



從嫦娥工程探討月球戰略新形勢

空軍上校 王大宇

提 要

自古以來月球就是地球的忠實衛星，也是上天送給人類最珍貴的資產，例如：氦-3 是目前已被世界公認為高效、清潔、安全且廉價的核融合發電燃料，而月球淺層即含有至少百萬噸以上，足可供地球全人類使用上萬年。然而，月球上的豐富資源並不會自己從天上掉下來，必須要有能力登上月球開採，才能分享這份無價之寶，故當代航太科技強權開發及利用月球資源的共識原則為：「月球是全人類所共有的，誰先利用，誰先獲益。」近年來透過中國大陸「嫦娥工程」跨越式積極發展，重返月球勢必成為航太科技大國競逐的戰略新形勢。此外，距離地球約38萬公里的月球，因自轉與公轉同步而永遠以同一面朝向地球的物理特性，如此絕佳的外太空戰略載台，相信未來有可能是太空反制作戰眾兵家必爭之地。

中國大陸「嫦娥五號」擬於2017年在海南文昌航太發射中心發射，並於2020年前完成採集月球關鍵性樣品返回地球的第三期任務，未來必將逐步實現載人登月及長久駐月的航天戰略，加速發展組建「天軍」，以達先發制人的目的。面對此發展趨勢及威脅，我國應積極參與國際航太科技合作、重視航太研發人才培育、發展核融合能源科技及戰術高能雷射武器，並儘速建立完善的地下化防護措施，發展不對稱作戰策略，以建立「防禦性太空反制」作戰能力。

關鍵詞：月球、嫦娥工程、氦-3、太空反制

前 言

在英語中月亮的專有名稱為「Moon」，係源自於原始日耳曼語「Mǣnōn」；而月

球在現代英語的主要形容詞是「Lunar」，則源自拉丁文的「Luna」。¹自古以來各民族對月亮均有不朽、浪漫的神話故事，而且多以月亮來形容女性的溫柔與美麗，例如：

¹ 維基百科，〈月球〉，《維基百科網》，2014/9/16日修訂，〈<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%88%E7%90%83>〉。(檢索日期:2014年11月1日)

中國的嫦娥奔月、日本的月亮女神—輝夜姬(Kaguya)、古希臘月神—阿提密斯(狩獵之神)、古羅馬月亮女神—狄安娜等。

2013年12月2日凌晨0130時中國大陸²於西昌衛星發射中心以長征三號乙遙23型運載火箭成功載送「嫦娥三號」探測器奔向太空，在飛往月球的軌道中經歷二次中途精確修正後，於12月6日1753時順利進入距月面平均高度約100公里的環月軌道；12月10日2120時在月球背面成功實施變軌，並順利進入近月點高度約15公里，遠月點高度約100公里的橢圓軌道；12月14日2111時在月球西經19.5度、北緯44.1度的「虹灣」³以東預定區(如圖一所示)成功軟著陸；12月15日0435時「嫦娥三號」著陸器與「玉兔號」⁴巡視器(月球車，如圖所示)順利分離，⁵透過北京航天飛行控制中心科技人員一連串的精確控制下，標誌著中國大陸已正式成為世界上第三個實現地外天體軟著陸的國家，同時也再度燃起另一波月球戰略新形勢的競逐。

2009年9月下旬中國大陸「嫦娥工程」

首席科學家—歐陽自遠⁶院士首度受邀來臺，並以〈神秘的月球與中國的月球探測—嫦娥工程〉為題，現身說法，分享第一手且最核心的經歷，吸引臺灣許多慕名而來的航太專家、學者及聽眾。特別值得一提的是歐陽自遠院士口述：於1978年當時中國大陸國家主席華國峰曾接受美國總統卡特致贈一顆如手指甲般大小的半圓型月球取樣石，全重僅約1公克，隨即轉交其所領導的研究團隊，僅以半顆執行破壞性分析(另一半重新封存後仍陳展於北京天文館)，計發表了14篇研究論文，⁷足證其早已被中國大陸視為舉足輕重的天文與地質科學家。透過探月所獲第一手科學數據及最新的全月球影像分幅圖，也讓作者對「嫦娥工程」的成果與未來發展，產生強烈的研究動機。此外，本研究主要目的旨在透過詳實彙整及深入研析中國大陸探月工程珍貴文獻資料，期以太空戰略制高點的觀點提出建言，並作為國內後續研究者及相關政府部門參考依據，共同為我國航太科技發展研擬具體可行的因應之道。

2 遵奉總統馬英九先生回歸憲法指示，並考量學術單位與機構全銜的一致性，律定本文引用參考資料內容有關「中共」與「解放軍」稱謂，除專有名詞外，均分別使用「中國大陸」與「共軍」取代之。例如「中國科學院」、「中國科技大學」、「中國大陸版圖」、「中國大陸國家主席」、「中國大陸探月工程」等，依此類推。另轉載之「言論原文」及「學術註腳」等部分，則依學術倫理與原著內容陳述，例如中國「航天」一詞等同於我國「航太」等。

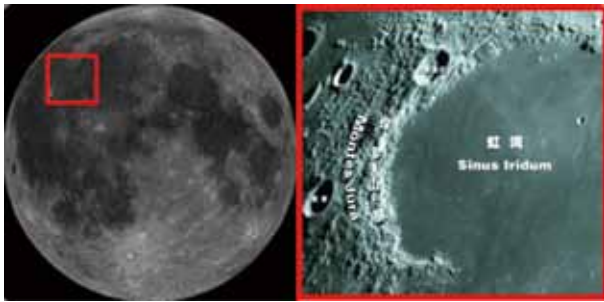
3 「虹灣」位於月球兩海西北方，東西長約300公里、南北寬約100公里，區域面積約107.8萬平方公里。

4 「玉兔號」月球車係由中國航天科技集團公司第5研究院負責研製，重約120公斤，可載重20公斤，使用壽命為3個月，可在月球上3公里範圍內連續行走10公里，具自動避障功能。

5 中國航天編輯部，〈嫦娥三號任務過程回放〉，《中國航天月刊》，第429期(2014年1月)，頁4-7。

6 歐陽自遠(1935年10月9日生)，江西吉安人，天體化學與地球化學家，為中國科學院地球化學研究所研究員、中國科學院院士，嫦娥工程第一期首席科學家與第二期高級顧問，被中國大陸譽為「嫦娥之父」。

7 歐陽自遠，〈神秘的月球與中國的月球探測—嫦娥工程〉，《元智大學演講系列(網頁式影音檔)》，2009/9/23，〈http://web2.yzu.edu.tw/forum/famou_11.html〉。(檢索日期：2014年11月1日)



圖一 月球虹灣位置圖

資料來源：〈虹灣〉，《互動百科網》，2013/12/14。



圖二 玉兔號月球車展示圖

資料來源：〈玉兔號月球車〉，《新華網》，2013/12/2。

月球的物理特性與資源

探測神秘的月球為人類千年的夢想，歐陽自遠院士指出：「搞月球是為了更瞭解地球，地球是人類的搖籃，月球則是門檻也是起步，惟有跨出這道門檻不再受束縛，人類才能邁向更寬廣無垠的太空。」中國儒家云「格物致知」，故讀者若想真正理解中國大

陸「探月工程」的航天戰略，必須先從其動機及目的著手，故應重新認識月球的物理特性、探索價值及戰略資源，方能「知其然，並知其所以然」。現代人類已知月球是地球唯一的天然衛星，也是太陽系中第五大的衛星，月球環繞地球公轉的週期為29.53天，因其自轉與公轉同步並且永遠以同一面朝向地球的物理特性，如此絕佳的外太空戰略載台，相信未來絕對是太空反制作戰眾兵家必爭之地。

一、形成假說

當今主流的地月系統形成理論是「大碰撞」假說，約45億年前一顆如同火星大小被稱為忒伊亞(Theia)的天體與原生地球碰撞，爆裂出的物質進入環繞地球的軌道，產生了兩顆在同一軌道上的天然衛星，一個就是月球，而另外一個較小，直徑只有約1,000公里，在數千萬年後，兩個衛星緩慢相撞，最後合二為一，這種假說可以解釋月球一面地勢平坦，而另一面則地勢起伏不平的原因。⁸

二、表面地形

(一)亙古以來人類只能用裸眼觀察月球，滿月時解析度約10公里以上，⁹直到400年前伽利略開始以望遠鏡觀測月球，才發現月球表面有許多斑點及黑洞(如圖3所示)，並非平滑皎潔的。月球表面主要的地形單元為月海盆地、月陸及撞擊坑。¹⁰月球正面的月海(黑暗平坦部分)約占正面面積的一半，月球

⁸ 同註1及註7，作者研究整理。

⁹ 在滿月期間，月球的視亮度約有-12.6等(太陽的視亮度為-26.8等)。

¹⁰ 月球表面黑暗的部分係遭大隕石撞擊後，由月球內部流出岩漿填平所造成的黑色玄武岩(如同火山爆發後現象)形成月海(盆地)；明亮的部分則為月陸(高地)。

背面則以月陸為主，平均高度比正面高1.9公里。¹¹



圖三 月球正反對照圖

資料來源：〈月球〉，《維基百科網》，2014/9/16。

(二)月球表面最顯著的特點就是佈滿了撞擊坑，¹²估計在月球正面上直徑大於1公里的隕石坑總數大約有33,000個以上，總面積約占月球表面積的7%~10%，而月球表面上直徑大於1公尺的月坑總數至少達30萬億個。而位於月球背面靠近南極的巨大撞擊坑—艾托肯盆地，直徑有2,240公里，是月球上最大也是太陽系已知最大的隕石坑，它的底部深度達13公里，也是月球表面最低的地方。¹³

(三)月球表面的月球風化層是高度粉碎的二氧化矽(外觀紋理如雪，味道像用過的火藥)厚度約3~20公尺，月壤是月球地質歷史時期月岩受無數隕石撞擊，以及岩石經物理崩解和輻射長期破壞而產生的，月壤也記錄了40億年太陽活動的歷史。

(四)月球的表面積約3,793萬平方公里，相當於地球表面積的1/14，接近四個中國大陸版圖，概等於歐亞大陸。¹⁴

三、物理特性

(一)月球的直徑是地球的1/4，重力是地球的1/6，質量是地球的1/81。月球與地球的平均距離約38萬公里，大約是地球直徑的30倍。

(二)月球表面幾乎無大氣層，其表面氣壓大約是 3×10^{-15} 大氣壓力(Atm)，屬超高真空，故月球表面沒有聲音傳導的介質，也由於沒有大氣的熱傳導，月球平均溫度為+107℃(白晝)至-153℃(夜晚)，向陽面與背陽面的最高至最低溫度約為+120℃至-180℃；另在月球北極—厄米環形山已勘測到-247℃(26K)，是目前太空船在太陽系中測得的最低溫度。

(三)月球無南北極磁場，其外部暫態性磁場強度不到地球的1/100，屬無磁場行星。¹⁵行星質量愈小，內部愈早固化，愈早終結演化，現在的月球已是個古老的、僵死的星體，月球內部能量已近於衰竭(如同人生的生老病死般，而火星已進入演化的老年期，地球則正進入演化的壯年期)，故月震和表面熱流均極小。月球的「地質時鐘」停滯在31億

11 同註1及註7，作者研究整理。

12 撞擊坑是太陽系固態天體的表面特徵，人類於1994年首次拍攝到蘇梅克—列維9彗星撞及木星(液態天體)畫面，計撞出21個如地球大小的坑洞(隨即消失)；地球表面可辨認的撞擊坑數量約100多個，如加拿大有直徑180公里的銅、鎳礦坑，南非有直徑220公里的黃金、鑽石礦坑。

13 同註1及註7，作者研究整理。

14 同註1及註7，作者研究整理。

15 行星磁場的演化順序係由偶極子磁場(如地球南北極磁場經常轉換)→多極子弱磁場(如火星有許多不連貫南北極磁場)→無磁場(如月球無南北極磁場)的過程演化。



年前，這對研究地球早期和未來的演化歷史具有重要意義。

(四)月球表面不存在液態水，而是以冰的型態與月壤成混合物(可能來自彗星撞擊)，含量約0.3%~1%，均分布於永久陰影區，北極約1~5萬平方公里，南極約0.5~2萬平方公里，估計總儲量約66億噸，而水體的存在可以決定未來建設一個月球適居區計畫的成本效益，因為水是維繫有機生命存在的重要前提。¹⁶

四、主要礦產資源

(一)月球的主要岩石類型為玄武岩(富含鈦鐵礦約110~220兆噸，二氧化鈦含量約57~115兆噸)、克裡普岩(KREEP，富含鉀、稀土元素¹⁷約225~450億噸及磷；另含鈾礦約50億噸)、¹⁸斜長岩(富含矽、鋁、鈣、鈉等元素)、超基性岩及角礫岩，月球礦物的特徵為不含水及高還原環境。

(二)月壤中富含氫(H)、氮(N)及氦(He)、氖(Ne)、氬(Ar)、氡(Rn)等惰性氣體資源，可用於建立永久性月球基地。特別值得一提

的是氦-3 (He3)係用於核聚變(核融合)能源的最佳原料，初步估計月壤中的資產總量可達100~500萬噸，足可供地球全人類使用上萬年，¹⁹將是人類社會長期、穩定、安全、清潔、廉價的重要能源。

五、開發前景與方案

(一)月球表面可豐富而穩定的利用太陽能：經計算每年到達月球的太陽光輻射能量大約為12億千瓦，太陽能的能量密度為1.353千瓦/平方公尺，光電轉化率為20%的太陽能發電裝置，每平方公尺太陽能電池每小時可發電2.7千瓦時，若採用1,000平方公尺的電池，則每小時可產生2,700千瓦時的電能，月球上白天和黑夜都相當於14個地球日，如果在月球表面建立三座(各相隔120°經度)全球性的串聯式太陽能發電廠，就可以獲得極其豐富而穩定的太陽能，透過接收系統微波技術傳送回地球上的地面天線接受能束，再將其轉變成電能。

(二)核聚變(核融合)燃料氦-3 (He3)的開發利用：²⁰因月球無大氣(高真空狀態)，無磁

16 經大量測試所有月球採樣石，至今尚未發現任何有機體或生物化石存在。人類至今已獲得29塊來自月球的隕石，係因太空天體撞向月球時產生的碎石脫離月球表面引力；另有24塊來自火星隕石(包含中國大陸於1999年及2002年發現二塊橄欖岩質火星隕石，內部有蛹型蟲生物化石約36億年與地球38億年前原始生物相近)。

17 稀土元素(Rare Earth Elements, REE)是元素週期表第Ⅲ族元素，包含釷(Sc)、釔(Y)、鐳(La)系共17種化學元素，全世界已知有約9,261噸稀土礦，其中36%儲藏在中國，約佔世界90%的總出口量。

18 維基百科，〈克裡普礦物〉，《維基百科網》，2013/3/8修訂，〈<http://zh.wikipedia.org/wiki/KREEP>〉。(檢索日期:2014年11月1日)

19 根據科學家統計，10噸氦-3就能滿足中國大陸一年所有的能源需求，100噸氦-3便能提供全世界使用一年的能源總量。

20 地球上的He3沒有開發利用前景，氦在地球大氣層中只占很少的部分(全球僅15噸)，係因現在的地球大氣成分並不同於原始地球大氣，更重要的是地球具有磁場，使它們慢慢擴散出大氣層。而地球海水中大約有40兆噸的氘(D)，可供人類使用100億年。經估算一噸海水中的氘(D)釋放的能量相當於300噸汽油。

場，太陽風在月球表面的通量高達 $3 \times 10^8 \text{ W/cm}^2 \cdot \text{s}$ 。至於如何提煉He3可從月球上開採表層月壤，並就地利用太陽能微波加熱分離月壤中稀有氣體，充分利用月球晝夜溫差大，氣壓低等特點就地分離He3/He4，用太空梭將液態He3運回地球供氘(D)和氦-3 (He3)核聚變電站產生聚變能源，在經濟上是可行的，它比通常的氘(D)和氚(T)為燃料的核聚變電站更為安全、乾淨和可靠。將He3運回地球的能量代價，假定從地球空載出發起飛，在月球表面著陸，一次裝載30噸液態He3返回地球，來回一趟的旅程估計消耗能量為 $1 \times 10^3 \text{ MJ/kg}$ ，將以上各過程所消耗的能量匯總起來從月球開採 $6,000 \text{ GJ/kg}$ ，分離 180 GJ/kg ，並運回地球 9 GJ/kg 得到He3的代價為 $6,189 \text{ GJ/kg}$ 。由氘-氦-3 (D-He3)核聚變反應，每公斤的He3可獲得能量為 $6 \times 10^8 \text{ MJ/kg}$ ，能量償還比估計可達250倍；然而，開採 U^{235} 作為核燃料的裂變(核分裂)反應能量償還比為20倍，開採煤作為燃料的化學反應能量償還比不到16倍，均遠遠不及核聚變(核融合)產生的效能。

(三)可控核聚變(核融合)發電：²¹愛因斯坦發現在原子核中蘊藏著巨大的能量，依據他提出的質能方程式 $E=MC^2$ ，核聚變的原理看上去極其簡單，兩個輕核原子在一定條件下聚合成一個較重核原子，並釋放巨大的能量。1952年美國試爆了第一顆氫彈，促使科

學家考慮如何控制核聚變反應在瞬間爆發的毀滅性能量，「人造太陽」之夢由此而始。在地球上模擬太陽內部的核聚變反應，並把產生的驚人能量穩定地輸送到電站，一直是人類未能實現的夢想。近60年來，全世界已經建立了200多座可控核聚變發電試驗裝置，並取得重大進展。例如：美國能源部位於加州勞倫斯福摩爾國家實驗室的「國家點火設施(National Ignition Facility, NIF)」於2010年建造完成，這座能模擬太陽中心核反應的世界上最大的雷射器已正式啟動；NIF係由192個雷射光束組成，192束雷射被匯聚於一個包含了氘氣和氦氣的玻璃管上，產生空前的高溫高壓，成功創造核聚變反應，打造出微型「人造太陽」，釋放出的能量高達130萬兆焦耳，²²其中心最高輻射溫度達 $316 \text{ 萬}^\circ\text{C}$ ，相當於恒星(如太陽)或大行星核心的溫度。此外，1998年於法國亦完成了「國際熱核融合實驗反應爐(International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER)」工程設計，預計2020年建成，此項工程係由美國、俄羅斯、歐盟、日本、南韓、印度及中國大陸等七個成員國各投資100億美元共建，ITER將可以產生500到700兆瓦的核聚變(核融合)能量(功率50萬千瓦，等離子體持續時間500秒)，但它還不能算是一個經濟、實用的人造太陽，預估尚需30~40年的技術水準方可真正取代現有的核分裂能源電廠。然而，中國

21 1993年美國物理學家貝特證實，一個氘(D)原子核和一個氚(T)原子核撞擊，結合成一個氦(He)原子核，並釋放出一個中子和17.6百萬電子伏特(Mev)的能量，這個發現揭示了太陽“燃燒”的奧秘。

22 1電子伏特(ev)= 1.6×10^{-19} 焦耳(J)，1百萬電子伏特(Mev)= 1.6×10^{-13} J；1焦耳(J)=1牛頓·米； $\therefore$ 1百萬(1M)= 1×10^6 ，10億(1G)= 1×10^9 ， $\therefore$ 1,000MJ=1GJ。



大陸成都核工業西南物理研究院的「中國環流器二號A (HL-2A)」實驗裝置，於2009年6月11日也首次實現了高約束模式運行。

(四)月球特殊環境的開發利用：超高真空、無磁場、地質構造穩定、弱重力場(地球的1/6)、高潔淨環境，可建造天文觀測站與月球實驗室(具有精度高，造價低，運行與維護費用低等優點)，研製特殊的生物製品(藥品)和新合金材料。此外，亦可作為天然的太空轉運站，成為未來深空探測的前哨陣地。

(五)月球的重重大軍事戰略地位—太空戰²³的新軍事載台：月球可作為人類對地球的監測基地、科學研究基地、新的軍事載台，也是深空探測的前哨站和轉運站，早在20世紀60年代，時任美國總統的甘迺迪曾說過一句名言：「誰控制了太空，誰就控制了地球。」而美國參議員林登·詹森(Linden. Jesen)更補充說：「誰要是獲得了控制太空的最後地位，誰就獲得了對地球的控制權，不管他是出自於獨裁統治的目的，還是為了維護自由。」各太空強權均認知：「誰控制了月球，誰就控制了環地球的太空，因而，也就控制了地球。」故月球將會是未來「太空戰」的新軍事載台，亦是當代太空強權力圖搶佔太空以至於月球等空間的戰略制高點。

月球探測的歷程與成果

月球是地球的天然衛星，是離地球最近的天體，是人類飛出地球、開展深空探測

的首選目標；月球的資源、能源與特殊環境的開發利用前景和軍事戰略地位，促使先進國家秉持「誰先利用，誰先獲益」的原則，紛紛提出重返月球的規劃與計畫，如美國、俄羅斯、烏克蘭、德國、英國、法國、奧地利、巴西、日本、印度及中國大陸等。

一、第一次探月高潮 (1958~1976年)

此19年期間，美國與前蘇聯的太空競賽共計發射了108枚探測器，成功或部分成功僅52枚(成功率約48%)；其中美國阿波羅號太空船(Apollo-11,12,14,15,16,17)計有6次成功載人登月紀錄(含阿姆斯壯等12名太空人)，而前蘇聯自1959年「月球二號」衛星第一次成功繞月後，計有3次不載人登月取樣，二國共計取回了382公斤的月球樣本，其中美國取樣381.7公斤，前蘇聯僅取樣0.3公斤，至今人類控制月球面積僅約5%而已。

二、月球探測寧靜期 (1977~1990年)

持續14年沒有進行過任何成功的月球探測活動，其原因如後：

(一)冷戰結束，隨後前蘇聯的解體。

(二)總結於第一次月球探測高潮的經驗和教訓，避免耗資大、效率低、探測水準不高的缺點。

(三)在戰略、技術的集成，探測成本與效益等各方面採取新的思路、技術和方式。

(四)發展太空梭、太空站、測控網等基礎設施。

三、第二次探月高潮 (自1990年起)

23 「太空戰」係指利用天基武器系統，以爭奪制天權為目的的作戰行動，是以地球的外太空為戰場所進行攻與防的作戰，其目的就是剝奪對方對太空的使用權。

月球的資源、能源與特殊環境的開發利用前景和軍事戰略地位，推動了眾多國家提出重返月球的規劃與計畫。於1990年，日本將太空船Hiten送到月球，成為第三個有繞月球軌道衛星的國家，而這艘太空船計畫釋放一個小探測器至月球軌道，但發射失敗。直到1994年美國國防部(Department of Defense, DOD)與國家航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)聯合發送了克萊門汀號(Clementine)衛星至月球軌道，並首度獲得整個月球的全球地形圖及第一份月球表面全球的多光譜影像，在伴隨著探測技術的進步與開發新能源的需求下，人類又再次拉開探測月球的序幕。

四、重返月球新形勢

2013年12月14日嫦娥三號探測器成功著月後，美國眾議院撥款委員會商業、司法、科學及相關機構小組委員會主席弗蘭克·沃爾夫(Frank Wolf)便於2013年12月19日致信美國總統歐巴馬，呼籲總統下令NASA與美國的夥伴國家合作重返月球，發展登月項目，維護美國的太空競爭力。²⁴此外，印度航天部兼印度空間研究組織(ISRO)主席拉達克里希南亦於2014年1月10日說，受2008年10月22日發射月船一號軌道探測任務成功鼓舞，印度將在兩三年內發射其第二項大膽的月球探測任務，把一輛月球車送上月面。月船二號將採用其國產的月球車和著陸器，將於2016

或2017年由地球同步衛星運載火箭(GSLV)發射。²⁵未來月球探測的戰略目標為開發和利用月球的資源和能源，建設月球基地和新的軍事載台，建立月球深空轉運站，為人類社會的可持續發展服務。依照「月球不屬於任何國家，但誰先利用，誰先獲益」的原則，21世紀初已擬定重返月球探測計畫的國家計有美國、俄羅斯、烏克蘭、英國、德國、巴西、日本、印度及中國大陸等。綜觀世界各國21世紀月球探測計畫，與初期的月球探測相比較，重返月球，建立月球基地的目標更加明確，規模更宏大，參與國家也更多。就美國的新太空計畫而言，美國前總統喬治·布希於2004年1月14日宣布將在2020年重返月球後，NASA即開始恢復載人太空計畫，2005年9月NASA邁克爾·格里芬(Michael Griffin)局長曾向美國參議院陳述：「太空梭和太空站是誤入歧途，是代價高昂的戰略性錯誤。我們被限制在低軌道已經有太長的時間，使NASA喪失了正確發展的機會，我們國家太空計畫的重心應該開發太陽系(開展以月球和火星為主線的太陽系探測)。」2005年9月19日邁克爾·格里芬即宣布：「為2018年載人重返月球投資1,040億美元；2025年載人登上火星，耗資2,170億美元。」²⁶此外，美國亦於2010年讓太空梭退役，同年國際太空站(International Space Station, ISS)停止投資。

24 李劍剛，〈嫦娥三號成功著月促美國議員致信奧巴馬總統要求美國重返月球〉，《中國航天月刊》，第430期(2014年2月)，頁45。

25 中國航天編輯部，〈印將在2017年前發射月船2〉，《中國航天月刊》，第430期(2014年2月)，頁51。

26 同註1及註7，作者研究整理。



中國大陸探月工程進展

中國大陸探月工程係於2003年3月1日正式啟動後，「嫦娥一號」衛星於2007年10月24日首次發射成功，2009年3月1日完成預設任務且成功撞擊月球「豐富海」目標區，並獲得第一手月球科學探測數據，包含完成國際上首次拍攝到的月球南北極立體影像圖。然而，中國大陸探月工程首次經費卻僅僅支用了14億人民幣(約65億新臺幣)，其背後所代表的意涵，說明了中國大陸已突破月球探測的關鍵技術，並初步建構月球探測衛星的航天工程系統。在重新整合月球探測衛星、運載火箭、發射場、測控與地面應用等五大系統後，接續於2010年10月1日又成功發射了「嫦娥二號」探月衛星(僅支用9億人民幣)，並順利完成第一期工程規劃—「繞」(指發射繞月衛星，對月球進行整體性和綜合性探測)。另於2013年12月2日發射「嫦娥三號」月球軟著陸器，並攜帶一部命名為「玉兔號」的月球車，於虹灣進行首次月球自動巡視勘測，以達成中國大陸探月工程第二期工程規劃—「落」(指發射軟著陸器和月球車在降落區進行精細的巡視探測)。

中國大陸把載人、不載人的航天器在地球大氣層外的航行活動稱為「航天」，故

航天的「天」，是指地球大氣層外的宇宙空間。地球大氣層內的空間稱為「空」。²⁷然而，「空天一體」與「攻防兼備」概念為當前共軍的戰略基礎，亦反應出其未來將朝建立一支能整合太空資訊與太空反制作戰，且更具攻擊導向的新「天軍」發展，期在現有常規武器落後的情況下，搶佔太空戰略制高點。

一、中國大陸航天發展的宗旨與原則

中國大陸國務院新聞辦公室於2011年12月29日在北京發布《2011中國的航天》白皮書指出，其發展航天事業的宗旨是：探索外層空間，²⁸擴展對地球和宇宙的認識；和平利用外層空間，促進人類文明和社會進步，造福全人類；滿足經濟建設、科技發展、國家安全和社會進步等方面的需求，提高全民科學文化素質，維護國家權益，增強綜合國力，²⁹這是中國大陸官方繼2000年及2006年之後發布的第三份航天白皮書。白皮書提到未來五年是中國大陸全面建設小康社會的關鍵時期，是深化改革開放、加快轉變經濟發展方式的攻堅時期，而航天事業正面臨新的發展機遇。中國大陸將緊密圍繞國家戰略目標，加強自主創新，擴大開放合作，促進航天事業又好又快發展。中國大陸將加強航天工業基礎能力建設，超前部署前沿技術

27 常顯奇等著，《軍事航天學(第2版)》(北京：國防工業出版社，2005年1月)，頁1。

28 中國大陸把大氣層之外距地球海平面100km(卡門線)以上的廣闊宇宙空間，稱為「空間」或簡稱「天」，與我國用語「太空」的定義相同；另距離地表100km-40,000km為近地空間，40,000km-384,000km為遠地空間，384,000km以上為星際空間，亦稱「外(層)空間」。參考自：常顯奇等著，《軍事航天學(第2版)》(北京：國防工業出版社，2005年1月)，頁1。

29 中國國務院新聞辦公室，《2011中國的航天》(北京：中國國務院，2011年12月29日)，頁3。

研究，繼續實施載人航天、月球探測、高解析度對地觀測系統、衛星導航定位系統、新一代運載火箭等航天重大科技工程以及一批重點領域的優先項目，統籌建設空間基礎設施，促進衛星及應用產業發展，深入開展空間科學研究，推動航天事業的全面、協調、可持續發展。航天白皮書明確規劃了未來五年的主要任務，並提出逐步建立多元化、多管道的航天投資體系，確保投入持續穩定，提高全民科學素質，維護國家權益，增強綜合國力。

中國大陸發展航天事業將配合國家整體發展戰略，並堅持下列五項原則：³⁰

(一)科學發展原則：尊重科學、尊重規律，從航天事業的發展實際出發，統籌兼顧和科學部署空間技術、空間應用和空間科學等各項航天活動，保持航天事業全面、協調、可持續發展。

(二)自主發展原則：始終堅持走獨立自主、自力更生的發展道路，主要依靠自身力量，根據國情和國力，自主發展航天事業，滿足國家現代化建設的基本需求。

(三)和平發展原則：始終堅持和平利用外層空間，反對外空武器化和外空軍備競賽，合理開發和利用空間資源，切實保護空間環境，使航天活動造福全人類。

(四)創新發展原則：把提高自主創新能力作為航天事業發展的戰略基點，強化工業

基礎，完善創新體系，以實施航天重大科技工程為載體，集中力量，重點突破，實現航天科技跨越發展。

(五)開放發展原則：堅持獨立自主與開放合作相結合，在平等互利、和平利用、共同發展的基礎上，積極開展空間領域的國際交流與合作，致力於推進人類航天事業的共同進步。

雖然《2011中國的航天》白皮書對外多以和平發展為原則，但依據美國國防部最新公布《2014中國軍事與安全發展》報告書指出，中國大陸國家科技發展遠程計畫將聚焦於「基礎研究」、「先進技術」、「關鍵技術」及其他特殊項目，上述研究重點多與軍事上的運用息息相關，例如：關鍵領域及優先項目研究計畫包含高能雷射武器研發、高解析度衛星、載人太空飛行及月球探測等，以提升其未來太空反制作戰能力。³¹

二、嫦娥工程規劃與目標

中國大陸月球探測的構想係經歷了35年(1960~1994年)的系統調查研究及綜合分析美、蘇兩國月球探測進展與成就，並完成阿波羅月球岩石研究，出版《月質學研究進展》和《天體化學》等專著，經綜合評估後，提出中國大陸月球探測的未來走向與發展趨勢。隨後，中國大陸開展月球探測的歷程計採10年(1994~2003年)的科學目標與工程實現的綜合論證，提出月球探測的發展戰

30 同註29，頁3-4。

31 國防安全辦公室，《2014中國軍事與安全發展》報告書中文翻譯版(美國：國防部，2011年4月24日)，頁34-35。



略與遠程規劃。

(一)中國大陸首次繞月探測工程的四大科學目標如下：³²

1.獲取月球表面三維影像：劃分月球表面的基本地貌構造單元，初步編制月球地質與構造綱要圖，為後續最佳軟著陸地點提供參考依據。

2.分析月球表面有用元素含量和物質類型的分布特點：對月球表面有用元素進行探測，初步編制各元素的月面分布圖。

3.探測月壤特性：探測並評估月球表面月壤層的厚度、月壤中氦-3的資源量。

4.探測地月空間環境：記錄原始太陽風數據，研究太陽活動對地月空間環境的影響。

(二)中國大陸探月工程的緣起與進展：

1991年：中國大陸航天專家提出探月工程建議，並開展了部分先期研究。

1993年：中國大陸參加國際月球探測工程的論證。

1995年：中國大陸完成《中國開展月球探測的必要性與可行性研究報告》(863項目)。

1999年：中國大陸完成《中國開展月球探測的發展戰略與長遠規劃》(代號863專案)，提出現今被廣泛接受並作為立項目標的「繞落回(繞月衛星探測、軟著陸探測、月球取樣返回)」三步走的設計思想。

2000年：中國大陸完成《中國月球資源

探測衛星科學目標》研究報告，並首度發表《2000年中國的航天》白皮書，確定月球探測的科學目標和有效載荷配置，提出了衛星研製總要求、軌道設計和測控通信方案。

2001年12月至2002年4月：繞月探測工程綜合立項報告。

2003年2月，國防科工委召開月球探測工程籌備動員會，確定了3人籌備領導小組，正式啟動嫦娥工程前期工作。

2004年1月23日：中國大陸前總理溫家寶批准中國大陸月球探測第一期工程-繞月探測立項實施，並命名為「嫦娥工程」，而首次發射「嫦娥一號」總經費為14億人民幣(相當於北京市修2公里地鐵的全部經費)。相繼第二、三期工程納入《國家中長期科技發展規劃綱要(2006~2020年)》的重大專項開展論證和組織實施。

中國大陸的月球探測分為「探」、「登」、「駐」三大階段。

目前開展的探月工程係屬於「探」的階段，即不載人月球探測階段。而該階段又區分為「繞」、「落」、「回」三期三步走戰略：

1.第一期「繞」：是指發射繞月衛星，對月球進行全球性、整體性和綜合性探測。對月球表面的地貌、地形、地質構造、環境與物理場進行首次探測，對有開發利用前景的月球能源與資源的分布與規律發展研究。

2.第二期「落」：是指發射軟著陸器和

32 維基百科，〈中國探月工程〉，《維基百科網》，2014/11/1修訂，<<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%8E%A2%E6%9C%88%E5%B7%A5%E7%A8%8B>>。(檢索日期：2014年11月1日)

月球車在降落區進行精細的巡視探測。

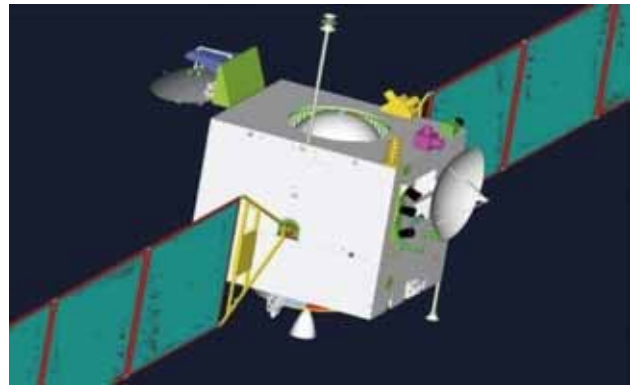
3.第三期「回」：是指發射軟著陸器和月球車進行區域性就位探測和巡視探測，並採集關鍵性樣品返回地球，進行系統、全面和精細研究。

上述透過立案討論、多方論證及近中遠程規劃的階梯式決策流程與團結落實的執行力，均非常值得當前臺灣官方各界的省思及效法。

三、嫦娥工程發射任務

(一)「嫦娥一號」衛星(如圖四所示)：2007年10月24日18時05分04秒於四川西昌衛星發射中心發射升空，³³為中國大陸「嫦娥工程」首顆衛星，經過精確變軌、修正、剎車補獲與成功繞月1次修正，歷時13天14小時19分，總行程206萬公里，經過8次變軌後，於同年11月7日成功進入環繞月球高度200公里工作軌道飛行，11月20日開始傳回探測數據，並於11月26日正式公布傳回首張月球表面圖像。³⁴衛星上搭載七種有效載荷，分別是用於月球表面三維影像探測的電荷耦合元件(Charge Coupled Device, CCD)相機和雷射高度計，用於月表化學元素與物質探測的成像光譜儀和 γ/x 射線儀，用於月壤厚度探測的微波探測儀，用於地月空間環境探測的太陽

高能粒子探測器和太陽風粒子探測器。「嫦娥一號」探月任務包含「繪製全月球的三維立體地圖」、「探測月球的物質成分」、「探測月壤特性」及「探測地球與月球間的太空環境」等四大科學目標，設計壽命為一年，於2009年3月1日16時13分10秒完成預設任務，並在精確控制下，準確的撞擊月球東經52.36度、南緯1.50度的「豐富海」目標區，「嫦娥一號」於地月間飛行12天，實際環月飛行482天，累計飛行494天(不含預先環繞地球2天)。³⁵



圖四 嫦娥一號衛星展示圖

資料來源：〈嫦娥一號〉，《維基百科網》，2014/10/24。

(二)「嫦娥二號」衛星(如圖五所示)：2010年10月1日18時59分57秒發射後，10月

33 同註7及註32，作者研究整理。

34 以寬60km、長10,900km錄影(每圈127分鐘，每12.5km必須重疊校正)，經影像矯正拼整成月球立體圖，同時也首次拍攝到月球南北極影像圖(S70°-S90°和N70°-N90°，276軌)，計276軌。資料來源同註7，作者研究整理。

35 雷射高度為1點／秒(3,153萬點／年)，獲得近380萬個高程資料製作的全月球數值高程模型圖。同年，日本的「月亮女神」繞月工程也公布了677萬個點立體圖；而中國大陸又再公布916萬個月面高程點圖。資料來源同註7，作者研究整理。



6日成功完成第一次近月制動，10月8日成功完成第二次近月制動，在近月點100公里，遠月點1,830多公里的軌道上運行，此時繞月球一圈只需要3.5小時；10月27日又成功實現變軌，由100×100公里的工作軌道進入100×15公里的虹灣成像軌道，並開始為月球虹灣區進行拍照。同年11月8日上午，中國大陸國防科技工業局首次公布了「嫦娥二號」衛星傳回的「嫦娥三號」預選著陸區—月球「虹灣」地區的局部影像圖，是衛星距離月面大約18.7公里地方拍攝獲取。之後，「嫦娥二號」便進入長期管理階段，其設計壽命為半年。「嫦娥二號」衛星安裝了四大類，共7種裝備，以確保科學探測任務之達成。第一類是用來獲取月球表面立體影像，包括立體相機和雷射高度計。「嫦娥一號」上的立體相機，解析度(解析度)是120公尺，「嫦娥二號」裝配的相機更精密，在100公里圓軌道運行時解析度優於10公尺，進入100公里×15公里的橢圓軌道時，其解析度可達到1公尺，已超過原先預定1.5公尺的指標；第二類裝備，用於探測月球表面物質，包括 χ 射線譜儀和 γ 射線譜儀。嫦娥二號預訂全面探測三種位於月球表面的天然放射性元素，以及重點探測六種主要元素的含量；第三類是用於探測月球表面土壤的微波探測器，探測器採用四個頻段，可以穿透月球土壤，和國外只能探測表面，無法穿透相比，較為進步。第四類用於探測地球和月球之間的太空環境，包括太陽高能粒子探測器、太陽風離子探測器。

與「嫦娥一號」先繞地球軌道，再轉往月球不同，「嫦娥二號」是直接進入月球軌道，只用5天就到達月球(嫦娥一號飛行近14天)，當進入繞月軌道後，「嫦娥二號」主要進行四項任務：首先是拍攝全月面的立體圖像，嫦娥二號的攝影機，可以涵蓋百分之百的月球表面，這在世界上是第一次；第二，探測月球表面包括鈾、釷等八種重要元素；第三，探測月球表面土壤的厚度。藉此估算月球土壤中氦-3含量，為以後開發月球上面的氦-3做一些準備工作，氦-3是核融合的重要原料，初步研究發現，月球表面土壤中富含大量的氦-3。如果能夠運回地球，估計8噸的氦-3，就能解決全中國大陸一年的能源供應總量；第四，探測地球到月球間太空環境，瞭解太陽對月球到底有哪些影響，並為未來探測火星、金星積累經驗。³⁶



圖五 嫦娥二號衛星展示圖

資料來源：〈嫦娥二號〉，《維基百科網》，2014/10/25。

(三)「嫦娥三號」衛星(如圖六所示)：是嫦娥工程第二階段的登月探測器，包括著陸器和月球車，已於2013年12月2日在西昌衛

36 同註7及註32，作者研究整理。

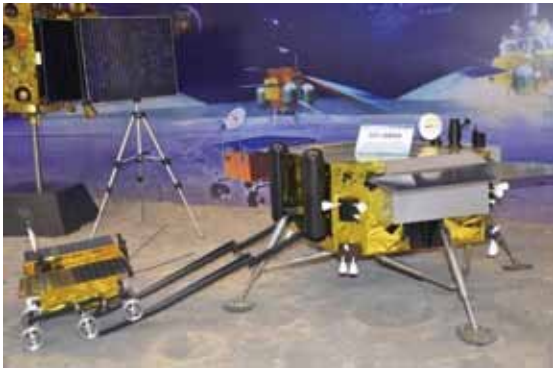
星發射中心發射。它攜帶中國大陸的第一艘月球車，並實現中國大陸首次月面軟著陸。

「嫦娥三號」預定的登陸地點是月球雨海西北方的「虹灣」。「嫦娥三號」是由著陸器和月球車所組成，³⁷在月球表面軟著陸後，將聯合開展著陸器的就位探測和月球車的巡視探測。在月球車的底部安裝一台測月雷達，這是國際上首次直接探測30公尺深度內月壤層的結構與厚度和數百公尺深度內月殼淺層的結構。「嫦娥三號」任務是中國大陸探月工程「繞、落、回」三步走中的第二步，也是承先啟後的關鍵一步。它將實現中國大陸航天器首次在地外天體軟著陸，開展著陸器懸停、避障、降落及月面巡視勘察。目前「嫦娥三號」任務正樣(指正式產品)研製進展順利，各項工作抓緊推進。在月球表面實現「軟著陸」是一個難題，歐陽自遠說：「嫦娥一號」是撞月「硬著陸」，「嫦娥三號」則是「軟著陸」且不能使用降落傘。在接近月球表面時首先利用推進器反作用力緩衝下降，讓「嫦娥三號」以低速自由落體方式安全降落，落地後隨之而來的難題是抵禦巨大的溫差。月球上的一天相當於地球上一個月，夜晚溫度最低時達到攝氏零下180多度，白天溫度大都在攝氏120度以上，這對電子元件是一巨大考驗。著陸器於著陸後就不能移動了，它配備的多台照相機可對周圍的

地形地貌進行拍攝，玉兔號月球車則可在月球表面自主行走。「嫦娥三號」已創造多個第一，它是第一次在月球安裝月基天文望遠鏡，因月球上沒有大氣，比在地球上觀測效率要高得多，月球車上首次配備360度全景相機、紅外光譜儀和X射線譜儀。歐陽自遠院士表示：「中國大陸有望在2017年實現月球採樣與返回，對登陸地點附近區域的月球表面資料進行更詳細的收集，從而完成無人探月工程「繞、落、回」三個探測階段，為下一步載人探月奠定基礎。」中國月球探測分為三個階段，即無人月球探測、載人登月探測和人類在月球短暫駐留的月球基地建設，現正進行無人月球探測，按照「繞、落、回」三步走計畫，中國大陸已經圓滿完成了衛星繞月飛行任務。「嫦娥三號」著陸器上安裝了天文望遠鏡和極紫外線相機，這是中國大陸探月工程的特色。歐陽自遠說：「月球上沒有大氣活動，沒有各種污染，望遠鏡的解析度很高，這是人類第一次在月球上觀測天文；極紫外線相機將探測地球等離子體層的變化特點，提高中國大陸空間環境監測和預報能力。此外，在月球車底部安裝了一個雷達，可以探測月球車巡視路線上100公尺深度的月壤層結構，希望獲得一些新的探測成果。」³⁸

37 「嫦娥三號」著陸探測器上計安裝7套載荷裝置包含：全景相機3台、降落相機1台、工程載荷包1台、月壤潛入儀1台、極紫外線相機1台、小型寬電場天文光學程像儀1台及載荷資料控制器1台。資料來源同註7，作者研究整理。

38 同註7及註32，作者研究整理。



圖六 嫦娥三號著陸器及月球車展示圖

資料來源：〈嫦娥三號〉，《維基百科網》，2014/9/27。

(四)「嫦娥四號」衛星：是「嫦娥三號」的備份星。「嫦娥三號」和「嫦娥四號」任務，將實現在月球上軟著陸和自動巡視機器人勘測。

(五)「嫦娥五號」衛星：根據中國大陸探月工程「繞、落、回」三步走戰略，探月工程三期主要實現採樣返回，其主要任務由「嫦娥五號」月球探測器承擔，預計於2017年發射，2020年前完成三期任務。「嫦娥五號」將以第二宇宙速度，³⁹也就是以11.2 km/s (相當於超音速33倍、地球自轉速度24倍) 的速度在太空中飛行，並完成六次分離。其主要科學目標包括對著陸區的現場調查和分析，以及月球樣品返回地球以後的分析與研

究。⁴⁰「嫦娥五號」的第一個科學目標是開展著陸點區的形貌探測和地質背景勘察，獲取與月球樣品相關的現場分析數據，建立現場探測數據與實驗室分析數據之間的聯繫。主要包括：著陸區的地形地貌探測，採樣點周圍形貌與結構構造特徵；撞擊坑的形貌、大小與分布等；物質成分探測，採樣點的物質成分特徵，月壤物理特性與結構，月殼淺層的溫度梯度探測等。第二個科學目標是對返回地面的月球樣品進行系統、長期的實驗室研究，分析月壤與月岩的物理特性與結構構造、礦物與化學組成、微量元素與同位素組成、月球岩石形成與演化過程的同位素年齡測定、宇宙輻射與太陽風離子與月球的相互作用、太空風化過程與環境演化過程等，深化月球成因和演化歷史的研究。為了實現科學目標，「嫦娥五號」將搭載多種有效載荷，主要包括降落相機、光學相機、月球礦物光譜分析儀、月壤氣體分析儀、月壤結構探測儀、採樣剖面測溫儀、岩芯鑽探機和機械取樣器等。⁴¹

四、嫦娥工程的五大系統

嫦娥工程係由探月衛星系統、運載火箭系統、發射場系統、測控系統和地面應用系統等五大系統組成。而運載火箭是其他航天

39 「第二宇宙速度」是指在地球上發射的物體擺脫地球引力束縛，飛離地球所需的最小初始速度。資料來源：維基百科，〈宇宙速度〉，《維基百科網》，2014/10/31修訂，〈<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A%E%87%E5%AE%99%E9%80%9F%E5%BA%A6>〉。(檢索日期:2014年11月1日)

40 依據新華社引述北京航天飛行控制中心說法報導，探月工程三期再入返回飛行試驗器的「返回器」已於2014年11月1日凌晨6時42分成功在內蒙古地區降落著陸，標誌著中國大陸已全面突破和掌握航天器以接近第二宇宙速度的高速再入地球返回關鍵技術。

41 同註7及註32，作者研究整理。

器賴以升空的「天橋」，它是以飛彈的技術為基礎研發而成，中國大陸長期積極研發各種不同射程及酬載量的彈道飛彈，間接為航天發展所需的運載火箭奠定堅固基礎，因為運載火箭與飛彈在技術上具有相輔相成的理論及技術層次。⁴²嫦娥工程的運載火箭選用長征三號乙改進型運載火箭(運載能力約4噸，新一代長征五號運載能力將可達25噸)，該型火箭已多次成功發射，運載能力為地球同步轉移軌道2,600kg，發射場選擇在西昌衛星發射中心。測控系統立足中國大陸現有測控設施，充分利用現有的S頻段航天測控網和甚長基線干涉儀天文測量系統，通過適應性改造，可以完成月球探測工程各個軌道段的遙測、遙控及測軌任務。地面應用系統的主要任務是衛星在軌運行期間科學探測業務管理、數據接收與處理、科學研究與普及。⁴³

五、未來的探月發展

21世紀，世界航太大國的太空戰略將依然根據國家安全戰略和軍事戰略的需要，以一切可資利用的手段爭奪制天權。太空軍事力量的任務是在為地面軍事行動提供各種航天支援服務的同時，將為爭奪制天權而進行天戰準備。爭奪制天權將成為太空戰略的最高軍事目標。⁴⁴美國總統歐巴馬於接受《自然》科學雜誌訪問時曾公開表示：「美國需要強有力的太空專案，這不僅有助於維持我

們在太空領預的優勢地位，而且也有助於教育、科學、技術、環境和國家安全方面的優勢地位。為太空任務而開發的技術已經應用於提高生活的各方面。人類太空飛行至關重要，我將支持超越地球軌道的復興型人類探測計畫。我贊成在2020年前重返月球的計畫，這是向火星等更遠太空邁進的前哨。」延續以往的探月經驗及技術，美國NASA將於2018年後每年執行一次載人登月計畫，而歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)預估約晚5年時間跟進。綜觀世界各國21世紀月球探測計畫，與初期的月球探測相比較，重返月球，建立月球基地的目標更加明確，規模更宏大，參與國家也更多。針對中國大陸當前的探月形勢，歐陽自遠院士表示：「前有阻擊(美國的禁運—高價—傾銷—封鎖)，後有追兵(印度)，面對如此嚴峻的形勢，中國大陸不能袖手旁觀，不能置之不理，要維護自己的合法權益，必須要有月球探測的能力。」美國國家安全委員會資深專家丹尼爾·威爾德(Dennis Wilder)透露，美國前總統喬治·布希在白宮會見中國大陸前國家主席胡錦濤時提出建議：「中美雙方應該在聯合探索月球問題上立即展開談判！」2006年9月24日NASA邁克爾·格里芬局長曾到達北京，與中國大陸國家航天專家商談中美月球探測合作事項。中國大陸未來必將根

42 陳炳炫、楊肅立，〈中共航天科技之不對稱戰略探討〉，《國防大學97年「國防事務專案研究暨戰略學術研討會論文集」》(桃園：國防大學，2008年10月)，頁179。

43 同註7及註32，作者研究整理。

44 姚衛(總編)暨中國空軍百科全書編審委員會編著，《中國空軍百科全書(第1版)—上冊》(北京：航空工業出版社，2005年11月)，頁88。



據當前國際上月球探測的進展，積極參與國際合作，和平利用太空，逐步實施載人登月探測和月球基地建設。月球勢將成為人類對地球的氣候、環境、生態和災害的監測預報基地、新興科學的研究基地、新材料和生物製品的研製基地，深空探測的前哨站和轉運站；月球的資源、能源與特殊環境的開發利用前景，亦將為地球人類社會的可持續發展服務，探測月球、開發利用月球將可造福全人類。⁴⁵

我國的因應作為

在未來戰爭中，太空優勢可望是掌握陸、海、空戰場的關鍵要素。為獲得太空優勢，勢必將在陸、海、空與太空部署攻防空武器系統。而太空爭奪戰包含太空資訊戰、太空封鎖戰、太空軌道攻擊戰、太空防禦戰，以及太空對地攻擊。⁴⁶中國大陸當前以展示航天科技的戰略威懾和防禦打擊發展能力，係企圖牽制美國在太空防衛武器上的發展優勢，尤其牽涉到飛彈防禦系統的建構，中國大陸的衛星均具有軍事用途，載人太空船隻要加裝武器，就可搖身一變成為殺手衛星，若再安置偵察、控制、指揮系統，就能取代空中預警機成為太空預警指揮所，對共

軍假想敵國的戰略威懾效能必定提高，且勢必對亞太甚至全球軍事環境也將造成衝擊，更對臺海未來情勢發展產生重大影響。⁴⁷

從中國大陸探月工程的歷程可獲知，太空科技發展絕非一蹴可幾，但只要目標明確，一步一腳印的持續努力必能克服困難。美國海軍軍事學院國家安全決策部主任瓊強生·弗斯(Joan Johnson Frees)曾經在分析中、美太空專案的動態後，用家喻戶曉的「龜兔賽跑」寓言形容中、美太空專案的現狀對比。兔子(指美國)雖然跑得快，領先很多，但在睡覺；烏龜(指中國大陸)雖然慢，落後很多，卻毫不氣餒，步步前進。⁴⁸於2013年12月2日發射的「嫦娥三號」探測衛星已突破多項關鍵技術瓶頸，中國大陸航天科技發展又向前邁進一大步，並縮短與美國軍事太空領域的差距。

我國「國家實驗研究院太空中心」目前正在持續執行「第二期國家太空科技發展長程計畫(2004~2018年)」，雖其重心仍以「繞地觀測衛星」計畫為主軸，且關鍵技術及發射系統均依賴美國，就國家航太自主發展及未來整體戰略需求而言，均明顯不利。但至少亦於2013年6月5日宣告「探空八號」火箭在臺灣南部九鵬基地發射升空，完成過氧化

45 同註7及註32，作者研究整理。

46 羅傑·克裡夫(Roger Cliff)等著／黃文啟譯，《21世紀中共空軍用兵思想》(臺北：國防部史政編譯室，2012年)，頁16。

47 黃俊麟，〈中共衛星航天科技與反衛星系統發展〉，《國防雜誌雙月刊第22卷第4期》(桃園：國防大學，2007年7月)，頁52。

48 新華社，〈美擔心中俄攜手使其失去航天領域領先地位〉，《新華網》，2005/11/14，〈<http://linsouth.myweb.hinet.net/web/weapon/c-a-16.htm>〉。(檢索日期：2014年11月1日)

氫單基推進及科學儀器回收艙等兩項科學實驗，所獲得的實驗數據資料將進一步分析驗證，作為未來持續設計改良的重要參考，對於我國發展衛星推進系統和回收平臺的關係技術突破，有莫大的助益。此次探空八號火箭飛試所搭載的兩項科學酬載儀器均由國內自主研發，包含太空中心和成功大學主導研發的過氧化氫單基推進系統，以及由中央大學設計製造的科學儀器回收艙，兩節式的探空火箭則由國家中山科學研究院提供。未來太空中心仍將持續進行探空九號和十號火箭的飛試，繼續提供臺灣太空的科學研究及衛星關鍵元件的驗證平臺。⁴⁹

從縱橫家鼻祖－鬼谷子「捭闔縱橫」的戰略思維，以及「他山之石，可以攻玉」的效法模式，謹提供我國政府相關部門下列四點建議：

一、積極參與國際航太科技合作

2013年11月21日，美國發布了新版《國家航太運輸政策》，旨在確保美國繼續保持在航太運輸領域的地位，進而維護美國的國家利益。值得注意的是新政策首次添加了關於「國際合作」的內容，美國政府認為航太運輸領域開展互惠互利的國際合作是政府未來項目和計畫的重要組成部分，但這種合作是以嚴格的限制條件為前提，開展符合美國國家利益訴求的國際合作。⁵⁰中國大陸現階

段正推動國防科技工業「軍民一體化」，以載人航天工程、探月工程、擴大通信衛星容量、新一代運載火箭等為軍工業發展重點，加速結合軍民航天產業。⁵¹中國大陸航天科技發展得以繼美、俄之後快速擠身為太空強權，主要還是憑藉其不容忽視的經濟實力。以臺灣現有的經濟發展能力而言，絕對無法獨力支應龐大的研發預算，故須積極參與國際太空計畫合作，以帶動國內高科技與相關產業發展。歐陽自遠院士指出：「航天科技是集最高新科技的大成，牽涉到整個國民經濟的方面；全部的高新技術，如通訊、計算機、材料等都牽涉在裡面，是拉動和推動國家科技進步的強大力量。美國『阿波羅號』帶動全世界科技發展二、三十年，證明這是一個很好的火車頭。」

上個世紀美國的阿波羅(Apollo)工程總計投資約254億美金(相當於現在1,360億美金)是當時規模最大、耗資最多的科技項目。參加阿波羅計畫的總人數超過40萬人，包含2萬多家企業、200多所大學、80多個科研機構。它的出現導致1960至70年代產生了液態燃料火箭、微波雷達、無線電制導、合成材料、電腦等一大批高科技工業群體。後來又將該計畫中取得的技術成果轉移至民用，帶動了整個科技發展與工業繁榮，其開發應用的效益，遠遠超過阿波羅計畫本身所帶來的

49 黃朝琴，〈我探空八號火箭升空〉，《青年日報》，2013/6/7，第6版。

50 解曉芳、任奇野、張綠雲、王友利，〈美國發布新版國家航天運輸政策〉，《中國航天月刊》，第431期(2014年3月)，頁29-34。

51 邱伯浩、殷洪元，〈全球化中共軍備發展之研究〉，《國防大學97年「國防事務專案研究暨戰略學術研討會論文集」》(桃園：國防大學，2008年10月)，頁152-153。



直接經濟與社會效益。依據美國統計，從阿波羅計畫產出了大約3,000種應用技術，涵蓋太空、航空、軍事、通信、材料、醫療衛生、電腦及其他民用高科技產業等。在登月後短短幾年內，這些應用技術就取得了巨大效益(在登月計畫中每投入1美元就可獲利4~5美元的產出，據美國大通銀行Chase研究會估算其投入產出比為1:14)。此外，阿波羅探測在科學研究方面的重大成就也讓人類對月球和地球—月系的起源與演化、月球的表面環境、地形地貌、地質構造、岩石類型、內部結構和利用前景的研究有了更進一步的認識；同時也推動了月球科學、比較行星學、太陽系起源與演化學、天文學及太空科學技術的快速發展，故阿波羅計畫是一項推動科技進步，伴隨巨大政治、經濟效益的計畫，並一舉擊敗前蘇聯，為美國贏得太空霸權地位。⁵²

二、重視航太研發人才培育

中國航天科技集團公司五院總體部空間科學與深空探測總體研究室成立於2004年11月，從嫦娥三號探測器總體設計團隊目前平均年齡只有40歲的年輕班底，可以充分顯示中國大陸非常重視航天研發人才的培育，⁵³故也非常值得臺灣航太領域之產、官、學及研發團隊效法。於1956年中國大陸在北京航空學院開設航天及火箭設計專業班，隨後相繼在哈爾濱工業大學、西北工業大學、北京航

空航天大學、上海交通大學等10多所高校成立專門培養航天人才和研究航天技術的航天學院、宇航學院；目前中國大陸培養航天人才的高等院校全部邁入國家重點大學行列，同時航天人才培養也形成了學士、碩士到博士完整的學歷教育。⁵⁴又於1997年提出一連串的新措施，如選送優秀年輕幹部到國外留學，對專業技術人才的獎勵津貼等，⁵⁵皆是為了提高科技人員素質。如果由經濟層面來探討，估計至少有30萬人從事中國大陸航天工業的相關工作，而這些人裡不乏擁有高度技術的專業人才。中國大陸的航天工業所創造的工作機會，不僅留下了許多的人才，同時也對高科技的發展有著難以估算的助益。在未來戰爭中，技術優勢的一方將有更多機會掌握主動權，並對敵方弱點實施打擊。相對地，即使國家資源有限，若能有效控制關鍵技術，仍能「以質勝量」贏得戰爭。關鍵國防技術主要係分布在電子、航太、光電、材料與生化等不同學域。尤其在部分領域內，我國已具備了良好之基礎，所生產之產品與其他先進國家相比毫不遜色。我國行政院航太工業推展小組及國家實驗研究院太空中心應主動結合工研院與中科院等公民營研發機構，共同致力於保有具優勢的關鍵國防技術，以求「質」的優勢彌補「量」的差距。惟關鍵國防科技優勢之確保有賴卓越之航太研發人才獲得與整合，故我國防部亦應積極

52 同註7，作者研究整理。

53 龐丹，〈為了在地外天體著陸〉，《中國航天月刊》，第429期(2014年1月)，頁58。

54 餘瑞冬，《中國已初步建成自主培養航天技術人才的教育體系》(北京：中國新聞社，2003年11月)，頁29。

55 郝玉慶、蔡照仁著，《科技強軍論》(北京：國防大學出版社，2004年1月)，頁60-62。

網羅並重視國軍航太研發人才之培植，以期達成「以質勝量」之目標。

目前我國內之工研院、臺灣大學、中央大學、中山大學、成功大學、海洋大學等，皆具有專業衛星科技之組系或學術研究編組，擁有相當之能量。若能予以整合並結合臺灣已有的電子、積體電路等IT產業優勢，以國家的總體力量全力發展特定的航太項目，深信必可大幅提升太空科技，進而爭取臺海上空「制天權」⁵⁶，並逐步籌建太空反制作戰能力。

三、發展核融合能源發電計畫

空間技術與核技術是20世紀最吸引眼球的兩大技術，而核動力航天器則是這兩大技術的完美結合。由於核動力航天器自身具有的戰略意義，其發展一直都受到航太科技大國的密切關注。⁵⁷透過運載火箭研發科技與長程戰術導彈二者相通連的概念，未來發展核融合能源基礎設施與戰術高能雷射武器亦有同工之妙，故非常值得臺灣借鏡。此外，就國家整體「大戰略」觀點而言，發展安全、穩定、環保且高效的新能源將直接影響國家工業及經濟發展，而穩定成長的國家財政，才能滿足建軍備戰所需的龐大國防預算，帶動國防整體發展，確保國家長治久安。因

此，先進國家無不積極投入開發高償還比的能源發電計畫，以滿足未來發展需求，故本研究建議我國的產、官、學、研及軍方各界應加強整合人才及人力，並立即規劃發展核融合能源發電計畫或積極加入國際合作案，以避免被世界潮流邊緣化。

自從日本311大地震引發海嘯造成福島核災後，更加助長臺灣內部反核運動，也造成更多人對核能運用的疑慮。然而，相較於核分裂發電，核融合產生的核廢料半衰期極短(低管理成本、核洩漏時總危害較低)、安全性也更高(不維持便會停止反應)。例如：氘(D)和氚(T)之核融合反應，在一定條件下(如超高溫和高壓)，會發生原子核互相聚合作用，生成中子(n)和氦-4 (He4)，並伴隨著巨大的能量釋放。其反應方程式如下所示：

$$D + T \rightarrow He4 + n + 17.6 \text{ MeV (百萬電子伏特)}^{58}$$

其原料可直接取自海水，來源幾乎取之不盡，惟其中的氚(T)具有半衰期12.26年的放射性，而且會產生中子(n)射線遮罩的問題，故國際能源研究人員建議使用氘(D)-氦-3 (He3)取代之，其反應方程式如下所示：

$$D + He3 \rightarrow He4 + p + 18.3 \text{ MeV (百萬電子伏特)}^{59}$$

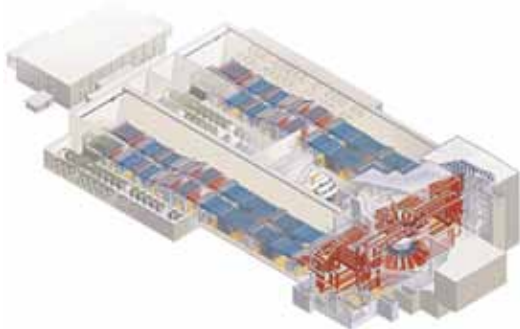
56 桑治強，〈中共航天戰略發展與我國應採之策略〉，《國防雜誌雙月刊》，第22卷第6期(桃園：國防大學，民國96年11月)，頁91。

57 馬世俊、杜輝、周繼時、朱安文，〈核動力航天器發展歷程(上)〉，《中國航天月刊》，第432期(2014年4月)，頁31。

58 J.F. Santarius, G.L. Kulcinski, G.H. Miley, "A Strategy for D-He3 Fusion Development," Presented at the ANS Annual Meeting (Fusion Technology Institute University of Wisconsin), 4-8 June 2006, p.1.

59 同註58。

氘(D)和氦-3 (He3)的反應除了能源效率更優於氘(D)和氘(T)之核融合反應外，只會產生毫無污染且安定的質子(p)，不會產生自由中子(n)，將是更為安全、乾淨及可靠的最佳發電方式。目前人類已經可以實現不受控制的核融合，例如氫彈的爆炸，但是想要有效利用核能源，必須能夠合理的控制核融合的速度和規模，方能實現持續、平穩的能量輸出，而觸發核融合反應必須消耗極高能量(約1億度)，因此，人工核融合的能量與觸發核融合的能量要到達一定的比例才能有運用的經濟效應。

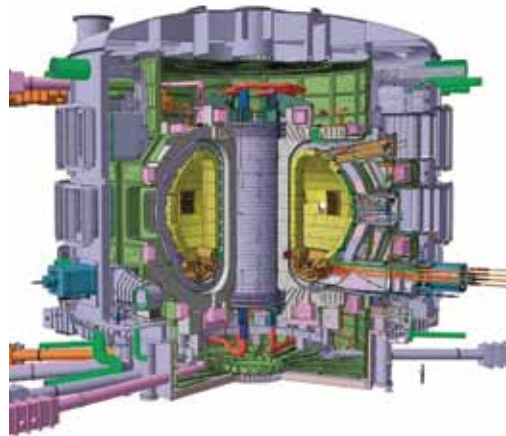


圖七 國家點火設施(NIF)透視圖

資料來源：〈NIF〉，《維基百科網》，2014/5/10。

根據美國「國家點火設施(NIF，如圖七所示)」的官員估計，核融合反應的發電站原型將於2020年開始運行，到2050年將有大約四分之一的美國能量是由核融合能提供

的。⁶⁰此外，位於法國的「國際熱核融合實驗反應爐(ITER，如圖八所示)」工程，同樣將於2020年建成，此項工程係由美國、俄羅斯、歐盟、日本、南韓、印度及中國大陸等七個成員國各投資100億美元共建。⁶¹臺灣的經濟實力並不亞於南韓及印度，應更加主動積極參與跨國型核融合能源發電計畫，並儘早因應國內日益高漲的反核勢力。



圖八 國際熱核融合實驗反應爐(ITER)透視圖

資料來源：〈ITER〉，《維基百科網》，2014/10/20。

四、發展戰術高能雷射武器

面對中國大陸軍隊現代化，嚴重挑戰美國在亞洲的角色，尤其共軍的反衛星系統，能追蹤美國的通信及偵察衛星，⁶²中國大陸於2007年1月11日由西昌火箭發射場發射一具開拓者一號(KT-1)小型運載火箭攜帶反衛

60 維基百科，〈國家點火設施〉，《維基百科網》，2014/5/10修訂，〈<http://zh.wikipedia.org/wiki/NIF>〉。(檢索日期:2014年11月1日)

61 維基百科，〈國際熱核融合實驗反應爐〉，《維基百科網》，2014/10/20修訂，〈<http://zh.wikipedia.org/wiki/ITER>〉。(檢索日期:2014年11月1日)

62 李潔明，《共軍的未來》(臺北：國防部史政編譯室，2000年8月)，頁158-159。

星(Anti-Satellite, ASAT)飛彈摧毀了一顆在高度約856公里太陽同步軌道(Sun-Synchronous Orbit, SSO)已除役的氣象衛星「風雲一號」，對外展示其「直接動能擊殺」低軌道衛星的能力，是自1985年美國發射ASM-135反衛星飛彈，摧毀P78-1人造衛星以來首次成功的試驗，震驚全世界。⁶³現代戰爭作戰方式已不再侷限於地面、空中、水面與水下，而是擴及至太空領域，太空將進一步發展成獨立攻防體系，成為新的太空戰場(如圖九所示)，故各軍事太空強權均已積極投入研製高能武器。而雷射武器就是用高能量的雷射對遠距離的目標進行精確射擊或用於防禦飛彈等的武器。它的優點是反應時間短，可攔擊突然發現的低空目標。用雷射攔擊多目標時，能迅速變換射擊對象，靈活地對付多個目標。在防空武器方面，當前主體是飛彈，如一枚愛國者飛彈可能需要60~70萬美元，而使用一次雷射武器可能只需幾千美元，相比之下消耗費用較便宜得多。⁶⁴雷射武器裝在人造衛星上，可以攻擊剛起飛尚在推進階段的洲際飛彈(在起飛後8分鐘內)，或攻擊軌道上敵方的人造衛星；裝在地面則可以擊落飛機或從上空飛過的衛星；裝在船上則可打擊來襲之飛彈(美海軍戰艦已於2014年部署雷射武器系統，每發成本僅1美元)；⁶⁵裝在

飛機上亦可打擊敵機或飛彈。在臺海兩岸軍力消長的現實條件下，唯有獨立自主的國防研發能力，才能確保國家永續發展；就不對稱作戰策略運用而言，雷射武器非常適合用於反飛彈防空及防禦性太空反制(Defensive Counterspace, DCS)作戰。⁶⁶相較於發展大型運載火箭容易產生企圖製造長程戰術導彈的疑慮，我國可藉由上述核融合能源發電計畫須使用類似「國家點火設施(NIF)」為由，積極研發高能量的雷射科技，相信可以相對減低來自美國的疑慮及限制，未來既能發展清潔、高效的核融合能源，又可轉換為「太空反制」防禦性武器，故發展高能雷射武器可謂一舉兩得，並符合我國家整體利益。



圖九 太空戰場示意圖

資料來源：《中國空軍百科全書(第1版)——上冊》，頁88。

63 黃楓台、張浩基，〈中國太空戰力評估〉，《國防大學空軍學院民100年太空科技與戰略學術研討會」論文集》(桃園：國防大學，2011年8月)，頁22。

64 維基百科，〈雷射武器〉，《維基百科網》，2014/4/26修訂，〈<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%BF%80%E5%85%89%E6%AD%A6%E5%99%A8>〉。(檢索日期:2014年11月1日)

65 編輯部，〈美艦2014部署雷射武器〉，《青年日報》，2013/4/10，第6版。

66 田在勸編譯，《美空軍準則(AFDD2-2.1)——太空反制作戰》(臺北：空軍教準部，2005年9月)，頁3。



五、建立完善的防護措施

「太空反制」就是由陸、海、空、太空、特戰及資訊部隊所遂行的攻擊性與防禦性作戰行動，在美軍聯戰準則上，太空反制又區分為太空狀況覺知(Space Situation Awareness, SSA)、防禦性太空反制行動(Defensive Counterspace, DCS)、攻擊性太空反制行動(Offensive Counterspace, OCS)，太空狀況覺知具有全球性的功能，攻擊性太空反制行動具戰區功能，而攻擊性太空反制行動則是兼具戰區與全球兩種功能。⁶⁷與共軍航天科技發展相較，我國處於相對劣勢，因此，未來建軍備戰應朝「防禦性太空反制行動(DCS)」發展不對稱作戰策略。藉衛星偵測地面部署狀況，已成為國際上不公開之事實，而中國大陸發射之偵察衛星，已涵蓋臺灣地區，相形之下，我地面各種軍事設施可能早已被悉數偵測。然而，偽裝、隱蔽及欺隱為地表面基地節點最有效之方式。太空系統在地面站台某些型式的組件可在偽裝情況下作業，或可隱藏於大型結構內。這些措施將使敵人在鑑別與定置目標上增加其複雜度。⁶⁸為鞏固國防，我現有之海、空基地、雷達站、飛彈陣地、岸基通信臺等各種重要軍事設施，應建立預防被偵察之觀念與具體之

防護措施，除引進或研製偽裝塗料、偽裝覆蓋物及掩體建築物外，亦可採用車載式、地下化陣地及備用複式配置，以減低被敵偵照機率與防制敵之精準攻擊。

結 語

中國大陸鑑於現今國際形勢和國家安全戰略發展，對於爭取航天優勢的建構，已成為新的戰略趨勢，乃加速發展組建「天軍」，研擬航天戰略，期先行強占太空領域，以達先發制人的目的。依國內長期研析共軍發展學者林宗達先生論述，中國大陸航天戰略的發展，係由「制敵機先」、「威懾戰略」朝向「寓軍於民」之整體戰略發展。⁶⁹因應未來「資訊化戰場」需求，我國軍亦應加速在戰場情資傳遞處理系統的自動化，使上、下、友軍之間的資訊能維持及時、正確的溝通，並整合與強化現有C⁴ISR系統，提升整體防禦戰力，確保國家安全。⁷⁰

國學大師胡適先生的名言：「要怎麼收穫，先那麼栽。」中國大陸從「兩彈一星」時代打下良好的基礎開始，經過半世紀的長期規劃與立項實施，月球探測科學的進展已推進其航天工程系統、深空測控通信、新型運載火箭、新能源技術及新材料技術等相關

67 國防部空軍司令部譯印，《太空武力整合—太空武器軍官的觀點》(臺北：國防部空軍司令部，2009年10月)，頁13-14。

68 同註66，頁30。

69 林宗達，〈中共軍事革新之資訊戰與太空戰〉，《全球防衛雜誌》(臺北：全球防衛雜誌社，2002年5月)，頁152-153。

70 郭添漢，〈中共嫦娥工程發展的戰略意涵〉，《國防雜誌雙月刊第26卷第4期》(桃園：國防大學，2011年7月)，頁115。

高科技的跨越式發展，而中國大陸「嫦娥工程」第一、二期的成功，可謂是五大航天科技系統及各部門有效整合下的綜合成果。然而，我國的太空科技發展卻始終受限，未來須重新規劃符合國家整體利益的中、長期發展目標，並多方尋求國際合作夥伴及積極延攬、培育航太研發人才，方能迎頭趕上。

隨著探測科技的日新月異，月球不僅成為科學家亟欲開發的一塊處女地，更是當代太空強權力圖搶佔的戰略制高點。中國大陸「嫦娥工程」之航天戰略，主要在藉研發探月科技以成為航天大國，進而達到提升綜合國力、維護國家安全、躋身區域強權、強化國際地位的戰略目標。雖然目前中國大陸太空作戰的整體戰力未臻成熟，但是以其現有的太空武器裝備來看，對於增進共軍的作戰

效能，確實具有相當大的助益，而我國亦應儘速建立「防禦性太空反制(DCS)」作戰能力與因應對策。《孫子兵法》謀攻篇強調：「知己知彼，百戰不殆。」故我國軍應持續掌握中國大陸探月及航太科技發展現況，並積極研擬剋敵對策，以達成當前「防衛固守，有效嚇阻」的國家戰略目標，確保臺海兩岸長治久安的雙贏局面。

作者簡介

王大宇上校，空軍機校專科78年班、國防大學空院正規96年班、元智大學工業工程與管理研究所博士生；曾任區隊長、分隊長、中隊長、科長；現任職於國防大學空軍指揮參謀學院專業教官(副講座)。



經國號戰鬥機(照片提供：張家維)