

國立自然科學博物館內 遠端遙控天文臺建置

王斌威¹、黃國斌²

摘要

本文敘述處在臺中市區的國立自然科學博物館，是在何種環境背景下，試著從新博物館學的觀點，以及遠端遙控天文臺的技術，來幫助博物館的活動及推廣教育更為豐富且有吸引力。文中介紹完成一個遠端遙控天文臺所需工程的過程，和將設備整合為全自動觀測站的一部分所需的儀器和軟體。文章後段重點介紹了該館天文臺在教育中的應用，以及在博物館展示及推廣上的廣泛用途。最後則整理了文獻和本身的經驗，來對目前和未來的教案提出一系列想法，希望能拋磚引玉對天文教育社群產生一些影響力。

關鍵詞：天文教育、遠端遙控天文臺、博物館、科學中心

背景動機

傳統認知的博物館主要任務在於收藏、保護、研究和展示不同的藝術、考古、民族學、科學和技術展示品，但現代社會中，博物館的責任對參觀者的作用要廣泛得多。參觀民眾不僅要看展品、欣賞展品並享受其中的氛圍，還從展品上學習，並傳給下一代 (Hooper-Greenhill(Ed.), 1996)。在 20 世紀 80 年代後期，博物館應該負起社會教育的想法更為明確，使得原本只著重在蒐集與典藏的博物館，受到這類新博物館學思潮的影響，改變了博物館

對於大眾單向展示的想法，而其中最主要的變化就是認為「物件所能傳達的知識與背後的故事要比物件本身更重要」(Styliani et al., 2009: 520-528)。

國立自然科學博物館（以下簡稱科博館）致力於博物館教育，投入許多心力在科學教育上，每年舉辦各項科學研習活動，像是活動對象以中小學生為主，活動內容著重在地質與植物考察，兼顧天文教學的營隊活動，白天實地野外考察，晚上則攜帶小型望遠鏡，在晴朗的夜晚使用望遠鏡進行目視觀測，這種結合天文及地質的活動形式深受中小學生歡迎。然而，考

¹ E-mail: wpw@nmns.edu.tw

² E-mail: j006@nmns.edu.tw

量目前一般民眾對地球科學的概念和對天文宇宙的瞭解仍待加強，專業人員們希望建立以實作觀測為主的天文教育環境，將研習對象拓展到國內大學生以上，乃至社會人士，讓參與者從親身觀測中，瞭解觀測儀器運作的原理、天體運行的規律、都市光源對夜空的影響，及歷史上天文學的發展如何受政治宗教的影響，從而獲得工程、科學、環保及人文 4 個面向的知識，以重塑 21 世紀社會大眾的宇宙觀。

探究許多人對天文學感到興趣，但卻覺得讓人難以親近的因素，原因之一是一般人很難有機會使用最先進的望遠鏡。天文學是一門觀測的科學，而觀測儀器「望遠鏡」能發揮多大的效能，有相當程度須依賴觀測環境的好壞而定。因此天文臺多半設立在偏僻的地方，如高山上或大漠裡，這些地方一方面晴朗的夜晚比較多，再方面也較少空氣污染及光害。但是偏遠地區的交通十分不便，無論是研究人員前往觀測，或教育推廣人員使用天文臺設備進行教學示範，或對一般大眾展開推廣教育，皆有困難。因此目前世界上天文觀測潮流是朝向「遠端遙控觀測」發展：觀測者可以坐鎮於學校或科教機構裡的遙控中心，直接透過通訊網路，控制遠端的望遠鏡，觀測完畢後並透過同樣的通訊網路把數據傳回觀測者電腦上。如此一來，不單可以克服遠距觀測交通不便的問題，更可以超越以下的幾種限制：一、可以超越晝夜的限制——使用者可以在臺灣的白天操控美國的望遠鏡，在美國的晚上做觀測。二、可以超越緯度的限制——在北半球居住的我們無法看到大部分的南天星空，但若能建立全球遠距觀測網，則用戶可以使用南天的望遠鏡收集資料，不需要再長途跋涉到澳洲、智利或南非去做觀測。三、可以超越天候的限制——觀測者可以視天候選取不同的天文臺進行觀測，不再受到陰晴雨雪的限制。

但要落實遠端遙控望遠鏡的概念，還需要考量網路結合天文觀測技術的學習及設備門檻。根據教育部 106 年學生網路使用情形調查報告顯示，大學以下的學生族群已超過 9 成 5 可在家中使用電腦上網，而高中職年齡層以接近百分之百的學生在調查報告期間的 3 個月中有使用電腦或網路，可見臺灣的國小到高中學生已經能夠成熟運用網路進行學習（教育部，2017）。另 2017 年臺灣寬頻網路使用調查報告的資料也顯示，全臺上網人口估計共 1,879 萬人，已佔總人口 80%，12 歲以上上網人口則有 1,760 萬人，也佔總人口 75%（財團法人臺灣網路資訊中心，2017）。所以利用網路去接觸任何學習資源，或是結合社教館所中的展示以及教學演示，對現今的社會來說已是理所當然的事情，反而說來這才是目前教育現場除了實體展示外，最能發揮效果的領域了。

目前遠端遙控的技術已經被應用於教學現場數十年了，也在 STEM 教育領域上取得了成果 (McLinn, 2011)。國外的一些研究 (Gomez and Fitzgerald, 2017) 也指出：遠端遙控望遠鏡之所以能在天文學學習環境中成功的主要原因，就是能讓學生實際參與天文研究，包括天體的觀測、電腦的運算模擬和理論的建構，從而在研究方法和觀測技術中獲得經驗。遠端遙控天文臺的延伸教案可結合天體的真實科學數據，以及物理學的光和重力的概念，再配合實務上的儀器操作，這其實與 STEM 的教學概念相符合。

此外，國內各學校受限於天文及地科專業師資的不足，在校的天文課程相對稀少，對天文科學有興趣的學生多半從學校或社會上的天文社團，獲得儀器的使用知識及機會，但是業餘的器材設備及課程內容有限，會讓真正想深入天文研究或自然科學探索的同學感到不足。而在社教館所方面，北部有臺北市立天文科學教育館，

南部有臺南市南瀛天文館，但位於臺灣地區觀星條件最好的中部區域卻沒有專業的天文觀測教育設施，甚為可惜。基於上述因素，科博館啟動了「遠端遙控天文臺」計畫，讓具有豐富科教專業和經驗的科博館，能將科教專長發揮到更寬廣的年齡層上。同時，也讓中部地區多了一個高水準的天文科教基地。平常由專業人士維修照護，而在舉辦戶外科教活動時，就有現成的良好設備可用，讓活動內容更為豐富活潑。

前期建置評估

觀察不同部分的天空和觀察不同的天體目標，可能決定了天文臺的位置和方向，但這些具體的資訊和挑戰有助於專業人員決定望遠鏡、載具，甚至軟體的配置。首先是要確定臺中地區的天氣狀況來幫助我們估計天文臺之建臺效益，因為我們不是從事專業天文研究，對於環境要求不用太嚴格，但至少不能下雨，陰天時雖然也沒有辦法做天體觀測，但天文臺本身機械展示仍可以進行。根據全球氣象網的統計（圖 1），在 2011 至 2015 年間，臺中地區的年平均降雨狀況為 110.4 天，所以

依此數據估算，天文臺每年約有 250 天左右的開放效益。

並且遠端操控系統可以是在線操作（由一個人遠端控制）或是全自動操作（由電腦完成所有觀測事項），對軟硬體的选择也會產生影響。一般來說，全自動化系統將是更為複雜的，它除了包括所有在線操作所需的能力，也必須包括一些額外的功能，如接收所需天文數位影像的觀測清單和安排它們的曝光流程，確認和恢復所有的系統錯誤（例如影像規格、望遠鏡定位、天氣環境、設備故障等方面的錯誤）。如果有具體用途的自動系統更容易設計和創建，基本上科博館的天文臺是以全自動操作為建置目標，但在維持穩定性跟安全性的狀況下，一般正常使用都會保持在線操作。但無論如何設備的選擇和建構的過程都秉持以下的原則進行：

一、現地的可適性

世界上主要的高品質光學廠商以及天文專用設備生產地，主要都以歐美國家或日本為主，但為了維持運作順暢，天文臺計畫作業人員會重視可以在當地找到必要的備件和合格的人力資源，因為會有利於現地維修。所以通用型硬體 (universal

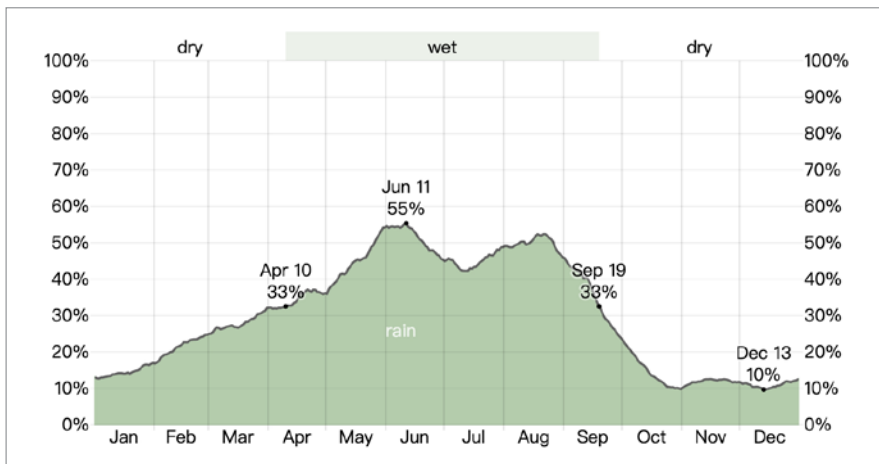


圖 1. 臺中市的年降雨分布狀況，就算是高峰期的夏季也有一半的時間天文臺仍可以展示及執行觀測工作。（圖片來源／本研究繪製）

hardware) 以及開源軟體 (open source) 的應用就很重要。通用型的硬體設施在未來進行維修時有很大的優勢，首先這些部件很容易被識別，不像有些特殊規格的部件需要進出口運輸才能使用或維修，從而導致運營成本（財務成本以及時間成本）的增加。而善用開源軟體可以保證未來對系統的開發和更新的控制，不會受到付費軟體的多重限制。此外，它也可以做為開發未來工作的基礎。並且通常伴隨著大型軟體開發社群，可做為解決軟體問題的支援，因為這些開放程式碼軟體是由社群長期審查並測試的。

二、成本

人人都喜歡低成本的系統但有高品質的表現，但在正常情況下，最有經驗的天文設施的設計和最好的器材，往往是無法以低成本來完成的。在科博館建置天文臺的過程中，和其他私人天文臺或中小學等級的天文臺來比較，科博館研究人員能把人力成本（館內有專門天文物理及網路資訊人員）降低，專注在硬體設備上，來提高設施建置可行性。因為科博館天文臺的裝設，光學元件的調校以及遠端網路的設定皆可由科博館專業人員獨立完成。此外，很多天文臺營運失敗例子中，大多是在硬體建置成功後，卻無專業人員維護，因而荒廢，無法發揮遠距設計的功用。而科博館完成建置後的大多數維護工作皆能獨立完成，故能調整成本配比，也進而降低各項成本支出。

三、多功能性

這部分是指天文臺設計人員能夠預測估計設計方案在不同狀況下被修改的能力，因為設備的運行伴隨著維護環節和更新。如果解決方案非常複雜和精密，它可能會導致系統出現故障後，需要很長時間才能解決，這將導致設備無法正常使用。

此外社教館所的設施和專業研究設施不同，很多時候不能只做單一目的考量，科博館天文臺要具備教育、展示和環境關懷的目標，雖說研究負擔和專業天文臺相比可以相對減輕，但多工性卻是非常關鍵。

四、穩健性

這方面指的是設備的品質和它承受連續工作而不受現地干預的能力。一般狀況下，這是和價格成正相關的。此外穩健性是一個非常重要的特質，因為它保證了設備的可用性和耐久性。它跟之前所提的現地可用性之間有關聯，但不完全一樣。簡單來說，這邊的穩健性是指在不需維修下，能正常運作的期間。有趣的是，天文臺的穩健性，跟之前所提的關鍵點不同，它很多時候不是取決於天文設備。當然天文設備會影響，但在很多情況下，天文臺的穩健性會和天氣（所以天文臺有裝氣象監測儀器）、環境安全（所以天文臺也配置了夜間監控設備）和水電設施等等周邊產生很大的關聯性。

天文臺主要設備建置

一、圓頂及基座部分

考量科博館環境空間，比一般私人居所相對寬大，能夠選擇一般天文圓頂的形式當做基地，而不需採用節省空間的平頂開放式設計 (roll-off roof)。參考國際上小型教學圓頂及基本觀測設備的架構，以及符合建置區域的結構安全法規，最後決定規劃以 Sirius 3.5m 玻璃纖維輕型圓頂或同型號圓頂為原則（圖 2）。之前科博館在部分離島高中學校協助建置的天文圓頂也為此型號，此型號是設計可用原始機械驅動或用電腦連動，適合遠端搖控。但差別是原始設計為置放於偏遠地區，具有太陽能板等發電設施。但館內設施供電不是問題，且臺灣常有颱風，一些非主結構物的

配件反而會有安全及財物損失的考量，且防風防水的額外設計（圖 2）必須由館內專業人員加強，並不能完全照原始設計進行，必須因地制宜。

科博館望遠鏡被承載在一根柱子上（圖 3），雖然和一般三腳架相比會比較節省空間，但其實如果是要以全自動觀測為主要工作訴求，人不在天文臺的遠端操作中，三腳架所佔用的地面空間一點也不重要，且相比起來還更便宜。但博物館的設施不是只有供研究用的單一目的，還附有參觀展示的功能，所以在這條件下，基本的圓頂內空間的利用就很重要了，但同樣的遠端控制對柱子的設計沒有任何特殊要求，總的來說，牢固、穩定的安裝就是基本要求。

二、光學系統以及承載機械結構（赤道儀）

在望遠鏡主體的光學系統設計上，專業人員挑選了折反射式，折反射式為光學望遠鏡三大成焦系統之一（其餘為折射式及反射式）。各類型光學成焦方式都有天生的物理限制和特性，而科博館專業人員選擇折反射式望遠鏡的原因為：第一，鏡筒長度都遠低於主鏡焦距，所以跟折射式相比可大幅縮減望遠鏡長度以利裝設，並減少天文圓頂使用的空間，在開放大眾參觀時也能維護參觀安全。第二，比起一般學校使用的折射式系統，同樣口徑大小下，折反射式望遠鏡是有成本上的優勢。因為設計上的不同，同樣口徑下的折射式望遠鏡價格會是折反射式的數倍之多。第三，前方加裝修正鏡的系統可使鏡筒增加密閉性，跟一般反射式相比，可減少灰塵與異物堆積在主鏡上，也可以減少筒內氣流干擾與減緩主鏡氧化及發霉的問題。最後選擇為 Celestron 公司設計的改良式施密特 - 蓋塞格林式 (Schmidt-Cassegrain) EdgeHD14 望遠鏡，口徑為 14 寸（約 35



圖 2. 天文臺圓頂的基座部分，白色部分為圓頂主結構，而底下的水泥臺乃額外施作，能保護博物館本體樓板的結構，且能預留排水和弱電管線空間，而基座上的金屬環為防風環扣，當有颱風時可以扣上防護網保護圓頂葉片不被強風破壞及吹落。（攝影／王斌威）

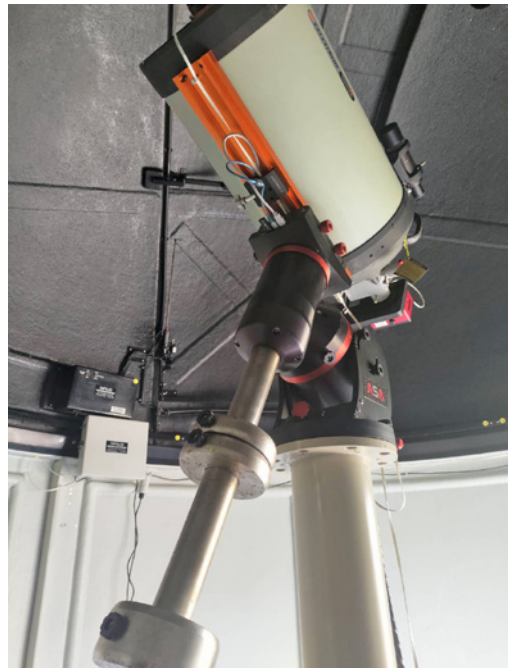


圖 3. 天文臺內光學系統的本體，各項光學和機械元件都被承載在單腳柱上，所以承載柱的空間使用及承載穩定度是天文臺設計非常關鍵的部分。（攝影／王斌威）

公分)，此種形式的設計主要是消除球面像差，讓光學品質提升，但修正後的焦平面，對於現在愈來愈大的影像接收器而言，不夠平坦，這會讓影像邊緣的星點呈現彗形像差。所以 EdgeHD 系統的望遠鏡，在施密特 (Schmidt) 修正板上進行改良，除了讓原本的球面像差仍有效消除外，還讓焦平面比原始的設計更平坦 3 倍以上，這意謂著在更大面積的影像接受器上，仍可以得到品質良好的影像。且 14 寸的主鏡其理想觀測極限星等可達 15.3 等，只要天氣允許，一般掩星事件、太陽系內天體以及星雲星團的觀測都沒有問題。

除了望遠鏡之外，因為是遠端遙控設計，再加上天文教育和研究的需求，不能只是讓觀眾用眼睛看到各樣絢麗的天體就行了，接受影像的部件極為重要（如相機），也是天文臺建置成本中的一大部分。這裡需要注意的重點為，偵測器的靈敏度（可以看多暗）、動態範圍（影像上可以容許的亮度差距）、偵測晶片片幅大小（可以決定天文臺適合的觀測目標）、濾鏡的搭配（不同濾鏡可以觀測到天體不同的細節）以及降溫方式（溫度會產生雜訊，影響影像品質），但還有一點會被忽略的是影像偵測器和電腦的連接方式（USB、SCSI 或是並列埠），這會影響數位資料傳輸跟處理的效率，因此採購了美國 SBIG 公司出品的天文專用 CCD 相機 (STF8300M)，該像素陣列為 3326x2504，是千萬像素的專業級天文相機，並且採用 USB2.0 連接，資料傳輸效率夠好，在成本控制上是一項不錯的選擇。

此外，機械承載結構的選擇，也是天文臺設計的一大重點。一般大眾都知道買一套望遠鏡所費不貲，但依筆者經驗，大多數的人不知道一套望遠鏡設備很多時候貴的部分並不是光學器材的部分，而是底下承載它的機械結構。因此最終選擇了奧

地利廠牌的 ASA85 赤道儀，它具備下列特性，符合天文臺需求。首先該架臺的穩定度跟精度都夠好（不做自動校正下，每小時追蹤誤差小於 0.18 角秒），再來是線材的擴充性和整理有預留活動空間，將來設備擴充時不會影響到圓頂內空間配置，最後它具備強而有力的直驅馬達，使得該赤道儀穩定承載重量達到 65 公斤。雖然科博館天文臺望遠鏡的本體重只有 21 公斤，大家會覺得那多出來的 40 多公斤的承載量，是有必要的嗎？這也是遠端天文臺的設計重點之一，實際使用上需要更餘裕的承載空間保持安全性（因為使用者大多時候不是現地操作），再加上為了博物館以後多元的天文活動，會有器材上的添加和更動，在成本可行的基礎下，加大機械承重的容許量是百利而無一害的。

天文臺附屬設備配置

一、網路及電腦配置

為了幫助網路連線設計，底下將描述幾種不同類型的遠端天文臺情況。網路系統配置將因操作者和天文臺之間的距離，以及所使用的控制系統的類型而有所不同。

(一) 以距離來看

1. 鄰近 —— 系統如果出現問題，用戶可以方便地檢查天文臺。這個距離可能是數十公尺或更遠，以科博館的狀況就是從博物館辦公室到天文臺的距離。
2. 遠距離 —— 在這種類型的安裝中，用戶離天文臺太遠，無法檢查或修理天文臺問題。長距離系統必須更加可靠。

(二) 以通信和控制系統來看

1. 直接連接 (Direct link) —— 用戶電腦可通過單獨的網路專線直接連接到天文臺的每個主要設備。用戶和每個設備之間都

有一個通信連接。

2. 多連接網路——使用者電腦通過單一的通信網路連接到天文臺電腦主機，而主機電腦又連接到其他設備。現在，用戶和每個設備之間有多個連續的鏈接。將根據實際的設備控制程序是在天文臺之電腦中運行（主機 - 客戶控制）還是在用戶電腦中運行（直接控制），來進一步細分多鏈接的情況。

在近距離／直接連接的情況下，用戶坐在電腦前控制每項天文臺器材（望遠鏡、照相機和天文臺控制）的程式。一般來說，每種類型的設備都有自己的軟體，由製造商（或第三方）創建，控制各項器材並接受回應。用戶的電腦在必要時向每項器材傳送命令（例如告訴相機拍攝 2 秒鐘），並接收數據。在多連接網路情況下，不管是近距離（數十公尺）還是遠距離（數百公里以上），都強烈建議用圓頂電腦主機來操作天文臺的設備，即使人不在天文臺內。所以最終的設置是，主要軟體都安裝在主機電腦中，然後在用戶電腦中使用遠端程式來控制主機電腦。

除此之外要注意的重點是，遠端天文臺的電腦主機不用最新最進步的，一般個人電腦都可勝任，它的穩定性才是最需要關心的。穩定性的重點可分成硬體和軟體兩點，硬體的穩定性就是工作溫度要夠廣，當然會有些輔助設施讓天文圓頂內的環境溫溼度保持正常，但圓頂內電腦的工作環境畢竟比不上辦公室裡，所以這部分的耐受性要注意。再來是儲存空間要足夠（硬碟要夠大），因為觀測時所拍攝的影像都會先存在主機後，再經由網路存放到目標磁碟。而現今隨著天文相機的片幅越來越大，也代表著影像越來越佔用數位空間，以這一點來看，夠大的儲存空間是必要的（圖 4）。此外需注意的硬體部分，連接埠要足夠，為了穩定性儘量不要使用外接式連接埠，赤道儀的連結儘可能以本機

獨立的連接端口做連線。以結果來看，桌上型的電腦主機會比筆記型電腦要適合，因為筆記型電腦為了省空間，連接埠的數量和本身的散熱能力，都是挑戰。而軟體部分的穩定有幾項重點，除非能有專門的資訊人員可以完全開發專屬天文臺整套的作業系統（大型研究天文臺才有這種人員配置），基本上還是會使用已開發好的作業系統和套裝軟體（無論開源與否）。首先只裝必要控制軟體和備份軟體，在這邊用戶會控制的部分有望遠鏡指向、圓頂轉動以及遠端連線。不過軟體的更新要小心，不用立即更新，且做好備份，一出問題就回歸備份的可行的狀態。雖說現今發展成熟的天文軟體還算好找，不過還是要常常注意軟體版本的穩定。

二、安全性保護配置

這部分有點五花八門，但在天文臺建



圖 4. 科博館天文臺內的網路儲存系統 (NAS)，天文觀測資料隨著時代愈來愈佔據數位空間，有足夠容量且運作穩定的儲存空間也極為重要。（攝影／王斌威）

置的過程中也需要被納入考量，以下 3 個部件是主要的考量部分，分別是電力的預備措施、圓頂內的監控系統以及天氣的監測。

以穩定的電力供應來說，相較於設置在荒郊野嶺的天文臺，科博館天文臺的電力供應相對穩定，不過為了運作安全起見，備用電源是必須的。所以不斷電系統 (UPS) 的裝配以遠端控制的天文臺來說，已經是必要設施。不斷電系統的裝配有兩大立即優點，首先在電力供應不穩或斷電時，可以有備用電力完成正常關閉天文臺程序（望遠鏡歸位、天文相機回溫以及圓頂關閉）。再來不斷電系統也有濾波器的功能，將一些電壓突波過濾成乾淨穩定的電源，可以保護天文臺內的精密器材。不過不斷電系統的容量大小和兼容性要注意，才能夠順利完成上述功能。

再來討論監控設備，圓頂內的監控設備可說是低成本但高功效的裝置，相對於天文臺總成本而言是非常便宜的。監控系統可以讓遠端的操作者驗證圓頂內的狀況（圖 5），器材的運作是否正常，電纜線是否有不正常纏繞等等，有些無人運作的天文臺監控系統也有保安的效果（非工作人員侵入）。至於裝置選擇以暗視效果好壞為考量，因為工作狀態中的望遠鏡是不能有額外光源照射的。通常黑白暗視攝影機靈敏度會比彩色攝影機好，此外有些會發射近紅外線光源的暗視野攝影機，也要注意照射角度，因為大多數的天文相機受到近紅外線的影響。

最後，一個完整的遠端天文臺，有很高的可能性會設置氣象監測裝置。因為可見光觀測很受天氣狀況限制，環境風速、降水、雲層厚度、背景亮度都會影響正常觀測，也會影響器材正常使用。偏偏狀況不嚴重的時候，遠端操作者是無法藉由室內監控系統發現狀況異常，而且天氣監控系統跟主控系統連線，也能確保不浪費時



圖 5. 天文臺內的監控攝影機具有連網控制功能，能即時掌握圓頂內的觀測狀況。（攝影／王斌威）

間做無謂的觀測。科博館天文臺的天氣監測器最後選擇能結合雲量、風速、日照及溫溼度等偵測：利用測量 8 至 14 微米紅外波段的輻射來確定天空雲量；透過測量風速，當風速過高，不利於天文臺的安全運行時，內建警報器會發出警告；可以檢測日光強度，並可以設置自動關閉屋頂，以防止任何陽光進入望遠鏡的可能性；提供溫度、溼度和露點的連續讀數。以上所有參數都有可調的警戒值，操作者可以選擇對雲層、風和／或溼度發出警報，當檢測到厚重的雲層、大風或降水時，傳感器單元本身將連接到圓頂控制器，就算電腦沒有運行，也可以用來觸發關閉。這提供了一道最後防線，防止天文臺設備因為氣候關係被損壞。而這些氣象資訊也可以利用所附軟體整合到科博館天文臺控制系統中，也能幫忙天文臺在全自動狀態下做出是否能做觀測的決策 (Liu, et. al., 2018: 5)。

最終整合及評估

依據前述的條件去選擇器材，整合基本的中小型赤道儀如 ASA85 或同型號赤道儀、30-40 公分口徑之折反射式望遠鏡筒以及基本型 CCD 天文相機。實際建置計畫包含整套觀測設施以及部分工程施作，約為新臺幣 170 萬元（經費表如表 1）。本計畫工程依工程階段始於 105 年 12 月到 106 年 11 月底結束，其中相關設備採購時程約為 4-5 個月，並需加上裝設測試的時間，期間在 106 年暑假開始試營運，而整體計畫執行過程請見表 2 甘特

圖。考量整體動線及環境後，科博館天文圓頂最終設置於人類文化廳之頂樓（舊雅園餐廳之樓上）。

完成建置天文臺的過程後，還必須做測試和評估軟硬體的設置整合是否成功，因本文不是技術類型文章，所以細節在此不多談。科博館天文臺的設置目的是為用戶提供服務，所以可以用下列幾種不同的方式對目標進行多類型的評估。

一、天文研究、教學及展示目的

- 在特定視野大小、解析率等方面取得天文影像的能力。

表 1. 一座遠端天文臺主要的部件及其所需成本

品項	內容	單價	數量	合計
1	天文觀測鏡筒 (Celestron 35cm)	200,000	1	200,000
2	天文臺基座 (鋼筋水泥磁磚, 含電路配線、結構技師費用)	250,000	1	250,000
3	望遠鏡赤道儀 (ASA Direct Drive Mount DDM85 Standard)	780,000	1	780,000
4	望遠鏡調焦器 (Optec Fast Focus SMFS)	45,000	1	45,000
5	天文觀測熱電致冷偵測器 (SBIG STF-8300M CCD CAMERA)	180,000	1	180,000
6	除霧器 (Fire Fly Heater with RCA Jack)	5,000	1	5,000
7	遠距監控即時影像攝影機	95,000	1	95,000
8	儀器轉接環	49,000	1	49,000
9	雲偵測器	54,000	1	54,000
10	電腦及遠端控制設備	60,000	1	60,000
總計 (新臺幣)				1,718,000

資料來源：本研究整理

表 2. 工程、教案測試以及各控制軟硬體整合的時序甘特圖

工作項目	月次	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月	第 12 月	備註
	觀測圓頂及設備採購		*	*	*									
天文教學課程教案研發		*	*	*	*	*	*							
觀測活動規劃，邀請講師					*	*	*	*						
硬體設施結合測試					*	*	*	*						
觀測活動測試舉辦								*	*	*	*	*		
活動前測及後測								*	*	*	*	*	*	
進度累計百分比 (%)		5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

資料來源：本研究整理

- 光學系統隨目標變動調整的能力（焦點、濾鏡、視場）。
- 能夠順利無礙查看天空的不同部分。
- 能夠臨時提供對非預期天象的觀測（例如伽馬射線暴或超新星爆發）。
- 完全自動化操作的能力與在線操作的能力。

二、操作者服務

- 為一個或多個用戶提供遠端或在地操作。
- 多重模式可適用於專家和／或新手的使用。
- 天文影像存取和科學數據處理服務。

三、系統管理員需求

- 設備的自我保護。
- 內部文件和紀錄。
- 按計畫操作的能力（例如觀測時間分配、工作時程安排）。

四、控制軟體

- 遠端操作（如果使用主機控制，這問題就很簡單）。
- 允許遠端調焦。
- 兼容各形式光路變化（濾鏡、減焦器

等）。

- 易於學習和使用。
- 保護望遠鏡和相機（不能瞄準太陽、不能撞到基座或纏繞到電線等等）。

在以上評估成功的基礎之下，遠端控制天文臺之整體概念如圖 6 所示。科博館的遠端天文臺整合了各項控制軟體，已可以實現自主操作，例如遠端天文臺能夠根據氣象偵測儀的訊息對天文觀測做出決定，且另一方面，當天文臺處於運行狀態時，整合後的系統可以讓使用者用軟體控制望遠鏡的指向 (The Sky X)、控制天文數位相機的拍攝 (MaxImDL) 以及天文圓頂機械的連動 (ASCOM)，最終觀測影像可以通過控制系統的網絡連接儲存在主機上（圖 7），而這些數據也將通過一個網站或遠端硬碟提供給學生、研究人員和一般大眾。

相較天文臺設備而言，觀測數據的儲存是一個相對簡單的部分。在數據的最終處理上，通常研究用天文臺資料庫會提供原始數據和預處理後的數據，但這取決於儀器和用戶的需求。以社教館所型態的天文臺來說，原則上，科博館天文臺的數據庫只為學生和公眾用戶提供原始數據，讓

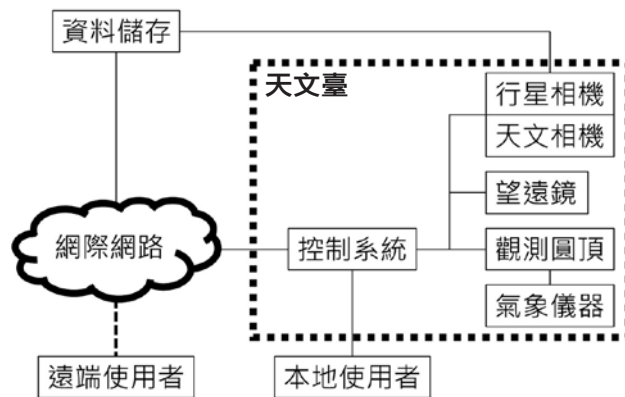


圖 6. 建置完成後遠端天文臺的基本設計概念。控制系統收集來自望遠鏡、CCD 相機、氣象站、天空相機和圓頂的訊息。通過網絡，遠端操作者用以連接至控制系統，操作遠端天文臺的不同組件，以及獲取觀測數據和儲存。（圖片來源／本研究繪製）

他們處理自己所拍攝的圖像（但這是教育的一部分，後面會提到）。

最後很幸運地，在館內同仁群策群力下解決了很多技術上及行政上的難題，讓科博館天文臺可以安裝完成（圖 8），並提供導覽服務。但一個新設施的落成，不

代表任務已完成，因為教育用天文臺除了是可以研究的地方，也是可讓參觀博物館的民眾學習和參訪的好所在 (Gomez et al., 2017)，所以下面的文章，會來重點介紹並解釋何謂館內天文臺在教育推廣的延伸應用。

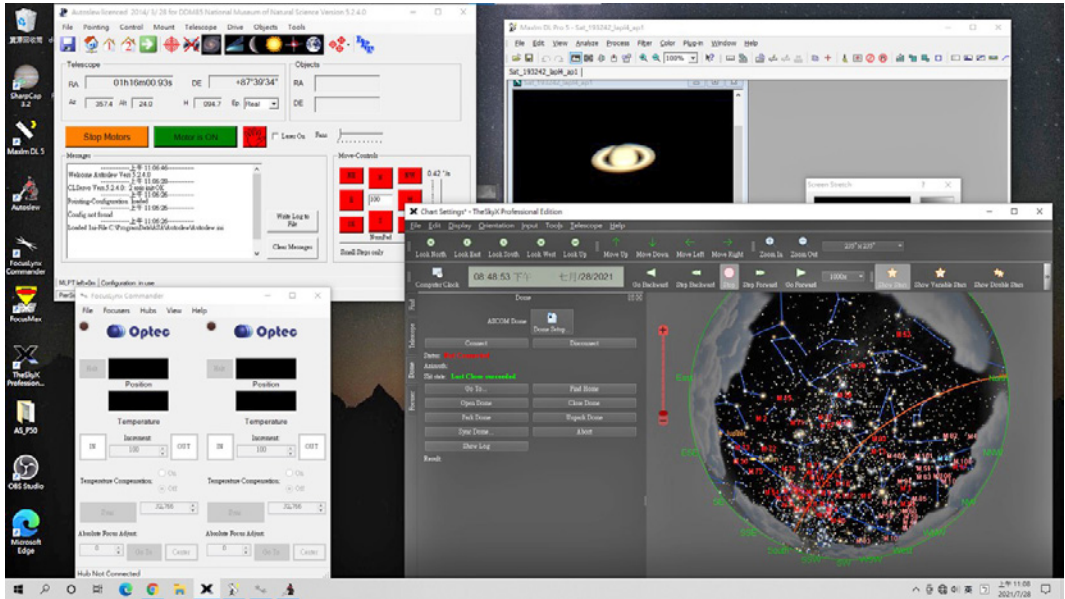


圖 7. 科博館遠端天文臺控制系統的主畫面，左上畫面控制赤道儀機械系統，左下畫面控制自動對焦系統，右下畫面為控制望遠鏡和圓頂的運動指向，而右上畫面為控制天文相機的拍攝。（攝影／王斌威）



圖 8. 科博館天文臺完工照（攝影／王斌威）

營運推廣活動

由於科博館的年度參觀人數很多，當天文臺要開始試營運時也引起了一般民眾的極大興趣。所以除了專屬的教育活動之外，也必須精心策劃並管理例行性的導覽活動。最初博物館科教人員在兩類導覽型態下猶疑不決，第一類導覽型態是單純開放做天體觀測，但不會有任何附加活動跟講解，此類的好處是在單一時段能服務的人數多很多，但缺點是有點流於走馬看花的感覺。另一種型態，也是科博館目前主要所採用的方式，便是採網路報名限制觀賞人數，總活動時間約一小時，但包含一系列的講解和分組活動，當然好處是參與民眾能獲得相對深度的導覽，包括有一場 20-30 分鐘的小演講及觀賞一部和天文臺有關的小短片，然後是參觀天文臺內部，觀賞天文臺的圓頂，看到主望遠鏡及承載的赤道儀，並觀賞系統自動搜尋目標並成像。在這時段也能些微理解控制天文臺的軟體運作。雖然天文臺內部基於安全只能容納 10-15 人，但工作人員也會在天文圓頂外使用小型望遠鏡提供夜空導遊服務，所以經過精心安排，科博館可以一天服務多達 45-50 人的團體。但缺點就是，民眾會抱怨太難報名，因為感興趣的人太多，但數十人的名額不夠消化民眾的需求。科博館目前天文臺開放的梯次，從 2019 年 10 月到 2021 年 4 月統計結束（中間遇到疫情期間不開放），到客率是 100%，從來沒有空額可以成功候補。

所以除了每月固定開放的導覽巡禮之外，每逢特殊天象或節慶時（例如中秋節、日環食），當天也適時開放科博館天文臺供一般社會民眾及中小學學生觀看望遠鏡（圖 9、10），除了可以讓平時沒機會參與到活動的民眾們，能認識天文臺內的儀器設備及完整的觀測流程，更提供觀眾一絕佳的機會瞭解目前世界上主要光學天

文臺之運作方式，並觀察月球、星雲星團及其他星體的機會，增進科學教育推廣的效益，充實民眾對科學現象的認知。但此種特殊事件下的活動參與方法，就是以單純開放為主，為了消化最大人數需求，就跟之前規律導覽的開放方法做出互補。

未來教育活動

雖然正式的天文學教育主要仍在教室裡進行，但還是有許多其他管道如社教館所（天文館、博物館）、報章雜誌、電視、廣播、網際網路、社會團體等 (Fraknoi et al., 1996: 9-25)，也都可以進行非正式的天文學教育，而且現今的天文學教育也提供了非常多元的面相 (Miley, 2012)。以上所述其實也是所謂的新時代天文學家責任 (Caton Db et. al., 2003) 的一部分，與一些純理論科學科目相比（純數

中秋來科博，醉秋
戊戌年八月十五中秋賞月觀星
有人好說 有約好秋
有月好秋
天文台排
好秋
第一場 19:10
第二場 20:10
每場次解說時間約30分鐘
單場限25人
國立自然科學博物館
National Museum of Natural Science

圖 9. 科博館於中秋節期間，天文臺開放的參觀海報。（攝影／王斌威）



圖 10. 2020 年 6 月 21 日環食活動的熱鬧景象，科博館利用廣場上的大型 LED 顯示器同步轉播遠端天文臺的訊號。(攝影／王斌威)



圖 11. 博物館遠端天文臺希望能在天文教育上具有四大面向之貢獻 (圖片來源／本研究繪製)

學、高能物理等)，天文學及太空科學是具有高能見度的，並且對一般大眾具有一定的吸引力。一些研究也發現 (Bergstrom et al., 2016: 77-92)，學生在畢業之後如果能夠持續獲得天文學習的資源，也能讓他們繼續保持興趣，進而會去參與課外天文學或太空科學活動（如野外觀察星星或閱讀科學小說以及欣賞天文科幻電影）。如果所有的推廣和教育參與項目都有足夠的資源和傳播計畫，就能進一步產生持久的影響。但無論如何，科博館天文臺所設計的種種教育活動（圖 11），目標就是在於

促進人們對科學現象解讀而不只是在乎結果，也能理解和欣賞現代科學的實驗過程，進一步培養出批判性思維，並理解這些特質在揭開自然界的奧秘所發揮的作用。為了達成這一目標，科教人員計畫讓參與者能完整經歷天文觀測過程，並學著提出有科學依據的問題，也能採用科學方法來尋找答案。所以規劃的內容預期可以面對多樣化的客群，包括大學的理工科和非理工科系學生、教育專業的學生、中小學教師和感興趣的一般群眾，主要分成下面 3 類方向：

一、課外天文實驗室的概念

科博館位在臺中市中心，此區域雖然不是適合天文研究的觀測地點，但太陽及明亮行星和其他天體（圖 12），仍然可以設計出一些天文學訓練的教案。這些教案預計在學生訪問天文臺期間，讓學生們可利用多波段濾鏡對星系或是星雲進行拍攝。在隨後的動手做課程裡，他們能處理原始數據並創建出合成圖像，進而研究星系類型和瞭解分類方案，再對他們的拍攝目標進行分類。除了天文數位影像的處理外，實際近距離參觀望遠鏡的操作，也能進一步明瞭其機械運作過程（赤道儀），還可結合科博館內中國古代科技廳中的古天文渾儀的展示（圖 13），學得儀器控制指向及天球的抽象概念。

基於較長時間的訓練包含：利用通過構建赫羅圖 (H-R Diagram) 來測定一個星團的距離和其年齡；利用簡單測光法對短週期變星做出光變曲線（圖 14）；對木星衛星的時間序列觀測來測量木星的質量，

以及測量凌日外行星的特性。之前科博館研究人員開發的星團及變星的進階教案已可以施行，而木星實驗和太陽系外行星的實驗教案則正在開發中。同時，科博館天



圖 12. 圖中的天體為木星，攝於館內天文臺，在臺中市區只要掌握好時間和天候狀況，仍可得到高品質的天文圖像，如這張木星右下角的大紅斑也清晰可見。（攝影／王斌威）

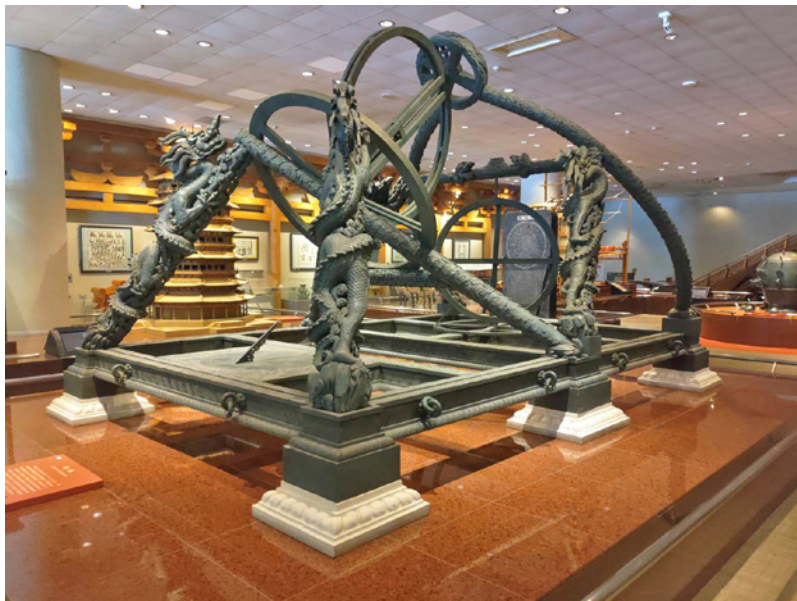


圖 13. 科博館內中國古科技廳內的簡儀復刻，簡儀為元代郭守敬為改良古代渾儀觀測之不便所設計出的革命性天文器具，雖然它和現代望遠鏡比較起來，外觀上差距很大，但已具備了現代觀測儀器的概念和基礎。（攝影／王斌威）

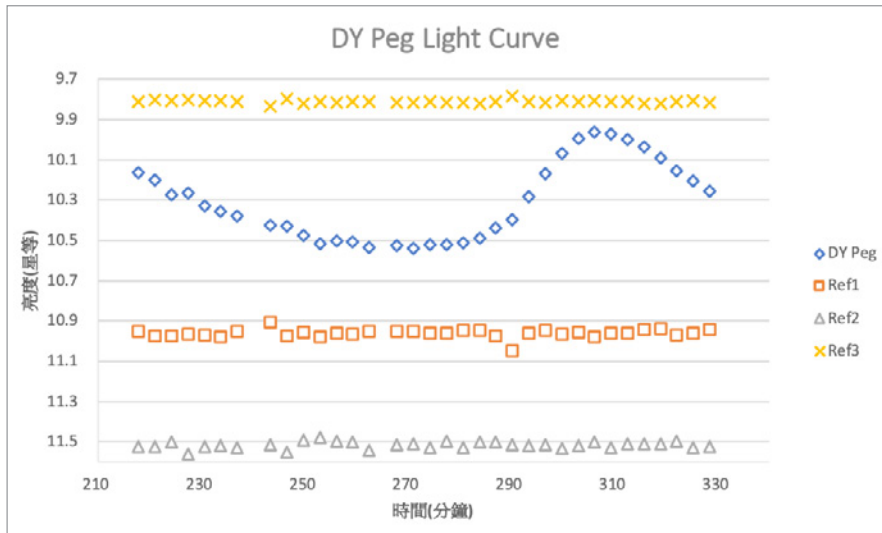


圖 14. 學生利用天文臺設施觀測短週期變星，並做天體測光，最後所得到的天體的光變曲線圖。(圖片來源/本研究繪製)

文臺也參與中研院天文所、中央大學鹿林山天文臺及業餘天文觀測者所組成的臺灣小行星掩星觀測網，目前已是觀測網在中臺灣的主要觀測點之一。

目前施行最為成熟也最能體現遠端觀測優勢的教案，便是利用簡單測光法對短週期變星做出光變曲線的教學。以圖 14 來看一個短週期變星的光度變化的週期，也至少要數個小時，我們就是利用遠端優勢讓學生經過訓練，能夠不用在天文臺旁做較長時間的觀測，不但安全（未成年學生不用半夜還待在博物館），節省精力。況且，變光曲線的校正還需要其他天體的影像做配合，而簡單完整的觀測時程也至少要兩三個晴夜以上，所以遠端技術的輔助在長時間的觀測上，優點就完全展現出來。

二、實習經驗的養成

提供社會服務的實習也是教案規劃的一部分，科博館天文臺預計每學期雇用數名學生工作人員，經過訓練來幫忙負責日常的觀測工作，協助其他學生或民眾進行觀測，並協助開展推廣活動。這些學生

在天文臺設施的維護和運行方面，可以獲得寶貴的經驗。而這種經驗也有機會幫助他們利用自己的知識優勢與教師合作研究，將來提升到一個研究者角色。除了獲得技術能力外，天文臺工作人員也得到教育推廣的技能，因為他們需指導他人進行觀測，並做為一個專家與民眾接觸。這個過程是潛移默化的，因為實習生能在執勤的過程中對天文臺產生歸屬感和責任，這種訓練也會是學校教育的延伸，不單單只是專業知識技能上的要求而已（教育部，2008）。

三、環保議題的結合

前文提到以科博館的所在位置來說，並不是一個良好的天文研究的環境。畢竟有城市的光害，和處在低海拔的狀況下，大氣擾動的情形會更為顯著，而這些都是做專業天文研究要避免的狀況。然而，科博館天文臺並不是以純研究使用為目的，而是以教育推廣用途為主。也因處於不夠良好的環境，反而有利於在非良好環境中才能施行的教學活動，像是光害議題在科博館就是很好發揮的題材。一般光害普查

會利用衛星的夜間空照圖，但受限於解析能力，只能做為大範圍地區的參考，對於當地縣市等級區域的光害調查，是可以利用天文望遠鏡搭配光度儀，做出背景測光，來獲得進一步詳細且長期的地面觀測資料，這對光害調查來說也是很重要的。在此目標之下，博物館能利用此類教案，訓練出一批學生、老師、各地熱心群眾，回返各地，利用簡單的光度測量，例如利用當地學校器材做測光，結合各地的資訊，也可以對臺灣地區光害分布做一系統性的調查。而科博館天文臺計畫也預計添購光譜儀，既可幫助科博館拓展天文教學上的深度與廣度，在光害議題上，更可以幫助具體分析各地光害源頭的組成差異（家用燈具、廣告看板或是不同色光的霓虹燈），對於環境保護的政策制訂都能有具體的回饋與幫助。

經驗分享及建議

最後提出一些關於利用遠端天文臺所設計的教育活動或教案的建議。這些建議

是根據科博館遠端天文臺建置過程中，和科博館天文臺專業人員的經驗來提出的。它並不是一個準則，但可以當做是一個方便理解的，且容易實施的歷程總整理，希望可以對將來有志於天文教育的同業們產生實質性的影響，少走冤枉路。我們也從參與學員的回饋中，獲得一些未來需要改進的部分（表3）。

一、先簡化教學內容以及確認受眾

許多類似教育活動都是從望遠鏡控制開始，進而根據此一基礎再去制訂教學方案。但對於任何教育項目來說，在考慮實現最終教案所能達到的目標之前，簡化教案的內容是至關重要的。以科博館天文教案的演進來說，在達到如前章節所介紹的教學內容之前，首先只著重訓練操作者能夠連上望遠鏡控制系統並看到畫面，但就算這麼單純的步驟，也花了一定的時間做教學，並經教案設計者修正原本設計的操作流程。所以一開始簡化並讓教案內容單純，可以幫助教案開發者專注於解決在器材上或是教學上的細節，使其未來發展的

表 3. 活動參加者部分回饋

操作介面 評分	活動設計 評分	此次參與 遠端操作天文臺的感受	有機會的話，是否仍願意 參與遠端天文臺活動	是什麼原因，讓你/ 妳覺得願意繼續參加？
7	8	很新穎的體驗，畢竟平時並沒有多少機會可以給操作天文臺，希望有機會可以再次參與吧~	是	機會難得，平常接觸不到，且自身對於天文的熱愛。
9	9	這次因為是遠端操作，透過Anydesk 遠端連線，整體操作起來很順暢，拍攝一切順利，老師們也很辛苦的照顧圓頂，非常感謝有這個機會可以使用天文臺。	是	天文臺的觀測品質良好，老師也為人和善積極幫助大家。
3	5	電腦不穩定。	是	臺灣少數有開放的遠端臺。
7	6	只有看其他人操作，似乎蠻順暢的，只是畫面是透過軟體的分享畫面功能，變得很模糊。	是	能夠透過手邊電腦直接觀測，很方便。

註：各項評分是以十分位計，1（低）- 10（高）。

資料來源：本研究整理

教案更容易實施。

此外，沒有一個教案能夠吸引所有人，不過就算教案的本身具有廣大的吸引力，但還是建議要具體確定哪些年齡層或是教育背景最能從教案中受益。這樣可以在未來活動的設計上，融入特定的概念並增加學習的成效。但須注意這樣做的時候，儘量不要對內容有誇大的宣傳，讓參與者誤以為可以做出超越他們能力範圍的事情。

二、教案是否與儀器設備相匹配

有些望遠鏡太大，無法對月球、行星或亮星進行成像；有些望遠鏡太小或追蹤能力太差，無法對遙遠的星系和微弱黯淡的星雲進行成像；有些望遠鏡系統的設置不便於定期觀測一顆變星或小行星；有些天文臺所在位置不夠好，一年當中可觀測的晴夜率很低，妨礙了長時間類型教案的施行；有些望遠鏡的濾鏡等級不夠專業，無法進行研究級的測光；大多數望遠鏡都不會配備光譜儀，因為成本很高（光譜儀在天文研究上以及如前所提的環保議題的教案中，都可以有絕佳效果，所以科博館在天文後期計畫將編列經費採購），可見每個遠端天文臺設備都是不同的，造成可以觀測的條件狀況也不同，所以如何將觀測計畫與儀器互相匹配是非常重要的。

三、使用者介面要簡單直覺

經營一個用於教育的自動控制望遠鏡，使用者介面將是教案成功的關鍵部分，而介面的選擇要考慮觀測目標天體和觀眾群的背景。目前是有許多現成的介面範本，但幾乎所有的範本都是設計給專業人員或是具備相當天文知識的非從業人員，但博物館並不是專業天文機構，所以實際上會遇到的狀況是，參與活動的中學地球科學教師（中華民國中小學天文教育主要是由地球科學老師來負責）對天體

目錄名稱很陌生，望遠鏡的視野大小對於中小學生來說也是一個神秘的概念。所以教案施行必須在使用天文臺器材前就要開始，而教學目標之一就是可能是教導聽眾達到足夠的水平來使用這個操作介面。所以設計的介面過於複雜或專業，除了教學效率不彰，受眾最後會學到的也是過於特定的技術和知識，但真正的內涵不見得能掌握到。所以對教學項目來說，使用一個簡單的介面，會鼓勵更多的人參與，若先從理解廣泛性的知識開始，可能效果更好。

四、再多的文件資料永遠也比不上一個專家在場

不要假設任何被授權的操作者都會閱讀文件，只有極少數的受眾會在訊息不明的情況下尋找文件資料解決問題。這不是代表文件不重要，而是它對非天文臺維運人員來說，真的很不親近。也不要假設那些曾接受過培訓的教師會記住全部細節，如果能為受眾提供當面指導（或在線指導），這不僅會大大地提高他們對內容跟操作流程的理解，也會提高他們對教學活動的投入。當然也可以考慮定期舉辦網絡廣播／網絡研討會，這些應該包括讓聽眾進行互動（如提問）的方式，並將其存檔，以便受眾在方便時觀看。

五、實際觀測時間是寶貴而短暫的

初次接觸自動控制望遠鏡和天文數據的人，可能需要很長的時間來理解各種概念、熟悉操作的工具和技術。無論是在正式的課堂上的教學，還是在非正式的推廣活動情況下，通常使用時間都非常有限。除非實施的教案是可以讓被指導的學生投注較長時間完成觀測的計畫（基本上很難，學生有基本的課業壓力），否則最好是刪除任何不必要佔用有限時間的方法或教學材料。

六、持續的資源支持以及不間斷的設計改進

正如不少文獻所指出的，任何教育項目的主要失敗點之一是缺乏資金 (Fitzgerald et al., 2014)。很多時候，許多有趣的教學項目是要在長時間資源（至少 3 年）的挹注下出現，低於這個時間，失敗率會很高。以遠端天文臺的設計、建置到推行教案的時程來評斷，3 年只是一個發展的基本生命週期。且根據教科書的定義，教育是在一個較長久的時期下才會發生效果的，所以遠端天文臺的設置，無論在任何狀況下都需要充分考慮到資源的長期性。而除了財政上的長期支持，也必須考慮到專業人員工作時間的搭配以及時間成本，因為遠端遙控天文臺的維運是非常需要專業人員的資源（器材調校、網路維護），也就是人力成本。在很多情況下，許多計畫就算財源充足，但沒有適當的人員介入也難以推展，最後成效也很難達到目標。

此外，在任何教學項目中使用的任何素材或是實施的方法，在初始版本階段都不可能是完美的。它很可能伴隨著錯誤，或是並不完全適合預期的受眾，這當然是不可避免的。儘量利用已知的活動設計和人們的學習模式，來創建天文臺最初的活動，觀察既有的活動與預期實施有什麼不同，並探討原因何在？有些教案在施行前後的差異可能非常明顯，但有些差異可能只有在分析評估結果之後才會看得出來。以科博館為例，在第一期遠端天文臺的設置計畫結束之後，才發現大多數的學生無法長期參與晚上的活動（家庭或課業因素），為了讓白天也能發揮天文臺的價值，科博館天文臺在接下來的計畫添購了太陽觀測的裝備，而這項改變或是升級，也在 2019 年 12 月 26 日的日偏食和 2020 年 6 月 21 日夏天日環食活動中發揮了極大的功效，也創造了多年不見的來館熱潮

（圖 10）。所以根據評估結果，重新審視和改變所提供的材料和方法，抱持這種持續改進的精神，才能不間斷地提高教案品質。

結語

本文試著對光學自動控制望遠鏡的建置過程及在教育中的作用，做了一次概略性的敘述。根據這幾年的研究指出，結合了許多人的努力後，這類型的遠端觀測技術與教育的結合是有很光明的前景的 (Bailey et al., 2015)。可惜的是，遠端天文臺的技術在很大程度上也存在著與許多其他教育技術的問題：只有一小部分熱衷於此的教育工作者會將其納入他們的常規計畫，大多數的教育工作者因為不熟悉或是其他原因，而保持觀望態度。

正如本文所提出的觀點，經歷過深思熟慮的教案設計是獲得成功的必要條件。很多學校天文臺建置後的效果不彰，大多是由於對這些項目的評估嚴重不足，當然客觀上來看，很難界定怎樣才算成功，不過為了幫助自動控制望遠鏡於教育領域的發展，在遠端控制天文臺和教育重疊的領域，需要進行更多的研究，尤其是在地的研究更為重要。而社教館所（如科博館）是能夠提供未來評估此類教育活動及展示效果極佳的場域，博物館內天文活動的多樣性也受益於持續不斷地新教案和設備更新，從天文臺活動參與率來看，也證明館內遠端天文臺的潛力，在未來新課綱更新和學校科學及科技教育的輔助上，都能扮演正向的角色。

誌謝

感謝審查委員所提供之寶貴意見，使本文更臻完善。

參考文獻

- 財團法人臺灣網路資訊中心，2017。2017年臺灣寬頻網路使用調查報告。取自 <https://www.twNIC.net.tw/download/200307/20170721e.pdf>。
- 教育部，2008。教育部補助大專校院開設具服務學習內涵之課程作業要點。取自 <http://english.moe.gov.tw/public/Attachment/88511263571.doc>。
- ，2017。106年學生網路使用情形調查報告。取自 https://depart.moe.edu.tw/ED2700/News_Content.aspx?n=F84C9B045D336AF4&sms=BFD0035AFA4CEA76&s=822D56E68733113E。
- Bailey, J. M. and Lombardi, D., 2015. Blazing the trail for astronomy education research. *Journal of Astronomy and Earth Sciences Education*, 2(2): 77.
- Bergstrom, Z., Sadler, P. and Sonnert, G., 2016. Evolution and persistence of students astronomy career interests: A gender study. *J Astron Earth Sci Edu (JAESE)*, 3(1): 77-92.
- Caton, D. B., 2003. Astronomy back east: The future of the university telescope. *In*: Oswalt, T. D. (Ed.), 2003, *The Future of Small Telescopes in the New Millennium*, pp. 209-218. Springer.
- Fitzgerald, M. T., Hollow, R., Rebull, L. M. et al., 2014. A review of high school level astronomy student research projects over the last two decades. *Publ Astron Soc, Aust.*, 31(e037): 1-23.
- Fraknoi, A., 1996. The state of astronomy education in the US. *In*: Percy, J. A. (Ed.), 1996, *Astronomy Education: Current Developments, Future Coordination* Astronomical Society of the Pacific Conference Series, pp. 9-25. College Park, MD. San Francisco (CA): Astronomical Society of the Pacific.
- Gomez, E. L. and Fitzgerald, M. T., 2017. Robotic telescopes in education. *Astronomical Review*, 13(1): 28-68, 104, 124.
- Hooper-Greenhill, E. (Ed.), 1996. *The Educational Role of the Museums*. London: Routledge.
- Liu, Q., Wei, P., Shang, Z.-H., Ma, B. and Hu, Y., 2018. Research on scheduling of robotic transient survey for antarctic survey telescopes (ast3). *Research in Astronomy and Astrophysics*, 18(1): 005.
- McLin, K. M., 2011. Using robotic telescopes to teach STEM skills: Undergraduate and high school students. *In* Presented at the Telescopes from Afar. Proceedings of the conference held 28 February - 3 March, 2011 at Waikoloa Beach, Hawai'i.
- Miley, G., 2012. Astronomy for Development Building from the IYA 2009: Strategic Plan 2010-2020 with 2012 Update on Implementation. International Astronomical Union Strategic Plan.
- Styliani, S., Fotis, L., Kostas, K. and Petros, P., 2009. Virtual museums, a survey and some issues for consideration. *Journal of cultural Heritage*, 10(4): 520-528.

收稿日期：2021年8月3日；接受日期：2021年11月9日

作者簡介

王斌威：國立自然科學博物館科學教育組助理研究員。

黃國斌：國立自然科學博物館科學教育組約用技術專員。

Construction and Development of a Remote Observatory at the National Museum of Natural Science

Wang Pin-Wei* Kuo-Pin Huang**

Manuscript received August 3, 2021; accepted November 9, 2021

Abstract

In this paper is described an astronomy education project initiated by the National Museum of Natural Science in Taichung, Taiwan. For this project, remote observatory technology was applied to enrich and enhance the attractiveness of museum activities based on new museology perspectives. Information about the engineering process, instruments, and software needed to complete and operate a fully automated observatory is presented and the educational applications of this remote observatory and its wide range of uses for museum exhibits and outreach are discussed. We conclude with a review of the literature, our own experience, and a series of ideas for current and future lesson plans with the expectation of positively influencing astronomy education.

Keywords: astronomy education, remote observatory, museum, science center

* Assistant Curator, Science Education Department, National Museum of Natural Science;
E-mail: wpw@nmns.edu.tw

**Technical Specialist, Science Education Department, National Museum of Natural Science;
Email: j006@nmns.edu.tw