

桃園市政府工務局

氧化矽  
使用手冊

中 華 民 國 113 年 5 月

# 序

## 重新定位煉鋼產業的副產物

鋼鐵材料製程中產生之副產物有高度複雜化學特性，導致副產物的再利用與處置的措施遭遇困難。然而，電弧爐煉鋼所產生的氧化渣組成成份較單純，且具有有很好的工程性質，經本局委託學術單位研究將氧化渣應用於道路工程的可行性評估，獲致良好的成效，該副產物已經在桃園市開展另一生命的舞台。

## 強化能源治理，示範循環經濟

鄭文燦市長在 110 年 3 月 18 日親自前往新屋區訪視供料廠商，受訪時表示將煉鋼過程中產生的電弧爐氧化渣，取代天然砂石製成瀝青混凝土鋪面及 CLSM 預拌混凝土，其產出的再生粒料強度足夠、耐磨性高，替代天然砂石應用於道路鋪面、管挖修復及停車場等工程，可提升工程品質及減少天然資源開採，達到循環經濟的效果。

## 創新氧化渣道路

105 年度桃園龍潭區高原路(桃 68-1 線)鋪面改善工程是本市首次鋪設氧化渣道路，為全臺第一條氧化渣試辦道路，107 年度「八德區豐德路氧化渣瀝青混凝土鋪面試辦工程」更是使用氧化渣再利用的瀝青混凝土粒料，除獲得「107 年桃園市政府公共工程金品獎」亦獲「第 18 屆公共工程金質獎」肯定，迄今，本市道路歲修工程會有三分之一路段以氧化渣作為鋪面材料，未來也將應用於工業區及重要產業道路修復，成效評估也顯示道路工程品質非常優異。

為確保供應材料符合環保要求、工程品質要求及具有循環經濟的效益，本手冊將分別針對再利用機構生產與管理、刨除粒料之品質管理與檢驗、施工要點等方面說明，並提供工程應用實例，期盼收穫導引、推廣之效。

桃園市政府工務局局長



111年5月23日

## 目 錄

<b>第一章 總則 .....</b>	<b>1</b>
1.1 緒論 .....	1
1.1.1 緣起 .....	1
1.1.2 目的 .....	2
1.1.3 定義 .....	3
1.1.4 適用範圍 .....	3
1.2 內容架構說明 .....	3
1.2.1 氧化碓再利用機構之生產與管理 .....	3
1.2.2 氧化碓產品之品質管理與檢驗 .....	4
1.2.3 氧化碓應用用途之施工要點 .....	4
1.2.4 工程應用實例 .....	4
1.3 手冊使用者導引 .....	4
1.4 現行手冊盤點 .....	5
1.5 規範相關要點 .....	5
1.6 使用準則 .....	7
1.7 氧化碓介紹 .....	9
1.7.1 物理性質 .....	9
1.7.2 化學性質 .....	10
<b>第二章 氧化碓再利用機構之生產與管理 .....</b>	<b>14</b>
2.1 氧化碓再利用機構 .....	14
2.2 生產流程與注意事項 .....	15
2.3 運送與再利用流向申報管理 .....	16

<b>第三章 氧化矽產品之品質管理與檢驗 .....</b>	<b>22</b>
3.1 道路級配粒料底層與基層 .....	22
3.1.1 氧化矽再利用機構管制 .....	22
3.1.2 產製階段管制 .....	23
3.1.3 施工階段管制 .....	23
3.1.4 驗收階段管制 .....	24
3.1.5 檢驗 .....	24
3.2 控制性低強度回填材料 .....	26
3.2.1 氧化矽出廠管制 .....	26
3.2.2 產製階段管制 .....	27
3.2.3 施工階段管制 .....	27
3.2.4 驗收階段管制 .....	28
3.2.5 檢驗 .....	28
3.3 瀝青混凝土面層 .....	29
3.3.1 氧化矽出廠管制 .....	29
3.3.2 產製階段管制 .....	30
3.3.3 施工階段管制 .....	31
3.3.4 驗收階段管制 .....	31
3.3.5 檢驗 .....	32
<b>第四章 氧化矽應用用途之施工要點 .....</b>	<b>34</b>
4.1 道路級配粒料底層與基層 .....	34
4.1.1 路基或基層整理 .....	34
4.1.2 撒鋪材料 .....	34
4.1.3 滾壓 .....	35
4.1.4 保護 .....	36

4.2 控制性低強度回填材料 .....	36
4.2.1 事前準備 .....	36
4.2.2 澆置 .....	37
4.2.3 養護 .....	37
4.3 瀝青混凝土面層 .....	38
4.3.1 瀝青混凝土混合料之鋪築 .....	38
4.3.2 滾壓方法 .....	39
4.3.3 保護 .....	41
<b>第五章 工程應用實例 .....</b>	<b>42</b>
5.1 道路級配粒料底層與基層 .....	42
5.2 控制性低強度回填材料 .....	43
5.3 瀝青混凝土面層 .....	50
<b>參考資料 .....</b>	<b>61</b>

## 表目錄

表 1-1 現有使用手冊彙整 .....	5
表 1-2 氧化矽與還原矽各化學成分之含量 .....	12
表 1-3 碳鋼矽與不銹鋼矽化學成分之含量 .....	13
表 2-1 氧化矽瀝青混凝土粒料供料計畫書-建議內容 .....	18
表 2-2 氧化矽瀝青混凝土氧化矽供料計畫書-案例 .....	20
表 3-1 氧化矽再生粒料之出廠檢驗標準 .....	24
表 3-2 CLSM 檢驗標準 .....	29
表 3-3 CLSM 檢驗方法 .....	29
表 5-1 化性檢驗報告結果 .....	42
表 5-2 氧化矽成本參照表 .....	43
表 5-3 F60、S60 單價表 .....	45
表 5-4 控制性低強度回填材料(CLSM)配比-1 單位：KG/M <sup>3</sup> .....	47
表 5-5 控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告-1 .....	47
表 5-6 控制性低強度回填材料(CLSM)配比-2 單位：KG/M <sup>3</sup> .....	48
表 5-7 控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告-2 .....	48
表 5-8 控制性低強度回填材料(CLSM)配比-3 單位：KG/M <sup>3</sup> .....	49
表 5-9 控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告-3 .....	49
表 5-10 水質檢測結果 .....	50
表 5-11 鋪面現況指標(PCI)第一次(2018.4.11)成效追蹤表(平均值) .....	52
表 5-12 鋪面現況指標(PCI)數據第二次(2018.7.17)成效追蹤表(平均值) .....	52
表 5-13 國際糙度指標(IRI)數據第一次(2018.4.13)成效追蹤表 .....	53
表 5-14 國際糙度指標(IRI)數據第二次(2018.7.20)成效追蹤表 .....	53
表 5-15 八德區豐德路漢堡輪機試驗結果 .....	58
表 5-16 八德區豐德路漢堡輪機試驗對照組 .....	59
表 5-17 戴奧辛檢驗報告結果 .....	60

## 圖目錄

圖 1-1 氧化矽使用管制流程圖 .....	8
圖 1-2 氧化矽 .....	9
圖 1-3 氧化矽 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三相圖 .....	12
圖 2-1 氧化矽再利用處理 .....	14
圖 2-2 再利用機構氧化矽製程流程圖 .....	15
圖 2-3 固定污染源操作許可證示意圖 .....	21
圖 3-1 品質管制流程 .....	22
圖 5-1 坍流度試驗 .....	47
圖 5-2 落沉試驗 .....	47
圖 5-3 順樁 IRI 及 PCI 試驗點位 .....	51
圖 5-4 逆樁 IRI 及 PCI 試驗點位 .....	51
圖 5-5 PCI 值各試驗時間比較 .....	53
圖 5-6 順樁路面抗滑及標線抗滑試驗點位 .....	54
圖 5-7 逆樁路面抗滑及標線抗滑試驗點位 .....	55
圖 5-8 第一次(2018.4.20)成效追蹤抗滑平均值(校正前).....	55
圖 5-9 第一次(2018.4.20)成效追蹤抗滑平均值(校正後).....	56
圖 5-10 第二次(2018.7.17)成效追蹤抗滑試驗校正後(黃線數值為標準 43).....	57
圖 5-11 蛙蛙路(第二期)道路平面圖 .....	46

## 第一章 總則

### 1.1 緒論

#### 1.1.1 緣起

循環經濟、節能減碳是全世界發展趨勢，民國 105 年 5 月就職演說時任總統蔡英文就已強調就職演說內就已強調「讓台灣走向循環經濟時代，把廢棄物轉換為再生資源」為本國重大政策。中央政府為推動循環經濟，鼓勵地方政府逐步將各種再生資源運用於公共工程。桃園市政府(以下簡稱本府)自 105 年起開始籌劃本府如何將再生再利用粒料運用於工程使用，達到該政策目標。

台灣鋼鐵工業每年煉鋼約 2,100 萬公噸，產值約 9,500 億元，同時會產生 300 萬公噸的爐渣無處去。因廠商堆置空間有限，有被迫減產之虞，屆時所產生層面會波及電子工業及汽車工業...等其他國家工業，會間接造成本國經濟與生計嚴重問題，實在非同小可。

前述國家鋼鐵業面臨難題結合本國整體施政方向，本府在審慎評估後規劃氧化渣此再生再利用粒料資源做為研究解決的對象。於 105 年本府首先與經濟部工業局在龍潭區高原路進行氧化渣試辦工程，之後於 106 年 8 月與行政院公共工程委員會至鋪築道路現地全面勘查檢視，確認試辦成效良好。進而透過產、官、學全面的深入研究修訂規範，接續 107 年 4 月又在八德區豐德路進行更大規模的工程試辦，作為桃園市公共工程的示範道路，同時驗證工程成效，在平整度 IRI、鋪面品質 PCI 以及鋪面安全性 SN (抗滑) 等試驗，都不亞於一般瀝青混凝土鋪面。其研究試辦結果得到，氧化渣做為道路面層細粒料 30% 替代材料是可行的。摻配氧化渣的瀝青混凝土不僅能大幅提升道路之耐久性，亦能延長道路壽命、降低日後道路維護管理費用。氧化渣循環經濟應用的中期目標為導入工業區道路鋪設，預計

可消耗的氧化矽噸數為 1.2 萬噸；長期目標為本市每年專案道路歲修 1/3 面積(約 50 萬平方公尺)使用於道路鋪面，每年可至少去化 4.5 萬噸以上。未來如在航空城道路(約 360 公頃)使用，則預計可去化 65 萬噸以上。

而就循環經濟效益兩大項目來探討分別為碳排放量及成本分析。其中碳排放成果依照環境保護署產品碳足跡服務平台公告資訊、NSL chemical 及八德區豐德路案例，從天然級配料改採用氧化矽之碳排放量約節省 2.4 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。而成本分析方面，氧化矽應用道路鋪面，以「瀝青混凝土(添加氧化矽 30%)，19mm 密級配，AC-20」做計算為主，假設無添加氧化矽之天然級配瀝青混凝土編列價格約 5500 元/m<sup>3</sup>，30%氧化矽為免費供料，因此折減後氧化矽瀝青混凝土約 3850 元/m<sup>3</sup>，以上價格為範例之成本分析，僅供參考，成本單價會略為浮動，如需使用材料時依屆時之報價為準。

由於氧化矽比重大、硬度高，故應用於道路鋪面之特性為磨損率低、抗車轍、抗滑及抗剝脫能力佳。運用再生資源進行道路工程，效益上除可解決鋼鐵工業製程下副產品無法去化問題，達到產業轉換、循環經濟，並因為氧化矽目前皆為免費供料，在取代瀝青混凝土部分粒料後，可降低部份成本約 25%，落實保護生態環境、產業轉換、循環經濟、愛護地球及減少開採天然級配粒料及減少廢棄物產生之正面助益。

### 1.1.2 目的

由前述內容提及之 105 年高原路試辦計畫為起點，展開了本府對循環經濟材料氧化矽之推動，開始透過產、官、學合作研究修訂規範，並於 107 年八德區豐德路進行大規模工程試辦，確認其成效不亞於一般材料，故為有效推廣資源再利用，將氧化矽導入各工程之使用。而本手冊編撰目的，在於配合循環經濟平台，為工程界各單位於使用氧化矽時提供參考依據，透過了解正確之使用方法及相關規定，確保有良好之工程品質。

### 1.1.3 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。

### 1.1.4 適用範圍

本手冊所規範或建議事項配合桃園市較常使用之工程用途，主要撰寫內容為氧化渣應用於瀝青混凝土面層、道路級配粒料底層及基層、與控制性低強度回填材料，其中參照之規範為第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」、第 02722 章「級配粒料基層」、第 02726 章「級配粒料底層」及第 03377 章「控制性低強度回填材料」。

## 1.2 內容架構說明

本手冊內容包含使用氧化渣所需資訊，各章節內容架構簡述如下：

### 1.2.1 氧化渣再利用機構之生產與管理

本章節主要說明氧化渣再利用機構在生產氧化渣時，所需具備資格及遵循之規定要求，詳如第二章所述。氧化渣進廠後處理製程、儲放、檢測與再利用流向申報管理等作業，應符合「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」之規定。另氧化渣再利用機構在運送氧化渣時，應隨車檢附供應品質證明文件，以確

保供應品質符合環保與工程性質要求，詳如 2.3 節所述。

### 1.2.2 氧化矽產品之品質管理與檢驗

氧化矽產品之品質管理與檢驗如第三章所述，氧化矽於工程應用時，其品質與各階段作業息息相關，故規範相關品質管制措施及注意事項，以提升各氧化矽產品之品質。

### 1.2.3 氧化矽應用用途之施工要點

本章節主要說明各氧化矽產品之施工要點，分別對於各施工階段之工作需求及施工標準進行說明，詳如第四章所述，並宜參照行政院公共工程委員會頒布之公共工程施工綱要規範相關規定辦理。

### 1.2.4 工程應用實例

本章節主要說明各氧化矽產品之工程案例，詳如第五章所述，藉由國內各氧化矽產品之試辦，證實氧化矽對環境無二次污染疑慮，並透過實地工程成效檢驗成果，佐證各氧化矽產品之可行性。

## 1.3 手冊使用者導引

本技術手冊可提供予供料機關(構)(包括地方環保局或其委託之再利用機構)、使用單位(工程單位、加工再製機構或其他運用者)等使用含氧化矽產品的參考資料，其中各單位依其職責可優先參考本手冊部分章節。

1. 供料機關(構)(包括地方環保局或其委託之再利用機構)可參照第二章、第三章及第五章內容，訂定產品品質管理與流向追蹤策略及方法。
2. 工程單位或代表工程單位的技術顧問機構(設計及監造單位)，於指定使用含氧化矽之產品於特定工程前，應已知悉氧化矽各相關事項，故可參考第三章~第五章內容，選定符合規定之氧化矽及全程管控產品品質。

3. 施工廠商及加工再製機構應參照第二章至第五章內容，採用正確含氧化矽之生產、產製與施工程序及含氧化矽產品品質控制方法。

## 1.4 現行手冊盤點

本章節主要針對環保署及桃園市環保局現有之使用手冊進行彙整，提供給各單位不同之參考依據，讓各單位在使用上能更加安心，更利於氧化矽之推動，並預期未來各單位皆可達到可用、敢用、會用、一定要用之效果。

本手冊與其餘使用手冊之差異性在於本手冊強調材料應用之流程，特別提點廠商於使用材料時之注意要點及使用材料過程中該申請之文件，並介紹材料推動之歷程，讓大眾有更深層之認識，現行使用手冊彙整如表 1-1。

表 1-1 現有使用手冊彙整

使用手冊	單位	年份
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、財團法人臺灣營建研究院	2017
電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)	台灣鋼鐵工業同業公會	2019
電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於道路級配粒料基底層	台灣鋼鐵工業同業公會	2019

## 1.5 規範相關要點

試辦工程於初期難以推動原因如下：其一，施工綱要規範為相關專業之學者及業界專家，經過無數工程經驗而訂定，具高度可信性，惟新材料及新工法尚無規範可供採用，因此無法進行試辦工程；因無經驗及案例可採納，施工綱要規範訂定過程受阻，無法確認所訂之規範合適性。造成規範、試驗及試辦案三者生成之先後順序產生混亂之問題。

欲使道路面層、道路基層及管溝回填等工程能使用新觀念、新材料（鋼質粒料、瀝青混凝土刨除粒料、焚化再生粒料）及新工法去施作，必須完成本市相關施工規範的修訂，並陸續函送行政院公共工程委員會進行全國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」、「第 02722 章 級配粒料基層」、「第 02726 章 級配粒料底層」及「第 03377 章 控制性低強度回填材料」等 5 章施工規範審查編修程序，才能提供全國各工程主辦機關使用，落實全面推動。本府領先全國針對瀝青混凝土刨除粒料、鋼質粒料(氧化碴及轉爐石)、焚化再生粒料等循環經濟材料訂定施工綱要規範，並陸續完成道路工程試辦作業。

透過試驗、試辦、規範同進的方式，召開多次專家學者會議、輔導試辦會議及配比設計研擬等。

以氧化碴為例，因特性及新材料之不確定性，修定重點將著重材料來源、性質符合需求等，如下敘述：

1. 氧化碴因有膨脹性問題，為避免不肖業者摻入不合規定之粒料，增列「CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」及「CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」，且該材料七天之膨脹量須小於 0.5%。
2. 因桃園市政府試辦案之經驗結果，氧化碴有鐵的特質，故仍有鏽蝕可能性，而為避免鏽蝕觀感不佳，建議僅使用細粒料。
3. 氧化碴於國外有相當多使用案例，且為優質之粒料，為避免與一般電弧爐煉鋼副產品—氧化碴造成混淆，經再利用機構處理後之粒料為氧化碴細粒料。
4. 將供料計畫的概念引入至規範中，使氧化碴之使用具可追溯性。

## 1.6 使用準則

氧化碴之再利用是依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」以經濟部為目的事業主管機關之事業，再利用機構將其事業廢棄物做為原料、材料、燃料、工程填料、土地改良、新生地、填土或經經濟部認定之用途行為。法規上，由經濟部做為主管機關，使工程機關得以放心使用再利用機構所生產之產品，而通案再利用業者需具備相關資格。因此氧化碴使用之管制流程圖中，比一般材料多了再利用機構的程序，並且由再利用機構提出供料計畫書，以佐證提供之氧化碴粒料品質保證，詳細供料計畫書內容如第二章 2.3 節所述。

氧化碴為鋼鐵公司之廢鐵及廢鋼精煉鋼製程後產生之副產物，經再利用機構加工後產出氧化碴粒料，並由再利用機構提出供料計畫書，經由主管機關經濟部工業局審核後，達成允收標準之粒料由瀝青廠收料。而瀝青混凝土廠商進行加工拌合後，生成氧化碴粒料並應用於工程上之各用途，各工程後續會與鋼鐵工會合作進行水質檢測且會進行道路品質檢測，材料送達瀝青混凝土廠後各項後續事項之主辦機關皆為桃園市政府，詳細流程圖如圖 1-1 所示。

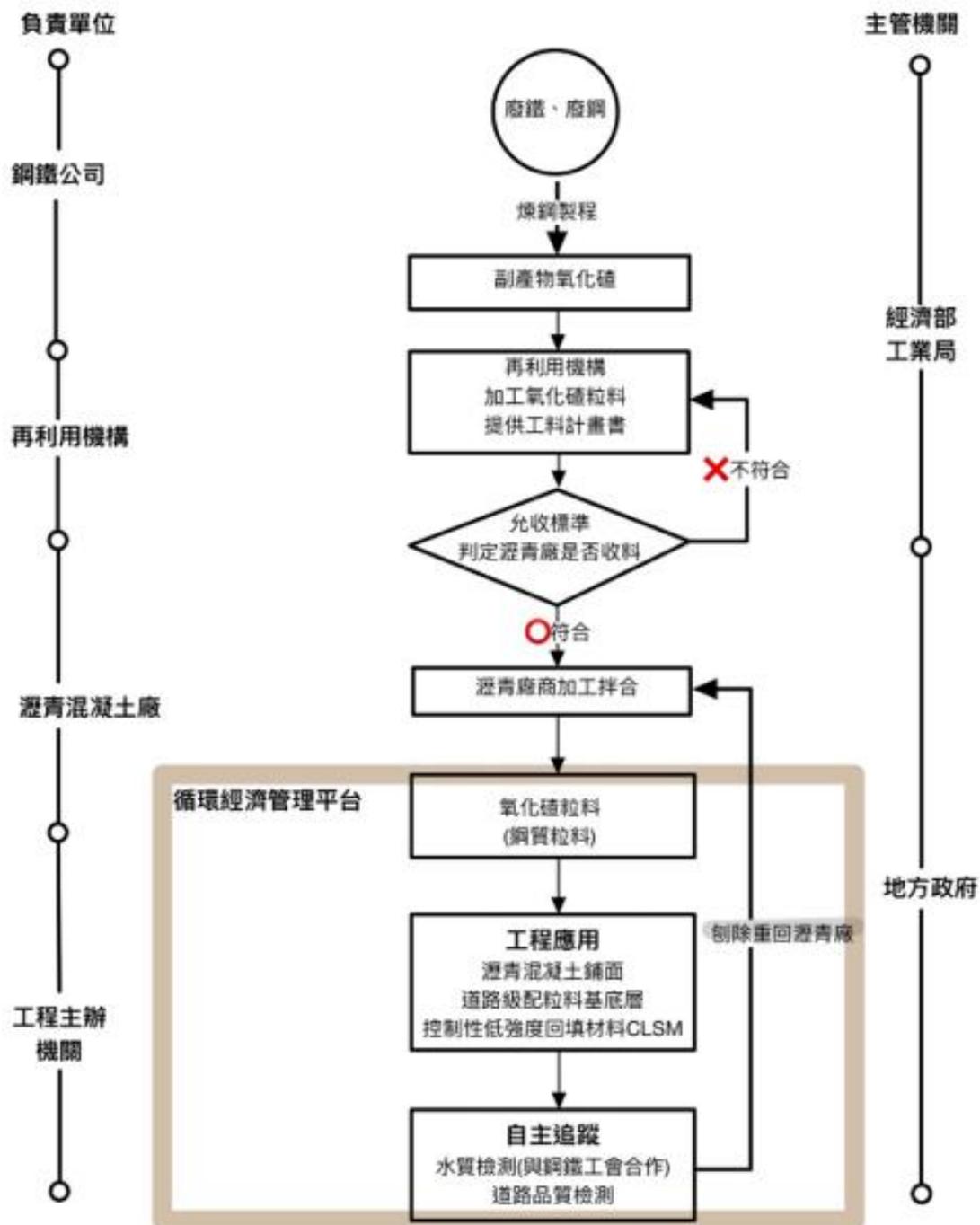


圖 1-1 氧化矽使用管制流程圖

## 1.7 氧化渣介紹

本章節針對氧化渣之基本性質進行介紹，若想深入了解氧化渣之產製過程及處理技術，請參考 1.4 小節提及之其餘使用手冊。

### 1.7.1 物理性質

#### 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，其粒型凹凸有稜角，且表面粗糙多孔，屬孔隙結構。粒料外觀如圖 1-2 所示。



圖 1-2 氧化渣

#### 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。

#### 3. 粒徑

為了降低銹斑產生，除加強磁選外，可使用不銹鋼氧化渣或粒徑小於 2.36mm 之碳鋼氧化渣。

#### 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。

#### 5. 吸油率

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. 耐磨性

氧化矽表面堅硬，其耐磨性高於天然粒料，適用於鋪面材料。

#### 8. 適用性

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。

### 1.7.2 化學性質

氧化矽主要為含有鈣、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 1-3 所示，其介於矽酸鹽水泥熟料和高爐粒料間。有關氧化矽之化學成分含量如表 1-2 表 1-3 及所列之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，因此氧化渣中 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<sub>2</sub>)

SiO<sub>2</sub> 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決斷標準，一般氧化矽在一定量時能生成活性物質 C3S、C2S 等，但量過多時反而會使活性降低。

### 3. 氧化鋁 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub> 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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)

硫在爐渣中含量極低，約在 0.05%~0.08% 之間，通常與 CaO 結合成 CaS，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<sub>2</sub>) 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增加活性，並不會對整體結構造成太大影響。

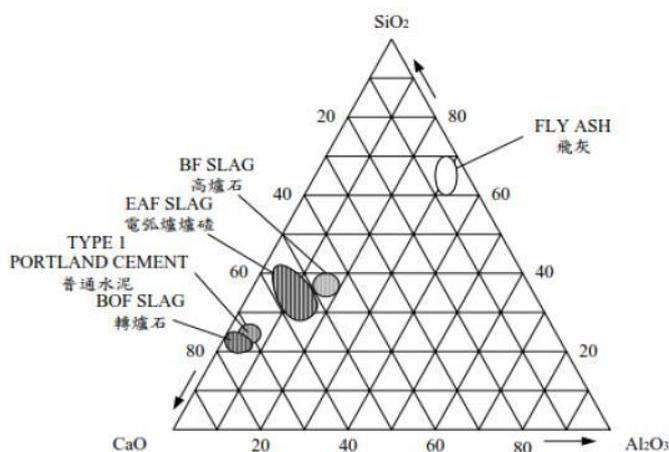


圖 1-3 氧化渣  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  三相圖

表 1-2 氧化渣與還原渣各化學成分之含量

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

表 1-3 碳鋼渣與不銹鋼渣化學成分之含量

化學物質	碳鋼渣含量(%) <sup>1</sup>	不銹鋼渣含量(%) <sup>2</sup>
氧化鐵(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	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 <sub>2</sub> )	13.81~20.43	22.56~34.6
三氧化二鋁(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	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 <sub>3</sub> )	0-0.16	0~0.03
游離氧化鈣(free-CaO)	0~0.16	0~0.16
註： <sup>1</sup> 103-105 年度各碳鋼廠產出檢驗統計資料。 <sup>2</sup> 105 年度各不銹鋼產出檢驗統計資料。		

## 第二章 氧化矽再利用機構之生產與管理

### 2.1 氧化矽再利用機構

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。

有關氧化矽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矽處理為再生粒料之業者，應具備相關資格如下。再利用處理現場情形如圖 2-1 所示。

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。



圖 2-1 氧化矽再利用處理

## 2.2 生產流程與注意事項

氧化渣再利用作業程序，首先將待處理的氧化渣原料從貯存區經由怪手投料至粗篩料斗，以取出小於 100 mm 之爐渣，再經由輸送帶運送至震動篩選機，分選出爐渣 5 ~ 20 mm，大於 20 mm 之爐渣後，經由輸送帶送往錐碎機（石磨）破碎至小於 20 mm 以下，再重新輸運至震動篩選機，處理過程中以磁選機將含廢鐵產品磁選後，將產品區分成廢鐵及氧化渣粗、細粒料。粗粒料（石）常用尺寸為三分石、六分石，細粒料常用尺寸  $< 5$  mm。再利用製程流程如圖 2-2 所示。

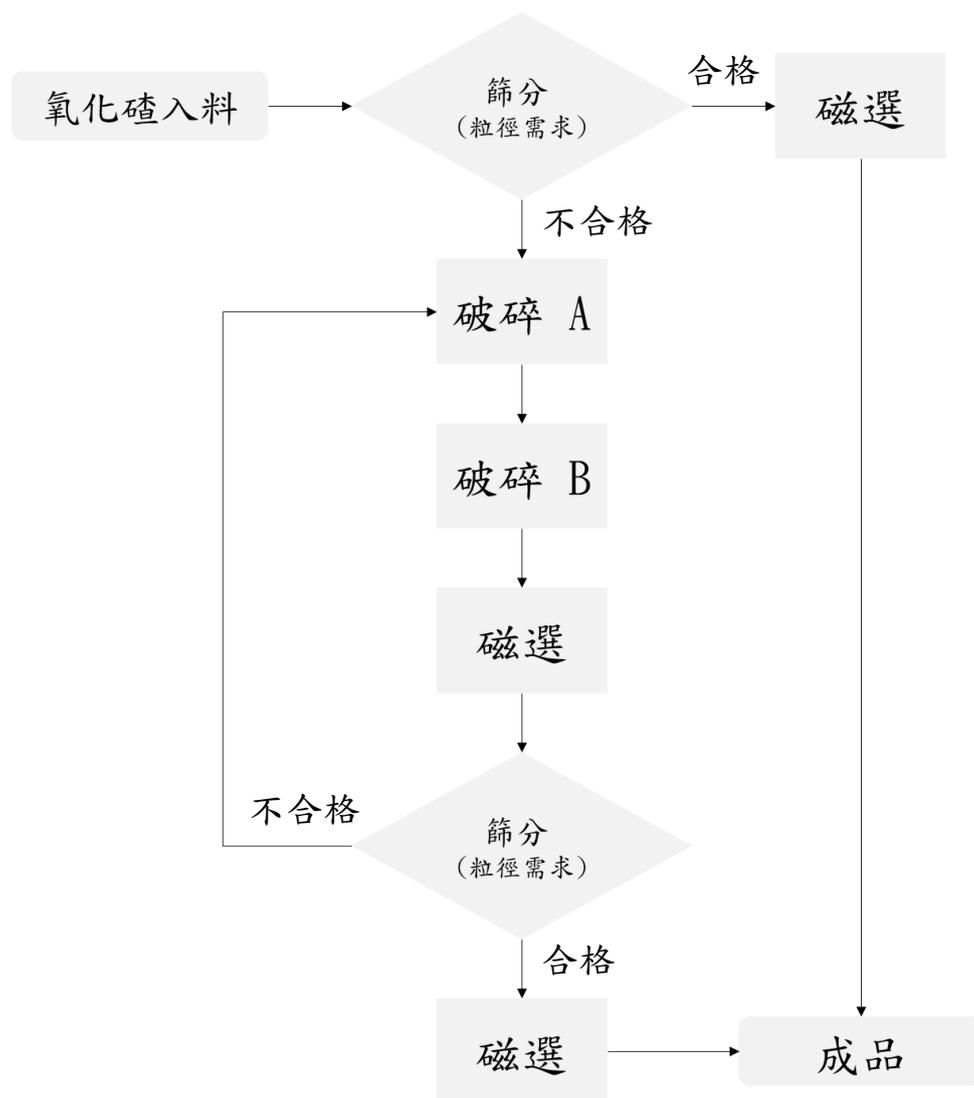


圖 2-2 再利用機構氧化渣製程流程圖

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，針對氧化碓再利用處理過程，建議注意事項詳列如下。

1. 大粒徑之氧化碓，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。

### 2.3 運送與再利用流向申報管理

工程人員對環境工程及汙染傳播等相關認知淺薄，故對新材料及新工法僅有充足的物理認知其可行性，現有的設計及施工規範使用上，亦無新材料的標準作業或品質管理方式，但材料持續放置於道路或土木工程中，是否對原生態或居民造成影響無法確切得知。

行政院農業委員會自 2007 年開始推動農產品「產銷履歷」，其價值包含：提高產品辨識性，培養消費者認同；提高生產品質，增加產品競爭力；加強風險控管與責任釐清。以上三點，正為工程新材料所面臨待解決之問題，對應原因如下：

1. 農業需提高產品辨識性，培養消費者認同—工程上亦需提高材料辨識性，新材料之供料廠商需借由標籤、標章、憑單或者書面文件，介紹予材料使用者，使用者可能是政府機關、工程顧問公司、營造廠商等，進而幫助供料廠商和使用者溝通。
2. 提高生產品質，增加產品競爭力—生產履歷為加強生產流程、安全管理、生產過程交由第三方驗證把關，工程材料亦同需供料廠商注重生產材料品質及汙染檢測由第三方把關。供料廠商有競爭、一般材料與循環經濟材料間亦有競爭，當循環經濟材料品質穩定，

逐漸凸顯循環經濟材料優勢，循環經濟材料將加入自由市場的機制，不再視為次等材料。

3. 加強風險控管與責任釐清——一般材料與循環經濟材料混合使用時，因循環經濟材料品管及流向管控完備，反觀一般材料，並無供料上的管制措施，應用於工程上，可能造成任何負面影響皆屬循環經濟材料為始作俑者。為避免此類狀況發生，供料廠商的材料來源於供料時詳細說明，並且可追溯，有助於後續工程發生問題後，釐清責任。

本手冊藉農產品之產銷履歷，延伸為工程材料之「供料計畫」。

於再利用管理中，為避免事業廢棄物有不當棄置導致污染環境，故環保署藉由網路申報機制之建立進行即時管理，並明確於法令中訂定應依規定申報之事業別與不同事業角色於各階段應申報之項目及頻率，以利主管機關有效掌握及追蹤事業廢棄物之流動及再利用現況。申報相關法令之規範，事業廢棄物自產源產出後，倘屬公告之事業，則應申報廢棄物產出量、貯存量、清除、處理及再利用等資訊；事業廢棄物清除至再利用機構時，清除機構及再利用機構應分別申報清除量及廢棄物收受量；事業廢棄物經再利用產製再利用產品後，則應依事業廢棄物再利用管理辦法之規定，依「以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形之申報格式、項目、內容及頻率」規定申報再利用種類、數量及再利用用途等資訊。

另有關「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」中的廢棄物種類，其再利用產品皆應進行流向申報管理作業，須將再利用機構其資源化（再利用）產品之名稱、產量、銷售流向及數量等相關資訊等進行申報。

再利用業者須提供再生級配粒料供料計畫書，詳細供料計畫書範本如附件所示，為確保材料品質種類並可溯源，其內容應包含下表所述內容：

依據工程會施工網要規範第 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」。以瀝青混凝土之供料計畫書內容為例，要點如表 2-1，以供參考，實際案例如表 2-2。

表 2-1 氧化矽瀝青混凝土粒料供料計畫書-建議內容

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) 再利用機構簡介。
- (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) 再利用機構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。

表 2-2 氧化矽瀝青混凝土氧化矽供料計畫書-案例

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	略	

## 5. 環境保護相關資料

瀝青拌合廠無論是否申請再利用機構，都需要向當地環境保護局申請空汙的變更異動，而因再利用申請依據資源回收再利用法來申請，其流程需檢附之資料如下：

- (1) 空氣汙染防治。
- (2) 水汙染防治。
- (3) 廢棄物清理管制。
- (4) 土壤及地下水防治。
- (5) 毒化物管制。

針對汙染源申請操作許可證，固定汙染源操作許可申請在瀝青混凝土拌合廠其實不難，主要是本身申請文件是否有如實，另外配合政府政策所需要增加的設備是否有增加，定期申報資料完整性，讓政府知道工廠在做什麼事，生產流程使用什麼材料，對環境造成那些影響，定量數值化。其許可證示意圖如下圖 2-3 所示。



圖 2-3 固定汙染源操作許可證示意圖

## 第三章 氧化矽產品之品質管理與檢驗

為確保來源端原料、再利用製程及產品品質，會於合約簽訂時進行浸水膨脹率之取樣檢驗，並確認現場粒料有分開堆置，無混料之疑慮後，再提送檢驗報告。並於貯存及檢驗階段時，應建立原料批號，並將原料依來源分區堆置，進行再利用處理時，應建立生產批號後，再進行磁選、篩分及水洗之步驟，再利用處理完畢後，進行產品之檢驗，試驗項目包括篩分析、比重、吸水率及浸水膨脹量等，並將通過篩檢之產品送往專區貯存。

為落實供料流向紀錄，出廠後之流向管控應包括使用對象之管控、使用地點之管控、使用工程之管控及環保申報之管控。詳細品管流程如圖 3-1 所述。



圖 3-1 品質管制流程

### 3.1 道路級配粒料底層與基層

#### 3.1.1 氧化矽再利用機構管制

- (1) 氧化矽進料時，可目視該批組成成份是否摻雜異物，並搭配查驗、抽樣檢驗及留存進料紀錄，加強管控料源用以穩定生產品質。
- (2) 氧化矽應按來源廠別及批號，分區貯存。

- (3) 依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，氧化矽粒料每年至少執行一次重金屬毒性特性溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度項目檢驗，並須符合法規品質要求，方可作工程使用。
- (4) 氧化矽之比重、吸水率及磨損率需符合規格要求，方可作為級配粒料底層之粒料。

### 3.1.2 產製階段管制

- (1) 承包商應先評估氧化矽供應商之資格，確認氧化矽之產源，並向再利用機構取得供應證明文件。
- (2) 承包商應查驗氧化矽出廠檢驗報告，品質符合「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，及級配粒料底層或基層材料規格要求，方可進料。
- (3) 確定級配粒料底層或基層之級配類型，以決定氧化矽與天然粒料之混合比例。
- (4) 依工程會施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」、第 02726 章「級配粒料底層」，拌和作業應於再利用機構或砂石場內進行或經目的事業主管機關核可後辦理現地拌和。

### 3.1.3 施工階段管制

- (1) 承包商應依規範要求頻率，辦理含氧化矽之級配粒料之品質檢驗。
- (2) 滾壓時，可依現場工地密度試驗結果，調整夯實能量，避免過度夯壓使級配粒料產生破碎。
- (3) 底層或基層完工後，於面層施工前可酌量灑水養護，以維持最佳含水量狀態。

### 3.1.4 驗收階段管制

- (1) 查驗施工中壓實度試驗報告及工程施工紀錄。
- (2) 現場平整度及厚度檢驗，應符合規範之規定。

### 3.1.5 檢驗

#### 一、施工前之檢驗

依據廢棄物清理法第 31 條規定，事業廢棄物產出階段應於每月月底前，連線申報前月影響廢棄物產出之主要原物料使用量及主要產品產量或營運狀況資料、事業廢棄物產出之種類及描述、數量、再生資源項目、數量等資料。另依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，氧化矽出廠前應檢驗戴奧辛及依毒性特性溶出程序檢測有毒重金屬項目，其檢測值未超過電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用管理方式所列標準方可出廠再利用。各項標準如表 3-1 所述。

表 3-1 氧化矽再生粒料之出廠檢驗標準

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

## 二、施工中之檢驗

施工中之品質，須參照工程會施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」、第 02726 章「級配粒料底層」相關檢驗方式與品質要求，進行檢驗。

### (1) 級配粒料試驗頻率

使用再生級配粒料時，除供料稽核外，每 500 m<sup>3</sup> 做一次試驗，符合其級配規格及品質要求(級配粒料底層依類型須符合表 5-1~5-3、級配粒料基層依類型須符合表 5-1~5-4)。

### (2) 工地密度試驗

每 1,000 m<sup>2</sup> 做密度試驗一次，不足 1,000 m<sup>2</sup>，每層應至少做一次密度試驗。試驗方法應以 CNS 14733 或 AASHTO T238 等標準方法求之。

### (3) 壓實度要求

- A. 級配粒料底層或基層應滾壓至設計圖或特定條款所規定之壓實度。
- B. 如無明確規定時，底層或基層壓實度至少應達到依 CNS 11777 或 CNS 11777-1 方法試驗，再以 CNS 14732 方法校正所得最大乾密度之 95 % 以上。
- C. 如試驗結果未達規定密度時，應繼續滾壓，或以翻鬆灑水翻曬晾乾後重新滾壓之方法處理，務必達到所規定之密度為止。

## 三、完工後之檢驗

完工後底層之品質，須參照工程會施工綱要規範第 02726 章「級配粒料底層」相關檢驗方式與品質要求，進行驗收檢驗。

### (1) 頂面平整度

- A. 完成後之底層或基層頂面應平順、緊密及均勻表面。
- B. 底層頂面平整度許可差以 3 m 之直規沿平行，或垂直

道路中心線方向檢測時，其任何一點高低差均不得超過 $\pm 1.5$  cm；如面層厚度在 7.5 cm 以下時，其底層頂面之高低差不得超過 $\pm 0.6$  cm，不合格處應予整平壓實。

- C. 基層頂面平整度許可差以 3 m 之直規沿平行，或垂直道路中心線方向檢測時，其任何一點高低差均不得超過 $\pm 2.5$  cm。

## (2) 鋪設厚度

- A. 完成後之底層或基層，由工程司隨機選取代表性地點鑽洞檢測其厚度。檢測之頻率為每 1,000 m<sup>2</sup> 做一次。
- B. 任何一點之底層鋪設厚度不得比設計厚度少 1.0 cm 以上。
- C. 任何一點之基層鋪設厚度不得比設計厚度少 2.0 cm 以上。
- D. 各點厚度之平均值不得小於設計厚度。
- E. 如完成後之厚度未能符合以上規定時，應將其表面翻鬆後補充新料，並按規定重新滾壓至合格為止。經徵得工程司同意後，廠商得以上層較佳材料彌補不足之厚度，惟不得要求加價。
- F. 檢測厚度所留洞孔應以適當之材料填補夯實。

## 3.2 控制性低強度回填材料

### 3.2.1 氧化矽出廠管制

- (1) 氧化矽進料時，可目視該批組成成份是否摻雜異物，並搭配查驗、抽樣檢驗及留存進料紀錄，加強管控料源用以穩定生產品質。
- (2) 氧化矽應按來源廠別及批號，分區貯存。
- (3) 依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，氧化矽粒料每年至少執行一次重金屬毒性特性溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度項目檢驗，並須符合法規品質要求，方可作

工程使用。

### 3.2.2 產製階段管制

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

### 3.2.3 施工階段管制

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

### 3.2.4 驗收階段管制

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

### 3.2.5 檢驗

含氧化矽之控制性低強度回填材料(CLSM)檢驗方式參照工程會施工綱要規範第 03377 章控制性低強度回填材料內容，建議相關規範值如下表 3-2 所述，使用時可依現行規範內容作調整，檢驗方式如表 3-3 所示，相關說明如下。

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

- (7) 除設計時另有規定外，控制性低強度回填材料(CLSM)規定抗壓強度為 28 天齡期之試驗強度。

表 3-2 CLSM 檢驗標準

項目	試驗方法	要求
<sup>註1</sup> 管流度(cm)	CNS 15462	15-20
<sup>註1</sup> 坍流度(cm)	CNS 14842	40以上
落沉強度試驗	CNS 15862	一般型：24小時 早強型：4小時
28天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	CNS 15865	90 <sup>註2</sup> 以下

註1：管流度及坍流度可擇一試驗辦理。

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

表 3-3 CLSM 檢驗方法

項次	CLSM檢驗方法	
1	CNS 14842	高流動性混凝土坍流度試驗法
2	CNS 15462	控制性低強度材料流動稠度試驗法
3	CNS 15862	測定控制性低強度材料施加荷重時機之落球試驗法
4	CNS 15863	控制性低強度材料密度（單位重）、拌成物體積、水泥含量及含氣量（比重計法）試驗法
5	CNS 15864	新拌控制性低強度材料取樣法
6	CNS 15865	控制性低強度材料圓柱試體之製備及試驗法
7	CNS 13465	新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法

### 3.3 瀝青混凝土面層

#### 3.3.1 氧化矽出廠管制

- (1) 氧化矽進料時，可目視該批組成成份是否摻雜異物，並搭配查驗、抽樣檢驗及留存進料紀錄，加強管控料源用以穩定生產品質。
- (2) 氧化矽應按來源廠別及批號，分區貯存。
- (3) 依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，氧化矽粒料

每年至少執行一次重金屬毒性特性溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度項目檢驗，並須符合法規品質要求，方可作工程使用。

- (4) 氧化矽之比重、吸水率、膨脹率及磨損率需符合相關之 CNS 規範要求，方可作為級配粒料底層之粒料。
- (5) 碳鋼氧化矽一般取代天然粒料中之細粒料，而不銹鋼氧化矽可使用粗、細粒料。同一般天然粒料不同批次及尺寸的應分隔堆放，防止混合。
- (6) 粒料堆放時為了防止析離，應分層置且坡度小於 1：3。
- (7) 粒料堆置場所地應清潔堅固，並有良好的排水措施及注意含量。

### 3.3.2 產製階段管制

- (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，並由試算作業，調整出最接近工作拌合比公式的熱料用量。

### 3.3.3 施工階段管制

- (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誦驗，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。
- (6) 氧化矽作為細粒料使用時，如摻配比例過高，容易產生出油情形，依本府施工規範規定氧化矽作為細粒料使用之上限不得大於 30 %。

### 3.3.4 驗收階段管制

- (1) 壓實度
  - A. 瀝青混凝土應滾壓至契約圖說所規定之壓實度。如無明確規定時應依 CNS12390 試驗法求其平均密度。同一種規格之瀝青混凝土層鋪築完成，每 1000m<sup>2</sup> 應鑽取 1 個試體(未達 1000m<sup>2</sup> 至少鑽取試體 1 個)，每個試體密度應達室內平均密度 95%以上者視為合格。
  - B. 工地密度可用核子儀依 ASTM D2950 試驗方法或鑽取

試樣求之。

- C. 壓實度未能符合規定時之處理辦法，應依契約圖說或其他契約文件之有關規定辦理。

## (2) 平整度

- A. 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。
- B. 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 $\pm 0.6\text{cm}$ ；一般公路之面層不得超過 $\pm 0.6\text{cm}$ 。
- C. 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。
- D. 所有高低差超過上述規定部分，應由施工承攬廠商改善至合格為止。
- E. 所有微小之高凸處、接縫及蜂巢表面，均應以熱燙板燙平。

## (3) 鋪築厚度

- A. 同一種規格之瀝青混凝土層完成後，每 1,000m<sup>2</sup> 應鑽取一件樣品，依 CNS8755 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，施工承攬廠商應即以相同或近似材料回填夯實。
- B. 路面任何一點之厚度不得少於設計厚度 95%。

### 3.3.5 檢驗

依據工程會施工網要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」中，第 3.3 項規定 以下檢驗項目：

- (1) 洛杉磯磨損試驗 檢驗頻率為每 2000m<sup>3</sup> 1 次 或每 3 個月 1 次。
- (2) 粗粒料硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗：檢驗頻率為每 2000m<sup>3</sup> 1 次 或 每 3 個月 1 次。
- (3) 細粒料硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗：檢驗頻率為每 2000m<sup>3</sup> 1 次 或 每 3 個月 1 次。
- (4) 瀝青材料品質檢驗：檢驗頻率為每 50 公噸 1 次、每 100 公噸 1 次或檢附出廠證明。
- (5) 瀝青含量抽油試驗：檢驗頻率為每天 2 次。
- (6) 壓實度試驗：檢驗頻率為每天在室內做 6 個試體之夯壓試驗求其平均密度，做 5 處工地密度試驗求其平均值，用以計算壓實度。
- (7) 平整度檢驗：全線檢測。
- (8) 鋪築厚度檢驗：每 1,000m<sup>2</sup> 應鑽取一件樣品。

綱要規範同一節尚規定「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」，有關針對氧化矽瀝青混凝土鋪面材料之使用，其試驗頻率建議按原工程主辦機關之要求辦理。

## 第四章 氧化矽應用用途之施工要點

### 4.1 道路級配粒料底層與基層

道路級配粒料添加氧化矽後，施工方式並無不同，惟氧化矽與天然粒料之拌和作業應於再利用機構或砂石場內進行或經目的事業主管機關核可後辦理。

#### 4.1.1 路基或基層整理

- (1) 鋪築基層或底層前，路基全寬均應清除草木及其他雜物，並將所有清除物運棄，低窪處或車轍之積水應先予排除。
- (2) 在填方段路基頂面下 75 cm 以內之路基材料，應壓實至最大乾密度之 95 % 以上；在挖方段路基頂面下 30 cm，應壓實至最大乾密度之 95 % 以上。
- (3) 若基面下有鬆軟材料，以致影響路基滾壓工作時，該部分路基應予翻鬆、曝曬或挖棄換填符合設計路基強度 C.B.R 值或 R 值之材料，然後壓實至規定壓實度。
- (4) 在路基整型修面時，其頂層過高部分應予刮除，所刮除之剩餘材料，用於頂層高程不足地點或棄置之。
- (5) 缺料時應補充新料，將原有之頂層耙鬆，加水拌合，並滾壓整修至合乎規定。
- (6) 經過整修後，路基頂面應保持其整修完成之狀態，並繼續維護直至基層或底層開始鋪築時為止。

#### 4.1.2 撒鋪材料

- (1) 運達工地之合格材料分堆堆置於路基上，然後以機動平路機攤平。

- (2) 在撒鋪之前，如有需要可在路基上灑水，以得一適宜之濕度。
- (3) 撒鋪時，如發現粒料有不均勻或析離現象時，應以機動平路機拌和至前述現象消除為止。
- (4) 級配粒料應按規定之厚度分層均勻鋪設，每層厚度應約略相等，其最大厚度須視所用滾壓機械之能力而定，務須能達到所需之壓實度為原則。
- (5) 鋪設時，應避免損及其下面之路基、基層或已鋪設之前一層，並按所需之全寬度鋪設。
- (6) 發現有不合規定之顆粒及雜物時，均應隨時予以撿除。
- (7) 每層壓實厚度視滾壓機具之能量而異，每層最大壓實厚度以不超過 20 cm(通常鬆鋪厚度約為壓實厚度之 1.35 倍)為宜，但亦不得小於所用粒料標稱最大粒徑之 2 倍。

### 4.1.3 滾壓

- (1) 級配粒料撒鋪及整形完成後，應立即以 10 噸以上三輪壓路機或振動壓路機滾壓。
- (2) 滾壓時，如有需要，應以噴霧式灑水車酌量灑水，使級配粒料含有適當之含水量，以能壓實至所規定之密度。
- (3) 如級配粒料含水量過多時，應等其乾至適當程度後，始可滾壓。
- (4) 滾壓時應由路邊開始。如使用三輪壓路機時，除另有規定者外，開始時須將外後輪之一半壓在路肩上滾壓堅實，然後逐漸內移，滾壓方向應與路中心線平行，每次重疊後輪之一半，直至全部滾壓堅實，達到所規定之壓實度時為止。
- (5) 在曲線超高處，滾壓應由低側開始，逐漸移向高側。

- (6) 壓路機不能到達之處，應以夯土機或其他適當之機具夯實。
- (7) 滾壓後如有不平之處，應耙鬆後補充不足之材料，或移除多餘部分，然後滾壓平整。
- (8) 分層鋪築時，在每一層之撒鋪與壓實工作未經工程司檢驗合格之前，不得繼續鋪築其上層。
- (9) 鋪築上層級配粒料時，其下層表面應刮毛約 2 cm，以增加二層間之結合，並應具有適當之濕度，否則應酌量灑水使其濕潤。
- (10) 最後一層滾壓完成後，應以機動平路機刮平，或以人工修平，隨即再予滾壓。
- (11) 刮平及滾壓工作應相繼進行，直至所有表面均已平整堅實，並符合設計圖說所示之斷面為止。
- (12) 刮平及滾壓時，得視實際需要酌量灑水。

#### 4.1.4 保護

- (1) 已完成之底層應經常灑水以保持最佳含水量至面層施工為止，並在鋪築面層前檢測高程。
- (2) 如於鋪設其他層面之前發現有任何損壞或其他不良情況時，應重新整平滾壓。

## 4.2 控制性低強度回填材料

### 4.2.1 事前準備

- (1) 施工前應先依設計圖說之規定完成填築範圍內雜物之清除與基地整平作業。若澆置於已施築之混凝土表面或岩石面時，澆置前表面應保持清潔、粗糙、潤濕，並清除多餘之積水；若澆置於土壤表面時，應先將表面之雜物及有機物

質清除，並整平，以確保所澆置控制性低強度回填材料 (CLSM)品質不受影響。

- (2) 施工前應確認所有埋設物已按規定裝設及固定完竣，以避免澆置時因碰撞或震動搗實時發生位移。

#### 4.2.2 澆置

- (1) 澆置前，為確保拌合材料呈均勻分布狀態，應以機械方式充分拌合控制性低強度回填材料(CLSM)。
- (2) 澆置時，可於預拌車澆置口覆蓋防護套，以避免控制性低強度回填材料(CLSM)發生噴濺情形，影響施工環境品質。
- (3) 控制性低強度回填材料(CLSM)在灌入回填區時，應在管路等埋設物以均勻且左右平均的方式澆置，以避免對結構體產生偏壓現象，並可使用整平工具將控制性低強度回填材料(CLSM)鋪平，利於後續其他鋪設作業。
- (4) 控制性低強度回填材料(CLSM)澆置過程中可視需要進行震動搗實，避免形成內部空洞或各部份強度不均勻的情況，以確保控制性低強度回填材料(CLSM)之密實性。
- (5) 若回填區具坡度時，可依現地坡度需要，調配較低坍流度之控制性低強度回填材料(CLSM)，並視坡度情況加設隔板或分段施工。

#### 4.2.3 養護

- (1) 控制性低強度回填材料(CLSM)澆置完成後，需進行灑水養護，並使用麻袋、塑膠布及其他適當物品覆蓋或依設計圖說規定辦理，養護時間依設計圖說規定。
- (2) 於初凝前，可於管溝兩側作安全維護措施，以避免發生人車誤陷管溝而造成危險。另若於道路施工，在瀝青混凝土路面層鋪設前，必要時於管道上方覆設防滑蓋板以供人車

通行。

- (3) 於初凝後，控制性低強度回填材料(CLSM)頂部表面若有泌水，需先清除或鋪設細砂吸乾表面泌水後再掃除，待確認頂部表面為乾燥狀態後，再鋪設瀝青混凝土路面層，以避免管湧現象發生。

### 4.3 瀝青混凝土面層

#### 4.3.1 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°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。

#### 4.3.2 滾壓方法

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。

- (4) 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。
- (5) 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。
- (6) 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。
- (7) 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。
- (8) 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 320cm<sup>2</sup>。
- (9) 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。
- (10) 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。
- (11) 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°C~100°C。
- (12) 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）。
- (13) 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。

- (14) 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。
- (15) 滾壓時，應儘可能使整段路面得到均勻之壓實度。
- (16) 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°C 以上時），否則應予挖除，並重鋪新料重壓。
- (17) 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。

### 4.3.3 保護

- (1) 已完成之底層應經常灑水以保持最佳含水量至面層施工為止，並在鋪築面層前檢測高程。
- (2) 如於鋪設其他層面之前發現有任何損壞或其他不良情況時，應重新整平滾壓。

## 第五章 工程應用實例

### 5.1 道路級配粒料底層與基層

#### 案例一：蘆竹區打通營盤里歐楓街延伸段新闢道路工程

1. 主辦機關：蘆竹區公所
2. 監造單位：世京工程顧問有限公司
3. 施工單位：麒瑞營造有限公司
4. 施工期間：本案例於 107 年 6 月 6 日開工，並於 108 年 1 月 28 日完工。
5. 施工範圍：新闢道路總施工長度 151 公尺、寬 8 公尺。
6. 工程金額：1,575 萬 6,285 元。
7. 摻配比例：採用氧化矽細粒料取代 40 %天然級配。
8. 品質檢測試驗結果：試驗結果如表 5-1 所示。

表 5-1 化性檢驗報告結果

項目	檢測濃度	規範值	能測出之最低含量
萃出液中總硒	ND mg/L	1	MDL=0.002
萃出液中總鋇	1.24 mg/L	100	MDL=0.070
萃出液中總鎘	ND mg/L	1	MDL=0.008
萃出液中總鉛	ND mg/L	5	MDL=0.0126
萃出液中總銅	ND mg/L	15	MDL=0.021
萃出液中總鉻	0.073 mg/L	5	MDL=0.018
萃出液中六價鉻	ND mg/L	2.5	MDL=0.010
萃出液中總砷	ND mg/L	5	MDL=0.0003
萃出液中總汞	ND mg/L	0.2	MDL=0.0002
廢棄物之氫離子濃度指數	11.51 無	2.0~12.5	24.9°C40mLwater
氧化矽中戴奧辛	0.0005 ng I-TEQ/g	1.0	MinDL=0.0002

9. 成本分析：依不同規格，按完工後經驗收合格之壓實數量，以[立方公尺][平方公尺，註明厚度]計算。以下所闡述之成本比較差異係依地緣關係及北部地區價格為基準，所提供之試算法僅包含材料成本，其餘固定成本或棄運土之成本不在此討論中，詳細成本計算應就各工程實際情形加以計算，分析方式僅供參考。基本價格整理如下表 5-2。參照下表之數據經計算後使用氧化矽大約節省 30% 之工程成本。

表 5-2 氧化矽成本參照表

項次	項目		天然碎配(100%)			S30(氧化矽 30%)		
	項目	單位	數量	單價	複價	數量	單價	複價
1	添加天然粒料	m <sup>3</sup>	1	720	720	0.7	720	504
	運費(至 AC 廠)	m <sup>3</sup>	1	270	270	0.7	270	189
2	瀝青(含運費)	kg	215	20	4300	215	20	4300
3	添加氧化矽	m <sup>3</sup>	-	-	-	0.3	0	0
	處理+運費(至 AC 廠)	m <sup>3</sup>	-	-	-	0.3	480	144
4	拌和費用	m <sup>3</sup>	1	180	180	1	236	236
5	運費(至工地)	m <sup>3</sup>	1	270	270	1	354	354
材料單價(元/m <sup>3</sup> )			5740			5727		

### 案例二：楊梅區蛙蛙路道路拓寬改善工程(第二期)

10. 主辦機關：桃園市政府新建工程處。
11. 監造單位：鉅揚工程顧問有限公司。
12. 施工單位：上溢營造股份有限公司。
13. 施工期間：本案例於 111 年 07 月 08 日開工，並於 112 年 09 月 06 日完工。
14. 施工範圍：由楊梅區蛙蛙路沿國 1 東側新闢道路至秀才路，第二期長度約 1,009 公尺，使用瀝青混凝土刨除粒料、含氧化矽刨除

料、氧化矽等循環材料路段為 40 公尺，里程為 0K+930~0K+970。

15. 工程金額：1 億 8,008 萬元，桃園市政府自籌款約 1,167 萬元，其餘由交通部公路總局補助。

16. 摻配比例：以含氧化矽刨除粒料替代級配 60% (F60)，鋪設里程為 0K+950~0K+970。

以瀝青混凝土刨除粒料 40%與氧化矽 60%替代級配 (S60)，鋪設里程為 0K+950~0K+970。

17. 品質檢測試驗結果：

根據本案例之試驗室試驗結果與施工成效檢測結果得出以下數點結論。

- (1) 於試驗室試驗結果來看，於第 02722 章級配料基層中，設計規範值要求 CBR 值須大於 20%，S60、F60 試驗結果顯示皆符合設計規範值。
- (2) 摻配合氧化矽刨除料 F 系列之級配，CBR 值約落在 30%。
- (3) 摻配氧化矽 S 系列之級配，CBR 約落在 30%-60%之區間，並隨著氧化矽之摻配量增加 CBR 值也隨之上升。
- (4) 在基層施工成效檢測方面，圓錐貫入試驗 DCP 結果以 S60 級配斷面之平均 CBR 值較為 F60 高，兩者皆符合第 02722 章之基層 CBR 值大於 20%之規範，顯示兩者鋪築於基層其結構強度符合標準。
- (5) 工地密度試驗方面，試驗結果 S60 與 F60 兩種級配斷面之壓實度於 95%以上，說明現場施作狀況良好，同時分層鋪築、滾壓與灑水夯實之標準化施作流程，提供日後道路基層施工參考。
- (6) 輕型落重式撓度儀 LWD(基層)與彭柯曼樑撓度試驗(面層)試驗為分別應用於基層與面層，兩者之檢測數值呈現 S60 斷面

之抗變形能力優於 F60 斷面之趨勢。

(7) PCI 檢測方面，剛完工時之鋪面狀況良好，並無破損或龜裂等破壞痕跡，後續經兩次成效追蹤試驗，顯示路面僅產生部分輕微剝落，並無其他明顯破壞。

(8) IRI 檢測方面，路面平坦度狀態良好，IRI 值經兩次成效追蹤試驗仍低於 3.5，且整體呈現 S60 斷面平坦度較 F60 佳。

18. 成本分析：依不同規格，按完工後經驗收合格之壓實數量，以[立方公尺][平方公尺，註明厚度]計算。以下所闡述之成本比較差異係依地緣關係及北部地區價格為基準，所提供之試算法僅包含材料成本，其餘固定成本或棄運土之成本不在此討論中，詳細成本計算應就各工程實際情形加以計算，分析方式僅供參考。基本價格整理如下表 5-3 所示。

表 5-3 F60、S60 單價表

工作項目：級配粒料基層(F60)				
工料名稱		單位	數量	單價
材料費用	產品，天然級配料	M <sup>3</sup>	0.4	970
	產品，氧化矽瀝青混凝土面層刨除料	M <sup>3</sup>	0.6	350
	打除雜物剔除過篩	M <sup>3</sup>	0.6	300
	級配粒料基層(F60)試辦，拌合及運輸費用	M <sup>3</sup>	1	2,100
施工費用	級配粒料基層(F60)試辦，鋪設及滾壓費用	M <sup>3</sup>	1	1,008
	零星工料	式	1	131
工作項目：級配粒料基層(S60)				
工料名稱		單位	數量	單價
材料費用	產品，氧化矽	M <sup>3</sup>	0.6	400
	產品，瀝青混凝土面層刨除料	M <sup>3</sup>	0.4	350
	打除雜物剔除過篩	M <sup>3</sup>	0.4	300
	級配粒料基層(S60)試辦，拌合及運輸費用	M <sup>3</sup>	1	2,100

	用			
施工費用	級配粒料基層(S60)試辦，鋪設及滾壓費用	M <sup>3</sup>	1	1,008
	零星工料	式	1	126

19. 道路平面圖：如圖 5-1 所示。



圖 5-1 姓姓路(第二期)道路平面圖

## 5.2 控制性低強度回填材料

### 實例一：中壢區民族路六段 L 幹線雨水下水道工程

1. 主辦機關：桃園市政府水務局
2. 監造單位：弘澤工程技術顧問有限公司
3. 施工單位：上溢營造股份有限公司
4. 施工期間：N/A
5. 施工範圍：中壢區民族路六段
6. 工程金額：N/A

7. 摻配比例：焚化再生粒料之摻配比例為 40.4%，詳細摻配量如表 5-4 所示。

**表 5-4 控制性低強度回填材料(CLSM)配比-1 單位：Kg/m<sup>3</sup>**

水泥	爐石粉	細氧化 矽粒料	焚化再 生粒料	粗氧化 矽粒料	用水量	化學 摻料	單位重 kg/m <sup>3</sup>
70	100	730	500	400	210	5	2015

8. 品質檢測試驗結果：控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告之檢測結果如表 5-5 所示、坍流度試驗如圖 5-2 所示、落沉試驗如圖 5-3 所示。

**表 5-5 控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告-1**

試體 編號	試體標稱尺度 (cm)		材齡	最大荷重(kgf)	抗壓面積 (cm <sup>2</sup> )	抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	直徑	高度				
1	15.04	30	28天	9341	176.71	52.9
2	15.02	30	28天	9455	176.71	53.5
3	15.03	30	28天	9955	176.71	56.3



**圖 5-2 坍流度試驗**



**圖 5-3 落沉試驗**

9. 成本分析：N/A

### 實例二:桃園機場捷運 A20 站區區段徵收工程

1. 主辦機關：桃園市政府新建工程處
2. 監造單位：林同棧工程顧問股份有限公司
3. 施工單位：利德工程股份有限公司
4. 施工期間：N/A
5. 施工範圍：捷運 A20 站區
6. 工程金額：N/A
7. 摻配比例：焚化再生粒料摻配比例為 48.7%，詳細摻配量如表 5-6 所示。

**表 5-6 控制性低強度回填材料(CLSM)配比-2 單位：Kg/m<sup>3</sup>**

水泥	爐石粉	細氧化 矽粒料	焚化再 生粒料	粗氧化 矽粒料	用水量	化學 摻料
98	42	875	381	396	212	3

8. 品質檢測試驗結果：控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告之檢測結果如表 5-7 所示。

**表 5-7 控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告-2**

試體編號	試體標稱尺度 (cm)		材齡	最大荷重(kgf)	抗壓面積 (cm <sup>2</sup> )	抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	直徑	高度				
1	15.05	30	28天	9118.5	177.89	51.6
2	15.05	30	28天	8906.5	177.89	50.4
3	15.01	30	28天	9158.5	176.95	51.8
4	15.04	30	28天	10063.0	177.66	56.9
5	15.02	30	28天	8642.0	177.19	48.9
6	15.04	30	28天	9021.0	177.66	51.0
7	15.02	30	28天	8977.0	177.19	50.8
8	15.07	30	28天	8732.5	178.38	49.4
9	15.01	30	28天	9286.0	176.95	52.5

9. 成本分析：N/A

### 實例三：台電桃園區營業處 110 年甲工區配電管路工程

1. 主辦機關：台電桃園區營業處
2. 監造單位：台電桃園區營業處
3. 施工單位：造隆電氣工程有限公司
4. 施工期間：N/A
5. 施工範圍：桃園市桃園區、蘆竹區、龜山區
6. 工程金額：N/A
7. 摻配比例：焚化再生粒料摻配比例為 39.2%，詳細摻配量如表 5-8 所示。

**表 5-8 控制性低強度回填材料(CLSM)配比-3 單位：Kg/m<sup>3</sup>**

水泥	細氧化 矽粒料	焚化再 生粒料	粗氧化 矽粒料	用水量	化學 摻料	單位 kg/m <sup>3</sup>
150	680	500	395	210	10	1945

8. 品質檢測試驗結果：控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告之檢測結果如表 5-9 所示。

**表 5-9 控制性低強度回填材料(CLSM)抗壓強度試驗報告-3**

試體編 號	試體標稱尺度 (cm)		材齡	最大荷重(kgf)	抗壓面積 (cm <sup>2</sup> )	抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
	直徑	高度				
1	15.02	30	28天	9081.0	177.19	51.4
2	15.05	30	28天	9509.5	177.89	53.8

9. 成本分析：N/A

### 5.3 瀝青混凝土面層

#### 案例一：八德區豐德路氧化矽瀝青鋪面試辦工程

1. 主辦機關：桃園市政府養護工程處
2. 監造單位：世合工程技術顧問股份有限公司
3. 施工單位：宏盛股份有限公司
4. 施工期間：本案例於 107 年 3 月 16 日開工，並於 107 年 4 月 19 日完工。
5. 施工範圍：起自介壽路終至豐田路，總長約 600 公尺，路幅寬度約 40 米、雙向六車道。
6. 工程金額：1,400 萬元。
7. 摻配比例：使用 1,300 噸的細顆粒氧化矽取代 30% 的天然級配。
8. 品質檢測試驗結果：試驗結果如表 5-10 所示。

表 5-10 水質檢測結果

認證	序號	樣品編號		MDL	單位	PG4038301	PG4038302
		檢驗項目	檢驗方法			水井T01	水井T02
*	1	氟鹽	NIEA W415.53B	0.04	mg/L	25.6	71.2
	2	導電度(備註1.)	NIEA W203.51B	-	µmho/cm	414	534
*	3	總硬度	NIEA W208.51A	1.6	mg/L	137	93.8
*	4	氨氮	NIEA W437.52C	0.01	mg/L	0.05	0.34
	5	pH(備註1.)	NIEA W424.52A	-	-	7.1(23.0°C)	6.9(22.8°C)
*	6	硫酸鹽	NIEA W415.53B	0.04	mg/L	46.6	55.7
*	7	總溶解固體物	NIEA W210.58A	5.0	mg/L	256	297
	8	水溫(備註1.)	NIEA W217.51A	-	°C	23.0	22.8
*	9	總有機碳	NIEA W532.52C	0.06	mg/L	1.2	1.7
*	10	硝酸鹽氮	NIEA W436.52C	0.01	mg/L	4.86	1.14
*	11	砷(備註2.)	NIEA W434.54B	0.0003	mg/L	<0.0020(0.0018)	<0.0020(0.0011)
*	12	鎘(備註2.)	NIEA W311.53C	0.002	mg/L	<0.005(0.003)	ND
*	13	鉻(備註2.)	NIEA W311.53C	0.004	mg/L	0.019	<0.010(0.008)
*	14	銅(備註2.)	NIEA W311.53C	0.004	mg/L	0.027	0.011
*	15	錳(備註2.)	NIEA W311.53C	0.006	mg/L	1.30	0.398
*	16	鉛(備註2.)	NIEA W311.53C	0.004	mg/L	0.363	0.242
*	17	鋅(備註2.)	NIEA W311.53C	0.004	mg/L	0.107	0.077

9. 成本分析：氧化矽瀝青混凝土在價格上較傳統瀝青混凝土便宜 25%，本案試辦工程完成後替市庫節省了 360 萬餘元。

10. 成效分析：

(1) 鋪面現況指標(PCI)分析

本研究鋪面現況指標(PCI)及國際糙度指標(IRI)各分順向及逆向兩組，再區分車道各為內車道、中車道、及外車道三者，配置如圖 5-4 及圖 5-5，各車道再每間隔 100 公尺取一次數值統計並平均。分析後如表 5-11 及表 5-12。

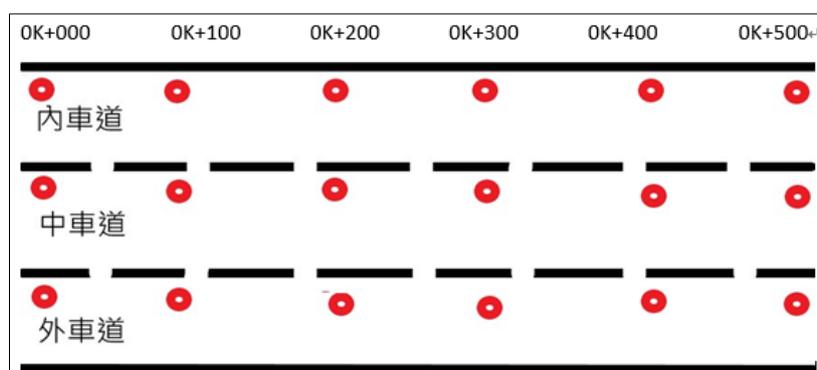


圖 5-4 順樁 IRI 及 PCI 試驗點位

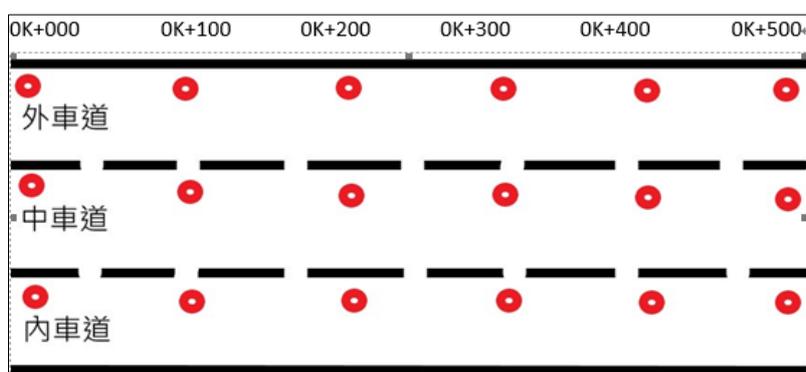


圖 5-5 逆樁 IRI 及 PCI 試驗點位

表 5-11 鋪面現況指標(PCI)第一次(2018.4.11)成效追蹤表(平均值)

項目	PCI 值	項目(總計)	PCI 值
順向內車道	97	內車道	97.5
順向中車道	98	中車道	97
順向外車道	99	外車道	99
逆向內車道	98	順樁	98
逆向中車道	96	逆樁	97.7
逆向外車道	99		

表 5-12 鋪面現況指標(PCI)數據第二次(2018.7.17)成效追蹤表(平均值)

項目	PCI 值	項目(總計)	PCI 值
順向內車道	98.8	內車道	99.5
順向中車道	98.6	中車道	98.7
順向外車道	98.8	外車道	98.7
逆向內車道	99.1	順樁	98.7
逆向中車道	98.8	逆樁	98.8
逆向外車道	98.6		

兩表可得知，鋪面現況指標自 2018 年 4 月 11 日後，六項分組數值(順向內車道、順向中車道、順向外車道、逆向內車道、逆向中車道、逆向外車道)評級區間仍在 85~100 之間，且六組數據皆大於 95 以上。

另因 PCI 數值於內、中、外車道的差異上，最大差異值發生在第一次(2018.4.11)成效追蹤之逆向中車道及逆向外車道，PCI 值相差 3，以 PCI 可容許誤差 $\pm 5$ 來評估，其實並無差異。

2020 年 6 月測得 PCI 值成果如下圖 5-6 示，其中因 2018 年之 2 次試驗值區分方式並非以路段區隔，因此將 2018 年 2 次之試驗值以平均值表示，方便比較與 2020 年 6 月測得 PCI 之差異，其呈現結果 2020 年之 PCI 數值略低於 2018 年 PCI 值，但皆仍大於 90 以上。

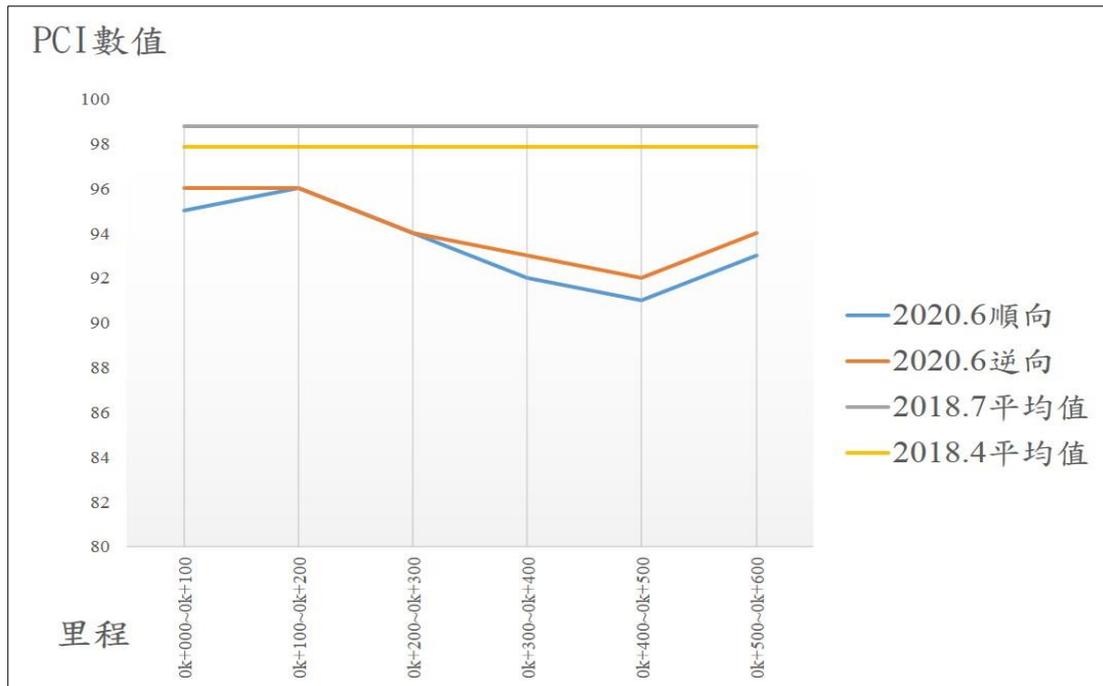


圖 5-6 PCI 值各試驗時間比較

(2) 國際糙度指標(IRI)分析

國際糙度指標(IRI)分組方式同上檢測結果，如表 5-13 及表 5-14。

表 5-13 國際糙度指標(IRI)數據第一次(2018.4.13)成效追蹤表

項目	IRI 值	項目(總計)	IRI 值
順向內車道	2.0	內車道	2.19
順向中車道	2.88	中車道	2.53
順向外車道	2.89	外車道	3.02
逆向內車道	2.38	順樁	2.59
逆向中車道	2.19	逆樁	2.57
逆向外車道	3.16		

表 5-14 國際糙度指標(IRI)數據第二次(2018.7.20)成效追蹤表

項目	IRI 值	項目(總計)	IRI 值
順向內車道	1.94	內車道	2.21
順向中車道	2.23	中車道	2.71
順向外車道	2.76	外車道	3.11
逆向內車道	2.48	順樁	2.31
逆向中車道	3.18	逆樁	3.04
逆向外車道	3.47		

上列兩表顯示，2018 年 4 月 13 日八德區豐德路的國際糙度指標(IRI)值有五組數據小於 3，惟逆向外車道 IRI 值為 3.16，皆於 3.5 以下（一般非高速公路之新路面 IRI 值定義在 1.25~3.5 之間）。至 2018 年 7 月 20 日經過一段時間的車輛碾壓後，IRI 統計值有上升的趨勢，但無論是測量值及統計值，皆仍在 3.5 以下。

另有關內、中、外車道數值差異上比 PCI 指標明顯。外車道無論是第一次或者第二次檢測結果，因其可能較多車輛種類經過(如我國機車比例偏高)，造成明顯外車道數值較高，而內車道數值較低之狀況。

### (3) 英式擺錘數值 (BPN)

抗滑值檢測擇另選試驗點如下圖 5-6、5-7。

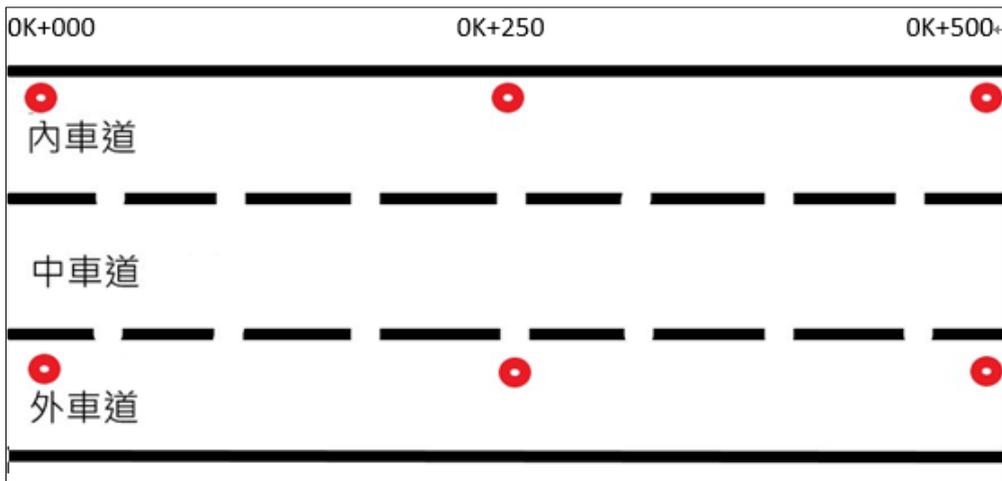


圖 5-7 順樁路面抗滑及標線抗滑試驗點位

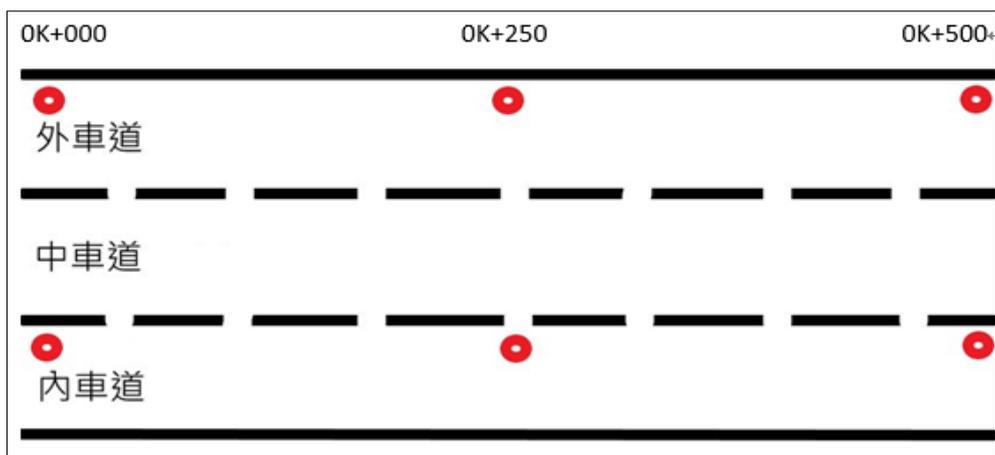


圖 5-8 逆樁路面抗滑及標線抗滑試驗點位

抗滑值試驗後第一次成效追蹤數據如下圖 5-8，依日本道路協會編印之「鋪裝試驗法便覽別冊」溫度修正方法，在溫度範圍 1~35°C 的範圍內，BPN 的修正式如下，修正後抗滑平均值如下圖 5-10。

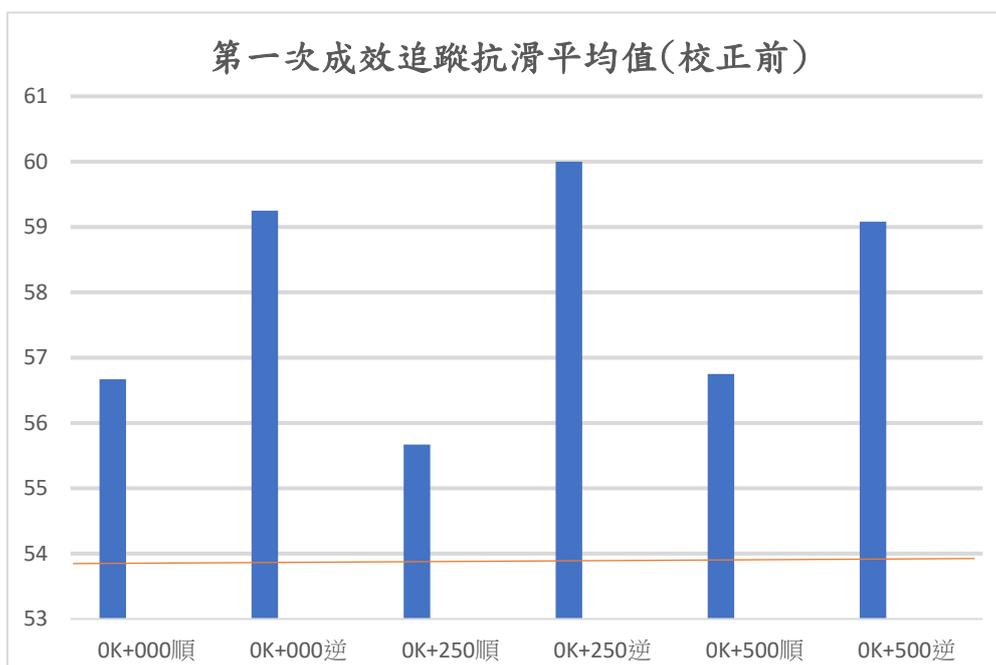


圖 5-9 第一次(2018.4.20)成效追蹤抗滑平均值(校正前)

$$C_{20} = -0.0071t^2 + 0.930t - 15.79 + C_t$$

$C_{20}$  = 為 20°C 修正之 BPN

$C_t$  = 試驗表面溫度為  $t$  °C 時所測得之 BPN， $t$  = 試驗表面溫度(°C)

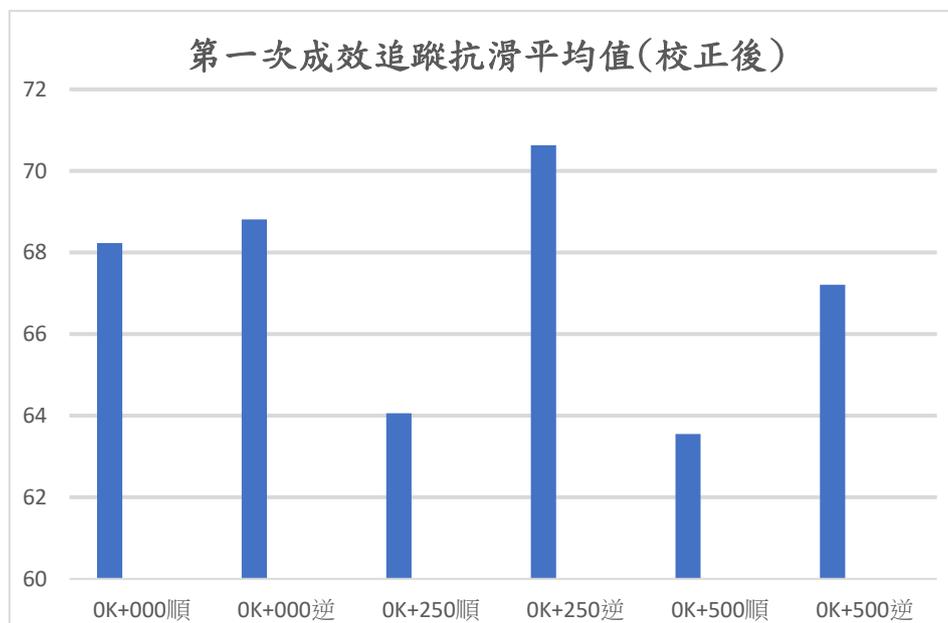


圖 5-10 第一次(2018.4.20)成效追蹤抗滑平均值(校正後)

第二次成效追蹤之抗滑數值如圖 5-11，相較於第一次成效追蹤結果，第二次成效追蹤結果抗滑試驗校正後值近乎全大於 65 以上，且依舊高於標準值 43，顯示本路段之抗滑值屬於正常範圍。

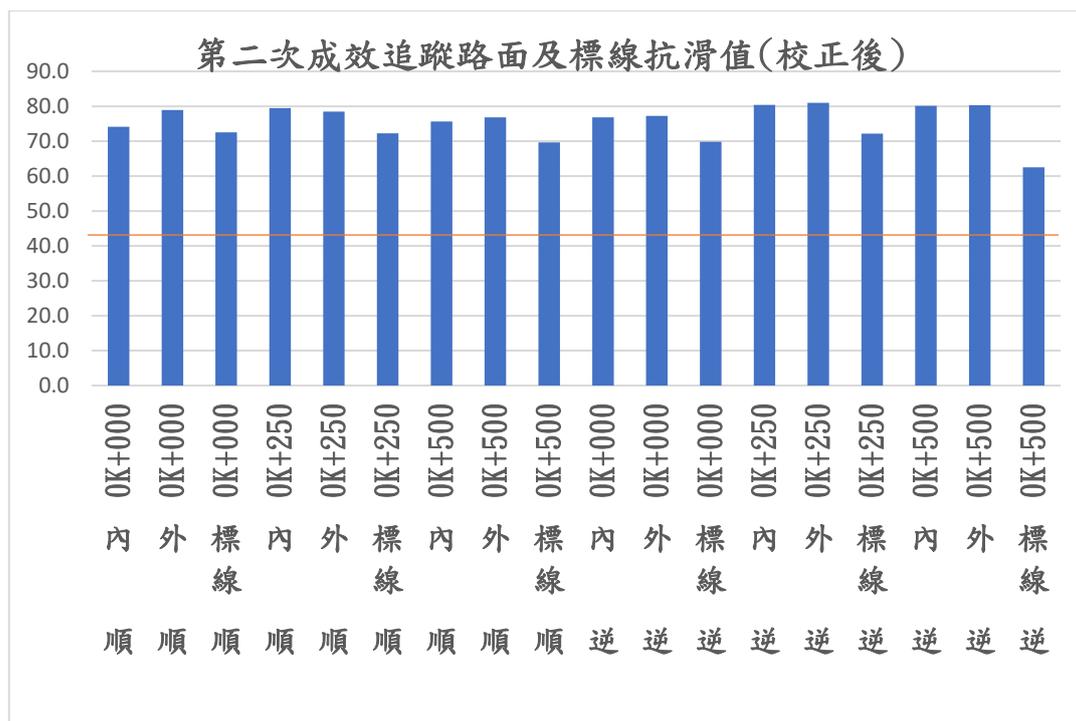


圖 5-11 第二次(2018.7.17)成效追蹤抗滑試驗校正後(黃線數值為標準 43)

(4) 漢堡輪跡試驗

共計 4 組樣品，試驗報告結果如下表 5-15，表 5-16 為試驗對照組。呈現結果八德區豐德路漢堡輪跡試驗結果，達最大車轍深度時平均通過次數為 10,670 次。

表 5-15 八德區豐德路漢堡輪機試驗結果

項目	試驗結果	試驗結果	備註
樣品編號	1、2	3、4	---
取樣樁號	---	---	---
樣品形式	雙圓柱型	雙圓柱型	---
平均空隙率(%)	6.1	5.9	委託單位提供之配合設計報告內引用，經計算求得
設定最大車轍深度(mm)	12.5	12.5	---
達最大車轍深度時通過次數(次)	9831	11509	經計算求得
潛變斜率(Creep slope)(mm/千次)	0.883	1.012	樣品試驗圖形無明顯 SIP，無法測定時以 N/A 表示
剝離斜率(Strip slope)(mm/千次)	3.433	1.870	
剝離影響點(SIP)	10.54	10.26	
	9260	10311	
達最大車轍深度時平均通過次數(次)	10670		---

表 5-16 八德區豐德路漢堡輪機試驗對照組

樣品編號	1/2 新料	7/8 再生 30%	9/10 再生 60%	11/12 再生 100%	
樣品形式	雙圓柱	雙圓柱	雙圓柱	雙圓柱	
平均孔隙率，%	-	-	-	-	
添加劑	-	再生劑 0.07%	再生劑 0.07%	再生劑 0.07%	
試體高度，mm	40	40	40	40	
試驗水溫，°C	50	50	50	50	
車轍深度，mm	12.5	12.5	12.5	12.5	
達車轍深度時滾壓次數	3600	11600	16100	13800	
潛變斜率(Creep Slope)，mm/ 千次	2.37	0.37	-	0.41	
剝離斜率(Strip Slope)，mm/ 千次	4.99	1.22	-	1.69	
剝離影響 點(SIP)	滾壓次數	3752	12529	-	15898
車轍深度，mm	12.48	11.6	-	13.2	
達車轍深度時平均滾壓次數	-	-	-	-	
達 12000 次時平均車轍深 度，mm	-	-	-	-	
備註			未達剝離狀 態		

## 案例二：幼獅工業區-獅二路

1. 主辦機關：桃園市政府養護工程處
2. 監造單位：世合工程技術顧問有限公司
3. 施工單位：欣鴻營造有限公司
4. 施工期間：本案例於 107 年 9 月 20 日開工，並於 107 年 12 月 30 日完工。
5. 施工範圍：起始路口於青年路，終點路口於幼獅路一段。長度為 474 公尺，面積共 3005.2 m<sup>2</sup>。
6. 工程金額：1,816 萬 9,747 元。
7. 摻配比例：採用改質瀝青添加氧化矽 30%。
8. 品質檢測試驗結果：試驗結果如表 5-17 所示。

表 5-17 戴奧辛檢驗報告結果

檢驗項目		單位	檢測值		檢驗方法
樣品編號			1070302WA-1 (氧化渣)	1070302WA-2 (還原渣)	
Total TEQ(PCDDs/PCDFs)	※	ng I-TEQ/g	<0.001 (0.0006)	0.002	NIEAM801.13B
2,3,7,8-TeCDF	※	ng/g	0.000343	0.001000	NIEAM801.13B
1,2,3,7,8-PeCDF	※	ng/g	0.000369	0.000873	NIEAM801.13B
2,3,4,7,8-PeCDF	※	ng/g	0.000430	0.001442	NIEAM801.13B
1,2,3,4,7,8-HxCDF	※	ng/g	0.000456	0.001035	NIEAM801.13B
1,2,3,6,7,8-HxCDF	※	ng/g	0.000454	0.001047	NIEAM801.13B
2,3,4,6,7,8-HxCDF	※	ng/g	0.000674	0.001382	NIEAM801.13B
1,2,3,7,8,9-HxCDF	※	ng/g	0.000064	0.000087	NIEAM801.13B
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	※	ng/g	0.002631	0.003036	NIEAM801.13B
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	※	ng/g	0.000472	0.000609	NIEAM801.13B
OCDF	※	ng/g	0.003231	0.002205	NIEAM801.13B
2,3,7,8-TeCDD	※	ng/g	ND	ND	NIEAM801.13B
1,2,3,7,8-PeCDD	※	ng/g	0.000101	0.000345	NIEAM801.13B
1,2,3,4,7,8-HxCDD	※	ng/g	0.000120	0.000285	NIEAM801.13B
1,2,3,6,7,8-HxCDD	※	ng/g	0.000246	0.000603	NIEAM801.13B
1,2,3,7,8,9-HxCDD	※	ng/g	0.000212	0.000611	NIEAM801.13B
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	※	ng/g	0.002396	0.004473	NIEAM801.13B
OCDD	※	ng/g	0.008271	0.01123	NIEAM801.13B
公告標準	※	ng I-TEQ/g	1.0		

## 參考資料

- [1] 桃園，以人為本的城市轉型，桃園市政府工務局。
- [2] 進擊桃園，桃園市政府工務局。
- [3] 黃世豪、林志棟，「鋼質粒料應用於鋪面工程之研究」，國立中央大學，碩士論文，2019。
- [4] 曾仕文、黃偉慶，「電弧爐還原渣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，2012。
- [5] 戴呈安、林志棟，「再生及再利用材料導入道路工程循環經濟應用之研究」，國立中央大學，碩士論文，2004。
- [6] 行政院環境保護署，「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」，環保法規，2020年6月24日。
- [7] 電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於道路級配粒料基底層，台灣鋼鐵工業同業公會。
- [8] 桃園市政府工務局施工規範，第 02722 章「級配粒料基層」V2.0。
- [9] 桃園市政府工務局施工規範，第 02726 章「級配粒料底層」V2.0。
- [10] 桃園市政府工務局施工規範，第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」V1.0。
- [11] 桃園市政府工務局施工規範，第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」V3.0。
- [12] 桃園市政府工務局施工規範，第 03377 章「控制性低強度回填材料」V1.0。
- [13] 經濟部工業局－工業廢棄物清理與資源化資訊網。
- [14] 桃園市政府循環經濟平台。

## 氧化矽使用手冊

出版單位 桃園市政府工務局

總編輯 賴局長宇亭

召集人 陳區長聖義

副召集人 呂總工程司紹霖

審查委員 廖副局長肇昌、王副組長韻瑾、杜專任教師嘉崇、許總工程司維庭、黃總工程司全成、何總工程司順華

編輯小組 國立中央大學 何旻哲 專案助理教授  
社團法人中華鋪面工程學會

策劃執行 桃園市政府工務局

地址 桃園市桃園區縣府路 1 號 7 樓工務局

電話 03-3322101

日期 2022 年 6 月

ISBN 978-626-7159-16-3(平裝)

GPN 1011100813

本書僅作桃園市政府工務局同仁自修使用

部分照片取自簡報

如有侵權，請告知刪除

售價：新台幣零元