

文/ 王彥翔

星星的星口普查報告 赫羅圖的前世今生

恆星究竟是什麼？他們也有生老病死嗎？這些問題是天文學家自古以來不斷追尋的提問，然而人類的壽命相較於恆星實在是太過短暫，難以見證一顆恆星從出生到死亡的全部過程。不過，若是我們能辨識出恆星在不同生命階段的樣貌，是否就有機會拼湊出恆星的一生呢？在介紹恆星的一生之前，這一期的天文展品導覽先帶大家回到19到20世紀初期認識天文史上重要的星口普查工具之一——赫羅圖（HR diagram）。

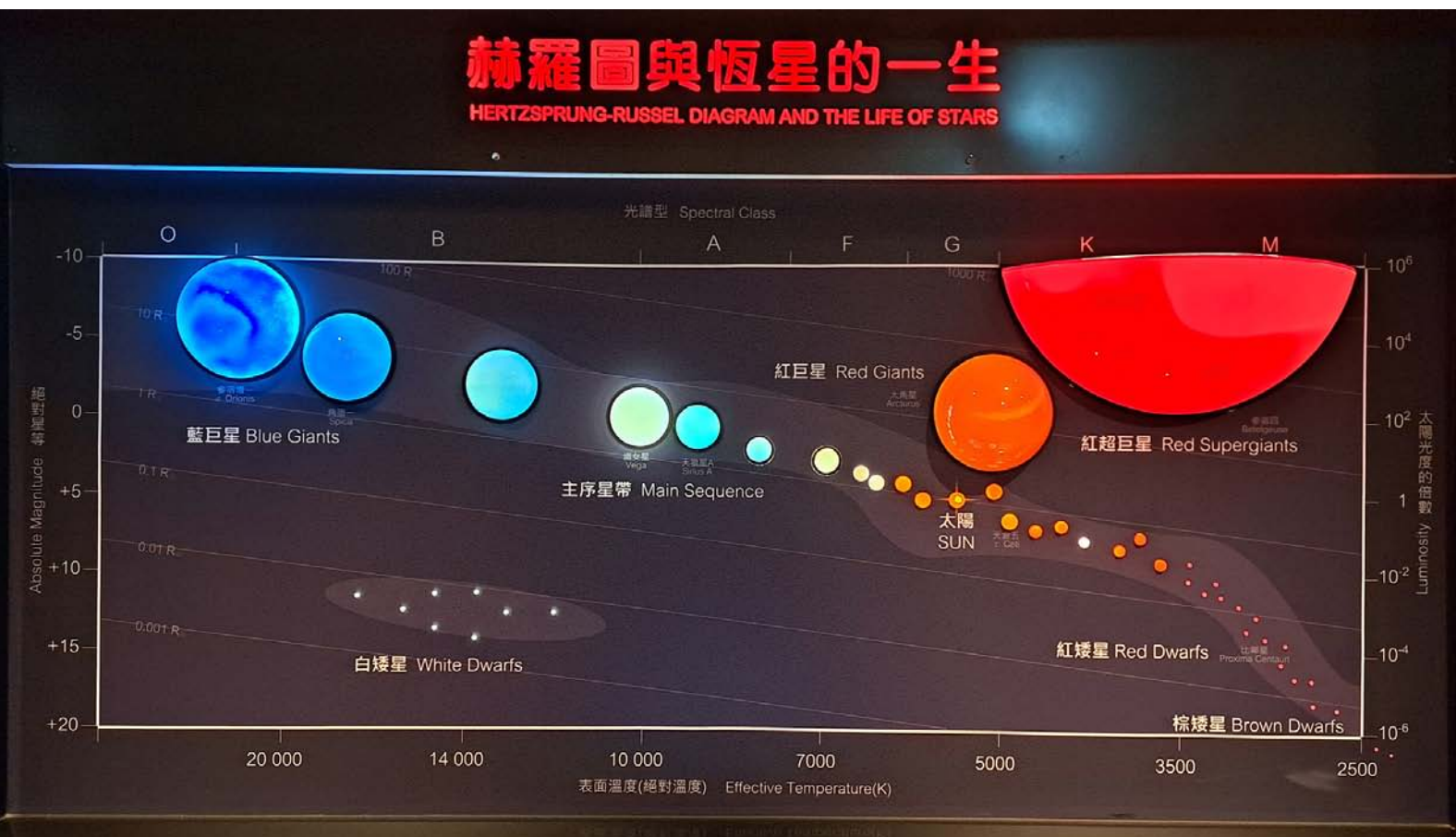


圖1. 赫羅圖是能以最直觀方式呈現恆星群體的顏色、溫度、亮度等特徵樣貌的關係圖。遊客可利用展板前方觸控螢幕聆聽各個不同恆星族群的介紹。

全天空的大型星口普查

在克希何夫等物理學家的努力下（詳見本刊114期），人們對光譜的知識與觀測能力提升，再加上19世紀上半葉攝影技術的發明，天文學家不僅可以用客觀的方式大量記錄恆星的亮度和光譜譜線，還讓紀錄成為可供後續分析的數據。有了這兩大利器，恆星光譜相關的研究蓬勃發展，終於讓大規模的恆星觀測、資料整理成為可能。天文學家因此可以比較不同恆星族群的特徵去推敲出年齡順序，藉此拼湊出恆星從出生到死亡會經歷的不同階段，就好像是在社會中進行人口普查一樣。

1886年哈佛大學天文臺臺長愛德華·皮克林（Edward Pickering）在美國天文攝影先驅亨利·德雷伯（Henry Draper）遺孀的贊助下，展開超過五年、針對北天球的1萬多顆恆星進行觀測。由於從目視觀測進步到攝影紀錄後資料量大幅度增加，預算有限卻又需要大量人手協助整理資料，皮克林遂招募了許多女性計算員來協助他實現這個野心勃勃的計畫。之所以找來的計算員都是女性，一方面是因為在19世紀末期即便是受過教育的女性，平均薪資仍不及從事同樣工作的男性的一半，另一方面皮克林也不滿男性員工的工作成果，甚至認為自家女僕都做得比正職員工還好。

事實證明女性計算員的工作能力確實很好。皮克林傳授分析方法給了他的女僕弗萊明（Williamina Fleming），而在弗萊明的協助下哈佛天文臺共整理

了10,351顆北天球恆星的分光資料，並根據光譜呈現的化學組成和特徵譜線區分了17類光譜型。這個在1890年出版的星表以亨利·德雷伯的名義命名為《HD星表》，後續幾經改版，1918年的版本不但擴大收錄與區分了23萬5,300顆恆星的光譜型，也獲得國際天文學聯合會採用成為現今恆星光譜分類的基礎。編纂星表的過程中同時培育了許多女性投身研究，就此改變了過去完全由男性主導天文科學的職場環境。

巨星與矮星的發現

在首版HD星表出版之後，皮克林繼續將弗萊明的工作交由安東妮亞·莫里（Antonia Maury）、安妮·坎農（Annie Cannon），計畫讓他們分別負責北天球與南天球尚未收錄的恆星光譜分類，不過莫里卻對承繼弗萊明的分類法表示質疑。莫里是

亨利·德雷伯的外甥女，不但從小就接受嚴謹的教育，大學還是在美國首位擁有大學教職的女性天文學家瑪莉亞·米切爾（Maria Mitchell）門下學習，因此莫里對於研究有更多自己的看法。

相對於弗萊明的光譜分類較為關注於恆星的化學組成，莫里發現即便被分為同一光譜型的恆星，同一元素的光譜吸收線仍有顯著的寬窄差異。因此，她除了在弗萊明的基礎上將恆星光譜重新區分成22個類別，同時為恆星外加了吸收線寬度的特徵描述，包括吸收線有一定寬度、但仍可辨識的a特性星；吸收線極寬且模糊的b特性星；以及氫、氦吸收線狹窄清晰，鈣線（H、K線）通常也較強的c特性星。然而，皮克林卻對莫里的分類方式非常不認同，甚至一度打斷她的分類工作，導致兩人合作關係惡化。



圖2. 哈佛天文臺的計算員以女性為主，間接培育了包括安東妮亞·莫里（Antonia Maury）、安妮·坎農（Annie Cannon）、亨麗埃塔·史旺·勒維特（Henrietta Swan Leavitt）等天文學家。圖中站立者即為弗萊明。圖片來源：哈佛大學圖書館

不同於老闆對莫里的不諒解，當時正在研究恆星自行運動的丹麥業餘天文學家赫茨普龍（Ejnar Hertzsprung）卻對莫里的研究成果非常感興趣。綜合莫里的光譜和其他星表的視差觀測，在統計結果上呈現c特性星的自行運動幅度、三角視差法所測量出的視差都很小，顯示在視星等相近的情況下c特性星的距離比其他恆星都還要遠，赫茨普龍因此推測c特性星是實際亮度（光度）比較高的巨星。在知道吸收線寬窄與光度的關係後，赫茨普龍進一步檢視恆星的光譜型，發現G、K、M型的恆星很明顯地可以被區分為光度極大和極小的兩群。視星等小於5等的亮星中有很多擁有c特性的紅色恆星，其餘M型恆星佔的比例極少，他認為造成吸收線寬窄差異的原因是前者的密度較小所致。

赫茨普龍在1905年於攝影科學的期刊上發表論文，並將論文寄給了皮克林請教他的意見。皮克林在回信中認為c特性只是觀測上的誤差，並非需要特別重視的光譜特徵。赫茨普龍則回信向皮克林表達不認同他的觀點，認為他無視莫里揭露的成果和「把鯨魚和魚視為同一類無異」。雖然論文不被皮克林所認同，但幸好德國哥廷根天文臺的臺長卡爾·史瓦西（Karl



圖3. 三角視差法是透過比較半年前後恆星相對於遙遠背景的視差角度，藉此測量恆星距離的方法，視差角度越小則恆星距離我們越遠。

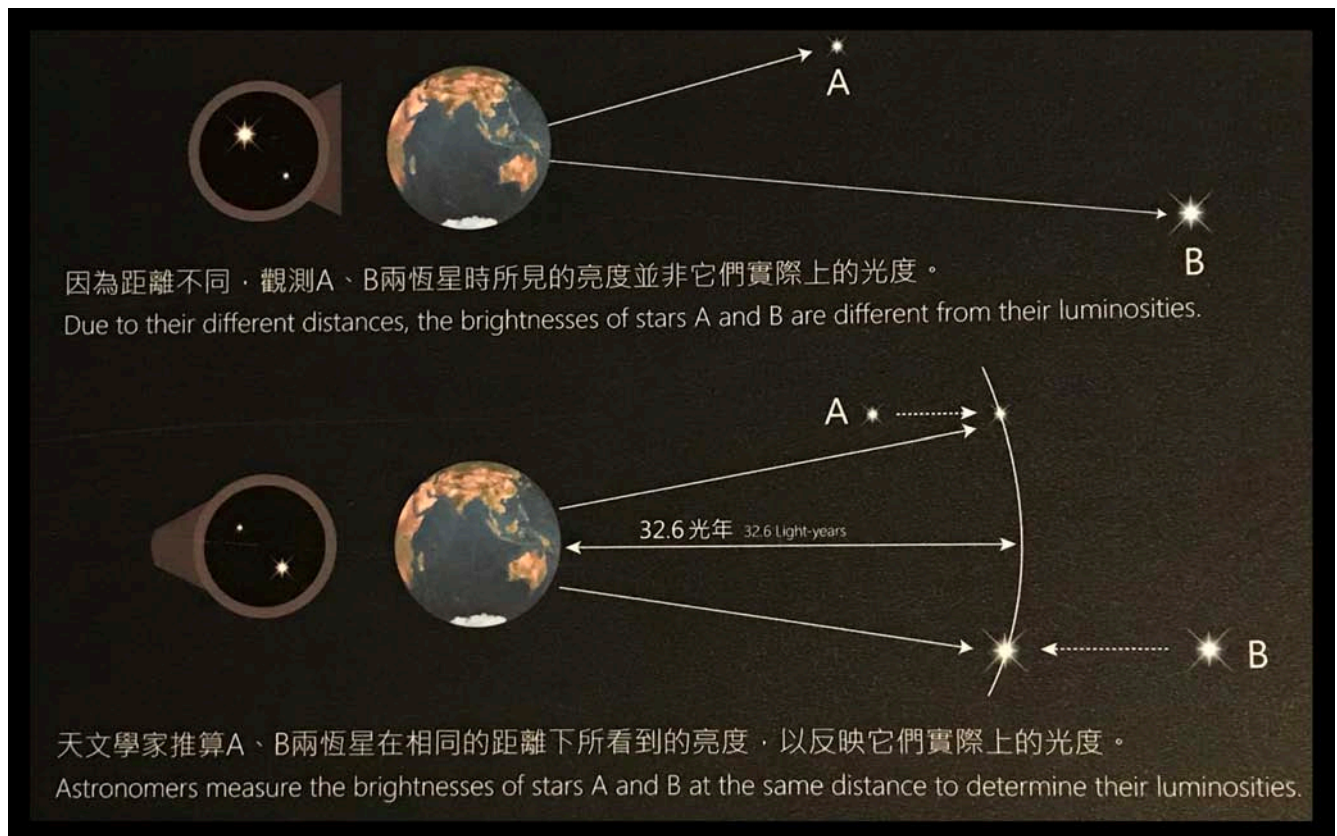


圖4. 恆星距離遠近會影響到地球上看起來的亮度，因此需要將恆星的視亮度換算成同樣視差（距離）下的亮度才能進行比較。

Schwarzschild) 對赫茨普龍的論文大為讚賞，兩人針對星團的共同研究中正式將高、低光度星命名為巨星 (giant) 及矮星 (dwarf)，赫茨普龍也獲提拔進入天文臺工作。

赫羅圖的誕生

1910年的美國天文學會會議在哈佛天文臺舉辦，會中普林斯頓大學的天文學家亨利·羅素 (Henry Norris Russell) 從恆星演化的觀點發表了他的研究。當時學界主流認為恆星溫度和亮度會隨著時間降低，但羅素收集與分析了各個恆星星表的視差觀測資料，同樣發現紅色的恆星可以被分為光度大、自行運動幅度小，以及光度小、自行運動幅度大的兩群，據此認為恆星的演化路徑比較接近英國天文學家洛克耶 (Joseph Norman Lockyer) 提出的兩階段演化說。

史瓦西正好也參加了這場學術會議，並隨即向羅素介紹赫茨普龍也有同樣的發現。不同於赫茨普龍是從業餘研究走向職業，羅素是從大學時期便在普林斯頓大學學習天文學的學院派，再加上當時赫茨普龍的論文並非刊登在天文領域的期刊上，當時會中的天文學家們根本沒人聽過赫茨普龍的名號。但在史瓦西的積極引薦下，羅素承諾會在即將發表的論文中引用赫茨普龍的早期成果，終於在1913、1914年發表的論文中，以光譜型 (星色)、絕對星等 (星等) 作為座標軸的關係圖：赫羅圖就此誕生。

從最早的這張星色—星等關係圖中可以發現所有的白色恆星 (B、A型) 都比太陽還要亮，而在0.02倍太陽光度以下的暗星全是紅色恆星 (K、M型)，每個光譜型的光度下限與光譜型相關。紅色恆星不乏許多與A型星光度匹敵的恆星 (如大角星、心宿二)，同時光度上、下限是各光譜型中差異最大的，此外紅色恆星要不是

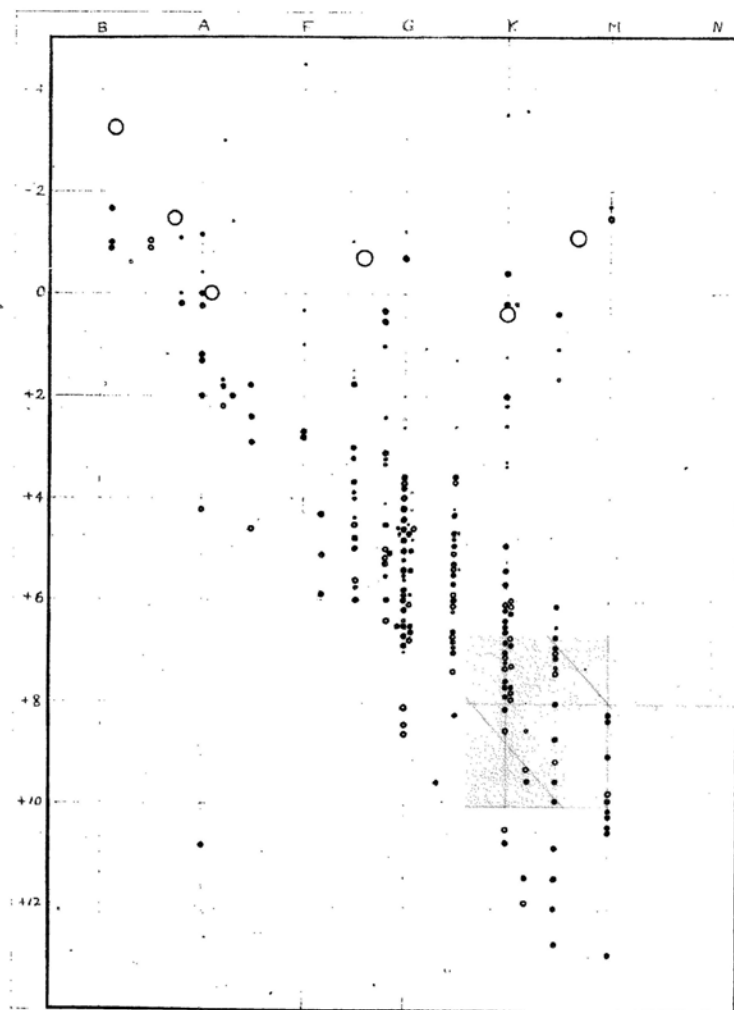


圖5. 羅素在1913和1914年分別出版的論文中使用的星色—星等關係圖，便是第一代的赫羅圖，上頭標示約300顆恆星的資料，並以點的大小表示誤差。圖片來源：Russell, H. N. (1914)

明亮的巨星，就是昏暗的矮星，幾乎沒有和太陽亮度相似的恆星存在。

羅素在星色—星等關係圖出版之後持續收集恆星的視差、自行、光度與質量等觀測資料進行統計分析，並在1914年的第二篇論文中闡述他對於恆星演化路徑的想法。當時的主流學說認為恆星是從大且高溫向縮小且低溫方向演化 (也就是從赫羅圖的左上往右下方向)，但這無法解釋紅巨星的存在；此外當時也沒有觀測到從低溫氣體收縮形成高溫恆星的階段，因此羅素認為紅巨星是高溫恆星形成前階段的有力候補。不過，羅素很快地在1919年察覺到光靠收縮產生的能量不足以作為恆星的主要能源，恆星內部想必有未知的能源存在。然而要解決這個問題，還是得等到未來的物理學家們才能解答了。

王彥翔：臺北市立天文科學教育館