

人攜式防空飛彈擊殺性能研析

－以刺針飛彈為例

作者：楊培毅 士官長

提要

- 一、刺針飛彈在歷史上創造防空戰役高命中率，亦為國軍野戰防空的主力，飛彈特性為「被動尋標兼射後不理」，惟彈頭必須直接撞擊（hit）目標後才能引爆；對刺針飛彈而言，打得到目標，才能摧毀目標，因此擁有「直接撞擊並獵殺」之特性，與一般雷達導引飛彈的「近發感測引爆」不同，「直接撞擊」之命中率為刺針飛彈之首要條件。
- 二、「擊殺」（Hit to kill）的定義，依美軍軍用辭典解釋，係具備攔截、追蹤、導向能力之高速飛彈，能以碰撞方式擊毀目標稱之。就人攜式防空武器系統飛彈的「擊殺」概念而言，「飛彈的命中率不等於飛彈的殺傷力」。
- 三、刺針飛彈彈頭爆炸所散射出來的破片，其破片密度會隨爆炸距離的增加而遞減，同樣地，破片穿刺機身外殼的力量，也因距離的增加而減弱，所以飛彈彈頭引爆時，破片爆破的穿刺力要足以鑽入機殼內部，且破片散布範圍能引爆機體內部的燃油槽或管路（如圖十三），若散布此範圍外，只能造成目標外殼上的小彈孔傷害，不足以將目標擊殺（hit to kill）並迫其墜毀。
- 四、刺針飛彈彈頭爆炸產生的破片，造成飛機的破損範圍超過 634 平方英尺（約 8 公尺x8 公尺），其中約有 140 平方英尺（約 3.9 公尺x3.9 公尺）的受損區域為機翼下方的機腹位置，而此部位也是破片密度最高、穿刺力最強之處（約 42 個破片），另外，就整個 634 平方英尺的範圍裡而言，整個機身將約有 330 個破片撞擊孔。
- 五、以兵棋推演的參數資料方式來呈現，單一架航空器在面對人攜式防空武器系統的威脅時，其影響航空器戰場存活率的要素可區分為被飛彈擊中的機率與航空器本身的脆弱性；以數學公式呈現就是 $P_s = 1 - P_H \times P_{K/H}$ ，； P_s 指的就是航空器戰場存活率，而 P_H 指的是被敵方飛彈擊中的機率， $P_{K/H}$ 就代表著被單一枚飛彈擊中後導致墜毀或陣亡的可能性。

關鍵詞：人攜式防空飛彈（MANPADS）、擊殺（hit to kill）、SA-14 飛彈、航空器戰場存活（Aircraft combat survivability）、航空器低脆弱性（Low Vulnerability）技術。

壹、前言

美軍在沙漠風暴作戰期間，利用先進精準與匿蹤能力，使得美軍在效能作戰（effects-based operations, EBO）發展上領先各國。精準武器的發展一直都是各國軍事科技研發的重點，在以往的戰役歷史中，起自第二次世界大戰的大量轟炸，到越戰時期的低空轟炸，甚至到近年的沙漠風暴的雷射導引炸彈（精靈

炸彈)的發展，其所求的不外乎是精準度的提升，換句話說，以站在軍事科學領域的角度來看，其目的所求的就是轟炸圓形公算誤差(circular error probable, CEP)的縮減；其精準數值從原本的 3300 英呎縮減至 10 英呎內。圓形公算誤差的定義，¹是指單一武器或多枚武器有 50%以上的機率可以命中目標範圍。「精準」兩字在現代化戰爭中，代表決勝的重要關鍵。

刺針飛彈在歷史上創造防空戰役高命中率，亦為國軍野戰防空的主力，飛彈特性為「被動尋標兼射後不理」，惟彈頭必須直接撞擊(hit)目標後才能引爆；對刺針飛彈而言，打得到目標，才能摧毀目標，因此擁有「直接撞擊並獵殺」之特性，與一般雷達導引飛彈的「近發感測引爆」不同，「直接撞擊」之命中率為刺針飛彈之首要條件。「擊殺」(Hit to kill)的定義，²依美軍軍用辭典解釋，係具備攔截、追蹤、導向能力之高速飛彈，能以碰撞方式擊毀目標稱之。刺針飛彈的命中率依年代發展歷程，具備不同的精準度，然精準度與殺傷力需相輔相成，研析刺針飛彈「擊殺」特性，藉以發揮刺針飛彈精準戰力，為本篇研究重點。

貳、人攜式防空武器系統發展與威脅

一、發展歷程

人攜式防空武器系統的發展，最初是為了彌補步兵槍砲武器，用以對抗空中快速移動的噴射戰鬥機，而所研發出來的防空飛彈系統，³初始構想起於 1950 年代後期，設計概念為單兵操作、生產成本較低的「紅外線導引飛彈」(IR)取代價格昂貴且操作程序繁雜的「雷達導引飛彈」(RF)，在 1960 年代後期開始投入戰場，惟當時的防空武力仍重度仰賴雷達系統，一直到了 1970 年，因匿蹤戰機的出現，嚴重挑戰雷達系統的偵搜性能，因而讓紅外線導引科技成為許多國家致力投入防空飛彈發展的主要誘因。⁴

「MANPADS」一詞是 Man portable air defense system 的縮寫，中文意思是「人攜式防空武器系統」，人攜式防空武器系統的參戰經驗，證明該系統於戰場上的實用性；其能讓世界各國所偏好採用的原因，除製造成本較低，更因為單兵操作、武器操作簡單、射擊陣地幅員小、易於隱蔽與掩蔽等效益，於當時的戰場環境，比須依賴雷達的飛彈系統更具優勢。人攜式防空武器投入的戰爭，可從 1960 年紀錄至 2007 年，其中具代表計有中東的贖罪日戰爭、阿富汗戰爭、波灣戰爭，以及由恐怖份子所引發的各大、小型軍事衝突等，⁵目前全球統計約

¹ Anthony H. Cordesman 著，黃淑芬、胡元傑譯，《伊拉克戰爭 II》(台北：國防部部長辦公室，民國 95 年 6 月)，頁 337。

² Oxford University Press, 〈US Military Dictionary〉, <http://www.answers.com/topic/hit-to-kill>(2014/02/03)

³ John McEwen Crescent, "MANPADS Countering the Terrorist Threat," (Australian strategic policy institute), (June 2008), p2。 http://www.dfat.gov.au/security/MANPADS_counterind_terrorist_threat.pdf (2008/06/04)

⁴ Shripad P. Mahulikar, "Infrared signature studies of aerospace vehicles," Progress in Aerospace Sciences, (India), (2007), P. 220-221.

⁵ Kevin Crosthwaite, "MANPADS Combat History," Aircraft Vulnerability to MANPADS Weapons, (Washington,

有 75 萬枚的人攜式防空武器在世界各國製造與使用。人攜式防空武器依各國研製而有不同的名稱，例如美國的「刺針」、俄羅斯的「聖杯」（SA-7）（如圖一）、中共的「紅纓 5 號」（HY-5）與「前衛一號」（QW-1）、英國的「吹管」（Blowpipe）與瑞典的「RBS70」飛彈等，都是各國人攜式防空武器系統的代表作；其中又以美國的「刺針」與俄羅斯的「SA-7」最具有實戰經驗，上述各國所發展出來的人攜式防空武器系統，大抵依此兩款飛彈的特性為基礎研製。

圖一 蘇聯「SA-7」(左)、中共「前衛」(右)



資料來源：John McEwen Crescent, "MANPADS Countering the Terrorist Threat," (Australian strategic policy institute), (June 2008), p3。http://www.dfat.gov.au/security/MANPADS_counterind_terrorist_threat.pdf (2008/06/04)

二、人攜式防空飛彈對航空器的威脅

人攜式防空武器系統的共同特性，大都是以紅外線尋標器為主軸設計而成的，其接戰性能隨科技發展及作戰經驗，與時俱進提升，以圖二刺針飛彈彈體為例，此類的飛彈對航空器的最大威脅，就是在無任何預警情況下，將航空器摧毀。彈體本身的尋標器具有「被動」尋標的特性，可接收航空器引擎散發出來的熱輻射，因此不需要像「雷達導引」（RF）飛彈一樣，必須「主動」對目標打出一個輻射能量，再依反射的輻射能量追擊目標。人攜式防空武器一旦鎖定目標後，飛行員是無法知道本身遭紅外線（IR）飛彈鎖定，飛彈一旦離架，除非飛機本身配備先進的機上預警雷達，否則飛行員亦無法知道某個物體正朝飛機快速接近。關於人攜式防空武器的特性，筆者在「紅外線（IR）飛彈的追瞄原理與特性－以刺針飛彈為例」⁶與「從野戰防空之人攜式防空武器系統戰史中研析航空器紅外線特性」⁷之研究資料中已有詳細介紹，不再重述。

圖二 刺針飛彈

刺針飛彈發射筒↘



↙刺針飛彈

資料來源：楊培毅，〈紅外線（IR）飛彈的追瞄原理與特性-以刺針飛彈為例〉《砲兵季刊》，第 157 期，（台南：陸軍砲訓部，民國 101 年第 2 季），頁 2。

United state), (1999), p12。

⁶ 楊培毅，〈紅外線（IR）飛彈的追瞄原理與特性-以刺針飛彈為例〉《砲兵季刊》，第 157 期，（台南：陸軍砲訓部，民國 101 年第 2 季），頁 103-122。

⁷ 楊培毅，〈從野戰防空之人攜式防空武器戰史中研析航空器紅外線特性〉《砲兵季刊》，第 162 期，（台南：陸軍砲訓部，民國 102 年第 3 季），頁 52-66。

人攜式防空武器系統的威脅在過去戰史的研究當中，幾乎發生戰爭或局部衝突，就會出現人攜式防空武器系統，由圖三的地圖資料可以了解全球過去幾十年來，遭受人攜式防空武器系統攻擊的分佈情況。在 1970 年代，各式各樣的軍事衝突在寮國、高棉和越南陸續發生；在 1980 年代，更多的武裝衝突與軍事革命在阿富汗展開，聖戰戰士使用人攜式防空武器系統抵抗蘇聯的侵略，或在非洲內陸的種族爭議所引起的各種衝突；1990 年代，看見攻擊事件遷移到喬治亞和亞塞拜然，再擴展到波斯灣戰爭和車臣衝突。另外在非洲境內的安哥拉與盧安達的不穩定狀態，剛果和蘇丹亦是有很多軍事衝突使用人攜式防空武器系統武器。

這些戰役與衝突事件，據統計有 89% 的旋翼機與定翼機的損失傷亡，都是遭受人攜式防空武器系統攻擊，⁸ 也因為如此國際才不得不重視人攜式防空武器系統擊殺（hit to kill）的威脅性，並針對人攜式防空武器系統研擬出克制手段與方法，甚至更將其攻擊參數蒐整，以運用於現代化戰鬥直升機或定翼機的反制技術發展，提升航空器在執行任務的存活力。

圖三 全球武裝衝突使用人攜式防空武器系統分佈圖



資料來源：John McEwen Crescent, "MANPADS Countering the Terrorist Threat," (Australian strategic policy institute), (June 2008), p12。

http://www.dfat.gov.au/security/MANPADS_counterind_terrorist_threat.pdf (2008/06/04)

⁸ 同註 6，頁 2。

參、人攜式防空武器系統的運用探討

一、航空器存活力探討

美國空軍在越戰期間損失的定（旋）翼機高達 5,000 餘架，慘痛的經驗讓美軍開始重視航空器存活能力（aircraft survivability）。⁹早期的軍用航空器設計重點，其防護能力僅著重於抵抗防空槍砲（AAA）與單一飛彈彈頭碎片的撞擊，因為當時美軍認為航空器只要被飛彈直接擊中，就同等於陣亡，因此航空器低脆弱性（Low Vulnerability）技術在對抗人攜式防空武器系統的發展上，一直有個空窗期。將航空器的脆弱性降低，就同等於將航空器的防護力提高，人攜式防空武器系統的迅速發展及普遍化，藉其撞擊並摧毀的能力，日益威脅全球航空界。

然而，飛彈的破壞力非絕對性，圖四為 AV-8B 戰鬥機在沙漠風暴戰役中，遭受 SA-14（SA-7 飛彈提升型）擊毀的戰機殘骸，反之，在同一場戰役裏，F/A-18（如圖五）同樣遭到 SA-14 飛彈攻擊卻存活，並順利地返航基地。兩起事件之間的差異，可從任務屬性、天候、飛行員技能、戰場環境、攻擊時機、航空器機能、反制技術等各方面差異進一步探究。

圖四 美軍 AV-8B 戰鬥機執行沙漠風暴遭 SA-14 擊毀



資料來源：Mr. Anthony Lizza and Mr. Greg Czarnecki, “Low Vulnerability Technologies Building a Balanced Approach,” Aircraft Survivability Summer 1999, (Arlington, United states), (1999), P14.
http://jaspo.csd.disa.mil/images/archive/pdf/1999_summer.pdf. (1999.06.07)

圖五 美軍 F/A-18 戰鬥機執行沙漠風暴遭 SA-14 飛彈攻擊後成功返航基地



資料來源：同圖四，頁 15。

⁹ Mr. Anthony Lizza and Mr. Greg Czarnecki, “Low Vulnerability Technologies Building a Balanced Approach,” Aircraft Survivability Summer 1999, (Arlington, United states), (1999), P14。

二、人攜式防空飛彈直接撞擊能力探討

首先，人攜式防空武器系統飛彈的擊殺（hit to kill）先決概念，就是「飛彈的命中率不等於飛彈的殺傷力」。一般而言，人攜式防空武器系統要能擊中目標，所要考量的先決條件就是飛彈的性能，但事實上，是相對性的問題，也就是飛彈與目標之間類似「矛」與「盾」的大對決，命中率與殺傷力都視為可變數。

以早期人攜式防空武器系統中的「紅眼飛彈」（刺針飛彈的先趨）為例，¹⁰在 1967 年代中，紅眼飛彈本身的命中率估計約為 5 成左右，但若以紅眼飛彈來接戰現今第三或第四代的戰鬥機，對戰機的命中率可能變為 0 – 若沒有命中，則殺傷力就是 0。故以紅外線導引科技為基礎的飛彈，其構成命中的要素，要從飛彈與航空器目標兩方面來探討，但其中最重要的關鍵點，就是飛彈與航空器各自所運用的「科技」。對航空器而言，其科技運用著重於提升航空器低脆弱性（Low Vulnerability），內容包含對飛彈的反制技術、引擎紅外線抑制系統的安裝、機殼內部燃油管的獨立設計與定向紅外線反制系統（Directed infrared countermeasures, DIRCM）的掛載等，都是為了提升航空器的戰場存活率；另外對飛彈的運用科技而言，命中率為提升發展重點。筆者在此利用圖六中的刺針飛彈來說明「直接撞擊」的性能，也就是指飛彈命中（hit）的能力。

早期刺針飛彈的設計，主要以航空器引擎散發出來的紅外線能量為基礎，航空器引擎溫度在尋標器的視野裡，可視為一個熱點（hot spot），此外飛彈的撞擊點亦因紅外線尋標器工作波段的限制，大都集中在航空器的引擎上。因此早期刺針飛彈大都以尾追攻擊為主，且飛彈尋標器也因內部陀螺儀旋轉能力的因素，擁有較寬廣的 30 度視野範圍，這項功能雖然帶給飛彈更寬裕的追擊能力，但換個角度來看，卻也增加了飛彈追擊的飛行路徑，因此讓飛機更有時間做脫逃的戰術動作（例如在脫逃飛行路徑上拋擲熱焰彈）。

在真實戰場上，第一代的刺針因尋標器屬「旋轉型掃描」（spin scan）尋標器，¹¹無法有效分辨航空器引擎與熱焰彈的紅外線能量，必須予以改良。第二、三代以後的刺針，尋標器視野縮小至 15 度，並加入冷卻氣體，目的是減少其他不必要的紅外線反制干擾，以達到飛彈全方位的接戰能力，然而整體主要改良的重點均放在尋標器性能的提升與配合戰

¹⁰ RAYTHEON MISSILE SYSTEMS, "Raytheon FIM-92 Stinger man-portable anti-aircraft missile," JEOS Jane's Electro-Optic Systems(United States), 2011.08.30, p1.

¹¹ Ting Li Chang, "The IR missile (spin-scan and con-scan seekers) countermeasures," Naval Postgraduate School Thesis (Monterey, California), (1994,9), P13-14。

術運用，最明顯的部分就是將尋標器改為具有反制熱焰彈功能的「圓錐型掃描」(conical scan) 尋標器，¹²與調整紅外線工作波段。簡而言之，尋標器捨棄原本所要鎖定航空器引擎的紅外線能量，改為鎖定航空器燃油燃燒所產生的尾焰紅外線，其主要目的是防止熱焰彈的誘騙，待飛彈靠近機身時，再啟動尋標器的紫外線模式，讓飛彈更準確地撞擊航空器機身，刺針飛彈紅、紫外線雙重尋標的特性。

更進一步說明，刺針初期的導控，係先由紅外線偵測元件感測飛機的尾焰 (IR Plume)，再以比例式航行導引靠近飛機，在飛彈碰撞目標前 1 秒 (距目標約 700 公尺) 之際，導引模式改由紫外線偵測元件控制，¹³使飛彈朝感測到的暗影區塊 (UV Body) 飛去，這就是刺針飛彈終端路徑的「目標修正導引」 (Target Adaptive Guidance, TAG)。因此，飛彈尋標器的科技發展也自此從單一模式的導引功能，正式邁入複合式導引的科技時代。國軍現階段所使用的飛彈正是第三代刺針「RMP」型，其特點最主要是提升對航空器紅外線抑制系統的反反制與紅外線特徵識別能力。

一般航空器的尾焰紅外線特徵長度，平均最遠可拖曳至 12 公尺左右，¹⁴因此航空器若能抑制本身尾焰紅外線能量的發散，勢必亦能減輕刺針命中的威脅；另外航空器在存活力的提升，方法之一就是雙引擎設計，這也就是前述單引擎式 AV-8B 戰鬥機與雙引擎式 F/A-18 戰鬥機 (如圖七) 在同一場戰役中，遭受同一型飛彈襲擊，一陣亡一存活的最主要差異，而刺針「RMP」型主要就是要克制此類雙引擎式之新型航空器所研製出來的。

科技在軍事上的運用，視戰場需求快速進步，多重導引模式武器的運用是現今各國仰賴的國防軍武力量，刺針因應航空器多變的反制措施 (如圖八)，也跟著發展出符合現代化戰場的反反制飛彈科技，如第四代的刺針為「影像尋標器」 (IIR seeker)，其命中的主要依據乃是目標的尾焰 (IR Plume)、紫外線成像 (UV Body) 與目標影像 (IR Body) ¹⁵等三種模式來命中目標，其命中率超過 9 成以上。所有飛彈的設計都需考量其是否能命中的問題，畢竟飛彈要先能命中目標，才能再給予殺傷力。

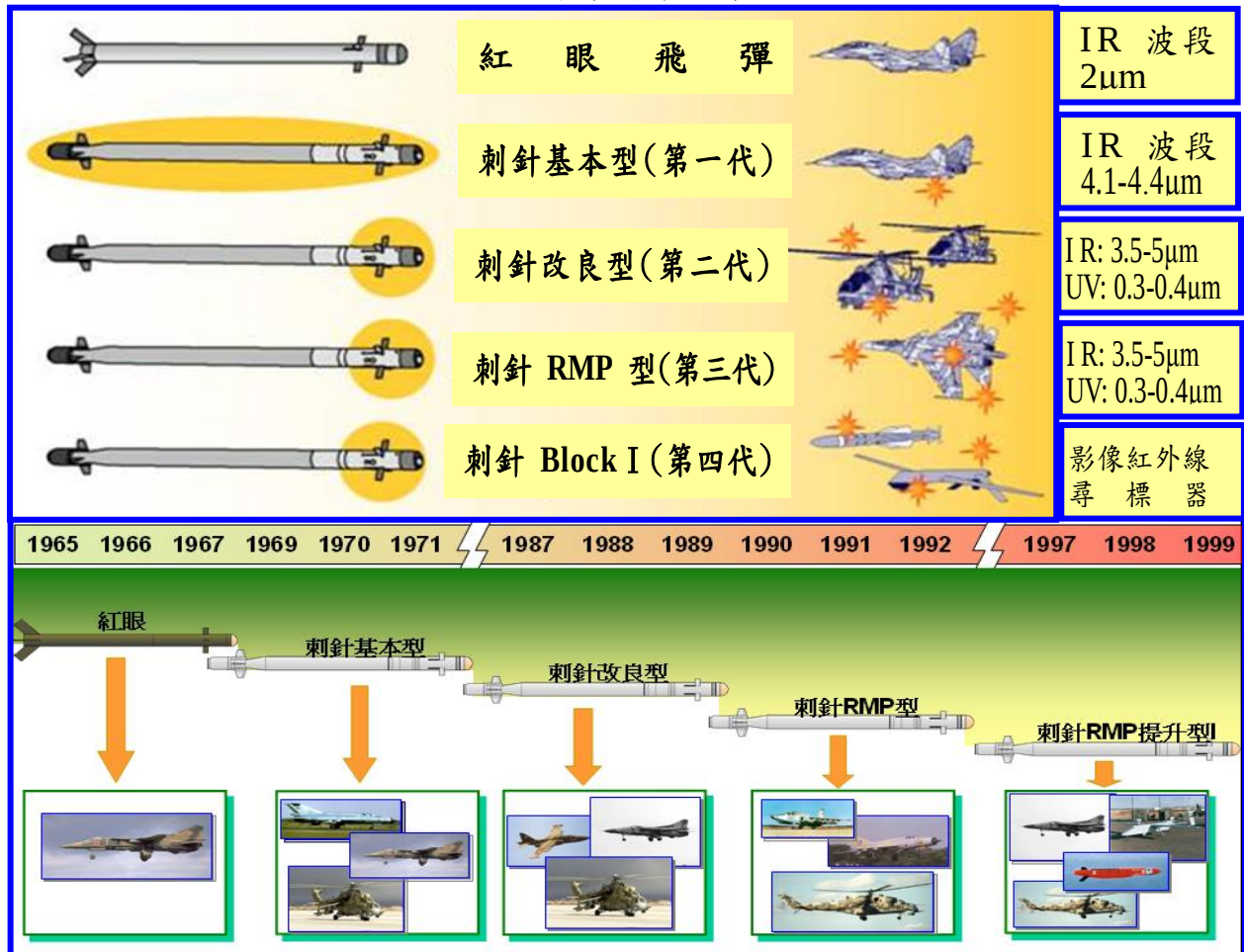
¹² 同註 11，頁 15-16。

¹³ Burns, Alan Alexander，〈Aircraft defense system against manpads with IR/UV seekers〉，<http://www.patentstorm.us/patents/7523692/description.html>。

¹⁴ 同註 4，頁 230。

¹⁵ 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)，P1。

圖六 刺針飛彈歷年發展



資料來源：楊培毅，〈從野戰防空之人攜式防空武器戰史中研析航空器紅外線特性〉《砲兵季刊》，第 162 期，(台南：陸軍砲訓部，民國 102 年第 3 季)，頁 9。

圖七 單引擎式 AV-8B 戰鬥機 (左) 與雙引擎式 F/A-18 戰鬥機 (右)



資料來源：JFS Jane's Fighting Ships，〈 AV-8B Harrier II/AV-8B II Harrier II Plus/TAV-8B Harrier II 〉，
<http://jan.es.mil.tw/intraspex/intraspex.dll> (2013.04.10) / JAU Jane's Aircraft Upgrades，〈 Boeing (McDonnell Douglas) F/A-18 Hornet 〉，
<http://jan.es.mil.tw/intraspex/intraspex.dll> (2013.10.18)

圖八 F/A-18 戰鬥機反制人攜式防空武器系統



資料來源：Robert Lyons, "Excellence in Survivability," Aircraft Survivability fall 2010 (Washington, United state), (2010), p24。 http://jaspo.csd.disa.mil/images/archive/pdf/2010_fall.pdf. (2010.09.08)

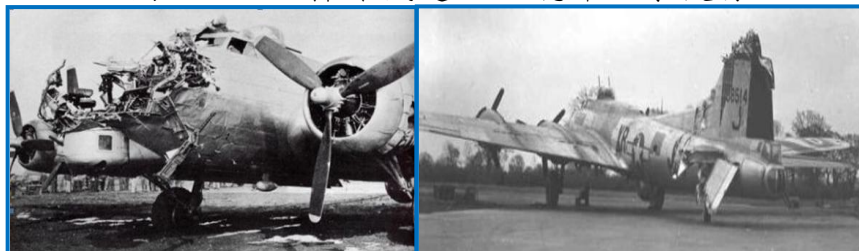
三、人攜式防空飛彈摧毀目標能力探討

航空史上遭地對空飛彈攻擊，能僥倖存活下來的案例不多，但倖存案例能夠提供研究飛彈摧毀能力的參數。B-17「空中堡壘」轟炸機(B-17 Flying Fortress)，如圖九，就是研究了飛彈的殺傷力，將燃油箱加裝內襯防護，¹⁶當受到飛彈撞擊，並遭彈頭爆炸產生的破片攻擊時，可減緩或縮小燃油洩漏所引起的爆炸與連鎖傷害，也因為此項設計，讓該時期以後生產的航空器都以此概念設計飛機。

除前述 F/A-18 之外，另一起軍用戰機存活案例，於 2003 至 2004 年間，美軍的 A-10 攻擊機在伊拉克也曾遭伊軍 SA-7 飛彈攻擊後存活(如圖十)。圖中可清楚的看見戰機右側引擎遭擊毀，機身其他部位亦受破片傷害(如圖十一)。事實上，美軍記取越戰中損失近 5,000 架的航空器慘痛教訓，早於 1970 年代初期，就開始研究航空器戰場存活力(Aircraft combat survivability)的相關問題。¹⁷

此外，人攜式防空武器系統受到國際的重視，是因為不僅威脅參戰國的軍事航空，還嚴重危害民間的航空器，圖十二為 DHL 航空公司的一架空中巴士 A300 客機，於 2003 年 11 月 22 日在肯亞上空遭人攜式防空武器襲擊，幸運的成功迫降存活下來，然本事件只是 40 多起蓄意攻擊的少數存活案例。

圖九 B-17 轟炸機遭防空飛彈攻擊後存活



資料來源：Doug Jackson，〈Aircraft Vulnerability to Missiles〉，<http://www.aerospaceweb.org/question/design/q0177.shtml> (2004.05.23)。

圖十 美軍 A-10 攻擊機於伊拉克戰爭遭人攜式防空攻擊後存活



資料來源：Robert E. Ball, "Combining Safety and Survivability for Future Spacefaring" Aircraft Survivability Fall 2011 (Arlington, United state), (2011), P12.http://jaspo.csd.mil/images/archive/pdf/2011_fall.pdf (2011/10/21)

¹⁶ Doug Jackson，〈Aircraft Vulnerability to Missiles〉，<http://www.aerospaceweb.org/question/design/q0177.shtml>(2004.05.23)

¹⁷ Robert E. Ball, "Combining Safety and Survivability for Future Spacefaring" Aircraft Survivability Fall 2011 (Arlington, United state), (2011), P12.

圖十一 美軍A-10攻擊機機體遭破壞情形



資料來源：同圖九，頁 5。

圖十二 DHL 客機遭受人攜式防空武器系統襲擊，幸運地迫降存活下來



資料來源：Mr. Carter (Ben) Brooks, Mr. Gregory J. Czarnecki, Dr. Christine M. Belcastro, Dr. Celeste M. Belcastro, and Mr. J. Michael Heard, “ Large Aircraft Survivability Initiative (LASI) ,” Aircraft Survivability summer 2005 (Washington, United state) , (2005) , P6.
http://jaspo.csd.mil/images/archive/pdf/2005_summer.pdf (2005/7/8)

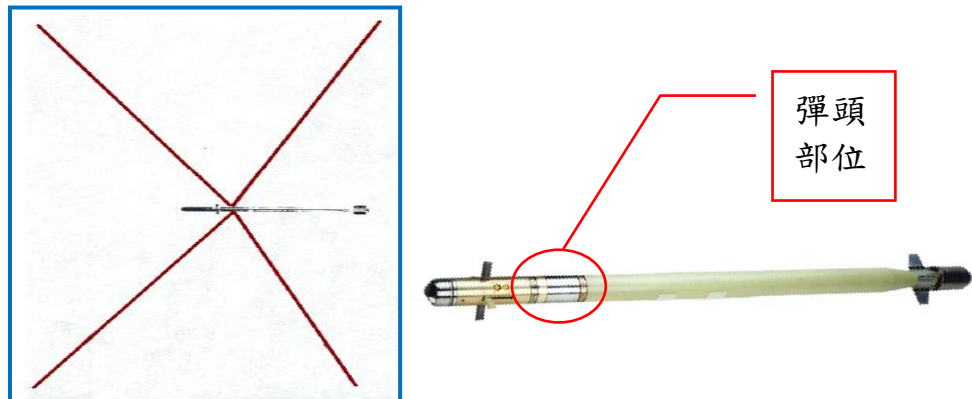
人攜式防空飛彈設計因易於單人攜行，彈體空間有限，所以彈頭的重量主要依造各國所設計的彈種，限制在 1 公斤至 3 公斤以內；就本軍的刺針飛彈言，彈體長度 1.52 公尺，彈徑只有 7 公分，其高爆彈頭的重量僅 1 公斤，因此爆炸威力受限。究竟要如何運用定量的爆炸威力，達到可以炸毀敵機的效果，單從物理學的角度來作解釋，彈頭爆炸所散射出來的破片，其破片數量會隨著爆炸距離的增加而減少，同樣地，破片要能夠穿刺機身外殼的力量，也是因距離的增加而減弱，所以彈頭引爆時，破片爆破的穿刺力要足以鑽入機殼內部，並且引爆內部的燃油槽（管）所需的範圍。

刺針飛彈破片範圍為飛彈頭部至彈體尾部附近（如圖十三），若超過此範圍，只在目標外殼造成小彈孔傷害，不足以將目標擊殺（hit to kill）。依據美國飛彈與太空情報中心（Missile and Space Intelligence Center, MSIC）資料顯示，彈頭爆炸所擴散出來的碎片約計有 1000 多片，¹⁸而這些碎片要刺穿 10 英尺×10 英尺（約 3 公尺×3 公尺）球面區域的數量如圖十四顯示，破片數量會很明顯的因距離增加而驟減，另外筆者在此

¹⁸ Dennis Crider, “MISSILE SELF DESTRUCT PERFORMANCE STUDY,” NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (Washington DC), 2000.04.13, P3.

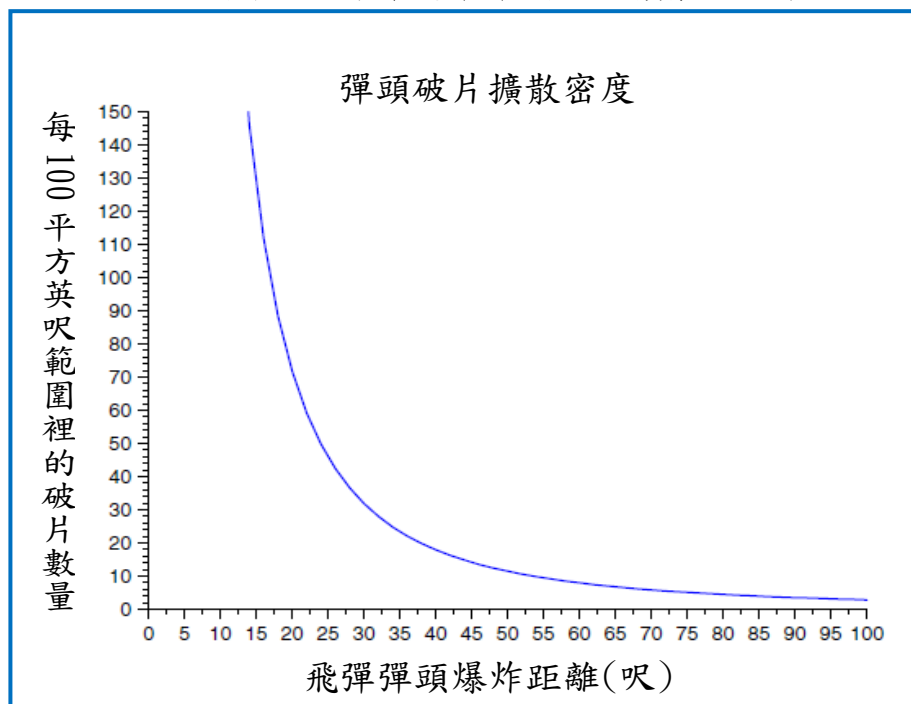
補充一點，彈頭爆炸的衝擊效應是將硬體設備以球狀方式破壞出一個孔或洞出來。

圖十三 刺針彈頭碎片穿刺範圍



資料來源：Dennis Crider, "MISSILE SELF DESTRUCT PERFORMANCE STUDY," NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (Washington DC), 2000.04.13, P3.
http://www.twa800.com/ntsb/8-15-00/docket/Ex_22E.pdf (2000/7/11)

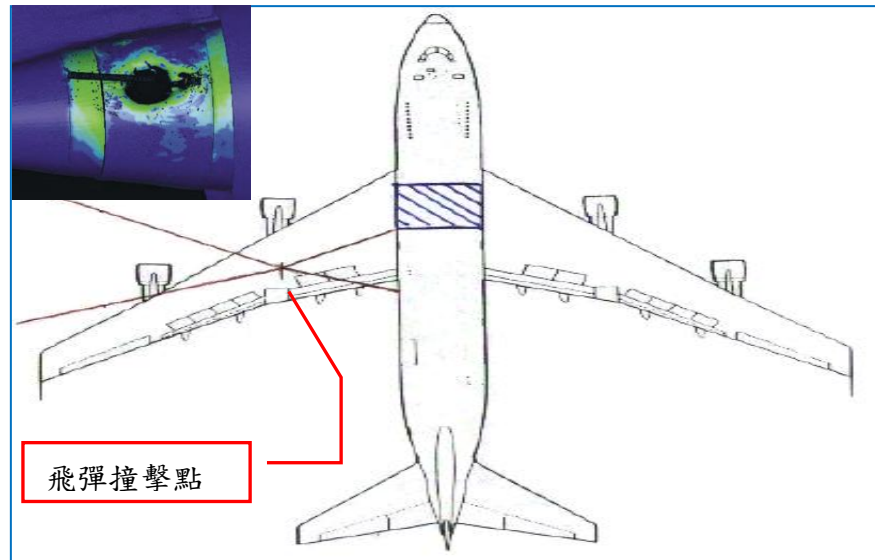
圖十四 刺針飛彈彈頭破片擴散密度表



資料來源：同圖十三，頁4。

舉例而言，若以一枚刺針飛彈攻擊大型航空器（如圖十五），如 A300 空中巴士，飛彈彈頭爆炸所產生的破片，造成飛機的破損範圍超過 634 平方英尺（約 8 公尺x8 公尺），然而約有 140 平方英尺（約 3.9 公尺x3.9 公尺）的受損區域為機翼下方的機腹位置，而這個部位也是破片密度最高的地方，同時也是代表破片穿刺力最強之處，該此處就會有 42 個破片，另外，就整個 634 平方英尺的範圍裡而言，整個機身將約有 330 個破片撞擊孔。

圖十五 大型航空器遭刺針飛彈攻擊之撞擊點



資料來源：如圖十三，頁 5。

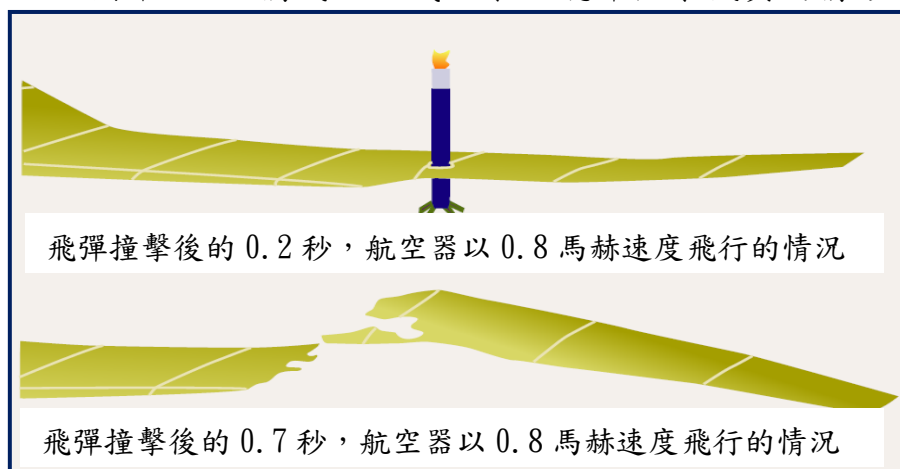
單一人攜式防空武器系統的彈頭破片平均重量約 10 公克至 40 公克，10 公克重的破片若要能夠刺穿飛機機殼，並撞擊到油箱，其所需速度必須超過 3500ft/s (約 1067m/s)，而 40 公克重的破片，速度則必須達到 2000 ft/s (約 610m/s) 才可以，當然這些數值都是破片以 90 度的垂直角度直接撞擊機身而言。

然而，彈頭破片要能夠撞擊到油箱，就必須要有理想的速度與角度，才能使彈頭破片具有足夠的穿刺力。舉例而言，以 40 公克重的彈頭破片採 60 度撞擊角度，其破片速度必須超過 4500ft/s (約 1372m/s) 才能穿刺油箱底部；當破片穿越過機殼後，會損失破片數量與速度，因此必須考量更高的速度。MSIC 研究指出，人攜式防空飛彈的彈頭破片速度最高可達到 9000ft/s (約 2744m/s)，而當彈頭爆炸產生的破片，速度會從 9000ft/s 銳減至 2000ft/s，換算穿刺距離約為 40 英尺 (約 12.2 公尺)，因此彈頭必須距離油箱 40 英尺內爆炸，才能夠產生足量的破片數量與速度來刺穿油箱，進而引發連鎖爆炸將目標擊殺。

同樣地，若以 40 公克重的彈頭破片和 60 度的穿刺角度來撞擊，其所需要的距離就為 17 英尺 (約 5.2 公尺)。這些數據顯示，人攜式防飛彈要將目標擊殺，其撞擊點必須距離油箱 (或油路) 5 至 12 公尺之間，這針對一般軍用的航空器 (定翼機、旋翼機) 有絕對性的可能，因為戰機機身限制在這個範圍左右，然而，若是對付大型的運輸機，依邏輯推測，存活的可能性極大。大型航空器不單單只靠一具引擎提供動力，而且撞擊點若未落在理想位置的話，還是有可能僥倖存活下來的，但在飛行期間的航空器遭到破損的傷害時，還得考量流體力學造成機身撕裂的效果，圖十六為 MSIC 以模擬方式，演算人攜式防空飛彈撞擊機翼後，

氣流造成機翼斷裂。因此，航空器若被人攜式防空飛彈擊後仍存活，應該可說非常稀少。

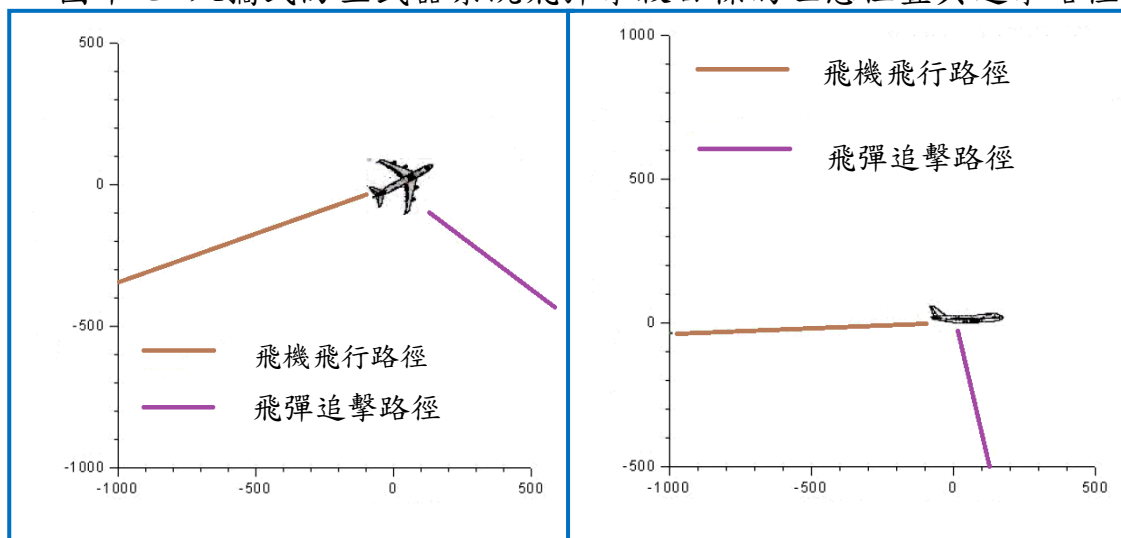
圖十六 人攜式防空武器系統飛彈撞擊機翼的情形



資料來源：Alex G. Kurtz and Dr. Ronald L. Hinrichsen, “Man-Portable Air Defense System (MANPADS) Analysis Methodology Development”, Aircraft Survivability summer 2006 (Arlington, United state), (2006), P6.http://jaspo.csd.mil/images/archive/pdf/2006_summer.pdf (2006/7/28)

另外，人攜式防空飛彈具備紅外線自動導引與射後不理之特性，因此使用上只要飛彈一旦發射後，就無法控制飛彈的撞擊點，飛彈在追擊與碰撞的設計上有一定的參數（或散佈差）存在，讓飛彈盡可能地朝理想位置撞擊。然而，依據美國飛彈與太空情報中心的研究發現，飛彈若朝目標的前側處發射的話，將會導致飛彈撞擊目標的翼側後方，能提供飛彈良好的撞擊角度與理想的彈頭引爆威力，而將飛彈達到將目標擊殺的可能性更趨近理想（如圖十七）。¹⁹

圖十七 人攜式防空武器系統飛彈擊殺目標的理想位置與追擊路徑



資料來源：如圖十三，頁 18-19。

¹⁹ 同註 18，頁 12。

四、人攜式防空武器系統與航空器的對決

人攜式防空武器系統的命中能力與殺傷力，在實際戰場有目共睹，於國際民航更是不得小覷，近 20 年美國聯合航空存活計畫室（Joint Aircraft Survivability Program Office, JAS）不斷藉由深入研究人攜式防空武器系統的特性，研製出能讓航空器順利存活的方法，因此航空器的性能越做越精良，反制飛彈的硬體設備也越卓越、更可靠，惟相關的花費亦會跟著提高數倍。相較之下，以一枚 300 多萬的人攜式防空武器系統飛彈對付上億元的飛機，可是相當划算的，這是以武器的本身價值而言，但若站在相互對抗的角度就又是另一個學問，基本上這前提得建立在雙方都能互相遭遇的環境下才有可能成立。

以兵棋推演的參數資料方式來呈現，單一架航空器在面對人攜式防空武器系統的威脅時，其影響航空器戰場存活率的要素可區分為被飛彈擊中的機率與航空器本身的脆弱性；以數學公式呈現就是 $P_S = 1 - P_H \times P_{K/H}$ ；²⁰ P_S 指的就是航空器戰場存活率，而 P_H 指的是被敵方飛彈擊中的機率， $P_{K/H}$ 就代表著被單一枚飛彈擊中後導致墜毀或陣亡的可能性。

美空軍在任務出勤前會評估敵方所佈署的防空武器，計算本身航空器的威脅值以統計出存活率，若以刺針飛彈而言，其 P_H 命中率數值在前文中所提到的為 79%，而 $P_{K/H}$ 可統計出為 89%，所以單一航空器在面對刺針飛彈的威脅時，其航空器戰場存活率就是 $1 - 79\% \times 89\% = 0.2969$ ，存活率也就是大約只有 29% 而已。前述資料僅是武器系統與航空器兩者間一對一對決時所計算出來的結果，若再結合其他環境因素、佈署數量與任務屬性，或是配合其他遠程防空武器都可能影響存活率數值的改變，這些數字所計算出來的結果都可顯示短程防空飛彈系統擔任要點防空的重要性與價值。

肆、結語

美軍在過去的各場戰役中，將防空武器－刺針飛彈發揮至極致，從單人肩射式的刺針飛彈，改良至可運用於適應戰場環境的各型防空武器系統，除了本軍使用的復仇者飛彈系統與雙聯裝刺針飛彈系統外，還有近年來在伊拉克戰爭與科索沃衝突事件中表現傑出的布萊德雷戰鬥車（如圖十八）等，²¹都是可將單一武器系統結合其他載台的最佳典範。

國軍國防預算有限，陸基防空武器提升及籌獲不易，面對中共國防預算每年呈跳躍式的成長，軍備發展趨向不對稱。現任美軍的第 82 空降師騎兵部隊指揮官的卡迪西在著作提及：「不對稱作戰乃是科技劣勢的團體

²⁰ Bob Hood and Bryan Pilati, "Crashworthiness—An Army Science and Technology Perspective," Aircraft Survivability spring 2009 (Arlington, United state), (2009), P16.

²¹ 大衛梅茲與威廉黑德著，趙宏斌譯，《空中用兵紀實》（台北：國防部史政編譯室，民國 94 年 10 月），頁 384。
第 14 頁，共 16 頁

與國家，對抗強權的最有效與最合理的方法」，又以自己的參戰經驗提出令人折服的結論：「科技在游擊戰、城鎮戰、維和作戰與崎嶇地區戰鬥中，選擇的武器仍應是為數甚多且經過良好訓練的單兵人員」。²²另外從阿富汗戰爭中的經驗可以明確地驗證，擁有科技的優勢不一定能保證勝利，因為對抗每一種科技優勢都有因應之道。在該戰役於 1986 年 4 月由美國提供阿富汗反抗軍刺針飛彈，以抗衡科技佔優勢的蘇聯，因妥善的運用刺針飛彈的科技，成功重創蘇軍，據統計蘇軍的航空器共折損了 118 架噴射機與 333 架直昇機。未來國軍野戰防空的發展，應強化視距外的精準作戰能力，尤以中、短程機動車載式飛彈系統的研發與創新，才能確保防空武力之存活並達成防空作戰之目標，²³並將現有之刺針飛彈加以研製適合單兵操作的肩射型，以利我方運用城鎮地形，使國軍揚長避短、超出常規的打擊共軍優勢的武裝力量。

圖十八 美軍將刺針飛彈與履帶甲車結合的布萊德雷防空武器系統



刺針飛彈發射架

資料來源：陸軍飛彈砲兵學校首頁-軍事圖庫

http://www.aams.edu.mil.tw/newsite/army_images.html (2013/12/2)

參考文獻

- 一、Anthony H. Cordesman 著，黃淑芬、胡元傑譯，《伊拉克戰爭 II》（台北：國防部部長辦公室，民國 95 年 6 月）。
- 二、Alan J. Kuperman，〈The Stinger's Impact (Soviet- Afghan-War)〉，<http://www.militaryphotos.net/forums/archive/index.php/t-79176.html> (2004/8/23)
- 三、John McEwen Crescent, "MANPADS Countering the Terrorist Threat," (Australian strategic policy institute), (June 2008).
http://www.dfat.gov.au/security/MANPADS_counterind_terrorist_threat.pdf (2008/06/04)
- 四、Shripad P. Mahulikar, "Infrared signature studies of aerospace vehicles," Progress in Aerospace Sciences, (India), (2007).
- 五、Kevin Crosthwaite, "MANPADS Combat History," Aircraft Vulnerability to MANPADS Weapons, (Washington, United state), (1999).

²² Robert M. Cassidy 著，楊紫函譯，《戰略文化與不對稱衝突》（台北：國防部史譯編譯室，民國 93 年 8 月），頁 32。

²³ 胡敏遠，〈論析野戰戰略的「不對稱作戰」用兵理則〉《陸軍學術雙月刊》，第 48 卷第 523 期，(桃園：國防部陸軍司令部，民國 101 年 6 月)，頁 44。

- 六、 楊培毅，〈紅外線（IR）飛彈的追瞄原理與特性-以刺針飛彈為例〉《砲兵季刊》，第 157 期，（台南：陸軍砲訓部，民國 101 年第 2 季）。
- 七、 楊培毅，〈從野戰防空之人攜式防空武器戰史中研析航空器紅外線特性〉《陸軍砲兵季刊》，第 162 期，（台南：陸軍砲訓部，民國 102 年第 3 季）。
- 八、 Mr. Anthony Lizza and Mr. Greg Czarnecki, “Low Vulnerability Technologies Building a Balanced Approach,” Aircraft Survivability Summer 1999, (Arlington, United states), (1999) .
- 九、 RAYTHEON MISSILE SYSTEMS, ” Raytheon FIM-92 Stinger man-portable anti-aircraft missile,” JEOS Jane's Electro-Optic Systems (United States), 2011.08.30.
- 十、 Ting Li Chang, “The IR missile (spin-scan and con-scan seekers) countermeasures,” Naval Postgraduate School Thesis” (Monterey, California), (1994,9) .
- 十一、 Burns, Alan Alexander , 〈 Aircraft defense system against manpads with IR/UV seekers 〉 ,
<http://www.patentstorm.us/patents/7523692/description.html> 。
- 十二、 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) 。
- 十三、 Robert Lyons, “Excellence in Survivability,” Aircraft Survivability fall 2010 (Washington, United state) , (2010) .
- 十四、 Doug Jackson , 〈 Aircraft Vulnerability to Missiles 〉 ,
<http://www.aerospaceweb.org/question/design/q0177.shtml> (2004.05.23)
- 十五、 Robert E. Ball, “Combining Safety and Survivability for Future Spacefaring” Aircraft Survivability Fall 2011 (Arlington, United state), (2011) , P12.
- 十六、 Dennis Crider, “MISSILE SELF DESTRUCT PERFORMANCE STUDY,” NATIONAL TRASPORTATION SAFETY BOARD (Washington DC) , 2000.04.13.
- 十七、 Bob Hood and Bryan Pilati, “Crashworthiness—An Army Science and Technology Perspective,” Aircraft Survivability spring 2009 (Arlington, United state) , (2009) .
- 十八、 大衛梅茲與威廉黑德著，趙宏斌譯，《空中用兵紀實》（台北：國防部史政編譯室，民國 94 年 10 月）。
- 十九、 Robert M. Cassidy 著，楊紫函譯，《戰略文化與不對稱衝突》（台北：國防部史譯編譯室，民國 93 年 8 月）。
- 二十、 胡敏遠，〈論析野戰戰略的「不對稱作戰」用兵理則〉《陸軍學術雙月刊》，第 48 卷第 523 期，（桃園：國防部陸軍司令部，民國 101 年 6 月）。

作者簡介

楊培毅士官長，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，現任職陸軍砲訓部防空組野戰防空小組士官長教官。