

# 探討先進國家之防空飛彈 與協同作戰能力

The Discussion of Advanced Countries Anti-aircraft Missile  
and Cooperative Engagement Capability

劉書麟 先生、徐雍 先生

提 要：

- 一、鑑於彈道飛彈的威脅與日俱增，飛彈防禦是現今作戰體系中不可或缺的重點項目；然防空飛彈射程再遠，若無法善用即時資料鏈，所有飛彈均只是單一個體，不能發揮聯合戰力。未來戰爭應該結合所有感測器與武器系統並用於同一戰場空間，以充分發揮戰鬥能力。
- 二、協同作戰能力(CEC)係透過電腦、通訊及其他裝備介面整合成一網路，實現作戰資訊共享，統一作戰行動。CEC可將編隊中各作戰系統所有的感測器資訊，合成單一、即時的綜合航跡，運用於水面艦艇的防空作戰(包含攻擊及自我防禦)，亦可進一步擴展為對來自空中、海上、路上的飛彈防禦。
- 三、海軍現階段雷達偵搜距離及部分防空飛彈射程受限，未來在「國艦國造」及國防武器自製政策下，若能與中科院持續合作共同開發雷達及防空飛彈，再進一步精進研發類似CEC或數據資料鏈系統，並結合三軍防空飛彈，相信在面對中共飛彈持續增長及威脅下，應可對重要目標達成多重防護，並發揮聯合作戰效能。

關鍵詞：防空飛彈、主動相列雷達、協同作戰能力

## 壹、前言

防空飛彈系統為世界先進國家防護重要資產的主要武器，其崛起係由地對空飛彈的基礎上發展起來。作戰類別區分為中、長程防空(含彈道飛彈TBM)、野戰防空和艦隊防空<sup>1</sup>。防空飛彈系統範圍可涵蓋遠、中、近程和高、中、低空等互相結合的全區域防空

體系，而防空飛彈系統的主要功能除可攔截空中目標，同時應具有預警偵察、範圍搜索、目標識別、目標追蹤、飛彈發射、導引控制與殺傷擊毀目標等功能。從1940年代防空飛彈問世至今，防空飛彈系統經歷了數代的演化，反制的目標從傳統的空中飛機、戰機，變為反制現代的彈道飛彈、巡弋飛彈和各種氣動力目標等；目標以飛彈為例，在速度

註1：沈昱恒等，〈防空導彈精確制導技術發展的幾點思考〉，《航天控制》(中國大陸)，第37卷，第3期，2019年，頁67-72。

、飛行軌道、匿踪技術方面都更為精進；而防空飛彈的演化，也朝著遠距離<sup>2</sup>、多目標鎖定、高速擊殺、高機動性部署、主動導引、變軌技術等方面持續升級<sup>3</sup>。

然即使雷達偵測距離再遠，防空飛彈射程再大，若無法善用即時資料鏈，所有飛彈均只是單一個體，無法發揮聯合戰力。而未來戰爭應該結合所有感測器和武器系統併用於同一戰場空間，以充分發揮戰鬥能力，即便參與之各作戰單位所能掌握目標資料不夠精準(包括目標方位、高度、速度等)，亦可利用整合技術，同步後使各作戰單位的處理器能同時彙整來自多個感測器的同一批目標資訊<sup>4</sup>，用同一軟體產生目標航跡，形成各作戰單位同步，且能完整描述水面打擊支隊周遭戰術態勢的「單一整合空中圖像(Single Integrated Air Picture，以下稱SIAP)」，再透過演算法整合各單位的目標資料，使得參與之作戰單元圖像一致，如此不僅可有效節約兵力及雷達支援，並可集中火力反制更具威脅的目標，此時協同作戰能力(Cooperative Engagement Capability，簡稱CEC)概念於焉產生<sup>5</sup>。

本文就世界主要國家及我國防空飛彈系統現況做概略介紹，再說明協同作戰能力(CEC)概念、組成及運作，並對艦隊未來防空作戰精進作為，提出些許建議，期能有助

艦隊同仁正視敵情威脅，重新審度艦隊防空作戰之「機會之窗」，才能在未來臺海作戰中知敵制敵、創造勝利契機，這也是撰寫本文主要目的。

## 貳、世界主要國家防空飛彈系統簡介

鑑於彈道飛彈的威脅與日俱增，飛彈防禦是現今作戰體系中不可或缺的重點項目，也是反映各國最高軍事科技精華的象徵性指標。防空飛彈是世界各先進國家都競相發展與部署的重點，且因為兼具戰略與戰術作戰價值而被日益重視。防空飛彈全面改變了戰爭與國防的型態，而隨著資訊電子科技的進步，現代防空飛彈已完全不同於過往，更成為未來戰爭與國防科技裡最重要且威力最強大的武器裝備。以下將就美國、俄羅斯、以色列及中共等國之防空飛彈系統現況，臚列介紹如後：

### 一、美國

#### (一) 薩德防空飛彈系統

1. 美國終端高空區域防禦飛彈THAAD (Terminal High Altitude Area Defense，以下簡稱薩德，THAAD)系統<sup>6</sup>的設計理念包含鎖定中、長程目標；可在大氣層內外攔截目標；具有遠距離、高高度的接戰能力；可多次攔截目標等四項。系統主要組成包含攔

註2：岳峰，〈國外艦空導彈武器系統現狀及發展趨勢〉，《飛航導彈 導彈大觀》(中國大陸)，第8期，2012年，頁57-61。

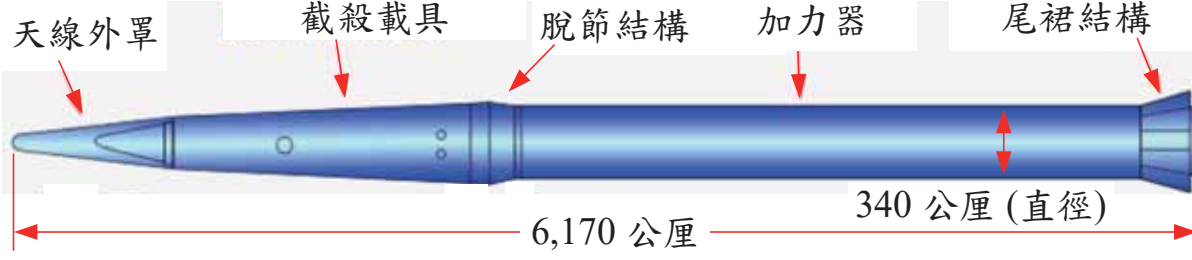
註3：劉揚等，〈國外艦空導彈武器系統發展綜述〉，《艦船電子工程》(中國大陸)，第37卷，第9期，2017年，頁10-15。

註4：陳鵬，〈CEC及其戰術數據鏈的聯合應用〉，《艦船科學技術》(中國大陸)，第33卷，第7期，2011年7月，頁156-159。

註5：陳康等，〈CEC條件下的艦艇編隊防空問題〉，《火力與指揮控制》(中國大陸)，第31卷，第4期，2006年4月，頁32-35。

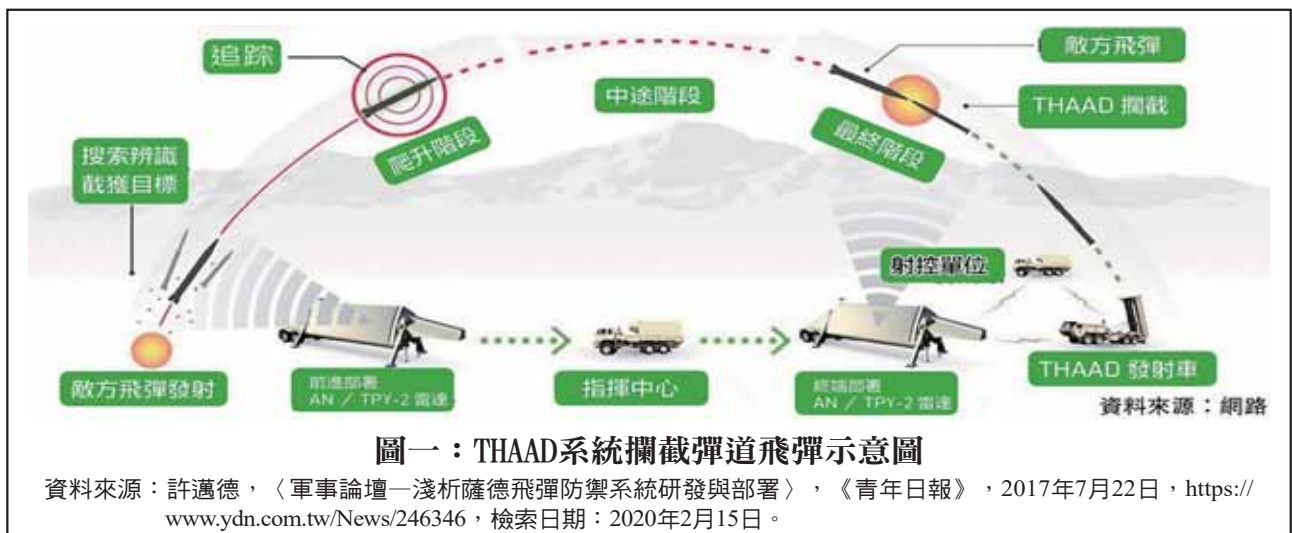
註6：謝佳穎，劉書麟，〈海上守護者—認識美軍新一代神盾系統AN/SPY-6之雷達技術〉，《海軍學術雙月刊》(臺灣)，第53卷，第5期，2019年10月1日，頁19-31。

表一：薩德THAAD防空飛彈系統之飛彈性能諸元表



彈長 / 彈直徑	6,170 / 0,34公尺	射程 / 射高	200 / 40-150公里
彈重	900公斤	截殺方式	直接碰撞擊毀 (HTK)
尋標器	中波段紅外線影像尋標器	加力器	單節固體發動機
雷達 / 偵搜距離	X-band主動式固態收發模組陣列 / 1,000公里。		

資料來源：參考〈終端高空區域防禦〉，維基百科，[https://en.wikipedia.org/wiki/Terminal\\_High\\_Altitude\\_Area\\_Defense](https://en.wikipedia.org/wiki/Terminal_High_Altitude_Area_Defense)，檢索日期：2020年3月9日，由作者自行綜整繪製表。



截彈、車載式發射架、X-band雷達與戰場指揮管理車，其中每部車發射架配載8枚攔截彈。其攔截特點為直接碰撞擊毀 (Hit-to-Kill，簡稱HTK)，是目前唯一能在大氣層內、外攔截彈道飛彈的防空系統<sup>7</sup>，攔截高度約為40-150公里，射程可達200公里 (如表一)，彈速大於9馬赫 (1馬赫約340公尺/秒)。

2. 飛彈為兩節式設計，前端一節為截

殺載具，具有液態推力及姿態控制系統 (Divert and Attitude Control System，簡稱DACS)，可精確命中目標，外部為兩片貝殼式保護罩，可降低飛彈於內大氣層飛行時所產生的風阻，並保護內部的尋標器，避免因高速氣熱摩擦損壞尋標器。THAAD採中波段紅外線影像尋標器，當尋標器開始作用時，外罩會自動脫離。後端一節為加力器，採單

註7：邢強，〈薩德導彈：進攻意味十足的防禦型武器〉，《武器裝備》(中國大陸)，2016年4月，頁44-46。

節固體發動機，具有推進向量控制系統，以穩定並修正飛行軌跡；為降低飛行阻力，尾部並無傳統翼翅操控設計，改採可增加飛彈載具穩定性的特殊尾裙設計。

3. THAAD採用陸基機動型雷達，為X-band主動式固態收發T/R模組陣列(型號AN/TPY-2)<sup>8</sup>，對雷達截面積(RCS)1平方公尺的目標，最遠偵搜距離可達1,000公里，且具有高分辨率和彈頭識別能力，可進行監控、搜索、辨識、追蹤鎖定等功能；在戰時可提早預警及提供高精度的目標資訊。TPY-2有兩種部署模式，第一種為前進部署，主要用於目標搜索、監控，包含目標爬升階段的追蹤鎖定，可增強早期的預警能力；第二種為終端部署，主要用於引導攔截和系統火控(如圖一)。

4. 最新型的升級計畫THAAD-ER(Extended Range)，升級項目包含加大加力器直徑(原370增至533公厘)；加力器和截殺載具間，增加一節增速段。在截殺載具部分，優化整合慣性導引系統、改良DACS、多頻段資料上下鏈傳組件、新型紅外線尋標器、增強目標追蹤訊號處理等，可因應超音速巡弋飛彈之威脅，攔截3,000-5,000公里的彈道飛彈，且對3,000公里彈道飛彈的接戰距離可增加約百分之四十。

5. THAAD除了功能強大之外，設計上也

兼顧了全球部署的運輸需求，系統各組件都可透過C-5或C-17運輸機跨區域快速空運，透過機動性能和部署靈活，戰時可在30分鐘內進入戰備，亦可根據作戰需求機動部署，彌補雷達盲區限制，提升反飛彈作戰的效率。

## (二) 標準六型艦載防空飛彈

1. 「標準」系列的防空飛彈為美軍「神盾」(Aegis)戰鬥系統不可或缺的支柱，其中「標準六型」(Surface-to-air Standard Missile-6，簡稱SM-6)為最新、最先進的防空飛彈<sup>9</sup>，SM-6最初的設計是用於攻擊掠海飛行的攻船飛彈，此與海軍作戰體系有關，不僅可以做為防空飛彈，還具備反艦作戰能力與彈道飛彈海上終端防禦能力。美軍攻船飛彈的主力仍以射程約150公里的魚叉飛彈為主；而SM-6的問世，可對200公里外敵軍的水面艦艇造成嚴重威脅。惟若做為反艦使用，其裝藥量雖不如一般攻船飛彈，但由於飛彈具有高速大動能，仍能重創船艦目標。因此，SM-6不僅大幅提升了反艦能力，且可整合於CEC運用<sup>10</sup>，使之具有超地平線(OTH)攔截能力<sup>11</sup>、亦不受地球曲率影響的能力，船艦可從容應付超低空掠海飛行飛彈之威脅。

2. SM-6的彈體設計在外型上是沿用標準2型升級版(SM-2ER)的彈體，動力系統分為兩級<sup>12</sup>，一級是採MK-72型火箭助推器，具有推力向量控制功能；另一級採MK-104型雙推

註8：胡磊等，〈美國薩德系統建設情況與特點分析〉，《飛航導彈 訊息在線》(中國大陸)，第11期，2018年，頁16-19。

註9：趙鴻燕，〈美國面向未來戰爭的導彈協同作戰概念發展研究〉，《航空兵器》(中國大陸)，第26卷，第4期，2019年8月，頁1-9。

註10：文蘇麗，〈美國發展標準-6導彈反艦能力的影響分析〉，《飛航導彈 導彈大觀》(中國大陸)，第5期，2017年，頁29-33。

註11：隋先輝等，〈美國海軍標準-6導彈戰術技術特性分析〉，《飛航導彈 導彈大觀》(中國大陸)，第8期，2018年，頁25-28。

註12：同註11。

表二：標準六型艦載防空飛彈性能諸元表

彈長 / 彈直徑	6.6/0.53公尺	射程 / 射高	400/33公里
彈重	1,500公斤	截殺方式	高爆破片式彈頭
尋標器	主動與半主動雷達尋標器	加力器	MK72型助推器、MK104型發動機
雷達	搭配神盾系統雷達可具備反艦功能與CEC作戰能力。		

資料來源：參考〈AEGIS BALLISTIC MISSILE DEFENSE, Aegis BMD; The Way Ahead〉，<https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2011/PEO/DeSimone.pdf>，檢索日期：2020年2月15日，由作者綜繪製表。



圖二：F/A-18超級大黃蜂戰機

資料來源：楊幼蘭，〈搶加大單！超級大黃蜂3要和F-35別苗頭〉，中時電子報，2019年5月18日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20190518001382-260417?chdtv>，檢索日期：2020年2月15日。


力火箭發動機，最大飛行速度3.5馬赫、最大射程400公里、最大射高約33公里(如表二)。SM-6的飛行導引是搭配神盾系統的雷達，採慣性導引、中段指令修正、末段採主動與半主動雷達尋標導引，其中末段尋標導引系統採用當前世界最先進的中程空對空飛彈(以下簡稱AIM-120C)的主動雷達導引，因此

不需要射控雷達對目標照射，即可主動搜索、追蹤在進入範圍內的任何目標，使防空能力、抗打擊能力和攻擊能力都大幅提升。SM-6雖可做為攻船飛彈使用，但與攻船飛彈相較，其成本過高，在戰場部署考量和反艦防禦與攻擊需求上，還是會優先使用一般攻船飛彈。

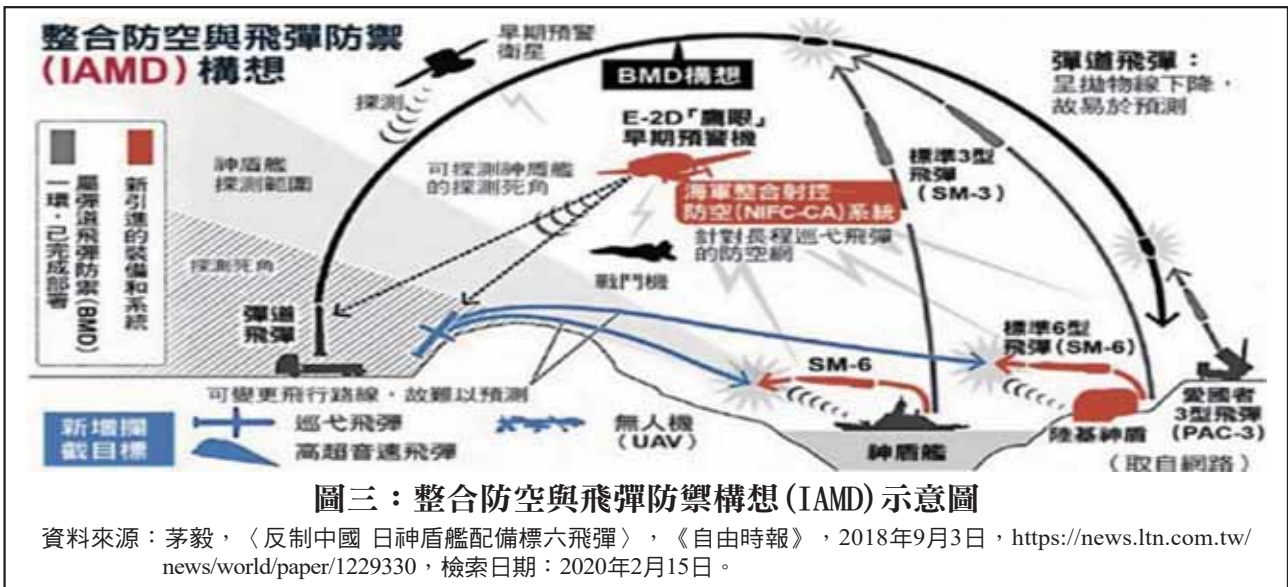
3. 美軍航艦編隊現用主力戰機為超級大黃蜂F/A-18E/F，用以取代F-14與F/A-18C/D，亦為海軍的主力(如圖二)，其作戰半徑640公里，搭載6枚AIM-120D中程空對空飛彈，遠不如搭載鳳凰飛彈(AIM-54)的F-14(作戰半徑900公里)。因此，美海軍近期為該機進行改裝升級，將原搭載的三個外部油箱換成新式油箱，除降低風阻且具有更大容量，不僅提升作戰半徑，且可將原油箱空間改為武器掛架，大幅增加作戰效益。

4. 新改款的F/A-18E/F可再加掛4枚SM-6

表三：愛國者三型防空飛彈性能諸元表

	彈長 / 彈徑	5.2/0.87公尺
	彈重	315公斤
	尋標器	Ka頻段的毫米波主動尋標器
	加力器	一級固體助推火箭
	射程 / 射高	3-100/25公里
	截殺方式	HTK+小型破片式彈頭
	備註	180個微型固體姿態操控火箭，可快速改變飛彈姿態，產生攻角增加氣動升力。

資料來源：參考〈PAC-3 Missile: How The System Works〉，youtube，<https://www.youtube.com/watch?v=xU9C2iLm764&t=43>，檢索日期：2020年3月10日，由作者自行綜整製表。



圖三：整合防空與飛彈防禦構想 (IAMD) 示意圖

資料來源：茅毅，〈反制中國 日神盾艦配備標六飛彈〉，《自由時報》，2018年9月3日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/paper/1229330>，檢索日期：2020年2月15日。

，若再加掛一個備用油箱，其作戰半徑可增至816公里。SM-6能攔截200公里範圍的海面與空中目標；此外，該型機還可透過F-35戰機提供的目標數據，配合海軍的數據鏈來打擊空中目標。由於SM-6的射程比AIM-120D更遠，且具高速、大動能的能力，使F/A-18E/F具備更強而有力的反艦破壞力，並在航艦戰鬥群的防空及反水面作戰中扮演重要角色。

(三) 愛國者三型防空飛彈

1. 愛國者(Patriot Advanced Capability, 簡稱PAC)系列是美國研發的機動式防空飛彈系統，為一種全天候、全空域、反導防空飛彈<sup>13</sup>，可攔截1,000公里的短程與中程彈道飛彈；為了增大攔截目標的有效直徑，採用直接碰撞擊毀(HTK)攔截機制，以便利利用動能摧毀目標。PAC-3攜帶有殺傷增強裝置之小型破片彈頭，可用於反制攜帶大規模殺傷性武器的戰術彈道飛彈、高速巡航飛彈

註13：岳松堂等，〈實彈第一 美國愛國者PAC 2/3防空反導系統發展綜述〉，《現代兵器》(中國大陸)，2016年6月，頁29-35。

表四：S-300防空飛彈性能諸元表。

	彈長 / 彈徑	7.5/0.52公尺
	彈重	1,800-1,900公斤
	尋標器	半主動雷達尋標器
	射程 / 射高	5-150/10-27公里
	截殺方式	破片式彈頭
	備註	行軍/戰鬥轉換只需5分鐘，系統反應僅5-12秒。

資料來源：〈S-300 missile deliveries to Iran under review-Russian official〉，Google News，2009年11月11日，<https://sputniknews.com/russia/20091111156801026/>，檢索日期：2020年3月10日，由作者自行綜整製表。

和戰機等，當殺傷增強裝置內的主裝彈藥爆炸時，這些破片會朝目標方向向外散射，有效增大攔截彈的殺傷半徑和性能(如表三)。

2. PAC系統由飛彈、飛彈發射架、雷達、戰術控制中心組成，都利用載重車牽引或做為載臺。PAC-3的雷達使用雙行波管取代了PAC-2雷達的單行波管，平均消耗功率也相對增大一倍，具備更佳的目標辨識及對抗匿踪目標的能力，遙控部署可達30公里。每座飛彈發射器裝有4枚PAC-2，但由於PAC-3飛彈的體積更小，一套4枚PAC-2的發射裝置卻能裝填16枚PAC-3<sup>14</sup>。

3. 美軍的整合防空與飛彈防禦構想(Integrated Air and Missile Defense, IAMD)包含近距、低空防禦的PAC-3、陸基與海基中距、高空防禦的SM-3，以及遠距、低空防禦的SM-6等防空飛彈，再搭配空中雷達預警機，涵蓋全空層區域，形成綿密的防空

網，以確保防護目標的安全(如圖三)。

## 二、俄羅斯防空飛彈系統

### (一)S-300

1. 俄羅斯S-300防空飛彈系統類似美國PAC-2的性能，屬於中程區域防空飛彈，S-300防空飛彈系統並不只代表一種型號的地對空飛彈系統，而是包含了陸、海、空軍三大系列的防空飛彈<sup>15</sup>，在此僅說明其通用型飛彈之性能。

2. S-300防空飛彈彈長7.5公尺、彈徑約52公分、彈重約1,800-1,900公斤，有效射程為5到150公里，有效射高為10到27公里，採垂直發射。一個S-300防空飛彈營最多可配備12輛發射車，共48枚防空飛彈(每車配一套四聯裝)，如用於反巡弋飛彈或反彈道飛彈作戰<sup>16</sup>，則能夠偵測到1,000公里外，以9馬赫飛行的彈道飛彈，及300公里範圍內的巡弋飛彈<sup>17</sup>(如表四)。

註14：張曉玲，〈愛國者、S-300防空大腕竟高低〉，《兵器知識》(中國大陸)，第3期，2006年，頁54-56。

註15：同註14。

註16：常漢青，〈中國大陸部署S-400防空飛彈對臺灣防衛作戰的影響〉，臺灣國際戰略研究中心，2019年1月7日。<https://taiwan-strategy.com/news/2019-01-07/37-%E4%B8%AD%E5%9C%8B%E5%A4%A7%E9%99%B8%E9%83%A8%E7%BD%B2S-400%E9%98%B2%E7%A9%BA%E9%A3%9B%E5%BD%88%E5%B0%8D%E5%8F%B0%E7%81%A3%E9%98%B2%E8%A1%9B%E4%BD%9C%E6%88%B0%E7%9A%84%E5%BD%B1%E9%9F%BF>，檢索日期：2020年3月9日。

註17：〈防空-敘利亞俄羅斯S-300導彈系統地空導彈防空戰〉，FAVPNG，2017年9月3日，[https://favpng.com/png\\_view/anti-aircraft-syria-russia-s-300-missile-system-surface-to-air-missile-anti-aircraft-warfare-png/ysUtW7wy](https://favpng.com/png_view/anti-aircraft-syria-russia-s-300-missile-system-surface-to-air-missile-anti-aircraft-warfare-png/ysUtW7wy)，檢索日期：2020年3月9日。

表五：S-400各類型雷達與防空飛彈性能諸元表



彈種型號	彈長/半徑 (公尺)	彈重 (公斤)	彈速 (馬赫)	彈頭	尋標器	最大射程/射高 (公里)
9M96E (近程)	4.75/0.12	330	5	24公斤/選向	主動	40/20
9M96E2 (近程)	5.65/0.12	420	5	24公斤/選向	主動	120/30
48N6E2 (中程) (48N6DM)	7.5/0.25	1835	7	選向	半主動	200/27 (250/30)
40N6 (遠程)	--	--	12	--	--	400+/40+
雷達	頻段	最大偵追距離(公里)				
92N6射控雷達	X	400				
91N6E搜索雷達	S	570(戰略大型目標)、300(一般空中目標air targets)、230-250(彈道飛彈TBM, RCS=0.4m²)				

資料來源：〈S-400 TRIUMF TRIUMPH SA-21 GROWLER 5P85TE2 Surface-to-Air defense missile system Russia〉, ARMY RECOGNITION, 2019年12月29日, [https://www.armyrecognition.com/russia\\_russian\\_missile\\_system\\_vehicle\\_uk/s-400\\_triumf\\_sa-21\\_growler\\_missile\\_russia\\_air\\_defense\\_system.html](https://www.armyrecognition.com/russia_russian_missile_system_vehicle_uk/s-400_triumf_sa-21_growler_missile_russia_air_defense_system.html), 檢索日期：2020年2月15日, 由作者自行綜整製表。

(二)S-400

1. 該型防空飛彈系統類似於美國PAC-3性能<sup>18</sup>, 屬於中、高程區域防空飛彈。系統最大特點之一是多層次防空, 可以發射低、中、高空, 近、中、遠程的各類飛彈。這些性能迥異的飛彈可互相彌補, 構成多層次的防空網。系統裝備包含雷達車、偵蒐車、指揮車、發射車等車種(如表五)。全系統可於5分鐘內快速部署完畢, 且從偵獲目標至指派接戰彈種, 均可全自動化管理操作, 較

S-300更有效率, 被認為是該系統精進型的防空武器。系統有多達五種型式飛彈以對應各類防空需求, 包含遠程彈(40N6)、中程彈(48N6E2)及近程彈二種(9M96E, 操控力20G, 類似PAC-3; 9M96E2, 操控力60G), 可對速度達15馬赫以上的目標進行接戰, 構成重層攔截防護網。

2. S-400防空飛彈系統最高可追蹤超過300個目標<sup>19</sup>, 齊射72枚飛彈, 同時攔截36個目標, 截殺方式為選向高爆破片彈頭。搜索

註18：郭衍瑩, 〈從S-400與愛國者PAC3的較勁看美俄地空導彈武器升級改造的指導思想〉, 《現代軍事》(中國大陸), 2011年10月, 頁44-47。

註19：羅山愛, 〈“屏蔽天空白色”新凱旋”——俄羅斯S-400遠程地空導彈詳析(上)(下)〉, 《坦克裝甲車輛·新軍事》(中國大陸), 第6-7期, 2018年。



表六：S-500防空飛彈性能諸元表

類 型	46N6M	77N6-N	77N6-N1
彈長/彈徑(公尺)	8.7/0.57	10.7/1.12	10.7/1.12
彈重(公斤)	2,500	5,200	5,200
射程/射高(公里)	(對飛機) 400/30 (對飛彈) 60/30	(對飛彈) 150/≤165	(對衛星) 700/200
尋 標 器	雷達尋標器	光電尋標器	紅外線尋標器
截 殺 方 式	破片式彈頭	動能殺傷或破片式彈頭	動能殺傷或小型核彈頭

資料來源：參考Observatory Staff, 〈Russia successfully tested its S-500 defense system〉, ARMY RECOGNITION, 2018年5月30日, <https://newsobservatory.com/russia-successfully-tested-its-s-500-defense-system/>, 檢索日期：2020年3月10日；〈俄羅斯S500飛彈防禦系統即將服役，連「蒼蠅」都不放過太狠了〉, 每日頭條, 2019年5月13日, <https://kknews.cc/military/pply3j2.html>, 檢索日期：2020年3月9日, 由作者自行綜整繪製表。

雷達距離可達600公里，具有360度的全向覆蓋能力，最大接戰距離400公里，能夠防禦射程3,500公里以下的中程彈道飛彈，亦可有效攔截多種戰術性與戰略性空中目標，包括彈道飛彈、巡弋飛彈、遠程導引攻擊武器、匿蹤戰機，甚至空中預警機等。此外，S-400還採用模組化的系統結構，可與S-300的所有型別的飛彈系統相容，以新系統整合帶動舊式裝備，並提升整體作戰能力。且俄羅斯官方聲稱，S-400在速度、精度等方面均優於美國的PAC-3。

### (三)S-500

1. S-500防空飛彈系統的研發是規劃要具備防空、反彈道飛彈與太空防禦整合系統

，可攔截包含洲際彈道飛彈、遠端高價值航空器(如空中預警機與電戰機)、超高音速武器、低軌道衛星太空目標等威脅目標，屬全方位立體防禦系統，可攻擊低/中/高各種飛行器；攔截近/中/遠程的目標飛彈<sup>20</sup>，其防空能力超越現役的S-400、美國THAAD和PAC系列防空飛彈系統<sup>21</sup>。

2. 由偵察指揮控制、火力攔截、技術後勤保障等三大分系統組成，可於10分鐘內完成機動部署。偵察指揮系統是由機動指揮部和主動相列雷達組成，有效偵測距離達800公里；同時可追蹤超過300個目標；並在9秒內辨識來襲目標類型，同時引導5-10枚飛彈攔截目標。透過數位化通訊系統，與上級指

註20：張保慶，〈S-500防空反導系統：俄新一代空天防禦神盾〉，《太空探索 航天防務》(中國大陸)，第8期，2018年，頁64-65。

註21：陸寧等，〈俄羅斯S-500防空反導武器系統發展研究〉，《中國航天》(中國大陸)，第6期，2017年6月，頁69-73。

表七：中共海紅旗-9型防空飛彈性能諸元表

	彈長 / 彈直徑	6.8/0.47公尺
	彈重	1,800公斤
	尋標器	C波段中的4-6 GHz主動雷達導引
	加力器	兩節固體火箭
	射程 / 射高	HQ-9：0.25-125/18公里。 HQ-9B：0.15-200/30公里。
	截殺方式	高爆破片
	雷達 / 偵搜距離	單面單脈衝相列搜索300公里。 射控雷達120公里。

資料來源：參考〈紅旗-9海紅旗-9防空導彈〉，<http://www.mdc.idv.tw/mdc/navy/china/hq9.htm>，檢索日期：2020年3月9日，由作者自行綜整製表。

揮部、預警網和衛星進行資訊鏈結，全系統可同時引導超過72枚飛彈進行攔截，並同時攔截10枚速度達7,000公尺/秒的彈道飛彈<sup>22</sup>。火力攔截系統包含防空和反彈兩個子系統，防空系統由指揮所、火控雷達、四聯裝發射器和地空飛彈組成；反彈系統由機動指揮部、相列雷達、雙聯裝發射車，和各類型號的攔截彈組成<sup>23</sup>(如表六)。

3. S-500整合300與400系統，據稱有多達10種的彈種，運作概分為四階段<sup>24</sup>：一階段為遠距雷達偵獲目標，持續追蹤並傳送目標的相關資訊給指令車；二階段由指令車根據雷達所接收資料辨識目標，並指派接戰的防空飛彈；三階段為飛彈發射車接收指令車所提供的發射資訊，並將發彈發射；最後由射控雷達協助導引飛彈持續飛向目標，最後摧毀目標。

4. 目前已知的S-500彈種有三種，新型40N6M飛彈在維持40N6飛彈遠端防空能力的

基礎上，最大射程達到400公里，射高約30公里，彈體結構由加力器和攔截器構成，加力器為固體發動機；攔截器為姿態控制+推力向量控制(Thrust Vector Control, TVC)發動機，為高爆破片彈頭。77N6-N1構型與77N6-N相同，採用兩節固體火箭發動機加力器，截殺彈頭為姿態軌跡控制燃氣發動機，攔截方式為HTK或是選向式破片殺傷，搭配光電或主動雷達尋標導引，據稱射程與射高都達200公里。

### 三、中共—紅旗9防空飛彈

紅旗-9(HQ-9)為中共的第一種國產第三代防空飛彈<sup>25</sup>，使共軍具備較強的區域防空能力，同時也促使其國土防空能力大幅提升。海紅旗-9(HHQ-9)為海軍艦載型，並裝備在新一代主力052C、052D和055型驅逐艦上，是中共海軍第一款垂直發射、能對抗飽和攻擊的現代化艦載防空飛彈系統(如表七)。

HQ-9和HHQ-9的主要任務是防護更廣泛


註22：李大光，〈俄羅斯加快建設防空反導防禦系統〉，《環球縱橫》(中國大陸)，第2期，2019年，頁46-48。

註23：同註20。

註24：Mike Tyler，〈Russia to begin S-500 delivery “ahead of schedule”〉，2019年7月22日，<https://www.graphicnews.com/en/pages/39355/military-russian-s-500-missile-defence-system>，檢索日期：2020年2月15日。

註25：郭宣，〈中國紅旗-9征戰土耳其〉，《科學大觀園 當代兵器》(中國大陸)，第15期，2013年，頁38-40。

表八：鐵穹防空飛彈(塔米爾)性能諸元表

	彈長 / 彈直徑	3/0.16公尺
	彈重	90公斤
	尋標器	主動雷達尋標器
	射程 / 射高	4-70/10公里
	截殺方式	HTK/高爆破片
	雷達類型	多功能相列雷達為機動式S-band主動電子掃描相列雷達。

資料來源：參考〈Iron Dome〉，GlobalSecurity.org，<https://www.globalsecurity.org/military/world/israel/iron-dome.htm>，檢索日期：2020年3月9日，由作者自行綜整製表。

的空域範圍(從低高度到高高度)，可攔截各式戰術飛彈與戰機，因此彈頭使用高爆破片(搭配近炸引信)，具有較大的彈體結構。搭配中途無線電指令與終端主動雷達導引；其中，雷達尋標器操作頻段可能為C波段中的4-6GHz(波長為7.5-15公分)，具有抗低空雜波技術，官方公布的參數指標顯示，其最低射高約25公尺，能有效攔截超低空/掠海目標。而HQ-9B更進一步將系統升級，最低攔截高度可降至15公尺，且引進更新穎、小型化的電子技術，提高抗干擾與對付高速、小RCS目標的能力。

HQ-9採用與PAC、S-300類似的氣動力構型<sup>26</sup>，只有4個彈尾控制面而取消中部彈翼，燃氣舵設計也經過改進。HQ-9是在飛彈彈出發射架之後才進行點火，即所謂冷發射，其優點係在空中點火之後，會以燃氣舵加速轉向，可增加對付低高度目標的反應速率。HQ-9採用單面單脈衝相列搜索/射控雷達，其單面天線可涵蓋120度方位角，能同時追蹤距離300公里以內、高度7公里以下的100

個空中目標，並自動進行威脅評估，選出最具威脅的6個目標優先接戰，從雷達偵察發現目標，到發射飛彈接戰所需要的反應時間約為12-15秒<sup>27</sup>。

#### 四、以色列－鐵穹防空飛彈系統

鐵穹機動式區域防空系統(Iron Dome Mobile Areal Air Defense System)係以色列研製，具全天候(包含雨天、沙塵、霧霾、多雲、夜間)作戰、快速反應、抗火箭砲、抗砲彈飽和攻擊能力，為世界上第一款反火箭彈兼防空雙重任務的飛彈武器系統，亦為目前世界唯一火箭彈攔截系統。一套鐵穹系統是由主動式多功能相列雷達(EL/M280)、戰場管理控制系統(Battle Management & Control, BMC)各1部，和6部20聯裝的飛彈發射裝置組成。

(一)多功能相列雷達為機動式S-band主動電子掃描相列(Active Electronically Steered Array, AESA)雷達，對空中目標偵測距離470公里，對火箭飛彈為100公里，主要負責空中防禦及砲兵武器定位偵搜任務。

註26：李大光，〈長鐳刺天—紅旗-9防空導彈系統〉，《百科知識》(中國大陸)，第16期，2016年08月，頁26-27。

註27：同註21。

採模組化設計，可依需求調整雷達尺寸大小和構型，具備先進的電戰反反制ECCM、訊號處理(在沙漠、低空操作環境之目標辨識)、網路化作戰及遙控發射之能力，且可透過車載或機載快速機動部署。雷達對目標處理能力為每分鐘可發射200發砲彈，對飛機等空中目標處理能力為每分鐘1,100個以上。

(二)攔截彈「塔米爾」(Tamir)配有11公斤的單一高爆破片彈頭、近炸引信(主動雷射引信)以及主動微波尋標器，使用翼翅控制，飛行途中接收火控系統上鏈資訊。每具發射裝置可配載20枚攔截彈，具有獨立的液壓控制系統、電源系統、故障檢測系統等，可以垂直或斜角方式發射攔截彈(如表八)。

(三)系統主要鎖定的目標為火箭砲、砲彈等小型快速目標。定義為近程防空系統，即可視為以色列國土防空的最後一道防線，用於保護高價值目標或減小毀傷。該系統放列時間小於20分鐘，接戰時間極短；放列完成與指揮中心有效聯通後，2分鐘內可發射攔截彈，一般在敵方火箭彈發射5秒內，系統雷達即可發現目標，進行攔截。每套系統配備6部飛彈發射裝置，可覆蓋150平方公里區域，並同時攔截多個目標，每部飛彈發射裝置可搭載20枚飛彈，飛彈主要採直接命中(HTK)的截殺方式，但若是與目標交錯無命中，則飛彈的近炸引信會自動觸發，引爆彈頭將目標摧毀，確保攔截成功率。

(四)以色列規劃將該系統裝備於海軍新型的護衛艦(SAAR-6)上做為點防禦系統，具

備快速、自動、能同時攔截多個目標，可有效應對敵方的飽和攻擊<sup>28</sup>；亦可攔截無人機、火箭彈和巡弋飛彈等小型目標，有效保護作戰艦艇。鐵穹防空系統不需要專用火控雷達，可依靠艦艇的搜索雷達運作，在極短的反應時間反制敵飽和攻擊。並與艦艇的作戰管理系統整合，可進行自動控制。經實戰驗證，該系統已經完成至少1,200次的攔截。

(五)鐵穹艦艇防空系統配備模組化垂直發射器，一個發射器系統可承載10枚垂直發射的攔截彈，系統占用面積小，可以整合裝備於巡邏艦、小型護衛艦或海上鑽井平臺等小型艦艇上，以因應地域上(多指黎巴嫩)的軍事威脅，及保護具有高價值資產的護衛艦。另依外媒報導，美軍在2019年8月向以色列購買12具發射器、2具感測雷達、2套指管系統及240枚攔截彈後，即不斷要求以國釋出裝備的「原始碼」，但屢遭拒絕，致使美陸軍無法將該系統納入「整合防空與飛彈防禦作戰指揮系統(IBCS)」中；儘管如此，美軍仍決定維持原建構之「獨立、強大卻無法整合」的「鐵穹」防空連<sup>29</sup>，其防禦能力可見一斑。

## 五、我國防空飛彈現況

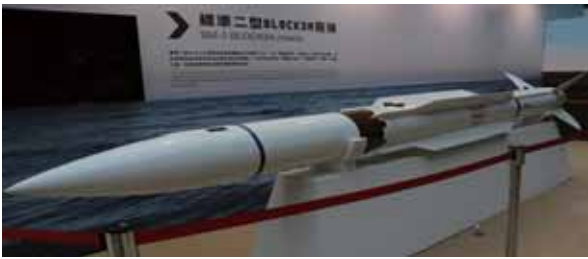
### (一)標準二型防空飛彈

1. 我國引進4艘基隆級艦的同時，亦購入標準二型防空飛彈(以下簡稱SM-2)，其有效攔截距離較SM-1高出百分之六十，且適用於不同天候，具有電子反制(ECM)功能，可迎擊低空至高空目標，包含艦艇、攻船巡弋

註28：〈「鐵穹」登艦，以色列「薩爾6」護衛艦裝備C-Dome防空飛彈系統〉，每日頭條，2019年1月8日，<https://kknews.cc/military/qv49vkb.html>，檢索日期：2020年3月9日。

註29：王能斌，〈軍視界—美軍鐵穹 購案叫停〉，《青年日報》，2020年3月11日，檢索日期：2020年3月23日。

表九：標準二型防空飛彈系統基本性能諸元表

	彈長 / 彈徑	4.96/0.34公尺
	彈重	700公斤
	尋標器	X-band單脈衝半主動雷達導引
	加力器	單節固態燃料火箭發動機
	射程 / 射高	160/24公里
	截殺方式	高爆破片
雷達類型與型號	對空搜索AN/SPS-48與AN/SPS-49傳統旋轉雷達、射控雷達AN/SPS-51D和AN/SPS-60雷達、照明雷達SPG-51D/55B	
備註	如搭配神盾系統具有反艦功能及CEC作戰能力；如非神盾系統則效率較低。	

資料來源：參考〈標準區域防空飛彈(SM-1/2/4)〉，<http://www.mdc.idv.tw/mdc/navy/usanavy/E-antiair-SM.htm>，檢索日期：2020年3月9日，由作者自行綜整製表。

飛彈(ASCM)、超音速飛行目標等<sup>30</sup>。翼展達0.9公尺，彈重約700公斤，彈速可達3馬赫(如表九)，是以尾彈翼控制飛行航向，使用單節固態燃料火箭發動機，飛行採慣性導引與資料鏈指令修正，終端為X-band單脈衝半主動雷達尋標導引，抗干擾能力佳，亦可提升電子反反制能力，同時裝配有自動駕駛儀。SM-2採用高爆破片彈頭截殺方式，可有效摧毀較小型的空中威脅，增強海軍艦隊防空實力。

2. SM-2防空飛彈可操作於神盾以及非神盾系統的雷達<sup>31</sup>。神盾系統的雷達可分為用於資料鏈傳輸的SPY-1型S-band的相列雷達，以及用於鎖定目標的SPG-62型的X-band的雷達，在偵獲目標後立刻進入追蹤狀態(超過200個目標同時進行)，可大幅提升對目標更新速率和追蹤精度。基隆級艦上的SM-2，

搭配非神盾系統的雷達，包含搜索用的AN/SPS-48E對空雷達、射控導引用的AN/SPS-51D和AN/SPS-60雷達，以及照明用的SPG-51D/55B雷達。為兼顧追蹤及掌握SM-2飛彈的位置，必須搭配武器指揮系統(WDS MK-14)、通訊追蹤模組SYR-1(接收SM-2飛彈下鏈傳輸)、飛彈射控系統(MK-74/76)等裝備，輔助SM-2的追蹤與導引修正，在目標更新速率、追蹤精度、攔截成功率與有效接戰距離上，均不及結合神盾系統使用的效率。

#### (二)天弓三型(陸基、艦載)防空飛彈

1. 天弓三型防空飛彈系統(簡稱弓三)為我國自主研發的反戰術彈道飛彈(Anti-Tactical Ballistic Missile, ATBM)<sup>32</sup>，用於反制高性能戰機、巡弋飛彈、反輻射飛彈及戰術彈道飛彈等多種威脅目標<sup>33</sup>，作戰定位近似PAC-3的改良版，卻具有更高彈速、更


註30：慎龍等，〈美國海軍標準系列艦空導彈〉，《飛航導彈 導彈大觀》(中國大陸)，第4期，2010年，頁19-32。

註31：同註6。

註32：傅啟禎，〈【武備巡禮】天弓飛彈研發團隊 挑戰世界之最〉，《青年日報》，2020年3月23日，<https://www.ydn.com.tw/News/377410>，檢索日期：2020年3月25日。

註33：傅啟禎，〈【武備巡禮】防空主力 天弓飛彈〉，《青年日報》，2020年3月23日，<https://www.ydn.com.tw/News/377409>，檢索日期：2020年3月25日。

表十：天弓三型(陸基、艦載)防空飛彈性能諸元表

	彈長 / 彈直徑	5.5/0.4公尺
	彈重	870公斤
	尋標器	主動雷達導引
	加力器	單節固態火箭發動機
	射程 / 射高	200/0.3-30公里
	截殺方式	高爆破片
	雷達 / 偵搜距離	機動式主動相列雷達/400公里

資料來源：參考鍾元，〈臺天弓三增程型導彈可量產 攔截中共導彈〉，《大紀元》，2018年9月12日，<http://www.epochtimes.com/b5/18/9/12/n10707738.htm>，檢索日期：2020年2月15日，由作者綜整製表。

大殺傷範圍，在體積和重量方面也相對較重<sup>34</sup>(如表十)。該型彈為單節固態火箭發動機，彈速達7馬赫，導航系統為中端慣性導引與雷達上鏈修正、終端導引為主動雷達尋標導引；系統包含相列雷達車、戰術指揮車、通訊中繼車、電源車、飛彈發射車，皆可透過車載方式機動運輸。機動式相列雷達搜索距離達400公里，具備搜索、追蹤、導引、敵我識別、電子反制與反反制、上下交鏈等功能。雷達的波束水平向掃描範圍達120度，垂直向達90度，可同時追蹤空中或海面低空100個以上目標，並指揮20枚弓三飛彈進行多目標接戰。

2. 弓三截殺目標的方式主要為高爆破片彈頭，攔截時的飛行軌跡會先上升至一定高度後，轉向斜下方俯衝加速，直至所預期目標飛行路徑的下方時，再轉向上飛升，啟動主動雷達尋標導引方式逼近目標，以最接近點引爆彈頭擊毀目標。我國海軍規劃將陸基「天弓三型」飛彈裝備於作戰艦上，未來搭

配海軍新主戰艦及引進美國垂直發射架(MK-41)，將可有效遏阻中共戰機飛越海峽中線，大幅提升我國防空識別區的防禦力量。

### 參、協同作戰能力系統概念

美軍為因應水面艦防空、反飛彈的需求，於上世紀70年代開始協同作戰能力(CEC)概念研究<sup>35</sup>。運用電腦、通訊和網路等技術，把各協同單元上的目標探測系統、指揮控制系統和武器系統等連成網路，實現作戰訊息共享，統一作戰行動，進而大大的提升了美海軍的防空飛彈能力，系統介紹如後：

#### 一、系統概念

CEC係透過高速高頻寬網路，將各單位(包括船艦、預警機、岸基等單位)所有感測器(如雷達)獲得的資料(包括未經處理的方位、高度、速度)，透過電腦、通訊及其他裝備介面整合成一網路，實現作戰資訊共享，統一作戰行動<sup>36</sup>。其可將編隊中各個作戰系統所有的感測器資訊，合成一個單一的、

註34：鄒東，〈臺軍聲稱可媲美“愛國者”與S-300—臺灣“天弓”防空導彈情報〉，《國際展望半月刊》(中國大陸)，第24期，2005年12月，頁60-64。

註35：李軍，〈海軍協同交戰能力(CEC)分析〉，《艦船電子工程》(中國大陸)，第31卷，第5期，2011年，頁25-37。

註36：王曉軍，〈淺談美海軍協同交戰能力(CEC)〉，《計算機與數學工程》(中國大陸)，第30卷，2002年，頁60-63。



即時的綜合航跡，運用於水面艦艇的防空作戰(包含攻擊及自我防禦)，其功能亦可進一步擴展為對來自空中、海上、陸上的飛彈防禦(如圖四)。

## 二、功能設計

(一)CEC係由硬、軟體兩個部分共同組成的系統，是一個堅固的大寬頻通訊網和強大的整合處理器組成的動態分布式網路。其核心部位是「協同接戰傳輸處理組」(Cooperative Engagement Transmission Processing Set，以下簡稱CETPS)，為一種安裝於武器載臺的終端設備。網路內各節點(包括船艦、預警機、岸基等單位)，透過寬頻資料鏈即時的情資分享與處理，彼此間未經濾波處理的射頻雷達感測資料(包括目標方位、高度、速度等)，再經過同步等措施後，每個節點的後端數據處理系統就能同時處理來自多節點雷達的同一批接觸資料，用共同軟體產生一個整合的目標軌跡，形成一

個各節點資料數據同步，及能完整描述(包含空中與陸基等單位)周遭戰術態勢的單一整合空中圖像(SIAP)，再透過一套整合演算法，彙整各節點雷達產生的處理資料，使得最終的圖像達成一致。此外，為使CEC網路內各節點雷達的防空偵側和武器系統，如同在相同載臺上的獨立分散式系統般的運作，CETPS亦負責協同交戰的決策與執行，除可分享各個網路內部的情資之外，亦可共享不同網路之間的戰術態勢圖(包含其他戰術情資)，並整合多個戰鬥群，統一進行網路中心協調與作戰。

(二)CETPS有「資料分配系統」(Data Distribution System, DDS)與「協同作戰處理器」(Cooperative Engagement Processor, CEP)<sup>37</sup>等兩個主系統，另有數據分配、指揮/顯示支援、感測器協同、交戰決策及執行等5個子系統。DDS負責網路內各節點間的數據傳輸，且需有足夠的頻寬及輻射功率；使用C-band相列收發天線，以較窄波束(與相列雷達的波束相似)進行數據傳輸，且單一指向性高，不易被敵方截獲，此種筆狀窄波束功率較強且指向性高，旁瓣不易被敵方察覺，此外，也能靠著集中能量「燒穿」敵方干擾訊號，故具有優異的保密性與電子反反制能力。

(三)CEP則負責處理DDS傳輸的資訊，透過數據匯流排與其他次系統連接，包含艦上的戰鬥系統(含武器)數據；當處理不同節點的資訊時，亦同步進行座標轉換，使不同節

註37：邱千鈞，范英飆，陳海建，金永昆，李靈，〈美海軍艦艇編隊協同作戰能力CEC系統研究綜述〉，《現代導航》(中國大陸)，第6期，2017年12月，頁457-462。

點的數據座標資訊重合，並對各數據進行濾波和精度加權；此階段也會排除受到嚴重干擾的節點所偵測到的數據。

(四)鑑於現今科技與傳輸技術日臻完善，CEC機制亦可校準來自不同節點的數據時間，同步到毫秒(ms)的等級，有效提升目標的精確位置。現階段的CEC網路已可容納24個節點<sup>38</sup>，且可允許節點數量的動態增減，單一節點能隨時自由加入或離開一個網路，以增加作戰運用彈性。

### 三、作戰效益

CEC可有效提高整個戰鬥群組的探測、鎖定及打擊，包含艦艇本身無法掌握的目標。各作戰單元能即時獲得其他作戰單元的感測器數據，就如同艦艇所有感測器偵測的資訊，均可彙整至戰情室，此能力遠遠超過戰鬥群本身對目標的探測距離。即使單一作戰單元發現了一個超出其自身感測器作用距離的目標，雖然數據不完整，也會自動向CEC網路中的其他雷達發出提示，來搜索同一個目標的航跡，有關效益摘列如下：

(一)在目標連續追蹤和鎖定上，提供倍數成長

CEC系統利用多個、不同方位對目標進行探測，及在不同頻率上運作的雷達所獲取的目標資料，合成一條綜合航跡，利於對目標的連續追蹤與鎖定。以海空聯合編隊為例，CEC讓一艘船艦獲得支隊內各艦艇(含岸基及空中載具)的雷達資料來運算，大大地提高網路中的航跡質量。

(二)通過任何一個單獨的感測器，提供盡可能精確的目標資料

由多個作戰單元或感測器的輸入數據，形成系統的單一圖像、提供多個探測角度和不同工作頻率的目標情資，以提高精確度，且可更快速、更精準的彙整現有數據，形成一條高精確度之綜合航跡。

(三)拓展現有感測器和武器系統的接戰能力

整個戰鬥群都能運用其中任何一個感測器探測到的航跡資訊；發射之飛彈也能利用不是其自身感測器提供的目標資料，進行交戰或遙控接戰(Engage-on-Remote, EoR)，拓展艦船接戰能力。

(四)增加火力縱深

由於CEC具有高精準遠程探測數據，儘管艦船雷達受地球曲度影響，但海、空兵力可利用系統獲取遠程探測數據，並發射飛彈攔截低空掠海或本身無法偵測的目標，當此目標進入其雷達的作用範圍，即使一次攔截不成功，系統也具有再次交戰的機會。

(五)與目標交戰不再受制於自身船載感測器(雷達)

即使一艘艦船的主要對空搜索雷達受干擾，或遇到不良天候時，該艦船仍可藉由CEC運作，從其他艦船接收到的合成航跡，進行交戰。

(六)自衛系統能夠最有效的對抗來襲目標

自衛系統的飛彈能夠利用CEC網路中更

註38：顧云濤，〈海軍網路戰及CEC系統的發展研究〉，《艦船科學技術》(中國大陸)，第25卷，第05期，2003年10月，頁34-36。



精確的合成數據進行交戰，大幅提升船艦本身的安全性；若無CEC的運作，則上述效益將無法實現。

## 肆、海軍艦隊防空現況與精進建議

海軍艦隊現有防空飛彈，不管是攻擊距離及打擊能力均有精進空間，且並非所有作戰單位均有數據資料鏈，因此在遭受威脅時聯合戰力發揮勢必受限，以下就現況分析並提出精進建議，俾供艦隊參考。

### 一、現況分析

#### (一) 目標偵知識別不易

我海軍艦船對空搜索雷達多數仍是二維，最大偵測距離約200公里，僅基隆級艦AN/SPS-48E為三維雷達，最大搜索距離約400公里，最大探測高度3萬公尺，能在30公里距離外偵測低空進襲、RCS為0.1平方公尺(相當於攻船飛彈)的目標，偵測概率約為百分之五十。SPS-48E經改良可偵測到陸地上空高度10公尺、RCS為0.1平方公尺、速度3馬赫的目標；惟受地球曲率影響，偵搜距離受限，降低早期預警時間，且目前空中飛行載具(含UAV)及反輻射飛彈，均採匿踪設計，雷達截面積更小，艦隊對空中目標偵知將更加困難。

#### (二) 打擊火力受限

海軍主作戰艦目前防空手段包含海欖、標準一、二型飛彈及方陣快砲，依偵知、識別距離，亦可配合軟殺作為，執行干擾彈誘鎖戰術，其中除標準二型射程較遠外，其他防空火力射程較短，且無反飛彈功能，使支



圖五：艦載(含機載)對目標偵搜示意圖

資料來源：作者自繪。

隊在遭受防空威脅時，不僅對自身防衛產生問題，編隊距離亦基於上述因素受到限制，嚴重影響目標打擊距離。

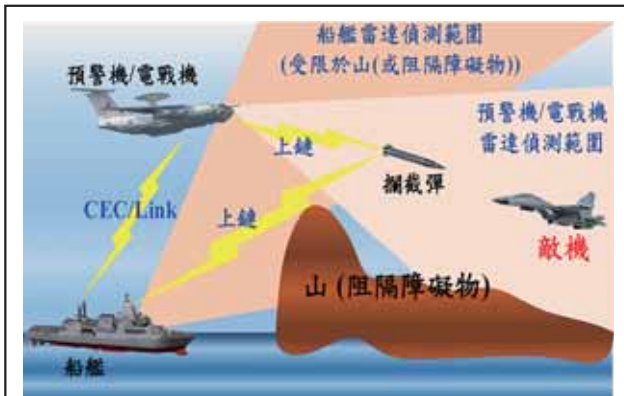
#### (三) 聯戰能力尚待精進

Link-16係國軍現階段使用一種具備即時、保密、抗干擾及具備共同圖像的戰術數據鏈路；惟並非所有飛機、艦艇及防空飛彈均配有此項裝備，且目標資料上傳共享亦須獲得授權。就聯合作戰及戰場管理角度而言，該鏈路僅能做到兵力管控，無法直接對作戰單元執行武器控制，且陸基、海上及空中各作戰節點未整合前，火力打擊及涵蓋範圍受限。

### 二、精進建議

#### (一) 研發主動相位陣列雷達，精準掌握目標

一般相位陣列雷達波束的水平向寬度較大，因此橫向探測誤差遠大於縱向；此外，該雷達柱狀窄波束功率較集中且指向性高，不易在其他方位洩漏旁波被敵方察覺，亦可靠著集中能量「燒穿」干擾訊號，具有較佳的保密性與電子反反制能力。海軍新一代艦



圖六：A射B導(艦艇發射、飛機導控)作戰概念示意圖

資料來源：作者自繪。

艇現規劃使用中科院研發之主動相位陣列雷達，屆時再結合P3C型機紅外線熱顯像掃描器，蒐獲之目標資訊將更為精確(如圖五)。

(二) 研發遙控接戰能力，延伸打擊火力加大作戰縱深

PAC及天弓系列飛彈為國軍現有陸基中、長程防空飛彈主力，可防禦包含一般戰機、巡弋飛彈及彈道飛彈等空中威脅。未來若能結合中科院研發之主動相列陣列雷達及天弓飛彈為主架構，並規劃研發具有遙控接戰(EoR)飛彈之系統，屆時即便作戰單位本身感測器沒有接觸目標，但透過CEC(或其他數據鏈路)網路從其他節點獲得高更新率、高精確度的射控等級偵測資料，仍能發射飛彈並透過自身的射控頻道進行接戰，或者也能選擇「A射B導」方式，發射飛彈之後將所有導引工作(包含中途上鏈更新與終端照射等)透過資料鏈路系統轉移給其他節點導引(如圖六)。屆時即可將臺灣本島(含外、離島)及海上艦隊防空武力形成一道綿密飛彈防禦網，不僅延伸火力打擊範圍，亦可對威脅目



圖七：美國雷神公司陸基近迫防空快砲系統

資料來源：〈美國Raytheon雷神公司-Centurion 百夫長陸基方陣武器系統〉，世界尖端武器觀測站，[https://www.facebook.com/pg/ng.wawos/photos/?tab=album&album\\_id=173816092756958](https://www.facebook.com/pg/ng.wawos/photos/?tab=album&album_id=173816092756958)，檢索日期：2020年3月9日。

標實施重層攔截，加大作戰縱深。

(三) 添購「陸基近迫防空快砲系統」提升陸上防護能力

「陸基近迫防空快砲系統」(Counter Rocket, Artillery, and Mortar, C-RAM)，其可用於攔截火箭彈、迫擊砲彈和普通砲彈的防禦性武器(如鐵穹系統)。2004年起，美軍於中東地區已部署近50套陸基近迫防空快砲系統(如圖七)，除已擊落過來襲目標外，更可以攔截迫砲、火炮與火箭的攻擊。今年(2020年)1月，伊朗空襲美軍駐伊拉克阿薩德(A1 Asad)空軍基地，據稱就是由該項裝備成功攔截飛彈；再者，從共軍戰機開始繞臺飛行後，其轟6-K因航程遠，掛載射程1,000公里的長劍巡弋飛彈，繞道東部空域外進行「防區外攻擊」，將增加國軍防禦難度。未來，加上中共航艦戰鬥群戰力形成後，其艦載與空射巡弋飛彈，都將對我國東部各基地造成嚴重威脅，國軍現已有計畫採購該裝備，屆時配合中、遠程防空飛彈，勢必可對威脅基地安全之飛彈，實施重層攔截，

增加戰場防護能力。

#### (四) 統合三軍兵力運用，充分發揮聯戰效能

目前國軍已可運用系統共同圖像，掌握具 Link-16之飛彈基地及海、空軍戰臺，並對威脅目標賦予交戰任務；惟三軍所有主力部隊並非全部具有是項裝備，即使我國具有高密度的防空飛彈部署，聯合作戰效能仍無法充分發揮，當面臨敵方目標飽和攻擊時，整體防護效益低落。因此，國軍應自主研發三軍(含防空飛彈基地)通用數據鏈路，並比照類似美軍「海軍整合射控防空計畫(NIFC-CA)」及CEC概念，藉由該系統將水面艦、空中兵力、岸基平臺以及艦載機之火力實施統籌分配，再搭配空中預警機或無人機的偵察協助，可大幅提升水面艦的超視距偵知及防空、識別及攻擊效能<sup>39</sup>。

### 伍、結語

從中共「建軍70週年」閱兵中我們不難看出，其每年在國防花費上不斷呈倍數成長，對我威脅與日俱增；另一方面，我海軍部分防空飛彈(如海欖飛彈)及對空搜索雷達在

打擊力與偵搜力上均有待加強，積極整合三軍防空體系形成綿密飛彈網路，確實是刻不容緩的工作。

現階段中科院無論在防空飛彈、主動相列雷達及數據鏈路研發上，均具一定成熟技術，海軍未來在「國艦國造」及國防武力自製政策下，若與中科院持續合作，精進(或創新開發)雷達及防空飛彈，不僅中科院持續獲得資源挹注；再配合本身突破關鍵技術瓶頸，研發出一套屬於國軍之數據網路，相信在面對中共飛彈威脅下，勢必可形成具有協同作戰能力(CEC)及「海軍整合射控防空計畫NIFC-CA」的堅實戰力，充分發揮聯合作戰效能及對重要目標的多重防護任務。

#### 作者簡介：

劉書麟先生，海軍備役上校，海軍官校78年班、國防大學海軍指揮參謀學院88年班、國防大學戰爭學院96年班，曾任海軍司令部參謀官、康定級艦艦長、戰隊長、副艦隊長、國防部副處長，現服務於國家中山科學研究院。

徐雍先生，逢甲大學光電工程學系101年班、光電工程碩士103年班、國立交通大學光電工程博士108年班，現服務於國家中山科學研究院。

註39：雷清宇，〈美海軍重新掌握制海之水面作戰戰略一分散式殺傷〉，《海軍學術雙月刊》(臺灣)，第54卷，第1期，2020年2月1日，頁6-19。

