

下面文章摘錄自 2011 年 1 月 科學人雜誌。請仔細閱讀並回答指定問題。

重點提要

- 太空梭即將下台：NASA 在 2011 年年中讓太空梭除役後，美國將無法再運送太空人或補品上國際太空站。
- 民間企業即將登場：歐巴馬執政團隊取消了準備取代太空梭的「星座計畫」，打算將載運太空人的任務交給民間企業。
- 希望很大：理論上，政府為勇於冒險的企業提供初期支援，可以帶動太空旅行市場繁榮發展，競爭則可促使價格下降。
- 風險也大：沒有人知道新創公司能否打造出安全、價格合宜又可靠的太空船。如果他們失敗，人類太空探索將倒退數十年。

兩年前，著名影集「星艦奇航」的已故演員「史考特」(本名杜漢, James Doohan)執行了最後一次任務：擔任太空探索科技公司(SpaceX)的代言人。這家民營公司於 2002 年成立，宗旨就是前往其他新創公司從未去過的地方：地球軌道。2008 年 8 月，SpaceX 將杜漢的骨灰放入準備進行第三次試飛任務的獵鷹 1 號，這具以液態氧和煤油為燃料的火箭將飛往地球軌道。但起飛約兩分鐘後，杜漢最後的旅程提前結束，火箭第一節在分離時撞毀了第二節。這是 SpaceX 第三次試飛，也是第三次失敗。

「你以為會有什麼好結果？」美國航太總署(NASA)資深工作人員、航太執行人員等都不覺得意外。他們一直認為要將太空船(尤其是載人太空船)安全地送上距地球數百公里的太空，一定要有大批工程師、技術人員和管理人員，還必須有數十億美元經費和長達數十年的開發過程做後盾。太空畢竟是個嚴酷的地方，民間小公司或許能讓小太空船勉強飛行數十公里高，例如企業家工程師魯丹(Burt Rutan)就於 2004 年以此贏得 X 獎，但跟 NASA 多年來的太空梭和國際太空站等任務相比，只算是雕蟲小技。要進入地球軌道，100 公里只能算是剛出門。到達地球軌道後，還必須加速到每秒 7 公里，才能讓太空船在 300 公里高的地方環繞地球。

那麼，2010 年 2 月歐巴馬執政團隊宣佈，NASA 應該實質放棄載人太空船任務並轉移給民間企業時，他們究竟在想什麼？NASA 為了「星座計畫」已經投入 90 億美元，打算接替太空梭，建造運送太空人和補給品前往太空站、甚至月球的後繼載具，這些在新方案下將化為烏有。NASA

反而還將提供種子基金給 SpaceX 等新創公司，並同意付費使用這些公司的火箭前往太空站。

許多人指責這項方案不僅太天真，而且十分莽撞。批評最力的是曾當過太空人的太空偶像阿姆斯壯，他一聽見民間企業即將接下 NASA 任務，就嗤之以鼻地說：「必須經過多年努力和大量投資，才能達到必要的安全性和可靠度。」阿姆斯壯等人堅持，將地球軌道運輸飛行交給民間企業，等於讓載人太空探索走回頭路。而且萬一民間企業出錯，甚至會發生災難(許多人相信一定會)，整個載人太空事業可能因此長期、甚至永久停擺。NASA 規模龐大的載人太空航行組織一旦瓦解，要重建所需的時間和金錢，恐怕不是一般人能接受的。儘管有這些考量，美國國會在 2010 年秋天仍然勉強同意了這項方案。

單單只是賭注太大又有風險，並不表示絕對不值得冒險。我們有理由相信，民間企業很快就能勝任將人送上地球軌道的工作，而且會比 NASA 執行過的計畫花費更低、更可靠。更進一步來說，由於 30 多年來載人太空探索可說毫無進展，大多數人甚至已經不敢夢想人類能在地球上空建立一席之地，讓一小群太空人執行任務，並供許多科學家、工程師，甚至想去外太空小住一段時間的一般民眾在此停留，但這項方案或許能打開通往夢想的大門。更棒的是，這群太空旅客可望帶起自給自足的地球軌道經濟，在火星或更遠的星球建立人類的居住地，成效可能比星座計畫或任何傳統太空計畫更大。

當然，由商業界建造太空船不是什麼新鮮事。將 NASA 的太空人送上太空的優秀太空船，一直都是由民間企業開發和製造的，這項方案真正改變的是 NASA 與民間機構的合作方式。以往 NASA 跟美國國防部一樣，以「成本加成」方式雇用承包商，不但支付所有花費，還保證會加上一定的利潤。

專家都同意，成本加成的承包方式會提高成本和複雜性，因為計畫中添加的功能越多，承包商就賺越多，而 NASA 也越不會在日後被指責對這項任務太吝嗇。但許多人表示，這也導致 30 多年來 NASA 的載人太空任務一直走不出低地球軌道，只能死守每次花費高達數十億美元的太空梭，而且由於成本過高，嚴重限縮飛行次數，因此成效一直不彰。而星座計畫也遭批評者警告可能會製造出更多同樣的垃圾。

美國的太空與國防顧問機構 Tauri Group 資深分析師賈斯禮(Paul Gulhrrie)指出，新的「購買產品」模式其實也不是沒有先例，第二次世界大戰後，美國政府大手筆投資了不確定但具有龐大商業收益潛力的工業科學與技術帶動了生物科技、電腦、線上產業等的進展。這些產業也和現在的地球軌道飛行一樣，曾經在孕育期面臨嚴苛的技術和商業挑戰，但在政府的協助下，它們克服了這些挑戰。NASA

的方案在許多方面也是如此：提供開發經費，同時成爲保證客戶，讓產業界不斷改良產品，並發展出規模經濟。1970年代，美國國防部就曾是許多微晶片製造商的主要創辦者和客戶，一直到摩爾定律出現、競爭程度提升，使晶片的功能和價格出現驚人進展爲止。

沒有人知道太空旅行是否也能有自己的摩爾定律，但當然沒有什麼定律規定太空旅行永遠都得這般昂貴。在歐巴馬政府這項方案下，企業想要爭取到業務，就得找出節約成本的方法。如果超出預算，必須自己貼補差額。換句話說，省一分錢就等於企業多賺一分錢，而不是讓政府少花一分錢並加入「加成」中。

目前在新興太空產業中顯然執牛耳的SpaceX，一直很努力爭取這個機會。該公司甚至自己加工電鍍鋁製螺栓，將成本壓低了0.15~0.3美元。爲了大幅降低隔熱罩中使用的碳隔熱材料成本，SpaceX不找該產業中唯一的供應商，轉而設計自己的配方。另外，爲了避免火箭引擎排氣出現紊流，必須使用直徑逐漸收細的特製管子，價格相當昂貴。SpaceX則提出自己的設計，將直徑均一、成本低廉的管子彎成螺旋形，取代這種管子，從而省下大筆成本。

爲了鼓勵這類創新，NASA必須放手。他們一向習慣鉅細靡遺地指導承包商建造太空載具，但在新方案下，NASA只需說明希望系統具有哪些功能，例如安全運送一定的重量進入地球軌道等。NASA負責計畫分析的麥卡利斯特(Phil McAlisler)表示「我們不會過度干涉承包商如何符合我們的要求，只會列出高水準的目標，並在達成目標的方式上給予承包商最大的彈性。在特定時間點，我們會確認要求是否達成，並以必要的監督來確保成果。」爲了協助民間公司盡可能簡化太空船並提高效率，NASA的新方案也取消了星座計畫中希望軌道太空船能進一步飛往月球的要求，目前只要求將人員與貨物安全送往太空站再回航，並保持成本低廉就好。

取消月球任務招致一些批評，但這類任務其實只是在演練探索計畫真正的長期目標：將人類送上火星。不論反對新方案的人士怎麼對大眾說，這項方案本身並沒有要求NASA減少太空任務花費，或放棄載人太空探索的長期計畫。相反的，這項方案含蓄地承認，來回造訪火星所需的科技進展，遠超過星座計畫所能提供。這項方案可讓NASA卸下軌道運輸的經費和專業負擔，獲得一些喘息空間來取得火星任務等所需的科技進展。美國的太空與國防顧問公司「太空顧問國際」總裁暨美國空運官校艾森豪太空與國防研究中心研究員塞特(Eligar Sadeh)表示：「這項方案可讓NASA減少低軌道任務的成本並改善管理，能專注於研究與開發，以及地球科學與太空科學。」事實上，這項方案還要求NASA在未來數年內增加預算。在許多方面，這項方案是希望讓NASA回歸真正的研究機構，回到像1960年代那樣的光輝時期，將已經做過的低地球軌道工作交給民間承包

商，然後讓火星成爲新的月球。

萬一民間企業最後沒能提供安全可靠的軌道載具，或是成本高出許多，那麼鼓勵承包商、放鬆管制和省下NASA的經費就會顯得不甚明智。民間企業是否能通過這個考驗？儘管現在還言之過早，但從種種跡象看來，答案應該是肯定的。2008年9月，也就是距離讓杜漢屍骨無存那次發射失敗僅一個月，SpaceX的獵鷹1號成爲第一具飛進地球軌道的民間企業液態燃料火箭。不到一年後，以載人太空船爲目標且推力更強的獵鷹9號也進入地球軌道。

SpaceX火箭試射成功十分令人振奮，但足以證明民間企業可能成功的實際證據也僅止於此。目前唯一積極打造軌道載具的新競爭者，是美國的軌道科學公司，不過實際成果也相當有限。這兩家公司都聘請了太空產業中最受推崇的管理人員和工程師，但他們最後能否在缺乏大批NASA工程師提供詳細設計規格的前提下，在壓低的預算內設計出優異的太空船，仍然是未知數。

然而，美國喬治華盛頓大學太空政策研究所前主任洛格斯登(John M. Logsdon)表示，現在也沒有什麼理由認爲他們做不到，而且如果有機會，他們很可能成功。洛格斯登進一步指出，經過一番努力打造出的太空船，成本很可能會低於星座計畫太空船，雖然可靠性或效率不一定會提升那麼多，至少未來5-10年內的太空船不可能。他表示「第一回合可能是在政府放寬監督標準的情況下降低成本。但到了第二回合，應該會出現其他新競爭者，真正的創新或許這時才會出現。」這些突然出現的競爭者實力不容小覷，據說正在積極爭取合約的太空科技公司，包括亞馬遜書店創辦人員佐斯成立的藍色原點公司、軟體界名人卡麥克(John Carmack)創辦的阿瑪迪洛太空公司，以及幾位火箭產業資深人士共同創辦的Xcor太空公司等。

這個產業的成員不僅限於太空船的製造廠商。如果運輸成本降低使進入軌道的人數大幅增加，太空站上的空間可能無法滿足所有需求。這個問題早就有了解決方案：美國的畢格羅太空公司推出了一款模組化充氣艙，各部份元件可先運上太空再組裝充氣，成爲軌道起居區。日後可能還會有其他公司提供太空住所、實驗室、儲存和建築設施。但更大的競爭將來自相繼投入新太空競賽的各國政府，日本和印度已準備以自身的軌道升空能力加入競爭行列。

傳統太空承包商很可能也會角逐歐巴馬方案下的業務。這些大公司當然能打造優秀的太空載具，唯一的問題是能否在固定價格規則及降低成本的壓力下製造出適合的太空船。波音公司和洛克希德馬丁公司合資成立的聯合發射同盟公司(ULA)已能以一億美元的成本將太空船發射到地球軌道，比NASA低廉許多。雖然ULA的價格是SpaceX開價的四倍，但它有可靠的記錄做爲後盾。波音公司太空探索業務發展副總裁史納爾斯(Jayne Schnaars)表示：「如果

讓我們在固定成本內進行開發，又不會有客戶在旁邊指指點點，我們也能做得不錯。」

歐巴馬這項方案最大的潛在效益，是有機會壓低軌道飛行成本，創造良性循環：價格降低，更多人飛行，規模經濟和競爭程度提高，進一步使價格降低，如此繼續下去。如果飛行人數足以促成在軌道添加更多基礎建設，使居住空間和可從事的活動增加，吸引更多人前來，就會再促成更多基礎建設。看，軌道經濟就這樣成形了。

付費購票的人數是否足以讓這類飛行出現利潤，並且帶動競爭、成本降低和創新？如果除了NASA支付的費用之外，沒有明確的獲利途徑，民間企業根本不可能進軍太空。Tauri Group的賈斯禮表示：「太空可能會成爲下一個網際網路，讓美國的經濟長期成長，但最根本的問題是市場會怎麼發展。」

不可否認的，有一個市場已經存在，也就是目前由太空梭提供服務的市場。美國和其他許多國家仍然迫切需要將科學家和技術人員送往太空站，進行各項醫學、生物或化學的零重力研究，或是維修觀察地球或太空的設備（在歐巴馬方案中，太空站的使用年限已由的2015年延長到2020年）。如果新的競爭性太空產業可使地球軌道航行成本降到500萬美元，會有更多國家將更多研究人員送上軌道。但即使價格大幅降低，對大多數機構而言還是太高，所以每年可能頂多數十人搭乘，不會超過數百人。

如果零重力製造可帶來獲利，那麼軌道經濟應該會頗具潛力。不過目前看來，狀況似乎不怎麼樂觀。幾乎無重力的環境可以讓我們製造出特別龐大或純淨的晶體、完美的滾珠軸承和其他球形產品，以及完全異質的化學混合物。儘管這類特殊產品和物料可以賣到比較高的價格，但在太空建立工廠、維持運作，以及來往運送原料和成品的各項成本，大概就已超過價差的數千倍，至少目前所有已知的產品都是如此。XM衛星廣播公司共同創辦人暨美國華盛頓特區專門投資太空領域及其他新創公司的天七創投公司總裁李文 (Lon Levin)表示：「就算有鑽石小行星經過地球附近，扣掉登陸、開採和運回鑽石的成本之後，大概也沒辦法成爲可長期經營的事業。」

由於可能有在微重力下才能製成的高價值藥物或奈米材料，因此工業研究人員一定會參與軌道飛行。波音公司的史納爾斯表示：「進入軌道的高昂成本一直是這個實驗領域的限制因素。成本下降後，實驗會越來越多，成功的機會也就越大。」賈斯禮指出，或許只要有一次這樣的發現，就能造就規模夠大的製造業，真正帶動軌道經濟。

不過大多數觀察專家都認爲，近期最具潛力的成長市場是太空旅遊。俄羅斯自2001年至今，已使用聯合號太空船將七名遊客送上太空站(其中一位還乘坐了兩次)，費用爲

3000~5000萬美元。價格如果大幅降低，乘客人數應該會攀升。李文表示：「市場事實只有一個，就是前往國際太空站旅遊的市場需求不是零。我們知道有些人願意花費1000~2000萬美元上太空。如果價格能再降低到100萬美元，會不會有好幾百人想去？這是有可能的，而且可以長期經營下去。」如果用抽獎方式銷售太空旅遊，例如花100美元購買萬分之一進入地球軌道的機會，應可進一步提升銷售量。

李文和其他觀察專家也指出，另一個黑暗的命運輪盤正在轉動：萌芽中的地球軌道旅遊專業可能發生事故，造成旅客傷亡。位於阿布奎基的科技投資顧問公司執行長麥科考 (Sherman McCorkle)斷言，這種狀況假如真的發生，太空旅遊事業將會立刻煙消雲散。新墨西哥州目前投下三億美元，正在阿布奎基以南240公里處建造「太空港」希望扶植太空飛行產業。麥科考表示：「如果第七次太空飛行失敗，第八次飛行可能會隔很多年。企業家習慣在問題出現後鏗而不舍地加以解決，但是用處理衛星通訊的方式來處理太空旅遊，是行不通的。」

另一方面，與美國科羅拉多大學合作的eSpace太空企業家中心創辦人提比茲 (Scott Tibbitts) 指出，不論是風險或災難，都阻擋不了大規模潛在市場的崛起。他說：「社會大眾不怎麼畏懼冒險旅遊的風險。1996年有八個人試圖攀登聖母峰喪生之後，大眾前往聖母峰探險的市場反而大幅成長。有人因高空跳傘喪命時，也沒有人說要禁止高空跳傘。我們對太空風險的容忍度會提高，尤其是價格降低到100~500萬美元之後。在這樣的價格下，只要有公司願意載運，就會有很多人想乘坐。」

除非很快就有其他選擇出現，否則旅遊應該是軌道經濟的發展關鍵，不過至少在未來幾年內，成長步調將相當緩慢。洛格斯登表示：「在可預見的未來，這個市場顯然仍相當有限。」千萬富翁的冒險旅行像個不怎麼牢靠的掛勾，上面掛著我們的太空探索夢想，但還是有一定的意義。資本主義是人類歷史上最強而有力的工具，走出地面上的家園朝太空發展，是人類最具野心的計畫。達成目標的最佳方法，或許就是搭順風車。

指定問題：

1. 2010年2月歐巴馬執政團隊宣佈，NASA應該實質放棄載人太空船任務並將該任務轉移給民間企業，如果你是SpaceX的執行長，你認爲這項訊息將爲SpaceX公司帶來哪些商機？請說明理由。[50%]
2. 如果要將第一題中所列舉的商機轉化爲SpaceX公司的營收及獲利，你認爲關鍵成功因素爲何？請說明理由。[50%]