

# 垃圾焚化爐底渣再生粒料應用之研究

Incinerator bottom ash study on application of recycled aggregate

巫宗威\* (CWu, TsungWei)  
中國科技大學建築研究所碩士生

戴俊地 (Tai, Chunti)  
中國科技大學建築研究所碩士生

蔡得時 (Tsay, Dersshys)  
中國科技大學建築研究所副教授

## 摘要

98年行政院經建會通過環保署所提之「垃圾焚化底渣再利用推動計畫」草案，大型垃圾焚化廠完工營運後，探討底渣再生粒料作為天然粒料之替代材料，其底渣性質的處理流程到工程應用，統計資料顯示98年至今底渣回收率已達百分之70，若加強底渣應用於回填材料之中將可取代以往垃圾掩埋場不堪負荷的題。

**關鍵字：**焚化爐、底渣、再生材料

## Abstract

The "Promoting project of reusing the bottom ash from solid waste incinerators" proposed by Environmental Protection Administration had been approved by Council for Economic Planning And Development, Executive Yuan in 2009. After the construction of large-scale municipal solid waste incinerators, we discuss the potential of using bottom ash to replace nature granules, the handing procedures of bottom ash and the engineering applications. Statistical data show that the bottom ash has achieved a recycling rate of 70% since 2009. The problem of landfill sites overwhelmed by garbage will be solved if the bottom ash can be applied in backfill materials

**Keywords:** Incinerators, slag, recycled materials

## 一、前言

98 年行政院經建會通過環保署所提之「垃圾焚化底渣再利用推動計畫」草案，目標使我國邁向「零廢棄、全回收」的資源循環社會，為達到資源循環型永續社會，環保署訂定「零廢棄政策」，持續推動垃圾焚化灰渣處理以「再利用為主，掩埋為輔」，「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」於中華民國 101 年 10 月 17 日生效，重點如下：再利用條件：底渣再利用前須先經篩分、破碎或篩選等前處理，並視再利用產品分類用途需要，採穩定化、熟化或水洗等後續前處理；底渣經前處理後於再利用前之毒性特性溶出程序 (TCLP) 及戴奧辛總毒性當量濃度檢測值應低於有害事業廢棄物認定標準。再利用產品分類及檢測：底渣經前處理後之再利用產品，分為 3 類，第一類型：作為級配粒料基層、基地及路堤填築、控制性低強度回填材料、混凝土添加料、瀝青混凝土添加料、磚品添加料及其他用途。第二類型：作為級配粒料基層、基地及路堤填築、控制性低強度回填材料、無筋混凝土添加料、瀝青混凝土添加料及磚品添加料。第三類型：僅得作為基地及路堤填築，且每一再利用場所之使用量應在一萬公噸以上，使用前應先檢具底渣再利用產品之隔絕、控制及監測計畫，報經中央主管機關核准後始得辦理，各類型品質標準及用途如表 1。使用地點規定：不得位於飲用水水源水質保護區、飲用水取水口一定距離之地區、水庫集水區及自來水水質水量保護區範圍內。此外，需高於使用時現場地下水位 1 公尺以上。【1】

表 1 資源化產品品質標準【2】

品質標準		第一類型	第二類型	第三類型
毒性特性溶出程序	總鉛(毫克/公升)	≤4.0		應低於有害事業廢棄物認定標準規定
	總鎘(毫克/公升)	≤0.8		
	總鉻(毫克/公升)	≤4.0		
	總硒(毫克/公升)	≤0.8		
	總銅(毫克/公升)	≤12.0		
	總鋇(毫克/公升)	≤10.0		
	六價鉻(毫克/公升)	≤0.20		
	總砷(毫克/公升)	≤0.40		
	總汞(毫克/公升)	≤0.016		
水溶性氯離子含量(%) 備註：以 CNS 13407 細粒料中水溶性氯離子含量試驗法檢測		≤0.024		
戴奧辛總毒性當量濃度(ng I-TEQ/g) 備註：指含 2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃同源物等 17 種化合物之總毒性當量濃度		≤0.1		

國內垃圾焚化廠完工營運後，底渣的回收再利用是否可以取代以往垃圾掩埋場不堪負荷的問題，本研究針對焚化底渣再生粒料作為天然粒料之替代材料，探討環保署垃圾焚化灰渣再利用推動計畫是否可能大量應用在工程材料之中。

## 二、文獻回顧

垃圾於高溫燃燒過程中，可燃物質將氧化為安定氣體，不可燃物質則轉化為性質安定的無機物，待燃燒完成後，爐床會排出篩灰、爐床灰、鍋爐灰、飛灰(集塵灰)等四種物質，其中篩灰及爐床灰被歸類為焚化底渣，鍋爐灰與飛灰(集塵灰)歸類為飛灰，而焚化底渣及飛灰兩者統稱為焚化灰渣。焚化底渣主要的形成來源為砂土、陶瓷、玻璃、金屬及微量未完全燃燒的有機物，屬於非均質性混合物，焚化底渣的組成比例除因來源垃圾成分而有不同外，也會受焚化爐燃燒效率所影響，焚化底渣經處理後可製成再生粒料應用於工程或產品原料，其處理方式依環保署「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」規定，主要分前處理及穩定化、熟化或水洗之進階處理兩部分，如圖1所示，其說明如下：

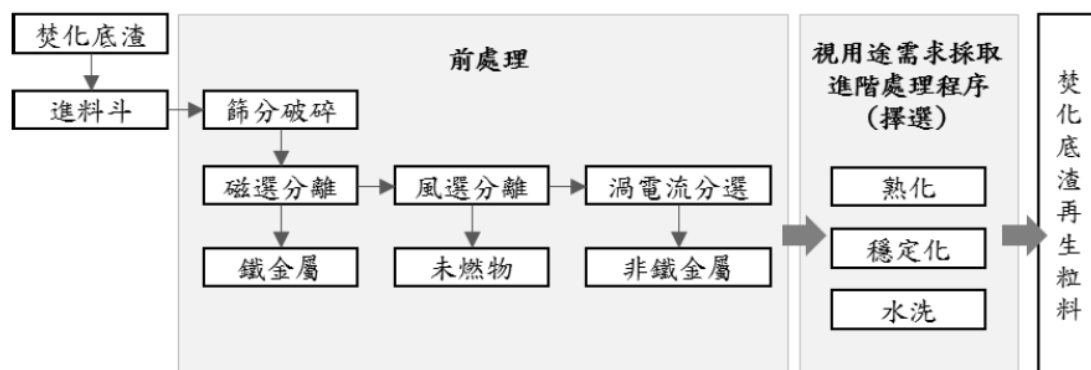


圖 1 焚化底渣資源化處理程序【3】

### 1. 前處理

前處理是一種機械物理的處理方式，主要是利用篩分、破碎、磁選分離、風選分離、渦電流分選等設備，去除焚化底渣中易腐鬆動不適合部分，及分離出鐵金屬、未燃物、非鐵金屬等物質，並使焚化底渣再生粒料之粒徑規格符合後端用途需求。

### 2. 熟化、穩定化或水洗處理

熟化、穩定化或水洗之進階處理，主要目的是為降低焚化底渣之重金屬溶出率，降低焚化底渣再生粒料對環境形成二次污染。

#### (1) 熟化

熟化是藉由焚化底渣與空氣中的二氧化碳反應，使焚化底渣之重金屬組成發生碳酸化及礦化等作用，而形成低溶解性二次礦物，達到降低重金屬溶出之目的，並具降低異味之功效。【3】

#### (2) 穩定化

穩定化係指透過噴灑磷酸鹽系、矽酸鹽系、硫化物系或螯合物系等類之藥劑，其與焚化底渣中重金屬生成低溶解度及穩定性高的化合物，達到降低重金屬溶出之目的。【3】

### (3) 水洗

水洗是藉由水或摻有化學藥劑之液體，將焚化底渣中重金屬及水溶性物質如氯鹽、硫酸鹽系與微細顆粒洗出，達到降低重金屬及氯離子溶出之目的，亦具降低異味之功效。【3】

根據環保署委託國立台灣大學進行的「廢棄物焚化灰渣材料化技術研究」結果顯示，垃圾焚化爐產生之底渣，經過適當前處理後，採適當的比例可再利用於道路基層、瀝青混凝土骨材替代材料及管溝的回填材料，該研究指出，對於底渣的再利用方面，建議可作為道路基層、瀝青混凝土骨材替代材料及管溝的回填材料，即是現在工程界常說的控制性低強度回填 CLSM。底渣如應用於道路基層，於骨材取代率百分之 10 時為良好之材料，對環境的影響性低；應用於瀝青混凝土，於骨材取代率百分之 10 時，為良好之材料，但還需添加抗剝劑，以增加抗水份侵害能力，不影響其耐久性。由於底渣類似天然砂土，其流度、強度及滲透性均符合控制性低強度回填料要求。【4】

## 三、工程收與應用

國外焚化底渣再利用處理技術已相當成熟，使用上也相當普遍，廣泛運用在道路粒料、行人道磚、混凝土粒料、隔音牆、防風牆、堤防、人工魚礁建材等，目前美國、荷蘭、法國、德國、丹麥之用途以及目前國內使用用途如下：

### 1. 荷蘭

荷蘭因天然級配較不足，且欠缺底渣掩埋場所，故政府大力推動底渣再利用，目前底渣幾乎達到百分之百資源再利用，為底渣再利用率最高的國家，約有 60% 底渣被應用作為路基、堤防、水泥骨材、瀝青粒料；此外，也訂出完整灰渣再利用的法規與測試標準，目前積極推動再利用政策、研訂相關配套法規與標準規範，其中更將 垃圾焚化底渣再生粒料訂定為市場可接受 建築材料之一。由於其法令及規範明確且齊全，因此焚化底渣再生粒料於營建材料市場推廣順利。【4】【5】【6】

### 2. 法國

法國針對焚化底渣再利用要求需符合特定標準且需由具有品質保證的設備所產生焚化底渣再生粒料方可用於道路及堤防工程。法國針對焚化底渣再生粒料應用於道路工程之規範，規定將焚化底渣再生粒料須符合所規定之低污染材料的標準，若達此標準則可作為級配粒料之替代物使用。【4】【5】

### 3. 德國

德國對於底渣再利用之規範要求焚化底渣須熟化三個月以上以減少水分含量並使其充分熟化，使用前須經過篩分及磁選並達到相關物性要求，且溶出測試項目包含 pH 值、氯離子、硫酸根離子及重金屬等等含量均需符合規定。主要用途為道路基底層鋪設、土壤改良劑、隔音牆填充材及加工製成建材。

【4】【5】

#### 4. 美國

美國除依該國環保署規定焚化底渣運離垃圾資源回收廠前，必須先進行毒性特性溶出試驗（TCLP）以判定是否為有害廢棄物之外，其貯存及清除處理皆由各州政府自行訂定。美國對於焚化底渣之再利用方式，多應用為道路與停車場底層鋪設、瀝青鋪面粒料、混凝土粒料、掩埋場覆土及人工魚礁等用途。【4】【5】

#### 5. 丹麥

底渣再利用使於1974年，將近有72%的底渣被利用範圍已達路基、骨材、覆土等作為停車場基層、自行車道等。【8】

#### 6. 國內

國內對於焚化底渣資源化再利用，主要是依據「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」，其規定焚化底渣再利用前須經過篩分、破碎或篩選等前處理，並視用途之需要，採穩定化、熟化或水洗方式處理之程序。焚化底渣再生粒料之公告可再利用用途為道路級配粒料底層及基層、基地填築及路堤填築、控制性低強度回填材料、水泥混凝土、瀝青混凝土、磚品及水泥生料等用途。【9】

民國100年公路總局參與垃圾焚化底渣再利用推動計畫並選定台61線北上側車道49K段試辦應用底渣材料，以低細粒料混凝土配設，藉MRC提高鋪面結構孔隙及承载力等，創造具高穩定性能並能提供大地透氣、調節鋪面溫度、提高耐久性及保水效能的新型鋪面結構，考量降低成本，嘗試利用垃圾焚化底渣及碎石級配料，以不同摻配比例方式試拌透水性MRC，將原焚化爐底渣再生利用。【10】

### 四、結論

底渣資源化產品市場再利用分析由於國內過去曾發生底渣篩分後之資源化產品，大量回填於農地之不法情事，故環保署於101年10月17日修正之垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式規定中，即明確限制資源化產品不得使用於農業區內，惟我國依都市計畫法劃定之農業區或依區域計畫法劃定之一般農業區、特定農業區之面積已佔國土面積70%以上，使得資源化產品在市場上普遍銷路不佳。【11】

目前國內主要以底渣產生地之地方主管機關委託民間廠商來推動計畫，通路大部分使用作為PVC管路或水泥製品管路回填灌漿料，或與固定配合之營造廠及土木包工業，且目前國內地區因開發案多，需大量使用回填灌漿料，使得底渣再生化的產品銷售管道暫無阻塞之問題，自98年垃圾焚化底渣再利用推動計畫至今年，底渣利用率已達近百分之70如圖2所示：

表2 灰渣產量與流向統計資料【12】

灰渣產量與流向 查詢區間:98年01月至104年01月 查詢日期:104年10月12日						
廠別	流向					
	底渣					
	掩埋	掩埋率	再利用	再利用率	暫存	暫存率
單位	公噸	%	公噸	%	公噸	%
基隆市天外天垃圾資源回收(焚化)廠	--	--	156,114.19	100	--	--
臺北市政府環境保護局北投垃圾焚化廠	--	--	432,863.55	100	--	--
臺北市政府環境保護局木柵垃圾焚化廠	--	--	292,260.99	100	--	--
臺北市政府環境保護局內湖垃圾焚化廠	--	--	161,437.46	100	--	--
新北市新店垃圾焚化廠	--	--	146,362.74	98.65	--	--
新北市樹林垃圾焚化廠	--	--	218,831.95	99.93	--	--
新北市八里垃圾焚化廠	--	--	361,555.31	100	--	--
桃園市垃圾焚化廠	100,024.10	24.6	304,747.59	74.94	1,878.40	0.46
宜蘭縣利澤垃圾資源回收(焚化)廠	91,615.77	48.7	96,489.39	51.3	--	--
新竹市垃圾資源回收廠	189,133.88	98.89	2,129.31	1.11	--	--
苗栗縣垃圾焚化廠	62,398.60	41.96	86,309.74	58.04	--	--
臺中市文山垃圾焚化廠	1,075.65	0.57	190,646.87	100.21	--	--
臺中市后里資源回收廠	47,377.34	17.79	218,903.71	82.21	--	--
臺中市烏日資源回收廠	26,732.73	10.35	230,456.69	89.21	--	--
彰化縣溪州垃圾焚化廠	27,094.30	10.81	223,480.04	89.19	--	--
嘉義市垃圾焚化廠	4,569.85	7.46	56,660.31	92.54	--	--
嘉義縣鹿草垃圾焚化廠	148,274.45	54.28	122,843.54	44.97	--	--
臺南市城西垃圾焚化廠	--	--	160,282.40	73.65	217,636.89	100
臺南市永康垃圾資源回收(焚化)廠	92,240.13	35.37	131,206.95	50.31	7,567.43	2.9
高雄市政府環境保護局中區資源回收廠	67,480.53	50.68	65,658.71	49.32	--	--
高雄市政府環境保護局南區資源回收廠	255,037.26	61.24	161,433.50	38.76	--	--
高雄市仁武垃圾資源回收(焚化)廠	350,938.77	79.24	91,957.90	20.76	--	--
高雄市岡山垃圾資源回收(焚化)廠	351,386.30	91.32	33,410.24	8.68	--	--
屏東縣崁頂垃圾資源回收(焚化)廠	--	--	241,794.25	100	--	--
<b>合計</b>	<b>1,815,379.66</b>	<b>29.74</b>	<b>4,187,837.33</b>	<b>68.61</b>	<b>227,082.72</b>	<b>3.72</b>

註：暫存量係指於焚化廠外之暫存場，不包括焚化廠內及灰渣貯坑。

根據環保署委託國立台灣大學進行的「廢棄物焚化灰渣材料化技術研究」該研究推估假設底渣取代率百分之10，控制性低強度回填料每日可去化底渣45,366公噸，瀝青混凝土每日可消化底渣959公噸，若地方主管機關加強推動底渣應用於回填料，除可解決焚化底渣的處理問題外，也可以解決我國天然砂石短缺、並改善回填施工品質不良的問題。

## 五、參考文獻

1. 2010.12 行政院環境保護署 環保政策月刊
2. 中華民國101年10月17日 行政院環境保護署公告  
圾焚化爐底渣氣鹽之研究
3. 林志棟、杜建蒼，「焚化底渣處理技術與處理廠營運管理之研究」，國立中央大學，碩士論文，2014。
4. 朝陽技大學環境工程與管理系吳宗恆利用上流式反應器移除都市垃，2011
5. 2005.03.25行政院環境保護署廢管處。
6. 林志棟、雷揚中，「焚化爐底渣應用於道路工程之研究」，國立中央大學，碩士論文，2004。
7. 劉英偉、盧俊愷、陳世鐘，「高高屏垃圾焚化爐底渣於工程應用之可行性探討」，國立屏東科技大學，碩士論文，2007。
8. 2004 國立中央大學土木工程研究所林志棟；陳韋伶；黃大衛不同焚化爐底渣物 化性質比較分析
9. 行政院環境保護署焚化底渣再生粒料應用於 控制性低強度回填材 (CLSM)使用手冊
10. 交通部公路總局第一區養護工程處台61線48K-49K段側車道路面整修工程透水性MRC簡報 101年11月6日
11. 陳茂銓，「宜蘭縣利澤垃圾資源回收(焚化)廠底渣再利用成效探討」中華民國102年7月31日
12. [http://swims.epa.gov.tw/swims/swims\\_net/index.aspx](http://swims.epa.gov.tw/swims/swims_net/index.aspx)  
行政院環境保護署焚化廠營運管理資訊統計