



繫留飛行載臺運用之研究

作者／吳姿瑩

提要

- 一、自然災害是地球環境進程的一部分，對通資運用造成之影響無可避免，可藉由妥善運用規劃降低損害程度。
- 二、探討國內外繫留飛行載臺運用案例，評估其在災害應急、軍事通信與廣域監控中的運用價值，提出適用於不同場景應用模式與策略。
- 三、繫留無人機適用於短期應急與地形複雜區域，具快速部署與靈活性，繫留浮空器則適合長期滯空與廣域監控需求。

關鍵詞：自然災害、繫留飛行載臺、無人機

前言

完善通信基礎設施已普遍存在於開發中及已開發國家，對於現代化社會中，已是不可或缺的存在，臺灣因地形多樣化且自然災害頻繁，常見豪雨、颱風、土石流及地震等災害，對通信基礎設施形成嚴峻挑戰。

本文探討在不同場景中繫留飛行載臺運用之適用性，並以各國運用實例採質性研究，將既存資料再作進一步整理與分析，選取文獻包含IEEE期刊學術研究及主要繫留飛行載臺生產商官方網站技術報告等。

在平、戰時軍事運用與災後應急需求中，空優條件、機動性、持續力、通信覆蓋範圍與地形氣候限制等，會影響實際應用的可行性，本研究針對繫留無人機與繫留浮空器在不同場景中的運用價值，透過分析兩者特性與效能，進一步提出適合臺灣環境應用策略。

繫留飛行載臺概述

一、航空器類型

受限於飛行原理，航空器僅能飛行於地球大氣層中對流層和平流層，航空器可區分兩大類（如圖1）：輕於空氣的「輕航空器」（Lighter-Than-Air Craft）和重於空氣的「重航空器」（Heavier-Than-AirCraft），以下針對繫留無人機及繫留浮空器等兩類分述。

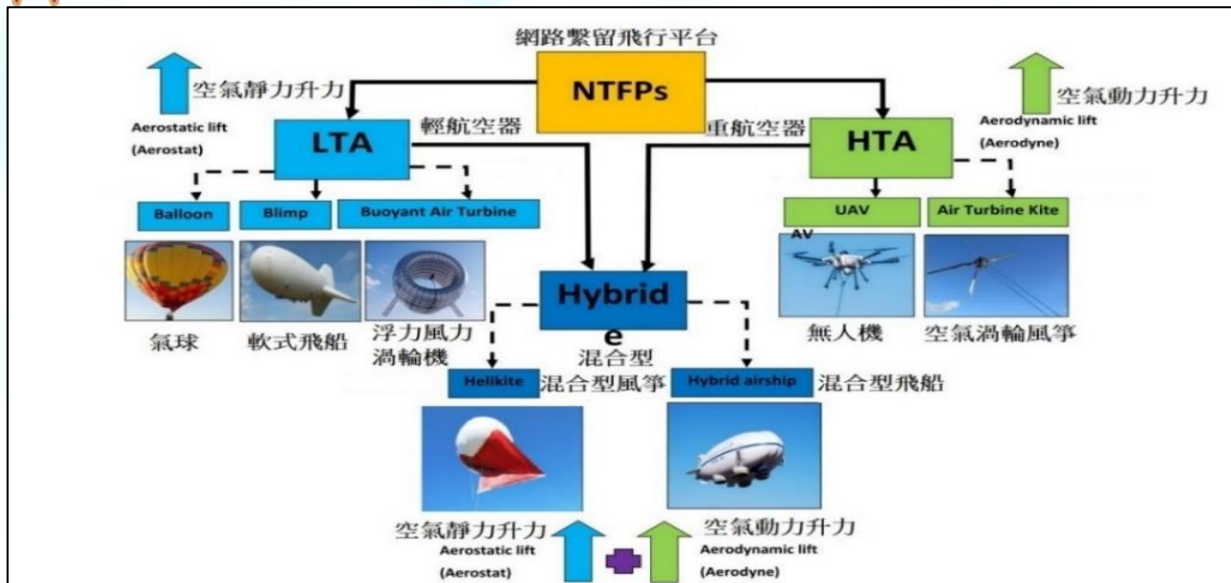


圖 1 航空器分類

資料來源：Baha Eddine Youcef Belmekki and Mohamed-Slim Alouini, "Unleashing the Potential of Networked Tethered Flying Platforms: Prospects, Challenges, and Applications," in IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 3, pp. 284, 2022

(一) 繫留無人機

繫留無人機 (tUAVs) 是使用動態生力的重於空氣 (HTA) 平台。tUAVs 通過繫繩連接到地面站，這些繫繩提供持續的電力和數據供應，使無人機能夠在空中保持長時間飛行，繫留無人機由多個關鍵組件組成 (如圖2)，其主要構造、特性與限制如下：¹

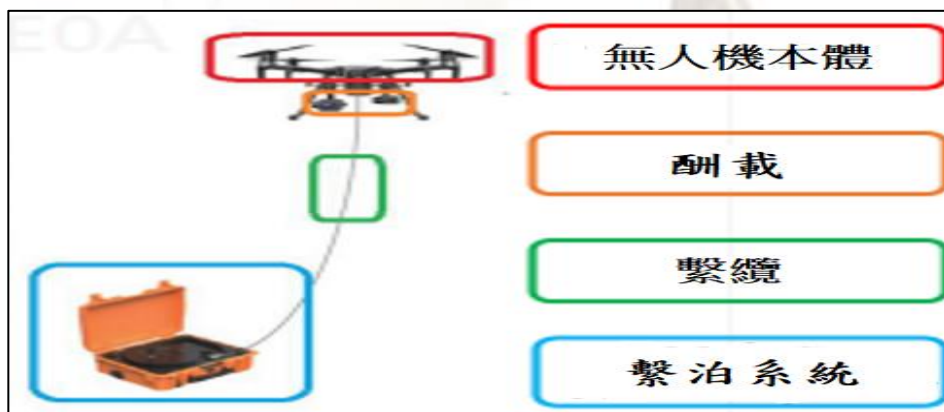


圖 2 繫留無人機構造

資料來源：Baha Eddine Youcef Belmekki and Mohamed-Slim Alouini, "Unleashing the Potential of Networked Tethered Flying Platforms: Prospects, Challenges, and Applications," in IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 3, pp. 284, 2022

¹ Baha Eddine Youcef Belmekki and Mohamed-Slim Alouini, "Unleashing the Potential of Networked Tethered Flying Platforms: Prospects, Challenges, and Applications," in IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 3, p. 280-294, 2022



1.構造

(1)無人機本體

無人機是整個系統的核心，負責承載任務設備和執行飛行操作，可執行監控、通信等任務，根據需要安裝各種傳感器和相機。

(2)繫纜

是連接無人機和地面站的重要組件，通常由高強度合成纖維製成，可提供電力和數據傳輸通道，並穩定無人機之位置。

(3)酬載

為無人機上安裝的任務相關設備，包括高清相機、紅外線傳感器、通信設備等，可執行特定任務如監控、數據收集和通信。

(4)繫泊系統

包含繫流線盤與電源系統，能根據無人機高度調節纜線長度，電源系統組成包括地面電源和備用電池系統，透過繫纜向無人機提供持續的電力供應，備用電池在地面電源中斷時啟動，以確保無人機能夠安全降落。

(5)地面控制站

是操作和監控無人機的基地，可以是建築物、帳篷、車輛或集裝箱等型式。可控制無人機高度、監控和控制無人機及其設備，儲存和處理任務相關之數據如視頻和圖像。

2.特性

繫留無人機適用於多種應用場景，如災害監控、邊境巡邏和交通監控等。儘管存在一些移動性限制，但持續的電力供應、高數據速率和穩定性，成為許多任務中的理想選擇。²

(1)高度：一般可達到100公尺到200公尺。

(2)負載：負載能力根據型號不同可達5公斤至15公斤。

(3)動力來源：地面電源供應，配有備用電池。

(4)飛行時間：理論上可無限期飛行，實際限制在機體過熱，通常能保持飛行數小時到數天。

(5)抗風能力：一般抗風能力達5級至7級風。

3.優點

(1)持續電力供應。

2 Baha Eddine Youcef Belmekki and Mohamed-Slim Alouini, "Unleashing the Potential of Networked Tethered Flying Platforms: Prospects, Challenges, and Applications," in IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 3, p. 284, 2022



- (2)高數據速率和安全回程連接。
- (3)高穩定性，適合長時間監控和通信任務。
- (4)易於部署和操作。

4.限制

- (1)移動範圍有限。
- (2)設置位置受限。
- (3)繫繩長度和耐久性限制了運行範圍和高度。

(二)繫留浮空器

繫留浮空器外觀與飛船相似，由浮空器本體、酬載（Payload）、繫纜（Tether）、繫泊系統（Mooring）及地面控制站（Ground Control）組成（如圖3所示），不同尺寸的浮空器所具之浮升力也不同，可以支撐各種有效載荷。戰術級浮空系統已部署於阿拉伯聯合大公國、伊拉克、阿富汗、約旦等國家，用以監控邊境、國家安全、軍事基地及港口管理及通訊中繼。³

繫留浮空器大多採用地面設施供電，因此在續航能力較繫留無人機更具有顯著優勢，降低了飛行器的能源成本。繫留浮空器需車輛與地面控制站進行機動部署，將獲取之情報整合處理、傳送至相關單位。優點除了任務載荷可依需求靈活搭載，布設平台選擇彈性，在陸地、船舶上皆可（如表1）。

表 1 TCOM 繫留浮空器簡介

型號	負載重量(kg/lbs)	飛行高度(m/ft)	飛行時間(天)	可抗風速 (kts)
12M	27 / 60	305 / 1,000	7	40-55
17M	145 / 320	610 / 2,000	14	40-55
22M	202 / 445	900 / 3,000	14	55-75
28M	385 / 850	1,525 / 5,000	14	55-75
34M	689 / 1,520	1,525 / 5,000	30	55- 75
55M	907 / 2,000	2,133 / 7,000	30	70 - 90
71M	2,155 / 4,750	4,570 / 15,000	30	70-90
74M	3,855 / 8,500	3,000 / 10,000	30	70-100
117M	8,164 / 18,000	4,877 / 16,000	60	80-90

資料來源：作者整理，參考<https://tcomlp.com/aerospace-platforms/tethered-aerostats/>，檢索日期：2024年6月10日

3 王岳吉，〈平流層飛船之軍事運用與發展〉，《陸軍通資半年刊》，第135期，民國110年4月，頁91。

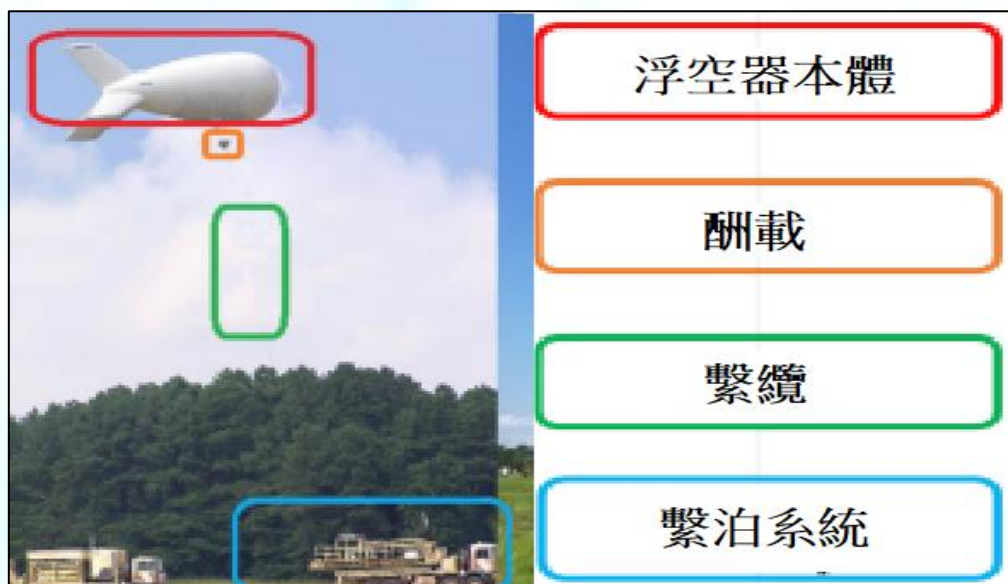


圖 3 繫留浮空器構造

資料來源：Baha Eddine Youcef Belmekki and Mohamed-Slim Alouini, "Unleashing the Potential of Networked Tethered Flying Platforms: Prospects, Challenges, and Applications," in IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 3, pp. 284, 2022

1.構造

(1)浮空器本體

以氦氣填充，球體可穩定滯空，而不同尺寸大小的浮空器具有不同的浮升力，用以搭載所需設備。

(2)酬載

可以搭載視訊監控、紅外線、信號情報與通訊中繼設備等有效載荷。

(3)繫纜

繫纜材料由克維拉纖維（Kevlar）製成，可以承受強風和雷擊，除了用來連結浮空器本體與地面控制站外，內部具有導線與光纖，導線可提供電力，光纖用以傳輸數據，可將傳感器獲得的資訊傳送至地面接收站。

(4)繫泊系統

配備有絞盤及旋轉平台，用於浮空器的發射和回收。

(5)地面控制站

通常為車載或船載型式，其組成包含控制設備、監控系統、通信系統與電力系統，負責監控、操控浮空器與提供穩定電力維持長時間運行。

2.特性

繫留浮空器能夠長時間穩定在空中執行多種任務，適應各種應用場景

(1)高度：通常可達1,000公尺以上，某些型號可達3,000公尺。



- (2)負載：根據尺寸不同，負載能力可達數百公斤。
- (3)動力來源：地面電源供應，內部有光纖和導線提供電力和數據傳輸。
- (4)飛行時間：可長時間滯空，通常可達數天至數月。
- (5)抗風能力：依照型號不同抗風能力可達8級至10級風。

3.優點

- (1)長時間滯空能力強。
- (2)負載能力強，可搭載多種任務設備。
- (3)抗風能力強。
- (4)運行成本低於飛機。

4.限制

- (1)固定於供電站，需要專門車輛和地面控制站，機動性較低。
- (2)雷達截面積大，易被偵測。
- (3)部署和撤收速度較慢。

三、差異分析

繫留無人機體積小，有效載荷能力僅能搭載較輕型的裝備，而繫留浮空器所搭載之氣球有不同尺寸，所能承載之有效載荷也不同，尺寸越大負載能力越高（其特性對比如表2）。

表 2 特性對照

區分	繫留無人機	繫留浮空器
負載	1公斤-15公斤	16公斤-2,600公斤
高度	150公尺-200公尺	100公尺-5,000公尺
風速	40公里/時-55公里/時	75公里/時-165公里/時
飛行時間	數小時至數天	數天至數月
部署時間	快速	緩慢
成本	低/中等	中等/高

資料來源：Baha Eddine Youcef Belmekki and Mohamed-Slim Alouini, "Unleashing the Potential of Networked Tethered Flying Platforms: Prospects, Challenges, and Applications," in IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 3, pp. 289, 2022



繫留無人機與繫留浮空器在空中監視各具優勢與侷限。繫留無人機具有較小的物流足跡和快速部署能力，可由單人操作，適合短期監視任務。其缺點是載重能力有限。相較之下，繫留浮空器可長期滯空，達數月之久，且載重大，但需較大的人員和設備支持，且易受天氣影響。⁴

繫留無人機和繫留浮空器在通信方面的應用各具特色。繫留無人機適合短期、快速部署的通信任務，尤其在需要靈活配置和快速的情況下，其可攜帶通信設備，建立臨時通信網路。繫留浮空器則適用於長期、穩定的通信方面，可提供更廣泛的覆蓋範圍和較高承載能力，適合在偏遠地區或災後恢復通信中使用，⁵（如表3）。

表 3 通信應用對照

項目	優勢	侷限	適用性
繫留無人機	快速部署能力 單人操作 可適應城鎮環境	載重能力有限 短期任務 通信覆蓋範圍小	短期、快速部署的 通信任務及海島型 國家
繫留浮空器	可長期滯空 載重大 通信覆蓋範圍大 長期任務	部署速度較慢 需數員操作人員 所需腹地較大	長期、穩定的通信 支持、適合大陸型 國家或偏遠地區及 災後恢復通信

資料來源：作者自行整理

兩者結合可彌補各自的缺點，繫留無人機負責短期快速部署，可在特定區域提供精細監視，繫留浮空器提供長期穩定支持，適用於軍事、應急救援和偏遠地區的通信需求並可提供廣域監視，形成互補。

繫留飛行載臺運用概況

一、國外

（一）美國

1. 繫留無人機

4 〈Differences between Captive Aerostats and Tethered Drones and how they Complement each other〉, <https://elistair.com/resources/military-drones/complementarity-and-differences-between-captive-aerostats-and-tethered-drones/>, 31 Mar 2022, 檢索日期：2024年，6月10日

5 〈Differences between Captive Aerostats and Tethered Drones and how they Complement each other〉, <https://elistair.com/resources/military-drones/complementarity-and-differences-between-captive-aerostats-and-tethered-drones/>, 31 Mar 2022, 檢索日期：2024年，6月10日



Dragonfly Pictures公司繫留多旋翼無人機（如圖4），有效載荷（如通訊天線）提升到 152.4公尺以上並具有 400 小時以上的續航能力，它可以用作通信中繼，特別是運用於高度孤立的海上環境。在最崎嶇、動盪條件下也可使用無人駕駛多旋翼航空中繼器（UMAR），將海上網站通訊線路增加3倍，從12.87公里延伸到將近48.28公里。⁶

Flying COW是美國AT&T公司開發一種無人機通信平台，將無人機技術與通信基站相結合的創新應用，用於恢復災區通信服務，特別是在自然災害後地面基礎設施受損情況下，⁷2017年，颶風瑪莉亞襲擊波多黎各，造成了大範圍基礎設施損壞，通信系統幾乎全面中斷，AT&T部署Flying COW繫留無人機，作為臨時蜂窩基站，將其懸浮於空中，恢復地面通信，Flying COW可以在約91.44公尺的高度懸停，提供長達數公里範圍的4G LTE網路覆蓋，使得災區內的民眾和救援隊伍得以重新獲得通信服務，雖然其具有快速部署與長時間滯空的優勢，但在災區電力供應不穩定之情況下尚有其挑戰與限制，電力仍需要依賴地面供電或備用電池系統，此外在颶風和暴雨等惡劣天氣下，雖能夠在災區部署，但無人機的運行和穩定性仍會受到一定影響，再者Flying COW提供的4G LTE網路可以恢復通信服務，但其通信容量有限，無法支持大量用戶同時接入，主要適用於應急需求和有限度之通信恢復。



圖 4 DPI 繫留多旋翼無人機

資料來源：<https://www.vicorpower.com/zh-tw/resource-library/articles/dragonfly-uavs-extends-ship-radio-line-of-site-from-communication>，檢索時間：2024年6月10日

⁶ <https://www.vicorpower.com/zh-tw/resource-library/articles/dragonfly-uavs-extends-ship-radio-line-of-site-from-communication>，檢索時間：2024年6月10日

⁷ Art PreglerWhen，〈COWs Fly: AT&T Sending LTE Signals from Drones〉，https://about.att.com/innovationblog/cows_fly，February 21, 2017，檢索日期：2024年10月29日



2.繫留浮空器

美國TCOM公司設計與製造繫留浮空器，擁有超過40年的經驗，提供相關技術與服務，TCOM繫留浮空器系統已在全球多個國家和地區部署，應用於邊境安全、通信中繼、監視和偵查等領域，可全天候於高空執行任務，可配合災害應急通信、軍事等任務。TCOM繫留浮空器主要分為三大類，戰術型具部署速度快之特性，運用於戰場偵查等短期任務、營運型適用中程監控與災害應急、戰略型則屬於廣域邊境防衛和戰略監控，依搭載浮空器尺寸不同，有效載荷與諸元也不同（如圖5）。



圖 5 TCOM 戰術型浮空器

資料來源：<https://tcomlp.com/aerospace-platforms/tethered-aerostats/>，檢索日期：2024年7月25日

(二)中共

1.繫留無人機

在2017年四川九寨溝地震後，中共使用繫留型無人機進行災區通信恢復工作，因地震導致光纜中斷，傳統通信手段受到嚴重影響，繫留型無人機能夠提供穩定通信鏈路，顯著提升了救援效率，確保災區內的通信不中斷。這些無人機能夠在高空懸停，充當通信中繼平臺，利用繫留繩固定在載體與移動基站或衛星通信設備結合，透過4G/5G小型基站，通過無人機提供的高空信號覆蓋，形成應急通信網路迅速恢復災區之通信信號，提供50公尺至200公尺高空方圓30公里信號覆蓋，而繫留無人機高空基站應急通信抗震救災大多採用卓翼智能繫留無人機（如圖6）。



圖 6 卓翼智能繫留無人機

資料來源：〈繫留無人機九寨溝抗震救災高空基站應急通信中展露應用場景〉《每日頭條》<https://kknews.cc/tech/npjjxj3.html>，2017年8月18日，檢索日期：2024年6月10日

2. 繫留浮空器

極目一號浮空器（如圖7）為中國科學院空天信息研究院自主研發的繫留浮空器，運用於大氣科學觀測，浮空器上搭載水氣穩定同位素分析儀、黑碳、甲烷、臭氧等多種分析儀器與設備，能獲得大氣水氣傳輸和溫室氣體垂直變化過程關鍵科學數據。2022年5月15日極目一號浮空器在珠峰升空，升空高度達到4,762公尺。⁸此外繫留飛行載臺能發揮多大作用，取決於載荷功能應用和平臺-載荷的配合能力，除了極目一號外，科學院空天信息研究院自研的繫留飛行載臺，搭載不同載荷，已成功應用在科學觀測、應急通信、草原生態與畜牧平衡觀測、海洋中繼通信、對地觀測等典型場景中。

8 〈「極目一號」浮空艇征服珠峰 9千米高空觀測有何作用？〉，<https://www.ourchinastory.com/zh/4021/%E3%80%8C%E6%A5%B5%E7%9B%AE%E4%B8%80%E8%99%9F%E3%80%8D%E6%B5%AE%E7%A9%BA%E8%89%87%E5%BE%81%E6%9C%8D%E7%8F%A0%E5%B3%B0%20%E5%8D%83%E7%B1%B3%E9%AB%98%E7%A9%BA%E8%A7%80%E6%B8%AC%E6%9C%89%E4%BD%95%E4%BD%9C%E7%94%A8%E7%BC%9F>，檢索日期：2024年8月3日



圖 7 極目一號

資料來源：<https://www.ourchinastory.com/zh/4021/%E3%80%8C%E6%A5%B5%E7%9B%AE%E4%B8%80%E8%99%9F%E3%80%8D%E6%B5%AE%E7%A9%BA%E8%89%87%E5%BE%81%E6%9C%8D%E7%8F%A0%E5%B3%B0%20%E5%8D%83%E7%B1%B3%E9%AB%98%E7%A9%BA%E8%A7%80%E6%B8%AC%E6%9C%89%E4%BD%95%E4%BD%9C%E7%94%A8%E7%BC%9F>，檢索日期：2024年7月26日

(三)日本

1. 繫留無人機

日本公司Fukaden透過為繫留無人機（如圖8）的行動通訊基地台，在災時提供支援，現場急救人員到現場，即可部署這些重量很輕的可攜式無人機，以提供即時通訊功能，為急救人員提供快速決策以及溝通所需支援（如圖9）。



圖 8 Fukaden 繫留無人機

資料來源：<https://electronics-sourcing.com/2022/05/06/powering-tethered-drones/>，檢索日期：2024年6月3日



圖 9 災難期間繫留無人機作為通信基地台運作示意圖

資料來源：<https://www.fukaden.co.jp/energy/yusen/>，檢索時間：2024 年 6 月 13 日

2. 繫留浮空器

2011年3月11日發生東日本大地震導致以東北地區為中心的基地台倒塌毀損，造成大規模通訊故障。此時提出使用繫留氣球或船隻的大區域基地台和臨時基地台作為快速恢復通訊服務，以加強災害應變能力。繫留氣球無線中繼系統可從安裝在停泊高度約100公尺球體中的無線中繼站提供半徑5公里或更遠之通訊服務，並於2016年4月發生熊本地震與2018年9月發生海道膽振東部地震期間，用以災難復原。上述災難復原系統有效性已透過展示實驗和災難復原站點的實際運用證明可行性。⁹

(四)新加坡

1. 繫留無人機

新加坡Volarious無人機技術專業公司，開發創新的無人機以滿足不同行業和應用需求，該公司產品以繫留無人機系統為主，其產品中V-Line Pro經過優化後可與Autel EVO Max 4T（如圖10）、DJI M30等多款無人機兼容，具備快速部署、高度穩定即可兼容多款無人機等特色，可應用於公共安全、基礎設施、農業、影視製作、救災等領域。¹⁰

⁹ Atsushi Nagate, Yoshichika Ota, Kenji Hoshino, R&D of HAPS Mobile Communication Systems for Rapid Disaster Recovery, IEICE Communications Society Magazine, 2021, Volume 15, Issue 3, Pages 211-218, Released on J-STAGE December 01, 2021

¹⁰ <https://www.volarious.com/v-line-pro-tethered-drone-autel-evo-max-4t>，檢索時間：2024年7月25日



圖 10 V-Line Pro (Autel EVO Max 4T) 繫留無人機

資料來源：<https://www.volarious.com/v-line-pro-tethered-drone-autel-evo-max-4t>，檢索時間：2024年7月25日

2. 繫留浮空器

新加坡國防部於2017年向美國TCOM (Television Communication) 公司，購買高空繫留飛船 (Aerostat System)，¹¹長55公尺「繫鍊式飛船系統」(tethered aerostat system)，以及「複合式空中辨識攔截系統」(System for Hybrid Interceptor Knowledge of Recognise Air, SHIKRA)。¹²

平時為全時段戰備，海、空監偵，繫纜連結至地面站臺，浮空器高度可延伸至609.6公尺，僅需8員操作，氣球本體裝置有避雷設施，並可搭載紅外線感測器雷達、通信中繼、全球定位系統，作為早期預警雷達使用（如圖11）。¹³

11 張浩融，宋文溪，〈以新加坡空軍發展探討我國空軍建軍方向〉，《空軍學術雙月刊》，第692期，2023年2月，檢索時間：2024年4月20日

12 Robert Czulda，〈新加坡國防武力發展〉，《國防譯粹》，第四十五卷第七期，2018年8月，檢索時間：2024年4月28日。

13 黃宛寧，栗穎思，周書宇，張泰華，〈現代浮空器軍事應用〉，《科技導報》，2017年第15期，2017年8月24日，檢索時間：2024年4月20日。



圖 11 TCOM 55M 繫留浮空器

資料來源：<https://tcomlp.com/aerospace-platforms/tethered-aerostats/>，檢索時間：2024年6月10日

二、我國

(一)繫留無人機

中華電信衛星行動搶修車和雷虎科技無人機共同構成「空中基地台系統」，雷虎同軸雙旋翼無人機（CX-180 ICEMAN），能在100公尺高空定點飛行，具備長時間滯空能力，最大起飛重量可達35公斤（如圖12），能夠攜帶中華電信的4G/5G小型基地台設備。透過繫留纜線提供電力和數據傳輸，訊號由地面衛星行動搶修車上的碟型天線發送至衛星，再中繼到地面站，形成完整的行動通信網路。這一系統能克服災區道路阻斷的問題，快速為救援單位和受災民眾提供通訊支持，確保在黃金救援72小時內及時掌握災情。

雷虎無人直升機（T-150 MAVERICK），可攜帶中華電信行動通信轉發器或微型基地台（如圖13），與CX-180 ICEMAN 4G/5G通信基站連接，進一步擴展訊號覆蓋範圍，空中基地台系統可以由地面控制站向機上飛控系統傳遞訊息，預先規劃飛行路徑，實現自主且穩定的飛行功能。



圖 12 CX-180

資料來源：<https://www.ttrobotix.com/products/detail/925.html>，檢索日期：2024 年 6 月 3 日



圖 13 T-150

資料來源：<https://www.ttrobotix.com/zh-tw/products/detail/924.html>，檢索日期：2024年6月3日

(二)繫留浮空器

我國在無人機技術領域已有相當程度的發展，但浮空器發展尚未成熟，這項技術需要大量研發和測試，且開發和部署需要大資金與資源，雖然繫留浮空器在長時間運行和通信中繼方面有其優勢，但市場需求尚未達到大規模發展程



度，目前我國傾向具有優勢的無人機市場投入，因此尚未使用繫留浮空器。

三、小結

總結我國與國外繫留飛行載臺運用概況，在美國、中共、日本、新加坡等皆有運用兩種繫留飛行平臺在救災、觀測、作戰等領域，僅我國尚未發展浮空器，（各國運用差異如表4）。

表 4 各國繫留飛行載臺運用概況

國家	載臺類型	滯空時間	覆蓋範圍	主要應用場景	優勢	劣勢
美國	TCOM 浮空器	2 週以上	50 公里以上	軍事監控、邊境安全	長時間滯空、廣域覆蓋	部署成本高
美國	DPI 繫留無人機	400 小時	48 公里	海上救援、通信中繼	高續航能力、適用惡劣環境	僅限於海上、覆蓋範圍有限
中共	極目一號 浮空器	數週	數十公里	高海拔氣象觀測、通信中繼	高滯空時間、可用於高海拔地區	部署成本高
中共	卓翼智能 無人機	10 小時	30 公里	災後通信中繼、軍事通信	快速部署、應急通信快	滯空時間有限
日本	Fukaden 無人機	8 小時	20 公里	災後恢復、都市監控	快速部署、靈活應用	滯空時間受天氣影響
日本	繫留浮空器	數天至數週	5 公里以上	災後通信恢復、廣域監控	長時間滯空、穩定性高	覆蓋範圍相對有限、部署較慢
新加坡	V-Line Pro 繫留無人機	12 小時	40 公里	公共安全、基礎設施監控	快速部署、技術先進	覆蓋範圍有限

資料來源：作者自行整理



美國和新加坡利用繫留浮空器進行海空偵查和邊境安全，顯現其長時間制空和廣域監測能力，中共和日本將繫留無人機用於災害應急通信，展現其快速部署和靈活運用的優勢，我國傾向發展繫留無人機技術，以應對災害時的通信挑戰，浮空器因技術門檻、資源限制以及市場需求而尚未發展，總體而言各國在繫留飛行載臺的應用上，主要依賴無人機的靈活性與浮空器的持久性，再根據國內需求進行相應技術開發和部署。

繫留飛行載臺運用效益分析

一、地形與氣候

(一)地形

1.高山地形

地區內道路狹窄，交通網不發達，氣候多變，隱蔽性佳，為山隘要點與空中航道。此地形高度適合作為通信中繼台與雷達站，能有限度的支援通信網路與獲得雷達情資。

2.山坡地地形

標高100公尺至1,000公尺間丘陵地，與標高未滿100公尺，而平均坡度在5%以上坡地。另外海拔800公尺以下之淺山地區，對於人走路、駕駛載具容易到達的區域，正斜面易於發揚火力，且地面戰鬥易守難攻，為重要隘口的條件。此種地形能扼控空中航道與地面交通要道及瞰制盆地平原，反斜面區域則有利躲避傳統武器攻擊，適合指揮所架設與後勤輜重開設。¹⁴

3.平原地形

指低海拔之平坦土地，包括平原、盆地、沖積扇、縱谷及部分臺地。¹⁵平原多位於西半部，都會區與城鎮林立，人口密度高，農業、畜牧業與養殖業繁榮，交通網發達。臺11號道以東多為岩岸地形，且因花東縱谷南北橫互，東西向寬度淺短，多為丘陵地形，不利大型武器載具作戰。

都會區與城鎮建築物林立，高低不一，道路寬窄不一且方向複雜，易於進行欺騙引誘與組織游擊戰術，但建築物限制通訊角度與距離，且難以有效獲得空中支援（我國五大地形及分布地區如表5）。鑒於淺山與都會城鎮容易產生通訊死角問題，建議可以利用淺山海拔高度優勢，對較低海拔地區進行通信中繼，解決部分都會城鎮地區通訊死角問題，機動指揮所轉移時，可考量往淺山移動，

14 〈明智利用保育淺山〉，中華民國自然生態保育協會，<http://www.swan.org.tw/pg.php?pgid=35>，檢索時間：2024年5月5日

15 Samuel Stolton, "EU Rapid Alert System used amid coronavirus disinformation campaign," Euractiv, March 4, 2020, <https://www.euractiv.com/section/digital/news/eu-alert-triggered-after-coronavirusedisinformation-campaign/>



有助增加觀測範圍與保持通信暢通。另以既有軍民通用通訊技術與設備基礎上，持續精進戰時備援通訊方式，以利同步克服淺山與都會城鎮通訊死角問題。¹⁶

表 5 我國五大地形及分布地區

地形	分布
平原	嘉南平原、屏東平原、宜蘭平原、花東縱谷平原
盆地	臺北盆地、臺中盆地、埔里盆地、泰源盆地
台地	林口台地、桃園台地、大肚台地、八卦台地、恆春西台地
丘陵	竹東丘陵、苗栗丘陵、斗六丘陵、新化丘陵
山地	雪山山脈、中央山脈、海岸山脈、阿里山山脈、玉山山脈

資料來源：作者整理

(二)氣候

我國5、6月為梅雨季容易出現長時間陰雨天氣，冬季（12月～隔年2月）東北季風、夏季（6月～8月）西南季風，在迎風坡及內陸山區致雨，雨量空間分布受地形影響，山地多於平地，東岸多於西岸，迎風坡多於背風坡。

冬季盛行東北季風，因氣壓梯度較大，且風向和東北信風合一，故風力強勁，北部海上和沿海地區冬季風力甚強，常造成風害和砂害。而臺灣海峽風力更強，如澎湖群島的冬季，約有100多天風速超過每秒10公尺。夏季盛行西南季風，因氣壓梯度較小，且風向和東北信風相反，故風速較小。

熱帶氣旋是影響我國氣候主要因素，每年六月至十月是颱風季節，尤以八、九月最頻繁，平均每年達3.5次，常帶來狂風暴雨造成災害，颱風侵臺路線以東南-西北向最頻繁，除了強風造成屋舍毀損，熱帶氣旋所帶來的瞬間雨量也容易造成豪雨，由於降雨空間和時間分布十分不均，容易引發水災以及土石流。

16 Heng-Hsiao Kuo, Chung-Yen Lu, The Influence of Main Island Taiwan's Terrain on "Asymmetric Warfare"
檢索日期2024年5月5日



二、通信中繼現況與限制

(一)通信中繼現況

在日常通信和災害應急中，依賴於現代化的光纖網路和移動通信技術，然而地震等自然災害可能對通信基礎設施造成破壞，但我國已建立多層次備援系統，如衛星通信系統等，確保災後能迅速恢復基本通信服務。

我國地形複雜，多山地地形對地面通信網路的建設和維護也是一項挑戰，在偏遠地區，通信中繼站面臨覆蓋範圍不足的問題，雖然通信網路相對先進，但在戰時或重大災害時，對民用網路的依賴仍然是潛在的弱點，指揮靠通信，戰時，海底電纜可能會遭敵軍破壞，使網路通聯中斷，影響到作戰指揮，在自然災害發生時，基地台因毀損而導致通信斷聯，由此可知，若無多元的通信備援機制，就無法即時因應平、戰時緊急狀況。

(二)限制

2024年4月3日，臺灣花蓮發生了規模7.2的地震，地震導致電力傳輸中斷，NCC國家通通訊傳播委員會統計三大業者共172個基地台受到影響，尤其是宜花地區手機通訊。¹⁷通信基地台通常設置在能俯瞰峽谷和主要遊客服務區的山頂或高地，當地震發生時，首當其衝受到影響，我國迅速啟用了移動通信車和衛星通信系統實施救援和重建工作，然而行動通訊車疑似因用電量過大冒煙起火，這些應急系統雖能夠在設施受損的情況下提供臨時通信備援，但仍有其限制，如地形限制與電力需求。

1.地形複雜

以東部太魯閣為例，太魯閣地形多為峽谷與陡峭山壁，由於地質構造和氣候條件影響，經常有山崩及落石，尤其在地震及強降雨過後，而地震後，不僅餘震不斷，且太魯閣地勢多為人車無法進入之區域，行動通訊車與可攜式衛星之備援手段可能難以到達目標位置，此外，衛星通信需要天線對準衛星，並保持開闊視野，若處於遮蔽較多的地區，如高樓密集區、茂密森林或深谷，信號可能會受到阻擋，影響通信質量。

2.電力需求

當通信基地台因電力傳輸受到中斷時，啟用行動通訊車實施備援接替，然而行動通訊車需要穩定的電力供應，通常依賴車載發電機或外部電源，在災區，電力供應可能受到限制，影響行動通訊車之運行時間和穩定性。

3.氣候干擾

17 〈172基地台震後受影響 宜花通訊出問題業者搶修〉《公視新聞網》，<https://news.pts.org.tw/article/688664/amp>，2024年4月3日檢索日期：2024年8月1日



衛星（通信中繼）信號容易受到惡劣天氣影響，如遇下雨將會造成信號衰減或信號中斷，太魯閣位於中央山脈東側，當潮濕海洋氣流進入臺灣並遇到高山地形時，會抬升凝結形成降雨，因其地理位置與氣候特徵，常受到豐沛的降雨影響，可能會對衛星通信造成雨衰。

(三)軍用通信裝備承載分析

以陸軍地面部隊無線電CS/PRC-37C跳頻無線電機為例（技術特性如表6），若以繫留無人機為載臺，裝備性能上的限制方面：

表 6 CS/PRC-37C 跳頻無線電機

品名程式	CS/PRC-37C
頻率範圍	30.000~87.975MHz
電源電壓	11~15.8VDC
發射功率（距離）	低功率：0.01W（500公尺） 中功率：0.5W（5公里） 高功率：5W（15公里）
重量	7.5公斤

資料來源：杜詩仁，《陸軍37系列跳頻無線電機操作手冊》（國防部陸軍司令部，2018年10月31日），頁2-1。

1.重量與負載能力的限制

CS/PRC-37C無線電機重量為7.5公斤，繫留無人機負載重量約在1-15公斤，負載能力有限，如果無人機無法有效承載這樣的重量，可能會限制其滯空時間和穩定性。如果無人機負載能力不足，將導致滯空時間縮短或穩定性下降，可能無法長時間保持穩定通信中繼效果。

2.電力需求與供應的限制

繫留無人機本身電力來自地面供電或內部電池，而無線電機需要穩定的電源供應，需確保無人機系統能夠持續提供足夠電力，以支持無線電機的運行，若無人機的電力系統負擔過重，可能導致無線電機無法穩定運行。特別是在高



功率傳輸模式下，電力消耗更大，可能加速縮短滯空時間。

3.發射功率與通信範圍

CS/PRC-37C無線電機發射功率為0.01W、0.5W、5W，根據發射功率不同，通信範圍從500公尺到15公里不等。在繫留無人機應用中，通常會利用無人機的高度來增大信號覆蓋範圍，但功率限制仍會影響通信有效範圍，在低功率或中功率下，無線電機通信範圍有限，如果要達到長距離通信效果，必須使用高功率模式，但這會加劇電力消耗，對滯空時間有一定程度影響。

4.通信頻率與干擾問題

跳頻通信可以減少通信干擾風險，但繫留無人機可能在高空中暴露於更多的電磁干擾源（如其他無線電信號、雷達等），在密集電磁環境中，仍可能面臨一定之信號干擾問題，無人機高度優勢可以幫助提升通信效果，但干擾問題可能仍無法完全避免。

5.尺寸與空間限制

CS/PRC-37C無線電機體積較大，繫留無人機機體空間有限，無線電機的體積可能會對安裝配置帶來挑戰，特別是在需要攜帶多個設備之情況下，機載空間有效利用將是一個限制因素。

三、繫留飛行載臺之SWOT分析

（一）繫留無人機

1.優勢（Strengths）

（1）快速部署：繫留無人機能夠在短時間內快速部署，特別適合應急通信和災後恢復。例如，中共卓翼智能無人機和日本Fukaden無人機在災區快速恢復通信。

（2）靈活性高：繫留無人機系統靈活性強，適合應用於地形複雜的區域，如都市和山區，特別是在短期應急需求的情況下。

2.劣勢（Weaknesses）

（1）滯空時間有限：繫留無人機滯空時間相對較短，受限於電纜供電，一般持續幾小時到數天，不如浮空器的長時間滯空。

（2）負載能力有限：繫留無人機的負載能力相對較小，難以搭載大量通信設備，覆蓋範圍有限。

3.機會（Opportunities）

（1）應急通信需求增加：隨著全球自然災害和應急事件的頻發，繫留無人機在災後迅速恢復通信之應用需求持續增長。

（2）技術進步：電池技術和通信技術的進步將有助於延長繫留無人機滯



空時間，並增強其通信覆蓋能力。

4.威脅（Threats）

(1)天氣限制：繫留無人機易受惡劣天氣條件影響，尤其在強風或暴雨情況下可能無法穩定運行。

(2)競爭技術：隨著其他通信技術（如低地球軌道衛星通信技術）的發展，繫留無人機可能面臨市場競爭壓力。

(二)繫留浮空器

1.優勢（Strengths）

(1)長時間滯空：繫留浮空器具備長時間滯空能力，能在高空中運行數週甚至數月，適合長期通信中繼和大範圍監控，如美國TCOM和中共極目一號的浮空器系統。

(2)廣域覆蓋：浮空器能夠在高空運行，通信覆蓋範圍可達數十公里，適合邊境監控、海洋安全和災後大範圍通信恢復。

2.劣勢(Weaknesses)

(1)部署時間長：繫留浮空器需要較長時間部署，並且需要固定的地面站，這使其在應急狀況下之反應速度不如繫留無人機。

(2)高成本：浮空器的部署和維護成本較高，尤其是在進行長期監控或廣域通信覆蓋時，對基礎設施要求較高。

3.機會(Opportunities)

(1)國防需求增加：隨著國防安全需求的增加，繫留浮空器在長期通信監控中的應用前景廣闊，特別是在偏遠地區或海上安全監控方面。

(2)全球市場擴展：隨著災害管理和應急通信市場的擴展，繫留浮空器技術有望在更多國家和地區得到應用。

4.威脅(Threats)

(1)天氣及地形限制：繫留浮空器易受惡劣天氣條件影響，尤其是強風、暴雨等環境下，可能會影響其穩定性及通信質量。

(2)基礎設施限制：由於浮空器需要地面站進行操作，其部署可能受限於現場基礎設施的可行性，這在偏遠或災後損壞嚴重地區是一大挑戰。

四、繫留飛行載臺適用範圍

繫留飛行載臺在我國通信運用中的應用場景有災害應急、邊境監視和偏遠地區通信、軍事任務等，並針對機動性、高度、滯空時間、通信覆蓋範圍、載重能力、成本、部署速度等面向實施分析（如表7）。



表 7 繫留無人機與繫留浮空器運用效能分析

項目	繫留無人機	繫留浮空器
機動性	高	低
高度	50-200公尺之間	100公尺-5,000公尺
滯空時間	長時間（數小時至數天）	更長時間（數天至數月）
覆蓋範圍	直徑2-5公里	直徑5至15公里，部分高性能浮空器的覆蓋範圍可以達到20公里以上
	中等，適合中小範圍通信覆蓋	廣泛，適合大範圍通信需求
載重能力	中等，適合輕量通信設備	高，適合重型通信設備
成本	相對低	相對高
部署速度	快速部署，適合緊急通信	部署相對較慢，但可長期穩定運行

資料來源：作者自行整理

繫留無人機適合在低空靈活運用，繫留浮空器則能在高空進行廣域運用，其不同地理環境中各有所長，兩者運用救災、觀測、作戰效能分析如下：

(一)救災

1.繫留無人機

機動性高、可快速部署且能克服崎嶇地形，並飛行於50-200公尺之低空，提供即時高清影像和數據傳輸，協助救援隊伍進行現場評估和人員搜索。

2.繫留浮空器

機動性與部署速度相較慢，但覆蓋範圍及滯空時間較長，可長期穩定運行，適用廣域災害監測，如大型洪水或森林火災，能夠在高空長時間穩定懸浮，提供大範圍的觀測覆蓋，幫助評估災情和指導救援行動。

(二)觀測



1.繫留無人機

具備靈活性和機動性，在地勢複雜環境進行較為精細的數據蒐集。

2.繫留浮空器

飛行高度可達100公尺至5,000公尺之高空，適用氣象觀測、氣候研究、邊境監控，且具備長時間穩定運行能力，能進行連續高空數據蒐集和環境監測。

(三)作戰

1.繫留無人機

機動性高，戰時可迅速轉移作戰地點，相較於大型車載設備，更易於隱蔽與掩蔽，不易遭敵偵蒐，且成本支出相對低，可滿足作戰需求。

2.繫留浮空器

可長時間運行於高空，不受遮蔽物影響通信的穩定性，但浮空器本體體積較大，不易掩蔽，空優條件受到限制，再者，移動平台為車載或船舶型式，臺灣地形複雜，在戰場上轉移作戰區域容易受地形限制，不利作戰。

就我國地理環境而言，繫留無人機適合在城鎮和局部災區提供靈活的應急支援，而繫留浮空器則適合在山區(高空優勢、避開地形障礙、通信盲區高空中繼站)和廣域海域進行監測和通信中繼（效能分析如表8）。

表 8 繫留飛行載臺運用救災、觀測、作戰效能分析

區分	繫留無人機	繫留浮空器
救災	低空 機動性高 快速部署 適合崎嶇地形	高空 滯空時間長 覆蓋範圍大 適合廣域災害監測
觀測	適合複雜環境的精細數據收集	適用長期環境監測與氣象觀測
戰時	可迅速轉移作戰地點 易於隱蔽	滯空時間長 不易隱蔽
地理環境	適合城鎮和局部災區	適合廣域山區和海域

資料來源：作者整理



五、小結

臺灣地形多樣化與氣候條件使通信中繼的部署面臨挑戰，高山和山坡地區因地勢隱蔽且有高度優勢，適合作為通信中繼站與雷達站，平原與都會區則因建築密集，易產生通信死角。在日常通信和災害應急中，主要依賴光纖網路和移動通信技術，但颱風、地震等自然災害可能導致通信設施損毀或干擾，影響應急通信的穩定性。

繫留無人機應用廣泛，具備快速部署和靈活運用的特性，在災害應急與短期監控中具顯著的優勢，適合地形複雜的區域，如都市城鎮，能在災害應急、短期監控及戰時提供即時高清影像和數據支持，具備隱蔽性高與快速轉移的優勢。然而，無人機受限於負載能力、電力需求、通信範圍電磁干擾等，更適合輕量通信設備與中小範圍需求。

繫留浮空器具長時間滯空與廣域覆蓋能力，適用於邊境監控、海洋安全及廣域災害監測等長期需求，在大型災害監控、氣象研究和高空通信中具備獨特優勢，但因部署時間長且需要固定地面站，加上體積較大，不易隱蔽，對應急需求的即時性支援較弱，而高昂的部署和維護成本也是一項限制。

臺灣因面積小，城鎮密布性高，以經濟效益與適用性方面而言，可用最少的成本獲得最大效益為其首要。以烏俄戰爭為例，烏克蘭以「星鏈」(Starlink)衛星站作為通信基地台之備援，但其獨特的天線不易掩蔽，容易成為俄國攻擊的目標，然而該系統使用成本昂貴，烏克蘭人民實際上並未使用，目前僅由軍隊與政府機構用於在通訊難以到達的地方。¹⁸。繫留無人機能以較低成本滿足多樣化需求，特別是在地形複雜且應急需求高的場景中，目前無人機技術較為廣泛，設備維護上相對容易，加上我國目前市場需求與技術發展皆以無人機為主，因此考量兩者之運用效益、成本和需求，現階段仍以繫留無人機較具發展性。

結論與建議

一、結論

我國2021年至2024年國防預算逐年增長，預算成長反映了臺灣面臨區域軍事壓力，除了提升軍事設備和防禦能力外，也可視為對軍事現代化的高度重視。¹⁹近年來我國不斷加強國防自主能力，其中無人機也被納入國機國造計畫中。為了加速無人機產業發展與提升競爭力，行政院將無人機納入「六大核心戰略性產業

18 汪哲仁，〈烏克蘭戰時維繫網路運營之觀察〉《國防安全雙週報》，第51期，2022年，頁60。

19 Dotson, John. "Taiwan Announces an Increased Defense Budget for 2024." Global Taiwan Brief, vol.8, no.18, 2023, pp. 3-6.



」，推動無人機產業的全面發展。

由於烏俄戰爭的影響，無人機在不對稱作戰中扮演關鍵角色，自2022年起，經濟部與國科會、國防部共同成立軍用商規無人機遴選作業指導小組，根據國防部需求，選定系統整合主導廠商，並展開3類5款軍用商規無人機的研發工作。同時經濟部也啟動「A+企業創新研發淬鍊計畫-軍用商規無人機發展計畫」，並開放主導廠商申請研發補助，協助開發無人機關鍵模組與技術，充分顯示政府推動無人機產業發展的強烈決心與支持。²⁰

各國已廣泛運用繫留飛行載臺於救災通訊中繼，因災區道路毀損使人員無法抵達，在地面重建臨時通訊有其限制，透過部署於災區，提供救災人員及災民通訊串聯，輔助後勤即時指揮及調度，並視需要運用於軍事、氣象觀測及廣域監控等方面。我國可根據不同災害場景和需求，以軍民結合方式，合理配置繫留無人機，如因天災導致人車無法通行之地區，可運用繫留無人機的機動性，完成救災任務，在災害多發地區預先部署這些設備，縮短反應時間，確保在救災任務中的最佳運用，建立有效的資源管理和調度系統。

二、建議

繫留無人機機動性強、成本低且技術發展程度高，不僅能迅速部署，也可減輕傳統人力與資源負擔，運用廣泛及多元具備發展潛力，為未來的應用拓展提供更廣闊空間，透過持續的研究與開發，可進一步強化在災害應變、智慧化管理與監控的功能。

(一)災後通信中繼

繫留無人機能夠快速部署於颱風和地震天災後，當基地台通信基礎設施受損時，如災區範圍較大，無法單靠一架繫留無人機，進行通信覆蓋時，可以使用多架無人機構建自組織網路，透過無人機間的中繼連接，形成多層通信中繼，每個無人機可作為一個接力點，將信號傳遞至更遠之區域，最終與地面控制站或衛星系統連接，與衛星通信結合用來與低地球軌道（LEO）衛星或地球同步軌道（GEO）衛星進行連接，無人機升空後可以接收來自衛星的信號並作為中繼站，進行地面與衛星的通信轉接，可以解決因地形、距離導致的地面通信範圍不足問題，確保通信暢通。

數據標準化與數位管理透過資源標準化分類，建立數位資源管理系統，並結合GPS定位和傳感器，將監控數據回傳指揮中心，更新設備高度與覆蓋範圍

20 〈經濟部無人機產業發展專案辦公室揭牌 加速產業推動提升競爭力〉《經濟部》，https://www.moea.gov.tw/MN/S/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=113248#:~:text=%E7%B6%93%E6%BF%9F%E9%83%A8%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%94%A2%E6%A5%AD%E7%99%BC%E5%B1%95，檢索日期：2024年9月29日



等，整合GIS結合災情實況、地形條件和設備可用性，提供即時更新與共享功能，以利災時可快速調度，再根據不同救災情境，如地震、土石流、颱風等，進行無人機的需求預測，分配無人機進行局部區域覆蓋和精確監控，並確保各部門協調合作，提高救災效率。

(二)局部監控與巡邏

在作戰或防衛區域部署繫留無人機，可快速提供局部區域的臨時監控和情報蒐集能力，適應海島型國家特有的地形與安全威脅。臺灣四面環海，繫留無人機可部署在沿海防禦區域，進行24小時持續監控，迅速發現海上不明船隻、可疑活動或邊境入侵威脅，提升國防安全能力。無人機的靈活性和高機動性使其能迅速應對沿海地區安全問題，並減少地面巡邏的資源消耗，納入臺灣國土安全防衛系統，結合5G技術、人工智能和大數據分析，構建智慧監控與防衛系統，實現即時反應和持續之國防安全保障。

參考文獻

一、期刊：

(一)曾陳祥，〈軍用飛船對我軍事運用〉，《海軍學術雙月刊》，第五十二卷第五期，2018年十月。

(二)王岳吉，〈平流層飛船之軍事運用與發展〉，《陸軍通資半年刊》，第135期，2021年4月。

(三)張浩融，宋文溪，〈以新加坡空軍發展探討我國空軍建軍方向〉，《空軍學術雙月刊》，第692期，2023年2月，檢索時間：2024年4月20日。

(四)Robert Czulda，〈新加坡國防武力發展〉，《國防譯粹》，第四十五卷第七期，2018年8月，檢索時間：2024年4月28日。

(五)Baha Eddine Youcef Belmekki and Mohamed-Slim Alouini, "Unleashing the Potential of Networked Tethered Flying Platforms: Prospects, Challenges, and Applications," in IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 3, 2022

(六)Atsushi Nagate, Yoshichika Ota, Kenji Hoshino, R&D of HAPS Mobile Communication Systems for Rapid Disaster Recovery, IEICE Communications Society Magazine, 2021, Volume 15, Issue 3, Released on J-STAGE December 01, 2021。

(七)汪哲仁，〈烏克蘭戰時維繫網路運營之觀察〉，《國防安全雙週報》，第51期，2022年。

(八)Dotson, John. "Taiwan Announces an Increased Defense Budget for 2024." Global Taiwan Brief, vol. 8, no. 18, 2023



二、專刊：

黃宛寧，栗穎思，周書宇，張泰華，〈現代浮空器軍事應用〉，《科技導報》，2017年第15期，2017年8月24日，檢索時間：2024年4月20日。

三、網際網路：

(一)謝育哲，〈稍縱即逝的天空霸主—飛船紀元〉，《科學月刊》，594期，2019年6月2日，<https://www.scimonth.com.tw/archives/13>，檢索時間：2024年4月15日

(二)〈臺灣有哪些重要的天然災害?〉《中央氣象署數位科普網》，<https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/index.php/prevention/151-%E8%87%BA%E7%81%A3%E6%9C%89%E5%93%AA%E4%BA%9B%E9%87%8D%E8%A6%81%E7%9A%84%E5%A4%A9%E7%84%B6%E7%81%BD105>，檢索日期：2024年6月3日。

(三)<https://www.vicorpower.com/zh-tw/resource-library/articles/dragonfly-uavs-extends-ship-radio-line-of-site-from-communication>，檢索時間：2024年6月10日

(四)〈Differences between Captive Aerostats and Tethered Drones and how they Complement each other〉，<https://elistair.com/resources/military-drones/complementarity-and-differences-between-captive-aerostats-and-tethered-drones/>，31 Mar 2022，檢索日期：2024年，6月10日

(五)〈明智利用保育淺山〉，中華民國自然生態保育協會，<http://www.swan.org.tw/pg.php?pgid=35>，檢索時間2024年5月5日

(六)Samuel Stolton, “EU Rapid Alert System used amid coronavirus disinformation campaign,” Euractiv, March 4, 2020, <https://www.euractiv.com/section/digital/news/eu-alert-triggered-after-coronavirusdisinformation-campaign/>

(七)Heng-Hsiao Kuo, Chung-Yen Lu, The Influence of Main Island Taiwan's Terrain on “Asymmetric Warfare”，檢索日期2024年5月5日。

(八)〈「極目一號」浮空艇征服珠峰 9千米高空觀測有何作用?〉，<https://www.ourchinastory.com/zh/4021/%E3%80%8C%E6%A5%B5%E7%9B%AE%E4%B8%80%E8%99%9F%E3%80%8D%E6%B5%AE%E7%A9%BA%E8%89%87%E5%BE%81%E6%9C%8D%E7%8F%A0%E5%B3%B0%20%E5%8D%83%E7%B1%B3%E9%AB%98%E7%A9%BA%E8%A7%80%E6%B8%AC%E6%9C%89%E4%BD%95%E4%BD%9C%E7%94%A8%E5%BC%9F>，檢索日期：2024年8月3日

(九)<https://www.volarious.com/v-line-pro-tethered-drone-autel-evo-max-4t>，檢索時間：2024年7月25日

(十)〈172基地台震後受影響 宜花通訊出問題業者搶修〉《公視新聞網》，<https://news.pts.org.tw/article/688664/amp>，2024年4月3日檢索日期：2024年8月1日



(十一)〈經濟部無人機產業發展專案辦公室揭牌 加速產業推動提升競爭力〉《經濟部》，https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=113248#:~:text=%E7%B6%93%E6%BF%9F%E9%83%A8%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%94%A2%E6%A5%AD%E7%99%BC%E5%B1%95，檢索日期：2024年9月29日

(十二)Art PreglerWhen，〈COWs Fly: AT&T Sending LTE Signals from Drones〉，https://about.att.com/innovationblog/cows_fly，February 21, 2017，檢索日期：2024年10月29日

作者簡介

吳姿瑩上士，陸軍專科學校專12期，陸軍通信電子資訊訓練中心士官高級班53期，經歷：有線電話務士、載波繼電作業士、組長，現任陸軍通信電子資訊訓練中心通信電戰組教官。

