

# 復仇者飛彈系統發展歷史與未來性能提升之研究

作者：楊培毅

## 提要

- 一、1980 年代初期，波音公司防衛系統部門啟動了一項武器研發計畫，稱之為 PMS，PMS 為 Mobile Pedestal Mounted Stinger Air Defense System 的簡稱，英譯名稱為「機動式刺針平臺防空系統」，意思就是將刺針飛彈與機動載臺相結合，所以復仇者飛彈系統原本最初的名稱是由 PMS 而來，之後才改名稱之為復仇者（Avenger）。
- 二、英美兩國合作所整合的武器系統稱之為星紋復仇者，該系統所提升的性能，不僅能將原本復仇者的接戰能力擴大，亦因星紋飛彈為雷射導控因素，更能將系統對紅外線反反制的性能凸顯出來。
- 三、復仇者的定向能量武器（Directed Energy Weapon），初期的研發成果於 2008 年發表，能以高能雷射摧毀土製炸彈（Improvised Explosive Devices - IED）、未爆彈（Unexploded Ordnance - UXO）、空中無人載具（UAV）等目標。
- 四、波音公司自啟動 PMS 計畫以來，一直構想著將刺針飛彈安裝於陸海空三軍所使用之武器平臺，藉以推廣刺針飛彈的適用性，同時也積極提升各類型刺針飛彈以配合各載具整合運用。
- 五、國軍陸軍野戰防空武器中之「復仇者飛彈系統」為最先進的短程防空武器，在面臨中共航空科技快速成長的威脅下，亦是一場脆弱性與存活率的對決，然探討復仇者飛彈系統本身實質存在的弱點，將有助於未來系統性能提升與找出對應之策。國軍復仇者飛彈系統之脆弱性可從其外體結構、機動限制、火力發揚、性能提升等四個構面來探討。
- 六、目前國軍復仇者飛彈系統不管在面臨未來性能提升與整合新型刺針彈種部分，仍舊處於外體結構脆弱無法暴露於敵火之中，且因射程有限無法有效發揚火力與載重重心易受地形偏離翻覆等之窘境。
- 七、近期波音公司研討了美軍自阿富汗戰爭以來至伊拉克自由行動等戰役中所需要投入的武器裝備，更藉由 M6 布萊德雷裝甲車在城鎮戰中高度的存活性等優異性，希望能研發出一套可以整合所有武器的界面平臺（universal weapons interface, UWI），不僅可以應付空中威脅，更能將射程提升，還可抵抗地面的槍砲彈、火箭、迫砲甚至地雷等的攻擊，除此之外，該武器整合界面還可安裝於各式輪車、船艦或重要設施樓層之平臺上。
- 八、復仇者 AFPS（Adaptive Force Protection Solution）改良型的各項適應性可做為未來國軍野戰防空武器的發展指標，多重武器整合平臺概念，不僅能將單

一武器的限用缺點，提升成多層用途的武器系統，更能節省龐大國防預算。  
關鍵詞：復仇者飛彈系統、復仇者定向能量武器、脆弱性、復仇者 AFPS

## 前言

「復仇者飛彈系統」為美國陸軍戰鬥前緣防空（Forward Area Air Defense, FAAD）體系當中，擔任戰場前緣低層防空的重要武力，該系統由 1.25 噸 M1097A2 悍馬車與 AN/TWQ 飛彈塔所組成，武器系統則由 8 枚刺針飛彈與一挺 200 發之五〇機槍所組成，復仇者飛彈系統（如圖一）具有高度機動性、靈活性與反應敏捷性，不僅可快速部署與迅速完成構築防空體系的低空環節，且不受天候影響，可於晝夜間實施接戰，並具備行進間射擊能力，系統亦可採遙控射擊方式接戰，藉以提升人員戰場存活率。<sup>1</sup>

復仇者飛彈系統所使用的刺針飛彈，參戰紀錄可追溯於 1980 年代阿富汗戰爭與福克蘭戰爭，及印度與巴基斯坦的卡吉爾戰爭，而在近十年的軍事行動中，如 2001 年的 911 攻擊事件期間，在五角大廈周邊，還有在波灣戰爭與伊拉克的自由行動中，美軍也都部署了復仇者飛彈系統來執行防空任務。<sup>2</sup>1999 年初期雷神公司透過美國陸軍第一次出口賣給其他國家，而中華民國就是首批獲得這套系統的海外國家，為野戰防空部隊新增現代化武器與戰力，之後復仇者飛彈系統亦在印度、智利、南韓、捷克、波蘭等其他國家相繼服役，而目前全世界共有 29 個國家的國防戰力正在使用著該系統的刺針飛彈，更在過去的戰史上曾經有 300 架以上的航空器曾都被刺針飛彈擊落過，<sup>3</sup>據美方官方數據統計，刺針飛彈的產量距今已超過了 70,000 枚之多。然考量目前的戰場變化迅速與軍武科技的飛進，筆者認為有必要探討復仇者飛彈系統發展歷史與未來性能提升。

圖一 復仇者飛彈系統實彈射擊實況



資料來源：作者拍攝

<sup>1</sup> 《復仇者飛彈系統操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 90 年 7 月 16 日），頁 1-2。

<sup>2</sup> JDW Jane's Defence Weekly, 〈STINGER SAM〉, [http://10.22.155.231/File/?File=&Gid=REC\\_01641603&Sess=7bcb6081-9170-4eef-9f0c-659b76467408&IntSec=/wB4EhOukNsuoKztC1pIYbjp9jw=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=&Gid=REC_01641603&Sess=7bcb6081-9170-4eef-9f0c-659b76467408&IntSec=/wB4EhOukNsuoKztC1pIYbjp9jw=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1991/10/12)

<sup>3</sup> 唐信賢，〈世界先進野戰防空系統構型分析〉《砲兵季刊》（臺南），第 152 期，陸軍砲訓部，民國 100 年 3 月 20 日，頁 20。

## 復仇者飛彈系統研製歷史

1980 年代初期，波音公司防衛系統部門啟動了一項武器研發計畫，稱之為 PMS，PMS 為 mobile Pedestal Mounted Stinger Air Defense System 的簡稱，英譯名稱為「機動式刺針平臺防空系統」，意思就是將刺針飛彈與機動載臺相結合，所以復仇者飛彈系統原本最初的名稱是由 PMS 而來，之後才改名稱之為復仇者（Avenger）。<sup>4</sup>這項武器研發是由美陸軍與波音公司所共同參與研製而成，從系統設計概念到裝備成型，才僅僅花費短短 10 個月的時間，武器是採用當時世界上最出名的人攜式防空武器，由雷神公司所研製的刺針飛彈（如圖二），車載平臺亦是選擇世界上最好用的軍用重型高機動多用途輪式車輛－悍馬車（HMMVV），這兩種裝備所結合而成的防空武器系統，不僅使雙方的優勢層疊，更能將武器性能倍增到極佳化。

1984 年 5 月美國陸軍將該系統以 3 枚刺針飛彈進行測試射擊評估，而設定所射擊的目標，均為較難接戰且移動快速的彈道空中靶標（Ballistic Aerial Target, BAT），亦就是俗稱的靶彈，首發射擊以時速每小時 32 公里的車速實施行進間射擊，獲得直接命中之射效；第二枚採系統固定放列方式於夜間射擊，亦獲得直接命中之射效；第三枚則在雨天環境實施行進間射擊，得到戰術擊殺（tactical kill）的射效，這三名擔任測試射擊的射手均未曾具備過任何的實彈射擊經驗，這不僅驗證了波音公司當初所設計的車載式復仇者飛彈系統符合了操作的便利性，也更彌補了肩射式刺針飛彈在人為操作上的缺點。


1988 年 8 月，美國陸軍以 18.9 億美金向波音公司簽署了復仇者飛彈系統的購置合約，需求在未來的五年內，量產總共解繳 273 套復仇者飛彈系統，隔年 1989 年 7 月，美國陸軍又再次以 2.9 億美金，追加購置了 39 套復仇者飛彈系統，<sup>5</sup>而在 1989 年 8 月，美國陸軍防空部門的測試評估統計報告顯示，在接戰 178 架的旋翼機與定翼機當中，就有 171 架命中的高評價射效。<sup>6</sup>直至 1993 年 1 月之間的總數統計，美國陸軍總共向波音公司訂製了 1,004 套的復仇者飛彈系統，其中 767 套系統分配於美國陸軍與國民兵使用，另外 237 套系統分配於美軍海陸兩棲部隊使用，以擔任國土防衛角色。

<sup>4</sup> JDW Jane's Defence Weekly, 〈Pedestal Mounted Stinger Air Defense System〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01497893&Gid=REC\\_01497893&Sess=5b29379f-6647-46e8-8f8c-d886faf860d8&IntSec=my4tu/GxcGNipBR09Bx45XOaOrI=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01497893&Gid=REC_01497893&Sess=5b29379f-6647-46e8-8f8c-d886faf860d8&IntSec=my4tu/GxcGNipBR09Bx45XOaOrI=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1988/09/12)

<sup>5</sup> JDW Jane's Defence Weekly, 〈US ARMY ORDERS 39 MORE PMS/AVENGER UNITS〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01494593&Gid=REC\\_01494593&Sess=1bb676d7-ee80-43d1-8ec0-e8a3d06a94cc&IntSec=z4XKEJeCPno9zIkWGUz7wwzCEZY=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01494593&Gid=REC_01494593&Sess=1bb676d7-ee80-43d1-8ec0-e8a3d06a94cc&IntSec=z4XKEJeCPno9zIkWGUz7wwzCEZY=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1988/04/23)

<sup>6</sup> John pike, 〈FIM-92A Stinger Weapons System: RMP & Basic〉, <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/stinger.htm>。(2000/08/09)

圖二 刺針飛彈與性能諸元

	尋標器導引方式	信管/彈頭	速度	接戰距離 (公尺)	射高 (公尺)	攻擊類型
	被動紅/紫外線 雙重尋標	碰撞信管/ 高爆彈頭	2.2 馬赫	200   6000	3800	地對空

資料來源：JNWS Jane's Naval Weapon Systems，〈FIM - 43 Redeye/FIM - 92 Stinger (United States)〉，[http://janes.mil.tw:80/intraspe/intraspe.dll?Goto&GID=JNWS\\_JNWS0188m](http://janes.mil.tw:80/intraspe/intraspe.dll?Goto&GID=JNWS_JNWS0188m)。(2014/09/30)

## 復仇者飛彈系統構型變更武器介紹

### 一、星紋復仇者 (Starstreak Avenger)

1991 年 10 月，美國波音公司為了「測試」復仇者飛彈系統與其他飛彈系統的整合能力，特別與英國車載式的星紋飛彈 (Starstreak) 相互結合，載具構型保持原來所使用的 1.25 噸 M1097A2 型悍馬車，射塔方面亦使用原本的 AN/TWQ - 1 飛彈塔，構型所變更的地方只有飛彈發射架與火控單元電子元件部分，此次的英美兩國合作所整合的武器系統稱之為星紋復仇者 (如圖三)，該系統所提升的性能，不僅能將原本的接戰能力擴大，亦因星紋飛彈 (如圖四) 為雷射導控因素，更能將系統對紅外線反反制的性能凸顯出來；然而可惜的是，整合的結果並未受到其他國家的青睞，得不到任何資金的贊助因而結案。<sup>7</sup>


圖三 星紋復仇者



資料來源：International Defense Review，〈STARSTREAK MAKES FIRST WITH AVENGER〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01501598&Gid=REC\\_01501598&Sess=cb399c55-088d-4ff9-b723-f45192695034&IntSec=2F3Mo3XH1qtSeqhivEiy1QDBuZ0=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01501598&Gid=REC_01501598&Sess=cb399c55-088d-4ff9-b723-f45192695034&IntSec=2F3Mo3XH1qtSeqhivEiy1QDBuZ0=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1991/10/01)

<sup>7</sup> International Defense Review，〈STARSTREAK MAKES FIRST WITH AVENGER〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01501598&Gid=REC\\_01501598&Sess=cb399c55-088d-4ff9-b723-f45192695034&IntSec=2F3Mo3XH1qtSeqhivEiy1QDBuZ0=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01501598&Gid=REC_01501598&Sess=cb399c55-088d-4ff9-b723-f45192695034&IntSec=2F3Mo3XH1qtSeqhivEiy1QDBuZ0=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1991/10/01)

圖四 星紋飛彈與性能諸元


	尋標器導引方式	信管/彈頭	速度	接戰距離 (公尺)	射高 (公尺)	攻擊類型
	雷射導引	碰撞/近發高爆彈頭	3.5 馬赫	300   7000	3800	地對空

資料來源：同圖三

## 二、守護者防空系統 (Guardian Air Defense System)

1992 年末，美國波音公司再度向海外其他國家尋求合作，藉以宣揚復仇者飛彈系統的整合適應性能力，這次整合的對象為法國的西北風飛彈（如圖五），武器名稱為守護者防空系統，該系統構型變更的地方，僅在飛彈發射架上小幅度的變更，將原本 2 組 4 聯裝的刺針發射架，改為 2 組 3 聯裝的西北風發射架（如圖六），其載具與射塔的火控電子元件，均使用原來復仇者飛彈系統上的各項模組。<sup>8</sup>而守護者防空系統的設計，除了保留原先復仇者飛彈系統的性能外，其最主要的目的就是，希望藉由與他國合作，期能獲得更多的研發資金。

圖五 西北風飛彈與性能諸元

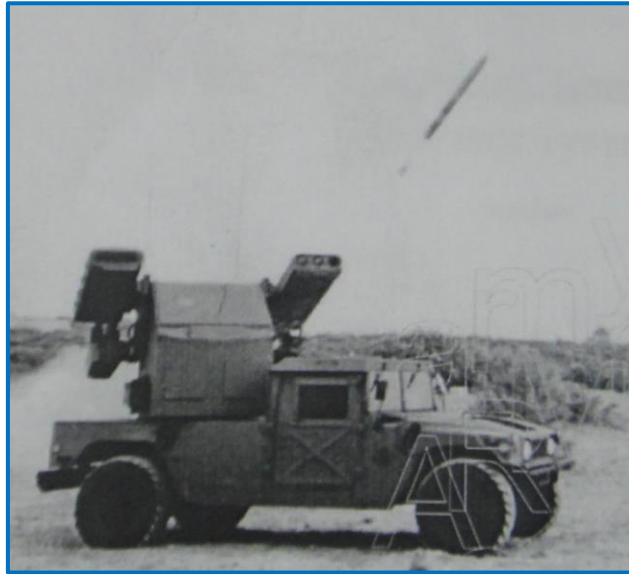
	尋標器導引方式	信管/彈頭	速度	接戰距離 (公尺)	射高 (公尺)	攻擊類型
	被動紅外線導引	碰撞/近發 1 公斤高爆彈頭	2.5 馬赫	300   6000	3000	地對空



資料來源：Land Warfare Platforms: Artillery & Air Defence，〈Mistral - 1〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01501605&Gid=REC\\_01501605&Sess=5de2b378-6f87-4dde-b072-971aebd71a33&IntSec=6H/fXMUb25gJiwsW2uwaDTtQqTA=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01501605&Gid=REC_01501605&Sess=5de2b378-6f87-4dde-b072-971aebd71a33&IntSec=6H/fXMUb25gJiwsW2uwaDTtQqTA=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(2016/03/15)

<sup>8</sup> C4ISR&MISSION SYSTEM: LAND，〈Matra BAe Dynamics, Boeing Guardian air defence system〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01557958&Gid=REC\\_01557958&Sess=49c25c62-db40-4837-be8a-8f5c6223350b&IntSec=WqmJWbZUU2s3v2HS0vpvcjQMxAQ=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01557958&Gid=REC_01557958&Sess=49c25c62-db40-4837-be8a-8f5c6223350b&IntSec=WqmJWbZUU2s3v2HS0vpvcjQMxAQ=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(2005/07/09)

圖六 守護者防空系統



資料來源：C4ISR&MISSION SYSTEM：LAND，〈Matra BAe Dynamics, Boeing Guardian air defence system〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01557958&Gid=REC\\_01557958&Sess=49c25c62-db40-4837-be8a-8f5c6223350b&IntSec=WqmJWbZUU2s3v2HS0vpvcjQMxAQ=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01557958&Gid=REC_01557958&Sess=49c25c62-db40-4837-be8a-8f5c6223350b&IntSec=WqmJWbZUU2s3v2HS0vpvcjQMxAQ=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)（2005/07/09）

### 三、雷射復仇者（Laser Avenger）

2007 年 9 月，波音公司開始斥資千萬著手研發未來性武器，研發構想是將千瓦等級以上的高能雷射發射器安裝於復仇者 AN/TWQ-1 飛彈塔上，希望能達到下至可以讓人致盲，上至摧毀無人機、火箭彈，甚至巡弋飛彈的功效。系統的研發與性能測試全都在美國阿拉巴馬州的紅石兵工廠執行，該案計畫名稱為 Avenger-DEW，意思就是復仇者的定向能量武器（Directed Energy Weapon），初期的研發成果於 2008 年發表，可成功地以高能雷射摧毀應急爆炸裝置（Improvised Explosive Devices - IED）、未爆彈（Unexploded Ordnance - UXO）等目標，以及兩架靜止不動的空中無人載具（UAV）。

2009 年 1 月，波音公司已將雷射復仇者（如圖七）發展到可對移動式的空中無人載具進行攻擊並將之摧毀，然在新墨西哥州的白沙射擊紀錄中，並未確實對外發表雷射復仇者的實際接戰距離。<sup>9</sup>高能雷射武器的運用原理，就是將具有高能雷射光束照射在目標上，使其產生極高的溫度，藉以達到將目標的控制電子元件燒毀使其運作失效，或將目標的燃料、火藥點燃使之爆炸。雷射武器在戰場上的應用，因受到國際法的制約，早在 1980 年的「日內瓦條約」就已宣布致盲性雷射武器的非法性，波音公司因此在往後的研發過程中，不得不重新考量未來雷射復仇者的設計方向。

<sup>9</sup> JDW Jane's Defence Weekly，〈Laser Avenger〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01571235&Gid=REC\\_01571235&Sess=bed70c0d-e9cd-416a-a942-5dff8563d197&IntSec=tHTbdtIvdxpaJY5D7wrtSozTXcM=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01571235&Gid=REC_01571235&Sess=bed70c0d-e9cd-416a-a942-5dff8563d197&IntSec=tHTbdtIvdxpaJY5D7wrtSozTXcM=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。（2015/06/30）

圖七 雷射復仇者



資料來源：同註 9。

#### 四、其他機動式刺針平臺防空系統

波音公司自啟動 PMS 計畫以來，一直構想著將刺針飛彈安裝於陸海空三軍所使用之武器平臺，藉以推廣刺針飛彈的適用性，同時也積極提升各類型刺針飛彈以配合各載具整合運用。

(一) 布萊德雷刺針戰鬥車 (Bradly Stinger Fighting Vehicle - BSFV)<sup>10</sup>：美國自波灣戰爭結束後，波音公司開始著手提升 M2A2 布萊德雷裝甲車之性能以符合 21 世紀的戰場需求，於 1995 年研發出首輛布萊德雷刺針戰鬥車 (BSFV)，稱之為 M6 布萊德雷後衛者 (Bradly Linebacker)，直至 1999 年底，波音公司總共解繳 99 套後衛者給美陸軍使用。基本上，M6 型的後衛者就是將 M2A2 布萊德雷裝甲車的拖式飛彈發射架，換裝成一具 4 聯裝的刺針發射架，並將內部原先可存放拖式飛彈的空間改為可儲存 6 枚刺針飛彈的空間，其餘武裝主要計有一門擁有 300 發彈藥的 25 釐米火炮與一挺 7.62 釐米機槍與 3600 發機槍彈，布萊德雷刺針戰鬥車 (如圖八) 不僅比復仇者飛彈系統擁有更強大的火力，其越野能力、防護力與戰場存活率更是所向披靡。

(二) 空射型刺針飛彈 (Air to Air Stinger - ASTAS)<sup>11</sup>：雖然雷神公司於 1972 年早就開始啟動地對空刺針飛彈的研發計畫，從單兵肩射型到各型機動載具都

<sup>10</sup> JMR Jane's Missiles and Rockets, 〈US ARMY GETS FIRST M6 BRADLEY LINEBACKER AIR DEFENCE SYSTEM〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01679928&Gid=REC\\_01679928&Sess=91477540-518e-459f-b226-ee605a9fe603&IntSec=Htg9IBjMilEE4wZq2s4ZYTx/q5k=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01679928&Gid=REC_01679928&Sess=91477540-518e-459f-b226-ee605a9fe603&IntSec=Htg9IBjMilEE4wZq2s4ZYTx/q5k=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1998/01/01)

<sup>11</sup> Jane's Air-Launched Weapons, 〈FIM-92 Stinger (air-to-air Stinger, ATAS)〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01307243&Gid=REC\\_01307243&Sess=7f5dff40-e65d-4167-af52-8984db071d1b&IntSec=Dl2lzbYmlQO5DPf2UffafT/bCy4=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01307243&Gid=REC_01307243&Sess=7f5dff40-e65d-4167-af52-8984db071d1b&IntSec=Dl2lzbYmlQO5DPf2UffafT/bCy4=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(2015/06/27)

持續著研改其性能，1978 年曾經將地對空的刺針發射軌條安裝於直升機上進行試射，可是整個空射型刺針飛彈的工程案延至 1984 年才正式開始，自 1988 年起，各式的戰鬥直升機當中就有些已陸續開始運用空射型的刺針飛彈（如圖九），近期美軍與我國的 AH - 64 阿帕契攻擊直升機上，亦都有裝掛著空射型刺針飛彈的發射軌條，直至今日為止，空射型的刺針飛彈也相繼地在各國直升機上使用。

（三）艦載型刺針飛彈（Naval Stinger）<sup>12</sup>：船射型刺針飛彈（如圖十）的構型，是英國洛德瑪克與美國雷神公司相互合作所研發出來的武器，該系統整合的方式非常簡易，就是將英國洛德瑪克所研發的光電自動追瞄系統與美國刺針的標準型車裝發射架結合在一起，船射型刺針飛彈可安裝於一般巡邏艇或大型船艦上，該系統採人工射擊方式，其光電追瞄系統具有 20 公里的目獲搜索距離。

圖八 布萊德雷刺針戰鬥車



資料來源：同註 9。

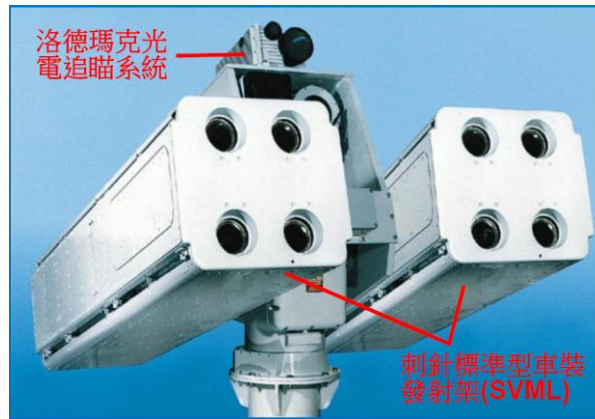
圖九 戰鬥直升機裝掛空射型刺針飛彈



資料來源：同註 9。

<sup>12</sup> JDW Jane's Defence Weekly，〈NAVAL STINGER LAUNCHER〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01670398&Gid=REC\\_01670398&Sess=7f5dff40-e65d-4167-af52-8984db071d1b&IntSec=D12lzbYmlQO5DPf2UffafT/bCy4=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376\(1998/11/09\)](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01670398&Gid=REC_01670398&Sess=7f5dff40-e65d-4167-af52-8984db071d1b&IntSec=D12lzbYmlQO5DPf2UffafT/bCy4=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376(1998/11/09))

圖十 艦載型刺針飛彈



資料來源：同註 9。

### 復仇者飛彈系統之脆弱性評估

脆弱性（Vulnerability）的名詞定義，為武器系統無法承受敵方人為攻擊之能力，<sup>13</sup>此一詞常見於航空器設計之發展理念中，其基本架構的概念就是運用科技或戰術將武器系統的脆弱性削減（Vulnerability Reduce, VR），然而 VR 就是移除本身之脆弱性以求得生存為目標，亦或者減輕由敵武器攻擊所產生的潛在傷害，使之能夠持續執行作戰並完成任務，甚至能夠返回基地。

任何武器系統都有某些特定的弱點，而這些弱點（也稱脆弱性）若曝露於戰場上，將致使自身的存活率（Survivability）降低，並重大的影響作戰效益，所以將武器系統的脆弱性降低，不僅可將火力充沛的發揚之外，更有助於戰場存活率的提升，然綜觀全球軍事武器發展歷史的進度中，就屬航空界發展最為迅速，因為軍事科學家在設計航空器這塊領域裡都一直在探討著存活率的提升與脆弱性的降低。

國軍陸軍野戰防空武器中之「復仇者飛彈系統」為最先進的短程防空武器，在面臨中共航空科技快速成長的威脅下，亦是一場脆弱性與存活率的對決，依評估中共未來可能循序按「導彈攻擊」、「空中戰役」、「戰役轟炸」、「空機降與直升機作戰」等空中行動進程，<sup>14</sup>逐步摧毀國軍重要作戰資產之威脅下，然探討復仇者飛彈系統本身實質存在的弱點，有助未來性能提升與找出對應之策。

作者從航空器之脆弱性削減（VR）之設計方向為構面，探討復仇者飛彈系統實質存在之脆弱性，所有武器系統的發展從設計到生產階段都對於脆弱性有取捨之間的掙扎，但最終所要面臨的還是對抗雙方兩者間的科技競爭，簡言舉例，汽車若要跑得快，第一要件就取決於汽車引擎的性能，而第二要件就是得

<sup>13</sup> Ken Branham, "Vulnerability Reduction (VR) Overview and Recent JASP Investments," Aircraft Survivability Fall 2012, (Arlington, United states), (2012), P37。

<sup>14</sup> 湯凱昱上尉、張晉銘聘員，〈垂直發射防空武器系統運用於野戰防空之研析〉《砲兵季刊》（臺南），第 164 期，陸軍砲訓部，民國 103 年 3 月 20 日，頁 63。

減輕汽車本身重量，但若少了堅硬又笨重的鋼骨，其本身的抗撞性能將會跟著降低許多；而軍事武器系統所要考量的要點就更為複雜些，因為其所設計的考量除了武器本身的特性外，還更需要顧及敵方對我的反制措施。國軍復仇者飛彈系統之脆弱性可從其外體結構、機動限制、火力發揚、性能提升等四個構面來探討，以下為各構面介紹。

## 一、外體結構

復仇者飛彈系統之悍馬車結構為鋁合金車體構造，<sup>15</sup>而為減輕悍馬車所承載全裝彈藥之重量，其飛彈塔設計為蜂巢狀木質結構與化合物所塑造而成，整套系統從上到下無任何防彈、抗破片、防爆之能力，美軍準則 FM 44 - 100 - 2 中亦說明了復仇者飛彈系統不可暴露於直接火力、輕兵器（small arms）與間接火力之下，<sup>16</sup>因此就單以外部結構方面來說，整個系統的脆弱性極高，在城鎮戰中若遭遇敵地面突擊部隊之攻擊，人員與裝備的損傷將會嚴重影響戰場的存活率。

## 二、機動限制

復仇者飛彈系統載具為 1.25 噸 M1097A2 悍馬車，其原本的機動性能與爬坡能力，因加裝了高達 1.6 公尺且重達 2546 公斤的飛彈塔而受到極大的限制，<sup>17</sup>因此容易受行駛顛簸的坡度而改變其重心造成翻車事件（如圖十一）。為了防範翻車，復仇者飛彈系統的機動限制只能允許行駛 31 度（60%）的坡度，而單邊側輪只能允許行駛 22 度（40%）的邊坡（如圖十二），<sup>18</sup>因此若行經於臺灣山區的林間小道對復仇者飛彈系統而言是存在著高度風險的。

## 三、火力發揚限制

系統全武裝計有 8 枚刺針飛彈與 200 發的五〇機槍彈，飛彈有效射程 4000 公尺，最大射高 3800 公尺，而機槍有效射程 1850 公尺，基本上系統所能接戰的範圍就僅限於視距內的低空進襲目標，而機槍彈雖可彌補飛彈所發射的超仰死角與進行地面自衛戰鬥之用，但卻僅能射擊 12 秒就彈藥用罄。另外，若系統發生故障，因國軍無刺針飛彈的發射握把之編裝（如圖十三），就無法像美軍一樣可從發射架取下，裝上發射握把而變成人攜式刺針使用來持續遂行防空任務；此外，雖然復仇者飛彈系統的防空任務主要在執行要點防空或擔任友軍隨伴掩護之支援屬性，但自衛戰鬥能力有限，反而需要增加其他兵力與武器協助擔任

<sup>15</sup> 《復仇者飛彈系統操作手冊-第二版》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 99 年 11 月 10 日），頁 1-4。

<sup>16</sup> JOEL B HUDSON, AIR DEFENSE ARTILLERY REFERENCE HANDBOOK (Washington: Headquarters Department of the Army, 2000), P3-16。

<sup>17</sup> 《車載式復仇者防空飛彈武器系統導引飛彈控制中心操作手冊》（桃園：國防部陸軍後勤司令部譯印，民國 88 年 6 月），頁 7。

<sup>18</sup> 同註 15，頁 1-8。

地面防衛任務。

#### 四、性能提升限制

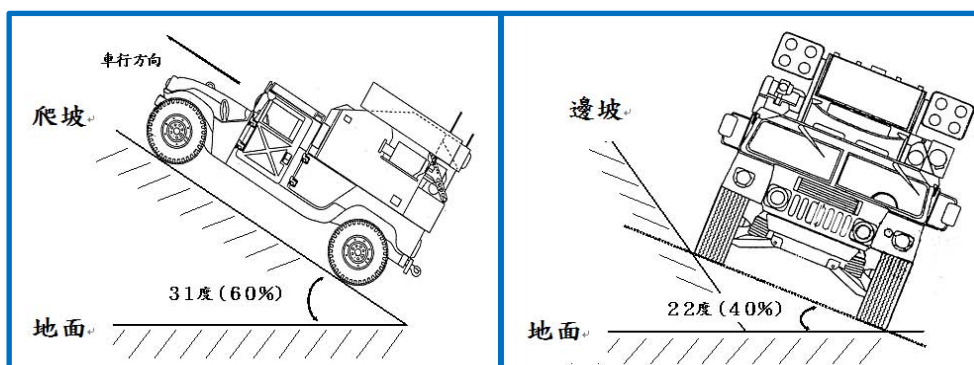
美軍所使用的刺針飛彈，從 FIM - 92A 至 FIM - 92G 型，共具 7 種類型並區分 4 個次代（如表一），<sup>19</sup>各分別供單兵肩射、各式陸行載具與旋翼機，以及無人載具使用。然本軍復仇者飛彈系統所使用的刺針彈種為 FIM - 92D 型，是屬於第三代的刺針飛彈，系統雖然可裝掛第一代至第三代的刺針飛彈使用，但未來若使用第四代的刺針飛彈，目前的復仇者系統將無法與新型彈種相容，原因是系統模組內部的射控電路 - 復仇者控制電子（ACE）、發射架電子總成（LEA）、介面電子總成（IEA）、標準型車裝發射架（SVML）等模組未經程式改寫提升更新，所以無法結合第四代的新彈種所使用的刺針通用發射架（SUL）（如圖十四）。依照刺針飛彈的沿革歷史（如圖十五），國軍復仇者所使用的 FIM - 92D 型彈種研發年代在 1989 年間，而其製造日期大部分也快屆滿 20 年，因此考量未來延續執行國土防衛任務，國軍復仇者飛彈系統所面臨的不僅是彈種老舊，跟不上現代科技問題，系統模組更換與性能提升更是一筆龐大的國防預算。

圖十一 復仇者飛彈車翻覆損毀照片



資料來源：作者拍攝

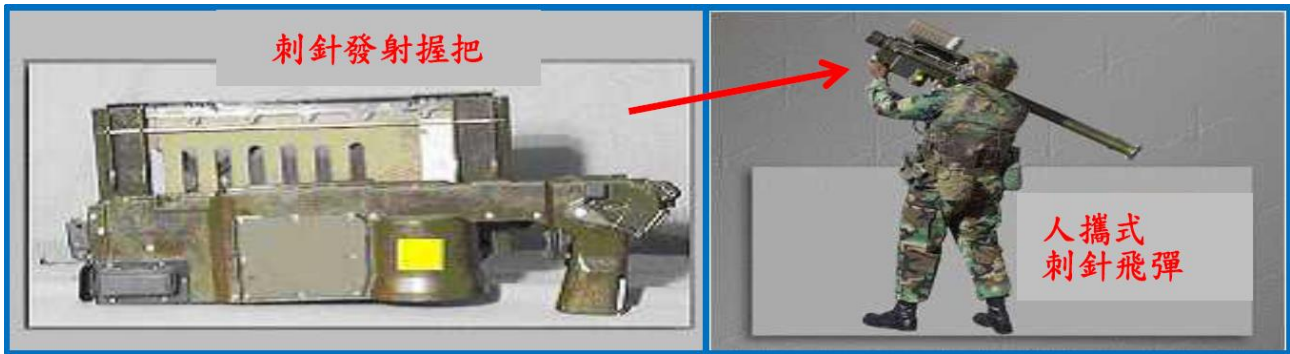
圖十二 復仇者飛彈車機動限制



資料來源：同註 15。

<sup>19</sup> JLAD Jane's Land-Based Air Defence, 〈FIM-92 Stinger (United States)〉, [http://janes.mil.tw:80/intraspex/intraspex.dll?Goto&GID=JLAD\\_JLAD0030](http://janes.mil.tw:80/intraspex/intraspex.dll?Goto&GID=JLAD_JLAD0030)。(2015/03/08)

圖十三 刺針飛彈發射握把



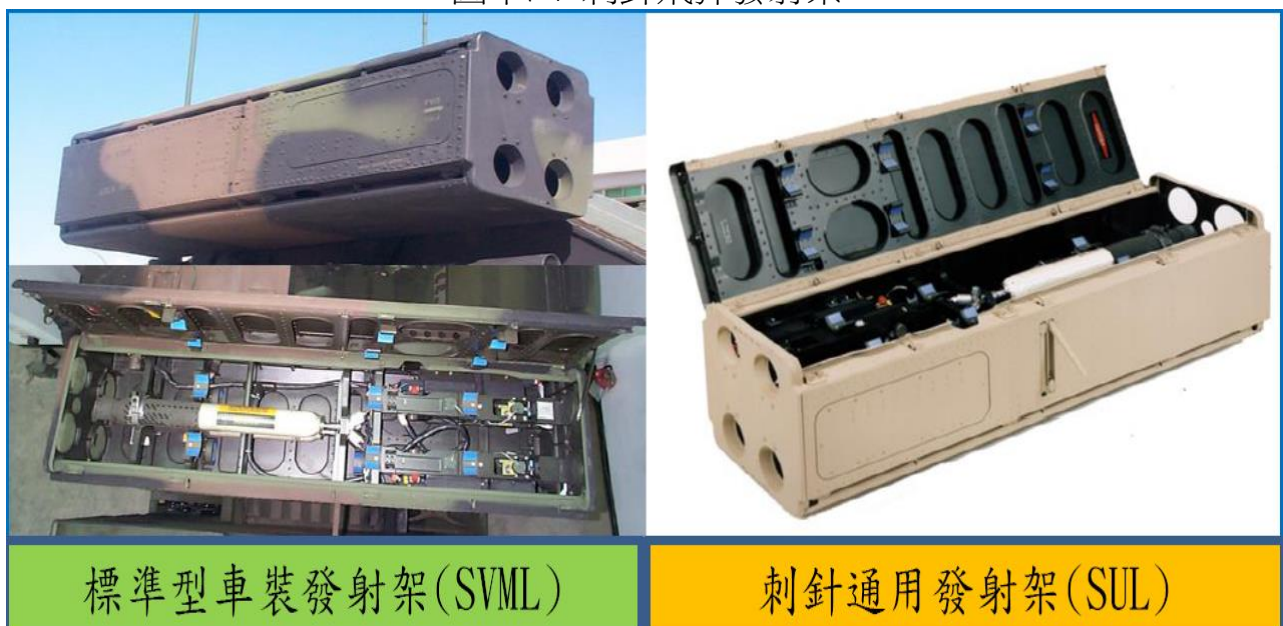
資料來源：(US Army Air Defense Artillery School Fort Bliss, Texas) ,〈INTRODUCTION TO MANPORTABLE AIR DEFENSE WEAPON SYSTEM〉, <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/accp/ad0575/>. (2011/08/16, p68)

表一 刺針飛彈歸類表

刺 針 年 代	分 類	尋 標 頭	說 明
第一代刺針飛彈 (地對空)	FIM-92A	紅外線尋標器	刺針基本型
第二代刺針飛彈 (地對空)	FIM-92B(POST) FIM-92C(RMP)	紅/紫線外線雙重尋標器	刺針-POST型 刺針-RMP型
第三代刺針飛彈 (地對空)	FIM-92D(RMP)	紅/紫線外線雙重尋標器 與紅外線反反制性能	自92C-RMP型 提升並加入IR 反反制性能
第四代刺針飛彈 (地對空/空對空)	FIM-92E至G (Block I/II)	紅外線影像尋標器	將92D-RMP 型,提升至Block I/II

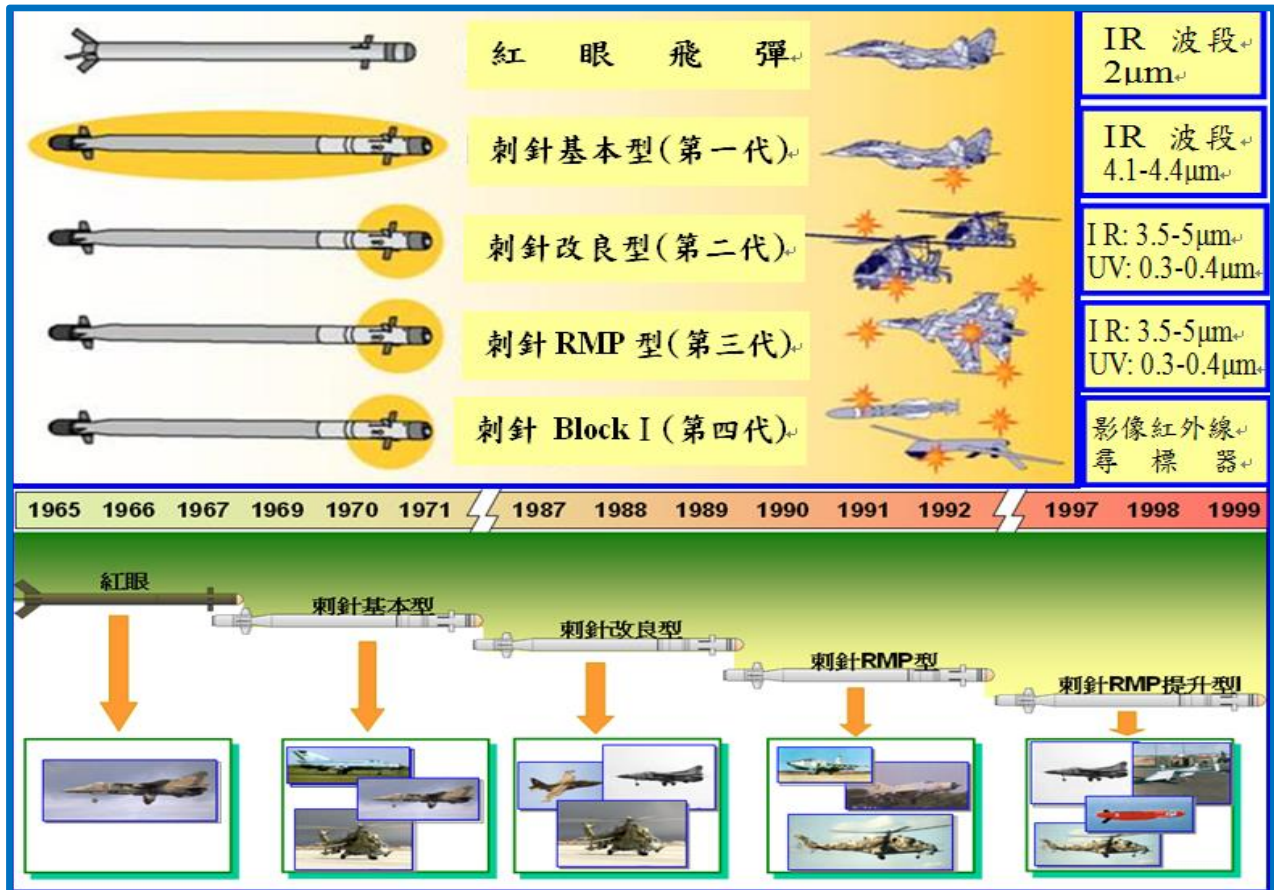
資料來源：JNWS Jane's Naval Weapon Systems ,〈FIM - 43 Redeye/FIM - 92 Stinger (United States)〉, [http://jane.s.mil.tw:80/intraspeX/intraspeX.dll?Goto&GID=JNWS\\_JNWS0188m](http://jane.s.mil.tw:80/intraspeX/intraspeX.dll?Goto&GID=JNWS_JNWS0188m)。(2014/09/30)

圖十四 刺針飛彈發射架



資料來源：同表一

圖十五 刺針飛彈的沿革歷史



資料來源：楊培毅，〈從野戰防空之人攜式武器系統戰史中研析航空器紅外線特性〉《陸軍砲兵季刊》（臺南），第 162 期，民國 102 年第 3 季，頁 60。

### 未來復仇者飛彈系統之構型變更

目前國軍復仇者飛彈系統不管在面臨未來性能提升與整合新型刺針彈種部分，仍舊處於外體結構脆弱無法暴露於敵火之中，且因射程有限無法有效發揚火力與載重重心易受地形偏離翻覆等之窘境，且依筆者近年來研究美軍戰史所獲得之資訊，復仇者飛彈系統雖曾參與波灣戰爭與伊拉克自由行動等戰役，但由於未遭遇任何低空防空威脅，實際上未曾發射過任何一枚刺針飛彈，僅使用復仇者飛彈系統上的前視紅外線接收器（FLIR），在陣地 12 公里內的周邊對空實施搜索與警戒。

其實波音公司早在 2006 年開始對復仇者飛彈系統進行了脆弱性評估，面對系統在戰場上僅能執行有限範圍的防空能力與欠缺強大的地面攻擊反制火力的缺陷中，不得不慎重考慮復仇者飛彈系統未來的發展與面對城鎮戰等適應之問題，因此著手設計能夠提升復仇者飛彈系統火力發揚的構想，最初的構型變更就是波音 - 復仇者多用途武器系統(Boeing - Avenger Multi - role Weapon System)

(如圖十六)，<sup>20</sup>該系統的設計藍圖就是保留原屬的刺針飛彈，再藉由一快拆界面將反裝甲武器與地面制壓性火力集中於一身，不僅能夠滿足執行國土防衛與海外部署的作戰能力，同時也能夠滿足反制敵人地面強大的攻擊火力，但全武裝後的載具配重對機動的影響與外體結構強化的不足，仍是該系統最大的致命缺點。

近期波音公司研討了美軍自阿富汗戰爭以來至伊拉克自由行動等戰役中所需要投入的武器裝備，更藉由 M6 布萊德雷裝甲車在城鎮戰中高度的存活性等優異性，希望能研發出一套可以整合所有武器的界面平臺 (universal weapons interface, UWI)，不僅可以應付空中威脅，更能將射程提升，還可抵抗地面的槍砲彈、火箭、迫砲甚至地雷等的攻擊，除此之外，該武器整合界面還可安裝於各式輪車、船艦或重要設施樓層之平臺上。

波音公司終於在 2014 年十月的年度軍事武器展示中，於華盛頓推出了復仇者 AFPS (Adaptive Force Protection Solution) 改良型，該系統可稱之為「重裝型 - 鋼鐵復仇者」(如圖十七)，武器的特點就如其名一樣，可整合所有武器。復仇者 AFPS 在防空方面可整合射程比刺針飛彈更遠的地對空 AIM - 9X 響尾蛇飛彈，在對地攻擊方面可整合地獄火飛彈與 2.75 英吋的導引火箭彈來反制敵人的地面攻擊，輕型 25mm 機槍可用來反制來自空中或地面目標的攻擊，系統更可掛載高能雷射武器來摧毀地面所埋藏的應急爆炸裝置、未爆彈甚至空中無人載具等，此外，各式武器的整合與裝卸也才僅僅數分鐘即可完成。

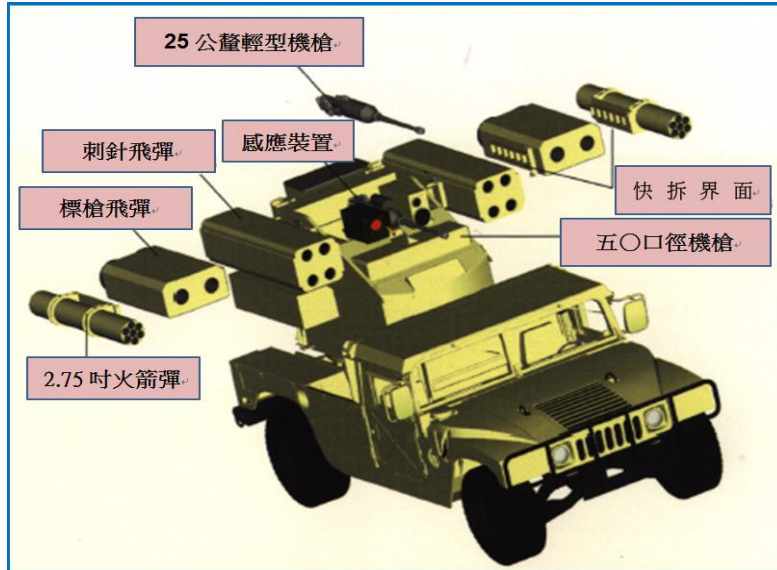
重裝型 - 鋼鐵復仇者不僅能彌補原始型復仇者飛彈系統在歷年來所存在的缺點，所使用的載具更是美軍最新型的 MATV (Mine - resistant, ambush - protected All - Terrain Vehicles) 系列輪車，在其外體的鋼骨結構上具有防彈抗爆功能，輪車底部更具備著能夠抵抗地雷的爆破能力。<sup>21</sup>復仇者 AFPS 的設計不僅是各式強大武器的融合，更能依戰場環境威脅，彈性地運用各式武器的選配，以應付所面臨的各種戰況。

---

<sup>20</sup> Defense Update Online Defense Magazine, 〈Avenger Mobile Air Defense System〉, <http://defense-update.com/products/a/avenger.htm>。(2009/7/13)

<sup>21</sup> Jerry Wilson(Boeing Defense, Space & Security), 〈Adaptive Force Protection Solution〉, [http://www.boeing.com/Features/2011/02/bds\\_versatile\\_vehicle\\_02\\_07\\_11.html](http://www.boeing.com/Features/2011/02/bds_versatile_vehicle_02_07_11.html)。(2014/10/18)

圖十六 波音 - 復仇者多用途武器系統 (Boeing - AMWS)



圖十七 重裝型 - 鋼鐵復仇者 (復仇者AFPS)



### 復仇者AFPS特點

1. 通用武器介面平臺。
2. 可遠端遙控操作。
3. 能夠整合各式武器。
4. 武器整備更換快速。
5. 健全的武器整合，以彌補單一武器的限制缺陷。
6. 可視戰場威脅，提供所需武器選配的運用。
7. 從系統原型提升至全武裝型。
8. 可安裝於固定平臺或安裝於各式的機動載具。

圖十八 復仇者AFPS可結合各式平臺



資料來源：圖十六、十七、十八來源同註 20。

## 結語

世界各國的先進國家仍不斷地致力於國防武力的發展，國軍野戰防空武器現有裝備如檉樹飛彈系統服役 28 年，復仇者與雙聯裝刺針飛彈系統均已服役 15 年，歷經科技的躍進，然電子裝備武器系統實有別於傳統之機械性槍砲武器，經不起歲月與科技運用的考驗，在面臨中共軍武發展的突飛猛進之巨浪，要擔起國土防衛的重責，更是項嚴苛的考驗。

雖然科技的優勢不一定能保證勝利，但國軍野戰防空武器實有提升的必要，才可擔負未來戰場的各项需求。就當前敵情威脅與防空部隊作戰任務而言，未來國軍野戰防空武器的發展，應強化視距外的精準作戰能力，尤以機動車載式中、短程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，<sup>22</sup>系統更須具備強大的地面攻擊火力，以防止遭敵地面部隊突圍攻擊，飛彈塔的設計也須能與各型平臺結合，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。復仇者 AFPS 的各项適應性（如圖十八）可做為我未來野戰防空武器的發展指標，多重武器整合平臺概念，不僅能將單一武器的限用缺點，提升成多層用途的武器系統，更能節省龐大的國防預算。

## 參考文獻

- 一、《復仇者飛彈系統操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 90 年 7 月 16 日）。
- 二、JDW Jane's Defense Weekly，〈STINGER SAM〉，[http://10.22.155.231/File/?File=&Gid=REC\\_01641603&Sess=7bcb6081-9170-4eef-9f0c-659b76467408&IntSec=/wB4EhOukNsuoKztC1pIYbjp9jw=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=&Gid=REC_01641603&Sess=7bcb6081-9170-4eef-9f0c-659b76467408&IntSec=/wB4EhOukNsuoKztC1pIYbjp9jw=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。（1991/10/12）
- 三、唐信賢，〈世界先進野戰防空系統構型分析〉《砲兵季刊》（臺南），第 152 期，民國 100 年 3 月 20 日。
- 四、JDW Jane's Defence Weekly，〈Pedestal Mounted Stinger Air Defense System〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01497893&Gid=REC\\_01497893&Sess=5b29379f-6647-46e8-8f8c-d886faf860d8&IntSec=my4tu/GxcGNipBR09Bx45XOaOrI=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01497893&Gid=REC_01497893&Sess=5b29379f-6647-46e8-8f8c-d886faf860d8&IntSec=my4tu/GxcGNipBR09Bx45XOaOrI=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。（1988/09/12）
- 五、JDW Jane's Defence Weekly，〈US ARMY ORDERS 39 MORE PMS/AVENGER UNITS〉，[http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01494593&Gid=REC\\_01494593&Sess=1bb676d7-ee80-43d1-8ec0-e8a3d06a94cc&IntSec=z4XKEJeCPno9z](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01494593&Gid=REC_01494593&Sess=1bb676d7-ee80-43d1-8ec0-e8a3d06a94cc&IntSec=z4XKEJeCPno9z)

<sup>22</sup> 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》（桃園），第 48 卷第 523 期，陸軍教導部，民國 101 年 6 月，頁 44。

- IkWGUz7wwzCEZY=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376。(1988/04/23)
- 六、John pike,〈FIM - 92A Stinger Weapons System: RMP & Basic〉, <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/stinger.htm>。(2000/08/09)
- 七、JNWS Jane's Naval Weapon Systems,〈FIM - 43 Redeye/FIM - 92 Stinger (United States)〉, [http://janes.mil.tw:80/intraspex/intraspex.dll?Goto&GID=JNWS\\_JNWS0188m](http://janes.mil.tw:80/intraspex/intraspex.dll?Goto&GID=JNWS_JNWS0188m)。(2014/09/30)
- 八、International Defense Review,〈STARSTREAK MAKES FIRST WITH AVENGER〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01501598&Gid=REC\\_01501598&Sess=cb399c55-088d-4ff9-b723-f45192695034&IntSec=2F3Mo3XH1qtSeqhivEiy1QDBuZ0=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01501598&Gid=REC_01501598&Sess=cb399c55-088d-4ff9-b723-f45192695034&IntSec=2F3Mo3XH1qtSeqhivEiy1QDBuZ0=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1991/10/01)
- 九、Land Warfare Platforms: Artillery & Air Defence,〈Mistral - 1〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01501605&Gid=REC\\_01501605&Sess=5de2b378-6f87-4dde-b072-971aebd71a33&IntSec=6H/fXMUb25gJiwsW2uwaDTtQqTA=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01501605&Gid=REC_01501605&Sess=5de2b378-6f87-4dde-b072-971aebd71a33&IntSec=6H/fXMUb25gJiwsW2uwaDTtQqTA=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(2016/03/15)
- 十、C4ISR&MISSION SYSTEM : LAND,〈Matra BAe Dynamics, Boeing Guardian air defence system〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01557958&Gid=REC\\_01557958&Sess=49c25c62-db40-4837-be8a-8f5c6223350b&IntSec=WqmJWbZUU2s3v2HS0vpvcjQMxAQ=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01557958&Gid=REC_01557958&Sess=49c25c62-db40-4837-be8a-8f5c6223350b&IntSec=WqmJWbZUU2s3v2HS0vpvcjQMxAQ=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(2005/07/09)
- 十一、JDW Jane's Defence Weekly,〈Laser Avenger〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01571235&Gid=REC\\_01571235&Sess=bed70c0d-e9cd-416a-a942-5dff8563d197&IntSec=tHTbdtIvdxpaJY5D7wrtSozTXcM=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01571235&Gid=REC_01571235&Sess=bed70c0d-e9cd-416a-a942-5dff8563d197&IntSec=tHTbdtIvdxpaJY5D7wrtSozTXcM=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(2015/06/30)
- 十二、JMR Jane's Missiles and Rockets,〈US ARMY GETS FIRST M6 BRADLEY LINEBACKER AIR DEFENCE SYSTEM〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01679928&Gid=REC\\_01679928&Sess=91477540-518e-459f-b226-ee605a9fe603&IntSec=Htg9IBjMilEE4wZq2s4ZYTx/q5k=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01679928&Gid=REC_01679928&Sess=91477540-518e-459f-b226-ee605a9fe603&IntSec=Htg9IBjMilEE4wZq2s4ZYTx/q5k=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(1998/01/01)
- 十三、Jane's Air - Launched Weapons,〈FIM - 92 Stinger (air - to - air Stinger, ATAS)〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01307243&Gid=REC\\_01307243&Sess=7f5dff40-e65d-4167-af52-8984db071d1b&IntSec=Dl2lzbYmlQO5DPf2UffafT/bCy4=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01307243&Gid=REC_01307243&Sess=7f5dff40-e65d-4167-af52-8984db071d1b&IntSec=Dl2lzbYmlQO5DPf2UffafT/bCy4=&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376)。(2015/06/27)
- 十四、JDW Jane's Defence Weekly,〈NAVAL STINGER LAUNCHER〉, [http://10.22.155.231/File/?File=REC\\_01670398&Gid=REC\\_01670398&Sess=7f5dff40-e](http://10.22.155.231/File/?File=REC_01670398&Gid=REC_01670398&Sess=7f5dff40-e)

65d - 4167 - af52 - 8984db071d1b&IntSec=D12lzbYmlQO5DPf2UffafT/bCy4=  
&Lic=654c2a70e38142c8974deb95f07e6376 (1998/11/09)

- 十五、Ken Branham, "Vulnerability Reduction (VR) Overview and Recent JASP Investments," Aircraft Survivability Fall 2012, (Arlington, United states), (2012)。
- 十六、湯凱昱上尉、張晉銘聘員，〈垂直發射防空武器系統運用於野戰防空之研析〉《砲兵季刊》(臺南)，第 164 期，陸軍砲訓部，民國 103 年 3 月 20 日。
- 十七、《復仇者飛彈系統操作手冊 - 第二版》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 99 年 11 月 10 日)。
- 十八、JOEL B HUDSON, AIR DEFENSE ARTILLERY REFERENCE HANDBOOK (Washington: Headquarters Department of the Army, 2000), P3 - 16。
- 十九、《車載式復仇者防空飛彈武器系統導引飛彈控制中心操作手冊》(桃園：國防部陸軍後勤司令部，民國 88 年 6 月)。
- 二十、(US Army Air Defense Artillery School Fort Bliss, Texas), 〈INTRODUCTION TO MANPORTABLE AIR DEFENSE WEAPON SYSTEM〉, <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/accp/ad0575/>. (2011/08/16, p68)
- 二十一、JLAD Jane's Land - Based Air Defence, 〈FIM - 92 Stinger (United States)〉, [http://janes.mil.tw:80/intraspex/intraspex.dll?Goto&GID=JLAD\\_JLAD0030](http://janes.mil.tw:80/intraspex/intraspex.dll?Goto&GID=JLAD_JLAD0030)。(2015/03/08)
- 二十二、Defense Update Online Defense Magazine, 〈Avenger Mobile Air Defense System〉, <http://defense-update.com/products/a/avenger.htm>。(2009/7/13)
- 二十三、Jerry Wilson (Boeing Defense, Space & Security), 〈Adaptive Force Protection Solution〉, [http://www.boeing.com/Features/2011/02/bds\\_versatile\\_vehicle\\_02\\_07\\_11.html](http://www.boeing.com/Features/2011/02/bds_versatile_vehicle_02_07_11.html)。(2014/10/18)
- 二十四、楊培毅，〈從野戰防空之人攜式武器系統戰史中研析航空器紅外線特性〉《砲兵季刊》(臺南)，第 162 期，陸軍砲訓部，民國 102 年 9 月 20 日。

### 作者簡介

楊培毅士官長教官，85 年由士兵轉服士官，86 年領導士官班 5 期，89 年野砲士高班 8 期，92 年士官長正規班 23 期，93 年英語儲備訓練班，94 年美國復仇者飛彈系統維修班，遠東科技大學應用外語系學士，現任職陸軍砲兵訓練指揮部防空教官組。