

以色列鐵穹防禦系統簡介

作者：曹哲維 中校

提要

- 一、為有效因應具備「低成本、高威脅」特色之火箭、火炮及迫砲的威脅，某些國家將已發展成熟，具反應速度快，擊殺成本(cost to kill)低的近迫防禦系統研改為具反制火箭、火炮及迫砲(C-RAM)能力之武器，如美國「百夫長」(Centurion)機動型陸機方陣快砲，德國的「千禧」(Millennium)35公厘快砲。
- 二、以色列長期以來受周邊反以勢力的襲擾，在確認要獨立發展鐵穹防禦系統時，並未援用相同策略，而是以成本較高的飛彈為攔截器，開發乙套全新系統，不僅在極短時間內完成研製進入備戰，且在實戰中取得良好成果，深得世人的讚嘆與驚訝。
- 三、藉由本文的研究，探討以色列 C-RAM 發展之策略，及鐵穹防禦系統作戰效益。

關鍵詞：C-RAM，鐵穹防禦系統，塔米爾飛彈。

壹、前言

雖然以色列的整體軍事力量已超越周邊的阿拉伯國家，但卻無法保障以色列絕對的安全。尤其是行蹤飄忽的回教民兵游擊隊常以火箭彈、迫砲等簡易武器對以色列邊境發動襲擊，使其蒙受不少傷亡。以軍曾經數度對黎巴嫩南部、加薩地區發動武力掃蕩，以阻止回教民兵游擊隊的武裝襲擊，不過這類軍事行動的結果往往讓以色列付出較大的政治代價。例如 2008 至 2009 年代號「鑄鉛行動」(Operation Cast Lead)的陸空聯合軍事打擊，雖重創哈瑪斯民兵的力量，卻造成近七千名巴勒斯坦人傷亡，使以色列飽受國際輿論抨擊。¹

以色列曾對加薩地區進行封鎖，禁止武器進入該地區，然此措施對重型武器可以達到某種程度的效果，但對迫擊砲等輕型武器則防不勝防。而黎巴嫩與敘利亞接壤，可直接由陸路獲得補給，且真主黨在黎巴嫩南部經營多年，根基穩固，不是武力清剿所能解決，既然主動出擊無法達到預期效果，那以色列就只好採取被動防禦手段了。

然而，攔截火箭彈、火炮及迫砲是非常困難的作戰過程，因為這類目標的

¹ 凱文，〈打造以阿邊境的防護網-反火箭彈、反砲彈防禦系統〉《亞太防務》(台北)，第 38 期，民國 100 年 1 月，頁 74。

雷達截面積(Radar Cross Section, RCS)較戰機等傳統空中威脅目標小很多，飛行速度快，存在時間短。因此，從偵測、識別、指管、攔截到戰果評估，一連串接戰過程所能使用時間極短，雷射武器便一度成為以色列發展(C-RAM)武器的最佳選項。

貳、發展歷程

美國與以色列為防禦火箭、飛彈攻擊，在 1990 年代即合作發展戰術高能雷射(THEL)系統，尤其是機動式戰術高能雷射(MTHEL)系統更被認為符合以色列的需求，2000 至 2004 年 MTHEL 擊落為數眾多的火箭彈及砲彈，2004 年 8 月測試時同時攔截多發迫擊砲。但是 MTHEL 的化學雷射產生器過於笨重，且使用大量有毒和腐蝕性物質，儲存、運輸不便及使用費用高且危險性大，美軍於 2006 年終止發展。² 同年爆發「第二次黎巴嫩戰爭」，自 7 月 12 日至 8 月 14 日，真主黨(Hizbullah)對以色列北部發射了 4228 枚巴勒斯坦製的卡桑(Qassam)火箭以及敘利亞供給的 122mm 卡秋莎(Katyusha)火箭，還有 220mm、302mm 中程火箭，導致以色列 53 人死亡，2000 人受傷。期間以色列北方被癱瘓，一百萬人住在掩體內，區域內 40% 工業停頓，經濟損失 55 億美金，嚴重的衝擊以色列國民士氣。而此時以色列發現他們對這類型的襲擊束手無策，因此希望能夠繼續發展 MTHEL，但未受到美國的重視。

2007 年 2 月，以色列國防部長皮瑞茲(Peretz)宣佈，決定以自身國防科技能力為主，研製低成本的戰術飛彈防禦系統。拉菲爾公司(Rafael)提出的短程火箭防禦系統 Kippat Barzel(猶太語)即 Iron Dome(鐵穹)方案被選為發展的防禦武器，「鐵穹」是一套同時兼具 C-RAM(反制火箭、砲兵及迫砲)與短程防空(反制定翼機、旋翼機、無人飛行載具及導引飛彈)能力的飛彈系統。預估每枚鐵穹飛彈價格約 4 萬美金，研發費用 3 億美金，預計 2010 年(約 30 個月)可達初步作戰能力(IOC)。³

2008 年 3 月，鐵穹系統進行首次飛彈飛行試驗，2008 年 7 月第二次試驗，2009 年 3 月對模擬的來襲火箭彈完成攔截，2009 年 7 月 15-16 日，鐵穹進行了整個系統的功能驗證，成功攔截 3 枚 122mm 級的火箭，2010 年 1 月完成多目標攔截測試，2010 年 7 月以實戰模式同時擊落來自不同方向的目標，⁴2010 美國政

2 松鼠，〈鐵穹反火箭攔截系統撐不起以色列的天空〉(163 軍情觀察室第 114 期)，
<http://war.163.com/11/04104/16/71K6P73B00014J0G.html>(2013/2/19)。

3 汪士賢，〈以巴衝突打響鐵穹反火箭飛彈名號〉《逸光》(桃園)，第 636 期，民國 101 年 12 月。

4 "Iron Dome", Jane's Land-Based Air Defence, 13-Aug-2012, [Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll](http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll), P2。

府挹注 205 百萬美元的資金協助以色列發展鐵穹系統，⁵2011 年 2 月模擬 5 種不同接戰模式，均成功攔截來襲靶彈，2011 年 3 月以色列空軍開始在迦薩走廊邊界部署鐵穹系統。⁶

表 1 鐵穹防禦系統發展歷程

年份(西元)	事項
2005	以色列國防部國防研究與發展(MAFAT)首長，Danny Gold 博士(准將)建議研發乙套可以攔截火箭彈的飛彈系統。
2007	以色列政府撥款 2 億美元，執行研發計畫。
2008.07	塔米爾飛彈完成測試。
2009.03	完成系統整合。
2009.07	成功完成 3 枚 122mm 火箭彈。
2009.08	空軍防空部隊第一個鐵穹連成軍，部署於加薩及黎巴嫩邊境，並預計 2010 年中完成戰備。
2010.01	鐵穹完成多種攻擊目標的驗證。
2010.05	美國眾議院通過議案，援助以色列 2.5 億美金作為採購鐵穹系統之用。
2010.07	系統通過作戰測評，達到以軍要求。
2011.03	國防部長核定，鐵穹系統正式部署。
2011.04.07	在以色列南部亞實基倫市首次成功攔截從加薩走廊發射的火箭彈。
2012.11	首次面對大規模攻擊行動，攔截率達 85%。

資料來源：

1. 汪士賢，〈以巴衝突打響鐵穹反火箭飛彈名號〉《逸光》(桃園)，第 636 期，民國 101 年 12 月。
2. 區肇威，〈以色列鐵穹攔截系統-不計成本阻擋火箭彈攻擊〉《尖端科技》(台北)，第 341 期，民國 102 年 1 月。

參、系統組成

「鐵穹」系統是一套同時兼具 C-RAM (反制火箭、火炮及迫砲)與短程防空(反制定翼機、旋翼機、無人飛行載具及導引飛彈)能力的飛彈系統。由拉斐爾先進(Rafael Advanced Defense System)防禦系統公司所研製，能夠攔截射程 4-70 公里的短程火箭彈、砲彈或迫砲彈，例如回教民兵常用的俄製「喀秋莎」(Katyusha)、「卡桑」(Qassam)等火箭彈；或作為防空系統使用，攔截定、旋翼機，無人飛行載具及射程 10 公里以內之精準導引飛彈。飛彈有效射程 2 至 40 公里，全系統由 1 部雷達、1 個戰管/火控中心、3 個發射架(內含 60 枚飛彈)所組成，

5 "Israeli Homeland Security Iron Dome Response to Gaza Rocket Threat", The Israel Project, March 2012, p3。

6 李夜雨，〈鐵穹將改變傳統戰爭遊戲規則〉《新民晚報》，民國 102 年 12 月 27 日 B4 版。

戰管/火控中心具備與不同型式或探測系統整合之能力，系統分散部署距離可達 20 公里。⁷

表 2 鐵穹防禦系統性能諸元

裝備	項目	規格
EL/M-2084 雷達	偵測距離	迫砲：5 公里；短程火箭彈：20 公里； 大型火箭彈：100 公里；定翼機：350 公里
	方位角涵蓋範圍	120 度扇形區域或 360 度
	俯仰角涵蓋範圍	0 至 50 度
	精確度	0.25%
戰管/火控中心	目標處理能力	砲彈：每分鐘 200 批目標 飛機/彈：每分鐘 1200 批目標
	情資整合能力	同時構連 2 個 EL/M-2084 雷達，或與其他飛彈系統構連
	系統反應時間	8 秒鐘
	接戰能力	構連 3 個發射架，共 60 枚飛彈
發射架及飛彈	攔截能力	砲彈、短程導引飛彈、無人飛行載具、 定翼機、旋翼機
	射程	2-40 公里
	彈長	3 公尺
	彈徑	16 公分
	彈重	90 公斤
	發射方式	斜角
	引信作用方式	近發引信
	導引方式	主動式微波導引
	彈頭型式	動能擊殺
飛彈承載能力	20 枚	

資料來源：作者自行整理

一、EL/M-2084 雷達

鐵穹防禦系統使用埃爾塔(Elta)公司所研製的 EL/M-2084 多用途(Multi Mission Radar, MMR)雷達，為 S 波段主動式相列雷達(Action Electronic Scanned Array, AESA)，有兩種操作模式。在反砲兵模式時，天線面固定不動，以電子掃描方式控制雷達波束對 120 度扇形區域進行搜索，此時對短程戰術飛彈或是大型火箭彈的偵測距離為 100 公里，50 公里的圓周誤差(CEP)為 125 公尺，對短程火箭彈或是迫砲彈的偵測距離分別為 20 公里及 5 公里；在中程

7 〈鐵穹組網〉《三湘都市報》(中國長沙)，2012 年 3 月 20 日 A20 版。

防空模式下，以每分鐘 30 轉方式對 360 度空域進行搜索，對定翼機偵測距離可達 350 公里，雷達以拖曳方式機動至陣地放列，放列/撤收時間少於 20 分鐘。⁸

傳統的被動式相列雷達，如天弓、愛國者及 PODARS 雷達，使用一個中央控制、集中式發射/接收機，由行波管先將發射功率放大再經陣列天線將訊號輻射出去，天線由許多輻射源(子天線)按一定規律所組成，由相移器控制子天線輻射時的相位差，同一時間產生不同方向的波束，以達到多功、多目標的偵測能力，因此即使在跳頻操作模式下，雷達「瞬間」輻射的波束均為同一頻率。EL/M-2084 雷達所使用之主動式相列技術，結合積體電路技術，將原來需要在大功率、高壓電環境下運作之發射機，分散為許多固態發射機，將發射機/接收機製成許多模組，分散至各子天線上，這樣的技術使雷達的可靠度更為提升，也使本雷達可以在同一時間向不同方向輻射不同頻率的波束，實際運用雷達參數被敵偵獲得機率將較被動式相列雷達更低，相對在電戰環境下的抗干擾能力更強。⁹

圖1 EL/M-2084雷達



資料來源："EL/M-2084",Jane's Radar And Electronic Warfare Systems,Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll,12-Mar-2012.

二、戰管/火控中心

鐵穹防禦系統最突出的特色在於由以色列 mPrest System 軟體公司為拉菲

⁸ "EL/M-2084", Jane's Radar And Electronic Warfare Systems, Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll, 12-Mar-2012.

⁹ "Action electronic scanned array", Wikipedia, the free encyclopedia, 2013-04-11. http://en.Wikipedia.org/wiki/Active_Electronic_Scanned_Array .P1-2.

爾公司所研製的戰管中心軟體。戰管/火控中心的目標處理能力為砲彈每分鐘 200 個以上，對飛機及飛彈目標則超過 1,200 個，一個戰管/火控中心鏈結二個雷達，數個雷達可以透過指管系統構聯形成雷達網，增加運用彈性。¹⁰從目標識別、彈著點預測、攔截解算到發射飛彈反制，一系列程序全部自動化在 8 秒內完成。¹¹

EL/M-2084 雷達可以在極短時間偵測並識別敵人所發射火箭彈與迫擊砲彈，相關數據傳送到戰管/火控中心，透過軟體解算彈道，並預測砲彈的落點，如果落點在防護目標附近，會影響以色列軍民的生命或是財產安全，則下達發射命令發射飛彈攔截目標；若落點不在防禦區域內則不予理會，以節省攔截飛彈的耗費。

火控系統與拉斐爾公司的 Spyder-SR 及 Spyder-MR 地對空飛彈系統相同，且能與泰德(THAAD)反彈道連線，及時分享彼此的戰術資訊。當系統偵測到火箭彈來襲時，可能的落彈點會在電子地圖上出現重疊的橢圓形形狀，隨著更多詳細的彈道資料獲得，定位精度逐漸提升，橢圓形區域迅速縮小。¹²

圖 2 鐵穹防禦系統接戰示意圖



資料來源：Jane's Land-Based Air Defence, [Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll](http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll),13-Aug-2012.

10 "Armed forces seek the WLR connection", JANE'S INTERNATIONAL DEFENCE, January 2009. Idr.janes.com.P37。

11 〈以色列練成金鐘罩〉《皖北晨刊》，2012 年 11 月 30 日。

12 區肇威，〈以色列鐵穹攔截系統-不計成本阻擋火箭彈攻擊〉《尖端科技》(台北)，第 341 期，民國 102 年 1 月，頁 57。

三、發射架及飛彈

鐵穹防禦系統的發射架以 5x4 方式排列，發射角度大於 70 度，可裝填 20 枚塔米爾(Tamir)飛彈，彈長 3 公尺、彈徑 16 公分、彈重 90 公斤，採微波導引方式、動能截殺彈頭，射程 2-40 公里。此飛彈由以色列拉菲爾公司(即本系統主要承包商)所研製，該公司亦曾發展過希福瑞(Shafir)空對空飛彈、德比(Derby)空對空飛彈、斯派德(Spyder)地對空飛彈和巨蟒(Python 3、4、5)空對空飛彈，具有四十多年的武器研發經驗，這幾類飛彈與塔米爾飛彈的直徑都是 16 公分，其前段有四個三角形俯仰-側滑控制翼，緊接其後對稱裝置兩片矩形的滾轉控制翼，此配置方式可增加飛彈的操控性，有利大攻角的飛行。

塔米爾飛彈發射後接受火控系統上傳的目標資料修正本身的彈道，在終端導引階段開啟主動尋標器，獲取目標資料完成接戰。塔米爾飛彈彈頭爆炸威力不大，且火控中心在計算攔截位置時，會將預期攔截點控制在空曠地區的上方，降低攔截過程中所帶來的附帶傷害。

發射架將彈箱、通信及電力裝置整合在液壓控制的平台上，機動至部署位置時，隱藏在載具龍骨的特殊吊臂將發射架緩緩卸下，不需額外器械的支援即可完成放列與撤收，操作人員及後勤支援需求少。從諸多特徵來看，本系統引用許多拉斐爾公司已經研發成功的中短程防空飛彈系統 Spyder 的技術，彈是為了降低「擊殺成本」，採用成本設計法，¹³將 Spyder 系統中高單價的陸射型德比(Deby)飛彈研改為塔米爾飛彈，每枚單價降至 10 萬元美金以下。¹⁴

圖3 鐵穹防禦系統的發射架與飛彈



13 李秦強，〈野戰防空新使命-C-RAM 初探〉《砲兵季刊》(台南)，第 154 期，民國 100 年 9 月，頁 7。

14 塔米爾飛彈的單價，各種來源從 3.5 萬至 10 萬元美金說法不一。

資料來源：汪士賢，〈以巴衝突打響鐵穹反火箭飛彈名號〉《逸光》(桃園)，第 636 期，民國 101 年 12 月。

圖4 發射架放列方式



資料來源：截取自 Youtube 網站，"Iron Dome Defense System Implemented"，2012 年 11 月 20 日。

肆、作戰效能分析

一、攔截率

鐵穹防禦系統為提升攔截機率，攔截一枚火箭時會同時發射二枚塔米爾 (Tamir) 飛彈。以色列國防部統計 2012 年 11 月 14 至 21 日「防禦之柱」(Pill of Defence) 期間，鐵穹防禦系統的攔截率達到 84%，¹⁵ 以此推算本系統的單發命中率約 60%。但如果將本系統用於其他作戰場景，攔截效果可能會更低，因為哈瑪斯所使用的卡桑是一種自製的簡陋武器，由鋼管與焊接的穩定翼組成，推進藥由肥料(氮酸鉀硝胺)和糖調和而成，飛行速度慢，相對防禦的複雜性及困難度降低；如果面對的是中共火箭彈，攔截效率可能會更低，因此部分武器專家認為，本系統的效能可能被過度誇大了。

儘管部分人是對本系統的性能存疑，但不可否認鐵穹防禦系統是目前世界上第一套歷實戰淬煉的 C-RAM 系統，因此仍然贏得許多國家的注意，如印度、英國、美國、伊拉克、阿富汗及南韓。尤其北韓沿著北緯 38 度線的非軍事區部署大量的火砲、多管火箭、迫砲及飛毛腿飛彈，近期動作頻傳，不斷叫囂要核試，使南韓有如芒刺在背，而有購買本系統用來防禦政經中樞-首爾。

15 Mohammed Najib, "Iron Dome raises its game", Jane's Defence Weekly, 23-Nov-2012. <http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll>.

圖5 卡桑(Qassam)二型火箭彈



資料來源：汪士賢，〈以巴衝突打響鐵穹反火箭飛彈名號〉《逸光》(桃園)，民國 101 年 12 月。

二、防禦範圍與費效比

部分對鐵穹系統持保留或是反對意見人士認為，卡桑土製火箭彈每枚造價僅 200 至 800 美元，塔米爾飛彈約 6.2 萬美元，以一枚火箭彈發射二枚飛彈攔截計算，攻防雙方的費用比高達 1：155，以色列明顯處於劣勢，且黎巴嫩真主黨至少庫儲 4 萬枚以上各式火箭，為數眾多的迫擊砲或榴砲彈，對以色列形成極大潛在壓力。且據以色列國防部估算，認為要有效防禦來自黎巴嫩及加薩走廊的短程火箭攻擊至少要部署 13 套鐵穹防禦系統。¹⁶

然而這正是以色列沒有以防空快砲為基礎開發 C-RAM 系統的原因，因為防空快砲雖然具備單發費用低、系統反應快的特點，但是射程短是其先天無法克服之缺陷。以美軍研改自「方陣近迫武器系統」之「陸基方陣武器系統」(Land-base Phalanx Weapon System；LPWS)為例，射程僅 1450 公尺，單門砲防禦面積僅約 6 平方公里，而鐵穹防禦系統一個飛彈陣地的防禦面積為 150 平方公里，足足是快砲的 25 倍大。再者受通信頻寬的限制，現今尚無任

16 Yaakov Katz, "Iron Dome improves performance against militant rockets", Jane's Defence Weekly, 2012-3-14. [Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll](http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll).

一系統具備能同時指管 25 個火力單元的能力。且快砲為達精準射擊之目的，需每門砲配置高單價的追蹤雷達，如此一來，全系統初期建置成本相對提高。因此，以快砲作為攔截武器的系統只適合建在機場，或是提供小範圍重要資產最後一道防禦，而不適合以色列這種需要大範圍防禦的國家使用。

三、系統反應時間

美國陸軍研究分析指出，部隊如果具備 RAM(Rocket, Artillery, Mortar)攻擊的感測和告警能力，人員傷亡可以減少 13%。如果能對目標加以攔截，則可以減少 70% 的人員傷亡。¹⁷長期遭受火箭彈攻擊的以色列除了要求鐵穹要具備這種攔截能力，以確保人民能安居樂業。由於邊境與反以勢力活動區域相臨，系統反應時間短亦是設計重點。

在系統研製的建模分析中假設來自加薩走廊的火箭彈飛行速度 200m/s，而加薩北部 Beit Hanoun 距以色列邊境的 Sderot 只有 1.8 公里，因此只要 9 秒就可到達 Sderot，¹⁸鐵穹的反應時間只要 8 秒，符合以色列軍方的要求。

四、彈性運用能力

多數的研究將本系統局限於執行 C-RAM 任務的能力與成效，而忽略了本系統研發的初衷—同時兼具執行 C-RAM(反制火箭、砲兵及迫砲)與短程防空(Very Short Ranger Air Defence System；VSHORAD)的能力。現今短程防空武器的射程約 6-7 公里，有的甚至更短，而空中威脅目標以射程精準導引武器遂行視距外攻擊已成作戰常規，因此多數短程防空武器並無法提供地面部隊有效的保護。只有像刺針(Stinger)、Strela、Igla、Mistral 及 RBS70 這類人攜式短程防空飛彈，因隱蔽性佳，行蹤飄忽，可以出奇不意給敵人致命的一擊。然這類飛彈為了符合人員操作的重量限制與安全要求，同時兼顧成本效益，往往限制了性能的發展。再者，這類武器存管不易，一旦若入不法之徒手中，將對安全造成極大威脅，因此多數軍隊正在降低這類武器的運用與整補。¹⁹

而鐵穹防禦系統的發射架可依戰術運用或任務需求而有 10 枚、20 枚或其他數量的組合，並不是一定要使用 20 枚裝的架構。系統可以單獨使用，或與其他現存系統結合成多層次防空系統。最吸引人的是，塔米爾飛彈的價格只有相同規格產品的五分之一不到。

17 區肇威，〈以色列鐵穹攔截系統-不計成本阻擋火箭彈攻擊〉《尖端科技》(台北)，第 341 期，民國 102 年 1 月，頁 54。

18 同註 2。

19 "C-RAM or VSHORAD?Iron Dome Do Both",Defense Update, [Http:// defense-update.com/20130208-c-ram-or-vshorad-iron-dome-do-both.html](http://defense-update.com/20130208-c-ram-or-vshorad-iron-dome-do-both.html).2013/4/11.

伍、結語

鐵穹防禦系統才剛以驚人之姿面世，及迫不及待的規劃未來性能提升的方向。Block 2 提升飛彈的攔截能力及對更廣區域的反應能力，預計 2013 年完成；Block 3 改進戰場管理射控系統的能力，足見以色列發展國防自主科技能力的決心與企圖。

從本系統發展過程發現，在發展一項新式武器時，以色列並未盲從科技大國的腳步，而是迂衡自身科技能力與國情需要，選擇一條屬於自己的道路。將現有的武器研改作為其他用途—如以色列將空射型德比(Deby)飛彈改為陸射型，美國將 AIM-120 先進中程空對空飛彈(AMRAAM)改為陸射型先進中程防空飛彈系統(SL-AMRAAM)，我國天劍一型空對空飛彈改為陸射劍一防空飛彈系統，雖然不是什麼先進概念，但卻沒有一個國家可以像以色列一樣，嚴格管控成本，善用現有的關鍵技術與零件，大幅縮短系統開發時程與成本，此種精神與作法尤其值得我國這種追求國防科技自主，又無靠產品外銷來攤提成本的國家效法與借鏡。

我野戰防空係以要點、區域及隨伴掩護為主要作戰任務，在此前提下，武器裝備強調機動靈巧，具獨立作戰能力，但這卻也限制性能發展方向。為有效因應日趨複雜的防空作戰環境，應朝向配備高性能雷達，建立數位化指管系統及戰場情資整合方向發展，以提供指揮官更精確、即時的戰場資訊與有效率作戰指揮；隨著空中目標視距外作戰能力的增加，及戰場威脅型態的改變，除提升飛彈射程外，更應具備快速小型目標(如巡弋飛彈、無人飛行載具、反輻射飛彈及火箭彈)的攔截能力，使野戰防空在整體防空作戰體系中，能彌補戰機及中、長程防空戰力的罅隙，達成確保地面部隊作戰行動安全，及重要資產防護之作戰目的。

參考資料

- 一、松鼠，〈鐵穹反火箭攔截系統撐不起以色列的天空〉(163 軍情觀察室第 114 期)，<http://war.163.com/11/04104/16/71K6P73B00014J0G.html>(2013/2/19)。
- 二、汪士賢，〈以巴衝突打響鐵穹反火箭飛彈名號〉《逸光》(桃園)，第 636 期，民國 101 年 12 月。
- 三、凱文，〈打造以阿邊境的防護網-反火箭彈、反砲彈防禦系統〉《亞太防務》，第 38 期，民國 100 年 1 月。
- 四、李夜雨，〈鐵穹將改變傳統戰爭遊戲規則〉《新民晚報》，民國 102 年 12 月

27 日，B4 版。

- 五、〈鐵穹組網〉《三湘都市報》(中國長沙)，2012 年 3 月 20 日 A20 版。
- 六、區肇威，〈以色列鐵穹攔截系統-不計成本阻擋火箭彈攻擊〉《尖端科技》，第 341 期，民國 102 年 1 月。
- 七、〈以色列練成金鐘罩〉《皖北晨刊》，2012 年 11 月 30 日。
- 八、李秦強，〈野戰防空新使命-C-RAM 初探〉《砲兵季刊》(台南)，第 154 期，民國 100 年 9 月。
- 九、"Israeli Homeland Security Iron Dome Response to Gaza Rocket Threat",The Israel Project,March 2012。
- 十、"Armed forces seek the WLR connection",JANE'S INTERNATIONAL DEFENCEREVIEW,JANUARY 2009.
- 十一、Mohammed Najib,"Iron Dome raises its game",Jane's Defence Weekly,23-Nov-2012。
- 十二、"EL/M-2084",Jane's Radar And Electronic Warfare Systems,12-Mar-2012.
[Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll](http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll).
- 十三、"Action electronic scanned array ",Wikipedia,the free encyclopedia, 2013-04-11.http://en.Wikipedia.org/wiki/Active_Electronic_Scanned_Array.
- 十四、"MULTI MISSION RADAR EL/M-2084",ELTA Systems Ltd,
[Http://www.elta-iai.com](http://www.elta-iai.com).12-NOV-2012.
- 十五、"Iron Dome",Jane's Land-Based Air Defence,13-Aug-2012,
[Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll](http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll).
- 十六、Yaakov Katz,"Iron Dome improves performance against militant rockets", Jane's Defence Weekly,2012-3-14. [Http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll](http://10.22.155.9/intraspes/intraspes.dll).
- 十七、"C-RAM or VSHORAD?Iron Dome Do Both",Defense Update, [Http://defense-update.com/20130208-c-ram-or-vshorad-iron-dome-do-both.html](http://defense-update.com/20130208-c-ram-or-vshorad-iron-dome-do-both.html).2013/4/11.
- 十八、陸軍「國防新知運用」專區，網址：mdb.army.mil.tw。

作者簡介

曹哲維中校，國防大學理工學院兵器研究所 95 年班、聯合後勤學校生產管理正規班 91 年班、理工學院兵器系 82 年班；曾任飛彈修護官、工業工程官、組長、教官，現任職陸軍飛彈砲兵學校防空組預警雷達小組主任教官。