

2020

主編 蘇紫雲 江旻杓

國防科技趨勢

評估報告



財團法人國防安全研究院

2020

主編 蘇紫雲 江忻杓

國防科技趨勢

評估報告



財團法人國防安全研究院

序

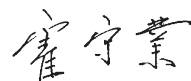
2020 年是財團法人國防安全研究院精益求精的一年。成立 2 年後，2020 年 1 月，本院首度入選美國賓州大學《全球智庫指數報告》最佳新興智庫名單，這是外界給予本院的一份肯定。在先前的基礎上，本院持續精進國防與安全各項重大議題的研究，並在今年進行內部組織改造，從原本的 7 所 1 中心合併成為 4 個所，分別為「國家安全研究所」、「中共政軍與作戰概念研究所」、「網路安全與決策推演研究所」和「國防戰略與資源研究所」。期盼透過組織整併，讓研究人員彼此合作更為緊密、研究議題更加深入，並強化跨所的整合型研究，為台灣的國防與國家安全提出更到位的觀點及有效的政策建言。

經過 2 年的研究與交流，本院的相關出版刊物越來越受到各界重視，對國防安全的論述與觀點時常為媒體與相關學術單位所引用。雖然受到新冠肺炎疫情影響，但本院仍透過各種視訊會議、線上研討會及內部討論，針對國防與安全相關議題，進行觀察與研究，並與國內外專家學者相互交流。本院每年的年度報告——「印太區域安全情勢評估」、「中共政軍發展評估」、「國防科技趨勢評估」是院內研究同仁一年來的重要研究成果。這三本報告的內容分別融合了研究同仁們個別的觀點以及集體的結論。

我國面臨優勢敵人的威脅，必須著眼於不對稱作戰的思維，聚力於「如何打」和「打什麼」。前者是不對稱戰術戰法的創新運用；後者則是為了發揮不對稱作戰效益而建構的武力。不對稱作戰的特性自冷兵器時代便著重運用各種手段對抗優勢敵人，也就是「以己之長攻敵之短」，西方兵學家論述的「間接路線」和「間接戰略」也是類此邏輯。在現代戰場科技的快速發展以及多領域戰場的特性，規劃兵力及創新應用，新型態作戰已然跳脫傳統武力戰的範疇。《2020 國防科技趨勢評估報告》設定的主軸包括當前的國防科技運用以及未來軍事應用的可能發展，並借鑑主要國

家軍事科技的發展趨勢，在「用兵」和「造兵」間提供思考的線索，亦即軍事戰略與國防資源同步考量，以使軍事防衛的效益得以最佳化，也就是不對稱戰力的最大發揮。基於各國軍事科技的公開資料有限，本報告如有疏漏或是不成熟之處，也期待各界先進能不吝指教，以使國防研究更為完整。

董事長

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '霍守業' (Huo Shouye).

中華民國 109 年 12 月 16 日

作者群

主編

蘇紫雲（國防戰略與資源研究所副研究員兼所長）

江忻杓（國防戰略與資源研究所政策分析員）

作者

江忻杓（國防戰略與資源研究所政策分析員）

吳宗翰（網路安全與決策推演研究所博士後研究）

李俊毅（國家安全研究所副研究員）

杜貞儀（網路安全與決策推演研究所博士後研究）

洪瑞閔（國防戰略與資源研究所助理研究員）

許智翔（中共政軍與作戰概念研究所博士後研究）

曾怡碩（網路安全與決策推演研究所助理研究員兼所長）

舒孝煌（中共政軍與作戰概念研究所助理研究員）

劉姝廷（國防戰略與資源研究所政策分析員）

蔡榮峰（國防戰略與資源研究所政策分析員）

蘇紫雲（國防戰略與資源研究所副研究員兼所長）

編輯

洪瑞閔（國防戰略與資源研究所助理研究員）

劉姝廷（國防戰略與資源研究所政策分析員）

蔡榮峰（國防戰略與資源研究所政策分析員）

專有名詞中英對照

一、報告／計畫／公約

《2020 國防戰略革新》（澳洲）	<i>2020 Defence Strategic Update</i>
《2020 年兵力結構計畫》（澳洲）	<i>2020 Force Structure Plan</i>
「空戰演進」計畫（美國）	<i>Air Combat. Evolution, ACE</i>
《阿提米絲協議》（美國）	<i>Artemis Accords</i>
阿提米絲計畫（美國）	<i>Artemis Program</i>
《澳洲民用太空戰略 2019～2028》	<i>Australian Civil Space Strategy 2019-2028</i>
「乾淨網路」計畫	<i>Clean Network</i>
「乾淨路徑」計畫	<i>Clean Path</i>
《出口管制規則》（美國）	<i>Export Administration Regulations, EAR</i>
《出口管制改革法案》（美國）	<i>Export Control Reform Act, ECRA</i>
「全球數據安全倡議」	<i>Global Data Security Initiative</i>
《國際武器貿易管制條例》	<i>International Traffic in Arms Regulations, ITAR</i>
人機協作	<i>Man Machine Teaming, MMT</i>
《關鍵與新興技術國家戰略》（美國）	<i>National Strategy for Critical and Emerging Technology</i>
「次世代飛行員培訓」計畫（美國）	<i>Pilot Training Next</i>
國防研究籌備行動（歐盟）	<i>Preparatory Action on Defence Research, PADR</i>
融合計畫（美國）	<i>Project Convergence</i>
使用電磁軌道砲增加遠程效果的砲彈	<i>Projectiles for Increased Long-range effects Using Electro-Magnetic railgun, PILUM</i>

《太空頂石報告》（美國）
戰術先進雷射光學系統

Space Capstone Publication, SCP
Tactical Advanced Laser Optical
System, TALOS

《太空活動法》（印度）
「城鎮領袖戰術回應、意識與視覺
化」計畫（美國）

The Space Activities Bill
Urban Leader Tactical Response,
Awareness and Visualization, Ultra-
Vis

二、專有名詞與技術

第五代行動通訊技術
先進戰場管理系統

5th generation wireless systems, 5G
Advanced Battlefield Management
System, ABMS

進階持續性威脅
空戰雲端

advanced persistent threat, APT
Air combat cloud

空中武力團隊

Airpower Teaming System, ATS

反介入／區域拒止

anti-access / area denial, A2/AD

反艦飛彈

anti-ship missile, ASM

美國「陸軍全球軍事指揮控制系統」

Army WWMCCS (World Wide
Military Command and Control
System) Information System,
AWIS

人工智慧

Artificial Intelligence, AI

不對稱作戰

asymmetric warfare

大氣渦流補償

atmospheric turbulence compensation

歸因

attribution

擴增實境

Augmented Reality, AR

彈道飛彈

ballistic missile

大數據分析

Big data analysis

飛行認知系統	cognitive air system
認知戰	cognitive warfare
作戰雲	Combat Cloud
指揮與管制	command & control, C2
複合戰	compound warfare
「接觸者追蹤程式」APP	contact tracing app
反恐作戰	counter-terrorism operations
關鍵資訊基礎設施	critical information infrastructure, CII
關鍵基礎設施防護	critical infrastructure protection, CIP
關鍵基礎設施	critical infrastructure, CI
巡弋飛彈	cruise missile
網路電磁活動	Cyber Electromagnetic Activity, CEMA
網路珍珠港	Cyber Pearl Harbor attack
網路安全	cybersecurity
網路作戰	cyberspace operation
網路空間的戰爭	cyber-space war
資料流	data streams
指向性	Directivity
分散式阻斷服務攻擊	distributed denial-of-service attack, DDos
電磁軌道砲	Electromagnetic Railgun, EMRG
電磁頻譜環境	electromagnetic spectrum environment
電子作戰	electronic operation
電子戰	electronic warfare
熵	Entropy
假新聞	fake news
現場可程式化邏輯閘陣列	Field Programmable Gate Array, FPGA
兵力規劃	force planning
全領域作戰	full spectrum warfare
未來空中戰鬥系統	Future Combat Air System, FCAS

地球靜止軌道	Geostationary Orbit, GEO
地球同步軌道衛星運載火箭	Geosynchronous Satellite Launch Vehicle, GSLV
灰色地帶衝突	gray zone conflict
抬頭顯示器	Head Up Display, HUD
高能雷射反制反艦飛彈計畫	High Energy Laser Counter-ASCM Program, HELCAP
高能雷射目眩及監視系統	High Energy Laser with Integrated Optical-dazzler and Surveillance, HELIOS
高功率雷射源	high-power laser source
宏達電虛擬實境抬頭式顯示器	HTC VIVE Pro
混合戰	hybrid warfare
簡易爆炸裝置，俗稱土製炸彈	Improvised Explosive Device, IED
傾斜地球同步軌道	Inclined GeoSynchronous Orbit, IGSO
印度區域導航衛星系統	Indian Regional Navigation Satellite System, IRNSS/NavIC
影響力作戰	influence operations
資訊科技	information technology, IT
資訊戰	information warfare
初始戰力	initial operating capability, IOC
整合化視覺擴增系統	Integrated Visual Augmentation System, IVAS
相互依存／互賴	interdependency
物聯網	Internet of Things, IoT
可見性	intervisibility
不規則衝突	irregular conflict
聯合空戰網路 —— 戰術前緣	Joint Airborne Networking – Tactical Edge, JANT-Ed

聯合全領域指揮控制系統	Joint All-Domain Command and Control, JADC2
聯合資訊戰	Joint Information Warfare
雷射武器系統	Laser Weapon System, LaWS
有限戰爭	limited war
低成本可耗損打擊展示計畫	Low Cost Attritable Strike Demonstration, LCASD
低地軌道	Low-Earth Orbit, LEO
低強度衝突	low-intensity conflict
忠誠僚機	Loyal wingman
機器學習	machine learning, ML
惡意軟體	malware
武鬥	martial contests
中圓軌道	Medium Earth Orbit, MEO
聯合戰術無線電	MIDS-JTRS
非戰爭軍事行動	Military Operations Other Than War
軍事娛樂複合體	Military-Entertainment Complex
多功能資訊分配系統	Multifunctional Information Distribution System, MIDS
砲彈砲口初速	muzzle velocity
海上艦砲支援	naval gunfire support, NGFS
網路中心戰	Network-Centric Warfare
寬頻網路波形	Networking Waveform, WNW
下一代武器系統	Next Generation Weapon System, NGWS
非接觸式戰爭	non-contact warfare
營運科技	operation technology, OT
光電感測器	optoelectronic sensor
太平洋光纖電纜網路	Pacific Light Cable Network, PLCN

極地衛星運載火箭

射彈技術

宣傳戰

心戰／軍事資訊協助行動

輿論戰

準天頂衛星系統

遠端載台

接戰規則

智能學習感應器

社交

軟體通訊架構

士兵無線電波形

太空韌性

針對人員的魚叉式釣魚

電磁頻譜管理作戰

星鏈

材料力學

多種系統的系統

戰術情報目標介入節點

塹壕戰

非正規作戰

未固化結構

無人載具

超限戰

城鎮戰

Polar Satellite Launch Vehicle, PSLV

projectile technology

propaganda war

psychological operations, psyops/

military information support

operations, MISO

public opinion warfare

Quasi-Zenith Satellite System, QZSS

Remote carrier

rules of engagement, ROE

smart / learning sensors

Social distance

Software Communication

Architecture, SCA

Soldier Radio Waveform, SRW

space resilience

spear-pishing

spectrum management operation

Starlink

Strength of materials

systems of system

Tactical Intelligence Targeting Access

Node, TITAN

trench warfare

unconventional warfare

uncured structure

unmanned aerial vehicle, UAV

unrestricted warfare

urban warfare

虛擬現實程序訓練系統

Virtual Reality Perspective Taking,
VRPT

虛擬實境

Virtual Reality, VR

大規模破壞性武器

weapons of mass destruction, WMD

零日攻擊

zero-day attack

三、部門／單位

AERTEC 航太

AERTEC Solutions SL

空軍特種作戰司令部（美國）

Air Force Special Operations
Command, AFSOC

空中巴士防衛與太空

Airbus Defence and Space

AMS 技術公司

AMS Technologies sp. z o.o.

陸軍戰爭學院（美國）

Army War College, AWC

澳洲地理空間情報局

Australian Geospatial-Intelligence
Organisation, AGO

澳洲太空局

Australian Space Agency

貝宜航太系統公司

BAE Systems

波音公司

Boeing

商務部工業安全局（美國）

Bureau of Industry and Security, BIS

戰略與國際研究中心

Center for Strategic and International
Studies, CSIS

中央情報局（美國）

Central Intelligence Agency, CIA

CMI 防務公司

CMI Defence

太空軍聯合太空作戰中心（美國）

Combined Force Space Operations
Command, CSpOC

雷射工業公司

Compagnie industrielle des lasers, CILAS

網路安全暨基礎安全局（美國）

Cybersecurity and Infrastructure
Security Agency, CISA

達梭航太	Dassault Aviation
達梭系統	Dassault Systèmes
國防太空局（印度）	Defence Space Agency, DSA
國防先進研究計畫署（美國）	Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA
國防研究發展組織（印度）	Defense Research and Development Organisation, DRDO
國防部（美國）	Department of Defense, DOD
國土安全部（美國）	Department of Homeland Security, DHS
航空太空中心（德國）	Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt
戴爾防務	Diehl Defence
武器裝備總署	Direction générale de l'armement, DGA
艾丁諮詢	Erdyn Consultants
歐盟防衛署	European Defence Agency, EDA
歐盟網路資訊安全署	European Union Agency for Cybersecurity, ENISA
聯邦傳播委員會（美國）	Federal Communications Commission, FCC
聖路易法德聯合研究所	Franco-German Research Institute of Saint-Louis
奇異公司	General Electric
ICAR 工業用電容器公司	ICAR S.p.A. Industria Condensatori
英德拉	INDRA
國際民航組織	International Civil Aviation Organization, ICAO
國際海事組織	International Maritime Organization, IMO

宇宙航空研究開發機構（日本）	Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA
聯合人工智慧中心（美國國防部）	Joint AI Center, JAIC
聯合戰術網路中心	Joint Tactical Networking Center
李奧納多	Leonardo
洛克希德馬汀公司	Lockheed Martin
歐洲飛彈集團	MBDA
海軍集團	Naval Group
TNO 應用科學研究所	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek, TNO
奈克斯特系統公司	Nexter Systems
諾斯洛普格魯曼公司	Northrop Grumman
國家航太實驗室（法國）	Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales, ONERA
普惠公司	Pratt & Whitney
QinetiQ 國防技術公司	QinetiQ Limited
四方安全對話	Quadrilateral Security Dialogue, QUAD
雷神公司	Raytheon
賽峰集團	Safran S.A
太空發展局（美國）	Space Development Agency, SDA
太空軍作戰司令部（美國）	Space Operations Command, SpOC
太空軍太空系統司令部（美國）	Space Systems Command
太空軍太空訓練和戰備司令部（美國）	Space Training and Readiness Command
Stelar 安全科技法研究公司	Stelar Security Technology Law Research UG
戰略研究所	Strategy Study Institute, SSI
泰雷茲集團	Thales

美國通訊服務業外國參與審查委員會

The Committee for the Assessment
of Foreign Participation in the
United States Telecommunications
Services Sector

印度太空研究組織

The Indian Space Research
Organisation, ISRO

馮卡門流體力學研究所

The von Karman Institute for Fluid
Dynamics

美國網路司令部

United States Cyber Command,
USCYBERCOM

美國特種作戰司令部

United States Special Operations
Command, USSOCOM

利摩日大學

Université de Limoges

科學院光電與電子研究所（捷克）

Ustav Fotoniky a Elektroniky AV CR
V.V.I.

虛擬測試與訓練中心（美國）

Virtual Test and Training Center, VTTC

華沙董布羅夫斯基軍隊技術學院

Wojskowa Akademia Techniczna im
Jaroslawa Dabrowskiego

Explomet 高爆炸能技術研究所

Zaklad Technologii
Wysokoenergetycznych
ExplometGalka, Szulc Sp.j.

目錄

序	i
作者群	iii
專有名詞中英對照	v
緒論	1
第一篇 不對稱科技戰的評估	5
第一章 新型態作戰的特性：以不對稱作戰為例	7
壹、前言	7
貳、不對稱作戰的源起	8
參、不對稱意涵的辯證	10
肆、不對稱作戰的定義	12
伍、不對稱作戰的特性	14
陸、小結	16
第二章 不對稱科技戰的威脅	19
壹、前言	19
貳、民力資源的運用	20
參、不對稱威脅評估：中共國防資源的投入	23
肆、不對稱威脅評估：中共微觀與宏觀戰力	25
伍、小結	31

第二篇 不對稱軍事科技的發展 33

第 三 章 制空與防空作戰 35

壹、前言 35

貳、未來空戰趨勢 35

參、下一代空戰平台 41

肆、未來防空系統 47

伍、小結 55

第 四 章 制海科技發展趨勢 57

壹、前言 57

貳、台灣的海上威脅與戰略環境 57

參、相關科技發展 61

肆、小結 71

第 五 章 國土防衛的科技發展 73

壹、前言 73

貳、國土防衛威脅與關鍵要素 73

參、相關科技發展趨勢 75

肆、小結 84

第 六 章 制電磁權 87

壹、前言 87

貳、新世代感測系統 87

參、電磁作戰 93

肆、多領域指揮管制 96

伍、小結 101

第三篇 新型態網路戰評估 103

第七章 網路電磁活動 105

- 壹、前言 105
- 貳、科技演進與新型威脅 105
- 參、大國競爭之作戰行動下的網路電磁活動 109
- 肆、小結 114

第八章 複合型網路戰 115

- 壹、前言 115
- 貳、新冠肺炎疫情下的網路攻擊威脅 115
- 參、結合網路攻擊的認知作戰威脅 118
- 肆、對網路攻擊之反制措施 120
- 伍、小結 123

第九章 關鍵資訊基礎設施 125

- 壹、前言 125
- 貳、關鍵資訊基礎設施的定義與安全意涵 126
- 參、美中對抗衝擊下的 5G 網路建設與網路空間 130
- 肆、新趨勢下海底電纜成為重要議題 132
- 伍、新冠肺炎接觸者追蹤程式的資訊戰 135
- 陸、小結 138

第四篇 跨域科技的軍事運用 141

第十章 數位戰場上的科技心戰 143

- 壹、前言 143
- 貳、發展趨勢 146
- 參、小結 155

第十一章 制太空權：太空軍事化趨勢與兩用科技	157
壹、前言	157
貳、中國以「軍民融合」發展反衛星能力與「天基 絲路」	158
參、美國藉五眼聯盟與企業創新強化太空韌性	164
肆、日本、澳洲、印度追求有限自主太空能力	167
伍、小結	170
結論	173

表目錄

表 1-1	優劣勢不對稱衝突的對立因素	11
表 2-1	主要國家衛星部署數量（資料更新至 2020 年 8 月 1 日）	30
表 3-1	FCAS 計畫國防廠商參與情況	46
表 3-2	TALOS 計畫參與成員	51
表 3-3	PILUM 計畫參與成員	54
表 9-1	台灣關鍵基礎設施	129
表 10-1	心戰的範圍與應用	145
表 11-1	先進載台／衛星無線網路	161
表 11-2	衛星軌道通訊系統建置比較	161

圖目錄

圖 7-1	由 MIDS-JTRS 構成之安全網狀化戰場環境示意圖	108
圖 9-1	全球海底電纜分布圖	134
圖 9-2	日本電氣有關連結智利至亞洲的海纜方案	134
圖 9-3	太平洋光纖網路洛杉磯 —— 香港段被否決啟動	135
圖 9-4	中心化與去中心化追蹤程式運作架構圖	137
圖 10-1	科技心戰的概念與架構	145
圖 11-1	解放軍反衛星能力評量	159
圖 11-2	中國太空軍民兩用技術黨政軍主要單位組織圖	160

第一次世界大戰（World War I, WWI）期間，英國製造的坦克（tank）率先送上戰場，為打破塹壕戰（trench warfare）的僵局取得了良好的戰果。此後法國和德國競相跟進，不斷試誤（try and error）的過程促進了科技的進步。而科技的發展也往往改變了戰爭的型態，美國在 1990 年夏天發動「波斯灣戰爭」（Gulf War），展現出前所未有的精準打擊能力，高科技局部戰爭遂成為各國競相研究的課題。美國天文學家普萊特（Philip C. Plait）說：「科學是一種過程和一種思維。」（Science is process, a way of thinking.）這番話指出了科技不斷精益求精的關鍵，也形象地反映出戰爭與科技的關係。唯其掌握軍事科技發展趨勢，才有利於理解及判明未來的戰爭型態，並以超前的視野，籌備資源投注於符合防衛作戰構想的兵力規劃（force planning）。

1973 年 10 月的以敘「貝卡山谷之役」（Bekaa Valley Air War）與 1982 年 4 月的英阿「福克蘭戰爭」（Falklands War）一樣：以色列善用電子戰（electronic warfare）成為致勝的關鍵；而阿根廷戰機發射飛魚飛彈（Exocet）擊沉英國雪菲爾號驅逐艦（HMS Sheffield, D80），除了讓法製攻船飛彈（anti-ship missile, ASM）成為炙手可熱的軍備之外，也是繼 1967 年 10 月埃及飛彈快艇以 P-15 型冥河飛彈（Styx）擊沉以色列驅逐艦伊拉特號（Eilat）以來，又一次印證了攻船飛彈的作戰效益。2020 年 9 月，阿美尼亞和亞塞拜然在納哥諾卡拉巴克地區（Nagorny Karabakh，簡稱「納卡地區」）發生軍事衝突，各自以火箭砲、無人機和長程火炮互相轟擊，造成雙方人員和裝備巨大的損傷，尤其亞塞拜然憑藉長程火箭炮對目標造成的大面積毀傷，以及運用察打一體的無人機遂行精準打擊，取得的可觀戰果讓人印象深刻。這些武器都是各國軍火庫中的可恃戰力，戰爭

* 江忻杓，國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員。

之後，各國工程師和軍事家們也會根據作戰經驗，繼續精進武器系統，也可能因此發展出新的戰爭態樣，使得戰爭與科技之間形成了一種相互促進的關係。

過去 30 年以來，新的戰爭態樣有如雨後春筍一般不斷湧現，包括不對稱作戰（asymmetric warfare）、認知戰（cognitive warfare）、複合戰（compound warfare）、外交戰（diplomatic warfare）、全領域作戰（full spectrum warfare）、灰色地帶衝突（gray zone conflict）、混合戰（hybrid warfare）、影響力作戰（influence operations）、資訊戰（information warfare）、不規則衝突（irregular conflict）、法律戰（lawfare）、有限戰爭（limited war）、低強度衝突（low-intensity conflict）、媒體戰（media warfare）、非接觸作戰（non-contact warfare）、宣傳戰（propaganda war）、心理戰（psychological warfare）、輿論戰（public opinion warfare）、貿易戰（trade war）、非正規作戰（unconventional warfare）、超限戰（unrestricted warfare）以及制裁戰（war of sanctions），這些戰爭學說風起雲湧，讓人眼花撩亂；有的自古有之，有的則是新興類型，經過歸納統整後賦予新的名詞，從而形成新的軍事學說。各種作戰態樣既有各自特性，也彼此互相涵蓋；既應用了先進科技，也融合了創新概念；既有技術的成分，也存在人的創意發想。因此，將這些軍事學說統稱為「新型態作戰」。

在所有的「新型態作戰」當中，依照科技能力的發展程度而有各種不同的運用構想，所注重的就是發揮不對稱的作戰效益，而強調不對稱的唯一目的即是為了打贏戰爭。《2020 國防科技趨勢評估報告》是在前面兩期報告分別針對「軍事科技發展趨勢」以及「科技貿易戰與國防產業」的基礎上，聚焦於軍事科技裝備應用於不對稱作戰的可能面向。因此，本期以「不對稱軍事科技」為主題，首先梳理不對稱戰的特性和概念，接著分別針對中共透過「軍民融合」投注在不對稱的國防資源及其可能形成的戰力；針對制空與防空、制海、國土防衛、制電磁權、網路威脅評估與網路戰、關鍵資訊基礎設施、運用數位科技的心理戰、人工智慧與機器人，以及美中印俄日澳爭奪制太空權等含括現在和未來的科技武器發展應用於太

空戰場的可能趨勢，為建軍發展的方向探路，期能提供國軍「打什麼，有什麼」理念的兵力設計與建軍規劃參考。

PART 1

.....

不對稱科技戰的評估

第一章 新型態作戰的特性：以不對稱作戰為例

第二章 不對稱科技戰的威脅

第一章 新型態作戰的特性：以不對稱作戰為例

江忻杓*

壹、前言

自 1990 年代以來，不乏以描述美國及其盟國、俄羅斯在中東和東歐地區遂行戰爭類型而流行的術語（terms）。其中一些是長期積澱的軍事思想，它們已經牢固地扎根在武裝部隊的軍事學說當中。另有一些則是當代學者的創意發想，他們致力於似乎不屬於既定範式（paradigm）的行為，不僅賦予了新的名稱，也給予新的形式和功能上的界定；有些存在重疊性，有些則具有相似性。例如，不對稱作戰（asymmetric warfare）、認知戰（cognitive warfare）、複合戰（compound warfare）、灰色地帶衝突（gray zone conflict）、混合戰（hybrid warfare）、影響力作戰（influence operations）、不規則衝突（irregular conflict）、有限戰爭（limited war）、低強度衝突（low-intensity conflict）、非正規作戰（unconventional warfare）、超限戰（unrestricted warfare）¹，以及其他許多方面，顯得琳瑯滿目，讓人眼花撩亂。上述戰爭型態的內容相互涵蓋，既有文鬥和武鬥的性質，亦兼有文攻武鬥的特色，以現在的軍事學說來看就是不對稱作戰的綜合體現。

所謂文鬥包含認知戰、灰色地帶衝突以及影響力作戰：認知戰是一種結合心理戰（psychological warfare）、資訊戰（information warfare）、宣傳戰（propaganda warfare）以及輿論戰（public opinion warfare）的綜合體；灰色地帶衝突主要是透過經濟、金融、資訊攻擊、民兵襲擾等手段，對目標國形成程度不等的壓力，以達到改變現狀的目的；²而影響力作戰也是

* 江忻杓，國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員。

¹ 喬良和王湘穗著作的《超限戰》，有些中文版封面的英文譯為「*Transfinite War*」，transfinite 是無限的意思，從字面上看 transfinite war 即意味著無限戰，但超限畢竟不等於無限。因此，學界多以具不受限制的戰爭「unrestricted war」作為「超限戰」的英譯，本文亦予採用。

² 〈灰色地帶衝突特輯〉，《國防情勢特刊》，第 2 期，2020 年 6 月 5 日，編輯報告頁。本期特刊輯錄九篇關於灰色地帶衝突的論文，從不同的層面對若干國家遂行的不對稱作戰加以分析。

透過文化、經濟、媒體、輿論等手段對目標塑造影響力。這些作戰型態並未直接涉及武鬥（武力戰）的層面，卻又包含在不對稱作戰、超限戰和混合戰（複合戰）的範疇之內，它們既是一種不規則和低強度衝突的型態，也是非正規作戰和有限戰爭的一環。

儘管這些戰爭型態從古迄今始終存在，但具體的術語辭彙卻是在最近30年來才陸續被定義出來，使其有別於傳統的武力戰。因此，雖然覺得似曾相識，卻也有種耳目一新的興味。受限於篇幅的規範，本章內容僅析論不對稱作戰，其他新型態戰爭的部分態樣也會在本年報的後續章節中論述；本章以理論為綱，後續篇章則以實際現況以及發展趨勢為目。儘管不對稱作戰和其他新型態作戰相互之間摻雜著「你泥中有我，我泥中有你」的混雜情境，但可以確定的是，不對稱作戰為傳統作戰類型注入了新的元素，也賦予了新的意涵，給弱小國家提供並且堅定了以寡擊眾的思維和信心。本章將彙整其定義，分析其特性，透過統整和歸納，從中找到可資制定戰略與政策參考的依據。

貳、不對稱作戰的源起³

20世紀末，美軍在科技優勢支配下，戰爭面貌往往呈現一面倒的結果。隨著作戰型態的多樣化，弱勢一方面對不利的作戰態勢，通常會思考採取創新作為，雖未必能完全扭轉全般態勢，卻經常能對美軍產生重大的傷害和破壞。例如，1990年代，美軍在中東就經常遭遇反抗軍使用簡易爆炸裝置（Improvised Explosive Device, IED，俗稱土製炸彈）、自殺攻擊（人肉炸彈和汽車炸彈）、游擊戰（guerilla warfare，包括打了就跑的襲擾戰術、非消耗戰以及製造心理恐懼）等攻擊手段，造成相當程度傷亡。這種「不擇手段」的攻擊行為，引起美軍高度重視：一方面思考因應對策；例

³ 財團法人國防安全研究院《國防情勢特刊》第3輯和第4輯分別以〈不對稱戰的發展與演變〉以及〈不對稱防衛的思維與應用〉為主題，總共收錄12篇論文，從思想起源、理論發展到相關國家的實際應用，基本已為不對稱作戰梳理出具體的面貌，本節內容既為本章以及本報告後續各章鋪陳的需要，亦可作為《國防情勢特刊》有關不對稱專輯的補充。

如，在悍馬車底盤加固防爆裝甲、所有城鎮據點一定範圍內不准閒雜人員接近等。另一方面「不對稱作戰」的理論也應運而生。「不對稱」一詞最早出現在美國官方文件是在 1995 年 6 月出版的《非戰爭軍事行動聯合準則》（*Joint Doctrine for Military Operations Other Than War*），該書第四章指出那些潛在的威脅與美軍行動並不對稱。⁴ 此後學術界激盪出風起雲湧、經久不衰的研究熱潮，強調不對稱作戰的軍事準則以及理論著作有如雨後春筍一般紛紛出現。

美國前國防部長柯恩（William S. Cohen）在 1997 年《四年國防總檢》（*Report of the Quadrennial Defense Review, QDR 1997*）提到，美國在傳統軍事領域的主導地位可能會鼓勵對手使用不對稱的手段攻擊海外的美國軍隊、美國利益和美國人。⁵ 此番預警對照 2001 年發生的「911 事件」（September 11 Attacks），顯示美國早已掌握恐怖分子可能採取不對稱手段威脅美國本土的訊息，只是並不確定會在何時以何種方式出現，最終還是造成許多人無辜罹難的不幸事件。該事件給美國人留下一層難以抹滅的陰影，於是對所有機場和港口採取前所未有的嚴格安檢程序和措施。為進一步全面杜絕一切外來恐怖主義（terrorism）的滲透和威脅，確保美國本土安全，在 2002 年 11 月成立國土安全部（Department of Homeland Security, DHS），嚴肅看待因應不對稱攻擊的戰略以及建立應對能力的一些問題，並委託包括蘭德公司（RAND）在內的多家智庫和軍事學術機構，加強因應不對稱作戰的防衛政策分析與規劃。⁶

儘管武裝衝突大多具有政治目的，但不對稱作戰似乎更偏重於心理層面，主要是透過直接或間接的手段，讓對手產生恐懼和恐怖的心理，以達到政治目的的一種作戰型態。它是一種劣勢者（have-nots）對優勢者（haves）所採取的暴力行動，不論是劣勢國家還是劣勢的次國家行為者

⁴ J7, *Joint Doctrine for Military Operations Other Than War* (Washington D.C.: Joint Chief of Staff, June 16, 1995), p. IV-1.

⁵ William S. Cohen, *Report of the Quadrennial Defense Review* (Washington D.C.: Office of Secretary of Defense, 1997), p. 21.

⁶ Eric V. Larson, David T. Orletsky, and Kristin Leuschner, *Defense Planning in a Decade of Change* (CA: RAND 2001), pp. 84-120.

（sub-state actors），都會嘗試在戰爭的各個層面——從戰術到戰略——利用自身相對的優勢，對抗較強對手的弱點，進而產生影響深遠的效應。⁷不對稱作戰的思維和論述到了2010年已非常成熟，也成為美國國防安全與軍事文獻廣泛關注的議題焦點，包括《2010年聯合願景》（*Joint Vision, JV 2010*）、《2010年四年國防總檢》（*QDR 2010*）以及《2010年國家軍事戰略》（*National Military Strategy, NMS 2010*）都有相當的篇幅強調，因應不對稱作戰甚至提升為美國國防部長（Secretary of Defense）的主要施政方針之一。⁸大凡強國的軍事學說及其偏好和重視領域，往往成為其他國家從事相關軍事學說研究的重點。因此，不對稱作戰在國際學術社群引起沸沸揚揚的探討和議論乃必然現象。

參、不對稱意涵的辯證

在「911事件」屆滿一周年前夕，儘管當時的美國國防部長倫斯斐（Donald H. Rumsfeld）接受《紐約時報》（*The New York Times*）訪問時，還自嘲搞不清楚應該如何解釋或定義「不對稱作戰」的概念，但他對於有些人將大規模破壞性武器（weapons of mass destruction, WMD）、彈道飛彈（ballistic missile）、巡弋飛彈（cruise missile）以及恐怖主義皆視為不對稱作戰的內涵，則覺得頗不以為然。⁹他的觀點並不算錯，將掌握核子武器（nuclear weapons）、彈道飛彈和核潛艦等優勢支配的軍事力量也當作是不對稱作戰的一環，是有一點牽強附會。因為，軍事優勢支配下的作戰很可能會是一面倒的結局。例如，波斯灣戰爭（Gulf War）即是絕對優勢之下所呈現的摧枯拉朽。但是以眾暴寡和恃強凌弱確實是一種政治和力

⁷ Rod Thornton, *Asymmetric Warfare: Threat and Response in the Twenty-First Century* (Cambridge, UK: Polity Press, 2007), p. 1.

⁸ Charles J. Dunlap, Jr., "Preliminary Observations: Asymmetrical Warfare and the Western Mindset," in Lloyd J. Matthews ed., *Challenging the United States Symmetrically and Asymmetrically: Can America Be Defeated?* (Carlisle Barracks, PA.: Strategic Studies Institute, U. S. Army War College, 1998), p. 1.

⁹ "Interview with Donald H. Rumsfeld," *The New York Times*, September 3, 2002, <https://www.nytimes.com/2002/09/03/international/interview-with-donald-h-rumsfeld.html>.

量上的不對稱，因此，不對稱並非完全是以少勝多、以寡擊眾或者以弱敵強的型態。然而，嫻熟並且善用不對稱作戰絕對是弱勢國家的生存途徑，也是戰略計畫者所應該思考的重點和規劃的方向。

美國康乃狄克州（Connecticut）衛斯理大學（Wesleyan University）教授卡斯狄（Robert M. Cassidy，陸軍退役上校）總結俄羅斯在阿富汗和車臣遭遇到戰略文化的不對稱，認為這是在低強度的衝突中，由於劣勢的一方採取捉摸不定的交戰模式，導致強權無法保證能夠取得戰爭勝利的結果。他歸納強權與弱勢之間存在六項不對稱衝突的對立因素（表 1-1）。可見不對稱作戰並非優、強或劣、弱者所能專屬的權利，仰賴的是高明的作戰指揮藝術。一如岳飛對宗澤之言：「陣而後戰，兵法之常；運用之妙，存乎一心」——¹⁰ 擺好陣勢出戰是打仗的常態規則，但運用的靈活巧妙，全賴用心思考——它是一種謀定而後動的智慧。

表 1-1 優劣勢不對稱衝突的對立因素

對立因素的特性	優勢	劣勢
戰略目標	有限的	無限的
戰略手段	無限的	有限的
科技／軍事能力	較強的	較弱的
意志力／國內凝聚力	有條件的	無條件的
軍事文化	克勞塞維茨／直接	費邊—毛澤東思想／間接
時間與空間	集中	分散

資料來源：Robert Cassidy, *Russia in Afghanistan and Chechnya: Military Strategic Culture and the Paradoxes of Asymmetric Conflict* (Carlisle, PA.: SSI, U.S. Army War College, 2003), p. 7.

中國社會科學院研究員李少軍（解放軍退役中將）主張戰爭必須依循戰爭規則，他認為戰爭倫理涉及正義與非正義的問題，它牽扯兩個層面：一是戰爭目的的正義性，另一是戰爭手段的正義性。除了戰爭倫理的問題，國家還必須接受國際法的限制。他認為國家遵守這些規則是因為這樣的規則對交戰各方都有利。不遵守規則也許在戰術上可能得益，但在戰

¹⁰ 語出《宋史·岳飛傳》。

略上卻可能遭受更大損失。¹¹ 英國埃克塞特大學（University of Exeter）國際公法副教授薩里（Aurel Sari）認為不對稱作戰往往是利用法律的模糊性、法律的門檻和斷層產生的間隙（gap）、質疑現有國際公法（public international law）規則的有效性，形成一種「濫用法律的不對稱戰爭」，對國際和平與安全構成挑戰。¹² 這些質疑難免會給不對稱作戰帶來相當程度的制約，也可能會促使正常國家運用時更加理性和慎重。

肆、不對稱作戰的定義

印度學者勒勒（Ajey Lele）表示，後現代戰爭（post-modern war）正在經歷兩種完全不同類型的哲學：一種是以先進科技為基礎的國家實體；另一種是以運用非正規工具和戰術為基礎的非國家實體。一個非國家行為者對一個國家的行為被籠統地稱為不對稱戰爭。¹³ 美軍《聯合準則百科全書》（*The Joint Doctrine Encyclopedia*）則將不對稱攻擊描述為運用廣泛的武器系統壓制敵方的防禦，對敵形成不同方向的威脅態勢。並且認為不對稱作戰運用在當敵軍部隊進行部署、機動、長時間休息或進行後勤維修、處於動員階段以及從事訓練時特別有效。¹⁴ 有點類似《孫子兵法》〈虛實篇〉的攻其不備和出其不意。美軍《聯合作戰準則》（*Joint Operations*）指出，敵人攻擊美國本土和利益，會避開防衛良好的目標，也會選擇安全措施比較薄弱的部分。認為因應此類威脅可以結合跨部會機關、國際組織、非政府組織、多國部隊以及私領域，透過周密的計畫，採取聯合行動來對付敵人的不對稱攻擊。¹⁵ 顯示儘管不對稱攻擊往往是採取出人意表的手段，但只要有周延的聯合作戰計畫，透過政府跨部會、公私領域以及友好國家之間的通力合作、情報分享與聯合打擊作為，仍然能夠有力應對。

¹¹ 李少軍，〈評「超限戰」〉，《世界經濟與政治》，第10期，1999年，頁74-75。

¹² Sascha Dov Bachmann and Andres B Mosquera, "Lawfare in Hybrid Wars: The 21st Century Warfare," *Journal of International Humanitarian Legal Studies*, Vol. 7, March 2017, pp. 63-87.

¹³ Ajey Lele, "Asymmetric Warfare: A State vs Non-State Conflict," *OASIS*, No. 20, 2014, p. 100.

¹⁴ J7, *The Joint Doctrine Encyclopedia* (Washington D.C.: Joint Chief of Staff, 1997), p. 59.

¹⁵ J7, *Joint Operations* (Washington D.C.: Joint Chief of Staff, 2018), pp. 1-4.

美國中央情報局（Central Intelligence Agency, CIA，簡稱「中情局」）認為，不對稱作戰是弱勢一方採用創新的戰略、戰術和科技，迴避強勢一方的科技優勢，並針對其弱點給予打擊。它包括兩種途徑：一是弱勢的一方選擇武器或軍事資源，設法打敗數量眾多或掌握科技優勢的一方；二是劣勢的一方運用外交或其他非軍事手段，阻止或拘束擁有軍事優勢的一方。¹⁶ 2001年1月，美國陸軍戰爭學院（Army War College, AWC）戰略研究所（Strategy Study Institute, SSI）梅茲（Steven Metz）和詹森（Douglas V. Johnson II）教授彙整各家說法，為「不對稱」總結出下列界定：

在軍事事務和國家安全領域，不對稱是指為了最大限度地發揮自己的優勢，利用對手的弱點，取得主動權，或為了獲得更大的行動自由，而採取與對手不同的行動、組織和思維方式。它可以是政治戰略、軍事戰略、戰役戰略，也可以是這幾種戰略的組合；可以是不同的方法、技術、價值觀、組織、時間觀點，或是將這些要素進行某種程度的整合；可以是短期的，也可以是長期的；可以是刻意的，也可以是默許的；可以是離散的（discrete），也可以是與對稱性戰略目標相結合的辦法，它完整涵蓋了心理和物質的層面。¹⁷

根據前述「不對稱」的界定，有利於進一步闡明不對稱作戰的意涵：它是一套以抵銷敵方優勢以及利用敵方弱點的作戰方法，並不採取傳統的武力戰。從上述界定的內涵來看，不對稱並無力量上的優劣強弱之分，而是一種利用對方弱點，發揮自身優勢的作為；其概念和行動總是以非典型（atypical）的方式利用物質環境和軍事能力，趁隙打破敵人的平衡點。¹⁸

¹⁶ Franklin B. Miles, *Asymmetric Warfare: An Historical Perspective* (Diss.: U.S. Army War College, Carlisle, PA, USA, 1999), p. 3.

¹⁷ Steven Metz and Douglas V. Johnson II, *Asymmetry and U.S. Military Strategy: Definition, Background, And Strategic Concepts* (Carlisle, PA: U.S. Army War College, Strategic Studies Institute, 2001), pp. 5-6.

¹⁸ Stephen Sloan, "Terrorism and Asymmetry," in Lloyd J. Matthews, ed., *Challenging the United States Symmetrically and Asymmetrically: Can America Be Defeated?* (Carlisle Barracks, PA: U.S. Army War College, Strategic Studies Institute, 1998), pp. 173-174.

換言之，不對稱並非只有強者才能夠有所作為，弱者同樣可以操作，可見不對稱作戰是交戰雙方都可以各自應用於戰略、戰役和戰術階層的一種藝術。1998 年，美國國防部（Department of Defense, DOD）對不對稱作戰做出正式的定義：意圖規避或削弱對方優勢，同時利用對方弱點，採用與對方習於作戰模式明顯不同的方法。¹⁹ 1999 年，中國軍事研究學者郭永斌在其《美軍不對稱作戰中的進攻與防禦》一文中將不對稱作戰定義為「作戰雙方充分利用在謀略上、武器技術和軍兵種運用的各種優勢，積極尋找對手軍事戰略中的薄弱環節，揚長避短，避實擊虛，對敵實施猛烈打擊，並且達到戰爭預期目的。」²⁰ 上述這些定義與《孫子兵法》〈虛實篇〉強調的避實擊虛完全契合，反映出不對稱作戰的定義越來越精要，意涵也越來越清晰。

伍、不對稱作戰的特性

不對稱作戰並不拘泥於正規或非正規，也不侷限於傳統或非傳統，其具體行動原則與要領為靈活選擇打擊方向、巧妙運用打擊手段、掌握先進科技武器效能與限制因素，以及不斷創新戰術戰法。²¹ 就其特性言，不對稱作戰可分為兩類：一類偏重於軍事意涵，指的是不同部隊類型間的作戰，著眼於作戰力量與作戰方式的強弱運用與轉換，亦即聚焦於戰略、戰術與戰具運用所形成的不對稱，此類型較受美軍重視。另一種是具備準軍事（paramilitary）意涵的恐怖主義手段，此類不對稱並無一定模式或規律可循，道德與法律非但不是限制因素，反而是可資利用的工具，違反美國長期以來制定戰爭合理性與正當性的國際價值觀。²² 前者屬於軍事優勢

¹⁹ Franklin B. Miles, *Asymmetric Warfare: An Historical Perspective* (Diss.: U.S. Army War College, Carlisle, PA, USA, 1999), p. 2.

²⁰ 郭永斌，〈美軍不對稱作戰中的進攻與防禦〉，《現代軍事》，第 23 卷第 8 期，1999 年 8 月，頁 32。

²¹ 李皓、張瑞麟，〈「不對稱作戰」之發展探討〉，《海軍學術雙月刊》，第 46 卷第 3 期，2012 年 6 月，頁 37。

²² 陳偉華，〈「不對稱作戰概念」與「不對稱戰力建構」關係之研究〉，《國防雜誌》，第 25 卷第 4 期，2010 年 8 月，頁 12。

的不對稱，後者則是軍事劣勢的不對稱。總的來說，不對稱意指與我們的能力不相稱，遠遠超過我們所能理解的戰爭。例如，駕駛飛機撞擊高樓大廈。然而，採取這種令人顫慄不安的恐怖主義手段，只是被逼到絕境之後的不得已做法，絕對不是不對稱作戰的全部。

不對稱作戰的特性涵蓋文化、科技與心理三個層面：²³ 文化層面體現的是人民的習性。例如，俄羅斯人數百年來由東歐邊陲向東擴張到遠東地區，建立橫跨歐亞兩洲的大國，以及在二戰期間力抗德國的剷悍民族性。科技層面對於不對稱作戰的影響雖然起到重要作用，但科技劣勢一方卻並非全然沒有機會。例如，運用資訊和網路技術的能力；關鍵在於如何窺破戰機，掌握機會之窗（window of opportunity），在關鍵的時刻和地點對敵脆弱之窗（window of vulnerability）形成關鍵的一擊。心理層面主要是戰鬥意志的體現。例如，阿拉伯人在中東問題上得不到公平合理對待，於是經常以肉身當炸彈去追求目標的達成，這當然存在宗教極端主義（religious extremism）的情愫，但這種精神力卻也往往令敵人膽寒。但是，國家追求勝利畢竟不能光靠自殺攻擊，如果整個國家都沒有共同奮鬥求勝的意志與穩定的政局，也會迅速敗亡，伊拉克和阿富汗政權的覆亡即是例證。²⁴ 因此，弱小國家的生存之道，首要在於凝聚人民追求生存發展的精神戰力，並且激發出不屈不撓的戰鬥意志。堅強的心理素質不僅可以彌補科技能力的不足，也會強化民族的自信和習性。

目前軍事學家對不對稱威脅的著魔，恰恰證明了我們對冷戰後安全環境以及對美國安全政策動態力量和反制力量的思考過於平庸。蘇聯解體後，美國人的心理反射對於過去武鬥（martial contests）所揭櫫戰略永恆邏輯的記憶毫無反應，而不對稱即是為了填補由此產生的空白。²⁵ 正因為所有戰略都是在不對稱的基礎上進行的，所以不對稱作戰應該是所有理

²³ 張哲銘、翟文中，〈中共發展非對稱軍力對我國國防安全之影響〉，《戰略與國際研究》，第1卷第3期，1999年8月，頁167。

²⁴ 王高成，〈中共不對稱作戰戰略與台灣安全〉，《全球政治評論》，第6期，2004年4月，頁23。

²⁵ Steven J. Lambakis, "Reconsidering Asymmetric Warfare," *JFQ*, Issue 36, p. 108.

性戰爭的代表，而不對稱概念的分析過程也往往是戰鬥員運籌帷幄的有效戰略。強勝弱敗是普遍規律；以強勝弱是絕對規律；以弱勝強則是特殊規律，²⁶ 不對稱作戰是實現優劣轉換的先決條件，自古就存在，但其內容、形式和地位，隨著戰爭型態和作戰體系結構的變化而不斷變化和發展。²⁷

陸、小結

整體觀察不對稱作戰的源起、論辯、定義和特性可歸納出下列發展趨勢：

一、從直接摧毀到直接影響

傳統的軍事手段強調打擊和摧毀，新型態作戰既講究通過軟實力，也運用媒體散布假訊息及製造假新聞（fake news），鼓動社會不安，挑唆民眾與政府對立，為軍事介入製造條件。

二、從透過武力消滅對手到從內部腐化敵人

傳統戰爭以擊滅對手為目標；新型態作戰方式則透過賄賂、收買等手段，製造社會貪腐風氣，從敵人堡壘內部瓦解敵人。這一點印證了戰爭在未經宣戰之下，早已開打的情況和現象。

²⁶ 所謂戰爭的普遍規律，是貫穿一切戰爭現象中內在的、本質的、必然的聯繫，而不是什麼多數情況下的規律。張伊寧，〈科學認識戰爭制勝機理〉，《新華網》，2006年6月20日，<http://jczs.news.sina.com.cn/2006-06-20/0609378163.html>。

²⁷ 李黎明，〈中共對軍事「不對稱」概念的認知與觀點〉，《遠景基金會季刊》，第3卷第4期，頁160-161，轉引自沙自平，〈論資訊戰場的優劣轉換〉，《人民網》轉載《解放軍報》，2002年1月29日，版6。

三、從高科技戰爭到文化戰爭

美軍在波斯灣戰爭詮釋高科技戰爭的優勢作為，此後在中東擴大軍事存在，但美國文化與伊斯蘭文化格格不入，導致美軍反恐作戰（counter-terrorism operations）成效相當有限，顯示船堅炮利征服不了人心。中國驚懾於美軍攻打伊拉克所呈現的高科技戰爭能力，也領悟文化作為戰爭工具的力量，遂於全世界普設孔子學院，擴大文化影響力。

四、從全面戰爭到針對性作戰

傳統戰爭往往倚賴正規部隊的兵力優勢，進入新世紀以來的新型態作戰，強調部隊的針對性打擊。例如，為利遂行城鎮戰（urban warfare）而將部隊特戰化（special operationalize）。

五、從傳統的三維戰場向資訊戰、輿論戰、心理戰和法律戰等多維空間延伸

傳統戰爭離不開海、陸、空立體空間的戰場，而新型態作戰更加重視沒有硝煙的戰爭手段，從直接衝突邁向非接觸式戰爭（non-contact warfare），特別是網路空間的戰爭（cyberspace war）。

「911 事件」雖是一種恐怖攻擊行動，仍屬於「不對稱作戰」的範疇，只是這種不選擇作戰對象和目標的極端行為，並不符合戰爭規範，難免引起爭議。這些新型態作戰莫不牽扯戰爭倫理與國際規則的問題，須特別注意攻擊目標的規範應符合《日內瓦公約》（*Geneva Conventions*）有關平民和非戰鬥員保護，以及《海牙公約》（*Hague Conventions of 1899 and 1907*）有關作戰方法和手段的選擇。戰勝國面臨國際法制裁的問題可能並不存在；然而戰敗一方，即無法避免受到戰勝國設立軍事法庭的追訴或關押。例如，美國在「911 事件」後逮捕 500 多名涉嫌的恐怖分子，未經審判即監禁於古巴關達那摩灣（Guantanamo Bay）的監獄迄今——有時候，「成王敗寇」也是一種難以迴避的現實。

從上世紀末到現今的 30 年間，包括不對稱作戰在內的許多新型態作戰，已經跳脫了單純武力戰的範疇，這些發展趨勢給弱勢國家的安全帶來嚴峻挑戰的同時，也為弱勢國家提供力抗強權的空間開啟「機會之窗」。國防安全政策的戰略規劃者應深入理解，並掌握對手的阿基里斯腱（Achilles tendon），以便於戰爭來臨時，窺出對手的「脆弱之窗」，給予關鍵一擊。

為了支持國家指揮機構領導全國軍民適應新型態作戰特性，達成以寡擊眾、以少勝多的不對稱作戰戰略目標，建議可以參考不對稱作戰的發展趨勢，作為建軍備戰發展硬實力的參考依據，並針對下列軟實力的三個面向給予貫徹落實：第一，國家各階層的情報機關和智庫等學術機構，除須加強對潛在敵國傳統軍事能力建設的蒐集、分析和掌握之外，亦應隨時關注其於新型態作戰領域的實踐情形，掌握其運作脈絡和發展規律，俾利相關政策部門據以妥擬戰略，綢繆應對；第二，鞏固內部凝聚力，促進軍人武德涵養，強化戰鬥意志等精神力量的孕育與發揚，增進各階層領導對新型態作戰特性的理解與應用能力的提升；第三，與友我國家密切協調，充分合作，並加強情報分享，透過集體防禦力量，確保國家與地區的和平穩定與安全。

第二章 不對稱科技戰的威脅

蘇紫雲*

壹、前言

中共軍事裝備在近年有極大進步，使其在 2019 年軍改後不僅享有數量優勢，軍事技術上的改善也使其逐步占有質量優勢。中國軍力的發展，可說是「富國強兵」走向「強兵富國」的策略。由於威權體制具有相對政策穩定性，以及無需承擔輿論壓力的低政治風險，因此推行政策更為便捷。加上中共對於結合民間企業參與軍品研發的歷程發展甚早，力圖比照先進國家結合軍事需求與經濟建設，主要的發展變革可說由「軍民兩用」至近期引進西方科技並民轉軍的「民軍兩用」。

由政策沿革觀察，中共軍備發展的不對稱思維最早起源於建政之初面臨軍事裝備不足，國防工業基礎薄弱的困境，因此先是毛澤東提出「軍民兩用」，而在鄧小平時期則提出「軍民結合」，主要內容係「軍民結合、平戰結合、軍品優先、以民養軍」的十六字方針。¹其後的江澤民時期則主張「寓軍於民」、胡錦濤時期在 2007 年 10 月的「十七大」的「軍民融合」，以及 2012 年後的習近平強調之「深度融合」。²

2012 年 11 月中共十八屆中央委員會第五次全體會議提出並通過《中共中央關於制定國民經濟和社會發展第十三個五年規劃的建議》，依照該規劃主要是要求健全軍民融合發展的「三個體系」（組織管理體系、工作運行體系、政策制度體系），其中的組織管理體系是指建立國家和各省（自治區、直轄市）的軍民融合領導機構，統一領導軍民融合工作。³

* 蘇紫雲，國防安全研究院國防資源與產業研究所副研究員，負責研究架構與本章。

1 李宣良、劉欣欣，〈鄧小平與中國國防工業軍轉民〉，《新華網》，2017 年 5 月 11 日，<http://cpc.people.com.cn/BIG5/n1/2017/0511/c69113-29268409.html>。

2 曹忠義，〈堅持以習近平軍民融合發展戰略思想為指引，焦距重點深化改革走出軍民融合發展新路子〉，《黑龍江日報》，2018 年 8 月 3 日。轉引自《中國共產黨新聞網》，<http://cpc.people.com.cn/BIG5/n1/2018/0803/c64102-30205515.html>。

3 鐘新，〈深入實施軍民融合發展戰略〉，《人民網》，2017 年 11 月 16 日，<http://theory.people.com.cn/BIG5/n1/2017/1116/c40531-29649330.html>。

同時習近平進一步提出「中國特色軍民融合式發展」，強調戰略規劃、體制機制與法規規劃建設；2015 年 3 月，習近平特別強調要將軍民融合發展提高為國家級戰略，並明列在《中華人民共和國國民經濟和社會發展第十三個五年規劃綱要》（簡稱：「十三五規劃」）。⁴

2018 年 3 月 2 日，習近平主持召開十九屆中央軍民融合發展委員會第一次全體會議並講話，會議通過《軍民融合發展戰略綱要》，指出「貫徹新發展理念，堅持富國和強軍相統一，形成軍民融合深度發展格局，構建一體化的國家戰略體系和能力，為實現中國夢強軍夢提供強大動力和戰略支撐……」。⁵

在此一背景下，中共自 1960 年代以來著力發展「兩彈一星」至 2020 年代力求數位戰場的領先，可說由宏觀戰力至微觀戰力的全面鋪開，並結合民力資源，在戰略與戰力的構成都形成不對稱的發展途徑。

貳、民力資源的運用

在前述眾多的「政策」多為宣示性意見，2017 年 12 月中共國務院辦公廳所揭示《關於推動國防科技工業軍民融合深度發展的意見》，可視為較完整的政策規劃，具有較高的可操作性。該文件主要之政策方向可綜整摘要如下：

一、國家主導，市場運作

在中央統一領導下，加強國防科技工業軍民融合政策引導、制度創新，健全完善政策，打破行業壁壘，推動軍民資源互通共用。充分發揮市場在資源配置中的作用，激發各類市場主體活力，推動公平競爭，實現優

⁴ 許其亮，〈堅定不移推動經濟建設和國防建設融合發展（學習貫徹黨的十八屆五中全會精神）〉，《人民日報》，2015 年 11 月 12 日。

⁵ 〈習近平主持召開十九屆軍民融合發展委員會第一次全體會議〉，《中華人民共和國國家監察委員會》，2018 年 3 月 2 日，http://www.ccdi.gov.cn/toutu/201803/t20180302_165180.html。

勝劣汰，促進技術進步和產業發展，加快形成全要素、多領域、高效益的軍民融合深度發展格局。

二、問題導向，務求實效

針對制約國防科技工業軍民融合深度發展的障礙，圍繞「軍轉民」、「民參軍」、軍民兩用技術產業化、軍民資源互通共用等重點領域，突出解決深層次和重點、難點問題，向更廣範圍、更高層次、更深程度推動軍民融合發展。

三、協同推進，成熟先行

充分發揮有關部門和地方政府作用，調動軍工集團公司、軍隊科研單位和中科院、高等學校以及包括民營企業在內的其他民口單位等多方面積極性，形成各方密切合作、協同推進的強大合力。注重政策統籌協調，有序推進，成熟一項、落實一項。⁶

而其實際的效益，依照相關資料，可整理為下列幾個面向：

一、鏈結區域軍地平台

各省（含自治區、直轄市）制定推動軍民融合發展的具體意見和規劃計畫，設立各類專項領導小組和專門辦事機構，推動國防建設與區域經濟融合發展。省軍區系統軍民融合協調職能得到拓展。軍地科技資訊交流、科研資源共用不斷深化。地方市政對部隊基礎設施建設保障力度加大。⁷

⁶ 國務院辦公廳，〈關於推動國防科技工業軍民融合深度發展的意見〉，《國務院公報 2017 年 35 號》（北京：中華人民共和國國務院辦公廳，2017 年），<https://is.gd/Bcd6QP>。

⁷ 鍾新，〈深入實施軍民融合發展戰略〉，《光明日報》，2017 年 11 月 16 日。

二、產業效益

依照 2018 年 10 月的「第四屆軍民融合發展高技術裝備成果展」統計，共展出 302 家單位、1,349 項展品，首次參展單位約占 60%，約 90% 的參展技術產品核心技術具有自主智慧財產權。展覽期間，促成各軍地 176 家單位簽約 154 個專案，總金額超過 20 億元人民幣；集中發布裝備採購需求、軍品配套需求資訊 1,600 條，國防科技重點實驗室基金成果資訊 400 餘條，聚焦「先進材料」、「先進製造」、「新能源」和「自主可控」領域。⁸

三、科技效益

由另一公開指標「中國軍民兩用技術創新應用大賽」觀察，2016 年舉辦以來歷屆皆對前三名的單位給予高額獎金，如 2018 年長沙市對金、銀、銅獎之得主分別給予 300、200、100 萬人民幣的獎金，其用意主要係參考美國「國防先進研究計畫署」（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）的各類應用科學競賽，以促進科技的軍事應用。更值得注意的是，首屆參賽選手以國有企業為主、民營企業為輔，到第二屆民企選手占 50%，至 2018 年時，第三屆民企選手則達到 70%。⁹

四、經濟效益

依照統計，中國民間企業在軍備供應的市占比約 30%，¹⁰ 換算中國公開之軍費開支，裝備費約占 30% 為 4,000 億人民幣，因此可推估民參軍的

⁸ 鄧孟、鄧維榮、韓阜業，〈第四屆軍民融合發展高技術裝備成果展覽吸引 4 萬餘人參觀〉，《解放軍報》，轉自中華人民共和國國防部，2018 年 10 月 16 日，http://www.mod.gov.cn/topnews/2018-10/16/content_4826828.htm。

⁹ 解放軍報融媒體，〈在軍民融合的春風里濁帳成長〉，《新浪網》，2018 年 12 月 7 日。http://k.sina.com.cn/article_5338340917_13e309e3502000gcq4.html?cre=tianyi&mod=pcpager_news&loc=40&r=9&doct=0&rfunc=100&tj=none&tr=9。

¹⁰ 投中研究院，《2019 年中國軍民融合白批書》，（北京：投中研究院，2019 年 3 月），頁 34。

規模至少為 1,330 億人民幣（5,918 新台幣）。相對地，「軍民融合」的相關投資基金，中共政府與國企共投入 3,134 億人民幣（1 兆 3,946 億新台幣），民間與私募基金則為 82.4 億人民幣（366.7 億新台幣）的資金規模。

參、不對稱威脅評估：中共國防資源的投入

在前述的軍民融合政策方向外，中共對於國防預算規模的投入也快速增長，即便是新冠肺炎肆虐的 2020 年，中國大陸面對疫情、水災，以及貿易戰的多重壓力，國防預算呈現小幅增長，但總額卻較 2010 年的預算在 10 年間達到 2.3 倍的增幅。

一、軍事預算的實際規模

依照中共官方規劃，2021 年國防預算為 1 兆 2,680 億元人民幣（約 5.3 兆新台幣）官方《新華網》指出增加幅度為 6.6%。由同期的預算成長比例觀察，這是自 2016 年以來連續 5 年軍事預算增幅呈現個位數的狀況，依照新華社數據，中國 2016 年的軍事預算增長率為 7.6%，2017 年為 7%，2018 年為 8.1%，而此前四年，2012~2015 年則均為兩位數的增長。¹¹

必須注意的是，此種增幅看似和緩，但若與 2012 年習近平先生上台後的國防預算為 6,692 億元人民幣的規模相較，¹² 則預算規模成長達到 1.89 倍的驚人比率。

一般而言，各國對北京的實際軍費開支抱持懷疑態度，認為隱藏性的預算編列更高於名目預算的數倍。值得注意的是，中共國防預算一般只著重官方的名目預算，以及可能之隱藏預算，但對其實質購買力則忽略。

¹¹ 賴錦宏，〈今年中國國防預算增幅 6.6% 第 5 年個位數增長〉，《世界日報》，2020 年 5 月 22 日，<https://reurl.cc/VXvkQn>。

¹² 國務院新聞辦公室，《新時代的中國國防》（北京：國務院新聞辦公室，2019 年 7 月），http://www.mod.gov.cn/big5/regulatory/2019-07/24/content_4846424.htm。

世界銀行的國際比較項目（International Comparison Program, ICP），中國 2018 年的經濟總量為 13.6 兆美元，¹³ 若換算購買力平價（purchasing power parity, PPP）則為 21.4 兆美元。¹⁴

換句話說，中共公開國防預算 1,685 億美元，其實際購買力約為其名目預算的 1.57 倍，相當於 2,645 億美元。

若再加計瑞典斯德哥爾摩國際和平研究所（SIPRI）等智庫推估隱藏預算至少為名目預算的 140%，因此，綜整前述的貨幣、等值，以及隱藏預算之可能，中共國防實際預算可建立一等式測算：

$$Rd=Od \times P \times h$$

（Rd= 實際總預算，Od= 官方名目預算，P= 購買力平價，h= 隱藏預算）

則中共實質國防預算相當於 3,703 億美元（11 兆 2,163 億新台幣）。

二、軍備相對造價低

中共的軍備成本外界難以獲悉，建造成本則參考中國外銷紀錄等資料反推。以中國對外銷售成績較佳的各級軍事艦艇為例，¹⁵ 中共將其分類為「軍貿艦」，若依照國際公開資訊觀察，中共在 2013 年成功銷售予巴基斯坦的 F22 級艦（共軍分類級別維 053H 型，江衛級）共計 4 艘，以及作為配套的 6 架直-9 反潛直升機，連同相關的周邊配套裝備等合計銷售額為 6 億美元。¹⁶ 而在 2019 年出售給巴國的 054A 護衛艦之單艘售價則為 3.48 億美元。¹⁷

¹³ “GDP-China 2018.” World Bank, <https://Data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=CN>.

¹⁴ “GDP, PPP,” World Bank. <https://Data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.CD>.

¹⁵ 蘇紫雲，〈中國軍艦出售巴基斯坦的戰略經濟〉，《國防安全週報》，第 31 期，2019 年 1 月 18 日，頁 31。

¹⁶ “F-22P PNS Zulfiquar/ Type 053H2 Jiangwei-II,” Global Security, Date unknow. <https://www.globalsecurity.org/military/world/pakistan/f-zulfiquar.htm>. PNS 係指 Pakistan Navy Ship.

¹⁷ Gabe Collins, “How much Do China’s Warships Actually Cost,” *The Diplomat*, June 18, 2015. <https://thediplomat.com/2015/06/how-much-do-chinas-warships-actually-cost/>.

綜合前文觀察，中共目前主力作戰艦艇的成本範圍包括 054A 推估單艘造價為 3.48 億美元，056 級造價約 1 億美元（出口給孟加拉之「軍貿型」稱號為 C-13B 級艦）。而中共自用，未曾出口的 052D 級（中華神盾）則依照《人民網》2014 年 4 月 23 日報導之造價則約為 35 億人民幣（約合 5.1 億美元）。相形之下，西方國家新造同級別巡防艦之單艦造價約在 9 億美元以上。¹⁸

同時，雖然精確資料有限，但以產量穩定的主戰艦艇（不含補給、登陸艦等輔助船隻）為評估基準，則在習近平就任後的 2012~2018 年之間長期統計中國總計完成 15 艘 054A 護衛艦、60 艘 056 級護衛艦，以及 20 艘 052D 級驅逐艦，平均每年完成 2.1 艘 054A、8.5 艘 056 及 2.8 艘 052D 作戰艦艇。易言之，合計近 7 年中國作戰艦艇年均產量為 36,250 噸，產值則為 31.18 億美元，占國內船舶市場產值的 13.7%。¹⁹ 此也可作為推估中國海軍兵力預估之參考基準。

肆、不對稱威脅評估：中共微觀與宏觀戰力

中共對於世界安全格局的發展，向來採取傳統安全態度，也就是強調軍事實力。如同十三屆人大的解放軍和武警代表團發言人吳謙所聲稱：「習主席深刻指出，統籌發展和安全，增強憂患意識，做到居安思危，是我們黨治國理政的一個重大原則」。²⁰ 因此，其軍事力量的建設，落實在科技與裝備方面，主要重點可分析如後：

¹⁸ Sam LaGrone, "NAVSEA: New Navy Frigate Could Cost \$950M Per Hull," *USNI News*, January 9, 2018. <https://news.usni.org/2018/01/09/navsea-new-navy-frigate-will-cost-950m-per-hull-double-lcs-cost#more-30491>.

¹⁹ 蘇紫雲，〈中國軍工造船量能與新世航艦評估〉，《國防安全週報》，第 54 期，2019 年 7 月 5 日，頁 14。

²⁰ 梅世雄，〈中國國防費適度穩定成長，比上年增長 6.6%〉，《新華社》，2020 年 5 月 26 日，http://m.xinhuanet.com/mil/2020-05/26/c_1210634219.htm。

一、微觀戰力

中國的軍事力量快速增長，最受各國矚目的為海軍、空軍以及火箭軍等投射型軍力，因可對外部產生直接影響，區域安全與權力結構也將受到衝擊。目前共軍在軍工體系的投入，部分取得更為先進的水準，這都將大幅增加解放軍的實際戰力。

中國在 2008 年北京奧運後，基礎設施建設的投資力度依然繼續加大，包括交通、測繪、資訊等領域共建共用取得重要進展。「軍轉民」、「民參軍」的交互發展加快，主要指標包括北斗導航系統、中共自行設計的區間客機 C919、華龍一號核電廠等研發應用取得突破，都有助於軍事裝備的研發與成本分散。對共軍而言，藉由前文所述的「民用科技」由先進國家導入轉為軍用的科技主要包括：

（一）半導體電子

主要為先進製程的生產技術，包括台積電 16 奈米的技術用於「現場可程式化邏輯閘陣列」（Field Programmable Gate Array, FPGA）晶片，²¹於 2018 年 11 月取得美國防部認證成為美軍先進裝備應用之關鍵供應商，但台方半導體廠商卻同時於中國南京設有 16 奈米、12 奈米之晶圓廠。在中國威權體制與《情報法》的運作下，中共軍方可將軍用晶片設計完成後，再藉由民間公司的名義，取得台灣半導體代工先進晶片再轉用於軍事裝備。此亦為美方要求台灣業者前往美國設廠，並對中共進行科技圍堵之最主要考量因素。

²¹ 台積電，〈致股東報告書〉，台灣積體電路公司，2015 年，https://investor.tsmc.com/static/annualReports/2015/chinese/c_1_1.html。

（二）量子加密通訊

除既有的通訊衛星外，中國於2016年8月16日發射「墨子號」通訊衛星，是全球首先運用量子（quantum）加密技術的首顆衛星。²²以測試驗證量子電腦科技用於通信加密之潛力，藉量子科技進行運算，除具備高速解算能力之外，其傳遞的語音、數位等資訊流在理論上難以破解，極具情報與軍事價值。

（三）先進動力系統

由烏克蘭引進船用燃氣渦輪機（gas turbine engine）、航空用渦輪軸發動機（turboshaft engine），²³轉用於作戰艦艇、兩棲氣墊船、軍用直升機、運輸機等裝備，都可使中共海空軍的機動性大為提高，意味取得戰略投送能力，在區域安全上的意義在於北京得以遂行規模化的快速反應、海外兵力投射，使中共實質軍事影響力大為增加。

（四）光電感測系統

主要為可見／不可見光電感應系統、雷達。雷達系統由歐洲引進，包括雷達主機、運算、管理軟體等，用於目標偵測、戰場測繪，以及精密氣象偵測等。而不可見光（紅外線）等感應系統，則可用於目標偵測、飛彈導引等用途。

（五）精密光學

除自行研發之外，包括外商等光學電子元件，以及研磨技術，則用於軍規感測器之鏡頭，以及感測元件，提高解像能力以及導引的精準度。例

²² 〈中國成功發射全球首顆量子科學實驗衛星〉，《中國新聞網》，2016年8月16日，<http://www.chinanews.com/gn/2016/08-16/7973424.shtml>。

²³ Reuben F. Johnson, "Why Ukraine is a secret weapon for China's airpower," Middle East Institute, July 9, 2020. <https://www.mei.edu/publications/why-ukraine-secret-weapon-chinas-airpower>.

如，台商光學元件廠生產軍規鏡頭的產業也前往中國掛牌上市，²⁴ 等同間接加入中國的軍工產業。

（六）特殊材料

主要為鈦、鉻、鈳等特殊冶金技術，運用於空用發動機的渦輪葉片、潛艦鋼材、火箭耐熱噴嘴、戰車穿甲彈等強固金屬，提高軍事裝備的性能。

二、宏觀戰力

（一）核威懾

中國新近推出的陸基「東風-41」洲際飛彈、「東風-17」高超音速中程飛彈、「東風-100」混合彈道巡弋飛彈，海基則為研發中的「巨浪-3」潛射彈道飛彈，空基則是發展中的「轟-20」匿蹤轟炸機，陸海空的核武平台都具有增加核打擊距離、精度、多彈頭重返載具的投射能力，將使北京取得更大的核威懾能力。

但後續的連動效應則是美軍 B-1B 轟炸機多次抵近中國東海巡弋，以展現美國「戰略可預期、戰法不可測」（strategically predictable, but operationally unpredictable）的核嚇阻戰略，以「延伸嚇阻」（extended deterrence）的做法保障印太盟國的安全。

（二）兵力投射

主要為傳統兵力的投射，藉以擴張權力的影響。中國發展「20 系列」的軍機，包括前述的匿蹤「轟-20」轟炸機、「殲-20」戰機、「運-20」大型運輸機、「直-20」的通用直升機。其中的運-20 運輸機、直-20 直升機

²⁴ 韓婷婷，〈亞光旗下軍工鏡頭廠擬分拆至大陸掛牌〉，《中央社》，2015 年 5 月 26 日，<https://reurl.cc/9XI58X>。

都有助於中國軍力的快速投射。其核心技術包括前文所提由烏克蘭導入「渦槳」(turboprop)、「渦軸」(turboshaft)引擎轉用於軍事航空器。而海軍的「075」兩棲攻擊艦、「002」山東號航艦、「055」級大型驅逐艦的核心動力系統，則為中國本土生產的鍋爐、以及技術轉移的柴油、複合燃氣渦輪發動機或稱「燃燃聯合動力」(combined gas turbine and gas turbine, COGAG)等技術，對於中國傳統兵力的投射都具有關鍵的效益。

(三) 大型島嶼作戰

除前述的軍事裝備外，中國同樣結合民間資源，以「國防動員艦」的規格要求民用的「客滾輪」(亦稱汽車渡輪 ro-ro ferry)符合軍規需求，例如艙間高度、寬度，以及車輛跳板強度等。依公開資料估算，目前中國民間企業約有 35 艘客滾輪營運，主要分布在渤海灣、海南島瓊州海峽。這些客滾輪亦參與多次演習，載運地面部隊裝甲車輛進行潛度作戰。²⁵ 結合前述的正規兵力投射裝備，使解放軍近年遂行大型島嶼作戰的能力大幅提高。

(四) 衛星戰略支援能力

依照公開資料統計，中國目前已擁有 382 顆衛星在軌道運作(表 2-1)，相較美國的 1,425 枚雖尚有一大段差距，但以衛星擁有的數量而言，已是第二大太空強國，其主要能力為通訊、定位、戰場測繪與監偵，將可使其追求的戰場透明化、數位化，發揮兵火力的最大綜合效益。而軍用主要功能為監偵、通訊、三大太空系統的航天戰力。包括「民用衛星」的軍用潛力對我國產生之威脅，主要可分為：

1. 戰場精密測繪，除固定的軍事設施外，也包含各類自然、人文環境，甚至以不可見光圖像處理技術可進一步評估預設戰場的土質，以及淺地表的可能埋設物，以利兵力配置與火力設定。

²⁵ 〈陸軍重裝旅演練民用客滾船跨海：96 坦克倒車上船，彰顯軍民融合〉，中國海洋工程網，2020 年 7 月 9 日，<http://www.chinaoffshore.com.cn/index.php?s=/Home/List/index/id/330.html>。

2. 兵力即時定位追蹤，主要為兵力單位的移動，衛星資料的更新率將可提高追蹤定位能力。同時對於固定場站，包括駐地、機場跑道也可利用日照與裝備在地面的熱影像殘留，用於測算兵力裝備的數量與動態，一般偽裝則可藉由合成孔徑雷達藉主動電波掃描方式進行測繪。
3. 天氣測候：預設戰場的天氣測報，主要包含風向、風速、海象、潮汐等氣候條件之測報，主要目的作為軍事行動的規劃與應變。²⁶

表 2-1 主要國家衛星部署數量（資料更新至 2020 年 8 月 1 日）

國別	美國	中國	俄國
數量	1,425	382	172

資料來源：Union of Concerned Scientists。

（五）區域拒止能力

主要為陸海空的火力投射，除各類作戰飛機外，中共的遠程火力投資以各式飛彈為主，特別是洲際飛彈、中程飛彈、長程巡弋飛彈等長程精準彈藥，對區域權力平衡造成衝擊。主要的指標之一，係中國於 2007 年 1 月首次以洲際飛彈改裝反衛星飛彈擊落報廢氣象衛星，²⁷ 使共軍具備太空載具的硬殺能力。此後，受益於中共軍民航太事業的發展，中國也逐步強化衛星硬殺能力，包括「神光」系列的高能雷射。²⁸ 加上「東風-26」、「東風-17」高音速載具、「東風-100」增程巡弋飛彈等機動飛彈等硬殺手段，²⁹ 都可整合前述衛星即時目標獲得，遠距的精密導引，以發揮精準打擊效果。

²⁶ 蘇紫雲，〈中國航天產業發展與軍用潛力〉，《國防情勢月報》，第 144 期，2019 年 6 月 27 日，頁 27。

²⁷ Brendan Nicholson, "World fury at satellite destruction," The Age, January 20, 2007. <https://www.theage.com.au/national/world-fury-at-satellite-destruction-20070120-ge416d.html>.

²⁸ 〈美媒：中國以自己的衛星試驗鐳射武器以免洩密〉，《新浪網》，2013 年 9 月 11 日，<http://mil.news.sina.com.cn/2013-09-11/1033739974.html>。

²⁹ 中國新聞網，2014 年 6 月 29 日，<http://big5.chinanews.com:89/mil/2014/06-19/6298529.shtml>。

伍、小結

美國川普政府在 2020 年新冠肺炎疫情稍緩之際，仍進一步緊縮對中貿易管制，以避免中國藉「軍民融合」發展先進裝備，³⁰ 此對中國的軍備整備將造成實質影響，也是川普政府持續對中「科技戰」的主要做法，拜登政府是否延續此一政策手段將影響未來的全球安全以及科技發展的走向。

實際上，美方啟動對中科技戰，並擬定聯邦機構禁止採買的中國公司黑名單，³¹ 主要目標就在阻斷、遲滯共軍裝備的快速升級。美國國防部最早係依照川普政府的要求，於 2018 年 10 月 5 日公布《評估並強化美國國防產業的製造基礎與供應鏈韌性》（*Assessing and Strengthening the Manufacturing and Defense Industrial Base and Supply Chain Resiliency of the United States*），該報告明確指出中國產業挾著成本優勢、特殊原物料（如稀土）等要素形成紅色供應鏈，商業實務上則以元件或次系統的方式深入美國各個產業，特別是對美軍各式裝備所需關鍵零組件、原物料的供應鏈，造成明顯且日益升高的風險。

而早在《2019 年國防授權法》（*NDAA 2019*）也明文指出中國的華為、中興、海康威視、大疆等高科技公司之產品存在資安風險，要求美國政府部門停止採購與後續使用。後續效應也將使中國科技公司取得相關技術更為困難，阻斷其產業升級，並避免造成資訊基礎設施（critical information infrastructures）的安全漏洞。

前瞻美國即將上任的拜登（Joe Biden）新政府的對中政策，雖然可能進行調整，但其變動規模恐相對有限。主要的理由是在川普政府劃定的貿易戰、科技所形成的圍堵框架下，加上共和黨掌有參議院的多數席次，因此可在拜登提名部會首長的聽證會，以及後續的政策中進行監督與制衡。

³⁰ Katy Stech Ferek, "Commerce Department Tightens Rules on Exports to China," *The Wall Street Journal*, April 27, 2020. <https://www.wsj.com/articles/commerce-department-tightens-rules-on-exports-to-china-11588016185>.

³¹ Demetri Sevastopulo, "US targets companies with Chinese ties," *Financial Times*, September 12, 2019. <https://www.ft.com/content/5e3ce2bc-d4e2-11e9-8367-807ebd53ab77>.

其次，無可諱言，美國民主黨對國際事務、安全事務是比較傾向多邊主義，主張對話為主。但民主黨的可能行為模式有其脈絡可供評估，主要是歐巴馬時期先於 2008 年提出「重返亞洲」（Pivot to Asia），重點在強化中國周邊國家的交往與合作。其後再於 2012 年 1 月更進一步提出「再平衡」（Rebalance）戰略。

民主黨的前總統歐巴馬在 2012 年的《國防戰略評估報告》（*Defense Strategic Review*）公開宣示美國將會增強在亞太地區的軍力，其後的《國家安全戰略》（*National Security Strategy*）再次強調將「強化亞太再平衡」（Advance our Rebalance to Asia and the Pacific），並「堅持中國在海上安全、貿易，以及人權都需遵守國際規則與規範……並將密切關注中國軍力的現代化與擴張」。³²

可以這麼說，歐巴馬時期的戰略，也就是將外交、經濟、國防三者結合，成為美國主要的複合實力。例如經濟上歐巴馬政府也試圖說服主要盟國不要加入由北京發起，目的為一帶一路融資配套的「亞洲基礎設施投資銀行」（Asia Infrastructure Investment Bank, AIIB）。³³也因此，川普政府時期的印太戰略的各種做法，也可視為「重返亞洲 2.0」。

同時，加上眾院議長裴洛西（Nancy Patricia Pelosi）為強硬的反共派，因此拜登政府的對中路線應不會過度放軟，比較可能的情境是在川普既有的基礎上，做更精細的調整，或可稱為「重返亞洲 2.1 版」。因此，對中國發展軍事科技的圍堵政策將可能持續，以有效壓制共軍的軍事擴張。

³² White House, *National Security Strategy* (Washington, D. C.: The White House, 2015), p. 24.

³³ Zachary Keck, "Why the US Is Trying to Squash China's New Development Bank," *The Diplomat*, October 10, 2014. <https://thediplomat.com/2014/10/why-the-us-is-trying-to-squash-chinas-new-development-bank/>.

PART 2

.....

不對稱軍事科技的發展

第三章 制空與防空作戰

第四章 制海科技發展趨勢

第五章 國土防衛的科技發展

第六章 制電磁權

第（三）章 制空與防空作戰

舒孝煌、洪瑞閔*

壹、前言

制空權指運用各種手段壓制對手的空中戰力，以維持目標空域的空中優勢，防空作戰則是阻止對手運用空中手段打擊我方或獲取空中優勢。未來科技將使制空權大為改觀，這些科技包括新一代的空中作戰平台、防空系統等。新作戰概念也將引領未來空戰潮流，包括將人工智慧運用於空戰，協助飛行員減輕負擔，並加快決策處理的程序，由 AI 決定是否發動攻擊；有人機與無人機結合，同樣也可減少我方飛機曝露在敵方防空火力之下，由無人機代替執行危險的任務；長程空中打擊武力將運用在對地及對海打擊上，大幅延伸空權的運用範圍。目前，各國的第 5 代戰機雖然尚在服役，或仍在發展中，但先進國家已經前瞻未來的空防威脅，開始發展更先進機種，以期保持與對手的領先優勢。在地面防空系統方面，各種新式的武器，如定向能武器等，將會運用在防空上。因此，未來的維持制空權的作戰，可能會以與現在作戰環境完全不同的樣貌進行。

貳、未來空戰趨勢

目前世界各主要國家戰機都朝向匿蹤等 5 代戰機發展，然而不僅是新式空戰平台，新的空戰趨勢，包括運用人工智慧、結合有人機及無人機，都將是未來發展的趨勢。

* 舒孝煌，中共政軍與作戰概念研究所助理研究員，負責本章第貳、參、肆節第一部分美國部分；洪瑞閔，國防戰略與資源研究所助理研究員，負責本章前言、第參、肆節第二部分歐洲部分、小結。

一、運用人工智慧的未來空戰

美國國防部 DARPA 展示未來美國空權上的重大進展，DARPA 與美國空軍在 2020 年 8 月 20 日進行一場空中纏鬥實驗，由飛行員對抗人工智慧（Artificial Intelligence, AI），共有 8 個團隊參加，包括洛克希德馬丁公司（Lockheed Martin）及波音公司（Boeing）等國防大廠，後由一家馬里蘭州的「蒼鷺系統」公司（Heron Systems）獲勝，結果在人類飛行員與 AI 飛行員的對抗中，以「5：0」戰果完勝。¹

這項技術實驗稱為「空中戰鬥演進」（Air Combat Evolution, ACE），目的在研究 AI 運用於最新的空戰技術。由於視距外空對空飛彈的運用，空戰已逐漸被遺忘。由於感測器及融合技術的運用，過去「1：1」空戰場景應該不會再復見，DARPA 表示，這項研究目的在運用 AI 協助軍方在空中纏鬥中，找出更佳進攻技巧，以及更有效率的戰術戰法，同時也讓 AI 獲得人類的尊重，未來讓 AI 與人共同作戰。

想像一下未來空戰，人工智慧的發展在許多領域可增強人類思想和行動的能力，包括聯合空中武力的指揮與管制（command & control, C2）。為在未來的戰爭中取得勝利，各國將需要具備以壓倒性速度跨越多個領域製造多重困境的能力，並拒止敵人。人工智慧將提供 C2 部隊所需的認知敏捷性。

除美國外，中國和俄羅斯是另外兩個大力投資 AI 的國家，它們透過在 AI 和機器學習技術上的大量投資積極參與增強其未來的防空能力。2017 年，俄羅斯總統普欽（Vladimir Putin）表示：「無論誰成為人工智慧和網路空間的領導者，都將成為世界統治者」。中國也試圖在人工智慧發展的國際競爭新階段中，掌握戰略主動性。²

¹ “AI pilot shoots down F16 Top Gun to win first ever USAF dogfight simulator competition as human pilot says he can’t cope with the robot’s aggressive tactics and warns ‘the things we do as fighter pilots aren’t working’,” *Dailymail*, August 21, 2020, <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8649133/AI-pilot-BEATS-USA-F16-Gun-simulator-dogfight-competition-run-DARPA.html>.

² “Machine Learning, AI to Lead Future Air Warfare,” *Aviators Buzz*, September 9, 2020, <https://www.aviatorsbuzz.com/machine-learning-ai-to-lead-future-air-warfare/>.

在此領域中，AI 的核心元素是 C2。這使各國家空軍能夠攔截侵犯其領空的對手，嚇阻敵人並快速發動攻擊。如今，許多國家正在使用無人機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）進行此類行動。無人機配備推進系統、慣性或 GPS 導航、感測器、光學攝影機、可編程控制器、自動飛行系統。所有這些設備，均與旨在執行明確任務的計算機程序連接。

2018 年，《消息報》（*Izvestia*）報導說，俄羅斯空軍已經首次成功測試了裝有 AI 元件的防空自動管制系統（ACS）。該系統旨在自動分析空中情況並提供使用武器的建議，目前俄羅斯正計畫在 S-300 和 S-400 以及 Pantir 機砲防空系統中引入該系統。

北約已決定將在 2035 年之前以人工智慧裝備取代現有空中預警管制系統，現有的 E-3 預警機是美國發展，用以巡弋歐洲領空，並在阿富汗等地對抗恐怖組織，其表現至為出色，但北約認為需要更新及擴大其戰力。印度空軍（IAF）也在開發一種機載預警和控制系統（AEW & C），稱為「Netra」，裝置在 ERJ 145 飛機上，具有識別敵我識別（IFF）、電子和通信支援措施，C 波段視線和 Ku 波段衛星數位鏈路等功能。

越來越多國家投注在以人工智慧為基礎的航空系統發展上，未來空戰情節可以想像成一種機器主導的活動，而不是人類的參與。大數據（Big Data）和人工智慧技術正以驚人的速度發展，將會對戰略、作戰和戰術決策流程具有重大的潛在影響。這在作戰上的效益可能是巨大而多樣的，但目前尚未看到人工智慧技術的全部潛力，要使其功能成熟，仍需要時間。

二、先進長程打擊能力

除戰鬥機的空戰之外，由於中國在西太平洋地區以戰機及電偵機襲擾東海、台灣、南海等地區，為因應太平洋地區廣大海域環境的作戰需要，美國在西太平洋的空中活動也大為增加，其中包括 B-1 及 B-52 轟炸機的「動態武力運用」，使美國在西太平洋的軍事部署，成為「戰略可預測、戰術不可測」的部署模式。其中重點即在於發揮轟炸機航程長、載彈量大的特點，可以比海軍航空母艦更快速地部署至西太平洋或是南海等地，

迅速壓制或嚇阻情勢。由於其載彈量大，一架可以攜帶 AGM-158 飛彈達 24 枚，使其具備大量並快速壓制對手的能力。B-1 進行長程精準打擊的能力，已連續在 2018、2019 年在敘利亞成功發射 AGM-158 打擊遠程目標，而 AGM-158 的反艦型式，也賦予 B-1 轟炸機打擊海面目標的能力，使轟炸機可以實現「以空制海」的戰略運用。

正是因為長程轟炸機重新被重視，美國空軍決定重啟轟炸機計畫。2015 年 10 月，美國空軍宣布將「長程打擊轟炸機計畫」（Long Rang Strike Bomber Program, LRS-B）合約授予諾斯洛普格魯曼公司（Northrop Grumman），並賦予編號為 B-21。B-21 採用與 B-2 類似的全翼設計，但採用推力更大的 F135 發動機，與 F-35 所使用的發動機相同，不過可能因為強調優異的匿蹤設計，而影響進氣道的效率，需重新設計。³ 另外，B-21 也具新一代感測器、電腦處理器、電子系統、運用 AI 的資料管理系統等，由於其優異的匿蹤設計，可以深入敵境，打擊敵方防空網及強化防禦的區域。B-21 是美國空軍現代化優先計畫的其中一項，目的在保持美軍核武及傳統武力打擊的優勢，⁴ B-21 原型機曾在 2020 年初公開，但試飛時間將延後至 2022 年。⁵ 在現有機隊方面，美國空軍也要為 B-52 轟炸機延壽，也在評估 B-1 結構壽命，原本預計在 2032 年讓 B-1 退役，但若結構評估認為 B-1 能達到 28,000 小時的使用壽命，則將可能成為搭載視距外打擊武器的優異載台，未來尚可運用如 AGM-183 極超音速飛彈，使美國轟炸機部隊能力進一步提高。⁶

3 “Some ‘hiccups’ with engine design, but B-21 on track, Wittman says,” *Defense News*, March 7, 2018, <https://www.defensenews.com/air/2018/03/07/some-hiccups-with-engine-design-but-b-21-on-track-wittman-says/>.

4 “Senior leaders visit B-21 design, development headquarters,” USAF, March 9, 2020, <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/2105385/senior-leaders-visit-b-21-design-development-headquarters/>.

5 “USAF postpones B-21 stealth bomber first flight to 2022,” *Airway1*, September 2, 2020, <https://www.airway1.com/usaf-postpones-b-21-stealth-bomber-first-flight-to-2022/>.

6 “B-1B Structural Fatigue Test to End Next Year After Simulated 73 Years of Flying,” *Airforce Magazine*, November 17, 2020, <https://www.airforcemag.com/b-1b-structural-fatigue-test-to-end-next-year-after-simulated-73-years-of-flying/>.

三、有人機與無人機團隊

無人機是否可取代有人機，一直是爭議議題，有人指出無人機便宜及可耗損的特性，可以大量取代有人戰機，不需花費鉅資採購諸如 F-35、B-21 這樣的先進戰機或轟炸機，這樣的論點尚無法得到技術支持。不過未來空戰應會是有人機與無人機的搭配，有人機上的機員操作低成本的無人機，深入敵境執行危險的任務，如密接支援或防空制壓等任務。⁷

有人機與無人機的搭配方式，很可能改寫未來空戰戰略。⁸ 採購大量低成本、可改裝的無人機，有助於該軍種增加其機隊規模，歷如 XQ-58 「女武神」(Valkyrie) 之類的可攜式無人機，將具備 3,000 哩的航程，並可攜帶相當於重達 1,200 磅的武器，或是其他任務系統等的有效載荷。XQ-58A 可透過加密數據鏈直接與 F-35 鏈接，在飛行員控制下成為他的「忠誠僚機」(Loyal Wingman)。美國目前已在發展多種型式的忠誠僚機，例如 XQ-58 以次音速飛行，具匿蹤外型，有極大內部酬載能力，而且成本便宜，僅 2~300 萬美元，波音則在發展「空中武力團隊」(Airpower Teaming System, ATS)，這是美國空軍「低成本可耗損打擊展示計畫」(Low Cost Attritable Strike Demonstration, LCASD) 項下的一環。⁹

無人機可前進偵察，協助發現、標定、追蹤並提供目標資訊給有人的作戰飛機；執行干擾敵方雷達任務；進行武器打擊戰果及毀傷狀況評估；充當誘餌，吸引敵方防空砲火；擔任通信節點；執行防空制壓任務。「忠誠僚機」甚至可獨立執行其他任務，以提高戰機的生存性和殺傷力。

無人機可以從集裝箱式由軌道發射，在不使用跑道的情況下使用降落傘回收，因此，也將減少對機場的依賴。這是一項至關重要的能力，因為

⁷ Mark Gunzinger, "Drones = Help For Manned Fighters & Bombers, Not A Substitute," *Breaking-defense*, November 2, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/11/drones-help-for-manned-fighters-bombers-not-a-substitute/>.

⁸ This Experimental Drone Could Change America's War Strategy, *Popular Mechanics*, Mar 17, 2020, <https://www.popularmechanics.com/military/a31122720/kratos-xq58a-valkyrie-future/>.

⁹ "F-15 Eagle Seen Loaded With Loyal Wingman Drone For Previously Unknown Tests," *The Drive*, July 21, 2020, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/34982/highly-modified-air-launched-loyal-wingman-drone-tested-with-air-force-f-15-eagle>.

中國或俄羅斯可運用飛彈對防禦不足的戰區空軍基地實施襲擊，將會嚴重削弱其戰力。

無人機的吸引力在於其成本相對較低，航程長且適合無跑道操作，使其成為有價值的補充裝備，但不會是第 5 代飛機的替代品。不過無人飛行器有助創造高低性能混合編組的能力，並於作戰時提供獨特價值。

依美國航太大廠如諾斯洛普格魯曼公司等，已開始想像未來的空戰樣貌，下一代空優戰機會比現有戰機更為先進，包括整合式感測器模組，及與其他單位快速處理、開發並共享動態作戰場景的能力。某些消耗式無人機也可能配備整合式感測器和資訊融合模組，但是其單位成本可能會增加到千萬美元以上，而超出被視為可消耗的合理門檻。可攜式無人機若運用吸收雷達波塗層、雷達反射外形，或其他允許第 5 代飛機在高威脅環境中生存的功能，將進一步增加其成本。

考慮到中國和俄羅斯的軍隊和軍事基礎設施的規模，在未來的大國衝突中，美國空軍需要執行的目標打擊數量可能超過過去 30 年所有空戰中的總和，這增加美國空軍對戰機攜帶更多武器的要求。例如，B-2 轟炸機在不實施空中加油時的最大航程為 6,000 哩，有效酬載可達 4 萬磅，包括 80 枚 500 磅炸彈或更多的 250 磅小直徑炸彈（SDB）。這也是美國空軍計畫採購下一代 B-21 轟炸機的關鍵原因。相較之下，一架具有 600~1,200 磅有效酬載的無人機，每飛行架次可攜帶 2~4 枚 SDB 大小的武器。儘管開發攜帶更多武器的無人機沒有技術限制，但是這會大幅增加無人機的尺寸，因為需要更大的武器艙以及攜帶更多燃料以保持其長程飛行能力，這將增加其單位成本，也必須從跑道上起飛，從而抵消其可消耗的優勢。

美國空軍應該持續發展一系列無人機，並能完成現有無人機無法執行的任務，例如進行大規模的無人機空戰，並可在機場之外起降。這種作戰能力和靈活性在未來與中國或俄羅斯的衝突中至關重要。

參、下一代空戰平台

目前美國及歐洲都在發展下一代戰機，但未必可定位為「第 6 代」戰機，有些可能僅能算是「5 代半」戰機，因第 6 代戰機的概念與技術仍在發展中，不過由於未來空防挑戰增加，因此除美國海、空軍外，歐洲則包括德、法，以及英國，也形成 2 個團隊，競相發展未來空中作戰平台。

一、美國的 6 代戰機計畫

美國空軍目前正採購 KC-46 空中加油機、T-7 先進教練機、F-35 聯合打擊戰鬥機等新型機種，但目前美國空軍的最高優先戰略還不是這些，其中包括核武現代化、先進戰鬥管理系統，以及新的採購戰略。

美國空軍已開始進行「下一代空中優勢平台」（Next Generation Air Dominance, NGAD）的全尺寸原型機快速發展工作，即將進行首次飛行。另外空軍高階領導人也將決定是否進入「數位世紀系列」（Digital Century Series）的採購計畫，這將使空軍可以快速向多家公司採購小批量的飛機。

美國空軍擬議「數位世紀系列」擬借鏡過去，改寫 F-22 和 F-35 的歷史。「數位世紀系列」的新採購戰略，從根本上不同於目前 F-35 和 F-22 的部署方式。這種變化可以理解，因為 F-35 及 F-22 在開發過程中都經歷巨大的成本增加和進度延遲。這種延遲部分要歸因於同時運用多種革命性功能，而不是在不同飛機上漸進式改良，或在單一型式飛機上進行採購。即使是在研發後，飛機的維護和升級成本也很高，高昂的初始開發成本還只是總壽期成本的一小部分。

與現今戰鬥機形成鮮明對比的是，1950 年代的「世紀系列」特點是快速發展、突破性創新，有時是失敗。最初的「世紀系列」至少生產 10 項新設計，包括第一架超音速戰機、第一架攜帶核武的戰術飛機，以及第一架真正將雷達和武器系統整合到設計概念中的飛機。進行新設計的時間表則相當快，原型開發後 5 年內即試飛，在 10 年內生產達 5,000 多架飛機。

世紀系列的速度，至少部分是因為願意接受失敗而實現。至少有 4 個新設計從未生產出真正的飛機，生產的幾個設計則遭受了大量戰鬥和意外損失。儘管存在這些失敗，但最初的世紀系列證明，面對技術和需求的不確定性，快速並行開發提供靈活性，而且至少有一些技術，可以用在未來的系統。¹⁰

美國空軍以敏捷開發、開放式架構和數位工程的「三合一」特徵，描述「數位世紀系列」。新的「數位世紀系列」旨在利用模組化「隨插即用」硬體和軟體、計算機輔助設計，以及虛擬建模和仿真技術，以加速新型戰機發展，快速獲取新技術，縮短現代化周期，並減少繁瑣的整合和實際測試，以免使研發陷入困境。最初的世紀系列旨在掌握當時的關鍵新興技術，包括噴射推進和超音速飛行的革命性改進，這對冷戰中核子轟炸機和防禦攔截系統的競爭至關重要。但隨著長程飛彈，太空瞄準和網路作戰的出現，有人戰鬥機不再具有同樣的戰略重要性，當今對等的技術可能是無人機、人機協同，以及指揮管制網絡，以實現重組飛行部隊。¹¹ 另外，定向能武器也將成為未來戰機的標準配備。

美國空軍官員已經證實，正在祕密設計及發展至少一架 NGAD 原型機，甚至可能已在試飛，這是 F-35 原型機首飛 20 年後，美國空軍首度再有新戰機升空。在 NGAD 的分類中，空軍為部署一系列連結空戰系統（包括戰鬥機、無人機、太空或其他網路平台）所做的努力，不過目前飛機細節還不為外界所知，美國空軍也拒絕評論有多少原型機正在試飛、哪些廠商生產，以及飛機的各種特性，例如任務、是否為無人機或可選擇有人操作，是否具備極音速飛行能力，以及匿蹤設計的特點等。不過重點是，美國空軍只進行了一年的分析，就已證明可以運用最先進技術來製造並測試，建造一個完整的原型機，以及進行試飛，這也會是第一種運用三合一技術發展的戰機。更重要的是，這些先進製造技術是商業部門所開創，所

¹⁰ “The Air Force Digital Century Series: Beyond the Buzzwords,” CSIS, November 8, 2019, <https://www.csis.org/analysis/air-force-digital-century-series-beyond-buzzwords>.

¹¹ “JUST IN: Air Force ‘Digital Century Series’ Acquisition Concept Nearing Milestone,” *National Defense*, July 14, 2020, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2020/7/14/air-force-digital-century-series-concept-approaching-new>.

以可能會為未來新的合約商，比如說 SpaceX，成為設計 F-35 競爭者的新公司。¹²

二、歐洲的未來戰機計畫

歐洲則形成英國及歐陸以法德國兩國為首的兩大系統競爭，但嚴格來說，該兩套系統都屬 5 代半戰機。英國貝宜航太系統公司（BAE Systems）在 2018 年推出「暴風」（Tempest）戰機全尺寸模型，預計 2035 年達到初始戰力（initial operating capability, IOC），2040 年取代歐洲戰鬥機（Eurofighter），並外銷國際市場，預計可服役至 2070 年以後。暴風戰機將使用虛擬實境座艙、機器學習技術，並配備定向能武器。暴風戰機亦採用有人機—無人機協同操作概念，可運用蜂群技術來控制無人機，另一項技術是「協同接戰能力」（Cooperative Engagement Capability），即在戰場協同操作、共享感測器資訊，並協調攻擊及防禦戰術。暴風戰機配備自適應循環發動機（adaptive cycle engine），另外，勞斯萊斯公司（Rolls-Royce）將為暴風戰機配備新式嵌入式電啟動發電機（Embedded Electrical Starter Generator, E2SG），可節省機體空間，並產生更大電力，以因應未來戰機的電力負荷，包括定向能武器，或是更多的感測器。¹³

暴風戰機有比現有 5 代戰機更佳的匿蹤設計，但仍保留雙垂直尾翼，以維持戰機的可操縱性。暴風戰機為雙發動機配置，由風洞測試模型，可看出其採用 S 型尾管，以減少紅外線訊號。¹⁴ 目前已有 7 家公司加入暴風戰機團隊。

¹² “The US Air Force has built and flown a mysterious full-scale prototype of its future fighter jet,” *Defense News*, September 15, 2020, <https://www.defensenews.com/breaking-news/2020/09/15/the-us-air-force-has-built-and-flown-a-mysterious-full-scale-prototype-of-its-future-fighter-jet/>.

¹³ “Rolls-Royce develops world-first electrical technology for next-generation Tempest programme,” *Royal Air Force*, January 9, 2020, <https://www.raf.mod.uk/what-we-do/team-tempest/news/rolls-royce-develops-world-first-electrical-technology-for-next-generation-tempest-programme/>.

¹⁴ “Tempest windtunnel testing shows design detail,” *FlightGlobal*, August 2020, <https://www.flightglobal.com/defence/tempest-windtunnel-testing-shows-design-detail/139867.article>.

以法國為首的未來空中戰鬥系統（Future Combat Air System, FCAS）為一套著眼 2040 年空中作戰需求的第 6 代戰機研發計畫，最初是法國總統馬克宏（Emmanuel Macron）與德國總理梅克爾（Angela Merkel）在 2017 年 7 月提出共同開發歐洲空中戰鬥系統的倡議，在 2018 年 4 月達梭航太（Dassault Aviation）與空中巴士集團旗下的空中巴士防衛與太空（Airbus Defence and Space）正式簽署協議開始進行雙邊合作，西班牙則自 2019 年 2 月起加入 FCAS 計畫。

作為一個三國聯合開發計畫，FCAS 能夠回應參與國家的各項需求。對法國而言，目前所使用的颶風戰機，預計在 2060 年左右退役，因此，巴黎需要尋找自 1998 年以來在海軍、自 2006 年以來在空軍服役的颶風戰機的後續機種，事實上，預計在 2024 年的颶風戰機 F4 版本，它將改善飛機的連結性、電子戰能力和雷達效率，就可說是向 FCAS 邁出的第一步。此外，FCAS 也必須要承擔法國核嚇阻的任務。

德國則需要為其歐洲颶風戰鬥機準備繼任計畫，預計與法國的颶風戰機同時退役，FCAS 的設計也必須要能夠使德國繼續執行北約架構下的核子打擊任務。西班牙的 FA-18A/B 大黃蜂（Hornet）戰機即將於 2025 年退役，也必須尋求新機。

除了必須具備攜帶核子武器的能力以外，FCAS 瞄準 2040 年後的戰爭型態與空戰所需要的多功能角色。隨著俄羅斯在探測系統與反飛彈系統上的日益精進，¹⁵ 其「反介入／區域拒止」（anti-access/area denial, A2/AD）能力不斷提升，以及此類武器的擴散，大幅度提升了入侵敵方空域的難度。除此之外，戰機的匿蹤性增加、敵人系統性地使用網路、無人機群以及高超音速飛彈進行防禦，未來挑戰將是維持空優的能力，並將其與陸／海／太空防禦與網路能力進行整合。

FCAS 的另一重點在於成本考量。被選入 FCAS 計畫的法國賽峰集團（Safran S.A）與德國 MTU 航空發動機公司（MTU Aero Engines），其所

¹⁵ 如寬頻雷達系統（Wideband Radar）與俄羅斯的 S-400 防空飛彈系統。

進行的第 6 代戰機發動機先期研究計畫「Turenne 2」便已斥資 1.15 億歐元。¹⁶ 2020~2025 年的原型機開發階段預計將投入 40 億歐元，至 2030 年投入總金額將至 80 億歐元，總成本預估在 500~800 億歐元之間，對於單一國家的財政來說是難以負擔的，透過聯合開發計畫一方面可將研發成本平均分攤至各參與成員國，也可透過大規模生產降低單位成本。

FCAS 的整體系統尚在概念發展階段，其中「下一代武器系統」(Next Generation Weapon System, NGWS)，可分為如下元素：

- (一) FCAS 是具備執行攔截、空對空以及核嚇阻任務能力的戰機，因此仍將是有人駕駛，主要是考量到許多情境下的決策往往涉及高度的政治性，無人駕駛系統還面臨到遠端數據鏈結遭到干擾或破壞的風險。
- (二) 發動機的性能提升。FCAS 的目標是至少開發出最大推力為 12 噸的發動機，因應裝載「下一代武器系統」後的重量增加。如何在超音速狀態下保持強大推力與降低低空巡航時的油耗量，也就是提升發動機的空氣循環技術，則是另一重點。
- (三) 由一群大小不等的無人機群所組成的「遠端載台」(remote carrier)，這些無人機具有滲透、引誘、任務執行前的情報蒐集、攻擊的不同能力，透過 AI，具備一定的自主能力，應對各種情況。雖然駕駛員目前依舊是系統運作的核心，但 FCAS 計畫將人工智慧視為提高人類能力的手段。2018 年 3 月法國國防部下轄的「武器裝備總署」(Direction générale de l'armement, DGA)、達梭系統(Dassault Systèmes)、泰雷茲集團(Thales)開始進行「人機協作」計畫(Man Machine Teaming, MMT)，其中聚焦於未來駕駛艙與獨立系統、飛行認知系統(cognitive air system)，以及智能學習感應器(smart / learning sensors)的概念與技術。¹⁷

¹⁶ Michel Cabirol, "La France et l'Allemagne vont notifier le premier contrat du SCAF à Dassault et Airbus," *La Tribune*, February 5, 2019, <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/la-france-et-l-allemagne-vont-notifier-un-premier-contrat-scaf-a-dassault-et-airbus-806266.html>.

¹⁷ "France launches Man-Machine-Teaming programme to develop AI for combat aviation," *Airforce Technology*, 20 March, 2018, <https://www.airforce-technology.com/news/france-launches-man-machine-teaming-programme-develop-ai-combat-aviation/>.

(四) 以「空戰雲端」(Air combat cloud) 將所有作戰平台相互連結以達成聯合作戰，「空戰雲端」面對網路攻擊的抵禦能力也是關鍵要素之一，「下一代武器系統」可能必須在相當受限與擁擠的電磁環境下進行，這使得無網路連結運作的可能性必須要納入考量。FCAS 在作戰時將運用比現在更少的主力戰機，而以「遠端載台」當中的各式無人機取而代之，進一步減少損失，並增加作戰彈性。

儘管遭遇到新型冠狀肺炎 (Coronavirus Disease 2019, COVID-19) 的威脅，目前 FCAS 計畫正處於為期 18 個月的第 1A 階段，¹⁸ 除了針對西班牙的參與部分進行確認以外，法國與德國政府於 2020 年年初共同出資 1.55 億歐元，用以支持 FCAS 的研發工作。¹⁹ 相關國防企業的參與 (表 3-1)，FCAS 的研發以七大支柱的方式組織，每一個支柱代表不同的技術重點，其中將至少有一個領導企業與一個主要夥伴，藉以達成政治上的平衡，並收集思廣益之效。

表 3-1 FCAS 計畫國防廠商參與情況

支柱名稱	開發廠商	
	領導企業	主要夥伴
戰機	達梭航太	空中巴士
發動機	賽峰集團	MTU 航空發動機公司
「遠端航母」	空中巴士	歐洲導彈集團 (MBDA)
空戰雲端	空中巴士	泰雷茲集團
感測器	英德拉 (INDRA)	泰雷茲集團
隱形技術	未定	未定
支柱間協調與模擬	達梭航太、空中巴士、賽峰集團、MTU 航空發動機公司	

資料來源：洪瑞閔整理自 Sénat, “Rapport d’information sur le système de combat aérien du futur (SCAF),” July 15, 2020。

¹⁸ 在 1A 階段之後，1B 階段將會定義 FCAS 原型機的架構。下一個階段 (第 2 階段) 將會在這此上進行製造、組裝與測試。

¹⁹ 其中近 0.9 億歐元用於戰機項目、0.18 億歐元用於發動機項目、0.2 億歐元用於「遠程航母」項目、0.15 億用於雲端項目。

肆、未來防空系統

由於飛彈攔截成本不斷攀升，為了降低攔截武器的成本，並增加運用與部署效率，以及應對日益精進的空中威脅，例如極音速武器、新式彈道飛彈、超音速巡弋飛彈、無人機等，因此發展及運用新概念的防空武器勢在必行，這包括定向能武器，例如雷射，以及電磁軌道砲等，而防禦無人機的迫切需求，也使反無人機系統快速發展。

一、定向能武器

一般而言，定向能武器係指雷射。雷射武器以熱效應的邏輯進行運作，將雷射光束集中在物體的表面，使其溫度升高，最終以燃燒或融化的方式達成穿透的效果。目前所有正在試驗中的雷射武器需要幾秒鐘的照射時間以摧毀無人機與火箭，它們的功率大約為 10~30 千瓦（KW），隨著面對的武器系統的精密與複雜（如飛機、船艦或車輛），其所需要的能量也越多。

在作戰上，雷射武器具有諸多不可忽視的優勢。第一，雷射武器的指向性（directivity）極高，可以進行長距離射擊（理論上可達數幾百公里），而不會產生能量分散；第二，與其他彈藥（砲彈或飛彈）相比，雷射武器每發射擊的成本幾乎可以忽略不計，其成本估計不到 1 美元，這使得雷射武器在替代昂貴的短程地對空飛彈相當更具優勢；²⁰ 第三，雷射的功率可以根據需要（是否能夠致命）和目標類型（小型無人機或飛機）進行調整，具備高度彈性。

但是雷射在作戰應用上仍有許多缺點。首先，在大氣環境中使用雷射武器，一部分能量會被環境吸收。像所有光學系統一樣，雷射光束對天氣條件非常敏感。雲、雨、灰塵或煙霧會吸收或反射雷射光束的大部分能

²⁰ Andy Cheng, 〈美軍部署全球首款可實戰的雷射武器，每次發射成本僅 1 美元〉，《明日科學》，2017 年 8 月 4 日，<https://reurl.cc/N6gN2q>。

量，將大幅度減小雷射光束的功率與有效範圍，在某些情況下（例如濃霧或沙塵暴），雷射武器甚至完全無法使用；第二，像任何光學系統一樣，與目標之間的可見性（intervisibility）是必要的，換句話說，雷射武器必須要在直接針對目標進行射擊的方式下進行操作，其不可能被使用在與被掩蔽目標的交戰中；第三，隨著雷射武器的威力變得越來越強大，出自於每次發射之後的系統冷卻與每次發射之間的設備充電之雙重需要，發射間距拉長，不利於戰場上的發揮。

就中短期而言，前面所述的各項限制使得雷射武器目前仍難以替代現有武器成為戰場上的主角。然而，雷射武器為現代戰爭帶來新的功能與思考，可在許多情況下扮演輔助性的角色。目前雷射武器的大多數應用將不會用於破壞目的，而是將用於目標鎖定、反制攻擊、探測等用途上，效果歸納如下：

1. 非致命性的短暫眩光：以可見光譜（綠色光波）發射低功率的雷射，藉以產生暫時性的視覺干擾。
2. 光電反制措施：雷射武器可以用來使作為接受器的低功率光電感測器（optoelectronic sensor）無法運作甚至是將其摧毀。
3. 「未固化結構」（uncured structure）武器系統的破壞：根據一些研究顯示，包括無人機、飛機與小型船艦等武器系統在內，可以以約 100 千瓦功率的雷射對其進行破壞。²¹ 如美國海軍在 2014 年所開始進行測試的雷射武器系統（Laser Weapon System, LaWS），其功率約為數十千瓦，在短距離的範圍內（約 2 公里）可協助打擊來襲的無人機與小型船艦。
4. 固化結構武器系統的摧毀：面對較為強固、較為迅速或距離遙遠的目標，可以以接近兆瓦功率的雷射武器將其毀壞。

²¹ Philippe Gros, “Les armes laser : vers une entrée timide dans l’arène du combat naval à l’orée de la prochaine décennie,” *Défense & Industries*, October, 2018, <https://www.frstrategie.org/publications/defense-et-industries/armes-laser-entree-timide-arene-combat-naval-oree-prochaine-decennie-2018>.

在制空的領域上，一個可能的立即應用是將雷射武器用於輔助短程地對空防禦系統。並且可以彌補近程武器防禦系統的不足，²² 特別是用於對抗無人機與飛彈的威脅上。

（一）美國雷射武器發展

美國早在 1960 年代雷射剛剛發明時，即已在討論其在軍事上的價值，雖然當時重量、尺寸、能量都無法加以軍事化。化學能雷射可產生足夠能量摧毀目標，但必須夠大的載台來搭載，不過近幾年固態雷射（Solid-state, SSL）、光纖雷射（fiber laser）的發射，使得高能雷射的武器化已成為可能。²³

美國主要的國防廠商，如波音、洛克希德馬丁、雷神公司（Raytheon）都在發展雷射武器，並已在不同的系統，諸如史崔克（Stryker）戰鬥車、海軍艦艇，或是空軍飛機上測試了不同型式的雷射武器，陸軍甚至在 AH-64 阿帕契（Apache）攻擊直升機上進行高能雷射測試。洛克希德馬丁已將雷射武器與感測器結合至現有裝備上，用以對抗第 1 級及第 2 級大小的無人機，並將外部雷達與其指管系統連結，這顯示其實際操作的有效性。

美國海軍的努力在於提升固態雷射的成熟度、光學目眩攔截器、水面艦海軍雷射武器增量 1 階段，包括高能雷射目眩及監視系統（High Energy Laser with Integrated Optical-dazzler and Surveillance, HELIOS）、高能雷射反制反艦飛彈計畫（High Energy Laser Counter-ASCM Program, HELCAP）。HELIOS 正在紐澤西州進行系統整合，將在 2021 年整合至勃克級驅逐艦（Arleigh Burke class destroyer）上，可為艦隊提供額外的保護。依美國國會研究處 2020 年 11 月《海軍雷射、軌道砲、砲射導引彈頭》（*Navy Lasers, Railgun and Gun-Launched Guided Projectiles*）報告，

²² 如美國的方陣近迫武器系統（Phalanx Close-In Weapon System）、俄羅斯的 AK-630 近迫武器系統、荷蘭的守門員近迫武器系統（Goalkeeper Close-In Weapon System）。

²³ “Laser weapons get ready for the big time,” *Military & Aerospace Electronics*, July 23, 2020, <https://www.militaryaerospace.com/home/article/14180250/military-laser-weapons>.

雷射可提高艦艇保護其艦艇抵禦敵人的能力，用於干擾或混淆敵方情監偵系統，並對付飛彈及蜂群無人機攻擊，未來甚至可用於反制飛彈，變成海軍短程防空系統，不過它尚無法用於對抗所有的威脅。²⁴

雷神公司指出，雷射武器將會是未來層次化空防系統的核心，雷神正將高能雷射武器系統（High Energy Laser Weapon System, HELWS）配備在全地形車輛上，用以偵測、識別及擊落敵方無人機。雷神與美國空軍實驗室（Air Force Research Laboratory, AFRL）合作，將第一具 HELWS 進行戰場實驗，用於對付無人機，另一套即將接受海外部署測試的則是戰術高能作戰反應系統（Tactical High Power Operational Responder, THOR），以及洛馬的先進戰術高能裝備（Advanced Tactical High Energy Asset, ATHENA），可用於反制火箭、無人機、車輛、小艇等近迫威脅。陸軍也將在 2022 年部署配備 5 萬瓦雷射的史崔克戰鬥車，保護士兵免受迫砲、火箭、無人機的威脅。

美國空軍特戰司令部則計畫將 6 萬瓦的雷射整合在 AC-130J 砲艇機上，這顯示特戰司令部也對雷射產生興趣。另外，洛克希德馬丁公司已預計在 2025 年讓空載雷射武器實用化，用以擊落戰術武器，如空對空或地對空飛彈，並可在高速運動時仍能瞄準目標。²⁵

（二）戰術先進雷射光學系統

作為歐盟防衛署（European Defence Agency, EDA）下轄計畫「國防研究籌備行動」（Preparatory Action on Defence Research, PADR）的一部分，「戰術先進雷射光學系統」（Tactical Advanced Laser Optical System, TALOS，以下簡稱 TALOS 計畫）自 2019 年 9 月開始進行，為期 36 個月

²⁴ “Navy Lasers, Railgun and Gun-Launched Guided Projectiles,” Congressional Research Service, November 11, 2020, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R44175.pdf>.

²⁵ “Lockheed Martin aims to put laser weapon on aircraft in five years,” *FlighterGlobal*, September 17, 2020, <https://www.flightglobal.com/fixed-wing/lockheed-martin-aims-to-put-laser-weapon-on-aircraft-in-five-years/140204.article>.

的 TALOS 計畫由法國的雷射工業公司（Compagnie industrielle des lasers, CILAS）所主導，其中包含來自 9 個歐盟國家的 16 家參與國防企業與研究機構（見表 3-2），並得到歐盟近 540 萬歐元的財政支持。

表 3-2 TALOS 計畫參與成員

參與成員	國家	歐盟贊助資金（單位／歐元）
雷射工業公司	法國	852,922.50
TNO 應用科學研究所 （Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek, TNO）	荷蘭	505,625.00
李奧納多（Leonardo）	義大利	381,200.00
德國航空太空中心 （Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt）	德國	204,205.00
歐洲導彈集團法國分部（MBDA）	法國	1,160,027.50
艾丁諮詢（Erdyn Consultants）	法國	102,500.00
捷克科學院光電與電子研究所 （Ustav Fotoniky a Elektroniky AV CR V.V.I.）	捷克	177,765.00
CMI 防務公司（CMI Defence）	比利時	52,925.00
利摩日大學（Université de Limoges）	法國	447,265.00
華沙董布羅夫斯基軍隊技術學院 （Wojskowa Akademia Techniczna im Jaroslawa Dabrowskiego）	波蘭	967,125.00
AMS 技術公司（AMS Technologies sp. z o.o.）	波蘭	89,525.00
QinetiQ 國防技術公司（QinetiQ Limited）	英國	86,525.00
空中巴士國防與航太（Airbus Defence and Space）	德國	119,833.75
AERTEC 航太（AERTEC Solutions SL）	西班牙	79,375.00
法國國家航太實驗室 （Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques, ONERA）	法國	124,980.00
Stelar 安全科技法研究公司 （Stelar Security Technology Law Research UG）	德國	47,206.25

資料來源：洪瑞閔整理自 “Tactical Advanced Laser Optical System (TALOS),”
European Defence Agency, [https://www.eda.europa.eu/docs/default-source/
documents/20190828_padr-talos-projectweb_v2.pdf](https://www.eda.europa.eu/docs/default-source/documents/20190828_padr-talos-projectweb_v2.pdf)。

「戰術先進雷射光學系統」計畫的目的是為未來的研發行動提供必要的框架，制定發展關鍵雷射技術的路線圖，並確保戰略自主權和供應安全。此一路線圖將針對歐盟在雷射技術領域所遭遇的技術能力不足問題提出解決方案，以克服布魯塞爾對非歐盟國家供應商的依賴以及來自非歐盟

國家所施加的風險，特別是希望擺脫美國的《國際武器貿易管制條例》（*International Traffic in Arms Regulations, ITAR*）以及《出口管制規則》（*Export Administration Regulations, EAR*）對歐盟在雷射技術發展上所造成的限制。

此外，TALOS 計畫還將開發和展示一些關鍵雷射定向能量武器技術，為未來十年歐盟在高功率雷射效應器設計與製造的軍事應用領域奠定基礎，其中包含「高功率雷射源」（high-power laser source）、「大氣渦流補償」（atmospheric turbulence compensation）、「精確目標追蹤與雷射指向系統」等。

（三）反無人機系統

面對無人機在情報蒐集與爆炸襲擊方面所帶來的威脅，同時考量到無人機的低成本、多樣性與取得容易，雷射武器也被嘗試應用在反制無人機的領域中。如以法國為例，法國武器裝備總署以及雷射工業公司正在合作開發反無人機系統 HELMA-P，²⁶ 該武器為一套強調機動性，當無人機來襲時可快速反應的防禦系統，安裝在地面車輛上的 HELMA-P 可以協助車隊與戰術單位的護衛。HELMA-P 的目標是發展出一套多功能的雷射武器系統，除了可以擊毀來襲的無人機或光電武器系統，最終希望可以發展成對火箭、大砲與迫擊砲的有效反制工具，目前 HELMA-P 已經進入實際的測試階段。²⁷

26 “L’innovation numérique,” *Actu Défense*, February 6, 2020, <https://www.defense.gouv.fr/english/content/download/576518/9863910/Actude%CC%81fense%20du%20jeudi%206%20fe%CC%81vrier%202020.pdf>.

27 “HELMA-P : un système laser pour la lutte anti-drone,” *Agence de l’innovation de défense*, October 12, 2020, <https://www.defense.gouv.fr/aid/actualites/helma-p-un-systeme-laser-pour-la-lutte-anti-drone>.

二、電磁軌道砲

電磁軌道砲（Electromagnetic Railgun, EMRG）的概念很早就已經出現，但隨著材料科學與物理學的發展，才使其在軍事上的應用開始變得可能。電磁軌道砲作用原理為在一個包覆彈丸的導電靴中，當其中一條導軌通電後，其電流藉由靴型件傳導到另一條導軌，就會產生一個磁場，當中的通電彈丸就會藉著導軌的磁場作用彈射出去。就軍事上的應用而言，電磁軌道砲具有許多優勢。

第一，電磁軌道砲的砲彈砲口初速（muzzle velocity）極快，已經到達每秒 2,500 公尺以上的速度。美國海軍於 2008 年所進行的電磁軌道砲原型機首次試射，3.5 公斤的砲彈其砲口初速可達每秒 2,520 公尺。²⁸

第二，高速可以大幅度減少其飛行時間，僅需數分鐘就可以集中數百公里外的目標，提高敵人攔截的困難度。

第三，隨著速度的提高其射程也變得更遠，相較於有效射程最多數十公里火炮，電磁軌道砲的有效射程可達 200 公里以上。

第四，高速會在撞擊時產生更大的動能，帶來更佳的穿透力，因此僅依靠這種能量，便可摧毀目標。

第五，由於電磁軌道砲利用電磁能量推進砲彈，除了可以避免火藥使用的風險性，節省下來的空間可以攜帶更多的砲彈。

電磁軌道砲若應用在制空領域上，將可扮演重要角色，如可協助船艦對抗未來的超音速飛彈威脅。然而，電磁軌道砲依舊面臨許多待突破的問題。一方面，電磁軌道砲需要大量的能量，32 兆焦耳的電磁軌道砲（1 分鐘可發射 12 發）之每分鐘耗電量為 30 千瓩，除了必須要能夠及時且重複提供等量能量以外，根據射速的不同，其所需能量可能更高，這意味著必須要提供大量電力，船艦的動力系統將需重新設計，因應電力輸出的需要。

²⁸ Philippe Langlois, “Le canon électromagnétique va-t-il changer l’artillerie navale?,” *Areion 24 News*, October 19, 2018, <https://www.areion24.news/2019/02/19/le-canon-electromagnetique-va-t-il-changer-lartillerie-navale%E2%80%89/>.

歐洲防衛署「國防研究籌備行動」的下一個計畫「使用電磁軌道砲增加遠程效果的砲彈」(Projectiles for Increased Long-range effects Using Electro-Magnetic railgun, PILUM)自2020年第三季開始啟動，為期共計24個月(表3-3)。PILUM計畫由「聖路易法德聯合研究所」(Franco-German Research Institute of Saint-Louis)主導，是歐洲電磁軌道砲的研究重鎮，在過去已經開發出兩種測試用系統，分別是砲口初速達每秒2,500公尺的PEGASUS與針對反艦飛彈的RAFIRA。²⁹整個PILUM計畫共有來自5個歐盟會員國家的9名成員，共獲得歐盟近150萬歐元的贊助。

表 3-3 PILUM 計畫參與成員

參與成員	國家	負責項目
聖路易法德聯合研究所	法國	電磁加速與計畫協調
戴爾防務(Diehl Defence)	德國	砲彈製造
艾丁諮詢(Erdyn Consultants)	法國	歐洲合作計畫管理
Explomet 高爆炸能技術研究所 (Zaklad Technologii Wysokoenergetycznych ExplometGalka, Szulc Sp.j.)	波蘭	金屬爆炸塗層 (coating of metals by explosion)
ICAR 工業用電容器公司 (ICAR S.p.A. Industria Condensatori)	義大利	高密度電容器
海軍集團(Naval Group)	法國	系統整合
奈克斯特系統公司(Nexter Systems)	法國	系統整合
馮卡門流體力學研究所 (The von Karman Institute for Fluid Dynamics)	比利時	流體力學與推進

資料來源：洪瑞閔整理自 Philippe Langlois, “EDA selects the “PILUM” consortium, a disruptive-technology research project for innovative electromagnetic railgun,” Naval group, June 11, 2018, <https://reurl.cc/Y65q00>。

PILUM 計畫的初始目標是以數據模擬以及科學實驗來驗證電磁軌道砲的概念，接著則進行將其整合至陸地與海上平台的研究，同時進行未來其他應用的可能性探討。因此，PILUM 計畫可說代表著歐盟邁向開發出

²⁹ Xavier Vavasaur, “EDA Launches ‘PILUM’ Research Study On Electromagnetic Railguns,” *Naval News*, May 7, 2020, <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/05/eda-launches-pilium-research-study-on-electromagnetic-railguns/>.

真實尺寸電磁軌道砲原型機的決定性步驟，布魯塞爾希望藉由此一計畫能夠在 2028 年進行大規模電磁軌道砲的實地測試，最終開發出砲彈速度可每小時 7,200 公里的電磁軌道砲（6 倍音速）。³⁰

伍、小結

從新一代的空戰平台發展可以看出，除了主力戰機本身採用革命性技術，如更佳的匿蹤性、結合 AI、網路、雲端等技術，並配備雷射等武器，大幅提升作戰能力外，更重視其他不同平台與新技術的整合，強調的是整體的戰力發揮。未來空中戰鬥系統可以說是「多種系統的系統」（systems of system），有人機及無人機搭配的「忠誠僚機」、「遠端載台」與「空戰雲端」等平台與技術，這將是未來空中作戰的關鍵；雷射、電磁軌道砲等定向能武器，將可成為革命性的防空武器平台，解決目前在反制敵方多樣化空中威脅，例如極音速武器、彈道飛彈、超音速巡弋飛彈、無人機、迫砲、火箭等，成為另一種選項。

然而，這樣精緻昂貴的系統並非所有國家都能夠負擔，因此，對於資源與技術相對不足的國家來說，制空應該從務實的角度出發，不應該將資源浪費在相當艱鉅的新世代空戰平台的開發，而是著重低成本與高生存率，從此觀點出發，儘管定向能武器系統多數尚處於研發階段，然其研發成本相較於主力空戰平台依舊低廉許多，因此，包括雷射武器與電磁軌道砲在內的定向能武器系統，可以成為如台灣在內等小國建制不對稱防禦能力時的另一種考量。

³⁰ Yohan Demeure, L'Union européenne veut fabriquer un canon électromagnétique," *SciencePost*, July 20, 2020, <https://sciencepost.fr/lunion-europeenne-veut-fabriquer-un-canon-electromagnetique/>.

第（四）章 制海科技發展趨勢

許智翔*

壹、前言

自中共解放軍進行軍事現代化以來，海軍一直是中國高度投注重視的關鍵兵種。在習近平上台後提倡的「中華民族偉大復興」及「強國夢」中，海軍更是重要核心。而中共海空實力的不斷強化，不僅對美國在西太平洋及印太地區的海上霸權形成挑戰，更對四面環海的台灣形成巨大威脅。本章節將首先探討台灣在制海方面遭遇的主要威脅型態，及在「島鏈防禦」戰略下可進一步投注、發展的方向，並探討當前「制海」需求下，相關軍事科技之發展趨勢。

貳、台灣的海上威脅與戰略環境

一、中共海上實力與兩棲作戰能力的發展

習近平軍改後，解放軍逐步脫離原本的「大陸軍」主義，海、空、火箭軍及戰略支援部隊的兵力大幅增加，¹而中國海軍也正走向藍水海軍，並以驚人的速度強化實力。目前台灣主要面對的海上威脅可分三類：龐大水面水下兵力、兩棲能力及 A2/AD 能力。

* 許智翔，國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所博士後研究。

¹ Liu Zhen, "Chinese army now makes up less than half of PLA's strength as military aims to transform itself into modern fighting force," *South China Morning Post*, January 21, 2019, <https://www.scmp.com/news/china/military/article/2183050/chinese-army-now-makes-less-half-pla-strength-military-aims>.

（一）龐大水面與水下戰力

美國國防部《2020年中國軍力報告書》（*Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2020*）指出，中共已擁有規模最大的海軍，約有350艘水面艦及潛艦，及超過130艘主力水面作戰艦。² 儘管美國海軍總噸位數仍遠超解放軍，然而中共海軍成長速度仍不可小覷，單2012年到2019年5月間，即造了60艘056型巡邏艦及20艘052D型驅逐艦；³ 疫情蔓延下，2020年中共仍以驚人速度造艦，1月時055型驅逐艦「南昌」號成軍，2020年內尚有2艘加長型（強化直-20型直升機運用能力）052D成軍，8月29日，第8艘055型及第25艘052D在大連下水。⁴ 而2020年8月，衛星照片更顯示第三艘航艦正在進行組裝，可能於近期下水。⁵ 水下戰力方面，2020年代中共將保有約60~70艘潛艦，包含數艘核動力攻擊潛艦與核動力彈道飛彈潛艦，預期數量將逐漸增加。⁶ 核潛艦雖非著眼於對台作戰，但大量各式潛艦仍能對台實施封鎖、阻止外援。

儘管中共海軍成長目標主要並非針對台灣，而是包括加強控制南海等中國近海地區、強化200浬經濟海域（EEZ）內外國軍事活動控制的主張、保護海上交通線（Sea lines of communication, SLOCs）、取代美國西

² Office of the Secretary of Defense, “Annual Report to Congress: Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2020,” U.S. Department of Defense, September 2020, p. 44, <https://media.defense.gov/2020/Sep/01/2002488689/-1/-1/1/2020-DOD-CHINA-MILITARY-POWER-REPORT-FINAL.PDF>.

³ Xavier Vavasseur, “China Launched 60 Type 056 Corvettes & 20 Type 052D Destroyers In 7 Years,” *Naval News*, May 13, 2019, <https://www.navalnews.com/naval-news/2019/05/china-launched-60-type-056-corvettes-20-type-052d-destroyers-in-7-years/>.

⁴ Xavier Vavasseur, “Shipyard In China Launched The 25th Type 052D And 8th Type 055 Destroyers For PLAN,” *Naval News*, August 30, 2020, <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/08/shipyard-in-china-launched-the-25th-type-052d-and-8th-type-055-destroyers-for-plan/>.

⁵ China Power Team, “Tracking China's Third Aircraft Carrier” China Power Project/Center for Strategic and International Studies, September 17, 2020, <https://chinapower.csis.org/china-carrier-type-002/>.

⁶ H I Sutton, “Chinese Increasing Nuclear Submarine Shipyard Capacity,” *USNI News*, October 12, 2020, <https://news.usni.org/2020/10/12/chinese-increasing-nuclear-submarine-shipyard-capacity>.

太平洋影響力，並維護區域與世界大國地位。⁷ 然現代化後的中共海軍，在質與量上已非台灣能與之進行決戰及消耗的對手，衝突時龐大艦隊將能支援登陸、封鎖台灣，阻斷可能支援。

（二）兩棲登陸與 A2/AD 能力

就台灣整體防衛而言，制海上最重要的目標仍是擊敗中共的兩棲登陸能力。中共海軍陸戰隊及兩棲艦隊近年大幅強化實力。不過就目前發展來看，大規模登陸仍主要由陸軍兩棲合成旅負責，海軍陸戰隊雖大幅擴編，然目前僅有兩個旅具備完整作戰能力。⁸ 共軍較缺乏營級以上大規模登陸戰操演，整體兩棲能力有待加強，而陸戰隊目前任務應以海外兵力投射為主；⁹ 兩棲艦隊上的發展，目前也集中建設以海外投射為主要目標之 071 型船塢登陸艦及 075 型兩棲突擊艦，而非大規模兩棲登陸用船隻。¹⁰ 然日前發展方向不代表僅針對海外投射需求。考量台海複雜海象、大規模兩棲登陸難度等要素，空中突擊能力與此類艦艇是台海防衛中須重視的威脅。

此外，中共長期投注的反介入／區域拒止（A2/AD）能力亦對台灣防衛產生影響。A2/AD 為透過火箭軍、海空軍等多軍種，以飛彈在內之「不對稱」方式阻絕美軍馳援的能力；除影響美軍介入西太平洋局勢外，共軍保有的大量飛彈也顯示台灣在制海作戰時，將面臨龐大火力飽和攻擊。

二、美國海軍未來規劃與「以陸制海」概念

作為全球實力最強的藍水海軍，從美國海軍的發展方向，應可窺見未來制海作戰概念輪廓。2020 年 9 月，美國前國防部長艾斯培（Mark Esper）提到，美國海軍未來重點發展方向為：分散式殺傷與覺知

⁷ Ronald O'Rourke, "China Naval Modernization: Implications for U.S. Navy Capabilities—Background and Issues for Congress", Congressional Research Service, October 28, 2020, p. 2, <https://fas.org/sgp/crs/row/RL33153.pdf>.

⁸ Office of the Secretary of Defense, op. cit., pp. 47-48.

⁹ Ibid., p. 118.

¹⁰ Ibid., p. 117.

（distributed lethality and awareness）、高強度衝突中的生存能力、複雜世界中的適應性（adaptability）、投射軍力制海及展示存在的能力，以及超長距離精準投射能力（capability to deliver precision effects at very long ranges）。因此，未來海軍兵力將尋求水面、水下及空中投射致命火力的平衡，將由更多小型水面／水下有人、無人與自動作戰艦，無人艦載機以及更強大潛艦部隊組成。¹¹

近年的另一個發展趨勢，為地面精準武器協助制海。過往中俄運用大量飛彈，以不對稱方式對抗美軍強大海空實力。冷戰時蘇聯以多層海空防線形成「稜堡」（bastion）保護彈道飛彈潛艦；而近年中共則藉精準導引武器，使「稜堡」成為控制海域據點。類似概念也為美國所用，在西太平洋前線透過長程精準導引武器建立美國版的「稜堡」。¹²

由於第一島鏈局勢與中國大陸沿海地理環境特性，儘管中共多年來以驚人速度建立龐大海軍艦隊，縱深短淺的東海、黃海、台海及南海等地，使美國版「稜堡」戰術能對中共造成更大封鎖及壓制效果。近來，美軍地面部隊也持續加強反艦能力，不僅美國陸軍在「多領域作戰」下正建立反艦能力，美國海軍及陸戰隊在 2017 年時推出的「競爭環境下的濱海作戰」（Littoral Operations in Contested Environment, LOCE）概念，更強調陸戰隊將轉型，協助海軍制海，¹³ 甚至將協助反潛作戰，¹⁴ 類似概念對直接面臨中共龐大兵力威脅的台灣而言至關重要。

有鑑於以上威脅界定、相關作戰概念發展及台灣制海作戰需求，本章將專注於飛彈與機動反艦飛彈系統、無人載具等二方面不對稱技術發展；此外，各國主力作戰艦的噸位正逐漸放大的趨勢，也值得正致力國艦國造的台灣參考。以下列舉部分值得注意之發展。

¹¹ David Vergun, “Esper Describes Steps to Maintaining Future Maritime Superiority”, DOD NEWS, September 16, 2020, <https://www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/2350204/esperdescribes-steps-to-maintaining-future-maritime-superiority/>.

¹² James Lacey, “BATTLE OF THE BASTIONS,” *War on the Rocks*, January 9, 2020, <https://warontherocks.com/2020/01/battle-of-the-bastions/>.

¹³ “Littoral Operations in Contested Environment,” United States Marine Corps, 2017, p. 3, <https://www.hqmc.marines.mil/Portals/160/LOCE%20full%20size%20edition.pdf?ver=2018-06-20-095003-177>.

¹⁴ General David Berger, “Marines Will Help Fight Submarines,” *Proceedings*, November 2020, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2020/november/marines-will-help-fight-submarines>.

參、相關科技發展

一、飛彈與機動反艦系統

重回大國競爭時代後，美國各軍種開始加強其反艦作戰能力；而從中共海軍龐大數量優勢，也可判斷機動且數量龐大的精準反艦火力，為台灣在持續進行大型載台如驅逐艦與巡防艦的強化外，台灣更需加強之發展方向；近來台灣向美國採購岸防巡弋飛彈（Coastal Defense Cruise Missile, CDCM），正是用以強化此種作戰能力。

針對中國艦隊的迅速實力成長，美國海軍已計畫在未來 5 年內購買大量反艦飛彈，要求在 2020~2025 年間購買 850 枚反艦飛彈，加上採購 775 枚具反艦能力的標準 6 型（RIM-174 Standard Missile 6, SM-6）防空飛彈，等於採購了 1,625 枚能用以反艦的精準導引武器。¹⁵

在 LOCE 概念下，美軍陸戰隊已將 M142 高機動多管火箭系統（High Mobility Artillery Rocket System, HIMARS）作為「遠征前進基地」（Expeditionary Advanced Base, EAB）的核心要素；在 2019 年採用具匿蹤設計、射程超過 200 公里的海軍打擊飛彈（Naval Strike Missile, NSM）後，¹⁶更進一步決定採購戰斧巡弋飛彈進行反艦任務，將可能是射程 1,000 哩（約 1,600 公里）的海上打擊戰斧（Maritime Strike Tomahawk）巡弋飛彈，為戰斧 Block V 巡弋飛彈衍生型之一，其尋標器可透過第三方導引，或主動鎖定海上移動目標，預計將在 2023 年開始服役。¹⁷

¹⁵ David B. Larter, "As China expands navy, US begins stockpiling ship-killing missiles," *Defense News*, February 11, 2020, <https://www.defensenews.com/naval/2020/02/11/as-china-continues-rapid-naval-expansion-the-us-navy-begins-stockpiling-ship-killing-missiles/>.

¹⁶ NSM 的射程在不同的攻擊路徑的射程有極大差異，在完全掠海攻擊的「低—低—低」（low-low-low）路徑下，射程大於 100 海里（185 公里），在「高—高—低」（hi-hi-low）路徑下，則可達到大於 300 哩（560 公里）水準。George Allison, "Kongsberg awarded Japanese Joint Strike Missile contract," *UK Defence Journal*, November 15, 2019, <https://ukdefencejournal.org.uk/kongsberg-awarded-japanese-joint-strike-missile-contract/>.

¹⁷ Joseph Trevithick, "Marines Set To Be The First To Bring Back Land-Based Tomahawk Missiles Post-INF Treaty," *The Drive*, March 5, 2020, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/32483/marines-set-to-be-the-first-to-bring-back-land-based-tomahawk-missiles-post-inf-treaty>.

在類似需求下，美國陸軍於 2018 年成功試射裝在「重型高機動性戰術卡車」（Heavy Expanded Mobility Tactical Truck, HEMTT）上的 NSM，¹⁸ 更在 2020 年 11 月採用戰斧飛彈，及 SM-6 防空飛彈衍生型整合為未來的中程打擊能力（Mid-Range Capability），用以攻擊 500 公里外的目標，並遂行多領域作戰中，以戰略火力穿透並分解敵方多層防禦之概念，儘管陸軍不全然以制海為主要發展方向，然而由於新式戰斧飛彈具完整反艦能力，仍成為制海利器。¹⁹ 而美國陸軍將在 2023 年服役的「精準打擊飛彈」（Precision Strike Missile, PrSM），也預期在 2025 年配備反艦飛彈尋標器。²⁰

針對中共艦隊威脅，美國海軍也決定在潛艦上部署海上打擊戰斧飛彈；²¹ 美國海軍也預計將為潛艦部隊配備與陸軍共通研發的極音速滑翔載具（Hypersonic Glide Vehicle, HGV），這些為潛艦配備的極音速武器將可能成為對中國反艦彈道飛彈等 A2/AD 能力的回應，以協助艦隊作戰。²²

值得注意的是，儘管美國近期各軍種與 DARPA 等單位正在發展多種極音速武器，用以對抗中俄的極音速武器，並對中俄的高價值目標及海軍艦隊造成極大威脅，但在極音速武器外，各種由超音速、次音速反艦能力仍持續強化與建構，顯見在高價的尖端裝備外，更需多種、大量各式反艦武器，由空射、水面艦艇、地面載具、潛射等多種投射方式，建構綿密的多層次反艦火力，以期制海能力在面對大國對手時能有效發揚。

¹⁸ Jeneviene Molenda, "Army Tests Naval Strike Missile at RIMPAC 2018," Missile Threat/CSIS Missile Defense Project, July 13, 2018, <https://missilethreat.csis.org/naval-strike-missile-debuts-at-rimpac-2018/>.

¹⁹ Tyler Rogoway, "The Army Has Officially Selected The Navy's SM-6 Missile To Be Used In A Strike Role," *The Drive*, November 7, 2020, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/37485/the-army-has-officially-selected-the-navys-sm-6-missile-to-be-used-in-a-strike-role>.

²⁰ Jen Judson, "For the US Army's fires capability, 2023 is the year that will change everything," *Defense News*, September 8, 2020, <https://www.defensenews.com/land/2020/09/08/for-the-us-armys-fires-capability-2023-is-the-year-that-will-change-everything/>.

²¹ David B. Larter, "The US Navy is moving to put more ship-killer missiles on submarines," *Defense News*, November 16, 2020, <https://www.defensenews.com/naval/2020/11/16/the-us-navy-is-moving-to-put-more-ship-killer-missiles-on-submarines/>.

²² Steven Stashwick, "US Submarines to Field Hypersonic Weapons in 2025," *The Diplomat*, November 20, 2020, <https://thediplomat.com/2020/11/u-s-submarines-to-field-hypersonic-weapons-in-2025/>.

此外，美軍各軍種逐漸「收攏」其發展方向，採用同一系統或共同發展，以加快制海與長程打擊能力的部署時程，並增加運用效率。也因此，美軍陸戰隊也可能跟隨陸軍腳步，採購 SM-6 衍生型，或採用已整合於 B-1B 轟炸機及 F/A-18E/F 戰機的 AGM-158C「長程反艦飛彈」（Long Range Anti-Ship Missile, LRASM），研發其陸射衍生型。²³ 預計在 2023 年之後，多種反艦制海武器將逐漸進入美軍服役。

在美國之外，也有多種他國反艦飛彈的發展狀況值得注意。俄羅斯近年受到矚目的 3M22 鋁石（Zircon/Tsirkon）極音速反艦飛彈在 2020 年 10 月 7 日在網路上公布影片，宣布成功進行對海上目標的首次試射並成功命中。俄羅斯官方宣稱，鋁石飛彈最高速度達到 8 馬赫，在飛行了 450 公里後，命中巴倫支海的海上目標；鋁石飛彈也規劃在 2020 年內由「亞森級」（Project 885 Yasen-Class）核動力攻擊潛艦試射，²⁴ 未來將成為俄國海軍對抗西方海軍的殺手鐮。

日本近來在反艦系統上投注龐大心力，目前正研發 2 種對地／反艦彈頭，預計裝載於「高動能滑翔彈頭」（日文：滑空飛翔体／Hyper Velocity Gliding Projectile，即 HGV）及極音速巡弋飛彈（Hypersonic Cruise Missile, HCM）上，分別是縱列式「Sea Buster」彈頭，可能用以破壞航艦甲板，以及可同時攻擊多個目標的「多重爆炸成形彈」（multiple explosively formed penetrator）。²⁵ 另外，防衛裝備廳在 2020 年 2 月 28 日證實正在研發由 12 式陸基反艦飛彈（12 式地对艦誘導彈）衍生的新式空射反艦飛彈，預計射程將由 200 公里延伸至 400 公里，並將裝備於 P-1 巡邏機上；²⁶ 日本在 2020 年 2 月宣布購買洛馬公司的 AGM-158C LRASM

²³ Peter Ong, "Land-Based Anti-Ship Missiles And The U.S. Marine Corps: Options Available," *Naval News*, September 27, 2020, <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/09/land-based-anti-ship-missiles-and-the-u-s-marine-corps-options-available/>.

²⁴ Samuel Cranny-Evans, "Russia tests Zircon against naval target," *Jane's Navy International*, October 7, 2020.

²⁵ Kosuke Takahashi, "Japan developing new anti-surface warheads for future hypersonic weapons," *Jane's Defence Weekly*, March 12, 2020.

²⁶ Kosuke Takahashi, "Japan confirms development of new air-launched anti-ship missile," *Jane's Defence Weekly*, February 28, 2020.

及 AGM-158B JASSM-ER 飛彈供 F-15J 戰機運用，正在為 F-35 戰機配備由 NSM 衍生的聯合打擊飛彈（Joint Strike Missile, JSM），也在 2019 年研發超音速反艦飛彈 XASM-3M，²⁷ 這些作為均可見在同樣面對中國海軍實力下，日本以精準武器進行不對稱對抗的努力。

英法共同合作研發的「海毒液」（Sea Venom）／ANL（法方名稱）輕型反艦飛彈在 2020 年 2 月 20 日試射成功，這種飛彈能由直升機攜帶，射程 12 英里（約 19 公里），除具備發射後鎖定及發射前鎖定的主動導引攻擊能力外，「海毒液」飛彈也具備鏈路，可讓組員在歸向終端階段手動修正、精確擊中目標點。「海毒液」未來將裝備在法國海軍「獵豹」（Guépard）式直升機及英國皇家海軍的 AW-159「野貓」（Wildcat）直升機上，取代海賊鷗（Sea Skua）飛彈。²⁸

此外，以色列海軍在 2020 年 9 月 25 日公布新式反艦飛彈試射影片，官方宣稱將在數個月內配備在薩爾 5 型（Sa'ar 5）及新式薩爾 6 型（Sa'ar6）巡邏艦上，目前該飛彈型號及詳細資料仍未公布；根據《詹氏》分析，該飛彈彈翼外型與已公布之「加百列 5 型」（Gabriel 5）及新式超音速主動反艦飛彈不同，同時其發射箱至少在 2017 年 4 月以來即出現在薩爾 5 型巡邏艦「Hanit」號上，顯示已研發數年；²⁹ 以色列航太工業公司（Israel Aerospace Industries, IAI）也與新加坡科技工程公司（ST Engineering）合作研發下一代的反艦飛彈，值得進一步注意。

二、無人載具

美國海軍曾在水面（unmanned surface vehicle, USV）及水下無人載

²⁷ Franz-Stefan Gady, "Japan Developing New Anti-Ship Missile for P-1 Maritime Patrol Aircraft," *The Diplomat*, February 29, 2020, <https://thediplomat.com/2020/02/japan-developing-new-anti-ship-missile-for-p-1-maritime-patrol-aircraft/>.

²⁸ Christina Mackenzie, "Europe ship-killing missile passes first firing trial," *Defense News*, March 6, 2020, <https://www.defensenews.com/global/europe/2020/03/06/europe-ship-killing-missile-passes-first-firing-trial/>.

²⁹ Yaakov Lappin and Jeremy Binnie, "Israel announces test of new mystery anti-ship missile," *Jane's Defence Weekly*, September 25, 2020.

具（unmanned underwater vehicle, UUV）的發展上，提出宏大發展願景。然而，美國國會要求海軍提出明確無人載具發展方向，並在 2019 年底同意讓美國海軍在取得 2 艘大型水面無人載具（LUSV），卻設下諸多限制如禁止裝設垂直發射系統等，並促使美國海軍開始制定中型（MUSV）及 LUSV 之作戰概念。³⁰

儘管如此，無人載具仍將在未來的美國海軍中扮演重要地位；前國防部長艾斯培的「2045 戰鬥部隊」（Battle Force 2045）計畫中，美國海軍將組成一支超過 500 艘船隻的巨大艦隊，其中無人及選擇性載人（unmanned and optionally manned）艦艇將有 140~240 艘，並預計將在 2035 年前達到 355 艘有人船艦的目標。³¹

在美軍無人船艦發展上，「大君主幽靈艦隊」（Ghost Fleet Overlord）計畫第一階段已完成，以 2 艘改裝商船完成 600 小時自主導航，並開始進行第二階段、指管（C2）及酬載的整合；「海獵人」（Sea Hunter）自主無人艦仍在測試，而濱海作戰艦（littoral combat ships, LCS）也開始操作無人小艇進行偵查、掃雷、反潛及電子戰等支援任務。根據規劃，美國海軍將採購裝備反艦及陸攻飛彈的 LUSV、進行情監偵與電子戰任務的 MUSV；由於 USV 未來將成為重要作戰船艦，因此自主接戰道德爭議、電磁戰環境下遙控的可靠性，若在 USV 上配屬少量人員時，可能增加之人員損失風險及對設計、操作產生之限制，為目前 LUSV/MUSV 發展上的最大重點。³²

在 UUV 發展上，美國海軍將加強對超大型 UUV（XLUUV）的重視，預計自 2023 年起每年購買 2 艘「殺人鯨」（Orca）XLUUV，美軍希望以 XLUUV 執行部分目前攻擊潛艦之任務，以科技抵銷中國在人力及裝備數

³⁰ David B. Larter, "Fleet commander directs US Navy's surface force to develop concepts for unmanned ships," *Defense News*, January 2, 2020, <https://www.defensenews.com/naval/2020/01/02/fleet-commander-directs-the-us-navys-surface-force-to-develop-concepts-for-unmanned-ships/>.

³¹ Roland O'Rourke, "Navy Force Structure and Shipbuilding Plans: Background and Issues for Congress," Congressional Research Service, November 11, 2020, <https://fas.org/srg/crs/weapons/RL32665.pdf>.

³² Brian Bunn, "The Future for Unmanned Surface Vessels in the US Navy," *Georgetown Security Studies Review*, October 28, 2020, <https://georgetownsecuritystudiesreview.org/2020/10/28/the-future-for-unmanned-surface-vessels-in-the-us-navy/>.

量上的優勢，也可置於高風險海域作戰，或執行枯燥繁瑣任務如反潛、掃雷、情報蒐集等，³³ 即適合機器人的「3D」任務：骯髒（Dirty）、危險（Dangerous）、無聊（Dull）。

其他國家在 USV/UUV 上的發展或許不若美國般的遠大規劃，仍有值得注意的發展。目前有多種 USV/UUV 著眼於前述「3D」任務，如泰利斯（Thales）公司的「藍色哨兵」（Blue Sentry）USV，即是整合其遙控主動聲納系統（Remote Active Sonar Systems）、針對反潛任務發展；³⁴ 貝宜（BAE Systems）的「激流」（Riptide）UUV-12 則是可整合不同裝備酬載，遂行電子戰、射頻訊號蒐集、聲學識別等多種任務的中型 UUV。³⁵

類似裝備也不僅來自大國，以色列拉斐爾（Rafael）公司的「保護者」（Protector）USV，可裝備「長釘」（Spike）反戰車飛彈，或以不同酬載裝備進行反恐、情監偵、電戰、掃雷等任務。³⁶ 近年在無人載具上頗受注意的土耳其，在 2020 年 10 月 28 日宣布該國第一種自製 USV「ULAQ」。此型 USV 自 2018 年開始研發，原型艦將在 2020 年 12 月下水，並於 2021 年初進行實彈射擊測試，將裝有 Cirit 70mm 紅外線導引飛彈，及雷射導引 L-UMTAS 反戰車飛彈，可根據不同任務需求更換裝備，進行電子戰、反潛、反水面艦、掃雷與情監偵等任務。³⁷

³³ David B. Larter, "To compete with China, an internal Pentagon study looks to pour money into robot submarines," *Defense News*, June 1, 2020, <https://www.defensenews.com/naval/2020/06/01/to-compete-with-china-an-internal-pentagon-study-looks-to-pour-money-into-robot-submarines/>.

³⁴ "Thales to develop for Australia Unmanned Surface Vehicles for Anti-Submarine Warfare," *Navy Recognition*, October 22, 2020, <https://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2020/october/9165-thales-to-develop-for-australia-unmanned-surface-vehicles-for-anti-submarine-warfare.html>.

³⁵ "BAE Systems unveils its new unmanned undersea vehicle Riptide UUV-12," *Navy Recognition*, September 22, 2020, <https://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2020/september/9025-bae-systems-unveils-its-new-unmanned-undersea-vehicle-riptide-uuv-12.html>.

³⁶ "Euronaval Online 2020: Rafael presents its combat proven Protector USV Unmanned Surface Vessel," *Navy Recognition*, September 22, 2020, <https://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2020/september/9025-bae-systems-unveils-its-new-unmanned-undersea-vehicle-riptide-uuv-12.html>.

³⁷ Yaylali, "Turkish armed USV development breaks cover," *Jane's International Defence Review*, October 30, 2020.

日本目前也開始尋求研製遠端遙控之可消耗（expendable）自走雷，用於部署高風險海域，並在該區域徘徊，直到在敵船旁被遙控引爆，³⁸可說是水下的徘徊式械彈，³⁹此計畫仍處於最初階段，發展狀況有待後續觀察。

另外值得一提的是，台灣龍德造船為新加坡建造了 16 公尺等級的 USV，作為海上巡邏用途。龍德自 2016 年開始參與新加坡 USV 船體建造，並持續參與該國 USV 發展，如提供另外的 16 公尺 USV 作為無人掃雷系統（unmanned mine countermeasures）之用等。⁴⁰儘管無人及自主系統關鍵技術應仍掌握在新加坡研發單位手上，曾參與類似研發計畫的台灣廠商，仍可對我國未來 USV/UUV 發展提供助力。

2020 年 11 月 20 日，加拿大、羅馬尼亞與澳洲加入北約「海上無人系統倡議」（Maritime Unmanned Systems Initiative）；此倡議初始成員為美、英、德、意等 13 國，三國加入後增加到 17 個成員，⁴¹希望以技術增進盟國傳統部隊與無人載具間的互相操作性，在新技術上建立新戰術，並為各領域（陸海空）軍用無人載具建立安全數位通訊等方面。此倡議並整合工業界及軍事部門，涉及人工智慧、數據、太空、極音速武器、生物技術、量子研究、自主化等多個技術領域。⁴²這樣的多國合作可大幅強化北約及盟國在無人載具技術、操作及概念上的整合與發展；然多國合作也代表，台灣如嘗試從西方國家籌獲相關技術時，將可能因成員國技術出口限制而造成取得困難。

³⁸ Kosuke Takahashi, "Japan aiming to develop prototype of self-propelled mine system," *Jane's Defence Weekly*, June 23, 2020.

³⁹ Loitering munition, 又稱遊蕩彈藥，此類武器也稱為自殺無人機 Suicide/Kamikaze Drone。

⁴⁰ Kelvin Wong, "Taiwan-built 16 m USV for Singapore navy unmanned systems development breaks cover," *Jane's International Defence Review*, October 9, 2020.

⁴¹ "Canada and Romania and NATO partner Australia joined Maritime Unmanned Systems Initiative," *Navy Recognition*, November 21, 2020, <https://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2020/november/9303-canada-and-romania-and-nato-partner-australia-joined-maritime-unmanned-systems-initiative.html>.

⁴² Michael D. Brasseur, Rob Murray and Sean Trevethan, "NATO's 'startup' charts a bold future in maritime unmanned systems," *Defense News*, April 20, 2020, <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2020/04/20/natos-start-up-charts-a-bold-future-in-maritime-unmanned-systems/>.

此外，「以陸制海」概念下，無人地面載具也將開始扮演制海角色。美軍陸戰隊在決定採購 NSM 後，2020 年更進一步發展陸基輕型反艦平台，以將取代部分悍馬車的「聯合輕型戰術車輛」（Joint Light Tactical Vehicle, JLTV）為基礎，研發「遠征遙控地面作戰系統」（Remotely Operated Ground Unit Expeditionary, ROUGE）搭配 NSM 飛彈，未來甚至可能嘗試裝備反艦戰斧飛彈。⁴³

三、主戰艦艇大型化

儘管本章重點為不對稱制海，然考量海軍在遠洋作戰、艦隊防空以及承平時運用等「基本戰力」需求，仍需維持驅逐艦及巡防艦等大型主戰艦艇。近期多個國家開始推出下一代主戰船艦構想或設計，2020 年 4 月 30 日，美國海軍選擇義大利坎芬特里造船廠（Fincantieri/Marinette Marine）的義法合作「歐洲多任務巡防艦」（FREMM）為藍本作為新一代 FFG（X）巡防艦，並命名為「星座級」（Constellation）；星座級將配備 8 組共 32 管 MK41 垂直發射系統、雷神公司（Raytheon）AESA 雷達「企業空中監視雷達」（Enterprise Air Surveillance Radar, EASR）、「基線 10」（Baseline 10）神盾作戰系統等作戰能力，以較小型、多用途的艦艇為未來美軍艦隊提供分散式能力，⁴⁴ 扮演類似過去派里級巡防艦（FFG-7 Oliver Hazard Perry class frigate）的艦隊骨幹角色。

其系統核心之雷神 EASR 雷達為美國海軍將裝置的 AN/SPY-6 雷達系列之一，稱為 AN/SPY-6（V）3，此系列 AESA 雷達採模組化設計，以雷達模組總成（Radar Modular Assemblies, RMA）構成。勃克（Arleigh-Burke）級 Flight III 的 SPY-6（V）1 有 4 個固定陣面，每個陣面裝有 37 個 RMA；而尼米茲級航艦及兩棲突擊艦將運用的 SPY-6（V）2 為一旋轉

⁴³ Megan Eckstein, “Marines Will Field Portfolio of JLTV-Mounted Anti-Ship Weapons in the Pacific,” *USNI News*, March 11, 2020, <https://news.usni.org/2020/03/11/marines-will-field-portfolio-of-jltv-mounted-anti-ship-weapons-in-the-pacific>.

⁴⁴ Michael Fabey, “US Navy secretary names new frigate class,” *Jane's*, October 8, 2020, <https://www.janes.com/defence-equipment-intelligence/us-navy-secretary-names-new-frigate-class/>.

陣面，FFG(X)與福特級航艦的SPY-6(V)3有3個固定式陣面，兩者的每個陣面階裝有9個RMA，而將用於升級版勃克級Flight IIA的SPY-6(V)4則有4個固定陣面，每個陣面裝有24個RMA，⁴⁵模組化的雷達技術十分有助於系統的擴展性、後勤維保以及在美軍各級船艦上的整合運用。

「星座級」大量運用目前已經成熟的技術，期能在短期內形成戰力，美國海軍規劃的355艘艦艇目標中將包含52艘此級艦，而「2045戰鬥部隊」計畫中，美國海軍未來的500艘艦艇中，「星座級」更將達到60~70艘。⁴⁶美國海軍部長布瑞斯特(Kenneth Braithwaite)更進一步建議未來將可考慮尋求F-35戰機模式，出口「聯合打擊巡防艦」(Joint Strike Frigates)設計到海外友盟國家；⁴⁷如此規劃成真，則可能如同過往派里級般，進一步推廣給其他盟國。

加拿大目前也正展開下一代水面作戰艦計畫(Canadian Surface Combatant, CSC)，新型巡防艦將衍生自英國26型巡防艦(Type 26 Frigate)設計，共將建造15艘。針對CSC需求，加拿大已批准採購基於標準6型飛彈(SM-6)及改良型海麻雀飛彈(RIM-162 ESSM)所技術改良、具備主動導引能力的標準2型(SM-2)Block IIIC防空飛彈，⁴⁸已簽約採購洛馬公司的AN/SPY-7雷達，並將整合加拿大自製的CMS300戰鬥管理系統。⁴⁹

⁴⁵ "U.S. Navy's SPY-6 Family of Radars," Raytheon Missiles & Defense, last visited November 15, 2020, <https://www.raytheonmissilesanddefense.com/capabilities/products/spy6-radars>.

⁴⁶ Ronald O'Rourke, "Navy Constellation (FFG-62) Class Frigate (Previously FFG[X]) Program: Background and Issues for Congress," Congressional Research Service, November 10, 2020, p.3, <https://fas.org/sgp/crs/weapons/R44972.pdf>.

⁴⁷ Sam LaGrone, "SECNAV Braithwaite Calls for Light Carrier, 'Joint Strike Frigate' ; Sounds Alarm Over Chinese Naval Expansion," *USNI News*, October 28, 2020, <https://news.usni.org/2020/10/28/secnav-braithwaite-calls-for-light-carrier-joint-strike-frigate-sounds-alarm-over-chinese-naval-expansion>.

⁴⁸ Richard Scott, "Canada approved for SM-2 Block IIIC missile purchase," *Jane's*, November 6, 2020, <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/canada-approved-for-sm-2-block-iiic-missile-purchase>.

⁴⁹ Naval News Staff, "Lockheed Martin Signs SPY-7 Radar Contract For CSC Frigate," *Naval News*, November 11, 2020, <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/11/lockheed-martin-signs-spy-7-radar-contract-for-csc-frigate/>.

洛馬的 SPY-7 雷達系列取得美國外多個盟邦青睞，不僅加拿大 CSC、西班牙納凡提亞（Navantia）的 F-110 Bonifaz 巡防艦，及已經遭日本放棄的「陸基神盾」（Aegis Ashore）等，都選用此種雷達。⁵⁰ F-110 排水量 6,100 噸，除 SPY-7 雷達外，也將配備泰利斯（Thales）的聲納系統，納凡提亞自製 SCOMBA 作戰系統等裝備，換言之美國海軍未來的雷達系統將主要皆採用雷神的 AN/SPY-6 族系雷達系統，而洛馬的 AN/SPY-7 則在外銷上取得肯定，使得美國在本國運用及外銷的雷達上出現分流現象。

值得注意的是，各國的下一代主力水面作戰艦艇，不論巡防艦或是驅逐艦的噸位都正在逐漸擴大，將成為美國海軍下一代艦隊骨幹的「星座級」飛彈巡防艦就擁有 7,400 短噸的排水量（約 6,700 公噸），⁵¹ 遠超過過往的派里級（長艦身構型排水量 4,100 公噸）；西班牙 F-110 也有 6,100 噸排水量，加拿大 CSC 將是 8,000 噸級，德國用以取代 F123「布蘭登堡」（Brandenburg-Klasse）級的 MKS180 巡防艦更是預計到 9,000 噸級；⁵² 日本新式巡防艦「3,900 噸型護衛艦」（3,900 トン型護衛艦），⁵³ 滿載排水量也達 5,500 噸。⁵⁴ 同時各國也紛紛開始建造萬噸級主戰艦艇，義大利計畫將建造 2 艘萬噸級驅逐艦，作為主戰兵力核心；⁵⁵ 在取消「陸基神盾」後，日本也計畫建造更大型、超過 9,000 噸的神盾艦。⁵⁶

⁵⁰ Tim Kelly, Yoshifumi Takemoto, “Exclusive: As Japan weighs missile-defence options, Raytheon lobbies for Lockheed's \$300 million radar deal,” *Reuters*, July 30, 2020, <https://www.reuters.com/article/us-japan-defence-aegis-exclusive-idUSKCN24V0VQ>.

⁵¹ Ronald O'Rourke, op. cit., p.14.

⁵² Xavier Vasseur, “German Navy's MKS 180 Multi-Purpose Combat Ship Program Back On Track,” *Naval News*, May 15, 2020, <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/05/german-navys-mks-180-multi-purpose-combat-ship-program-back-on-track/>.

⁵³ 日本「3,900 噸型護衛艦」2 號艦「熊野」（Kumano）早於 1 號艦，於 2020 年 11 月 19 日下水，因此仍未確定此級艦正式名稱。

⁵⁴ “Japan is considering to export warships to Indonesia,” *Navy Recognition*, November 14, 2020, <https://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2020/november/9271-japan-is-considering-to-export-warships-to-indonesia.html>.

⁵⁵ Tom Kington, “Italy plans new destroyers for 2028 delivery,” *Defense News*, November 9, 2020, <https://www.defensenews.com/global/europe/2020/11/09/italy-plans-new-destroyers-for-2028-delivery/>.

⁵⁶ “Japan eyes 2 Aegis ships after land-based defense plan scrapped,” *Kyodo News*, November 4, 2020, <https://english.kyodonews.net/news/2020/11/494d4aad8578-japan-eyes-2-aegis-ships-after-land-based-defense-plan-scrapped.html>.

各國艦艇發展趨勢指出，未來主戰艦艇為滿足防空、反潛、遠洋部署及反飛彈等各種多樣化的任務，以及配備多面相位陣列雷達等各式雷達及武器系統的需求，噸位正不斷增加。對正緊鑼密鼓進行國艦國造以更新海軍艦隊的台灣而言，各國發展方向及指標應可作為下一代主戰艦艇之重要參考。

肆、小結

從前述趨勢，可注意到主戰艦艇逐漸放大噸位，然而無人載具與陸基精準火力發展，或許在未來正是成為可以跟大型海上作戰載台不對稱互補的重要方式。

美軍陸戰隊強調輕型、高機動的反艦載具，重視 500～1,000 英里內較短射程，機動性及遠征能力；相較之下，陸軍則擁有更多種類、射程更遠的系統如中程彈道飛彈、陸攻飛彈等，以不同的作戰範圍與任務互補，進行跨軍種聯合制海，值得台灣注意並加以學習。⁵⁷

而在無人載具的發展上，前述新加坡及土耳其發展 USV 的例子，可說明無人船艦並非大國專利。以無人系統增加分散式的海軍力量強化投射火力，或支援掃雷、電子戰等任務，對少子化及兵員不足的台灣而言將是良好的選擇，值得盡早開始研發並累積能量。

⁵⁷ David B. Larter, "Are the US Army and US Marine Corps competing for missions in the Pacific?," *Defense News*, October 14, 2020, <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/ausa/2020/10/14/are-the-us-army-and-us-marine-corps-competing-for-missions-in-the-pacific/>.

壹、前言

對台灣而言，一旦進入國土防衛階段、開始準備陸上作戰時，意味著海空兵力已受到嚴重打擊，甚至已喪失海空優，使敵方三棲進犯部隊能開始發動入侵。因此在國土防衛時，國軍的地面部隊將需面對中共長程火力及空中優勢等多重威脅，如何對抗從長程武器、空中攻擊到無人機等多層次威脅，及確保己方部隊生存能力，將是未來台灣的重大挑戰。本章將首先探討國土防衛時主要面對的可能威脅、影響國土防衛作戰之關鍵要素，然後才是相關重要科技發展。科技面上，本章將同樣著重於「不對稱」方面，探討部隊的生存性、精準打擊、野戰短程防空與反無人機，及無人載具之近期發展趨勢。

貳、國土防衛威脅與關鍵要素

一、空中與長程火力威脅

進入國土防衛階段時，中共的空中攻擊與長程火力精準打擊能力將對台灣地面部隊的重要固定設施形成巨大威脅。美國《2020年中國軍力報告書》中指出，中共的傳統精準武器主要可分為以下幾個種類：短程彈道飛彈（SRBM，射程300~1,000公里）、中程彈道飛彈（MRBM，射程1,000~3,000公里）、中程彈道飛彈（IRBM，射程3,000~5,500公里）、陸攻巡弋飛彈（LACM）、反艦巡弋飛彈、空對地攻擊彈藥、反輻射武器、砲兵精準彈藥（如PHL-03遠程火箭炮）等，¹其中對台灣部隊威脅

* 許智翔，國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所博士後研究。

¹ Office of the Secretary of Defense, op. cit., pp. 59-60.

最大的，將是 SRBM、LACM、空對地攻擊彈藥、反輻射武器及砲兵精準彈藥等。

前述對台造成重大威脅的武器，可以注意到大多屬於遙攻武器（stand-off weapon, SOW）如彈道飛彈、巡弋飛彈、遠程火箭炮等，相較之下較適於攻擊固定設施及半機動性的目標，如機場、雷達；值得注意的是，中共空軍的空對地攻擊彈藥也多以 SOW 為主，² 換言之，在這種情況下具備較高機動性的小型裝備，在面對中共的長程精準武器時將可有較高的生存能力，也符合台灣目前致力的不對稱發展方向。不過即使中共具備大量的 SOW，能對台灣的重要固定及半機動資產發動致命打擊，在國土防衛時，中共仍有大量諸如武裝直升機或偵打一體無人機等，能對台灣的不對稱機動部隊造成重大威脅的裝備。因此，就國土防衛而言，面對中共的威脅，面對海空優勢及大量精準武器的生存性、機動性及防空能力，將是不可或缺之重要能力。

二、戰力防護與部隊生存性

戰力防護為國軍目前在整體防衛構想（ODC）下發展之重要能力，根據國防部定義，戰力防護為貫穿作戰全程的戰力發揮關鍵，國軍將藉機動、隱蔽、分散、欺敵、偽裝、護衛、謀略、誤導，及有效損害管制，確保戰力完整。³ 回顧戰史，在 1999 年的科索沃戰爭中，塞爾維亞地面部隊經歷北約盟軍以絕對空優發動之 78 天空中攻擊後，仍保有 91% 兵員、75% 裝甲車輛、78% 火炮以及 91% 戰車，⁴ 顯見在良好的防護手段及隱蔽下，即使面對美國為首的強大北約空軍，地面部隊仍有相當保存實力的能力。

在科索沃戰爭的 20 餘年後，儘管精準打擊武器有更進一步的發展，

² Rick Joe, "Where Are the Chinese People's Liberation Army's Guided Bombs?," *The Diplomat*, July 20, 2018, <https://thediplomat.com/2018/07/where-are-the-chinese-peoples-liberation-armys-guided-bombs/>.

³ 《中華民國 108 年國防報告書》，中華民國國防部，2019 年 9 月，頁 59。

⁴ Benjamin S. Lambeth, "NATO's Air War for Kosovo: A Strategic and Operational Assessment," RAND, 2001, p. 61, https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1365.html.

然而各種主被動防護技術，及偽裝科技也同樣持續成長，本章在技術上將首先探討部隊生存性的相關技術，然後探討國土防衛中藉由精確打擊能力以削弱敵人實力的相關技術趨勢，然後野戰短程防空、反無人機技術，以及無人載具的發展，以探求在不對稱作戰的脈絡下，台灣需要的地面部隊裝備科技之可能發展方向。

參、相關科技發展趨勢

一、部隊生存性相關技術發展

在生存性的技術發展上，可粗略由防護技術與隱蔽技術等二方面進行探討。針對防護技術方面，傳統上地面部隊以裝甲防護作為其面對攻擊時的生存保障；然而近年面對各種不同武器的威脅，即使是配備先進複合裝甲及反應裝甲的主戰車（Main Battle Tank, MBT）也已經難以藉由傳統手段，如裝甲技術以確保其生存性。近年包含美製 M1A2、德製豹 2A4（Leopard 2A4）、⁵ 俄製 T-90 等先進主戰車在內的各種車輛，屢屢在中東等地戰場遭到擊毀，也因此，各種諸如主動防護系統（active protect system, APS）等新式防護手段逐漸問世。

目前，美軍已為在東歐前線的 M1 戰車配備以色列「戰利品」（Trophy）APS，並預計在 2020 年全數交付完畢，然而目前美國陸軍缺乏更進一步的資金為 M2 步兵戰鬥車配備選定之以色列 Elbit「輕量化鐵拳」（Iron Fist Light Decoupled）APS，及為史崔克（Stryker）八輪甲車測評選擇合適的 APS 系統；在載具的生存性上，美國陸軍並不僅考量「硬殺式」APS，也考量「被動式」及「反應式」裝備以保護士兵，如採取雷射警告器與反應裝甲整合以保護士兵。⁶

⁵ 豹 2 系列主戰車目前已發展至豹 2A7 系列，如德國陸軍甫於 2019 年 10 月接收的豹 2A7V，在敘利亞遭擊毀者的土耳其陸軍豹 2A4 為 1985 年推出的戰車，儘管裝甲防護已是 1980 年代的舊技術，仍屬第 3 代主戰車。

⁶ Ashley Roque, “AUSA 2020: Service still eyeing hard-kill APS but funding shortfalls, tech challenges remain,” *Jane's Defence Weekly*, October 13, 2020.

換言之，單以傳統的裝甲厚度，或主動防護系統可能無法真正有效加強部隊的生存能力，由於在戰場上沒有十全十美的防護方式，而近年攻擊手段的多樣性，也已逐漸超過目前各種單一防護方式所能對應，以裝甲防護能力最強的 MBT 而言，美製 M1 及德製豹 2 等高性能 MBT 的重量已經超過 60 噸，顯現車輛的防護能力以傳統裝甲來看，已趨近發展極限。除了研製新式輕量高效的裝甲材料外，未來的地面載具將整合多樣性的防禦手段以強化戰場生存。

以裝甲車輛為例，「生存能力洋蔥」(survivability onion) 概念，可用於簡要解釋多層次防護強化載具生存能力的手段：1. 消滅超出交戰範圍的敵人；2. 避免遭到攻擊；3. 如果被偵測，避免遭到攻擊；4. 如果被攻擊，避免遭到擊中；5. 如果被擊中，避免（裝甲）遭到擊穿；6. 如果被擊穿，將損害降到最低。在這種概念下，裝甲防護可謂地面單位生存性的最後一道防線。⁷

APS 的出現確實使車輛具備對抗反裝甲火箭甚至飛彈的能力，然而能力仍不夠全面，例如動能彈 (kinetic energy penetrator，如戰車的翼穩脫殼動能穿甲彈 APFSDS) 仍有賴裝甲防護來對應，因此近年各地面裝備大廠如萊茵金屬防護系統公司 (Rheinmetall Protection Systems) 等，在防護概念上也遵循類似的「洋蔥原則」(onion principle) 發展，例如在末端的防禦上，未來新一代的 APS 如能使動能彈偏移，以較不利的角度命中，就能使裝甲順利擋住攻擊，用這種主被動整合的防護手段形成多層的「生存能力洋蔥」；當此「生存能力洋蔥」遭對手的「致命能力洋蔥」(lethality onion，即多層次的不同攻擊手段) 穿透到載具的生存能力核心時，就代表載具保護要素失效，因此要在「生存洋蔥」的外層設計出減低視覺及紅外線訊號，甚至 APS 雷達訊號的隱蔽方式。⁸ 即「生存能力洋蔥」最外層的防禦手段。

⁷ Bernard Kempinski and Christopher Murphy, "Technical Challenges of the U.S. Army's Ground Combat Vehicle Program," Congressional Budget Office, November 2012, <https://www.globalsecurity.org/military/library/report/2012/cbo-gcv-working-paper-2012.pdf>.

⁸ Samuel Cranny-Evans, "Future proof: Armoured fighting vehicle design," *Jane's Defence Weekly*, October 27, 2020.

目前西方國家正致力加強「訊號管理」(signature management)的能力，以加強部隊隱蔽、提高生存性。由於現代部隊在陸海空及太空等各領域配備大量多頻譜感測器，在武器殺傷力大幅增加且機動部隊的數量減少的情況下，訊號管理不只要隱藏部隊行跡，也應用於擾亂對手、使敵人感到困惑。

在烏克蘭戰場上，欠缺訊號管理、僅有傳統偽裝手段的烏克蘭部隊在與配備大量多頻譜感測器的俄羅斯部隊對抗時，往往戰鬥還沒開始前就已遭擊敗；而感測技術的演進，使訊號的有效管理成為各戰場必備的能力，不僅在視覺上必須隱蔽，也同時必須隱藏裝備在各電磁頻譜中的訊號，如紫外線(UV)、近紅外線(NIR)、短波紅外線(SWIR)、熱紅外線(TIR)、中波紅外線(MWIR)及長波紅外線(LWIR)等。訊號管理更可進一步運用以欺騙敵人、使其困惑，並破壞其戰場覺知、偵查、目獲與長程打擊能力。為此，西方部隊在生存性技術發展上投注於多頻譜偽裝技術，如瑞典紳寶(Saab)的「梭子魚」(Barracuda)多頻譜偽裝網已取得多個北約國家採用，「梭子魚」系列除車輛用外，也有人員運用的版本，並可能進一步開發多頻譜的偽裝戰鬥服；同時通訊與資料傳遞的訊號管理與對抗干擾也將是未來的發展重點。⁹ 2020年10月底，國軍第4季戰備週的例行訓練，就嘗試進行各種外觀上的掩蔽及偽裝手段，儘管針對未來戰場威脅，國軍仍需加強，並建立針對多頻譜電磁訊號的管理、偽裝，甚至欺敵、誘騙能力，在視覺上進行各種偽裝的嘗試仍為重要起步。

二、精準打擊能力射程逐漸增加

隨著武器技術的發展，精準打擊能力在陸海空等各領域，都逐漸有以彈藥取代「載台」的「不對稱」趨勢出現，儘管這不代表大型載台在未來戰場上將完全被取代，然而精準打擊武器的多樣化及高性能，已是不可

⁹ Andrew White, "Hide and seek: Signature management in modern warfare," *Jane's Defence Weekly*, June 12, 2020.

忽視的發展。陸上作戰的精準彈藥，不僅包含各種飛彈及火箭，如彈道飛彈、導引火箭、反裝甲飛彈外，火炮與多管火箭性能也逐漸提升。單就火炮而言，目前 155 mm 榴砲發展方向，都是將射程延伸至 70 公里級。2018 年 12 月，美軍就測試以 M109 自走砲在「延伸射程火炮砲兵」（Extended Range Cannon Artillery, ERCA）計畫的 58 倍徑 155 mm 砲身，達到超過 60 公里的射程，2020 年 3 月 6 日的試射中，ERCA 又成功命中了 65 公里距離外的目標；德國萊茵金屬公司在 2019 年 11 月底，成功測試新式的 60 倍徑 155 mm 榴彈砲，並達成 76 公里射程的紀錄；¹⁰ 俄羅斯的 2S35「聯盟-SV」（Koalitsiya-SV）152 mm 自走砲也具備 70 公里級射程的實力；¹¹ 而挪威 Nammo 公司研發中的衝壓引擎砲彈更預計將 155 砲的射程推到 100 公里外。

在精準打擊火炮上，十分值得注意的一項發展，為 2020 年 9 月美國陸軍 M109A7 自走砲以 5 倍音速的「超高速砲彈」（Hyper Velocity Projectile, HVP）成功擊落模擬巡弋飛彈的 BQM-167 靶機。以榴彈砲擊落巡弋飛彈或許難以想像，而其所使用之 HVP 砲彈為美國「戰略能力辦公室」（Strategic Capabilities Office）所研發，具有特殊的低阻力外型、精準導引能力，同時相對於飛彈其成本造價低廉，並可用於 155 mm 榴砲、海軍的 5 吋艦砲等多種火炮系統。¹²

此外，在美國「六大」現代化優先項目（“big six” priorities）中的「長程精準火力」（Long-Range Precision Fires, LRPF）中，預計用以取代陸軍戰術飛彈（Army Tactical Missile System, ATACMS）的「精準打擊飛彈」PrSM 在 2020 年 4 月 30 日完成第三次試射，此次試射的攻擊距離僅 85 公里，是迄今距離最短的試射，前兩次分別為 240 公里與 180 公里距離。

¹⁰ Nicholas Fiorenza, “Rheinmetall develops new long-range howitzer,” *Jane’s*, November 29, 2020, <https://www.janes.com/defence-equipment-intelligence/rheinmetall-develops-new-long-range-howitzer/>.

¹¹ “The 10 most effective self propelled artillery,” *Army-Technology*, June 10, 2020, <https://www.army-technology.com/features/featurethe-10-most-effective-self-propelled-artillery-4180888/>.

¹² Dylan Malyasov, “U.S. Army’s howitzer shoot down cruise missile for the first time,” *Defence Blog*, September 8, 2020, <https://defence-blog.com/news/army/u-s-army-howitzer-shoot-down-cruise-missile-for-the-first-time.html>.

PrSM 飛彈的尺寸僅為 ATACMS 的一半，同時具備更長的射程，可說原有的 M270 MLRS 多管火箭及 M142 高機動砲兵火箭系統（High Mobility Artillery Rocket System）的長程火力將會因為此種飛彈的服役而大幅增強。PrSM 預計在 2021 年進行距離 310 英里（約 500 公里）射程的試射，並預計在 2023 年開始投入運用。¹³

精準火力的發展，並不只限於較長程的火砲及彈道飛彈，增加反裝甲武器射程的重要性，也似乎因為由於俄羅斯及中國等大國對手在防空系統上的實力，而大幅增加。美國陸軍正為 AH-64「阿帕契」（Apache）直升機，及未來的武裝旋翼機尋求更長的攻擊距離；2019 年 8 月，美國陸軍已用阿帕契直升機試射了以色列製的「長釘 NLOS」（Spike NLOS）反戰車飛彈，「長釘 NLOS」射程高達 30 公里，這種飛彈已裝備於以色列空軍的阿帕契攻擊直升機。在大國競爭的衝突環境下，各式防空武器大幅威脅旋翼機的生存空間，必須藉由加長武器的射程，使旋翼機能對抗日益強大的防空系統，也因此促使美國陸軍「六大」現代化優先項目中的「未來垂直起降載具」（Future Vertical Lift）項目，在尋求兩種新式旋翼機，與戰術無人系統外，更決定採用「長釘 NLOS」，作為長程攻擊的臨時選擇，並持續尋求未來的永久解決方案。¹⁴

三、野戰短程防空與無人機對抗能力

在台海防衛中，當衝突已經進入國土防衛與地面作戰階段時，代表共軍已經取得一定程度，甚至完全的空中優勢。在這種情況下，地面部隊的野戰防空能力，在遂行國土防衛時將是重中之重。2016 年時美國陸軍的檢討報告指出，因為後冷戰時期部隊結構的變化，短程防空（Short-Range

¹³ Sydney J. Freedberg Jr., "Army: Lockheed PrSM Missile Aces Third Flight Test," *Breaking Defense*, April 30, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/04/army-lockheed-prsm-missile-aces-third-flight-test/>.

¹⁴ Jen Judson, "US Army plans long-range missile fly-offs for future helicopters," *Defense News*, July 24, 2020, <https://www.defensenews.com/land/2020/07/24/army-plans-for-airborne-long-range-missile-fly-offs-for-future-helicopters/>.

Air Defense, SHORAD) 能力，被認為是美國陸軍在未來戰場上欠缺的極重要能力之一：¹⁵ 在後冷戰時期，不論中小型國家對手，還是後來在反恐戰爭中對抗恐怖組織，在強大的空權下，美國陸軍不再有維持野戰短程防空能力的迫切需求，而主要將防空能力投注於飛彈防禦及「反火箭、砲彈、迫砲」(counter rocket, artillery, and mortar, C-RAM) 需求。重回大國競爭環境後，美國陸軍再次需要面對敵人的空中攻擊能力，如多用途戰機、攻擊直升機等威脅，因此野戰 SHORAD 能力成為其「六大」現代化優先項目中「空中與飛彈防禦」(Air & Missile Defense) 的重要一環。¹⁶

除了面對空中戰機、直升機等裝備的威脅外，另一個近年需重視的威脅為各式無人機。中共在無人機上發展相對蓬勃，已有多種情監偵、偵打一體，乃至於反輻射自殺無人機問世，並在敘利亞等武裝衝突中受到廣泛運用。近年中東乃至 2020 年的外高加索戰事中，無人機都成為地面戰場的要角，其中 2020 年 9 月 27 日到 11 月 10 日，由亞美尼亞及亞塞拜然進行的納戈爾諾·卡拉巴赫 (Nagorno-Karabakh) 戰爭，無人機更受到世人矚目。在這場衝突中，亞塞拜然無人機在戰場上對亞美尼亞地面部隊、防空武力造成極大威脅，同時大量無人機攻擊影片在網路上流傳，更進一步在宣傳上製造優勢；因此，無人機同時成為戰場情監偵、攻擊與宣傳戰的要角。¹⁷

從外高加索戰事發展來看，亞美尼亞部隊對抗無人機的困境大抵可歸因於未能建立良好分層防空體系、暴露固定陣地，以及高加索山區地形也增加防空難度，而未具備良好的電子戰能力及戰術航空器（如戰機），更使其地面部隊無法對抗亞塞拜然無人機襲擊；¹⁸ 亞塞拜然在戰場上運用的

¹⁵ Andrew Feickert, "National Commission on the Future of the Army (NCFA): Background and Issues for Congress," *Congressional Research Service*, February 5, 2016, p. 3, <https://fas.org/sgp/crs/natsec/R44366.pdf>.

¹⁶ Sydney J. Freedberg Jr., "Live-Fire Tests In August For Army Air & Missile Defense," *Breaking Defense*, August 3, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/08/live-fire-tests-in-august-for-army-air-missile-defense/>.

¹⁷ "The Azerbaijan-Armenia conflict hints at the future of war," *Economist*, October 10, 2020, <https://www.economist.com/europe/2020/10/10/the-azerbaijan-armenia-conflict-hints-at-the-future-of-war>.

¹⁸ Michael Kofman and Leonid Nersisyan, "The Second Nagorno-Karabakh War, Two Weeks In," *War on the rocks*, October 14, 2020, <https://warontherocks.com/2020/10/the-second-nagorno-karabakh-war-two-weeks-in/>.

多種無人機包含情監偵、偵打一體及徘徊式械彈等。正因為近年無人機系統在戰場上的活躍，近期各國所研發之新式野戰防空系統，也都將無人機威脅視為重要項目，而從這些衝突，或可窺見台灣可能遭遇的戰場威脅。

針對「空中與飛彈防禦」項目，美軍在 2020 年 10 月 1 日與通用動力地面系統（General Dynamics Land Systems, GDLS）簽署 12 億美元的合約，採購以史崔克裝甲車為底盤的「臨時機動短程防空」（Interim Maneuver Short-Range Air Defense, IM-SHORAD）系統。IM-SHORAD 整合現有技術，由李奧納多 DRS（Leonardo DRS）公司的遙控武器站整合 30mm 鏈砲、刺針防空飛彈及 AGM-114 地獄火飛彈，¹⁹ 預計在 2021 年 3 月時部署第一個排、同年 9 月部署第一個營，並在 2022 年部署第二個營，此合約預計將執行至 2025 年；此項系統從美國陸軍確立需求到交付測試平台僅花了 19 個月時間，²⁰ 由此可見美軍目前偏好整合成熟系統，以快速研發並形成戰力的偏好。

美軍陸戰隊在發展 SHORAD 能力時，所選擇的平台與其機動反艦飛彈系統相同：其「海上防空整合系統」（Marine Air Defense Integrated System, MADIS）預期將以 JLTV 輪車作為主要載台，選擇搭配 Moog 的「可調整整合式武器站」（Reconfigurable Integrated-weapons Platform, RIwP）。MADIS 系統預計包含 Mk1 及 Mk2 兩個形式，前者包括武器站上的刺針飛彈、人攜式刺針飛彈、直接射擊武器、電光／紅外線（EO/IR）光學系統及多功能電子戰能力，後者則將用於反無人機任務（C-UAS），然而這項研發因 RIwP 武器站重量過重而延後，²¹ 而以 JLTV 為平台仍可明確看出陸戰隊在目前的作戰概念下，對輕量化及機動性的強烈需求。

¹⁹ Ashley Roque, “GDLS moves forward with USD1.2 billion IM-SHORAD deal,” *Jane's Defence Weekly*, October 1, 2020.

²⁰ Jen Judson, “General Dynamics gets \$1.2 billion to build short-range air defense systems for US Army,” *Defense News*, October 1, 2020, <https://www.defensenews.com/land/2020/10/01/general-dynamics-gets-12-billion-to-build-short-range-air-defense-systems-for-us-army/>.

²¹ Ashley Roque, “USMC: Moog's Reconfigurable Integrated-weapons Platform too heavy for JLTV,” *Jane's Defence Weekly*, June 9, 2020.

在美軍之外，由於重返大國競爭環境，其他西方國家也有強化 SHORAD 能力的需求，英國陸軍未來的作戰概念「2035（地面）概念部隊」（Conceptual Force (Land) 2035）中，野戰防空系統的建立也是其中的重要一環，目前 MBDA 公司預計整合現有的多種精準武器如「硫磺」（Brimstone）反戰車飛彈、SPEAR 空對地飛彈等，進入未來的陸站整合體系當中，其中陸海基共通的「通用模組化防空飛彈」（Common Anti-Air Modular Missile, CAMM）陸射型將成為其未來野戰防空系統核心。²²

此外，針對德國聯邦國防軍（Bundeswehr）在「獵豹防砲戰車」（Flakpanzer Gepard）退役後野戰機動防空能力的空隙，提出以「拳師犬裝甲車」（GTK Boxer）為載台，整合其先進 35mm「天空突擊兵」（Skyranger）防砲系統作為機動防空及對抗無人機集群（Swarm）的解決方案，並會在未來進一步整合高能雷射（HEL）成為完整系統，應可與萊茵金屬公司為聯邦國防軍提出的「近短程防空系統」（Nah- und Nächstbereichsschutz，包含多種感測系統、IRIS-T 空對空飛彈陸射機動型及人攜式刺針飛彈）進一步整合，成為德國陸軍重建能力計畫中的野戰防空體系。²³

不僅德國，在對抗無人機及 C-RAM 需求上，雷射等定向能武器（direct energy weapons）將是成本低廉且高效的選擇。目前美國、中共、俄羅斯及歐洲多國都有相關的雷射武器計畫，前述美國陸軍的 IM-SHORAD 計畫中，就包含了 50kW 功率雷射的系統，這種同樣以史崔克裝甲車搭載的防空系統，預計將在 2022 年時完成 4 輛原型車，成立第一個排展開測試；美軍另外也預期在 2022 年時完成 300kW 車載雷射系統的測試系統，並進行示範射擊，300kW 的功率預期將可擊落巡弋飛彈。²⁴

²² Robin Hughes, "MBDA leverages Complex Weapons portfolio in support of British Army CF (L) 35 initiative," *Jane's Missiles & Rockets*, March 12, 2020.

²³ Nicholas Fiorenza, "Rheinmetall offers to close Bundeswehr's mobile SHORAD gap," *Jane's Defence Weekly*, October 6, 2020.

²⁴ Sydney J. Freedberg Jr., "Army Starts Construction On Prototype Lasers," *Breaking Defense*, August 4, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/08/army-starts-construction-on-laser-prototypes/>.

四、無人載具發展

在各國對未來陸軍結構的想像中，無人載具都是其中的重要要素，如美國在下一代戰鬥車輛（Next-Generation Combat Vehicle, NGCV）中所規劃，將與有人車輛整合之無人地面載具（unmanned ground vehicle, UGV）「機器人作戰載具」（Robotic Combat Vehicle, RCV）。美軍規劃的 3 種 RCV 中，輕型的 RCV-L 已在 2020 年 3 月選擇匡提科（QinetiQ）北美分公司與 Pratt & Miller 公司製造原型車，並在 COVID-19 疫情蔓延的情況下，仍準時於 2020 年 11 月 5 日交付，美國陸軍並選擇為其配備康斯堡（Kongsberg）公司的 CROWS-J 遙控武器站，此款 RCV-L 衍生自提供給美軍陸戰隊測試的 UGV「遠征模組化自主車輛」（Expeditionary Modular Autonomous Vehicle, EMAV），²⁵ 美國陸軍選擇已發展多年的較成熟系統，應可大幅減低研發風險及服役時程。

此外，美軍為獲選 RCV-M 原型車的德事隆（Textron）公司「粗鋸齒」Ripsaw M5，同樣選擇配備康斯堡公司的產品：MCT-30 中口徑（medium caliber）遙控武器站，預計康斯堡將為 RCV-L 及 RCV-M 的武裝系統建立一個共通架構。²⁶ 此外，美軍陸戰隊正檢討將舊式 LAV 裝甲車改裝為無人車輛的可能，²⁷ 這也顯示舊式地面載台可能在無人化的未來戰場，或可在改裝為 UGV 後尋得新的運用方式。

愛沙尼亞米爾倫（Milrem）公司在推出頗受矚目的高性能 UGV「THeMIS」後，在 2020 年同樣將進一步開發「機器人戰鬥車」。米爾倫計畫開發一款具備一定程度自動導航能力，能成為主戰車或步兵戰鬥車版「忠誠僚機」（loyal wingman）的 RCV，配備中口徑火炮，並將具備能與中型目標（如具備可防禦 50 mm 口徑彈藥之防護能力的車輛與軟目

²⁵ “QinetiQ and Pratt Miller Deliver First Robotic Combat Vehicle - Light to U.S. Army,” QinetiQ, November 11, 2020, <https://www.qinetiq.com/en-us/news/first-robotic-combat-vehicle-light>.

²⁶ Ashley Roque, “Kongsberg’s MCT-30 bound for US Army’s RCV-M prototypes,” *Jane’s Defence Weekly*, July 1, 2020.

²⁷ Ashley Roque, “USMC looking to convert LAVs into robots,” *Jane’s Defence Weekly*, September 9, 2020.

標)接戰的能力,這些 RCV 的操作員將坐在特製的指揮運兵車內,並依地形在 1~3 公里外遙控這些車輛作戰;由於先前已有研發「TheMIS」的豐富經驗,米爾倫公司預期可在 3 年內開發出此系統。²⁸ 米爾倫公司也延續過去經常與多國進行 UGV 合作研發的策略,近期更與以色列 UVision 合作,裝置該公司的 Hero 系列自殺無人機,到較重型的新式 TheMIS Type-X UGV 上,²⁹類似的 UGV 及 UAV 的整合先前也曾見於其他系統,如德國萊茵金屬的「任務大師」(Mission Master)與波蘭製「Warmate」自殺無人機的整合。

另外,繼德國與法國將共同研發下一代 MBT 後,近期美國對下一代 MBT 規劃的資訊也逐漸出現,「可選擇載人戰車」(Operationally Manned Tank, OMT)目前至少有三種可能的方案,構型及尺寸皆近似於傳統 MBT 的外貌,預期將可由裝甲兵操作,或是遙控成為無人戰車,然其規格、搭載武器、防護能力等各種技術指標的討論,仍待進一步觀察。³⁰

肆、小結

從前述技術中的發展能注意到,當前各國由於重新將作戰想定與需求重新調整回「大國衝突」的作戰環境,因此在地面作戰科技上的諸多發展趨勢,其實與台灣的需求逐漸能夠相互配合。

然而,台灣的資源與預算相較於美國及西歐各國極其有限,在兵力的投資發展上按照需求及能力的空隙,以及急迫程度訂定優先順序,以求提高軍力整建效率至關重要。若從不對稱作戰及對加強持久防衛能力的需求來看,部隊的生存性及野戰防空能力勢必須緊急強化,尤以前者為甚,能

²⁸ Melanie Rovey, "Tank buddy: Milrem Robotics unveils RCV concept," *Jane's International Defence Review*, May 19, 2020.

²⁹ Robin Hughes, "UVision, Milrem team for UGV-mounted Hero loitering munition solutions," *Jane's Missiles & Rockets*, October 9, 2020.

³⁰ Kyle Mizokami, "What Will the Army's M1 Abrams Tank Replacement Look Like?," *Popular Mechanics*, November 6, 2020, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a34588107/army-m1a2-abrams-tank-replacement-clues/>.

在中共的海空優勢兵力下，如台灣的地面部隊能同科索沃戰爭中的塞爾維亞部隊般，成功在優勢火力下防護，並保存絕大多數的戰力，則本身就能造成相當的嚇阻能力，同時為後續的國土防衛任務建立更有力的基礎。

壹、前言

現代軍事作戰依賴一系列的通訊裝備，用在廣範圍的電磁頻譜上，這允許武裝部隊彼此進行交談、傳輸資料、提供導航或及時訊息，以及指揮及管制世界上任何地區的部隊。同時也藉此瞭解敵人部隊在何處、做什麼，以及友軍在何處、武器取得何種效果。因此現代軍事單位都希望透過電子戰來主導電磁頻譜。可以說，若掌握電磁頻譜，就掌握戰場優勢。制電磁權的優勢包括：新式的感測系統、能夠快速掌握戰場環境、新式雷達、發展新一代雷達必要的電子、軟體、人工智慧等技術、空載式預警及管制系統、新一代電子戰環境，以及多領域的指揮管制等。

貳、新世代感測系統

感測系統是現代戰場的基礎，相關技術包括未來雷達系統、電子掃描雷達體系。未來雷達系統除運用新的半導體元件外，也應用機器學習、人工智慧等技術，同時也透過寬頻傳輸等技術，將多重感測器加以融合，使得新一代雷達的功能遠較過去舊式雷達強大，且更能掌握戰場的情況覺知。

一、未來雷達系統

由於微波、資訊、半導體、大型積體電路等各領域的發展快速，近年雷達系統發展快速，其工作頻率、頻寬、解析度都較過去提升，不僅是軍

* 舒孝煌，國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所助理研究員。

用，民用領域雷達發展也頗為快速，大量應用在交通、城市、物聯網、健康、民航、航海、安全等領域。另外，雷達領域也融入人工智慧，更先進的系統則可融合多種感測器，包括光學、紅外線、聲學、被動偵測系統等等，從而達成對周邊環境的 360 度不間斷監控。

目前雷達發展的主流是主動電子掃描雷達（AESA）拜半導體元件創新之賜，氮化鎵（GaN）元件可比矽以更高的效率傳導電子，並承受更高電場，因此已逐漸取代矽元件，運用在射頻系統上，特別是電子掃描雷達，因為此類型雷達的天線陣列必須包含上百甚至上千個天線單元，每個單元都具備獨立訊號發射及接收能力，每個發射及移相單元只負責掃描其指向區域，各單元可以分成不同區塊獨立發射波束，擔負不同任務，甚至可用來傳輸資料。由於其圖像解析度、發射功率更佳，目前主動電子掃描雷達已成軍用雷達的主流，在戰鬥機方面，如 F-22 的 APG-77、F-16E/F 的 APG-80、F-35 的 APG-81，以及最新的 APG-83 雷達，都是主動電子掃描雷達。而使用氮化鎵元件，可以縮小雷達的尺寸，並減少冷卻的需求，仍可確保最佳的輸出功率。¹

除了發射單元外，高速資料轉換器（High-Speed Data Converter），可以為雷達提供更高動態範圍及頻寬，使 5 代戰機如 F-35 能偵測更遠目標，實現低截獲率（low probability of intercept, LPI），並增加空間解析度；現場可程式化邏輯閘陣列（FPGA）技術運用機器學習（Machine learning）技術，可提升雷達對環境的感知能力，自動適應最佳工作參數，並實現對目標的自動識別。未來雷達也將運用高頻寬資料匯流排，以寬頻資料鏈將各感測器的資料集中處理，以進行各感測器的資料融合（Sensor Fusion），其典型即 F-35，其整合式核心處理器的資料來自多個感測器的資料，這可大幅提高飛行員對戰場情況覺察的能力。²

¹ “4 Game-Changing Underlying Technologies for Advanced Radar,” NATIONAL INSTRUMENTS, August 27, 2019, <https://www.ni.com/zh-tw/innovations/white-papers/18/4-game-changing-underlying-technologies-for-advanced-radar.html>.

² “4 Game-Changing Underlying Technologies for Advanced Radar,” NATIONAL INSTRUMENTS, August 27, 2019, <https://www.ni.com/zh-tw/innovations/white-papers/18/4-game-changing-underlying-technologies-for-advanced-radar.html>.

其他新一代的雷達或通訊技術，包括發展新型的專利微波射頻積體電路，可以在業界領先的頻率下運行，以開發軟件定義的無線電的高級應用程序。³ 這種「軟體定義無線電」（Software Defined Radios, SDR）將幫助改變軍事態勢感知的速度，從而加快決策和行動的速度。SDR 藉著將軍方各種頻譜資產上的資料、語音和視訊等通訊的方式加以數位化，並融合到一個通信設備中，從而使作戰空間中的指揮官和作戰人員同時可以使用這些模式。軍方希望 SDR 的應用，能包括性能更好的訊號情報（SIGINT），情監偵（ISR）和通訊技術，但這就需要軟體開發人員，在不依賴硬體情況下，便能使用低於 6 吉赫或高於 30 吉赫的頻率，若無此能力，SDR 的運用會受限制。

二、空載有人及無人感測器平台

地面雷達系統常受制於地形地貌，或是地表曲率限制，無法涵蓋完整空域情況，需依賴部署在空中的早期警戒雷達。許多國家常配備電子偵察機或多用途巡邏機，執行偵察、電戰、空中預警、巡邏等任務，通常是以民航客機、運輸機或是轟炸機等進行改裝，或發展專門載台執行任務，如 E-2、P-3 等。現今因為無人機普及，與有人機相較，機組乘員有執行任務的時間限制，無人機則僅有其自己的航程限制，可以長時間滯空，地面站的操作人員可以輪班，因此空中巡邏任務便可延長至 24 小時以上甚至更久，使用國可以對其周邊海、空域不間斷的空中監控，這些任務可以包括空中預警、反水面戰、反潛作戰、人道救援、災難救助、搜索救援、空中執法、海洋安全、空載反水雷任務，端視其所搭載的任務莢艙或系統而定，其任務又不限於軍事，執法單位、科學研究單位也常使用無人機執行任務，例如 MQ-9A「收割者」（Reaper），除獵殺任務（Hunter-Killer）外，也可執行情報、監視及偵察等軍事任務；更大型的 RQ-4「全球鷹」

³ “More Bandwidth for Software Developers Means Better Apps for SIGINT/ISR/Comms,” Breakingdefense, October 28, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/10/more-bandwidth-for-software-developers-means-better-apps-for-sigint-isr-comms/>.

（Global Hawk），配備合成孔徑雷達、紅外線／光電模組（EO/IR），主要任務即是對廣大空域進行長程、長時間的監控，海軍版的 MQ-4C 海神（Triton，希臘神話中人身魚尾的海神），主要任務則在搭配 P-8 海神（Poseidon），進行廣範圍的海上監視任務，機上配備 AN/ZPY-3，為一種 X 波段操作的多功能主動電子掃描雷達，採用商規開放式架構，並配備自動偵測及迴避系統，以便偵測及迴避其他飛機。

以國軍即將獲得的 MQ-9B 海洋守護者（Sea Guardian）為例，使用客戶即包括美國航空太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA），用於科學研究，如太空船返航觀測、次軌道科學實驗，也協助進行森林火災觀察；美國海關及邊境保護局（U.S. Customs and Border Protection, CBP），擁有 9 架 MQ-9A，配備合成孔徑雷達及光電偵蒐系統，用於邊境巡邏，查緝非法走私、非法移民或恐怖分子的偷渡行動，另也配備 MQ-9B，以其機上的 SeaVue 海上搜索雷達執行海上目標搜索；美國中央情報局（Central Intelligence Agency, CIA），用於偵察及監控，其他使用者尚包括英國、法國、荷蘭、澳洲、印度、日本等國。

在有人機的空中巡邏部分，軍用的 E-3「哨兵」（Sentry）是以波音 707 客機為基礎發展，737「楔尾」（Wedgetail）則以 737 客機為載台，海軍的 E-2「鷹眼」（Hawk Eye）則是為艦上起降而發展。不過近年的趨勢則是使用商務機或中小型區間客機作為載台，考量到任務效率及飛行成本，機體比大型民航機要小、飛行操作較靈活、操作成本較低，新一代商務機具備數位化座艙，已在民間公司擁有豐富使用經驗，而且機體改裝彈性大，成為改裝新一代電偵或巡邏機的適當選項。

商務機或區間客機改裝電偵機或巡邏機，主要是針對中小型國家，不具備特異新潮的設計或前瞻概念，而是以實用化與成本效益出發。不過因電子技術進步，已經可以配備先進的雷達與光電感測系統，或以戰鬥機用的電子掃描雷達改裝的莢艙，例如以 APG-80 或 APG-81 雷達為主體的監視系統莢艙，除執行海洋巡邏，執行反恐或查緝走私，以及搜救、環境保護、災害監控等多樣化任務。

美國陸軍的「空載偵察目標發現多任務情報系統」(Airborne Reconnaissance Target Exploitation Multirole Intelligence System, ARTEMIS)，就是這種電偵機最新的一種，今年7月首度部署在印太司令部轄區。這是陸軍第一種空載情監偵飛機，目前仍處於實驗性部署性質，驗證其作戰能力。⁴

ARTEMIS 以龐巴迪 (Bombardier) 公司的挑戰者 (Challenger) 650 商務機為載台，這型機或其衍生型也普遍用於其他類型的載台。其動力為2具渦輪扇噴射發動機，時速893公里，航程遠達7,400公里，巡航高度3萬7,000呎，可搭載12名乘員。

ARTEMIS 由美國陸軍航空計畫執行辦公室 (Program Executive Office Aviation) 負責，但是由民間公司操作，屬「合約商擁有及操作」(COCO) 模式。用以提供由高高度對鄰近地區敵方目標的即時偵測能力，並彌補多領域作戰 (Multi-Domain Battle) 的情監偵能力缺口。長程火力是陸軍多領域作戰概念中六項優先發展計畫的第一項，美國陸軍希望發展其遠程打擊能力，在太平洋地區擔負「由陸制海」的角色，未來甚至可能配備射程500公里的精確打擊飛彈，或1,000公里以上的極音速武器，但需要一種能夠自主控制，越地平線進行目標蒐獲及標定的偵測平台，不需依賴海空軍的情監偵平台。⁵

ARTEMIS 機上搭載高精確度偵測及運用系統 (High-Accuracy Detection and Exploitation System, HADES)，結合強力對地掃描雷達，以及敏感的電子情報接收器，這是美國陸軍多領域感測系統的一部分。雷達可用以發現地面移動目標如戰車等，亦可能用於偵測海面船艦。在4萬呎高度時，這些感測器可在數百英哩外進行全方位掃描。⁶ HADES 系統將可

⁴ 舒孝煌，「美國陸軍在西太平洋部署電偵機意涵」，國防安全研究院，2020年9月8日，https://indsr.org.tw/tw/News_detail/2235/%E7%B5%B0%E5%9C%8B%E9%99%B8%E8%BB%8D%E5%9C%A8%E8%A5%BF%E5%A4%AA%E5%B9%B3%E6%B4%8B%E9%83%A8%E7%BD%B2%E9%9B%BB%E5%81%B5%E6%A9%9F%E6%84%8F%E6%B6%B5。

⁵ “U.S. Army Deploys its New ARTEMIS ISR Aircraft to Indo-Pacific Region,” *Defpost*, August 14, 2020, <https://defpost.com/u-s-army-deploys-its-new-artemis-isr-aircraft-to-indo-pacific-region/>。

⁶ “A New Spy Plane Could Spot Targets For The U.S. Army’s Thousand-Mile Weapons,” *Forbes*, August 2020, <https://www.forbes.com/sites/davidaxe/2020/08/13/a-new-spy-plane-could-spot-targets-for-the-us-armys-thousand-mile-weapons/?sh=fca90842b876>。

滿足美國陸軍對於支援多領域作戰的「深度感測」（Deep Sensing）需求。

陸軍預計從 2023 年開始採購此型電偵機，不過最終使用的機體載台還未正式決定，或許會改用更大的飛機，例如波音 737 或灣流 550（Gulfstream 550）。

在其他軍種部分，空軍準備淘汰老舊的 E-8C 聯合監視目標攻擊雷達系統（Joint Surveillance Target Attack Radar System, JSTAR），計畫改以發展先進戰鬥管理系統（Advanced Battle Management system, ABMS），建立聯合空中及地面的戰場情報蒐集網路，但美國國會反對將 E-8 退役，未來美國空軍可能也會發展一種較具經濟效益的飛機來取代 E-8。

其實美國海、空軍也在運用商務機作為電戰平台，美國海軍在 2018 年接收 NC-37B，供飛彈追蹤任務使用，機體為 G550；美國空軍在 2017 年將 EC-37B 改裝為電戰機，C-37 即為 G550 的軍用型號。

許多國家早以商務機改裝電偵或預警機，以色列航太（IAI）旗下的艾爾它公司（Elta）公司也以 G550 為載台，配備 ELW-2085 電達作為早期預警機；另有也是以挑戰者 650 改裝的 ELI-3360 海洋巡邏機；在電子情報上，也使用挑戰者 650 改裝，發展 ELI-3120 情報監視機及 ELI-3001 空載整合式電子訊號情報機。新加坡空軍早在 2009 年即以 G550 CAEW 預警機，取代從 1987 年即已服役的 E-2C，即使用以色列航空工業的 ELW-2085 適形相位陣列雷達，其航程達 6,750 哩，耐航時間長達 8 小時，除了長程空中監視及空域管制，也可作為空中及海上的指管通情（C4I）平台、網路化作戰，以及通訊節點。澳洲空軍也在 2019 年接收 4 架 G550 CAEW，賦予編號為 MC-55A 遊隼（Peregrine），作為其下一代電子戰平台。

除了商務機外，也有使用渦輪螺旋槳為動力的民航機作為改裝平台，包括歐洲的空中巴士，以 C295 作為平台，也使用艾爾它的 ELW2085 相位陣列雷達，但是以圓盤式裝置在機背上，能有比裝在機身兩側有更佳涵蓋範圍。C295 雷達內部其實是單片式天線，再加上一片獨立的敵我識別天線，以傾斜方式裝置在圓盤天線罩內，以比 E-2 快 2 倍的旋轉方式掃瞄。⁷

⁷ “A New Era for ASuW/ASW Airborne Platforms?” *European Security & Defence*, September 19, 2019, <https://euro-sd.com/2019/09/articles/14468/a-new-era-for-asuw-asw-airborne-platforms/>.

ATR (Aviones de Transport Regional) 公司也以 ATR 42 及 ATR 72 作為海洋巡邏機，配備 EOST 23 電子光學監視系統，Wescan 感測器轉塔，包括前視紅外線及長程電視攝影機，機腹下為雷神及德州儀器共同發展的 SV2022 360 度雷達，並使用 MIL STD 1553B/RS-422/ARINC429 資料匯流排。ATR72MP 已獲義大利空軍採用，被賦予 P-72A 的編號，以 ATR-72-600 雙螺旋槳區間客機作為平台，配備敵我識別、慣性及衛星導航、太康導航，感測系統包括 Star Safire 高解析度光電系統、李奧納多的 Seaspray7300E 電子掃瞄陣列雷達，及 ELT800V2 電子反制系統，任務包括海洋巡邏、水面船隻搜尋及追蹤、經濟海域巡邏、指揮管制、電子情報、搜索救援、海盜防範、毒品與人口走私查緝等。

另外，瑞典紳寶公司 (SAAB) 也以 SAAB340 及 SAAB2000 低單翼螺旋槳客機改裝，執行海洋巡邏任務，SAAB 2000 AEW&C 使用新一代 Erieye 雷達，可以掃瞄小型的空中及海面目標，掃瞄距離可達 450 公里；龐巴迪 Q400 與 Dash-8 巡邏機使用多用途的 ELI 3600 空載系統，一具海洋監視、繪圖及追蹤雷達，Dash-8 Q300MPA 是由加拿大的 Provincial Aerospace 公司改裝，作為海洋巡邏機，提供阿拉伯聯合大公國執行海洋交通安全任務。

其他使用螺旋槳區間客機改裝的產品，尚有 C212 及 CN-235，越南海事警察曾採購 3 架 C212-400 巡邏機，用在海岸監視、非法捕漁、毒品走私等任務。印尼航太公司 (IAe) 發展的 CN235-220 MPA，因使用成本低廉，有二十餘國採用 CN-235 作為巡邏機，美國海岸巡防隊也使用 CN-235。商用機改裝的電偵機或巡邏機，除軍事用途外，也可用在國土安全、邊界保護、災害管理及緊急空中交通管制等平時任務，使用範圍極廣，這也是商用機改裝巡邏機的最大特點。

參、電磁作戰

電子戰是一種使用電磁能控制電磁頻譜 (electromagnetic spectrum) 並攻擊敵人的軍事行動，頻譜則指電磁波能量的範圍。電子戰也包括讓我

方軍事指揮官藉通訊指揮部隊，並阻止敵方藉電磁頻譜進行通訊，因此電子戰也被認為是反介入／區域拒止（A2/AD）戰略的一環。從雙向無線電被運用在軍事上以來，軍隊已越來越依賴電磁頻譜，現在幾乎擴大到所有武器系統，包括：與友軍部隊通訊、戰術資料鏈結，雷達和衛星通信的戰術微波、用於標定敵方的紅外線，以及各種運用在通訊、傳遞資料，甚至是摧毀敵人的雷射等均屬之。⁸

現代軍事作戰依賴一系列的通訊裝備，用在廣範圍的電磁頻譜上，因此現代軍事單位都希望透過電子戰來獲得電磁頻譜優勢。電子戰可以分為三大類：

一、電子保護

涉及採取行動，以保護我軍人員、設施、裝備，避免因敵軍或我軍使用電子手段使我方戰鬥能力被降級、中程或摧毀，這包括電磁頻譜管理、電磁強化、傳輸器管制等。

二、電子攻擊

使用電磁能來減少或拒止敵人電磁頻譜的使用，其中包括電磁干擾（如自我保護干擾裝置或是距外干擾）、定位、導航及即時拒止、電磁欺騙、直接能、反輻射飛彈、消耗性措施如熱焰彈、干擾絲等。

三、電子支援

尋找、識別、分類及標定屬於友好或敵方部隊的發射源，並分辨其威脅、目標、計畫，以保護我軍部隊，或發展拒止敵方運用電磁頻譜的計畫。這些項目彼此可以互相支持，電子支援裝備同時可以對友軍及敵軍的

⁸ “Defense Primer: Electronic Warfare,” CRS Report, December 30, 2019, <https://crsreports.congress.gov>.

電子發射裝置進行評估，這些資訊可以用來發展電子保護計畫，以維持對電子頻譜的運用，或是發展一項攻擊計畫，以拒止敵方的運用。例如雷達干擾可以產生保護效果，使友軍可以穿透具有良好防護的空域，並防止敵方獲得完整戰場圖像。⁹

電子戰已受到各國廣泛重視，由於電子及資訊技術的發展，電子戰的意義已被擴大。另外，俄羅斯及中國都在快速發展其電子戰技術，一方面電磁操作環境日益擁擠，而商業寬頻技術廣泛用於經濟增長及繁榮，進一步限制軍事上的使用。

美國參謀首長聯席會議 2020 年 5 月發布的《聯合電磁頻譜作戰》（*Joint Electromagnetic Spectrum Operations*）認為，就如同在真實或網路空間一般，部隊要在電磁頻譜中進行機動並作戰，以實現戰術、作戰及戰略優勢。在電磁頻譜中的機動與行動自由，對美國及多國作戰至關重要。《聯合電磁頻譜作戰》將確保在承平時與地主國協調，充分運用電磁頻譜，當危機升高至武裝衝突時，由協調轉為聯合軍事行動，以利用、攻擊、保護及管理電磁作戰環境。

另外，美國國防部 10 月也公布《電磁頻譜優勢戰略》（*Electromagnetic Spectrum Superiority Strategy*），指導如何發展電戰能力，並在複雜的電磁環境中獲致優勢。該《戰略》認為美國對手已經投資先進的干擾能力和定位系統，可以根據電磁頻譜的發射來瞄準部隊，這使大型指揮基地變得脆弱。該戰略列出 5 個目標，包括：

1. 開發優越的電磁頻譜能力。
2. 演變為敏捷且完全整合的電磁頻譜基礎架構。
3. 在電磁頻譜中尋求全面的部隊戰備。
4. 建立持久的合作夥伴關係以獲取電磁頻譜優勢。
5. 建立有效的電磁頻譜治理。

⁹ “Defense Primer: Electronic Warfare”, Congressional Research Service, December 30, 2019; Department of Defense, Joint Publication 3-13.1, Electronic Warfare, February 8, 2012.

美國陸軍在多領域作戰環境下，將會面對一系列複雜的傳統及非傳統目標，包括擴大範圍的網路和機動防空系統，以及拒止對手行動自由的中長程火力系統。為保持優勢，陸軍航空部隊必須保有一支先進的有人和無人飛機團隊，進行偵察、監視、目標獲取和殺傷力的現代化，這是其「未來垂直舉升」（Future Vertical Lift）現代化工程的一部分，這需要發展未來攻擊偵察直升機。此一作戰方式將能在敵方的反進入／區域拒止（A2/AD）環境下進行滲透、分解和利用，該環境包括整合式防空系統、監視和目標系統，命令和管制能力，以及通訊技術。它將通過一系列空載式裝備來達成，包括一系列大型和小型的無人機或已空投系統，能夠偵測、識別、定位和報告威脅，同時還提供非致命作戰效果。預計發展方向包括：

1. 電子戰任務的硬體。
2. 用於分散式協同團隊功能的硬體、軟體或技術，包括處理技術、網路保護和資料鏈，以實現對空射式的指揮管制。
3. 可以融合、處理、決策，並根據感測器數據採取行動的軟體或演算法，使空射效應可以自動做出反應並適應對策。
4. 多模組／多功能技術，由合成孔徑或移動目標標定雷達，或具有共同孔徑的聯合電子戰，雷達和通信功能組成。
5. 模組化開放系統架構。

肆、多領域指揮管制

作戰指揮官的夢想是能即時獲得最清晰的戰場情況，並且即時下定決策，當他需要資料時，可以像網際網路一般，直接找到他需要的資料，這些資料從所有可取得的感測器上下載，這樣可以將感測器—指揮者—射手間的連結速度更為緊密。

一、聯合全領域作戰概念的發展

「聯合全領域指揮管制」(Joint All-Domain Command and Control, JADC2)是美國國防部正在推動中的新作戰概念，其目標是連接分散在空軍、陸軍、海軍、陸戰隊和太空部隊等各軍種的所有感測器與射手(Shooter)，取代現有各領域及控制系統，建立一套單一系統，能將資料分發至所有領域，包括陸、海、空、太空、網路，以最佳方式提供必要資料，反應現有威脅。¹⁰ 未來，陸軍指管節點可以將目標資訊提供給更適合實施打擊的不同作戰飛機或船艦，透過一個名為「戰術情報目標介入節點」(Tactical Intelligence Targeting Access Node, TITAN)，藉使用 F-35 或是神盾系統的資料，陸軍使用一種新的戰術空間技術，可以改善在多領域作戰中的任務指揮，運用高高度、太空或地面的不同層次感測器，可以提供有用的資料供發射網路利用。

在美軍傳統上，各軍種都開發自己的戰術網路，一個軍種的戰術網路與其他軍種的網路並不兼容，例如陸軍網路無法與海軍或空軍網路對接。現行的決策模式分析作戰環境並發布命令，可能需要數天時間，但未來衝突可能需要在數小時、幾分鐘，甚至幾秒之內做出決策。美軍現有的指揮管制架構不足以滿足國防戰略的要求。

「全領域作戰」(All Domain Operations)將使美軍在全球領域作戰時獲致極大優勢，這可使美軍具備在一次衝突或危機中無縫結合及有效指揮與管制所有領域的能力。「全領域作戰」結合太空、網路、嚇阻、運輸、電磁頻譜、飛彈防禦等，並將這些能力在全球結合起來，以與全球的競爭者在各領域競爭。這不僅需要新技術，還需要新的概念。這些概念在近幾年中迅速發展，從「多領域戰鬥」(Multi-Domain Battle)到「多領域作戰」(Multi-Domain Operations)，乃至現在的全領域作戰。

2019 年秋天，美國 4 個軍種，以及參謀首長聯席會議為全領域作戰創建新的聯合作戰概念。此概念包括空中、陸地、海上、太空、網路，電

¹⁰ “Joint All-Domain Command and Control (JADC2),” MDAA, June 30, 2020, <https://missiledefenseadvocacy.org/defense-systems/joint-all-domain-command-and-control-jadc2/>.

磁頻譜，以及美軍未來需要運用的一切。與現況相較，最大區別是增加太空及網路，即太空司令部和網路司令部，可在任何危機或衝突中，在太空及網路這兩個領域中指揮作戰，而戰區司令部傳統上負責協調特定地區的空中、海上和陸地作戰。

全領域作戰概念包括全球火力，武器包括有形（如飛彈）及無形（網路），可以由戰區之外投射，另外再增加包括全球計畫（global plans）、非火力式的全球行動（global operations short of fires）、訊息傳遞的全球整合（global integration of messaging），以及全球嚇阻整合（global integration of deterrence）等 4 項新要素。全球計畫不僅是傳統作戰計畫，尚包括危機快速反應、不含火力的全球行動，亦即在承平及戰爭光譜中間的「灰色地帶」，軍隊均可以處理，包括以行動及言詞對盟邦提出保證，並嚇阻對手；全球整合式的嚇阻包括所有手段的運用，包括威脅使用核武，這將使潛在敵人在發動攻擊前需再三考量。

二、各軍種的全領域合作

美國陸軍與空軍在 2020 年時簽訂協議，定義數據共享和軍種介面的共同標準，在最「基本級別」上建立全領域聯合指揮管制。¹¹ 由國防部整合與需求辦公室（A-5）領導，陸軍未來司令部和空軍戰略辦公室將儘快向作戰人員交付全領域指管能力，並增進對這項概念和能力的共同理解。

未來作戰節奏將更快，聯合部隊將擁有更多的感測器，以及更多的射手，而且比以前更廣泛地分散。在全領域聯合指管概念中，美軍每一個軍種中都可可在「網狀網路」中連接感測器、射手及指揮節點，作戰指揮官可以有更多選擇，並更快速採取行動。各軍種則必須學習如何對接，並運用聯合網路蒐集的數據、偵察和情報。

¹¹ “U.S. Army, Air Force Sign Collaboration Agreement for CJADC2 Development,” Defpost, October 2, 2020, <https://defpost.com/u-s-army-air-force-sign-collaboration-agreement-for-cjadc2-development/>.

該計畫將把陸軍的「融合計畫」(Project Convergence)與空軍和太空軍的先進戰場管理系統(Advanced Battlefield Management System, ABMS)結合。這兩項計畫的目的,都在幫助更快地做出明智的戰場決策。「融合計畫」是陸軍合併其聯合部隊能力,並與技術變革保持同步的計畫。2020年時,美國陸軍已在亞利桑那州的猶馬試驗場完成「融合計畫20」演習,測試人工智慧的能力,以及從空中、太空和地面感測器傳輸訊息的能力。

空軍的「先進戰場管理系統」則是使聯合部隊能夠快速蒐集、分析和傳輸數據。「先進戰場管理系統」是軍隊的網際網路,操作者選擇重要資料進行傳輸,以及讓其他人能夠訂閱以獲取需要的訊息。各軍種、盟軍和夥伴都能連接網路,並以機器速度共享訊息。

隨著國防部強化改進聯合軟體的努力,空軍和海軍也以新的方式聯結作戰資產。海、空軍已在2019年簽訂類似合作協議,並進行一系列實驗,設法將未能結合的作戰能力結合在一起,包括經由太空將情報、監視、偵察與指揮管制以及射手相連結、編寫演算法、設置通用架構,使擊殺鏈中的機器與機器連結,而在這項循環中,操作武器的射手仍是由人員操作。

美國空軍中央司令部及美國海軍已在2020年9月,於波斯灣合作進行一場海上水面戰(AOMSW)演習。¹²美國空軍參演部隊包括332空中遠征聯隊,派遣F-15E戰機參加,另包括空軍中央司令部聯合空中作戰中心;海軍作戰單位則包括F/A-18F「超級大黃蜂」(Super Hornet)戰機、MH-60R「海鷹」(Sea Hawk)和MH-60S「夜鷹」(Night Hawk)直升機,另外還包括勃克級飛彈艦邱吉爾號(USS Winston Churchill),P-8巡邏機則負責指揮管制,海岸巡防隊的艦艇也參加這項演習。

聯合全頻譜作戰是一項複雜的任務。這項演習驗證海空兩軍的多領域整合,以及快速指揮和管制。美軍已進行多次類似演習,但從指揮和管制

¹² “USAF, Navy Practice Joint Air Ops over Persian Gulf,” *Airforcemagazine*, September 29, 2020, <https://www.airforcemag.com/usaf-navy-practice-joint-air-ops-over-persian-gulf/>.

角度來看，這是規模最大也最複雜的一次，這使美軍艦艇、飛機和人員能在受限制的環境中，以更高的複雜度來實施協調的防禦戰術和機動。

目前美軍離全領域整合還有一大段距離。「聯合全領域指揮管制」可將所有感測器、通訊系統、運用資料融合（Data fusion）技術的發動機、潛艦、AH-64 攻擊直升機、F-35 戰機、P-8 巡邏機、水面船艦或是軌道衛星等各項作戰單元，都能回饋目標資料給任一武器，以確保對一項威脅實施最有效、最致命的反應。¹³

這項大膽構想可將美軍聯合作戰能力提升至新水準。在這之前，每一個軍種訓練、裝備及提供完訓部隊，接著由聯合參謀及戰區司令部加以結合，確保部隊、通訊、武器系統可以協同作戰，或至少可以兼容。美軍現在的聯戰機制已將陸、海、空軍整合，全領域作戰則建立在這項基礎上，「全領域作戰」是將現有的聯戰基礎擴充至陸、海、空，加上太空及網路空間。

美軍現在對太空和網路的運用方式雖有所不同，但就如同其他形式的軍事力量一樣，各有自己的交戰規則、特有的機動形式、自己對衝突產生影響的方式。雖然太空與網路和其他領域不同，但如果只看執行面，也就是武器指揮與管制的問題。

為釐清未來聯合作戰途徑，美國已進行兩次重要的兵棋推演，稱為「全球整合演習」，模擬與俄羅斯和中國的戰爭，不過並不清楚是涉及兩國的單一方案，抑或是兩個單獨方案。這些是全球性衝突，集中於世界的某個地區，涉及所有作戰司令部和所有領域，美軍可藉兵推查看其作戰領域的漏洞，並加以解決，或確知現行作戰方式尚無能力填補，這項「全球整合演習」兵推確實展示未來「全領域作戰」的重要性。

¹³ “Gen. Hyten On The New American Way of War: All-Domain Operations,” *Breakingdefense*, February 18, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/02/gen-hyten-on-the-new-american-way-of-war-all-domain-operations/>.

伍、小結

新一代感測系統結合新電子元件及積體電路技術、寬頻傳輸、機器傳輸或人工智慧等技術，大幅提升雷達及感測器能力。新一代有人或無人空載平台，可執行偵察、電戰、空中預警、巡邏等任務，協助強化情監偵能力。這些情監偵載台的整合，是美軍推動全領域作戰重要一環，不僅僅使用單一載台，在共通的網路架構中，能快速運用所有感測器的資源，才能發揮多領域優勢，使用最有利的作戰單元，達成作戰目標。現代電子戰已獲各國重視，俄羅斯及中國都快速發展其電磁頻譜戰能力，美國為確保在全領域作戰的優勢，結合陸、海、空、太空、網路及電磁頻域等各作戰領域，以及全領域指揮管制的的能力，將各領域無縫接軌，使美軍聯戰能力再向前擴展，以確保其最大的作戰優勢。

PART 3

新型態網路戰評估

第七章 網路電磁活動

第八章 複合型網路戰

第九章 關鍵資訊基礎設施

壹、前言

網路電磁活動（Cyber Electronmagnetic Activity, CEMA）為同時在網路空間（cyberspace）與電磁頻譜環境（electromagnetic spectrum environment）占據、保持並利用己方優勢，同時阻止、降低對手與敵方使用同樣手段的能力，保護任務指管系統。¹ 在複雜電磁環境（complex electromagnetic environment）下，網路作戰（cyberspace operation）、電子作戰（electronic warfare）、電磁頻譜管理作戰（spectrum management operation）三者合流，已是趨勢。過去美軍在伊拉克與阿富汗作戰時，可完全掌握網路空間與電磁頻譜，擁有絕對優勢，但在今日面對能力相當競爭者（near-peer competitor）所展現之複合能力，美軍於網路與電磁頻譜空間自由運用之優勢，便逐漸受挑戰。網路電磁活動的基礎在於戰場網路現代化，整合既有指管通情系統，並應用資通訊科技進展強化能力，形成不對稱之作戰優勢，而最終將面對未來大國軍事競爭之作戰行動。

貳、科技演進與新型威脅

一、戰場網路現代化得力於軟體定義無線電

以網狀化的指管通情系統（C4ISR）建立戰場共同圖像，縮短決策時間，取得先機，已成為現代戰爭的核心，而其中「看得到，打得到」的關

* 杜貞儀，國防安全研究院網路安全與決策推演研究所博士後研究。

¹ “Field Manual 3-38: Cyber Electronmagnetic Activity,” Department of the Army, February 12, 2014, <https://armypubs.us.army.mil/doctrine/index.html>; “Joint Publication 3-85: Joint Electromagnetic Spectrum Operation,” Joint Chief of Staff, May 22, 2020, https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_85.pdf.

鍵鏈結就是數位化的無線通訊。隨著商用無線通訊技術的快速發展，逐步由類比轉為數位，傳統通訊設備基於硬體電路定義的規格與功能，也因軟體定義無線電（software-defined radio, SDR）所帶來的革新，而有重大變革。數位訊號處理器（Digital Signal Processor, DSP）及現場可程式化邏輯閘陣列（FPGA）等可程式化之數位訊號處理元件普及，更加速軟體定義無線電的實現。² 軟體定義無線電的特點是具備多重規格支援與擴充彈性，可輕易重新配置，由軟體程式控制其載波頻率、發射功率、傳輸格式、頻寬、接取方式及通訊協議。也就是說，單一收發系統只需由軟體修改，即可支援不同標準規格，傳送並接收不同頻寬與規格的訊號。³

在應用上，軟體定義無線電以更低成本實現跳頻、展頻、無線網狀網路（wireless mesh network）等功能，可提升抗干擾（anti-jamming）能力，以保密機制強化通訊安全，並依實際需求重新調整。⁴ 過去 20 多年來，軍事裝備與系統廣泛採用軟體定義無線電技術，從根本改變無線電、雷達、GPS 系統與其他電磁系統的設計方式。以美軍為例，聯合戰術無線電系統（Joint Tactical Radio System, JTRS）計畫原先目標，即是建立能透過其軟體通訊架構（Software Communication Architecture, SCA）上傳即時新增使用頻率、模態（一般合稱為「波形」waveforms）的全軍通用單一軟體無線電系統。雖然後來 JTRS 計畫並未真正實現，但後續經大幅修正與部分項目取消後，有許多元素仍然可見於其他系統。如北約版的 LINK-16 數

2 “Software defined radios –overview and hardware (1),” *News from Rohde & Schwarz* (no. 182), 2004, https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_news_from_rs/182/n182_radiocomunit.pdf.

3 〈選擇 ASIC、FPGA、DSP 設計無線電系統的準則〉，《CTIMES》，2002 年 8 月 5 日，<https://www.ctimes.com.tw/DispArt/tw/FPGA/%25E5%258F%25AF%25E7%25B7%25A8%25E7%25A8%258B%25E8%2599%2595%25E7%2590%2586%25E5%2599%25A8/ASIC/%25E8%25BB%259F%25E9%25AB%2594%25E7%2584%25A1%25E7%25B7%259A%25E9%259B%25BB/DSP/0208051409BF.shtml>；陳逸民，〈軟體定義無線電技術與平台架構〉，中華民國無線電協進會，2014 年 2 月 19 日，<https://www.cra.org.tw/download/download.aspx?11>。

4 電磁頻譜管理與軟體定義無線電，另參饒廣衡，〈美國防部同意頻譜釋出與後續共享協議之意涵〉，《國防即時評析》，2020 年 8 月 27 日。

據鏈路 —— 多功能資訊分配系統（Multifunctional Information Distribution System, MIDS），其中的通訊組件：聯合戰術無線電（MIDS-JTRS）終端，即是相容於 JTRS SCA 的軟體定義無線電系統（圖 7-1）。隨著 JTRS 計畫改制為聯合戰術網路中心（Joint Tactical Networking Center, JTNC），JTNC 負責營運並維護全軍波形使用軟體（如 SCA）與相關文件的資訊儲存庫，並針對儲存庫資訊安全進行強化。⁵

軟體定義無線電的高度彈性，在 MIDS-JTRS 及其後續發展改良中展露無疑。MIDS-JTRS 為四通道無線電終端，涵蓋 LINK-16 數據鏈路、指管數位語音及戰術空中導航系統（Tactical Air Navigation System, TACAN，又稱太康）能力，並可新增其他協定，提供美國與盟邦在陸、海、空及聯合作戰下安全可靠的無線指管通信與數據鏈路環境。MIDS-JTRS 近期更新即是在既有的地空聯合作戰使用之士兵無線電波形（Soldier Radio Waveform, SRW）、寬頻網路波形（Wideband Networking Waveform, WNW）外，持續擴充以滿足未來聯合空戰網路 —— 戰術前緣（Joint Airborne Networking – Tactical Edge, JANT-Ed）需求。⁶

⁵ “JTNC Frequently Asked Questions,” Joint Tactical Networking Center, <https://www.jtnc.mil/About/JTNC-FAQ/>.

⁶ Barry Rosenberg, “US, Allies Getting Larger Airborne Network With New JTRS Radios,” *Breaking Defense*, July 18, 2019, <https://breakingdefense.com/2019/07/us-allies-getting-larger-airborne-network-with-new-jtrs-radios/>.

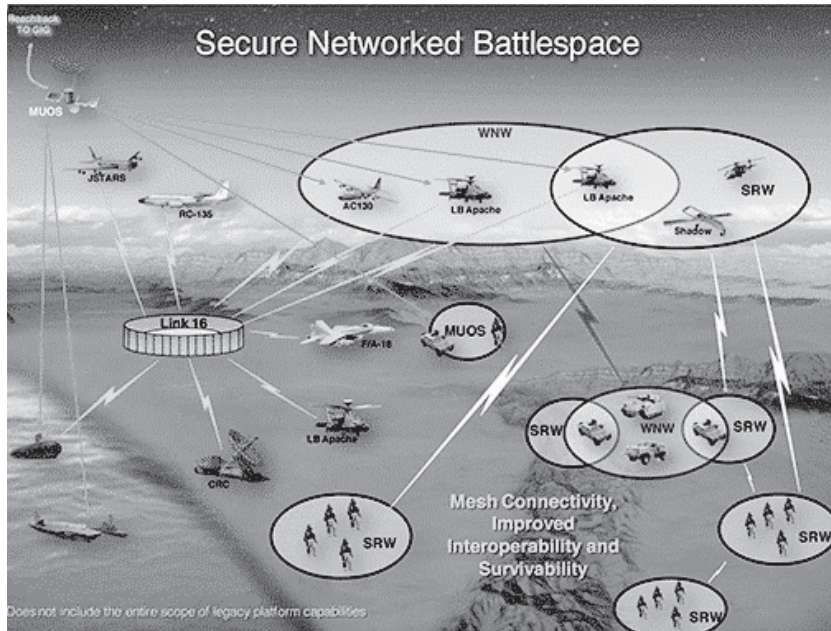


圖 7-1 由 MIDS-JTRS 構成之安全網狀化戰場環境示意圖

資料來源：S.S. Kamal and John T. Armantrout, "The U.S. Military's Joint Tactical Radio System," *CHIPS*, January-March 2013, <https://www.doncio.navy.mil/Chips/ArticleDetails.aspx?ID=4344>.

二、從「舒特」系統到網路電磁活動

然而，軟體定義無線電的強大能力，亦帶來新的潛在威脅。在軟體定義無線電變革以前，無線電、雷達或其他電子系統的主要威脅來自干擾（jamming，即「軟殺」soft-kill）或動能武器（即「硬殺」hard-kill）攻擊，但採用軟體定義無線電、提高彈性後，這些系統將必須仰賴資料鏈接受軟體更新，此即形成新的潛在弱點。也就是說，惡意程式透過此管道，直接植入系統，即可產生各種影響，包括使系統生成假資料、系統關機，甚至以超頻（overclocking）等方式對系統中的微處理器造成不可逆的物理損害。

藉由電磁頻譜進行網路攻擊時，惡意程式將會以無線電波或微波訊號傳遞至受害系統的接受端，並由受害系統將訊號轉換回數位形式的軟

體。在此網路與電磁空間合流的情形下，電戰系統若以非動能方式（non-kinetic）對敵方電子系統進行攻擊，就可能有直接干擾與網路攻擊兩種類型，就像一把槍有兩種不同的子彈，可擇一攻擊，此即網路電磁活動（CEMA）的核心概念所在。但目前攻擊以外的其他作戰模式，如目標標定（targeting）、網路防禦（cyber defense）與電子防護（electronic protection）如何進一步整合，仍是持續發展中的構想。⁷

雖然當時 CEMA 的概念並未完全成形，但早在 2007 年時，美空軍「舒特」（Suter）空載電戰攻擊系統，就已經推測於以色列空軍進入敘利亞摧毀核能設施的行動中，藉由戰機展現類似的攻擊能力。敘利亞防空系統遭以軍戰機攻擊後，並未發現任何異常，且雷達顯示幕上也未顯示以軍戰機，使以軍在攻擊行動中如入無人之境。當時以網路匿蹤（cyber stealth）稱之，但此即為 CEMA 在戰場上的實際應用。⁸

參、大國競爭之作戰行動下的網路電磁活動

一、中共「網電一體戰」與「戰場網電制權」

共軍對於網路電磁活動的詮釋，即「網電一體戰」概念。戴清民少將於 2002 年出版之《網電一體戰引論》，認為「網電一體戰」為「綜合運用多種手段實施體系破擊的軍事對抗行動，由信號層次的能量壓制、網絡層次的協議攻擊、信息層次的信息欺騙等行動組成」，並以美軍協助以色列之「舒特」系統欺騙敘利亞防空系統作說明，認為此即「網電一體戰」之典型範例，網路戰受實體線路範圍的限制已逐漸打破，將其概念逐步延伸至無線電及其所在之複雜電磁環境。

⁷ John Knowles, “Cyber-EW Synergies,” *Journal of Electronic Defense*, February 2020.

⁸ Col. Matthew Willis & Lt. Col. Panagiotis Stathopoulos, “Cyber-Electronic Domain: The Necessity of Integrating the Electromagnetic Spectrum’s Disciplines Under a Single Domain of Operations,” NATO Joint Air Power Competence Centre, September 9, 2020, <https://www.japcc.org/cyber-electromagnetic-domain/>.

為與歐美慣用之「網路空間」(cyberspace)進行區隔，並由作戰層面出發，比較其定義上之異同，共軍空軍所屬之指參與研究單位的楊帆等人，以音譯之「賽博空間」(cyberspace)，與共軍「網電一體戰」的場域「網絡電磁空間」(簡稱網電空間)進行比較與分析。該文認為，「網電空間」一詞較具共軍特色，並強調四點：第一，「網電空間」可反映其平台和手段是基礎設施，包括有線與無線手段；第二，「網電空間」實現自身功能之載體為信號與信息；第三，效果上，「網電空間」為融合物理、實體與認知三個領域的融合域；第四，其特殊目的是控制實體行為，也就是控制人的行為以及含有預置邏輯的各種人造設備的行為，主要指晶片上的控制程序、軟體或匝道等。

該文更進一步指出，美軍所謂的「賽博空間」不包括認知層面，因此人不屬於「賽博空間」的範疇，是「賽博空間」與「網電空間」最主要的區別，也認為在「賽博空間」概念中，「賽博域」(cyber domain)及認知域(cognitive domain)存在一明顯邊界，兩者間聯繫是基於紐帶作用的外顯功能，而非如「網電空間」的內在本質。在概念延伸上，「網電空間」將影響認知域、社會域以及最終影響決策判斷。⁹

從「網電空間」概念延伸，共軍認為未來作戰中，「戰場網電制權」行動將會是雙方鬥爭焦點，故應聚焦於此，並強調「網電空間」的心理、認知層面，表示「奪取戰場網電制權，就是要著眼影響或破擊敵心理認知體系，基於網電空間隱蔽性好、滲透性強的特性，遵循『力由心使』的作戰規律，充分挖掘網電施計用謀空間，想方設法麻痹敵神經、擊垮敵心理，造成敵情報失實、判斷失誤、決策失當。」此外，也認為網電作戰與火力打擊融合後，可有效結合兩者優勢，發揮「軟硬一體、效能倍增」的作戰機制，實現「斷首制盲、毀骨傷身」的有機結合，而達到加速推進作戰進程的作用。¹⁰ 此構想與俄羅斯軍方近年在敘利亞、烏克蘭戰爭中將電

⁹ 楊帆、郭慶豐、陳湘葯、王宏，〈網絡電磁空間與賽博空間的區別分析〉，《國防》，2017年第2期，頁54-57。

¹⁰ 劉國軍、余志鋒、周延安，〈如何有效奪取戰場網電制權〉，《解放軍報》，2020年8月4日，http://www.81.cn/jfjbmap/content/2020-08/04/content_267666.htm。

戰結合砲兵火力打擊的作戰方式吻合，顯示共軍不僅密切觀察俄羅斯軍方相關發展，將其納入作戰構想並應用於未來大國競爭下的作戰行動中。

自共軍軍改後，戰略支援部隊的網絡系統部整合過去總參三部（技術偵查部）、四部（電子對抗與雷達部）的攻勢網路作戰與電戰能量，進行「網電一體戰」的具體落實。在2019年10月1日的中共「建政」七十周年閱兵中，戰略支援部隊與陸軍電子對抗旅分別抽組成4支信息作戰方隊接受檢閱，展示裝備亦有差異，顯示戰略支援部隊和各軍種原先資訊作戰部隊在任務上應有所區隔。戰略支援部隊強調其具「破擊節點、癱瘓體系、初擊致勝」的能力，應為透過針對關鍵節點與指管系統進行打擊，並且表示其在網電空間外，在提供戰場環境資訊如水文、地形等，亦扮演關鍵角色，以形成戰略面之資訊優勢。陸軍電子對抗旅則稱其為「偵擾一體、網電一體、軟硬一體、空地一體」，重點明顯為「戰場網電制權」，並在實戰上與砲兵結合。¹¹

二、美軍如何面對反介入／區域拒止挑戰

面對能力相當競爭者的威脅，美軍逐步瞭解在於網路與電磁頻譜空間自由運用之優勢已受到嚴重挑戰，未來作戰情境下，無可免地面臨「擁擠又爭奪不斷」（congested and contested）的複雜電磁環境狀態，以及「受限、受損、間歇性及延遲」（denial, degraded, intermittent and latent, DDIL）的不穩定連線環境。美國防部於1997年提出的網路中心戰（Network-Centric Warfare）概念，讓網路成為作戰平台，因應節奏更快且不斷演化的威脅。不過，美軍發展網路中心戰概念時，是以取得全頻譜優勢（full spectrum dominance）為前提，資訊環境不會受到任何限制，但未來的威脅，掌握相對資訊優勢（information superiority），已成為作戰之關鍵。即使對於美軍而言，掌握網路與電磁頻譜空間，亦屬不易，需跨軍

¹¹ 以上均參自《解放軍報》，2019年10月2日，http://www.81.cn/jfjbmap/content/2019-10/02/node_2.htm。

種，甚至跨部會的整合，但整體來看，美軍各軍種的做法，是持續爭取資源，在各自依據其作戰任務需求進行建軍規劃。

以美國陸軍為例，在「大西洋決心」（Operation Atlantic Resolve）作戰支援烏克蘭的經驗，催化並加速陸軍內部對於網路、資訊、電子作戰的整合，首次制定《野戰教則：網路電磁活動》（*Field Manual 3-38: Cyber Electromagnetic Activity*），並進行一系列之組織調整。¹² 佛加提中將（Lt. Gen. Stephen G. Fogarty）2018 年接任美陸軍網路指揮部（Army Cyber Command, ARCYBER）之指揮官後，由於 2016 年俄羅斯干預美國總統大選影響，配合美陸軍提出的多領域作戰概念（multi-domain operations），並以為期 10 年的轉型戰略，目標在多領域作戰預計於全軍落實的 2028 年，將 ARCYBER 徹底轉型為資訊戰指揮部（Information Warfare Command）。¹³

由於電戰極度仰賴訊號情報（signal intelligence, SIGNIT）提供相關參數，因此 ARCYBER 的第一階段轉型，即將其總部由維吉尼亞州原址移至喬治亞州戈登堡（Fort Gordon, Georgia），可就近與美國國家安全局（National Security Agency, NSA）負責訊號情報的喬治亞密碼中心（Georgia Cryptologic Center）合作。在實戰單位部分，則是首建網路電磁活動專門部隊——網路作戰第 915 營（915th Cyberwarfare Battalion）。此營將關注攻勢作為，未來也將擁有海外遠征部署能力。

此一系列之 ARCYBER 組織調整，表示美軍不僅在為全面大國競爭之大規模作戰行動（large-scale combat operation, LSCO）做準備，未來對於網路司令部（USCYBERCOM）之網路任務部隊（Cyber Mission Force）及網路指揮部新成立之聯兵旅級以下資訊作戰專門單位（目前即網路作戰

¹² Lt. Col. Matthew J. Sheiffer, “U.S. Army Information Operations and Cyber-Electromagnetic Activities,” *Military Review*, March 19, 2018, <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/Online-Exclusive/2018-OLE/Mar/Army-Info-Ops/>.

¹³ 以下見杜貞儀，〈從資訊戰到資訊優勢：美陸軍網路指揮部作戰概念演進〉，《國防安全雙週報》，第 14 期，2020 年 10 月 23 日，另參 Mark Pomerleau, “Out: ‘information warfare.’ In: ‘information advantage,’” *C4ISRNET*, September 29, 2020, <https://www.c4isrnet.com/information-warfare/2020/09/29/out-information-warfare-in-information-advantage/>.

第 915 營），其任務應會進一步區隔。網路司令部直接指揮網路任務部隊，將專注於戰略層面的任務，而新成立之資訊作戰單位，則負責各戰區之戰術任務。在佛加提中將提出的 ARCYBER 轉型規劃中，第二階段更預計將目前隸屬於特戰司令部（Special Operation Command）的心理作戰（Psychological Operation, PSYOP）與公共關係人員，也同樣納編入陸軍所屬資訊作戰單位中，由此形成全頻譜（full-spectrum）的完整資訊戰力。¹⁴

美陸軍首個戰術層級資訊作戰部隊——網路作戰第 915 營，2020 年 10 月初進行 2019 年編組後首次的訓練演習，檢驗其作戰概念，改善其戰術、戰技與戰法。至於訓練的內容規劃與背景想定，仍處於發展階段，亦可預期和其他美陸軍資訊作戰相關單位，包括先前成立，以網路防禦為主要任務的多領域特遣隊（Multi-Domain Task Force）營級分遣隊（Intelligence, Information, Cyber, Electronic Warfare and Space detachment, I2CEWS）在內，同樣面臨編裝不足，甚至有編無裝的問題。¹⁵以網路任務部隊的經驗來看，美陸軍網路作戰第 915 營至少須 1~2 年才能取得相關專長簽證，表示擁有全作戰能力（Full Operational Capability）而正式成軍。

在提升自身能力外，美軍將過去僅與少數五眼聯盟成員合作的電戰領域，拓展其合作關係至日本。作為同樣面對中共與俄羅斯威脅的美國盟邦，日本過去 10 年來積極籌建機動車載電子作戰系統，整合電子支援與攻擊兩項任務系統於一體。離島防衛作戰中，電子戰部隊將與水陸機動團進行聯合作戰，除提升南西諸島（即琉球群島）的離島防衛能力，也能與美國共同於第一島鏈反擊敵方之「反介入／區域拒止」企圖。從 2019 年美陸軍與陸自年度聯合演訓「東方之盾 19」（Orient Shield 19）的報導中觀察，不僅提及美陸軍「多領域特遣隊」（Multi-Domain Task Force）參

¹⁴ Stephen G. Fogarty & Bran N. Sparling, “Enabling the Army in an Era of Information Warfare,” *The Cyber Defense Review*, Vol. 2 Num. 2, 2020.

¹⁵ Mark Pomerleau, “US Army conducts first-of-its-kind exercise for tactical information warfare unit,” *C4ISRNET*, October 12, 2020, <https://www.c4isrnet.com/show-reporter/ausa/2020/10/12/us-army-conducts-first-of-its-kind-exercise-for-tactical-information-warfare-unit/>.

與，並將電戰列為該次演訓重點，美陸軍以網路防禦為主要目的之「網路閃電」（Cyber Blitz）演訓，更是首次與「東方之盾 19」同時舉行，提供網路電磁活動的實證場域。¹⁶ 美陸軍資訊作戰部隊雖未正式成軍，但顯已直接參與不同規模之區域性演習，直接驗證概念，並從中擷取經驗，以期完成美陸軍 2028 年落實多領域作戰之目標。

肆、小結

資通訊技術的快速進展，包括數位訊號處理元件以及軟體定義無線電的出現，不僅推動無線電、雷達、GPS 系統與其他電磁系統設計上的革新，也因此產生藉由電磁頻譜進行網路攻擊的新威脅形式。此攻擊方式，擴大電磁相關系統的威脅來源，也顯示網路與電戰的逐步合流，形成網路電磁活動。尤其在未來大國競爭之作戰情境，網路電磁環境等「看不見」的爭奪，將會貫串作戰全程，過去完全掌握網路空間與電磁頻譜的絕對優勢，將越來越難達成，而相對優勢即能制敵機先，此資訊造成的不對稱作戰優勢，即是關鍵。從美陸軍轉型案例可知，情報合作是網路電磁活動的基礎，而與盟邦的交流才能實際驗證概念並累積經驗。台灣位於第一島鏈的關鍵位置，在複雜電磁環境的「反介入／區域拒止」中，應持續尋求與印太區域理念相近盟友的合作，並且思考所能扮演之角色。

¹⁶ 杜貞儀，〈日本陸上自衛隊新電戰部隊於多領域作戰之啟發〉，《國防即時評析》，2020 年 8 月 27 日。

壹、前言

2020 年新冠肺炎疫情影響全球網路使用型態，因疫情隔離與封城的居家工作與就學，讓家戶網路使用量大增，網路攻擊與勒索犯罪伴隨疫情而陡增。除因營業秘密與隱私保護需求，使得視訊、郵件與雲端安全備受重視，網路資訊傳輸穩定性也受到更嚴密關注。另一方面，因疫情所帶來的不確定性與恐慌，也讓網路不實訊息的散播以及由國家政府所發動的網路認知作戰攻防趨於熾熱。

美中科技新冷戰在 2020 年更趨壁壘分明，美國面對的是網路攻擊、網路竊密以及認知影響力作戰的升高，以及美中的軍事緊張情勢伴隨美國在 2020 年 11 月舉行總統大選而增溫。在此同時，美軍網路司令部的奉命介入拒止與美國司法部門的揭露，這些藉由網路攻防與網路爭議訊息的防制作為所透露出的，是在網路空間的灰色地帶衝突下，嚇阻的操作如果純粹倚仗網路溯源與數位鑑識，其實仍有相當大的侷限性。有鑑於 2020 年諸多局勢變動，本章接下來將藉由梳理疫情下網路威脅的變化，呈現這一年走向複合型網路戰之趨勢，並檢視安全部門反制因應之道。

貳、新冠肺炎疫情下的網路攻擊威脅

新冠肺炎疫情在 2020 年擴散成為全球大流行，各國雖然採取不同的檢疫與隔離政策，但多要求／鼓勵人們待在家裡、在家工作、非必要不要出門，這讓世人更加深對於網路的倚賴。面對新冠疫情的未知與不確定性，在人們對於新冠肺炎的正確醫療訊息需求迫切的同時，網路假消息充

* 曾怡碩，國防安全研究院網路安全與決策推演研究所助理研究員。

斥將造成恐慌加劇。民主國家政府基於緊急狀況特殊需要，一方面加強查緝網路假訊息，¹ 另一方面則放寬網路遠距醫療所用之網路平台限制。² 網路平台業者也配合加強檢測過濾虛假不實訊息，臉書與谷歌並開始提供新冠肺炎疫情相關訊息。

在此同時，惡意網路駭客利用人們關切新冠肺炎疫情相關訊息，諸如疫情發展、疫苗開發、醫療診所篩檢資訊，以及因新冠肺炎疫情造成經濟衰退而遭資遣的人對於就業資訊的關切，³ 運用釣魚郵件、設置後門之網頁等社交工程方式，嵌入網路病毒取得控制權並封鎖檔案進行勒索，造成勒索病毒肆虐。美國在 2020 年第 1 季的網路攻擊就較前一年同期增加 273%，而 2020 年前兩季的勒索病毒案例就較前一年同期增加 109%。⁴ 美國國土安全部發覺情況嚴峻，商請美國網路司令部協助反制打擊，才讓情況稍微緩解，2020 年第 3 季釣魚郵件減少 46.9%，但第 3 季詐騙網頁仍增加 47.4%。⁵

2020 年 9 月以後，隨著疫苗開發試驗陸續傳出消息，針對醫療院所或研究機構的員工之商務名義釣魚郵件攻擊及裝置勒索病毒（其中 Ryuk 占了 75%）尤其猖獗，僅從 9 月到 10 月就暴增 71%。然而，勒索病毒癱瘓醫院行徑，卻在德國造成醫院病患死亡。⁶ 此外，對醫院及醫療研究機構施以勒索病毒攻擊，也阻礙了新冠肺炎疫苗研發期程。⁷ 由於新冠肺炎疫苗牽涉龐大商機之外，也攸關國家安全利益甚鉅，不乏國家支持的網路

¹ 蕭博文，〈調查局查 3 假訊息 呂文忠：另受理 59 件囤積案〉，《中央社》，2020 年 3 月 18 日，<https://www.cna.com.tw/news/asoc/202003180325.aspx>。

² Ricardo Alonso-Zaldivar, “To keep seniors safe at home, Medicare expands telemedicine,” *Associated Press*, March 18, 2020, <https://apnews.com/58e118636f3e39c53370131561127a54>.

³ “Coronavirus Used in Spam, Malware File Names, and Malicious Domains,” *TRENDMICRO*, November 11, 2020, <https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/news/cybercrime-and-digital-threats/coronavirus-used-in-spam-malware-file-names-and-malicious-domains>.

⁴ Patterson Belknap, “Ransomware Attacks During COVID-19,” *Lexology*, September 3, 2020, <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=f85e4ffb-6c32-43ca-8240-33a5d9d94b2b>.

⁵ 同註 3。

⁶ Patrick Howell O’Neill, “A wave of ransomware hits US hospitals as coronavirus spike,” *MIT Technology Review*, October 29, 2020, <https://www.technologyreview.com/2020/10/29/1011436/a-wave-of-ransomware-hits-us-hospitals-as-coronavirus-spikes/>.

⁷ Sarah Coble, “Ransomware Disrupts COVID-19 Medical Trials,” *Infosecurity Magazine*, October 5, 2020, <https://www.infosecurity-magazine.com/news/ransomware-disrupts-covid19/>.

駭客團體從事對於疫苗開發進展資訊之網路竊密之行徑，中共就被點名為其中之一。⁸

新冠疫情在網路相關層面的衝擊並非全然負面，遠距醫療的適用限制就因疫情而有所突破。由於醫療照護行為與醫藥具高度專業性，且關係健康與生命，不論醫療相關資訊或者診療、藥物及醫材，均受高度管制，而醫療過失屬於業務過失，須加重處分。對於幅員遼闊國家，鄉間就診不易，其餘國家也有偏鄉外離島就醫求診困難，網路遠距醫療一般是在此類情境下適用，也因此醫療資訊領域並未隨資通訊科技發達而獲大幅推廣。新冠肺炎全球大流行造成大規模居家隔離、上課、工作，加上避免醫療體系維運能量崩潰的考量，造就遠距醫療的大規模需求，促成美國政府在2020年3月17日宣布放寬遠距醫療使用之網路平台管制，便利有健康照護及慢性病處方需求民眾——尤其是高齡人士，以網路取得諮詢、診療以及處方。為保障民眾權益，醫事責任仍舊存在，因此需要檢驗的項目，包括新冠肺炎檢疫，不得以網路行為取代，網路遠距醫療後端平台則須提供檢疫地點指南。⁹

根據研究報告指出，「美國政府更趁勢提出多項政策誘因來鼓勵其國內遠距醫療產業發展，包括：Medicare 擴大保險範圍，讓更多高齡者使用遠距醫療服務，並可支付醫方所開立的遠距醫療帳單。同時放寬『美國健康保險可攜性及責任法案』（The Health Insurance Portability & Accountability Act, HIPAA）隱私規定，允許醫療機構使用非公共的遠距通訊軟體替病患看診，如 FaceTime、Facebook Messenger、Google Hangouts 或 Skype，提供雙方會診的方便性。此外，『美國食品藥品監督管理局』（Food and Drug Administration, FDA）放寬醫療用途之遠距監測醫材可於居家使用，讓量測數據自動回傳至醫療機構判讀，降低醫護人員的照顧負擔與民眾至醫院就診的不便性。最後，美國『聯邦通訊委員會』（Federal Communications Commission, FCC）提出『COVID-19 遠距醫療計畫』

⁸ 同註6。

⁹ 林秀英，〈新冠疫情助攻！2020年上半年數位醫療投資金額再創新高〉，《經濟部中小企業 Findit 平台》，2020年7月27日，<https://findit.org.tw/researchPageV2.aspx?pageId=1462>。

（COVID-19 Telehealth Program），為健康照護業者提供遠距照護服務所需的寬頻網路和物聯網裝置。」¹⁰

遠距醫療發展得到突破的同時，也浮現未來隱憂。運用網路空間傳輸醫療影音與資訊等敏感個資，加上傳輸中斷或遭改造，都可能造成醫事糾紛，因此過去只有通過資訊安全認證平台始可遂行遠距醫療行為。2020年是美國在其總統頒布緊急命令狀態下，才放寬遠距醫療的平台管制，但對資安防護仍附但書，遠距醫療運用之網路／社群媒體平台必須具端對端加密功能。因此，美國衛生部明文排除包括「TikTok」等相對開放、群組性，足以人臉辨識（public-facing）而不具隱私保障的網路平台。此外，基於良善原則，符合隱私與加密功能的網路平台若因發生遠距醫療資安事件，而導致機敏健康個資外洩，將無須擔責。¹¹雖說疫情過後，遠距醫療管制可能獲得放寬，但疫情期間遠距醫療行為之資安事件、居家網路用量過大導致斷訊與醫事糾紛究責風險，預期仍可能於疫情危機過後浮現。

參、結合網路攻擊的認知作戰威脅

民主國家雖於承平時期的竭力保護網路空間言論自由，但在諸如選舉期間、傳染病疫期、內亂外患等非常時期，仍會加強管制網路不實訊息，並依法課罰究責，冀以遏制假訊息之製造與流竄。資訊戰的範疇包含網路攻擊之網路作戰以及影響力攻勢之認知作戰。前者為國家支持或非政府駭客團體，以社交工程或網路直接滲透方式散布病毒或進行部署，伺機發動分散式阻斷網路服務攻擊或遂行進階式持續威脅攻擊。後者則多藉由捏造、散播虛假爭議訊息，藉以達到影響訊息接受者之認知，形成對其身處體制之質疑與不滿，進而改變其行為並擴大社會分化對立。

對於民主國家而言，其民主開放與保障言論自由，成為認知戰攻防的不對稱特性分界線。敵意國家或團體可充分運用此特性施以認知戰攻擊，

¹⁰ 林信亨，〈疫情之下的遠距醫療應用商機〉，資策會《AISP 資料庫》，2020年7月7日，<https://mic.iii.org.tw/aisp/Reports.aspx?id=CDOC20200703004>。

¹¹ 同註2。

而民主國家從事認知戰之際，卻往往受制於敵意國家專制體制對言論的箝制與網路控制。認知戰往往並非單獨進行，而是混搭其他諸如網路戰或者實體衝突。因此，必須要充分體認到認知戰從戰略層次到戰術層次，從虛擬空間結合實體向度的特質，進而在認知戰攻防上靈活應處。尤其認知戰絕非新的產物，其本身類似過去的統戰應用了新的科技手法。駭客網路攻擊與假訊息之影響力攻勢雖看似兩獨立行動，但在關鍵敏感時機的網路戰作為，卻能造成認知戰效果；或者，藉由網路戰與認知戰的混合運用，就足以發揮更大的認知影響。¹²

近年來俄羅斯對於西方國家選舉安全的威脅，則是藉由駭客網路攻擊將選舉陣營機敏文件竊出，再將文件經變造後外洩散布，即所謂「駭入再洩露」（hack and leak）的手法，意圖藉散播不實資訊、混淆視聽的事件，達到造成選民疑惑，進而影響選舉結果或質疑選舉效力的後果。最著名的案例，就是俄羅斯以國家支持之駭客團體，分別於 2016 年美國總統大選針對美國民主黨競選陣營，以及 2017 年法國總統大選針對馬克宏（Emmanuel Macron）競選陣營之「駭入再洩露」。我國總統府於 2020 年 5 月 16 日傳出遭駭客入侵，資料遭有心人士變造、偽造以黑函方式散布。¹³由於過去我國遭遇資安事件多為網路駭客之網路戰，或者敵方施放假訊息之認知戰，較少遭遇類似此次之網路戰與認知戰混合運用之重大資安事件，這對民主政治運作之影響，實際已達影響力作戰層次。

中共師法俄羅斯資訊作戰手法的同時，自然會將過去統戰傳統，或者延續套路，或者針對台灣而加以客製創新。首先是 2020 年 5 月 4~5 日間，中共國安單位外圍駭客團體 APT41 對台灣的石油、石化及科學園區等關鍵基礎設施業者進行網路攻擊，中油公司、台塑企業及記憶體封測廠力成接連傳出遭勒索病毒箝制，三間公司都緊急要求員工關機斷網。由於中油公司的捷利卡、車隊卡及中油 PAY 等支付工具皆被迫暫停使用，引

¹² 曾怡碩，〈不對稱戰：認知作戰的途徑〉，國防安全研究院《國防情勢特刊》第 3 期，2020 年 7 月 10 日，<https://indsr.org.tw/Download/%E5%9C%8B%E9%98%B2%E6%83%85%E5%8B%A2%E7%89%B9%E5%88%8A-3.pdf>，頁 28。

¹³ 溫貴香、范正祥、蘇龍麒、陳韻聿，〈總統府遭駭 國安人士：典型認知空間作戰製造紛亂〉，《中央社》，2020 年 5 月 16 日，<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202005160148.aspx>。

發社會大眾關切。類似這種鎖定台灣關鍵基礎設施業者發動攻擊的手法，將構成灰色地帶衝突的效果。在中共意圖犯台之前期，以及武力犯台之全程，均可能啟動平日滲透潛伏之 APT，進行攻擊阻斷運作與服務。台灣民眾日常生活秩序遭打亂的結果，勢必造成疑懼與恐慌，如此即形同造成混合式認知作戰威脅。¹⁴

其次則是以網路社群媒體假訊息，搭配運用中共對我軍機艦擾台之實體空間武力恫嚇，意圖製造困惑與擴大質疑分化。2019 年 4 月成立的中國北京大學「南海戰略態勢感知計畫」（SCSPI），其推特平台近期連續發布假訊息——2020 年 8 月 30 日以 ADS-B 航跡質疑美軍機自台灣起飛，8 月 31 日釋出美軍機穿越台灣後逼近中國偵蒐；9 月 1 日則發布美軍艦疑似進入澎湖水道東側。¹⁵《環球時報》則協同接續發布報導與評論。中共利用 SCSPI 與《環球時報》以假訊息引發媒體跟進報導，如此精準的協同連動，其實是循 2020 年初台灣大選期間與新冠肺炎疫情期間，中共各部門所遂行的協同式假訊息認知作戰模式。¹⁶

肆、對網路攻擊之反制措施

網路攻擊之灰色地帶特性，很可能讓用於降低武裝衝突可能性的嚇阻手段失效。國家若能確定攻擊來源並遂行反擊，且其反擊迅速而有力，將可因此獲得相當之嚇阻效力。但由於網路攻擊難以明確辨識、確認攻擊來源，一般藉由 IP 位址溯源，則難以排除僅被利用作為跳板之嫌。故即使

¹⁴ 黃彥荼，〈臺美聯手防駭，追緝並起訴 APT41 中國網軍〉，《iThome》，2020 年 9 月 18 日，<https://www.ithome.com.tw/news/140054>。根據該報導，APT41 又被稱為 Winnti Group、Barium、Winnti、Wicked Panda、Wicked Spider。APT41 利用中國四川省成立的「成都 404 網路公司」作為掩護，針對全球政府機關、通訊及科技業供應鏈、學術研究機構、醫療機構、電玩遊戲產業等全球超過一百家企業發動網路攻擊及間諜活動，受害企業散布台灣、新加坡、馬來西亞、日本、韓國、泰國、越南、巴西和澳洲等，攻擊活動則包括：非法入侵他人主機、竊取機敏資料以及進行電信詐欺等。

¹⁵ 洪哲政，〈中共官媒惡炒美軍在台假訊息國防部大動作反駁〉，《聯合報》，2020 年 9 月 2 日，<https://udn.com/news/story/10930/4829196>。

¹⁶ 曾怡碩，〈中共在武漢肺炎疫情下進行影響力作戰〉，國防安全研究院《國防情勢特刊》第 1 期，2020 年 4 月 28 日，頁 8-10，<https://reurl.cc/pyx7ax>。

一國關鍵基礎設施遭受網路攻擊，而導致相當於實體武裝攻擊所致之傷亡或損失，並欲據此發動自衛權反制之際，若循網路空間溯源，卻可能陷入缺乏明確具正當性之反擊對象的窘境，這很可能讓嚇阻失去效力。¹⁷

國家支持之網路駭客團體與影響力作戰團隊之崛起，意圖對他國形成不對稱作戰優勢的同時，網路攻擊之難以溯源歸咎之特質，造成遭受網攻國家無國際法理基礎以認定遭受武力攻擊，並據以遂行武力反制。面對此一境況，具備優越網路攻擊能力的國家，便可能針對嫌疑對象訴諸網路反擊予以懲罰制裁。但同樣囿於難以溯源歸咎特性，遭受所謂網路「反擊」的國家，也很可能無從主張遭受特定對象之網路攻擊。如此一來，將使發動懲罰制裁的國家徒具反制網路攻擊能力，卻仍無從形成嚇阻網路攻擊之明確效力。補救之道，就是由具備可信的反制網路攻擊能力的國家，藉由宣示其網路戰略或交戰規定，警告意圖進犯網路空間的潛在敵手。這種在灰色地帶畫上紅線的做法，如果缺乏迅速有力且持續精準的反制作為，反倒容易成為敵方不斷挑釁與模糊紅線的把柄。因此，膽敢公開宣示進行反制網路攻擊的國家，理應具備不畏遭受挑戰的網路反擊實力，或令人聞之膽怯的實際反制前例。

美國的補救措施，便是藉由網路空間以外的衛星偵照與人員情報手段，在明確辨識目標並鑑識蒐證齊備後，由其國內聯邦調查局或司法部公告，並以國內法起訴網路攻擊駭客。起訴的作用在於，可經由長臂管轄效力及於與美國簽署引渡條例之友盟，待被起訴對象過境之際，將其逮捕遣送美國受審，令其畏懼而不敢出境，藉此達到嚇阻效力。前述中油公司遭中共支持外圍駭客團體 APT41 網路攻擊勒索後，台灣的調查局與美國聯邦調查局結合美台網路犯罪偵防能量，共同打擊追緝並成功起訴該駭客團體成員，就是一個結合友盟以聯合反制網路攻擊的成功案例。¹⁸

¹⁷ James Lewis, "Cognitive Effect and State Conflict in Cyberspace," *CSIS Report*, September 26, 2018, <https://www.csis.org/analysis/cognitive-effect-and-state-conflict-cyberspace>.

¹⁸ 同註 14。

2018 年以來美軍網路司令部對於境外勢力干預選舉安全，是以「前進防禦部署」(defending forward)加以反制。¹⁹ 美國也會藉對網路攻擊來源國施以經濟制裁，進一步擴大嚇阻戰果。此外，對於蒐證未齊備而不足以呈上法庭起訴之對象，美國也可能直接對網攻駭客以網路郵件遞送警告函，並將此事昭告天下，以明示已掌握該對象真實身分與通訊往來管道，對該對象及其隸屬組織、國家，達到另類嚇阻效力。另一方面，對於未來發生類似突襲珍珠港式的災難性網路攻擊，網路安全領域的產官學界咸認機會不大。²⁰ 因此，因網路攻擊而造成相當於實體空間武力攻擊所導致之傷亡與毀損，進而構成武裝衝突，並據以行使自衛權的立論基礎，短期內難以獲得大幅度加強，故在國際法理上仍難以成立。這也將導致網路攻擊這類新型態衝突，勢將持續處於難以應處的灰色地帶，讓各方難以寄望國際法有所突破而對其有效規範。

國際法認定國家一旦遭受武裝攻擊，得行使自衛權遂行反制。鑑於網路攻擊並未構成如同一般武裝攻擊之傷亡與損害，國際法理對於其是否構成武裝攻擊的要件，如前所述迄今仍充滿爭議，網路攻擊也因其未達戰爭門檻而成為名符其實的灰色地帶衝突。故網路攻擊迄今尚為國際法化外之地，世人常舉《塔林手冊 2.0 版》(*Tallinn Manual 2.0*)為例，然而其僅為北約組織之規範，並未達國際法之效力。以國際法規範反制網路攻擊陷入膠著之際，北約的《塔林手冊》仍持續精進中，由一開始美國片面主導色彩濃厚而遭致反彈，迄今因各方的參與而逐漸融合私部門與歐洲元素的觀點。另一方面，為充分授權、保障與規範網路作戰執行人員在這類隱匿灰色地帶衝突中的作業操作，著手制定有限度公開的交戰規定，已逐漸成為美國及其友盟的共通作業準則。目前美、日、韓均稱制定頒布網路交戰規定；²¹ 美軍也公開宣示，對美國之安全盟友的網路攻擊，將遭受美軍

¹⁹ Jim Garamone, "DOD Works to Eliminate Foreign Coronavirus Disinformation," *Defense News*, US Department of Defense, April 13, 2020, <https://www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/2147566/dod-works-to-eliminate-foreign-coronavirus-disinformation/>.

²⁰ James Lewis, "Dismissing Cyber Catastrophe," *CSIS Commentary*, August 17, 2020, <https://www.csis.org/analysis/dismissing-cyber-catastrophe>.

²¹ 根據 2020 年 8 月 25 日專案計畫對國防大學法律系田力品教授的訪談成果。

以符合比例原則之報復反擊。²² 循此趨勢，美國安全社群已開始提倡軍隊需足以因應與適應灰色地帶衝突的威脅環境，²³ 並於境內外的網路部隊部署認知影響力作戰單位。²⁴

伍、小結

2020 年由於新冠疫情影响，造成工作與生活型態改變，在家工作與上學更加仰賴網路的同時，也讓網路釣魚信件以及網路勒索犯罪遽增。這樣的全球性大規模傳染病所帶來的未知與不確定性，也讓利用網路製造散播不實訊息的惡意團體，更有可趁之機以運用假訊息進行認知空間操縱。如這般在網路空間的灰色地帶衝突，並不乏搭配實體空間的灰色地帶操作——不論是對關鍵基礎設施的網路攻擊或勒索犯罪以製造疑懼，還是藉由軍機艦騷擾後釋放假造的數位航跡以擴大猜忌與紛亂，都是複合型網路戰，亦即網路假訊息搭配實體空間行動或網路攻擊的混合式威脅，意圖達到灰色地帶認知作戰的效果。面對網路威脅樣態的演變，為有效加以反制，如果依循過去單靠網路部隊的模式，恐怕不足以因應。2018 年以來美軍網路司令部對於境外勢力干預選舉安全，是以前進防禦部署加以反制。2020 年美國安全社群已開始提倡軍隊需足以因應與適應灰色地帶衝突的威脅環境，並於境內外的網路部隊部署認知影響力作戰單位。我國在 2020 年雖成功因應來自中國大陸武漢的新冠疫情影响，但還須面對來自中共以網路攻擊搭配認知空間操縱的灰色地帶混合威脅。未來我國可與印太區域美國等理念相近友盟積極合作，共同應處在新冠疫情影响下的複合型網路威脅新樣態。

²² Taketsugu Sato, Takateru Doi and Kenji Minemura, "SDF booting up capabilities to defend against cyberattacks," *The Asahi Shimbun*, June 14, 2020, <http://www.asahi.com/sp/ajw/articles/13429347>.

²³ Mark Pomerleau, "The military must learn to operate more in the gray zone," C4ISRNET, November 4, 2020, <https://www.c4isrnet.com/information-warfare/2020/11/04/the-military-must-learn-to-operate-more-in-the-gray-zone/>.

²⁴ Mark Pomerleau, "Cyber warriors are getting new teammates: information operators," C4ISRNET, October 30, 2020, <https://www.c4isrnet.com/information-warfare/2020/10/30/cyber-warriors-are-getting-new-teammates-information-operators/>.

壹、前言

2020 年世界科技發展受到加劇的美中競爭關係以及突然爆發的新冠肺炎雙重背景影響頗深。後者席捲全球，至今未見緩解，許多國家紛紛採取封城封區（lockdown）措施，政府也提倡互動之間應保持社交距離（social distance），減少接觸。在這樣情況下，人們對數位工具的使用與需求較過去不僅猛然暴增，生活型態的改變也大為促進整體社會數位化發展。緊接著，相關基礎設施的建構、資安問題也隨之增加並浮現，成為各國政府正在積極應付的課題。

從軍事國防的角度來看，關鍵資訊基礎設施（critical information infrastructure, CII），以及關鍵基礎設施（critical infrastructure, CI）可謂是發動「混合威脅」與「不對稱戰」的極佳場域，這是由於相關設施高度互相依存（或稱為互賴，interdependency），牽一髮可能動全身，特別是基於網路與資通訊系統已無不貫穿多數關鍵基礎設施的事實。尤其，關鍵基礎設施廣泛分布於社會各民用領域，一旦敵人透過這種連結性對己方發動攻擊，造成的損害難以估算，更是混淆了軍／民間的二分概念界線。從這樣的角度的言，網路安全（cybersecurity）的重要性相較過去有增無減。美國前國防部長潘內達（Leon Panetta）就曾提出慎防「網路珍珠港」（Cyber Pearl Harbor）的概念。¹ 懷有惡意的攻擊者，無論是否背後來自國家資助，在攻擊手法與攻擊動機兩個面向上都呈現更加複雜的狀況。攻擊者未必是出於金錢或是竊取機敏資訊為目的，更有可能是潛藏特定政治意圖，

* 吳宗翰，國防安全研究院網路安全與決策推演研究所博士後研究。

¹ Elisabeth Bumiller and Thom Shanker, “Panetta Warns of Dire Threat of Cyberattack on U.S.,” *The New York Times*, October 11, 2012, <https://www.nytimes.com/2012/10/12/world/panetta-warns-of-dire-threat-of-cyberattack.html>.

希望藉此影響或打擊被攻擊國家的關鍵基礎設施，削弱國民信心，以謀求對自身的最大利益。同時，基礎設施相互依存的特性，往往也使得受害者在歸因（attribution）階段需要耗費大量心力。

網路攻擊本就屬於灰色地帶，目前在國際法上也尚未有對「網路戰」形成一個一致的規範；各國在相關的接戰規則（rules of engagement, ROE）上也仍然多屬於發展中的研議階段。但無論如何，關鍵資訊基礎設施乃至關鍵基礎設施的防護已然刻不容緩，各國政府亦在規範面與實務面向做出大量努力。

貳、關鍵資訊基礎設施的定義與安全意涵

關鍵資訊基礎設施定義雖然歷時而變，但多與關鍵基礎設施定義相關；在數位社會的發展推進下兩者界線更是趨於模糊，難以釐清。隨著美國川普總統在其任內正式設立「網路安全暨基礎安全局」（Cybersecurity and Infrastructure Security Agency, CISA），將網路安全事務治理提升到聯邦層級，兩者在美國幾乎已不存在實質分別。美國「國土安全部」將關鍵基礎設施視為「對美國極為重要的實體與網路系統或資產，其無作用或損害將會對實體與經濟安全或是公眾健康有嚴重影響。關鍵基礎設施的服務支撐美國社會」。² 可以說，這些設施攸關政府在各方面的運作順暢，包括政府機關、道路與運輸交通、通信系統、水系統、能源系統、醫療與銀行等。³

歐盟雖然對兩者有做出區別，但實際上兩者內容仍有高度重疊。歐盟執委會在其第 2008/114/EC 發布的指令中（*Council Directive 2008/114/EC*），將關鍵基礎設施定義為「會員國內維護重要社會功能、人民健康、安全、經濟與社會福利等的資產或系統，其相關損害會有重大影響」。儘

² “Critical Infrastructure Security,” Department of Homeland Security, <https://www.dhs.gov/topic/critical-infrastructure-security>.

³ Kelley A. Pesch-Cronin and Nancy E. Marion, *Critical Infrastructure Protection, Risk Management, and Resilience: A Policy Perspective* (CRC Press, 2016), p. 4.

管歐盟執委會未對關鍵資訊基礎設施進一步闡述，歐盟網路資訊安全署（European Union Agency for Cybersecurity, ENISA）在其發布相關文件中指出關鍵資訊基礎設施是那些支持關鍵基礎設施的資通訊設備與服務，包括軟體、網路、衛星等。⁴

在我國，根據行政院《國家關鍵基礎設施安全防護指導綱要》指示，我國將國家關鍵資訊基礎設施定義為「涉及核心業務運作，為支持國家關鍵基礎設施持續營運所需之重要資通訊系統或調度、控制系統，亦屬國家關鍵基礎設施之重要元件（資通訊類資產），應配合對應之國家關鍵基礎設施統一納管。」⁵ 根據《指導綱要》，我國關鍵基礎設施按三層架構分類：第一層為主領域，共分成能源、水資源、通訊傳播、交通、金融、緊急救援與醫院、政府機關、科學園區與工業區等8類；第二層為次領域，是針對主領域中的8種領域依照功能再細分；第三層領域為次領域的再細分。相關細節可見表9-1。

初步比較美國、歐盟與我國對於關鍵資訊基礎設施以及關鍵基礎設施的定義看法，可以發現彼此內容雖有重疊，具體項目卻有差異。這說明在不同社會脈絡下，因產業、國家發展差異，對於「重要設施」的認定會有所不同。

表面上看起來，資通訊系統只是上述國家關鍵基礎設施中主領域的其中一類，但考量到關鍵基礎設施之間的相依性以及設施的聯網普遍性，關鍵資訊基礎設施的防護幾乎無法自外於關鍵基礎設施的防護（critical infrastructure protection, CIP）。基於此，關鍵資訊基礎設施的安全實質上同關鍵基礎設施的安全，可以從實體安全、非實體安全（特別是資訊安全）以及人員安全三個面向理解。所謂實體安全，指的就是「設施」本身

⁴ European Commission, “Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European Critical Infrastructures and the assessment of the need to improve their protection,” Official Journal of European Union, 345 (2008), p. 77; “Critical Information Infrastructure,” European Union Agency for Cybersecurity, <https://www.enisa.europa.eu/topics/critical-information-infrastructures-and-services/cii?tab=details>.

⁵ 〈國家關鍵基礎設施安全防護指導綱要〉，《行政院國土安全政策會報》，<https://ohs.ey.gov.tw/Page/1E6899A649BEF1F9>。

的安全。造成設施安全出現問題的原因可能來自天災與人禍導致。非實體安全的面向則主要來自軟體系統故障，在多數實例中，這些故障往往與資訊系統或網路系統影響整體系統正常運作有關。第三個面向是人員安全，這指涉的是人員因為違反規定、不當操作軟硬體，或是惡意破壞，例如駭客（hacker）、網路恐怖分子導致設施安全受到損害。

另一方面，資安領域常見的攻擊手法亦成為相關設施防護必要重視的風險。這些包括惡意軟體（malware）、電腦病毒、木馬程式、分散式阻斷服務攻擊（distributed denial-of-service attack, DDos）、進階持續性威脅（advanced persistent threat, APT）、針對人員發動的魚叉式釣魚（spear-fishing）、針對軟體更新落差的零日攻擊（zero-day attack）等。隨著第5代行動通訊技術（5th generation wireless systems，下稱 5G）發展，有關資訊科技（information technology, IT）與營運科技（operation technology, OT）的更多整合以及物聯網（Internet of Things, IoT）帶來的風險更是需要高度重視。

從前述定義可知，關鍵基礎設施攸關政府與社會的整體正常運作。若然遭受侵害影響範圍可能廣大。從「混合威脅」與「不對稱戰」的角度言，攻擊關鍵基礎設施可說是低成本、高回報，又具備隱匿性的途徑。並且，在引發社會不安情緒頗能有卓越成效，因而亦是行遂認知戰的適合手法。今年由於疫情緣故，社會人心普遍焦躁不安，維護關鍵基礎設施更是政府重中之重的優先事項。

表 9-1 台灣關鍵基礎設施

主領域	次領域	業務功能	主管機關
能源	電力	負責供電服務	經濟部
	石油	供應油品與帶動石化相關工業發展之設施	
	天然氣	供應天然氣之相關設施	
水資源	供水	供水	經濟部（地方政府）
通訊傳播	通訊	支持通訓服務之重要設施，如市內／長途／國際通、行動通訊、衛星通訊及數據通訊等	國家通訊傳播委員會
	傳播	支持傳播服務之重要設施，如無線／有線廣播電視	
交通	陸運	陸上運輸服務，含鐵路、高速鐵路、大眾捷運	交通部（地方政府）
	海運	提供航運及商港、工業港、漁港之相關設施	交通部、經濟部、農委會
	空運	提供航空營運管理及航空運輸相關服務	交通部、國防部
	氣象	與氣象、地震、海象等觀測預報有關之服務	交通部
金融	銀行	財金公司、中華郵政	金融監督管理委員會、交通部
	證券	執行全國證券、期貨市場交易及結算、交割	金融監督管理委員會
	金融支付	我國支付清算系統之相關系統	中央銀行
緊急救援與醫院	醫療照護	提供醫療照護之相關系統	衛生福利部
	疾病管制	傳染病疫情監測與預警之相關設施	
	緊急應變體系	災害緊急應變中心等相關重要設施	
政府機關	機關場所與設施	支持政府核心業務運作重要設施	內政部、海洋委員會（地方政府）
	資通訊系統	支持政府核心業務運作之重要資通訊系統	中央政府機關（地方政府機關）
科學園區與工業區	科學工業與生醫園區	科學園區等	科技部
	軟體園區與工業區	軟體園區、工業區等	經濟部

資料來源：修改自〈國家關鍵基礎設施領域分類〉107年7月30日版本，見<https://ohs.ey.gov.tw/Page/1E6899A649BEF1F9>。⁶

⁶ 〈國家關鍵基礎設施領域分類〉，《行政院國土安全政策會報》，<https://ohs.ey.gov.tw/Page/1E6899A649BEF1F9>。

參、美中對抗衝擊下的 5G 網路建設與網路空間

討論關鍵資訊基礎建設無法迴避網路建設。2020 年各國陸續啟用 5G 網路，有關基礎建設、應用與資安議題也隨之增加。並且，美中對抗格局與地緣政治更是使相關討論變的複雜。

歐盟在 2019 年 10 月發表《5G 網路風險評估報告》（*EU coordinated risk assessment of 5G networks security*），當時就指出，由於 5G 網路環境需要建置更多的基地台與設施，網路的便利性使得聯網裝置數量大為增加，裝置也能彼此互通，並且軟體的角色更為重要，因此面臨的資安挑戰也更加嚴峻。⁷

任一基礎建設本身就由更多更小的零件構成。從防護的角度來說，網路供應商本身與供應鏈安全就成為網路基礎建設中最優先的事項。歐盟的報告指出，來自非歐盟國家或政府干預或支持的駭客攻擊將可能造成嚴重損害。儘管該報告內容並未明確點名何者為不可靠的供應商，但一般認為字裡行間暗指中國華為。然而，報告書中所言不應過度依賴特定供應商的說法，也被視為歐盟並未排除華為參與網路建設。不過，隨著美中加劇對抗以及疫情影響，多個歐盟會員國已經在 2020 年間陸續宣布排除華為，或是採取更為嚴格的審查手段，英國也在 2020 年 7 月宣布禁止華為，自該年底不再從華為購買新設備，已經存在英國 5G 建設中的設備也將在 2027 年前移除。⁸

⁷ “Member States publish a report on EU coordinated risk assessment of 5G networks security,” European Commission, October 9, 2019, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6049.

⁸ “Member States publish a report on EU coordinated risk assessment of 5G networks security,” European Commission, October 9, 2019, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6049; “Europe brief: western Europe’s stance on China hardens,” *The Economist*, September 10, 2020, <https://www.eiu.com/n/europe-brief-western-europes-stance-on-china-hardens/>; Robbie Gramer, “Trump Turning More Countries in Europe Against Huawei,” *Foreign Policy*, October 27, 2020, <https://foreignpolicy.com/2020/10/27/trump-europe-huawei-china-us-competition-geopolitics-5g-slovakia/>; Department for Digital, Culture, Media & Sport, National Cyber Security Centre, and The Rt Hon Oliver Dowden CBE MP, “Huawei to be removed from UK 5G networks by 2027,” *GOV. UK*, July 14, 2020, <https://www.gov.uk/government/news/huawei-to-be-removed-from-uk-5g-networks-by-2027>.

美國國務卿蓬佩奧（Mike Pompeo）在 2020 年 4 月底宣布「乾淨路徑」（Clean Path）計畫，當時該計畫旨在要求有關進出美國的 5G 網路須來自「可信任與可靠的」設備供應商，並點名排除華為與中興等企業。

在 8 月時，蓬佩奧更進一步整合川普政府近年來在 5G 網路安全的計畫，針對中國共產黨對公民隱私、企業機敏訊息以及人權的侵害，提出在全球範圍建立「乾淨網路」（Clean Network）計畫，倡議在電信業、行動應用程式、雲端儲存、海底電纜以及路徑等六個面向排除中國供應商，並尋求各國加入行列，創立理念相近國家組成的網路安全聯盟。根據美國國務院委託戰略暨國際研究中心（Center for Strategic and International Studies, CSIS），台灣的五大電信「中華電信、遠傳、台灣大哥大、台灣之星、亞太電信」均在美方定義的乾淨供應商名單內。從規模來說，「乾淨網路」計畫目前是川普政府任內試圖圍堵中國資通訊企業中採取力度最大的行動。⁹

作為反制，中國也在 9 月底提出了「全球數據安全倡議」（Global Data Security Initiative），以不具名的方式批評美方的做法是排他性質。在該倡議中，中國高調提倡國際間應該建立開放、合作、有序、安全的網路空間。¹⁰ 在 11 月底，中國透過舉行「世界互聯網大會・互聯網發展論壇」的場合發布《網路主權：理論與實踐（2.0 版）》，更新其稍早前在 2020 年 6 月第六屆互聯網大會時的論述，除了堅稱任一主權國家可申張擁有「網路主權」的正當性，亦呼應「全球數據安全倡議」的內容，批判部分國家透過網路干涉他國內政，行單邊主義與霸權行動；顯然是針對美國。¹¹

表面上看，這是美中夾雜國家利益、商業利益以及資安的多層次與多領域對抗，並在國際間各自尋求支持者。長遠地說，這無法排除未來網路

⁹ “The Clean Network,” U.S. Department of State, August 2020, <https://www.state.gov/the-clean-network/>.

¹⁰ 〈全球數據安全倡議〉，《人民網》，2020 年 9 月 9 日，<http://industry.people.com.cn/BIG5/n1/2020/0909/c413883-31854708.html>。

¹¹ 〈網路主權：理論與時間（2.0）〉，《中華人民共和國互聯網信息辦公室》，2020 年 11 月 25 日，http://www.cac.gov.cn/2020-11/25/c_1607869924931855.htm。

空間最終會出現聯盟化、壁壘化的網路標準的可能性。後續情況值得追蹤觀察。

肆、新趨勢下海底電纜成為重要議題

網路活動的蓬勃，使網路已不僅止於相互溝通與尋找資料，更協助商貿經濟活動、服務得以建立；疫情的到來，更影響各國網路使用者爆增的需求。而一切的基礎實有賴訊息的傳遞，作為路徑的頻寬至關重要。然而，頻寬建設並非無形，而是實體。直白地說，就是纜路。

海底電纜自 19 世紀問世而被鋪設以來，迅速地成為世界各國彼此在民用、商用甚至軍事溝通交流往來的重要設施；至今，海纜更是擔負連結跨國網路傳輸資料服務角色，國際網際網路 95% 的流量都是通過海纜運輸（見圖 9-1）。聯合國大會在 2010 年即指出海纜對全球經濟與各國國安極端重要，呼籲各國重視相關防護。¹² 然而儘管如此，由於海纜系統的建置與維護涉及高度技術門檻，¹³ 又容易受到海洋天然環境以及人類海上作業影響而受損害，致使營運成本昂貴，有能力並同時有意願投入建設的國家非常少，多數交給跨國電信公司與集團獨立建造或共同投資，各國當地業者或參與投資或承租纜線。目前國際上主要的行為者有美國 TE SubCom、法國阿爾卡特集團（Alcatel）、日本電氣股份公司（NEC）及中國華為海洋（Huawei Marine）等，微軟、谷歌、臉書等國際內容業者（international content provider）則為新興的參與者。

隨著美中科技戰持續進行與疫情，海纜議題在今年變得較以往熱門，公眾尤其討論中國公司在相關產業的狀況。2020 年 5 月，中國移動（China

¹² United Nations, Resolution 65/37 Oceans and the law of the sea, General Assembly, March 17, 2011, <https://undocs.org/en/A/RES/65/37>.

¹³ ITU 建議文件 G.971 指出海纜系統應有以下特點：1. 總體來說要能被長時間使用及具有可靠性；2. 機械特性上可被安裝在深海環境，且能抵抗環境的相關條件，在防護與恢復也有一定的配套措施；3. 海纜的光纖須能可靠的達到產品設計年限，具備抗老化機制。見“G.971: General features of optical submarine cable systems,” ITU, <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.971/en>。

Mobile) 因為涉及參與「2Africa」的計畫而受到注目。該計畫是目前全球最大的海底電纜項目之一，參與者除了中國移動外，還有臉書、南非電信商 MTN GlobalConnect、法國 Orange 以及英國沃達豐 (Vodafone) 等；該計畫主要連結非洲、歐洲以及中東地區，預計 2023 或 2024 年建成並開始啟用 (見圖 9-2)。¹⁴ 此外，在今年 7 月底華為海洋參與競爭智利政府出資興建的連結南美與亞太地區的海底電纜案失利，最後由日本電氣的方案取得勝利。有關分析也指出美國的態度扮演了重要因素 (見圖 9-3)。¹⁵ 這顯見美國川普政府對中國科技公司的圍堵封殺已從行動通訊延伸到電纜領域。

在今年 4 月，美國聯邦傳播委員會 (FCC) 否決了中國移動進入美國市場並同時關閉中國電信、中國聯通以及太平洋網路在美國的業務公司；在 10 月委員會更呼籲全面審查美國與中國之間連結的海纜系統。而在 6 月，美國「通訊服務業外國參與審查委員會」(The Committee for the Assessment of Foreign Participation in the United States Telecommunications Services Sector)，隨後向聯邦傳播委員會建議否決啟動谷歌、臉書等企業投資的「太平洋光纖電纜網路」(Pacific Light Cable Network, PLCN) 中試圖連結美國與香港的路線，建議代之以「台灣——馬尼拉」路線，理由是發現該電纜路線中在香港端登陸站的營運業者為中國電信在港的子公司，這可能會使北京藉此蒐集美國數據。由於時值香港國安法頒布，美國政府的聲明引發諸多揣測。¹⁶

¹⁴ Angelina Rascoet, Loni Prinsloo, and Thomas Seal, "Faster Internet Coming to Africa With Facebook's \$1 Billion Cable," *Bloomberg*, May 14, 2020, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-05-14/facebook-china-mobile-to-build-1-billion-sub-sea-africa-cable>; Ellen Daniel, "2Africa: New subsea cable will "greatly enhance connectivity" in Africa," *Verdict*, May 14, 2020, <https://www.verdict.co.uk/2africa-subsea-cable/>.

¹⁵ 杜貞儀，〈南美與亞太首條海底光纜的戰略布局〉，《國防安全雙週報》，第 9 期，頁 17-21。

¹⁶ David Shepardson, "FCC commissioner calls for new scrutiny of undersea Data cables," *Reuters*, October 1, 2020, <https://in.reuters.com/article/usa-trade-china-telecommunications/fcc-commissioner-calls-for-new-scrutiny-of-undersea-data-cables-idINL1N2GR1DV>；江今葉，〈美政府建議否決美港海底電纜改連結台灣菲律賓〉，《中央社》，2020 年 6 月 18 日，<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202006180014.aspx>。

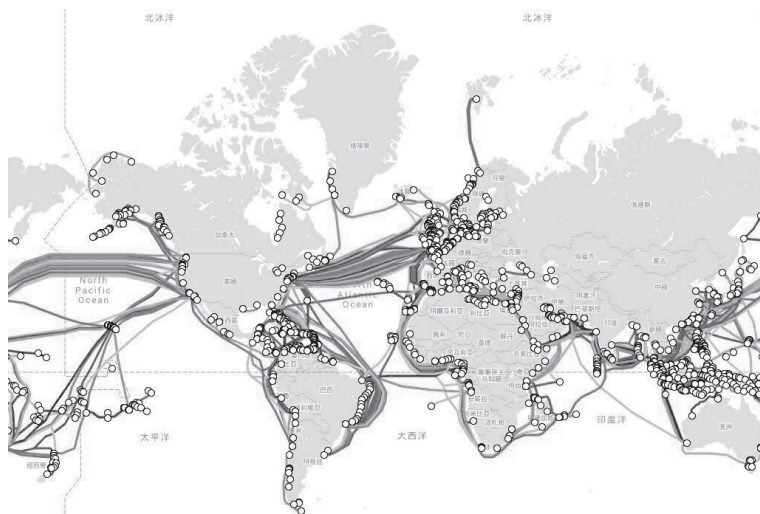


圖 9-1 全球海底電纜分布圖

資料來源：TeleGeography, “Submarine Cable Map,” reviewed December 1, 2020, <https://www.submarinecablemap.com/>.

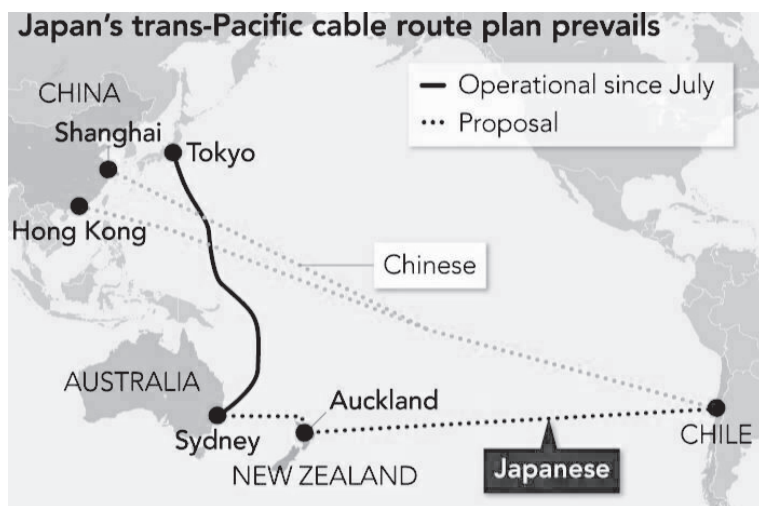


圖 9-2 日本電氣有關連結智利至亞洲的海纜方案

資料來源：Yohei Hirose and Naoyuki Toyama, “Chile picks Japan’s trans-Pacific cable route in snub to China,” *Financial Times*, August 12, 2020, <https://www.ft.com/content/674557bc-13c7-4010-a7f8-7b8c06b3a32e>.



圖 9-3 太平洋光纖網路洛杉磯——香港段被否決啟動

資料來源：Naomi Xu Elegant, “How Google and Facebook’s 8,000-mile undersea data cable got caught in U.S.-China feud,” *Fortune*, June 18, 2020, <https://fortune.com/2020/06/18/google-facebook-undersea-Data-cable-us-china/>.

伍、新冠肺炎接觸者追蹤程式的資訊戰

為能及早發現新冠肺炎感染者，迅速切斷傳染途徑，各國政府高度仰賴資通訊手段。各國政府並投入巨大資源開發相關手機應用程式，發展所謂的「接觸者追蹤程式」（contact tracing app）。要說明的是，該類應用程式可能看似未必符合傳統上的「關鍵資訊基礎設施」，但在防範新冠疫情的脈絡下，考量到該類程式的發展基礎其實來自多領域大型資料庫的建立與整合，涉及人民醫療、資通訊技術、交通等，目的在於建立患者的接觸軌跡，甚至在部分國家（如中國）已被用作人民出入行動與否的重要依據，可屬於廣義上的關鍵資訊基礎設施。

從途徑來說，相關應用程式可以大致區分成中心化追蹤技術與非中心化追蹤技術兩種框架（圖 9-4）。所謂中心化指的是應用程式的中央資料庫會與使用者端連線，自動更新與交換資料（Data）；反之，去中心化的

程式則不存在這樣的連線設計。這兩種途徑背後有不同的設計考量：中心化的設計旨在透過大量而自動的資料蒐集使疾病研究人員獲得更多資訊，以利後續研究；而去中心化技術則更強調使用者隱私權，在自願的基礎上提供個人資訊。在實際的程式細部設計上，多數相關程式並不是非此即彼，而是混合式；並且，因為設計原理採用藍芽傳輸方式或是其他定位方式而衍生出更多差異。

目前多數歐美國家正在發展或已投入使用的官方應用程式主要是基於蘋果（Apple）與谷歌（Google）於 2020 年 4 月宣布合作的開發程式，在其基礎上進一步發展；這是為了考量到程式在 Android 或 iOS 系統上的相容性與準確度。¹⁷ 蘋果——谷歌的設計是採行去中心化以及藍芽的方案。然而，由於諸多因素，包括政府並未強制規定民眾須要下載安裝應用程式，民眾的自我揭露程度，以及去中心化追蹤技術的缺陷等，相關應用程式的效果至今仍然有待觀察。¹⁸

¹⁷ Chance Miller, “Here’s how Apple and Google’s Exposure Notification API works while securing privacy,” *9TO5Mac*, June 19, 2020, <https://9to5mac.com/2020/06/19/apple-and-google-exposure-notification-api/>; “Exposure Notifications: Using technology to help public health authorities fight COVID-19,” Google, <https://www.google.com/covid19/exposurenotifications/>.

¹⁸ “UK contact-tracing apps start to talk to each other,” *BBC News*, November 5, 2020, <https://www.bbc.com/news/technology-54826807>; Cat Fergusonarchive, “Do digital contact tracing apps work? Here’s what you need to know,” *MIT Technology Review*, November 20, 2020, <https://www.technologyreview.com/2020/11/20/1012325/do-digital-contact-tracing-apps-work-heres-what-you-need-to-know/>.

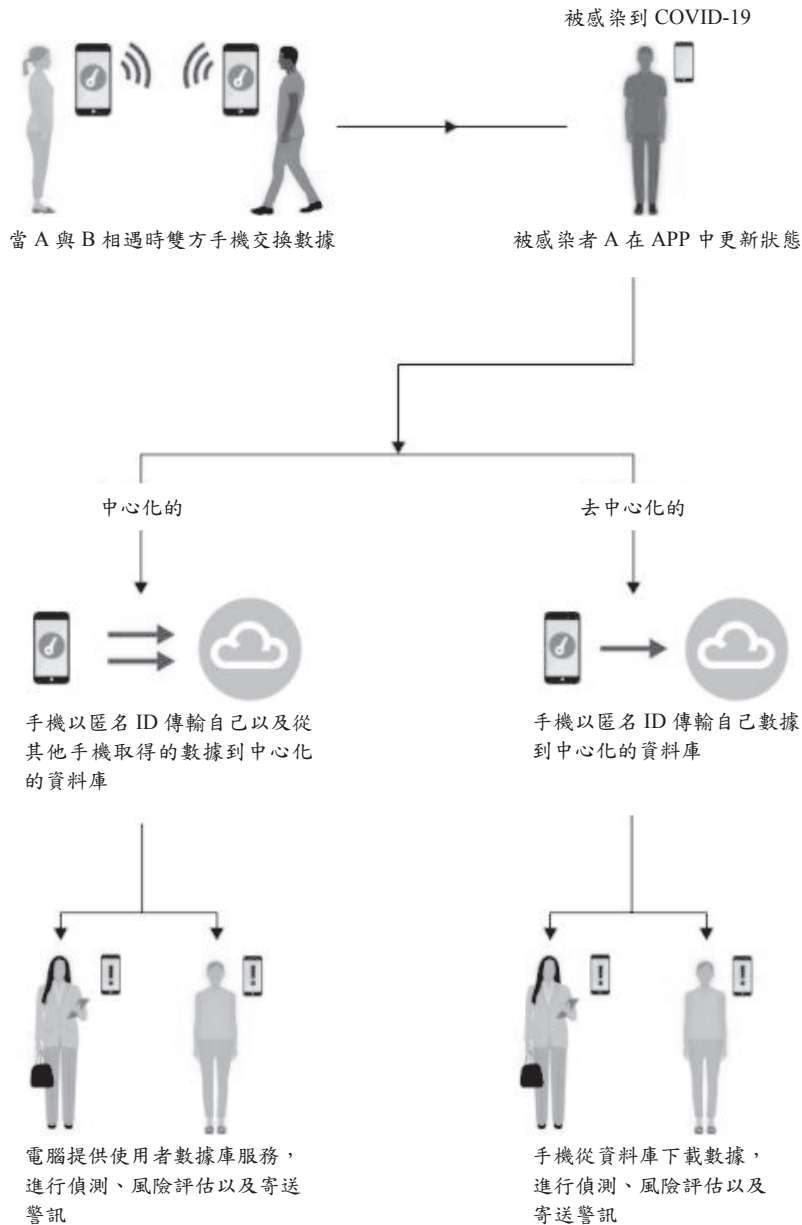


圖 9-4 中心化與去中心化追蹤程式運作架構圖

資料來源：吳宗翰翻譯自 Cristina Criddle & Leo Kelion, "Coronavirus contact-tracing: World split between two types of app," *BBC News*, May 7, 2020, <https://www.bbc.com/news/technology-52355028>。

另一方面，從發展時程來看，中國可以說是世界上最早推出相關程式的先驅，但其採用的程式設計原理並不同於「蘋果——谷歌」的去他化設計，而是中心化的方案。疫情自 2020 年初在湖北武漢爆發並向外省地區擴散不久，中國官方與民間即著手開發出許多相關手機應用程式，並不斷更新、整合、改版；多數程式最終建立在微信或者是支付寶平台上。儘管細部名稱各有不同，但所有程式最終都設計成以能產生被統稱為「健康碼」的 QR code 二維條碼為主，以供使用者在一定範圍內移動時得以向人展示個人健康狀況。「健康碼」的原理主要是透過三角定位手機 SIM 卡而得知持有者的行動軌跡，並藉由使用者在程式中填報個人資訊健康狀況、旅遊史、居住地，及是否接觸過疑似或確診肺炎病患等問題而判斷出用戶的身體狀況，顯示結果分紅、黃、綠三種顏色標示。截至 2020 年底，中國各地區基本仍維持認定不同的健康碼程式，換言之，民眾當移動到他處時很可能就會被要求安裝使用不同於原來當地的應用程式。

由於中國日前疫情相較於歐美緩和，健康碼便被官方塑造為是中國抗疫手段中極為重要且頗有成效的利器，並預計推廣施行到澳門、香港等地。在 11 月，習近平於 2020 年的 20 國集團（G20）高峰會致詞時還刻意倡議建立以國際互認的「健康碼」機制，以恢復人員旅行和商品流通。¹⁹ 習的說法乃是包裹其在大會上向其他參與國訴諸制定全球標準的意圖。相較於闡明當前中國的實際狀況，習近平對「健康碼」的提倡本質上是大外宣性質。會否能引起他國迴響仍有待觀察。

陸、小結

在美中對抗格局加劇以及新冠肺炎疫情衝擊下，有關「關鍵資訊基礎設施」的討論出現兩種趨勢。首先，衝突領域不斷變換戰場、延伸戰場，

¹⁹ Karen Yeung, "Coronavirus: Chinese President Xi Jinping proposes global QR code system to help free up travel," *SCMP*, November 22, 2020, <https://www.scmp.com/news/china/diplomacy/article/3110871/coronavirus-chinese-president-xi-jinping-proposes-global-qr>.

有關攻擊手法的設想（同時也可能是實際上的手法）更是層出不窮，混合威脅與灰色地帶衝突不斷侵入社會領域，導致社會焦慮不安的心情瀰漫。5G 網路的建設與運作，使得供應鏈安全的資安議題更加被重視，也不斷擴大被審視的領域。這些討論反映出「關鍵資訊基礎設施」的「安全」與「安全化」是一個浮動、複雜因地制宜（situational）的概念。

此外，疫情影響下關鍵資訊基礎設施似也值得再重新定義範圍，這是因為大量數位資通訊手段被運用與取代原有的生活方式。如此，過去可能不被包含在關鍵基礎設施的項目將可能在新條件下被視為是重要設施，譬如手機應用程式、雲端資料庫，未來包括數位貨幣等。

PART 4

跨域科技的軍事運用

第 十 章 數位戰場上的科技心戰

第十一章 制太空權：太空軍事化趨勢與兩用科技

第十章 數位戰場上的科技心戰

劉姝廷、李俊毅*

將一個人的意志強加於另一人的方法或將被純粹的心理戰取代，其中甚至不需使用武器、不需尋找戰場，或以失去生命或肢體為目標；而是一國藉由其意志的影響，腐化另一國人們的理性、蒙蔽其智力，與解體其道德及精神生活而實現。

富勒（J. F. C. Fuller）¹

壹、前言

距今 100 年前，英國軍事理論家富勒在分析第一次世界大戰的教訓，特別是新武器如裝甲戰車時，提出心理戰（psychological warfare）一詞，據信是此概念的創始人。時至今日，心理戰被賦予各項正面與負面意涵，並和宣傳（propaganda）、資訊戰（information warfare）、公共外交（public diplomacy）與戰略溝通（strategic communication）等相重疊。美國國防部將「心理作戰」（psychological operations, psyops）視為資訊作戰（information operations, IO）的五個支柱之一。² 美國特種作戰司令部（U.S. Special Operations Command, USSOCOM）於 2010 年 6 月將「心理作戰」一詞改為「軍事資訊協助行動」（military information support operations, MISO）。因此美國國防部的軍語辭典在 2016 年的修訂版稱該詞為誤用；

* 劉姝廷，國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員，負責本章第貳節廣播科技、擴增實境、虛擬實境、社群媒體、娛樂產業及第參節第三部分；李俊毅，國防安全研究院國家安全所副研究員，負責本章第壹節與第貳節無人載具、人工智慧及第參節第一、二部分。

¹ J. F. C. Fuller, *Tanks in the Great War: 1914-1918* (New York: E. P. Button and Company, 1920), p. 320.

² “Defense Primer: Information Operations,” *Congressional Research Service*, January 14, 2020, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF10771>. 資訊作戰的其他四個支柱為「電腦網路作戰」（computer network operations, CNO）、「電子戰」（electronic warfare, EW）、「作戰安全」（operations security, OPSEC）與「軍事欺敵」（military deception, MILDEC）。

2020 年 6 月的修訂版雖保留「psyop」此一簡稱，但已無相關詞條的說明。美軍對「psyop」與「MISO」的定義一致，意指「有計畫的作戰，目的是將特定的資訊與指標傳達予國外聽眾以影響其情感、動機、客觀的理智，最終則是外國政府、組織、群體與個人的行為，使之有利於發起方的目標」。³

由此定義來看，美軍對心戰範圍界定相當廣泛。其一分類方式是將之區分為戰略（strategic）、作戰（operational）與戰術（tactical）三層次，分別對應一國國際資訊活動、特定作戰區在平時與戰時的所有軍事作戰，以及特定戰術指揮官對抗敵對勢力的所有軍事作戰。⁴ 不過隨著資通訊科技進步，此一分野逐漸模糊。另一個分類方式則是依軍事行動的性質或強度，將之區分為戰爭與非戰爭軍事行動（Military Operations Other Than War）兩階段，後者又可區分並修正為危機與平時。本章依據美軍報告將心戰的範圍調整如表 10-1，右方欄位探討當前若干科技輔助心戰的實例與未來趨勢。由於心戰涵蓋範圍橫跨戰爭、危機與和平時期，就前述定義而言其目標亦不僅針對外部敵人，亦包含一國友盟，其目的可說兼具攻勢與守勢。本章進一步以圖 10-1 作為概念架構，並於第貳節逐一析論。

³ Alfred Paddock, Jr., "PSYOP: On a Complete Change in Organization, Practice, and Doctrine," *Small Wars Journal*, June 26, 2010, <https://tinyurl.com/y64lau3e>; US Department of Defense, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, JP 1-02, November 8, 2010 (as amended through 15 February 2016), p. B-3; US Department of Defense, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, JP 1-02, (as of June 2020), p. 142. 為行文方便，本文仍使用「心理戰」或「心戰」。

⁴ Arturo Munoz, *U.S. Military Information Operations in Afghanistan: Effectiveness of Psychological Operations 2001–2010* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2012), p. 13.

表 10-1 心戰的範圍與應用

軍事作戰	總體目標	傳統方式／工具	心戰科技應用
戰爭	作戰與獲勝	- 擴音器、傳單空投、廣播節目 - 面對面溝通	- 無人載具發揮恫嚇效果 - 廣播科技強化宣傳說服 - 擴增實境加強心戰反制
非戰爭 軍事行動	嚇阻戰爭與解決衝突	- 訓練地主國軍隊 - 資訊手冊 - 電視廣告	- 虛擬實境輔助軍隊訓練 - 人工智慧支援網路心戰
	維持有利之國際氛圍	- 漫畫書、新奇事物 - 報紙、雜誌 - 傳單、海報	- 社群媒體經營輿論利基 - 娛樂產業跨足軍事傳播

資料來源：李俊毅修改自“Psychological Operations Tactics, Techniques, and Procedures,”
Headquarters, Department of the Army, FM 3-05.301, December 31, 2003, p. 1-2。

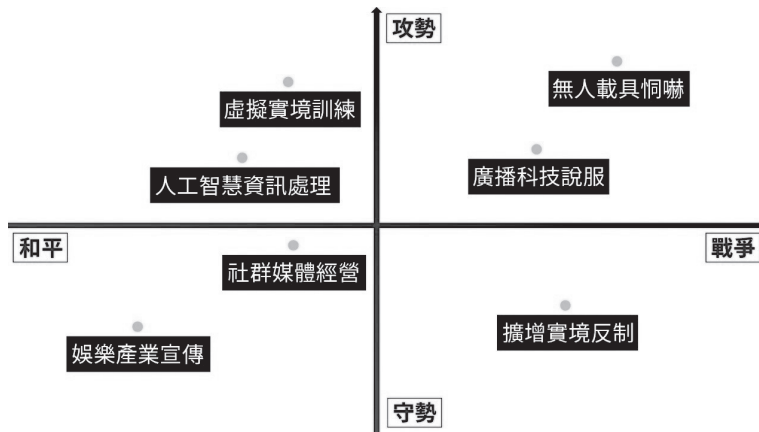


圖 10-1 科技心戰的概念與架構

資料來源：劉妹廷繪製。

貳、發展趨勢

以下本章依序探討若干心戰科技發展的現況與趨勢。

一、無人載具發揮恫嚇效果

無人飛行載具（UAV）具避免發動方人員傷亡、價格相對低廉、易於匿蹤，以及高度戰術運用彈性等特點，在 2020 年首先於利比亞戰爭中印證。無人機被譽為未來戰爭的關鍵因素之一，其部署本身即有心戰的作用。

2020 年 5 月初中國與印度於拉達克（Ladakh）東部對峙並爆發衝突。中國官媒《人民日報》於 23 日透過旗下融媒體、推特（Twitter）與臉書（Facebook）等新媒體平台，發布「AR500C 高原型無人直升機」於 20 日試飛成功的短片。《環球時報》列出該款無人直升機的資訊，包括可於海拔 5,000 公尺起飛，最高至海拔 6,700 公尺；其續航時間為 5 小時，最快時速為每小時 170 公里，起飛之最大重量為 500 公斤；其功能包含偵查、通訊中繼、電子干擾與火力攻擊等。這些看似客觀的數據旨在強化一旦 AR500C 部署於中印邊境後，可強化解放軍守備能力的主張。⁵

9 月 27 日，亞美尼亞（Armenia）與亞塞拜然（Azerbaijan）因納戈爾諾·卡拉巴赫（Nagorno-Karabakh，簡稱納卡）地區爆發武裝衝突。戰事於 11 月 9 日經俄國總統普欽調停告終，亞塞拜然取得其占領的納卡區土地，亞美尼亞只保住該區首府及部分土地。亞塞拜然利用自以色列與土耳其取得之多款無人機，攻擊並摧毀亞美尼亞老舊的俄式防空系統。⁶ 該國國防部更透過推特與 Telegram 等媒體平台，每日公布其無人機摧毀亞美尼亞裝甲車、戰車、火箭、防空系統與部隊的影片或照片。⁷ 此一操作於

⁵ Liu Xuanzun, "China's first plateau-focused unmanned helicopter makes maiden flight, missions along border with India expected," *Global Times*, May 24, 2020, <https://tinyurl.com/y6yf7m5w>.

⁶ Ridvan Bari Urcosta, "Drones in the Nagorno-Karabakh," *Small Wars Journal*, October 23, 2020, <https://smallwarsjournal.com/jml/art/drones-nagorno-karabakh>.

⁷ Mike Eckel, "Drone Wars: In Nagorno-Karabakh, the Future of Warfare Is Now," *Radio Free Europe/Radio Liberty* (RFE/RL), October 9, 2020, <https://tinyurl.com/y6cor3jt>.

戰事初期營造對亞塞拜然有利的氛圍，儘管其實際的推進並不如表面之迅速與順利。

資訊透明是應對此類心戰的最佳方式。亞塞拜然的無人機雖有戰果，但耗損可觀，戰爭最終仍取決於地面部隊的推進與占領。對於中國的無人直升機，印度媒體則稱中國一貫誇大未經測試與驗證的武器之效果，且該款無人機行動緩慢，是容易攻擊的目標。⁸

二、廣播科技強化宣傳說服

廣播自 1920 年代進入大眾的視野，成為戰爭時期重要的心戰工具。廣播是以無線電波供閱聽眾收聽節目的傳統傳播型態，相對於電視訊號傳送距離較短，以及新興媒體——網路——帶有審查、封鎖等風險，廣播無線電較難受到干擾與阻斷，具安全與有效性。此外，廣播被稱為「陪伴性媒體」，具工具簡易、便於收聽的特質，可因應世界各地教育程度不同之受眾；加上網路科技尚未全面普及，廣播仍是民眾獲取資訊的主要來源之一，是軍隊戰時主要的心戰武器。

1960 年代中期開始，美軍使用空中廣播或播放電視節目執行心戰任務。目前 EC-130J Commando Solo 為美軍特種心戰機，其隸屬於美國特種作戰司令部（United States Special Operations Command, USSOCOM）的空軍特種作戰司令部（Air Force Special Operations Command, AFSOC）第 193 特種作戰聯隊（193rd Special Operations Wing, 193 SOW）。EC-130J Commando Solo 具有符合國際廣播規格且高性能的廣播發射系統，其在一定的飛行高度下，透過調頻、調幅及高頻廣播的方式發射訊號，或覆蓋地面的廣播電台，執行心戰廣播任務。⁹

⁸ 黃敬哲，〈無人機真如此威猛？淺談雙亞戰爭中遊蕩彈藥的應用〉，《Tech News 科技新報》，2020 年 11 月 14 日，<https://tinyurl.com/y2bmcnlt>；Sutirtho Patranobis, “New chopper drone may be deployed along India border: Chinese state media,” *Hindustan Times*, May 25, 2020, <https://tinyurl.com/yc964cg5>; Shishir Gupta, “Psy Ops: In Ladakh standoff with India, China’s PLA replays Doklam tactics,” *Hindustan Times*, June 7, 2020, <https://tinyurl.com/ybvzt8al>.

⁹ “EC-130J Commando Solo,” *Military.com*, <https://reurl.cc/pyjnzr>.

EC-130J Commando Solo 上的系統操作官，就如同廣播電台的節目經理，依循整體作戰行動，並考量當地的閱聽眾習慣，制定心戰計畫，播放專家製作預錄的廣播或電視節目，並盡可能確保播出最高的逼真度。¹⁰ 例如 911 事件後，美軍在阿富汗戰爭中大量使用心戰機進行廣播，平均一天達 10 小時以上，甚至 24 小時不間斷的廣播，如塔利班（Taliban）電台的頻道出現由美國人主持的「阿富汗之聲」節目，功率覆蓋阿富汗全境。此案例中，美軍透過分眾的廣播心戰策略，製作不同的廣播訊息，一方面播放阿拉伯語節目威嚇塔利班武裝分子投降；另一方面以當地語言對平民柔性喊話，甚至為提高收聽率而增加音樂性節目。

中共解放軍以運 -8 運輸機為基礎，自行研發改裝推出「高新 7 號」心戰機，被視為可與美軍 EC-130J Commando Solo 心戰機較量。「高新 7 號」不僅與美軍心戰機同為飛行的廣播電台，甚至被認為可發送網路信號。「高新 7 號」的機腹設置多條通訊天線，推測可侵入台灣或其他國家的 FM 與電視廣播頻道或甚至網路，以散播心戰訊息，瓦解當地軍隊與社會的心防。惟未來戰爭與緊張局勢加劇，美軍坦言心戰機功能已不敷時代需求，戰時心戰廣播科技勢將進一步升級。¹¹

三、擴增實境加強心戰反制

隨著資訊與數據的應用發展，面對敵軍的心戰攻勢，如何正確並即時地向作戰前線傳達戰場資訊，已成為軍事科技創新的重要主題。其中，擴增實境（Augmented Reality, AR）是各國競相投入研發的關鍵技術。擴增實境應用於心戰的最大特點，即以數位影像加強現實戰場的資訊判讀，透過將戰場地形、敵軍位置等即時戰場資訊，快速傳遞至作戰前線士兵的擴增實境穿戴裝置，增進士兵對戰場的認知程度及戰況分析能力，達到降低

¹⁰ “Inside the Air Force’s Secret PsyOps Plane,” *WIRED*, May 27, 2018, <https://reurl.cc/j544an>.

¹¹ David Axe, “China Now Has a Flying Propaganda Machine,” *Daily Beast*, April 13, 2017, <https://reurl.cc/XkrrWM>; 〈「高新七號」助解放軍打好心理戰〉，《文匯網》，2013 年 8 月 17 日，<https://reurl.cc/r8jl8Z>。

並反制敵軍施行心戰的效果，藉此提升士兵的總體戰力，特別是戰場上的協同合作與生存能力。

以現代戰爭主要形式之一的城鎮戰（Urban warfare, UWAR）為例，擴增實境可強化城鎮戰作戰人員情勢判斷的資訊基礎，增進戰場的透明度（transparent battlefield）。¹² 美國國防先進研究計畫署（DARPA）自 2008 年起的研究項目「城鎮領袖戰術回應、意識與視覺化」（Urban Leader Tactical Response, Awareness and Visualization, Ultra-Vis），將擴增實境技術導入作戰概念，設計製造頭盔抬頭顯示器（Head Up Display, HUD）。¹³

值得注意的是，美國陸軍已於 2020 年 10 月首度完成軍用強化版擴增實境頭戴式裝置的實地測試，預計 2021 年讓士兵實地使用。這款整合化視覺擴增系統（Integrated Visual Augmentation System, IVAS）頭盔所配備的抬頭顯示器，由微軟（Microsoft）技術打造，透過擴增實境數位影像疊加呈現作戰視野、羅盤方位、友軍與敵軍位置，另有夜視與熱影像視覺功能。目前美國陸軍已初步規劃購入 4 萬副 IVAS 頭盔，將發配給特種作戰部隊、步兵、偵察兵等作為裝備使用。¹⁴

由於士兵於作戰中的心理狀態極為激烈，如何明確且有效地傳遞戰場資訊，使前線士兵快速偵測並感知威脅，是擴增實境軍事應用欲突破的關鍵。此外，當顯示的資訊量過多時，會影響作戰指揮官對戰場環境的判斷，以及獲取關鍵戰事資訊的效率。因此，資訊的過濾與整合，將是擴增實境未來發展的重點。另一方面，戰時前線士兵的協作與溝通是作戰的核心要務，包括部隊成員之間的互動，以及與友軍交換資訊。過去擴增實境互動的局限在於，士兵必須透過抓取或觸摸設備方能啟動，然而此舉卻會

¹² Xiong You, Weiwei Zhang, Meng Ma, Chen Deng, and Jian Yang, “Survey on Urban Warfare Augmented Reality,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, January 28, 2018, <https://reurl.cc/q8jD8E>.

¹³ 〈美軍方推出新型士兵頭盔平視顯示器功能豐富〉，《人民網》，2014 年 5 月 27 日，<https://reurl.cc/VXvaE5>。

¹⁴ Todd South, “Soldiers, Marines try out new device that puts ‘mixed reality,’ multiple functions into warfighter’s hands,” *Army Times*, April 8, 2019, <https://reurl.cc/Oq8bEy>; Todd South, “Army’s do-it-all goggles to reach soldiers’ hands in 2021,” *Defense News*, October 11, 2020, <https://reurl.cc/8nZINX>.

導致正在進行的任務中斷。為能推進戰時的資訊交流，互動技術如手勢感知或語音指令等尤為重要，將會是擴增實境軍事應用未來發展的重點。

四、虛擬實境輔助軍隊訓練

訓練地主國軍隊以增加士兵信心，是心戰中嚇阻戰爭與解決衝突的方式之一。近年來各國軍隊訓練朝向數位化，虛擬實境（Virtual Reality, VR）受到大量使用。虛擬實境是以數位技術打造擬真戰場，扭轉傳統軍隊訓練的形式，轉化成讓人身歷其境且具沉浸感與超真實的互動體驗。虛擬實境與軍事培訓結合，一方面可強化軍隊戰力，讓受訓者熟悉戰場環境，體驗不同的作戰效果，進而累積模擬實戰經驗；另一方面也可提升軍隊訓練品質，確保受訓者的生命安全，降低風險損耗與訓練成本。

2020 年 3 月英國國防部宣布將採用 SimCentric 軟體公司研發的虛擬實境平台 Saf-Tac 進行軍事訓練。這個訓練平台是以電玩遊戲的邏輯技術為基底，透過擬真的數位影像與環繞音效，生動模擬發生在實際戰場上的行動，成為作戰訓練的有效方式。值得一提的是，Saf-Tac 平台整合了觸覺回饋裝置，讓受訓者手持虛擬的作戰武器，可更加投入並接近實戰經驗，並如同真實訓練般，做出爬行、蹲伏等作戰動作。Saf-Tac 平台訓練包含了判斷訓練、領導力發展、壓力預防等部分，並將與英國陸軍、皇家海軍陸戰隊、皇家空軍合作，進行更廣泛的測試。¹⁵

美國空軍於 2018 年 4 月發布《次世代飛行員培訓計畫》（*Pilot Training Next*），藉虛擬實境等新科技培訓飛行員，節省訓練的時間與成本，達到熟練特定技能的效果。2020 年 7 月美國空軍引入「虛擬現實程序訓練系統」（Virtual Reality Perspective Taking, VRPT），8 月繼而宣布成立「虛擬測試與訓練中心」（Virtual Test and Training Center, VTTC），提供各種的戰機訓練，並透過虛擬實境技術模擬並複製戰時作戰情形，練習先進戰術。

¹⁵ “Army, RAF and Marines to trial Fortnite-like virtual reality training to prepare for battlezones,” *Telegraph*, March 15, 2020, <https://reurl.cc/XkY6yM>.

以虛擬實境訓練戰機飛行員已逐漸成為趨勢。美國空軍採用宏達電（HTC）VIVE Pro 虛擬實境抬頭式顯示器作為訓練之用，並搭配基地台、閘門或其他設備，模擬駕駛艙及操練演習的狀況。而在美軍引進 HTC VIVE Pro 結合訓練後，2019 年 5 月英國皇家空軍也加入採用虛擬實境培訓戰機飛行員的計畫。在 2020 年新冠肺炎疫情的影響下，為確保安全社交距離，虛擬實境成為戰機飛行員訓練的重要工具。¹⁶

五、人工智慧支援網路心戰

在作戰層次，心戰人員日益處於網路空間作業。他們需快速掌握對手乃至他國社會的思維方式，因此需具備消化資訊內容、快速提出反制訊息，與形塑對方訊息等能力。人工智慧（artificial intelligence, AI）可用近乎即時的方式，提供第一線人員所需的資訊，減少其負擔。

2016 年起，美國特種作戰司令部被賦予發展跨區域「軍事資訊協助行動」（即心戰）能力的核心任務，以因應在全球資訊空間的機會與風險。為此，該司令部於 2018 年設立首席資料長（Chief Data Officer）引領人工智慧與機器學習（machine learning, ML）的整合，以期創造以資料為導向的決策文化。沿此方向，美國國防部的聯合人工智慧中心（Joint AI Center, JAIC）發展一套名為「熵」（Entropy）的工具作為發展聯合資訊戰（Joint Information Warfare）的一部分，以強化美軍特種部隊影響與塑造資訊環境（特別是網路空間）的能力。¹⁷

據公開資料顯示，「熵」包含被動與主動兩大部分。針對前者，這套工具自網路汲取與分析包含文字材料與影片的資料流（data streams），其後將這些資訊的摘要或發展趨勢提供予心戰的操作人員。後者仍待研議，但涉及將人工智慧識別出的議題匯入某一或某些語言模型，並列出若

¹⁶ 〈英美空軍 VR 培育飛行員宏達電助陣〉，《中央社》，2019 年 5 月 2 日，<https://reurl.cc/N6ma25>。

¹⁷ Sarah Sybert, "Pentagon Launches New AI Tool to Deliver Data in Near-Real-Time; Gen. Richard Clarke Quoted," ExecutiveGov, September 20, 2020, <https://tinyurl.com/y3uxboaa>.

干訊息供操作人員選擇與評分。此一做法除了增進演算法的效能，也可將選定的訊息於網路空間散布。「熵」的最小可行性商品（minimum viable product）已在測試階段；該產品係為美國太平洋特種作戰司令部開發，並採三種語言模型：菲律賓的官方語言他加祿語（Tagalog）、漢語與英語。其架構並允許第三方整合於其他商業或政府平台。¹⁸

此一技術被揭露的部分似僅提供心戰人員篩選與分析後的資訊。可預期的是，若進一步結合行為科學的研究，而從網路與社群媒體的資訊掌握特定群體，甚至個人的情緒、偏好與行為模式，將有利該等人員對之從事側寫與微目標定位（micro-targeting），以利欺騙、激勵與脅迫等手段之使用。¹⁹

六、社群媒體經營輿論利基

2010年2月美軍獲准使用推特和臉書帳號，同年底茉莉花革命爆發，社群媒體正式躍升為時代的要角。²⁰此一資訊時代的轉向，意味著政府與軍方開始思考網路與社群媒體對軍隊的重要性，並著手利用社群媒體進行政治與軍事宣傳。在心戰的分類概念中，維持有利之國際氛圍是和平時期的基本手段，而社群媒體具即時、互動及擴散等傳播特性，不僅是形塑現行國際資訊環境的重要媒介，更是現代科技心戰中不可或缺的輿論利器。此外，社群媒體展現不同以往傳統媒體的優勢，經由轉傳分享等媒介功能，擴大傳播範圍，並透過圖、文、影音等多元表達方式，提高傳播效果。

在心戰任務中，社群媒體具有社群行銷、引導風向及資訊操弄等輿論經營功能。以社群行銷而言，社群媒體提供權威資訊或製造話題，

¹⁸ Mark Pomerleau, "Pentagon's AI center to field new psychological operations tool," C4ISRNET, September 11, 2020, <https://tinyurl.com/yxmsffpf>.

¹⁹ Cf. Vian Bakir, "Psychological Operations in Digital Political Campaigns: Assessing Cambridge Analytica's Psychographic Profiling and Targeting," *Frontiers in Communication: Political Communication and Society*, Vol. 5 (2020), doi: 10.3389/fcomm.2020.00067; Tamsin Shaw, "The New Military-Industrial Complex of Big Data Psy-Ops," *The New York Review*, March 21, 2018, <https://tinyurl.com/yd6m83w3>.

²⁰ 〈美軍將獲准使用推特〉，《BBC 中文網》，2010年2月27日，<https://reurl.cc/EzMKDg>。

皆是提高粉絲黏著度及擴大傳播範圍的方式。美國國防部的推特帳號（@DeptofDefense）以英文向國際發聲，發布美國官方訊息，至今已累積 628 萬名粉絲追蹤，是各國軍事社群媒體資訊來源的指標。就引導風向來說，社群媒體發布獨家消息，呼應政府或主流媒體說法，引導網路輿論風向。以中共解放軍「東部戰區」微信公眾號為例，其除了跟隨官方說法、發布軍演消息，亦包含開訓動員等宣傳內容。例如 2020 年 1 月 11 日台灣總統大選當天，「東部戰區」微信公眾號發布「開訓即開戰，起步硝煙濃」的訓令，並上傳多張「直-10 武裝攻擊機」、「米-17 系列運輸直升機」等武器裝備照片，試圖營造台海緊張的輿論風向。²¹ 在資訊操弄方面，以北京大學「南海戰略態勢感知計畫」推特帳號為例，其內容不乏以假訊息及假新聞生產建構美軍活動，藉社群媒體的分享轉傳與標籤功能，加上各國媒體的轉載跟風，有計畫地進行資訊操作，進而利用自由開放的國際社會，進行不對稱的輿論滲透與影響，向世界推播「美國才是不安因素」的故事。²²

社群媒體作為心戰的平台，係奠基於大數據分析技術。若心戰方以社群媒體的使用者行為模式，作為大數據資料蒐集與分析對象，其將可瞭解資訊傳遞的路徑與網絡，進而精準掌握心戰目標，進行有效的宣傳任務。這將是未來社群媒體心戰之發展趨勢。

七、娛樂產業跨足軍事傳播

欲達成潛移默化、滲透民心的心戰效果，娛樂流行文化被視為有利的宣傳管道。軍事需求不僅推動軍事與娛樂產業的互利合作，也刺激傳播科技的發展，形成軍事娛樂複合體（Military-Entertainment Complex）。²³ 電影透過軍事場景設計與劇本設定，加上運鏡技巧與特效科技，以娛樂包

21 〈【兩岸角力】台灣大選日解放軍東部戰區公開「開訓即開戰」照片〉，《香港經濟日報》，2020 年 1 月 13 日，<https://reurl.cc/Mdx7LK>。

22 〈中國官媒智庫發假訊息國防部批手法低劣〉，《中央社》，2020 年 9 月 2 日，<https://reurl.cc/XkYXg3>。

23 Tim Lenoir and Henry Lowood, "Theaters of War: The Military-Entertainment Complex," Stanford University, <https://reurl.cc/D6Q1M5>.

裝軍事宣傳；遊戲藉由戰爭背景設定與操作方式，加上沉浸式的互動體驗，形塑玩家的敵我意識。當娛樂產業跨足軍事傳播，其不僅著眼於經濟效益，更關注軍事傳播的各種可能性。

以電影產業而言，美軍自 1960 年代起便與電影產業互動密切，透過與好萊塢電影在技術與內容的合作，不但創造戰爭軍事類電影的高票房，更趁勢向世界輸出美軍強大、正義、愛好和平的正面形象。如描述越戰並以陸軍特種部隊為主角的《越南大戰》（Green Berets）獲美軍武器裝備及技術指導；反恐電影《美國狙擊手》（American Sniper）為彰顯美軍正面形象的代表。中共近年積極拍攝軍事題材的愛國電影，並力推至世界舞台，例如《戰狼 2》被稱為中國式的愛國主義作品，2017 年在中國與美國市場同時上映，除點燃中國民族主義熱潮，中共解放軍也藉此向世界行銷與展示解放軍的英勇故事。

從遊戲產業觀察，軍事電子遊戲的出現，源自於作戰訓練的需要。而將遊戲對戰功能進一步推展至軍事傳播領域，則以美軍 2002 年起製作的《美國陸軍》（America's Army）系列遊戲產品為濫觴。此款遊戲不僅播放美國陸軍的宣誓畫面，並穿插「為美國人民而戰」的精神喊話，讓玩家不由自主地與美軍站在同一陣線，為遊戲所宣傳的美軍價值理念而戰。如此沉浸式的宣傳，除了有賴專業軍事顧問協助對歷史戰場、當代軍事行動的瞭解，更倚靠科技輔助的擬真效果，如虛擬實境、顯示技術、人工智慧，甚至是讓玩家試用實驗型武器裝備，促使娛樂產業與軍事傳播互利共生。²⁴

²⁴ 蘇娟，〈電子遊戲產業中的軍事文化傳播〉，《中國軍網》，2017 年，<https://tinyurl.com/y5x5vqto>。

參、小結

本文最後提出以下觀察：

一、科技心戰具雙重意涵

本章探討科技如何輔助心戰，但發現兩者的關係更為複雜。首先，先進科技或武器的展示，本身即有心戰效果。無人機被譽為影響未來戰爭的關鍵，其部署、取得的偵照，以及打擊火力，都具有威懾對手的作用。以此來看，美中對外展示先進武器，亦不無鼓舞友盟與嚇阻對手之心戰目的。其次，科技的發展使心戰以更有效的方式影響更多對象。廣播科技、社群媒體與娛樂產業等，使資訊的傳遞更為深遠；人工智慧的應用，則可望輔助心戰人員的決策。

二、科技發展開拓心戰範疇

心戰的概念原以國外聽眾為對象，但科技的發展使「內部／外部」的界線漸趨模糊。以先進武器宣傳國威，不僅威懾對手，也鼓舞己方民心士氣；透過社群媒體與娛樂產業傳遞有利本國之訊息，亦同時影響雙方聽眾；以擴增實境增進士兵對掌握戰況的能力，以及透過虛擬實境輔助訓練，則能提升部隊的素質與攻防能力。當代的心戰不只跨越平時與戰時的分野，且兼具攻勢與守勢的性質。

三、需求與創意共生心戰科技

本章描繪數位戰場上科技心戰的樣態，並聚焦於各式心戰科技的發展趨勢。在科技心戰中，虛擬實境與人工智慧等關鍵科技被廣泛使用；而社群媒體與大數據分析等傳播科技，則屬科技心戰的運作基礎並可成為國家的政策工具。我國因此須持續關注相關科技的進展與應用，特別是傳播科

技的武器化。從生活到軍事、從模擬到訓練、從娛樂到宣傳，在相互刺激與交流下，心戰科技的發展與軍事需求密切相關，更與民間產業的創意交相輝映。

第十一章 制太空權：太空軍事化趨勢與兩用科技

蔡榮峰*

壹、前言

當代軍事民生系統極度仰賴衛星作為通訊節點，使得幾無防備卻集結各種戰略價值於一身的太空基礎設施，儼然成為「不設防的戰略高地」。太空正逐漸被世界主要強權視為未來戰爭第一擊可能的發生地，太空資產遂成為對潛在競爭對手施以不對稱打擊的薄弱環節。

2020年8月10日美國太空軍首次公布了第一份太空作戰理論報告書《太空頂石報告》（*Space Capstone Publication, SCP*）。¹該報告明確定義太空能力為國力之組成，而太空作戰內涵共有三個層面：實體層面（physical dimension），泛指太空活動所涉及的實體裝備；網路層面（network dimension），即利用太空作為通訊節點以協助傳統領域作戰；認知層面（cognitive dimension），則是遠端遙控技術成熟將使得世人逐漸認知到太空領域重要性，特別是基於特定意圖、經由視覺化系統來操作太空技術或藉此塑造與重新定義心理認知。²

2020年美中大國競爭為全球太空應用帶來兩大明顯趨勢：太空軍事化持續加深、軍民兩用先進技術成為競爭焦點；前者源於反衛星能力的擴散與進步，使得原有技術領先國因危機感而採取行動，後者則是全球先進科技開發成本不斷攀升、科技資本累積向商業公司傾斜所致。此外，經濟前景也反映出競爭焦點所在。2019年全球太空市場規模達3,500億美元

* 蔡榮峰，國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員。

¹ Ashley M. Wright, "Space Force releases 1st doctrine, defines 'spacepower' as distinct form of military power," United States Space Force, August 10, 2020, <https://www.spaceforce.mil/News/Article/2306828/space-force-releases-1st-doctrine-defines-spacepower-as-distinct-form-of-military-power>.

² United States Space Force, "Space Capstone Publication (SCP) -Spacepower-Doctrine for Space Forces," June 2020, https://www.spaceforce.mil/Portals/1/Space%20Capstone%20Publication_10%20Aug%202020.pdf, pp. 5-8.

元，預計到 2040 年上看 1 兆美元，其中 50% 可能皆來自衛星無線網路。³

本文從軍民兩用技術及其政府組織，比較美國與中國競爭制太空權的發展路線差異與 2020 年最新動態，並檢視「四方安全對話」（Quadrilateral Security Dialogue, QUAD）成員國日本、澳洲、印度之太空主權能力概況。

貳、中國以「軍民融合」發展反衛星能力與「天基絲路」

習近平上台以來，中共將太空能力視為技術自主與綜合國力的展現；兩彈一星、載人航天、月球探測，並以「航天夢」推動「中國夢」，2016 年起將每年 4 月 24 日訂為「中國航天日」。⁴ 2019 年中國在其第二版國防白皮書《新時代的中國國防》當中，定調解放軍積極利用太空能力的方法與目的，2020 年中國太空技術部分發展達成里程碑。

《新時代的中國國防》明確指出太空是國際戰略競爭制高點，太空安全是中國國家建設和社會發展的戰略保障，將持續以推動國際合作、加快發展技術、整合衛星訊息資源、掌握太空狀態覺知，來強化進出、利用太空之能力。⁵ 目前，中共解放軍已經擁有針對低地軌道（Low-Earth Orbit, LEO）衛星的動能擊殺能力，未來也可能發展出能夠擊殺其他軌道衛星的武器；基於相同的邏輯思考太空防衛，中國自主發展的北斗導航衛星即混合了多種軌道。解放軍也正發展太空電子戰、定向能武器、太空機器臂等具潛在軍用價值的兩用技術，宣稱正測試類似美軍 X-37 太空飛機的先進載具如「神龍」、「騰雲」；⁶ 這些技術能力距離形成有效戰力的程度不一，資訊不透明令外界難以掌握其實質進度（圖 11-1）。⁷

³ “Space: Investing in the Final Frontier,” Morgan Stanley, July 2, 2019, <https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>.

⁴ 〈習近平引領航天夢助推中國夢〉，《中國共產黨新聞網》，2016 年 9 月 15 日，<http://cpc.people.com.cn/xuexi/n1/2016/0915/c385474-28718006.html>。

⁵ 《新時代的中國國防白皮書全文》，中華人民共和國國防部，2019 年 7 月 24 日，http://www.mod.gov.cn/big5/regulatory/2019-07/24/content_4846424.htm。

⁶ 歐錫富，〈中國成功發射可重複使用試驗航天器〉，《國防安全即時評析》，國防安全研究院，2020 年 9 月 21 日，<https://bit.ly/39q4jjG>。

⁷ Pratik Jakhar, “China claims ‘important breakthrough’ in space mission shrouded in mystery,” *BBC News*, September 9, 2020, <https://www.bbc.com/news/science-environment-54076895b>.

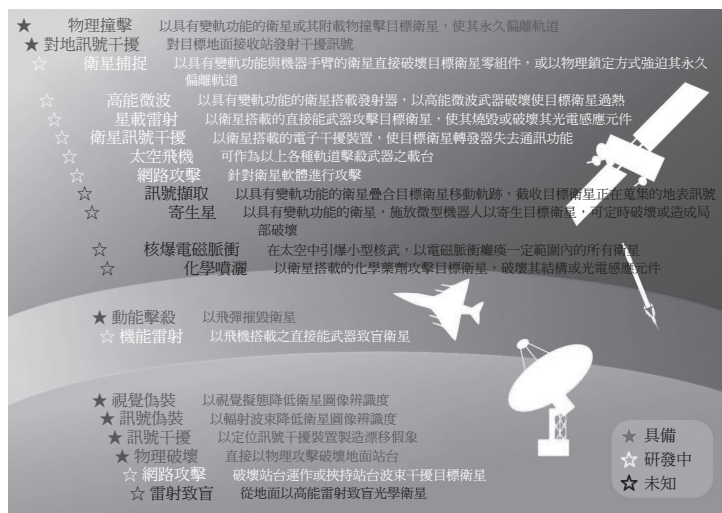


圖 11-1 解放軍反衛星能力評量

資料來源：蔡榮峰整理自公開資訊。

自 1989 年中國國務院與中共中央軍委設立國家航天領導小組以來，過去 20 年中華人民共和國以舉國體制發展軍民兩用太空技術，以黨政軍三大系統管控政策與技術發展（圖 11-2）。中國國務院體系下的國家國防科技工業局主管軍民兩用科技轉用的政策規劃與技術發展，國家航天局專責研擬太空政策、法規標準與發展計畫執行，同時扮演中共對外推展國際合作、吸收民用技術的門面。解放軍中央軍委下的業務則分成了兩大部分，攸關解放軍部隊人員進入地球軌道者，皆屬中央軍委裝備發展部管理，而太空基礎建設與技術研製則屬戰略支援部隊航天系統部。

軍民融合體制尤其反映在末端的研發與生產，隸屬國有資產監督管理委員會業管的國有企業中國航天科技集團（以下稱航天科技）、中國航天科工集團（以下稱航天科工），前身皆為中國國防部第五研究院，現即接受國務院國家國防科技工業局、中央軍委裝備發展部雙重指導。這兩大集團為中國太空科技與軍民轉用技術之龍頭，航天科技業務主要集中在太空發射與軌道技術兩大領域，前者包括研製籌載火箭、戰略層級的洲際彈道飛彈、高能燃料、一箭多星技術（可應用於多彈頭洲際彈道飛彈）；後者

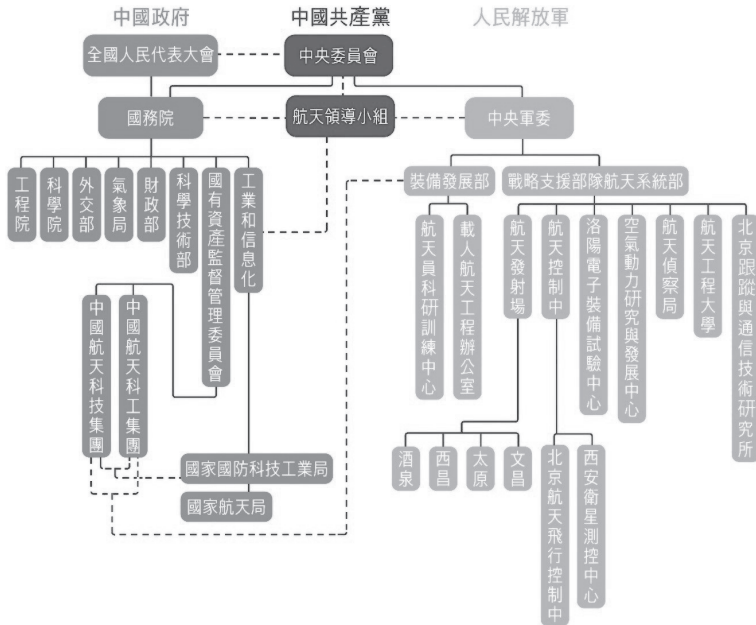


圖 11-2 中國太空軍民兩用技術黨政軍主要單位組織圖

資料來源：蔡榮峰增補解放軍戰略支援部隊航天系統部，本圖架構參考 Alexander Bowe, “China’s Pursuit of Space Power Status and Implications for the United States,” US-China Economy and Security Review Commission Staff Research Report, April 11, 2019, p. 9, <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2020/10/secretary-ross-highlights-commerce-actions-supporting-strategy-critical>。

包括衛星、衛星地面系統、軌道控制、姿態控制、衛星回收等。航天科工集團主要為軍民兩用技術為主，主要發展戰術層級的飛彈、微波技術、資訊傳輸、太空技術衍生的民用產品（機器、電子、化工等）。然而兩大集團業務並非涇渭分明，如中國曾出口土耳其的「衛士」型火箭砲即來自中國航天轄下四川航天工業公司。

中國民營商業航太企業 2019 年年底為止達 176 家；2020 年 4 月 20 日，中國國家發展和改革委員會已將衛星無線網路定位為「新基建」通訊基礎設施之一環，鼓勵民間大力發展相關技術，而民營企業當中，銀

河航天於1月16日成功發射中國首顆通訊能力達到10Gbps的寬頻通訊衛星，而與之並列的還有兩大國企航天科工的「五雲」工程、航天科技的「鴻雁」工程（表11-1、表11-2）。⁸

表 11-1 先進載台／衛星無線網路

項目	建成目標	2020 進度
航天科工		
虹雲工程	全球衛星無線寬頻網路	排程測試低軌衛星互聯網、智慧船舶物聯網
行雲工程	全球衛星無線窄頻物聯網	以雙衛星測試低地軌道衛星之間雷射通訊
飛雲工程	太陽能無人機空基區域網路	完成 8,000 公尺高空局部區域網路飛行試驗
快雲工程	平流層浮空器載台	完成飛行試驗
騰雲工程	太空飛機	完成首次組合動力模組試驗
航天科技		
鴻雁工程	全球衛星無線寬頻網路	首發星測試
銀河航天		
銀河航天衛星網路	全球衛星無線寬頻網路	完成首枚部署與 3 分鐘衛星無線網路通話

資料來源：蔡榮峰整理自公開資訊。

表 11-2 衛星軌道通訊系統建置比較

衛星軌道	低軌道 LEO	中軌道 MEO	高軌道 GEO
高度（公里）	500~1,500	5,000~12,000	35,800/36,000
繞行再訪時間	95~115 分	3~7 小時	24 小時
全球覆蓋所需最小衛星數（枚）	40~800	8~20	3（不含南北極區）
衛星壽命（年）	3~7	10~15	15+
通訊切換頻率	較高	較低	—
系統建置成本	高	中	低
都卜勒頻移	高	中	低
來回通訊延遲	10~30 毫秒	70~200 毫秒	0.5 秒
傳輸耗損	較低	較高	最高

資料來源：蔡榮峰整理自公開資訊。

⁸ 〈到去年底中國民營航太企業 176 家，占國內商業航太公司九成〉，《澎湃新聞》，2020 年 11 月 9 日，<https://finance.sina.com.cn/tech/2020-11-09/doc-iiznctke0482722.shtml>；中華人民共和國商務部，《國家發改委首次明確「新基建」範圍》，2020 年 4 月 21 日，<http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyjl/e/202004/20200402957398.shtml>。

根據中共 2020 年 11 月 3 日發布的《「十四五」規劃》以及《2035 遠景目標》，將太空指定為必須發展的戰略性新興行業之一，「空天」科技則是強化中國戰略科技力量的尖端領域，而《2016 中國的航天》白皮書、《航太發展「十三五」規劃》也指出中國欲在 2030 年達成「航天強國」的第一階段目標「國防現代化」。⁹ 2020 年為《「十三五」規劃》收官之年，雖然受到疫情衝擊，但解放軍仍完成第 3 代北斗衛星部署、「高分 03」系列衛星、「天問 1 號」火星探測器等發射任務，探月工程三期「嫦娥 5 號」探測器則定於 11 月底發射。

中國 1992 年啟動「載人航天工程」的「三步走」發展戰略，預劃 2022 年建成中國太空站「天宮」，而 2020 年應為實質啟動建設之階段。太空站組件運載火箭長征 5 號 B，在 2020 年 3 月、4 月接連發射失敗後，5 月 5 日終於由海南文昌衛星發射中心成功試射，完成將長度 8.8 公尺、重量 21.6 公噸、最多承載 6 人的太空艙推升至約 8,000 公里軌道任務，不過該火箭殘骸疑似於 5 月 11 日擊中西非象牙海岸城鎮馬乎努（Mahounou）。¹⁰

2020 年中國全年太空在發射頻率上預將達 40 次，超越 2019 年紀錄，然而事實上新一代運載火箭推進的成果有限，長征 5 號 B 雖成功首飛，但除此之外，長征 7 號甲於 3 月 16 日試射失敗，中國第一款可垂直

⁹ 〈中共中央關於制定國民經濟和社會發展第十四個五年規劃和二〇三五年遠景目標的建議〉，《新華社》，2020 年 11 月 3 日，http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/www.xinhuanet.com/politics/2020-11/03/c_1126693293.htm；趙竹青，〈中國航太迎「超級 2020」：平均不到 10 天一次發射〉，《人民網》，2020 年 1 月 17 日，<http://scitech.people.com.cn/n1/2020/0117/c1007-31554053.html>；〈「十三五」是中國航太發展的戰略機遇期〉，中華人民共和國國務院新聞辦公室，2016 年 4 月 23 日，<http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/33978/34436/zy34440/Document/1475400/1475400.htm>；中華人民共和國中央人民政府，〈《2016 中國的航天》白皮書發佈 2030 年中國躋身航天強國〉，2016 年 12 月 28 日，http://big5.www.gov.cn/gate/big5/www.gov.cn/xinwen/2016-12/28/content_5153674.htm；〈航天強國路線圖出爐：2045 年中國全面建成世界航天強國〉，《人民網》，2018 年 8 月 31 日，<http://gz.people.com.cn/BIG5/n2/2018/0831/c344102-32001565.html>。

¹⁰ Andrew Jones, “Long March 5B launch clears path for Chinese space station project,” *Space News*, May 5, 2020, <https://spacenews.com/long-march-5b-launch-clears-path-for-chinese-space-station-project/>; Loren Grush, “An out-of-control Chinese rocket may have dumped debris in Africa after falling from space,” *The Verge*, May 13, 2020, <https://www.theverge.com/2020/5/13/21256484/china-rocket-debris-africa-uncontrolled-reentry-long-march-5b>.

回收重複使用火箭長征 8 號三型，本來宣稱於 2020 年將實現首飛，目前已傳除延遲至 2025 年才投入商用。值得一提的是，2015 年啟用的長征 11 號於 2020 年 9 月 15 日首次進行海上發射，從黃海海域採取「一箭九星」的方式，把用於中國第一套商用自主遙測系統「吉林 1 號」的「高分 03」系列 9 顆衛星送入預定軌道，並往南極方向繞極軌道發射，傳刻意經過台灣上空，頗有挑釁意味。¹¹

北斗衛星導航系統第三代星座，最後一枚衛星於 2020 年兩度延遲發射，至 6 月 23 日成功發射後，終完成 30 顆衛星座部署任務，並於 7 月 31 日開通全球服務，為混成軌道之全球定位系統，其中 3 枚位於地球靜止軌道（Geostationary Orbit, GEO）、3 枚位於傾斜地球同步軌道（Inclined GeoSynchronous Orbit, IGSO）、24 枚位於中圓軌道（Medium Earth Orbit, MEO）。其實早在 2018 年 12 月 27 日，北斗提前 2 年開通全球服務。作為「一帶一路」戰略一部分的「天基絲路」，若從重點區域的推展順序來看，不難發現中共北斗系統的國際化策略帶有濃厚的能源戰略目的性，主要從巴基斯坦、阿拉伯國家聯盟成員國優先推行，再輔以國際組織、訂立國際標準作為擴散平台，如國際民航組織（International Civil Aviation Organization, ICAO）、國際海事組織（International Maritime Organization, IMO）、5G 通訊規格標準化機構 3GPP 等三大國際組織採用的各國導航系統，業已涵蓋北斗系統。中國 2019 年衛星定位服務產業總體產值達到 3,450 億元，預計 2020 年可能達 4,000 億元。¹²

華府智庫戰略暨國際研究中心（CSIS）、東京智庫日本防衛研究所進一步指出中國衛星數量截至 2020 年 3 月已達 363 枚，為全球第二，僅次

¹¹ 郭超凱，〈中國首型垂直起降重複使用運載火箭預計 2025 年前後完成研製〉，《中新社》，<http://www.chinanews.com/gn/2020/11-04/9330413.shtml>；吳柏緯、沈朋達，〈中國長征 11 號首次海上商業發射送 9 顆衛星上太空〉，《中央社》，2020 年 9 月 15 日，<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202009150093.aspx>。

¹² 李國利、王玉磊、黃國暢，〈北斗「母港」追星夢〉，《新華社》，2020 年 6 月 24 日，<http://203.192.15.131/PDF/20200624/06.pdf>；周雁，〈北斗三號全球衛星導航系統建成開通新聞發佈會召開〉，《北斗網》，2020 年 8 月 3 日，http://www.beidou.gov.cn/yw/xwzx/202008/t20200803_20935.html；中國衛星導航系統管理辦公室，〈北斗衛星發射列表〉，2020 年 6 月 23 日，<http://www.beidou.gov.cn/xt/fsgl/>。

於美國。其中，日方認為解放軍控有 65 枚對地觀測衛星（高分、遙感）、3 枚通訊衛星、49 枚定位導航衛星（包括北斗系列衛星）。¹³ 美國國防部則認為中國政府為融合利用商業、軍事衛星以及私人運營商蒐集數據，其控有的各類偵察與遙控衛星在 2018 年底可能就已超過 120 枚，半數實質上皆為解放軍所有，¹⁴ 也就是說，數量上可能超過日方的評估。根據民間公開數據「憂思科學家聯盟衛星資料庫」（Union of Concerned Scientists Satellite Database）統計，截至 8 月 1 日，2,787 枚在軌衛星當中，382 枚屬於中國所有。¹⁵

參、美國藉五眼聯盟與企業創新強化太空韌性

2020 年美國太空發展也創下不少里程碑，其太空能力的進步主要展現在太空軍戰力迅速成形、「新太空」（New Space）商業太空發射與衛星無線網路技術邁入成熟應用期、透過法律壓制中國技術發展並為接下來 10 年的地月空間競爭奠下基礎。

美國太空軍 6 月宣布 2021 年將成立的太空軍總部將下轄三個司令部，作戰司令部（Space Operations Command, SpOC）負責 GPS、飛彈預警和通訊衛星系統；太空訓練和戰備司令部（Space Training and Readiness Command）以及太空系統司令部（Space Systems Command）。¹⁶ 事實上，2019 年美國就已成立聯合英國、澳洲、加拿大等「五眼聯盟」盟國的聯合

¹³ 日本防衛研究所，《中國安全戰略報告 2021》，2020 年 11 月 13 日，http://www.nids.mod.go.jp/publication/chinareport/pdf/china_report_CN_web_2021_A01.pdf，頁 37-38；China Power Team, “How is China Advancing its Space Launch Capabilities?,” CSIS, November 5, 2019 (updated August 25, 2020), <https://chinapower.csis.org/china-space-launch/>.

¹⁴ US Department of Defense, “Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China 2020,” Annual Report to Congress, September 1, 2020, <https://media.defense.gov/2020/Sep/01/2002488689/-1/-1/1/2020-DOD-CHINA-MILITARY-POWER-REPORT-FINAL.PDF>, p. 65.

¹⁵ Theresa Hitchens, “China Set to Beat US, Russia Again In Space Launch Race,” *Breaking Defense*, October 30, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/10/china-set-to-beat-us-russia-again-in-space-launch-race/>.

¹⁶ Valerie Insinna, “Here’s how the Space Force will be organized,” *Defense News*, June 30, 2020, <https://www.defensenews.com/space/2020/06/30/heres-how-the-space-force-will-be-organized/>; Nathan Strout, “US Space Force to establish new acquisitions command in 2021,” *C4ISRNet*,

太空作戰中心（Combined Force Space Operations Command, CSpOC），提升全球聯合作戰能力。

美國太空軍聯合太空作戰中心少將指揮官約蕭（John Shaw）9月29日指出未來其目標是要讓衛星能夠逐漸「自我管理」，並在受到威脅時自動反應，「我們將在未來幾年內，於地球、月球與太陽軌道上大量部署自動化 and 自主系統，從太空維護國家安全」。¹⁷該中心5月8日宣布已完成「小林丸」（Kobayashi Maru）平台研發，可讓美國與「五眼聯盟」等主要盟邦，共享太空物體追蹤與遙測數據，以進一步強化美國與盟邦太空情勢覺知能力，即時獲得包括太空發射、衛星碰撞預警、太空物體重返大氣層等資訊。¹⁸

在商業發射方面，美國自2017年其國家太空總署（NASA）進行了成本評估研究後，積極鼓勵產官合作發展太空快速部署的能力以增加太空韌性（space resilience），以有效降低敵軍致盲打擊風險，而將近地軌道運輸外包的新模式能為官方節省數十億美元的採購成本，將預算轉移至月球和火星計畫。¹⁹美國私人航太企業SpaceX於5月30日、11月15日先後兩次執行了往返國際太空站的載人任務，這也是美國自2011年太空梭退休後，首次恢復了太空載人的自主能力；尤其11月的任務由皆可回收重複利用的「獵鷹9號」運載火箭（Falcon 9）和「龍」太空艙（Dragon

October 1, 2020, <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2020/10/01/the-space-force-to-establish-new-acquisitions-command-in-2021/>; Nathan Strout, "Space Force establishes the first of three field commands," *Defense News*, October 21, 2020, <https://www.defensenews.com/battlefield-tech/space/2020/10/21/space-force-establishes-the-first-of-three-field-commands/>.

¹⁷ Rachel S. Cohen, "Space Force Will Eventually Put Troops in Orbit, Ops Boss Says," *Air Force Magazine*, September 29, 2020, <https://www.airforcemag.com/space-force-will-eventually-put-troops-in-orbit-ops-boss-says/>.

¹⁸ Maj. Matt Holland, "Kobayashi Maru delivers 'coalition friendly' Platform," Space and Missile Systems Center, May 8, 2020, <https://www.spaceforce.mil/DesktopModules/ArticleCS/Print.aspx?PortalId=1&ModuleId=489&Article=2183258>; 王光磊，〈美太空軍新平台「小林丸」供盟友共享太空覺知數據〉，《青年日報報》，2020年5月23日，<https://bit.ly/3IUBOOo>。

¹⁹ Edgar Zapata, "An Assessment of Cost Improvements in the NASA COTS - CRS Program and Implications for Future NASA Missions," *Washington Post*, September 12, 2017, <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170008895>.

capsule) 搭配執行, 可說 2020 年美國正式進入商業太空時代。²⁰

在衛星技術方面, SpaceX 的「星鏈」(Starlink) 計畫已經發射約 900 顆低地軌道衛星, 10 月 26 日開始以 99 美元月租費向客戶提供網速 50~150 Mb/s、20~40ms 延遲的衛星無線網路服務, 預計 2021 年可達成全球都會區覆蓋服務。未來將發射共約 1.2 萬顆衛星並在地球上的低軌道運行, 年營收屆時上看 300 億美元。²¹ DARPA 所製造的軍用版星鏈「黑傑克」(Blackjack), 也於 2020 年底陸續發射, 2022 年將建成軍用低軌衛星的全球無線網路, 以支援未來分散式打擊的新型態軍事戰略。此外, 為了提高太空電子戰抵禦能力, 現有軍民兩用的 GPS 系統預計 2023 年也將升級成由 32 枚衛星所組成的第 3 代 GPS 系統 (GPS Block III), 其中包括 10 枚的 3 代衛星 (GPS III) 以及 22 枚軍用機能更強、具雷射光學通訊能力的 3 代升級版 (GPS IIIF); 截至 2020 年 11 月, 已有 4 枚 3 代衛星部署至近地軌道。GPS 升級後定位精準度將提升為現有 3 倍, 太空訊號用戶測距誤差 (SIS-URE), 誤差範圍將從現有的 3~10 公尺縮小至 1~3 公尺, 抗干擾能力也提升 8 倍, 使用壽期延長至 15 年, 比現有衛星多了 25%, 並且能與各國衛星訊號系統相容, 特別是具有與日本、印度等具自主區域導航系統的潛在盟邦相互備援的能力。除此之外, 美國太空發展局 (Space Development Agency, SDA) 及 DARPA, 更計畫於 2021 年至 2022 年間啟動衛星雷射光學鏈接 (optical inter-satellite links) 實驗, 希望未來在衛星之間、衛星與地面軍事指揮中心之間的通訊能以雷射取代無線電, 大幅提升衛星無限網路傳輸速度。²²

²⁰ Christian Davenport & Hamza Shaban, "SpaceX's Dragon Crew-1 capsule, with 4 astronauts aboard, on way to ISS," *Washington Post*, November 16, 2020, <https://www.washingtonpost.com/technology/2020/11/15/spacex-launch-live-updates-crew1/>.

²¹ 品玩, 〈馬斯克衛星網路 Starlink 首波 Beta 測試上路! 每月 3,000 元有找, 網速超越美國 95% 寬頻〉, 《數位時代》, 2020 年 11 月 5 日, <https://www.bnext.com.tw/article/59948/spacex-starlink-test>。

²² Lockheed Martin, "Fourth Lockheed Martin-Built GPS III Satellite's On Board Engine Now Propelling It To Orbit," reviewed November 22, 2020, <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/gps.html>; by Sandra Erwin, "DoD to test laser communications terminals in low Earth orbit," *Space News*, June 8, 2020, <https://spacenews.com/dod-to-test-laser-communications-terminals-in-low-earth-orbit/>; 何思穎、張小玫, 〈美國國防部測試近地軌道上之雷射光通訊終端運作〉, 《科技產業資訊室》, 國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心, <https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=16727>。

在法律方面，美國在國內法方面將太空基礎建設視為美中科技戰重點之一，從產業面下手，直接鎖定中國太空產業鏈上游的薄弱環節。美國白宮 10 月 15 日發布《關鍵與新興技術國家戰略》（*National Strategy for Critical and Emerging Technology*）報告，直接指控中俄兩國竊取技術、強制企業轉移知識產權，特別點名中國暗中利用「軍民融合」方式吸收美國民用科技強化解放軍軍力。美國商務部工業安全局（Bureau of Industry and Security, BIS）同日宣布在 2018 年《出口管制改革法案》（*Export Control Reform Act, ECRA*）的基礎上，實施第四套新興技術控制措施，對航空、生物技術、化學、電子、加密、地理空間圖像和海洋領域等特定新興技術的管制從 2019 年的 14 類提高到了 31 類。²³ 國際法方面，美國 5 月 15 日提出《阿提米絲協議》（*Artemis Accords*），作為開發月球資源的國際法框架，而 NASA「阿提米絲計畫」（*Artemis Program*），美國擬於 2023 年開始組裝月球軌道太空站「門戶」（*Gateway*）、2024 年載人重返月球、2028 年建成月球基地。NASA 預估 20~25 公噸氦-3 就能滿足全美一整年的發電量。目前已確定日本、澳洲將作為盟邦參與該計畫。²⁴

肆、日本、澳洲、印度追求有限自主太空能力

一、日本

東京視太空為情報與電子作戰重要領域，且為美日聯合防衛優勢不可或缺之基礎。日本 2020 年 5 月 18 日正式於航空自衛隊轄下成立「宇

²³ White House, “National Strategy for Critical and Emerging Technology,” October 15, 2020, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2020/10/National-Strategy-for-CET.pdf>; U.S. Department of Commerce, “Secretary Ross Highlights Commerce Actions Supporting Strategy for Critical and Emerging Technologies,” October 15, 2020, <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2020/10/secretary-ross-highlights-commerce-actions-supporting-strategy-critical>.

²⁴ “Lunar Helium-3 and Fusion Power,” NASA, April 25-26, 1988, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19890005471.pdf>; 蔡榮峰，〈美中太空戰力競爭〉，《國防安全雙週報》，第 5 期，財團法人國防安全研究院，2020 年 6 月 19 日，頁 33-38，https://indsr.org.tw/Content/Upload/files/7_%E7%BE%8E%E4%B8%AD%E5%A4%AA%E7%A9%BA%E6%88%B0%E5%8A%9B%E7%AB%B6%E7%88%AD.pdf。

宙作戰隊」，將部署於東京西城區空自府中基地，未來主要任務將著重於太空垃圾與敵衛星即時監控，並與「宇宙航空研究開發機構」（Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA）及盟邦密切合作。2020 年創立初期規模約 20 人，專責陸基太空覺知，2023 年擴充至 120 人，進行更廣泛的宇宙監視任務，2026 年左右發展軌道覺知，用來監視敵可疑衛星，防衛太空目標。

2018 年 11 月 1 日日本正式啟用具平戰轉換能力的「準天頂衛星系統」（Quasi-Zenith Satellite System, QZSS）區域導航系統，平時為具有經濟價值之 GPS 增強系統（類似美國的廣域增強系統 WASS），現 1 枚 GEO 與 3 枚 IGSO 衛星組成，已於 2020 年被美軍納入援軍備援系統。QZSS 開通後，日本 GPS 訊號全國覆蓋率近百分之百，測距誤差（SISURE）2019 年已達 1 公尺，2035 年 7 枚衛星部署完畢後，誤差將縮小到 3 公分。區域覆蓋範圍包括全日本、台灣、菲律賓與部分澳洲。²⁵

二、澳洲

坎培拉認為中共反太空能力的發展、AI、極音速等先進武器的技術擴散，長期將侵蝕美國在印太地區的太空優勢，澳洲需要維持自身高科技局部戰爭能力。澳洲 2020 年 7 月 1 日公布的《2020 國防戰略革新》（*2020 Defence Strategic Update*）和《2020 年兵力結構計畫》（*2020 Force Structure Plan*），特別為未來 20 年太空國防能力編列 70 億澳幣預算。其中包括其國防部「澳洲地理空間情報局」（Australian Geospatial-Intelligence Organisation, AGO）2017 年 6 月啟動「799 號國防計畫」（Defence Project 799），將於 2023～2039 年間，強化太空情監偵能力，共分兩個階段：第一階段將增強澳洲國防部即時商業衛星圖像利用能力，以支應各類國防需求、邊境管制和災防任務、提高澳洲國防軍和其他國家安全機構共同圖像的利用意識。第二階段包括對五種太空能力為期 2 年的

²⁵ Satoshi Kogure, “QZSS Update-CGSIC International Session,” Japanese Cabinet Office-National Space Policy Secretariat, September 21, 2020, <https://www.gps.gov/cgsic/meetings/2020/kogure.pdf>.

深入研究，在此過程中，將納入商業公司參與，軍民共同探索國防技術發展。²⁶

「澳洲太空局」（Australian Space Agency）則於 2018 年 7 月 1 日成立，並將部分太空產業歸類為國防產業，鼓勵商業太空發展，2019 年 4 月澳洲公布《澳洲民用太空戰略 2019～2028》（*Australian Civil Space Strategy 2019～2028*），將以舉國體制強化太空韌性。²⁷

三、印度

印度強調國防工業自主，視太空為自主發展兩用技術能力之引擎。印度國防部參謀本部 2018 年 9 月成立三軍聯合「國防太空局」（Defence Space Agency, DSA），下轄單位含「國防影像處理分析中心」（Defence Imagery Processing and Analysis Centre, DIPAC）與「國防衛星控制中心」（Defence Satellite Control Centre, DSCC）。印度國防部 2019 年 6 月又在其「國防研究發展組織」（Defense Research and Development Organisation, DRDO）之下成立「國防太空研究局」（Defence Space Research Agency, DSRA），印度太空國防體系架構儼然成形。「印度區域導航衛星系統」（Indian Regional Navigation Satellite System, IRNSS/NavIC），共有 3 枚 GEO、4 枚 IGSO 衛星，其精準度小於 20 公尺訊號覆蓋區域，西至伊朗、東至中南半島及西藏，與日本 QZSS 系統同樣於 2020 年被納入美軍備援系統。²⁸

²⁶ Australian Government Department of Defence, “2020 Defence Strategic Update and 2020 Force Structure Plan,” July 1, 2020, <https://www.defence.gov.au/strategicupdate-2020/>; Australian Government Department of Defence, “Defence Project 799: Enhanced Satellite ISR Capability,” reviewed November 24, 2020, <https://www.defence.gov.au/ago/geoint-def799-satellites.htm>.

²⁷ Australian Government Department of Industry, Science, Energy and Resources, “Australian Civil Space Strategy 2019-2028,” April 2019, <https://www.industry.gov.au/Data-and-publications/australian-civil-space-strategy-2019-2028>.

²⁸ ISRO, “Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS): NavIC,” *The Times of India*, reviewed November 24, 2020, <https://www.isro.gov.in/irnss-programme>; 蔡榮峰，〈印度太空產業與國防動態初探〉，《國防情勢月報》，第 153 期，財團法人國防安全研究院，2020 年 3 月 27 日，頁 31-46，[https://indsr.org.tw/Download/%E5%9C%8B%E9%98%B2%E6%83%85%E5%8B%A2%E6%9C%88%E5%A0%B1-153%20\(1\).pdf](https://indsr.org.tw/Download/%E5%9C%8B%E9%98%B2%E6%83%85%E5%8B%A2%E6%9C%88%E5%A0%B1-153%20(1).pdf)。

印度領土幅員廣大，巨大民生內需導引太空兩用技術發展，連發射載具都是優先針對繞極軌道設計，用以施放遙測衛星；「極地衛星運載火箭」（Polar Satellite Launch Vehicle, PSLV）已國際商轉多年，推進能力更強的新一代「地球同步軌道衛星運載火箭」（Geosynchronous Satellite Launch Vehicle, GSLV）也正邁向應用階段。印度太空產業主要由「印度太空研究組織」（The Indian Space Research Organisation, ISRO）與國有企業 Antrix 所主導，為了促進太空私有經濟、帶動創新，印度於 2017 年首度起草的《太空活動法》（*The Space Activities Bill*）目前已進入國會審議階段。²⁹

伍、小結

美中大國競爭態勢延伸至太空領域，雙方未來 10 年內在地球軌道、地月間太空（cislunar space）、月球等太空資源將呈現競爭大於合作的局面。太空基礎建設因其具不對稱打擊之價值，使得近地軌道近年來快速成為軍事化，2020 年第 3 代北斗系統啟用後將加速此一發展。雙方為了爭奪發展先機，勢必也將在太空兩用科技的組織、政策與法律上相互掣肘。此外，在量子通訊技術尚未成熟前，未來 10 年全球衛星無線網路可望邁向光通訊，成為 5G 網路全球普及化的最後一里路，一旦成功普及，海底電纜或將成為 20 世紀的遺留產物。

就中國角度來看，發展新領域能力是維護國家「發展利益」，而太空國力已是其所追求的大國地位不可或缺的重要組成。2020 年為中國驗收十三五技術成果的一年，特別是第 3 代北斗全球衛星導航系統的建成、投資發展覆蓋全球的紅色衛星無線網路，都有利中共持續推展軍民融合、以「天基絲路」擴大「一帶一路」成果、持續鼓吹科技民族主義以穩固一黨

²⁹ Surendra Singh, "ISRO plans ways for insurance sector to render services in space domain," *The Times of India*, September 16, 2020, <https://timesofindia.indiatimes.com/india/isro-plans-ways-for-insurance-sector-to-render-services-in-space-domain/articleshow/78136538.cms>.

專政。「天問 1 號」探測器也會在 2021 年中國共產黨成立百年之際，登上火星這顆太陽系紅星。

從美國角度來看，欲維持在太空的競爭優勢，一方面要嚴格限制關鍵技術為中國所用，一方面透過民間創新來降低如載人太空運輸、衛星無線網路等先進技術的開發成本；美軍也體認到太空領域於不對稱軍事戰略上的應用價值，開始發展跨國太空聯合作戰概念。日本、澳洲、印度則對區域情勢變化採取保守態度，過去幾年紛紛發展有限自主太空能力，2020 年國防發展路線也逐漸明朗，並開始與美國太空軍進行對接。

結論

蘇紫雲、江忻杓*

不對稱作戰的特性自冷兵器時代便著重運用各種手段對抗優勢敵人，亦即「以己之長攻敵之短」，西方兵學家所論述的「間接路線」、「間接戰略」也是類此邏輯。可能的戰略手段與途徑包括從內部分化敵人；強調文化影響力以及針對多維戰場特性，規劃兵力與創新應用，新型態作戰已然跳脫傳統武力戰的範疇，給弱勢國家帶來嚴峻挑戰的同時，也開啟一扇抵抗強權的「機會之窗」；如何利用「機會之窗」擊潰敵人的「脆弱之窗」將是重要的課題與藝術。

前瞻 20 年代初期，拜登（Joseph R. Biden Jr.）當選美國總統，美中關係或將不再劍拔弩張，但在高精尖科技的爭奪上仍勢不可免。華盛頓一方面會繼續禁止「紅色供應鏈」對美國出口，以降低產業對中國的依賴；同時也將繼續限制先進科技流向中國，遏制中國在高科技領域挑戰美國與民主盟邦的利益。

相對地，中共的軍力除既有的數量優勢，逐步增加的質量優勢對台灣造成不對稱的複合科技威脅。但由於台灣掌握全球晶片產業的先進製程，也就制約了共軍先進裝備的發展速度，阻卻戰略天平的過度傾斜。同時台灣更可利用此一優勢，藉由新興的軍事物聯網、軍用人工智慧的發展，打造矽盾化的防衛武力。這些新世代的矽基戰力，包括下列的主要發展趨勢。

未來的制空作戰型態可能是載人機和無人機共同編隊遂行交戰，仰賴人工智慧的程度也會大幅提高，當第 5 代戰機編入作戰序列，下一代戰機的研發工作也開始啟動，為支配天空建立優勢地位。而在防空作戰領域，

* 蘇紫雲，國防安全研究院國防資源與產業研究所副研究員；江忻杓，國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員。

除了防空飛彈賡續升級換代之外，雷射，以及電磁軌道砲也進入使用者和開發者的視野當中。電磁砲具有速射、精準、射程遠、殺傷力高等多項優點，非常有利於海上艦砲支援（naval gunfire support, NGFS）、摧毀敵水面艦船和空中目標。相對於昂貴的新一代空戰平台，尤具有價廉的效益，雖然尚處於研發階段，卻是一項具有前瞻性的軍事投資。

由各國艦艇發展趨勢，主戰艦艇為了滿足防空、反潛、整合反飛彈等多樣化任務需求，需具備高功率雷達、感測裝備及火力投射系統，因此需具備相當的噸位規模。而水面與水下無人系統分散配置的模式強化了火力投射、掃雷、電子戰、偵打一體等彈性作戰能力，為制海作戰兵力形塑了發展的趨勢。再從不對稱作戰及強化持久防衛能力的需求來看，地面機動野戰防空力量以提高存活力的需求，已經成為建軍發展軸心，應該給予更高的重視，以確保於國土防衛階段擁有完整的反擊能力。

同樣是倚賴矽基戰力的電磁戰場，用在大範圍電磁頻譜上，使得武裝部隊傳輸資料、提供導航或即時訊息，以及指揮管制部隊。同時也藉此減少「戰爭之霧」瞭解敵軍部隊動態與友軍態勢，可謂掌握電磁頻譜即掌握戰場優勢。電磁頻譜環境的優勢包括新式感測系統；能夠快速掌握戰場環境，包括新式雷達、新一代雷達必要的電子、軟體、人工智慧等技術；空載式預警管制系統；新一代電子戰環境以及多領域的指揮管制等。

前瞻未來作戰情境，網路電磁環境等「看不見」的爭奪將貫穿作戰全程，掌握相對優勢即取得制敵機先的關鍵，亦是資訊所造成的不對稱作戰優勢。情報合作是網路電磁活動的基礎，台灣位於第一島鏈關鍵位置，在複雜電磁環境的「反介入／區域拒止」中，應持續尋求與印太區域理念相近的盟友合作。

必須注意的是，網路已成為戰場的大後方，卻可能是交戰的第一線，而「關鍵資訊基礎設施」出現兩個趨勢。一個是衝突領域不斷變換和延伸戰場，有關攻擊手段的設想（同時也可能是實際上的手法）層出不窮，混合威脅與灰色地帶衝突不斷侵入社會領域，導致社會焦慮不安的心情瀰漫。另一個是疫情影響下關鍵資訊基礎設施似也值得再重新定義其範圍，這是因為大量數位資通訊手段被運用與取代原有的生活方式。以往不被包

含在關鍵基礎設施的項目將可能在新條件下被重新審視成為「關鍵」的設施之一。

在心理戰場上，也逐漸運用數位科技進行更精密的分眾宣傳，科技發展使心戰以更有效的方式影響更多的對象。廣播科技、社群媒體與娛樂產業等，使資訊的傳遞更加深遠，人工智慧的應用可望輔助心戰人員的決策。當代心戰不只跨越平時與戰時的分野，亦兼具攻勢與守勢的性質。從生活到軍事、從模擬到訓練、從娛樂到宣傳，在相互激盪與交流下，心戰科技的發展不僅與科技心戰的軍事需求密切相關，來自民間產業的創意亦值得更加重視。

AI 科技在軍事應用之範圍，可視為滲透力最深的科技，包括智慧彈藥、智慧指揮管制和決策支援、無人化軍用平台、單兵戰力強化，到後勤保修管理等都可涵蓋。藉由軍事雲、數位參謀、即時作戰平台、戰時醫療系統等 AI 工具或系統，無論平時和戰時都能產生超乎目前想像的綜效。AI 結合無人載具、戰場機器人或人機協同作戰等，可進行各式各樣的作戰組合，協助作戰單位即時、同步、多領域作戰的聯合打擊能力，戰爭態樣極可能傾向「無人化戰爭」發展，並啟發新一代的戰略與戰術。

而大氣層外的空間也極具不對稱打擊的價值，最主要是近地軌道範圍快速軍事化。由於民間航太的創新得以大幅降低成本，例如載人太空運輸、衛星無線網路等先進技術的開發都可以更具經濟效益的方式發展，日本、澳洲、印度於過去幾年亦紛紛發展有限自主的太空能力。同時美軍體認到太空領域於不對稱領域的應用價值，發展跨國太空聯合作戰概念。

以〈不對稱軍事科技〉為主題的《2020 國防科技趨勢評估報告》，從開宗明義的不對稱作戰特性分析，到當前的國防科技運用以及未來軍事應用的可能發展，幾乎全部涵蓋，借鑑主要國家軍事科技的發展趨勢，給「用兵」（users）和「造兵」（developers）提供一些參考的線索，亦即軍事戰略與國防資源同步考量，以使軍事防衛的效益得以最佳化。

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

國防科技趨勢評估報告. 2020 / 蘇紫雲, 江炘杓主編.

-- 初版. -- 臺北市: 五南圖書出版股份有限公司,
2020.12

面; 公分

ISBN 978-986-522-415-8 (平裝)

1. 國防戰略 2. 科學技術

595

109021209

2020 國防科技趨勢評估報告

主 編: 蘇紫雲、江炘杓

出 版 者: 財團法人國防安全研究院

地 址: 100 台北市中正區博愛路 172 號

電 話: (02) 2331-2360

承 印 商: 五南圖書出版股份有限公司

地 址: 106 台北市大安區和平東路 2 段 339 號
4 樓

電 話: (02) 2705-5066

傳 真: (02) 2706-6100

網 址: <https://www.wunan.com.tw>

出 版 日 期: 2020 年 12 月初版一刷

定 價: 新臺幣 320 元



ISBN 978-986-522-413-4

00320



9 789865 224134