

# 哈伯太空望遠鏡的歷史與演進

人類對於夜空和宇宙的好奇心，推動了近三、四百年來天文望遠鏡的發展。從伽利略發現木星的四大衛星開始，人類觀看宇宙的視野，隨著望遠鏡的進步，從太陽系擴展飛躍出銀河系之外，一直延伸至早期的宇宙。由於望遠鏡技術的突破，人類對宇宙的認識也不斷地翻新。而哈伯太空望遠鏡在天文研究的歷史上，就是這樣一個占有獨特地位的望遠鏡。

文／徐麗婷



位於低軌道的哈伯太空望遠鏡。  
影像來源：NASA

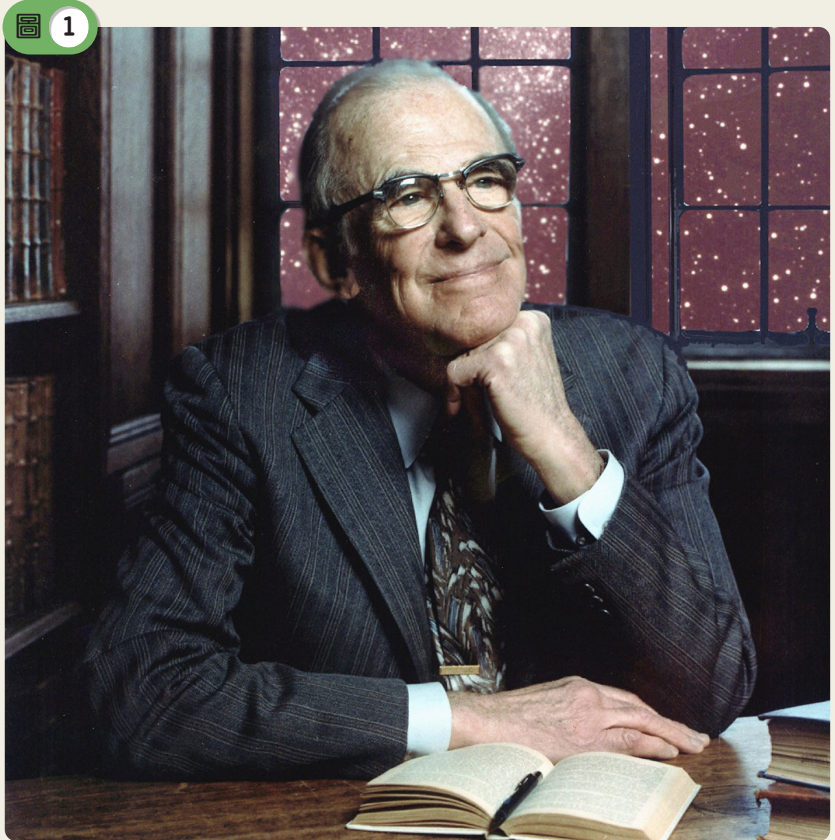
哈伯望遠鏡的升空，提升了人類觀測宇宙的廣度和深度，更幫助科學家解決自古以來的問題。例如：宇宙是如何誕生的？太陽是怎麼出現的？太陽系的未來會如何？組成我們生命的元素從何而來？宇宙中還有像地球一樣有生命的地方嗎？黑洞真的存在嗎？科學家從哈伯望遠鏡的相機所拍攝的影像中，嘗試著向我們展示更加不可思議的宇宙。

## 太空望遠鏡 為什麼重要？

哈伯太空望遠鏡是人類發明的第一台大型太空望遠鏡。然而，是誰想出太空望遠鏡這樣的點子？為什麼把望遠鏡發射到太空這麼重要？這個想法早在1940年代後期就出現了，是由普林斯頓大學的天文物理學家萊曼·史匹哲（Lyman Spitzer），如圖1所提出。相較於地面望遠鏡，史匹哲在論文中提到太空望遠鏡有兩個主要的優點：

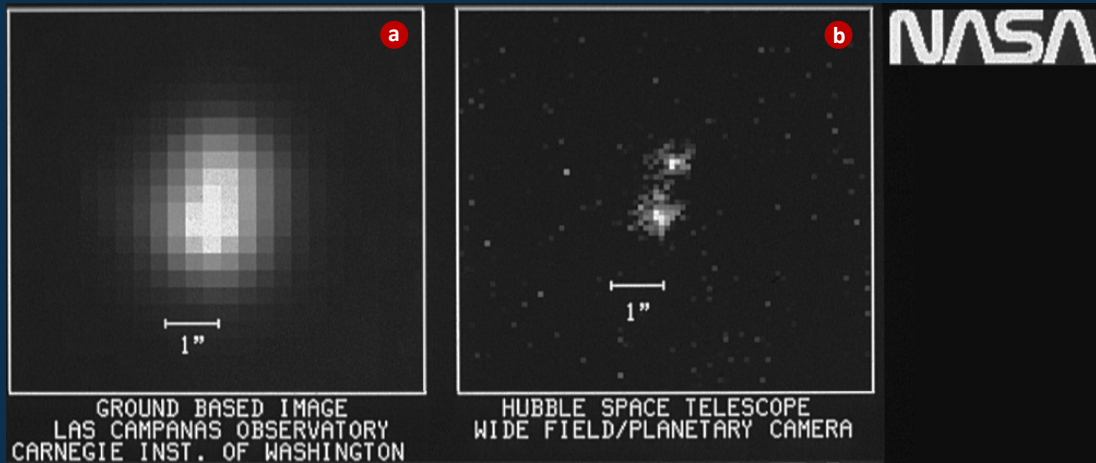
### ① 避免了大氣擾動的影響

當我們觀看天空中的星星時，會有「一閃一閃」的效果，這是因為星星發出的光穿過地球大氣層時，受到大氣擾動的影響，光線被大氣層散射而產生的現象。這樣閃爍的效果會使得望遠鏡拍到的影像變得很模糊（也就是解析度變差），如圖2。同樣口徑的望遠鏡，太空望遠鏡的解析度可以達到地面望遠鏡的十倍以上。



天文物理學家萊曼·史匹哲（Lyman Spitzer）。圖照來源：維基百科

### 圖 2



這兩張影像是相同的在天區，使用不同的望遠鏡所拍攝的同一對雙星。圖 a 是由口徑2.5公尺的地面望遠鏡所拍攝，圖 b 是由口徑2.4公尺的哈伯望遠鏡所拍攝。圖 a 因為大氣擾動的影響，兩顆星的影像模糊不清，看起來像是一顆星。圖 b 的哈伯影像則是非常清晰地辨別出兩顆星。影像來源：NASA

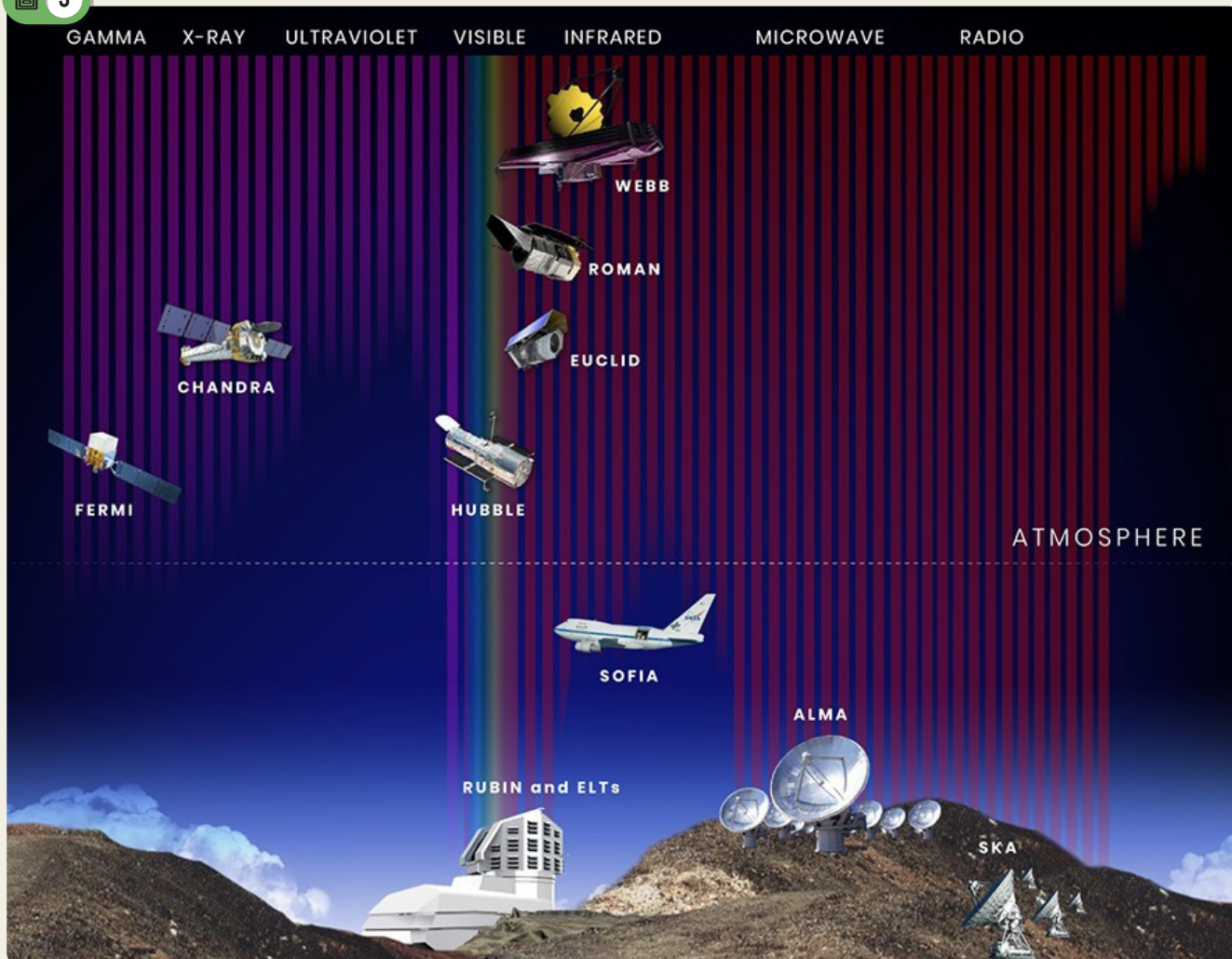
②能夠看到可見光波段以外的光，像是紅外線和紫外線。

太空望遠鏡的另一項優勢，就是可以看到地球表面上看不到的光。宇宙中的天體會發出各種不同波段的電磁波，包括無線電波、紅外線、可見光、紫外線、X光、伽瑪射線等等。但是並非所有波段的光都能在地表上被觀測到，像是大部分的紅外線和紫外線會被大氣層吸收或反射，X光和伽瑪射線更是無法進入大氣層。大氣層保護人類免於受到這些光線的傷害，但也讓天文學家無法看見天體的全貌。但是，若把望遠鏡發射到太空，這些光線就不會受到大氣層的阻擋了，如圖3。

## 哈伯望遠鏡的早期發展

然而，以人類在1940年代的科技發展來看，那時甚至還沒有能力發射火箭到太空，更不用說把望遠鏡放到太空中了。另外發射太空望遠鏡的經費十分龐大，這讓當時很多天文學家起身反對這樣的計畫。所以史匹哲在1940年代提出的想法，並沒有受到太多重視。直到1960年代，美國太空總署（簡稱NASA）成立，成功地發射多個小型太空望遠鏡，而且也證明了觀測天體其他波段的光線，具有很大的科學潛力。此時，史匹哲再度提出大型太空望遠鏡（Large Space Telescope，簡稱LST，也就是未來的哈伯望遠鏡）的計畫，並且努力不懈地說服那些還抱持反對意見的同事們。但是，在1960到1970年代，阿波羅登月計畫花費了龐大的資金，NASA因而縮減了其他計畫的預算。在1974年，LST的計畫預算甚至被國會全數刪除了，大型太空望遠鏡的計畫因此陷入了困境。

圖 3



示意圖中標示了不同大型地面望遠鏡與太空望遠鏡的觀測波段，由於地球大氣會吸收大部分的紅外線與紫外線，因此在地面上多以觀測可見光與無線電波為主。若要觀測紅外線與紫外線，就必需將望遠鏡送至大氣層之外。圖片來源：NASA

## 南西·葛蕾絲·羅曼的貢獻

在LST的計劃中，南西·葛蕾絲·羅曼（Nancy Grace Roman），如圖4，扮演著非常重要的角色。她主要的工作是設計太空望遠鏡的藍圖，並且嘗試把CCD（Charge Coupled Device，電荷耦合元件）應用在望遠鏡上面。CCD是一種積體電路，能感應光線，並將影像轉變成數位訊號，是目前很多望遠鏡上所使用的光線偵測儀器。而哈伯則是第一個使用CCD的太空望遠鏡，如圖5。

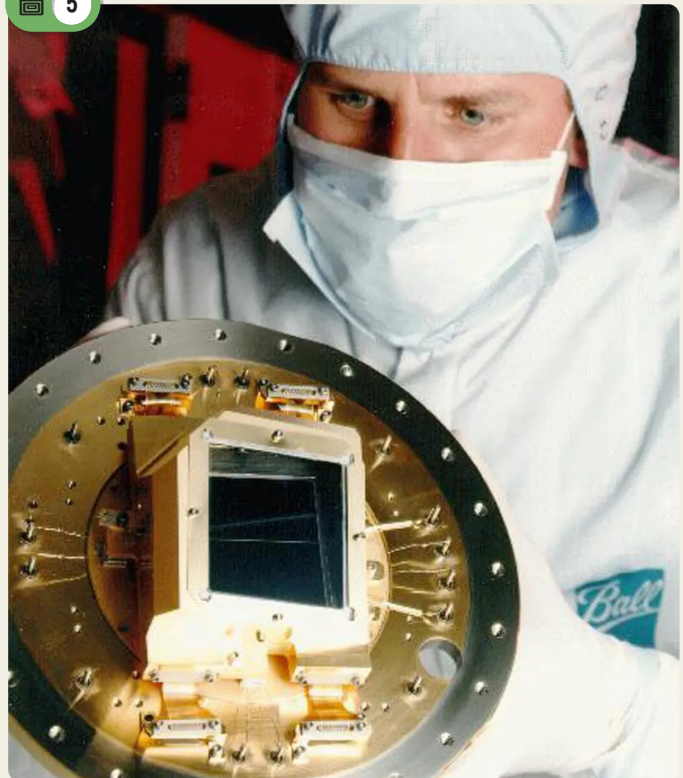
在LST計畫預算被刪除的期間，南西努力地與各個相關的政治與學術單位溝通，希望國會能夠再次考慮太空望遠鏡的發展，並重新撥出預算給LST計畫。南西同時也在全國各地進行大量的公眾演說，她發起了全國性的遊說和寫信活動，希望能取得美國民眾的支持。南西在一次演說中說：「每個美國人只需要省下一個晚上一場電影票的錢，你就可以得到15年令人興奮的科學成果。」終於在1977年，國會重新撥出預算給LST計畫，如圖6。1978年，LST計畫開始進行，望遠鏡以及載運太空梭的詳細設計工作正式展開。南西也因此被NASA的同事們稱為「哈伯之母」，感念她在哈伯望遠鏡的貢獻。

圖 4



天文學家南西·葛蕾絲·羅曼（Nancy Grace Roman）。圖照來源：維基百科

圖 5



哈伯望遠鏡是第一個使用CCD作為感光元件的天文望遠鏡。圖照來源：NASA

圖 6



美國國會於1977年正式撥款，隔年LST計畫終於正式展開。圖照來源：NASA

## 哈伯望遠鏡的 國際合作與命名

由於計畫的預算考量，望遠鏡的口徑從3公尺縮小到2.4公尺以降低成本。另外，NASA也尋求國外的資金與技術合作，他們與歐洲太空總署（European Space Agency，簡稱ESA）協議，ESA將提供太陽能板和一台望遠鏡儀器，以換取歐洲天文學家獲得15%的望遠鏡觀測時間。1986年，在預定發射日期前，NASA決定以美國天文學家愛德溫·哈伯（Edwin P. Hubble），如圖7，來命名望遠鏡。哈伯在1920到1930年代，透過觀測星系的距離與運動，發現銀河系以外還存在很多跟銀河系一樣規模的星系。同時，藉由觀察星系的運動，哈伯發現大多數的星系都在遠離我們，他是最早發現宇宙正在膨脹的科學家之一。因此，NASA將望遠鏡命名為「哈伯」來紀念他的貢獻，全名為哈伯太空望遠鏡（Hubble Space Telescope，簡稱HST）。

## 命運多舛的發射日程

發射哈伯望遠鏡的工程設計十分複雜，除了望遠鏡的本體與鏡面，負責發射的載運太空梭，在技術上也非常困難。所以，在整體的製作過程中，發生很多延誤和成本超支，望遠鏡發射的時間也從1983年一直推遲到1986年。1985年底，哈伯太空望遠鏡已經準備就緒，發射日期也已排定。就在一切計劃看起來都很不錯的時候，1986年一月，挑戰者號太空梭在發射後不久，發生了悲劇性的爆炸，這使得太空梭的發射工作全面停擺。NASA必須要即刻開始調查意外發生的原因，太空梭也因而無限期停工。哈伯望遠鏡的發射因此被迫延後到三年多以後。終於在1990年4月24日，發現號太空梭將哈伯送上太空，如圖8。

圖 7



天文學家愛德溫·哈伯（Edwin P. Hubble）。圖照來源：維基百科

圖 8



哈伯望遠鏡終於在1990年4月24日正式升空，太空望遠鏡的時代就此展開。圖照來源：NASA

## 令人大失所望的第一次觀測

哈伯望遠鏡從規劃、執行、到發射成功，花了十幾年的時間，成本更是從最初的4億美元增加到47億美元以上，天文學家對於哈伯的拍攝成果充滿著的期待。然而，哈伯拍出來的第一張影像，卻讓天文學家大失所望。向他們迎來的不是歷史性的一刻，而是一張嚴重失焦的照片。原本大家預期哈伯在太空中拍到的影像應該會非常清晰，但實際上拍到的第一組照片，解析度卻比預期的糟糕十倍，與地面望遠鏡拍的效果差不多。

根據後續的調查報告顯示，哈伯望遠鏡的主鏡在製作過程中發生錯誤，鏡面被磨得太平了，與正確的鏡面弧度相差了大約2.2微米（相當於人類頭髮直徑的五十分之一）。這個差異使得望遠鏡的影像出現了「球面像差」，影像無法聚焦，所以看起來很模糊，如圖9 a。

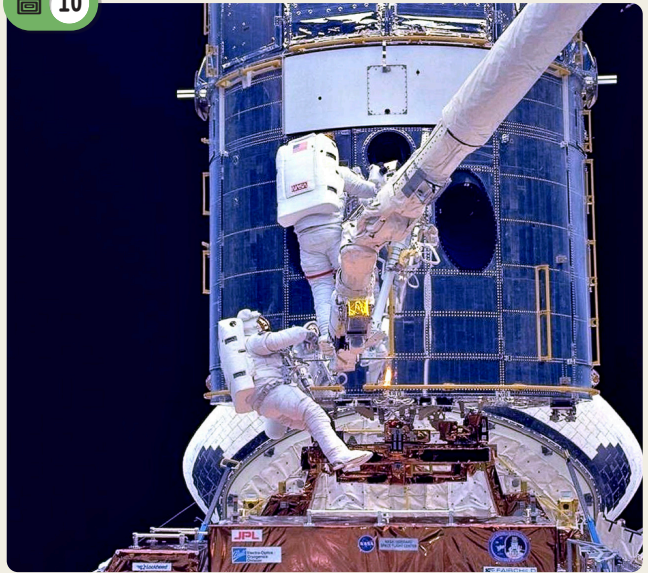
## 哈伯望遠鏡的維護任務

因為磨錯主鏡發生的失誤，使得哈伯望遠鏡在1990年升空之後，就立刻停工了。當時很多天文學家認為這個任務有可能就此徹底失敗，而大眾和美國國會也因為這個錯誤感到憤怒，哈伯更成了電視節目和社論漫畫上的笑柄。但是，幸運的是，這個錯誤是有機會可以挽救的。

NASA的工程師想到了一個方法：設計出一副

矯正眼鏡來修正望遠鏡的對焦。此外，哈伯望遠鏡還有另一項優勢：望遠鏡位於近地軌道上，距離地球表面只有大約550公里，NASA可以利用太空梭把太空人送到太空中作維修服務，幫望遠鏡戴上眼鏡。1993年，NASA派遣奮進號太空梭執行第一次的哈伯望遠鏡維修任務，這個任務稱為「第一次維護任務」（Servicing Mission 1，簡稱為SM-1），如圖10。這個修復任務執行得非常成功，在安裝上矯正鏡片後，哈伯的影像變得如預期一般的清晰，望遠鏡也達到最初所設計的靈敏度和解析度。圖9 b的影像為第一次維護任務之後，哈伯戴上矯正鏡片後所拍到的影像，明顯比左邊矯正前所拍的影像清晰許多。

圖 10



太空人正在低軌道進行哈伯望遠鏡史上最重要的第一次維修。圖照來源：NASA

圖 9



哈伯望遠鏡升空後所拍攝的漩渦星系M100影像，如圖 a，影像品質讓天文學家大失所望。在1993年進行維修後，影像品質大幅改善，如圖 b，哈伯迄今為止共經歷5次維修，最終調校出極高解析度的影像，如圖 c。圖照來源：NASA

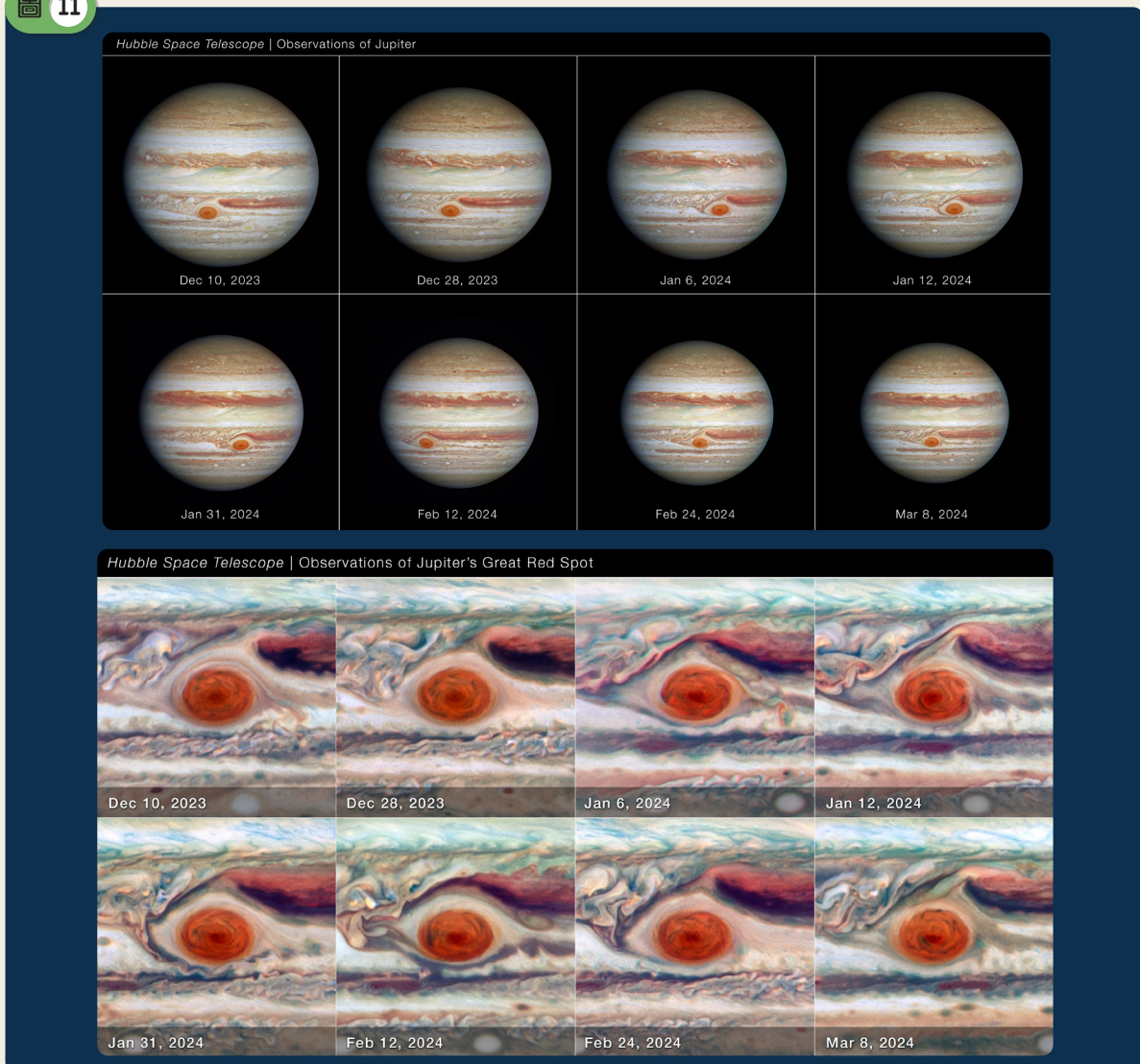
哈伯一共進行過五次的維護任務，分別是在1993、1997、1999、2002、和2009年。太空人在每一次的任務中，都會以太空漫步為望遠鏡更新不同的儀器設備，包括光學校正系統、陀螺儀、電力設備、電腦、和相機。每一次哈伯儀器的更新，都讓人類對宇宙有更多的認識。例如，2002年第四次維護任務所安裝的先進巡天照相機（Advanced Camera for Surveys，簡稱ACS），拍攝到了能夠證實宇宙正在加速膨脹的數據；2009年第五次維護任務所安裝的第三代廣域照相機（Wide Field Camera-3，簡稱WFC3），拍攝到了大霹靂（the Big Bang），即宇宙的起源後十億年內誕生的早期星系。另外，哈伯望遠鏡上的紅外線與紫外線儀器，更讓人類的視野終於能突破地球大氣層的限制，揭開宇宙天體在其

他波段下的面貌（與可見光全然不同），像是恆星誕生的秘密、系外行星系統、和宇宙暗物質的間接觀測證據等等。

當初NASA預估哈伯望遠鏡的壽命大約是15年，很少人能想像得到，哈伯竟然能在軌道上持續運作三十年以上，一直到今日都還在工作，如圖11。如果沒有這五次的維護任務，哈伯不可能達成它現在所實現的科學成果。這五次的哈伯維護任務是太空史上最危險、技術上最複雜的太空任務，也注定將會在人類文明發展史上名垂青史。

徐麗婷：政治大學應用物理所兼任助理教授

圖 11



在哈伯太空望遠鏡大約90天（2023年12月至2024年3月）的攝影紀錄中，天文學家發現大紅斑並不像看起來那麼穩定，它的外部輪廓會不斷振盪，像果凍一樣搖晃。影像來源：NASA