

轉爐石在道路工程應用的相關國家標準及綱要規範

林志棟¹、蔡瑋倫²、郭孟鑫²

¹ 國立中央大學土木工程學系 教授

² 國立中央大學土木材料品保中心 組長

摘要

依國內外轉爐石使用之經驗顯示，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面工程之技術已相當成熟，且瀝青具有防水之特性若包裹轉爐石則可防止水分與其接觸而抑制體積膨脹，並使含轉爐石之瀝青混凝土鋪面性質穩定，因此，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面極具潛力。國內為使轉爐石能妥善應用於瀝青混凝土鋪面工程，經濟部標準檢驗局近年內增修了 CNS 15310 等檢試驗標準，而公共工程委員會亦於施工綱要規範 02742 章修訂轉爐石使用原則，以此確保轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之績效，避免因材料不當使用而造成工程失敗。

本文內容就轉爐石材料檢試驗標準、轉爐石瀝青混凝土產製、運輸、施工及品質管理及瀝青混凝土鋪面工程使用轉爐石作業要點等作一統整性敘述。

關鍵詞：轉爐石、鋪面工程、瀝青混凝土。

一、前言

轉爐石係屬於煉鋼爐石(steel slag)之一，其具有耐磨、高硬度及高抗滑之特性，其粒料特性相當適合應用於鋪面工程，但未經安定化之轉爐石因含有大量游離石灰(f-CaO)，遇水後易產生體積膨脹，使其在資源再利用上受到限制，最終多以土木工程填方、填海造陸及圍堤背填等方式處理。然根據國內外轉爐石利用之經驗顯示，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面工程之技術已相當成熟，且瀝青具有防水之特性，若包裹轉爐石後則可防止水份與其接觸，進而抑制遇水後體積膨脹的問題產生，含有轉爐石之瀝青混凝土鋪面性質穩定，因此轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面可謂極具潛力。

據此，國內為能妥善地將轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面，並同時解決國內砂石資源短缺之困境，經濟部標準檢驗局於 2010 年 12 月 30 日公佈 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」等國家標準，並陸續於施工綱要規範中增修轉爐石使用條例及限制，用以規範道路基層、底層及熱拌瀝青混凝土所使用之煉鋼爐渣，至此轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之範疇終有明確規範可供依循。本文就經濟部標準檢驗局所訂有關轉爐石相關檢驗標準及施工綱要規範中對於轉爐石的作業要點作一說明。

二、轉爐石應用於道路工程之國家標準

2.1 國內外轉爐石應用於鋪面工程之試驗標準

目前轉爐石應用於瀝青混凝土及鋪面面層與基底層級配粒料所依循之檢試驗規範如表 1 所示，對照表如表 2 所示；其中包含美國材料試驗協會(ASTM)、日本國家標準(JIS/JSA)及中國國家標準(CNS)等。

表 1 國內外轉爐石應用於鋪面之試驗標準編號及名稱

項目	編號	試驗標準名稱
瀝青混凝土	ASTM D3515	Standard specification for hot-mixed, hot-laid bituminous paving mixtures
	ASTM D4867	Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures
	ASTM D5106	Standard specification for steel slag aggregates for bituminous paving mixtures
	JIS A5015	Iron and steel slag for road construction
	CNS 15307	熱拌、熱鋪瀝青鋪面混合料
	CNS 15306	瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法
	CNS 15310	瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料
鋪面面層與基底層級配粒料	ASTM D1241	Standard specification for materials for soil-aggregate subbase, base, and surface courses
	ASTM D692	Standard specification for coarse aggregate for bituminous paving mixtures
	ASTM D1073	Standard specification for fine aggregate for bituminous paving mixtures
	ASTM D5106	Standard specification for steel slag aggregates for bituminous paving mixtures
	ASTM D4792	Standard test method for potential expansion of aggregates from hydration reactions
	ASTM D2940	Standard specification for graded aggregate material for bases or subbases for highways or airports
	JIS A5015	Iron and steel slag for road construction
	CNS 15305	級配粒料基層、底層及面層用材料
	CNS 15308	瀝青鋪面混合料用粗粒料
	CNS 15309	瀝青鋪面混合料用細粒料
	CNS 15310	瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料
	CNS 15311	粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
	CNS 15358	公路或機場底層、基層用碎石級配粒料

表 2 國內外轉爐石應用於鋪面之試驗標準對照表

試驗項目 參考規範	試驗方法	
	ASTM	CNS
級配粒料基層、底層及面層用材料	D1241	15305
瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法	D4867/D4867M	15306
熱拌、熱鋪瀝青鋪面混合料	D3515	15307
瀝青鋪面混合料用粗粒料	D692/D692M	15308
瀝青鋪面混合料用細粒料	D1073	15309
瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料	D5106	15310
粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法	D4792	15311
公路或機場底層、基層用碎石級配粒料	D2940	15358

2.2 中華民國國家標準

經濟部標準檢驗局目前已針對轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面制定許多相關國家標準，其目的在於規範轉爐石作為瀝青混凝土材料的材料品質鋪面績效。本

節就國內已公告之 CNS 標準中對轉爐石瀝青混凝土之重要規定進行彙整如下：

1. CNS 15307 熱拌、熱鋪瀝青鋪面混合料(2011)

(1) 適用範圍

本標準適用於底層、聯結層、整平層及面層之熱拌、熱鋪瀝青、柏油、乳
化瀝青與再生瀝青鋪面混合料。

(2) 粒料

粒料應為碎石、軋碎爐渣、鋼爐渣、軋碎礫石、及天然或碎石砂，且符合
下列適當之 CNS 標準中對品質與軋碎顆粒之規定。

A. 粗粒料：依 CNS 15308—瀝青鋪面混合料用粗粒料

B. 細粒料：依 CNS 15309—瀝青鋪面混合料用細粒料之規定

C. 鋼爐渣：依 CNS 15310—瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料之規定

備考：其他經過當地經驗或經測試已證實能產製令人滿意之瀝青鋪面混合
料之礦物粒料(例如未軋碎礫石、軋碎的貝殼及不同的人造粒料等亦可使用)。

2. CNS 15308 瀝青鋪面混合料用粗粒料(2011)

(1) 適用範圍

本標準適用於瀝青鋪面混合料之碎石、軋碎之水硬性水泥混凝土、高爐爐
渣、鋼爐渣⁽¹⁾、礫石、膨脹頁岩、膨脹黏土與膨脹板岩等。

註⁽¹⁾：須符合經濟部最新公告「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」相
關再利用種類之規定。

(2) 用語及定義

鋼爐渣為非金屬產品，係與鋼同時在轉爐或電弧爐之煉鋼爐中所產生，主
要為氧化鐵、氧化鋁、氧化錳、氧化鈣、氧化鎂及氧化矽等氧化物熔融組合而
成之矽酸鹽及鐵氧化物，包含轉爐石(渣)、電弧爐氧化渣、電弧爐還原渣。

(3) 物理性質

表 3 物理性質品質要求項目表

項 目	品 質 要 求	試驗標準
一般性質	粗粒料應為堅硬、耐久之顆粒，表面沒有外物沾附 且符合本標準之規定。	CNS 15308
級配	粗粒料之級配應符 CNS 15314 中相關尺度稱號之要 求，或於訂購單上所註明之其他級配。	CNS 15314
密度	CNS 1163 中搗實法試驗，尺度 稱號 57 或 8 號之氣冷高爐爐渣 1120 kg/m ³ 以上	CNS 1163
粒料中之破 碎顆粒	粗粒料 一般混合 料 一個以上破碎面 不小於 40 %	CNS 15312
	開放級配 摩擦層混 合料 一個以上破碎面 不小於 90 %	
	兩個以上破碎面 75 % 以上	
健度	硫酸鈉溶液 不得大於 12 % 硫酸鎂溶液 不得大於 18 %	CNS 1167
磨損 ⁽²⁾	面層 不得大於 40 %	CNS 490
	底層 不得大於 50 %	

註⁽²⁾：除軋碎之水硬性水泥混凝土外，粗粒料雖不符合健度或磨損降級規定，但符合下列情況時，亦可考慮使用。

- A. 同一料源或地層相似之粒料：其使用經驗證實可得滿意之路面結果。
- B. 經其他試驗結果顯示可得需求之性能：取自新料源之粒料（含軋碎之水硬性水泥混凝土）雖不符合第 4.6 節或第 4.7 節之要求，且無使用經驗資料，但若經由其他試驗之結果顯示可得所需求之性能時，亦可考慮使用。惟軋碎之水硬性水泥混凝土與 Na_2SO_4 或 MgSO_4 可能產生化學作用而導致較高之試驗結果，但有可能不會反應在粒料之凍融性質上，建議可增加其它試驗應證之。

3. CNS 15309 瀝青鋪面混合料用細粒料(2011)

(1) 適用範圍

本標準適用於瀝青鋪面混合料之天然砂或來自碎石、軋碎之高爐爐渣、鋼爐渣⁽¹⁾、軋碎或未軋碎之膨脹頁岩、黏土、板岩或其混合物之加工細粒料等。

(2) 一般特性

細粒料為通過試驗篩 9.5 mm CNS 386，且幾乎完全通過 4.75 mm 試驗篩之粒料，應為堅硬、強韌之顆粒且不含黏土、壤土或其他有害物質。

4. CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料(2010)

(1) 適用範圍

本標準適用瀝青鋪面混合料已軋碎之鋼爐渣粗粒料及細粒料。鋼爐渣⁽³⁾粗粒料與細粒料可單獨使用或與包含 CNS 15308 或 CNS 15309 等之其他礦物粒料組合使用，以產製符合 CNS 15307 之鋪面混合料。

註⁽³⁾：若屬於經濟部最新公告「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」之再利用種類，則粒料之使用亦須符合該公告「再利管理方式」之規定。當瀝青混合料中之粗粒料 100% 為鋼爐渣時，此混合料中之鋼爐渣細粒料用量應予限制，以預防膨脹。各工程於初期使用時，建議用量以不超過粒料總量之 20% 為宜。

(2) 用語及定義

鋼爐渣為非金屬產品，係與鋼同時在轉爐或電弧爐之煉鋼爐中所產生，主要為氧化鐵、氧化鋁、氧化錳、氧化鈣、氧化鎂及氧化矽等氧化物熔融組合而成之矽酸鹽及鐵氧化物，包含轉爐石(渣)、電弧爐氧化渣、電弧爐還原渣。

(3) 一般特性

粗粒料及細粒料應採用堅硬、強韌、耐久之鋼爐渣塊所組成，粒料應經過軋碎、篩分、磁選去除金屬成分等處理程序，以符合本標準之要求。粒料運送時應避免混入有害之外來物質，例如黏土、壤土、木屑、金屬碎屑、生石灰等或其他煉鋼廠之廢棄物。

(4) 物理性質

A. 粗粒料

表 4 粗粒料物理性質品質要求項目表

項 目	品 質 要 求	試驗標準
級配	粗粒料級配應符合 CNS 15314 之尺度編號，或於訂購時指定之另一級配規格。使用之粒料尺度依鋪面混合料之需求組合而定，亦可指定是用於混合前或混合後之單一尺度或多個尺度之需求。	CNS 15314
粒料中軋碎顆粒	一般混合料一個以上破碎面不小於質量比 40% 開放級配摩擦一個以上破碎面不小於質量比 90% 層混合料兩個以上破碎面不小於質量比 75%	CNS 15312
磨光性	粒料或面層混合料中最粗部分之粒料，於預定之交通量下須具有足夠之抗磨作用。	CNS 15310
健度	硫酸鈉溶液 不得大於 12 % 硫酸鎂溶液 不得大於 18 %	CNS 1167
磨損 ⁽⁴⁾	面層 不得大於 40 % 底層 不得大於 50 %	CNS 490

B. 細粒料

表 5 細粒料物理性質品質要求項目表

項 目	品 質 要 求	試驗標準
級配	細粒料級配應符合 CNS 15309 之尺度編號，或於訂購時指定之另一級配規格。粒料尺度依鋪面混合料之需求組合而定，且可指定是用於混合前或混合後之單一尺度或多個尺度之需求。	CNS 15309 CNS 15310
級配變異	從特定料源連續裝載出貨之細粒料，其細度模數與基準細度模數之變異應不大於 0.25，基準細度模數應是該料源的代表值，非經購買者同意，基準細度模數不得變更。	CNS 15310
塑性指數	通過 425 μ m CNS 386 篩之部分 不超過 4.0	CNS 5088
健度	硫酸鈉溶液 不得大於 15 % 硫酸鎂溶液 不得大於 20 %	CNS 1167

C. 一般要求

表 6 粒料一般要求項目表

項 目	品 質 要 求	試驗標準
膨脹	粒料若含有具水合成分時(例如游離石灰 CaO)，應在訂購者認可之基礎上 ⁽⁴⁾ ，由供貨者提供該粒料之性能紀錄、熟化或其它足以證明材料性能穩定(含膨脹性)之處理方法，其結果達到令人滿意之程度。	CNS 15311
環境相容性	粒料在使用時，應依下列項目及當時現行法規評估對環境(例如空氣品質、水質等)之影響性。	—
粒料	應符合行政院環保署之相關規定。	行政院環保署之相關規定
TCLP	粒料若顯示具有產生溶出液之潛在可能性時，應依行政院環境保護署公告之「事業廢棄物毒性特性溶出程序(TCLP)」進行有害物質溶出試驗，或經訂購者同意之適當試驗方法檢測。所有測試範圍(含金屬、揮發物質、半揮發物質及有機物等)之結果，應符合現行相關法規之規定。	行政院環保署「毒性特性溶出程序」
輻射	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。	行政院原子能委員會之相關規定
特別要求剝脫潛在性	當購買者指定時，應進行(但不限於)下列評估項目。	—
易碎顆粒	依 CNS 15306 之規定。	CNS 15306
	依 CNS 1171 之規定。	CNS 1171

註⁽⁴⁾：CNS 15311 已被應用於評估密級配材料之膨脹潛在性。

5. CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法(2010)

(1) 適用範圍

本標準規定量測含有易受水合作用導致體積增加之成份，其夯實密級配粒料之潛在性體積膨脹試驗方法。

(2) 要義與應用

- A. 本試驗方法包括量測以 CNS 12382 所夯製試體之體積膨脹量，夯實之最大乾密度係以 CNS 11777 所得之結果為基準。為加速水合作用，試體必須浸入溫度為 $(70 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 之水中至少 7 天。
- B. 本試驗法提供適用於道路基層之鋼爐渣和其他材料，因受水合作用影響導致體積膨脹之測試。
- C. 本試驗法亦可使用於評估類似粒料之老化，或減低材料潛在膨脹能量處理效率之評估。
- D. 本試驗法所得之試驗結果並未依現地情形修正，且測試值不一定與使用狀況下之膨脹量相同。

(3) 膨脹試驗

- A. 從預留之樣品中，依 CNS 12382 之規定準備 3 個將浸泡用之樣品。
- B. 置放附有調整桿之有孔鋼板於鋼模內壓實試樣後，再於鋼板上加足夠之載重板至 4.54 kg，鋼模連試體浸於 $(70 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 之水中，使水分能夠自由進出試體頂面與底面，並於測試期間內保持水溫於 $(70 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 。
- C. 樣品置入熱水中 30 分鐘，此時相關試驗設備之熱膨脹效應已完成。讀取測微錶數值，此為測定樣品膨脹之「基準讀值」。
- D. 每日添加熱水以保持樣品完全浸沒於水中，連續 7 天讀取測微錶讀數值，此為「每日讀值」。當添加熱水後，至少間隔 2 小時始可讀取測微錶數值。
- E. 連續或每天測量並記錄水溫。

(4) 計算

A. 膨脹百分比(體積)

將每日讀值減去基準讀值後，除以試體初始高度(116.43 mm)再乘上 100，為膨脹百分比。

B. 膨脹速率

繪製膨脹百分比(Y 軸)與時間(X 軸)關係圖。

三、轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面工程之綱要規範

國內目前並無專章說明轉爐石瀝青混凝土鋪面施工綱要規範，依據現行施工綱要規範中所提及關於轉爐石的部分，僅就材料的範疇上加以限制及說明檢、試驗規範標準，整理目前施工綱要規範中明定可使用轉爐石之編章如表 7 所示。本節亦整理過往針對轉爐石添加於瀝青混凝土鋪面後之施工要領，包含材料、配比、生管、品管及檢驗要點等。

3.1 材料之品質管理

3.1.1 瀝青材料

用於轉爐石瀝青混凝土鋪面之瀝青材料，如表 8 所示，相關檢試驗項目及方法如表 9 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 7 國內轉爐石應用於鋪面工程之施工綱要規範

項目	規範編章	規範名稱
級配粒料	02722	級配粒料基層
	02726	級配粒料底層
瀝青混凝土鋪面	02741	瀝青混凝土之一般要求
	02742	瀝青混凝土鋪面
	02795	透水性混凝土磚
	02796	密級配改質瀝青混凝土鋪面
	02797	排水性改質瀝青混凝土鋪面
	02798	多孔隙瀝青混凝土鋪面

表 8 轉爐石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	私人道路	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	
	AC-40	V	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
	85-100	V	V	V		
改質瀝青	III 型	V	V	V	V	V

表 9 瀝青材料之相關試驗

試驗項目	試驗方法		
	AASHTO	ASTM	CNS
黏滯度	T316	D4402	14186
針入度	T49	D5	10090
閃火點	T48	D92	3775
薄膜加熱(TFOT)	T179	D1754/D1754M	14937
滾動薄膜加熱(RTFOT)	T240	D2872	14250
延性	T51	D113	10091
溶解度	T44	D2042	10092
比重	T228	D70	15476
軟化點	T53	D36/D36M	2486
彈性回復力	—	—	14184

3.1.2 粒料

1. 粗粒料

- (1) 轉爐石粗粒料停留於 2.36 mm(8 號)篩上者，須潔淨、質地堅硬、緻密、耐磨，且級配需依照 CNS 15310 規定或施工規範(於熱拌瀝青混凝土，應參考單一粒度之煉鋼爐渣標準)，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) 轉爐石粗粒料其餘性質要求如表 10 所示。
- (3) 轉爐石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 10 轉爐石粗粒料規範表

品質要求項目		規範值
健度	硫酸鈉	< 12 %
	硫酸鎂	< 18 %
洛杉磯磨損率		30 % 以下
浸水膨脹比		2 % 以下
吸水率		3 % 以下
面乾內飽和比重		2.45 以上

2. 細粒料

- (1) 轉爐石細粒料指通過 2.36 mm(8 號)篩者或包括石屑、天然砂或兩者之混合物，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，且導入拌和機時不得有結塊之情形。
- (2) 細粒料其餘性質要求如表 11 所示。
- (3) 粒料類相關檢、試驗項目及試驗方法如表 12 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 11 轉爐石細粒料規範表

品質要求項目		規範值
健度	硫酸鈉	< 15%
	硫酸鎂	< 20%
稜角率		> 45%
液限		< 25%
塑性指數		無塑性

表 12 粒料之相關檢試驗

試驗項目 參考規範	試驗方法		
	AASHTO	ASTM	CNS
粒料之取樣	T2	D75	485
粗粒料磨損試驗	T96	C535	490(<37.5 mm) 3408(>19.0 mm)
粒料單位重量標準試驗	T19	C29/C29M	1163
粒料健度試驗	T104	C88	1167
粗、細粒料篩分析	T27	C136	486
礦物填縫料篩分析	T37	D546	5265
粗粒料比重，吸水率	T85	C127	488
細粒料比重，吸水率	T84	C128	487
含砂當量試驗	T176	D2419	15346
粗粒料扁平率	—	D4791	15171
粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法	—	D4792	15311

3. 礦物填縫料(mineral filler)

- (1) 本工程所稱礦物填縫料，係指通過 0.6 mm(30 號)篩之細料，於粗、細粒料經混合結果缺少通過 0.075 mm(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、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 13 之規定。

表 13 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

3.2 瀝青混凝土添加轉爐石材料之配合設計原則

1. 轉爐石密級配瀝青混凝土及轉爐石再生瀝青混凝土，以適當比例之轉爐石取代粗粒料，使轉爐石瀝青混凝土能充分達成所需之性質要求，依循之配合設計步驟及準則為美國瀝青學會 (The Asphalt Institute) AI MS-2【Mix Design Methods for Asphalt Concrete】之馬歇爾方法，準則所引用之各項試驗方法以 AASHTO 為主，不足者依序以 ASTM 或 CNS 為輔。
2. 轉爐石多孔瀝青混凝土以適當比例之轉爐石取代粗粒料，使轉爐石多孔瀝青混凝土能充分達成所需之性質要求，依循之配合設計步驟及準則為公共工程施工綱要規範第 02797 章排水性改質瀝青混凝土鋪面附錄一之排水性瀝青混凝土混合料配合設計，所引用之各項試驗法以第 02797 章所述內容為主，不足者依序以 AASHTO、ASTM 或 CNS 為輔。
3. 轉爐石取代粗粒料之比例：取代粗粒料比例以占粒料總量之 20% 為原則，若有實際需要且具備對轉爐石性質的充分認知及對轉爐石使用之良好管制，得提高取代比例為 30%、40%、50% 及 60%。
4. 瀝青用量之表示原則：以對瀝青混合料之重量百分比為表示原則，若有加註說明則不在此限。

3.3 瀝青混凝土添加轉爐石材料之生產管理

3.3.1 粒料之管制

1. 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，且應按施工技術規範的要求進行檢驗。
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。

3.3.2 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。

3.3.3 拌和廠生產管制

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。

3.3.4 轉爐石瀝青混凝土混合料之拌和

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 14，惟除情況特殊經工程司核可者外，密級配不得超過 163°C，開放級配不得超過 120°C。

表 14 瀝青加熱溫度

瀝青膠泥之種類及等級	雙軸拌和機內瀝青混合料之溫度°C		
	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
	60-70	130~170	80~120
針入度等級	85-100	120~165	80~120
	120-150	120~155	80~120

2. 粒料之加熱

(1) 粗、細粒料在送入拌和機之前，均應烘乾加熱，其進入拌和機之溫度為 135°C~163°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，惟粒料與瀝青拌和時之溫度，彼此相差不得超過 10°C。

(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. 拌和

- (1) 各種大小不同之粒料、填充料及瀝青材料，應依工地拌和公式所規定之比例，分別以重量比準確配合之。
- (2) 以分盤式拌和機拌和時，其濕拌時間不得超過 50 秒。
- (3) 以連續式拌和機拌和時，除另有規定者外，其拌和時間應依下列公式按重量法決定之。
- (4) 拌和時間(秒)=[拌和機之載重量(kg)]÷[拌和機之出口量(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，在連續式拌和機內拌和之時間不得超過 60 秒。
- (6) 瀝青混凝土混合料自拌和廠輸出時之溫度。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。

3.4 轉爐石瀝青混凝土之品質管理

3.4.1 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，並據以生產拌和料。
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。
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. 瀝青混合料之試驗項目及試驗方法如表 15 所示。

表 15 瀝青混合料之試驗

試驗項目	試驗方法		
	AASHTO	ASTM	CNS
垂流試驗	T305	D6390	—
瀝青混合料最大理論密度	T209	D2041/D2041M	8758
瀝青含量抽油及粒料篩分析	T164、T30	D2172	15475、15478
包裹及剝脫試驗	T182	D2489、D3625	12394
浸壓試驗	T167、T283 (或用馬歇爾方法)	D4867	15306
拌和廠駐廠試驗	T172	D290	—
壓實度試驗	T166	D2726	12390
瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法	T283	D4867/D4867M	15306
瀝青鋪面混合料用鋼爐渣試驗	—	D5106	15310

3.4.2 現場之品質管理

1. 施工中，每天應 CNS 12388 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和公式之許可差，不得超過表 16 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 °C 前，應禁止任何車輛行駛其上。

表 16 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		許可差百分率
mm	in.	
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
瀝青含量，%(以瀝青混合料之總重量計算)		±0.5

3.5 檢驗要點

表 17 轉爐石瀝青混凝土鋪面檢驗規範

檢驗項目	規範要求
磨損率	粒料依 CNS 490、CNS 15310 之規定，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 2000m ³ 1 次][每 3 個月 1 次]。
健度	(1) 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 2000m ³ 1 次][每 3 個月 1 次]。 (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 2000m ³ 1 次][每 3 個月 1 次]。
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) 工地密度可利用核子儀依 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。
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) 完成後之路面應具平順、緊密及均勻之表面。以 3 m 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。 (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[3.5 m/Km]；高速公路面層之 IRI 值應小於[1.75 m/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。
鋪築厚度	(1) 路面完成後，每 1,000 m ³ 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 1 cm 以上，其全數之平均不得少於設計厚度 0.5 cm 以上。 B. 超出許可差時之處理辦法依設計圖說規定。

四、轉爐石應用於鋪面工程之作業要點

轉爐石係中鋼公司在煉鋼過程中所產生之副產品，基於道路工程砂石粒料日益短缺及落實公共工程資源再利用政策，轉爐石應用於鋪面工程，在中華民國國家標準已將轉爐石列入規範 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」，本節係針對轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面工程時所需之條件限制及注意事項等，作網要性說明。

瀝青混凝土採用轉爐石取代天然粒料或刨除粗、細粒料並與瀝青材料拌和之瀝青混合料，均稱之為「轉爐石瀝青混凝土」。在選用轉爐石時，需符合 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」之規定。

4.1 轉爐石之材料特性

轉爐石粒料本身之物理性質與天然碎石近似，轉爐石之化學特性及礦物組成與卜特蘭水泥相似。其主要特性如下表 18 所示：

表 18 轉爐石材料特性說明

編號	項目	性質說明
1	比重	天然粒料之比重約介於 2.50-2.65 之間，轉爐石中含有超過 50 % 之金屬氧化物且含鐵成分較高，因此比重比天然粒料大。
2	扁平率	粗粒料扁長比分為 1:3 及 1:5 兩種比例，轉爐石顆粒形狀接近方形或圓形，轉爐石較天然碎石具有相當低的扁平率。
3	耐磨性 (durability)	轉爐石表面堅硬、抗磨損能力佳，可抵抗風化 (weathering) 及侵蝕。
4	持熱能力 (heat retention)	轉爐石對保留熱之功能比一般天然粒料佳，適合在運輸時間比較久或運輸距離比較長的瀝青混凝土鋪面工程。
5	抗剝脫能力	轉爐石因有 CaO 存在，可有效增加瀝青混凝土抵抗剝脫能力。
6	吸油率 (absorption)	轉爐石之吸油能力比一般天然粒料稍高。
7	吸水率	轉爐石屬於多孔隙材料，因有比較粗糙之表面且毛細孔 (pores) 比一般天然粒料多。
8	健度	轉爐石粒料健度成效佳。
9	岩性	轉爐石粒料應進行成分分析，以確定材料變異性。特別不應有明顯的石灰或相關氧化物結塊物存在。
10	膨脹性	轉爐石有膨脹疑慮時，供料廠商依 CNS 15311 測試並提供試驗報告，若業主對試驗報告不滿意時，則依 CNS 15306 測試 TSR 張力強度比須大於 75%。

4.2 鋪面設計應注意事項

轉爐石是一適用於瀝青混凝土之材料，與其他粒料混合時，轉爐石與天然粒料均做相同處理方式及試驗標準。但其材料基本特性不同，設計方法選定前，需注意下列作法。

1. 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、轉爐石使用量。
2. 轉爐石粒料添加數量及費用，需於工程契約或預算書內註明運送方式及運輸費用。
3. 惟依據行政院公共工程委員會發佈之「國內各工程單位使用熱拌再生瀝青混

土之作業要點」，規定再生瀝青混合料不得超過整體瀝青混合料 40%，以轉爐石取代瀝青混合料時，亦歸類為再生粒料，總共再生粒料設計比例亦需符合規定。

4. 轉爐石瀝青混合料鋪設時，如同一般天然粒料瀝青混合料，需衡量交通量來取決轉爐石的添加用量，以避免因含油量過高而造成路面冒油現象。
5. 工程設計時，需於工程施工設計圖註明轉爐石粒料取代比例。轉爐石粒料由於粒型較方正，鋪築時密度可能比傳統瀝青混凝土高，轉爐石設計添加比例大於 20% 時，必須考慮鬆實方修正。

4.3 轉爐石瀝青混凝土鋪面品質管制應注意事項

4.3.1 拌和階段

1. 轉爐石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進行廠拌。工程單位須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，確保轉爐石瀝青混凝土之施工品質。
2. 轉爐石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。轉爐石本身具親油特性，拌合過程中瀝青容易包裹於轉爐石粒料上，但由於顏色外觀可能誤判已拌合均勻而縮短拌合時間。為了拌合均勻性考量，拌合時間仍應符合第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」中，第 3.3.1 節對於乾拌及濕拌時間規定。
3. 轉爐石瀝青混凝土比重大，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，故計量時需注意相對體積問題，並換算符合之生產數量及計價。
4. 轉爐石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。

4.3.2 輸送、鋪築、滾壓階段

1. 輸送

(1) 轉爐石瀝青混凝土與一般混凝土瀝青的輸送方式無異，惟排水性瀝青混凝土需注意控制運輸及待料時間，避免產生垂流現象，而產生材料析離現象。

(2) 轉爐石本身具保溫性質，可酌於增加工作時間。

2. 滾壓

轉爐石本身粒料形狀趨於方正，比較容易達到壓實度規定，不需要過度壓實，經鋪面工程司許可，可依試鋪結果降低滾壓次數，避免造成過度壓實而降低瀝青混凝土空隙。

4.3.3 轉爐石瀝青混凝土鋪面使用階段

轉爐石本身特性具持熱效應，散熱時間較一般瀝青混凝土久，但施工滾壓完成後開放交通時間，仍應確實依公共工程施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」第 3.4.1 節規定，最後滾壓完成後之鋪面溫度冷卻規定，除契約另有規定

外，鋪面溫度自然冷卻至 50℃ 前，應禁止任何車輛行駛。

4.3.4 轉爐石瀝青混凝土產品與檢驗

1. 轉爐石粒料進料品質管制，轉爐石粒料進料時需查核出廠證明、產品檢驗報告，若有疑慮時，應洽出廠公司。
2. 轉爐石粒料料源應維持穩定，否則需增加產品檢驗頻率。
3. 各進料斗倉之進料口處應明確標示轉爐石粒料種類，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜或將轉爐石粒料誤用至其他用途。

五、結語

1. 轉爐石瀝青混凝土普遍具有良好之工程性質，除具備高摩擦力、高儲熱性及高穩定值外，亦兼具抵抗剝脫及車轍之能力。因此轉爐石在摻配於各種類瀝青混凝土前，應先確認轉爐石之物理性質及化學性質是否符合我國規範要求。
2. 使用於瀝青混凝土之轉爐石，其材料品質須符合 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」等規範要求，以作為管制轉爐石之物理性質與浸水膨脹率之依據。
3. 使用轉爐石瀝青混凝土時，其產製、施工及品質管制方式，應依照行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工綱要規範」，或依其他經認可之施工規範辦理。
4. 在轉爐石瀝青混凝土之品質管理與檢驗應注意事項方面，係依據 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」、行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程品質管理制度」與「公共工程施工品質管理作業要點」等之要求研擬品質規範。
5. 為確保轉爐石瀝青混凝土鋪面之施工品質，工程主辦機關應落實公共工程三級品管制度。轉爐石瀝青混凝土鋪面之品質管制，可參照行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工品質管理作業要點」辦理。

六、參考文獻

1. (2006)，「轉爐石於鋪面工程之應用—長期成效評估」，社團法人中華鋪面工程學會。
2. 袁家偉 (2007)，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
3. 黃大衛 (2008)，「轉爐石取代傳統粒料對瀝青混凝土 VMA 性質影響之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
4. (2010)，「轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊」，中聯資源股份有限公司，高雄。
5. 「公共工程施工綱要規範第 02742 章【瀝青混凝土鋪面】」，行政院公共工程委員會。
6. 「中華民國國家標準」，經濟部標準檢驗局。