

評論 台灣 深度

## 呂禮詩：中國氣球「不對稱」監偵模式滲透領空，台灣如何因應？

中國為什麼在佔有太空的「新高地」後，還要退而求其次地回頭應用這老掉牙的監偵方式？



2023年2月5日，南卡羅來納州的美國領海，工作人員回收一個疑似中國監視氣球，該氣球在周末被美方擊落。攝：U.S. Fleet Forces/Reuters/達志影像

呂禮詩 | 2023-02-18

中國氣球    軍事分析    台灣國防

（呂禮詩，新江軍艦前艦長、東吳大學政治學系博士生）

2022年，中國完成天和核心艙與夢天實驗艙、問天實驗艙的對接合一，形成天宮太空站「T」字基本構型組合體；此為人類自1986年的和平號太空站、及1998年的國際太空站後，在近地軌道（Low Earth orbit）所建造的第三座大型在軌太空實驗平台。不過，近期中國頻繁出現在美國及加拿大領空的「氣球」，不禁令人疑惑，中國為什麼在佔有太空的「新高地」後，還要退而求其次地回頭應用這老掉牙的監偵方式？

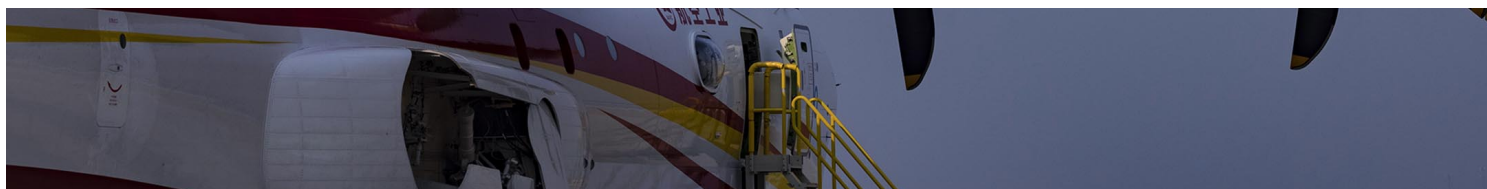
從今年2月初迄今，美國及加拿大分別在南卡羅來納州外海、阿拉斯加州、加拿大育空（Yukon）地區與美加邊境的休倫湖（Lake Huron）等美國及加拿大領空發現中國「間諜氣球」蹤跡，後由美軍出動F-22「猛禽」（Raptor）及F-16「戰隼」（Fighting Falcon）戰機發射AIM-9X響尾蛇（Sidewinder）飛彈擊落該四枚氣球。

其中最值得注意的是，1月28日進入阿拉斯加空域、經過了部署150座美軍義勇兵三型（LGM-30G Minuteman-III）洲際彈道飛彈（intercontinental ballistic missile, ICBM）發射井（silo）的蒙大拿州（Montana）馬爾姆斯特羅姆空軍基地（Malmstrom AFB），最後飛越了大半個美國後，在南卡羅來納州外海遭F-22擊落的第一枚氣球。

在氣球被擊落後，殘骸送往聯邦調查局（FBI）維吉尼亞州匡蒂科（Quantico）實驗室，除了尋獲30至40英尺的天線陣列外，另發現可能用於情報蒐集的感測器；在氣球殘骸分析結果公布前，間諜氣球的能力只能從中國民間，以及軍方學術論文中的蛛絲馬跡，探尋真相。







2022年9月16日，湖北，中國製造的浮空器在荊門漳河機場試飛。攝：Shen Ling/VCG via Getty Images

## 浮空器為中國產官學研共同研發之成果

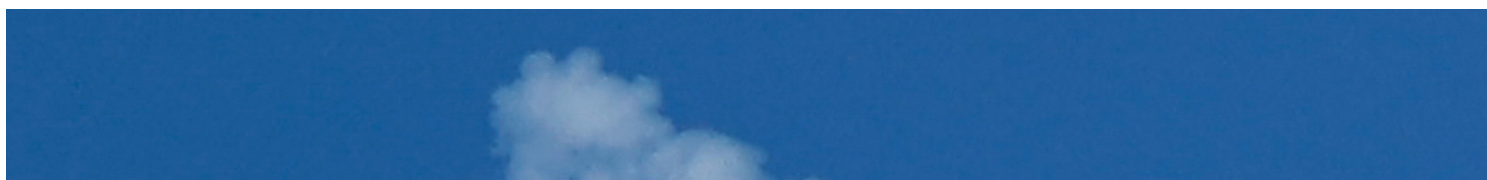
所謂間諜氣球，其外型雖然像氣球一般，但飛行高度與作業模式，更似飛船；此類飛艇與繫留氣球、自由空飄氣球等，解放軍將其劃規為「浮空器」。

所謂間諜氣球，其外型雖然像氣球一般，但飛行高度與作業模式，更似飛船（airship）。參考2011年中國空軍裝備研究院雷達與電子對抗研究所以「浮空器平台在預警監視領域應用研究」為題發表的論文，此類飛艇（airship）與繫留氣球、自由空飄氣球等，解放軍將其劃規為「浮空器」（aerostat）；在查找相關中國期刊或碩博士論文，亦多數以「浮空器」稱之。

中國對浮空器的調查研究，源自於1996年期刊《艦船電子對抗》對美軍「機動空中目標支援系統」（Mobile Aerial Target Support System, MATSS）的探討，但全面性的調研始於2011年由中國航空學會主辦的浮空器大會，探討浮空器使用於空中預警、指揮通信、反恐及反潛的可能性。

此後上海交通大學、北京航空航天大學、西北工業大學、哈爾濱工業大學、南京航空航天大學、重慶郵電大學、國防科技大學、中國科學院大學、空軍工程大學、中國空間技術研究院、西北核技術研究院、中國科學院空天信息創新研究院，以及海軍負責無人載具研製的92149部隊，針對浮空器的構型設計、控制系統、路徑規劃、偵蒐載具、衛星交鏈及太陽能電池陣列等領域發表了百餘篇論文。

以上包括了「985工程」、「211工程」及解放軍「2110工程」重點建設院校，國務院直屬事業單位、中國航天科技集團、中央軍委裝備發展部所屬研究所及解放軍部隊等單位。簡言之，浮空器實際上是中國產官學研共同合作研發的成果。





2023年2月4日，美國南卡羅來納州，疑似是中國氣球在海岸被擊落後飄到海洋。攝：Randall Hill/Reuters/達志影像

## 浮空器設計比想像中嚴謹

浮空器的設計遠比想像中的嚴謹，且運用匿蹤設計、空氣動力、複合材料、系統控制、人工智慧、太陽光電、大氣物理、「情報、監視、偵察」目獲及系統控制等科際整合的成果。

從相關論文中認識到，浮空器結構部分，研發之初即從空氣阻力、環向應力（hoop stress）及表面積進行最佳化設計，以適應平流層的飛行環境；並檢測電磁散射特性對浮空器雷達截面積（Radar cross-section, RCS）的影響，分析太陽輻射及地面反照率（surface albedo）等環境輻照因素對浮空器蒙皮材料、內部氦氣和及多囊體間的熱平衡。

飛行控制的部分，從浮空器的浮力、推力、空氣動力及附加慣性力，建立X、Y、Z直角坐標軸與滾轉（Roll）、俯仰（Pitch）和偏航（Yaw）的六自由度（six degrees of freedom, 6-DOF）受力分析。透過氣囊閥改變高度與螺槳動力變換航向，進而從浮空器實際位置進行軌跡規劃與自動導航，將浮空器組成類衛星般的「艦隊」（fleet），依指令進行戰術運動，或在應急狀況下實施空中逃逸。

關於太陽能電池陣列的研究，中國學者及航天科技集團2013年在期刊《先進材料研究》（Advanced



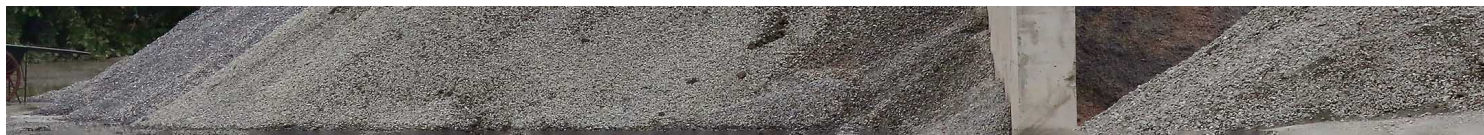
Materials Research) 論證，浮空器於平流層保持航向的水平姿態飛行，輻射強度 (radiant intensity) 將隨著航向和俯仰角產生變化，太陽能電池陣列的輻射接收亦將隨之改變；然浮空器俯仰的影響大於航向，且發現日出日落對輻射量的影響是對稱的。2021年則在期刊《航太科學與技術》(Aerospace Science and Technology) 發表了旋轉太陽能電池陣列，可依航向、高度與緯度旋轉，獲得最大日照量 (insolation)，以全面提高太陽能電池陣列輸出功率。

對於飛行環境的影響，汗牛充棟的研究亦有進行浮空器上升至平流層過程中結露現象對蒙皮的熱力學及空氣動力影響。另近年因全球暖化造成極地與中緯度地區的溫度差縮小，導致噴射氣流 (Jet Stream) 減弱而發生「極地渦旋」(polar vortex) 南移的現象，學者對此進行了浮空器承載系統的影響評估，並設計熱平衡裝置調節承載系統艙內溫度。

至於偵蒐能力部分，論文亦有研究搭載逆合成孔徑雷達 (Inverse Synthetic Aperture Radar, ISAR) 的成像技術，並探討如何使用演算法降低浮空器的不穩定運動對逆合成孔徑雷達所造成的影響。然為降低浮空器的負載與耗電，獲得的數據資料經加密與傳輸，透過中繼衛星回傳地面接收站進行後續處理；甚至浮空器上各裝備使用無線隨意網路 (Wireless Ad Hoc Network, WANET) 構連，以減少浮空器上裝備間的纜線重量。

從以上中國產官學研論文的爬梳可知，浮空器的設計遠比想像中的嚴謹，且運用匿蹤設計、空氣動力、複合材料、系統控制、人工智慧、太陽光電、大氣物理、「情報、監視、偵察」(Intelligence, surveillance, reconnaissance, ISR) 目獲及系統控制等科際整合的成果。





2015年12月22日，廣東省深圳市的一個工業園區後，一艘浮空器出現在廢墟上。攝：Edward Wong/South China Morning Post via Getty Images

## 浮空器彌補衛星偵照不足

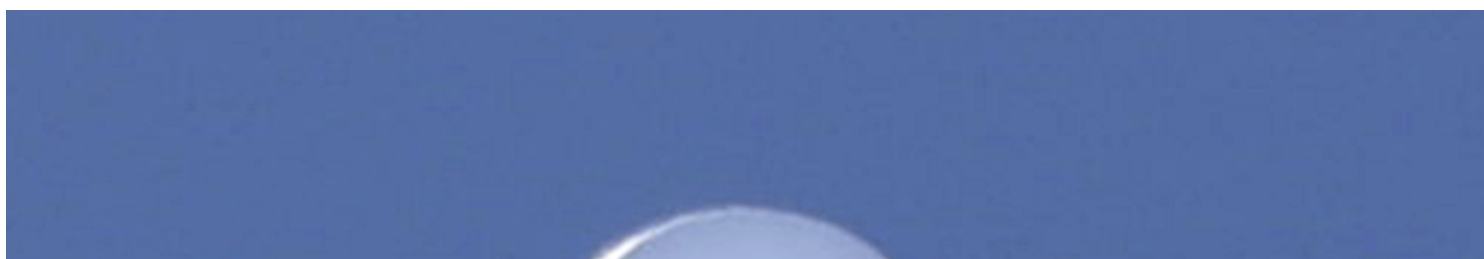
浮空器真正的目的是為了彌補衛星偵照的不足，且可截獲各國在內陸和大洋中軍演或裝備測試的電磁參數。

特別需要留意的是，浮空器飛越他國領空絕非僅用於蒐集大氣參數，真正的目的是為了彌補衛星偵照的不足，且可截獲各國在內陸和大洋中軍演或裝備測試的電磁參數。

此外，美國政府在擊落第一枚浮空器後，從殘骸證據及中國軍方的採購平台資訊，明快的將疑似涉及浮空器計畫的國營及民企列入出口黑名單，包括號稱為國家戰略科技力量、軍工電子主力軍的中國電子科技集團，與東莞凌空遙感科技有限公司、鷹門航空科技集團有限公司、廣州天海翔航空科技有限公司、山西鷹門航空科技集團有限公司及北京南江空天科技股份有限公司等五家民營企業。

然而從美國政府制裁與中國軍方有直接關係及解放軍批准供應商的舉措來看，也證實了浮空器是中國自2016年推出《關於經濟建設和國防建設融合發展的意見》以來，發展「軍民融合」（Military-Civil Fusion, MCF）政策現已收開花結果之效。

不只是美國，日本、台灣，甚至南美洲都曾經發現浮空器。日本防衛省14日深夜證實：日本防衛省在美軍擊落浮空器後，綜合分析2019年11月在鹿兒島薩摩川內市、2020年6月在仙台市、2021年9月在青森縣八戶市，與2022年1月在九州西方的公海上發現的來源不明氣球型飛行物，「強烈懷疑」都是來自於中國。防衛大臣濱田靖一15日表示，未來將採取必要措施；防衛省已透過外交管道，要求中國政府進行調查，並強烈要求中國政府杜絕類似事態，且強調日方絕不能容忍外國無人偵察氣球侵犯日本領空。







2020年6月17日，日本宮城縣仙台市上空出現一個氣球。攝：The Yomiuri Shimbun/AP/達志影像

日前台灣中央氣象局局長鄭明典則在臉書貼文表示，氣象局至少曾在三個不同日期記錄到高空不明物體，雖然國防部澄清2021年9月出現的浮空器位於外海而非台北上空，但2021年12月合歡山鳶峰停車場目擊的浮空器，其外形及酬載與美國發現的第一枚浮空器極為相似，且拍攝的角度接近「正上空」（on top），顯示解放軍早已使用此一「不對稱作戰」（Asymmetric warfare）模式滲透台灣領空。

相較於日本的強烈態度，台灣政府的反應實則隱諱。先是氣象局長突然刪除臉書上高空不明物體的照片和影像，並表示後續不再對外說明；其後，英國《金融時報》（Financial Times）披露了高空不明物體平均以每月一次的頻率入侵台灣空域，國防部僅表示對台灣空域狀況的有效掌握，並未如日本般譴責，反而以「蒐集大氣參數」作為回應。

多家台灣媒體曾報導指出，2022年俄烏戰爭爆發前後，曾有多批高度約在9000至10000英呎（約2743公尺至3048公尺）左右的氣球，在基隆、桃園、新竹、台中上空偵獲；通過本島後，進入東北、東部海域上空。以此高度而言，皆在台灣「幻象2000」（Mirage 2000）、F-16「戰隼」及「經國號」（F-CK-1 IDF）三型主力戰機實用升限（service ceiling）之內。

如依照去年10月，國防部長在立法院外交及國防委員會接受質詢時所謂的「航空器實體飛越領空，就算第一擊」之標準，可借鏡美軍在美加邊界附近的密西根州休倫湖上空發現不明飛物體的經驗，發射短程空對空飛彈擊落進入領空的目標；如有「附帶損害」（collateral damage）的考量，亦可效法美軍攔截第一枚浮空器時在領海內擊毀。

同時，若為避免以台灣西岸防空飛彈部隊發射防空飛彈攔截浮空器時，電磁波參數為解放軍截獲，亦可在浮空器飄過中央山脈後由東岸的防空飛彈部隊向東發射防空飛彈攔截，都是可行之道。

國防部應正視中國以浮空器進行「不對稱」監偵模式，研擬及執行反制作為，一味地重複「聯合情監偵可有效掌握」、「依《國軍經常戰備時期突發狀況處置規定》應處」等制式官方回應，甚至明知解放軍在進行情報刺探，且沒有確鑿的證據下，幫解放軍以「氣象科研使用」唾面自乾的自圓其說，此無異告訴鄰近強權：懦弱的國軍，讓台灣選擇了屈辱。