

符合環保又節省經費

# 清潔式滅火藥劑的永續使用

【呂慶慧】

工研院環安中心 / 研究員

【吳奕霖】

環保署空保處 / 環境技術師

海龍滅火藥劑使用後，不會殘留藥劑在設備上，但會破壞臭氧層受到蒙特婁議定書的管制，但其替代品又具有溫室效應，而受京都議定書的規範，故如何符合環保且節省經費達到永續使用之目標，是產業與消費者應該關心的議題。

滅火器的使用已經與生活息息相關，但一般消防場所負責人對滅火器的種類、使用規範、國內管理法規及國際間的環保法規與製造趨勢，大都無法充份掌握與了解相關資訊，故在選擇購買滅火藥劑或滅火器時，可能因不合時用或只能短期適用，而持續投資成本在選購滅火器，無法建立較長遠的滅火器設置計畫，造成不合時用的經濟浪費及對環境造成衝擊。因此，對滅火器之相關性質需進行了解，若以滅火藥劑在進行消防後，對標的物的影響效應，可分為二大類滅火藥劑：

1. 非清潔式滅火藥劑：滅火藥劑會殘留在滅火標的物，如水與乾粉。可耐水注噴射或可在火災後進行清洗及非存放高價值物品的消防場所使用。
2. 清潔式滅火藥劑：滅火藥劑不會對滅火標的物造成污染，如海龍滅火藥劑與二氧化碳等氣態的滅火藥劑。對於消防場所需有防止污染或對人員設備安全，需提供較嚴謹的滅火設備，則會使用清潔式滅火藥劑。

非清潔式滅火器有損害現場及製程產品之虞，一般不為廠商所採用。清潔式滅火器則以海龍滅火器為代表，但因海龍滅火藥劑會破壞臭氧層受限於蒙特

婁議定書使用規範，而部份海龍替代品卻是會造成溫室效應，被京都議定書納入需排放減量的氣體。二氧化碳在環保上並無重大的議題產生，但卻有工安的問題。故如何選購設置一套使用期限較長而又符合未來填充的滅火藥劑，為消防使用單位與國內消防產業一個重要的課題。

### 清潔式滅火藥劑對環保的衝擊

過去數十年來，海龍藥劑可謂是清潔式滅火藥劑的最佳代表。由於海龍滅火藥劑具無色、無臭、毒性低、能迅速滅火且是永久免換藥劑之滅火器，自推出後廣泛應用於各項滅火設備及軍事設施。且海龍藥劑具絕緣性高、反應性慢、對人體的危險性低以及放射後對財物的污損性低等優點，被廣泛使用在電腦室、變壓器等電氣產品，另外在危險物儲藏設施或立體停車場等的消防防護亦有使用，故在未發現其破壞臭氧層的環境議題時，清潔式滅火藥劑可說是海龍的天下。

但是因海龍藥劑含有溴與氯且化性穩定，使用後不易在對流層被破壞分解，待上昇至平流層後，則受到紫外線的分

解而產生溴與氯之自由基原子，而破壞臭氧，減少平流層的臭氧濃度，間接增加紫外線照射至地球的光量，而使環境與生物產生病變。依據聯合國環境規畫署的統計報告，全世界海龍的使用量及排放量皆遠低於氟氯碳化合物(CFCs)，但其破壞臭氧層的比例卻佔了20%。故在破壞臭氧層的各项化學物質中，以海龍破壞臭氧能力最高，其破壞臭氧的潛勢約為CFC-11之10-16倍，其分子中之溴比氯原子破壞臭氧的速率更高達40~100倍，估計1公斤的海龍1211，可破壞50噸的臭氧。因而1987年各國簽定蒙特婁議定書，來加強臭氧層破壞物質的使用排放。而在蒙特婁議定書締約國第四次大會則規定自1994年1月1日起除必要用途外，禁止生產海龍藥劑。

為符合蒙特婁議定書的管制，有部份原採用海龍滅火劑的消防對象，考慮利用既有的滅火設備如二氧化碳、濕式



滅火設備(自動灑水滅火系統、水噴霧)、泡沫、粉末等型式進行替換，有些場所雖然可替換，但其中也延伸部份問題，例如二氧化碳消防設備是為窒息效果的滅火劑，因此放射時有可能會造成對人體的傷害，亦有意外案例發生在保養檢查時，因誤放射二氧化碳而造成人員死傷事件。此外，濕式滅火設備之研發經驗尚淺，機器運轉時的放射水量或是放射時間控制不當，造成水災的情況時有所見，因此對此設備敬而遠之的案例屢見不鮮，致二氧化碳與水無法取代海龍的廣大市場。

海龍藥劑在國內主要分為二類，一為海龍1211，另一為海龍1301，其主要的應用領域分別在手提式滅火藥劑與自動放射系統藥劑。海龍滅火藥劑在國際間受到管制生產後，因其具有優良的滅火特性，所開拓出來的廣大滅火藥劑市場，成為各式海龍替代品競相角逐的領域。美國消防工業在海龍替代品的研發上花費了很多時間與經費，在考量商業競爭之前提下，積極尋找不會破壞臭氧層的滅火藥劑。但其研發出來的海龍替代品卻在某些環保議題上具有負面效應，如全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)。表1為海龍1301替代品對環境影響的特性說明。

這些海龍替代品不會破壞臭氧層，但部份的海龍替代品卻是屬於高溫室潛勢氣體，而受到京都議定書的國際公約規範，如HFCs、PFCs及SF<sub>6</sub>。主要排放源來自工業界，亦是海龍藥劑的主要替代品類別。雖然此三種氣體排放量在整體溫室氣體所佔比例不高，但其全球暖化潛勢值(Global Warming Potential, GWP)卻極大，故國際間對其排放量造成的溫室效應日益重視。這些類型的海龍替代品，除了受相關法規使用約束外，亦需要面對其藥劑滅火效能的競爭、生產成本的考量、使用安全及替換技術的成熟度等因素才可達到商業化，致有許多的海龍替代品在開發出來後，卻無法持續推廣使用，造成已經使用該產品的消防場所，無法得到適當的貨源補充，必需放棄原來的滅火藥劑，重新安裝新的滅火藥劑。此舉，不但造成經濟上的浪費，其排放的藥劑更對環境造成衝擊。故如何選擇一個合適的清潔式海龍替代品，協助消防場所設立較久遠的滅火設備，是現今消防相關產業的重要課題。

## 商業化的海龍替代品

目前使用海龍1301消防場所是最需要清潔式滅火藥劑的地點，而這些海龍

↓ 表1 海龍1301替代品對環境影響的特性

通稱	商品名	臭氧層破壞潛勢 (ODP)	全球暖化潛勢 (100年, GWP)
海龍1301	BTM	10	6,900
HCFC Blend A	NAF S-III	HCFC-22 (0.05) HCFC-124 (0.02) HCFC-123 (0.02)	HCFC-22 (1,900) HCFC-124 (620) HCFC-123 (120)
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	PFC-218	0	8,600
C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	PFC-410	0	8,600
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	PFC-614	0	9,000
SF <sub>6</sub>		0	22,200
HCFC-124	FE-24	0.02	620
HFC-23	FE-13	0	14,800
HFC-125	FE-25	0	3,800
HFC-227ea	FM-200	0	3,800
HFC-236fa	FE-36	0	9,400
FC-2-1-8	CEA-308	0	8,600
FC-3-1-10	CEA-410	0	8,600
FIC-13I1	Triodide	0.0001	<1

註:ODP表Ozone Depletion Potential(臭氧破壞潛勢),其值是以CFC-11定為1做為破壞臭氧的比較基準點,其值愈高者,破壞臭氧層的能力愈大。

替代品的藥劑生產來源與使用技術主要來自美國,故美國相關的檢驗法規與安裝技術規範,為國內系統滅火設備的法源參考依據,如美國的火災防護協會技術規範(National Fire Protection Association, NFPA)是許多國家參考的重點。

表2為2002年3月前各種不同的海龍1301替代品其通過認證的進度,目前至少有13種不同的氣體可替代,經過多年的市場變革與競爭,現今FC-2-1-8、FC-

3-1-10及HCFC-124等清潔式滅火藥劑,可能是此滅火藥劑中具有環境議題(高全球暖化潛勢)的一群,在未來的市場將不易推廣,故製造公司已停止促銷這些藥劑。此13種氣體估計目前只有數種滅火藥劑在美國市場上較具商業價值。

### 清潔式滅火藥劑

選擇一種能持續使用、不會對環境產生衝擊及具有經濟誘因的滅火藥劑,

是未來消防工業關心的重點。本文依此原則，彙整相關文獻由滅火藥劑或系統與使用場所類別簡略介紹，供各界人士在進行海龍替換時之參考資料，以建構較長遠的永續清潔式滅火藥劑使用策略。

### 一. 水霧系統

水霧滅火系統被提出研究至少有50年，然而直到最近才有實用性或商業用的系統被開發出來。使用微粒水霧進行滅火之主因是以氣體進行滅火已無法滿足環境保護及相關法令之需求。近來噴

霧技術備受關注主要因素是海龍滅火器將逐步淘汰，而以水霧系統可替代維持所有或大部份清潔式全區放射的優點，且不會對環境造成負面的衝擊。目前船隻用這項技術的最多，在船上裝置水霧系統來代替低壓灑水器，已發展的相當好，並已商業化。

水霧滅火系統是海龍滅火器的替代設備，其主要是直徑400微米( $\mu\text{m}$ )以下



↓表2 全區域放流噴灑系統海龍1301替代品之商業化認證進度

通稱	商品名	類別	化學組成	通過 SNAP	通過 NFPA	通過認證實驗室	取得國家認證
HFC-23	FE-13	HFC	$\text{CHF}_3$	✓	✓	✓	✓
HFC-125	FE-25	HFC	$\text{CF}_3\text{CHF}_2$	✓	✓	✓	✓
HFC-227ea	FM-200	HFC	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	✓	✓	✓	✓
HFC-236fa	FE-36	HFC	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	✓	✓		
HCFC Blend A	NAFS-III	HCFC+Blend	$\text{CHClF}_2+\text{CHClF}$ $\text{CF}_3+\text{CHCl}_2\text{CF}_3+$ $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	✓	✓		
HCFC-124	FE-24	HCFC	$\text{CHClFCF}_3$	✓	✓	✓	✓
FC-2-1-8	CEA-308	PFC	$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CF}_3$	✓	✓		
FC-3-1-10	CEA-410	PFC	$\text{C}_4\text{F}_{10}$	✓	✓	✓	✓
FIC-1311	Triiodide	FIC	$\text{CF}_3\text{I}$	✓	✓		
IG-01	Argotec	Inert Gas Blend	Ar	✓	✓	✓	✓
IG-100	NN100	Inert Gas Blend	$\text{N}_2$	✓	✓		
IG-55	Argonite	Inert Gas Blend	$\text{N}_2+\text{Ar}$	✓	✓		
IG-541	Inergen	Inert Gas Blend	$\text{N}_2+\text{Ar}+\text{CO}_2$	✓	✓	✓	✓

的粒子，且成份為90%以上之水滴，其滅火作用機制為：

1. 氣相冷卻作用：煙霧(mist)狀的水，其微粒子因為總表面積變大，所以容易吸收熱量，因此蒸發速度快。經由此蒸發過程，可在火災中去除熱氣。在實際滅火程序中，為停止燃燒，只要能去除30%~60%的燃燒熱便可達到效果。
2. 氧氣濃度因水霧燃燒產生之蒸氣氣體膨脹，會將火源四周的空氣推開，使氧氣濃度降低，達到抑制火源之效果。
3. 潤濕燃燒物之表面，可使被燃物的表面附著水份，降低燃燒的溫度。
4. 火場氣流擾動現象：煙霧狀的水會吸收從火源放射出來的輻射熱，可防止向周圍延燒，且直徑愈小的粒子比起大粒子更能有效的吸收輻射熱，更易阻止火勢漫延。

美國環境保護署要求水霧系統製造商及其事業相關負責人需召集醫藥審查相關會議，討論在火災現場及非火災現場情況下，吸入極少量水霧液滴時所引發之生理學上的效應。審查會上提出問題包括吸入致毒性、肺病醫學、生理學、氣溶膠物理、火場致毒性、煙塵動力學及相關化學方面等議題。與會成員

來自商業界、大學與軍方部門各專業人士。

評估結果為使用純水之水霧系統並不會出現毒

物反應或生理方面之危險性，於作業場所使用相當安全。因此，由飲用水與天然水組成之水霧滅火系統，並無任何使用上之限制，但若使用由溶液等混合物組成之水霧系統，則需遵循EPA所規定之法令進行相關的評審。聯合國環境規畫署(UNEP)表示，目前尚無水霧系統關於會消耗臭氧層或潛在性全球暖化效應方面的問題。



## 二. 氣體類清潔式滅火藥劑

### 1. HFC-227ea(商品名為FM200或FE227)

此種滅火藥劑是國內目前替換海龍1301最普遍的滅火藥劑，雖然此滅火藥劑無法完全取代海龍，但因開發時段較其它清潔式滅火藥劑早，致在清潔式滅火藥劑的市場佔有率最大。此藥劑在部份的消防場所可進行局部的改裝設備，即可替換原來的海龍滅火系統，不須全

部更替設備可節省投資費用，但其GWP值為3600，未來是否會受到京都議定書對HFC的使用排放減量所規範，則有待觀察。

## 2. HFC-125

杜邦氟化廠之前只生產FE-25之滅火藥劑(藥劑名稱為HFC-125，分子式 $\text{CHF}_2\text{-CF}_3$ )，經與FIKE公司合作測試成功後，於2002年9月正式推廣海龍1301替代品之滅火系統，名稱為Fike ECARO-25™。此滅火系統已通過FM(Factory Mutual)認證，並經CEN(European Committee for Standardization)14520列為海龍替代品。據杜邦滅火器部門表示，此滅火系統不但安全、不可燃、滅火效能高且其物理性質與海龍1301相似(海龍1301沸點-57.8℃，此藥劑沸點為-48.3℃，最高壓力在25℃時為184 psig)，海龍1301藥劑鋼瓶之條件下進行替換，大幅降低更換海龍之成本，此藥劑已在歐洲地區開始推廣使用。

## 3. Novec 1230

3M於2002年6月宣佈，該公司的特殊化學品製造部門研發的海龍替代品Novec 1230已通過歐聯與美國環保署的

審查註冊，並完成國際海事組織安全會議(International Maritime Organization (IMO) Maritime Safety Committee Circular)的滅火器使用測試程序及通過FM認證，並已取得美國環保署SNAP program為海龍1211與海龍1301的替代品。

3M所研發的海龍替代品Novec 1230為一氟化酮類化學品，其滅火機制主要是以物理特性降低火場的溫度，與海龍滅火藥劑利用化學特性以溴的連鎖分解反應抑制燃燒現象不同，故在進行替換時無法使用原來的海龍管線進行填充(drop-in)。在其環境特性方面：Novec 1230對光線的最大的吸收波峰在300 nm，屬紫外光區，故易受紫外線的破壞分解，致其破壞臭氧層潛勢為0。依世界氣象組織在1999年計算之GWP100值為1，在大氣中存留的壽命為5天，故Novec 1230並不會影響氣候變遷。並通過毒性測試，適合做為區域放射型的滅火藥劑，其藥劑開發雖較晚，但具低GWP值的特性，具有極高的商業潛力。

## 三 . 民用航空器使用清潔式滅火藥劑

商務飛機在洗手間的滅火設備，在美國目前有HFC-227ea、HFC-236fa及Envirogel(HFC-236fa與懸浮乾粉混合

物)等3種藥劑通過FAA(聯邦航空總署)測試，這些藥劑裝置空間與安裝位置與海龍1301相同，但價格更低廉，只要變更文件即可將這些替代品導入飛機中。

至於貨艙消防系統方面，航空消防專家表示此區域最難使用海龍1301替代品，FAA已研擬出最低限制之性能規範，以利飛機貨艙滅火系統使用海龍替代品。

在飛機引擎火災防護部份，目前美國空軍、海軍陸戰隊及海軍等，都有服役中的飛機採用HFC-125系統來防護其引擎。但FAA尚有一些測試問題未完全克服，致測試結果並不理想。

#### 四．軍事武器系統使用清潔式滅火藥劑

安全性是軍事單位使用海龍最重要的理由，但在某些軍事用途上仍有許多場所可使用海龍替代品。如美國空軍選擇HFC-125做為F-22“Raptor”上滅火系統之藥劑，裝甲車(Interim Armored Vehicles, IAV)選擇HFC-125來防護其引擎室，並以HFC-227ea / 乾粉混合物滅火系統供有人員活動區域使用。在海軍方面，除繼續使用海龍1301外，亦採用

HFC-125做為F-18E / F“Super Hornet”之引擎以及貨艙氣體產生器之滅火系統。於兩棲運輸船塢艦(Amphibious Transport Dock Ship)LPD-17艦艇之主機艙使用噴水系統，並在輔機艙與可燃液體儲存間使用HFC-227ea。

#### 五．手提式滅火器

一般而言最常見火災型式分為三型：

1. 一般的可燃燒物質如紙、衣服、橡膠及塑膠等物品。
2. 可燃性液體、可燃性氣體、油、有機溶劑。
3. 會燃燒的電子零件與設備。

以相同規格而言，清潔式滅火劑是最昂貴但滅火效能最低，乾粉滅火劑成本最低具最高之滅火效能，但使用後會污染設施而不具清潔要求。在大多數情況下，會採購手提式滅火器者，其動機只在符合消防法規。以一個A(紙)B(油)C(電子產品)火災而言，可使用海龍1211、鹵烴藥劑及乾粉滅火器等。在某些消防場所可利用兩種滅火器，以符合法規要求。例如一個水滅火器可滿足A類火災所需，配合二氧化碳滅火器處理BC類火災。一般消費者必需在滅火器效能、藥劑潔淨度及滅火器成本之間考量。

美國替換海龍1211之氣態藥劑如表3所示，此7種皆列在美國環保署SNAP

program上，由於某些替代品對環境並非完全沒有衝擊，因此並非所有列在SNAP program上之替代品均可達商業化目標，例如FC-5-1-14屬全氟化物，具高GWP，製造商已停止生產。目前美國僅存HCFC Blend B(Halotron I)與HFC-236fa(FE-36)兩種手提式滅火器。

### 六. 現有海龍系統的使用維護

如前述海龍滅火器屬永久免換藥劑之滅火器，故在安裝完畢後可能放置許久才會使用，若在平常未進行維修檢點，則使用時，不但無法達到消防目標，且會造成使用不當的排放。因此，為求設備隨時保持最佳狀態，消防場所

↓表3 海龍1211替代品之商業化認證進度

	商品名	類別	化學組成	已通過 SNAP	已通過 NFPA	通過認證 實驗室	取得國家 認證
HCFC Blend B	Halotron I	HCFC Blend	Blend of CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> , CF <sub>4</sub> and argon	✓	✓	✓	✓
HCFC Blend E	NAFP-IV	HCFC +Blend	Blend of CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> , CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> and C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	✓			
HCFC-124	FE-24	HCFC	CHClFCF <sub>3</sub>	✓			
HFC-236fa	FE-36	HFC	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	✓	✓	✓	✓
HFC-227ea	FM-200	HFC	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	✓	✓	✓	
FC-5-1-14	CEA-614	PFC	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	✓	✓	✓	✓

管理人員應進行例行性的檢查工作。其檢查頻率為：一般對全部海龍滅火器設備每3個月作一次以上之外觀檢查(如一般事項、滅火藥劑、滅火鋼瓶、加壓裝置、選擇閥、起動裝置、管路、噴頭)，每年一次以上的功能檢點(附屬閥類檢查、鋼瓶周圍之管路、加壓用氣體容器閥、壓力調整器、容器閥放射機件、作動及電磁開放機件)，每5年作一次精密檢查(性能、耐蝕、耐壓、性能及氣體放射)。其檢點、檢查結果及修正事項，應作成記錄，以減少海龍藥劑的排放。加強現有的海龍滅火的維修與點檢，可增加現有的海龍使用年限，亦不失為清潔式滅火藥劑的使用途徑。

## 結語

在87年前設立海龍滅火系統仍屬合法的滅火器，在87年後消防署已不再核准新設立海龍系統但仍可使用。環保署為進一步有效管制海龍的使用，公告於83年起禁止進口海龍藥劑，於89年起禁止進口海龍滅火器，故現有海龍滅火設備在火災釋放後，將面臨不易取得海龍的補充。對於可替換的海龍系統，將須

逐步廢除，故海龍藥劑的替代品已在國內積極推廣使用。國內的消防場所，在設置清潔式滅火設備時，除需分析場所的滅火技術等級外，更應了解消防管制趨勢，才能設立符合未來法規的要求，建構長遠的消防使用設備，達到永續使用之目標。