



台灣鋼鐵工業同業公會

Taiwan Steel & Iron Industries Association

電弧爐煉鋼氧化渣(石)
應用於控制性低強度回
填材料 (CLSM)
使 用 手 冊

中華民國 108 年 2 月 編印

目錄

第一章 總則	1
1.1 緣起	1
1.2 目的	2
1.3 名詞定義	2
1.4 適用範圍	4
1.5 內容說明	4
1.6 手冊使用者導引	5
第二章 氧化礫(石)性質與相關規定	7
2.1 氧化礫(石)產出.....	7
2.2 氧化礫(石)再利用	8
2.3 氧化礫(石)性質.....	9
2.4 氧化礫(石)再利用管理規定與相關標準	17
第三章 氧化礫(石)再生粒料適用範圍與工程性質	25
3.1 適用範圍	25
3.2 含氧化礫(石)CLSM 工程性質	25
第四章 含氧化礫(石)CLSM 配比設計	29
4.1 使用要點	29
4.2 配比設計原則	29
4.3 配比設計流程	29
4.4 計算範例	35
4.5 注意事項	43
4.6 參考配比	45
4.7 含氧化礫(石)CLSM 試驗室試拌與示範工程案例成果說明	46
第五章 氧化礫(石)再生材料使用於 CLSM 作業與管理	61
5.1 一般原則	61
5.2 產出	61
5.3 貯存	62
5.4 清除	63

5.5 流向管理	65
5.6 電弧爐煉鋼渣(石)雲端管理系統	65
第六章 含氧化渣(石)CLSM 產製與施工	67
6.1 使用要點	67
6.2 資料審查	67
6.3 材料	67
6.4 配比設計與試拌	68
6.5 產製	68
6.6 施工	69
6.7 品質檢驗	70
6.8 計量與計價	72
第七章 含氧化渣(石)CLSM 品質管理與注意事項	73
7.1 品質管理	73
7.2 注意事項	76
參考文獻	77
附錄一 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表	79
附錄二 行政院公共工程委員會施工綱要規範第 03377 章 V7.0 控制 性低強度回填材料	89
附錄三 CLSM 氧化渣(石)供料計畫書	97

表目錄

表 2-1 氧化矽(石)與還原矽化學成分 ^[8]	11
表 2-2 氧化矽(石)化學成分之含量(鋼鐵公會統計).....	12
表 2-3 氧化矽(石)粗粒料密度與吸水率試驗結果 ^[9, 10]	13
表 2-4 氧化矽(石)細粒料密度與吸水率試驗結果 ^[9, 10]	13
表 2-5 氧化矽(石)洛杉磯磨損及健度試驗結果 ^[9, 10]	14
表 2-6 國內各鋼廠水合膨脹試驗結果 ^[9, 10]	14
表 2-7 氧化矽(石)重金屬毒性特性溶出及氫離子濃度指數結果	16
表 4-1 材料基本性質	32
表 4-2 預估非輸氣混凝土配比用水量及含氣量(部分摘錄) ^[13]	32
表 4-3 預估非輸氣混凝土配比之 28 天抗壓強度(部分摘錄) ^[13]	33
表 4-4 單位體積混凝土中的粗粒料體積 (部分摘錄) ^[13]	34
表 4-5 材料基本性質	36
表 4-6 CLSM 配比之性質要求	36
表 4-7 CLSM 配比試算(I)	39
表 4-8 CLSM 配比試算(II)	40
表 4-9 CLSM 配比試算(未使用氧化矽(石))	40
表 4-10 CLSM 配比試算(以氧化矽(石)100%取代粗粒料、50%取代細 粒料)	41
表 4-11 CLSM 配比試算(限定氧化矽(石)粗粒料用量為 400 kg/m ³)	41
表 4-12 CLSM 配比	42
表 4-13 CLSM 基本性質試驗法 ^[15-19]	44
表 4-14 CLSM 基本性質要求範例	44
表 4-15 配比調整方式 ^[2]	45
表 4-16 CLSM 試驗配比	46
表 4-17 高煤灰量 CLSM 參考配比 ^[23]	46
表 4-18 氧化矽(石)CLSM 試鋪工程實績	50
表 4-19 工程案例一 CLSM 配比	50
表 4-20 工程案例一 CLSM 性能檢測結果	51
表 4-21 工程案例二 CLSM 配比	53

表 4-22 工程案例二 CLSM 性能檢測結果	53
表 4-23 工程案例三 CLSM 配比	55
表 4-24 工程案例三 CLSM 性能檢測結果	55
表 4-25 工程案例四 CLSM 配比(同表 4-23).....	57
表 4-26 工程案例四 CLSM 性能檢測結果	57
表 4-27 工程案例五 CLSM 配比	58
表 4-28 工程案例五 CLSM 性能檢測結果	58
表 4-29 工程案例五 CLSM 配比於其他管溝回填工程性能檢測結果	58
表 4-30 工程案例六 CLSM 配比	59
表 4-31 工程案例六 CLSM 性能檢測結果	59
表 5-1 氧化渣(石)出廠檢驗標準 ^[24]	62
表 5-2 氧化渣(石)再利用程序產出物檢驗標準 ^[1]	64
表 6-1 CLSM 檢(試)驗引用標準	71
表 6-2 CLSM 基本性質要求	72

圖目錄

圖 2-1 煉鋼爐渣產出流程圖 ^[4]	7
圖 2-2 氧化渣(石)與還原渣外觀.....	8
圖 2-3 氧化渣(石)再使用前處理程序.....	9
圖 2-4 氧化渣(石)、普通水泥及高爐石 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三相圖.....	10
圖 2-5 台灣營建研究院碳鋼氧化渣(石)膨脹性試驗結果((a)A 鋼鐵廠提供;(b)B 鋼鐵廠提供).....	15
圖 2-6 國立台灣科技大學碳鋼氧化渣(石)膨脹性試驗結果((a)C 鋼鐵廠提供;(b)D 鋼鐵廠提供).....	15
圖 3-1 氧化渣粒料混合比例/水灰比與坍流度之關係 ^[10]	26
圖 3-2 氧化渣粒料混合比例/水灰比與凝結時間之關係 ^[11]	26
圖 3-3 氧化渣粒料混合比例/水灰比與 28 天抗壓強度之關係 ^[11]	27
圖 4-1 含氧化渣(石)之 CLSM 配比設計流程圖.....	31
圖 4-2 抗壓強度與氧化渣(石)取代天然粗細粒料比例間的關係.....	48
圖 4-3 不同水膠比下 CLSM 抗壓強度的變化(氧化渣(石)取代天然粗粒料 100、天然細粒料 50%).....	48
圖 4-4 抗壓強度與添加燃煤底灰間的關係 (氧化渣(石)取代天然粗粒料 100%、天然細粒料 30%).....	49
圖 4-5 不同水膠比下抗壓強度與時間關係圖(氧化渣(石)取代天然粗粒料 100、天然細粒料 50%).....	49
圖 4-6 工程案例一現地照片(灌漿前).....	51
圖 4-7 工程案例一現地照片(灌漿中).....	52
圖 4-8 工程案例一現地照片(灌漿後).....	52
圖 4-9 工程案例二現地照片(灌漿前).....	54
圖 4-10 工程案例二現地照片(灌漿中).....	54
圖 4-11 工程案例二現地照片(灌漿後).....	55
圖 4-12 工程案例三現地照片(灌漿中).....	56
圖 4-13 工程案例三現地照片(灌漿後).....	56
圖 4-14 工程案例四現地照片(灌漿中).....	57
圖 5-1 雲端管理系統流程圖.....	66

電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊

圖 7-1 含氧化矽(石)CLSM 品管作業流程75

第一章 總則

1.1 緣起

鋼鐵工業是以從事黑色金屬礦物採選和黑色金屬冶煉加工等工業生產活動為主的工業包括金屬鐵、錳、鉻礦物的採選、煉鐵、煉鋼、鋼加工、鐵合金冶煉、鋼絲及其製品業等細分工業，鋼鐵工業是現代國家重要的原材料工業之一。一般鋼鐵工業係指生產生鐵、鋼、鋼材、工業純鐵和鐵合金的工業，是世界所有工業化國家的基礎工業之一，過去經濟學家曾建議把鋼產量或人均鋼產量做為衡量國家經濟實力的一項重要指標，此即顯示鋼鐵工業是國民經濟的重要基礎產業，也是國家經濟水平和綜合國力的重要標誌。然而伴隨著鋼鐵生產各個過程，會產出一定量的副產物(或廢棄物)，在環保意識日益高漲及倡導循環經濟的大環境下，如何妥善處理或再利用副產物，不僅是鋼鐵工業，亦是產出「事業廢棄物」或「一般廢棄物」的產業需慎思與面對的課題。「鋼渣」是煉鋼生產作業中必會產出的副產品，不同方式的煉鋼程序產出的爐渣性質也不盡相同，一貫作業大煉鋼廠煉鋼過程中產出的爐渣包括：氣冷高爐渣、水淬高爐渣(石)、脫硫渣及轉爐渣四種；一般煉鋼廠煉鋼過程中產出的爐渣分別為電弧爐還原渣與電弧爐氧化渣(石)。其中水淬高爐渣(石)以往長期使用驗證顯示如經適當研磨處理後可添加於混凝土中代替部分水泥作為輔助性膠凝材料，對於混凝土性能無負面的影響。但脫硫渣、轉爐渣、電弧爐還原渣與電弧爐氧化渣(石)因含有游離氧化鈣，與水接觸可能會發生體積膨脹反應，再利用時須特別考量體積膨脹可能的影響。為有效處理事業廢棄物，事業廢棄物資源化是優化選項，應依個別特性，擇定適當用途加以推廣使用，為達成再利用目標，須具備相關處理廢棄物與再利用專業技術外，並尋求多元且具有大量材料需求的再利用途徑，方能降低對環境衝擊並提升產業經營效能，同時建立符合市場機制的循環經濟體系。

電弧爐鋼渣為電弧爐煉鋼製程產出的副產物，依照冶煉過程可分為氧化渣(石)及還原渣兩類。國內電弧爐煉鋼廠每年生產約 800 萬公噸粗鋼，伴之產出約 112 萬公噸氧化渣(石)及 32 萬公噸還原渣，二者依廢棄物清理法認定為一般事業廢棄物，其再利用管理作業應依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」^[1]辦理，並循公告再利用用途進行處理與銷售。目前國內氧化渣(石)再利用的公告用途包

電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊

括水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料或鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)基層或底層級配粒料原料等(附錄一)。

國外應用以日本為例，2012年電弧爐鋼爐渣產量約為13,821,000 Mt；使用於工廠項目(use in works)佔31%；使用於路基(road base)佔29%；使用於土木工程項目(civil works)佔28%；使用於水泥生產(cement)佔4%；使用於土壤改質(soil improvement)佔3%；掩埋(landfill)佔1%。

有鑑於此，台灣鋼鐵工業同業公會(以下簡稱鋼鐵公會)為促進氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料之推廣，委託中華民國建築技術學會就既有相關資料與第一版手冊稿本，進行編修「電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊」(以下簡稱本手冊)，透過本手冊闡明氧化矽(石)材料性質與適當的再利用技術，同時列入試驗室試驗結果與現地實作驗證資料，確認氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料之正面性能及相關品質管理措施，俾能提供國內工程界使用氧化矽(石)於控制性低強度回填材料時之參考。

1.2 目的

使用氧化矽(石)替代天然粒料(或碎石及機製砂)，做為控制性低強度回填材料的粒料或填充材料，除能降低天然砂石資源開採需求量，節省營建工程物料成本外，同時亦可避免浪費可再利用資源，達到循環經濟之目的。為有效擴大氧化矽(石)資源再利用途徑，將氧化矽(石)導入營建工程中充分使用有其必要性。本手冊編撰之目的，在於遵照法定公告再利用途徑，提供工程界使用氧化矽(石)於控制性低強度回填材料之使用技術與注意事項等資訊，以推廣氧化矽(石)再利用範疇並確保營建工程品質。

1.3 名詞定義

(1) 煉鋼爐渣

本手冊所稱之「煉鋼爐渣」係指生產鋼鐵之鐵礦原料與粘土及助熔劑在高溫熔爐中冶煉反應後產生之熔渣。目前國內主要煉鋼方法分別為電弧爐煉鋼與一貫作業煉鋼兩類，其中電弧爐煉鋼伴隨產

出氧化矽(石)與還原矽，一貫作業煉鋼伴隨產出高爐矽與轉爐矽，本手冊旨在闡明電弧爐煉鋼之氧化矽(石)再利用於控制性低強度回填材料相關技術。

(2) 氧化矽(石)

本手冊所稱之「氧化矽(石)」係指經電弧爐煉鋼過程，於氧化過程中產出之熱熔矽，經冷卻後則為氧化矽(石)。

(3) 氧化矽(石)再生粒料

本手冊所稱之「氧化矽(石)再生粒料」為前述氧化矽(石)經破碎、磁選與篩分再利用處理，所製成之再生粒料，符合中央目的事業主管機關之相關再利用規定或足以滿足工程需求者。按「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」之規定，可作為控制性低強度回填材料用粒料原料。

(4) 飛灰

本手冊所稱之「飛灰」定義為煤粉經鍋爐燃燒，由氣體排放，以集塵設備收集而得之粉末。其品質須符合 CNS 3036「卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作炭摻和物」之規定。

(5) 燃煤底灰

本手冊所稱之「燃煤底灰」定義為煤粉經鍋爐燃燒後，粒徑較粗，重量較大之灰渣，直接掉到鍋爐底與其內少部分熔矽或未完全燃燒之粒狀煤料混合之粉末，稱為底灰。

(6) 控制性低強度回填材料 (controlled low strength materials, CLSM)

美國混凝土學會(ACI 229R)^[2]定義，控制性低強度回填材料 (CLSM) 是一種具免搗實自充填特性的膠凝複合材料，工程應用上可替代需夯實的填充材料如做為管溝回填材料及擋土牆背填材料等。CLSM 又名流動性回填料、控制式低密度回填料、流動性砂漿、塑性泥土水泥、泥土水泥質泥漿等。CLSM 在營建工程上應用範圍很廣

泛如抗腐蝕填充料、導電填充料及耐久性鋪面基層材料等。一般如考慮管溝須利用人工或機具方式再開挖的工程專案，規定 CLSM 齡期 28 天無圓束抗壓強度不得超過 84 kg/cm^2 (8.3 MPa)。然而因應國內工程使用 CLSM 現況，施工綱要規範^[3]建議應用於永久性結構回填工程，CLSM 28 天抗壓強度以不超過 90 kgf/cm^2 為佳，如應用於鋪面管溝回填工程，CLSM 28 天抗壓強度以 50 kgf/cm^2 為上限。

(7) 含氧化渣(石)控制性低強度回填材料

「含氧化渣(石)控制性低強度回填材料」(以下簡稱含氧化渣(石)CLSM)，係指前項所述氧化渣(石)經破碎、磁選與篩分處理，製成再生粒料，作為 CLSM 粒料。本手冊對氧化渣(石)使用方式可為適量或全部替代粒料，並符合控制性低強度回填材料設計功能。

1.4 適用範圍

本手冊規定及建議事項適用於管溝回填或其他回填工程，除本手冊列述事項外，並可參照行政院公共工程委員會頒訂施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」相關規定(附錄二)。

1.5 內容說明

本手冊內容涵括使用含氧化渣(石)CLSM 時所需資訊，本手冊架構各章內容概述如下：

1. 氧化渣(石)性質與相關規定

本章主要說明氧化渣(石)之材料性質，包含氧化渣(石)之產出、再利用處理程序與材料使用要求、物理與化學性質、法規與標準等資訊。

2. 氧化渣(石)再生粒料適用範圍與工程性質

本章主要說明含氧化渣(石)CLSM 之適用範圍與工程性質，並針對含氧化渣(石)CLSM 之流動性、凝結時間與抗壓強度等工程性質進行說明，以作為工程使用之參考。

3. 含氧化矽(石)CLSM 配比設計

本章主要說明含氧化矽(石)CLSM 配比設計與實務參考案例，配比設計方法主要參照 ACI 229R 建議設計準則及國內 CLSM 設計經驗。CLSM 配比設計，可依照本章說明進行，並確實進行試、廠拌計畫，確認含氧化矽(石)CLSM 各項性質達到工程需求。

4. 氧化矽(石)再生材料使用於 CLSM 作業與管理

本章主要說明處理氧化矽(石)再利用機構需具備資格及處理氧化矽(石)時應遵循之相關規定；有關氧化矽(石)之產出、貯存、清運與流向管理等，皆應遵循民國 107 年 7 月 30 日公告「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定辦理。

5. 含氧化矽(石)CLSM 產製與施工

本章主要說明含氧化矽(石)CLSM 之拌製、施工、品質檢驗及計量計價等應注意事項，除參照工程會施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」相關規定外，應參照本章說明進行產製與施工作業，以確保 CLSM 回填工程品質。

6. 含氧化矽(石)CLSM 品質管理與注意事項

本章主要說明含氧化矽(石)CLSM 之品質管理方式與應注意事項，氧化矽(石)應用於 CLSM 時，其品質與各階段作業密切相關，綜整說明相關品質管制措施及應注意事項，以提升使用氧化矽(石)再生粒料之 CLSM 工程品質。

1.6 手冊使用者導引

本技術手冊可提供予工程相關業主(或機關)，施工廠商、監造廠商、預拌廠(再利用機構)、煉鋼廠(產源事業)等，使用含氧化矽(石)CLSM 的參考資料；其中各單位依其職責可優先參考本手冊部分章節。

- 業主(或機關)或代表業主的技術顧問機構，於指定使用氧化矽(石)再生粒料 CLSM 於特定工程前，應已知悉與氧化矽(石)再生粒料 CLSM 各相關事項，

所以可參考第二章~第六章內容,選定符合規定氧化矽(石)再生粒料及全程管
控 CLSM 品質;

- 煉鋼廠可參照第二章與第五章內容,訂定產源氧化矽品質管理與流向追蹤策
略及方法;
- 預拌廠(再利用機構)與施工廠商應參照第三章~第七章內容,採用正確含氧化
矽(石)CLSM 配比、產製與施工程序及含氧化矽(石)CLSM 品質控制方法;
- 監造廠商應參照第五章~第七章內容,落實監造程序並確保含氧化矽
(石)CLSM 工程品質。

第二章 氧化矽(石)性質與相關規定

2.1 氧化矽(石)產出

電弧爐煉鋼製程一般採用批次作業，冶煉過程依其化學反應分成三個階段，依序分為熔解期、氧化期及還原期。將廢鐵或廢鋼初步篩選後進行分類、秤重與加料，並將廢鋼鐵原料熔解成液態鋼水；為加速熔解，爐內通入高壓氧氣以加速氧化作用，此時廢鋼鐵中之氧化物開始生成少量之氧化矽(石)，繼續通入更多之氧氣，爐內雜質發生氧化反應，生成大量的固態氧化矽(石)及氣態氧化物(廢氣)，但此過程使鋼液含氧量過高，所以需加以還原；還原程序係添加大量生石灰、焦炭粒等副料，使其與氧化物反應，產生還原矽並去氧脫硫淨化鋼液，同時可依性質需求加入不同外加料(如矽鐵、高碳錳鐵、焦炭、矽錳鐵、鋁錠等)，以調整鋼液成分，煉鋼爐渣即是由此電弧爐煉鋼過程所產出的熔渣，故電弧爐爐渣分為氧化矽(石)及還原矽。電弧爐煉鋼廠產出之副產物主要為爐渣，次要為集塵灰及污泥。煉鋼爐渣產出流程如圖 2-1 所示。

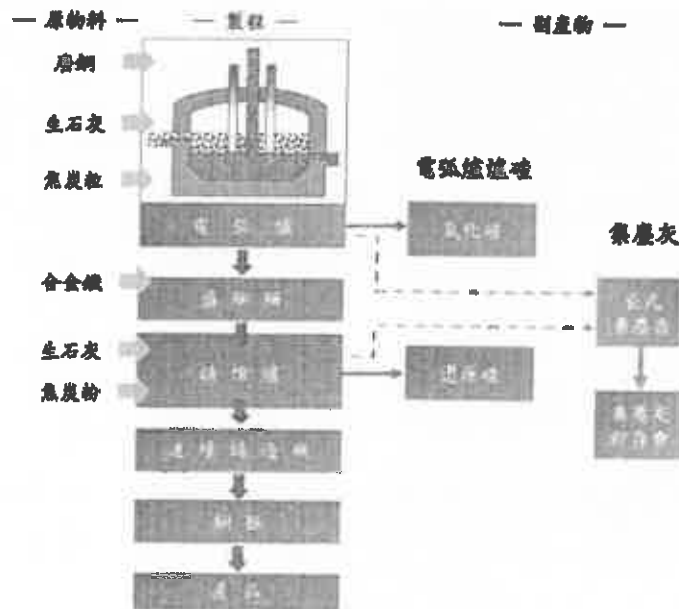
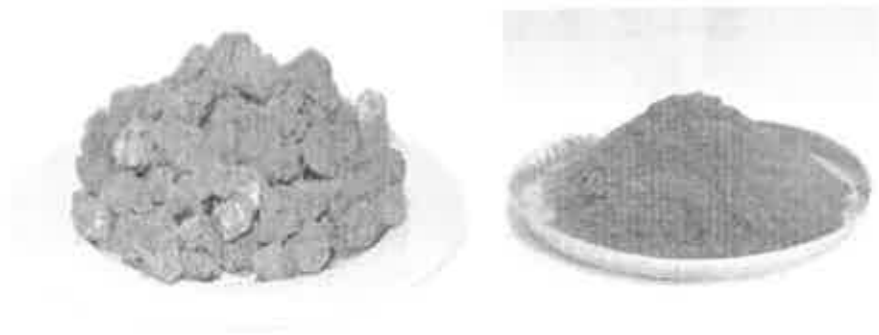


圖 2-1 煉鋼爐渣產出流程圖^[4]



氧化渣(石)

還原渣

圖 2-2 氧化渣(石)與還原渣外觀

電弧爐煉鋼係以廢鋼鐵為原料，電弧爐通電產生電弧冶煉，生產的週期較長，分成氧化期和還原期，並分段產出氧化渣(石)與還原渣。氧化渣(石)中氧化鈣含量較低，氧化亞鐵含量較高，而還原渣含量比例相反。在礦物組成方面，氧化渣(石)其礦物組成以橄欖粒料、蔷薇輝粒料為主；而還原渣其礦物組成以 C_3S (矽酸三鈣)、 C_2S (矽酸二鈣) 及 RO (二價金屬氧化物固熔體) 為主^[5]。國內電弧爐煉鋼每生產 1000 kg 之鋼約可產出 150-200 kg 的電弧爐渣。一般電弧爐煉鋼過程中所產出氧化渣(石)與還原渣比例，依所產出的鋼料種類與處理流程不同而有所差異。鋼料概分為碳鋼、不銹鋼及特殊鋼三種。碳鋼廠中氧化渣(石)與還原渣產量比約為 4 : 1，而不銹鋼廠中產量比約為 1 : 2，鑄鋼廠中產出約為 1 : 1^[6]。

氧化渣(石)是由多種礦物組成，外表粗糙不平且富有稜角，氧化渣(石)與還原渣外觀如圖 2-2；氧化渣(石)具有低磨損率、高硬度及高內摩擦角等優點，若經破碎、磁選及篩分處理後，可在利用作為鋪面基底層級配料或面層瀝青混凝土粒料。

2.2 氧化渣(石)再利用

氧化渣(石)經處理後可使用於工程或作為產品原料，處理方式須依「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」規定，氧化渣(石)再利用作為粒料前，應先經破碎、磁選及篩分程序，以符合工程需求之材料品質規格。氧化渣(石)再使用前處理程序如圖 2-3，分項作業詳如下述。

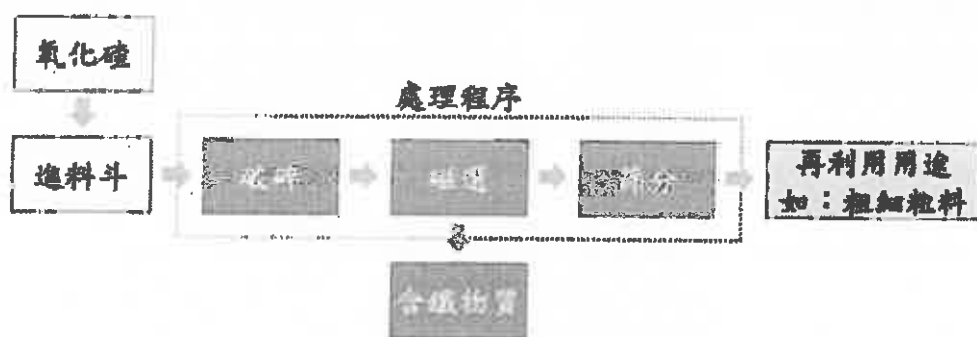


圖 2-3 氧化矽(石)再使用前處理程序

1. 破碎

破碎處理係指施以外力使大塊的氧化矽(石)碎裂成不同粒徑顆粒，以利篩分。目前國內普遍採用機械破碎法，利用破碎機具，以震動或槌擊方式進行破碎。

2. 磁選

磁選處理係指利用磁吸原理以回收破碎氧化矽(石)內混合鐵物質如殘鋼等，該類含鐵物質經過回收煉製後可再使用於工業用途，且於氧化矽(石)後端作為再生粒料時可減少表面鏽蝕斑點數量。

3. 篩分

篩分係指將已經完成破碎與磁選處理程序的氧化矽(石)，利用篩分機具篩出不同粒徑粒料，以符合工程級配需求。氧化矽(石)經過前處理程序後，可做為工程使用之再生粒料。

2.3 氧化矽(石)性質

氧化矽(石)性質主要與電弧爐煉鋼使用原料與製程條件有關，而氧化矽(石)再利用前處理程序(破碎、磁選、篩分)，係改變氧化矽(石)粒徑、除去含鐵物質及產出不同粒徑分布，氧化矽(石)性質概述如下：

1. 化學性質^[7]

氧化矽(石)化學組成，主要為含鈣、鎂、鋁、鐵和矽等元素組成的 $\text{CaO}(\text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3(\text{Fe}_2\text{O}_3)\text{-SiO}_2$ 三元系統如圖 2-4 所示，其化學組成比例介於矽酸鹽水泥熟料和高爐石間。

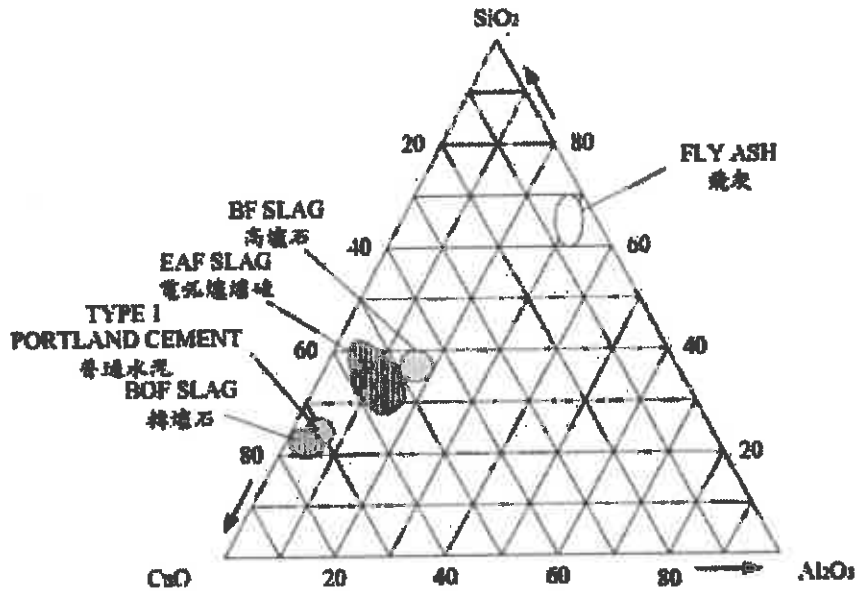


圖 2-4 氧化矽(石)、普通水泥及高爐石 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三相圖

依經濟部工業局 2001 年出版之「電弧爐煉鋼還原矽資源化應用技術手冊」中所提及氧化矽(石)與還原矽化學成分分析及鋼鐵公會統計結果(如表 2-1 與表 2-2 所示)，氧化矽(石)各主要化學成分的活性特性概述如下：

- (1) 氧化鈣 (CaO)：氧化鈣與氧化鐵為氧化矽(石)主要成分(57-73%)，一般冶煉過程需要加入適量粒料灰，因此氧化矽(石)中 CaO 含量占有一定比例，在製程中添加 CaO 主要目的為提高活性，但過多 CaO 也會造成活性降低，而在緩慢降溫的環境下，容易發生粉塵化現象，使煉鋼爐渣活性受到影響。
- (2) 二氧化矽 (SiO_2)：二氧化矽為氧化矽(石)的次要成分，氧化矽在煉鋼爐渣中的含量主要以鹽基度活性作為判斷標準，一般氧化矽在一

定量時能生成活性物質 C_3S 、 C_2S 等，但過量時反而會使活性降低。

- (3) 氧化鋁 (Al_2O_3)：氧化鋁亦是決定爐渣活性之成分之一，在爐渣中易形成鋁酸鹽和鋁矽酸鹽等礦物，其含量愈多活性愈大。
- (4) 氧化鎂 (MgO)：氧化矽(石)內 MgO 、 SiO_2 及 Al_2O_3 可結合成穩定型混合物， MgO 含量增加會提高氧化矽(石)活性，因此氧化矽(石)中 MgO 含量與其活性有關。
- (5) 硫(S)：硫在爐渣中通常與 CaO 結合成 CaS ，與水作用生成 $Ca(OH)_2$ ，如有 MnO 存在時，易生成 MnS 。
- (6) 氧化錳 (MnO)：氧化矽(石)中氧化錳含量約在 1.29-3.15%，氧化錳會影響氧化矽(石)之健度。
- (7) 游離氧化鈣 (f- CaO)：游離氧化鈣可吸收大氣中水分與二氧化碳 (CO_2) 而導致風化作用發生。
- (8) 其他雜質：氧化矽(石)內可能含有各類物質，由於含量甚低，一般認為只會使氧化矽(石)微觀結構更加鬆散，進而增加氧化矽(石)活性。

表 2-1 氧化矽(石)與還原矽化學成分^同

成分	氧化矽(石) (%)	還原矽 (%)
CaO	23.89-35.11	48.45-48.69
SiO ₂	15.75-20.43	22.41-28.98
Al ₂ O ₃	2.69-5.83	14.11-17.60
MgO	1.89-7.97	6.23-9.82
MnO	1.29-3.15	0.22-0.30
S	0.05-0.08	0.77-1.53
SO ₃	0-0.03	0.04-0.38
Fe ₂ O ₃	33.61-38.19	1.53-1.13
T-Fe	14.20-27.98	2.03-2.68
f- CaO	0-0.16	0.30-7.66
有效鹼 Na ₂ O+0.658KO	0.03-0.09	0.03-0.16

表 2-2 氧化矽(石)化學成分之含量(鋼鐵公會統計)

成分	碳鋼矽(%) ¹	不銹鋼矽(%) ²
CaO	23.39-37.44	26.1-39.72
SiO ₂	13.81-20.43	22.56-34.60
Al ₂ O ₃	2.69-11.27	4.12-5.58
MgO	1.89-9.98	4.90-12.40
MnO	1.29-3.26	2.77-4.06
S	0.05-0.08	0.06-0.08
SO ₃	0-0.16	0-0.03
Fe ₂ O ₃	20.1-38.19	0.38-0.52
f-CaO	0-0.16	0-0.16

註：
¹103-105年度各碳鋼廠產出檢驗統計資料。
²105年度各不銹鋼廠產出檢驗統計資料。

2. 物理性質^[7]

氧化矽(石)係多種礦物組成之固熔體，其物理性質會隨化學性質變化而不同。氧化矽(石)又可概分為碳鋼矽及不銹鋼矽，氧化矽(石)粒料特性說明如下。

(1) 外觀

氧化矽(石)表面呈現灰色或灰黑色，主要為塊狀顆粒，次為粗顆粒，僅有少量粉末狀小顆粒數，顆粒粒型多緻，表面凹凸粗糙多孔，屬表面多孔結構。

(2) 比重

氧化矽(石)因鐵質氧化物金屬含量較高，比重介於 2.5~3.7，平均值約為 3.1，較一般天然砂粒料比重(2.5~2.7)高。

(3) 吸水率

氧化矽(石)吸水率約在 1.5~6.8%之間，平均值約為 3.6，較天然砂粒料之吸水率(1.5~3.5%)高，此係氧化矽(石)表面多孔隙所造成。

(4) 耐磨性

氧化矽(石)質地堅硬，抗磨性優於普通天然粒料。相關試驗結果顯示天然砂、高爐爐渣及氧化矽(石)三者之耐磨指數分別為 1、0.96 及 0.7，其中耐磨指數越低代表耐磨性越高。

國立中央大學針對國內各鋼廠 106 年產出之氧化矽(石)粗、細粒料密度、吸水率、磨損及健度試驗，試驗結果詳如表 2-3-表 2-5。

表 2-3 氧化矽(石)粗粒料密度與吸水率試驗結果^[9,10]

試驗項目		碳鋼氧化矽(石)	不銹鋼氧化矽(石)
烘乾狀態	密度, 23°C, kg/m ³	2860-3600	2750-3030
	相對密度, 23°C/23°C	2.868-3.67	2.752-3.036
面乾內飽和狀態	密度, 23°C, kg/m ³	2990-3700	2880-3060
	相對密度, 23°C/23°C	2.996-3.708	2.892-3.072
視密度, 23°C, kg/m ³		3100-3800	3130-3330
視相對密度, 23°C/23°C		3.108-3.814	3.139-3.339
吸水率, %		0.9-4.48	1.2-5.08

表 2-4 氧化矽(石)細粒料密度與吸水率試驗結果^[9,10]

試驗項目		碳鋼氧化矽(石)	不銹鋼氧化矽(石)
烘乾狀態	密度, 23°C, kg/m ³	3080-3690	2500-3180
	相對密度, 23°C/23°C	3.091-3.695	2.505-3.19
面乾內飽和狀態	密度, 23°C, kg/m ³	3130-3740	2690-3200
	相對密度, 23°C/23°C	3.133-3.751	2.693-3.205
視密度, 23°C, kg/m ³		3220-3910	3020-3270
視相對密度, 23°C/23°C		3.225-3.915	3.28-3.3029
吸水率, %		1.34-4.04	0.48-7.5

表 2-5 氧化矽(石)洛杉磯磨損及健度試驗結果^[9,10]

試驗項目	碳鋼氧化矽(石)	不銹鋼氧化矽(石)
洛杉磯磨損率, %	20-37	30-40
粗粒料, 健度(5 次循環, 損失%), 硫酸鈉	1-2	0-2
細粒料, 健度(5 次循環, 損失%), 硫酸鈉	1-3	0-2

(5) 膨脹性

國立中央大學針對國內各鋼廠碳鋼氧化矽(石)與不銹鋼氧化矽(石)試樣參照 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」標準進行水合膨脹試驗, 試驗結果顯示均符合規定值 0.5%(試驗結果詳如表 2-6); 另外台灣營建研究院及國立台灣科技大學團隊, 亦參照 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」標準, 分別先後自不同鋼鐵廠取得氧化矽(石)以進行膨脹性試驗, 試驗結果如圖 2-5 與圖 2-6 所示, 三個研究單位研究成果明確顯示所有氧化矽(石)試樣 7 天膨脹率試驗值均低於規定值 0.5%。就長期而言, 參考 CNS 15311 試驗法, 其係以粒料連續浸泡 70 度熱水加速水合反應 7 天, 結果顯示膨脹量於 7 天後趨於平緩, 可據此推測具膨脹潛勢的氧化物已近完全反應, 此時之膨脹量仍遠小於 0.5%, 因此可進一步推估, 長期於自然環境使用下, 氧化矽(石)的膨脹量甚低。

表 2-6 國內各鋼廠水合膨脹試驗結果^[9,10]

浸水膨脹試驗(7天平均值), %	碳鋼氧化矽(石)	不銹鋼氧化矽(石)
	0-0.05	0.02-0.18

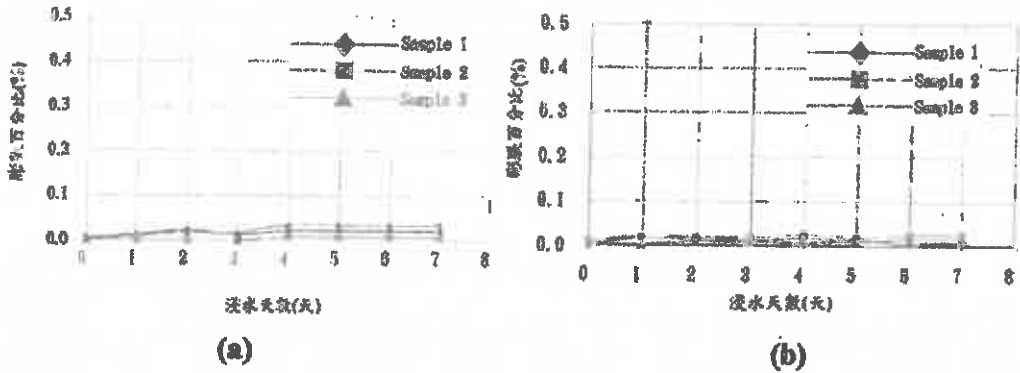


圖 2-5 台灣營建研究院碳鋼氧化矽(石)膨脹性試驗結果((a)A 鋼鐵廠提供;(b)B 鋼鐵廠提供)

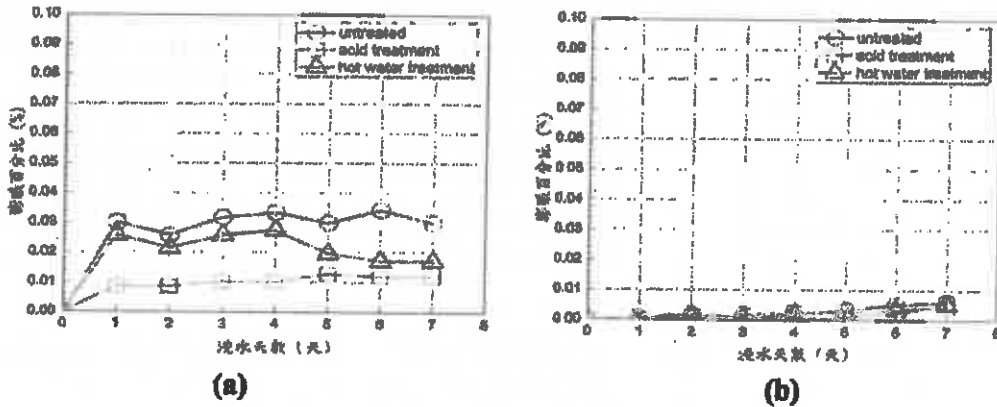


圖 2-6 國立台灣科技大學碳鋼氧化矽(石)膨脹性試驗結果((a)C 鋼鐵廠提供;(b)D 鋼鐵廠提供)

3. 氧化矽(石)粒料之環保規範

依據民國 107 年 7 月 30 日「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」所修訂公告版本，產源事業於氧化矽出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年至少檢測 1 次有毒重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者，始得進行再利用；另至少每月檢測 1 次氫離子濃度(pH 值)，連續 3 個月之 pH 檢測值小於 12.5 者，得每年至少檢測一次。各鋼廠(包含中龍、慶欣欣、龍慶、東和、聯成、海光、協勝發、豐興、羅東、易昇、威致、建順等十二家碳鋼廠與華新麗華、榮剛、燁聯、唐榮等四家不銹鋼廠)所產出之氧化矽(石)重金屬毒性

溶出及氫離子濃度指數試驗結果與管制標準如表 2-7，均可符合相關環保規範。

表 2-7 氧化矽(石)重金屬毒性特性溶出及氫離子濃度指數結果

檢測項目	規範值 ^[1] (mg/L)	檢測方法 ^註	碳鋼氧化矽 (石)檢 測值	不銹鋼氧化矽 (石) 檢測值
硒	≤1.0	NIEA R201.15C NIEA R300.10C	ND-0.053	ND-<0.1
銅	≤100	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	0.144-5.74	0.339-0.902
錳	≤1.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND-0.021	ND
鉛	≤5.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND-0.334	ND
鋁	≤15.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND-0.024	ND
鉻	≤5.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND-0.092	ND-<0.05
六價鉻	≤2.5	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	ND-<0.092	ND-<0.01
砷	≤5.0	NIEA R201.15C NIEA R318.12C	ND-0.004	ND-0.001
汞	≤0.2	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND-<0.002	ND
氫離子濃度指數 (pH值)	2-12.5 溫度	電極法	9.62-11.01 (24.8-25.1)	10.22-12.39 (24.7-25.1)

註：

NIEA R201.15C：事業廢棄物毒性特性溶出程序

NIEA R300.10C：事業廢棄物萃出液中總硒檢測方法-連續式氫硼化鈉還原原子吸收光譜法

NIEA R306.13C：事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法-酸消化法

NIEA M111.01C：火焰式原子吸收光譜法

NIEA R309.12C：事業廢棄物萃出液中六價鉻檢測方法-比色法

NIEA R318.12C：事業廢棄物萃出液中總砷檢測方法-連續式氫化砷原子吸收光譜法

2.4 氧化矽(石)再利用管理規定與相關標準

1. 再利用管理規定

氧化矽(石)再利用須遵循民國 107 年 7 月 30 日公告「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表「編號九、電弧爐煉鋼爐矽(石)」辦理。與氧化矽(石)再利用有關之規定概述如下：

(1) 電弧爐煉鋼爐矽(石)：

管理辦法所稱之電弧爐煉鋼爐矽(石)為金屬製造業在電弧爐煉鋼製程所產生之氧化矽(石)或還原矽(石)。但氧化矽(石)與還原矽(石)無法分離或依相關法規認定為有害事業廢棄物者，不適用之。各產源事業務必確保氧化矽與還原矽分流處理及分開儲存，以符合「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定。

(2) 再利用用途：

氧化矽(石)可再利用於水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料原料、管溝回填用控制性低強度回填材料原料、鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料、紐澤西護欄原料，或經高壓蒸氣處理後作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料或混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。

(3) 再利用機構應具備下列資格：

氧化矽(石)再利用機構應為依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠，其產品至少為下列之一項：水泥、瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料、管溝回填用控制性低強度回填材料、鋪面工程之基層或底層級配粒料、紐澤西護欄、非構造物用預拌混凝土粒料、非構造物用預拌混凝土、水泥製品用粒料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋。

(4) 運作管理：

再利用機構應符合下列規定：

1、機構設置應符合下列規定：

- (1)廠房之建築應堅固，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料。
- (2)工廠廠區周圍應設置二、四公尺高結構體圍牆或其他適當阻隔之設施，廠內及廠外連接主要交通之道路應鋪設瀝青混凝土或水泥混凝土路面。
- (3)廠內各作業場所應明確區隔，製造作業區與行政作業區應明確劃分。
- (4)原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應適當隔離。
- (5)工廠內部應有充分採光、照明與通風設備。

2、氧化渣(石)再利用於非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途及還原渣(石)再利用於水泥原料用途以外者，應於受託再利用前，與產源事業簽訂記載氧化渣(石)或及還原渣(石)安定化處理(含高壓蒸氣處理)執行單位(產源事業或再利用機構)、方式與處理時間之契約書，並於訂定契約書之次日起三十日內，由安定化處理執行單位檢據該契約書送經濟部備查，並副知產源事業與再利用機構所在地之環保主管機關。變更契約書內容時，亦同。

3、再利用應符合下列規定：

- (1) 再利用於水泥原料用途以外者，應經破碎、磁選及篩分等處理，但於產源事業出廠前已經前述處理程序者，不在此限。

(2) 氧化渣(石)：

- (a)再利用於管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料原料、管溝回填用控制性低強度回填材料原料等用途者，經破碎、磁選及篩分之產出物應至少每月委託檢測機構採樣，並依 CNS 15311

粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量除再利用於紐澤西護欄原料用途者應未超過百分之〇·〇五外，其他再利用用途未超過百分之〇·五者，始得進行再利用。連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。

(b)再利用機構依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備高壓蒸氣處理設備，其應能維持爐內壓力至少在 20.1 kgf/cm² 且持續三小時。

(3)膨脹量檢測之採樣：

再利用機構應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關及經濟部。採樣通知應包括採樣時間、地點、採樣單位及檢測單位。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢測結果不予採信。

(4) 膨脹量檢測報告應由經簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議之認證機構所認證之實驗室，依該認證機構所定格式辦理，但熱壓膨脹試驗之檢測報告得由學術單位或具檢驗能力之實驗室依其所定格式辦理。再利用機構應於每年一月、四月、七月及十月前，將上一季膨脹量檢測報告提報當地環保主管機關及經濟部。氧化矽(石)經破碎、磁選及篩分等處理之產出物，其膨脹量檢測頻率為每半年至少檢測一次者，得於每年一月及七月前，將上半年檢測報告提報當地環保主管機關及經濟部。

(5) 再利用於管溝回填用控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土用途者，除破碎、磁選及篩分設備外，其餘再利用製程設備僅限用於產製本編號之再利用用途產品。

4、電弧爐煉鋼爐渣(石)經再利用程序之產出物，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年度至少檢測一次戴奧辛及依毒性特性溶出程序檢測有毒重金屬項目。但再利用用途產品為水泥者，不在此限。經檢測未超過下列標準者，始得作為再利用用途之產品使用：

- (1)總鉛：4.0 毫克/公升。
- (2)總錳：0.8 毫克/公升。
- (3)總鉻：4.0 毫克/公升。
- (4)總硒：0.8 毫克/公升。
- (5)總銅：12.0 毫克/公升。
- (6)總鎳：10.0 毫克/公升。
- (7)六價鉻：0.2 毫克/公升。
- (8)總砷：0.4 毫克/公升。
- (9)總汞：0.016 毫克/公升。
- (10)含 2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃同源物等十七種化合物之總毒性當量濃度 ≤ 0.1 (ng I-TEQ/g)。

5、前目檢測之採樣應由檢測單位執行，且再利用機構應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關，採樣通知應包括採樣時間、地點、採樣單位及環保主管機關核發許可證之檢驗測定機構。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢驗結果不予採信。檢測報告應由檢驗測定機構依環保主管機關所定格式辦理，並由再利用機構於每年三月前將上年度檢測報告提報環保主管機關及中央目的事業主管機關。

6、再利用用途之產品應符合下列規定：

- (1)管溝回填用控制性低強度回填材料產品應依公共工程施工綱要規範之性質要求或工程採購契約書檢驗，並符合其品質規範。
- (2)水泥、瀝青混凝土粒料、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料品質應符合該項產品之國家標準。
- (3)再利用產品除水泥外，至少每月應由經簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議之認證機構所認證之實驗室檢測一次產品品質。但

品質規範項目屬現地試驗者，不受本文檢測實驗室資格之限制。

- (4)再利機構應於每年一月、四月、七月及十月前將上一季再利用產品檢測報告，併同工程採購契約書提報當地環保主管機關及經濟部。但再利用產品以該項產品之國家標準或公共工程施工綱要規範為品質規範者，得免附工程採購契約書。

7、再利用用途之產品屬管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土粒料者，應符合下列規定：

- (1)不得將再利用產品轉售予其他法人。
- (2)再利用產品使用對象僅限所屬同一法人所設置之控制性低強度回填材料廠。
- (3)再利用產品使用對象，其廠內管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該使用對象。
- (4)於再利用產品使用對象所產製之管溝回填用控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土產品出廠後十日內，以書面方式向產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及經濟部，提報該批再利用產品所使用本編號再利用種類之產源事業、產品使用對象、使用量、庫存量及管溝回填用控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土之產生量、銷售對象、出廠時間、銷售量、工程名稱、使用地點及範圍相關資料。

8、再利用產品為管溝回填用控制性低強度回填材料，其銷售應符合下列規定：

- (1)再利用機構應於產品出貨單上載明使用本編號之再利用種類。
- (2)再利用機構應於產品出廠後十日內，以書面方式將該批再利用產品銷售對象、出廠時間、使用用途工程名稱、該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、數量、使用地點及範圍，提報該批

產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及經濟部。

- 9、自中華民國一百零八年一月一日起，再利用機構應改以網路傳輸方式，於瀝青混凝土、管溝回填用控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土與鋪面工程之基層或底層級配粒料再利用產品及再利用產品銷售(使用)對象所產製之瀝青混凝土、管溝回填用控制性低強度回填材料與非構造物用預拌混凝土產品出廠後四日內，連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，提報本款第八目之四、第九目之四與第十目之五所定再利用產品中間與最終使用情形相關資料。
- 10、自中華民國一百零八年一月一日起，再利用機構應改以網路傳輸方式，連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，提報本款第二目所定再利用契約書、第三目之四、五與第五目所定再利用相關檢測之採樣通知與檢測報告、第六目之七所定再利用產品檢測報告、第八目之二與第十目之三所定再利用產品買賣契約書及第十目之四所定土地所有權人同意書面文件。
- 11、再利用用途產品貯存量超過該再利用用途產品前六個月之累積銷售量時，應停止收受廢棄物進廠再利用。
- 12、再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關規定辦理。
- 13、再利用機構於堆置、輸送或以車輛運輸逸散性粒狀污染物質及從事易致粒狀污染物質逸散之製程、操作或裝卸作業時，應依固定污染源逸散性粒狀污染物質空氣污染防制設施管理辦法相關規定辦理。

產源事業應符合下列規定：

- 1、產源事業不得將電弧爐煉鋼產生之集塵灰及地面、廠房及屋頂清潔收集之塵灰混入氧化矽(石)或還原矽(石)再利用，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年至少檢測一次有害重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者，始得進行再利用；另至少每月檢測一次氫離子濃度及(pH值)，連續三個月之

pH 檢測值小於十二·五者，得每年至少檢測一次。

- 2、前目檢測之採樣應由檢測單位執行，且產源事業應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關，採樣通知應包括採樣時間、地點、採樣單位及環保主管機關核發許可證之檢驗測定機構。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢驗結果不予採信。檢測報告應由檢驗測定機構依環保主管機關所定格式辦理，並由產源事業於每年三月前將上年度檢測報告提報環保主管機關及經濟部。
- 3、自中華民國一百零八年一月一日起，產源事業應改以網路傳輸方式，連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，提報本款第二目所定採樣通知與檢測報告、第三目所定契約書、第五目所定採樣通知及第六目所定檢測報告。
- 4、除再利用於水泥原料用途外，應將電弧爐煉鋼爐矽(石)之清除、再利用及產品中間與最終使用情形作成處置報告，並於每年一月、四月、七月及十月前將上一季電弧爐煉鋼爐矽(石)處置報告提報當地環保主管機關及經濟部。
- 5、自中華民國一百零八年一月一日起，前目規定不再適用；除再利用於水泥原料、紐澤西護欄原料或經高壓蒸氣處理後作為水泥製品用粒料原料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途外，產源事業應於每月月底前，主動連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，確認前月再利用機構提報之電弧爐煉鋼爐矽(石)再利用產品中間與最終使用情形，如經確認無誤或逾時，則該筆資料不得再作任何修正。

貯存地點應符合下列規定：

- 1、氧化矽(石)及還原矽(石)不得混合貯存。
- 2、氧化矽(石)及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分別貯存，並得採用露天貯存方式，但貯存場所應設排水收集設施。但貯存於廠房內者，不在此限。

- 3、電弧爐煉鋼爐渣(石)及再利用用途產品貯存高度不得超過工廠廠區周圍結構圍牆或其他阻隔設施，且貯存場所毗鄰農業用地者，應設置截流溝渠。但貯存於廠房內者，不在此限。

電弧爐煉鋼爐渣(石)送往再利用機構再利用前之清除，應由事業或再利用機構委託領有廢棄物清除許可證之公民營清除機構清除。

2. 公共工程施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」

公共工程施工綱要規範第 03377 章第 2.2.4 節控制性低強度回填材料粒料規定如下：CLSM 使用之粒料，可為產製混凝土用粒料、現場開挖土石方或再生粒料。粒料粒徑不得超過[19][50]mm，其大於[19][50]mm 者應篩除或軋碎處理；其中大於 No.4 試驗篩 4.75 mm 之粗粒料用量不得超過[400] kg/m³。使用粒料之規定概述如下：

- (1) 混凝土用粒料應符合 CNS 1240 之規定。
- (2) 現場開挖土石方應依 CNS 12387 加以分類，其中泥炭土、高塑性有機質土及低塑性有機質土含量不得大於[10]%，並應符合第 02320 章「不適用材料」之相關規定。
- (3) 再生粒料應符合中央目的事業主管機關之相關再利用規定或足以滿足工程需求者。

其中，[]內之數值為建議值，並非限制值，建議粗粒料用量係為了確保 CLSM 於高坍流度下不致析離。

第三章 氧化矽(石)再生粒料適用範圍與工程性質

3.1 適用範圍

氧化矽(石)再生粒料拌製成 CLSM，除須符合工程主辦機關 CLSM 規範要求外，並應符合經濟部事業廢棄物再利用管理辦法公告之規定。含氧化矽(石)CLSM 工程應用途包括大型管線開挖後回填工程、狹窄的管溝內回填工程，除前述用途外，含氧化矽(石)CLSM，亦可應用於非構造物用預拌混凝土原料及粒料原料。

3.2 含氧化矽(石)CLSM 工程性質

含氧化矽(石)CLSM，係使用氧化矽(石)取代一般粒料拌製成之 CLSM，其流動性、凝結時間及抗壓強度等工程性質須符合規定要求，有關氧化矽(石)應用於 CLSM 相關技術與適用性分述如下。

1. 流動性

流動性為判斷 CLSM 工作性之依據，其可利用混凝土坍流度試驗(CNS 14842)或管流度(CNS 15462)進行測定。一般 CLSM 坍流度至少需大於 400 mm。文獻^[11]所提及之試驗結果顯示含氧化矽(石)CLSM 之流動性，會隨著水灰比增加而增加(如圖 3-1 所示)，因含氧化矽(石)拌製之 CLSM 黏稠性較一般 CLSM 高，拌合時需要使用較多水才能達到需求流動性。另外氧化矽(石)取代比例越高，坍流度下降幅度越高，可與一般粒料混合使用，調整 CLSM 流動性。

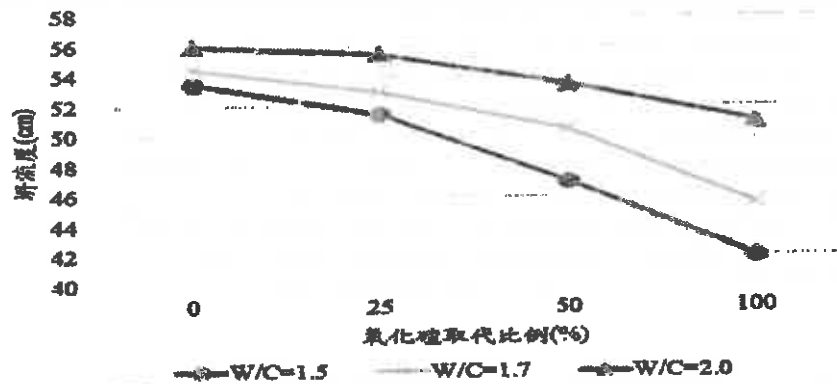


圖 3-1 氧化矽粒料混合比例/水灰比與坍流度之關係^[10]

2. 凝結時間

凝結時間可參照 CNS 14220 或 ASTM C403 進行測定，通常用來判斷 CLSM 現場澆置後繼續施工之依據。依據凝結時間測定法，當貫入強度達 400 psi 時定義為初凝。文獻^[11]試驗結果顯示含氧化矽(石)CLSM 凝結時間，會隨氧化矽(石)粒料取代量增加而增加。另外 CLSM 水灰比降低，凝結時間會縮短，但水灰比對凝結時間的影響沒有氧化矽(石)取代量大，詳如圖 3-2 所示。由於含氧化矽(石)CLSM 之凝結時間可能會延長，如為達到工程需求時間，可添加化學摻料如早強劑加以改善。

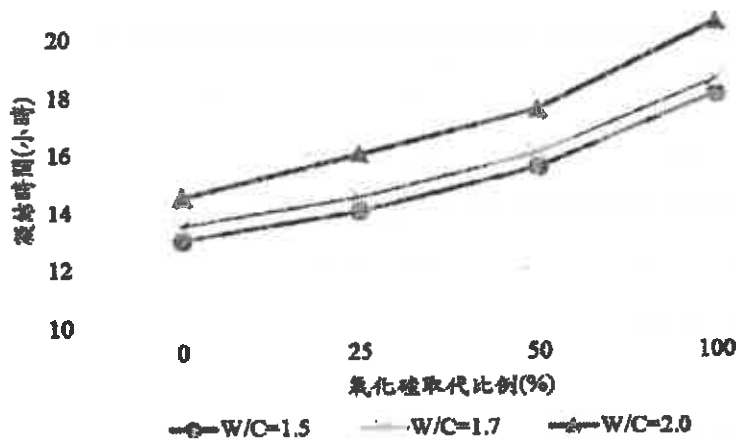


圖 3-2 氧化矽粒料混合比例/水灰比與凝結時間之關係^[11]

3. 落球試驗

落球試驗法(CNS 15862)是決定施加荷重適當時間的試驗方法，亦為判斷 CLSM 澆置後，是否可進行鋪面施工的重要依據參數。依照規範建議當落球試驗之壓紋直徑小於 76mm 時間，可做為進行後續工作之判定指標。

4. 抗壓強度

CLSM 的抗壓強度可參照 CNS 15865「控制性低強度材料圓柱試體之製備及試驗法」進行試驗。文獻^[1]試驗結果顯示含氧化矽(石)CLSM 之粒料取代比例越高，抗壓強度越高，詳如圖 3-3 所示。

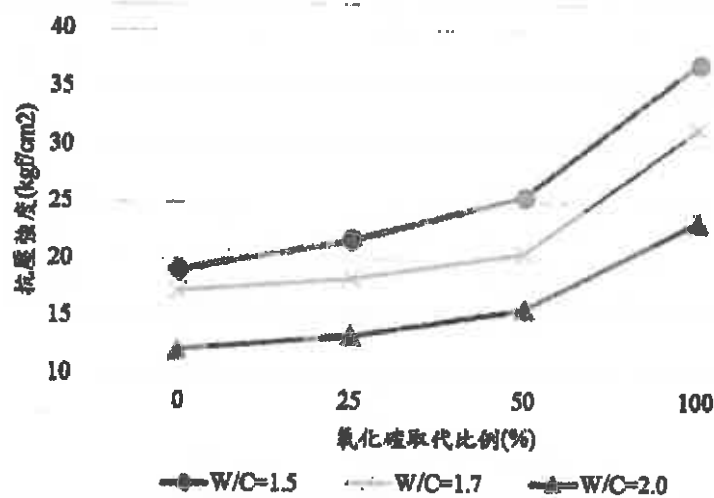


圖 3-3 氧化矽粒料混合比例/水灰比與 28 天抗壓強度之關係^[1]

第四章 含氧化矽(石)CLSM 配比設計

4.1 使用要點

含氧化矽(石)之 CLSM 配比設計可參照既有的配比設計法或依配比設計原則，經試拌後調整配比以滿足工程規範或設計要求。然而相較於多數一般粒料，氧化矽(石)比重較大、表面多孔隙、強度高，因此建議提高使用漿量及提高水灰(膠)比。

4.2 配比設計原則

由於 CLSM 的應用廣泛，配比設計中填充材料除使用天然粒料外，亦可使用包括再生材料及其他非既有標準所規範之材料(nonstandard materials)，因此國內外現行規範並無明確規定配比設計法，CLSM 配比須依最終用途的性能要求而設計，氧化矽(石)再生粒料可搭配天然粒料或其他材料混合使用。就配比組成材料的選擇而言，主要考慮可獲得性、價格、特殊用途需求及可達成配比需求性能，其中包括流動性、強度、可開挖性與密度等。若使用前述之非既有標準所規範之材料時，須事先確定材料本身的各項基本性質並須符合相關環保法規要求^[2,12]。就配比設計而言，文獻^[2]曾提及，通常製作 CLSM 所需的水泥量約為 15-119 kg/m³，水量 237-297 kg/m³，細粒料 1483-2076 kg/m³，飛灰 0-415 kg/m³，實際配比仍須視材料性質及目標性能而定。就新拌性質而言，CLSM 係使用於回填的自充填膠凝材料，因此通常不需要搗實。就抗壓強度而言，大致分為兩類，如使用於永久的結構回填，28 天抗壓強度不宜超過 90 kgf/cm² (9 MPa)，如應用於管溝工程回填，則強度不宜超過 50 kgf/cm² (5 MPa)，長期須使用手工工具開挖時，則強度須低於 7 kgf/cm² (0.7 MPa)^[2,3]。一般而言，若 CLSM 的長期強度介於 3.5-7.0 kgf/cm² (0.3-0.7 MPa)時，則相當於使用傳統的良好夯實回填土壤^[2]。

4.3 配比設計流程

目前普遍使用的 ACI 混凝土配比設計法^[13]可應用於含氧化矽(石)之 CLSM

初步配比設計，再根據試拌的結果加以調整。抗壓強度取決於水灰(膠)比，由於多數工程應用必須長期維持低抗壓強度，因此大量使用卜作嵐材料時，須考慮其對長期強度的影響。另一方面 CLSM 配比須考慮流動性與速凝性質，並確保在高水灰(膠)比下拌成物不會析離，因此化學摻料的運用具有關鍵性，一般 CLSM 可使用適當比例之減水劑、增稠劑、速凝劑(早強劑)或其混合藥劑，以獲致適當需求性能，但使用量須經試拌驗證。

含氧化矽(石)之 CLSM 係指以氧化矽(石)部分或全部取代天然粒料所拌製而成的 CLSM，因此配比設計上，若無經驗配比可參考，則可以天然粒料製作一般 CLSM，再逐步取代其中普通粒料，試拌驗證直至其性質合乎工程規範或設計要求。配比設計可參考 CNS 12891 混凝土配比設計準則^[14]或 ACI 混凝土配比設計法^[12]，建議設計流程圖詳如圖 4-1 所示，主要步驟分述如下：

1. 檢驗配比使用材料基本性質

進行配比設計前須依既有試驗規範掌握各項組成材料基本性質。粗粒料須知標稱最大粒徑、面乾內飽和比重、吸水率、含水量及乾搗單位重。細粒料須知面乾內飽和比重、吸水率、含水量及細度模數，如使用卜作嵐材料或其他細質材料則須知比重。相關試驗規範如表 4-1 所示。

2. 設定目標性質指標

依據工程規範或設計要求訂定目標性質指標以作為檢核標準，通常分為三部分，新拌性質包括管流度/坍流度，早強性質包括落球凹痕直徑，力學性質包括 28 天抗壓強度，其他項目依實際需求而定。

3. 設定坍度或坍流度

由於 CLSM 須具高流動性，因此初步配比設計可設定為最高值 175 mm 或設定最小坍流度為 400 mm。

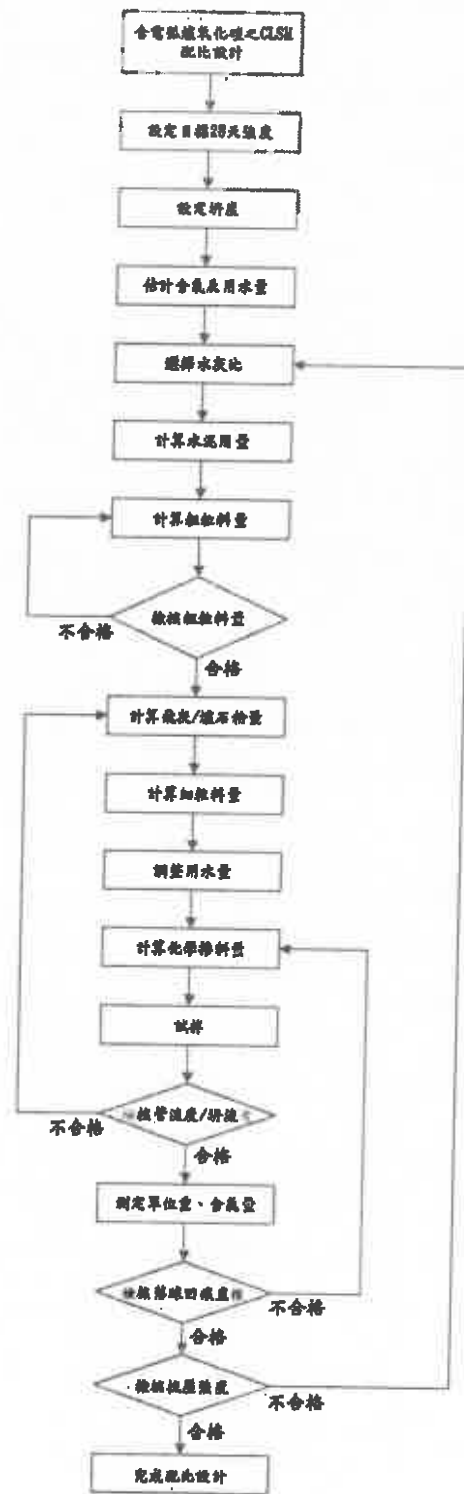


圖 4-1 含氧化矽(石)之 CLSM 配比設計流程圖

表 4-1 材料基本性質

測定性質		CNS 國家標準
水泥比重		CNS 11272 水硬性水泥密度試驗法
粗粒料	標稱最大粒徑	CNS 486 粗細粒料篩析法
	面乾內飽和比重 ⁽¹⁾	CNS 488 粗粒料比重及吸水率試驗法
	吸水率 ⁽²⁾	
	含水量	CNS 11298 粒料含水量乾燥測定法
	乾搗單位重	CNS 1163 粒料單位質量與空隙試驗法
細粒料	細度模數	CNS 486 粗細粒料篩析法
	面乾內飽和比重 ⁽¹⁾	CNS 487 細粒料比重及吸水率試驗法
	吸水率 ⁽²⁾	
	含水量	CNS 489 細粒料表面含水量試驗法

- (1) 面乾內飽和(SSD)係指粒料於預定時間內浸泡水中，其可透水之孔隙充滿水分但表面沒有游離水之狀態。
- (2) 吸水率係指在預定時間內，由於水分滲入粒料顆粒內之孔隙致使粒料增加之質量，但不包括附著在顆粒表面之水分，以粒料乾質量之百分比表示。

4. 估計含氣量與用水量

根據粗粒料標稱最大粒徑與設定坍度，可得預估含氣量與用水量，如表 4-2 所示。

表 4-2 預估非輪氣混凝土配比用水量及含氣量(部分摘錄)^[13]

目標坍度 (mm)	以下粗粒料標稱最大粒徑下的預估用水量 (kg/m ³)				
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm
25-50	207	199	190	179	166
75-100	228	216	205	193	181
150-175	243	228	216	202	190
估計含氣量	3%	2.5%	2%	1.5%	1%

5. 選擇水灰比

根據設定 28 天抗壓強度及 ACI 配比設計法中表列抗壓強度與水灰比之關係可推估水灰比(表 4-3)。然而，表中所列的 28 天抗壓強度僅介於 15-40 MPa，通常超過預定強度，因此可藉由迴歸公式推估目標強度所需的水灰比：

$$\begin{aligned} W/c &= 1.1507e^{-0.0025f_c} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \\ &= 1.1502e^{-0.025f_c} \text{ (MPa)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

其中，w/c 為水灰比， f_c 為 28 天抗壓強度。

表 4-3 預估非輪氣混凝土配比之 28 天抗壓強度(部分摘錄)^[13]

28 天抗壓強度 (MPa)	水灰比
40	0.42
35	0.47
30	0.54
25	0.61
20	0.69
15	0.79

6. 計算水泥用量

根據式(4.1)或表 4-3 選擇水灰比(或水膠比)，再根據用水量可估算水泥(或膠結料)用量。

7. 計算粗粒料量

根據粗粒料最大粒徑及細粒料細度模數，可估算單位體積混凝土中烘乾粗粒料所占體積比(表 4-4)，再藉由乾搗單位重、吸水率及面乾內飽和比重可計算粗粒料用量及體積。

表 4-4 單位體積混凝土中的粗粒料體積 (部分摘錄)^[13]

標稱最大粒徑 (mm)	乾搗粗粒料佔單位體積混凝土體積比			
	細粒料細度模數			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69

8. 計算飛灰/爐石粉量

基於過去經驗或試拌結果，CLSM 可使用大量飛灰、爐石粉或細質材料部分取代水泥甚至粒料。

9. 計算細粒料量

使用單位體積法，混凝土的總體積設定為 1 m^3 ，故可藉由上述材料用量計算各材料所占體積後，所餘空間由細粒料填塞，再藉由細粒料面乾內飽和比重可計算細粒料用量。

10. 調整用水量

若拌和時並非使用面乾內飽和粒料，則必須根據當時的粒料含水率修正用水量。

11. 計算化學摻料用量

化學摻料的使用為控制 CLSM 新拌性質的關鍵，用量視材料性質、配比組成及 CLSM 性能要求而定，初次配比設計可採各廠牌建議用量，實際用量可視試拌時拌成物的流動性而調整，由少量逐次增加。目前市面上所售適用 CLSM 之化學摻料因需要兼具分散與早凝性，故多混合分散劑與速凝劑而呈現液態，因此計算實際拌合配比時，須加計化學摻料本身所含水量。化學摻料用量的表示係以該摻料的固含量佔膠結材的百分比表示。

12. 檢核管流度/坍流度

試拌過程須多次檢核管流度/坍流度，如不符合要求，可調整飛灰、爐石粉或細質材料比例或改變化學摻料用量。

13. 檢核落球凹痕直徑

落球凹痕直徑反應 CLSM 的早強性質，與化學摻料性質密切相關，若不符合要求，優先調整化學摻料用量或種類。

14. 檢核抗壓強度

28 天強度主要與水灰(膠)比及水泥用量有關，因此當強度不符合要求時，可調整水灰(膠)比，若調整水泥用量時，則粒料用量亦須隨之改變。

4.4 計算範例

某工程欲使用含氧化矽(石)之非輸氣 CLSM 進行結構回填且未涉及金屬管線埋設物，以符合行政院公共工程委員會所頒布的施工綱要規範之性能為目標。由於無經驗配比可供參考，因此首先以 ACI 配比設計單位體積法^[15]設計全天然粒料之配比，多次試拌成功後再以氧化矽(石)取代其中天然粗細粒料。

1. 材料基本性質

配比所需組成材料基本性質如表 4-5 所示，使用市售含速凝劑與減水劑混合之化學摻料，其固含量 33%，比重 1.1。

表 4-5 材料基本性質

性質	試驗方法	水泥	飛灰	天然粗粒料	天然細粒料	氧化渣(石)粗粒料	氧化渣(石)細粒料
比重	CNS 11272	3.15	2.05	-	-	-	-
面乾內飽和比重	CNS 487 CNS 488	-	-	2.68	2.68	3.54	3.54
吸水率	CNS 489	-	-	1.04%	1.10%	1.86%	3.33%
含水率 (堆積態)	CNS 11298	-	-	2.00%	5.00%	2.46%	4.11%
乾搗單位重	CNS 1163	-	-	1663 kg/m ³	-	-	-
標稱最大粒徑	CNS 486	-	-	19.1 mm	-	-	-
細度模數		-	-	-	2.81	-	5.73

2. 目標性質

配比所需達到的性質如表 4-6 所示。

表 4-6 CLSM 配比之性質要求

性能要求	合格標準
坍流度	400 mm 以上
落沉強度	一般型，12 小時內落球凹痕直徑小於 76 mm
28 天抗壓強度	90 kgf/cm ² 以下

3. 設定坍度

由於 CLSM 須具流動性，因此依 ACI 配比設計法選擇最大坍度 175 mm。

4. 估計含氣及用水量

由天然粗粒料標稱最大粒徑 19.1 mm 及設定坍度 175 mm，根據表 4-2 可估計用水量(W_{water})=216 kg/m³，含氣量(V_{air})=2%。

5. 選擇水灰比

ACI 配比設計法中表列預估 28 天抗壓強度與水灰比間的關係，若預定 28 天抗壓強度為 75 kgf/cm²，則根據式(4.1)可計算得水灰比 0.954。

$$w/c = 1.1507e^{-0.0025 \cdot 75} = 0.954 \quad (4.2)$$

6. 計算水泥用量

根據水灰比 0.954 及用水量 216 kg/m³ 可估算水泥(或膠結料)用量 (W_{cement})=226 kg/m³。

$$W_{\text{cement}} = \frac{216}{0.954} = 226 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4.3)$$

然而參考文獻所述^[13]，此水泥用量略高，因此將水泥用量下降至 $W_{\text{cement}}=115 \text{ kg/m}^3$ ，此時體積 $V_{\text{cement}}=0.037 \text{ m}^3$ ，用水量(W_{water})也隨之調整至 110 kg/m^3 ，體積為 0.110 m^3 。

$$V_{\text{cement}} = \frac{115}{3.15 \times 1000} = 0.037 \text{ (m}^3\text{)} \quad (4.4)$$

$$W_{\text{water}} = 115 \times 0.954 = 110 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4.5)$$

$$V_{\text{water}} = \frac{110}{1 \times 1000} = 0.11 \text{ (m}^3\text{)} \quad (4.6)$$

7. 計算粗粒料量

根據天然粗粒料標稱最大粒徑 19.1 mm 及細粒料細度模數 2.81，由表 4-4 並藉由內插法可估算單位體積混凝土中烘乾粗粒料所占體積比 (ϕ_{ca})=0.619，再藉由乾搗單位重(UW)=1663 kg/m³、吸水率 1.04%及面乾內飽和比重可計算粗粒料用量(W_{ca})=1039 kg/m³。

$$\phi_{ca} = \frac{2.81-2.80}{3-2.80} \times (0.6 - 0.62) + 0.62 = 0.619 \quad (4.7)$$

$$W_{ca} = 0.619 \times 1663 \times (1 + 1.04\%) = 1039 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4.8)$$

然而參考施工綱要規範，粗粒料的用量建議在 400 kg/m³ 以下，因此將粗粒料用量(W_{ca})調整至 400 kg/m³，此時粗粒料體積(V_{ca})=0.149 m³。

$$V_{ca} = \frac{400}{2.68 \times 1000} = 0.149 \text{ (m}^3\text{)} \quad (4.9)$$

8. 計算飛灰/爐石粉量

第一次配比試拌，亦無經驗配比可參考，故不添加飛灰/爐石粉。

9. 計算細粒料量

使用單位體積法，混凝土的總體積設定為 1 m^3 ，故可藉由上述材料用量計算各材料所占體積後，所餘空間由細粒料填塞，再藉由細粒料面乾內飽和比重可計算細粒料用量。此時細粒料所佔的體積(V_{fa})為 0.684 m^3 ，用量(W_{fa})為 1193 kg ，如表 4-7 所示。

$$V_{fa} = 1 - 0.110 - 0.037 - 0.149 - 0.020 = 0.684 \text{ (m}^3\text{)} \quad (4.10)$$

$$W_{fa} = 0.684 \times (2.68 \times 1000) = 1831 \text{ (kg)} \quad (4.11)$$

表 4-7 CLSM 配比試算(I)

組成材料	重量(kg)	體積(m ³)
水	110	0.110
水泥	115	0.037
天然粗粒料(面乾內飽和)	400	0.149
空氣	0	0.020
天然細粒料(面乾內飽和)	1831	0.684
總計	-	1.000

10. 調整用水量

若拌和時並非使用面乾內飽和粒料，則必須根據當時的粒料含水率修正用水量。假設使用表 4-5 中含表面水(濕態)的粗細粒料，則調整後的粗粒料重(W_{ca})= 408 kg ，細粒料重(W_{fa})= 1923 kg ，調整後實際添加水量(W_{water})為 10 kg ，實際拌合時所用的配比如表 4-8 所示。

$$W_{ca} = 400 \times (1 + 2\%) = 408 \text{ (kg)} \quad (4.12)$$

$$W_{fa} = 1831 \times (1 + 5\%) = 1923 \text{ (kg)} \quad (4.13)$$

$$W_{water} = 110 - (408 - 400) - (1923 - 1831) = 10 \text{ (kg)} \quad (4.14)$$

表 4-8 CLSM 配比試算(II)

組成材料	重量(粒料面乾內飽和)(kg)	重量(粒料濕態)(kg)
水	110	10
水泥	115	115
天然粗粒料	400	408
空氣	0	0
天然細粒料	1831	1923

11. 試拌及調整配比

上述配比經試拌後，裝體量不足無法成形，係因細粒料大量取代粗粒料及部分水泥之故。此時以飛灰替代部分細粒料，經多次試拌後，達到目標坍流度結果如表 4-9 所示，其 28 天抗壓強度達 81 kgf/cm²，滿足預定強度目標。

表 4-9 CLSM 配比試算(未使用氧化渣(石))

組成材料	重量(kg)	體積(m ³)
水	248	0.248 (=248/(1.00×1000))
水泥	158	0.050 (=158/(3.15×1000))
天然粗粒料(面乾內飽和)	382	0.142 (=382/(2.68×1000))
天然細粒料(面乾內飽和)	1296	0.484 (=1296/(2.68×1000))
飛灰	114	0.055 (=114/(2.05×1000))
空氣	0	0.020
總計	-	1.000

12. 使用氧化渣(石)

根據表 4-9 所列配比，若使用氧化渣(石)100%體積取代粗粒料及 50%體積取代細粒料時，則配比如表 4-10 所示。然而，由於氧化渣(石)比重

大於天然粗細粒料，因此在等體積取代時，氧化矽(石)重量大於原天然粒料。為了滿足粗粒料用量必須少於 400 kg/m^3 的條件，部分氧化矽(石)粗粒料以氧化矽(石)細粒料取代，其餘材料用量不變，配比修正如表 4-11 所示。

表 4-10 CLSM 配比試算(以氧化矽(石)100%取代粗粒料、50%取代細粒料)

組成材料	重量(kg)	體積(m^3)
水	248	0.248
水泥	158	0.050
天然粗粒料(面乾內飽和)	0	0
天然細粒料(面乾內飽和)	648 ($=0.242 \times 2.68 \times 1000$)	0.242 ($=0.484 - 0.242$)
飛灰	114	0.055
氧化矽(石)粗粒料(面乾內飽和)	503 ($=0.142 \times 3.54 \times 1000$)	0.142
氧化矽(石)細粒料(面乾內飽和)	857 ($=0.242 \times 3.54 \times 1000$)	0.242 ($=0.484 \times 50\%$)
空氣	0	0.020
總計	-	1.000

表 4-11 CLSM 配比試算(限定氧化矽(石)粗粒料用量為 400 kg/m^3)

組成材料	重量(kg)	體積(m^3)
水	248	0.248
水泥	158	0.050
天然細粒料(面乾內飽和)	648	0.242
飛灰	114	0.055
氧化矽(石)粗粒料(面乾內飽和)	400	0.113 ($=400 / (3.54 \times 1000)$)
氧化矽(石)細粒料(面乾內飽和)	959 ($=0.271 \times 3.54 \times 1000$)	0.271 ($=0.142 + 0.242 - 0.113$)
空氣	0	0.020
總計	2527	1.000

13. 試拌並檢核坍流度

試拌過程逐步添加化學摻料以調整流動性，於摻料使用量 8 kg 時，坍流度達 400 mm，合乎要求。

14. 量測含氣量與單位重

量測所得含氣量 2.3%，與原設計值接近，所得單位重 2474 kg/m³，則據此可計算相對體積比(R_y)為 0.98。

$$R_y = 2474 \text{ (kg/m}^3\text{)} / 2527 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.98 \quad (4.15)$$

實際拌合所得之 CLSM 配比修正如表 4-12 所示。

表 4-12 CLSM 配比

組成材料	重量(kg/m ³)
水	243 (=248×0.98)
水泥	155 (=158×0.98)
天然細粒料(面乾內飽和)	634 (=648×0.98)
飛灰	112 (=114×0.98)
氧化矽(石)粗粒料(面乾內飽和)	392 (=400×0.98)
氧化矽(石)細粒料(面乾內飽和)	939 (=959×0.98)

15. 檢核落球凹痕直徑

於拌合完成後第 12 與 24 小時分別量得落球凹痕直徑 55 mm 與 45 mm，皆合乎要求。

16. 檢核抗壓強度

拌合完成後第 28 天進行抗壓強度試驗，抗壓強度為 74.4 kgf/cm^2 ，合乎要求，因此表 4-12 之配比可行。

4.5 注意事項

除另有要求外，CLSM 至少必須測定或評估以下性質，包括含氣量、單位體積、坍度或流動性、穩定性和強度，試驗方法如表 4-13 所列^[15-19]，合格標準須視工程所依循之相關規範或設計要求而定。以行政院公共工程委員會所頒布的施工綱要規範為例^[3]，大於 No.4(4.75 mm)試驗篩之粗粒料用量建議不得超過 400 kg/m^3 ，管流度或坍流度試驗擇一辦理，管流度要求可為 15-20 cm 或 20-30 cm，坍流度要求 40 cm 以上。若為一般型 CLSM，則落沉強度試驗中，落球凹痕直徑於 12 或 24 小時內達到 76 mm 以下，若為早強型 CLSM，則於 3 或 4 小時內達成。就 28 天抗壓強度而言，若為永久的結構回填，建議強度不超過 90 kgf/cm^2 ，若為管溝工程之回填，則建議強度不超過 50 kgf/cm^2 。如使用於金屬管線埋設物之回填時，則須測定水溶性氯離子含量，必須低於 0.15 kg/m^3 ^[20,21]。以台灣自來水股份有限公司所頒布的自來水管埋設工程施工說明書^[22]為例，則訂設計 28 天以上抗壓強度為 $20-50 \text{ kgf/cm}^2$ ，坍流度 40-60 cm，水溶性氯離子含量低於 0.15 kg/m^3 。以台灣電力股份有限公司工程施工綱要規範第 03377A 章「高煤灰量控制性低強度回填材料」^[23]為例，其配比設計允許使用高燃煤電廠飛灰與底灰，設計 28 天以上抗壓強度為 $20-90 \text{ kgf/cm}^2$ ，坍流度大於 40 cm，若為一般型 CLSM，則落沉強度試驗中，落球凹痕直徑於 24 小時內達到 76 mm 以下，若為早強型 CLSM，則於 3.5 時內達成，水溶性氯離子含量亦低於 0.15 kg/m^3 。各施工規範所要求的 CLSM 基本性質整理如表 4-14 所示。

表 4-13 CLSM 基本性質試驗法^[15-19]

性質	試驗法
含氣量	CNS 15863 控制性低強度回填材料密度(單位重)、拌成物體積、水泥含量及含氣量(比重計法)試驗法
單位體積	同上
管流度	CNS 15462 控制性低強度回填材料流動稠度試驗法
坍流度	CNS 14842 高流動性混凝土坍流度試驗法
落沉強度	CNS 15862 測定控制性低強度回填材料施加荷重時機之落球試驗法
抗壓強度	CNS 15865 控制性低強度回填材料圓柱試體之製備及試驗法
氯離子含量	CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法

表 4-14 CLSM 基本性質要求範例

性質	行政院公共工程委員會 會施工綱要規範 ^[3]	台灣自來水公司自來水管 埋設工程施工說明書 ^[22]	台灣電力公司工程 施工綱要規範 ^[23]
粗粒料用量 (kg/m ³)	不超過 400 ⁽¹⁾	-	-
管流度 (cm)	15-20 或 20-30 ⁽¹⁾	-	-
坍流度 (cm)	40 以上 ⁽¹⁾	40-60	40 以上 ⁽⁵⁾
落球強度試驗	76 mm 以下 一般型： 12 或 24 小時 ⁽¹⁾ 早強型： 3 或 4 小時 ⁽¹⁾	76 mm 以下或以體重 60 公斤以上人員在管 溝控制性低強度回填材 料頂面站立 5 分鐘而無 明顯下陷痕跡	76 mm 以下 一般型：小於 24 小時 ⁽⁶⁾ 早強型：小於 3.5 小時 ⁽⁶⁾
28 天抗壓強度 (kgf/cm ²)	90 以下 ⁽²⁾	20-50 ⁽⁴⁾	一般型：20-90 ⁽⁶⁾ 早強型：20-90 ⁽⁶⁾
氯離子含量 (kg/m ³)	不超過 0.15 ⁽³⁾	不超過 0.15	不超過 0.15 ⁽⁷⁾

- (1) 建議值，管流度及坍流度可擇一試驗辦理。
- (2) 因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm² 為上限。
- (3) 如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090 之規定，如使用於非金屬管線埋設物之回填時，可免辦理本項試驗。
- (4) 抗壓強度期齡要求為 28 日「以上」，致不硬性規定應於第 28 天期齡辦理抗壓強度試驗，得集中於估成竣工時再行辦理。全煤灰 CLSM 若有拌和不均勻問題，經甲方同意後，可摻加適量粗粒料，惟摻加量不可超過 200 kg/m³。
- (5) 埋設物上方之 CLSM，其坍流度經甲方同意後，可適度降低。
- (6) 如道路主管機關另有規定者，從其規定。
- (7) 回填區內無金屬構件時，經甲方同意可免此項要求。

各項測定性質中，含氣量及單位體積係用來修正配比中單位體積所需之材料用量，坍度或流動性質係反應 CLSM 的工作性與適用性，穩定性係指 CLSM 必須為均勻拌成物，不可發生明顯析離現象^[2]。CLSM 之性能依使用目的須滿足適用之工程規範或設計要求，未滿足時，則配比必須重新調整，可參考表 4-15 調整配比其中的組成成分之一或同時兩者以上^[2]。此外，CLSM 的流動性與早凝性

質易受環境溫溼度所影響，因此實際配比須視季節天候而調整。

以氧化矽(石)替代部分天然粒料時，由於氧化矽(石)比重大於天然粒料，因此單位體積所使用的粒料重將增加，須注意此時粒料用量超出相關工程規範規定或設計要求。另外，氧化矽(石)表面具多孔隙，因此若作為粗粒料使用時，宜提高漿體比例。

表 4-15 配比調整方式^[2]

性質	問題	調整方式
坍度	太高	(1) 降低用水量 (2) 增加細粒料用量或使用細質材料
	太低	(1) 增加用水量 (2) 使用減水劑
穩定性	粒料析離	(1) 降低用水量 (2) 增加細粒料用量或使用細質材料 (3) 增加膠結材料用量 (4) 添加增稠劑(VMA, viscosity-modifying admixture)
拌和體積	太低	(1) 確認組成材料比重是否正確 (2) 增加組成材料用量
	太高	(1) 確認組成材料比重是否正確 (2) 減少組成材料用量
抗壓強度	太低	(1) 增加膠結材用量 (2) 使用減水劑並降低用水量
	太高	減少膠結材用量

4.6 參考配比

表 4-16 為統整某試驗室及現地工程所使用之含氧化矽(石)CLSM 配比，性質皆符合行政院公共工程委員會施工綱要規範第 03377 章控制性低強度回填材料要求。彙整歸納發現水灰比約為 1.60 以上，則 28 天抗壓強度可低於 90 kgf/cm²，若限制粗粒料使用上限，則可使用飛灰、燃煤底灰、爐石粉等細質材料，以確保 CLSM 具有足夠的漿量並降低水泥用量。使用飛灰與燃煤底灰時，可另參考表 4-17 所列配比。

表 4-16 CLSM 試驗配比

水灰比	水膠比	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	天然 粗粒料 (kg/m ³)	天然 細粒料 (kg/m ³)	氧化矽 (石) 粗粒料 (kg/m ³)	氧化矽 (石) 細粒料 (kg/m ³)	爐石粉 (kg/m ³)	飛灰 (kg/m ³)	白電 爐煤 底灰 (kg/m ³)	速凝劑 (kg/m ³)
1.57	0.91	253	161	—	661	400	988	—	116	—	8.05
1.57	0.91	253	161	—	701	400	547	—	116	—	8.05
1.70	0.93	253	149	—	661	400	988	—	124	—	0
1.57	0.91	253	161	—	704	400	559	—	116	—	0
1.57	0.91	253	161	—	701	400	547	—	116	257	8.05
1.57	0.91	253	161	—	704	400	559	—	116	258	0
1.68	1.68	268	160	—	—	400	1850	—	—	—	2
2.65	2.65	265	100	—	—	400	1755	—	—	—	0
2.50	2.50	250	100	200	810	200	200	—	—	—	0
2.07	1.71	290	140	—	—	400	480	30	—	—	5
1.79	1.79	250	140	—	689	400	460	—	—	—	3

表 4-17 高煤灰量 CLSM 參考配比^[23]

類別	水泥 ⁽¹⁾	飛灰	水	底灰 ⁽²⁾	粗細粒料 ⁽³⁾	化學摻料 ⁽⁴⁾
全煤灰(I)	50-200	300-500	480-500	500-1000	0 ⁽⁵⁾	用量依工程 需求調整
全煤灰(II)	50-120	200-300	480-500	600-900	0 ⁽⁵⁾	
高煤灰(I)	50-100	500-800	380-400	0-300	500-800	
高煤灰(II)	50-100	200-300	380-400	500-700	500-700	

- (1) 水泥原則上採用卜特蘭 I 型水泥，經甲方同意可採其他類型水泥，如早強水泥。
- (2) 底灰用量為烘乾重，底灰含水量已併計於 CLSM 用水量中。
- (3) 粗細粒料用量為面乾飽和重；粒料之品質與特性亦會影響 CLSM 之凝結時間，對於可續行工作時間較短之工程，須特別注意。
- (4) 各配比可佐以適量之化學摻料以達性能需求，CLSM 常使用早強劑以符合可續行工作時間之要求，其用量依可續行工作時間調整。
- (5) 全煤灰 CLSM 若有拌和不均勻問題，經甲方同意後，可摻加適量粗粒料，惟摻加量不可超過 200 kg/m³。

4.7 含氧化矽(石)CLSM 試驗室試拌與示範工程案例成果說明

1. 含氧化矽(石)CLSM 實驗室試拌成果說明

國立臺灣科技大學團隊曾針對國內兩家鋼廠所取得的氧化矽(石)試樣(代號分別為 A、B)進行拌製 CLSM 試驗。過程中，以氧化矽(石)體積取代天然粗粒料 100%、天然細粒料 50%與 100%，搭配 F 級飛灰，28 天抗壓強度試驗結果如圖 4-2 與圖 4-3 所示。

以粗細氧化矽(石)替代天然粗細粒料時，由於氧化矽(石)比重較天然粒料高，因此以同體積取代時，所需氧化矽(石)重將大於原使用天然粒料重，相較於空白組，強度變化約介於-6.05%~8.64%之間(圖 4-2)。若限定粗氧化矽(石)用量在 400 kg/m^3 ，並增加細氧化矽(石)用量以維持單位體積不變時，則多數配比呈現明顯的強度增加。因此未來實務使用時，若使用氧化矽(石)替代天然粒料時，須注意可能提高抗壓強度。就水膠比的影響而言，當粗細氧化矽(石)分別取代天然粗粒料 100、50%且維持總粒料用量不變時，改變漿體本身的水膠比則可發現，隨著水膠比(水重/(水泥重+飛灰重))的增加，強度反而增加 4.32%~19.49%(圖 4-3)，推測當水膠比增加時，由於飛灰比重較水泥小，因此水泥用量減少但飛灰用量增加更多，也更能填充試體內部及氧化矽(石)表面孔隙，增加氧化矽(石)與漿體的膠結力，進而增加強度。

另一方面，當粗氧化矽取代天然粗粒料 100%時，進一步以細氧化矽(石)及燃煤底灰分別取代天然細粒料 30%、20%時，則強度約為下降 1.48%~17.82%(圖 4-4)，說明使用燃煤底灰可降低抗壓強度。

長期而言，抗壓強度隨著水化時間而增加，但即使於相同的水膠比下，很可能因為所使用粒料之性質差異而造成不同配比間的抗壓強度變化大，尤其於高水膠比時，不易建立單一強度預測式，如圖 4-5 所示。因此，實務上若需考慮長期強度發展時，建議進一步降低配比設計 28 天抗壓強度並提高水膠比。

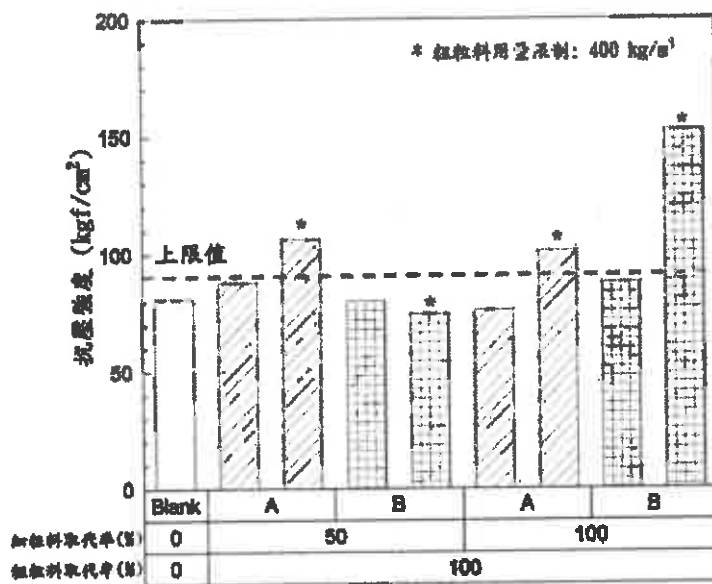
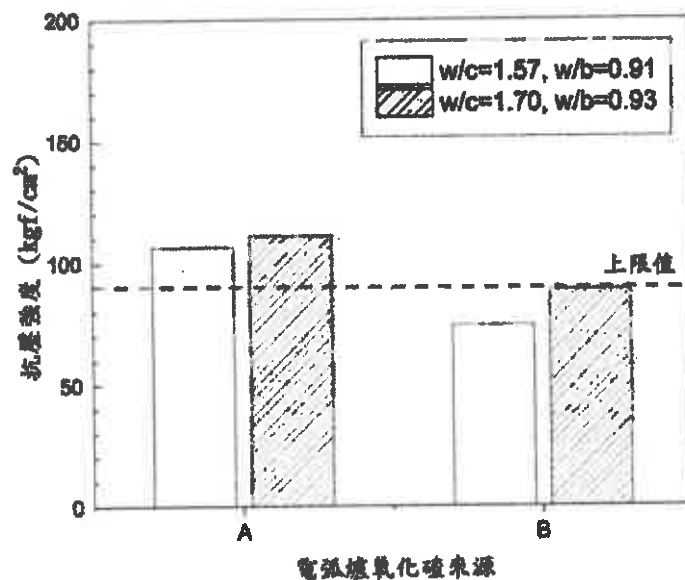


圖 4-2 抗壓強度與氧化渣(石)取代天然粗粒料比例間的關係



電弧爐氧化渣來源
圖 4-3 不同水膠比下 CLSM 抗壓強度的變化(氧化渣(石)取代天然粗粒料 100、天然細粒料 50%)

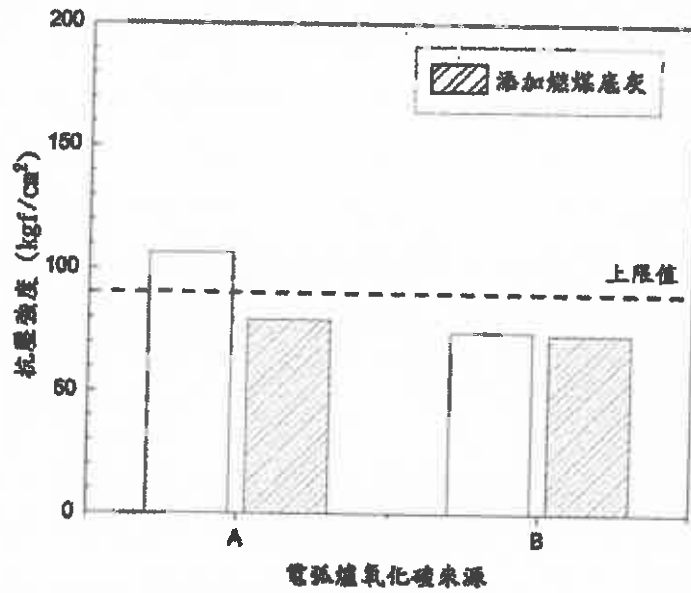


圖 4-4 抗壓強度與添加燃煤底灰間的關係 (氧化矽(石)取代天然粗粒料 100%、天然細粒料 30%)

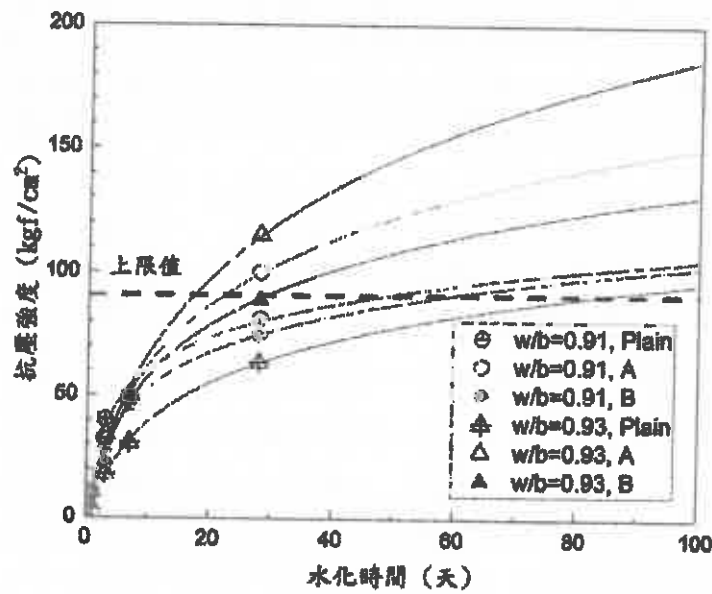


圖 4-5 不同水膠比下抗壓強度與時間關係圖(氧化矽(石)取代天然粗粒料 100、天然細粒料 50%)

2. 示範工程案例成果說明

為確保氧化矽(石)應用於管溝回填工程，近年來工業局及鋼鐵公會積極協調各單位辦理相關試鋪工程，相關案例成果整理如表 4-18 所示。本節依序說明各試鋪工程資訊與成效。成效評估部分主要針對使用氧化矽(石)CLSM 之新拌、早凝、抗壓強度及氯離子含量等，部分試鋪工程亦進行環境項目之監測，以驗證氧化矽(石)之環境友善性。未來其他工程擬使用氧化矽(石)時，可參考本手冊所列案例使用之配比，依實際工程需要而調整使用量或搭配其他材料。

表 4-18 氧化矽(石)CLSM 試鋪工程實績

案例編號	鋪設完成日期	氧化矽(石)試鋪量	氧化矽(石)佔粒料比例	燃煤底灰作為細粒料佔粒料比例
一	106.3	試鋪長度:2390 m	100%	0%
二	105.8	試鋪長度:518 m	100%	0%
三	107.4	使用量:83 m ³	100%	0%
四	107.1	使用量:28 m ³	100%	0%
五	106.12	試鋪長度:355 m	62%	38%
六	107.7	-	100%	0%
			71%	29%
			68%	32%

(1) 工程案例一

某管線遷移工程使用 20%氧化矽(石)粗粒料、80%氧化矽(石)細粒料為再生粒料於管溝回填，該工程路段長度約為 2390 公尺，寬約 5 公尺，鋪設面積約 11950 m²，CLSM 管溝回填數量 3332 m³，共使用氧化矽(石)約 7203.52 公噸，設計 28 天承載壓力為 20-50 kgf/cm²，坍流度為 40-60 cm，配比設計如表 4-19 所示。現場照片如圖 4-6-圖 4-8 所示。各項性能檢測如表 4-20 所示，符合施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」驗收標準。

表 4-19 工程案例一 CLSM 配比

水灰比	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	氧化矽(石)粗粒料 (kg/m ³)	氧化矽(石)細粒料 (kg/m ³)
2.70	270	100	370	1480

表 4-20 工程案例一 CLSM 性能檢測結果

檢測項目	檢測方法	品質要求	檢測結果
28 天以上抗壓強度	CNS 15865	20-50 (kgf/cm ²)	32.8 kgf/cm ²
落球試驗	CNS 15862	一般型：<76 mm (洗置後 24 小時)	60 mm
坍流度	CNS 14842	40-60 (cm)	50 cm
氯離子含量	CNS 13465	≤0.15 kg/m ³	≤0.15 kg/m ³



圖 4-6 工程案例一現地照片(環索前)



圖 4-7 工程案例一現地照片(灌漿中)



圖 4-8 工程案例一現地照片(灌漿後)

(2) 工程案例二

某管線設備緊急搶修及零星修護工程使用 20.8%氧化矽(石)粗粒料、79.2%氧化矽(石)細粒料為再生粒料於管溝回填，該工程路段長度約為 518 公尺，開挖寬約 0.4 公尺，鋪設面積約 207 m²，CLSM 管溝回填數量 439 m³，共使用氧化矽(石)約 904.34 公噸，設計 28 天承載壓力為 20-50 kgf/cm²，坍流度為 40-60 cm，配比設計如表 4-26 所示。現場照片如圖 4-9-圖 4-11 所示。各項性能檢測如表 4-27 所示，符合施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」驗收標準。

表 4-21 工程案例二 CLSM 配比

水灰比	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	氧化矽(石) 粗粒料 (kg/m ³)	氧化矽(石) 細粒料 (kg/m ³)
3.38	270	80	390	1480

表 4-22 工程案例二 CLSM 性能檢測結果

檢測項目	檢測方法	品質要求	檢測結果
28 天以上抗壓強度	CNS 15865	20-50 (kgf/cm ²)	24.0 kgf/cm ²
落球試驗	CNS 15862	一般型：<76 mm (洗置後 24 小時)	55 mm
坍流度	CNS 14842	40-60 (cm)	50 cm
氯離子含量	CNS 13465	≤0.15 kg/m ³	≤0.15 kg/m ³



圖 4-9 工程案例二現地照片(瀝青前)



圖 4-10 工程案例二現地照片(瀝青中)



圖 4-11 工程案例二現地照片(灌漿後)

(3) 工程案例三

某管溝回填工程，回填數量 83 m^3 ，配比設計如表 4-28 所示。現場照片如圖 4-11 與圖 4-12 所示。各項性能檢測如表 4-29 所示，符合施工網要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」驗收標準。

表 4-23 工程案例三 CLSM 配比

水灰比	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	氧化矽(石) 粗粒料 (kg/m^3)	氧化矽(石) 細粒料 (kg/m^3)	藥劑 (kg/m^3)
1.67	265	160	400	1850	5

表 4-24 工程案例三 CLSM 性能檢測結果

檢測項目	檢測方法	品質要求	檢測結果
28 天以上抗壓強度	CNS 15865	20-50 (kgf/cm^2)	31.4 kgf/cm^2
落球試驗	CNS 15862	一般型： $<76 \text{ mm}$ (澆置後 24 小時)	50 mm
坍落度	CNS 14842	40-60 (cm)	48 cm
氯離子含量	CNS 13465	$\leq 0.15 \text{ kg}/\text{m}^3$	0.03 kg/m^3



圖 4-12 工程案例三現地照片(灌漿中)



圖 4-13 工程案例三現地照片(灌漿後)

(4) 工程案例四

某管溝回填工程，回填數量 28 m^3 ，配比設計如表 4-30 所示，與表 4-28 同。現場照片如圖 4-13 所示。各項性能檢測如表 4-31 所示，亦符合施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」驗收標準，其中落沉試驗結果與表 4-29 檢測結果略有差異，說明即使使用相同配比，在不同的濕濕環境下，初凝性質將有所變化。

表 4-25 工程案例四 CLSM 配比(同表 4-23)

水灰比	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	氧化矽(石) 粗粒料 (kg/m^3)	氧化矽(石) 細粒料 (kg/m^3)	藥劑 (kg/m^3)
1.67	265	160	400	1850	5

表 4-26 工程案例四 CLSM 性能檢測結果

檢測項目	檢測方法	品質要求	檢測結果
28 天以上抗壓強度	CNS 15865	20-50 (kgf/cm^2)	30.1 kgf/cm^2
落球試驗	CNS 15862	一般型： $<76 \text{ mm}$ (澆置後 24 小時)	71 mm
坍流度	CNS 14842	40-60 (cm)	47 cm
氯離子含量	CNS 13465	$\leq 0.15 \text{ kg}/\text{m}^3$	0.028 kg/m^3



圖 4-14 工程案例四現地照片(灌漿中)

(5) 工程案例五

某配線管溝回填工程，配比設計如表 4-32 所示，各項性能檢測如表 4-33 所示，符合施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」驗收標準。同樣配比亦後續使用於三處配線管溝回填工程，性能檢測如表 4-29 所示，可以發現多數配比之抗壓強度差異不大。

表 4-27 工程案例五 CLSM 配比

水灰比	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	氧化渣 (石) 粗粒料 (kg/m ³)	氧化渣 (石) 細粒料 (kg/m ³)	燃料底灰 (kg/m ³)	藥劑 (kg/m ³)
1.33	200	150	360	840	730	5-10

表 4-28 工程案例五 CLSM 性能檢測結果

檢測項目	檢測方法	品質要求	檢測結果
28 天以上抗壓強度	CNS 15865	20-90 (kgf/cm ²)	57.8 kgf/cm ²
落球試驗	CNS 15862	一般型：<76 mm (洗置後 24 小時)	合格
坍流度	CNS 14842	40-60 (cm)	合格

表 4-29 工程案例五 CLSM 配比於其他管溝回填工程性能檢測結果

鋪設完成日期	檢測項目	檢測方法	品質要求	檢測結果
107.06	28 天以上 抗壓強度	CNS 15865	20-90 (kgf/cm ²)	56.3 kgf/cm ²
				56.6 kgf/cm ²
				52.0 kgf/cm ²

(6) 工程案例六

某 CLSM 配比設計如表 4-30 所示，各項性能檢測如表 4-31 所示，符合施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」驗收標準。比較各配比試驗結果可以發現，使用燃料底灰時，水膠比須降低，以達到目標強度。

表 4-30 工程案例六 CLSM 配比

配比編號	水膠比	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	飛灰 (kg/m ³)	氧化矽 (石) 粗粒料 (kg/m ³)	氧化矽 (石) 細粒料 (kg/m ³)	燃煤底灰 (kg/m ³)	藥劑 (kg/m ³)
1	1.66	265	160	0	400	1850	0	5
2	1.04	280	120	150	0	1200	500	5
3	0.94	300	120	200	400	650	500	5

表 4-31 工程案例六 CLSM 性能檢測結果

配比編號	檢測項目		
	28 天以上抗壓強度	落球試驗	氯離子含量
1	31.4 kgf/cm ²	50 mm	0.030 kg/m ³
2	35.2 kgf/cm ²	63 mm	0.017 kg/m ³
3	36.3 kgf/cm ²	66 mm	0.022 kg/m ³

3. 綜合討論 (使用電弧爐煉鋼氧化矽(石)配比參數)

綜合前述配比及工程案例可以發現，相較於普通混凝土，CLSM 配比的組成比例因目標抗壓強度容許範圍而變化大。其中，28 天抗壓強度係由水灰比所控制，僅使用氧化矽(石)作為粗細粒料時，建議使用水灰比 1.6 以上，以確保抗壓強度低於 90 kgf/cm²。然而當使用卜作嵐材料時，則必須另外考慮長期強度的發展，亦即進一步提高水膠比。另一方面，根據施工綱要規範，粗粒料的用量建議在 400 kg/m³ 以下，因此當以氧化矽(石)部分替代天然粗粒料時，必須考慮其比重大於天然粒料，減少取代體積並同時提高漿量，所增加的漿量可藉由增加氧化矽(石)細粒料或飛灰用量提供。由於氧化矽(石)本身強度較多數天然粒料高，因此使用時可進一步減少水泥用量，大約可降低水泥用量至 150 kg/m³ 以下，管溝回填時，更可降低至 100 kg/m³ 以下。

第五章 氧化矽(石)再生材料使用於 CLSM 作業與管理

5.1 一般原則

現行事業廢棄物再利用係依據廢清法第 39 條規定執行，該法授權各中央目的事業主管機關訂定事業廢棄物再利用規定及主辦再利用相關業務。再利用管理相關法規包括事業廢棄物產生、清除至再利用過程等，除遵照前述事業廢棄物再利用管理辦法外，尚須符合廢棄物再利用前之貯存、清除、紀錄申報等相關規定。各中央目的事業主管機關依其管理辦法規定，針對性質安定或再利用技術已臻成熟之廢棄物，得公告其再利用種類及管理方式，各再利用機構得參照依該再利用種類及管理規定進行再利用，毋需申請個案再利用許可。

電弧爐煉鋼爐渣再利用作業係屬經濟部掌理之業務，有關氧化矽(石)再利用處理作業應依據中華民國 107 年 7 月 30 日公告「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定辦理，電弧爐煉鋼爐渣再利用機構係指氧化矽(石)處理為再生粒料之業者，氧化矽(石)再利用機構應具備下列資格：

1. 氧化矽(石)再利用機構為處理氧化矽(石)為再生粒料之機構。
2. 依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，應為具有合法登記或符合免辦理登記規定之工廠。
3. 生產品項目至少應包含瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、控制性低強度回填材料用粒料、控制性低強度回填材料或鋪面工程之基層或底層級配粒料。
4. 須具有再利用審核通過資格。

5.2 產出

依據廢清法第 31 條規定，事業廢棄物產出階段應於每月月底前，連線申報前月影響廢棄物產出之主要原物料使用量及主要產品產量或營運狀況資料、事業

電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊

廢棄物產出之種類及描述、數量、再生資源項目、數量等資料。另針對電弧爐煉鋼渣部分，係依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表「編號九、電弧爐煉鋼渣(石)」規定，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年度至少檢測一次有毒重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者(詳如表 5-1)，始得進行再利用；另至少每月檢測一次氫離子濃度(pH值)，連續三個月之 pH 檢測值小於 12.5 者，得每年至少檢測 1 次。

表 5-1 氧化渣(石)出廠檢驗標準^[24]

項次	檢驗項目	品質標準	
1	毒性特性溶出程序 (毫克/公升)	總鉛	5.0
		總鎘	1.0
		總鉻	5.0
		總錳	1.0
		總銅	15.0
		總銀	100.0
		六價鉻	2.5
		總砷	5.0
		總汞	0.2
2	含 2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃同源物等十七種化合物之總毒性當量濃度 (ng I-TEQ/g)	≤1.0	
3	氫離子濃度指數 (pH 值)	2-12.5	

5.3 貯存

依據廢清法第 31 條規定，氧化渣(石)所屬之事業(電弧爐煉鋼廠)應於每月 5 日前連線申報其前月月底廢棄物貯存於廠內之貯存情形資料。氧化渣(石)應貯存於露天場所，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料，並設有排水收集設施。排水通道應保持暢通，避免發生污水溢散情形。另各貯存區應明確標示名稱及產品種類。

5.4 清除

依據廢清法第 31 條規定，清除指定公告事業產出之廢棄物者，清除者應於廢棄物清運出事業廠後 48 小時內載運廢棄物至處理、再利用、輸出者。針對氧化矽(石)處理及再利用業者，應據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」之相關規定辦理，以滿足環境面之管理要求，應注意事項如下：

1. 進料與貯存

- (1) 進料時，應查驗鋼鐵廠檢送之試驗報告，重金屬毒性特性溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度，檢測值不得超過「有害事業廢棄物認定標準」，詳如表 5-1。
- (2) 卸料時，目測該批物之組成成分，是否摻雜異物，並留存進料紀錄。
- (3) 廠內若同時收受氧化矽(石)及還原矽，進料後應分別貯存。另原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應加以隔離避免發生混料情形。
- (4) 氧化矽(石)應貯存於露天場所，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料，並設有排水收集設施。排水通道應保持暢通，避免發生污水溢散情形。
- (5) 各貯存區宜明確標示名稱及產品種類。

2. 再利用處理

- (1) 大粒徑氧化矽(石)，可先經過破碎機軋製成碎粒。
- (2) 磁選機設定磁選能量，應能有效篩分出氧化矽(石)內含鐵金屬。鐵金屬在回收運送過程中，應注意避免發生外洩情形。
- (3) 篩分機的篩分柵網，應定期現場檢查有無變形或破損情形。
- (4) 分離之鐵金屬應儲放於獨立空間，並有適當隔離避免與其他物料發生混料情形。

3. 再利用用途產品貯存與出廠檢測

- (1) 氧化矽(石)再生粒料於拌合廠按照配比，依照需求批次產製 CLSM，所以無產品貯存之問題。
- (2) 如氧化矽(石)再生粒料貯存量超過該再利用用途產品前六個月之累積銷售量時，應停止收受氧化矽(石)。
- (3) 依規定至少每年執行一次重金屬毒性特性溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度項目檢驗，低於「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」標準(詳如表 5-2)方可進行再利用。

表 5-2 氧化矽(石)再利用程序產出物檢驗標準¹¹⁾

項次	檢驗項目	品質標準	
1	毒性特性溶出程序 (毫克/公升)	總鉛	4.0
		總鎘	0.8
		總鉻	4.0
		總硒	0.8
		總銅	12.0
		總鋁	10.0
		六價鉻	0.2
		總砷	0.4
		總汞	0.016
2	含 2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃同源物等十七種化合物之總毒性當量濃度 (ng I-TEQ/g)	0.1	

4. 再利用用途產品運送

送貨單上，應標示 CLSM 之用途、配比、數量、出廠車輛車號、出廠時間、車程及駕駛簽名文件。

5.5 流向管理

於再利用管理中，為避免事業廢棄物有不當棄置導致污染環境，故環保署依「廢棄物清理法」第 39 條之一規定，經中央主管機關指定公告之再利用產品，由中央目的事業主管機關負責其流向追蹤管理，必要時並實施環境監測。行政院環境保護署於 107 年 1 月 9 日公告「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」並自 107 年 8 月 1 日生效。電弧爐煉鋼爐矽(石)應進行流向追蹤之再利用產品範圍包括：瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、控制性低強度回填材料用粒料、控制性低強度回填材料原料或鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料。氧化矽(石)產源機構、清運機構及再利用機構應依行政院環境保護署「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，分別申報清運日期時間、機具車號、數量及再利用情形等資訊。

電弧爐煉鋼爐矽經再利用產製再利用產品後，應依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」第 21 條規定：氧化矽(石)再利用機構應於每月十日前，主動連線至中央主管機關事業廢棄物申報及管理資訊系統，申報其前月再利用產品之營運紀錄，另外自民國 108 年 1 月 1 日起，再利用機構應以網路傳輸方式，於產品出廠後四日內，連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，提報再利用產品中間與最終使用情形相關資料。另外產源事業應於每月月底前，主動連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，確認前月再利用機構提報之電弧爐煉鋼爐矽(石)再利用產品中間與最終使用情形，如經確認無誤或逾時，則該筆資料不得再作任何修正。

如已使用且發生異常膨脹氧化矽(石)CLSM 挖除料，除應先確認 CLSM 是否混摻其他爐矽或膨脹性物質，該挖除料應依「廢棄物清理法」相關規定辦理，如採再利用方式，應經適當安定化處理，確保無膨脹疑慮。

5.6 電弧爐煉鋼爐矽(石)雲端管理系統

台灣鋼鐵工業同業公會與相關業者共同推動建置電弧爐煉鋼爐矽(石)雲端網路申報系統(<http://twliang.com:20011/default>)，由產源端即開始電弧爐煉鋼爐矽

電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊

再生粒料的品質管控及加強流向管理，包括每月爐渣產生量、清運及使用流向，並提供工程案例實績，流程示意圖如圖 5-1。透過資料庫的建置，確保電弧爐爐渣再利用產品品質，避免產生環保爭議或影響工程品質，提昇工程單位使用信心。

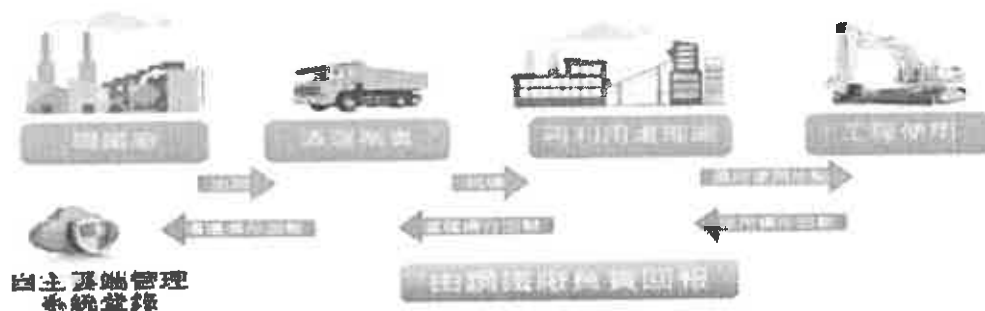


圖 5-1 雲端管理系統流程圖

第六章 含氧化矽(石)CLSM 產製與施工

6.1 使用要點

含氧化矽(石)CLSM 的產製與施工，除本章所述各階段作業之相關要求及注意事項外，應參照工程會施工網要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」規定辦理。

6.2 資料審查

含氧化矽(石)CLSM 的施工前應審查下述資料：

1. 產製氧化矽(石)再生粒料之再利用機構，應依中華民國 107 年 7 月 30 日經濟部公告之再利用管理辦法(詳如附錄一)所列再利用管理方式執行，並須向縣市環保局申請核發取得再利用檢核之身分，或提送相關供料計畫書(詳如附錄三)，內容陳述供應再生粒料之品管作業、建議供料稽核方式及相關試驗方法等，經使用單位審查核可後方可供料。
2. 於氧化矽(石)再生粒料供料前，應查驗相關供應證明文件包括氧化矽(石)來源、製程及品質管制措施等。
3. 拌合廠應檢附經濟部公司執照及工廠登記證或經權責單位核可設立之證明文件。
4. 含氧化矽(石)CLSM 於施工前，應查驗含氧化矽(石)CLSM 品管作業文件包括氧化矽(石)粒料規格品質證明文件、配比設計、相關試驗及工程性質等。

6.3 材料

含氧化矽(石)CLSM 中的氧化矽(石)粒料須符合下列規定：

1. 氧化矽(石)粒料品質規格應符合「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」及工程會施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」之規定。
2. 拌合廠收受氧化矽(石)粒料時，應確認氧化矽(石)再利用機構提供之品質規格證明文件，並留存資料備查。

6.4 配比設計與試拌

1. 含氧化矽(石)CLSM 應作配比設計，可參照第四章說明進行。
2. 配比設計後應進行試拌，需取樣，進行檢、試驗記錄，坍度(管流度)、落球強度、強度發展值及氯離子含量等，以確認性質符合工程需求。
3. 含氧化矽(石)CLSM 若用於有時間要求之回填工程，宜在配比設計時調整與確認其落球強度，並據以進行施工規劃，以提升施工效率。

6.5 產製

含氧化矽(石)CLSM 產製應注意事項如下：

1. 拌合

- (1) 含氧化矽(石)CLSM 應在拌合廠進行拌合作業以穩定產製 CLSM 之品質。
- (2) 含氧化矽(石)CLSM 應依照配比設計結果進行拌合作業，產製期間不宜自行更動配比，若有疑慮須經工程單位同意後執行。
- (3) 拌合廠內不同料源及尺寸之粒料應分開儲放，並避免混料情形發生。
- (4) 拌合廠內之儲存槽、計量器、校正用標準砝碼、拌合水之計量設備等須符 CNS 3090 之規定。
- (5) 所有拌合設備，均應隨時保持良好之操作狀態，並提供足夠充份之預備機件，以備機械發生故障時使用。

2. 運送

- (1) 運送時應保持新拌之 CLSM 品質均勻，避免造成材料析離及泌水。
- (2) 於運送過程中，不可另外添加水量或其他外加摻料，以保持 CLSM 既有品質。

6.6 施工

1. 事前準備

- (1) 施工前應先依設計圖說之規定完成填築範圍內雜物之清除與基地整平作業。若澆置於已施築之混凝土表面或岩石面時，澆置前表面應保持清潔、粗糙、潤濕，並清除多餘之積水；若澆置於土壤表面時，應先將表面之雜物及有機物質清除，並整平，以確保所澆置 CLSM 品質不受影響。
- (2) 施工前應確認所有埋設物已按規定裝設及固定完竣，以避免澆置時因碰撞或震動搗實時發生位移。

2. 澆置

- (1) 澆置前，為確保拌合材料呈均勻分布狀態，應以機械方式充分拌合 CLSM。
- (2) 澆置時，可於預拌車澆置口覆蓋防護套，以避免 CLSM 發生噴濺情形，影響施工環境品質。
- (3) CLSM 在灌入回填區時，應在管路等埋設物以均勻且左右平均的方式澆置，以避免對結構體產生偏壓現象，並可使用整平工具將 CLSM 鋪平，利於後續其他鋪設作業。
- (4) CLSM 澆置過程中可視需要進行震動搗實，避免形成內部空洞或

各部份強度不均勻的情況，以確保 CLSM 之密實性。

- (5) 若回填區具坡度時，可依現地坡度需要，調配較低坍流度之 CLSM，並視坡度情況加設隔板或分段施工。

3. 養護

- (1) CLSM 澆置完成後，需進行灑水養護，並使用麻袋、塑膠布及其他適當物品覆蓋或依設計圖說規定辦理，養護時間依設計圖說規定。
- (2) 於初凝前，可於管溝兩側作安全維護措施，以避免發生人車誤陷管溝而造成危險。另若於道路施工，在瀝青混凝土路面層鋪設前，必要時於管道上方覆設防滑蓋板以供人車通行。
- (3) 於初凝後，CLSM 頂部表面若有泌水，需先清除或鋪設細砂吸乾表面泌水後再掃除，待確認頂部表面為乾燥狀態後，再鋪設瀝青混凝土路面層，以避免管湧現象發生。

6.7 品質檢驗

含氧化渣(石)CLSM 檢驗方式參照工程會施工綱要規範第 03377 章控制性低強度回填材料內容，建議相關檢驗方式與規範值如下所述，使用時可依現行規範內容作調整，CLSM 檢(試)驗引用標準如表 6-1 所示，相關說明如下：

表 6-1 CLSM 檢(試)驗引用標準

項次	CLSM檢驗方法	
1	CNS 15865	CLSM圓柱試體之製作與試驗法
2	CNS 15864	新拌CLSM之取樣法
3	CNS 15863	新拌CLSM之單位重、拌合體積、水泥含量與含氣量(比重)試驗法
4	CNS 15862	以落沉球判定CLSM之可加載重時機試驗法
5	CNS 15462	CLSM之流動性試驗法
6	CNS 13465	新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法
7	CNS 14842	高流動性混凝土坍流度試驗法

- (1) CLSM 除依工程需求訂定特殊檢驗項目外，宜按本節規定方式進行檢驗，並符合如表 6-2 之基本性質要求。另對於氯離子含量檢測部分，如無鋼材腐蝕疑慮時，得免辦理本項試驗。
- (2) CLSM 於澆置時，應依照 CNS 15864 所規定之程序取樣，進行檢、試驗。
- (3) 應進行管流度或坍流度及氯離子含量試驗(如無鋼材腐蝕疑慮時，得免辦理本項試驗)。試驗應依 CNS 15462 或 CNS 14842 及 CNS 13465 之相關規定進行，試驗頻率與抗壓強度試驗相同，可視現場狀況隨時增加試驗頻率。
- (4) 為確保後續工作的執行，應進行 CNS 15862 落沉強度試驗，當落沉強度試驗之壓紋直徑小於 76 mm，可做為進行後續工作之判定。
- (5) 抗壓強度試驗，每種 CLSM 每澆置 50 m³，應取樣一次製作一組至少二只圓柱試體，不足 50 m³ 者，以 50 m³ 計，但分批取樣餘數未達 25 m³ 者，得併入前一組取樣，每次澆置量未達 20 m³ 者，得免做抗壓強度試驗。
- (6) 圓柱試體應依照 CNS 15865 之規定製作及試驗。
- (7) 除設計時另有規定外，CLSM 規定抗壓強度為 28 天齡期之試驗強度。

表 6-2 CLSM 基本性質要求

項目	試驗方法	要求
管流度 (cm) ⁽¹⁾	CNS 15462	15-20
坍流度 (cm) ⁽¹⁾	CNS 14842	40以上
落沉強度試驗	CNS 15862	76 mm以下 一般型：24小時 早強型：4小時
28天抗壓強度 (kgf/cm ²)	CNS 15865	90以下 ⁽²⁾
氯離子含量	CNS 13465	0.15 kg/m ³

(1) 管流度及坍流度可擇一試驗辦理。

(2) 因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm² 為上限。

6.8 計量與計價

編製含氧化渣(石)CLSM 工程預算或估價時，可參考下列計量與計價方式進行作業：

1. CLSM 以「立方公尺」或「平方公尺」並註明厚度方式計量，除另有規定外，其數量依設計圖說所示之尺度計算之。
2. CLSM 之付款依契約詳細價目表之單價給付，其單價包括一切人工、材料(含氧化渣(石)粒料)、鋪築、養護、工具、裝備及雜項費用。

第七章 含氧化矽(石)CLSM 品質管理與注意事項

為確保氧化矽(石)粒料品質能符合工程之需求，使用氧化矽(石)粒料之公共工程，建議執行全面品質管理，以減少影響工程品質之變異發生，品質易受各作業階段影響，宜將本章節相關管制措施及注意事項納入自主管理系統內，以確保含氧化矽(石)CLSM 工程品質。

7.1 品質管理

含氧化矽(石)CLSM 工程品質管制流程如圖 7-1 所示，各作業階段應特別強調之相關管制措施分述如下，以確保其品質。前工業廢棄物再利用於 CLSM，技術面是較為容易掌控，有關手冊中提到第三驗證單位是未來整個制度成功與否之關鍵，建議主管機關應就管理面落實各處理環節，於申報系統方面，所有材料與物質之流向及資訊都應清楚註記，倘未來有問題發生，才可追溯相關責任。」

1. 氧化矽(石)粒料出廠管制

- (1) 氧化矽(石)進料時，可目視該批組成成份是否摻雜異物，並留存進料記錄，以穩定生產品質。
- (2) 廠內若有同時收受氧化矽(石)與還原矽，兩者進料後應分別貯存。另原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應適當隔離避免發生混料情形。
- (3) 依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，氧化矽(石)粒料每年至少執行一次重金屬毒性特性溶出程序及載與辛總毒性當量濃度項目檢驗，並須符合法規品質要求，方可作工程使用。

2. 材料及配比設計管制

- (1) 承包商應評估拌合廠所提供之氧化矽(石)粒料供應商資格與確認氧化矽(石)粒料產源，必要時，承包商應會同工程單位辦理查廠。

- (2) 拌合廠應確認氧化矽(石)粒料出廠檢驗報告之品質規格符合「經濟部事業廢棄物再利用辦法」及工程會施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」之規定，方可進料。
- (3) 拌合廠應依照承包商要求之粒料規格與工程性質，使用工程預定用料進行配比設計與試拌，待確認配比設計結果符合需求後，經工程單位審查核可則可進行產製。

3. 產製及施工管制

- (1) 拌合廠應依照審查核可之配比進行產製，若有變更需求時，應先通知承包商及取得工程機關之認可後，方可執行，並留存相關紀錄。
- (2) 含氧化矽(石)CLSM 應於拌合廠進行產製作業，以確保所產製 CLSM 之品質。
- (3) 承包商應依規範要求頻率，辦理含氧化矽(石)CLSM 品質檢驗。
- (4) 澆置時，應均勻澆置，並確保 CLSM 之密實性，以避免對埋設物產生偏壓，及造成 CLSM 內部空洞或強度分布不均的情形。
- (5) 完工後，需進行灑水等養護作業，待確認達到初凝狀態後才可進行後續瀝青混凝土面層等鋪設工程。

4. 驗收階段管制

- (1) 應查驗施工時 CLSM 之管流度或坍流度、落沉強度試驗報告，及工程施工紀錄。
- (2) CLSM 之 28 天抗壓強度試驗結果，應符合規範規定。

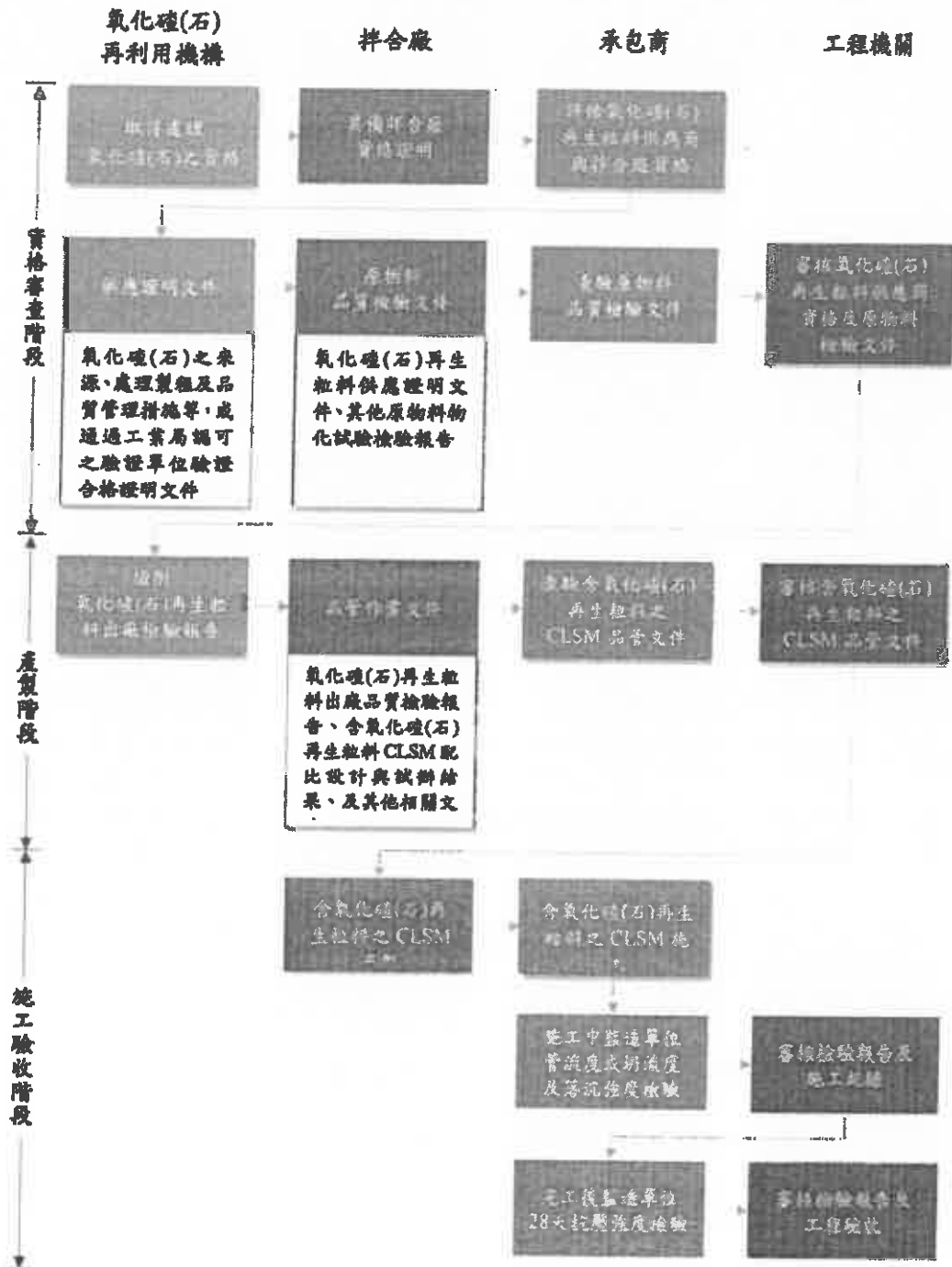


圖 7-1 含氧化矽(石)CLSM 品質作業流程

7.2 注意事項

使用氧化矽(石)粒料之公共工程應注意下列事項：

1. 工程主辦機關應於施工前查驗相關供應證明文件與品管作業文件。
2. 相關證明文件主要確認使用之含氧化矽(石)CLSM 品質，應符合法規標準並滿足工程需求。

參考文獻

- [1] 行政院經濟部工業局(2016),「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」。
- [2] ACI 229R-13 Report on Controlled Low-Strength Materials, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA
- [3] 行政院公共工程委員會(2016),「行政院公共工程委員會施工綱要規範第 03377 章 控制性低強度回填材料」, V.7.0。
- [4] 楊志祥(2006),「電弧爐氧化矽(石)資源化於透水性混凝土磚之可行性研究」, 碩士論文, 朝陽科技大學。
- [5] 曾仕文(2012),「電弧爐還原矽應用於控制性低強度材料及其安定化成效評估研究」, 碩士論文, 國立中央大學。
- [6] 鄭清元(2000),「電弧爐煉鋼爐矽特性及取代混凝土粗骨材之研究」, 碩士論文, 國立中央大學。
- [7] 刑金池(2000),「電弧爐氧化矽(石)資源化利用研究」, 碩士論文, 國立台北科技大學。
- [8] 經濟部工業局(2001),「電弧爐煉鋼還原矽資源化應用技術手冊」, 台灣台北。
- [9] 台灣鋼鐵工業同業公會(2018),「電弧爐煉鋼氧化矽瀝青混凝土鋪面手冊」, 台灣台北。
- [10] 台灣鋼鐵工業同業公會/國立中央大學(2017),「氧化矽基本物理性質試驗(2017)」, 台灣台北。
- [11] 林志杰(2003),「應用電弧爐氧化矽(石)於高性能低強度材料之研究」, 碩士論文, 淡江大學。
- [12] 行政院環境保護署(2015),「焚化底渣再生粒料應用於控制性低強度回填資料(CLSM)使用手冊」。
- [13] American Concrete Institute(1991), "ACI 211.1-91 Standard Practice for Selecting

Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete # , Farmington Hills, MI, USA.

- [14] CNS 12891 混凝土配比設計準則
- [15] CNS 15864 新拌控制性低強度材料取樣法
- [16] CNS 15462 控制性低強度材料流動稠度試驗法
- [17] CNS 15862 測定控制性低強度材料施加荷重時機之落球試驗法
- [18] CNS 15863 控制性低強度材料密度(單位重)、拌和體積、水泥含量及含氣量(比重計法)試驗法
- [19] CNS 15865 控制性低強度材料圓柱試體製備及試驗法
- [20] CNS 3090 預拌混凝土
- [21] CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法
- [22] 台灣自來水股份有限公司(2017),「自來水管理設工程施說明書」。
- [23] 台灣電力股份有限公司(2017),「工程施工綱要規範第 03377A 章 高煤灰量控制性低強度回填材料」。
- [24] 行政院環境保護署(2017),「有害事業廢棄物認定標準」。

附錄一 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表

107.7.30公告版本

再利用種類	再利用管理方式
<p>編號九、電弧爐煉鋼渣(石)</p>	<p>一、事業廢棄物來源：基本金屬製造業在電弧爐煉鋼製程所產生之氧化渣(石)或還原渣(石)。但氧化渣(石)與還原渣(石)無法分離或依相關法規認定為有害事業廢棄物者，不適用之。</p> <p>二、再利用用途：</p> <p>(一)氧化渣(石)：水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料原料、管溝回填用控制性低強度回填材料原料、鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料、紐澤西護欄原料，或經高壓蒸氣處理後作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料或混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。</p> <p>(二)還原渣(石)：水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料、紐澤西護欄原料，或經高壓蒸氣處理後作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料或混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。但不銹鋼製程產生之還原渣(石)用途為水泥原料、紐澤西護欄原料，或經高壓蒸氣處理後作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料或混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。</p> <p>三、再利用機構應具備下列資格：</p> <p>(一)氧化渣(石)：依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠，其產品至少為下列之一項：水泥、瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料、管溝回填用控制性低強度回填材料、鋪面工程之基層或底層級配粒料、紐澤西護欄、非構造物用預拌混凝土粒料、非構造物用預拌混凝土、水泥製品用粒料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋。</p> <p>(二)還原渣(石)：依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠，其產品至少為下列之一項：水泥、瀝青混凝土粒料、瀝</p>

青混凝土、鋪面工程之基層或底層級配粒料、紐澤西護欄、非構造物用預拌混凝土粒料、非構造物用預拌混凝土、水泥製品用粒料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋。

四、運作管理：

(一)再利用機構應符合下列規定：

1、機構設置應符合下列規定：

- (1)廠房之建築應堅固，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料。
- (2)工廠廠區周圍應設置二、四公尺高結構體圍牆或其他適當阻隔之設施，廠內及廠外連接主要交通之道路應鋪設瀝青混凝土或水泥混凝土路面。
- (3)廠內各作業場所應明確區隔，製造作業區與行政作業區應明確劃分。
- (4)原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應適當隔離。
- (5)工廠內部應有充分採光、照明與通風設備。

2、氧化渣(石)再利用於非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途及還原渣(石)再利用於水泥原料用途以外者，應於受託再利用前，與產源事業簽訂記載氧化渣(石)或/及還原渣(石)安定化處理(含高壓蒸氣處理)執行單位(產源事業或再利用機構)、方式與處理時間之契約書，並於訂定契約書之次日起三十日內，由安定化處理執行單位檢具該契約書送經濟部(以下簡稱本部)備查，並副知產源事業與再利用機構所在地之環保主管機關。變更契約書內容時，亦同。

3、再利用應符合下列規定：

(1)再利用於水泥原料用途以外者，應經破碎、磁選及篩分等處理。但於產源事業出廠前已經前述處理程序者，不在此限。

(2)氧化渣(石)：

A.再利用於瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料原料、管溝回填用控制性低強度回填材料原料、鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之

基層或底層級配粒料原料及紐澤西護欄原料用途者，經破碎、磁選及篩分之產出物應至少每月委託檢測機構採樣，並依CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量除再利用於紐澤西護欄原料用途者應未超過百分之〇·〇五外，其他再利用用途未超過百分之〇·五者，始得進行再利用。連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。

B. 再利用機構依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備高壓蒸氣處理設備，其應能維持爐內壓力至少在 20.1 kgf/cm^2 且持續三小時。氧化矽(石)經安定化處理後，應至少每月委託檢測機構採樣，並依附件熱壓膨脹試驗法檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得再利用作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料或混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。

(3) 還原矽(石)：

A. 再利用機構依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備安定化處理設備，且為高壓蒸氣處理設備者，其應能維持爐內壓力至少在 20.1 kgf/cm^2 且持續三小時。

B. 還原矽(石)經高壓蒸氣處理以外之安定化處理後，應至少每月委託檢測機構採樣，並依CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量除再利用於紐澤西護欄原料用途者應未超過百分之〇·〇五外，其他再利用用途未超過百分之〇·五者，始得進行再利用。

C. 還原矽(石)經高壓蒸氣處理後，應至少每月委託檢測機構採樣，並依附件熱壓膨脹試驗法檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得再利用作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。

(4) 膨脹量檢測之採樣，再利用機構應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關及本部。採樣通知應包括採樣時間、地點、採

樣單位及檢測單位。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢測結果不予採信。

(5)膨脹量檢測報告應由經簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議之認證機構所認證之實驗室，依該認證機構所定格式辦理，但熱壓膨脹試驗之檢測報告得由學術單位或具檢驗能力之實驗室依其所定格式辦理。再利用機構應於每年一月、四月、七月及十月前，將上一季膨脹量檢測報告提報當地環保主管機關及本部。氧化矽(石)經破碎、磁選及篩分等處理之產出物，其膨脹量檢測頻率為每半年至少檢測一次者，得於每年一月及七月前，將上半年檢測報告提報當地環保主管機關及本部。

(6)再利用於水泥原料用途者，須具備水泥旋窯設備。

(7)再利用於管溝回填用 控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土用途者，除破碎、磁選及篩分設備外，其餘再利用製程設備僅限用於產製本編號之再利用用途產品。

4、電弧爐煉鋼爐矽(石)經再利用程序之產出物，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年度至少檢測一次戴奧辛及依毒性特性溶出程序檢測有毒重金屬項目。但再利用用途產品為水泥者，不在此限。經檢測未超過下列標準者，始得作為再利用用途之產品使用：

(1)總鉛：四·〇 毫克/公升。

(2)總鎘：〇·八 毫克/公升。

(3)總鉻：四·〇 毫克/公升。

(4)總錫：〇·八 毫克/公升。

(5)總銅：一二·〇 毫克/公升。

(6)總鋇：一〇·〇 毫克/公升。

(7)六價鉻：〇·二 毫克/公升。

(8)總砷：〇·四 毫克/公升。

(9)總汞：〇·〇一六 毫克/公升。

(10)含2,3,7,8-氯化戴奧辛及呔喃同源物等十七種化合物之總毒性當量濃度 ≤ 0.1 (ng I-TEQ/g)。

5、前目檢測之採樣應由檢測單位執行，且再利用機構應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關，採樣通知應包括採樣時間、地點、採樣單位及環保主管機關核發許可證之檢驗測定機構。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢驗結果不予採信。檢測報告應由檢驗測定機構依環保主管機關所定格式辦理，並由再利用機構於每年三月前將上年度檢測報告提報環保主管機關及中央目的事業主管機關。

6、再利用用途之產品應符合下列規定：

	<p>(1)瀝青混凝土產品應依公共工程施工綱要規範之品質項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。</p> <p>(2)管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 控制性低強度回填材料產品應依公共工程施工綱要規範之性質要求或工程採購契約書檢驗，並符合其品質規範。</p> <p>(3)水泥、瀝青混凝土粒料、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土粒料、非構造物用預拌混凝土、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔及溝蓋產品品質應符合該項產品之國家標準。</p> <p>(4)鋪面工程之基層或底層級配粒料產品品質應符合該項產品之國家標準或公共工程施工綱要規範。</p> <p>(5)紐澤西護欄及水泥製品用粒料產品之品質應符合工程採購契約書規範或事業之間符合契約書標準。</p> <p>(6)再利用產品除水泥外，至少每月應由經簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議之認證機構所認證之實驗室檢測一次產品品質。但品質規範項目屬現地試驗者，不受本文檢測實驗室資格之限制。</p> <p>(7)再利用機構應於每年一月、四月、七月及十月前將上一季再利用產品檢測報告，併同工程採購契約書提報當地環保主管機關及本部。但再利用產品以該項產品之國家標準或公共工程施工綱要規範為品質規範者，得免附工程採購契約書。</p> <p>7、再利用用途之產品屬鋪面工程之基層或底層級配粒料者，其使用應符合下列規定：</p> <p>(1)不得使用於依都市計畫法劃定為農業區、保護區、依區域計畫法劃定為特定農業區、一般農業區及依非都市土地使用管制規則劃定各使用分區內之農牧用地、林業用地、養殖用地、國土保安用地、水利用地，及上述分區內暫未依法編定用地別之土地範圍內。</p> <p>(2)不得使用於屬依飲用水管理條例公告之飲用水水源水質保護區及飲用水取水口一定距離、依區域計畫法劃定之水庫集水區及依水利法劃定之自來水水質水量保護區範圍內。</p> <p>(3)不得使用於屬依濕地保育法公告之國家重要濕地、依文化資產保存法公告之自然保留區、依自然保護區設置管理辦法公告之自然保護區、依野生動物保育法公告之野生動物保護區及野生動物重要棲息環境等生態敏感區範圍內。</p> <p>(4)粒徑小於九．五公厘者，應先以其他工程材料隔離。</p> <p>(5)鋪面工程之底層施工完成後六個月內，應完成面層施作。</p> <p>8、再利用用途之產品屬瀝青混凝土粒料者，應符合下列規定：</p>
--	---

- (1) 瀝青混凝土粒料產品銷售對象以瀝青混凝土廠為限。
 - (2) 再利用機構應與產品銷售對象簽訂買賣契約書，並應於簽訂契約書之次日起三十日內，檢具該契約書送本部備查，並副知再利用機構當地及產品銷售對象所在地之環保主管機關。變更契約書內容或終止契約時，亦同。
 - (3) 再利用產品銷售對象，其廠內瀝青混凝土粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該銷售對象。
 - (4) 於再利用產品銷售對象所產製之瀝青混凝土產品出廠後十日內，以書面方式向產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及本部，提報該批再利用產品所使用本編號再利用種類之產源事業、產品使用對象、使用量、庫存量及瀝青混凝土之產生量、銷售對象、出廠時間、銷售量、工程名稱、使用地點及範圍相關資料。
- 9、再利用用途之產品屬管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土粒 預拌混凝土粒 預拌混凝土粒 料者，應符合下列規定：
- (1) 不得將再利用產品轉售予其他法人。
 - (2) 再利用產品使用對象僅限所屬同一法人所設置之控制性低強度回填材料廠。
 - (3) 再利用產品使用對象，其廠內管溝回填用 控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該使用對象。
 - (4) 於再利用產品使用對象所產製之管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 管溝回填用 控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土產品出廠後十日內，以書面方式向產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及本部，提報該批再利用產品所使用本編號再利用種類之產源事業、產品使用對象、使用量、庫存量及管溝回填用 控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土之產生量、銷售對象、出廠時間、銷售量、工程名稱、使用地點及範圍相關資料。
- 10、再利用用途產品為瀝青混凝土、管溝回填用 控制性低強度回填材料、鋪面工程之基層或底層級配粒料或非構造物用預拌混凝土者，其銷售應符合下列規定：
- (1) 鋪面工程之基層或底層級配粒料產品銷售對象以營造業為限。
 - (2) 再利用機構應於產品出貨單上載明使用本編號之再利用種類。
 - (3) 再利用機構應與鋪面工程之基層或底層級配粒料產品使用者簽訂記載本管理方式規定使用限制、使用用途工程名稱、施工期程及產品使用地點、用途（道路、人行道、貨櫃場或停車場之鋪面

工程)與數量之買賣契約書,並附具工程圖樣及說明書,且應於簽訂契約書之次日起三十日內,檢具該契約書送本部備查,並副知再利用機構當地及其產品使用地點之環保主管機關。變更契約書內容或終止契約時,亦同。

- (4)再利用機構於鋪面工程之基層或底層級配粒料產品出廠前,應先取得經土地所有權人同意書面文件送本部備查,並副知產品使用地點之環保主管機關。但再利用產品供作公共工程使用者,不在此限。
- (5)再利用機構應於產品出廠後十日內,以書面方式將該批再利用產品銷售對象、出廠時間、使用用途工程名稱、該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、數量、使用地點及範圍,提報該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及本部。
- 11、再利用用途產品為水泥製品用粒料者,其銷售對象以水泥及混凝土製品製造業為限。
- 12、自中華民國一百零八年一月一日起,再利用機構應改以網路傳輸方式,於瀝青混凝土、管溝回填用控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土與鋪面工程之基層或底層級配粒料再利用產品及再利用產品銷售(使用)對象所產製之瀝青混凝土、管溝回填用控制性低強度回填材料與非構造物用預拌混凝土產品出廠後四日內,連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區,提報本款第八目之四、第九目之四與第十目之五所定再利用產品中間與最終使用情形相關資料。
- 13、自中華民國一百零八年一月一日起,再利用機構應改以網路傳輸方式,連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區,提報本款第二目所定再利用契約書、第三目之四、五與第五目所定再利用相關檢測之採樣通知與檢測報告、第六目之七所定再利用產品檢測報告、第八目之二與第十目之三所定再利用產品買賣契約書及第十目之四所定土地所有權人同意書面文件。
- 14、再利用用途產品貯存量超過該再利用用途產品前六個月之累積銷售量時,應停止收受廢棄物進廠再利用。
- 15、再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關規定辦理。
- 16、再利用機構於堆置、輸送或以車輛運輸逸散性粒狀污染物質及從事易致粒狀污染物質逸散之製程、操作或裝卸作業時,應依固定污染源逸散性粒狀污染空氣污染防制設施管理辦法相關

規定辦理。

(二)產源事業應符合下列規定：

- 1、產源事業不得將電弧爐煉鋼產生之集塵灰及地面、廠房及屋頂清潔收集之塵灰混入氧化矽(石)或還原矽(石)再利用，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年至少檢測一次有害重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者，始得進行再利用；另至少每月檢測一次氫離子濃度(pH值)，連續三個月之pH檢測值小於十二.五者，得每年至少檢測一次。
- 2、前目檢測之採樣應由檢測單位執行，且產源事業應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關，採樣通知應包括採樣時間、地點、採樣單位及環保主管機關核發許可證之檢驗測定機構。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢驗結果不予採信。檢測報告應由檢驗測定機構依環保主管機關所定格式辦理，並由產源事業於每年三月前將上年度檢測報告提報環保主管機關及本部。
- 3、氧化矽(石)再利用作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、綠石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途及還原矽(石)再利用於水泥原料用途以外者，應於委託再利用前，與再利用機構簽訂記載氧化矽(石)或/及還原矽(石)安定化處理(含高壓蒸氣處理)執行單位(產源事業或再利用機構)、方式與處理時間之契約書，並於訂定契約書之次日起三十日內，由安定化處理執行單位檢具該契約書送本部備查，並副知產源事業與再利用機構所在地之環保主管機關。變更契約書內容時，亦同。
- 4、產源事業依前目契約書屬安定化處理執行單位者，應符合下列規定：
 - (1)須具備安定化處理設備，且為高壓蒸氣處理設備者，其應能維持爐內壓力至少在 20.1 kgf/cm^2 且持續三小時。
 - (2)還原矽(石)經高壓蒸氣處理以外之安定化處理後，應至少每月委託檢測機構採樣，並依CNS 15311粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量除再利用於紐澤西護欄原料用途者應未超過百分之 0.05 外，其他再利用用途未超過百分之 0.5 者，始得送往再利用機構。
 - (3)氧化矽(石)及還原矽(石)經高壓蒸氣處理後，應至

	<p>少每月委託檢測機構採樣，並依附件熱壓膨脹試驗法檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得送往再利用機構作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。</p> <p>5、膨脹量檢測之採樣，產源事業應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關及本部。採樣通知應包括採樣時間、地點、採樣單位及檢測單位。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢測結果不予採信。</p> <p>6、前目膨脹量檢測報告應由經簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議之認證機構所認證之實驗室，依該認證機構所定格式辦理，但熱壓膨脹試驗之檢測報告得由學術單位或具檢驗能力之實驗室依其所定格式辦理。產源事業應於每年一月、四月、七月及十月前，將上一季檢測報告提報當地環保主管機關及本部。</p> <p>7、自中華民國一百零八年一月一日起，產源事業應改以網路傳輸方式，連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，提報本款第二目所定採樣通知與檢測報告、第三目所定契約書、第五目所定採樣通知及第六目所定檢測報告。</p> <p>8、除再利用於水泥原料用途外，應將電弧爐煉鋼爐渣（石）之清除、再利用及產品中間與最終使用情形作成處置報告，並於每年一月、四月、七月及十月前將上一季電弧爐煉鋼爐渣（石）處置報告提報當地環保主管機關及本部。</p> <p>9、自中華民國一百零八年一月一日起，前目規定不再適用；除再利用於水泥原料、紐澤西護欄原料或經高壓蒸氣處理後作為水泥製品用粒料原料、混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途外，產源事業應於每月月底前，主動連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區，確認前月再利用機構提報之電弧爐煉鋼爐渣（石）再利用產品中間與最終使用情形，如經確認無誤或逾時，則該筆資料不得再作任何修正。</p> <p>(三)貯存地點應符合下列規定：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、氧化渣（石）及還原渣（石）不得混合貯存。 2、氧化渣（石）及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分別貯存，並得採用露天貯存方式，但貯存場所應設排水收集設施。但貯存於廠房內者，不在此限。 3、還原渣（石）及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分
--	--

	<p>別貯存，且貯存場所應為水泥混凝土鋪面及設有截流溝及排水收集措施，其四周應以防塵網或阻隔牆圍封，其總高度應達設計或實際堆置高度一．二五倍以上，並覆蓋防塵布或防塵網，覆蓋面積應達堆置區面積百分之八十以上。但貯存於廠房內者，不在此限。</p> <p>4、電弧爐煉鋼渣(石)及再利用用途產品貯存高度不得超過工廠廠區周圍結構體圍牆或其他阻隔設施，且貯存場所毗鄰農業用地者，應設置截流溝渠。但貯存於廠房內者，不在此限。</p> <p>(四)電弧爐煉鋼渣(石)送往再利用機構再利用前之清除，應由事業或再利用機構委託領有廢棄物清除許可證之公民營清除機構清除。</p>
--	--

註：本手冊僅摘錄部分規定條款內容，詳細請至經濟部工業局網站下載，查詢網址：<https://www.mocaidb.gov.tw>。

附錄二 行政院公共工程委員會施工綱要規範第 03377 章 V7.0 控制性低強度回填材料

1. 通則

1.1 本章概要

控制性低強度回填材料 (Controlled Low Strength Material, 以下簡稱 CLSM) 係由水泥(含水泥系處理劑)、卜作嵐摻料、粒料及水按設定比例拌和而成, 必要時得依規定使用化學摻料。

1.2 工作範圍

本章工作範圍涵蓋 CLSM 之組成材料、性質要求、拌和、設備、品管、檢驗等相關規定。

1.3 相關章節

1.3.1 第 02320 章--不適用材料

1.3.2 第 03050 章--混凝土基本材料及施工一般要求

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準 (CNS)

- | | |
|---------------|--------------------|
| (1) CNS 61 | 卜特蘭水泥 |
| (2) CNS 1240 | 混凝土粒料 |
| (3) CNS 3036 | 混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物 |
| (4) CNS 3090 | 預拌混凝土 |
| (5) CNS 3091 | 混凝土用輸氣附加劑 |
| (6) CNS 12283 | 混凝土用化學摻料 |

電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊

- (7) CNS 12387 工程用土壤分類試驗法
- (8) CNS 12549 混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉
- (9) CNS 12833 流動化混凝土用化學摻料
- (10) CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法
- (11) CNS 13961 混凝土拌和用水
- (12) CNS 14842 高流動性混凝土坍流度試驗法
- (13) CNS 15286 水硬性混合水泥
- (14) CNS 15462 控制性低強度回填材料流動稠度試驗法
- (15) CNS 15862 測定控制性低強度回填材料施加荷重時機之落球試驗法
- (16) CNS 15863 控制性低強度回填材料密度(單位重)、拌成物體積、水泥含量及含氣量(比重計法)試驗法
- (17) CNS 15864 新拌控制性低強度回填材料取樣法
- (18) CNS 15865 控制性低強度回填材料圓柱試體之製備及試驗法

1.4.2 目的事業主管機關再利用規定

- (1) 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法
- (2) 經濟部再生利用之再生資源項目及規範
- (3) 內政部營建事業廢棄物再利用種類及管理方式
- (4) 行政院環境保護署垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式

1.5 資料送審

1.5.1 品質管制計畫書

1.5.2 施工計畫書

1.5.3 拌和設備之說明書

1.5.4 配比設計報告書

2. 產品

2.1 一般規格

除工程司依工程特殊需求，訂定特殊檢驗項目外，CLSM 應符合表一之基本性質規定。

表一 CLSM 之性質要求

項目	試驗方法	要求
**1 管流度 (cm)	CNS 15462	[15-20][20-30][]
**1 坍流度 (cm)	CNS 14842	[40 以上][]
落沉強度試驗	CNS 15862	一般型：[12][24][]小時 早強型：[3][4][]小時
28 天抗壓強度 (kgf/cm ²)	CNS 15865	[90 *2][]以下
氯離子含量	CNS 13465	如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090 之規定，如使用於非金屬管線埋設物之回填時，可免辦理本項試驗

*註 1：管流度及坍流度可擇一試驗辦理。

*註 2：因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm² 為上限。

2.2 材料

2.2.1 水泥

- (1) 所使用之水泥應符合 CNS 61 或 CNS 15286 之相關規定。
- (2) 水泥之運送及儲存，除另有規定外，均須符合第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」之相關規定。

2.2.2 水泥系處理劑

如使用現場開挖土石方作為粒料，為增加固化拌和體強度，得使用化學成份中三氧化硫(SO₃)小於 12% 之水泥系處理劑，但其餘性質仍應符合 CNS 15286 之相關規定。

2.2.3 卜作嵐摻料

卜作嵐摻料係指水淬高爐爐渣粉、燃煤飛灰等。

- (1) 所使用之卜作嵐摻料應符合 CNS 3036、CNS 12549 之相關規定。
- (2) 卜作嵐摻料之運送及儲存，除另有規定外，均須符合第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」之相關規定。
- (3) 使用 CNS 15286 之水泥時，不得另添加卜作嵐摻料。
- (4) 使用水泥系處理劑時，不得另添加卜作嵐摻料。

2.2.4 粒料

CLSM 使用之粒料，可為產製混凝土用粒料、現場開挖土石方或再生粒料。粒料粒徑不得超過 [19][50][]mm，其大於 [19][50][]mm 者應篩除或軋碎處理；其中大於 NO.4 試驗篩 4.75mm 之粗粒料用量不得超過 [400][]kg/m³。使用粒料之規定如下：

- (1) 混凝土用粒料應符合 CNS 1240 之規定。
- (2) 現場開挖土石方應依 CNS 12387 加以分類，其中泥炭土、高塑性有機質土及低塑性有機質土含量不得大於 [10][]%，並應符合第 02320 章「不適用材料」之相關規定。
- (3) 再生粒料應符合中央目的事業主管機關之相關再利用規定或

經第三者專業機構驗證足以滿足工程需求者。

2.2.5 拌和水

拌和水應符合 CNS 13961 之相關規定。

2.2.6 化學摻料

(1) 化學摻料應符合 CNS 3091、CNS 12283、CNS 12833 之相關規定。

(2) 化學摻料之使用量及使用方法應依照製造廠商之配方說明書並提請工程司認可。

2.3 品質管制

2.3.1 CLSM 之單位重、拌和體積與含氣量試驗應依 CNS 15863 之相關規定進行。

2.3.2 CLSM 回填材料配比設計如經核可，其材料之來源、數量、材料級配、比例等，非經依規定程序報請工程司核准，不得擅自變更。

2.3.3 工程配比設計應使用經核准之材料，按重量或體積配料並在準備供料之場地試拌。

2.3.4 拌和設備規定

(1) 拌和廠之料倉、計量器、校正用標準砝碼、給水之計量設備等須符合[CNS 3090][]之規定。

(2) 使用工地型拌和設備產製 CLSM 時，其拌和設備應事先提送計畫，經工程司認可後方得使用。

(3) 所有配料及拌和設備，均應隨時保持良好之操作狀態，並應提供足夠充份之預備機件，以備機械發生故障時使用。

2.3.5 試驗一般規定

供應商應提送含括表一所列各項性質之試驗計畫，經工程司核可後，進行配比設計試驗。

3. 施工

3.1 準備工作

施工前應先依設計圖說之規定完成填築範圍內雜物之清除與基地整平作業，並應確認所有埋設物已按規定裝設及固定完竣。

3.2 產製

所有 CLSM 均應以符合本章之第 2.3.4 款規定之拌和設備為之。

3.3 運送

承包商應於 CLSM 供料使用前擬具 CLSM 之產製輸運計畫，經工程司審核後為之。

3.4 澆置

3.4.1 澆置前，CLSM 應以機械方式充分拌和。

3.4.2 CLSM 灌置入回填區時，應避免對結構體產生偏壓現象。

3.4.3 CLSM 澆置過程中得進行必要之震動搗實。

3.5 養護

CLSM 澆置完成後，需進行灑水養護，並使用麻袋、塑膠布及其他適當物品覆蓋或依設計圖說規定辦理，養護時間依設計圖說規定。

3.6 檢驗

3.6.1 CLSM 於澆置時，應依照 CNS 15864 所規定之程序取樣，進行檢、試驗。

3.6.2 應進行[管流度][坍流度]及氯離子含量試驗(如無鋼材腐蝕疑慮時，

附錄二 行政院公共工程委員會施工綱要規範第 03377 章 V7.0 控制性低強度回填材料

報請工程司同意後，得免辦理本項試驗)。試驗應依[CNS 15462][CNS 14842]及 CNS 13465 之相關規定進行，試驗頻率與抗壓強度試驗相同，工程司得視現場狀況隨時增加試驗頻率。

3.6.3 為確保後續工作的執行，工程司得要求進行 CNS 15862 落沉強度試驗，當落沉強度試驗之壓紋直徑小於 76mm，可做為進行後續工作之判定。

3.6.4 抗壓強度試驗

- (1) 每種 CLSM 每澆置[50][100][]m³，應取樣一次製作[一][]組至少[二][]只圓柱試體，不足[50][]m³者，以[50][]m³計，但分批取樣餘數未達 25m³者，得併入前一組取樣，每次澆置量未達[20][]m³者，經工程司同意得免作抗壓強度試驗。
- (2) 圓柱試體應依照 CNS 15865 之規定製作及試驗。
- (3) 除設計時另有規定外，CLSM 規定抗壓強度為[28][]天齡期之試驗強度。

4. 計量與計價

4.1 計量

CLSM 按[立方公尺][平方公尺，註明厚度][]計量，除另有規定或工程司另有指示外，其數量依設計圖說所示之尺度計算之。

4.2 計價

CLSM 之付款按契約詳細價目表之單價給付，其單價包括一切人工、材料、鋪築、養護、工具、裝備及雜項費用。

〈本章結束〉

附錄三 CLSM 氧化矽(石)供料計畫書

目錄

項目	內容	頁次
一、公司基本資料	1-1 公司簡介	1
二、氧化矽(石)來源及製程	2-1 氧化矽(石)原料來源及製程	2
	2-2 氧化矽(石)原料環境相容性及輻射檢驗	3
	2-3 氧化矽(石)再利用生產製程流程	4
三、品質管制措施	3-1 品管作業檢驗程序	6
	3-2 進廠允收管制及退運程序	7
	3-3 氧化矽(石)產品環境相容性檢驗及輻射檢驗	9
	3-4 氧化矽(石)產品浸水膨脹率及粒料品質	10
四、建議供料稽核方式	4-1 供料稽核方式	11
五、相關佐證資料 1 -再利用許可處理之資格證明文件及相關標章	略	
六、相關佐證資料 2 -產源端原料檢驗報告	略	
七、相關佐證資料 3 -再利用機構端產品檢驗報告	略	

一、公司基本資料

1-1 公司簡介

XX環保事業股份有限公司(以下簡稱XX公司)於民國90年4月創立,工廠設立於彰濱工業區線西區。民國92年12月XX一廠通過再利用檢核登記,屬於國內專業化爐渣再利用工廠,再利用項目包括:電弧爐煉鋼爐渣、旋轉窯爐渣、感應電爐爐渣、化鐵爐渣及廢鑄砂工廠之鑄砂,核准再利用總檢核量為45,100公噸/月,目前氧化矽(石)再利用檢核量為31,000公噸/月。爐渣再利用產品包括:瀝青混凝土粒料原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料。為因應再利用產品之尾礦粒料應用,XX公司於101年01月增設二廠為預拌混凝土廠,設置預拌混凝土作業設備,粒料原料由一廠供應,生產控制性低強度回填材料(CLSM),最大生產量為26,400公噸/月,屬於爐渣再利用法規管制之同一法人預拌混凝土廠。

XX公司自成立以來,秉著「用心服務、創新成長、良心事業」經營理念,不斷地,服務國內相關鋼鐵產業之電弧爐煉鋼爐渣、鑄造業鑄造工廠產生廢鑄砂資源化工作,屬於國內主要資源再利用爐渣的再利用廠。XX公司電弧爐煉鋼氧化矽(石)粗、細粒料具有內政部建築研究所再生綠建材標章產品認證,相關工廠登記、營業登記、再利用檢核許可文件及再生綠建材標章證書於「五、相關佐證資料1」。相關XX公司氧化矽(石)CLSM使用案例參考:

爐渣再利用廠處理作業 <https://youtu.be/cLtXcS4hb30>

二、氧化矽(石)來源及製程

2-1 氧化矽(石)原料來源及製程

電弧爐煉鋼廠爐渣是將資源回收的廢鐵、廢鋼之原料在高溫熔爐中反應後煉製成不同的鋼類產品。國內廢鐵回收率高達 94%，台灣資源回收的廢鐵、廢鋼，都可以透過煉鋼程序去化，而且可以 100%、不限次數的回收再利用。國內典型的電弧爐煉鋼廠，採用民間收集的廢鐵、拆船、廢汽車、工業廢鐵等為原料，將廢鐵、廢鋼在初步篩選後分類，在符合原料使用標準下，秤重加料，倒入電弧爐熔爐中，再以人造石墨電極插入爐體內廢鋼、廢鐵材料中，經過通電流，藉著石墨電極與廢鐵、廢鋼原料產生電弧，所產生高溫放熱溫度可達 1600°C 以上，在此階段將廢鐵、廢鋼溶解。電弧爐煉鋼冶煉過程依其操作步驟可分為下列階段：

- (1) 入料期：廢鐵、廢鋼原料經由輻射檢測，符合原料使用標準後，倒入電弧爐煉鋼熔爐中，通常需要 2-3 批次投料過程。
- (2) 溶解期：通以電流藉石墨電極與廢鐵、廢鋼原料間產生電弧，產生高溫放熱，溫度可達 1600°C 以上溶解廢鐵、廢鋼。
- (3) 氧化期：本階段主要為投入焦炭、石灰石及吹氧作業，目的是將鋼液中雜質與石灰石反應，形成氧化渣狀物與鋼液分離。
- (4) 除渣一：本階段主要為氧化期產生的浮渣去除，將浮渣排入盛渣鋼桶，冷卻後浮渣即成為氧化矽(石)。
- (5) 還原期：本階段主要為投入合金鐵(如矽錳鐵、錳鐵合金)調整鋼液化學成分，達到各種鋼品化學成分需求，但因鋼液中含氧量過高，因此需加以還原，其作法是加入大量石灰石、焦炭等副料，使其與氧化物反應，產生還原浮渣並去氧脫硫，以純化鋼液。
- (6) 除渣二：將還原期浮渣排入盛渣鋼桶，冷卻後浮渣即成為還原矽。
- (7) 出鋼：將鋼液澆鑄成鋼坯。故電弧爐煉鋼過程的化學反應分成三個階段，分別為溶解期、氧化期及還原期，排出的爐渣又分為氧化矽(石)及還原矽，二種不同性質的爐渣依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表「編號九、電弧爐煉鋼爐渣(石)」規定分區貯放。XX 鋼鐵股份

有限公司爐渣產生的流程如圖 2-1 所示。

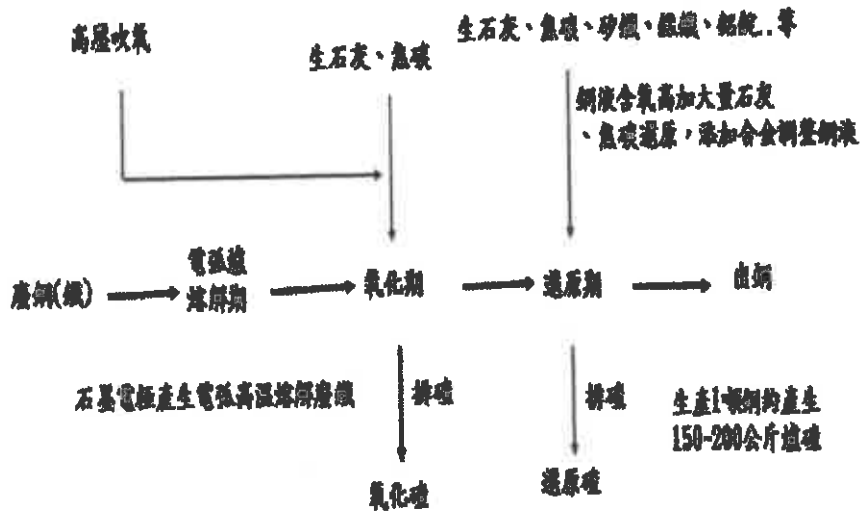


圖 2-1 XX鋼鐵公司爐渣產生流程

2-2 氧化渣(石)原料環境相容性檢驗及輻射檢驗

依照經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表編號九、電弧爐煉鋼渣(石)之規定，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年至少檢測一次有毒重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者，始得進行再利用；另至少每月檢測一次氫離子濃度(pH 值)，連續三個月之 pH 檢測值小於十二.五者，得每年至少檢測一次，事業機構需要進行每年度的環保檢驗與測試，在符合法規要求標準之下的鋼廠氧化渣(石)才能進入再利用廠。

表 2-1 XX鋼鐵產出氧化矽(石)環境相容性檢驗

項目	檢驗方法	檢測值	管制標準	偵測極限
總汞 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<0.2	0.0002
總砷 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R318.12C	ND	<5.0	0.0003
總銅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<15.0	0.021
總鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<5.0	0.018
總鎘 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<1.0	0.008
總鉛 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<5.0	0.126
六價鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	ND	<2.5	0.010
總鎳 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	1.31	<100	0.070
總硒 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R300.10C	ND	<1.0	0.002
戴奧辛 ng I-TEQ/g	NIEA A801.13B	0.0007	≤1.0	0.0003
pH	NIEA R208.04C	10.71	2-12.5	-

表 2-2 X鋼鐵產出氧化矽(石)輻射劑量檢驗

檢測項目	檢測結果	管制標準	檢測方法
輻射劑量	≤1	≤1	建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點

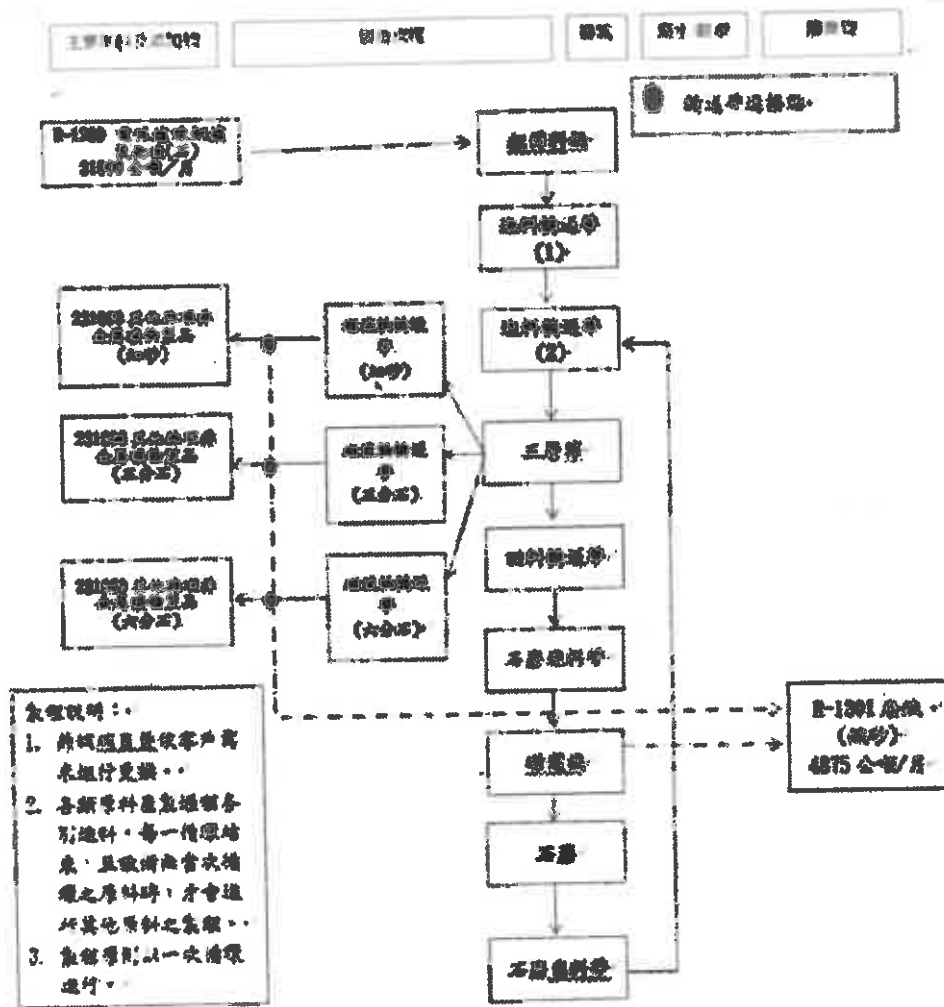
*檢測單位/清華大學原子科學技術發展中心放射性核種分析實驗室

2-3 氧化矽(石)再利用生產製程流程

XX公司氧化矽(石)再利用作業程序首先是將待處理的氧化矽(石)原料從貯存區搬運至作業區，分別置放投料口，粗篩料桶可以順利將小於 100 mm 爐渣進入料桶，大於 100 mm 以上爐渣分離至堆置區，經由怪手、大鋼牙協助敲碎至尺寸小於 100 mm 以下，再重新投入，進入料桶，此料桶為原料進料緩衝區，經由輸送帶原料輸送至震動篩選機(三層篩)，分選出爐渣 5-18 mm，大於 18 mm 之爐渣，將由輸送帶送往錘碎機(石磨)進行至小於 18 mm 以下，其他再重新輸運至震動篩選機(三層篩)，處理過程中以磁選機及磁滾輪將含廢鐵產品磁選後，將產品

電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊

區分成廢鐵及氧化矽(石)粗、細粒料。粗粒料(石)尺寸為二分石、三分石，細粒料尺寸 $< 5\text{ mm}$ 。本廠可以依客戶需求尺寸分佈的粒料調整粒料大小。



三、品質管制措施

3-1 品管作業檢驗程序

為確保本廠氧化矽(石)產品之品質及符合法規之要求，依照經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表編號九、電弧爐煉鋼爐矽(石)之規定，事業機構需要進行檢驗與測試，在符合法規要求標準之下的鋼廠氧化矽(石)才能進入工廠，經由本廠再利用處理後的產品，每年進行環保署認可實驗室的檢測產品有毒重金屬、戴奧辛、pH 一次；氧化矽(石)經破碎、磁選及篩分之產出物應至少每月委託檢測機構採樣，並依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量未超過百分之〇·五者，始得進行再利用，連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。再利用產品品質檢測報告由經依標準法授權之實驗室認證機構所認可之實驗室，依該認證機構所訂格式辦理，再利用產品至少每月應檢測一次產品品質，CLSM 產品依公共工程施工網要規範之品質(性質)項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。針對需要提送供料計畫書之工程案，依建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點方法檢測不含輻射之項目。品管作業檢驗程序如圖 3-1 所示。

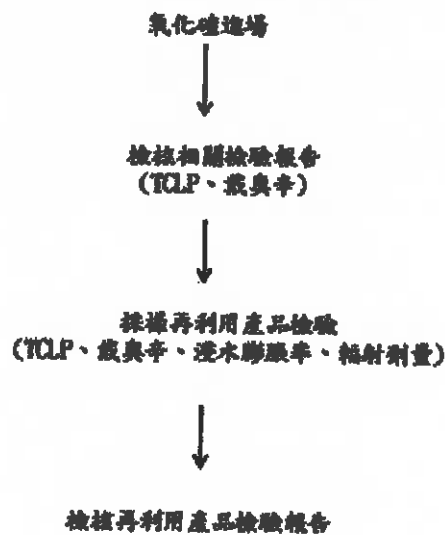


圖 3-1 XX公司品管作業檢驗程序

3-2 進廠允收管制及退還程序

(1) 進廠允收管制

接獲事業機構通知有清除需求時，首先將評估確認本廠製程及貯存區是否足以接受此批原料，若再利用用途產品貯存量超過再利用用途產品前6個月之累積銷售量時，停止收受廢棄物進廠再利用。另外尚須考量製程工作安排，若無法承接時，將暫停派車前往清運。若無上述之虞慮之下，本廠將安排清運公司或本廠車輛前往清運。

清運車輛到達事業機構時將由司機確認聯單、清運之廢棄物種類及外觀判斷是否顏色或物狀是否有異於常態，若有不符過去經驗狀況，將由司機回報公司，暫停清運，若初步符合可以清運條件，才開始進行裝載作業。當清運車輛將原料運回工廠時，將由工廠人員確認聯單、清運之廢棄物種類及外觀判斷是否顏色或物狀是否有異於常態，若有異常將回報廠長進一步確認，若無法符合契約或廠內進料標準，則將原車運回事業機構。在符合允收標準可以收料條件下，進行原料過磅，依原料種類清運至適當貯存區下料。

(2) 退運機制

- a. 通知事業機構退運原因及預訂到達時間。
- b. 未卸料退運時於上網申報點選不接受並依該項程序退運。
- c. 經目測不符允收標準或突發性停業時，與產源事業協商退運時程及清運車輛，經確認符合要求及確認時間後上網申報退運作業，經與產源事業溝複檢收受，完成退運程序。
- d. 報備地方環保單位及聯單說明 進廠允收管制及退運程序如圖 3-2 所示。

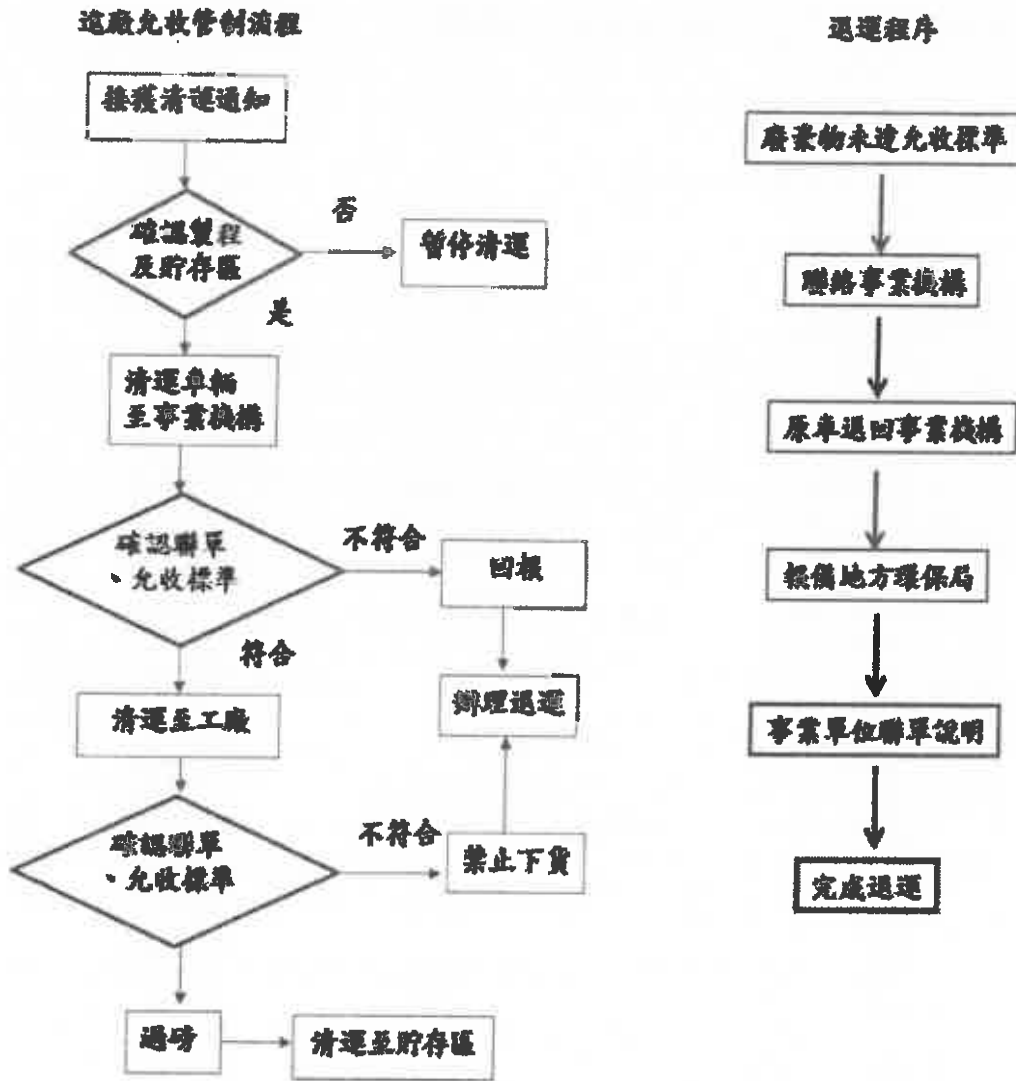


圖 3-2 進廠允收管制及退運程序

3-3 氧化矽(石)產品環境相容性檢驗及輻射檢驗

針對氧化矽(石)粒料產品的檢測主要分成有：

1. 有毒重金屬溶出及戴奧辛
2. 輻射
3. 浸水膨脹率
4. 粒料之品質檢驗

本廠氧化矽(石)產品之有毒重金屬溶出及戴奧辛、輻射劑量檢測結果如表 3-1 與表 3-2 所示。

表 3-1 XX公司氧化矽(石)產品品質檢驗

項目	檢驗方法	檢測值	管制標準	偵測極限
總汞 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<0.2	0.000077
總砷 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<5.0	0.033
總銅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<15.0	0.035
總鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<5.0	0.033
總錳 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<1.0	0.034
總鉛 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<5.0	0.034
六價鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	ND	<2.5	0.069
總鎳 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	1.15	<100	-
總硒 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R300.10C	ND	<1.0	0.0035
戴奧辛 ng I-TEQ/g	NIEA 801.13B	≤0.1	≤0.1	-
pH	NIEA R208.04C	11.18	2-12.5	-

表 3-2 XX公司氧化矽(石)產品輻射劑量檢驗

檢測項目	檢測結果	管制標準	檢測方法
輻射劑量	≤1	≤1	建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點

*檢測單位/清華大學原子科學技術發展中心放射性核種分析實驗室

3-4 氧化矽(石)產品浸水膨脹率及粒料品質

本廠氧化矽(石)產品之浸水膨脹率及粒料品質檢測結果如表 3-3 與表 3-4 所示。

表 3-3 XX公司氧化矽(石)產品浸水膨脹率檢測結果

檢驗項目	檢驗方法	檢驗結果	管制標準	檢測單位
粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法	CNS 15311	0.03	0.5%	SGS高雄實驗室

表 3-4 XX公司氧化矽(石)產品粒料之品質檢驗結果

檢測項目	檢測方法	檢測結果	標準要求
篩分析(級配)	CNS 486與 CNS 491	參見七、相關佐證資料	符合業主需求或CNS 15309細粒料級配規定之
健度%	CNS 1167	2.8	硫酸鈉:≤15% 硫酸鎂:≤20% CNS15309 附錄 A
塑性指數	CNS 5088	NP	≤4(通過425 μm試驗篩 CNS 15309規定)

四、建議供料稽核方式

4-1 供料稽核方式

XX公司提供本案氧化矽(石)粗細粒料品質具有明確之產品履歷，包括來源、處理製程、品質管制措施等；材料相關性質經驗證符合環保法規之無害標準，相關試驗方法及試驗報告滿足道路工程需求，提供使用單位審查核可後可供料；使用氧化矽(石)施工時，依照設計規劃之規定進行抽驗，必要時，得配合工程司指示進行抽驗。本案產品品質檢驗項目及頻率參照工業局爐矽(石)管理規定，產品標準依循 CNS 1240 混凝土用粒料，驗收方式依循公共工程施工規範第 03377 章控制性低強度回填材料。本案針對氧化矽(石)粗細粒料建議供料稽核方式包含以下的品質檢驗項目、方法及頻率，如表 4-1-表 4-2 所示。

表 4-1 CLSM 用氧化矽(石)產品品質檢測項目、方法及頻率

檢測項目	檢測方法	標準要求	頻率
比重	CNS 488、CNS 487	-	每一工程或每一來源
篩分析 (級配)	CNS4 86 與 CNS 491	符合業主需求或CNS 15309 細粒料級配規定之級配稱號	
健度%	CNS 1167	硫酸鈉:≤15% 硫酸鎂:≤20% CNS15309 附錄 A	
浸水膨脹率%	CNS 15311	<0.5	
輻射	建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點	≤1	
重金屬溶出試驗 TCLP	環保署環檢所檢測方法		詳如表 4-2
戴奧辛			
pH			

表 4-2 氧化矽(石)重金屬溶出試驗 TCLP、戴奧辛、pH 管制標準

項目	檢驗方法	產源端管制標準	產品端管制標準
總汞 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	<0.2	<0.016
總砷 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	<5.0	<0.4
總銅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	<15.0	<12.0
總鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	<5.0	<4.0
總錳 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	<1.0	<0.8
總鉛 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	<5.0	<4.0
六價鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	<2.5	<0.2
總鎳 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	<100	<10
總硒 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R300.10C	<1.0	<0.8
戴奧辛 ng I-TEQ/g	NIEA 801.13B	≤0.1	≤0.1
pH	NIEA R208.04C	2-12.5	2-12.5

五、相關佐證資料 1-再利用許可處理之資格證明文件及相關標章

六、相關佐證資料 2-產源端原料檢驗報告(略)

七、相關佐證資料 3-再利用機構端產品檢驗報告(略)

台灣鋼鐵工業同業公會

Taiwan Steel & Iron Industries Association

台北市長安東路一段9號10樓

TEL:02-2542-7900 FAX:02-2531-6708