

## 九、廢棄(垃圾)分析理論

### 9.1 物理性質

1. 物理組成 (physical composition) 也稱物理成分，了解廢棄物組成百分比、可燃物及不燃物之相對比例，進一步可作為資源回收利用及工程規劃設計之參考。
2. 容積密度 (bulk density) 也稱為單位容積重，其單位為  $\text{kg}/\text{m}^3$ ，單位容積重大者，常多水分及無機物。單位容積重小者 ( $\because$  密度)，如紙、塑膠，其熱值較大。

容積密度之測定方法為將樣品之重量除以樣品之外觀體積即為容積密度。若廢棄物置於容器中能用幾何方式算出容器之體積，則僅須測定樣品之重量即可得之，但廢棄物採樣時可能改變其外觀形態者需加以適度修正，才可測得較具代表性之容積密度。通常測定容積密度之實際做法是用一固定容積之容器盛裝樣品，再經由適當之壓實後稱重，最後以重量除以體積即為容積密度。詳細測定方法參見 10.2 節或附錄二。

3. 比重 (specific gravity)

比重之定義為標準狀況下 (1 atm. 4°C) 物質與同體積純水之質量比，但實際運用於廢棄物特性分析時，大多採用假比重或單位容積重之方法來測定廢棄物之比重。假比重係指同體積廢棄物與純水之重量比，而單位容積重則為單位容積廢棄物之重量，又稱容積密度 (bulk density)。廢棄物之比重資料可做為重量容積間之換算因子，另可由此資料大略推估廢棄物之發熱及組成成分之特性。由於廢棄物之物理型態不同，所採用之比重測定方法亦不盡相同，以下介紹幾種常用之廢

棄物比重測定方法。

(1) 比重瓶法

適用於液體可將廢棄物孔隙內空氣趕出者，多孔性廢棄物樣品則需先用真空泵抽真空後再加入液體。使用之樣品量視比重瓶大小而定。

(2) 排液體積法

已知重量之樣品放入液體中，液面上升增加之體積即為樣品之體積，樣品重除以上升之液體重即為比重。適用於比水重之固體廢棄物測定。

(3) 浮力原理法

固體在液體中所受之浮力等於固體排開液體體積之重量，故固體重除以排開液重即為比重。適用於比重小於水之固體廢棄物測定。

(4) 比重計法

均質液體可用已標定好之比重計測其比重，使用時可將比重計置入液體中，由比重計在液面處之刻度讀出液體之比重，液體溫度對比重之影響可由精密溫度計測得後加以修正。

4. 黏度 (viscosity)

黏度及固體顆粒含量為決定液體廢棄物焚化條件的重要因素。其數據除可供液體輸送動力需求之計算外，亦可供給噴注燃燒器之霧化器選用及操作時之依據。通常動黏度在 1,000centistoke 以下者可用泵及管線輸送，如果動黏度 (dynamic viscosity) 過高時，則應考慮加熱（使黏度降低）或採用其他特殊之輸送方式，黏度之測定可用黏度計。

5. 其他：如閃火點、粒徑、壓密性、pH 值、相容性等，提供貯存及混合操作上之設計依據。

## 9.2 化學性質

### 1. 廢棄物三成分分析

廢棄物之三成分指水分、灰分及可燃分。在廢棄物焚化處理時，三成分為質量平衡計算中最基本的資料。但由於廢棄物之物理形態不同，三成分亦有複雜的變化，如水分亦可分成化合物水、結晶水、吸附水和吸收水等，可燃分中含有揮發性物質和固定碳等，至於灰分則有純灰分和焚化灰份等多種形態。

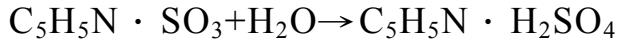
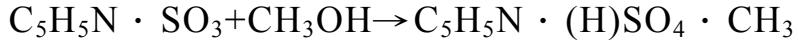
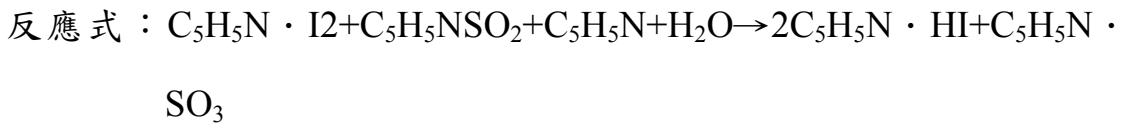
#### (1) 水分之測定

廢棄物中之水分型態可大致分成化合水、結晶水、吸收水和吸附水等四種；由於各種水之分離方式不同，加上揮發性物質之干擾，使得絕對水分之測定非常困難。一般水分之測定分為下列二類：

##### A. 直接法 Karl Fischer 法

###### • Karl Fischer 水分測定法

反應試劑：碘、二氧化硫、吡啶（Pyridine）、甲醇。



優點：  
• 對水分之測定非常敏銳。

• 極少量的水分存在，仍能測出。例如含有 10mg~50mg  
水分之樣品為一般正常取樣之樣品，但據實驗之結果顯  
示即使水含量在 2mg~5mg 之間亦可精確測出。

• 操作迅速且正確，無揮發性物質之干擾。

缺點：  
• 試劑經常變化，常常要標定過才能適用。

- 整個操作系統要在密閉系統內以防空氣中水氣之侵入。
- 需要設備，一般實驗室之能力難以購置。

## B. 間接法

(A) 乾燥法：將定量樣品置於  $105^{\circ}\text{C}$  循環送風之乾燥箱內，在一定時間後，取出樣品其損失之重，即為水分之重。適用於一般廢棄物水分之測定。(見圖 9.1)

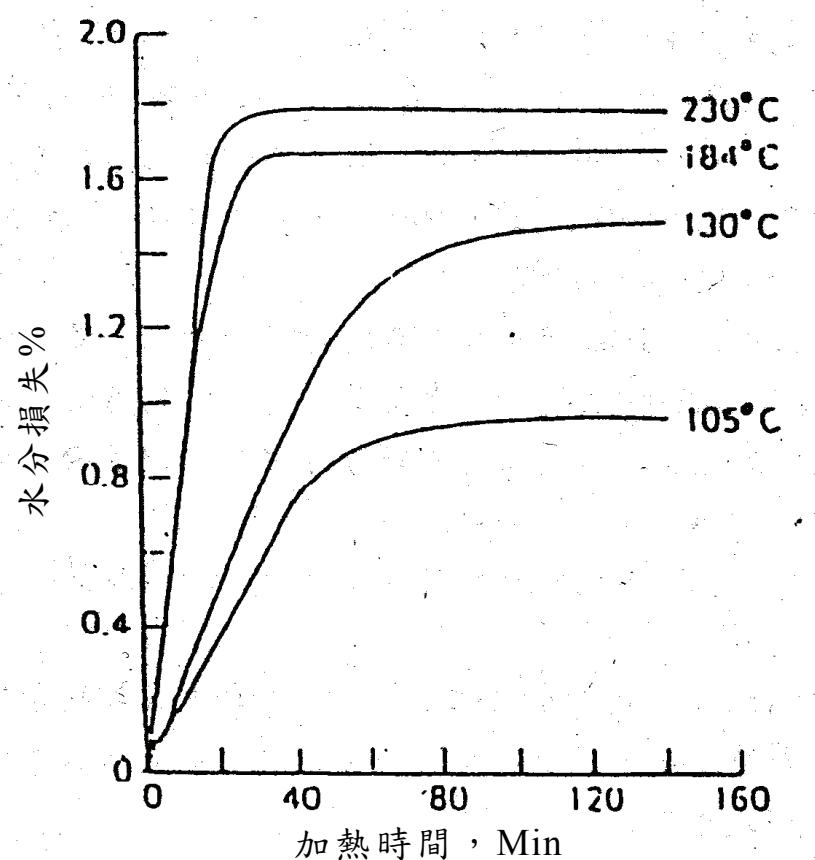


圖 9.1 烘乾溫度與水分散失量之關係

適用限制：

- 樣品在  $105^{\circ}\text{C}$  時不會揮發。
- 樣品在  $105^{\circ}\text{C}$  和固定時間內可烘出大部份水分。
- 樣品在  $105^{\circ}\text{C}$  時不會發生化學變化而增、減重量。
- 一般作水分測定之烘乾溫度為  $105^{\circ}\text{C}$ ，但有時亦有特殊情

形，例如  $\text{NaFSiO}_6$  設定乾燥之溫度在  $45^\circ\text{C}$ ，如超過  $\text{Na}_2\text{FSiO}$  將會分解。

(B) 蒸餾法：將樣品置於密閉容器中加溫蒸餾，然後以容積法、Karl Fischer 法或氣體層析儀測定蒸餾液之水分量。特別適用於油脂中水分之測定。

- a. 蒸餾之水分不與其他物質混合時，可用容積法或 Karl Fischer 法測水分量。
- b. 蒸餾液呈完全混合狀，則以氣體層析儀或 Karl Fischer 法測水分量。
- c. 蒸餾液為不完全混合狀，則用 Karl Fischer 法測水分量

## (2) 灰分測定

樣品烘乾後或使用原樣放置於坩鍋中，以高溫灰化爐灰化，灰化溫度視分析需要而定。灰化爐需有強制通風設備，以確保樣品充分燃燒。理論上樣品通風狀態下，應可將可燃分完全燃燒掉，但由於灰化溫度不夠或無法攪拌，灰化之灰分中含有可燃物質，此與焚化殘渣含有可燃分之情形相同，故樣品之灰化分析可分成灰分和焚化灰分兩種。灰分測定之灰化溫度最好在  $800^\circ\text{C}$  以上，並通入純氧，務必確定固定碳能完全燒掉，而焚化灰分則以焚化溫度通空氣灰化。

注意事項：

- A. 為避免無機飛灰飛散，坩鍋最好加蓋。
- B. 灰化時會爆炸或飛濺之樣品，需前處理。
- C. 需注意灰分之熔解溫度，必要時調整灰化溫度。
- D. 每組灰分分析需加做空白試驗，以校正大氣濕度之誤差。

灰分可分為下列三形態：

- A. 非熔融性。
- B. 熔融性。
- C. 含有金屬成份。

測定灰分可預估廢棄物焚化時可能產生的爐渣量及排氣中粒狀物之含量，並可依灰分的型態類別，來選擇廢棄物適用的焚化爐，若含過多的金屬，則不宜焚化。爐渣通常含 Na、K、Mg、P、S、Fe、Al、Ca、Si、O、N、C、H 等，在焚化過程中，高溫氧化環境極易發生化學反應，而產生複雜的熔渣，如  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl}$ ...等，影響焚化爐的操作。如為單純之下列物質，其熔點如下：

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ —M.P.=884°C

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ —M.P.=851°C

$\text{NaCl}$ —M.P.=800°C

但以上物質，任兩種或三種在某些比例結合下，則可形成熔點較低的混合物，如：

47%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ +53%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ----M.P.=844°C

62%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +38%  $\text{NaCl}$ ----M.P.=633°C

65%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ +35%----M.P.=623°C

$\text{NaCl}+\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{Na}_2\text{SO}_4$ ----M.P.=612°C

若爐渣中含  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ，而流體化床本身含矽砂，則兩者作用可形成黏稠狀矽酸鈉玻璃，急速地降低流體化現象。

灰分測定方法如下，加熱前後的重量差百分比即灰分百分比。



### (3) 可燃分測定

通常可燃分不直接測定，而由樣品總量減去水分和灰分。可燃分可再細分為揮發性物質和固定碳，揮發性物質係將樣品置於無氧燃燒室加熱，使揮發性物質蒸發，一定時間後測其損失重量為揮發性物質含量。固定碳量可用樣品量減去水分，灰分和揮發性物質而得，亦可測揮發後殘渣之灰分，所損失之重量即為固定碳。

## 2. 近似成分分析

廢棄物之近似分析即指水分，揮發性物質、灰分及固定碳等四項一般稱為近似分析 (proximate analysis)，即以簡單幾種特性分析，可作有價值之判斷，在評估固體廢棄物之處理方法及回收價值時，相當重要。譬如焚化處理廢棄物之含水量及灰分等即為重要之性質。

### (1) 水分 (moisture content)

廢棄物之水分定義為：物體在  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  溫度下烘乾，所失去之水量，常以每單位重之樣品所含之水重量百分比表示之。水分計算之公式如下：

$$\text{水分}(\%) = \frac{\text{試樣之最初重量} - \text{烘乾後之試樣重量}}{\text{試樣之最初重量}} \times 100\%$$

### (2) 挥發性物質 (volatile matter)

揮發性物質係物體在標準溫度試驗時，呈氣體或蒸氣而散失之量，可表示有機物之多少。依 NIEA 定義之試驗法，係將定量樣品置於已知重量之白金坩鍋，於無氧狀態下在燃燒室加熱至  $950\pm 20^{\circ}\text{C}$  經 7 分鐘所散失之量。

### (3) 固定碳 (fixed carbon)

固定碳係樣品除去揮發性物質後之可燃燒物，其計算式如下：

$$\text{固定碳}(\%) = 100 - (\text{含水量} + \text{灰分} + \text{揮發性物質})$$

### (4) 灰分 (ashes)

樣品燃燒後之殘留物，即為灰分。廢棄物灰分可能含有有害物質尚需處理處置，故此數據仍屬重要。改為 NIEA 之定義法測定灰分含量，係將樣品在通風良好之高溫電爐中加熱至大紅而得。

灰分可能需作重金屬元素分析，因灰燼可隨煙道廢氣逸入大氣造成空氣污染，亦可於水冷式熄滅火爐操作中與水混合造成水污染。灰分可能含有重金屬，如 Co、Pb、Zn、Cu、Cr、Ni、Hg、As 等而造成土壤或地下水污染問題。

### 9.3 元素分析

利用各種元素分析法，求出垃圾中碳(C)、氮(N)、氫(H)、氧(O)、硫(S)、氯(Cl)等各元素之百分比，以作為如下目的使用。

#### 1. 求理論空氣量

理論空氣量係指燃燒廢棄物 [kg] 所必須之空氣量 [ $Nm^3$ ]，為焚化設施設計之基礎資料。

#### 2. 求低位發熱量

每 [kg] 廢棄物低位發熱量為焚化設施設計之基礎資料。

#### 3. 求 C/N 比 (碳氮比)。

#### 4. 推測有害氣體之發生源

推測  $SO_x$ 、 $NO_x$ 、 $HCl$  等有害氣體之發生源及發生量。

元素分析設備可用傳統之燃燒管，其裝置如圖 9.2 所示，此法可分析碳、氮元素，如將吸收管內之吸收劑改換為含  $H_2O_2$  之吸收液也可用以硫、氯燃燒體之吸收，再用以滴定硫、氯含量。至於氮之分析，可用傳統之 TKN 水質檢驗方法，只是樣品非為水而改以廢棄物而已。

氧元素通常不作分析，一般可用濕基可燃分減去濕基之碳、氮、硫、氯及氯成分即得。

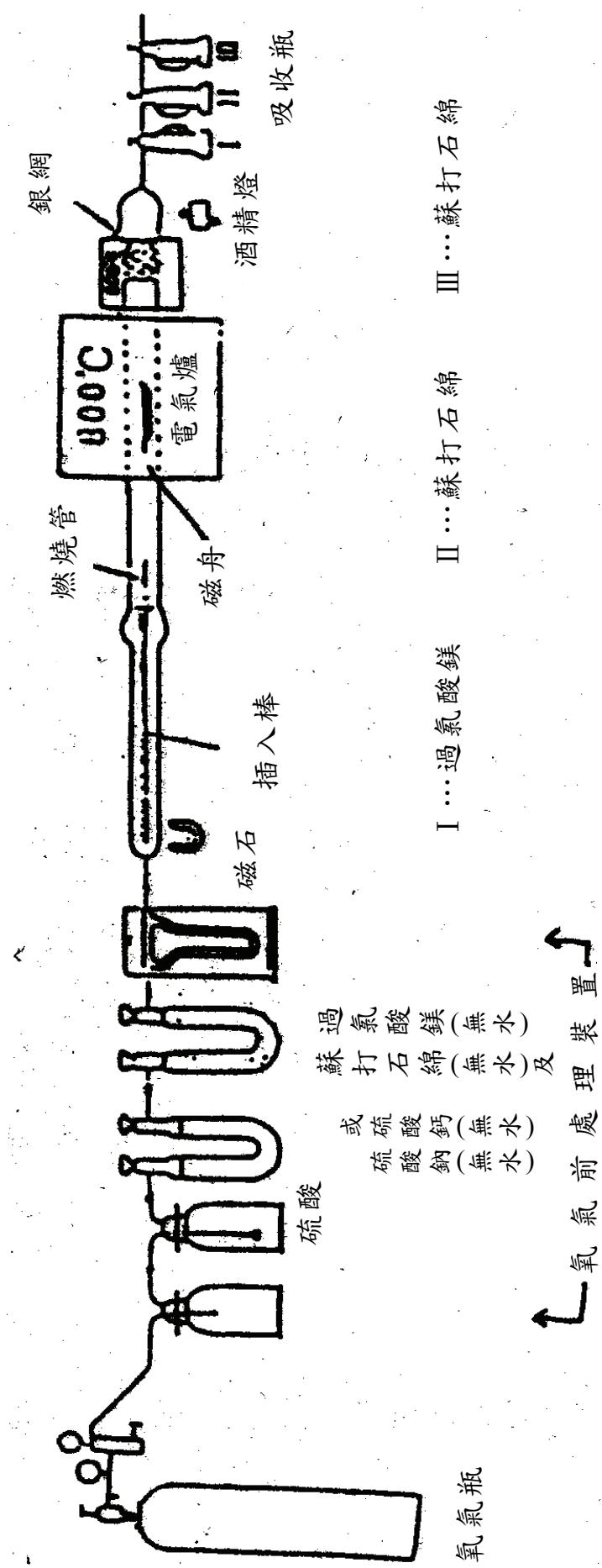


圖 9.2 元素燃燒管法裝置

元素之分析儀可進行廢棄物中碳、氫、硫、氧、氮等元素為之分析，其分析原理如圖 9.3。

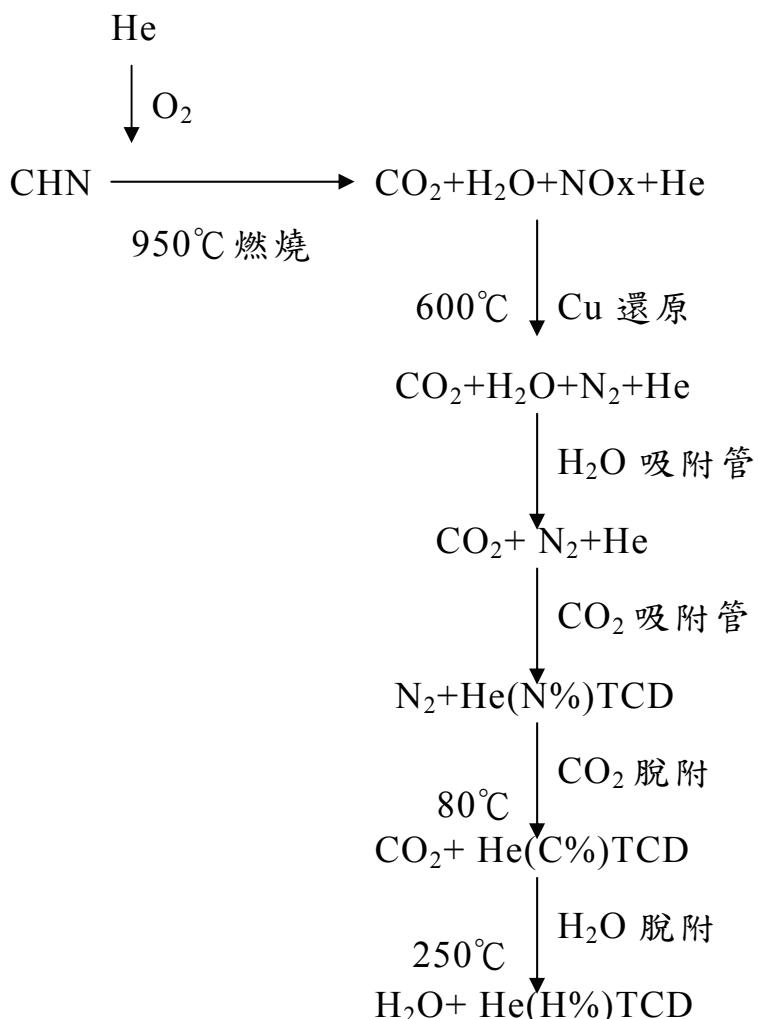


圖 9.3 元素分析儀分析原理

## 9.4 廢棄物之熱值（發熱量）

熱對燃料而言，為一項重要之特性，如煤、燃料油等。此外，對以焚化為處理方法之廢棄物而言，熱值更為不可或缺之基本資料，測定熱值之目的如下：

1. 判定廢棄物是否適合焚化處理。

2. 決定焚化爐體之熱釋放率，作為爐體設計之依據。
3. 焚化處理時，初步決定所需添加輔助燃料量，作為管理及爐體操作條件之憑藉。

熱值測定原理乃將內含氧氣彈筒水槽，置於恆溫且絕熱式之夾套中，點火燃燒後，物質所釋放之燃燒熱，由外圍水槽吸收，記錄水槽上昇之溫度，乘上熱卡計之熱當量，再除以試料重量即可得其可燃分乾基(高位)發熱量(h)（參考圖 9.4），由此再換算成濕基高位及低位發熱量。

1. 濕基高位發熱量 (high calorific value)  $H_h$

濕基高位發熱量亦稱總發熱量 (gross heat value)，由實測乾基發熱量校正含水量而得。熱量之測定可用熱量計，常用之單位為

$$\text{Kcal/kg} \text{。其公式 } H_h = h \times \frac{100 - w}{100} \quad [\text{h：乾基高位發熱量；W：垃圾}$$

含水量(%)】

2. 濕基低位發熱量 (lower calorific value)  $H_L$

濕基低位發熱量亦稱真（淨）發熱量 (net heat value)，由濕基高位發熱量扣除水氣之凝結熱，包括廢棄物含水量及其他燃燒所產生水分之凝結熱而得之：

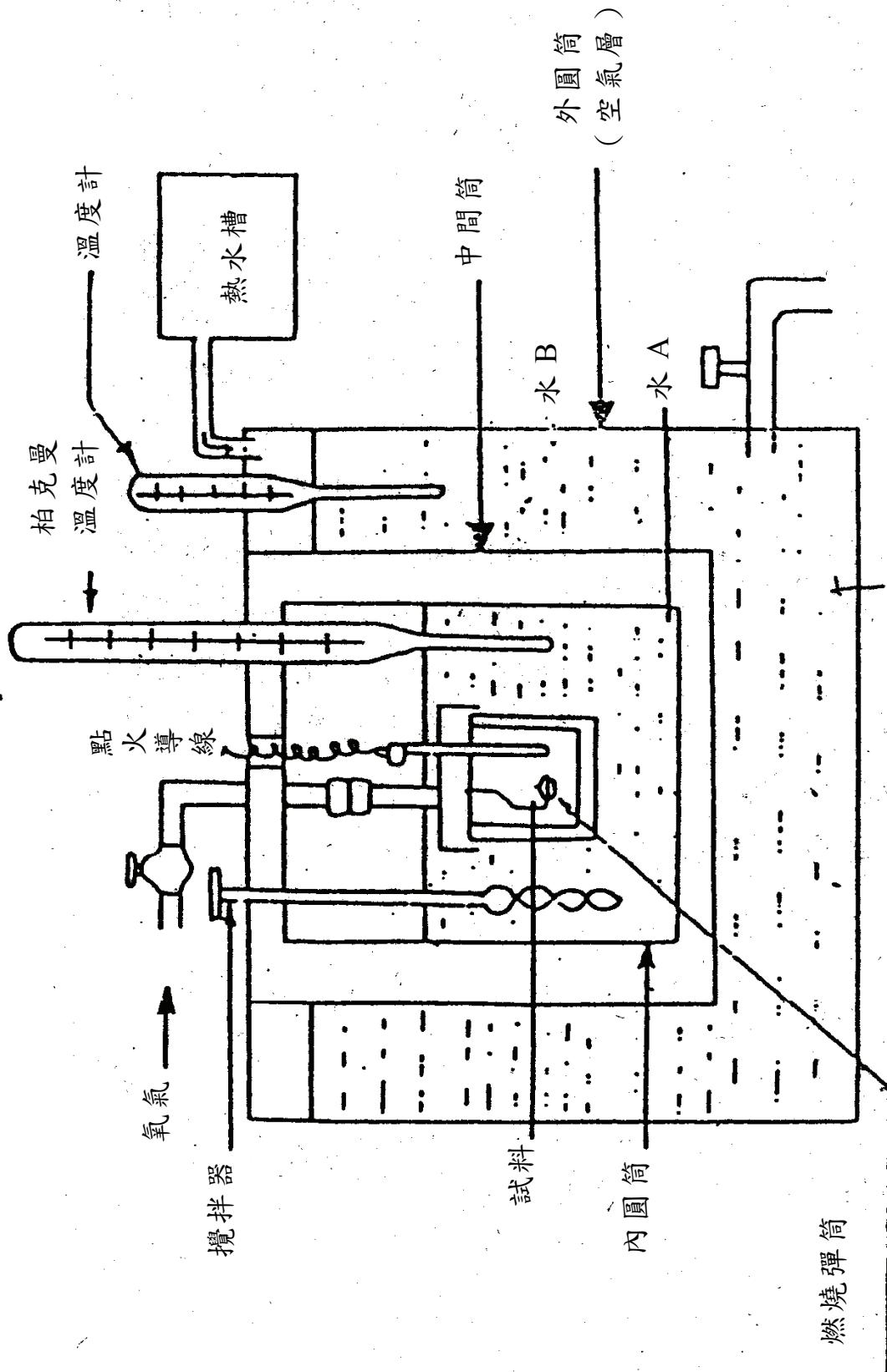
$$\text{濕基低位發熱量} = \text{濕基高位發熱量} - \text{凝結熱}$$

$$H_L = H_h - 6(9H + W), \quad W: \text{垃圾水分\%}, \quad H: \text{垃圾元素分析值之濕基氯含量\%}$$

## 9.5 灰渣中之金屬

廢棄物中若含有微量重金屬 (As、Cr、Cd、Cu、Pb、Hg、Se、Ag 等)，在焚化時需特別注意其含量及灰渣中可能之濃度。若焚化後之爐渣或飛灰中含過量之重金屬，將使得這些爐渣和飛灰成為有害廢棄物，而增

加許多處置上的困擾。



外水槽改為真空層，則可不需熱水槽及調整溫度

圖 9.4 燃燒彈熱卡計

## 9.6 灼燒減量

灰渣（底渣或飛灰）之灼燒減量常用來做為焚化爐燃燒效率好壞的指標。

焚化灰渣的特性隨垃圾在爐內的停留時間、燃燒溫度、爐內的攪拌及廢氣處理方式等而有顯著的變化，排出時只做一次的試料採取是無法得到代表性的試料。因此，焚化灰渣排出時，是以在適當的時段內，一次採取1~2kg，1日4~5次，合計採取5~10kg之焚化灰渣作為試料母體。至於回分燃燒方式的設施，其排灰設備是在早上和中午清灰時，則可在清灰時採取2次樣品。

試料採樣地點隨燃燒方式或排灰設備而有所差異，例如排灰設備採貯灰坑的方式時可用吊車、抓斗採取試料，又貯灰槽方式時，則在通往貯灰槽的灰渣輸送帶上採取。若是用卡車等搬運灰渣時，亦可傾倒混合再用四分法來採取試料。

焚化灰渣灼燒減量之測定流程如圖9.5所示。

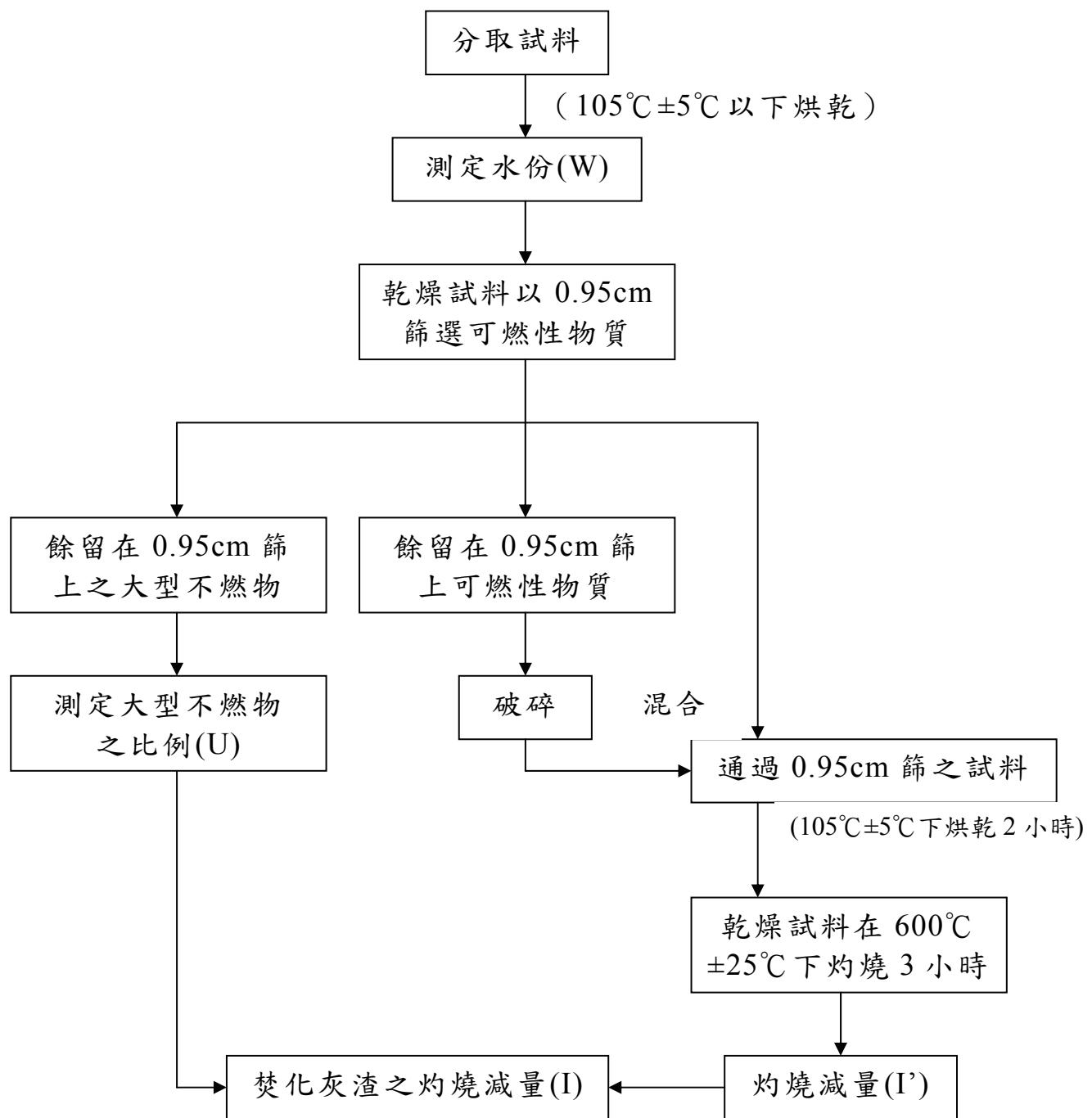


圖 9.5 焚化灰渣之灼燒減量測定流程