

煙幕對光電導引武器遮障效能研究

作者簡介

作者吳明郎中校，畢業於陸軍官校正 58 期、化校正規班 54 期、中正理工應用物理研究所碩士、國立交通大學光電工程博士候選人，歷任排長、連長、參謀官、教官、編參官，現任化校學員生總隊長。

提要

- 一、據當前光電科技發展的趨勢，朝向多模式、多功能、全頻譜、微型化等方向發展，傳統煙幕僅能對可見光目視器材遮蔽，很難滿足當前光電科技所含各波段電磁頻譜環境。
- 二、精確導引武器導引方法很多，中共目前主要有慣性導引、地形匹配導引、GPS 導引、雷達導引、紅外線與紅外成像導引、雷射導引、電視導引及雙模導引等。
- 三、煙幕科技發展應用，隨實戰經驗之累積及戰場攻、防武器性能之改良，已獲得長足進步，使軍事家更加確認煙幕在現今光電防制作戰運用上之價值。美軍在電腦兵棋推演之數據分析顯示，使用煙幕可減少 25% 之人員及軍需物質損失，並能迫使敵軍前進速度減緩 50%。前蘇聯更深信煙幕作戰之效能，認為以煙幕掩護攻擊，至少減少部隊 90% 之傷亡比例。北約國家亦極重視煙幕在現代戰爭中之重要性，而視煙幕作戰為戰力乘數。
- 四、本篇目的主要藉探討可見光、紅外光、微波及無線電波等不同波段導引系統及特性，研究紅外光、毫米波、雷射波段及熱成像系統反制作為與煙幕對光電導引武器系統遮障效能，提供各階指揮官了解及運用煙幕，期能使煙幕結合部隊訓練，多頻譜煙幕概念與運用能納入聯合作戰演訓，以提升部隊防護力與確保重要設施與裝備安全，確立煙幕遮障效能與運用價值，作為未來多頻譜煙幕發展之策略目標。

壹、前言

美國國際預測公司在最新發布的 2005 年度報告中，預測全球在今後的 10 年內在關鍵光電系統上的研發和生產費用將達到 64 億美元。到 2014 年，預計陸基和海基光電系統的市場總量將遠遠超過 36 萬套。其產品包括武器熱瞄具、夜視鏡、戰車監視系統以及艦艇火控系統。在今後幾年，產量最大的兩個系統分別為 ITT 公司的 PVS-7/14 系列夜視鏡和雷神公司的 PAS-13 武器熱瞄具。在接下來的 10 年裡，兩種系統的總生產量將達到驚人的 25,395 萬套，同時，正在進行的一系列光電研發項目也有望開發出一些全新的系統。最引人關注的要算是定向能系統和技術的開發（註1）。

隨著各類精準之光電武器發展，煙幕技術亦伴隨著不斷更新及研發，它在現今戰役之作用更顯重要。前瞻未來的戰爭，是在陸、海、空、太空及電磁頻譜與資訊等六維作戰空間中（圖 1），武器裝備上是充分應用光電系統作戰，大

註 1 國際預測公司發布年度軍用光電系統預測報告，2005 年。

量引用紅外線、雷射光、毫米波及雷達等相關偵察、觀測、追蹤儀器及精準之導控武器系統應用在戰場上，以提昇戰場透明度及目標物之毀傷機率，形成所謂全頻譜作戰（註2）。

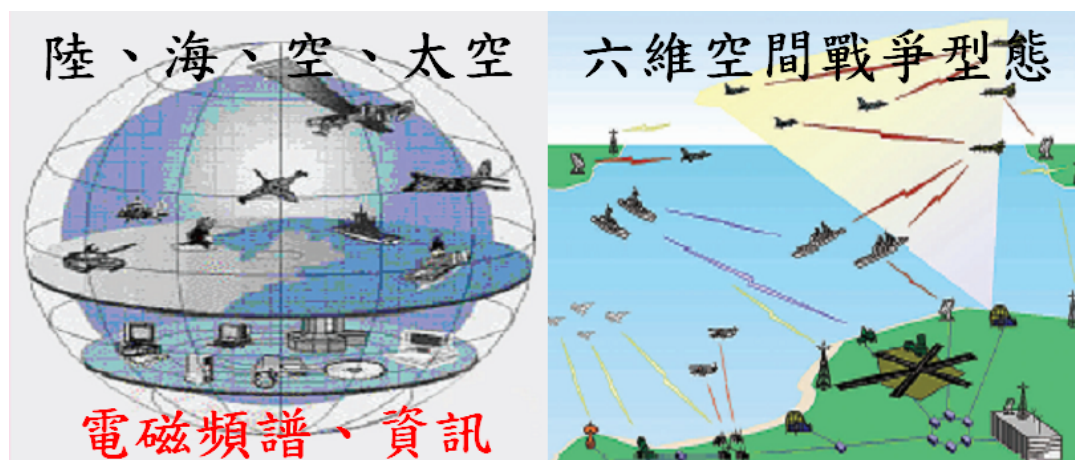


圖 1. 六維作戰空間示意圖(作者自繪)

美軍前參謀長聯席會議副主席沃爾特上將曾強調：陸軍應注重實戰環境的訓練，投身於煙幕遮蔽戰場，把煙幕結合到戰術戰鬥中。煙幕科技之發展應用，隨實戰經驗之累積及戰場攻、防武器性能之改良，已獲得長足進步，使軍事家更加確認煙幕在現今光電防制作戰運用上之價值。現今作戰已是“任何目標都能被發現，發現的目標都能被擊中”的局面，在這種戰爭條件下，要爭取作戰的主動權，首先應該具有相對應的對抗性進攻武器，其次應具有提高武器裝備和人員生存的防護保障手段與能力。而煙幕作為遮蔽重要目標，掩護部隊行動，迷盲敵人火力，干擾敵人偵察、觀測器材和精準導彈武器的有效手段，已被世界各國軍事家們所重視。

貳、光電導引武器考慮因素--大氣窗口

十九世紀中葉(1865 年)，馬克斯·威爾闡明了「電磁輻射」(或稱為電磁波)理論，說明了可見光是電磁波的一種，此外還有其他許多種類的電磁輻射，從無線電波到伽瑪射線皆是。除了可見光以外，其餘的電磁輻射均無法以肉眼看到。這些以往我們肉眼看不見而不知道它們存在的東西，現今我們該如何去探索它們呢？現代天文學藉著科技研發的各波段新型望遠鏡來觀看肉眼無法見到的事物，新型望遠鏡可偵測太空傳來各種不同的電磁輻射，並解讀其資訊，以揭開宇宙的奧秘。換言之，所有電磁輻射依照波長的長度排列，就可以得到電磁波譜，每個光譜區段各有不同的特性，也帶給我們有關宇宙中各種不同的資訊。圖 2 的電磁波頻譜，說明地球的大氣層僅留有可見光和無線電波段的透明窗口，讓可見光和無線電波可到達地面（註3）。

註 2 PRECISION STRIKE ANNUAL PROGRAMS REVIEW - APRIL 17-18, 2006

註 3 <http://en.wikipedia.org>。

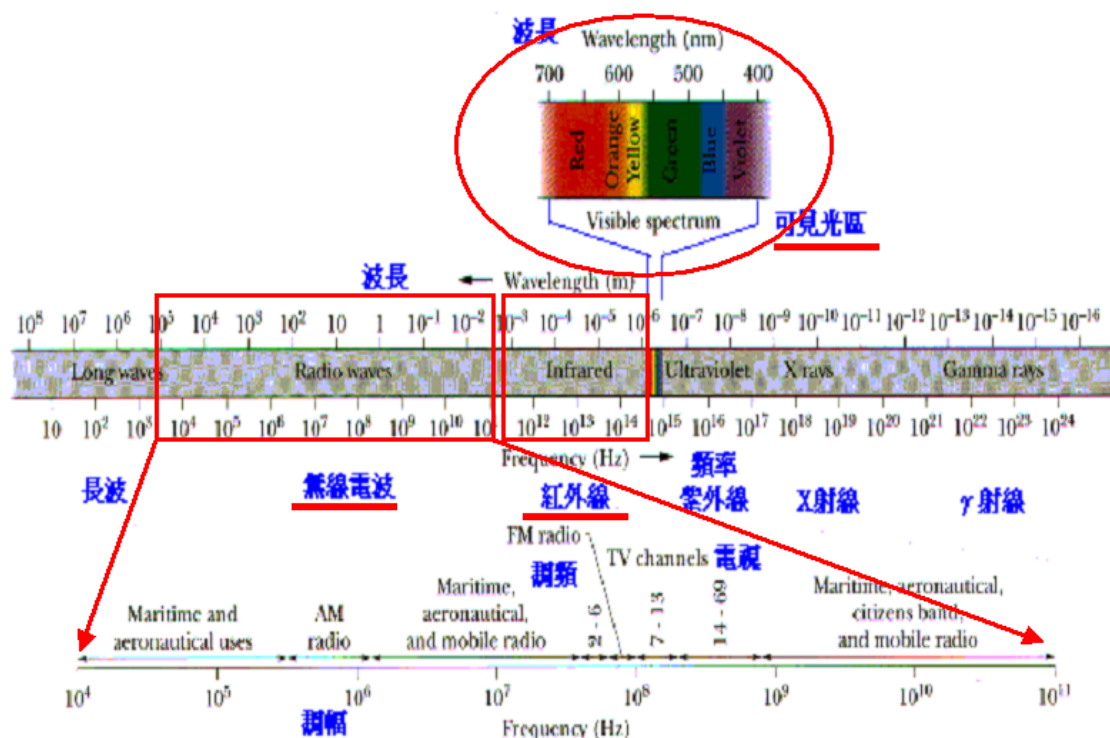


圖 2. 電磁波頻譜

大氣分子對電磁波能量的吸收（註4）。在微波和毫米波段，氧和水汽是大氣氣體吸收的主要成分。氧分子具有磁偶極矩，水分子具有剩餘電偶極矩。在電磁場的作用下，當電磁波的頻率與分子轉動能級躍遷頻率一致時，分子吸收電磁波的能量，其轉動能級由低向高躍遷，形成共振吸收。在分子碰撞的情況下，這種共振吸收譜線不是頻率單一的譜線，而是有一定的頻譜寬度。這樣，氧和水汽不僅激烈地吸收頻率與吸收譜線中心頻率十分相近的電磁波，也會吸收頻率不一致的電磁波。

在大氣吸收譜線之間，有一些大氣吸收相對輕微的頻段，稱為大氣窗口。故大氣窗口指天體輻射中能穿透大氣的一些波段。由於地球大氣中的各種粒子對輻射的吸收和反射，只有某些波段範圍內的天體輻射才能到達地面。如波長長於 1 公尺以上的電磁波：為電離層電子所反射。紅外線(IR)：為H₂O與二氧化碳分子所吸收。紫外線(UV)：為臭氧層之O₃吸收。X-光與γ-射線：氧與氮等空氣分子吸收。利用大氣窗口可獲得較遠的無線電作用距離，如通信距離和雷達作用距離等，吸收譜線可用於保密通信和低截獲概率雷達等；大氣吸收係數隨高度的變化可作為權函數用於大氣溫度遙感。而大氣窗口又可說明為被大氣吸收較少的波段（註5）。按所屬範圍不同分為光學窗口、紅外窗口和無線電(射電)窗口。

一、光學窗口：

註4 <http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/v2b/663.pdf>。

註5 <http://wordpedia.pidc.org.tw/content.asp>

可見光波長約 400~700nm。波長短於 400nm 的天體紫外輻射，在地面幾乎觀測不到，因為 200~300nm 的紫外輻射被大氣中的臭氧層吸收，只能穿透到約 50 公里高度外；100~200nm 的遠紫外輻射被氧分子吸收，只能到達約 100 公里的高度；而大氣中的氧原子、氧分子、氮原子、氮分子則吸收了波長短於 100nm 的輻射。400~700nm 的輻射受到的選擇吸收很小，主要因大氣散射而減弱。故可見光視窗也稱光學窗口(圖 3)。

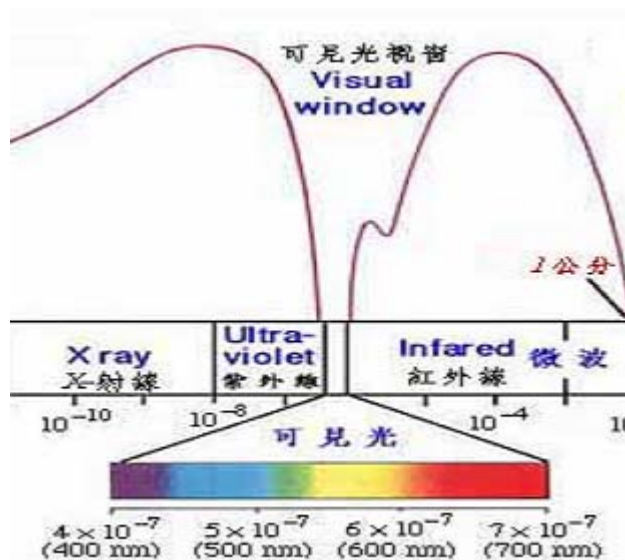


圖 3. 光學窗口

二、紅外窗口（註6）：

水汽分子是紅外輻射的主要吸收體。這些吸收帶間的空隙形成一些紅外視窗如圖 4 所示。其中最寬的紅外視窗在 8~13 μm 處(9.5 μm 附近有臭氧的吸收帶)。17~22 μm 是半透明窗口。22 μm 以後直到 1 毫米波長處，由於水汽的嚴重吸收，對地面的觀測者來說完全不透明。因紅外線光譜區受限於空氣中水分濕氣之吸收光譜所造成之大氣窗口，使得熱影像儀只能使用 1.45~2.5 μm 和 3~5 μm 及 8~12 μm 這三波段。

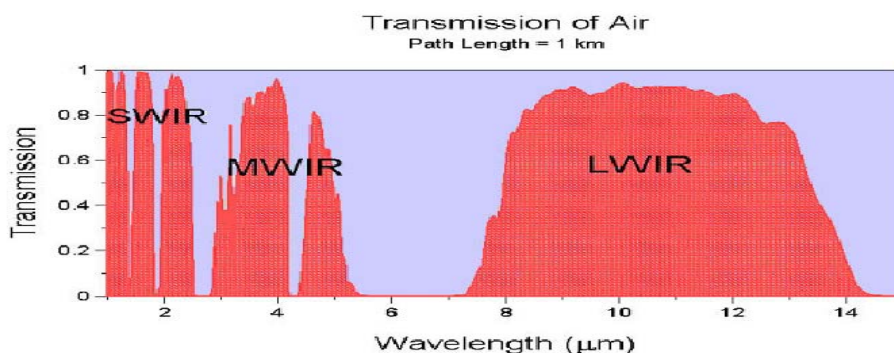


圖 4. 紅外線範圍之大氣透射圖

(資料來源：Infrared - Wikipedia, the free encyclopedia.htm)

三、射電窗口（註7）：

這個波段的上界變化於 15~200 米之間，視電離層的密度、觀測點的地理位置和太陽活動的情況而定。地球大氣對天體輻射的電磁波起著吸收和反射的作用，阻止其通過，但對 10 兆赫左右到 300 京赫左右的射電波則是透明的或部分透明的，恰如大氣對這個波段的電磁波開了一個視窗，故稱射電窗口（圖 5）。

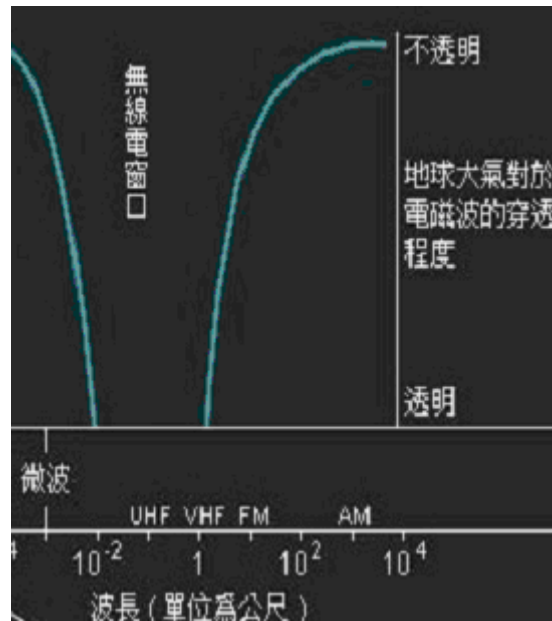


圖 5. 無線電(射電)窗口

綜合上述，整理出如表(1)所示之電磁波各大氣窗口範圍、光學原理。

波長範圍/ μm	光學原理
0.1~0.7	部份紫外(0.4 μm 以下)、可見光(0.4 μm ~0.7 μm)，利用目視進行探測。
0.76~1.5	近紅外(0.76 μm ~1.5 μm)，利用目標反射光譜進行探測。
3~5	中紅外波段，即可利用目標物的反射光譜，又可利用目標的發射光譜。
8~14	遠紅外波段，利用目標本身熱輻射波段，是目前發展最頻繁的窗口。
微波	具有厘米波的全天候性，又具有紅外的高精度探測能力。

表 1. 電磁波各大氣窗口範圍、光學原理

註 7 海軍軍官季刊/海軍官校季刊第 19 卷第 5 期/紅外線抑制介紹

參、光電導引技術與對抗

一、光雷導引技術

最早出現的精準導引技術主要包括有線指令、微波雷達、電視、紅外非成像、雷射導引等，利用這些導引技術研製的精準導引武器易受各種氣候及戰場情況影響，抗干擾能力差，而目前技術正朝紅外成像、毫米波、合成孔徑雷達、雷射成像及雙色紅外、紅外與毫米波復合、多模導引頭等導引技術為目前精準導引武器主要發展方向，如圖(6)各導引方式的分類及圖(7)巡戈飛彈各階段的導引方式。

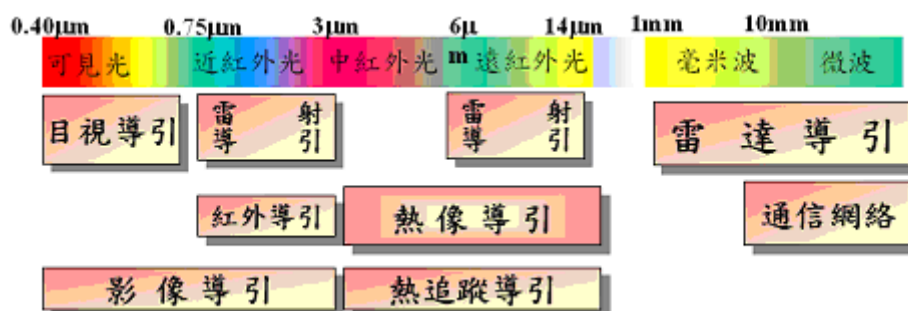
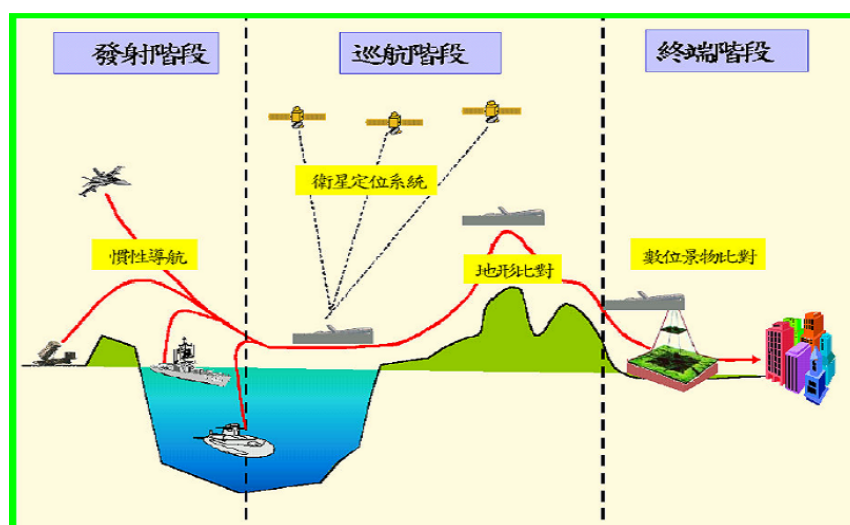


圖 6. 導引方式的分類



資料來源：美國國防部

圖 7. 巡戈飛彈的導引方式

二次波灣作戰聯軍部隊運用光電精準制導武器成功摧毀伊拉克軍政重要設施，而避免對一般百姓造成傷害，如圖(8)左側是未受到攻擊前通信與控制中心空照圖，右側是攻擊後的空照圖，由這兩圖可明顯得知，光電制導系統為何為先進國家及軍事專家重視原因。



圖 8. 伊拉克通信與控制中心受攻擊前後比對圖

探討光電導引技術，必須先行了解現行各光電系統所佔用或使用之電磁頻譜為何，首先就可見光頻譜範圍而言，在主要光電武器有測距儀、目標指示器及目視設備等，所對應之光電設備為紅寶石雷射、氦氖雷射、氬離子雷射、準分子雷射與可見光器材等（註8），如圖(9)所示。



圖 9. 可見光頻譜範圍之光電設備(作者自繪)

其次，對於紅外線頻譜範圍之**電器元件**有：銻鎘汞、銻化銬等感測器，鈹玻璃雷射、二氧化碳雷射等，主要裝備有熱像儀、雷射導引、測距儀、雷射雷達、目標指示器、雷射成像導引等，如圖(10)所示。3~5 μm 和 8~12 μm 是軍用紅外探測器工作的兩個主要波段，因為 1~3 μm 、3~5 μm 和 8~12 μm 三個波段的紅外探測器敏感絕對溫度的峰值分為 1000K、500K和 300K。而軍事目標如飛機尾焰約 1000K、加熱的飛行器表面溫度在 300~400K、行進中的坦克溫度在

註 8 中新網，臺灣光電精確制導武器及光電對抗系統

400K，停止的坦克溫度約為 300K，故攻擊飛機以選擇 $1\sim 3\mu\text{m}$ 和 $3\sim 5\mu\text{m}$ 的紅外探測器為佳，攻擊坦克或地面目標則以選擇 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\mu\text{m}$ 的紅外探測器為佳（註9）。



圖 10. 紅外線頻譜範圍之光電設備(作者自繪)

最後，微波及無線電頻譜範圍，主要分類有雷達導引、衛星等裝備，其運用之波段在微波中 300MHz 至 3GHz 及毫米波範圍，如圖(11)所示。目前，國外許多導彈的末導引採用了毫米波導引系統。例如美國的“黃蜂”、“灰背隼”、“STAFF”，英國的“長劍”，前蘇聯的“SA-10”等導彈都是。

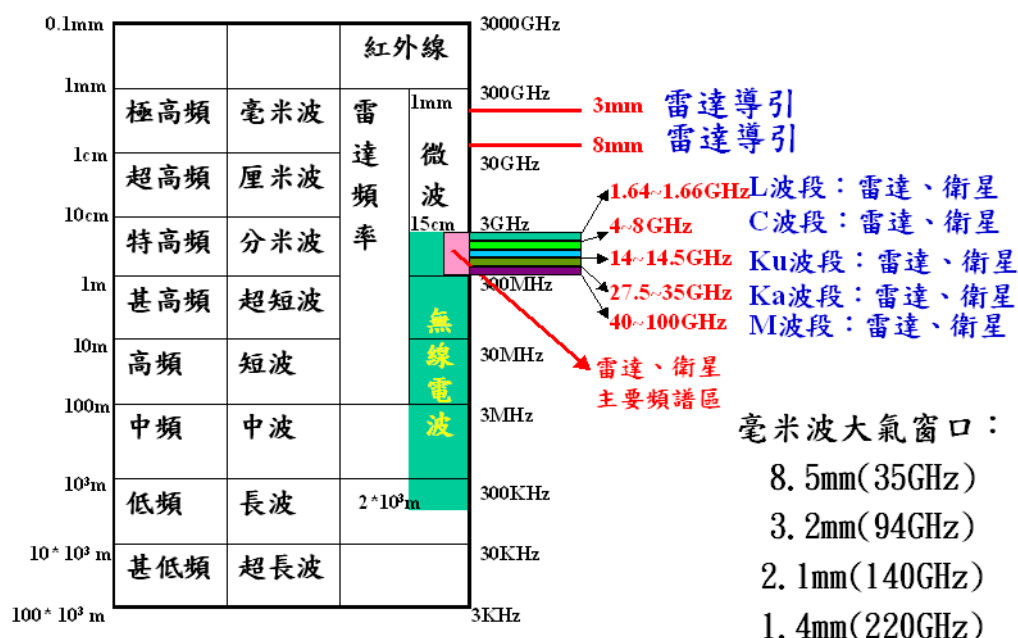


圖 11. 無線電頻譜範圍之光電設備(作者自繪)

二、光電對抗技術（註10）

註9 中國電子技術資訊網，紅外技術。

註10 中國電子技術資訊網，光電對抗作戰應用及其裝備系統。

自 70 年代以來，光電子技術在武器的火控和導引系統中的日益廣泛應用，引起了光電對抗技術的飛速發展。光電對抗是“資訊戰”中的一個重要組成部分，是資訊對抗的一部分，它是一種軍事行動，就是敵對雙方利用光電設備和器材所進行的電磁鬥爭，它包括光電偵察與反偵察、光電干擾與反干擾，以及與此相關的光電摧毀與反摧毀等幾個對立的方面。敵對雙方進行這種鬥爭的目的，是為了保存自己和消滅敵人，以奪取戰爭的勝利。

光電對抗在現代戰爭中有著重要的地位。它的作用大致是：

第一，查明和收集敵方軍事光電情報，為採取正確的軍事行動，研製光電干擾設備，實施有效干擾或火力摧毀提供依據。

第二，擾亂、迷惑和破壞敵方火控系統中的光電觀瞄設備和精確導引武器系統的正常工工作，使其效能降低或完全失效。

第三，保障己方的光電設備的正常工工作，免遭敵人的光電偵察、干擾或火力摧毀，使我軍的光電觀瞄設備不致失靈，火炮和導引兵器不會失控，充分發揮其效能。

光電對抗技術目前常用的有：光電告警技術、雷射告警技術、紅外告警技術、紫外告警技術、光電干擾技術、光電反對抗技術等，如依其對抗裝備與措施，又可區分為偵察、攻擊、干擾等裝備與偽裝、防護等措施(如圖 12 所示)。

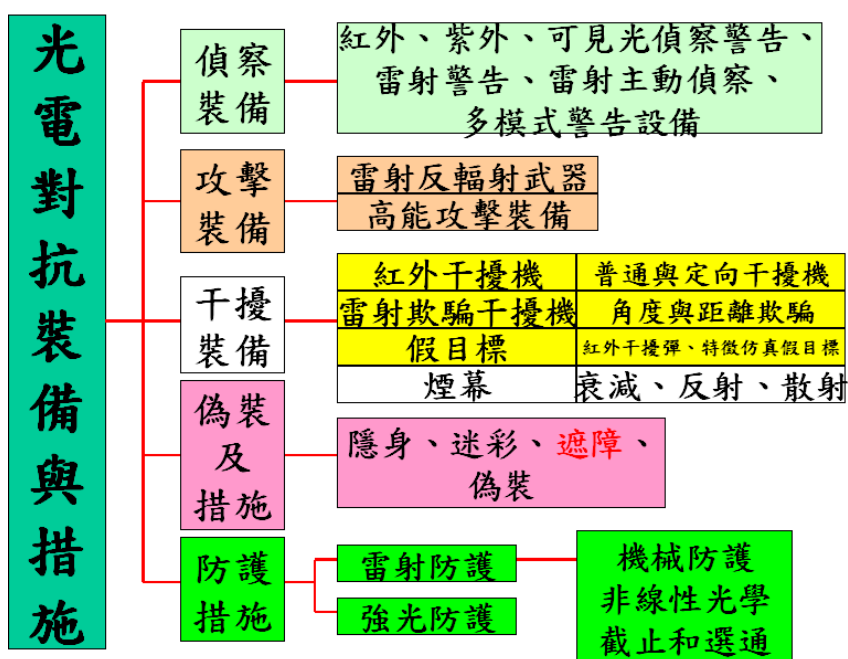


圖 12. 光電對抗裝備與措施(作者自繪)

而其中之光電干擾是指阻止或削弱敵方有效使用光電系統所採取的行動，光電干擾的主要特徵是干擾、破壞和欺騙。光電干擾有無源干擾和有源干擾之分。實際系統中有時有源干擾和無源干擾並用，稱之為複合干擾。無源干擾主要通過改變光學通道的傳輸特性來實現，如在目標的特徵光頻、雷射輻射的傳

播通道上施放煙幕或氣溶膠，吸收、散射雷射輻射的能量，使目標變得模糊不清，從而使敵方光電火控、導引武器系統的效能大幅度降低，達到阻止或削弱敵方有效使用光電系統之目的。

肆、煙幕遮障原理及戰史

一、遮障原理

煙幕在未來戰爭中，尤其在對付觀測、偵察器材和精準導控武器中如何發揮反制作用呢？首先不妨先瞭解一下煙幕和觀測、偵察器材和精準導控武器的性能和作用原理。眾所周知，各種觀測、偵察器材和精準導控武器都是通過光電信號的傳輸來捕捉目標。而光電信號在大氣中的傳輸過程，會因大氣中相關介質如水蒸氣、CO₂、塵埃粒子等物質之影響，其傳輸之能量將會受到損耗。但是，在正常條件下，大氣中各種物質對光吸收是有選擇性，也就說各波段在大氣中光電傳輸時所受損耗是不同的。在軍事運用上，正是利用這些大氣窗口對光電信號傳輸損耗小、透過率高的特點，研製了各類觀測、偵察、追蹤器及精準導控武器，如上節次介紹。

上述研製之各種裝備不論是主動式或被動式，都是透過大氣窗口傳輸各種光電信號來觀測和摧毀目標物為目的，但如果在大氣中人為的施放某些介質物，使光電信號衰減，這些裝備的作戰效能將大大的降低。而軍用煙幕便是一種人工氣溶膠，它通常是將一些對光電有良好吸收和散射作用的固體或液體物質，通過機械分散方式或化學凝集方式形成（註11）。分散介質在空氣分散的相為固態的氣溶膠，稱之為煙；在空氣分散的相為液態的氣溶膠，稱之為霧。我們通稱為煙幕（或稱之煙霧）。煙幕對光電信號衰減效果好壞，取決於形成煙幕材料、粒子大小、粒子形狀、煙幕微粒的電導率、磁導率以及煙幕的濃度和厚度、煙幕微粒的均勻性和滯留性等因素。

煙幕的作戰原理，就是在目標背景之間構成人工的混濁大氣層，這種大氣層中佈滿了對各類電磁波具有強烈吸收和散射作用的微粒，這些微粒可以對電磁波造成衰減，其衰減程度取決於微粒的大小、濃度和煙幕的厚度，其中影響最大的是微粒的大小。有關研究發現，煙幕的吸收和散射與微粒的半徑有直接關係，其半徑與電磁波長相似時，對電磁波的吸收和散射作用最大，吸收型煙幕相當於無數個小黑體滯留在大氣層中，這些小黑體微粒對入射不同波長的射線可產生強烈的吸收，使小微粒溫度升高，然後再根據基爾霍夫定律發射出去，這時輻射波長會大於原來的入射波長。若光、電武器的導引頭跟蹤了再輻射波長，就會使精確導引武器偏離原來預定的攻擊目標；而散射型煙幕相當於無數個小灰體組成的懸浮雲，可使武器導引頭接收不到足夠的控制資訊，從而使武器彈頭成為難以控制的自由落體。煙幕對光電信號的衰減作用，主要是煙幕對光電產生吸收和散射共同作用的結果（註12）。

註 11 王立民，〈化學煙幕戰史〉《核生化防護季刊》，第 52 期，民國 84 年 8 月，頁 4～5 頁。

註 12 文上賢，〈第二次波灣戰爭中氣象對化學戰運用之探討〉《陸軍化學兵學校第二次

大氣分子之吸收只對可見光波段及 $1.06\mu\text{m}$ 紅外線雷射是不影響。其餘行分子散射(直徑小於入射波長之粒子)及粒子散射(直徑大於或等於入射波長之粒子)，表(2)所示下列情況行粒子散射

煙	$0.2\sim 2\mu\text{m}$	濃霧	$5\sim 50\mu\text{m}$
塵埃	$1\sim 10\mu\text{m}$	中霧	$50\sim 100\mu\text{m}$
蒸汽	$1000\mu\text{m}$ 以內	細雨	$100\sim 500\mu\text{m}$
薄霧	$1\mu\text{m}$ 以內	雨	$500\sim 5000\mu\text{m}$

表 2. 大氣中自然界粒子大小煙幕對光電的吸收作用，主要是由於入射光(電磁波)作用在煙幕微粒上時，煙幕微粒的分子能量由低能階(Ground State 基態)躍遷至高能階(Excited State 激態)，使部分光能轉化為熱能，致使光電效能產生衰減現象。煙幕對光電的散射作用，主要是由於煙幕微粒截獲部份入射輻射能量形成次生波，再向四周輻射，從而使入射光在原傳播方向上能量減少，大量的微粒所產生的次生波不僅頻率與入射光一致，而且彼此之間亦存在固定相位而形成相關光，但由於煙幕是非均勻介質體系，且濃度和微粒隨環境條件而改變，致使次生波的相關性被破壞，從而產生散射作用。

煙幕的光學性能是指煙幕對可見光、紅外光、雷射、毫米波的衰減性能。惟現有發煙劑所形成之煙幕在光學性能上相容性較差，也就是說，可見光遮蔽煙幕對紅外光、雷射、毫米波不起作用，紅外光干擾煙幕對毫米波不起作用，而毫米波干擾煙幕對紅外線和可見光作用也不理想，而在實戰中敵人用的觀測、偵察器和導引武器有可能是多種和多波段的系統，因而許多國家正朝多頻譜干擾煙幕作深入之研究，以達剋制之功效。

二、煙幕戰史

第二次世界大戰之蘇德戰爭，蘇聯紅軍在第聶伯河(如圖 13)的 60 多個渡口，全部都施放了煙幕進行掩護，使德軍出動的 2300 多架次飛機的轟炸，只有 6 枚炸彈命中目標，而蘇聯紅軍則順利地渡過了第聶伯河，從而取得了戰役的勝利。

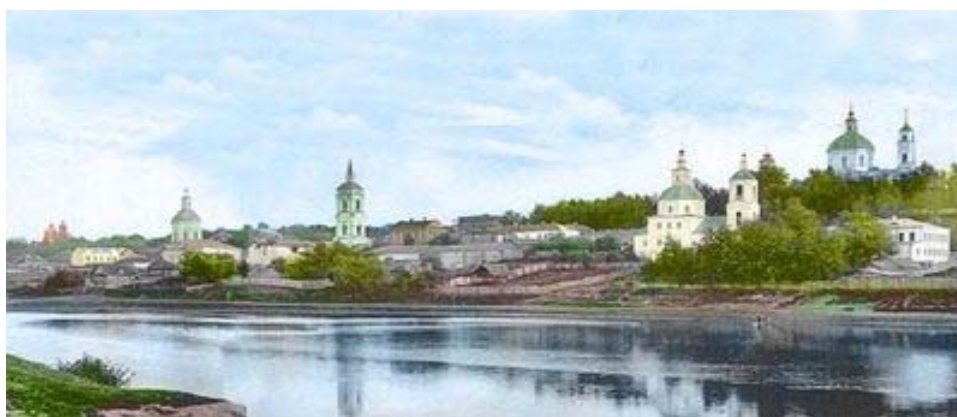


圖 13. 第聶伯河場景圖

(資料來源：Dnieper River - Wikipedia, the free encyclopedia.htm)。

1991 年波灣戰爭，聯軍戰車使用快速施放煙幕武器裝備於登陸突擊戰及沙漠作戰中(如圖 14)，並於沙國邊境也部署多套具有抗可見光及抗紅外光之機動煙幕發煙裝備，以干擾伊拉克飛毛腿飛彈攻擊。

圖 14. 聯軍施放煙幕 2003 年二次波灣戰爭，海灣戰爭中，聯軍部隊轟炸伊拉克的地面目標時，由于伊軍在目標區上空施放了煙幕(燃燒汽油產生黑煙)(如圖 15)，結果聯軍部隊發射的雷射導引炸彈有 20% 未能命中目標；燃燒的油井造成一些目標區濃煙滾滾，使聯軍部隊發射的紅外導引導彈偏航。

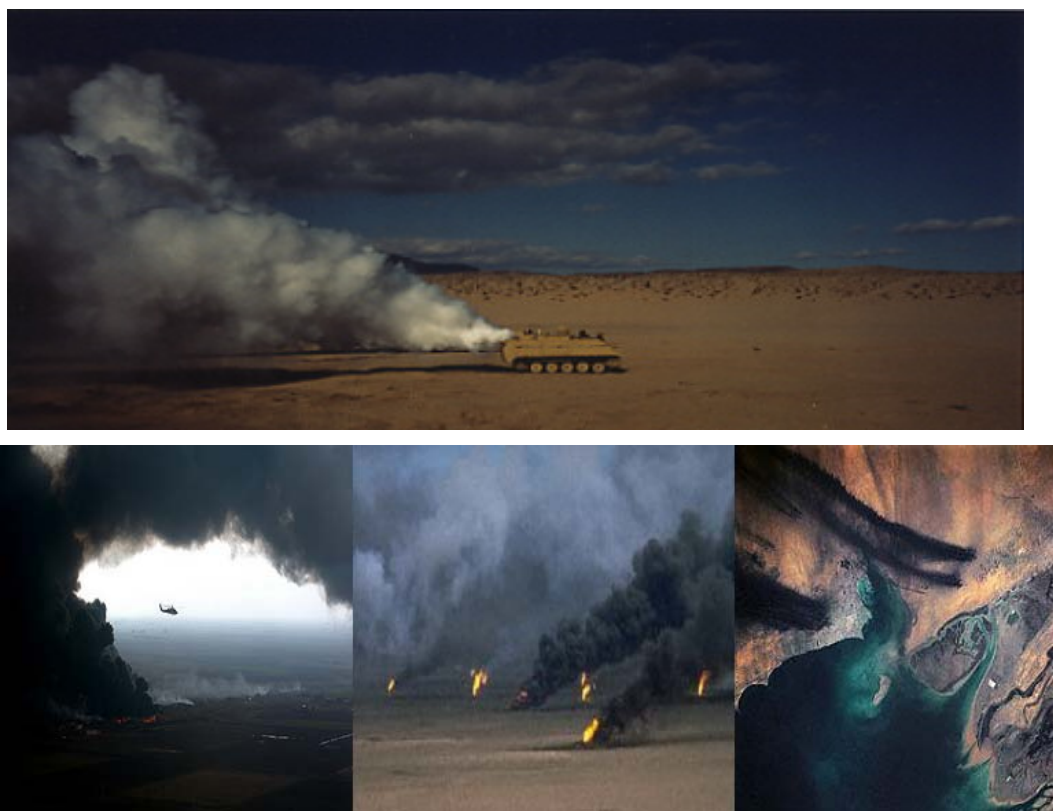


圖 15. 燃燒汽油產生黑煙(資料來源：SmugMug, Inc. 網站)

2005—和平使命(註13)，中俄聯合軍事演習最後一個戰術課目—強制隔離演練在濟南軍區濰北靶場舉行，中共快速機動群的防化分隊實施機動施放煙幕，參加強制隔離實兵演習的裝甲車在煙幕掩護下發起攻擊，如圖(16)

註 13 [http:// Maitix.com](http://Maitix.com)。



圖 16. 裝甲車在煙幕掩護下發起攻擊

伍、煙幕對光電導引武器遮障

探討煙幕對光電武器遮障能力前，先行了解現今國軍煙幕遮障裝備，有一般部隊用煙幕手榴彈及機甲部隊用煙幕彈投射器與化學兵煙幕部隊用之發煙機(器)，這些裝備均可於運動間施放煙幕掩護移動式或固定式目標，煙幕彈投射器可於被敵發現鎖定後，於第一時間有效實施反制及採取防護，以能立即變換位置，尋求隱蔽掩蔽，確保安全。美軍早已研發配置此類投射系統(註14)(如圖 17)。而煙幕彈投射器可於車內控制點火，依需要裝填一般煙幕或抗紅外線煙幕彈，快速投射於戰(甲)車周邊爆炸形成煙幕，可有效遮蔽車輛之熱源，反制紅外線熱源成像儀之偵測及紅外線熱導引反戰車武器攻擊，以掩護變換位置。我國則有 6 聯裝之 M239 煙幕彈發射器，可投射 L8A3 煙幕彈或 M76、M76A1 抗紅外線煙幕彈(註15)(如圖 18)。



圖 17. M56 配置煙幕彈投射器

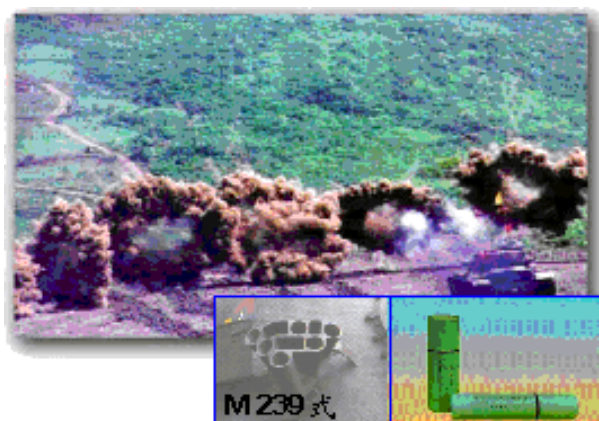


圖 18. M239 煙幕彈發射器實放情形

世界各國為能因應快速、機動、速決之作戰需求，均不斷研發新一代發煙裝備，如俄羅斯已研發出一種一次可持續發煙 100 小時以上，並可在行進間發煙之發煙車(註16)，我國則為 M56 渦輪發煙機，除可實施固定發煙外，通常用於機動發煙，其遮障效能可含概可見光及近、中、遠紅外線範圍。

註 14 Headquarters, Department of the Army, FM5-34 Field Manual, Washington D.C, 2000.7.28, 頁 3-9。

註 15 聯勤總部頒，聯勤第 204 廠產品型錄，台北，90 年，頁 19。

註 16 解放軍報，北京，92 年 4 月 16 日，第 11 版。

綜觀上述，目前我國軍已能使用霧油及石墨煙幕行有效作戰支援，並具備越野性與機動性發煙能力，可對目視及光電武器系統於可見光及近、中、遠紅外線範圍，如夜視設備、雷射指示器、熱成像、雷射導引裝置等實施有效遮障（如圖 19）。

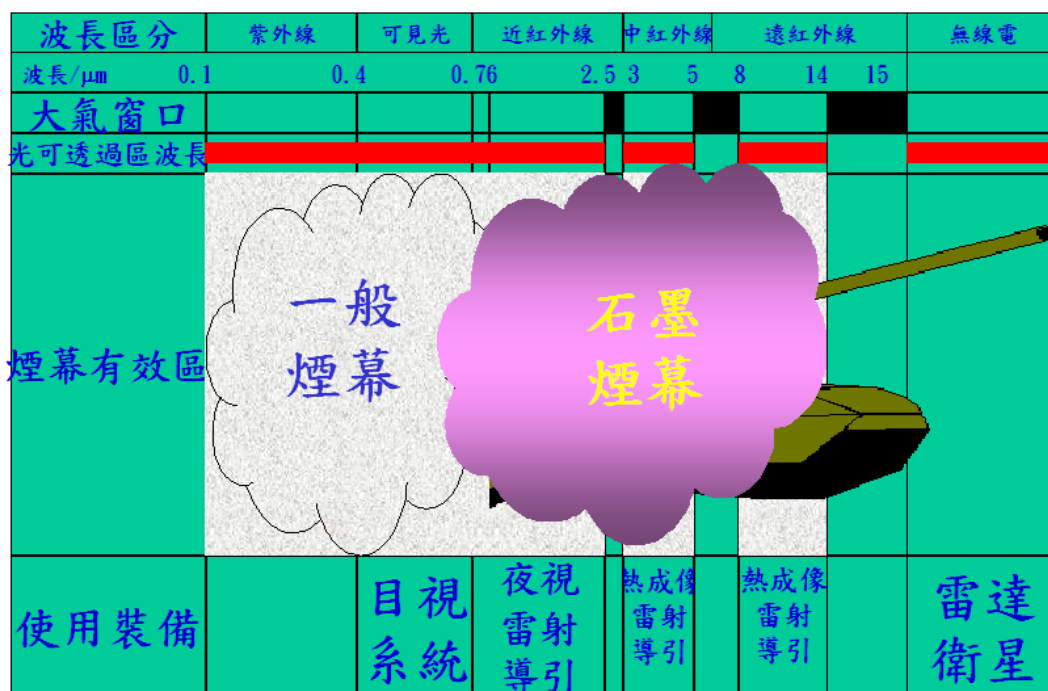


圖 19. 我國目前煙幕遮障效能分析圖(作者自繪)

陸、煙幕對中共光電導引武器遮障研析

一、中共光電導引分析

中共巡弋飛彈的主要研製廠商，分別為設在湖北的三江航太集團、設在北京的反艦飛彈研究院和設在上海的新新電機廠。1996 年，中共正以 C802 反艦飛彈為基礎研發攻地型巡弋飛彈，可從陸地、海上和空中發射，配備全球衛星定位導航系統和地形匹配導引，具有精確攻擊固定點目標的能力（註17）。1997 年時，以色列正與中共合作以無人機為基礎研製巡弋飛彈（註18），採用慣性導引和衛星導航，最大射程達 400 公里。1999 年 3 月，中共《科技與國力》雜誌曾透露，中共軍工部門以反艦飛彈為基礎研發出一種巡弋飛彈，採用衛星導航、影像比對導引系統，最大射程 400 公里，類似美國由「魚叉」反艦飛彈改裝的巡弋飛彈。綜觀，以中共現有技術，將 C802 反艦飛彈改成類似精準地面攻擊飛彈(SLAM)應不成問題。中共早已掌握 GPS 導引技術，而現有 C701 反艦飛彈也具有電視導引技術，只要將 C802 換上電視導引系統，再加上 GPS，就成了類似 SLAM 的巡弋飛彈。故就中共武器裝備研製能力來看，應已掌握紅外線成像技術，所以 C802 飛彈換上紅外線成像導引頭應是不難之事。再就三江航太

註 17 英國《詹氏防衛情報》雜誌，1996 年 12 月。

註 18 英國 Flight International 雜誌，1997 年。

集團研製海鷹巡弋飛彈來看，解放軍掌握影像對比技術應無問題，再為C802 配備影像對比系統，就成典型的攻地巡弋飛彈。

另根據各方資料判斷，在中共目前研製的攻地巡弋飛彈中，有一種是仿製的俄式Kh-65SE巡弋飛彈，中共已在 1999 年 6 月成功地試射了一種攻地型巡弋飛彈，稱為「鴻鳥一號」(HN-1) (註19)。該型飛彈導引系統為慣性導航加等高線地形比對，命中精度 150 公尺，後又研製出導引系統除原來的慣性導航和地形匹配外，又增加了全球衛星定位系統，命中精度提高到 20 至 30 公尺之間，故整體而言「鴻鳥一號」應是採用慣性導航、地形對比加GPS系統，命中精度 20 公尺左右。顯然中共在蘇聯軍工專家的幫助下，透過仿製Kh- 65SE，已在巡弋飛彈技術上獲得重大突破。

另「紅箭-9」屬於第三代反坦克飛彈系統(註20)，這是中共最新一代的反坦克飛彈。紅箭-9 可用於攻擊一百至五千公尺距離的坦克及其他裝甲目標，必要時也可用來攻擊鋼筋水泥工事和火力點，靜破甲垂直穿透厚度達 1200 毫米，晝夜都可使用。

據研判中共出，反坦克飛彈按導引方式可分為四代產品。

1. 第一代以目視瞄準、手控導引、導線傳輸指令為主要特點，紅箭-73 屬於這一代的反坦克武器。
2. 第二代產品以光學跟蹤、導線傳輸指令、半自動指令瞄準線導引為主要特點，的紅箭 8 屬這一代的反坦克飛彈系統。
3. 第三代則以「發射後不理」為主要特點，採用紅外線成像、雷射半主動指令、主動和被動毫米波等導引技術，可在發射前或發射後鎖定目標。
4. 第四代反坦克飛彈的導引技術特徵，是採用複合導引，具有多目標打擊能力。

二、煙幕對中共光電武器遮障分析

從上節次研判資料可知，中共至少應已具備之導引系統可區分為：全球衛星定位導航系統、地形匹配導引、慣性導航、等高線地形比對、影像對比、電視導引、雷射導引、紅外線及紅外熱成像導引等各式單項導引能力，後又以複合式導引模式研製雙模或多模複合導引系統，表(3)為研判中共現行各式武器光電導彈導引方式統計表，圖(20)為我煙幕對中共光電武器遮障研判分析圖。

表 3. 為研判中共現行各式武器光電導彈導引方式統計表

中共光電導引武器研析			
武器	光電導引方式	頻譜範圍	備考

註 19 英國 Flight International 報導，1999 年。

註 20 人民網，北京，2006 年 2 月 6 日。

蘇-30 多用途戰鬥機	對地可使用 6 枚電視導引或雷射導引的 X-29T、X-29II 或 X-29MII，或 6 枚電視導引 KAB-500KP 導引炸彈；X-29T 電視導引導彈和 KAB-500 導引炸彈；飛機翼下還可攜帶兩位射程為 115 千米，帶電視指令導引系統的 X-59 戰術導彈	可見光、紅外線、微波	
SU-27SK 戰鬥機	Kh-25 系列無線電導引飛彈、Kh-29 系列電視導引飛彈、Kh-59K 中程電視導引飛彈及雷射或光電導引炸彈	可見光、紅外線、微波	
殲 11(SU-27SMK) 戰鬥機	無線電指令導引的 X-25PD 型，電視導引的 X-29TD 型，反輻射導彈 X-31P 以及電視導引的 X-59K 型；KAB-500KR 雷射導引炸彈	可見光、紅外線、微波	
殲-10 戰鬥機	KH-31A/P(稱為 KR-1 或鷹擊 91)；雷射導引炸彈	可見光、紅外線	
超-7/FC-1 戰鬥機	YJ-7A/C 半主動雷射導引/紅外成像導引空地戰術導彈，KS250/500 雷射導引炸彈	可見光、紅外線	
飛豹(FBC-1)	雷射導引炸彈；PL-5B 紅外線（熱導引）導彈；俄制 KH、KP 系列電視、雷射、GPS、反輻射導引的導彈	可見光、紅外線	
殲轟 7A	前視紅外/雷射瞄準組合莢艙；雷射及紅外線標定裝置	可見光、紅外線	
轟-6	“紅鳥”系列巡航導彈電視導引頭	可見光、紅外線	
直-9G 直升機	“紅箭”HJ-8 反坦克導彈紅箭-8 反坦克導彈	紅外線	
“現代”級導彈驅逐艦	光電系統採用圖形相關式的電視追蹤方式，作用距離 6--8 公里，高度 5--3500 米。追蹤雷達，使用毫米波技術，追蹤距離 8.4 公里，2 部四聯裝 9M311-1 型短程防空導彈發射器，共 8 枚導彈，射程 8 公里，雷射導引。	可見光、紅外線、微波	
“旅滬”級導彈驅逐艦	導彈：反艦導彈 8 枚“鷹擊 1”（即 C801）或裝 C802 對空搜索：G 波段。對空對海搜索：E/F 波段。對海搜索：I 波段。導航：I 波段。火控：I 波段	紅外線、微波	

“旅海”級導彈驅逐艦	對空／對海搜索：E／F 波段。導航：I 波段。火控：1 波段；2 個 EFR1 “穀燈”（Rice Lamp），I 波段（用於 37 毫米炮）；湯姆遜－CSF “海狸”（Castor），I/J 波段（用於 HQ-7 艦空導彈）。	紅外線、微波	
「長風」系列巡弋飛彈	導引系統可能包括慣性導引、地形比對、衛星導航、景象比對等；估計最大射程達 800 公里	可見光、紅外線、微波	
「鴻鳥」系列巡弋飛彈	採用慣性導引、地形比對加 GPS 系統；射程約為 600 公里	可見光、紅外線、微波	
「鷹擊」（YJ）系列巡弋飛彈	可能採用慣性導引、GPS、紅外線成像或電視導引系統	可見光、紅外線、微波	
東海-10 號	慣性導航系統／全球定位系統，另外再輔以地形等高線繪圖系統和數字化情景匹配終端導引系統；射程超過 1500 公里	可見光、紅外線、微波	
無人載具	影像攝影；全球定位系統；熱像儀；無線傳輸	可見光、紅外線、微波	
90B122 毫米多管火箭炮	攜帶型雷射測距機；熱像儀；CCD 攝像機	紅外線	
“90A 型 122 毫米 40 管火箭炮系統”	攜帶型雷射測距機；熱像儀；CCD 攝像機	紅外線	
新 90 式 122 毫米輪式自行火箭炮	雷射測距機	紅外線	
90-II 主戰坦克	穩定式測距瞄準具；熱像儀	紅外線	
T-90 主戰坦克	雷射測距機；熱像儀	紅外線	
88B 式坦克	雷射測距機；熱像儀	紅外線	
MBT2000 型主戰坦克	雷射測距儀的穩定式炮長瞄準鏡、地面導航系統、紅外熱像儀	紅外線；雷達波	
85-IIM 式主戰坦克	雷射測距機	紅外線	
ZTA63A 型新型水	紅外熱像儀；雷射測距儀；雷射致盲系	紅外線	

陸坦克	統		
T-98 式坦克	雷射通信系統，雷射搜索雷射報警；雷射致盲系統，仿俄 A-11-5000 米的雷射導引導彈；第二代凝視焦平面熱像儀	紅外線	
86 式步兵戰車	主動紅外夜間觀瞄儀器；“紅箭”-73B 反坦克導彈：4 枚	紅外線	
85 式裝甲步兵戰車	紅外或微光夜視儀；4 枚紅箭-73 反坦克導彈(有線導引)	紅外線	
NVH-1 式步兵戰車	雷射測距儀和被動式夜視裝置	紅外線	
WZ501 式步兵戰車	紅外或微光夜視儀；紅箭-73 反坦克導彈武器系統	紅外線	
85 式裝甲輸送車	紅外或微光觀瞄	0.4~0.9 微米波；紅外線	
89 式裝甲輸送車	紅外或微光觀瞄	0.4~0.9 微米波；紅外線	
WZ523 輪式反坦克導彈發射車	紅箭系列	紅外線	
“新星”裝甲輸送車	紅箭—9A 毫米波導引，紅箭—9B 雷射導引，紅箭—9 系列同時裝備了熱紅外導引裝置。工作在 8-12 微米波段範圍	紅外線；微波	
“中國豹” ZTZ99 式	紅外或微光觀瞄；雷射致盲；熱像儀；測距儀	紅外線	

資料來源 作者自行整理

波長區分	可見光		近紅外線	中紅外線	遠紅外線		微波		
波長/ μm	0.4		0.76	2.5	3	5	8	14	15
大氣窗口									
光可透過區波長									
煙幕有效區	傳統武器			空軍：su/30/27；殲10；超7； 飛豹；殲轟7A；直9G直升機 海軍：現代級；旅字級； 陸軍：90A/B多管火箭； 90H坦克；90坦克；88B坦克； 2000坦克；85-11坦克；ZTA63A 水陸坦克；98；99坦克等 二砲：長風；紅鳥；鷹擊； 東海10號 其它：無人載具					
使用裝備		目視系統	夜視裝備 雷射導引裝置	熱成像 雷射導引裝置		熱成像 雷射導引裝置		雷達衛星	

圖 20. 我煙幕對中共光電武器遮障研判分析圖(作者自繪)

柒、煙幕未來運用

一、多頻譜煙幕運用

隨著未來煙幕材料科技發展（註21），可見光和近紅外，主要有HC（六氯乙烷）、WP（白磷）煙幕劑及煙幕油等，可有效反制電視導引、微光夜視、雷射導引系統（ $1.06\mu\text{m}$ ）或傳統的目視偵察。中紅外及遠紅外，材料大都以石墨為主，可干擾或連續吸收中、遠紅外波段的偵測器或降低紅外導引系統武器效能。發展中煙幕

（一）以活性碳、環氧樹脂製備—可吸收紅外線（中共）。

（二）高分子類，可於水中分解—可吸收紅外線（美軍）。

（三）碳纖維，外層塗佈磁性或奈米金屬粉體，具強吸收性—可吸收紅外線及

毫米波（35GHz、95GHz、140GHz、220GHz，美軍）。煙幕材料需求，以整合運用高分子、奈米、有機化合物等材料，要求能具備多波段、複合單一性、微粒化、全波長等功能，故煙幕已朝向多頻譜運用(圖 21 所示)，考量整個作戰場景與光電系統使用，多頻譜煙幕遮障將運用於全頻譜作戰之中。

註 21 辛毓民中校，94 年化學兵戰術戰法研討會。

三、煙幕遮障整備新思維

傳統煙幕作為，僅限在防護整備與欺騙作為上，如固定設施及支援友軍行動與失真、隱真、示假、迷盲等，在煙幕器材與戰術戰法不斷精進下，如何在攻擊時運用及煙幕控制與管理能力與預防偵測威脅等，是目前我們所欠缺，故努力整備，使煙幕在體現、防護、欺騙、攻擊、監偵等作為上(圖 23)，能符合現代作戰觀念需求。

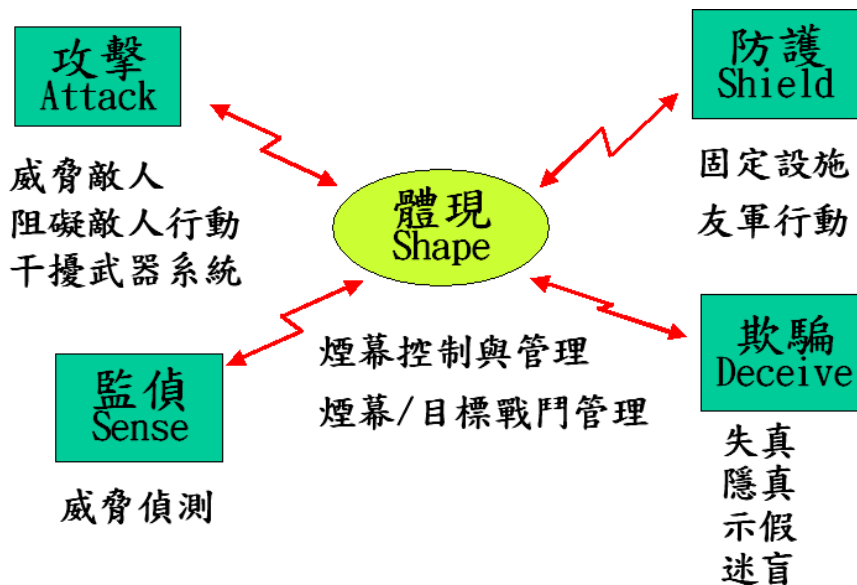


圖 23. 煙幕整備新思維(作者自繪)

四、未來發展方向

煙幕未來將朝向全頻譜、多頻譜、寬頻譜煙幕等全頻譜發展，戰術運用將結合主動、被動與預警及目標管理煙幕作業系統，發煙器材將朝向微型煙幕系統與無人化等功能發展(圖 24 所示)

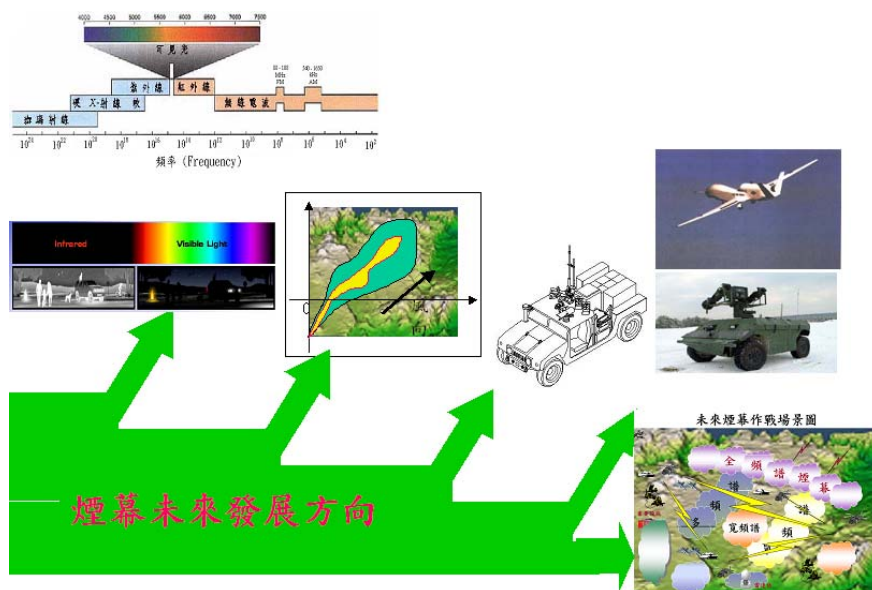


圖 24. 煙幕未來發展方向(作者自繪)

捌、結論

美軍前陸軍副參謀長曾指出，美軍在自己應用煙幕的能力方面有明顯的不足。這些不足包括煙幕應用和準則跟不上煙幕器材的改進和戰術的變化。故部隊訓練應分兩個方面精進，其一是在遮蔽條件下訓練，為適應敵方使用煙幕及美軍使用煙幕的戰場景象作好準備。其二是將煙幕遮蔽材料作為對抗高技術武器的手段進行訓練。

煙幕的運用已由傳統軍事作為，轉化成可對抗全頻譜光電作戰的利器，藉此次機會，提供卓見，使部隊能因應煙幕型態和未來戰鬥方式的變化，作好適應敵運用煙幕時之戰場景象及提早規劃煙幕對抗光電武器的聯合作為，提升部隊防護力與重要設施裝備安全。