

## 行政院原子能委員會公告

中華民國 100 年 12 月 12 日

會物字第 1000019792 號

主 旨：預告修正「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第二條、第六條草案。

依 據：行政程序法第 151 條第 2 項準用第 154 條第 1 項。

公告事項：

- 一、修正機關：行政院原子能委員會。
- 二、修正依據：放射性物料管理法第 21 條規定。
- 三、「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第二條、第六條草案如附件。本草案另詳載於本會全球資訊網站（網址：<http://www.aec.gov.tw>）／便民專區／原子能法規／草案預告。
- 四、對於本公告內容如有意見或疑問，請於本公告刊登公報之日起 7 日內，以書面向本會陳述意見或洽詢：
  - (一) 承辦單位：本會放射性物料管理局。
  - (二) 地址：新北市永和區成功路 1 段 80 號 2 樓。
  - (三) 電話：02-22322319。
  - (四) 傳真：02-22322308。
  - (五) 電子郵件：[twl@aec.gov.tw](mailto:twl@aec.gov.tw)。

主任委員 蔡春鴻

## 低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則第二條、第六條修正草案總說明

低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則（以下簡稱本規則）於九十二年九月十日發布施行。執行迄今，歷經九十四年十二月三十日、九十七年一月二十四日、九十七年十月二十二日及九十九年十一月二十四日四次修正在案。

為使相關規定回歸我國慣用之情境，讓業者便於遵行，特針對不易使用之名詞，以及僅列美國規範名稱易起爭執之測試方法等部分，邀集學者專家及相關業者予以檢討修正本管理規則，擬具「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第二條及第六條修正草案。本次計修正二條，其修正要點如下：

- 一、順應環保法規及使大眾便於了解，將「瀝瀘」一詞修正為「溶出」；同時修正其定義，將特定放射性廢棄物均勻固化體之試驗方法，導正為一般均勻固化體皆適用之做法。（修正條文第二條）
- 二、順應中華民國國家標準（CNS），將「柏油」一詞修正為「瀝青」，並修正其試驗相關內容，以釐清抗壓強度及針入度之區別。同時配合第二條將「瀝瀘」修正為「溶出」。另亦參酌國際趨勢及我國實務經驗，修正耐輻射及耐菌性測試內容。（修正條文第六條）

三、將原列之美國測試方法名稱，根據原文獻及我國實務經驗，將測試方法全數詳列於附件，增加引用便利性，以及避免因原文解讀不同而造成之紛爭。（修正條文第六條）

### 低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則第二條、第六條修正草案條文對照表

修 正 條 文	現 行 條 文	說 明
<p>第二條 本規則用詞，定義如下：</p> <p>一、<u>固化包裝</u>：指將廢棄物轉化為較穩定之固化體及封裝廢棄物於容器內，使廢棄物包件之操作，適於裝卸、運送、貯存及處置。</p> <p>二、<u>溶出指數</u>：指放射性核種從廢棄物固化體溶出之指標。</p> <p>三、低放射性廢棄物最終處置設施（以下簡稱低放處置設施）：指用來處置低放射性廢棄物之土地、建物、結構體及設備。</p> <p>四、多重障壁：指放射性廢棄物處置設施用以遲滯放射性核種之<u>溶出</u>、洩漏、遷移之廢棄物固化體、盛裝容器、緩衝與回填材料、工程結構物，以及地層等工程和天然障壁之多重組合。</p> <p>五、處置管制地區：指放射性廢棄物處置設施邊界範圍內之地表及其地下區域，管制地區須以適當標誌標示處置設施邊界。</p>	<p>第二條 本規則用詞，定義如下：</p> <p>一、<u>固化包裝</u>：指將廢棄物轉化為較穩定之固化體及封裝廢棄物於容器內，使廢棄物包件之操作，適於裝卸、運送、貯存及處置。</p> <p>二、<u>瀝濾指數</u>：指放射性核種從廢棄物固化體瀝濾出之指標。<u>廢棄物固化體經連續進行十次之瀝濾實驗，由實驗數據求出單一核種之有效擴散係數，取其倒數之常用對數，求出十次瀝濾之平均值。</u></p> <p>三、低放射性廢棄物最終處置設施（以下簡稱低放處置設施）：指用來處置低放射性廢棄物之土地、建物、結構體及設備。</p> <p>四、多重障壁：指放射性廢棄物處置設施用以遲滯放射性核種之<u>瀝濾</u>、洩漏、遷移之廢棄物固化體、盛裝容器、緩衝與回填材料、工程結構物，以及地層等工程和天然障壁之多重組合。</p>	<p>一、第二款原用「瀝濾」一詞，非一般慣用語，不易理解且過於繞口，爰改用環保法規廣泛使用之名詞「溶出」（leaching）。此外，本條僅規定基本用語定義，測試期程及方法將於附表三及附件六固化體溶出指數測定方法中詳定，於本條中刪除。</p> <p>二、第四款配合第二款修正，將「瀝濾」一詞修正為「溶出」。</p>

<p>六、高完整性容器：指可維持至少三百年結構完整並阻絕放射性核種外釋之低放射性廢棄物盛裝容器。</p>	<p>五、處置管制地區：指放射性廢棄物處置設施邊界範圍內之地表及其地下區域，管制地區須以適當標誌標示處置設施邊界。</p> <p>六、高完整性容器：指可維持至少三百年結構完整並阻絕放射性核種外釋之低放射性廢棄物盛裝容器。</p>	
<p>第六條 低放射性廢棄物經均勻固化後，應符合下列規定：</p> <p>一、水泥或高溫熔融固化體機械強度以單軸抗壓強度測試，<u>每平方公分應大於十五公斤</u>；<u>瀝青固化體機械強度</u>以針入度測試，應小於一〇〇。</p> <p>二、<u>溶出指數</u>應大於六。</p> <p>三、經耐水性測試後，應符合第一款之規定。</p> <p>四、經耐候性測試後，應符合第一款之規定。</p> <p>五、經耐輻射測試後，應符合第一款之規定。</p> <p>六、經耐菌性測試後，應符合第一款之規定。</p> <p>前條第一款、第三款及前項規定之測試項目、方法及標準如附表三。</p>	<p>第六條 低放射性廢棄物經均勻固化後，應符合下列規定：</p> <p>一、水泥或高溫熔融固化體單軸抗壓強度，<u>應大於每平方公分十五公斤</u>；<u>柏油固化體之抗壓強度</u>以針入度測試，<u>其針入度</u>應小於一〇〇。</p> <p>二、<u>瀝濾指數</u>應大於六。</p> <p>三、經耐水性測試後，應符合第一款之規定。</p> <p>四、經耐候性測試後，應符合第一款之規定。</p> <p>五、經耐輻射測試後，應符合第一款及第二款之規定。</p> <p>六、經耐菌性測試後，應符合第一款之規定。</p> <p>前條第一款、第三款及前項規定之測試項目、方法及標準如附表三。</p>	<p>一、第一款之柏油固化體，我國之中華民國國家標準（CNS）使用瀝青固化體之名稱，為避免混淆，故予以修正。而抗壓強度與針入度為不同材質之機械強度，瀝青固化體之測試係以針入度為準，爰修正之。</p> <p>二、第二款修正理由同第二條第二款。</p> <p>三、第五款輻射測試之規定，固化體經輻射照射後必須進行瀝濾率測試，國際間僅有我國有此規定，且依歷年執行輻射照射後瀝濾率測試之結果顯示，並無發現不符合標準之情況發生，故刪除此部分的測試，保留較為嚴格的輻射照射後測試機械強度之規定。</p> <p>四、現行附表三中援引美國相關測試方法，根據原文獻及我國實務經驗，</p>

		將其全數改列為附表三之附件一至附件六，以臻明確。
--	--	--------------------------

附表三 低放射性廢棄物均勻固化體測試項目、方法及標準修正規定草案對照表

修正規定				現行規定				說明
項次	測試項目	測試方法	標準	項次	測試項目	測試方法	標準	
一	自由水	依附件一 <u>固化體自由水測定方法</u> 。	1. 自由水含量應小於固化體體積之百分之零點五。 2. 自由水之pH值應介於4~11之間，若為水泥固化體，則其自由水之pH值應大於9。	一	自由水	<u>ANSI/ANS55.1</u> 方法。	1. 自由水含量應小於固化體體積之百分之零點五。 2. 自由水之pH值應大於6。	一、現行測試方法皆依美國之相關規定執行，引用不便，且易因對原文解讀之分歧引發紛爭，故參考原文獻訂定我國之測試方法增列於附件。 二、參考國際間各國之相關規定及我國實務經驗，將自由水pH值之標準合理化。
二	耐火性	1. 水泥及高溫熔融固化體免測。 2. <u>瀝青固化體依附件二瀝青固化體耐火性試驗方法</u> 。 3. 塑膠固化體依附件三 <u>塑膠固化體耐火性試驗方法</u> 。	1. <u>瀝青</u> 固化體之燃燒點應大於250°C。 2. 塑膠固化體之燃燒指數應大於28。	二	耐火性	1. 水泥及高溫熔融固化體免測。 2. <u>柏油</u> 固化體以 <u>ASTM-D92</u> 方法。 3. 塑膠固化體以 <u>ASTM-D2863</u> 方法。	1. <u>柏油</u> 固化體之燃燒點應大於250°C。 2. 塑膠固化體之燃燒指數 <u>Oxygen Index</u> 應大於28。	一、測試方法修正理由同第一項。 二、柏油固化體修正為瀝青固化體之理由同第六條第一款。 三、塑膠固化體測試標準之燃燒指數，已於附件三中文化，是以刪除「Oxygen Index」。

三	機械強度	1. 除瀝青固化體外，一般固化體依 <u>附件四</u> 固化體抗壓強度測定方法。 2. 瀝青固化體以 <u>附件五</u> 瀝青固化體針入度測定方法測試針入度。	1. 除瀝青固化體外，一般固化體之抗壓強度應大於每平方公分15公斤。 2. 瀝青固化體之針入度應小於100。 3. 瀝青固化體含柏油重量比應超過百分之五十以上。	三	抗壓強度	1. 除柏油固化體外，一般固化體以 <u>ASTMC 39</u> 測試。 2. 柏油固化體以 <u>ASTMC-D6</u> 測試針入度。	1. 除柏油固化體外，一般固化體之抗壓強度應大於每平方公分15公斤。 2. 柏油固化體之針入度應小於100。 3. 柏油固化體含柏油重量比應超過百分之五十以上。	一、抗壓強度與針入度為不同材質之機械強度，故將測試項目修正為機械強度。 二、柏油固化體修正為瀝青固化體之理由同第六條第一款。 三、測試方法修正理由同第一項。
四	溶出率	依 <u>附件六</u> 固化體溶出指數測定方法（水泥固化體可測試五天）。	固化體內各核種溶出指數應大於6。	四	瀝濾率	<u>ANS16.1</u> （水泥固化體可測試五天）。	固化體內各核種瀝濾指數應大於6。	一、測試項目及標準中，將「瀝濾」修正為「溶出」之理由同第二條第二款。 二、測試方法修正理由同第一項。
五	耐水性	依 <u>附件七</u> 固化體耐水性試驗方法，固化體須於常溫下，浸水90天後測試機械強度。	測試結果符合第三項之標準。	五	耐水性	固化體需浸水90天後測試抗壓強度（常溫下）。	測試結果符合第三項之標準。	一、測試方法修正理由同第一項。 二、抗壓強度修正理由同第三項。

六	耐候性	依附件八 <u>固化體耐 候性試驗 方法</u> ，固 化體經溫 濕度循環 變化後測 試 <u>機械強 度</u> 。	測試結果符合 第三項之標 準。	六	耐候性	固化體經 溫濕度循 環變化後 測試 <u>抗壓 強度</u> 。	測試結果符合 第三項之標 準。	一、原列之測試方 法不明確難以 遵循，爰參考 國際普遍之做 法及國內實務 經驗，增列可 行之測試方法 於附件。 二、抗壓強度修正 理由同第三 項。
七	耐輻射 性	依附件九 <u>固化體耐 輻射性試 驗方法</u> ， 固化體以 Co-60 照 射之加馬 輻射照射，吸收 劑量達一 百萬戈雷 （ Gy ） 後測試 <u>機 械強度</u> 。	測試結果符合 第三項之標 準。	七	耐輻射 性	固化體以 Co-60 照 射之加馬 輻射照射，吸收 劑量達一 百萬戈雷 （ Gy ） 後測試 <u>抗 壓強度及 滲透率</u> 。	1. <u>抗壓強度測 試結果應符 合第三項之 標準。</u> 2. <u>核種滲透率 測試結果應 符合第四項 之標準。</u>	一、測試方法修正 理由同第一 項。 二、測試方法及標 準第二款將 「滲透率」刪 除之理由同第 六條第五款。 三、抗壓強度修正 理由同第三 項。
八	耐菌性	依附件十 <u>固化體耐 真菌性試 驗方法</u> 後 再測 <u>機械 強度</u> 。	測試結果符合 第三項之標 準。	八	耐菌性	<u>ASTM G21及 G22</u> 後再 測 <u>抗壓 強度</u> 。	測試結果符合 第三項之標 準。	測試方法修正理由 同第一項，另因美 國已將 ASTM G22 測試方法廢止，故 予以刪除。

## 附件一 固化體自由水測定方法

### 一、適用範圍

本方法適用於低放射性廢棄物固化體自由水含量之測定。

### 二、方法概要

本方法是以目視觀察和破壞性的方式檢視試品，確定固化體內自由水的含量和 pH 值。

測定方法之選擇，可採用非活性模擬廢棄物所製作之模擬固化體，或是由放射性廢棄物固化作業系統所製作之實際固化體，依規定步驟檢視自由水含量。

### 三、試品製備

#### (一) 模擬固化體：

- 1、按實際操作系統，配製非活性模擬廢棄物。操作過程中之化學污染物，諸如油類、化學去污劑、清潔劑及溶劑等，亦應包含在模擬廢棄物內，以達近似於真實狀態。
- 2、取實際操作之廢棄物盛裝容器（必需不具有游離輻射示警標誌）裝填入非活性模擬廢棄物，封存足夠的時間，（水泥固化體須經至少 28 天），待其完全固化而成之全尺寸固化體。

#### (二) 實際固化體：放射性廢棄物固化作業，以實際廢棄物依操作系統作業而製作全尺寸固化體，裝填完成後盛裝容器需加蓋以防止水分蒸發。

### 四、步驟

#### (一) 模擬固化體：

- 1、當非活性模擬廢棄物混合裝填後，封存足夠的時間，以使其完全固化。
- 2、試品充分固化後，打開密封之廢棄物盛裝容器，以目視法檢視試品，是否有自由水存在。
- 3、經目視檢驗後，將廢棄物盛裝容器直立，以鑽子或其它合適工具。在容器底部或較低處開孔，此孔的面積至少需 6.45 平方公分（1.0 平方英吋）以上。以目視觀察，是否有自由水從破孔處流下或滴出。
- 4、經上述試驗後，繼續對試品作橫切、軸向鑽孔或其它相關的破壞性試驗，以確定廢棄物固化體內沒有自由水存在。
- 5、若上述步驟發現有自由水存在時，則以適當容器收集，測量其體積，並使用 pH 計測定其 pH 值。

#### (二) 實際固化體：

- 1、視現場作業需求狀況，得於固化完成第 3 天或第 28 天之後，打開封存之廢棄物盛裝容器，以目視法檢視試品，是否有自由水存在。
- 2、若上述步驟發現有自由水存在，則以適當容器收集測量其體積，或量測自由水液位深度與固化體高度之比值以計算其體積，並使用 pH 計測定其 pH 值。

### 五、品質管制

包含固化劑和廢棄物的組成成分應作一系列之固化試驗，以建立一組最佳的固化條件。



六、報告：

報告內容應包括下列各事項：

- (一) 試品的編號。
- (二) 試品封存至完全固化的時間。
- (三) 自由水的含量和 pH 值。

## 附件二 瀝青固化體耐火性試驗方法

### 一、適用範圍

- (一) 本方法適於低放射性瀝青固化體燃燒點的試驗。
- (二) 測定方法燃燒過程所產生的煙霧、蒸氣，對人體可能產生危害，爲了保護操作者安全，應採取適當的防護措施。

### 二、方法概要

本方法是將瀝青倒入測試杯中，以固定升溫速率，增加溫度，直至試品達到燃燒點爲止。

### 三、定義

- (一) 燃燒點 (Fire point)：石油產物在標準大氣壓 101.3kPa 下，試品所產生的蒸氣與引火源接觸點燃並且燃燒最少 5 秒的溫度。
- (二) 閃點 (Flash point)：石油產物在標準大氣壓 101.3kPa 下，試品所產生的蒸氣與引火源接觸產生火光，溫度在達到燃燒點不久之前。

### 四、設備

- (一) 克氏開杯式閃火點分析儀 (Cleveland Open Cup/COC)：可爲手動操作型，其構造與尺寸如圖 1，或是自動型。
- (二) 測試杯：尺寸規格如圖 2 所示，材質需爲黃銅或是其他不會生鏽具相同熱導性的金屬材質。
- (三) 加熱板：尺寸規格如圖 3 所示。
- (四) 加熱源：建議使用可自動或操作溫度的電子式加熱器。

### 五、步驟

- (一) 將溫度偵測器垂直固定於測試杯中心，並且距杯底 6.3~6.5mm，調整測試焰分散器垂直於杯壁。自動化的設備則依照製造商的指示操作。
- (二) 填充試品於測試杯內，使得液面對其填充標記，之後將測試杯放入加熱板中。
- (三) 試品不得含有固體物質，如有高黏度或者固體成分需先做加熱液化的處理。
- (四) 點燃測試火焰，並調整焰徑 3.2~4.8mm，燃氣的供應壓力不得超過 3kPa。
- (五) 將測試杯升溫，其升溫速率爲 5~6°C/min，在距離預期的閃點 28°C 前，每升溫 2°C 時，以直線路徑將測試焰經過測試杯的中心，測試焰的中心需與測試杯杯面平行，偏移不得超過水平 2mm，過程約爲 1 秒。下一次移動火焰的路徑需爲上一次的相反方向。
- (六) 在記錄閃點發生的溫度以後，操作方式如同步驟(五)所示，直到發生測試焰點燃試品，燃燒時間超過 5 秒，所得的溫度即爲燃燒點。
- (七) 完成測試後，需等待設備降溫至 60°C 以下時，再進行測試杯與設備的移除與清洗。
- (八) 自動化裝置步驟與手動裝置相同，其他細部的相關設定，則參照製造商的指示。

### 六、品質管制

- (一) 在通過閃點之前，測試焰本身會導致藍暈或火焰加大的現象，應予忽略。

- (二) 手動與自動裝置至少一年需要校正一次，所使用的是閃點經過認證的參考物質，詳細校正步驟可參照 ASTM D92。

#### 七、報告

報告內容應包括下列各事項：

- (一) 試驗試品的數目。
- (二) 試品編號。
- (三) 試品的閃點與燃燒點。

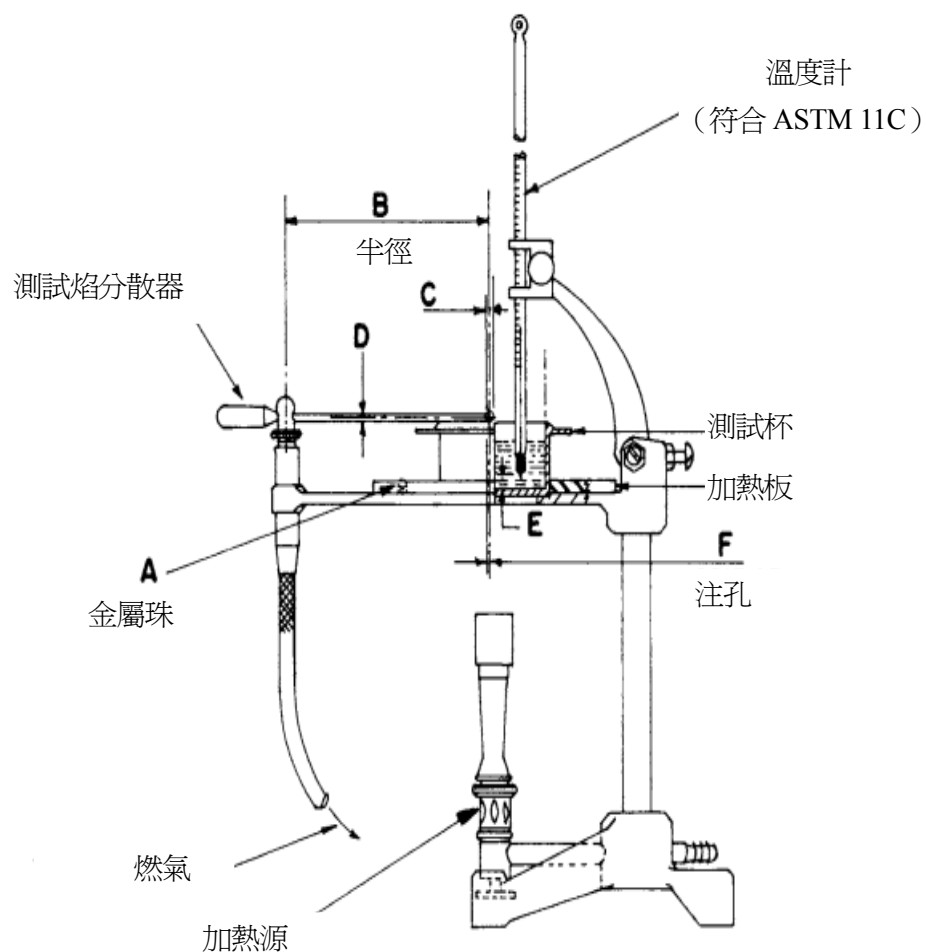


圖 1 部位	最小值 (單位: mm)	最大值 (單位: mm)
A-直徑	3.2	4.8
B-半徑	152	
C-直徑	1.6	
D		2
E	6	7
F-直徑	0.8	

圖 1 手動型克氏開杯式閃火點分析儀 (Cleveland Open Cup/COC)

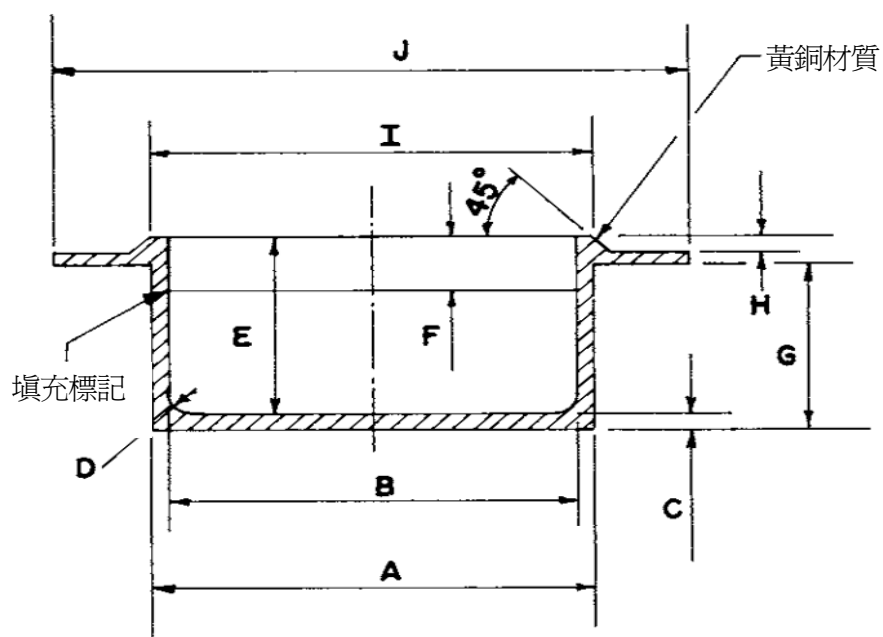


圖 2 測試杯

圖 2 部位	最小值 (單位: mm)	最大值 (單位: mm)
A	67.5	69
B	63	64
C	2.8	3.5
D-半徑	4	
E	32.5	34
F	9	10
G	31	32.5
H	2.8	3.5
I	67	70
J	97	100

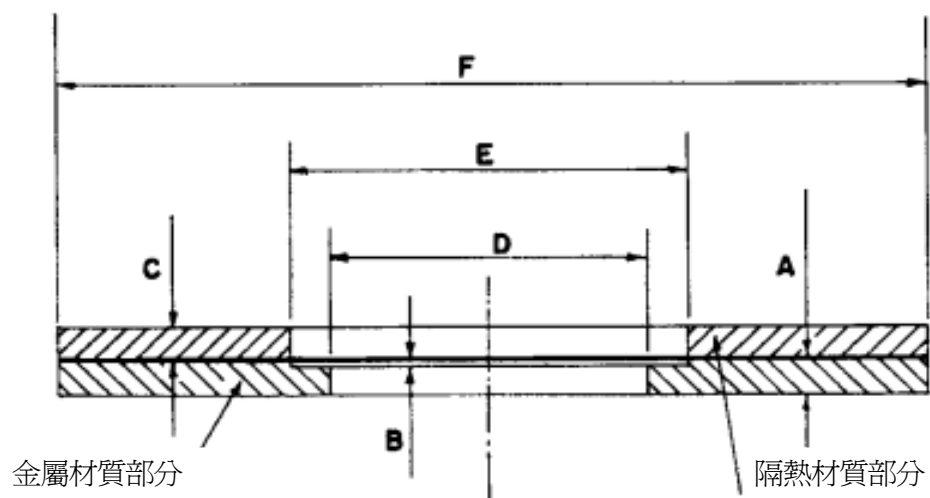


圖 3 加熱板

圖 3 部位	最小值 (單位：mm)	最大值 (單位：mm)
A	6	7
B	0.5	1.0
C	6	7
D-直徑	55	56
E-直徑	69.5	70.5
F-直徑	146	159

## 附件三 塑膠固化體耐火性試驗方法

### 一、適用範圍

- (一) 本方法適於低放射性塑膠固化體含氧指數之測定。
- (二) 測定時燃燒過程所產生的煙霧、蒸氣，對人體可能產生危害，爲了保護操作者安全，應採取適當的防護措施。

### 二、方法概要

將氮氣混含氣流導入一開口向上的試驗管中，點燃試品頂端並維持在焰狀燃燒的平衡條件下，試驗出所需氧氣的最小濃度，此平衡條件是建立在試品燃燒後放熱與散熱到周圍環境的關係上，試驗試品燃燒的時間和燃燒長度，可判斷是否達到平衡條件，調整氧氣濃度找出臨界值，即可得到含氧指數。

### 三、定義

含氧指數 (Oxygen index)：試品於氮氧混含氣中，在此方法的試驗條件下持續起火燃燒所需氧氣的最低容積百分比。

### 四、設備

- (一) 試驗管柱：包括一內徑 75~100mm，高度 450~500mm 以上的耐熱玻璃管，管柱底部與基座結合，上方開口處需有金屬外殼覆蓋，開口直徑爲  $40\pm 2$ mm，氣體導入基座氣體分佈器中使之均勻混合。基座內部充填直徑約 3~5mm 如玻璃珠之類不可燃的小球（如圖 1 所示），填充深度需 80~100 mm。
- (二) 試品夾：必須垂直固定於管柱中心，並能夾住試品底部。如果試品具有挺立不傾的硬度時，典型試驗裝置如圖 1 所示，使用一支實驗室中夾溫度計用的固定夾，插在玻璃管底部，藉玻璃珠來固定。而對薄板試品則改用框架，夾住其垂直方向的兩側邊緣，如圖 2 所示。
- (三) 供氣：使用商業級（或更高級）純度的氧氣和氮氣，如果使用氮氣或氧氣和空氣的混含氣時，則須經淨化及乾燥處理。
- (四) 流量計測及控制裝置：合適的流量計測及控制裝置必須是可調整各種氣體流量體積至 1% 精度，氣流連接後，先使之均勻混合再導入管柱。
- (五) 點火裝置：使用一開口端擁有小孔（口徑約 1~3mm）的點火管，供應其甲烷或天然氣，純度至少達到 97%，並且無預混空氣，其長度以可插入管口點燃試品爲原則，垂直朝下時火焰長度約 12~20mm 長。
- (六) 計時器：使用可計時 5 分鐘以上，精度在 0.5 秒以內的計時器。
- (七) 炭煙、有害氣體及廢熱之排除：設備應安裝於煙櫃內，或加裝有效的抽風設施，以確使炭煙、熱氣以及有毒氣體能被排除。

### 五、試品製備

- (一) 依表 1 區分材質強度製作所需試品，其數量視需求而定（通常 15~30 片）。
- (二) 除非特別指定，否則應以原狀態條件試驗。

(三) 水份含量會影響燃燒指數，故對含水試樣，須於  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  與相對濕度  $50\pm 5\%$ ，調節試品狀態至少 40 小時。

(四) 試品必須去除毛邊或渣屑，並保持平滑。

表 1 試品規格 (mm)

類別	固化體種類	寬度	厚度	長度
A	本身可自撐	$6.5\pm 0.5$	$3.0\pm 0.5$	70~150
B	需加強支撐	$52\pm 0.5$	$\leq 10.5$	135~145

#### 六、A 類試品步驟

- (一) 以校正裝置校正流量測量系統使其誤差值小於 0.5%，並建議每半年至少做一次校正。
- (二) 試驗應在室溫下完成。
- (三) 將試品垂直夾於管柱中心，使試品頂端低於管柱頂端 100mm 以上的距離。
- (四) 欲設定最初的氧氣濃度時，可參考類似試品的經驗值。若無從參考時，可將試品在空氣中點火引燃。如果是快速燃燒，則從含氧量 18% 開始測試。而假如在空氣中點火會熄掉時，則從 25% 濃度開始試，或是從引火難易和燃燒時間長短去作推斷。
- (五) 調整流量閥使管中流動氣體達到所設定之含氧量。氣體在管中流動之速率應為  $4\pm 1\text{cm/s}$ ，其計算是以標準溫度 ( $0^{\circ}\text{C}$ ) 和壓力 ( $101.3\text{kPa}$ ) 的條件為基礎，將總氣體流量  $\text{cm}^3/\text{s}$  除以管柱截面  $\text{cm}^2$  所得之流速。
- (六) 先讓調整後之氣流於管道內換氣 30 秒，以清除系統內部之氣體。
- (七) 頂端面點火：以點火管產生的可見焰端接觸試品頂端 30 秒後，間隔 5 秒移開火焰，觀察頂端面是否引燃，引燃的計時為移開點火管後開始。自引燃試品後，不可再調整氧氣濃度。
- (八) 當試品燃燒狀況達到表 2 當中的 A 標準時，表示氧氣濃度太高必須調低。
- (九) 引燃試品如未達表 2 所列標準即熄滅時，標記為則應調高氧氣含量。
- (十) 如果試品長度不足時，需加以更換，否則祇需將試品旋轉調頭或切除試品燃燒前端，調整氧氣濃度換氣後重新引燃。
- (十一) 重覆 A 類試品步驟(六)至(十)，直到每次調整含氧量變化量縮小至 0.2% 時，符合表 2 所述標準之最低含氧濃度，即為臨界含氧濃度，作為含氧指數。
- (十二) 至少重覆試驗三次，每次確定流速在  $4\pm 1\text{cm/s}$  間保持穩定後，再重覆操作 A 類試品步驟(五)至(十一)。
- (十三) 例行校正試驗：為做例行之試驗，應設定一種氧氣濃度，按 A 類試品步驟(一)至(七)規定，對一定數量試品做試驗，試驗結果應紀錄於表 2 之燃燒狀況的試品數目。

#### 七、B 類試品步驟

- (一) 遵照 A 類試品步驟(一)至(六)。
- (二) 擴散點火：以點火管產生的可見焰端接觸試品頂端面，向下延伸 6mm，覆蓋其垂直面 30 秒後，每間隔 5 秒移開火焰，觀察垂直面是否引燃，或是可見的燃燒部分達到圖 2 當中上方的參考標記，即可移開點火管計時。自引燃試品後，不可再調整氧氣濃度。



(三) 當試品燃燒狀況達到表 2 當中的 B 標準時，表示氧氣濃度太高必須調低。

(四) 進行 A 類試品步驟(九)至(十二)。

表 2 燃燒判斷標準 (mm)

材質類別	燃燒時間	燃燒距離
A	超過 3 分鐘	自頂端向下延伸 50mm
B	超過 3 分鐘	自上方參考標記延伸 80mm

#### 八、計算

計算含氧指數"n"公式如下所述

$$n\% = (100 \times O_2) / (O_2 + N_2)$$

$O_2$  = 氧氣流量  $\text{cm}^3/\text{s}$

$N_2$  = 氮氣流量  $\text{cm}^3/\text{s}$

#### 九、品質管制

(一) 另一種設計為管柱內徑 95mm，高 210mm，上開口端直徑縮小至 50mm，此亦具有相同效果。

(二) 為維持基座和管壁清潔，在氣體分佈器上端，可安置一片沙網接收掉落之碎渣。

(三) 玻璃管壁附著炭煙時，需時常清洗，以免影響觀測。

(四) 如果管柱是採用如品質管制(一)所述限制開口的大型管，則樣品距離頂端需 40 mm 以上。

(五) 臨界含氧濃度與試驗時點燃試品溫度和混含氣體溫度有關。

(六) 對於持續燃燒性質的試品而言，試驗含氧濃度之因調高或調低氧氣濃度時其數據之再現性之誤差，應在 0.1%至 0.3%之間，需要考慮流量計的精度和氧氣濃度的影響。有些試品由於不穩定燃燒或積碳、垂滴、彎折等現象造成實驗結果再現性減低，這種情形需以統計方法計算其臨界需氧量。

(七) 若試品的形狀規格不標準時，所得到之含氧指數也會不同。

#### 十、報告：

報告內容應包括下列各事項：

(一) 試驗試品的數目。

(二) 試品編號。

(三) 試品之材質類別。

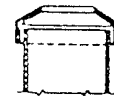
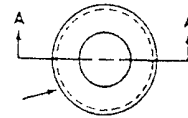
(四) 試品之尺寸規格。

(五) 個別試品之氧氣指數，並計算同種類試品的平均值。

(六) 對異常現象如炭化、垂滴或彎曲等均應加以描述。

(七) 例行校正試驗的結果。

玻璃管 ( 最小尺寸長 450 mm × 內徑 75 mm )

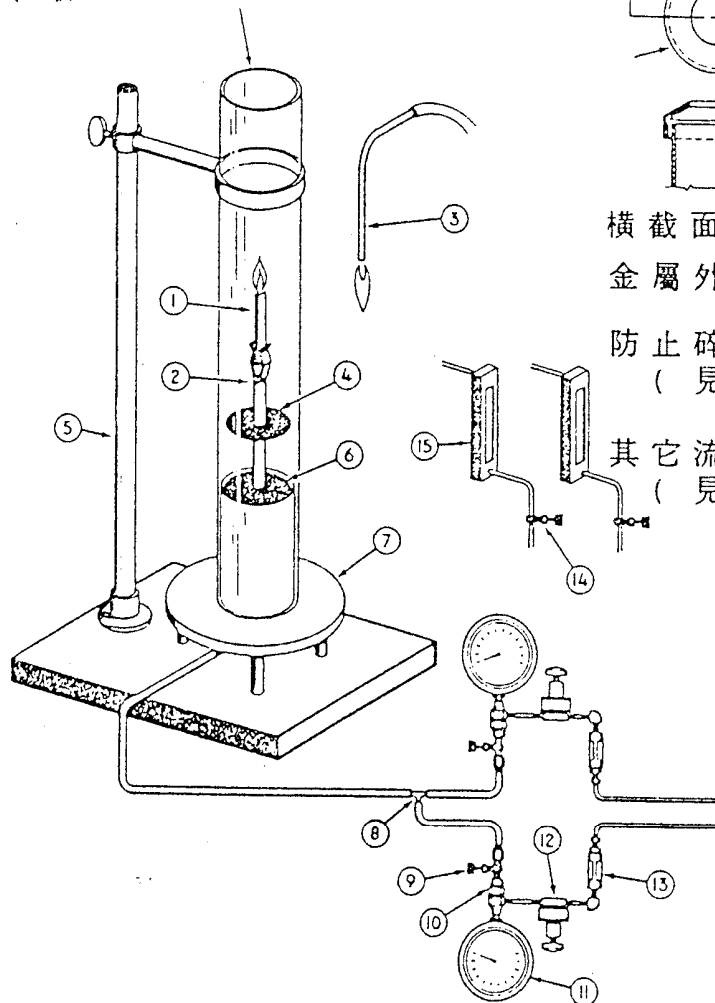


橫截面 A - A

金屬外殼 ( 內徑 45 mm )

防止碎渣污染設備  
( 見 9.2 )

其它流量控制系統  
( 見 9.3 )



1. 燃燒試品

2. 試品夾

3. 點火裝置

4. 沙網

5. 支架

6. 玻璃珠床

7. 黃銅基座

8. T 型接管

9. 關閉閥

10. 儲氣瓶上之小孔

11. 氣壓表

12. 壓力微調裝置

13. 過濾器

14. 針式調節閥

15. 浮子流量計

圖 1 耐火性試驗裝置圖

材料：090不銹鋼或同等材質

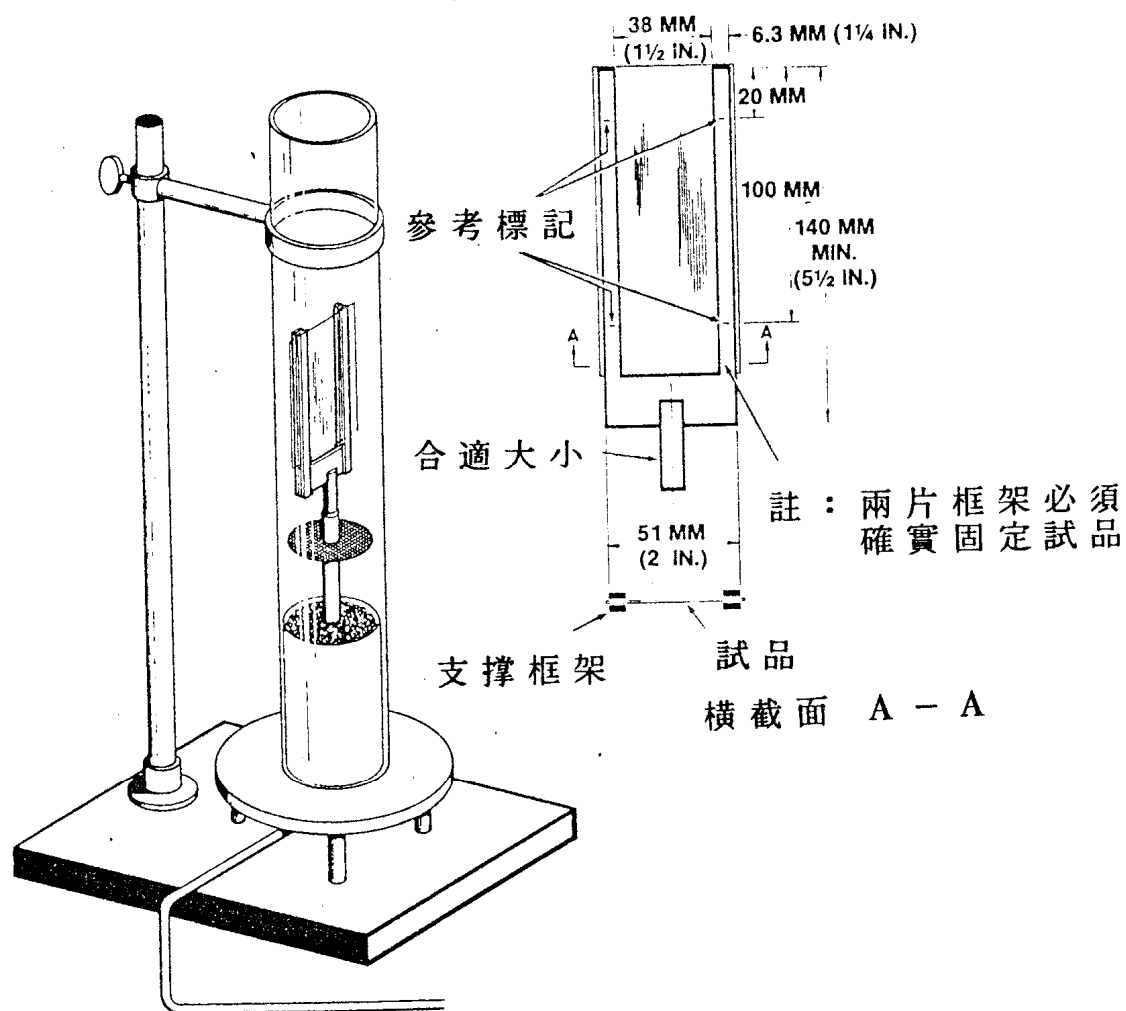


圖 2 支撐框架圖樣

## 附件四 固化體抗壓強度測定方法

### 一、適用範圍

本方法適於低放射性廢棄物水泥及塑膠固化體抗壓強度之測定。

### 二、方法概要

本方法是應用試驗機對固化體試品，以固定加壓速率，增加施以垂直荷重，直至試品破壞為止，記錄其所受最大荷重。固化體試品之抗壓強度，由測得之最大荷重，除以試品之截面積而求得。

### 三、設備

(一) 試驗機：可為任何形式之有足夠載重容量壓力機，必須符合 CNS 9211（壓縮試驗機）之規定，加壓速率應符合步驟(二)之規定。並應以動力操作，試驗進行中應保持連續加壓不得發生中斷或震動現象。

(二) 試驗機之校正：

1、以下為必須進行校正的情況：

- (1) 每年常規校正一次。
- (2) 若進行新機安裝或者移動舊機。
- (3) 有進行維修與調整的動作之後。
- (4) 懷疑機檯準確度。

2、試驗機之校正應符合 CNS 9212（壓縮試驗機檢驗法）之規定。

若試驗機僅有一種加壓速率，為符合步驟(二)之規定則應借助一輔助方法，控制加壓速率，以便校正，此輔助方法可為動力或手動之操作。試驗中放置試品之位置應足以容納彈性校正設備，此校正設備應符合 CNS 10048（材料試驗機用負載校準裝置）之規定，並且通過 CNS 10049（材料試驗機用負載校準裝置試驗法）之規定。

註：彈性校正設備一般採用圓形壓力環。

(三) 試品承壓塊之一般性質：試驗機須具有承壓面淬硬達洛氏硬度 HRC 55 以上之上下兩片鋼製承壓塊。上承壓塊之一面成球形座，其承壓面覆於試品之上而以推壓試品，下承壓塊為立方體用以承載試品承壓塊之承壓面之最小尺度，至少須比試品直徑大 3% 以上。承壓值之承壓面在直徑 150mm 範圍內平面度之尺度的公差須在 0.025mm 以下；新製成之承壓塊，其公差應在 0.0125mm 以內。當上承壓塊之承壓面直徑超過試品直徑 13mm 以上時，於此面刻畫出不同直徑的同心圓，所刻畫出的之深度不得超過 0.8mm，其寬度不得超過 1.2mm，以使中心與底部承壓面中心相合。

(四) 下承壓塊之規定：

1、下承壓塊係特別為試驗機加壓時，維持一特殊表面狀況而設計。

承壓塊之上下表面應保持平行，承壓塊固定於試驗機之支承臺，其水平尺度至少須比試品直徑大 3% 以上。於設備(三)中所提之同心圓製作，下承壓塊可任選比照。

2、當下承壓塊用作協助試品定位時，承壓塊上若具有同心圓或圓心記號，則其中心必須位於上承壓塊球形座中心之正下方。一般試驗機之加壓臺上，此中心點位置已作標定。

3、下承壓塊之厚度：新製者不得小於 25mm，經研磨整平之舊承壓塊則不得小於 22.5 mm。

註：試驗機若其加壓平臺之設計、厚度、表面粗糙度均符合以上規定時，則下承壓塊可略去。

(五) 上承壓塊之規定：

1、懸吊球形支承座之上承壓鋼砧板，依照水泥試品直徑大小，其承壓面之直徑有最大的限制，不得大於 105 mm。

2、上承壓塊背面球形座之球心應位於承壓板面上，其許可差應在球形座半徑  $\pm 5\%$  以內。如圖 3-1 所示，且球形座之直徑應大於試品直徑 75 % 以上。

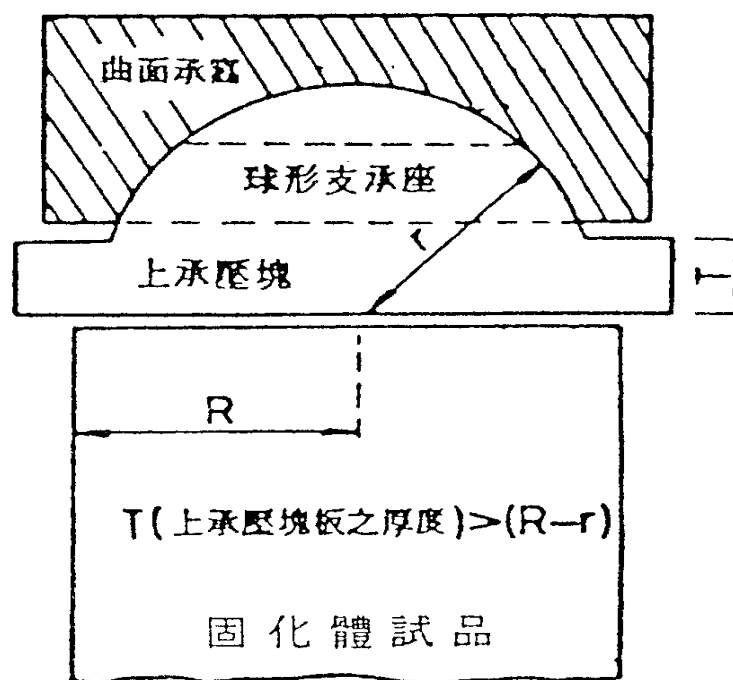


圖 1 上承壓塊及其球形座示意圖

3、上承壓塊之曲面承窩及球形座間，應保持清潔，並以石油系油類如普通機油類潤滑，而不使用油脂類、潤滑劑。當試驗機之上承壓塊以微壓和試品接觸時，球形座不容許產生明顯之偏斜。

4、若球形座之半徑小於最大試品之半徑，則上承壓塊板面之厚度不得小於最大試品之半徑 (R) 及球形座半徑 (r) 之差。換言之，即承壓面之尺度應大於試品之直徑，如圖 1 所示。

5、上承壓塊之活動部分應與球形承窩相密接，但承壓面之設計應容許在任何方向做大於 4 度之微小轉動及偏斜。

(六) 荷重顯示儀錶：

- 1、固化體抗壓試驗用壓力機之度盤，其最小刻度讀值須至全部荷重之 0.1%，在荷重範圍內，其準確度應在 1%以內。最大的負荷重範圍不得低於度儀錶最小感應量之 100 倍。
- 2、儀錶應標明零點位置之刻度線及以此為準之刻度讀數。指針應具足夠長度達到刻度線上，指針尖端寬度不得大於最小刻度淨距。每一儀錶應具可從錶外歸零之設備及附最大荷重指針。

註：為便於讀數指針尖端在度盤弧形部分之寬度為 0.8mm。

- 3、若儀錶為數值型，在試驗當中能夠顯示最大荷重，其他要求如同設備(六)1、。

四、試品製備

(一) 水泥固化體試品：

- 1、試品：須依 CNS 1230（混凝土試品在試驗室模製及養護法），或 CNS 1231（工地混凝土試體製作及養護法）所規定方法製作；或依 CNS 1238（混凝土鑽心試體及切鋸試體抗壓及抗彎強度試驗法）所規定之方法鑽取。若有試品直徑與其他試品誤差超過 2%，則該試品不得作為試驗用。
- 2、試品自濕養室取出後，應立即進行抗壓試驗，養護室移至試驗機試驗期間，應以最方便方法保持濕潤狀態，在進行試驗時試品亦應保持濕潤狀態。
- 3、試品兩端之面應在試品中心軸之垂直面 0.5 度內，其平面度之尺度的公差大於 0.05mm 時，應加以 CNS 1230 中所規定方法蓋平。
- 4、試品直徑的量測，需於試品的中間高度，量測兩相垂直的直徑後取平均值，量測須準確至 0.25 mm。

(二) 塑膠固化體試品：

- 1、試品：可直接由模製或由機械切削試材至要求厚度。
- 2、試品須選取厚度均勻，成分均一而無氣泡者。試品兩端之面應在試品中心軸之垂直面 0.5 度內，除非另有指明，試驗依 CNS 2828（塑膠試驗場所之標準情況），於溫度  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  與相對濕度  $65\pm 5\%$  的標準實驗室情況下進行。若試驗結果不一致時，則許可差改為溫度  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  與相對濕度  $\pm 2\%$ 。

(三) 固化體試品依照下列所定規格製作：

- 1、水泥固化體試品為直徑 51 mm，高 102 mm 之圓柱體。
- 2、塑膠固化體試品為直徑 12.7 mm，高 25.4 mm 之圓柱體。

五、步驟

- (一) 試品之安置：將下承壓塊硬面朝上，置於試驗機之平臺上，其位置應正對於上承壓塊背面球形承窩下。以乾淨抹布擦淨上下承壓塊加壓面及試品上下受壓面。再將試品放置於下承壓塊上，試品之軸心須與球形座之中心軸相合，當球形座接近試品時，用手慢慢地旋轉其可動部分，使壓力均勻作用於試品上。
- (二) 加壓速率：加壓時應連續的增加，不得有振動現象發生。如用螺旋式試驗機，則其加壓架之移動速率在機器空檔時，其移動速率應保持約 1.3mm/min；若試驗機為液壓式，其加壓

速率應維持在每秒鐘  $1.41\text{kgf/cm}^2$  {  $0.14\text{MPa}$  } 至  $3.52\text{kgf/cm}^2$  {  $0.34\text{MPa}$  } 之間。在預估最大抗壓載重之上半段加壓時間內，可用稍高之速率加壓，當試品即將破壞前發生快速降伏現象時，試驗機之加壓速率，不得再予調整。

- (三) 記錄破壞形態：試驗機之加壓逐漸增加，直至試品破壞為止，此時其所受之最大荷重應予記錄，其破壞形態的註明可參照 CNS 1232 當中的分類。

#### 六、計算

試品之抗壓強度以試驗所求得之最大荷重，除以試品之截面積而求得。計算時應計算至  $1\text{kgf/cm}^2$  {  $98\text{kPa}$  } 為止。

#### 七、報告

- (一) 試品編號。
- (二) 試品直徑及高度 (cm)。
- (三) 試品斷面積 ( $\text{cm}^2$ )。
- (四) 最大荷重 ( $\text{kgf}$  {  $\text{N}$  } )。
- (五) 抗壓強度 ( $\text{kgf/cm}^2$  {  $\text{kPa}$  } )。
- (六) 特殊情形之破壞形態。
- (七) 試品或蓋平之缺陷。
- (八) 試品之齡期。

註：附於 { } 內之單位或數值，係國際單位制 (SI)。

## 附件五 瀝青固化體針入度測定方法

### 一、適用範圍

本方法適用於低放射性廢棄物瀝青固化體針入度之測定。

### 二、方法概要

將低放射性廢棄物瀝青固化體試樣加熱熔解，再倒入容器待其冷卻後製成試品，然後在規定條件下，藉針入計之標準針插入試品內以測定其針入度。

### 三、定義

針入度：瀝青固化體之針入度乃是在已知載重、時間及溫度的條件下，以標準針垂直穿入該瀝青固化體試品之深度，以 1/10 毫米（0.1 mm）為單位。

### 四、儀器及裝置

- (一) 針入計：可讓針軸垂直插入，且幾乎無摩擦因素存在的儀器，其針入度可測至 0.1mm 者。針軸重  $47.5 \pm 0.05\text{g}$ ，針和針軸共重  $50.0 \pm 0.05\text{g}$ ，能夠加載  $50 \pm 0.05\text{g}$  及  $100 \pm 0.05\text{g}$  兩種砝碼，使總荷重達 100g 及 200g，放置試樣容器的表面必須平坦，且針軸必須與該表面大致呈 90 度。此裝置需有水平儀供判讀，並至少每年用手持水平設備確認水平。為便於校準針軸重量，應設計使其容易拆除。
- (二) 穿透針：如圖 1 所示，須以完全硬化且回火過之不銹鋼製成，採用材料 440-C 或同等級材料，硬度約 HRC 54~60，長度約 50mm，直徑 1.00~1.02mm，一端須完全對稱的研磨成 8 度 40 分至 9 度 40 分之錐體，錐體須和針體同軸，且針的錐面與直面間交點處之總軸變異不得超過 0.2mm，錐體尖端截面直徑須在 0.14~0.16mm，且和針軸成直角，最大誤差至 2 度；針尖截面外表須銳利且無毛邊。針須以黃銅或不銹鋼製套圈安裝堅牢，其露出之長度在 40~45mm，套圈直徑  $3.2 \pm 0.05\text{mm}$  長度  $38 \pm 1\text{mm}$ 。套圈套住針時，針尖以及於針任一部分相對於套圈軸之針尖移動路徑（指示器讀數）之偏差均不得超過 1mm，套圈和針共重  $2.5 \pm 0.05\text{g}$ （為調整重量，可於套圈的末端鑽孔或磨平另一端）。各針套圈須加上個別識別標示，同樣的標示在三年內不可被同一製造廠商重覆使用。

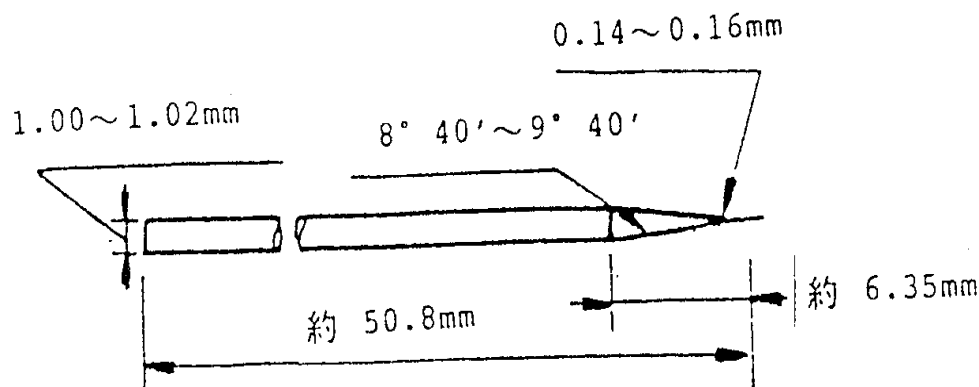


圖 1 針之尺寸



- (三) 試品容器：以金屬或玻璃製成之圓筒形平底容器，容器直徑為 55mm，容器內部深度為 35mm。
- (四) 水浴槽：容量至少 10 公升之水浴槽，溫度能維持在  $25\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，水浴槽須附一多孔支撐架，此架與槽底部之距離不得少於 50mm，而與液面之距離亦不得低於 100mm。如於水浴槽內進行針入度試驗時，須以另一牢固之架子來支持針入計，如試驗須於低溫下進行，可使用鹽水浴。
- (五) 轉送盤：如使用轉送盤，容量須至少 350mL，且須有足夠深的水來浸蓋試品容器，為求一穩固的支撐及防止容器的搖動，可置一三腳架，藉其三點接觸穩定容器。
- (六) 計時器：使用電子錶、馬錶或其它計時器具有 1/10 秒之刻度，且於 60 秒內準確度可至  $\pm 0.1$  秒以內者。
- (七) 溫度計：依照量測溫度範圍使用符合國際標準規範的溫度計，如刻度  $19\sim 27^{\circ}\text{C}$ ；刻度  $-8\sim +32^{\circ}\text{C}$ ；刻度  $25\sim 55^{\circ}\text{C}$  之溫度計。

#### 五、試品之製備

- (一) 為防止局部過熱，須小心攪拌並加熱試樣至可流動且可倒出為止。注意加熱時試樣之溫度不得比預估之瀝青軟化點高出  $90^{\circ}\text{C}$  以上，以最少的時間將樣品液化，並須避免讓試品拌入氣泡。
- (二) 將試樣倒入試品容器內，其倒入量的多寡，以其冷卻至試驗溫度時之深度至少能高於預估針入深度 120% 以上。在每一測試條件下，製備兩份。
- (三) 為防止灰塵可輕蓋容器，須在  $15\sim 30^{\circ}\text{C}$  空氣中冷卻 1~1.5 小時，再將二試樣置入轉送盤放置於試驗溫度下之水浴中放置 1~1.5 小時。

#### 六、試驗條件

若無特別指定，溫度、載重及時間之一般試驗條件分別是  $25^{\circ}\text{C}$ ，100g 載重及 5 秒時間，其它條件則依表 1 條件 1~3 進行。

表 1 針入度試驗條件

條件	溫度， $^{\circ}\text{C}$	荷重，g	時間，秒
1	0	200	60
2	4	200	60
3	45	50	5

#### 七、操作方法

- (一) 檢查針的固定夾（針軸）和導向器是否有水或含其他雜質，可以甲苯或其他溶劑洗淨針頭，再以乾淨布擦乾，然後固定於針入計上，除非特別要求，否則將 50g 法碼置於針上，使總重為  $100\pm 0.1\text{g}$ ，如測試需要在水浴槽裡進行，則將試品容器置於沒入水中的針入計臺上。保持水面使試品容器完全浸於水浴裏，如針入計不在水浴槽裡，則把試品置於轉送盤上，再以恆溫水浴槽之水將其完全淹沒，然後把轉送盤放在針入計臺上。以上任一種情況均須緩慢調整針的位置，使其和試品剛好接觸。吾人可以一適當的光源<sup>(1)</sup>，使針和針影接

觸來確認其和試品表面是否剛剛接觸。注意須使針入計指針歸零。儘快放開固定夾，然後停放 5 秒，再調整儀器測出針入距離（以 1/10mm 計）。如果試品容器有移動，則此數據必須捨棄。

註 1：針的位置，可用照明的甲基丙烯酸甲酯塑膠管來測定。

- (二) 在試品表面離容器邊緣大於 10mm 且相互距離大於 10mm 的點作至少三次的測定。如果使用轉送盤，則測定針入度各數值之間必須把轉送盤和試品容器放入恆溫水浴槽中再取出測量。每次測定均須清潔針。

#### 八、報告

- (一) 以三次結果平均整數值報告之，但其三次結果之最大值和最小值之容許偏差之最大值，於針入度（1/10mm）小於 50 時不超出 2，於針入度大於 50 時不超出 4。
- (二) 如數據間差值超出以上所列者，則以第二個試品再試驗之。
- (三) 如數據再超出容許的差值，則所有的數據均須捨棄，重新試驗。

#### 九、精確度

欲判斷數據是否合理可以表 2 為依據，表 2 表示不同試驗情況之標準差。倘若針入度大於 60，將其值代入表 2 當中的 X 值，以求出相對應的標準差。同一人之二次試驗數據之差異稱為重覆性；不同實驗室間數據之差異稱為再現性。試驗結果依報告所得數據之平均值。

表 2 精確度準據

種類	容許標準差
於 25°C 下單一操作者精確度	
低於 60 針入度	0.8
高於 60 針入度	$0.8 + 0.03 * (X - 60)$
於 25°C 下不同實驗操作精確度	
低於 60 針入度	2.5
高於 60 針入度	$2.8 + 0.05 (X - 60)$

註：當針入度大於 60 時，需將其值代入 X 求出對應的標準差。

## 附件六 固化體溶出指數測定方法

### 一、適用範圍

本方法適於測定低放射性廢棄物固化體試品之溶出指數（L）。除非作過與實際處置狀況相關的研究，否則試驗結果不能直接應用於任何特定的環境狀況。本試驗的結果只能作為短期（五天）溶出試驗後，廢棄物固化體釋出放射性核種之指標，並不能代表廢棄物固化體長期（數百至數千年）於處置場環境下之溶出情形。

### 二、方法概要

於固化體試品製作完成時，首先計算出每一個試品所含放射性核種及總活度  $A_p$ 。實驗開始時先將固化體試品浸泡於實驗所需之除礦水中，使其潤濕（rinse）約 30 秒後立即取出試品，並將浸泡之除礦水取樣計測各核種之總活度  $a_r$ ，由  $A_p - a_r$  即可求得該試品之初始總活度  $A_0$ 。試品經上述 30 秒潤濕後，即重新更換等量之除礦水，再依規定之時間間隔取樣和更新溶出液，全程試驗時間為 5 天，再以整個試驗期間所收集的數據，計算出固化體試品的溶出指數（L）。

### 三、溶出試驗容器

（一）製造溶出試驗容器的材料應符合以下各項要點：

- 1、它不會和溶出液或試品起化學反應。
- 2、它不會從試品或溶出液吸附化學物種。特別是溶出試驗所欲測的物種，以及會影響溶出液成分的物種。
- 3、應作空白測試以了解容器材料的吸附作用。
- 4、若使用會吸附溶出物種的材料，其吸附程度必須小於溶出增量分數的 5%，或是在溶出液取樣和更換的同時，必需分析並除去容器中被吸附的物種。
- 5、它不會在溶出期間釋出干擾物質以改變溶出液的組成。
- 6、它可以經得起溶出過程所包含的狀況。

（二）溶出試驗容器須可防止溶出液過度蒸發（24 小時內之蒸發量不超過溶出液總體積之 2%）。

容器的大小須能使浸入試品的表面積（98%以上）在整個溶出過程中和溶出液接觸。容器的大小除應足以容納溶出液外，並應留下一些自由空間，以方便試品和溶出液的操作。

### 四、溶出液

- （一）本試驗使用之溶出液，須為 25℃時導電度低於 5 $\mu$ mho/cm，總有機碳含量（TOC）低於 3ppm 的除礦水。
- （二）溶出液須依照指定的時間間隔，進行取樣和完全更新。
- （三）溶出液的溫度在整個試驗期間必須保持在 17.5~27.5℃的範圍內。
- （四）溶出液的體積  $V_L$  與試品的表面積  $S$  之比值應在 10 $\pm$ 0.2（cm）的範圍內。

## 五、試品製備

- (一) 試品須具有代表性，其表面條件、材料的均勻性都須與真實的廢棄物固化體相同，且試品須有合適的形狀、質量和體積。
- (二) 試品應依照廢棄物固化體的固化程序製備，或使用固化體試品模具來鑄造，以使試品表面平滑，並消除其內部的空隙（void），使其均勻度與實際廢棄物固化體一致。
- (三) 對於類似玻璃（glass-like）或熱固性（thermosetting）的廢棄物，必須加熱試品容器，以產生一可代表真實廢棄物固化體的加熱過程（thermal history），其加熱過程必須確實記錄。
- (四) 試品製備好後，在未進行溶出試驗前，應置於試品容器內，以密封保存，此容器與試品模具可以相同，也可以不同。
- (五) 試品容器應由確知不會與試品發生化學反應的材料所製成（例如：聚乙烯、聚丙烯、不銹鋼、陶瓷、玻璃等）。對所有的廢棄物固化體而言，沒有單一種材料是最佳的材料。
- (六) 試品的幾何形狀可以是完整的圓柱體、平行六面體、或球體，但最好為圓柱體。圓柱體的長度對直徑比在 0.2~5 之間，而平行六面體的長度對最小厚度比在 0.2~5 之間。
- (七) 使用小試品可有效減少輻射範圍，但試品尺寸須不能小到危及其本身的均勻性、分析之靈敏度，或對試品製備造成實質的困難。除非確實有必要使用較小的試品（例如：使個人之輻射曝露降至最低），否則試品的尺寸建議至少為 1 公分。

## 六、溶出試驗步驟

- (一) 從試品容器取出試品，開始溶出試驗。
- (二) 將固化體試品浸泡於實驗所需之除礦水中，使其潤濕約 30 秒後，取出試品。
- (三) 在進行溶出試驗以前，先用與溶出試驗容器相同體積的除礦水潤濕試驗容器，以回收殘留在剩餘溶液中或容器壁上所有的放射性物質。
- (四) 將潤濕容器和試品之除礦水混合（以下稱潤溼液），並分析液體中各核種之放射性強度，分析結果以強度分率 $(a_i/A_0)_i$ 表示。強度分率 $(a_i/A_0)_i$ 之定義為潤溼液中， $i$ 核種之活度 $(a_i)_i$ 對試品內相同核種 $(i)$ 初始總活度 $(A_0)_i$ 之比值。
- (五) 將試品以合適的裝置固定，此裝置須不會與試品發生反應、干擾溶出液取出和更換、損害試品的表面或遮蔽試品曝露於溶出液之表面積（>2%），合適的支撐裝置包括可懸掛試品的金屬線、堅固的支撐台、或以金屬線編織而成的網籃。
- (六) 將足夠量的溶出液倒入試驗容器中，溶出液必需均勻覆蓋整個試品表面，且在溶出試驗期間不要攪拌溶出液。
- (七) 依照下列規定之時間表（參見圖 1），作溶出液更新及溶出液取樣：
  - 1、自試驗開始後第 2、7 及 24 小時進行溶出液更新及取樣（共 3 次）。
  - 2、往後四天每隔 24 小時進行溶出液更新及取樣（共 4 次）。
  - 3、如需進行延長溶出試驗，則接著於試驗後之第 19、47 及 90 天進行溶出液更新及取樣（共 3 次）。

4、延長溶出試驗中的最後三次溶出液更新及取樣，如遇到週六（或週日），可移至週五（或週一）進行。因為在較長的試驗間隔，提前一天或延緩一天更換溶出液及取樣，其結果並不會有顯著的不同。

(八) 在每一溶出間隔結束時，快速地將試品從用過的溶出液中取出，並置入一含新鮮溶出液之試驗容器中。

(九) 試品在置入新的溶出液前，亦可用除礦水稍微潤濕（<5s）。

(十) 在更新溶出液的過程中，不能使試品的表面達到乾燥，因此務必儘量縮短試品曝露在空氣中的時間。

(十一) 將用過溶出液取出後，用除礦水潤濕試驗容器，以除去殘留的溶出液和內含的放射性物質。

(十二) 測定潤濕液（包含試品及試驗容器潤濕液）及剛取出之用過溶出液中的放射性活度。

(十三) 如溶出試驗步驟(七)所示，完整之標準溶出試驗共需 5 天時間，而延長溶出試驗則需要 90 天時間。

#### 七、溶出液分析

(一) 於每一次溶出步驟結束後，取等份量之溶出液，以適當的分析方法來決定其中欲測核種之數量 $(a_n)_i$ 。

(二) 溶出液在取樣之前，須充分攪拌以懸浮其中之固體微粒，或加入化學藥品，以溶解此類固體微粒。

(三) 當溶出過程有沈澱物產生時，則要分析沈澱物中欲測核種之量，並與溶出液中欲測核種之量相加。

#### 八、結果之分析

(一) 假如從一均勻、規則固體物溶出某物質之量仍低於原固體物中該物可溶出量的 20%時，則溶出行為（由擴散控制）可用半無限大介質之溶出現象來概略估算。在許多溶出測試中，作為追縱核種的同位素須具有穩定且半化期長（對試驗時間而言）的特性。

(二) 核種的有效擴散率（effective diffusivity）可由下列質量傳送方程式來表示：

$$D = \pi \left[ \frac{a_n / A_o}{(\Delta t)_n} \right] \left[ \frac{V}{S} \right]^2 T \quad (1)$$

其中

D：有效擴散率（ $\text{cm}^2/\text{s}$ ）

$a_n$ ：核種自試品在第 n 次溶出間隔時釋放出之活度

$A_o$ ：核種在試品中第一次溶出間隔開始之活度

$(\Delta t)_n = t_n - t_{n-1}$ ：第 n 次溶出間隔時間（s）

V：試品體積（ $\text{cm}^3$ ）

S：試品之表面積（ $\text{cm}^2$ ）

T：溶出間隔之平均時間（s），即

$$T = \left[ \frac{1}{2} (t_n^{1/2} + t_{n-1}^{1/2}) \right]^2 \quad (2)$$

其中

$t_n$ ：浸泡至第  $n$  次溶出間隔時間 (s)

$t_{n-1}$ ：浸泡至第  $n-1$  次溶出間隔時間 (s)

(三) 若固體物溶出某物質之量高於原固體物中該物可溶出量的 20% 時，則有效擴散率可用特定形狀之質量傳送方程式計算獲得。表 1 即是由數種形式圓柱體之實驗數據計算  $D$  值，此法是以積分 (integral) 數據計算而非由方程式(1)所列之遞增 (incremental) 數據。

(四) 使用表 1 計算溶出累積分數 ( $F = \sum a_n / A_o$ )，由  $F$  的數值，再根據圓柱體試品之長度對直徑比 ( $l/d$ )，從表 1 求對應的  $G$  值，由  $G$  值與其他數值代入方程式(3)中可得到有效擴散率  $D$ ，即：

$$D = \frac{Gd^2}{t} \quad (3)$$

其中

$G$ ：圓柱體之時間因子 (無因次)

$d$ ：圓柱體之直徑 (cm)

$t$ ：總溶出時間 (s)

(五) 圖 2 為數種幾何形狀之固化體估算其有效擴散率  $D$  之圖形，同時此圖也顯示出有限物體之溶出，若超過 20% 之起始放射活性溶出後，將與預測之半無限大介質模式之結果有相當大的差異，圖 2 為溶出累積分數對無因次時間因子  $Z$  作圖。其中

$$Z = \left[ (Dt) \left( \frac{S}{V} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

而試品之幾何形狀為第三變數。

(六) 由圖 2 所得之  $D$  值，與前面用表的方法所得之  $D$  值相吻合，由表與圖兩種途徑求得之  $D$  值，相關變數之數值可由表 1 與圖 2 中之數值線性內插而求得。相反地，由合理估計之  $D$  值，可約略推算出試品在試驗時間內之半無限大介質之情況。

(七) 在前述的計算中，並無考慮放射性活度衰變之因素，此即是

$$(a_n)_\tau = b_n \left( \frac{V_l}{v_a} \right) e^{\lambda \tau} \rightarrow b_n \left( \frac{V_l}{v_a} \right) (1) \equiv a_n \quad (5)$$

其中

$(a_n)_\tau$ ：分析用等份量溶出液中之放射性核種之量 (已作放射衰變參考時間之修正)

$b_n$ ：分析用等份量 (aliquot) 溶出液中放射性核種之量

$v_a$ ：分析用溶出液之體積 (ml)

$V_l$ ：溶出液之體積 (ml)；(由  $V_l$  溶出液進一步取  $v_a$  進行分析)

$\lambda$ ：放射衰變常數  $= \ln 2 / t_{1/2} = 0.693 / t_{1/2} (s^{-1})$

$t_{1/2}$ ：欲測核種之半化期 (s)

$\tau$ ：從參考時間至等份量溶出液起始計測之間隔時間 (s)

- (八) 如果不用參考射源方法來報告數據，且欲測之放射核種之半化期短 ( $t_{1/2} < 20\tau$ )，則計測數據必須修正至參考時間，一般而言，參考時間為第一次溶出之起始時間。如方程式(5)所示， $b_n$  乘以指數項  $e^{\lambda\tau}$  即是修正值。

#### 九、溶出指數之測定

- (一) 固化體試品中欲測定之核種  $i$  的溶出指數定義為

$$L_i = \frac{1}{7} \sum_1^7 [\log(\beta / D_i)]_n \quad (6)$$

其中

$\beta$ ：常數 ( $1.0\text{cm}^2/\text{s}$ )

$D_i$ ：核種  $i$  之有效擴散率

- (二) 若  $\sum a_n / A_0 < 0.2$ ，則  $D_i$  可由方程式(1)計算而得，否則由方程式(3)及表 1 之表定法或是由圖 2 之圖示法而得。

- (三) 方程式(6)是核種  $i$  的 7 次測定值 ( $L_n$ ) 之平均數當作該核種之溶出指數 ( $L_i$ )。

- (四) 如果不同之化學物種在固定組成物質中移動有快慢時，則物質中之不同放射核種會有不同之溶出指數。在同一組成中不同核種之溶出指數是將核種符號以下標方式顯示，如

$$L_{\text{Co-60}} = 10.7。$$

- (五) 如果進行延長溶出試驗，溶出指數之符號改為  $\bar{L}$ ，而且須考慮原先的 7 個溶出間隔以及增加的 3 個溶出間隔之  $\log(\beta/D_i)$  平均值，即

$$\bar{L}_i = \frac{1}{10} \sum_1^{10} [\log(\beta / D_i)]_n \quad (7)$$

- (六) 若擴散模式中，所有使用之起始和邊界條件都符合，則溶出指數與時間無關，此即是在每一  $L_n$  都等於  $L_i$ ，然而  $L$  的測定包含著不明之效應以及變化，這些皆可對實際的狀況造成些微的影響，此方法採用可靠度範圍和關聯係數以測量這些差異。

- (七) 溶出率指數的 99.9%可靠度範圍可由下式定義：

$$C = L_i \pm 5.959\sigma_L n^{-1/2} = L_i \pm 2.25\sigma_L \quad (8)$$

其中

$C$ ： $L_i$  的 99.9%可靠度範圍 (無因次)

$L_i$ ：7 個  $L_n$  的平均值，即方程式(6) (無因次)

$L_n$ ：由第  $n$  次溶出間隔數據計算出的  $L$  值 (無因次)

$\sigma_L$ ：7 個  $L_n$  值的標準平均偏差 (無因次)，其定義如下

$$\sigma_L = \frac{1}{\sqrt{6}} \left[ \sum_1^7 (L_n - L_i)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

L 和 t 之間的關聯係數可用以下的關係來定義：

$$r = \frac{\sigma_{Lt}}{\sigma_L \sigma_t} \quad (10)$$

其中

r：關聯係數（無因次）

$\sigma_{Lt}$ ：7 組 L 和 t 之間的共偏差（covariance）（s），其定義如下

$$\sigma_{Lt} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^7 (L_n - L_i)(t_n - t_m) \quad (11)$$

$\sigma_t$ ：7 個  $t_n$  值的標準平均偏差（s），其定義如下

$$\sigma_t = \frac{1}{6} \left[ \sum_{i=1}^7 (t_n - t_m)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

其中

$t_n$ ：第 n 次溶出間隔結束的時間（s）

$t_m$ ：7 個  $t_n$  平均值（s），其定義如下

$$t_m = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 t_n \quad (13)$$

(八) 關聯係數的改變範圍由 -1 至 +1，正負號代表當  $t_n$  增大時， $L_n$  趨向於增大（+r）或減小（-r）。

(九) 所有統計參數之計算須具有比原有的  $L_n$  和  $t_n$  至少多二位之有效位數，在未取得最終結果前，所有數據不得任意進位。溶出指數之標示須包含可靠度範圍和關聯係數，可靠度範圍取至小數點下一位，關聯係數取至小數點下二位。

#### 十、品質管制

(一) 溶出液的成分、溶出液更新頻率和測試條件（例如溫度和壓力）等因素都會影響溶出試驗的結果。因此，試驗須依照本方法所規定的溶出液，溶出液取樣和更新的時間表，溶出液的溫度和其它詳細的試驗條件進行。

(二) 如果測定合併潤濕液中核種之量，相對於前一次之數據有極大的差異或是遠超過廢棄物標明之資料，溶出試驗應終止，確認造成差異的原因，並重新測試。和前一次數據或標明資料明顯相差，表示溶出試驗程序不適當、試品不具代表性、試品製備過程不正確或其它不顯著之原因。若無相當大的差異存在，則數據要按照規定期間連續收集。

(三) 因更新溶出液的時間需要相當迅速，使得更換時間相較於溶出間隔時間而言變得不是很重要。所以，所有實際操作的計測時間  $t_c$  約等於所有溶出間隔時間的總和，即  $t_c \doteq (\Delta t)_n$ 。

(四)  $A_0$  的值可由製備試品之總放射性活度  $A_p$  減去最初合併之潤濕液的放射性活度  $a_r$  求得（即  $A_0 = A_p - a_r$ ）。 $A_0$  和  $a_r$  的值，需作放射性衰變的修正，並且指出其參考時間（例如第一次溶出間隔開始的時間）。

(五) 污染物質（放射性或非放射性）之含量，其單位為微居里（ $\mu\text{Ci}$ ）、貝克（Bq）或微克（ $\mu\text{g}$ ）。



- (六) 假如相關的放射性核種之半化期未超過計測時間的 20 倍時，數據必須對參考時間作放射性衰變的修正，雖然可使用任意方便的時間作為參考時間，但建議使用第一次溶出間隔開始時間作為參考時間。
- (七) 假如溶出試驗用非放射性追蹤物質 (tracer) 作處理，使用之分析方法必需足夠靈敏以產生具代表性的數據，於這種情況下， $A_0$  代表在最初潤濕後，存於試品中追蹤劑的總量，這和其它溶出數據 (如  $a_n$  等) 可採用微克 ( $\mu\text{g}$ ) 或一些分析程序上的其它特定參數作為單位。
- (八) 本方法所定義之溶出指數 ( $L$  或  $\bar{L}$ ) 是一種材料變數。此變數受到試驗材料的限制。只有在試品本身於溶出試驗期間無重大變化以及其和真實廢棄物固化體之材料特性相同時，此指數才具有意義。

#### 十一、報告：

報告內容應包括下列各事項：

- (一) 廢棄物的類別，以及廢棄物和固化劑形成廢棄物固化體的固化配比 (重量或體積)。
- (二) 固化材料 (固化劑) 和添加劑的類別和成分 (包含需註明所用之商業品名)。
- (三) 放射性核種及／或非放射性追蹤物質，及其在剛製備完成之溶出試品中之總量 ( $A_p$ )<sub>i</sub> 和經 30 秒潤濕後之溶出試品中之總量 ( $A_0$ )。
- (四) 對特定試品製備方法的所有變更。
- (五) 溶出試驗試品的形狀、質量和大小。
- (六) 試品製備和溶出的歷程，包括時間、溫度和其它相關資料。
- (七) 每一溶出間隔 (即日、時或分) 的開始或結束時間。
- (八) 溶出液的導電度 ( $\mu\text{mho}/\text{cm}$  在  $25^\circ\text{C}$ ) 和總有機碳 (TOC) 含量。
- (九) 每一溶出間隔期間使用溶出液的體積。
- (十) 每一溶出間隔結束時，溶出液的溫度。
- (十一) 分析用之等份量溶出液體積。
- (十二) 每一溶出間隔結束時，存在於等份量溶出液中之放射性或非放射性物質的類別和含量，含量之表示單位有微居里 ( $\mu\text{Ci}$ )、貝克 (Bq) 或微克 ( $\mu\text{g}$ )。
- (十三) 溶出前後，試品表面的外觀。
- (十四) 試驗期間試品形狀和大小的變化。
- (十五) 溶出液中是否含有不溶解固體。
- (十六) 試驗結果所計算出之溶出指數 ( $L$ )。
- (十七) 溶出指數 ( $L$ ) 包含可靠度範圍和關聯係數。

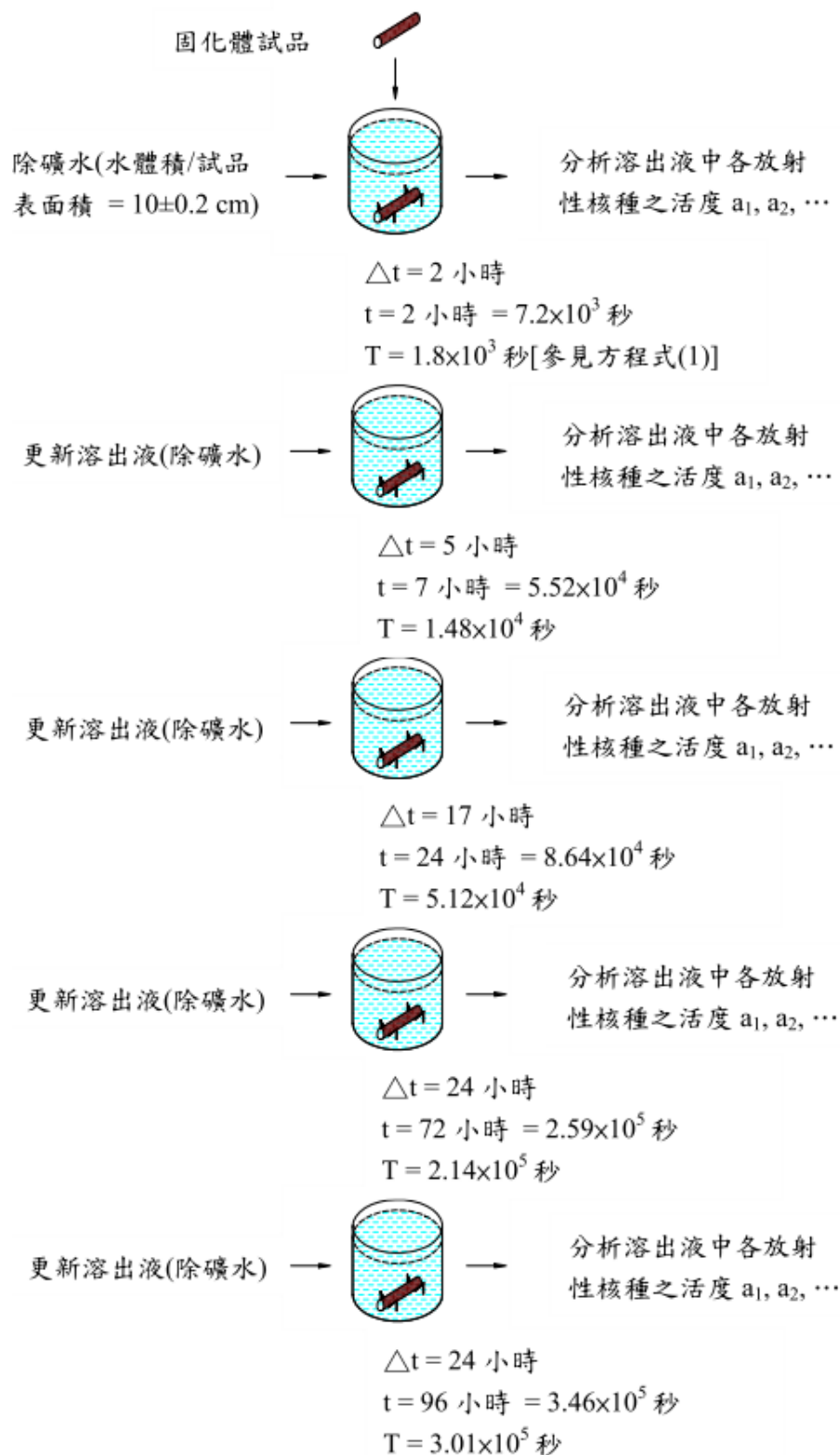
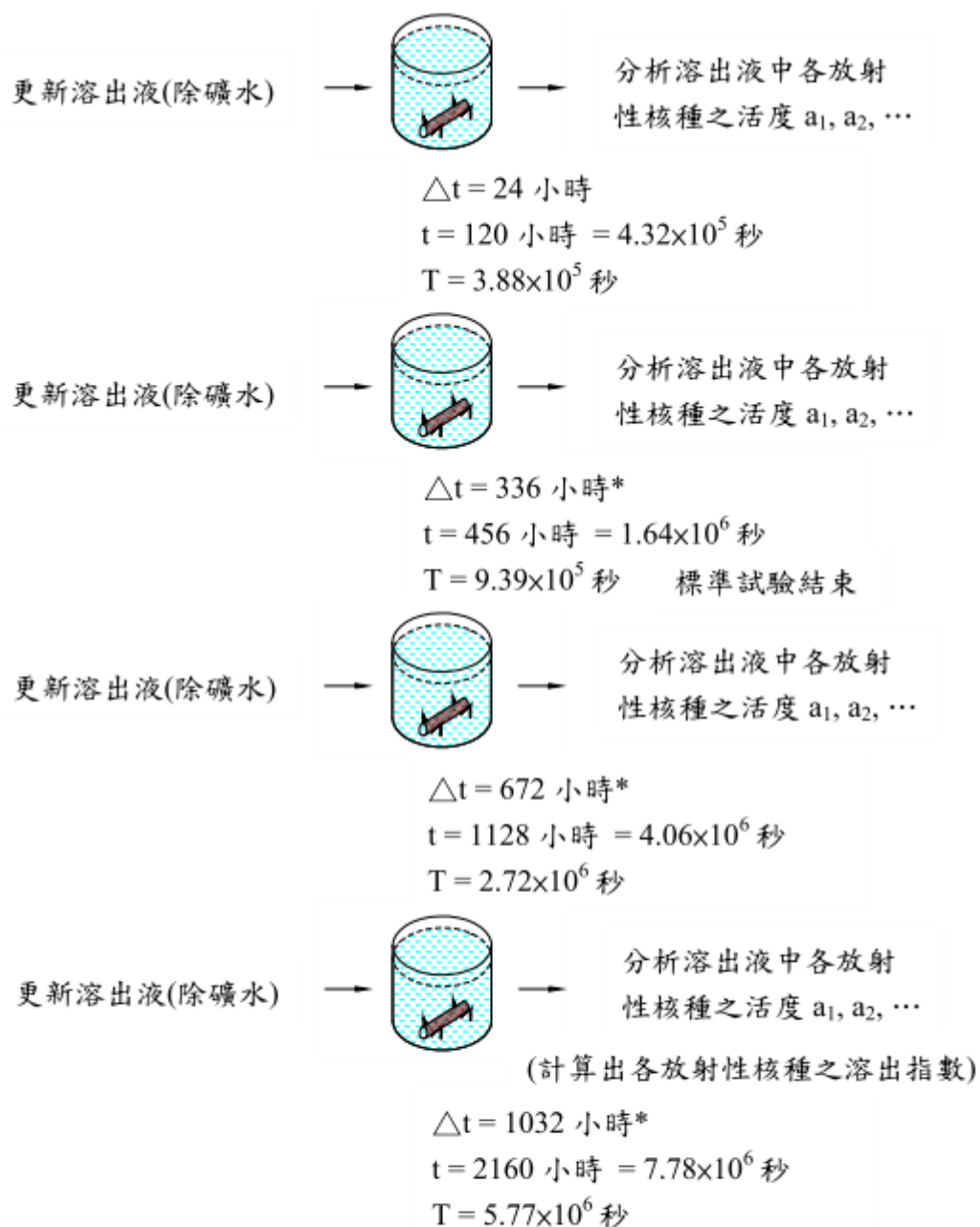


圖 1 溶出試驗圖



試驗溫度範圍  $17.5 \sim 27.5^\circ\text{C}$

註\*: 延長溶出試驗提前一天或延緩一天更換溶出液及取樣

圖 1 溶出試驗圖 (續)

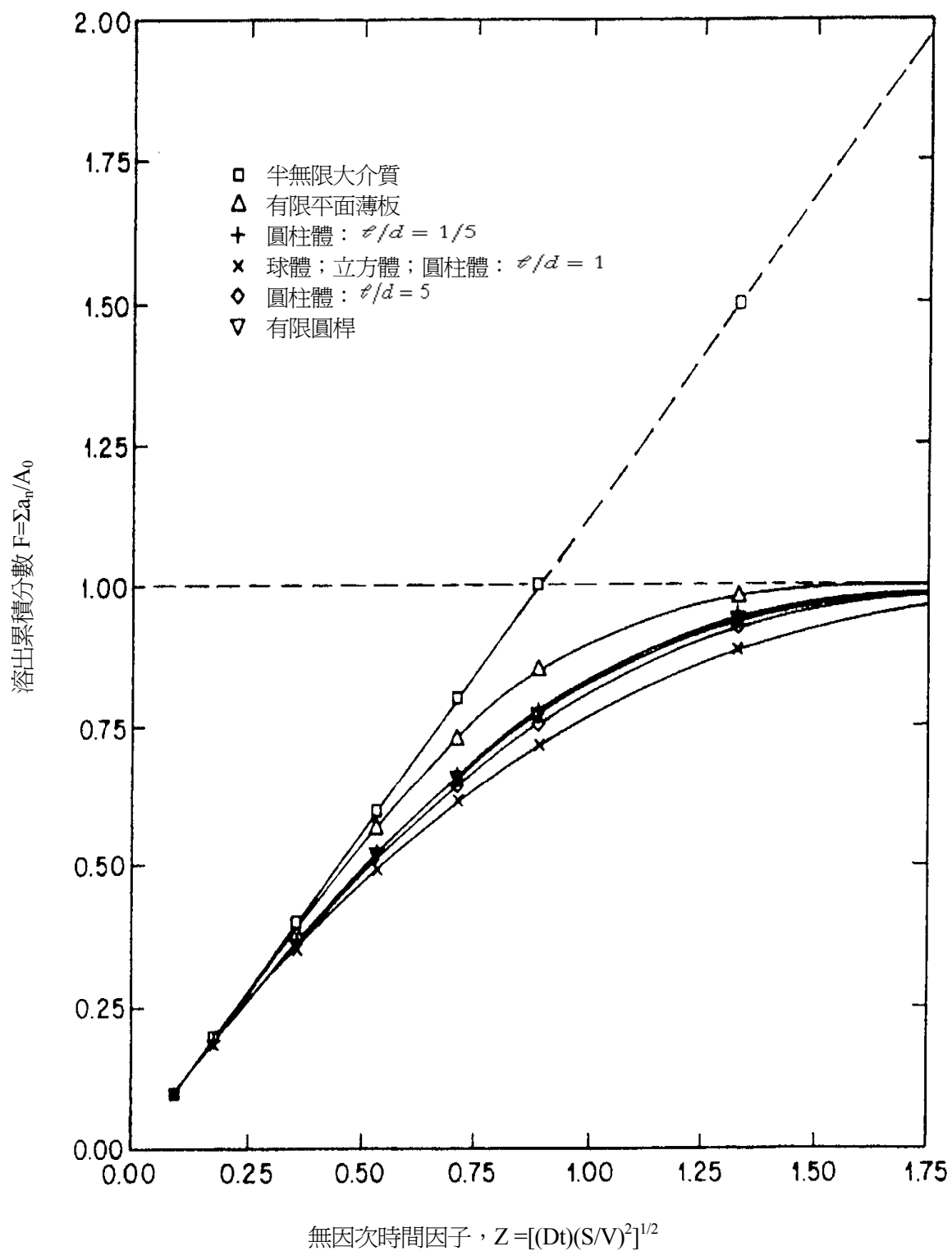


圖 2 各種形狀之固體合半無限大介質之溶出分數與無因次時間因子  $Z$  關係圖

表 1

有限圓柱體溶出之間因子  $G^{a,b}$ 

溶出累積 分數 (F)	時間因子 ( $G=Dt/d^2$ )						
	L/d=0.3	L/d=0.5	L/d=1.0	L/d=1.5	L/d=2.0	L/d=3.0	L/d=5.0
0.20	3.10D-4	5.59D-4	9.98D-4	1.26D-3	1.42D-3	1.62D-3	1.80D-3
0.21	3.43D-4	6.21D-4	1.11D-3	1.40D-3	1.58D-3	1.80D-3	2.00D-3
0.22	3.79D-4	6.86D-4	1.23D-3	1.54D-3	1.74D-3	1.98D-3	2.21D-3
0.23	4.17D-4	7.55D-4	1.35D-3	1.70D-3	1.92D-3	2.18D-3	2.43D-3
0.24	4.57D-4	8.28D-4	1.48D-3	1.86D-3	2.11D-3	2.39D-3	2.66D-3
0.25	4.98D-4	9.05D-4	1.62D-3	2.04D-3	2.30D-3	2.61D-3	2.90D-3
0.26	5.42D-4	9.86D-4	1.77D-3	2.22D-3	2.51D-3	2.84D-3	3.16D-3
0.27	5.89D-4	1.07D-3	1.92D-3	2.41D-3	2.72D-3	3.09D-3	3.43D-3
0.28	6.37D-4	1.16D-3	2.08D-3	2.61D-3	2.95D-3	3.34D-3	3.71D-3
0.29	6.88D-4	1.26D-3	2.25D-3	2.82D-3	3.19D-3	3.61D-3	4.00D-3
0.30	7.40D-4	1.35D-3	2.43D-3	3.05D-3	3.43D-3	3.89D-3	4.31D-3
0.31	7.96D-4	1.46D-3	2.61D-3	3.28D-3	3.69D-3	4.18D-3	4.63D-3
0.32	8.54D-4	1.56D-3	2.81D-3	3.52D-3	3.97D-3	4.49D-3	4.97D-3
0.33	9.14D-4	1.68D-3	3.01D-3	3.77D-3	4.25D-3	4.81D-3	5.32D-3
0.34	9.77D-4	1.80D-3	3.22D-3	4.04D-3	4.55D-3	5.14D-3	5.68D-3
0.35	1.04D-3	1.92D-3	3.44D-3	4.31D-3	4.86D-3	5.48D-3	6.06D-3
0.36	1.11D-3	2.05D-3	3.68D-3	4.60D-3	5.18D-3	5.85D-3	6.45D-3
0.37	1.18D-3	2.18D-3	3.92D-3	4.90D-3	5.51D-3	6.22D-3	6.86D-3
0.38	1.25D-3	2.32D-3	4.17D-3	5.21D-3	5.86D-3	6.61D-3	7.29D-3
0.39	1.33D-3	2.46D-3	4.43D-3	5.54D-3	6.23D-3	7.02D-3	7.73D-3
0.40	1.41D-3	2.61D-3	4.70D-3	5.88D-3	6.60D-3	7.44D-3	8.19D-3
0.41	1.49D-3	2.77D-3	4.99D-3	6.23D-3	7.00D-3	7.87D-3	8.67D-3
0.42	1.58D-3	2.93D-3	5.28D-3	6.60D-3	7.40D-3	8.33D-3	9.16D-3
0.43	1.67D-3	3.10D-3	5.59D-3	6.98D-3	7.83D-3	8.80D-3	9.67D-3
0.44	1.76D-3	3.28D-3	5.91D-3	7.37D-3	8.27D-3	9.29D-3	1.02D-2
0.45	1.85D-3	3.46D-3	6.24D-3	7.78D-3	8.72D-3	9.79D-3	1.07D-2
0.46	1.95D-3	3.65D-3	6.58D-3	8.21D-3	9.19D-3	1.03D-2	1.13D-2
0.47	2.05D-3	3.84D-3	6.94D-3	8.65D-3	9.69D-3	1.09D-2	1.19D-2
0.48	2.16D-3	4.05D-3	7.31D-3	9.11D-3	1.02D-2	1.14D-2	1.25D-2
0.49	2.27D-3	4.26D-3	7.70D-3	9.58D-3	1.07D-2	1.20D-2	1.31D-2

表 1

## 有限圓柱體溶出之間因子 G (續)

溶出累積 分數 (F)	時間因子 ( $G=Dt/d^2$ )						
	L/d=0.3	L/d=0.5	L/d=1.0	L/d=1.5	L/d=2.0	L/d=3.0	L/d=5.0
0.50	2.38D-3	4.48D-3	8.10D-3	1.01D-2	1.13D-2	1.26D-2	1.38D-2
0.51	2.49D-3	4.71D-3	8.52D-3	1.06D-2	1.18D-2	1.32D-2	1.45D-2
0.52	2.61D-3	4.94D-3	8.95D-3	1.11D-2	1.24D-2	1.39D-2	1.52D-2
0.53	2.74D-3	5.19D-3	9.40D-3	1.17D-2	1.30D-2	1.46D-2	1.59D-2
0.54	2.87D-3	5.44D-3	9.86D-3	1.22D-2	1.37D-2	1.52D-2	1.66D-2
0.55	3.00D-3	5.70D-3	1.03D-2	1.28D-2	1.43D-2	1.60D-2	1.74D-2
0.56	3.13D-3	5.98D-3	1.09D-2	1.35D-2	1.50D-2	1.67D-2	1.82D-2
0.57	3.28D-3	6.26D-3	1.14D-2	1.41D-2	1.57D-2	1.75D-2	1.90D-2
0.58	3.42D-3	6.55D-3	1.19D-2	1.48D-2	1.64D-2	1.83D-2	1.99D-2
0.59	3.57D-3	6.86D-3	1.25D-2	1.54D-2	1.72D-2	1.91D-2	2.08D-2
0.60	3.73D-3	7.17D-3	1.31D-2	1.62D-2	1.80D-2	2.00D-2	2.17D-2
0.61	3.89D-3	7.50D-3	1.37D-2	1.69D-2	1.88D-2	2.08D-2	2.26D-2
0.62	4.06D-3	7.84D-3	1.43D-2	1.77D-2	1.96D-2	2.18D-2	2.36D-2
0.63	4.23D-3	8.19D-3	1.50D-2	1.85D-2	2.05D-2	2.27D-2	2.46D-2
0.64	4.41D-3	8.56D-3	1.56D-2	1.93D-2	2.14D-2	2.37D-2	2.56D-2
0.65	4.59D-3	8.94D-3	1.64D-2	2.02D-2	2.24D-2	2.47D-2	2.67D-2
0.66	4.78D-3	9.33D-3	1.71D-2	2.11D-2	2.33D-2	2.58D-2	2.78D-2
0.67	4.98D-3	9.75D-3	1.79D-2	2.20D-2	2.44D-2	2.69D-2	2.90D-2
0.68	5.18D-3	1.02D-2	1.87D-2	2.30D-2	2.54D-2	2.80D-2	3.02D-2
0.69	5.40D-3	1.06D-2	1.95D-2	2.40D-2	2.65D-2	2.92D-2	3.15D-2
0.70	5.62D-3	1.11D-2	2.04D-2	2.50D-2	2.77D-2	3.04D-2	3.27D-2
0.71	5.84D-3	1.16D-2	2.13D-2	2.61D-2	2.89D-2	3.17D-2	3.41D-2
0.72	6.08D-3	1.21D-2	2.23D-2	2.73D-2	3.01D-2	3.30D-2	3.55D-2
0.73	6.33D-3	1.26D-2	2.33D-2	2.85D-2	3.14D-2	3.44D-2	3.70D-2
0.74	6.59D-3	1.31D-2	2.43D-2	2.97D-2	3.27D-2	3.59D-2	3.85D-2
0.75	6.86D-3	1.37D-2	2.54D-2	3.11D-2	3.42D-2	3.74D-2	4.01D-2
0.76	7.14D-3	1.43D-2	2.65D-2	3.24D-2	3.56D-2	3.90D-2	4.17D-2
0.77	7.44D-3	1.49D-2	2.77D-2	3.39D-2	3.72D-2	4.06D-2	4.34D-2
0.78	7.75D-3	1.56D-2	2.90D-2	3.54D-2	3.88D-2	4.24D-2	4.52D-2
0.79	8.08D-3	1.63D-2	3.03D-2	3.70D-2	4.05D-2	4.42D-2	4.71D-2
0.80	8.42D-3	1.70D-2	3.18D-2	3.87D-2	4.24D-2	4.61D-2	4.91D-2

表 1

## 有限圓柱體溶出之間因子 G (續)

溶出累積 分數 (F)	時間因子 ( $G=Dt/d^2$ )						
	L/d=0.3	L/d=0.5	L/d=1.0	L/d=1.5	L/d=2.0	L/d=3.0	L/d=5.0
0.81	8.78D-3	1.78D-2	3.32D-2	4.04D-2	4.42D-2	4.81D-2	5.12D-2
0.82	9.16D-3	1.86D-2	3.48D-2	4.23D-2	4.63D-2	5.03D-2	5.35D-2
0.83	9.56D-3	1.95D-2	3.65D-2	4.43D-2	4.84D-2	5.25D-2	5.58D-2
0.84	9.99D-3	2.04D-2	3.83D-2	4.64D-2	5.07D-2	5.49D-2	5.83D-2
0.85	1.05D-2	2.14D-2	4.02D-2	4.87D-2	5.31D-2	5.75D-2	6.10D-2
0.86	1.09D-2	2.25D-2	4.23D-2	5.11D-2	5.57D-2	6.03D-2	6.38D-2
0.87	1.15D-2	2.36D-2	4.45D-2	5.38D-2	5.85D-2	6.32D-2	6.69D-2
0.88	1.21D-2	2.49D-2	4.69D-2	5.66D-2	6.15D-2	6.64D-2	7.02D-2
0.89	1.27D-2	2.62D-2	4.95D-2	5.97D-2	6.49D-2	6.99D-2	7.38D-2
0.90	1.34D-2	2.77D-2	5.23D-2	6.31D-2	6.85D-2	7.37D-2	7.78D-2
0.91	1.41D-2	2.94D-2	5.55D-2	6.69D-2	7.25D-2	7.80D-2	8.22D-2
0.92	1.50D-2	3.12D-2	5.90D-2	7.11D-2	7.70D-2	8.27D-2	8.71D-2
0.93	1.60D-2	3.33D-2	6.31D-2	7.59D-2	8.21D-2	8.81D-2	9.26D-2
0.94	1.71D-2	3.58D-2	6.77D-2	8.14D-2	8.81D-2	9.43D-2	9.91D-2
0.95	1.84D-2	3.87D-2	7.33D-2	8.80D-2	9.51D-2	1.02D-1	1.07D-1
0.96	2.01D-2	4.22D-2	8.00D-2	9.61D-2	1.04D-1	1.11D-1	1.16D-1
0.97	2.22D-2	4.68D-2	8.87D-2	1.06D-1	1.15D-1	1.22D-1	1.28D-1
0.98	2.52D-2	5.33D-2	1.01D-1	1.21D-1	1.31D-1	1.39D-1	1.45D-1
0.99	3.04D-2	6.43D-2	1.22D-1	1.46D-1	1.57D-1	1.67D-1	1.74D-1

## 附件七 固化體耐水性試驗方法

### 一、適用範圍

本方法適用於低放射性廢棄物固化體耐水性之試驗。

### 二、方法概要

將固化體試品先行浸水 90 天後，以目視方法檢視試品外觀有無變化，再進行其它相關測試。

### 三、浸泡溶液

- (一) 本試驗以去離子蒸餾水作為浸泡溶液。
- (二) 浸泡溶液的溫度在整個試驗期間必須保持在 17.5~27.5℃ 的範圍內。
- (三) 浸泡溶液的體積 VL 與試品的表面積 S 之比值應在 10±0.2 (cm) 的範圍內。

### 四、試驗容器

本試驗所使用之容器須符合「附件六 固化體溶出指數測定方法」中試驗容器之選用規定。

### 五、試品製備

- (一) 水泥及塑膠固化體試品依照「附件四 固化體抗壓強度測定方法」之規定製作。
- (二) 瀝青固化體試品依照「附件五 瀝青固化體針入度測定方法」之規定製作。

### 六、步驟

- (一) 將足夠量的浸泡溶液倒入試驗容器中。
- (二) 將試品浸入溶液中。
- (三) 試品浸泡於溶液中維持 90 天。
- (四) 取出後，在室溫下空氣乾燥過夜。
- (五) 以目視方法檢視試品外表有無龜裂、破碎和變形。
- (六) 試品外觀若有顯著變形，則照相記錄。
- (七) 機械強度測試：固化體試品經目視檢驗後，再按「附件四 固化體抗壓強度測定方法」或「附件五 瀝青固化體針入度測定方法」的步驟作抗壓強度或針入度之測定。

### 七、品質管制

- (一) 每種廢棄物固化體至少需使用三個試品作試驗。
- (二) 試驗容器須可防止浸泡溶液過度蒸發（90 天之蒸發量不超過浸泡溶液總體積之 2%）。
- (三) 容器的大小須能使浸入試品的表面積（98%以上）在整個浸泡過程中和浸泡溶液接觸。
- (四) 為了人員最小的輻射曝露，本試驗可配合固化體溶出指數測定試驗同時進行，但浸泡溶液須符合「附件六 固化體溶出指數測定方法」中溶出液之規定。

### 八、報告

報告內容應包括下列各事項：

- (一) 試品的編號。
- (二) 試品之表面積。



(三) 浸泡溶液之體積。

(四) 試品浸水試驗後之變化情形，包括外觀、抗壓強度或針入度。

(五) 其它異常狀況。

## 附件八 固化體耐候性試驗方法

### 一、適用範圍

本方法適用於低放射性廢棄物固化體耐候性之試驗。

### 二、方法概要

利用溫、濕度變化關係模擬實際氣候環境，以研判固化體經長期季節循環後所受之影響。

### 三、試品製備

(一) 水泥及塑膠固化體試品依照「附件四 固化體抗壓強度測定方法」之規定製作。

(二) 瀝青固化體試品依照「附件五 瀝青固化體針入度測定方法」之規定製作。

### 四、設備

(一) 儀器設備應為擁有足夠動力，可準確的控制維持在所設定的溫度和濕度，並具有空氣循環和絕熱密封效果的加熱室和冷卻室，兩室亦可建成單一室。

(二) 控制器和記錄器必須精確到  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，試驗室內所有工作區域的局部溫度與設定溫度的誤差應在  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  之內。

(三) 加熱和冷卻過程，應維持穩定的速率。

### 五、溫、濕度試驗範圍

溫度	$-10^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$	$50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$
溼度	-----	60%~80%	85%~95%

### 六、步驟

(一) 將試品置於底部支撐網架的托盤內，然後置入試驗室中。

(二) 試驗溫度控制流程如圖 1 所示。

(三) 試驗起始溫度以室溫為準。

(四) 每一循環時間為 6 小時，試驗次數為 30 次，共計 180 小時。

(五) 以目視方法檢視試品外表有無龜裂、破碎和變形。

(六) 試品外觀若有顯著變形，則照相記錄。

(七) 機械強度測試：固化體試品經目視檢驗後，再按「附件四 固化體抗壓強度測定方法」或「附件五 瀝青固化體針入度測定方法」的步驟作抗壓強度或針入度之測定。

### 七、報告：

報告內容應包括下列各事項：

(一) 試品的編號。

(二) 使用之儀器。

(三) 試驗過程。

(四) 試品外觀，抗壓強度或針入度變化情形。

(五) 其它異常狀況。

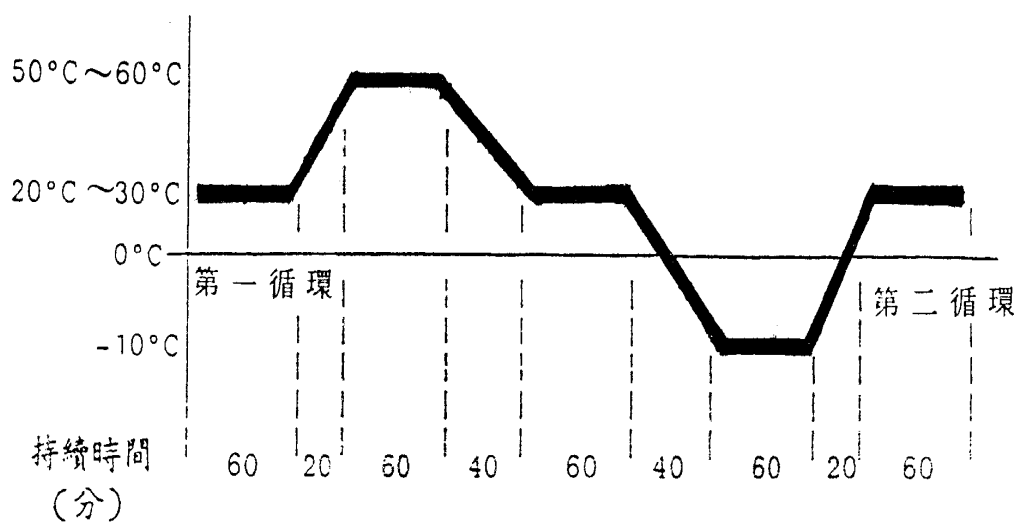


圖 1 試驗溫度控制流程圖

## 附件九 固化體耐輻射性試驗方法

### 一、適用範圍

本方法適用於低放射性廢棄物固化體耐輻射性之試驗。

### 二、方法概要

將固化體試品先行輻射照射，使其吸收劑量達到  $10^6$  戈雷 (Gy) 以上，以目視方法檢視試品外觀有無變化，再進行機械強度測試。

### 三、試品製備

- (一) 水泥及塑膠固化體試品依照「附件四 固化體抗壓強度測定方法」之規定製作。
- (二) 瀝青固化體試品依照「附件五 瀝青固化體針入度測定方法」之規定製作。

### 四、步驟

- (一) 利用輻射照射設施將固化體試品以鈷-60 加馬射源 (或其它加馬射源) 照射，且輻射照射劑量率不大於  $2 \times 10^3 \text{Gy/h}$ ，使其總吸收劑量達到  $10^6$  戈雷 (Gy) 以上。
- (二) 以目視方法檢視試品外表有無龜裂、破碎和變形。
- (三) 輻射照射後之機械強度測試：

固化體試品經目視檢驗後，再按「附件四 固化體抗壓強度測定方法」或「附件五 瀝青固化體針入度測定方法」的步驟作抗壓強度或針入度之測定。

### 五、品質管制

- (一) 每一種廢棄物，至少需測試三個試品。
- (二) 若廢棄物固化體成分中含有離子交換樹脂或其它有機物質，或是預估固化體貯存時，其吸收之累積劑量將超過  $10^6$  戈雷 (Gy) 以上時，則以預估其將吸收之最高累積劑量作試驗。

### 六、報告：

報告內容應包括下列各事項：

- (一) 試品的編號。
- (二) 使用的射源及其強度。
- (三) 試品接受輻射照射的時間。
- (四) 試品接受輻射所吸收之劑量。
- (五) 試品接受輻射照射後之外觀變化情形、抗壓強度或針入度等。

## 附件十 固化體耐真菌性試驗方法

### 一、適用範圍

本方法適用於測真菌生長對於低放射性廢棄物固化體品質的影響。由於真菌需仰賴碳源而生長，若固化體所固化之廢棄物中不含有碳源成分（例如：離子交換樹脂、油脂類），則不適用於本試驗方法，得免本耐真菌試驗。

### 二、方法概要

- (一) 選擇合適的低放射性廢棄物固化體試品並測試其耐真菌之特性。
- (二) 試品以合適的真菌菌株接種。
- (三) 被接種之試品曝露在有利於微生物成長的條件。
- (四) 目視微生物成長速率的檢驗和等級評定。
- (五) 培養後進行其它相關試驗。

註：因為本程序涉及微生物的處理工作，所以建議對於真菌處理和接種試品等程序，應由受過專業訓練的人員來操作。

### 三、設備

- (一) 圓形加蓋玻璃培養皿，直徑 150mm；或者塑膠盒，大小 100x100mm。以上均可供高溫高壓滅菌使用。
- (二) 微生物培養箱：規定使用維持 28 至 30℃ 及相對濕度大於 HR85%，附有自動紀錄乾、溼球溫度的微生物培養箱。

### 四、試劑和材料

- (一) 蒸餾水：去離子蒸餾水或同等純度的水。
- (二) 所有標準液之配製及試品處理所使用之試藥應為分析試藥級或相同等級之化學藥品。若試藥可先確定有足夠高的純度，不會降低測量的準確度時，則其它等級的試藥可被使用。
- (三) 營養鹽培養基：由表 1 的試藥依照所指示的量溶解於 1 公升的蒸餾水中來調配。加入 0.01N 之 NaOH 溶液來調整培養基的酸鹼值，將調好的培養基在 121℃ 的蒸汽壓力爐中滅菌 20 分鐘，使其滅菌後酸鹼值介於 6.0 和 6.5 之間。

表 1 培養基配方

磷酸二氫鉀( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	0.7 克
磷酸氫鉀( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )	0.7 克
硫酸鎂( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0.7 克
硝酸銨( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )	1.0 克
氯化鈉( $\text{NaCl}$ )	0.005 克
硫酸亞鐵( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0.002 克
硫酸鋅( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0.002 克
硫酸錳( $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	0.001 克
洋菜粉	15.0 克

## (四) 混合真菌孢子懸浮液：

- 1、使用表 2 的菌種。將這些菌種分別繁殖於特定的培養基上（如馬鈴薯葡萄糖細菌培養基（potato dextrose agar））。貯存培養（the stock cultures）於 3~10℃ 冰箱冷藏室，時間以不超過四個月為原則。實驗測試使用繼代培養（sub-cultures）於 28~30℃，培養大約 7~20 天，以調配孢子懸浮液。

表 2 接種菌種編號

菌種	ATCC 編號 <sup>A</sup>	MYCO 編號 <sup>B</sup>
<i>Aspergillus niger</i>	9642	386
<i>Penicillium pinophilum</i> <sup>C</sup>	11797	391
<i>Chaetomium globosum</i>	6205	459
<i>Gliocladium virens</i>	9645	365
<i>Aureobasidium pullulans</i>	15233	279c

註：

A American Type Culture Collection, 12301 Parklawn Drive, Rockville, MD 20852.

B Mycological Services, Box 1056, Crawfordsville, IN 47933.

C Historically Known as *funiculosum*.

- 2、將滅菌過的 10mL 蒸餾水，或含有 0.05g/L 無毒潤溼劑如二辛基硫代丁二酸鈉（sodiumdioctyl sulfosuccinate）溶液，倒入個別的真菌分株中，以調配每一種真菌的孢子懸浮液。用滅菌過的鉑或鎳鉍合金接種棒，慢慢地刮去表面成長的微生物培養菌。
- 3、將滅菌過的 45mL 蒸餾水和 10~15 顆直徑 5mm 玻璃珠，置入已滅菌的 125mL 錐形燒瓶中，再將孢子粒注入，使勁的搖晃燒瓶，使孢子從子實體中釋放出來並同時搖碎菌塊。
- 4、經由滅菌過的玻璃漏斗上之玻璃纖維濾膜，過濾搖晃過的懸浮液，使其流進滅菌過的燒瓶中，以除去零碎的菌絲。
- 5、將過濾後已滅菌的孢子懸浮液離心，以除去浮在上層的液體。加入 50 mL 無菌水再行懸浮並離心。
- 6、將獲得的每一種真菌孢子清洗三次，用滅菌過的培養液稀釋最後一次清洗離心後的孢子液，使最終得到的孢子懸浮液，濃度為 1,000,000±200,000 孢子數/mL。
- 7、對試驗需用到的每種微生物重覆此操作，再將最終得到的孢子懸浮液以相同體積混合，以製備混合孢子懸浮液。
- 8、孢子懸浮液必需當天調配，或保存於 3~10℃ 的冰箱內不要超過四天。

## 五、試品製備

- (一) 水泥及塑膠固化體試品依照「附件四 固化體抗壓強度測定方法」之規定製作。
- (二) 瀝青固化體試品依照「附件五 瀝青固化體針入度測定方法之規定」製作。
- (三) 爲了目視檢驗，應有三個試品進行接種，若試品的上下兩面不同，兩面都應作試驗。

## 六、步驟

- (一) 接種：將足夠量的營養鹽培養基，倒入一合適的無菌盤中，以產生一深度為 3~6mm 的固態培養基層。培養基固化後，將試品置於培養基表面。用一無菌噴嘴，以 110kPa 的空氣壓力噴灑懸浮液，將其整個表面（包括試驗試品表面）均噴溼，以把孢子接種於表面。
- (二) 培養：蓋住接種的試驗試品，在 28~30℃ 和相對溼度 85% 以上的狀況下培養 28 天，並紀錄每週的成長。
- (三) 目視檢驗：從培養箱中取出此三個試品，從表 3 的標準，經由肉眼檢視它們的生長狀況。微量生長（等級零）與無成長（等級一）的區別必須使用顯微鏡觀察。

表 3 試品生長狀況判斷

觀察試品的成長	等級
無	0
微量成長（少於 10%）	1
輕度成長（10 至 30%）	2
中度成長（30 至 60%）	3
大量成長（60%至整範圍）	4

- (四) 若試品有遭到外來污染，如指紋、蟲糞等情形應歸類於等級一。倘若有連續性的蜘蛛網延伸整個試品，縱使沒有遮掩住試品，此種情況，應列為等級二。
- (五) 機械強度測試：經肉眼檢視過之固化體試品，在處理前，先浸泡在氯化汞水溶液（1+1000）中至少五分鐘，以清除試品表面使菌體不再成長，用自來水沖洗，在室溫下空氣乾燥過夜。再按「附件四 固化體抗壓強度測定方法」或「附件五 瀝青固化體針入度測定方法」的步驟作抗壓強度或針入度之測定。

## 七、品質管制

- (一) 作真菌生長率試驗，準備三片 25mm<sup>2</sup> 的無菌濾紙，每片分別置於培養基上。使用一無菌的噴嘴噴灑懸浮液接種於培養皿上，令其整個表面均噴溼。接種後在 28~30℃ 和相對溼度在 85% 以上培養，並在培養進行 14 天後檢視它們，此時三片濾紙控制試品都應有大量的成長，若沒有如此的成長，則需要重作此試驗。
- (二) 蓋住含有營養鹽培養基的盤子，可保有適當的溼度。較大的盤蓋則需用防護膠帶密封。

## 八、報告

報告內容應包括下列各事項：

- (一) 試品的編號。
- (二) 所使用的微生物，並確認其類別。
- (三) 培養的時間。
- (四) 目視檢驗微生物成長的情形。
- (五) 表列培養時間之物理、化學的性質變化、觀察次數、其平均及最大的數值。