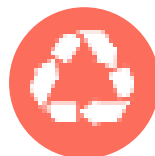
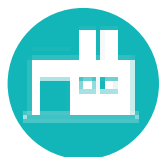


電弧爐煉鋼氧化矽 瀝青混凝土鋪面使用手冊



台灣鋼鐵工業同業公會

Taiwan Steel & Iron Industries Association

中華民國107年5月 編印

目錄

第一章 總則	1
1.1 一般原則.....	1
1.2 內容說明.....	3
第二章 氧化礫之材料性質	6
2.1 氧化礫之產出.....	6
2.1.1 氧化礫之出礫程序.....	6
2.1.2 再利用機構處理.....	7
2.1.3 再利用處理特別要求.....	8
2.2 氧化礫之一般性質.....	11
2.2.1 化學性質.....	11
2.2.2 物理性質.....	12
2.3 氧化礫應用於瀝青混凝土之規格要求.....	15
2.3.1 氧化礫應用於瀝青混凝土之試驗標準及施工規範.....	15
2.3.2 氧化礫粒料之環保規範.....	15
第三章 氧化礫瀝青混凝土之工程性質	17
3.1 一般原則.....	17
3.2 工程性質.....	17
3.2.1 穩定值與流度值.....	17
3.2.2 回彈模數.....	18
3.2.3 水分敏感性(TSR).....	19
第四章 氧化礫瀝青混凝土之配合設計	20

4.1 一般原則.....	20
4.2 配合設計原則.....	20
4.3 配合設計步驟.....	20
4.3.1 注意事項.....	20
4.3.2 配合設計流程.....	21
4.3.3 配合設計步驟.....	22
4.3.4 配合設計之表示法.....	23
4.3.5 配合設計參考範例.....	25
4.4 試拌與試鋪.....	27
4.5 氧化矽瀝青混凝土鋪面設計應注意事項.....	27
第五章 氧化矽瀝青混凝土產製、運輸與施工	28
5.1 一般原則.....	28
5.2 氧化矽瀝青混凝土之產製.....	28
5.2.1 氧化矽粒料之管制.....	28
5.2.2 瀝青膠泥之管制.....	28
5.2.3 拌合廠生產管制.....	29
5.2.4 氧化矽瀝青混凝土混合料之拌合.....	29
5.3 氧化矽瀝青混凝土之運輸.....	31
5.4 氧化矽瀝青混凝土之施工.....	31
5.4.1 準備工作.....	31
5.4.2 施工方法.....	33
第六章 氧化矽瀝青混凝土品質管制	39

6.1 材料之品質管理.....	39
6.1.1 瀝青材料.....	39
6.1.2 粒料.....	40
6.1.3 氧化碴瀝青混凝土粒料供料計畫書.....	43
6.2 氧化碴瀝青混凝土之品質管理.....	44
6.2.1 瀝青混凝土之混合料.....	44
6.2.2 現場之品質管理.....	45
6.3 檢驗要點.....	46
第七章 氧化碴及刨除料再利用之運作與管理	48
7.1 一般原則.....	48
7.2 氧化碴於廠內貯存.....	48
7.3 氧化碴之再利用處理.....	49
7.4 氧化碴之流向管理.....	49
7.5 電弧爐煉鋼爐碴(石)雲端管理系統.....	50
7.6 氧化碴瀝青混凝土之刨除料.....	51
第八章 氧化碴瀝青混凝土之應用實例	52
8.1 國內研究概況.....	52
8.2 應用實例.....	54
8.2.1 桃 68-1 線試鋪工程	55
8.2.2 廠區連絡幹道試鋪.....	60
8.2.3 全興工業區試鋪工程.....	65
8.2.4 彰濱工業區試鋪工程.....	69

8.2.5 高雄義大路試鋪工程.....	72
8.2.6 不銹鋼廠內道路試鋪工程.....	75
8.3 綜合效益評估.....	80
第九章 氧化矽瀝青混凝土鋪面工程相關規範及應注意事項	82
9.1 材料管理注意事項.....	82
9.1.1 瀝青膠泥.....	82
9.1.2 粒料.....	82
9.1.3 氧化矽.....	83
9.2 氧化矽瀝青混凝土之品質管理.....	84
9.2.1 氧化矽瀝青混凝土之混合料.....	84
9.2.2 配合設計.....	84
9.2.3 氧化矽瀝青混凝土產製注意事項.....	85
9.2.4 氧化矽瀝青混凝土施工及驗收之注意事項.....	85
參考文獻.....	87
 附錄一 公共工程施工綱要規範	
第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」	
第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」	
 附錄二 瀝青混凝土氧化矽供料計畫書(參考案例)	

圖次

圖 2-1 電弧爐煉鋼製程 ^[1]	6
圖 2-2 電弧爐煉鋼廠內氧化矽出矽作業流程	7
圖 2-3 氧化矽再利用處理程序	8
圖 2-4 氧化矽 CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 三相圖 ^[4]	12
圖 3-1 氧化矽瀝青混凝土穩定值及流度值試驗結果 ^[8]	18
圖 3-2 氧化矽瀝青混凝土回彈模數試驗結果 ^[8]	18
圖 3-3 氧化矽瀝青混凝土水分敏感性試驗結果 ^[8]	19
圖 4-1 氧化矽密級配瀝青混凝土配合設計流程圖	21
圖 7-1 雲端管理系統流程圖	50
圖 8-1 桃 68-1 線氧化矽瀝青混凝土試鋪工程範圍示意 ^[12]	55
圖 8-2 桃 68-1 線施工前道路況調查紀錄 ^[12]	57
圖 8-3 桃 68-1 線氧化矽瀝青混凝土試鋪工程施工歷程 ^[12]	58
圖 8-4 平坦度試驗(桃 68-1 線) ^[12]	59
圖 8-5 抗滑試驗(桃 68-1 線) ^[12]	59
圖 8-6 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪工程示意圖 ^[13]	60
圖 8-7 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪情況 ^[13]	61
圖 8-8 全興工業區興工路氧化矽瀝青混凝土試鋪工區示意圖	65
圖 8-9 全興工業區工西二路氧化矽瀝青混凝土試鋪工區示意圖	66
圖 8-10 全興工業區興工路及工西二路氧化矽瀝青混凝土試鋪工程施工歷程 ...	67
圖 8-11 工程成效試驗(全興工業區)	68

圖 8-12 彰濱工業區彰濱路氧化碴瀝青混凝土試鋪工區示意圖	69
圖 8-13 彰濱工業區彰濱路氧化碴瀝青混凝土試鋪工程施工歷程	71
圖 8-14 高雄義大路氧化碴瀝青混凝土試鋪工區示意圖	73
圖 8-15 高雄義大路氧化碴瀝青混凝土試鋪工程施工歷程	74
圖 8-16 工程成效試驗(高雄義大路).....	75
圖 8-17 廠內道路試鋪工程工區示意圖	76
圖 8-18 不銹鋼氧化碴瀝青混凝土道路試鋪工程施工歷程	77
圖 8-19 不銹鋼廠內道路氧化碴瀝青混凝土試鋪工程相關試驗成果	79

表次

表 2-1 氧化矽化學成分之含量(鋼鐵公會統計)	12
表 2-2 氧化矽粗粒料密度與吸水率試驗結果 ^[5]	13
表 2-3 氧化矽細粒料密度與吸水率試驗結果 ^[5]	14
表 2-4 氧化矽洛杉磯磨損及健度試驗結果 ^[5]	14
表 2-5 國內各鋼廠水合膨脹試驗結果 ^[5]	14
表 2-6 國內氧化矽應用於瀝青混凝土鋪面之試驗標準及施工規範	15
表 2-7 氧化矽重金屬毒性特性溶出及氫離子濃度指數結果	16
表 4-1 氧化矽密級配瀝青混凝土配合設計報告格式	24
表 4-2 粒料依比重修正使用比例之範例	25
表 4-3 配合設計參考範例(1)	25
表 4-4 配合設計參考範例(1)-馬歇爾試驗結果	26
表 4-5 配合設計參考範例(2)	26
表 4-6 配合設計參考範例(2)-馬歇爾試驗結果	27
表 5-1 瀝青加熱溫度	30
表 6-1 氧化矽瀝青混凝土所用之瀝青膠泥	39
表 6-2 瀝青材料之相關試驗	40
表 6-3 氧化矽粗粒料之品質要求	41
表 6-4 氧化矽細粒料之品質要求	42
表 6-5 粒料之相關試驗	42
表 6-6 礦物填縫料級配表	43
表 6-7 氧化矽瀝青混凝土粒料供料計畫書	43

表 6-8 瀝青混合料之試驗	45
表 6-9 瀝青混凝土混合料每一試樣之各項許可差	46
表 8-1 氧化矽瀝青混凝土試鋪工程實績一覽表	55
表 8-2 桃 68-1 線氧化矽瀝青混凝土試鋪工程配合設計	56
表 8-3 平坦度試驗分析結果(桃 68-1 線) ^[12]	59
表 8-4 抗滑試驗分析結果(桃 68-1 線) ^[12]	60
表 8-5 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪工程配合設計	61
表 8-6 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪穩定值與流度值試驗結果 ^[13]	62
表 8-7 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪容積比重(密度)試驗結果 ^[13]	63
表 8-8 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪洗油後粒料篩分析試驗結果 ^[13]	63
表 8-9 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪壓實度試驗結果 ^[13]	64
表 8-10 全興工業區氧化矽瀝青混凝土試鋪道路配合設計	66
表 8-11 全興工業區試鋪路段地下水監測結果	68
表 8-12 彰濱工業區氧化矽瀝青混凝土試鋪道路配合設計	70
表 8-13 彰濱工業區試鋪路段地下水監測結果	72
表 8-14 高雄義大路氧化矽瀝青混凝土試鋪道路相關資料	73
表 8-15 不銹鋼廠廠內氧化矽瀝青混凝土試鋪道路相關資料	76
表 8-16 不銹鋼氧化矽瀝青混凝土工程成效比較表	77
表 8-17 不銹鋼廠內試鋪道路環境監測結果	80
表 9-1 瀝青混凝土混合料每一試樣之各項許可差	85

第一章 總則

1.1 一般原則

1. 緣起

鋼鐵工業為產業發展之基礎，舉凡各種製造業、營建工程、交通運輸及工商機具等，皆與鋼鐵工業息息相關。但伴隨著鋼鐵製造過程而產出的副產物，在環保意識日益高漲的大環境下，如何妥善的處理與利用，不僅是鋼鐵工業，從「事業廢棄物」與「一般廢棄物」處理而言，亦需審慎的面對與思考。為期廢棄物之資源化，須視其性質與特性，擇定合適用途推動，其相關處理與再利用技術為必備條件外，探詢多元且有大量材料需求的再利用途徑，方能有效達到廢棄物資源化之目的，以建立合乎市場性的資源循環體系，進而降低環境衝擊並提升產業經營效能。

電弧爐煉鋼爐渣為電弧爐煉鋼製程中所產的副產物，依冶煉過程可分為電弧爐煉鋼氧化渣(以下稱氧化渣)及電弧爐煉鋼還原渣(以下稱還原渣)兩大項。國內現今電弧爐煉鋼廠每年約生產 1,000 萬公噸粗鋼，亦產出約計 120 萬公噸氧化渣及 40 萬公噸還原渣，此二者均為事業廢棄物，其再利用管理應符合「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」辦理。其中，經高溫冶煉過程產出的氧化渣，具有良好的抗磨損與硬度等特質，由先進國家經驗得知，經適當的加工處理程序，作為道路材料的使用最為合適，又以作為瀝青混凝土之粒料最具效益。在歐美及新加坡等國家使用在瀝青混凝土道路的材料特性(如洛杉磯磨損)，一般較天然砂石為優，可大幅提升鋪面使用年限，減少鋪面維修及廢刨除料產生。在國內砂石供需失衡的市場環境下，以氧化渣作為瀝青混凝土之粒料，最能有效發揮氧化渣的適用性與價值性。

鑑此，台灣鋼鐵工業同業公會為促進氧化渣應用於瀝青混凝土鋪面工程之推廣，委由財團法人台灣營建研究院編訂「電弧爐煉鋼氧化渣瀝青混凝土鋪面試行使用手冊」，期透過此手冊宣導氧化渣經正確使用，能確保氧化渣應用於瀝青混凝土鋪面之績效。此手冊中所列各項參數，係參照二條試鋪道路之設計與相關試驗結果；自 106 年 9 月起，鋼鐵公會陸續完成不銹鋼氧化渣之試鋪與

碳鋼氧化渣之試鋪共四條瀝青混凝土道路之資料彙整後，編訂「電弧爐煉鋼氧化渣瀝青混凝土鋪面使用手冊」(以下簡稱本手冊)，提供各界使用時之參考依據。

2. 目的

電弧爐煉鋼製程中所產之氧化渣，經破碎、磁選及篩分等處理後，材料品質可符合 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」等標準要求，且氧化渣的物理性質與天然粒料相近，又具質地較硬、比重大與耐磨等特性，極適合應用於瀝青混凝土鋪面。對此，將氧化渣替代天然粒料作為瀝青混凝土的粒料使用，除能滿足道路品質要求外，更可降低天然資源開採與耗費，可達工程品質維持及廢棄物資源化的雙贏局面。

為提供國內工程界氧化渣之材料性質、瀝青混凝土工程性質、瀝青混凝土配合設計、再利用機構運作與管理、瀝青混凝土產製至施工等使用資訊，使能確實掌握設計與品管等的要點。本手冊編訂之目的主要在於提供鋪面工程界有關氧化渣應用於瀝青混凝土鋪面的正確使用方法，進而確保氧化渣瀝青混凝土鋪面的工程品質。

3. 定義

(1) 煉鋼爐渣

本手冊所稱之「煉鋼爐渣」係指生產鋼鐵事業，使用鐵礦或廢鋼鐵原料與(生)石灰石及焦炭，在高溫熔爐中反應所產生之熔渣。目前國內煉鋼方法以電弧爐煉鋼(以廢鋼鐵為原料)與一貫作業煉鋼(以鐵礦為原料)二大類，其中電弧爐煉鋼產生氧化渣與還原渣，一貫作業煉鋼產生高爐爐渣與轉爐爐渣，本手冊僅針對電弧爐煉鋼事業產生之氧化渣作闡述。

(2) 氧化渣

本手冊所稱之「氧化渣」係指經電弧爐煉鋼過程，於氧化期所排出之熱熔渣，經冷卻後則為氧化渣。

(3) 氧化渣瀝青混凝土

本手冊所稱之「氧化矽瀝青混凝土」係指以氧化矽取代部分天然粒料，再按配合設計所定之配合比例與瀝青膠泥充分拌合均勻後，分一層或數層鋪築於已整理完成之底層、基層、路基或經整修後之原有面層上，滾壓至所規定之壓實度而成者。本手冊規定使用於瀝青混凝土之氧化矽，材料品質須符合 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料」等標準要求。

4. 適用範圍

本手冊所規範或建議事項適用於一般道路工程之瀝青混凝土鋪面之面層，除本手冊列述事項外，瀝青混凝土配合設計方法可參照美國瀝青學會手冊(AI MS-2)「瀝青混凝土及其他熱拌類之配合設計方法」，瀝青混凝土的相關施工規定與要求，可依據行政院公共工程委員會頒訂之公共工程施工綱要規範中，第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」及第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」規定辦理。

1.2 內容說明

本手冊內容係彙整國內氧化矽應用於瀝青混凝土鋪面相關之文獻、規範、研究報告及鋪設實例等資料，針對氧化矽之材料性質、瀝青混凝土工程性質、瀝青混凝土配合設計、瀝青混凝土產製及施工、瀝青混凝土品質管制、再利用機構運作與管理等層面加以說明，有關本手冊內容摘要說明如下：

1. 氧化矽之材料性質

氧化矽之材料品質應符合 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料」等標準要求，以作為管制氧化矽作為瀝青混凝土粒料使用之依據。本手冊除針對氧化矽從事業單位(電弧爐煉鋼廠)產出與經再利用機構處理等流程進行說明，並彙整國內氧化矽檢測所得的物理性質與化學性質，另就氧化矽替代天然粒料作為瀝青混凝土的粒料使用特別要求事項，擬定粒料處理製程及品質管理措施，以確保粒料性質能符合規範要求。

2. 氧化矽瀝青混凝土工程性質

氧化矽瀝青混凝土的工程性質須符合各機關訂定之鋪面工程施工規範為原則，本手冊特別針對氧化矽瀝青混凝土之工程性質進行說明，以使工程界能確切瞭解氧化矽瀝青混凝土的特性。

3. 氧化矽瀝青混凝土配合設計

現行氧化矽應用於瀝青混凝土鋪面的方式，係將氧化矽替代天然粒料使用，但由於氧化矽與天然粒料兩者比重差異大，故在瀝青混凝土配合設計方面須以體積法進行修正，方可獲得正確之瀝青混凝土體積。另氧化矽表面有多孔的特性，可能導致瀝青混凝土之最佳瀝青含量較高。對此，本手冊研訂氧化矽瀝青混凝土之配合設計方法，以提供國內設計之參考。

4. 氧化矽瀝青混凝土產製、運輸與施工

若氧化矽粒料品質控制得宜，並依據正確方法進行混合料配合設計，則氧化矽瀝青混凝土之性質與傳統瀝青混凝土相同，施工方法與使用成效亦一致。本手冊依據公共工程施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」規範要求，分述氧化矽瀝青混凝土從產製、運輸及施工等各階段作業程序，以利於工程界使用，並可確保氧化矽瀝青混凝土鋪面之工程品質。

5. 氧化矽瀝青混凝土品質管制

針對氧化矽處理與再利用前之品質檢驗，應依據「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」要求辦理，由於氧化矽瀝青混凝土之品質常受工程各作業階段影響，首先應以「氧化矽瀝青混凝土供料計畫書」導入品質管制，然後依據本使用手冊對氧化矽瀝青混凝土各作業階段提出相關管制措施，以確保氧化矽瀝青混凝土鋪面之品質。

6. 氧化矽及刨除料再利用之運作與管理

本手冊特別彙整國內對氧化矽及刨除料再利用運作與管理之各項要求，以供工程界瞭解氧化矽及刨除料再利用處理相關規定。

7. 氧化矽瀝青混凝土之應用實例

本手冊彙整國內氧化碇應用於瀝青混凝土之試鋪實例，闡述氧化碇瀝青混凝土之材料性質及鋪面績效，以供工程界參考引用。

8. 氧化碇瀝青混凝土鋪面工程相關規範及應注意事項

為使氧化碇瀝青混凝土之推廣能達到預期之目標，並且使工程界對氧化碇各項特性能有充分瞭解，本手冊彙整瀝青混凝土鋪面工程使用氧化碇時應符合之相關規範及注意事項，以作為鋪面工程施工之參考。

第二章 氧化渣之材料性質

2.1 氧化渣之產出

2.1.1 氧化渣之出渣程序

電弧爐煉鋼廠所產出之副產物中以爐渣為最大宗，集塵灰及污泥次之，電弧爐煉鋼均為批次作業，冶煉過程依其化學反應分成三個階段，分別為熔解期、氧化期及還原期。將廢鐵、廢鋼在初步篩選後分類、秤重後加料，加熱使廢鐵原料熔解成鋼液，為加速熔解及分離雜質，另通入高壓氧氣以加速氧化作用，此時廢鋼中含有之氧化物開始生成少量之氧化渣，再通入更多之氧氣，雜質則氧化生成更大量的固態氧化渣及氣態氧化物(廢氣)。因鋼液中含氧量過高，因此需加以還原，其作法是加入生石灰、焦炭粉等副料，使其與氧化物反應，產生還原浮渣並去氧脫硫，以清潔鋼液。此時可加入各種添加劑(如矽鐵、高碳錳鐵、焦炭、矽錳鐵、鋁錠(條)等)，以調整鋼液成分，煉鋼爐渣即是由此煉鋼過程所排出的熔渣。^[1]

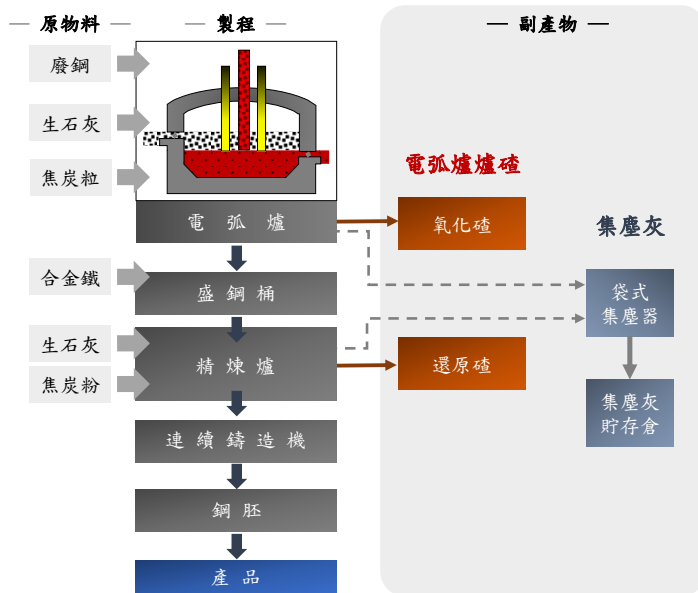


圖 2-1 電弧爐煉鋼製程^[1]

電弧煉鋼爐渣係以廢鋼鐵為原料，通電產生電弧冶煉，生產的週期較長，分成氧化期和還原期，並分期出渣，分別稱為氧化渣和還原渣。氧化渣中氧化鈣含量會較低，氧化亞鐵含量會較高，而還原渣剛好相反。在礦物組成方面，

氧化渣其礦物組成以橄欖石、薔薇輝石為主;而還原渣其礦物組成以矽酸三鈣(C_3S)、矽酸二鈣(C_2S)及二價金屬氧化物固溶體(RO)為主^[2]。國內電弧爐煉鋼每生產 1 噸之電弧爐鋼約可產生 150kg 至 200kg 的電弧爐渣。一般電弧爐煉鋼過程中所產生氧化渣與還原渣之比例，依所收集鋼料種類與處理流程的不同而有所差異。就鋼料種類而言，有碳鋼、不銹鋼及特殊鋼三種。在產生爐渣的比例上，以碳鋼廠為例，氧化渣與還原渣之產量比約 4：1，而不銹鋼廠比例約為 1：2，鑄鋼廠約為 1：1^[3]。

針對電弧爐煉鋼製程的氧化渣出渣程序，國內各廠多採自然風化外加浸水冷卻的方式，以使氧化渣於廠內冷卻後，進行與金屬鐵件的分選作業，有關於電弧爐煉鋼廠內的作業流程如圖 2-2 所示。



圖 2-2 電弧爐煉鋼廠內氧化渣出渣作業流程

2.1.2 再利用機構處理

氧化渣經處理後可應用於工程或產品原料，其處理方式依經濟部之「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」規定，氧化渣再利用前，於再利用機構應先經破碎、磁選及篩分等處理程序，以達到工程所需之材料品質規格，如圖 2-3 所示，詳細說明如下：

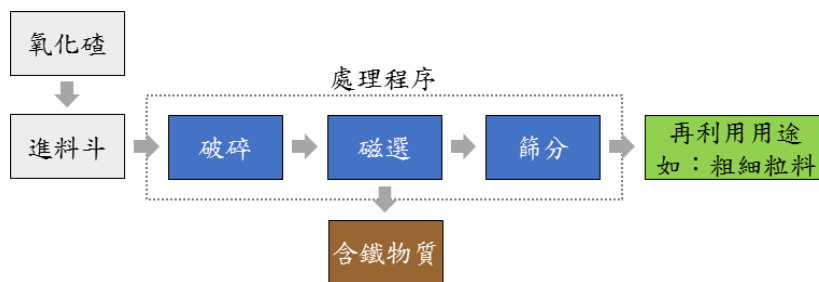


圖 2-3 氧化渣再利用處理程序

1. 破碎

破碎處理係指利用外力的施予，令大塊的氧化渣碎裂，使其顆粒大小及級配符合工程需要，並利於用磁選機去除高含鐵成分。目前國內普遍使用機械破碎方式，利用破碎機具，以震動或槌擊等方式進行處理。

2. 磁選

磁選處理係指利用電磁原理以回收氧化渣內含鐵物質，如殘鋼等，該類含鐵物質經過精製後可用於工業用途，且於後端再利用時可避免鏽蝕情形發生。

3. 篩分

篩分處理係指將已經完成破碎與磁選處理程序的氧化渣，利用篩分機篩成不同粒徑規格的粒料。氧化渣經過該程序後，可供作工程粒料使用。

2.1.3 再利用處理特別要求

氧化渣除應依「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」所規定之處理程序進行破碎、磁選及篩分外，氧化渣粒料並須符合瀝青混凝土之粒料基本品質規格，以確保瀝青混凝土鋪面不會發生膨脹、剝脫之情形以及減少銹斑發生。本手冊特針對上述可能發生的現象，提供相對因應措施。

1. 磁選處理

日本對於氧化渣之含鐵質控制方法，係透過處理設備對於磁選效能的管控，降低含鐵質達設定的目標。有關日本對於電弧爐煉鋼氧化渣粒料對磁選功能上的要求，於 JIS A 5011-4(混凝土爐渣粒料-第 4 部份)中，對電弧爐氧化渣作為混凝土粒料有其限制要求「爐渣含有的金屬顆粒於最後的破碎過程以磁選機分

離後經輸送帶運輸，磁選機的磁場強度大於 600 高斯」。對此，參酌國內各氧化矽處理業者廠內既有之磁選設備規格，建議氧化矽之最終的破碎過程需通過至少 1,000 高斯的磁選機後，方可作為瀝青混凝土粒料使用。

2. 安定性確保

依 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料」標準要求，針對煉鋼爐矽作為道路鋪面材料，應符合相關材料規格方能使用。其中，國內對於鋼矽用於道路工程相關規範中有關膨脹量規定，依 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」進行膨脹性試驗，氧化矽膨脹量低於 0.5%之法規要求，根據文獻^[5]的研究內容顯示氧化矽皆能符合要求。並依據「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」，再利用於水泥原料用途以外者，至少每月應檢測一次產品品質。

至於氧化矽粒料會造成輕微膨脹的因素，係因矽中含有水合反應較敏感之游離氧化鈣(f-CaO)、氧化鎂(MgO)等成分，而游離氧化鈣與游離氧化鎂遇水反應後產生氫氧化鈣及氫氧化鎂，進而造成矽發生體積膨脹的情況，此種膨脹只會發生一次，待其水合作用膨脹完成，即不會再發生水合膨脹。

3. 安定化處理方式

氧化矽粒料之輕微膨脹問題可利用安定化處理解決，其處理原理為在工程應用前以人為方式提前完成水合膨脹作用。若對氧化矽仍有膨脹之疑慮，本手冊提供電弧爐煉鋼廠下列安定化方式^[2]，供選用設置。

(1) 自然風化法

自然風化法係直接將破碎後氧化矽送往空曠地區露天堆放，使氧化矽在常溫下降溫、淋雨、吸濕，進而達到安定化之目的。

(2) 快速處理法

快速處理法係利用熔爐產生之廢氣或其他來源 CO_2 和水對氧化矽進行快速安定化處理，一般在 250°C 溫度下，經過 48 小時處理後，即可達到安定化，其原理係使 CaO 在高溫下與 H_2O 反應成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，並進一步形成 CaCO_3 ，進而提高氧化矽之安定性。

(3) 水淬法

水淬法係利用高壓水柱及噴水霧將高溫熔渣流沖碎冷卻成粒渣，經處理後之氧化渣，粒徑 5mm 以下，約佔 95% 以上。

(4) 氣碎法

氣碎法與水淬法之處理方法類似，不同處在以高壓氣體取代高壓水柱沖碎高溫熔渣。也就是利用氣體擴大氧化渣與空氣的接觸面積，以達到急速降低熔融爐渣溫度。

(5) 餘熱自解法

氧化渣餘熱自解，一般係利用高溫煉鋼爐渣淋水後產生溫度應力及游離氧化鈣(f-CaO)吸水(水蒸汽)消解後產生的體積膨脹應力差等，使氧化渣冷卻、龜裂及粉化。

(6) 熱潑法

熱潑法係將煉鋼爐排出之熔渣先用渣桶運送到熱潑場，再將熔渣倒在熱潑床上。待熔渣自流成渣餅稍冷後，噴水使之急速冷卻，渣餅因而龜裂。待降溫後反覆上述過程，渣餅也因溫度變化而再次龜裂。當渣層總厚度達一定程度時，用推土機推起，用磁盤吊選出大塊殘鋼，送至渣場堆置以便加工利用。

(7) 淺盤潑法

淺盤潑法也稱為淺盤水淬法，將煉鋼爐排出熔渣倒入大盤中以形成渣餅，再噴水急冷卻使渣餅龜裂。當溫降後，把塊渣由淺盤倒進受渣車進行第二次噴水冷卻，渣塊繼續龜裂粉化。最後再把渣塊由運渣車倒入渣池內進行第三次冷卻，渣塊也進一步龜裂粉化，將冷卻後之爐渣由池中取出脫水後，即可送至渣場備用。

(8) 改質法

在爐渣出渣前將赤土改質劑，其加入量約為 3~6% 加入渣罐中，採用機械攪拌約 10 分鐘，使爐渣中之 f-CaO 降至 1% 以下。此種方法之原理是使 CaO

和 SiO_2 、Fe 形成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 和 $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，以抑制爐渣因 CaO 所造成之潛在膨脹。

2.2 氧化渣之一般性質

2.2.1 化學性質

氧化渣從冶金化學角度分析上，主要為含有鈣、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，其介於矽酸鹽水泥熟料和高爐粒料間。有關氧化渣之化學成分含量如表 2-1 所列，各主要化學成分之特性如下說明。

1. 氧化鈣(CaO)： CaO 為氧化渣主要成分，由於大部分冶煉過程需要加入過量石灰石，因此氧化渣 CaO 含量也占有一定比例，在製程中加入 CaO 主要目的為提高活性，但過多 CaO 也會造成活性降低，而在緩慢降低溫度的環境底下容易產生粉塵化現象，使煉鋼爐渣活性受到影響。
2. 二氧化矽(SiO_2)： SiO_2 為氧化渣的次多成分，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，但量過多時反而會使活性降低。
3. 氧化鋁(Al_2O_3)： Al_2O_3 亦是決定爐渣活性之成份之一，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)：在氧化渣內 MgO 與 SiO_2 及 Al_2O_3 結合成穩定型化合物，當 MgO 增加時會提高氧化渣之活性，因此氧化渣中 MgO 含量多寡與其活性大小有關。
5. 硫(S)：S 在爐渣中含量極低，約在 0.05%~0.08% 之間，通常與 CaO 結合成 CaS ，與水作用生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，但在有 Mn 存在情況下易生成 MnS 。
6. 氧化錳(MnO)： MnO 含量在 1%~8%，氧化錳存在會影響健度。
7. 游離氧化鈣(f- CaO)：f- CaO 吸收大氣中之水分與二氧化碳(CO_2)而發生膨脹現象。

8. 其他雜質：氧化渣內可能仍含各類物質，由於含量甚低，一般認為只會使氧化渣微觀結構更加開放，進而增加其活性。

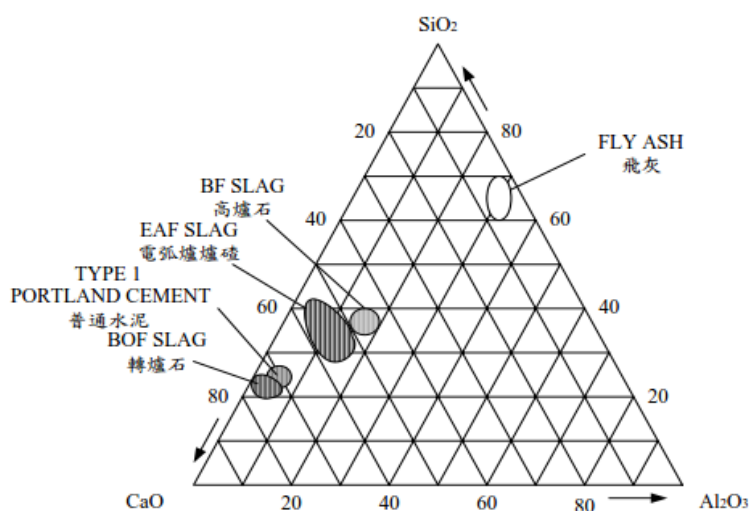


圖 2-4 氧化渣 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三相圖^[4]

表 2-1 氧化渣化學成分之含量(鋼鐵公會統計)

化學物質	碳鋼渣含量 ¹ (%)	不銹鋼渣含量 ² (%)
氧化鐵(Fe_2O_3)	20.1~38.19	0.38~0.52
氧化鈣(CaO)	23.39~37.44	26.1~39.72
二氧化矽(SiO_2)	13.81~20.43	22.56~34.6
三氧化二鋁(Al_2O_3)	2.69~11.27	4.12~5.58
氧化鎂(MgO)	1.89~9.98	4.90~12.4
氧化錳(MnO)	1.29~3.26	2.77~4.06
硫(S)	0.05~0.08	0.06~0.08
三氧化硫(SO_3)	0~0.16	0~0.03
游離氧化鈣(free- CaO)	0~0.16	0~0.16
註： ¹ 103-105年度各碳鋼廠產出檢驗統計資料。 ² 105年度各不銹鋼廠產出檢驗統計資料。		

2.2.2 物理性質

氧化渣為多種礦物組成之固體，其物理性質將隨化學性質之變化而有不同，有關國內各鋼廠(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)氧化渣之物理性質經台灣鋼鐵工業同業公會 106 年 7 月委託國立中央大學進行氧化渣基本物理特性試驗^[5]，所分析之樣品均為鋼廠剛產出之氧化渣的粒料。氧化渣之一般物理特性說明如下：

1. 外觀：氧化渣呈現灰色或灰黑色，以塊狀顆粒為主，次為粗顆粒，粉末狀顆粒僅占少數，其粒型凹凸有菱角，且表面粗糙多孔，屬孔隙結構。
2. 比重：氧化渣因鐵質氧化物金屬含量較高，比重介於 2.5~3.7 之間，平均值為 3.1，比重較天然粒料高^[6]。
3. 吸水率：氧化渣吸水率大約在 1.5%~6.8%之間，平均值為 3.6%，較天然粒料之吸水率高，此係為氧化渣多孔隙所造成。此外文獻亦有將不同電弧爐爐渣破碎後以不同之粒徑分別進行試驗，結果顯示氧化渣各粒徑的比重及吸水率，並無明顯之差異，顯示氧化渣質地與孔隙含量尚稱均勻^[6]。

國內各鋼廠 106 年產出之氧化渣粗、細粒料之密度與吸水率分析如表 2-2 及表 2-3。

表 2-2 氧化渣粗粒料密度與吸水率試驗結果^[5]

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

表 2-3 氧化渣細粒料密度與吸水率試驗結果^[5]

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

4. 耐磨性：氧化渣表面堅硬，其耐磨性高於天然粒料。由文獻資料顯示，天然砂、高爐渣、煉鋼渣(氧化渣)三者之耐磨指數分別為 1、0.96、0.7，其中耐磨指數越低代表耐磨度越高，可見氧化渣耐磨度優異，適用於鋪面材料^[6]。

各鋼廠產出之氧化渣洛杉磯磨損試驗及健度試驗結果如下表 2-4。

表 2-4 氧化渣洛杉磯磨損及健度試驗結果^[5]

試驗項目	碳鋼氧化渣	不銹鋼氧化渣
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：依 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」進行膨脹性試驗，各鋼廠氧化渣膨脹量皆能低於 0.5%之法規要求。

國內各鋼廠產出之氧化渣之水合膨脹試驗結果如下表 2-5。

表 2-5 國內各鋼廠水合膨脹試驗結果^[5]

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

2.3 氧化碴應用於瀝青混凝土之規格要求

2.3.1 氧化碴應用於瀝青混凝土之試驗標準及施工規範

表 2-6 係彙整國內氧化碴應用於瀝青混凝土鋪面面層之材料試驗標準及施工規範。

表 2-6 國內氧化碴應用於瀝青混凝土鋪面之試驗標準及施工規範

項目	試驗標準及施工規範
瀝青混凝土	CNS 15307熱拌、熱鋪瀝青鋪面混合料 CNS 15310瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料 施工綱要規範第02741章「瀝青混凝土之一般要求」 施工綱要規範第02742章「瀝青混凝土鋪面」

2.3.2 氧化碴粒料之環保規範

依據民國 105 年 6 月 20 日「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」所修訂公告版本，經再利用程序產出之氧化碴，戴奧辛及依毒性特性溶出程序檢測有毒重金屬項目之檢驗，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)產出之氧化碴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下表 2-7，均可符合相關環保規範。

表 2-7 氧化矽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 ^[7] (mg/L)	檢測方法 ^註	碳鋼氧化矽檢 測值	不銹鋼氧化矽 檢測值
硒	≤0.8	NIEA R201.15C NIEA R300.10C	ND~0.053	ND~<0.1
鋇	≤10	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	0.144~5.74	0.339~0.902
鎘	≤0.8	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND~0.021	ND
鉛	≤4	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND~0.334	ND
銅	≤12	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND~0.024	ND
鉻	≤4	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M111.01C	ND~0.092	ND~<0.05
六價鉻	≤0.2	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	ND~<0.092	ND~<0.01
砷	≤0.4	NIEA R201.15C NIEA R318.12C	ND~0.004	ND~0.001
汞	≤0.016	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND~<0.002	ND
氫離子濃度指數	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

NIEA R314.12C：事業廢棄物萃出液中總汞檢測方法-冷蒸氣原子吸收光譜

第三章 氧化矽瀝青混凝土之工程性質

3.1 一般原則

氧化矽的材料特性和瀝青混凝土粒料具相當高的同質性，唯其比重、空隙率及吸水率較天然粒料高，可透過配合設計的控制調整，以符合相關工程規範要求。另從整體資源循環利用的觀點而言，氧化矽應用於瀝青混凝土鋪面，不但可有效達到去化之主要目的，減少天然資材的耗費，能滿足國內近年所推動的環境保護政策，且氧化矽瀝青混凝土鋪面之工程性質不遜一般傳統瀝青混凝土鋪面，其推廣應用極具潛力。

3.2 工程性質

本節係說明氧化矽瀝青混凝土之穩定值與流度值試驗、回彈模數試驗、水份敏感性試驗等結果，藉以敘明氧化矽於瀝青混凝土之適用性，本節係說明瀝青混凝土中分別以碳鋼及不銹鋼氧化矽取代總粒料之 10%、20%、30% 及 40% 之穩定值與流度值試驗、回彈模數試驗、水份敏感性試驗等結果，藉以敘明氧化矽於瀝青混凝土之適用性。

3.2.1 穩定值與流度值

在瀝青混凝土馬歇爾試驗中，試體破壞前可承受之最大荷重，稱為穩定值，試體受力至破壞間之最大變形量稱為流度值，分別用於顯示瀝青混凝土之強度及柔性。穩定值與流度值是瀝青混凝土馬歇爾配合設計法的重要指標，其試驗依據 ASTM D6927 進行，在工程會施工綱要規範第 02742 章瀝青混凝土鋪面中，針對交通量等級為重級的密級配瀝青混凝土其穩定值須大於 725kgf(1800 lb.)、流度值須符合 8~14 (0.25mm)；交通量等級為中級的密級配瀝青混凝土其穩定值須大於 544kgf(1200 lb.)、流度值須符合 8~16(0.25mm)；交通量等級為輕級的密級配瀝青混凝土其穩定值須大於 340kgf(750 lb.)、流度值須符合 8~18(0.25mm)。由圖 3-1^[8]所示氧化矽瀝青混凝土之穩定值與一般瀝青混凝土差異不大，流度值亦符合規範要求。

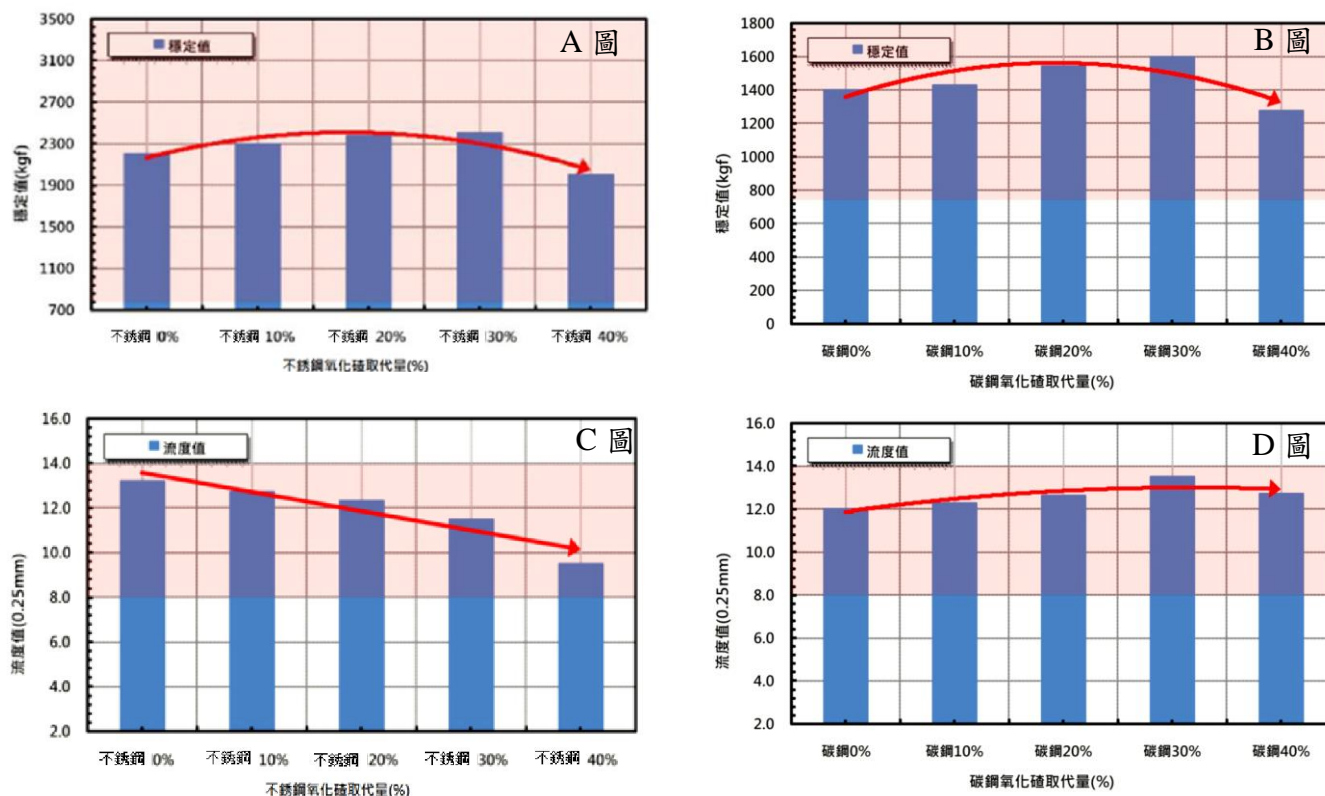


圖 3-1 氧化矽瀝青混凝土穩定值及流度值試驗結果^[8]

3.2.2 回彈模數

瀝青混凝土回彈模數為試體受動態荷重下之彈性係數，用於評估瀝青混凝土之勁度，也用於一些鋪面設計方法中之設計參數。其試驗係依據 ASTM D4123 之試驗方法進行，首先將馬歇爾試體在 25℃ 及 40℃ 養護 24 小時，待養治完成後置於回彈模數試驗儀中進行試驗。有關試驗結果如圖 3-2 所示，瀝青混凝土中使用氧化矽會產生較高之回彈模數，有提升瀝青混凝土鋪面結構強度。

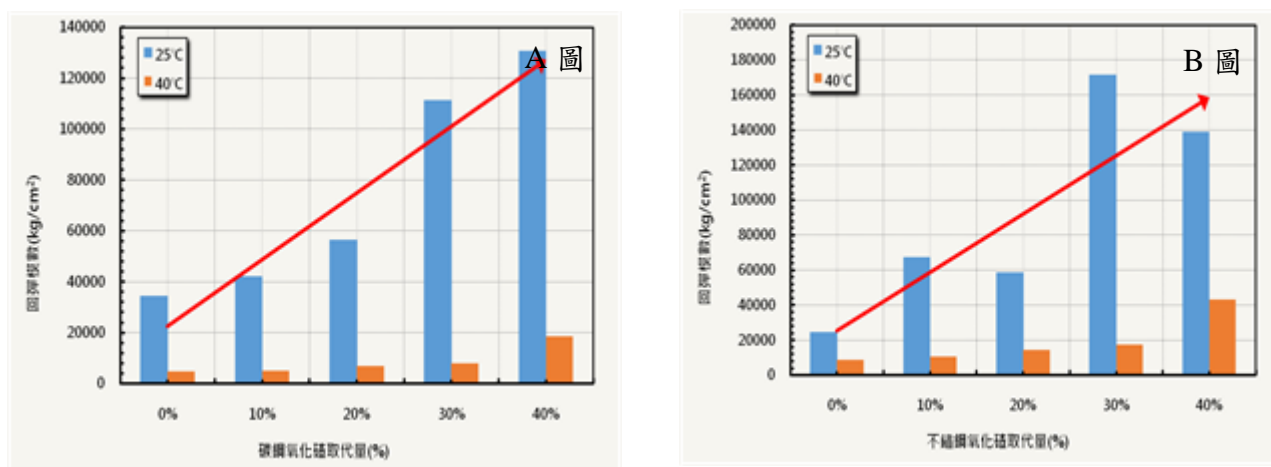


圖 3-2 氧化矽瀝青混凝土回彈模數試驗結果^[8]

3.2.3 水分敏感性(TSR)

水分敏感性係指瀝青混凝土經浸水處理程序後仍保留之強度比，用於評估其耐水侵害之能力。台灣氣候多雨，為了探討使用氧化矽使用是否會造成其水份敏感性特性，產生剝脫的破壞現象，依據 AASHTO T283 水份敏感性特性試驗(以下簡稱 TSR 試驗)，將試體浸入 60℃ 水中養護 24 小時後，與沒經過上述過程之對照組試體比較，計算其浸水滯留強度，數值越高代表越不容易產生水剝脫的現象，在工程會施工綱要規範第 02742 章瀝青混凝土鋪面中，密級配混凝土強度指數應在 75% 以上，其應用之結果如圖 3-3 所示，可觀察到使用氧化矽之瀝青混凝土其浸水滯留強度均合乎規範值 75% 之規定，且強度隨使用量上升。

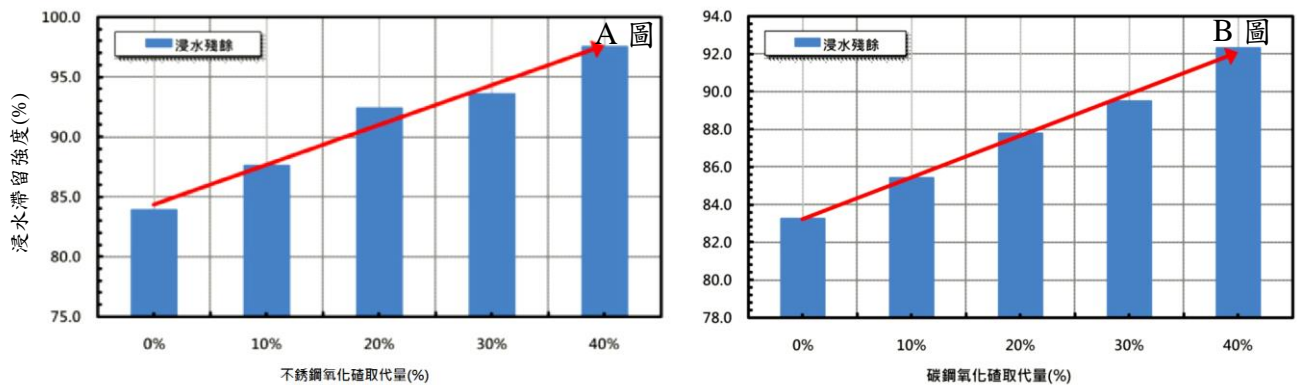


圖 3-3 氧化矽瀝青混凝土水分敏感性試驗結果^[8]

第四章 氧化矽瀝青混凝土之配合設計

4.1 一般原則

氧化矽瀝青混凝土配合設計之目的、方法及步驟與一般瀝青混凝土相似，惟因氧化矽瀝青混凝土材料特性略有差異，故使用時應參照本章規定辦理。

4.2 配合設計原則

氧化矽瀝青混凝土配合設計係以適當比例之氧化矽取代粒料，使氧化矽瀝青混凝土能充分達成所需之性質要求，本章之配合設計步驟及準則依循美國瀝青學會(Asphalt Institute, AI)之馬歇爾方法(Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other hot-min types, MS-2)。其試驗方法為 AI MS-2 若有不足者可以 ASTM 或 CNS 為輔。

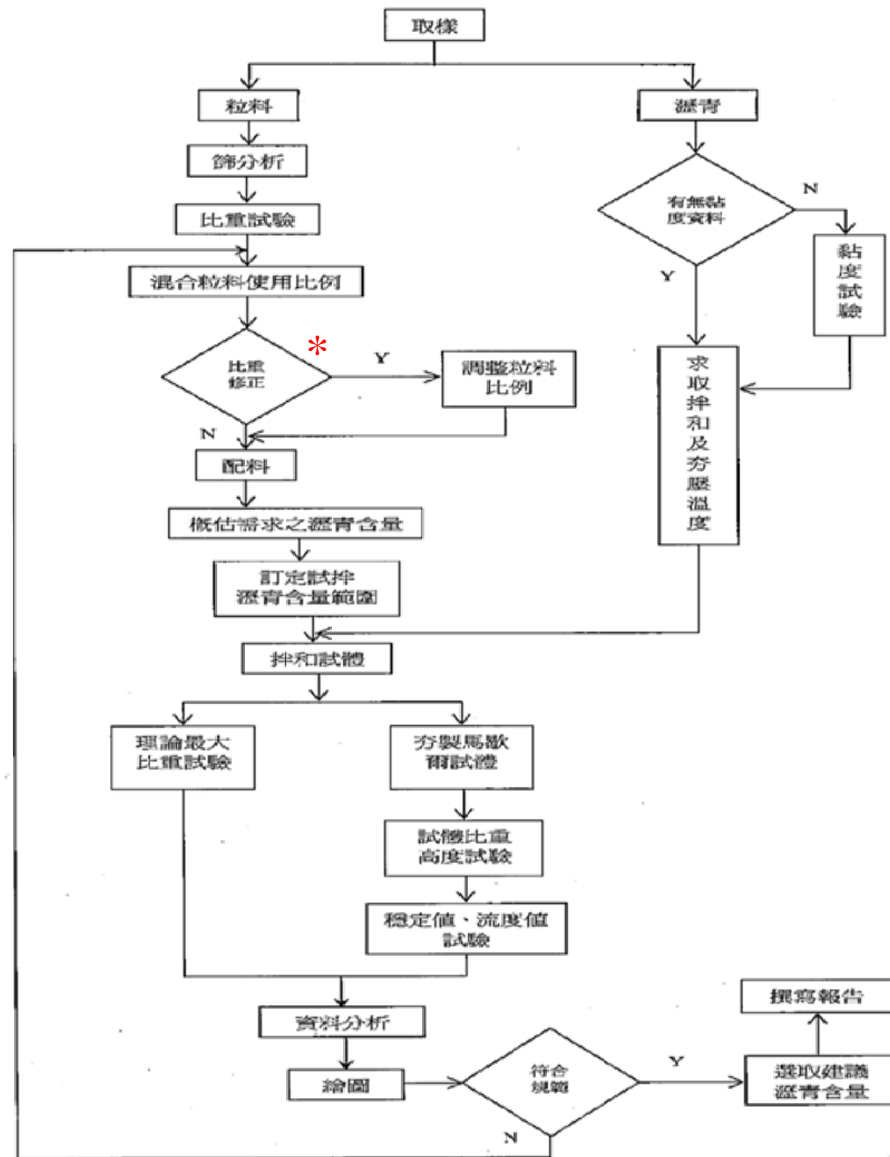
4.3 配合設計步驟

4.3.1 注意事項

1. 氧化矽使用量之選定：瀝青混凝土使用氧化矽時，其與天然粒料之組成比例，須依配合設計決定之。惟碳鋼氧化矽使用在細粒料建議以不超過全部粒料重量百分比 40% 為原則。不銹鋼氧化矽可使用在粗、細粒料，但須依配合設計決定。
2. 瀝青用量：以氧化矽取代天然粒料，因其各廠產出之品質不同，其瀝青含量可能降低 0.2% 至 0.5%。
3. 銹斑現象：銹斑現象係因碳鋼廠所用原物料與製程關係，其所產之碳鋼氧化矽含金屬鐵成分較高所致，雖此現象不會對鋪面品質造成危害，但為降低各界使用疑慮，故建議碳鋼氧化矽需經多道再利用處理為細粒料後使用，方能減少該現象的發生。不銹鋼氧化矽由於含鐵量少，粗細粒料都只有極輕微銹斑產生。
4. 避免銹斑產生：碳鋼氧化矽建議使用在「細粒料」，實際使用仍有可能產生些微銹斑，若對於銹斑有嚴格要求，建議使用氧化矽細粒料粒徑需小於 2.36mm；不銹鋼氧化矽建議應用於「粗、細粒料」。

4.3.2 配合設計流程

氧化矽密級配瀝青混凝土之配合設計流程如圖 4-1。



註：*比重差異大於 0.2 時，應進行比重權值修正，以調整粒料之配合比例

圖 4-1 氧化矽密級配瀝青混凝土配合設計流程圖

4.3.3 配合設計步驟

1. 基本資料：包括瀝青膠泥比重、瀝青膠泥黏度、各組成粒料比重及各組成粒料之篩分析等，詳細內容請參考表 6-1。
2. 各組成材料之物理性質試驗。
3. 依各粒料篩分析結果調配比例，使組成符合瀝青混凝土級配規格之混合粒料。
4. 依各組成粒料之配合比例計算混合粒料之比重。
5. 訂定混合粒料之試拌瀝青用量，以前述 P_A 為中心，上下至少包含 5 個瀝青用量，原則上以 0.5% 瀝青用量為間隔。
6. 依混合粒料之配合比例配製試樣，氧化矽之比重較重，若以容積比配製，需先進行配比修正，修正方式說明如下段。至少配製 1 個理論最大比重試驗用試樣，15 個夯製馬歇爾試體用試樣。
7. 進行理論最大比重試驗。
8. 量測各馬歇爾試體之高度，並進行容積比重、穩定值及流度值試驗。
9. 以試驗結果計算空隙率(V_a)、粒料間空隙率(VMA)、及瀝青填充率(VFA)等。
10. 分別繪製空隙率(V_a)、粒料間空隙率(VMA)、瀝青填充率(VFA)、容積比重、穩定值及流度值等對瀝青用量之關係曲線圖。
11. 依下述原則選取建議瀝青用量，並求取對應之各項性質結果值。若無法獲得完全符合配合設計準則規定之瀝青用量，則應重新調整混合粒料級配，重做配合設計。
 - (1). 建議瀝青用量選取原則：
 - A. 優先選取空隙率(V_a)等於 3%~5% 中偏 4% 之瀝青用量，若此瀝青用量所對應的各項瀝青混凝土性質均能符合配合設計準則之規定，則以此為建議瀝青用量。

B. 若空隙偏 4.0% 對應的瀝青用量於部份性質未能符合配合設計準則之規定，得於空隙率變化不超過 0.5% 之範圍為原則調整瀝青用量，使各項性質均符合規定，以此為建議瀝青用量。

(2). 各項性質結果值求取方式：以建議瀝青用量於空隙率(V_a)、粒料間空隙率(VMA)、瀝青填充率(VFA)及單位重、穩定值、流度值等六個迴歸關係曲線圖採內插方式求取對應之各項性質結果值。

12. 混合粒料級配及建議瀝青用量合稱為工作拌合公式。

4.3.4 配合設計之表示法

氧化矽密級配瀝青混凝土配合設計報告格式建議如表 4-1 所示。

表 4-1 氧化矽密級配瀝青混凝土配合設計報告格式

氧化矽密級配瀝青混凝土配合設計試驗報告					
業 主：			施工單位：		
委託單位：			監造單位：		
工程名稱：					
供料廠商：					
取 樣 者：			送 驗 者：		
送驗日期：		試驗日期：		報告日期：	
一、 配比					
材料種類	粒料%				
比例					
二、 骨材級配過篩情形					
篩號	試驗值(%)	規範值(%)			
1.5"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
#4					
#8					
#16					
#30					
#50					
#100					
#200					
底盤					
三、 建議最佳含油量			四、 建議配比之混合料性質		
最大單位重之含油量(對混合料)(%)		試驗項目	試驗值	規範	
空隙率在規範中值(4.0%)		穩定值(kgf)			
時之含油量(對混合料)(%)		流度值(0.25mm)			
最大穩定值之含油量(對混合料)(%)		空隙率(%)			
建議最佳含油量(對粒料)(%)		VMA(%)			
建議最佳含油量(對混合料)(%)		VFA(%)			
粒料平均吸油率(%)		單位重(kg/m ³)			
		最大理論密度(kg/m ³)			

4.3.5 配合設計參考範例

瀝青混凝土之產製實務以重量為基準，因氧化矽與一般粒料之比重不同，若需進行比重權值修正，以調整粒料之配合比例，修正方式如表 4-2 範例。

表 4-2 粒料依比重修正使用比例之範例

修正前(依體積百分比)				
粒料種類		粒料比重	使用比例(%)	
P1		3.3	20	
P2		2.6	77	
P3		3.1	3	
修正後(依重量百分比)				
粒料種類	原使用比例	粒料比重	權值(註1)	修正後比例(%) (註2)
P1	20	3.3	66	23.96
P2	77	2.6	200.2	72.67
P3	3	3.1	9.3	3.38
合計	100	-	275.5	100

註 1：權值=原使用比例×粒料比重

註 2：修正後比例=(權值/權值合計)×100%

1. 參考範例 1-氧化矽密級配瀝青混凝土

採用氧化矽(碳鋼矽)取代細粒料，重量百分比為全部粒料量之 30% 進行設計，有關各粒料重量百分比如表 4-3 所示。並根據馬歇爾試驗法，所使用之瀝青膠泥針入度為 60~70，瀝青膠泥比重為 1.025，夯壓溫度為 140℃~146℃，試體夯壓次數正、反面各 75 次，所求得建議瀝青含量為 4.8%，其馬歇爾試驗結果如表 4-4 所列。

表 4-3 配合設計參考範例(1)

石料種類	2cm 石	1cm 石	0.5cm 石	天然砂	氧化矽	填縫料
比例 (%)	11.1	26.0	14.8	14.8	30.3	3.0

表 4-4 配合設計參考範例(1)-馬歇爾試驗結果

試驗項目	配合設計結果	規範值
空隙率(%)	4.1	3~5
建議瀝青含量(%)	4.8	-
穩定值(kgf)	1260	≥ 817
單位重(kg/m ³)	2.508	-
流度值(0.25mm)	13.1	8~14
VMA(%)	16.1	≥ 12
VFA(%)	72.8	65~75

2. 參考範例 2-氧化碴密級配瀝青混凝土

採用氧化碴(碳鋼碴)取代細粒料，採重量百分比為全部粒料量之 30%進行設計，有關各粒料重量百分比如表 4-5 所示。並根據馬歇爾試驗法，所使用之瀝青膠泥針入度為 63，瀝青膠泥比重為 1.032，夯壓溫度為 143℃~148℃，試體夯壓次數正、反面各 75 次，建議瀝青含量為 5.0%，其馬歇爾試驗結果如表 4-6 所列。

表 4-5 配合設計參考範例(2)

石料種類	2cm 石	1cm 石	0.5cm 石	天然砂	氧化碴	填縫料
比例 (%)	19	21	17	10	30	3

表 4-6 配合設計參考範例(2)-馬歇爾試驗結果

試驗項目	配合設計結果	規範值
空隙率(%)	4.0	3~5
最佳瀝青含量(%)	5.0	-
穩定值(kgf)	1514	≥ 817
單位重(kg/m ³)	2508	-
流度值(0.25mm)	13	8~14
VMA(%)	15.9	≥ 12
VFA(%)	74	65~75

4.4 試拌與試鋪

氧化矽瀝青混凝土配合設計結果應於實際施工前，建議以實際使用之材料及比例進行試拌，在採用初期宜辦理工地試鋪，驗證各項配合設計結果之性質與施工性能，以符合施工現場作業之需要。且氧化矽瀝青混凝土之各項重要性質應依公共工程施工網要規範第 02742 章 3.3 進行檢驗，符合要求後方能採用，否則應修正配合設計後再進行試拌及試鋪至符合要求。

4.5 氧化矽瀝青混凝土鋪面設計應注意事項

1. 鋪面工程司在道路規劃設計階段，應明確規範鋪面層級配、粒徑尺寸、氧化矽使用量。
2. 氧化矽使用數量及費用，需於工程契約或預算書內註明。
3. 工程設計時，需於工程施工設計圖註明氧化矽取代比例，且鋪築時密度可能比傳統瀝青混凝土高，一般使用(氧化矽使用量 40% 以下)狀況時差異不大，若使用量或鋪築厚度高，建議辦理工地試鋪以調整材料用量。

第五章 氧化矽瀝青混凝土產製、運輸與施工

5.1 一般原則

本章相關規範適用於氧化矽瀝青混凝土，係指將加熱之氧化矽、粗粒料、細粒料、瀝青膠泥、及乾燥之礦物填縫料等，按配合設計所定配合比例拌合均勻後，依設計圖說所示之線形、坡度、高程及橫斷面，按本章之規定或依工程司之指示，分一層或數層鋪築於面層或磨擦層上，滾壓至所規定之壓實度而成者。此外氧化矽瀝青混凝土宜參照工程會施工綱要規範第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」及第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」施工規範要求。

5.2 氧化矽瀝青混凝土之產製

5.2.1 氧化矽粒料之管制

1. 碳鋼氧化矽一般取代天然粒料中之細粒料，而不銹鋼之氧化矽可使用粗、細粒料。同一般天然粒料不同批次及不同尺寸的粒料應分隔堆放，防止混合。
2. 粒料堆放時為了防止析離，應分層堆置且坡度應小於 1：3。
3. 粒料堆置場所場地應清潔堅固，並有良好的排水措施及注意粒料的含水量。
4. 依據工程會施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」中，第 2.1.2 項第(6)點規定「再生粒料供應商於工程進行前，應提送相關供料計畫書...」如表 6-7。

5.2.2 瀝青膠泥之管制

1. 儲存槽容量：儲存槽可分為直立式與臥式兩種，其大小約在 30(TONS)~60(TONS)之間，分槽儲放，總儲存量最少應為最大產能之三天使用量。
2. 加溫設備：一般有電熱棒加溫及燃燒熱煤油循環間接加熱兩大類，使用電熱棒加溫需採用間接加熱。加熱設備需有定溫定時裝置，以便自動啟閉。
3. 保溫裝置：每一儲槽及其連接管線之外部，均需包裹有包溫材料，並設有自動控制之恆溫設備。

4. 輸送管路：使用多種瀝青膠泥等級，其輸送管線最好能分開使用，避免管線內殘留其他種類之瀝青膠泥。
5. 瀝青保溫期間：瀝青膠泥之儲存以不超過 30 天為宜，若遇較長時間沒有使用，應適當降低保溫溫度，以防長期高溫造成瀝青膠泥劣化。

5.2.3 拌合廠生產管制

1. 生產熱拌瀝青混凝土時，需根據冷料篩分析的結果進行配比調整，以達到最接近工作拌合公式的比例為原則，進行進料加熱作業。
2. 拌合廠在正式出料前需對冷料流量進行量測。即在固定時間下以改變輸送帶之轉速進行量測，並以此繪製流量表以作為進料控制的依據。
3. 粒料在經過加熱滾筒加熱後，經由提升機進入震動篩網，進行篩分作業後，再分別進入熱料倉暫存。此時的熱料需再次取樣進行篩分析試驗，以瞭解各熱料倉內的粒料組成，並進行試算作業，以調整出最接近工作拌合公式的熱料用量。

5.2.4 氧化矽瀝青混凝土混合料之拌合

1. 瀝青材料之加熱

瀝青材料應在廠內加熱，其溫度應由黏度試驗決定之。瀝青之一般加熱溫度可參考表 5-1，惟除情況特殊經工程司核可者外，密級配不得超過 163℃，開放級配不得超過 120℃。

表 5-1 瀝青加熱溫度

瀝青膠泥之種類及等級		雙軸拌合機內瀝青混合料之溫度℃	
		密級配	開放級配
原始黏度等級	AC-5	120~145	80~120
	AC-10	120~155	80~120
	AC-20	130~165	80~120
	AC-40	130~170	80~120
殘餘黏度等級	AR-4000	135~165	80~120
	AR-8000	135~165	80~120
針入度等級	60-70	130~170	80~120
	85-100	120~165	80~120
	120-150	120~155	80~120

2. 粒料之加熱

- (1). 粗、細粒料在送入拌合機之前，均應烘乾加熱，其進入拌合機之溫度為 135℃~163℃，且均應超過瀝青之溫度，其實際使用溫度由工程司決定之，惟粒料與瀝青拌合時之溫度，彼此相差不得超過 10℃。
- (2). 粗、細粒料可同時送入乾燥爐內烘熱。烘熱後之粒料，應按工程司所規定之尺度，以篩網篩分後，分別送入熱斗中備用。

3. 拌合

- (1). 各種大小不同之粒料、填充料及瀝青材料，應依工地拌合公式所規定之比例，分別以重量比準確配合之。
- (2). 以分盤式拌合機拌合時，其濕拌時間不得超過 50 秒。

- (3). 以連續式拌合機拌合時，除另有規定者外，其拌合時間應依下列公式按重量法決定之。
- (4). 拌合時間(秒)=[拌合機之載重量(kg)]÷[拌合機之出口量(kg/s)]
- (5). 式中重量由工程司在工地作試驗決定之，惟無論如何，在連續式拌合機內拌合之時間不得超過 60 秒。
- (6). 瀝青混凝土混合料自拌合廠輸出時之溫度。一切過熱或溫度不足之混合料或混合料發生泡沫現象或顯示含有水份時，均應立即拋棄，不得使用。

5.3 氧化矽瀝青混凝土之運輸

1. 拌妥之氧化矽瀝青混凝土混合料，應以自動傾卸式卡車或其他適當之車輛運至工地鋪築。其數量應依瀝青拌合廠至工地間之運距而定，其總運輸量，應能與瀝青拌合廠之生產量及瀝青鋪築機之工作量互相配合，務使瀝青鋪築機能連續操作而不致延擱為原則。
2. 所用卡車之車箱內，應清潔、緊密、光滑，並應先塗一薄層肥皂溶液、石腊油或其他工程司認可之潤滑材料，以免氧化矽瀝青混凝土混合料黏附卡車上，不可使用柴油等石油類製品做為潤滑劑。
3. 運送時應以帆布或其他適當之遮蓋物覆蓋保溫，以防氧化矽瀝青混凝土混合料之溫度降低。
4. 除經工程司同意使用適當之照明設備施工者外，通常當天由拌合廠運至工地鋪築之氧化矽瀝青混凝土混合料之數量，務以天黑收工前能全部鋪築，並予滾壓完成者為限。
5. 氧化矽瀝青混凝土混合料，如在運送途中遇雨淋濕時，應即拋棄，不得再行使用。

5.4 氧化矽瀝青混凝土之施工

5.4.1 準備工作

1. 施工氣候

瀝青混凝土應於晴天及施工地點之氣溫在 10℃ 以上，且底層、基層、路基或原有路面乾燥無積水現象時，方可鋪築。霧天及雨天不得施工。

2. 施工機具

所有施工設備及機具，均應經工程司之檢查核可，並應經常加以適當之保養，俾能始終維持良好之狀態，順利完成工作。

3. 瀝青拌合廠

瀝青混凝土混合料，可用分盤式拌合廠(Batching Plant)、連續式拌合廠(Continuous Mixing Plant)或乾鼓式拌合廠(Dryer Drum Mixer)拌合，惟無論使用何種型式之拌合廠，應以能按配合設計所定之配合比例準確計量所需之各種材料，並將其拌合均勻者為合格。

4. 瀝青混合料之過磅要點

瀝青拌合廠拌合氧化矽瀝青混合料或生產中斷了一段時間後重新生產時，均應依據設計配比進行試拌作業。當通過試拌及抽樣試驗確定能生產出符合配比要求之瀝青混合料後方可正式生產。試拌作業基本上需進行下列管控項目：

- (1). 應依據工作拌合公式的要求，先以冷料調配出適當的進料量來進行粒料加熱，再以熱料調配出接近工作拌合公式的熱料用量。
- (2). 瀝青混合料按照熱料配比的粒料及瀝青膠泥用量，進行量秤試拌，試拌後取樣進行相關的馬歇爾試驗，並將其試驗值與配比設計值進行比較，以驗證配比設計瀝青用量的合理性，必要時可做適當的調整。
- (3). 確定適宜的拌合及出料溫度。控制瀝青混合料拌合及出廠溫度是混合料品質管制的重要因素。

5. 瀝青混合料之過磅要點

- (1). 瀝青拌合廠應設有卡車地磅及秤重房。
- (2). 地磅切實安裝於穩固之基礎上，並應經常保持水平及垂直之狀態。
- (3). 所有秤重設備應備有調整裝置，以便任何部分有偏差或逸出準線時，能迅速重予調整或定向，俾能發揮正常功用。

- (4). 地磅平台應有足夠之長度與寬度，以容納任何卡車，或能一次秤量可能用以運送瀝青混合料之全套搬運設備。
- (5). 地磅在瀝青拌合廠開始運轉之前，應經業主檢驗，此後每日應以工程司核可之方法予以檢驗。
- (6). 秤重房須有防風及防雨之設備，秤重紀錄機應予適當之保護。

6. 氧化碓瀝青混合料試鋪

氧化碓瀝青混凝土鋪面在進行正式施工前，應執行「試做」作業，從中瞭解施工過程的各個環節是否能達到預期的目標，進而修正各項施工缺失以確保施工品質能符合業主之需求。

- (1). 為了確實反應施工期間可能遇到的所有問題，在選擇試鋪地點時，盡可能選擇在施工位置處，如無法在施工位置上試鋪，亦需盡可能模擬出與工地相同之工作條件。
- (2). 氧化碓粒料比天然粒料較為堅硬且比重高，因此於鋪築時應視現場狀況調整氧化碓瀝青混合料之鬆方比，以確保鋪築厚度，一般氧化碓瀝青混合料鬆方比約1.12~1.20(依氧化碓使用量)。
- (3). 施工中，應視鋪裝機動力而調整鋪築厚度以達設計要求。
- (4). 橫向及縱向接縫施工時，應考量氧化碓材料特性之影響，避免施工後於接縫處產生高低差。
- (5). 氧化碓瀝青混合料鋪築時，經工程司核可，依現場狀況調整滾壓能量與次數，以確保工程品質。

5.4.2 施工方法

1. 鋪築路段之整理與清掃

- (1). 鋪築氧化碓瀝青混凝土路面之路段，在施工前，其底層、基層、路基或原有路面應按下列規定予以整修及清掃，使其符合設計圖說所示之線形、坡度及橫斷面。

- (2). 如有坑洞或低陷不平之處，應先將其一切浮鬆材料移除，並以相同之材料按規定填補整修後，予以滾壓堅實。
- (3). 如表面有隆起或波紋之處，應將其刮平並予滾壓，務使平順堅實。
- (4). 如原有路面有冒油，不適當之修補或有接縫，裂縫等之灌縫料時，應予以清除潔淨，經工程司查核後，以瀝青混凝土混合料填補，並予滾壓或以手夯或其他適當方法夯實。
- (5). 上列各項工作完成後，應以清掃機或竹帚將表面浮鬆塵土及其他雜物清掃潔淨，清掃寬度至少應較路面鋪築寬度每邊各多 30cm。

2. 氧化矽瀝青混凝土混合料之鋪築

- (1). 氧化矽瀝青混凝土混合料應以瀝青鋪築機鋪築。瀝青鋪築機必須能自動調整行駛速度、鋪築厚度及寬度者，其作業手應由訓練有素及富有經驗者擔任。
- (2). 鋪築前，應先測訂準線，俾使鋪築機在鋪築時有所依據，而鋪成平整之路面。
- (3). 緣石、邊溝、人孔、原有面層之垂直切面及建築物之表面與瀝青混凝土混合料相接合處，應全部均勻塗刷速凝油溶瀝青或乳化瀝青一薄層，使有良好之結合。
- (4). 鋪築機之速度，必須妥為控制，鋪築時瀝青混合料不得有析離現象(Segregation)發生，並使完成後之表面均勻平整，經壓實後能符合設計圖說所示之線形、坡度及橫斷面。如有析離現象時，應立即停止鋪築工作，並查明原因予以適當之校正後，始可繼續施工。
- (5). 瀝青混合料倒入鋪築機鋪築時之溫度，由工程司查核之，不得低於 120°C。
- (6). 鋪築工作應儘可能連續進行，不宜時斷時續。在鋪築機後面，應配有足夠之鏟手及耙手等熟練工人，俾於鋪築中發現有任何瑕疵時，能在壓實前予以適當之修正。
- (7). 鋪築機不能到達而需人工鋪築之處，應先將瀝青混合料堆放於鐵板上，然後由熟練工人用熱工具鏟入耙平均鋪築，使其有適當之鬆厚度，俾能於壓實後達到所規定之厚度及縱橫坡度。瀝青混合料如結成團狀，須先予搗碎後，方能使用。

- (8). 上述工具之加熱溫度，不得高於瀝青混合料之鋪築溫度，僅使瀝青材料不黏著即可。
 - (9). 氧化矽瀝青混凝土路面如係分層鋪築時，應於鋪築前兩小時內，先將前一層之表面清理潔淨，並依規定均勻噴灑黏層，並由工程司進行查核，以增強二層間之黏結。
 - (10). 氧化矽瀝青混凝土路面分層鋪築時，其各層縱橫接縫，不得築在同一垂直面上。如為雙車道時，路面頂層之縱向接縫，宜接近路面之中心位置，兩車道以上時，宜接近分道線。
 - (11). 工作人員進入施工中之路面工作時，應穿乾淨之靴鞋，以免將泥土及其他雜物帶入瀝青混合料中。施工中間雜人等，應嚴禁入內。
3. 氧化矽瀝青混凝土混合料之滾壓

(1). 滾壓順序

瀝青混凝土混合料鋪設後，應以適當之壓路機滾壓，直至均勻並達到所需之壓實度時為止。滾壓分為下列步驟：

- A. 橫向接縫。
- B. 縱向接縫。
- C. 車道外側邊緣。
- D. 車道。

(2). 滾壓方法

- A. 瀝青混凝土混合料鋪設後，當其能承載壓路機而不致發生過度位移或毛細裂縫(Hair Cracking)時，應即開始初壓。滾壓時，壓路機應緊隨鋪築機之後，其距離通常不超過 60m。
- B. 滾壓應自車道外側邊緣開始，再逐漸移向路中心，滾壓方向應與路中心線平行，每次重疊後輪之半。在曲線超高處，滾壓應自低側開始，逐漸移向高側。

- C. 滾壓時，壓路機之驅動輪須朝向鋪築機，並與鋪築機同方向進行，然後順原路退回至堅固之路面處，始可移動滾壓位置，再向鋪築機方向進行滾壓。每次滾壓之長度應略有參差。壓路機應經常保持良好之情況，以免滾壓工作中斷。
- D. 壓路機之鐵輪應以水保持濕潤，以免瀝青混合料黏附輪上，但水份不得過多，以免流滴於瀝青混合料內。
- E. 鐵輪壓路機之滾壓速度，用於初壓時每小時不得超過 3km，其餘每小時不得超過 5km。
- F. 在任何情形下，滾壓速度均應緩慢，且不得在滾壓路段急轉彎、緊急煞車或中途突然反向滾壓，以免瀝青混合料發生位移。
- G. 不論任何原因，如發生位移時，均應立即以熱齒耙耙平，或挖除後換鋪新瀝青混合料予以改正。
- H. 壓路機不能到達之處，應以熱鐵夯充分夯實，鐵夯之重量不得少於 11kg，夯面不得大於 320cm²。
- I. 路面之厚度、路拱、縱坡及表面平整度等，均由工程司於初壓後查核之，如有厚度不足、高低不平、粒料析離及其他不良現象時，均應於此時修補或挖除重鋪及重新滾壓，直至檢查合格時為止。
- J. 緊隨初壓之後，以膠輪壓路機依上述方法滾壓至少 4 遍，務使瀝青混凝土混合料達到規定密度時為止；滾壓速度，每小時不得超過 5km，通常其與初壓壓路機之距離為 60m，滾壓時瀝青混合料之溫度約為 82°C~100°C。
- K. 最後以 6~8t 二輪壓路機在路面仍舊溫暖時再行滾壓，直至路面平整及無輪痕時為止。滾壓時，瀝青混合料之溫度不得低於 65°C。
- L. 滾壓時，如發現瀝青混合料有鬆動、破裂、混有雜物或其他任何缺陷時，應立即予以挖除，並換填新瀝青混合料後，加以滾壓，使其與周圍鄰近路面具有同等堅實之程度。
- M. 滾壓時，應儘可能使整段路面得到均勻之壓實度。

- N. 滾壓後之路面，應符合設計圖說所示之路拱、高程及規定平整度。如有孔隙、蜂窩及粒料集中等紋理不均勻現象，應於滾壓時及時處理，否則應予挖除，並重鋪新料重壓。
- O. 壓路機與重型機械，在新鋪路面尚未滾壓完成前，不得停留其上，或在其上移位煞車。
- P. 氧化矽瀝青混凝土鋪面鋪築之滾壓前後高度比約 1.22 至 1.32^[8]

(3). 接縫

- A. 所有接縫於施工時，均應特別小心，充分壓實，使其有平直整齊之接縫表面並與路面其他部位之瀝青混凝土有同樣結構及密度。
- B. 除彎道處之縱向接縫外，所有接縫應成平直之直線，橫向接縫並應儘量與路中心線成垂直，除使用模板者外，所有已冷卻之接縫接合面均應切成平整之垂直面。
- C. 接縫接合面應清刷潔淨除去一切鬆動材料後，塗刷一層黏層材料。
- D. 鋪築時，鋪築機應置於能使瀝青混合料緊密擠塞於接縫垂直接合面之處，並使其有適當之厚度，俾於壓實後，能與鄰接路面齊平。

(4). 邊緣

- A. 瀝青混凝土之邊緣，如不用木料支撐時，應稍予鋪高並以熱夯充分夯緊，使能承受壓路機之輪重後，立即開始滾壓。滾壓時，壓路機之後輪應伸出邊緣 5~10cm。
- B. 如瀝青混凝土路面與緣石或邊溝接壤時，其鋪築及滾壓工作應特別小心，以免損及緣石及邊溝。

(5). 路肩

如路肩不鋪面層時，路肩料應俟瀝青混凝土面層滾壓完成後，儘速鋪築。

第六章 氧化碇瀝青混凝土品質管制

6.1 材料之品質管理

6.1.1 瀝青材料

用於氧化碇瀝青混凝土鋪面之瀝青材料，如表 6-1 所示。瀝青材料實際所用種類及等級，應依設計圖之規定，或依工程司之指示辦理。

表 6-1 氧化碇瀝青混凝土所用之瀝青膠泥

瀝青膠泥之種類及等級		鋪面分類(面層)					
		公路/街道	停車場	私用道路	工廠鋪面	街坊	緣石
原始黏度等級	AC-10	V	V	V			
	AC-20	V	V	V	V		V
	AC-40	V	V		V	V	
殘餘黏度等級	AR-4000	V	V	V			
	AR-8000	V	V	V	V		V
針入度等級	60-70	V	V	V	V	V	V
	85-100	V	V	V			
改質瀝青	Ⅲ型	V	V	V	V		V

表 6-2 瀝青材料之相關試驗

試驗項目	試驗方法	
	AASHTO	CNS
黏度	T201,T202	
針入度	T49	10090
閃火點	T48	3775
薄膜加熱	T179	10093
滾動薄膜加熱	T240	
延性	T51	10091
溶解度	T44	10092
比重	T228	
軟化點	T53	2486
韌性		
彈性恢復力		10091

6.1.2 粒料

本手冊建議碳鋼氧化矽使用細粒料，不銹鋼氧化矽可以使用於粗、細粒料，氧化矽瀝青混凝土粗、細粒料品質要求如下：

1. 粗粒料

- (1). 氧化矽粗粒料停留於 2.36mm(8 號)篩上者，須潔淨、質地堅硬、緻密、耐磨，且級配需依照 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料」規定或者施工綱要規範(於熱拌瀝青混凝土，應參考單一粒度之煉鋼爐矽標準)，不得含有易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物，並應具有與瀝青材料混合後，雖遇水而瀝青不致剝落之性能。
- (2). 氧化矽粗粒料其餘品質要求如表 6-3 所示。

- (3). 氧化矽粗粒料依[CNS 1167][AASHTO T104]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健性試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於 12%；硫酸鎂溶液之方法其重量損失不得大於 18%。
- (4). 氧化矽粗粒料應依尺度大小分別堆放，並應避免互相混雜，俾能正確按規定比例混合，其混合程序應在冷料供應系統上完成，不得在石料堆放場所混合。

表 6-3 氧化矽粗粒料之品質要求

品質要求項目	規範值
健性 (硫酸鈉)	<12%
(硫酸鎂)	<18%
洛杉磯磨損率	40% 以下
浸水膨脹率	0.5% 以下

2. 細粒料

- (1). 氧化矽細粒料通過 2.36mm(8 號)篩者須潔淨、質地堅硬、緻密、顆粒富有稜角、表面粗糙及不含有有機土、黏土、黏土質沉泥、有機物、其他不礙本工程之品質及功能之有害物，且導入拌合機時不得有結塊之情形。
- (2). 細粒料依[CNS 1167][AASHTO T104]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健性試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於 15%。
- (3). 細粒料其餘品質要求如表 6-4 所示。
- (4). 如需用二種以上不同來源之細粒料時，應分別堆放，其混合程序應在冷料供應系統上完成，不得在粒料堆放場所混合。

表 6-4 氧化矽細粒料之品質要求

試驗方式	規範值
健性 (硫酸鈉)	<15%
(硫酸鎂)	<20%
塑性指數	≤ 4

表 6-5 粒料之相關試驗

試驗項目	試驗方法		
參考規範	AASHTO	CNS	ASTM
粒料之取樣	T2	485 A3004	—
粗粒料磨損試驗	T96	490 A3009(<37.5mm)	—
		3408 A3059(>19.0mm)	—
粒料單位重量標準試驗	T19	1163 A3027	—
粒料健度試驗	T104	1167 A3031	—
粗、細粒料篩分析	T27	486 A3005	—
礦物填縫料篩分析	T37	5265 A3094	—
粗粒料比重，吸水率	T85	488 A3007	—
細粒料比重，吸水率	T133	—	—
細粒料比重，吸水率	T84	487 A3006	—
含砂當量試驗	T176	—	—
粗粒料扁平率	—	—	D4791

3. 礦物填縫料(mineral filler)

- (1). 本工程所稱礦物填縫料，係指通過 0.60mm(30 號)篩之細料，於粗、細粒料經混合結果通過 0.075mm(200 號)篩之材料時使用之。

- (2). 礦物填縫料可用完全乾燥之石灰、石粉末或水泥；或其他經工程司認可之塑性指數小於 4 之無機物粉末，惟不得含有塊狀物，其級配應符合表 6-6 之規定。

表 6-6 礦物填縫料級配表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率
0.60(No.30)	100
0.30(No.50)	95~100
0.075(No.200)	70~100

6.1.3 氧化矽瀝青混凝土粒料供料計畫書

依據工程會施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」中，第 2.1.2 項第(6)點規定「再生粒料供應商於工程進行前，應提送相關供料計畫書，內容陳述該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」。茲將建議之供料計畫書內容要點彙整如表 6-7，以供參考，實際案例請參考附錄二案例。

表 6-7 氧化矽瀝青混凝土粒料供料計畫書

項目	包含內容
產源說明	氧化矽原料來源及製程、產源之氧化矽重金屬 TCLP、pH 值及戴奧辛檢測。
再利用程序及品管說明	再利用機構品管作業程序、允收管制及退運程序、氧化矽再利用生產製程流程、氧化矽再利用產品之重金屬 TCLP、pH 值及戴奧辛檢測、粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測、輻射量檢測及瀝青混凝土粒料產品品質檢測。
相關佐證資料	再利用廠商工廠登記及營業登記資料、再利用登記檢核證明文件及相關檢測報告。

1. 產源說明

- (1). 氧化矽來源鋼廠簡介。
- (2). 鋼廠製程介紹。
- (3). 鋼廠氧化矽相關特性說明。

2. 再利用程序說明

(1). 再利用廠簡介。

(2). 作業方式說明：如再利用機構廠內設施、作業流程及機具設備等。建議詳述包括進料程序、再利用處理操作流程、物料管理及出料管制流程、成品規格及技術重點等。

3. 品管作業說明

(1). 氧化矽進廠品管作業說明。

(2). 加工製程品管作業說明。

(3). 再生粒料成品品管作業說明。

(4). 再生粒料品質規範及檢測項目。

(5). 建議供料稽核方式：檢驗項目、方法及頻率。

4. 相關佐證資料

(1). 再利用廠之資格證明文件及相關標章。

(2). 氧化矽原料之相關檢測報告：應包含重金屬 TCLP、pH 值及戴奧辛檢驗、水合膨脹量檢驗、輻射量檢驗。

(3). 氧化矽粒料成品之品質相關檢測報告：應包含重金屬 TCLP、pH 值及戴奧辛檢驗、水合膨脹量檢驗、輻射量檢驗、瀝青混凝土粒料產品相關品質檢驗報告。

6.2 氧化矽瀝青混凝土之品質管理

6.2.1 瀝青混凝土之混合料

1. 瀝青混凝土面層施築 1 個月前，應由承包商將各項用料採取代表性樣品送往實驗機構辦理配合設計試驗，並據以生產拌合料。
2. 瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配，係因所採用之路面厚度設計方法之不同而異，故承包商所提供之粒料，應符合設計圖說之級配要求，未經工程司之書面許可，不得使用他類級配之粒料。

3. 如設計圖說內未規定粒料之級配時，由工程司根據設計者之設計方法指定之，承包商應即照辦。
4. 經混合後之粒料，其級配之變化，不得自某一篩號之下限，驟變為相鄰篩號之上限，反之亦然，其含砂當量，用於面層者不得少於 50(砂當量)。
5. 瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配及其瀝青含量，依設計圖說之規定。

表 6-8 瀝青混合料之試驗

試驗項目	試驗方法		
	AASHTO	ASTM	CNS
配合設計(AI MS-2)	T245,T246		
垂流試驗	T305		
瀝青混合料最大理論密度	T209	8758 A3150	
瀝青含量抽油及粒料篩分析	T164、T30	D2172	
包裹及剝脫試驗	T182	D2489、D3625	
浸壓試驗	T167,T283(或用馬歇爾方法)	D4867	
拌合廠駐廠試驗	T172	D290	
壓實度試驗	T230		
瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料試驗			CNS 15310

6.2.2 現場之品質管理

1. 施工中，每天應依 AASHTO T172 方法取樣抽驗未經滾壓之瀝青混凝土混合料至 2 次，除另有規定者外，其試驗結果與工地拌合公式之許可差，不得超過表 6-9 之規定。
2. 如經試驗及檢測結果，其壓實度、平整度或厚度未能符合規定時，應即挖除，並就所用材料、施工機具及施工方法等加以檢討改正後，重新鋪築，直至符合規定時為止，否則不得繼續施工。

3. 瀝青混凝土於最後滾壓完成後，在鋪面溫度冷卻至 50℃ 前，應禁止任何車輛行駛其上。

表 6-9 瀝青混凝土混合料每一試樣之各項許可差

篩 分 析 通 過 試 驗 篩 mm(in)	許可差百分率
12.5 及 12.5 以上(1/2in 及 1/2in 以上)之試驗篩	±8
9.5 及 4.75(3/8in 及 No.4)	±7
2.36 及 1.18(No.8 及 No.16)	±6
0.60 及 0.30(No.30 及 No.50)	±5
0.15(No.100)	±4
0.075(No.200)	±3
瀝青含量，%(以瀝青混合料之總重量計算)	±0.5

6.3 檢驗要點

1. 粒料依 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料」，經洛杉磯磨損試驗 500 轉後之磨損率，用於面層、底層、聯結層、整平層、磨耗層等，不得大於 40%，檢驗頻率為 500M³ 做一次。
2. 壓實度
 - (1). 工地密度可利用核子儀依 ASTM D2950 試驗方法或鑽取試樣求之。
 - (2). 壓實度未能符合規定時之處理辦法，應依設計圖說或其他契約文件之有關規定辦理。
3. 平整度
 - (1). 完成後之路面應具平順、緊密及均勻之表面。以 3m 長之直規沿平行於或垂直於路中心線之方向檢測時，其任何一點高低差，面層不得超過±0.6cm，平整度標準差(S)不得大於 0.26cm。
 - (2). 所有高低差超過上述規定部分，應由承包商改善至合格為止。

(3). 所有微小之高凸處、接縫及蜂巢表面，均應以熱燙板燙平。

4. 鋪築厚度

(1). 路面完成後，每 $1,000\text{m}^2$ 應鑽取一件樣品，依 CNS 8755 之試驗法，檢測其厚度，檢測位置以隨機方法決定。所留試洞於檢測後，應即以適當材料回填並予以夯實。

(2). 路面厚度之許可差應按下列規定辦理。

A.許可差：厚度檢測結果，任何一點之厚度不得少於設計厚度 1cm 以上，其全數之平均不得少於設計厚度 0.5cm 以上。

B.超出許可差時之處理辦法依設計圖說規定。

第七章 氧化渣及刨除料再利用之運作與管理

7.1 一般原則

現行事業廢棄物再利用係依廢清法第 39 條規定，授權各中央目的事業主管機關訂定事業廢棄物再利用相關規定及掌理再利用相關業務。再利用管理相關法令依事業廢棄物產生、清除至再利用過程，除前開事業廢棄物再利用管理辦法外，尚有廢棄物再利用前之貯存、清除、紀錄申報等相關規定。各目的事業主管機關依其管理辦法之規定，針對性質安定或再利用技術成熟之廢棄物種類，得公告其再利用種類及管理方式，使再利用機構得逕依該再利用種類及管理方式之規定進行再利用，毋需申請再利用許可。

電弧爐煉鋼爐渣係屬經濟部掌理之業務範圍，有關氧化渣之再利用處理係依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」之規定辦理，其再利用機構係指氧化渣處理為再生粒料之業者，應具備相關資格如下。

1. 依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠。
2. 再利用機構之再利用產品至少為下列之一項：水泥、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。

7.2 氧化渣於廠內貯存

依據廢清法第 31 條規定，氧化渣所屬之事業(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。氧化渣得貯存於露天場所，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，能避免發生污水溢散情形，另各貯存區宜明確標示名稱及產品種類。

依據民國 105 年 6 月 20 日「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」所修訂公告版本，針對氧化渣於再利用機構廠內貯存應符合規定如下列。

1. 氧化渣不得與其他物料混合貯存。

2. 氧化碴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. 氧化碴及其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。

7.3 氧化碴之再利用處理

依據民國 105 年 6 月 20 日「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」所修訂公告版本，氧化碴應經破碎、磁選及篩分等處理，方能進行再利用。針對氧化碴再利用處理過程，建議注意事項詳列如下。

1. 大粒徑之氧化碴，應先經過破碎機軋製成碎粒料規格。
2. 透過磁選處理，將經破碎後之含鐵金屬選出，可降低後端再利用產品鏽蝕情形發生。所選出之鐵金屬應妥善堆存與回收利用，應避免與廠內其它物料相混。
3. 篩分機之篩分柵網，應定期現場檢查有無變形或破損情形發生。
4. 分離之鐵金屬物品應儲放於獨立空間，並有適當隔離設施能避免與其他物料發生混料情形。

7.4 氧化碴之流向管理

1. 再利用用途之產品屬瀝青混凝土粒料者，應符合下列規定：
 - (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，檢具該契約書送經濟部備查，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

及經濟部，提報該批再利用產品使用對象、使用量、庫存量及瀝青混凝土之產生量、銷售對象、銷售量與使用地點相關資料。

2. 再利用用途產品為瀝青混凝土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出廠時間、該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、數量及送達地點，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。

3. 須提供供料計畫書，確保材料品質種類並可溯源，詳請參考表 6-7 及附錄二。

7.5 電弧爐煉鋼爐渣(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渣(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渣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 7-1。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。

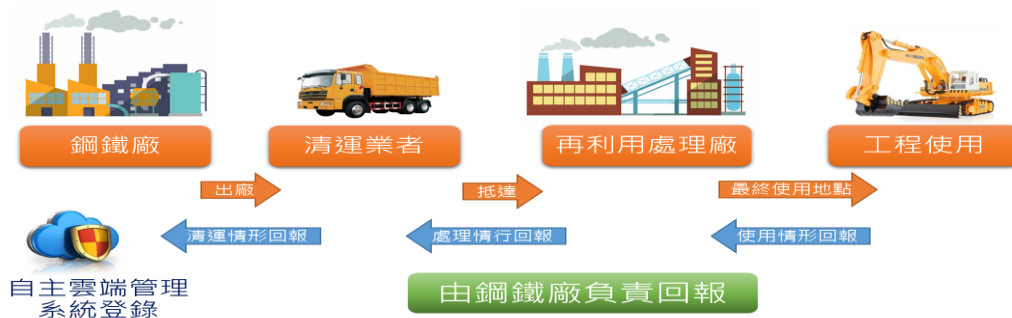


圖 7-1 雲端管理系統流程圖

7.6 氧化碴瀝青混凝土之刨除料

依內政部營建署公告「營建事業再生利用之再生資源項目及規範」規定，瀝青混凝土刨除料其用途可做為瀝青混凝土原料使用，氧化碴瀝青混凝土相關使用建議注意下列使用原則。

1. 氧化碴瀝青混凝土刨除料與一般瀝青混凝土刨除料之比重不同，回收後應分堆儲放，並於再生瀝青混凝土配合設計前進行比重試驗，以利使用與計價量。
2. 刨除料作為瀝青混凝土原料使用時依下列要點處理
 - (1) 氧化碴瀝青混凝土刨除料如同一般瀝青混凝土刨除料，可回收作為再生瀝青混凝土鋪面粒料使用。
 - (2) 依據內政部營建署公告之「營建事業再生利用之再生資源項目及規範」中，針對瀝青混凝土挖(刨)除料作為熱拌再生瀝青混凝土粒料使用以不超過 40% 為限。
 - (3) 建議應依據公共工程會施工綱要規範第 02966 章「再生瀝青混凝土鋪面」說明鋪面工程中之再生瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

第八章 氧化矽瀝青混凝土之應用實例

8.1 國內研究概況

電弧爐氧化矽應用於鋪面工程在國外已有多年經驗，其主要原因為氧化矽具有堅硬、高密度、耐久性佳與良好的粒形等特性，除可應用於鋪面工程之路基、基層、底層與路肩，也是應用於瀝青混凝土粒料的良好材料。氧化矽瀝青混凝土之國內應用實績尚少，以往大多偏於學術研究，針對研究成果彙整如下：

1. 電弧爐氧化矽取代天然粒料應用於瀝青混凝土之研究^[9]，論文中以電弧爐氧化矽資源化再利用應用於瀝青混凝土。其試驗流程主要分成三個階段，第一個階段進行瀝青膠泥、天然粒料與電弧爐矽之基本物理性質試驗；第二階段則針對瀝青混凝土進行馬歇爾配合設計，求取最佳瀝青含量；第三階段主要是製作各種瀝青混凝土試體進行各項成效試驗，根據試驗結果得到初步結論如下：
 - (1). 研究試驗結果顯示，電弧爐矽擁有低扁平率與高破碎面比例，且表面粗糙多角，對於粒料互鎖有提升效果。電弧爐矽還具備含泥量低、磨損率低與健度佳等特性，且依照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法試驗結果顯示，其浸水膨脹比符合規範要求。
 - (2). 研究中使用之電弧爐矽與天然粒料比重差異超過 0.2，因此在配合設計時，須修正其使用重量，以維持體積關係。依照本研究配合設計結果之最佳瀝青含量體積百分率顯示，電弧爐矽取代比例高者最佳瀝青含量也較高。
 - (3). 績效試驗結果顯示，取代組可提升瀝青混凝土之回彈模數、間接張力強度、抗滑性與抵抗車轍能力，因此對於鋪面之整體績效顯示具有提昇之效果。經由烘箱 20 天的加速老化與 20 次之乾濕循環老化之試驗結果顯示，取代組受老化影響較小。本研究進行浸水馬歇爾、煮沸試驗與 AASHTO T283 三種剝脫試驗之結果顯示，取代組抗剝脫之能力優於對照組。
 - (4). 依據研究試驗結果研判，電弧爐矽應可應用於瀝青混凝土。雖然取代組瀝青用量較高使瀝青成本增加，惟電弧爐矽之單價較一般天然粒料低，可看出由電弧爐矽

取代天然粒料仍可降低整體材料之成本，且取代比例越高，可省下之材料成本亦相對地越高，可達到經濟性及廢棄物資源化再利用之目的。

2. 氧化矽再利用於瀝青混凝土之探討^[10]，論文中使用兩種不同並經自然氣冷與蓄水養生安定化三個月以上之電弧爐氧化矽使用於瀝青混凝土中，取代瀝青混凝土中之粗粒料，依不同摻配比例進行成效試驗，密級配瀝青混凝土摻配比例為 0%、20%、40%，瀝青處理底層之摻配比例為 0%、20%及 40%。主要探討氧化矽應用於瀝青混凝土之成效，利用評估節能減碳效應，以達到氧化矽推廣再利用之目的，由相關試驗及評估得到以下幾點結論：

- (1). 氧化矽之物化性質與天然粒料相比差異性不大並符合我國最新公告之 CNS 規範；具有質地堅硬抗風化能力強及粒形較佳的特性，可利用於特殊工程需求，但由於製程之關係較不穩定，常造成配合設計困難，可利用修正方法或減少摻配量來克服其缺點。
- (2). 氧化矽因為含有親油性之氧化鈣成份，能夠抵抗瀝青膠泥之剝脫，而且油膜厚度計算的結果(11 μ m~13 μ m)，足夠的瀝青膠泥包裹能夠防止氧化矽應用於瀝青混凝土時體積之膨脹。
- (3). 於成效試驗中，鋼鐵礦矽之應用，成效與天然粒料相比，大致皆有較良好之性質，唯氧化矽使用於瀝青處理底層時受水份入侵後其滯留強度比值為 77%較天然粒料之 85%來得低；利用凝聚儀所求得之凝聚值經公式計算後，鋼鐵礦矽之瀝青混凝土卵石當量厚度皆較天然瀝青混凝土少，即利用較少之材料就可達到與天然瀝青混凝土相同強度，對於成本之節省有很大之助益。
- (4). 將瀝青混凝土之原料單位碳排放量及原料成本以卵石當量概念計算，當鋼鐵礦矽之摻配量愈多，其減少之原料單位碳排放量及原料成本也愈多且能維持相同之成效。
- (5). 由於鋼鐵礦矽質地堅硬、良好的抗變形能力、抗滑且具抗剝脫性，建議使用鋼鐵礦矽於瀝青混凝土時可以提升摻配量，並分別取代粗粒料、細粒料或填充料或於瀝青混凝土配合設計時不需使用填充料以評估減少之成本與碳排放量。
- (6). 建議後續研究可利用卵石當量厚度之觀念，驗證其應用於工程上之成效試驗性質或鋪設試驗道路進行耐久性、強度與膨脹性質之長期觀察。

3. 廢鑄砂與電弧爐矽混合料取代瀝青混凝土粒料成效探討^[11]，論文中採用廢鑄砂與電弧爐矽混合料取代天然粒料製成瀝青混凝土，進行基本物性試驗與力學試驗，以探討其可行性，研究結果如下：
 - (1). 廢鑄砂粒徑較小，搭配電弧爐矽混合成為粗細粒料兼具的級配構造，將其取代部分天然粒料，進行馬歇爾配合設計，以最佳含油量製作試體進行相關力學試驗，並輔以使用天然粒料之控制組，探討瀝青混凝土成效。
 - (2). 試驗結果顯示，使用廢鑄砂與電弧爐矽混合料製作之瀝青混凝土工程性質與天然粒料密級配瀝青混凝土無異，且力學試驗成效與天然密級配瀝青混凝土相當，顯示用於替代天然粒料極具可行性。
 - (3). 在配合設計方面，由於電弧爐矽具多孔隙特性，使得廢鑄砂與電弧爐矽瀝青混凝土最佳含油量高於天然粒料瀝青混凝土。使用廢鑄砂與電弧爐矽取代天然砂石於瀝青混凝土，不但解決棄置處理的問題，更可充分再利用而達到資源化之目的。

8.2 應用實例

為確保氧化矽應用於瀝青混凝土鋪面能順利進行，自 105 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 8-1 所示，本章依續說明各試鋪工程資訊及成效。成效評估部份主要針對氧化矽瀝青混凝土鋪面與一般瀝青混凝土鋪面進行工程成效之比較，包括路面平坦度、抗滑、回彈模數、車轍等。部份試鋪路段亦進行環境項目之監測，以驗證氧化矽之環境友善性。

表 8-1 氧化碇瀝青混凝土試鋪工程實績一覽表

試鋪工程路段	鋪設完成時間	氧化碇試鋪長度(M)	氧化碇使用比例(%)	瀝青種類
桃 68-1 線試鋪工程	105.12	150	30	AC-20
廠區連絡幹道試鋪	105.04	70	35	AC-20
全興工業區試鋪工程	106.08	150	30	AC-20
		700		
彰濱工業區試鋪工程	106.11	850	30	AC-20
高雄義大路試鋪工程	106.09	530(不銹鋼)	30&40	改質 III 型
		380(碳鋼)	30&40	AC-20
不銹鋼廠內道路試鋪工程	106.05	74	60	AC-20
		60		
		47		

8.2.1 桃 68-1 線試鋪工程

1. 工程資訊

有關桃 68-1 線氧化碇瀝青混凝土試鋪工程^[12]，總路段長度約 630 公尺，分別鋪設氧化碇(碳鋼碇)與再生瀝青面層。為避免路況條件與基底層損壞等外部因素，造成面層成效評估結果影響，選定氧化碇與再生瀝青鋪面各 150 公尺，作為成效試驗與分析之範圍，有關工程區位示意如圖 8-1。有關該工程使用之氧化碇瀝青混凝土材料資訊，詳如所表 8-2 列。

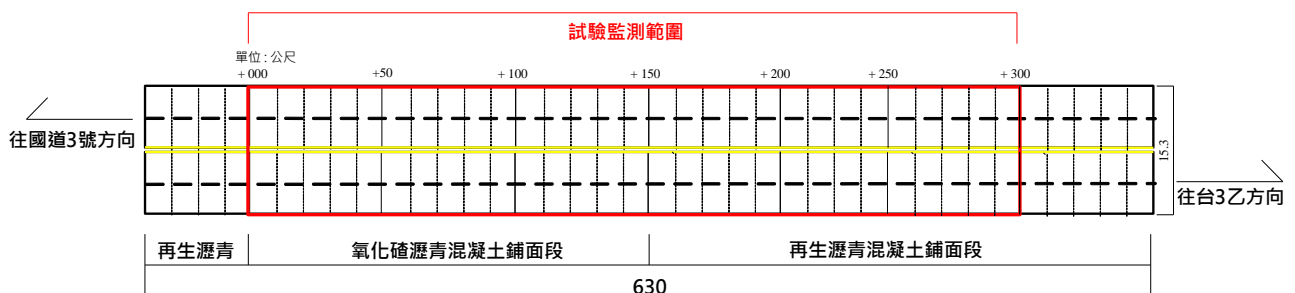
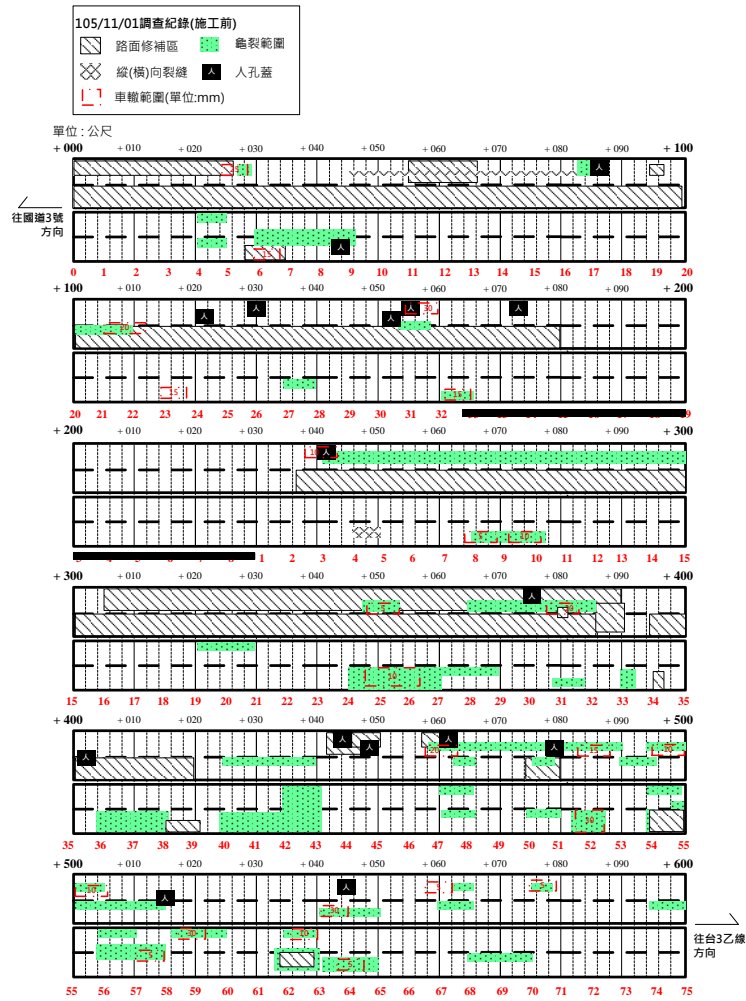
圖 8-1 桃 68-1 線氧化碇瀝青混凝土試鋪工程範圍示意^[12]

表 8-2 桃 68-1 線氧化碴瀝青混凝土試鋪工程配合設計

石料種類	比例(%)	試驗項目	配合設計結果
氧化碴(砂)	30.3	空隙率(%)	4.1
2cm 石	11.1	最佳瀝青含量(%)	4.8
1cm 石	26	穩定值(kgf)	1260
0.5cm 石	14.8	單位重(g/cm ³)	2.508
天然砂	14.8	流度值(0.25mm)	13.1
填充料	3	VMA(%)	16.1
		VFA(%)	72.8

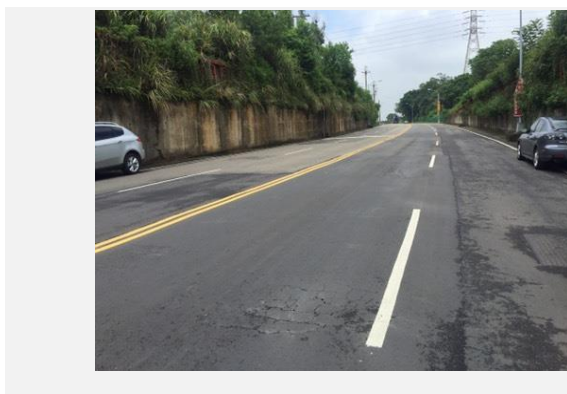
2. 施工前路況調查

本路段施工前路況調查紀錄如圖 8-2 所示，並已通知施工廠商針對嚴重龜裂與車轍等面層處，加強其路基層之修補，以避免影響後續面層的成效分析結果。

圖 8-2 桃 68-1 線施工前道路況調查紀錄^[12]

3. 現場施工與成效試驗

本試鋪路段鋪築前路況與施工過程詳圖 8-3 所示，有關工程檢驗部分，由工程主辦機關依據施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」辦理。以下僅針對氧化矽瀝青混凝土鋪面與再生瀝青混凝土鋪面進行工程成效之比較，包括路面平坦度、抗滑等項，截至完工時之成效監測與分析結果如下說明。



(a) 施工前路況



(b) 施工前路況



(c) 路基改善工程



(d) 路基改善工程



(e) 現場施工



(f) 完工現況

圖 8-3 桃 68-1 線氧化矽瀝青混凝土試鋪工程施工歷程^[12]

(1). 平坦度分析

有關試驗過程與分析結果如圖 8-4 及表 8-3，105 年 12 月完工之氧化矽瀝青混凝土鋪面段，在整體平坦度上較佳。

圖 8-4 平坦度試驗(桃 68-1 線)^[12]表 8-3 平坦度試驗分析結果(桃 68-1 線)^[12]

路段	車行方向	高低平坦儀測值 標準差(mm)	國際糙度指標 IRI(m/km)
氧化矽瀝青混凝土鋪面段	上行	1.1	0.8
	下行	1.5	1.0
再生瀝青混凝土鋪面段	上行	2.1	1.3
	下行	1.6	1.1

(2). 抗滑度分析

有關試驗過程與分析結果如圖 8-5 及表 8-4，可驗證目前氧化矽瀝青混凝土鋪面段，在抗滑能力上較佳。

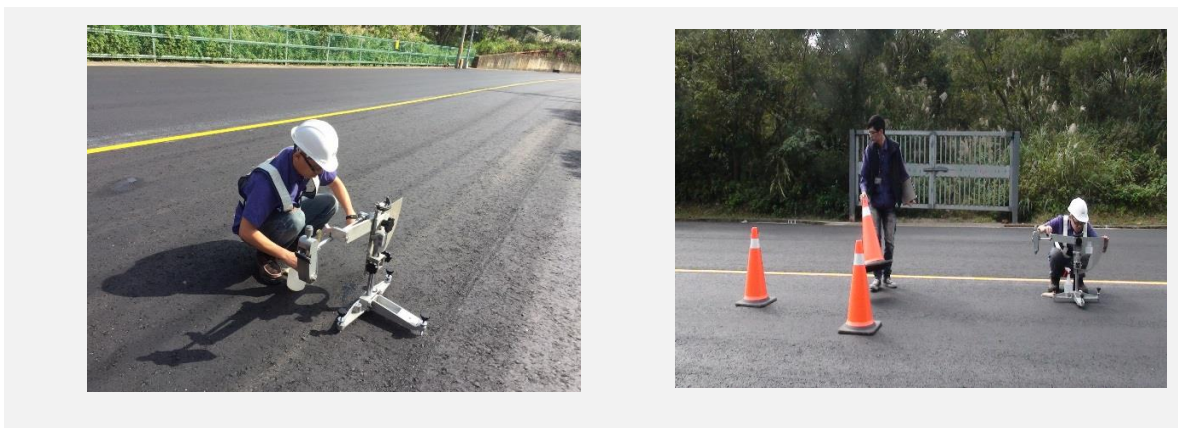
圖 8-5 抗滑試驗(桃 68-1 線)^[12]

表 8-4 抗滑試驗分析結果(桃 68-1 線)^[12]

路段	車行方向	測點位置	英式擺錘數 (BPN)
氧化矽瀝青混凝土鋪面段	上行	輪跡處	90
		非輪跡處	90
	下行	輪跡處	80
		非輪跡處	90
再生瀝青混凝土鋪面段	上行	輪跡處	74
		非輪跡處	75
	下行	輪跡處	80
		非輪跡處	81.5

8.2.2 廠區連絡幹道試鋪

1. 工程資訊

鋼鐵公會於 104 年度委託臺灣營建研究院推動氧化矽瀝青混凝土試鋪作業^[11]，試鋪路段總長為 70 公尺，係為瀝青拌合廠內砂石堆存區前方聯絡幹道，每日皆有砂石車進出補料，預期可有效展現氧化矽瀝青鋪面之特性，有關工程區位示意如圖 8-6 所示。有關該工程使用之氧化矽瀝青混凝土材料資訊，詳表 8-5 所列。

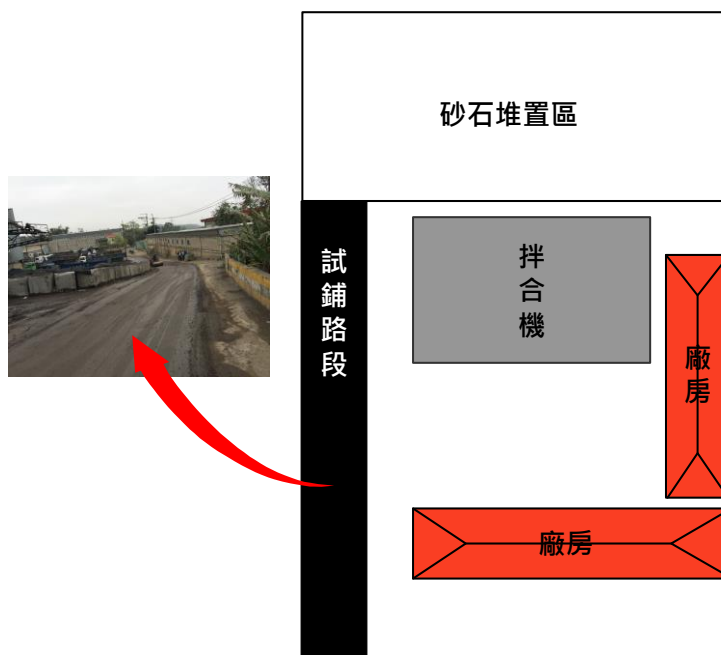


圖 8-6 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪工程示意圖^[13]

表 8-5 廠區聯絡幹道矽瀝青混凝土試鋪工程配合設計

石料種類	比例(%)	試驗項目	配合設計結果
氧化矽(砂)	35	空隙率(%)	4.0
2cm 石	13	最佳瀝青含量(%)	5.0
1cm 石	20	穩定值(kgf)	1623
0.8cm 石	19	單位重(g/cm ³)	2.477
天然砂	10	流度值(0.25mm)	12.1
填充料	3	VMA(%)	15.0

2. 現場施工與檢驗

該案於民國 105 年 4 月 1 日當日鋪設完畢後隨即開放砂石車通行，有關路段施工與完工情況如圖 8-7 所示。為進行氧化矽瀝青混凝土鋪面之檢驗，依據施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」規定，進行材料與道路完成面檢試驗，以確認鋪設之氧化矽瀝青混凝土鋪面符合工程規範要求，茲將相關檢試驗結果如下列。

圖 8-7 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪情況^[13]

(1). 氧化矽瀝青混凝土材料檢驗

於試鋪工程施工當日，即於載運氧化矽瀝青混凝土傾卸車上，分取 3 桶待鋪築之氧化矽瀝青混合料，送至具 TAF 認證之瀝青鋪面實驗室辦理相關檢試驗，包括穩定值、流度值、容積比重、瀝青含量、洗油後粒料篩分析等項目，試驗方式與結果如下列。

A. 穩定值與流度值

有關穩定值與流度值試驗方法依 CNS 12395(以馬歇爾儀試驗瀝青混合料塑性流動阻力試驗法)辦理，其試驗值與配合設計值比對相近；流度值皆符合密級配瀝青混凝土之品質規定，穩定值超過重級交通量之穩定值最低標準，依此氧化矽瀝青混凝土經本工程試鋪，驗證於重級交通量路段亦為適用。有關試驗結果比對綜整如表 8-6，由此可知此設計之氧化矽瀝青混凝土材料之適用性無虞。

表 8-6 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪穩定值與流度值試驗結果^[13]

試鋪工程檢驗值			配合設計試驗		施工規範標準值	
批次	穩定值 (lbf)	流度值 (0.25mm)	穩定值 (lbf)	流度值 (0.25mm)	穩定值 (lbf)	流度值 (0.25mm)
1	3,560	11	3,580	12.1	≥1,800	8~14
2	3,613	10				
3	3,306	10				

B. 容積比重(密度)

瀝青混凝土比重，係作為工程計量之重要換算參數，一般天然粒料之密級配瀝青混凝土之單位約為 $2.3\text{T/m}^3 \sim 2.4\text{T/m}^3$ 間，然氧化矽本身單位重較天然粒料高，故所拌合之氧化矽瀝青混凝土單位重亦高於一般瀝青混凝土，其差異需視氧化矽使用量而定。針對本試鋪之氧化矽瀝青混凝土之比重試驗結果如表 8-7 所示，並與配合設計試驗之單位重值相比兩者約略相近。

表 8-7 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪容積比重(密度)試驗結果^[13]

試鋪工程檢驗值			配合設計試驗
批次	25°C/25°C 容積比重	25°C 密度(T/m ³)	單位重(T/m ³)
1	2.496	2.489	2.477
2	2.493	2.485	
3	2.503	2.495	

C. 瀝青含量

依據施工綱要規範第 02742 篇瀝青混凝土鋪面中，針對施工過程中瀝青混合料檢驗規定，瀝青含量試驗結果與配合設計所定工地拌合公式之許可差，不得超過 $\pm 0.5\%$ 。針對本試鋪之氧化矽瀝青混凝土之瀝青含量試驗結果皆能符合施工綱要規範之要求。

D. 洗油後粒料篩分析

依據施工綱要規範第 02742 篇瀝青混凝土鋪面中，針對施工過程中瀝青混合料檢驗規定，本試鋪之氧化矽瀝青混凝土之洗油後粒料篩分析試驗結果與評估如表 8-8 所示，能符合規範之要求。

表 8-8 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪洗油後粒料篩分析試驗結果^[13]

篩號	試鋪工程檢驗值(%)				配合 設計 試驗 (%)	差值 (%)	施工規範標準	
	批次						許可差 (%)	評估結果
	1	2	3	平均				
1 1/2"	100	100	100	100	100	0	±8	合格
1"	100	100	100	100	100	0		
3/4"	91	92	92	91.6	95	-3.4		
1/2"	75	75	75	75	80	-5		
3/8"	68	67	67	67.3	72	-4.7	±7	
#4	55	53	54	54	52	2		
#8	36	37	37	36.6	40	-3.4	±6	
#16	25	26	26	25.6	29	-3.4		

#30	18	18	18	18	21	-3	±5	
#50	13	12	12	12.3	15	-2.7		
#100	9	8	8	8.3	9	-0.7	±4	
#200	5.2	5.1	4.5	4.9	4.9	0	±3	

(2). 氧化矽瀝青混凝土鋪面檢驗

針對本試鋪工程之鋪面成效部份，針對氧化矽瀝青混凝土路段進行鑽心取樣，後送至具 TAF 認證之瀝青鋪面實驗室辦理相關檢試驗，包括壓實度與厚度等項目，並針對整體試鋪路段進行路況調查，針對試驗方式與結果如下列。

A. 壓實度

依據施工綱要規範第 02742 篇瀝青混凝土鋪面中，針對瀝青混凝土應滾壓至設計圖說所規定之壓實度，組平均值應達到室內平均密度之 96% 以上，且任一工地密度不得低於室內平均密度之 94%。本試鋪路段分別於 15 公尺與 35 公尺處分取兩批鑽心試體，其壓實度檢測結果如表 8-9 所列，皆符合規範之要求。

表 8-9 廠區聯絡幹道氧化矽瀝青混凝土試鋪壓實度試驗結果^[13]

批次	試鋪工程檢驗值		施工規範標準		
	壓實度(%)	平均值	組平均(%)	任一試體(%)	評估結果
1	98	98.5	>96	>94	合格
2	99				

B. 厚度

依據施工綱要規範第 02742 篇瀝青混凝土鋪面中，針對瀝青混凝土鋪築厚度檢驗要求，其路面厚度之許可差，應按其厚度檢測結果，且任何一點之厚度不得少於設計厚度 10% 或 1cm 之較小者。本試鋪路段隨機進行兩點鑽心取樣，經測試體厚度分別為 5.3 公分及 6 公分，皆大於所規劃之鋪築厚度 5 公分之要求。

C. 路況調查

有關路面之現況調查係為試鋪路段作完整測繪紀錄，以作為路面長時間受車行後的變化狀況評估依據。藉此協助瞭解鋪面局部區域之破壞種類、嚴重程度及破壞的範圍，以反應全路段之路況，進而提供相關養護策略，並反應各路段的維修需要程度。本試鋪路段於完工後一年內，路面皆未有任何冒油、車轍或其他破壞情況發生，整體氧化矽瀝青混凝土鋪面鋪築成效良好。

8.2.3 全興工業區試鋪工程

1. 工程資訊

工業局為協助電爐石氧化矽再利用於瀝青混凝土鋪面道路工程，並建立使用者信心，106 年於全興工業區興工路及工西二路辦理氧化矽瀝青混凝土鋪面試鋪工程，並由鋼鐵公會協助供料，以驗證氧化矽粒料替代天然粒料之可行性，拓展氧化矽再利用產品用於公共工程之管道。

本次試鋪工程所分別採用天然粒料與使用氧化矽細粒料 30%(碳鋼矽)做為比較，興工路總長度約為 150m，採創 10cm 鋪 10cm 之方式進行施工；工西二路總長度約為 700m，採創 5cm 鋪 5cm 之方式進行施工。工程區位示意如圖 8-8 及圖 8-9，有關該工程使用之氧化矽細粒料亦提供供料計畫書做為原料品質控管之依據。106.08.06 已完成興工路鋪設，106.08.20 已完成工西二路鋪設，共使用氧化矽約 212 噸。

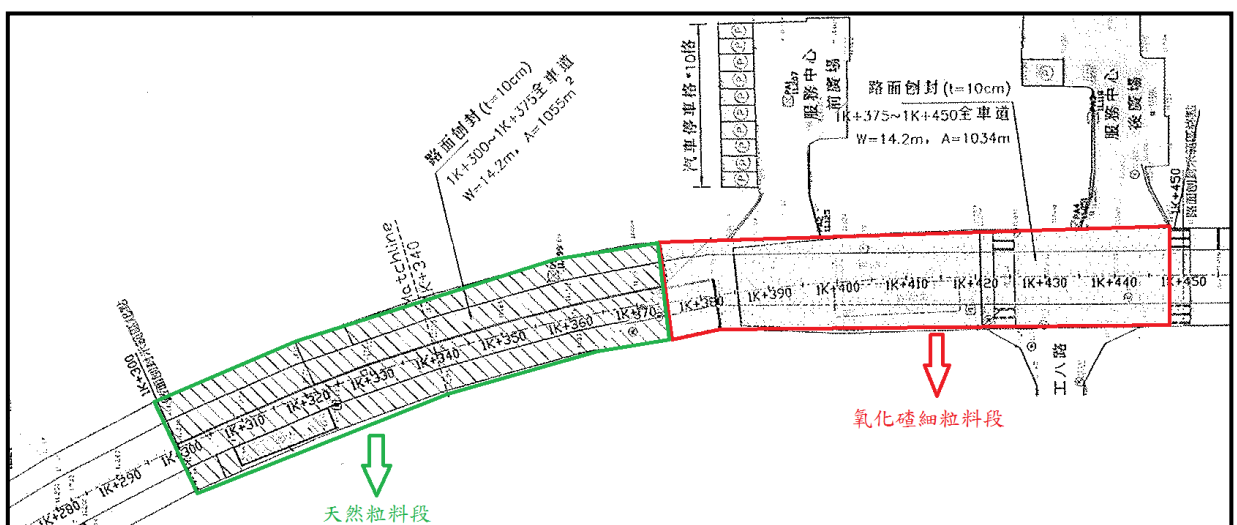


圖 8-8 全興工業區興工路氧化矽瀝青混凝土試鋪工區示意圖

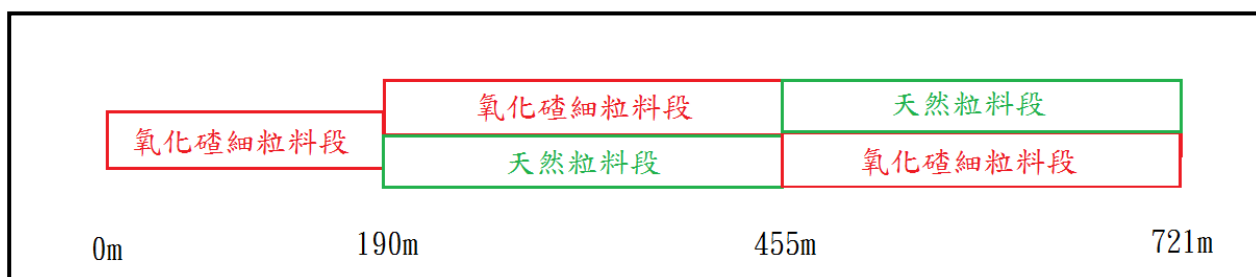


圖 8-9 全興工業區工西二路氧化矽瀝青混凝土試鋪工區示意圖

有關使用全興工業區氧化矽瀝青混凝土試鋪道路配合設計相關資料如下表 8-10 所示：

表 8-10 全興工業區氧化矽瀝青混凝土試鋪道路配合設計

粒料種類	用量(%)	項目	規範值	配合設計
2cm 碎石	20	瀝青類型		AC20
1cm 碎石	18	瀝青含量(%)	-	5
0.5cm 碎石	15	空隙率(%)	3~5	4
砂	14	單位重(kg/m ³)	-	2539
氧化矽	30	穩定值(kgf)	≥817	1514
填縫料	3	流度值(0.25mm)	8~14	13
		VMA(%)	≥12	15.9
		VFA(%)	65~75	74
		滯留強度指數(%)	≥75	89.1
		拌合溫度(°C)	-	154~160
		夯壓溫度(°C)	-	143~148

2. 現場施工與檢驗

本試鋪路段鋪築前路況與施工過程詳圖 8-10 所示，有關工程檢驗部分，由工程主辦機關依據施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」辦理，均符合工程驗收標準。以下僅針對氧化矽瀝青混凝土鋪面與一般瀝青混凝土鋪面進行工程成效之

比較，包括路面平坦度、抗滑、回彈模數、車轍等進行比較說明。且本試鋪路段亦進行地下水監測以驗證氧化矽之環境友善性。



(a) 興工路施工前路況



(b) 工西二路施工前路況



(c) 興工路施工中情況



(d) 工西二路施工中情況



(e) 興工路完工狀況



(f) 工西二路完工狀況

圖 8-10 全興工業區興工路及工西二路氧化矽瀝青混凝土試鋪工程施工歷程

(1) 工程成效說明

初步成效追蹤，氧化矽細粒料路段在抗滑、回彈模數及平整度部份與天然粒料差異不大，因完工日期尚短，將持續追蹤後續情況。有關工程成效相關試驗過程如圖 8-11。



圖 8-11 工程成效試驗(全興工業區)

(2) 地下水監測成效說明

目前監測結果如表 8-11 所示，皆遠低於地下水污染監測標準(第二類)，且與環境背景值接近，無明顯差異。

表 8-11 全興工業區試鋪路段地下水監測結果

檢驗項目	檢驗方法	單位	地下水污染 監測標準(第二類)	背景值 (106.07)	監測結果 (106.10~107.1)
pH	NIEA W424.52A	-	-	6.7~6.8	6.8~7.0
水溫	NIEA W217.51A	°C	-	28.2~29.9	29.4~30.4
砷	NIEA W434.54B	mg/L	0.25	<0.0020	<0.0020
鎘	NIEA W311.53C	mg/L	0.025	ND	ND
銅	NIEA W311.53C	mg/L	5	ND	ND
鉻	NIEA W311.53C	mg/L	0.25	ND	ND
鉛	NIEA W311.53C	mg/L	0.25	ND	ND
鋅	NIEA W311.53C	mg/L	25	0.01	<0.010
汞	NIEA W330.52A	mg/L	-	ND	ND
鎳	NIEA W311.53C	mg/L	-	<0.0020	ND

8.2.4 彰濱工業區試鋪工程

1. 工程資訊

工業局為協助電爐石氧化矽再利用於瀝青混凝土鋪面道路工程，並建立使用者信心，106 年於彰濱工業區彰濱路辦理氧化矽瀝青混凝土鋪面試鋪工程，並由鋼鐵公會協助供料，以驗證氧化矽粒料替代天然粒料之可行性，拓展氧化矽再利用產品用於公共工程之管道。

本次試鋪工程所分別採用天然粒料與使用氧化矽細粒料 30%(碳鋼矽)各半做為比較，彰濱路總長度約為 850m，0k+100~0k+540 為氧化矽瀝青混凝土示範區，車道寬約 7.5 公尺，採刨 5cm 鋪 5cm 之方式進行施工，鋪設面積約 3,225M²。工程區位示意如圖 8-12，有關該工程使用之氧化矽細粒料亦提供供料計畫書做為原料品質控管之依據，其內容摘要如表 6-7。106.11.21 已完成彰濱路鋪設，共使用氧化矽約 133 噸。



圖 8-12 彰濱工業區彰濱路氧化矽瀝青混凝土試鋪工區示意圖

有關使用彰濱工業區氧化矽瀝青混凝土試鋪道路配合設計相關資料如下表 8-12 所示：

表 8-12 彰濱工業區氧化矽瀝青混凝土試鋪道路配合設計

粒料種類	用量(%)	項目	規範值	配合設計
2cm 碎石	20	瀝青類型		AC20
1cm 碎石	18	瀝青含量(%)	-	4.9
0.5cm 碎石	15	空隙率(%)	3~5	4
砂	14	單位重(kg/m ³)	-	2534
氧化矽	30	穩定值(kgf)	≥817	1403
填縫料	3	流度值(0.25mm)	8~14	13
		VMA(%)	≥12	13.3
		VFA(%)	65~75	71
		滯留強度指數(%)	≥75	89.9
		拌合溫度(°C)	-	154~160
		夯壓溫度(°C)	-	143~148

2. 現場施工與檢驗

本試鋪路段鋪築前路況與施工過程詳圖 8-13 所示，有關工程檢驗部分，由工程主辦機關依據施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」辦理，均符合工程驗收標準。



(a) 彰濱路施工前路況



(b) 彰濱路施工中情況



(c) 彰濱路施工中情況



(d) 彰濱路完工路況

圖 8-13 彰濱工業區彰濱路氧化矽瀝青混凝土試鋪工程施工歷程

(1) 工程成效說明

本路段因於近期施工完成，後續將現地進行工程成效量測。

(2) 地下水監測成效說明

目前已完成背景值監測結果如表 8-13 所示，遠低於地下水污染監測標準(第二類)，且與環境背景值接近，無明顯差異。

表 8-13 彰濱工業區試鋪路段地下水監測結果

檢驗項目	檢驗方法	單位	地下水污染 監測標準(第二類)	背景值 LS04 (106.11.06)	背景值 LS100 (106.11.06)
pH	NIEA W424.52A	-	-	7.1	7.5
水溫	NIEA W217.51A	°C	-	26.1	25.8
砷	NIEA W434.54B	mg/L	0.25	<0.020	<0.020
鎘	NIEA W311.53C	mg/L	0.025	ND	ND
鉻	NIEA W311.53C	mg/L	0.25	ND	ND
銅	NIEA W311.53C	mg/L	5	ND	ND
鉛	NIEA W311.53C	mg/L	0.25	ND	ND
鋅	NIEA W311.53C	mg/L	25	<0.020	<0.020
汞	NIEA W330.52A	mg/L	-	ND	ND
鎳	NIEA W311.53C	mg/L	-	ND	ND

8.2.5 高雄義大路試鋪工程

1. 工程資訊

有關義大路氧化矽瀝青混凝土試鋪工程，是高雄市政府工務局委由義守大學協助辦理相關試鋪研究，總路段長度約 530 公尺，其中分為不銹鋼氧化矽(530M)與碳鋼氧化矽(380M)之試鋪段，並分別採用不同摻配比與瀝青作為比較，評估不銹鋼氧化矽與碳鋼氧化矽應用於瀝青混凝土的適用性，並持續對氧化矽瀝青混凝土鋪面進行成效量測，以提升工程單位使用氧化矽瀝青混凝土之信心。有關試鋪工程區位示意如圖 8-14。106 年 9 月 24 日業已完成義大路鋪設。

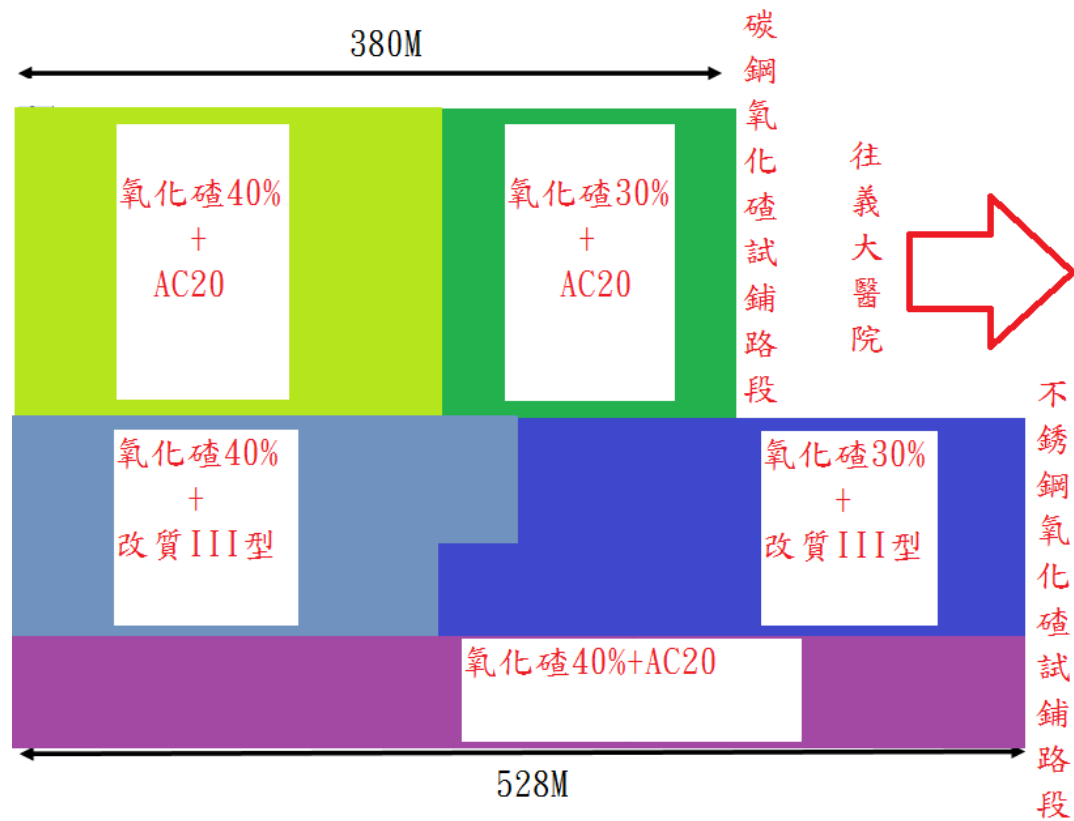


圖 8-14 高雄義大路氧化矽瀝青混凝土試鋪工區示意圖

有關使用高雄義大路氧化矽瀝青混凝土試鋪道路相關資料整理如下表 8-14 所示：

表 8-14 高雄義大路氧化矽瀝青混凝土試鋪道路相關資料

項目	碳鋼氧化矽路段		不銹鋼氧化矽路段	
重量百分比(%)	30	40	30	40
含油量(%)	4.2	4.0	4.3	4.3
瀝青種類	AC-20		改質Ⅲ型	
拌合溫度(℃)	160		190	
夯壓溫度(℃)	145		180	

2. 現場施工與檢驗

本試鋪路段鋪築前路況與施工過程詳圖 8-15 所示，依據施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」辦理，均符合工程驗收標準。以下僅針對碳鋼氧化碴瀝青混凝土鋪面與不銹鋼混凝土鋪面進行工程成效之比較，包括路面平坦度、抗滑、車轍等進行比較說明。



(a) 義大路施工前路況



(b) 義大路施工中情況



(c) 義大路施工中情況



(d) 義大路完工路況

圖 8-15 高雄義大路氧化碴瀝青混凝土試鋪工程施工歷程

有關工程成效相關試驗過程如圖 8-16。

鋪面平坦度標準差愈低，表示路面愈平坦。透過平坦度監測儀器量測，並統計其標準差，可驗證目前氧化碴瀝青混凝土鋪面段，在整體平坦度上較佳。依 106 年 12 月量測結果義大路試鋪路段，不論使用碳鋼氧化碴或不銹鋼氧化碴，鋪設後平坦度標準差均小於 2.0mm，顯示路面平整。依 106 年 12 月量測結果義大路試鋪路段，不論使用碳鋼氧化碴或不銹鋼氧化碴，剛鋪設後之鋪面 BPN 均大於 60，顯示路面抗滑能力佳。



(a) 平坦度量測



(b) 抗滑試驗

圖 8-16 工程成效試驗(高雄義大路)

8.2.6 不銹鋼廠內道路試鋪工程

1. 工程資訊

不銹鋼廠於 106 年度因自辦廠內道路工程，委託中華鋪面工程學會協助辦理氧化矽瀝青混凝土道路鋪設之規劃，而試鋪路段總長約為 181 公尺，共分三段詳見圖 8-17，分列如下：

A：位於倉庫北側路面。

B：二道門南側道路鋪面。

C：直棒廠房西側新設道路。

上述路段為不銹鋼廠內車輛通行道路，每日重覆車輛進出，約 350 輛預期可有效展現不銹鋼氧化矽瀝青鋪面之特性，該路段業於 106 年 5 月完工。

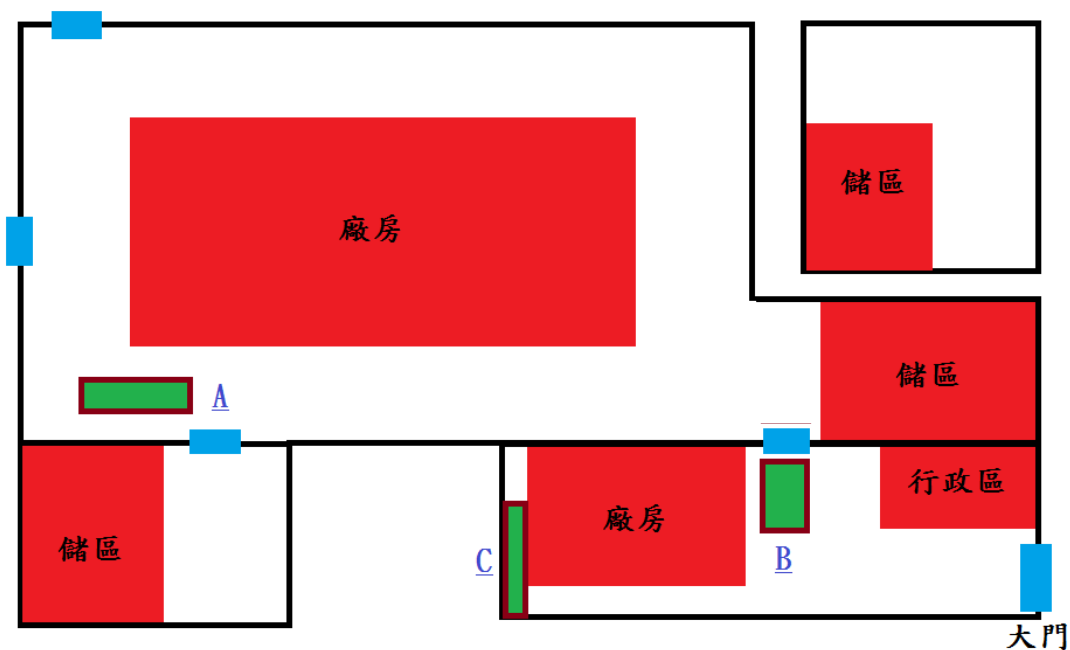


圖 8-17 廠內道路試鋪工程工區示意圖

有關該工程使用之氧化矽瀝青混凝土路段資訊，整理詳表 8-15。

表 8-15 不銹鋼廠廠內氧化矽瀝青混凝土試鋪道路相關資料

粒料種類	用量(%)	路段	氧化矽使用重量比	厚度 (cm)	長度 (m)	寬度 (m)
天然石三分料	25	A	60%	20	74	9.4
天然砂	12	B	60%	20	60	22
氧化矽六分料	10	C	60%	10	47	7.2
氧化矽三分料	20					
氧化矽細粒料	30					
填縫料	3					

2. 現場施工與檢驗

不銹鋼廠區內試鋪路段鋪築前路況與施工過程詳圖 8-18 所示。以下僅針對氧化矽瀝青混凝土鋪面與一般瀝青混凝土鋪面進行工程性質及路面成效進行評估等進行比較說明。另廠內試鋪路段亦進行環境相關監測以驗證氧化矽之環境友善性。



(a) 廠內道路施工前路況



(b) 廠內道路施工中情況



(c) 廠內道路施工中情況



(d) 廠內道路完工路況

圖 8-18 不銹鋼氧化矽瀝青混凝土道路試鋪工程施工歷程

(1). 工程成效說明

實驗室經相關試驗結果，將氧化矽粒料與天然粒料瀝青混凝土性質彙整比較整理如表 8-16。

表 8-16 不銹鋼氧化矽瀝青混凝土工程成效比較表

項目	氧化矽段	一般路段
間接張力	優	合格
穩定值	優	合格
回彈模數	優	合格
潛變模數	優	合格

註：合格表示符合規範要求。

根據本試驗結果。氧化矽形狀方正且硬度大，顆粒間互鎖能力高，有助於提升抗車轍能力，並可增加瀝青混凝土的結構強度，使得氧化矽瀝青混凝土之性質優於天然粒料瀝青混凝土。因氧化矽之強度、磨損等性質較佳，氧化矽取代 60%，即完全取代粗粒料之瀝青混凝土其效果為最佳。在馬歇爾試驗所測得的各項數據中，氧化矽瀝青混凝土相比天然粒料瀝青混凝土除 VFA 略低，空隙率略高外，其餘四項數值(流度值、穩定值、單位重、VMA)均有明顯優勢。根據浸水滯留強度結果，發現氧化矽取代天然粒料，其氧化矽瀝青混凝土抵抗剝脫能力優於對照組天然粒料瀝青混凝土。

氧化矽瀝青混凝土在間接張力、浸水滯留強度、回彈模數及潛變模數各方面表現均優於天然石瀝青混凝土，顯示其力學性質優於天然粒料瀝青混凝土。相關試驗結果如圖 8-19 所示。

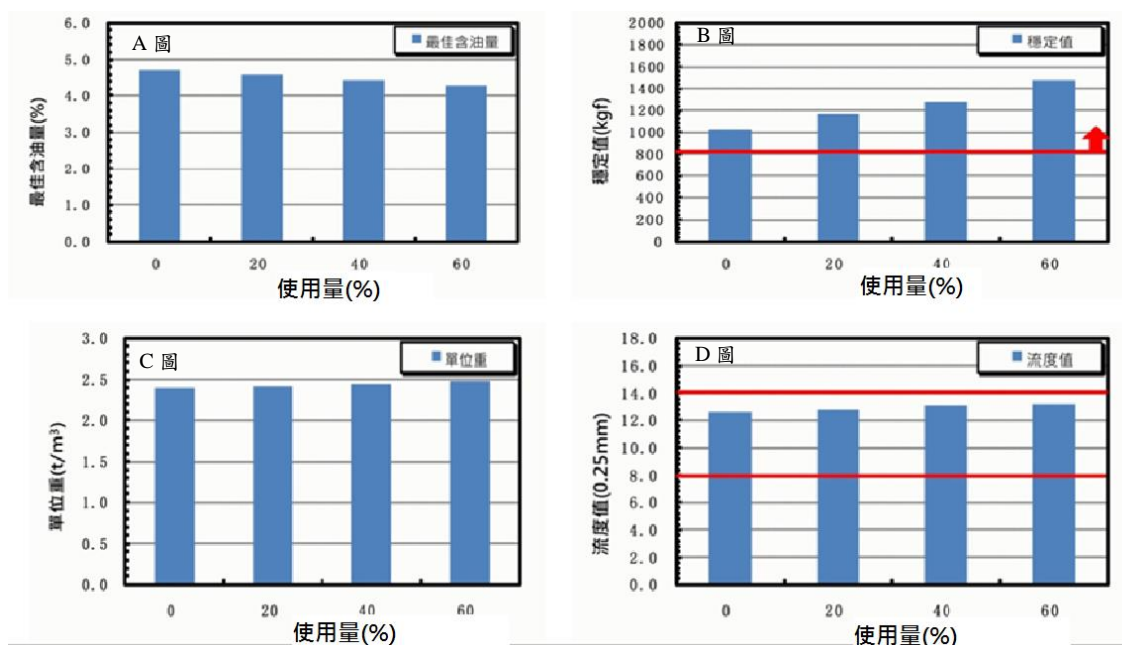


圖 8-19 不銹鋼廠內道路氧化矽瀝青混凝土試鋪工程相關試驗成果

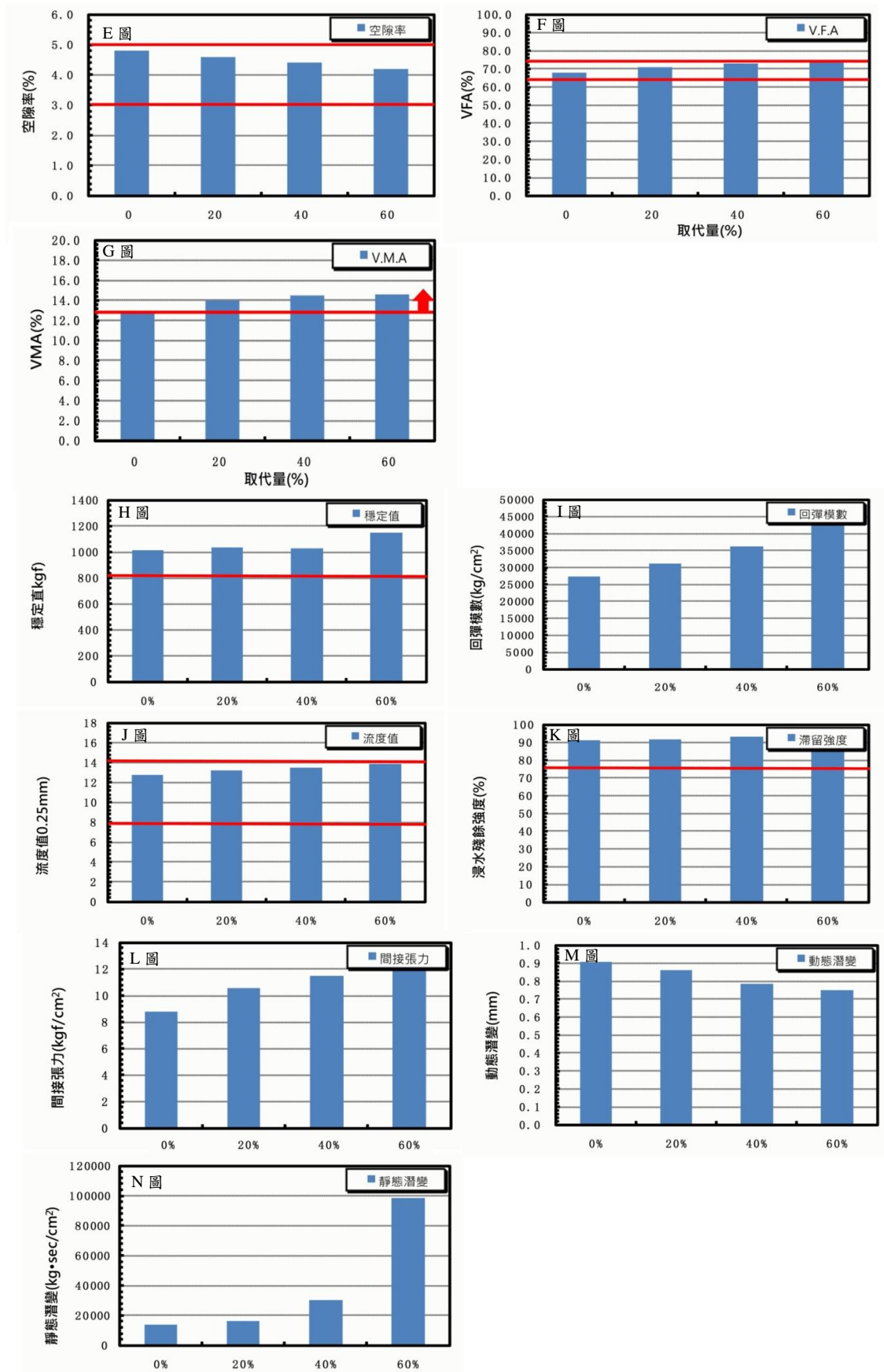


圖 8-19 不銹鋼廠內道路氧化矽瀝青混凝土試鋪工程相關試驗成果

(2). 環境監測成效說明

環境監測結果如表 8-17 所示，相關檢測結果均遠低於地下水污染監測標準(第二類)及土壤管制標準，顯示氧化矽應用於道路工程中，並無污染情形發生。

表 8-17 不銹鋼廠內試鋪道路段環境監測結果

檢驗項目	單位	地下水污染 監測標準(第 二類)	地下水監測結果 (鋪設完成 2 個月後)	單位	土壤污染管制標準	土壤監測結果 (鋪設完成 3 個月後)
pH	-	-	7.1	-	-	-
水溫	℃	-	26.1	℃	-	-
砷	mg/L	0.25	0.0013	mg/kg	60	9.95
鎘	mg/L	0.025	ND	mg/kg	20	<0.33
鉻	mg/L	0.25	0.002	mg/kg	250	80
銅	mg/L	5	ND	mg/kg	400	13
鉛	mg/L	0.05	ND	mg/kg	2000	15.3
鋅	mg/L	25	0.013	mg/kg	2000	68.44
汞	mg/L	0.01	0.0002	mg/kg	20	ND
鎳	mg/L	0.5	0.009	mg/kg	200	57

8.3 綜合效益評估

綜合效益評估部份主要針對上述氧化矽瀝青混凝土鋪面試鋪路段與一般瀝青混凝土鋪面進行工程成效之比較，包括路面平坦度、抗滑、回彈模數、車轍等。部份試鋪路段進行評估亦進行環境項目之監測，以驗證氧化矽之環境友善性。

1. 平坦度：鋪面平坦度標準差愈低，或估算的 IRI 值愈小，表示路面愈平坦。參考 ASTM E1926-98 規範，係透過平坦度監測儀器進行國際糙度指數(IRI)量測，可驗證目前氧化矽瀝青混凝土鋪面段，在整體平坦度上較佳。
2. 抗滑能力：抗滑能力量測採英式擺錘試驗係量測鋪面，路面抗滑能力對開車的安全性是最大的關鍵因素，特別是雨天或潮溼路面。經過輪胎摩擦及碾壓作用，因壓密作用致粒料表面紋裡變緻密，所以經過開放通車後其抗滑值 BPN 變低，可透過抗滑能力係以 BPN(British Pendulum Number)值作為

車行安全評估，BPN 值介於 0 與 140 之間，值越大表示防滑性能越好，其摩擦性越大。

3. 車轍：瀝青混凝土路面經車輪重複輾壓而形成凹陷路面形成即為車轍，其主要因素一般可分為二類，第一類來自於鋪面基底結構的問題，第二類則是由面層的瀝青混凝土所造成的。車轍之量測以三米直規進行量測，依內政部營建署「市區道路鋪面養護作業手冊」敘明車轍常發生在車輛重覆載重之處，凹陷形成槽狀至少 6 公尺，明顯車轍深度為 6~13mm，中級車轍深度為 14~25mm，嚴重車轍深度為 38mm 以下，極嚴重車轍深度 38mm 以上。
4. 回彈模數(Resilient Modulus)：係瀝青混凝土受載重後所能回復之最大強度，可利用現地鑽心取得試樣，並依據 ASTM D4123 方法進行測試，評估瀝青混合料之彈塑性行為的差異，可分析不同材料相對的性質差異，理論上回彈模數越高者對抵抗車轍有助益；但過高的回彈模數對於疲勞龜裂較敏感。
5. 環境監測：為驗證氧化矽之環境友善性，部份路段依工業局建議本試鋪道路段上、下游分別針對重金屬及 pH 值進行地下水監測將持續 5 年，施工前先辦理背景值監測，前兩年每季辦理一次，第三年起採每半年監測一次。目前均可符合相關環境規範，無環境污染之虞。
6. 其他工程效益方面，根據相關研究與文獻資料，茲將氧化矽應用在密級配瀝青混凝土之效益彙整如下：
 - (1). 不銹鋼氧化矽洛杉磯磨損試驗磨損率低於天然粒料，因而能增加路面耐磨性，及提高車胎與路面之摩擦力，提高行車安全。
 - (2). 氧化矽為親油性，比天然粒料對於瀝青包裹力佳，遇水時比較不容易發生剝脫現象。
 - (3). 氧化矽馬歇爾穩定值較高，路面承载力有較佳之表現。
 - (4). 氧化矽瀝青混凝土流度值較天然粒料低，有助抵抗車轍變形之效果。
 - (5). 仍有極少量銹斑，但並不影響觀瞻。

第九章 氧化矽瀝青混凝土鋪面工程相關規範及應注意事項

9.1 材料管理注意事項

為確保氧化矽瀝青混凝土品質能符合鋪面工程需求，並滿足工程會施工綱要規範第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」及第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」對於品質規格與檢驗之規定。本章節提出氧化矽應用於鋪面工程整體應注意事項，以供使用本材料時之參考。

9.1.1 瀝青膠泥

1. 使用時因所用場地或目的不同，應依實際狀況選用瀝青膠泥之種類與等級。
2. 使用瀝青膠泥時宜依相關試驗方法進行試驗以確認其品質符合要求。

9.1.2 粒料

1. 使用時宜依所用場地或目的不同，應依實際狀況選用粒料之種類與級配。
2. 使用粒料時宜依相關試驗方法進行試驗以確認其品質符合要求。
3. 粗粒料
 - (1). 粗粒料為停留於 2.36mm(8 號)篩上者，須潔淨、質地堅硬、緻密、耐磨及級配良好者，不可含有易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他妨礙工程品質及功能之有害物，並應具有與瀝青材料混合後，雖遇水而瀝青不致剝落之性能。
 - (2). 粗粒料依 CNS 490，經洛杉磯磨損試驗 500 轉後之磨損率，用於面層之磨損率不得大於 40%。
 - (3). 粗粒料依 CNS 1167 或 AASHTO T104 試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於 12%；硫酸鎂溶液之方法其重量損失不得大於 18%。

4. 細粒料

- (1). 細粒料通過 2.36mm(8 號)篩者，須潔淨、質地堅硬、緻密、顆粒富有稜角、表面粗糙及不含有有機土、黏土、黏土質沉泥、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物，且導入拌合機時不得有結塊之情形。
- (2). 細粒料依 CNS 1167 或 AASHTO T104 試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉健度試驗結果，其重量損失不得大於 15%。

5. 礦物填縫料

- (1). 礦物填縫料係指通過 0.60mm(30 號)篩之細料，於粗、細粒料經混合結果缺少通過 0.075mm(200 號)篩之材料時使用之。
- (2). 礦物填縫料可用完全乾燥之粒料灰、礦物填縫料末或水泥；或其他經工程司認可之塑性指數小於 4 之無機物粉末，惟不得含有塊狀物。

9.1.3 氧化矽

1. 外觀：氧化矽呈現灰色或灰黑色，以塊狀顆粒為主，次為粗顆粒，粉末狀顆粒僅占少數，其粒型凹凸有菱角，且表面粗糙多孔，屬孔隙結構。
2. 比重：氧化矽因鐵質氧化物金屬含量較高，比重介於 2.5~3.7 之間，平均值為 3.1，比重較天然粒料高^[6]。
3. 粒徑：為了降低銹斑產生，除加強磁選外，可使用不銹鋼氧化矽或粒徑小於 2.36mm 之碳鋼氧化矽。
4. 吸水率：氧化矽吸水率大約在 1.5%~6.8%之間，平均值為 3.6%，較天然粒料之吸水率高，此係為氧化矽多孔隙所造成^[6]。
5. 吸油率(absorption)：氧化矽吸油能力比一般天然粒料稍微高一些。
6. 膨脹性：依 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」進行膨脹性試驗，氧化矽膨脹量低於 0.5%之法規要求。
7. 適用性：本手冊建議碳鋼氧化矽適合取代細粒料，不銹鋼氧化矽適合取代粗、細粒料。

8. 使用比率建議：碳鋼氧化矽使用在細粒料建議以不超過全部粒料重量百分比 40% 為原則。不銹鋼氧化矽可使用在粗、細粒料，但須依配合設計決定。

9.2 氧化矽瀝青混凝土之品質管理

9.2.1 氧化矽瀝青混凝土之混合料

1. 氧化矽瀝青混凝土面層施築前，應由承包商將各項用料採取代表性樣品送往實驗機構辦理配合設計試驗，並據以生產拌合料。
2. 氧化矽瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配，係因所採用之路面設計不同而異，故承包商所提供之粒料，應符合設計圖說之級配要求。
3. 如設計圖說內未規定粒料之級配時，由工程司根據設計者之設計指定之。
4. 經混合後之粒料，其級配之變化，不得自某一篩號之下限，驟變為相鄰篩號之上限，反之亦然，其含砂當量，用於面層者不得少於 50(砂當量)。
5. 氧化矽瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配及其瀝青含量需符合依設計圖說之規定。

9.2.2 配合設計

1. 依瀝青膠泥黏度(一般為動黏度 170 ± 20 cSt)決定之拌合溫度，拌合各試樣。
2. 依瀝青膠泥黏度(一般為動黏度 280 ± 30 cSt)決定之夯打溫度，夯製各馬歇爾試體。
3. 概估混合粒料之初始需求瀝青用量：氧化矽密級配瀝青混凝土之配合設計起始瀝青用量(P_A)可用以下經驗公式估算：

$$P_A(\%) = 0.035 \times a + 0.045 \times b + K \times c + F \dots \dots \dots (4.1)$$

式中 a = 混合粒料停留於 2.36mm(No.8)篩百分率。

b = 混合粒料通過 2.36mm(No.8)篩，停留 75 μ m(No.200)篩百分率。

c = 混合粒料通過 75 μ m(No.200)篩百分率。

$K = 0.15$ ，當 $c = 11 \sim 15$

$K = 0.18$ ，當 $c = 6 \sim 10$

$K = 0.20$ ，當 $c \leq 5$

$F=0\sim 2.0$ ，視粒料吸水率高低而異，若無相關數值可參照，建議值為 0.7

9.2.3 氧化矽瀝青混凝土產製注意事項

1. 氧化矽瀝青混凝土拌合階段

- (1). 氧化矽瀝青混凝土拌合生產前，應查驗拌合設備是否足以應付生產所需，依據試驗室配合設計之拌合公式，以拌合廠設備進行廠拌。工程單位宜委託專業人員駐廠與現地檢驗材料、設備之定期檢驗及施工過程督導，確保氧化矽瀝青混凝土之施工品質。
- (2). 氧化矽瀝青混凝土拌合生產過程，包括拌合順序、乾溼拌合時間、拌合溫度等與傳統瀝青混凝土相同，均須符合公共工程施工綱要規範第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」規定。
- (3). 氧化矽瀝青混凝土比重較大，每單位重量之體積量(m^3)相對較小，拌合生產數量計量方式通常以重量單位配置粒料比例，故計量時若以容積計算需注意體積換算問題，並換算符合之生產數量及計價。
- (4). 氧化矽瀝青混凝土生產出料過磅單仍須以重量單位表示，以利工程單位作為驗收計價依據。

9.2.4 氧化矽瀝青混凝土施工及驗收之注意事項

1. 施工中，每天應依 CNS 12388 或 AASHTO T172 方法取樣抽驗未經滾壓之瀝青混凝土混合料至少 2 次，除另有規定者外，其試驗結果與工地拌合公式之許可差，不得超過表 9-1 之規定。

表 9-1 瀝青混凝土混合料每一試樣之各項許可差

篩分析通過試驗篩 mm(in)	許可差百分率
12.5 及 12.5 以上(1/2in 及 1/2in 以上)	± 8
9.5 及 4.75(3/8in 及 No.4)	± 7
2.36 及 1.18(No.8 及 No.16)	± 6
0.60 及 0.30(No.30 及 No.50)	± 5
0.15(No.100)	± 4
0.075(No.200)	± 3

篩分析通過試驗篩 mm(in)	許可差百分率
瀝青含量，%(以瀝青混合料之總重量計算)	±0.5

2. 如經試驗及檢測結果，其壓實度、平整度或厚度未能符合規定時，應即挖除或依契約規定辦理，並就所用材料、施工機具及施工方法等加以檢討改正後，重新鋪築，直至符合規定時為止，否則不得繼續施工。
3. 瀝青混凝土於最後滾壓完成後，在鋪面溫度冷卻至 50°C 前，應禁止任何車輛行駛其上。

參考文獻

- [1] 電弧爐氧化碴資源化於透水性混凝土磚之可行性研究，朝陽科技大學，碩士論文，楊志祥，2006。
- [2] 電弧爐還原碴應用於控制性低強度材料及其安定化成效評估研究，國立中央大學，碩士論文，曾仕文，2012。
- [3] 電弧爐煉鋼爐碴特性及取代混凝土粗粒料之研究，國立中央大學，碩士論文，鄭清元，2000。
- [4] 轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊及注意事項，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面研討會論文集，沈得縣、李承劬，2011。
- [5] 氧化碴基本物理性質試驗，台灣鋼鐵工業同業公會/國立中央大學，2017。
- [6] 電弧爐碴重金屬溶出特性及作為級配材料之可行性研究，國立成功大學，碩士論文，蘇鈺荃，2011。
- [7] 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法，經濟部，2016。
- [8] 推動氧化碴瀝青混凝土鋪築道路成果案例分享，林登峰，2017。
- [9] 電弧爐氧化碴取代天然粒料應用於瀝青混凝土之研究，淡江大學土木工程學系碩士論文，伍鴻昌，2004。
- [10] 氧化碴再利用於瀝青混凝土之探討，鋪面工程 9 卷 4 期，林志棟、林凱悅、呂柏璋，2009。
- [11] 廢鑄砂與電弧爐碴混合料取代瀝青混凝土粒料成效探討，工業污染防治季刊第一百零三期，廖啟州、黃偉慶、蘇茂豐，2007。
- [12] 資源再生產業推動及審查管理計劃-輔導鋼爐碴再利用機構提升營運管理與擴大市場通路，經濟部工業局/財團法人台灣綠色生產力基金會/財團法人臺灣營建研究院，2016。
- [13] 電弧爐煉鋼爐碴驗證管理及技術推動專案計劃，台灣鋼鐵工業同業公會/財團法人臺灣營建研究院，2016。

附錄一 公共工程施工綱要規範

參考附錄一時，請依下列要點辦理：

- (1)依「公共工程施工綱要規範使用及編修應注意事項」第2點：「綱要規範係工程會訂定之通案原則性施工規範參考範本，提供依政府採購法辦理工程採購之機關、法人或團體，或受機關委託辦理工程技術服務之廠商〔以下合稱使用者〕「參考使用」，以提升公共工程設計及施工品質。」。
- (2)依「標準法」第4條，國家標準採自願性方式實施，但經各該目的事業主管機關引用全部或部分內容為法規者，從其規定。

第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」

1. 通則

1.1 本章概要

說明各類瀝青混凝土面層及底層之相關施工規定及要求。

1.2 工作範圍

本項工程包括瀝青混凝土之儲存、材料之拌合處理、拌合廠、運搬、鋪裝設備及有關各類瀝青混凝土面層及底層鋪築之一般要求與規定。

1.3 相關章節

1.3.1 第 02714 章--瀝青處理底層

1.3.2 第 02742 章--瀝青混凝土鋪面

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準(CNS)

- (1) CNS 490 粗粒料(37.5mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
- (2) CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法
- (3) CNS 5265 瀝青鋪面混合料用礦物填縫料篩分析試驗法

1.4.2 美國道路及運輸官員協會(AASHTO)

- (1) AASHTO M226 Viscosity Graded Asphalt Cement
- (2) AASHTO T172 Bituminous Mixing Plant Inspection
- (3) AASHTO T176 含砂當量試驗法
- (4) AASHTO T179 Effect of Heat and Air on Asphalt Materials (Thin-Film Oven Test)
- (5) AASHTO T240 Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin Film Oven Test)

1.4.3 美國材料試驗協會(ASTM)

- (1) ASTM D3381 鋪面瀝青膠泥黏滯度分類規範

2. 產品

2.1 材料

2.1.1 粒料

(1) 一般要求

粗粒料與細粒料應為潔淨，不含分解材料、植物及其他有害物質。停留於 2.36mm(8 號)篩以上之粒料為粗粒料，通過 2.36mm(8 號)篩之粒料為細粒料。

(2) 粗、細粒料

- A. 粗粒料之組成，粒料中至少應有[75][90][]%為碎石顆粒。依照 CNS 490 之規定，旋轉 500 轉後，其磨損率密級配不得大於[40][]%，開放級配不得大於[35][]%。依照 CNS 1167，經過五循環之粒料硫酸鈉健度試驗，其重量損失，不得大於[9][12][]%。
- B. 細粒料應為天然砂、過篩碎石砂或兩者之混合物。細粒料依 CNS 1167 試驗法，經過五次循環之硫酸鈉健度試驗，其重量損失，不得大於[12][15][]%。
- C. 設計時粗、細粒料合成之級配，應符合下列表中任一級配。粒料顆粒，應避免細長材料，顆粒之[長與寬比]、[寬與厚比]、[長與厚比]之 3 倍而占有重量比密級配為[10][]%，(開放級配為[7][]%)以上之粗粒料應拒絕使用。
- D. 密級配與開放級配瀝青拌合料之粗、細粒料合成級配如下表之規定：

瀝青拌合料之粗、細粒料合成級配表

篩 號	通過重量百分率(%)			
	密 級 配		開 放 級 配	
	標稱最大粒徑 19.0mm	標稱最大粒徑 12.5mm	標稱最大粒徑 9.5mm(I)	標稱最大粒徑 9.5mm(II)
25.0mm(1in)	100	—	—	—
19.0mm(3/4in)	95~100	100	—	—
12.5mm(1/2in)	—	95~100	100	100
9.5mm(3/8in)	65~80	80~95	75~100	85~100
4.75mm(No.4)	45~60	55~72	25~50	10~40
2.36mm(No.8)	30~45	38~55	5~15	—
2.00mm(No.10)	—	—	—	4~12
1.18mm(No.16)	—	—	—	—
0.60mm(No.30)	15~25	18~33	—	—
0.075mm(No.200)	3~7	4~8	2~5	2~5

(3) 礦物填縫料

填縫料不得含有土塊、黏土顆粒或其他有害物質，通過 0.075mm (No.200 篩)之填縫料，其 $PI < 4$ ，並應符合下表之級配規定：

填縫料級配要求表

篩號	通過重量百分率(%)
0.60 mm(No. 30)	100
0.30 mm(No. 50)	95~100
0.075mm(No.200)	70~100

(4) 瀝青混凝土混合料

填充料之篩分析試驗，應依照 CNS 5265 試驗。拌合粒料之含砂當量，依照[AASHTO T176][]試驗，用於底層不得少於[40][]，用於面層不得少於[50][]。

(5) 配合設計準則

瀝青混凝土拌合物，其配合設計之品質應符合下表之規定：

瀝青混凝土拌合物配合設計之品質要求表

配合設計方法—馬歇爾	密級配	開放級配
試體上下每端各夯打次數	75	*
穩定值，磅(1b)，最小	1,800	*
流度，0.25mm(0.01in)	8~14	*
空隙率，%	3~5	*
粒料填充率(V.M.A)%	依照美國瀝青學會 SS-1 最新版規定	*
瀝青填充率(V.F.A)%	65~75	*
△滯留強度指數，最小 (Retained Strength)Index，%	75	*
註：1.*：不需 2.△：依照馬歇爾穩定值比值($\frac{\text{泡水60}^\circ\text{C, 24小時}}{\text{標準試驗方法}}$)方法求之。		

(6) 檢驗

- A. 承包商應提供用於密級配及開放級配瀝青混凝土之「工作拌合公式」(Job Mix Formula)送交工程司認可，未經工程司認可前，不得開始生產瀝青混凝土拌合料。
- B. 為控制瀝青拌合料之品質，在拌合廠正常運轉作業情況下，工地檢驗頻率應依本章規定辦理，按各料斗設定之配比檢核其合成級配與「工作拌合公式」之差異應在容許範圍之內。
- C. 瀝青拌合料抽油試驗所得瀝青含量及粒料級配，與「工作拌合公式」比較之差異，不得超過下表之規定：

瀝青含量及粒料級配與工作拌合公式差異規定表

篩 號	重量百分率(%)
9.5 或 9.5mm 以上(3/8in 或 3/8in 以上)	[±6][±8]
4.75~1.18mm(No.4~No.16)	[±4][±6]
0.60~0.15mm(No.30~No.100)	[±3][±5]
0.075mm(No.200)	[±2][±3]
瀝青含量%(對拌合料總重)	[±0.3][±0.5]

(7) 工地檢驗頻率

施工中，每天應依[AASHTO T172]方法，上、下午或夜間至少各取樣檢驗 [1 次][]，惟冷堆料[每 2 天][]取樣一次。

2.1.2 瀝青膠泥

瀝青膠泥應依照[AASHTO M226][ASTM D3381][出廠證明][]標準試驗，按黏滯度分級；其等級應符合以下二表所列條件。

瀝青膠黏滯度分級規範表(AASHTO M226)

試驗項目	黏 滯 度 等 級						試驗方法
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40	
(1) 黏滯度 Pa·s 60°C(Poises)	25±5 (250±50)	50±10 (500±100)	100±20 (1000±200)	200±40 (2000±400)	300±60 (3000±600)	400±80 (4000±800)	T202
(2) 黏滯度 mm²/s 135°C,最小值	125	175	250	300	350	400	T201
(3) 針入度 25°C 100g 5s,最小值	220	140	80	60	50	40	T49
(4) 閃火點°C,最小值 (克利芙蘭杯法)	163	177	219	232	232	232	T48
(5) 三氯化碳溶解度 %，最小值	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	T44
(6) 薄膜烘箱殘餘量*** 熱損百分比,最大值 黏滯度 60°C Pa·s(Poises)最大值	— 100 (1000)	1.0 200 (2000)	0.5 400 (4000)	0.5 800 (8000)	0.5 1200 (12000)	0.5 1600 (16000)	T179
(7) 延展性 25°C 5cm/min, cm,最小值	**100	100	75	50	40	25	T51
(8) 斑點試驗* 標準石腦油溶液 石腦油及二甲苯溶液% 二甲苯庚烷及二甲苯溶液% 二甲苯			負反應 負反應 負反應				T102
註：*： 是否使用斑點試驗並無硬性規定，若採用時，則必須證明其使用溶液之種類，並加註二甲苯之百分比。 **： 在 25°C 延展性<100 時，若於 15.6°C 時之延展性大於 100 時則材料可接受。 ***： (6)視需要辦理。							

瀝青膠殘餘黏滯度分級規範表(AASHTO M226)

*試驗項目 AASHTO T240	黏 滯 度 等 級					試驗 方法
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160	
(1) 黏滯度 Pa · s 60°C (Poises)	100±25 (1000±250)	200±50 (2000±500)	400±100 (4000±1000)	800±200 (8000±2000)	1600±400 (16000±4000)	T202
(2) 黏滯度 mm ² /s 135°C,最小值	140	200	275	400	550	T201
(3) 針入度 25°C, 100g, 5s, 最小值	65	40	25	20	20	T49
(4) 殘餘針入度和原針 入度比值%,25°C,最 小值	—	40	45	50	52	
(5) 延展性 25°C 5cm/min,cm,最小值	**100	**100	75	75	75	T51
原始瀝青試驗						
(6) 閃火點°C,最小值	205	219	227	232	238	T48
(7) 三氯化碳溶解度% 最小值	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	T44
註：*一般以[AASHTO T240]為參考，但[AASHTO T179]之試驗方法亦可採用。 ** 在 25°C 之延展性<100 時，若於 15.6°C 時之延展性大於 100 時則材料可接受。						

2.2 檢驗頻率：瀝青膠泥檢驗頻率為每使用瀝青混凝土[10000 公噸][]，應取樣作試驗(工程司得視需要增加試驗次數)。

2.3 粒料之儲存

- (1) 各種尺度之粒料應分別堆存在易於通達拌合廠加料器之處。粒料在放入乾燥爐前，應分成[3][]種以上尺度(惟開放級配分成[2][]種以上)，分開儲存。儲料場所應經常保持良好而正常之狀態，每一料堆均應便於取樣。
- (2) 料堆應堆放於業經整理壓實且具良好排水坡度之專用場地上，其周圍應以木材、金屬或其他指定材料做成之隔牆加以分開，此牆於承載荷重時不得有歪曲、撓曲或倒塌之現象發生，粒料若儲存於靠近儲備料堆處，應保持隔離。
- (3) 儲料場所堆放粒料之儲存量，至少應足供[7][]天拌合瀝青混凝土之需，未經檢驗合格之粒料不得直接加入正使用中之料堆。

2.4 瀝青膠泥準備工作之設備

- (1) 瀝青應由承包商負責以油灌車運至瀝青拌合廠儲存槽內，儲存槽之總容量不得少於本工程每日施工最高需要量之 3 倍，並應附有循環式間接加熱及自動控制保溫設備，俾利依本規範之規定予以加熱保持應有之溫度。瀝青材料經試驗合格後如超過[30][]天未予使用，則應重新試驗合格後方可使用。
- (2) 承包商應提供各種材料之稱重計量或體積計量等設備，使混合料內瀝青膠泥之數量，能達到工地拌合規定之許可差以內。自動控制保溫係指以蒸氣套管或其他隔離物，能使管線內、計量器、稱重漏斗、噴桿、其他容器及流程中之瀝青膠泥，能維持規定溫度。

3. 施工

3.1 施工要求

3.1.1 瀝青拌合廠

承包商應選擇登記合格之瀝青混凝土拌合廠供應瀝青材料，瀝青混凝土混合料，可用分盤式拌合廠(Batching Plant)、連續式拌合廠(Continuous Mixing Plant)或乾鼓式拌合廠(Dryer Drum Mixer)拌合，惟無論使用何種型式之拌合廠，應以能按配合設計所定之配合比例準確計量所需之各種材料，並將其拌合均勻。瀝青拌合廠之主要設備，其規格與功能應於施工計畫內列述。

(1) 磅秤與計量設備

- A. 用於任何稱重箱上或漏斗上之磅秤，應使用臂梁式磅秤、無簧指針之度盤式磅秤或採用電腦全自動計量及螢幕顯示，均須經度量衡檢定所檢驗合格，其靈敏度應為所需最大荷重之 0.5%。
- B. 若磅秤為臂梁式時，各種尺度粒料須分別採用不同之臂梁，並附設有指示指針，使所稱重量在 50kg 內，即能顯示其功能。每一臂梁需設有鉤鎖設備(Locking Devices)，俾使用時鉤住臂梁而發生稱重作用，不用時放開鉤鎖免使其內部彈簧疲乏。稱重機需於刀口上平衡，支點之構築應使其可調整而不易脫出準線。
- C. 若為無簧指針之度盤式磅秤時，其盤面上供讀數之字體大小應能在距離 8m 之外可以讀出者。度盤需為複合式並附有輔助指針，指針之安裝若產生過多許可差時不得使用。
- D. 瀝青材料之稱重磅秤，應符合粒料磅秤之規範，但每一臂梁式磅秤配有扣除重量與足夠計量之臂梁者不在此限。最小刻度不得大於 1kg。用於稱瀝青材料之磅秤，其稱量不得大於欲稱材料重之 2 倍，且需讀至

0.5kg 以內。臂梁式磅秤應裝有指示指針，以測出 5kg 以內之荷重。

E. 承包商應提供所需數量之標準校驗法碼，以利經常校驗所有磅秤。

F. 拌合廠應提供一個體積計量表，使能自動將加入每盤之瀝青材料精確計量至規定用量之 $\pm 2\%$ 許可差範圍內。該計量表之指針靈敏度應為 1cm/kg 之移動距離，其能量應比規定每盤使用之瀝青數量多 10%。

G. 該計量表應具有調整任何讀數之連鎖設備，俾利每盤瀝青材料加入後能自動重新指示其重量。瀝青材料應於每盤乾拌時間完成後才開始注入，每盤所規定之瀝青使用量，應於 15 秒之內完全加入(Discharged)。

H. 瀝青材料應利用加熱噴桿輸送，其長度不得小於拌合機長度約 3/4。所使用之瀝青材料應均勻地流經噴桿全長。校正計量表出口閥門之設備，應裝設於加入閥門(Charging Valve)與噴桿之間。

(2) 乾燥爐之供料器(Feeder for Dryer)

拌合廠應裝配有分離之冷料箱管道開口，附有校正好之門及機具供料，以均勻而一致之流量，供應各尺度及種類之粒料至乾燥爐內。

(3) 乾燥爐

乾燥爐為圓柱形旋轉式，需有適當之設計，使粒料加熱烘乾至規範之要求，且於加熱期間能連續搖動粒料，乾燥爐應能儲備拌合廠最高額定能量所需之粒料。烘乾後粒料之殘餘含水量應在 1.0% 以下。

(4) 篩網

拌合廠之篩網應能篩分所有粒料成指定尺度，其正常容量需略大於拌合機之全部容量。篩分效率不得小於試驗室篩分之 85%。

(5) 粒料儲存箱

A. 拌合廠應具有足夠容量之儲存箱，以供拌合廠全數容量運轉時之需要。儲存箱至少應分為三隔間以保證能分開並儲存足夠適用之粒料。每一隔間應在適當位置裝設合適尺度之溢流管，以防止材料溢流至另一不同尺度粒料之儲存箱內。不同之礦物填充料應適當地分開乾存，並應以分開且經同意之磅秤或由稱重箱磅秤上另一分開之秤桿，予以稱量各式礦物填縫料。

B. 所有拌合廠應裝有足夠長度、寬度與深度之取樣容器，以便於熱儲存箱內取樣。取樣容器(其淨容量不得小於 15kg)應能覆蓋出口槽之整個長度與寬度，該出口槽係熱儲存箱之材料經過該槽而流到稱重斗中。拌合廠內應裝有所需之軌道、角鐵及軌路等，以便取樣器於取樣時能停放，而取樣前後能滑行。

(6) 溫度計設備

拌合廠應於乾燥爐之出口槽裝置度盤式水銀溫度計、電測高溫計、或其他認可之量溫設備，以便自動紀錄烘乾粒料之溫度。拌合廠並應於衡量式拌合機瀝青漏斗填料閘門附近，瀝青輸送管上之適當位置，以及於連續式拌合廠靠近上述同樣位置，安裝一個可由 90°C 讀至 200°C 之鐵殼溫度計、或電測高溫計、或其他經認可之量溫設備。

(7) 拌合時間之控制裝置

拌合廠應裝配計時鎖，以利控制整個拌合循環之操作。在拌合機填料後，計時鎖即鎖閉稱重箱門，直至完成循環時關閉拌合機之門為止。計時鎖於整個乾拌期間應關閉瀝青料之漏斗，於整個乾及濕拌(Dry and Wet)拌合期間應關閉拌合機之門。在盤式拌合廠內，所謂乾拌時間，係指打開稱重箱門至加入瀝青材料間之時間，應不得少於 15 秒；所謂濕拌時間，係指瀝青材料加入之後，至拌合機打開門時之時間為止，不得少於 30 秒，或粒料完全被瀝青裹滿所需的時間。無論如何，盤式拌合之濕拌時間不得超過 50 秒；連續式拌合時間不得超過 60 秒。定時之控制應易於操縱，並於整個循環(至少 2 min)之時間內，能以 5 秒或更小之時間間隔調整之，時間間隔之調整應有工程司在場方可為之，並按其指示辦理。

(8) 塵埃收集器(Dust Collectors)

當拌合廠產生之塵埃，超過環保有關法令之規定值，或塵埃妨害到拌合機之操作效率時，應裝置適當之遮蓋，諸如拌合機覆蓋物或塵埃收集系統。所收集之任一種材料之塵埃、或所有材料之塵埃，應按工程司指示試驗確認為非塑性或經工程司認可後，始可再使用。

(9) 安全設備

A. 為便於到達所有工廠之操作部門，須於所需各部門，設置適當安全之樓梯，並裝置防護扶手，以便通往拌合機台及拌合廠其他單位。所有齒輪、滑輪、鏈條、鏈輪以及其他有危險之轉動部分，應加以完全防護。拌合機台需有充分之空間，且不得有任何阻礙。貨車裝載場內及四週之通道，應隨時維持清潔而無阻礙，拌合機台上應避免有材料落下之慮。

B. 所有拌合廠並應裝配必需之人行道、階梯、平台等，以便於往熱儲存箱安全取樣。

(10) 盤式拌合廠(Batching Plants)之特有設備

A. 稱重箱或漏斗(Weigh Box or Hopper)

拌合廠應備有稱重箱，其容量應足夠容納一盤拌合所需粒料之最大數量。稱重箱或漏斗需支持於支點及刀口上，構造應能免除脫出準線或調整失靈。該稱重漏斗應避免與支撐桿或柱之邊緣端或其他設備相接觸，以免影響其正確功能。此外，漏斗與支承設備間應有充分之淨距，以免外來物之積聚。

B. 瀝青衡量斗

如以瀝青衡量斗稱量瀝青膠時，其容量應足夠容納拌合機內每一盤所需之瀝青總量。衡量斗應為熱套管式(Heat Jacketed)，且懸於度盤式或臂樑式磅秤上，並附裝指示器，可於每次稱重時指出衡量斗之空重，而測定瀝青膠淨重之準確度，不得超過所需重量之 $\pm 2\%$ 。衡量斗輸送溶化之瀝青膠時，應使其成均勻稀薄之流面或以多管之流線分布於拌合機之全寬。僅旋轉式拌合機使用時，其瀝青膠則以噴洒狀輸送。

C. 衡量式拌合機

拌合廠應包括有採用加熱套管之雙軸攪拌式或迴轉式鼓形盤式拌合機，裝有足數之拌板或輪葉，並應安裝正確，以便在規定之要求下能生產所需之適當拌合材料。若在雙軸攪拌式拌合機內之淨距等於或大於1cm時，應更換過短之輪葉或磨損之內壁(或兩者兼做)，以便淨距減至1cm以下。按前述之規定，每盤1,000kg之拌合量，其全部攪拌時間最少為45秒，若拌合量少時亦不得減少其拌合時間。如未能獲得充分之拌合與粒料之完全被包裹，則由工程司判斷後可增加需要拌合之時間。

(11) 連續式拌合廠之特有設備

A. 級配控制設備

連續式拌合廠可利用體積控制。不論用重量或體積衡量，拌合廠均應能按比例準確衡量來自各儲存箱之粒料。如級配按體積控制時，則在儲存箱隔間下應裝設一供料器。每一儲存箱應能正確地控制各門以形成一個孔口，而便於利用體積衡量各儲存箱隔間內流出之材料。孔口為矩形，其尺度約為20cm×25cm，一邊裝有鎖，可用正確之機械方法調整其尺度。每一出口應裝有指示器，以指示出口開孔之大小。

B. 粒料重量之測定

拌合廠應裝有測定試驗樣品重量之孔口裝置。由儲存箱流出之材料，分別經過其孔口後，應由副管分別流入各自適當之試驗箱內，以測定來自出口之流量。拌合廠應裝有便於測定至少每箱[50][]kg之試驗

樣品之裝置，並按工程司之指示逐漸加重，然後在精密之地磅上稱其重量。在設定每一訂有規範項目層次之正常開口前，應於工程司在場時先校準粒料供料控制口。完整的供料控制口(Feeder Gate)校準圖，應提供駐廠監工人員，以供檢驗。

C. 提供測定瀝青流量之各種方法及儀器。

D. 粒料與瀝青同時供應

來自儲存箱內之粒料流量，以及來自流量表內或其他配合來源之瀝青流量，二者間應以適當之方法正確地互相連鎖控制。此種控制利用互相連鎖之機械方法，或由工程師之正確控制方法來實現。

E. 連續式拌合機

拌合廠應備有經認可之雙軸攪拌式及加熱套管設備之連續式拌合機，並能生產在工作混合(Job Mix)許可差範圍內之均勻拌合料。其拌板應可調整在機軸之角度，並可轉向，以延緩混合料之流動。拌合機上需裝有製造廠之說明牌，載明各不同高度之淨體積，及不同工作速度時粒料每分鐘之供應量。除非其他要求，否則拌合時間應依下列公式按重量法決定之：

$$\text{拌合時間(秒)} = \frac{\text{拌合機之載重量(kg)}}{\text{拌合機出口量(kg/s)}}$$

該重量需由工程司作現場試驗決定之。

(12) 瀝青拌合料過磅

A. 供應瀝青拌合料之拌合廠應裝配貨車地磅，其操作與維護費應由承包商負擔。地磅應裝妥於穩定之基礎上，並隨時維持水平與垂直之位置。所有稱重設備均應備有調整器材，以供任一部分失去準確時，能迅速地重新調整而恢復功用。

B. 地磅平台應有足夠之長度與寬度，以適應貨車或運送瀝青材料之運搬設備，能一次稱量全部載重。

C. 供應瀝青拌合料之拌合廠開始作業前，稱重磅秤、地磅、與量表設備均需加以檢驗並經工程司之同意。此後磅秤與量表應以工程司認為滿意之方法每日加以檢驗。

D. 每天早上開始工作前或工程司認為必要之任何時間，稱重儲存箱與磅秤均應予以調整平衡。磅秤或量表之檢驗、校核與調整平衡等工作，均需於工程司在場時為之。

E. 拌合廠紀錄應加保存，同時每日需由承包商及工程司之簽名認可，該

紀錄表需有下述資料：日期、生產材料種類、各部貨車編號、貨車空重、淨重及載重、貨車所裝載之盤數，當天載重過磅時間等。每部貨車之空重在每天工作開始時及工程司認為需要之任何時間至少應每天測定[1][]次。

- F. 拌合廠之設備及操作應做定期檢查，使地磅秤出之拌合料淨重在每一車裝料之各盤重量和之 $\pm 2\%$ 以內。如不能達到此水準，拌合料需予拋棄並停止廠內所有操作，且即予修正此種重量不一致之原因，俟完成修正後，方可再行運轉。
- G. 瀝青拌合料由拌合廠運至工地，每次裝載之合格證明需製成傳票，由貨車駕駛員從拌合廠之監工人員手中帶給工地監工人員。
- H. 傳票表格由承包商供應。每天裝載之傳票應連續號編加以區分，並須記載下列資料：裝貨日期與時間、貨車編號、裝載貨車之空重、裝載淨重、拌合料溫度、拌合料種類、到達工地時間、到達工地溫度、拌合廠監工人員表示同意之書面簽字證明等。
- I. 拌合廠監工人員認可之材料，如於使用時不能適用，則工地監工人員可以拒絕使用該批材料。

(13) 試驗室

承包商應供應一足夠空間之試驗室，以放置並操作所需之試驗設備，以便從事瀝青混凝土控制試驗。

3.1.2 運輸設備

運輸車輛必須具有堅固緊密、清潔、平滑金屬之車身，該車身並先塗一層石臘油或其他經認可之潤滑油料，以免拌合料黏附於車身，每次裝載時應用足夠大小之帆布或其他妥善材料掩蓋以免受天候之影響。拌合料運抵工地鋪築前之溫度應達工程司指定鋪築溫度以上。運輸車輛數應依拌合廠至鋪築地點之運距而定，並需有足夠車輛數，使其總運量之速率能符合拌合廠之生產率，並保證儘可能使鋪裝機連續操作而不至於延擱。

3.1.3 瀝青拌合料之鋪築設備

- (1) 除工程司另有許可外，拌合料應準確地按工程司所設定之線路、高程與路拱，以自行供應動力且重量達[10][]t 以上之鋪築機鋪築之。鋪築機應具備縱橫坡自動調整控制，及裝配漏斗箱與分布螺旋，將拌合料於可調整之刮板前均勻鋪築。拌合料應於漏斗中央處傾倒，並小心卸料，以免傾倒過多溢至底層上。鋪築拌合料時，鋪築機之操作應按工程司之指示，以 2 ~15m/min 之速度前進。鋪築機應裝有敏捷而有效之操縱設備，其前進與

後退之速度不得小於 30m/min。

- (2) 除靠近固定邊模處之作業外，鋪築應使用機械設備或其他微調設備，以調整路面高程，及限制鋪築之拌合料，使能適合路緣之線條，而不需使用固定之邊模。鋪築機應具有能鋪築最小[1][]之厚度而無析離現象，且最大鋪築寬度不小於[3.75][]mm 之能力。或將拌合料之鋪築寬度調整為一車道寬以內之能力。
- (3) 在狹窄、加寬、或深而不規則之斷面處、平面交叉處、岔道等地方，不適用機械方法來鋪設，其整修路面與整平路面拌合料，承包商可按工程司之指示，使用經認可之手提撒鋪設備鋪築之。

3.1.4 壓路機(Rollers)

- (1) 拌合料鋪設後，應用壓路機予以徹底均勻地滾壓。通常一部路面鋪築機須配合兩部鐵輪壓路機，及一部膠輪壓路機；或配備一部振動壓路機。每層拌合料鋪築後，若已能承受壓路機而不致發生過份之移動或產生髮絲裂痕狀時，則應立即滾壓。
- (2) 壓路機應為自動式之鐵輪壓路機及膠輪壓路機或振動壓路機，並須保持良好情況，其操作時之速率應儘量緩慢，避免瀝青拌合料滾壓後產生移動之現象。壓路機所需之數量與每部壓路機之重量，應依拌合料於可工作之情形下能壓實至規定之壓實度而定。如因選用機具不當致使粒料過份壓碎，應嚴予禁止。

A. 通常每一部鋪築機作業時，至少應配備有下列之鐵輪及膠輪壓路機：

8~10t 雙軸雙鐵輪壓路機 [1][]部

12~18t 雙軸參鐵輪壓路機 [1][]部

膠輪壓路機 [1][]部

膠輪壓路機應經認可，並能自動前進後退，至少裝有[7][]輪，輪面為光面，且輪面式樣應一致。沿兩軸線上之輪子間距應相等，使兩輪間之中心距離不大於「標稱輪寬」之 1.785 倍，並應加以安排使某一軸之輪子，恰在另一軸輪子間之中間。輪胎內之氣壓應達 $8.5\text{kgf/cm}^2(120\text{lb/in}^2)$ 。各輪胎內之氣壓應近似相等，任兩輪胎內氣壓之差不得大於 $0.35\text{kg/cm}^2(5\text{lb/in}^2)$ 。承包商在工地應備有測壓器隨時校核輪胎內之氣壓。膠輪壓路機應裝有壓艙，俾能調整總重量，使每一輪胎之承重可從 1,500kg 調整至 2,500kg。

B. 振動壓路機

如使用振動壓路機時，無論為單鼓式或雙鼓式，其總重均不得少於 [7][]t，且應能調整其振幅(Amplitude)及振動頻率(Frequency of Vibration)者，俾依材料、配合比及溫度等不同之瀝青拌合料，均能按規定壓實至所需之壓實度，且不致產生不平順之波紋。振動壓路機之振動頻率通常以 2,000~3,000VPM 為宜，振幅則以 0.4~0.8mm 為佳。振動壓路機之滾壓速度為 3~5km/h。每層厚度 5cm 以下之瀝青混凝土路面，不得使用振動壓路機滾壓。

C. 用於滾壓瀝青混凝土之壓路機應裝有水箱、水潤系統及棕刷，俾滾壓時能使輪胎面保持均勻之濕潤狀態，以免拌合料黏附其上。

(3) 開放級配瀝青混凝土滾壓所用之雙軸雙鐵輪壓路機，其總重應不超過 10t。

4. 計量與計價

4.1 計量

本章所述機具與設備不予丈量給付。

4.2 計價

本章所述瀝青混凝土材料及其拌合、運送、鋪築所需機具與設備之供應、操作與保養，已包括於第 02714 章「瀝青處理底層」及第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」有關瀝青混凝土之各付款項目內。

〈本章結束〉

第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」

1. 通則

1.1 本章概要

說明鋪面工程中面層及底層之瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

1.2 工作範圍

1.2.1 瀝青混凝土係將加熱之粗粒料、細粒料、瀝青膠泥及乾燥之礦物填縫料，按配合設計所定配合比例拌合均勻後，依設計圖說所示之線形、坡度、高程及橫斷面，按本節規範之規定，或依工程司之指示，分一層或數層鋪築於已整理完成之底層、基層、路基或經整修後之原有面層上，滾壓至所規定之壓實度而成者。

1.2.2 瀝青混凝土之產製

1.2.3 瀝青混凝土之運送

1.2.4 瀝青混凝土之鋪築及壓實

1.3 相關章節

1.3.1 第 02741 章--瀝青混凝土之一般要求

1.3.2 第 02745 章--瀝青透層

1.3.3 第 02747 章--瀝青黏層

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準(CNS)

- | | | |
|------|----------|------------------------|
| (1) | CNS 485 | 粒料取樣法 |
| (2) | CNS 486 | 粗細粒料篩析法 |
| (3) | CNS 487 | 細粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (4) | CNS 488 | 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (5) | CNS 490 | 粗粒料(37.5mm 以下)洛杉磯磨損試驗法 |
| (6) | CNS 1163 | 粒料容積密度與空隙率試驗法 |
| (7) | CNS 1167 | 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法 |
| (8) | CNS 2260 | 鋪路柏油(瀝青)一針入度分級 |
| (9) | CNS 2486 | 瀝青軟化點測定法(環與小球法) |
| (10) | CNS 3408 | 粗粒料(粒徑 19mm 以上)磨損試驗法 |
| (11) | CNS 3775 | 克氏開口杯閃點與著火點測定法 |

- (12) CNS 5265 瀝青鋪面混合料用礦物填縫料篩分析試驗法
- (13) CNS 8755 瀝青鋪面混合料壓實試體之厚度或高度試驗方法
- (14) CNS 8758 瀝青鋪面混合料理論最大比重試驗法
- (15) CNS 10090 瀝青物針入度試驗法
- (16) CNS 10091 瀝青物延性試驗法
- (17) CNS 10092 瀝青物於三氯乙烯中溶解度試驗法
- (18) CNS 10093 油及瀝青化合物加熱減量試驗法
- (19) CNS 11827 道路用高爐爐渣
- (20) CNS 11828 道路用高爐爐渣檢驗法
- (21) CNS 12388 瀝青鋪面混合料取樣法
- (22) CNS 12389 瀝青粒料混合料中粒料包裹率試驗法
- (23) CNS 12390 瀝青路面壓實度試驗法
- (24) CNS 12394 瀝青粒料混合料包裹與剝脫試驗法
- (25) CNS 14186 無填充料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)
- (26) CNS 14249 柏油(瀝青)動黏度試驗法
- (27) CNS 14250 柏油(瀝青)流動膜之熱及空氣效應試驗法(滾動薄膜烘箱法)
- (28) CNS 15046 慣性剖面儀量測鋪面縱向剖面試驗法
- (29) CNS 15073 鋪面柏油－黏度分級
- (30) CNS 15308 瀝青鋪面混合料用粗粒料
- (31) CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料
- (32) CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
- (33) CNS 15346 土壤及細粒料之含砂當量試驗法
- (34) CNS 15475 萃取粒料篩分析試驗法
- (35) CNS 15476 半固態瀝青材料密度試驗法(比重瓶法)
- (36) CNS 15478 自瀝青鋪面混合料中定量萃取瀝青試驗法

1.4.2 美國材料試驗協會(ASTM)

- (1) ASTM E11 Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes
- (2) ASTM D692 Standard Specification for Coarse Aggregate for Bituminous Paving Mixtures

- (3) ASTM D1075 Standard Test Method for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures
- (4) ASTM D1188 Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples
- (5) ASTM D2726 Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures
- (6) ASTM D2950 Standard Test Method for Density of Bituminous Concrete in Place by Nuclear Methods
- (7) ASTM D3381 Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction
- (8) ASTM D3515 Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures

1.4.3 美國道路及運輸官員協會(AASHTO)

- (1) AASHTO M92 Standard Practice for Dilute-Solution Viscosity of Photodegradable Polystyrene/ Test Method for Tumbling Friability of Degradable Polystyrene Foams
- (2) AASHTO M226 Viscosity-Graded Asphalt Cement
- (3) AASHTO T2 Sampling of Aggregates
- (4) AASHTO T19 Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate
- (5) AASHTO T27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- (6) AASHTO T30 Mechanical Analysis of Extracted Aggregate
- (7) AASHTO T37 Sieve Analysis of Mineral Filler for Hot-Mix Asphalt
- (8) AASHTO T44 Solubility of Bituminous Materials
- (9) AASHTO T48 Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup
- (10) AASHTO T49 Penetration of Bituminous Materials
- (11) AASHTO T51 Standard Method of Test for Ductility of Bituminous Materials
- (12) AASHTO T53 Standard Method of Test for Softening Point of Bitumen

(13) AASHTO T84	Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate
(14) AASHTO T85	Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate
(15) AASHTO T96	Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
(16) AASHTO T104	Soundness of Aggregate by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
(17) AASHTO T133	Density of Hydraulic Cement
(18) AASHTO T164	Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Hot Mix Asphalt (HMA)
(19) AASHTO T167	Compressive Strength of Hot-Mix Asphalt
(20) AASHTO T168	Sampling Hot-Mix Asphalt Paving Mixtures
(21) AASHTO T172	瀝青混凝土拌合廠檢驗
(22) AASHTO T176	Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of the Sand Equivalent Test
(23) AASHTO T179	Effect of Heat and Air on Asphalt Materials (Thin-Film Oven Test)
(24) AASHTO T182	Discontinued-Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures
(25) AASHTO T195	Determining Degree of Particle Coating of Asphalt Mixtures
(26) AASHTO T201	Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)
(27) AASHTO T202	Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer
(28) AASHTO T209	Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Hot Mix Asphalt (HMA)
(29) AASHTO T228	Specific Gravity of Semi-Solid Asphalt Materials
(30) AASHTO T230	瀝青拌合料鋪面壓實度
(31) AASHTO T240	Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin Film Oven Test)
(32) AASHTO T245	Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus

- (33) AASHTO T246 Resistance to Deformation and Cohesion of Bituminous Mixtures by Means of Hveem Apparatus
- (34) AASHTO T283 Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage

1.4.4 美國瀝青學會(AI)

- (1) 美國瀝青學會規範系列之 1(AISS-1)：瀝青混凝土及其他拌合廠類之典型施工規範。
- (2) 美國瀝青學會手冊系列之 2(AI MS-2)：瀝青混凝土及其他熱拌類之配合設計方法。

1.4.5 目的事業主管機關依據法源

- (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 97 年 10 月 20 日第 0970045542 號函核定-推動道路平整方案

1.5 資料送審

1.5.1 施工計畫

1.5.2 品質管理計畫書

1.5.3 瀝青混凝土配合設計報告書

1.6 運送、儲存及處理

1.6.1 瀝青混凝土混合料之運送

- (1) 拌妥之瀝青混凝土混合料，應以自動傾卸式貨車或其他適當之車輛運至工地鋪築。
- (2) 所用貨車之車箱內，應清潔、緊密、光滑，並應先塗一薄層肥皂溶液、石蠟油或其他經工程司認可之潤滑材料，以免瀝青混凝土混合料黏附貨車上。
- (3) 運送時應以帆布或其他適當之遮蓋物覆蓋保溫，以防瀝青混凝土混合料之溫度降低。
- (4) 除經工程司同意使用適當之照明設備施工者外，通常當天由拌合廠運至工地鋪築之瀝青混凝土混合料之數量，務必以天黑收工前能全部鋪築，並予滾壓完成者為限。
- (5) 瀝青混凝土混合料，如在運送途中遇雨淋濕致不符合本章品質規定時，應即拋棄，不得再行使用。

2. 產品

2.1 材料

2.1.1 瀝青材料

(1) 瀝青材料之種類及等級

用於瀝青混凝土路面之瀝青材料均為瀝青膠泥，如表 1 所示，其實際所用種類及等級，應依設計圖之規定，或依工程司之指示辦理。

黏度分類：[AC-5][AC-10][AC-20][]。

表 1 瀝青混凝土所用瀝青膠泥

瀝青膠泥之 種類及等級		路面分類(面層底層)		
		公 路 ／街道	停車場	街坊、人行步 道、腳踏車道
原始黏度等級	AC- 5	V		
	AC-10	V	V	V
	AC-20	V	V	V
	AC-40	V	V	V
殘餘黏度等級	AR-4000	V	V	
	AR-8000	V	V	

(2) 瀝青材料之性質

黏度分類必須符合[AASHTO M226][ASTM D3381][CNS 15073][]之規定。

2.1.2 粒料

本章所規定之材料，得採用天然級配粒料、再生級配粒料或其混合料。

(1) 粗粒料

A. 粗粒料[停留於 2.36mm(8 號)篩上者][]，應為優良之石材如花崗岩、石英岩、片麻岩、河床礫石等軋製之碎石或再生粒料，須潔淨、質地堅硬、緻密、耐磨及級配良好者，且不得含有易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物，並應具有與瀝青材料混合後，雖遇水而瀝青不致剝落之性能。

B. 以重量計，粒料中至少應有[75%][]為碎石顆粒，且扁平狹長之顆粒，寬度與厚度之比或長度與寬度之比大於 3 者不得超過[10%][]。

- C. 粗粒料依[CNS 490][]，經洛杉磯磨損試驗 500 轉後之磨損率，用於底層、聯結層及整平層者不得大於[50%][]，用於磨耗層者不得大於[35%][]及面層者不得大於[40%][]。
- D. 粗粒料依[CNS 1167][AASHTO T104][]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於 12%；硫酸鎂溶液之方法其重量損失不得大於 18%。
- E. 粗粒料其餘物理性質，應符合[CNS 15308][ASTM D692][]之規定。
- F. 粗粒料應依尺度大小分別堆放，並應避免互相混雜，俾能正確按規定比例混合，其混合程序應在冷料供應系統上完成，不得在石料堆放場所混合。

(2) 細粒料

- A. 細粒料通過 2.36mm(8 號)篩者，包括石屑、天然砂或兩者之混合物或再生粒料，須潔淨、質地堅硬、緻密、顆粒富有稜角、表面粗糙及不含有有機土、黏土、黏土質沉泥、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物，且導入拌合機時不得有結塊之情形。
- B. 細粒料依[CNS 1167][AASHTO T104][]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉健度試驗結果，其重量損失不得大於 15%。
- C. 如需用二種以上不同來源之細粒料時，應分別堆放，其混合程序應在冷料供應系統上完成，不得在粒料堆放場所混合。

(3) 礦物填縫料(Mineral Filler)

- A. 本工程所稱礦物填縫料，係指通過 0.60mm(30 號)篩之細料，於粗、細粒料經混合結果缺少通過 0.075mm(200 號)篩之材料時使用之。
- B. 礦物填縫料可用完全乾燥之石灰、礦物填縫料末或水泥；或其他經工程司認可之塑性指數小於 4 之無機物粉末，惟不得含有塊狀物，其級配應符合下表之規定。

礦物填縫料級配表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率
0.60 (No. 30)	100
0.30 (No. 50)	95~100
0.075(No.200)	70~100

(4) 防剝劑

瀝青混凝土中如須摻加防剝劑時，承包商應先將防剝劑之樣品、製造廠商之使用說明書及使用量送請工程司核可後方可使用。

(5) 本章再生粒料係指符合 1.4.5 款規定之營建剩餘土石、廢混凝土塊、廢鑄砂、廢陶瓷及廢磚瓦材料經碎裂解分選，或高爐爐渣、鋼爐渣等軋製而成之粒料。爐渣或再生粒料供應商於工程進行中，應依工程司指示每月[]會同使用單位進行所供應再生粒料的抽驗，並進行如下試驗工作：

A.再生粒料之輻射劑量應符合行政院原子能委員會「建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點」之規定。

B.再生粒料使用高爐爐渣時，其應符合 CNS 11827 之品質要求，其檢驗依 CNS 11828 之規定辦理。

C.再生粒料使用鋼爐渣時，應符合 CNS 15310 之品質要求

(6) 再生粒料供應商於工程進行前，應提送相關供料計畫書，內容陳述該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。

2.1.3 瀝青混凝土混合料之組成

(1) 瀝青混凝土面層及底層施築前，應由承包商應依據 AI MS-2 配合設計方法，於施工前[5天][15天][]提出配合比公式，其試驗值應符合第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」相關規定，並徵得工程司之同意。

(2) 瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配，係因所採用之路面厚度設計方法之不同而異，故承包商所提供之粒料，應符合設計圖說之級配要求。

(3) 如設計圖說內未規定粒料之級配時，由工程司根據設計者之設計方法指定之。

(4) 經混合後之粒料，其級配之變化，不得自某一篩號之下限，驟變為相鄰篩號之上限，反之亦然，其含砂當量，用於底層者不得少於[40][]，用於面層者不得少於[50][]。

(5) 瀝青混凝土使用再生粒料時，其與天然粒料之組成比例，須依配合設計決定之，惟再生粒料使用量不得超過全部粒料之[20%][]。

(6) 瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配及其瀝青含量，依設計圖說之規定，選擇有下列六類型之一。

第一類型密級配瀝青混凝土粒料級配及瀝青含量表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率				
	37.5mm (1 1/2in)	25.0mm (1in)	19.0mm (3/4in)	12.5mm (1/2in)	9.5mm (3/8in)
50.0(2in)	100				
37.5(1 1/2in)	90~100	100			
25.0(1in)	—	90~100	100		
19.0(3/4in)	56~80	—	90~100	100	
12.5(1/2in)	—	56~80	—	90~100	100
9.5(3/8in)	—	—	56~80	—	90~100
4.75(No.4)	23~53	29~59	35~65	44~74	55~85
2.36(No.8)	15~41	19~45	23~49	28~58	32~67
1.18(No.16)	—	—	—	—	—
0.60(No.30)	—	—	—	—	—
0.30(No.50)	4~16	5~17	5~19	5~21	7~23
0.15(No.100)	—	—	—	—	—
0.075(No.200)	0~6	1~7	2~8	2~10	2~10
瀝青含量，%(以瀝青混合料之總重量計算)	3~8	3~9	4~10	4~11	5~12
附註：本表係參考 ASTM D3515 之規定。					

第二類型 密級配瀝青混凝土粒料級配表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率	
	19.0mm(3/4in)	12.5mm(1/2in)
25.0(1in)	100	
19.0(3/4in)	95~100	100
12.5(1/2in)	—	95~100
9.5(3/8in)	65~80	80~95
4.75(No.4)	45~60	55~72
2.36(No.8)	30~45	38~55
0.60(No.30)	15~25	18~33
0.075(No.200)	3~7	4~8
附註：本表係參考美國加州標準規範之規定。		

第二類型 底層粗級配瀝青混凝土粒料級配表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率	
	25.0mm(1in)	19.0mm(3/4in)
37.5 (1 1/2in)	100	
25.0 (1 in)	85~100	100
19.0 (3/4 in)	70~85	80~100
4.75 (No.4)	30~50	50~80
0.60 (No.30)	12~25	20~60
0.075(No.200)	2~8	5~20
附註：本表係參考美國加州標準規範之規定。		

第三類型密級配瀝青混凝土粒料級配表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率				
	A	B	C	D	E
	25.0mm (1in)	19.0mm (3/4in)	19.0mm (3/4in)	12.5mm (1/2in)	9.5mm (3/8in)
37.5(1 1/2in)	100				
25.0(1in)	95~100	100	100		
19.0(3/4in)	78~95	95~100	95~100	100	
12.5(1/2in)	—	68~86	68~86	95~100	100
9.5(3/8in)	54~75	56~78	56~78	74~92	95~100
4.75(No.4)	36~58	38~60	38~60	48~70	75~90
2.36(No.8)	25~45	27~47	27~47	33~53	62~82
1.18(No.16)	—	18~37	18~37	22~40	38~58
0.60(No.30)	11~28	11~28	13~28	15~30	22~42
0.30(No.50)	—	6~20	9~20	10~20	11~28
0.075(No.200)	0~8	0~8	4~8	4~9	2~10
附註：本表係參考美國聯邦公路之規定。					

第四類型粗片瀝青砂瀝青混凝土粒料級配及瀝青含量表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率
9.5 (3.8 in)	100
4.75 (No. 4)	80~100
2.36 (No. 8)	65~100
1.18 (No. 16)	40~ 80
0.60 (No. 30)	25~ 65
0.30 (No. 50)	7~ 40
0.15 (No.100)	3~ 20
0.075(No.200)	2~ 10
瀝青含量，% (以瀝青混合料之總重量計算)	6~ 12
附註：本表係參考美國瀝青學會之規定。	

第五類型細片瀝青砂瀝青混凝土粒料級配及瀝青含量表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率
4.75 (No. 4)	100
2.36 (No. 8)	95~100
1.18 (No. 16)	85~100
0.60 (No. 30)	70~ 95
0.30 (No. 50)	45~ 75
0.15 (No.100)	20~ 40
0.075(No.200)	9~ 20
瀝青含量，% (以瀝青混合料之總重量計算)	8~ 12
附註：本表係參考美國瀝青學會之規定。	

第六類型開放級配瀝青混凝土粒料級配表

試驗篩(mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率			
	A 12.5mm (1/2in)	B 9.5mm (3/8in)	C 9.5mm (3/8in)	D 6.3mm (1/4in)
19.0(3/4 in)	100			
12.5(1/2 in)	90~100	100	100	
9.5(3/8in)	60~100	90~100	90~100	100
4.75(No.4)	15~40	30~50	30~50	—
2.36(No.8)	4~12	5~15	15~32	15~32
1.18(No.16)	—	—	0~15	0~15
0.075(No.200)	2~5	2~5	0~3	0~3
附註：表內，A、B 係參考 ASTM D3515 之規定，C、D 係參考美國加州標準規範之規定。				

2.2 瀝青拌合廠品質管理

2.2.1 材料及瀝青混合料之試驗

瀝青材料、粒料及所拌瀝青混合料，應分別辦理下列有關各項試驗，惟仍依照路面設計方法，訂定工作方法。

(1) 瀝青材料之試驗

試驗項目	試驗方法	
	AASHTO	CNS
A. 黏度	T201,T202	14249,14186
B. 針入度	T49	10090
C. 閃火點	T48	3775
D. 薄膜加熱	T179	10093
E. 滾動薄膜加熱	T240	14250
F. 延性	T51	10091
G. 溶解度	T44	10092
H. 比重	T228	15476
I. 軟化點	T53	2486

(2) 粒料之試驗

試驗項目	試驗方法	
	AASHTO	CNS
	O	
A. 粒料之取樣	T2	485
B. 粗粒料洛杉磯磨損試驗	T96	490(< 37.5mm) 3408(> 19.0mm)
C. 粒料單位重量標準試驗	T19	1163
D. 粒料健度試驗	T104	1167
E. 粗、細粒料篩分析	T27	486
F. 礦物填縫料篩分析	T37	5265
G. 粗粒料比重，吸水率	T85	488
H. 細粒料比重，吸水率	T84	487
I. 礦物填縫料	T133	
J. 含砂當量試驗	T176	15346

(3) 瀝青混合料之試驗

試驗項目	試驗方法	
	AASHTO	CNS
A. 配合設計方法(AI MS-2)	T245, T246	
B. 瀝青混合料最大理論密度	T209	8758
C. 瀝青含量抽油及粒料篩分析	T164 及 T30	15478 及 15475
D. 包裹及剝脫試驗	T182	12394
E. 浸壓試驗	T167, T283 (或用馬歇爾方法)	
F. 拌合廠駐廠試驗	T172	
G. 壓實度試驗	T230	12390

2.2.2 配合設計

- (1) 為決定瀝青材料及粒料之用量，承包商應於施工前，根據所規定之材料種類做配合設計，並經各項試驗選定工地拌合公式(Job Mix Formula)，送請工程司核可。
- (2) 未經工程司核可之前，不得開始拌合瀝青混凝土混合料。
- (3) 根據配合設計所決定之最佳瀝青含量所求得之各項試驗值，應符合下表之規定。
- (4) 瀝青混凝土混合料之瀝青含量，以不超過經夯壓試驗所得最大單位重時之瀝青含量值範圍之 $[\pm 10\%]$ 為宜。

粗級配瀝青混凝土之品質規定

粗級配種類		25.0mm (1in.)	19.0mm (3/4in.)
適用層次		底層	底層
每層壓實厚度(cm)		5.0~7.5	4.0~6.5
篩號 mm		過篩重量百分率(%)	
37.5	(1-1/2 in.)	100	
25.0	(1 in.)	85~100	100
19.0	(3/4 in.)	70~85	80~100
4.75	(No.4)	30~50	50~80
0.60	(No.30)	12~25	20~60
0.075	(No.200)	2~8	5~20
馬歇爾配合設計基準	打擊次數	75	
	穩定值(kgf)	≥ 600	
	流度(0.25mm)	8~16	
	孔隙率(%)	3~6	
	粒料間空隙率(VMA, %)	≥ 12	≥ 13
	瀝青填充率(VFA, %)	65~75	
瀝青用量(%)		4.0~6.0	

密級配瀝青混凝土之品質規定(其他類型不在此限)

交通量等級	重級		中級		輕級	
使用層別	面層或底層					
試驗上下端夯打次數	75		50		35	
試驗項目	最小	最大	最小	最大	最小	最大
穩定值，磅(N)	1,800 (8,006)	—	1,200 (5,338)	—	750 (3,336)	—
流度(1/100 吋)	8	14	8	16	8	18
空隙率(%)	3	5	3	5	3	5
V.M.A.(%)	如下表					
V.F.A.(%)	65	75	65	78	70	80
註：1.交通量類別：						
	重級		中級		輕級	
	設計 ESAL>10 ⁶		10 ⁴ ~10 ⁶		<10 ⁴	
2.馬歇爾方法。						

粒料最大標稱直徑		空隙率設計值，%			備 註
		3.0	4.0	5.0	
(mm)	(in)	V.M.A.(最少%)			
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5	篩號依據 AASHTO M92， ASTM E11 可用內插法求出 V.M.A.值
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0	
4.75	No.4	16.0	17.0	18.0	
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0	
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0	
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0	
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0	
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0	
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5	
60.0	2.5	9.0	10.0	11.0	

(5) [滯留強度指數]

其試驗方法應以 ASTM D1075 或 D4867 或 AASHTO T283 馬歇爾試驗方法求之，其所得之值應在[75%][]以上方可使用，否則應依下列方法改善之。

- A. 增加瀝青含量。
- B. 使用防剝劑。
- C. 使用滯性較高之瀝青。
- D. 增加填充料。
- E. 更改粒料級配。

滯留強度指數依下列公式求之。

F. 滯留強度指數 = $S_i/S \times 100$

S_i ：浸入 49°C 之水中養護 4 天，或浸入 60°C 之水中養護 1 天後，所求得之穩定值。

S ：以標準方法所求得之穩定值。

2.2.3 瀝青混合料檢驗

- (1) 瀝青拌合廠應具備所需一切試驗設備，俾能隨時取樣試驗，以校核瀝青混合料是否均勻及符合所需品質規定。
- (2) 施工中，每天應依[CNS 12388][AASHTO T168][]方法取樣抽驗未經滾壓之瀝青混凝土混合料至少[2 次][]，除另有規定者外，其試驗結果與工地拌合公式之許可差，不得超過下表之規定。

瀝青混凝土混合料每一試樣之各項許可差

篩分析通過試驗篩 mm(in)	許可差百分率
12.5 及 12.5 以上(1/2in 及 1/2in 以上)之試驗篩	[±8][]
9.5 及 4.75(3/8in 及 No.4)	[±7][]
2.36 及 1.18(No.8 及 No.16)	[±6][]
0.60 及 0.30(No.30 及 No.50)	[±5][]
0.15(No.100)	[±4][]
0.075(No.200)	[±3][]
瀝青含量，%(以瀝青混合料之總重量計算)	[±0.5][]

3. 施工

3.1 準備工作

3.1.1 施工氣候

(1) 瀝青混凝土應於晴天，除特殊情形經工程司同意者外，及施工地點之氣溫在[10°C][]以上，且底層、基層、路基或原有路面乾燥無積水現象時，方可鋪築。

(2) 下雨時需停止施工。

3.1.2 施工設備及機具，必要時，應經工程司之檢查核可。所有施工設備及機具應經常加以適當之保養，俾能始終維持良好之狀態，順利完成工作。

3.1.3 瀝青拌合廠

瀝青混凝土混合料，可用分盤式拌合廠(Batching Plant)、連續式拌合廠(Continuous Mixing Plant)或乾鼓式拌合廠(Dryer Drum Mixer)拌合，惟無論使用何種型式之拌合廠，應以能按配合設計所定之配合比例準確計量所需之各種材料，並將其拌合均勻者為合格。瀝青拌合廠之主要設備，其規格與功能應於施工計畫內列述。

3.1.4 瀝青混合料之過磅

(1) 瀝青拌合廠應設有貨車地磅及秤重房。

(2) 地磅應切實安裝於穩固之基礎上，並應經常保持水平及垂直之狀態。

(3) 所有秤重設備應備有調整裝置，以便任何部分有偏差或逸出準線時，能迅速重予調整或定向，俾能發揮正常功用。

(4) 地磅平台應有足夠之長度與寬度，以容納任何貨車，或能一次秤量可能用以運送瀝青混合料之全套搬運設備。

(5) 地磅在瀝青拌合廠開始運轉之前，必要時工程司得到場檢驗。

(6) 秤重房須有防風及防雨之設備，秤重紀錄機應予適當之保護。

3.1.5 運輸設備

瀝青混凝土混合料之運輸車輛，應使用[自動傾卸式貨車][]，其數量應依瀝青拌合廠至工地間之運距而定，其總運輸量，應能與瀝青拌合廠之生產量及瀝青鋪築機之工作量互相配合，務使瀝青鋪築機能連續操作而不致延擱為原則。

3.1.6 瀝青鋪築機

(1) 除經工程司核可者外，瀝青混合料應使用能正確按設計圖說所示之線形、坡度、路拱及規定平整度鋪設之[自走式瀝青鋪築機][]鋪築。

- (2) 瀝青鋪築機應附有漏斗及分佈螺旋，將瀝青混合料均勻鋪築。
- (3) 瀝青鋪築機應裝有敏捷而效率良好之操縱設備，其前進與後退之速度每分鐘不得小於[30m][]，且能在不使瀝青混合料發生析離現象之下，鋪築至最小[1cm][]之厚度，除有特殊情形外，其最大鋪築寬度不得小於[3.75m][]。
- (4) 鋪築機鋪設時，應啟動振動裝置。

3.1.7 壓路機

- (1) 瀝青混合料鋪設後，應以自走式鐵輪壓路機或振動壓路機，及膠輪壓路機滾壓。通常一部瀝青鋪築機應配備二部鐵輪壓路機及一部膠輪壓路機，或配備一部振動壓路機，惟僅鋪橋面或每日鋪築量少於 50t 時，僅須配備一部鐵輪壓路機即可。
- (2) 如配備鐵輪壓路機及膠輪壓路機時，應按下列規定辦理。
 - A. 初壓
 - 用[8 噸以上二軸三輪][關閉振動裝置之 6 噸以上振動壓路機]滾壓。
 - B. 次壓
 - a. 用自走式、能前進後退及至少有[7 輪][]之雙軸式膠輪壓路機。
 - b. 承包商應在工地備有測壓器，以便隨時校核輪胎氣壓，膠輪壓路機應裝有壓艙(Ballasting)，俾能調整壓路機之總重，使每一輪胎之載重能由 1,500kg 調整至 2,500kg，輪胎之地面接觸壓力(Ground Contact Pressure)不得小於 5.6kgf/cm²(80 lb/in²)。
 - C. 終壓
 - 用[6~8 噸二軸二輪][]壓路機。
- (3) 如使用振動壓路機時
 - A. 如使用振動壓路機時，無論為單鼓式或雙鼓式，其總重均不得少於 6 噸，且應能調整其振幅(Amplitude)及振動頻率(Frequency of Vibration)者，俾材料、配合比及溫度等不同之瀝青混合料，均能按規定壓實至所需之密度，振動壓路機之振動頻率通常以 2,000~3,000rpm 為宜。
 - B. 厚度小於 5cm 之瀝青路面，不得啟動振動裝置。
 - C. 振動壓路機之滾壓速度為每小時 3~5km。
- (4) 用於滾壓瀝青混合料之壓路機，應裝有水箱、噴水設備、刮板及棕刷等，以保持機輪濕潤，以免瀝青混合料黏附機輪上。

3.1.8 清掃機

清掃機係用於清掃底層、基層、路基或原有面層上之浮鬆雜物及灰塵。

3.1.9 其他工具

包括齒耙、鐵鏟、夯實機具、燙鐵、瀝青路面切割器、小型加熱車、取樣機、平整儀、厚底靴鞋及其他需用工具。此等工具應充分準備，以增路面鋪築效率。

3.2 施工方法

3.2.1 鋪築路段之整理與清掃

- (1) 鋪築瀝青混凝土路面之路段，在施工前，其底層、基層、路基或原有路面應按下列規定予以整修及清掃，使其符合設計圖說所示之線形、坡度及橫斷面。
- (2) 如有坑洞或低陷不平之處，應先將其一切浮鬆材料移除，並以相同之材料按規定填補整修後，予以滾壓堅實。
- (3) 如表面有隆起或波紋之處，應將其刮平並予滾壓，務使平順堅實。
- (4) 除法令另有規定者外，新鋪設或刨除回鋪之路段，路面有人(手)孔蓋之處，應先將其調降至路面設計高程[20cm][]以下。調降於路面下方之人(手)孔蓋，若經管線管理機關與路權管理機關協調具有消防緊急救災或安全需要，同意留設於路面上之人(手)孔蓋，可按本章 3.4.1 款辦理。相關施工配合事宜由管線管理機關與路權管理機關協調。
- (5) 如原有路面有冒油，不適當之修補或有接縫，裂縫等之灌縫料時，應按工程司之指示予以清除潔淨後，以瀝青混凝土混合料填補，並予滾壓或以手夯或其他適當方法夯實。
- (6) 上列各項工作完成後，應以清掃機或竹帚將表面浮鬆塵土及其他雜物清掃潔淨，清掃寬度至少應較路面鋪築寬度每邊各多 30cm。

3.2.2 瀝青透層或黏層之澆鋪

本工程如有瀝青透層或黏層之設計時，其施工應按第 02745 章「瀝青透層」及第 02747 章「瀝青黏層」之規定辦理。

3.2.3 瀝青混凝土混合料之拌合

(1) 瀝青材料之加熱

A. 瀝青材料應在廠內加熱，其溫度應由黏度試驗決定之。

B. 瀝青之一般加熱溫度可參考下表，惟除情況特殊經工程司核可者外，密級配不得超過 163℃，開放級配不得超過 120℃。

瀝青加熱溫度

瀝青膠泥之種類及等級		雙軸拌合機內瀝青混合料之溫度℃	
		密級配	開放級配
原始黏度等級	AC- 5	120~145	80~120
	AC-10	120~155	80~120
	AC-20	130~165	80~120
	AC-40	130~170	80~120
殘餘黏度等級	AR-4000	135~165	80~120
	AR-8000	135~165	80~120
針入度等級	60~ 70	130~170	80~120
	85~100	120~165	80~120
	120~150	120~155	80~120

(2) 粒料之加熱

- A. 粗、細粒料在送入拌合機之前，均應烘乾加熱，其進入拌合機之溫度為 $135^{\circ}\text{C} \sim 163^{\circ}\text{C}$ ，且均應超過瀝青之溫度，其實際使用溫度由工程司決定之，惟粒料與瀝青拌合時之溫度，彼此相差不得超過 $[10^{\circ}\text{C}]$ 。
- B. 粗、細粒料可同時送入乾燥爐內烘熱。烘熱後之粒料，應按工程司所規定之尺度，以篩網篩分後，分別送入熱斗中備用。

(3) 拌合

- A. 各種大小不同之粒料、填充料及瀝青材料，應依工地拌合公式所規定之比例，分別以重量比準確配合之。
- B. 以分盤式拌合機拌合時，其濕拌時間不得超過 50 秒。
- C. 以連續式拌合機拌合時，除另有規定者外，其拌合時間應依下列公式按重量法決定之。
- 拌合時間(秒) = $[\text{拌合機之載重量}(\text{kg})] \div [\text{拌合機之出口量}(\text{kg/s})]$
 - 式中重量由工程司在工地作試驗決定之，惟無論如何，在連續式拌合機內拌合之時間不得超過 60 秒。
- D. 拌妥之瀝青混合料，應依 $[\text{CNS 12389}][\text{AASHTO T195}]$ 試驗法，求其顆粒包裹之百分率，用於底層者其包裹百分率不得少於 $[90\%]$ ，用於面層者不得少於 $[95\%]$ ，如不符此規定時，應調整其拌合時間。

E. 瀝青混凝土混合料自拌合廠輸出時之溫度，不得低於 135℃ 或高於 163℃。一切過熱或溫度不足之混合料或混合料發生泡沫現象或顯示含有水份時，均應立即拋棄，不得使用。

3.2.4 瀝青混凝土混合料之鋪築

- (1) 瀝青混凝土混合料應以瀝青鋪築機鋪築。瀝青鋪築機必須能自動調整行駛速度、鋪築厚度及寬度者，其作業手應由訓練有素及富有經驗者擔任。
- (2) 鋪築前，應先測訂準線，俾鋪築機有所依據，而鋪成平整之路面。
- (3) 緣石、邊溝、人孔、原有面層之垂直切面及建築物之表面與瀝青混凝土混合料相接合處，應全部均勻塗刷速凝油溶瀝青或乳化瀝青一薄層，使有良好之結合。
- (4) 鋪築機之速度，必須妥為控制，鋪築時瀝青混合料不得有析離現象 (Segregation) 發生，並使完成後之表面均勻平整，經壓實後能符合設計圖說所示之線形、坡度及橫斷面。如有析離現象時，應立即停止鋪築工作，並查明原因予以適當之校正後，始可繼續施工。
- (5) 瀝青混合料倒入鋪築機鋪築時之溫度，由工程司決定之，惟不得低於[120℃][]。
- (6) 鋪築工作應儘可能連續進行，不宜時斷時續。在鋪築機後面，應配有足夠之鏟手及耙手等熟練工人，俾於鋪築中發現有任何瑕疵時，能在壓實前予以適當之修正。
- (7) 鋪築機不能到達而需用人工鋪築之處，應先將瀝青混合料堆放於鐵板上，然後由熟練工人用熱工具鏟入耙平均鋪築，使其有適當之鬆厚度，俾能於壓實後達到所規定之厚度及縱橫坡度。瀝青混合料如結成團狀，須先予搗碎後，方能使用。
- (8) 上述工具之加熱溫度，不得高於瀝青混合料之鋪築溫度，僅使瀝青材料不黏著即可。
- (9) 瀝青混凝土路面如係分層鋪築時，應於鋪築前兩小時內，先將前一層之表面清理潔淨，並依工程司之指示均勻噴灑黏層，以增強 2 層間之黏結。
- (10) 瀝青混凝土路面分層鋪築時，其各層縱橫接縫，不得築在同一垂直面上，縱向接縫至少應相距[15cm][]，橫向接縫至少應相距[60cm][]。如為雙車道時，路面頂層之縱向接縫，宜接近路面之中心位置，兩車道以上時，宜接近分道線。
- (11) 工作人員進入施工中之路面上工作時，應穿乾淨之靴鞋，以免將泥土及其他雜物帶入瀝青混合料中。施工中間雜人等，應嚴禁入內。

3.2.5 滾壓

(1) 滾壓步驟

瀝青混凝土混合料鋪設後，應以適當之壓路機徹底滾壓，直至均勻並達到所需之壓實度時為止。滾壓分為下列 6 個步驟：

- A. 橫向接縫。
- B. 縱向接縫。
- C. 車道外側邊緣。
- D. 初壓。
- E. 次壓。
- F. 終壓。

(2) 滾壓方法

- A. 瀝青混凝土混合料鋪設後，當其能承載壓路機而不致發生過度位移或毛細裂縫(Hair Cracking)時，應即開始初壓。滾壓時，壓路機應緊隨鋪築機之後，其距離通常不超過[60m][]。
- B. 滾壓應自車道外側邊緣開始，再逐漸移向路中心，滾壓方向應與路中心線平行，每次重疊後輪之半。在曲線超高處，滾壓應自低側開始，逐漸移向高側。
- C. 滾壓時，壓路機之驅動輪須朝向鋪築機，並與鋪築機同方向進行，然後順原路退回至堅固之路面處，始可移動滾壓位置，再向鋪築機方向進行滾壓。每次滾壓之長度應略有參差。壓路機應經常保持良好之情況，以免滾壓工作中斷。
- D. 壓路機之鐵輪應以水保持濕潤，以免瀝青混合料黏附輪上，但水份不得過多，以免流滴於瀝青混合料內。
- E. 鐵輪壓路機之滾壓速度，用於初壓時每小時不得超過 3km，其餘每小時不得超過 5km。
- F. 在任何情形下，滾壓速度均應緩慢，且不得在滾壓路段急轉彎、緊急煞車或中途突然反向滾壓，以免瀝青混合料發生位移。
- G. 不論任何原因，如發生位移時，均應立即以熱齒耙耙平，或挖除後換鋪新瀝青混合料予以改正。
- H. 壓路機不能到達之處，應以熱鐵夯充分夯實，鐵夯之重量不得少於[11kg][]，夯面不得大於[320cm²][]。
- I. 路面之厚度、路拱、縱坡及表面平整度等，均由工程司於初壓後檢查之，如有厚度不足、高低不平、粒料析離及其他不良現象時，均應於此時修補或挖除重鋪及重新滾壓，直至檢查合格時為止。

- J. 緊隨初壓之後，以膠輪壓路機依上述方法滾壓至少[4 次][]，務使瀝青混凝土混合料達到規定密度時為止。
- K. 膠輪壓路機之滾壓速度，每小時不得超過[5km][]，通常其與初壓壓路機之距離為[60m][]，滾壓時瀝青混合料之溫度約為[82℃～100℃][]。
- L. 牽引式膠輪壓路機於轉向時，易引起瀝青混合料之位移，故不得使用(膠輪壓路機臨時發生故障時，如得工程司之同意，可暫以二輪壓路機代用)。
- M. 最後以 6～8t 二輪壓路機在路面仍舊溫暖時再行滾壓，直至路面平整及無輪痕時為止。滾壓時，瀝青混合料之溫度不得低於 65℃。
- N. 滾壓時，如發現瀝青混合料有鬆動、破裂、混有雜物或其他任何缺陷時，應立即予以挖除，並換填新瀝青混合料後，加以滾壓，使其與周圍鄰近路面具有同等堅實之程度。
- O. 滾壓時，應儘可能使整段路面得到均勻之壓實度。
- P. 滾壓後之路面，應符合設計圖說所示之路拱、高程及規定平整度。如有孔隙、蜂窩及粒料集中等紋理不均勻現象，應於滾壓時及時處理(瀝青混合料之溫度在 85℃ 以上時)，否則應予挖除，並重鋪新料重壓。
- Q. 壓路機與重型機械，在新鋪路面尚未固結之前，不得停留其上，或在其上移位煞車。

3.2.6 接縫

- (1) 所有接縫於施工時，均應特別小心，並充分壓實，使其有平直整齊之接縫表面並與路面其他部位之瀝青混凝土有同樣之結構及密度。
- (2) 除彎道處之縱向接縫外，所有接縫應成平直之直線，橫向接縫並應儘量與路中心線成垂直，除使用模板者外，所有已冷卻之接縫接合面均應切成平整之垂直面。
- (3) 接縫接合面應清刷潔淨並除去一切鬆動材料後，塗刷一層黏層材料。
- (4) 鋪築時，鋪築機應置於能使瀝青混合料緊密擠塞於接縫垂直接合面之處，並使其有適當之厚度，俾於壓實後，能與鄰接路面齊平。

3.2.7 邊緣

- (1) 瀝青混凝土之邊緣，如不用木料支撐時，應稍予鋪高並以熱夯充分夯緊，使能承受壓路機之輪重後，立即開始滾壓。滾壓時，壓路機之後輪應伸出邊緣[5～10cm][]。
- (2) 如瀝青混凝土路面與緣石或邊溝接壤時，其鋪築及滾壓工作應特別小心，以免損及緣石及邊溝。

3.2.8 路肩

如路肩不鋪面層時，路肩料應俟瀝青混凝土面層滾壓完成後，儘速鋪築。

3.3 檢驗

使用天然級配粒料以外之材料，必要時，得依工程特性，酌增下列試驗頻率。所增加試驗頻率之費用按本章 4.2.4 款規定辦理。

3.3.1 粒料依 CNS 490，經洛杉磯磨損試驗 500 轉後之磨損率，用於底層、聯結層及整平層者不得大於[50%][]，用於磨耗層者不得大於[35%][]及面層者不得大於[40%][]。檢驗頻率為[每 2000m³ 1 次][] [每 3 個月 1 次][]。

3.3.2 粗粒料依[CNS 1167][AASHTO T104][]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於[12%][]；硫酸鎂溶液之方法其重量損失不得大於[18%][]。檢驗頻率為[每 2000m³ 1 次][] [每 3 個月 1 次][]。

3.3.3 細粒料依[CNS 1167][AASHTO T104][]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於[15%][]。檢驗頻率為[每 2000m³ 1 次][] [每 3 個月 1 次][]。

3.3.4 瀝青材料

針入度分類依[CNS 2260][]之規定檢驗，黏度分類依[AASHTO M226][ASTM D3381][CNS 15073][]之規定檢驗，檢驗頻率為[每 50 公噸 1 次][每 100 公噸 1 次][出廠證明][]。

3.3.5 瀝青含量抽油試驗

依[CNS 15478][AASHTO T164][ASTM D2726][ASTM D1188][]試驗，頻率為[每天 2 次][]。

3.3.6 壓實度

- (1) 瀝青混凝土應滾壓至設計圖說所規定之壓實度。如無明確規定時，應依美國瀝青學會 AISS-1 第 3.17 節 1992 年版之規定，用馬歇爾夯壓方法每天在室內做[6 個][]試體之夯壓試驗求其平均密度，然後做[5 處][]工地密度試驗求其平均值，該平均值應達到室內平均密度之[96%][]以上，且任一工地密度不得低於室內平均密度之[94%][]。
- (2) 工地密度可用核子儀依[ASTM D2950][]試驗方法或鑽取試樣求之。
- (3) 壓實度未能符合規定時之處理辦法，應依設計圖說或其他契約文件之有關規定辦理。

3.3.7 平整度

- (1) 新鋪設路面、全部厚度或部分厚度之銑刨加鋪路面及管線挖掘回填路面，完成後之路面應具平順、緊密及均勻之表面。路面之平整度得以[3m][]長之直規、高低平坦儀或慣性剖面儀擇一執行。
- (2) 以[3m][]長之直規或高低平坦儀量測道路平整度時，應沿平行於，或垂直於路中心線之方向檢測時，其任何一點高低差，底層或結合層不得超過 $\pm 0.6\text{cm}$ []，平整度標準差(S)不得大於 0.26cm []；一般公路之面層不得超過 $\pm 0.6\text{cm}$ []，平整度標準差(S)不得大於 0.26cm []；高速公路之面層不得超過 $\pm 0.3\text{cm}$ []，平整度標準差(S)不得大於 0.24cm []。
- (3) 以慣性剖面儀量測道路平整度時，一般公路面層之國際糙度指標(International Roughness Index, IRI)應小於 3.5m/Km []；高速公路面層之 IRI 值應小於 1.75m/Km []。
- (4) 所有高低差超過上述規定部分，應由承包商改善至合格為止。
- (5) 所有微小之高凸處、接縫及蜂巢表面，均應以熱燙板燙平。

3.3.8 鋪築厚度

- (1) 同一種規格之瀝青混凝土層完成後，每 $1,000\text{m}^2$ []應鑽取一件樣品，依 CNS[8755][]之試驗法，檢測其厚度，檢測之位置以隨機方法決定。所留試洞於檢測後，承包商應即以相同或近似材料回填夯實。
- (2) 路面厚度之許可差，應按其厚度檢測結果，且任何一點之厚度不得少於設計厚度 10% []或 1cm []之較小者。

3.4 現場品質管理

使用再生粒料時，如契約規定或工程司認有必要時，則應按本章之 3.3 檢驗之規定，先試鋪至少 150m 長之一段路面，以查證所用材料、施工機具及施工方法是否能達到所要求。

3.4.1 路面保護

- (1) 瀝青混凝土於最後滾壓完成後，除契約另有規定外，在鋪面溫度自然冷卻至 50°C []前，應禁止任何車輛行駛其上。
- (2) 路面於滾壓完成後，埋置於路面下方之人(手)孔蓋，若經管線管理機關與路權管理機關協調具有消防緊急救災或安全需要，必需留設於路面上之人(手)孔蓋，則以鋪面切割機切割人(手)孔蓋上方鋪面並於刨除後將人(手)

孔蓋提升至與路面齊平，其餘則俟需要於管線檢修時再由管線管理機關提出申請切割人(手)孔蓋上方鋪面後開啟，完成管線檢修作業後人(手)孔蓋仍以留設於路面下為原則，人(手)孔蓋上方鋪築瀝青應依前述施工方法完成並確實與路面齊平。

4. 計量與計價

4.1 計量

4.1.1 瀝青混凝土路面按完工後經驗收合格不同類型之數量，以[立方公尺][公噸][]計算。

(1) 以立方公尺計算時：應以設計圖說[所示斷面及實際鋪築長度][面積乘以厚度][]計算所得之體積為準。

(2) 如以公噸計算時：應以設計圖說[所示斷面及實際鋪築長度][面積乘以厚度][]計算所得之體積乘以實際所鋪瀝青混凝土之單位重所得之重量為準。

4.1.2 在運送途中如有析離或損壞，或因鋪築機械故障或其他理由，而經工程司拒絕使用或挖除重鋪之瀝青混合料，均不予計算。

4.2 計價

4.2.1 瀝青混凝土依契約詳細價目表內所列不同類型之單價，以[立方公尺][公噸][]為單位計給。

4.2.2 該項單價已包括瀝青及粒料等材料之供應，底層、基層、路基或原有面層之整理與清掃、瀝青混合料之加熱與拌合、運送、鋪築及滾壓等，以及為完成熱拌瀝青混凝土路面所需之一切人工、材料、機具、設備、動力運輸及其他為完成本工作所必需之費用在內。

4.2.3 所鋪壓實度、平整度或厚度不符之路面及其挖除所需一切費用，均應由承包商負擔，不另給價。

4.2.4 所有檢測、回填及夯實費用，均應由承包商全部負擔，不另給價。

〈本章結束〉

附錄二 瀝青混凝土氧化矽供料計畫書

目錄

項目	內容	頁次
一、公司基本資料	1-1 公司簡介	1
二、氧化矽來源及製程	2-1 氧化矽原料來源及製程	2
	2-2 氧化矽原料環境相容性及輻射檢驗	3
	2-3 氧化矽再利用生產製程流程	5
三、品質管制措施	3-1 品管作業檢驗程序	7
	3-2 進廠允收管制及退運程序	8
	3-3 氧化矽產品環境相容性檢驗及輻射檢驗	10
	3-4 氧化矽產品浸水膨脹率及粒料品質	11
四、建議供料稽核方式	4-1 供料稽核方式	12
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，屬於國內專業化爐碴再利用工廠，再利用項目包括：電弧爐煉鋼爐碴、旋轉窯爐碴、感應電爐爐碴、化鐵爐碴及廢鑄砂工廠之鑄砂，核准再利用總檢核量為 45,100 公噸/月，目前氧化碴再利用檢核量為 31,000 公噸/月。爐碴再利用產品包括：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，生產控制性低強度材料(CLSM)，最大生產量為 26,400 公噸/月，屬於爐碴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碴、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碴的再利用廠。XX 公司電弧爐煉鋼氧化碴粗、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 公司氧化碴瀝青混凝土試鋪案例參考：

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

高雄義大路氧化碴瀝青混凝土試鋪案例 <https://youtu.be/LkHTXyam2CE>

二、氧化碴來源及製程

2-1 氧化碴原料來源及製程

電弧爐煉鋼廠爐碴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℃ 以上，在此階段將廢鐵、廢鋼熔解。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) 熔解期: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 以上熔解廢鐵、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碴。
- (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碴。
- (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，分別為熔解期、氧化期及還原期，排出的爐碴又分為氧化碴及還原碴，二種不同性質的爐碴依經濟事業廢棄物管理再利用管理辦法附表三編號十四爐碴(石)管理規定分區貯放。XX 鋼鐵股份有限公司爐碴產生的流程如圖 2-1 所示。

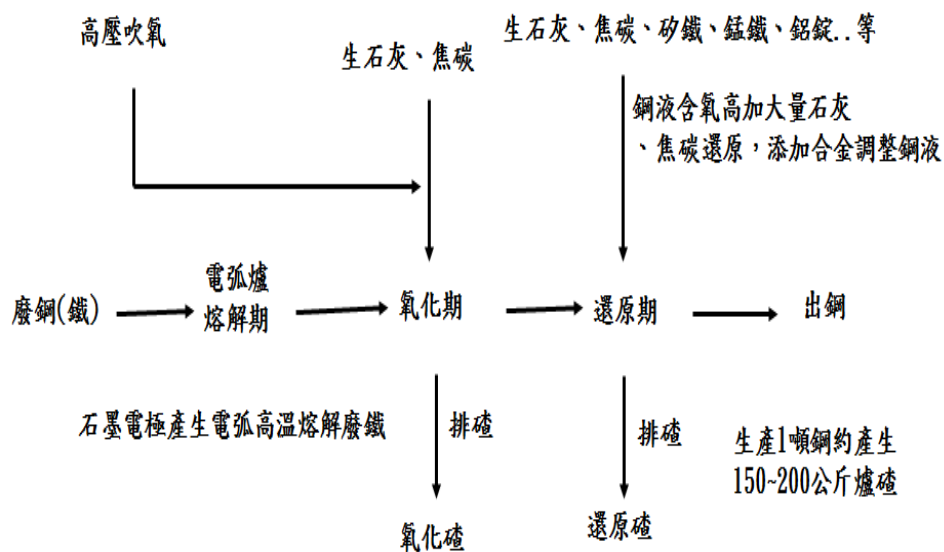


圖 2-1 XX 鋼鐵公司爐碴產生流程

2-2 氧化碓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三編號十四、電弧爐煉鋼爐碓(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碓才能進入再利用廠。

表 2-1 X X 鋼鐵產出氧化碓環境相容性檢驗

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
總鉍 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	≤0.1	0.0003
pH	NIEA R208.04C	10.71	2~12.5	-

表 2-2 X X 鋼鐵產出氧化碓輻射劑量檢驗

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 氧化碓再利用生產製程流程

XX公司氧化碓再利用作業程序首先是將待處理的氧化碓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 100mm 爐碓進入料桶，大於 100mm 以上爐碓分離至堆置區，經由怪手、大鋼牙協助敲碎至尺寸小於 100mm 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)，分選出爐碓 5~18mm，大於 18mm 之爐碓，將由輸送帶送往錐碎機(石磨)進行至小於 18mm 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，將產品區分成廢鐵及氧化碓粗、細粒料。粗粒料(石)尺寸為二分石、三分石，細粒料尺寸<5mm。本廠可以依客戶需求尺寸分佈的粒料調整粒料大小。

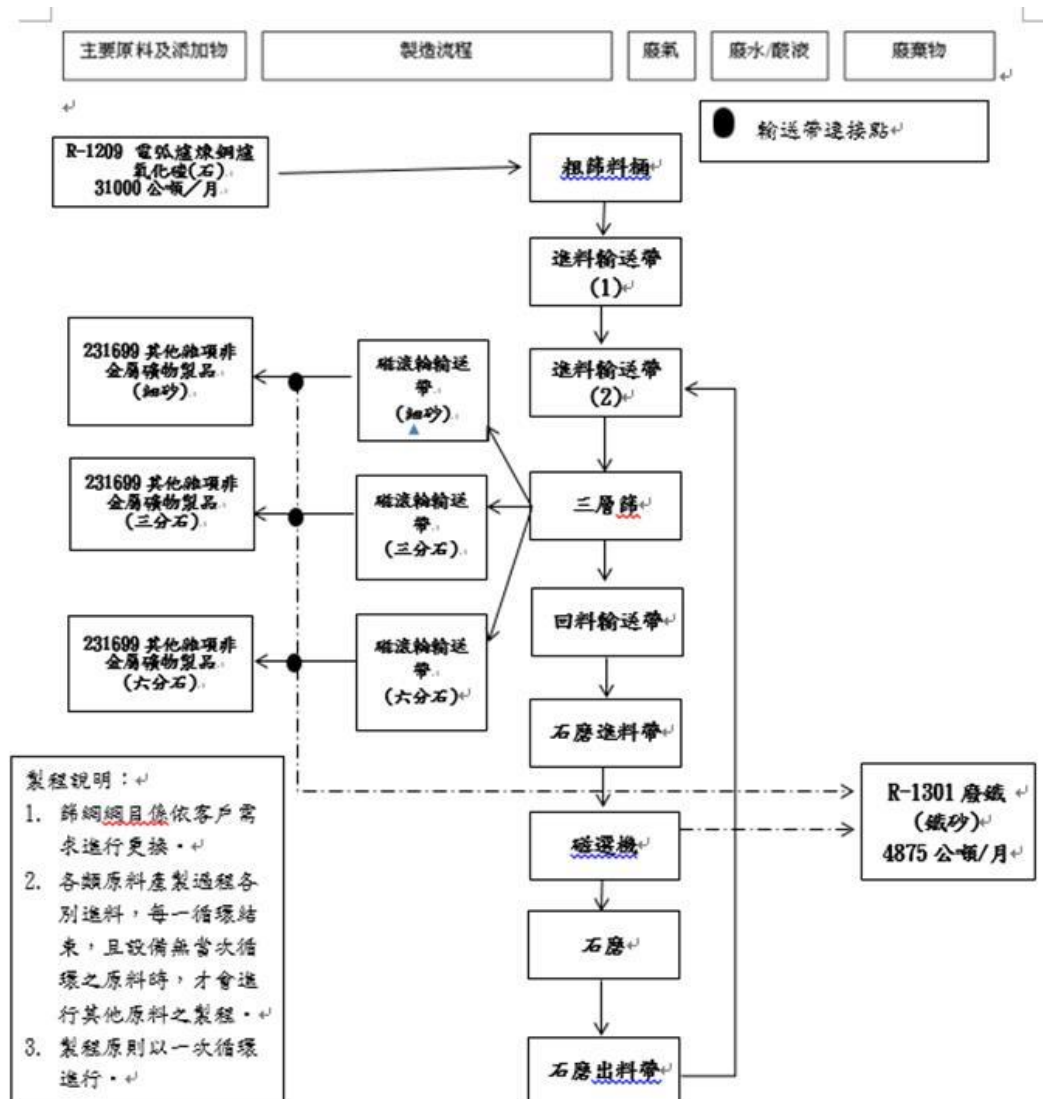


圖 2-2 XX 公司氧化碓生產製程流程圖

三、品質管制措施

3-1 品管作業檢驗程序

為確保本廠氧化碴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三編號十四、電弧爐煉鋼爐碴(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碴才能進入工廠，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；氧化碴經破碎、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，瀝青混凝土產品依公共工程施工綱要規範之品質(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。

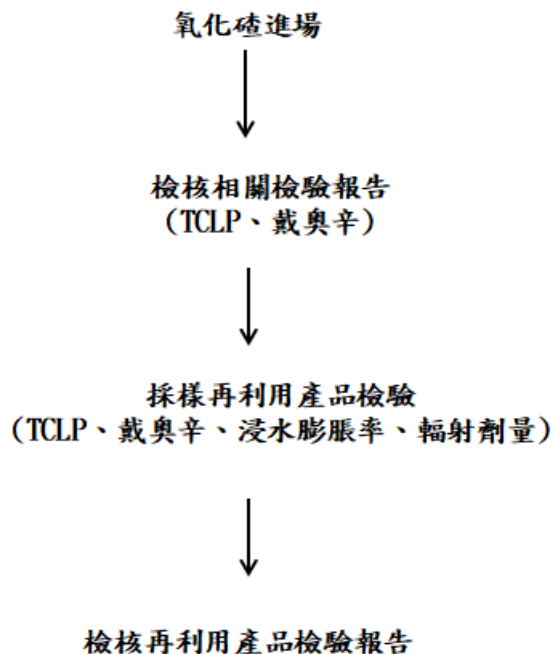


圖 3-1 X X 公司品管作業檢驗程序

3-2 進廠允收管制及退運程序

(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

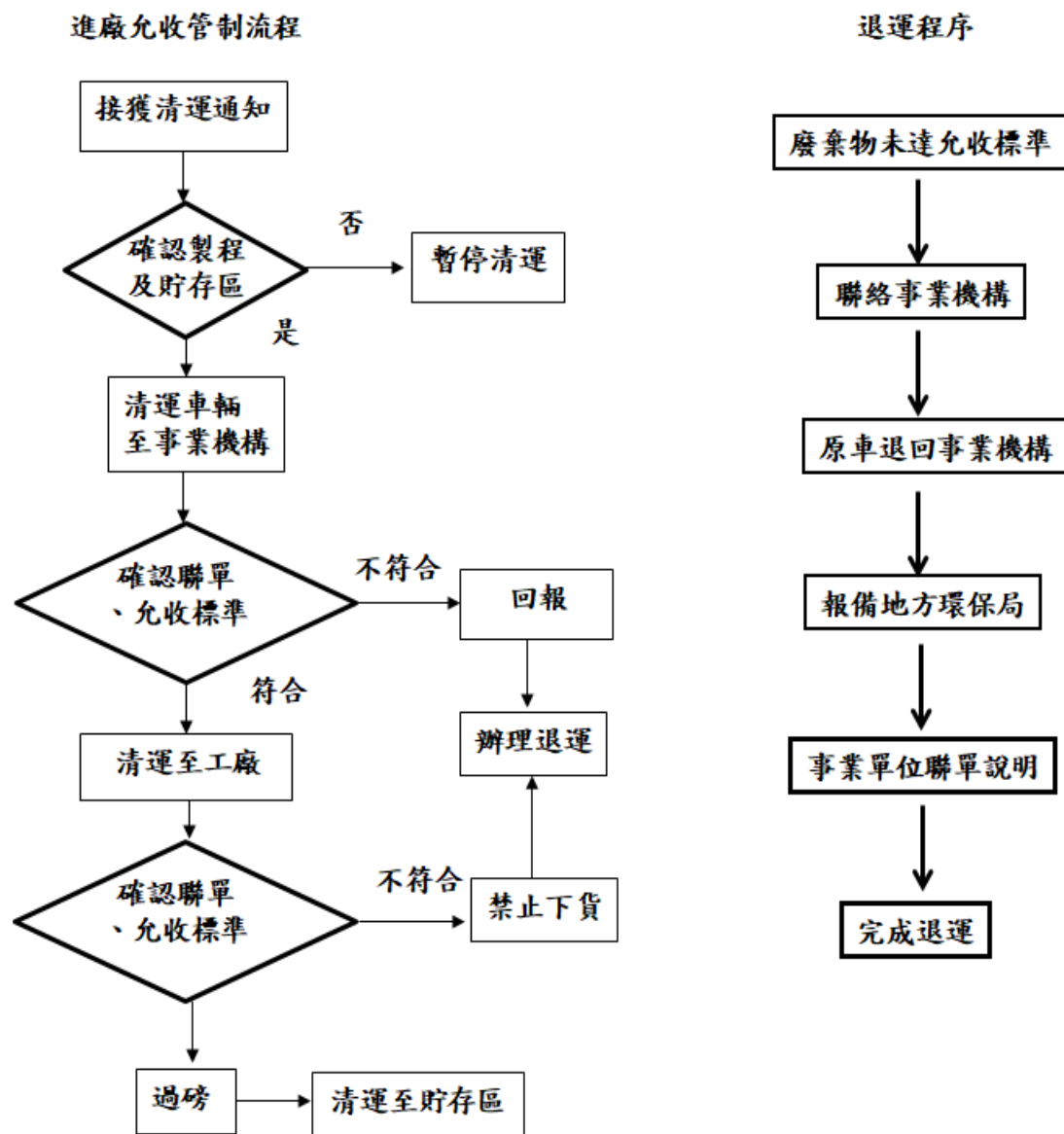


圖 3-2 進廠允收管制及退運程序

3-3 氧化矽產品品質檢驗及輻射檢驗針對氧化矽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。

本廠氧化矽產品之檢測結果如表 3-1 到表 13~4。

表 3-1 X X 公司氧化碲產品品質檢驗

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
總鎘 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
總鋇 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 X X 公司氧化碓產品輻射劑量檢驗

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 氧化碓產品浸水膨脹率及粒料品質

表 3-3 X X 公司氧化碓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 X X 公司氧化碓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)	CNS486 與 CNS491	參見七、相關佐證資料 3	符合業主需求或 CNS15309 細粒料級配規定之級配稱號
健度%	CNS1167	2.8	硫酸鈉: ≤ 15 硫酸鎂: ≤ 20 CNS15309 附錄 A
塑性指數	CNS5088	NP	≤ 4 (通過 425 μm 試驗篩 CNS15309 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方可供料；使用氧化矽施工時，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 CNS15309 瀝青混凝土用細粒料、CNS15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料，驗收方式依循公共工程施工規範第 02742 章瀝青混凝土鋪面。本案針對氧化矽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 瀝青混凝土鋪面用氧化矽產品品質檢測項目、方法及頻率

檢測項目	檢測方法	標準要求	頻率
比重	CNS488、CNS487	-	每一工程或每一來源
篩分析 (級配)	CNS486 與 CNS491	符合業主需求或 CNS15309 細粒料級配 規定之級配稱號	
健度%	CNS1167	硫酸鈉: $\leq 15\%$ 硫酸鎂: $\leq 20\%$ CNS15309 附錄 A	
浸水膨脹率%	CNS15311	<0.5	
塑性指數	CNS5088	≤ 4 (通過 $425\mu\text{m}$ 試驗篩 CNS15309 規定)	
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
總鎘 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
總鋇 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

