

紅外線 (IR) 飛彈的追瞄原理與特性— 以刺針飛彈為例

壹、作者

楊培毅 士官長

貳、單位

陸軍飛彈砲兵學校防空組

參、審查委員 (依初、複審順序排列)

張自治上校

何康濂上校

石泰然中校

潘泓池中校

肆、審查紀錄

收件：101 年 01 月 18 日

初審：101 年 02 月 02 日

複審：101 年 02 月 08 日

綜審：101 年 02 月 14 日

伍、內容簡介

以追瞄紅外線目標為主的飛彈，其彈體結構中最重要的元件為尋標器，內部有許多高科技的電子與光學感測器。尋標器的功能是接收目標散發出來的紅外線能量，再將其轉換為電子訊號，以傳達給控制翼，使飛彈具備追蹤的特性。1980 年中期，世界各國戰鬥機的研發，逐漸重視紅外線飛彈的威脅，研發重點趨向紅外線的反制技術，及抑制飛機本身紅外線能量的發散，得到飛機本身紅外線特徵變小，再施放熱焰彈或紅外線強光，能達到反制飛彈攻擊的效果。

紅外線 (IR) 飛彈的追瞄原理與特性——以刺針飛彈為例

作者：楊培毅 士官長

提要

- 一、在人攜式防空武器系統（以下簡稱 MANPADS）眾多的紅外線導引飛彈種類當中，其紅外線科技發展最具現代化的，同時也是我陸軍野戰防空的主要戰力之一，那就是刺針飛彈（Stinger missile）。
- 二、刺針飛彈與多數的 MANPADS 飛彈均有著輕巧的外觀，其主要動力係來自內部的 MK27 火箭馬達的推進系統，能賦予飛彈約 17 秒的飛行時間與 22G 的加速度，而控制翼位於彈體重心的前端，不具任何弧度，屬於前翼控制，其前翼控制的主要優點在於小攻角方面（既昇力與阻力均最小情況下）有極佳的飛行控制性能。
- 三、飛彈結構中最重要的部份就為尋標器（seeker），其內部擁有許多高科技的電子與光學儀器，尋標器的功能乃接收目標所散發出來的紅外線能量（熱能），再將其轉換成電子訊號，以傳達給控制翼，使飛彈具有追蹤的特性。
- 四、在 1980 年中期，世界各國漸漸開始重視航空器存活性能的提升，當時紅外線（以下簡稱 IR）科技研發的重點趨向 IR 飛彈的反制技術與飛機引擎 IR 能量的抑制，也就是「J/S」比值，J 就是代表航空器所裝備或施放的干擾系統，而 S 係指航空機本身的紅外線特徵；若能將航空機本身的紅外線特徵變小，再施放或投擲大量的熱焰彈或 IR 強光的話，就能達到完美的 IR 反制效果。

關鍵詞：刺針飛彈、攻角、紅外線尋標器、紅外線反反制

壹、前言

西元 1800 年初期，赫胥爾爵士（Sr. W. Herschel）發現了紅外線（Infrared Ray, IR），紅外線為一種熱輻射之能量，即物體受熱表面發射能量的過程，其能量傳播如光速一樣以電磁輻射方式傳導，故不需要任何承載媒質，紅外線的強度和頻率分佈由物體表面的性質和溫度決定；一般而言，物體越熱，波長越短。在第一世界大戰之前，美國、英國與德國發展了紅外線裝備以運用於軍事行動上，最主要集中於通信、搜索與夜視功

能等軍事運用。西元 1937 年紅外線的運用，首次出現在空對空的偵查上，而在第二次世界大戰期間，紅外線裝備首次運用於追蹤科技上。二戰之後，軍事上的紅外線科技發展，卻因雷達的研發成功而停滯不前，許多主要的資金全都投向雷達的發展，從此紅外線偵搜系統的發展計劃因而受到了重大的限制一直到西元 1960 年為止。二戰之後的美國開始了響尾蛇飛彈（Sidewinder）發展計劃，而蘇聯也跟著啟動防空飛彈的發展計劃¹，這些並進的研發計劃，也帶來了人攜式防空武器系統（Man portable air defense system, MANPADS）的發展開端。從此，人攜式防空武器系統廣泛地運用了紅外線導引技術，在各大著名的戰役與軍事衝突上。然而，雷達系統與紅外線偵測系統共存發展一直到了 1970 年，卻因匿蹤戰機的出現，重重的打擊了雷達系統的偵搜性能，因而讓紅外線導引飛彈成為許多國家防空武器的最佳戰力。在 1967 至 2003 年之間，就有超過 40 架的民航機曾被 MANPADS 擊中過，當中有 25 架直接墜毀；而更有 89% 的旋翼機與定翼機均是由紅外線導引飛彈所擊落的。MANPADS 之所以能讓世界各國所熱愛的原因，其優點乃為極高的殺傷力、價格便宜、使用便利、佈署容易、可快速變換射擊陣地，以及容易隱蔽與掩蔽為主；而在 MANPADS 眾多的紅外線導引飛彈種類當中，其紅外線科技發展最具現代化，同時也是我陸軍野戰防空的主要戰力之一，那就是刺針飛彈（Stinger missile）。

貳、刺針飛彈家族之性能介紹

「刺針飛彈」原係一種人攜式、肩射型、超音速之紅外線導引飛彈，專門用來對抗高速低空飛行機之地對空飛彈，能有效對抗各式旋翼機、定翼機、空中無人載具（UAV）、偵察機與運輸機等目標。²目前全世界共有 29 個國家的國防戰力正在使用著刺針飛彈，在過去的戰史上曾經有 300 架航空器被刺針飛彈擊落過，³而刺針飛彈的產量距今已超過了 70000 多枚。刺針飛彈的性能之所以能廣泛受多國注意，乃因它的追瞄導控特性之優異所致。

刺針飛彈的始祖是由 FIM-43 紅眼飛彈 (Redeye) 所研製而來，是美製的第一代低空防空飛彈，⁴下表為刺針飛彈家族與性能概述。

¹ Shripad P. Mahulikar, "Infrared signature studies of aerospace vehicles," *Progress in Aerospace Sciences*, (India), (2007), P. 220-221

² J.E.RHODS, *Low Altitude Air Defense Handbook*, (Marine corps Warfighting Publication, 1998), P.2-3.

³ 唐信賢，〈世界先進野戰防空系統構型分析〉《砲兵季刊》（台南），第 152 期，陸軍砲訓部，民國 100 年第 1 季，頁 20。

⁴ 韓昌運，〈野戰防空利器-刺針飛彈〉《砲兵季刊》（台南），第 150 期，陸軍砲訓部，民國 99 年第 3 季，頁 5。

表一

刺針飛彈家族性能介紹表						
	FIM-43 紅眼飛彈	FIM-92A 刺針基本型	FIM-92B 刺針POST型	FIM-92C/D 刺針RMP型	FIM-92E 刺針Block I	FIM-92F 刺針Block II
生產年代	1967	1978	1983	1987/1989	1992	2001
速度	1.6馬赫	2.2馬赫	2.2馬赫	2.2馬赫	2.2馬赫	2.2馬赫
射程	3300m	4000m	4800m	8000m	8000m	8000m
射高	3000m	3500m	3800m	3800m	3800m	空對空
攻擊類型	地對空	地對空	地對空	地對空	地對空	空對空
導引方式	被動IR (2 μ m)	被動IR (4.1–4.4 μ m)	IR(3.5–5.0 μ m) UV(0.3–0.4 μ m)	IR(3.5–5.0 μ m) UV(0.3–0.4 μ m)	(FPA)IIR 影像紅外線	(FPA)IIR 影像紅外線
尋標器類型	旋轉型 掃描	圓錐型 掃描	薔薇圖樣 掃描	薔薇圖樣 掃描	影像紅外線 尋標器	影像紅外線 尋標器
目標分析	調幅 (AM)	調頻 (FM)	調頻 (FM)	調頻 (FM)	影像過濾	影像過濾
引信	碰撞信管	碰撞信管	碰撞信管	碰撞信管	碰撞信管	碰撞信管
額外性能	尾追攻擊	比例式航行導引/全方位攻擊	紅紫外線 雙重尋標/ 終端TAG 導引	可程式化微 處理器、提 升紅外線特 徵識別能力	影像紅外線 識別能力	影像紅外線 識別能力/直 昇機與陸航 配屬

資料來源：作者自行整理繪製

一、刺針彈體飛行性能

飛彈的動力主要係來自推進系統，而飛彈通常會額外配備至少一組的動力裝置（翼），特別是尾翼可提供飛彈飛行時的穩定能力，多數的飛彈亦會配備第二組的動力裝置以提供飛彈額外的昇力或增進飛彈的控制性，因此在飛彈彈體上可作動的機翼，我們均稱為控制翼。刺針飛彈（如圖一）與多數的MANPADS飛彈均有著輕巧的外觀，其主要動力係來自內部的MK27火箭

馬達的推進系統，⁵能賦予飛彈約17秒的飛行時間與22G的加速度，而控制翼位於彈體重心的前端，不具任何弧度，屬於前翼控制，其前翼控制的主要優點在於小攻角方面（既昇力與阻力均最小情況下）有極佳的飛行控制性能。攻角（angle of attack）係機翼的翼弦與相對氣流所構成的夾角（如圖二），其主要的功用在於提供昇力，就像飛機的機翼一樣，若沒有攻角就沒有昇力，而攻角過大就會造成阻力，一般而言，攻角大部分都設計在12度至17度之間，⁶過小或過大都可能造成彈體的失速。但是刺針飛彈在大攻角方面卻顯得毫無效能，因為氣流的分散會造成控制翼停滯。通常由前翼所控制的飛彈極易受氣流影響而造成飛行的不穩定，所以需要有較大的固定尾翼來保持飛彈的穩定飛行。圖三係目前全球飛彈種類當中由前翼所控制的飛彈。

圖一 刺針飛彈

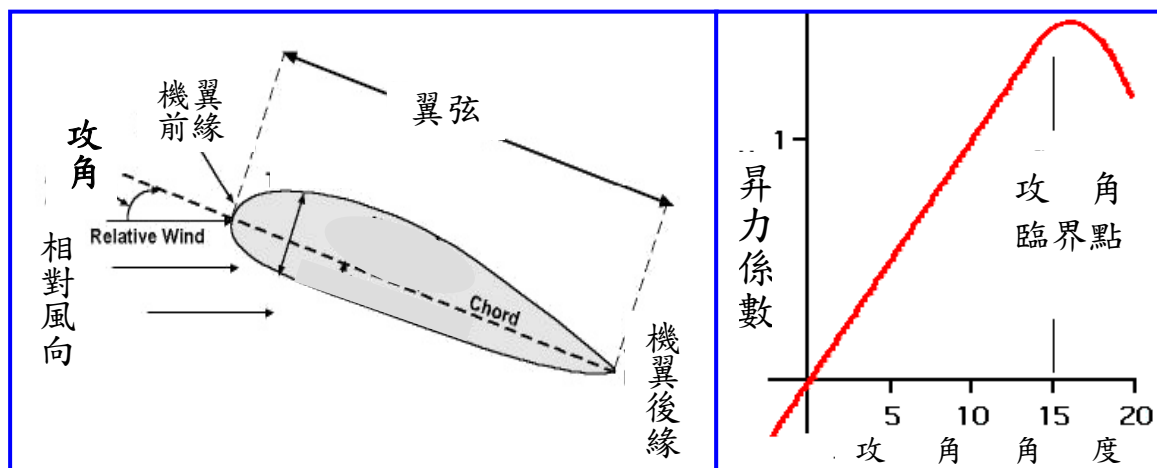


資料來源：擷取復仇者飛彈系統飛彈裝卸操作程序教學影片畫面

⁵ James C O'Halloran, *Jane's Land-Based Air Defence 2005-2006* (UK, Thanet Press in Great Britain) ,P45。

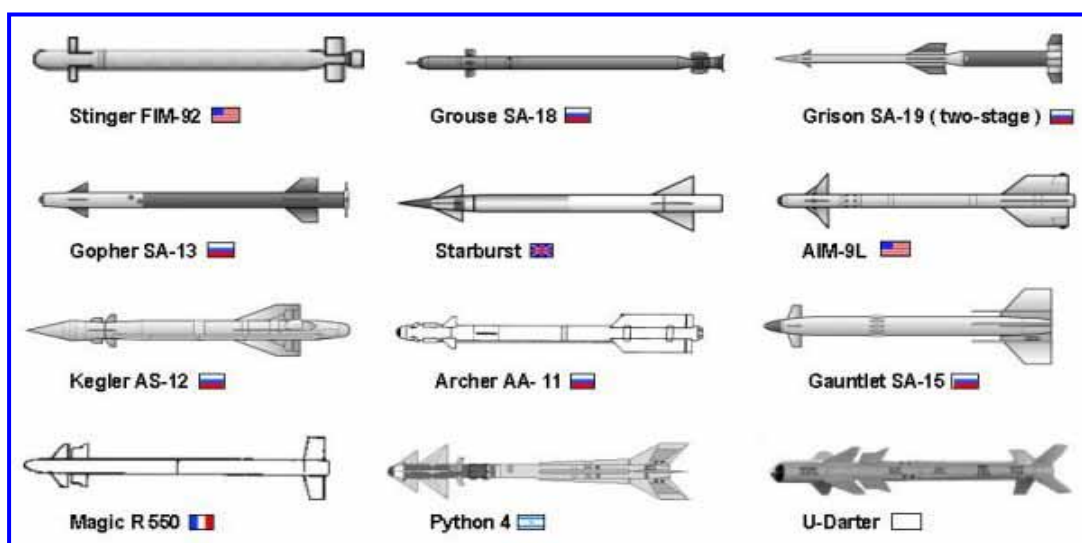
⁶ Stephen Garber, "angle of attack," U.S Centennial of Flight Commission, http://www.centennialofflight.gov/essay/Dictionary/angle_of_attack/DI5.htm

圖二 攻角與昇力關係圖



圖片來源：Stephen Garber, “angle of attack,” U.S Centennial of Flight Commission, http://www.centennialofflight.gov/essay/Dictionary/angle_of_attack/DI5.htm

圖三 前翼控制型飛彈種類



圖片來源：Jeff Scott, “Missile Control System,” Aerospaceweb.org, 2004 /01/11. <http://www.aerospaceweb.org/question/weapons/q0158.shtml>

二、刺針歷代尋標器與追瞄原理介紹

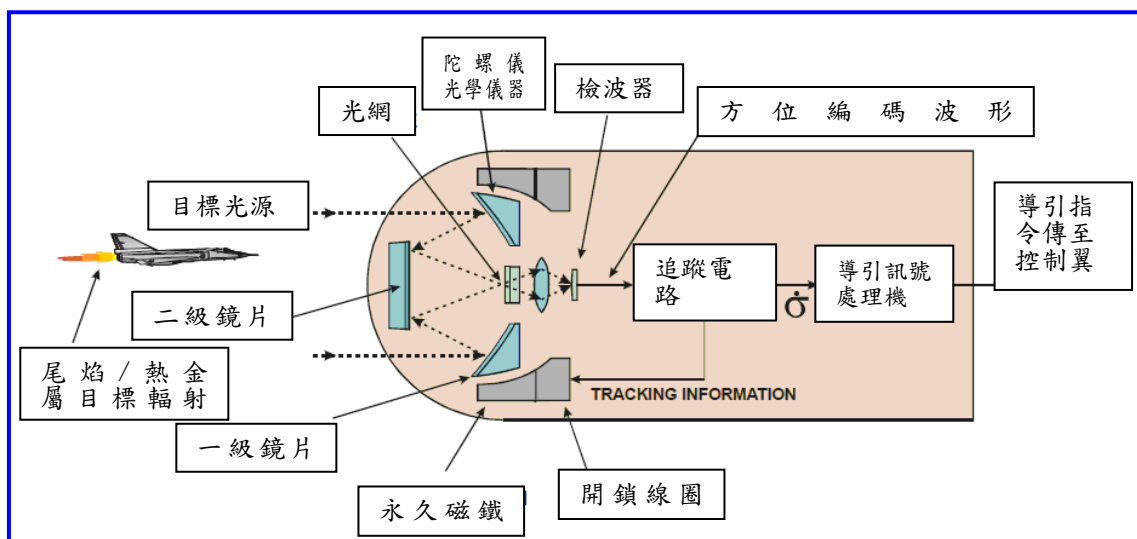
飛彈結構中就最重要的部份為尋標器 (seeker)，其內部擁有許多高科技的電子與光學儀器，尋標器的功能乃接收目標所散發出來的紅外線能量 (熱能)，再將其轉換成電子訊號，以傳達給控制翼，使飛彈具有追蹤的特性。IR 飛彈之尋標器在過去40年的發展中已有顯著的革新，從初期的旋轉型掃描 (Spin scan) 尋標器，到中期發展的圓錐型掃描 (Conical scan) 尋標器，一直到現代的影像紅外線 (Imaging IR seeker, IIRS) 尋標器等，其所發展的重

點不外乎著重於對紅外線輻射能量靈敏度與紅外線反反制科技的提昇。

(一) 第一代尋標器：旋轉型掃描 (Spin scan) 尋標器⁷

圖四為旋轉型掃描尋標器示意圖，目標物散發出的熱能由光學系統聚集並對焦將其投射至一旋轉的光網 (reticle) 上，光網的功能如同切光器一樣，能將光學信號轉換成一連串的脈波，這全賴光網的間隔數目(輻輪數量)與其旋轉速率。切成段的脈波讓尋標器可以決定相位資訊(目標方位)和追蹤誤差(tracking error)之振幅，且有助於消除背景雜訊(如雲霧、地面反射)等干擾。一般光網的型式有三種(如圖五)，光網A可用來區別目標與背景光源之差異；光網B可用來決定目標的方向；而光網C則是結合了以上兩種光網特性以強化光網對目標的分析，也就是旋轉型掃描尋標器常運用的光網類型。

圖四 旋轉型掃描尋標器

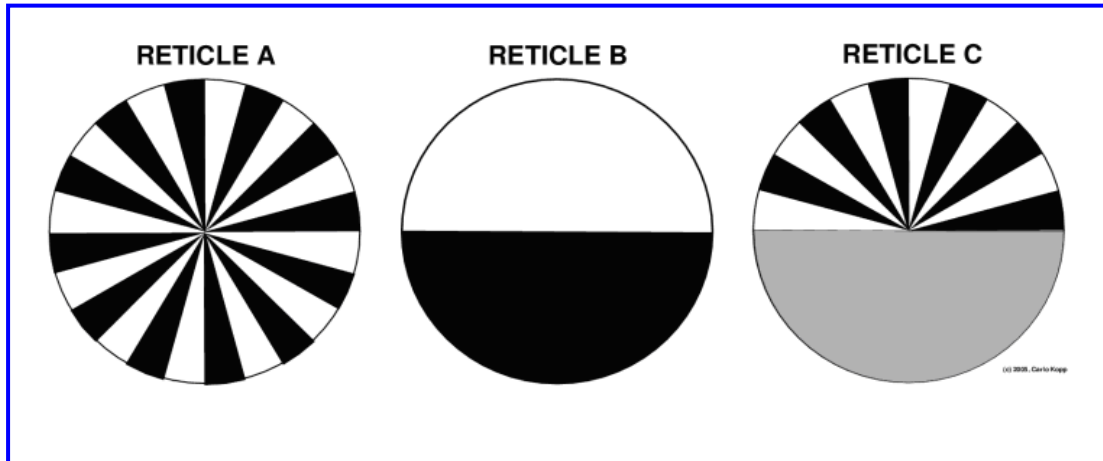


資料來源：Darrell R. Lamm, Ph. D., “Infrared Countermeasures,” Georgia Tech Research Institute, 2009/02/23.

<http://www.dixiecrow.org/mcartfree/GTRI%20Slides/04%20Introduction%20to%20EO-IR.pdf>

⁷ Ting Li Chang, “The IR missile (spin-scan and con-scan seekers) countermeasures,” Naval Postgraduate School Thesis (Monterey, California), (1994,9), P.13-14。

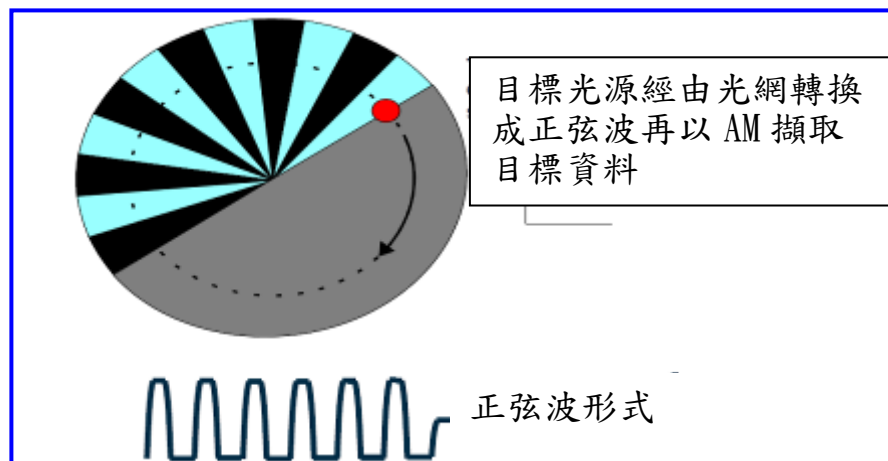
圖五 尋標器光網種類



資料來源：Carlo Kopp, “Heat-seeking Missile Guidance,” Australian Aviation, 1982/03. <http://www.ausairpower.net/TE-IR-Guidance.html>

以光網C而言，有一半之傳導率(transmission)為50%，則會傾向給予額外光源(如雲層、霧氣等)一直流電，並保持點光源(目標)之脈波信號。大多數的旋轉型掃瞄尋標器係利用調幅(AM)方式對所輸出的正弦波進行取樣再加以分析而獲得目標的相位資料。正弦波的振幅就等於追蹤誤差之大小，正弦波的相位就等於追蹤誤差之方向(如圖六)。誤差信號的產生，係用來計算控制信號以防止目標脫離尋標器的視野，這將使尋標器同步修正以對準目標中心，同時也會傳達指令至飛彈的控制翼，若目標落在光網正中央時，將沒有多餘的追蹤誤差可做比對，這也將導致飛彈尋標器會筆直地指向目標飛去而不用修正飛行路徑。

圖六 旋轉型掃瞄尋標器對目標光源轉換成調幅訊號



資料來源：同圖四

以旋轉型掃瞄尋標器而言，其目標與背景熱源的區別乃在於所佔用的光網幅輪數量而定，因目標在遠距離之外所散發出來的熱能(既紅外線能量)在光網所呈現的為一熱點(hot spot)，而背景熱源或寬廣的雲層所散發出來的熱能非熱點，故在同一時間內其熱能在光網可能會佔用到一個幅輪以上，但只要對掃出的AM脈波加以取樣分析，就能清楚區別目標與廣大背景的不同。然而旋轉型掃瞄尋標器卻無法區別目標與熱焰彈(flare)的熱源，乃因在光網之中它們所佔用的幅輪極為相似，故在實用上旋轉型掃瞄尋標器很容易鎖住類似熱點的目標，如小雲朵、太陽、熱焰彈等。此外旋轉型掃瞄尋標器在目標位於光網中心時會變得相當不靈敏，乃因目標物在中心點時會將能量平均散佈到光網的每一個幅輪，因此減低了偵測器的輸出信號，也就是沒有追蹤誤差的產生，若這時目標投射出紅外線能量大的誘標如熱焰彈，則尋標器就會感測到光網中心以外另一個由能量較大的熱焰彈所產生的追蹤誤差，而進而修正了飛行路徑往其它熱源飛去，這也就是導致旋轉型掃瞄尋標器沒有反制熱焰彈能力的原由了。然而這早期的旋轉型掃瞄尋標器僅具尾追攻擊能力，卻無法迎擊進襲之目標，乃因早期版本的尋標頭前視窗上都塗有硫化鉛的感應材料，這種塗料對紅外線光譜的偵測範圍為 $1\mu\text{m}$ 至 $3.5\mu\text{m}$ ，因此限制了尋標器僅能鎖住飛機尾部的範圍($2\mu\text{m}$)；後來在技術的發展上將尋標器加入了冷卻氣體以提升靈敏度，更改用了銻化銦塗料以偵測波長更長($3\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$)的紅外線，這不僅增加了尋標器的偵測範圍，更使全方位接戰變成可能。

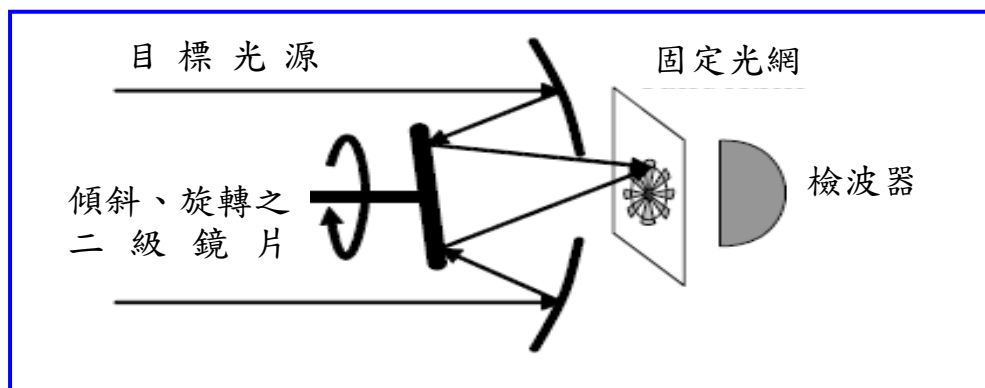
(二) 第二代尋標器：圓錐型掃瞄 (Conical scan) 尋標器⁸：

圓錐型掃瞄尋標器光網的特性解決了旋轉型掃瞄光網的弱點，其設計的重點乃於尋標頭內部的光學儀器所包含的兩組鏡片中，其二級鏡片是傾斜且可旋轉的，但光網卻是固定不動且不會旋轉，檢波器則位於光網的後方(如圖七)，正因為如此，所掃描到的目標能量就不會置於光網正中央，反而會在光網的外圍附近構成一個環型的路徑，而此種構成環型路徑的運動稱為晃搖掃描(nutation scan)，晃搖掃描所構成的圓，其圓心是與尋標器視線(line of sight)是共同的，也就是說在尋標器的視野中，其晃搖運動所繞的圓心就相當於目標的所在位置(如圖八)。圓錐型掃瞄尋標器光網將所接收到目標的IR輻射能量調節成調頻(FM)訊

⁸ 同註7， P15-16。

號，在傳入極具靈敏的檢波器上在轉換成電子訊號以指示目標位置。圓錐型掃瞄尋標器光網靠著目標IR能量不會位於光網正中央，因此也就有了追蹤誤差的信號，不僅提高了尋標器的靈敏度，同時也解決了旋轉型掃瞄尋標器的缺點。

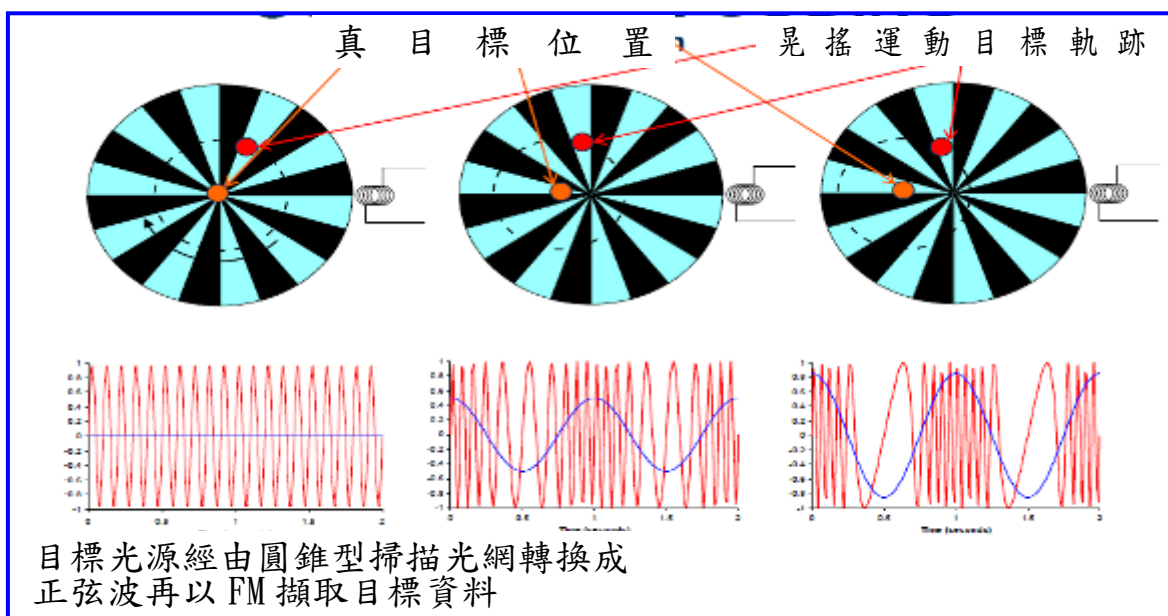
圖七 圓錐型掃瞄尋標器



資料來源：Harald Hovland, “Tomographic Scanning Imaging Seeker,” Norwegian Defence Research Establishment. 2005/10 /01.

<http://oai.dtic.mil/oai/oai?&verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA469486>

圖八 圓錐型掃瞄尋標器對目標光源轉換成調頻訊號

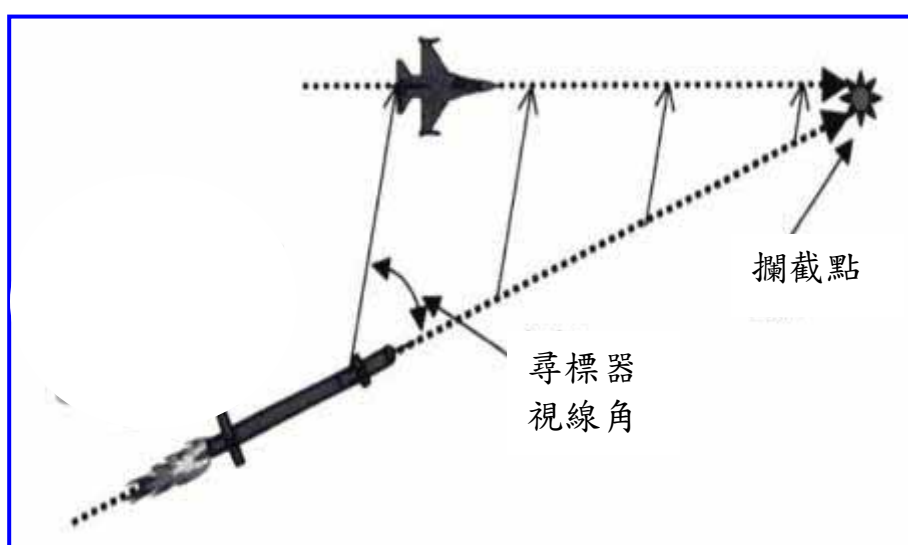


資料來源：同圖四

為了改善第一代尋標器只能尾追的缺點，又讓飛彈能夠具有全方位攻擊的能力，屬於圓錐型掃描尋標器的飛彈所使用的導引模式均利用「比例式航行導引」(proportional navigation guidance, PNG)的方式來攔截目

標。首次將比例式航行導引法則技術運用在飛彈上是於1950年12月期間，由雲雀飛彈(Lark missile)所測試成功。⁹PNG法則的方法不像尾追攻擊需要對著目標發射飛彈，而是對著目標移動方向的前方射擊飛彈，使飛彈飛向目標前方截擊，好處是飛彈攔截目標所飛行的距離較短，且不需要太好的飛行性能；目前大多數的戰術雷達導引飛彈、IR飛彈與影像導引飛彈都廣泛地使用PNG法則來攔截目標，其原理主要是運用視線角的變化率所構成的碰撞三角形，以達到飛彈攔截機動目標之目的（如圖九）。

圖九 比例式航行導引的碰撞三角形



資料來源：Leerdam, “Sidewinder article,” Scramble Dutch Aviation Society, 2011/11 /08. http://www.scramble.nl/wiki/index.php?title=Sidewinder_article

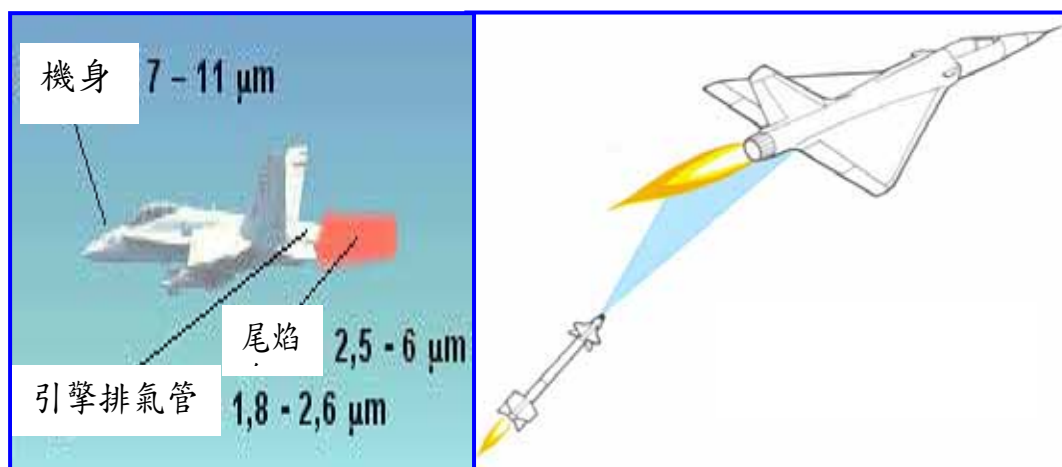
當飛彈處在空中追蹤目標之飛行期間，目標的IR輻射會脫離尋標器的中央，如此訊號會通知飛彈所追蹤的目標已脫離飛彈的飛行路徑，所以飛彈的導引總成就得決定如何讓飛彈再度返回到可擊截目標的飛行路徑上，此時比例式航行導引的技術就會派上用場。當飛彈發覺目標已偏離瞄準線的中心位置時，它就會以一定比例率來改變角度，換句話說，尋標器內部構造有個跟放大器的功能很類似，如果放大器倍數為2，而當尋標器的導引系統發現離目標的瞄準線有10度的偏差時，那麼導引系統就會以20度的反差修正飛彈的飛行路徑，且不間斷地反覆檢視角度與反差

⁹ BÜLENT ÖZKAN, “DYNAMIC MODELING, GUIDANCE, AND CONTROL OF HOMING MISSILES,” A THESIS SUBMITTED TO THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY, (2005,9), P18-19.

修正，如此一直重複這步驟，也因飛彈與目標均在各自的航行軌跡上持續移動，所以飛彈所要修正的反差角度會愈修愈小，直到飛彈行駛在攔截目標的路徑上。¹⁰

第二代尋標器在實用上雖然取代了第一代的弱點，但在性能上即使加入了比例式航行導引，仍對目標的殺傷力非常有限，乃因為他們的尋標器對IR的感測範圍所致，以第一代紅眼飛彈而言，其對IR的感測範圍係 $2\mu\text{m}$ ，而第二代的刺針基本型而言則是 4.1 至 $4.4\mu\text{m}$ 。尋標器必須依據飛機所散發出足夠的IR能量才能有效追擊目標，但實際上以一架噴射機而言，其最強烈的IR能量在它的後燃式引擎的排氣管上與尾焰(plume)；尾焰是飛機引擎將燃料燃燒後，再由排氣管排出所形成具有高熱的廢氣，但其溫度、IR輻射能量與面積都比排氣管更大更熱，這也是構成飛機紅外線特徵的主要輻射，一般飛機的紅外線輻射分佈如圖十。故第二代的IR飛彈在追擊或攔截目標之時，有時仍會撞到尾焰而不是飛機本體，所以在導引技術上仍有改進的需要。

圖十 一般飛機的紅外線輻射分佈



資料來源：Ordtech Military Industries, “Flares IR Countermeasures,” 2006.

<http://www.ordtec.com/FlaresIR.html>

(三) 第三代尋標器：薔薇掃描紅外線尋標器 (rosette scan infrared seeker)

第三代尋標器開始邁入複合式導引的開端，在導引方式與紅外線反制技術，以及命中率上開始有了大躍進，以刺針FIM-92B而言，其光網尋標器由一組光學處理單元所取代，飛彈的尋標頭運用了「被動光學尋標器技術—POST」，也就是運用了紅外線與紫外線(UV)雙重尋標能力，再搭配薔薇圖樣(rosette pattern)掃描方式以提升飛彈的紅外線反制

¹⁰ Marshall Brain, “How Stinger Missiles Work,” howstuffwork, [http://science.howstuffwork.com/stinger2.htm\(2011/03/20\)](http://science.howstuffwork.com/stinger2.htm(2011/03/20))

能力。這一組光學處理單元主要具有兩個各自獨立運作的偵測元件，¹¹一個會對3.5至5.0 μm 的飛機尾焰紅外線能量很敏感，另一個會對0.3至0.4 μm 的飛機機殼紫外線能量有回應，而尋標器的紫外線偵測能力實際是「負紫外線」，¹²因紫外線最主要是來自太陽輻射，但大氣層卻阻隔了絕大部分的紫外線，因此僅剩波長極短的紫外線能傳透在地球表面，而紫外線又屬於不可見光，對物體無論是反射或透射，都無法呈現顏色出來，也就是會使物體呈現黑色，而物體內部是照不到紫外線的空間，因此也是負紫外線的地方。第三代尋標器運用這兩個元件與微處理器整合，就成了刺針飛彈紅紫外線雙重尋標的功能，其運作程序係先由紅外線偵測元件感測飛機的尾焰IR能量，再以比例式航行導引靠近飛機，而在飛彈碰撞目標前一秒(具目標約700公尺)之際，其導引模式再改由紫外線偵測元件控制，¹³使飛彈朝所感測而成的暗影區塊(既目標本體)飛去，這就是刺針飛彈終端路徑的目標修正導引(Target Adaptive Guidance, TAG)。目標修正導引係用來降低或減少飛彈未命中距離(miss distance)的導引定律，¹⁴主要是攔截由紅外線尋標器所提供的描準點，但這瞄準點必須要加入一個偏離值(bias)來構築而成，而這偏離值是由紫外線感測元件所感測到的影像(暗區)作為基礎，用以更精確地攔截高機動性的飛行目標，為使飛彈尋標頭上的感測元件所獲得的影像能夠更有效的呈現，故此導引功能必須在飛彈接近目標時才會啟動，也就是飛彈飛行的終端階段。以刺針FIM-92B而言，追撞到尾焰並不能對目標機身造成傷害，所以就必須讓飛彈有個偏離值，讓飛彈改變原本飛行的路徑，以免飛彈撞擊尾焰而轉向去攔截目標機身，這就是TAG功能的目的；而偏離值的產生往往會導致另一個新的追蹤誤差產生，故當飛彈在接近目標時會呈現螺旋飛行的路徑。

目標修正導引有兩個重要的影響要素，一個是擷取目標尺寸大小的測得，此跟飛彈與目標的距離，以及感測元的件效能有關(而對刺針Block I)而言，則取決於紅外線攝影機成像的畫素)；而另一個則是飛彈攔截目

¹¹ 同註5。

¹² “INTRODUCTION TO MANPORTABLE AIR DEFENSE WEAPON SYSTEM,” SUBCOURSE NO. AD 0575 EDITION A (US Army Air Defense Artillery School Fort Bliss, Texas, 2007, 10, 05), P46. <http://frank.redpin.com/~urbex/AD0575A.pdf>

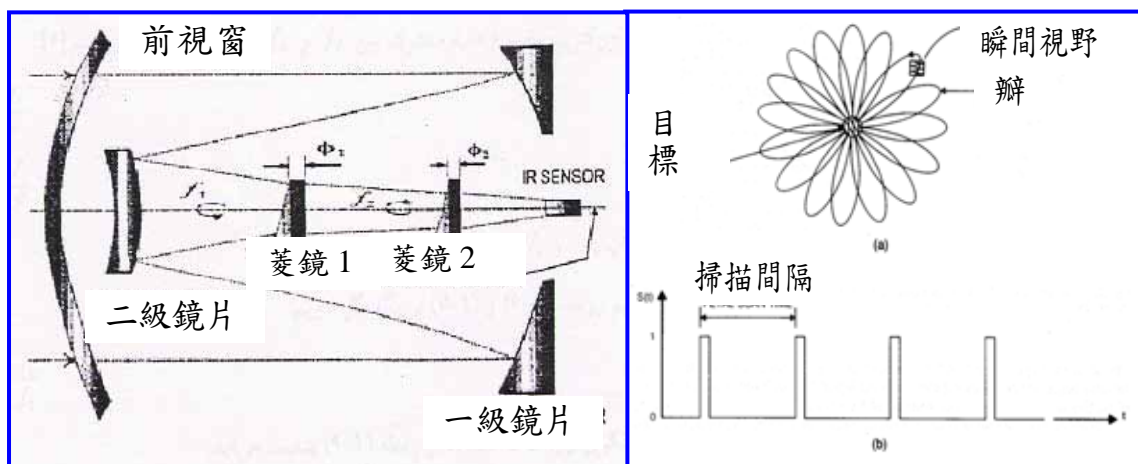
¹³ Burns, Alan Alexander, “Aircraft defense system against manpads with IR/UV seekers,” PATENTSTORM, 2009/04/28. <http://www.patentstorm.us/patents/7523692/description.html>

¹⁴ Yuan Tian, Yong L, i Zhang Ren, “Vision-Based Adaptive Guidance Law for Intercepting a Maneuvering Target,” 2010/09/14, P.1-20. http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/tian_etal2010a.pdf

標的視線角速率有關，這兩者所需的相關資訊均可在飛彈的終端飛行階段接近目標時所獲得。然而不管飛彈的導引性能提升的如何，其先期重點仍在於目標必須能夠散發出足夠的IR能量，才能讓飛彈進入足以執行TAG導引進而命中目標的領域。

薔薇圖樣掃描方式乃因採用了不同旋轉頻率與反向旋轉的鏡片或菱鏡所致，其所掃出的光網圖形與薔薇花瓣類似而命名（如圖十一），而特點在於可讓尋標器光網具有多數個極為狹窄的瞬間視野(instantaneous field of view, IFOV)，也就是「瓣」，其功用如同光網中的幅輪一樣，若瞬間視野比目標熱源窄小的話，就將造成目標會同時被多數個瓣給掃描到，¹⁵而通常較小的瞬間視野可提高目標的解析度，如此就會擁有類似影像成形的功能，又稱為「虛擬影像尋標器」(pseudo-imaging seeker)，其功能不像真實的影像尋標器一樣會建構出目標影像，而是利用由掃描所得的空間資訊來區別背景與目標的差異，此外因此類型尋標器通常具有空間感的能力，能夠更有效區別熱焰彈脫離飛機所產生的方向差異，既飛機的運動方向為一特定指向，而熱焰彈則會往與之不同的方向移動，此因尋標器的視野中就可區別出各自運動方向的不同而達到最佳的紅外線反反制能力。

圖十一 薔薇圖樣掃描方式



資料來源：Dr. T.W. Tucker, “Evaluating Airliner MANPADS Protection,” Tactical Technology Inc., 2009/01/30.

http://tti-ecm.com/uploads/resources_technical/evaluating%20airliner%20manpads%20protection.pdf

¹⁵ Dr. T.W. Tucker, “Evaluating Airliner MANPADS Protection,” Tactical Technology Inc. 2009/01/30. http://tti-ecm.com/uploads/resources_technical/evaluating%20airliner%20manpads%20protection.pdf

除了刺針FIM-92B之外，SA-18飛彈也同樣擁有這般能力；不過遺憾的是，第三代尋標器雖可有效地對抗熱焰彈之誘騙與干擾，仍因熱焰彈燃燒時間有限、運動向量緩慢且與飛機不同，因此只要飛機能夠施放出範圍廣大且不會衰減的IR能量就能達到干擾尋標器的效果，這類型的干擾設備均以「紅外線干擾系統」統稱，如美軍直升機上的ALQ-144強光發射器（如圖十二）。

圖十二 ALQ-144紅外線干擾系統



資料來源：Doug Jackson, “Missile Countermeasures,” Aerospaceweb.org, 2004/08/29. <http://www.aerospaceweb.org/question/electronics/q0191.shtml>

隨著各型空中飛行機種類的增加，與飛彈命中率提高的需求下，第三代的刺針飛彈也做了程式上的更新，以提升至刺針RMP型，其最主要的程式升級是為了將飛彈發射器移植到載具上，用以取代肩射操作上的缺點，¹⁶並藉由刺針飛彈的程式編寫微處理器系統(Reprogrammable MicroProcessor)，可將尋標器晶片上的數位處理器以週期性的更新替換新式軟體，用以剋制各式航空器所推陳出新的反制手段，另外在尋標器的記憶體中更載寫了各式航空器尾焰圖形識別能力，以提升尋標器的性能，因此刺針飛彈RMP型更能取代每次重新設計飛彈導引部所不必要的

¹⁶ John pike, “FIM-92A Stinger Weapons System: RMP & Basic,” Military Analysis Network, 2000/08/29. <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/stinger.htm>

浪費。¹⁷目前國軍野戰防空所使用的刺針飛彈正屬於FIM-92D刺針RMP型，在未來可僅以更換舊彈的尋標頭，提升成新型彈種，不僅可節約購買新彈的資金與免於高價的翻修，並可將逾壽限彈以更換壽限件的方式，將壽期歸零，提供重新10年壽限。

另外，為了反制第三代尋標器的紅紫外線雙重尋標與TAG導引的特性，航空器特別將引擎設計著重於紅外線特徵抑制(IR Signature Suppression, IRSS)的技術上，用以消除或縮小本身所散發出來的IR能量與散佈範圍，致使降低尋標器的偵測範圍與鎖定的可能，再搭配裝載的紅外線干擾系統與熱焰彈的施放，已達到擾亂第三代尋標器的檢波能力，故第三代尋標器也因航空器的反制技術的進步，而邁入了第四代的研發。

(四) 第四代尋標器：影像紅外線尋標器

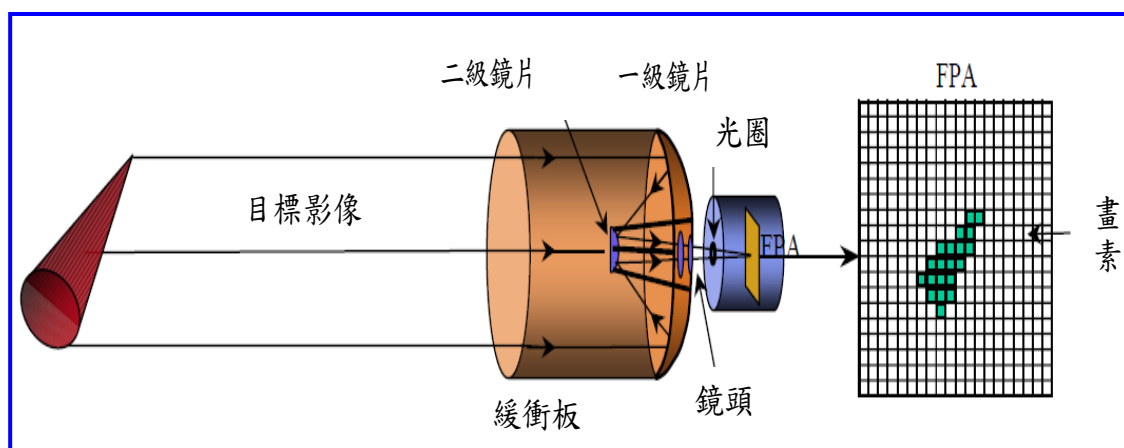
隨著航空器之紅外線反制技術的進步，IR飛彈的導引科技也在第三代的基礎上朝影像紅外線尋標器（簡稱影像尋標器）發展，在過去第一代與第二代尋標器發展僅以單一紅外線為導引依據，也就是依靠航空器的尾焰(IR plume)，第三代發展開始有了複合式導引的概念，其除了依靠航空器的尾焰(IR plume)外，還有空中飛行機本體受紫外線輻射所構成的暗區(UV body)為導引依據；第四代的刺針Block I不僅能識別各式飛行機所產生的複雜尾焰，還可以偵測出由紅外線與負紫外線光譜波段所產生的飛機表面形狀，既導引依據為航空器的IR plume與UV body還有IR body。¹⁸影像尋標器不使用光網設計，取而代之的是使用先進科技，焦面陣列(Focal Plane Array, FPA)的感應元件，可感應尋標器視野中景物的能量，以建構出一張空間圖形，更可用來增加尋標器對目標的檢波範圍，¹⁹其成像原理如圖十三。

¹⁷ 同註5，P43。

¹⁸ David M. Curry, Craig A. Combs, "LOW COST TARGET SCENE GENERATION SYSTEM FOR A HARDWARE-IN-THE-LOOP SIMULATION OF A PASSIVE INFRARED GUIDED MISSILE," US Army Aviation and Missile Command(Redstone Arsenal, US), P1。

¹⁹ 同註5，P44。

圖十三 影像尋標器成像原理



資料來源：

Walter R Dyer, "Sample pages from Modern Missile Analysis Guidance, Control, Seeker, and Technology," Applied Technology Institute, 2004/03/09. http://www.atcourses.com/missile_systems_analysis.htm

影像尋標器可藉由成像方式，來分辨目標與熱焰彈或紅外線誘標等的紅外線信號外型特徵差異，故具有極佳的紅外線反反制能力，影像尋標器因成像畫素的大小會影響飛彈導引精度，成像畫素越高其導引精度越精準，Block I的成像畫素在1996年已提升至128×128的第五代刺針Block II型，²⁰除了反反制能力與日夜間接戰能力的提昇外，其導引精度更可接戰小型目標。

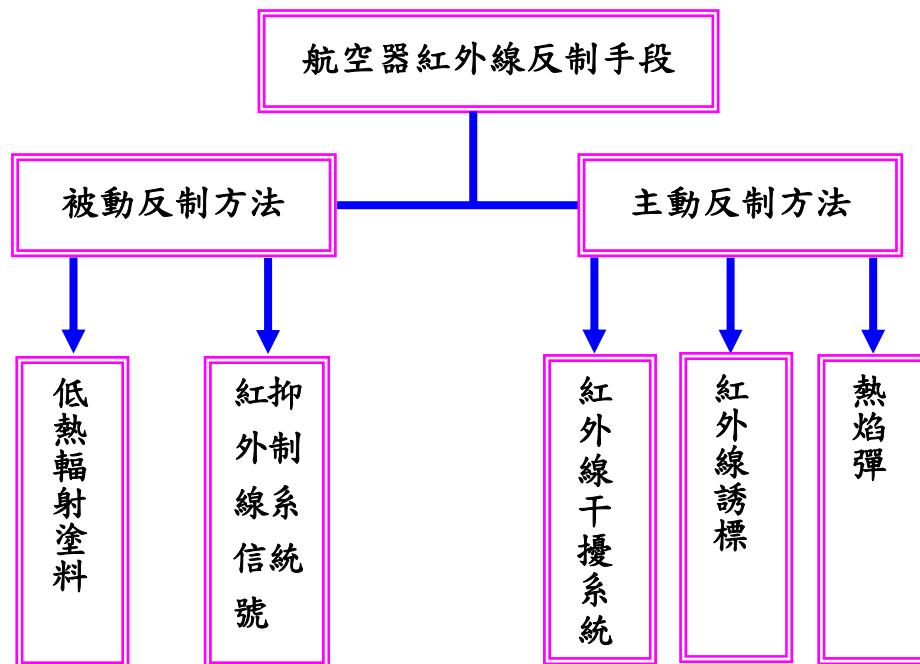
參、刺針飛彈面臨的威脅

在1980年中期，世界各國漸漸開始重視航空器存活性能的提升，當時IR科技研發的重點趨向IR飛彈的反制技術與飛機引擎IR能量的抑制，也就是「J/S」比值，J係代表航空器所裝備或施放的干擾系統，而S係指航空機本身的紅外線特徵；若能將航空機本身的紅外線特徵變小，再施放或投擲大量的熱焰彈或IR強光的話，就能達到完美的IR反制效果。西元1998年美國首度建立了先進威脅紅外線反制系統(Advanced Threat IR Countermeasures

²⁰ JEOS Jane's Electro-Optic Systems, "Raytheon FIM-92 Stinger man-portable anti-aircraft missile," (United States), 2011.08.30, P2, http://10.22.155.6:80/intraspx/intraspx.dll?Goto&GID=JEOS_JEOS0222

System, ATIRCS)與定向紅外線反制系統(Directional IR Countermeasures System, DIRCM)，用以對抗各式的 MANPADS 飛彈，²¹而刺針飛彈也伴隨著 IR 反制技術面臨了重大挑戰。IR 反制技術係針對航空器對抗地對空 IR 飛彈之防制措施，其運用原理乃依尋標器之特性採取干擾方式，致使尋標器功能失效或誘導尋標器鎖定其它假目標，圖十四為航空器針對 IR 飛彈的反制方法。

圖十四 航空器對抗地對空飛彈之反制方法



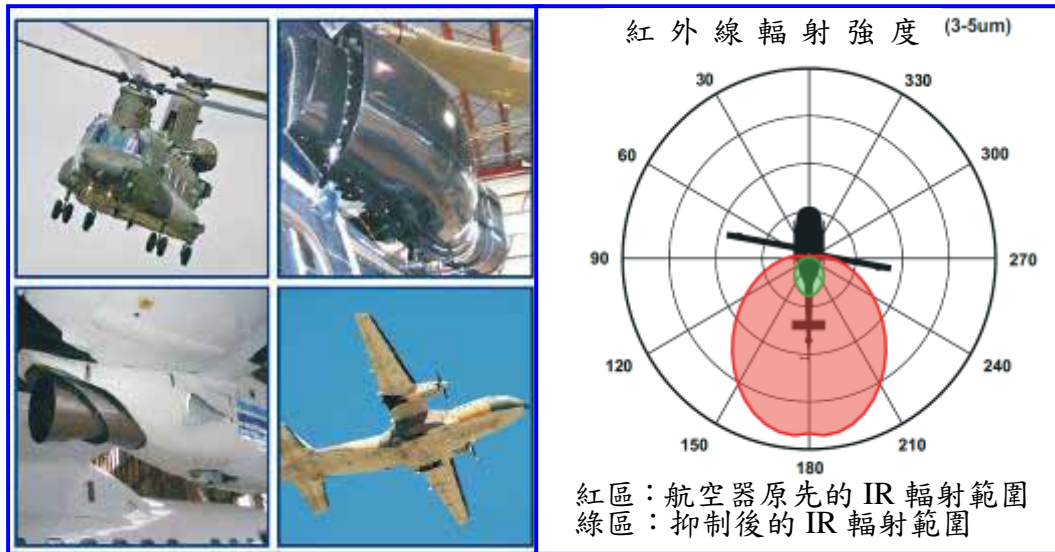
資料來源：作者自行整理繪製

一、被動反制方法

航空器對 IR 飛彈的被動反制技術有兩種方式，其主要是將本身的 IR 輻射能量與特徵改變，一是縮小引擎排氣管上所幅射出的 IR 範圍，此方式稱為紅外線特徵抑制系統(Infrared Signature Suppression, IRSS)，如圖十五；而另一個方式則在機殼部份塗上低熱輻射塗料，用以改變機殼因空氣摩擦所產生的 IR 輻射。這兩種方式均可影響尋標器對航空器的鎖定效能。

²¹ 同註 1，P 221。

圖十五 紅外線信號抑制系統



資料來源：Paul, “Infrared Signature Suppression for Aircraft,” Davis, 2008.
http://www.wrDavis.com/docs/brochures//AeroIR_Brochure.pdf

二、主動反制方法

航空器對 IR 飛彈的主動反制技術主要是以欺誘方式來干擾 IR 尋標器的運作，甚至使尋標器飽和、迷盲進而達到制壓的效果。²²

(一) 熱焰彈

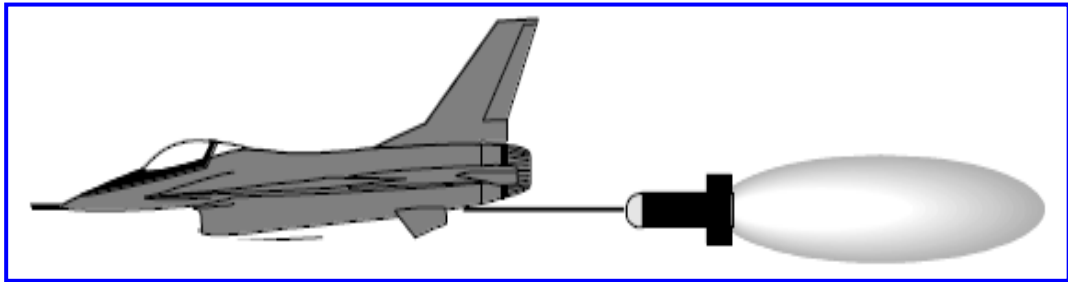
傳統對 IR 飛彈的主動反制技術就屬熱焰彈為主，而熱焰彈也可因其材質的不同而燃燒出不同的紅外線波長，用以對抗各式 IR 尋標器，近來更發展出具有高熱與發煙性能的熱焰彈，只需配合好航空器本身運動方向與熱焰彈投擲方向，就能夠利用煙幕的遮蔽效應，矇蔽目標與背景的 IR 輻射能量或降低尋標器的偵測能力。

(二) 紅外線誘標

主要原理係運用與目標相同的輻射特徵所做出的誘餌式假目標，如拖曳式紅外線誘標兼具著運動性與尾焰相同的輻射（如圖十六）。

²² 張明德，〈艦載被動電子反制與光電干擾系統〉《全球防衛誌》（台灣），第 225 期，全球防衛出版社，西元 2005 年 11 月，頁 100。

圖十六拖曳式紅外線誘標

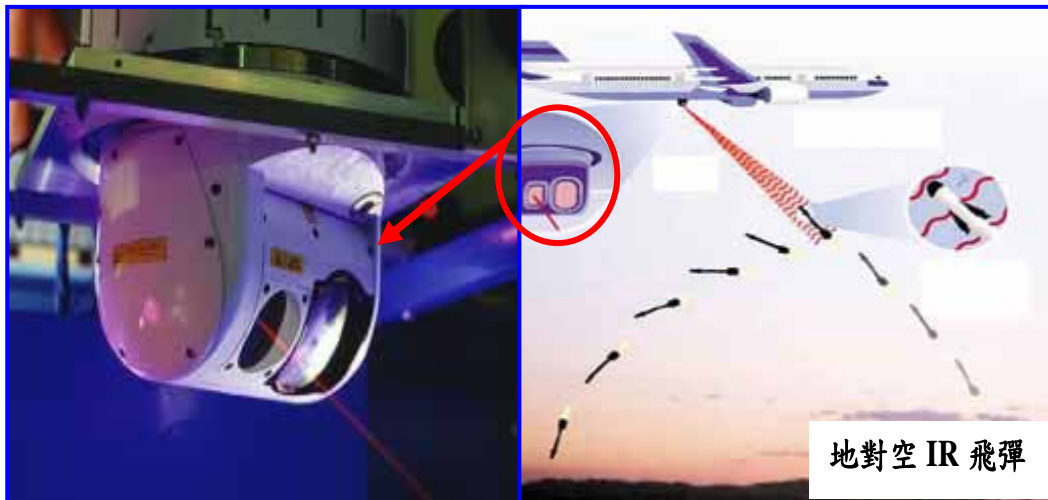


資料來源：同圖四

(三) 紅外線干擾系統

其原理係主要讓 IR 尋標器內部的感應元件達到「飽和」狀態，進而干擾 IR 尋標器，使飛彈無法鎖定目標且被誘離或轉向攻擊熱焰彈或其他誘標。其發展從早期全方位的強光發射器到最近極具效能的定向紅外線反制系統(Directed infrared countermeasures, DIRCM)，其運作方式如圖十七。

圖十七定向紅外線反制系統



資料來源：Carlo Kopp, "MAN PORTABLE MISSILES VS AIRLINERS," Australian Aviation, 2003/11/20. [Http://www.ausairpower.net/TE-MANPADS-Dec03.pdf](http://www.ausairpower.net/TE-MANPADS-Dec03.pdf)

肆、結語

美國總統卡特的國防部長布朗(Harold Brown)曾經發表過聲言，西方國家應設法利用科技方面「質」的優勢，抵銷蘇聯所擁有「量」的優勢，他更主張西方世界應該利用為電子裝置與電腦追求新的戰力，而不必採購更多新型

戰車、軍艦與戰機，或尋求擴編各國的軍隊，只要應用新的科技，就能使既有載台與部隊，獲得大幅超越蘇聯的競爭優勢。²³台灣正也面臨著中共近幾年來不斷整軍經武的軍事威脅，與積極於戰術彈道飛彈的部署以及航空器性能的提升，因此擔任重層攔截的最後一道積極防線的野戰防空，在「質」的部分確實有提升的必要，本軍刺針飛彈雖屬第三代尋標器的提升型，未來面對對岸的威脅，除了靠精實的訓練外，若能配合精良的武器，就能將戰力發揮至極致。

作者簡介

楊培毅士官長，學歷92年士官長正規班第23期、94年美國復仇者飛彈系統保修班；歷任砲兵雷達士、砲長、飛彈系統訓練儀保養士、光電模訓組副組長。現任職於陸軍飛彈砲兵學校防空組野戰防空小組士官長教官，軍線934350。

²³ 艾力諾·史龍，《軍事轉型與當代戰爭》（台北：國防部史政編譯室，民99年6月），頁10。