



# 瀝青刨除料去化 — 冷拌再生瀝青混凝土之應用

陳世晃 / 國立中央大學土木工程學系 教授

林志棟 / 國立中央大學土木工程學系 榮譽教授

徐聖博 / 國立中央大學土木品保中心 專案經理

簡啓倫 / 國立中央大學工學院 專案經理

臺灣地區瀝青混凝土刨除料堆積如山，衍伸出相關環保與工程管理的問題，據了解目前瀝青混凝土刨除料堆置之申報數量已達數百萬公噸，而現行國內的相關法規最高僅添加 40% 於熱拌再生瀝青混凝土，剩餘之刨除料只能堆置於廠內，其如何去化與資源再利用也是目前產官學界積極尋解決的重大問題。而隨者科技日新月異，新材料、新技術及新工法的創新與研究，多具有功能、效益提升或節能減碳之特性，冷拌再生瀝青混凝土是以道路工程上所回收之材料，利用乳化瀝青或發泡瀝青等工法進行去化，生產過程中不需要將粒料加熱，並可直接鋪設於道路，利用冷拌再生瀝青混凝土應用於市區道路基層與管線挖掘工程，藉以期解決刨除料堆置問題。

## 瀝青刨除料回收再利用現況

瀝青混凝土於民國 88 年由環保署公告為再利用類別；且民國 91 年內政部發布營建事業廢棄物再利用管理辦法，歷經民國 93 年奉行政院命令營建署為瀝青混凝土挖（刨）除料再生利用業務之中央主管機關、民國 96 年修正發布，將廢瀝青混凝土刪除改列為再生資源；最後於民國 98 年於內政部公布修正「營建事業再生利用之再生資源項目及規範」規定事業產生之瀝青混凝土挖（刨）除料之再生用途為瀝青混凝土材料或工程填方材料及其相關規定，全面實施瀝青混凝土資源再利用，並解決營建材料短缺嚴重及回收瀝青混凝土佔用空間堆置之問題。

根據 107 年交通部統計處臺灣地區目前道路總長為 43,133 公里，面積共 533,968 千平方公尺，相較於 91 年道路長度增加 6,096 公里，而面積增加近 131,381

千平方公尺，其中台灣地區瀝青混凝土鋪面比例佔 97%，並且逐年的增加成長。熱拌再生瀝青混凝土在法規的限制下，瀝青刨除料（Recycled asphalt pavement, RAP）添加上限為 40%，但在每年道路總長及面積逐年增加的情形下，反映出每年瀝青鋪面經維修後所產出之刨除料年產量大幅增加，導致多年來各縣市之廠商陸續貯存之刨除料已達飽和，進而衍生出環保問題，其瀝青刨除料堆置情形如圖 1 所示。



圖 1 瀝青刨除料堆置情形

## 冷拌再生瀝青混凝土技術介紹及應用

依據美國瀝青科技中心（National Central Asphalt Technology, NCAT）將瀝青混合料依不同的拌和溫度分為熱拌、溫拌及常溫三類。然而，常溫（冷拌）為本案例所探討之主軸，冷拌拌和溫度通常介於 16°C ~ 35°C 之間。冷拌再生技術係指將既有道路刨除之再生瀝青混凝土粒料，以冷拌再生技術以水泥穩定處理、發泡穩定處理或乳化瀝青穩定處理等處理方式進行拌和作業；拌和過程中無須將粒料進行加熱，拌和後可直接將冷拌再生混合料鋪築於道路，鋪築完畢後即可開放車輛交通。

## 冷拌再生瀝青混凝土之穩定化技術

冷拌再生技術分類方式係以拌和過程中所添加穩定劑作為劃分，包含水泥、瀝青、礦物摻料及水泥材料等穩定劑材料，一般主要以水泥系及瀝青系兩大類為大宗。所有穩定處理方式都將單體之粒料藉由黏結材料結合在一起，以提高材料之強度及抗水份侵害能力。

1. 水泥穩定化技術：水泥材料之應用係目前較為廣泛及普遍之營建材料，大部分國家皆有生產水泥，在材料方面取得較為便利，使用上較易被接受及信賴。水泥主要功能為提供強度之來源，可提高材料之勁度與抗壓強度，並減少塑性產生；添加水泥作為穩定材料之用量不宜過多，水泥經水化反應後，若養治不當或添加過多易發生龜裂現象，故用於鋪面工程中需謹慎設計用量。水泥系材料包含石灰、水泥飛灰之混合物及礦物材料等作為水泥系穩定處理，以增加鋪面之承載能力。考量水泥拌和均勻性，若水泥添加量低於重量比 2%，建議以水泥漿形式進行添加，而水泥系材料添加方式主要分成兩種：

- (1) 乾式散播方法：欲進行水泥穩定處理之道路播撒水泥，以人工或利用機具進行散播方式，利用滾筒將水泥與鋪面材料均勻拌和，如圖 2 所示。
- (2) 濕式泵送方法：預先將水泥與水拌和成水泥漿，透過泵送設備噴入再生機中與既有道路材料進行拌和作業，以微電腦設備進行控制品質，以達到準確度及均勻性，如圖 3 所示。

2. 乳化瀝青穩定處理：乳化瀝青（Emulsified Asphalt）係以瀝青加溫磨成小顆粒狀，加入乳化劑與水強力混和，使瀝青小顆粒懸浮於水中，如圖 4，水份蒸發後會還原成瀝青。標準的乳化瀝青是以微粒形式分散於連續式的水中，乳化劑中的離子在分子周圍形成靜電



圖 2 乾式散播方法



圖 3 濕式泵送方法及水泥稀漿設備

資料來源：<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2013/02/distribuidor-de-cal-e-cimento.html>

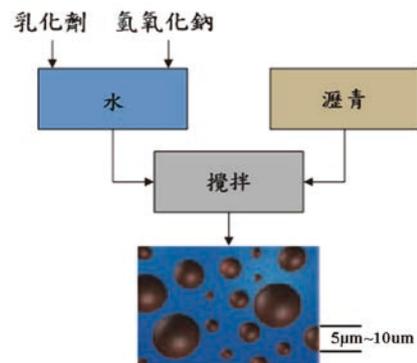


圖 4 乳化瀝青製程示意圖

力，阻止瀝青顆粒重新組合。當乳化瀝青與粒料混合時，乳化瀝青會產生破乳現象，瀝青由水中分離出來，瀝青顆粒將重新結合成連續的瀝青膜附著於粒料表面，乳化瀝青中多餘的水則保留於混合料中，破乳時間為拌合至瀝青顆粒由水中分離之時間差。

使用乳化瀝青為穩定處理方式主要原因是乳化瀝青可與濕冷的材料進行拌和，乳化瀝青只是暫時的狀態，最終是藉由瀝青脫離懸浮之狀態下，使瀝青發揮黏結之效果，因此破乳時間與養治方式對於混合料之性能是重要的。

3. 發泡瀝青穩定處理：於 1956 年美國愛荷華州立大學 Ladis H. Casanyi 教授首先發現發泡瀝青可作為穩定處理方式，此項技術後來被美孚石油公司進行改造，並開發水與瀝青拌合產生發泡的膨脹室，如圖 5。發泡瀝青係指在高溫的瀝青中加入微量的水，使瀝青的物理性質暫時改變，高溫的瀝青與水接觸時轉換成蒸氣，則形成數以千計的微小瀝青氣泡，造成瀝青體積大量膨脹而使黏度降低，在此狀態下與粒料拌合為最適合的情況。使用發泡瀝青可以讓工程界走向低能源、少污染且又養護容易的工法，無論是品質高的碎石或是含高塑性細料的劣質礫石料，都可以用發泡瀝青工法進行穩定處理。

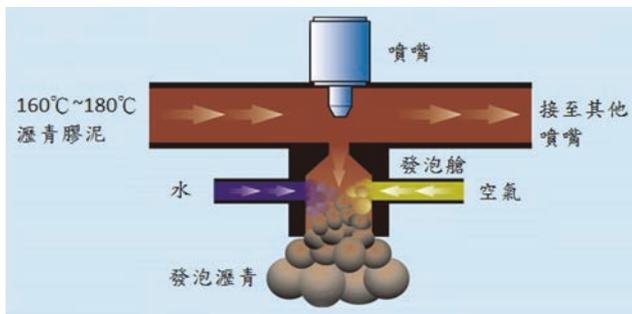


圖 5 發泡瀝青製程示意圖

資料來源：Wirtgen Cold Recycling Manual.

### 冷拌再生瀝青混凝土應用於市區道路之探討及案例

冷拌再生工法於歐美地區及中國大陸已廣泛被使用，近年發展亦日趨成熟。而在臺灣，由於冷拌再生瀝青混凝土相關規範尚未訂定，故本案例之冷拌再生瀝青混凝土配合設計係以國外冷拌再生技術規範標準，結合國內道路基底層相關施工規範進行配合設計。施作配合設計前須先確認級配粒料組成比例及最佳含水量與黏結劑之種類，並透過調整添加最佳拌和用水量及利用不同黏結劑含量比例製作試體，以國外冷拌再生技術規範標準決定冷拌再生瀝青混凝土最佳配比，並以最佳配比進行道路管線挖掘回填試辦工程，整體工程流程圖如圖 6 所示。

#### 試鋪道路開挖及鋪設作業

- (1) 試鋪道路切割面與開挖面應平整，縱面噴灑黏層，且不能有崩塌、積水等現象。
- (2) 依現行臺灣各縣市快慢車道管線埋設之要求，其深度需大於 1.2 m (面層至管線頂部)。

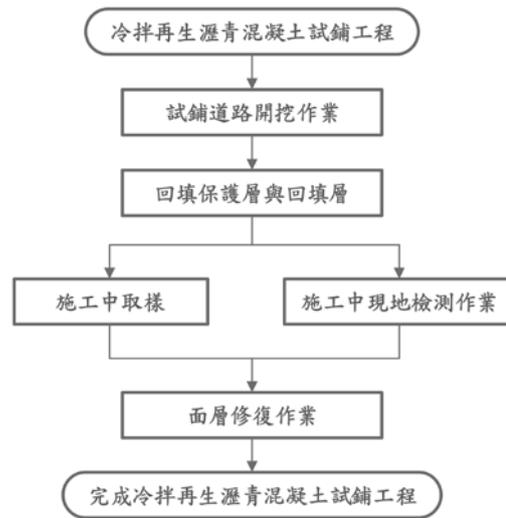


圖 6 整體工程流程圖

- (3) 依選址結果，如現地已有設計管線通過，則依該管線之埋設位置進行回填作業；如無管線者，則依設計斷面將管線預埋設於設計深度及安裝位置。
- (4) 回填層材料依規劃設計結果進行回填。採用冷拌再生瀝青混凝土回填者，試驗材料參考 AASHTO 及 ARRA 規範進行冷拌再生配合設計，且以每層厚度不大於 30 cm 方式進行壓實。若有採用其他控制性低強度回填材料者，依據國內行政院公共工程委員會施工綱要第 02335 章，進行品質檢驗及回填工序。

本案例係針對管線挖掘回填材料進行探討，以國外冷拌再生成熟技術引入臺灣鋪面，將其應用於管線挖掘回填工法中。首先，模擬現行市區道路管線挖掘 1.2 m 深度之規定進行斷面設計。再來，回填層以發泡瀝青及乳化瀝青之冷拌再生瀝青混凝土作為回填材料進行綜合考量，基本斷面設計如下圖 7 所示。

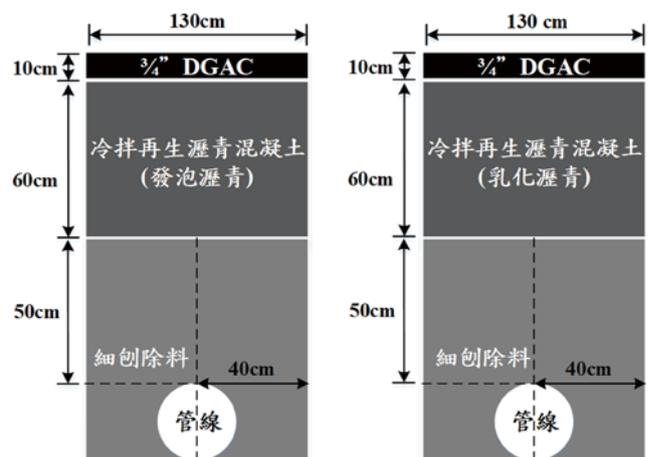


圖 7 本案例試鋪斷面圖

本案例試鋪擬採用廠拌式冷拌設備作為冷拌再生瀝青混凝土生產設備。因本案例冷拌再生瀝青混凝土所選用之瀝青穩定化技術分為發泡瀝青及乳化瀝青，以發泡瀝青作為穩定處理及以水泥作為填縫材料時，於現地生產須搭配瀝青加熱設備，以供瀝青膠泥保持實驗室所設計之發泡溫度，同時亦搭配水泥槽，以泵送方式運送水泥至拌和機內與發泡瀝青混凝土進行拌和；以乳化瀝青作為穩定處理拌和時，則規劃以現有瀝青拌和廠設備進行改裝，進行廠內拌和處理，如圖 8、9 所示。

本案例以模擬現行管線挖掘工程進行管挖回填施工，試鋪工程地點選定臺北市南港區經貿一路進行管線挖掘回填試鋪工程，試鋪斷面採用發泡瀝青穩定處理與乳化瀝青穩定處理之冷拌再生瀝青混凝土進行綜合考量。本案例試鋪規劃流程圖如圖 10，其施工順序如圖 11 至圖 18 所示。

### 挑戰與機會

冷拌再生工法在國外應用及發展已行之有年，臺灣自經濟起飛時代起，政府推行許多道路建設，導致道路新建與整修工程逐年成長，而道路經刨除重鋪後衍生出之瀝青刨除料已面臨過剩及囤積問題，且國內目前尚無冷拌再生瀝青混凝土相關規範，本案例參考國外冷拌再生技術及相關規範添加 100% 瀝青刨除料進行現地驗證工程，以探討其應用於臺灣道路底層之可行性，並透過本案例訂定國內冷拌再生瀝青混凝土相關規範，以利減少瀝青刨除料囤積空間，達到瀝青刨除料完全去化之目標。



圖 8 發泡瀝青混凝土生產設備



圖 9 乳化瀝青混凝土生產設備  
資料來源：本案例所拍攝

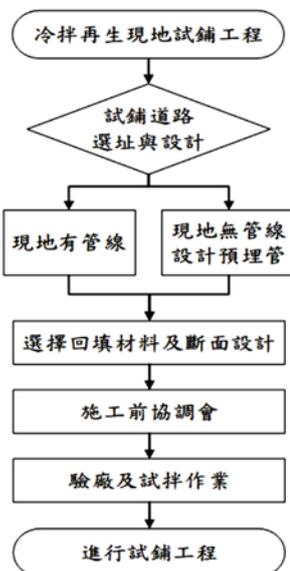


圖 10 試鋪規劃流程圖



圖 11 管線埋設及保護層回填



圖 12 保護層滾壓



圖 13 回填層第一層回填及滾壓



圖 14 回填層第二層回填及滾壓



圖 15 回填層第二層表面壓平



圖 16 黏層噴灑作業



圖 17 面層鋪設作業



圖 18 試辦工程完工

資料來源：本案例所拍攝

### 參考文獻

1. Wirtgen Cold Recycling Manual. 3th Edition, ISBN 3-936215-05-7, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany, 2010.
2. Wahhab, Hamad I. Al-Abdul, et al. "Study of road bases construction in Saudi Arabia using foam asphalt." Construction and Building Materials 26.1, 2012, p. 113-121.
3. Wirtgen Cold Recycling Manual. 1st Edition,, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany, 2012.
4. 呂柏璋,「溫拌瀝青混凝土應用於台灣地區可行性研究」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2012)。
5. 徐聖博,「發泡瀝青技術添加瀝青刨除料應用於道路底層可行性之研究」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2015)。
6. 曾偉原,「冷拌再生瀝青混凝土應用於管線挖掘回填層之可行性研究」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2016)。
7. 游景年,「冷拌再生瀝青混凝土應用於道路管線挖掘回填工程之現地驗證」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2017)。
8. 簡啓倫,「冷拌再生乳化瀝青混凝土應用於鋪面底層之可行性評估」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2019)。

