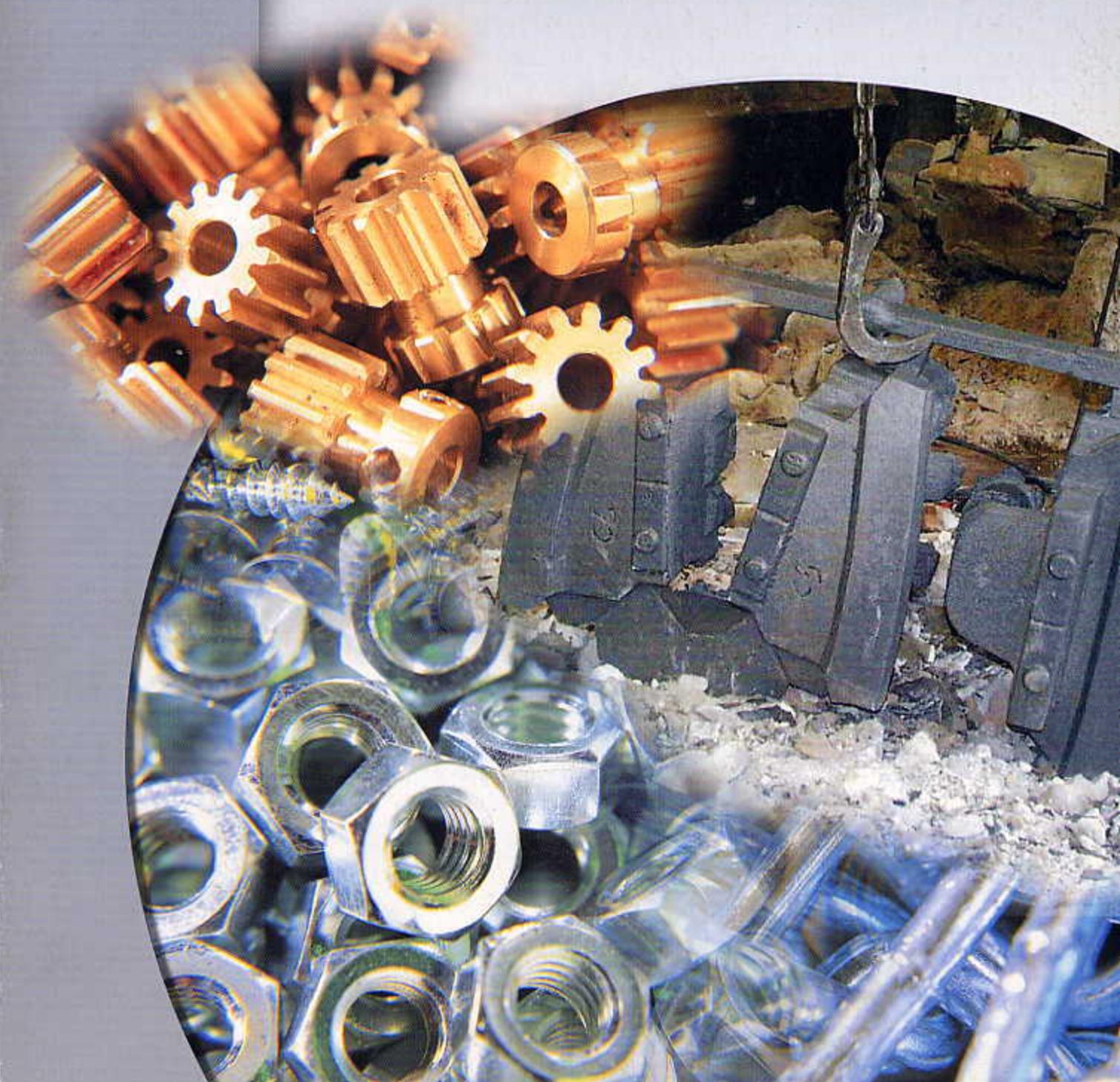


廢鑄砂資源化 應用技術手冊



誌 謝

本「廢鑄砂資源化應用技術手冊」之印行，首先要感謝工業局永續發展組施組長延熙、黃副組長孝信及潘技士建成從手冊編輯開始，至草稿討論、審核及定稿期間，親自參與、指導，並給予支持與鼓勵。此外，亦感謝所有編審委員(名單如附表)於編輯期間不辭勞苦的協助審查文稿，提供寶貴的經驗，以作為本手冊初稿之修改及補充的依據，使其更切合業者的實用需求。最後對於參與編輯工作之本公司人員盡心盡力的工作態度，表達感謝與敬佩之意。

中興工程顧問股份有限公司 謹識

附表 廢鑄砂資源化應用技術手冊編審委員名單

姓 名	職 稱	單 位
林志森	執行長	台灣綠色生產力基金會
施延熙	組 長	工業局永續發展組
黃兆龍	教 授	台灣科技大學營建系
賴瑞訓	總幹事	台灣鑄造品同業公會
顏富士	教 授	成大資源工程系

(依姓名筆劃排列)

目 錄

	<u>頁次</u>
第一章 前言.....	-1-
第二章 產業概況.....	-2-
2.1 產業結構.....	-2-
2.2 產業現況.....	-4-
第三章 製程概述.....	-6-
3.1 濕砂模鑄造.....	-6-
3.2 自硬性模鑄造(鑄鐵鑄造).....	-7-
3.3 精密鑄造製程(脫蠟鑄造).....	-8-
3.4 壓鑄製程.....	-9-
3.5 離心鑄造製程：.....	-10-
第四章 廢鑄砂特性與處理現況.....	-13-
4.1 廢鑄砂來源、組成及性質特性.....	-13-
4.1.1 模砂之成份.....	-13-
4.1.2 模砂之特性.....	-16-
4.1.3 廢鑄砂組成及特性.....	-18-
4.2 廢鑄砂產生量及處理現況.....	-29-
第五章 廢鑄砂資源化技術評析及案例彙編.....	-31-
5.1 廢鑄砂資源化利用概況.....	-31-
5.2 廢鑄砂資源化技術及案例.....	-31-
5.2.1 路基回填料.....	-31-
5.2.2 低強度高流動性混凝土細骨材替代物.....	-32-
5.2.3 混凝土製品(預鑄管、人行磚、鋪面用材)之細骨 材替代物.....	-33-
5.2.4 瀝青混凝土中填充料或細骨材.....	-33-
5.2.5 掩埋場覆土.....	-34-
5.3 廢鑄砂資源化技術評析.....	-35-
第六章 廢鑄砂資源化技術效益評估範例.....	-38-

6.1	廢鑄砂資源化廠之先期規劃.....	-38-
6.1.1	廢鑄砂資源化廠前期評估	-38-
6.1.2	廢鑄砂資源化回收廠設備規格	-40-
6.2	資源化廠效益評估範例.....	-41-
6.2.1	資源化廠設置經費概算	-41-
6.2.2	不同設廠規模之投資方案分析	-45-
6.3	提高廢鑄砂資源化應用業者應配合注意事項	-48-
	參考文獻	-50-

表目錄

	<u>頁次</u>
表 4.1.1-1	鑄造用基砂之特性-14-
表 4.1.1-2	國產精選鑄造用矽砂化學成份-15-
表 4.1.1-3	天然砂之化學成份-15-
表 4.1.1-4	國產精選鑄造用矽砂其用途及粒徑分佈-15-
表 4.1.3-1	廢鑄砂物性分析-18-
表 4.1.3-2	廢鑄砂健性結果分析-25-
表 4.1.3-3	廢鑄砂化性試驗分析-26-
表 4.2-1	廢鑄砂產生量推估-30-
表 5.3-1	廢鑄砂資源化技術評析比較-37-
表 6.1.2-1	廢鑄砂資源化回收廠設備清單-41-
表 6.2.1-1	資源化廠之投資效益分析-43-
表 6.2.2-1	不同設廠規模資源化廠之投資效益分析-46-
表 6.2.2-2	不同設廠方案之經濟效益比較一覽表-47-

圖目錄

		<u>頁次</u>
圖 2.1-1	鑄造業產業關連圖	-3-
圖 2.2-1	各縣市鑄造業分佈情形	-5-
圖 3.1-1	濕砂模鑄造自動化生產流程	-6-
圖 3.2-1	自硬性造模法分類	-7-
圖 3.2-2	自硬性模鑄造流程(CO ₂ 鑄模法)	-8-
圖 3.3-1	精密鑄造流程	-9-
圖 3.4-1	壓鑄機操作之程序	-9-
圖 3.5-1	真正離心鑄造法	-11-
圖 3.5-2	半離心鑄造法	-11-
圖 3.5-3	加壓離心鑄造法	-12-
圖 4.1.3-1	A 廠廢鑄砂外觀	-19-
圖 4.1.3-2	B 廠廢鑄砂外觀	-19-
圖 4.1.3-3	C 廠廢鑄砂外觀	-20-
圖 4.1.3-4	D 廠廢鑄砂外觀	-20-
圖 4.1.3-5	E 廠廢鑄砂外觀	-21-
圖 4.1.3-6	廢鑄砂 pH 值	-21-
圖 4.1.3-7	廢鑄砂含水率	-22-
圖 4.1.3-8	廢鑄砂飽和水量分析	-23-
圖 4.1.3-9	廢鑄砂視比重分析	-24-
圖 4.1.3-10	廢鑄砂比重分析	-24-
圖 4.1.3-11	廢鑄砂水溶性氯離子含量分析	-26-
圖 4.1.3-12	A 廠廢鑄砂晶相圖	-27-
圖 4.1.3-13	B 廠廢鑄砂晶相圖	-27-
圖 4.1.3-14	C 廠廢鑄砂晶相圖	-28-
圖 4.1.3-15	D 廠廢鑄砂晶相圖	-28-
圖 4.1.3-16	E 廠廢鑄砂晶相圖	-29-
圖 5.2.1-1	廢鑄砂作為路基回填料之流程	-32-

圖 5.2.2-1	廢鑄砂作為低強度高流動性混凝土細骨材替代物之流程	-33-
圖 5.2.3-1	廢鑄砂作為混凝土製品流程	-33-
圖 5.2.4-1	廢鑄砂作為瀝青混凝土填充料或細骨材之流程	-34-
圖 5.2.5-1	廢鑄砂作為掩埋場覆土之流程	-34-
圖 6.1.1-1	廢鑄砂資源化處理流程	-39-

第一章 前 言

工業製程廢棄物之資源化，係以資源回收再利用之技術，將廢棄物轉換成有用之物質，以減少對環境生態之衝擊，達到自然資源保育之目的，並提昇工業經營之效率。在現今環保意識日益提昇及全球資源日漸匱乏之趨勢下，廢棄物資源化再利用之推廣，應可營造工業良好潔淨之形象，並使環境保護與經濟發展得以相輔相成。

鑄造業為國內機械製造業之根本，其重要性不容忽視，尤其對國內重大建設的帶動及發展有相當大的貢獻。鑄造業製程所排出之廢鑄砂，因生產製程所添加之化學成份各有不同，故無法認定其屬於一般事業廢棄物，造成代處理業者哄抬價格，甚至無法執行鑄造廠廢鑄砂清運處理工作，嚴重影響鑄造業的競爭力及生存空間。另外根據環保署公告之「一般事業廢棄物再利用類別及管理方式」，廢鑄砂乃公告再利用之事業廢棄物，如能資源回收再利用，必能有效解決廢鑄砂清除處理問題。

鑑於鑄造業者對於資源回收與再生利用之需求日漸殷切，但對相關技術及觀念仍有所欠缺，經濟部工業局爰委託中興工程顧問公司編製「廢鑄砂資源化應用技術手冊」(以下簡稱本手冊)，旨在調查鑄造業之廢鑄砂資源化處理現況，並彙整國內外廢鑄砂資源化技術資料，俾供鑄造業者未來進一步於廠內自行或結合同業聯合籌組共同清除處理機構推動廢鑄砂資源化時之應用參考，以解決廢鑄砂處理問題，進而提昇鑄造業競爭能力，達到環境保護與經濟發展兼籌並重的目標。

本手冊共計包含六章，第一章前言，首先說明編輯本手冊之緣由及目的；第二章產業概況及第三章製程概述則就鑄造業之背景敘述，並介紹產業製程之分類結構，以及其未來發展之趨勢；第四章廢鑄砂特性與處理現況則針對廢鑄砂之來源、組成及性質特性做一說明，並調查評估其產生量及處理現況；第五章廢鑄砂資源化技術評析及案例彙編則針對國內外較成熟且具效益之資源化技術及案例做一探討說明；第六章廢鑄砂資源化技術效益評估範例試就成熟之資源化技術中挑選一資源化技術為例，進行設廠先期規劃及效益評估，俾作為業界推動資源化之參考範例；此外，為提高資源化成效，並列述業者應配合注意之事項，以供業界參照應用。

第二章 產業概況

2.1 產業結構

國內的鑄造業始於 70 年代初期，原分屬於機器公會，鋼鐵公會和冶製品公會，於民國八十四年正式成立台灣地區鑄造品公會。

國內鑄造品年產量約一百五十萬公噸，佔世界第十位，產值約六百億新台幣。所生產各種高品質鑄件，密切的支援生醫、通訊電子、機械、國防、水泥、石化、建築、民生器具及藝術等各種行業的生產和研究發展，對於創造國內經濟發展奇蹟，功不可沒，其產業相關關聯詳圖 2I-1 所示。

而台灣地區生產的鑄件以灰口鑄鐵和球墨鑄鐵鑄件為主，約佔 80%，其餘為鑄鋼和非鐵鑄件，約各佔 10%，鑄鐵的熔煉使用化鐵爐和感應電爐，因熔煉而產生爐渣，脫硫渣和集塵灰等事業廢棄物；鑄鋼的熔煉使用感應電爐或電弧爐，生成的熔煉廢棄物為爐渣和塵灰。熔煉過程產生的廢棄物大約只佔鑄件產量之 2%。

鑄造過程的造模方法中主要以濕砂模鑄造和自硬性模鑄造為主，其使用之鑄砂目前已有相當程度的回收使用率，但仍然有相當量的廢鑄砂需要處置，粗估國內的鑄造廠所產生之廢鑄砂一年約有一百五十萬公噸。

目前整體鑄造產業仍以中小企業為主，其中鑄件種類以鑄鐵、鋼、鋁材質為主，鑄銅及鑄鋅次之。其鑄造方式主要為濕砂模鑄造、自硬性模鑄造、壓鑄、精密鑄造及離心鑄造等。

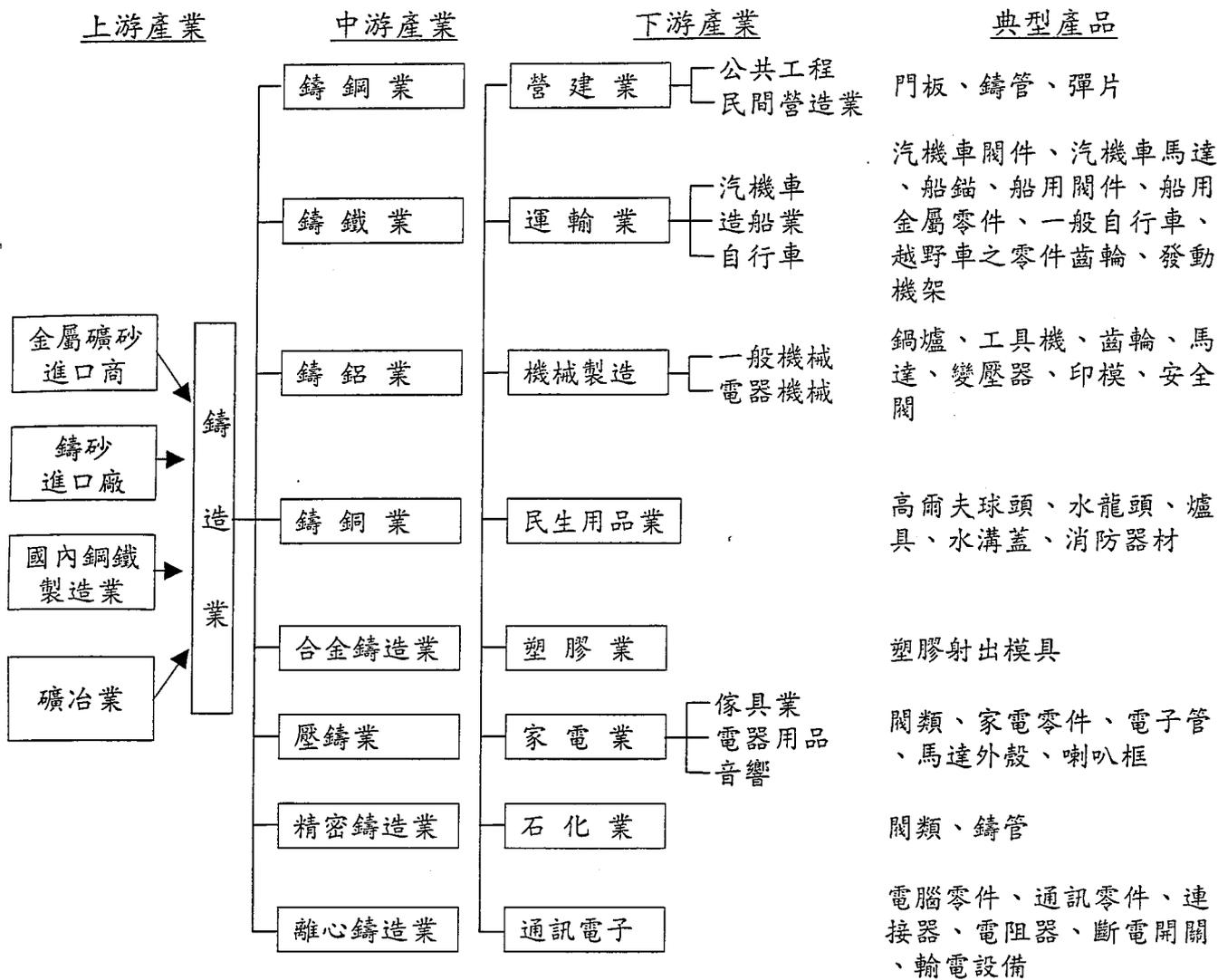


圖 2.1-1 鑄造業產業關連圖

2.2 產業現況

根據台灣區鑄造品工業同業公會資料顯示，目前國內鑄造廠商主要分佈：北區有 103 家，中區為 139 家，南區則有 109 家，合計共 351 家，其分佈情形如圖 2.2-1 所示。一般鑄造業因鑄造製程不同而使用不同類型鑄砂，鑄品在鑄造成型過程所產生的廢鑄砂，其產生量甚為龐大，且各鑄造廠因生產製程所添加之化學成份各有不同，使得廢鑄砂性質有所差異，而部份代清除處理業者的哄抬價格，增加鑄造業的營運成本，嚴重影響我國鑄造業的市場競爭力，導致危害鑄造業的生存。此外根據環保署公告之「一般事業廢棄物再利用類別及管理方式」，廢鑄砂乃公告再利用之事業廢棄物，如能有效資源回收再利用，必能妥善解決廢鑄砂清除處理問題。

由台灣區鑄造品工業同業公會民國 88 年之相關資料顯示，廢鑄砂於民國 83 年~87 年間各年度之產量分別為：83 年 300 萬噸，84 年 300 萬噸，85 年 250 萬噸，86 年 200 萬噸及 87 年 150~200 萬噸。由五年內廢鑄砂年產量顯示，廢鑄砂有逐年遞減之趨勢。其影響之原因據瞭解包括下列所述：1. 景氣漸壞；2. 鑄造業轉移至大陸生產；3. 廠商提高廢鑄砂之回收再利用；4. 酚醛殼模砂由製造供貨工廠回收再處理使用。

由於鑄造業支撐國內機械、電子等相關產業之基礎，然近年來，由於世界經濟景氣低迷、勞工缺乏，以及產業外移至大陸及東南亞地區等種種因素，使得國內鑄造業面臨相當大的衝擊，如何持續引進國外新技術，增加生產效率外，減少污染物之排放並推動鑄造業廢鑄砂資源化再利用之工作，尋求產業永續經營發展，成為當前鑄造業努力之方向。

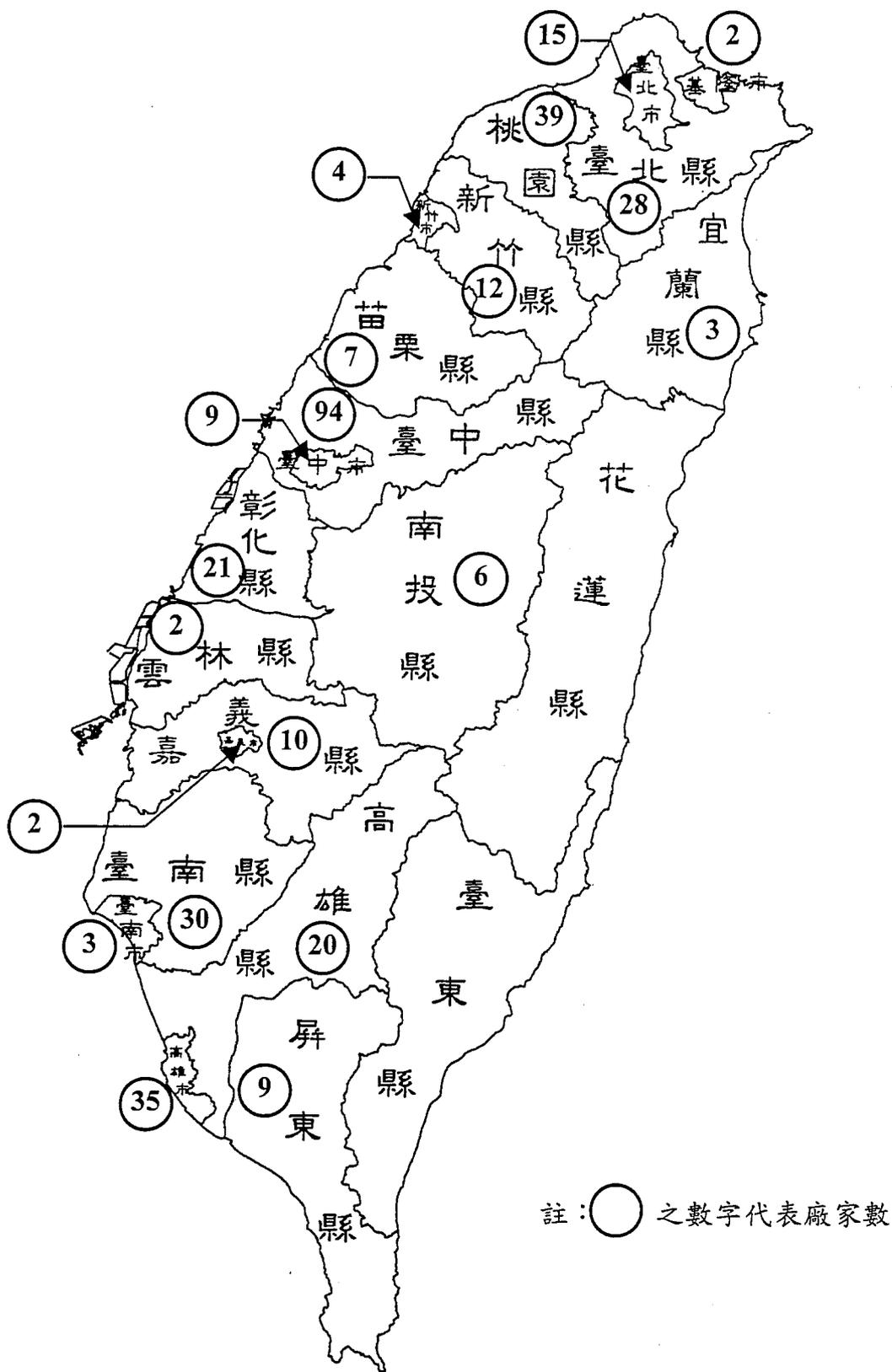


圖 2.2-1 各縣市鑄造業分佈情形

資料來源：鑄造品工業同業公會

第三章 製程概述

所謂鑄造乃是將熔融之金屬液體注入預先做好之鑄模內，待金屬液凝固後取出，除去膠冒口等，即可獲得所需之鑄件。根據造模使用之鑄砂及鑄造方法不同，其鑄造製程區分說明如下：

3.1 濕砂模鑄造

濕模砂造模法為國內最普及的造模方法，據統計約有 90%的鑄件是用此方法製成，濕模砂適合用於手工、機械和全自動的造模方法，主成份大約為 85-95%的砂砂，4-10%的火山黏土，2-8%的含碳物質以及 2-5%的水份。經過鑄造後的鑄砂雖然可以回收使用，但損壞的砂心、灼燒結塊的砂團或變細的砂粒則需要移除。

傳統濕砂模鑄造法有時需使用多種的砂心，製造砂心往往需要使用新砂或較高品質的回收砂。而砂心於鑄造過程可能結成塊狀，有些不能循環使用，而變成廢鑄砂棄置⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。

有關濕砂模鑄造製程詳圖 3.1-1 所示。

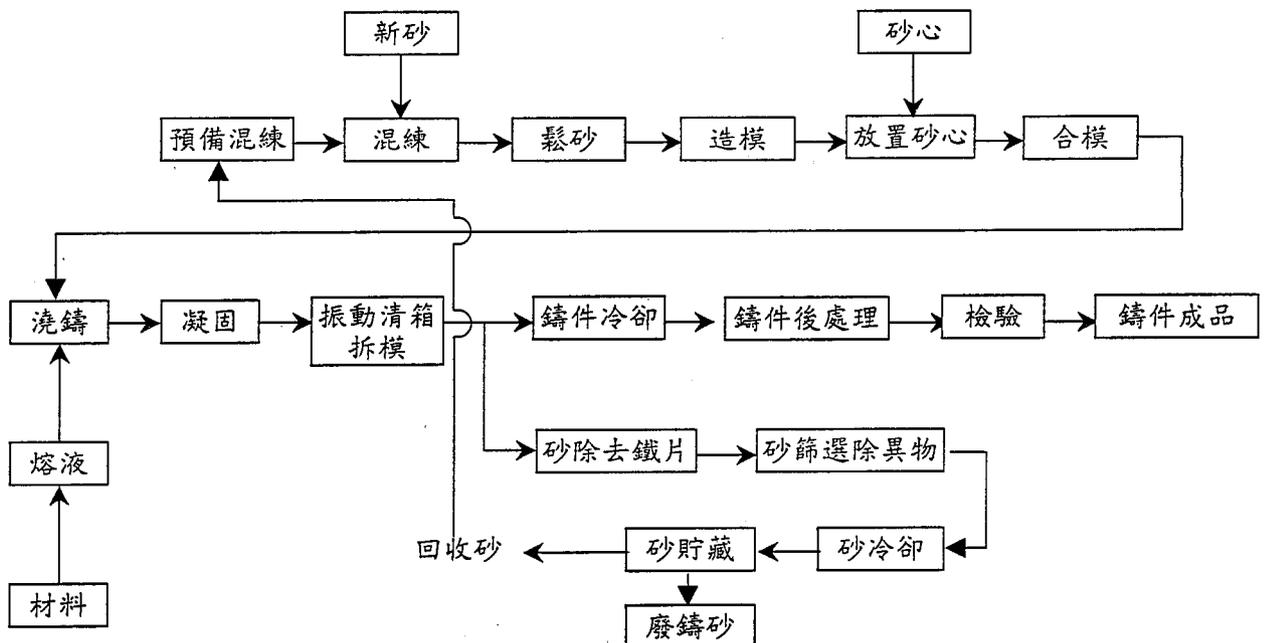


圖 3.1-1 濕砂模鑄造自動化生產流程⁽¹⁰⁾

3.2 自硬性模鑄造(鑄鐵鑄造)：

一般自硬性造模法可概分為無機自硬性造模法與有機自硬性造模法二種，詳如圖 3.2-1 所示。無機性造模法可分為水玻璃系、水泥系及磷酸系等三類，以水玻璃系來說，主要是利用水玻璃砂為砂模，添加無機黏結劑(如矽酸鈉)於砂模中在常溫下通入 CO₂ 氣體使其砂模變硬之製模方式，有關無機自硬性模鑄造製程(如 CO₂ 鑄模法)詳如圖 3.2-2 所示；由於無機自硬性造模法中最常見之 CO₂ 鑄模法有不需乾燥爐、生產性高及立即硬化等優點，廣泛運用於自硬性造模，惟其澆鑄後鑄砂崩散性差及鑄砂回收困難等因素，近年來大部份鑄造業者多已改採使用呔喃砂之有機自硬性模鑄造。由於有機自硬性造模法硬化速度比起無機自硬性造模法迅速且卸模作業簡單，已逐漸取代無機自硬性造模法，惟其對溫度及水份的影響較敏感，當鑄砂水份超過 0.2% 以上時，可能產生不硬化且化學反應速度容易受溫度影響，必須控制硬化促進劑之用量及砂溫(最高需於 35°C 以下，理想為 28°C 左右)，而上述造模法皆運用於鑄鐵鑄造製程⁽¹⁷⁾。其他因基砂添加樹脂之成份不同，而有所謂之酚醛樹脂殼模砂、BETA SET 樹脂砂、ALPHA SET 樹脂砂等，多應用於自硬性模鑄造。

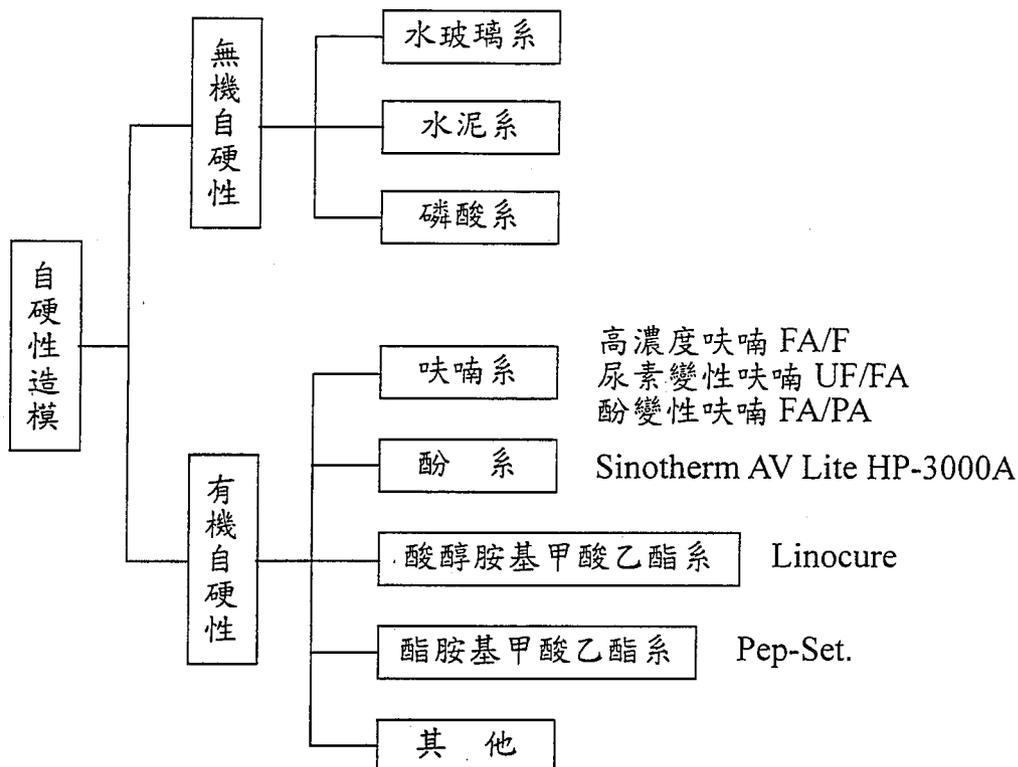


圖 3.2-1 自硬性造模法分類⁽¹⁷⁾

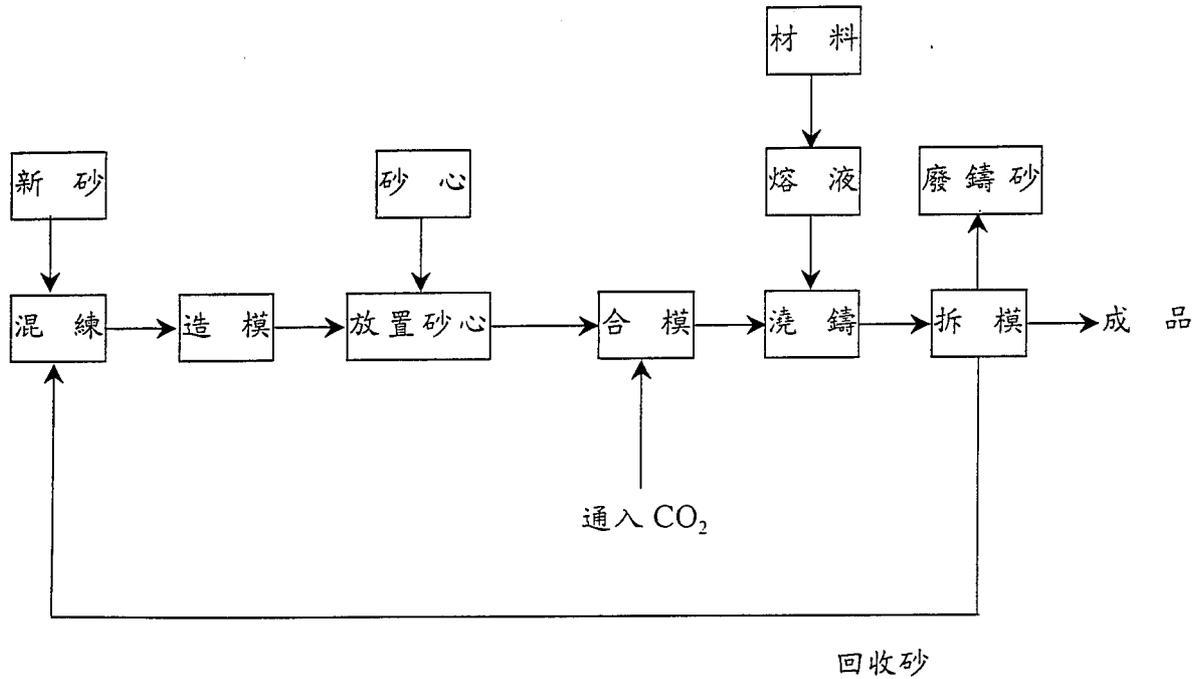


圖 3.2-2 自硬性模鑄造流程(CO₂鑄模法)⁽¹⁷⁾

3.3 精密鑄造製程(脫蠟鑄造)：

精密鑄造法又稱為脫蠟法(lost-wax)或包模鑄造法(investment casting process)，因其使用消耗性模型以生產工程用鑄件，故通常以蠟、塑膠或其他適當材料先製成消耗性模型，再將模型組合塗上耐火混合物，如泥漿(slurry)以製成殼模，當殼模達一定厚度後，溶解除去模型中之蠟或塑膠等，再將殼模乾燥後置於高溫中，得到耐火材料的粘結強度並除去模內殘留之模型材料，將熔融金屬澆入殼模內使其冷卻，再將殼模打破即可得到鑄件。目前國內大約有五十家脫蠟鑄造工廠使用陶瓷殼模砂於精密鑄造製程，來製造高爾夫球頭、精密鑄件及航空零件等。蠟可有效的回收使用，而陶瓷殼模用完一次即損壞，廠內無法回收使用，但可以轉給陶瓷工廠使用。而相關製程詳如圖 3.3-1 所示⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

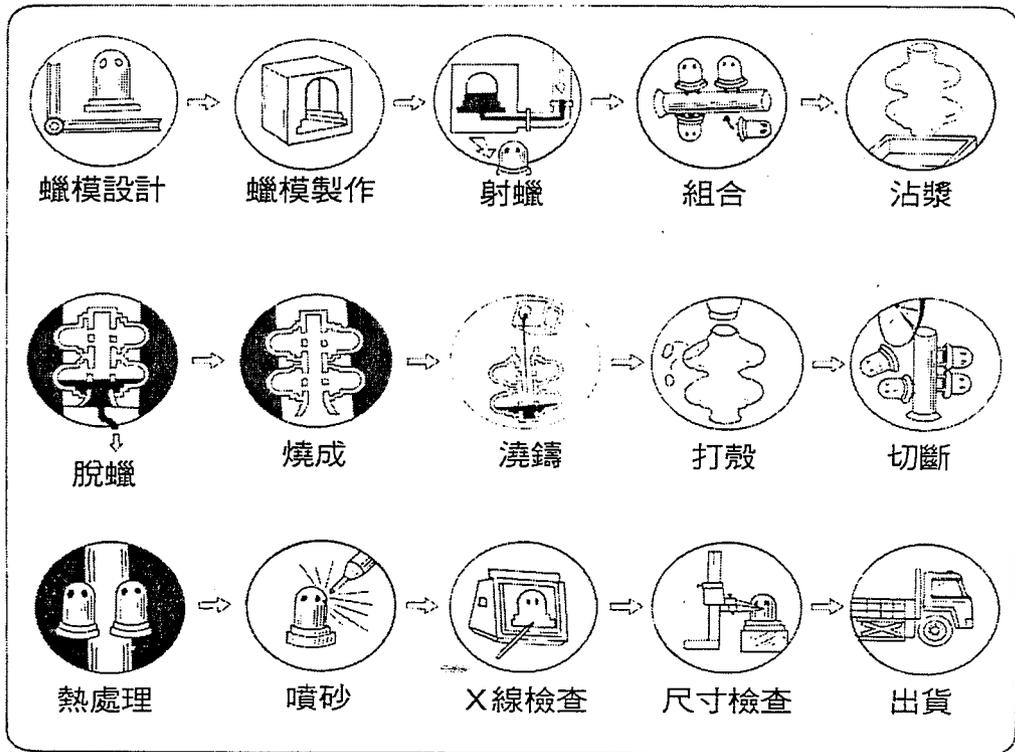
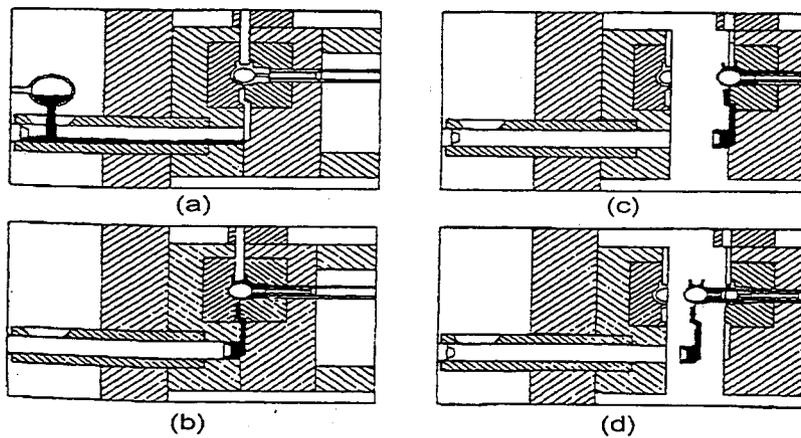


圖 3.3-1 精密鑄造流程

3.4 壓鑄製程：

國內大約有兩三百家壓鑄工廠且多為中小型規模，主要生產汽機車電腦零件等相關鑄件。壓鑄廠不用鑄砂，因此無廢鑄砂之產生，但是熔煉過程有爐渣的產生。一般多以壓鑄機製模鑄造，其操作程序如圖 3.4-1 所示。



- (a) 金屬液倒入室內
- (b) 柱塞將金屬液壓入模穴內
- (c) 打開模子
- (d) 鑄件及澆道系統毛邊，脫離模子

圖 3.4-1 壓鑄機操作之程序⁽¹¹⁾

3.5 離心鑄造製程：

離心鑄造工廠之家數不多，但其鑄件產量每年約數十萬噸以上。使用離心鑄造法的工廠以化鐵爐熔煉，感應電爐保溫。製程需要脫硫球化和接種，使用迴轉之金屬模，可以不用砂模，但需要使用砂心。所需之砂心，主要成份以矽砂為主，並依製程需要添加樹脂或添加劑製成殼模，可自製或向供應砂商訂購。使用過之砂心砂不能在廠內回收使用。主要的產業廢棄物為化鐵爐爐渣、脫硫渣、廢耐火材料和砂心砂等。其鑄造方法依製品形狀不同而使用不同離心力的方法鑄造，一般來說其鑄造法可分為下列三種：

一、真正離心鑄造法(true centrifugal casting)

將金屬熔液注入管狀鑄模內，以垂直或水平之迴轉，如圖 3.5-1 所示，將溶液拋向管壁而成中空的鑄件。利用此種原理可以做成自來水管、氣缸體襯套、軸承、套筒等管狀或環狀鑄件，而其厚度則以注入的溶液量來調整。採用這種方法鑄件內部不會有氣孔或收縮孔，而所得的材質緻密，機械性能亦可提高。此外，因不需澆冒口系統，亦可提高其成品率。

二、半離心鑄造法(semi-centrifugal casting)

圓板狀的齒輪、車輪、皮帶輪等對稱的鑄件，可以採用垂直軸鑄模將熔液由中央的澆口注入，利用離心力將整個鑄模充滿，如圖 3.5-2 所示。這種方法是將澆口當做冒口，鑄模形狀就是成品形狀，這與真正離心鑄造法有點差別，並且只能使用疊層鑄模。這種方法可以同時澆鑄幾個鑄件，但氣孔、縮孔及非金屬介在物發生的機會則比真正離心鑄造來得大。

三、加壓離心鑄造法(pressure centrifugal casting)

對於形狀不規則的鑄件，可以安排成從中央輻射狀，用垂直鑄模，以離心力來增加鑄造壓力，如圖 3.5-3。這種方法與半離心鑄造相似，但必須注意到迴轉時的平衡問題。在鑄件凝固前可以由澆口繼續補充金屬熔液，而由外向內斷面愈小，因此有助於方向性凝固。

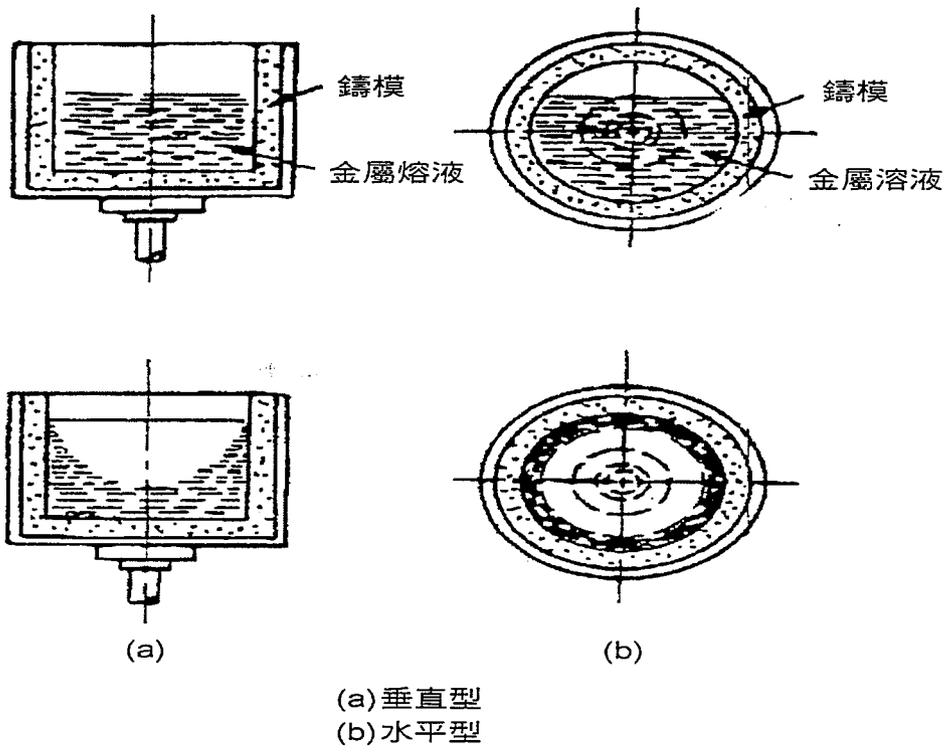


圖 3.5-1 真正離心鑄造法⁽¹¹⁾

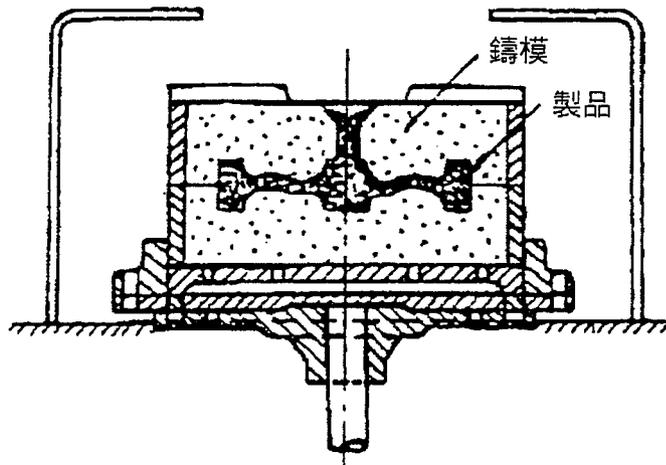


圖 3.5-2 半離心鑄造法⁽¹¹⁾

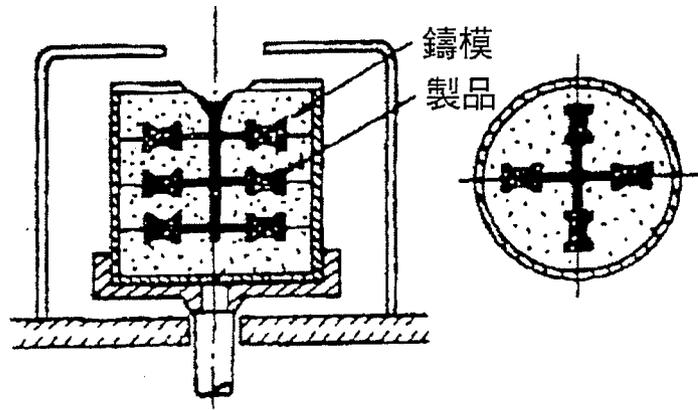


圖 3.5-3 加壓離心鑄造法⁽¹¹⁾

第四章 廢鑄砂特性與處理現況

4.1 廢鑄砂來源、組成及性質特性

鑄砂，就其廣義而言，係指鑄造廠需要使用之所有不同砂料，以來源來分有新砂(含天然砂及矽砂等基砂)、舊砂(係含再生砂及廢棄砂料)。以用途來分則有造模用砂、分模砂、噴光砂、熔爐用砂等。狹義之鑄砂是專指造模用砂，通稱為模砂。模砂依砂模鑄造方式不同而分類，有普通鑄模(生模、乾燥模)、特殊鑄模(殼模、有機自硬性鑄模、無機自硬性鑄模)及其他鑄模(無粘著物鑄模、模型消失鑄模)。一般依其性質及添加劑成份可分為濕模砂、呔喃砂、水玻璃砂、陶瓷殼模砂、BETA SET 樹脂砂及 ALPHA SET 樹脂砂等多種不同性質模砂。而所謂的廢鑄砂，則是上述模砂於鑄造製程中經重覆再生使用，最後需廢棄之模砂通稱，其組成及性質特性主要包含了基砂、黏結劑、水份及特殊添加劑等⁽³⁾⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾。

4.1.1 模砂之成份

模砂係由基砂加黏結劑、水份再調和各種不同之添加劑混練而成，各成份分述如下：

一、基砂

基砂通常係指粒度在 10 目到 250 目之間之粒狀物。鑄造業常用之基砂有：矽砂(又稱石英砂)、鋳砂、鉻砂及橄欖石砂等四種，其主要特性比較如表 4.1.1-1 所示。

其中以矽砂為最普遍也是最經濟之基砂，一般鑄造廠中所稱的基砂即指矽砂而言，而上述其他三種基砂耐久性較佳，但是因產地有限、產量較少、價格較高等因素，一般較常用於精密鑄造業。

矽砂係鑄模最常用且使用量最多之基砂，通常具有下列幾項優點：

- (一) 自然界中分佈最廣，產量最豐富。
- (二) 易於採掘、價格低廉。
- (三) 硬度高、不易粉碎。

表 4.1.1-1 鑄造用基砂之特性⁽³⁾

性質	基砂名稱	矽砂 (石英砂)	橄欖石砂	鉻砂	鋇砂	
		美國	美國	非洲	美國	澳洲
主要礦物成份		SiO ₂	(Mg·Fe) ₂ SiO ₄	(Mg·Fe) ₂ Cr ₂ O ₄	ZrSiO ₄	
比重		2.65~2.67	3.27~3.37	4.3~4.7	4.6~4.7	4.6~4.7
顏色		白	綠	黑	白	白
莫式硬度		6.0~6.5	6.5~7.0	5.5	7.5	7.5
熱膨脹(in/in)		0.018	0.0083	0.0045	0.0037	0.0037
高溫反應		酸性	鹼性	鹼性或中性	微酸	微酸
熔點(°C)		1710	1875	2093	2538	2538
化學成份	SiO ₂	99.82	41.2	1.34	33.5	33.01
	MgO	0.031	49.4	8.75	-	-
	Cr ₂ O ₃	-	-	45.8	-	-
	ZrO ₂	-	-	-	65.00	66.50
	Al ₂ O ₃	0.049	1.8	21.34	1.00	-
	Fe ₂ O ₃	0.019	7.1	19.50	0.03	0.02
	CaO	0.006	0.2	0.94	-	-
	TiO ₂	0.012	-	0.03	0.19	0.014

(四) 有各種不同之顆粒型態、粒徑及分佈。

(五) 有良好的耐火度及熱穩定度。

鑄模所用之矽砂純度最高時 SiO₂ 含量可高達 99.8%，但一般僅用於零件中之矽晶體等。國內生產之鑄造用精選矽砂由砂礦採掘原砂後，經過水洗、分級、擦洗、酸洗、再分級等五道程序，經乾燥後再依 CNS(中國國家標準)篩選分類而得，係為高級鑄砂原料，此與天然砂之化學成份相接近(詳表 4.1.1-2 及表 4.1.1-3 所示)。有關國產鑄造用矽砂粒徑區分及用途使用，則可彙整如表 4.1.1-4 所示。

表 4. 1. 1-2 國產精選鑄造用矽砂化學成份

(%)

成份 編號	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	泥份	燒失量
1.	97.3	1.7	0.4	0.2	0.3	—	0.1
2.	97.0	1.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5
3.	97.0	1.2	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4

表 4. 1. 1-3 天然砂之化學成份⁽¹²⁾

(%)

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	燒失量
山 砂	A	75.40	14.88	1.94	0.32	0.36	4.32
	B	79.50	8.00	5.40	0.41	0.20	3.30
河 砂	A	76.60	13.50	2.19	0.20	0.78	4.30
海濱砂	A	95.48	2.29	0.44	0.03	0.20	—

表 4. 1. 1-4 國產精選鑄造用矽砂其用途及粒徑分佈⁽³⁾

編號	AFS 粒徑指數	CNS 標準	用途
1	60	B 級 5 號	一般用
2	31	B 級 4 號	鑄鋼用、大型鑄件用
2.5	38	A 級 5 號	鑄鋼、油砂用
3	40	A 級 5 號	油砂用，CO ₂ 模、自硬模用
5	68	A 級 5.5 號	殼膜外膜用、DISA 高壓鑄模用
6	80	A 級 5.5 號	殼膜外膜用、殼膜砂心用
9	110	B 級 6 號	鑄鋁、鑄銅用
10	155	A 級 6.5 號	鑄鋁、鑄銅用

註:AFS 為美國鑄造學會(American Foundryman's Society)的簡稱

二、黏結劑—黏土

因洗選過的砂砂不具有黏結性，必須調配適當之黏土與水份，才能具有適當之黏性，以便造模。一般而言，黏土含量愈高，砂模強度愈大，但砂粒間之空隙愈容易被堵住，將大大降低其透氣性。

三、水分

模砂中水分約為 1.5~8%，而添加之水量則依黏土種類而定。

四、特殊添加劑

普通模砂只要將砂砂加黏土再調合適宜水分即可用來造模，但是依所需鑄件品質要求及鑄造方法不同，可以加入其它材料來改善模砂之性質，而這些加入之材料，稱之為特殊添加劑，可以分為：①糖蜜與糊精②煤粉③石墨粉④瀝青⑤穀粉⑥木粉⑦燃料油⑧氧化鐵⑨樹脂。

在實用上模砂依添加劑及黏結劑之不同可細分如下：

- 一、濕模砂：其主要成份為二氧化矽(SiO_2)之砂砂，摻配 3%~6%火山黏土、糊精 0.3%~1%、碳粉 0.3%~0.5%及水混練而成。
- 二、水玻璃砂：主要成份為基砂(如 SiO_2 、 MgO 、 Cr_2O_3 等)，混合黏結劑水玻璃 4%~6%混練而成。
- 三、BETA SET 樹脂砂：主要成份為基砂、黏結劑水溶性酚醛樹脂為砂之 2%左右，硬化劑甲酸甲脂，佔黏結劑之 15%。
- 四、酚醛樹脂殼模砂：主要成份為基砂，混合酚醛樹脂，加熱後預鑄成殼模。
- 五、呔喃砂：主要成份以砂砂為主，黏結劑為呔喃甲醇，重量約為砂之 1.5% (新砂)，回收再生砂之 0.8%，硬化劑為 XYLENE-SULPHONIC ACID，用量為黏結劑之 6~10%。
- 六、ALPHA SET 樹脂砂：主要成份以砂砂為主，黏結劑為鹼性酚醛樹脂。
- 七、陶瓷殼模砂：主要成份為基砂，第一、二層泥漿為鑄砂模粉調配砂膠水，第三層至第五層為氧化鋁砂模調配砂膠水所製成之殼模⁽³⁾⁽¹²⁾。

4.1.2 模砂之特性

模砂之主要用途是製造砂模，而砂模之優劣影響鑄件之品質甚鉅，因此模砂應具備下列主要特性：

一、強度

模砂係由毫無黏性之基砂與黏結劑等調製而成，混練後必須具有相當之強度，亦即黏結性或可塑性，以利於造模，並可避免砂模在翻轉、搬運或澆鑄高溫高壓之金屬液時破損，故強度是模砂應具備之最基本特性之一，而其強度應包括下列三種：

- (一) 濕砂強度(green sand strength)：造模作業都是在濕砂狀態下進行，因此模砂需具有相當的濕砂強度，以便於造模時翻轉、起模及搬運。
- (二) 乾砂強度(dry sand strength)：當高溫金屬液澆入鑄模時，砂模內壁之模砂受高熱之影響，模砂中之水分迅速變成水蒸汽而消失，形成表面乾砂模。因此，模砂需具備相當之乾砂強度，以抵抗金屬液之沖蝕及壓力。
- (三) 高溫強度(hot strength)：在水分被蒸發後，模砂在 100°C 以上必須具備相當之高溫強度，以防止因熔融金屬之靜壓力而導致砂模膨脹，或因高溫液態金屬流動而產生之沖蝕或熱裂。

二、通氣性

砂模內含有水分且模穴為潮濕狀態，澆鑄時砂模受熱，會產生大量之水汽及其它氣體，因此砂模必須具有適當之通氣性，以便氣體能溢出模外，否則鑄件將會產生氣孔瑕疵。

三、耐火性

鑄造係高溫熔融金屬液澆入鑄模內形成鑄件，如鐵系合金，其澆鑄溫度通常在 1300~1650°C 高溫下進行，因此模砂需具備較高之耐火性。至於鋁合金，澆鑄溫度較低，約 670~740°C，則模砂之耐火度可以不必要求太高。

四、流動性

模砂混合調配妥當後，應具備良好之流動性，以便於造模作業。

五、崩散性

模砂受熱後，水分消失會變成堅硬之砂塊，模砂本身應具備相當之崩散性，於鑄件凝固收縮後，使鑄模破裂而易於清砂；如 CO₂ 砂模崩散性則較其它類砂模為佳。

六、熱穩定性

鑄模受熱後，其內壁會立即膨脹，若模砂之熱穩定性不佳，則模穴容易

破裂、變形、鑄件易產生結疤等現象。

七、可回收性

鑄造工作因模砂之反覆使用，使其具有經濟性，故在調配選用不同之模砂時，應考慮其回收性，且模砂之再生應簡便，以免增加成本，如 CO₂ 砂(水玻璃砂)為自硬性砂、回收性則較濕模砂差，所需使用之砂回收設備其費用較高。

4.1.3 廢鑄砂組成及特性

對於鑄造過程重覆使用之模砂，其中已無法回收再使用而排出之廢鑄砂，其主要成份為基砂，並依模砂內之黏結劑或添加劑不同而可分類為廢濕模砂、廢水玻璃砂、廢 BETA SET 樹脂砂、廢酚醛樹脂殼模砂、廢呋喃砂、廢 ALPHA SET 樹脂砂、廢陶瓷殼模砂等，但一般皆通稱為廢鑄砂。

有關廢鑄砂之物化特性，依經濟部工業局 90 年度執行之「工業廢棄物共同清除處理計畫」篩選代表性廠商採樣得知，廢鑄砂依各廠重覆使用狀況不同而有不同的狀態，有可通過 200 號篩的細粉，也有燒結成片的砂塊，其相關外觀詳如圖 4.1.3-1~5 所示。茲說明其物化性質特性如下：

一、物理成份特性

為了解各鑄造廠產生之廢鑄砂組成及特性是否有所差異，在物理成份分析上針對代表性廢鑄砂樣品進行：pH 值、莫氏硬度、比重、飽含水量、含水率、篩分析、乾搗單位重、輻射量及健性試驗等物理性質初步分析，作為其資源化利用參考之依據，其相關物理成份分析如表 4.1.3-1 所示，並說明如下：

表 4.1.3-1 廢鑄砂物性分析

廠商代號	製程	使用之鑄砂	pH	莫氏硬度	比重 g/cm ³	飽含水量 %	含水率 %	篩分析 (FM)	乾搗 單位重 Kg/m ³	輻射量 微西弗 /hr
A	精密	陶瓷殼模砂	8.05	4	1.92	8.37	15.14	過粗	1062	0.02
B	濕砂模	酚醛樹脂砂	8.16	—	2.50	17.25	0.13	1.31	1469	0.02
C	濕砂模	濕模砂	7.39	—	2.40	63.30	3.63	2.60	1360	0.02
D	自硬性	水玻璃砂	10.85	5	2.63	8.99	0.22	2.63	965	0.02
E	自硬性	呋喃砂	2.93	—	2.17	61.59	6.89	過細	598	0.02

註：輻射量之環境值為 0.02。

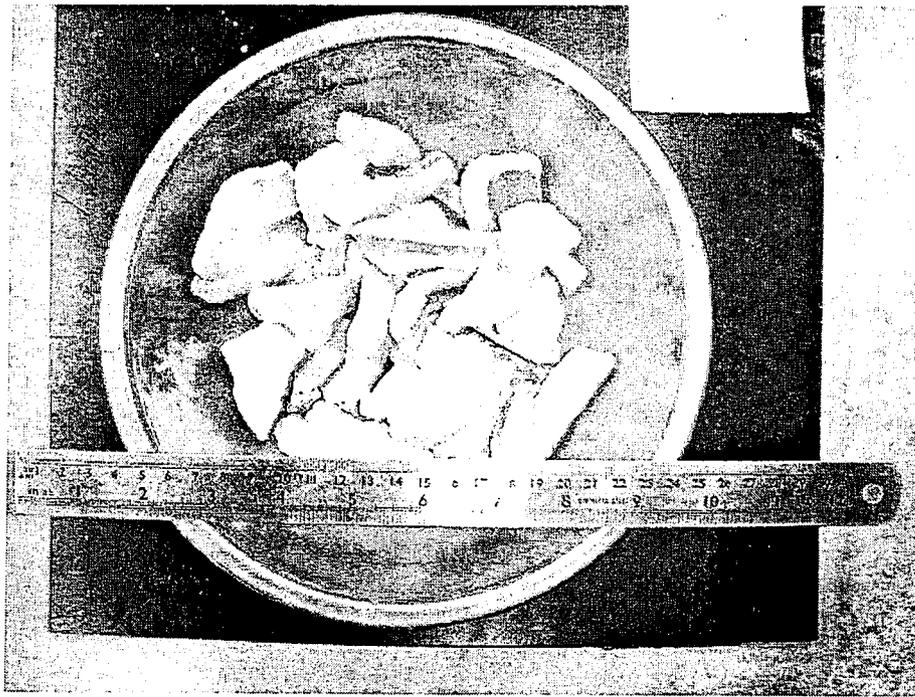


圖 4.1.3-1 A 廠廢鑄砂外觀

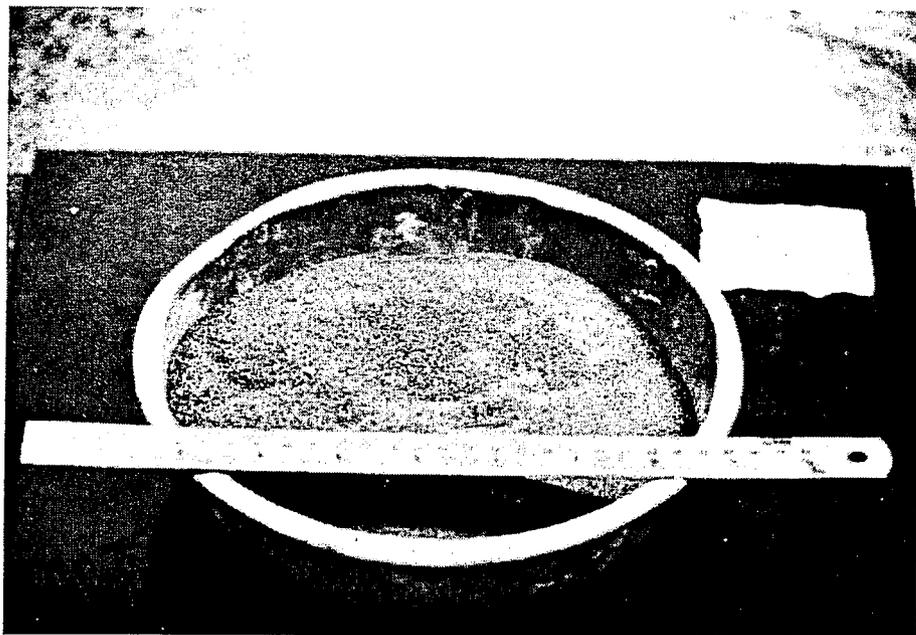


圖 4.1.3-2 B 廠廢鑄砂外觀

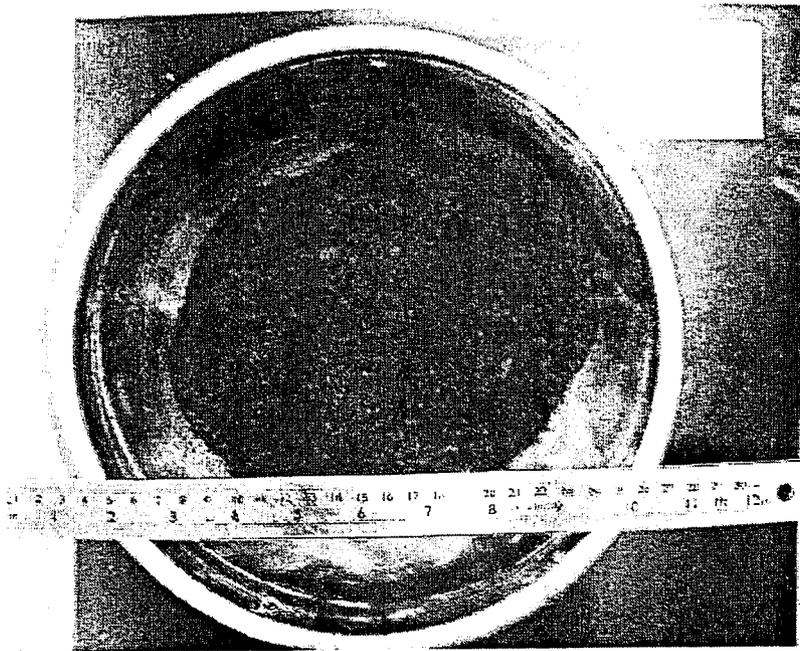


圖 4. 1. 3-3 C 廠廢鑄砂外觀



圖 4. 1. 3-4 D 廠廢鑄砂外觀



圖 4.1.3-5 E 廠廢鑄砂外觀

(一) pH 值

由於鑄砂主要以基砂為原料，各廠商依其鑄造方法及鑄件品質要求而添加黏結劑及添加劑，將廢鑄砂浸於飲用水中 24 小時後，可以測得其水溶液的 pH 值，由表 4.1.3-1 及圖 4.1.3-6 得知。各廠家之廢鑄砂 pH 值皆未超過環保署所列有害廢棄物標準 pH=12.5 以上及 pH=2 以下之規定。

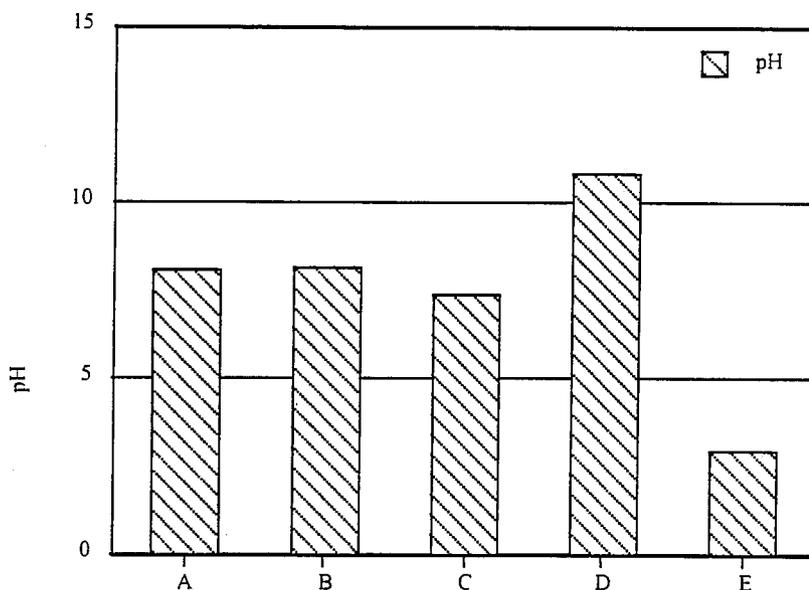


圖 4.1.3-6 廢鑄砂 pH 值

(二) 莫氏硬度

依建築用石的檢驗方式，比較成塊狀廢鑄砂之莫氏硬度值，其皆介於 4 到 5 之間，顯示廢鑄砂經高溫澆鑄後其莫氏硬度略低於原基砂之硬度。

(三) 含水率

將樣品依實際之狀況，烘乾冷卻至室溫，計算其含水率，其結果如圖 4.1.3-7 所示，惟因各廠之廢鑄砂堆置及處理狀況不同而使得各廠廢鑄砂樣品有很大的差距。

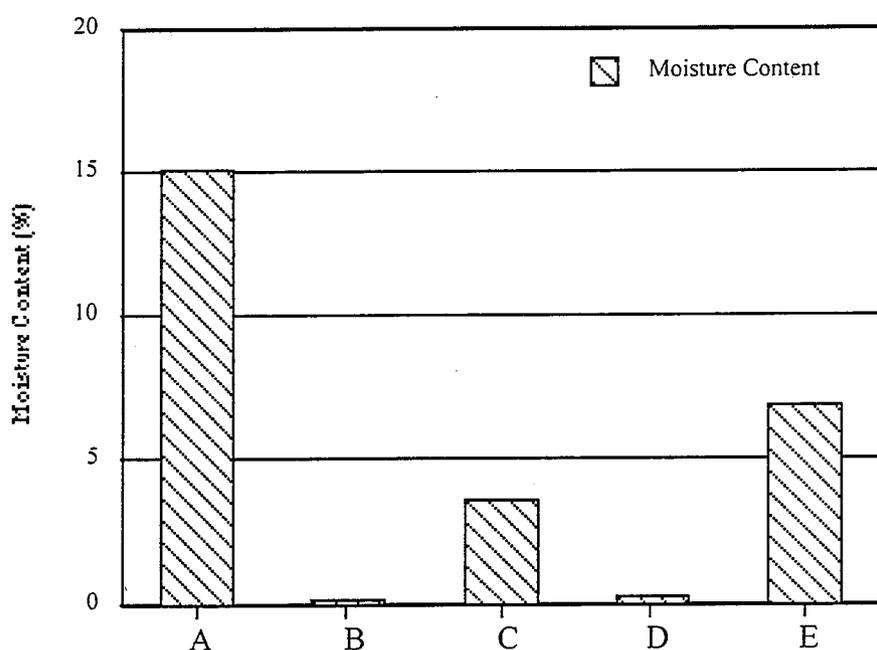


圖 4.1.3-7 廢鑄砂含水率

(四) 飽和水量

將樣本在面乾飽和(SSD)狀態時，量測各樣品所需之飽和水量。實驗結果顯示樣品都大於 8% 以上，較一般天然細骨材之飽和水量 1.6~3% 高出甚多，其中 C 及 E 廠之樣品更高達 60% 以上之飽和水量，顯示其具有較高的飽水性，詳如圖 4.1.3-8 所示。

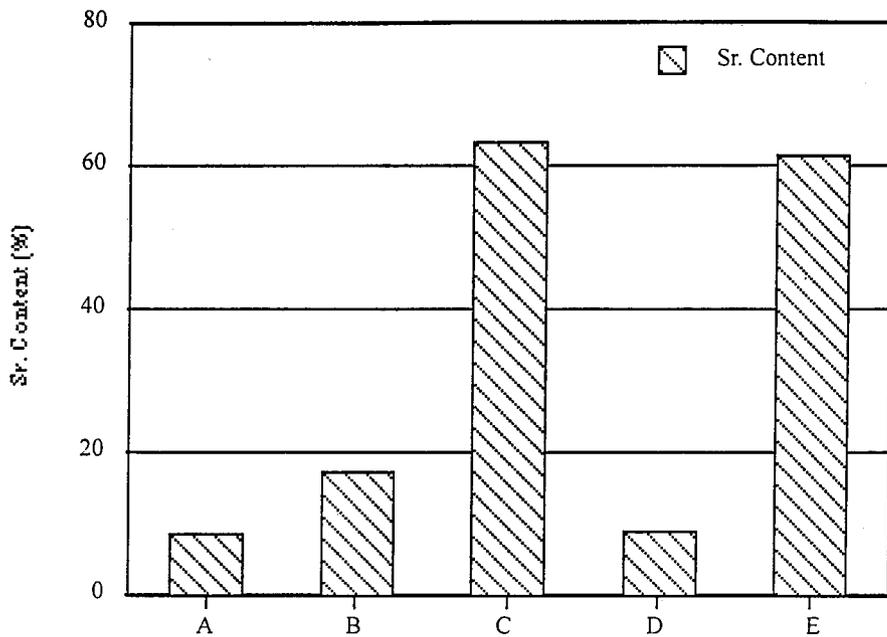


圖 4.1.3-8 廢鑄砂飽和水量分析

(五) 篩分析

由篩分析求得之 FM 值(細度模數)，可以得知樣品粒徑的分佈情況，若 FM 值愈高，則樣品粒徑較粗，研磨成細粒料時需較耗能，初步分析廢鑄砂樣本 FM 值多集中在 2.63 以下。若與一般在混凝土級配規範，規定 $FM=2.3\sim 3.1$ 比較，僅 B、C 及 D 三家廢鑄砂樣品可達到規範需求，但其中 C 廠樣品並非為堅硬的粒料，其為粉末塊狀，若施加外力即鬆散成粉料，故其飽和水量位居最高，且無法測得莫氏硬度值。

(六) 乾搗單位重(視比重)

比較材料的乾搗單位重與 FM 值及比重可以判斷顆粒分佈及充填性，本測試除以乾搗的方式求得，初步分析之廢鑄砂樣品在 $598\sim 1477\text{kg/m}^3$ 之間，其結果詳如圖 4.1.3-9。

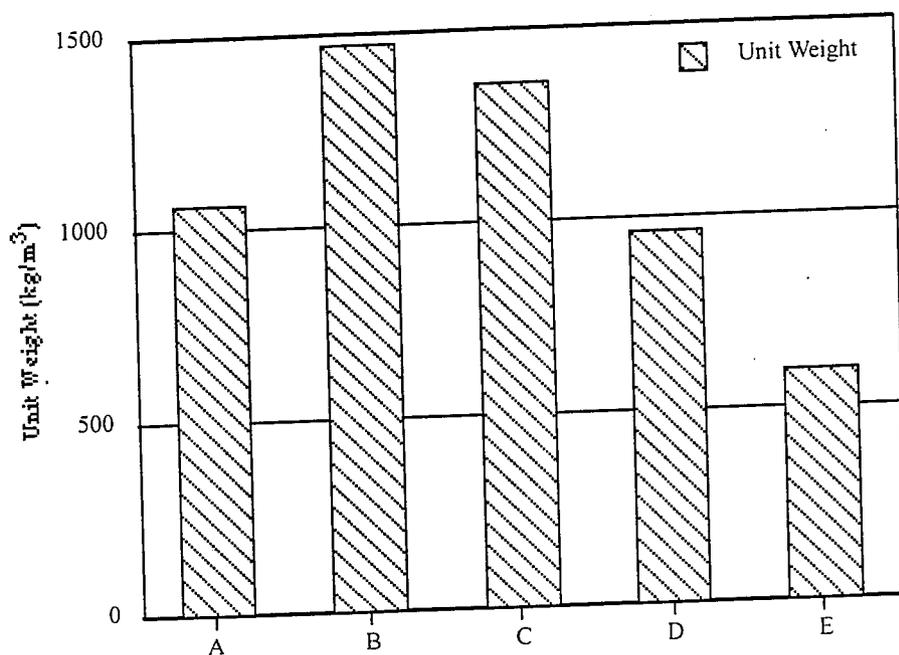


圖 4.1.3-9 廢鑄砂視比重分析

(七) 比重

廢鑄砂的比重依砂砂的比重測試，求得結果如圖 4.1.3-10 所示，其中以 A 廠樣品的比重值較小，其餘樣品都有相近的比重值。

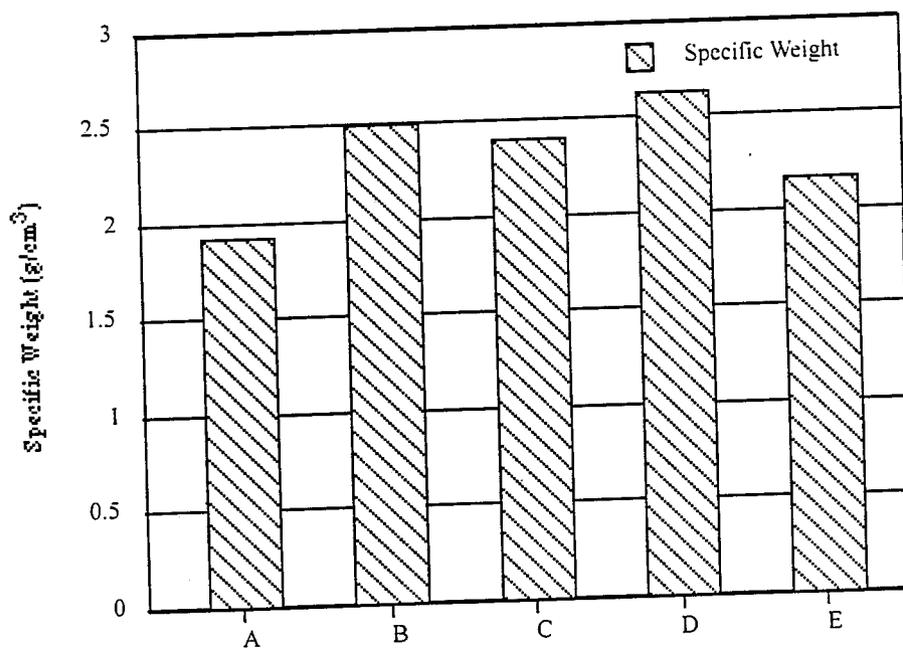


圖 4.1.3-10 廢鑄砂比重分析

(八) 輻射檢測

基於行政院原委會「建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點」中規定，為使事業廢棄物可合理地再利用於建築材料上，並防止其原有的天然放射性物質含量，不致危害環境輻射安全，以維護人體健康。因此依據該要點第四條第三項「事業廢棄物的伽瑪等效劑量率在每小時 0.2 微西弗(含背景值)以下時，則不必作比活度分析，即可用於建築材料」之規定，進行廢鑄砂之輻射檢測，其測定方法及取樣方法係依據該要點附錄二「事業廢棄物放射性含量測定方法與取樣方法」之規定辦理。針對所採樣品進行輻射檢測分析結果，均遠低於 0.2 微西弗/小時以下規定，顯示廢鑄砂資源再利用時無輻射之虞。

(九) 廢鑄砂健性試驗

本試驗以硫酸鈉溶液作為粒料健性測試的浸泡液，用以估算粒料遭受風化時的健性，其重複浸置時，鹽類之膨脹力乃模擬水在冰凍時之膨脹情況。而使用本測試方法時，由於精確度較差，故測試值只能作為初步的參考，所以應配合其他的測試方法加以佐證。

在分析的五個樣品中，由於 C 及 E 兩樣品的粒徑太細，無法進行本試驗，其餘樣品，依規定循環五次後所得之結果，詳如表 4.1.3-2 所示，由其結果可知符合細骨材健性測試，應低於 12% 之規範要求。

表 4. 1. 3-2 廢鑄砂健性結果分析

樣品	A	B	D
結果 %	0	1.54	2.66

二、化學成份特性

在廢鑄砂化學成份分析上，則進行氯離子檢測、化學成份及微觀結構分析，作為業者利用參考判斷之依據，其相關化學成份如表 4.1.3-3 所示，並說明如下：

(一) 氯離子檢測

依 CNS 13407 細粒料中水溶性氯離子含量試驗法，針對廢鑄砂樣品分析，測得結果如圖 4.1.3-11 所示，此與 CNS 12403 混凝土粒料規範的

水溶性氯離子含量，於預力混凝土之 0.012%，與其他混凝土之 0.024% 作一比較，C 廠樣品之 0.0899% 的氯離子含量值，似乎高出甚多。

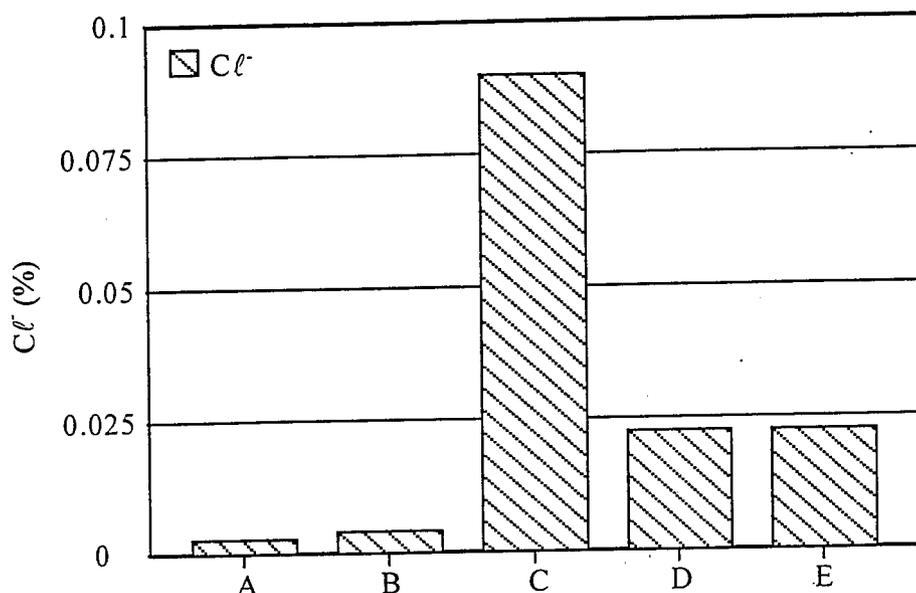


圖 4.1.3-11 廢鑄砂水溶性氯離子含量分析

(二) 化學成份

廢鑄砂化學成份分析，依 CNS 624 「耐火材料及原料化學分析法」求得，結果詳如表 4.1.3-3 所示。惟其化學成份與各廠使用之不同鑄砂之原成份大致接近，顯示其仍保有原鑄砂之基本化學成份性質。

表 4.1.3-3 廢鑄砂化性試驗分析 (%)

廠商名稱	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	K ₂ O	Na ₂ O	Clay	Cl ⁻
A	64.85	0.91	31.78	0.46	0.04	0.08	0.24	0.27	1.0	0.0030
B	92.05	0.37	3.25	0.22	0.13	0.07	2.49	0.25	13.2	0.0043
C	67.63	8.53	11.33	0.74	0.97	0.30	1.23	1.85	3.9	0.0899
D	87.19	4.03	4.39	0.40	0.69	0.09	1.01	1.26	5.9	0.0230
E	21.08	7.15	5.27	0.64	0.27	1.85	0.44	0.24	100.0	0.0230

註：E 公司為精密鑄造廠，所使用之鑄砂為非石英砂(矽砂)故其 SiO₂ 含量較低。

(三) 微觀結構分析

1. 掃描式電子顯微鏡(SEM)

廢鑄砂的來源為鑄造砂模澆鑄脫模後的產物，故大都經高溫(1,300

°C以上) 鐵水的燒蝕過，在經由以 SEM 觀察樣品的晶相組織，並照相詳如圖 4.1.3-12~16 所示，在相片中可看出各樣品的晶相組成不規則，外觀有破碎孔的現象，並有很多的結晶物附著其上。

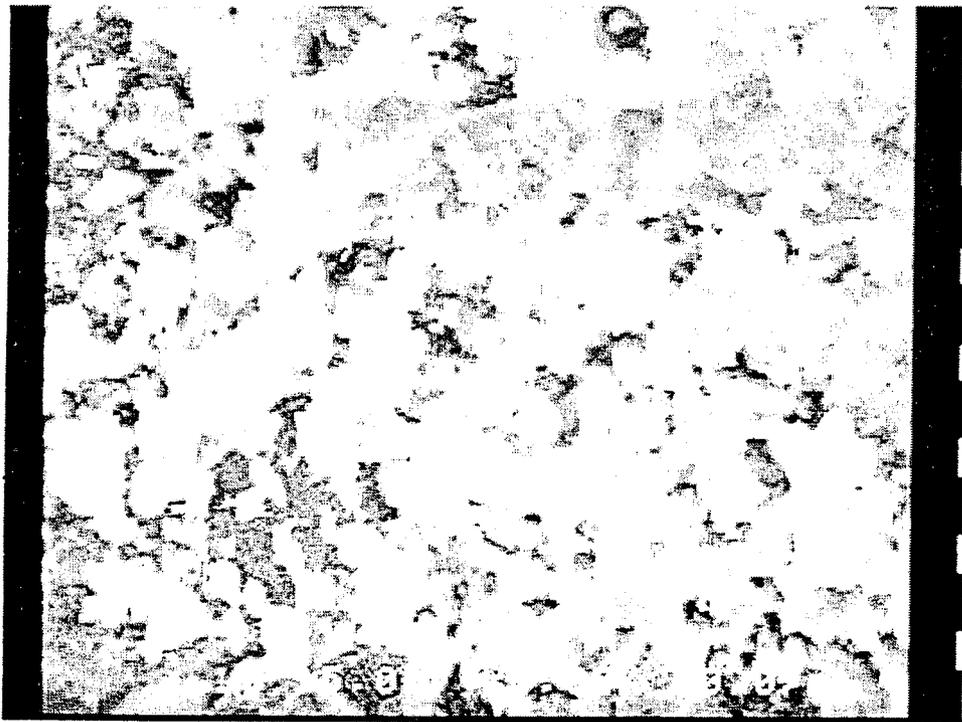


圖 4.1.3-12 A 廠廢鑄砂晶相圖

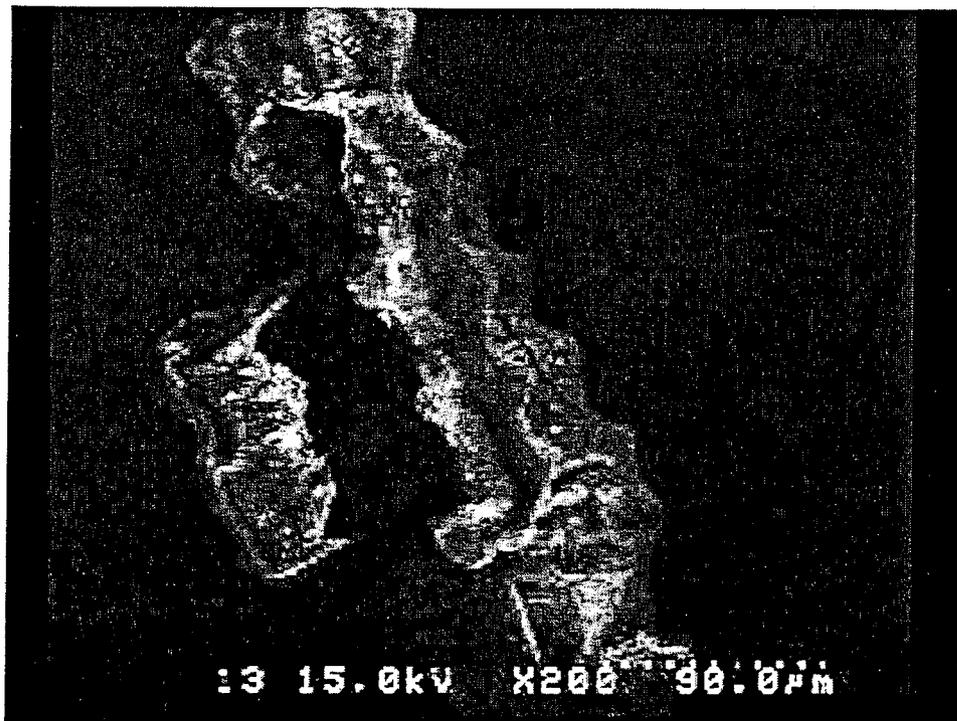


圖 4.1.3-13 B 廠廢鑄砂晶相圖

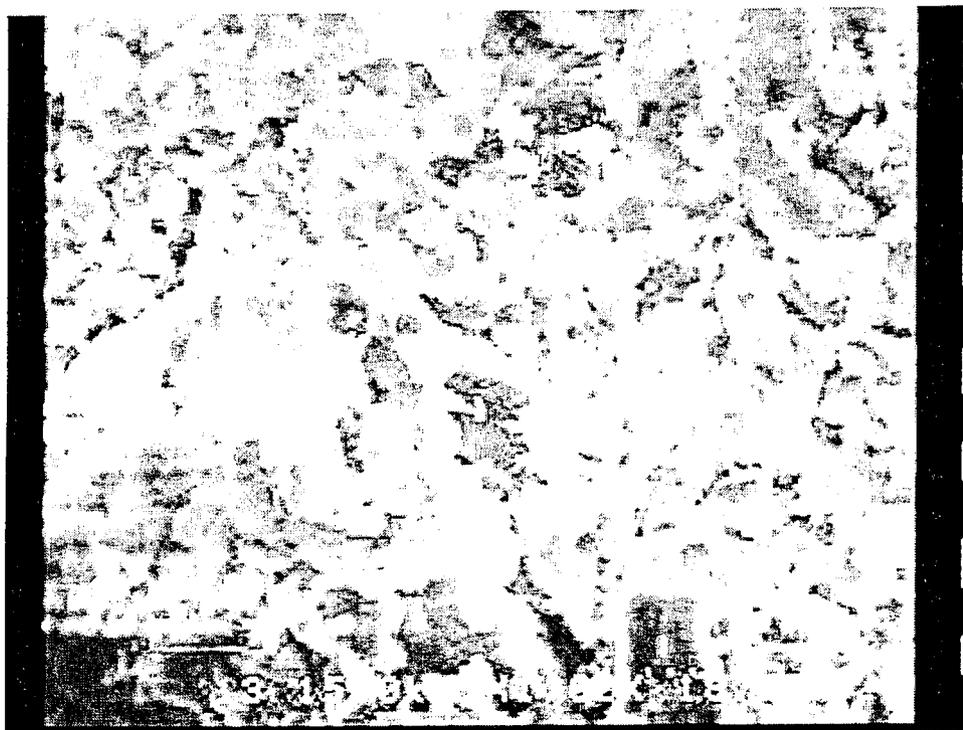


圖 4.1.3-14 C 廠廢鑄砂晶相圖



圖 4.1.3-15 D 廠廢鑄砂晶相圖

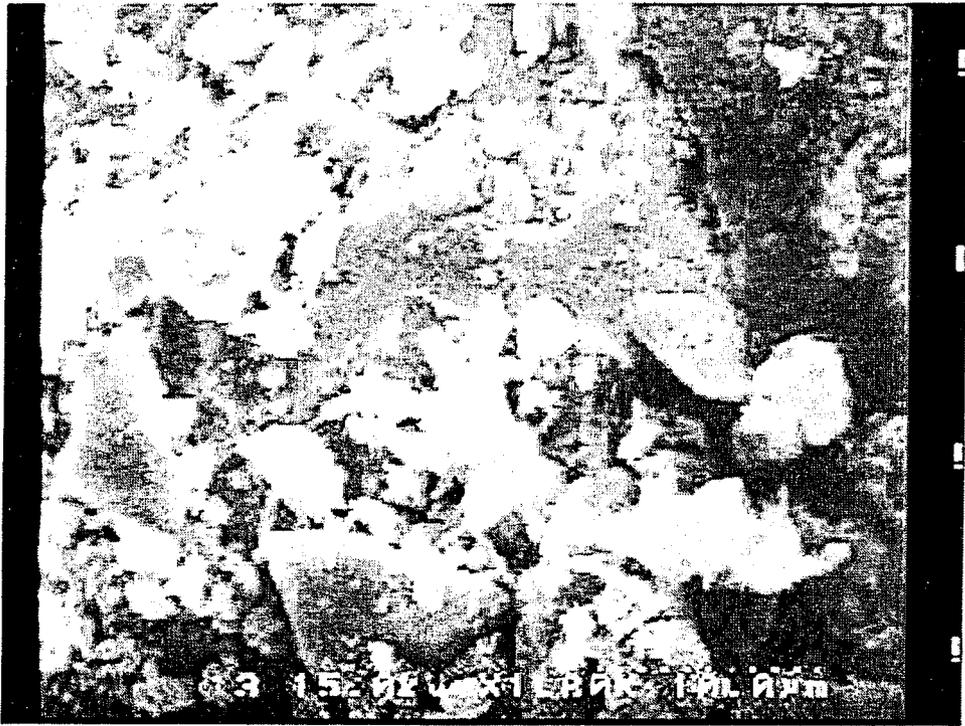


圖 4.1.3-16 E 廠廢鑄砂晶相圖

4.2 廢鑄砂產生量及處理現況

參考鑄造公會、鑄造學會及金屬中心資料顯示，1999 年國內鑄鐵產量約為 85 萬公噸、球模鑄鐵 17 萬公噸、可鍛鑄鐵 0.85 萬公噸及鑄鋼約 5.4 萬公噸，合計鑄鐵及鑄鋼產量約 108 萬公噸，依 1 公噸鑄鐵約需使用 3.5~6 倍（平均約 4.7）之鑄砂推估，國內鑄砂使用量約為 510 萬公噸，由於國內鑄造廠近年來因減廢觀念提昇及製程改善，已大幅提高回收再利用率，其中因為各廠回收砂添加新砂比例不同，一般約在 10~20% 左右（平均約 15%），故以此來推估其鋼鐵鑄件所產生之廢鑄砂產生量約為 80 萬公噸，另外其他非鐵及鋼鐵鑄造類如鑄鋁、銅、鋅等所產生之廢鑄砂推估約在 40 萬公噸，而在精密鑄造廠所使用之陶瓷殼模砂，因使用後幾乎不予回收而廢棄，參考鑄造公會資料顯示，廢陶瓷殼砂約佔產生廢鑄砂量 20% 左右推估計算，其廢鑄砂產生量約為 30 萬公噸，故由上述資料可以推估國內廢鑄砂產生量約在 150 萬公噸，詳表 4.2-1 所示。事實上，因各種類廢鑄砂回收率有所差異，且廠商製程所需之鑄砂品質、有無添加劑以及廠商是否有回收再生設備及供應鑄砂廠商是否回收等因素，皆會影響廢鑄砂產生量。

國內鑄造業所產生之廢鑄砂，因再利用管道缺乏，因此鑄造廠仍以委外清運掩埋為主要的處理方式，另有部份廠商則暫存廠區或回填至窪地，不但花費極大社會成本，亦降低產業競爭力，同時造成污染環境的風險。隨著減廢及資源再利用觀念的推廣，環保署於90年8月依廢棄物清理法公告修正之「一般事業廢棄物再利用類別及管理方式」，將廢鑄砂訂為公告再利用之事業廢棄物，可適用於水泥原料、道路工程級配料、耐火工程材料、混凝土填料、瀝青工程填料、土木建築材料、磚瓦原料、鑄砂原料等。目前已有不少廢鑄砂陸續經由上述資源化再利用的途徑加以處理當中。

表 4.2-1 廢鑄砂產生量推估

項 目	鑄件產量 (萬公噸)	小計 (萬公噸)	鑄砂使用量 (萬公噸)	廢鑄砂清除量 (萬公噸)
一 般 鑄 鐵 類	85	108	510	80
球 模 鑄 鐵 類	17			
可 鍛 鑄 鐵	0.85			
鑄 鋼	5.4			
精 密 鑄 造	19	19	—	30
非鐵及鋼鐵鑄造	40	40	—	40
合 計	—	167	—	150

註：鑄鐵及鑄鋼類回收砂添加新砂比例約在10~20%（平均約15%），故推估約有15%的廢鑄砂排出棄置。

第五章 廢鑄砂資源化技術評析及案例彙編

5.1 廢鑄砂資源化利用概況

在國內廢鑄砂資源化案例中，已有部份鑄砂供應商針對廢酚醛樹脂砂加以回收處理後再生利用之案例。其他非樹脂類之廢鑄砂則依各鑄造廠是否有回收再生設備及對鑄件品質之考量而有不同程度之回收情形。另亦有部份業者利用廢鑄砂作為水泥之替代原料、水產養殖材料、混凝土人行地磚及人造花崗石等相關資源化之利用，惟相關技術與規模尚未達商業化運轉之程度，資源化技術之推廣仍有待加強。其他如廢鑄砂使用於掩埋場覆土及填海造陸則受限於法令規定，國內尚未有實際利用之情形。

在國外有關廢鑄砂資源化利用技術，近年來已受到相當程度的重視，而再利用方式則包括作為路基回填料、低強度高流動性混凝土回填料中之細骨材替代物、混凝土製品之細骨材替代物、瀝青混凝土中填充料或細骨材替代物及掩埋場覆土等。

5.2 廢鑄砂資源化技術及案例

5.2.1 路基回填料

廢鑄砂作為路基回填料再利用，而路基材料之物化反應因使用情形不同而有所差異，理論上路基材料使用於交通方面時，經常以加州載重比試驗(CBR 試驗)做為研究路基材料是否符合路面支撐力之依據，為達到其合格強度，夯實之過程應注意其最佳含水量之控制，不同廢鑄砂其最佳含水量(OCM)可以經由實驗測得，一般約在 6%~15%左右。根據文獻資料顯示⁽³⁾，使用廢鑄砂替代天然砂石粒料於路基回填料時，能增強剪力強度及減低壓縮性，與使用天然細砂所建造之堤防比較起來，更具有不透水性，其使用流程如圖 5.2.1-1 所示。

有關路基回填料之技術，普渡大學於 1997 年曾使用廢鑄砂於印地安那州際公路上之公路鋪面應用，其路基強度與使用天然砂石回填料大致相同⁽³⁾⁽⁶⁾。

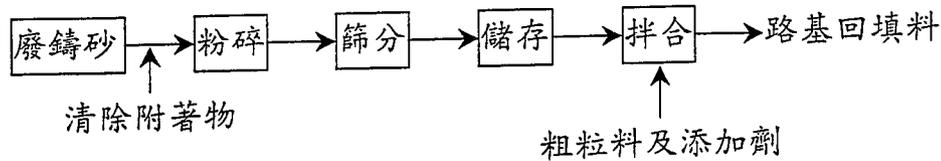


圖 5.2.1-1 廢鑄砂作為路基回填料之流程

5.2.2 低強度高流動性混凝土細骨材替代物

所謂低強度高流動性混凝土(Controlled Low Strength Materials, CLSM)為一種具自我充填之材料，主要當作需回填夯實之替代性材料。美國混凝土協會定義為一種 28 天無圍抗壓強度不超過 1200psi(約 84kg/cm²)之高流動性回填料，CLSM 因良好流動性，能流到任何需充填之孔隙，且不需藉由機具震動夯實。這種性質與傳統回填料，需以機具夯實相較，更具有優勢，但在塑性狀態下，又能具有與混凝土相同之性質。目前量測流動性的方法包括混凝土標準坍度錐試驗(ASTM C143)、流度試驗(ASTM C230)以及使用 3"×6"(7.5×15cm)之圓柱試體的修正流度試驗法(ASTM D6103-97)。而目前大部份國外使用之 CLSM，抗壓強度則不超過 300psi(約 21kg/cm²)，主要原因為必須考慮將來以人工或機具方式開挖。國外為提昇管線工程品質和降低交通衝擊，這種新型的水泥質材料(CLSM)已被廣泛應用於工程回填、管線與道路基礎上。在國內由於傳統回填方法因施工不易，鋪設後路面經常凹凸不平或時常造成路面沈陷不均等情形，使得工程品質不佳遭人垢病。使用 CLSM 除了可以縮短工期及節省人力機具，更是未來快速施工應用於眾多管線工程之新產品。而使用廢鑄砂作為流動性填充材之細骨材替代物，便可充份應用於工程回填之使用，而含流動性填充材用途則包含電線電纜開挖修復、回填結構、廢井填土及地下管線埋設等⁽³⁾。

威斯康辛麥迪遜分校之 Jeffrey S.⁽⁵⁾曾使用廢鑄砂在控制低強度高流動性混凝土細骨材之替代物使用。此外，紐約地區之水牛城(Buffalo)曾報導，運用此廢鑄砂於流動性填充材中。賓州(Pennsylvania)也成功的報導廢鑄砂可做為回填料之細骨材之替代物，其相關流程大致如圖 5.2.2-1 所示。

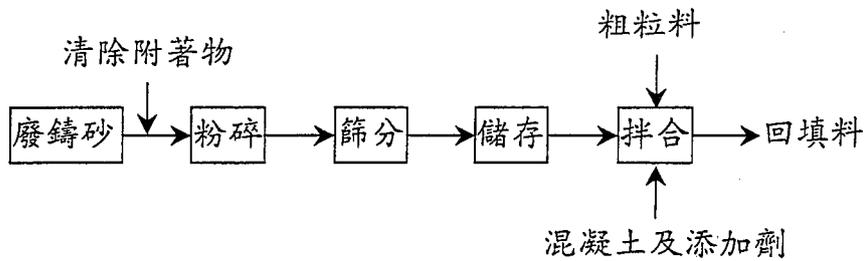


圖 5.2.2-1 廢鑄砂作為低強度高流動性混凝土細骨材替代物之流程

5.2.3 混凝土製品(預鑄管、人行磚、鋪面用材)之細骨材替代物

主要是利用廢鑄砂細粒料之特性與混凝土中其他摻配料一起拌合使用於混凝土製品，如預鑄管、磚及鋪面用材等，根據國外文獻實驗資料顯示⁽³⁾⁽⁹⁾，在混凝土中可加入大約 15% 之廢鑄砂取代天然砂石細粒料，但不能含有皂土，因皂土可能使混凝土變硬。使用在混凝土工程之廢鑄砂比平常混凝土所用的粗粒料來得輕，但比 ASTM 中之輕量粒料的限制為重，且使用廢鑄砂的吸水性比在傳統的輕質粒料所觀察的吸水性來得低。混凝土產品包括混凝土管、磚、停車場用材或作為其它用途。在磚品的製造方面，廢鑄砂之化學性質與物理性質對於製造磚塊而言都是最好的材料。而其相關流程如圖 5.2.3-1 所示。

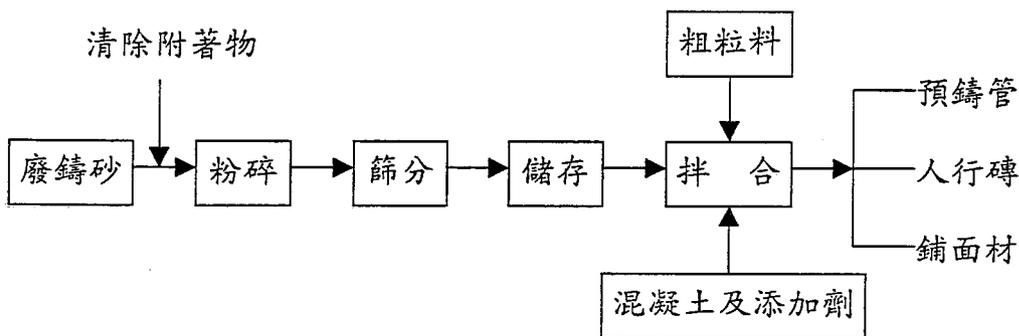


圖 5.2.3-1 廢鑄砂作為混凝土製品流程

5.2.4 瀝青混凝土中填充料或細骨材

瀝青路面自上而下由面層、底層和基層三層所構成，鋪築於路基上。瀝青路面自最簡單之砂石底層加上表面處理以至於路面全厚均用高級瀝青拌和料；任何路面之路基主體為土壤，瀝青路面亦不例外。土壤路基或粒料基層因所含之成份各異，影響強度甚鉅。凡細粒料、粉砂及黏土含量過多之土壤或粒料基層，每因

吸收大量水分而失其強度；反之如粗粒料、石子及砂含量較多者，則吸水量較小，強度損失亦較少。故路面工程首先應考慮土壤穩定處理技術，必須獲得穩定之路基及合格強度之基層才能保證路面得以經久耐用。因為廢鑄砂基本特性為天然砂石，故當經過前處理後便可用來做為天然細粒料之利用，故利用廢鑄砂細粒料之特性可以用來做為瀝青混凝土填充料或細骨材之替代物。根據國外文獻資料及實驗資料顯示⁽³⁾⁽⁶⁾，用 15%之廢鑄砂取代砂石粒料所製成之瀝青混凝土與傳統瀝青混凝土並無太大的差異性，當廢鑄砂超過 15%會造成孔隙值比傳統值高些，流度值降低，因而導致碎化現象。所以使用廢鑄砂之取代量必須在 15%以內，並將廢鑄砂之粒料附著物去除乾淨，則可使用於瀝青混凝土之填充料。而有關廢鑄砂應用於瀝青混凝土填充料或細骨材之相關流程如圖 5.2.4-1 所示。在國外案例中⁽⁶⁾，普渡大學曾使用 15%之廢鑄砂替代細粒料取代砂石運用於瀝青混凝土中用於道路鋪面，其效用與使用天然砂石替代物相比大致相同。

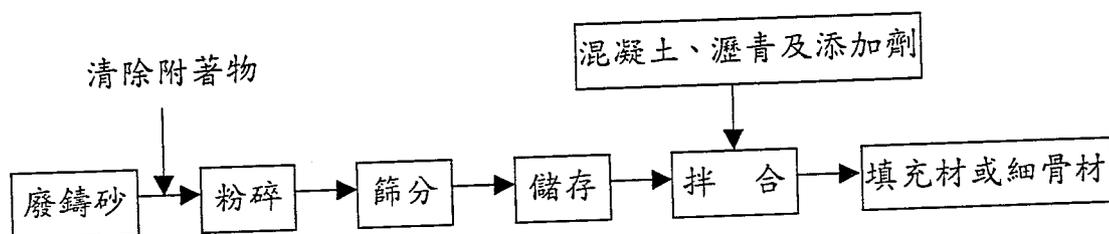


圖 5.2.4-1 廢鑄砂作為瀝青混凝土填充料或細骨材之流程

5.2.5 掩埋場覆土

由於廢鑄砂基本特性與天然砂砂石細粒料性質相似，且已被環保署公告為可回收再利用之資源化物質，除了前述作為工程混凝土應用之替代物外，根據國內外參考文獻顯示⁽³⁾⁽⁷⁾，廢鑄砂亦可應用於掩埋場之覆土使用。由於廢鑄砂具有較一般砂石質輕、吸水性低之特點，當廢鑄砂使用於掩埋場之每日覆土時，其強度與透水性與使用天然黏土之覆土效果相同。故若能有效做好廢鑄砂之品質管理，亦能應用於掩埋場之覆土使用，而其相關使用流程如圖 5.2.5-1 所示。

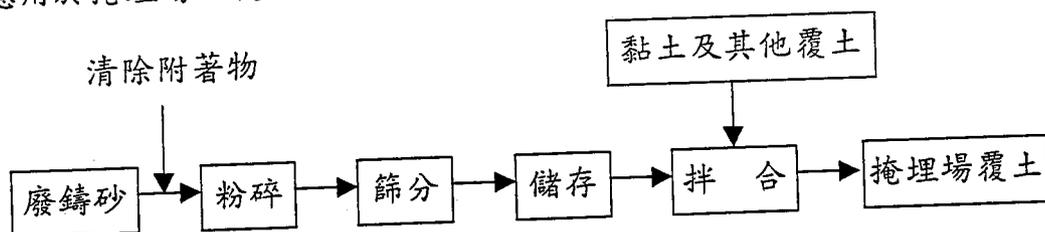


圖 5.2.5-1 廢鑄砂作為掩埋場覆土之流程

5.3 廢鑄砂資源化技術評析

由於廢鑄砂之類別及來源不同，對於鑄造廠不同製程所產生之廢鑄砂，其資源回收利用技術及用途亦不盡相同。如陶瓷殼模砂經破碎及水洗處理後，可以去除石膏泥漿，再添加於新砂中循環使用；酚醛樹脂砂經過熱處理還原後，甚至可以取代新砂使用。惟鑄造製程所產生之廢鑄砂中雖有部份可以再經由回收處理設備(如清洗、熱處理等)進入製程中再利用，惟仍有相當數量之廢鑄砂產生而亟待另覓管道資源化。參考國內外廢鑄砂資源化應用情形，廢鑄砂由於基本性質與天然砂石細粒料接近，故資源化利用情形，多應用於路基回填料、低強度高流動性混凝土細骨材替代物、混凝土製品(如人行磚、鋪面等)之細骨材替代物、瀝青混凝土填充料或細骨材及掩埋場覆土。至於其他如人造花崗石材料、磚瓦原料、塑膠混凝土澆鑄材料及填海造陸替代物等技術都在研發進行中。針對現行國外利用情形較普遍之資源化技術，茲評析比較如表 5.3-1 所示，各技術之優缺點及使用限制並分述如下：

(一) 路基回填料

使用廢鑄砂於路基回填料，較原有天然砂石填充料具有較佳之不透水性，同時可減少天然細粒料之使用量，並可以符合廢鑄砂資源化再利用之情形。惟使用廢鑄砂作為路基回填料再利用時，含水量須予以控制(一般約在 6%~15%)，同時填充料比例不宜過高，以免造成抗壓強度降低而產生碎化情形。

(二) 低強度高流動性混凝土細骨材替代物

使用廢鑄砂於低強度高流動性混凝土細骨材替代物，可以減少天然細骨材使用量，同時具有較高之彈性模量，可增強混凝土之穩定性及耐久性。因此廢鑄砂資源化再利用所產生之混凝土替代物，為一兼顧環境與經濟效益之產品。但由於廢鑄砂粒徑過細，僅能取代一部分砂石，同時混凝土對廢鑄砂品質要求較高，其回收前處理費用較為昂貴。

(三) 混凝土製品(預鑄管、人行磚、鋪面用材)之細骨材替代物

由於廢鑄砂具有潛在膠結反應性，能與水泥摻配，可增強混凝土之穩定性與耐久性。其低含水率、較高的彈性模量及較原使用天然細骨材之混凝土製品為輕等優點，為一符合經濟及應用性之產品。但由於廢鑄

砂粒徑過細，僅能取代一部分之天然砂石細骨材，同時混凝土製品對廢鑄砂品質要求較高及填充料比例不宜過高以免造成抗壓強度降低等因素，使得應用方面受到部份限制。

(四) 瀝青混凝土填充料或細骨材

與傳統之瀝青混凝土填充料或細骨材比較，具有高壓縮性、低透水性、並可降低原天然砂石細骨材或填充料用量等優點。惟需控制填充料比例及品質管制要求，以符合瀝青混凝土使用規範。

(五) 掩埋場覆土

以廢鑄砂作為掩埋場覆土方面，可以提高覆土之透水性、減少回填土用量及符合資源再利用等。但由於廢鑄砂之物化特性將可能影響掩埋場之復育計畫及地下水質，同時使用上須符合相關作業法規並做好品質管理方可進行應用，故廢鑄砂作為掩埋場覆土仍需加以評估。

表 5.3-1 廢鑄砂資源化技術評析比較⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

資源化技術	優點	缺點
路基回填料	<ol style="list-style-type: none"> 1. 具有較佳之不透性。 2. 符合資源再利用之情形。 3. 可以減少天然骨材之使用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 含水量須予以控制(不超過 6~15%)。 2. 比例不宜過高(不超過 15%)。 3. 抗壓強度較天然細骨材為低。
低強度高流動性混凝土細骨材替代物	<ol style="list-style-type: none"> 1. 符合資源再利用之情形。 2. 減少細骨材使用量。 3. 具有較高的彈性模量。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因粒徑過細、僅能取代一部份天然砂石(不超過 15%)。 2. 廢鑄砂品質要求較高。 3. 較易碎化且需依不同性質添加不同比例之砂石粒料。 4. 控制因子較複雜。
混凝土製品(預鑄管、人行磚、鋪面用材)之細骨材替代物	<ol style="list-style-type: none"> 1. 符合資源再利用之情形。 2. 較原製品輕。 3. 含水率較低。 4. 較高的彈性模量。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因粒徑過細，僅能取代一部份砂石(不超過 15%)。 2. 廢鑄砂品質要求較高。 3. 抗壓強度較低。
瀝青混凝土填充料或細骨材	<ol style="list-style-type: none"> 1. 與傳統瀝青混凝土差異不大。 2. 具有高壓縮性及較低透水性。 3. 降低填充料用量。 4. 符合資源再利用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因粒徑過細、僅能取代一部份砂石(不能超過 15%)。
掩埋場覆土	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可提高覆土之透水性。 2. 減少回填料用量。 3. 符合資源再利用情形。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 複雜之物化特性可能影響掩埋場復育計畫及地下水質。 2. 須符合相關環保法規之認可方可使用。 3. 須做好品質管理、控制。

第六章 廢鑄砂資源化技術效益評估範例

廢鑄砂資源化方式，與廢鑄砂來源、性質及經濟市場規模有極大的差異，有鑄砂供應商的直接回收、鑄造廠之自行回收利用及混凝土製造廠的資源再利用等。在第五章已介紹之五項資源化技術，各具有使用上之優缺點，惟業者於評估設置廢鑄砂資源化廠之際，需就技術成熟度、可行性及經濟效益評估綜合分析，故本章節以廢鑄砂作為混凝土細粒料為範例，介紹說明設立資源化廠該技術之評估要素、設備容量規劃及經濟效益評估，並搭配不同設廠規模估算其處理成本及設備回收期限，提供擬投入廢鑄砂資源化廠業者參考比較之用。

6.1 廢鑄砂資源化廠之先期規劃

6.1.1 廢鑄砂資源化廠前期評估

若擬建立廢鑄砂資源化回收廠，需針對以下重點進行評估：

一、廢鑄砂之來源、數量及成份穩定性

建立廢鑄砂資源化廠，首先需考慮重點為廢鑄砂之來源及產生數量。就成份而言，應注意廢鑄砂中化學添加劑、金屬及鹼度之成份；由於上述含量皆會影響廢鑄砂應用於混凝土之性質，故每批次進廠成份應儘量一致，必要時可適度混合調整，並加以分類、清洗、研磨、篩分，以降低資源化廠操作控制之變異性。

二、處理規模

依據國內廢鑄砂產生量及可收集量之調查，國內廢鑄砂產生量約為 150 萬公噸/年，若採分散處理，建議資源化廠之處理容量可設計在 6,000 公噸/月左右，待正常營運後，再視市場需求及回收效益，再進一步評估擴大處理量能之必要性，其設計處理流程，詳如圖 6.1.1-1 所示。

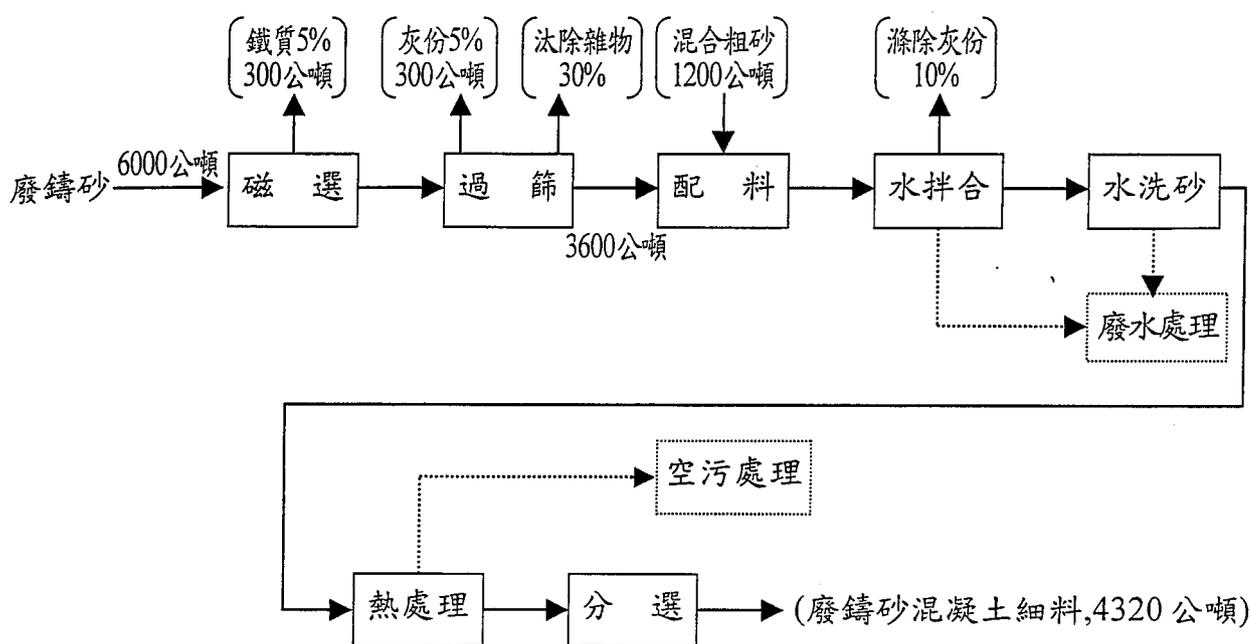


圖 6.1.1-1 廢鑄砂資源化處理流程

三、物料運輸成本

廢鑄砂集中回收處理，需要考慮鑄造業及回收廠之運輸成本是否經濟。建議初步規劃以 50 公里範圍內為服務區域，而每公噸廢鑄砂之平均運費應在 300 元上下，且此運輸費用必需列入廢鑄砂處理成本計算。

四、投資模式

廢鑄砂資源化廠投資模式，依法令規範、成立要件及資金來源可區分為公民營清除處理機構、共同清除處理機構及成立第二類代處理機構。

以公民營清除處理機構而言，係專以清除處理廢鑄砂為營業目的，並取得合理利潤；而共同清除處理機構，顧名思義由產生廢鑄砂之業者共同投資，或聯合有意願投資者(技術供應者為最佳)合作投資，其優點為未來較無廢鑄砂來源匱乏之困擾，缺點則為投資者眾多，經營政策較易產生歧見；至於第二類代處理機構，係指由個別產生源自行投資建廠，主要處理本廠之廢鑄砂，並利用設備尚有之餘裕處理容量，協助其它業者處理。其優點為可藉由協助其它業者處理廢鑄砂之收費效益，來提升處理廠之經濟效益；缺點為其它業者將考慮委託處理費用是否合乎其經營成本，進而決定是否委託處理，因而造成廢鑄砂來源不穩定。

五、資源化產品市場

針對廢鑄砂資源化產品出路，依其再利用方式不同，可分為鑄砂供應商自行回收、鑄造廠經回收處理後再行利用及送至廢鑄砂資源化廠處理後，所產生之細骨材替代料等產品，可供應給混凝土廠、瀝青拌合廠及相關原料工廠使用，就市場需求而言，只要價格合理，應無滯銷之虞。

6.1.2 廢鑄砂資源化回收廠設備規格

一、設備單元

廢鑄砂資源化回收廠設備單元包括進料系統、反應系統、電力供應系統及整廠儀錶監控系統等設備。其各系統所含之主要設備單元如下：

(一) 進料系統

包括輸送機、進料泵等設備。

(二) 反應系統

包括磁選機、研磨機、洗砂機、乾燥爐、震動篩、攪拌機等。

(三) 電力供應系統

包括柴油發電機組、不斷電系統、配電盤等。

(四) 整廠儀錶監控系統

包括溫度、壓力閥件等控制元件。

二、設備清單

廢鑄砂資源化回收廠之設備規格規劃，主要為輸送系統、反應系統及儀錶監控系統等，其規劃考量重點如下：

(一) 輸送系統

各輸送機主要以處理量為設計馬力之考量。

(二) 反應系統

包括磁選機、研磨機、攪拌機、洗砂機、乾燥爐及震動篩等，亦依據其處理量來設計。

(三) 管件

管件之管徑大小是以輸送量作為選擇依據。

(四) 儀錶

儀錶控制係以操作方便為主要考慮因素。

有關廢鑄砂各設備單元清單如表 6.1.2-1 所示。

表 6.1.2-1 廢鑄砂資源化回收廠設備清單

編號	設備名稱	規格	動力	數量	功能說明	備註
1	皮帶輸送機	660W×6097L	1hp	1	輸送廢鑄砂	
2	雙向皮帶輸送機	660W×9146L	1hp	1	輸送廢鑄砂	
3	研磨機	φ1000×700H	3hp	2	研磨廢鑄砂	
4	皮帶輸送機	660W×9900L	1hp	1	輸送廢鑄砂	
5	雙向皮帶輸送機	660W×1900L	1hp	1	輸送廢鑄砂	
6	攪拌機	990W×1485H× 1980L	5hp	1	使混凝土細骨 材混合均勻	
7	磁選機		3hp	1	去除鐵類雜質	
8	洗砂機		1hp	2	去除廢鑄砂化 學雜質	
9	乾燥爐			2	去除廢鑄砂樹 脂成份	
10	震動篩		3hp	2	篩分骨材	
11	製品成型區天車			1	儲存成品	

6.2 資源化廠效益評估範例

6.2.1 資源化廠設置經費概算

以每日處理廢鑄砂量 240 公噸，每月工作 25 天，亦即每月處理量 6,000 公噸為計算基準，其經濟效益分析考量項目包括初設成本、每年操作維護成本、設備折舊費及廢鑄砂代處理費等，而各項工程概算說明如下，詳如表 6.2.1-1 所示：

一、初設成本：12,000,000 元

(一) 土建工程：5,000,000 元

(二) 機電設備：6,000,000 元

(三) 工程管理費：1,000,000 元

二、每年操作維護成本：26,444,000 元/年

包括人事及管銷費、維護保養費、水電費及運費。

(一) 人事及管銷費：3,080,000 元/年

1. 人事費單價：40,000 元/人月×14 月/年=560,000 元/人年

2. 管銷費單價：以人事費的 10% 估算為 56,000 元/人年

3. 人事及管銷費合計

$(560,000 + 56,000) \text{元/人年} \times 5 \text{人} = 616,000 \text{元/人年} \times 5 \text{人} = 3,080,000 \text{元/年}$

(二) 維護保養費：1,200,000 元/年

以初設成本之 10% 估算，為 1,200,000 元/年

(三) 水電費：564,000 元/年

(四) 廢鑄砂運費：300 元/噸×6,000 噸/月×12 月/年=21,600,000 元/年

三、每年節省回收費用：29,376,000 元/年

(一) 細粒料收益：細粒料控制率為廢鑄砂處理量之 72%， $6,000 \times 72\% = 4,320$ ， $4,320 \text{公噸/月} \times 150 \text{元/公噸} \times 12 \text{月/年} = 7,776,000 \text{元/年}$

(二) 廢鑄砂代處理費： $6,000 \text{公噸/月} \times 300 \text{元/公噸} \times 12 \text{月/年} = 21,600,000 \text{元/年}$

四、設備折舊費：1,788,000 元/年

(一) 設備投資還原因子(CRF) = $i(1+i)^n / (1+i)^n - 1 = 0.149$
 $i(\text{年利率}) = 8\%$ ， $n(\text{設備使用年限}) = 10 \text{年}$

(二) 設備折舊費 = 初設成本 × 設備投資還原因子
 $= 12,000,000 \text{元} \times 0.149 = 1,788,000 \text{元}$

表 6.2.1-1 資源化廠之投資效益分析

項次	項 目	費 用	說 明
初設成本	1. 土建工程	5,000,000	設計量以 6,000 公噸/月
	2. 機電設備	6,000,000	
	3. 工程管理費	1,000,000	
	小計	12,000,000	
每年操作維護成本	1. 人事及管銷費	3,080,000	以初設成本 10% 來估算
	2. 維護保養費	1,200,000	
	3. 水電費	564,000	
	4. 廢鑄砂運費	21,600,000	
	小計	26,444,000	
回收費用 每年節省	1. 細粒料收益	7,776,000	
	2. 廢鑄砂代處理費	21,600,000	
	小計	29,376,000	
設備折舊	設備投資還原因子(CRF)	0.149	
	設備折舊費	1,788,000	以初設成本×CRF
均化值	均化係數	1.1712	
	均化年操作維護費	30,971,213	
	均化年節省回收費	34,405,171	
	均化年淨效益	3,433,958	
投資效益	益本比	1.1	
	現值因子	3.5	
	投資報酬率	26%	
	投資回收年限	4.3	
處理成本	每年細粒料收益	7,776,000	
	固定成本	1,788,000	
	營運成本	18,668,000	
	小計	20,456,000	
	每公噸處理成本	284	

五、均化值估算

- (一) 均化係數 = $i[(1+i)^n - (1+e)^n] / (i-e)[(1+i)^n - 1] = 1.1712$
i(年利率)=8%，e(物價上漲率)=4%，n(設備使用年限)=10年
- (二) 均化年操作維護費 = 操作維護費 × 均化係數
= 26,444,000 元 × 1.1712 = 30,971,213 元
- (三) 均化年節省回收費 = 每年節省回收費 × 均化係數
= 29,376,000 元 × 1.1712 = 34,405,171 元
- (四) 均化年淨效益 = 均化年節省回收費 - 均化年操作維護費
= 34,405,171 元 - 30,971,213 元 = 3,433,958 元

六、投資效益

- (一) 益本比 = 均化年節省回收費 ÷ (設備折舊費 + 均化年操作維護費)
= 34,405,171 元 ÷ (1,788,000 元 + 30,971,213 元) = 1.1
- (二) 現值因子 = 初設成本 ÷ 均化年節省回收費
= 12,000,000 元 ÷ 34,405,171 元 = 3.5
- (三) 投資報酬率 F
現值因子 = $(1+F)^n - 1 / F(1+F)^n$ ，n(設備使用年限)=10年
投資報酬率 F = 26%
- (四) 投資回收年限 $N = \ln[A / (A - P \times i)] / \ln(1+i)$
A = 均化年淨效益 = 3,433,958 元，P = 初設成本 = 12,000,000 元，i(利率) = 8%
投資回收年限 N = 4.3 年

在進行投資效率分析前，必須將初設成本於一假設之設備使用年限內分年攤提，即考量年利率計算設備折舊費；此外，每年操作維護費及每年節省回收費，則於考量年利率、物價上漲率及設備使用年限等因子加以均化。

各方案之益本比為「均化年節省回收費 ÷ (設備折舊費 + 均化年操作維護費)」，計算所得之資源化廠之益本比為 1.1 大於 1，顯示年節省回收大於年成本，就整體效益而言，資源化廠是符合經濟效益的。

計算資源化廠之投資報酬率為 26%，大於本分析所假設之綜合年利率，投資回收年限為 4.3 年。

七、處理成本計算

處理成本計算項目包括固定成本及營運成本，固定成本即為考量綜合年利率，將初設成本於預計使用年限內計算分年攤提之設備折舊費，營運成本則為每年操作維護費支出扣除細粒料收益淨值；詳細計算結果得知，資源化廠每公噸之處理成本為 284 元。

計算說明如下：

(一) 每年細粒料收益 = 7,776,000 元

(二) 固定成本 = 設備折舊費 = 1,788,000

(三) 營運成本 = 每年操作維護費 - 每年細粒料收益
= 26,444,000 元 - 7,776,000 元 = 18,668,000 元

(四) 每公噸處理成本 = (固定成本 + 營運成本) ÷ 設計處理容量
設計處理容量 = 6,000 公噸/月 × 12 月/年 = 72,000 公噸/年
處理成本 = 284 元/公噸

6.2.2 不同設廠規模之投資方案分析

本小節另採用月處理量 24,000 公噸之設廠方案，以相同方式來分析估算其單位處理成本、投資報酬率及設備回收期限等，提供於達一定市場規模後，相關業者評估是否需進一步擴廠計畫之參考比較。

與 6.2.1 小節採用之月處理量 6,000 公噸之設廠方案相比，主要差異在於本方案有較高之初設成本，此外，與處理量相關之參數：如水電、資材費等亦隨之變更；至於計算所用之綜合年利率、物價上漲率與設備使用年限等假設條件則維持不變，其相關分析結果如表 6.2.2-1 所示。

表 6.2.2-1 不同設廠規模資源化廠之投資效益分析

項次	項 目	費 用	說 明
初設成本	1. 土建工程	20,000,000	月處理量 24,000 公噸
	2. 機電設備	25,000,000	
	3. 工程管理費	5,000,000	
	小計	50,000,000	
每年操作維護成本	1. 人事及管銷費	7,392,000	616,000 元/人年，以 12 人來估算
	2. 維護保養費	5,000,000	以初設成本 10% 來估算
	3. 水電費	2,280,000	
	4. 廢鑄砂運費	86,400,000	
	小計	101,072,000	
回收費用節省	1. 細粒料收益	31,104,000	
	2. 廢鑄砂代處理費	86,400,000	
	小計	117,504,000	
設備折舊	設備投資還原因子(CRF)	0.149	
	設備折舊費	7,450,000	以初設成本 × CRF
均化值	均化係數	1.1712	
	均化年操作維護費	118,375,526	
	均化年節省回收費	137,620,685	
	均化年淨效益	19,245,159	
投資效益	益本比	1.1	
	現值因子	2.6	
	投資報酬率	37%	
	投資回收年限	3.0	
處理成本	每年細粒料收益	31,104,000	
	固定成本	7,450,000	
	營運成本	69,968,000	
	小計	77,418,000	
	每公噸處理成本	269	

為便於將估算結果進行比較，彙整兩案之益本比、投資報酬率、投資回收年限及每公噸處理成本如表 6.2.2-2；兩種設廠規模計算所得之益本比皆為 1.1 均大於 1，顯示年節省回收大於年成本，就整體效益而言，兩種方案均值得開發投資。

至於投資報酬率分別為 26% 及 37%，均大於本分析所假設之綜合年利率(8%)，設備回收年限則分別為 4.3 及 3.0 年，在處理成本計算上，月處理量 6,000 公噸規模之單位處理成本為 284 元，將處理量提昇至每月 24,000 公噸，則可使單位處理成本降為 269 元，降低了 5%，。

綜合而論，處理規模越大，單位處理成本越低，但並非增大處理容量即可獲得較高利潤；若回收方案之細粒料收益及節省代清除處理費用有所改變時，將會影響資源化廠之投資報酬率及回收年限，故資源化產品之市場通路及代清除處理費用，在設廠規劃時均需廣泛蒐集背景資料審慎評估，以使投資方案可落於最佳經濟效益之處。

表 6.2.2-2 不同設廠方案之經濟效益比較一覽表

項 目	甲方案	乙方案
處理容量(公噸/月)	6,000	24,000
益本比	1.1	1.1
投資報酬率	26%	37%
投資回收年限	4.3	3.0
每公噸處理成本	284	269

6.3 提高廢鑄砂資源化應用業者應配合注意事項

就資源回收循環利用之考量，廢鑄砂仍是具有再利用價值之資源，而現今工程技術的成熟度及回收設備之高度商業化，亦為廢鑄砂回收提供強而有力的後盾，然各鑄造廠所產生之廢鑄砂仍有相當程度之差異，對於鑄造廠而言，如何有效控制廢鑄砂之特性及組成並有效維持衡定，以符合資源化廠之進廠需求，將成為左右資源化產品效益高低之關鍵，以下根據各考量要點逐項說明業者應配合注意事項。

一、瞭解廢鑄砂性質及組成

廢鑄砂之特性、組成、所含化學添加劑、金屬及鹼度成份，與資源回收成效具有高度的相關性，若朝資源化廠進廠回收方式規劃，首要步驟即是瞭解廢鑄砂性質及組成。而清查與建立之資料項目至少應包含廢棄量、廢棄頻率、廢鑄砂物理性質、化學性質、金屬、鹼度及化學添加劑成份等。

二、維持廢鑄砂產源及性質衡定

若廢鑄砂之產生數量、頻率不定，或其性質及組成歧異度過高，對於資源化廠之利用往往造成極大的困擾，因此資源化廠應以導入全面品質管理方式及觀念，符合 ISO 14000 系列之品質保證制度，建立標準化作業程序及紀錄表單，控制並維持廢鑄砂產源及性質衡定，則可將影響資源化利用之不確定因素降至最低，以利資源化廠之後續處理，並符合資源化廠進廠品質要求規定。以下就廢鑄砂資源利用之品質管理與檢驗，說明如下：

(一) 品質管理

廢鑄砂之性質，受鑄造方法及製程不同而有所影響，尤其廢鑄砂所含之不同化學添加劑將會影響資源化產品的成效，因此須採行全面品質管理方式，建立廢鑄砂出廠前處理程序及相關管制措施，以確保其廢鑄砂性質穩定，符合資源化廠進廠品質要求，相關管制措施如下：

1. 添加劑之管制

鑄造製程中所加入之化學添加劑需建立記錄及管制，以利資源化廠後續處理之參考。

2. 廢鑄砂排放

定期查驗或抽檢並做成記錄。

3. 倉儲管制

- (1) 不同製程產生之廢鑄砂應分區貯存。
- (2) 定期查驗及抽檢，確保廢鑄砂性質一致。
- (3) 應建立庫存進出管制記錄。

(二) 品質檢驗

各鑄造廠應定期對製程中所產生之廢鑄砂自行品質檢驗並作成紀錄，以提供資源化廠使用之參考，並確保其符合進廠品質要求。相關品質檢驗項目如下：

1. 採樣法

以合理之抽樣方法採取需要量之試樣。

2. 化學成份含量分析

依 CNS 624「耐火材料及原料化學分析法」分析 pH、含水量及化學成份含量，做為廢鑄砂品質建立之參考依據。

3. 物理性質分析

分析比重、吸水率、健性試驗及之含量分析，提供資源化廠參考。

參考文獻

1. 馬寧元，鑄造廠鑄砂回收之探討，工業污染防治第 58 期，民國 85 年 4 月。
2. 廢鑄砂資源化再利用技術評析－專題報導，事業廢棄物回收再利用速報第 27 期，行政院環保署，民國 89 年 10 月。
3. 工業污染防治技術服務計畫－資源化工業輔導計畫八十八年下半年及八十九年度成果報告，經濟部工業局，民國 89 年 11 月。
4. 馬寧元、尤崑彬、劉文海、林崇田、張萬權，鑄造工業污染防治技術集彙，中華民國鑄造學會，金屬工業發展中心污染防治計畫，民國 78 年 7 月。
5. Wisconsin DOT (1997), "Flowable Fill as Bridge Abutment Backfill, Interim Report", Project B-59-66 and B-59-165.
6. "Field Demonstration of a Highway Embankment Using Waste Foundry Sand." M. Sc. Thesis, Purdue University, Purdue, In. Mast G. (1997).
7. Tarek Abichou, Craig H. Benson, and Tuncer B. Edil "Beneficial Reuse of Foundry Sands in Construction of Hydraulic Barrier Layers" Environmental Geotechnics Report 98-2, March 1998.
8. 卓照明，鑄造廠廢棄物管理問題及利用技術探討，民國 89 年。
9. Javed S, C Lovell and L Wood, "Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete", Transport Research Record ASTM STP 1437 PP 27-34.
10. 中華民國鑄造學會鑄工季刊 22 期，民國 68 年 9 月。
11. 金屬鑄造原理，中華民國鑄造學會技術資料，P.86。
12. 蔡全華譯，鑄鐵之砂模鑄造法，中華民國鑄造學會，民國 79 年 4 月。
13. 許廷珪，鑄造技術入門，中華民國鑄造學會，民國 71 年 12 月。
14. 潘國桐譯，鑄造技術集彙，中華民國鑄造學會，民國 77 年 8 月。
15. 楊榮顯譯，濕模砂的管理，中華民國鑄造學會，民國 80 年 5 月。
16. 賴瑞訓、林文謙、翁世樂、吳賢三、高嘉鴻，鑄砂技術之基礎，中華民國鑄

造學會，民國 64 年 12 月。

17. 蘇村田譯，有機自硬性造模技術與設備，中華民國鑄造學會，民國 71 年 5 月。
18. 銑鐵鑄物業之產業廢棄物有效利用調查研究報告書，日本鑄物工業物，平成 2 年 2 月。