

■出版單位：財團法人中華民國輻射防護協會  
■地址：新竹市光復路二段295號15樓之1 ■電話：(03)5722224 電傳：(03)5722521  
■編輯委員：王昭平、李四海、邱志宏、翁寶山、許文林  
張寶樹、董傳中、趙君行、劉仁賢、蘇獻章 (依筆劃順序)  
■發行人：翁寶山 ■主編：劉代欽 ■文編：李孝華  
■印刷所：大洋實業社 地址：新竹市建功一路95號  
行政院新聞局出版事業登記證局版北市誌字第柒伍零號

## □輻防消息報導

### ▲輻防協會喬遷誌喜

本協會已於5月16日搬至：新竹市光復路二段295號15樓之1，並於7月2日(星期五)下午假20樓教室舉辦簡單隆重的喬遷茶會，感謝風雨中輻防業界多位長官蒞臨指導。蘇副主任委員獻章致詞時特別轉達歐陽主任委員敏盛祝賀之意，並代表歐陽主委致贈中堂，上書：

作德日休  
為善最樂

協會同仁深受激勵，今後本協會更將秉持服務大眾的熱忱，服務社會。

### ▲核子事故緊急應變法英譯已完成

核子事故緊急應變法(Emergency Response Act for Nuclear Accident)的英文版已於民國93年6月9日脫稿。自民國93年3月31日起經歷7次會議中，參與審查人員計有：原能會：陳煥東處長、邱絹琇主任工程師、黃肇基科長、張志堅技正、劉東山副主

任、李建智科長、台俊傑科長、林耿民先生。核研所：周冬寶博士(退休)。輻防協會：翁寶山教授(兼譯稿執筆人)全文共七章45條，依英文法的慣例每一法條均冠以簡單標題，章、節、項係用阿拉伯數字表示，例如第四章第三條第五項(段)的表示法為4.3.5.再加上一目錄，使英文讀者查閱時一目瞭然。

#### ●陳士友博士榮譽榜

恭賀本協會海外諮詢委員陳士友博士(Dr.S.Y.Chen)榮膺美國國家輻射防護與度量委員會(National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP)的理事。2005年NCRP研討會的節目部主席(Program Chair)、以及美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, ANL)的「環境科技及整治計畫」主任。

### ▲提升放射性廢棄物減容技術－沸水式反應器控制棒減容 (原能會訊)

提升放射性廢棄物減容技術是行政院原子能委員會核能研究所(簡稱核研所)持續推動的一項重點工作，

核研所新近發展完成沸水式反應器控制棒減容技術，此項技術針對控制棒的幾何特性，設計一套液壓式擠壓減容設備，以達到體積減容的效益，有助於降低燃料池內貯存用過核燃料的空間壓力。

沸水式反應器用過的控制棒，由於輻射劑量甚高，需貯存在燃料水池中。隨著核能電廠運轉時間的增加，累積的數量日益增多，又由於控制棒的外型呈十字狀（246 ×246 ×4,419 mm），佔用貯存空間甚大，國際間核能電廠用過核燃料水池空間日漸緊澀，對控制棒的減容亦漸為重視，歐美各國依其情況，發展出不同的減容方法。

由於控制棒的輻射劑量甚高，減容操作必須在水中進行，核研所發展之控制棒減容技術係先將控制棒底端的限速器在水面下切除，再將十字狀控制棒主體放入一方盒條形模具中，以液壓方式由活動壓板將其擠壓成 H 狀，而達到減容的目的，減容效率可達 85% 上下。核研所已完成此項技術的模擬測試，證實確能達到預估的減容效率。

在操作人員劑量管制方面，核研所已完成標準操作程序、輻射安全作業規定及相關品保作業文件，人員與環境劑量均可維持在法規限值內，未來又可為我國放射性廢棄物減容工作，做出實質的貢獻。

### ▲環境輻射偵測資訊的公開化與透明化 (原能會訊)

行政院原子能委員會輻射偵測中心（以下簡稱偵測中心）位處南部，

自成立以來一直肩負全國各項環境輻射偵測與調查工作，為確實維護國民的輻射安全，除已陸續在核設施周圍及各地區設置監測系統，並加強採集各類環境樣品分析計測外，亦積極參與國際性的比較實驗及技術交流，以提升各項相關技術能力，推動實驗室品質認證，確保偵測數據的正確與公信力；同時加強南部地區有關輻射防護方面的技術服務。

此外，為期國人對於核能正確認識及秉持資訊透明公開化原則，除發行環境輻射偵測報告及宣導品；並配合網際網路的盛行，逐年更新建立全球資訊網<http://www.trmc.aec.gov.tw>。將偵測中心的業務與環境輻射偵測作業結果，報導於該網站，希望藉由當前瀏覽網站的普及性，提供社會大眾分享正確又迅速的環境輻射偵測資訊。

本網站除針對偵測中心職掌業務及天然游離輻射提供基本認識外，對於全國各項環境輻射偵測調查工作，所採集各類環境樣品分析計測結果，以摘要報導方式讓社會大眾明瞭我們所處的環境輻射狀況；在核設施周圍及台灣地區設置自動監測系統，以即時公開透明方式（每小時更新頻次）將監測數據登錄網站，若發生核意外事故更可縮短更新頻次（每五分鐘）讓社會大眾及媒體透過網路即可瞭解輻射外洩情形。更透過「問答集」選項，讓民眾能以淺而易懂方式瞭解環境輻射偵測資訊。偵測中心為便利民眾及廠商有關放射性技術服務需要，提供進出口食品放射性含量分析、輻射度量儀具校驗、放射性污染擦拭計測、核子醫學設施環境試樣放射性含

量分析及環境試樣加馬能譜分析等服務項目，並於本網站採取線上申請、進度查詢、調查問卷及意見信箱等線上互動機制，以達便民的服務宗旨。

原子能的發展與日俱增，相對地環境輻射問題亦備受國人重視。今後期待能提供一個迅速正確的環境輻射偵測資訊予社會大眾，透過環境輻射偵測資訊的公開化與透明化，期更健全我國的輻射安全體系。

### ▲髒彈可能橫行的年代，政府應有放射恐怖事件處理的能力 (高醫放醫技系 張寶樹)

2004 年美國國家輻射防護與度量委員會(NCRP)第 40 屆年度會議於 4 月 14-15 日在維吉尼亞州阿靈頓(Arlington, Virginia)召開，討論放射恐怖事件(radiological terrorism events)的處理，由會長田弗棣(Thomas S. Tenforde)主持。各國專家學者在 2004 年 NCRP 年度會議中討論放射恐怖事件的相關事宜，包括：新的輻射偵測技術、現行與未來的生物劑量術、減輕輻射傷害的化學保護劑與治療藥劑的最新發展、放射恐怖事件所造成心理衝擊的確認與處理策略、有效的除污技術與恢復受污染地方等。

NCRP 早在 1998 年就成立應付輻射與放射性恐怖事件的科學委員會。在 911 恐怖事件(2001 年 9 月 11 日)發生的前一年，NCRP 已草擬放射恐怖事件的處理報告，而在 911 恐怖事件之後一個月才正式發表 NCRP 第 138 號報告「涉及放射性物質的恐怖事件之處理 (Management of Terrorist Incidents Involving Radioactive

Materials)」。3 年後，NCRP 將放射恐怖事件的處理以為 NCRP 第 40 屆年度會議的討論主題。

對於放射恐嚇評估與政府反應計畫的間隙分析(gap analysis)，應使政府能有效地面對與處理放射恐怖事件。政府可能尚未準備妥當如何對付放射恐怖事件，如恐怖份子所使用的放射散佈裝置(radiological dispersal device, RDD)或臨時而做的核子裝置(improvised nuclear device, IND)。政府主管部門，如行政院原子能委員會，應及時因應準備，如成立類似美國聯邦放射緊急反應計畫(Federal Radiological Emergency Response Plan, FRERP)，甚至應結合行政院其他部會署與各縣市政府，共同面對可能發生的放射恐怖事件。行政院原子能委員會應成立處理放射恐怖事件的專責局處，如美國能源部國家核子安全局(National Nuclear Security Administration, NNSA)，召集國內頂尖專家學者，成立我國放射恐怖事件處理團隊，累積處理放射恐怖事件的經驗。放射恐怖事件的處理專責局處應涵蓋空中測量系統(aerial measuring system)、大氣釋放諮詢能力(atmospheric release advisory capability)、意外事故應變小組(accident response group)、放射偵測與評估中心(radiological monitoring and assessment center)、核子緊急支援隊(nuclear emergency support team)、放射援助計畫(radiological assistance program)與輻射緊急援助中心/訓練場所(radiation emergency assistance center/training site)等。

為預防與應付放射恐怖事件的發

生，放射恐怖事件處理團隊應擁有最先進的輻射偵檢技術與設備，如警報個人輻射偵檢器 (alarming personal radiation detectors)、偵檢與確認放射性核種的手持儀器 (hand-held instrument for detection and identification of radionuclides)、輻射偵檢入口的監測器 (radiation detection portal monitors) 與手提式輻射偵檢儀器 (portable radiation detection instrumentation) 等。

放射性恐怖事件的醫療計畫與核能電廠意外事件的醫療計畫不同，放射性恐怖事件可能是多發性事件、自殺恐怖事件，可能同時使用生物戰劑、化學戰劑與放射戰劑，而核能電廠意外事件的發生則較放射性恐怖事件單純。我國已建置完善的三級輻射傷害防治中心是針對核能電廠意外事件的醫療計畫，而針對放射性恐怖事件的醫療計畫則尚付諸闕如。因為放射性恐怖事件的醫療計畫亟需輻射傷害治療的醫師，而三級輻射傷害防治中心多年來已調訓許多醫師赴國外研習輻射傷害的治療，如前往美國田納西州橡嶺 (Oak Ridge, Tennessee) 的輻射緊急援助中心/訓練場所 (Radiation Emergency Assistance Center/Training Site, REAC/TS) 參加輻射傷害防治研習訓練，所以擴展現有三級輻射傷害防治中心的功能以處理放射性恐怖事件的傷患是可行的。關於可提供放射性恐怖事件醫療計畫諮詢援助國際組織為國際原子能總署、世界衛生組織，其皆可上網查詢，網址分別為：<http://www.iaea.or.at/> 與 <http://www.who.int/en/>。此外，美國國家輻射防護與度量委員會所出版的第

138 號報告 (NCRP Report No. 138) 亦討論放射性恐怖事件的醫療計畫。國際放射防護委員會亦準備出版關於放射性恐怖事件的醫療計畫的出版物。

放射性恐怖事件的發生時，個人可能接受過度曝露，生物劑量測定術 (biological dosimetry) 可以可信的劑量數據，以作為醫師治療的依據。生物劑量學應該考慮的事項包括：(1) 受曝露個人放射性測量與監測，如使用全身計數器計測體內放射性核種的種類與活度。(2) 觀察與記錄前驅症狀與紅斑。(3) 全血計數與白血球細胞分類。(4) 血液取樣作為染色體變異細胞遺傳生物檢定法 (chromosome-aberration cytogenetic bioassay)。(5) 生物檢定法取樣以決定放射性污染。(6) 利用其他可用的生物劑量學。

輻射意外的醫療處理與管理軟體可至美軍放射生物研究所 (Armed Forces Radiobiology Research Institute, AFRI) 查詢，AFRI 的網址為：[http:// www.afri.usuhs.mil](http://www.afri.usuhs.mil)。但是近年來，我國有關輻射生物的研究卻急速萎縮。

放射性恐怖事件的發生時，三級輻射傷害防治中心應可即時從事檢傷分類 (triage)、臨床診斷治療與輻射劑量評估。可供利用的醫療資源之能力包括：(1) 試劑與設備的儲存。(2) 建立血液學與細胞遺傳生物劑量學實驗室。(3) 放射性活度計測生物檢定法 (radioactivity-counting bioassay)、細胞遺傳生物劑量測定術 (cytogenetic biodosimetry) 與血液學實驗室 (hematology laboratory) 取得實驗室認證。(4) 研發輻射生物標誌 (radiation biomarker)。雖然我國三級輻射傷害

防治中心有能力為放射性恐怖事件的受害者進行檢傷分類、臨床診斷治療與輻射劑量評估，但對於大量受害者的醫療能力仍待評估。

放射性恐怖事件的發生後，可以利用受害者至嘔吐時間 (time to emesis, TE) 來評估受害者所接受的全身有效劑量。當 TE < 4 小時，全身有效劑量至少有 3.5 戈雷(Gy)；當 TE < 1 小時，全身有效劑量則大於 6.5 Gy。淋巴球缺乏動力學 (lymphocyte depletion kinetics) 亦可用於評估高加馬輻射場與臨界意外事件的臨床參數。當全身有效劑量則大於 3 Gy 的病患醫療處理，應注意輻射誘發的嗜中性白血球減少症 (neutropenia) 與防止感染。病患最初的醫療處理應以逆向隔離 (reverse isolation) 以減少病原菌的獲得 (pathogen acquisition)，如病患在三級輻射傷害防治中心的隔離病房接受治療。

若病患可能受到體內污染 (internal contamination)，則醫療情況穩定的病患要接受體內污染的評估，如進行 24 小時的尿液/糞便的生物檢定與安排至臺電公司放射試驗室與核三分隊、清華大學原子科學技術發展中心、行政院原子能委員會核能研究所保健物理組與輻射偵測中心等單位進行體內全身計測 (in vivo whole-body counting)。

確認體內污染的放射性核種之後，應該為病患進行體內污染的除污，如攝入  $^{137}\text{Cs}$  可以口服普魯士藍 (Prussian Blue, PB) 以利  $^{137}\text{Cs}$  的排出；受到鈾 (U) 的曝露，第一呈現化學傷害的器官為腎臟，可以口服或注射重碳酸鈉 (sodium bicarbonate)，使小便呈鹼性以利鈾的排出；若吸入錒 (actinides, Ac)，則在曝露後 6 小時採用 Ca-DTPA、Zn-DTPA 螯合劑治療 (chelation therapy)。

目前國內醫療院所尚無大量輻射傷害病患處理的醫療經驗。雖然三級輻射傷害防治中心每年均有參與核能電廠的防災演習，但是仍無放射性恐怖事件發生後大量病患處理的醫療經驗。三級輻射傷害防治中心有責任結合一級輻射傷害防治中心、二級輻射傷害防治中心共同演練如何面對大量輻射傷害病患的醫療照顧。

面對放射性恐怖事件，必須考慮民眾的心理反應與所付出的社會成本等。由於我國處境特殊，在面對髒彈可能橫行或放射/核子恐怖事件發生的年代，政府更應有放射恐怖事件處理的能力，而行政院原子能委員會為我國輻射主管機關，應責無旁貸面對放射恐怖事件，確保國人的放射/核子安全。

## □ 會議訓練報導

### ▲ 九十三年度各項訓練班預定開課時間表

(輯協訊)

| 班 別                    | 組 別            | 期 別 及 日 期           | 地 點         |
|------------------------|----------------|---------------------|-------------|
| 放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員研習班 | (A 組)<br>36 小時 | A8--9 月 20 日~ 24 日  | (新竹) 帝國經貿大樓 |
|                        |                | A9--10 月 20 日~ 26 日 | (高雄) 輻射偵測中心 |
|                        |                | A10--11 月 1 日~ 5 日  | (新竹) 帝國經貿大樓 |

|                    |            |                      |                 |            |
|--------------------|------------|----------------------|-----------------|------------|
|                    |            | A11--12月20日~24日      | (新竹)帝國經貿大樓      |            |
|                    |            | 94年A1--1月5日~11日      | (高雄)輻射偵測中心      |            |
|                    | 18小時       | (B組)                 | B10--10月6日~8日   | (新竹)帝國經貿大樓 |
|                    |            |                      | B11--10月13日~15日 | (高雄)輻射偵測中心 |
|                    |            |                      | B12--11月17日~19日 | (新竹)帝國經貿大樓 |
|                    |            |                      | B13--12月8日~10日  | (高雄)輻射偵測中心 |
|                    |            |                      | B14--12月29日~31日 | (新竹)帝國經貿大樓 |
| B15--9月1日~3日(加開)   | (新竹)帝國經貿大樓 |                      |                 |            |
| 輻射防護專業人員訓練班        | 輻防師(12小時)  | 員4期&師4期              | (新竹)帝國經貿大樓      |            |
|                    |            | 第一階段--7月5日~9日        |                 |            |
|                    |            | 第二階段--7月26日~30日      |                 |            |
|                    |            | 第三階段--8月16日~20日      |                 |            |
|                    |            | 第四階段--9月6日~10日(36hr) |                 |            |
|                    |            | 員5期&師5期              | (新竹)帝國經貿大樓      |            |
|                    |            | 第一階段--11月22日~26日     |                 |            |
|                    |            | 第二階段--12月13日~17日     |                 |            |
| 第三階段--94年1月3日~7日   |            |                      |                 |            |
| 第四階段--94年1月24日~28日 |            |                      |                 |            |
| 鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班      |            | 第3期--11月30日~12月1日    | (新竹)帝國經貿大樓      |            |
|                    |            | 第4期--12月2日~3日        | (高雄)輻射偵測中心      |            |

◎以上各項訓練班簡章備索詳細內容網址為 [www.rpa.org.tw](http://www.rpa.org.tw)，電話：(03)5722224。◎

## □ 專題報導

### ▲ ICRP 2005 輻射防護系統新建議發展現況簡介

(台電第二核能發電廠 魯經邦)

#### 一、前言

ICRP 早在數年前即著手發展取代 ICRP-60 的新建議，並在近五、六年間透過各種輻射防護的國際性學術活動，宣傳新的輻射防護理念，並徵詢各界的意見與反應，作為草擬新建議的參考。主要的媒介為國際輻射防護協會 (International Radiation Protection Association, IRPA)、英國放射防護學會期刊 (Journal of Radiological Protection) 及經濟合作與發展組織的核能署 (Nuclear Energy Agency of OECD, OECD/NEA) 及其他相關組織。迄 2004 年 3 月，新建議之草擬已接近完成，並於 2004 年 5 月下旬在馬德里舉行的 IRPA

第 11 屆國際大會（11th International Congress of the International Radiation Protection Association, IRPA 11）將新建議草案的摘要分發與會人員；<sup>1</sup> 主席 Roger H. Clarke 在會議中介紹新建議的重要核心理念，<sup>2</sup> 也將在其他的輻射防護相關國際論壇中說明。新建議的草案全文於 2004 年 6 月 21 日公開徵求所有對輻射防護有興趣的組織及個人的意見，徵求意見的期間預定持續 6 個月。新建議的正式版本預定在 2005 年 4 月問世。本文擬就 Clarke 在 IRPA 11 中闡述的新建議的重要概念或原則及其與現行輻射防護體系的關係與異同作一簡要的說明，俾使讀者對 ICRP 2005 輻射防護系統新建議的輪廓有初步的認知，迎接 21 世紀輻射防護新紀元的到來。

## 二、2005 輻射防護系統重要核心概念及原則

綜合 Clarke 在 IRPA 11 中的介紹及新建議草案的摘要中的重點，摘要說明如表 1 所示：

表 1 ICRP 2005 輻射防護系統重要核心概念及原則<sup>3</sup>

| 項目     | ICRP 宣示重點   | 補充說明   |
|--------|---|--|
| 新建議的目的 | <p>1. ICRP-60 paragraph (15) 宣示之輻射防護的基本目標，迄今仍代表 ICRP 的立場。</p> <p>2. 新建議係以一簡單但能廣泛適用的通用防護系統為基礎，旨在為管制機關及營運管理者訂定的更正式的系統提供依據。</p> <p>3. ICRP 了解當現行的輻射防護系統的實際應用在正常情形下並沒有重大問題時，維持法規系統的穩定性的必要性。</p> <p>4. 在過去十年間，由於最適化原則的應用，加上劑量約束與現行劑量限度的一併採用，使得工作人員與公眾的劑量普遍降低。故 ICRP 將透過量化所有可控制射源（controllable sources）</p> | <p>1. ICRP-60 paragraph (15) 宣示之輻射防護的基本目標原文為：「...輻射防護的主要目的是為人類提供適當的防護標準，而不致過度限制涉及輻射曝露但有益於人類的活動。這個目標不能單靠科學概念來實現，所有輻射防護工作者必須對各總危險的相對重要性及利害權衡作出判斷。就這一點而言，輻防人員與其他領域中負責控制危害的人員並無不同。」</p> <p>2. Clarke 曾為可控制射源一詞下過定義：指本身或造成的曝露可以合理控制的射源。</p> |

| 項目      | ICRP 宣示重點   | 補充說明  |
|---------|---|---|
|         | <p>在所有情況下的劑量約束來強化既有的建議。</p>   |   |
| 輻射防護的原則 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 這次輻射防護系統的修正定位為 ICRP-60 的自然進化及其輻射防護原則的進一步闡釋。</li> <li>2. 2005 的建議係針對受特定射源在其範圍內所有情況下造成的個人劑量作出限制。</li> <li>3. 這些限制可以是實際的個人劑量或代表個人劑量的量。</li> <li>4. 這些限制提供了應適為義務的個人防護基準，若未能符合這些基準，將被認定為一種疏失。</li> <li>5. ICRP 對這些標準並補充了達成防護最適化的要求。</li> </ol> | <p>從左列 ICRP 的宣示可以了解，ICRP 在未來的系統中特強調單一射源與個人的互動，但不強調互動過程中曝露情境的區分（如輻射作業與干預的區隔）。</p>  |
| 劑量約束    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 最基本的防護標準是射源關聯的限制（source related restriction）－劑量約束。</li> <li>2. 劑量約束為適用於受同一射源曝露程度最高者基本的防護標準。</li> <li>3. 劑量約束適用正常、緊急情況或既存的可控制曝露等情境的單一射源造成的曝露。（病人的曝露除外）</li> <li>4. 劑量約束代表一劑量基準，在此一基準採取行動以避免劑量通常是正當的。</li> <li>5. 達成防護最適化的要求包</li> </ol>    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 劑量約束是 ICRP-60 為判斷輻射作業的防護是否已達最適化所定義的概念，<sup>4</sup> 原則上應針對每一射源分別規定。但在未來的新標準中，劑量約束的選定係以自然背景輻射的年平均值作為標竿，<sup>5</sup> 以毫西弗為單位，用 10 的數量級來表達個人接受年有效劑量的關切基準。到 2003 年為止，ICRP 建議關切基準已修正如表 2 所示，2005 的分級更為簡化，如圖 1 所示。</li> <li>2. 在 ICRP 最早的規劃中最適化（ALARA）原則本來擬</li> </ol> |



| 項目                          | ICRP 宣示重點  | 補充說明  |
|-----------------------------|--|---|
|                             | <p>括所有曝露應合理抑低（ALARA）、社會經濟因素應予考慮等。</p>  | <p>予廢止，但因當時輻射防護界亦有多人持保留看法或表示異議。ICRP 可能考慮實務上的需要及法規傳承的穩定性而將其保留下來</p>  |
| <p>最大約束值（以一年內所受的有效劑量為準）</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.最大約束值分為四層（如表 3 所示）。</li> <li>2.可視為最適化過程的上層限制（upper restriction）或供國家機關用來訂定特定情境之最可行的約束值。</li> <li>3. ICRP 期望國家訂定的約束值低於 ICRP 建議的最大約束值，但不必要嚴格十倍之多。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.最大約束值在新的標準中似乎不再單純是過去最適化的判準，也不單純是一種限度。它融合並取代了過去劑量限度及干預的概念，代表的是不同程度的行動基準，並且打破了職業曝露、公眾曝露及醫療曝露的分界，也模糊了輻射作業（practice）與干預（intervention）的界線。</li> <li>2. 100 毫西弗/年代表的意義，相當於傳統輻射防護系統的干預基準。</li> <li>3. 20 毫西弗/年代表的意義相當於傳統輻射防護系統中輻射作業的職業劑量限度，及部分的干預基準。</li> <li>4. 1 毫西弗/年相當於傳統輻射防護系統輻射作業的對公眾中個人造成的劑量限度。</li> <li>5. 0.01 毫西弗/年相當於傳統輻射防護系統中的豁免管制（exemption）、解除管制（clearance）或可忽略微量（<i>de minimis non curat lex</i>），在這個劑量以下，法規不必採取任何管制措施，也無需採取任何行動。</li> </ol> |

【下期待續】

## ▲氣膠粒徑的分析技術

(核研所 李繡偉、王文樞)

【接續 67 期】

### 四、氣膠粒徑的分析

#### 1. 氣膠濃度及粒徑的量測分析

氣膠的狀態並不安定，微粒的分布會隨時間變化，而影響氣膠微粒粒徑分布主要的因素有（1）氣膠產生方法如凝結成長、破碎、化學反應或結合等生成條件差異，（2）混合條件：在生成及生成後的混合情況，（3）介質的層流、紊流或靜止等氣體動力學條件，（4）重力場、電場、磁場等對微粒的影響，（5）密閉或開放空間的影響。在量測的過程中，需考慮各項因素的變化。氣膠微粒的粒徑分布量測方法有很多的種類，主要利用慣性或重力沉降、擴散、光散射、電氣移動度（mobility analyzer）等物理現象或動力學原理分析求得。以下說明三種重要且常用的量測方法：

#### (1) 度量微粒的光散射

光散射主要是以一光電管接收來自一個個微粒的散射光，由光的脈衝高度，轉換為粒徑分布；此型

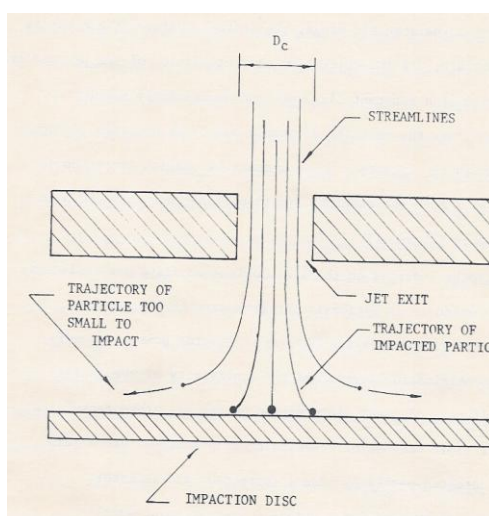


圖 1 串列衝擊器捕集微粒原理

設備構造複雜，且種類繁多。近來使用高強度雷射，減低 2 個以上的微粒進入一視野內的機率，以增加微粒的鑑別能力，目前可測定的粒徑約小至 0.05 微米，濃度約為  $10^6/\text{cm}^3$ 。若已知粒徑分布，測定光散射量，即可求得微粒個數濃度。

#### (2) 利用微粒的慣性力

利用微粒的慣性力執行微粒分析的儀器，主要分為串列衝擊器與石英振盪微秤式衝擊器。

串列衝擊器是由小細縫或噴嘴向捕集板噴射氣膠，藉慣性力使微粒沉降於捕集板上，如圖 1。若串列數個不同尺寸的噴嘴，便可對不同粒徑的微粒分別進行捕集。

衝擊器依噴嘴的形狀、尺寸、流量、捕集段數等的不同，有很多種產品，通常以 0.5-20 微米的微粒為捕集對象，其測定值是各段的捕集微粒質量對各段的微粒代表徑 ( $D_{50}$  徑)，求得重量基準的粒徑分布。以 Andersen 公司製造的 8 段衝擊器為例，模擬 8 種微粒粒徑在呼吸道的沉積，如圖 2。

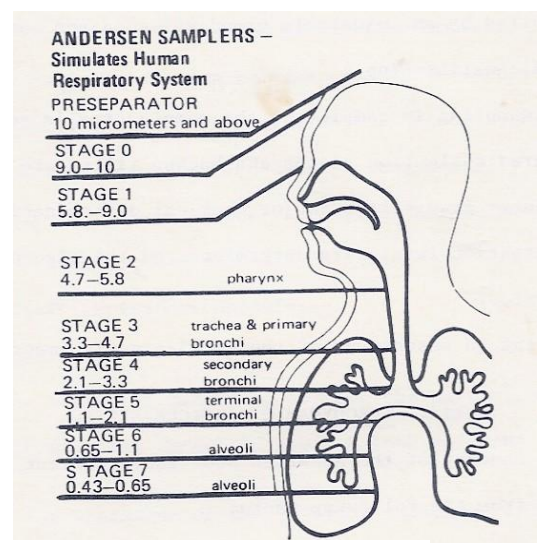


圖 2 Andersen 的 8 段衝擊器模擬 8 種尺寸微粒在呼吸道的沉積

串列衝擊器會因氣膠流動，使不少大微粒沉積於捕集面以外的器壁，10微米以上的微粒在壁面沉積的損失高達 40-50%。為防止因噴嘴處流速變大，導致體積較大的固態微粒容易由捕集面再飛散，可在捕集面塗上油脂以供預防。至於衝擊器各段的捕集量，可由儀器自動量測。

石英振盪微秤式衝擊器(Quartz Crystal Microbalance, QCM)，包括一組 10 階衝擊器應用慣性衝擊捕集微粒，與一組自動進行量測計算的控制器；粒徑測量範圍是 0.05-25 $\mu\text{m}$ ，重量濃度測量範圍是 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -60  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。此型衝擊器各階的  $D_{50}$  值表列如下。

表 1 QCM 各階對應的  $D_{50}$  徑

| 階                      | 1  | 2    | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   |
|------------------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $D_{p50}(\mu\text{m})$ | 25 | 12.5 | 6.4 | 3.2 | 1.6 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |

收集微粒的石英晶片，在未收集微粒前會有一基本的振盪頻率，在收集到微粒後，因微粒的重量而使石英晶片的振盪頻率改變，振盪頻率的訊號進入控制器中貯存與計算，由振盪頻率的改變量，可以利用下式公式換算出微粒在每一捕集板所測得的微粒總重量濃度。

$$C_i = K_i \Delta F_i / \Delta t = K_i (F_2 - F_1)_i / \Delta t \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3) \quad (3)$$

其中  $F_1$ ,  $F_2$  分別是第  $i$  階捕集板在收集微粒前後石英晶片的振盪頻率。而  $K_i$  代表第  $i$  階的階常數(stage constant)。QCM 測量時取樣時間( $\Delta t$ )與微粒濃度的大小成反比關係。由於石英晶片上會累積所收集的氣膠，為確保石英晶片測量時的靈敏度，量測後需重新清潔各階晶片。

### (3) 測量帶電微粒的電氣移動度

為測定氣膠粒徑分布與個數濃度，經常使用掃描式電移動度粒徑分析儀 (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)，其工作原理為：先使微粒帶電，再測定帶電微粒的電氣移動度分布，轉換為粒徑分布。此型儀器的粒徑測量範圍為 5-1000 nm，濃度範圍是 2-10<sup>8</sup> 粒子 / $\text{cm}^3$ 。由靜電分離器 (Electrostatic Classifier) 搭配粒子計數器 (Condensation Particle Counter) 組成。量測時，氣膠樣品會先經過 EC 外部衝擊器，根據斯托克斯(Stokes)數，不同的入口流量會有不同的截流粒徑(cut diameter)，因此可攔阻大於截流粒徑的氣膠進入衝擊器。

小於截留粒徑的氣膠依序先通過中和器(由放射性元素 <sup>85</sup>Kr 組成)，中和氣膠電荷。電性中和後的氣膠則進入 EC，其中心有一負極棒，不同電壓時可使具有特定移動度(mobility)的帶正電氣膠被分離出來，並送入 CPC 中計數。移動度  $Z_p$  基本定義如下：

$$Z_p = v/E \quad (4)$$

其中  $v$  為氣膠運動速率( $\text{cm}/\text{s}$ )， $E$  為電場( $\text{V}/\text{cm}$ )， $Z_p$  的單位為  $\text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{s}$ 。具此特定移動度的氣膠，可由其帶電量、DMA 的電壓及操作流量等參數決定粒徑。進入 CPC 的氣膠首先通過蒸發器(evaporator)，其內是 35 $^{\circ}\text{C}$  正丁醇飽和蒸氣，隨後進入 10 $^{\circ}\text{C}$  的冷凝器(condensator)中，在此形成過飽和蒸氣。在正

丁醇的蒸氣環境中，將次微米氣膠增長到 10 微米大小，再以光散射原理推算微粒個數濃度。電腦接受濃度訊息後，將對應於各移動度的濃度轉換成粒徑分佈。

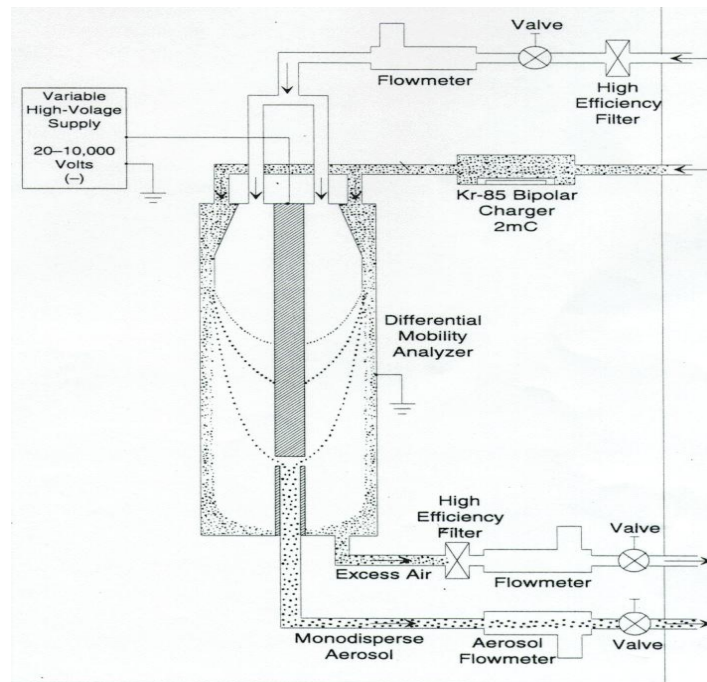


圖 3 帶電微粒的電氣移動度測量圖

改變 SMPS 的流量可測到不同範圍的微粒粒徑，大流量時可測到的粒徑小，流量小則可測到較大的微粒粒徑；因此可視量測需求選擇所需流量。

## 五、結論

氣膠濃度分布測量的重點為重量濃度及個數濃度；由個數濃度量測結果配合微粒粒徑的分布，可推算重量濃度。濃度、粒徑分布的測定有各種方法各有其特性及適用範圍；濾紙或秤量法為捕集的基本方法，其缺點為捕集時間長、不適用於不安定的微粒，且無法連續操作；其他儀器可連續操作但需考慮微粒的特性。歸納各式儀器的特性如下表：

表 2 不同測量儀器的特性

| 儀器              | 粒徑範圍                            | 濃度範圍   | 量測原理                | 備註                             |
|-----------------|---------------------------------|--|---------------------|--------------------------------|
| ANDERSEN<br>8 段 | 0.43-11 $\mu\text{m}$<br>(MMA)  |  | 慣性衝擊                | 可量測粒徑較大的微粒                     |
| QCM             | 0.05-25 $\mu\text{m}$<br>(MMAD) | 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -<br>60 $\text{mg}/\text{m}^3$ | 慣性衝擊、晶體振<br>動頻率變化計數 | 需注意清潔各階<br>晶片，以確保晶<br>體測量的靈敏度  |
| SMPS            | 0.03-1 $\mu\text{m}$<br>(CMD)   | 2 - 10 <sup>8</sup><br>particle /cm <sup>3</sup>           | 荷電微粒的移動<br>度、光散射計數  | 以小於 1 $\mu\text{m}$ 微粒<br>量測為主 |

在實際量測前，必須考慮氣膠微粒濃度的範圍、每項粒徑分析的儀器的特性、適用範圍、優缺點及限制、量測現場空間及微粒的性狀、產生方式、量測所需的時間，與儀靈敏度等，慎選適用的儀器。

- 1.歡迎賜稿，稿件請寄新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1 或電傳(03)5722521 輻防協會編輯組收。來稿一經刊登，略致薄酬(政令宣導文章，恕不給稿酬)。
- 2.本刊因篇幅限制，新聞類每則請控制在 500 字以內，專題類每篇以 2000 字內為佳。
- 3.歡迎訂閱(每年六期 180 元)。請洽：李孝華小姐 TEL：(03)5722224 轉 314。