



運用低軌道通信衛星強化國軍資通骨幹系統韌性之芻議

作者/陳鏡伊、李建鵬

提要

- 一、因俄羅斯對烏克蘭採取「特別軍事行動」，使得烏國境內通資基礎設施受損，通訊網路大範圍失效；在後續作戰憑藉美國私人企業提供的星鏈網路，使烏國政府對軍隊及人民得以重新建立指管手段及官方資訊管道，以致俄羅斯的認知作戰及假訊息相繼失效，對戰局產生關鍵影響。
- 二、隨著科技進展與火箭發射成本下降，人造通信衛星逐漸朝向低軌道開發及應用，探究其主因為相較以往高軌道通信衛星系統的複雜架構；低軌道通信衛星系統具備「低延遲」、「低成本」及「高傳輸速率」的優勢，在俄烏戰爭中已見證其平戰轉換的適應性及跨系統整合能力。
- 三、相較我國軍用資通骨幹系統目前仍以地面混合網路為主，且通資基礎設施多為固定式面對具精準打擊能力的敵人，於作戰初期即易陷於不利態勢。因此面對平、戰時軍用資通骨幹中斷失效時，可導入低軌道通信衛星作為骨幹接替及備援，以增加通信傳輸手段，達到多重混合通信網路之目標，強化國軍資通骨幹系統之韌性。

關鍵詞：低軌道衛星、骨幹通信、系統韌性

前言

自1957年蘇聯成功發射人類史上第一顆人造衛星「史波尼克號(Sputnik)」後，人造衛星科技不斷的向前邁進，適用範疇也由軍事運用轉向民間各領域廣泛使用。而人造衛星具有克服地球曲面障礙(跨視距)的優勢，不論是將其運用於通信、導航系統、地形偵查、氣象觀測、太空科學及海洋資源探測等，均可達成目的。因此，不少國家將衛星科技視為軍事武力的倍增器，最早投入發展之美國及俄羅斯至今仍不斷優化人造衛星相關技術，而近年崛起的中共亦將衛星科技列為國家高科技研究發展計畫之一，再再顯示擁有人造衛星的國家，即具有國家戰略之優勢。

國軍資通骨幹系統由實體光纖纜線(有線)及地面微波系統(無線)所構成，系統最初由電纜的「類同步多工通信系統(Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH)」升級到「同步光纖網路系統(Synchronous Optical Networking, SONET)」，且因應



異質介面整合，運用了「非同步傳輸模式(Asynchronous Transfer Mode,ATM)」技術。¹國軍整體通信網路建置可區分「固定式通信基礎設施(以下簡稱站臺)」及「機動通信系統」，前者就如民營通訊服務業者一樣，會因應服務地區的距離等因素於市區、郊區或山區設置固定中繼站臺，遇固定站臺發生故障時，則運用機動通信系統建立鏈路，疏導至鄰近站臺轉送，使服務區域內的用戶不會因站臺故障而受到影響。

但在現代戰爭中，固定站臺因據點容易被敵偵獲而遭精準打擊或敵後特攻，而機動式通信系統則受限於地理上的運用，如區域內無視野良好之制高點，則難以建立微波通信，完成備援接替之任務。相較之下，衛星通信系統的優勢在於絕對的制高點，在不同軌道高度也可以有不同的作戰運用策略，且不受地形限制及遭敵砲火打擊而失去支援能力，足以因應國軍整體指管運作備援需求。²因此，國軍在面對前述敵之多重威脅時，實應思考如何強化既有資通骨幹系統之「韌性」，於任何時候遭受到敵方攻擊時，可以透過完善的備援機制，即時應變快速恢復，甚至從被攻擊經驗中學習並強化自身體系，以利於遭敵第一擊後仍保有通信指管手段。³

低軌道通信衛星發展與應用

低軌道衛星近年應用於遙測成像及通訊技術愈趨成熟，前者因距離地球表面較近，具備近距離拍攝高畫質影像之優勢，多用於測量、調查及救災等領域；後者在通信應用上，具備低延遲性及寬頻傳輸較大優勢，在衛星數量夠多的情況下，幾乎與高軌道通信衛星涵蓋區域相同，以下茲針對通信衛星運作原理及低軌道通信衛星發展說明。

一、通信衛星運作原理探討

美國及蘇聯兩國在1955-1975年的20年間，從事著一系列太空、火箭及衛星工程研發的「太空競賽」，也造就衛星科技快速成長。1974年10月26日蘇聯於靜止同步軌道成功發射人類史上第一個用於電視轉播的通信衛星，使訊號傳輸不侷限於地面通訊系統，讓電視訊號得以傳送到更遠地區。⁴1976年美國明尼亞波利斯(Minneapolis)電視台運用衛星轉播車(Satellite News Gathering,以下簡稱SNG車，

1 吳振宇，〈國軍骨幹網路傳輸效能之評估及簡化〉，國防大學管理學院98年班(2009年12月)，頁5。

2 洪政哲，〈國防部：中共對臺斬首作戰 我籌立即作戰能力因應威脅〉(聯合新聞網)，2022/04/28，< <https://udn.com/news/story/10930/6272480>>(檢索日期：2022/10/02)。

3 唐鳳，〈專欄：強化全民數位韌性〉(風傳媒)，2022/08/02，<https://www.storm.mg/article/4447829>(檢索日期：2022/10/02)。

4 《維基百科》(通訊衛星)，<<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/通訊衛星>>(檢索日期：2022/10/25)



如圖1)透過通信衛星進行首次現場轉播，使現場影像得以即時傳回電視台製播，傳送過程不再侷限於衛星終端站臺或基地台附近，取而代之的是SNG車可以抵達的地區，訊號即得以傳輸，其運用效率尤勝過往地面傳輸方式，也成為多數國家衛星運用的典範。⁵

圖1 衛星SNG車示意圖



資料來源：《維基百科》，(TVBS新聞SNG車608-BS)，2013/10/07，<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TVBS_SNG_608-BS_20131007.jpg>(檢索日期：2022/10/27)

時至2022年，地面通信傳輸系統雖已邁入5G高速網路時代，以現階段通信衛星的便利性及功能性，仍具難以取代之價值，以下就其設置方式、運作原理及特點說明：

(一)設置方式：可區分為「固定式」與「機動式」兩類：

- 1.固定式：設置於地面之固定站臺。
- 2.機動式：設置於船艦及車輛載具上或是以人工攜帶方式實施開設，只要與通信衛星間無遮蔽物，即可依據需求於不同地點開設作業。

(二)運作原理

通信衛星意即讓地面接收站能收到另一處地面發射站所提供的資訊，而衛星本體就是地面發射站與接收站間之中繼轉發設備(如圖2)，太空就是訊號傳輸媒介。雖然通信衛星成本較高，但因其所能涵蓋的範圍大且不受地形限制，實務上使用3個地球靜止軌道(Geostationary Orbit, GEO)衛星就能涵蓋地球上大部

⁵ 《快樂的豐樂之家》(傳播科技SNG讓台灣新聞無所不在)，2007/12/2，<<https://blog.xuite.net/a9325105/twblog/128578044#>>(檢索日期：2022/10/25)。



分地區，且能同時多點傳輸大量資訊，對於長距離傳輸需求是最經濟有效的方法。假使採用較低軌道高度的衛星作為通信運用，雖然需要較多衛星才能涵蓋大部分地區，卻也因傳輸距離較短，有利於整體通信品質與要求，而且多衛星組網之方式也能提高傳輸速率，其速率較趨近地面網路，也是通信衛星近年來發展的主流趨勢。⁶

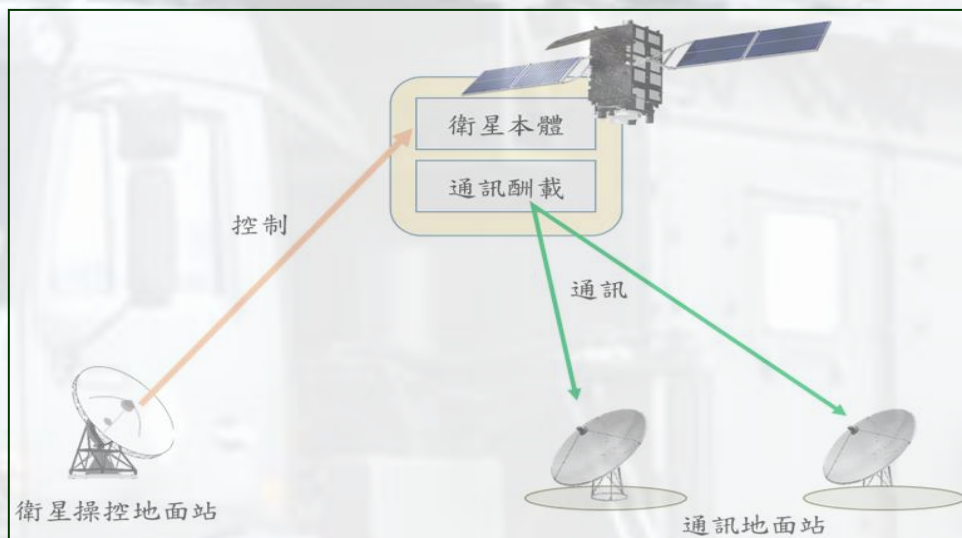
(三)特點：

1.涵蓋範圍廣：衛星通訊傳輸距離遠，幾乎無地障問題，於地球靜止軌道的通信衛星，可涵蓋1/3地球表面積。

2.作業時間短：在地球靜止軌道之通信衛星，其地面接收站對星角度都是固定的，而低、中軌道通信衛星，地面接收站也皆具自動對星能力。

3.維修較迅速：不同於地面網路系統錯綜複雜，通信衛星之傳輸設備及架構相對單純，如遇臨時故障等意外，整體修護時間短，能迅速恢復通訊。

圖2 衛星通信示意圖



資料來源：《維基百科》，(TVBS新聞SNG車608-BS)，2013/10/07，<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TVBS_SNG_608-BS_20131007.jpg>(檢索日期：2022/10/27)

二、低軌道通信衛星發展探討

隨著科技不斷進展與火箭發射成本下降，人造衛星開始朝向低軌道應用發展，在通信衛星的數量更自2018年起每年呈倍數成長，依據「國際衛星資料庫(U

6 陳世揚、羅偉豪，《通訊衛星服務與系統工程》，(電腦與通訊)，2021/09/25，<<https://ictjournal.itri.org.tw/content/Messagess/contents.aspx?&MmmID=654304432061644411&CatID=654313611231473607&MSID=1127366767566313145>>(檢索日期：2022/10/1)。

nion of Concerned Scientists Satellite Database, UCS)」數據顯示，截至2022年初，各國低軌道衛星總數為4,852顆，其中美國佔61%、俄羅斯佔3%、中共佔10%及其他國家合計佔26%，由上述佔比可知目前美國在發展低軌道衛星是處於絕對領先地位。在通信衛星部分，知名企業也陸續投入，其中SpaceX公司所擁有的星鏈網路更是低軌道通信衛星推展之先驅，⁷不但可提供偏遠地區網路需求者應用，也在俄烏戰爭中大顯身手。目前在低軌道通信衛星發展以SpaceX、Oneweb及Amazon公司投入資金最多，其目標皆於低軌道上組建各自的星系網路，發展現況概述如下：

(一)SpaceX公司

星鏈網路(Starlink)獲准於低軌道發射11,926顆，目前運行衛星已有3,506顆(如圖3)，其衛星波束涵蓋範圍已達全球覆蓋，且尚有30,000顆正向美國聯邦通訊委員會(Federal Communications Commission, FCC)提出申請，其低軌道衛星高度主要分布於低層340公里、中層550公里及低層1,100公里上下，星系採三階段建置，第一階段衛星數為1,584顆、第二階段為2,585顆及第三階段7,518顆，預計於2027年完成星系網路布建。2022年已提供全球超過40萬用戶，受惠於低軌道離地面終端站臺距離較近，其可提供用戶高達100Mbps使用速率，除了佈局偏鄉郊區外，也搶佔陸上交通、海上船舶及物聯網路等行動載具通訊設備，⁸目前是低軌道通信衛星運用的領先者。

整體通信架構主要是利用軌道內的衛星進行「雷射光」通信，形成區域通信通道，再將訊號傳送回地面站臺，當衛星超過天線接收範圍時，另一顆衛星會接續補上，並搭配相位陣列天線，快速切換衛星進行通信，使得訊號傳輸過程不會間斷。⁹目前SpaceX公司所屬星鏈網路服務範圍已擴及北美洲、南美洲及歐洲等32個國家，每日約有15萬用戶使用星鏈網路的服務，後續依其衛星數量逐步到位及相關國家批准應用後，服務數量將持續上升。¹⁰另外自2022年2月24日俄烏戰爭爆發後，烏國境內電力與通信基礎設施遭受俄軍導彈襲擊，造成該國政府、軍隊到人民的通訊皆因設施故障而無法通聯，直到星鏈網路上線服務後，才使烏國境內通信應用得以恢復。¹¹

7 鍾銘泰，〈國際低軌衛星發展與太空新秩序概覽〉，(台灣經濟月刊2022年4月)，頁114。

8 經濟日報，〈產業追蹤/低軌衛星產業四巨頭爭奪制空權〉(聯合新聞網)，2022/10/30，〈<https://udn.com/news/amp/story/7241/6724733>〉(檢索日期：2022/11/12)。

9 跨元探索，〈StarLink遊戲規則與通訊原理〉(跨元通訊)，2022/10/16，〈<https://vocus.cc/article/634b6c98fd897800011c3d08>〉(檢索日期：2022/11/12)。

10 黃翊涵，〈Starlink服務範圍擴大！32國直接享受高速網路〉(Newtalk新聞)，2022/5/17，〈<https://newtalk.tw/news/view/2022-05-17/755973>〉(檢索日期：2022/11/12)。

11 特斯拉的星鏈「Starlink」，為何在烏克蘭對抗俄羅斯戰爭中那麼重要？(BBC中文)，2022/10/25，〈<https://www.bbc.com/chinese/news/technology-634b6c98>〉(檢索日期：2022/11/12)。



圖3 Starlink星鏈衛星分布圖



資料來源：《Live Starlink Satellite Map》，(Starlink)，2022/11/12，<<https://satellitemap.space/?constellation=Starlink>>(檢索日期：2022/11/12)。

(二)Oneweb公司

「Oneweb」是星鏈網路目前的主要競爭對手，該公司成立於2012年，期間雖然經歷破產風波，然於2020年7月由英國政府及印度電信集團接手投資，獲准可於低軌道發射2,716顆衛星，目前運行衛星已有428顆，其衛星波束涵蓋範圍已達北半球覆蓋(北緯50度以北)，且尚有6,372顆正向美國聯邦通訊委員會(FCC)提出申請。¹²其低軌道衛星高度主要分布於1,200公里上下，星系採兩階段建置，第一階段衛星數為2,716顆及第二階段為6,372顆，應用方向及佈局重點以網路、航太及海事應用為導向。¹³雖然目前衛星涵蓋及服務以北半球為主，但在英國、南亞及非洲等地區仍有佈局地面網路，屆時在衛星完成建置後，後續會採用整合地面網路，形成地空網路一體的策略合作模式。¹⁴目前Oneweb公司星系網路服務範圍已擴及加拿大、阿拉斯加、格陵蘭、北歐等國家，不同於星鏈網路直接向一般消費者提供服務，Oneweb公司主要對政府及企業提供星系網路服務，下一階段星系部署重點朝向北緯20度以下至南極地區。其衛星通信架構為軌道內的1顆衛星搭載兩組可調整天線，一組為主用天線，另一組則為備用天線，並對地面方向發射16組用戶波束，只要地面的相位陣列天線仰角大於55度以上，即可與該顆

www.bbc.com/zhongwen/trad/world-63314791>(檢索日期：2022/11/12)。

12曾巧靈《國際低軌衛星應用與營運商發展動態》，(產業研究報告2021年7月)，頁10。

13《Telesat、OneWeb及Starlink三個全球帶寬帶低軌衛星座系統的技術對比》(36Kr)，2019/10/25，<<https://m36kr.com/p/1724576808961>>(檢索日期：2022/11/14)。

14同註12，頁10。

衛星進行對星通信。與星鏈網路不同的是Oneweb公司的低軌衛星無法於星系之間利用雷射光構成衛星間傳輸鏈路，所以地面用戶必須透過同一顆衛星涵蓋範圍內，才可以進行訊號傳送。¹⁵

(三)Amazon公司

Amazon公司所屬的「Kuiper」衛星通信系統已獲准於低軌道發射3,236顆衛星，目前尚未發射任何衛星至預定軌道運行，Amazon公司已投資100億美元於星系網路上，其主要用戶範圍區分為一般消費者、企業及政府。¹⁶其衛星發射時程區分五個階段，預計劃於590公里高度佈建784顆、610公里高度佈建1,290顆及630公里高度佈建1,156顆上下，將於2026年底全數建置完成。有別於SpaceX及Oneweb公司等低軌衛星服務，應用方向及布局重點為提供低經濟效益地區網路覆蓋服務，衛星涵蓋範圍預定於北緯56度至南緯56度，刻正向美國聯邦通訊委員會(FCC)提出行動衛星服務申請，後續重點布局在衛星行動通信服務。¹⁷

三、低軌道衛星實務應用趨勢

回顧低軌道衛星通信運用並非近年概念，但直至2018年SpaceX公司成功發射第一批星鏈衛星至近地軌道，隔年透過該星鏈網路發送一則推特(Twitter)訊息後，¹⁸使沉寂已久的低軌道通信衛星議題再次被世人關注。究其低軌道衛星可以再次成功發展因素，概可區分為「衛星製造(硬體組裝能力)」、「衛星服務(通訊產業發展)」、「衛星發射(天線與射頻技術)」及「地面設備(電池及處理器元件)」等技術提升，而降低了整體成本，讓低軌道衛星更具備市場競爭力，進而帶動其整體發展趨勢。

(一)通信衛星朝向低軌道化

鑒於星鏈網路實際運用的成功案例，促使更多通訊產業投資及研發低軌道通信衛星，其中不少衛星開發商向美國聯邦通訊委員會(FCC)提出將原訂的高軌道衛星發射計畫，修正至低軌道運行；相較於高軌通信衛星的應用，低軌道通信具備「低延遲」、「低輻射」及「低成本」優勢，且相較高軌道衛星需建置龐大地面站臺，低軌道衛星的通信架構於一般應用下無需設置地面站臺，僅需搭載衛星終端設備，即可透過星鏈網路提供必要之資訊服務。

(二)衛星間通訊技術再進化

包含SpaceX公司在內的許多衛星開發商，已導入衛星間(Inter-Satellite)通

15 Lisa & May, 《OneWeb佈建低軌衛星瞄準企業及政府衛星服務商機》(科技產業資訊室), 2021/7/9, <<https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=18014>>(檢索日期: 2022/11/14)。

16 同註8。

17 同註12, 頁10。

18 《維基百科》(通訊衛星), <<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/星鏈>>(檢索日期: 2022/11/14)



訊技術，該技術主要讓衛星之間可以利用雷射光進行傳輸，以解決地面站設置不易的問題。以星鏈網路為例，運用上列技術可串聯多顆衛星，使無法設置地面站臺的地區(如極地)亦可提供網路服務。Oneweb公司亦計畫以此技術，將自身低軌衛星整合其他開發商的高軌衛星，達成地球同步軌道衛星與低軌道衛星的之重網路架構。

(三)採用相位陣列天線

過往低軌道通信衛星無法被廣泛應用的主要因素在於天線切換速度趕不上低軌衛星移動的速度，使用機械式轉軸天線常因轉向慢、物理尺寸大及長期可靠度差等缺點，造成低軌道通信衛星與地面站臺無法有效連接。因應低軌道衛星快速移動造成涵蓋範圍的變化，在導入相位陣列天線技術後，由於其可同一時間發射多個波束、追蹤多個訊號，因此SpaceX公司、Oneweb公司及Amazon公司皆使用相位陣列天線作為地面終端之收發天線(如圖4)，透過可操控的無線電波束改變訊號收發方向，使得天線在靜止狀態下，可追蹤高速移動之低軌道衛星群，在切換過程達到平穩的訊號傳遞。¹⁹

圖4 Starlink衛星相位陣列天線



資料來源：《SPECIFICATIONS》(Starlink)，<<https://www.Starlink.com/specifications>>(檢索日期：2023/1/9)。

¹⁹吳碧娥，《低軌衛星專題／國際低軌衛星通訊市場展望》(北美智權報)，2021/10/29，<<https://udn.com/news/story/6871/5851761>>(檢索日期：2022/11/14)。



國軍資通骨幹系統現況及應變手段

國軍資通系統以整合公、民營通資資源，運用通訊科技與共通標準規範，以同步光纖及資通系統為主幹，建置有、無線電及衛星等多重路由、複式備援、安全抗干擾之高速寬頻傳輸平臺，提供國軍聯戰指揮中心、戰略階層及基(陣)地等語音、數據、視訊及資訊服務，發揮整體運用彈性，有效支援災害防救及防衛作戰任務遂行。²⁰由上述建軍指導規劃可知，通資平臺基礎建設的提升，為我軍建軍未來重點，並以資通系統為主幹建立多重路徑、活化路由，強化戰場存活率，以滿足作戰及災害防救任務所需。

一、資通骨幹系統現況簡介

國軍自1991-2000年逐步完成「數位微波通信系統」及「同步光纖通信系統(Synchronous Multiplex Optical Communication System,以下簡稱SMOCS系統)」建置。後續因應指管系統建置需求，於2009年完成「國軍資訊通信系統(Military Information Communication System,以下簡稱MICS系統)」建置後即一直扮演國軍中華電信的角色，其所負責之骨幹傳輸網路也由類同步多工(PDH)到同步數位階層(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)。然因應未來戰爭型態轉變，國軍各單位獲得即時情資需求日益擴增，對網路傳輸速度及容量需求不斷提高，同時因應網路化構型，將原環島光纖網路所使用的「光塞取多工機(Optical Add-Drop Multiplexer, OADM)」提升為「可調式光塞取多工機(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer, ROADM)」，以滿足各級作戰部隊高頻寬電路傳輸的需求。²¹系統組成摘述如下：

(一)SMOCS系統(如圖5)

主要以同步光纖實體網路作為傳輸骨幹，建構環島光纖網路，運用光塞取多工結合非同步傳輸模式(ATM)交換技術，建構具有「單向路徑交換環(Unidirectional Path Switching Ring, UPSR)」徑路保護機制之環島光纖，透由ATM執行語音、數據及視訊等電路交換，以確保支援各用戶電路暢通。

²⁰國防部，2015年10月，〈中華民國104年國防報告書〉，頁107。

²¹高仲良，〈運用5G行動網路以強化國軍通信骨幹系統效能之研究〉（國防管理學報第44卷第1期，2023年5月），頁43。



圖5 SMOCS系統示意



資料來源：作者繪製

(二)MICS系統(如圖6)

以光纖及微波雙重介質組成混合網路，也就是同時具有光纖實體傳輸及微波徑路保護，形成多重徑路複式配置，其一方徑路中斷時，系統可立即由另一方徑路自動替代保護，並利用非同步傳輸模式(ATM)交換設備之網路自動尋徑(Auto Rerouting)功能，提供系統傳輸徑路多重保護，有效整合頻寬運用，提高系統存活率。

圖6 MICS系統示意



資料來源：作者繪製



(三)衛星系統(如圖7)

本系統包含固定及機動載台，主要結合國軍通信系統各重要節點及地區總機，擔負國軍總機、視訊系統及高優先電路之「有限度」備援，當主幹線系統中斷時，可立即接替高優先重要電路，確保指管作戰能力。

圖7衛星系統備援示意



資料來源：作者繪製

(四)散波及長程微波系統

本系統主要運用在我國本島對外島地區之備援通信系統，主要運用在當外島海底光纜(主幹)中斷時，擔負外島地區重要電路備援手段，可有限度支援外島高優先電路及主官視訊系統，確保外島地區作戰指管情傳能量。

國軍通資骨幹通信系統係以「有線網路」及「混合網路」為主體，結合「散波系統」、「長程微波系統」，具環狀徑路及複式配置保護，同時以「衛星系統」為備援(現用系統比較如表1)，提供國軍可靠之通資系統。



表1 國軍通信骨幹系統現用系統比較

	SMOCS 同步光纖通信系統	MICS 國軍資訊通信系統	衛星系統
傳輸方式	光纖	光纖、微波混合網路	無線電波傳送至中新二號衛星
主要裝備	光多工機、波道機組	微波機、光多工機、波道機組、ATM交換機	維星固臺、維星行動車(動中通、靜中通)
頻寬範圍	OC-3、OC-12	OC-3、OC-12、OC-48、OC-192	20M
備援機制	環路保護，需手動輸入調整徑路	環路保護、ATM自動繞徑	結合國軍資訊通信系統運用在備援重要專線及外島通信
電路交換	基礎交換能力	結合MPLS技術，具自動繞徑功能，節約頻寬	
電路型態	語音、總機、數據、視訊、資訊、專線		語音、視訊、資訊

資料來源：同註21，頁44。

二、現行應變手段探討

為確保國軍資通骨幹系統整體存活度，系統備援可區分實體層及網路層的保護及恢復：

(一)實體層

為滿足多重路由、複式備援之目的，實體光纜採環狀化網路建置，意指一個站臺對外的實體路徑及方向會大於兩條光纜，當單一光纜中斷時，系統將切換至另一條正常光纜進行傳輸，以維持系統可用；另外對於地區用戶數不多的站臺，備援電路則有可能為微波系統，當光纜中斷時，則切換至微波系統進行傳輸。各型傳輸設備採模組化方式建置，並依功能不同可能區分共同模組、發射模組、接收模組、光電轉換模組及用戶模組。為避免因設備故障導致資通骨幹傳輸系統中斷，各類模組會採主、備用方式設置，代表單一模組故障，另一正常模組即接替運作，並在電路傳輸時採「自動保護切換(Automatic Protection Switching, APS)」的1比1或1加1模式設置備援，確保資訊傳輸不中斷。

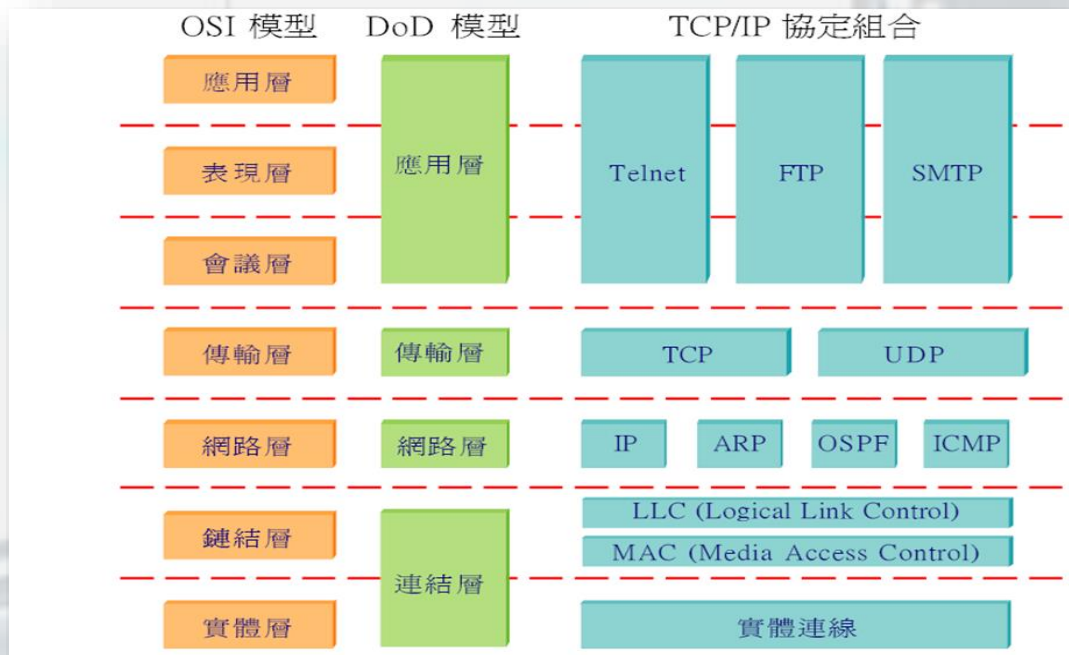
(二)網路層

在OSI七層架構(如圖8)中，TCP/IP協定對應鏈結層中的邏輯連結控制(Logical Link Control, LLC)及媒介存取控制(Media Access Control, MAC)，主要負責資料流控制及實體位址管制。而要完成環狀化網路的設計，則需設定資料封包之傳輸路徑(Routing)，也需要網路層(Network Layer)路徑最佳化的計算或故障時路由繞送等功能協助；因此實務運用上，資料鏈結層及網路層已密不可分，為達成環狀化網路設計，除了上述實體層的建置外，亦需要邏輯層之設計，在資料傳輸



時才能相互配合，構成多重路由、複式備援之目的。

圖8 OSI七層網路架構圖



資料來源：《OSI模型(Open System Interconnection Model)》，(a000058556)，<<https://hackmd.io/@a000058556/HyQ1fKWfi>>(檢索日期：2023/3/12)。

因此骨幹通信系統在建置時即要考慮各種風險狀況，究其系統本身存活度，由抗炸、抗毀性的角度來推導通信架構中之傳輸、交換及終端裝備應變及備援需求，評估其損害風險以傳輸線路最高、交換及終端次之。所以當上述狀況發生時，在現行機制下就會運用機動通信裝備去接替受損的核心站臺，目的在確保原任務不因系統故障而中斷。以2022年漢光演習所演練的聯合作戰指揮所轉移想定為例，即是運用衛星通信車實施訊號接替任務，提供備援指揮所內所需電路服務；²²又以中華電信為解決大型集會頻寬不足問題為例，運用車載式行動通信基地台協助訊號分流，以維持區域通訊服務之品質。²³

國軍資通骨幹通信系統架構下，如面對敵導彈區域的飽和攻擊，核心站臺(節點)一般防護較佳，故在交換及終端裝備受損應不致過於嚴重，但對外的實體光纜或微波則可能因攻擊而損毀，導致通信骨幹系統中斷。所以機動通信裝備

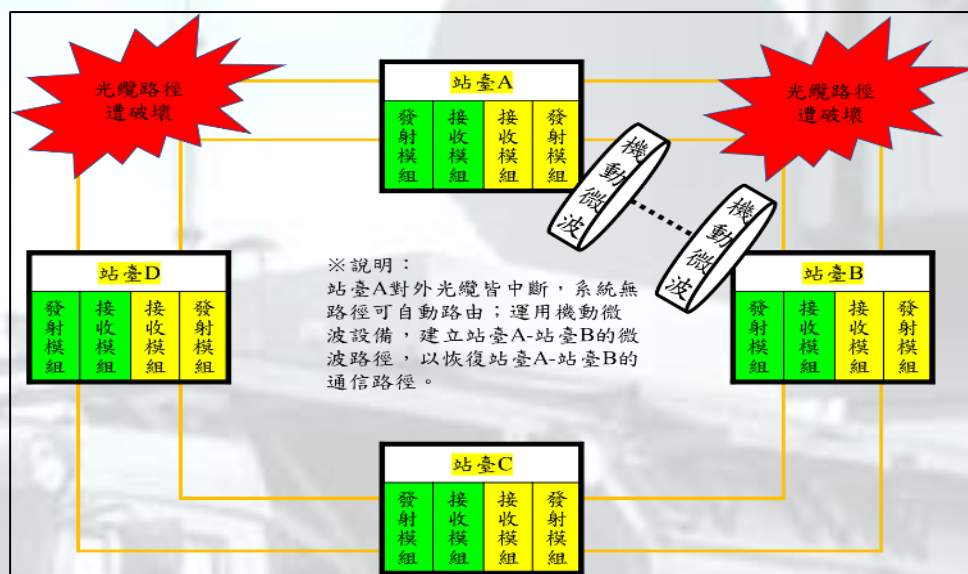
22洪哲政，《烏俄戰事啟示漢光演習軍民合作驗證雪隧作戰指揮所》(聯合報)，2022/04/03，<https://udn.com/news/story/10930/6213573?from=udn_ch2_menu_v2_main_cate>(檢索日期：2023/1/24)。

23陳珮雯，《解決大型集會塞機問題，中華電信建置36部移動式行動基地台》(聯合報)，2002/03/06，<<https://www.ithome.com.tw/news/16289>>(檢索日期：2023/1/24)。



之運用即是針對實體傳輸(光纜或微波)部分建立一條新的通信路徑(取代原路徑)，建立原則是將範圍內運作正常之站臺與傳輸受損站臺透過機動通信裝備建立通信路徑，使高優先電路得以路由到交換及終端裝備，使原遭受攻擊區域的用戶得以繼續運行(如圖9)；而核心站臺對外的備用點對點通信路徑建立則是透過平日戰場經營尋找據點，並利用戰備訓練執行機動式微波裝備演練驗證，以確保遭受威脅時，可以恢復核心站臺的必要通信。

圖9 機動通信裝備接替示意



資料來源：本研究繪製

三、國軍通資骨幹系統韌性分析

目前國軍骨幹通信系統，主要由同步光纖系統(SMOCS)及國軍資訊通信系統(MICS)組成，配置衛星及長程微(散)波系統，達成多重路由及複式備援之目的，使骨幹通信系統受到威脅時，具有韌性，可恢復全部或局部的通信需求：

(一)骨幹系統接替能量探討

國軍現有接替資通骨幹系統機動通信裝備比較(如表2)，說明如次：

1.視距通信(Light Of Sight, LOS)：採用機動微波系統及機動展頻系統，前者運用在大頻寬的骨幹網路，可接取一個OC3(155.52Mbps)頻寬的局部電路，為站臺建立一個備援微波通信路徑，以恢復資通骨幹通信系統；後者是對低速率的電路(T1或乙太電路)進行訊號接替或延伸，多用於支援前進指揮所(救災)或站臺高優先等級電路接替。

2.非視距通信(Not Light Of Sight, NLOS)：採用衛星通信系統，可有限度的恢復站臺高優先等級電路。

表2 視距通信與非視距通信優缺點比較

通信類型	使用裝備	優點	缺點
視距通信	機動微波	頻寬較大、品質穩定、不易受干擾	地障影響大、架設耗時、不易故障排除
非視距通信	衛星通信	克服地障、架設快速、易故障排除	頻寬較低、品質不穩定、易受人為干擾

資料來源：自行整理

(二)風險暨韌性分析

國軍資通骨幹通信系統的組成，分成分為「實體線路傳輸」與「裝備系統傳輸」等兩部分，盤點其平時及戰時風險，分項說明如次：

1.平時風險暨韌性分析

(1)實體傳輸：

實體傳輸纜線主要以光纖為主幹系統，係提供傳輸系統間訊號的構連，為增加其安全性，現況大多是配合政府要求建置於通信管道。通信管道係依綿密之鐵、公路網構建而成，除天災(颱風、土石流、地震)外，道路施工(捷運、電力、水管…)成為通信管道容易受創的最大風險因子。通信管道因建置不易，必須考量耗用成本或土地獲得及縣市政府路平專案禁開挖等情況，因此國軍實體線路仍有大部分為「共用管道」的狀況，即多條纜線共用同一管道，在此結構下，傳輸系統就算具有徑路保護機制，然當通信管道斷損時，將造成邏輯環路失效或是節點失效(單點對外通信失聯)，影響網路存活度。分析目前通信網路故障率，以光纜中斷所占比率為最高，若中斷點位於環路交匯處，更可能造成區域性的大範圍網路癱瘓的風險，因此通信管道共管或光纜品質改善問題，應納入後續執行優化改善工程，以提升整體光纖傳輸品質及強化網路系統存活度。

(2)裝備傳輸：

國軍通信骨幹系統建構於OSI模型第1~3層，分析故障影響層面，可區分為「用戶介面」及「傳輸交換介面」兩部分。以「用戶介面」而論，設備如果故障，可能僅影響單一徑路或是少部分使用者，此類終端設備成本通常較便宜，備份料件多較易取得，大部分狀況皆可即時運用妥善備料更換故障件及時完成修復，影響層面較小；以「傳輸交換介面」而論，其為各階層裝備之核心，現在使用之系統設計都有1加1熱待機備援模式，當主用模組故障時，會自動切換至備援模組運作，然而若主、備用模組均同時故障失效時，會造成節點對外失聯，影響用戶電路使用，尤其若在核心交換臺發生此類故障，會造成多處環路的頻寬連帶



受到阻塞及無法電路交換，導致用戶對外無法通聯，若正值友軍剛好擔任戰備及高優先戰情電路中斷狀況，其對於作戰運用造成的損害及後果無法想像。²⁴

2.戰時風險暨韌性分析

中共火箭軍的各類型戰術彈道導彈射程已涵蓋全臺，²⁵除了戰術彈道導彈外，中共近年在太空及衛星科技的發展更是緊隨美國、俄羅斯後，為已具有太空作戰能力之國家。²⁶搭配其現行擁有的衛星偵照能力，對我國各類型軍、民用通訊、電、水力等關鍵基礎設施已構成極大威脅，面對共軍所擁有之實體攻擊能力，戰時風險暨韌性分析評估如後：

(1)機動裝備數量不足：

國軍資通骨幹通信系統是由許多通信站臺所組成，而目前固定站臺與機動裝備數量差距甚大，面臨多重威脅下，對強化整體骨幹通信系統效果有限，且部分重要站臺因地障無法直接運用視距通信，規劃機動中繼架設，對作戰運用是一大挑戰。

(2)裝備架設時間冗長：

機動微波系統配賦指向性天線，裝備開設時第一步要選定開設地點，接續實施天線架設及方位角、仰角的調整，再到系統開機及銜接固定通信站臺設施。以上一系列作業，平均約為60分鐘，不包含車輛機動、人員運動及故障排除時間，而架設時間長短除人員專業外，平日戰場經營與戰備訓練是否落實也是影響原因，更遑論如遭攻擊之站臺鐵塔或架設制高點設施倒塌，光是另尋制高點就是時間上的損耗。

(3)協調整合機制複雜：

當骨幹通信系統故障或毀損時，以現行機動通信接替機制，大多採機動微波系統實施骨幹通信接替，以期恢復局部通信網路。惟當戰場環境越趨複雜時，地區網管中心與機動通信作業人員協調就會越趨困難，例如北部地區遭受多波次共軍導彈攻擊，造成多處站臺損毀或癱瘓，此時地區網管中心面臨各故障臺維管與機動通信作業人員的催詢與問題，以上情況還是在通信路由健全下，得以與地區網管中心聯繫，當作業人員無法透過既有軍用門號或手機聯繫時，如何取得聯繫管道又是一大問題；另外通信介面整合上也須作業人員與地區網管人員統一電路組態(Circuit Configuration)，避免通信阻通問題發生。

²⁴同註21，頁34、35。

²⁵陳振國、杜建明，《中共火箭軍戰術彈道導彈對我軍事之威脅與因應對策》，(海軍學術雙月刊第五十一卷第六期)，頁79。

²⁶翟文中、蔡欣容，《中共太空武力對美國的軍事與安全意涵》，(展望與探索地11期，民國97年11月)，頁98。



強化國軍骨幹系統韌性策略芻議

2021年底俄羅斯軍隊藉演習為名，在烏克蘭周邊部署重兵，並於2022年2月24日以演轉戰展開「特別軍事行動」對烏國發起戰端，²⁷同樣場景在同年8月初中共藉美國眾院議長裴洛西(Nancy Pelosi)訪臺為由，對臺發起為期10日的「圍臺軍演」，假使共軍藉演轉戰，將急迫壓縮我國軍作戰整備。我國的軍事戰略指導為「防衛固守、重層嚇阻」，作戰目標就是不使國家遭受他國軍事武力侵犯，確保國家領土、主權完整與人民生命財產安全。²⁸然欲達此一目標，就必須要能料敵機先，完善國軍資通骨幹系統的韌性。以臺灣作戰地形而言，南北縱長377公里、東西橫寬142公里，海岸線總長1200公里(不含澎湖)，²⁹臺灣海峽寬約130至230公里，以目前共軍戰機的巡航速度0.95馬赫計算，12分鐘內即可跨越海峽抵達臺灣上空，加上近年共軍航空母艦遼寧號、山東號等艦隊成軍，更是壓迫我守勢部署時間。在中共第一擊後，臺灣本島軍用通信基礎設施勢必遭受重創，以現行機動備援手段將無法於短時間恢復我軍資通骨幹系統，亦會直接影響我軍整體指管作戰效能，成為守勢作戰持久與否的成敗關鍵。

以美軍為例，其軍用資通骨幹傳輸係由地面網路結合「進階型極高頻衛星系統(Advanced Extremely High Frequency, AEHF)」，當地面網路中斷時，可以將電信服務路由轉至衛星系統傳輸，使其不會因地面網路故障而停止傳輸；另鑑於軍用通信衛星部署於地球同步軌道，其衛星組成數量較少，可能在受到攻擊或裝備故障後，導致衛星單點故障造成衛星骨幹鏈路失效，所以美軍已將低軌道通信衛星供應商納入衛星骨幹系統的組成。目前美軍以SpaceX公司的星鏈網路系統作為主要商用衛星備援手段，一方面星鏈網路是目前低軌道通信衛星中發展最成熟的衛星供應商，其組網衛星多達上千顆，不會因單顆衛星故障導致衛星骨幹鏈路失能，另一方面目前可以提供並滿足美軍駐外部隊之通信服務，包含作為無人機、水面艦隊及地面部隊的星鏈互聯網。³⁰綜上所述，美軍也將商用衛星作為軍用資通骨幹系統的組成，以強化美軍資通骨幹系統之韌性及彈性。

我國《110年國防報告書》第四章戰力發展指出軍事戰略朝「指管扁平化」、「科技取代人力」、「火力取代兵力」及「常後一體、後備動員合一、跨部會合作」等多元方向發展，建構「機動化、小編制及跨領域結合」之現代化國軍。

27趙春山，《從台灣視角看烏克蘭戰爭》，(歐亞研究第十九期，2022年4月)，頁2。

28中華民國108年國防報告書編纂委員會，《中華民國108年國防報告書》，(國防部，2019年9月)，頁58。

29〈臺灣海岸詳介〉，《經濟部水利署》，<<https://www.wra.gov.tw/News.aspx?n=3253&sms=9088>> (檢索日期：2023年1月28日)。

30Sandra Erwin，《Starlink's market dominance affecting DoD's hybrid network plans》，2022/10/13，<<https://spacenews.com/u-s-to-ramp-up-spending-on-classified-communications-satellites/>> (檢索日期：2023/2/3)。



因此我國軍資通骨幹系統可參照美軍方式建構，以星鏈網路彌補地面骨幹網路韌性不足之問題，並運用「多重通信手段」、「軍公民營通信整合」及「網路拓樸架構」措施，提高國軍資通骨幹系統的抗毀性和可靠性，³¹研提建議如後：

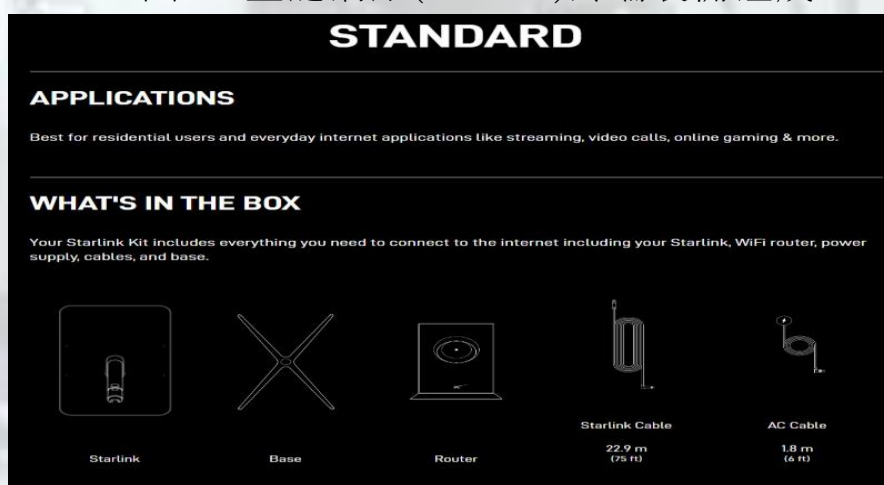
一、近程目標：導入低軌道通信衛星系統，強化平戰時資通骨幹備援手段

國軍資通骨幹系統本身採複式配置及多重路徑設計，遇光纜中斷或模組故障時，系統會自動循最佳路徑實施通信備援，若損毀程度過大時，則運用機動通信裝備建立或取代原系統之傳輸路徑，以提升系統的整體存活度。惟面對多重威脅的戰場環境時，可參照美軍導入星鏈網路達成資通骨幹系統多重混合網路之目標，我軍可在既有資通骨幹系統之「傳輸層」導入低軌道通信衛星系統(如星鏈網路)，增加備援運用手段，以利戰時可無縫接軌資通骨幹系統的故障路徑。欲達此項目標則需於平時即將低軌道通信衛星系統結合既有國軍資通骨幹系統，以下以星鏈網路為例，將星鏈天線段及系統段的整合方式說明如後：

(一)建構多重通信手段(天線段)

星鏈網路終端裝備由微型陣列天線及星鏈路由器組成(如圖10)，體積小、轉移方便且設備價格便宜，可於國軍資通骨幹系統的重要核心站臺複式配置，符合我國防報告書所提「機動化」、「小編制」及「跨領域結合」目標。為達戰時可即時接替資通骨幹系統之能力，在天線段的整合可於骨幹通信基礎設施(節點)佈置星鏈網路陣列相位天線，其天線建置數量依站臺重要性(電路數量多寡或用戶電路等級)而訂，避免因單一星鏈陣列相位天線故障，造成電路阻通失去備援效益。

圖10 星鏈網路(Starlink)終端裝備組成



資料來源：《SPECIFICATIONS》，(Starlink)，<<https://www.Starlink.com/specifications?spec=1>> (檢索日期：2022/1/29)。

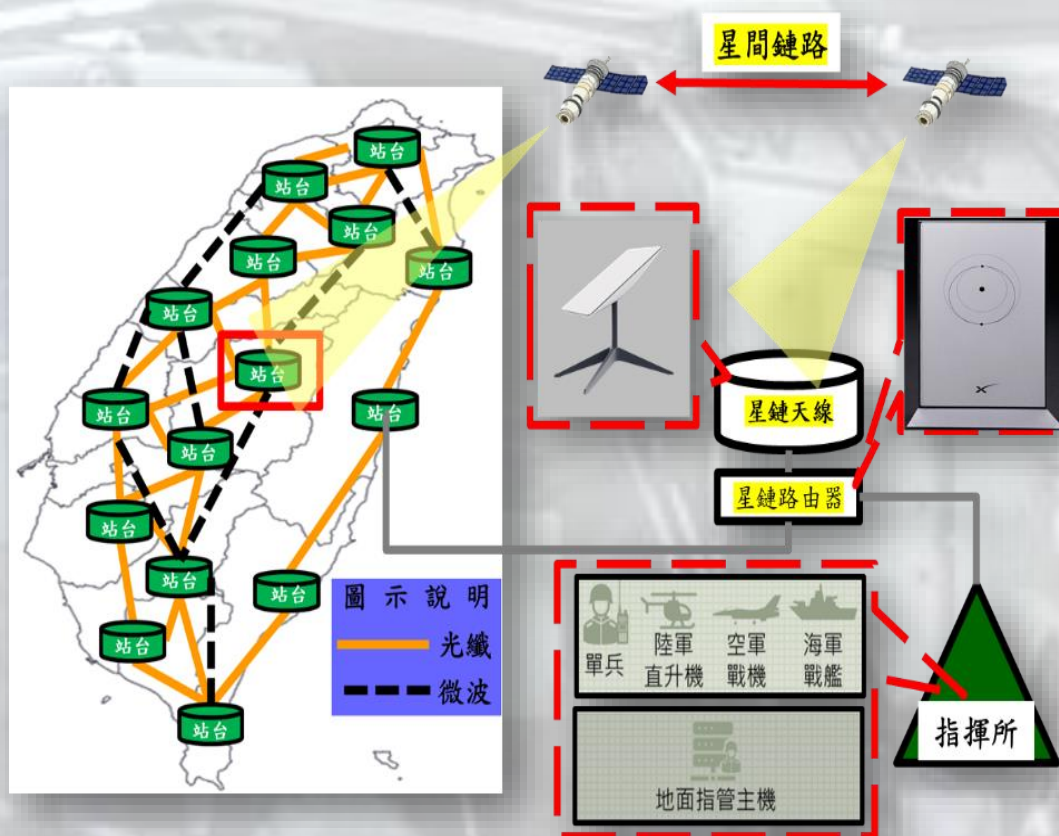
31 李仲堯，《國軍骨幹網路傳輸性能提升之研究》（國防大學海軍學院正規班軍事專題，2020年），頁16-17。



(二)預設星鏈網路路由(系統段)

星鏈天線段建立後，系統段則需由網管中心在現有資通骨幹系統架構下加入星鏈網路的路由器，並依電路重要優先等級將其預設路由，另外星鏈路由器具橋接路由功能，整合難度相對較低，因此當加入星鏈網路路由後，一旦發生資通骨幹系統在實體光纖或地面微波傳輸路徑中斷緊急狀況時，即可透過星鏈網路的路由傳輸至預設節點(如圖11)，達到骨幹通信備援目的，俾符平戰結合之原則。相較現行機動通信系統的接替手段，設備數量少、架設耗時長及協調機制複雜；星鏈網路安裝時間短且無須計算對臺方位角及仰角，僅需開機即可自動對星並建立衛星鏈路，再利用網路線將站臺路由器(或網路交換器)與星鏈路由器銜接，即可將訊號上傳星鏈網路傳輸，且裝備架構單純、整合容易，無須再由地區修護作業隊到故障站臺架設機動通信系統，減少人員運動及車輛機動，縮減整體作業時間，迅速接替資通骨幹系統傳輸作業。

圖11 低軌道通信衛星強化資通骨幹系統示意



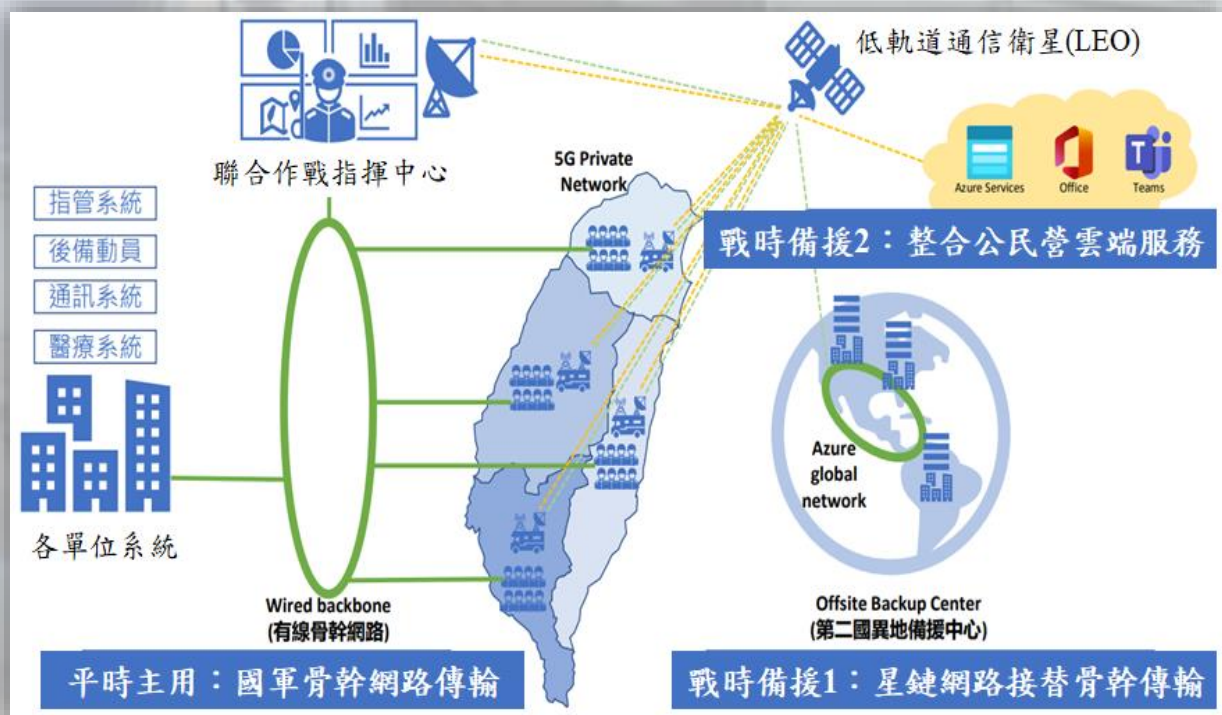
資料來源：作者繪製

二、中程目標：運用低軌道衛星為傳輸橋梁，完善整合軍公民營通信



鑒於軍公民營骨幹通信架構不一，軍用骨幹通信由國防部資通電軍指揮部負責、公用骨幹通信則以交通部(臺鐵)及內政部(警消系統)為主、民用骨幹通信則以中華電信公司為首，雖然上述部分骨幹通信彼此有共構機房，但因通信架構如各領域的傳輸介面、實體線路、編碼格式或光波長等多屬業務(軍事)機密或商業祕密，造成現行軍公民營協調及整合支援作業存著一定難度，進而造成軍公民營無法跨骨幹通信系統備援運用。從上述困難發想，運用星鏈網路作為彼此間傳輸橋樑，而傳輸介面統一運用「乙太(Ethernet)介面」，將可大幅減少人員協調及電路整合的難度，另外星鏈網路終端輕巧、易於安裝，可增加我資通軍骨幹備援彈性，即利用藏軍於民並結合異地備援策略，在民用或公用電信基礎設施內，部署網路伺服器(國軍網路、主官視訊)、無線電系統(TETRA)及軍用總機系統，透過星鏈網路作為軍公民營系統間的傳輸手段，建立異地備援機制，確保伺服器設置及資料庫架構同步更新，同時建立端點保密器，強化平、戰時資料傳輸安全性及可靠性。戰時如軍用骨幹通信基礎設施遭嚴重摧毀時，可運用預設民用或公用電信基礎設施內之軍用網路伺服器系統，透過異地備援措施及星鏈網路傳輸，恢復軍用網路、主官視訊、無線電及軍用門號線路，完善我國軍公民通信網路整合機制，提升骨幹通信整體韌性及彈性。

圖12 低軌道通信衛星整合軍公民營通信示意



資料來源：作者繪製

三、遠程目標：產官學研跨領域合作，建構自主低軌道通信衛星系統

星鏈網路已於2022年俄烏戰爭中展現其效能，同時也是美軍現行對於境外部隊的通聯方式之一，³²顯示目前包含星鏈網路在內的低軌道通信衛星系統是目前最直接且有效率之通信手段。而其低電波延遲及高傳輸速率的特性，使其可以與現行地面最新的5G網路系統相結合，縱使偏遠地區或基礎設施不足區域也得以使用網路，真正達到網路「無遠弗屆」之目標。因此各國也都競相爭逐低軌道通信衛星的投資與發展，除了上述列舉美國、英國及印度等大國積極發展外，中共在低軌道通信衛星發展的數量更是緊追於美國之後，顯然低軌道通信衛星不論是在國家戰略或經濟發展上，都有不可忽視之地位，且具有平戰時快速適應及轉換的能力。以臺灣本島地形言之，東西窄且南北長，東西之間有中央山脈阻絕，南北之線有八里觀音山、苗栗火炎山及彰化八卦山系橫阻，對於我軍用通信基礎設施及無線電台建立是絕佳的制高據點，但由於市區高樓綿密，對於野戰通信之視距傳播方式卻是不利通信延伸的地形。故以國軍作戰層面而言，星鏈網路除有強化資通骨幹系統韌性能力外，同時也具有擴展指管效能的功能，達到延伸作戰半徑之目的。

我國陽明交通大學及成功大學團隊成功發射科研火箭，在太空科技發展上也邁入另一個境界，國家科學及技術委員會(以下簡稱國科會)計畫透過產官學研，預計於2026年發射我國第一顆自主研發的低軌道衛星，目前有7校申請成立太空相關系組，以因應後續太空科技所需人才。另外國家太空中心目前人力是268人，今年(2024年)預計增加到367人，預期於2025年增加到600人，以強化我國低軌道通信衛星自主研發之能量。³³

孫子兵法言「我得則益，彼得亦得益，為爭地。」意旨佔領作戰地形要點的重要性，而佔領地形要點的條件在於兵力投射能力，也就是所謂作戰半徑(範圍)，而現代戰爭之作戰半徑(範圍)則取決於通信指管的能力，例如美軍境外作戰、近期俄羅斯對烏克蘭特別軍事行動，抑或者共軍對臺軍演，達成上述行動首要條件，就得先完成通信手段的建立，否則無法接收上級指揮官命令之部隊，不僅失去先期敵情，也同時失去進一步目標獲得的能力，進而錯失最佳作戰時機，即離作戰失敗不遠矣。因此我國如能自主成功打造低軌道通信系統，將大幅提升整體通信系統韌性。

³²同註30。

³³林志成，《2026年發射首顆低軌道衛星 7校、8個系申請設立太空系組》(中時新聞網)，2022/11/09，< <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20221109002309-260405?chdtv>>(檢索日期：2023/4/10)。



結論

低軌道通信衛星的發展與部署無疑是百家爭鳴之地，而其中星鏈網路更是具實戰驗證過的系統，其優勢在於衛星數量多、傳輸速率快及用戶終端小，建構於我國軍資通骨幹系統勢必能提升其傳輸韌性及運用彈性；反觀我國為四面環海的海島型國家，在天然地形受限下，網際網路需仰賴海底光纜及衛星通訊系統，相較烏克蘭的陸地地形更顯嚴峻，星鏈網路系統在俄烏戰爭提供平均下載速度可達100 Mbps，且對於電信基礎設施薄弱地區或陸海空運輸載台，亦同樣可接收到高速率之網路傳輸。³⁴國內通信業者與境外低軌道供應商已有接觸也表示導入星鏈網路系統，在合作上已有初步默契，如可成功申請過關，後續針對政府單位及重要企業，可作為緊急通訊用途，補足網路涵蓋間隙。³⁵面對低軌道通信衛星所開啟的太空競賽，我國因應這股趨勢，於2023年1月6日將國家太空中心(National Space Organization, NSPO)改制為行政法人國家太空中心(Taiwan Space Agency, TASA)，並推展第三期長程太空計畫，其範圍包含太空科技研發與國際交流、太空產業發展、太空法制研究、培育太空科技人才及國家發射場域選址，並計畫於未來10年投入新臺幣251億元，同時借鏡星鏈網路在俄烏戰爭的成功，積極打造臺版星鏈網路，一方面於地緣政治衝突時，臺灣本島仍具有電信網路備援之能力，以維持政府、官方機構及軍隊的指揮通信系統；另一方面也降低對海底電纜之高度依賴，³⁶使軍公民營骨幹通信系統更強韌且不易因基礎設施受攻擊而導致系統癱瘓。

參考文獻

中文部分

一、官方文件

- (一)國防部，2015年10月，〈中華民國104年國防報告書〉，頁107。
- (二)國防部，2019年9月，〈中華民國108年國防報告書〉，頁58。
- (三)國防部，2020年11月，〈資通電軍指揮部通資裝備運用教範〉，頁12

二、期刊專題

- (一)翟文中、蔡欣容，〈中共太空武力對美國的軍事與安全意涵〉《展望與

34盧伯華，〈俄烏「打」響星鏈 新世代通訊革命來臨〉(中時新聞網)，2022/05/24，<<https://ctee.com.tw/news/global/648029.html>>(檢索日期：2023/1/29)。

35郭無患，〈低軌衛星PoC落地有望業界：土洋合作已有默契〉(中央通訊社)，2022/10/22，<<https://www.cna.com.tw/news/afe/202210220026.aspx>>(檢索日期：2023/1/29)。

36Anice H.、游絨絨，〈國家太空中心改制目標：組建國家隊、打造「不斷網」能力〉(科技報橘)，2023/1/11，<<https://buzzorange.com/techorange/2023/01/11/tasa-and-satellites/>>(檢索日期：2023/2/8)。



探索地11期》，2008年11月，頁98。

(二)陳振國中校、杜建明上校，〈中共火箭軍戰術彈道導彈對我軍事之威脅與因應對策〉《海軍學術雙月刊51卷》，2017年12月，頁79。

(三)李仲堯，〈國軍骨幹網路傳輸性能提升之研究〉《國防大學海軍學院正規班軍事專題》2020年，頁16-17。

(四)曾巧靈，〈國際低軌衛星應用與營運商發展動態〉《產業研究報告》，2021年7月，頁10。

(五)鍾銘泰，〈國際低軌衛星發展與太空新秩序概覽〉《臺灣經濟月刊》，2022年4月，頁114。

(六)趙春山，〈從臺灣視角看烏克蘭戰爭〉《歐亞研究第十九期》，2022年4月，頁2。

(七)尹俊傑，〈從地表打到外太空科技富豪的星際爭霸戰〉《全球中央第152期》，2022年，頁26。

(八)高仲良，〈運用5G行動網路以強化國軍通信骨幹系統效能之研究〉（國防管理學報第44卷第1期,2023年5月），頁43。

三、學位論文

吳振宇，〈國軍骨幹網路傳輸效能之評估及簡化〉（國防大學管理學院，資訊管理系碩士論文，2009），頁5。

四、網際網路

(一)〈新高地爭奪戰：美國太空部隊作戰理論與臺灣不對稱防禦思維〉，《鳴人堂》，<https://opinion.udn.com/opinion/story/120873/4841574>，2020年9月7日

(二)〈高技術、電子戰、坦克戰…從第四次中東戰爭中到底能學到啥？〉《頭條匯》，<https://min.news/zh-tw/military/b32a97ae909d8b69736ade1d79cc9086.html>，2020年9月7日。

(三)〈國防部：中共對臺斬首作戰我籌立即作戰能力因應威脅〉《聯合新聞網》，<https://udn.com/news/story/10930/6272480>，2022年4月28日。

(四)〈專欄：強化全民數位韌性〉《風傳媒》，<https://www.storm.mg/article/4447829>，2022年8月2日。

(五)〈烏俄戰爭Starlink應用突顯低軌衛星重要性，給臺灣的啟示為何？〉《科技新報》<https://technews.tw/2022/07/27/leo-satellites-could-be-vital-for-taiwan-in-potential-conflict-with-china/>，2022年8月2日。

(六)〈共軍奪臺「4劇本」曝英媒：恐打48hrs閃電戰！避免俄烏局勢重演〉《ETtoday新聞雲》，<https://www.ettoday.net/news/20220807/2311019.htm>，2022年8月7



日。

(七)〈也是認知作戰！中國無人機離島「打卡」常態化金防部今成功擊毀一架落海〉《yahoo新聞》，<https://news.campaign.yahoo.com.tw/2022-election/article.php?id=b4bac3c7-0315-31af-9953-6f7798e8b4b8>，2022年9月1日。

(八)〈維基百科〉《通訊衛星》，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/通訊衛星>，2022年10月25日。

(九)〈快樂的豐樂之家〉《傳播科技SNG讓臺灣新聞無所不在》，<https://blog.xuite.net/a9325105/twblog/128578044>，2007年10月2日。

(十)〈通訊衛星服務與系統工程〉《電腦與通訊》，<https://ictjournal.itri.org.tw/content/Messagess/contents.aspx?&MmmID=654304432061644411&CatID=654313611231473607&MSID=1127366767566313145>，2021年9月25日。

(十一)〈產業追蹤/低軌衛星產業四巨頭爭奪制空權〉《聯合新聞網》，<https://udn.com/news/amp/story/7241/6724733>，2022年10月30日。

(十二)〈Starlink遊戲規則與通訊原理〉《跨元通訊》，<https://vocus.cc/article/634b6c98fd897800011c3d08>，2022年10月16日。

(十三)〈Starlink服務範圍擴大！32國直接享受高速網路〉《Newtalk新聞》，<https://newtalk.tw/news/view/2022-05-17/755973>，2022年5月17日。

(十四)〈特斯拉的星鏈「Starlink」，為何在烏克蘭對抗俄羅斯戰爭中那麼重要？〉《BBC中文》，<https://newtalk.tw/news/view/2022-05-17/755973>，2022年5月17日。

(十五)〈Telesat、OneWeb及Starlink三個全球帶寬帶低軌衛星座系統的技術對比〉《36Kr》，<https://m36kr.com/p/1724576808961>，2019年10月25日。

(十六)〈OneWeb佈建低軌衛星瞄準企業及政府衛星服務商機〉《科技產業資訊室》，<https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=18014>，2021年7月9日。

(十七)〈Amazon2023年初將發射頭2顆Project Kuiper衛星〉《iThome》，<https://www.ithome.com.tw/news/153624>，2022年10月14日。

(十八)〈低軌衛星專題／國際低軌衛星通訊市場展望〉《北美智權報》，<https://udn.com/news/story/6871/5851761>，2021年10月29日。

(十九)〈烏俄戰事啟示漢光演習軍民合作驗證雪隧作戰指揮所〉《聯合報》，https://udn.com/news/story/10930/6213573?from=udn_ch2_menu_v2_main_cate，2022年4月3日。

(二十)〈解決大型集會塞機問題，中華電信建置36部移動式行動基地台〉《聯合報》，<https://www.ithome.com.tw/news/16289>，2002年3月8日。



(二一)〈臺灣海岸詳介〉《經濟部水利署》，<https://www.wra.gov.tw/News.aspx?n=3253&sms=9088>，2023年1月28日。

(二二)〈低軌衛星PoC落地有望業界：土洋合作已有默契〉《中央通訊社》，<https://www.cna.com.tw/news/afe/202210220026.aspx>，2022年10月22日。

(二三)〈俄烏「打」響星鏈新世代通訊革命來臨〉《中時新聞網》，<https://ctee.com.tw/news/global/648029.html>，2022年5月24日。

英文部分

一、網際網路

(一)“United States Space Force”，<https://www.spaceforce.mil/About-Us/About-Space-Force/History>。

(二)“U.S. to ramp up spending on classified communications satellites”，SPACENEWS，<https://spacenews.com/u-s-to-ramp-up-spending-on-classified-communications-satellites>。

(三)“Maturity of Design of Protected Tactical SATCOM Prototype Validated in Review, Boeing Says”，DEFENSE DAILY，<https://www.defensedaily.com/maturity-of-design-of-protected-tactical-satcom-prototype-validated-in-review-boeing-says/space>。

(四)“AIR FORCE”，<https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104512/wideband-global-satcom-satellite>。

(五)“Satellite Spotlight—Understanding+Using MUOS”，MilsatMagazine，<http://www.milsatmagazine.com/story.php?number=850348051>。

作者簡介

陳鏡伊少校，專業軍官班97年班，空航校正規班105年班，曾任分隊長、資網官、教官，現任資通電軍網路戰聯隊指管防護大隊中區隊隊長。

李建鵬中校，中正理工學院電機系87年班、國管指參班101年班，曾任電子官、修護組長、通參官、科長、資參官、電戰官，現任國防大學國防管理學院國管中心教官。