

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

電漿氣化及廢棄物轉化能源之技術調查與評估

計畫編號：942001INER005

受委託機關（構）：國立台灣大學 慶齡工業發展基金會 合設工業研究中心

計畫主持人：蔣本基

核研所共同主持人：曾錦清

協同主持人：張怡怡、葉茂榮

兼任助理：蔡佳娟、陳郁文、傅耀宗

中華民國九十四年十一月

摘要

電漿熔融將廢棄物轉化能源是一項新的技術；電漿提供高溫高能，使反應時間減短；電漿可由空氣產生，不需要耗費大量氧氣燃燒；廢棄物不需要特別的前處理等優點。

因此，本研究計畫之主要目的（1）是蒐集國內各類廢棄物之組成及其所含可燃性有機成分之特性，建立基本資料庫；（2）蒐集國內外目前已發展成功實例進行綜合評估；（3）並藉問卷調查評量國內電漿處理廢棄物轉化能源之技術和應用市場風險。

根據國內外研究成果顯示電漿技術在環境污染防治之績效為：

1. 空氣污染控制技術—將污染物轉變成無毒性的氣體，通常會在還原的環境下添加氫態還原劑，或使用碳氫化合物以提高處理效能及能源效率；此外，對於高級材料製程中產生之全氟化物，更具處理能力。
2. 廢水處理—電漿具強化力能有效處理水中之微量有機物、藻類、揮發有機物…等毒性有機物，亦可處理液態廢棄油、廢棄高耗氧物質及溶劑，其中所包含之所有毒性化合物包含 Cl、F、Br 等將被固定在鈣化合物上

以回收再利用如路面建材。

3. 固體廢棄物處理—氧化/熔化式電漿主要可回收再利用之產物為建築材料及氧化金屬回收；而熱分解電漿通常是產生 syngases(混和 CO、CO₂、H₂、HC 等氣體)供燃燒、鐵礦轉變或燃氣等使用；此外，電漿震動波可分解固體廢棄物使金屬、塑膠與無機性等物質分離以利回收。

最後本研究以工程、經濟與法規、環境三種指標因子來評估電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性；就評估成果顯示出電漿熔融技術處理在生態與健康風險方面呈低風險，但在技術、商業、產業及法規面為中度風險，故未來國內於技術面應推動電漿處理廢棄物轉化能源之關鍵技術、強化本土技術能力、加強材料與零件組之供應，商業方面則應提高週邊環境、基礎設施之配合程度與達到商業化所需之製造技術與時間，而在產業風險面應加強國內產品之競爭力、經濟效益以及帶動內需產業之潛力，並加強法規修訂與配合。

Abstract

Plasma, waste-to-energy conversion, is a new technology, which provides a high temperature and high energy, and shortens reaction time. Plasma has the advantages of production through air, combustion not requiring great amount of oxygen, and waste not needing pre-processing.

The objectives of this research project are therefore: 1) establishing basic database of various waste compositions domestically and the characteristics of flammable organic constituents; 2) collecting successful development examples domestically and internationally; and 3) through questionnaire survey, investigating and evaluating plasma waste-to-energy conversion technology and its risks in market application.

According to literatures, benefits of plasma conversion technology in the area of environmental protection are:

1. Air pollution control technologies—transforming contaminants into non-poisonous gases normally requires the addition of ammonia reagents under reduction condition, or the use of hydrocarbon compounds to enhance process performance and energy efficiency. In addition, it has greater processing capability for fully fluoride compounds of enhanced material production process.
2. Waste water processing—plasma has enhancing power and is able to process the organic compounds, algae, volatile organic compounds, and other hazardous organic compounds. It can also process waste fluid oil, material waste and solution with high COD, which consist of hazardous compounds such as Chlorine, Fluorine, Bromin, etc., which are to be affixed on Calcium compounds to be

recycled such as road construction materials.

3. Solid waste processing—recyclable products of oxygenation/fusion type plasma are primarily construction materials and oxygenated metals. Heat decomposition plasma usually produces syngases (mixing of gases such as CO, CO₂, H₂, HC, etc.) for combustion, iron mine conversion, gas combustion, and so on. Moreover, plasma vibration wave can decompose solid waste and separate metal, plastic, and other inorganic materials for recycling.

Finally, this research uses three indicators, including engineering, economical and regulatory, and environmental factors, to evaluate the potential of using plasma for waste-to-energy conversion. The evaluation results show that plasma technology appears to have low ecological and health risks, but medium technological, commercial, industrial, and regulatory risks. Hence, in terms of future domestic technological strategies, niche-applications of plasma waste-to-energy technology should be implemented. Indigenous techno-capability and supplies of raw materials and component parts need to be enhanced and increased. Commercially speaking, improvement should be made on surrounding environments, coordination of fundamental facilities, and production techniques. In terms of industrial risks, competitiveness of domestic products, economic profitability, and potential to promote domestic industries must be invigorated. Also, regulatory amendments and compliances are to be strengthened.

目錄

第一章 緒言

- 1-1 計畫緣起與背景.....1-1
- 1-2 計畫目標.....1-3
- 1-3 計畫工作內容.....1-4

第二章 研究方法

- 2-1 本計畫執行流程.....2-1
- 2-2 本計畫執行方法.....2-3

第三章 國內各類廢棄物及其組成與特性分析

- 3-1 工業廢棄物3-1
- 3-2 國內農業廢棄物之組成分析 3-14
- 3-3 都市垃圾組成分析3-25
- 3-4 廢有機溶劑組成分析3-37
- 3-5 國內現況問題分析3-44

第四章 廢棄物氣化技術發展現況分析

- 4-1 氣化技術基本理論4-1
- 4-2 氣化技術應用與發展4-3
- 4-3 歐洲廢棄物氣化技術發展情形4-9
- 4-4 日本廢棄物氣化技術發展情形4-16
- 4-5 結語4-20

第五章 電漿技術原理與其應用

5-1 前言	5-1
5-2 電漿基本原理	5-2
5-3 電漿應用	5-7
5-4 結語	5-20

第六章 廢棄物電漿處理技術發展現況分析

6-1 廢棄物電漿處理技術理論	6-1
6-2 國外電漿廢棄物處理技術之發展現況	6-7
6-3 國外電漿廢棄物處理技術研究發展現況	6-16
6-4 國內電漿廢棄物處理技術	6-33
6-5 電漿處理廢棄物轉化能源技術效益及成本分析	6-39
6-6 結語	6-43

第七章 電漿處理廢棄物轉化能源技術評估

7-1 美國電漿處理廢棄物轉化能源技術評估	7-1
7-2 我國電漿處理廢棄物轉化能源技術之評估	7-7

第八章 結論與建議

8-1 結論	8-1
8-2 建議	8-5

參考文獻	9-1
------------	-----

圖目錄

圖 2-1 工作流程	2-2
圖 2-2 可行性評估流程圖	2-6
圖 3-1 工業廢棄物主要產量之處理現況	3-7
圖 3-2 工業廢棄物主要產量種類之成長量況	3-9
圖 3-3 工業廢棄物主要產生量縣市	3-11
圖 3-4 工業廢棄物推估量與主要產量之比較	3-13
圖 3-5 農業廢棄物產量與資源回收再利用量	3-21
圖 3-6 農業廢棄物主要產量之縣市	3-27
圖 3-7 台灣 80 年~90 年垃圾總量表	3-29
圖 3-8 80 年~93 年垃圾清運貨回收單位	3-31
圖 3-9 80 年~93 年垃圾各處理方式總量	3-32
圖 3-10 88 年~93 年各縣市垃圾總量	3-34
圖 3-11 91~93 年有機廢液清運及最終處置	3-43
圖 4-1 氣化技術與其產物之流程示意圖	4-4
圖 4-2 TPS IGCC 程序的整體流程圖	4-11
圖 4-3 旋轉式水泥窯的設計圖	4-12
圖 4-4 為 Proler 氣化程序的能源與質量平衡示意	4-12
圖 4-5 SilvaGas 氣化系統的實驗程序示意圖	4-14
圖 5-1 基本適用於環境化學之電漿特性	5-3

圖 5-2 電子溫度 T_e 和重粒子溫度 T_h vs. 總壓力的典型數值圖表	5-6
圖 5-3 圖示電漿污染控制裝置	5-10
圖 6-1 電漿流量之關係圖	6-3
圖 6-2 氣化與電漿電弧操作方式的特定能量消耗	6-3
圖 6-3 低能量電漿電弧的操作特性	6-3
圖 6-4 在短回路中一般電漿電弧的操作特性	6-3
圖 6-5 反應氣化器的示意圖	6-4
圖 6-6 整體電漿廢棄物轉化能源技術規劃示意圖	6-6
圖 6-7 電漿法進行煤氣化設備示意圖(前半部)	6-18
圖 6-8 高溫熱分解乾燥生質能(biomass)之合成氣產量	6-19
圖 6-9 固體廢棄物氣化過程期間能量消耗與入口水蒸氣溫度關係	6-19
圖 6-10 熱分解生產量與溫度間之關係	6-19
圖 6-11 電漿反應器示意圖	6-24
圖 6-12 電壓輸入對高溫分解產物組成之影響	6-27
圖 6-13 蒸汽電漿系統處理液態危害性廢棄物示意圖	6-30
圖 6-14 RF 電漿系統示意圖	6-31
圖 6-15 爐表面上的電漿電弧溫度	6-32
圖 6-16 非融化粉末沿著半圓表面溫度量測上的影響	6-32
圖 6-17 廢棄物注入變化在接近注入區域溫度量測上的影響	6-33
圖 6-18 非熱電漿程序和常用 VOC 控制技術的成本評估	6-43
圖 7-1 電漿處理廢棄物轉化能源技術之綜合評估	7-11

表目錄

表 2-1 電漿處理廢棄物轉化能源技術之評估因子與評估指標·····	2-7
表 3-1 八十九年各縣市工業廢棄物現況產量推估表·····	3-4
表 3-2 一般工業廢棄物產量現況與處理設施/容量分類·····	3-6
表 3-3 台灣地區未來十年工業廢棄物產量推估表·····	3-8
表 3-4. 台灣各縣市未來十年工業廢棄物產量推估表 ·····	3-10
表 3-5 全國一般工業廢棄物產量推估表、資源回收量及待處理量·····	3-12
表 3-6 89 年農業廢棄物產出及處理狀況表 ·····	3-14
表 3-7 農業廢棄物現況產量及處理設施/容量分類·····	3-20
表 3-8 台灣各縣市未來十年農業廢棄物產量推估表·····	3-22
表 3-9 全國農業廢棄物產量推估表、資源回收量及待處理量·····	3-24
表 3-10 垃圾清理狀況 ·····	3-28
表 3-11 垃圾清理狀況(續一) ·····	3-30
表 3-12 各縣市垃圾產生量 ·····	3-33
表 3-13 北投焚化廠投入垃圾物理組成分析數據 ·····	3-35
表 3-14 歷年北投焚化廠垃圾組成比較 ·····	3-36
表 3-15 工業界對某些溶劑的使用及產生的廢物 ·····	3-39
表 3-16 有害事業廢棄物清運及最終處置方式 ·····	3-41
表 3-17 93~94 年有機廢液清運及最終處置方式·····	3-42
表 4-1 廢棄物氣化技術與燃燒技術之比較 ·····	4-5

表 4-2	各種氣化爐的操作性能及其優缺點	4-5
表 5-1	電漿氣狀污染控制裝置參數	5-8
表 5-2	數種技術的比較	5-11
表 5-3	高級材料製程空氣污染物	5-12
表 5-4	高級材料空氣污染控制方法	5-12
表 5-5	電漿與傳統淨水處理單元功能比較	5-14
表 5-6	熱電漿法固體廢棄物處理技術應用	5-16
表 5-7	電漿適用於環境化學上之領域	5-17
表 6-1	三相電漿電弧之研究結果	6-7
表 6-2	木材和炭 樣品之分析	6-21
表 6-3	氣體產量與轉換效率	6-21
表 6-4	利用 dc Arc Plasma 高溫分解廢棄橡膠之產物	6-23
表 6-5	電漿反應器典型操作條件	6-25
表 6-6	最佳條件下產物的分佈	6-26
表 6-7	在電漿反應器中蒸汽注射之有無對 PP 熱分解之影響比較	6-27
表 6-8	利用蒸汽電漿 torch 氣化 PCB 之產物組成	6-30
表 6-9	1200 ton/yr syngas 工廠成本分析	6-42
表 7-1	對於氣化、熱裂解與電漿市售處理技術的研究與評析	7-2
表 7-2	相關氣化、電漿處理技術評估統計結果	7-5
表 7-3	電漿處理廢棄物轉化能源技術之評估因子與評估指標	7-8

第一章 緒言

1-1 計畫緣起與背景

中華民國 90 年 5 月 9 日行政院會議通過『國家科學技術發展計畫』中，為推動科技發展、建構綠色科技矽島、以科技引領國家邁向知識經濟時代，設定之總目標之二：『增進全民生活品質、促進國家永續發展』；特別在增進民生福祉與環境生態品質方面的重要措施：推廣清潔生產技術、工業減廢、發展對環境衝擊最小之廢棄物處理及資源化技術，加強新興及再生能源技術之研發與推廣。然 92 年政府科技發展環保領域策略規劃報告建議，原能會研究重點宜利用現有人力、設備及環境專長，繼續研發電漿熔融技術在環保領域之應用。

國內工業廢棄物產量每年約 1800 萬公噸，約為都市垃圾量之兩倍；有害工業廢棄物約為 150 萬公噸，所佔比率約為 8%。由於廢棄物的來源不同，且各廢棄物性質差異極大，均需有特殊的管理與處理技術。我國公私立醫院林立，根據衛生署 89 年的統計發現我國醫療廢棄物每日產量總計約為 311 公噸，其中約有 53 公噸為感染性醫療事業廢棄物。醫療廢棄物常含有大量（17%~45%）的不可燃物質，一般都市焚化爐無法將之完全處理。

再者，台灣地區目前包含興建中已有 21 座大型垃圾焚化爐，以處理日常生活產生的垃圾。至 95 年，俟全數完工後，將興建完成 27 座大型垃圾焚化廠，每日設計焚化處理量 25400 公噸，惟依目前國際通用開

機運轉率 85%標準估計，每日實際焚化處理量約達 21590 公噸。垃圾經焚化處理後，會產生 5 分之一的爐底灰，以及 4~5%的飛灰；依此估計，爾後底灰總產量為每日 4380 公噸，飛灰總產量為每日約 1000 公噸，每年將產生約 150 萬公噸的焚化灰渣（底灰+飛灰）。焚化灰渣之飛灰，溶出試驗超過有害事業廢棄物認定標準之規定者，得採固化法、高溫熔融法或其他經中央主管機關許可之處理方法處理，其處理後之廢棄物溶出試驗應低於有害事業廢棄物認定標準。由此可見，國內對於妥善處理有害廢棄物之殷切，對於焚化灰渣之飛灰處理，已由底灰與飛灰混合掩埋，改採固化或高溫熔融法處理，進而導向『資源在利用』。

處理上述龐大的有害工業廢棄物、醫療廢棄物及都市焚化爐飛灰等有害廢棄物為一刻不容緩的課題；需積極應用更有效的減容、固化技術，以降低處理、儲存、運送、處置的成本。同時，更進一步地採取處理後回收在利用的新策略與新技術，以達到資源再利用的目標，確保生活品質。

本研究針對電漿氣化熔融技術與廢棄物轉化能源之技術調查與評估進行研究，電漿熔融技術近幾年來快速發展，可處理複雜及有害廢棄物，已引起世界各國廣泛研究興趣。電漿產生高溫以玻璃或玻璃渣形式包匣的有害廢棄物，具有低溶出性、高體積縮減率與高強度等特質，可有效解決國內掩埋場地缺少及有害廢棄物處理、處置問題。也可使有害廢棄物轉化為無害化物質，提升資源回收再利用機會。電漿氣化將廢棄

物轉化能源是一項新的技術，較以往燃燒熱解的方法有許多優點，例如電漿提供高溫高能，使反應時間減短；電漿可由空氣產生，不需要耗費大量氧氣燃燒；廢棄物不需要特別的前處理。但電漿熔融氣化技術應用於各類廢棄物，國內相關技術可行性評估及其技術市場應用資料仍相當缺乏。因此本研究計畫之主要目的是蒐集國內各類廢棄物之組成及其所含可燃性有機成分之特性，以建立基本資料庫，蒐集國內外目前已發展成功實例，評量國內電漿處理廢棄物轉化能源之技術和應用市場之風險。研究成果將可提供國內電漿技術之研發設計及建造之方向。

1-2 計畫目標

- 蒐集國內各種廢棄物之組成及所含可燃性有機成分之特性分析，建立廢棄物資料庫。
- 各國廢棄物氣化技術發展趨勢之及各種氣化技術特點與優劣點分析。
- 評估國內發展電漿氣化技術之能量與可行性，勾勒電漿處理廢棄物轉化能源之發展方向。
- 國內電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性及其推廣應用風險。

1-3 計畫工作內容

1. 工業廢棄物、農業廢棄物、廢有機溶劑與都市垃圾等各類廢棄物相關資料之調查及蒐集其組成。
2. 廢棄物氣化技術之資料收集及技術特性與各技術優劣點分析。
3. 國內發展電漿氣化技術之可行性評估。
4. 國內外電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性評估與市場分析。

第二章 研究方法

2-1 本計畫執行流程

本研究將致力於電漿氣化技術與廢棄物轉化能源之技術發展與可行性項目，就環境、工程技術以及社會經濟層面進行深入探討，主要探討的項目有下列三項：

1. 建立各類廢棄物之基本資料庫。
 - 工業廢棄物
 - 農業廢棄物
 - 廢有機溶劑
 - 都市垃圾
2. 廢棄物氣化技術之資料蒐集及技術特性分析與優劣點比較。
 - 各國氣化技術之調查與研究
 - 國際上廢棄物氣化技術之成功經驗與趨勢
 - 各項氣化技術之優劣特性分析
3. 進行國內電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性評估。
 - 工程指標因子評估
 - 經濟與法規指標因子評估
 - 環境指標因子評估

本研究將針對電漿氣化技術用廢棄物轉化能源之可行性評估提出建議，考量技術發展與國外經驗，以及提出可能發展潛力與應用市場之趨勢。電漿氣化技術之可行性評估，其主要考量之精神在於工程上關鍵突破之困難性、本土技術之開發能力與技術整合能力及環境之生態風險和健康風險，並考量相關社會成本、經濟效益、相關法規修訂等因素。

流程見圖 2-1。

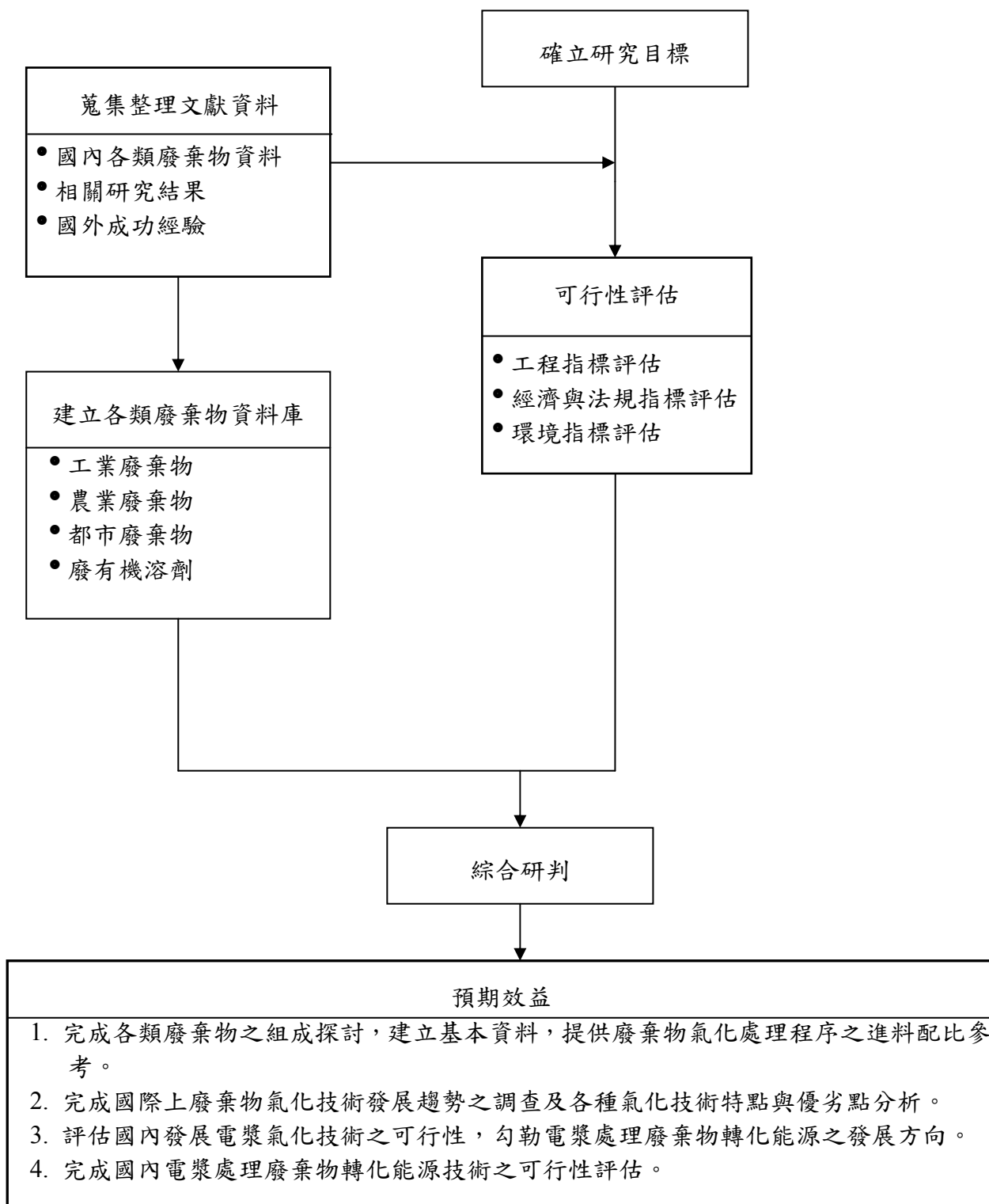


圖 2-1 工作流程圖

2-2 本計畫執行方法

2-2-1 建立各類廢棄物之基本資料

蒐集彙整國內工業廢棄物、農業廢棄物、都市垃圾、廢有機溶劑等各類廢棄物相關資料組成成分，建立基本資料，以提供未來廢棄物氣化處理程序之進料配比參考。

➤ 工業廢棄物

調查近五年國內工業廢棄物的總量組成，可分成一般工業廢棄物、有害工業廢棄物等。另外從中分析相關組成比例與趨勢變化，建立相關工業廢棄物資料庫，以提供未來廢棄物處理時的進料參考。

➤ 農業廢棄物

統計近年來國內農業廢棄物的相關總量與組成，並且將農業廢棄物擴大包含至農業、漁業、養殖、畜牧及農產品批發市場所產生的廢棄物等。由於農業廢棄物幾乎富含可燃性有機成分對於其組成與趨勢變化將影響未來廢棄物氣化處理的進料配比，需要進一步的蒐集相關資料。

➤ 都市垃圾

統計分析台灣省與台北市近年來之垃圾質與量，都市垃圾組成可分為可燃物及不可燃物部分，可燃物部分包含紙類、纖維布

類、木竹稻草落葉類、廚餘類、塑膠類、皮革類及其他，不可燃物部分包含金屬類、玻璃類、陶瓷類、石頭及 5mm 以上砂土，可藉由歷年資料，看出各類垃圾量的變化趨勢。

2-2-2 廢棄物氣化技術之資料蒐集及技術特性分析與優劣點比較

蒐集彙整歐美日各類廢棄物氣化之研究報告結果，如煤、木材、塑膠、橡膠等，並調查國際上廢棄物氣化技術發展成功之經驗及趨勢。完成國際上廢棄物氣化技術發展趨勢之調查及各種氣化技術特點與優劣點分析。

1. 蒐集彙整歐美日各國相關廢棄物（如煤、木材、塑膠、橡膠等）氣化技術研發文獻，如：旋轉窯式、流動床式、豎窯式等，分析其主要的關鍵技術與處理成效，並進一步了解各國發展的瓶頸與國內相關技術研發的不同。
2. 調查彙整各種相關氣化技術的特點與研究報告，並分析其技術的瓶頸與優缺點比較，如：能源效率、處理方式、技術門檻等相關重點評估。再者，調查國內相關氣化技術研發情況與各國發展氣化技術趨勢，建立我國合適之廢棄物氣化技術處理方法。
3. 調查國際上廢棄物氣化技術的成功案例，針對案例處理進料的組成與配比成分，以及廢棄物處理的總量進行評估。瞭解各國案例成功與失敗的關鍵點，並國內實施廢棄物氣化處理的可行

性。

4. 各國對於電漿處理廢棄物氣化技術的研究文獻，針對電漿清潔技術的開發與轉換再利用能源方面進行深入評析，並蒐集國際間電漿廢棄物處理轉化能源成功之案例評估。另外一方面，對於我國實施電漿廢棄物處理轉化再生能源的可行性進行。

2-2-3 進行國內電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性評估

以工程、經濟與法規、環境三種指標因子來評估電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性。工程因子為技術風險和商業化風險，評估指標為關鍵性技術突破之困難度、本土之技術能力配合程度、材料與零組件供應能力、技術整合困難度、可預見的技術進展速度、周邊環境與基礎設施之配合程度、資金需求量與取得困難度、達到商業化所需之製造技術與時間、原料與零件取得之困難度和操作、維護與訓練之困難度；流程如圖 2-2。

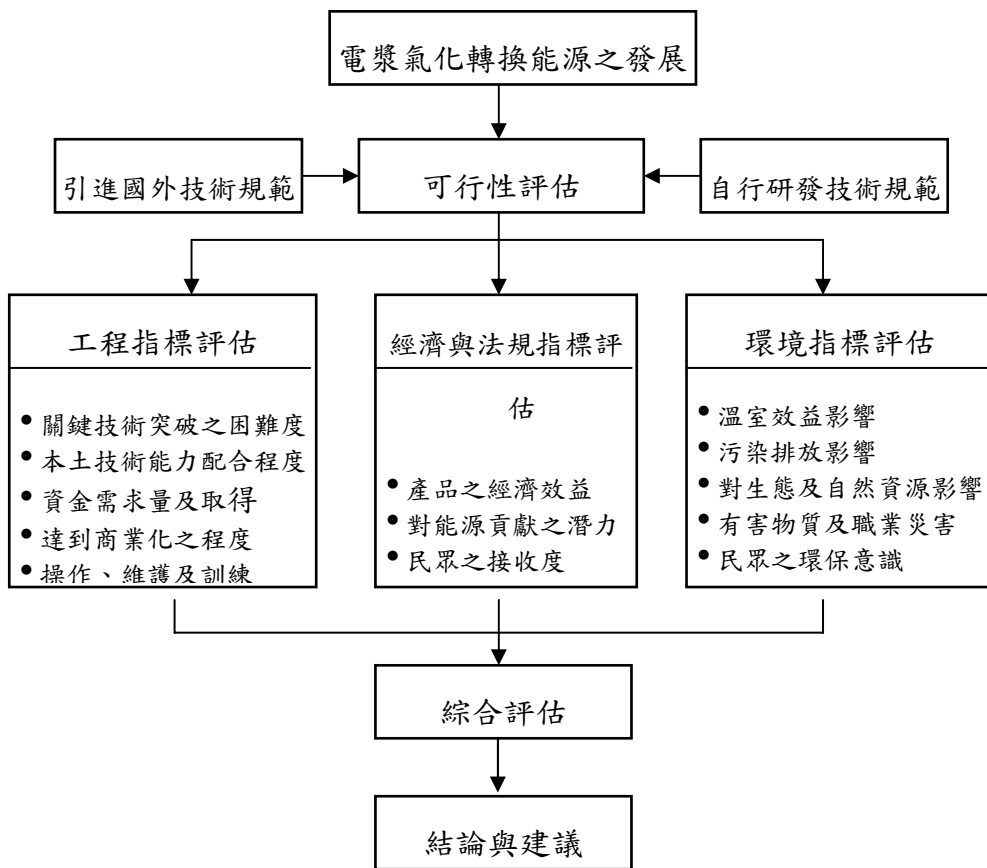


圖 2-2 可行性評估流程圖

經濟與法規因子為產業風險和法規風險，評估指標為與國內外產品之競爭力、產品使用之經濟效益、對能源貢獻（供應或節約）之潛力、帶動內需產業之潛力、民眾對新技術使用之接受度、推廣時新法規之需求度、修訂現有的法規之困難、新法規產生之效益和政府執行能力。環境因子為生態風險和健康風險，評估指標為溫室效應影響、污染排放量、對水土與環境資源影響、對動植物生態影響、環境時間與空間影響、毒性/有害物質、安全衛生、職業災害和民眾之環保與健康意識，評估權重比例將藉由專家小組諮詢會議予以確認。（詳見表 2-1）。

表 2-1 電漿處理廢棄物轉化能源技術之評估因子與評估指標

評估因子		評估指標
一、 工程 (Engineering)	1.技術風險	(1)關鍵技術突破之困難度
		(2)本土之技術能力配合程度
		(3)材料與零組件供應能力
		(4)技術整合困難度
		(5)可預見的技術進展速度
	2.商業化風險	(1)周邊環境與基礎設施之配合程度
		(2)資金需求量與取得困難度
		(3)達到商業化所需之製造技術與時間
		(4)原料與零件取得之困難度
		(5)操作、維護與訓練之困難度
二、 經濟 與法規 (Economy and Regulation)	1.產業風險	(1)與國內外產品之競爭力
		(2)產品使用之經濟效益
		(3)對能源貢獻（供應或節約）之潛力
		(4)帶動內需產業之潛力
		(5)民眾對新技術使用之接受度
	2.法規風險	(1)推廣時新法規之需求度
		(2)修訂現有的法規之困難度
		(3)新法規產生之效益
		(4)政府執行能力
三、 環境 (Environment)	1.生態風險	(1)溫室效應影響
		(2)污染排放量
		(3)對水土與環境資源影響
		(4)對動植物生態影響
		(5)環境時間與空間影響 (污染之持續時間與擴散範圍)
	2.健康風險	(1)毒性/有害物質
		(2)安全衛生
		(3)職業災害
		(4)民眾之環保與健康意識

註：()內數字為權重比例

風險分數：低或無風險(0分)、中度風險(50分)、高風險(100分)

第三章 國內各類廢棄物及其組成分析

3-1 工業廢棄物

一、工業廢棄物產生量：

依據經濟部提供之工業廢棄物產源，包括：工業局、科管局、加工處及縣市政府所管轄之工廠；其廢棄物之分類共可分為下列 28 項：塔底污泥殘留物、有機污泥、生物污泥、無機污泥、廢溶劑、廢油、廢酸、廢鹼、廢液、燃燒灰渣、鑄造廢渣、集塵灰、觸媒、金屬、廢電池、廢樹脂、廢塑膠、廢橡膠、其他化學物質、玻璃或陶瓷、建築廢材、廢紙、廢木材、纖維棄物、廢皮革、動植物性殘渣、處理事業廢棄物產生物與其他廢棄物。

據經濟部工業局及環保署八十七年統計資料，台灣地區工業廢棄物產生量為 1821 萬公噸/年，其中一般工業廢棄物為 1674 萬公噸/年、有害工業廢棄物為 147 萬公噸/年；再利用量為 590 萬公噸/年，其中一般工業廢棄物為 585 萬公噸/年、有害工業廢棄物為 5 萬公噸/年。據工業局工業廢棄物處理推動方案，未來工業廢棄物之處理朝向資源化提昇、中間處理容量之擴充，減少最終處置場之負荷。該方案預估民國九十五年工業廢棄物產生量為 2291 萬公噸/年，其中一般工業廢棄物為 2102 萬公噸/年、有害工業廢棄物為 189 萬公噸/年；再利用量為 924 萬公噸/年，其中一般工業廢棄物為 919 萬公噸/年、有害工業廢棄物為 5 萬公噸/年。根據『一般事業廢棄物中間處理及最終處置報告』統計，在民國八十九年時，全國一般工業廢棄產量達

1931 萬公噸/年，依廢棄物成分分類以鎔鑄礦渣量最多達 814 萬公噸/年，其次為無機污泥 280 萬公噸/年，再次為集塵灰 157 萬公噸/年，若依各縣市廢棄物產生量前三名分別為：高雄市（508 萬公噸/年，佔 26.3%）、桃園縣（227 萬公噸/年，佔 11.8%）及高雄縣（174 萬公噸/年，佔 9%），詳如表 3-1。

二、工業廢棄物處理設施容量：

再者分析各類廢棄物資源回收率，資源回收係以公告回收物、廠內回收量、事業機構申請再利用量及委託代處理資源回收量之總和除以廢棄物總量得之，再依環保署公告之『事業廢棄物儲存清除處理方法及設施標準』中第四章事業廢棄物之中間處理，依廢棄物種類、特性判定其處理方式，包括物化處理、適用機械式焚化爐，非機械式焚化爐及最終處置廠等處理/處置方式。依處理設施容量分類，資源回收在利用量 11369 萬公噸/年（58. %）、物化處理 4.6 萬公噸/年（0.2 %）、適合機械式焚化爐 203.2 萬公噸/年（10.0%）、非機械式焚化爐者 48. 萬公噸/年，最終處置方式者 537.9 萬公噸/年（27.9%），民國八十九年工業廢棄物產量現況及處理設施容量規劃如表 3-2 所示。

針對其中處理量較大之廢棄物分別針對其待處理量與資源回收再利用總量統計如（圖 3-1），最後，經濟部工業局為掌握工業廢棄物質與量及流向管制，推估各類工業廢棄物及各縣市未來十年產量，

詳如表 3-3 和 3-4。而針對其中廢棄物產量較大之類別（鑄造廢渣、無機污染、集塵灰、金屬、動植物性殘渣）統計其成長量如（圖 3-2）；各縣市產量之變化情況如（圖 3-3）所示；推估量與實際產生量之變化如（圖 3-4）；並針對未來 10 年工業廢棄物待處理量推估，根據各種事業廢棄物的回收率，還有環保署公告『應回收清除處理之一般廢棄物之種類、物品及其包裝容器之業者範圍』，如廢油、廢電池、觸媒、廢塑膠（部分）、廢液、金屬、廢紙等，並以 89 年資源回收率 58.9% 為基準值，推估 99 年可達資源回收率 71%，便可估計未來 10 年廢棄物待處理量，如表 3-10 所示。

表3-1 八十九年各縣市工業廢棄物現況產量推估表

單位：噸/年

廢棄物分類代碼	廢棄物類別	基隆市	宜蘭縣	台北市	台北縣	桃園縣	新竹縣	新竹市	苗栗縣	台中縣	台中市	彰化縣	南投縣	雲林縣
1	塔底污泥殘留物	100	718	298	2301	2775	620	457	1755	1081	2331	660	179	322
2	有機污泥	438	3612	3316	25571	26679	7898	5827	8406	21362	4861	26115	9082	12218
3	生物污泥	2174	6157	4986	38448	140427	9128	6735	21713	20800	10922	64136	4755	18849
4	無機污泥	12333	78563	36804	283786	346124	66867	49335	190337	164192	26002	116317	30281	45258
5	廢溶劑	101	286	384	2960	3851	663	489	825	1378	2131	1155	249	307
6	廢油	481	1239	2452	18906	18508	2218	1637	3554	15540	4585	10364	1986	11455
7	廢酸	276	257	1164	8973	11606	1085	800	541	3924	1016	2771	473	285
8	廢鹼	46	110	163	1250	2068	205	152	373	541	119	478	89	101
9	廢液	157	572	426	3284	7548	1568	1157	3497	2214	663	3274	675	1231
10	燃燒灰渣	566	1924	2353	18140	27822	4975	3671	7854	16290	3027	11742	2812	3122
11	熔鑄礦渣	19304	49339	62704	483501	764969	82948	61200	109431	488102	82260	385253	89093	73230
12	集塵灰	3758	15138	11787	90887	162333	20320	14992	39790	84067	14965	70629	17608	18897
13	觸媒	17	311	47	363	1518	162	120	514	201	77	395	97	221
14	金屬	7743	12500	23249	179267	221847	26891	19841	26143	133513	46646	93692	22024	25681
15	廢電池	70	45	52	398	380	212	157	20	80	29	30	16	8
16	廢樹脂	103	200	362	2790	3521	756	558	436	2018	474	1433	479	228
17	廢塑膠	1440	5019	8429	64996	61106	8741	6449	10529	42098	13759	30841	8411	8698
18	廢橡膠	43	548	565	4360	4328	810	598	541	4054	409	7417	2086	505
19	其他化學物質	32	101	167	1289	1014	231	171	467	407	76	273	74	124
20	玻璃或陶瓷	1643	5942	3239	24975	17980	5093	3757	11104	15615	3399	11894	3453	23553
21	建築廢材	3327	29117	10303	79447	84402	20334	15003	68773	36248	4587	21582	6438	10930
22	廢紙	2779	13918	17050	131469	102235	16046	11838	25610	61904	29138	53260	15254	44768
23	廢木材	838	5675	3206	24721	28825	5662	4177	7849	31424	6357	19267	8347	5122
24	纖維棄物	780	4531	3156	24339	43690	5105	3767	9302	11557	2141	20837	2070	5546
25	廢皮革	6	23	225	1731	1785	59	44	424	1761	372	2610	499	1431
26	動植物性殘渣	5413	27165	11800	90988	9339	9683	7144	43658	65935	20854	60218	39797	64902
27	處理事業廢棄物產生物	138	713	521	4014	3213	455	335	642	5465	1144	2624	805	1077
28	其他廢棄物	6733	15331	22871	176358	169683	26403	19480	30779	113775	41130	81899	21860	40895
	總計	70836	279054	232079	1789515	2269576	325139	239889	625167	1345546	323474	1101166	288992	418964

資料來源：經濟部工業局，民國 90 年 5 月 18 日。

表3-1 八十九年各縣市工業廢棄物現況產量推估表（續）

單位：噸/年

廢棄物分類代碼	廢棄物類別	嘉義市	嘉義縣	台南市	台南縣	高雄縣	高雄市	屏東縣	澎湖縣	花蓮縣	台東縣	金門縣	連江縣	合計
1	塔底污泥殘留物	95	394	158	1035	1759	363	228	—	1008	41	—	—	18678
2	有機污泥	1694	6991	7148	25604	19449	5696	4648	—	1782	666	—	—	229063
3	生物污泥	1849	7631	5752	49624	75482	17115	5198	—	764	854	—	—	513499
4	無機污泥	12533	51712	22330	198540	206823	511968	5118	—	294973	5272	—	—	2801468
5	廢溶劑	70	290	277	1436	2656	2018	425	—	252	17	—	—	22247
6	廢油	796	3284	3068	13539	11240	21482	1471	—	132	77	—	—	148194
7	廢酸	83	345	630	2567	2287	2179	335	—	37	20	—	—	41654
8	廢鹼	69	286	76	458	901	278	72	—	122	7	—	—	7964
9	廢液	171	704	294	3862	20877	5578	377	—	306	32	—	—	58467
10	燃燒灰渣	541	2232	3022	16867	27471	30346	2441	—	271	125	—	—	187704
11	熔鑄礦渣	18007	74297	74468	744386	738317	3602642	124789	—	4349	6407	—	—	8138996
12	集塵灰	3604	14869	13279	136265	250246	567620	20882	—	2948	1110	—	—	1575994
13	觸媒	14	59	37	478	2225	1552	44	—	31	8	—	—	8491
14	金屬	4709	19431	25317	87270	94795	118597	27043	—	6264	1082	—	—	1223545
15	廢電池	1	6	17	45	39	117	9	—	0	0	—	—	1731
16	廢樹脂	65	267	476	1350	1667	980	700	—	16	8	—	—	18886
17	廢塑膠	2886	11906	10485	31166	27624	12883	6000	—	1666	477	—	—	375609
18	廢橡膠	265	1094	292	1641	2494	459	98	—	98	5	—	—	32710
19	其他化學物質	19	80	44	370	892	305	69	—	89	6	—	—	6300
20	玻璃或陶瓷	1287	5312	2196	19896	14257	6734	6432	—	6090	414	—	—	194265
21	建築廢材	5163	21304	4780	35667	38038	44634	8987	—	106675	1792	—	—	657531
22	廢紙	3813	15733	20864	59022	41424	23897	14131	—	5550	2311	—	—	712014
23	廢木材	1046	4316	3806	16240	17668	8640	6271	—	1051	471	—	—	210979
24	纖維棄物	1198	4943	3142	15918	5680	3325	2073	—	2483	343	—	—	176226
25	廢皮革	57	233	419	2323	869	169	175	—	2	1	—	—	15218
26	動植物性殘渣	13907	57381	967	112322	65132	22209	48405	—	54509	2379	—	—	842787
27	處理事業廢棄物產生物	223	919	533	3066	1948	905	1098	—	141	75	—	—	30054
28	其他廢棄物	4925	20322	23638	83552	71093	63187	20370	—	5264	1620	—	—	1061789
	總計	79093	326338	236195	1664536	1743533	5076598	353889	0	496873	25620	0	0	19312072

資料來源：經濟部工業局，民國 90 年 5 月 18 日。

表3-2 一般工業廢棄物產量現況與處理設施/容量分類

一般工業廢棄物種類	產量	資源回收再利用		待處理量	處理方法					
	A	%	B	C=A-B	適用機械式焚化爐	非機械式焚化爐		物化處理	堆肥處理	最終處置場
					類別I	污泥	廢溶劑	類別III	類別IV	類別V
類別II (a)	類別II (b)									
廢樹脂	18886	0	0	18886	18886	0	0	0	0	
廢塑膠	375609	50.1	188180	187429	187429	0	0	0	0	
廢橡膠	32710	0	0	32710	32710	0	0	0	0	
廢木材	210979	4.4	9199	201780	201780	0	0	0	0	
纖維廢棄物	176226	42.4	74790	101436	101436	0	0	0	0	
廢皮革	15218	0	0	15218	15218	0	0	0	0	
動植物性殘渣	842787	58.7	494800	347987	347987	0	0	0	0	
其他廢棄物	1061798	58.7	623382	438416	438416	0	0	0	0	
塔底污泥殘留物	18678	0	0	18678	0	18678	0	0	0	
有機污泥	229063	40.9	93778	135285	0	135285	0	0	0	
生物污泥	513499	48.1	247044	266455	0	266455	0	0	0	
廢溶劑	22247	14	3115	19132	0	0	19132	0	0	
廢酸	41654	20.9	8697	32957	0	0	0	32957	0	
廢鹼	7964	0	0	7964	0	0	0	7964	0	
其他化學物質	6300	50.1	3156	3144	0	0	0	3144	0	
無機污泥	2801468	0.4	10926	2790542	0	0	0	0	0	2790542
燃燒灰渣	187704	0.4	732	186972	0	0	0	0	0	186972
熔鑄礦渣	8138996	98.1	7981099	157897	0	0	0	0	0	157897
集塵灰	1575994	50.0	787997	787997	0	0	0	0	0	787997
玻璃或陶瓷	194265	23.8	46177	148088	0	0	0	0	0	148088
建築廢材	657531	0	0	657531	0	0	0	0	0	657531
處理事業廢棄物產生物	30054	0	0	30054	0	0	0	0	0	30054
廢油	148194	20	29639	118555	0	0	118555	0	0	0
廢液	58467	20	11693	46774	0	0	46774	0	0	0
觸媒	8491	5	425	8066	0	0	0	0	0	8066
金屬	1223545	50	611773	611773	0	0	0	0	0	611773
廢電池	1731	5	87	1644	0	0	0	1644	0	0
廢紙	712014	20	142403	569611	569611	0	0	0	0	0
合計	19312072	58.9	11369091	7942981	1913473	420418	184461	45709	0	5378920

資料來源：經濟部工業局，民國 90 年 5 月 18 日。

圖 3-1 工業廢棄物主要產量之處理現況

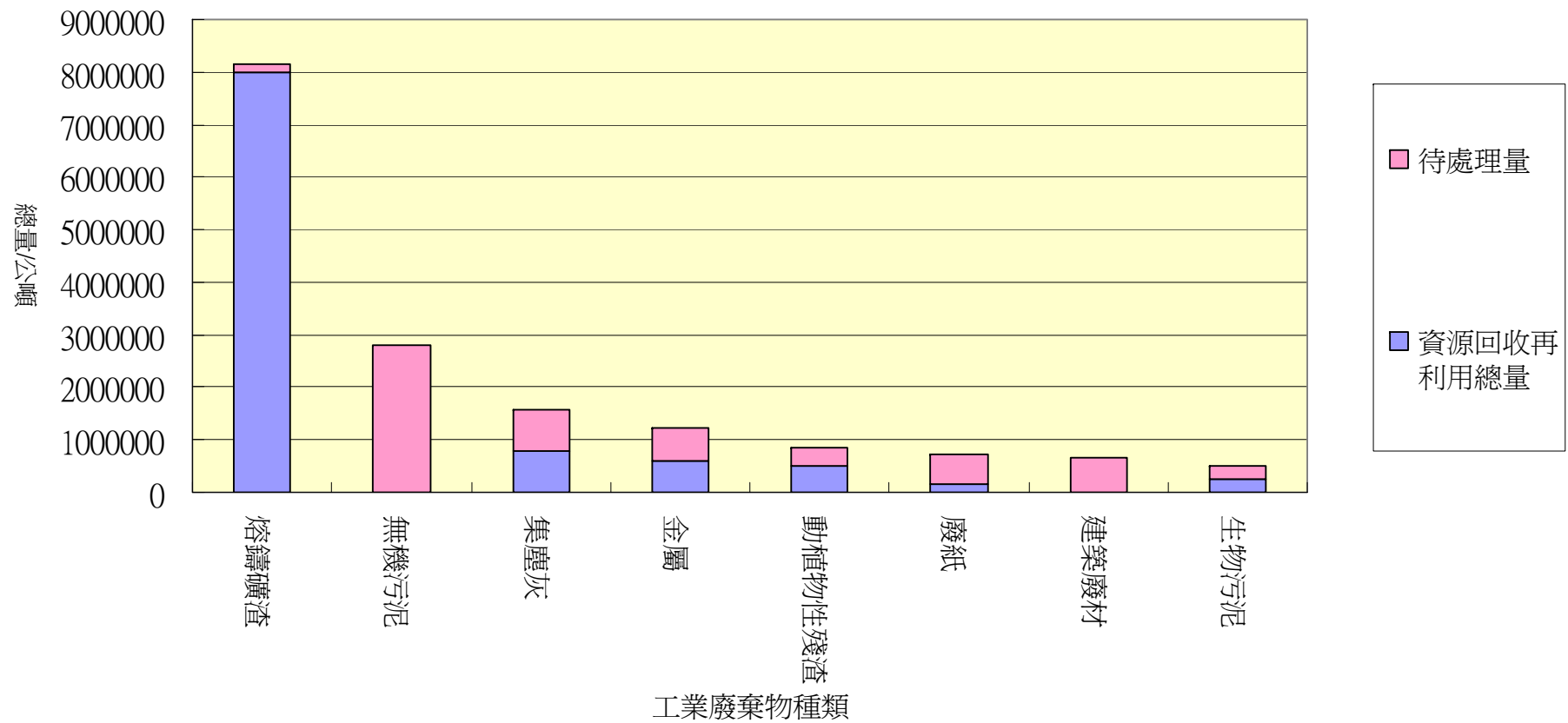


表3-3 台灣地區未來十年工業廢棄物產量推估表

單位：噸/年

廢棄物 分類代碼	廢棄物類別	一般工業廢棄物									
		民國 90 年	民國 91 年	民國 92 年	民國 93 年	民國 94 年	民國 95 年	民國 96 年	民國 97 年	民國 98 年	民國 99 年
1	塔底污泥殘留物	18,323	18,488	18,768	19,093	19,489	19,964	20,542	21,239	22,078	23,095
2	有機污泥	233,617	232,341	236,180	238,314	240,838	244,276	248,842	254,612	261,631	269,979
3	生物污泥	520,350	528,650	536,113	540,987	546,388	554,247	565,189	579,531	597,305	618,745
4	無機污泥	2,800,548	2,849,714	2,904,653	2,960,415	3,017,810	3,077,090	3,138,353	3,201,802	3,267,598	3,336,236
5	廢溶劑	23,104	24,129	25,291	26,577	28,003	29,600	31,400	33,426	35,719	38,327
6	廢油	155,874	158,674	162,769	167,051	170,943	175,460	180,472	185,593	191,457	197,792
7	廢酸	40,891	43,194	45,480	48,113	50,805	53,836	57,214	60,835	64,909	69,349
8	廢鹼	7,796	8,111	8,413	8,748	9,123	9,537	9,998	10,505	11,076	11,701
9	廢液	60,867	63,479	66,437	69,739	73,315	77,336	81,844	86,832	92,455	98,725
10	燃燒灰渣	191,101	197,332	201,024	197,174	196,594	202,768	207,395	213,813	214,949	221,985
11	熔鑄礦渣	8,495,917	8,855,478	9,214,815	9,571,902	9,929,245	10,289,297	10,649,160	11,009,254	11,368,168	11,728,942
12	集塵灰	1,643,245	1,713,416	1,784,782	1,857,498	1,932,695	2,011,014	2,091,896	2,175,970	2,262,898	2,354,169
13	觸媒	9,016	9,516	10,064	10,671	11,341	12,089	12,929	13,869	14,920	16,107
14	金屬	1,223,058	1,272,269	1,324,860	1,382,011	1,429,634	1,487,510	1,552,855	1,617,179	1,693,053	1,773,784
15	廢電池	1,834	1,996	2,180	2,380	2,603	2,846	3,120	3,425	3,757	4,127
16	廢樹脂	19,508	20,424	21,053	21,936	23,025	24,377	25,894	27,662	29,609	31,931
17	廢塑膠	390,544	396,618	402,271	405,623	410,546	419,535	429,220	440,843	451,947	467,000
18	廢橡膠	33,086	33,506	33,904	34,232	34,579	34,975	35,371	35,791	36,197	36,674
19	其他化學物質	6,499	6,812	7,152	7,533	7,951	8,420	8,944	9,522	10,176	10,902
20	玻璃或陶瓷	193,279	195,832	197,890	198,120	199,202	202,182	204,946	208,305	210,588	214,634
21	建築廢材	642,953	645,741	651,556	657,487	663,921	670,734	677,909	685,429	693,273	701,506
22	廢紙	724,028	739,474	745,141	749,701	754,042	763,674	775,780	791,408	808,948	831,101
23	廢木材	201,973	209,155	188,413	183,765	180,243	178,935	178,947	180,066	182,202	185,904
24	纖維棄物	175,996	178,775	180,563	180,843	180,954	181,724	183,072	185,220	187,929	191,654
25	廢皮革	15,802	15,246	15,583	15,819	16,033	16,282	16,527	16,754	16,961	17,182
26	動植物性殘渣	863,193	869,004	874,631	879,004	882,662	885,934	888,966	891,944	894,998	898,350
27	處理事業廢棄物產生物	29,997	30,508	29,450	29,193	28,957	28,798	28,717	28,711	28,782	28,920
28	其他廢棄物	1,081,798	1,116,900	1,152,160	1,185,987	1,215,933	1,258,046	1,305,057	1,353,731	1,407,521	1,469,404
	總計	19,804,194	20,434,781	21,041,587	21,649,913	22,256,866	22,920,499	23,610,551	24,323,273	25,061,106	25,848,213

資料來源：經濟部工業局，民國 90 年 5 月 18 日。

圖 3-2 工業廢棄物主要產量種類之成長量

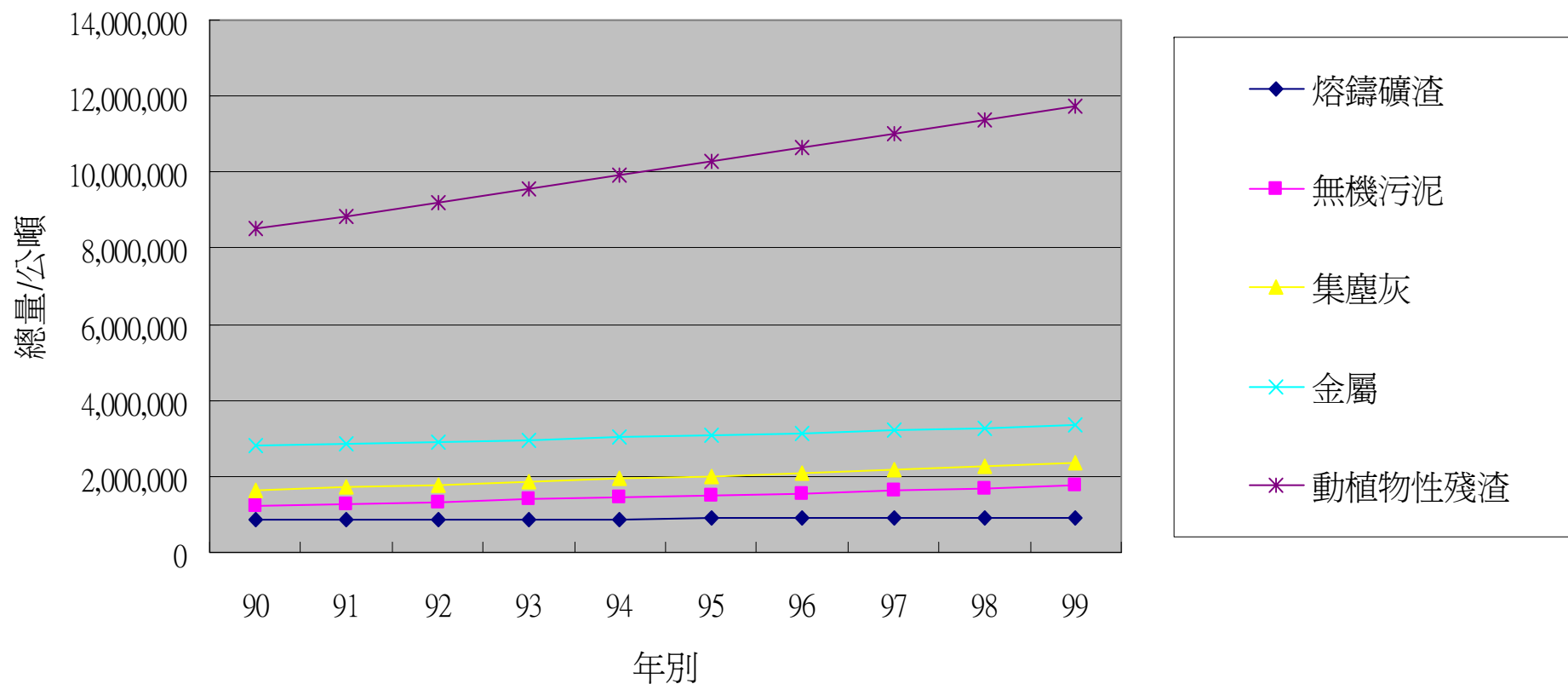


表3-4 台灣各縣市未來十年工業廢棄物產量推估表

縣市別	民國 89 年	民國 90 年	民國 91 年	民國 92 年	民國 93 年	民國 94 年	民國 95 年	民國 96 年	民國 97 年	民國 98 年	民國 99 年
基隆市	70836	72641	74954	77180	79411	81637	84072	86603	89217	91923	94810
宜蘭縣	279053	286164	295276	304044	312834	321604	331194	331194	341165	362125	373498
台北市	300106	307753	317552	326982	336435	345867	356180	356180	366903	389444	401676
台北縣	1721488	1765356	1821567	1875658	1929885	1983989	2043145	2043145	2104657	2168189	2304123
桃園縣	269576	2327411	2401518	2472831	2544322	2615651	2693642	2693642	2774738	2858498	3037710
新竹縣	325140	333425	344042	354258	364500	374719	385892	385892	397509	409509	435183
新竹市	239888	246001	253834	261372	268928	276468	284711	284711	293283	302136	321078
苗栗縣	625167	641098	661511	681155	700847	720495	741978	741978	764317	787389	836754
台中縣	1345546	1379834	1423769	1466048	1508432	1550721	1596959	1596959	1645037	1694696	1800944
台中市	323474	331717	342279	352443	362632	372799	383915	383915	395473	407411	432953
彰化縣	1101166	1129227	1165182	1199782	1234469	1269077	1306917	1306917	1346263	1386903	1473854
南投縣	288992	296356	305793	341873	323976	333059	342990	342990	353316	363981	386801
雲林縣	418964	429640	443321	456485	469682	482850	497247	497247	512217	527679	560762
嘉義市	61139	62697	64693	66614	68540	70462	72563	72563	74747	77004	81831
嘉義縣	344292	353065	364307	375125	385971	396791	408622	408622	420924	433631	460817
台南市	236195	242214	249926	257348	264788	272211	280328	280328	288767	297484	316135
台南縣	1664536	1706953	1761304	1813605	1866038	1918352	1975552	1975552	2035028	2096459	2227896
高雄縣	1743533	1787963	1844893	1899677	1954598	2009395	2069309	2069309	2131608	2195954	2333629
高雄市	5076598	5205963	5371726	5531239	5691150	5850701	6025151	6025151	6206547	6393901	6794765
屏東縣	353889	362907	374465	385582	396729	407852	420013	420013	432658	445718	473662
澎湖縣	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
花蓮縣	496874	509536	525760	541372	557024	572640	589714	589714	607468	625806	665040
台東縣	25620	26273	27109	27914	28721	29527	30407	30407	31322	32268	34291
金門縣	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
連江縣	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合計	19312072	19804194	20434781	21041587	21649913	22256866	22920499	23610551	24323273	25061106	25848213

資料來源：經濟部工業局，民國 90 年 8 月。

圖 3-3 工業廢棄物主要產生量之縣市

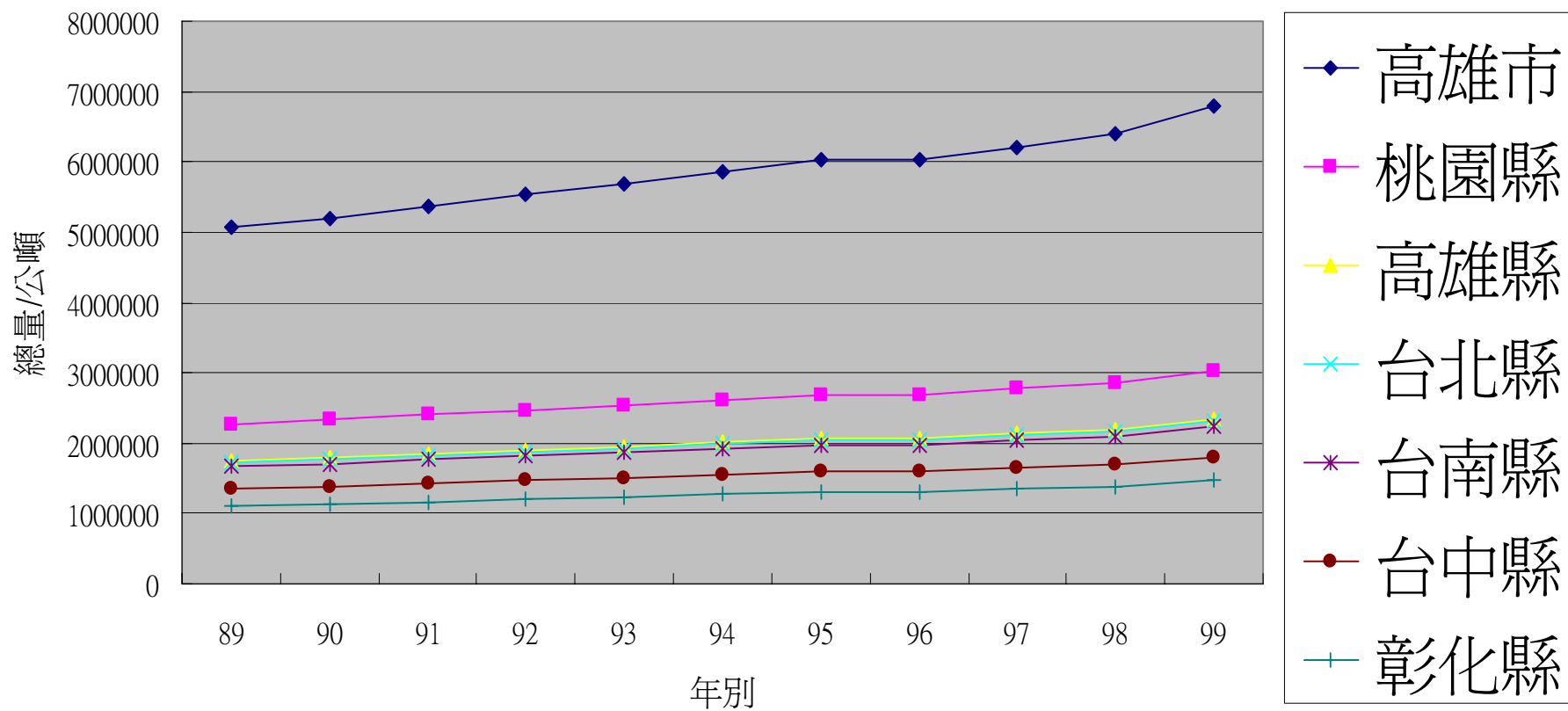
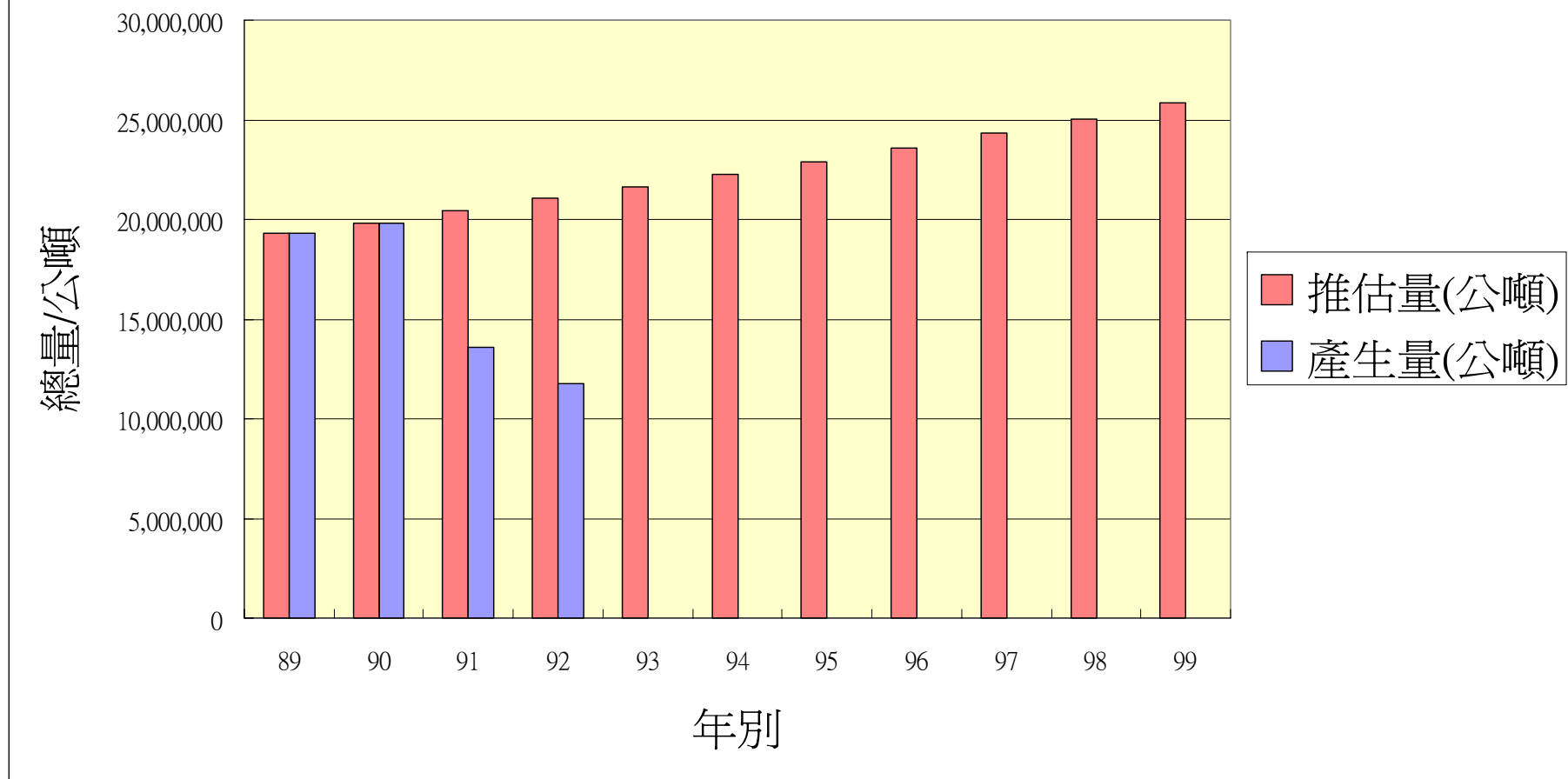


表 3-5 未來 10 年全國一般工業廢棄物產量推估表、資源回收量及待處理量

種類	民國 89 年	民國 90 年	民國 91 年	民國 92 年	民國 93 年	民國 94 年	民國 95 年	民國 96 年	民國 97 年	民國 98 年	民國 99 年
產量	19312072	19804195	20434781	21041587	21649913	22256866	22920499	23610551	24323273	25061106	25848213
資源回收率	58.9%	61.1%	62.9%	64.8%	66.7%	68.5%	70.2%	70.4%	70.6%	70.8%	71.0%
資源回收	11369091	12090906	12858081	13638258	14432615	15235737	16088649	16629064	17180609	17753313	18353218
待處理量	7942981	7713289	7576700	7403329	7217298	7021129	6831850	6981487	7142664	7307793	7494995

資料來源：經濟部工業局，民國 90 年 5 月。

圖 3-4 工業廢棄物推估量與產生量之比較



3-2 國內農業廢棄物之組成分析

一、農業廢棄物類別與組成現況：

農業廢棄物產出類別大致分為農業、漁業、養殖業、畜牧業及農產品批發市場所產生之廢棄物。農業廢棄物包括：稻殼、稻蒿、菇類太空包、蔗渣蔗葉、塑膠膜等；漁業及養殖業廢棄物包括：漁業及養殖業廢棄物、牡蠣殼、水產養殖等；畜牧廢棄物包括：禽畜糞、死廢畜禽、屠後廢物等；農產品批發市場（含果菜、花卉、肉品及魚產批發市場）包括：果菜、花卉批發市場、魚市場廢棄物等。

根據行政院農委會統計 89 年農業廢棄物產出及處理狀況如表 3-6。

表3-6 89年農業廢棄物產出及處理狀況表

廢棄物種類	產出量 (公噸/年)	處理量 (公噸/年)	妥善處理率 (%)	最終(中間)處理方法
稻殼	381,211	123,926	32.5	1. 公糧倉庫墊料8,337公噸。 2. 育苗培養土10,781公噸。 3. 有機肥原料17,386公噸。 4. 飼料填充劑2,848公噸。 5. 家禽墊料36,464公噸。 6. 燃料17,791公噸。 7. 其他用途30,320公噸。 8. 未處理1,015公噸。
稻蒿	1,906,057	1,560,000	81.8	1. 就地翻耕掩埋1,388,000公噸。 2. 作物栽培覆蓋107,000公噸。 3. 其他用途3.8%。 4. 餘34萬公噸僅焚燒未予利用，未來將勸導儘量以翻耕、掩埋等資源再利用方式處理。
塑膠膜(布,網) (含水果畦面覆蓋塑膠膜及蔬菜栽培用塑膠市與網)	15,000	1,500	10.0	1,500公噸由廠商回收再製為水桶及拖鞋等。

廢棄菇包 (栽培香菇、木耳、秀珍菇、鮑魚菇及靈芝等之廢棄太空包，內容物均為木屑)	84,000	18,000	21.4	18,000公噸委託有機肥或培養土製造廠回收供園藝栽培用。
蔗渣、蔗葉	924,097	916,600	99.2	1. 蔗渣570,471公噸：40.5萬公噸供糖廠全部汽電共生廠，6.1公噸自行或出售製成堆肥，餘送自營農場土壤改良。 2. 蔗葉353,626噸：其中4%於蔗田就地作為天然肥料，餘與蔗渣一併處理。
牡蠣殼	244,350	490	0.2	少量供製有機肥，其餘棄置
水產養殖非生物性廢棄物	79,909	9,590	12.0	除尼龍製飼料袋及部分網子予焚燒處理外，餘均任其漂流、腐化
死廢禽畜	29,000	27,000	93.1	大部分化製，少量焚化或掩埋。
豬雞屠後廢棄物	201,760	191,400	94.9	1. 豬(34,965公噸/年)：委託化製場或民營清理公司處理。 2. 雞(166,795公噸/年)：自行或委託電宰場附設化製場處理，非電宰部分除血液(10,360公噸)外均送垃圾場掩埋。
禽畜糞	2,498,040	1,748,628	70.0	1. 畜牧場回收自製堆肥1,370,000公噸。 2. 外送委託堆肥處理中心製成堆肥378,628公噸。
果菜批發市場	167,307	167,307	100.0	1. 清運製垃圾掩埋場掩埋。 2. 清運至鄰近地區堆肥場供製堆肥。
花卉批發市場生物性廢棄物	2,530	2,530	100.0	委託合法清運業處理。
花卉批發市場廢棄包裝	663	663	100.0	1. 可回收者由回收商處理。 2. 不可燃廢棄物委託合法清運業處理。
魚市場生物性廢棄物	3,001	3,001	100.0	全數送往垃圾掩埋場掩埋處理。
魚市場非生物性廢棄物	1,751	1,751	100.0	1. 廢棄保麗龍熱熔處理。 2. 其餘均送往垃圾掩埋場掩埋處理。
合計	6,538,676	4,795,272	73.1	

資料來源：行政院農委會提供，民國90年4月

全國農業廢棄物產量 654 萬公噸/年，依廢棄物組成分類以禽畜糞最多達 250 萬公噸/年，其次為稻蒿 191 萬公噸/年，再次為蔗渣、蔗葉 92 萬公噸/年，請參閱表 3.2-11 所示，若依各縣市廢棄物產生量前三名分別為：彰化縣（100 萬公噸/年，佔 15.2%）、雲林縣（94 萬公噸/年，佔 14.2%）及台南縣（87 萬公噸/年，佔 13.3%）。

農業廢棄物部分，木屑太空包之主要組成為木屑、米糠及麥粉等有機介質，此混合介質於菇菌類採收完畢之後，仍殘留大量有機物，如能統一處理再生利用，將廢棄物培養土混合其他農業廢棄資源如牡蠣殼或稻殼、粉碎玉米穗軸等，經過堆肥過程再製有機肥料，重新進入農業栽培循環利用，則能減少惡意傾倒造成之環境或水源污染。台灣地區每年廢棄菇包約有 84000 公噸，而目前在魚池、國姓、霧峰、新社、大村及中埔等地均設有廢包處理廠，年處理量約 18000 公噸左右，處理率約 21.4%。各種塑膠布、網廢棄物，包含水果畦面覆蓋塑膠膜及蔬菜栽培用塑膠布與網，產出量約為 15000 公噸/年，其中僅 1500 公噸由廠商回收再製為水桶及拖鞋等，妥善處理率為 10%。漁業及養殖業廢棄物部分，牡蠣殼產量約有 244,350 公噸/年，但僅有少量供製有機肥，其餘棄置於魚塭旁作為池塘的護坡；水產養殖行業非常興盛，其非生物性廢棄物產出量為 79,909 公噸/年，除飼料袋及部分網子予以焚燒處理，其餘均任其漂流、腐化，妥善處理率為 12%。

畜牧廢棄物部分，禽畜糞年產量為 2,498,040 公噸，目前共計輔導 3,156 戶簡易堆肥舍、99 戶自動翻堆堆肥場及大型堆肥共同處理中心 21 場，再加上有些蔬果產銷班為處理其蔬果廢棄物而成立之堆肥場 10 場，亦攙配禽畜糞製作堆肥約有 1,748,628 公噸/年已處理，因此估計約有 70% 以上禽畜排泄物已處理與利用；其餘部分，雖未製成堆肥，仍由農家逕行施灌菜園、果樹，亦屬另一型態之再利用。死廢畜禽產出量為 29,000 公噸/年，處理量為 27,000 公噸/年，妥善處理率為 93.1%。主要有四種處理方式：

- ◆ 化製法：指由畜牧場與化製廠簽約，化製廠將死廢畜回收製成肉體粉或有機肥。
- ◆ 焚化法：以輔導畜牧場設置小型簡易焚化廠為主。
- ◆ 掩埋或推肥化處理：農民自行在牧場內或自有土地內掘洞掩埋，或於自製禽畜糞堆肥時混入一併處理。
- ◆ 其他：如採用魚牧綜合經營方式，將死廢畜屍體或胎衣放入池中供魚類食用。

而畜禽屠後廢棄物目前為 201,760 公噸/年，豬隻部分多委託化製場或民營清理公司處理，而雞部分為自行或委託電宰場附設化製場處理，牛隻部分因數量較少不納入統計值，總處理量為 191,400 公噸/年，妥善處理率為 94.9%。

農產品批發市場廢棄物部分，各果菜批發市場營運過程中所產生之廢棄物來源包括果菜外葉、腐爛之蔬果、包裝竹筴、紙箱、保麗龍、塑膠帶（繩）等，總產量為 167,307 公噸/年，廢棄物產出量則受到季節、氣候、節慶之影響頗大，且前大多運至垃圾掩埋場處理或供予

堆肥。目前台灣地區北中南共有四處花卉批發市場，生物性廢棄物約有 2,530 公噸/年，全部委託合法清運業處理，而廢棄包裝材料廢棄物產出量約有 663 公噸/年，可回收者由回收商處理，不可燃者則委託合法清運業處理。台灣地區以公司組織經營之消費地魚市場有 18 家，漁會經營者有 3 家，生產地魚市場有 37 處，均由當地漁會經營。所產生之廢棄物種類主要為保麗龍箱、紙箱及魚體處理廢棄物，生物性廢棄物約有 3,001 公噸/年，全部送往垃圾掩埋場處理，保麗龍箱為大宗（年約 1,751 公噸），目前處理方式分兩類：第一種處理方式為在魚市場內設保麗龍熱熔處理機，之後再由廠商回收，目前主要魚市場均有此設備；第二種處理方式，若廢棄物產生量較少時，則委託當地環保機關送往垃圾掩埋場處理。

二、農業廢棄物處理設施容量分類：

行政院農委會 89 年農業廢棄物產量約為 6539 萬公噸，但是其最終處置方式及妥善處理率都不是很好，未來仍有資源回收之空間，故將該類歸為資源回收類，因此，資源回收總量為 483.1 萬公噸/年（佔 74%）；塑膠膜（布、網）、死廢禽畜、豬糞圖後廢棄物、花卉批發市場廢棄包裝及魚市場非生物性廢棄物等屬於可燃性廢棄物者，歸類焚化處理，合計焚化總量為 3.3 萬公噸/年；稻穀、稻蒿、廢棄菇包、蔗渣/蔗葉、禽畜糞等農民多採就地推肥或露天燃燒等處理方式，惟前者無明確之數據，後者依法不允許，因此，將其併同果菜批發市場之廢棄物均歸類為堆肥處理；另水產養殖非生物性廢棄物採最終處置

掩埋處理，處理量 7.9 萬公噸/年，各類農業廢棄物處理設施容量分類詳見表 3-7；統計分析比較如（圖 3-5）

最後，行政院農委會為掌握農業廢棄物質與量及流向管制，推估縣市未來十年產量，詳如表 3-8；並針對其中產量較大之七縣市（彰化縣、雲林縣、台南縣、嘉義縣、屏東縣、高雄縣亦即台中縣）統計比較分析如（圖 3-6）；針對未來 10 年農業廢棄物待處理量推估，以現況（89 年）農業廢棄物產生量及資源回收率（73.7%）為基準值，推估 99 年可達資源回收率 78.6%，便可估計未來 10 年廢棄物待處理量，如表 3-9 所示。

表 3-7 農業廢棄物現況（89 年）產量及處理設施/容量分類

單位：公噸/年

廢棄物種類	產量	資源回收 再利用	待處理量	處理方法					
	A	B	C=A-B	適用機械式 焚化爐	非機械式焚化爐		物化 處理	堆肥處理	最終處置 場
				類別I	污泥	廢溶劑	類別 III	類別IV	類別V
					類別II(a)	類別II (b)			
稻穀	381211	123926	257285	0	0	0	0	257285	0
稻蒿	1906057	1560000	346057	0	0	0	0	346057	0
塑膠膜	15000	1500	13500	13500	0	0	0	0	0
廢棄菇包	84000	18000	66000	0	0	0	0	66000	0
蔗渣、蔗葉	924097	916600	7497	0	0	0	0	7497	0
牡蠣殼	244350	244350	0	0	0	0	0	0	0
水產養殖非生物性廢 棄物	79909	0	79909	0	0	0	0	0	79909
死廢禽畜	29000	27000	2000	2000	0	0	0	0	0
豬雞屠後廢棄物	201760	191400	10360	10360	0	0	0	0	0
禽畜糞	2498040	1748628	749412	0	0	0	0	749412	0
果菜批發市場	167307	0	167307	0	0	0	0	167307	0
花卉批發生物性廢棄 物	2530	0	2530	2530	0	0	0	0	0
花卉批發市場廢棄包 裝	663	0	663	663	0	0	0	0	0
魚市場生物性廢棄物	3001	0	3001	3001	0	0	0	0	0
魚市場非生物性廢棄 物	1751	0	1751	1751	0	0	0	0	0
合計	6538676	4831404	1707272	33805	0	0	0	1593558	79909

資料來源：行政院農委會提供，民國90年5月

圖3-5 農業廢棄物產量及資源回收再利用量（公噸）

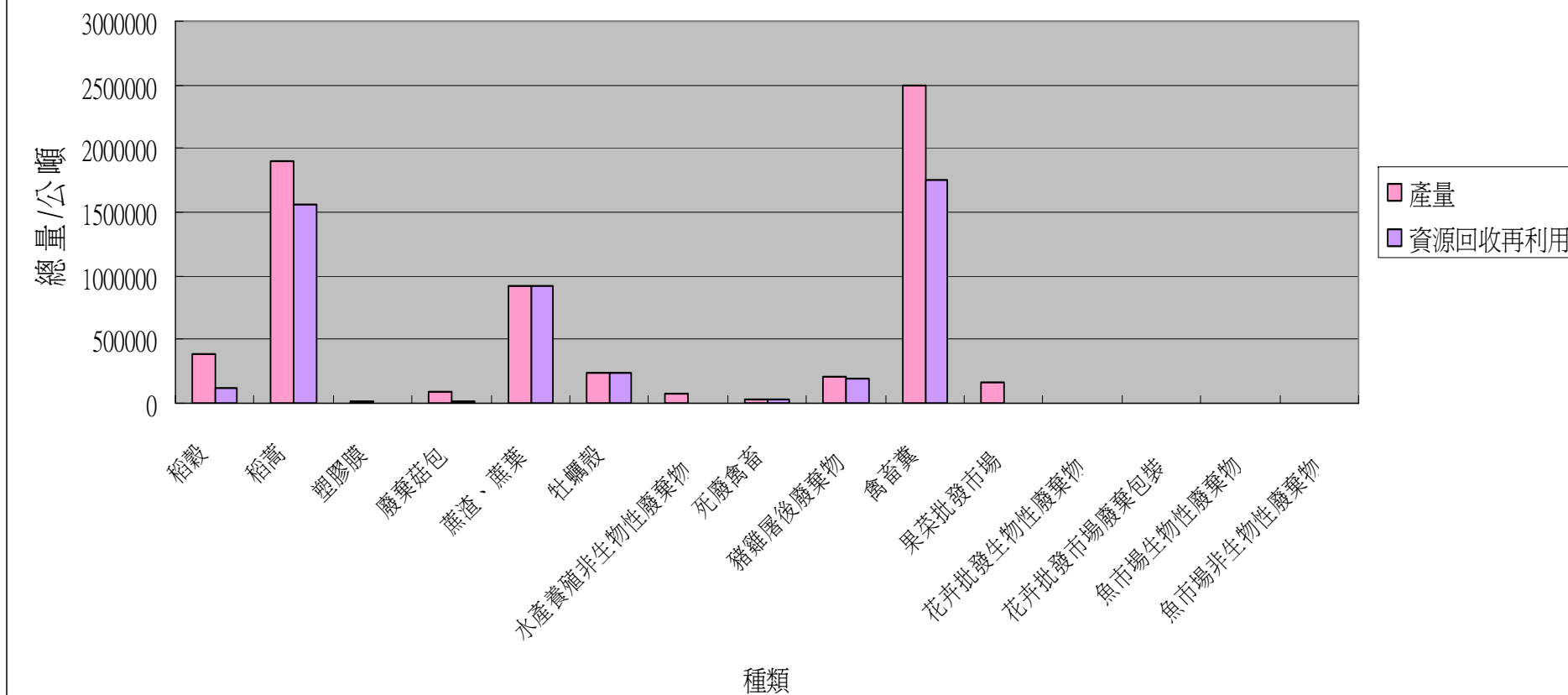


表3-8 台灣各縣市未來十年農業廢棄物產量推估表

單位：公噸/年

縣市別	民國 89 年	民國 90 年	民國 91 年	民國 92 年	民國 93 年	民國 94 年	民國 95 年	民國 96 年	民國 97 年	民國 98 年	民國 99 年
基隆市	3701	3047	3061	3076	3066	3054	3043	3031	3020	3009	2998
宜蘭縣	137342	137565	128928	127675	126417	111306	109846	108344	107122	105868	104635
台北市	53454	44023	44110	44433	44416	43905	43836	43822	43822	43816	43808
台北縣	52250	48835	47758	47190	46494	44920	44196	43434	42743	42040	41339
桃園縣	285993	286695	267139	264980	262764	227243	224637	222257	220125	217938	215793
新竹縣	152809	153305	143407	142023	140612	123010	121478	119945	118594	117223	115866
新竹市	32207	31588	29545	29417	29251	25396	25227	25059	24899	24737	24576
苗栗縣	188897	189572	177148	175489	173747	151448	149740	147941	146322	144687	143056
台中縣	359362	356510	333015	329346	320280	273903	270381	268079	265999	263906	261816
台中市	39029	36329	34495	34488	33788	29810	29741	29651	29606	29559	29511
彰化縣	1000813	997438	946558	933469	907909	814796	801058	788189	776110	763882	751764
南投縣	196131	195296	186435	180973	172065	155795	150241	147880	145828	143763	141701
雲林縣	938932	918510	873160	862280	826041	732936	721600	711318	702026	692473	683083
嘉義市	18803	18455	17238	17177	17037	14713	14638	14554	14486	14417	14347
嘉義縣	717882	713297	678015	668784	635438	560861	551251	543310	535950	528372	520972
台南市	83603	89379	86456	84521	81161	76807	74433	72674	71034	69333	67683
台南縣	871646	847225	810237	798473	756840	677461	655292	654508	644631	634494	624558
高雄縣	416480	401948	387683	381194	361742	332319	324657	318386	312687	306775	301042
高雄市	13037	11256	11074	11099	11036	10627	10488	10424	10388	10341	10305
屏東縣	665892	645927	625059	613541	582326	540973	529225	518022	507628	497096	486670
澎湖縣	14789	15510	15091	14696	14304	13904	13509	13216	12750	12372	11995
花蓮縣	183496	176377	166468	165002	155320	131993	130892	129808	128794	127761	126735
台東縣	112129	112537	104827	103967	103100	89080	88166	87237	86377	85509	84645
金門縣	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
連江縣	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合計	6538676	6430621	6116904	6033294	5805153	5186257	5097576	5020998	4950940	4879372	4808896

資料來源：行政院農委會提供，民國 90 年 8 月。

圖 3-6 農業廢棄物主要產量之縣市

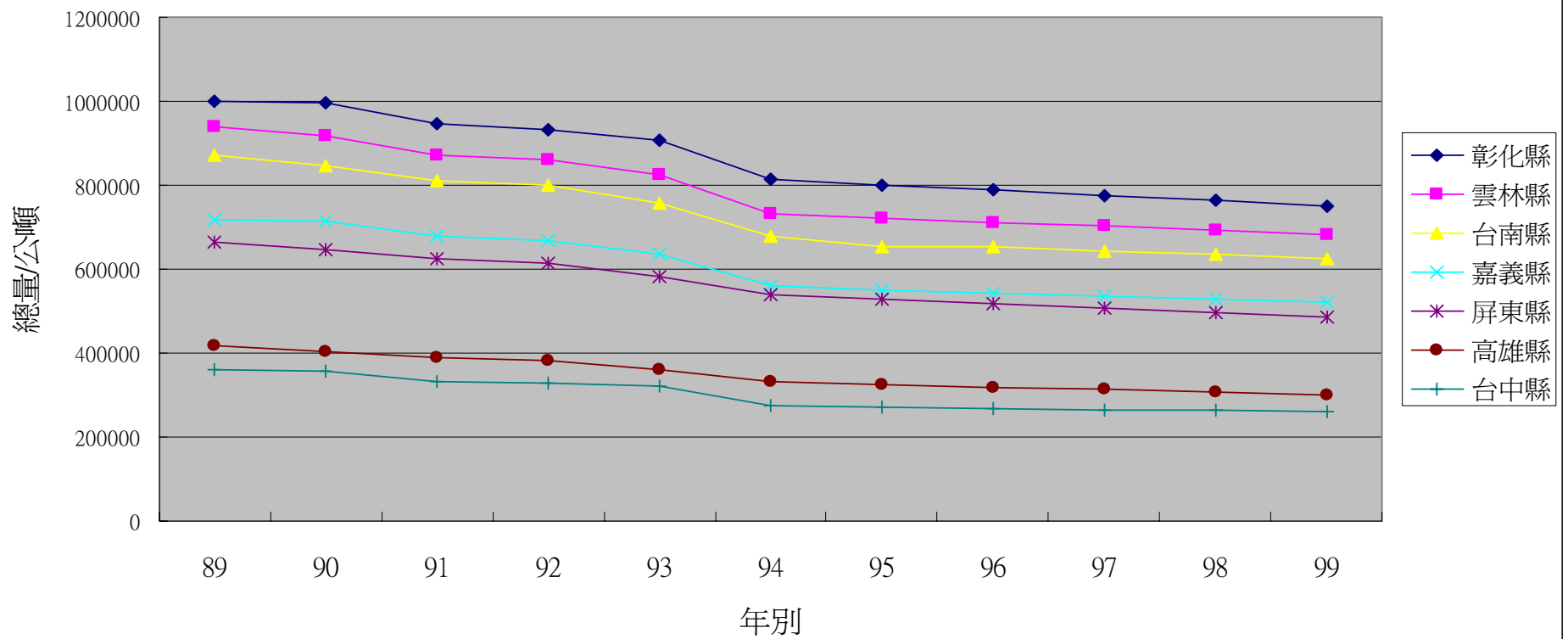


表 3-9 未來 10 年全國農業廢棄物產量推估表、資源回收量及待處理量

種類	民國 89 年	民國 90 年	民國 91 年	民國 92 年	民國 93 年	民國 94 年	民國 95 年	民國 96 年	民國 97 年	民國 98 年	民國 99 年
產量	6538676	6430621	6116904	6033294	5805153	5186257	5097576	5020998	4950940	4879372	4808896
資源回收率	73.9%	75.1%	75.0%	76.4%	76.1%	76.2%	76.6%	77.2%	77.6%	78.4%	78.6%
資源回收	4831404	4827309	4585831	4606946	4419253	3953686	3905987	3877456	3841380	3825417	3778154
待處理量	1707272	1603312	1531073	1426348	1385899	1232571	1191589	1143542	1109560	1053955	1030742

資料來源：行政院農委會提供，民國 90 年 5 月。

3-3 都市垃圾組成分析

一、都市垃圾總量與清理現況

依據台灣地區市鄉鎮垃圾水肥清理狀況調查資料、中華民國台灣地區環境保護統計年報、內政部統計資料庫等資料來源顯示，台灣地區的一般垃圾廢棄物總量由民國 80 年 723 萬噸/年上升至民國 93 年的 756 萬噸/年，依照垃圾清理狀況結果分析：垃圾清運量之清運單位包括環保單位自行清運、委託清運以及公私處所自行或委託清運，直自民國 86 年開始以再利用方式施行資源回收策略，其中以環保單位以及社區、學校、機關團體回收為兩項主要回收來源，而在民國 92 年以及 93 年開始以廚餘回收之清運方式增加回收管道，其中也以環保單位以及社區、學校、機關團體回收為回收來源，由於 64 年至 85 年無廚餘回收、資源回收及巨大垃圾資料，所以垃圾產生量相當於垃圾清運量，廚餘回收資料從 92 年開始統計，詳細資料統計請參見表 3-10，80~93 年歷年來總量之比較分析請參見（圖 3-7），80~93 年歷年來清運單位或管道之比較分析請參見（圖 3-8）

在垃圾處理方面於民國 70 年初期以掩埋方式為主要處理方法，民國 65 年之掩埋垃圾總量為 47 萬噸/年，至民國 80 年以掩埋方式處理垃圾總量為 772 萬噸/年，而至民國 82

年後掩埋總量逐漸下降至去年民國 93 年的 150 萬噸/年的垃圾掩埋量，民國 66 年開始逐漸以焚化方式取代之，至民國 84 年以焚化方式處理垃圾總量已達 130 萬噸/年，而至民國 93 年處理量更高達 430 萬噸/年之垃圾焚化處理總量，其他則包含堆置、堆肥、養豬、其他廚餘再利用以及執行機關資源回收等方式進行垃圾處理，詳細統計數據請參見表 3-11，80~93 年歷年來總量之比較分析請參見（圖 3-9）

二、各縣市垃圾總量

台灣各縣市垃圾總量與都市型態以及人口比例具有很大的相關性，在人口比例上依據 93 年人口數量由多至寡依序排列為：台北縣、台北市、桃園縣、台中縣、彰化縣、高雄縣、台南縣等，而各縣市之垃圾產生量也以這些縣市產量居多，其中更以台北縣之垃圾總產量達 129 萬噸/年為最高垃圾總量產生地，下列以參考台灣地區市鄉鎮垃圾水肥清理狀況調查資料、中華民國台灣地區環境保護統計年報、內政部統計資料庫等資料來源，經整合列出 88 年~93 年各縣市之垃圾總量，詳細數據請參見表 3-12，以及分別以民國 88 年以及 93 年各縣市之總量加以比較出在從民國 88 年至民國 93 年各縣市之垃圾成長量，並且以各縣市垃圾產生總量加以突顯出產量較高之縣市已做比較，請參見（圖 3-10）

三、台北市北投焚化廠

以台北市北投焚化廠為例，92年4月24日一般家戶垃圾物理組成，濕基中以廚餘類佔42.38%最多，其次依序為紙類31.67%、塑膠類15.24%、纖維布類5.95%、木竹稻草落葉類2.26%、其他1.43%和金屬類1.07%。乾基中以紙類佔33.85%最多，其次依序為廚餘類25.94%、塑膠類24.39%、纖維布類7%、木竹稻草落葉類3.63%、其他2.85%和金屬類2.34%。一般事業廢棄物濕基組成以紙類43%最多，塑膠類28%為最多、顯示一般事業廢棄物可能以紙箱、塑膠製品等為最多。一般家戶垃圾與廚餘之混和垃圾的組成以廚餘類69%為最多，塑膠16%次之其後依序是紙類12%、木竹稻草落葉類2%和金屬類2.34%，詳如表3-13、表3-14，為歷年北投焚化廠垃圾組成比較，不可燃物佔垃圾組成中少部分，其中以金屬最多，玻璃類次之。可燃物中以廚餘類為最多，且有越來越多的趨勢。

表 3-10 垃圾清理狀況

年 別	月 底 總人口數 (千人)	月 底 指 定 清 除 地 區 (戶 籍) 人 口 數 (千 人)	垃圾產生量按清運單位或回收管道分(含溝泥、回收資源，不含事業廢棄物及遷移舊垃圾)(公噸)										
			總 計 [3] =[5]+[6]+[7]+[8] +[9]+[10]+[11] +[12]+[13]	垃 圾 清 運 量			廚 餘 回 收 量		執 行 機 關 資 源 回 收 量		巨 大 垃 圾 分 類 處 理 量		
				計 [4] =[5]+[6]+[7] =[15]+[16]+[17] +[18]+[19]	環 保 單 位 自 行 清 運 [5]	環 保 單 位 委 託 清 運 [6]	公 私 處 所 自 行 或 委 託 清 運 [7]	環 保 單 位 回 收 [8]	社 區、學 校、 機 關 團 體 回 收 [9]	環 保 單 位 回 收 [10]	社 區、學 校、 機 關 團 體 回 收 [11]	環 保 單 位 回 收 [12]	公 私 處 所 自 行 或 委 託 清 運 [13]
1974	15,927	9,303	1,718,420	1,718,420									
1975	16,223	9,807	1,810,583	1,810,583									
1976	16,580	10,502	2,120,092	2,120,092									
1977	16,882	12,814	2,686,291	2,686,291									
1978	17,202	13,564	2,964,530	2,964,530									
1979	17,543	14,094	3,234,192	3,234,192									
1980	17,866	14,644	3,197,230	3,197,230									
1981	18,194	15,610	3,562,765	3,562,765									
1982	18,516	16,276	3,864,985	3,864,985									
1983	18,791	16,894	4,042,010	4,042,010									
1984	19,069	17,443	4,291,716	4,291,716									
1985	19,314	17,803	4,830,045	4,830,045									
1986	19,509	18,119	5,093,210	5,093,210									
1987	19,725	18,426	5,283,375	5,283,375									
1988	19,954	18,734	5,898,456	5,898,456									
1989	20,157	19,132	6,258,655	6,258,655									
1990	20,401	19,468	6,844,846	6,844,846									
1991	20,606	19,823	7,239,045	7,239,045									
1992	20,803	20,105	8,001,236	8,001,236									
1993	20,995	20,450	8,217,318	8,217,318									
1994	21,178	20,754	8,492,820	8,492,820									
1995	21,357	20,972	8,707,696	8,707,696									
1996	21,525	21,039	8,736,420	8,736,420									
1997	21,743	21,280	8,986,976	8,880,775						106,201			
1998	21,929	21,441	9,009,642	8,880,487						129,155			
1999	22,092	21,684	8,781,325	8,565,699						215,626			
2000	22,277	22,039	8,353,367	7,875,511						477,856			
2001	22,340	22,220	7,839,173	7,254,841	6,762,100	181,677	311,063			303,454	280,879		
2002	22,453	22,240	7,601,958	6,723,639	6,353,214	194,045	176,380			360,383	517,936		
2003	22,535	22,502	7,355,335	6,139,050	5,913,562	137,315	88,173	112,178	55,126	357,771	691,210		
2004	22,689	22,672	7,561,288	5,869,278	5,661,482	130,484	77,312	219,738	79,557	365,121	1,027,594		

資料來源：台灣地區市鄉鎮垃圾水肥清理狀況調查資料、中華民國台灣地區環境保護統計年報、內政部統計資料庫。

說明：1. 64年至85年無廚餘回收、資源回收及巨大垃圾資料，所以垃圾產生量=垃圾清運量

2. 資源回收資料從86年開始統計，為執行機關回收數量。

3. 廚餘回收資料從92年開始統計，64年至91年廚餘處理方式堆肥數據為垃圾堆肥處理方式之數據。

4. 1999年以前係指前一年7月至當年6月，2000年起係指當年1月至12月。

圖 3-7 台灣80年~93年垃圾總量表

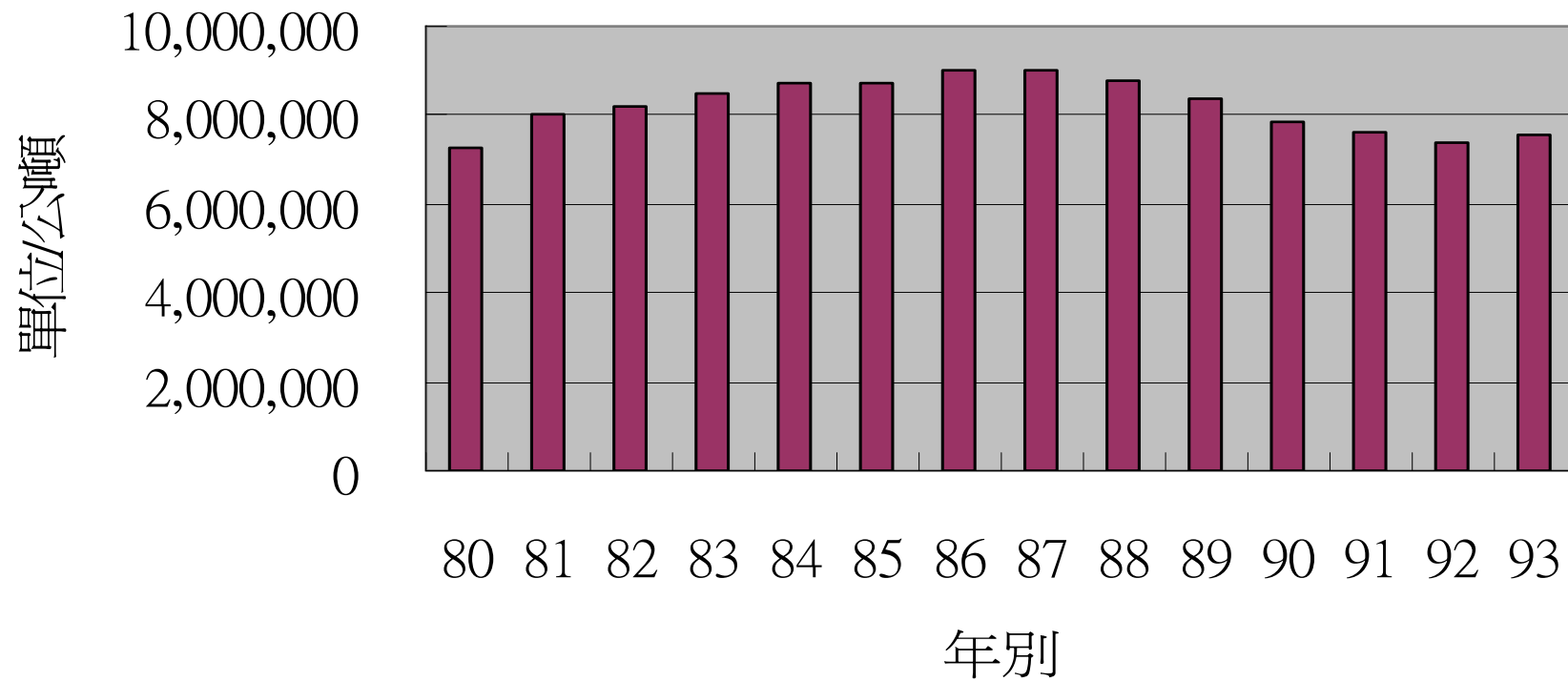


表 3-1 1 垃圾清理狀況〈續一〉

年別	垃圾產生量按處理方式分(含溝泥、回收資源，不含事業廢棄物及遷移舊垃圾)(公噸)													
	總計 [3] =[14]+[15]+[16]+[17] +[18]+[19]+[20]+[21] +[22]+[23]+[24]+[25] +[28]	焚化 [14]	衛生掩埋 [15]	一般掩埋 [16]	堆置 [17]	其他 (含打包) [18]	廚餘回收			執行機關 資源回收 [22] =[10]+[11]	巨大垃圾			
							堆肥 [19]	養豬 [20]	其他廚餘 再利用方式 [21]		回收再利用		焚化 [25]	衛生掩埋 [26]
											修復後 再使用 [23]	破碎分選 後再使用 [24]		
1974	1,718,420					1,534,095	155,125							
1975	1,810,583		471,471			1,061,639	277,473							
1976	2,120,092		845,277			1,149,643	125,172							
1977	2,686,291	183	1,214,136			1,410,032	61,941							
1978	2,964,530		2,328,810			519,322	116,399							
1979	3,234,192	84,607	2,474,773			610,426	64,386							
1980	3,197,230	7,320	2,470,244			600,826	118,840							
1981	3,562,765	89,060	2,712,315			715,035	46,355							
1982	3,864,985	73,730	2,903,575			855,560	32,120							
1983	4,042,010	80,665	3,116,735			829,645	14,965							
1984	4,291,716	90,036	3,413,682			768,600	19,398							
1985	4,830,045	74,825	3,801,840			934,765	18,615							
1986	5,093,210	69,715	4,433,655			551,515	38,325							
1987	5,283,375	26,645	4,707,040			535,455	14,235							
1988	5,898,456	91,134	5,379,834			417,972	9,516							
1989	6,258,655	85,410	3,667,929	1,901,241		591,665	12,410							
1990	6,844,846	77,745	3,979,559	2,046,592		627,800	113,150							
1991	7,239,045	28,835	4,323,465	2,409,325		471,945	5,475							
1992	8,001,236	255,397	5,087,458	2,148,909		501,617	7,855							
1993	8,217,318	249,043	5,090,767	2,449,649		427,859								
1994	8,492,821	412,539	5,574,395	2,058,550		445,967	1,370							
1995	8,707,696	1,301,036	4,362,789	2,537,556		500,033	6,282							
1996	8,736,420	1,364,639	4,823,997	2,090,514		454,750	2,520							
1997	8,986,976	1,691,626	5,129,676	1,536,415		508,885	14,173		106,201					
1998	9,009,642	1,741,095	5,597,980	1,088,934	296,545	155,405	528		129,155					
1999	8,781,325	2,020,634	5,366,936	857,267	245,183	56,186	19,493		215,626					
2000	8,353,367	3,229,749	3,822,124	697,050	119,116	4,690	2,782		477,856					
2001	7,839,175	3,736,891	2,996,805	433,330	73,040	14,560	216		584,333					
2002	7,601,960	4,316,049	2,116,375	224,477	55,076	7,958	3,706		878,319					
2003	7,355,335	4,304,573	1,700,438	113,115	20,190	734	22,290	139,614	5,400	1,048,981				
2004	7,561,288	4,312,476	1,475,815	63,647	16,140	1,201	66,593	223,841	8,861	1,392,715				

資料來源：台灣地區市鄉鎮垃圾水肥清理狀況調查資料、中華民國台灣地區環境保護統計年報、內政部統計資料庫。

圖 3-8 80~93年垃圾清運或回收單位

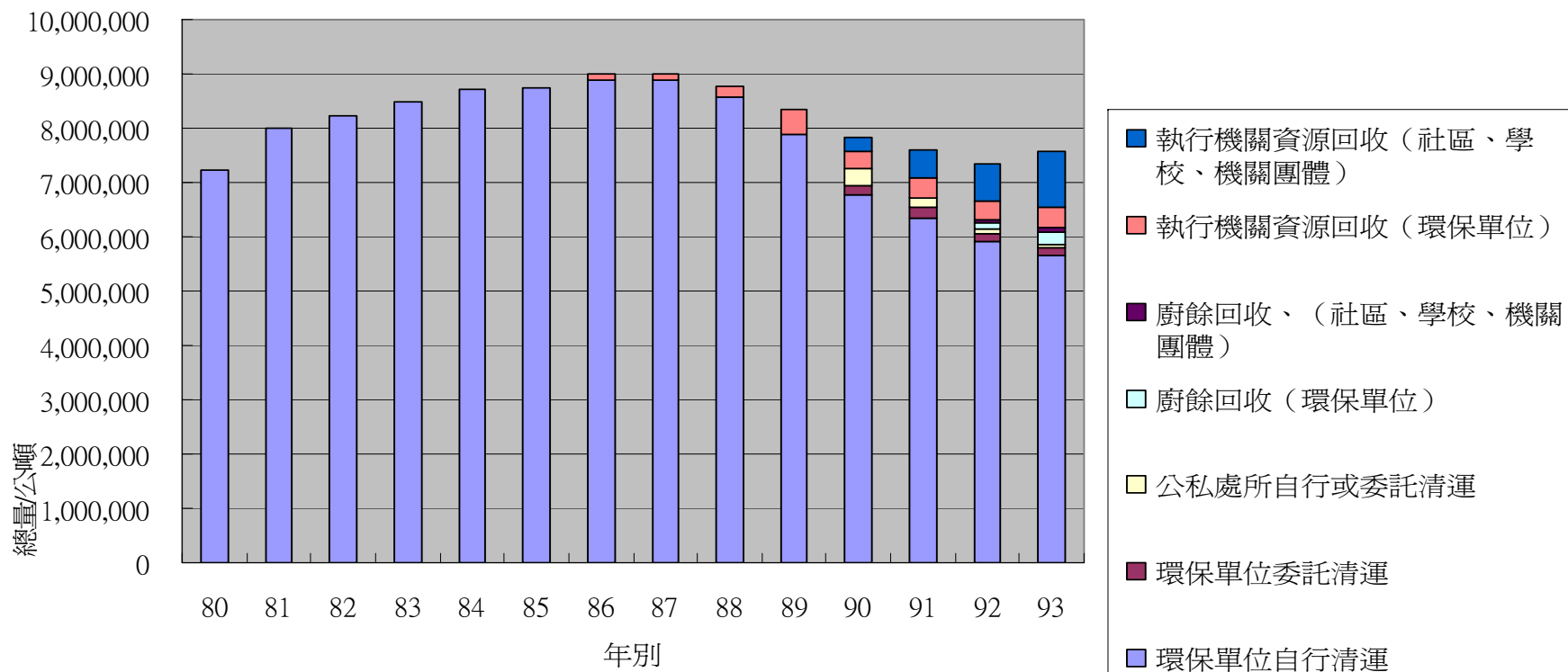


圖 3-9 80~93年垃圾各處理方式總量

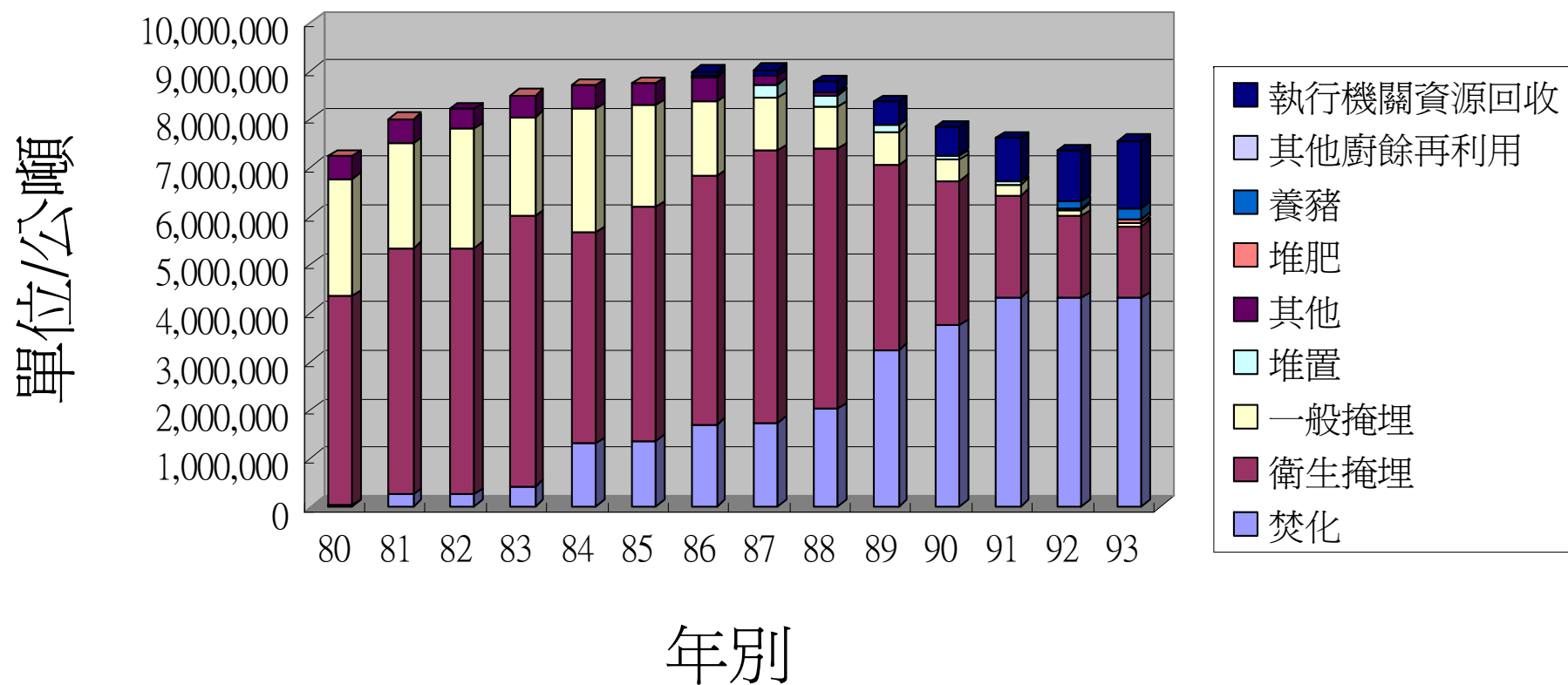


表3-12 88~93年各縣市垃圾產生(公噸/年)

縣市別	88年度	89年	90年	91年	92年	93年
臺北縣 Taipei H.	1396946	1398915	1286298	1372305	1,242,128	1,296,703
宜蘭縣 Ilan H.	195007	196772	171842	158860	142,572	142,595
桃園縣 Taoyuan H.	641660	660097	655222	612320	621,495	648,876
新竹縣 Hsinchu H.	146943	153202	159156	144280	144,469	144,931
苗栗縣 Miaoli H.	214831	205819	195970	189471	177,649	173,884
臺中縣 Taichung H.	519603	508331	468354	432770	421,693	442,760
彰化縣 Changhua H.	467680	435108	395342	389104	380,263	378,216
南投縣 Nantou H.	171140	174677	158929	150440	148,511	156,487
雲林縣 Yunlin H.	260452	247860	240973	224859	222,010	219,690
嘉義縣 Chiayi H.	236786	219938	185120	192877	200,285	189,434
臺南縣 Tainan H.	461784	421688	380580	374388	367,507	354,907
高雄縣 Kaohsiung H.	513923	446476	394331	394909	393,512	399,355
屏東縣 Pingtung H.	372319	335125	324783	295846	283,333	304,590
臺東縣 Taitung H.	104736	121384	106329	98255	89,078	81,837
花蓮縣 Hualien H.	148598	170789	174179	150959	137,412	139,287
澎湖縣 Penghu H.	39140	43606	36064	33152	33,344	35,814
基隆市 Keelung C.	146280	232185	141884	140058	136,187	144,869
新竹市 Hsinchu C.	136653	140879	153224	144719	142,908	149,561
臺中市 Taichung C.	323796	233476	257532	246635	263,143	273,104
嘉義市 Chiayi C.	112169	112120	109409	102245	99,290	98,763
臺南市 Tainan C.	255572	254091	273225	285955	283,398	325,385
臺北市 Taipei Mun.	1263149	1023008	1049394	963281	897,406	921,729
高雄市 Kaohsiung C.	586409	617818	521036	504272	527,741	499,445
合計	8715575	8565699	7839173	7601958	7,355,335	7,522,223

資料來源：台灣地區市鄉鎮垃圾水肥清理狀況調查資料、中華民國台灣地區環境保護統計年報、內政部統計資料庫。

圖 3-10 88年與93年各縣市垃圾總量

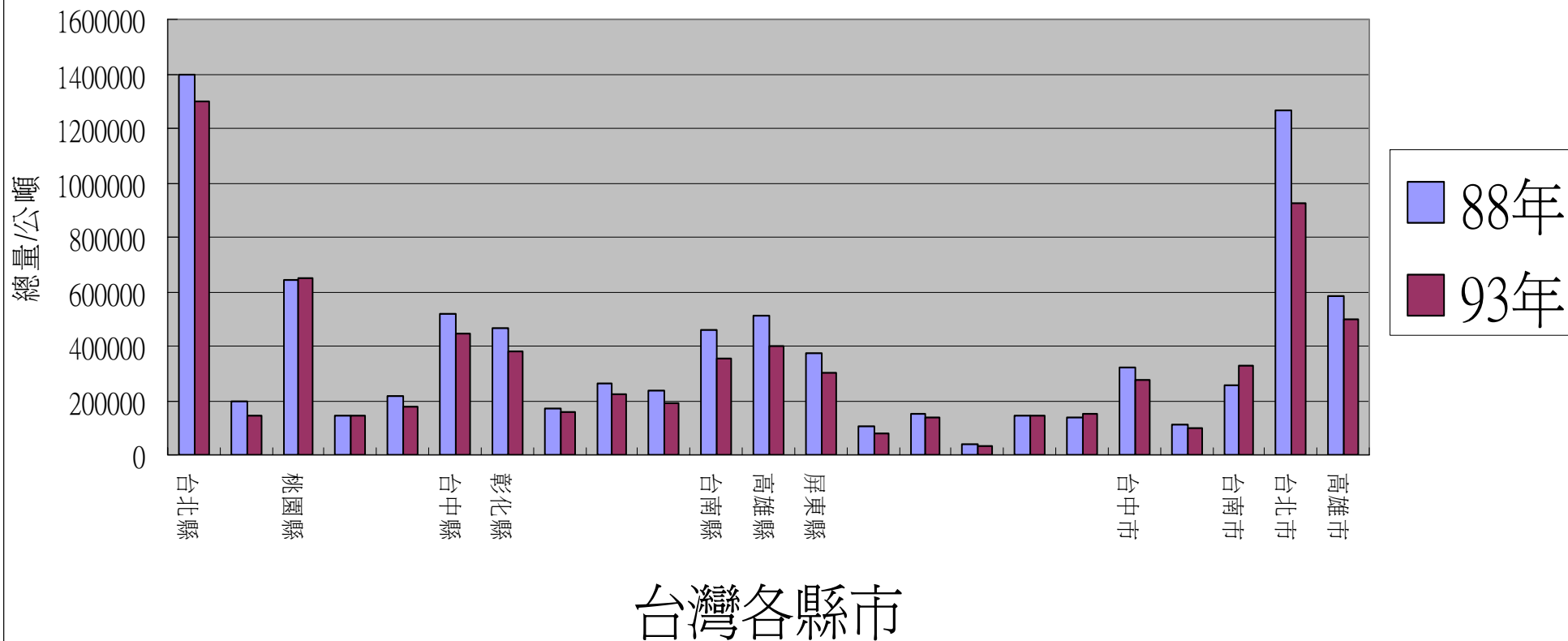


表3-13 北投焚化廠投入垃圾物理組成分析數據

日期	計畫投入廢棄物成分	項目	可燃物							不可燃物				綜合垃圾
			紙類	纖維布類	木竹.稻草.落葉類	廚餘類	塑膠類	皮革類	其它	金屬類	玻璃類	陶瓷類	石頭及5mm以上砂土	
90.05.09	一般家庭垃圾	濕基(%)	21.67	1.65	1.92	47.19	22.91		1.51	0.96	2.19			100
		乾基(%)	24.08	1.72	2.46	36.86	26.78		2.7	1.47	3.93			100
		含水量(%)	37.97	41.67	28.57	56.4	34.73			14.29				44.17
90.09.11	一般家庭垃圾	濕基(%)	33.02		1.18	42.45	20.05		0	2.36	0.94			100
		乾基(%)	36.74		1.38	31.31	24.59		0	4.33	1.65			100
		含水量(%)	43		40	62.22	37.18			6	10			48.77
90.09.12	一般家庭垃圾+營建廢棄物(篩選後)	濕基(%)	23.85	1.43	6.32	40.67	18.04		6.33	1.63	1.73			100
		乾基(%)	23.63	2.69	5.24	28.09	23.63		9.36	3.57	3.79			100
		含水量(%)	54.7	35.71	62.1	68.42	40.11			28.81				53.01
90.09.13	一般家庭垃圾+果菜市場廚餘	濕基(%)	26.2	3.79	3.46	45.48	15.61		4.46	1.00				100
		乾基(%)	26.1	5.01	4.38	39.25	17.33		6.26	1.67				100
		含水量(%)	46.81	29.41	32.26	53.92	40.71		25	11.11				46.6
92.4.24	一般家庭垃圾	濕基(%)	31.67	5.95	2.26	42.38	15.24		1.43	1.07				100
		乾基(%)	33.85	7	3.63	25.94	24.39		2.85	2.34				100
		含水量(%)	50.94	46	26.32	24.39	26.56		0	0				54.11

資料來源：蔣本基等，2003

表 3-14 歷年北投焚化廠垃圾組成比較

日期	87	88	89	90	91	92	
綜合垃圾單位重Kg/M ³	298.5	188.5	157.5	204.14286	204.375	204.25	
可燃物	1. 紙類	37.86	31.98	32.09	19.08	25.89	28.50
	2. 纖維布類	2.86	2.93	1.76	2.20	5.46	4.91
	3. 木竹、稻草、落葉類	6.33	9.24	2.94	10.83	7.49	3.03
	4. 廚餘類	33.89	34.15	34.03	44.22	41.76	44.70
	5. 塑膠類	13.89	16.05	22.39	15.75	15.49	15.41
	6. 皮革類	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
	7. 其它	0.28	1.40	2.57	4.54	1.27	0.72
	合計	95.10	95.74	95.79	96.63	97.50	97.25
不可燃物	8. 金屬類	2.26	2.14	2.04	1.05	0.81	1.55
	9. 玻璃類	1.42	1.32	2.04	1.51	0.84	1.01
	10. 陶瓷類	1.23	0.67	0.13	0.13	0.73	0.08
	11. 石頭及5mm以上土砂	0.00	0.13	0.00	0.69	0.13	0.12
	合計	4.91	4.26	4.21	3.37	2.50	2.75
總計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

資料來源：蔣本基等，2003

3-4 廢有機溶劑

一、廢有機溶劑類產生量

我國的事業廢棄物中，液態類廢棄物每年產生量約有九十八萬公噸，其中包括廢液六十三萬公噸、廢酸十四萬公噸、廢鹼六萬公噸、廢溶劑六萬公噸，依環保署廢棄物管制中心推估，台灣地區之廢溶劑年產生量約在十五萬公噸左右，國內目前廢溶劑之年產量約為 15 萬噸，其中屬一般性廢溶劑為 87,313 噸/年，而有害性廢溶劑則為 63,004 噸/年。而根據產業公會 89 年 9 月彙整統計，新竹縣市高科技廠商產生廢溶劑之數量約 1,600 噸/月，其中前五大廠家即達 1,152 噸/月。而歷來環境狀況就屬有害事業廢棄物處理的層面最受關注，尤其廢溶劑、廢酸鹼、高濃度廢液這類有害廢棄物所造成的，其中更以有機溶劑為有害事業廢棄物中，污染性與危害性最高。

我國廢有機溶劑回收廠存在歷史已久，早期業者大都為化學藥品販售商，日後由於溶劑使用量漸增，且因販售商具有掌握客戶來源的優勢及廢有機溶劑回收利用管道。因此，化學品販售商紛紛投入有機廢溶劑回收行業。由於國內外產業結構急遽的變化，使得廢有機溶劑回收業者的運作處於渾沌未明的處境，產業對溶劑的使用及產生的廢物來源請參見（表 3-15）。

二、廢有機溶劑處理設施容量

行政院為加強國內事業廢棄物管理管制工作，於九十年一月核定環保署所提「全國事業廢棄物管制清理方案」，依據各目的事業主管機關之產量調查資料顯示，89年七大部會一般事業廢棄物總產量約為三、九九〇萬公噸，扣除資源回收再利用及減廢量約二、七八三萬公噸，剩餘之待處理量約一、二〇七萬公噸；其中經妥善處理、處置者，其中水泥旋窯處理廢溶劑約一九萬公噸（一般事業廢棄物處理後續推動方案，<http://www.epa.gov.tw>），根據環保署事業廢棄物管制中心提供之之最新詳細申報資料顯示，民國93年之液態廢棄物產生量為六十一萬公噸，其中有機廢液泛指一般廢有機溶劑如醇酚醚類等溶劑（不含油泥）含九萬八千公噸，詳細資料請詳（表3-16），93~94年有機廢液清運及最終處置方式詳（表3-17），91~93歷年有機廢液清運及最終處置之比較分析請參見（圖3-11）。

表 3-15 工業界對某些溶劑的使用及產生的廢物

廢物類型	溶劑廢物的產生及各種溶劑的主要用途
丙酮廢物	化學工業、紡織、塑料、攝影、印刷工業。
丙烯 廢物	石油化學工業。
苯廢物	金屬清洗和除油。
丁醇廢物	化學工業、製藥、紡織、塗料製造。
乙酸丁酯廢物	化學工業、印刷。
二硫化碳廢物	化學工業、紡織工業、塑料加工。
環己酮廢物	化學工業、紡織、塗料製造、塑料。
二乙醚廢物	化學工業。
二甲基甲醯胺廢物	化學工業、紡織、塑料。
醚類廢物	機動車製造。
乙醇廢物	化學工業、醫療用品、紡織、抽提工業、印刷、攝影。
乙酸乙酯廢物	化學工業、塗料製造、印刷。
乙基乙二醇	化學工業、醫療和煙火產品製造。
乙二醇酯廢物	化學工業。
異丙醇廢物	抽提工業、食品調味、化粧品、盥洗用品、油漆和清漆製造。
煤油廢物	清洗和金屬除油、機動車製造。
甲醇廢物	化學工業、治療產品的製造。
甲基乙基酮廢物	化學工業、粘膠劑。

丙醇廢物	紡織工業。
啞廢物	化學工業、塑料加工。
苯乙烯廢物	石油化學工業。
四氫 喃廢物	化學工業、治療和煙火產品製造。
甲苯廢物	清洗和金屬除油、機動車、粘膠劑、化學工業。
二甲苯廢物	清洗和金屬除油、焦化廠、煤氣廠、化學工業、機動車、印刷工業。
四氯化碳廢物	塑料加工、化學工業、碳氟化合物製造、氣溶膠。
氯苯廢物	化學工業、紡織、乾洗、除油、塗料製造。
氯仿廢物	化學工業、碳氟化合物、染料、藥物、化粧品、盥洗用品、紡織、乾洗、除油、塗料
二氯乙烷廢物	化學工業、氯乙烯生產、油漆、清漆和整飾去除劑生產。
氯乙烷廢物	化學工業、四甲基鉛製造。
氯化乙烯廢物	化學工業、紡織、乾洗、除油、塗料製造。
二溴化乙烯廢物	化學工業、合成樹脂、農藥、燃料抗爆劑。
二氯甲烷廢物	化學工業、藥物和食品提取、油漆去除劑、除油。
五氯苯酚廢物	紡織、木材、油漆和生物殺傷劑。
全氯乙烯廢物	化學工業、碳氟化學物製造、紡織工業、乾洗、除油。
1, 1, 1-三氯乙烷廢物	廣泛地用作溶劑和除油，如紡織、橡膠工業。
三氯乙烯廢物	化學工業、紡織工業、乾洗、除油、塗料製造。
三氯氟甲烷廢物	氣溶膠、製冷劑、塑料泡沫發泡劑、化學中間體。

資料來源：經合發組織

表 3-16 有害事業廢棄物清運及最終處置方式

廢棄物種類	廢棄物項目	委託或共同	廠內自行 處理	再利用	境外處理	處理後三聯	廠內暫存 (事業)	合計
污泥	有機污泥	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	汞污泥	3.00	0.00	0.00	0.00	1.00	7.00	11.00
	重金屬污泥(不包含汞污泥及油泥)	22,350	6.00	5,960	6,259	6.00	4,103	38,684
有機之殘留物、過濾物、底渣、重餾份		0.00	749	0.00	0.00	0.00	11.00	760
油泥		3,099	7,296	13,751	0.00	0.00	2070	26,216
廢液	有機廢液	46,675	4,602	23,248	2.00	1,725	2,297	78,549
	廢酸鹼	106,016	66,692	231,399	0.00	3.00	1,059	405,169
	其他廢液	9.00	52	127,747	0.00	0.00	3,523	131,331
集塵灰		76,315	22,387	417	54.0	5.00	168,819	267,997
感染性事業廢棄物		16,726	2,754	0.00	0.00	151	9.00	19,640
溶出毒性事業廢棄物		47,217	524	19,284	4,612	38,236	4,820	114,693
石棉及其製品廢棄物		244	0.00	29.0	0.00	0.00	17.00	290
多氯聯苯有害事業		175	0.00	0.00	0.00	14.0	24.00	213
其他有害事業廢棄物		65,678	9,118	166,822	53,288	5,079	13,259	313,244

資料來源：事業廢棄物申報系統 (http://waste.epa.gov.tw/prog/Ctrl_Page.asp)

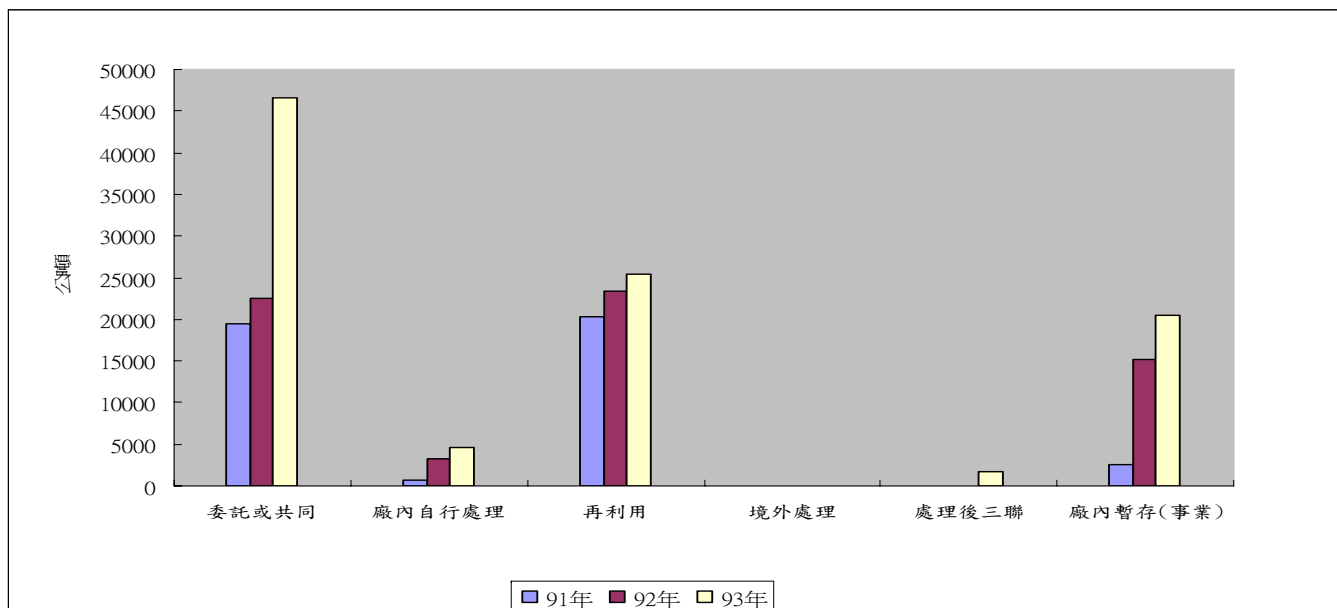
表 3-17 93~94 年有機廢液清運及最終處置方式

廢棄物項目	年份	月份	委託或共同	廠內自行處理	再利用	境外處理	處理後三聯	廠內暫存(事業)	合計
有機廢液	93 年	1 月	2896.89	198.82	1474.82	0	3.23	1145.96	5719.71
		2 月	2723.11	184.3	1412.66	0	3.71	1369.77	5693.55
		3 月	3372.77	304.46	1489.36	2	23.38	1584.97	6776.94
		4 月	3460.77	238.23	1315.97	0	12.71	1619.32	6647
		5 月	3425.3	625.63	1229.68	0	11.37	1284.95	6576.92
		6 月	3618.61	180.82	1435.29	0	13.71	1489.13	6737.56
		7 月	4214.74	457.25	1087.47	0	18.11	1216.59	6994.17
		8 月	4326.85	584.41	921.38	0	36.09	1154.85	7023.58
		9 月	4490.81	286.54	10254.65	0	81.7	3045.31	18159
		10 月	4584.6	376.8	2461.44	0	1447.16	2667.68	11537.68
		11 月	4576	601.26	1533.74	0	28.71	2419.59	9159.31
		12 月	4918.25	570.64	832.01	0	52.58	1479.47	7852.95
	94 年	1 月	4258.26	551.08	884.27	0	46.93	1455.78	7196.31
		2 月	3671.55	263.53	643.6	0	36.49	3063.85	7679.02
		3 月	4807.38	383.75	945.87	0	41.18	1397.32	7575.5
		4 月	4854.73	528.92	793.34	0	56.41	1252.22	7485.62
		5 月	5065.19	353.46	1085.93	0	101.7	1455.08	8061.35
		6 月	5265.23	328.36	965.36	0	100.18	1449.78	8108.9

資料來源：事業廢棄物申報系統 (http://waste.epa.gov.tw/prog/Ctrl_Page.asp)

圖 3-11
93 年有
液清運及
處置

91 ~
機廢
最終



	92年	22550.07	3314	23391.8	0	13.23	15248.6	64517.61
	93年	46608.7	4609.16	25448.47	2	1732.46	20477.59	98878.37
項目	年份	委託或共同	廠內自行處理	再利用	境外處理	處理後三聯	廠內暫存(事業)	合計
左端	91年	19429.01	617.16	20363.61	0	0	2610.14	43019.93

資料來源：事業廢棄物申報系統 (http://waste.epa.gov.tw/prog/Ctrl_Page.asp)

3-5 國內現況問題分析

一、問題分析

廢棄物清除處理及資源回收再利用體系之相關法規政策、標準及技術規範，對傳統與高科技產業所產生之廢棄物，在清除處理上造成障礙，歸納其主要原因：

(1) 處理設施容量不足

國內興建事業廢棄物處理設施不足之原因為：土地取得困難、民眾抗爭阻礙工程進度、合法營運收費成本未受保障，缺少經濟誘因、廢棄物來源難以掌握、相關證照申請取得不易、利益團體介入，阻撓正常營運。

(2) 行政機關本位主義

由於台灣地區工廠散佈各縣市，而處理設施多集中於工廠林立之縣市，對於工業廢棄物產生量小之縣市因無法跨縣市處理，而需自行設置處理設施，造成處理設施之資源浪費。

(3) 共同清除處理機構推動困難

業者共同提出清理計畫之審查方式，可免除申請清除處理機構之

複雜程序，並保障工業廢棄物之貨源管道。然因處理體系成員眾多，意見紛歧，易造成部分體系於成立期間中斷或停止營運，故導引共同聯合處理體系之成立及輔導其營運效能提昇將是重要的課題。

(4)環境基線資料不足

我國企業機構因行業性質、生產流程、使用原料、加工層次及生產設備等之不同，產生廢棄物之類別與數量十分複雜，由於現有資料之不完全，而既有廢棄物調查因各單位之分類方式、調查方法多有不同，造成資料較難整合。

(5)實務工程經驗與技術能力不足

我國工業廢棄物在資源回收、處理處置等相關管制規定推動較晚，缺乏一整體規劃；且對於廢棄物資源回收及妥善處理之技術、處理設施之操作維護等經驗不足，造成在廢棄物處理表現上不儘滿意。

二、結論建議

綜觀前國內推動工業廢棄物之策略方向，包括：1. 法規政策、2. 經濟誘因、3. 技術輔導、4. 資訊建立、5. 民眾／政府參與、6. 環境教育、7. 國際合作、8. 研究發展等八項，目前亟待積極推動之執行措施為：

1. 建立事業廢棄物基本資料

- ◆質與量統計分析
- ◆廢棄物流向分布
- ◆資源回收與妥善處理率
- ◆處理成本

2. 興建事業廢棄物處理設施

- ◆提昇現有處理設施營運功能
- ◆事業廢棄物處理多元化-資源回收／妥善處理
- ◆建立聯合／共同處理體系設置規範
- ◆訂定事業廢棄物處理設施評鑑辦法
- ◆建立北、中、南資源回收專業區

3. 訂定合理營運辦法

- ◆建立合理收費（費率）制度
- ◆檢討修訂合約規範
- ◆建立監督管理及稽核制度
- ◆評估檢討現有委外營運BOO、BOT 制度

4. 落實監督管理體系

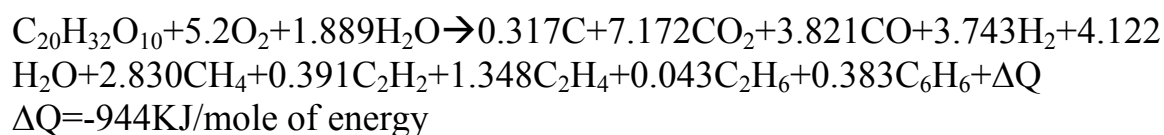
- ◆強化廢棄物管制中心設置功能
- ◆建立電腦資訊化之監督管理體系
- ◆設定評鑑與考核管理辦法
- ◆設置危機處理中心

第四章 廢棄物氣化技術發展現況分析

4-1 氣化技術基本理論

氣化 (gasification) 程序屬於熱化學轉換反應，係在高溫下進行非催化性的部分氧化反應，將含碳物質 (如廢棄物或煤炭) 轉換成以氣態燃料為主，可供利用的能源。經氧化反應所產生之可燃氣體主要包括一氧化碳、氫氣等，另亦有部分燃料油、焦炭、焦油、灰份等產物。氣化之最終產物及比例乃依不同之媒介與操作條件而有所不同，而進行非催化性部分氧化反應之介質一般為空氣、氧氣、氫氣、蒸汽或上述之混合物。熱裂解是屬於氣化反應的特殊情況，是以隔絕氧氣或是空氣情況進行反應。整體反應為吸熱反應，需外加能量才能進行反應；其中優點在於可回收有用的副產物 (如金屬或化學物)，對於能源回收有相當助益。

從 1990 年代開始已經有許多廢棄物氣化示範工廠在歐洲、美國及日本等地進行測試。現行的氣化技術通常應用於有 6-7% 水汽的廢棄物或衍生燃料 (RDF) 藉此產生合成氣體，而此種濕度將使水合 (hydrolysis) 與氣化反應同時發生。氣化反應的溫度範圍通常為 600-1200°C 之間，轉化效率隨著技術而不同但通常高於 87%。其氣化技術的化學反應式如下所示：



這些數據出自於 TPS 氣化工廠，主要操作溫度為 850°C 且有較大碳數在反應式的右側。然而這工廠所產生之灰份隨著經過氣化中的觸媒處理階段而減少，從化學反應式左側的衍生燃料通常也有 6% 的水分，其中也包含了 11% 的飛灰。當合成氣體生成之後有相當於 850°C 足夠提供原燃料能量並產生排出氣體。而從衍生燃料中所產生之氣體通常含有大量的氯化氫會侵蝕渦輪機的合金葉扇，所以清理合成氣體就變成十分重要的關鍵。上述從 1mole $C_{20}H_{32}O_{10}$ 生成之合成氣體當被降溫至 25°C 時將放出 7805KJ 的熱量，這些熱量能夠用來推動蒸氣機或引擎來產生電力，而 1mole $C_{20}H_{32}O_{10}$ 其燃燒熱為 8924KJ，與前面比較不同之處在於能量獲取方式不同。然而從本系統來說其能源轉換效率為 87.5%。

廢棄物熱裂解是視為固體燃料的延伸。針對熱裂解的研究不僅在科學研究與技術發展都有相當程度的發展，甚至於工業界上的利用也甚為突出。熱裂解不僅是無氧化的熱分解反應及氣化反應，基本上此種熱化學反應溫度通常不超過 800°C，除了是煤炭氣化 (coal gasification) 或是處理具有高濃度氯化物的有毒廢棄物。

其中針對廢棄物熱分解反應特性與最終產物的組成隨著所處理廢棄物的化學組成有關。固體廢棄物如：衣物、木材、紙類、橡膠與塑膠等，而塑膠更是佔廢棄物組成的 20% 甚至更多。木材包括纖維質及其衍生物與木質素，纖維質與其他碳氫化合物隨著加熱會釋放出少量的揮發性物質，許多研究指出若是溫度大約在 500-550°C 間將會釋放出揮發性

物質，而在更高的溫度下隨著揮發物質快速逸散對於其最後的產量不會有很明顯的影響，僅對於其固體殘餘物的部分性質有些影響。

整體而言，符合低溫熱裂解的使用情形相當少，通常樹脂幾乎都被建議不要使用，因為它被視為燃料的一種。然而，廢棄物組成在低沸點（ $<200^{\circ}\text{C}$ ）情況下應該都會被先分離出來，所以當多方探討此一流程時，會發覺直接使用樹脂當作額外加入的燃油將不符合經濟效益。在處理固體殘餘物也有相同的情形，大多數的技術研究都表示可以從汽車輪胎熱裂解殘留物去生產高品質碳過濾膜與吸附劑，但是在工業上的應用卻有複雜多項反映及昂貴的處理成本。雖然仍有燃燒氣可以利用，但是其燃氣產量僅有 $70-140\text{m}^3/\text{t}$ 甚至小於廢棄物直接燃燒後產生的量。總括上面的結論，固體廢棄物熱處理技術也許是可行的權宜之計，此程序中從廢棄物於低溫分解產生的氯化物質將間接地被破壞，而固體殘留物將會被氯化。

4-2 氣化技術應用與發展

圖 4-1 為氣化技術與其產物之流程示意圖，以氣化技術處理廢棄物具有以下之優點：

- 有效回收及利用廢棄物所蘊藏之能源
- 氣化爐爐體構造簡單，操作容易
- 進料彈性大，用途廣

➤ 所需空氣量較直接燃燒少，除塵設備投資低

而與傳統燃燒在進行廢熱回收的方式比較，氣化擁有許多優勢，其比較如表 4-1 所示。因此，氣化技術為未來廢棄物能源利用之主流技術。現階段氣化反應器（氣化爐）依氣體與燃料接觸的形式可分區為（一）固定式氣化爐，包括上吸式氣化爐及下吸式氣化爐等；（二）流體化床氣化爐，包括氣泡式流體化床、循環式流體化床及夾帶床等；（三）移動床氣化爐；其他型式的氣化爐上有懸浮流動式氣化爐、旋轉窯氣化爐、旋風式反應器氣化爐、渦旋式反應器等。其中固定床和流體化床氣化爐為目前工業界較常使用的兩種氣化爐。相較於其他型式的氣化爐，流體化床氣化爐具有較多的優點。各種氣化爐的操作性能及其優缺點（以空氣為介質）則如表 4-2 所示。

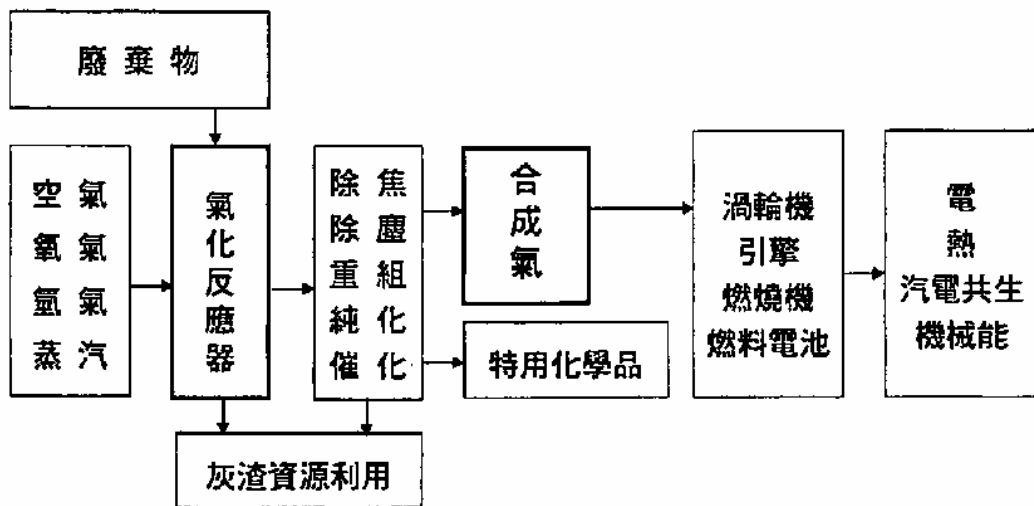


圖4-1 氣化技術與其產物之流程示意圖

表4-1 廢棄物氣化技術與燃燒技術之比較

	氣 化	燃 燒	備 註
可利用廢棄物種類	皆可適用	皆可適用	氣化、燃燒皆為熱化學程序，可處理大部份廢棄物。
終端能源形式	燃氣 蒸汽 電 化學品	蒸汽 電	鍋爐產製高壓蒸汽進入蒸汽鍋輪機發電必需為大型機組，外燃式引擎仍待開發。
效率	較高	較低	以發電為終端利用。
污染	較低	較高	氣化系統在燃氣燃燒前即將污染物去除。
成本	相當	相當	若以氣化發電系統及燃燒發電系統比較，則氣化發電系統成本高，但氣化程序所需之污染防治設備則較燃燒程序為少。 若單以氣化及燃燒比較，則燃燒所需成本高。
未來發展潛力	較高	較低	配合氣化發電系統的燃氣渦輪機效率將日益提高。 氣化所生產的燃氣，可轉化為甲醇，配合燃料電池的發展作為發電之用。

表4-2 各種氣化爐的操作性能及其優缺點

	爐 內 反應溫度	出 口 氣體溫度	焦油量	飛灰量	操 作降 載率	規模放大 設計能力
固定床氣化爐						
上吸式氣化爐	1000 °C	250 °C	很高	中等	佳	佳
下吸式氣化爐	1000 °C	800 °C	很低	中等	佳	劣
流體化床氣化爐						
氣泡式流體化床	850 °C	800 °C	持平	高	佳	佳
循環式流體化床	850 °C	850 °C	低	很高	佳	優
移動床氣化爐	700 °C	600 °C	高	低	劣	佳
懸浮流動式氣化爐	900 °C	900 °C	高	很高	劣	持平

近幾年來從廢棄物轉換能源的應用不是挺順利，除非有法令與政府的支持，不然多數廢棄物皆是經過垃圾掩埋無法獲得更多再生能源應用。生物處理（生質氣工廠、機械生物處理工廠）僅從廢棄物有機組成中擷取能源，其轉化熱能在低溫狀態（ $<100^{\circ}\text{C}$ ）即可獲得，而這些能源通常是無法利用的。在焚化過程中的熱轉移僅需要一般溫度（ $250-450^{\circ}\text{C}$ ）及或需要消耗大量能源，而廢棄物處理過程經過乾燥、氣化與焚化過程，根據程序分離與氧氣供應量可知熱轉化技術主要分成三個部分：熱裂解、氣化與焚化。在焚化過程中需要足夠的氧氣量才可達成完全焚化烩釋放，為了降低廢棄物焚化的複雜度，全部四步驟要同時在一個反應槽中模擬，乾燥與氣化的熱可經由焚化過程及預熱空氣提供足夠的熱。其中的程序參數像排出氣體（ $850-1200^{\circ}\text{C}$ ）的焚化清單與反應時間（通常1-2秒）都是依照法令規定與政府許可的操作。這些規範參數的目的主要是為了達到高碳轉化率，包括轉換成二氧化碳與限制 NO_x 的生成。這些排出氣的餘熱可以利用於生產水蒸汽與焚化過程中的預熱空氣。

發電廠與廢棄物焚化廠的主要差別在於排出氣體的組成，在不同氣體組成與溫度的熱交換器中侵蝕與腐蝕實驗結果，主要是在於再生能源低溫轉化。若以高溫轉化將可以大量減少如 HCl 的生成避免腐蝕熱交換器器壁，而且有較高蒸汽量與較高能量轉換率。廢棄物焚化溫度在 $850-1200^{\circ}\text{C}$ 下提供過量的氧氣（通常於排出氣體有6%含量）達熱力學

平衡後碳轉化成二氧化碳轉化率將達到99.9%以上，若為不足氧氣反應將造成熱裂解與氣化現象，其碳轉化二氧化碳、一氧化碳、碳氫化合物與固體碳轉化程度就受溫度影響。廢棄物熱裂解與氣化現象將可造成排出氣體有大量之可燃性物質，另外會限制高沸點的碳氫化合物生成。

現在以THERMOSELECT技術為例，在這個案例中多成分的固體廢棄物、事業廢棄物、工業廢棄物與有害物質等都可以轉化成合成氣體、可利用類玻璃礦物與其他貴重金屬等。其中第一個步驟上，物料送入時不需經過前處理並直接加壓把液體與殘餘空氣擠出，加壓力大會使得物料緊緊塞成一塊，此時物料進行乾燥把有機物質氣化並進入高溫反應爐中。有關碳與碳生成物於控制氧氣量並溫度高於200°C的水蒸汽情況下被氣化，而滯留時間為2秒且氣體溫度高於1200°C下，所有的有機物質都會被破壞，經過這個步驟後，將合成氣體從1200°C急速冷卻至低於90°C的水中，經過清洗的過程，其合成氣就可作為能量來源。而這種技術現階段主要缺點為所耗損的電量較高（0.5MJ/Kg）、氧氣量、額外的化石燃料（天然氣：2MJ/Kg）與熱轉化過程中所產生的餘熱與濃煙。在上述方法中廢棄物轉化出的合成氣低於40%，若假設合成氣轉化電能的比率約為50%的話，其整體的轉化率僅20%。然而已經有相關文獻提到其廢棄物轉化成合成氣的比率高達70%，但是相關操作模式仍處於示範工廠與實驗室階段。除了較低轉化率之外，THERMOSELECT中仍有相當機會建立廢棄物轉化能源市場。

大部分的廢棄物氣化程序會產生低碳量殘留物，廢棄物熱裂解程序隨著能量轉化的過程一樣會產生固體或液體的殘留物，因此為了這個因素需要將這些殘餘物在第二步驟中給去除。經過近多年的營運經驗來看其儀器成本與操作成本高於傳統焚化廠，較高的操作成本可能是因為可販售的產物生成造成預備成本更高過於販售利益。其他還有廢棄物有效轉化能源的應用如發電廠、水泥廠等，當然這僅限某部分的廢棄物（主要是考慮他們增加腐蝕與蝕化效應的能力）。然經過多年的營運經驗來看，就技術層面來說污泥和部分均一的液體廢棄物可加入發電廠或水泥廠的固體燃料中，而廢棄物燃燒時特別要注意兩項事情，一為像氯、溴或是揮發金屬必須降到最低並且需要維持一定的均一度。最後，多成分廢棄物或分離程序後的廢棄物必須避免直接進去燃燒。

下面以發電廠『Westfahlen』的燃燒情況討論，經過分類純化的廢棄物（像塑膠廢棄物等）的熱裂解程序也都統整於發電廠中，熱裂解的產出物-氣體與碳黑-可直接送入發電廠中並可取代15%以上的化石燃料。從上面兩個例子來看（THERMOSELECT和Westfahlen），通常若是沒有經過前處理的工廠其能量轉化率較低於有經過前處理的步驟。而前處理會牽引出有害物質的分離程序，然這些具高濃度有害物質的廢氣將可經過電漿處理解決問題。電漿程序提供了一個反應環境、快速控制反應、增加自由度選擇與使用較小反應器（啟動與停機快速）的機制。此外，技術上也提供產生可燃氣體用以解決去除後面的含鹵素、硫與金

屬物質。然而，這個程序中仍有需要較高額外能源供應的缺點與氣體洗滌清潔複雜度。

4-3 歐洲廢棄物氣化技術發展情形

一、TPS Termiska Processer AB air gasification process

基本的氣化技術有三種空氣氣化、氧氣氣化與蒸汽氣化，而 TPS 公司主要是針對空氣氣化技術。TPS 於 1984 年開始研發循環式流體化床氣化反應器並於 1988 年於義大利設置示範工廠進行處理衍生燃料 (RDF)。對於低品質的合成氣體直接燒掉再利用，而從循環式流體化床產生的焦油量約 $2-100\text{g}/\text{m}^3$ 當量氣體體積。而氣體引擎所能承受的最大焦油量為 $20-500\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

TPS 未來將發展一套整合氣化循環機制 (integrated gasification combined cycle(IGCC))。為了提升高品質合成氣體，TPS 公司加強氣化程序並增加第二個流體化床進行反應，在此流體化床中焦油將裂解成低碳數的碳氫化合物並利用石灰岩做為催化劑。石灰岩為礦物主要由碳酸鈣與碳酸鎂組成，其活性與其高溫生成之氧化鈣有關，不同來源的石灰岩有不同的活性。石灰岩也與氯化氫進行反應產生氯化鎂或氯化鈣，這些相當容易去除不會影響其合成氣體之生成結果。圖 4-2 為 TPS IGCC 程序的整體流程圖。

廢棄物快速地在流體化床中加熱並隨著廢棄物的量，其滯留時間可

能為數秒到數分鐘，第一流體化床的操作溫度為 830-900°C，溫度的選擇將有助於程序最佳化。另外還有需額外熱能來預熱進料空氣，基本上其熱能是來自於氣體渦輪機排出氣體提供。在流體化床的高速氣體流速將帶動沙粒、飛灰及生成氣體一起排出反應器而飛灰與沙粒將與合成氣體分離開來。利用兩個氣旋式集塵器收集沙粒與飛灰，第一個氣旋式集塵器收集較為粗大的沙粒與飛灰，而第二個則收集所有細小的沙粒與飛灰。

合成氣體通常包含某種程度的焦油與焦炭，當經過第二個循環式流體化床反應器後將會被氣化，當合成氣體離開裂解槽的溫度約為 900°C，合成氣體佔有整體熱能約 15-25%，回收其熱能是提升整體能源效率的重要關鍵。若合成氣體中僅還有少量的氯化氫與重金屬，其氣體可以利用熱交換器降低至 120°C 以下，並回收約 80% 的熱能。而這氣體亦經過袋式集塵過濾部分雜物。若合成氣體中還有大量的氯化氫、氧氣與重金屬，將會有極高的風險產生戴奧辛。而在這個案例中，先將氣體降低至 400°C 左右並回收約 50% 的熱能，然又利用電荷集塵器去除飛灰顆粒並快速降溫，最後氣體清潔程序將去除二氧化硫、硫化氫、氨氣與少許的氯化氫。

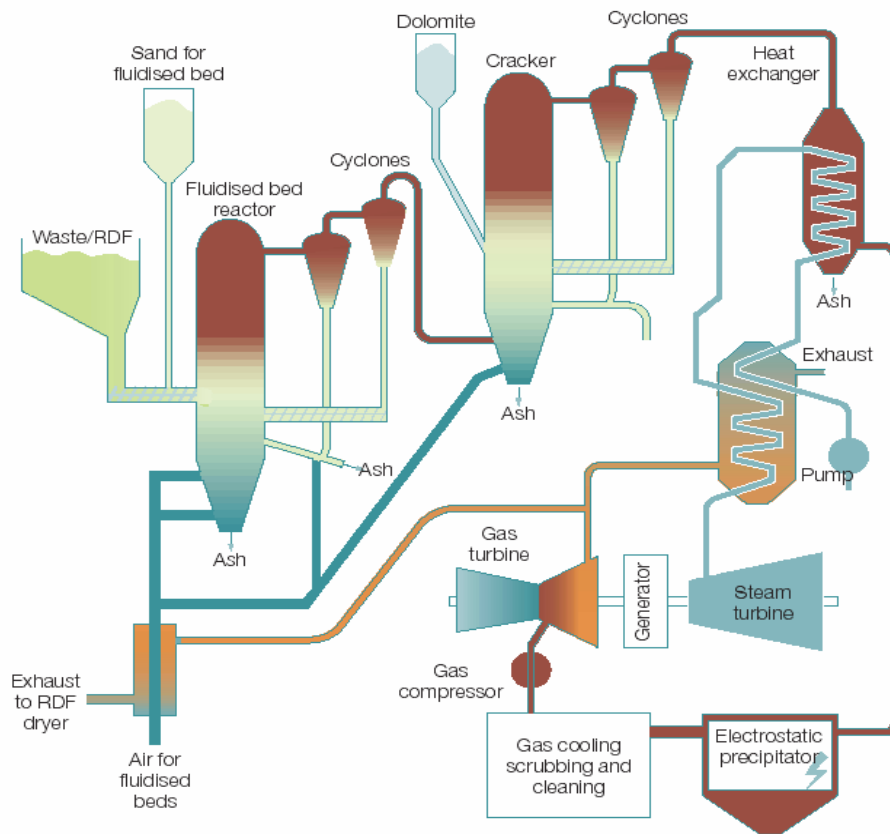


圖 4-2 TPS IGCC 程序的整體流程圖。

二、The Proler oxygen gasification process

Proler 於 1989 年開始發展氣化技術，其中 Proler 較為優異的特點在於利用旋轉式水泥窯和以氧氣取代空氣進行氣化反應。其旋轉式水泥窯的設計圖如圖 4-3 所示，廢棄物首先經過一長且窄的管道並於管道內將廢棄物進行壓縮，所以將會造成密封的狀態。而在滾筒的末端設有空氣進出口可以移除掉不需要的氣體，示範工廠則是以 6 公分含有 15% 水分 RDF 進行實驗操作。

天然氣和氧氣則是經過氧氣燃料管線注射進去氣化槽中，其進口加入之天然氣約佔整體能源的 14%，若以小量天然氣加入反應器的助益就並不十分明顯。圖 4-4 為 Proler 氣化程序的能源與質量平衡示意圖。

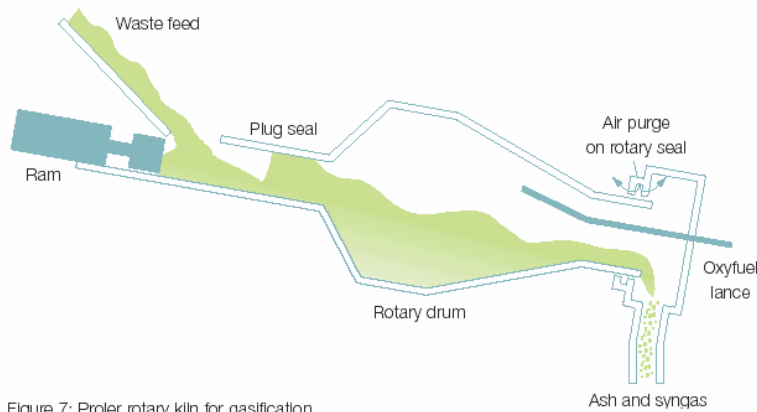


Figure 7: Proler rotary kiln for gasification.

圖 4-3 Proler 旋轉式水泥窯的設計圖

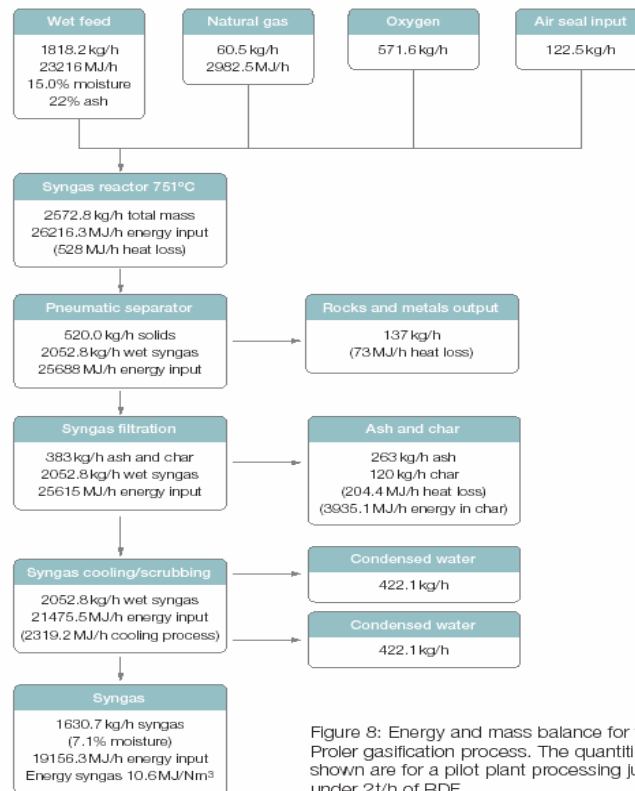


Figure 8: Energy and mass balance for the Proler gasification process. The quantities shown are for a pilot plant processing just under 2t/h of RDF.

圖 4-4 為 Proler 氣化程序的能源與質量平衡示意圖

三、The SilvaGas steam gasification process

從 1977 年開始發展 SilvaGas steam gasification process 並於 1989 年實際測試以每小時 30 公斤的速率處理 RDF。FERCO 再從 SilvaGas process 下發展具商業化價值的木材氣化處理技術。主要的氣化程序如圖 4-5 所示，與 TPS 程序相似的是同樣使用兩個流體化床。第一個流體化床在 SilvaGas 程序上與蒸汽進行氣化反應，而在第二個流體化床則是利用空氣燃燒焦炭而合成氣體從第一個流體化床排出。而 SilvaGas 系統不斷回收沙粒作為流動載體從第二個流回第一個。本系統有兩氣體流量需要經過清洗，一為從氣化反應器出來的合成氣體，另一則為從燃燒槽中所排出氣體。若酸性氣體和重金屬氯化物能和合成氣體分離的話，從燃燒槽排出之氣體則相對乾淨許多並僅需要過濾一些較粗大顆粒。

圖 4-5 顯示出排出氣體可用來預熱原廢棄物產生 RDF 進料，而在離開乾燥槽之後需經過清洗與脫臭兩步驟，合成氣體將被洗去酸性氣體與利用觸媒去去除焦油。在經過美國相關示範工廠的運作下，合成氣體可直接進去鍋爐燃燒，其焦油裂解並不是很需要。比較 SilvaGas 系統與其他兩個 TPS 及 Proler 氣化技術來說其對於相同進料質量與能量平衡是需要特別注意的，但是由於 SilvaGas 氣化爐中的合成氣體組成與 TPS 和 Proler 比較來說不是很清楚，所以要做出質量與能量平衡十分困難。

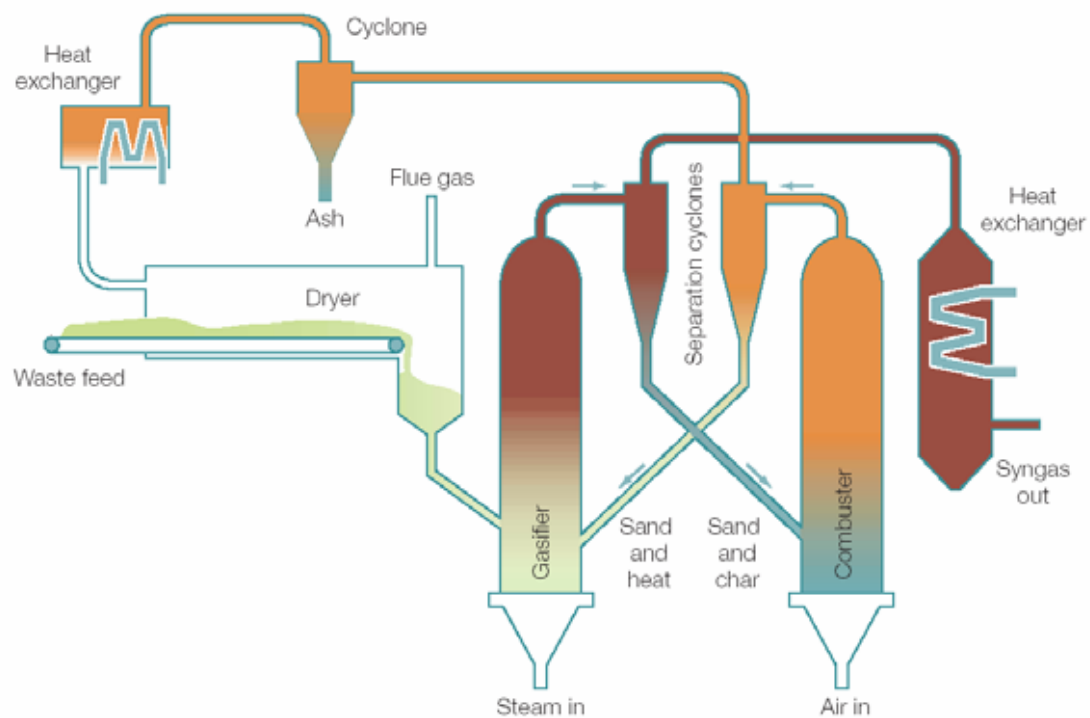


圖 4-5 SilvaGas 氣化系統的實驗程序示意圖

除了上述幾個比較明確的案例之外，歐洲部分也有相當程度氣化技術的研究與案例，下面簡要地介紹幾家公司的氣化技術特性：

1. Bergau：位於德國境內，主要是屬於旋轉式水泥窯（熱裂解）以及德國與歐洲各國相關待處理廢棄物。所得合成氣將直接送去鍋爐燃燒，然而事實上這程序不容易被持續進行的緣故，主要是因為結構與操作成本過高。這種並不符合經濟價值，所以未來將加強渦輪機效率以符合經濟成本。
2. Thermostelect：其熱裂解與氣化技術已接近商業化的應用，工廠將壓

縮廢棄物在坑道中進行燃燒，並於坑道末端加入氧氣以氣化廢棄物。此項技術十分昂貴-由於從空氣獲得之氧氣成本無法攤平從合成氣生成所獲得的利益。且此項計畫有需要大量的能源來處理飛灰在非常高溫下（高達 2000°C），若僅在 850°C 下雖然可達到飛灰燒結溫度且無有害物質生成但理想情況不容易達到。當從 2000 年測試開始時，這工廠並沒有被德國當局加徵其排放量額度，由於燃燒槽已經重新設計和其他部分修正。現在工廠已經有一條氣化生產線可處理 720tons/day 另外有兩條生產線已計畫開闢。

3. Rowitec：此流體化床設計是基於 MG Engineering 氣泡床，據研究報告指出，以大粒徑（400mm³）的氣泡具明顯的最小化前處理流經床體特別適合 MSW。這些成功的設計，年處理量可達 300000 公噸。
4. Compact power：此公司是利用熱裂解與氣化一併使用，在熱裂解區設置大量模式管，總共可流經 500kg/h 氣體。氣化則是用水-空氣在極高溫下反應產生氫氣和一氧化碳。排出氣體流經鍋爐產生大量蒸汽推動渦輪機用來發電。此系統聲稱即使改變需求也能達到一定成果，這是因為熱裂解區的模式管部分。總而言之，此一設計較為適合小規模的工廠。
5. SWERF：（solid waste and recycling facility）熱裂解和氣化也同時使用，然而氣化劑在設計中扮演著從蒸汽轉變成將合成汽轉給熱裂解當燃料使用，合成氣也可直接給渦輪機使用之。

6. WasteGen：在這個系統中，物質與能源都可經過熱裂解-氣體生成程序中再生。此熱裂解反應是在一個額外加熱旋轉式水泥窯中完成的，合成氣體隨後可直接給渦輪機使用或是進去燃燒爐作燃料去推動渦輪機當成動力。而分離作用則是去除不適當的物質-堆肥物質和再回收物-以機械法分類。此程序可設計加強堆肥與再回收量和許多可改變市場機制的東西。
7. Emergos：本系統使用兩個熱裂解爐以 semi-batch 方式操作，燃燒爐有分成主要槽與次要槽，把固體廢棄物儲存在主要槽中，當然可燃氣體釋放之後再次要槽中燃燒之。煙道氣體鍋爐通常會有排煙管和水管設計藉著預熱水用以控制排出氣體溫度。煙道氣體會經過煙道氣體洗滌系統，此系統具有袋式集塵器、石灰加藥、活性炭及集塵塔等。

4-4 日本廢棄物氣化技術發展情形

氣化是一非催化性之反應程序，反應生成氣體以 CO 及 H₂ 為主，而合成氣可再轉換成能源或合成化學品。

日本地區廢棄物氣化熔融爐及氣化改質爐實績調查。一般廢棄物氣化熔融爐主要有三種：旋轉窯式、流動床式和豎窯式。

(1) 旋轉窯式氣化熔融爐

氣化熔融爐體型式屬於分離式，藉旋轉窯將進料廢棄物間接或直接加熱熱分解改質，產生合成氣體(H_2 , CO 等)及焦炭作為部分補助燃料，再於後接獨立之熔爐內以低空氣比高溫燃燒，將灰份熔融成熔渣。其特徵為前處理一般需破碎處理，150~250mm 以下多不需乾燥、脫水等前處理；內部熱分解燃料經焚化後之熱源，回收供窯爐熱分解使用。過量空氣比約 1.2~1.3、熔溫約 1,300~1,450°C、回收熱量/發電效約 17~22%。系統簡單，安全性高，但氣化爐加熱管腐蝕嚴重，需加強維護，調整旋轉窯熱分解之停留時間，以因應進料廢棄物性質之變動，促使熱分解氣體及焦炭安定產出，以及低空氣比穩定運轉。代表廠商為 Simens (德)、三井造船(日)、田熊(日)、日立製作所(日)、石川島播磨+久保田(日)等。

(2) 流動床式氣化熔融爐

氣化熔融爐體型式屬於分離式，藉流動床熱分解爐(單塔或雙塔)將進料廢棄物熱分解改質，產生合成氣體(H_2 , CO 等)及焦炭作為部分補助燃料，再於後接獨立之熔爐內以低空氣比高溫燃燒，將灰份熔融成熔渣。其特徵為前處理一般需破碎處理，50~200mm 以下多不需乾燥、脫水等前處理；內部熱分解燃料經焚化後之熱源，回收供流動化空氣預熱使用。過量空氣比約 1.2、熔溫約約 1,300~1,450°C、回收熱量/發電效率約 17~22%。系統簡單，安全性高，但需因應進料廢棄物性質之變動，

促使熱分解氣體及焦炭安定產出，以及低空氣比穩定運轉。代表廠商為日立造船（日）、Babcok 日立（日）、川崎重工（日）、神戶製鋼（日）、Babcok 日立（日）、荏原製作所（日）、三菱重工（日）栗本鐵工（日）、住友重機（日）等。

（3）豎窯式氣化熔融爐

氣化熔融爐體型式屬於一體式，藉熱分解及熔融一次於豎窯內完成，廢棄物於爐頂或爐側進料後，由上向下依序完成乾燥、熱分解、燃燒及熔融等過程。其特徵為得直接進料較大尺寸（如 700mm）廢棄物，另加設乾燥機有助於安定熱分解；需供給外部燃料如焦炭、氧氣等，或利用其他熱源如 Plasma 等助燃。過量空氣比約 1.5、熔溫約約 1,700~1,800°C、因加入助燃材料，得回收之熱量高，排廢氣熱損失少，回收熱量/發電效率較高，惟耗電量亦高。系統需加強可燃廢氣之防護對策，多採間歇式出渣，緊急停機時殘留爐內廢棄物不易排出，且排渣時因量大，易衍生火花、煙煙等現象，且因經常需添加助燃材料保持爐溫，故受進料廢棄物性質變動之影響較小。代表廠商為日本鋼管（日）、新日本製鐵（日）、川崎技研（日）、川崎重工（日）、日立金屬（日）、日立製作所（日）等。

此外本計畫於今年度三月份前往日本參訪共英 Recycle KK 氣化熔融爐，共英製鋼 K.K Messcud 事業始於 15 年前(1990)，專門處理醫療廢

棄物，目前佔日本市場比率約為 20~25%。處理量為 25 萬罐/月。山口市場 12 萬罐/月(約 500T/M)，其他地區 13 萬罐/月。另外並成立共英 Recycle 株式會社，主要事業內容：1.製鋼用原料之生產及販賣，2.燃料（瓦斯、碳化物）之生產及販賣，3.產業廢棄物及一般廢棄物之收集搬運及中間處理。

氣體製造部門，其氣化熔融爐 90T/day 並於 2004 年 4 月開始操作，其氣體生成量 140,000m³/day。共英 Recycling K K 之氣化熔融爐係住友金屬於 2000 年開始研發，研發階段是使用 20T/d 的 pilot plant。目前除了山口縣小野田工場的 90T/d 實用爐以外尚有佐賀縣工場 66T/d×2(2004 年 1 月)及鹿島工場 100T/d (2004 年 7 月)。

本氣化熔融爐是一種小高爐型的熔融爐。小野田工場的熔融爐爐高 8.0m，爐徑 3.6m，爐下方設有 12 支的 tuyere 吹送 O₂+LPG，另外爐上方裝設一支 Top lance 吹送 O₂(93% O₂)作為二次燃燒之用。爐內熔融溫度保持 1500°C，爐頂排氣則保持 1200°C 以上(爐內滯留時間 2 秒以上)。爐內氣氛為還原性。爐內廢棄物熔融的部分則只有 1.5m 高。處理產業廢棄物時底層先投入焦炭而投入之廢棄物另加 5%焦炭。投入之廢棄物事先經破碎的前處理。爐渣由爐底連續排出可製造水渣及徐冷爐渣，鹽基度保持 1.0 左右(鹽基度之調整以石灰石處理)，爐渣之品質可滿足溶出試驗(TCLP)之基準。

排氣經急冷減溫塔由 1000~1100°C 急冷至 170°C 並保持在露點以上

之溫度，Quenching media 為水+N₂（使用特別設計的 nozzle）。排氣組成：CO(40%)、H₂(35%)、CO₂(12%)，總發熱量:2000 kcal/Nm³。由於是還原性氣體之關係無去除 NO_x 的必要，飛灰中尚含有多量的 carbon 尚可作為電爐的燃料使用。

本氣化熔融爐的特徵為：1.高溫燃燒，Dioxin 可完全分解，排氣之 Dioxin 類濃度可達 0.0000088ng-TEQ/Nm³。2.高溫熔融，爐溫保持 1500°C 以上將廢棄物熔融而製造出高品質的爐渣。3.氧氣的吹入，吹入幾乎為純氧（93% O₂）之氣體將廢棄物做高效率的燃燒。4.排氣之急速冷卻，排氣由 1000~1100°C 之高溫急冷至 170°C，可完全抑制 Dioxin 類之再合成。結果可獲得極低的 Dioxin 的排氣，高品質爐渣及可再利用之能源氣體。

4-5 結語

1. 國外應用氣化技術的進料是以煤炭、生質能（木屑等農林廢物）煉油廠中間產物（真空塔殘油、石油焦）為主；國內則以廢塑膠橡膠等工業廢棄物為主。故國內未來之發展方向，在近期內應由單一廢棄物進料發展到技術困難度較高的混合進料；長期則以固態衍生燃料為進料。
2. 國外廢棄物集中性高且產量大；國內廢棄物料源分散性高且數量較少。因此，為因應未來法令鼓勵現場處理與禁止工業區廢棄物外運

處理，國內廢棄物氣化技術之發展應以中小型氣化系統為主要需求。

3. 國外利用氣化技術係以大規模循環發電方式為主，部分小規模利用則以供應區域暖氣為目標；但國內氣化利用則較適合以合成燃氣做為鍋爐輔助燃料，或利用柴油引擎或氣渦輪機發電為主。故國內發展的氣化系統，其所生產之合成燃氣需配合不同利用方式調整期品質，而整體系統的規劃則以經濟效益為主要考量。

第五章 電漿技術原理與其應用

5-1 前言

最近發表關於電漿氧化固體廢棄物的運用(Friedel, Gourrier, 1983)，對於有危險性及非危險性廢棄物的處置(Jurewicz, Huczko, 1997)，環境的保護(Huczko, 1995)，以及綠色化學的運用(Ward, 1996 and Petrovic, Makabe, 1998)，顯示對於電漿化學及伴隨的技術有廣大的興趣。像是分解和有害物質適合的轉化去減少有害物質的量。這些努力的成果有時會導致對於解決環境問題新技術的發展。此類技術成立於電漿化學廣大的領域裡(Boenig, 1988)。

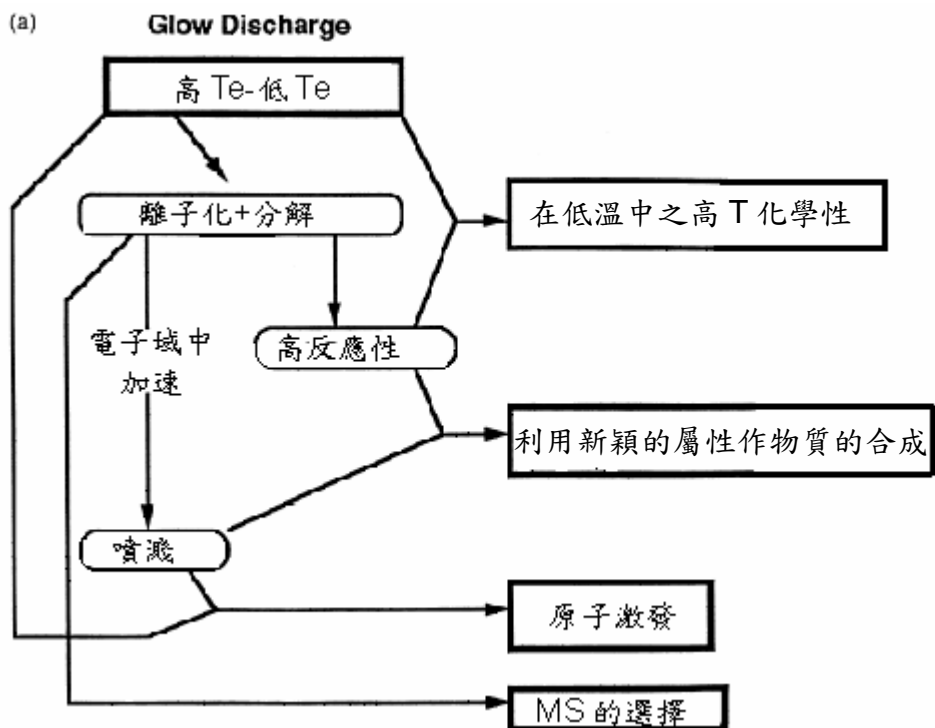
西元 1879 年當 Crookes (McTaggart, 1967)研究氣體中放電情形時瞭解了電漿之重要性，然而，直到在戰爭後幾年，電漿技術成為重要的經濟意義。現今，電漿處理已經變成電子產業主要的依靠(Petrovic, Makabe, 1998)且在物質的調製品上已有很大的進展像是無結晶質的矽(Matsuda, 1998)和鑽石的合成(Schwarzler et. al., 1996 and Benndorf et. al., 1994 and Kruger et. al., 1997)和物質的變體如同聚合物的處置(Biederman, Osada, 1990)。然而，電漿在環境化學上的使用仍然在初期，但有實際價值的東西已在最近的十年獲得了。電漿技術對於環境問題可能的應用仍是一個未經探索的機會。電漿中間處理的領域正剛開始發展，除了有害廢棄物的處理像是分類、淨化等，還有綠色化學

努力的成果像是電漿化學淨化替代溶劑(Ward, 1996)。

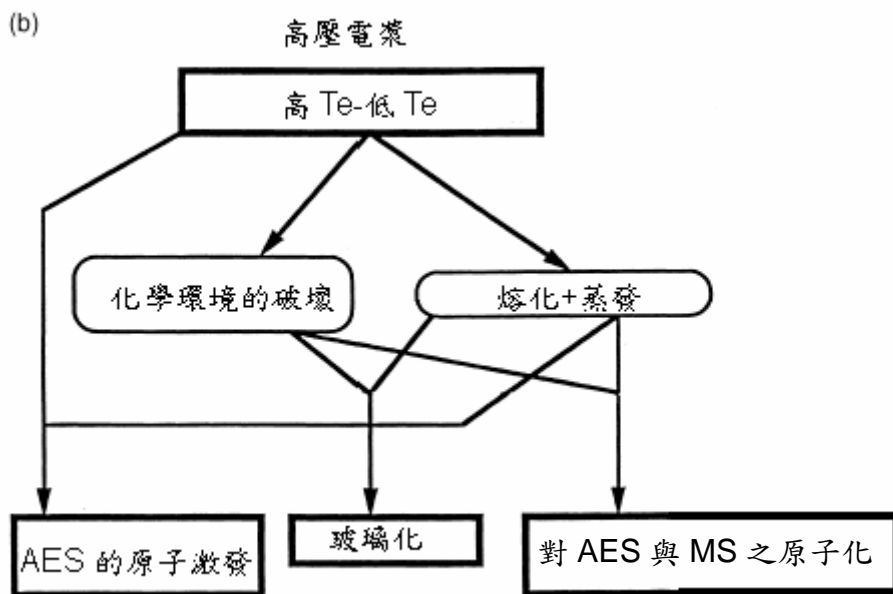
5-2 電漿基本原理

Tonks 和 Langmuir (Tonks, Langmuir, 1929)指出對於電漿狀態的兩個必要條件：近似電中性和有高濃度的自由帶電荷體。在電漿狀態的物質中，自由電子存在於合理高濃度狀態且電子電荷會被正離子平衡。電漿狀態通常被稱為”第四種狀態的物質”。

低壓電漿與 atmospheric plasmas 雖在本質上是全然不同，但在環境化學領域的應用則是其具有關聯性的基本特性，於圖 5-1 (a) 及圖 5-2 (b) 表示。以下將針對這些特性分項進行討論。



(a) glow discharge



(b) 高壓電漿

圖 5-1 基本適用於環境化學之電漿特性

(1) 低壓電漿

在所有型態之電漿中，高溫電子是其共同擁有之基本特性之一，它致使氣態物質 excitation、離子化、進行分解。在低壓電漿中，氣態產物本身具有的分解性，將使其容易在較低溫的情形下進行反應，因此，離子、原子或分子在低壓電漿中將可以相對較低的溫度進行高溫化學反應。在電漿邊界區產生電場會大大的促使離子接近放電區或電極區。在某些情況下，電場可造成這些物質的 sputtered 或將物質安放在上面。Sputtered 原子會因為電子撞擊更加被激發且原子衰弱可由原子排放光譜來檢測。在放電過程中離子產生可被拿去進行質量光譜研究。在低溫下（通常 200-500°C）自由基的高反應性可和離子不定的碰撞能量相結合而合成有益環境的物質。此類物質展現傳統化學

方法無法達成的獨特表面性質（如：可濕性）。例如，機械的耐用保護或電的傳導性性質。為了分析的目的，它們可被用來檢測化學或是物理參數。

（2）Atmospheric plasma

在施予高壓的條件下，電漿可被使用於高溫環境中，並導致物質化學鍵的破壞，及確實毀壞化學環境中的所有物質。因此，這些電漿便成為用於使有毒性之有機(無機)物質轉變成低毒性氧化物之最有效的工具。高溫會致使物質在電漿系統中被蒸發、原子化、激發及離子化，因此，可被用來作為分光之目的，例如原子發射光譜儀(AES)或質譜儀(MS)，此外，在另一方面，AES 亦可被用來使具游離金屬離子物質玻璃化之用。

（3）電子能量

在電漿放電過程中，特別是在受限於系統周邊放電的情形下，會致使物質因再結合而導致系統連續性失去電子。為了維持放電達穩定狀態，這些損失的部分將在載流氣體的帶領下以電流的方式作為外加能量的補償。電漿由自由電子、離子、不帶電之原子或分子及本身所組成。不同物質具有不同移動性，特別是電子及大量物質間，能量會經由不同過程從各種不同形式中獲得，例如碰撞能量轉移、電子碰撞游離、離子化和電場中之加速度。

當大量物質在低溫下殘留時，將使充分累積動能之電子在氣體加速通過電場時進行離子化，然而，在不同物質系統下，能量分佈通常會達成平衡，亦可藉由平衡統計數的方式來描述(Veprek, 1972)。一般來說，電子溫度(T_e) \gg 振動溫度(T_v) $>$ 重粒子(或電中性氣體)(T_h)溫度，此種放電形式通常稱為非等溫式電漿。由於電子-分子間反應對電漿化學而言是重要的，其反應速率與電子平均能量及在躍能反應條件下之電子能量分佈函數(EEDF)重疊部分有關。

電中性氣體(或重粒子)溫度及電子溫度最主要受到氣體總壓力影響，其間的關係如圖 5-2 所示。電子及原子間的碰撞頻率隨壓力增加而提高，因而導致兩者間相互作用之速率隨之提昇，因此，二者溫度隨著壓力的增加趨於一致，且當電漿採用準平衡狀態時，電子溫度接近電中性氣體。當電子密度高於 10^{16}cm^{-3} 時，通常可達到局部熱平衡狀態。較高氣體壓力意謂著有較高濃度的粒子可能被離子化，且在 atmospheric plasma 操作下會導致高電流(100-數個 10000A)的產生。

這兩種電漿化學反應之不同點在於處在高壓($\geq 1\text{atm}$)及低壓(0.1~10mbar)的環境下，電子溫度及電中性氣體溫度是相異的。

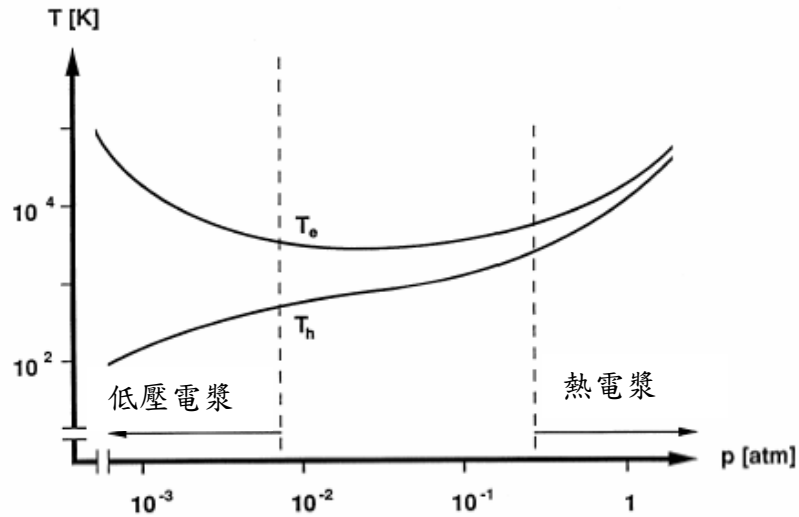


圖 5-2 電子溫度 T_e 和重粒子溫度 T_h vs. 總壓力的典型數值圖表

(4) 高反應性

低壓電漿的高反應性是由於具有高電子溫度(30000-80000K)及低電中性氣體溫度(100-1000K)。在此放電中自由基的濃度通常比離子高 10^2 到 10^3 倍。電離的高程度(高達30%)大大地減少化學反應必須越過的活化能界線。glow discharge的作用也可以是使用熱動力實行的(Veprek, 1985)。因此在材料科學裡，glow discharge可在較低溫狀態下作為加工材料的必要工具。

熱電漿(大氣或高壓電漿)的高溫在處於物質分化且通常在高激發狀態下將導致氣相中任何原子物質化學環境的完全破壞，因此，對於分光鏡技術來說熱電漿是很好的激發來源且對於摧毀有害性廢棄物是有益的。

(5) 高能離子

許多原子及分子的離子化能量位於 10 到 20eV 的範圍。EEDF 在

此範圍外數值較低因為從其最大值連續地減少（通常幾個電子伏特）。對於 EEDF 橫截面離子化的重疊部分是如此地低，因此離子和電子在 glow discharge 中的濃度是非常低的。依賴不同實驗的條件，靠近導致離子獲得活躍能量的放電管的限制牆或是電極可能產生強大的電場。這可能被用作進行 sputtering and reactive cleaning。

5-3 電漿應用

(1) 電漿污染防制技術(Plasma pollution control technology)

1. 空氣污染控制技術

氣相污染物可分成以下八種，包含(a)粒狀物質、(b)酸性氣體(SO_x、NO_x、HCl 等)、(c)溫室氣體(CO_x、NO_y、PFC_s(全氟化物)等)、(d)高耗氧物質、(e)揮發性有機物(TCE、TCA 等)、(f)毒性氣體(Hg、戴奧辛等)、(g)放射性氣體(碳同位素、Cs 等)及(h)生物細胞與細菌。

■ 電漿污染控制設施

這類污染物通常是以混合的方式出現且必須整合多種污染控制設備始被去除，電漿技術則具簡化上述整合系統之優點，舉例來說，高級的室內空氣淨化系統包含：粒狀物質控制設備(濾器或靜電集塵器,ESP)、細菌控制設備(紫外光或注入化學物質)、室外及揮發性有機物控制設備(紫外光催化)；然而，非熱電漿方法(pulsed corona)則兼具 ESP、UV 及化學分解裝置之功能，故可減少佔用體積，甚至可減少

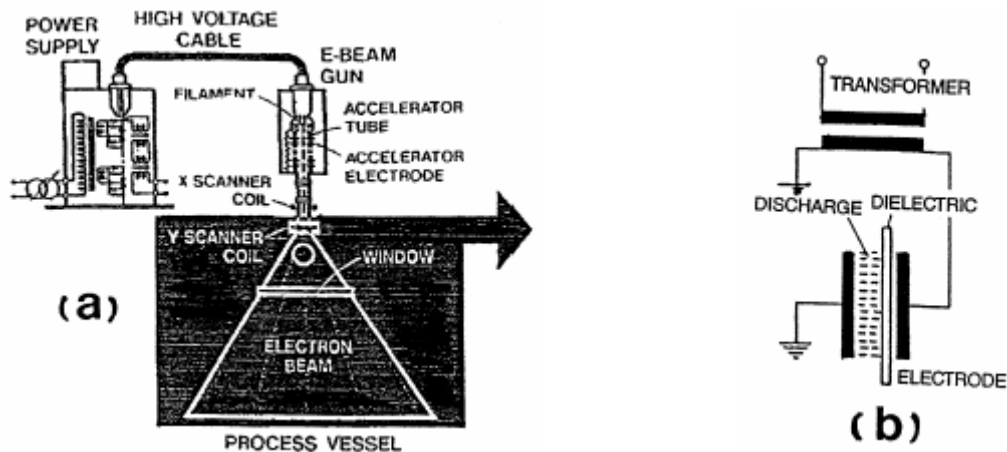
化學藥劑之使用量如除臭劑、催化劑、吸附劑。表 5-1 列出用於空氣

污染的電漿八項基本裝置：

表 5-1 電漿氣狀污染控制裝置參數

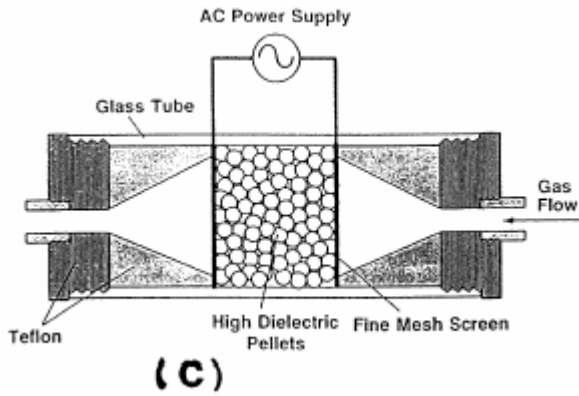
編號	-	電漿密度	電子溫度	氣體溫度	電場	處理設備煙道氣
1	Electron beam	非常高	極高	低	非常低	酸氣體、VOCs
2	Barrier discharge (silent/surface)	高	中等	低	中等	氧化性 VOCs、酸 氣體
	Barrier discharge (ferro-electric)	低	高	低	非常高	PFCs、氧化性 VOCs
3	Pulsed corona	高	中等	低	高	VOCs
	Pulsed power	非常高	高	中等	高	酸氣體
4	Capillary	高	低	中等	低	VOCs
5	Flow stabilized corona	部分高	部分低	低	高	酸氣體、VOCs、 毒性氣體
6	Arc/plasma torch	極高	部分低	極高	低	ODS/VOCs ^a 、酸氣 體
7	RF discharge	高	中等	高	低	ODS/VOCs ^a
8	Microwave discharge	高	中等	中等	中等	ODS/VOCs ^a

電漿來源(1)-(3)和(5)是非熱電漿；(4)和(6)-(8)是熱電漿 (Urashima, Chang, 2000)。這些表格與多種試驗結果顯示 (Urashima,Chang,2000 and Vercammen et. al., 1997)依據污染物而有不同的電漿裝置被用來做氣體淨化，圖 5-3 為電漿污染控制裝置圖。

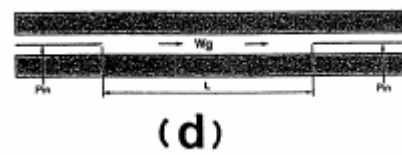


(a)Electron beam

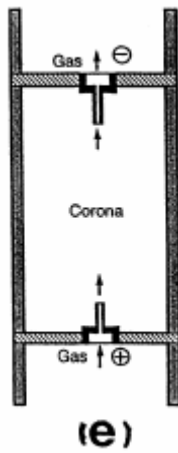
(b)barrier discharge



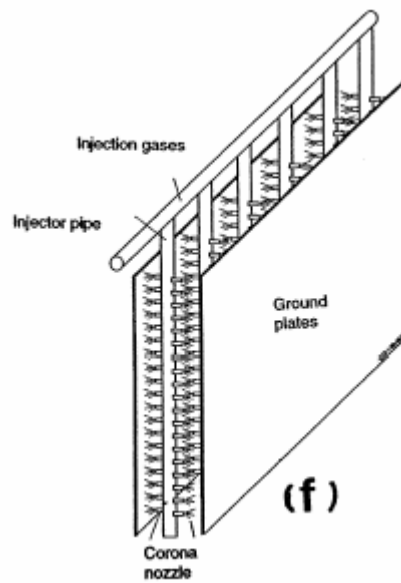
(c)packed bed reactor



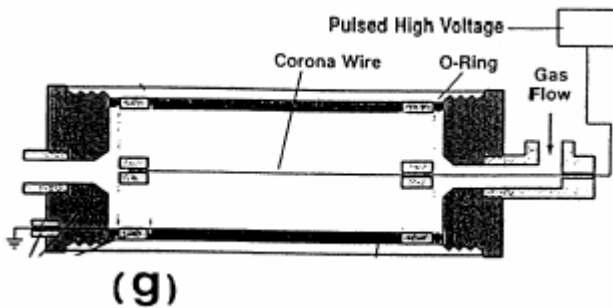
(d)capillary discharge



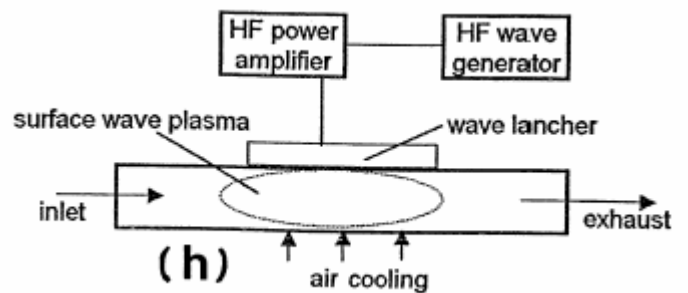
(e)corona torch



(f)corona radical injection



(g) pulsed corona / pulsed power



(h)RF or microwave reactor

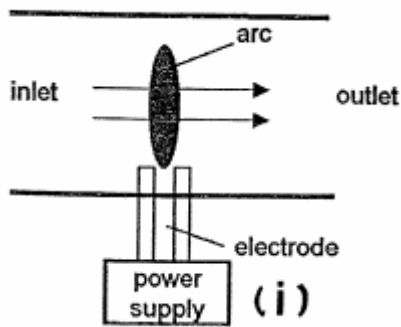


圖 5-3 圖示電漿污染控制裝置

(i) arc plasma reactor

為了利用電漿將污染物轉變成無毒性的氣體，通常會在還原的環境下添加氫態還原劑，或使用碳氫化合物來獲得反應較高的勢能以減少 CO_2 、 O_2 等煙道氣的產生，如此便可增加能源效率，如利用非熱電漿技術去除氣流與工業煙道氣中之揮發性有機物(Urashima, Chang, 2000)；在非熱電漿中加入催化物質以進行處理有害空氣污染物(Futamura et al., 2002)便是這類實際應用之例子。然而，近年來此項技術已應用至機車廢氣淨化方面(Chang, 1996)。藉由電漿使污染物轉變成可利用之產物已是目前常見之燃燒化學領域，且需添加如氫、碳氫化合物等添加劑，但對於氣體轉變成固體產物部分，較常利用靜電集塵來蒐集粒狀物；另外，非熱電漿亦可用於分解空氣中稀薄之 VOCs，以達環境保護之目的(Oda, 2003)。對於各種空氣污染控制技術，比較如表 5-2：

表 5-2 數種技術的比較

種 類		Pulsed corona	Packed bed	Capillary tube	Corona torch	Barrier discharge
效率反應器裝置	VOC 破壞 停留時間 壓力坡降 空間需求 EM radiation	很高 長 低 大 高	很高 長 中等 中等 小	高 很短 中等 小 小	很高 短 中等 小 小	高 長 中等 大 高
能量效率	反應器 柱塞式功率	很高 中等	高 低	很高 高	很高 高	中等 低
副產物	臭氧 氮氧化物 N ₂ O	大 低 大	中等 高 大	小 中等 小	小 小 小	大 高 中等
成本	反應器 電力供給	低 高	高 低	低 中等	低 低	中等 低
維護	連續反應器清洗需求 需要氣膠過濾	否 是	是 否	否 否	否 否	是 是

■ 高級材料空氣污染控制技術

在高級材料製程中，一個主要的問題在於操作上氣體的壓力。為了製造純物質，所有製程需在降低壓力的條件下應用混合氣體或純氣體來進行，如表 5-3，其中主要反應過程氣體下降使污染物變成和反應的副產物一樣。此時，藉由各種不同污染控制裝置，煙道氣在真空馬達中會從低壓邊緣往上逆流或從高壓邊緣順流而下，列於表 5-4。大部分常見的低壓裝置都是 RF 或具有粒狀物質過濾器的微波電漿 (Arquilla et. al., 1993 and Tonnis et. al., 1998 and Saw, 1998)。例如，在控制煙道氣的過程中，SiH₄ 會轉變成 SiO₂ 微粒(Singer, 1992)而 NO_x 會轉變成硝酸氨微粒(Arquilla et. al., 1993)。而低壓污染控制裝置有一項缺點，即真空馬達會因為突然回壓的發生，致使酸性物質的形成而

受損，因此，高壓污染控制裝置較常被使用(Saito et. al., 1991 and Aoyagi, Shimamura, 1991)且其最終產物中有用的物質列於表 5-3。因為主要的目標氣體(就數量而言)是進行氣體淨化過程的配備，全氟化物像是 NF_3 、 C_2F_6 、 CF_4 、 SF_6 等，非熱電漿吸附劑結合而成的系統在經濟效益方面可能頗具前瞻性(Chang et. al., 2000 and Urashima et. al., 1999)。

表 5-3 高級材料製程空氣污染物

過程	製程空氣污染物	煙道排氣副產物
灰化	毒性氣體-臭氧	臭氧、PM 等
蝕刻	PFCs、毒性氣體	HF、氟化物、氯化物等
沈澱	毒性氣體	二氧化矽、二氧化鎂、金屬、氟化物、PM、氯化物等
清洗	PFCs	HF、氟化物等
氮化物	酸性氣體	氮氧化物、氨、PM 等
底層清洗	VOCs、ODS	氟化物、氯化物、碳氫化合物、PM 等

表 5-4 高級材料空氣污染控制方法

方法	運轉壓力	處理氣體	最後產物
吸附/吸收劑	高	全氟聚合物 酸雨	固體廢棄物
催化焚燒	高	全氟聚合物	水中 HF
焚化/燃燒	高	全氟聚合物	水中 HF
非熱電漿	高	全氟聚合物 揮發性有機物 氟利昂	鈣化合物
RF 電漿	低	析離氣體 酸雨	PM
微波電漿	低	全氟聚合物	鈣化合物

2. 廢水處理

在水及液相污染處理方法中，主要有三種形式的電漿被使用 (Chang, 2000)，如下：

- (1) 間接式電漿法：在高壓排氣電漿反應裝置內，會生成臭氧及許多氫氧物質注入液體中，將發熱排氣法應用於液體薄膜處理亦屬於此類。
- (2) 間接式輻射電漿法：係指需光催化劑之高壓發射燈及不需光催化劑之低壓發射燈以產生紫外光進行處理廢棄物，電子束及液體中高能量 γ 光屬於此類。
- (3) 直接式電漿法：利用電子、離子及基本的化學反應過程與利用壓力波及形成超臨界點的方式直接處理液體，在受污液體中會產生律動電弧及(或)律動冠狀排熱現象。

這些應用在水處理的電漿技術能力彙整於表 5-5。與以往常用含有砂/石過濾材料之 Cl 注射劑比較，臭氧注射劑被用來取代 Cl 或以添加 UV-C 光是目前常用之電漿技術，且律動電弧、電子束及 UV-光催化電漿試驗目前仍持續進行中。然而，根據 bench scale tests，結合兩種以上之方法，混和或重疊應用，可能會比單一技術應用或得更多勢能或效益。

表 5-5 電漿與傳統淨水處理單元功能比較 (◎好；○適當的；△部分的；X沒有)

指標污染物	UV-C	紫 光 催 化	外 臭 氧	電 子 束	γ射線	輝 光 放 電	基 質 放 電	脈 衝 電 暈	脈 衝 電 弧	堅 固 碎 石	Cl/ ClO ₂
極小有機體	◎	△	◎	○	◎	○	○	◎	◎	△	○
氧化力	X	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	X	◎
藻類破壞	○	X	△	X	X	X	X	△	◎	△	X
尿液成分破壞	X	○	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	X	○
揮發性有機物破壞	X	○	◎	◎	○	△	△	◎	○	X	X
無機物的移除	X	△	△	△	△	△	△	○	○	○	X

液態廢棄油、廢棄高耗氧物質及溶劑的處理，主要利用熱電漿技術(Chang, 1997)，其中所包含之所有毒性化合物包含 Cl、F、Br 等將被固定在 Ca-化合物上以回收再利用，例如路面建材。

3. 固體廢棄物處理

在固體廢棄物處理中，主要是利用熱電漿來進行處理(Chang, Mohant, 1994)，可分為以下三種方式：

- 氧化/焚化法：在熱電漿熔化/氧化不可燃固體廢棄物以降低毒性，產物主要作建材之用途或以可回收使用之氧化性金屬為主，如利用非轉換性 DC 蒸汽(H₂O)電漿在 100kW 的操作環境下處理 PCBs，可降低毒性副產物之產生(Kim et al., 2003)。
- 熱分解電漿：此方式可焚化可燃性固體廢棄物並在具還原性氣

體的環境條件下被氣化轉變成被改善之氣體(syngases，混和CO、H₂、CO₂等氣體)，以供燃燒、鐵礦還原、燃料推進氣等之用途；如煤的氣化，將可產生含有75%(H₂+CO)之合成氣體(Qiu et al., 2004)；利用“water gas reaction ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$)”氣化有毒廢棄物之碳化物，將減少其重量及體積並生成合成氣體(H₂+CO) (Nishikawa et al., 2004)；利用熱電漿處理廢棄物及生物質(biomass)可作為熱量來源(Kezelis et al., 2004)；另外，使用radio-frequency (RF)電漿，在輸入功率為1800W及操作壓力為5000Pa時添加生物質(biomass)，氣體產量可達到66%(重量)，並在無氮的基礎下，產生的氣體中CO和H₂達76%(體積)，此可作為合成氣體之組成，且由於其獲得之固體產物有很大的Brunauer-Emmett-Teller (BET)表面積和高的孔隙體積，可能有作為活性碳之潛在性(Tang, Huang, 2004)；利用氮電漿反應器(Nitrogen Plasma Reactor)高溫分解聚丙烯(Polypropylene,PP)，產生含氮濃度18%之氣體，且乙炔可達5%之產量(Tang et al., 2003)。

- 電漿震動波：此方式通常被用來分解固體廢棄物使金屬、塑膠與無機性等物質分離以利回收。

以上所提到三種方法的應用摘重點於表5-6。氧化/溶化式電漿主

要可回收再利用之產物為建築材料及氧化金屬回收；而熱分解電漿通常是產生 syngases(混和 CO、CO₂、H₂、HCl 等氣體)供燃燒、鐵礦轉變或燃氣等使用。其中頗值得注意的問題是在於電漿的燃氣中是由何種物質供應熱電漿形成 NO_x(10³-10⁴ppm)熱量。因此，在非熱電漿反應過程結合氣體淨化系統是必須的。

另外，利用熱電漿高溫分解廢棄橡膠會產生氣態燃料(如 H₂、CO、C₂H₂、CH₄ 及 C₂H₄，氣體的熱值約為 5-9MJ/Nm³)及可回收性黑炭填充料(pyrolytic carbon black, CB_p)，應用於輪胎橡膠中，均為有價值、易於操作處理之產物(Huang et al., 2003)。

表 5-6 熱電漿法固體廢棄物處理技術應用 (○好；△部分適用；X不適用)

熔融處理過程	都市廢棄物	建築廢棄物	都市廢泥	污焚灰	化飛廢電子	聚合廢棄物	醫療廢棄物
電漿	△	○	○	○	△	△	○
氧化/焚化							
電漿熱解	○	○	X	X	○	○	○
電漿震動波	X	○	△	X	○	X	△

(2) 綠色化學

綠色化學是一系列在減少或清除化學產物的設計、生產和運用中有害性物質的使用或產生的原理利用(Anastas, Williamson, 1996)，表 5-7 顯示電漿處理可應用於環境化學之領域。

表 5-7 電漿適用於環境化學上之領域

電漿特性	影響	環境化學應用	參考文獻
高電子能量	電子激發 離子化、鍵的毀壞	光譜、質譜、化學 解毒、灰化	Thompson, Walsh, 1989 and Date, Gray, 1989 and Hieftje, Vickers, 1989 and etc.
變化性熱能	相轉變	熔化/蒸發	Hertz, Pani, 1987 and Boulos, 1985 and Fauchais et.al., 1989
高化學反應	低活化邊界 快速反應 基本反應	在低溫下的高溫 化學反應 礦化 臭氧	Veprek, 1972 and Veprek, 1985 and Chapman, 1980 Veprek, 1972 Eliasson, 1986
energetic	sputtering	表面清除 分析	Chapman, 1980 Gray, 1985 and Hess, Marcus, 1987 and Hall, Sanderson, 1988 and etc.

1. 低壓電漿及其應用

因為離子與電子的遷移率有很大的差異，電子本質上會帶有全部的電流通過電漿。Radio frequency glow discharge 相對於 Direct current glow discharge 在分開電荷、電磁場分配和離子能量的方面展示出一種不同的性質。

■ Radio frequency glow discharge

高頻率 discharge 發生在離子能短時間因為他們的大小伴隨著電場震盪的頻率中，但是電子的移動與電場的改變會互相影響。此頻率，在像此 discharge 產生之離子能短時間迅速反應足夠去穿越電漿的邊界在半個週期內，一般位於 1MHz 前後。discharge 屏障和浸入電漿的物體就未受擾動的電漿而言將會處於負電位差。“流動電位”是屏障電位與電漿的電位本質地差異，並依賴激發頻率

(Gottscho, Mandich, 1985)。這些電位依賴著氣體的性質和壓力且可能分布在幾百伏特到幾千伏特的範圍。伏特數分布會受到兩塊電極板表面積比的影響使衝擊離子產生的能量準確地相配(Chapman, 1980)。在較大的範圍控制電漿與屏障間電位差異的可能性，對於適當地建立渴望離子能量的運用來說是一個有價值的方法如陰極真空噴射淨化或是材料變形。

■ Direct current glow discharge

Direct current glow discharge 中的電場分布不隨時間而改變，這樣會導致 glow discharge 中不同區域的形成。靠近負極的區域被稱作 ”負極無光空間” 或是 “the cathode fall ” ，大部分在此區域的帶電荷體是由電子衝擊電離造成。由於離子衝撞導致在負極無光空間產生的離子被加速到陰極造成次電子的發射，電子衝撞導致總電荷密度增加。接近負極無光空間的區域有最大的發光強度，被稱作負極或陰極放光。在負極放光與固定發光亮度的區域（非常接近正極）間的空間是聞名的 Faraday 無光空間。

glow discharge 的大部分重要應用之一是薄膜的電漿增強和電漿導致的析離。這技術包含物理電漿蒸氣析離 (PVD) 和化學電漿蒸氣析離 (CVD) 分配著物質的析離在傳統化學或物理方法無法達成的溫度或狀態下(Veprek, 1985)。

其他常見的電漿化學運用是電漿浸蝕。電漿化學這個領域常被使

用在半導體工業，且薄膜的準確控制和非等方向性的移動是必須的 (Winters, 1988)。

從 glow discharge 中被離子注入表面的變形也被用在增加氮化鋼的表面硬度是為了去增進抗腐蝕力，改變聚合物表面可濕性和改變固體的吸附作用 (Cocke et. al., 1989)。

2. 高壓電漿及其應用

高壓電漿運作於接近大氣壓力的狀態。各種呈現在高壓電漿的溫度比低壓電漿更為接近。因此，這些 discharge 的形式通常被描述成“熱電漿”。

熱電漿的這些性質被用在高熔化物質像是 Al_2O_3 ， TiO_2 ， ZrO_2 和其他耐高溫材料的覆蓋層運用 (Fauchais et. al., 1989)，由於氣體高速移動，此種技術亦被稱作“電漿噴射”。氧化物在氧氣電漿噴出物中被熔化，當用在惰性氣體時，discharge 在氫氣或氦氣中進行。電漿使用在鋼鐵工業上以進行熔化或加工處理鋼鐵已經成為廣泛使用的技術了 (Pfender, 1988)。熱電漿系統現在被考慮用在危害性物質的處理。熱電漿對於物質熔化及固化有下列的優點，對於處理危害物質有潛在重要性：(a) 大部分氣體溫度大至燃燒達到的溫度 (b) 可以在控制氣體環境下運作 (c) 對於不同物質有高處理速率是可能的。

3. 分析技術應用

分析用途高壓電漿的早期運用之一是電激發的使用，此方法實現了離子生產的高效率，且大部分的元素離子化幾乎 100%。二次離子質譜(SIMS)對於多種物質的痕量及無機成分的化學分析是已建立的技術(Adams, 1982)。它具有高靈敏度 (≈ 10 ppb) 且可測出樣本裡主要的所有元素。缺點是樣本處理量慢 (一天一個樣本)，操作複雜及定量困難。

現在幾乎廣泛使用以 ICP 為原子化及激發來源的分光鏡技術為原子吸收光譜研究 (ICP-AAS)、原子放射光譜研究 (ICP-AES)、原子螢光性光譜研究 (ICP-AFS) 和質量光譜研究 (ICP-MS)。這些分光鏡技術廣泛使用於元素分析方法之中。ICP-MS 和 ICP-AES 提供一流的檢波界限，大部分的元素位於 ng l^{-1} 的範圍。此外，待測物的線性信號範圍很大，大約 10^6 。

5-4 結語

電漿化學是在現代環境分析的前線。在環境化學中，電漿已經扮演重要的角色。然而，電漿獨特的特性應該在環境緩和和環境分析上產生更廣的運用。電漿在環境領域的未來研究上將會逐漸成為有價值的環境工具。例如，在鋼鐵工業中普遍運用的現行電漿技術可能適應於解決環境問題範圍，此範圍從在 glow discharge 中的分析固體表面到在 ICPs 中廢水的分析，運作熱電漿破壞單元，在半導體工業中利

用微波電漿清潔且使用雷射誘發電漿光譜技術(Laser Induced Plasma Spectroscopy; LIPS)，做現場氣膠量測。

本文對電漿污染控制技術進行處理氣狀污染物、液體及固體廢棄物做基本的回顧：建議針對每種污染控制技術依據(1)污染物移除(處理)效率(%)及反應速率(kg/h)；(2)污染物移除(處理)的能源功效(g/kWh 或 J/m³)；(3)反應裝置所施壓力(KPa/m)；(4)反應系統組成；(5)可再利用物質之產生速率(Kg/h)；及(6)額外副產物濃度(ppm)和評估每年花費及經濟效益作評定。不同形式的電漿程序及結合污染控制系統之使用與否取決於目標污染物及污染物濃度而定。

第六章 廢棄物電漿處理技術發展現況分析

6-1 廢棄物電漿處理技術理論

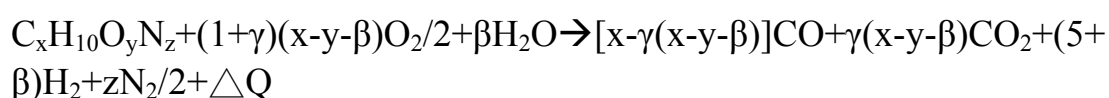
電漿廢棄物處理技術與合成氣產生的應用是混合熱氣化技術的一環，這種方式可以將家庭廢棄物、醫療廢棄物、藥物、農林廢棄物、廢輪胎甚至於有毒廢棄物進行合適地處理。隨著不同廢棄物種類其使用方式與結構都有所不同，電漿化學氣化技術是一高溫熱裂解技術，另一方面電漿將能源導入反應器中先前規劃的部分進行化學反應，其中控制物理與化學轉化的平衡反應，隨著大量的原子、離子與自由基起始鏈反應及造成特定組成之氣體。在氣體熵與交流電漿放電下高效率電能轉化與高熱能及工作氣體的激化會提升電漿化學反應的效能。

為了尋求合理多樣的電漿氣化技術，有下列問題需要解決：

1. 理論基礎、一般燃料技術原則與生產特定組成氣體的碳氫化合物氣化技術仍需要突破。
2. 需可分析廢棄物熱分解特性及使用交流電漿放電之氣化技術的細節。
3. 設計理論基礎需要瞭解電漿介質中放電所發生的熱物理特性。
4. 比較分析傳統技術與電漿氣化技術的優劣點。

以木材為例分析其碳氫廢棄物氣化分解後熱物理性質，可發現氧分子的量約與碳分子的量差不多。而多元廢棄物與垃圾有大約60-75

%有機組成與木材類似，廢輪胎則大多為碳，當經過氣化處理之後所產生的燃燒氣體可能多含大量的一氧化碳，從木材轉化成燃燒氣體是經由空氣中的氧氣和水蒸氣進行不完全的氧化作用而成的。下面反應式表示木材經過轉化之後的轉化（conversion）結果：



$C_xH_{10}O_yN_z$ 為木材化學式， ΔQ 反應熱， β 為水流量， γ 為完全燃燒的過量空氣參數，經過計算之後乾燥的木材熱量為-19MJ/kg。這也支持了在反應槽出口的合成氣體溫度應為1200°C，其氣化滯留時間不應小於從鬆弛時間到平衡時間的總和，還有其出口的氣體組成視為平衡狀態。從反應式中證實隨著蒸汽流量增加其過量氧化係數則會下降，另一方面隨著電漿放電其空氣流量下降如圖6-1所示。圖6-1顯示與過量空氣狀態作比較，其碳分子可經過燃燒變成二氧化碳。然而熱能消耗隨著電漿放電下降，則是因為額外的能量會從碳分子的完全燃燒中釋放出來圖6-2，其中圖6-1顯示為不完全的碳分子轉化二氧化碳情況。這也表示氣化程序是與固體碳（煤炭）進行反應，而氣化程序中基本原則在於需要將電漿能量聚集。以木材為例其特定消耗參數為3-8MJ/kg圖6-2，因此其電漿放電溫度高達~2500-4000°C，下面討論電漿電弧放電效果。

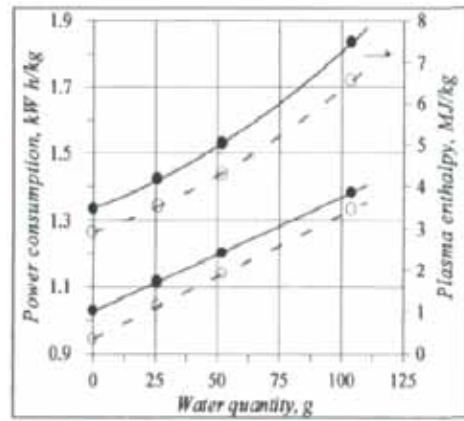
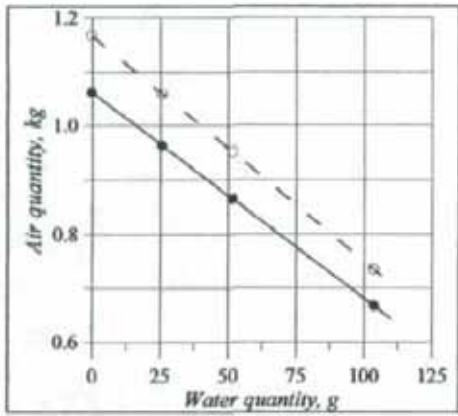


圖 6-1 電漿流量之關係圖 • : $\gamma=0$, o : $\gamma=0.1$ 圖 6-2 氣化與電漿電弧操作方式的特定能量消
• : $\gamma=0$, o : $\gamma=0.1$

隨著電漿電弧放電的發明，其熱效率達 $\sim 70-90\%$ 及其操作程序僅花數小時即可，可依照單位能量的需求更換電極：10-50KW-低能量電漿電弧，100-500KW-一般能量電漿電弧及超過500KW-高能電漿電弧。假設每個電漿電弧都是階段式控制，更強電漿電弧將更能集中發揮，圖6-3和6-4顯示出低能量與一般能量電漿電弧對於其空氣流量的變化。圖中顯示出一般能量的電漿焓特定密度為2MJ/Kg其放電溫度約為 1800°C ，而隨著放電溫度上升至 4000°C 其電漿焓特定密度則為7MJ/Kg。

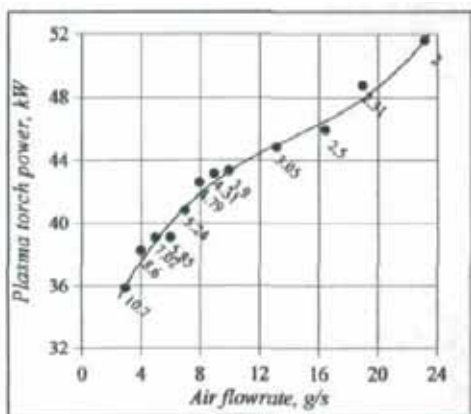


圖 6-3 低能量電漿電弧的操作特性

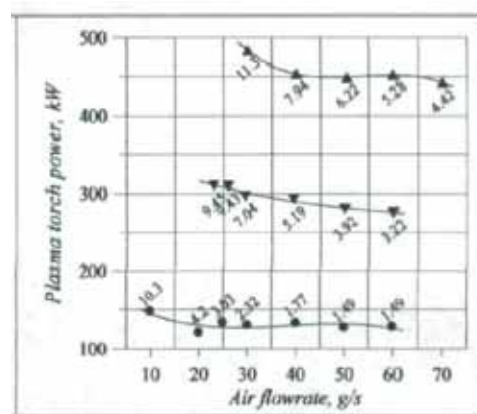


圖 6-4 在短回路中一般電漿電弧的操作特性

• - $I_{sc}=500\text{ A}$, \blacktriangledown - $I_{sc}=1000\text{ A}$, \blacktriangle - $I_{sc}=1500$

下面我們提出一反應氣化槽來說明電漿化學氣化技術原理，此反

應槽可處理不同種類固體廢棄物且可能為不同化學組成、反應性、生灰程度與其他性質等。若要適當調整程序上熱物理與技術參數則需要提供反應器相關的設計參數，在一完全物質氣化狀態且足夠的轉化空間則可視為空氣電漿均勻分佈於反應器內部。下面圖6-5為反應氣化槽的基本架構圖：

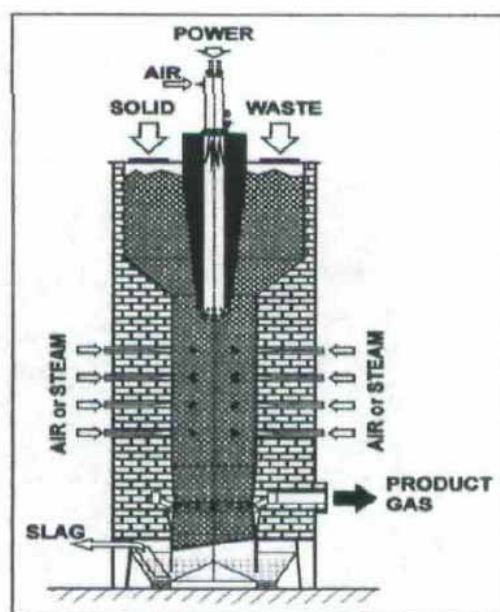


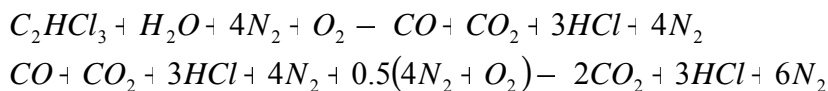
圖6-5 反應氣化器的示意圖（容量：50-100kg/h）

此反應器為直立式圓錐狀，主要的反應槽則先從頂端擴張。在反應層截面當中為達到均勻電漿放電目的，其電漿電弧設置在反應器的上方，電漿蒸汽將隨著中空管線循著不同區域高度分佈於各層中間。熱裂解氣化產物會從反應槽下方出口排出，通常會經過水浴，形成水閘避免大氣中的空氣滲入。而可有效去除飛灰與污泥可經過緩慢轉動的水浴過程，將大部分的礦物殘渣從反應器上移除並沈入水浴槽底。

當反應器為穩態操作時，其工作主要是連續不斷的電漿放電，再者可能有第二階段放電與階段式補充固體廢棄物。主要的反應方程式為下所示：



根據圖 6-6 的電漿廢棄物轉化技術整合策略圖來看，在 Martin-Luther 大學與不同的商業公司中已經有數個實驗計畫正在研究中。這些實驗主要部分是包含一個三相放電混合槽與水冷式鋼製反應器，其中高濃度的含氯化物應該在能源轉化前就應該分離，然而這類物質和三氯乙烯等都是用於小型電漿工廠的範圍內。初步的測試完成可得幾項代表性物質（水、甲醇、丙醇等），並了解其起始、操作與停止反應的安全性。從實驗過程來看，部分的反應物（空氣與蒸汽的混合物）作為電漿氣，利用反應物作為電漿氣可以降低能源的消耗因為不需要額外加熱氣體。由於起始步驟的不完全反應混合造成有煤炭的生成，而此一問題將在第二步驟中給解決，下面為上述氯化反應的化學反應式，首先廢棄物與空氣和蒸汽混合，然後與空氣電漿混合反應之：



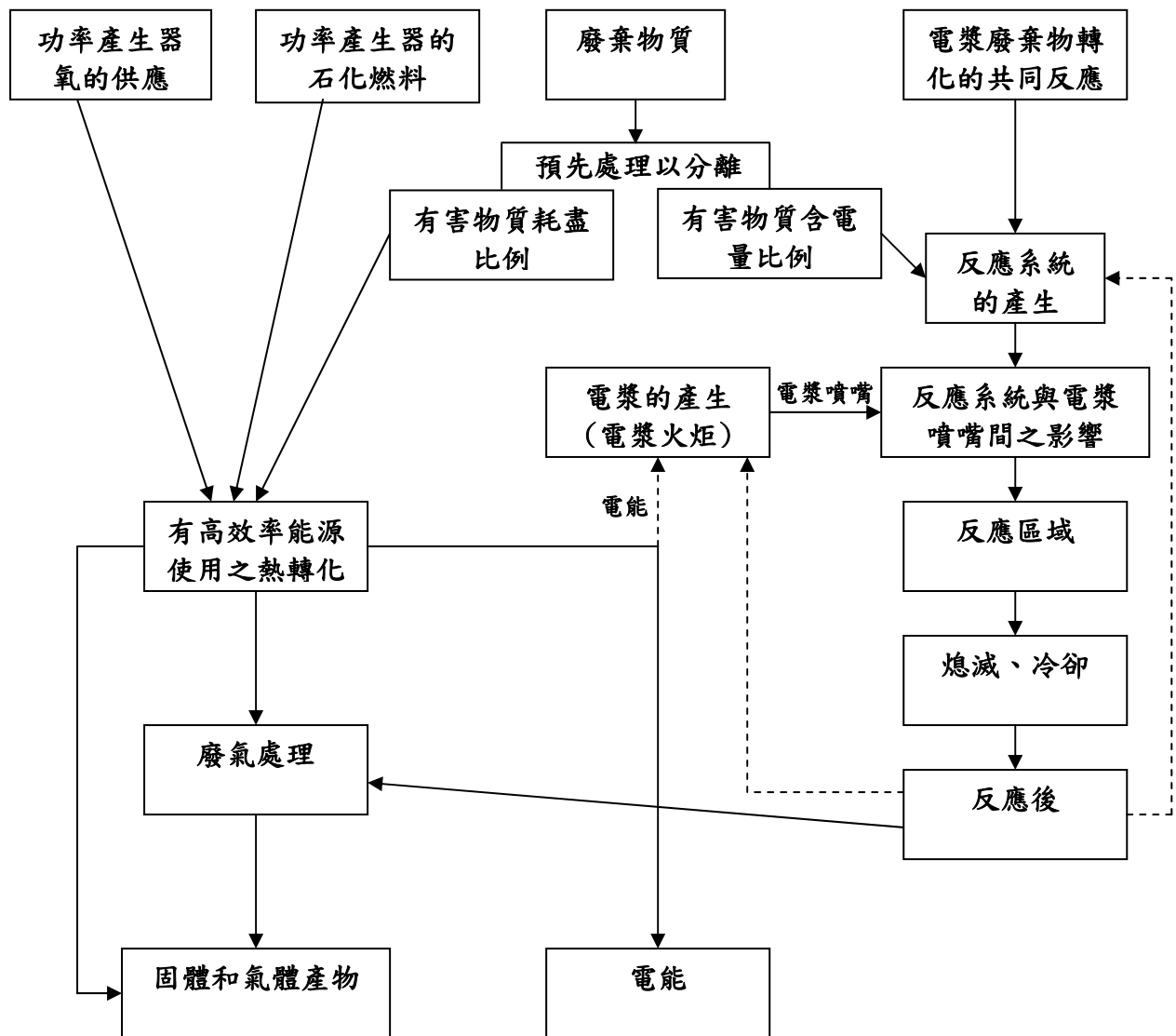


圖6-6 整體電漿廢棄物轉化能源技術規劃示意圖

排出氣體需被分析確認其組成確保沒有其他物質產生，而氧氣、二氧化碳與一氧化碳的濃度應隨時監控而無機氯化物（HCl、Cl₂）也需要分析。其偵測的氯化物和碳化物應該與進料的氯化物和碳化物相同才是。根據研究報告中，有家公司經排出氣體分析後得知其PCDD/F與C₂HCl₃的濃度成分，結果如表6-1。

表6-1 三相電漿電弧之研究結果（實驗室等級）

實驗編號	流量 C ₂ HCl ₃ [kg/h]	供給的比能 [kWh/kg]	排出氣體的濃度測定	
			C ₂ HCl ₃ [mg/m ³ _{i.N.}]	PCDD/F[ng _{TE} /m ³]
LT1	15	3.4	68	249
LT2	25	1.0	367	649
LT3	30	1.3	89	495
LT4	30	1.0	28	137

6-2 國外電漿廢棄物處理技術之發展現況

6-2-1 美國電漿廢棄物處理技術

(一) Plasma Environmental Technologies Inc. (4145 North Service Road, Suite 200 Burlington, ON L7L 6A3)

1.技術簡介

PET 技術分成兩大類，其一為 PARCON (Plasma Arc Conversion) 可使廢棄物轉換成液體及氣體有機物；另一類為 Plasma-Assisted Gasifier (PAG) 屬“Cogeneration”系統能安全與有效地破換有機物產生綠色能源，如熱、蒸氣與電。

2.PARCON 技術

屬電熱非焚化程序，高溫電漿係藉電能輸進 Inert Gas (Argon)，溫度由 500°C-1300°C，隨著反應槽區間有所變化，基本上對有害廢棄物控制溫度 1300°C，即能有效處理；其在處理程序上分為三階段：

(1) 第一階段（分解）：使分子廢棄物能解離成原子組成

- (2) 第二階段（氣化）：原子氣化形成新分子與元素
- (3) 第三階段（中和）：形成分子急速冷卻，以防制 Dioxin 或 Furan 等有害致癌性物生成

綜而言之，PARCON 技術具有：

- (1) 高破壞率，低有害空氣污染物生成
- (2) 無二次污染物生成
- (3) 可單獨或與其他單元配合應用
- (4) 無須其他空間處置二次污染物
- (5) 進料控管容易
- (6) 操作運送容易
- (7) 易於遷移，減少風險
- (8) 低投資及營運成本

3.PAG 技術

可使家庭垃圾、農業廢棄物、脫水污泥及廢輪胎，藉著 Plasma-arc 與石墨爐中產生高溫，轉換成含高碳氧化合物之燃料，最後產生電與熱能。本技術之基本要件包括：

- (1) 進料設備
- (2) 電漿汽化槽
- (3) 排氣淨化設備

(4) 除塵淨化設備

(5) 熱交換機

(6) 發電機

綜而言之，PAG 技術具有

(1) 領先之綠色技術，可有效安全地轉換“廢棄物”為“能源”

(2) 高溫電化學反應槽，有效率、清潔燃燒系統

(3) 產生之電可直接供應廠內或廠外使用

(4) 可處理各種不同廢棄物

(5) 配合需要可組裝成固定或移動式，但均能減少運輸成本與責任

風險

(6) 進料與操作設備簡單

(7) 替代化石燃料，減少掩埋需求

(二) Recovered Energy, Inc (Richard Lewis or Dave DeCato 3411
Hawthorne, Rd. Pocatello, Idaho 83201)

1. 技術簡介

Recovered Energy System™ 技術首先藉熱能轉換將廢棄物轉換成“Fuel Gas”，其可用於電廠之複循環機組，或乙醇做為石油或熱能供應墊、蒸汽、鍋爐...等。

2. Thermal Transformation

廢棄物投入至“熱轉換反應器”產生之高溫 5000-8000°F，在

缺氧之狀態下，有機物均轉換成具各種不同能量型式之 CO、H₂ 及 N₂ 氣體，而 Furans、Dioxin、NO_x、SO_x 等空氣污染物，在此情況下則不易生成；無機物則在高溫中沉下，則形成金屬、玻璃、矽及土壤等，可藉各種分離技術予以回收。

(三) Plasma Cupola(Utah)：設置時間為 1996 年，主要是用電漿處理重金屬元素。利用 Westinghouse 設計之 MARC-11H 電弧，總操作電量為 18MW，單一電弧電量約為 800-2400kW。工作氣體為空氣，其電極壽命為陰極為 1500 小時，和陽極電極 750 小時。

(四) Plasma Melter (OHIO)：利用電漿進行粗鐵精鍊，利用 Westinghouse 設計之 MARC-11H 電弧，總操作電量為 10.2MW，單一電弧電量約為 800-1700kW。工作氣體為空氣，其電極壽命為陰極為 1000 小時，和陽極電極 500 小時。

(五) Plasma Center(PA)：利用 Pyroplasma Trailer 來破壞液態有毒廢氣物的結構，利用 Westinghouse 設計之 MARC-11H 電弧，總操作電量為 800kW，單一電弧電量約為 600-800kW。工作氣體為空氣，其電極壽命為陰極為 900 小時，和陽極電極 200 小時。

6-2-2 加拿大電漿廢棄物處理技術之發展現況

(一) PyroGenesis

PyroGenesis 是加拿大一間專門研究 plasma arc 及熱電漿技術以創造獨特的應用在維護地球環境之技術公司。許多特別的 PyroGenesis 已漸發展且成為商業化之技術以迎合以下領域之需求：

1. 廢棄物處理，包含

- (1) 簡單的電漿系統應用於船舶上廢棄物之排除；
- (2) 有害、生物醫學及都市廢棄物之回收再利用；
- (3) 以 proprietary DROSRITE 過程從熔渣/浮渣中回收金屬。

2. 高科技材料，包含

- (1) 使用高科技熱 spraying 加工提供 world-class 金屬和陶製塗料及檢修維護；
- (2) 使用專利之電漿原子化過程，生產純的球型金屬粉末以供給生物醫學及 aerospace 工業之用；
- (3) 利用非公開之真空電漿 Spray Forming 製造業科技來發展近乎 net-shape composite components 以提供 aerospace 及 armor 運用。

3. 電漿火炬科技

(1) 廢棄物處理電漿火炬

這些 torches 必須獲得高溫的供給才可在熔融爐中作材料之氣化及玻璃化，以進行不同形式之工業及都市廢棄物之處理、毀壞及回收。Torches 需設計並製造出 50kW 至 1MW 之能量以提供廢棄物處理運用。

(2) 簡單的同軸電漿噴炬 (Miniguns)

PyroGenesis 設計及製造簡單的同軸電漿噴炬或 Minigun，提供給 Atmospheric Plasma Spraying 操作。利用低能電漿噴炬，powder 以放射狀注入並遍及電漿周邊。自 1995 操作下可提供 50kW 之能量。

(3) 高熱含量電漿 Torches

PyroGenesis 已經發明出高熱含量電漿 torches 並取得專利，目前用於電漿離子化過程中。Plasma jets 不僅提供離子化所需之高速率還提供物質熔化所需之能量。這些不轉移之 torches 會在氫氣及氮氣下運作並可供給高達 100kW 之能量。

4. 廢棄物處理

發展高能電弧提供高熱，進行氣化或固化物質、破壞或回收從 MSW 與工業廢棄物。電弧放電量約為 50kW 到 1MW 間特別

適用於廢棄物處理上。PyroGenesis 提供包括美國海軍和加拿大天然資源處相關廢棄物處理的解決方案。利用 compact plasma waste elimination system 提供美國海軍處理可燃性廢棄物給船艦使用。也有 Plasma Resource Recovery System 提供固化與氣化技術轉化無機廢棄物為安全的玻璃石，而有機廢棄物則可燃燒生成能源。此技術十分經濟而且也可解決固體廢棄物最終處理的問題。

(二) ALCAN (Canada)：計畫始於 1992 年，主要是廢鋁渣再生。

利用 Westinghouse 設計之 MARC-11H 電弧，總操作電量為 3.4MW，單一電弧電量約為 800-1700 kW。工作氣體為空氣，其電極壽命為陰極為 3000 小時，和陽極電極 1500 小時。

6-2-3 日本電漿廢棄物處理技術之發展現況

1. Plasma Direct Melting Reactor：Westinghouse Plasma Corporation (WPC)發展於 1999 年，主要是利用氣化作用來分解 MSW 以產生蒸汽發電。利用 Westinghouse 設計之 MARC-3A 電弧，總操作電量為 500kW，單一電弧電量約為 70-300kW。工作氣體為空氣，其電極壽命為陰極為 900 小時，和陽極電極 600 小時。
2. Kinuura for Ash Vitrification：Westinghouse Plasma

Corporation(WPC)發展於1995年用以處理廢棄物轉化能源之飛灰固化，利用 Westinghouse 設計之 MARC-3A 電弧，總操作電量為640kW，單一電弧電量約為60-160kW。工作氣體為空氣，其電極壽命為陰極為900小時，和陽極電極300小時。

此外本計畫於今年度三月份前往日本參訪京都市東北部清掃中心（Clean Center）電漿式飛灰熔融爐，此電漿式灰渣熔融爐係由日本川崎重工業株式會社與千葉市環境局、東京電力(株)及川崎製鐵(株)共同研究出來的設備。實證試驗始於平成5年（1993年）2月，設置在千葉市北谷津清掃工場內的「北谷津電漿熔融中心」，且已確認其安定性，容量為1000kg/hr(24T/d)。目前交貨實績有：

富士吉田市環境美化中心 (20T/d，山梨縣) 混合灰

千葉市新港清掃工場 (36T/d，千葉縣) 混合灰

小山川清掃中心 (30T/d，埼玉縣) 混合灰

京都市東北部清掃中心 (24T/d，京都府) 單獨飛灰

川崎重工業 KK 的電漿式灰渣熔融系統，電漿氣體是使用空氣，在電離度 1%左右之弱電離電漿的高溫（中心 20000~30000℃，外圍 3000℃）下將灰渣或飛灰熔融成爐渣的方法。在這麼高溫下 Dioxin 類幾乎完全分解，而成為約可減容 1/2 的玻璃質爐渣，可應用於建設資材。

京都市的飛灰熔融爐竣工於 2007 年 3 月，乃目前日本唯一單獨處理

stoker 式焚化飛灰的熔融爐。主要特徵為：

1. 爐體：圓筒型（底面為鍋底）內徑 1800mm×高 860mm

附有傾動裝置（最大傾動角 10°。）

以 over flow 方式連續排渣

2. 電漿火炬（plasma torch）：Transfer mode 出力 1000kw

（1500A×750V）

火炬：Cu torch（可升降）

電漿氣體：空氣、氮氣

3. 爐內氣氛：還元性氣氛

本熔融爐最大特點是採用 Cu torch 而能將爐內氣氛保持還元性。為了保持爐內還元性氣氛，在裝料的飛灰中添加 4% 以下的 coke。一般認為採用 Cu torch 爐內一定是氧化性，這是該技術的一大突破。電漿氣體之所以採用空氣是因為空氣不用花錢買（免費），而 Ar、N₂ 是昂貴的氣體，可節省操作成本。

在該集團的綜合工程技術與長期累積的豐富電漿技術下，電極壽命已可達 1500 小時。操作性、作業性佳，已可達安定的連續運轉。

目前電漿處理技術發展較成熟的國家，包括：美國、加拿大、法

國、英國、瑞士、日本及以色列等，美國洛克希德集團下的Rotech公司、西屋環境公司（Westinghouse Environmental Service）、法國航太公司（Aerospatial Espace & Defence）、英國Tetronics公司及以色列EER公司等之電漿處理技術，皆已達商業化運轉的階段（何春松，2004）。

6-3 國外電漿廢棄物處理技術研究發展現況

廢棄物焚化處理已不是新穎技術，儘管舊有的焚化技術對廣泛的廢棄物質而言是項簡單且便宜之毀壞技術，然而此類廢棄物焚化將對環境造成明顯的負面影響。相較於傳統焚化法，電漿在技術上優於傳統焚化法是因其具有較高的溫度、無須添加額外燃料及廢棄物質在反應器內停留時間較短之優點，因此電漿技術可以順利地在小型工廠中處理廢棄物。以下將針對電漿技術，用於各種不同廢棄物包括：含碳廢棄物、煤的氣化、生質能(Biomass)、廢棄橡膠、聚丙烯(polypropylene)及有害廢棄物，目前實際研究發展之情況說明如下：

6-3-1 含碳廢棄物

利用蒸汽熱電漿處理含碳廢棄物(如有毒廢棄物之碳化物)，以減少其重量及體積而生成合成氣體(H_2+CO)，應用於此氣化技術通常被稱做“water gas reaction ($C+H_2O-CO+H_2$)”。由混合電漿系統(hybrid plasma system)所產生之熱電漿作為熱源，並在熱源中注入蒸汽與碳化物反應：以木炭取代含碳廢棄物作為測試品，並以三種形式的熱電

漿來處理木炭。結果顯示蒸汽熱電漿的處理技術可以減少木炭的重量並從木炭中產生氫形成熱源，顯示使用蒸汽熱電漿進行碳的氣化對含碳廢棄物處置是非常有效。

本研究重要成果如下：

- (1) 在處理期間，使用蒸汽熱電漿會使木炭變形且大量減少其重量。
- (2) 與其他熱電漿處理技術比較，使用蒸汽熱電漿可以產生大量氫。
- (3) 被稱做“water gas reaction”之氣化過程，會發生在熱電漿反應之蒸汽與木炭之間。

6-3-2 煤的氣化

利用蒸汽/空氣電漿進行煤的氣化，以產生合成氣體。此類電漿可用光學放射光譜(OES)進行診斷，且產生之合成氣可利用氣相層析儀(GC)來分析。該試驗係一套電弧會藉由摧毀金屬線在石墨杆(直徑30mm)與石墨管(內徑150mm)間被點燃，再將從蒸汽產生器中所產生之水蒸氣透過蓋子上的管子軸向地引入反應器中，經過一段時間後，煤倉中的煤粉會透過空氣作為載氣從另一入口進入反應器中。在反應器內，水蒸氣、煤粉及空氣會被混合並進入到電弧電漿內，且會透過旋轉電弧加熱到高溫的狀態，然後煤的氣化就會立刻進行；此外，在電漿產生器內嵌入一個石墨隔板，一段時間內維持煤炭顆粒，將可促進煤之高溫分解及氣化(如圖 6-7)。

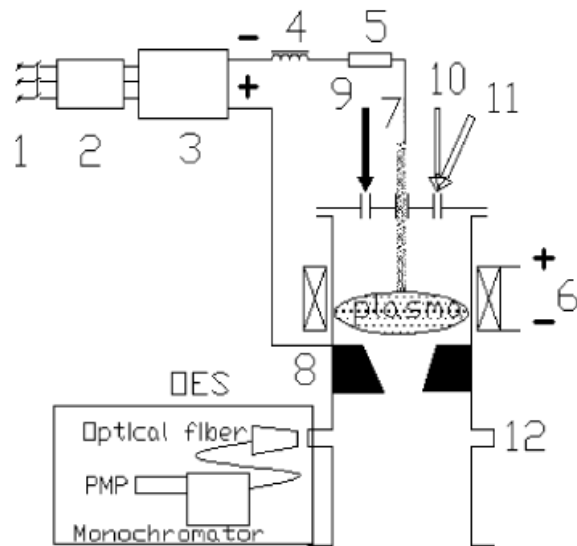


圖 6-7 電漿法進行煤氣化設備示意圖(前半部)

(1)三相的 AC；(2)變壓器；(3)整流器；(4)電感線圈；(5)電阻器；(6)電磁線圈；(7)陰極；(8)陽極；(9)蒸汽；(10)煤粉；(11)載氣(空氣)；(12)觀察口。

結果發現將可產生含有 75%(H₂+CO)之合成氣體，且氣體中所含之 H₂ 及 CO 隨著電弧輸入功率的提升而增加，並隨著電磁線圈內的電流增加而達到最大量。這也是一個氣體中 CO 變化趨勢隨增加煤的供給量的實例，反之氣體中 H₂ 則隨著煤的供給量的增加而減少。此外氣體中 CO 的變化趨勢會與電漿中 CO⁺離子和 CH 基強度之變化成一致，意味著電漿中的 CO⁺離子和 CH 基係為合成氣中 CO 之先驅。

6-3-3 生質能(Biomass)

以水蒸氣電漿 torch 進行高溫熱分解相同生物量之樣品(如松樹片)，水蒸氣噴嘴溫度從 800 到 1400K 間進行高溫熱分解與氣化，產生之合成氣量結果如圖 6-8：

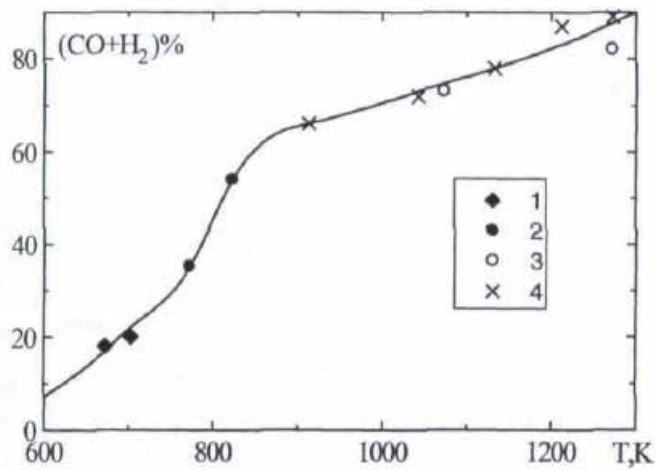


圖 6-8 高溫熱分解乾燥生質能(biomass)之合成氣產量

1-(Koriakin, 1962) ; 2-(Chartier et al., 1996) ;
 3-(Zanzi et al., 1922) ; 4-(Kezelis et al., 2004)

比較固態燃料之熱氣化技術及電漿過程中所耗費之能量，顯示熱電漿可在高溫的條件下進行氣化固態燃料與處理廢棄物，如圖 6-9、如圖 6-10 所示。

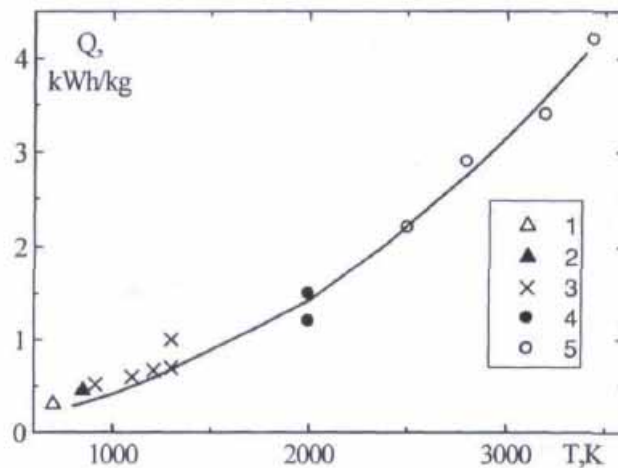


圖 6-9 固體廢棄物氣化過程期間能量消耗與入口水蒸氣溫度間之關係

1-(Koriakin, 1962) ; 2-(Fedoseev, Cernisev, 1960) ;
3-(Kezelis et al., 2004) ; 4-(Kezelis et al., 1999) ; 5-(Vdovenko et al., 1987)

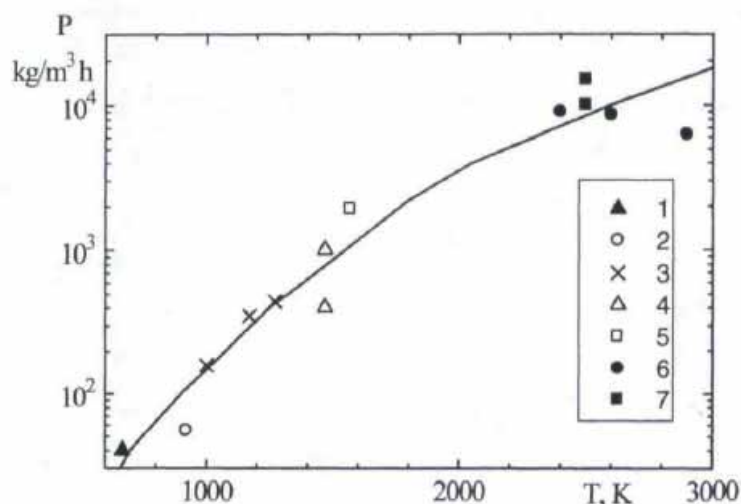


圖 6-10 熱分解生產量與溫度間之關係

1,2-(Koriakin, 1962) ; 3-(Kezelis et al., 2004) ; 4,5-(Fedoseev, Cernisev, 1960) ;
6-(Vdovenko et al., 1987) ; 7-(Kezelis et al., 1999)

另外應用 radio-frequency (RF) 電漿熱分解 biomass，在壓力 (3000-8000Pa) 與功率 (1600-2000W) 之操作下，探討熱分解條件對於氣體及炭產量、氣體組成與炭質量之影響。平均而言，在輸入功率為 1800W 及操作壓力為 5000Pa 時添加生物量，氣體產量可達到 66%(重量)；在無氮的基礎下，產氣中 CO 和 H₂ 達 76%(體積)，可作為合成氣體之組成，相關結果與效率轉換如表 6-2 及表 6-3 所示；另外，獲得之固體產物有很大的 Brunauer-Emmett-Teller (BET) 表面積和高的孔隙體積，可能有作為活性碳之潛在性。

表 6-2 木材和炭 樣品之分析

物質	近似分析(wt%)			組成分析(wt%乾基)					熱 值 (MJ/kg)
	揮發性	固定碳	飛灰	碳	氫	氧	氮	硫	
木材	78.82	18.83	2.35	47.10	6.40	46.50	<0.3	<0.5	17.53
炭	- ^a	- ^a	14.62	83.17	2.21	<0.5	<0.3	<0.5	29.03

^a 不可提供

表 6-3 氣體產量與轉換效率

輸入 功率 (W)	操作 壓力 (Pa)	供給速 率 (g/min)	氣體產量		炭產量		轉換率(%)		
			(mL/min)	(%)	(g/min)	(%)	碳	氧	氫
1600	5000	0.30	135.35	38.80	0.18	61.20	51.10	34.60	45.10
1800	5000	0.30	190.40	68.22	0.10	31.78	66.77	69.10	45.00
2000	5000	0.30	228.11	76.40	0.07	23.60	75.30	87.10	49.50
1800	3000	0.30	103.80	32.50	0.20	67.50	33.60	34.80	26.40
1800	5000	0.30	190.40	68.22	0.10	31.78	66.77	69.10	45.00
1800	8000	0.30	273.30	88.40	0.03	11.60	81.80	107.00	55.10

目前商業上已著手進行利用熱電漿技術破壞廢棄物以獲得熱能。最近，已有學者開始進行研究使用水蒸氣電漿 torch 高溫熱解及氣化固態燃料之技術：水蒸氣電漿可用於環境清理(Juskevicius, Valatkevicius, 1997)，且高溫會致使水蒸氣分解產生 O₂ 和 H₂，更有效率地參與電漿化學反應，以進行廢棄物處置，整個系統基於電的電弧應用於氣態、液態或固態廢棄物處置(Murphy, 1999 and Artamonov, 1998)、危害性廢棄物處置(Veilleux et al., 1999)、高灰燃料氣化和高溫熱解與塑膠廢棄物處理(Park et al., 2003)。

6-3-4 廢棄橡膠

因應人民需求，估算在歐洲每年會生產 2.5×10^6 ton 的輪胎橡膠，在北美、日本與中國大陸亦分別有 2.5×10^6 ton、 1×10^6 ton、 1×10^6 ton 之輪胎橡膠產生(Shulman, 2000)，該如何避免過多廢棄橡膠造成環境污染便是一項重要課題。

在高溫的條件下利用電漿氣化廢棄物質，揮發性物質主要會釋放出碳氫化合物與一些氣態產物，相關反應式如下：

- 橡膠 → 炭 + (重)碳氫化合物 + (輕)碳氫化合物 + 氣體(H_2 、 CO 、 C_2H_2 、 CH_4 及 C_2H_4 等)

然後進一步地發生焦油裂解：

- (重)碳氫化合物 → (輕)碳氫化合物 + 氣體(H_2 、 C_2H_2 、 CH_4 及 C_2H_4 等)

(輕)碳氫化合物也可能進行分解：

- (輕)碳氫化合物 → $H_2 + C_2H_2 + CH_4 + C_2H_4 + C_nH_m$

由於水蒸氣的增加，以下總反應將變得重要

- 炭 + $H_2O \rightarrow CO + H_2 +$ 固體殘餘物

利用熱電漿高溫分解廢棄橡膠可產生熱值約 $5-9 \text{ MJ/Nm}^3$ 之氣態燃料(如 H_2 、 CO 、 C_2H_2 、 CH_4 及 C_2H_4)及可回收黑炭填充料(pyrolytic carbon black, CB_p)，佔固態產物內含量 80% 以上，且表面積約 $65 \text{ m}^2/\text{g}$ ，可被應用於輪胎橡膠中作半強化黑炭，或在提升等級後，作為輪胎中黑炭之填充料，相關實驗結果如表 6-4 所示，由結果知熱電漿高溫分

解有助於協助進行資源回收處理廢棄橡膠。

表 6-4 利用 dc Arc Plasma 高溫分解廢棄橡膠之產物

編號	供給速率 (g/min)	輸入功率 (kVA)	比值 ^a	固體產量 (wt%)	氣體產量 (wt%)	氣體組成(與 N ₂ 比較) (vol%, 乾基)						氣體發熱值 (MJ/Nm ³)
						H ₂	CH ₄	CO	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C _n H _m + 未知物	
F1	44.04	35.2	0.8	39.4	60.6	8.75	0.71	3.07	0.28	2.04	4.57	5.3
F2	89.1	35.2	0.4	57.8	42.2	14.2	1.02	3.21	0.54	3.92	5.55	7.56
F3	96.4	35.2	0.37	59.02	40.98	18.38	0.85	3.92	0.38	2.76	5.7	7.34
F4	122.5	35.2	0.29	69.02	30.98	18.54	1.01	3.27	0.54	3.6	5.1	7.94
P1	78.06	30.8	0.4	61.32	39.68	12.07	0.71	2.75	0.25	2.57	3.6	6.76
P2	75.36	39.6	0.53	55.7	44.3	15.23	0.6	4.2	0.2	1.57	6.2	6.01
P3	86.6	44	0.51	56.9	43.1	15.77	0.67	4.13	0.25	1.54	6.34	6.48
P4	80.04	48.4	0.61	55	45	16.15	0.69	4.25	0.27	1.42	5.83	6.12
S1	75	35.2	0.47	23	77	24.12	0.98	14.17	0.41	1.75	6.2	8.96

與傳統方法比較，傳統技術熱分解廢棄橡膠通常產生氣體、液體及固體產物(Roy et al., 1999 and Rodriguez et al., 2001 and Yin et al., 2001)，液態產物是由多種(重)碳氫化合物所組成之柏油，且難以從其他氣體或固體產物中分離、收集油品。

6-3-5 聚丙烯(Polypropylene)

利用具有 62.5kV · A 之最大輸入電功率的 dc arc nitrogen plasma 產生器和內徑 50mm、高 1000mm 之反應室之電漿(如圖 6-11)熱分解塑膠廢棄物(polypropylene,PP)。電漿反應器是由 Department of Mechanics, Tsinghua University 所設計與建製而成，反應室內部主要由具石墨內襯的 1Cr18Ni19Ti 鋼所構成：以金屬鎢作為陰極、水冷式銅作為陽極，並設置在儀器的上部。為了探討在不同時間下熱分解之程度，在反應口找四個不同位置進行採樣，兩個採樣點間之距離為 200mm，且 5#是出口。不考慮徑向速度分佈，停留時間從電漿噴射

速率計算大約是 1 ms；電漿 torch 在反應入口處之核心溫度，會以反應氣體(N₂)的焓值來計算；水的流動則可作為系統之冷卻用。

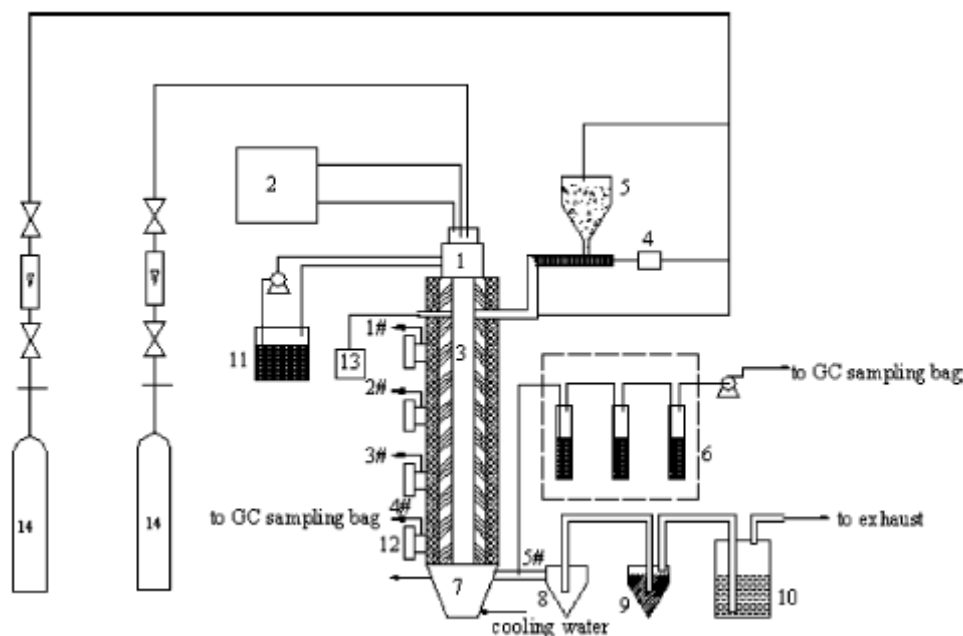


圖 6-11 電漿反應器示意圖

1.電漿產生器；2.電漿產生器控制系統；3.電漿反應室；4.進料調節控制系統；5.進料斗；6.氣體取樣系統；7.灰槽；8.旋風分離器；9.過濾器；10.水槽；11.冷卻系統；12.觀察口；13.水蒸氣產生器；14.氮氣鋼瓶

反應氣體(N₂)會經由銅管進入電漿產生器中，並在 N₂ 的環境下存在於兩個電極之間。此時，載氣(N₂)會被吹入電弧區域內，不僅可避免輸送管內收集情形產生以確保聚丙烯(PP)粒子輸送順利，更可在達反應區時協助擴散。PP 粒子是經由反應軸上呈 90°角之螺旋狀進料口輸入至反應室。調整進料口的速度可用以調節進料速率；當電漿所提供之加熱速率大至 106K/s 時，粒子會加熱的非常快速，水蒸汽則由蒸汽產生器中產生，並在需要時刻由閥門的控制注入至反應洞中，隨後 PP 粒子(有時尚包含蒸汽)在反應室內向下移動，熱分解反應即開

始發生。電漿設備的操作條件及最佳操作參數列於表 6-5。氣體產物樣品透過一條取樣線被蒐集在五個橡膠袋裡，然後在 GC-20B-1 氣相層析儀系統(由 Shimadzu, Tokyo, Japan 製造)中進行分析。

表 6-5 電漿反應器典型操作條件

電漿反應器參數	範圍	最佳值
電壓(V)	220-250	220
電流(A)	120-250	160
功率(kV · A)	26.4-62.5	35.2
反應氣體流量(m ³ /h)	5	5
反應氣體壓力(MPa)	0.4	0.4
載氣(N ₂)流量(m ³ /h)	2	2
粉狀樣品輸入速率(g/min)	20-100	
水蒸汽壓力(MPa)	0.4	0.4

結果顯示，在最佳實驗條件(輸入功率 35.2kV · A、供給速率 60g/min)下，氣體產物中氫的濃度可達 18%，且乙炔可達 5%之產量，最佳條件下之產物分佈如表 6-6，輸入電壓與產物組成之關係如圖 6-12 所示。注入蒸汽是為了改善產品之品質並延長其應用範圍；藉由注入水蒸汽，當乙炔濃度減少程度輕微時，氣體產物中 H₂ 和 CO 總量可達 40%，固體轉換率達 96%且氣體生產率為 2160mL/g，蒸汽之注入與否對 PP 熱分解之影響如表 6-7 所示。同時結合傳統熱分解實驗儀器是為了利用設置在氣體收集器之後的 electric tube furnace 收集氣體產物，樣品在 furnace 的加熱下，伴隨著最大電功率(3kV · A)而達到熱分解溫度，同時加入兩種催化劑以提高產物產量並降低反應時間。結果指出，電漿促進聚丙烯之熱分解可能是能源回收與回收廢棄

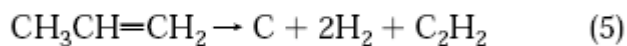
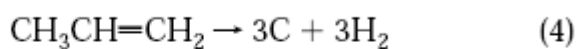
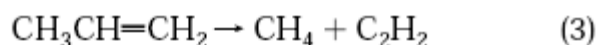
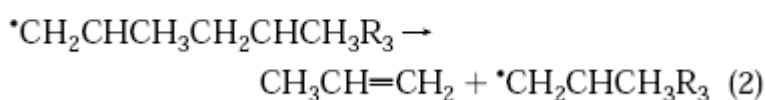
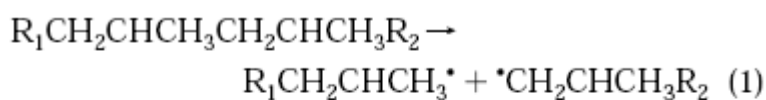
塑膠成為有用化學品的有用方法。

表 6-6 最佳條件下產物的分佈

(輸入壓力 35.2 kV · A；輸入速率 60g/min；蒸汽注入速率 60mL/min)

產物	濃度(vol%)	
	沒有蒸汽注入	蒸汽注入
H ₂	14.99	27.06
CO	0.83	13.33
C ₂ H ₂	4.96	3.87
CH ₄	1.58	1.45
C ₂ H ₄	1.07	0.57
C ₂ H ₆	0.07	0.02
N ₂	71.83	49.02
C _n H _m + 未知物	4.17	4.37
固體轉化率(%)	94	96
氣體產量(mL/g)	885	2167

相關反應方程式如下：



where $R_1 = (-CH_2CHCH_3^-)_l$, $R_2 = (-CH_2CHCH_3^-)_m$,
and $R_3 = (-CH_2CHCH_3^-)_n$.

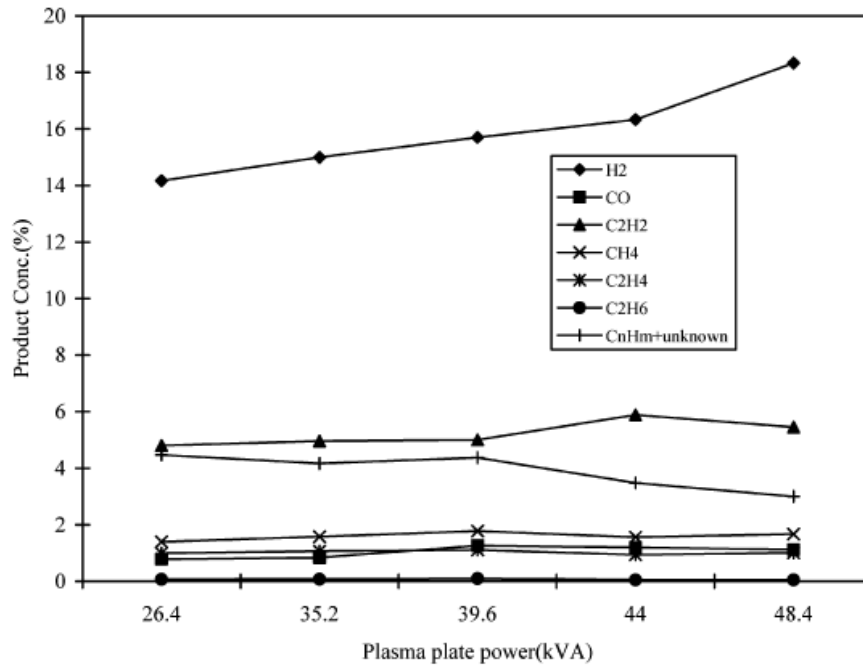


圖 6-12 電壓輸入對高溫分解產物組成之影響(與 N₂ 比較; 供給量 60g/min)

表 6-7 在電漿反應器中蒸汽注射之有無對 PP 熱分解之影響比較

輸入功率 (kV · A)	供給量 (g/min)	蒸汽注入量 (mL/min)	氣體產量與增加量(mL/g)									
			H ₂	CO	C ₂ H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂ +C ₂ H ₆					
35.2	20		93	15	22	3	2					
35.2	20	20	348	255	147	132	48	26	14	11	6	4
35.2	40		106	13	35	10	5					
35.2	40	40	680	574	255	242	172	137	75	65	40	35
35.2	60		127	7	42	13	9					
35.2	60	40	498	371	193	186	99	57	43	30	28	19
35.2	60	60	565	438	269	262	77	35	39	26	22	13
26.4	60		113	6	35	11	8					
26.4	60	60	441	328	192	186	58	23	47	36	22	14
39.6	60		147	12	47	17	11					
39.6	60	60	622	475	274	262	108	61	45	28	28	17
44	60		227	17	81	22	14					
44	60	60	569	342	218	201	89	8	27	5	21	7
48.4	60		187	11	56	17	10					
48.4	60	60	719	532	311	300	78	22	30	13	23	13

6-3-6 有害廢棄物

Plasma torches 已經廣泛的應用在科學研究與製程技術上，特別是電漿化學處理技術已經用於高效率程序上，如熱分餾及氧化危害性廢棄物(Polak, 1970 and Donaldson et al., 1991)。利用高溫破壞化學廢棄物之技術上，如焚化、氣化及高溫分解，傳統熔爐操作溫度通常需高達 1500K，因此傳統熱破壞技術無法有效分解危害性廢棄物；然而，倘若利用電漿化學程序，電漿中間部分在反應初期溫度範圍約為 4000-5000K(Hrabovsky et al., 1997)，危害性廢棄物主要分解機制為電漿氣體在氧化或還原條件下，高溫電漿能量破壞降解危害性物質之化學鍵。

許多文獻大多在探討利用 plasma torch 進行危害性廢棄物之降解，站在工程的觀點，電漿處理程序在降解、去除混合(含危害性放射物質)廢棄物或危害性廢棄物已廣泛被 Donaldson et al.所討論(Donaldson et al, 1991 and Eddy et al., 1990)。電漿程序對於有效率地破壞危害性廢棄物有許多優勢；小型反應器和附屬設備、較低的成本花費、輕便的、組成穩定度高之廢棄物、啟動與停工速度快、密閉系統之設計與混合性廢棄物具競爭性之加工成本。因為其所存在之潛在優勢，電漿程序已應用於破壞、去除多種碳氫化合物，如多氯聯苯(PCB)，及利用各種電漿火焰進行電鍍污泥(Donaldson et al, 1991 and

Snyder et al., 1996 and Glocker et al., 1998 and Ramachandran, Kikukawa, 2000), 同時 Han et al. 已經進行研究反向流動液體注入電漿處理系統(Han et al., 1993)。此種系統證明 plasma torch 功率為 20kW、苯的流量為 1.0ml/min 時,破壞與去除效率(DRE)高達 99.99%。Glocker et al. (2000 and 1999)使用 1~40kW 之蒸汽電漿 torch 系統分解 CFC 及 the plasma spraying of oxide ceramics。Wald et al. (2000)利用 30kW 脈衝動力電漿系統完成 1,2-二氯乙烯(DCE)之 proof-of-concept 試驗。

(1)PCBs

以 100kW 蒸汽電漿處理混合 PCBs 廢棄物,儀器示意圖如圖 6-13 所示。可燃性氣體中可被用作氣體燃料成分約是濕氣之 30%,混合 27%PCB 與 73%CCl₄, PCDD/PCDF 中總毒性平衡濃度約 0.056ng TEQ/Nm³,可降低毒性副產物之產生,如傳統焚化法所無法避免之戴奧辛和呋喃(furans),相關產物組成如表 6-8。故推論:蒸汽電漿對於從廢棄轉化為能源之程序有很高之效率,且對於危害性廢棄物之處理上亦較注入蒸汽之空氣電漿與傳統焚化方式為佳。

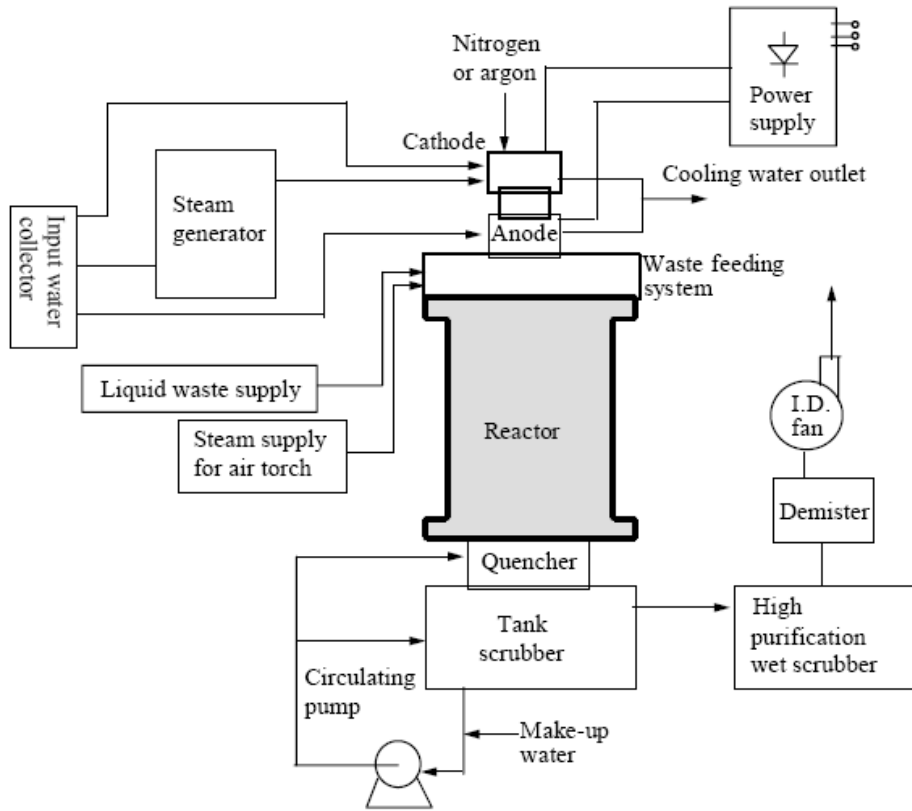


圖 6-13 蒸汽電漿系統處理液態危害性廢棄物示意圖

表 6-8 利用蒸汽電漿火炬氣化 PCB 之產物組成

	氣化產物(% ,濕基)				
	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x (ppm)	Cl ₂
反應初期	0.40	8.016	N.D.	120	N.D.
穩定時期	0.30	29.14	0.96	80	<10ppm

實驗條件：

試驗廢棄物(混合)：PCB:CCl₄=27:73%

(PCB 是由 57% C₁₂H₇Cl₃ 和 43% C₁₂H₆Cl₄ 混合而成)

廢棄物輸入量：0.98kg/kWh (在 100kW 蒸汽電漿系統中)

蒸汽：0.23kg/kWh

部分氧化的空氣：0.27kg/kWh

反應氣溫度：1600K

(2) MTBE

使用 RF 電漿反應器分解 MTBE 氣體，系統配置如圖 6-14，

結果顯示 MTBE 分解效率(η_{MTBE})隨著增加 W_D (電漿每單位體積所消耗的功率, $W\text{cm}^{-3}$)與 C_{MTBE} (MTBE 進流濃度,%)的減少而提

升。結果顯示，在 MTBE/Ar 電漿中，當操作條件為 $W_D=0.96$
 W_{cm}^{-3} 、 $C_{MTBE}=3\%$ 、操作壓力=20Torr 與總氣體流量= $100cm^3 \cdot$
 min^{-1} 時， η_{MTBE} 會超過 99.9%。

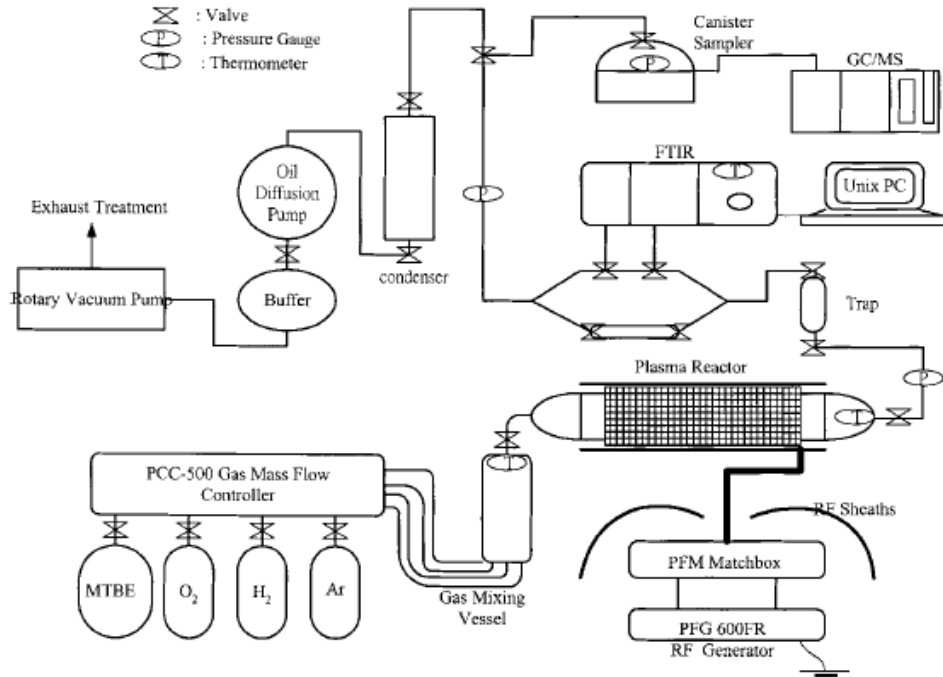


圖 6-14 RF 電漿系統示意圖

其他關於電漿廢棄物處置監測技術，分為以下三種：

- (1) 爐表面上的電漿電弧溫度：火爐用氣體燃燒器加熱，然後與電弧接通，過幾秒鐘後，把燃燒器關起來，電漿電弧也在同一時間附帶地停止，結果如圖 6-15 所示，高溫計可觀察接近排入的區域。

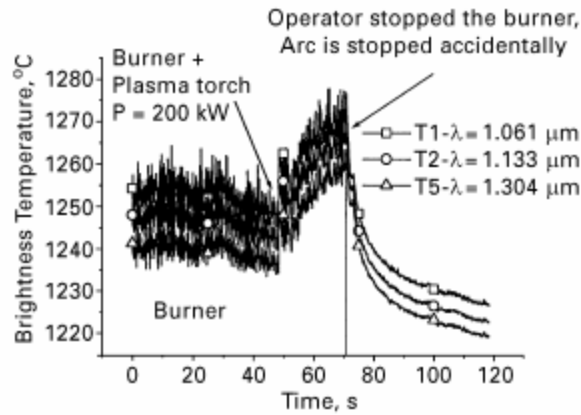


圖 6-15 爐表面上的電漿電弧溫度

(2) 沿著飛灰排入區域到排出區域半圓的溫度分佈在圖 6-16 中顯示，較低溫度的地方與在表面非融化灰爐區域到粉末注入相符。這個結果證實高溫計可以在爐中探測非融化物質。

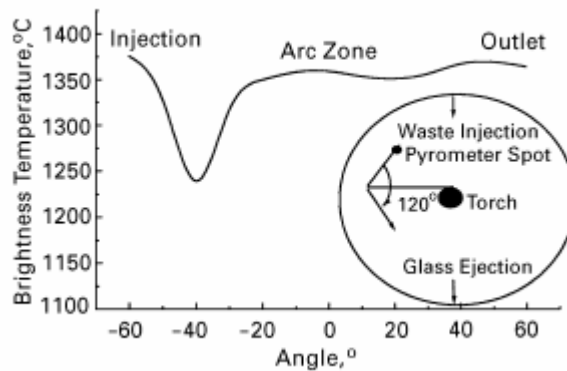


圖 6-16 非融化粉末沿著半圓表面(高溫計波長 $\lambda=1.061\mu\text{m}$)溫度量測上的影響，電漿火炬功率是 530Kw.

(3) 飛灰供應量的影響：在一開始，灰爐注入流量為 250Kg/h。在時間為 80 秒時，供給流量變成 300 Kg/h。在 75°C 的時候灰爐供給增加導致溫度下降。再次達到穩定態溫度標準的短

暫期間大約是 15 秒，如圖 6-17。

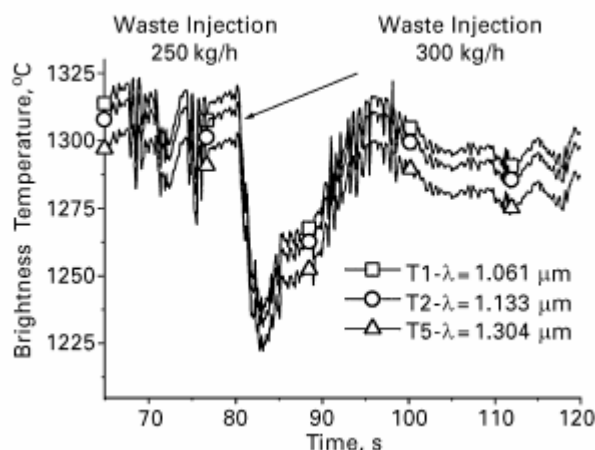


圖 6-17 廢棄物注入變化在接近注入區域(高溫計波長 $\lambda=1.061 \mu\text{m}$)

溫度量測上的影響，電漿 torch 功率為 530Kw.

6-4 國內電漿廢棄物處理技術

根據國際能源總署統計，2000 年時再生能源只佔世界能源供給的 5%，石油卻佔 38%，煤與天然氣 50%，核能 7%。為了減少化石燃料的使用，我國應該致力於再生能源的開發與應用，如同其他國家一般，生質能也是我國最主要再生能源，其中又以廢棄物能源為主。包括工業廢棄物、事業廢棄物、都市垃圾、石油焦、廢輪胎、廢溶劑、有機廢液、油污、污泥、黑液、廢紙排渣、蔗渣/蔗葉、稻殼、裂解油、及垃圾掩埋場與厭氧廢水處理廠的沼氣等。從第三章結果來看，我國每年產生約 800 萬公噸的都市垃圾（有機廢棄物）、約 2000 萬

公噸農業廢棄物及約 600 萬公噸的有機工業廢棄物，將扮演生質能應用的關鍵角色。因此，可從廢棄物能源再利用為推廣的目標。

電漿氣化熔融發電技術為廢棄物或生質能源應用的重要技術，可處理未經分類的綜合性廢棄物（MSW）、高效率轉化為能源燃料和有價值資源的熔岩產物。且可形成高效率分散式能源供應雛形系統，本技術規模化及推廣應用後，預期台灣每年可增加 1000MV 以上再生能源電力供應。此外，電漿氣化熔融可確保環境生活品質，維護民眾健康，繼而推動國家永續發展之資源再生利用，符合『二十一世紀永續發展策略綱領』以垃圾減量及資源回收為主軸之治本理念。

電漿氣化熔融技術係以電漿火炬所產生的高溫（ $\sim 10000^{\circ}\text{C}$ ）高密度電漿為熱源，將廢棄物中可燃燒物質與不可燃物質在同一個系統有效處理，達到減容、去毒、固化、發電、能源及資源化等多重目的。高溫電漿技術可處理氣態、液態及固態廢棄物，有機物經過熱裂解焚化減容，無機物（ Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 及金屬等）經電漿熔融處理後，有害金屬均勻分佈於熔岩內達到 TCLP 要求，符合最終處置或資源回收規範的要求。飛灰再生利用技術中，熔融係目前國際上優先採行的飛灰無害化技術之一，而電漿熔融已成為灰渣熔融資源化主流技術，環保署與核研所於 92-93 年度間整合政府與產學研各界力量與國家資源，其建立電漿焚化熔融技術的本土技術開發，並發展我國電漿廢棄

物處理相關產業，以解決國內廢棄物處理問題，建立我國永續發展的生態環境。

核能研究所於 82 年 7 月發展高功率電漿火炬之研究工作開發出 20KW DC/RF 電漿火炬系統。並於 83 年到 85 年間完成 100KW 非運輸型直流電漿火炬、坩堝型電漿熔融爐與 10 公斤/小時電漿焚化設備，並用於處理各種模擬放射性廢棄物，獲得最佳減容效果及高品質的熔岩。再者為達成處理廢棄物實務機制，核研所完成 1200KW 直流電漿火炬系統並開始設計放射性廢棄物電漿焚化熔融廠的規劃與設計。教育部也嘗試，解決國內大專院校實驗廢棄物處理的問題，補助成功大學在安南校區建立一座 125 公斤/小時處理量之電漿爐，由美國 PEAT 公司提供全系統，以燃燒機預熱電漿爐至 800°C 後，再以 400KW 交流電漿火炬（AC Plasma Torch）將電漿爐加熱至 1500°C 處理各種廢棄物並產生合成氣，一天八小時處理量一公噸。

國內現有運轉中之高溫電漿熔融爐共有三座，未來環保署預計於台南市城西里設計建造一座高溫電漿熔融爐，進行污泥及焚化爐產生之飛灰和底灰之減容、減量處理。

(1) 國立成功大學環境資源研究管理中心資源回收廠

教育部為有效解決國內學校實驗室廢棄物處理問題，爰依民國八

十九年五月三日之第 400 次部務會報審查「改善各級院校校園污染防治公共設施綜合規劃報告」之決議，編列相關預算，並且依據廢棄物清理法第十三條第四項之規定完成訂定相關管理輔導辦法，經公開評選委託國立成功大學為主辦學校成立環境資源研究管理中心(簡稱環資中心)，以期妥善解決目前各級學校實驗廢棄物共同清除處理之問題。環資中心之高溫電漿熔融爐採還原反應式熔融爐，其優點在於操作時尾氣不產生 SO_x 及 NO_x，可降低空污防治設備之投資及操作維護費用，而且可形成氣體燃料回收使用，如配合發電機使用，可有效降低熔融爐之耗用電能。環資中心規劃之廢棄物處理方式分為三大類包括：可直接熔融處理者、可焚化處理者及需物化處理者。其中可直接熔融處理者，包括感染性廢棄物、污泥及實驗室其他固體廢棄物；可焚化處理部分則以有機廢液為主；需物化處理者主要則以實驗室中無機性之廢液為主。其中不明廢污或廢液，將於進場後先經環資中心實驗室檢驗分析，必要時送入模廠進行測試後。環資中心熔融處理系統以處理乾燥後污泥、感染性廢棄物及其他固體廢棄物為主，採連續式操作設計，處理能力為 1 噸/ 8 小時之爐體進行設計。內容依處理流程包括卸料、進料設備、熔融爐、驟冷器、空氣污染防制設備、尾氣處理系統、尾氣連續監測系統及附屬機械儀控管閥配件等完成處理作業所需之所有設施。

- ◆ 卸料、進料設備：包括固體廢棄物、感染性廢棄物、乾燥污泥之卸料、進料裝置、金屬與熔渣回收裝置及貯存子車等。
- ◆ 熔融爐：還原反應式熔融爐（含緊急排放煙囪）。
- ◆ 驟冷器：須能將廢氣溫度降低至後段空氣污染防制設備正常操作溫度。
- ◆ 空氣污染防制設備：包括袋式集塵器、濕式洗滌塔，須使熔融處理系統排放廢氣達到提供後端尾氣發電機使用標準。
- ◆ 尾氣處理系統：包括焚化爐輔助燃料供應、尾氣地面燃燒單元 and 尾氣連續監測系統。

(2) 美商晉瑄科技股份有限公司(Peat International Inc.)

美商晉瑄在高雄臨海工業園，首次利用高溫電漿熔融爐處理工業用有害溶劑和溶液，分解成原子組成形式，再將這些分解的廢棄化合物重新組合成有用的燃料氣體。它是晉瑄第一個商業化 BOO 項目，也是世界上首次將交流電漿火炬應用於一個商業化的工廠中。它是台灣第一個也是唯一，一個能處理被多氯聯苯和其他氯化物污染的物質的設施，其處理規模約每天十噸。

(3) 行政院原子能委員會核能研究所.

行政院原子能委員會核能研究所(簡稱核研所)自行設計建立之電漿焚化熔融爐已於民國 93 年 3 月完成 202 小時連續運轉測試，達成一週以上連續操作目標。核研所近年來積極進行該座電漿焚化熔融爐(設計處理量 250 公斤/小時)之運轉測試，55 加侖桶裝模擬廢棄物(如泥土、玻璃、水泥塊、焚化爐飛灰及底灰等)經電漿岩化處理後，可轉化為桶裝熔岩，體積減少為原來的 1/5 至 1/2。為尋求核能電廠低放射性固體廢棄物的有效處理方法，台電公司委託核研所進行「核電廠低放射性廢棄物電漿岩化處理程序開發」相關研究計畫，目前已獲得許多具參考價值結果，將可做為後續建廠依據。電漿岩化處理不但大幅減容，熔岩固化體品質亦遠優於我國放射性廢料體法規標準，有利於最終處置場址選擇，節省最終處置鉅額費用之潛在利益。核研所電漿岩化技術除用於處理放射性廢棄物外，亦可推廣應用於事業廢棄物處理。行政院環保署於民國 92 年 11 月起與核研所合作開發「焚化爐飛灰電漿熔融資源化處理技術」，預計 93 年 7 月在核研所設置完成乙座都市焚化灰渣電漿熔融離型系統，用以開發焚化灰渣電漿熔融水淬資源化處理程序，並建立本土化技術能力。核研所目前已與國內三家企業公司簽訂電漿岩化技術開發合作意願書，其中中船公司已正式函請核研所就「焚化灰渣電漿熔融資源化處理技術」部份進

行技術移轉。核研所的電漿岩化技術在處理放射性廢棄物上，具有減量、安全、無害化、免除二次污染等優點，使核廢料處置之場址有更多的選擇，並可節省最終處置之鉅額費用，亦能應用於事業廢棄物及醫療廢棄物的處理。行政院環保署為有效處理都市垃圾焚化爐飛灰，於民國 92 年 11 月起與核研所合作開發「焚化爐飛灰電漿熔融資源化處理技術」，在核研所設置一座都市焚化灰渣電漿熔融資源化雛型系統，開發焚化灰渣電漿熔融及水淬資源化處理程序，建立本土化技術能力。

6-5 電漿處理廢棄物轉化能源技術效益及成本分析

全世界再生能源的需求逐漸成長，其中大部份來自市政、工業、有危險性等廢棄物。因此，科學家便開始研究廢棄物回收等高效率及適合環境之技術，以降低溫室效應之影響。

目前在商業中已著手進行使用之新技術是利用熱電漿破壞廢棄物以作為熱量來源。從廢棄物探討電漿技術對能源回收的影響，可利用以下式子推得其處理效益程度，藉以評估其能源轉化之成效 (Bendix, Hebecker, 2003)：

$$\eta_{el.net} = \frac{(\dot{m}_{waste} \cdot Hu_{waste} + P_{fossil} + P_{et.WI} - \dot{Q}_{offgas} - \dot{Q}_{reactor}) \eta_{SP} - P_{et.WI}}{\dot{m}_{waste} \cdot Hu_{waste} + P_{fossil}}$$

其中， \dot{m}_{waste} 是指廢棄物質量

Hu_{waste} 是指平均熱值

$P_{et.WI}$ 是指電子能量

P_{fossil} 是指石化燃料比值

Q_{offgas} 是指廢氣

$Q_{reactor}$ 是指反應器中損失的熱量

$\eta_{el.net}$ 是指效率

$$\eta_{el.net} = \frac{(\dot{m}_{waste} \cdot Hu_{waste} + P_{fossil} + P_{et.WI} - \dot{Q}_{offgas} - \dot{Q}_{reactor})(1 - \div_{sep})\eta_{SP} - (P_{et.WI}(1 - \div_{sep}) + \div_{sep} \dot{m}_{waste} \zeta)}{\dot{m}_{waste} \cdot Hu_{waste} + P_{fossil}(1 - \div_{sep})}$$

其中， $P_{et.WI}$ 是指耗損功率

此外，以 RF 電漿為例進行處理 MTBE，可依據以下式子得知處理效益程度(Hsieh et al., 2002)：

$$CB = \frac{\sum_{i=1}^n [(C_{out})_i \times (N_i)]}{C_{MTBE}}$$

其中， CB 是指在 MTBE/Ar 電漿系統中碳的平衡(carbon balance)

$(C_{out})_i$ 是指物種 i 在流出物中的濃度(%)

N_i 是指碳原子在化學反應式中之數目，與流出物中物種 i 一

致

n 是指流出物中物種之總數

C_{MTBE} 是指 MTBE 之進流濃度

另外，MTBE 之分解效率， η_{MTBE} ，定義如下：

$$\eta_{MTBE} = [(C_{MTBE} - C_{exit}) / (C_{MTBE})] \times 100\%$$

其中， C_{MTBE} 是指 MTBE 之進流濃度(%)

C_{exit} 是指 MTBE 流出濃度(%)

在成本分析部分，經由實驗室尺度(lab-scale)之研究(Huang et al., 2003)得知，電漿處理在工業上的應用與經濟因素有關，電漿高溫分解廢棄橡膠具經濟潛力，在成本分析上，給了以下假設：

- (1) 處理廢棄橡膠工廠之投資資本為 300kg/h \$ 1500000 元。
- (2) 比能的消耗是 1kWh/kg 由橡膠所供給(對於工業規格電漿系統，0.8-1kWh/kg 已被發表[16])。
- (3) 工業部門電力價格為 \$ 0.05/kWh。
- (4) 橡膠進料器之黑炭回收率約 23wt%，半強化黑炭之市場價格為 \$ 500/ton。
- (5) 收取廢棄橡膠之最低價格為 \$ 30/ton。

橡膠進料器在發熱值為 9MJ/Nm³ 之氣體產量為 3Nm³/kg；氣體在鍋爐或氣體引擎內燃燒效率為 26%。

另外在電漿氣化生物質(biomass)的部分，彙整如表 6-9 所示：

表 6-9 1200 ton/yr syngas 工廠成本分析(Tang, Huang, 2004)

項目	費用	備註
資本	\$ 300000	貶值時期：15 年
功率	\$ 72000	0.05/kWh
utilities	\$ 50400	\$ 28/ton 生物量
操作費用	\$ 2400	每人每年 \$ 1200
總費用 ^a	\$ 424800	

^a總費用包括操作費用、utilities、功率及資本

廢棄物電漿氣化程序，藉由初步成本分析，電功率所耗費之成本大體上可由以下五點做補償：

- (1) 產生高濃度之 H₂ 和 CO；
- (2) 產生以低成本活性碳或半強化黑炭為先驅物之副產物；
- (3) 低成本原料(理論上 100%碳產量)；
- (4) CO₂ 的去除；
- (5) NO_x 和 SO₂ 的減量，因木材燃料較其他物質(如煤)含低量氮及硫。

由以上分析可得知，生物質的電漿氣化可能產生 syngas 以提供大型工業生物量轉換工廠進行使用。

在空氣污染控制技術部分，以探討非熱電漿程序進行控制 VOC，其相關技術之成本評估分析如圖 6-18 所示，由結果得知，以 Packed Bed Plasma 處理之成本較低，此外以 Thermal Incineration 技術所需耗費之成本最高。

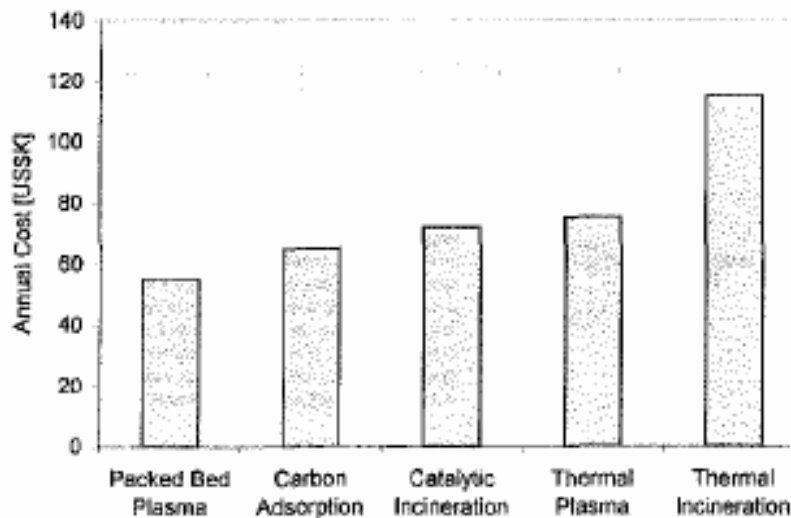


圖 6-18 非熱電漿程序和常用 VOC 控制技術的成本評估
(Vercammen et al., 1997 and Sudnick, Corwin, 1994 and Matzing et al., 1993S)

6-6 結語

在這些年來，電漿處理已被廣泛的研究且部分已被實際使用 (Cheng et al., 2002 and Chu et al., 1998 and Kezelis et al., 1998 and Glocker, Nentwig, 2000)。電漿處理是一種可以廣泛地處理多種非常毒的廢棄物之高能量技術。Plasma arc 產生的熱能可提供足夠的溫度來熔化並破壞廢棄物質。假使傳統的燃燒危害性廢棄物會危害人們及環境時，將考慮應用高溫電漿來進行處理。有時蒸汽電漿會被用於廢棄物的處理，特別是在環境領域上，反應性的電漿包含 H、OH 及 O 基本元素，以期望得以維持化學程序的進行。成功的廢棄物處理與環境溫度及存在時間有關。

在一些實例中，濫用焚化廢棄物可能造成新的有害產物。廢

棄物的熱處理技術之發展需要長期的調查研究與發展一項包括實驗性的測試來確定在最佳條件下破壞不同廢棄物之計畫，並同時發展與測試污染物質和存在於熱化學及流體動力學模型中之理想組成。

第七章 電漿處理廢棄物轉化能源技術評估

7-1 美國電漿處理廢棄物轉化能源技術評估

表 7-1 為美國針對 20 家廠商相關氣化、電漿處理技術的評析，評析內容分成六類，分別為：『成熟度』、『操作容量』、『可信度』、『環境規範』、『效益』、『殘餘廢棄物』等進行分析。

- 成熟度：技術必須有研究發展階段且商業化操作經驗至少 10 年。
- 操作容量：技術必須允許及操作每年至少 50000 噸的廢棄物。
- 可信度：技術必須有操作成功經驗如示範性工廠或商業化規模。
- 環境規範：技術必須符合地方政府與中央政府相關環境法令的允許與規範。
- 效益：技術必須可以提供有用且具市場價值的產物，如能源及其他商業化或有潛力的產品。
- 殘餘廢棄物：技術必須不可產生任何殘餘廢棄物。

評估方法為該廠商若認為技術成果能通過項目評估則給予『YES』，反之則給『NO』，若是部分內容達成則給『Indeterminate』，最後並總評該廠商技術是否達成整體需求，其評估成果依照『YES』、『NO』之廠商數目統計如表 7-2。

表 7-1 對於氣化、熱裂解與電漿市售處理技術的研究與評析

廠商名稱	BRI-Energy	Dynecology, Inc.	Ebara Corporation	Ecosystem Projects, LLC	Eco Waste Solutions, Inc.	Emerald Power Corporation and Isabella City Carting Corporation	Entropic Technology Corporation
技術名稱	Gasification with fermentation to Produce Ethanol	Gasification with Briquetting of RDF, Combustion Turbine and Optional Methanol	Gasification-Fluidized Bed With Ash Vitrification	Gasification preceded by Briquetting	Waste Oxidizer	Gasification-Bioconversion Technology LLC(BCT) Pyrolytic Steam Reformer	Pyrolysis-Production of Synthetic Coal
成熟度	YES	YES	YES	YES	Indeterminate	YES	Indeterminate
操作容量	YES	YES	YES	Indeterminate	NO	Indeterminate	YES
可信度	NO	YES	TwinRec YES ICFG NO	Indeterminate	Indeterminate	NO	Indeterminate
環境規範	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
效益	YES	YES	YES	YES	Indeterminate	YES	YES
殘餘廢棄物	YES	Indeterminate	YES	YES	Indeterminate	YES	YES
總評	NO	YES	TwinRec YES ICFG NO	NO	NO	YES	NO

*預備期：技術必須有研究發展階段且有商業化操作經驗至少 10 年。

*殘餘廢棄物：技術必須不可產生任何殘餘廢棄物。

*操作容量：技術必須允許及操作每年至少 50000 噸的廢棄物。

*總評：此一技術是否已達到評估要求。

*可信度：技術必須有操作成功經驗如示範性工廠或商業化規模。

*環境規範：技術必須符合地方政府與中央政府相關環境法令的允許與規範。

*助益：技術必須可以提供有用且具市場價值的產物，如能源及或其他商業化或有潛力的產品。

表 7-1 對於氣化、熱裂解與電漿市售處理技術的研究與評析（續）

廠商名稱	GEM America, Inc.	Global Energy Solution	Global Environmental Technology, Inc	Innovative Logistics Solutions	Interstate Waste Technologies	Jov Theodors Somesfalean	Pan American Resource, Inc
技術名稱	Gasification-Thermal Cracking Technology	Gasification, Pyrolysis, and High Temperature Process	Gasification-Plasma Torch	Ultra-high Temperature Gasification	Gasification	Gasification and Pyrolysis	Destructive Distillation
成熟度	YES	YES	YES	Indeterminate	YES	YES	YES
操作容量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
可信度	YES	YES	Indeterminate	NO	YES	NO	YES
環境規範	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
助益	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
殘餘廢棄物	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
總評	YES	YES	NO	NO	YES	NO	YES

*預備期：技術必須有研究發展階段且有商業化操作經驗至少 10 年。 *殘餘廢棄物：技術必須不可產生任何殘餘廢棄物。

*操作容量：技術必須允許及操作每年至少 50000 噸的廢棄物。

*可信度：技術必須有操作成功經驗如示範性工廠或商業化規模。

*環境規範：技術必須符合地方政府與中央政府相關環境法令的允許與規範。

*助益：技術必須可以提供有用且具市場價值的產物，如能源及或其他商業化或有潛力的產品。

表 7-1 對於氣化、熱裂解與電漿市售處理技術的研究與評析 (續)

廠商名稱	PEAT International, Inc	Rigel Resource Recovery and Conversion Company	Startech Environmental Corp.	Taylor Recycling Facility, LLC	Thermogenics, Inc.	Zeros, Inc
技術名稱	Gasification-“Plasma Thermal Destruction and Recovery”	Westinghouse Plasma Gasification combined with MRF	Plasma Converter	Biomass Gasification with Upfront Sorting/Separation	Gasification	Zero-Emission Energy Recycling Oxidation System (ZEROS)
成熟度	YES	YES	YES	YES	Indeterminate	Indeterminate
操作容量	YES	YES	YES	YES	Indeterminate	YES
可信度	NO	YES	Indeterminate	YES	NO	Indeterminate
環境規範	YES	YES	YES	YES	YES	YES
助益	YES	YES	YES	YES	YES	YES
殘餘廢棄物	YES	YES	YES	YES	Indeterminate	Indeterminate
總評	NO	YES	NO	YES	NO	Indeterminate

*預備期：技術必須有研究發展階段且有商業化操作經驗至少 10 年。 *殘餘廢棄物：技術必須不可產生任何殘餘廢棄物。

*操作容量：技術必須允許及操作每年至少 50000 噸的廢棄物。

*可信度：技術必須有操作成功經驗如示範性工廠或商業化規模。

*環境規範：技術必須符合地方政府與中央政府相關環境法令的允許與規範。

*助益：技術必須可以提供有用且具市場價值的產物，如能源及或其他商業化或有潛力的產品。

表7-2 相關氣化、電漿處理技術評估統計結果

評析項目	YES (廠商數)	NO (廠商數)	Indeterminate (廠商數)
成熟度	15		5
操作容量	16	1	3
可信度	8	6	6
環境規範	20		
助益	19		1
殘餘廢棄物	16		4
總評	9	10	1

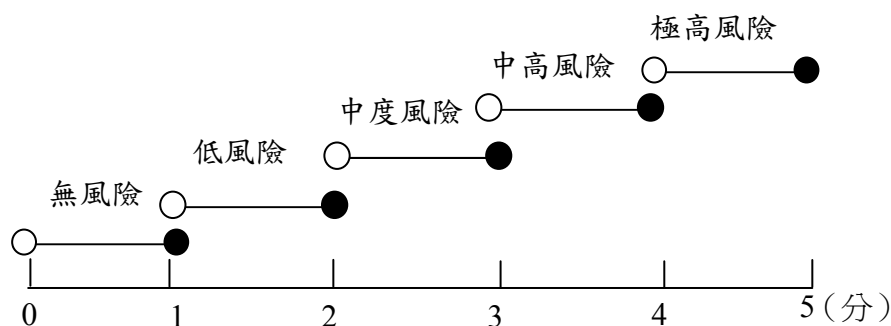
就上表之評估結果顯示，美國在相關氣化、電漿處理技術之成熟度方面，接受評估之 20 家廠商中，15 家廠商已達成「成熟度」評析項目之要求，其技術之研究發展階段與商業化操作經驗都至少 10 年，而「操作容量」每年至少處理 50000 噸之廢棄物，也有 16 家廠商達成此要求，且在「環境規範」中要求技術必須符合地方政府與中央政府相關環境法令的允許與規範，在此項目 20 家廠商都能依照其相關法令之規範而進行，而在「效益」與「殘餘廢棄物」評估項目，19 家廠商技術可提供有用且具市場價值的產物，16 家廠商技術無產生任何殘餘廢棄物，就上述而言，其美國相關氣化、電漿處理技術發展之可行性已有信心，但就其總評方面通過評估標準之廠商卻只佔半數，本研究分析其原因，在此評析過程中，該廠商若有任何一評析項目未通過或部分達成，尤其是「可信度」此評估項目，20 家廠商中只有八家廠商通過，部分完成有六家，未通過之廠商數目也高達六家，只要一項目未通過或部分完成，即在總評項目中被評析為『NO』，由此可見美國對各廠商

之相關氣化、電漿處理技術之評估的重視與嚴謹，因此許多廠商在示範性工廠或商業化規模之建構上仍有待努力，才能更加驗證此相關氣化、電漿處理技術發展之可信度，但就其評估項目之要求仍為我國相關重要之參考依據，因此，就國內電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性評估，將先針對工程、經濟與法規、環境指標因子加以評估，就環境、工程技術以及社會經濟層面進行深入探討。

7-2 我國電漿處理廢棄物轉化能源技術之評估

本研究係以蒐集廢棄物氣化技術之資料及技術特性分析與其優劣點比較；並探討分析國際上廢棄物氣化技術之成功經驗與趨勢及各項氣化技術之優劣特性分析，此外並進行國內電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性評估，需先針對工程、經濟與法規、環境指標因子加以評估。

評估範疇包括「工程」、「經濟與法規」及「環境」等三種指標因子，其中工程因子以「技術風險」和「商業化風險」為兩大評估要項；經濟與法規因子則以「產業風險」和「法規風險」為評估要項；最後環境因子則以「生態風險」和「健康風險」為評估要項。各評估要項分則包括 4~5 項之評估指標，總計 28 項。並將其依風險程度分為五個級數，「A」、「B」、「C」、「D」、「E」，詳（表一），本研究藉由專家學者就上述 28 項評估指標，依其風險程度之嚴重性分別評定出「A」（無風險）、「B」（低風險）、「C」（中度風險）、「D」（中高風險）、「E」（極高風險），最後按權重比例統計分析並做綜合評估，評估成果詳表 7-3，其風險評分標準如下：



0 < 無風險 ≤ 1 < 低風險 ≤ 2 < 中度風險 ≤ 3 < 中高風險 ≤ 4 < 極高風險 ≤ 5

表 7-3 電漿處理廢棄物轉化能源技術之評估因子與評估指標

評估因子		評估指標	風險等級					平均 風險	綜合 評估
			A	B	C	D	E		
四、工程 (Engineering)	技術 風險	(1)關鍵技術突破之困難度		2	6	1		2.4	中度
		(2)本土之技術能力配合程度		5	3	1		2.1	中度
		(3)材料與零組件供應能力		3	4	2		2.4	中度
		(4)技術整合困難度		2	4	3		2.6	中度
		(5)可預見的技術進展速度		3	6			2.2	中度
	商業 化 風險	(1)周邊環境與基礎設施之配合程度		5	4			1.9	低度
		(2)資金需求量與取得困難度		5	2	1	1	2.3	中度
		(3)達到商業化所需之製造技術與時間		2	6	1		2.4	中度
		(4)原料與零件取得之困難度		2	5	2		2.5	中度
		(5)操作、維護與訓練之困難度	1	1	5	2		2.4	中度
五、經濟與 法規 (Economy and Regulation)	產業 風險	(1)與國內外產品之競爭力			6	3		2.8	中度
		(2)產品使用之經濟效益			4	5		3.1	中高
		(3)對能源貢獻（供應或節約）之潛力	1	1	5	2		2.4	中度
		(4)帶動內需產業之潛力		4	2	3		2.4	中度
		(5)民眾對新技術使用之接受度	1	3	4	1		2.1	中度
	法規 風險	(1)推廣時新法規之需求度		5	3	1		2.1	中度
		(2)修訂現有的法規之困難度		3	4	2		2.4	中度
		(3)新法規產生之效益		4	4	1		2.2	中度
		(4)政府執行能力	1	2	6			2.1	中度
六、環境 (Environment)	生態 風險	(1)溫室效應影響	1	6	2			1.6	低度
		(2)污染排放量	1	5	2	1		1.8	低度
		(3)對水土與環境資源影響	1	7	1			1.5	低度
		(4)對動植物生態影響	1	7		1		1.6	低度
		(5)環境時間與空間影響 (污染之持續時間與擴散範圍)	1	6	2			1.6	低度
	健康 風險	(1)毒性/有害物質		7	1	1		1.8	低度
		(2)安全衛生		4	5			2.1	中度
		(3)職業災害		3	4	2		2.4	中度
(4)民眾之環保與健康意識		2	4	2	1		1.7	低度	

註：()內數字為權重比例

風險分數：「A」－ (0~1分)、「B」－ (1~2分)、「C」－ (2~3分)、
「D」－ (3~4分)、「E」－ (4~5分)

7-2-1 評估分析

電漿熔融是一項頗具發展潛力的應用科技，就本報告中所介紹之技術應用，將可有效解決國內有害事業廢棄物污染之公害問題，對於國內環保科技及產業技術均有長遠的正面影響。但就上述評估成果顯示出電漿熔融技術處理在「工程」、「經濟與法規」因子上風險較高，大部分之評估指標都落點於中度風險，尤以「經濟與法規」中之產業風險—「產品使用之經濟效益」為中高風險，可見其電漿熔融技術之成本效益待以加強，且依據本研究之平均風險評估分析，在「環境」之綜合評估方面，大部分評估指標項目都呈現於低風險，除「職業災害」此項目評估結果為「中度風險」，各指標項目平均風險程度之分佈詳圖 7-1，各評估因子造成較高風險之重要指標摘要如下：

一、工程(Engineering)

(1) 技術風險

- 關鍵技術突破困難
- 材料與零組件供應能力較為匱乏
- 技術難以整合

(2) 商業化風險

- 難以達到商業化所需之製造技術與時間
- 原料與零件取得不易
- 操作、維護與訓練困難

二、經濟與法規(Economy and Regulation)

(1) 產業風險

- 國內外產品競爭力大

- 產品使用之經濟效益不佳
- 對能源貢獻之潛力不佳
- 不易帶動內需產業之潛力

(2) 法規風險

- 難以修訂現有的法規

三、環境 (Environment)

(3) 健康風險

- 職業災害
- 安全衛生

7-2-2 結論與建議

以下針對各評估因子造成較高風險之重要指標提出建議：

一、建構電漿技術之應用

- (1) 建立電漿相關核心技術，以突破技術創新。
- (2) 建立電漿技術產業應用育成實驗室，以暢通材料與零組件供應之能力。
- (3) 建立國內/際電漿技術策略聯盟，以整合電漿技術。
- (4) 建立電漿熔融資源回收處理示範廠。
- (5) 加強職業訓練及宣導工作。

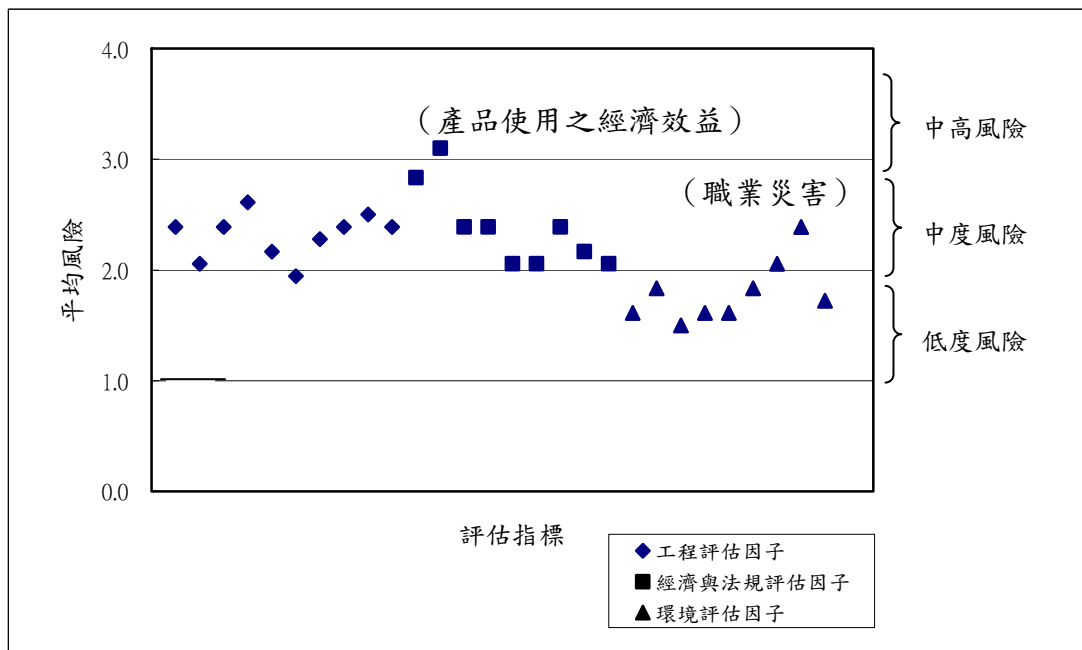
二、提升產品經濟效益之發展與訂定相關法規

- (1) 開發資源化技術創造高附加價值綠色產品，除可降低廢棄物處理淨成本外，並可提供永續經營的社會環境。
- (2) 拓展國內電漿技術相關產業應用領域，以加強產品競爭力。
- (3) 檢討相關管制之技術風險及能源使用標準。
- (4) 加強落實廢棄物之資源回收再利用及研擬電漿處理廢棄物轉化能源技術之相關法規。

三、降低健康風險與職業傷害

- (1) 檢討健康風險相關管制及安全標準。
- (2) 建立健康風險管理溝通機制。
- (3) 整合分析現有技術之評估項目，以研擬永續發展指標。

圖 7-1 電漿處理廢棄物轉化能源技術之綜合評估



第八章 結論與建議

8-1 結論

(一) 針對整蒐之國內廢棄物質與量統計分析結果，未來欲提高廢棄物之資源回收及妥善處理率，政府應推動：

1. 建立事業廢棄物基本資料：主要以質與量統計分析、廢棄物流向分布、資源回收與妥善處理率、處理成本等，以提供各項處理技術為參考指標。
2. 興建事業廢棄物處理設施：提昇現有處理設施營運功能，以促使事業廢棄物處理多元化-資源回收以及妥善處理，並且建立聯合／共同處理體系設置規範。
3. 訂定合理營運辦法：建立合理收費（費率）制度，並檢討修訂合約規範，以建立監督管理及稽核制度來評估檢討現有委外營運BOO、BOT 制度。
4. 落實監督管理體系：強化廢棄物管制中心設置功能，並建立電腦資訊化之監督管理體系，以有效建立評鑑與考核管理辦法。

(二) 一般而言電漿屬電熱非焚化程序，高溫電漿係藉電能輸進 Inert Gas

Argon)，溫度由 500°C-1300°C，隨著反應槽區間有所變化，基本上對有害廢棄物控制溫度 1300°C，即能有效處理；其在處理程序上分為三階段：

- (1) 第一階段（分解）：使分子廢棄物能解離成原子組成
- (2) 第二階段（氯化）：原子氯化形成新分子與元素
- (3) 第三階段（中和）：形成分子急速冷卻，以防制 Dioxin 或 Furan 等有害致癌性物生成

(三) Plasma-assisted Gasifier 技術具有

- (1) 領先之綠色技術，可有效安全地轉換“廢棄物”為“能源”。
- (2) 高溫電化學反應槽，有效率、清潔燃燒系統。
- (3) 產生之電可直接供應廠內或廠外使用。
- (4) 可處理各種不同廢棄物。
- (5) 配合需要可組裝成固定或移動式，但均能減少運輸成本與責任風險。
- (6) 進料與操作設備簡單。
- (7) 替代化石燃料，減少掩埋需求。

(四) 電漿技術在環境污染防治之應用為：

1. 空氣污染控制技術

將污染物轉變成無毒性的氣體，通常會在還原的環境下添加氫態還原劑，或使用碳氫化合物以提高處理效能及能源效

率；此外，對於高級材料製程中產生之全氟化物像是 NF_3 、 C_2F_6 、 CF_4 、 SF_6 等，更具處理能力。

2. 廢水處理

電漿具強化力能有效處理水中之微量有機物、藻類、揮發性有機物…等毒性有機物，亦可處理液態廢棄油、廢棄高耗氧物質及溶劑，其中所包含之所有毒性化合物包含 Cl、F、Br 等將被固定在鈣化合物上以回收再利用如路面建材。

3. 固體廢棄物處理

氧化/熔化式電漿主要可回收再利用之產物為建築材料及氧化金屬回收；而熱分解電漿通常是產生 syngases(混和 CO 、 CO_2 、 H_2 、HC 等氣體)供燃燒、鐵礦轉變或燃氣等使用；此外，電漿震動波可分解固體廢棄物使金屬、塑膠與無機性等物質分離以利回收。

(五) 針對美國 20 家廠商相關氣化、電漿處理技術，依其『成熟度』、『操作容量』、『可信度』、『環境規範』、『效益』及『殘餘廢棄物』等技術指標進行評析，發現其中有八家完全「通過」；其他不通過者主要係受限於其「可信度」與「操作容量」之績效不彰。

(六) 針對國內電漿處理廢棄物轉化能源技術之可行性評估，以 1. 工程因子：「技術風險」、「商業化風險」；2. 經濟與法規因子：「產業風險」、「法規風險」要項；3. 環境因子：「生態風險」和「健康風險」等 28 項評估指標發現在「環境」之綜合評估方面，大部分評估指標項目都呈現於低風險，而「工程」、「經濟與法規」因子上風險較高，大部分之評估指標都落點於中度風險，尤以「經濟與法規」中之產業風險—「產品使用之經濟效益」為中高風險，可見其電漿熔融技術之成本效益待以加強。

(七) 依據本研究之風險評估分析，針對較高風險應特別其重視之重要指標列舉如下：

四、工程(Engineering)

- (3) 技術風險—關鍵技術突破困難、材料與零組件供應能力較為匱乏、技術難以整合
- (4) 商業化風險—難以達到商業化所需之製造技術與時間、原料與零件取得不易、操作、維護與訓練困難

五、經濟與法規(Economy and Regulation)

- (4) 產業風險—國內外產品競爭力大、產品使用之經濟效益不佳、對能源貢獻之潛力不佳、不易帶動內需產業之潛力
- (5) 法規風險—難以修訂現有的法規

8-2 建議

以下針對各評估因子造成較高風險之重要指標提出建議：

一、建構電漿技術之應用

- (1) 建立電漿相關核心技術，以突破技術創新。
- (2) 建立電漿技術產業應用育成實驗室，以暢通材料與零組件供應之能力。
- (3) 建立國內外電漿技術策略聯盟，以整合電漿技術。
- (4) 建立電漿熔融資源回收處理示範廠。
- (5) 加強職業訓練及宣導工作。

二、提升產品經濟效益之發展與訂定相關法規

- (1) 開發資源化技術創造高附加價值綠色產品，除可降低廢棄物處理淨成本外，並可提供永續經營的社會環境。
- (2) 拓展國內電漿技術相關產業應用領域，以加強產品競爭力。
- (3) 檢討相關管制之技術風險及能源使用標準。
- (4) 加強落實廢棄物之資源回收再利用及研擬電漿處理廢棄物轉化能源技術之相關法規。

三、降低健康風險與職業傷害

- (1) 檢討健康風險相關管制及安全標準。
- (2) 建立健康風險管理溝通機制。
- (3) 整合分析現有技術之評估項目，以研擬永續發展指標。

參考文獻

1. Allied Environmental Technologies Inc., “Renewable Energy”
<http://www.alentecinc.com/renewable.htm>
2. Allied Environmental Technologies Inc., “Power Plant Development”
<http://www.alentecinc.com/power.htm>
3. Allied Environmental Technologies Inc., “Research & Development”
<http://www.alentecinc.com/r&d.htm>
4. Allied Environmental Technologies Inc., “Reference & Publication”
<http://www.alentecinc.com/reference.htm>
5. Allied Environmental Technologies Inc., “Waste Management”
<http://www.alentecinc.com/waste.htm>
6. Allied Environmental Technologies Inc., “Discrete Element Modeling(DEM)”
<http://www.alentecinc.com/dem.htm>
7. Plasma Environmental Technologies Inc., “Plasma Technology”, Burlington, ON
<http://www.plasmaenvironmental.com/main.asp>
8. PyoGenesis Inc., “Advanced Plasma Technologies”, Montreal, Canada.
<http://www.progenesis.com/home.htm>
9. Richard Lewis and Dave DeCato, ” Recovered Energy System”, Pocatello, Idaho, USA
<http://www.recoveredenergy.com/>
10. Westinghouse Plasma Corporation, “Plasma Gasification”
<http://www.westinghouse-plasma.com/gasif.htm>
11. Westinghouse Plasma Corporation, “Typical Westinghouse Plasma System”
<http://www.westinghouse-plasma.com/typplsys.htm>
12. A. Huczko, Plasma chemistry and environmental-protection-application of thermal and nonthermal plasmas, Czech. J. Phys. 45 (12) (1995) 1023–1033.
13. A. Matsuda, Plasma and surface reactions for obtaining low defect density amorphous silicon at high growth rates, J. Vac. Sci. Technol. A: Vac. Surf. Films 16 (1) (1998) 365–368.
14. B. Chapman, Glow Discharge Processes, Wiley, New York, 1980.
15. B. Murphy. Annals of the NY Acad. Scie.891, 106(1999)
16. C. Benndorf, P. Joeris, R. Kroger, Mass and optical-emission spectroscopy of plasmas for diamond synthesis, Pure Appl. Chem. 66 (6) (1994) 1195–1205.
17. C.G. Schwarzler, O. Schnabl, J. Laimer, H. Stori, On the plasma chemistry of the C/H system relevant to diamond deposition processes, Plasma Chem. Plasma Proc. 16 (2) (1996) 173–185.
18. C.H. Kruger, T.G. Owano, C.O. Laux, Experimental investigation of atmospheric pressure nonequilibrium plasma chemistry, IEEE Trans. Plasma Sci. 15 (5) (1997) 1042–1051.
19. Cheng TW, Chu JP, Tzeng CC, Chen YS. Waste Manage 2002;22:485–90.
20. Chu JP, Hwang IJ, Tzeng CC, Kuo YY, Yu YJ. J Hazardous Mater 1998;58:179–94.
21. D. Bendix and D. Hebecker, “ Energy Recovery from Waste and Plasma Conversion”, *High Temp. Mater. Process*, **7**, 2003, 435-454

22. D. Bendix, D. Hebecker, Energy Recovery from Waste and Plasma Conversion, High Temp. Material Processes 7 (2003) 435-454
23. D.L. Cocke, M. Jurcik-Rajman, S. Veprek, The surface properties and reactivities of plasma-nitrided iron and their relation to corrosion passivation, J. Electrochem. Soc. 136 (12) (1989) 3655.
24. de Marco Rodriguez, I.; Laresgoiti, M. F.; Cabrero, M. A.; Torres, A.; Chomó'n, M. J.; Caballero, B. Pyrolysis of scrap tires. Fuel Process. Technol. 2001, 72, 9-22.
25. Donaldson AD, et al. A review of plasma destruction of hazardous mixed waste, HTD. Heat Transfer Thermal Plasma Process ASME 1991;161:41–51.
26. E.J. Tonnis, J. Daniels, D. Graves, Point-of-use plasma abatement of PFCs: modeling and experiments, Bull. Am. Phys. Soc. 43 (1998) 1477 (abstract only)
27. Edbertho Leal-Quiros, "Plasma Processing of Municipal Solid Waste", *Brazilian J. Phys.*, **34**, 1587-1593, 2004.
28. Eddy TL, Parker DW, Donaldson AD, Reimann GA. Plasma destruction of hazardous mixed waste, 1990 IEEE International Conference on Plasma Science, 1990. p. 199 (IEEE Conference Record-Abstracts).
29. Erickson MD. Polychlorinated dibenzofurans and other thermal combustion products from dielectric fluids containing polychlorinated biphenyls. Environ Sci Technol 1989;23:462–70.
30. F. Adams, Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A 305 (1982) 509.
31. F.K. McTaggart, Plasma Chemistry in Electrical Discharges, Elsevier, New York, 1967, p. 1.
32. G. Artamonov. Apparatus for high temperature technology, M, 561(998)
33. Glocker B, Nentwig G, et al. A DC arc heated water steam plasma plant for CFC decomposition. Second International Symposium on Applied Plasma Science, ISASP 99, September 20–24, 1999, Osaka, Japan.
34. Glocker B, Nentwig G, et al. A test plant for treating hydrocarbons using steam plasma technology, The Plasma Thermal Project, Thermal Plasma Processes, St. Petersburg, 13–18 July 1998.
35. Glocker B, Nentwig G, Messerschmid E. 1–40kW steam respectively multi gas plasma torch. Vacuum 2000;59: 35–46.
36. Glocker B, Nentwig G, Messerschmid. Vacuum 2000;59: 35–46.
37. H. Biederman, Y. Osada, Plasma chemistry of polymers, Adv. Polym. Sci. 95 (1990) 57–109.
38. H. Matzing, K Woletz and H. R. Paw, "Abscheidnng von fluchtigen organischen Verbindungen (VOC) ans Abluft durch Elektronenstrahl", Statuskolloquium des PEF9., Karlsruhe vom 9-11, Maerz, Vorhanden in Kernforschungszentrum Karlsruhe: KM-PEF 104, pp, 445455,1993.
39. H. S. Park S. J. Kim, G. J. Bagryantzev, S. P. Vaschenko, V. P. Lukashov, S. N. Smykov. Plasma phys. and plasma tech., v. 2, 760(2003)
40. H. Saito, A. Fukunaga, M. Ohsato, Treating exhaust gas from semiconductor devicing system, Ebata Jiho 150 (1991) 82-92 (Japanese)

41. H.F. Winters, Phenomenon produced by ion bombardment in plasma-assisted etching environments, *J. Vac. Sci. Technol. A* 6 (3) (1988) 1997.
42. H.H. Saw, Abatement of PFCs in a plasma reactor using O₂ as an additive gas, *Bull. Am. Phys. Soc.* 43 (1998) 1475 (abstract only)
43. H.Huang, Lantang, Andc. Z. Wu, Characterization of Gaseous and Solid Product from Thermal Plasma Pyrolysis of Waste Rubber, *Environ. Sci. Technol.* 2003, 37, 4463-4467
44. H.V. Boenig, *Fundamentals of Plasma*, Technomic Publishing Co., Lancaster, 1988, p. 417.
45. Han QY, Herberlein J, Pfender E. Feasibility study of thermal plasma destruction of toxic wastes in a counter flow liquid injection plasma reactor. *J Mater SynthProc* 1993;1(1):25.
46. Hiroshi Nishikawaa, Masaki Ibeb, Manabu Tanakac, Masao Ushioc, Tadashi Takemotoa, Kazushi Tanakad, Naoki Tanahashid, Takusen Itoe, A treatment of carbonaceous wastes using thermal plasma with steam Vacuum 73 (2004) 589–593
47. Hrabovsky M, Monarad M, et al. Process and properties of electric arc stabilized by water vortec. *IEEE Trans Plasma Sci* 1997;25(5).
48. J. J, Sudnick and D. L. Corwin, "VOC Control Techniques", *Hazardous waste hazardous materials*, Vol. 11, No. 1, pp. 129-143,1994.
49. J. Jurewicz, A. Huczko, New trends in plasma chemistry: neutralization of wastes and pollutants, *Przemysl Chemiczny (Polish)* 76 (1) (1997) 3–7.
50. J. M. Veilleux, M. S. El-Genk, E. P. Chamberlin, C. Munson, J. FitzPatrick. *Annals of the NY Acad. Scie.*891, 174(1999)
51. J.S. Chang, Electromagnetic emissions from atmospheric pressure gas discharge, *Trans. IEICE Jpn E79* (1996) 447-456
52. J.S. Chang, K. Urashima, K.G. Kostov, Y. Okayasu, T. Kato, T. Iwaizumi, K. Yoshimura, Non- thermal plasma mixed PFC treatments, *Pacificchem Symposium on Plasma Chemistry and Technology for Green Manufacturing, Pollut. Ctrl Process. Appl.*, (2000) 1995 (abstract only)
53. J.S. Chang, Plasma Pollution control technology, *Proc. First Asia-Pacific Int. Symp. Basic & Appl. Plasma Tech.* (1997) 11-18.
54. J.S. Chang, R.P. Mohant, A status report on environmental applications of thermal plasma technology, *Metallurgical Industry*, The Metallurgical Society of CIM Press, Toronto, 1994, pp.119-132.
55. J.S. Chang, Recent development of gaseous pollution control technologies based on non-thermal plasma, *Oyobustsuri* 69 (2000) 268-277 (Japanese).
56. Jens Hetland, Steinar Lynum, and Sven Santen, "Sustainable Energy from Waste by Gasification and Plasma Cracking, Featuring Safe and Inert Rendering of Residues. Recent Experiences for Reclaiming Energy and Ferrochrome from the Tannery Industry." SINTEF Energy Research, Trondheim, Norway.
57. Jieshan Qiu a,b, Xiaojun He a, Tianjun Sun a, Zongbin Zhao a,b, Ying Zhou a,b, Shuhong Guo b, Jialiang Zhang b, Tengcai Mab, Coal gasification in steam and air medium under plasma conditions: a preliminary study *Fuel Processing Technology* 85 (2004) 969– 982
58. K. L. L. Vercammen, A. A. Berezin, E Lox and J, S. Chang, "Destruction of Volatile Organic Compounds by Non-thermal Plasmas, A Critical Review", *J, Adv. Oxid. Tech.*, Vol. 2, No. 2, pp. 312-329,1997.

59. K. Urashima, K.G. Kostov, J. G. Chang, Y. Okayasu, T. Kato, T. Iwaizumi, K. Yoshimura, Removal of C₂F₆ from semiconductor process flue gas by packed bed plasma-adsorbent hybrid system, 1999 Conf. Rec. IEEE IAS Meet. 2 (1999) 1136-1143
60. K.L.L. Vercammen, A.A. Berezin, F. Lox, J.S. Chang, Destruction of volatile organic compounds by non-thermal plasma, J. Adv. Oxid. Tech. 2 (1997) 312-319
61. K. Urashima, J.S. Chang, Removal of volatile organic compounds from airstreams and industrial flue gases by non-thermal plasma technology, IEEE Trans. Dielectr. Elect. Insulat. 7 (2000) 602-614
62. Kezelis R, Juskevicius R, Mecius V. Ann N Y Acad Sci 1998;891:43–8.
63. Kuniko Urashima, Jen-Shih Chang, Removal of Volatile Organic Compounds from Air Streams and Industrial Flue Gases by Non-Thermal Plasma Technology, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 7 No. 5, October 2000
64. L. Tang, H. Huang, Plasma Pyrolysis of Biomass for Production of Syngas and Carbon Adsorbent, Energy & Fuels 2005, 19, 1174-1178
65. L. Tonks, I. Langmuir, Phys. Rev. 33 (1929) 195.
66. Lan Tang, H. Huang, Zengli Zhao, C. Z. Wu, and Y. Chen, Pyrolysis of Polypropylene in a Nitrogen Plasma Reactor, Ind. Eng. Chem. Res. 2003, 42, 1145-1150
67. Lien-Te Hsieh, Guor-Cheng Fang, Hsi-Hsien Yang, Ya-Fen Wang, Meng-Chun Tsao, Effect of input power and feeding concentration on MTBE decomposition using an RF plasma reactor Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 77:195-204
68. M. Arquilla, F. Bartoszek, J.S. Chang, I. Gallimberti, in: J. Harry (Ed.), Reduction of NO_x in medium pressure process flue gas by plasma activation of nitrogen and ammonia, Proc. 11th Int. Symp. Plasma Chemistry, Quorn Selective Repro. Ltd, Loughborough, 1993, pp. 592-597
69. M.I. Vdovenko, S.S. Ibraev, V. Messerle. Plasma gasification and pyrolysis of high ash coal, 1987, 109
70. P. Chartier, G.L. Ferrero, U.M. Henius. Proc. 9th EU Bioenergy Con., Vol.3, (1607)1996
71. P. Fauchais, J.F. Coudert, M. Vardelle, in: O. Auciello, D.L. Flamm (Eds.), Plasma Diagnostics, Vol. 1, Academic Press, Boston, 1989, p. 349.
72. P. Friedel, S. Gourrier, Review of oxidation processes in plasmas, J. Phys. Chem. Solids 44 (5) (1983) 353–364.
73. P. Pfender, Thermal plasma processing in the nineties, Pure Appl. Chem. 60 (5) (1988) 591.
74. P.H. Singer, Pre-pump scrubbers simplify maintenance and improve safety, Semicond. Int. March (1992) 1-3
75. P.P. Ward, Plasma cleaning techniques and future applications in environmentally conscious manufacturing, SAMPE J. 32 (1) (1996) 51–54.
76. P.T. Anastas, T.C. Williamson (Eds.), Green Chemistry: Designing Chemistry for the Environment, ACS Symposium Series 626, American Chemical Society, Washington, DC, 1996.
77. Ph. Bertrand, M. Ignatiev, G. Flamant, I. Smurov, Pyrometry applications in thermal plasma processing, Vacuum 56 (2000) 71}76
78. Ph. G. Rutberg, A. N. Bratsen, and A. A. Ufimtsev, “Plasmochemical Technologies for Processing of Hydrocarbonic Raw Material with Syngas Production”, *High Temp. Mater.*

- Process*, **8**, 2004, 433-445
79. Polak LS. Plasma usage in chemical processes, vol. 255. Moscow: Mir Publishers, p. 1970.
 80. R. Gottscho, M. Mandich, Time-resolved optical diagnostics of radio frequency plasmas, *J.Vac. Sci. Technol.*3 (1985) 617.
 81. R. Juskevicius. P. Valatkevicius. *J. Power engineering* 4, 24(1997)
 82. R. Kezelis, R. Juskevicius, V. Mecius. *Heat and Mass Transfer under Plasma Conditions*, vol.891, (43)1999
 83. R. Kezelis, V. Mecius, V. Valinctute, V. Valincius, *Waste and Biomass Treatment Employing Plasma Technology, High Technology Plasma Processes* 8 (2004) 273-282
 84. R. Zanzi, K. Sjostron, E. Bjombom. *Proc. 8th EU Biomass Con., Vol.3, (1992)*1994
 85. Ramachandran K, Kikukawa N. Plasma in-flight treatment of electroplating sludge. *Vacuum* 2000;59: 244–51.
 86. Roy, C.; Chaala, A.; Darmstadt, H. The vacuum pyrolysis of used tires: end-uses for oil and carbon black products, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 1999, 51, 201-221.
 87. Rutberg, P. G. Plasma pyrolysis of toxic waste. *Plasma Sources Sci. Technol.* 2002, 11, A159-A165.
 88. S. Veprek, *Chem. Phys.* 57 (1972) 952.
 89. S. Veprek, Plasma-induced and plasma-assisted chemical vapor deposition, *Thin Solid Films* 130 (1985) 135.
 90. S. Veprek, Plasma-induced and plasma-assisted chemical vapor deposition, *Thin Solid Films* 130 (1985) 135.
 91. S.D. Fedoseev, A. B. Cemisev. *Gasification of solid fuel*, 1960, 48
 92. Seok-Wan Kima, Hyun-Seo Parkb, Hyung-Jin Kimc, 100kW steam plasma process for treatment of PCBs (polychlorinated biphenyls) waste, *Vacuum* 70 (2003) 59–66
 93. Shigeru Futamura, Aihua Zhang, Hisahiro Einaga, Hajime Kabashima, Involvement of catalyst materials in nonthermal plasma chemical processing of hazardous air pollutants, *Catalysis Today* 72 (2002) 259–265
 94. Snyder HR, Fledderman CB, Gahl JM. Destruction of acetone using a small-scale arcjet plasma torch. *Waste Manage* 1996;16(4):289–94.
 95. T. Oda, Non-thermal plasma processing for environmental protection:decomposition of dilute VOCs in air, *Journal of Electrostatics* 57 (2003) 293–311
 96. V. Yu. Khomich, I. I. Kumkova, and Yu. A. Zheleznov, “A new experimental technique for investigation of plasma generated with plasmotrons in electrophysical installatons.”, Scientific Instrumentation Center of Institute of Problems of Electrophysics of the Russian Academy of Sciences.
 97. V.I. Koriakin. *Thermal decomposition of wood*, 1962
 98. Wald S, Pokryvailo A, et al. Hazardous waste treatment and recovery of valuable products witha thermal pulsed plasma technology. *IEEE Trans Plasma Sci* 2000;28(8):1576–80.
 99. Y. Aoyagi, K. Shimamura, Thermal oxidation flue gas treatment system, *Zosui Gijutsu* 18 (1991) 1-5 (in japanese)
 100. Yin, X. L.; Zhao, Z. L.; Xu, B. Y.; Wu, C. Z.; Chen, Y. Effect of dolomite and limestone on waste tire pyrolysis. *J. Fuel. Chem. Technol.* 2001, 29, 283-285 (in Chinese).

101. Z.L. Petrovic, T. Makabe, Nonequilibrium plasmas for material processing in microelectronics, Adv. Mater.Proc. 282 (2) (1998) 47-56.

1. 行政院環境保護署，” 八十七年統計資料”
<http://www.epa.gov.tw/main/index.asp>
2. 蔣本基、盛世慧、吳南明、李公哲，”工業廢棄物處理之問題與對策”，國立台灣大學環境工程研究所，民國 90 年。
3. 經濟部工業局，「工業廢棄物清除處理推動方案（草案）」，民國89年3月。
4. 行政院環境保護署，” 臺灣地區垃圾清運狀況--處理方式(年)”
<http://www.epa.gov.tw/main/index.asp>
5. 行政院環境保護署，” 總計垃圾焚化廠操作營運情形(年)”
<http://www.epa.gov.tw/main/index.asp>
6. 行政院環境保護署，” 臺灣地區垃圾清運狀況--清運方式或回收管道(年)”
<http://www.epa.gov.tw/main/index.asp>
7. 經濟部工業局，” 縣市統計資料”
<http://www.mocaidb.gov.tw/portal/index.jsp>
8. 事業廢棄物申報系統
http://waste.epa.gov.tw/prog/Ctrl_Page.asp
9. 經濟部工業局，” 八十九年各縣市工業廢棄物現況產量推估”，民國 90 年。
10. 行政院農委會提供，” 89 年農業廢棄物產出及處理狀況”，民國 90 年 4 月。
11. 台灣地區市鄉鎮垃圾水肥清理狀況調查資料。
12. 中華民國台灣地區環境保護統計年報、內政部統計資料庫。
13. 行政院環境保護署，” 一般事業廢棄物中間處理及最終處置推動方案”，民國 89 年。
14. 行政院主計處，” 台灣地區綠色國民所得帳編制結果報告”，民國 92 年。