

從情報角度建立分析性模式 評估中共052D型艦防空火力

Evaluating AAW firepower of PLAN 052D Destroyer
by an analytical model from perspective of Intelligence Agency

王貴民、陳冠如、韓慧林、孫榮平

提 要

- 一、中共仿自美海軍神盾艦的新艦 - 052D型驅逐艦(DDG)，又稱「中華神盾」，已陸續成軍。國內外輿論與分析家對其評價雖有高低，但對中共之軍工自製武器系統能力卻皆同聲佩服、稱羨有加；然而對它的區域防空作戰效益究竟如何，至今仍是眾說紛紜、莫衷一是。
- 二、非經量化分析，052D的飽和火力能量終將還是個謎，尤其所獲有限資料的可信度與有效性尚無從證實之際。本研究從情報角度出發，以軍事作業研究為基礎，發展簡單分析方法-火力時間窗口之數學模式，針對052D戰鬥系統防禦日本下一代超音速攻船飛彈XASM(X Anti-Ship Missile)之想定進行案例分析。
- 三、結果顯示，052D所面臨的最壞狀況是XASM以3馬赫掠海攻擊彈道方案。因地球曲度限制因素，052D無法延伸雷達對掠海目標之偵測距離，戰鬥系統反應時間受到壓縮，令其整合之飽和接戰量為7.3枚，換算需求之F-2戰機只要大於4架就有攻擊成功的機會。
- 四、本研究所運用數據皆來自公開文獻與資料，其間之誤差難以避免，但結果所顯示之趨勢與研判仍可提供各方對052D的解讀。

關鍵詞：火力、防空、模式、052D、XASM

Abstract

1. The "Chinese Aegis", 052D Destroyers have been commissioned and operational. The swarmed public comments have never been stopped, in which no matter compliments or critics, there is one common admiration for Chinese is its amazing ability in copying and producing these new generation weapon systems and platforms.

2. However, without a quantitative process, the capability of 052D in area air defense warfare (AAW) would be still a guess from all aspects, in particular on the premise that the limited number and unconfirmed data. Objective of this study is, from Intelligence Agency perspective, to develop an ad hoc analytical model, based on “time window of firepower” concept, for analyzing 052D area AAW capability. The basis of scenario and proposed feasible alternatives is using Japanese next generation anti ship missile (XASM) to attack 052D.
3. The results show that the worst case for 052D is to against the high speed (3 mach) skimmer. The main reason is that the detection range of on-board phased array radar is limited by the curve of earth that shrinks the engagement time window. The consequence is that only 7.3 XASMs the 052D can engage, i.e. 052D's saturate engagement volume is 7.3 XASMs. In terms of attacking force, the Japanese Navy can carry out its successful attack with no less than four of F-2 fighters.
4. All the data used in this study are from open sources that may certainly cause the deviation of analytical result but the trends and evaluations are still capable of interpreting the myth of 052D for Intelligence Agency.

Keywords: firepower, air defense, model, 052D, XASM

壹、前言

區域防空作戰之效益分析因複雜度高，多以分析性模擬為主進行船團(如航母戰鬥群)之存活率或防禦率評析，鮮少以數學模式為之。就中共新造052D型飛彈驅逐艦(簡稱052D)而言，至今不但相關資料難以獲得，已公開的部分卻也費各界疑猜。就情報角度而言，如何在情資缺乏前提下，運用科

學方法對特定議題提出分析與判斷，會是軍事決策上的重要倚靠。本研究針對052D接戰特定目標之接戰總火力(Fire Power)議題，以「時間窗口」(Time Window)概念為基礎，發展火力數學模式加以解析。時間窗口所指的是052D接戰來襲目標有效的時間長度，過早與過晚(在時間窗口以外)的接戰則因戰鬥系統備便程度與有效接戰距離原因，計為無效接戰。除建立數學模式外，本研究將提

出假設想定，建立案例，分析052D能發揮的火力。所使用衡量指標(Measure Of Effectiveness, MOE)為052D防空飛彈的發射數量與接戰目標數。

貳、文獻探討

Gupta¹指出，中共將新造10艘052D做為航母打擊群(Carrier Strike Groups, CSGs)之主戰兵力。該型艦排水量超過6,000噸，偵蒐系統包括346型主動陣列式雷達系統(Active Phased Array Radar System)與518型L-band遠程雷達。重要武器系統包括前後兩座各32單元之垂直發射系統，可以發射HHQ-9B(海紅旗9號)防空飛彈、攻船飛彈與反潛火箭，另配備DH-10攻陸巡弋飛彈。

346型主動陣列式雷達系統屬於主動電子掃描陣列(Active Electronically Scanned Array, AESA)，有能力在81浬與17浬處追蹤200個空中與海上目標，水平搜索距離可達40浬。除支援艦砲導引外，對防空飛彈(Surface to Air Missile, SAM)導引上運用中斷連續波照明(Interrupted Continuous Wave Illumination, ICWI)技術可同時導引在空的32枚半主動雷達導引飛彈，其中包括正同時執行終端導引的16枚飛彈²

。所配備的SAM為HHQ-9，改良自HQ-9，而HQ-9又仿製自俄羅斯的S-300型SAM，屬於中遠程飛彈。該型飛彈之導引具有中途位置更新之慣性導航與終端主動雷達歸向³；為兩節式飛彈，全長8.5公尺，最大速度為4.2馬赫，射程為6-200公里，射高則為0.5-30公里；攔截彈道飛彈之最大距離為30公里。單發命中率(飛機/彈道飛彈)為0.7-0.9/0.3⁴。052D艦載其他相關防空武器還包括裝置於艦艏與守門員近迫防禦系統(Goalkeeper Close In Weapn System, CIWS)相仿的H/PJ-12型7管30毫米艦炮⁵以及裝置艦艉類似美軍RIM-116 Rolling Airframe Missile (RAM)的紅旗10(海紅旗9)24聯裝的近程防空飛彈系統，射程最遠可達12公里，比RAM的20.12公里短(RAM的最近接戰距離為0.4公里)⁶。

AESA對SAM有終端導引能力，其解析度高於SAM的主動歸向雷達導引，但是052D是以何種方式對HHQ-9進行導引，至今仍查無確切資料。但無論何種導引，當面對掠海飛彈，都會遇到地球曲度問題，因此雷達偵距(Line Of Sight, LOS)會因之而受到限制並直接影響接戰距離，除非中共具有美海軍的合作接戰能力(Cooperative Engagement

註1：R. Gupta, "China Yearbook 2012," Institute for Defence studies & analyses, New Delhi, 2013.

註2：W. contributors, "Active Phased Array Radar," 9 September 2014. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Active_Phased_Array_Radar&oldid=624843651. [Accessed 15 October 2014].

註3：C. Kopp, "CPMIEC HQ-9/HHQ-9/FD-2000/FT-2000 Self Propelled Air Defence System," Air power Australia, Sydney, 2009.

註4：GlobalSecurity.org, HQ-9, Alexandria, VA: GlobalSecurity.org, 2013.

註5：維基百科編者，「H/PJ-12型7管30毫米艦炮」22 6 2014. [線上]. Available: <http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=H/PJ-12%E5%9E%8B7%E7%AE%A130%E6%AF%AB%E7%B1%B3%E8%88%B0%E7%82%AE&oldid=31668943>. [存取日期: 22.11.2014].

註6：Layarteb, "Surface-to-Air Missile Systems," 12 Oct. 2008. [Online]. Available: <http://z4.invisionfree.com/NSDraftroom/index.php?showtopic=4610>. [Accessed 22 Nov. 2014].

Capability, CEC)，能透過艦隊之共同作戰圖像(Common Operation Picture, COP)執行遠端非同艦的飛彈導引之協同/合作接戰，例如，掠海目標在未進入防禦方的雷達偵距前就可發射SAM，由他艦執行該枚飛彈之接戰導引⁷。防空艦的雷達偵測距離的限制因素，除天候外，多歸因於地球曲度與目標大小。雷達波以直線行進，其偵距與雷達所在位置高度與目標飛行高度有直接關係，可引用公式加以求算⁸。由於匿蹤科技的進步，目標的大小以雷達截面(Radar Cross Section, RCS)為指標，該指標已成為偵距遠近的重要影響因素。若以飛鳥為比較基礎，則飛鳥、戰機(Su-27/F-18/F-22/B-2)、飛彈(戰斧)的RCS(m²)分別為0.01、15/1/0.0001/0.0001、0.05。美軍的空中預警機(Airborne Warning And Control System, AWACS)之原始設計是以RCS為7m²之目標為主，雷達偵距為370公里；RCS=0.1m²目標之偵距為130公里。若以RCS=0.1m²、時速為350節之低飛攻船飛彈(Anti-Ship Missile, ASM)，防空艦戰鬥系統的系統反應時間會縮短至少12分鐘^{9,10}。美海軍神盾SPY-1D可以在165公里偵測

RCS為0.0025m²的高爾夫球，而對於RCS為0.03m²的彈道飛彈彈頭偵距為310公里¹¹。中美防務期刊(Sinodefenceforum)推測中共Type-346相位陣列雷達對RCS為0.008m²的目標(如鴿子大小)偵距為147公里¹²。

將於2020年服役的日本新型空射攻船飛彈XASM-3，由三菱重工所研發，速率3-5馬赫，射程200公里，具紅外線成像/終端主動雷達導引|雙接戰模式；彈身較魚叉飛彈長，具匿蹤特性；規劃由類似美軍F-16的日系F-2戰機攜帶。為避免發展航母所預期引發的國際爭議，面對中共航母戰鬥群，日本將運用XASM-3應對¹³。雖然XASM-3速度驚人，但多以高高度飛行，主因是低飛會因高空氣密度形成之阻力，不利遠攻時所必須節省燃料之要求；另外低飛的風險還包括因高速與高空氣阻力形成的彈道震盪(Trajectory Shiver)而容易墜海。高高度飛行加上高紅外線信號，很容易被水面艦偵獲。一般而言，超音速ASM彈可維持的最低飛行高度在30公尺以上，與次音速ASM所能達到的3-5公尺相去甚遠¹⁴。

美軍在面對高速目標(如彈道飛彈)時的

註7：R. g. o. APL, "The Cooperative Engagement Capability," JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, vol. 4, no. 16, pp. 377-396, 1995.

註8：Alan G. Bole, W. O. Dineley, Alan Wall., Radar and ARPA Manual, 2nd Edition, UK: Butterworth-Heinemann, 2005.

註9：GlobalSecurity.org, "Radar Cross Section," [Online]. Available: <http://www.globalsecurity.org/military/world/stealth-aircraft-rs.htm>. [Accessed 21.10.2014].

註10：S. A. Group, "Emerging Cruise Missile Threat," NDIA Strike, Land-Attack and Air Defense Committee, Arlington, VA, USA, 1999.

註11：S. A. Group, "Emerging Cruise Missile Threat," NDIA Strike, Land-Attack and Air Defense Committee, Arlington, VA, USA, 1999.

註12：J. A. Robinson, "Force Protection from the Sea: Employing the SPY-1D Radar," Field Artillery, pp. 24-25, March-June 2004.

註13：Escobar, "PLAN Type 052 Class Destroyer," 2 November 2012. [Online]. Available: <http://www.sinodefenceforum.com/navy/plan-type-052-052b-class-destroyers-157-5571.html>. [Accessed 25 October 2014].

註14：K. Mizokami, "The Chinese carrier killer?," Japan Security Watch, New Pacific Institute, Tokyo, Japan, 2010.

防空接戰邏輯乃以殺傷鏈(Kill Chain)為基礎，即：Find-Fix-Track-Target-Engage-Assess(F2T2EA)(發現-定位-追蹤-標定-接戰-戰損評估)。Find：發現，係指偵測可能目標階段，包括情蒐與偵測。Fix：定位，確定可能目標位置階段，包括偵測系統對向目標、目標位置、目標識別與掌握系統反應時間。Track：追蹤，監測目標行動階段，包括調整情、監、偵(Intelligence, Surveillance, Reconnaissance；ISR)優先順序以追蹤目標、持續追蹤與確定擁有充裕之資料更新時間。Target：標定，決心接戰目標與選擇接戰方式，包括確定掌握之資源、發展可行方案、持續追蹤、武器人員備便、符合接戰限制、協調運動姿態以減低衝突風險、目標區清理、風險評估、選擇接戰方式與下定決策。Engage：接戰，為接戰行動，包括下令接戰、發布命令與監測/管理。Assess：戰損評估，接戰結果資訊蒐集以判斷結果是否符合預期，包括評估作業、報告結果與重新接戰之建議。依此邏輯可以將戰場管理所需反應時間做系統性之壓縮，以提升防空作戰效益¹⁵。依據殺傷鏈邏輯，可判定，052D之AESA雷達，涵蓋殺傷鏈中的發現-定位-追蹤-標定四部分，由於接戰時須要高精確度(尤其是接戰高速目標)，飛彈終端導

引以照明雷達為之。

052D主要任務係提供區域防空作戰以維護航母戰鬥群之安全。理論上¹⁶，區域防空主要目的在於維護主體之安全，在美軍以航母為主體稱為高價單位(High Value Unit, HVU)，根據美軍防空編隊之基本理論，防空作戰隊是基於防禦縱深分層擊毀來襲敵機或飛彈之概念而成。分層之方式依海上既有機艦為主，外層(Outer Screen)以空中戰鬥巡邏機為主，中內層(Middle and Inner Screen)則依靠艦載中遠程飛彈。為取得縱深效果(發揮最大火力與減少敵攻擊效益)，各艦間皆以大距離間隔方式編隊¹⁷。而052D配備之AESA(相位陣列雷達)與戰鬥系統具有快速、精準、大量目標偵測能力，適合做為海上指管中心以執行威脅目標之監視、命名、分配、接戰等戰場管理任務，所產生關連的事件包威脅偵測、識別追蹤與威脅確認、威脅排序、目標分配與發射準則律定、各參戰單位運動解算、AAW艦之系統發射彈令與接戰時之導引等¹⁸。

對於防空艦的接戰性能分析，可運用複雜的模擬或簡單數學模式加以解析，當然會在深度上有所不同，此種不同會表現在不同的效益指標(Measure Of Effectiveness, MOE)的定義與運用上。如Farris與Stuckey¹⁹

註15：B. Brush, "Supersonic AShM VS. Subsonic AShM," 21 August 2006. [Online]. Available: <http://www.sinodefenceforum.com/navy/supersonic-ashm-vs-subsonic-ashm-2250.html>. [Accessed 1 November 2014].

註16：J. M. Fyfe, "The Evolution of Time Sensitive Targeting: Operation Iraqi Freedom Results and Lessons," Airpower Research Institute, College of Aerospace, AL, USA, 2005.

註17：W. Bradford, "The theoretical layered air-defence capability of a ship engaged against multiple anti-ship capable missile attacks," Aeronautical Research Laboratory, Defence Science and Technology Organisation, Department of Defence, Victoria, Australia, 1992.

註18：O. Kulac, A Comparative Analysis of Active And Passive Sensors In Anti-air Warfare Area Defense Using Discrete Event Simulation Components, CA: Operations Research, Naval Postgraduate School, 1993.

註19：N. E. a. T. Command, "Surface ship operations," Office of the Chief of Naval Operations, USA, 1978.

以分析程序(System Process)對2000年時期的防空作戰系統效能進行分析並以結果支援美海軍高層進行武器系統發指以及其艦隊部屬指導與戰術發展，結合十多個低階高解析度模型所形成的戰鬥系統模式，使用多MOE如擊落目標數、目標穿透數與系統火力等。Buss et al.²⁰運用系統工程模式分析敵以反通道空中阻絕(Anti-Access Aerial Denial, A2AD)武器對美海軍型艦艇產生的威脅與風險，提出以符合成本效益之小型水面艦替代方案並進行風險分析。Diehl²¹以整數線性規劃分析出最大敵飛彈攻擊造成損失之期望值，針對其他防禦可行方案尋求最小化後的最大損失。美國政府之審計總局(General Accounting Office)對於美海軍針對2000年海上威脅日益高漲的他國巡弋飛彈所提出的兵力作戰能力提升案進行過去與未來作戰能力需求之分析，其所使用的分析工具為Probability of Raid Annihilation (PRA) model²²。Gormley et al.²³在分析中指出中共北京航空航天大學對ASM與巡弋飛彈穿透美海軍艦隊之整合防空作戰系統運用大量模式與模擬進行分析，為找出命中主要目標(如航艦)的可行方案，該校以隨機方式設定ASM飛行高度與各種穿透的戰術運動方式，能產生最高效益的方案其穿透率坐落於83%至99%之間。該作者研判，面對美軍神盾艦，中共海上作戰分析人員所律定的方案是以

ASM左右蛇行(Snake)與豚式上下(Porpoise)飛行之戰術運動進行穿透；美軍亦認為中共這批人員已充分展現出採用科學方法與新思維解決問題時所需具備的細膩性與複雜度。

參、模式發展

模式發展在邏輯上首先要建立作戰概念，接以數學方式描述並發展模式，提舉可行案例並運用模式加以計算分析，分述如後。

一、作戰概念(Operations Concept)

戰時海上航行重要船艦(如油輪與航空母艦)所面臨的威脅來自空中、水面以及水下，因而船團的護航兵力必須具備防空與反潛作戰雙重能力。中共近20年來因經濟蓬勃，國家富裕，而能依據國家智略需求，大力投資軍備，發展新一代兵力，其中，能執行遠程兵力投射的航母為建軍首選。然而，航母戰鬥群必須擁有獨立的三度空間作戰能力才能確保航母之安全與作業。就反航母作戰而言，最符合成本效益的方式無非就是ASM的運用。中遠程ASM，可由海空載台發射，所發射的數量大於敵艦隊所能提供的飽和防禦火力以尋求突穿機會，以命中主要目標(例如航母)。

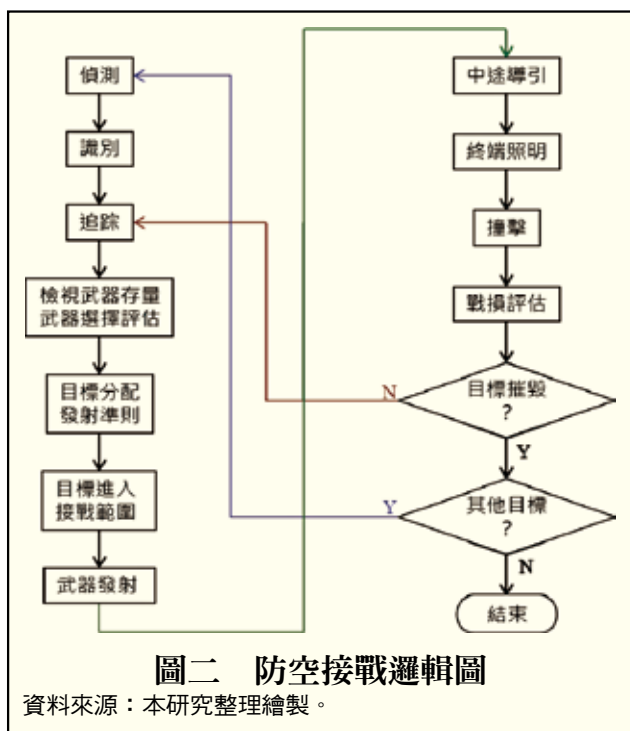
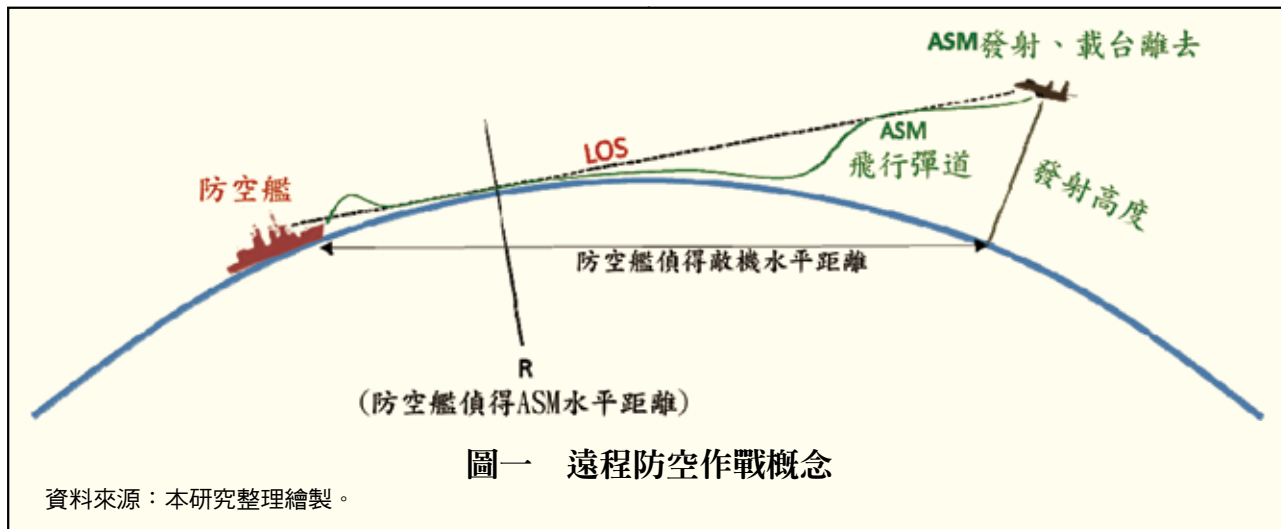
為建立大量海空目標之偵蒐與快速接戰能力，中共仿效美海軍神盾級艦積極發展中國版的神盾艦，稱為052D級驅逐艦(中華神

註20：R. S. Farris, "A Ship Defense Analysis Process," Johns Hopkins APL Technical Diges, vol. 21, no. 3, 2000, pp.393-402.

註21：John Buss, Rico Magbanua, Chrisman Thompson, Wei Quan Toh, Min Yan Tan, "Distributed surface force," Naval Postgraduate School, Monterey, California, USA, 2014

註22：John Buss, Rico Magbanua, Chrisman Thompson, Wei Quan Toh, Min Yan Tan, "Distributed surface force," Naval Postgraduate School, Monterey, California, USA, 2014

註23：D. D. Diehl, "How to optimize joint theater ballistic missile defense," Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA, 2004.



盾艦)。該艦外型、裝備與美系神盾系統相仿，包括電子掃描式相位雷達以及垂直發射架等；052D艦之主要設計概念就是能執行護航航母所需之海上區域防空作戰。當今的防空作戰係以反飛彈為主體，從圖一所顯示的反飛彈作戰概念，包括攻守雙方的作戰方式

：來襲之空中載台在052D的SAM射程外進行飛彈攻擊，發射後即行離去，ASM離開載台後即依其彈道飛行，並進行中端的搜索與攻擊。受到地球曲度影響，若ASM以掠海飛行 (Sea Skimming) 方式進襲，則052D將面臨偵測距離縮短而形成之戰鬥系統反應時間亦相對縮短之情境，因為對來襲ASM之偵測會因雙方高度 (包括飛彈高度與052D雷達高度) 關係影響防禦方的雷達偵距。對戰鬥系統而言，只有ASM進入視距，才會開始反應，從而展開其接戰程序。接戰程序所根據的是系統的接戰邏輯 (如圖二)，其中，本研究所謂的系統反應時間係指052D之戰鬥系統在雷達偵得目標後的目標識別、建立追蹤、系統執行目標分配到武器發射止所花費的時間。

肆、模式發展

依邏輯，模式發展分為四個步驟：發展接戰邏輯、分析RCS與偵距關係、「時間窗口」與地球曲度數學關係以及建立火力分析模式等，詳述如後。

步驟一、發展接戰邏輯

依照圖一之作戰概念，防空艦(052D)雷達雖可建立與敵機間的LOS，但對於低飛來襲的ASM因受限於地球曲度直到距離為R之前無法進行偵測。在距離R時，防空作戰系統開始接戰反應。從接戰反應完成到SAM發射、SAM飛至攔截點、殺傷判斷(即殺傷評估，Kill Assessment)以及接戰其他目標等依時間序列的事件，將之發展成圖二之接戰邏輯。若來襲的不止一枚飛彈，系統就必須處理目標之分配以及接戰的優先等級。俟系統完成反應程序，垂直發射系統中的SAM即按照分配依序發射，接戰目標。由於052D擁有多枚飛彈同時在空的導引與照明並且艦載飛彈量也足夠，可以採用Shoot-Shoot-Look-Shoot之飛彈發射準則，對同一目標連射兩枚SAM，若經戰損評估，目標未被摧毀則再發射一枚。此一準則之應用主要在於提升命中目標的累積機率(Accumulative Kill Probability)。

步驟二、RCS與偵距之分析

攸關雷達偵距的因素，除了雷達基本偵測距離方程式所包括的雷達功率、波長、天線孔徑與增益等外，由於目標的距離並不遠，本研究以目標的RCS與地球曲度為計算偵距的主要考量。目標的RCS大小與雷達偵距關聯性高，由於052D的Type-346雷達作業資料付之闕如，無法提出準確數據應用於模式，然而卻可由公式的計算加以推測。設來襲目標RCS為 σ_1 ，則R1為該目標被雷達偵獲時的距離；當目標RCS為 σ_2 時之雷達偵距為R₂，兩目標與距離間的關係²⁴為

$$\frac{R_2}{R_1} = \sqrt[4]{\frac{\sigma_2}{\sigma_1}} \quad (1)$$

若 σ_1 與R₁為已知，則可依公式(1)求得未知之R₂

$$R_2 = \sqrt[4]{\frac{\sigma_2}{\sigma_1}} \cdot R_1 \quad (2)$$

藉公式(2)，可以從已知的特定雷達對特定RCS的目標之偵距，求取該雷達對其他RCS目標的偵距。

步驟三、「時間窗口」與地球曲度數學關係

地球曲度是艦艇雷達無法克服的天然限制，因而雷達與目標兩者的高度將決定雷達偵距(不考量目標RCS)。圖三中之T0紅色線段表示來襲飛彈被雷達偵獲時的距離R，T為ASM飛完R所需的時間，攻守兩飛彈速率分別為S_{sam}與S_{asm}。其他與時間相關的變數包括：

t_r：系統反應時間(Reaction Time)，會因各系統設計架構與電腦系統之不同而有所差別。

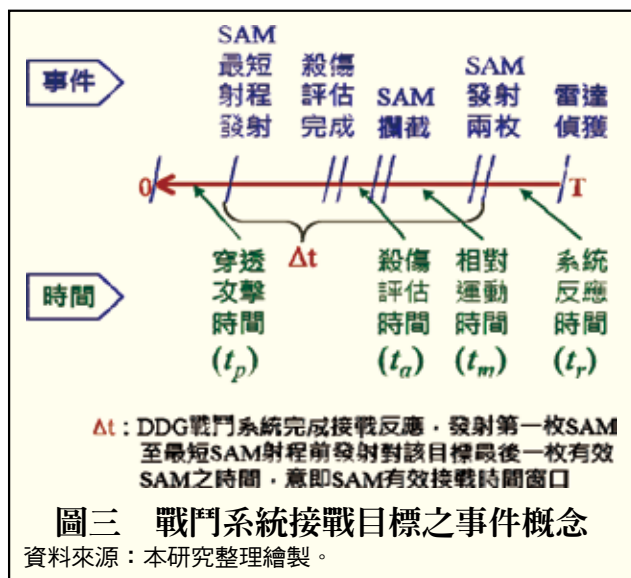
t_m：為SAM發射後飛抵攔截點與ASM間之相對運動(Relative Motion)所需時間。

t_a：為SAM抵攔截點後研判是否擊落ASM的殺傷評估所需時間。

t_p：為ASM成功穿越SAM之最短有效射距(R_{min})時起算之抵達撞擊點的時間。

影響052D飛彈發射率的因素，除了射控系統反應速度外，無非就是發射架可以連續發射飛彈的間隔時間。052D垂直發射架的連續發射，並沒有舊式單臂或雙臂發射架需要重新裝填所產生的時間延遲問題，其唯一影響接戰的因素只有連續發射飛彈之間的時間

註24：同註8。



間隔。設052D連續發射飛彈的時間間隔 (Time Delay) 為 t_{delay} ，在數學概念上，於時間窗口內所能發射的飛彈量為 N_{sam} (即應對齊發射ASM的飽和火力)

$$N_{sam} = \frac{\Delta t}{t_{delay}} + 1 \quad (3)$$

步驟四、建立火力分析模式

戰鬥系統對目標的偵測距離為 R ，則ASM飛完 R 的時間為 T ，

$$T = \frac{R}{S_{asm}} \quad (4)$$

052D系統反應完畢後發射第一枚飛彈時與ASM間的距離為 R' ，則

$$R' = (T - t_r) * S_{asm} \quad (5)$$

由於ASM攻擊的主目標是052D，因而052D的SAM與ASM的方向關係屬於對頭式 (Head on) 之相對運動，可以計算出兩者碰撞時所需的時間 (相對運動時間) t_m

$$t_m = \frac{R'}{S_{asm} + S_{sam}} \quad (6)$$

R_{min} 為已知，因而可求出 t_p

$$t_p = \frac{R_{min}}{S_{asm}} \quad (7)$$

052D有效接戰時間窗口為 Δt ， Δt 為

$$\Delta t = T - t_r - t_p \quad (8)$$

決定 R 的重要因素包括052D的雷達水平高度與ASM的掠海飛行高度，依據物理概念可根據雷達高度 (h_{radar} ，呎) 計算雷達的水平偵測距離 (d ，哩)，

$$d = 1.23\sqrt{h_{radar}} \quad (9)$$

若計算超水平面目標之偵測距離，在雷達高度因素之外另須計入目標之高度 (如圖一)。以 h_{target} 表示目標水平高度 (單位：呎)， D 表示超水平偵距 (單位：哩)，則雷達對海拔 h_{target} 以上之目標偵距 R 為

$$R(\text{哩}) = d_{\text{哩}} + D_{\text{哩}} = 1.23\sqrt{h_{radar}} + 1.23\sqrt{h_{target}} \quad (10)$$

將 (7)、(10) 帶入 (8)，可得

$$\Delta t = \frac{(1.23\sqrt{h_{radar}} + 1.23\sqrt{h_{target}}) - R_{min}}{S_{asm}} - t_r - \frac{R_{min}}{S_{asm}} \quad (11)$$

經過解析，納入RCS因素時須注意兩個狀況：在沒有LOS限制條件下，雷達偵距會因匿蹤效果而縮小；若低空飛行，雷達偵距會遭到LOS之限制。所以實際的雷達偵距是從上述兩狀況下取小。052D火力分析性模式推導結果為：

$$N_{sam} = \text{Min} \left\{ \left[\frac{(1.23\sqrt{h_{radar}} + 1.23\sqrt{h_{target}} - R_{min}) - t_r}{S_{asm}} + 1 \right], \left[\frac{\left[\frac{4\sqrt{\sigma_2} \cdot R_1}{\sqrt{\sigma_1}} - t_r \right]}{S_{asm}} + 1 \right] \right\} \quad (13)$$

伍、分析

一、想定假設

想定主軸設為中共與日本之釣魚台海上衝突中，日本選擇中共之052D以新型XASM進行攻擊(如圖一)。基本假設之雙方武器系統參數如下：

(一) 日本攻擊使用之ASM為目前正研發測試中的XASM-3

1. 速率：3-5馬赫(掠海時速率較低)。
2. 射程：81浬。
3. 飛行高度：20-00公尺(65.6-328.1呎)。
4. RCS：0.008-0.01m²。

(二) 052D

1. 中遠程/近程防空飛彈：
a. HHQ-9(64枚)/海紅旗9(24枚)。
b. 速率(馬赫)：4.2/2.8(海紅旗9設與RAM相等)。

- c. 最大射程(浬)：108/6.5。
- d. 最小射程(浬)：4/0.21。
- e. SAM發射間隔(sec)：2-4/1。

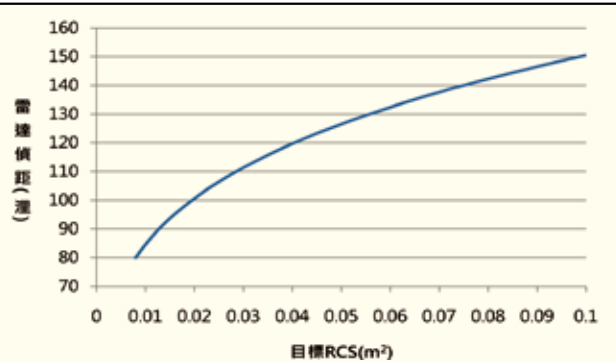
2. 發射準則：Shoot-Shoot-Look-Shoot，但本研究設定連射2枚視為命中(即Shoot-Shoot)。

3. 雷達位置高度：56呎(目前並無相關資料，設與052C艦之高度17公尺相同)。

二、分析

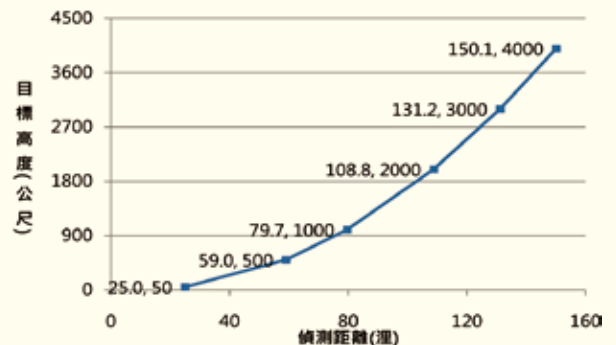
(一) 雷達偵測距離

依據已知之資料，中美防務期刊推測中共Tpye-346相位陣列雷達對RCS為0.008m²的目標偵距為80浬，在不受地球曲度影響狀況下對其他不同RCS目標的偵測距離如圖四。



圖四 052D雷達對不同RCS目標之偵測距離

資料來源：本研究整理繪製。



圖五 目標(RCS=0.008m²)在不同高度時052D之雷達偵測距離，其中(x,y)=(距離,目標高度)

資料來源：本研究整理繪製。

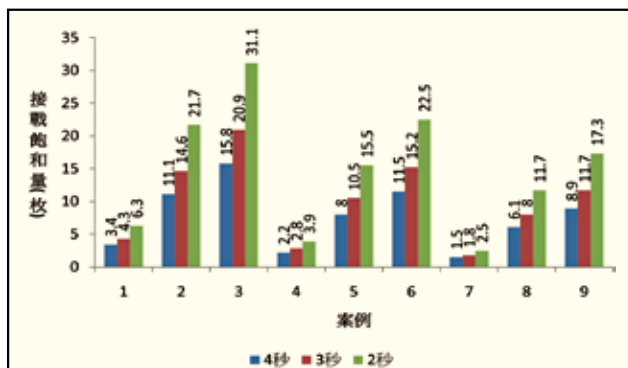
比較美海軍神盾艦與052D艦對RCS為0.01m²的偵測距離，經計算，分別為177.2與84.6浬。

圖五顯示雷達對目標的偵測距離隨著目標高度會有所變化，RCS為0.008m²的目標高度在1,000公尺時，偵測距離為79.7浬，意即在高度1,000公尺以下(受限於地球曲度)目標RCS的大小並不會影響雷達的最大偵測距離。1,000公尺以上，RCS愈小雷達偵測距離則愈短，如，2,000公尺受地球曲度限制時之雷達偵距可達108.8浬，則在該距離

表一 案例組合

		速率(馬赫)		
高度(公尺)		3	4	5
	50	1	4	7
	500	2	5	8
	1000	3	6	9

資料來源：本研究整理。



圖六 052D系統接戰之目標飽和量(飛彈發射間隔=2, 3, 4秒)

資料來源：本研究整理繪製。

052D雷達可以偵得的目標RCS將不會小於0.0274m²(參照圖四)；若RCS小於0.0274m²，則雷達偵測距離小於108.8浬，如RCS=0.018m²時，雷達偵測距離為98浬，明顯減少。

(二) 案例分析

根據公開資料，XASM-3之速率為3至5馬赫，攻擊時的彈道高度可以選擇高高度或掠海低模式，基於參數分析(Parametric Analysis)概念，本研究將速率與彈道規劃成案例組合，變數包括：速率為3、4、5馬赫，飛行高度為50、500、1,000公尺，共9個案例，如表一。

針對接戰飽和量、每次飽和接戰耗彈量

表二

	3秒/4秒	2秒/3秒	2秒/4秒
案例 1	26.47%	46.51%	85.29%
案例 9	31.46%	47.86%	94.38%

資料來源：本研究整理。

與比率進行分析。

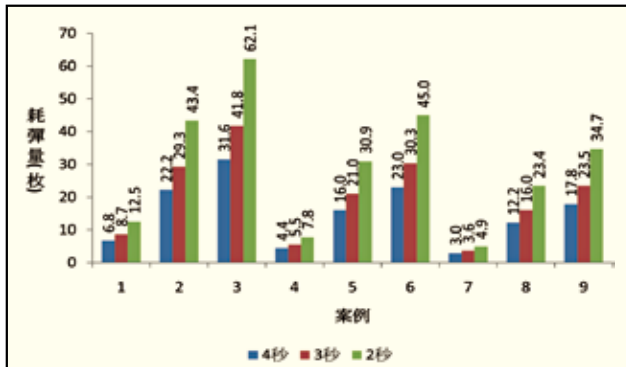
052D接戰飽和量亦即在其戰鬥系統的一個接戰時間窗口所能成功接戰的來襲目標數量，經計算如圖六。每一個案例有3個數據，分別表示飛彈發射所需的時間間隔之結果，如案例1(XASM速率3馬赫，飛行高度50公尺)根據不同的飛彈發射時間間隔(4、3、2秒)產生的接戰來襲目標飽和量(枚)分別為3.4、4.3、6.3。

數據顯示052D艦之發射間隔愈短，則可接戰目標數量愈多，比較低速(3馬赫)掠海的案例1與高速(5馬赫)高高度飛行的案例9，如表二。若發射間隔由4秒減少為3秒，在效益上，案例一增加26.47%，案例9則增加31.46%；若由4秒減為2秒，效益更為可觀。兩案例所呈現數據差異在統計上並不顯著，表示兩案例數據平均數差異性不大²⁵，亦即在飛行速率與高度皆不同的情形下，兩案例呈現之效益增量趨勢相同。

接戰耗彈率是區域防空艦在海上持續戰力的重要因素，面對飽和攻擊052D之耗彈量如圖七，耗彈比率(一次飽和接戰耗彈佔該艦攜載量)如圖八。

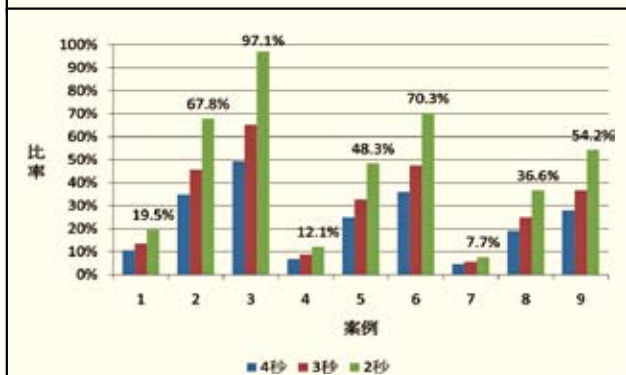
取案例1與案例9進行XASM低速掠海與高速高高度彈道對052D攻擊時之耗彈量比較，

註25：數據經統計 t 檢定(兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等)，p=0.425>0.05，表示接受虛無假設，亦即兩組平均數相同，其間並無統計差異性。所設定之信心水準為95%。



圖七 飽和接戰情況下052D艦之耗彈量分析 (飛彈發射間隔=2, 3, 4秒)

資料來源：本研究整理繪製。



圖八 耗彈比率 (一次飽和接戰耗彈佔該艦攜載量)

資料來源：本研究整理繪製。

以統計進行t檢定後， $p=0.04$ ， p 小於0.05，表示兩案例的平均數具有顯著性差異，亦即在統計解釋上，案例9耗彈平均數大於案例1。

從耗彈比率(如圖八)可以觀察052D的彈藥整補需求或協同作戰兵力需求。例如，052D連續發射飛彈間隔為2秒時，案例1與案例9的耗彈比率為19.5%與54.2%；這一對數據所代表的戰術意義為中共海軍須依據所建立的飛彈整補準則(如剩餘飛彈比率低於10%)評估052D飛彈整補需求的時機、影響作戰節奏的程度，其中也涉及作戰需求兵力

的決策考量。

三、討論

運用052D火力分析性模式可得到如圖六、七之結果。其中，XASM飛行高度愈低，顯示052D可發揮的火力愈小。以4、5、6案為例，052D面對來襲的XASM所採用的飛行高度敏感度高，當XASM以50公尺高度掠海飛行，會較500、1,000公尺之飛行高度，令052D的接戰火力分別減少2.65與4.25倍。052D能成功完成接戰目標數(飽和量)來看，最差的狀況出現在案例7-XASM以5馬赫速率掠海飛行(高度50公尺)，僅能接戰1.5個目標，然而高速掠海就實際狀況而言，因高空氣阻力形成的彈道震盪容易墜海，並不恰當，故案例7僅能作為分析上趨勢的參考數據。若為3馬赫掠海方式攻擊，052D的最差狀況下仍能接戰3.4個XASM。這結果顯示，052D並無法克服地球曲度與對低飛目標的有限偵測距離，使得先進戰鬥系統反應時間仍受壓縮，使之難以招架超飽和量的掠海超音速ASM的攻擊。

其他討論重點包括052D單艦的整體防空能量與執行航母之護航作戰，以及攻擊方(日本)有效可行的兵力運用。

(一) 052D防空能力與用效益

1. 052D之整體防空能力：

整體防空作戰能力包括中遠層防空之海紅旗9、近程之海紅旗9與CIWS。海紅旗9對3與5馬赫之XASM至多可發射3枚與2枚，接戰XASM各2枚與1枚。目前並不清楚該艦CIWS與海紅旗9之間的目標分配方式，加上其CIWS雖可在500公尺處命中4.4馬赫的飛彈，然而飛彈碎片乘其餘速撞擊目標艦仍將造成艦上

電子裝備的損壞，故其防禦效果不予計列。就案例1與案例9而言，052D艦之總防空飽和能力為7.3與18.3枚之XASM。

2. 以052D護航航母編成打擊群：

典型美軍的航母打擊群(Carrier Strike Group)包括1-2艘神盾級巡洋艦(Ticonderoga CG)、2-3艘神盾級驅逐艦(Arleigh Burke DDG)、1-2艘巡防艦(Oliver Hazard Perry FFG)以及1-2艘的攻擊潛艦(Los Angeles SSN)。神盾級巡洋艦與驅逐艦的艦載彈量分別為122與90枚，最少與最多的護航編隊分別擁有飛彈302與514枚，彈型分類成防空、反艦、反彈道、攻陸飛彈與反潛火箭(VL-ASROC)等。中共所建立的航母戰鬥群若以獨立作戰為任務導向，若僅考量防空作戰則2-3艘052D所攜載的128與172枚飛彈總量(其最佳防空狀況)的確不符實需，更何況在需要其他彈種執行其他任務情況下會減少防空飛彈彈量。需多少052D艦執行航母護航必須視航母戰鬥群主要任務與陸上火力能夠支援程度以及中共海軍的資料鏈與偵測資訊融合(Detection systems information fusion)能力而定，例如是否具備海軍的協同接戰(Cooperative Engagement Capability, CEC)能力，是個值得進一步研析的議題。

(二) 日本超音速XASM

1. 匿蹤效果：

有關日本的XASM具有匿蹤之設計，然本研究發現，匿蹤設計在高高度彈到時對雷達系統有較佳的匿蹤效果，可以減少雷達之偵距；但對於低空(1,000公尺以下)掠海飛行

時並無法達到相同效益。戰術上以掠海方式攻擊，比高高度、高速所需的XASM彈量少，可達成兵力節約的目的。因此，超音速ASM是否需要特殊的匿蹤設計，是項可進一步研究的戰術議題。

2. 可行的有效攻擊方案：

對052D而言，最壞狀況是面對XASM以3馬赫掠海攻擊方式，以方案1與方案9的2秒發射間隔為例，052D艦海紅旗9與RAM近迫武器成功攔截的飽和目標(XASM)量為7.3(低速掠海)與18.3(高速高空彈道)枚。為達到XASM突穿052D之防空，以F-2機可攜帶2枚XASM計，針對兩案所需之F-2兵力需分別超過4與10架。就兵力運用而言，XASM若選擇3馬赫的掠海飛行模式進行攻擊，比高速高高度彈道攻擊要能節約一半以上的作戰兵力。方案1對於攻擊兵力的規模與作戰效益有很大的貢獻，屬於最可以接受的攻擊選項。

陸、結語

052D的發展至今，所公開資料零散亦不完整，加上西方專家學者的看法不一，這些資料也存在一定程度的差異性。就情報角度而言，如何以有限情資或資料進一步提出科學判斷是個重要議題。本研究在資料侷限前題下，以神盾系統之接戰邏輯為基礎，對052D接戰飽和量議題進行分析，提出以「時間窗口」概念發展飽和火力數學模式，使其具有簡單並容易使用之特性，適合情報部門運用以提出具科學性的情報評估。由於日本與中共的釣魚台爭議至今未歇，分析所使用之想定係植基於釣魚台海戰，以日本下一代

超音速攻船飛彈(XASM-3)攻擊中共之052D為主軸。分析結果顯示052D無法克服地球曲度的偵測問題，而在XASM以3馬赫掠海與5馬赫高高度彈道攻擊下，其總防空飽和能力(海紅旗九加上近程防空飛彈)分別為可接戰7.3與18.3枚之XASM。雖然前者之接戰耗彈率較少，但以5架日本F-2攜帶10枚XASM即可達成攻擊052D任務，屬於最可接受的攻擊方案。至於護航航母任務，需要多少052D兵力提供有效區域防空，必須考量執行任務所在的海域與中共目前艦隊的資料鏈與資訊融合能力之進程而定。未來可考量在本研究基礎上，針對中共航母戰鬥群編隊所可能採行的協同區域防空作戰進行量化分析。影響本研究之其他因素還包括052D戰鬥系統反應時間與連

續發射飛彈時間間隔的變化，也能以參數分析方式進行敏感度分析，結果提供相關單位進行情報判斷。

作者簡介：

王貴民先生，備役海軍上校，海軍官校70年班，美國海軍工程研究院作業研究碩士，淡江大學資訊工程博士，現服務於實踐大學高雄校區資訊管理系(通信聯絡者)。
陳冠如女士，清華大學數學系博士，現服務於海軍官校應用科學系。
韓慧林先生，備役海軍上校，中正理工學院造船系46期，國防管理學院資源管理研究所管理科學組碩士，國立交通大學工業工程與管理學系博士，現服務於實踐大學高雄校區資訊管理學系。
孫榮平先生，備役海軍上校，海軍官校74年班，美國聖路易大學企業管理碩士，國立中山大學公共事務管理研究所博士班，現為中華整合評估協會研究員。

老軍艦的故事

鄞江(寶應)軍艦 PGM-101

鄞江(寶應)軍艦係由美國Consolidated Shipbuilding Corpn, Morris Heights所建造之砲艦，編號PGM-20，1944年5月7日下水成軍。民國37年6月美國依據「五一二號法案」移交我國，我海軍接收該艦經修復後成軍，並命名為「寶應」軍艦，編號PGM-101，隸屬海防第一艦隊，民國39年再改隸屬第二艦隊，擔任海上防衛任務，民國43年4月更名為「鄞江」軍艦。該艦曾參加過多次戰役，其中較為重要的計有：民國42年4月15日檀頭山海戰、民國42年6月16日羊嶼突擊戰、民國43年4月4日三門灣海戰及民國43年5月16日



鯉門島海戰等，服役期間戰功彪炳。

該艦於民國44年1月20日自大陳南巡，在距大陳東南20哩處，遭遇中共大小艦艇3艘圍攻，經激戰後該艦艦艙中魚雷一枚，操縱失靈，後經「永康」軍艦拖救回航，因損傷嚴重無法修復而於同年8月31日除役。(取材自老軍艦的故事)