資源，將各種污泥之成份經由不同之配比實驗，透過建材及骨材之標準試驗（建材及骨材之標準包含抗壓強度、吸水率、密度、重金屬溶出試驗等），評估資源化再利用的可行性。

## 三、結果與討論

### 3.1 淨水污泥物化性質分析

參考環保署檢測法規中土壤酸鹼值測定方法（NIEA S410.60T），測得淨水污泥 pH 值為 6.3，屬於中性物質，熔流點 1511.5。淨水污泥之重金屬總量濃度之分析結果如表 1 所示。

表 1 淨水污泥重金屬總量重量百分比

	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
Raw	0.13	0.01	0.02	0.03	0.03

單位：%

化合物	重量百分比 (%)	化合物	重量百分比 (%)
$Al_2O_3$	20.93	CuO	0.04
CaO	0.30	MgO	1.85
CdO	0.02	PbO <sub>2</sub>	0.15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	SiO <sub>2</sub>	53.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.63	ZnO	0.04

污泥的化學組成不同會影響污泥的熔流點，進而影響燒結程序選取燒結溫度之範圍。因此先以感應耦合電漿原子發射光譜分析儀（ICP-AES）量測污泥之化學組成，分析後得到淨水污泥之氧化態化學組成如表 2。由表中顯示 SiO<sub>2</sub> 的量有 53.58% 最高，而  $Al_2O_3$  的量 20.93% 次之。

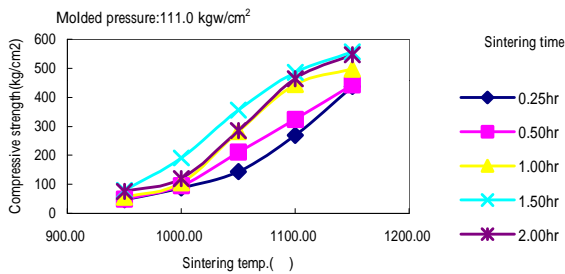
### 3.2 操作條件對淨水污泥燒結體燒結特性之影響

在成形壓力為 111 kg/cm<sup>2</sup>，不同燒結溫度 950，1000，1050，1100，1150，以及不同燒結延時 0.25 hr, 0.5 hr, 1.0 hr, 1.5 hr, 2.0 hr 的操作條件下，探討燒結體的灼燒減量、體積燒失率、抗壓強度、吸水率、密度、重金屬溶出試驗的結果。

1. 在固定成形壓力下，改變燒結溫度和隨燒結時間，灼燒減量之變化在 15.92% 至 18.81% 間，灼燒減量和兩操作條件間並沒有明顯的關係。
2. 體積燒失率：隨燒結溫度增加有明顯增加的現象，以燒結時間 2 hr 的數據為例，可由 5.68% 增至 49.33%，而和燒結時間的關係不明顯。
3. 抗壓強度：與燒結溫度的關係如圖 1 所示，燒結溫度超過 1000 後，不同延時的所有燒結體抗壓強度即超過三級磚強度（75 kgw/cm<sup>2</sup>）[4]，而在 1050

後,所有燒結體抗壓強度即超過一級磚強度 ( 150 kgw/cm<sup>2</sup> ); 與燒結延時的關係如圖 2 所示,抗壓強度會隨燒結延時而增加,但幅度不明顯。

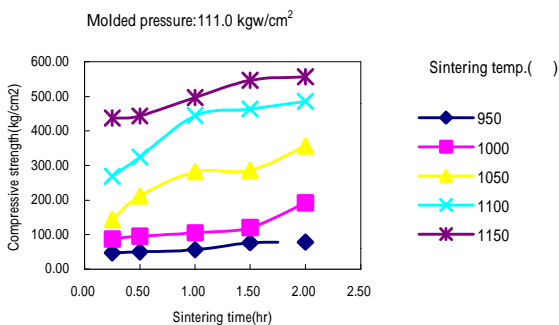
4. 24 小時吸水率：當燒結溫度增加時，吸水率會大幅下降，以燒結時間 2 hr 為例，由 43.43% 到 0.09%，不同延時的燒結體在超過 1100 後即符合三級磚的標準 ( 23% )；在燒結時間方面，有隨之增加吸水率下降的趨勢。
5. 密度：隨燒結溫度增加，密度會增加；燒結時間的影響則不明顯。
6. 重金屬溶出：依毒性特性溶出程序 (TCLP) 溶出重金屬後，再以經火焰式原子吸收光譜儀測定得各重金屬濃度如表 3，皆遠低於溶出毒性特性溶出程序溶出標準。



### 3.3 含氟化鈣工業廢水污泥物化性質分析

含氟化鈣工業廢水污泥之重金屬總量濃度之分析結果如表 4 所示。

工業廢水污泥的氧化態化學成分如表 5 所示，其中 CaO 含量高達 48.85% 最高，其次是 SiO<sub>2</sub>。



	950	1000	1050	1100	1150
Pb	0.743	0.051	0.099	0.098	0.051
Cd	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	0.125	0.008	0.015	0.008	0.007
Cu	0.225	0.005	ND	ND	ND
Zn	2.339	0.085	0.097	0.092	ND

註：ND：低於偵測極限 單位：mg / L

	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn
原污泥	0.18	0.02	0.03	0.08	0.03

單位：%

表 5 含氟化鈣工業廢水污泥化學組成 ( 氧化態表示 )

元素	重量百分比 ( % )	元素	重量百分比 ( % )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.34	CuO	0.11
CaO	48.85	MgO	0.24
CdO	0.02	PbO <sub>2</sub>	0.21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	SiO <sub>2</sub>	24.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	ZnO	0.04

### 3.4 操作條件對含氟化鈣工業廢水污泥之淨水污泥燒結體燒結特性的影響

當燒結溫度達到 1000 以上、燒結時間至少 1 小時 成形壓力在 111 kg/cm<sup>2</sup> 時，可以符合署固化物再利用標準及一級製磚標準。因此以燒結溫度 1050 、 1100 、 1150 ，燒結延時 1 hr、1.5 hr、2 hr 為操作條件，再添加 0.5%、1.0%、1.5% 的工業廢水污泥探討其影響。

1. 灼燒減量：添加含氟化鈣污泥時，灼燒減量皆較淨水污泥燒結體降低，在混合比高時灼燒減量微量增加，但不明顯；
2. 體積燒失率：混合污泥燒結體其燒結溫度和體積燒失率的結果不明顯，且在同溫度下，混合污泥其體積燒失率幾可達

- 一定值，而不受燒結時間影響。
3. 抗壓強度：添加含氟化鈣污泥後大致有造成強度下降的趨勢，但所有燒結體仍高於一級磚標準。
  4. 24 小時吸水率：含氟化鈣污泥添加比例增加，有吸水率降低的趨勢，如燒結溫度 1100 、延時 1 小時，吸水率變化為 12.22% ( 0% )、8.96% ( 0.5% )、6.76% ( 1.0% )、6.56% ( 1.5% )。
  5. 密度：含氟化鈣污泥添加比例增加時，燒結體密度會增加。
  6. 重金屬溶出：在燒結延時為 1 小時之結果如表 6 所示，仍遠低於溶出毒性特性溶出程序溶出標準。

- , and Richard M. Spriggs, “Science of sintering”, Seventh Round Table Conference on sintering, 1989
- [4] 張廣智，節水季刊，第 16 期，經濟部水資源局，1999
  - [5] Oliveira F. J., Ferreira J. M. and Vieira J.M., “Colloidal processing and sintering behaviour of silicon nitride composites with nanosized alumina”, *Key Engineering Materials*, pp. 132-136 (1997)。
  - [6] 環保署有害事業廢棄物認定標準，環署廢字第 0013926 號

#### 四、計畫成果自評

計畫第一年目標，主要在研究不同污泥種類、配比及燒結操作條件下，對污泥燒結體特性的影響。研究內容與原計畫相符，且得到在添加氟化鈣污泥後之淨水污泥燒結體仍符合固化物再利用標準及 CNS 382. R2002 製磚標準。

	1050	1100	1150
Pb	0.0082	0.0254	0.9629
Cd	0.0109	0.0129	0.1662
Cr	0.0425	0.0442	0.0488
Cu	0.0359	0.0503	0.0373
Zn	0.0713	0.1098	0.0230

#### 五、參考文獻

- [1] 環保署固化物再利用標準，環署廢字第 29171 號
- [2] 國家製磚標準 CNS 382.R2002
- [3] Dragon P. Uskokovic, Hayne Palmour