

中國大陸發展北斗衛星導航系統 之軍事戰略意涵

空軍中校 林明智 空軍少校 葉勁宏

提 要

中國大陸於1994年提出導航衛星「三步走」的戰略布局，雖幾經波折，仍於2020年7月完成北斗三號衛星組網，完成此一從實驗到實用，從區域到全球的導航系統發展之路，發展出世界第四套全球導航衛星系統。北斗導航系統的運用面無疑將涵蓋北京整個的經濟與軍事層面，其能力與特色一定程度上亦將決定中國人民解放軍下一個十年的信息化高度。當前世界軍事武力正面臨從機械化朝信息化的轉型階段，被稱之為「信息化基礎建設」的導航衛星正是此一作戰能力的底層建築，因此對中國大陸導航衛星發展策略的持續性追蹤，將有助於瞭解其軍事戰略意圖。

關鍵詞：三戰、法律戰、中國大陸、人權

前 言

戰爭的精神內涵或許恆久不變，唯其表現樣式隨著科技與生產能力的提升持續演進，早在網際網路初面世的1970年代，未來學家托弗勒(Alvin Toffler)即已提出「第三波戰爭」的概念，預言戰爭將由機械化朝信息化(Informatization)轉變，¹

此一預言應驗於1991年的波灣戰爭，美軍挾信息化優勢，以迅雷不及掩耳之勢擊潰伊拉克軍隊，顯現出不同世代戰爭在效能上的絕對落差。

中國大陸學者曾將信息化的基本特徵概括為「五化」，即數字化、²網絡化、自動化、智能化與一體化。³從邏輯上來看，此說法已架構出信息化發展合理

1 「信息化」亦可稱之為「資訊化」，前者廣泛用於中國大陸，後者則常見於我國，一般對應於英語的「Informatization」，中國大陸於2006年印發的《2006-2020年國家信息化發展戰略》已對其有充分描述，本文為避免混淆，統一使用「信息化」一詞。

2 「數字化網絡化智能化把握新一代信息技術的聚焦點」，中國大陸中央網絡安全和信息化委員會辦公室，2019年03月01日，https://www-cac-gov-cn.translate.goog/2019-03/01/c_1124178478.htm?_x_tr_sch=http&_x_tr_sl=zh-CN&_x_tr_tl=zh-TW&_x_tr_hl=zh-TW&_x_tr_pto=nui,sc

數字化是指將信息載體(文字、圖片、圖像、信號等)以數字編碼形式(通常是二進制)進行儲存、傳輸、加工、處理和應用的技術途徑。數字化本身指的是信息表示方式與處理方式，但本質上強調的是信息應用的計算機化和自動化。數據化(數據是以編碼形式存在的信息載體，所有數據都是數字化的)除包括數字化外，更強調對數據的收集、聚合、分析與應用，強化數據的生產要素與生產力功能。數字化正從計算機化向數據化發展，這是當前社會信息化最重要的趨勢之一。

3 李德毅等，發展中的指揮自動化(北京：解放軍出版社，2004年)，頁7。

的先後次序，即首先將資訊轉為數字信號以利統一標準、提高質量及方便共享，其次將物理上隔離的各系統通過信號網絡相連，隨後透過將各系統自動與智能化來大量取代或輔助資訊處理、縮短決策時程，以最後達至系統集成無縫接軌的一體化目標。



圖一 信息化發展趨勢示意圖

資料來源：1.由作者自行整理製作。

2.智能化雖比自動化更為先進，但並無法完全取代之，所以同時保留兩種特徵，但因其作用類似而置於同一階層。

從嚴格意義檢視，今日世界各國軍隊一體化程度仍有極大改進空間，即便走在世界尖端的美軍亦不例外，除了技術與理論上的限制，主因即在於信息化的高度複雜性與昂貴成本。

以美國為例，1993年美國防部即批准國防信息基礎建設(Defense Information Infrastructure；DII)，以用於收集、生成、存儲、傳輸和顯示資訊的所有系統的集成，⁴1999年美軍進一步提出全球信息網格(Global Information Grid；GIG)⁵的概念，目標是取代各自為政的各種「煙囪式」系統，使所有信息交換成為「隨插即用」，用戶只要接入自己的終端，跨系統間資訊就會以透明的方式傳達，到2011年，為加快信息技術在軍隊戰鬥力生成的作用，美軍發布《國防部信息技術企業戰略和路線圖》(IT Transformation Strategy and Roadmap；ITESR)，提出聯合信息環境(Joint Information Environment；JIE)設

4 趙靜、楊寶琪，「美軍信息系統網安全保密體制」，外軍電信動態，2004年第3期(2004年)，頁22。

國防信息基礎建設(Defense Information Infrastructure；DII)是集通信、計算機，以滿足國防部用戶在各種軍事作戰行動中對信息處理和傳輸的要求。由陸、海、空、天基的公共數據資源、通信基礎設施、計算機基礎設施、領域應用程序、基礎設施運行管理和相關政策標準等構成，能在整個軍事行動範圍內根據作戰人員、政策制定人員和保障人員的要求收集、處理、存儲、分發和管理信息。

5 全球信息網格(Global Information Grid；GIG)是在網路中心戰背景下發展的新一代信息基礎設施，也是美軍建設適用於多場域作戰、各作戰層級的通信體系，該系統將早期通信基礎設施演變成為GIG中的通信基礎設施，解決了多信息通信系統的集成和操作問題，是美軍信息系統發展的基礎，承載著美軍先進的信息系統和指揮控制功能。在全球信息網格建設中，按照美軍在軍事通信轉型中的劃分，主要按照地面、無線和天基三部分來組織實施。但是在實際建設中，仍是由國防部級的信息通信系統、各軍種的通信網路體系等構成。

想，意圖利用雲端計算、大數據及智能終端，優化整體系統效能並增強其安全性。⁶幾乎每隔10年，美軍即需對整個信息化發展作調整與優化，箇中花費自然極為驚人，單以網格技術而言，美國國家科學基金會從2004年起每年即投資10億美元用以研究，隱性成本更是難以估算。

作為跨世代戰爭能力的指標，信息化成本的高昂在入門的「數字化」階段即一覽無疑，將戰場資訊轉變為可傳輸、處理與高安全性的信息，提供指揮者運用，一直是現代C⁴ISR(Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance；C⁴ISR，我國稱指、管、通、資、情、監、偵)系統的重要目標，然而即便只是提供精確的友軍位置訊息，在複雜易變的現代化戰場上也非易事，導航衛星的發展即著眼於服務此一目的，可說是一種信息化基礎建設。

「力」、「空」、「時」一般被認為是部隊作戰的基礎要素，因此其數字化可以被理解為軍隊邁入信息化時代的重要指標，而全球導航衛星系統(Global

Navigation Satellite System；GNSS)恰好被定義為具有全球尺度定位、導航及授時(Positioning Navigation and Timing；PNT)功能的衛星系統，⁷具備全球導航衛星系統運用能力的部隊，具有在全球尺度範圍內將部隊時空因素數字化並即時更新的能力，換言之，此種部隊可被認定為已初步跨越全球信息化門檻。

綜上所述，從戰爭演進的角度來看全球導航衛星系統毫無疑問可以被認為是信息化作戰的基石，是軍隊朝一體化演進的基礎要素，因此考察現代國家之軍事戰略效能，剖析其全球導航衛星系統能力實乃重中之重，本文主要目的即在透過評估中國大陸北斗導航衛星系統之現況，說明其對中國大陸整體軍事戰略能力所帶來的影響，除本章外章節安排如次：第二章用於說明北斗衛星的緣起與系統特色，第三章對其戰略效能變化作出分析，第四章提出北斗發展上的方向與限制，最後於第五章作一總結。

需特別指出的是，北斗導航衛星乃是一種軍民共用系統，其民用價值絕不在軍用之下，中國大陸過往也致力於推動外

6 周光霞，「美軍聯合信息環境建設情況分析及啟示」，指揮與控制學報，第2卷第4期，(2016年12月)，頁354-355。

在美國國防部長正式簽署的《信息技術企業戰略和路線圖》中明確了JIE概念，為美國及盟國作戰人員提供統一安全體系結構下的信息技術基礎設施和企業級服務。這也意味著美軍在「網絡中心」基礎上逐步開始融合「數據中心」能力。

聯合信息環境(Joint Information Environment；JIE)該環境包含共享的信息技術基礎設施、企業級服務和單一安全架構，可確保全譜優勢，改善任務效能，提高安全性，實現信息技術效能。

7 黃立信等，「BDS, GPS, GLONASS, Galileo and QZSS多衛星系統組合隊定位精度影響之分析」，測量工程，第55卷全1期(2016年11月)，頁30。

太空空間的軍備管制及非武裝化，但世界大國均持續發展太空武力，中國大陸自亦不能例外，⁸本文論證將以其軍事戰略能力為主，不深入探討其民用價值。

北斗衛星源起與系統特色

一、發展歷程

許多人將中國大陸決心建立自主全球導航衛星系統歸因於1994年的銀河號事件與96年台海危機，但實際上兩事件均無受美國全球定位系統(Global Positioning System；GPS)影響之明確證據，96年臺海危機時中國大陸彈道導彈多數仍採純慣性制導，共軍撤軍的主因顯然受間諜案影響較大，⁹可以認為，北斗導航系統的產生是一種必然，是中國大陸整體國力發展至一定程度下的自然產物。

早在1960年代中國大陸便有獨立發展導航定位系統的計畫，由於文革等因素未能成型，1970年代共軍又開啟代號為「燈塔」的導航衛星定位規劃，仍因財力

問題夭折，直到1983年，兩彈一星功勳獎章獲得者，中國科學院院士陳芳允提出雙星定位設計方案後，北斗一號系統才開始了積極地立項論證。¹⁰

同一時期，美國Geostar和法國的Locstar公司同樣提出雙星定位概念，¹¹後來卻都因缺乏資金而停滯，相對的，中國大陸於1988年《2000年的中國軍事導航》研究報告中，對建立衛星導航系統的必要性與可行性進行深入研討，¹²並於隔年運用2枚在軌衛星，成功驗證雙星定位確實可行。

雙星定位的原理是用無線電測距確定用戶位置，故又稱衛星無線電定位系統(Radio Determination Satellite System；RDSS)，該系統採用2枚地球靜止軌道(Geostationary Orbit；GEO)衛星實施測距，與一般衛星定位需要4枚衛星不同，該系統將地球視為一已知球面，以衛星測距獲得之兩球與地球面交會，採用三球交會測量原理獲得的2個點將分別出現在南

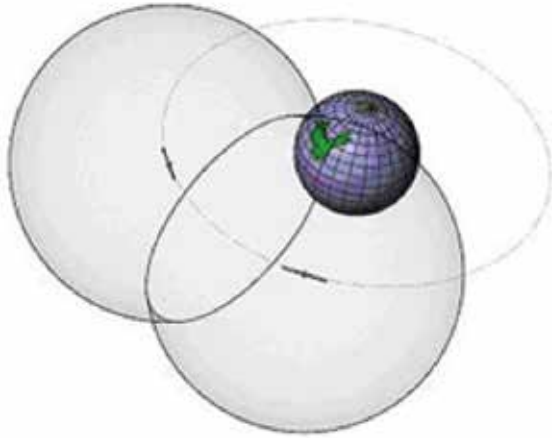
8 中國大陸不但長期支持外層空間的非武裝化，甚至是《外太空透明度與信心建立措施》等重要草案的發起國，詳請可以查閱：林宗達，「中國大陸與俄羅斯推動外太空軍備管制條約的過程及困境」，展望與探索，第10卷第3期(2012年3月)，頁65-82、李貴發，「淺談太空作戰及臺灣因應之道下」，尖端科技，第320期(2011年4月)，頁71-77。

9 「從北斗收官和96年臺海危機談起」，天天要聞，2020年8月1日，<https://daydaynews.cc/zh-tw/science/721310.html>

10 「【芯歷史】從"燈塔"到"北斗"」，搜狐網，2020年5月25日，https://www.sohu.com/a/397423426_166680

11 Geostar和Locstar的概念甚至更早，例如Geostar是由美國科學家G. K. Oneill於70年代提出，可參閱：應天行，「中國大陸發射北斗一號導航衛星的展望」，全球防衛，第197期(2001年1月)，頁31。

12 王崑義，「中國發展北斗衛星系統對臺灣安全的威脅與因應之道」，全球政治評論，第34期(2011年4月)，頁58。



圖二 三球交會定位原理示意圖

資料來源：〈你應該知道的北斗導航系統〉，
《CSDN》，2020年3月5日，<<https://blog.csdn.net/u011344545/article/details/104684022>>（檢索日期：2020年12月2日）

北半球，系統可再依用戶所在區域判定其位置。¹³

共軍從1994年提呈北斗衛星定位系統「三步走」的戰略布局，2016年6月國務院所發表的《中國北斗衛星導航系統》白皮書將其論述為：

2000年年底，建成北斗一號系統，向中國提供服務；2012年年底，建成北斗二號系統，向亞太地區提供服務；計劃在

2020年前後，建成北斗全球系統，向全球提供服務。¹⁴

此一從實驗系統到區域系統，再拓展到全球系統的布局，始於2000年10月31日及12月21日的衛星升空，北斗一號正式運作，2003年中國大陸又升空1枚備份星，以完善三步走的第一步。

北斗一號系統採用的雙星定位，星座分別定點於東經80°、110.5°及140°的赤道上空，具備定位、授時及簡訊能力，由於採有源定位模式，其響應速度約為1秒，雙向授時誤差也高達20奈秒，導致不適用於導航測速，因此不能稱之為完整的PNT系統，其他明顯缺點包括有源定位易造成用戶位置暴露、用戶容量有限以及定位精度較差等問題，使之在軍事上形同無效，也注定三步走的首步遲早會遭汰換。¹⁵

為獲取最新導航技術，大陸於2003年投資2.3億歐元加入歐盟歐洲太空總署主導的伽利略定位系統(Galileo)¹⁶導航衛星計畫，歐盟雖將伽利略視為一中立系統，但是由於中國大陸被美國視為戰略假想敵，為維護美國在全球導航衛星系統市

13 此測距技術又稱之為「1地2球」測距技術，以北斗一號系統為例，由於用戶服務範圍僅涵蓋黑龍江、關島、南沙群島至哈薩克間的小區域，故三球交會後可直接確認用戶位於北半球之點。

14 「中國北斗衛星導航系統白皮書」，中華人民共和國國務院新聞辦公室，2016年6月16日，<http://www.scio.gov.cn/37236/38180/Document/1626703/1626703.htm>

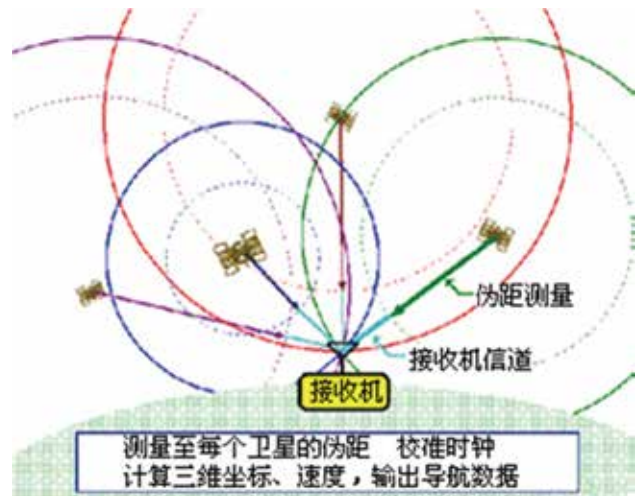
15 鍾堅，「中國大陸北斗衛星定位系統近況」，展望與探索，第16卷第6期(2018年6月)，頁4。

16 伽利略定位系統(義大利語：Galileo)，是一個正在建造中的衛星定位系統，該系統由歐盟通過歐洲太空總署和歐洲導航衛星系統管理局建造，總部設在捷克共和國的布拉格。該系統有兩個地面操控站，分別位於德國慕尼黑附近的奧伯法芬霍芬和義大利的富齊諾。這個造價五十億歐元的計畫是以義大利天文學家伽利略的名字命名的。

場上的優勢及避免伽利略定位系統被用於軍事，美國不僅屢屢插手干預其研發過程，更揚言在戰時將不惜擊落其衛星，¹⁷由於德、法等歐盟主要國家親美政府上臺及美國同意給予技術支持後，中國大陸為決策機構排擠，雙方合作遂於2008年破局，大陸開始將焦點集中到北斗衛星導航系統上。¹⁸

北斗二號是2004年啟動，2012年完成16枚衛星組網的亞太區域導航系統，承接北斗一號有源雙向發送短報文能力，其中5枚部署在GEO(包括沿用北斗一號的3枚衛星)，5枚部署在傾斜地球同步軌道(Inclined Geosynchronous Orbit; IGSO)，4枚部署在中地球軌道(Medium Earth Orbit; MEO)，此外在GEO與MEO還額外有1枚備份星，形成罕見的三軌型共構導航系統。

北斗從2號系統開始採用與GPS、GALILEO相同的定位體制，¹⁹即偽隨機碼測距定位系統，衛星在空間位置通過軌道參數計算獲得，衛星至用戶端距離由偽碼測距得到，藉此兩組參數獲得以衛星為球心之空間球面，4球交會之點即為用戶位



圖三 偽隨機碼測距定位(4球交會定位)示意圖

資料來源：〈GPS定位原理詳解〉，《ITW》，2016年10月27日，<<https://itw01.com/2CNFJE3.html>>(檢索日期：2020年12月22日)

置。²⁰

北斗二號定位服務分兩類，一類為開放式的商用免費服務，用戶須向大陸購置定位接收器，定位誤差約10公尺，定速誤差約每小時700公尺，授時誤差更高達50奈秒，提供雙向發送短報文但不提供雙向授時；另一類是針對共軍的加密授信服務，定位誤差約1公尺，兩類的服務精度大相逕庭。²¹

從北斗二號開始，北斗已成為一個

17 AFP, "US Could Shoot Down Euro GPS Satellites If Used By China In Wartime: Report", SPACEDAILY, 24 Oct 2004, <http://www.spacedaily.com/news/milspace-04zc.html>

18 羅春秋，「中國大陸「北斗」導航衛星發展及其軍事戰略意涵」，國防雜誌，第29卷第6期，(2014年11月)，頁67。

19 雷武虎等，衛星導航定位原理及干擾(北京：解放軍出版社，2010年)，頁53。

20 從幾何數學角度來說，未知數有用戶端的X,Y,Z座標及用戶端時間t，計4個未知數，因此最少需要4組衛星與用戶端距離構成聯立方程式求解。

21 鍾堅，「中國大陸北斗衛星定位系統近況」，展望與探索，第16卷第6期(2018年6月)，頁5。

具備軍事價值的PNT系統，服務範圍囊括西伯利亞、夏威夷、澳大利亞至中亞間的區域，雖不具備全球覆蓋能力，但卻足以提供中國大陸周邊範圍使用所需，然而中國大陸並不滿足，2009年起北斗三號系統立案啟動，2015年發射首枚衛星，2020年7月29日即完成最後1枚星座入軌，官方系統建成暨開通儀式雖於同年7月31日舉行，其實提前2年即具備全球服務能力，並配合國家政策對「一帶一路」沿線及周邊國家提供基本服務，因此中國大陸其實從2018年起即已擁有GNSS系統。

二、北斗導航衛星近況與能力

北斗的管理機構國家航天局隸屬於國務院，但與GPS和GLONASS系統(Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema；GLONASS)相同，北斗最初是為軍事目的而研發，其最高管理組織是軍方，只是基於形象需將其塑造為主要用於商業和科學目的、由民間主導的專案，事實上總體走向是遵從軍方指示；²²但如同美國，軍方加密信號精度更高，且具備在關鍵時刻降低或關閉民用測距能力。

雖然通稱為北斗衛星導航系統，北斗一、二和三號是彼此獨立的三套導航系統，北斗一號建設目的僅為技術驗證，如今其在空衛星均已功成身退，北斗二、三號系統則同時在軌運行，一般認為，由於北斗三號已於2020年7月全星座組網，二號衛星可能配合壽限屆期逐步切出系統，以節省國家資源。²³

北斗三號系統由空間段、地面段和使用者段三部分組成，空間段採用與北斗二號相同的三軌型共構模式組網，3枚部署在GEO、3枚部署在IGSO、24枚部署在MEO，總計由30顆衛星組成；地面段包括主控站、時間同步注入站、監測站以及星間鏈路運行管理設施，總計有40多個地面站台；²⁴使用者段則是由晶片、模組、天線等基礎產品，以及終端產品、應用系統與應用服務等成千上萬用戶組成。

已知數據顯示，北斗三號全球範圍定位精度優於10公尺、測速精度優於0.2公尺／秒、授時精度優於20奈秒、服務可用性優於99%，亞太地區性能更優。²⁵事實上由於採用了新型氫原子鐘，北斗三號

22 John Dotson，「中國大陸在歐亞的太空絲路」，國防譯粹，第47卷第10期(2020年10月)，頁35-36；此外還有許多間接證據表明國家航天局受軍方領導，比如航天局隸屬的「工信部」前身是「國防科工委」，負責配合軍委會研發裝備，此外一直擔任中國衛星導航系統委員會指定負責人的王兆耀是共軍少將，同時擔任中央軍事委員會裝備發展部副部長。

23 「淺談北斗二號退役GEO衛星的再利用」，KKnews，2020年11月6日，<https://kknews.cc/military/yjj6qoa.html>

24 「北斗系統總設計師楊長風：北斗芯片都是“中國芯”」，新華網，2020年10月16日，http://www.xinhuanet.com/tech/2020-10/16/c_1126617559.htm

25 「北斗三號全球衛星導航系統開通 可提供國際搜救等7類服務」，人民網，2020年8月3日，<http://ip.people.com.cn/BIG5/n1/2020/0803/c432234-31808277.html>

的時頻精度理論上至少可以提升一個數量級，²⁶這表示現有數據絕非其性能上限。

北斗提供七種服務，面向全球範圍，提供定位導航授時、全球短報文通信和國際搜救三種服務；在中國及周邊地區，提供星基增強、地基增強、精密單點定位和區域短報文通信四種服務。星、地基提供多種中國大陸周邊的高精度定位服務，即使是初始化時間最低的單頻偽距增強，也能將定位誤差縮小到2~3公尺內。

北斗被運用的有名實例是2008年的汶川大地震，由於地基台與光纖線路遭破壞，災區事實上與外界呈現通信中斷狀態，當時除了使用北斗二號實施災區定位

表一 北斗二、三號基本數據一覽
(製表日期：2021年1月13日)

系統項目	北斗二號	北斗三號
衛星主／備份數量(軌道)	5+1(GEO) 5(IGSO) 4+1(MEO)	3(GEO) 3(IGSO) 24(MEO)
涵蓋範圍	西伯利亞、夏威夷、澳大利亞至中亞間區域。	涵蓋全球超過99%地區。
全球定位性能	優於10公尺	優於10公尺
全球授時性能	50奈秒	20奈秒
區域短信能力	120個漢字	1,000個漢字

資料來源：1.由作者自行整理製作。
2.定位、授時及短信能力為官方發表的民用性能，已知實測數據較優。

及救災直升機導航外，北斗獨創的「短報文」功能成為救災中重要的通信手段。²⁷

這種能力在軍事上的潛力極為清楚，中國大陸軍方服務終端的性能與數量外人無從得知，但從民用領域的蓬勃發展可以略窺門徑，今日北斗使用的授時系統已經在金融及大眾交通領域運用，定位與導航則在公共安全、救災減災、農林漁牧、城市治理等範圍改善民眾生活，從現有各方反饋的狀況顯示，北斗三號在精確度、穩定性上均有不俗表現。

2019年的量測數據顯示，除部分遮障地帶與陰雨天對定位精度造成影響外，北斗三號性能上與GPS屬於同一級別，²⁸考量當時星座仍未完成組網，這樣的表現堪稱優異，未來隨著太陽光壓等監測數據修正，效能可望更上層樓。

北斗官網的自我介紹，展現出大陸對導航工程應用的闡述與期許：

北斗衛星導航系統是中國著眼于國家安全和經濟社會發展需要，自主建設運行的全球衛星導航系統，是為全球使用者提供全天候、全天時、高精度的定位、導航和授時服務的國家重要時空基礎設施。²⁹

北斗的建成，中國大陸顯然希望國

26 「能力顯著提高！北斗三號衛星全面國產化」，中國新聞網，2020年6月23日，<http://www.chinanews.com/gn/2020/06-23/9219448.shtml>
27 「北斗衛星準確度超美國GPS 研發歷程與汶川慘痛經歷有關」，香港經濟日報，2020年6月24日，<https://china.hket.com/article/2678646>
28 肖琴琴等，「北斗系統定位性能分析」，湖南城市學院學報，第29卷第5期(2020年9月)，頁17。
29 「系統介紹」，北斗衛星官方網站，2021年1月14日，<http://www.beidou.gov.cn/xt/xtjs>

家安全與經濟社會發展兩手都抓，未來「北斗網」一方面將與「電網」、「水網」一樣，成為國家服務的一環，融入日常生活的裡裡外外，另一方面，則成為軍隊的增壓器，有效提高部隊的數字基礎能力，以支撐共軍的信息化發展目標。

三、北斗三號與主流全球導航系統間差異與特色

聯合國成立用於促進GNSS兼容性和互通性問題合作和發展的非正式機構，即全球衛星導航系統國際委員會(International Committee on Global Navigation Satellite Systems; ICG)的圖標上有四個飛翔的衛星圖標，象徵著目前為其承認的GNSS系統，那就是美國的GPS、俄羅斯的GLONASS、歐盟的GALILEO以及中國大陸的北斗。

僅僅4套系統自然無法囊括世界上所



圖四 全球衛星導航系統國際委員會的圖標

資料來源：〈International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG)〉，《UNOOSA》，2021年1月14日，〈<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/icg.html>〉(檢索日期：2021年1月14日)

有的衛星導航設計，日本、印度等國都有各自的導航衛星計劃，但以聯合國承認的GNSS標準而言，目前確實只有4個系統達標，鑒於全球涵蓋具有的特殊意義，下表列出各GNSS系統的數據，用以說明北斗三號與其他系統間的差異與特色。

(一)軌道構型

如前所述，北斗三號導航系統採用GEO、IGSO和MEO三軌型共構星座，而

表二 4大GNSS系統基本數據一覽

(製表日期：2021年1月21日)

系統項目	GPS	GLONASS	GALILEO	北斗三號
管理機構	美國太空軍	俄羅斯航太太空活動國有公司	歐洲空間局	中國國家航天局
軌道構型	6組MEO	3組MEO	3組MEO	1組GEO 1組IGSO 3組MEO
MEO傾角	55°	64.8°	56°	55°
頻率頻段	L1：1575.42MHz L2：1227.60MHz L5：1176.45MHz	L1：1602+P×0.5625MHz L1：1246+P×0.4375MHz P為衛星頻道編號	L1：1559-1592MHz E5a、E5b：1164-1215MHz E6：1215-1300MHz	B1：1559.052-1591.788MHz B2：1166.220-1217.370MHz B3：1250.618-1286.423MHz
頻率體制	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
調製碼	C/A、P和M碼	S和P碼	碼型1-10	普通碼、精密碼
其他特色			雷射定軌 搜尋和救援服務	全球/區域短信 星鏈傳輸

資料來源：由作者自行整理製作。

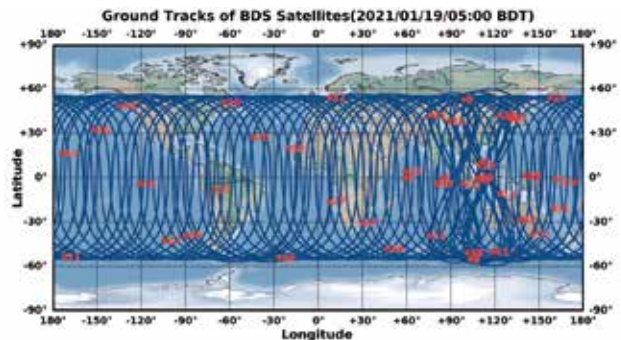
其他3種GNSS系統無論軌道數量多寡，都使用單純的MEO軌道組網，依照官方說法，由於高軌道衛星較多，北斗抗遮擋能力強，尤其低緯度地區性能優勢更為明顯。³⁰

另一方面，運作在36,000公里附近高度的GEO和IGSO，在硬殺難度上顯然比20,000公里上下的MEO軌道要高，³¹因此在軍事運用上將更具潛在存活能力，而且現有研究顯示，北斗在與其他3種GNSS系統組網時，缺少所有MEO衛星對偽距單點定位的誤差只增加1公尺，³²這意味著北斗可以用其他系統的MEO衛星替代組網，而仍維持不錯的精度，因此除非將4種GNSS系統衛星訊號全部屏蔽，否則北斗光靠GEO和IGSO的6顆衛星就已在亞太區域具備基礎作戰能力。

(二)網眼密度

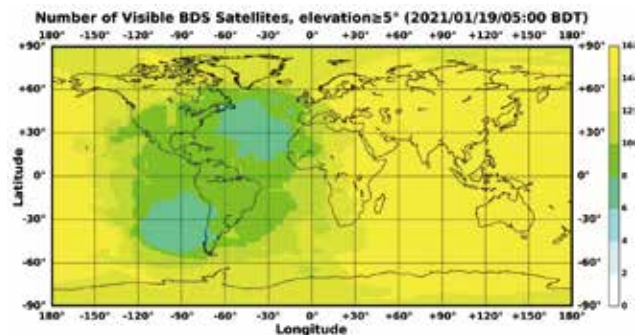
北斗三號的星座在東經75°到135°、南北緯55°間的星座網眼特別密集，這當然是刻意為之，GPS和GALILEO的星座軌跡集中在中緯度，GLONASS則在高緯度區域強化覆蓋率，都屬於有意識的局部強化。

但由於北斗特有的IGSO軌道，強化區域的星座軌跡重疊度特別高，對中國大陸而言，這個範圍涵蓋本國及周邊地區，



圖五 北斗三號全球星座星下點軌跡圖

資料來源：〈2021-019數據〉，《北斗衛星官方網站》，2021年1月19日，〈http://www.beidou.gov.cn/xt/xlxz/202101/t20210119_21853.html〉(檢索日期：2021年1月21日)



圖六 北斗三號全球可見衛星數量

資料來源：〈2021-019數據〉，《北斗衛星官方網站》，2021年1月19日，〈http://www.beidou.gov.cn/xt/jcpg/202101/t20210119_21852.html〉(檢索日期：2021年1月21日)

包括印度、尼泊爾、不丹、孟加拉、東協10國、中華民國、朝鮮、南韓的全部，以及日本及澳洲的部分，對於免費公開的普

30 同註27。

31 軍事上的硬殺是以實質上破壞或者是殺傷敵人的系統、人員與相關設施，以阻絕敵人進行各種作戰行動的能力。

32 苟長龍等，「北斗數據缺失下組合系統定位性能分析」，礦山測量，第48卷第4期(2020年8月)，頁81。

通定位，亞太地區精度約有268公厘，全球其他地區精度約有360公厘，³³區域強化效果明顯。

與強化區域相對應的，官網資料顯示北斗三號最難接收衛星訊號的位置在北大西洋與東太平洋，平均可見衛星數只有6到8枚，這表明中國大陸預期在這些區域，北斗在商業和軍事上將缺乏運用機會。

(三)通信訊號

北斗實際上是最早使用3頻點傳輸導航信號的系統，較早的GNSS系統都使用2個頻點傳輸信號，GPS和GLONASS皆然，但GPS從2010年啟用的第四代導航衛星Block IIF增加了L5頻段，³⁴因此除經費嚴重短缺的GLONASS外，現有的全球導航系統均已採用3頻點信號，這對校正電離層與太陽光壓參數、提高定位精度有助益。

此外北斗是雙向定位系統，既能定位又能通信，必要時用戶可將自己的位置透過北斗鏈路傳遞給他人，GALILEO與北斗都能透過MEO衛星下行鏈路傳遞國際搜救衛星組織的緊急訊號，但GALILEO不具備北斗的短信能力，北斗三號的簡訊區分為區域及全球短報文通

信，區域字元可達1,000漢字，全球字元僅40漢字，應用範圍非常廣，這表示中國大陸可以只用一套系統，在軍事上完成全球定位、授時、導航、敵我識別與命令傳遞。

(四)星鏈傳輸

導航系統需要由地面段的監測站監控衛星資訊，並定期透過主控站及注入站更新衛星星曆與調整衛星姿態，從衛星管理的角度來說地面站最好能廣布全球，以便對導航衛星即時調教。

俄羅斯的國土橫跨11個時區，美國與歐盟則在全球範圍擁有海外支點，缺乏類似條件的中國大陸就面臨不利的局面，為此北京發展出透過星間鏈路校正星曆與姿態的技術，利用星間鏈路互相通信、測距和保持隊形，北斗三號衛星可自主運行至少60天，即使地面站故障衛星仍能正常工作，³⁵這可以說是北斗的獨門技藝。

北斗衛星之軍事戰略意涵

作戰任務的執行無法脫離對戰場環境及部隊動態的管理，包括對時間與空間的掌握，最早的時候，人們憑著記憶地形地物來辨別空間，觀察日月星辰來估算時間，後來地圖與計時器材出現，隨著時代

33 「北斗組網實現 太空絲路漸成形」，香港中國商會，2021年7月17日，<https://www.hkchcc.com/a/114403-cht>

34 Özge Gizem Esenbuğa & André Hauschild, "Impact of flex power on GPS Block IIF differential code biases", Springer, 8 July 2020, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10291-020-00996-x>

35 「壽命只有十年？斥資幾千億的北斗無法超越美國GPS？」，KKnews，2018年11月21日，<https://kknews.cc/military/9zv82nb.html>

技術的演進，人類創造的這些工具亦隨之不斷進步。

從簡陋的手繪圖到經緯度刻劃的地圖，再到現代電子地圖，從日晷沙漏到鐘錶，再到今日的高精度原子鐘，定位計時的工具日新月異，想達到的軍事目的卻是雷同，那就是追求將戰場的管理從粗略演進到細緻入微的過程，此一探索過程中展現的正是對即時化及精確化的需求。

我們用信息化來定義新時代的戰場，正如工業時代的戰爭樣式是鋼鐵機械間的對抗，信息時代的戰爭樣式則是資訊知識間的對抗，在對抗的過程中，數字化即是信息的基礎，數字化戰場的構築即是數字化建設的目標，數字化並非信息化戰爭的全部，但他確實決定了部隊信息化所能達至的高度。

對今日信息化戰場定位計時的需求可以描述為：「透過量化且精準的時空測量，以儘可能即時的方式將標準化的信息集成、融合並傳遞到所有C⁴ISR需求單位，作為構築數字化戰場的基礎。」而這正是導航衛星的發展目標，也是中國大陸稱北斗系統為「國家重要時空基礎設施」的根本原因。

信息數字化的根本目的在於，便利數位傳輸並可藉此消除傳遞過程可能造成

的失誤，從信息工程出發，描述和度量訊息可以排除不必要的語句，以數學工具量化，用以消除通信對方的不確定性，³⁶此一特色對複雜的戰場管理尤為重要。

作為信息化底層建築的北斗導航系統，對軍事戰略造成的效益難以簡單估算，高樓大廈的地基總是隱而不顯，GNSS系統對軍隊的增益也諱莫如深，這絕非因為收效低微，恰恰相反的是優良的全球導航系統對軍隊的增益太大、太全面，管中窺豹已難知全貌，需要從多方面來解析這個戰場威力的「增壓器」。本章將從指管通信系統、情監偵系統、武器系統與軍事外溢效應四大面向，探討北斗對中國大陸軍事戰略的戰略影響。

一、聯合信息環境數字化建設

從指揮、管制與通信系統的角度來看，北斗系統最優秀的能力是精準和即時，長期以來先進國家的軍隊都致力於取得可靠的動態覺知，動態意味著高更新率，也就是部隊敵我最新狀況的確認。

按OODA(Observe Orient Decide Act；OODA)³⁷循環的概念，作戰係一種「觀察」、「理解」、「決策」與「行動」四階段的不斷循環，此一有序循環的效率很大程度取決於指管通系統的能力，是軍事決策能力的關鍵指標，其戰略意涵

36 劉粵軍等，信息化軍事知識讀本(北京：長征出版社，2003年)，頁7。

37 OODA循環也被稱為柏伊德循環(Boyd cycle)，由美國空軍上校約翰·柏伊德提出的決策方法。這個方法是一個循環，由觀察(Observe)，理解(Orient)，決定(Decide)，與行動(Act)組成，反覆進行。這個方法最早應用於戰鬥機飛行員的訓練，作為交戰程序之一，進而成為軍事戰略的一部份。後來也被應用於訴訟、商業等領域中。

不言可喻。

作為聯合信息環境基礎建設，北斗系統主要從幾個部分改善了指管通系統的執行，首先，任何一個單位都可以藉由空中衛星的廣播，從使用者處獲取有效的授時定位訊息，並即時回傳此一資訊給指揮者，這意味著對己方部隊的動態掌握，其掌握的程度視系統的精確度而定。由於北斗二號的軍用精度約為1公尺，北斗三號勢必只高不低，此一精度已可支援單兵作戰，在人類歷史上，導航系統的使用可以說首次使指揮官獲得了對己方部隊時空因素的「全知」能力。

其次，指揮者對敵方姿態的了解端賴於我方的探測儀器，這些探測裝備的精準度則取決於探測的誤差與裝備本身定位授時誤差的總和，舉例來說，假設一台對空雷達探測飛機的誤差有1公尺，雷達本身的定位授時如果也造成了1公尺誤差，我們所獲得的飛機位置就可能產生最大2公尺的誤差。此種偏差對固定式裝備的影響不大，機動式裝備則廣為受限，甚至可能對部隊互證訊息帶來負面效應，由於從北斗二號起就已實現靜態公分級、動態公尺級的定位精度，³⁸勢必能有效改善此點。

第三，北斗不單具備無源定位能力，還繼承了早期的有源雙向定位能力，

能透過系統直接將自身位置傳遞出去，雖然這有遭敵反向定位的風險，但在無敵情顧慮的情況下，可以有效提升戰場管理能力。位置訊息的傳遞看似簡單，但不同系統間數據流的轉換相當複雜，除了要有轉換介面外，有時還會有不同時間及座標系統間的轉換問題，比較簡陋的系統還需要人工輸入，耗時之外更可能產生錯誤，因此該項功能相當實用。

最後是北斗的短信文能力，由於使用了上行鏈路，這項北斗的特殊通信能力同樣有遭敵偵測與破譯的風險，共軍也不可能只使用北斗作為唯一的信文傳遞管道，但是兩項因素使得其仍具備軍事上的價值，一是北斗屬於擁有全球覆蓋能力的GNSS系統，不具敵情威脅的後方部隊自然無洩密顧慮，且衛星短信在普通信號無法抵達的地域有特別優勢，二是北斗三號區域短報文通信服務容量約為1,000萬次／小時，³⁹全球短報文通信服務容量亦超過20萬次／小時，並開放民眾付費使用，海量的數據使得破譯者從中挑選有價值情報的難度大增，因此共軍可以將無機敏等級的資訊透過信文傳遞，降低其他通信系統負荷，或將命令二次加密後情傳，作為特殊情況下的備案。

上述這些能力歸根究柢是藉由時空信息數字化的統一，以可用的通信管道達

38 朱永興等，「北斗區域導航系統的PPP精度分析」，測繪學報，第44卷第4期(2015年4月)，頁377-383。

39 「北斗系統彰顯"中國智慧"」，中華人民共和國國土資源部，2020年6月24日，http://www.mnr.gov.cn/dt/ch/202006/t20200624_2529124.html

到知己知彼的目的，其將大幅節約OODA中觀察、判斷與決策的時間，從而使軍事行動迅捷有效。

二、共同圖像及戰場單向透明化

今日技術的演進使得情報獲取能力及戰場監偵能力獲得驚人的提升，影響所及，作戰空間範圍大增、戰場兵力密度則縮小，最終呈現出一種非線性的戰場樣式，令傳統戰線的前沿與縱深觀念飽受挑戰，此一現象使得大範圍戰場共同圖像的發展變的尤為緊迫。

共同圖像的用途在於藉由數據鏈路建立動態的戰術圖像，有效提升戰場透明度，供指揮官遠距掌握戰場資訊、下達作戰決心，例如美國海軍有名的單一整合空中圖像(Single Integrated Air Picture；SIAP)，即是一個一個能完整描述艦隊周遭空中戰術態勢的系統，此種系統的進階發展就是整合射控武器的協同接戰能力(Cooperative Engagement Capability；CEC)。⁴⁰

共同圖像需要整合所有次系統的傳感器與目標資訊，如何讓分散在廣大空間內的子系統在時間上同步是一項難題，對防空這類分秒必爭的系統而言，射控武器的容差相對較小，時間不同步甚至可能導致無法運作，此時北斗的全域精準授時能力就提供了解方。

情監偵系統的另一挑戰在於盡可能塑造單方面的戰場透明度，數字化本身即有增加戰場透明度的效果，但欲進一步強化，結合情監偵設備與北斗這樣的信息化保障系統則必不可少。

今日有成千上萬的傳感器藉由導航系統為基底，透過在設備上加裝通訊裝置，構成互通互聯的網路平台，衝破戰場迷霧，使指揮者眼中的戰場變得逐漸透明，然而也正是導航系統作為時空基礎建設的特殊性，使得通過破壞GNSS使敵方陷入混亂成為可能。

理論上，當擁有GNSS的大國間發生戰爭時，雙方會透過各種方式削弱或摧毀對方的導航能力，藉此爭取單向戰場透明度，北斗擁有較高的硬殺抵禦機會前文已經說明，此處不再贅述，此處僅針對其抗軟殺能力討論。⁴¹

波灣戰爭後的導航衛星干擾技術已經普及，英國防禦研究局的實驗證明，1W功率的調頻噪音GPS干擾機可使22公里內的民用接收機失效，俄羅斯研製的一種GPS便攜干擾器功率為8W，可以在GPS接收機使用P碼工作時，干擾距離超過40公里，⁴²這使得干擾成為衛星信號軟殺的主要手段。

現代GNSS均致力於與其他導航系統的互用替代性，北斗本身就具備對其他

40 劉書麟、徐雍，「探討先進作戰國家之防空飛彈與協同作戰能力」，海軍學術雙月刊，第54卷第3期(2020年6月)，頁7。

41 軍事上的軟殺是以非物理性、非實質上的摧毀方式，降低或者是壓制敵人的作戰行動與能力。

42 雷武虎等，衛星導航定位原理及干擾，頁445。

GNSS的組合能力，這雖然是為民用創造價值，但無形中也造成軍事上的制衡，大國面臨的窘境在於，當所有的全球導航系統互相依賴，唯有將4大GNSS全數屏蔽才能達到干擾目的，但這只會將所有人拉到同一起跑線，無法創造獨有優勢。

此時就顯現出北斗的後發優勢，由於GNSS的兼容必須經由修改使用者端的接收機來達成，GPS這類老牌用戶必須更新換代才能取得系統互通，這使得中國大陸在一段時間內無需擔憂對手的全頻干擾手段，⁴³美、俄等國可能需要投資改良大量的硬體設備後才能追平差距，因此就當下而言，北斗在抗干擾上可能有些微優勢。

整體而言GNSS由於覆蓋全球，對於可能在境外用兵的大國而言特別重要，毫無疑問，衛星的覆蓋區域將影響共同圖像的物理空間連結範圍，北斗使得中國大陸的作戰圖像可以全球一體，而非切割成多個小塊各自為戰；另一方面北京在利用GNSS獲取戰場單向透明化部分，至少在抗硬殺上優勢明顯，抗軟殺上也可能具備些微優勢。

三、防區外精準火力投射與低成本導引武器

精準武器的早期運用出現在越戰後期，著名的河內大橋轟炸行動中，美國的F-4幽靈式戰機使用一種早期的電視導引炸彈，成功炸掉了這座北越重要的交通樞紐，⁴⁴此前美軍出動超過800架次的傳統轟炸任務，卻一無所獲。精準武器出現有賴於現代傳感器與晶片技術的發明，然而這種劃時代的高效武器很長一段時間並未大量配裝各國部隊，這與其昂貴的價格有關。

相對廉價的導航能力當然存在，指標性的就是天文導航技術，但天文導航是利用辨識日月星辰等發光天體的相對位置制導，精度不高且易遭大氣情況影響，用於精準導引缺陷明顯，一般只在複合導引時作為輔助手段。

另一種方案即為地基無線電導航，這其實是衛星導航的先驅，採用類似的定位原理，30年代人們就應用無線電信標來提供飛機場的方位資訊，二戰期間開發成功的遠距離無線電導航系統(Long Range Navigation, Loran)⁴⁵則利用接收自不同發

43 在無法確定各國編碼技術及定向干擾能力的情況下，本文只考慮各系統抗全頻干擾的能力，GNSS當然可以開發獨立的軍用頻段來對抗全頻干擾，但是成本將會很高，並且只在作戰初期享有優勢，因為任何透過衛星廣播的定位模式，都能很快遭敵鎖定頻段，這可能會降低大國的投資意願。

44 吳敏文等，軍隊信息化應用知識(北京：軍事科學出版社，2003年)，頁206-207。

45 LORAN系統是在二戰期間由美國開發的雙曲線無線電導航系統。它類似於英國的Gee系統，但使用更低的頻段(1750kHz-1950kHz)，可在1,500英里(約2,400公里)的距離內進行導航定位，準確度為數十英里。其最早運用於穿過大西洋的艦隊和遠程巡邏機，之後廣泛用於太平洋戰區的艦船和飛機。

射台的時間信號進行定位，到60年代發展的Omega系統首次提供電子導航系統的全世界覆蓋。⁴⁶

但為了解決地形遮障問題Omega只能使用10到14 KHz位於甚低頻的無線電波，這導致其資料傳輸及定位能力低落，Omega的定位精度與天文導航相近，誤差通常達到公里級。這是人們轉而研發星基導航技術的原因，從太空觀測地表可以最大程度減少遮障與地球曲率問題，今日的導航衛星通常使用L波段定位，誤差範圍在10公尺以下。

與其他導引技術相比，衛星制導的關鍵優勢是在遠距、廉價之外，仍保有極高的精準度且射後不理，這類武器從波灣戰爭起大量使用，且比例持續增長，成為精準武器家族中的重要成員。

GNSS的覆蓋能力使武器系統能在全球範圍內導引，而低廉的價格則是其得以大量運用的前提，這之中的佼佼者當屬美國大量用於實戰的聯合直攻武器(Joint Direct Attack Munition；JDAM)，JDAM主要透過對傳統的M80系列炸彈加裝GPS/INS制導尾艙而成，從9,200公尺以上高度投放時，滑翔攻擊距離達20公里，更高級的專門研製彈藥被稱為聯合防區外武器(Joint Stand Off Weapon；JSOW)，美國的

AGM-154滑翔距離超過64公里。

衛星制導的另一發展走向是複合制導，在高階精準武器中加入衛星制導，使武器更為精準可靠，有名的戰斧巡弋飛彈Block III即採用GPS加景象匹配，通過GPS修正飛行中段的慣性導引，將導彈引入目標區。⁴⁷

利用衛星制導的武器類型很多，中國大陸勢必會開發基於北斗導航系統的各類精準武器彈藥，一些資料顯示，在中國大陸十三五的軍民融合重點項目中就已將精準制導武器列入，尤其著重在突破多模與複合制導技術、捷聯慣導與天文、衛星導航等組合制導技術，⁴⁸得益於先進國家的經驗，中國大陸可能會在短時間內取得成功。

四、盟軍聯合作戰基礎

北斗導航除了在民用上蓬勃發展外，軍事上其實也有帶動與外國聯戰合作的外溢效益，由於GNSS是一種運作成本高昂的裝備，世界上能獨立發展的只有大國，一般國家想要取得此種信息化保障，就必須透過軍事合作來達成。

最為明顯的就是北大西洋公約組織長期利用GPS執行聯合作戰、演習與訓練的案例，對美國而言除可藉此擴展軍售市場、提升盟友聯戰協同能力外，一旦盟友

46 「衛星導航的前驅---地基無線電導航」，北斗衛星官方網站，2011年9月28日，http://www.beidou.gov.cn/zy/kpyd/201710/t20171011_4698.html

47 王永剛、劉玉文，軍事衛星及應用概論(北京：國防工業出版社，2003年)，頁119-122。

48 「國防密件曝中國大陸"精確制導"項目」，大紀元，2020年12月24日，<https://www.epochtimes.com/b5/20/12/20/n12632837.htm>

形依賴性後無形中就會受其制約，可謂是一石三鳥。

歐盟1990年代發展GALILEO時就有這方面的考量，畢竟美國的GPS並不開放盟友參與管理，為了保護歐盟獨立的國防安全能力，發展GNSS勢在必行，GALILEO的發展歷程可謂波折不斷，除了內部各國意見分歧、資金短缺外，美國的干預是主要障礙。⁴⁹

雖然美國透過北大西洋公約組織與歐盟主要國家維持緊密軍事關係，但保有對抗的意圖與保留對抗的能力是兩回事，從歐盟的角度看，即使不存在衝突也沒有單方面受制於人的道理，從美國的角度看，GALILEO組網後就應預期歐盟有在軍事上與其分道揚鑣的機會，因此自然大力反對。

歐盟組網GALILEO的先決條件是歐盟具備營運獨立GNSS系統的資金與技術，對世界上絕大部分的國家而言並不存在這樣的條件，因此透過中國大陸授權取得北斗信息能力支援，對一般國家仍是頗具吸引力的選項，不過此種授權關係到核心資訊的共享，兼有軍事結盟的意涵，而中國大陸黨的十二大後奉行外交獨立不結盟政策，是否與戰略夥伴發展此一能力尚

待觀察，但北京確實保有發展北斗聯戰平台的能力。

我們可以從兩個部分觀察以北斗數據構建多國聯戰平台的可能，第一是中國大陸演訓時是否大量配備基於本國GNSS的指、管、通平台，像北斗這樣必須普及到基層單位的泛用裝備，一旦大規模運用勢必無法隱藏，而大規模配裝部隊又勢在必然，此舉可以檢視該項技術的成熟度；第二是觀察首批授權建立北斗地面站的國家有哪些，允許提高北斗精度的站台在國內組網，除了需要同意相關技術准入運作，也很能說明與中國大陸關係的緊密程度，事實上，已知建立起北斗導航系統地面站網的國家巴基斯坦，⁵⁰就與中國大陸保有長期軍事合作。

北斗衛星的官方白皮書曾指出要提前在2018面向「一帶一路」沿線及周邊國家提供基本服務，雖然官方通篇不曾提到其軍事應用，但中國大陸一定有利用北斗系統強化國土及一帶一路周邊軍事優勢的意圖，倘若中國大陸未來踏出這一步，這些國家將是潛在的軍事合作對象，只是北斗三號組網迄今時日仍短，縱然民間使用率有使GPS黯然失色的跡象，⁵¹各國畢竟仍在評估其利弊。

49 王崑義，「中國發展北斗衛星系統對臺灣安全的威脅與因應之道」，全球政治評論，第34期（2011年4月），頁57。

50 「中國北斗反超美國GPS與137個國家達成合作 巴基斯坦首先用上了」，KKnews，2020年6月25日，<https://kknews.cc/zh-tw/science/pbkabr8.html>

51 「北斗導航在多少國家超過美國GPS」，新浪網，2020年11月27日，<https://finance.sina.com.cn/chanjing/gsnews/2020-11-27/doc-iiznezxs3916583.shtml>

北斗衛星未來發展與限制

一、未來發展

(一)地基增強

北斗系統現有的公尺級精度已足以支應許多軍、民工作使用，中國大陸已全面實施的「兩客一危」就利用GNSS動態監管旅遊包車、三類以上班線客車和危險品運輸車，當駕駛違規或發生異常即自動告警，⁵²但對北京遠程發展目標而言，此種精度仍遠為不足。

比如現在正在測試的大規模自動駕駛，或是軍事上前景可期的無人機蜂群戰



圖七 北斗監控兩客一危

資料來源：〈北斗監控“兩客一危”〉，《北斗科普網》，2021年1月28日，<<http://old.bdcastic.com/index.php/home/bdkp/bdyyxq/id/15.html>>（檢索日期：2021年1月28日）

術，都有將GNSS精度提升到公分級的需要，定位誤差可能要達到數十公分以下，如果只靠星基測距，就動態定位而言短期內技術難以達成，最快的方式其實是增設地面基站，透過地基增強達到目的。

中國大陸相關地面基站建設已逐步展開，未來勢必將持續進行，高精度應用將首先集中在重點區域，部分項目顯然已正式運作，中國大陸碼頭集裝箱作業的全面自動化，⁵³其所需精度可能就是透過地基增強取得。

(二)立體覆蓋

北斗三號建成不久，其官方新聞發言人冉承其便宣布中國已經著手下一代北斗建設發展，將在2035年前建設一個更智慧、更泛在、更融合的系統。簡單來講，就是從室內到室外、深海到深空的立體服務覆蓋的更強、更安全、更可靠系統。⁵⁴

此一宣示表明北斗建設將大規模走向橫向聯結，不再局限於GNSS系統內的互通與兼容，而是與軍、民多種基地台的廣泛構連，以擴充北斗的運用範圍，達到在物理空間上的全面覆蓋。

一種關鍵趨勢是北斗與5G的相互融合，5G是智能化時代的基礎設施，其極高速率、極大容量、極低時延的特徵，可

52 「北斗監控“兩客一危”」，北斗科普網，2021年1月28日，<http://old.bdcastic.com/index.php/home/bdkp/bdyyxq/id/15.html>

53 「運用北斗技術實現集裝箱碼頭自動化」，人民網，2021年1月18日，<http://ccnews.people.com.cn/BIG5/n1/2021/0118/c141677-32002476.html>

54 「下一代北斗系統“劇透”：室內到室外、深海到深空的立體覆蓋」，新京報，2020年8月3日，https://www.sohu.com/a/411177377_114988

為滿足未來虛擬現實、智慧製造、自動駕駛等應用需求提供基礎支撐。但5G受限於電磁波特性和訊號節點涵蓋面小，而衛星定位涵蓋面廣，但在室內或有建築物遮擋的地方定位精度會有偏差，因此兩者間的互補性非常強。中國大陸刻正開展基於5G基站的室內定位技術研究，並致力於將其與衛星導航技術融合，形成無所不在的定位網路。⁵⁵

冉承其進一步指出5G和北斗具有融網絡、融科技、融技術、融終端、融應用的天然優勢，同時北斗可以構建高精度、高可靠、高安全的新一代資訊時空技術體系，物聯網、雲計算、大數據、人工智慧、區塊鏈等技術都離不開北斗，也離不開5G。⁵⁶

此外，中國在「十一五」國家「863計畫」專案中成功研製了「差分GPS水下立體定位系統」，開發出水下高精度導航與定位能力。⁵⁷可以推斷，以此為基礎建立基於北斗的水下定位系統並無技術瓶頸，屆時中國大陸將成功構築覆蓋陸、海、空三棲空間的北斗網路。

(三)面向亞太

前文已經指出中國大陸不但在政策面優先關注本國與一帶一路周邊，北斗網眼也在亞太區具有明顯的高密度，延續此一策略的好方法是將地面基站對亞太區集中推廣，由於北斗在此區間享有的強化優勢，其定位精度猶在GPS之上，因而此一趨勢終將不可避免。

亞太區北京合作的優先目標應是東協十國，從經貿關係來看，根據大陸海關總署最新公布的統計數據，2020上半年，中國大陸與東協進出口總值達到人民幣2.09兆元，年增長5.6%，占中國外貿總值的14.7%，東協已取代歐盟，成為中國最大貿易夥伴。⁵⁸

自《中國--東盟自貿協定升級版》2019年10月全面生效後，這個中國大陸對外最早簽署的自由貿易協定已成為人口數量最大，覆蓋發展中國家最多，同時也是第一個全面升級的自貿區，2020年底簽署的區域全面經濟伙伴關係協定(Regional Comprehensive Economic Partnership; RCEP)，亦包含東協在內。⁵⁹

由此觀察，中國大陸在北斗布局全球時理應優先關注東協，即使中國大陸與

55 「5G與北斗互相賦能，應用前景取決於想像力」，科技日報，2020年2月11日，<http://scitech.people.com.cn/BIG5/n1/2020/0211/c1007-31581414.html>

56 同註51。

57 「我國開發出首套水下高精導航定位系統」，新浪網，2007年12月18日，<http://www.tech.sina.com.cn/d/2007-12-18/1022191862.shtml>

58 「不是美國也不是歐盟 大陸最大貿易夥伴是她」，聯合報，2020年7月14日，<https://udn.com/news/story/7333/4701293>

59 「中國及亞太國家打造超級經濟圈RCEP的六個看點」，BBC中文網，2020年11月14日，<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-54917712>

部分東協國家存有南海爭議，龐大的商業利益仍為更高優先，早在2013年北京就已提出要與東協各國合作建設北斗系統地面站網，⁶⁰此舉表明即便雙邊暫不考慮軍事合作，北斗地面基建在東協仍是現在進行式。

東協多數國家有經濟靠攏大陸、軍事靠攏美國的傾向，北京在亞太區也順勢而為，走先經濟後政治的路線，等大陸能以經濟領導東協政治風向球時才會觸及軍事合作，北斗優先聚焦亞太的作為，提高了區域國家的共同利益，是中國大陸一帶一路全球戰略的一部分，乃是一種極高明的地緣戰略布勢。

(四)永續發展

後冷戰時期以經貿交流為主的國際局勢，改變了冷戰時軍方壟斷高端科技的生態，1974年美國國防部國防高等研究計劃署(Defense Advanced Research Projects

Agency；DARPA)發明網際網路的時代已然遠去，民間的技術能力已走在前端，形成由民間帶動國家科研發展的新模式，軍方如果希望在某個領域保持領先，由產業營利帶動技術創新將是重要手段。

自GPS向民間開放以來，導航系統已逐步形成完整的產業鏈，從基礎的晶片及OEM板、導航軟件、電子地圖，中游的航空、航海、車用設備終端，再到系統集成商、營運服務商等末段總承業者，市場迄今仍在逐年擴大，GPS各項技術如火如荼地發展，其差分技術的進步，甚至使美軍放棄了用來降低民用精度的SA政策，⁶¹GPS的案例給北京指明了北斗的發展方向。

中國大陸的北斗產業鏈有兩條重要主軸，一是自力研發、二是政策扶持，北京的官方政策一直堅持獨立自主的道路，核心零件要求百分之百國產，這就導致有



圖八 中國大陸重要北斗產業政策

資料來源：〈北斗導航產業深度報告：全球組網完成在即，北斗產業迎配置良機〉，《KKnews》，2020年5月20日，<<https://kknews.cc/zh-tw/science/m92rrpz.html>>(檢索日期：2021年1月28日)

60 「中國將在東盟各國合作建設北斗系統地面站網」，中國新聞網，2013年1月19日，<http://www.chinanews.com/gj/2013/01-19/4502947.shtml>

61 雷武虎等，衛星導航定位原理及干擾，頁3。

大量的國內研發與製造產能需求。

而政策扶持上，從2009年大陸即於《中國第二代衛星導航系統重大專項實施方案》確立了「軍民共用，協調發展，需求牽引，技術推動，統籌規劃，滾動建設」的工作原則，此後配套規劃不斷，尤其2018年明確了國內交通運輸業關鍵領域必須應用北斗終端的策略，加上北斗性能的確可圈可點，很快形成了良性循環。⁶²

北斗系統已在交通運輸、公共安全、氣象預報、救災減災等領域產生顯著的經濟和社會效益，2019年總產值為3,450億元，據《2020中國衛星導航與位置服務產業發展白皮書》預測，2020年產業的總體產值將達4,000億元，預計到2025年，北斗衛星導航產值規模有望達6,440億元，⁶³在永續經營的理念下，北斗已成為北京的金雞母，推動產業鏈的持續進步。

二、衍生限制

(一)管理不易

中國大陸時常用「大國重器」來形容北斗工程，確實，作為大陸五大航天科技工程之一的北斗導航系統，從三步走規劃起共耗時26年、發射運載火箭44次、導航衛星55枚，才完成全球組網。有專家預估，北斗系統從前期研發到後期組網運

行，耗資達到三個港珠澳大橋的建設資金，約3,500億人民幣，⁶⁴如此鉅額時間金錢的投入，確實當得起大國重器四字。

雖然北斗系統已開始獲利，但是巨額資金、產業以及一整代科研人力的投入，無法在開始時就確保前景可期，風險與機遇永遠是併存的，即使是今天，北斗仍面臨著其他3家GNSS系統的競爭，如果失去產業競爭力，中國大陸前期的投資便會付諸東流。

憶往追惜，北斗向國際電信聯盟申報導航頻段時即面臨GALILEO的強烈競爭，當時的可用頻譜資源短缺，大陸須依規定於時限內成功發射導航衛星並收到導航訊號，否則頻段便會遭電信聯盟收回，當北京依規定收到首個衛星訊號時，距申請失效最後期限僅剩不到4個小時，這種驚險萬分的經歷已表明，在導航衛星等級的超級工程裡危機處處。

北斗系統是體量巨大的產業鏈，一旦運轉失靈，光是天價的維持費就難以為繼，此點俄羅斯和歐盟都有切身之痛，在蘇聯解體後很長一段時間裡，GLONASS事實上處於無人管理的狀態，歐盟國家雖然富有，卻因為管理問題導致GALILEO長期資金短缺，不但拖延了星座組網時

62 「北斗導航產業深度報告：全球組網完成在即，北斗產業迎配置良機」，KKnews，2020年5月20日，<https://kknews.cc/zh-tw/science/m92rrpz.html>

63 「北斗三號衛星導航系統全面開通：千億產業化落地疾行」，新浪網，2021年1月5日，<https://finance.sina.com.cn/tech/2021-01-05/doc-iiznezxt0579140.shtml>

64 「中國組建北斗衛星導航系統，耗資多少，又是如何盈利的？」，網易，2020年7月1日，<https://3g.163.com/dy/article/FGHP5BQ0528OPR8.html>

間，遲至2019年還曾因為計時裝置故障發生全系統失靈的慘事，這些前車之鑑都預示著管理GNSS系統殊為不易，稍有不慎便會損失慘重。

(二)易遭干擾

導航衛星位於距地表2萬公里以上的太空，極難遭武器摧毀，出人意表的是干擾衛星廣播訊號卻顯得相當簡單，這是因為衛星的小體積決定了發射功率不會很大，國際電信聯盟還為了避免電磁波傷害，對功率上限做出限制，因此用戶接收的信號就變的微弱，舉例而言，GPS的L1和L2信號在地表的信號強度約只有電視信號的十億分之一，自然極其容易受干擾。⁶⁵

導航系統由衛星、地面站和用戶3個源，以及衛星向地面廣播的下行通道、地面站向衛星注入導航電文和控制指令的上行通道2個鏈路組成，由於地面站一般位於嚴密保護之中，因此可靠的干擾通常針對的是用戶端天線與衛星的下行鏈路。

為了適應導航系統信號的微弱，用戶端天線普遍被設計的極其敏銳，這造成明顯的弱點，天線不但易遭干擾，在高微波條件下接收機甚至會失靈或燒毀。至於

衛星鏈路部分，透過上行通道對衛星實施干擾控制雖在理論上可行，實務上由於上行鏈路被嚴格加密且信文結構複雜，部分衛星甚至被設計為只接收特定地面站信號，因此唯有干擾下行鏈路較具操作性。

針對用戶端下行通道的干擾在執行上有種有趣的現象，那就是相對於民用碼因碼型透明，在電子欺騙上可行性高外，軍用碼即使加密水平再高，也要面對信號微弱易遭全頻覆蓋的問題，換句話說，此時全頻干擾遠比複雜的電子欺騙簡單有效。

全頻干擾當然不是萬靈丹，美國國防高等研究計劃署(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)⁶⁶很早就提出偽衛星的構想，該項計畫旨在通過無人機或地面站構築GPS的中繼信號，據稱，4架RQ4組成的偽星座可覆蓋300平方公里的地域不受干擾，而定位誤差只增加約20%。⁶⁷雖然類似的反制方法仍有許多，但不能忽略的是這些手段在成本和技術難度上遠較全頻干擾為高，此種鎖定頻段加以全頻覆蓋的模式，在執行上可謂簡單粗暴，而且幾乎只有發射機功率的限制，早在第二次波灣戰爭時，伊拉克就曾

65 雷武虎等，衛星導航定位原理及干擾，頁423。

66 國防高等研究計劃署是美國國防部負責研發軍用高科技的行政機構，其總部位於維吉尼亞州阿靈頓郡。1957年，蘇聯在拜科努爾發射了史普尼克1號衛星，成為首個將人造地球衛星送上太空的國家。由此，引發美國科技水平被蘇聯趕超的史普尼克危機。1958年2月7日，為應對美蘇冷戰，美國國會授權美國國防部成立了高等研究計劃署，國會要求高等研究計劃署承擔保持美國軍事科技較其他的潛在敵人更為尖端的使命。

67 雷武虎等，衛星導航定位原理及干擾，頁398-399。

利用俄制干擾機消耗美軍很多彈藥和空襲出動架次，⁶⁸雖然此種缺陷不獨北斗系統，而是舉世皆然，但這確實提供不具GNSS系統的小國反制之道。

(三)過度依賴

水能載舟，亦能覆舟，這句古諺十分貼切GNSS系統可能面臨的問題，作為信息化建設的基礎，幾乎與所有信息化項目息息相關，一旦系統出現異常，可能造成的問題極其嚴重。一隻信息化勁旅失去信息能力後，作戰能力可能還不如機械化部隊，這是因為其賴以執行作戰任務的基礎能力遭到破壞的緣故。

可以設想這樣的場景，一艘配備現代化導航系統的船艦航行於沒有地物可供識別的公海上，突然間失去了導航信號，此時的艦上倘若沒有備用的海圖、六分儀以及天文識別等導航能力，船隻便只能茫然無措的隨意航行，將命運交給無法預測的天意決定。

為了避免此種情形，即便對自家GNSS信心十足，部隊勢必仍要尋找替代手段，最簡單的是全球導航系統間的互通互融，但此一方式在遭遇大規模蓋頻時仍可能無能為力，次一選擇方案即為額外的感測系統或傳統導航輔以人工輸入的方式。

在伊拉克及阿富汗戰場有多次GPS信

號遭破壞經驗的美軍，可能是最早進行替代方案研究的國家，保證定位、導航和授時系統〔That equipment is the Mounted Assured PNT (Positioning, Navigation and Timing) System, MAPS〕就是一例，MAPS是美國陸軍在GPS訊號消失、減弱或被欺騙時的解決方案，可以從各式感測器獲取數據並加以融合，這些感測器提供定時、氣壓測量和慣性導航，從而形成一個可替代GPS的獨立系統。⁶⁹美軍早在2004年即已使用的「國防先進GPS接收器」運用同一概念取得定位能力，MAPS GEN是其能力的近一步擴充，現已發展到第二代。

與MAPS這樣的高端產品相比，傳統導航可能是一般小國的無奈選擇，舊式觀測技術雖無需投入額外經費，但器材維護與人員訓練都相當複雜，但無論採獨立感測系統或是傳統導航技術，部隊都勢必面臨訓練及後勤上更大的負荷。

結 論

從1994年北斗衛星三步走正式立案起，中國大陸走過一場從實驗到實用，從區域到全球的GNSS系統發展之路，若考量GLONASS及GALILEO的現況，2020年7月北斗三號星座完成組網後，實質上已形成北斗與GPS兩強鼎立的局勢。

68 「俄電子干擾機可使美GPS陷入癱瘓 美軍將換新裝備應對」，新浪網，2019年6月13日，<https://mil.news.sina.com.cn/jssd/2019-06-13/doc-ihvhiqay5329641.shtml>

69 「作為GPS替代方案 美陸軍將選出新定位系統承包商」，自由時報，2020年9月16日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3293358>

這條獨立發展全球導航系統的歷程絕稱不上一帆風順，草創之初甚至可以稱得上筆路藍縷，但是中國大陸確實披荊斬棘，替共軍鋪設了一條直通指揮自動化的發展道路，替信息化軍隊轉型打下了堅實基礎。

北斗系統的能力提供吾人窺測共軍下一個十年即可能具備數字化戰場指管、全域共同圖像、大規模防區外精準武器等作戰效能，此種能力的增長不但進一步造成兩岸戰力的傾斜，甚至可能逐步達到美軍的作戰水平。

我國的軍事發展雖不具備中國大陸充裕的人力與資金條件，其研發北斗之路程仍有值得吾人借鏡之處，大致可歸納為以下四點建議：

首先，當務之急需大幅提升我方的C⁴ISR效能，此種在機械化時代無法以數據衡量的能力，是信息化戰爭時代戰力的主要指標，未來的戰場衡量部隊實力的標準不再只是陸軍有多少坦克和大砲，或空軍有多少架戰機，而是能多快獲取資訊、處理資訊和運用資訊，一個效率低落的C⁴ISR系統最終勢必會在信息化的競爭裡遭到殘酷的淘汰。

其次，由於國際局勢的關係，我軍基本上以境內作戰為主，如能在作戰想定區域發展出類似美軍MAPS GEN的獨立導航能力，只要輔以簡易的干擾手段，便能一定程度抵銷中國大陸未來的信息化優勢。臺灣擁有完整的電子及通信產業鏈，理應具備一定研發優勢。

第三，必須專注發展不對稱作戰的能力，專注的意思是指各軍種必須要有結構轉型的概念，尤其人工智慧與無人機領域的研發將是重中之重，以空軍為例，單純維持戰術聯隊已然不足以支應未來戰場，大量無人機混搭有人機作戰是必須的，否則僅是多批次的空域巡邏與偵查任務就足以使戰力消耗殆盡，畢竟，未來我們的對手是智能化的武器，就有無窮盡的耐力可以維持。

最後是軍備永續發展的理念，我國在軍火市場上有國內市場小、國外市場受限的問題，長此以往研發能量必然萎縮，幸而臺灣急需發展的人工智慧、無人機等產業都具備民用潛力，倘若官方能在投資研發能力後推出具競爭力的民用產品，便能避開敏感的軍火市場，透過商業營利達到良性循環，如此才是真正長久經營之道。

作者簡介

林明智中校，空軍預官90年班、空軍指揮參謀學院104年班、國立政治大學外交學系戰略與國際事務碩士，曾任排長、連長、參謀主任、隊長，現任空軍指揮參謀學院中校教官。

葉勁宏少校，空軍官校93年班、空軍指揮參謀學院110年班、國立政治大學國家安全與大陸研究碩士，曾任排長、連長、作戰官、副營長，現任空軍防空飛彈指揮部防管中心少校作訓官。