

德國垃圾熱分解試驗廠簡介

蔡 國 璋^{*} 譯

一、前 言

低溫垃圾熱分解為處理各種型式垃圾之一種方法，並且能夠利用熱分解之熱量產生電力，同時可避免有機污染物質與有毒金屬等諸項問題。西德 Kraftwerk Union 因而在 Goldshöfe 建立一座先導型電廠，先行測試此種構想。

目前對各種型式之垃圾其所採取之處置方法諸如：拋棄、焚燒、分類，家庭垃圾堆肥，這些都變成是國內大眾日益爭論的重點。垃圾熱分解（在缺氧狀態下，有機物質之熱分解，為處理垃圾之一種方法）刻正由 KWU 環境工程公司提供。

1984~1985期間西德於 Goldshöfe 興建垃圾熱分解廠，進行全盤機械與程式工程測量及排放分析，同時來自各地之學者與專家，皆參與這些實驗計畫。KWU 先導型廠所進行之探討，不僅證明了家庭垃圾可以利用熱分解加以處理，同時也證明大件垃圾、工業與商業垃圾及污穢沉積物皆可用此方法加以處理。

目前刻正進行多項研究計畫，俾進一步探討此種熱分解技術對特種垃圾處理之可行性。Bavarian 技術檢驗局 (TUV) 所進行之研究指出：KWU 热分解適合作為焚燒之可行替代方案。此項研究並詳細列出熱分解程序配合着焚化廠，用以處理家庭垃圾，並將其優缺點以表列出。研究之重點在於探討工程、功能、信賴度、能源質量平衡、環境諧合性與安全等諸項問題。

二、垃圾處理

利用垃圾車將垃圾運到熱分解廠，並將垃圾倒入垃圾貯存倉（如圖 1 所示）。此座垃圾貯存倉相當大，足以供給此廠三天的燃料。

此廠並裝有磁鐵抓取系統，用來抓取進到貯存倉前垃圾中之大塊金屬，諸如汽車引擎或洗衣機，以避免此等大塊金屬轉入切割與裁剪輶輶機內。在垃圾尺寸裁剪或切割以前，利用分離倉將大件垃圾加以處理，並再送入原先之垃圾中。

利用切割機和裁剪機可將垃圾尺寸減到10到15公分。在分割垃圾倉前端，裝有一只磁性分離器，可將鐵金屬材料剔除，並使這些金屬材料能夠回收使用。垃圾在傳送及貯存過程中，再進一步被均質化處理，可以減少卡路里值之差異。此電廠具有能提供連續穩定能源之優

* 經濟部能源委員會工程師

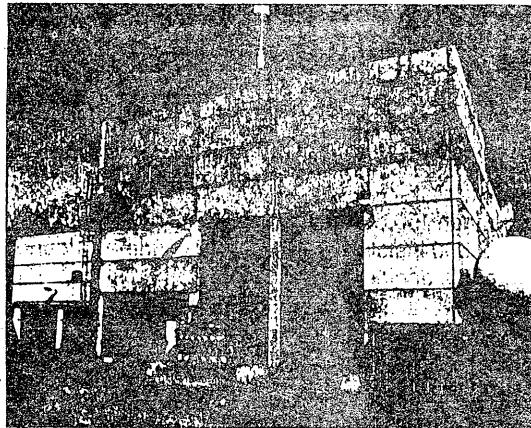


圖 1 Refuse delivery at Goldshöfe

點。

假如廠內亦處理污水廠之污泥時，則須有一個傳送用之中間貯槽，並以傳送帶將污泥直接送至加料倉 (chargingbin)，在此倉中與垃圾能充分混合。

利用一個加料螺旋泵浦將垃圾由加料倉中將垃圾飼入鼓狀熱分解旋轉窯內。此套螺旋飼給設計係將切碎垃圾壓密並推入熱分解窯，同時並防止空氣進入鼓狀旋轉窯中。以確保在此熱分解過程階段，大氣空氣被隔離。

三、熱分解旋轉窯

垃圾運到鼓狀熱分解旋轉窯中，將停留約60至90分鐘，然後再加熱至約 450°C 。垃圾加料後在旋轉窯中逐漸氣化，如圖 2 所示。燃燒氣體約 650°C 通過四只軸向之熱交換管，旋

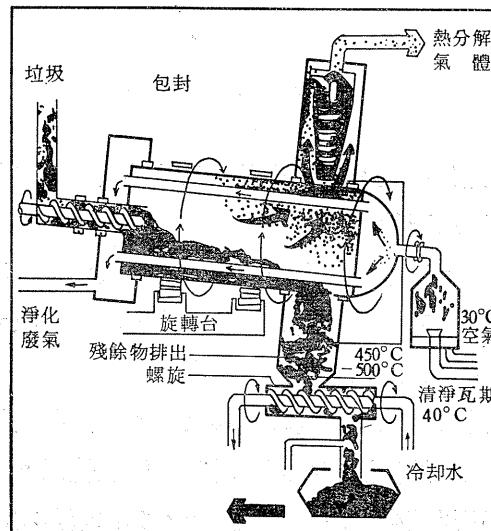


圖 2 Ryrlysis retort

窯之轉速為 4rpm，而且熱交換管之配置應確保垃圾於旋轉窯中充份混合。此項間接加熱構造可以有效地將熱氣與垃圾相隔離。

隔離空氣將會造成窯中氣壓減低，此可防止垃圾中重金屬之氧化。防止金屬汽化之最高熱分解溫度約為 500°C 热分解氣體中不會伴隨著重金屬，同時這還能使後面之廢氣洗滌系統減少或熱分解氣體燃燒後之排氣免除洗滌。

固體熱分解殘留灰燼物在旋轉窯之下端排出，螺旋輸送系統係將殘留物送至貯存倉中，經淬火後，殘留灰燼物被運到一般垃圾場處分。

四、氣體分餾

來自旋轉窯之熱分解氣體，通過旋風塵粒分離器再進入氣體分餾器內，分餾器係由燃燒器、反應室與連續式焦炭飼床所組成。

氣體分餾器（如圖 3 所示）之主要功能，係將熱分解氣體中之高分子重量元素在 1050°C 時分餾，產生乾淨合乎環保要求之煙道氣體。此種氣體主要係由一氧化碳、二氧化碳、氫、甲烷、氮與水蒸汽等所組成。

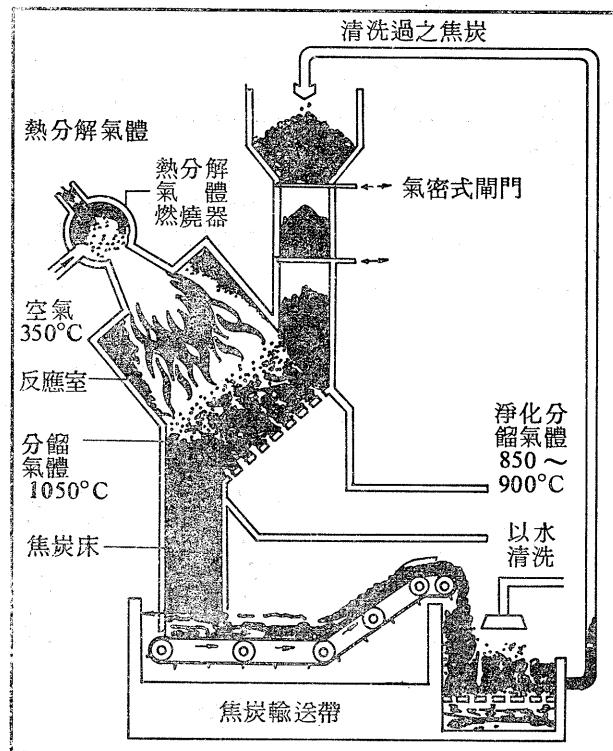
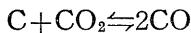
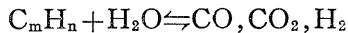
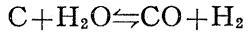


圖 3 氣體分餾器

產生的焦油及其他有機物質，其內含物中除碳外、氧、氮、硫份，都可被分解，因而可以降低焦炭清洗廢水中之有害污染物之累積量。熱分解氣體與水蒸氣之氧化反應，可利用反

應器內之高溫，予以防止。也就是說，熱分解氣體中之水汽，經由水一氣反應，將暫態的碳轉換。轉態炭經由水氣反應，並利用熱分解氣體中之水汽轉換。

依據溫度，此項 Boudouard 反應可能產生或消耗炭量：



焦炭床可經由水氣反應，依熱力式淨化此氣體，移除塵粒並濃化氣體。垃圾中之塵埃顆粒，將會逐漸減少焦炭床之有效表面積，因而導致壓力損失之增加，最後將使表面必須予以更新。

帶有塵粒之焦炭將自焦炭床底被連續地移除，並進一步洗滌後再循環使用。分餾器之熱量，係由熱分解氣體之次化學當量之部份燃燒輸入，反應室之尺寸與氣體之速度，務使氣體分餾器之性能為最佳化；當分餾氣體通過灼熱之焦炭床時，其溫度約為 850~900°C，在熱交換器之下端，此分餾氣體被冷卻至約 350°C。

五、氣體淨化

此套附屬系統包含了兩套熱交換器。自第一套熱交換器中所抽取之能源，用以加熱電廠中蒸汽系統之給水，或送入社區暖氣系統。同時用於熱分解氣體燃燒之空氣，則在第二段（空氣預熱器）中，先予預熱。

冷卻分餾氣體離開熱交換系統，然後經由後段的幾道程序加以淨化，如圖 4 所示。氣體洗滌階段中所噴射的洗滌液，將再冷卻此分餾氣體。此洗滌液在乾燥器中心之噴霧圓盤上被交錯或平行噴灑，同時在乾燥器之滯留時間選定，務必使得液體顆粒到達乾燥器壁前能夠完全乾燥。

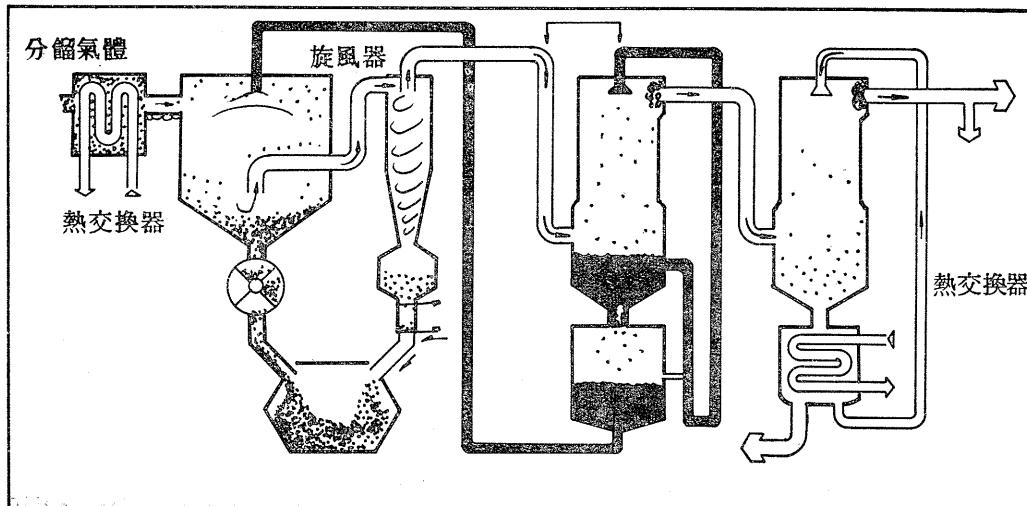


圖 4 氣體淨化系統佈置圖

在乾燥過程中之累積產物將自乾燥器之底部移除，同時在此階段利用過量鹼性物質，將酸性物質予以中和。分餾氣體然後進入高效率旋風器，使得氣體中之塵粒與微塵完全移除；被去除之塵粒由氣閥 (air lock) 送入一個可更換的貯槽中，氣體中更微小的塵粒與微塵，利用複合式文氏氣體洗滌器 (Combined Venturi gas Scrubber) 予以阻絕、收集及濃縮。洗滌器中水份之鹼度，可以消除任何氣體污染物，諸如 HCl, HF, H₂S, HCN 及 NH₃。

六、洗滌器中之逆流 (Counter flow)

此項過程中之反應及沉澱動力視洗滌器中之逆流特性而定。此為決定最大之反應效率與移除塵粒之重要因素。淨化氣體自文氏洗滌器排出之淨化氣體，其中含水份達飽和狀態，然後再進入冷卻及冷凝階段，其溫度在露點以下。

所聚集之冷凝水為低鹽度，當其酸鹼值 (pH 值) 調整後，可作為廠房中之其他程序用水，同時淨化分餾氣體可供多種用途，包括加熱旋轉窯。

過多之淨化分餾氣體可以用於蒸汽產生器，或生產過熱蒸汽。此蒸汽然後可以用於發電與驅動蒸汽渦輪機及區域加熱之用，或未供區域加熱之用。附屬飼水蒸汽循環之熱貯存容量，極為重要，因其功能在於緩和淨化氣體熱值之短時間的波動，使其變化更趨平穩，同時淨化氣體也可作為附近工廠之能源來源。

七、工廠適用性

KWU 業已發展一套多變模組構想，可將廠房容量調整，以符合特定廠址之需求。施工計畫適用於每小時出力為 $2 \times 3, 2 \times 5, 2 \times 7, 2 \times 9$ (t/h) 及其他組合之電廠。圖 5 所示為廠房

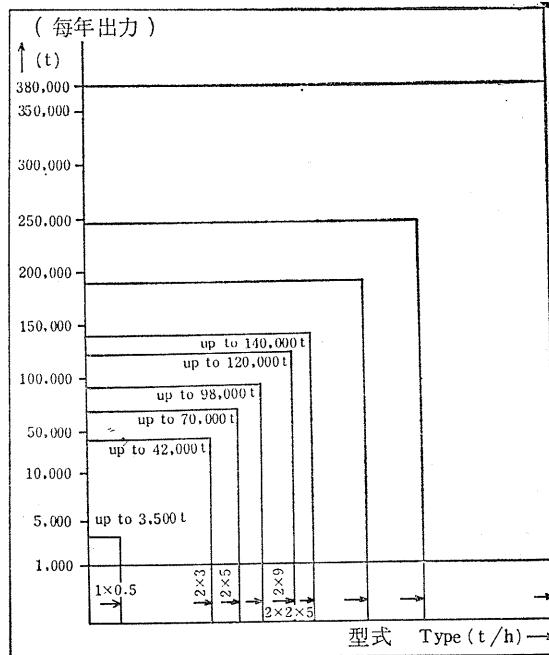


圖 5 標準廠房尺寸

容量之決定，係依據將予處理之垃圾容量而定。1985年時 Goldshöfe 廠在六個月連續運轉之期間內，其工廠平均適用率為百分之八十九（89%），同時在此段期間內，學者與專家亦量測此廠之污染排放量，此等量測值經分析後顯示：遠低於德國空氣污染控制法規TA-Luft 之限值以下。

表1 中間欄表示1986年2月27日所規定之 TA-Luft 法規熱分解電廠排氣之容許極限值，右欄係表示 Goldshöfe 廠所量測之數值，均較 NO_x、CO、HCl、HF 規定限值低得很多。

表1 污染量

元 素	限 值	量 測 值
Dust	30	0.6-1.2
C _n H _m	20	below threshold
HCl	50	2.2-7.2
HF	2	0.06-1.027
SO ₂	100	40**
NO _x	500	66**
CO	100	29**
Class I heavy metals: (Cd, Hg, Ti)	≥0.2	≤0.001*
Class II heavy metals: (As, Co, Ni, Se, Te)	≥1.0	≤0.001*
Class III heavy metals: (Sb, Pb, Cr, Fe, Cu, Mn, Pt, Pd, Rh, V, Sn)	≥5·0	≤0.001-0.002*

* AAS limit values for these elements

** Average values measured during full load operation in the winter of 1985

茲將 Goldshöfe 廠所量測之數值，其一般結論摘述如下：

(1)殘留物毒素滲出之傾向很低，特別是大部分的重金屬。

(2)殘留物中所含之有機物質極為微少（水及CO₂為主要揮發物質，所以有機化合物之可燃性部份，在總重量中所佔之比率約低於 0.3%，此項比率不含戴奧辛、呋喃（furans）及PAH）。

(3)經洗淨之物質主要是硫酸鹽與氯化物。

垃圾場之滲出水量僅含微量的有機化合物與重金屬。殘留物與重金屬及有機物質吸附之親和力，可以用來作為處理污染廢水之原動力，至於其他廢棄物與殘留物之混合，均在控制

限值之內。

殘留物中所含之炭量可以結合重金屬，且不溶於水，這可以解釋以上所談的低度殘留於殘餘物滲出液中。並且可以將此等殘餘物處置於任何家庭垃圾場。

熱分解並不是用來開發垃圾中所含炭份之熱量，而是使其結合污染物；不抽取垃圾中之全部潛在能源，將可降低環境之衝擊。

八、工廠操作情形

表 2 列出熱分解過程中各種金屬之測定結果概況。此廠之特性如下所示：

表 2 熱分解過程中金屬之狀況

垃圾中金屬含量	殘留物中重金屬量	酸性殘留物	排放限值
鋁	3000-7000	0.01-0.12	10
鎳	420-460	0.03-0.25	10
鎘	3-30	0.002-0.0014	1
鐵	8000-16000	0.006-0.2	10
鋅	1500-2900	0.003-0.012	5
汞	0.1-1.6	0.0005	0.05
銅	100-450	0.0005	2
鉻	190-460	0.0005	0.5-2
鎳	90-270	0.0005	3
錫	180-490	0.0005	5
鉛	600-1900	0.0002	2

(1)排氣或殘留物所造成之環境污染量極低。

(2)非常清楚地界定污染點，僅有排氣與殘餘物。

(3)從排氣進入排放口，沒有排放污染物之轉移。

所採取之所有樣本中均不含戴奧辛及呋喃(furans)，排氣中所含之氯化碳氫各種異構體，經檢測後係以 ng/Nm³ 表示濃度，2,3,7,8 四氯二苯戴奧辛之高度毒性化合物並未檢測。氣體分餾器與煙道氣燃燒室及淨化氣體燃燒之兩段高溫燃燒，將會破壞所有含氯碳氫化合物。熱分解中不含氯氣正意謂着被洗滌之氣體含量，若與焚化廠之洗滌氣體含量相比將會少得很多。

圖 6 為熱分解模型廠之內部概況。自成本效益觀點來看，洗滌器系統之投資費用極低，但洗滌效率極高。因缺乏空氣，重金屬難以氧化，並在殘留物中形成非毒性物質。吸附作用會使重金屬與殘留物中之炭份結合，此碳之作用極像活性炭。因為殘留物之體積遠較原先垃圾之體積為小，因此垃圾場之有效使用年限得以延長。

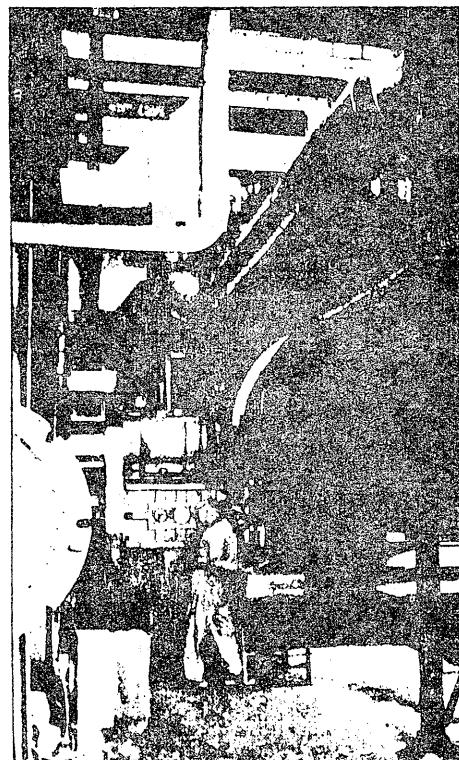


圖 6 熱分解先導型廠內部概況

(本文摘譯自 Refuse Pyrolysis tested at Goldshöfe)

(原作者為 Mr. Berwein and Mr. Aurin, FRG)