

石材加工業資源化應用技術手冊

財團法人台灣綠色生產力基金會

中華民國九十四年七月

序

我國石材工業發展迄今已有四十多年的歷史，為台灣東部地區特有的產業，同時，在產能上亦曾為僅次於義大利的第二石材加工王國，近年來均位居全世界石材工業前五大國之列。由於石材原石在石材加工製造過程中會產出石材污泥及石材廢料，且數量相當龐大，已是石材業公認為亟待解決的問題之一。為妥善解決廢棄物處理問題，因應全球永續發展的趨勢，對於石材加工業而言，推動污染防治與廢棄物資源化是石材加工業邁向國際化與永續經營的重要措施之一。

有鑑於此，本局特委託台灣綠色生產力基金會廣泛蒐集國內外相關資源化技術資料，並彙整編印成冊。本手冊內容共分七章，分別針對「產業概況」、「廢棄物特性與清理現況」、「清潔生產」、「廢棄物資源化技術」、「技術評估與設備選用程序」等面向進行探討說明，並將各類廢棄物資源化之實際執行情形彙整成「廢棄物資源化案例」，冀能提供相關業者從中汲取經驗，並作為學術研究單位及相關工程業界研究開發之參考，俾利共同促進該產業廢棄物資源化技術之落實與應用，進以開創資源永續利用。

本手冊編撰過程，感謝石材工業發展中心郭志成博士、黃耐仁組長、台灣產業服務基金會陳文輝副總經理及台灣科技大學化學工程研究所王文裕先生參與資料蒐集及編撰；台北科技大學材料及資源工程系陳志恆教授、工業技術研究院環安中心廖錦聰顧問，以及石材工業發展中心蘭超俊博士之審訂，使本手冊得以付梓。由於時間匆促，且實務資料之蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈各界不吝指正。

經濟部工業局 謹識

中華民國九十四年七月

目 錄

第一章 前言	1
1.1 緣起	1
1.2 技術手冊內容說明	1
第二章 產業概況.....	3
2.1 產業現況	3
2.2 製程概述	9
第三章 廢棄物特性與清理現況	11
3.1 廢棄物來源及特性	11
3.2 廢棄物產生量及清理現況	17
第四章 清潔生產.....	21
4.1 環境化設計	22
4.2 廠內管理	30
第五章 廢棄物資源化技術	43
5.1 石材污泥資源化技術	45
5.2 石材廢料資源化技術	54
第六章 技術評估與設備選用程序	58
6.1 資源化技術評估流程	58
6.2 資源化設備選用程序	60

6.3 資源化成本分析	67
第七章 廢棄物資源化案例	72
7.1 石材污泥資源化案例	72
7.2 石材廢料資源化案例	89
名詞解釋.....	92
參考文獻.....	95

圖 目 錄

圖 2.1 我國石材工業產業結構	4
圖 2.2 石材加工廠一次及二次加工製造流程	9
圖 2.3 石材異型加工作業流程	10
圖 4.1 石材加工業廢棄物資源化處理方式	40
圖 4.2 鋼砂分離設備示意圖	41
圖 5.1 花崗石污泥再利用於水泥製程圖	46
圖 5.2 澆置固化法流程圖	47
圖 5.3 高壓成型固化法流程圖	48
圖 5.4 路拌固化法流程圖	48
圖 5.5 高壓蒸汽法流程圖	50
圖 5.6 常壓溶液法流程圖	51
圖 5.7 膨脹燒結法流程圖	52
圖 5.8 玻化燒結法流程圖	53
圖 5.9 人造花崗石製造流程圖	54
圖 5.10 磨石子地磚製造流程圖	55
圖 5.11 人造大理石製造流程圖	56
圖 5.12 蛇紋石廢料製備熔磷鎂肥流程圖	57
圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程	59
圖 6.2 資源化設備評估流程	61
圖 7.1 A 校籃球場固化工程設計斷面圖	74
圖 7.2 A 校籃球場施工流程圖	75
圖 7.3 石材污泥路拌固化工程—籃球場	77

圖 7.4 化仁海岸原貌	78
圖 7.5 化仁海堤設計斷面圖	80
圖 7.6 土工織物鋪設	82
圖 7.7 固化劑散布於石材污泥表面	82
圖 7.8 耕耘機來回混拌花崗石污泥和固化劑	83
圖 7.9 挖土機來回壓實固化層	83
圖 7.10 固化劑散布於石材污泥表面	85
圖 7.11 花崗石污泥固化再生的人工魚礁	86
圖 7.12 花崗石污泥固化再生的人工魚礁支撐架	87
圖 7.13 D 廠熔磷鎂肥料製造流程.....	91

表 目 錄

表 2.1 石材產業相關統計數據	5
表 2.2 我國石材加工業工廠分布	6
表 2.3 92 年台灣石材工業在世界的排名	6
表 2.4 台灣石材工業之競爭力分析	8
表 3.1 石材加工業製程廢棄物產生源與種類	12
表 3.2 花崗石污泥毒性特性溶出試驗結果	13
表 3.3 各類石材廢料之化學成分分析	14
表 3.4 各類石材加工產出之污泥化學成分分析	15
表 3.5 石材加工廢棄物（石材污泥）的粒徑分布	16
表 3.6 石材加工業廢棄物清理及再利用現況	18
表 3.7 石材加工業主要廢棄物清理及再利用申報量	18
表 3.8 國內石材加工業廢棄物再利用機構	19
表 5.1 石材廢棄物再利用技術評估表	43

第一章 前言

1.1 緣起

「石材加工業」係指自然岩石經由切割、雕刻或研磨等加工過程，使原石成為石材成品或半成品之工業。石材材料種類包括花崗石、大理石及蛇紋石等天然原石，而以花崗石之需求量最大，主要產品包括建築材料、飾品及雕刻品等，年產值近 400 億元。我國石材產業占全球石材供應鏈及經濟發展極重要之地位，目前已成為世界石材貿易市場之重要國家。

自 50 年代於花蓮成立榮民大理石加工廠開始，台灣地區之石材加工業即以花蓮為中心，逐漸發展成為區域性之特殊行業，並為花蓮地區主要之經濟基礎。石材加工業於大理石、花崗石等天然原石於切割、裁邊、研磨、拋光與廢水處理過程將產出石材污泥與石材廢料，廢棄物成分組成與原石相似，極具資源化之經濟價值或潛力，且產出量非常龐大，惟因花蓮地區土地廣闊，掩埋處理成本低廉，或因資源再生產品之市場行銷不佳，造成石材污泥或石材廢料之資源化處理數量有限，是石材業者最感頭痛的問題。而其是否妥善處理及再利用，常關係著石材業者整體營運績效，且隨著全球環保意識高漲及資源永續利用之推行，環境保護工作已為產業發展必要趨勢，故該產業之廢棄物減量、製程減廢，以及其廢棄物之資源回收與再利用，實為該產業發展之重要課題。

經濟部工業局為維護產業及環境保護之平衡發展，針對石材加工業進行廢棄物資源化技術手冊編撰工作，希望能提升石材業者對清潔生產與廢棄物資源化專業技術之認知，以提高再利用業者對石材業廢棄物回收再利用意願，進而增進產業整體之環境績效，達到經濟與環保相輔相成之目的。

1.2 技術手冊內容說明

本手冊將針對國內外石材加工製程廢棄物資源化技術及案例進行彙集，並進一步推廣資源化技術，邁向永續發展路程。手冊共分七章，概要說明如下：

第一章：說明本手冊編撰緣由，以及內容中所涉及之石材加工產業範圍及各章節內容。

第二章：介紹石材加工產業範圍及其分類，以及該產業發展現況，並針對石材加工製程進行扼要說明。

第三章：針對石材加工製程之廢棄物來源、特性及產生量，以及主要廢棄物之清理現況進行介紹。

第四章：以廠內管理及環境化設計觀點，敘述該產業於產品設計及生產活動過程之污染預防策略。

第五章：針對適用於該產業之國內外較成熟且較具效益之資源化技術進行探討說明。

第六章：提供資源化技術評估流程、購置資源化設備之選用程序及成本分析之要項，供業者選用資源化技術與設備之參考。

第七章：彙集實際執行之各項廢棄物資源化案例，提供各資源化技術運作情形，以達推廣執行資源化工作之概念。

第二章 產業概況

2.1 產業現況

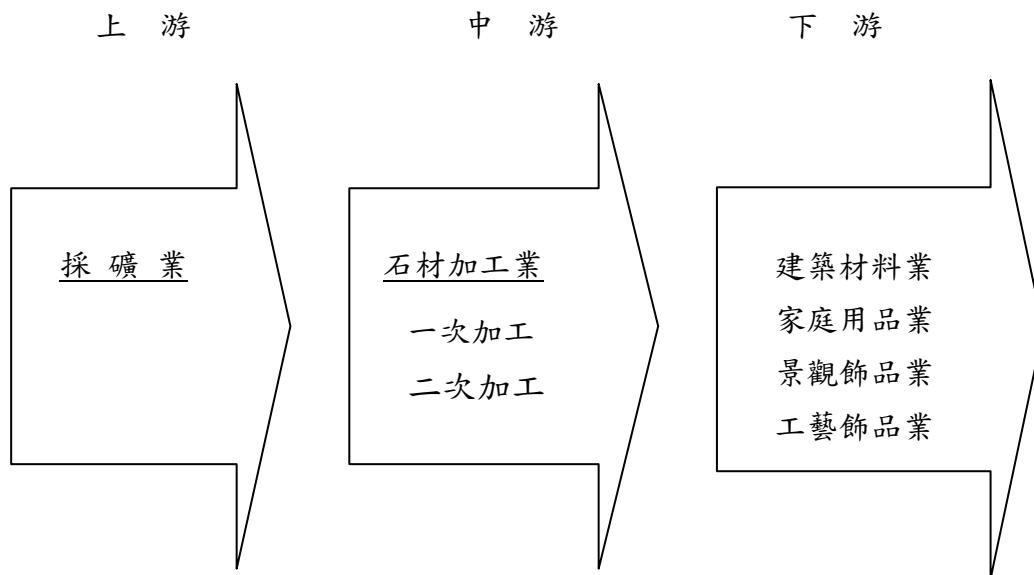
台灣地區石材工業之發展迄今已有四十餘年的歷史，在業者積極經營及政府大力輔導之下，不但已經成為台灣東部地區特有產業，同時，在產能上亦成為僅次於義大利的第二石材加工王國。台灣石材工業曾有每年總產值約新台幣 400 億元左右之紀錄。近年來，受到大陸市場開放政策的衝擊，影響台灣石材工業在國際上的競爭力。為解決此窘境，在政府大力促進產業升級、確實落實台灣東部特有產業發展的前提下，石材工業成為政府實施產業東移政策下的一個重要工業。

目前臺灣的石材資源大多數仰賴國外進口，其中花崗石原石 100% 來自國外，大理石原石也有 70% 從國外進口，而且比重逐年增加。雖然臺灣的石材工業在世界市場占有一席之地，但面對來勢洶洶，石材資源豐富的大陸和東南亞等國家，實應提高警覺，在礦產資源的取得和加工技術的開發上積極努力，才能確保石材工業的明天。特別面對環保日受重視的臺灣，以及世界的環保趨勢，企業的可持續發展已無法脫離污染防治、減廢、資源再利用和綠色生產的範疇。為因應世界產業發展的趨勢，對於石材加工業而言，推動污染防治與廢棄物資源化是石材加工業邁向國際化與永續經營的重要措施之一。

2.1.1 產業範圍及產品種類

石材加工業係指自然岩石經由切割、雕刻或研磨等加工過程，使原石成為石材成品或半成品之工業。依據台灣區石礦製品工業同業公會之分類，石材工業範圍：包括上游的採礦業、中游的石材加工業（一次加工業、二次加工業）及下游—建築材料業、家庭用品業、景觀飾品業、工藝飾品業，我國石材工業產業結構如圖 2.1 所示。石材產品種類可區分為下列四種，依加工製品之不同而形成不同之業別，而以建築材料為大宗：

1. 建築材料：如壁材、地磚、欄階、樓梯板、異型加工品等。
2. 景觀飾品：如碑記、庭園飾品、墓碑、墓園造景材料等。
3. 家庭用品：如傢具、廚具、衛浴等。
4. 工藝飾品：如文具、擺飾、珍玩、雕刻品等。



資料來源：經濟部工業局，製造業發展策略與措施-石材工業，民國 88 年。

圖 2.1 我國石材工業產業結構

目前我國之石材仍以進口原石為主，再進行一次加工及二次加工作業，石材種類通常分為大理石、花崗石及蛇紋石等，美國國家標準 ASTM 則將石材（dimension stone）依岩性之不同分為六大類，分別為花崗岩類、綠色岩類、大理岩類、石灰岩類、砂岩類及板岩類。

2.1.2 石材加工業特色

台灣石材加工業自 50 年代萌芽以來，歷經四十餘年辛勤經營，已成為世界石材貿易市場的重要國家之一。整體而言，台灣的石材加工業之特色包含：(1) 中小型企業居多；(2) 原石進口依存度高，大理石原石約 70% 依賴進口，而花崗石則百分之百仰賴進口；(3) 加工廠家大部分集中於東部；(4) 有轉向外銷市場的趨勢。

2.1.3 石材產業概況

92 年國內經濟及建築業景氣雖有復甦跡象，但因石材製品之景氣約落後建築

業兩年，故石材內銷市場仍持續低迷，不過自 92 年底起產業接單狀況已逐漸好轉。為追求成長、分散風險，石材業界部分業者積極轉向拓展外銷，目前國內石材產品約有 19% 以上外銷量。另外石材業有多家業者為求業績成長，積極採取品質提升策略，改善工廠管理，且石材業者在石材工業發展中心協助下，合作研發生產技術，提升競爭力，遠赴義大利、美國、日本、德國等地區拓展外銷市場。

1. 石材產業相關統計數據

石材產業之家數、從業人員、產值及內外銷情形如表 2.1 所示。

表 2.1 石材產業相關統計數據

項目	數量	石材業內外銷量
廠商家數 ¹ (家)	127	內外銷比率 81 : 19
從業人員數 (千人)	8	出口值 新台幣 19 億元 進口值 新台幣 45 億元
產值 (新台幣億元)	200	出口量 3.7 萬公噸 進口量 129.7 萬公噸

註 1：廠商家數係尚在生產花崗石、大理石及蛇紋石相關產品之石材加工廠。

資料來源：1.海關進出口貿易 2003 年統計資料

2.經濟部統計處編印「工業生產統計月報」

3.財團法人石材工業發展中心

4.台灣區石礦製品工業同業公會

5.經濟部工業局「工廠登記資訊系統」

2. 工廠分布

依據經濟部工業局「工廠登記資訊系統」之工廠資料顯示，目前國內尚在生產花崗石、大理石及蛇紋石相關產品之石材加工廠計 127 家（如表 2.2），其中 85% 以上之工廠（111 家）位於花蓮縣內，主要與原石產源及運輸成本考量有關。我國石材加工廠多屬中小企業規模，由於天然石材缺乏，故原石進口依存度高，且產品仍以內銷市場為主。

表 2.2 我國石材加工業工廠分布

區域	縣市別	工廠家數（家）
東部	花蓮縣	111
北部	台北縣	7
	宜蘭縣	1
中部	台中縣	1
南部	嘉義縣	3
	台南縣	4
合 計		127

資料來源：經濟部工業局「工廠登記資訊系統」，93 年 2 月。

3.台灣石材業在國際市場所占的份量

依據 92 年統計資料顯示，台灣石材業的石材進口量、石材平均消耗量及石材機械出口量於世界石材業排名均在前 10 名之內（詳見表 2.3）。

表 2.3 92 年台灣石材工業在世界的排名

國家 項目	名次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
進口石材		中國大陸	義大利	美國	德國	日本	南韓	台灣	西班牙	法國	比利時
石材消耗量		中國大陸	義大利	美國	西班牙	印度	南韓	日本	德國	法國	台灣
石材機械出口量		義大利	美國	德國	中國大陸	瑞士	西班牙	台灣	日本	南韓	比利時
石材機械進口量		中國大陸	美國	南韓	西班牙	德國	印度	法國	台灣	葡萄牙	比利時

資料來源：STONE 2004。

2.1.4 供需現況

1.本地產石材原石方面

台灣本地石材原石供應，由於國人環保意識日益抬頭，水土保持及環境景觀要求日多之影響，導致開採日益困難，故台灣原石供應約 90%以上需仰賴進口。

2.進口石材原石方面

(1)大理石原石：由於國內石材工業轉向大理石發展，大理石原石進口量年年增加。92 年大理石原石進口量為 146,720 公噸，比 91 年之進口量 104,661 公噸增加 42,059 公噸，增加約 40.19%。主要進口國土耳其(21.85%)仍為第一位，中國大陸(14.82%)躍居第二位，越南(14.13%)躍居第三位，義大利(13.92%)由 91 年第二位降至第四位。

(2)花崗石原石：92 年進口量 630,641 公噸，比 91 年總進口量為 1,032,574 公噸減少 401,933 公噸。主要進口國仍為中國大陸(48.87%)，另外，印度(26.17%)、巴西(10.78%)是大陸地區之外的主要進口國家。

3.石材製品產銷情況

石材業於 83 年至 88 年為整體產業之巔峰期，之後產業即逐漸萎縮，且因市場競爭激烈導致許多石材廠因而停業，據石材業界以機器產值估算，92 年產值應有 200 億元左右。台灣石材業產品銷售仍以國內市場為主，惟因建築業蕭條導致國內市場需求降低，因面臨內銷困難，積極拓展外銷，又面臨他國低價競爭，外銷自 86 年後逐年下滑，92 年跌至 37,368 公噸，花崗石、大理石出口均以美國為主。

4.我國石材加工業之競爭力分析

分析目前我國石材加工業之競爭力現況如表 2.4，可作為石材產業永續經營之參考。

表 2.4 台灣石材工業之競爭力分析

優勢 (Strength)	弱勢 (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> * 具產業群聚效益，資訊、人才、技術易於交流 * 周邊支援產業已具基礎 * 長期投入石材產業所累積之經驗曲線效果 * 管理能力與調整彈性 * 整合華人地區資源與市場 * 專業機構石材中心之支援 	<ul style="list-style-type: none"> * 本地石礦資源供應不足，對進口石材依賴度高 * 過於依賴內需市場，對海外市場資訊掌握度低 * 石材應用面之設計、整合能力不足 * 近年業者設備更新不足，效率與品質恐不如新興競爭者
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
<ul style="list-style-type: none"> * 全球石材市場成長趨勢不變 * 全球石材普及率仍有成長空間 * 石材新資源、新應用可不斷開發 * 鄰近之中國大陸具全球最大之石材資源與市場 * 石材通路結構調整、貿易藩籬逐漸撤除，有利拓展出口 * 應用資訊科技可強化廠商管理能力 	<ul style="list-style-type: none"> * 中國大陸、土耳其、巴西等新興國家石礦資源豐沛、加工成本低廉，積極對外拓銷 * 面臨磁磚、人造石材、拋光石英磚等替代品之強大競爭 * 國內對中國大陸加工石材之進口管制終將解除

2.2 製程概述

一般石材加工方式概分為一次加工、二次加工和異型加工。一次加工以原石為原料，經過切割和研磨的流程，主要是展現石材的色彩、紋路和光澤；二次加工則是一次加工產品（光板）的應用，通常在研磨作業後附帶的裁切工作。燒和鑿屬於特殊加工，目的為呈現原石的粗獷特色。異型加工產品無形狀和規格的限制，完全依據客戶的需求，因此屬於多樣化的加工製程。對於花崗石而言，無論加工方式為一次、二次或異型加工，主要處理流程都是切割與研磨；對於裂紋頗多的大理石和蛇紋石，通常需要經過表面補膠處理，再進一步研磨作業。至於市面所見石材藝品和特殊建材製品，一般歸類於二次加工或異型加工，其使用的加工機械通常具有設計和控制機能。

一般石材加工廠一次及二次加工之製造流程如圖 2.2 所示，石材異型加工作業流程如圖 2.3 所示。

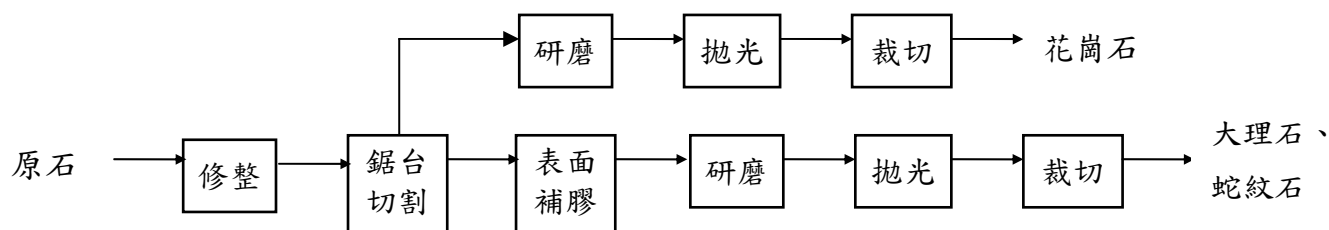


圖 2.2 石材加工廠一次及二次加工製造流程

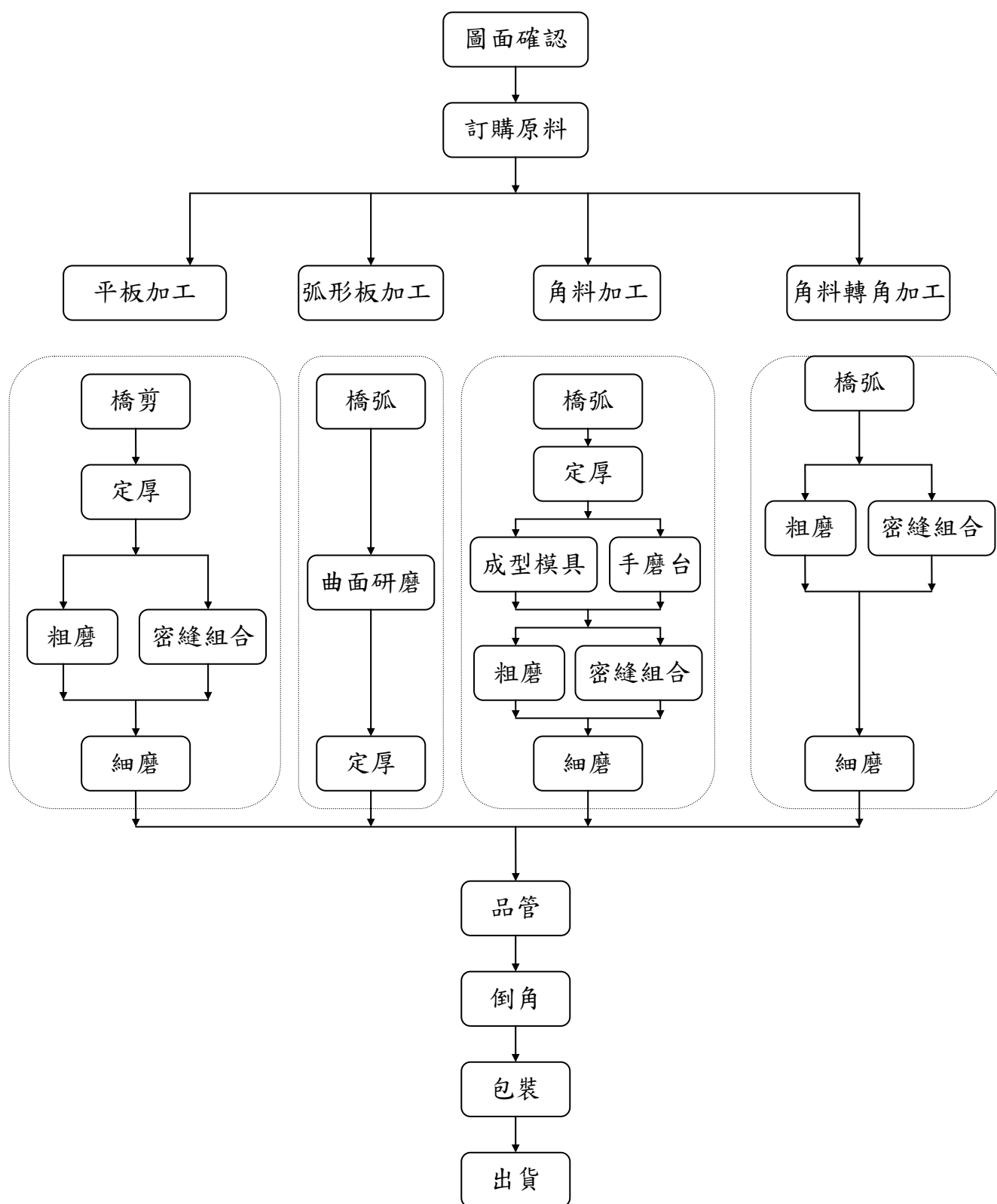


圖 2.3 石材異型加工作業流程

第三章 廢棄物特性與清理現況

3.1 廢棄物來源及特性

天然石材在切割、加工過程中會產生大量的含水污泥和碎石邊料等廢棄物。石材加工業的廢棄物來源主要來自加工過程產生的石屑，以致將近一半的原石變成石屑，而且加工過程中使用大量的冷卻水，造成加工後龐大的廢水和固體廢棄物問題。其中，因鋼砂拉鋸加工使用鋼砂和石灰，以致廢水的鹼度和固體懸浮粒子濃度相當高。

為節省用水量，目前石材加工業都採行加藥混凝和脫水的處理方式，回收處理後的廢水可再循環使用，但仍有部分業者採用處理效率較低的自然沈澱方式，這些業者有時因排放的廢水不符合環保法令而遭到取締和罰款。至於脫水後的石材污泥，則委由代清除業清運或再利用機構進行再利用。石材加工業的廢棄物與一般工業不同之處在於數量龐大，而且屬於一般事業廢棄物。

石材加工業的廢棄物為石材加工時產生的石材污泥、石材廢料，以及廢耗材（包括鋸片、鋼砂、研磨材等），其製程廢棄物產生源與種類如表 3.1。石材加工業主要廢棄物說明如下：

1. 石材污泥

石材污泥為石材加工廢水排放至廢水處理場，經過分離沉降、脫水後所產出之廢棄物。石材污泥之特性依原石種類及加工過程所添加之材料而有所不同，目前大理石及蛇紋石之切割機械主要為鑽石拉鋸機及十字剪（自動切割機），因切割過程並未添加任何輔助切割材料，故污泥成分與原石相近；花崗石之切割機械主要為鋼砂拉鋸機，因鋼砂拉鋸切割須添加鋼砂及石灰乳，故其所產生之花崗石污泥較十字剪製程產出者含較高之鐵及鈣成分，且鹼度偏高，為石材加工業中數量最龐大的污泥。

2. 石材廢料

石材廢料乃是石材加工過程所裁切之邊料及下腳料，其形狀可能為粉屑、片狀或塊狀，由於石材廢料係石材切割剩餘之邊料及下腳料，故其成分與原石相同。

3. 廢耗材

廢耗材係指原石加工過程所廢棄之加工耗材，如鋼砂、鋸片及磨石等。

由於原石在切割過程（鋼砂拉鋸）中添加大量鋼砂，這些鋼砂隨著泥漿的排放處理而成為污泥的一部分；廢鋸片為經切割機台使用後被磨損而汰換；磨石則為研磨過程所產出。

由於廢棄的鋸片可直接回收，且在業者致力降低加工耗材的成本下，廢棄的鋼砂和研磨材都有明顯的減少，唯獨產生的石材污泥，因受限於原石本身的結構，以及加工機械的性能與技術，向來都是石材加工業的主要廢棄物。

表 3.1 石材加工業製程廢棄物產生源與種類

製程單元	廢棄物類別
修整	石材廢料
鋸台切割	廢耗材（鋸片）
表面處理 （研磨、拋光等）	石材廢料、廢耗材（磨石）
裁切	石材廢料
廢水處理場	石材污泥（或鋼砂）

空氣污染源也是來自加工過程產生的石屑，只不過以粉塵形態存在，對於一般石材加工廠而言，因使用大量冷卻水，粉塵並不對操作人員構成威脅，但在少數異型加工的流程中，因為採用乾式研磨方式，粉塵變成亟待解決的勞工安全問題。目前石材加工業最嚴重的公害應為噪音，這是相當不易解決的問題，一般石材廠都要求操作人員戴耳塞，以減低噪音傷害。

廢棄物資源化技術奠定於廢棄物的特性，不同種類的廢棄物有不同的資源化技術，甚至微量的成分也可能導致不同的處理技術。一般論及廢棄物的特性時，通常包括物理性質和化學性質，對於石材加工廢棄物資源化技術而言，涵蓋的物理性質為粒徑分布、比重等，化學性質包括化學成分、礦物組成等，此外，因其為廢棄物，在進行資源化時，必須符合環保相關法規，例如廢棄物的來源、分類鑑定，產品的毒性分析等。

3.1.1 毒性特性溶出試驗

根據行政院環保署「有害事業廢棄物認定標準」規定，廢棄物進行資源化前，必須確認其為有害事業廢棄物，或是一般事業廢棄物，其判斷標準除依據廢棄物的來源與性質，通常基於毒性特性溶出試驗的結果。當毒性特性溶出試驗的測定值低於環保限制值時，事業廢棄物被認定為一般事業廢棄物，可採掩埋方式處理，若以資源化技術處理也較令人放心。

依照環保署的檢測標準，花崗石污泥經毒性特性溶出試驗結果列於表 3.2。

表 3.2 花崗石污泥毒性特性溶出試驗結果

溶出 重金屬離子	含量 (mg/L)	環保限制值 (mg/L)
總銅	0.003	15
總鉻	0.056	5
總鉛	0.267	5
總鎘	0.019	1

資料來源：經濟部八十八年度科技研究專案計畫—石材廢棄物資源化處理技術。

表 3.2 的結果顯示花崗石污泥的重金屬溶出量，明顯地，遠低於環保署有害事業廢棄物的認定限制值，所以花崗石污泥被視為一般事業廢棄物。

3.1.2 化學成分

石材加工廢棄物的化學成分與原石種類、加工機械和加工流程息息相關，甚至原石產地的不同，也造成廢棄物化學成分的差異。在石材加工廢棄物中，石材廢料乃是石材加工過程所裁切之邊料及下腳料，各類石材廢料之組成成分如表 3.3 所示，花崗石、大理石與蛇紋石廢料之主成分分別為二氧化矽、氧化鈣與氧化鎂。至於不同種類的石材污泥，其化學成分則非常複雜，因為在切割與研磨過程中，通常添加許多切磨材料，使得污泥的化學成分與原石大相逕庭，尤其是切割過程，其產生的污泥占總污泥量 99%，所以切割機械和材料的使用對污泥的化學成

分影響甚鉅。目前大理石和蛇紋石的切割機械為鑽石拉鋸和十字剪，因無任何的添加材料，其污泥的化學成分與原石相近；然而花崗石的切割機械為鋼砂拉鋸和十字剪，前者添加鋼砂和石灰，於是經由鋼砂拉鋸加工的花崗石，產生的污泥有較高的鐵和鈣。各類石材加工所產生的污泥，經由 X 光螢光分析儀測試，其化學成分如表 3.4 所示，其中花崗石污泥含有大量的二氧化矽，大理石污泥富含鈣，蛇紋石污泥則以鎂的化合物為主要化學成分。

表 3.3 各類石材廢料之化學成分分析

化學成分 石材種類	二氧化矽 (SiO ₂) (%)	三氧化二鋁 (Al ₂ O ₃) (%)	三氧化二鐵 (Fe ₂ O ₃) (%)	氧化鈣 (CaO) (%)	氧化鎂 (MgO) (%)
花崗石	45~68	10~21	1.1~7.2	1.2~8	0.8~10.9
大理石	0.11~0.64	0~0.3	0~0.7	50~55	1.1~6.5
蛇紋石	37~40	1.4~3.2	7.7~8.4	0.7~1.1	35.9~39.1

資料來源：「經濟部八十八年度科技研究專案計畫—石材廢棄物資源化處理技術」，財團法人石材工業發展中心，民國 88 年。

表 3.4 各類石材加工產出之污泥化學成分分析

化學成分 污泥種類	二氧化矽 (SiO ₂) (%)	三氧化二 鋁 (Al ₂ O ₃) (%)	三氧化二 鐵 (Fe ₂ O ₃) (%)	氧化鈣 (CaO) (%)	氧化鎂 (MgO) (%)	氧化鈉 (Na ₂ O) (%)	氧化鉀 (K ₂ O) (%)	燒失量 (%)
花崗石 (十字剪加工)	71.3	13.1	2.6	1.6	3.2	3.4	4.7	0.1
花崗石 (鋼砂拉鋸)	63.9	12.3	7.7	6.9	3.4	2.7	4.0	0.1
大理石	3.0	0.5	0.2	50.0	4.0	—	—	42.2
蛇紋石	38.1	2.0	8.1	1.0	37.1	—	—	14.2

資料來源：「石材廢棄物資源化處理技術」，財團法人石材工業發展中心，民國 88 年。

3.1.3 礦物組成

瞭解石材加工廢棄物的化學成分尚不足以確認資源化技術，因為加工過程屬於物理變化，基本上石材污泥的化學成分主要來自原石內的礦物組成，而且 X 光螢光分析儀只提供元素的測定，無法斷定化合物的種類，因此需要確認污泥的礦物組成。

花崗石的構成礦物為石英、長石和雲母，石材污泥除含這些礦物，使用鋼砂拉鋸加工產生的污泥還包含石灰和鋼砂。石英的化學成分為二氧化矽，長石是鋁、鉀和鈉的來源，鐵和鈣主要來自鋼砂和石灰。大理石的構成礦物為方解石，主要化學成分為碳酸鈣，故顯示的燒失量高達 42.2%，這是二氧化碳造成的。蛇紋石則為含鎂的矽酸鹽類，所以矽和鎂的含量較高。

3.1.4 粒徑分布

石材加工廢棄物（石材污泥）的粒徑分布因污泥種類有很大的差異，藉由雷射粒徑測粒儀的測定，其粒徑分布範圍、含量最多之粒徑列於表 3.5。

表 3.5 石材加工廢棄物（石材污泥）的粒徑分布

污泥種類	粒徑分布	
	分布範圍(μm)	含量最多之範圍(μm)
花崗石（十字剪加工）	0.5~120	10~20、50~60
花崗石（鋼砂拉鋸）	0.5~120	10~20、40~60
大理石	0.5~300	40~70
蛇紋石	0.5~90	5~10

從表 3.5 得知石材加工廢棄物（石材污泥）的粒徑分布與污泥種類有密切的關係，然而卻與原石的切割方式無關。

3.2 廢棄物產生量及清理現況

3.2.1 廢棄物產出量推估

石材加工業所產出的廢棄物以石材污泥及石材廢料為大宗。依據財團法人石材工業發展中心之推估方式估計，台灣石材加工業每年產生的石材污泥約為 37 萬公噸，石材廢料約為 9 萬公噸，合計每年約有 46 萬公噸之石材廢棄物產出。其估算方式如下：

1. 92 年台灣石材年產量約 12,000 萬才（每才面積=30cm×30cm，厚度為 2cm，密度約為 3g/cm³）
2. 鋼砂拉鋸/鑽石拉鋸切割鋸路約 0.7-0.9cm，研磨之磨去厚度為 0.1mm
每切割 1 才約產生石材污泥 $0.8\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 3\text{g/cm}^3 = 2.16\text{ kg/才}$
 $120,000,000\text{ 才/年} \times 2.16\text{ kg/才} = 259,200\text{ 公噸/年（乾基）}$
3. 若以污泥含水率約為 30% 估算石材污泥產生量
 $259,200\text{ 公噸/年} \div 70\% = 370,285\text{ 公噸/年}$
4. 石材廢料為切割邊料及下腳料，一般為製品重量之 10-20%
 $120,000,000\text{ 才/年} \times 5\text{ kg/才} \times 15\% = 90,000\text{ 公噸/年}$

3.2.2 廢棄物清理現況

石材加工業廢棄物清理及再利用情形如表 3.6 所示，經歸納分析顯示，石材污泥除以廠區堆置及委託掩埋處置外，回收再利用方式包括工程填地材料、水泥原料、鎂質肥料（蛇紋石）等；石材廢料回收再利用方式包括道路工程粒料、再製石材（板、磚、塊）原料、鎂質肥料（蛇紋石）、工程填地材料等；廢鋸片回收再利用方式為再生鋼鐵；石材污泥經鋼砂分離產出之廢鋼砂回收再利用方式為再生鋼鐵；廢磨石則仍以委託掩埋處置為主。

依據環保署事業廢棄物管制中心相關申報資料顯示（如表 3.7），由於業者上網申報時所填之廢棄物代碼並未統一，故部分石材業者亦選用污泥混合物（D-0999）與無機性污泥（D-0902）等廢棄物名稱申報其石材污泥之處理情形，全國石材污泥與石材廢料之上網申報量分別為 101,923 公噸/年與 16,420 公噸/年，申報率僅為產出量之三成左右。

國內石材加工業廢棄物再利用機構如表 3.8 所示，其中，花蓮區石材資源化處理股份有限公司亦為石材加工業之共同清除處理機構，為石材業者主要的清理及再利用機構，惟其目前之資源化產品通路仍有待推廣。

表 3.6 石材加工業廢棄物清理及再利用現況

廢棄物類別	清理及再利用現況	是否回收 再利用
石材污泥	廠區堆置、委託掩埋處置、再利用作為工程填地材料、水泥原料、鎂質肥料（蛇紋石）	是
石材廢料（板、塊）	廠區堆置、再利用作為道路工程粒料、再製石材（板、磚、塊）原料、鎂質肥料（蛇紋石）、工程填地材料	是
廢鋼砂	連同污泥委託掩埋處置、廢鐵回收	是
廢鋸片	廢鐵回收	是
廢磨石	委託掩埋處置	-

表 3.7 石材加工業主要廢棄物清理及再利用申報量

單位：公噸/年

廢棄物種類	廢棄物名稱（代碼）	委託清理	回收再利用	總申報量
污泥	石材污泥(R-0907)	0	86, 225	86, 225
	污泥混合物(D-0999)	4, 675	2, 844	7, 519
	無機性污泥(D-0902)	8, 179	0	8, 179
	小計	12, 854	89, 069	101, 923
廢料	石材廢料(R-0502)	0	16, 420	16, 420

資料來源：環保署事業廢棄物管制中心申報資料彙整(92.1.1-92.12.31)。

表 3.8 國內石材加工業廢棄物再利用機構

種類	再利用用途	再利用機構	地區別
石材污泥	工程填地材料	威神企業股份有限公司	東部
		博全工程開發有限公司	南部
	水泥、防火板材等之原料及工程填地材料	花蓮區石材資源化處理股份有限公司（共同清除處理機構）	東部
	水泥原料	台灣水泥股份有限公司花蓮廠	東部
	製成鎂質肥料	豐電建設公司（旭華）	東部
石材廢料	道路工程粒料	威神企業股份有限公司	東部
		博全工程開發有限公司	南部
	道路工程粒料及工程填地材料	花蓮區石材資源化處理股份有限公司（共同清除處理機構）	東部
	製成鎂質肥料	豐電建設公司（旭華）	東部
	再製石材原料	潯鋒實業股份有限公司	東部

3.2.3 廢棄物處理遭遇問題

為促進石材廢棄物之回收再利用，經濟部已將石材污泥及石材廢料公告為「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」種類，為可逕行再利用之廢棄物種類，惟依據環保署相關統計資料顯示，石材污泥及廢料進行回收再利用之比例仍偏低，分析其原因與石材廢棄物處理可能遭遇之問題如下：

- 1.由於石材廢棄物之產源分類不佳，導致廢棄物品質無法符合再利用機構之要求，妥善分類廢棄物之收受量不足，石材污泥及廢料混合物大量堆置於廠內。
- 2.部分石材業者仍未依環保署「公告以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形之申報格式、項目、內容及頻率」規定，進行廢棄物網路申報作業，針對廢棄物之產出量、處理量與暫存量申報情形，亦不排除有短報之可能。
- 3.東部地區土地廣闊，委託掩埋處置費用低廉，每公噸石材污泥及廢料之掩埋處置費約 300~350 元，雖仍較資源化處理費用（200~250 元/公噸）高，惟不須進行產源分類工作，故工廠基於現場作業之便利性，仍以掩埋處置為優先考量。

4. 石材污泥产出以花岗岩材质为主，由于花岗岩切割时需添加大量钢砂，造成污泥中含钢砂成分，进而影响再利用机构选用之意愿。目前大部分之花岗岩污泥仍未进行钢砂脱除作业。
5. 废弃物回收处理工作之成本考量之一为运输成本，尤其石材废弃物具有体积庞大、重量重之特质，故清运距离之远近，将直接影响再利用机构进行资源化之意愿。

第四章 清潔生產

「清潔生產」這一理念是 1989 年由聯合國環境規劃署(UNEP)所提出。由於，此觀念較為新穎且具有動態，所以其定義與作法可能會隨不同國家、地區而異，或是其發展可能會隨時間而變。因此，1997 年 UNEP 遂將清潔生產(cleaner production, CP)定義為：「持續地應用整合性污染防治理念於製程和產品之開發，以及服務之提供；期能增加生態效率，減少製程、產品和服務對人類及環境之有害影響。」

- 1.對製程而言，其所需之原料和能源需儘可能地節約，儘可能不用有毒性之原料，並減少排放物之危害性和毒性。
- 2.對產品之生產而言，由最原始之原料到產品棄置整個產品生命週期，皆要儘可能減少對環境之影響。
- 3.對服務而言，由系統設計，到提供服務所需之資源消耗，乃至整個服務生命週期，皆要儘可能減少對環境之影響。

由於，上述清潔生產的定義與範圍仍極為廣泛與抽象。所以，企業除了需要引進專門技術來改善製程、改良產品、與提供適切的服務之外，更應藉由改變經營態度與企業文化來持續達成清潔生產的目標。

台灣地區石材加工廠，每年產生逾 37 萬公噸的石材污泥，若再加上廢邊料，則每年會產生超過 46 餘萬公噸的廢棄物。由於，石材加工廠所用的礦石原料均來自礦山，在加工過程中，也只有切割及研磨等物理性動作；而在鋼砂拉鋸作業時，需加入的石灰潤滑物質，也是屬於天然資源礦物。所以，概言之，其原料及產生之泥漿、邊材等均可以說是無毒、無害的天然物質。但因其數量龐大，若未能妥善處理，則極易造成破壞自然景觀或生態環境等問題。

以生產效率的角度而言，由於技術與設備的限制，台灣石材加工製程所用的原石原料，在經過一次加工後，會產生占原石重量 30%的廢棄物；若再經第二次加工，則廢棄物量會更高達原石的 40%以上。

若由，石材加工業現存的各項環保、工安問題觀之，約可綜合歸納其環安特徵，如下：

- 1.廢棄物量大，普遍無完善、妥適之處理設施及相關管理機制。

- 2.廢水處理技術仍需持續改善。
- 3.使用水量大，不易百分之百回收、再利用。
- 4.污泥含水量高，可能會在運輸過程，污染環境。
- 5.耗電量大。
- 6.噪音大，影響周遭環境安寧。
- 7.粉塵問題嚴重。
- 8.職業災害時有所聞，業主之工安理念仍待提升。
- 9.鋼砂回收技術未臻成熟，造成資源的浪費。

以上之問題，可藉由逐步落實下列原則，以達到清潔生產、永續經營的終極目標：

- 1.加強培育人員素質，與提升經營、行銷能力。
- 2.致力於製程、產品之研究，並開發資源化的技術。
- 3.改善製程管理能力，進而提高成品率、減少廢棄物。
- 4.強化全方位的生產管理，並改善生產、作業環境。
- 5.提升用電、用水效率，加強能資源管理。
- 6.設置環保處理設備；妥善處理、處置廢棄物。
- 7.加強工安教育及管理，降低職業災害。

本手冊即係針對石材加工業之清潔生產，提供在「廠內管理」與「環境化設計」兩個面向的相關技術與管理，以供業者參考引用。

4.1 廠內管理

藉由廠內有效的管理，可以達成污染預防、工業減廢、清潔生產的目標。這也是企業進行清潔生產最簡單且有效果的作法。

廠內管理是整個石材加工體系中重要的單元體。為了提升產業，必須藉助並引進有效的工廠管理系統。普遍而言，石材業的經營管理者，其生產及管理上的知識，大都仍來自個人的經驗或同業的交流。為改善此狀況，已有較注重生產管

理的業者，逐漸採用電腦以有效管理人力、機具、物料、荒料、成品、成本、銷售等事務。如此，經營管理者即可經由分析、比較電腦報表，而掌握廠內的即時動態。

惟有生產管理上軌道，才能擴充企業的規模，以更增加企業的競爭優勢。因此，石材加工業者可以朝向人員、物料、製程、能資源等方向著手，分述如下：

4.1.1 員工訓練與提升

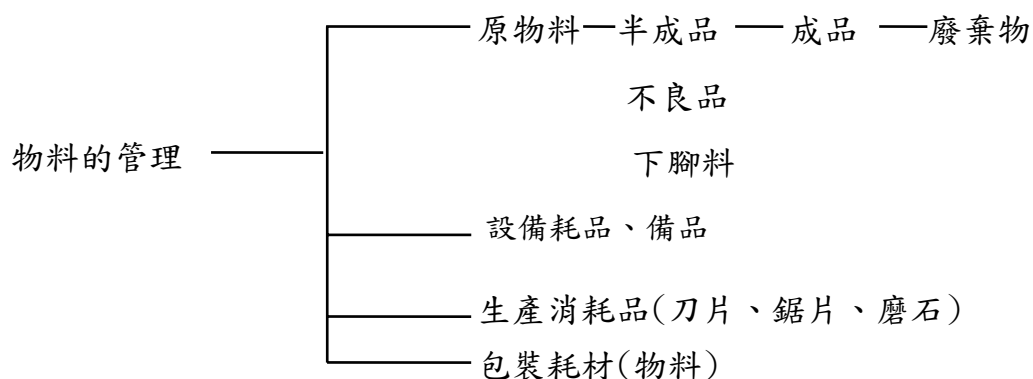
早期的石材加工技術是以師徒口授心傳的方式傳承，經營管理亦多屬父子相傳，所以規模均不大，以典型的中小企業型態居多。由於為師徒相授的家族式經營，缺乏正規教育體系之承傳，而從業人員的平均學歷，更普遍以國中、國小為主。因此，吸引高學歷的人才參與、改變管理階層人員的經營理念，加強知能、更新技術、進行國際交流，都是產業永續經營的課題，也是落實清潔生產的必經之路。

雖然，一般人或許會認為石材加工作業還是屬於粗重、危險、骯髒（亦即所謂的 3K 工作）的行業。但事實上，經過現代化、科技化的產業升級後，目前的石材加工作業已呈現電腦化、機械化的嶄新面貌；更已將勞力密集轉型為資本密集產業。同時，逐步達到技術提升、品質升級、市場國際化的境界。

近幾年來，隨著生產規模的擴大，及第二、三代事業人才的加入，業界也已逐漸進口國外機器設備和先進技術，使生產技術得以漸次提升。但是普遍而言，大多數的石材業者還是將經營重心置於生產與銷售方面。所以，仍需進一步致力於培育人才、開發技術或創新產品。

4.1.2 物料管理

通常，石材工廠的原物料管理，可分為下列四大項目：



廠商需要有效且隨時、定時地管理製程所需的原物料。如此，才能防止呆料、荒料、重複購置或缺貨等，影響製造與生產的因素。另外，購買原石時，需特別注重其平整性、尺寸的一致性，以避免不必要的修整及無意義的切割作業。否則，不只影響生產流程、耗費人力、能源，更會產生許多大量且不必要的廢棄物。

4.1.3 製程管理

1. 製程改善

石材加工過程中，需依不同的產品性質，設置部分不同的生產機具，但生產設備，並無太大的差異。因此，在製程改善中，管理即變得十分重要。在環保議題日益迫切下，業者應從製程減廢、清潔生產與廢棄物資源化著手，深入探討如何省電、省水、省耗品、省工、自動化等。以下為針對各生產流程，說明可進行工業減廢、清潔生產與資源化的切入點：

- (1)在設計切割與研磨程序時，應儘可能依原石、石板的尺寸，繪製合理、有效的分割設計圖與製造流程圖。
- (2)入鋸的原石，應求其尺寸合適。若欲同時切鋸兩塊原石，則應避免高度差距過大。否則，將浪費入鋸的時間，並會因機械偏側切割，而造成設備的不均勻磨損。
- (3)一起入鋸的兩個石材，硬度不宜差距過大，否則會浪費所需添加的耗品。
- (4)出鋸的石材毛板應儘速加以清潔洗淨，以避免石材污染或不易清洗。
- (5)進入磨台或燒板機時，應先處理平整度及平面度較好的一面。

- (6)在裁切製品的過程中，可分類堆置可再利用的石板下腳料，以方便再取用，期能將廢棄物量減至最低。
- (7)購買大板時，應儘可能尋找尺寸合適、板面完整且無瑕疵者。
- (8)搬運、吊運過程中，支撐木的位置、與石板的重量壓力應先加以考慮，以避免造成不必要的破損。
- (9)裁製完成的產品需分門別類，並存放在安全的場所，以利出貨，更可減少碰損。
- (10)不同的產品性質，有不一樣的加工流程。一般而言，可將石材加工廠依加工流程分為：
 - A.一次加工廠—生產大板（毛、燒）。
 - B.二次加工廠—依尺寸，將大板製成建材或其他製品。
 - C.異型加工廠—包含二次加工廠，並增設一些可從事特殊造型的生產設備。
 - D.工藝品工廠—以電動工具或手工具，從事石材雕刻或單件擺飾製造的工廠。
 - E.十字剪工廠—生產石材規格品（如石磚等）的工廠。

2.機械設備改善

雖然，改善設備常須花費巨額經費。但是，機具、設備常會因長久的使用、操作，而產生折損、老舊，更可能因此而增加不正常的廢棄物。所以，仍應針對設備改善加以深入探討。可考慮採行的工業減廢、清潔生產方向，如下所示：

- (1)定期更新生產用的老舊設備：這是改善製程、提升生產效率、減少廢棄物最直接的方式。
- (2)改良、維護生產設備：將生產設備局部更新、改良、保養，以維持正常生產或增加生產。
- (3)設備自動化：減少人力及可能的人為誤差，並可穩定生產、掌控品質。
- (4)擴充及增設周邊設備：增加周邊設備，以使原料在進入主生產設備時，可節省操作時間，或減少耗材、耗品、能源的浪費。
- (5)處理廢水及廢棄物：依廢水的不同成分、含污量，加以集中或分開處理，以節省能源及耗材；處理後的水，可考慮回收再利用。

3.機械設備效率提升

拉鋸設備對石材加工業十分重要。近年來，業者對拉鋸設備效能的要求，逐步提高。不但要求提高切鋸速率，以增加生產量；同時，更力求降低消耗品，以提升競價能力。另外，更著眼於機器操控上的自動化，減少人為疏失，以穩定產品品質。

拉鋸之切鋸效率的良窳，除了與管理和經驗有關之外，更與許多硬體條件息息相關。包括：

(1)機械結構強度

拉鋸首重結構之強度。鋸框的設計強度，惟有經得起鋸片油壓拉伸而又能保持鋸框彈性，使之維持在彈性限度範圍內的設計，才能滿足強力快速切割的要求。

(2)半直線切鋸動路和機構的設計

鋸片的鋼砂與原石、石材接觸的時間、或接觸的長度越長，則越容易提高切鋸效率。一般而言，半直線的切割型態優於傳統的搖擺切割型態。另外，若能採用較細的有效鋼砂切鋸，則鋼砂鋸片的消耗，也將隨之減少。

(3)長或短行程切鋸

切鋸行程較長，會有利於砂漿在原石表面鋸路的分布；切鋸行程愈長，則愈可發揮切鋸效果。若切鋸行程太短，則無法加速切鋸。

(4)砂漿成分調配控制

砂漿濃度與成分的調配，需依賴鋼砂沖洗回收裝置。該裝置必須能夠確實有效回收鋼砂、排除細砂、以及調整砂漿濃度。

(5)操作的方便性和自動控制

拉鋸的切鋸過程中，要不斷地定時、定量沖洗砂漿及添加鋼砂、石灰水。為求得較佳的拉鋸效率，可根據主馬達的負荷，採用可程式邏輯控制器(PLC)，以隨時增減切鋸速度，並自動配合修正洗漿和加砂。

新型的 PLC，亦可對鋸片拉伸的油壓及砂漿濃度，進行監測，以保護原石或毛板；亦可作適時的強制排漿或禁止排漿，使控制器的功能、操作性及可依賴性大大的提升。

(6)間斷或連續式連桿調整方式或轉位裝置

在全程的切鋸過程中，調整連桿長度的方式可分為間斷式和連續式。其中，以連續式調整法之鋸框，其鋸框搖擺的角度均保持均衡正確，不需停機調整連桿，而又能夠隨時保持鋸片與原石之間的正確切鋸角度。

4.設備與廠房維護管理

生產設備的有效使用，可維持工廠的正常運轉。若欲增長機械設備的使用年限，且減少不正常的當機，惟有靠定期的機械保養，及每日的使用後清潔保養，方能達成。除此之外，營造乾淨的工作環境，可提高員工的工作效率，並提升工廠形象，更能改善環境品質。

4.1.4 節約能源管理

一般工廠節約能源所需考慮的因素有：

- 1.改善電力系統的功率因數，以節省電力費用。
- 2.重新檢討驅動容量，以求最適效率所需的動力。
- 3.儘量避免設備空轉，以減低無謂的電力浪費。
- 4.重新檢討動力的傳動方式，俾能進行更高效率的運轉。
- 5.確保安定的電源，以維持電氣設備的最佳性能。
- 6.重新檢討配電方式，以削減電力損失。
- 7.重新檢討控制方式，以求高效率的運轉。

在石材加工製程中，是以電動機設備為電力節約的具體著眼點。應注意的項目有：

1.功率因數的改善

可利用加裝電容器於適當位置（例如各負載中心或各負載裝置處），以減少電力在線路上的損失，進而改善用電的功率因數。另外，若能將電容器裝於各負載中心，或各負載裝置處，則用戶亦可同樣降低線路的損失。

2.負載率之最適當化

電動機的最高效率應設計於負載率 75~125%之間。一般而言，最好讓電

動機在負載率 80~90%之間運轉。

拉鋸機的馬達為 100HP、75KW，額定電流為 246 安培、220V。但通常，實際的操作狀況為 64~80 安培、226V，故實際負載率只達 34~42%，稍微偏低。若欲改善，須從製程操作方式或改換功率較小的馬達著手，以使負載率提升至 80~100%，而能節省電費支出。

3.空轉的防止

短時間的設備空轉，雖然損失很小，但長期累積下來，亦非常驚人。一般而言，設備空轉所造成的損失，會占總損失的 25~33%。因此，應詳加研究機械設備是否會因時間性或季節性，而有不恰當的運轉與空轉狀況。其次，當工作一段落後，有些機器會因操作程序的原因，而任其空轉，此亦應求避免之。

4.動力傳動裝置之適當化

傳動裝置係介於電動機與負載之間。依據不同的連結及動力傳動方式，其效率可分為下列四種：

- (1)皮帶傳動方式：70~90%。
- (2)鏈條傳動方式：75~85%。
- (3)齒輪傳動方式：93~96%。
- (4)直結：99~100%。

廠商應選擇適當的傳動裝置，方可提高效率、節省能源。

5.電源安定化

當電壓、頻率變動時，則電動機的效率、功率因數將會改變。因此，要有穩定的電源，才能節約電能。

6.最適當之配電方式

採用較高的電壓可提高功率因數，亦可有效地減少配線損失。

7.可變速電動機之應用

傳統的機械控制方式係以擋板(damper)或閥之開度，來控制風量、流量，但其馬達的轉速不變，故浪費能源甚鉅。現代的能源節約控制方式，則以馬達轉速來控制流量。

8.高效率電動機之採用

採用高效率的電動機乃為節約能源的趨勢。新式電動機的設計，即可大幅降低運轉時的損失，提高效率。雖然，價格略為昂貴，但由於效率提高，所以可因節省能源費用，而在短期內回收初期投資所增加的費用。

9.電子省電器之應用

裝置省電器是利用感應電動機在輕載時適當的減低電壓、抑制電流、改善功率因數，而提高效率、減低輸入功率消耗。此裝置可節約電力約 10~50%。

10.保養維護的加強

工廠內通常都會有許多的節電方式，但其效果仍有賴於平時的保養與維護。例如，冷卻風扇的過濾網附著塵埃、動力傳動裝置調整不當、零件間的摩擦、驅動機械潤滑不良等，皆足以造成整個系統效率的降低，而增加電力的浪費。若能排除這些不良因素，或使電動機的通風良好，即可使損失減少，並延長設備的使用壽命。

4.2 環境化設計

「環境化設計(Design for the Environment, DfE)」或稱為「為環境而設計」，是指在產品設計過程中，充分考慮到預防廢棄物產生(waste prevention)及採行較佳的材料管理(better materials management)等措施，以達到包括：減低環境負荷、提升企業形象等無形的效益；以及降低成本、增強市場競爭力等直接效益。

若以預防廢棄物產生而言，因其可能會涉及製造者與消費者，所以其方法可包括：減少使用有毒原物料、提升能源效率、使用較少的（包裝）材料、延長產品使用壽命等措施，以減少產品製造過程中及消費者使用後的廢棄物產生量。而在採行最佳的材料管理方面，則可包括使產品易於再製、回收再利用、資源化，或安全地焚化處理，以回收能源等。

總而言之，即是藉由產品的妥善設計，使其在製造過程中及使用後，將對環境所造成的不利影響減至最低。故而，為環境而設計亦常被稱為「綠色設計(green design)」。

若要進行石材加工業的環境化設計工作，應充分瞭解、檢討石材從原石的篩選到搬運、切割、洗淨、磨光，到放樣或是異型加工等過程。幾乎每一製程單元、工作流程均有相當大的潛在改善空間，以落實將對環境所造成的不利影響，減至最低的目標。以下分別針對各製程進行環境化設計的相關分析與重點作業說明。

4.2.1 確保原料與產品

石材材料的來源、組成不同，其物理性質、硬度等亦隨之而異，故在選擇石材材料、以及設定切割作業、操作條件也不盡相同。如何加速生產速率、減少廢料、提高成材率、降低不良品，以降低生產成本，應是業界於製程、操作之前，需要充分瞭解之處；此亦為環境化設計中，相當重要的一環。所以，在選料、加工過程中，若能把握以下原則，將可達到污染預防、工業減廢、清潔生產、降低成本的目的。

1.材料品質鑑識

原石檢查往往比其他製程重要。因為，假若原石已有瑕疵，則即使經過重重加工手續之後，其成品仍有可能成為廢棄物。所以，原石檢查可以說是工業減廢、清潔生產或環境化設計的真正源頭與精神所在。

因此，在選購原石時，必須注意石材的脈絡紋理。因為如果其紋路已有問題，則其切割後之石材產品很有可能也會產生裂紋，而造成大量之廢棄物，或次級品。應注意事項有：

- (1)品質或顏色色系需符合市場需求，以避免買到滯銷品。
- (2)避免購買有裂痕或節理發達的原石，否則加工時會產生許多碎塊廢料，並浪費金錢及造成機具的磨耗。
- (3)選購形狀方正、規格一致、適合加工的原石。若材料不方正，則切割前必需先加以修整。如此不僅產生廢料，而且會因無謂的作業，而增加生產成本及浪費時間。
- (4)避免有內結核及空洞的原石。有內結核的原石在加工過程中，可能會造成機具的損傷，且影響整塊石材的價值。有空洞的原石，在加工時容易破損，而造成廢料和無價值的加工動作。

另外，選購石材原石時，也必須儘量選購六面平整的原石材料，以免在切割時產生大量的廢棄邊材。或者，可以在大剖之前，先以乙炔修平整理，以減少邊料產生。

2.預先處理

- (1)應注意選擇同種類或同硬度之原石；或同高度或同長度之原石，以方便進行切割作業或安排生產排程。
- (2)注意石材的節理關係。一般而言，石材的紋路會有方向性，故須順著節理的方向性加工，才可避爪紋現象，導致石板易裂。
- (3)可以先行以大口徑切割、火燒法、鑛岩劈裂法、鑛石索鋸法等，對型體欠佳、凹凸不平太多、天然裂痕、雜質或雜色之原石進行整形。

3.材料固定

所選定之原石材料要大剖之前，會先以水泥在台車上加以固定。此固定動作非常重要。因為，如果固定不好，在切割時將會滑動，而可能使得石材大板破裂，造成廢棄物產生，並且造成工安事故的發生。另外，在固定石材原石時，必須選擇硬度相同或相近的原石，以及大小寬高相同之原石，並且依鋼砂拉鋸鋸台的寬度，將原石加以排列，如此才可能一次切割 2~3 塊原石，以節省加工成本。

4.慎選切割與研磨設備

就建材用途之石材而言，一般的切割設備分成鋼砂拉鋸、鑽石拉鋸、十字剪等機具，其用途及產品的規格多有不同。其中，鋼砂拉鋸用以切割花崗石大板。其加工過程中，需加入鋼砂及石灰乳，以進行切割與潤滑，製程用水量雖低，但 pH 值高且有鋼砂易氧化等問題，故需詳細規劃後續廢水處理及污泥處置問題。而鑽石拉鋸係用以切割大理石/蛇紋石/石灰石大板；十字剪是用以切割花崗石/大理石長條板。這兩類加工設備的馬力大，且切割速度快，雖然用水量較高，但其廢水水質較為單純，故製程廢水之處理、排放與回收的複雜度較低。此外，研磨機台為多頭式（排列近 20 顆磨頭）設計，用水量較大。前述這些設備選用時，需考量石種、製品規格、單位產能...等需求，並要因應各設備之規格，才能規劃最適的加工參數與電力效益。在適當之操作條件與保養下，設備使用狀況及壽命應可控制得宜。

以目前的廢水處理技術，石材加工廢水除少部分蒸發及調節性排放外，回收使用率應可達 95-98%。這些回收水除無法運用於磨台後端少數幾顆拋光磨頭（入水管線細、易堵塞、也可能刮傷石板）外，其餘設備均可使用回收水。

5.切鋸前置作業準備

- (1)迴車裝置：在材料裝置於迴車上時，必須使礦石的節理方向要與鋸片下切的方向平行；頂部也必須平整。若台車同時要切割兩塊材料時，除頂部需同高外，硬度也應相近。
- (2)鋼砂泥漿配比：鋼砂濃度要配合石材荒料的硬度及脆度，且拉鋸來回次數的速度，也要與鋼砂的濃度相配合。凡此都要依照實際操作經驗，作成紀錄，依序改進，才能減少鋼砂的浪費。

6.注意切割過程

- (1)安裝鋸片之注意事項：要注意鋸片的拉緊程度、油壓壓力指示記錄及觀察；並要隨時校正鋸片之垂直度。
- (2)確認開鋸前之準備措施：確實檢查台車固定情形，注意原石位置與前後框之距離；確實檢查拉桿調整是否適當；確實檢查撒漿架管是否阻塞；確實清除台車下過濾柵之石渣。
- (3)確認開鋸時作業措施，例如：

- A.主馬達運轉及下降時，電流之變化。
- B.砂漿幫浦電流之穩定。
- C.水葉、管路、砂漿漩渦流動情形。
- D.鋼砂投入量，與感應器檢查。
- E.石灰水循環與水位之調整、濃度測定。
- F.鋼砂存量、石灰存量控制。
- G.排漿時間設定與下降速度關係。
- H.比重定時測定、粗細鋼砂比例之調整。
- I.石板切至中途之捆綁、插木片及石板固定情形。
- J.鋸完後，鋸框上升時注意石板固定情形。
- K.注意各自動控制電感應之靈敏度。
- L.電流負荷變化、與下降速度、排漿設定、投砂量記錄，以作為下回車之參考數據。

另外，進行切割時，要隨時注意：

- (1)鋼砂濃度的變化，避免浪費鋼砂或切割速度產生變化。
- (2)固定在台車上的荒料是否鬆動，避免鋸片震斷或石材切割不規則。
- (3)發生臨時事故的處置，例如斷電時，應啟動臨時發電設備，以將拉鋸或加工器材回復到機器使用前的零點位置，並以噴水設施沖洗切割縫隙中的泥漿，以避免泥漿在縫隙中凝固。

7.拉鋸、鋼砂回收再利用

切割後，拉鋸會損耗。故在切割下一塊原石時，可反面使用拉鋸，以充分利用原物料。

另外，每年國內採購的鋼砂均達新台幣數億元。故若能分離、篩選鋼砂，將顆粒大的鋼砂直接回用於製程上，顆粒小的可改做磨石的原料，甚至應用於不織布業中所生產的菜瓜布上，或當下腳料賣給煉鋼廠，均是資源化的途徑。

8.注意搬運過程

切鋸後，需以吊車把半成品從台車上搬至磨台，以進行後續的水磨打亮作

業。惟搬運過程中，很容易破壞整塊半成品，而造成廢料。所以，應先詳細估算吊車在石板上的吸附點位置。

9.注意磨光過程

磨光中要注意：

- (1)各磨頭的功率是否平均。
- (2)各磨頭的磨耗度是否相同。否則，磨出的石材會不均勻平整，甚至造成厚度不一致。
- (3)要適當控制水量，避免水量浪費，且要注意水質。如水中含有小顆粒，則磨出的平面會產生砂痕。

10.迅速排除故障

(1)跑路：即所謂偏離切鋸線，其原因分為幾項：

- A.滑刀：原石在切鋸狀態中，偏離原先中心線。
- B.鋸片沒有水平（震刀）。
- C.鋸切時，遇到硬點、雜質、鋸片朝旁處鋸。
- D.鋼砂添加時而多、時而少，未保持一定量。

(2)拖板：即原石將鋸開前時段：

- A.切鋸速度控制不當。
- B.鋸片斷裂。
- C.鋸片兩邊磨損角太過銳利。

(3)調整拉桿：目前有自動、手動兩種調整拉桿方式。適當調整拉桿，可保持最有效之切割速度，可避免拉桿前後連續之衝擊。

(4)鋸片斷裂：

- A.前一回車鋸硬石、鋸片磨耗一半；回車再鋸硬石，因此，鋸片容易斷。
- B.鋼砂量太少，易造成鋸片與原石直接接觸，磨損快，容易斷。

11.成品包裝

在包裝過程中，常因人為因素而造成成品破裂，而產生更多之廢棄物，使

得辛辛苦苦經過加工之成品付諸流水。所以在包裝過程中，應特別注意搬運及打包，以免造成成品的破裂。

12.規格化、制度化

石材產品的規格及施工規劃若不統一，常會隱含危險因素；且在安裝過程中，若各廠牌的產品規格不能完全統一，也會常常造成施工延誤，及使後續修整時，產生大量的廢料。因此，業者也應全力推動石材產品規格化、施工制度化，亦即推行 CNS 國家標準制度。

4.2.2 提升專業技能

在石材加工業之中，拉鋸的操作是需要較高技術的工作，一般皆以本國勞工為主，且拉鋸內班師傅皆是拉鋸廠內一時之選的人才。拉鋸內班師傅必需具有高度的責任感與智慧，有能力處理各類突發狀況。所以，一般拉鋸內班人才的篩選較為嚴格，以具有機械概念，且在拉鋸廠內工作 3~5 年者為最佳人選，然後在經過 3 個月專人帶班教導，大約半年至一年後才可達到成為一個師傅的要求。

在拉鋸操作中，比其它加工產業更花費體力及心力，尤其是在工作環境都很差的條件之下，拉鋸師傅絕不是全為薪資高才來工作。所以，拉鋸的操作是要對此工作興趣很濃厚、且責任感很重的人員才能勝任。當然，所有的工作，不是一個人所能完成的，必須靠整組工作伙伴培養默契，發揮高度的團隊精神，才能達到高產能之效果。

從事此項工作困難之處，就是每個人操作方式、狀況處理、實務經驗各不相同，常因此無法達到協調，減低了生產能量，相對提高生產成本。所以，惟有採取統一的方式才能解決此缺點。

4.2.3 改善環境問題

1.廢水回收使用

石材加工廠的主要污染包括噪音、粉塵、廢水和廢棄物，其中以廢水和廢棄物最為嚴重。石材加工過程中，無論切割或研磨，用水量非常大。這些夾雜大量鋼砂、石灰、磨石屑和石屑的廢水，都必須適當處理，才可排放。由於，用水量大，所以是否回收循環再使用，以節省水費，即是考慮的重點。

石材加工廢水經過適當處理後，應可達 98% 的回收使用率。例如廢水經泥漿沈降後，其上澄液可回收再使用於所有製程。由於，石材加工製程中，必需加入大量石灰作為冷卻及潤滑之用。所以，不僅會產生大量泥漿，並會造成放流水之 pH 值過高（約 11~13）。由於，放流水標準中有 pH 值的規定，故一般業者在排放廢水前，都會加入大量的硫酸或鹽酸以進行中和。惟以工業減廢、清潔生產的立場，這些放流水實在應加以回收並重複使用，如此方能減少浪費水資源，更可節省大量的加藥費用。

若能經由分離程序，如混凝、沉降、濃縮、脫水、乾燥等廢水處理程序後，所得之淨化澄清水可回收至廠內製程循環使用，以充分利用水資源並節省成本。廢棄之泥漿，除交由合法之清運公司代為清運與處置外，更可用於開發高附加價值的產品，例如，人工魚礁、地磚、分離純化之有價物質等。

目前，一般作法係以採用傳統式自然沉澱法、加藥沉澱法、或進一步配置脫水機設備來因應。但是，如何選擇最經濟的方式來達到最佳的處理效果，是極其繁瑣且專門的技術，舉凡水量與污染的調查、廠區的配置、管線的設計、設備的選用與維護、水質的分析、人員的訓練等，都是決定循環水處理系統成敗的關鍵。

2. 粉塵

粉塵是石材加工廠的另一項主要污染，其來源為石材加工程序中所產生的石屑。不過，因加工過程會使用大量的水，所以稍可降低粉塵的污染問題，只要再多留意現場的通風狀況、加強集塵設施，即能大幅改善粉塵污染。

解決工廠的空氣污染問題，除需藉由廠內改善，即改變製程或加強管理，以減少污染物的排放外。對於無法避免其產生的污染物，則有賴各種空氣污染控制設備，以將污染物處理至合乎管制標準後，再予排放。

一般而言，除控制鍋爐等燃燒源所產生之污染，稍有不同外，工廠廢氣處理設施的主要部分有氣罩(hood)、吸塵風管(duct)、風車(fan)、空氣清淨裝置(air cleaner)、煙囪(stack)等，以上之組合可稱為局部排氣(local exhaust system)。若能有效運作上述設施，可改善廠房內部的空氣品質，進而達到保護勞工健康與環保安全之目的。

3. 噪音

噪音問題最常為石材加工廠所忽略，也是廠內、外最大的污染問題之一。

其來源主要是機械運動時所產生，再加上使用冷卻水，使噪音問題益形嚴重。若為確保操作人員的工作安全、穩定作業時的情緒，即應從設計吸音、隔音裝置著手，以降低噪音分貝。

工廠噪音的防制可概分為二大項，一為新設工廠(廠房)，另一為既有工廠。欲防制噪音，應於設廠之初，即予規劃，以免事倍功半。

(1)新設置的作業場所：

在設計規劃階段時，必須充分研究作業場所可能發出的噪音特性、及作業場所附近的環境。首先，須調查引進的作業設備是否有防音措施、作業方法是否具有彈性、可能的防制方法為何等；再者，須了解作業場所屬於何種用途、管制標準為何、將來是否會產生民眾抗議等問題。亦即，若能於設計階段即考慮到噪音防制，並規劃出預防方法，則此時所投入的經費及防制效果，會比若事後發生問題所需投入的經費及效果要來的少與好。

(2)既有作業場所：

此場所的噪音問題，往往較為複雜。其防制方法不外乎更換或改善設備、改變廠房結構、修改作業程序，甚至遷移廠址等。此時，所投入的不僅是經費問題，甚至會顯著影響生產效率。

通常，在作業場所的噪音防制方法上，主要可從三途徑著手：

(1)音源本身的改良及管制

防制噪音最有效、最積極的方法是降低音源所產生的音量。一般的防制方法有：裝設消音器(管)；裝設消音箱(溝)、消音隔板；減少產生振動。

(2)傳播路徑的改變

改變傳播路徑的方法，有：設置隔音牆(隔音屏、隔音廉)；將音源予以圍封；增加吸音面積；雙層玻璃及氣密門(防音門)之使用；減少結構體之傳導。

4.廢棄物

廢水和廢棄物是石材加工廠的兩大主要污染物。相較而言，廢水的問題容易解決；廢棄物的問題則非個別廠家所能獨力克服，其原因乃在廢棄物的數量實在太過龐大，因此，於92年初已成立石材廢棄物資源化共同清除處理體系。目前石材加工廢棄物多委由代處理業者處理，若以石材污泥而言，尚必須配合

事先的脫水處理，才可避免清運過程中之污染。事實上，廢棄物的最佳處理方式仍為資源化。

石材加工廠的廢棄物以石材污泥為最大宗，不僅包括所有的石屑，甚至涵蓋鋼砂、鋸屑及大部分的磨石。其他的廢棄物則有石材廢料、少部分的磨石和廢棄的鋸片。這些廢棄物依其特性之不同，而可有不同程度的資源化潛能。

(1)廢耗材

廢耗材是指廢棄的鋼砂、鋸片和磨石等。但大部分的廢耗材都還會存留在污泥內，尤以廢鋼砂為甚。另外，廢鋸片和廢磨石則可以分類集中處理，其中廢鋸片可以廢鐵方式出售，而廢磨石經輾碎後，則可依所含磨料的粒徑大小分類，再重新加入磨石的製程中，充為磨石的原料之一。

(2)石材廢料

石材廢料可能與原石或石材的成分特性相同，所以在資源化處理的過程中較無困難，也不易造成二次污染。例如，在石材廢料經過前處理，並破碎至較小的尺寸後可資源化，其製程如下：

- A.製成人造崗石：破碎的廢料添加多元樹脂原料或其他高分子化合物，經充分混合，於真空高溫下製成大石塊。成形之大石塊經加工後，可成為色澤亮麗的人造崗石。
- B.製成地磚：破碎的大理石、蛇紋石廢料，與水泥、砂、色粉和水拌合後，經高壓成型壓製，可成為各種地磚；再經養護與研磨後，即可包裝出廠。
- C.作為磨石子地面所需之碎石。
- D.取代鵝卵石作為鋼筋混凝土之建材。
- E.取代消波塊所需之粗粒料。
- F.作為高速鐵路之級配：由於花崗石的硬度較高，可以符合高速鐵路級配的硬度要求，故可用作高速鐵路之級配。
- G.做為外牆塗飾之用：可將廢料破碎成更細的碎礫，以噴霧方式塗佈於外牆之上，作為裝飾建材。

(3)石材污泥

不同種類的石材污泥有不同的特徵。例如，蛇紋石污泥含大量的氧化鎂

和氧化矽、大理石污泥以氧化鈣為主，花崗石污泥則多為氧化矽。所以可針對其特性，製作價廉質良的產品，並達到廢棄物資源化的目的。

4.2.4 回收再利用

石材加工後，產生的污泥均為無毒無害的廢棄物。所以如能加以回收再利用，不僅可解決廢棄物的問題，亦可促進資源的再利用效果。一般而言，石材加工業廢棄物資源化處理方式與流程，可如圖 4.1 所示，並簡要說明如下：

1. 石材污泥資源化途徑

- (1) 固化作為消波塊。
- (2) 作為造紙及塑橡膠之碳酸鈣填料。
- (3) 作為土壤改良劑。
- (4) 作為水泥原料。
- (5) 作為製糖澄清劑。
- (6) 作為鋼鐵、電石、及玻璃工業的原料。
- (7) 作為陶瓷原料。
- (8) 作為耐高溫、抗氧化的耐火建材。
- (9) 製磚。
- (10) 製為磷肥。

2. 石材廢料資源化途徑

在加工程序中，切割、剩餘的不規則石塊即為石材廢料。石材廢料因體積大，故較易處理。其資源化的方式，有下列幾種：

- (1) 製成磨石子地面所使用之碎石。
- (2) 製成地磚。
- (3) 作為混凝土粒料。
- (4) 作為高速鐵路級配。

3. 鋼砂資源化途徑

切割石材所用之鋼砂的主要成分為鐵。因其具有回收價值，故可考慮利用磁選的方法，將之自泥中分離出來，但因鐵質會被污泥所包覆，故成效不盡理想。現多經重力沈澱後，藉由分離器(cyclone)以離心力分離回收（如圖 4.2），以供再利用。

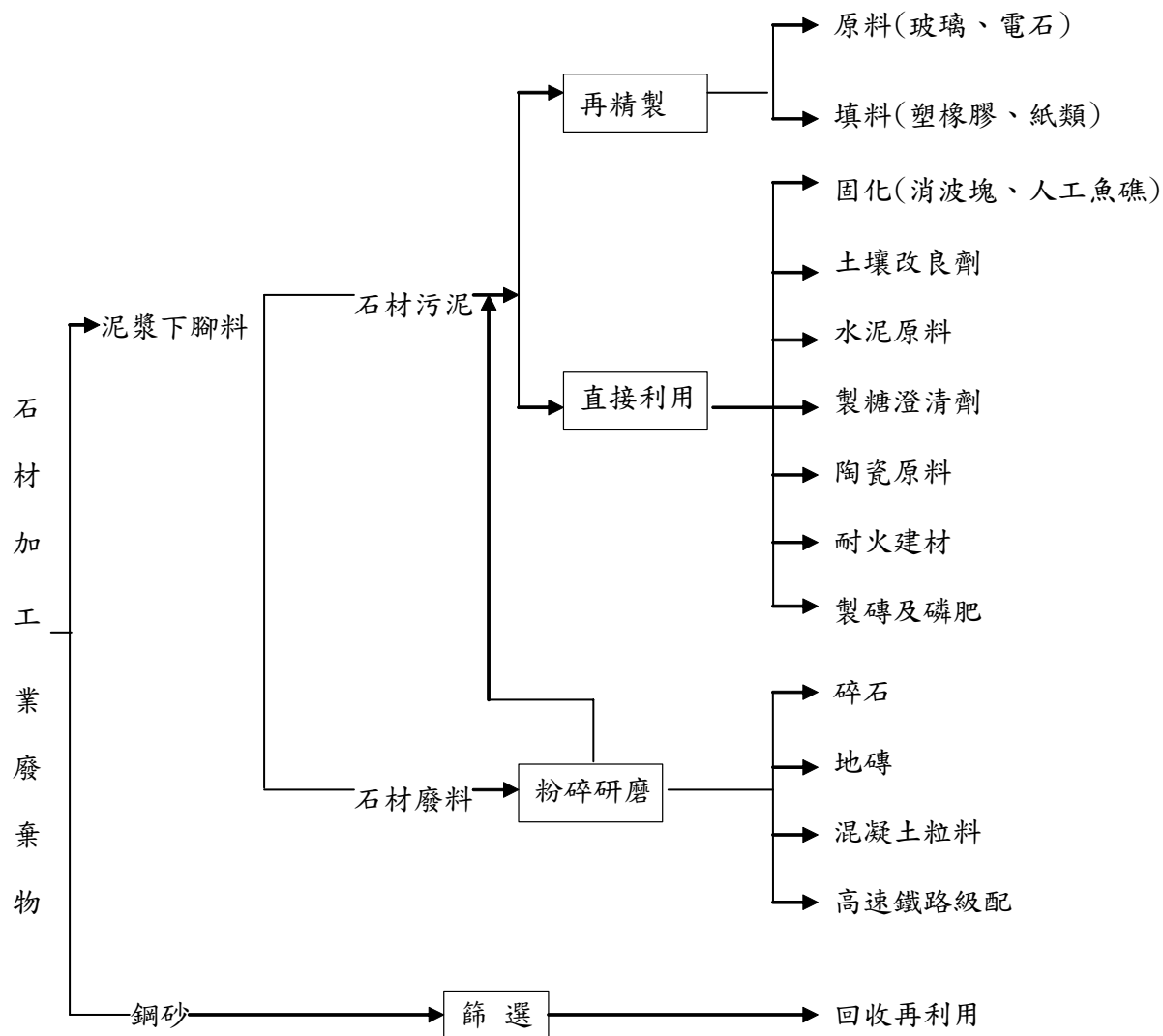


圖 4.1 石材加工業廢棄物資源化處理方式

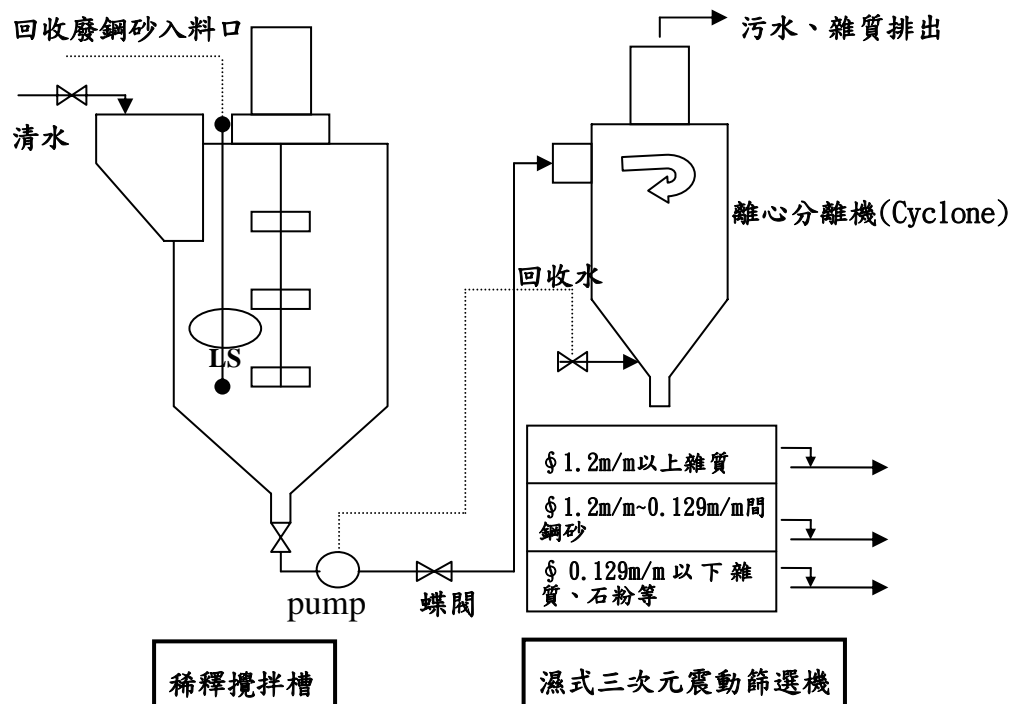


圖 4.2 鋼砂分離設備示意圖

4.2.5 改善工安問題

石材加工屬粗重作業。在石材加工至成品的過程中，從礦石的搬運、貯存、固定、一次加工、二次加工、研磨、裁剪、成品、包裝、入庫、出貨，其間過程之吊運、切割、研磨，使用各種機械、電器、車輛、器具、氣體等，在在潛藏各種危害因子。可能遭遇的問題，分別為：

- 1.使用機械、器具、設備等引起之危害。
- 2.進行裝卸、搬運、堆積等作業引起之危害。
- 3.因處於有墜落、崩塌等之虞的作業場所引起之危害。
- 4.因粉塵、噪音（85 分貝以上）等引起之危害。

5.電能引起之危害。

6.氣體引起之危害。

這些工安問題中，最常見者是墜落。另外，長久以來，粉塵及噪音亦是業者急欲改善的問題。這些潛在的安全問題，有些是業主的責任；另外則導因於操作人員的疏忽，尤其是新進人員。因此，業主應該致力於改善工業安全衛生條件，以維護員工的安全、作業環境的舒適，以及確保企業之永續發展。

第五章 廢棄物資源化技術

石材加工業的廢棄物主要是石材加工時產生的石屑、廢料，以及加工所用的耗材，包括鋸片、鋼砂、研磨材等。廢棄的鋸片可直接回收，賣給廢鐵回收商；廢棄的鋼砂通常經過溼式磁選或重力沉澱的過程，與石材加工產生的石屑分離，再出售給廢鐵回收商，而研磨材可由供應商回收處理。對於石材加工業而言，資源回收再利用和再生技術，主要是針對污泥和廢料。由於國內加工的原石種類繁多，並因加工機械特性和製程的不同，產生的石材污泥具有明顯的組成成分差異，一般而言，可約略分為三大類：花崗石污泥、大理石污泥和蛇紋石污泥。各類型污泥因不同的化學組成，而有不同的資源回收再利用和再生技術。至於廢料方面，因其本身的化學組成等同於原石，故資源化處理方式比照一般的碎石。

根據廢棄物的成分和特性，結合現有廢棄物資源化處理技術，發展出多元的資源化產品，蒐集彙整現有石材廢棄物資源化技術，以及衍生之資源化產品等評析說明列於表 5.1。

表 5.1 石材廢棄物再利用技術評估表

廢棄物類別	技術名稱	原理、流程	技術來源	技術成熟度	說明
石材污泥	水泥生料	代替水泥原料(黏土)使用。	■國內實績與技術	實廠商業化	1. 可降低製造成本、減少水泥原料開採，維護自然景觀。 2. 因水泥品質要求嚴格，花崗石污泥的含水率必須低於10%，又因鈉、鉀含量較高，目前只能取代2~3%的黏土用量使用。
	高壓蒸氣養護輕質磚製品	利用花崗石污泥的波索蘭性質，取代矽砂的功用，經由高壓蒸氣處理，製作輕質磚製品。	■國外技術 ■國內實績與技術	實廠商業化	1. 製品呈灰色，必須加以改進。 2. 應注意花崗石污泥成分的穩定性。
	高壓固化製磚	製作景觀和圍牆用高壓混凝土磚	■國外技術 ■國內實績與技術	實廠商業化	1. 製成磚具有強度高、耐磨耗等優點。 2. 取代細砂的功用。

表 5.1 石材廢棄物再利用技術評估表（續）

廢棄物類別	技術名稱	原理、流程	技術來源	技術成熟度	說明
石材污泥	河海工程築堤及人工魚礁	運用花崗石污泥作為築堤材料、消波塊或人工魚礁。	■國內實績與技術	實廠商業化	1. 具有優良之抗氯鹽及硫酸鹽特性，可增加堤防及魚礁之耐久性。 2. 已具實例，證明其與海洋生態之相容性。
	燒製人造輕質粒料	花崗石污泥經篩選造粒後，高溫燒結製成。	■國內實績與技術	實廠商業化	1. 質輕，可取代混凝土中的粗粒料
石材廢料	磨石子地磚	應用篩選的大理石廢料，混拌水泥、砂和無機色料，壓製和研磨成磨石子地磚。	■國外實績與技術 ■國內實績與技術	實廠商業化	
	築路工程應用	作為道路、停車場表層材料和路基穩定化處理。	■國外技術 ■國內實績與技術	實廠商業化	1. 施工便利、快速。 2. 完工後一日可立即使用。
	回收為粗、細粒料	花崗石廢料經磨碎為各種粒徑粒料。	■國內實績與技術	實廠商業化	1. 頗受日本庭園造景歡迎。 2. 硬度高，可取代其他粒料。
	人造花崗石	花崗石廢料混拌壓克力樹脂，壓製成型，為各式廚櫃、流理台。	■國外技術	實廠商業化	1. 應用於高級廚具和流理台。 2. 價格遠高於天然石材。
		花崗石廢料混拌不飽和聚酯，壓製成型，為各種室內裝修材。	■國外技術	開發中	1. 具備多樣仿天然花色，取代天然石材。 2. 須克服低光澤度的缺點。
		花崗石廢料混拌環氧樹脂，壓製成型，為各種精密加工機械機座和精密量測用平台。	■國外技術	試產產品出售	1. 客製化產品，量少價昂。 2. 深受國內光電產業設備產業自製率偏低的影響，市場推展不易。
	人造大理石	大理石廢料混拌不飽和聚酯，壓製成型，為各種室內裝修材。	■國外技術	實廠商業化	1. 具備多樣仿天然花色，取代天然石材。 2. 須克服低光澤度、易磨損的缺點。
	熔磷鎂肥料	蛇紋石廢料磨碎後，與磷礦石、矽石高溫熔融反應，冷卻後研磨而成。	■國外技術 ■國內實績與技術	實廠商業化	1. 非水溶性肥料，藥效長。 2. 有效改善酸性土質。

5.1 石材污泥资源化技术

5.1.1 花岗石污泥资源回收利用

花岗石污泥含有大量的二氧化矽，同时因使用钢砂拉锯(gang saw with steel grit)加工制程，带有不少的钢砂，其资源化应用以建材和水泥制品为主。根据资源化处理的标的物，由于花岗石是黏土的母岩，花岗石经过风化作用后变成黏土，而黏土是水泥生料之一部分，故花岗石污泥可尝试回收为水泥生料，取代部分黏土功用。其次，花岗石污泥的资源化固化技术可概分为浇筑法、高压成型法和路拌法等，其差别在于处置系统中的含水量，以及波索兰反应的化学方法。固化方法是以花岗石污泥为填料，经由固化剂的处理，将花岗石污泥转变成许多不同构造和外观的水泥制品；而化学方法是花岗石污泥与其他添加物产生波索兰反应，所获得的建材或水泥制品。此外，烧结技术也是花岗石污泥资源化处理技术之一。花岗石污泥一旦烧结温度超过 1,150°C 以上时，其中的二氧化矽将因发生熔融情形，逐渐从粉屑状态转变成坚硬如瓷砖或内部富含孔隙的轻质粒料等产物。

1. 花岗石污泥回收为水泥生料

水泥是营建业最重要的原料之一，其制程分成三部分：生料研磨、熟料烧成和水泥研磨。水泥由矽酸三钙、矽酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸钙四种主要矿物成分所组成，将石灰石、矽砂、黏土和铁渣四种主要原料，以某一比例混合后，饲入生料磨中，研磨成生料细粉。生料经悬浮预热器逐次加热至 900°C，再送入旋窑系统，在高达 1,450 °C 以上的旋窑烧成带，烧结成熟料。熟料添加约 3.5% 的石膏，研磨成平均粒径 16μm 的细粉，则为一般常见的水泥，再利用制程如图 5.1 所示。其中石灰石占整体原料的 80~85%，是矿物钙成分的来源；黏土是矽和铝的主要来源；矽砂和铁渣则分别提供二氧化矽和氧化铁。由于花岗石污泥含有高达 60% 以上的二氧化矽，以及 13% 的铝和 7% 的铁成分，极适合再利用为水泥原料，取代部分黏土的功用；然而，花岗石污泥再利用为水泥原料时，受到下列限制：

- (1) 花岗石污泥的含水率必须低于 10%，避免花岗石污泥与黏土混合后，在输送时堵塞进料管的管口。
- (2) 花岗石污泥必须去除残留其内的钢砂，避免烧制水泥的原料研磨时，钢砂磨损研磨设备。

(3)花崗石污泥含有較高的鈉和鉀，不能大量取代黏土，否則旋窯系統產生旺盛的鹼循環，造成預熱機堵塞；而且無法再利用於低鹼水泥的製造。

因此花崗石污泥回收為水泥生料時，只能取代2~3%的黏土用量。

圖 5.1 花崗石污泥再利用於水泥製程圖

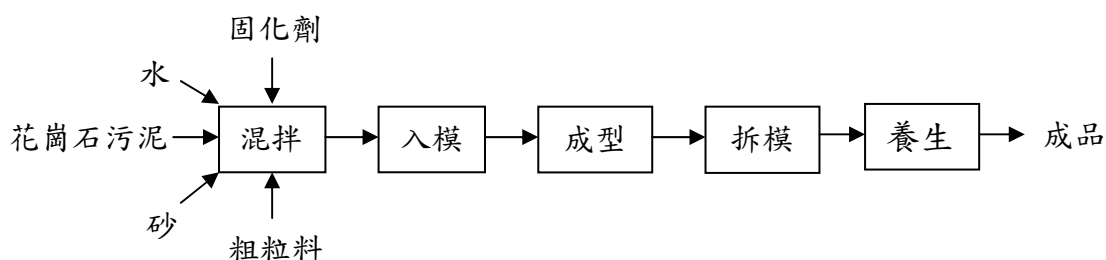


圖 5.2 澆置固化法流程圖

(2)高壓成型法

在陶瓷製造程序中，陶瓷坯體的成型是重要的步驟之一，因為成型的過程不僅決定將來陶瓷的形狀、大小，更影響產品的品質。高壓成型法是目前先進設備最常採用的方法，而且是最經濟的成型法，因為一方面可免除或減少產品乾燥的時間，另一方面節省操作費用。一般而言，加壓成型技術因坯體的含水量高低，概略分成溼式、半溼式、半乾式、粉壓和乾式數種。其中所謂的乾式不是不含水分，只是含水量極低，且添加黏結劑和潤滑劑。廣泛的乾壓成型所用的坯土，其含水量介於 5~15% 之間，通常約為 12% 左右，成型壓力從 70kgf/cm^2 到 525kgf/cm^2 。乾壓成型法雖有上述優點，卻因乾料的流動困難，以致模型的邊角無法壓實，或是容易產生黏模現象，特別對構造複雜的模型更是明顯。為解決這些嚴重的問題，通常在坯料內添加潤滑劑，並且施以振盪手續。加壓成型法的製程類似陶瓷磚的半乾式成型法，污泥的含水量必須在 15 wt% 以下，最佳狀態為 8~12wt%，因此花崗石污泥需前處理，除去多餘的水分，再與固化劑均勻混拌，添加碎石後，置入高壓成型機的模具內，以震盪，加壓等步驟成型，再從模具中取出，例如連鎖地磚、空心磚、植草磚等水泥製品。高壓成型法流程如圖 5.3 所示。

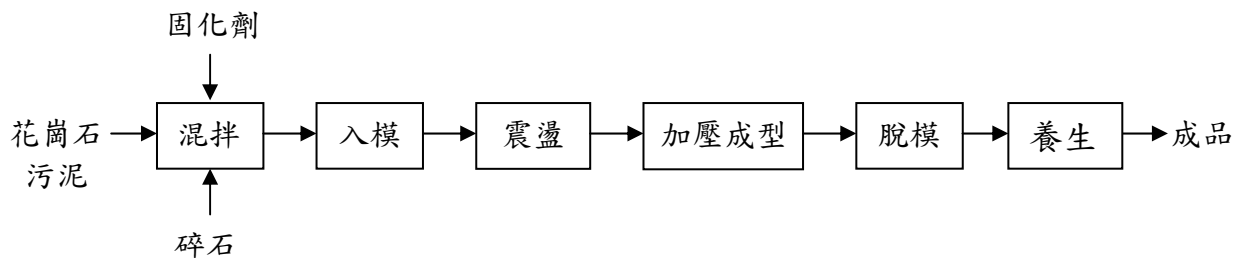


圖 5.3 高壓成型固化法流程圖

(3)路拌法

路拌法適用於大面積的現場固化施作，乃將花崗石污泥與固化劑在施工现场直接混拌，再以重機械壓實，如圖 5.4 所示。此方法的優點為施工時不需另外添加水分，而且成品的抗壓強度較澆置法高，例如停車場、籃球場、鋪面材料等。

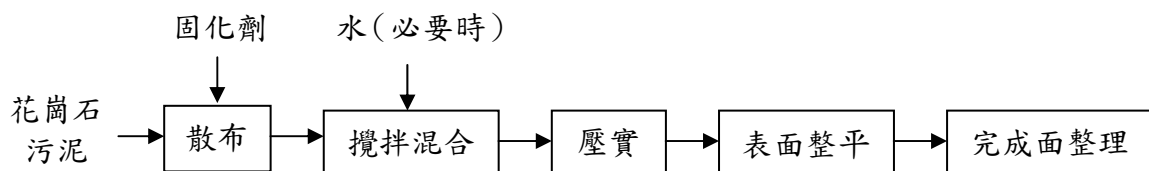


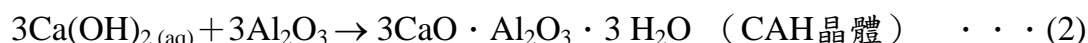
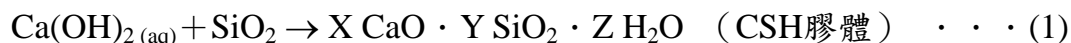
圖 5.4 路拌固化法流程圖

3.波索蘭反應

遠在二千年前，羅馬人混合火山灰和石灰以建造鬥獸場，揭開波索蘭材料應用在混凝土的序幕。所謂「波索蘭」(pozzolana)材料，乃源自當時羅馬人所用的火山灰(Pulvis puteolanus)。根據 ACI 116R-85 對波索蘭材料的定義，矽質或矽質與鋁質材料，其本身擁有小或無膠結性，但在研細狀態及有水分存在時，它會在普通溫度下，與氫氧化鈣產生化學反應以形成擁有膠結性質的複合物。ASTM C618 列出波索蘭材料的範圍，包括天然波索蘭材料：火山灰、矽藻土、蛋白石的角岩和頁岩、凝灰岩和浮石；以及人造波索蘭材料：飛灰、高爐爐石、

鋼爐渣、稻殼灰、鍛燒黏土和頁岩、稻草灰和甘蔗渣灰等。依照波索蘭材料的定義和分類，毫無疑問，花崗石污泥屬於天然的波索蘭材料。

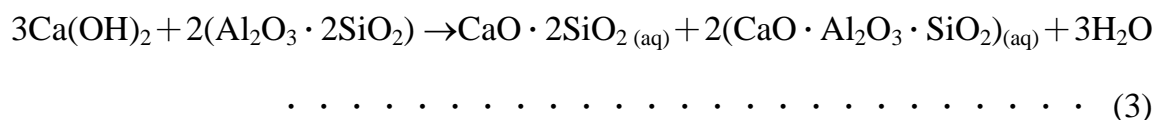
波索蘭材料的特點是富含矽鋁物質，在強鹼溶液作用之下，矽鋁被溶出而形成離子，再與鈣離子反應形成矽酸鈣膠體和鋁酸鈣晶體，這就是著名的波索蘭反應，其反應式如下：



上述反應式中，X、Y、Z 表示波索蘭水合物中氧化鈣、氧化矽和水三種組成之莫耳數比，因為波索蘭水合物擁有多種形態的組合，故以 X、Y、Z 表示。

(1)高壓蒸汽法

高壓蒸汽養護輕質混凝土(Autoclaved Lightweight Aerated Concrete)簡稱 ALC，係由矽砂、水泥、石灰和水為主要原料，摻合發泡劑與添加物反應而成，其製造過程類似一般的混凝土，最終目的在於產生強度較高的 Tobermonite 板狀晶體，唯一不同之處是製程中添加發泡劑，使最終產物因發泡而形成多孔性，降低混凝土的比重。ALC 製造的主要化學反應為波索蘭反應，就是具有矽質和鋁酸鹽的材料與氫氧化鈣水溶液作用，產生如下的化學反應：



其次，ALC 的品質也取決於後續的處理，猶如一般混凝土的養護過程，ALC 的養護程序決定其品質的成敗。根據水泥水化過程的進展，初凝開始後，水泥砂漿急速放熱，大量產生 C-S-H 膠體。這些無定形膠體的強度較弱，不利於混凝土的整體強度；若提高養護溫度，則能降低水化放熱反應的速率，有利於生成 Tobermonite 板狀晶體。另一方面，在水化過程的後半段，由於反應逐漸擴散至內部，反應機制從原先的化學控制轉變成物理控制，此時適時的水分補充，對於產品最後的強度有莫大助益。

ALC 發展至今，配方專利繁多，大約分為三大類：一般配方（水泥、矽砂），高爐石配方（水泥、矽砂、高爐石）和石灰配方（水泥、矽砂、石灰）。其中一般配方和高爐石配方因成本與品質控制不易的因素較少使用，目前大

多數國家都採用石灰配方。

值得注意的是，為降低 ALC 的比重，在製程中必須添加發泡劑，如鋁粉，藉由在鹼性環境下產生氫氣而造成孔洞，或是氣泡生成穩定劑，在養護過程中產生氣泡。另一方面，因為水泥含有鋁酸鈣成分，其水化產物鈣氫石因石膏不足，轉變成單硫化合物，造成 ALC 的耐久性不佳。為避免發生此因素，在製造 ALC 的過程中，添加適量的石膏是必要的，其製程如圖 5.5 所示。

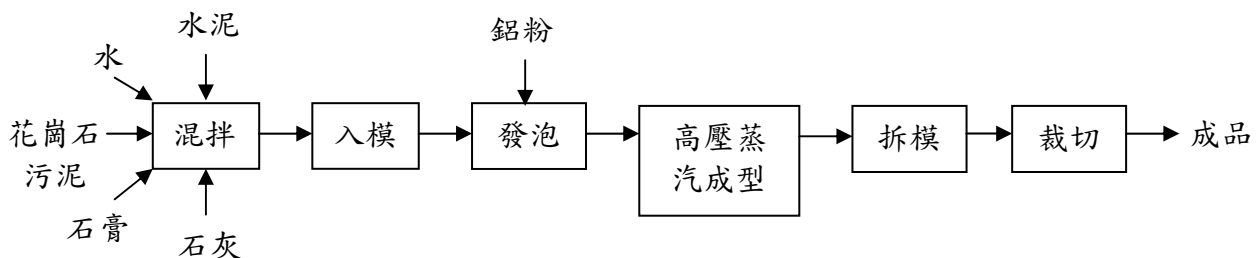


圖 5.5 高壓蒸汽法流程圖

(2) 常壓溶液法

早在 1965 年，波索蘭水合物的吸收現象就已被發現，依據 Merck Index 的資料顯示，純的矽酸鈣膠體乾燥後可吸收六倍的水分和五倍的油分，因此，波索蘭水合物的吸收效果是不容置疑。1985 年之後，Jozewicz 和 Rochelle 以飛灰水合物吸收硫氧化物，發現吸收效果良好。花崗石污泥基於同屬波索蘭材料，在硫氧化物的吸收有其一定的功效。

花崗石污泥是富含矽的物質，在強鹼溶液作用之下，矽被溶出而形成離子，再與鈣離子反應形成矽酸鈣膠體。根據波索蘭化學反應的描述，惟有以離子狀態存在的矽鋁物質，才能與溶液中的鈣離子反應形成波索蘭水合物。因此提升矽鋁物質的溶解速率，並且促進與鈣離子的反應，成為花崗石污泥資源化技術的重要關鍵，其製程如圖 5.6 所示。綜合多數研究人員的研究成果，發現波索蘭反應內常添加氫氧化鈉以增進矽鋁物質的溶解速率，或是加入氯化鈣、硫酸鈣和亞硫酸鈣，以提高水合作用的效率。

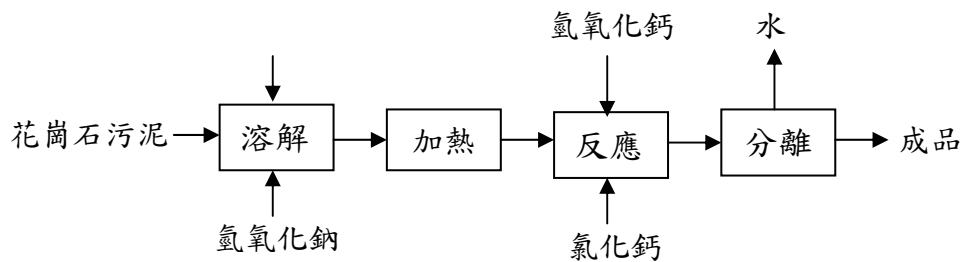


圖 5.6 常壓溶液法流程圖

4. 燒結技術

(1) 膨脹燒結

輕質粒料依形成方式分成天然和人造兩大類。人造輕質粒料的種類繁多，包括利用天然材料，如黏土、頁岩、火山玻璃石、生雲母等燒製而成的膨脹粘土、膨脹頁岩、珍珠石、蛭石等，或是以工業廢料如爐石、飛灰等製作成的膨脹爐石、燒結飛灰及冷結飛灰等。無論天然或人造輕質粒料，其材質中含有相當高比例的孔隙，尤其是粒料外表因燒結形成高強度的硬表殼，內部富含孔隙的人造輕質粒料，具有質輕、低吸水率、高強度的特性。

輕質粒料具有許多傳統粒料所欠缺的優點，例如質輕，其構成的輕質混凝土的單位重較相同配比的一般混凝土約低 25~30%，一般介於 1,400~1,800 kg/m³，減輕預鑄構件的裝備和搬運，同時結構斷面減小，可使用浮空增加，自重降低，可增加跨度。其次，因其孔隙度高，隔熱效果佳。通常混凝土或紅磚的熱傳導係數介於 1.0~1.5W/mK，然而輕質粒料混凝土的熱傳導係數僅為 0.1~1.0W/mK，所以採用輕質粒料混凝土的建築物，可大幅降低使用冷氣的能源消耗。此外，輕質粒料還具有防火性能佳，強度符合預鑄構件的需求等，因此極適合使用於房屋建築的構材，世界各先進國家早已引用為營建材料，其中美國是世界上生產人造輕質粒料最早的國家。早在 1917 年，美國則首先使用旋窯燒製的膨脹性黏土和頁岩的輕質粒料，以解決一般混凝土自重大的缺點，進而於 1950 年代，普遍使用輕質粒料拌製的輕質混凝土，使用於房屋框架、橋面板和預鑄構件等，如芝加哥的 42 層高樓。

由於抗壓強度和單位重的比例關係是衡量輕質粒料混凝土品質優劣的重要依據，對於影響輕質混凝土抗壓強度的因素，例如粒料種類、級配、強

度、水泥漿量和水灰比等，需要控制在一定的範圍內。一般而言，粒料粒徑愈大，愈不利於混凝土強度，故一般建議輕質粒料最大粒徑應在 25mm 以下。為製造符合粒徑規範的輕質粒料，通常在燒製前，藉由造粒方式以控制粒料的粒徑。

花崗石污泥的礦物組成包括石英、長石和雲母等，主要化學成分則為 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 和 K_2O ，從 Riley 的膨脹原料化學成分三元相圖顯示，其礦物組成與化學成分都符合產製人造輕質粒料所須具備的原料配方條件，因此花崗石污泥極適合燒製成輕質粒料，其製程如圖 5.7。

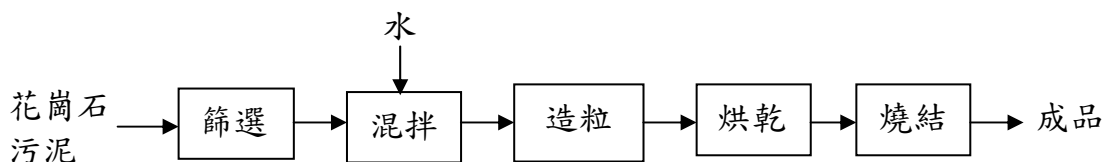


圖 5.7 膨脹燒結法流程圖

(2) 玻化燒結

目前國內瓷磚的產製，其原料大多從國外進口的礦砂，依不同品質需求進行調配，以製得不同的商業化瓷磚產品。對於傳統陶瓷工業而言，非常注重瓷磚配方的調配，大體而言，瓷磚的配方以燧石、黏土和長石為主體。其中燧石富含氧化矽，黏土則最常使用高嶺土，而長石類礦砂以鉀長石為主，有時也使用鈉長石和鈣長石。氧化矽的作用為增加瓷磚的表面光澤度、緻密度，在高溫燒製過程後，在瓷磚表面形成一層類似玻璃的高溫釉層，可防止液體滲透和抵抗酸鹼侵蝕，增加瓷磚的耐候性。氧化鋁的作用為增加瓷磚的硬度和強度；氧化鉀和氧化鈉則促使氧化矽和氧化鋁產生共晶熔融，降低燒製瓷磚所需溫度，節省燒製成本。

花崗石污泥含有大量的石英和長石，根據傳統窯燒陶瓷工業所使用的原料成分相圖(燧石—白榴石—富鋁紅柱石三元相圖)，其化學成分位於石英面磚配方區域，因此可藉由玻化燒結過程，將花崗石污泥燒製成石英磚產品。由於鋼砂拉鋸切割產生的花崗石污泥含有大量的鋼砂，高含量的氧化鐵在燒結過程中，將使燒成的石英面磚呈現深棕色，同時因鋼砂顆粒完全氧化而膨

脹，導致面磚內部有微量發泡現象。而十字剪切割產生的花崗石污泥因帶有磨耗的人造鑽石顆粒，其在高溫燒結時反應產生二氧化碳，導致面磚發泡變形，因此花崗石污泥在進行資源化為石英面磚前，必須先去除其內的鋼砂，而且燒結溫度不得超過 $1,200^{\circ}\text{C}$ ，最適溫度為 $1,125\sim 1,150^{\circ}\text{C}$ ，否則因原料產生大量液相，使坯體迅速攤開而無法成型。其製程如圖 5.8 所示。

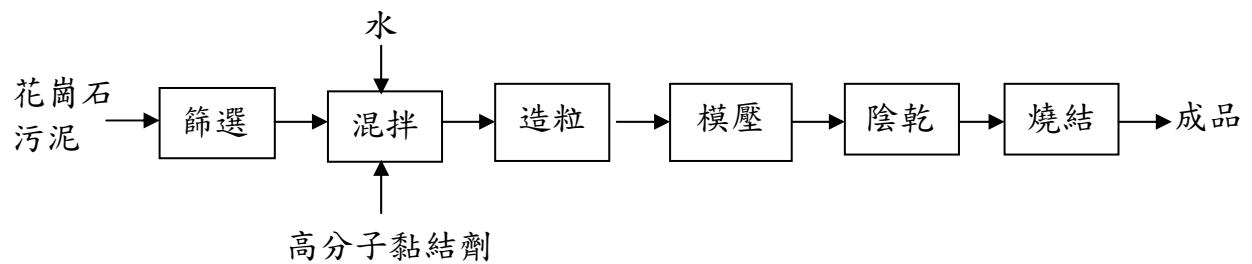


圖 5.8 玻化燒結法流程圖

5.2 石材廢料資源化技術

5.2.1 花崗石廢料資源回收再利用

1. 花崗石廢料資源回收為粗、細粒料

花崗石邊料藉由顎碎機破碎成不同粒徑的碎石礫，再通過不同篩網，篩選收集各種粒徑的碎石礫，依其不同粒徑大小，可應用於不同工程級配用料，以及其他用途。對於花崗石廢料破碎成的粗粒料，主要應用於工程級配用料、庭園造景材料，水族箱內礁石，且因其硬度較一般砂石高，是高速鐵路道渣的優良來源。至於破碎到細砂程度的花崗石廢料，則有細粒料的應用，包括做為石英砂，應用於鋼板除銹處理，或摻混塗料用樹脂和色料，以噴霧方式塗布於外牆，作為裝飾建材，或為摻混水泥和無機色料，以高壓成型方式，製作人行連鎖地磚的表層。

2. 人造花崗石的應用

花崗石邊料經由破碎成碎石礫，篩選後加入不同類型的樹脂配方，再經充分攪拌混合，注入模具內，於真空、震盪和加熱下，製成大石塊。經切割、研磨、水平和尺寸大小校正後，依所用不同類型的樹脂配方，變成應用於不同領域的人造花崗石，其資源化利用一般流程如圖 5.9。

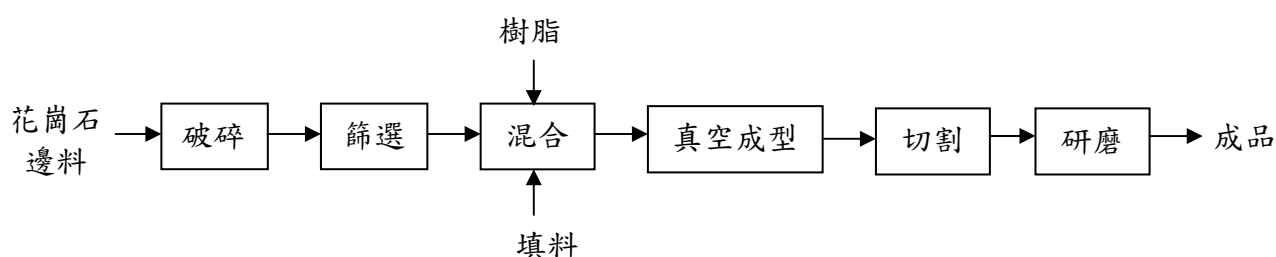


圖 5.9 人造花崗石製造流程圖

製造人造花崗石所用的樹脂配方主要分成三大類：壓克力樹脂、不飽和聚酯和環氧樹脂。以壓克力樹脂製成的人造花崗石應用於流理台桌面、廚櫃等廚房廚具，具有耐撞擊的特性。應用於室內裝修材料的人造花崗石，其主要樹脂

配方為不飽和聚酯，產品色澤紋路穩定性高，吸水率低，不易受環境污染，惟光澤度較天然花崗石低。至於以環氧樹脂配方製成的人造花崗石，其製程技術和品質要求最為嚴苛，環氧樹脂用量不超過 10wt%，產品因具備高耐震性、低熱形變性和耐腐蝕性等特點，主要應用於半導體、光電產業的製程設備平台，以及許多精密加工基座和量測設備平台，是目前附加價值最高的應用。

5.2.2 大理石廢料資源回收再利用

1. 磨石子地磚的應用

大理石邊料經過破碎和過篩處理後，篩選一定粒徑大小的石粒為磨石子地磚的粒料，與固定配比的水泥、色料和水均勻混拌後，注入模具中，以高壓成型機將其壓製成地磚製品，脫模後在室溫下養護 7~14 日，再以表面研磨方式處理地磚，則得最終磨石子地磚產品，其製作流程如圖 5.10。

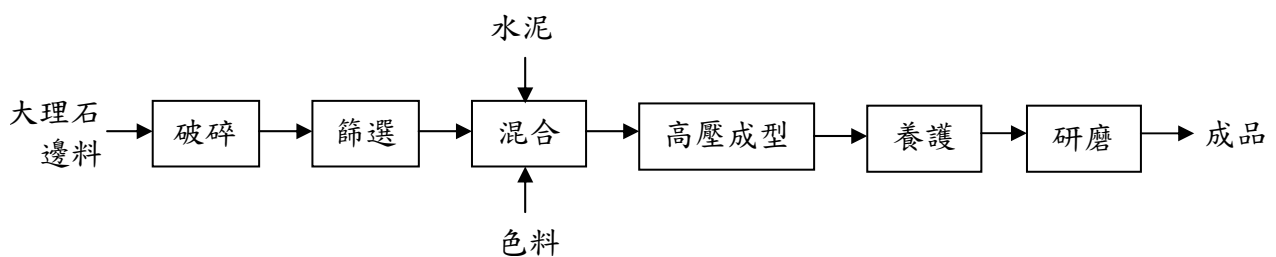


圖 5.10 磨石子地磚製造流程圖

2. 人造大理石的應用

大理石邊料經由破碎成碎石礫，篩選後加入不飽和聚酯配方，再經充分攪拌混合，注入模具內，於真空、震盪和加熱下，製成大石塊。經切割、研磨、水平和尺寸大小校正後，變成應用於室內裝修材的人造大理石，其資源化利用流程如圖 5.11。

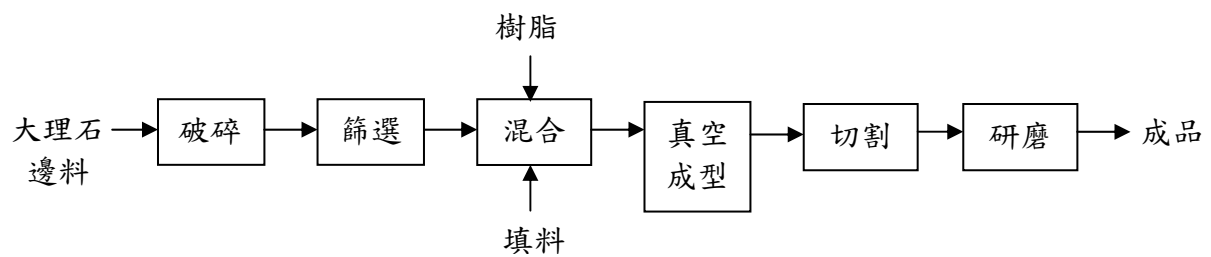


圖 5.11 人造大理石製造流程圖

由於大理石的莫氏硬度較低，成型後整體硬度不高、易磨損，因此在最近的發展過程，常於其中添加硬度較高的填料，甚至摻混花崗石廢料，以增加其耐磨性。此外，由於其光澤度僅達 70 左右，遠低於天然大理石，是另一須考量的問題。

5.2.3 蛇紋石廢料資源回收再利用

1943 年美國人瓦薩(J. H. Walthall)和浦力加(G. L. Brider)共同發表熔磷鎂肥料製法，其製法乃將磷灰石與橄欖石混合，在 $1,500^{\circ}\text{C}$ 下熔融，急冷後產物幾乎不溶於水，然而卻可完全溶於植物根部所排出的弱酸。1946 年美國蓋渣鋁化學公司根據上述方法，將磷灰石與蛇紋石混合熔融，急冷製成最早問世的熔磷鎂肥料，是一種優質非水溶性的磷酸肥料。而日本東京大學春日井博士和中川博士，於西元 1940 年發現肥料中若同時含有磷酸和苦土(MgO)兩種成分時，可增進植物對磷酸成分的吸收，因此開發難溶於水，卻可溶於 2% 檸檬酸的熔磷鎂肥，其製法如圖 5.12 所示。將磷礦石、蛇紋岩和矽石混合，經過 $1,400\sim 1,450^{\circ}\text{C}$ 高熱熔融，並用大量的水將其急冷，使成為玻璃質，研磨後得到所謂的熔磷鎂肥。

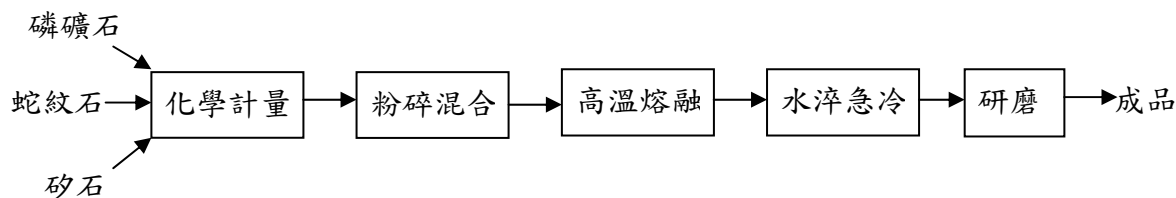


圖 5.12 蛇紋石廢料製備熔磷鎂肥流程圖

熔磷鎂肥無論在製程或使用方面，皆較一般磷酸肥料優良。例如其在製造過程，不需添加硫酸，因此可提高生產設備的使用壽命。其次，其製品中的磷酸屬於檸檬酸溶性，不溶於水，故不怕雨水沖刷流失，施肥藥效特長；而且製品不吸濕，浸濕後不變化、不凝固，無臭，無刺激性。熔磷鎂肥含有高達 20% 的有效磷，且其中的氧化鈣在土壤中遇酸溶解後，不但可中和土壤的酸性，又可為植物吸收的養分。此外，該肥料可添加如鐵、銅、錳、鉬和鈷等微量元素，或併用如硫酸鉀、氯化鈣和氧化鉀等肥料，施作於農作物效果更佳。

臺灣屬於山多平原少的地形，耕地面積非常有限，因此農業經營多採密集式耕作方式。然而因地處亞熱帶，氣候高溫多雨，養分容易流失。為迅速補充肥料養分，達到作物增產目標，長久以來農民大量使用化學肥料，導致土壤中植物所需的微量元素消耗殆盡，甚至土壤酸化嚴重。然而若使用熔磷鎂肥料，因其為檸檬酸溶性，不溶於水，故不怕雨水沖刷流失。而且其能提供植物生長所需的要素，包括 P_2O_5 、 MgO 、 CaO 和 SiO_2 等，對恢復地力和改善酸性土質亦有非常好的效果，可取代傳統所用的過磷酸鈣肥料，兼具特殊肥效和土壤改質雙重特性。再者，一旦施以過多的熔磷鎂肥料時，亦不致如其他速效性肥料造成水質污染或損害農作物的不良後果。

蛇紋石廢料、磷礦石和矽石經混合、高溫熔融、水淬急冷和研磨後，得到熔磷鎂肥料，其品質規範如下：

檸檬酸溶性 $P_2O_5 > 17\%$

檸檬酸溶性 $MgO > 12\%$

檸檬酸溶性鹼度 $> 40\%$

第六章 設備選用程序與評估

本章節將針對廢棄物資源化工作時，如何評估與選用設備之程序，舉出相關基本原則及注意事項。

6.1 資源化技術評估流程

工廠在規劃設置回收系統時，一般必須藉由系統化的程序指導，才能建立確實符合工廠需求的設備，進而達到廢棄物減量及原物料回收之預期目標。各廠可依本身製程特性，規劃完整的設備選用系統之作業程序及預定進度。在先期的系統評估方面有以下兩個步驟：

- 1.第一階段：清算製程污染源
- 2.第二階段：資源化系統實驗規劃評估流程
- 3.第三階段：評估資源化設備

針對每一污染源，找出其可應用之資源化方案，並進一步評估各項資源化方案對減少污染產生量之預期效果，且有些資源化方案可能因工廠既有場地面積不足，在此一工作階段即可予以過濾刪除。在執行此階段時，亦可考慮聘用顧問，以協助提供資源化技術建議及評估。此階段可再細分為三項步驟，各步驟如下：

- 1.找出可應用之資源化方案，並選擇較重要者。
- 2.針對較重要之資源化方案，評估預期之資源化成效。
- 3.將評估結果做成紀錄，並進行分析。

資源化系統實驗規劃評估係於設備規劃前，透過實驗確認資源化流程的可行性，如圖 6.1，包括以下步驟：

- 1.背景資料：製程概述、廢棄物質量、場地狀況、人員狀況。
- 2.適用性研究：廢棄物品質分析、類似工廠處理經驗蒐集、資源化可行性實驗、綜合評估、流程建議、模擬實際計畫。
- 3.模擬實驗（模擬廠試驗）：資源化效率驗證、操作穩定性、未來擴展彈性、工程設計資料求取(蒐集)、經濟效益評估。
- 4.啟動試車：硬體單元測試、資源化設備性能及穩定性測試、人員訓練、操作

維護說明書。

由於完整的資源化技術評估作業程序較為複雜，從評估供應商到完成回收系統之設置，所需之工作相當複雜，工廠可考慮聘請在此領域有專長及經驗之專職顧問，以充當工廠與供應商之間的溝通橋樑。

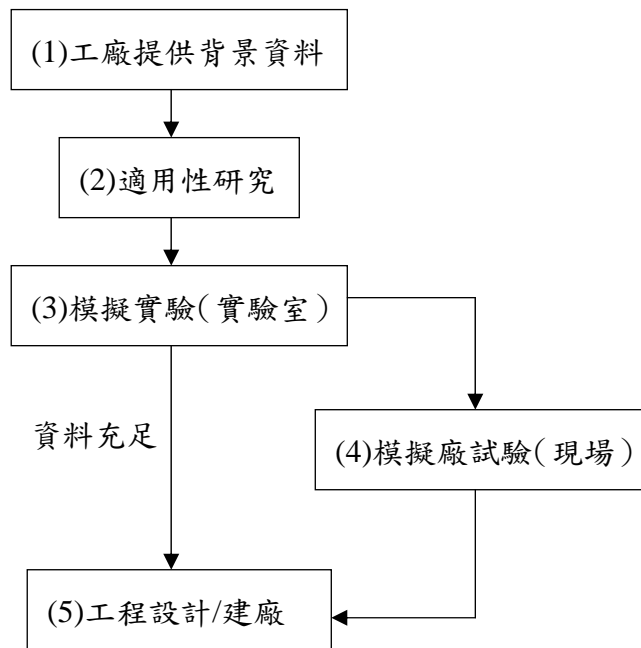


圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程

6.2 資源化設備選用程序

圖 6.2 說明理想的資源化設備評估，包括工廠、研究單位、技術顧問單位及工程施工單位四個角色的分工合作以及密切配合。工廠在遭遇廢棄物資源化問題時，首先委託技術顧問單位進行規劃，技術顧問單位在接受委託之後，站在工廠的立場運用其專業知識，謀求解決方案。若是工廠可運用已有的經驗進行規劃，則在背景資料蒐集及擬定基本的處理流程之後進行基本設計及細部設計，在這過程之中，顧問公司應對其設計的理念及所選流程的優缺點充分與委託者（工廠）溝通說明，若處理流程有多重選擇時，仍由委託者做最後的決定。

若是技術單位在初步評估之後，認為現有資料無法進行處理場的流程規劃，則應向工廠提出評估建議書，再由顧問洽詢研究單位進行流程評估研究，以提供技術顧問單位所需的資料，以便完成規劃。工程單位只在細部設計之後，按照其規格要求施工，並依照規格驗收。性能試車則在技術顧問單位的指導下進行，直到正式運轉為止。性能的優劣則由技術顧問單位負責。

上述過程的優點是將規劃設計與工程施工分段進行，規劃設計階段，技術顧問單位較能站在工廠的立場選擇適當的處理方式，若在現有經驗上無法立即進行流程規劃，亦能建議工廠先進行研究計畫，取得資料之後再進行工程化，較能有效的降低建廠後運轉不順利的風險。

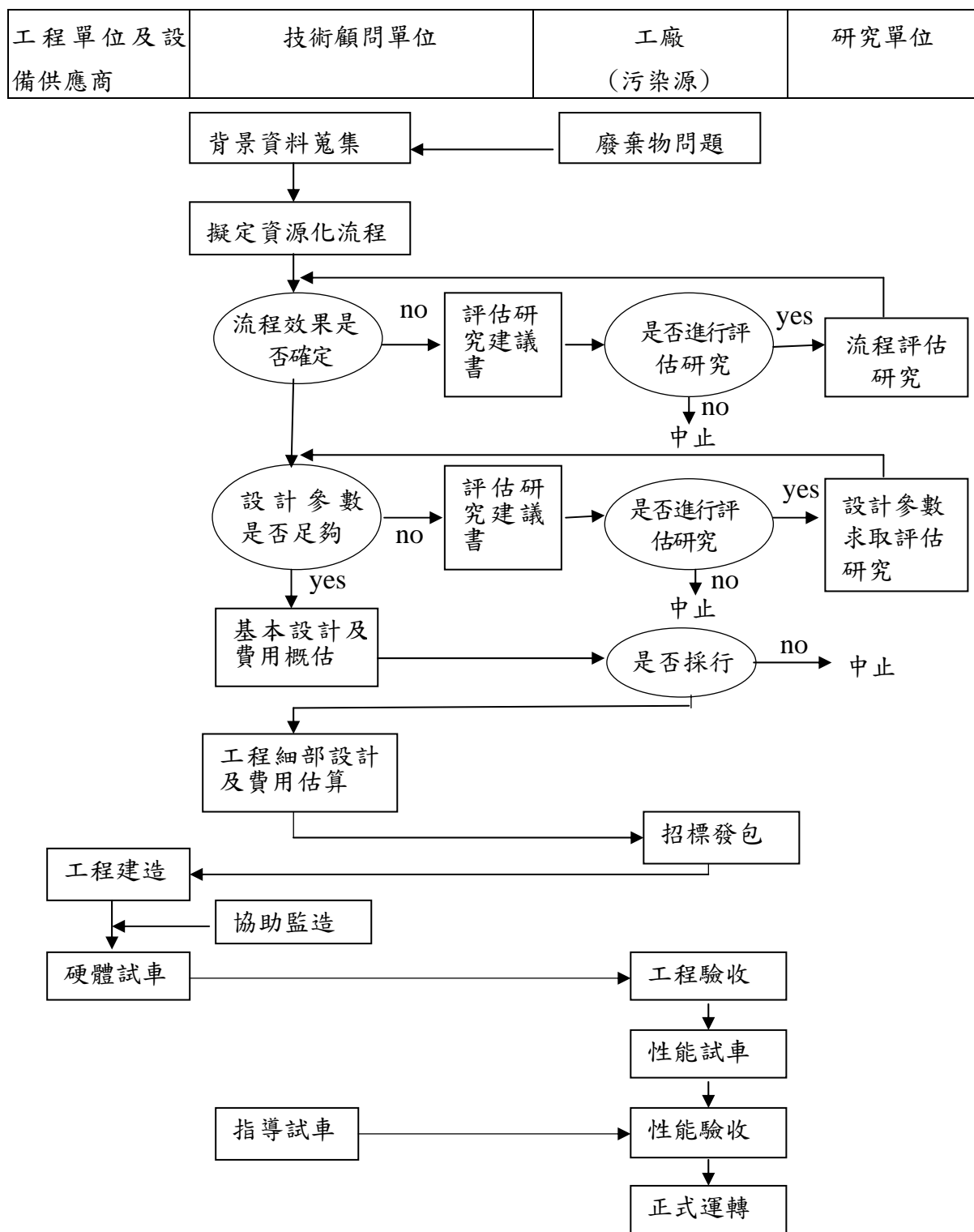


圖 6.2 資源化設備評估流程

1.聘任顧問

一般來說，顧問之工作項目包含：

- 廠內製程單元之污染源清查。
- 分析統計各製程單元之廢污物產生量，並研提可行的資源化方案。
- 評估及選擇合適的回收系統供應商。
- 撰寫回收系統採購說明書，內容包括可行性試驗、設備詳細規格、人員訓練與試車，以及設備處理功能等。
- 協助調整或更改現有製程設備，以配合回收系統之設置。
- 協助廠方審核各回收系統供應商所提之規劃設計書，並就技術觀點提供工廠具體意見。
- 決定回收系統供應商後，繼續協助可行性試驗等相關工作的進行，並監督其執行過程，評估其結果。
- 合約書可能需依可行性的試驗結果加以修改，顧問可進一步審核其更改內容，及其處理功能的保證。
- 評核得標廠商所提供的系統配置圖、製造流程圖，以瞭解廢液或廢棄物收集系統的設置、二次污染的處理情形、洩漏時之處理措施，以及剩餘廢棄物的處置方式是否均能符合環保規定。
- 回收系統正式試車前審核操作維護手冊的完整性。
- 將回收系統之安裝、試車及操作訓練等過程全程錄影，以進一步審核系統的功能。
- 提供廠方操作人員之定期訓練，並校正回收系統之程式控制器準確性。

2.設備選用程序

相關購置回收系統之各階段工作內容說明如下：

(1)訂定回收系統採購說明書

工廠應依本身的需求訂定回收系統採購說明書，內容載明回收系統所需達到的功能要求，並分寄各回收系統供應商。此階段可分為五項步驟，各步驟工作內容說明如下：

- A.工廠之技術人負責擬定回收系統採購說明書，並經由工廠決策人員核可。
- B.將採購說明書寄至各回收系統供應廠商。
- C.供應商至現場踏勘，並採集樣品進行可行性試驗。
- D.採訪類似回收系統之供應商或製造商。
- E.供應商提出回收系統規劃設計書。

(2)審核回收系統規劃設計書並簽訂合約

審核各供應商所提之回收系統規劃設計書，並要求在規劃書中應詳列系統之主要設備單價明細，找出其遺漏的地方，並選出較合適之供應商。

審核供應商之規劃設計書後，最好能再與供應商討論，並進一步提出問題，必要時需經試驗確定，因可行性試驗可對回收系統是否能達到預期之處理功能，提供廠內確實的保證。

(3)修改廠內製程設備

完成回收系統採購合約之簽訂後，進行廠內製程必要之修改工作，以因應回收系統的設置。

(4)回收系統設置及備用零件貯存

回收系統之備用零件應在系統未設置前就應備妥，且回收系統供應商有必要提供廠方備用零件清單，有時供應商提供之備用零件種類及數量超過實際需要，而造成浪費。因此廠方需先評估備用零件清單的內容。此方面廠方可向已設相同種類回收系統之工廠請教。一般的經驗是 pH 計及一些控制零件應比攪拌設備更須準備備品；緊急採購這些零件所花費的時間亦應考慮在內，對於所採購的備用零件應妥善貯存，並予以編號，以利需要時容易取得。

回收系統也應編號以利辨認，編號的方式可將該系統所在之製程線及製程槽納入，此編號可用在採購說明書、訂單及運送該系統之包裝上，整個採購過程即可以此編號系統進行追蹤，並方便查核作業的進行。所有的採購項目可依編號整理成一張清單，並將設備之相關資料納入清單中，如設備之預期處理功能等數據，其組成之電機機械設備、建造材料設備、尺寸及其相關設計圖編號、預期及實際進貨日期、訂單編號等等，有些重要的閥件，可考慮另列一張清單。

(5)系統測試與試車

設備在設置前應先行測試，以確保電氣及機械系統的完善，經測試後再行安裝。試車時應進行回收處理前後之取樣檢測工作，以做為評估系統是否能達到預期處理功能。取樣的位置包括進流口及出流口或設備操作前後，樣品應分為三份，工廠保留二份，系統供應商一份，雙方分別檢測後互相印證之。樣品應依標準程序妥善保存、運送，並分析之。檢測結果再由雙方共同評估，若無法對檢驗結果達成共識，則應將第三份樣品送交雙方認可之第三個檢測機構檢測之。

在執行最後階段的測試時，最好能使用相當量的廢液或廢棄物來測試，回收系統的付費方式，儘可能的話，除了運費與設置費外，工廠應保留 10～15%的設備費用，以防設備無法達到預期功能。保留的期限以在設備設置並達成預期之處理功能後六個月內為限。

設備之安裝費用一般可保留 10%做為尾款，直到水力、機械及電氣等操作問題完全解決後，方才付清，有時設備供應商會將此費用提高 2%，以充當利息之損失。

3.供應商評估

(1)供應商評估及選擇

在選擇回收系統供應商時，一般可依據下列項目來判斷供應商的技術能力及所提供的回收系統之優缺點。

- 供應商的員工、工程師、專屬技術專家、實驗人員及銷售人員等人數。
- 所欲購置之回收系統，該供應商已在市場上推行多久。
- 供應商之年營業額多少，對同類型工廠之營業額如何。
- 供應商對於處理購置該項回收系統的工廠，所編制之人力架構如何。
- 那些物料、配件由其他廠商供應。
- 地區代理商服務及維修能力。
- 是否有供應同類型工廠的其他回收系統。
- 各附屬零件（如泵之軸封、馬達、攪拌器、樹脂、塔槽、偵測儀等）之代理商。

- 系統故障是否能退回。
- 系統運送方式及裝設進度表。
- 是否需加裝隔離設施，以維護製程較敏感的儀器。
- 可提供多少份系統之操作維護手冊。
- 對該工業製程單元瞭解程度。
- 系統之備用零件取得的難易性，以及是否已將備用零件包括在報價單內。
- 買方是否可參與系統設置之規劃設計的審核工作。
- 系統搬運及重新設置是否方便。
- 現有場地面積是否足夠。
- 置放系統之平台的防蝕措施如何。（採不銹鋼或玻璃纖維的平台較普通的鋼板耐蝕）
- 那些零件可在當地購買，而不抵觸系統保證書的內容。
- 製程產能加倍，該設備應做那些更改。
- 系統是否容許 24 小時連續操作。
- 系統是否能被一般運送的貨櫃所容納。
- 廠區配置圖是否與實際狀況吻合。
- 製程上應做那些修改，以配合此項設備的設置。
- 該系統需多少操作人力、維護頻率及時間如何。
- 是否可先瀏覽該系統之操作維護手冊。
- 該系統日常維護項目有那些。

其他次要判斷的項目包含：

- 那些零件最容易故障，修復需多少時間。
- 系統操作時，會有那些狀況產生。
- 是否需額外加裝廢氣處理設施或排氣設施。
- 是否提供該系統之操作維護核對表格，以利系統之管理維護。
- 系統栓緊零件（栓、螺絲、螺帽）是否使用不銹鋼材。

- 控制盤是否有中文標示。
- 誰來負責安裝試車人員之差旅及膳雜等費用。
- 供應商提供所需準備之備用零件是如何決定的。

澄清上述的問題後，若能親自訪視幾家新設（三家）或已設（三年）回收系統之工廠，以作為最後選擇回收系統供應商的依據，因經由現場訪視，可進一步瞭解供應商的服務品質及技術能力，以及該系統實際操作情形，並藉由與現場操作人員聊天來查詢回收系統實際操作上的問題所在，再向供應商詢問澄清之。

(2)代理商服務及維護能力評定

回收系統之地區代理商的服務及維護能力，也是決定回收系統廠牌的重要因素。因回收系統運達工廠後，接下來的系統安裝、試車及操作人員訓練等工作，可能就交由當地代理商負責（一般視廠方與供應商的合約而定），由於各家代理商之技術能力不盡相同，例如有些代理商僅能提供所需附屬零件的更換，有些代理商則可提供此套系統所有技術維修之服務工作。若代理商對工廠製程有相當的瞭解，對往後的維修工作將更有幫助，所以工廠在合約書內應與原設備供應商，釐定清楚地區代理商的責任範圍。

6.3 資源化成本分析

廢棄物資源化成本之分析不易，原因包括產源不確定及不穩定性，廢棄物質之變異性、產品市場之隱晦與閉塞、收集轉運之暢通性不足等。同時，資源化產品之市場性分析也不易，包括產品規格及供需配合特性、行銷管道、市場價格、經營方式等層面。因資源化產品市場銷售網不易建立、缺乏國外市場資訊、買賣憑証取得困難、資源化成本過高、再生原料市場價格偏低、國外市場價格競爭等問題之變異性非常大，使得成本分析不易。但投資風險仍然得靠成本分析始得釐清，因此對資源化系統的成本分析仍須進行，主要分析項目包括投資成本、回收效益、淨效益及回收期限等。

以下則以系統化流程，說明其成本分析之要項。

1.回收處理系統要素評估

(1)廢棄物之來源、數量及成分穩定性

(2)處理規模

(3)物料運輸成本：依地域性而異

(4)投資模式

A.委託代清除處理

B.成立處理體系

C.申請事業廢棄物再利用計畫

D.設置廠內回收處理設備

(5)資源化產品

2.處理容量規劃

(1)基本資料

A.處理量

B.人員編制

C.操作條件

- 進料配比

- 操作溫度

(2)質量平衡

(3)系統物料數量計算

(4)槽體體積

3.設備規劃

(1)模廠材質、設備選用及安裝配管

- 材質耐蝕、能承受溫度變化

(2)模廠操作試驗及樣品監測分析

- 試車確保無洩漏
- 控制因子操作試驗
- 試驗參數檢討修正

(3)模廠功能改善

- 設備功能改善
- 操作方式調整
- 設定最佳操作參數

(4)資源化廠先期規劃

- 尺寸放大考量因子
- 處理容量規劃
- 整廠設備規劃
- 人員編制

(5)操作參數

(6)系統設計

(7)設備材質、施工、基地大小

(8)污染防治

- 尾氣處理
- 洩漏預防
- 貯槽防溢

(9)設備單元

- 進料系統、卸料系統、分離系統、熱能供應及整廠儀錶監控系統

(10)設備設計考量要點

- 貯槽、反應槽：操作量、溶液性質及溫度
- 輸送泵：輸送溶液性質
- 管件：輸送量、溶液性質及溫度
- 儀錶：操作方便、耐蝕、價錢
- 特殊設備：物料處理量

(11)設備適用材質

- 貯槽
- 固體分離機
- 輸送泵
- 管件

4.資源化系統效益評估

資源化系統效益評估要項主要為設備成本及操作維護成本，包括：

(1) 工程及設備成本

(2) 材料成本

(3) 操作維護成本：人事及管銷費、維護保養費

5.資源化效益評估案例

(1)花崗石污泥製作人工魚礁

花崗石污泥製作人工魚礁的成本，與一般人工魚礁的製作成本，最大的差異在於配比的的不同，至於操作過程則無改變。根據漁業局的建議，一般水泥人工魚礁的配比為波特蘭Ⅱ型水泥 1.0 公噸、砂 1.75 公噸及石 2.76 公噸。而花崗石污泥製作人工魚礁的配比為波特蘭Ⅰ型水泥 0.8 公噸、水淬爐石 0.2 公噸、砂 1.27 公噸、石 1.77 公噸及花崗石污泥 0.5 公噸。

臺灣西部的砂石價格浮動頻繁，東部的砂石價格較為持穩，只有西部的

三分之一。中鋼生產的水淬爐石由子公司中聯爐石銷售，銷售網遍布全臺，價格一直很穩定。由於東部地區路途遙遠，運輸不便，此地的經銷商則轉向日本採購，從蘇澳港進口，再以陸路運送，供應東部地區的營建業使用。

由於人工魚礁的投放遍布全臺各海岸，而且東西部的砂石價格差距甚大，為真實明瞭以花崗石污泥在兩地製作人工魚礁的經濟效益，材料成本的分析應分別考慮東西部的差異。在比較漁業局配方與資源化技術時，扣除相同的鋼筋費用，以及影響較小的水的成本，以花崗石污泥製作人工魚礁，在東部可節省 171.4 元/個的材料成本，在西部可節省 254.5 元/個的材料成本。雖然此技術在西部進行有較高的經濟誘因，但是西部地區的花崗石污泥數量有限，而且石材廠分布零散，在考量運輸成本時，只能在某些區域進行資源化技術。其次，以花崗石污泥製作人工魚礁時，因為每批污泥的含水率不同，在輸送、計量和拌合過程，必須增加較多的操作程序，無形中增加操作成本。

(2)花崗石污泥製作高壓蒸汽養護輕質混凝土磚

高壓蒸汽養護輕質混凝土 (Autoclaved Lightweight Aerated Concrete，簡稱 ALC)，由砂、水泥、石灰和水為主要原料，摻合發泡劑與添加物反應而成。高壓蒸汽養護輕質混凝土磚的商業化僅五十年，是近世被公認具有防火、隔音又輕量的建材。ALC 磚的國內市場集中於隔間材，主要的競爭對手為傳統的紅磚。雖然因環保問題，磚廠日漸凋零，紅磚產量日益縮減，然而因價廉與施工習性緣故，紅磚仍是隔間材的主流。若以 10 公分厚的磚製品為基準，每平方公尺的紅磚售價為 172 元，同樣尺寸規格的 ALC 磚卻需 350 元，但是 ALC 磚的施工用料遠較紅磚低廉，所以含料計算後，平均每平方公尺的 ALC 磚僅需 900~950 元，而紅磚卻為 950~1,000 元。另一方面，ALC 磚體積大卻質輕，故施工效率較紅磚快兩倍以上，對於節省人力成本貢獻卓著。

國內的 ALC 磚廠以砂生產 ALC 磚，其生產成本約 1,900 元/m³，若改以花崗石污泥取代砂，雖然降低成本約 83.5 元/m³，但計算花崗石污泥的清

運費用後，則完全無利可圖。因為生產ALC磚的矽砂大多來自苗栗或馬來西亞，純度高達 98% 以上，而且外加運費後，平均每公噸約 600~700 元，與從東部運抵西部的花崗石污泥相較，似乎不遑多讓。

根據工業局的統計，以 10 公分厚的製品為基準，台灣的 ALC 製品的使用量如下：80 年約為 13.5 萬平方公尺，90 年為 250 萬平方公尺左右。這些龐大的需求市場幾乎集中於西部，原料與市場的不一致性導致本資源化技術經濟效益偏低。ALC 設廠的投資金額甚大，通常需億元以上，相對的，其風險性也大，但從另一面考量，將來不至於小廠林立，發生惡性競爭的現象。

(3)花崗石污泥製作高壓混凝土磚

高壓混凝土磚的產品眾多，應用範圍廣泛，每平方公尺約 300~350 元。目前高壓混凝土磚的主要產品是連鎖地磚，所以高壓混凝土磚的市場仍集中於西部。尤其是鶯歌、桃園一帶，東部地區消費市場規模小。連鎖地磚的樣式、規格眾多，目前最常見的規格為 22.5 cm×11.25 cm×6 cm，約重 3.5 公斤，所以鋪設一平方公尺的面積需 39.5 塊連鎖地磚。連鎖地磚的材質分成兩類，一為單層人行地磚，另一為雙層人行地磚。單層人行地磚的製作原料為水泥、砂和碎石；雙層人行地磚則另加矽砂，二種都有添加色料的產品。在花崗石廢棄物製作人行地磚的系統裡，砂為花崗石污泥所取代，矽砂則為花崗石砂所取代。由於砂和碎石在東、西部的售價差距甚大，所以評估材料成本時，應分別考慮二地的不同。

連鎖地磚的製造設備種類眾多，從家庭式到大廠房的機械設備應有盡有，設備的選擇決定於產品的種類和產量。以每小時生產 1,200 塊標準連鎖地磚為例，對於單層人行地磚而言，主體設備約 500 萬元以上，雙層人行地磚的主體設備較昂貴，約 2,000 萬元左右。全自動電腦控制操作全線需 2 位人力，每小時生產 1,200 塊標準連鎖地磚（22.5 cm×11.25 cm×6 cm，約重 3.5 公斤），每日生產 8 小時，每月 25 工作天計算，則製造成本約 14.0 元/平方公尺。

第七章 廢棄物資源化案例

7.1 石材污泥資源化技術案例

7.1.1 花崗石污泥回收為水泥生料

1.前言

A 廠為一水泥製造廠，生產普通水泥和低鹼水泥。為響應政府推動工業廢棄物減量化、資源化，並配合事業廢棄物、廢棄土石方之回收再利用政策，以及降低生產成本，目前水泥製程所需的黏土量約 85 萬公噸/年，根據製程測試結果，可以花崗石污泥取代部分黏土原料，取代量約 3~4%，故收受 3 萬公噸/年的花崗石污泥。以花崗石污泥取代黏土，作為水泥製造原料的理由如下：

- (1)減緩黏土礦開採，以利水泥業永續發展，並落實環境保護政策。
- (2)降低黏土購買成本，以加強市場競爭力。
- (3)有效使用花崗石污泥，以達資源再利用目的。

2.製程及原理

花崗石污泥進廠時的含水率介於 10~15%，為免花崗石污泥與黏土的混拌物堵塞進料管口，在原料混拌時改採花崗石污泥與一定比例的大量塊狀石灰石（占 80~85wt%水泥原料）混拌，使花崗石污泥的含水率降低，再將其與黏土、鐵渣、矽砂等原料經高精良配料後，由電腦分析計算配比，飼入生料磨中研磨，磨出的生料粉由靜電集塵機收集，進入生料攪拌儲存庫，經充分攪拌均勻後，定量飼入預熱機中預熱和煨燒（碳酸鈣分解率可達 90-95%），然後再進入旋窯內繼續進行煨燒和燒結（料溫 1,450℃、氣溫 1,800℃），熔融狀態的熟料由旋窯進入冷卻機中，經空氣急冷後成為熟料產品，再經由盤運機將熟料輸送至熟料庫中，熟料經滾輪式豎磨預碎機粗碎後，與添加的石膏（約 3%）進入水泥磨中研磨，成品經風析機析選後，由袋式集塵機收集的精粉即為普通水泥。

3.資源化成效

該廠水泥製程原需黏土量約 85 萬公噸/年，在不改變現有水泥製程下，部分黏土以花崗石污泥取代，計 3 萬公噸/年。該廠目前所購得的黏土約 150~190 元/公噸，而經處理後運送至廠區的花崗石污泥約 70 元/公噸，故每年可節省黏土購進成本約 300 萬元。

4.結語

花崗石污泥具有與水泥生料相同的成分，若能在有效控制範圍內，避免鹼含量和氯含量造成的燒結問題，花崗石污泥在水泥生料的使用，不啻為最佳的資源化途徑。

7.1.2 石材污泥路拌固化工程－籃球場

1.前言

一般而言，在興建籃球場時，底層常鋪以碎石級配，上面再覆以砂土，最後再覆蓋混凝土或以 PC 表面粉光。傳統工法不僅費時費工，而且消耗多量砂石。A 學校位於花蓮，該校欲興建籃球場，在設計規範之下，考慮以固化的石材污泥取代砂石級配，以期減少砂石用量，且將石材污泥資源化。

2.製程及原理

A校籃球場的預定地位於該校網球場和操場之間，長 54.7 公尺，寬 15.3 公尺，面積近 837 平方公尺。其剖面設計見圖 7.1。該籃球場以美國AASHO的交通量設計等級，評定為A級交通流量(每日每車道 1~249 輛大型車交通量)，並設計籃球場鋪設厚度的CBR值=6，則根據日本道路協會路面設計厚度規範， T_A (全部路面結構使用瀝青混凝土時的必須厚度)和 H (路面設計總厚度)必須符合下列需求：

$$T_A = 14.5\text{cm}$$

$$H = 30\text{cm}$$

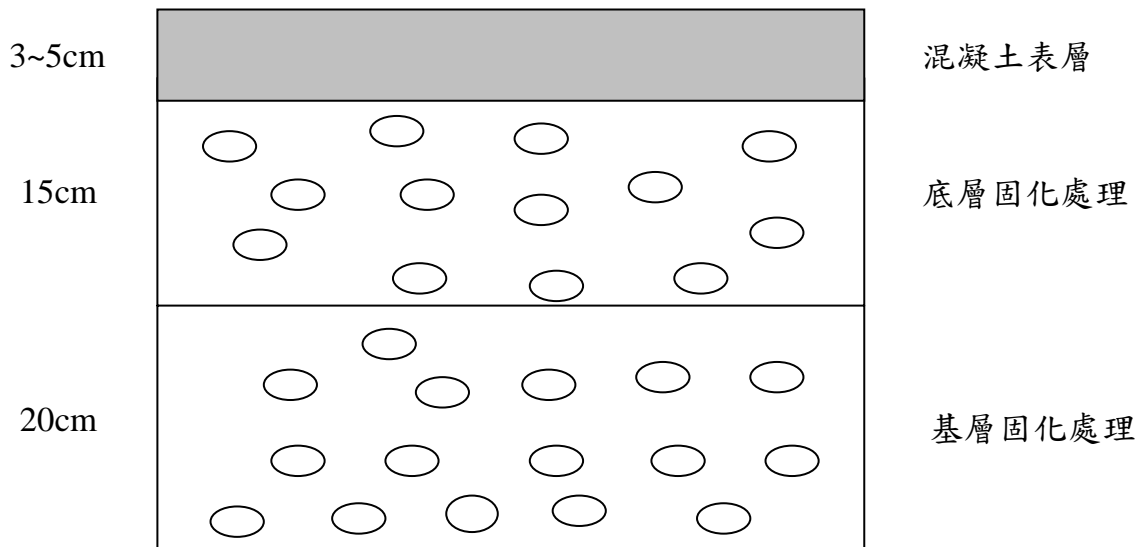


圖 7.1 A 校籃球場固化工程設計斷面圖

若設計混凝土表層為 3~5cm，固化處理層為 35cm，使用固化劑時，固化處理層的等值換算係數為 0.7，則

$$T_A = 0.7 \times 20 + 0.7 \times 15 = 24.5\text{cm} > 14.5\text{cm}$$

$$H = 15\text{cm} + 20\text{cm} = 35\text{cm} > 30\text{cm}$$

可完全符合設計的要求。

該籃球場的施工流程如圖 7.2 所示，包括下列步驟：

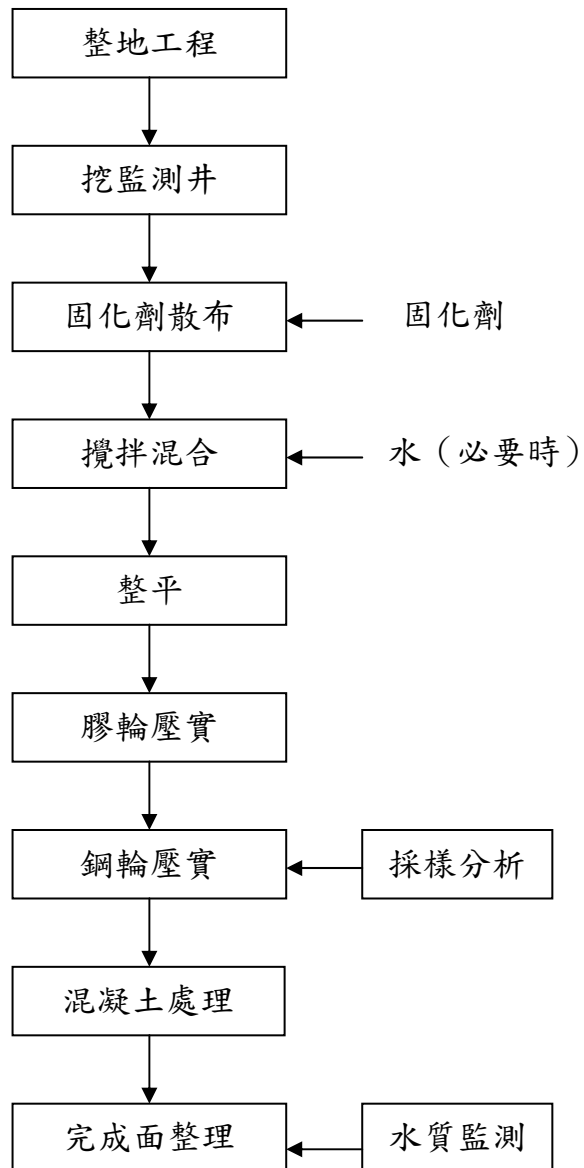


圖 7.2 A 校籃球場施工流程圖

(1)整地工程

先以挖土機挖掘長 54.7 公尺，寬 15.3 公尺，深約 40 公分的窪地，並將施工面整平，挖出的棄土鋪平於操場後方，做為填方。

(2)監測井

於籃球場靠圍牆邊，由挖土機挖掘 4 公尺深之井口，作為將來地下水質長期監測的採樣口，其底層鋪卵石及細砂約 20 公分，並於中央安置直徑 8 吋以上之硬質 PVC 集水管，四周覆以細砂及卵石，外圍再加上覆土，並於採樣口設置護罩加蓋，以防平時異物落入。

(3) 固化工程

無論基層固化或是表層固化工程，其主要的施工步驟都是一樣的，即石材污泥與固化劑的散布、石材污泥與固化劑的均勻拌合，以及壓實等三方面作業。

A. 散布

將石材污泥平鋪於施工面，厚度約 23~25 公分，其含水率應在 30% 以內，如果含水率太高，應於平鋪後於日光下曝曬數日，使水分自然蒸乾。以挖土機吊放太空包裝固化劑，依計算配比 26kg/m^2 ，平均分布於污泥上面，機械布料不均部分則以人工操作整補。

B. 混合攪拌

以耕耘機混合攪拌污泥與固化劑，來回攪拌至少 7~8 次，務必使固化劑與污泥混合均勻完全，在作業中隨時注意水分含量，如由於天候乾燥，水分蒸發，可隨時灑水添加，以期達到最佳含水率 15~18%。

C. 壓實作業

在固化面以整平機具先期作業，讓工作面盡量水平。再以膠輪壓路機壓實，來回 7~8 次，務求表面平整，若部分表面太濕有泌水現象，立即散布少量固化劑吸水安定。如太乾現象發生，則噴霧於表面加濕，使壓實作業確實緊密。實際壓實厚度約 20 公分左右。底層固化工程的施工步驟不變，只是將平鋪於基礎固化施工面上的污泥改為 18 公分，壓實後的厚度為 15 公分。如有多餘部分應考慮刮除，並保持全面積地表以球場中心線向兩側微傾斜 2° 左右，以防下雨積水。

(4) 採樣分析

於現場角落區域或球場中心線兩端，或業主指定地點，盡量不要破壞完整面為原則，以採樣器取樣 3 支試體，作為 28 天之抗壓強度分析，其標準為 28 天單軸抗壓強度達 10kgf/cm^2 以上。

(5)表層處理

於固化工程完工數天內，表層以混凝土作最後處理，使籃球場與附近地表面切平，最後再整理並劃線。

(6)完成面之整理

將施工後多餘之棄土、定位之板樁和廢料袋等清除，同時將球場四周邊緣修整復舊，達到美化目標，如圖 7.3。



圖 7.3 石材污泥路拌固化工程－籃球場

3.資源化成效

該校籃球場的興建以固化的石材污泥取代砂石級配，完工後經籃球場鑽心採樣分析，發現路拌施工的籃球場，其 28 天單軸抗壓強度平均為 11.58kgf/cm^2 ，完全符合固化工程的設計規範，而且大幅降低興建費用。

4.結語

石材污泥摻混適當配比的固化劑，以路拌施工方式取代現有砂石級配，興建學校籃球場，確實達到設計品質，而且有效處理大量石材污泥，達到石材污泥資源再利用的目的。

7.1.3 石材污泥路拌固化工程－化仁海堤

1.前言

化仁海岸地處花蓮縣吉安鄉，北起吉安海濱公園海堤南端，南迄花蓮溪出海口，平日多有釣客出入；由於海潮長年沖刷，海岸遭受嚴重侵蝕。該海岸緊臨綿亙數公里的天然沙丘，原以天然沙丘為屏障，海岸線附近則堆放消波塊，用以維護沙丘外居民的生命財產安全，如圖 7.4。但因海浪沖蝕劇烈，海岸逐漸流失，尤其民國八十三年之幾次颱風過境，不僅沿海消波塊完全沈陷海底，而且大浪還沖毀一小段沙丘，造成堤外居民生命財產受損。當時省水利局有鑒於此，特撥款於沿岸製作大量消波塊，並沿沙丘興建海堤外坡，加強沿海水利防護措施。



圖 7.4 化仁海岸原貌

由於沙丘為最佳的天然海堤，只是缺少補充風化流失的砂，導致沙丘面積逐漸縮小，若能緊臨沙丘興建海堤外坡，除能遏止砂土流失，且能節省海堤製作成本。

傳統海堤的建造材料不外是砂石和混凝土，施工方式則以內填土石，外包濕式或乾式砌石。本工程乃以固化的石材污泥代替原有土石，外覆混凝土，並加亂拋石皮和下腳料，底部則以地工織物固定。至於施工方式可採預拌法或路

拌法。採用預拌法施工首須預備污泥儲存的場所，依適當配比調成預拌漿，再運送至施工現場灌漿。灌漿前需搭模，灌漿後需養護，既費時又費工。面對平坦遼闊的施工現場，正是挖填土石の機具一展長才の場所，針對這些施工機具の特點，配合現場の地形，改採路拌施工方式，石材污泥可直接運至施工現場，而且拌合壓實過程中，水灰比の降低不僅提高石材污泥の固化強度，同時大大減少養護時間。

2.製程及原理

根據臺南水工試驗所の研究試驗報告，新建海堤外坡斷面の坡度以 1：4 為宜，至於老舊の陡坡式斷面，則於坡前基腳外加坡度 1：4 の拋石護腳。此外，已往海堤為巨浪沖毀，並非因海堤結構本身問題，實因海堤底部和基腳被巨浪沖刷，導致砂石大量流失之故。為防範潮汐和海浪の沖蝕，本海堤規劃與傳統海堤稍有不同。在於基腳處向下挖深 2.5 公尺，而且在海堤底部鋪設一層地工織物。盼能藉由地工織物の隔離、過濾和排水功能，以及基腳の防禦功能，保護海堤の安全。

由於化仁海岸經歷數次地貌改遷，原有地形圖無法使用，乃委託測量專業人員重新丈量海岸，並繪製等高線圖，從分駐所旁圍牆與沙丘交界處為起點，向北沿伸 50 公尺，向東伸長 31.5 公尺の範圍內，預計施工面積約 10 公頃。本海堤規劃乃以現有沙丘為海堤本身，緊貼沙丘興建高 5 公尺，長 23.5 公尺の 1：4 外坡，距沙丘 21.5 公尺處，挖掘長 50 公尺，寬 2 公尺，深 2.5 公尺の基腳，海堤底部鋪設地工織物，除基腳內灌注 175kgf/cm^2 の混凝土外，其餘部分則以路拌法現場混拌、推平、壓實等操作方式，進行污泥固化堆置，每層約 30 公分，最上層再鋪設 175kgf/cm^2 の混凝土。並自堤高 2.4 公尺加 1：6 完全拋石（如圖 7.5），海堤外沿岸則堆放消波塊以減少海浪沖擊。

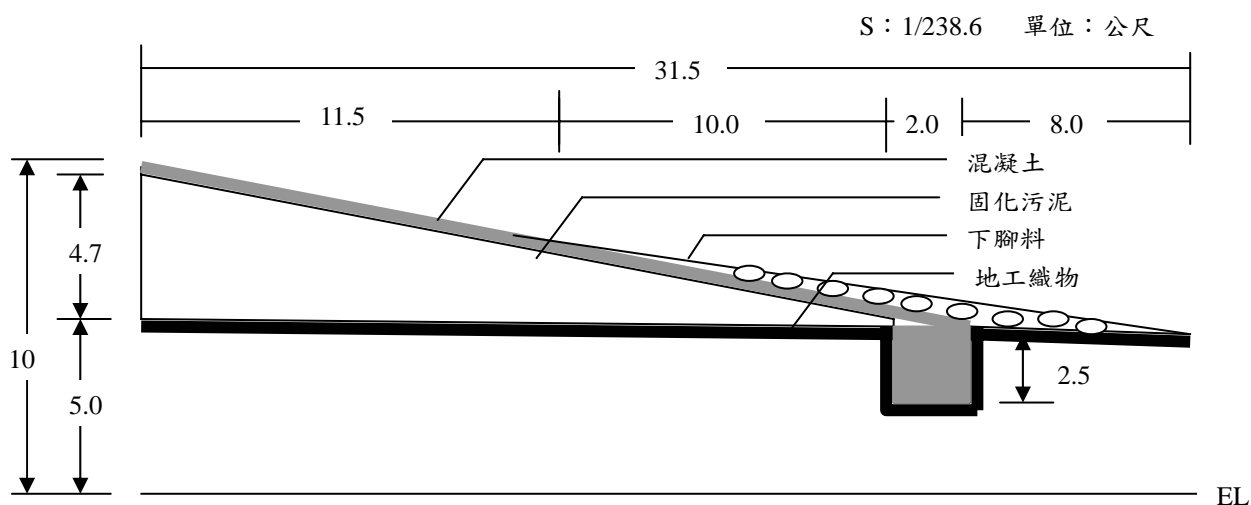


圖 7.5 化仁海堤設計斷面圖

污泥固化的設計強度為養護 28 天後，單軸抗壓強度 10kgf/cm^2 。即使表面混凝土層遭受浪潮沖毀，固化後之污泥可能裂解為粒狀物，但不會形成泥漿污染海洋。

石材污泥在進場前必須遵守下列原則：

- (1)污泥與下腳料應分開載運處理，避免污泥攪拌時耕耘機的葉片斷裂。
- (2)污泥的含水率必須在 35% 以下，以減少固化劑的用量，而且攪拌施工較為容易。
- (3)污泥、下腳料和石皮內不能含有其餘垃圾，避免造成海洋污染。
- (4)不混雜其他性質廢棄物。

化仁海堤的施工流程說明如下：

(1)整地工程

由於施工場址滿布碎石，表面起伏不一，需先施以整平作業，以挖土機和堆土機將施工面整平，並以現場砂石和下腳料，從分駐所旁小徑鋪設污泥進場道路直通工地，以利污泥載運和工程車輛進出。

(2)基腳工程

距堤基 21.5 公尺處，挖掘長 50 公尺，寬 2 公尺，深 2.5 公尺的溝渠，周邊鋪設地工織物，並於溝內灌入 175kgf/cm^2 混凝土。

(3)鋪設地工織物

沿基腳處預留之地工織物，以強韌縫線一塊塊縫合，直至鋪滿整個堤址，兩邊各留長 3 公尺的地工織物，沙丘面上的地工織物則以重疊方式排列。為免地工織物因車輛進出壓損，在地工織物表面鋪上厚 10~15 公分的砂土，並以挖土機壓實，如圖 7.6。

(4)監測管工程

在海堤外坡旁，由挖土機掘一 2 公尺深之井口，做為將來地下水質長期監測的採樣口，並於中央安置直徑 4 吋硬質 PVC 集水管，四周覆以細砂及卵石，外圍再加上覆土，並於採樣口設置護罩加蓋，以防平時異物落入。

(5)固化工程

固化工程是固化實績工程的主要施工步驟，可分為三方面：

A.散布

將石材污泥平鋪於施工面，厚度為 30 公分，其含水率應在 30% 以下。如果含水率太高，應於平鋪後在日光下曝曬數日，使水分自然風乾，再以耕耘機施予均勻化作業。由於以路拌法方式施工，預估取樣結果將優於最適配比，故分海堤為兩段，南段海堤的固化劑按計算配比 17.3kg/m^2 ，北段海堤為南段的一半，平均分布於污泥上面，如圖 7.7。



圖 7.6 地工織物鋪設



圖 7.7 固化劑散布於石材污泥表面

B.攪拌

以耕耘機混合攪拌污泥和固化劑，來回攪拌 7~8 次，務必使固化劑與污泥完全混合均勻，如圖 7.8。在作業中隨時注意水分含量，如因天候乾燥，蒸發旺盛，可隨時噴灑水分，以利固化順利進行。

C.壓實

先將混合面整平，再以挖土機來回壓實 7~8 次，如圖 7.9，最後以壓路機壓實。如局部太濕有泌水現象，即散布少量固化劑吸水安定。如局部太乾則噴霧於表面加濕，使壓實作業確實緊密，實際壓實厚度約 20 公分左右。每層固化完成後，固化層邊緣向內退縮 80 公分。重覆固化工程的步驟，直到最終高度。



圖 7.8 耕耘機來回混拌花崗石污泥和固化劑



圖 7.9 挖土機來回壓實固化層

(6)坡度修整

在固化工程進行之前，先拉準外坡坡度，當固化層數過半時，開始修整外坡坡度，並酌灑固化劑，施以二次固化，再壓實壓密。隨著固化層的加高，隨時修整外坡坡度，確保坡度準確，坡面確實固化。

(7)採樣分析

在固化工程完工後，於南北兩段海堤角落區域或特定地點（盡量不要破壞外坡的完整面），各取樣 2 只試體，做為 28 天之抗壓強度分析，其標準為 28 天之單軸抗壓強度不小於 10 kgf/cm^2 。

(8)堤面處理

於固化工程完工數天內，在堤面以人工灌漿方式鋪設 30 公分厚，抗壓強度為 175 kgf/cm^2 的混凝土，側面亦以同樣方式處理。在堤面適當距離插入 6 支鐵管，做為將來插遮陽傘觀潮之所。

(9)海堤修整

將施工後所多餘之廢料清除，同時於四周邊緣修整復舊，達到美化目標，如圖 7.10。

(10)拋石護腳工程

離堤基高 2.4 公尺處，增加坡度 1：6 完全拋石護腳，以石材下腳料為材料，做為海堤外坡的防護。

(11)消波塊堆放

在拋石護腳工程之外，沿海岸處堆放消波塊，以消緩浪潮的沖擊。



圖 7.10 完工的化仁海堤

3. 資源化成效

化仁海堤興建完工後，歷經數次颱風侵襲，仍保持海堤完整，後方沙丘絲毫不受影響。只是海浪帶來的砂石散布於堤面，更增進海堤的保護作用。

7.1.4 花崗石污泥固化再生人工魚礁

1. 前言

魚礁能提供聚魚效果，在於魚礁投放於海洋後，改變海底地形和周遭環境。由於魚礁本身的結構，以及堆放後的重疊效應，加上海流、潮汐、波浪等作用，造成水體上下混合與形成渦流，攪拌海底營養鹽類，增進浮游生物的繁殖孳生能力；同時魚礁的廣大表面提供許多生物，如藻類和腔腸、軟體等無脊椎動物的附著生長，形成極佳的餌料場，吸引洄游性魚類的聚集、滯留。魚礁的空隙和隱蔽處更成為魚、貝、介類和仔稚魚棲息避敵的場所，並且供給許多魚卵孵化的空間和仔稚魚成長的環境，發揮資源培育的效果。

2. 製程及原理

花崗石污泥為水泥混凝土的填料是「廢物利用」的觀念，換另一角度，水泥則是花崗石污泥固化處理的固化劑。由於人工魚礁屬於河海工程的產品，按河海工程的規定，必須使用抗硫酸鹽的水泥，也就是一般所謂的波特蘭II型水

泥。然而波特蘭II型水泥價格較昂貴，使用添加水淬爐石的普通水泥具有同樣抗鹽效果，而且取得便利，價格更低廉，因此固化劑選擇水淬爐石與普通水泥的摻混物。另一方面，根據漁業局的建議，一般水泥人工魚礁的配比為波特蘭II型水泥：1.0 公噸，砂：1.75 公噸，石：2.76 公噸。在此配比下，所得人工魚礁28 天後的抗壓強度可達 280 kgf/cm^2 以上，而使用花崗石污泥固化再生人工魚礁，其混凝土配比為固化劑：花崗石污泥（乾基）：河砂：碎石＝22：11：28：39，其中固化劑為 80%波特蘭I 型水泥和 20%水淬爐石的摻混物，該配比製得的人工魚礁，28 天後的抗壓強度為 304 kgf/cm^2 。更進一步將其於室溫空氣中養護 32 天後，置於海水中浸泡 78 天和 123 天，再鑽心取樣進行抗壓強度測試，發現固化體的抗壓強度分別為 366 kgf/cm^2 和 393 kgf/cm^2 ，表示隨時間的增長，固化再生的人工魚礁的強度有增強的趨勢。



圖 7.11 花崗石污泥固化再生的人工魚礁



圖 7.12 花崗石污泥固化再生的人工魚礁支撐架

7.1.5 花崗石污泥燒製人造輕質粒料

1. 前言

B 廠為一廢棄物資源化處理公司，鑒於國內河川砂石資源日益枯竭情況下，為持續我國經濟發展，確保地球環境生態，國內的工程建設對輕質粒料的需求日益提高。而且因花崗石污泥的礦物組成與化學成分，符合產製人造輕質粒料的原料配方條件，乃決定以花崗石污泥為燒製人造輕質粒料的原料，一方面可達成產製人造輕質粒料的目的，另一方面則減少花崗石污泥對環境的破壞，達到公司資源再利用的宗旨。

2. 製程及原理

花崗石污泥進廠前已去除大部分的鋼砂，並藉由曝曬方式，大幅降低花崗石污泥的含水率。再添加少量的水，在攪拌下控制花崗石污泥的含水率為 20%，以造粒機製作粒徑 20~25mm 的粒料顆粒。陰乾後，將其送入旋窯內燒製。燒結溫度控制為升溫速率 7°C/min，升溫至 1,200~1,220°C 後，停留 15 分鐘。燒製的粒料隨即進入冷卻室，經急冷處理後，以輸送帶送至產品區堆放，並依客戶需求分級包裝。

該廠生產的人造輕質粒料經測試後，其體比重、吸水率和抗壓強度等物性如下：

體比重：1.6～1.7

吸水率：0.2～0.8%

抗壓強度：210～247 kgf/cm² (7 天)、302～360 kgf/cm² (28 天)

3.資源化成效

該廠以花崗石污泥燒製的人造輕質粒料，其物性完全符合人造輕質粒料的規範，預計年生產量 15 萬公噸。

7.2 石材廢料資源化技術案例

7.2.1 花崗石廢料資源回收為粗、細粒料

1.前言

C 廠為一資源回收和再利用廠，鑒於花崗石因切割或加工產生的邊料或廢料，本身具有天然花崗石高硬度的特性，故該廠經常收購或免費清運石材加工廠產生的花崗石廢料，經過適當的破碎和篩分處理，成為許多工程粗、細粒料的優良來源。

2.製程及原理

進廠的花崗石廢料經由 C 廠自行設計的半自動破碎和篩分系統處理，產生不同粒徑的粗粒料，以及 10~14、14~20、20~40、40~60、60~100 和 100mesh 以上六種不同粒徑的細粒料。上述粗粒料依粒徑不同，分別包裝成 1 公噸的太空包，銷售至以庭園造景聞名於世的日本，做為日式庭園的造景材料。而細粒料則為工程填料、人行連鎖地磚的表層耐磨填料和鋼板除銹用的石英砂之替代品。

3.資源化成效

該廠資源回收和處理後的花崗石粗粒料，深受日本庭園造景業的歡迎，平均每公噸售價高達 8,500 元以上，而且供不應求。花崗石砂的售價除 100mesh 以上者為每公斤 2 元外，其餘皆為每公斤 10 元，大幅提高花崗石的附加價值。

7.2.2 大理石廢料回收為磨石子地磚的原料

1.前言

D 廠為一磨石子地磚的生產工廠，所使用的粒料來自破碎和篩選後的大理石廢料，因此生產的地磚具有醒目的花紋，以及一定程度的硬度，為附加價值較高的水泥製品。

2.製程及原理

該廠的製程設備屬於半自動化系統，製程單元除原料混拌、輸送和注模外，其他各單元都需要人工配合操作。由於無電腦計量設備，每批次生產的產品可能發生較大的差異。依比例以人工方式稱量水泥、砂和水，均勻混拌後，輸送

至第一桶槽內儲存。大理石粒料級配處理後，摻混水泥、砂、色料和水，均勻混拌後，輸送至第二桶槽內儲存。將第二桶槽內的儲料注入 30 cm × 30 cm 的模型中，使其達 2/3~3/4 的飽和量，再強力震動，脫除儲料中的氣泡，接著注入第一桶槽內的儲料，並施予壓力，使模內的物料密實。將加壓成型的地磚初胚置於室溫下，養護一週，使其中的水泥硬化，再以研磨天然大理石地磚的自動磨台研磨含有大理石粒料的表面，使其表面平整，呈現花紋。

3. 資源化成效

該廠利用大理石廢料，製作許多不同花紋的磨石子地磚，在市場景氣熱絡時，平均每塊大理石磨石子地磚售價 17 元。

7.2.3 蛇紋石廢料回收再利用為熔磷鎂肥

1. 前言

D 廠為一熔磷鎂肥料的生產工廠，近蛇紋石開採礦場，以開採蛇紋石礦所產生的廢料為生產原料，混合進口的磷灰石和矽石，加工生產具檸檬酸溶性的熔磷鎂肥料，供國內含磷肥料使用。

2. 製程及原理

蛇紋石開採所產生的蛇紋石廢料，運送至製造工廠，予以粗碎後，與粉碎後的磷灰石和矽石充分混合，以輸送機送至電氣爐，進行高溫熔融，溫度控制在 1,400~1,450°C，並保持足夠反應時間，再將熔融的產物導入沈澱池中，以大量清水急冷熔融的產物，經過脫水和乾燥等程序，則獲得玻璃狀的熔磷鎂肥料，再予以粉碎、研磨，最後入袋包裝，其製程如圖 7.13 所示。該廠製造的熔磷鎂肥料具有高度檸檬酸溶解性，且不溶於水，因此對農作物具有長效和緩效性。又因鹼度含量高，因此可中和酸性土壤中過剩的酸，並同時供給植物所需要的 P_2O_5 、 MgO 、 CaO 和 SiO_2 ，兼具土壤改良與特殊肥效雙重特性，特別適合施用於國內日益嚴重的酸性土壤。

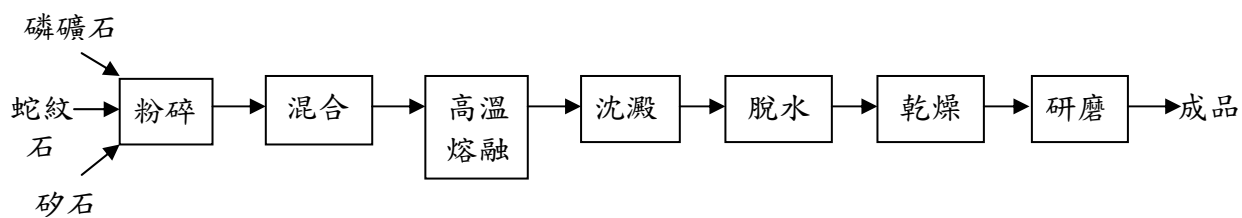


圖 7.13 D 廠熔磷鎂肥料製造流程

3. 資源化成效

該廠利用礦區開採產生的蛇紋石廢料，製造適合國內土壤改良與特殊肥效雙重特性的熔磷鎂肥料，以 20 公斤包裝出售，售價約 300 元左右。

名詞解釋

1. 石材(stone)

石材，是商用名稱之通稱，係岩體（原石）經由一系列之開採、切割加工所形成的多種製品（如面磚或地磚、工藝品等產品）。石材乃分別由不同種類的岩石所組成，而岩石學對於不同岩石之分類，主要區分為三大類：即火成岩、水成岩（或沉積岩）、變質岩，如花崗岩僅為火成岩體之一部分。

各岩石之命名，係源於礦物組成之不同而有不同之學術名稱，較常見之岩類為花崗岩、大理岩、石灰岩、白雲岩及蛇紋岩等，而一般所稱之花崗石、大理石、石灰石、白雲石及蛇紋石，係指商業上之石材交易名稱。近年來，經過機械的加工與市場的行銷，更將石材依其色澤及岩相質地、產地等，區分為許多商業名稱作為世界石材市場行銷的通稱，而並不以學理上之命名作為區分。

2. 拉鋸機(diamond-saw, gang-saw)

拉鋸機主要功能是將原石作平行切割成為毛板，以供後段加工利用，依其切割原理不同可分為鑽石拉鋸機及鋼砂拉鋸機。

鑽石拉鋸機是目前大理石原石切割最佳的生產設備，相較於鋼砂拉鋸機的特點是其毛板切割較平整，對於其接續的研磨加工處理成本會較低；鋼砂拉鋸機主要適用花崗石原石的切割，因為花崗石硬度較大，用鑽石切割對鑽石的損耗相當大，所以使用鋼砂拉鋸機來切割花崗石原石。就機械自動化角度而言，鑽石拉鋸機的自動化程度相當高，鋼砂拉鋸機之加工過程需靠鋸片、鋼砂、石灰及水等加工物料的配合，尤其須注意漿水比重和有效鋼砂比例等因素。

3. 自動切割機(multiple circular saw)

自動切割機（俗稱十字剪）主要功能是將原石作初次加工成為長條毛板，以供再次加工利用，而其自動化的程度會因切割大理石或花崗石有所不同，主要是因大理石裂縫及空隙較多，目前必須依靠人工下料，花崗石則可利用機械臂下料。此外，相較於拉鋸機，自動切割機特點在於可處理不規則原石如副材、角材，以及其切割厚度可以較薄，取材率較高。

4. 研磨機(polisher)

石材研磨機械主要有自動研磨機、地磚自動研磨機及臂式研磨機等。橋式自動研磨機適用於研磨大板，其差別在於磨石種類不同，屬於自動連續研磨，包括粗磨、中磨、細磨、打量、清洗及吹乾等過程，經一系列製程成為光板；地磚自動研磨機之功用為研磨由十字剪切割下來之長條板，其可研磨較薄的石板；臂式研磨機則可在一定的研磨範圍內作加強式的研磨；另外還有手磨機，可研磨異型加工的石材，如弧形、曲面等。

5.減廢(Waste minimization)

美國環境保護總署(EPA)最早用於有害廢棄物(hazardous waste)，即指任何藉有害廢污之減量、減毒措施，以達到減少有害廢棄物貯存(storage)、處理(treatment)或處置(disposal)設施負荷之目的。廣泛來講，即「廢(waste)」之排出在生產過程或在進入處理系統之前即予控制，減少其廢污之產量、降低廢污之濃度、改變廢污之污染特性、回收再利用以控制排放等，以減少不必要之廢污產生，甚至可回收再利用，進而減少所需處理之負荷，達到經濟並有效地解決工廠廢污問題之目的。

根據美國國會技術評估局(Congressional Office of Technology Assessment, OTA)認為工業減廢乃從工廠內部改善(in-plant changes)做起，在生產過程中減少廢污之產生，但並不包括一旦產生廢污後之減毒、減量在內。

6.清潔生產(Cleaner production)

1997 年初聯合國環境規劃署(UNEP)的定義：清潔生產(Cleaner Production, CP)是指持續地應用整合且預防的環境策略於製程、產品及服務，以增加生態效益和減少對於人類及環境的危害。

- (1)對製程而言：清潔生產包含了節省原料及能源、不用有毒原料、並且減少排放物及廢棄物的量及毒性。
- (2)對產品而言：清潔生產在於減少整個產品生命週期(亦即從原料的萃取到最終的處置)對環境的衝擊。
- (3)對服務而言：清潔生產在於減少因提供服務，而對於環境造成影響，因此在設計及提供服務的生命週期中，都應該將環境的考慮融入其中。

7.環境管理系統標準(ISO 14000)

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)

為了將國際環境管理制度整合進而標準化，遂於 1996 年訂定 ISO 14000 系列之國際環境管理標準。ISO 14000 是為保護環境而制定，最終目的促使企業界能結合企業管理體系理念以更有效率的保護環境。

8.廠內管理(House keeping)

在工廠生產過程中藉由一些管理方式的改良，以達成減廢的目的。常見的方法有：(1)調整操作步驟，(2)廢棄物分流收集，(3)物料庫存改善，(4)製造時程改善，(5)損失防止及(6)人員訓練等。

當然前述所述要做好操作的管理，必須要由主管階層上鼓勵、獎勵，以使員工努力於減廢。

9.永續發展(Sustainable development)

是 1992 年 6 月聯合國在巴西里約熱內盧召開「地球高峰會議」所揭示的地球環境觀念。亦即人類的各種活動必須考慮環境的負荷能力及資源節約與有效利用，使地球上之生態環境能永續發展。

本項觀念應用於工業生產上稱之為「永續經營」更適切，其是針對國家政策、工廠產品及生產製程等做設計，以免除或減少人類經濟活動對環境的衝擊。簡言之即「為環境而設計」。

參考文獻

- 1.經濟部工業局，製造業發展策略與措施-石材工業，民國 88 年。
- 2.台灣區石礦製品工業同業公會網站，<http://www.stone.org.tw/>。
- 3.魏忠堅，從價值鏈探討產業策略聯盟之可行模式-以台灣石材產業為例，國立台北科技大學材料及資源工程碩士論文，民國 92 年。
- 4.曾廣誼，石材產業根留台灣競爭策略之研究-價值鏈與微笑曲線的個案實例，國立東華大學企業管理碩士論文，民國 90 年。
- 5.經濟部工業局，石材加工業減廢及資源化技術手冊，民國 86 年 12 月。
- 6.經濟部工業局，石材加工業環境管理系統建制指引，民國 88 年 12 月。
- 7.經濟部工業局，事業廢棄物處理與資源化技術，民國 84 年 8 月。
- 8.經濟部工業局，廢棄物資源化技術資料彙編，民國 88 年 6 月。
- 9.財團法人石材工業發展中心，花崗石廢泥固化技術研發與資源回收利用，經濟部工業局 83 年度專案執行成果報告，民國 83 年 6 月。
- 10.陳淮松，瀝青混凝土路面工程，科技圖書股份有限公司，增訂 9 版，民國 82 年 1 月。
- 11.財團法人石材工業發展中心，石材污泥固化實績工程研究開發，經濟部工業局 84 年度專案執行成果報告，民國 84 年 6 月。
- 12.財團法人石材工業發展中心，石材污泥製作輕質建材之研究開發，經濟部工業局 84 年度專案執行成果報告，民國 84 年 6 月。
- 13.財團法人石材工業發展中心，花崗石污泥製作人行地磚技術研發，經濟部工業局 85 年度專案執行成果報告，民國 85 年 6 月。

- 14.郭志成、林士欽，經濟部八十六年度科技研究專案計畫—石材廢棄物資源化處理技術(1/3)，財團法人石材工業發展中心期末報告，民國 86 年。
- 15.郭志成、林士欽，經濟部八十八下半年暨八十九年度科技研究專案計畫—石材廢棄物資源化處理技術(3/3)，財團法人石材工業發展中心期末報告，民國 89 年。
- 16.邱耀弘、林舜天，石材污泥資源化的另一種可行技術—玻化燒結(Vitreous Sintering)成型瓷磚，石材報導，第 19 期， pp.21~36 ，民國 85 年。
- 17.廖錦聰、許順珠、張蕙蘭、徐文慶，蛇紋岩加工製程產生廢棄物之有效利用，清潔生產資訊雙月刊，第 2 期，pp.26~44 ，民國 84 年。

石材加工業資源化應用技術手冊

/經濟部工業局,財團法人台灣綠色生產力基金會編著.

—初版—台北市：工業局出版；

台北縣新店市：台灣綠色生產力基金會發行,民 94

96 面；21×29.7 公分

ISBN 986-00-1399-3 (平裝)

1.工業廢物技術 2.石材業—技術

445.97

94010542

石材加工業資源化應用技術手冊

編 著：經濟部工業局；財團法人台灣綠色生產力基金會

發 行 人：陳昭義

總 編 輯：黃孝信

編輯企畫：陳炯立、王義基、余騰耀、張啓達、洪文雅、李明美

執行編輯：林冠嘉、林金美

編輯委員：王文裕、郭志成、陳文輝、黃耐仁（依姓氏筆畫順序排列）

出 版 所：經濟部工業局

台北市大安區信義路三段 41 之 3 號

(02)2754-1255

<http://www.moeaidb.gov.tw>

發 行 所：財團法人台灣綠色生產力基金會

台北縣新店市寶橋路 48 號 5 樓

(02)2910-6067

<http://www.tgpf.org.tw>

出版日期：中華民國九十四年七月初版

設計印刷：信可印刷有限公司

工 本 費：500 元

GPN：1009401706

ISBN：986-00-1399-3(平裝)