

廢棄物處理

鑄造廠鑄砂回收之探討

馬寧元*

摘要

本文探討鑄造廠廢鑄砂回收處理製程之選擇原則，鑄砂處理系統之類別，鑄砂通過測試後再利用之工業用途與經濟效益，同時介紹美國、俄國及德國三家鑄造廠鑄砂回收處理之經驗，以了解鑄砂之回收確具經濟效益，且為未來不可避免之趨勢。

一、前言

鑄造廠廢鑄砂之回收基於環保條例規範不准掩埋場接受掩埋，傾卸、拖運及處理成本之高漲，回收原料成本之增加，甚至掩埋場面臨關閉之諸多因素，都是不可避免之趨勢。即使現在不做。未來都是要做的。

許多鑄造廠目前仍有些簡易、便宜捷徑將廢砂棄置山谷、河川地去掩埋，有些鑄造廠也對其鑄煉廢砂做經濟性的再利用，但畢竟這些方法都是游走於法律邊緣，無法保證可任意通行，且廢砂之棄置倒不如做資源回收來的經濟效益大。美國已開始做這些方面之規劃與研究，有識之士皆了解未來鑄造廠廢鑄砂極具耐久性與市場性，鑄砂不應再被浪費掉，它可與新砂重新混合，鑄造廠廢鑄砂之再生可使最終產品品質更佳，且不會造成對環境之困擾。由於資源不會

*金屬工業研究發展中心金屬處理組工程師

取之不盡，高成本、高品質之新砂來源終有枯竭之一日，鑄造廠業者也應了解新砂是一種奢侈品，無法無限量之供應。

鑄造廠廢鑄砂之類別與來源不同，其效益與用途亦不一致，如黃銅與青銅鑄造廠鑄砂由於鉛含量之不同，其特殊用途之需求也不同，任何鑄造廠廢鑄砂均有其經濟效益，只是程度上的不同而已。

二、鑄造廠鑄砂回收之考慮因素

鑄造廠鑄砂之回收也算是個相當複雜之問題，對鑄造廠不同之製程，其回收技術也有不同之變數，一般而言，鑄砂之回收並無一定之範例或規則可資依循，完全視需求而定，視您要回收的鑄砂是砂心砂、鑄模砂、溼砂模砂、化學性黏結砂、高純度之矽砂或湖砂，這些都是有經濟效益可回收的。

至於鑄造廠鑄砂回收系統之選擇，則要經由鑄造廠本身經測試與評估來決定，一家鑄造廠之回收方法未必適合於製程不同之另一家鑄造廠，然而鑄造廠鑄砂之回收欲成功“欲取得經濟效益”事前之準備與技術資訊之蒐集與取得則是相當重要的。首先鑄造廠須使廢砂之數量減量化，現場製程控制流程如減少砂心間廢鐵及了解黏結劑使用之清單盤存在廢砂回收系統決定前可減少廢鑄砂數量及節省成本。

當然鑄造廠也須對整個工廠內易理解之流程，如進料與產出之多寡，可利用原料之安全數據一覽表，了解加入鑄砂之每一種化學成分之數量對選擇正確之回收系統之操作也是有助益的。

不論如何處理鑄造廠廢鑄砂，經濟效益總是首要之考慮因素，在許多狀況下，傳統之處理方法可能是最具經濟效益之解決之道，若無法於鑄造廠自行處理與回收鑄砂，在回收加工前可能須付出一些傾卸與拖運成本。

考慮鑄造廠廢鑄砂回收時，須考慮廢鑄砂之分類、儲藏、篩濾等處理問題可能與廢砂處理系統之製程與功能有關，適當地將回收系統整合到鑄造廠現有製程操作之規範與設計也是一筆開銷，此外在操作成本、能源與維修成本方面也是須加以考慮的。

在鑄砂於廠外之回收方面，須考慮處理鑄砂之最低數量，否則回收數量未達經濟規模是不符成本效益的，若處理成本高於回收之投資將得不償失，若鑄砂數量不足，在維修需求及能源成本皆無法滿足系統之連續操作。

一旦決定鑄砂系統回收之操作製程時，任何操作形態之改變可能都要受到限制，因為不同製程系統之功能不同，若廢鑄砂組成改變，可能將使整個回收系統不再適於操作功能。

不論使用何種廢鑄砂回收系統，塊狀廢砂之搗碎及砂之造粒都是首先必要之步驟，隨後則是系統之選擇，它與鑄造之特殊需求有關，始砂黏結劑系統，能源須求，空間限制與廢砂數量。

欲了解何種回收系統最適於鑄造廠廢砂之處理及回收再利用，其基本考慮架構可包括：溼砂對溼砂，這是屬於機械式回收製程；化學性黏結砂對化學性黏結砂，這是屬於機械式或熱式回收製程；而溼砂對化學性黏結砂則是屬於熱式與機械式回收製程。

回收廢砂處理時，自砂粒中排除黏結劑而保留原始原料做重新利用是回收系統廢砂粒回收利用之目標，不同系統有不同之處理方法，自廢砂中排除無用金屬將其篩濾與分類、冷卻、輸送與儲存皆為必要之步驟。

三、鑄造廠鑄砂回收處理之類別

3.1 溼式回收法

溼式法回收系統利用水做為溶劑，鑄砂顆粒於水溶中劇烈振盪，可將黏結劑溶解掉，此法僅適用於含水之黏結劑系統，如矽酸鈉（小玻璃）及黏土。

一旦鑄砂離開了水必須加以乾燥，這是很消耗能源的，因此耗費成本頗高，另一嚴重問題乃溼砂可能產生高pH值之新廢棄物，須有鑄造廠本身之處理系統，且須注意到環保條例不可違背。

3.2 機械式回收法

機械式廢鑄砂回收系統乃指塊砂之簡易搗碎，一般係指廢砂顆粒物理性之製程以排除殘留之雜質廢料，有二種方法可達到此目的，乃氣式或衝擊式，砂

粒經氣式投擲到一目標體，而集塵設備可利用撞擊法排除細砂顆粒與粉塵污染物。

顆粒可經研磨聚集，黏結劑可加以排除，砂粒之尖銳邊緣可倒角，減少表面面積便於再利用時減少黏結劑，集塵系統必須加以利用以排除雜質，因而產生固體廢棄物，而衝射與研磨並不至於彼此排斥，兩種機制在同樣之回收設備必須很自然之發生。

機械式回收系統對維持溼砂最長壽命是有效的，與熱研磨不同，它會抹殺及脆化所有的黏結劑，然而它可保留所有的活性黏土，這是經過物理性接觸無法簡易敲落的。

在溼砂對溼砂之應用方面，氣式回收設備為一種清除系統，可排除不必要之元素，由於仍與活性黏土黏結，故不須將其全部排除，僅須將廢砂清理，用新的添加物來取代廢黏土。

機械式回收法在回收化學結合砂在同樣之黏結劑系統或可容性系統之再利用方面是具有高效益的，因為輕低程度之殘留黏結劑可加以排除。

3.3 熱式回收法

熱式回收法乃將砂粒加熱到氧化程度使其被覆燃燒，商業化系統於結構上、加熱方法及砂粒滯留於加熱室（30~60分鐘）皆有所不同，利用流動床可使砂做均勻性之加熱，而轉棄則是利用單元內機械式砂之操作，而動力操作則可利用氣體或電力。

熱式回收法最常用於不同黏結劑系統之回收，所有之黏結劑在於新系統如酸經催化成鹼性，重新與新系統結合前必須加以排除，由於鍛燒會徹底的破壞黏土，因此溼砂回收後應理想的應用於砂心室，由於理想之活性黏土仍保留於溼砂中，熱式回收法並不適用於溼砂對溼砂之應用。

另一種熱式回收法應用之考慮因素乃無機物無法加以燃燒，無機物之來源包括一些黏結劑、氧化鐵、抑制劑或其它加成物，有些黏結劑起初看起來像有機物，但他們可能有些無機物成分保留於砂粒中。

雖然鍛燒由於溼砂之製程便於作回收之用途，經驗顯示鍛燒溫度在1,300~1,400°F(704~760°C)範圍內可將黏土熔解到砂顆粒中，研磨雖可排除大部分之黏結劑，但仍會保留於顆粒之中各處，無法物理性的進入砂粒中，因此會累積

起來，有些建議利用低溫於結合系統中，而達到脆化被覆結果，易於排除黏結劑使其不致於將黏結劑經砂粒表面熔燒，假如鈉膨土存於鑄砂中，可將其鍛燒到 $1,300^{\circ}\text{F}$ (704°C)使其脆化便於排除。

一旦鑄砂離開窯再進入或儲存到砂系統，須要加以冷卻，因此有購置冷卻系統之必要，熱式回收系統不論利用氣體或電力為熱源，皆為能源密集的，因此新砂與處理成本之節約皆須考慮到電力消耗成本。過去數年來熱式回收技術之進步或改良大部分皆偏重於單元之能源效率及復熱過量熱源以協助系統之點大及降低能源之使用。

四、鑄造廠鑄砂回收之環境影響因素

不論使用何種製程技術回收鑄造廠廢鑄砂，皆會產生鑄造廠之廢棄物問題，溼式回收法易產生高pH值之廢水，機械式回收法所產生之粉塵與雜質必須於集塵設備中捕集，熱式回收法可產生空氣污染排放物、燃燒副產品及細微粒粉塵之污染，因此在選擇回收系統時必須考慮到操作產生之副產品數量對目前及未來環保法規之撞擊，而對熱式製程格外值得關切，目前美國環保當局認為熱式回收方法其黃銅鑄砂是一種有害性的事業廢棄物，若這種條例強制且認真執行，則黃銅鑄砂回收之操作至少在美國是不被允許的。

五、三家鑄造廠回收處理之經驗

5.1 德國Heidelberger Druck maschinen AG

該廠為一膠印設備之先驅製造廠，自1985年起在Amstelten經營操作鑄造廠，其產品包括鑄鐵基架、鋼筒與車尾機架，鑄造廠使用黏土黏結劑與呋喃樹脂黏結砂。該廠96%之砂於機械加工或回收後再回歸循環使用，但每年仍有9,000公噸之雜質廢棄物。由於該廠之設備僅用於作為傾卸無污染之砂，因此殘

留物於處理前便使其鈍化，這僅能利用熱式回收處理製程而達成目標，該公司於1991年建造一熱式砂回收系統，其投資成本約為1,400萬馬克。

基於已回收之96%之高循環模具砂，殘留之鑄砂粉塵比例甚高，且包含有機黏結劑及無機黏結劑，無法利用傳統式之熱式回收製程操作，因此該公司與Kiittner Gmb H & Co.合作開發新的製程技術。

在此製程中，殘留砂經溼化再進入流動床反應器，反應器小分含量高的砂經快速加熱於黏結劑中產生一高蒸汽壓使石英顆粒龜裂，鑄砂之溼化象徵著反應器中粉塵組成之滯留時間會增加，使其很容易經熱處理使其鈍化，此過程可使熱砂回收排氣量遠低於環保條例所規定之排放標準。

利用多階段性冷卻及分離製程可使粉塵自再使用之石英顆粒中分離，鑄砂可重新回歸到鑄造廠循環系統替代新砂使用，剩餘之粉塵無法再使用於鑄造廠，可加以改良再加以傾卸，此粉塵也可作為建材工業之原料。

經過新式熱式回收製程之操作，剩餘處理或使用之砂可減少40%，而鑄造廠回收之砂增加了98.5%。

5.2 俄國AO KamAt鑄造廠

圖1為俄國AO KamAt鑄造廠利用廢鑄模砂製造建材磚塊之一例，其產能約每年可生產900萬塊建材磚。

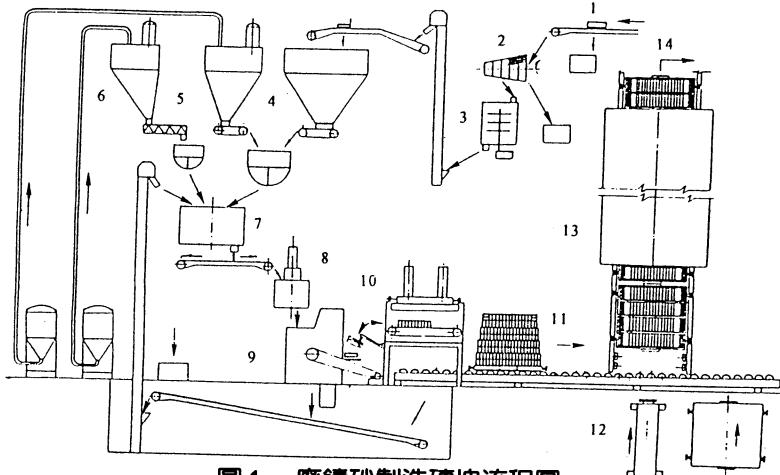


圖1 廢鑄砂製造磚塊流程圖

此技術之開發包括水泥混料之調配與操作，可清除廢棄鑄模砂之初期毒性物，可節省掩埋之費用及建材磚銷售之利潤。

該鑄造廠之製程可包括下列步驟程序：砂之調配、磁性分離、篩濾、乾燥、低水分水泥混合物之配製、磚塊之壓延與硬化。

圖1顯示出磚塊製造生產線與砂回收系統之整合，廢棄之鑄砂經磁性分離(1)、篩濾(2)與乾燥(3)，利用帶式輸送設備移注到緩衝儲存漏斗中，在此同時，黏結劑(6)與粗砂粒(5)經負載進入鄰近之漏斗，這些成分經稱重後進入混煉機(7)，經溼化再混合，最終之混合物經輸送到鬆弛之進料器(8)，經此再進入機械壓床(9)，在小於60Mpa之壓力下，同時壓縮四塊磚塊，利用特殊操縱設備自壓縮台將磚塊移除，自動化之操縱設備(10)經旋轉後於帶式輸送設備將其於4排邊緣置放，當適當數目之磚塊置放到輸送設備後，操縱設備之上端架構將其移注到裝集箱(11)，再將其層層重疊，當裝集箱充滿了8層磚塊，可利用動力輶道移注到液壓推動器(12)通過蒸汽室(13)將裝集箱輸送到空間之輶道，蒸汽室經加熱、保溫與冷卻區，於蒸汽室外圍出口，裝集箱(14)利用升降式裝卸車自輸送設備移除，帶到最終產品儲存區，磚塊再輸送到拖運之裝集箱，利用PE膜包裝輸送，生產線製造之標準磚塊，其大小體積為 $250 \times 125 \times 65\text{mm}$ ， $\sigma_\infty = 75 - 24\text{Mpa}$ ，視組成而定，此磚塊之循環耐凍性大於50cycle，呈黑色，化學與毒性測試顯示廢鑄砂製造之磚塊在建材結構利用方面是安全的，對工業與住宅建材也是物美價廉的。

5.3 美國賓州R. H. Sheppard Co.

R. H. Sheppard Co. Hanover Pennsylvania是有200個員工之溼砂鑄造廠，每日澆注150公噸之壓實石墨、灰口鑄鐵、延性鑄鐵與奧斯回球墨鑄鐵作不同之工業用途，許多這種類型之鑄件相當複雜，有些需要超過30個砂心，所有都在殼模及酚脂樹脂冷匣製程造。

Sheppard Co.1989年建造新廠房，連續操作之溼砂回收系統可每日生產120噸之回砂原料，目前70%之回砂在工廠冷匣系統取代了新砂，形成100%之回收砂與2%黏結劑之混合物，其餘30%進入溼砂系統作為新砂之加成物，圖

2 為 0.5tan/hr 之Coreco系統，包含間接加熱轉窯，旋轉砂冷卻器及氣式滌塵器與分類器。

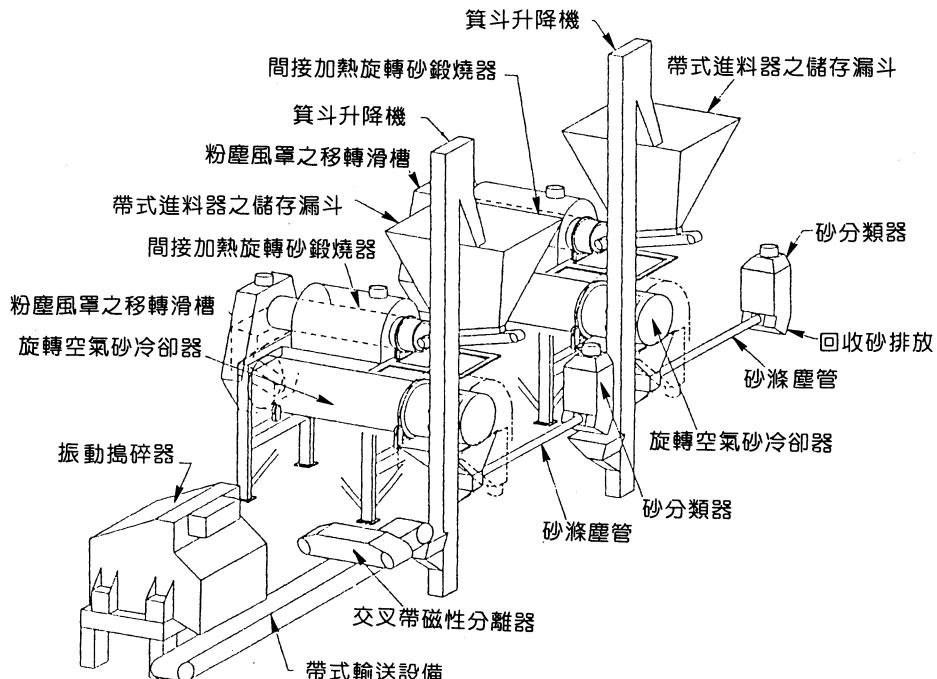


圖2 R. H. Sheppard Co.之酚酯樹脂系統之砂心整廠利用100%回收溼砂之回收設備

振動清砂自篩濾及砂心接頭之塊砂首先利用附屬之振動搗碎器減量，廢砂經磁性分離器之操作排除多餘之金屬，再利用輸送帶輸送到第一轉窯，利用天然氣間接加熱到 $1,250^{\circ}\text{F}$ (676°C) 在窯內，砂可經上升到頂端，再經串級下降以達最佳之熱傳，在此相，砂粒中大塊殘留物經乾燥與脆化便於清洗，低溫可避免使黏土熔化到砂粒中。

砂粒通過窯到旋轉冷卻器，經吊液通過周界之氣流直到高於周遭溫度大於 10°F ，在砂通過第一道滌塵器與分類器前，太大之材料可被分離出，高速壓縮空氣可經滌塵器管口射出，砂與砂之磨耗可排除大部分之黏土。

管之末端為一衝擊板，砂塵與殘留物可經由此散布到分類室，經此過程，整個製程再經由2組設備重覆進行，第二窯於 $1,500^{\circ}\text{F}$ (815°C)操作以排除任何殘留之燃燒原料。

回砂在自硬性系統與溼砂系統之再黏結是一樣的好，回收砂有極高之熱與乾燥強度。

回收鑄砂系統安裝一年後，Sheppard Co.舊砂之處理節省了13萬美金，在新砂之購置也節省了4萬2仟美元，總計一年約節省了17萬3仟美金，若操作成本也加以考慮，3年內即可做整個設備之回收。Sheppard Co.也擴充了產能，再安裝了同樣之設備，將鑄造廠部分之頂端自如20ft提昇到50ft，將2套回收系統置於工廠之中央位置，新系統之處理產能為每小時1噸，增加了1倍，該廠鑄砂回收設備之排放物低於目前美國之環保標準，而第二套設備也合乎環保標準。

六、結論

20~30年前發電廠飛灰之回收與再利用問題與目前鑄造廠廢鑄砂面臨之間題是一致的，大部分發電廠之焦炭飛灰是可加以回收與再利用的，發電廠之焦炭飛灰經資源回收處理已成為波特蘭水泥之重要部分，給予鑄造廠廢鑄砂之回收很大之啓示與鼓舞作用。

鑄造廠鑄砂可經過一些嚴格測試如冷凍／解凍週期測試，抗拉性與壓縮強度測試，其它類型強度與耐力測試通過後也可成為製造混凝土樣品之一部分，它可成為製造高品質預拌混凝土、磚塊、舖路石頭、道路與建築之用途，且可作流動性之充填物。經由不同比例強化劑之填加可作成超級產品，所有主要混凝土之工業測試皆顯示鑄砂之滲入可形成高強度之混凝土。

鑄造廠鑄砂之回收須仰賴鑄造廠總經理決定是否須投下巨資建造回收系統，經與工程師諮詢與評估，鑑定回收之潛在用途，再由市場行銷部評估將回收產品行銷到市場之經濟效益，在投資回收設備與開發產品間之過渡期間須有耐心與共識。鑄砂之廣泛再利用也須待時間之考驗，須考慮之因素包括耐久性，經濟效益與對環境之撞擊，鑄造廠應於廢鑄砂回收利用上做研究之開發，

110 鑄造廠鑄砂回收之探討

否則無法使人信服與了解其效益，至於最快之鑄砂之市場開發效益，流動性之充填是很理想之應用，它僅須用水與水泥，鑄砂之溶出特性可很容易的加以測試，鑄砂最多問題之材料乃不滲透之材料可全部之裝匣化，廢鑄砂流動性之充填法也在美國各地開始使用，且操作狀況良好。

鑄造廠廢鑄砂之類別與來源不同，其效益與用途亦不一致，如黃銅與青銅鑄造廠鑄砂由於鉛含量之不同，其特殊用途之需求也不同，任何鑄造廠廢鑄砂均有其經濟效益，只是程度上的不同而已。

參考文獻

1. Liteinae Prajvodstvo, Russian Castings Technology, No.10/11, PP42~43, 1994.
2. "Reclamatian of Used Foundry Sands", Giessierie, 82, No2. PP74~75, 1995.
3. Matthew L. Philbin, Modern Casting, August, PP.25~29, 1995.