

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫及子計畫三：工業廢水污泥/淨水污泥之熔融資源化 研究(3/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-002-063-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學環境工程學研究所

計畫主持人：李公哲

計畫參與人員：黃宜靖、熊正琇、江謝令涵

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 23 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫執行進度報告

污泥燒結/熔融之資源化整合型研究—總計畫及子計畫三：

工業廢水污泥/淨水污泥之熔融資源化研究

Study on Melting Process of Industrial Wastewater Sludge/Water Works Sludge ()

計畫編號：NSC 91-2211-E-002-063

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：李公哲 執行機構及單位名稱：台大環工所

計畫參與人員：黃宜靖 熊正琇 江謝令涵

一、摘要

本計畫（第三年）研究重點可分為兩個階段，第一階段為添加不同添加物於工業廢水污泥與淨水污泥中，探討添加物之添加對工業廢水污泥與淨水污泥共同熔融處理時熔流溫度之影響；第二階段為改變不同之熔融操作溫度及熔融操作時間，以評估相關操作因子對混合灰渣經熔融處理後之基本物理性質之影響。綜合計畫成果，建議一熔融資源化之操作方式，以為工程上之應用準則。實驗結果顯示，添加少量之碳酸鈉與碳酸鉀添加物可有效地降低熔流溫度，且提升熔融操作溫度對細骨材物性之改善具有正面之效應。

關鍵詞：淨水污泥、工業廢水污泥、添加物、熔融、熔流溫度、熔融操作時間、熔融操作溫度

Abstract

The purpose of this project was to discuss the effects of additives and operational factors on industrial wastewater sludge and water works sludge by melting

system. The studies were divided into two parts: (1) Two additives including Na_2CO_3 and K_2CO_3 into tested ash, to evaluate the influence on the pouring temperatures. (2) Changing melting operating time and temperature to obtain a reasonable combination of melting operating time with temperature through the basic physical characteristics evaluation of water-cooled slag. Test results showed that the pouring temperature could be further reduced when a certain amount of few Na_2CO_3 and K_2CO_3 was added into tested ash. Besides, rising melting operating temperature is good for physical characteristics of slag.

Keywords: water works sludge, industrial wastewater sludge, additives, melting, pouring temperature, operating temperature, operating time

二、緣由與目的

台灣工業發達，工業廢水所產生之污泥量以新竹科學園區為例每日約為 80 噸

(含水率 80%)，且工業廢水污泥性質複雜，大多含有高量有害重金屬。又台灣地區民國 91 年之自來水普及率已高達 88.99%，每日所產生淨水污泥達 12,820~153,840 立方公尺^[1]，這些大量污泥若不妥善處理及處置，必然形成環境污染的問題。

有鑑於上述龐大污泥面臨處理與處置問題，且污泥經由熔融處理轉變為熔渣的型態，可達到污泥減量化、安定化、無害化及資源化^[2]。然熔融處理法中最常為人詬病之主要缺點為需要很高的熔融操作溫度，這使得需耗費大量能源^{[3][4]}。因此，本計畫添加添加物至混合污泥中，以降低熔流溫度為目標，並以不同之熔融操作時間與溫度進行污泥熔融，評估兩者對水淬熔渣之細骨材性質之影響，以更進一步研究達到污泥再利用與共同處置之最佳條件。並與前兩年計畫作一綜合分析與建議^{[5][6]}。

三、實驗材料與方法

3.1 實驗材料

- (1) 淨水污泥：台北自來水事業處直潭淨水廠多元氯化鋁污泥。
- (2) 工業化學污泥：竹科園區氟化鈣污泥。
- (3) 碳酸鈉：純度 99.98%。
- (4) 碳酸鉀：純度 99.5%。

3.2 實驗方法

- (1) 熔流溫度：參考日本 JIS K2151 方法，以試驗錐測定熔流溫度。
- (2) 細骨材物性實驗：
 - a. 表乾比重及吸水率：ASTM C128
 - b. 單位容積重與空隙率：ASTM C29/C29M
 - c. 毒性特性溶出程序 (TCLP)：NIEA R201.12C

四、結果與討論

4.1 污泥化學組成分析

淨水污泥及氟化鈣污泥之化學組成分析結果如表 1 所示，淨水污泥灰渣組成以氧化矽含量最高 (45.00%)，其次為氧化鋁 (13.85%)；而氟化鈣污泥以氧化鈣含量最高 (55.98%)，其次為氧化矽 (2.2%)。其餘化學組成皆僅少量。

4.2 污泥配比試驗結果

淨水污泥灰渣之熔流溫度為 1518℃，而氟化鈣污泥之熔流溫度為 1378℃，經混合配比共同熔融後對降低熔流溫度之效果如表 2 所示。由表 2 可知，當氟化鈣污泥與淨水污泥灰渣之混合比例介於 5:5 及 4:6 之間時，鹽基度皆在 1.0 附近，而熔流溫度分別為 1193℃ 及 1208℃，較淨水污泥之熔流溫度低 325℃ 及氟化鈣污泥之熔流溫度低 185℃。由此可知，以混合配比方式將鹽基度 (CaO/SiO₂) 調整在 1.0 附近後進行共同熔融，可有效地降低熔流溫度，對節省能源有極正面之助益。

4.3 添加物對熔流溫度之影響

- (1) 碳酸鈉

表 1 污泥化學組成分析結果

成分	淨水污泥 (%)	氟化鈣污泥 (%)
Na ₂ O	0.28	1.45
CaO	0.75	55.98
SiO ₂	45.00	2.20
MgO	0.68	0.31
Al ₂ O ₃	13.85	0.59
K ₂ O	1.66	0.02
Fe ₂ O ₃	5.81	0.02
P ₂ O ₅	0.22	0.99

表 2 不同配比對熔流溫度之關係

配比比例		鹽基度	熔流溫度
氟化鈣 污泥	淨水污泥	CaO/SiO ₂	
10	0	25.44	1378
9	1	7.79	1345
8	2	4.18	1296
7	3	2.62	1284
6	4	1.75	1268
5	5	1.20	1208
4	6	0.82	1193
3	7	0.54	1210
2	8	0.32	1307
1	9	0.15	1314
0	10	0.02	1518

添加不同比例之碳酸鈉於混合灰渣中，以探討碳酸鈉對於熔流溫度下降之效果，結果如圖 1 所示。原混合灰渣之 Na₂O 含量為 0.748% (由 ICP 結果換算而得) 原熔流溫度為 1193 。由結果可知，當碳酸鈉添加量為 23.1% 時之熔流溫度最低 (1063)，熔流溫度較混合灰渣下降約 130 ，且不論添加多少量的碳酸鈉皆可使熔流溫度降低至少 15 ，推測這是由於 Na₂O 與其他成分交互作用，降低熔液之黏度，且其為低溫熔媒的緣故。但溫度變化有點不規則，熔流溫度轉折點出現在添加量為 2% 時，可下降 88 。添加愈多的碳酸鈉可使熔流溫度降低愈多，但就經濟角度來看這是不符合成本有效性的，因此建議添加量為 2% 就足夠了。

(2) 碳酸鉀

同樣添加不同比例之碳酸鉀於混合灰渣中，結果如圖 2 所示。原混合灰渣中含有 1.004% 的 K₂O。由結果可知，最低熔流溫度發生在添加 2% 的碳酸鉀量時 (1109)，熔流溫度較原混合灰渣降低約 84 ，

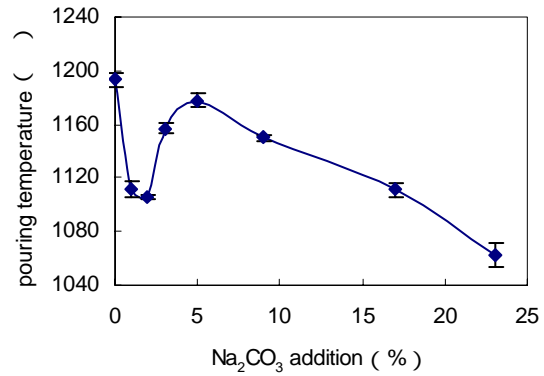


圖 1 碳酸鈉添加率與熔流溫度之關係圖

熔流溫度隨碳酸鉀添加量的增加先下降後又上升，表示添加過量的碳酸鉀反而會使熔渣的黏度上升，因而熔流溫度增加。因此添加 2% 的碳酸鉀就已足夠使熔流溫度下降，且可解省添加成本並降低能源的消耗。

4.4 熔融操作時間與溫度對熔渣細骨材物性影響之試驗結果

將氟化鈣污泥與淨水污泥以 4 : 6 之配比混合後置於高溫熔融爐中昇溫至 1200 ~1350 (為了使熔渣能順利由坩鍋中倒出，因此熔融操作溫度變數起始於混合灰渣之熔流溫度)，並維持此溫度將混合污泥熔融 10~90 分鐘 (一般熔融時間為 10~30 分鐘)，之後進行直接水冷製成水冷熔渣共十三組試樣，將批次熔融所產生的熔渣破碎

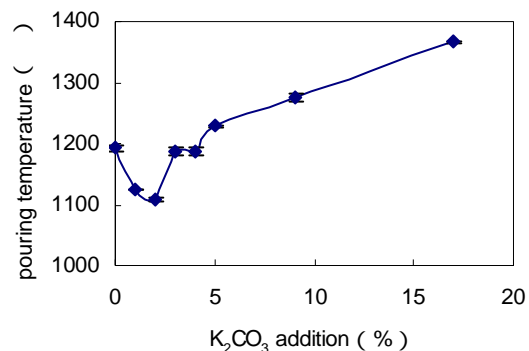


圖 2 碳酸鉀添加率與熔流溫度之關係圖

篩分析調整熔渣粒徑至合於混凝土細骨材之規範，之後進行熔渣細骨材之基礎物理特性分析，以探討熔融操作溫度與時間與熔渣品質間的關係。

(1) 表乾比重

表乾比重之分析結果如圖 3 所示。熔渣比重值皆高於 2.55，落在 2.65~2.77 的範圍之間，符合大部分細骨材的範圍。熔融操作溫度對熔渣比重的影響並不顯著，但熔融操作時間愈長，熔渣比重有略高的趨勢，但增加幅度相當小。

(2) 吸水率

吸水率之分析結果如圖 4 所示。由圖 4 可看出熔融操作時間與溫度對熔渣吸水率的影響相當顯著，熔融操作時間愈長、熔融操作溫度愈高，則熔渣吸水率也就愈低。若做為混凝土碎石用時，其標準為需小於 3%，則本實驗之結果可符合。

(3) 單位容積重

單位容積重之分析結果如圖 5 所示。由圖 5 可明顯顯示熔渣單位容積重有隨著熔融操作時間愈長、熔融操作溫度愈高而增加之趨勢，且熔融操作時間與溫度之影響相當顯著，除了 1200 與 1250 的 20 與 30 分鐘間的變化幅度不明顯之外，其餘升高之幅度相當明顯。

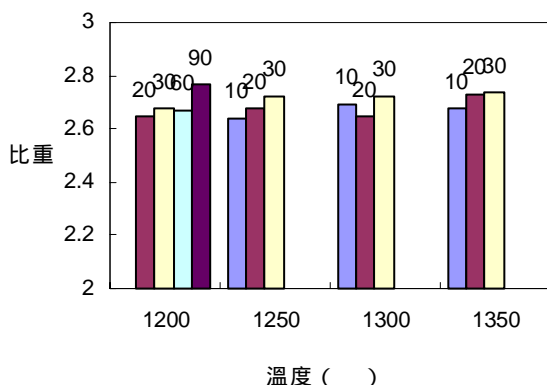


圖 3 熔融操作時間與溫度和熔渣表乾比重之關係圖

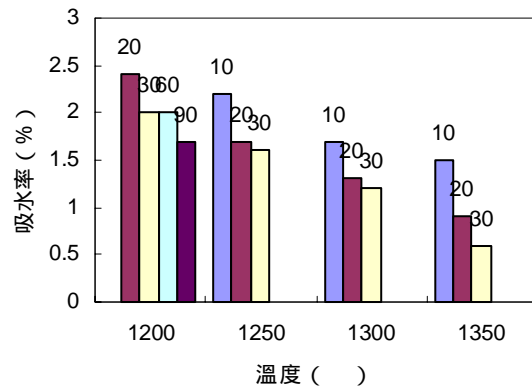


圖 4 熔融操作時間與溫度和熔渣吸水率之關係圖

(4) 空隙率

空隙率之分析結果如圖 6 所示。由圖 6 可知，熔融操作時間對於熔渣空隙率的影響並不顯著，但熔融操作溫度愈高，熔渣空隙率有略為降低的趨勢，但降低幅度不大。

(5) 毒性特性溶出試驗

熔融操作時間與溫度對熔渣中重金屬之溶出影響並不顯著，是由於氟化鈣污泥與淨水污泥本身之重金屬含量就不高，其重金屬溶出值皆已符合環保署之標準。

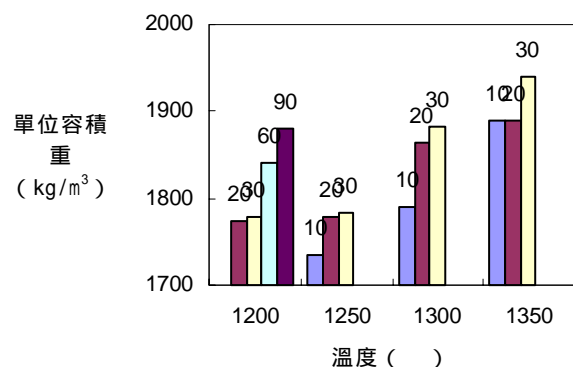


圖 5 熔融操作時間與溫度和熔渣單位容積重之關係圖

五、計畫成果自評

本計畫（第三年）以淨水污泥、工業廢水化學污泥作為研究對象，已完成之工

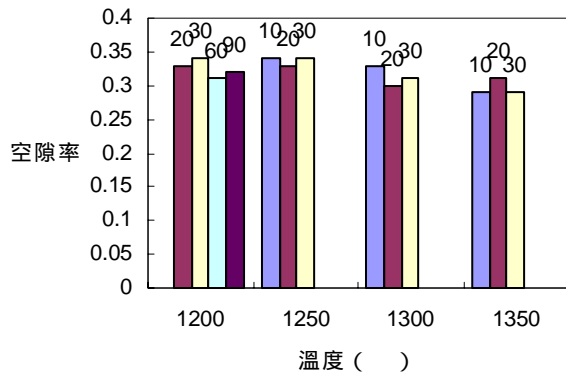


圖 6 熔融操作時間與溫度和熔渣空隙率之關係圖

作項目如下：

1. 完成添加不同比例之添加物，對淨水污泥及工業廢水污泥混合配比後熔流溫度之影響。
2. 完成改變熔融操作時間與溫度批次熔融後，經水冷程序所產生之熔渣細骨材之性質分析、比較與影響。

本計畫（第三年）之具體成果如下：

1. 將氟化鈣污泥與淨水污泥灰渣以 4:6 混合使其鹽基度調整為近似於 1 時，再添加不同量之碳酸鈉與碳酸鉀做為降溫添加劑，當碳酸鈉添加量為 2% 時，熔流溫度可下降 88℃，且添加量愈多溫度亦下降愈多；而添加 2% 碳酸鉀時，熔流溫度可下降 84℃，但添加量愈多溫度反而會升高。故碳酸鈉與碳酸鉀在適當之添加量時，具有降低熔流溫度之潛力，對能源之節省有正面之助益。
2. 熔融操作時間愈長、熔融操作溫度愈高時對水冷熔渣之表乾比重、空隙率及 TCLP 等並無顯著影響，但可以使吸水率降低；單位容積重增高。易言之，在較高熔融操作溫度及較長熔融操作時間的環境條件之下，可大幅降低熔渣之孔隙，使熔渣達到無害化、穩定化的狀態，此為熔融處理之最大優點之一。
3. 提升熔融操作溫度對細骨材物性之改

善，如減低吸水率、損耗度等，具有正面效應，而上述物性之改善，尚無法以降低熔融操作溫度配合延長熔融操作時間來替代。

4. 建議在以熔融方式共同處理淨水污泥與氟化鈣污泥時，於鹽基度約為 1 時之配比可得最低之熔流溫度。如欲使熔流溫度更低，可添加 2% 之碳酸鈉或碳酸鉀。而熔融操作溫度是以熔流溫度再加上 100~150℃，如此可改善污泥不均質的問題，使熔融較完全，有益排渣之順利，且具有資材化改質之功能。熔渣之製成以水冷方式較優，因水冷熔渣之抗壓強度較氣冷熔渣來的佳。而熔渣成品之後可取代天然材料，減輕對自然資源的需求外。

六、參考文獻

- [1] ASCE & AWWA, "Water Treatment Plant Design", Second Ed., (1990).
- [2] 王鯤生、蕭炳欽，「都市垃圾灰渣與下水污泥共同高溫熔融處理之研究」，第八屆廢棄物處理技術研討會論文集，第 351-370 頁，(1993)。
- [3] 鈴木 孝、藤本忠生，「都市ごみ焼却残渣の熔融處理」，都市清掃，第 40 卷，第 159 號（昭和 62 年）。
- [4] 村上忠弘、石田貴榮、鈴木和美、角田幸二，「下水污泥灰分の溶融特性に関する考察」，下水道協會誌，第 26 卷，第 296 號，第 12-18 頁(1989/1)。
- [5] 李公哲、黃宜靖、江慧嫻、羅雅含，「工業廢水污泥/淨水污泥之熔融資源化研究 ()」，國科會計畫編號：NSC 89-2211-E-002-002，(2001)。
- [6] 李公哲、黃宜靖、羅雅含、陳明義、熊正琇，「工業廢水污泥/淨水污泥之熔融資源化研究 ()」，國科會計畫編號：NSC 90-2211-E-002-053，(2002)。