

# 台灣國際連網設施的風險與契機

古立其

財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心  
lku@narlabs.org.tw

李慧蘭

財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心  
gracelee@narlabs.org.tw

陳敏

財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心  
minchen@narlabs.org.tw

## 摘要

台灣的國際網路訊務主要皆靠海纜進行傳輸。然而台灣的海纜站及交換中心分佈極度偏重北部，使得台灣國際連線能力抵抗天災或人為災害的強韌性及可靠度受到限制。本文就台灣海纜資源的介紹、其風險及契機，以及海纜站及交換中心的建置提出看法，並就新興的低軌道衛星服務用於國際訊務備援的能力進行探討。

關鍵詞：海纜, 國際網路訊務, 低軌道衛星

然而登陸台灣的海纜多數從台灣北部上岸，並集中在少數交換中心與台灣的各骨幹網路相連。國際網路資源高度集中，雖然對於產生經濟規模及海纜站、交換中心硬體資源的重覆利用具有方便性，但對於面對天災或人為災害的強韌性相對不利。而隨著低軌道衛星通訊技術的迅速成熟，台灣的國際網路訊務開始出現新的可能性。本文就上述這些既有、以及有潛力肩負台灣與國際網路連接的技術，以及其面對災害時的特性及風險進行介紹及探討。

## I. 前言

網路的暢通不僅對政治、經濟、社會、學術研究等活動的進行至關重要，甚至可以左右軍事活動的成敗。今年爆發的俄烏戰爭帶給我們的眾多啟示中，網路通訊的重要性絕對是其中最重要的一環。而對於四面環海的台灣來說，除了少量訊號通過衛星管道之外，絕大多數的對外國際通訊皆通過海纜。隨著網路在生活中的日漸普及，台灣對國外的網路流量也快速增加。台灣各海纜的總合使用頻寬增加情形如圖1所示，在101年至109年度的9年間增加將近10倍之多[1]。因此海纜可以說是台灣對外網路的命脈。海纜系統的可靠度及強韌性，左右了天災或人為災害中，台灣對外通訊的可靠度。

海纜通訊除了鋪設於海床的海底電纜本身之外，還需要登陸上岸所需的海纜站，以及與國內網路骨幹相連接的網路交換中心。如此一來國內的網路訊務才能與海纜系統相連接，並通過海纜系統與國外的網路相通。

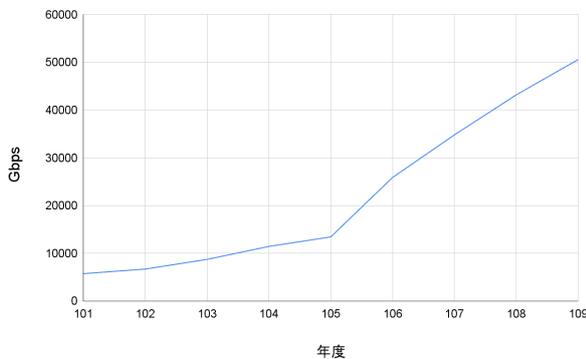


圖1 台灣海纜總合使用頻寬[1]

## II. 海纜系統的現況

臺灣地處東亞南北的交界，大部份太平洋西岸的海纜均從台灣東部外海通過。但目前分接登陸台灣者共計 12 條，加上預定於 2023 年接通的 Southeast Asia-Japan Cable 2 (SJC2) 及預計 2024 年完工的 Apricot，如表 1 所示。

表1 接入台灣的海纜一覽表[2]

海纜名稱	登陸的海纜站
APCN-2	淡水
Asia Pacific Gateway (APG)	頭城
Cross Straits Cable Network	金門
EAC-C2C	八里、淡水、枋山
FASTER	淡水
FLAG	頭城
New Cross Pacific (NCP)	頭城
Pacific Light Cable Network (PLCN)	頭城
SeaMeWe-3	頭城、枋山
Taiwan Strait Express-1 (TSE-1)	淡水
Trans-Pacific Express (TPE)	淡水
Southeast Asia-Japan Cable 2 (SJC2) *	淡水、枋山
Apricot **	頭城

\* 預訂於2023年完成

\*\* 預訂於2024年完成

台灣主要的海纜站分別位於八里、淡水、宜蘭頭城、屏東枋山。然海纜上岸點的分佈卻呈現高度南、北不均的現象。除了 EAC-C2C 及 SeaMeWe-3 這兩條海纜，以及預訂於2023年完工的 SJC2海纜以外，所有的海纜都在北部的海纜站登陸。如圖2所示。且除了上述提及的3條海纜外，所有海纜都僅與單一海纜站連接。一旦在近岸遭受損害、或是海纜站發生障礙，受影響的海纜就完全不通，沒有備援的能力。

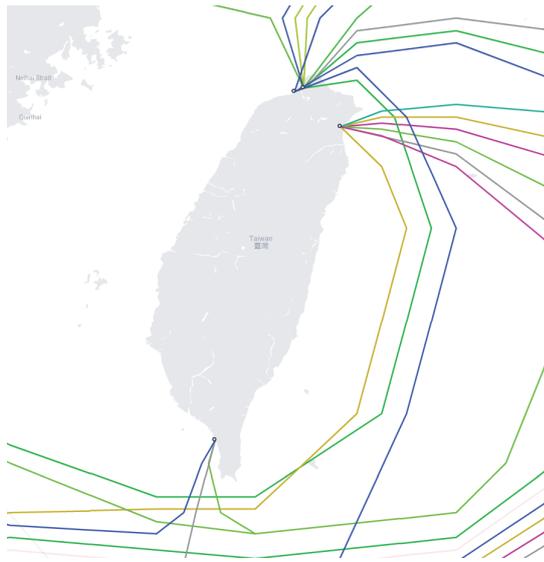


圖2 接入台灣的海纜分佈圖[2]

海纜登陸後，除國內電信商所投資興建的海纜可直接從海纜站接入所屬電信商的線路機房，與該電信商的骨幹網路連接之外，其餘非由國內電信商主導建置的海纜(例如 Google 參與興建的 PLCN 海纜)則多數拉線至位於台北內湖的是方電訊機房與國內其他網路進行訊務交換。因此台灣的國際海纜與國內網路的交換點，亦高度集中於北部少數機房。

海纜損壞的原因，多數為人為活動造成。如漁船拖網捕撈、船舶下錨等，約佔海纜損壞原因的 74%。因為海底地震、海流帶動磨損斷纜等環境因素約佔 14%[3]。海纜上岸後，由於交換中心故障，而造成國內網路通過海纜傳送的國際訊務大規模中斷，近十年在台灣已有先例[4]。由於網路通訊對於戰爭的重要性逐漸受人重視，俄羅斯等國家研發以潛艇對海纜進行監聽或破壞的技術，亦早有耳聞[5]。在可見的未來，因為國家間的利益或衝突，因而以海纜、海纜站、甚或交換中心為目標的攻擊行動，必然浮上檯面。而此類惡意行動倘若成功，對於瓦解國家的指揮通勤、防禦體系，乃至於造成嚴重的經濟損失、社會混亂，收效甚宏，甚至可以成為發動正式戰爭前癱瘓對手的有效前置行動。因此對於常態有外患環伺的台灣而言，分析可能的風險，並盡可能加以預

防，可說是至關重要。以惡意行動對海纜系統進行破壞，可能的面向有以下數種：

- 針對海纜

海纜的位置多數為公開的資料。然而破壞鋪設於深海的海纜，需要特殊的潛艇或船艦設備，門檻較高。破壞行動又需要保持隱密，以免被事先防範，又或破壞第一條後即被發現並被軍事行動反制，效益較小、難度較高。

然在登陸時海纜會進入淺水區，往往就在一般漁船或潛水員可以活動的範圍內。過去在埃及等國家亦有發生過潛水員受僱破壞海纜的先例[6]。而漁撈活動向來是海纜受損的主因。為了獲得更多的漁獲，漁船以重物掛在漁網下方，以確保漁網能完全沉底，捕獲所有深度的魚群。在漁船強大的動力下，重物在海床上拖行，不僅嚴重傷害所過之處的珊瑚等海中生物，亦往往勾斷海床上的海纜。受僱於敵方的漁船即有可能惡意針對海纜進行破壞。

- 針對海纜站

海纜站為海纜上岸後的第一個機房，通常臨近海岸，在艦艇的艦砲及飛彈的攻擊範圍內。

- 針對交換中心

除了飛彈或投擲炸彈等傳統軍事方式直接攻擊外，亦有可能被特工人員破壞電力或線路管道，或是受到電磁脈衝攻擊，因而造成整個交換中心機房停擺。

除了國家如今相當重視的國家關鍵基礎設施防護之外，提升台灣對外海纜系統的強韌性，最重要的仍然是從基本分散風險並提升架構的備援性。關鍵就是避免海纜站及交換中心過度集中於北部，促使中部或東部設立海纜站，並在中、南部增設中立的網路交換中心。

台灣西部海岸多為沙岸，海床平坦，海纜登陸施工容易。但漁業活動較多，加之近年來西部海岸廣設離岸風電，淺海區施工、以及輸配電力上岸的海纜鋪設，容易對途經西部沿海的光纖海纜可靠度產生負面影響。此外在面對來自對岸的威脅時，西岸佈放的海纜較易被軍事行動破壞。

海纜站選址主要的考量條件有下列三者[7]：

- 海上活動少

- 斜度小的沙質或粉質海床

- 無強烈洋流

一般建議選取沙質或粉質海床，是因為埋設海纜通常使用噴埋機，以強力水柱在海床上噴出寬約0.5公尺，深度2-5公尺的溝，並順勢將海纜放入，待泥沙隨水流積滿噴溝後，海纜即深藏溝中，受到一定程度的保護[8]。此工法較為簡便、迅速。而強烈洋流有可能沖刷表土，使海纜裸露，繼而帶動海纜，使海纜與海床岩石摩擦，增加受損及斷纜的機率。

從上述這些角度來看，海纜在台灣東岸登陸顯然較為不易。台灣東海岸斜度大、又為岩岸，且近岸就有移動秒速達 1-2 公尺的黑潮，顯與上述2、3點不合。因此在台灣東岸建置海纜站無法使用成本較低的工法，勢必大

幅墊高興建成本，從商業角度來看並不划算。但從防禦惡意攻擊的角度來看，台灣東岸坡度大，離岸後迅速深入深海，容易被攻擊的淺海區段非常淺短。若在岩岸構築管溝進入深海，海纜所能受到的保護十分完整，難以被船錨或拖網損壞。海岸緊臨陡峭的海岸山脈及中央山脈，臨海興建的海纜站幾乎不可能被來自西側的彈道飛彈擊中。而東岸海域位於台灣東部、日本沖繩、美國關島、以及美國航母戰鬥群的軍力包圍之中，在戰爭開打之前或開打之初，尚未掌握局部空優的情形下，派遣機、艦從台灣東部外海對海纜站進行攻擊，難度均極高。因此海纜站興建在台灣東岸，不僅可以分散現有海纜站太過集中於北部的風險，也可以有效提高應對人為災害、甚或惡意攻擊時，國際訊務的可靠度。

然而如前所述，在東岸興建海纜站成本較高，不符合商業考量。因此政府僅以開放相關申請，鼓勵國內外電信公司設站的方式，難以構成民間公司投資的誘因。基於國安考量，恐需政府直接投資興建並完善基礎設施，才能吸引電信商進駐使用。

交換中心的目的為供眾多網路業者互連交換訊務之用，受商業及營運需求所限，必須設在網路交換訊務需求較大的地區，亦即大量網路業者集中之處，因此現階段僅可能設置於台灣西半部。如前所述，登陸台灣的海纜高度集中於北部的交換中心與本地網路交換訊務，面對天然或人為災害風險較高。較佳之道為選擇台灣中、南部設立中立的網路交換中心，並由政府設置獎勵條款，吸引海纜業者進駐使用做為備援。海纜從現有的海纜站、或未來的東部海纜站登岸後，離中、南部的網路交換中心的距離較遠，並不構成技術上的困難。現今中國大陸即大量以海纜在東南沿海上岸後，以長程陸纜連接至位於貴州的機房的方式提供雲端及儲存服務。但長途陸纜往往價錢昂貴，構成商業營運上的障礙，恐需政府在設立獎勵措施時考量在內。

### III. 低軌道衛星的運用潛力

低軌道衛星僅僅在數年之前，還停留在人們的想像之中，卻因為 Starlink 的成功試運轉，並在俄烏戰爭中即時投入，大大的扭轉戰局的演變[9]，突然間躍入眾人的眼簾。所謂「低軌道」乃是相對於過去離地3萬5千公里，位於地球同步軌道的通訊衛星而言。以 Starlink 衛星為例，其運作軌道離地約550-570公里[10]。拜軌道遠遠較低之賜，位於地面的使用者及地面站通過衛星進行通訊，其傳輸延遲時間僅20-40 ms，遠低於一般通訊衛星的200 ms。可用頻寬也大得多，因此充滿了應用的潛力。

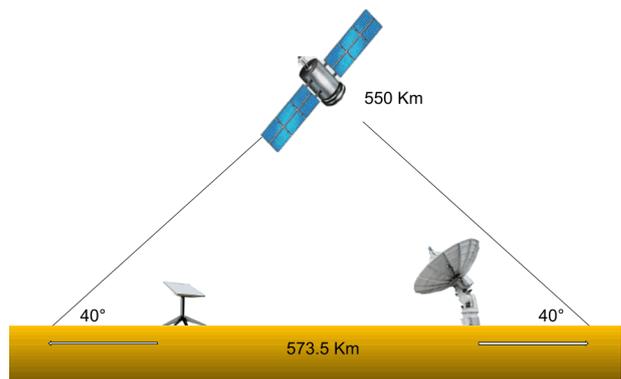


圖3 低軌道衛星訊號涵蓋範圍

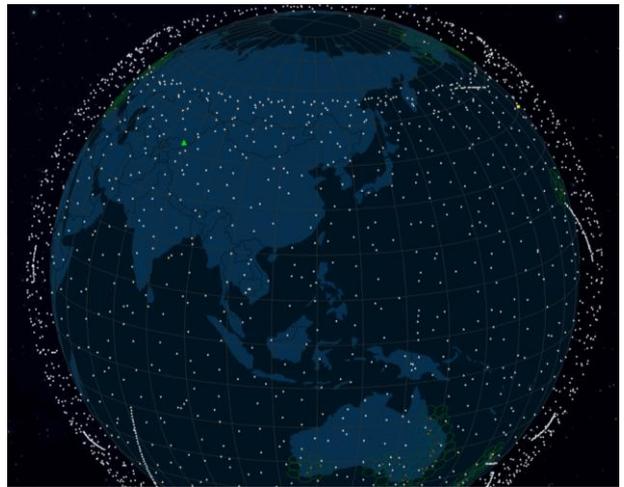


圖4 Starlink 衛星軌道分佈圖[11]

從運作原理來看，低軌道衛星只是地面訊號的中繼器，即將地面傳來的訊號原樣轉播到另一處地面地點。因此要使用低軌道衛星進行通訊，使用者必須與地面站位在同一顆衛星的訊號涵蓋範圍內。使用者的網路訊號才能通過衛星在空中的中繼，傳送到地面站，再經由地面站的網路傳送至目的地。反向的網路傳輸亦然。以 Starlink 為例，由於衛星運作於550-570公里高的軌道上，而設計上地面天線的仰角必須高於 $40^\circ$ 才能與衛星連線，因此單一衛星可涵蓋573.5公里的直徑範圍。亦即使用者端的天線與地面站之間，必須在573.5公里之內才能連線，如圖3所示。然而低軌道衛星不像地球同步衛星永遠停留在空中同一位置，而是不停環繞地球旋轉。因此一顆衛星進入天空的視野後，幾分鐘後就會從另一個方向離開視野。為了讓通訊能夠連續不中斷，就需要數量龐大的衛星群環繞地球的天空，以確保不論位在何處，當衛星即將離開視野之前，下一顆衛星已經進入視野，可以接替訊號中繼的工作。截至2022/7月為止，Starlink 衛星已在軌道佈署超過3000顆，如圖4所示。也因為衛星在天空中的位置不停移動，其訊號涵蓋範圍與下一顆衛星只會重疊一部份，因此實務上使用與地面站的距離會更短一些。當使用者與地面站的距離

太接近理論上限時，就可能出現兩顆衛星的訊號涵蓋範圍出現交接的空檔，因而網路連線會時常斷線。

Starlink 自2021年起升空的衛星為1.5版，增加了衛星間雷射通訊連線 (Inter-Satellite Link; ISL) 功能。此功能預計在2023年正式啟用。啟用後，使用者與衛星連線後，可以透過上述衛星間的 ISL 雷射通訊功能，與另一顆衛星涵蓋範圍下的地面站連線，打破使用者與地面站必須位在同一顆衛星涵蓋範圍內的技術限制，使低軌道衛星的有效傳輸半徑大幅增加。而預計自2023年初起升空的衛星將升級為2.0版，更增加了手機3G / 4G 常用頻段的傳送接收功能。在此之前使用 Starlink 服務時，必須具備一個使用者端天線，而從2.0版衛星開始，手機不經修改，就可以直接經由 Starlink 衛星與地面的合作電信業者基地台連線，不需要具備使用者端天線。不過此功能在每個細胞涵蓋範圍僅有2-4 Mbps 頻寬供涵蓋範圍內的手機共用，因此初期僅規劃供簡訊發送及緊急通訊之用，尚不支援一般通話或手機上網。

由於低軌道衛星的涵蓋面積可超過直徑500公里以上，因此單一地面站設在中部即可接受全台用戶的連線，對於島內的通訊障礙極具緊急備援價值。573.5公里的訊號涵蓋範圍可同時涵蓋台灣全島及日本石垣島，在台灣對外海纜中斷時，具備緊急通訊應用潛力 (需 Starlink 提供台灣地區服務，並須日本在石垣島的地面站支援)。Starlink 的衛星間連線功能自2023年起啟用，在海纜失效時，台灣有機會與1400公里範圍內的日本九州、南韓南部、菲律賓，及2800公里範圍內的美國關島地面站連線，維持緊急通訊能力。然以 Starlinks 衛星為例，其衛星間的雷射通訊速率約為10Gbps，與海纜的容量相較相差極遠。以連接於頭城的 PLCN 海纜為例，共擁有6對光纖，每對可容納240個波長，每個波長為100 Gbps 速率，因此 PLCN 海纜共可承載144 Tbps 頻寬 [12]。更何況目前登陸台灣的海纜共有12條。因此海纜系統與單一低軌道衛星所能提供的頻寬相差不可以道里計。而且低軌道衛星直接與終端用戶相連接，與海纜系統需通過一個或多個網路 ISP 業者才與終端用戶連接不同。因此低軌道衛星雖然深具潛力，但應用於天災及人為災害的國際網路緊急備援時，其備援的對象為政府、軍、警、一般用戶等終端用戶的連網能力，而非做為現有骨幹網路或位於台灣的各雲端機房連網能力的備援。

#### IV. 結論與展望

台灣主要的出國訊務皆仰賴海纜。而台灣目前的海纜資源，不論是海纜登陸的海纜站或是網路交換中心，分佈皆相當偏重北部，不利於天災或人為災害下強韌性及可靠度的保持。若是能克服成本劣勢及施工難度，在台灣東部增設海纜站，並與環島網路骨幹串連，並在台灣南部增設網路交換中心，供海纜交換國內出國訊務，將可在基礎架構面大幅提高備援及抗災能力，使海纜的國際訊務得到最大的保障。

低軌道衛星則提供了國內另一種連接國際訊務的思考方向。不論是國內訊務，或是國際訊務，均能提供別的方案所無法企及的備援能力。然而目前提供服務、或即將提供服務的低軌道衛星，皆由單一私人公司出資興建維運。以大大改變了烏克蘭戰局的 Starlink 服務為例，僅以馬斯克的一句話，就啟用了烏克蘭的衛星服務，也只因為馬斯克不希望過份激怒俄羅斯的決定，此服務即無法在烏克蘭東部，2014年遭俄羅斯占領的克里米亞區域使用。對照馬斯克對於海峽兩岸的個人看法，單一個人或單一私人公司的態度反而是低軌道衛星服務可靠度的最大風險所在。將整個國家的國內外網路訊務備援能力，壓寶在此風險之上，並非善策。解決之道或可同時取用多個低軌道衛星公司的服務，又或者如南韓政府，以政府出資自行建置自有低軌道衛星的方式，或可得到較佳的服務可靠度。

#### 參考文獻

- [1] 國家通訊傳播委員會, "110 通訊傳播市場報告", 2022/2, [https://commsurvey.ncc.gov.tw/files/file\\_pool/1/0m062539054870257539/110%E9%80%9a%E8%a8%8a%E5%82%b3%e6%92%ad%e5%b8%82%e5%a0%b4%e5%a0%b1%e5%91%8a-%e4%b8%ad%e6%96%87%e7%89%88.pdf](https://commsurvey.ncc.gov.tw/files/file_pool/1/0m062539054870257539/110%E9%80%9a%E8%a8%8a%E5%82%b3%e6%92%ad%e5%b8%82%e5%a0%b4%e5%a0%b1%e5%91%8a-%e4%b8%ad%e6%96%87%e7%89%88.pdf)
- [2] TeleGeography, "Submarine Cable Map", <https://www.submarinecablemap.com/country/taiwan>
- [3] Vincent Chen, "台灣海纜(Taiwan Submarine Cable)概況及備援機制", 2018/1, <https://medium.com/vincent-chen/%E5%8F%B0%E7%81%A3%E6%B5%B7%E7%BA%9C-submarine-cable-%E6%A6%82%E6%B3%81%E5%8F%8A%E5%82%99%E6%8F%B4%E6%A9%9F%E5%88%B6-3e47ea550fd6>
- [4] 曾筱媛, "是方電訊大樓機房失火釀全臺網路大當機", 2013/3/4, <https://www.ithome.com.tw/node/79046>
- [5] 海陸空天視頻, "俄羅斯特種潛艇使用原始手法切割監聽海底電纜", 2020/8/29, <https://kknews.cc/zh-tw/military/kkvpk68.html>
- [6] Charles Arthur, "Undersea internet cables off Egypt disrupted as navy arrests three", The Guardian, 2013/3/28, <https://www.theguardian.com/technology/2013/mar/28/egypt-undersea-cable-arrests>
- [7] Vincent Chen, "海纜登陸站介紹", 2021/3/12, <https://vocus.cc/article/604b3084fd89780001064eb8>
- [8] 台灣電力公司, "離岸風力發電第二期計畫海岸利用管理說明書", 2018/10, [https://economic.chcg.gov.tw/files/TPC2%E6%B5%B7%E5%B2%B8%E5%88%A9%E7%94%A8%E7%AE%A1%E7%90%86%E8%AA%E6%98%8E%E6%9B%B8\(%E6%B0%B4%E5%8D%B0\)\\_4\\_1071108.pdf](https://economic.chcg.gov.tw/files/TPC2%E6%B5%B7%E5%B2%B8%E5%88%A9%E7%94%A8%E7%AE%A1%E7%90%86%E8%AA%E6%98%8E%E6%9B%B8(%E6%B0%B4%E5%8D%B0)_4_1071108.pdf)
- [9] Starlink, <https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink>
- [10] Vincet Veritas, "Starlink is keeping Ukraine connected to the World", 2022/3/25, <https://www.groundstation.space/the-story-of-starlink-for-ukraine/>
- [11] Starlink Satellite Map, <https://satellitemap.space/>
- [12] Pacific Light Cable Network (PLCN), <https://www.submarinenetworks.com/en/systems/trans-pacific/plcn>