

## 轉爐石瀝青混凝土品管暨施工注意事項

羅德義<sup>1</sup>、朱文川<sup>2</sup>、王忠山<sup>3</sup>、郭良謙<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 光隆瀝青股份有限公司 經理

<sup>2</sup> 光隆瀝青股份有限公司 廠長

<sup>3</sup> 光隆瀝青股份有限公司 主任

<sup>4</sup> 光隆瀝青股份有限公司 組長

### 摘要

轉爐石瀝青混凝土鋪面為目前瀝青混凝土廠所生產製造、鋪面工程中較一般 AC-20 膠泥加天然石骨材之瀝青混凝土更具能抵抗重車碾壓、反覆載重、輪胎磨損之瀝青混凝土鋪面，因轉爐石具有之特性不同於一般天然石骨材性質，在製造生產轉爐石瀝青混凝土過程中及工地鋪設工程、後續竣工追蹤時，自有其不同於一般天然石骨材所產製瀝青混凝土鋪面之生產管理、品質管控、實際成效等，在此針對十年來所從事關於轉爐石瀝青混凝土鋪面之生產製造調配控制、鋪築滾壓品質維護、工程完竣追蹤等之實際經歷過程，記錄探討轉爐石瀝青混凝土相關之生產成本、機具維護、品質管理暨現地施工應注意事項，以便做為後續關於生產製造、現地鋪設相關之轉爐石瀝青混凝土鋪面之參考經驗，期能達到在天然資源有限開發限制下以優良合適之人造骨材作為相關替代性材料，進而提昇道路鋪面產品品質、提高材料性能、延長使用壽命、節省社會成本、增加鋪面使用年限等為道路鋪面工程界盡一份微薄心力。

關鍵詞：轉爐石瀝青混凝土。

### 一、前言

轉爐石為目前台灣一貫化冶煉鋼鐵業於煉鋼過程中產出之副產品，其名為氣冷轉爐石，中鋼公司年產量約為 120 萬公噸，其特性為質地堅硬、顆粒方正、化性穩定、取得容易、具備環保等條件，為目前道路 AC 鋪面資源再利用之合適素材，從 2003 年鋪設第 1 條轉爐石熱拌瀝青混凝土鋪面開始至今已歷經 10 年經驗(圖 1 與圖 2)，其後在適當時機於高雄市政府道路區域、中鋼公司廠區內外道路、屏東縣政府道路區域等，已鋪設約 13 條試驗道路[1]。累積數量約為 20000 公噸左右，至日前全數鋪築之道路都為使用中之道路，無任何道路自然毀損剷除，尤其以中鋼公司廠區道路為百公噸級重車行駛於上，在極重度極端使用情形下，行駛於廠內之車輛除一般大貨車、聯結車外更有總載重約 43 公噸至總重約 120 公噸之間的運廢鋼車、渣桶、鋼捲(圖 3~圖 5)等，是道路鋪面材料測試之極端試驗場所。本次所談之轉爐石瀝青鋪面道路於至今依舊保持良好道路之服務性，且為使用中。可見轉爐石骨材能為道路鋪面所使用且為較天然石骨材在穩定性、黏結性、耐重壓、耐磨耗等性能上更具備優勢之能力。並由

嚴格優良之生產製造業者加以使用與正確穩定之生產製造品質管理下，才能將其骨材優勢性能發揮出來，進而達到更長久之使用壽命週期[2]。以降低對天然生態資源之開發利用，保護環境降低道路鋪面工程生產製造使用總成本等。故在此特別就十年來所從事之轉爐石熱拌瀝青混凝土鋪面，於生產製造過程中以實際施工經驗探討轉爐石瀝青混凝土品質管理暨施工注意事項，表 1 為歷年轉爐石瀝青混凝土鋪面實務施作工程一覽表。

表1 歷年轉爐石瀝青混凝土鋪面實務施作工程一覽表

年分	施作工程
2003	鋪設高雄市南星計劃道路一
2006	鋪設中聯資源茂大廠區道路
2007	鋪設中鋼動力東路一
2009	鋪設中鋼原料一西路
2009	鋪設中鋼煉焦二東路
2010	鋪設中鋼高爐一西路
2010	鋪設中鋼動力東路二
2011	鋪設高雄市南星計劃道路二
2011	鋪設中鋼中興路南段道路
2011	鋪設中鋼南門段道路
2011	鋪設中鋼碼頭路
2011	鋪設屏東縣屏27線
2012	鋪設高雄市大業北路



圖1 10年前轉爐石試鋪路面



圖2 10年後轉爐石路面近照



圖3 43噸卡車



圖4 70噸聯結車



圖5 120噸運鋼車

## 二、研討目的

熱拌瀝青混凝土品質管理可從設計單位開始規劃設計時即採用或選用合適之路面設計概念如設計年期之預計標準軸次 (ESAL)、材料強度 (C)、路基土壤強度 (CBR、R、Mr)、排水等環境因素等，再決定其設計強度要求、路面結構各層厚度、材料性質、材料種類及配合比例 (Job mix formula, JMF, 拌和公式) 等。本文探討於相同之條件下，作為天然石瀝青混凝土與轉爐石瀝青混凝土之品質管理、材料特性管制及實地道路工程驗證。

瀝青混凝土之品質管理應從主要組成架構開始，包含：1.骨材(粗細粒料)、2.黏結材料(瀝青膠泥)、3.填縫材料(石粉)等，由基本源頭來加以品質管理再經由合適之生產拌合廠生產管理加工拌合、加熱保存等生產製造過程細節，中間由裝載卡車上保溫設備、運送傾卸，後端工地整理清潔、灑佈、鋪築、滾壓、養護、檢驗等，每一環節看似無關其實關係著瀝青混凝土鋪面之成效優劣，再再有著無法分割之密切關係。如下表為研討前先將轉爐石瀝青混凝土品質暨施工注意事項，依經驗將該注意事項繪製成流程圖，如圖 6 所示，以便一目了然的了解整個研討方針與目地，期待能對相關從業人員而有所幫忙。

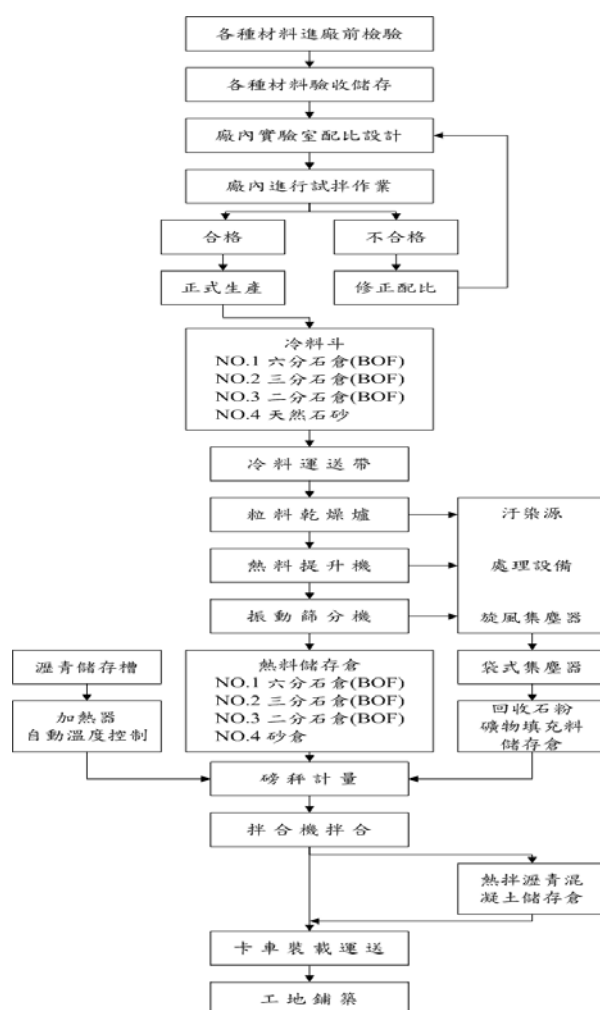


圖 6 轉爐石熱拌瀝青混凝土生產管制流程圖

### 三、粒料管制

主要組成架構開始，包含：1、骨材(粗細粒料)，2、黏結材料(瀝青膠泥)，3、填縫材料(石粉)，其中 1、骨材約佔整體瀝青混凝土重量百分比約 90%~95% 比例相當高，為整體瀝青混凝土特性之主要控制單元。2、黏結材料約佔整體瀝青混凝土重量百分比約 3.5%~6.0% 比例不高但也為整體瀝青混凝土特性之另一主要控制單元。3、填縫材料約佔整體瀝青混凝土重量百分比約 1%~4% 比例相對低。品質管制要求為探討粒料骨材等對於瀝青混凝土之影響，針對以上 3 項皆有明確之品質管制要求，粒料骨材是否適合用於瀝青混凝土鋪面工程即如施工規範 02742 章節中條例式要求所表示，粒料骨材無法達到其規範內容要求下限值即為不合適之鋪面素材不能使用，應於運棄不得使用，改換能符合規範要求之相關材料。

#### 3.1 骨材-(粗粒料)

1. 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。
2. 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%]。
3. 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%]。
4. 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%。
5. 粗粒料其餘物理性質，應符合[CNS 15308]之規定。
6. 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。

#### 3.2 骨材-(細粒料)

1. 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，且導入拌和機時不得有結塊之情形。
2. 細粒料依[CNS 1167][AASHTO T104]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉健度試驗結果，其重量損失不得大於 15%。
3. 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。

### 3.3 黏結材料-瀝青膠泥

#### 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 2 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 2 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
	AC-20	V	V
	AC-40	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。

#### 3. 填縫材料(石粉)

- (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，其級配應符合表 3 之規定。

表 3 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

- (3) 加入礦物填縫料後之混合粒料應符合級配要求，除契約圖說另有規定外，加入填縫料之重量不得超過混合粒料總重之 7%。
- (4) 瀝青混凝土中如需摻加防剝劑等其他材料時，應依契約圖說及其製造廠商之使用說明書辦理，必要時應先經廠拌驗證其可行性。

本次研討施做之試驗鋪設工程於瀝青混凝土材料中使用轉爐石粗骨材用以取代原先天然石粗骨材，取代量為瀝青混凝土鋪面材料總重量之 60% 左右，表 4 為一般天然石骨材與轉爐石骨材之品質管制試驗比較一覽表，用以清楚比較骨材粒料基本性質是否合乎施工規範之基本要求，與各種性質數據間之差異，圖 7 為天然石與轉爐石照片。

表 4 天然石骨材與轉爐石骨材之品質管制試驗比較表

試驗項目	天然石粗骨材	轉爐石粗骨材	試驗規範下限值
破碎率(二個破面)%	78~88	99~100	≥75
扁平率(寬厚比≥3)%	6.0~9.0	0.5~2.0	<10
細長率(長寬比≥3)%	5.0~8.0	0.5~2.0	<10
磨損率%	22~30	10~18	<40
健度試驗%	1.0~4.0	0.5~2.0	<12
吸水率%	1.1~1.3	1.5~2.0	<2.0
比重	2.550~2.650	3.250~3.450	≥2.45



圖7 天然石(左)與轉爐石(右)

基於上述13條瀝青混凝土鋪面中，唯第8條道路201102鋪設高雄市南星計劃二所用瀝青膠泥為改質三型黏滯度等級，其餘12條皆為一般瀝青膠泥AC-20黏滯度等級，瀝青膠泥應依照AASHTO M226標準試驗，按黏滯度分級；其等級應符合表5之AC-20所列條件。

另此次所有施做之試驗鋪築工程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，選擇為第02742章節六類型中之第一類型密級配瀝青混凝土，粒料級配為當中所含之19.0mm(3/4in)規格。其交通量等級選擇為重級交通量設計ESAL $>10^6$ ，如表6及表7所示。

表5 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 m m <sup>2</sup> /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 3 熱損百分比, 最大值	- 100	1.0 200	0.5 400	0.5 800	0.5 1200	0.5 1600	T179
黏滯度 60°C Pa · s (Poises) 最大值	(1000)	(2000)	(4000)	(8000)	(12000)	(16000)	
(7)延展性 25°C 5cm/min, cm, 最小值	100	100	75	50	40	25	T51
(8)斑點試驗 1 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			T102

註：

1：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。

2：在 25°C 延展性  $\square$  100 時，若於 15.6°C 時之延展性大於 100 時則材料可接受。

3：(6)視需要辦理。

表 6 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。

表 7 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 設計 ESAL > 10<sup>6</sup>      中級 10<sup>4</sup> ~ 10<sup>6</sup>      輕級 < 10<sup>4</sup>  
2. 馬歇爾方法。

### 3.4 材料基本試驗

#### 1. 骨材粒料(粗細)基本性質

本次研討中所講述到之實際鋪築之天然石或轉爐石瀝青混凝土皆是採用一般土木工程界慣用之骨材粒料，其材質規範範圍與檢驗結果如下表 8 及表 9 所示。

表 8 粗粒料規範及試驗結果

試驗項目	天然粒料	轉爐石	規範值
洛杉磯磨損率(500 轉, %)	25.35	12.50	< 40%
扁長率(%)			
1:3	7.56	2.53	< 10%
寬厚(長)率(%)			
1:3	6.86	1.58	< 10%
破裂面(%)			
一面	83	100	>75%
比重	2.62	3.40	-
吸水率(%)	1.25	1.85	< 2%
健性(硫酸鈉 5 次循環損失%)	0.8	0.65	< 12%

表 9 細粒料規範及試驗結果

試驗項目	天然粒料	規範值
健性(硫酸鈉 5 次循環損失, %)	6.8	< 15
含砂當量	92.5	> 80
比重( $G_b$ )	2.60	-
吸水率(%)	1.85	-

## 2. 黏結材料(瀝青膠泥)基本性質

本次研討中所講述到之實際鋪築之天然石或轉爐石瀝青混凝土皆是採用一般黏度分類為 AC-20、或針入度等級為 60/70 之瀝青膠泥，其材質規範範圍與檢驗結果如下表 10 所示。

表 10 黏度 AC-20、針入度 60/70 型瀝青膠泥試驗結果

針入度 60/70	試驗值	規範值
新鮮瀝青		
針入度(0.1mm)	65	60~70
黏度(60°C, poise)	2054	2000±20%
(135°C, cSt)	392	-
閃火點(°C)	302	>232
溶解度(%)	99.6	>99
薄膜烘箱試驗後		
熱損百分比(%)	0.01	<0.5
殘餘針入度比(%)	60	>52
延展性(cm)	>100	>75

## 3. 黏結材料(石粉)基本性質(表 11)

表 11 填縫材料(石粉)規範及試驗結果

試驗項目	天然粒料(石粉)	規範值
過篩重量百分率		
0.60 (No. 30)	100	100
0.30 (No. 50)	98.85	95~100
0.075 (No.200)	92.35	70~100
塑性指數(PI)	NP	<4
添加量(%)	3	<7

#### 四、轉爐石瀝青拌合廠生產管作業管制

熱拌瀝青混凝土拌合廠設備可分為 1.連續式拌合廠、2.分盤式拌合廠、3.鼓式拌合廠三種，目前台灣以分盤式拌合廠為主軸，分盤式拌合廠如圖 8~圖 10。本次研討所使之一噸廠、二噸廠、三噸廠都為目前台灣瀝青拌合廠設備最為普遍之分盤式拌合主機，其相關生產品質作業管制如下



圖8 一噸廠拌合主機



圖9 二噸廠拌合主機



圖10 三噸廠拌合主機

##### 4.1 粒料之儲存管制

1. 各種尺度之粒料應分別堆存在易於通達拌和廠加料器之處。粒料在放入乾燥爐前，應分成 3 種以上尺度(六分石、三分石、二分石)，分開貯存。貯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，粒料若貯存於靠近儲備料堆處，應保持隔離。
3. 貯料場所堆放粒料之貯存量，至少應足供 7 天拌和瀝青混凝土之需，未經檢驗合格之粒料不得直接加入正使用中之料堆。

##### 4.2 冷斗料供應系統管制

1. 冷斗料應至少為 4 個斗槽分別放置粗細骨材粒料及砂石，如圖 11 為冷斗料供應倉。
2. 供料輸送帶應依各斗槽每配斗槽備變速 VS 馬達及流量計以依配合比供料至乾燥爐內，如圖 12 及圖 13。

##### 4.3 骨材乾燥加熱系統管制

1. 應具備有 200~600 度 C 加熱能力之逆流式加熱器。
2. 由鼓風機、排氣機、燃料噴火器等組合構成乾燥加熱系統應能將粗細骨材料之內含水份降至 1% 以下，如圖 14~圖 16 所示。

##### 4.4 熱斗料供應系統管制

1. 槽式提升機提昇加熱粒料後應經振動搖篩機分篩至熱斗倉暫存槽。
2. 振動搖篩機應能分篩各尺寸之骨材粒料至熱斗倉。

3. 熱斗倉應具有 4 種以上(6 分石、3 分石、2 分石、砂)之暫存槽暫存儲加熱後為持一定溫度之骨材料。並分設粒料溢流管溢流多餘骨材料。



圖 11 冷斗料供應槽



圖 12 變速 VS 馬達及流量計



圖 13 熱斗料儲倉



圖 14 骨材乾燥加熱系統



圖 15 熱斗料供應系統



圖 16 填縫料供應系統

#### 4.5 填縫料供應系統管制

借由螺旋式送料機經管線傳送填縫料至儲存槽再經由獨立計量後送至拌合機。

#### 4.6 瀝青膠泥供應設備管制

1. 瀝青膠泥應以專用油灌車運至瀝青拌和廠貯存槽內，貯存槽之總容量不得少

於每日施工最高需要量之 3 倍，並應附有循環式間接加溫及自動控制保溫設備，以加熱保持應有之溫度。瀝青膠泥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. 應具備噴射管路能將瀝青膠泥快速 5 秒內，噴射入拌合鼓內快速均勻拌合。

#### 4.7 各計量、計數單元設備管制

要能提供各種材料之稱重計量、讀秒計數或流量計量等設備其公差為正負 1% 以內，使混合料內瀝青膠泥之數量，能達到工地拌和規定之許可差以內。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，如圖 17 及圖 18 所示。

#### 4.8 集塵系統

1. 旋風集塵器應能過濾收集由拌合機擾動所造成之細微溢散粗微粒，如圖 19。
2. 袋式集塵器應能過濾收集由旋風集塵器擾動所造成之細微溢散粗微粒。



圖 17 控制室(全電腦化自動)



圖 18 控制室(供應系統介面)



圖 19 集塵系統(應符合環保相關法令)。

### 五、轉爐石瀝青混凝土生產品管暨施工注意事項

#### 5.1 骨材部份



圖 20 天然石骨材(六分石 100g)



圖 21 轉爐石骨材(六分石 100g)



圖 22 天然石骨材(三分石 100g)



圖 23 轉爐石骨材(三分石 100g)



圖 24 天然石骨材(二分石 100g)



圖 25 轉爐石骨材(二分石 100g)

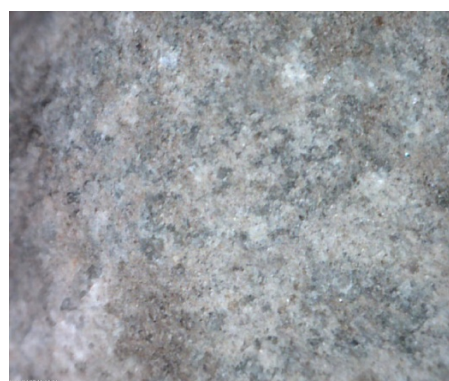


圖 26 天然石(粒料表面放大 50 倍)



圖 27 轉爐石(粒料表面放大 50 倍)

由於天然石與轉爐石其主要組成之元素成分比例不同、形成與製造生成不同因而造成兩者間外型、比重、吸水特性、親油特性皆不同。如上圖 20 至圖

27 所示，以未拌合膠泥之純骨材材料外觀上觀察，在一定之比例尺寸及重量下比較兩者間外型外觀之不同。外型上天然石較為不均勻、圓滑、尖長、扁平之型態略為偏多，而轉爐石在外型上則較為均勻、粗糙、方正、厚寬。外型特性在瀝青混凝土品質控制上佔用一定之重要性影響之性質為強度高低、滾壓時及滾壓後之體積變化大小。在品質管理上均勻度較佳之材料無論是取樣客觀性，成品體積於壓路機滾壓後之體積變化，轉爐石比天然石粒料較小產生壓縮其各鬆實比值約在天然石為 1.22:1 而轉爐石取代量為 60% 時其鬆實比值約在 1.15:1，其代表意義為預鋪設 5cm 厚鋪面在天然石瀝青混凝土須鋪設鬆方 6.1cm 厚之瀝青混凝土面，經壓實後才能得到 5cm 厚之鋪面，反觀轉爐石只需鋪設 5.75cm 厚就能達到厚度要求。所以在大小管控上轉爐石均能得到較佳之品質。粗糙、方正、厚寬在鋪面強度上也較能獲得較佳之強度如天然石之瀝青混凝土穩定值約為 950kgf~1250kgf 間，而相同條件下轉爐石瀝青混凝土穩定值約為 1450kgf~2400kgf，約高 30%~50% 之間。而其他瀝青混凝土性質也應上述之原因而使得轉爐石瀝青混凝土有較低之流度值較不易因重壓而變形。



圖 28 天然石砂(#100 1g)  
粒料表面放大 200 倍



圖 29 轉爐石砂(#100 1g)  
粒料表面放大 200 倍



圖 30 天然石(回收粉塵 0.1g)  
粒料表面放大 200 倍



圖 31 轉爐石砂(回收粉塵 0.1g)  
粒料表面放大 200 倍

骨材(細粒料)從圖 28 至圖 31 在顯微放大倍率 200 倍情形下觀察天然石及轉爐石填縫料之外觀，得到天然石填縫料之外觀多為表面光滑平順之微粒材料

與轉爐石填縫料之外觀多為粗糙、菱角孔隙，兩者間表面性質相差極大。因而在天然石及轉爐石瀝青混凝土配合設計上得到在重量法算式下兩者間之建議最佳含油量上相差極大數據約為佔總重之 5.1%與 4.3%。因兩者比重不同，於體積法算式上修正時則兩者之最佳含油量為天然石略高於轉爐石含量佔總瀝青膠泥量之 1.34%、佔總重之 0.15%。此為天然石比表面積在相同條件下高於轉爐石表面積而要達成一定之油膜厚度著須增加瀝青膠泥之使用量來達到目標。

生產工廠回收填縫材料在顯微放大 200 倍之情形下顯而易見如圖 30 及圖 31 等，在高溫乾燥爐燃燒下非石材粒料類之材質可能經高溫燃燒因而燒失消除。而經由集塵器所收集之回收石粉多數可作為瀝青混凝土之填縫料使用。

本次探討在第 2 頁資料所列 13 條道路施做之試鋪工程於瀝青混凝土材料中使用轉爐石粗骨材用以取代原先天然石粗骨材，取代量為瀝青混凝土鋪面材料總重量之 60% 左右，其上第 7 頁表 1 所表示為一般天然石骨材與轉爐石骨材之品質管制試驗比較一覽表，用以明顯清楚比較骨材粒料基本性質是否合乎施工規範之基本要求與各種材質骨材性質數據間之大小差異。(建議把圖 28~31 移到此段後面)

## 5.2 瀝青膠泥部份

應使用穩定性高之瀝青膠泥較不易發生瀝青膠泥在 130°C~145°C 保存下或使用中因膠泥品質不佳而產生蒸散揮發、高溫碳化、黏度增高、體積減少因而數量減少、堵塞管線、耐候性耐久性不佳等情事。也應避免產生老化、黏結性退化等情事而影響整體瀝青混凝土品質。下圖為使用低於瀝青膠泥規範值下限之產品，品質須再確認之瀝青膠泥。其膠結材料因上述之原因而形成鋪面表面粒料膠泥包裹不全粒料脫落、變形、磨損等情形之產生，如圖 32~圖 37 所示。



圖 32 瀝青包裹不全粒料脫落



圖 33 瀝青包裹不全粒料磨損



圖 34 包裹不全粒料離析



圖 35 瀝青包裹不全粒料脫落

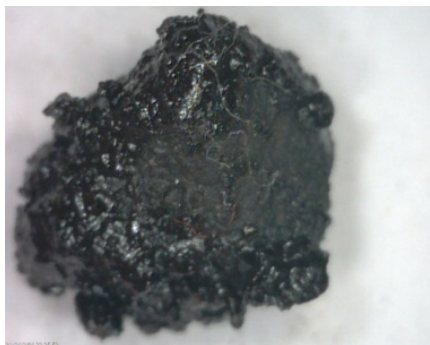


圖36 膠泥與粒料包裹不完全

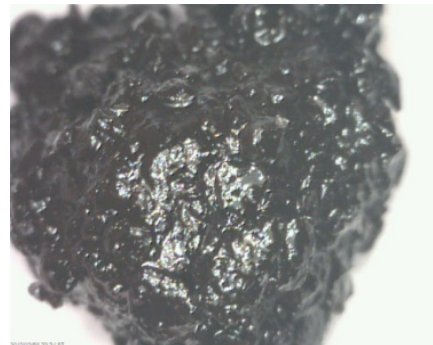


圖37 膠泥與粒料包裹完整

### 5.3 拌合工廠產製部份



圖38 骨材分倉進料 圖39 骨材堆置場分隔防水 圖40機具自動電腦化

如圖38~圖40所示在優良之生產品質管制制度上，骨材各尺寸應分料分倉計量進料入乾燥機中加熱乾燥，也應該如圖25於骨材堆置場左右分隔各倉料並於隔倉上方裝設雨遮防水浸濕骨材增加燃料油之消耗，尤其以轉爐石為具有親水性、親油性之特性易與水結合吸附[3]，徒增加熱燃料油之消耗及增加CaO自體膨脹之機率。

優良之材料也需優良生產設備配合才能達成品質管理之目標如圖21所示目前臺灣之瀝青混凝土拌合廠為控制良好之生產品質應全面使用全自動電腦化控制系統，以降低人為單方面之操作誤差或錯誤來增加品質準確度。

比重:轉爐石比重約3.250~3.550之間，天然石比重約2.550~2.650之間一般生產工廠之冷料儲倉約為10~11立方使用約6mm厚鐵板建造，天然石裝載重量約為18~20噸左右，而轉爐石之裝載重量約為28~30噸左右多出34%載重，須注意冷料倉鐵板因載重增加變型及焊接處裂縫之問題，可增加鐵板厚度來改善。

由於此比重增加之情況也對於生產設備中熱斗儲倉、槽式提升機、骨材乾燥加熱筒、驅動馬達、驅動鍊條、生產機組之主結構及固定螺絲等都造成負載荷重增加、驅動電流增加之情形經量測骨材乾燥加熱筒約從40A升至55A、槽式提升機約從18A升至22A等增加之幅度約為18%~28%，並應於生產製造時應一並考量增加34%荷重之機組結構問題。另一因比重材質特性在相同達至165°C時骨材乾燥加熱筒進料加熱時之燃料油流量天然石約為10L/T，轉爐石則約為9L/T減少之幅度約為10%。熱斗倉備料溫度在市氣溫25°C由165°C降至145°C時，時

間則由35分鐘延至45分鐘其轉爐石儲熱能力約提高22%更能增加待命時間，縮減重開火次數減低油耗。

pH值:天然石及轉爐石因環境保護規定灑水防治揚塵與下雨時而與水有所接觸因而使排出之水為呈現鹼性其對生產機具產生一定程度之鏽蝕，尤以轉爐石之鏽蝕程度為最大，此一特性在爾後加熱去除水份後則情形減低，其如何防止機具鏽蝕程度擴大增加機具使用壽命，可為各生產業者集思廣意。防止方式為單一廠主機生產，生產完成後清倉沖洗來降低鏽蝕程度。

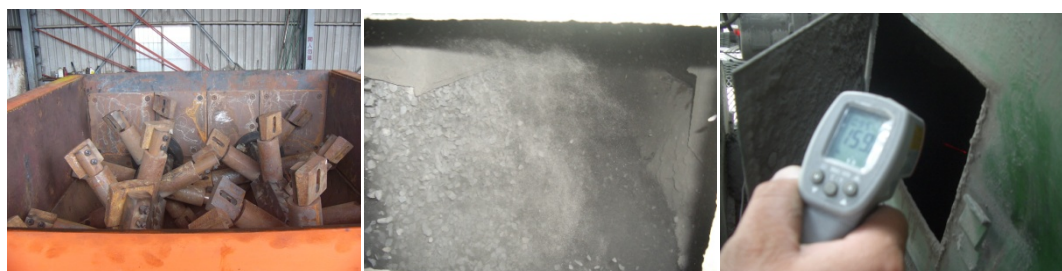


圖41 拌合鼓骨手整齊完整 圖42 乾拌狀態完整均勻 圖43 拌合溫度要正確

如圖41所示瀝青混凝土無論是使用何種骨材、材料，都應該正確的溫度控制下、合適的材料比例中，以完整均勻之拌合機具在正確時間內完成拌合程序，如圖42及圖43所示。因轉爐石之粗骨材材料本身具有高抗磨耗性及多孔隙、質地堅硬等特性其所代表的特性也相對導致生產機組之高損耗性[4]。圖44所示為拌合鼓中之拌合方塊經用以量測轉爐石骨材對於拌合鼓、拌合骨手之損耗率，其損耗比例為生產天然石瀝青混凝土25000噸時比生產轉爐石瀝青混凝土6000噸達到其重量損失37.5%可見轉爐石其此一特性對生產機具極為不利，當拌合方塊損耗時連帶影響拌合效率，在相同拌合轉數、拌合秒數時其拌合效果如圖45及圖46所示，嚴重影響試拌或正式拌合時之瀝青油量增減及拌合時間之決定。經長期拌合轉爐石瀝青混凝土之經驗，建議減少乾拌時間用來增加濕拌時間以減少對機具之損耗，增加對轉爐石瀝青混凝土之包裹率。經拌合經驗得知轉數1分鐘60轉乾拌5秒濕拌55秒對3/4"密級配60%轉爐石添加量為較佳之拌合效果如圖46及圖47所示。(本段之描述是否會讓拌合廠降低使用意願???)

硬度：依據相關之研究數據天然石硬度約為莫氏硬度4~5而轉爐石莫氏硬度約6~7而生產機具金屬鐵質之大部份約為5左右，拌合鼓、拌合手、拌合塊等耐磨鐵材約為6~7左右，在對生產機具磨損上轉爐石為較相對磨損大生產成本高，經實際生產後觀察及量測拌合鼓、拌合手、拌合塊後得知在相同磨損量下其天然石與轉爐石之生產噸數為25000噸比6000噸，但在其製成鋪面道路後又因此特性使得因添加轉爐石之瀝青混凝土因而得到極佳之穩定性、耐磨耗、耐載重等性質。觀察量測此現象對生產機具發生最嚴重之磨損地區為1. 拌合塊、拌合手、拌合鼓。2.熱斗料篩網區第一層下料處篩網。為減少對機具之磨損量依經驗減少乾拌時間4/5將乾拌拌合時間轉至濕拌拌合時間即能降低磨損，並經實施測試後並不影響轉爐石拌合均勻度。另一熱斗料篩網減少磨損處理方式為在

下料處篩網上方加裝一塊擋板降低熱料落下之衝擊。



圖44 拌合鼓機組骨手易磨損

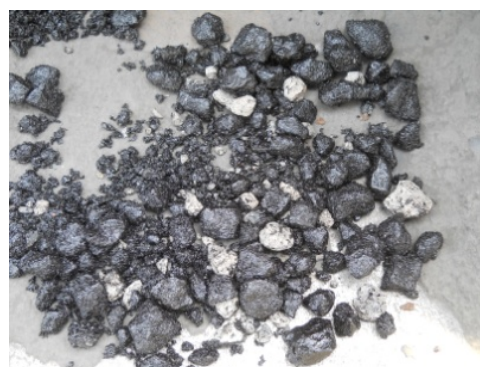


圖45 濕拌粒料膠泥拌合不均勻



圖46 濕拌拌合完整均勻



圖47 多次試拌求取最佳拌合時間點

#### 5.4 現地鋪築部份

如圖48至圖57所示轉爐石瀝青混凝土其現地鋪築部份與天然石瀝青混凝土程序上並無明顯不同也為1.工程放樣-刨除挖除、清潔整理-噴灑瀝青乳化透、黏層油-第一層5cm鋪築-滾壓(滾動壓實初、中、終壓)-現場取樣檢驗-清潔養護-完竣工程等程序為因轉爐石之特性在現地施工上須注意之事件有1.轉爐石瀝青混凝土比重大在施工數量上無論是以米平方公尺計算還是以公噸計皆須將其單位重考慮計算中。2.轉爐石粒形方正比重大受滾壓之鬆實比為一般天然石瀝青混凝土小，在鋪築時能降低鬆方鋪設高度約5%。3.轉爐石材值具有金屬及多孔隙特性對溫度之反應具有吸熱及保溫之情況，在燃料油加熱使用上欲達與天然石之相同溫度其燃料油開度則減為80%~90%，其燃料油流量(公升/每小時)約減至5%~10%[5]。

1. 轉爐石比重大，重量重鋪設於現場工地上在相同面積上其鋪築重量約大於天然瀝青混凝土17%重量，其車載重之次數、運費、材料施工等多增加出17%之工程成本。
2. 轉爐石含有金屬氧化物且孔隙多較具保溫效果在 26°C~28°C 氣溫下能有效保持延長比天然石達 10~20 分鐘之相同溫度效果。但因比重大在相關交通法規要求下單一載重噸數固定時其能運送之體積減少 14%所須卡車運送成本增

加。由載重卡車倒入鋪裝機時應注意鋪裝機之最大荷載重用以避免鋪裝機無法推動之情況產生且還須注意鋪裝機之水平鋪板應能維持平直，其經初壓、中壓、終壓之時間及次數可為初壓時次數可不減少，滾壓時間可拉長約 3~5 分鐘等候時間加長，則施工鋪面之長度可增加降低橫向接縫次數。中壓時因保溫效果佳因而為達成一定之鋪面壓實度能降低 1 次來回滾壓，即可達成相同壓實效果節省 25% 之膠輪壓路機耗油上。終壓效果上也可降低 1 次滾壓次數來達成相當之壓實成效節省油耗。相對用於計算現地鋪築面積上約與天然石瀝青混凝土每 1 噸鋪設 5cm 厚比為 7.3:8.5M<sup>2</sup> 所以每日鋪築噸數轉換平方公尺應特別計算。鋪設完成後養護至鋪面溫度降至 60°C 以下之時間 5cm 厚度為較天然石延長 30 分鐘，10cm 厚度則較為天然石延長 60 分鐘~90 分鐘

3. 也因轉爐石含有金屬氧化務成分及具多孔性性質(如圖 59 所示)具吸熱、保溫之效果。在工地現場鋪築中與天然石瀝青混凝土之比較其溫度下降之延遲程度時，鋪設 5cm 厚瀝青混凝土氣溫 28°C 其由 145°C 高溫降至 60°C 約須 5.1 小時，再降至 30°C 時約須 6.5 小時，與天然石瀝青混凝土之 60°C 約須 4.1 小時，30°C 時約須 5.4 小時，在高溫 60°C 情形下延遲了 1 小時，在 30°C 時延遲了 1.1 小時。由以上可知轉爐時於鋪築滾壓後養護之時間須要延長 1 小時左右才能開放通車。



圖 48 剷除挖除、清潔整理



圖 49 清潔整理完整乾淨



圖 50 噴灑瀝青乳化黏層油



圖 51 第一層 5cm 鋪築



圖 52 第二層 5cm 鋪築



圖 53 滾動壓實初、中、終壓

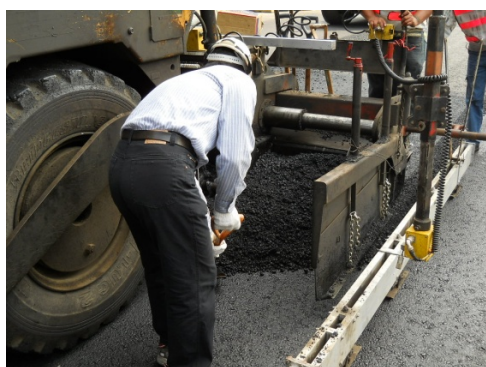


圖 54 工地現場取樣檢驗



圖 55 工地現場取樣檢驗



圖 56 工地現平坦度檢驗



圖 57 完竣工程

### 5.5 竣工追蹤部份

圖58為天然石與轉爐石瀝青混凝土鋪面，經鑽心取樣後以水平面切斷來獲取試體內部經自然車輛載重碾壓後兩種不同之骨材與瀝青膠泥之排列包覆情形，圖中顯示無論是天然石或轉爐石其粗細粒料骨材組成結構分佈均勻，唯兩種材質之顯色略有不同天然石較偏白，轉爐石較偏黑。在由下圖59及圖60放大20倍率之情形微觀可判斷出此兩顆試體大業北路之鑽心試體，其天然石瀝青混凝土鋪面為3/4" 密級配瀝青含量為4.70(對混合料)，而轉爐石瀝青混凝土鋪面也為3/4" 密級配瀝青含量為4.30(對混合料)。在微觀之情形下先可見轉爐石之試體

上有細小之孔洞及孔隙，孔洞中填充著黑色瀝青膠泥而大顆粒中顆粒骨材間互相接觸著，其顆粒最外層包裹遮著一層約0.8mm厚之粉狀體，顏色呈咖啡黑粒料間之包裹聯結狀況為緊密無冒油或隆起之現象。

在微觀之情形下可看見天然石之試體上無細小之孔洞但有狹長狀之孔隙，孔隙中填充著黑色瀝青膠泥呈現亮黑色而大顆粒、中顆粒及小顆粒間骨材間互相緊密接觸著，其顆粒最外層隱約可看見黑色膠狀物體，顏色呈黑亮色細粒料間之包裹聯結狀況緊密似乎有出油及隆起之現象。



圖58 左.天然石瀝青混凝土(橫剖面) 右.轉爐石瀝青混凝土(橫剖面)

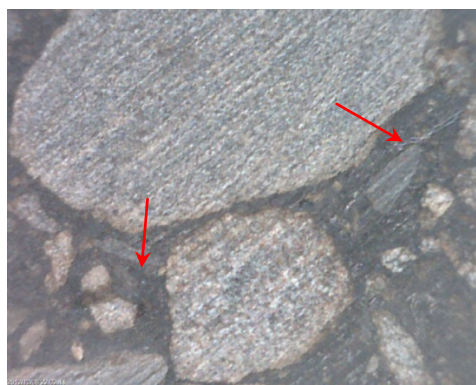


圖59 天然石瀝青混凝土

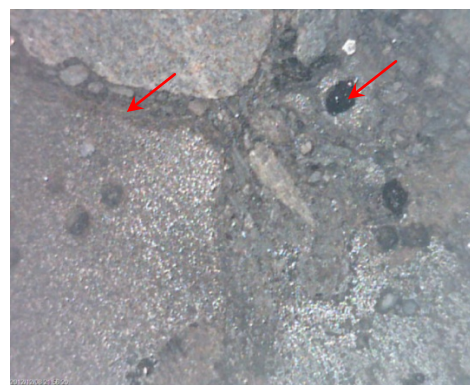


圖60 轉爐石瀝青混凝土



圖61 轉爐石鋪面取樣 圖62 鎢鋼牙刨除定點量測 圖63 刨除定點損耗量測

上圖61~圖63為於100年7約月份特地至中鋼廠區於2007年鋪設之AC-20密

級配10cm厚轉爐石瀝青混凝土工地上選擇一處十字交插路口刻意刨除約5cm厚20m長1m寬來做為轉爐石瀝青混凝土鋪設4年後之刨除料測試，下圖64即為當時刨除料之底面情況照片。原設計瀝青膠泥黏滯度約為 $2000\pm 400$ poise，而此批轉爐石刨除料之回收瀝青膠泥黏滯度約為 $6800\pm 500$ poise，出步判斷其工程品質耐用年限應該還有很長之一段時間[6]。



圖64 2007年鋪設轉爐石鋪面之刨除料樣本

## 六、結論與建議

綜合以上之轉爐石實務生產及鋪築後之追蹤可得結論如下：

### 6.1 缺點

1. 轉爐石具有吸水性及親油性雙重性質，在生產製造拌合中須比天然石更加注重品質管理及生產技術、施工安排，避免與水份接觸則能免除相當問題。
2. (建議移除)
3. 轉爐石製成瀝青混凝土其重量大於天然石瀝青混凝土約 10~17%，當生產製造道路鋪面時會短期增加工程總成本，但此一缺點於道路鋪面成效上又能補足其增加之生產總成本。

### 6.2 優點

1. 在相同路基強度、車載重、行車速率條件下轉爐石瀝青混凝土對重車載重、輪胎磨損之底抗能力優於一般天然石瀝青混凝土，更適合鋪設於重車行駛之道路。
2. 轉爐石為適合製造熱拌瀝青混凝土之素材，其特性不但能相對提高穩定值尤其以全取代粗骨材比例時性質最為適合，無論在配合比上調配或實際拌合廠生產瀝青混凝土鋪面上均為合適之骨材粒料。
3. 轉爐石承受重車碾壓下比一般天然石瀝青混凝土變型量小，因孔隙多一般相對於承受過量載重或瀝青含量過多時較不易出現因過度壓密而產生冒油或車

轍現象。

4. 製作及施工成本計算上轉爐石為 a.價格低廉約只有天然石之 1/3。b.保溫性佳在生產製造過程中欲達到相同工作溫度時約能減少約 5%~10%之熱能消耗，延長瀝青混凝土待料時間避免不合格品產生，現地上因自重大粒型方正於高溫滾壓實時體積變化量小，能減少約 1/5 滾壓次數及人力支出，依舊保持相當程度要求之壓密度符合驗收標準。
5. 轉爐石粗粒料拌和產製時間較長應盡量減少乾拌秒數甚至全改由濕拌取代，以降低對生產機具之磨損。且在與天然石瀝青混凝土同重量下的體積比較小，為達相同目的所需的公噸數、卡車數量需要增加，應就整體生產製作-運輸管理-施工作業及時間進行調配。以達成最佳之經濟效益。(改列入缺點)
6. 十年來施作轉爐石瀝青混凝土試驗鋪築期間未曾有過其道路自然損壞須加以剷除改善案例，可見在嚴格之控管下道路服務周期長、服務績效良好，就長期使用效益來計算，實際為成本低廉之產品。

## 七、參考文獻

1. 中鋼集團 (2007)，「轉爐石利用推廣手冊」，高雄。
2. 中華鋪面工程學會 (2010)，「轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊」，桃園。
3. 許伯良，林平全，徐登科 (2011)，「轉爐石產製與工程應用」，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面研討會論文集，第 10-18 頁，高雄。
4. 國立中央大學木工程研究所 (1999)，「轉爐石取代天然粗細粒料應用於瀝青混凝土之成效評估」，桃園。
5. 黃隆昇，林登峰，林平全，許伯良 (2010)，「評估煉鋼爐石應用於瀝青混凝土之性質及現場鋪設成效」，中國工程師高雄會刊，第 18 卷，第 2 期，47-55 頁。
6. 王金鐘 (2005)，「轉爐石作為基底層材料及其工程特性之研究」，國立成功大學土木工程系博士論文，台南。