



防火性材料技術發展 及其於軍事國防上的應用

作者簡介



吳嘉財上尉，陸官校71期、中華大學土木工程所碩士；曾任排長、副連長、教官，現任職於裝甲兵學校總隊部。

提要

- 一、為了有效的抑止火災的產生，針對撲滅火焰這個觀點，有相當多的防火性材料正在開發當中。
- 二、近幾年來在防火性塗料上的進展，正朝著結合所謂的奈米科技，將防火性材料達到奈米等級，並將其奈米微粒分散塗覆於裝備或基板上，以達到強而有效的防火效果，同時兼具環保概念的耐燃劑。
- 三、在軍事方面近年來已開發出許多產品，諸如軍服、防火手套、防火迷彩布料、消防與軍事專用護目鏡等等，未來更渴望將這些新穎性防火材質，塗布在軍機、戰甲車車身構件或者是武器構件外圍，以有效防止在戰爭或危安意外所引起的火災。

關鍵詞：防火性材料、鹵素系阻燃劑、磷系阻燃劑、奈米活性碳阻燃劑

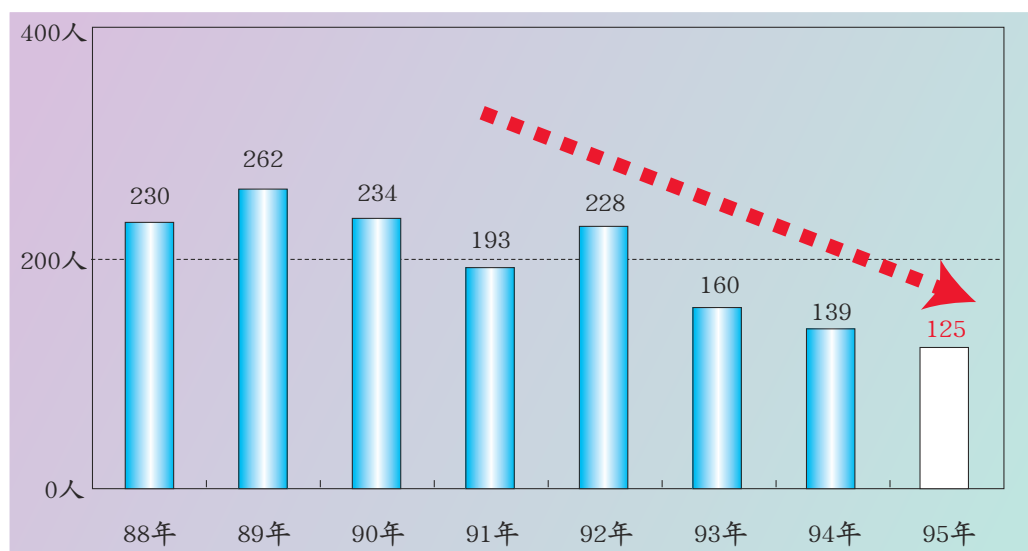


前言

火災是一種相當危險且恐怖的災害，一旦發生不僅造成生命財產的損失，甚至危害社會安定。1666年從布丁巷（Pudding Lane）所引發的倫敦大火，蔓延了5天之久，幾乎燒毀了莎士比亞所描述的中世紀倫敦。那時候的倫敦，有著木製的房屋、茅草做的屋頂、稻草地毯，就像是一顆不定時炸彈。雖然隨著時代的進步，不論是在整體建築材料的改良，防火設備的精進以及安全觀念的宣導，均有相當程度的提升；然而咎因於疏忽或天災所引起的祝融之禍，仍究屢見不鮮。據我國內政部消防署統計^①，民國95年臺灣地區因火災所造成的金錢損失約15.6億元，其中房屋損失約2.8億元，直接財物損失約12.7億元。在人命傷亡方面，民國88～95

年間平均每年死亡人數約196人，受傷人數約646人（如圖一）。由上述統計資料顯示，火災除了直接危害民眾生命財產安全之外，間接損及社會經濟，影響原物料的損失、廠房損壞，甚至訂單流失或履約賠償等，實難以估算其連鎖效應所產生的損失，同時也對社會大眾帶來相當嚴重的不安全感。

由於火災帶給人類巨大的損失，社會對防火性材料及阻燃法規的呼聲日益強烈。為了有效的抑止火災的產生，針對撲滅火焰這個觀點，有相當多的防火性研究在進行當中，也因此從50年代初期，各國便大力發展所謂防火性材料。1970年代之後，美國太空總署（NASA）為了有效隔絕太空梭穿越大氣層所引起的燃燒現象，因而研發一系列的防火性材料。至此以降，各式各樣的防火性材料廣泛應用於



圖一 臺灣地區歷年火災死亡人數圖

資料來源：內政部消防署網頁，<http://www.nfa.gov.tw/index.aspx>

註①：內政部消防署網頁，<http://www.nfa.gov.tw/index.aspx>



家庭建築、器具表面、實驗室設備與武器裝備之中。以下將針對防火性材料歷史沿革、耐燃劑技術發展趨勢、材料簡介、防火處理方法等，做一簡單的描述，同時剖析防火性材料如何有效的應用於軍事國防裝備之中，據以分析防火性材料於臺灣地區開發的成果及其未來的展望。

防火性材料歷史沿革

於20世紀50年代初期，美國Hooker化學公司利用反應性單體氯菌酸，首先開發出耐燃性不飽和聚酯，隨後又發展出含溴和磷的反應型耐燃單體。60年代的防火材料主要係以多種適用於熱塑性塑膠填料型添加耐燃劑為主，其中大部分為溴系化合物，此類耐燃劑又蓬勃發展於70年代初期至80年代中期。到了1986年，多溴二苯醚類耐燃劑^②的毒性與環境問題的爭議引發了工業、科學與環保界廣泛的討論，因而促進十溴二苯醚類、膨脹型耐燃劑^③及無鹵素耐燃劑等新型替代品的研究與開發。近年來，隨著對耐燃技術要求與環保意識之增強，21世紀防火性材料將以無鹵素、高效能、低煙、低毒性、多功能為導向。然而在產品開發部分，除考慮產品效能外，製造成本亦為重要因素之一；加之

環保與火災防治方面相關法規，為主要影響防火性材料技術發展之影響因素，促使研發機構致力於新產品之開發（如圖二）。

耐燃劑技術發展趨勢

在技術方面，目前防火性材料開發的目標，主要係朝著增加耐燃劑性質之效能、發展環境友善型耐燃劑（surrounding friendly）^④、材質微細化與特殊加工處理、可回收再利用，以及高階材料等方向發展。

表一為防火性材料技術發展趨勢彙整表，該表中乃針對當時發展微型技術、材料奈米化及在兼顧環保等議題，開發其防火性材料，其特點分析如下：

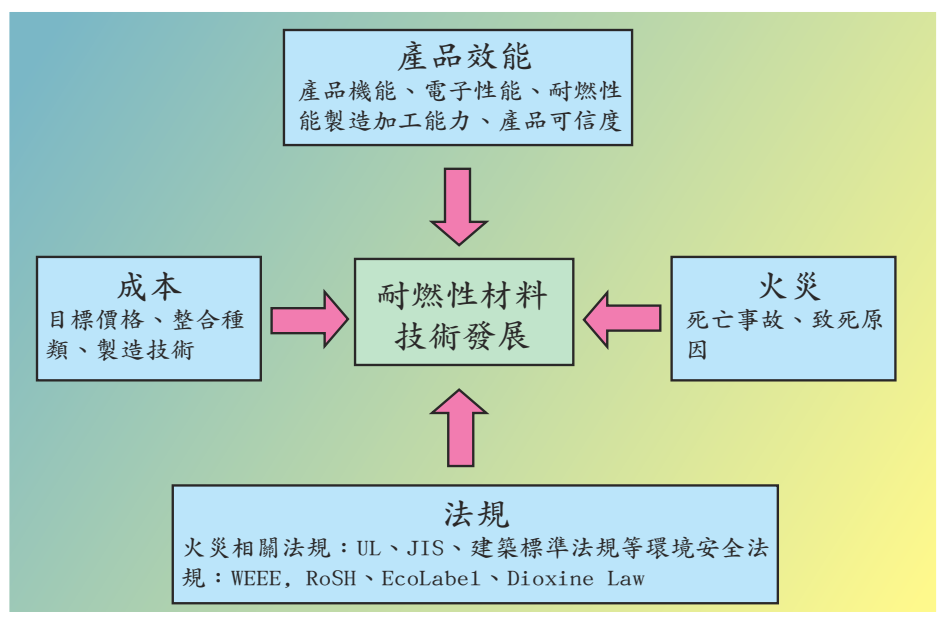
一、微膠囊化：這種近年來所發展出的新技術，主要係將耐燃劑磨碎分散成微粒後，以有機物或無機物對之進行包囊，形成微膠囊耐燃劑，這種微膠囊化主要具有可防止耐燃劑不定性的遷移，並具有提高耐燃效力、改善熱穩定性等許多優點。

二、細微化與奈米化：其所使用的耐燃劑在細微化與奈米化以後，其顆粒在微米級（10-6m）之下，致其耐燃劑本身的

註②：多溴二苯醚包含五溴二苯醚、八溴二苯醚及十溴二苯醚等，它具有高沸點、高脂溶性、低水溶性、在自然界及人體中不易被分解等特性，多溴二苯醚會經由食物鏈的生物濃縮效應進入人體，並造成毒害，除干擾甲狀腺素分泌外，多溴二苯醚還具神經毒性、內分泌干擾特性、致突變性，並有可能致癌，為「環境中不易分解」的第一類毒化物。

註③：當耐燃劑於高溫下，會膨脹成100~200倍可阻隔氣體的碳化層。使物體與火焰隔離，優點為不產生大量煙霧或有毒氣體，且可保護物體內部。

註④：所謂的環境友善主要係指生物可分解性的意思，這種材質在自然界中過了一段時間，會被自然界的細菌所分解，因此對環境的危害程度相當的小，材料通常會添加不等的乳酸以及澱粉這種易被分解的材質。



圖二 影響耐燃劑技術發展之因素

資源來源：本研究繪製

填充量需求相當大而效率不高。若將材料顆粒發展變為奈米級（10-9m），填充量將為之減少，藉此可有效減少在材質表面所需塗布耐燃劑的數量，其性能、效率將可加倍提高。

三、交聯技術：交聯高分子聚合物（熱固性塑膠）的耐燃性能比線型高分子聚合物（熱塑性塑膠）要好得很多，因此在熱塑性塑膠加工中，若添加少量交聯劑，使線型高分子聚合物變成部分網狀結構，不僅可改善耐燃劑的分散性；同時亦有利於高分子聚合物在燃燒時，凝聚而產生結炭作用提高其阻燃，以增加製品的物理機械性能、耐氣候、耐熱性能，此一方法亦是工業界常用的方法之一。

防火性材料簡介

目前阻燃劑的新趨勢，一種「好」的阻燃劑除了要達到防火阻燃效果，另外也需達到以下的特性：一、在儲存、操作、火災以及回收再利用等情況下，必須對人體或環境無害；二、在燃燒時發煙量低且不產生有毒氣體^⑥；三、在燃燒過程中不熔滴蔓延火源；四、具有低的燃燒熱以減緩火場溫度的上升，增加人員逃生的時間。

一般工業用之防火性材料可區分成四類，依序為鹵素系（氯系、溴系）、非鹵素系、磷系及無機阻燃劑。近年來，工業界更開發出所謂的「奈米活性碳」阻燃

註⑥：含鹵素環氧樹脂TBBPA在不當的燃燒溫度（<1000℃）下會產生戴奧辛（dioxin）、呋喃（furan）等有毒致癌氣體。



表一 耐燃劑技術發展趨勢

項 目	議 題	內 容
增加耐燃劑效率	發展複合型系統	發展複合型系統與更高效率之耐燃劑：鹵素+金屬氧化物；APP泡沫化系統+碳循環系統；金屬氫氧化物+耐燃輔助物。
	發展微細化與分散技術	利用細微化增加反應：微小化；奈米化材料；表面處理技術；分散技術。
發展環保型耐燃劑	發展新型耐燃系統與耐燃劑	發展新型金屬氧化物：氫氧化鋁；氫氧化鎂；耐燃輔助劑，顆粒大小，顆粒形狀；表面處理。
		無機填充微細顆粒。
		新型磷系耐燃劑。
		矽系耐燃劑與其系統。
減少加工所產生之控制程式與改善其物理性	減少控制其物理程式與電子性質	機械性質（抗衝擊性質等）：表面性質、顆粒大小與形狀。
		電子特性（誘導電特性、離子化特性）：表面處理、微膠囊化。
		製造使用性：矽系與磷系耐燃劑在調整顆粒大小與形狀上，通常需要相當程度的表面處理。
建立優良回收再利用之耐燃劑	發展適熱性能佳與抗熱分解類型的材料	重複使用：鹵素與磷系耐燃劑有很好的抗熱解性質。
	氣化或Oilificate材料	Oilification與氣化：燃燒觸媒；分離鹵化物氣體。
		利用不同密度材料分餾其複合材料之產品。
開發高階耐燃劑	開發不需抑止其本身具有功能之耐燃劑	對於多功能性的耐燃劑來說，其本身的官能性將不會隨著耐燃性能的提高而有所影響，如導電性質、電阻特性、光學活性等。

資源來源：本研究繪製

劑，功能亦相當好，以下即針對幾種性能優良且廣為使用的材料簡介如下：

一、溴系阻燃劑（PBDEs）

溴系防火性材料阻燃效率高，其阻燃效果是氯系阻燃劑的兩倍，相對用量少，對複合材料的性能幾乎沒有影響。PBDEs為最常用的分子，係溴原子所取代之系列芳香族溴化物，通常以多個同屬物呈混合物狀態。市售阻燃劑產品一般為3～10個溴原子，尤其是penta（五溴）、octa（八溴）、deca（十溴），實際上為多種芳香族溴化物的混合物。PBDEs常用

為石化產品、軟性或硬質塑膠之阻燃劑。諸如家用之電話、電腦外殼，乃至於各種防火護貝等。值得注意的是，鹵素系列的（包括氯系和溴系）阻燃劑已經成為日常環境中到處擴散的污染物，且對環境與人類的威脅日益升高。而製造、循環回收或拋棄家電及其他消費性產品的行為，則是造成這些污染物釋放到環境的主要途徑；而相關的法令規章將於下段內容中詳敘。

二、環保型非鹵素塑膠（TPU）

塑膠為含碳氫原子的高分子易燃性



物，基本上其可以容忍的耐火溫度約為 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，而熱裂解溫度約落在 400°C 左右。若在塑膠中以物理性混摻加入耐燃劑，則可以加強某種程度的耐燃效果，使產品符合安全規格。最常使用的耐燃劑為十溴二苯醚DBDE、八溴二苯醚OBDE（溴含量1~10個原子者）等，常被使用來添加於電器及電子塑膠中，以增強其耐火耐燃的特性。但這些化學分子，其分子主體本身太過於堅固，經由焚化處置後，具有不易分解性及環境毒性。此外有一部分鹵素類的耐燃劑會產生戴奧辛，因此使用來作為電子、電器、家具、纖維等產品的鹵素類芳香族耐燃劑，在歐洲方面已受到相當的重視而加以管制。針對重金屬及化學污染對環境、對人體造成的影響，歐盟已經發布所謂的WEEE（電器與電子設備廢料指令）及RoHS（Restriction of the Use of Hazardous Substances in electrical and electronic equipment）危害物質禁用指令，禁止含溴防火劑（PBB、PBDE）用於電子電氣用品，並於2006年7月開始實施^⑥。這項方案將預期提高廢棄電子電器產品回收率及再使用率，且促使加速環保綠色產品的開發研究、設計和產業化生產。

針對上述概念，近年來所開發的環保型非鹵素塑膠^⑦，TPU（熱可塑性聚氨酯—熱塑性聚氨基甲酸酯彈性體 Polyurethane Thermoplastic Elastomer），

均為取代傳統PVC塑膠材質的一種替代品。「非鹵素塑膠」指的是添加無鹵型耐燃劑的塑膠，外加耐燃劑高分子往往會降低材料本身優異的機械或電氣特性，使得開發新型高分子耐燃技術成為研究的重點。

TPU為合成橡膠（Synthetic Rubbers）的一種，耐用且極富韌性，不易刮傷，成型後不易走樣，絕緣性強。可做為非常靈敏的電纜絕緣材料和傳感器絕緣材料（如ABS和EPSs體系等），其優越絕緣的性能和環保效能，已成為PVC之替代品之一。TPU有良好的高張力、高拉力與強韌的耐用性，是一種成熟的環保材料。例如BASF（西德巴地斯集團）、Bayer（德國拜耳集團）公司均以各式各樣的名稱，提供其所謂的TPU防火材料。TPU同時展示優異的耐磨性、韌性（抗拉強度和撕裂強度）與低溫可撓曲性。由於其具有前述特性，在低潛變和很好的壓力釋放性之下，對於非極性有機溶劑、石油附產品、潤滑劑和燃料有很好的忍耐性。使用溫度範圍從 -51 到 135°C ，表面硬度範圍從捨氏（shore）70A到75D。茲整理此材料的特點如下：

（一）優點：優異的耐摩擦性和耐撕裂性；耐油及溶劑；承受負荷能力和低溫可撓曲性。

（二）限制：成型困難，包含濕度敏感性；成本太貴。

註⑥：美國加州政府於2003年8月第一個宣布2007年後禁止製造、使用聚溴二苯醚阻燃劑（PBDEs），石化產品製造業者亦迅速配合響應（2003年11月）規劃將其日後產品排除使用PBDEs。歐洲某些國家認為有毒性、持久不分解性、生物累積性，在人體母乳殘留。我國環保署亦於1999年將PBDEs中之十溴二苯醚（deca-brominated diphenyl ethers, deca- BDEs）公告為第四類毒性化學物質。

註⑦：熱塑性聚氨基甲酸酯彈性體 Polyurethane Thermoplastic Elastomer（TPU）。



TPU可用於鞋材、成衣、充氣玩具、水上運動器材、醫療器材、汽車椅座、雨傘、皮包、手機殼、電線外圍披覆材料等。其特殊的半透明性在諸多商品中益增其美觀。但目前製造的價格較PVC（聚氯乙烯）貴約2~3倍，亦為侷限其大量使用的障礙，猶待學界與產業界開發其關鍵技術以資普及。

三、有機磷化合物^⑧

近年來，有機磷化合物已被研究團隊以化學接枝方法，用來連接高分子聚合物中具有耐燃的特性；若與含鹵素耐燃劑相比較，有機磷化合物不會產生煙霧（毒氣體），尤其是將有機磷反應基團導入後，使得聚合物更耐燃性。磷系耐燃劑之耐燃過程在於燃燒時，一方面促使高分子材料先行脫水作用，使碳氫化合物之氫與空氣中的氧形成水，藉以降低周遭環境的溫度；另一方面在高溫加熱中會分解出磷酸，促使高分子化合物碳化，形成不燃的焦炭層。而磷酸在高溫下會進一步脫水酯化形成聚磷酸，成為一玻璃狀熔融體覆蓋於燃燒物的表面，形成一保護層並阻止氧氣進入內層，因此有抑制火焰燃燒的效果。磷系防火性材料毒性較低、加工性佳、添加量少、發煙量低，且與其他種類高分子有相當好的相容性，故為工業界全力發展的防火性材質。

四、活性碳阻燃劑

係具有「活性碳」效果的阻燃劑，這種阻燃劑在火災發生時，除具阻燃特性

外，更具優異降低火場濃煙之特性，目前所知最具環保與安全的阻燃劑。活性碳阻燃劑係以天然碳礦經特殊處理而製得，其特性在25~200℃時處於穩定狀態，當受熱超過200℃時其厚度會急劇膨脹數十乃至數百倍，變成體積蓬鬆之蠕蟲狀粉末，故可在燃燒表面形成阻隔碳層，達到隔絕熱能與降低空氣流動的效果。再加上石墨的氣化點超過3000℃以上，足以抵抗一般災變的溫度，故可保護物質或建物的表面達到防火的目的。

如何有效應用防火性材料來達到防火效果

高分子有機材料在燃燒時，乃是經由兩個連續步驟發生而造成。首先材料遇熱升溫，當溫度到達一定程度時會產生裂解現象，而裂解所產生的小分子多為可燃物。這些小分子會和氧氣結合產生自由基^⑨，於是產生燃燒現象，而燃燒現象進一步產生熱，以供給物質升溫所需要的熱能，亦加快熱裂解反應的發生，並且生成大量可燃物質而助長及延展火勢，使其形成一個自加速反應。高分子材料的可燃性主要決定於：（一）材料物質本身之化學結構；（二）熱裂解產生之揮發物的可燃性；（三）氣相中可燃物的比例。

高分子材料因本身無法防火，唯一的方法即是降低著火的可能性及降低火燄的生長速率，具備這種功能的添加劑稱之為抑燃劑（fire retardant），通常是基於下

註^⑧：耐燃防火機制主要為：（一）凝相阻燃機構，因為高溫過程中會形成水；（二）氣相阻燃機構，以磷分子捕捉氧的自由基。

註^⑨：含有一不成對電子的高反應且半衰期極短的不穩定活性氧化物，自由基活性高極易與其他物質產生反應。



列原理來提高高分子的耐燃性：

- 一、表面塗布：降低和氧氣接觸機會，如果表面塗層是熱膨脹性，可形成一有效隔熱層，使高分子不易發生熱裂解效應。
- 二、產生不燃性氣體：可稀釋氧氣濃度而降低燃燒速率。
- 三、表面吸熱反應：採用一種在著火點溫度附近會昇華的物質，可於燃燒未發生前產生吸熱反應，以有效降低溫度，達到抑燃效果。
- 四、抑制自由基的形成：可藉由化學反應捕捉自由基。

防火處理方法

將防火性材料應用在材料、建材上，來達到耐燃化的目的，通常可分為物理及化學兩大類型：

- 一、物理添加型：在分子中添加耐燃性元素。
- 二、化學反應型：將含有耐燃性元素的原子基團，利用化學鍵結合於分子主體的化學結構中。

承上所述，使用物理性添加型耐燃劑為目前增進高分子耐燃化的大宗，然因其使用量大、添加耐燃劑易於高分子使用過程中，經由相分離現象（Phase separation）遷移至高分子表面，導致耐燃劑的流失及材料機械性質的降低。相對的，化學反應型高分子耐燃劑，係利用化學鍵結將耐燃原子團結合於高分子本身結構中，可有效解決耐燃團基流失的問題，也降低耐燃劑對高分子本身物性、加工性、機械性質的影響。

另外還有一種常用的方法，稱之為塗

布型法，該法主要係直接塗布耐燃劑於材質或器具表面。具耐燃效果的元素，主要是週期表中第Ⅲ主族的硼、鋁，第Ⅴ主族的氮、磷、砷、銻，第Ⅶ主族的氟、氯、溴、碘等，其中以磷、溴、氯、銻等效果最好。這些耐燃元素被廣泛用來製備耐燃樹脂和耐燃劑。當耐燃劑在分子聚合物中的含量達到足夠的濃度時，才能使有機聚合物具有耐燃自熄效果。近年來，在防火性塗料上的進展，無非是結合所謂的奈米科技，期望將防火性材料達到奈米等級，並將其顆粒分散塗覆於裝備或基板上。諸如：電子設備的外殼、電路板和連接器中的聚合材料；家具和汽車中的輔助泡沫材料；電線和電纜；天花板、硬質絕緣泡沫、黏合劑、塗料及其他建築材料等。甚至武器裝備的外部，以達到重量輕、強度高、耐防火性的軍規要求，據以降低材料及製作成本。

防火性材料於軍事上的應用

一、軍服：利用特殊防火材料製成的防暴服，允能有效吸收子彈衝擊力，同時提供穿著此一材質的行動者速度的軟質防彈衣，此衣料係由複合材料製成。內部並附有預防衝擊減震內襯的頭盔，可以在充滿催淚瓦斯和爆炸煙霧的環境中使用的防毒面具。

二、防火手套：空軍防火手套，為參照美國軍方工程的每項規格而製成（軍方規格專利G-81188B）。普遍的被使用在世界各地的特警部隊、軍事單位及執法機關，在市場上擁有廣大的銷售量。此防火手套係由100%DuPont（杜邦）公司的NOMEXR布料製成，手掌部位為軟牛皮

註⑩：於下頁。



和不熔化NOMEX[®]布料。此款手套具有高耐熱防火功能特點，操作溫度最高可達攝氏427℃（如圖三）。

三、防火迷彩布料：法國KERMEL公司利用高科技芳香族聚醯胺纖維所製成的防護服。該公司與DyStar公司合作研製一種具有特殊掩護功能的防火迷彩布料。該布料符合迄今最苛刻的軍規要求，能夠避過目力探測和紅外瞄準鏡之搜索。此一Kermel/FRViscose[®]布料備有舒適、不易燃的特點，新的染色技術使產品的質量變得更加完善，其對光線、洗滌、摩擦的耐久性均甚佳；該等材質除外觀好看外，其對紅外線之反射作用亦甚佳；此外，此等布料非常適宜製作偽裝網、掩護與防護衣之需，是耐受高溫 and 火焰的防護服；亦可用於產製軍服，提供飛行員和戰甲車乘員的服裝，將來還可作現代步兵的服裝。在維護社會治安方面也可依據指定的時間和

區域，考量其特殊使命的特種警察和憲兵之需要，設計具有符合城市偽裝色調的掩護服（如圖四）。

四、消防與軍事專用護目鏡：Eye Safety Systems公司研發生產各式消防用、軍用及其他特殊用途的高品質護目鏡。該產品結合運動用品的技術與消防人員、軍事人員的需要，提供具有下列優點的護目鏡：高密合度且環視效果佳、高品質視透鏡、防彈、減少霧氣的通風設計、耐熱防火、專利的快速調整扣環。ESS護目鏡的尖端設計已獲得美國海軍認證，得以取代傳統的防曬、防風及防塵眼鏡（如圖五）。

防火性材料於臺灣開發的成果及其未來的展望

美國為因應歐盟推動環保的浪潮，要求該型產品的規格，應向無鹵素範圍發



圖三 防火手套

資源來源：<http://www.hwaming-toys.com>

註^⑩：為以間位芳香族聚醯胺特製，具永久阻燃性，除防火外，抗化藥性亦高，在82℃下可承受95%濃硫酸之噴濺，現於軍方及消防隊都已使用。

註^⑪：為芳香族聚醯胺纖維具高耐熱性及耐化學腐蝕，連續使用溫度200℃（Max=240℃）且纖維韌性強，拉强度高為製造抗高溫阻燃防護衣的理想材料。



圖四 防火迷彩布料

資源來源：<http://www.kermel.com>

圖五 消防與軍事專用護目鏡

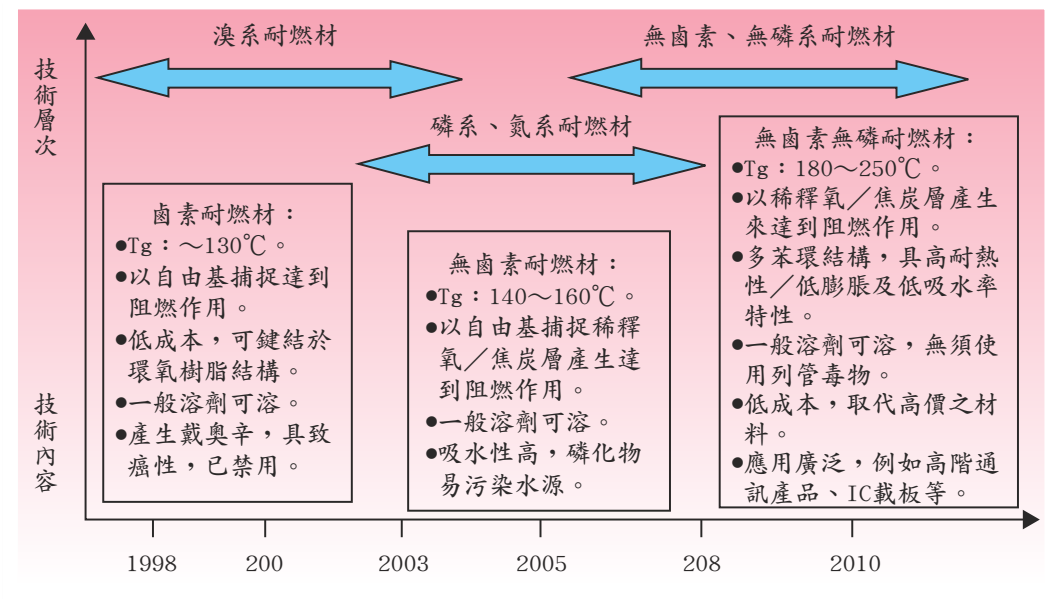
資源來源：<http://www.essgoggles.com>

展，其耐燃劑的技術發展（如圖六）。由於歐盟法規趨勢的限制，基板材料必須不含鹵素，而其耐熱性及尺寸穩定性，必須不含鹵素以符合製程的需要，磷系耐燃劑毒性較低、加工性佳、添加量少、發煙量

具有阻燃、消煙、填充三個功能，不產生二次污染，不揮發、無毒、腐蝕小、價格低，亦為發展的重點之一。

國內在研究防火性材料方面，最傑出的莫過於工業技術研究院，在2007年第

註⑫：當高分子在低溫時，動能小，只能做振動運動，外觀為固態，當溫度升高時，分子鏈可做大程度的運動，外觀上呈高黏性的流體。



圖六 從1998~2010年耐燃劑的技術發展藍圖

資源來源：材料世界網，<http://www.materialsnet.com.tw/>

六十屆漢諾威工業展時，首度展出革命性的防火耐燃材料Reddex[®]。該產品其具有耐燃、不滴熔、不蔓延的特性，能確保建物或披覆材質不受火焰高溫的侵入和破壞。目前，研發進度已達市場成熟階段，成功運用在塗料、薄膜、管線、板材、和紡織物上。傳統的防火隔材受燃後，容易剝落和碎裂，落塵量大，而且燃燒後會釋放出有毒的氣體。然而此綠色隔熱材料Reddex，燃燒時僅釋放出水蒸氣，預料將對交通運輸、建築、工業用品帶來革命性的影響，符合歐洲聯盟最新環保法規，為臺灣防火性材料的進展開起了另一項契機。

防火性材料可應用的範圍相當的廣泛，在國防軍事工業上，可塗布在軍機中

的結構件、雷達罩、內裝件等，或是武器構件的外圍，包括：導彈發射筒、魚雷彈管、裝甲刺穿器、雷達罩及自動步槍等等。再者，戰甲車車身構件如：散熱器支架、防撞桿、車門框架；底盤部分之構件如葉片彈簧、傳動軸等，以有效防止戰時或意外事件所引發的火災。以我國現有的設備和技術而言，如能配合政府大力推動奈米科技的計畫，結合產、官、學界的力量，未來可致力於開發新型防火奈米複合材料，允能有效提升材料防火之研發效能，進而抑制火災事件之產生。

收件：96年10月15日

第1次修正：96年11月13日

第2次修正：96年12月26日

接受：97年1月27日

註^⑩：在承受1000℃高溫中能維持背面物體300℃並超過60分鐘的耐燃度，其高附著性可與主結構貼合，有效保護內部，且煙霧濃度為20是安全標準的1%。