

● 作者/Robert Martinage ● 譯者/劉宗翰 ● 審者/郭啟銘

## 海底公域：通信的脆弱性

Under The Sea: The Vulnerability of The Commons

取材/2015年1-2月外交事務雙月刊(*Foreign Affairs*, January-February/2015)

今日，約莫95%的洲際通信量，諸如電子郵件、電話、匯款等，皆由海底電纜傳送，若這些通信線遭敵方或有心人士破壞，後果將不堪設想，故未雨綢繆才是解決之道。

海底電纜多數缺乏基本防護，容易為人所忽略，故政府應重視此一領域的防護。圖為架設海底電纜情景。(Source: AP/達志)



近年來，美國官員已變得愈來愈畏懼大規模網路攻擊，其足以癱瘓基礎設施並使市場崩潰。在2010年，時任美國國防部副部長林恩(William Lynn)在報告中寫道，「網際空間的重要性與陸上、海上、空中，以及太空軍事作戰不相上下。」時任美國國防部部長潘尼達(Leon Panetta)警告道，「慎防網路珍珠港事變(cyber-Pearl Harbor)。」而在2013年，美國國家情報總監克萊柏(James Clapper)將網路攻擊列為其年度跨國威脅排名之首。

不過華府已經挹注數十億美元維持其在虛擬世界的防護，它卻大大地忽略了讓網際空間存在於真實世界的實體基礎設施。今日，約莫95%的洲際通信量——電子郵件、電話、匯款等——靠的是經由海底而非由空中或太空方式，如同光線穿

越總長超過60萬哩、近300條光纖電纜。在多數情況下，這些重大通信線甚至缺乏基本的防護，在海床與少數守備不佳的上岸據點均是如此。而小規模罅隙逐漸發生的紀錄，直指大規模損壞發生的可能性。

華府忽視海底基礎設施的範圍超出電纜，擴及至日益重要的全球石油及天然氣供應來源：深水鑽探。今日，墨西哥灣近海鑽油平臺的產量約占美國石油與天然氣總產量的25%——美國能源部預測，2040年時該數字可能達40%。在美國之外，全球深水油井的產量已經從2000年每日150萬桶上揚至2014年每日600多萬桶。隨著近海鑽井設施日益複雜與廣泛增加，它也變得更容易受到攻擊，後果可能將超越2010年在墨西哥灣的巨大漏油事件。

雖然眾多國際機構規範著人類的水下活動，但無一單位同時兼具領導的權威與能力。在美國，海岸防衛隊負責在廣大的近海能源平臺執行安全計畫，以及在某些港口保護水下設施。不過無一

近海鑽井設施日益複雜，一旦遭受攻擊，其後果將可能超越2010年墨西哥灣的漏油事件。(Source: US Coast Guard)



政府部會負責防衛國家的海面下能源與電纜基礎設施。結果，兩個美國經濟最重要的領域——通信與能源——可能極易落入組織良好恐怖分子的圈套或是海外攻擊。所幸，華府仍有時間來更正路線。

約莫95%的洲際通信行經海底。

## 海底奧秘

英國工程師於1850年鋪設橫跨英吉利海峽的首批海底電信線。八年後，在美國金融家菲爾德(Cyrus Field)的努力奔走下，完成跨大西洋、從愛爾蘭連接至紐芬蘭的電信線，最終傳輸幾乎可達每分鐘七個字元。在1876年貝爾(Alexander Graham Bell)發明電話後，首批水下電話纜線因應而生，人們的談話穿越了舊金山灣。

雖然電纜的數量激增，但其速度與容量發展遲滯，直至1920年代與1930年代期間，引進兩項重大發展：同軸銅芯(coaxial copper cores)與聚乙烯絕緣(polyethylene insulation)，才使得個別電纜能承載多種音頻通道，並提供良好的耐久性。接下來的數十年，容量激增，在1950年代從一個電纜36個音頻通道，提升至1970年代約4,000個音頻通道。然而，安裝與維護成本居高不下，必然使得衛星傳輸話務更具吸引力。直至1980年代，衛星可提供比海底電纜近十倍大的容量，卻只需要十分之一的投資資金。

但另一方面光纖技術革新了全球通信。在1988年，英國、法國財團與美國電信公司鋪設首批橫跨大西洋的光纖電纜。當時該線路稱為TAT-8，能

夠同時進行4萬通電話——此數量比當時大部分同軸電纜所能處理的還要大，且占以往費用的一小部分而已。今日的光纖電纜能在20秒左右的時間，傳送等同於整個美國國會圖書館印刷品的資料量。

因此，公司、政府與個人能夠傳送及接收比以往更多的資料。在1993年，網路使用者每年傳送約100兆位元(terabit)的資料量；今日，他們每秒傳送約150兆位元的資料量。而到了2020年時，此數字預計將超越1,000兆位元，很大程度上是由非洲、亞洲與中東地區的手機網路擴展所致。

幾乎所有資料都是沿著海床傳輸的。然後，吾人試想一下，一場意志堅定的攻擊將會造成海底基礎設施多少損害。吾人僅需從自然因素與非故意干擾來思考就能瞭解可能的破壞。在2006年，靠近臺灣的海底地震造成九條電纜斷裂。該事件共派遣11艘船，耗費49天才完成修護，同時中共、日本、菲律賓、新加坡、中華民國與越南都損失了重要的通信鏈路，造成區域銀行業務、市場與貿易的中斷。在2007年，越南漁民企圖從報廢的同軸電纜打撈銅，反而誤拉斷現有線路，造成越南與香港及泰國近三個月的通信中斷，並花費數百萬美元的維修費。鑒於設備與人員的不足，美國可能要耗費數月，甚至數年才能從大規模、協同突襲中恢復過來。攻擊者甚至不用鎖定美國資產就能遂行其目的，蓋因美國的通信經過其他十多個國家，它們皆為全球海底電纜網路的主要樞紐。

許多基礎設施使全球經濟得以發揮功能。每日，環球銀行間金融通訊系統(Society for World-

wide Interbank Financial Telecommunication, SWIFT)傳送約2,000萬則訊息給8,000家以上的銀行組織、安全機構，以及近200個國家的公司客戶，調節全球金融市場間價值數兆美元的資產。洲際交易所(Intercontinental Exchange)操作著全球貨幣兌換與票據交換所網絡，每日通常處理超過一千萬份合約，涵蓋能源、商品、金融與股權衍生性金融商品市場。若沒有海底光纖網路，此種電子銀行業務與商務完全不可能實現；而若電纜系統停電，數以百萬的交易將會中斷。

此外，由於若干因素，一場重大攻擊證實是出奇可行的。其中原因之一為光纖電纜通常一至兩吋厚，一般路線會避免高流量的航道、捕魚區，以及敏感環境地點。雖然此做法有助於最小化意外損害的風險，但此意謂電纜往往會於全世界約略二十多個主要地點上岸。大約40條主要海底電纜連結美國通往世界各地的全球海底通信網，幾乎皆於加州、佛羅里達州、新澤西州、紐約，以及奧勒岡州狹長的綿延海岸上岸。在東岸，幾乎每一條跨大西洋電纜都在紐約——新澤西地區緊鄰岸邊上岸，而彼此間僅距離數十哩。

尤有甚者，一般大眾很容易獲得許多電纜的路線圖。每年通信技術員報告大約有100至150件的主要損害，約70%肇因於諸如捕魚與起落錨等人為活動。這是海底電纜的位置出現於航海圖上的原因。某些電纜甚至有音響信標使其更容易被發現。同時，外人可從網際網路上獲得攸關全球電纜路線的資訊，使其更容易察覺到特定國家的弱點。

由於有現成的詳細座標，故外國軍隊能使用裝



海底電纜的路線配置圖屬網路公開資源，一般人皆可輕易獲得。(Source: Telegeography)

配有高解析度聲納與裝載爆藥的遙控潛艦來鎖定美方電纜。隨著現今數家不同公司在消費市場上販售此科技，進入此等水下作戰的阻礙已相對較低。事實上，數以千計半自主或遙控運作的水下載具早已經在世界各地服役。一個財源充裕的恐怖團體能輕而易舉地獲得水下載具，以遂行鎖定關鍵電纜及接合處，另亦可選擇使用蠻力，以裝配深海抓鉤的拖網漁船在較淺水域拉斷電纜。

全球海底電纜網路的確有良好的備用能力，在遇到像2006年臺灣地震的突發事件時(譯註：即恆春地震，嚴重之處在於造成多條海底電纜中斷，導致東亞區內網際網路、國際電話服務受阻)，可使全球的通信量快速改道而行。不過一場精心策劃的攻擊勢必會將此納入考量，它會鎖定多個洲際海底電纜、岸基終端器，以及沿岸節

點。在攻擊之後，維修廠商們大概會聚集技術人員與稀少的硬體設備，忙不迭地共同維修他們本身的網路。

### 原油重要性日增

在首批海底電話線路鋪設後不久，首座近海鑽油平臺於1896年在加州出現。但此產業遲滯數十年之久。在1940年代末期，由於各州與聯邦當局對石油探勘的租約權爭議不休，探勘行動處於實際停頓狀態。但在1953年，美國總統艾森豪(Dwight Eisenhower)著手解決此問題，通過立法授權各州開放產區活動的租約，離海岸線長達三(在某些情況下是九)哩；而超過各州管轄區域外的探勘，則由美國內政部批准。起初，美國近海石油產量穩定上揚，從1954年每日13萬3,000桶到1971年的170萬桶。然而，隨著1970年代許多新規定的施行，以及1980年代石油價格的驟降，石油產量又再次趨於和緩。

隨著利益變少，一個重大的轉變正在墨西哥灣悄悄進行。新型平臺與探勘技術逐漸有能力挖掘更深層、豐富的石油與

天然氣蘊藏。淺水域的平均產量良好，每日通常有數千桶的產量，而深水域的油田產量超過1萬桶。殼牌石油公司(Shell)於1987年發現了奧格(Auger)油田，最後該地區的最大產量可超過10萬桶。其他能源公司，包含美國石油公司(Amoco)、英國石油公司(British Petroleum)、康菲石油公司(Conoco)、艾克森石油公司(Exxon)，以及美孚石油公司(Mobil)，使用當時新進的三維地震學工具，皆加入深水鑽井的行列。

如同全球海底電纜網路，美國的深水鑽井基礎設施正迅速擴張，但同時也幾乎完全未設防。全世界的鑽井作業，不論在孟加拉灣或南海皆面臨類似風險。更嚴重的是，隨著近岸能源基礎設施日益複雜，其亦衍生出新弱點。今日，光單一生產平臺可能就能汲取好幾個數十哩外的海底油田。各油田可能有多個油井，並經由遙控管線來連結——這些都是敵軍的潛在目標。這些巨型平臺正在成為重要的供應源：雖然墨西哥灣



水下載具的運用已經相當普遍，圖為隸屬美海軍海洋水雷戰中心的人員正在施放無人水下載具。(Source: USN/Gary Keen)



海岸防衛隊是美國國土安全的組成分子，負責海上安全責無旁貸。(Source: US Coast Guard/Charles Mark Barney)

是超過4,000座平臺的老家，但其中約1%的平臺數目就差不多能產出該地區總油量的75%。

一場對深水鑽井基礎設施的重大攻擊會有許多立即效應，但有兩項會特別突出。首先，它會造成環境的浩劫。墨西哥灣附近的居民對2010年英國石油的深水地平線(Deepwater Horizon)鑽井平臺爆炸漏油事件仍然餘悸猶存，且清理費用竟高達數百億美元。不過深水地平線鑽井平臺僅是墨西哥灣數千個鑽井生產平臺其中之一，這當中許多平臺經由數千哩長管線串連海底油井、泵浦與閥門，形成巨大的網絡。

其次，一場攻擊可能造成全球能源供應大中斷。全球石油產量約三分之一現在都出產於近岸區，而最大油田在波斯灣與裏海。經由海底管線連結至海港的墨西哥灣沿岸設施，占超過美國煉油量的40%與超過美國天然氣產製量的30%。在美國及其他地方，石油公司日益冒進於深水鑽井(超過1,000呎)與超深水鑽井(超過5,000呎)。過去十年來，全球不斷增加投資於近岸石油與天然氣基礎設施，從每年大約1,000億到超過3,000億。現今在深水區新發現的石油與天然氣蘊藏量預估總量超過將沿岸與淺水區。而預測顯示，

深水油井占全球總產量將由2013年的6%，增加到2035年的11%。

### 切斷海底電纜曾是戰爭常規手法之一

#### 防護攻擊

海底基礎設施已經成為攻擊的弱點，而在未來幾年甚至會更加劇，尤其是隨著海底載具日益先進與易於獲得。沒有防護的電纜與能源基礎設施可能會提供敵方各種占上風的機會。例如，敵軍可能會在機敏處所裝設爆炸物，並威脅隨時引爆；抑或他們能無預警地引爆炸藥，引起市場混亂，並中斷軍事指管系統。國家與非國家行為者能夠遂行匿名攻擊或偽旗攻擊(false flag)。對一場不明攻擊而言，歸屬責任將是具挑戰性的，遂行嚇阻(deterrence)更是相當困難。誠然，此等舉動不是史無前例的：在海底光纖支配全球通信以前，切斷電纜即是戰爭的常規手法之一。於1914年，在宣戰後的隔天，英國切斷德國在英吉利海峽所有的五條海底電纜，而在第二次世界大

戰期間，交戰國習慣性地剪斷敵人的電纜。但時至今日，切斷光纖線路而不影響到日益龐大且相互依存的系統是挺困難的——這使得潛在攻擊更具破壞性。

同時，對於防護此致命弱點，華府一直緩慢以對。海岸防衛隊是美國國土安全部的組成分子，負責海上安全，因此保護海底基礎設施應是其責無旁貸的本分。但此機構仍侷限只著重於港口安全，且更限縮層級於大陸棚的海面平臺。海岸防衛隊已部署海底監視系統，以偵測入侵者，以及運用少數的無人水下載具——但大部分用以保護港口，以及檢視碼頭結構與船體。

美國必須做得更好。雖然保護海底基礎設施無萬靈丹，但華府能夠且應該採取一些具體措施，以減低攻擊的可能性及若其發生的後果。雖然海岸防衛隊承擔此任務合情合理，但該機構目前缺少人力與專業技術，以有效執行此任務。相反地，美海軍擁有所需人才與技能，但缺乏執法授權。因此華府應使海岸防衛隊與海軍協同合

作，特別挹注新資金以確保海底基礎設施的安全。

首先第一步，美國可以在其專屬經濟海域宣布保護區——華府在此海上區域有特別探勘權與資源開採權——在其關鍵水下基礎設施之上，禁止未獲授權的徘徊與高風險活動，諸如拖網捕魚與起落錨。某些國家，包含澳大利亞與紐西蘭已經禁止海底拖網捕魚與在重要光纖線路附近起落錨。鑒於廣大遼闊的海洋必須受監視，執行此等禁令將是困難的。但修改現行法規將會有所助益。美國法律目前要求特定種類的大型船隻在「所有美方航行水域」要公開廣播其速度與方向。相關當局能使用此資訊，以監視在水域內關鍵海底基礎設施上方或附近徘徊過久的船隻。但較小型船隻則不在此限，仍可以操作大型絞盤用以處理重型抓鉤或起重機，還可施放並收回海底載具。因此，華府應要求所有具備發動海底突擊能力的所有船艦廣播其所在位置。因為攻擊者或許會隱匿其位置，海岸防衛隊亦將需要使用海岸雷達、偵察機、無人飛行載具，以及水

面巡邏船來監視保護區——這是一項艱鉅與昂貴的提議。為使花費減至最少，該機構能以最高價值的海底基礎設施為優先，聚焦於狹窄的光纖電纜走廊，以及數目相對較少的巨型平臺與深水港口。

除了原始方式，像是在公海的抓鉤式攻擊與淺水域的潛水式攻擊外，幾乎所有其他對海底基礎設施的攻擊都需要海底載具。鑒於海底深處的能見度不佳，那些載具通常使用高頻聲納來引導路線。業界可能會被要求在關鍵海底基礎設施與電纜路徑設置相對低廉的感測器來偵測聲納頻率。假使感測器遭破壞，它們就能對附近的海岸防衛隊或海軍船艦發出警訊。為了提供額外的早期預警能力，華府可以在海床設置音響感測器，或配備無人水下載具在高風險區域拖曳它們。

除了制止敵方載具，美國政府可以在其路徑上增加實體障礙。某種程度上，在大陸棚綿延的海底電纜已經擁有實體保護：許多線路被埋設於水深5,000呎下的海床下方三至十呎。雖然那種地層能防止拖網捕魚與起落錨的損傷，但其未必能防止爆炸物或實體攻擊，所以將電纜埋設於更深的水底下是有道理的。而從不同水深的油田匯聚的管線，至少基本的圍欄——在海床上固定支柱間圍上的金屬網——也是可以防護的。既然此等障礙能於例行檢查與維護的路線上設置，故需選擇性地使用。

最後，華府必需準備好若遭攻擊成功後要面對的餘波。海底裝備是難以取代的，所以現今建立備份的電纜線路能為未來省下數百萬美元。為使風險最小化，單一攻擊可能引發系統性的癱瘓，

聯邦政府能指定新電纜的著陸場地，並提供公司減稅誘因，使其投資架設備份電纜系統與備份硬體。同樣地，鼓勵公司建立更多的深水港口——當前適用於石油與天然氣油輪的為數不多——如此一來，若部分港口遭受攻擊，能源市場才不會輕易中斷。經由簡化繁瑣的海床建設治理規定，亦有充分的機會來削減繁文縟節。在聯邦層級，許可程序要涉及超過半打的機構，且要花數週到數年時間許可方能完成。而追求一紙新的全球協議，用於監視、防護與修護跨海洋的海底電纜，將使華府在危機時刻能與他方共同分擔維修電纜的負擔。

此等政策將不會萬無一失，但將使敵人更難發動成功的攻擊。相較於全球通信阻塞或大規模漏油可能導致的損失，它們的費用將相對低廉。不過革新的最大阻礙並非在資金方面；它是看不見的。光纖電纜與近海鑽油平臺在看不見之處順暢運行，而消費者傾向如同氧氣一樣來看待此等關鍵基礎設施，認知其在理論上的重要性，但卻假設它會一直存在。然而，若奪走氧氣，後果鐵定是令人窒息的；不管它們有多遙不可及，把最糟狀況發生的機會最小化，將會是值得的投資選項。

### 作者簡介

Robert Martinage係戰略暨預算評估中心資深研究員。2010至2013年期間，其任職美國海軍副次長。

Copyright © 2015, *Foreign Affairs*. Distributed by McClatchy-Tribune Information Services.