

分會補助之研究計畫簡介： 混合水泥之性能準則

計畫主持人：劉楨業 博士

執行團隊：邱暉仁 工程師、楊泓斌博士生、林奕錕碩士生、陳景淳碩士生

計畫顧問：鄭瑞濱 博士

隨著全球暖化造成氣候異常之諸多影響，各國開始關注到溫室氣體排放管制之重要性，因此陸續針對其國內主要之排碳源進行盤查與減量之要求；以台灣為例，根據我國能源局統計資料顯示，台灣 1990 年按部門方法計算之燃料燃燒CO₂ 總排放量為110,830 千公噸CO₂，此後逐年持續成長，2000 年為215,449 千公噸，2007 年成長至262,811千公噸，然2008 年因受到油價高漲的影響，以及金融風暴之衝擊，導致產業活動低迷，能源消耗量減少，燃料燃燒CO₂ 排放首度呈現減少趨勢，為252,025 千公噸CO₂，而2009 年更減少至239,526 千公噸CO₂，但2010 年受國內外景氣持續復甦影響則緩慢成長至254,484千公噸CO₂。整體來看，台灣1990至2010 年燃料燃燒CO₂ 總排放量之年平均成長率達4.2%，換算為人均排放量平均成長率約為3.4%，全球排名第17位，高於日本、韓國及OECD平均值，因此備受國際重視。

雖然目前國際間仍在持續協商後京都時期之減量責任，情勢尚未明朗，且台灣亦尚未納入國際溫室氣體減量管制之遞約國中，但為提早準備因應之措施，台灣業依馬總統政見及行政院2008年6月5日通過「永續能源政策綱領」揭示目標：2020年回到2005年排放量的水準、於2025年回到2000年排放量水準；長期而言，於2050年回到2000年排放量50%的水準，以與世界趨勢接軌。為此，國內相關單位，包括政府部門、民營公司甚至一般民眾，無不盡其所能規劃且力行節能減碳相關之措施，以如期達到減碳之目標；而水泥業生產排碳之減量即是土木營造、建築領域最受討論之議題。

說明：

a. 不包括國際航運排放 CO₂。

b. 以「購買力平價」

(purchase power parity)

及 2000 年美元幣值計。

表1. 台灣燃料燃燒排放二氧化碳排放指標跨國比較

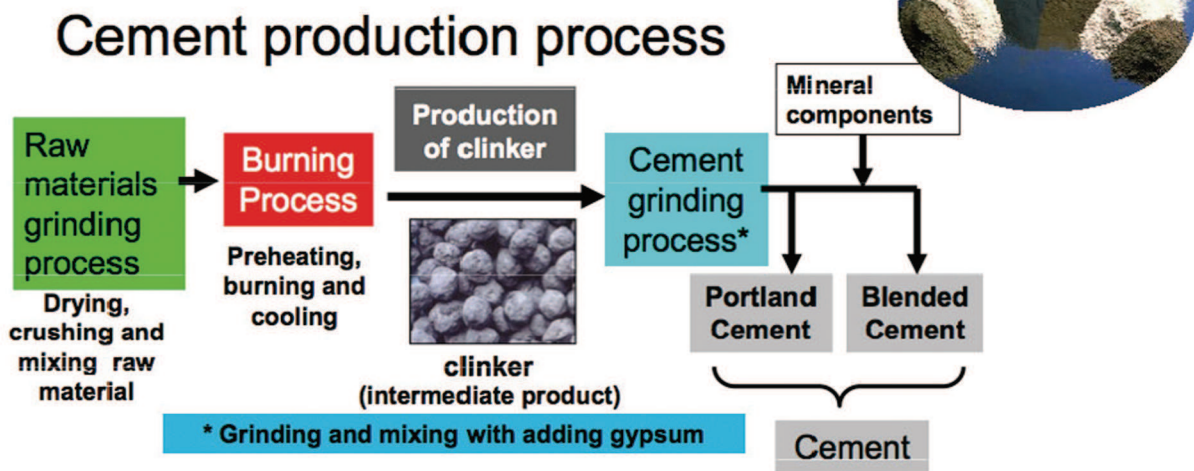
	台灣	排名	全球	OECD	日本	韓國	美國	中國
排放總量 ^a (百萬公噸 CO ₂)	264.29	22	29318	12630	1151.14	501.27	5595.92	6508.24
人口(百萬)	22.92	48	6688	1190	127.69	48.61	304.53	1325.54
每人平均排放 (公噸 CO ₂ /人)	11.53	17	4.39	10.61	9.02	10.31	18.38	4.91
排放密集度 ^b (公斤 CO ₂ /美元)	0.41	52	0.46	0.38	0.32	0.44	0.48	0.60

資料來源：International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2010。

製造水泥需消耗大量的電力及燃料，依經濟部能委會「能源查核管理輔導計畫」調查國內13家大型水泥製造廠所得之生產耗能平均值計算，在台灣，水泥生產的單位耗電量平均值為111.9度/噸，單位耗煤量為133.9公斤/噸，因此可推算得生產水泥時因耗能所排放之二氧化碳為410kg/噸，再加上水泥二磨一燒之製程中，石灰石分解所釋放之二氧化碳量，則台灣每生產1噸之水泥將排放近0.88噸之二氧化碳；若以台灣水泥年產量1500萬公噸計算，則水泥業每年產生之CO₂排放量將達13.2百萬公噸。若再依經濟部能源局100年提出之「我國燃料燃燒CO₂排放統計與分析」資料顯示，2010年台灣工業部門燃料燃燒CO₂排放量(包括電力消費排放)約123百萬公噸；則可知僅水泥業即佔台灣工業部門CO₂排放量之10.73%，佔全國總排放量之5.2%；因此可知水泥業於溫室氣體減量之角色不容忽視，故各國自早即開始致力於減少水泥業二氧化碳排放的技術研發，目前可知之技術發展包括：1.提升能源使用效率、2.使用替代燃料、3.使用替代原料、4.應用碳捕捉(CCS)與封存技術於後端燃燒設備及5.使用碳捕捉與封存技術於全氧燃燒設備等；其中混合水泥即是因應使用替代原料所發展出最直接之減碳技術。

混合水泥即在生產水泥時，為改善水泥性能，於水泥中直接加入人工的和天然的混合材料所獲得之水泥混合材料產品；其中混合材料摻入量一般介於5%至70%(重量比例)間。而藉由混合材料納入水泥生產原料之替代，包括飛灰、爐石、矽灰、石灰石粉、石英粉、火山灰、稻殼灰、...等(該類材料常為工業廢棄物之再利用資源，因此品質化所耗用之能源較純水泥低許多)，則水泥生產製程中相對將減少熟料之使用，亦即減少純卜特蘭水泥之生產，故混合水泥勢必將較原始之卜特蘭水泥更具有節能減碳之效益，因此成為各國水泥業規劃節能減碳技術所重視之技術之一。

圖1. 混合水泥製程與卜特蘭水泥製程之差異



在國外，混合水泥早已非新名詞，在冰島水泥公司將製成球狀的矽灰與熟料一起研磨，生產含矽灰約6%的混合水泥；1982年，法國拉法基（Lafarge）水泥公司使用矽灰摻加在波特蘭熟料中生產的混合水泥就已進入市場；另外，丹麥迪西脫（DENSIT）的“DENSIFIED”超密水泥，也是混合水泥的一種，這種水泥由矽灰、特殊外加劑和水泥熟料等配製而成，用它能製成緻密度極高的混凝土，其強度比普通混凝土增強2-3倍，有良好的耐腐蝕性、絕緣性、耐磨性、抗滲性、抗凍性及對氯離子的阻擋性能等；丹麥更已將這種水泥應用於防腐、耐磨、食品工廠和重型機械廠的地面以及要求絕緣和阻擋氯離子的防蝕層、水工混凝土工程等，還可以代替部分金屬製品。

在國內，混合水泥則為一新興之名詞，但若依其定義解釋，則CNS3654卜特蘭高爐水泥、CNS11270卜特蘭飛灰水泥則視為其代表性產品。但自2009年10月21日經濟部標檢局頒布新規範CNS15286水硬性混合水泥後，國內已然有明確之混合水泥材料名稱及性能要求(如表2)，包括抗硫酸鹽侵蝕、中低水化熱、輸氣、早強、緩凝、減水、減水早強、減水緩凝等，但至今並無因應規範發展出之混合水泥組成材料準則，因此該規範雖已頒布近二年時間，但仍無實質應用之效，亦無發揮混合水泥節能減碳之功能。因此，本計畫擬透過不同比例之爐石粉礦物摻料使用，探討水泥(純卜特蘭水泥)達到各類型混合水泥要求性能所需之摻用比例範圍，以協助國內工程產業界建立混合水泥相關之生產技術，並促使台灣之水泥業者可備妥資源因應全球節能減碳趨勢。

表 2. 混合水泥規範與卜特蘭水泥規範內材料之對應性	
新規範內材料	對應之材料
IS(<70)與 IP	卜特蘭 II 型水泥
IS(<70)(MS)與 IP(MS) (MS:中度抗硫) IS(<70)(HS)與 IP(HS) (HS:高度抗硫)	卜特蘭 V 型水泥
IS(>70)與 IP(LH)(LH:低水化熱)	卜特蘭 IV 型水泥

整個研究計畫之工作項目包括混合水泥漿與混合水泥砂漿等二類基本性質之試驗，囊括混合水泥的化學成分組成分析、漿體相關試驗、砂漿相關試驗，實驗內容羅列於下表 3 及表 4，計畫執行期程自 100 年 8 月 1 日至 101 年 7 月 31 日止，為期一年；而目前研究計畫在劉楨業博士、財團法人臺灣營建研究院及台灣大學土木系材料實驗室之執行下，已完成五類不同爐石取代量水泥量之含水量試驗、燒失量試驗、初終凝試驗及砂漿棒乾縮試驗和抗壓強度試驗之試體製作；後續將再配合水泥研究室進行混合水泥化性相關之試驗工作。

透過本計畫之執行，預期協助國內水泥廠達到之成果包括：

- 1.新 CNS 規範對爐石粉、飛灰添加量及細度幾乎無任何用量限制，完全由使用者需求決定，因此，本計畫執行之工作成果，預期將起引導效果提供選用時的試驗參考。
- 2.釐清新舊規範中高爐爐渣之活性指數的定義不同，提供測試達到應用的合理性。
- 3.提供混合水泥之性能準則。

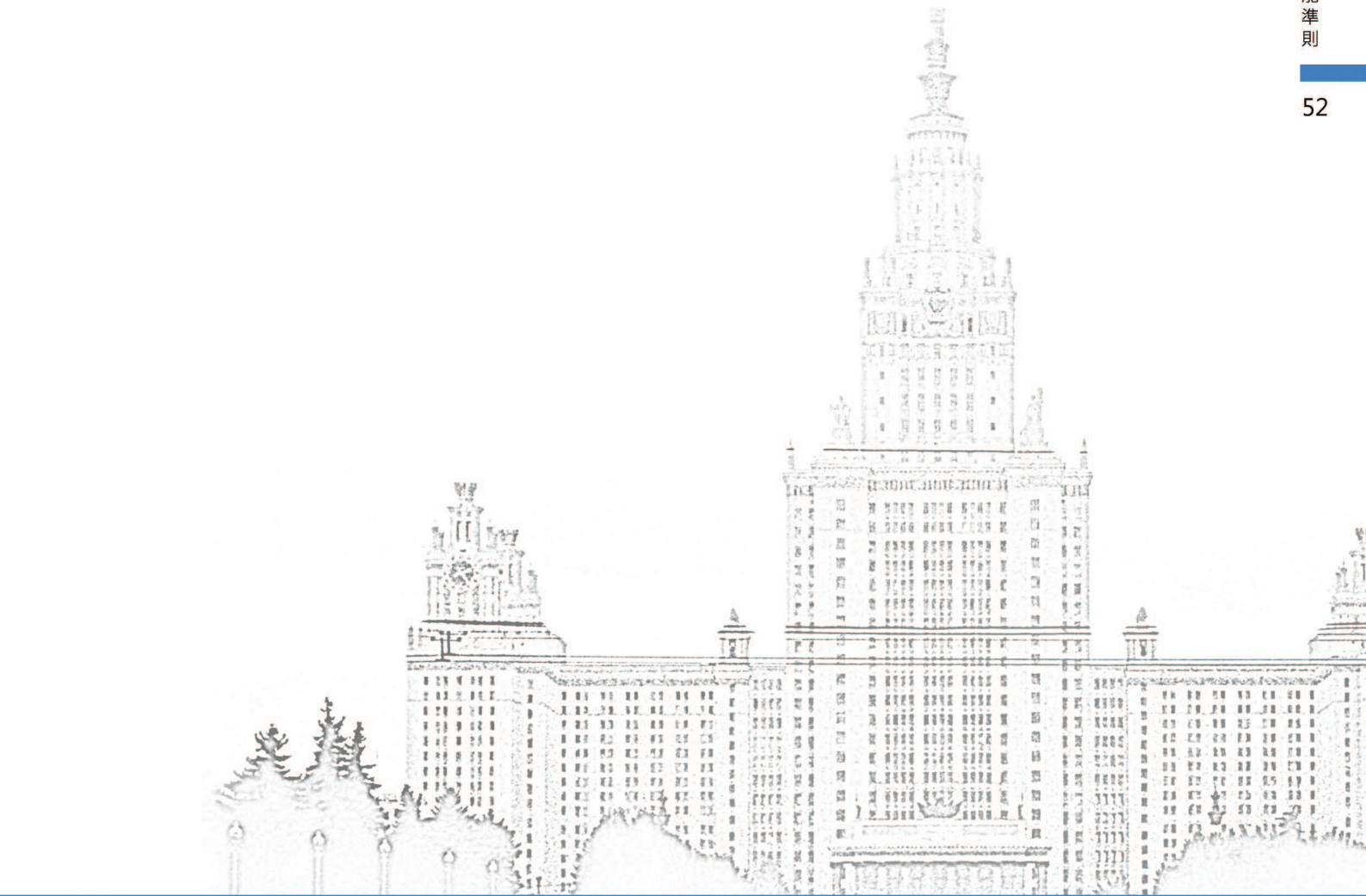
CNS 91.100.20		水 硬 性 混 合 水 泥		標準	1 5 2 8 6
中華民國國家標準				類別	A 2 2 9 0
CNS					
Blended hydraulic cement					
目 錄					
節次				頁次	
1. 適用範圍				3	
2. 分類				3	
3. 訂購資料				3	
4. 材料與製造				4	
4.1 高爐爐渣				4	
4.2 粒狀高爐爐渣 (水硬性高爐爐渣)				4	
4.3 卜特蘭水泥				4	
4.4 卜特蘭水泥熟料				4	
4.5 卜作業材料				4	
4.6 熟石灰				4	
4.7 助氣添加物				5	
4.8 製造水泥時				5	
4.9 單一用途專用功能性添加物				5	
4.10 其他添加物				5	
4.11 卜特蘭高爐水泥				5	
4.12 助氣卜特蘭高爐水泥				6	
4.13 卜特蘭卜作業水泥				6	
4.14 助氣卜特蘭卜作業水泥				6	
5. 化學成分				6	
6. 物理性質				6	
6.1 混合水泥				6	
6.2 卜作業材料或高爐爐渣				6	
6.3 產製 IP(<15)及 IP(<15)A 型卜特蘭卜作業水泥之卜作業材料				8	
7. 取樣				8	
7.1 混合水泥之取樣				8	
7.2 卜作業材料之取樣				9	
8. 試驗方法				9	
8.1 化學成分分析				9	
8.2 以儀器法測定強度				9	
(共 14 頁)					
公 布 日 期		經 濟 部 標 準 檢 驗 局 印 行		修 訂 公 布 日 期	
98 年 10 月 21 日				第 1 次 修 訂	

表3. 混合水泥試驗項目彙整

試驗項目	試驗變數	試驗數量
混合水泥漿 (paste)	1. 基本化學成份分析 MgO、SO ₃ 、S 2. 含水量 3. 燒失量 4. 不溶殘渣 5. 密度 6. 細度 7. 健度 8. 有效鹼 9. 初終凝	5組
	10. 水合熱設定水泥砂漿的對照對100%水泥、70%水泥+30%爐石、60%水泥+40%爐石、45%水泥+55%爐石、30%水泥+70%爐石	5組
混合水泥砂漿	1. 水泥攪拌料之空氣含量 2. 砂漿棒乾縮試驗 3. 對照對100%水泥、70%水泥+30%爐石、60%水泥+40%爐石、45%水泥+55%爐石、30%水泥+70%爐石五組變數抗壓強度試驗 4. 用水量（此試驗與抗壓強度試驗同時進行） 5. 對增進抗硫酸鹽侵蝕之有效性 6. 與水泥所含鹼分之反應性	25組

表4. 混合水泥其他試驗項目彙整

試驗項目	試驗變數	試驗數量
混合水泥砂漿	1. 耐久性(快速氯離子電滲) 對照對100%水泥、70%水泥+30%爐石、60%水泥+40%爐石、45%水泥+55%爐石、30%水泥+70%爐石五組變數，進行90天氯離子電滲試驗	5組



莫斯科國立土木工程大學介紹

撰稿/黃怡瑛



莫斯科國立土木工程大學，俄文原名為
Московский Государственный
Строительный Университет，
英文名 Moscow State University of Civil
Engineering，為俄羅斯聯邦政府編列預
算之高等教育機構，屬國家研究型大學。

莫斯科國立土木工程大學為俄羅斯領先的工程大學，擁有85年悠久的歷史及高等學院及學術傳統，參與俄羅斯社會專業及知識潛能的發展與形成，在教育組織及科學活動上以創新為基礎，培育現代化工程相關人員，並在土木領域上建立高技術產品及新技術的轉移。

現任校長為契里臣科·瓦列里·伊凡諾維奇 (Telichenko Valeriy Ivanovich) 是「俄羅斯建築土木科學院」院士，亦有博士及教授身份，為俄羅斯聯邦傑出的活動家。在科技及教育領域方面曾榮獲許多國家級勳章，同時擔任高等土木教育機構協會會長及俄羅斯聯邦校長聯盟的成員。

莫斯科國立土木工程大學成立於1921年，前身為莫斯科紀念古比雪夫 (V.V. Kuybyshev) 土木工程學院，至1933年才改為現名。

大學內認證21種專門領域的優秀專家與工程師、6種學士學位領域、及5種主要建築活動及基礎設施部門的碩士學位領域。多年來已培育超過11萬名在各種建設、建築、及基礎設施等各種部門服務的高素質工程師、專家及管理人員。目前就學人數超過1萬8千名學生。俄羅斯大多數在建設領域有名的學術教學及實習學校，都由該校的學者及專家建立並領導，該校亦在團體、學界及業界享有絕對的權威。大學內共計完成超過3,000位副博士及博士論文口試，認證超過5百萬名教授及副教授。

→ 建築與藝術學院大樓 建築及建設學院

↓ 開放實驗室一景



莫斯科國立土木大學的學術組織包含：6個學院、12個系、66個教研組（含43個生產教研組）、30間實驗室、10間專業知識中心、2所學術研究學院。根據至2010年10月1日的師資統計，共有1,400名教師（170位博士、700位副博士、15位國家科學院院士），就學人數有18,057名（9,806日間制、1,402日間兼夜間制、4,439全夜間制、2,410函授生制）。

其6個學院包括：建設及建築學院、水利與能源建設學院、環境工程建設及機械化學院、城市調節及不動產管理學院、建設業的經濟、管理與資訊系統學院、基礎教育學院等。大略介紹其中兩所學院的狀況：

1. 建設及建築學院

建設及建築學院包括3個系，分別為，工業及民用建設系、建築工程系、建設技術系。其中，工業及民用建設系設有：混凝土及砌塊結構教研組、木材及塑料結構教研組、金屬結構教研組、施工生產組織教研組、建構力學教研組、技術調節教研組、施工生產技術教研組、大地測量工程教研組等；建築工程系設有：工業及民用住宅教研組、結構測試教研組、住宅規劃設計教研組、圖繪幾何圖形教研組、城市建設教研組等；建設技術系設有：聚合物建材及應用化學教研組、建設材料教研組、黏著劑及混凝土技術教研組、整修及隔熱材料教研組等。

2. 水利與能源建設學院

水利與能源建設學院包括：給水與排水系、水利與特種工程系、熱力工程系。其中給水與排水系設有：給水組、排水組、水資源保護組等；

水利與特種工程系設有：水利組、地質與環境生態組、土壤及基礎力學組、地下與水利工程組、水利設施與海港組、水工構築物組、水能利用組、自然人為環境管理組；熱力工程系設有：核設施工程組、熱能與核能工程組、動力工程結構組、資訊工程組、建設信息組、勞動保護組等。



↑ 模型實驗教室

此外，也有其他像為了達到與國際接軌的目的而設立的國際教育系。國際交流方面，除與土木相關的學院外，土木大學長久以來亦積極與歐洲、亞洲及美洲的教育中心合作，和31個國家簽署81項合作協定。同時，土木大學亦為來自超過29國60所大學、20個學術研究中心，及8個國外組織的合作夥伴。土木大學目前是東歐及中歐國家技術大學國際部門協會的團體會員，也是莫斯科大專院校在蒙古的合作夥伴，參與執行國際計畫的單位包括：歐洲建設協會、歐洲專業教育基金會、英國工程建築師國際學院、蘇維埃及俄羅斯教學機構外籍畢業生國際企業、及聯邦教育署「21世紀的俄羅斯高等教育機構」等。



模型實驗教室

自1946年迄今，為了滿足學術組織、教學機構、外國生產及商業企業在高技能人員的需求，土木大學也培訓外籍專家。其間培訓超過來自101國，計3,000多名外籍工程師、副博士及博士，超過1,500名外籍專家亦在此地進行海外培訓。學習過程以深度整合為主，再搭配工程、技術、經濟、教學及文化領域上的國際學術研究經驗。

此外，莫斯科國立土木大學自1930年起即發行自己的大學報，並因應近年來數位化的趨勢，已將歷年來的刊物電子化，供人自行上網下載觀看；除大學報外，也有科學研究類型的大學學報。

與台灣方面的交流：

目前莫斯科國立土木大學尚未與台灣大專院校建立任何關係，然而，本會代表團曾於2010年9月率團訪問該大學，由校長親自召見，並表示非常樂意以各種形式與台灣土木界相關領域的大學交流合作，包括教授或學生交換計畫、學者短期互訪、客座等。

參考資料：

1.莫斯科國立土木大學官網：

<http://www.mgsu.ru/>

2.校園3D導覽：

http://os.mgsu.ru/mgsu/Tour_MGSU.html

3.學校博物館3D導覽

http://www.do.mgsu.ru/tv/muzei/TourWeaver_nanhui.html

4.大學報歷年資料的電子檔

<http://www.mgsu.ru/index.php?option=content&task=view&id=1055>

5.當期大學報：

<http://www.mgsu.ru/index.php?option=content&task=view&id=1323>

6.大學學報：

http://www.mgsu.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=1066&Itemid=342



1 | 2
3

1. 莫斯科土木大學校景
2. 代表團成員與該校國際長合影
3. 參觀該校實驗室



4. 舉辦說明會並與學生互動