

國立中央大學

土木工程學系

碩士論文

提升再生瀝青混凝土品質管理之研究

Research of Improved Quality Management of Recycled

Asphalt Concrete

指導教授：林志棟

研究生：郭孟鑫

中華民國九十九年七月



國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

(98 年 4 月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註 1 說明)，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

- 同意 (立即開放)
同意 (一年後開放)，原因是：_____。
同意 (二年後開放)，原因是：_____。
同意 (三年後開放)，原因是：_____。
不同意，原因是：_____。

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 鄧亞勳 學號： 973202056

論文名稱： 提升再生瀝青混凝土品質管理之研究

指導教授姓名： 林志棟 教授

系所： 土木 所 博士班 碩士班

日期：民國 99 年 7 月 26 日

備註：

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔，紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定，採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽，如您有申請專利或投稿等考量，不同意紙本上架陳列，須另行加填聲明書，詳細說明與紙本聲明書請至 <http://thesis.lib.ncu.edu.tw/> 下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
3. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

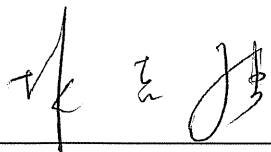
土木工程 學系 郭孟鑫 研究生

所提之論文

提升再生瀝青混凝土品質管理之研究

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授



(簽章)

99 年 1 月 12 日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

土木工程 學系 郭孟鑫 研究生所提之論文
提升再生瀝青混凝土品質管理之研究

經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

朱瑞之

委

員

王劍能

王劍能

郭孟鑫

中華民國 99 年 7 月 12 日

摘要

刨除料在分離與回收試驗上，遭遇到最大困難在於回收瀝青膠泥時，如何把甲苯與粉塵完全分離出來，甲苯回收不完全或含有粉塵對於回收瀝青膠泥之基本性質影響很大，而目前分離回收之方法及其整個作業時程與操作員熟練度等，使得廠商難以落實再生瀝青混凝土之品質檢驗。

本研究從日本引進自動瀝青蒸餾回收設備(Automatic Asphalt Distillation Recovery Method, AADM)，與真空濃縮機法(Vacuum Concentrator Method, VCM)進行比較，研究內容主要分為二個部份，

1. 針對目前分離回收之方法及其整個標準作業程序與操作員熟練度等，提出最適分離回收法之選定，
2. 如何提升再生瀝青混凝土品質管理進行研究。

經試驗結果之比較，認為可採用 AADM 取代 VCM 進行瀝青膠泥回收作業，降低人為操作與試驗之誤差，透過拌合廠自主品管與自動化試驗設備，並同時建議再生瀝青混凝土之抽樣檢驗時機點，與省、縣及鄉道的再生瀝青混凝土品質管理運作，以確保拌合廠所生產的再生瀝青混凝土品質。

關鍵詞：再生瀝青混凝土、品質管理、黏滯度

ABSTRACT

Excluding the proceeds from the separation and recovery of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), difficulties encountered include: (1) recycling asphalt binder; (2) completing separation of toluene and dust; (3) recovering incomplete toluene or toluene-containing dust for the recovery of the basic properties of the asphalt binder; and (4) prescribing recovery methods, time, and operator proficiency. This makes implementation of quality inspection difficult for manufacturers of recycled asphalt concrete.

This study from Japan's Automatic Asphalt Distillation Recovery Method (AADM) and Vacuum Concentrator Method (VCM) is presented in two parts: (1) present separation and recovery method, standard operating procedures, and operator proficiency for optimal separation and recovery methods; (2) research of improved quality management of recycled asphalt concrete (RAC).

We show that VCM can be used instead of asphalt binder AADM in recovery operations. They independently reduce operation, testing, and human error through mixing plant quality control and automated test equipment. We also propose RAC sample testing at time point, province, county, and township road and a RAC quality management system to ensure mixing plants' RAC quality.

Keywords: Recycled Asphalt Concrete, Quality Management, Viscosity

致謝

在中央大學求學的這兩年的求學過程，首先感謝指導教授 林志棟老師的教導與指正研究方向，使本論文得以順利完成，這段期間專業知識上的指導及待人處事上亦多所關心及啟發，獲益匪淺；另外，感謝行政院公共工程委員會 朱惕之簡任技正、國立雲林科技大學 王劍能教授、逢甲大學 陳世晃教授的細心指導及諸多指正，並提供寶貴建議，使得本論文內容能夠更加嚴謹與完備。

特別感謝 陳世晃老師，從大三在逢甲成為您的專題生開始，到現在研究所畢業能達到碩士學位，不論是專業知識或人與人之間的待人處事應對進退上，及日常生活對我的多所照顧，謝謝。

感謝偉哥及保哥在我初到中央還不熟悉環境時，對我的照顧與教導，讓我能更快適應新的環境，還有欽哥和基哥你們讓我獲益良多，這兩年的研究所生涯有你們真好，另外感謝材料組所有的學長們，在我有疑問時所提供的意見與指導，以及品保中心的大家，謝謝。

一起畢業的小高、小胖、阿忠及李門、黃門的同學們，這兩年來的互相支援與幫忙，謝謝你們；以及在我的論文實驗部分幫助我很多的凱悅、國洋，謝謝你們；便當、AG、欣蕙、康康、豆子、劉備、小吳尊還有其他學弟們加油，接下來就換你們了。

最後感謝我最摯愛總是給予我最大支持的家人，感謝你們給了我一個最值得依靠的家，給我最無微不至的關懷與照顧，讓我知道我永遠會有一個避風港，讓我可以休息無後顧之憂；還有謝謝妳，未來的日子裡妳也要好好加油。

孟鑫 2010年7月于 中央大學

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	V
圖目錄	VIII
表目錄	IX
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	3
1.4 研究架構	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 再生瀝青混凝土之耐久性影響	5
2.1.1 瀝青與瀝青混凝土之老化行為	5
2.1.2 瀝青混凝土老化對水敏感性之影響	9
2.1.3 再生瀝青凝土耐久問題之探討	10
2.2 再生瀝青混凝土之相關規範與現況	15
2.2.1 行政院公共工程委員會	15
2.2.2 交通部公路總局	16
2.2.3 內政部營建署	18
2.2.4 縣市政府	21
2.3 台灣地區使用再生瀝青混凝土常見之問題	26
2.3.1 刨除料添加比例過高	26
2.3.2 最適目標黏滯度之選定問題探討	27
2.3.3 再生瀝青混凝土品質管制落實之問題	27
2.4 刨除料分離回收法之探討	28
2.4.1 常見之瀝青混合料分離回收方法	29
2.4.2 分離回收法之數據再現問題探討	30
2.5 影響量測結果之不確定因素與分析方法	33
2.5.1 影響量測結果之不確定因素	33
2.5.2 變異數分析與分項誤差評估分析	35
第三章 研究計畫	39
3.1 研究內容	39
3.1.1 最適分離回收法之選定	39

3.1.2 提升品質管理之初擬.....	40
3.2 研究流程.....	40
3.2.1 最適分離回收法之選定流程.....	40
3.2.2 VCM 與 AADM 之回收黏滯度比較流程.....	42
3.3 試驗設備.....	43
3.3.1 瀝青混凝土之分離試驗設備.....	43
3.3.2 瀝青混凝土之回收試驗設備.....	47
3.3.3 瀝青膠泥黏滯度試驗設備.....	54
第四章 試驗結果分析.....	59
4.1 VCM 與 AADM 之回收黏滯度值與真值之比較.....	59
4.1.1 VCM 與 AADM 之回收黏滯度 1000 poises 之差異比較.....	59
4.1.2 VCM 與 AADM 之回收黏滯度 2000 poises 之差異比較.....	61
4.1.3 VCM 與 AADM 之回收黏滯度 3000 poises 之差異比較.....	63
4.1.4 小結.....	65
4.2 VCM 與 AADM 之回收黏滯度試驗結果分析.....	66
4.2.1 回收黏滯度值變異分析.....	66
4.2.2 回收黏滯度人員與取樣變異分析.....	69
4.3 VCM 與 AADM 之儀器與方法之差異比較.....	75
4.3.1 儀器設備.....	75
4.3.2 回收作業程序.....	76
4.3.3 回收作業時間.....	78
4.3.4 建議最適回收作業.....	78
第五章 提升再生混凝土之品質管理初擬.....	81
5.1 再生瀝青混凝土抽樣時機之訂定與品質檢驗.....	81
5.1.1 建議抽樣時間點之訂定.....	81
5.1.2 品質檢驗項目.....	83
5.2 最適分離回收法標準作業.....	86
5.2.1 人員.....	86
5.2.2 設施與環境.....	88
5.2.3 儀器設備.....	89
5.2.4 試驗與校正方法.....	90
5.3 建議再生瀝青混凝土之品質管理運作.....	92
5.3.1 再生瀝青混凝土拌合廠之品質管理運作.....	93
5.3.2 建議省縣道之品質管理運作.....	96
5.3.3 建議鄉道之品質管理運作.....	98

第六章 結論與建議	101
6.1 結論	101
6.2 建議	102
參考文獻	105
附件一 儀器設備基本資料表	111
附件二 離心機標準操作程序書	123
附件三 真空濃縮機標準操作程序書	129
附件四 EX-183NR 瀝青回收標準操作程序書	133
附件五 BROOKFIELD 黏滯度測定法標準操作程序書	137

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	4
圖 2.1 瀝青組成於不同老化時期變化示意圖	5
圖 2.2 95-98 年刨除料回收黏滯度統計	12
圖 2.3 95-98 年再生瀝青混凝土回收黏滯度統計	12
圖 2.4 不同刨除料（未加再生劑）添加比例浸水殘餘強度試驗結果	13
圖 2.5 不同刨除料（加再生劑）添加比例浸水殘餘強度試驗結果	14
圖 2.6 離心機	30
圖 2.7 高速離心機	30
圖 2.8 回流抽出器	30
圖 2.9 蕭氏萃取器	30
圖 2.10 造成量測不確定度之因素圖	35
圖 3.1 最適分離回收法之選定流程圖	41
圖 3.2 試驗儀器精度與誤差驗證流程圖	42
圖 3.3 離心機	45
圖 3.4 高速離心機	46
圖 3.5 自動回收瀝青試驗儀試驗流程圖	49
圖 3.6 自動回收瀝青試驗儀	50
圖 3.7 真空濃縮機瀝青回收試驗流程圖	53
圖 3.8 真空濃縮機	54
圖 3.9 黏滯度試驗轉子	57
圖 3.10 BROOKFIELD 黏滯度試驗儀	57
圖 3.11 黏滯度試驗儀容器	57
圖 4.1 回收黏滯度試驗結果	66
圖 4.2 黏滯度量測變異係數比較圖	69
圖 4.3 建議最適回收作業流程圖	79
圖 5.1 三級品管制度組織架構圖	94

表目錄

表 2.1 環境影響作用力引起老化作用比較表	8
表 2.2 材料特性及外在作用力對瀝青及粒料黏結性比較	10
表 2.3 交通部公路總局施工說明書材料及施工方法檢驗	18
表 2.4 營建事業再生利用之再生資源項目及規範	19
表 2.5 台北市瀝青黏滯度檢驗細則與處理原則	22
表 2.6 桃園縣政府黏滯度之檢驗結果及處理辦法	25
表 2.7 ASTM D1856 單一操作者精度	31
表 2.8 ASTM D1856 多實驗室精度	31
表 2.9 分離試驗之精度	32
表 2.10 甲苯與粉塵對瀝青膠泥黏滯度之影響	33
表 3.1 HB 系列布魯克黏度儀之施測黏度範圍與使用樣品量	55
表 4.1 AC-10 驗證回收黏滯度試驗結果	60
表 4.2 AC-10 回收黏滯度單因子變異數分析	60
表 4.3 AC-10 回收黏滯度 T 檢定表	61
表 4.4 AC-10 回收黏滯度多重比較檢定	61
表 4.5 AC-20 驗證回收黏滯度試驗結果	62
表 4.6 AC-20 回收黏滯度單因子變異數分析	62
表 4.7 AC-20 回收黏滯度 T 檢定表	62
表 4.8 AC-20 回收黏滯度多重比較檢定	63
表 4.9 3000POISES 驗證回收黏滯度試驗結果	64
表 4.10 3000 POISES 回收黏滯度單因子變異數分析	64
表 4.11 3000 POISES 回收黏滯度 T 檢定表	64
表 4.12 3000 POISES 回收黏滯度多重比較檢定	65
表 4.13 A 廠黏滯度試驗結果	67
表 4.14 B 廠黏滯度試驗結果	67
表 4.15 C 廠黏滯度試驗結果	67
表 4.16 E 廠黏滯度試驗結果	67

表 4.17 F 廠黏滯度試驗結果	67
表 4.18 G 廠黏滯度試驗結果	67
表 4.19 H 廠黏滯度試驗結果	68
表 4.20 I 廠黏滯度試驗結果	68
表 4.21 回收黏滯度值變異程度比較表	68
表 4.22 不同人員黏滯度試驗表	70
表 4.23 AADM 人員因素回收黏滯度變異數分析表	70
表 4.24 VCM 人員因素回收黏滯度變異數分析表	71
表 4.25 AADM 人員因素回收黏滯度多重比較檢定	71
表 4.26 VCM 人員因素回收黏滯度多重比較檢定	71
表 4.27 不同取樣黏滯度試驗表	73
表 4.28 AADM 取樣因素回收黏滯度變異數分析表	73
表 4.29 VCM 取樣因素回收黏滯度變異數分析表	73
表 4.30 AADM 取樣因素回收黏滯度多重比較檢定	74
表 4.31 VCM 取樣因素回收黏滯度多重比較檢定	74
表 4.32 兩種儀器設備比較表	76
表 4.33 試驗前儀器設定與準備比較表	77
表 4.34 試驗進行中作業程序比較表	77
表 4.35 兩儀器回收時間比較表	78
表 5.1 刨除料檢驗項目表	83
表 5.2 新瀝青材料檢驗項目表	84
表 5.3 新粒料品質檢驗項目	85
表 5.4 再生瀝青混和料檢驗項目表	85
表 5.5 樣本取樣數量估計標準	87
表 5.6 儀器設備基本履歷卡	90
表 5.7 國內各級道路刨除料之流向	93
表 5.8 各層級單位主要工作項目表	94
表 5.9 再生拌合廠相關作業內容與品質管理循環階段對應表	95

第一章 緒論

1.1 前言

台灣地區土地狹窄資源有限，多年來我國政府為促進經濟建設，不斷充實各項公共建設，加上民間工程蓬勃興辦，以致作為工程重要材料之河川砂石料源日漸枯竭，砂石資源之有效再利用，遂有其需要性。國內工程建設的日益增加下，砂石材料原屬於工程建設之必備原料，因此需要大量的開採使用，原本台灣地區砂石資源就不甚豐富，如此一來，台灣地區幾條砂石材料供應主要河川，內含之砂石資源已日漸枯竭，砂石資源的有效再利用已是刻不容緩的事。

瀝青混凝土路面刨除料資源再利用，係指將老舊的路面刨除，除可作為基、底層及施工便道鋪設材料外，加上新粒料調整級配或添加再生劑，再與新瀝青拌合後，使舊的瀝青混合料恢復原有性質以滿足路面功能，可重新作為道路面層鋪設之用。此種再生工法之運用，在歐、美、日路面工程界已普遍使用，實際執行亦達二十餘年之經驗，相關工法、設備皆已相當成熟。【36】

瀝青混凝土刨除料的熱拌再生利用，不但可因廢棄物的減少而降低對環境的衝擊，亦可達到砂石資源的有效運用，透過配合設計及發包、生產品質管制管理可得到完善的熱拌再生瀝青混凝土品質，因此道路鋪面使用熱拌再生瀝青混凝土已是未來發展所趨。【38】

1.2 研究動機

再生瀝青混凝土鋪面經反覆的刨除再利用後，因回收料成分變異大，不僅加深材料品質變異性，也影響著鋪面耐久性及永續性，而在進行再生瀝青混凝土配合設計之前須先知道刨除料之含油量、回收瀝青膠泥黏滯度與粒料級配曲線，再透過配合設計方法計算，加上新粒料調整級配與新瀝青拌合，使舊的瀝青混合料恢復原有性質以滿足路面功能，可重新作為道路面層鋪設之用。

基於材料組合的特性而導致配合設計的工作較一般熱拌瀝青混凝土繁瑣，目前國內外各公路單位之施工規範，對於刨除料之基本材料性質，如刨除料添加量上限、含油量、回收瀝青膠泥之針入度與黏滯度值有相關之規定，尤以在進行 AIMS-2 配合設計中決定目標黏滯度後，須透過回收瀝青之黏滯度值去計算與決定添加新瀝青之等級。

在目前刨除料在分離與回收試驗上，遭遇到最大困難是在回收瀝青膠泥時，如何把瀝青膠泥中的甲苯與粉塵完全分離出來，甲苯回收不完全或含有粉塵對於回收瀝青膠泥之基本性質影響很大，而目前之分離回收之方法及其整個作業時程與操作員熟練度等，使得廠商難以落實檢驗，使得再生瀝青混凝土之品質檢驗難以落實。

1.3 研究目的

本研究從日本引進自動化瀝青回收設備，希冀透過這套自動化之設備簡化瀝青回收之作業程序，藉由微電腦從內部控制試驗之變因，而降低人為操作之誤差，達到再生瀝青混凝土生產品質管制，希冀能夠對目前再生瀝青混凝土品質問題提出建議，主要研究目的如下：

1. 自動化瀝青回收試驗量測系統評估
2. 傳統瀝青回收檢驗方法與自動化回收法之比較
3. 建議最適分離回收法之標準化作業流程
4. 建議提升再生瀝青混凝土品質管理運作

1.4 研究架構

本研究架構流程如下圖 1.1 所示，首先確立論文之研究動機與目的，蒐集再生混凝土工程品質因素及再生相關文獻探討，研究計畫透過實驗室管理與技術要求確立試驗進行之標準化作業，包含人員、設施與環境、儀器設備、試驗與校正方法，再進行傳統分離回收法與自動化分離回收法之試驗，針對兩試驗結果進行分析，提出最適之分離回收法。對於再生目前常見之問題如驗收黏滯度之決定、混和料抽樣時機、再生瀝青混凝土管理運作進行探討，最後對於提升再生瀝青混凝土品質管理提出結論與建議。

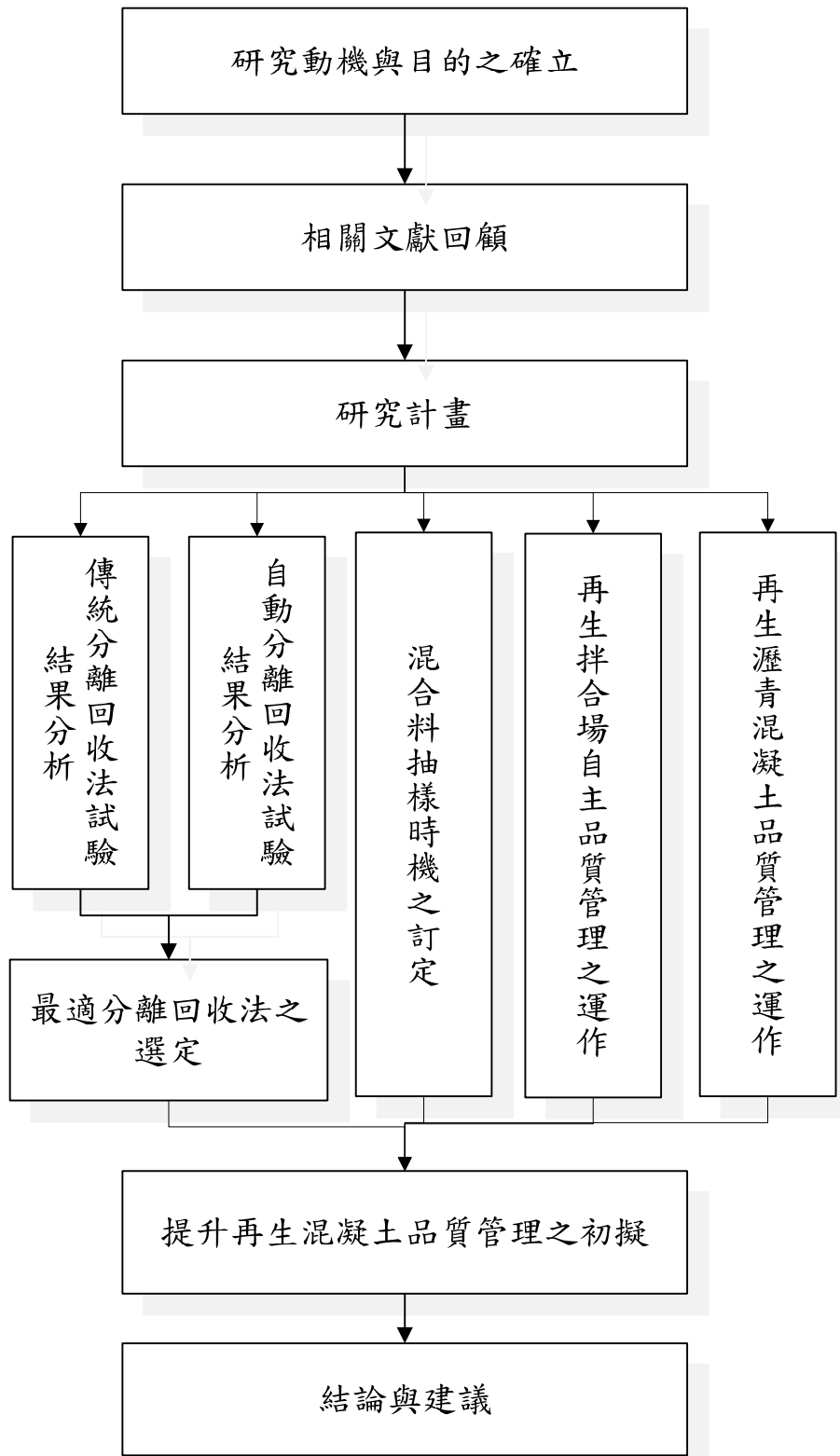


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 再生瀝青混凝土之耐久性影響

2.1.1 瀝青與瀝青混凝土之老化行為

1. 瀝青膠泥老化行為

瀝青老化是由飽和成分轉變為芳香族成分再轉為樹脂成分最後轉為瀝青精。隨著時間及溫度變化持續進行，瀝青精含量增加最後產生析油作用，失去凝聚力，或因瀝青精過多而產生脆化。

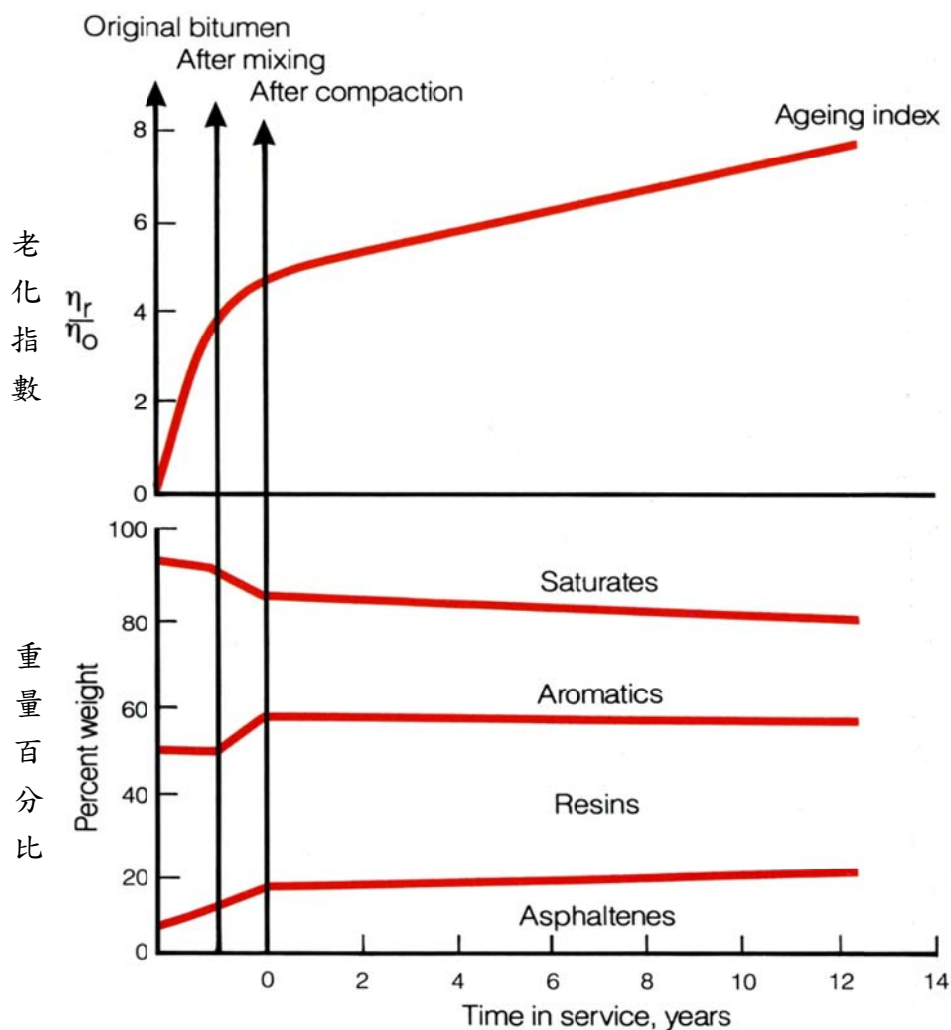


圖 2.1 瀝青組成於不同老化時期變化示意圖

Traxler (1961)【14】指出五個主要影響瀝青膠漿硬化的重要因素包含氧化作用、揮發作用、時間（內部結構的老化發展）、聚合作用（光反應）與凝聚作用（熱因素）等。Peterson (1984)【13】列出了三個瀝青混凝土硬化的機制：瀝青中油分的揮發或吸收、大氣中氧改變了成份、分子結構受觸發而改變。

老化機制，主要是由於瀝青膠漿的化學轉變，而影響流變性質。一般整理有下列幾種作用導致瀝青材料老化：

(1) 氧化作用 (oxidation)

指瀝青材料和空氣中的氧發生作用，其氧化速率隨瀝青性質及溫度而不同。在常溫下，氧化作用只有在瀝青材料表面薄膜發生硬化，因此可防止進一步氧化，若氧化膜破裂，則會加速氧化作用導致路面中瀝青膠泥硬化。在澳洲的觀察中發現，氣溫對瀝青的硬化有明顯的影響，Dickinson【15】指出，鋪面溫度每提升 10°C，氧化率增加 2 倍，另外研究顯示，熱拌瀝青混凝土廠氧化作用隨溫度上升而倍增，除此之外，尚與拌合時間、瀝青膜厚度及大氣中含氧量等有關。

(2) 揮發作用 (volatilization)

指瀝青材料中的輕質碳氫成分被揮發而使瀝青膠泥硬化，一般揮發的物質大部分為分子量小於 400 的成分，偵測的方式可

用黏滯度儀或針入度儀測定瀝青材料硬化的程度。

(3) 聚合作用 (polymerization)

指瀝青材料中較小分子量的成分聚合成較大分子量的成分，及化學組成中樹脂轉換成瀝青精，而油性成分未改變。聚合作用可解釋風化後之瀝青材料較未風化者呈現非牛頓體 (non-newtonian) 行為表現在材料行為上為變脆，所以路面較易龜裂。

(4) 凝聚作用 (thixotropy)

指瀝青材料在未受荷重及未發生化學反應情況下，其黏滯度自然增加的現象，此種改變稱為凝聚作用或自然硬化 (sterichardening)，這也說明了在未開放交通路段的瀝青材料有時較開放交通路段快速硬化的原因。

(5) 分離作用 (separation)

指瀝青材料中的油性、樹脂或瀝青精成分，因某些顆粒和瀝青間的吸收 (absorption) 或吸附 (adsorption) 作用下，而自瀝青材料中被移出之現象，此現象導致瀝青薄膜變硬或變軟。

(6) 析出作用 (syneresis)

指經粹取作用 (exudation) 後，包含分散或溶解的中、重質成分之薄層液狀體出現在瀝青結構表面，由於成分中的某些輕質

油性物質消失，導致瀝青材料漸漸變硬的現象，即為析出作用。

表 2.1 環境影響作用力引起老化作用比較表

老化機制	影響作用力				發生點	
	時間	熱	氧化	陽光	表面	內部
氧化作用	◎	◎	◎		◎	
光氧化作用	◎	◎	◎	◎	◎	◎
揮發作用	◎	◎			◎	◎
光化學作用	◎	◎		◎	◎	
聚合作用	◎	◎			◎	◎
凝聚作用	◎				◎	◎
析出作用	◎	◎			◎	

2. 瀝青混凝土老化作用

(1) 短期老化 (Short-Term Aging)

瀝青的生命週期中會經過的老化過程，主要可區分為短期老化與長期老化兩個階段。短期老化是指瀝青於拌合過程中經高溫及高度暴露於空氣中因氧化及揮發性物質損失造成的老化現象，會因為拌合型式及拌合過程中的溫度及時間等因素而有不同的老化程度。溫度愈高，時間愈長，氧化作用和揮發的損失愈劇烈，老化程度也愈大。SHRP 建議評估方式：

- 薄膜烘箱試驗
- 滾動薄膜烘箱試驗

(2) 長期老化 (Long-Term Aging)

長期老化主要為氧化作用所控制，為開放交通後，瀝青於空隙含量較低之環境中以更緩慢的速率繼續老化，其速率依混凝土的瀝青含量、交通量造成孔隙率變化及鋪面所在的環境、溫度、深度及時間而定。愈接近表面，老化速率越快。SHRP 依主要老化影響因素，建議四種評估方向：

- 壓力氧化
- 烘箱老化
- 紫外光老化
- 濕氣老化循環

2.1.2 瀝青混凝土老化對水敏感性之影響

羧酸(carboxylic acid)、氧化硫(sulfoxide)及酮類(ketones) 為瀝青老化後之化學產物，其產生量則依據瀝青成分及化學性質而定，其中羧酸(carboxylic acid)與氧化硫(sulfoxide)，對水分之敏感性(water sensitivity)相當高，因而使瀝青較容易自粒料表面脫落，因此瀝青的老化不只會影響瀝青化學組成及其物理性質，同時也會降低瀝青與粒料界面間之黏結能力，及抗剝脫能力。

孔隙是一般外來物質進入瀝青混凝土最直接的途徑，水分及空氣亦是經由孔隙進入瀝青混凝土內部；當水分進入瀝青混凝土後主要是藉由下列的作用對鋪面造成破壞，如下所示：

1. 水分在侵入瀝青混凝土孔隙後，由於交通量載重的緣故造成孔隙

- 水壓，進而造成孔隙逐漸擴大產生破壞。
2. 水分停留在瀝青混凝土中，由於溫度的作用而結冰產生膨脹和收縮比例不同或產生重複凍融的現象，導致鋪面產生裂縫而破壞。
 3. 瀝青在高溫時因受水分的影響發生移動的現象。
 4. 水分在瀝青混凝土中發生蒸發現象，導致大的粒料表面與瀝青填充料間產生交互作用，降低混凝土強度。
 5. 瀝青混凝土內部的一些礦物填充細料與侵入的水分發生交互作用，降低混凝土強度。

表 2.2 材料特性及外在作用力對瀝青及粒料黏結性比較

粒料特性	瀝青特性	混合料特性	外在作用力
礦物組成	流變性	空隙率	降雨
表面紋理	電子吸引力	滲透性	濕度
孔隙組成	組成成分	瀝青膠泥含量	Ph 值
粉塵		瀝青膠泥油膜厚度	鹽分
耐久性		纖維形式	溫度
表面積		粒料級配	溫度循環
吸水率		混合料形式	交通量
含水量			設計值
形狀			施工熟練度
風化			排水

2.1.3 再生瀝青混凝土耐久問題之探討

雖然再生瀝青混凝土已推動使用多年，其耐久性的提升是目前業界與學術界一直在努力的方向。過去會使用較高等級或較新的材料，希望能克服車轍、龜裂、剝脫等現象，但隨著資源逐步被消耗殆盡，人類不得不再考慮到資源再利用的議題，如能使鋪面的材料反覆一再使用，使資源消耗的程度降到最小，同時達到提升耐久性的目的。

王睿懋(2009)【19】針對再生瀝青混凝土的耐久性，從外在的氣候環境、氣溫及雨量，嘗試提出位處亞熱帶適用之瀝青等級，再從拌和及施工的角度，分析與一般瀝青混凝土主要的差異，再從實驗室，進行加速老化試驗，藉由成效試驗進行耐久性評估，並從這幾方面提出策略與對策。

1. 再生瀝青混凝土現況分析

臺灣各地氣候條件對於瀝青混凝土老化速率不同，而且刨除加鋪頻率也有所差異，本研究統計 95~98 年中央大學土木品保中心接受委託黏滯度試驗（主要為桃園縣市），刨除料回收黏滯度如圖 2.2 所示。再生瀝青混凝土之黏滯度如圖 2.3。

由資料顯示，92~95 年間刨除料約在 10000Poises 至 30000Poises 間，可能是因為北部日照及氣溫未較南部強烈，而且刨除加鋪的的頻率較高，所以老化程度未如中南部有高達 5 萬 Poises 以上，甚至 10 萬 Poises 以上的刨除料。

再生瀝青混凝土進行配合設計時，多設計 2000Poises 為目標黏滯度，新瀝青及刨除料經由加熱、拌合後，瀝青膠泥會有老化的現象，在 PG Grade 規範中，瀝青膠泥經短期老化後的 $G^*/\sin\delta$ 為原始瀝青的 2.2 倍，一般試驗中瀝青短期老化後的黏滯度，會增加為原始瀝青黏滯度的 2~4 倍間，在收集的資料中，其黏滯度範圍介於 4000Poises

~7000Poises 間。

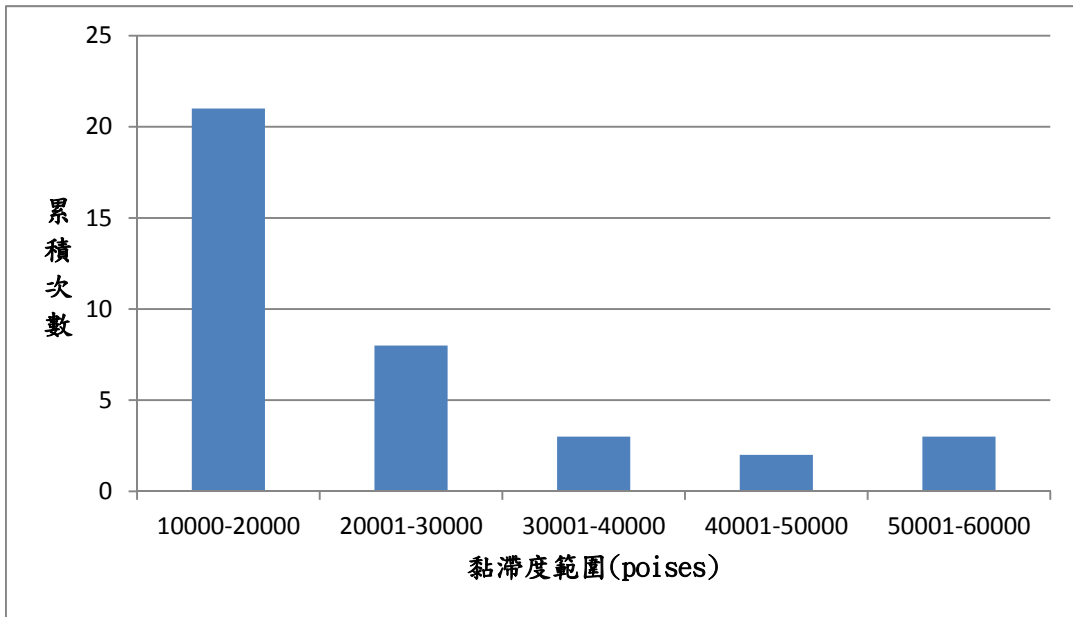


圖 2.2 95-98 年刨除料回收黏滯度統計

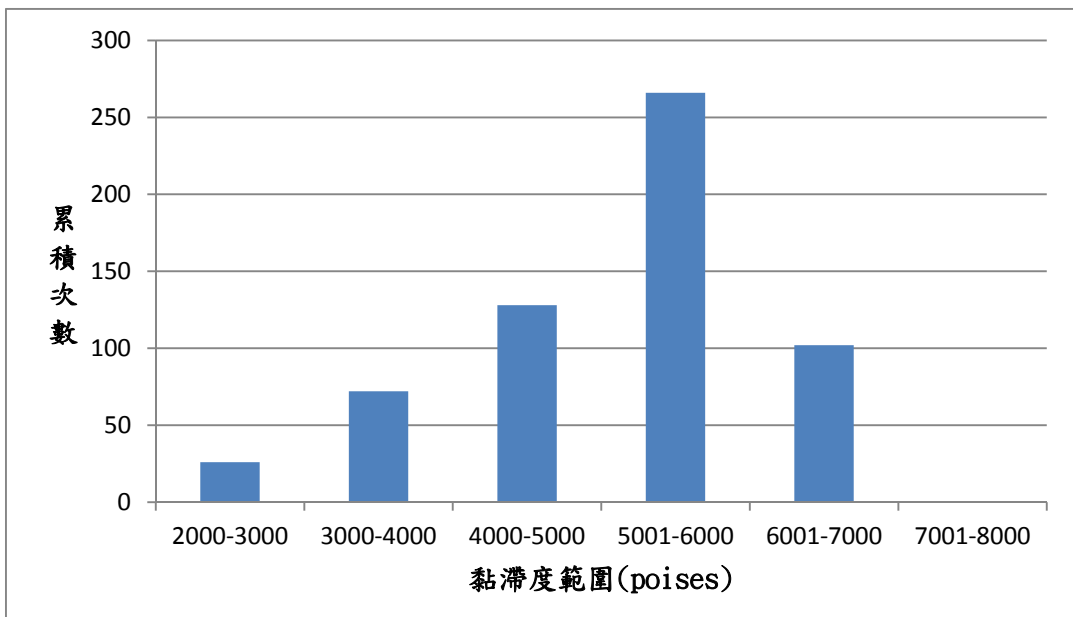


圖 2.3 95-98 年再生瀝青混凝土回收黏滯度統計

2. 再生瀝青混凝土成效分析

實驗室成效評估顯示，添加刨除料比例越高，其成效表現亦更好，但是考量其抗水份敏感性部分在添加刨除料 20%及 40%（未加再生

劑) 試驗組，能提供與一般瀝青混凝土相同甚至更好的抗水份侵蝕能力，而添加刨除料 60%及 100%(未加再生劑)浸水後強度折減較多，相同的添加比例於添加再生劑後，較未添加再生劑試驗組，其抗水份侵蝕能力大為提升，其強度仍不如一般瀝青混凝土，刨除料添加量 40%以下之再生瀝青混凝土可達到和一般瀝青混凝土相同的水準或是更佳之成效。

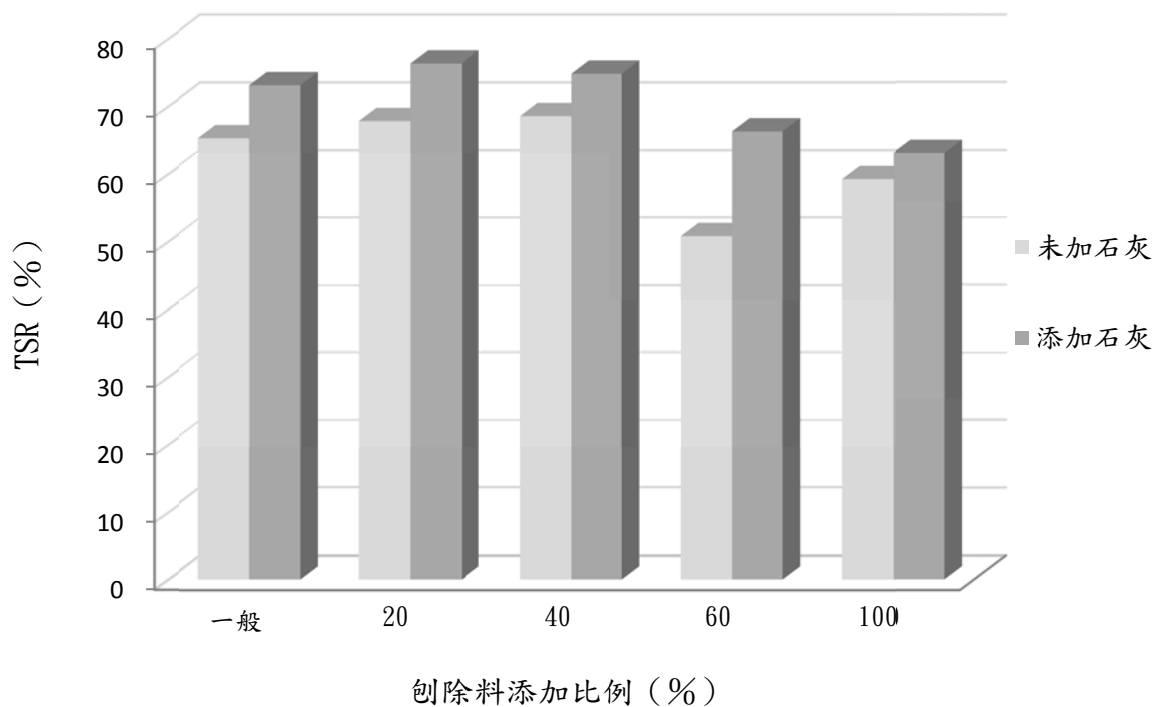


圖 2.4 不同刨除料 (未加再生劑) 添加比例浸水殘餘強度試驗結果

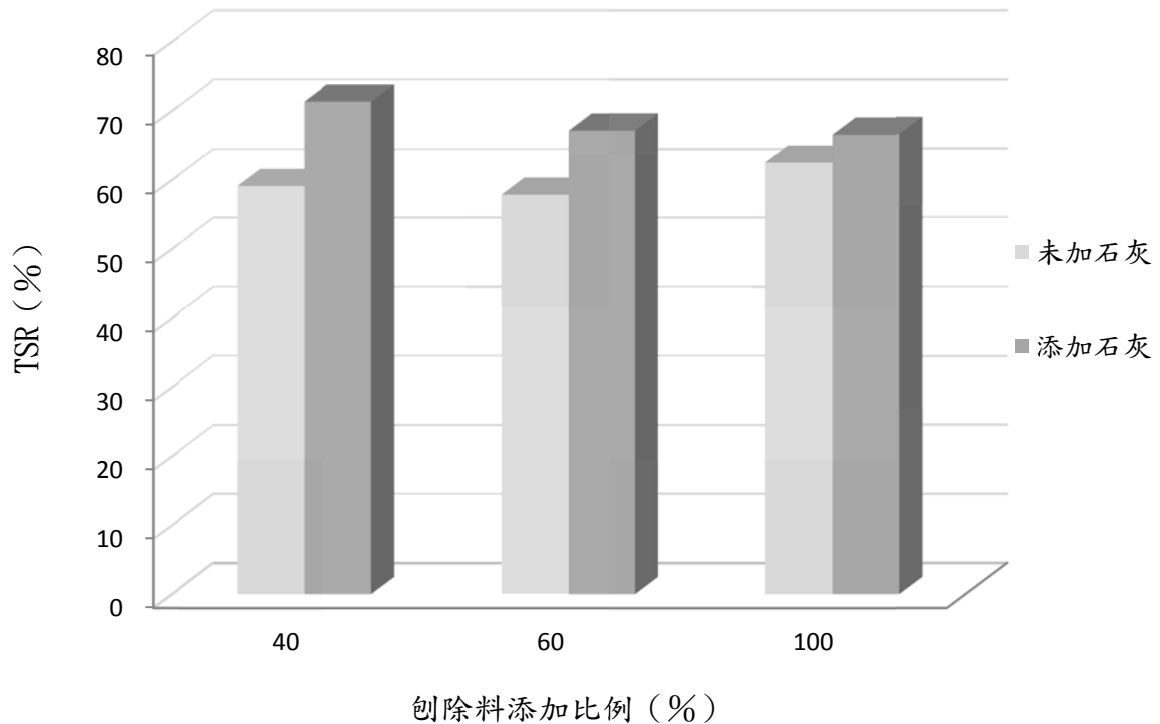


圖 2.5 不同刨除料（加再生劑）添加比例浸水殘餘強度試驗結果

3. 再生瀝青混凝土施工條件分析

再生瀝青混凝土與一般瀝青混凝土，拌合過程及施工過程大同小異，由於刨除料為避免加熱過程中過度老化，所以加熱過程中採用溫度較低，時間亦較短的方式進行。雖然能在外觀上均勻拌合，但是新瀝青與刨除料中舊瀝青却無法在如此短的時間內混合均勻。拌合後混合料間溫度以及瀝青黏滯度的不均勻，影響著施工過程及開放通車後的成效。其研究分別從拌合及施工過程進行分析，由不同刨除料添加量，與一般瀝青混凝土進行比較，藉由溫度的量測以及成效進行分析評估。

由於再生瀝青混凝土加熱溫度與一般瀝青混凝土之差異，隨著刨除料的添加，會降低其溫度分佈均勻性，於實驗室透過烘箱養治模擬拌合場暫存筒設置，隨著時間的增加，可提高再生瀝青混凝土的溫度均勻性，增加其穩定值、間接張力、回彈模數、TSR 等成效，經由養治六小時至 12 小時，可達最佳狀態，由暫存筒內適當的養治，有效的掌控溫度，可確保施工品質，提高其在服務年限內之耐久性。

2.2 再生瀝青混凝土之相關規範與現況

2.2.1 行政院公共工程委員會

依行政院公共工程委員會綱要規範民國 96 年 12 月 18 日公布第 02966 章再生瀝青混凝土鋪面 V4.0 版中當中對再生瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。【24】

1. 再生瀝青混凝土粒料 (RAP) 應符合下列要求:

- (1) 運回拌和廠作為再生粒料之既有瀝青混凝土挖(刨)除料(或先行取樣試驗)，其材質須符合下列條件：
 - A. 瀝青含量 (%)：[用於底層 3.0 以上][]，[用於面層 3.8 以上][]以上（對刨除混合料）。
 - B. 針入度 (25°C、5 Sec、100g)：[20][]以上。
- (2) 打碎分堆儲放：運回拌和廠堆置場之再生瀝青混凝土粒料應打碎分成 19~12.5mm (3/4in~1/2in)、12.5~4.75mm (1/2in~No.4)及 4.75mm(No.4)以下等三種，或 19~12.5mm(3/4in~1/2in) 及 12.5mm (1/2in) 以下等二種級配分堆儲放。
- (3) 再生粒料不得含有木屑、鐵線、有機物、黏土、及有礙本工

程之品質及功能之有害物。

2. 再生瀝青混凝土混合料之組成

- (1) 承包商應依據 AI MS-2 配合設計方法，於施工前[5 天][15 天][]提出配合比公式，其試驗值應符合第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」相關規定，並徵得工程司之同意。
- (2) 再生瀝青混凝土粒料與新粒料，或再生瀝青混凝土粒料、再生級配粒料與新粒料之組成比例，須依配合設計決定，若用分盤式拌和廠，所有再生粒料使用量不得超過[40%][]。若用其他型式拌和廠，則依設計圖說規定之使用率。

3. 回收瀝青黏度試驗：

再生瀝青混凝土應檢測其中瀝青之 60°C 黏度，其檢驗頻率為 [每 2,000t 一次][每個工程至少作一次][]，檢驗值不得超過工程司核定瀝青混合料之再生瀝青混凝土黏度值之[±35%][]。

2.2.2 交通部公路總局

交通部公路總局於民國 99 年 1 月修訂完成之施工說明書第 02966 章再生瀝青混凝土，針對瀝青混凝土鋪面挖（刨）除料之再生利用、再生瀝青混凝土之配比設計、產製、施工、品管及品質檢驗等工作有相關之規定。【25】

1. 再生瀝青粒料(RAP)之規定應符合下列要求：

- (1) 瀝青含量 (%)：3.0 以上（對刨除混合料重量比）。
- (2) 針入度（25°C、5 Sec、100g）：15 以上。
- (3) 打碎分堆儲放：運回拌和廠堆置場之再生瀝青粒料應打碎分成 19~12.5 mm (3/4~1/2in.)、12.5~4.75 mm (1/2in. ~No.4)

及 4.75 mm(No.4) 以下等三種，或 19~12.5mm(3/4~1/2in.)
及 12.5mm(1/2in.) 以下等二種級配分堆儲放。

- (4) 再生瀝青粒料不得含達有害量之木屑、金屬、有機物、土壤、及其他有害物。

2. 再生配合設計之規定

- (1) 再生瀝青粒料使用量不得超過 40% (對再生瀝青混凝土重量比)。
- (2) 辦理挖(刨)除料之瀝青含量試驗及回收瀝青針入度試驗，其試驗結果應符合再生瀝青粒料規定。
- (3) 辦理再生瀝青混凝土配比設計試驗之瀝青目標絕對黏度，測定溫度為 60°C，應在 2,000poises±20% 以內。

3. 回收瀝青黏度檢驗

針對再生瀝青混凝土回收瀝青黏度工程地點於海拔 1000 公尺以下者，不得超過 8,000poises + 35%。

表 2.3 交通部公路總局施工說明書材料及施工方法檢驗

名稱	檢驗項目	依據之方法	規範之要求	頻率
再生瀝青混凝土	回收瀝青黏度	CNS 14186	檢驗結果偏差值：低於海拔 1,000m 者不得超過 8,000poises +35%。偏差超出 +35%，但在 +70% 以內者：減價收受，每超出 1% 該批檢驗代表數量減價 1%。偏差值超出 +70% 時，承包商應刨除重鋪，刨除重鋪之一切費用，由承包商負擔。以上之百分比均計算至個位數，以下採 4 捨 5 入。	1.每工程至少一次。 2.總量超過 15,000m ² 為一批檢驗一次，分批餘數未達 7,500m ² 得併入前一批檢驗，超過 7,500m ² 時單獨為一批。 3.採鋪設完成後現場鑽心取樣，取 15 cm 直徑鑽心試體。以分層隨機抽樣，每批抽 5 點，混合後辦理回收瀝青黏度試驗。

2.2.3 內政部營建署

內政部營建署於 96 年 4 月 23 日訂定並於 98 年 5 月 27 日修正之營建事業再生利用之再生資源項目及規範，針對再生瀝青混凝土挖(刨)除料之再生再利用規定，包含其再生資源來源、用途、再利用業者應具備資格與其運作管理有其相關之規定如下表 2.4 所示。【26】

表 2.4 營建事業再生利用之再生資源項目及規範

項目名稱	再生利用規範
瀝青混凝土挖(刨)除料	一、再生資源來源：事業產生之瀝青混凝土挖(刨)除料。
	二、再生利用用途：瀝青混凝土原料或工程填方材料。
	三、再生利用業者應具備下列資格： <ul style="list-style-type: none"> (一) 生產再生瀝青混凝土之業者應具有臺灣區瀝青工業同業公會會員資格。 (二) 屬製造業且領有工廠登記證、公司或商業登記證明文件、固定污染源操作許可證，及產品為熱拌瀝青混凝土或其他相關產品者。 (三) 再生利用業者應具有再生資源前置作業機械設備、熱拌瀝青再生機組等相關設備。
	四、運作管理： <ul style="list-style-type: none"> (一) 應符合營建事業再生資源再生利用管理辦法之規定。但在破解之前得採露天貯存。 (二) 本項目屬「清運免網路連線申報之再生資源項目」，依網路傳輸方式向行政院環境保護署申報再生資源之產出、貯存、清運、再使用、再生利用、輸入或輸出情形之申報格式、項目、內容及頻率之公告事項三規定，免依公告事項四(二)、五(二)及八(一)規定申報或遞送聯單。 (三) 再生利用業者應向行政院環境保護署申報項目、內容、頻率及方式，應於每年一月、四月、七月、十月月底前連線申報前季再生資源收受、貯存、回收再利用情形及再生產品名稱、數量、營運狀況等資料。 (四) 再生利用於工程填方材料用途，屬公共工程者，應經工程主辦機關核准；屬民間工程者，再生利用業者應依資源回收再利用法及本項目規範規定，進行再生利用。 (五) 本項目不得與廢棄物混合清運。 (六) 本項目作為熱拌再生瀝青混凝土之拌合比例，不得超過百分之四十。 (七) 再生利用用途之產品應符合國家標準、國際標準或工程施工規範之相關使用規定。

內政部營建署道路工程組針對道路工程及共同性工程之施工規範，於 92 年 5 月 9 日第一次及 93 年 4 月 9 日第二次通過內政部營建署內核定修正，並於 96 年 4 月 13 日新增之第 02966 章再生瀝青混凝土鋪面章節，針對再生瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。【27】

1. 再生瀝青混凝土粒料 (RAP)

- (1) 運回拌和廠作為再生粒料之既有瀝青混凝土挖(刨)除料(或先行取樣試驗)，其材質須符合下列條件：
 - A. 瀝青含量 (%)：用於底層 3.0 以上，用於面層 3.8 以上 (對刨除混合料)。
 - B. 針入度 (25°C、5 Sec、100g)：20 以上。
- (2) 打碎分堆儲放：運回拌和廠堆置場之再生瀝青混凝土粒料應打碎分成 19~12.5mm (3/4in~1/2in)、12.5~4.75mm (1/2in~No.4)及 4.75mm(No.4)以下等三種，或 19~12.5mm(3/4in~1/2in) 及 12.5mm (1/2in) 以下等二種級配分堆儲放。
- (3) 再生粒料不得含有木屑、鐵線、有機物、黏土、及有礙本工程之品質及功能之有害物。

2. 再生瀝青混凝土混合料之組成

- (1) 承包商應依據 AIMS-2 配合設計方法，於施工前 20 天提出配合比公式，其試驗值應符合第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」相關規定，並徵得工程司之同意。
- (2) 再生瀝青混凝土粒料與新粒料，或再生瀝青混凝土粒料、再生級配粒料與新粒料之組成比例，須依配合設計決定，若用分盤式拌和廠，所有再生粒料使用量不得超過 30%。若用其

他型式拌和廠，則依設計圖說規定之使用率。

- (3) 再生瀝青混凝土配合設計試驗可送往政府機關、大專院校設置之實驗室辦理或由中華民國實驗室認證體系認可之實驗室辦理，並由該實驗室出具認可標誌之檢驗報告。

3. 回收瀝青黏度試驗

無填充料瀝青黏度測定依 CNS 14186 K61050 之規定，其檢驗頻率為每 2,000 公噸一次、每個工程至少作一次，其值不得超過工程司核定配合設計比之黏度值之 $\pm 35\%$ ；檢驗值超過範圍時，依下列規定辦理：

- A. 檢驗值在核定配合設計比之黏度值之 $+35\% \sim +40\%$ 區間者，依契約單價扣減所代表區域再生瀝青混凝土價款之 5% 。
- B. 檢驗值在核定配合設計比之黏度值之 $+40\% \sim +50\%$ 區間者，依契約單價扣減所代表區域再生瀝青混凝土價款之 15% 。
- C. 檢驗值在核定配合設計比之黏度值之 $+50\% \sim +60\%$ 區間者，依契約單價扣減所代表區域再生瀝青混凝土價款之 25% 。
- D. 檢驗值超過核定配合設計比之黏度值之 $+60\%$ ，應予刨除重鋪。
- E. 檢驗值低於 1,500 poises，應予刨除重鋪。

2.2.4 縣市政府

1. 台北市工程施工規範【28】

台北市工程施工規範在 98 年 12 月 9 日修正之施工規範中，對再生瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等有相關規定。

(1) 再生瀝青混凝土粒料 (RAP) 之規定

- A. 瀝青含量 (%)：用於底層 3.0 以上，用於面層 3.8 以上（對刨除混合料）。
- B. 回收瀝青針入度 (25°C、5 秒、100g、0.01cm)：20 以上。

(2) 再生瀝青混凝土混合料之組成

再生瀝青混凝土粒料與新粒料，或再生瀝青混凝土粒料、再生級配粒料與新粒料之組成比例，須依配合設計決定。若用分盤式拌和廠，所有再生料使用量不得超過 40%，若用其他型式拌和廠，則依契約圖說規定之使用率。

(3) 再生料回收黏滯度

檢驗依據之標準為 CNS 14186 K61050，其要求回收瀝青之黏滯度須為 5000 poise 以下，檢驗頻率為數量未達 400t 時免檢驗，400-2000t 檢驗 1 次，超過 2000 t 時，每 2000t 加驗 1 次，其中瀝青黏滯度檢驗細則與處理原則如下表 2.5：

表 2.5 台北市瀝青黏滯度檢驗細則與處理原則

檢驗項目	再生瀝青混凝土其中瀝青黏滯度
檢驗細則	5000-6000 poise
處理原則	罰扣該區再生瀝青混凝土鋪築所代表數量之 10%材料價金
檢驗細則	超過 6000poise
處理原則	挖刨除、重鋪

2. 高雄縣政府施工規範【29】

高雄縣政府施工規範說明書於民國 98 年 9 月 28 日更新之再生瀝青混凝土施工章節中，說明鋪面工程中之再生瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

(1) 再生瀝青混凝土粒料 (RAP) 之規定

運回拌合場作為再生粒料之際有瀝青混凝土刨除料(或先行取樣試驗)，其材質須符合下列條件：

- A. 刨除料經分離及回收之再生瀝青，其黏度值須小於 1×10^5 poise 以下方可使用。
- B. 瀝青含量(%): 用於底層 2.5 以上，用於面層 3.0 以上(對刨除混和料)。
- C. 除料回收瀝青針入度(25°C、5 秒、100g):20 以上。
- D. 以 8 號篩做為分界，分為粗、細粒料兩種、並分兩堆堆置。堆置場必須設置遮雨設施，以避免刨除料受潮。
- E. 打碎分堆儲放：運回拌合廠堆置場之刨除料應打碎分成 19~12.5mm(3/4in~1/2in)、12.5~4.75mm(1/2in~NO.4) 及 4.75mm(NO.4) 等三種，或 19~12.5mm(3/4in~1/2in) 及 12.5mm(1/2in) 以下等二種級配分堆儲放。
- F. 刨除料不得含有木屑、鐵線、有機物、黏土及有礙品質及功能之有害物。

(2) 再生瀝青混凝土混合料之組成

承包商應依據 AI MS-20 及 MS-2 配合設計方法，於施工前提出配比公式，其試驗值應符合行政院公共工程委員會公告之第

02742 章「瀝青混凝土」相關規定，並徵得工程司之同意。再生瀝青混凝土之粒料與新粒料，或再生瀝青混凝土中、再生與新粒料之組成比例，須依配合設計決定。若用分盤式拌和廠，所有再生料使用量不得超過 40%。再生瀝青混凝土配比設計，目標黏度值應以 AC-20 進行設計之。

(3) 再生料回收黏滯度

再生瀝青黏度試驗係取自現地代表性再生瀝青料為試樣，其無填充料瀝青黏度測定依 CNS 14186 K61050 之規定。檢驗頻率為每 15000M² 一次且每個工程至少一次，目標黏度值 4000poises。再生瀝青黏度值合格範圍為 3200poises 以上，5800poises 以下。再生瀝青黏度值為 5800poises~8000poises 時，按其代表數量依合約價扣款 5%。再生瀝青黏度值小於 3200poises 或大於 8000poises 時，應由承包商挖除重鋪，其費用由承包商負擔。

3. 桃園縣政府之回收瀝青黏度規定【38】

於民國九十三年一月二十九日訂定瀝青混凝土路面品質控制補充說明，其中瀝青混凝土路面品質控制承商須依據以下作業規定進行：

承商提送開工報告書時應一併提出瀝青混凝土混合料配合設計送本局核備後，始准以拌合使用。前項承商所送瀝青混凝土混合料配

合設計需符合「瀝青混凝土路面施工說明書」之相關規定。承商於瀝青混凝土鋪設前需以書面文件向本局申請查驗，並俟本局監工或監造單位人員現場查驗確認已完成鋪築之前置準備後，始同意鋪設。每次瀝青混凝土鋪設時承商需會同本局監工或監造單位人員隨機取樣，取樣之樣品由承商送往經 CNLA 認證之實驗機構、政府單位實驗室或本局指定之學術機構進行瀝青含油量（含篩分析）檢驗。若採再生瀝青混凝土鋪設，則需另外進行經分離回收後瀝青材料之黏滯度項目檢驗。黏滯度之檢驗結果及處理辦法詳表 2.6 規定辦理。（瀝青混凝土路面工程每 17000 m²應檢驗一次，如未達 17000 m²至少應檢驗一次）

表 2.6 桃園縣政府黏滯度之檢驗結果及處理辦法

檢驗項目	檢驗結果	處理辦法
經分離回收後瀝青材料之黏滯度 (Poises)	5000±35% (含) 以內	合格
	5000±35%以外	該次 AC 鋪設區域 刨除重鋪

4. 宜蘭縣政府之回收瀝青黏度規定【38】

宜蘭縣政府針對再生瀝青混凝土訂定一份特別規定，進一步補充綱要規範中內容，其條文概述為：再生瀝青混凝土之檢驗及驗收除依本契約瀝青混凝土驗收特別規定外，應再依 CNS 14186 進行無填充料瀝青黏滯度試驗，其檢驗頻率為每 2,000t 一次及每個工程至少作一

次，取樣位置由甲方監工人員隨機指定。其回收瀝青目標黏度以 3500 poises 為標準，以其標準 35 %訂定合格上限為 4725 Poises，允收上限為 5950 Poises，4725~5950 Poises 間採行允收扣款方式，再超過時以刨除重鋪。

2.3 台灣地區使用再生瀝青混凝土常見之問題

歐、美、日等先進國家已驗證在適當設計、產製及施工管制下，再生瀝青混凝土之成效並不比傳統瀝青混凝土差，但在國內使用時品質卻仍常遭質疑，其中如配合設計不實、超量添加 RAP 料、未依規定程序產製及施工等均可能造成問題。

2.3.1 刨除料添加比例過高

早在民國 91 年各機關辦理瀝青混凝土再生利用作業要點前，已有承包商於瀝青混凝土內加入刨除再生瀝青混凝土粒料，透過此種壓低材料成本的方式，提高工程得標率。直到民國 91 年在考量環保及料源因素前提下，行政院公共工程委員會規定可以將刨除料添加於瀝青混凝土內，並規定每件工程之再生瀝青混凝土之刨除料，不得添加超過 40%，同時規定養護路面工程部分（每年總工程量），於民國 91 年需達 20%以上、92 年需達 30%以上、93 年需達 40%以上；新闢路段路面工程部分（每年總工程量），民國 91 年需達 10%以上、92 年需達 20%以上、93 年需達 30%以上。【34、35、42】

此後，瀝青混凝土的得標價格逐漸趨於正常，但仍舊存在著品質缺失。根據行政院公共工程委員會之規定，刨除料添加量不得大於40%以上，惟現階段國內多數承包商，在砂石料源價格居高不下的情形下，刨除料添加量多已超過規定添加量40%，嚴重影響道路使用壽命及工程品質。

2.3.2 最適目標黏滯度之選定問題探討

目標黏滯度之訂定，是臺灣多年推廣再生瀝青混凝土來發生的問題之一，目前部分各縣市政府對目標黏滯度與驗收時之回收瀝青黏滯度間的差異，有不同的認定標準，目標黏滯度為設計時，希望新瀝青與刨除料舊瀝青混合後之成效，但是在拌合過程中造成之短期老化，會讓設定的目標黏滯度提高數倍，因此在驗收回收瀝青時，不能以目標黏滯度做為標準，對於黏滯度的規定從2000~8000Poises都有相關單位訂定，到底何者為較為合適，仍為產、官、學界欲了解之問題。

2.3.3 再生瀝青混凝土品質管制落實之問題

再生瀝青混凝土溫感性高，現場施作品質控管不易，刨除料變異性大等等因素，品質難以控管，依照目前臺灣地區的法規，再生瀝青混凝土中刨除料的最高使用量為40%，而根據廠商與實驗室的經驗，再生瀝青混凝土使用過多刨除料的可能會有黏結力不足之情形，非常容易產生剝脫，再生瀝青混凝土在臺灣地區常被政府單位與民間所質疑其黏結力問題，常常在雨天過後會產生剝脫，然後逐漸造成局部路

面的坑洞，進一步影響到路面的服務品質與行車安全。而如何找出如何再生瀝青混凝土中刨除料的添加比例，由於刨除料與再生瀝青混凝土分離回收過程中存在太多人為或材料上的不確定因素，想要非常精準訂定出刨除料的查驗標準而無爭議性實在有非常高的困難度，目前國內外相關研究期刊與論文，都無一能明確訂出查驗準則，因此現階段的國內外技術與能力對與此項查驗實在有一定困難度存在。

耿道揚(2002)【38】熱拌再生瀝青混凝土發包策略及品質查證機制之研究中，針對品質查證機制的權責劃分，述明各單位在熱拌再生瀝青混凝土品質查證機制中所應扮演的角色，另外從熱拌再生瀝青混凝土施工前的材料設備品質查證開始，到路面施工及完工驗收的查證，及查證作業的檢驗設備及查證標準，做一完整查證機制的建立以確保熱拌再生瀝青混凝土路面鋪面品質，其研究結果發現再生瀝青混凝土品質的查證，拌合料中的回收黏滯度檢測是重要的關鍵，因此對於其儀器的操作及符合試驗精度應加強重視。

2.4 刨除料分離回收法之探討

再生瀝青混凝土與傳統瀝青混凝土在配合設計上的最大差異為；再生配合設計必須先對刨除廢料之材料性質有充份的瞭解，因此必須對刨除廢料進行分離及回收試驗，以瞭解其含油量、回收瀝青膠泥之物性及粒料性質和級配情形。然而在分離及回收試驗上遭遇到的最大

困難是在回收瀝青膠泥時，如何把瀝青膠泥中的粉塵及甲苯完全分離出來，因為這兩者對於瀝青膠泥之物性影響很大，將嚴重影響到配合設計時再生劑之添加量及混凝土最終產物之品質。【17】

2.4.1 常見之瀝青混合料分離回收方法

自 Abson 回收方法發展以來，提供學術及工程單位一個瞭解及改進瀝青混凝土品質的最好評估依據，由於直接觀測瀝青混凝土中瀝青的物理及化學性質，對於瀝青品質的界定，有較深入的認識。隨著科技的進步，路面工程界對於材料的要求，逐漸走向至善至美的境界，以國內瀝青材料而言，以往油源來自中東，由中油公司提煉，至少品質較為穩定，未來可能分散油源，出現多樣化的瀝青材料，或各種改質瀝青或發展再生瀝青混凝土，此時瀝青的特性不僅決定施工的方法(拌合、鋪築及滾壓溫度)，也影響施工完成後黏度隨時間的變化情形(耐久性)，直接與瀝青路面的成效相關，最好的檢驗方法當然是直接量測瀝青混凝土中的黏度，此時的關鍵就在於發展或選擇方便而可靠的瀝青分離及回收試驗方法。【17、40】目前常用之分離方法有：

1. 離心機法
2. 回流抽出器法
3. 蕭氏萃取器法
4. 真空分離法

(依 ASTM,D2172,D2145 及 AASHTO,T164)



圖 2.6 離心機



圖 2.7 高速離心機



圖 2.8 回流抽出器



圖 2.9 蕭氏萃取器

而回收方法有：

1. 標準 Abson 回收法
2. 真空濃縮機法

因標準 Abson 回收法是否成功仰賴於操作者之操作技術是否熟練，而且此法為高危險性之試驗，因此近年來在國內外已逐漸被操作簡單，效果良好的真空濃縮機法所取代。

2.4.2 分離回收法之數據再現問題探討

ASTM D1856 Abson【6】標準瀝青回收試驗方法中，關於實驗數據之精度精度與誤差處理，有對針入度與黏滯度之單一操作者精度與

多實驗室精度可接受範圍之規定，試驗資料的瀝青等級包含 AC-5、AC-10、AC-15、AC-20、AC-30、AC-40、AR-2000 和 AR-4000。

表 2.7 ASTM D1856 單一操作者精度

Test Index <i>Single-Operator Precision:</i>	Coefficient of Variation (percent of mean)	Acceptable Range of Two Results (percent of mean)
Penetration at 25°C(77°F)	11	30
Kinematic viscosity at 135°C (275°F), cSt	9	26
Viscosity at 60°C(140°F), P	18	51

表 2.8 ASTM D1856 多實驗室精度

Test Index <i>Multilaboratory Precision</i>	Coefficient of Variation (percent of mean)	Acceptable Range of Two Results (percent of mean)
Penetration at 25°C(77°F)	21	58
Kinematic viscosity at 135°C (275°F), cSt	16	46
Viscosity at 60°C(140°F), P	33	93

邱垂德(1985)【16】於瀝青混凝土之瀝青含量及粒料及配變異之研究中，瀝青分離試驗以國內最常使用 ASTM D2172 之 A 法，即離心機法進行試驗，以統計方法求出國內檢驗瀝青混凝土品質所使用分離試驗之精度，及瀝青混凝土之瀝青含量和粒料級配變異之各分量，

研究結果顯示國內分離試驗與 ASTM D2172【5】中所列之瀝青含量之單一操作者精度為 0.18%，多試驗室精度為 0.29%相當，下表 2.9 為其研究結果所得分離試驗之瀝青含量與級配之試驗精度結果。

表 2.9 分離試驗之精度

量測品質	單一操作者精度(1S)	多試驗室精度(1S)
瀝青含量	0.18	0.25
1/2"	2.66	3.01
3/8"	2.82	2.98
NO.4	1.93	2.14
NO.8	1.33	1.72
NO.30	0.71	0.89
NO.50	0.62	0.83
NO.100	0.34	0.59
NO.200	0.28	0.60

邱奕遷(1997)【17】於再生瀝青混凝土成效之研究中，針對甲苯與粉塵對瀝青膠泥黏度之影響，試驗結果如下表 2.10 可發現，甲苯與粉塵均會對瀝青膠泥之黏度造成影響，甲苯會降低瀝青膠泥之黏度，而粉塵會增加瀝青膠泥之黏度，其中甲苯之影響較粉塵來得大，因此若瀝青混和料於分離回收的過程若不確實，對於瀝青膠泥黏滯度值有很大之影響。

表 2.10 甲苯與粉塵對瀝青膠泥黏滯度之影響

甲苯含量 % (對瀝青重)	黏滯度(poises)	粉塵含量 % (對瀝青重)	黏滯度(poises)
0	1,810	0	1,810
0.1	836	1	1,850
0.3	465	2	1,920
0.5	326	3	2,150
1.0	81.2	4	2,360

2.5 影響量測結果之不確定因素與分析方法

一切量測結果都不可避免地具有不確定度，量測不確定度評估程序與表示方法從易於理解，便於執行、運用之觀點出發，進而探討量測不確定度運用在營建材料量測結果可行性並落實。【18】

量測不確定度應用範圍如下：

1. 建立國家計量基準、計量標準及其國際比對。
2. 標準物質、標準參考數據。
3. 量測方法、檢定流程、檢定系統、校正規範。
4. 科學研究及工程領域的量測。
5. 計量認證、計量確認、品質認證及實驗室認可。
6. 量測儀器之校正與檢定。
7. 生產過程之品質保證、產品檢驗和測試。

2.5.1 影響量測結果之不確定因素

量測不確定度分析，要考慮實際量測過程中有哪些因素會影響結果不確定度，並列出不確定度分量。不確定度分析取決於對量測方法、量測設備及被量測樣本(產品)的本質認識，必須針對問題具體分析。不確定度分析中，考慮不確定度來源時應做到不遺漏、不重複。

量測不確定度一般來源於以下幾個方面：

1. 量測儀器

- (1) 量測儀器性能：靈敏度、解析度、穩定性、量測範圍等。
- (2) 量測標準或標準物質之不確定度。

2. 量測方法

- (1) 被量測定義不完整。
- (2) 引用的數據或其他參數之不確定度。
- (3) 量測方法和量測程序的假設條件。

3. 量測對象

- (1) 取樣的代表性不夠：被量測樣本不能代表所定義的被量測。
- (2) 在相同條件下被量測對象在重複觀測中的變化。

4. 量測條件

- (1) 量測過程受環境影響的認識不周全或對環境的量測與控制不完善。
- (2) 複現被量測的量測方法不理想。

5. 量測人員

對量測儀器讀數存在的人為偏差。

量測過程中的隨機效應及系統效應均會導致量測不確定度產生，在數據處理過程中，異常值剔除及修正也會影響到量測結果，影響到量測不確定度之因素如下圖 2.10：

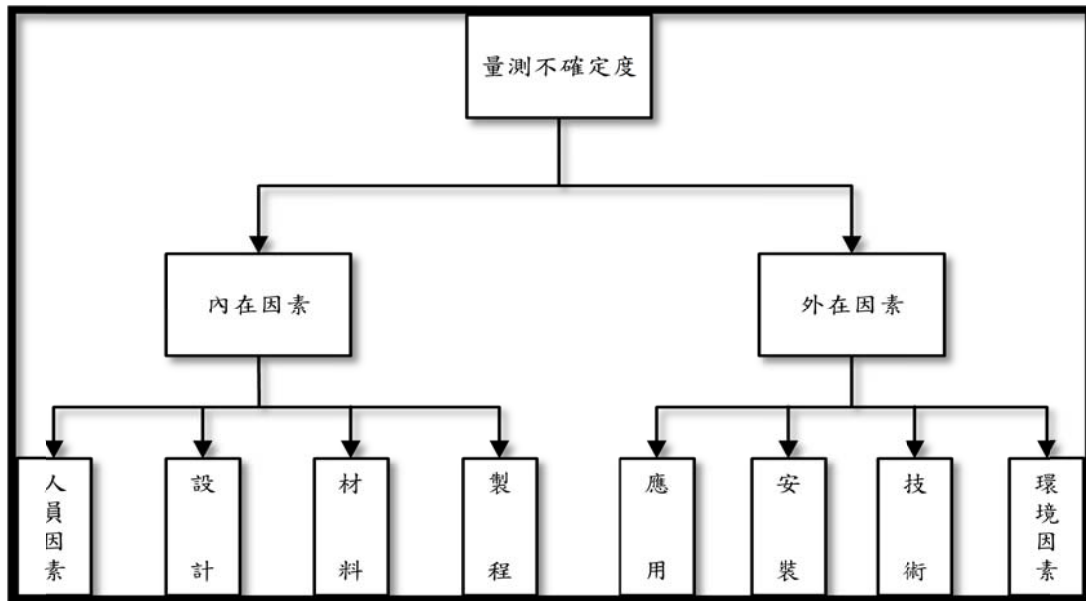


圖 2.10 造成量測不確定度之因素圖

在量測過程中，可能導致不確定度的來源大約有下列幾個：

1. 取樣的代表性不足。
2. 量測儀器的性能（解析度、靈敏度……等）。
3. 量測標準或標準件的不確定度。
4. 引用數據或其他參數的不確定度。
5. 量測方法和量測步驟所引起的不確定度。
6. 在相同條件下被量測之值在重複觀測中的變化。

2.5.2 變異數分析與分項誤差評估分析

變異數分析法(ANOVA)為一種傳統統計上的方法，它常被用來分析量測系統誤差及探討量測數據產生變異原因，其更可精確地評估量測變異大小及提供更多資訊。

量測實務上，通常將量測變異分成以下四種項目來表示：

1. 量測樣本
2. 量測人員

3. 量測樣本與人員間之交互作用

4. 量測儀器

在統計決策中，最常用的方法之一為假設檢定 (hypothesis testing)。透過 MINITAB 提供假設檢定的選擇，包括 t-檢定與變異數分析 (ANOVA)。一般而言，假設檢定先假定一個假設為真，利用樣本資料來檢定這個主張是否正確。假設檢定中包括兩個假設：虛無假設 (null hypothesis) (以 H_0 表示) 以及對立假設 (alternative hypothesis) (以 H_1 表示)。虛無假設為最初的主張，通常是基於過去的研究或常識而建立，對立假設則是您相信可能為真的主張。

單因子變異數分析 (one-way ANOVA)，此種檢定方法可用來檢定按單因子分類之兩個或以上的平均數是否相等。

目前在土木材料試驗方法中，呈現試驗結果的變異程度一般以樣本變異數 S^2 來估計母體變異數 σ^2 ，因為母體變異數為未知值，必須用樣本變異數來估計。 S^2 為 σ^2 不偏估計值， S^2 (或 σ^2) 在統計理論上十分通用，但實務應用上，常取其平方根 S (或 σ) 使用。此 σ 反應各次試驗結果變異程度，其涵蓋組間變異與組內變異。【21】

$$\sigma_T^2 = \sigma_2^2 + \sigma_1^2$$

$$\sigma_T^2 = \sigma_{\text{組間}}^2 + \sigma_{\text{組內}}^2$$

$$\sigma_T^2 = \sigma_B^2 + (\sigma_{\text{parts}}^2 + \sigma_{\text{Measurement}}^2)$$

$$\sigma_T^2 = \sigma_B^2 + (\sigma_{\text{parts}}^2 + \sigma_{\text{reproducibility}}^2 + \sigma_{\text{repeatability}}^2)$$

$$\sigma_T^2 = \sigma_{\text{組間}}^2 + (\sigma_{\text{試體均勻性}}^2 + \sigma_{\text{重複性}}^2 + \sigma_{\text{再現性}}^2)$$

$$\sigma_T^2 = \sigma_{\text{組間}}^2 + (\sigma_{\text{試體均勻性}}^2 + \sigma_{\text{人員}}^2 + \sigma_{\text{儀器}}^2)$$

組間變異(Within-test Variation): 對同一件產品的同一品質特性，重複量測 n 次，而獲得 n 件樣本數據，數據間之變化用於顯示量測誤差大小，此項差異稱之。

組內變異(Batch to Batch Variation): 對幾件同產品的相同品質特性，各量測一次，而獲得 n 件樣本數據，數據間之變化用於顯示各產品間之品質差異，此項差異稱之。

第三章 研究計畫

3.1 研究內容

研究計畫內容主要分為二個部份，1. 針對目前分離回收之方法及其整個標準作業程序與操作員熟練度等，提出最適分離回收法之選定，2. 如何提升再生瀝青混凝土品質管理進行研究。

3.1.1 最適分離回收法之選定

透過實驗室管理與技術要求符合 ISO 17025，確立試驗進行之標準化作業，包含人員、設施與環境、儀器設備、試驗與校正方法，制定各個儀器之標準作業程序書。【8、30、31】

待上述實驗室與技術要求皆符合後再進行試驗，首先取用相同之瀝青混和料進行分離作業，藉由離心機法將瀝青混和料中的瀝青與粗細粒料分離得到瀝青與甲苯的混和溶液，透過高速離心機將瀝青溶液中的灰份分離出來後，再將此瀝青溶液進行回收試驗。

回收試驗採用目前國內常用的真空濃縮儀與本研究從日本引進之自動瀝青蒸餾回收儀，分別進行回收瀝青膠泥作業。經兩回收法得到之瀝青膠泥進行黏滯度試驗，採用儀器為 Brookfield 黏滯度試驗儀，再針對兩試驗結果與方法進行分析比較，提出最適之分離回收法。

3.1.2 提升品質管理之初擬

本研究對於如何提升再生瀝青混凝土鋪面品質管理，透過以下幾個部分進行探討與研究：

1. 混合料抽樣時機之訂定

再生瀝青混凝土之檢驗時機，將建議再生瀝青混凝土收樣時機，確保廠商所生產的再生瀝青混凝土品質。

2. 最適分離回收法標準作業

再生瀝青混凝土回收瀝青黏滯度檢驗，透過本研究比較一般最常使用的真空濃縮儀與自動化瀝青蒸餾回收儀，建議最適分離回收法標準作業。

3. 建議再生瀝青混凝土之品質管理

針對再生瀝青混凝土之使用，將對於省縣道、鄉道於使用再生瀝青混凝土上的品質管理提出建議。

3.2 研究流程

3.2.1 最適分離回收法之選定流程

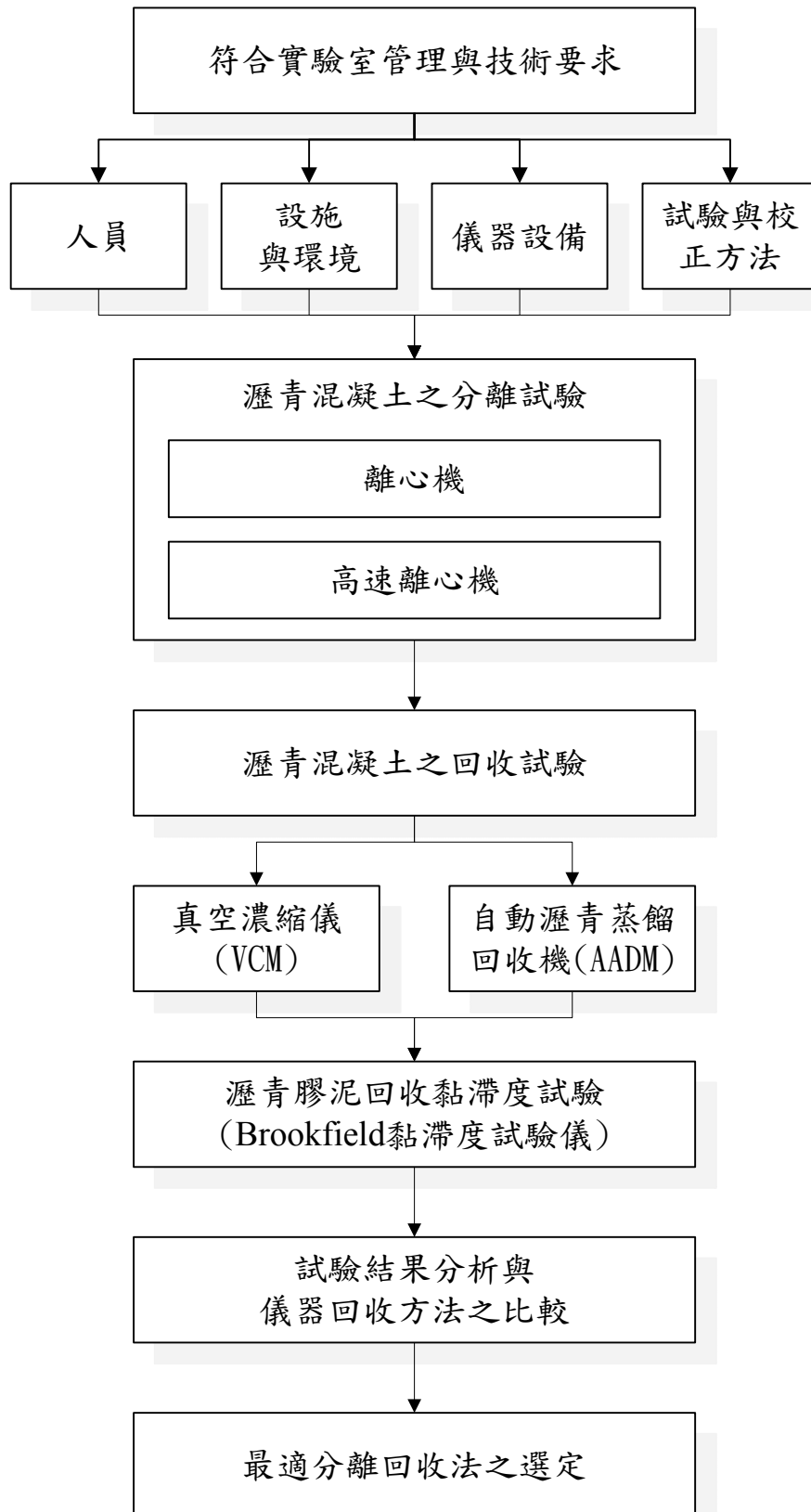


圖 3.1 最適分離回收法之選定流程圖

3.2.2 VCM 與 AADM 之回收黏滯度比較流程

回收試驗採用目前國內常用的真空濃縮儀法(Vacuum Concentrator Method, VCM)與本研究從日本引進之自動瀝青蒸餾回收儀法(Automatic Asphalt Distillation Recovery Methods, AADM)，分別進行回收瀝青膠泥之作業，瀝青膠泥黏滯度試驗，採用的儀器為 Brookfield 黏滯度試驗儀，再針對兩試驗結果與方法進行分析比較。

使用不同等級之瀝青膠泥包含 AC-10、AC-20 及 3000poises 等級瀝青膠泥進行黏滯度試驗，並將以上三種瀝青膠泥分別溶於甲苯溶液中，再透過兩種不同儀器回收瀝青膠泥，與原始之瀝青膠泥進行分析，比較兩儀器回收瀝青黏滯度之精度與誤差。

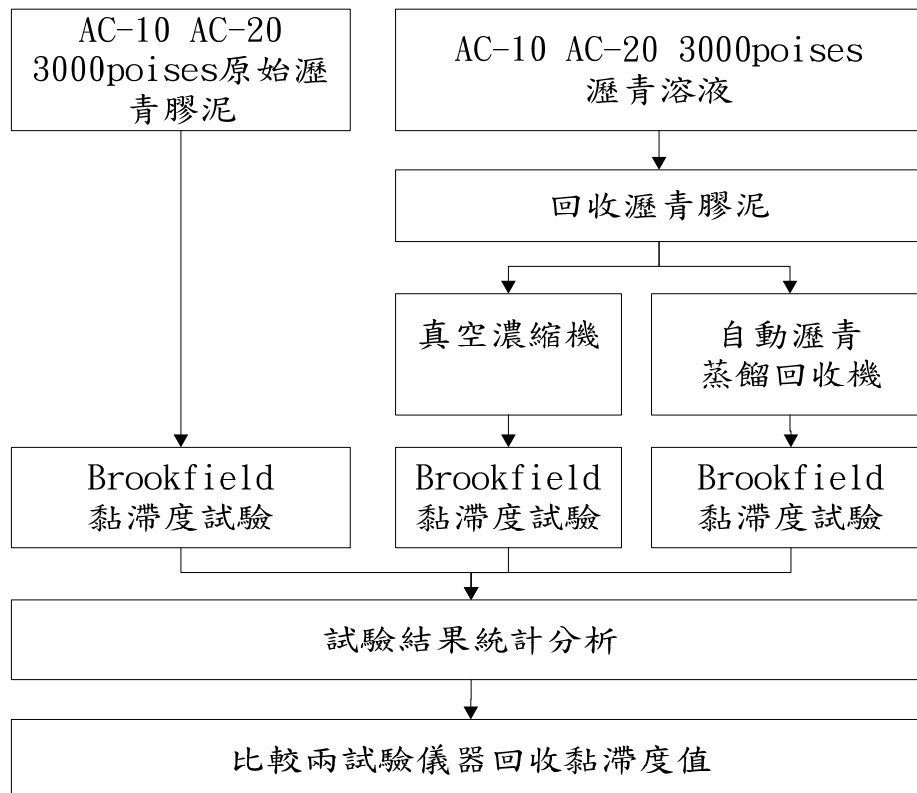


圖 3.2 試驗儀器精度與誤差驗證流程圖

3.3 試驗設備

3.3.1 瀝青混凝土之分離試驗設備

1. 離心機

(1) 試驗目的

適用於瀝青混合物試驗，藉離心機法分離瀝青與粗細粒料以測定瀝青混合物之瀝青含油量，及粗細粒料之留篩重量 (g)，留篩百分比 (%)，通過各號篩百分比，與拌合規定級配 (%) 之相差比率，以測定瀝青混合物中粗細粒料之顆粒大小分佈情形。

(2) 試驗儀器設備

離心機：轉速至 3600RPM 以上之離心機。

離心鉢：直徑 30cm、高 12cm 之離心鉢。

天秤：秤 5 kg 以下至 0.1g 之磅秤。

烘箱：能達 100°C 以上之烘箱。

溶劑：甲苯。

(3) 試驗步驟

A. 確定機器性能良好，離心機鉢內外乾淨無雜物。

B. 將瀝青混合物依取樣方法準備，放入鉢內均勻散開，加入甲苯至淹沒混合物。

C. 放置烘乾恆重之低灰份濾紙環，鎖緊上蓋靜置 40 min(勿超過

1hr)。

- D. 啟動按鈕使轉速逐漸增加至 3600RPM 以上。瀝青溶液將因離心作用，匯集於排洩孔而流入收集盆中。
- E. 重複 C 之步驟並加入溶劑三次以上，直至流出之溶液幾近潔淨為止。
- F. 旋開上蓋，小心取出濾紙環，並以毛刷將多餘細料刷入鉢內，連同鉢及濾紙環放入烘箱以(110°C±5°C)烘乾至恆重。
- G. 安全守則

操作人員於操作前，需確定排氣櫃之功能良好。從開始至結束，均需使排氣櫃維持排風狀態下運轉，並注意新鮮空氣之流通。操作人員均需穿戴防毒面具、護目鏡、防油防酸手套。試驗進行中於門外掛上“洗油測試中”之標示牌以告知他人，以防止意外發生。



圖 3.3 離心機

2. 高速離心機

(1) 試驗目的

適用於瀝青混合物試驗，藉高速離心機法分離經由離心機分離後所得之瀝青溶液，將瀝青溶液中經由高速離心將溶液中的灰份分離出來，測定抽出瀝青溶液殘留灰份。

(2) 試驗儀器設備

高速離心機：轉速至 10000 RPM 以上之高速離心機。

離心瓶：直徑 6.5cm、高 20cm 之離心瓶。

篩網：NO. 200 之潔淨篩網

(3) 試驗步驟

- A. 確定機器性能良好，高速離心機瓶內外乾淨無雜物。
- B. 開動高速離心機，待其轉速達 10000 RPM 以上且穩定時，將盆中溶液緩慢倒入高速離心機中。
- C. 待溶液完全經高速離心機分離完畢後，將高速離心機中之離心瓶取出，烘乾（ $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ）至恆重，秤重減去原重，即為溶液內灰份重量。
- D. 安全守則

操作人員於操作前，需確定排氣櫃之功能良好。從開始至結束，均需使排氣櫃維持排風狀態下運轉，並注意新鮮空氣之流通。操作人員均需穿戴防毒面具、護目鏡、防油防酸手套。



圖 3.4 高速離心機

3.3.2 瀝青混凝土之回收試驗設備

1. 自動瀝青蒸餾回收儀(Automatic Asphalt Distillation Recovery Methods, AADM)

(1) 試驗目的

回收瀝青混合料中的瀝青，回收瀝青可測針入度或再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)等方法，測回收瀝青物理性質，為再生瀝青混凝土之品質檢驗的重要項目。

(2) 試驗儀器設備

- 自動回收瀝青試驗儀本體：800 ml 蒸餾瓶，微電腦控制操作面板，電子式溫度偵測器，氮氣流量控制器，試驗時間控制設定器，使用電源電壓 100V-120V，打開電源後會有 7-8 秒蜂鳴聲。
- 冷卻水循環系統：聯接冷卻管，具水溫控制及循環水馬達，水溫控制能力足以使冷卻水保持在 10°C 以下之恆溫控制冷卻水槽。
- 氮氣(或二氧化碳)吹入系統：包括氮氣(或二氧化碳)鋼瓶，以鐵弗龍塑膠管連接至亞柏森自動回收瀝青試驗儀，調整氣壓壓力至 0.2MPa。

(3) 試驗步驟

- A. 氮氣吹入管置於回收燒瓶底部，溫度測定針至於離燒瓶底部 5 mm，將回收燒瓶置於儀器上。
- B. 打開氮氣開關使氮氣流入，冷卻管水流打開。
- C. 調整惰性氣體流量控制
Gas.1 氣體開關按壓向上，氣體流量計調整至 200cc/min
Gas.2 氣體開關按壓向下，氣體流量計調整至 1400cc/min
- D. 惰性氣體開始吹入溫度設定
Gas.1 135°C
Gas.2 157°C
- E. 確認氮氣吹入溫度控制與時間控制設定後，按壓 START 鍵開始試驗，加熱過程中有少量氮氣吹入。
- F. 紀錄計電源打開，按壓 RCD (Record) 開始記錄試驗過程之溫度記錄。
- G. 當加熱溫度至 Gas. 1 設定之溫度，Gas. 1 設定燈亮，氮氣自動吹入置回收燒瓶中，Gas. 2 相同。
- H. 當試驗溫度達 160°C，自動時間控制啟動，時間以遞減的方式表示。

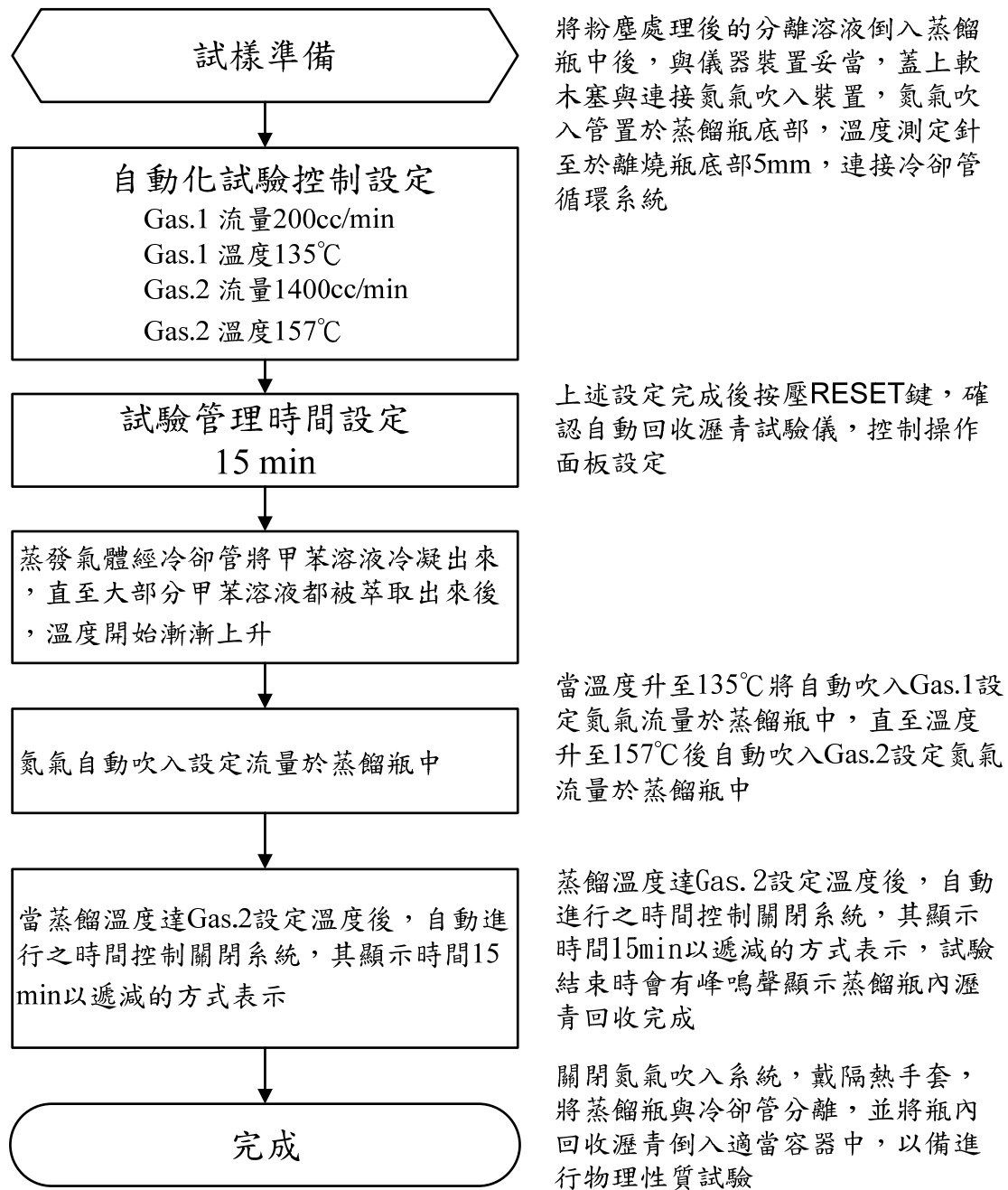


圖 3.5 自動回收瀝青試驗儀試驗流程圖

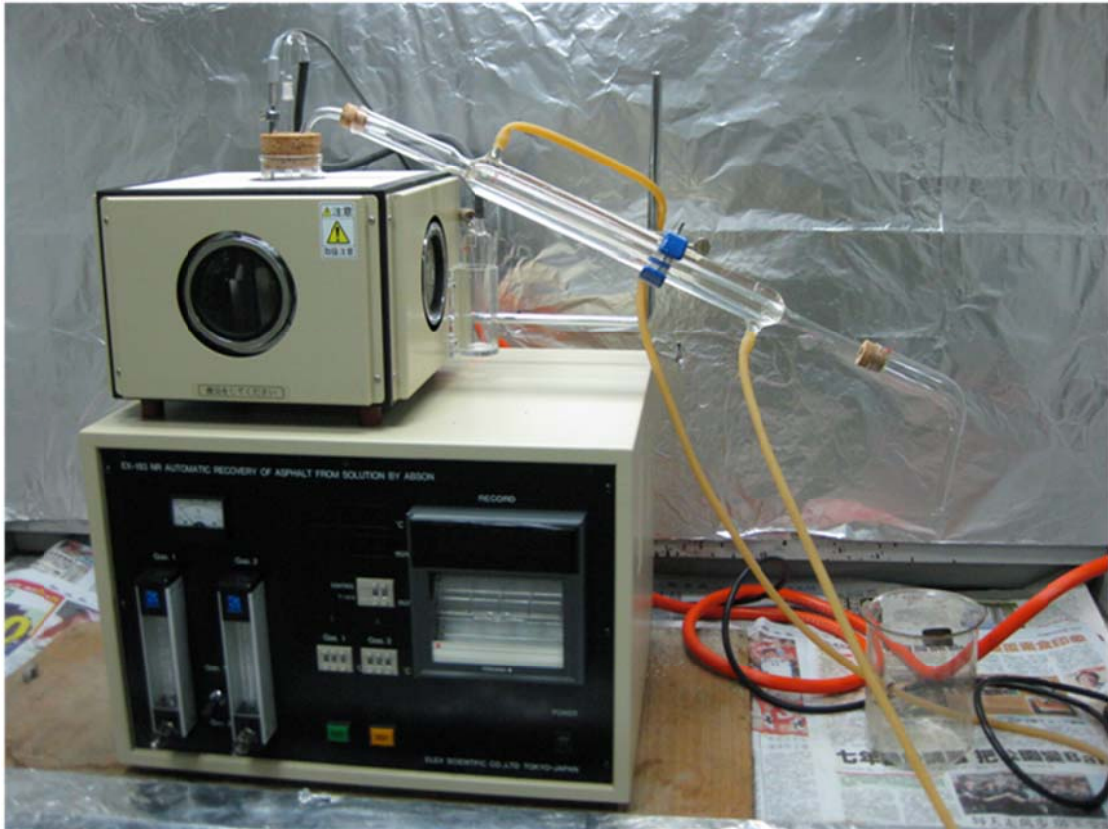


圖 3.6 自動回收瀝青試驗儀

2. 真空濃縮機回收設備(Vacuum Concentrator Method, VCM)

(1) 試驗目的

適用於回收瀝青混合料中的瀝青，回收瀝青可測針入度或再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)等方法，測回收瀝青物理性質，為再生瀝青混凝土之品質檢驗的重要項目。

(2) 試驗儀器設備

- 真空濃縮機本體：1,000ml 梨形蒸餾瓶，油浴槽控溫範圍應可達 180°C ，轉速範圍應至 100RPM 以上，具正確的油浴溫度及旋轉速度顯示。

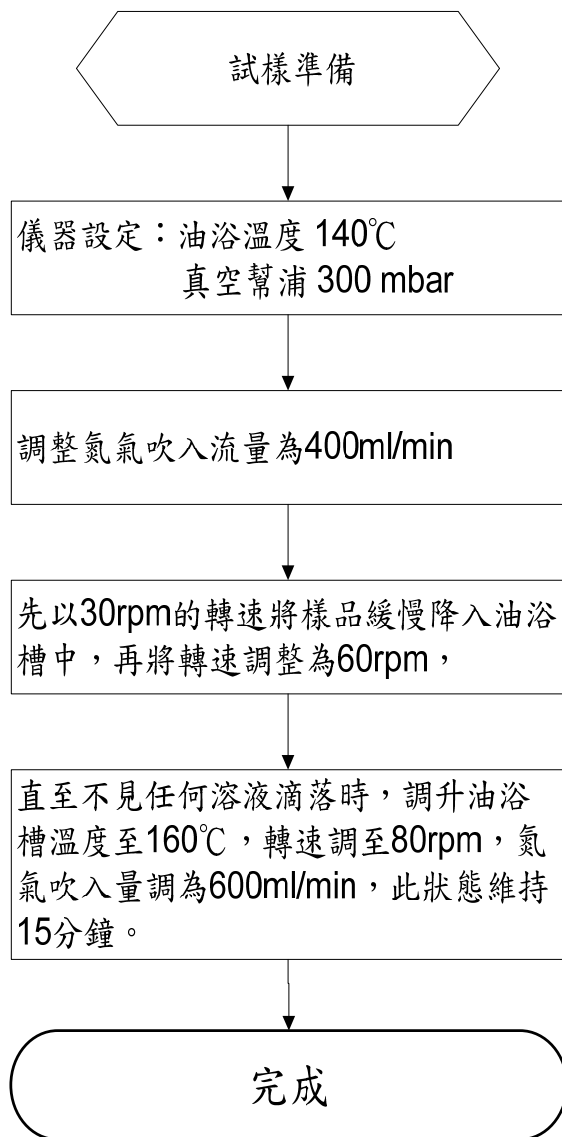
- 真空控制系統：具真空幫浦及真空控制器，能與濃縮機本體密接，真空控制範圍 $300\pm 30\text{mbar}$ (毫巴)。
- 冷卻水循環系統：聯接迴流分離法、冷凝蓋及濃縮機冷凝器，具水溫控制及循環水馬達，水溫控制能力足以使冷卻水保持在 10°C 以下，水槽之容量視連接之儀器套數而定，較多套數時，應使用容量較大的冷卻槽。
- 氮氣(或二氧化碳)吹入系統：包括氮氣(或二氧化碳)鋼瓶，浮球式流量計，流量控制範圍 $0\sim 1,000\text{ml/min}$ ，以鐵弗龍塑膠管連接至濃縮機之吹入口。
- 儀器裝配與聯接：迴流分離設備與真空濃縮設備可以共用一個冷卻水循環系統，對於大量品檢工作，亦可考慮聯接二座迴流分離設備和二座真空濃縮設備，此時應注意冷卻水循環系統之配合能力及真空幫浦的抽真空能力，有任何疑問時應詳細諮詢儀器製造商。

(3) 試驗步驟

- A. 將粉塵處理後的分離溶液倒入梨形蒸餾瓶中後，與真空濃縮機裝置妥當，油浴溫度設定為 140°C ，梨形蒸餾瓶不與矽油接觸，將真空控制器設定為 300mbar ，啟動真空系統。
- B. 當油浴溫度及真空度達設定值時，調整氮氣吹入之流量為

400ml/min.。

- C. 將梨形蒸餾瓶轉速調為低速旋轉狀態，以昇降把手緩降入油浴槽中，並將轉速調為 60RPM。蒸餾瓶入油深度所涵蓋之水平寬度，需大於蒸餾瓶內旋轉之瀝青溶液面的水平寬度。
- D. 觀察濃縮機冷凝器中溶劑滴落之狀態，若溶劑蒸氣高度超過冷凝器高度之 2/3 時應降低水溫；持續觀察，且不見任何溶劑滴落時，調升油浴槽溫度至 160°C。
- E. 當油浴溫度達 160°C 時，並將轉速調為 80RPM，氮氣吹入量調為 600ml/min.，以碼錶計時開始。
- F. 維持 E 之狀態 15 分鐘後試驗完成，依續關蒸餾瓶轉速、提升蒸餾瓶、關閉真空系統、關閉氮氣吹入系統。
- G. 戴隔熱手套，取下梨形蒸餾瓶，用吸油紙將瓶外矽油擦乾，並將瓶內回收瀝青倒入是當容器中，以備進行物理性質試驗。



注意事項

將粉塵處理後的分離溶液須先濃縮至一次可處理的適當量

蒸餾瓶不與矽油接觸

蒸餾瓶入油深度所涵蓋之水平寬度，需大於蒸餾瓶內旋轉之瀝青溶液面的水平寬度。

依續關蒸餾瓶轉速、提升蒸餾瓶、關閉真空系統、關閉氮氣吹入系統。戴隔熱手套，取下梨形蒸餾瓶，用吸油紙將瓶外矽油擦乾，並將瓶內回收瀝青倒入適當容器中，以備進行物理性質試驗。

圖 3.7 真空濃縮機瀝青回收試驗流程圖



圖 3.8 真空濃縮機

3.3.3 瀝青膠泥黏滯度試驗設備

(1) 試驗目的

量測瀝青膠泥的 60°C 黏度，當已知表面積的轉子浸入試樣管之瀝青中，以固定速度旋轉時，即對瀝青試樣產生一固定剪應變率，此時試樣對此轉動速率的抵抗力大小，經由儀器內部的扭力彈簧測得，經由適當換算成為造成轉動所需的剪應力，剪應力除以剪應變率即為瀝青試樣的黏度。

採用再生瀝青混凝土後，回收瀝青 60°C 黏度成為主要品質管制項目，對瀝青膠泥的黏度作檢測，以控制瀝青混凝土之品質。

(2) 試驗儀器設備

- 旋轉式黏度儀：由 Brookfield Engineering Laboratories 製造之旋轉式黏度儀，使用高黏度範圍之 HB 機型，配合加熱控制系統(Thermosel System)。
- 轉子(spindle)：選用 SC4 系列的轉子，計有 SC4-21、SC4-27、SC4-28、及 SC4-29 等四種轉子，其中以 SC4-28 和 SC4-29 兩轉子最適於測瀝青膠泥的 60°C 黏度。

(3) 試驗步驟

- A. 試樣準備：取得代表性瀝青試樣，加熱至可流動後，攪拌均勻，並取出約 20~50ml 裝至適當容器，放入烘箱加熱至 135±5 °C，加熱時需注意攪拌均勻、避免局部過熱、及空氣陷入。按表 3.1 之試樣量裝入試樣管內，表 3.1 中的試樣量乃以體積表示，可將瀝青之密度視為 1.0，而以克數代替，此樣品量應可使轉子浸入後試樣液面約在轉子圓錐面與柱面交接處上 3.2mm 處。

表 3.1 HB 系列布魯克黏度儀之施測黏度範圍與使用樣品量

轉子 型號	施測黏度範圍 poise, P (0.1Pa·s)			樣品量 (ml)
	HBT	HBDV-II ⁺	HBDV-III	
SC4-21	4-8,000	4-13,000	1.6-40,000	8.0
SC4-27	20-40,000	20-67,000	8-200,000	10.5
SC4-28	40-80,000	40-133,000	16-400,000	11.5
SC4-29	80-160,000	80-267,000	32-800,000	13.0

- B. 將旋轉式黏度儀打開，試驗溫度設定為 60°C ，將裝妥試樣之試樣管置入加熱槽內，並依儀器之操作手冊，依序執行歸零及輸入轉子代號兩步驟。
- C. 等加熱槽內溫度達設定之 60°C 後再約 30 分鐘，將選定的轉子安裝好，慢慢降低儀器本體，因轉子溫度較低，要馬上浸入試樣中會有困難，應逐步等轉子溫度升高後再浸入。
- D. 轉子浸入試樣內 40 分鐘後(或整體溫度達平衡後)即可開始由較慢轉速進行試驗。(若扭力%在 2%以下，則應放棄讀數，改用較大轉速。)
- E. 以選定轉速，轉動 60 秒後開始依序記錄轉速、扭力%、剪應力、剪應變率、黏度等數據。
- F. 更換轉速，重覆 7.5 步驟依序記錄試驗值，轉速較大時，若扭力%大於 98%，則應停止試驗，最好獲得三個以上不同轉速之記錄，並將數據中的扭力%分佈於 2%~98%之間。
- G. 完成試驗，抬高儀器本體將轉子取出清洗，試樣管可擺入烘箱中將瀝青烘至高溫並倒出，以方便試樣管清洗。



圖 3.10 Brookfield 黏滯度試驗儀

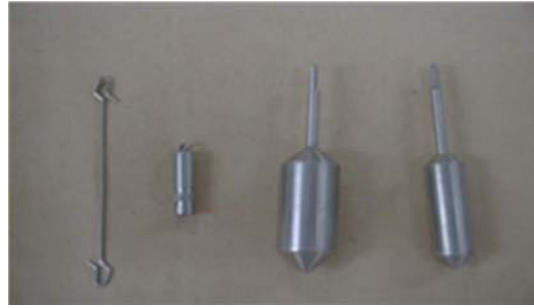


圖 3.9 黏滯度試驗轉子

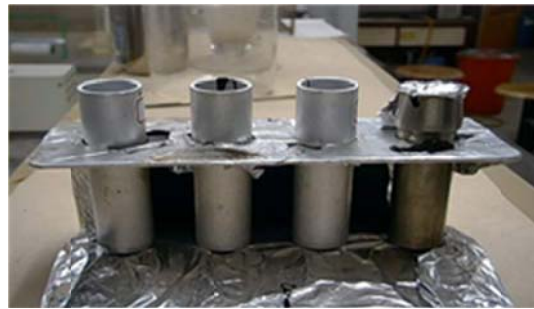


圖 3.11 黏滯度試驗儀容器

第四章 試驗結果分析

再生瀝青混凝土與傳統瀝青混凝土在配合設計上的最大差異為再生配合設計必須先對刨除廢料之材料性質有充份的瞭解，因此必須對刨除廢料進行分離及回收試驗，以瞭解其含油量、回收瀝青膠泥之物性及粒料性質和級配情形。然而在分離及回收試驗上遭遇到的最大困難是在回收瀝青膠泥時，如何把瀝青膠泥中的粉塵及甲苯完全分離出來，因為這兩者對於瀝青膠泥之物性影響很大，將嚴重影響到配合設計時再生劑之添加量及混凝土最終產物之品質。

目前之分離回收之方法及其整個作業時程與操作員熟練度等，使得廠商難以落實檢驗，再生瀝青混凝土之品質檢驗難以落實，本研究將透過傳統瀝青回收檢驗方法與自動化回收法之比較，建議最適分離回收之方法與作業流程。

4.1 VCM 與 AADM 之回收黏滯度值與真值之比較

4.1.1 VCM 與 AADM 之回收黏滯度 1000 poises 之差異比較

下表 4.1 為 AC-10 黏滯度試驗結果包含 AC-10 原始瀝青膠泥黏滯度，與透過兩種儀器將溶於甲苯溶液中的 AC-10 回收出來的黏滯度試驗結果，透過表 4.2 單因子變異數分析結果得知在 AC-10 等級下之瀝青膠泥黏滯度結果，在顯著水準 5% 時 F 的臨界值為 $F_{2,5,0.05}=5.79$ ，由於檢定統計量 $F=218.835$ 大於臨界值，因此可知在 $\alpha=5\%$ 水準下，

兩種儀器所回收之瀝青膠泥黏滯度與原始瀝青膠泥黏滯度有顯著差異。

經由 t 檢定與多重比較法中的 Bonferroni 法檢定在 $\alpha=5\%$ 水準下，比較兩兩組別之間是否有統計上顯著的差異，其檢驗結果如下表 4.3 與表 4.4 所示，檢定結果皆顯示 AC-10 等級之瀝青膠泥，於兩儀器回收黏滯度結果與原始瀝青膠泥皆有顯著差異。

表 4.1 AC-10 驗證回收黏滯度試驗結果

AC-10 黏滯度	原始瀝青膠泥	AADM	VCM
1	1217	1567	1860
2	1247	1580	1953
3		1620	1910
平均值	1232	1589	1908

單位: poises

表 4.2 AC-10 回收黏滯度單因子變異數分析

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值
組間	552222	2	276111	218.835
組內	6308	5	1261	
總和	558530	7		

表 4.3 AC-10 回收黏滯度 t 檢定表

回收方法	原始瀝青膠泥	AADM	VCM
原始瀝青膠泥	-	●	●
真空濃縮機	●	-	●
自動瀝青蒸餾回收機	●	●	-

●:有顯著差異 ○:無顯著差異

表 4.4 AC-10 回收黏滯度多重比較檢定

多重比較 Bonferroni 法	平均差異	標準誤	95%信賴區間		顯著性
			下界	上界	
AC-10 AADM	-357.000	32.426	-471.597	-242.403	0.000 ●
VCM	-675.667	32.426	-790.264	-561.070	0.000 ●
AADM AC-10	357.000	32.426	242.403	471.597	0.000 ●
VCM	-318.667	29.003	-421.165	-216.168	0.000 ●
VCM AC-10	675.667	32.426	561.070	790.264	0.000 ●
AADM	318.667	29.003	216.168	421.165	0.000 ●

在 0.05 的水準上的平均差異 ●:有顯著差異 ○:無顯著差異

4.1.2 VCM 與 AADM 之回收黏滯度 2000 poises 之差異比較

下表 4.5 為 AC-20 黏滯度試驗結果包含 AC-20 原始瀝青膠泥黏滯度，與透過兩種儀器將溶於甲苯溶液中的 AC-20 回收出來的黏滯度試驗結果，透過表 4.6 單因子變異數分析結果得知在 AC-20 等級下之瀝青膠泥黏滯度結果，在顯著水準 5% 時 F 的臨界值為 $F_{2,5,0.05}=5.79$ ，由於檢定統計量 $F=34.887$ 大於臨界值，因此可知在 $\alpha=5\%$ 水準下，AC-20 等級之兩種儀器所回收瀝青膠泥黏滯度與原始瀝青膠泥黏滯度有顯著差異。

經由 t 檢定與多重比較法中的 Bonferroni 法檢定在 $\alpha=5\%$ 水準下，比較兩兩組別之間是否有統計上顯著的差異，其檢驗結果如下表 4.7 與表 4.8 所示，檢定的結果皆顯示 AC-20 等級之瀝青膠泥，於兩儀器回收黏滯度結果與原始瀝青膠泥皆有顯著差異。

表 4.5 AC-20 驗證回收黏滯度試驗結果

AC-20 黏滯度	原始瀝青膠泥	AADM	VCM
1	1713	2080	2550
2	1850	2230	2380
3		2170	2590
平均值	1782	2160	2507

單位: poises

表 4.6 AC-20 回收黏滯度單因子變異數分析

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值
組間	637046	2	318523	34.887
組內	45651	5	9130	
總和	682697	7		

表 4.7 AC-20 回收黏滯度 t 檢定表

回收方法	原始瀝青膠泥	AADM	VCM
原始瀝青膠泥	-	●	●
真空濃縮機	●	-	●
自動瀝青蒸餾回收機	●	●	-

●:有顯著差異 ○:無顯著差異

表 4.8 AC-20 回收黏滯度多重比較檢定

多重比較 Bonferroni 法		平均差異	標準誤	95%信賴區間		顯著性	
				下界	上界		
AC-20	AADM	-378.500	87.227	-686.769	-70.231	0.022	●
	VCM	-725.167	87.227	-1033.436	-416.897	0.001	●
AADM	AC-20	378.500	87.227	70.231	686.769	0.022	●
	VCM	-346.667	78.018	-622.391	-70.942	0.020	●
VCM	AC-20	725.167	87.227	416.897	1033.436	0.001	●
	AADM	346.667	78.018	70.942	622.391	0.020	●

在 0.05 的水準上的平均差異 ●:有顯著差異 ○:無顯著差異

4.1.3 VCM 與 AADM 之回收黏滯度 3000 poises 之差異比較

下表 4.9 為 3000poises 黏滯度試驗結果包含 3000 poises 原始瀝青膠泥黏滯度，與透過兩種儀器將溶於甲苯溶液中的 3000 poises 回收出來的黏滯度試驗結果，透過表 4.10 單因子變異數分析結果得知在 3000 poises 等級下之瀝青膠泥黏滯度結果，在顯著水準 5%時 F 的臨界值為 $F_{2,5,0.05}=5.79$ ，由於檢定統計量 $F=29.709$ 大於臨界值，因此可知在 $\alpha=5\%$ 水準下，3000 poises 等級之兩種儀器所回收瀝青膠泥黏滯度與原始瀝青膠泥黏滯度有顯著差異。

t 檢定與多重比較法中的 Bonferroni 法檢定在 $\alpha=5\%$ 水準下，比較兩兩組別之間是否有統計上顯著的差異，其檢驗結果如下表 4.11 與表 4.12 所示，t 檢定與 Bonferroni 法檢定的結果皆顯示 3000poises 等級之瀝青膠泥，原始瀝青膠泥與自動瀝青蒸餾回收機之黏滯度試驗結果無顯著差異，而真空濃縮機之試驗結果與兩者之間有顯著差異。

表 4.9 3000poises 驗證回收黏滯度試驗結果

	原始瀝青膠泥	AADM	VCM
1	2773	3740	4330
2	2970	3270	4320
3		3110	4520
平均值	2872	3373	4390

單位: poises

表 4.10 3000 poises 回收黏滯度單因子變異數分析

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值
組間	3081071	2	1540535	29.709
組內	259271	5	51854	
總和	3340342	7		

表 4.11 3000 poises 回收黏滯度 t 檢定表

回收方法	原始瀝青膠泥	AADM	VCM
原始瀝青膠泥	-	○	●
AADM	○	-	●
VCM	●	●	-

●:有顯著差異 ○:無顯著差異

表 4.12 3000 poises 回收黏滯度多重比較檢定

多重比較		平均差異	標準誤	95%信賴區間		顯著性	
Bonferroni 法				下界	上界		
AC-30	AADM	-501.833	207.875	-1236.485	232.819	0.182	○
	VCM	-1518.500	207.875	-2253.152	-783.848	0.002	●
AADM	AC-30	501.833	207.875	-232.819	1236.485	0.182	○
	VCM	-1016.667	185.929	-1673.759	-359.574	0.008	●
VCM	AC-30	1518.500	207.875	783.848	2253.152	0.002	●
	AADM	1016.667	185.929	359.574	1673.759	0.008	●

在 0.05 的水準上的平均差異●:有顯著差異○:無顯著差異

4.1.4 小結

本研究經由 AC-10、AC-20 與 3000poises 三種不同等級瀝青膠泥回收黏滯度試驗，比較兩種儀器回收瀝青膠泥之精度，透過單因子變異數分析、t 檢定與 Bonferroni 法檢定的結果顯示，此兩種儀器回收黏滯度與原始瀝青膠泥黏滯度之試驗值皆存在著顯著差異，而 t 檢定與 Bonferroni 法檢定的結果除了在 3000poises 等級下，原始瀝青膠泥與自動瀝青蒸餾回收儀之試驗值無顯著差異，其餘檢定之結果皆有顯著差異。

由下圖 4.1 試驗結果發現兩種儀器所回收之黏滯度試驗值皆高於原始瀝青黏滯度值，但使用自動瀝青蒸餾回收儀的回收黏滯度值，比起一般實驗室常用的真空濃縮機的回收黏滯值，更接近原始瀝青黏滯度值。

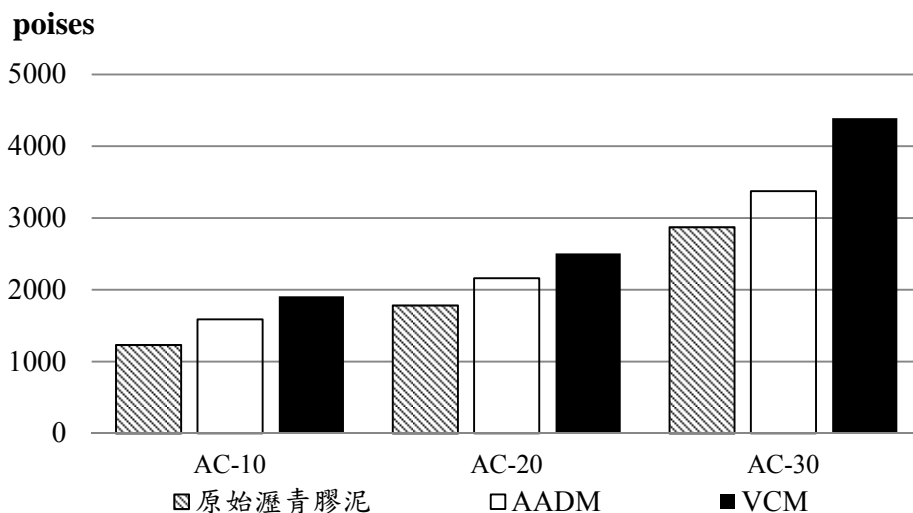


圖 4.1 回收黏滯度試驗結果

4.2 VCM 與 AADM 之回收黏滯度試驗結果分析

4.2.1 回收黏滯度值變異分析

本研究試驗回收黏滯度樣本，為台北市政府路平專案送驗廠商瀝青混凝土黏滯度試驗，在使用相同樣本分別進行兩種儀器之回收作業，試驗樣本皆為新拌瀝青混凝土，由北市取樣人員前往拌合場取樣，再送至中央大學品保中心進行試驗，其試驗結果如下表 4.13-20 所示，將其試驗結果進行標準差與變異係數計算，比較兩儀器回收黏滯度值之離勢大小及試驗值的穩定性，標準差與變異係數愈小顯示試驗結果之間的變異越小。

由下表 4.21 與下圖 4.2 可以得知黏滯度試驗結果，標準差與變異係數 VCM 大於 AADM，可顯示自動瀝青蒸餾回收機回收瀝青黏滯度值之間的數值變異較小。

比較黏滯度試驗結果，自動瀝青蒸餾回收機所回收之瀝青膠泥黏滯度平均值皆略低於真空濃縮機，與前一章節之試驗結果符合，可推測使用自動瀝青蒸餾回收機之黏滯度試驗結果，可能較為接近瀝青混和料黏滯度之實際的真值。

表 4.13 A 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	2710	2663
2	2890	2433
3	2987	2507
平均值	2862	2534

表 4.14 B 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	3903	3170
2	3623	2933
3	3980	3020
平均值	3835	3041

表 4.15 C 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	2200	2156
2	2270	2237
3	2050	2163
平均值	2173	2185

表 4.16 E 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	1900	1590
2	1490	1770
3	1923	1777
平均值	1771	1712

表 4.17 F 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	4337	3988
2	5227	4550
3	5050	4603
平均值	4871	4380

表 4.18 G 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	3683	2900
2	3863	2700
3	4160	2847
平均值	3902	2816

表 4.19 H 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	3900	2686
2	3267	2497
3	3223	2993
平均值	3463	2725

表 4.20 I 廠黏滯度試驗結果

樣本	VCM	AADM
1	10600	8323
2	9120	8737
3	10233	8666
平均值	9984	8575

表 4.21 回收黏滯度值變異程度比較表

樣本	回收儀器	標準差	變異係數	顯著性
A	AADM	117.41	4.63	●
	VCM	140.56	4.91	
B	AADM	119.89	3.94	●
	VCM	187.87	4.90	
C	AADM	44.88	2.05	○
	VCM	112.40	5.17	
E	AADM	106.00	6.19	○
	VCM	243.62	13.76	
F	AADM	340.80	7.78	○
	VCM	471.13	9.67	
G	AADM	103.62	3.68	●
	VCM	240.88	6.17	
H	AADM	250.33	9.19	●
	VCM	378.80	10.94	
I	AADM	221.39	2.58	●
	VCM	770.70	7.72	

●:有顯著差異 ○:無顯著差異

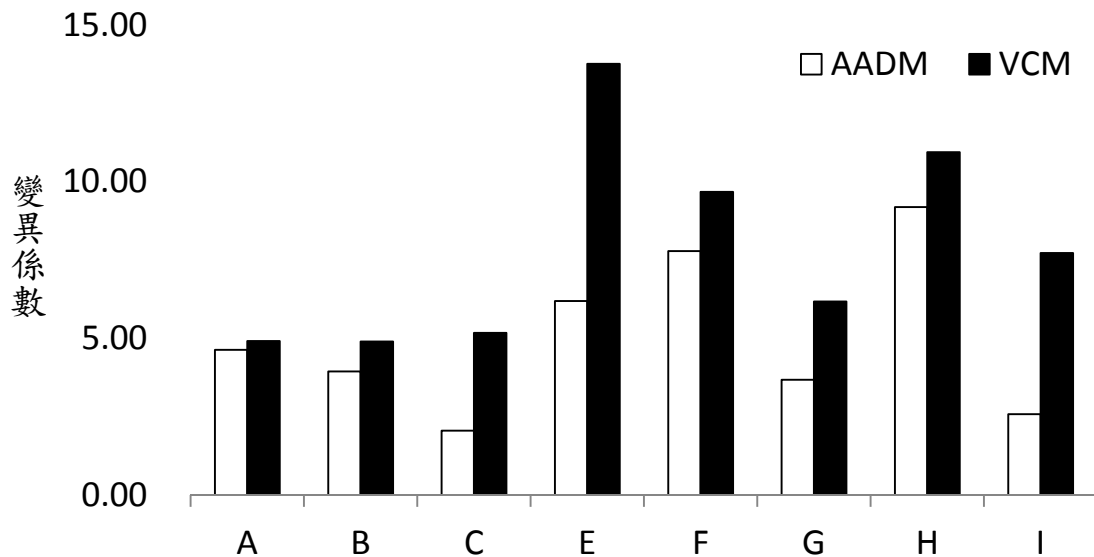


圖 4.2 黏滯度量測變異係數比較圖

4.2.2 回收黏滯度人員與取樣變異分析

本小節探討人員因素與取樣因素，對於瀝青混和料回收黏滯度試驗結果之變異程度，因此透過相同樣本不同人員進行瀝青溶液回收作業，和相同人員分別量測來自同一母體之不同取樣樣本進行回收瀝青黏滯度分析，透過變異數分析個別探討人員因素與取樣因素之變異。

1. 人員因素變異探討

本試驗以同一批瀝青混合料使用離心機與高速離心機進行分離作業，因考量單次分離作業之瀝青溶液樣本量不足，故以同一批混合料樣本進行 4 組分離作業，將所得到之 4 杯瀝青溶液倒入較大之容器使之充分混合，此一步驟為消除因不同之分離作業造成之試驗誤差，並確保以不同人員進行試驗之樣本為相同之試驗樣本。

試驗部分由上一步驟所得之相同試驗樣本，透過 3 名不同人員進行瀝青膠泥回收作業，相同之樣本透過自動瀝青蒸餾回收機(AADM)與真空濃縮儀(VCM)各做 3 組試驗，取得之回收瀝青膠泥再以 Brookfield 黏滯度儀進行黏滯度試驗，其試驗結果如下表所示：

表 4.22 不同人員黏滯度試驗表

人員	AADM			VCM		
	1	2	3	1	2	3
	2900	2930	3170	3683	4026	4873
	2700	3130	3163	3863	3633	4320
	2847	3163	2860	4160	4860	4590
平均值	2816	3074	3064	3902	4173	4594
總平均值	2985			4223		
標準差	174.91			472.29		
變異係數	5.86%			11.18%		
組間變異	128844			730288		
組內變異	115918			1054157		
總變異	244762			1784445		

單位:poises

表 4.23 AADM 人員因素回收黏滯度變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值
組間	128844	2	64422	3.335
組內	115918	6	19319	
總和	244761	8		

表 4.24 VCM 人員因素回收黏滯度變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值
組間	730288	2	365144	2.078
組內	1054157	6	175693	
總和	1784445	8		

表 4.25 AADM 人員因素回收黏滯度多重比較檢定

多重比較 Bonferroni 法	平均差異	標準誤	95%信賴區間		顯著性
			下界	上界	
人員 1 人員 2	-258.6667	113.4891	-631.7570	114.4237	0.189 ○
	人員 3	-248.6667	113.4891	-621.7570	124.4237
人員 2 人員 1	258.6667	113.4891	-114.4237	631.7570	0.189 ○
	人員 3	10.0000	113.4891	-363.0904	383.0904
人員 3 人員 1	248.6667	113.4891	-124.4237	621.7570	0.213 ○
	人員 2	-10.0000	113.4891	-383.0904	363.0904

在 0.05 的水準上的平均差異●:有顯著差異○:無顯著差異

表 4.26 VCM 人員因素回收黏滯度多重比較檢定

多重比較 Bonferroni 法	平均差異	標準誤	95%信賴區間		顯著性
			下界	上界	
人員 1 人員 2	-271.0000	342.2404	-1396.1001	854.1001	1.000 ○
	人員 3	-692.3333	342.2404	-1817.4334	432.7668
人員 2 人員 1	271.0000	342.2404	-854.1001	1396.1001	1.000 ○
	人員 3	-421.3333	342.2404	-1817.4334	703.7668
人員 3 人員 1	692.3333	342.2404	-432.7668	1817.4334	0.269 ○
	人員 2	421.3333	342.2404	-703.7668	1546.4334

在 0.05 的水準上的平均差異●:有顯著差異○:無顯著差異

經由不同人員試驗相同之樣本透過變異數分析的結果，在顯

著水準 5%時 F 的臨界值 $F_{2,6,0.05} = 5.14$ ，AADM 與 VCM 變異數分析之 F 值皆小於臨界值，故認為經過教育訓練之人員，透過標準操作程序操作儀器之試驗結果無顯著差異。

多重比較法之結果顯示人員與人員之間在個別操作 AADM 與 VCM 上，在 0.05 的水準下其試驗結果無顯著差異。而 AADM 結果在人員操作的組間及組內變異程度上，遠小於 VCM 之試驗結果，因此可認為 AADM 在同一人員操作與不同人員操作之變異程度，其試驗結果之穩定性皆高於 VCM。

2. 取樣因素變異探討

本研究在探討取樣因素對於試驗結果之影響，其試驗樣本以台北市政府路平專案黏滯度送驗樣本探討，取樣人員於拌合廠取樣時，取同一批瀝青混合料分別取樣三桶，在由同一量測人員進行瀝青混合料之分離回收作業，探討自動瀝青蒸餾回收機與真空濃縮儀，於回收作業時取樣因素之變異，試驗結果如下表所示：

表 4.27 不同取樣黏滯度試驗表

取樣	AADM			VCM		
	1	2	3	1	2	3
	2900	3260	3463	3683	4230	4960
	2700	3123	3280	3863	4380	4633
	2847	3160	3533	4160	4723	4688
平均值	2816	3181	3425	3902	4444	4760
總平均值	3141			4369		
標準差	280.74			423.65		
變異係數	8.94%			9.70%		
組間變異	564861			1130718		
組內變異	65651			305091		
總變異	630512			1435809		

單位:poises

表 4.28 AADM 取樣因素回收黏滯度變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值
組間	1130718	2	282430	25.812
組內	305091	6	10941	
總和	1435809	8		

表 4.29 VCM 取樣因素回收黏滯度變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	平均平方和	F 值
組間	564861	2	565359	11.118
組內	65651	6	50849	
總和	630512	8		

表 4.30 AADM 取樣因素回收黏滯度多重比較檢定

多重比較		平均差異	標準誤	95%信賴區間		顯著性	
Bonferroni 法				下界	上界		
取樣 1	取樣 2	-365.3333	85.4084	-646.1096	-84.5571	0.016	●
	取樣 3	-609.6667	85.4084	-890.4429	-328.8904	0.001	●
取樣 2	取樣 1	365.3333	85.4084	84.5571	646.1096	0.016	●
	取樣 3	-244.3333	85.4084	-525.1096	36.4429	0.086	○
取樣 3	取樣 1	609.6667	85.4084	328.8904	890.4429	0.001	●
	取樣 2	244.3333	85.4084	-36.4429	525.1096	0.086	○

在 0.05 的水準上的平均差異●:有顯著差異○:無顯著差異

表 4.31 VCM 取樣因素回收黏滯度多重比較檢定

多重比較		平均差異	標準誤	95%信賴區間		顯著性	
Bonferroni 法				下界	上界		
取樣 1	取樣 2	-542.3333	184.1169	-1147.6094	62.9428	0.077	○
	取樣 3	-858.3333	184.1169	-1463.6094	-253.0572	0.010	●
取樣 2	取樣 1	542.3333	184.1169	-62.9428	1147.6094	0.077	○
	取樣 3	-316.0000	184.1169	-921.2761	289.2761	0.411	○
取樣 3	取樣 1	858.3333	184.1169	253.0572	1463.6094	0.010	●
	取樣 2	316.0000	184.1169	-289.2761	921.2761	0.411	○

在 0.05 的水準上的平均差異●:有顯著差異○:無顯著差異

經由同一人員試驗送驗取樣之 3 桶相同之樣本，探討取樣因素對於試驗結果之變異，透過變異數分析的結果，在顯著水準 5% 時 F 的臨界值 $F_{2,6,0.05} = 5.14$ ，AADM 與 VCM 變異素分析之 F 值皆大於臨界值，故認為經過教育訓練之人員，透過標準操作程序操作儀器之試驗結果，不同取樣之試驗結果仍有顯著差異。

多重比較法之結果顯示在 0.05 的水準下，AADM 之檢定結果

取樣 1 與取樣 2、3 之間有顯著差異，而取樣 2 與取樣 3 之間無顯著差異；VCM 之檢定結果取樣 1 與取樣 3 之間有顯著差異，而取樣 2 與取樣 1、3 之間無顯著差異。

4.3 VCM 與 AADM 之儀器與方法之差異比較

4.3.1 儀器設備

本研究於瀝青混和料分離作業上，一般目前實驗室普遍使用的離心機與高速離心機，瀝青膠泥回收分別採用真空濃縮機與自動瀝青蒸餾回收機。

在兩種儀器設備的比較上，除了試驗儀器本體外接需要連接水冷卻循環系統與氮氣吹入裝置，水冷卻循環系統使蒸發氣體經過冷凝管將甲苯溶液慢慢冷凝出來，氮氣吹入系統可降低瀝青膠泥於加熱過程老化，與防止因加熱造成蒸餾瓶內壓力過高產生爆炸之危險。

自動化蒸餾回收儀與真空濃縮機在儀器設備上主要的差異，在於加熱油浴槽與真空控制系統，由於兩種儀器加熱方式的不同，自動化蒸餾回收儀採用試驗機本體上電子加熱線圈，直接加熱於蒸餾瓶底部，而真空濃縮機則經由加熱油浴槽透過矽油間接加熱蒸餾瓶方式。

表 4.32 兩種儀器設備比較表

儀器設備	自動化蒸餾回收儀	真空濃縮儀
試驗機本體	○	○
水冷卻循環系統	○	○
氮氣吹入系統	○	○
加熱油浴槽		○
真空控制系統		○

4.3.2 回收作業程序

1. 試驗樣本準備

兩種儀器在試驗樣本的準備上並無差異，皆為經高速離心將粉塵處理過後之分離容易倒入蒸餾瓶中。

2. 試驗前儀器設定與準備

兩儀器皆須確認水冷卻循環系統溫度及氮氣吹入系統與本機連接無誤，而真空濃縮機須等加熱油浴槽溫度達到試驗溫度 140 度。

自動化蒸餾回收儀於試驗前，透過試驗機本體操作面板預先設定回收過程階段一與階段二之溫度、氮氣輸入流量及階段二回收時間控制，透過試驗機為電腦自動化控制。

表 4.33 試驗前儀器設定與準備比較表

自動瀝青蒸餾回收儀	真空濃縮機
設定回收過程階段一與階段二支溫度、氮氣輸入量及時間	等候油浴溫度到達第一階段回收溫度

3. 試驗進行中作業程序

真空濃縮機於試驗進行中需人為去控制調整，階段一與階段二實驗進行中之真空抽氣量與氮氣吹入量，並且需自行判斷階段一結束時間，透過眼睛觀察直到不見甲苯溶液滴落時，再進行第階段二回收作業，實驗人為控制變因多，且操作員需時時在旁調整真空抽氣量與氮氣吹入流量。

自動化蒸餾回收儀於試驗進行前，由微電腦控制預先設定實驗控制變因，可減少因人為控制所產生之誤差，試驗進行中操作員不需要時時注意回收過程，試驗結束會發出蜂鳴聲通知已完成瀝青膠泥之回收作業，簡化試驗進行之步驟。

表 4.34 試驗進行中作業程序比較表

自動瀝青蒸餾回收儀	真空濃縮機
階段一與階段二之回收控制變因微電腦自動化控制	人工控制變因，操作員需時時在旁調整，真空抽氣量與氮氣輸入量

4.3.3 回收作業時間

本研究於兩種儀器在回收作業上時間之比較，考量到回收瀝青溶液之量與濃度，會影響到溶液第一階段回收時間，因此採用相同濃度之瀝青溶液與試驗量 400ml，分別進行回收作業時間之比較，試驗時間結果如下表 4.36 所示，其結果顯示兩種儀器在回收作業時間上相差不大。

表 4.35 兩儀器回收時間比較表

	自動瀝青蒸餾回收儀	真空濃縮機
試樣一	51	45
試樣二	53	50
試樣三	55	50

單位:min

4.3.4 建議最適回收作業

本研究經由上述儀器設備之比較，與整個回收作業手續之簡化，建議可採用自動瀝青蒸餾回收機取代真空濃縮機進行瀝青膠泥回收作業，由微電腦控制預先設定實驗控制變因，可減少因人為控制所產生之誤差，且由試驗之結果可得知自動瀝青蒸餾回收機之回收瀝青黏滯度值較真空濃縮機，更為接近瀝青混和料黏滯度真值。

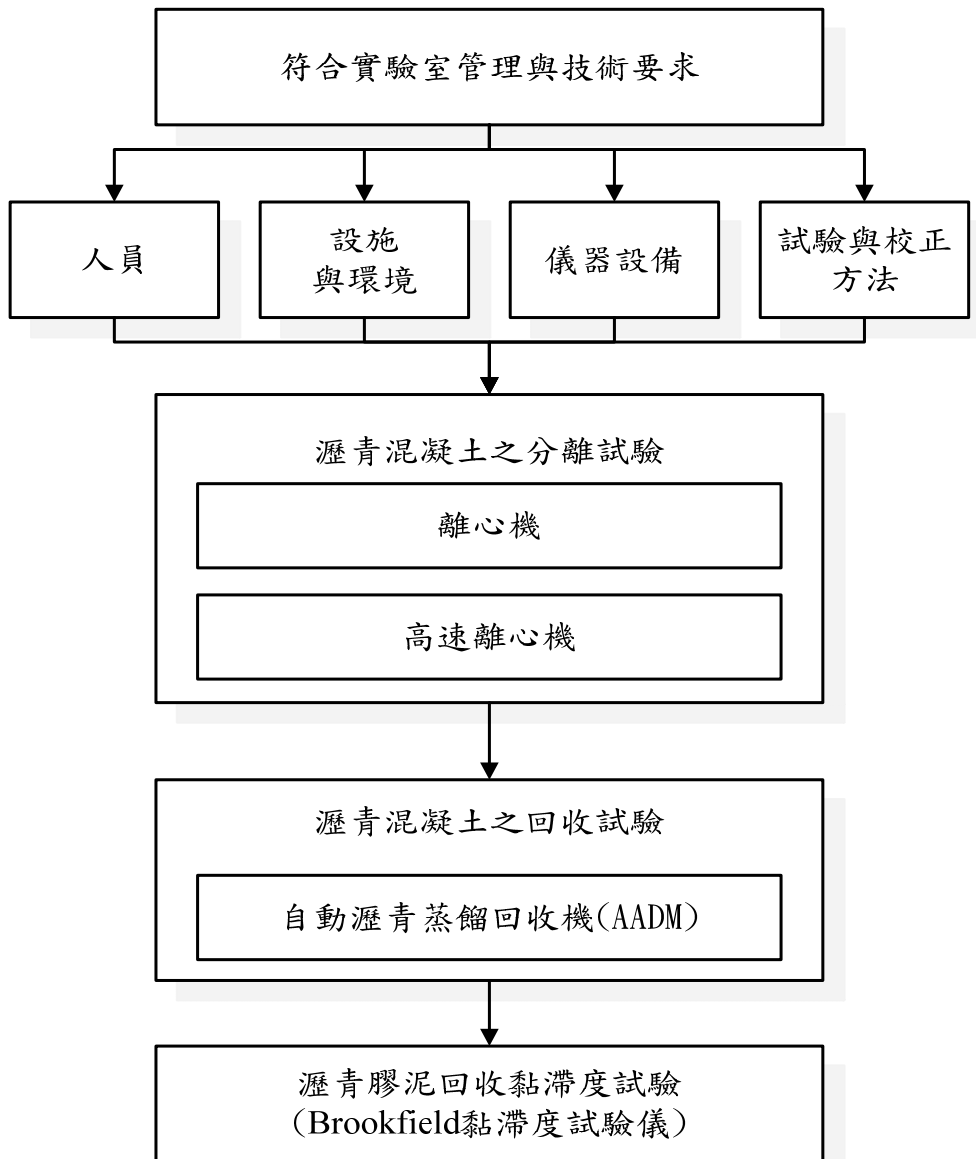


圖 4.3 建議最適回收作業流程圖

第五章 提升再生混凝土之品質管理初擬

5.1 再生瀝青混凝土抽樣時機之訂定與品質檢驗

5.1.1 建議抽樣時間點之訂定

為落實熱拌再生瀝青混凝土的使用，確保熱拌瀝青混凝土的品質是成功的關鍵，整體品管查證與管制的機制即在產製及施工的過程中予以有效的管制及系統化的步驟，使得熱拌再生瀝青混凝土的鋪面品質合於規範的要求。

而參照公共工程施工品質管理制度所訂定的三個層級品質管理組織架構，再生拌合廠的自主品管，監造單位負責品質查證作業，承包商負責品質管制作業，以確保熱拌再生瀝青混凝土產品品質。工程主辦機關為了有效控制熱拌再生混凝土鋪面品質，可透過再生瀝青混凝土的抽樣檢驗，查證再生瀝青混凝土生產品質是否符合，路面鋪設的品質要求，若生產及施工時品質管控不良將導致路面容易失敗，路面鋪設品質不良輕則影響行車舒適性，重則可能發生交通事故，使得民眾生命財產造成損失。

品質查證包含施工前查證熱拌再生瀝青混凝土原料，包含刨除料、新粒料、新瀝青等，另外查證配合設計報告書及再生拌合廠的審查。施工中及施工後，查證熱拌再生瀝青混凝土拌合料材料品質，及路面鋪設品質。主辦單位監造人員及承包商監工人員，可透過再生瀝青混

凝土之檢驗時機，將建議再生瀝青混凝土收樣時機，確保廠商所生產的再生瀝青混凝土品質，以下為建議之再生瀝青混凝土抽樣時機。

1. 工廠驗廠配比試拌取樣

主辦單位監造人員及承包商監工人員，於進行再生瀝青混凝土拌合廠驗廠作業時，依照再生拌合廠所提出的配合設計報告進行試拌，將試辦之成品取樣，送相關能力實驗室執行檢驗作業，將此試拌之試驗結果，作為品質查證之標準參考組。

2. 隨機工廠取樣

再生瀝青混凝土工程進行時，主辦單位監造人員及承包商若無進行駐廠作業時，可透過隨機前往再生瀝青混凝土拌合廠取樣，前往取樣前在不通知拌合廠原則下，避免拌合廠在已經預先知道的情況下，而使得取樣結果與實際出產之再生瀝青混凝土不符，將此隨機工廠取樣之樣品，送相關能力實驗室執行檢驗作業，再將此樣品試驗之結果與工廠驗廠試拌之標準參考組比對，確保拌合廠生產之再生瀝青混凝土於工程進行中，所生產之再生瀝青混凝土品質。

3. 現地鋪裝機上取樣

再生瀝青混凝土工程施工中之查驗，由主辦單位監造人員及承包商，直接於工程現地瀝青混凝土鋪裝機上直接取樣，將此取樣樣品，送相關能力實驗室執行檢驗作業，再將此樣品試驗之結果與工廠驗廠試拌之標準參考組比對，確保工程實際鋪設之再生瀝青混凝土品質。

5.1.2 品質檢驗項目

1. 刨除料

刨除料分離回收，測試瀝青含油量、回收瀝青黏滯度值、針入度值，及回收粒料篩分析試驗。由於刨除料中瀝青的老化程度影響熱拌再生瀝青混凝土拌合料品質，因此施工綱要規範第 02966 章 v40 版對於回收瀝青含油量與針入度有規定。檢驗項目如表所示。

表 5.1 刨除料檢驗項目表

檢驗項目	檢測標準
回收粒料篩分析試驗	CNS 486 , AASHTO T30
瀝青含油量試驗	AASHTO T164
回收瀝青針入度試驗	CNS 10090, ASTM D5
回收瀝青黏滯度試驗	CNS 14186, ASTM D4402

2. 新瀝青材料

再生拌合廠(材料供應商)應該將所使用瀝青材料的試驗報告，

提供給主辦單位監造人員及承包商做為檢驗的依據，為了減少瀝青材料品質不良造成路面成效品質無法達到設計要求的情況，必須在瀝青材料的生產、運送、儲存過程中採取適當的樣本，進行相關的品質試驗。

表 5.2 新瀝青材料檢驗項目表

檢驗項目	檢測標準
60°C 黏滯度試驗	CNS 14186, ASTM D4402
135°C 黏滯度試驗	AASHTO T201
針入度試驗	CNS 10090, ASTM D5
閃火點試驗	CNS 3775, AASHTO T48
軟化點試驗	CNS 2486
延展性試驗	CNS 10091, AASHTO T51
薄膜烘箱老化試驗	AASHTO T179
滾動薄膜烘箱老化試驗	AASHTO T240

3. 新粒料

主辦單位監造人員及承包商監工人員應協同進行新粒料取樣試驗，由於砂石粒料是影響拌合料品質的關鍵，所以檢驗重點包括粒料來源、儲存方式、粒料形狀與粒料性質，而由監造人員決定取樣地點為瀝青拌合廠的冷料堆或是砂石廠，檢驗項目如表 5.3 所示。

表 5.3 新粒料品質檢驗項目

檢驗項目	檢測標準
篩分析試驗	CNS 486 , AASHTO T30
洛杉磯磨損試驗	CNS 490, AASHTO T96
粒料健性試驗	CNS 1167, AASHTO T104
含砂當量	AASHTO T176
粗粒料扁平率試驗	ASTM D4791
粗粒料稜角性試驗	ASTM D5821
粗粒料比重及吸水率試驗	CNS 488, AASHTO T85
細粒料比重及吸水率試驗	CNS 487, AASHTO T84

4. 再生瀝青混合料

再生瀝青混凝土配比設計依據 AI MS-20 及 MS-2 之馬歇爾法辦理，再生瀝青混凝土粒料與新粒料，或再生瀝青混凝土粒料、再生級配粒料與新粒料之組成比例，須依配合設計決定，依目前各單位之規定再生粒料使用量不得超過 40%，再生瀝青混合料檢驗項目如表 5.4 所示。

表 5.4 再生瀝青混和料檢驗項目表

檢驗項目	檢測標準
瀝青含油量試驗	AASHTO T164
回收粒料篩分析試驗	CNS 486 , AASHTO T30
回收瀝青針入度試驗	CNS 10090, ASTM D5
回收瀝青黏滯度試驗	CNS 14186, ASTM D4402

5.2 最適分離回收法標準作業

進行瀝青混和料分離與回收作業時，許多因素決定著實驗室執行試驗的正確性與可靠性，包含人員、設施與環境、儀器設備、試驗與校正方法等，因此本研究將這些因素納入考量，建議最適分離回收標準作業。

5.2.1 人員

為確保進行分離回收作業之人員的能力，本研究於進行相關試驗之前給予教育訓練，教育訓練內容包含再生瀝青混凝土配合設計觀念介紹、分離回收設備之操作與儀器校正，分離回收作業須注意事項與過去常發生之問題等，由中央大學土木系品保中心操作員進行教育訓練之課程，教育訓練課程安排如下表所示：【40】

1. 再生瀝青混凝土配合設計介紹

有關再生瀝青混凝土與傳統熱拌瀝青混凝土之配合設計方法，其實原理幾乎大同小異，甚至所使用的材料亦相近，透過參考美國瀝青協會(Asphalt Institute)Manual Series No.2(MS-2)手冊所建議的熱拌瀝青混凝土配合設計方法為主，再配合傳統馬歇爾配合設計方法為輔，依序介紹整個配合設計步驟方法及原理。

2. 試驗樣本準備與抽樣

按 ASTM D979 標準取樣方法，依最大粒徑取樣決定取樣量，

如下表 5.5 所示，取得代表性樣本，若欲求得回收瀝青性質之試樣，則應以錫箔密封，攜回實驗室。

樣品因溫度降低而變硬無法適當地分散時，可將樣本置於平盤，以 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之烘箱烘軟至可適當分樣，將全部混和料以均勻四分法取所需試樣的重量，此一烘熱步驟，若溫度過高或時間過長，有可能改變瀝青膠泥性質。

表 5.5 樣本取樣數量估計標準

樣品標稱最大粒徑		取樣時應取得的大約質量(公斤)
公釐(mm)	英吋(inch)	
2.36	No.8	2
4.75	No.4	2
9.5	3/8	4
12.5	1/2	5
19.0	3/4	7
25.0	1	9
37.5	1.5	11
50	2	16

3. 瀝青混和料分離作業介紹與操作

介紹離心機法於瀝青混和料之作業步驟與操作原理，本試驗法於檢測熱拌瀝青混和料之瀝青含量，由離心機法得到之分離後粒料可依 CNS 486 之粗細粒料篩分析法，配合 CNS 491 之粒料內小於試驗篩 $75\mu\text{m}$ CNS 386 材料含量試驗法(或使用 AASHTO T30)，而求得瀝青混和料之級配狀況；分離溶液依瀝青混和料中瀝青之回收方法將其中的瀝青溶液回收，檢測其物理性質。

4. 瀝青混和料回收作業介紹與操作

介紹真空濃縮機與自動瀝青蒸餾回收機於回收過程之標準作業程序，並包含儀器設備的使用操作，試驗機本體、冷卻水循環系統、氮氣輸入裝置，透過標準作業之試驗步驟減少因人為操作誤差，針對回收過程應注意事項特別說明，確保試驗之準確性與人員操作之安全性。

5. 瀝青膠泥基本物性試驗

介紹以 Brookfield 黏滯度試驗儀量測原始瀝青或回收瀝青，在 60°C、29 號轉子、13 克試樣下瀝青膠泥的黏滯度，試驗操作步驟符合 CNS 14186 無填充料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)。

6. 實驗室儀器設備操作與解說

透過以上課程之介紹，對於再生瀝青混凝土與瀝青混和料分離與回收作業有一定之瞭解後，由中央大學品保中心操作員針對儀器之使用，於實驗室進行實際操作與解說，與試驗過程應注意事項說明，使試驗人員實際瞭解儀器設備之操作程序。

5.2.2 設施與環境

實驗室應確保其環境條件不會使結果無效，或對所要求的任何量測品質造成不良影響，當抽樣、試驗與校正在實驗室固定設施以外場

所進行時，應特別注意。【30、31】

1. 環境條件

實驗室工作環境以不妨礙量測結果，或不致影響量測之準確性與精密性為佳。

2. 環境維持

各項環境條件因素之檢測方法步驟應參照相關規範實施辦理，所量測儀器必須有近期之合格校正報告及標籤

3. 環境作業安全

確保實驗室安全，防止意外災害，減少人員傷害，避免財產的損失，確保實驗室內人員的工作安全。

5.2.3 儀器設備

應有符合試驗需求的完整設備且符合規範及標示使用狀況，建立儀器設備履歷表，履歷資料應包含儀器名稱、廠牌、型號與存放位置等基本資料，並記錄、下次校正日期、維護保養紀錄與結果等資料。儀器設備基本履歷卡範例如下表 5.6 所示，本研究試驗之儀器設備履歷表詳見附件一。

表 5.6 儀器設備基本履歷卡

儀器名稱	自動瀝青蒸餾回收試驗機	
財產編號		
實驗室編號	B	
廠牌	ELEX	
型號序號	EX-183NR	
校正週期	一年	
購置日期	2010.04.12	
管理人	XXX	
代理商	名稱	XX 科技有限公司
	電話	00-1234567

5.2.4 試驗與校正方法

實驗室應具備所有相關設備之使用與操作說明書，在開始試驗或校正工作前，實驗室應確定能正確使用操作標準方法，本研究建立之瀝青混和料分離回收作業儀器標準作業程序書(附件二~五)如下：

1. 離心機標準操作程序書

本試驗法適用於檢測熱拌瀝青混合料之瀝青含量，由本法得到的分離後粒料可依 CNS 486 之粗細粒料篩析法，配合 CNS 491 之粒料內小於試驗篩 75 μ mCNS 386 材料含量試驗法(或使用 AASHTO T30)，而求得瀝青混合料之級配狀況；分離溶液則可視需要以「瀝青混合料中瀝青之回收方法」將其中的瀝青回收，檢測其物理性質；瀝青混合料之瀝青含量可能有隨其齡期而逐漸降低之趨勢，最好在路面鋪設混合料時，隨即取樣試驗。

2. 高速離心機

本試驗法適用於經離心機分離過後之瀝青溶液，經高速離心機分離溶液內之灰份重，用以求得瀝青混合料的瀝青含量值，及其後續之篩分析資料，可將本試驗法所得的分離溶液，依照「再生瀝青混合料中瀝青之回收方法」及「再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)」求得代表再生瀝青混合料重要品質特性之回收瀝青黏度值。

3. 真空濃縮機

真空濃縮機法適用於回收瀝青混合料中的瀝青，回收瀝青可測針入度或再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)等方法，測回收瀝青物理性質，為再生瀝青混凝土之品質檢驗的重要項目。

4. 自動瀝青蒸餾回收機

自動瀝青蒸餾回收機法適用於回收瀝青混合料中的瀝青，回收瀝青可測針入度或再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)等方法，測回收瀝青物理性質，為再生瀝青混凝土之品質檢驗的重要項目。

5. BROOKFIELD 黏滯度測定法標準操作程序書

本標準試驗法以具加熱系統之旋轉式黏度儀(Brookfield

Thermosel System, HBDV-II+ or HBDV III)，量測原始瀝青或回收瀝青在 60°C、剪應變速率為 1.0sec⁻¹ 時的黏度，與 CNS 14186 之無填充料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)不同，由於瀝青在 60°C 可能呈現非牛頓流體行為，以此溫度作為瀝青膠泥或再生瀝青混凝土品質檢測上的基礎時，宜固定剪應變速率。

5.3 建議再生瀝青混凝土之品質管理運作

國內外相關研究指出再生瀝青混凝土鋪面在成效上與傳統瀝青混凝土並無顯著差異，因此再生瀝青混凝土鋪面經由完整之配合設計、生產製程及施工鋪築養護後，無論就成效上、經濟面、環保觀點來看，再生瀝青混凝土都是值得推廣及使用的鋪面材料。

而再生瀝青混凝土在臺灣地區常被政府單位與民間所質疑其黏結力問題，常常在雨天過後會產生剝脫，然後逐漸造成局部路面的坑洞，進一步影響到路面的服務品質與行車安全。依照目前臺灣地區的法規，在再生瀝青混凝土中刨除料的最高使用量為 40%，而根據廠商與實驗室的經驗，在未添加再生劑狀態之下，再生瀝青混凝土使用過多刨除料的可能會有粘結力不足之情形，非常容易產生剝脫，因此長年累月下來各工廠堆積成千上萬噸的刨除料，造成另外一個更嚴重問題。目前各級道路刨除料之流向如下表 5.7。【23】

表 5.7 國內各級道路刨除料之流向

主管機關	道路等級	瀝青混凝土刨除料使用狀況	養護工程產生刨除料之流向
高速公路局	國道	不使用	品質優良，由廠商在處理之後大使用在省縣道
交通部公路總局	快速道路	部分使用	大部分刨除料廠商自行使用
	省道	使用	大部分刨除料廠商自行使用
縣政府	縣道	使用	大部分刨除料廠商使用在省縣道
鄉鎮市公所	鄉道	使用	大部分刨除料廠商自行使用
	產業道路	使用	大部分刨除料廠商自行使用

5.3.1 再生瀝青混凝土拌合廠之品質管理運作

為落實熱拌再生瀝青混凝土的使用，確保熱拌瀝青混凝土的品質是成功的關鍵，在拌合廠產製及施工的過程中予以有效的管制及系統化的步驟，使得熱拌再生瀝青混凝土的鋪面品質合於規範的要求。

參考公共工程施工品質管理制度所訂定的三個層級品質管理組織架構，如圖 5.1 所示，其架構內容包含，監造單位負責品質查證作業，承包商負責品質管制作業，再生拌合廠的自主品管以確保熱拌再生瀝青混凝土產品品質良好，各層級主要工作項目，如表 5.1 所示，各個層級的工作項目及內容，則分述如後：

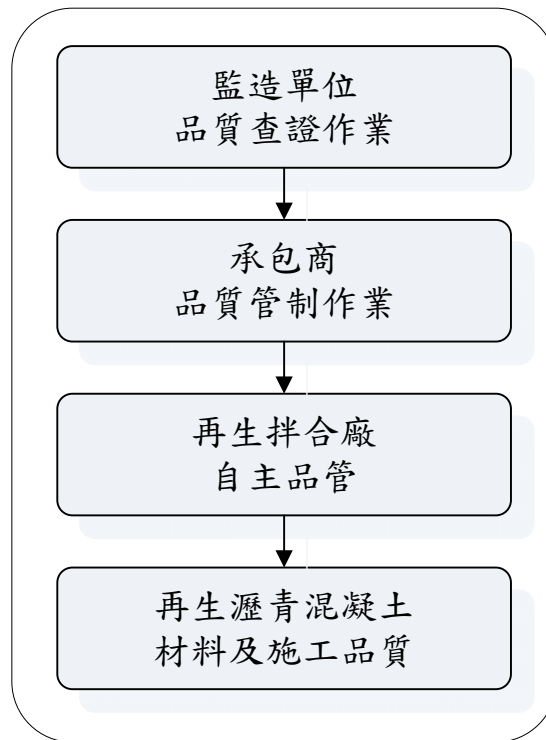


圖 5.1 三級品管制度組織架構圖

表 5.8 各層級單位主要工作項目表

單位	工作階段
監造單位	1. 訂定材料品質查證計畫 2. 訂定施工品質查證計畫 3. 查證材料設備 4. 查驗施工品質 5. 記錄建檔保存
承包商	1. 配置專責人員 2. 材料設備的查證 3. 執行駐廠作業 4. 訂定施工自主檢查表 5. 施工自主檢查
再生拌合廠	1. 專責品管人員 2. 訂定生管計畫書 3. 訂定品管計畫書 4. 執行生產管制 5. 執行品質管制 6. 執行自主品管

1. 再生拌合廠品質管理運作

再生拌合廠的品質管理可利用計畫、執行、查核及修正的管理循環模式加以落實，管理項目不斷的循環使品質得以改善進步，而達到降低缺點的目的。以再生拌合廠的作業而言，可將作業內容配合品質管理循環階段加以管制，藉以提升整體品質。作業內容與管理循環階段對應表，如表 5.8 所示。

表 5.9 再生拌合廠相關作業內容與品質管理循環階段對應表

品質管理循環階段	再生拌合廠相關作業內容
P(Plan)	1.生產管制計畫 2.品質管制計畫 3.配合設計報告
D(Do)	1.執行產製作業及生產管制作業 2.執行品質管制作業 3.依配合設計執行拌合作業
C(Check)	1.生產設備及過程控制點的查核 2.材料及成品取樣檢驗 3.依配合設計試拌查核
A(Action)	1.生產管制計畫與品質管制計畫缺失修正 2.生管及品管相關作業依缺失內容做調整 3.配合設計報告的修正

2. 再生拌合廠自主品管運作

(1) 建立品質管制圖

再生拌合廠透過建立產製品質管制圖，每 500t 進行自主品質管制，使拌合廠生產之再生瀝青混凝土產製過程透明化，並合乎

規範品質要求，承包商則根據品質計畫書取樣送往 TAF 實驗室，監造單位查驗材料及施工品質，進而提升再生瀝青混凝土生產品質。

(2) 試驗儀器設備自動化

再生拌合廠應設立試驗室，試驗室負責人應接受相關品質管制訓練，試驗人員應熟悉試驗項目與儀器操作，並透過自動化的儀器設備，減少試驗之誤差與繁複的作業程序，達到真正落實品質檢驗。

5.3.2 建議省縣道之品質管理運作

目前省縣道公路養護的主要機關分別為，交通部公路總局與各級縣市政府，依據目前再生瀝青混凝土使用現況與問題，建議省縣道之品質管理運作，目的為藉此提升整體再生瀝青混凝土品質。有關再生瀝青混凝土問題可大概分成政策、制度與實際執行面三大層面去探討，進而建議再生瀝青混凝土使用之品質管理運作。

1. 政策面

目前有開放使用再生瀝青混凝土的單位，大都依循行政院公共工程委員會所訂定的刨除料使用上限為 40%，國內省縣道公路養護機關及縣市政府所制定之施工說明書或施工規範也皆以 40% 為添加上限，而參考國內外相關文獻，在添加 40% 以下時再生瀝

青混凝土經由完整之配合設計、生產製程及施工鋪築養護後，可達到與一般瀝青混凝土相同水準與成效，因此在省縣道使用刨除料上限建議仍以 40% 為上限。

2. 制度面

制度方面可以考慮建請內政部營建署，繼續承接行政院公共工程委員會辦理再生瀝青混凝土廠認可審查之制度，以落實管理廠商之制度。

3. 執行面

(1) 資源充分再利用

基於資源充分再利用之觀念下，剩餘刨除料建議可開放使用於基底層級配或次要結構物之骨材，藉此解決部分剩餘刨除料問題，尤其在刨除料本身已過度老化無法符合規範之要求，如針入度低於交通部公路總局規定針入度（25°C、5 Sec、100g）15，或者是黏滯度大於 5 萬 poises 以上難以在添加上限 40% 下，透過配合設計符合規範要求，建議應將其使用於新闢道路之基底層、改善路基較差之路段或是充當次要結構物之骨材。

(2) 落實查驗

現階段要精準查驗刨除料添加比例有一定困難度，建議落實

再生瀝青混凝土工程抽樣檢驗，透過施工前驗廠抽樣，施工中隨機工廠抽樣與鋪裝機上取樣檢驗，藉由此三個不同時間點抽樣檢驗，確保工程實際鋪設之再生瀝青混凝土品質。

(3) 確保服務品質

由台灣氣候潮濕多雨，為確保在瀝青混凝土具有足夠抵抗水份侵蝕的能力，建議能於配合設計增加 AASHTO T283 滯留強度試驗，參照行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02966 章再生瀝青混凝土鋪面，以決定其工作拌合公式。

5.3.3 建議鄉道之品質管理運作

國內鄉道與產業道路養護主管機關為鄉鎮市公所，依據目前再生瀝青混凝土使用現況與問題，建議鄉道之品質管理運作，並考量鄉鎮市公所人力與地方車流特性，分成政策、制度與實際執行面三大層面去探討，進而建議再生瀝青混凝土使用之品質管理運作。

1. 政策面

目前國內政府對於刨除料添加上限皆訂於 40%，以再生再利用永續發展的理念，若能減低新材料的使用比例，減少河川砂石開發並降低社會成本，考量鄉道與產業道路交通量與重車行駛比例較低，建議可於鄉道、地方產業道路提高刨除料用量，並且能解決部分剩餘刨除料問題。

2. 制度面

制度方面可以考慮建請內政部營建署，繼續承接行政院公共工程委員會辦理再生瀝青混凝土廠認可審查之制度，以落實管理廠商之制度。

3. 執行面

在執行面的部份考量地方鄉鎮市公所經費與可能會有人力不足的問題，而無法落實查驗再生瀝青混凝土品質，建議可透過延長保固期限或者成效合約方式，以成效的觀點來確保生產品質，使廠商生產符合規範品質要求之產品。

第六章 結論與建議

6.1 結論

1. 經由試驗結果發現 AADM 與 VCM 兩儀器所回收之黏滯度試驗值皆高於原始瀝青黏滯度值，但使用 AADM 的回收黏滯度值，比起一般實驗室常用的 VCM 之回收黏滯值更接近原始瀝青黏滯度值。
2. 經由不同人員試驗相同之樣本透過變異數分析的結果，在顯著水準 5% 時，AADM 與 VCM 之試驗結果並無顯著差異，故認為經過教育訓練之人員，透過標準操作程序操作儀器之回收黏滯度值無顯著差異，而 AADM 在同一人員操作與不同人員操作之變異程度，其試驗結果之穩定性皆高於 VCM。
3. 取樣因素對於試驗結果之變異透過變異數分析，在顯著水準 5% 時，AADM 與 VCM 之回收黏滯度值有顯著差異，故可認為取樣因素在使用相同儀器下，同一試驗人員下試驗結果有顯著差異。
4. 本研究經由儀器設備、回收作業手續之簡化比較，認為可採用 AADM 取代 VCM 進行瀝青膠泥回收作業，由微電腦控制預先設定實驗控制變因，可減少因人為控制所產生之誤差，且由試驗之結果可得知 AADM 之回收瀝青黏滯度值較 VCM，更為接近瀝青混和料黏滯度真值。

5. 最適分離回收標準作業，應符合實驗室管理與技術要求包含人員、設施與環境、儀器設備、試驗與校正方法等，以確保實驗進行之正確性與可靠性。
6. 確保廠商所生產的再生瀝青混凝土品質，建議再生瀝青混凝土之抽樣檢驗時機點，為工廠驗廠配比試拌取樣、隨機工廠取樣與現地鋪裝機上取樣。
7. 工廠實驗室自主品管，建立管制圖產出製程透明化，並且透過試驗儀器設備自動化落實自主品質查驗，達到提升再生瀝青混凝土之品質管理。

6.2 建議

1. 建議省縣道之品質管理運作，在刨除料本身已過度老化無法符合規範之要求，建議應將其使用於新闢道路之基底層、改善路基較差之路段或是充當次要結構物之骨材；落實檢驗制度，透過施工前驗廠抽樣，施工中隨機工廠抽樣與鋪裝機上取樣檢驗，藉由此三個不同時間點抽樣檢驗，確保工程實際鋪設之再生瀝青混凝土品質。
2. 建議鄉道之品質管理運作，建議可於鄉道、地方產業道路提高刨除料用量，並且能解決部分剩餘刨除料問題；考量地方鄉鎮市公所經費與可能會有人力不足的問題，而無法落實查驗再生瀝青混

凝土品質，建議可透過延長保固期限或者成效合約方式，以成效的觀點來確保生產品質，使廠商生產符合規範品質要求之產品。

3. 本研究於AADM與VCM回收黏滯度驗證試驗上，僅採用AC-10、AC-20及AC-30三個等級，建議未來可採用黏度較高之瀝青膠泥等級進行試驗，驗證儀器於較高黏滯度之準確性，以符合實際再生瀝青膠泥之黏滯度狀況。

參考文獻

1. ASTM D2172 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures
2. ASTM D1856-09 Standard Test Methods for Recovery of Asphalt From Solution by Absorption Method
3. ASTM D4402-06 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer
4. ISO/IEC Guide 17025, "General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories", 2005.
5. ISO/IEC Guide 17020, "General criteria for the operation of various types of bodies performing inspection", 1998.
6. "Asphalt Hot-MIX Recycling ", The Asphalt Institute, Manual Series No.20 (MS-20) .
7. Rebecca S. McDaniel, Ayesha Shah, Gerald A. Huber and Victor L. Gallivan. "Investigation of Properties of Plant-Produced RAP Mixtures.", TRB 2007.
8. Alan Carter and Mary Stroup-Gardiner. "Indirect Tension Relaxation Test to Evaluate the Effect of the Addition of RAP to HMA Mixes." JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING © ASCE / MARCH 2007.
9. Peterson, G.D., Davison, R.R., Glover, C.J. and Bullin, J.A., "Effect of Composition on Asphalt Recycling Agent Performance," Transportation Research Record 1436, pp.38-46, 1994.
10. Traxler, R.N., "Relation between Asphalt Composition and Hardening by Volatilization and Oxidation," Journal of the Association of Asphalt


- Paving Technologists, Vol. 30, pp. 359-377, 1961.
11. Dickinson, E.J., "The Harden of Middle East Petroleum Asphalts Pavement Surface," Journal of the Association of Asphalt Paving Technologist, Vol. 49, pp. 30-63, 1980.
 12. 邱垂德，瀝青混凝土之瀝青含量及粒料級配變異之研究，中央大學土木工程系碩士論文，民國 78 年。
 13. 邱奕遷，再生瀝青混凝土成效之研究，中央大學土木工程系碩士論文，民國 83 年。
 14. 蕭良豪，營建材料實驗室量測系統評估及誤差分析，中央大學土木工程系博士論文，民國 96 年。
 15. 王睿懋，亞熱帶地區提昇再生瀝青混凝土耐久性之研究，中央大學土木工程系博士論文，民國 98 年。
 16. 邱欽偉，再生劑對提升再生瀝青混凝土品質之研究，中央大學土木工程系碩士論文，民國 98 年。
 17. 林慧玲、陳正倉，「應用統計學」，三版，雙葉書廊，民國 96 年 7 月。
 18. 林桂儀，不同添加料對瀝青膠漿特性之影響，成功大學土木工程系博士論文，民國 95 年 6 月。
 19. 王劍能、林志棟、陳世晃，“再生瀝青混凝土應用於公路工程之品管實務研究”，交通部台灣區國道新建工程局，台北市，民國 97

- 年 12 月。
20. 「第 02966 章 再生瀝青混凝土鋪面 v4.0」，施工綱要規範，行政院公共工程委員會。
 21. 「第 02966 章 再生瀝青混凝土鋪面」，施工說明書，交通部公路總局，民國 99 年 1 月。
 22. 「營建事業再生利用之再生資源及規範」，營建署，2009 年 5 月。
 23. 「第 02966 章 再生瀝青混凝土鋪面」，施工規範(道路工程及共同工程)，營建署道路工程組，民國 93 年 4 月。
 24. 「第 02966 章 再生瀝青混凝土鋪面」，台北市工程施工規範，台北市政府，民國 93 年 1 月。
 25. 「再生瀝青混凝土施工」，高雄縣政府施工規範說明書，高雄縣政府，民國 98 年 9 月。
 26. 財團法人全國認證基金會，「ISO/IEC 17025:2005 測試與校正實驗室能力一般要求」，2005 年 7 月。
 27. 財團法人全國認證基金會，「實驗室認證規範 ISO/IEC 17025 訓練」，訓練教材，第三版，2005 年 8 月。
 28. 蔡明高，「再生瀝青混凝土廠資源減量回收再利用績效得獎歷程」，再生瀝青混凝土推廣論壇，中央大學，民國 99 年 5 月。
 29. 黃博仁，「再生瀝青混凝土施工綱要和施工規範研析」，再生瀝青

- 混凝土推廣論壇，中央大學，民國 99 年 5 月。
30. 邱垂德，「再生瀝青混凝土品質驗證」，再生瀝青混凝土資源化利用研討會，民國 87 年 9 月。
31. 許阿明、邱垂德、呂理成，「國內熱拌再生瀝青混凝土的品質狀況分析」，中華民國第五屆鋪面材料再生學術研討會論文集，台中，第 49~56 頁，民國 91 年 9 月。
32. 高翰成、林志棟，「再生瀝青混凝土試驗路段成效驗證」，再生瀝青混凝土資源化利用研討會，民國 87 年 09 月。
33. 曾文永，再生瀝青混凝土黏滯度與現場鋪設時間及溫度之研究，中興大學碩士論文，民國 95 年 6 月。
34. 耿道揚，「熱拌再生瀝青混凝土發包策略及品質查證機制之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 90 年 6 月。
35. 陳浩賢，「再生瀝青混凝土規範之探討-以黏滯度檢驗為例」，再生瀝青混凝土訓練回訓班，中央大學，民國 95 年 1 月。
36. 林志棟、陳世晃、張其教、彭成峻，「再生瀝青混凝土配合設計之觀念探討」，再生瀝青混凝土訓練回訓班，中央大學，民國 95 年 1 月。
37. 王韻瑾，「再生瀝青混凝土路面施工成效之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 85 年 6 月。

- 38.程聰賢，「回收刨除料添加量對熱拌再生瀝青混凝土品質影響之研究」，國立中興大學土木工程研究所碩士論文，民國 92 年 6 月。
- 39.唐綺彤，「瀝青混凝土挖(刨)除料之再利用評估與管理機制」國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 95 年 8 月。
- 40.彭成竣，「台灣地區再生瀝青混凝土拌合廠確保工程品質之研究」，國立中央大學碩士論文，民國 88 年 6 月。

附件一 儀器設備基本資料表

<h3 style="margin: 0;">國立中央大學土木工程學系</h3> <h3 style="margin: 0;">土木材料品保中心</h3>		
<h3 style="margin: 0;">儀器設備基本表</h3>		
編號：NCUCE-TP-05-1		
儀器名稱	離心機(1)	
財產編號	3050401-02-0002	
實驗室類別	B	
廠牌	HUMBOLDT	
型號序號	H-1473	
校正週期	半年	
採購日期	2004.06.25	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	110V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
校正廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
維修廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	離心機(2)	
財產編號	3070114-103-0001	
實驗室類別	B	
廠牌	HUMBOLDT	
型號序號	H-1473	
校正週期	半年	
採購日期	2000.12.11	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	110V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
校正廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
維修廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	離心機(3)	
財產編號		
實驗室類別	B	
廠牌	HUMBOLDT	
型號序號	H-1473	
校正週期	半年	
採購日期	2004.06.25	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	110V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
校正廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
維修廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	離心機(4)	
財產編號		
實驗室類別	B	
廠牌	HUMBOLDT	
型號序號	H-1473	
校正週期	半年	
採購日期	2000.12.11	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	110V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
校正廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
維修廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	高速離心機(1)	
財產編號		
實驗室類別	B	
廠牌	CONTROLS	
型號序號	75-B2314	
校正週期	半年	
採購日期	2000.12.08	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	110V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	高擎企業有限公司
	電話	02-29653288
	地址	台北縣板橋市文化路1段46像4號1F
校正廠商	名稱	高擎企業有限公司
	電話	02-29653288
	地址	台北縣板橋市文化路1段46像4號1F
維修廠商	名稱	高擎企業有限公司
	電話	02-29653288
	地址	台北縣板橋市文化路1段46像4號1F
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	高速離心機(2)	
財產編號	3100901-121-0031	
實驗室類別	B	
廠牌	CONTROLS	
型號序號	B24/CE	
校正週期	半年	
採購日期	2000.12.08	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	110V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	高擎企業有限公司
	電話	02-29653288
	地址	台北縣板橋市文化路1段46像4號1F
校正廠商	名稱	高擎企業有限公司
	電話	02-29653288
	地址	台北縣板橋市文化路1段46像4號1F
維修廠商	名稱	高擎企業有限公司
	電話	02-29653288
	地址	台北縣板橋市文化路1段46像4號1F
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	ELEX 亞柏森自動回收瀝青試驗儀	
財產編號		
實驗室類別	B	
廠牌	ELEX	
型號序號	ELEX-183NR	
校正週期	半年	
採購日期	2010.04.12	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源		
價值		
使用電力	100V~120	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	厚旺科技有限公司
	電話	03-3161357
	地址	桃園縣龜山鄉龜山村 24 號自強東路 202 號
校正廠商	名稱	厚旺科技有限公司
	電話	03-3161357
	地址	桃園縣龜山鄉龜山村 24 號自強東路 202 號
維修廠商	名稱	厚旺科技有限公司
	電話	03-3161357
	地址	桃園縣龜山鄉龜山村 24 號自強東路 202 號
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	真空濃縮機	
財產編號	3100802-091-0012	
實驗室類別	B	
廠牌	東京理化	
型號序號	N-1N	
校正週期	半年	
採購日期	2000.05.20	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	220V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
校正廠商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
維修廠商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	旋轉式黏度儀(1)	
財產編號	3100901-53-001	
實驗室類別	B	
廠牌	Brookfield HB	
型號序號	RVDV-II	
校正週期	半年	
採購日期	1986.03.01	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力		
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
校正廠商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
維修廠商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	旋轉式黏度儀(2)	
財產編號	3100706-02-0010	
實驗室類別	B	
廠牌	Brookfield HB	
型號序號	RVDV- II +	
校正週期	半年	
採購日期	1998.05.01	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力		
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
校正廠商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
維修廠商	名稱	今日儀器有限公司
	電話	02-27556929
	地址	台北市新生南路一段 161 像 2-1 號
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	真空抽氣儀(1)	
財產編號	3080203-04-0059	
實驗室類別	B	
廠牌	LABOVAC	
型號序號	PK4S	
校正週期	半年	
採購日期	1998.06.06	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	220V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
校正廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
維修廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
附件		
備註		

國立中央大學土木工程學系
土木材料品保中心



儀器設備基本表

編號：NCUCE-TP-05-1

儀器名稱	真空抽氣儀(2)	
財產編號	3080203-04-0059	
實驗室類別	B	
廠牌	LABOVAC	
型號序號	PK4S	
校正週期	半年	
採購日期	1998.06.06	
操作限制或應用範圍		
放置地點	瀝青實驗室	
儀器管理人	莊英棠	
經費來源	公共工程材料品質檢驗計劃	
價值		
使用電力	110V	
製造商	名稱	
	電話	
	地址	
代理商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
校正廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
維修廠商	名稱	文昌儀器行
	電話	02-27169891
	地址	台北市復興北路 201 號 7F 之 4
附件		
備註		

附件二 離心機標準操作程序書

瀝青混合料之瀝青含量試驗法—離心機法

1、適用範圍

本試驗法適用於檢測熱拌瀝青混合料之瀝青含量，由本法得到的分離後粒料可依 CNS 486 之粗細粒料篩析法，配合 CNS 491 之粒料內小於試驗篩 75 μ mCNS 386 材料含量試驗法(或使用 AASHTO T30)，而求得瀝青混合料之級配狀況；分離溶液則可視需要以「瀝青混合料中瀝青之回收方法」將其中的瀝青回收，檢測其物理性質；瀝青混合料之瀝青含量可能有隨其齡期而逐漸降低之趨勢，最好在路面鋪設混合料時，隨即取樣試驗。

2、參用文件

2.1 CNS 標準:

CNS 486 粗細粒料篩析法

CNS 491 粒料內小於試驗篩 75 μ mCNS 386 材料含量試驗法

CNS 10090 瀝青物針入度試驗法

2.2 ASTM 標準:

D979 Standard Practice for Sampling Bituminous Paving Mixtures

D2172 Standard Test Method for Quantitative Extraction of Bituminous
Paving Mixtures

2.3 AASHTO 標準:

T30 Standard Specification for Mechanical Analysis of Extracted Aggregate

2.4 行政院公共工程委員會「各機關辦理瀝青混凝土再生利用作業暫行要點」

中附件：

再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)

瀝青混合料之瀝青含量試驗法—回流抽出器法

再生瀝青混合料中瀝青之回收方法

3、方法摘要

本試驗法之瀝青含量值係以未含水混合料的重量百分比表示。瀝青混合料中的瀝青可用三氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、二氯乙烯或甲苯等溶劑溶解，並用適當的離心機將溶液與粒料分離，將未含水試樣重減去分離後粒料重、及分離溶液中的粉塵重，即可求得未含水混合料之瀝青含量。

4、意義與應用

本試驗法求得瀝青混合料的瀝青含量值，及其後續之篩分析資料，是瀝青混凝土路面驗收管制、成效評估、品質控制、及研究發展等，經常採用的品質參數。對於再生瀝青混凝土的品質檢驗，可將本試驗法所得的分離溶液，依照「再生瀝青混合料中瀝青之回收方法」及「再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)」求得代表再生瀝青混合料重要品質特性之回收瀝青黏度值。

5、儀器設備

5.1 烘箱：

能控制溫度在 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 間的適當烘箱。

5.2 平底盤：

適用於盛裝瀝青混凝土試樣以便置於烘箱內加熱之適當平底容器。

5.3 磅秤：

適用於各樣品之稱重，最小刻劃 0.1 公克或更小。

5.4 量筒：

容量 1,000ml 或 2,000ml 之量筒，另一 100ml 量筒則為選擇性設備。

5.5 高溫爐、燃燒碟及乾燥器：

高溫爐需能加熱至 600°C ；用於盛裝材料以便置於高溫爐中燃燒之陶瓷燃燒碟，容量至少 125ml，配以精密稱重之乾燥器和精密磅秤(最小讀數至 0.001 公克)。

5.6 離心抽油機：

主要由金屬鉢及帶動此金屬鉢轉動的馬達裝置所組成，此金屬鉢的轉速需依控制而達 3,600rpm 以上，控制轉速的方法可為手動或電動預設自動控制；本儀器之設計在鉢外應有足夠的容量，以便將由鉢中因離心而溢出之溶液收集，並由適當的排出口排入盛裝的量筒或容器內；本儀器最好有防爆裝置，且應裝設於效率良好的排煙櫃中。

5.7 濾紙環：

內外徑與金屬鉢蓋相合，用以防止離心時溶液將細料帶出。

6、溶劑

6.1 三氯乙烯：

試藥級，依 ASTM D2172 及 ASTM D1856 之規定，欲回收瀝青以求得瀝青之物理性質時，必須使用試藥級三氯乙烯。

6.2 苯、甲苯或其它：

列於 ASTM D2172 規定之溶劑皆可使用。

7、安全防護

第 6 節中使用之溶劑，使用時須在良好的通風下，戴適當防護面具，或使用有效的排風櫃；各種溶劑之毒性容許程度如表 1 所示。

8、取樣及試驗用樣品之準備

8.1 按 ASTM D979 標準取樣方法，依最大粒徑決定取樣量，如表 2 所示，取得代表性樣品，若欲求得回收瀝青性質之試樣，則應以錫箔紙密封，攜回試驗室。

8.2 將 8.1 節所得樣品以適當的方法，取出試驗所需樣品量，本試驗應使用的樣品量，使用表 2，依樣品之標稱最大粒徑決定之。

表 1 ASTM D2172 中適用的溶劑及其基本資料

溶劑	化學式	密度	沸點 ^{°C}	TLV ^{**}
苯 [*]	C ₆ H ₆	0.8756	80.1	10
1,2 二氯乙烯	C ₂ H ₂ Cl ₂	1.3266	40.0	200
三氯乙烯	C ₂ HCl ₃	1.4642	87.0	100
1,1,1 三氯乙烷	C ₂ H ₃ Cl ₃	1.3390	74.1	350
甲苯 [*]	C ₆ H ₅ Cl ₃	0.8669	110.6	100

*：苯、甲苯未列於 ASTM D2172 中，為國內常用的溶劑。
**：TLV(Threshold Limit Value) 值為美國工業衛生團體(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)建立的界限值，單位為 ppm，為一以時間為權數的平均值，指一天八小時，一星期五天，曝露在高於該濃度的環境下，則有安全之慮。

表 2 瀝青混合料取樣與試樣之最少數量

樣品標稱最大粒徑		取樣時應取得的大 約質量(公斤)	試樣最少質量 (公斤)
公釐(mm)	英吋(inch)		
4.75	(No. 4)	1.8	0.5
9.5	3/8	3.6	1
12.5	1/2	5.4	1.5
19.0	3/4	7.3	2
25.0	1	9.1	3
37.5	1.5	11.3	4

- 8.3 若樣品因溫度已降低變硬而無法適當地分散減量時，可將試樣置於大平底盤內，擺入 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之烘箱內烘軟至可適當分樣；此一烘熱之步驟，若溫度過高或時間過長，有可能改變瀝青膠泥的性質。
- 8.4 若欲回收瀝青檢測性質，應儘量控制溫度在 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之間，且烘熱變軟的時間儘量縮短，只要烘至可適當地分散減量即可，此種試樣不用以求瀝青含量。
- 8.5 若試樣只用於求瀝青含量，分離後溶液不進行回收測瀝青黏度，則可於 8.3 之步驟中，將試樣改置於 149°C 至 163°C 之間的烘箱烘 2 至 2.5 個小時，再取出進行試驗。

9、試驗步驟

- 9.1 將第 8 節準備之試樣稱重(W1)後置入金屬鉢中。
- 9.2 將依第 6 節選定之適當溶劑倒入鉢中，溶劑之量應使溶劑能完全將試樣覆蓋，在靜置一段時間使溶劑將瀝青溶解分離(但勿超過 1 小時)後，將此含樣品及溶劑之金屬鉢安裝到抽油離心機上，將置於 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之烘箱內烘至恒重之濾紙環稱重後，置於鉢蓋一起將鉢蓋旋緊，再將抽油離心機之外蓋夾緊，適當量筒置於抽油離心機之排洩孔處以便收集分離溶液。
- 9.3 啟動抽油離心機，使金屬鉢慢慢旋轉並逐漸增加轉速至 3,600 rpm，瀝青溶液因離心作用，匯集於排洩孔而流入量筒內，俟溶液不再流出，停止旋轉，再加入 200ml(或依樣品量適量增加)溶劑，浸泡、離心，重覆此步驟(至少三次)，直至由排洩孔流出之溶液顏色潔淨呈淺稻殼色為止；將收集之瀝青溶液準備執行檢測其中粉塵含量之步驟。
- 9.4 取下鉢上濾紙環，將濾紙上的細料刷入鉢內，小心將鉢內粒料再倒入適當且稱過淨重的金屬容器中，先將此濾紙環和盛裝粒料渣的容器一起放於排風櫃內涼乾，以去除揮發性溶劑，再將其置入 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之烘箱內烘至恒重。將烘後的濾紙環加粒料渣重扣除執行試驗前的烘乾濾紙加混合

料重，即得分離後粒料渣重(W2)。分離後粒料(含總粉塵量)可依 AASHTO T30 進行篩分析試驗以求得粒料級配。

9.5 測定分離溶液之總容量(9.3 中以量筒直接讀得)；先將燃燒碟置入高溫爐中去除可能含有的水份，迅速將燃燒碟置入乾燥器內冷卻並避免吸收任何水份，稱此燃燒碟之重量讀數至 0.001 公克。將裝有瀝青溶液之量筒劇烈搖動使溶液中的粉塵均勻分佈後，用吸管由其中抽取中間之溶液試樣 100ml，倒入前述燃燒碟中，先將此碟以蒸發箱或電熱鈑蒸乾，再將此燃燒碟置於高溫爐中，以 500°C 至 600°C 將濃縮後的瀝青溶液燃燒成灰燼後，待其冷卻後稱重，並依此粉塵重，以每公克加 5ml 飽和碳酸銨溶液清洗，於室溫靜置 1 小時後，放入 110±5°C 之烘箱內烘至恒重，取出置於乾燥器內冷卻至室溫，並稱此含粉塵之燃燒碟的重量讀數至 0.001 公克。

9.6 以下式計算所有分離溶液中的總粉塵量(W3)：

$$W_3 = G \times \frac{V_1}{V_1 - V_2}$$

此式中

G = 留在燃燒碟中的粉塵重，公克

V₁ = 總分離溶液體積，ml

V₂ = 用吸管取出部份溶液後之剩餘溶液體積，ml

10、計算瀝青含量

混合料試樣的瀝青含量可由下式計算：

$$\text{瀝青含量}\% = \frac{W_1 - (W_2 + W_3)}{W_1} \times 100$$

此式中：

W₁ = 混合料樣品重，公克

W₂ = 分離後粒料渣重，公克

W₃ = 分離溶液中的粉塵重，公克

附件三 真空濃縮機標準操作程序書

真空濃縮機標準操作程序書

1.目的

制訂實驗室內以瀝青混合物中瀝青膠泥回收之標準作業程序，供技術人員依循，以達成試驗結果之正確性及完整性。

2.範圍

本方法適用於回收瀝青混合物中的瀝青，回收瀝青可測針入度或再生瀝青混合物瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)等方法，測回收瀝青物理性質，為再生瀝青混凝土之品質檢驗的重要項目。

3.參考文件

3.1 行政院公共工程委員會「各機關辦理瀝青混凝土再生利用作業暫行要點」中附件：再生瀝青混合物中瀝青之回收方法

3.2 ASTM-D5-97 Standard Test Method of Penetration of Bituminous Materials.

3.3 ASTM D4402 Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus

4.定義

再生瀝青混凝土的檢驗方法，與傳統瀝青混凝土相比較，增加對混合物中瀝青的黏度控制，本試驗法將瀝青含量試驗法所得的分離溶液，以氮氣吹入之真空濃縮機回收得到混合物中的瀝青，若配合瀝青的物理性質試驗，除可用於再生瀝青混凝土之配合設計與品質檢驗外，可作為瀝青性質對瀝青路面成效研析。

5.作業程序

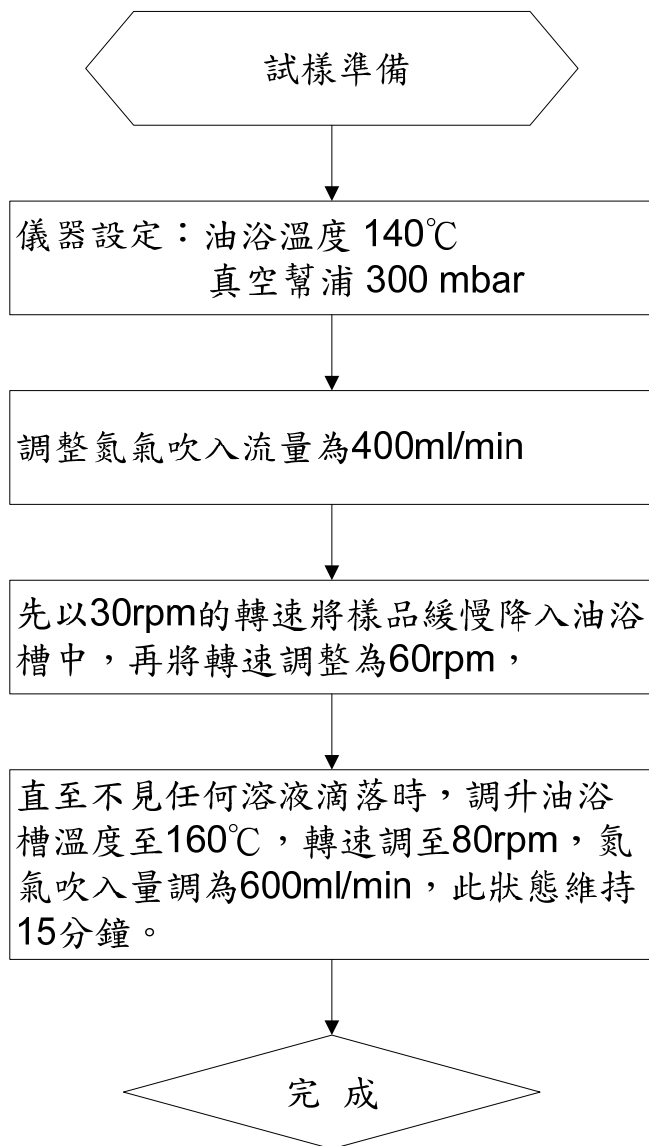
5.1 儀器設備

5.1.1 真空濃縮機本體：1,000ml 梨形蒸餾瓶，油浴槽控溫範圍應可達 180℃，轉速範圍應至 100RPM 以上，具正確的油浴溫度及旋轉速度顯示。

- 5.1.2 真空控制系統：具真空幫浦及真空控制器，能與濃縮機本體密接，真空控制範圍 $300\pm 30\text{mbar}$ (毫巴)。
- 5.1.3 冷卻水循環系統：聯接迴流分離法、冷凝蓋及濃縮機冷凝器，具水溫控制及循環水馬達，水溫控制能力足以使冷卻水保持在 10°C 以下，水槽之容量視連接之儀器套數而定，較多套數時，應使用容量較大的冷卻槽。
- 5.1.4 氮氣(或二氧化碳)吹入系統：包括氮氣(或二氧化碳)鋼瓶，浮球式流量計，流量控制範圍 $0\sim 1,000\text{ml/min.}$ ，以鐵弗龍塑膠管連接至濃縮機之吹入口。
- 5.1.5 儀器裝配與聯接：迴流分離設備與真空濃縮設備可以共用一個冷卻水循環系統，對於大量品檢工作，亦可考慮聯接二座迴流分離設備和二座真空濃縮設備，此時應注意冷卻水循環系統之配合能力及真空幫浦的抽真空能力，有任何疑問時應詳細諮詢儀器製造商。

5.2 試驗步驟

- 5.2.1 將粉塵處理後的分離溶液須先濃縮至一次可處理的適當量，才能進行分餾回收程序。
- 5.2.2 將粉塵處理後的分離溶液倒入梨形蒸餾瓶中後，與真空濃縮機裝置妥當，油浴溫度設定為 140°C ，梨形蒸餾瓶不與矽油接觸，將真空控制器設定為 300mbar ，啟動真空系統。
- 5.2.3 當油浴溫度及真空度達設定值時，調整氮氣吹入之流量為 400ml/min. 。
- 5.2.4 將梨形蒸餾瓶轉速調為低速旋轉狀態，以昇降把手緩降入油浴槽中，並將轉速調為 60RPM 。蒸餾瓶入油深度所涵蓋之水平寬度，需大於蒸餾瓶內旋轉之瀝青溶液面的水平寬度。
- 5.2.5 觀察濃縮機冷凝器中溶劑滴落之狀態，若溶劑蒸氣高度超過冷凝器高度之 $2/3$ 時應降低水溫；持續觀察，且不見任何溶劑滴落時，調升油浴槽溫度至 160°C 。
- 5.2.6 當油浴溫度達 160°C 時，並將轉速調為 80RPM ，氮氣吹入量調為 600ml/min. ，以碼錶計時開始。
- 5.2.7 維持 5.2.5 之狀態 15 分鐘後試驗完成，依續關蒸餾瓶轉速、提升蒸餾瓶、關閉真空系統、關閉氮氣吹入系統。
- 5.2.8 戴隔熱手套，取下梨形蒸餾瓶，用吸油紙將瓶外矽油擦乾，並將瓶內回收瀝青倒入是當容器中，以備進行物理性質試驗。



注意事項

將粉塵處理後的分離溶液須先濃縮至一次可處理的適當量

蒸餾瓶不與矽油接觸

蒸餾瓶入油深度所涵蓋之水平寬度，需大於蒸餾瓶內旋轉之瀝青溶液面的水平寬度。

依續關蒸餾瓶轉速、提升蒸餾瓶、關閉真空系統、關閉氮氣吹入系統。戴隔熱手套，取下梨形蒸餾瓶，用吸油紙將瓶外矽油擦乾，並將瓶內回收瀝青倒入適當容器中，以備進行物理性質試驗。

圖 1 瀝青混合料中瀝青膠泥回收流程圖

附件四 EX-183NR 瀝青回收標準操作程序書

(亞柏森自動回收瀝青試驗儀 EX-183NR)

1.目的

制訂實驗室內以瀝青混合料中瀝青膠泥回收之標準作業程序，供技術人員依循，以達成試驗結果之正確性及完整性。

2.範圍

本方法適用於回收瀝青混合料中的瀝青，回收瀝青可測針入度或再生瀝青混合料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)等方法，測回收瀝青物理性質，為再生瀝青混凝土之品質檢驗的重要項目。

3.參考文件

3.1 D1856 – 09 Standard Test Method for Recovery of Asphalt From Solution by Abson Method

3.2 ASTM-D5-97 Standard Test Method of Peneration of Bituminous Materials.

3.3 ASTM D4402 Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus

4.定義

再生瀝青混凝土的檢驗方法，與傳統瀝青混凝土相比較，增加對混合料中瀝青的黏度控制，本試驗法將瀝青含量試驗法所得的分離溶液，以氮氣吹入亞柏森自動回收瀝青試驗儀回收得到混合料中的瀝青，若配合瀝青的物理性質試驗，除可用於再生瀝青混凝土之配合設計與品質檢驗外，可作為瀝青性質對瀝青路面成效研析。

5.作業程序

5.1 儀器設備

5.1.1 亞柏森自動回收瀝青試驗儀本體：800 ml 蒸餾瓶，微電腦控制操作面板，電子式溫度偵測器，氮氣流量控制器，試驗時間控制設定器，使用電源電壓 100V-120V，打開電源後會有 7-8 秒蜂鳴聲。

5.1.2 冷卻水循環系統：聯接冷卻管，具水溫控制及循環水馬達，水溫控制能力足以使冷卻水保持在 10°C 以下之恆溫控制冷卻水槽。

5.1.3 氮氣(或二氧化碳)吹入系統：包括氮氣(或二氧化碳)鋼瓶，以鐵弗龍塑膠管連接至亞柏森自動回收瀝青試驗儀，調整氣壓壓力至 0.2MPa。

5.2 試驗步驟

5.2.1 將粉塵處理後的分離溶液倒入蒸餾瓶中後，與亞柏森自動回收瀝青試驗儀裝置妥當，蓋上軟木塞與連接氮氣吹入裝置，氮氣吹入管置於蒸餾瓶底部，溫度測定針至於離燒瓶底部 5 mm，連接冷卻管循環系統。

5.2.2 當冷卻水循環系統達設定值時，透過操作面板調整氮氣吹入之流量，將控制器開關按壓向上調整 Gas.1 氣體流量計至 200cc/min，控制器開關按壓向下調整 Gas.2 氣體流量計至 1400cc/min。

5.2.3 氮氣吹入系統開始吹入溫度設定，調整 Gas.1 135°C、Gas.2 157°C，當蒸餾達設定溫度，將自動吹入氮氣於蒸餾瓶中。

5.2.4 試驗時間管理設定為 15min，調整當蒸餾溫度達 Gas.2 設定溫度後，自動關閉之時間控制，當到達 Gas.2 之溫度設定時間以遞減的方式表示。

5.2.5 上述設定完成後按壓 RESET 鍵，確認亞柏森自動回收瀝青試驗儀，控制操作面板設定。

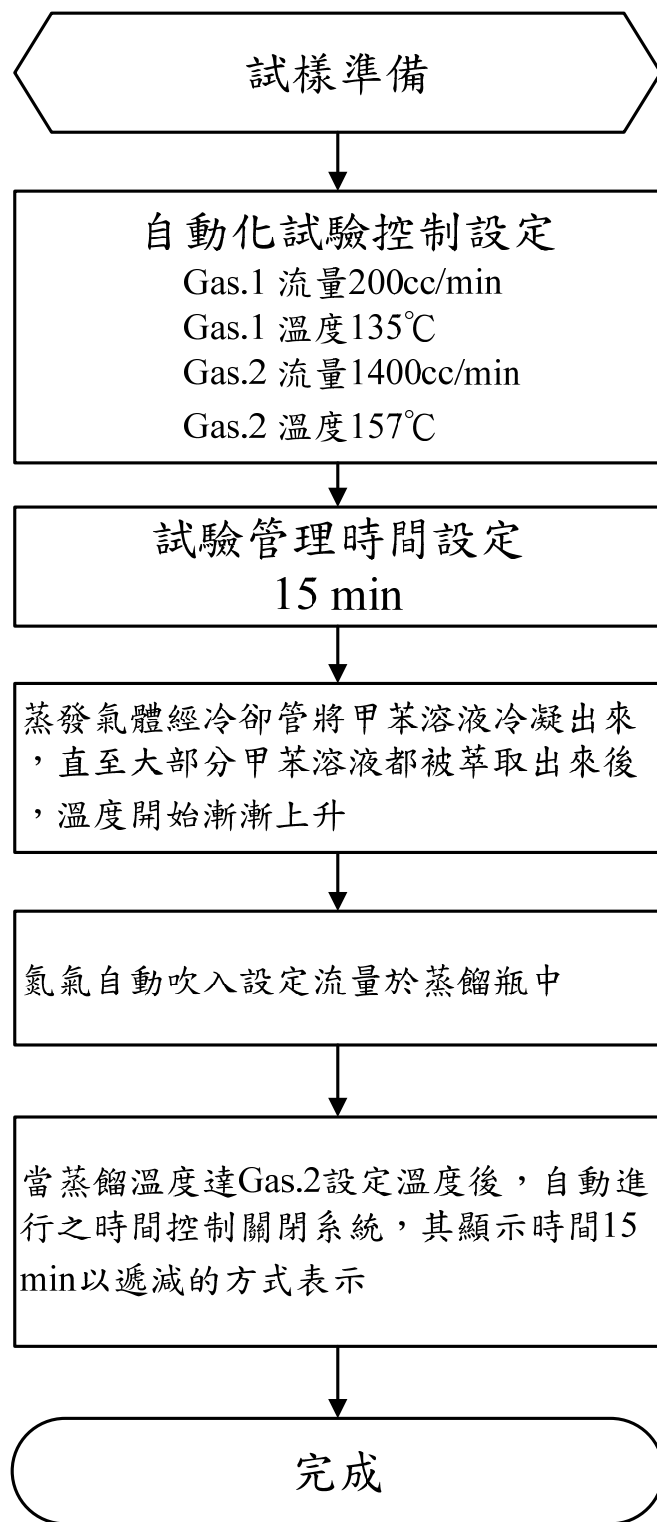
5.2.5 確認蒸餾瓶裝置，冷卻水循環系統之連接與氮氣吹入系統連接無誤，按壓 START 鍵開始試驗，加熱過程中有少量氮氣吹入。

5.2.6 當蒸餾瓶加熱至甲苯溶液沸點溫度約 110 度，蒸發氣體經冷卻管將甲苯溶液慢慢冷凝出來，直至大部分甲苯溶液都被萃取出來後，溫度重新開始漸漸上升。

5.2.7 當溫度升至 Gas.1 135°C 將自動吹入設定氮氣流量於蒸餾瓶中，直至溫度升至 Gas.2 157°C 後將自動吹入設定氮氣流量於蒸餾瓶中。

5.2.8 當蒸餾溫度達 Gas.2 設定溫度後，自動進行之時間控制關閉系統，其顯示時間 15min 以遞減的方式表示，試驗結束時會有峰鳴聲顯示蒸餾瓶內瀝青回收完成。

5.2.9 關閉氮氣吹入系統，戴隔熱手套，將蒸餾瓶與冷卻管分離，並將瓶內回收瀝青倒入適當容器中，以備進行物理性質試驗。



將粉塵處理後的分離溶液倒入蒸餾瓶中後，與儀器裝置妥當，蓋上軟木塞與連接氮氣吹入裝置，氮氣吹入管置於蒸餾瓶底部，溫度測定針至於離燒瓶底部5mm，連接冷卻管循環系統

上述設定完成後按壓RESET鍵，確認亞柏森自動回收瀝青試驗儀，控制操作面板設定

當溫度升至135°C將自動吹入Gas.1設定氮氣流量於蒸餾瓶中，直至溫度升至157°C後自動吹入Gas.2設定氮氣流量於蒸餾瓶中

蒸餾溫度達Gas.2設定溫度後，自動進行之時間控制關閉系統，其顯示時間15min以遞減的方式表示，試驗結束時會有峰鳴聲顯示蒸餾瓶內瀝青回收完成

關閉氮氣吹入系統，戴隔熱手套，將蒸餾瓶與冷卻管分離，並將瓶內回收瀝青倒入適當容器中，以備進行物理性質試驗

圖 1 瀝青混合料中瀝青膠泥回收流程圖

附件五 Brookfield 黏滯度測定法標準操作程序書

Brookfield 黏滯度測定法標準操作程序書

(布魯克熱力黏度計法)

1、適用範圍

本標準試驗法以具加熱系統之旋轉式黏度儀(Brookfield Thermosel System, HBDV-II⁺ or HBDV III)，量測原始瀝青或回收瀝青在 60°C、剪應變速率為 1.0sec⁻¹ 時的黏度，與 CNS 14186 之無填充料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)不同，由於瀝青在 60°C 可能呈現非牛頓流體行為，以此溫度作為瀝青膠泥或再生瀝青混凝土品質檢測上的基礎時，宜固定剪應變速率。

2、參用文件

2.1 CNS 標準

CNS 14186 無填充料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)

2.2 ASTM 標準

D4402 Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus.

D2171 Standard Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer.

2.3 行政院公共工程委員會「各機關辦理瀝青混凝土再生利用作業暫行要點」中附件：

瀝青混合料之瀝青含量試驗法—離心機法

瀝青混合料之瀝青含量試驗法—回流抽出器法

再生瀝青混合料中瀝青之回收方法

3、定義

3.1 牛頓流體：流體受剪時，若在不同剪應力或剪應變率作用下，具有相同的黏度者，亦即剪應力與剪應變率成固定比例之流體稱為牛頓流體。

- 3.2 非牛頓流體：流體受剪時，若在不同剪應力或剪應變率作用下，具有不同的黏度者，亦即剪應力與剪應變率不成固定比例之流體稱為非牛頓流體。
- 3.3 黏度：流體受剪時，所施剪應力對其產生剪應變率的比值，稱為黏滯度係數(Coefficient of Viscosity)，簡稱黏度，此係數值為流體流動難易程度的量測值；黏度的國際標準單位為 pascal second (Pa·s)，C.G.S.制單位為 poise (dyne·s/cm²，簡寫為 P)，1 P=0.1 Pa·s，而 cP (centipoise)為最常用的黏度單位，1cP=0.01P=0.001 Pa·s=1m Pa·s。
- 3.4 剪應變率為 1.0 時的黏度($\eta_{1.0}$):一般鋪路用瀝青膠泥在 60°C 時雖很接近牛頓流體特性，但也可能展現非牛頓流體行為，以旋轉式黏度儀量取黏度時，最好用相同剪應變率下的黏度表示，以方便比較，本試驗方法建議求算剪應變率為 1.0 sec⁻¹ 時的黏度，用 $\eta_{1.0}$ 表示。

4、試驗方法概述

採用高黏度範圍機型的旋轉式黏度儀(Brookfield HB)配合加熱控溫系統(Thermosel System)，以特製的試樣管及轉子(spindle)，可用以量測瀝青膠泥的 60°C 黏度；當已知表面積的轉子浸入試樣管之瀝青中，以固定速度旋轉時，即對瀝青試樣產生一固定剪應變率，此時試樣對此種轉動速率的抵抗力大小，經由儀器內部的扭力彈簧測得，經由適當換算成為造成轉動所需的剪應力，剪應力除以剪應變率即為瀝青試樣的黏度。在固定溫度下，以不同轉速測得瀝青試樣的黏度，用簡單線性迴歸，可求得瀝青試樣在剪應變率為 1.0 sec⁻¹ 時的黏度。

5、意義與應用

在採用再生瀝青混凝土後，回收瀝青 60°C 黏度成為主要品質管制項目，以旋轉式黏度儀施測具有方便、容易清洗、且自動化程度較高等優點，有利於國內路面工程界開始全面對瀝青膠泥的黏度作檢測，以控制瀝青混凝土品質的均勻性。

6、儀器設備

- 6.1 旋轉式黏度儀：由 Brookfield Engineering Laboratories 製造之旋轉式黏度儀，使用高黏度範圍之 HB 機型，配合加熱控制系統(Thermosel System)。

6-2 轉子(spindle)：選用 SC4 系列的轉子，計有 SC4-21、SC4-27、SC4-28、及 SC4-29 等四種轉子，其中以 SC4-28 和 SC4-29 兩轉子最適於測瀝青膠泥的 60°C 黏度。

7、試驗步驟

7.1 試樣準備：取得代表性瀝青試樣，加熱至可流動後，攪拌均勻，並取出約 20~50ml 裝至適當容器，放入烘箱加熱至 135±5°C，加熱時需注意攪拌均勻、避免局部過熱、及空氣陷入。按表 1 之試樣量裝入試樣管內，表 1 中的試樣量乃以體積表示，可將瀝青之密度視為 1.0，而以克數代替，此樣品量應可使轉子浸入後試樣液面約在轉子圓錐面與柱面交接處上 3.2mm 處。

表 3 HB 系列布魯克黏度儀之施測黏度範圍與使用樣品量

轉子 型號	施測黏度範圍 poise, P (0.1Pa·s)			樣品量 (ml)
	HBT	HBDV-II ⁺	HBDV-III	
SC4-21	4-8,000	4-13,000	1.6-40,000	8.0
SC4-27	20-40,000	20-67,000	8-200,000	10.5
SC4-28	40-80,000	40-133,000	16-400,000	11.5
SC4-29	80-160,000	80-267,000	32-800,000	13.0

7.2 將旋轉式黏度儀打開，試驗溫度設定為 60°C，將裝妥試樣之試樣管置入加熱槽內，並依儀器之操作手冊，依序執行歸零及輸入轉子代號兩步驟。

7.3 等加熱槽內溫度達設定之 60°C 後再約 30 分鐘，將選定的轉子安裝好，慢慢降低儀器本體，因轉子溫度較低，要馬上浸入試樣中會有困難，應逐步等轉子溫度升高後再浸入。

7.4 轉子浸入試樣內 40 分鐘後(或整體溫度達平衡後)即可開始由較慢轉速進行試驗。(若扭力%在 2% 以下，則應放棄讀數，改用較大轉速。)

7.5 以選定轉速，轉動 60 秒後開始依續記錄轉速、扭力%、剪應力、剪應變率、黏度等數據。

7.6 更換轉速，重覆 7.5 步驟依序記錄試驗值，轉速較大時，若扭力%大於 98%，則應停止試驗，最好獲得三個以上不同轉速之記錄，並將數據中的扭力%分佈於 2%~98% 之間。

7.7 完成試驗，抬高儀器本體將轉子取出清洗，試樣管可擺入烘箱中將瀝青烘至高溫並倒出，以方便試樣管清洗。

8、計算與報告

8.1 將試驗所得之三個以上不同轉速下的剪應力、剪應變資料，以剪應變率

的對數為自變數，剪應力的對數為因變數，以簡單線性迴歸，計算截距與斜率，再分別用以計算流體指數 C 值和 $\eta_{1.0}$ 。

- 8.2 若迴歸分析計算的 R-Square、C 值都在正常的範圍(兩者都略小於且很接近於 1.0)，提出之報告中，可只列計算之 $\eta_{1.0}$ ，由於乃以測得之剪應力和剪應變率值計算，因此，單位為 P(poises)，而非儀器於各轉速時顯示的 cP。
- 8.3 此種簡單線性迴歸計算可用一般掌上型計算器執行，若有 R-Square 或 C 值過低之狀況，應檢查有否試驗或計算錯誤，否則應將完整資料列入試驗報告中。

9、試驗精度

本試驗法之精度描述乃直譯 ASTM D4402-87 之精度，研究人員認為應可適用。以下的界限可用於以 95%可靠度判斷試驗結果可否接受：

- 9.1 再現性(Repeatability)：同一試驗者重覆兩次試驗數據之差應不大於 3.5%。
- 9.2 複製性(Reproducibility)：兩不同試驗室對同一樣品之試驗結果，試驗數據之差應不大於 14.5%。