

# 美國六百呎直徑電波望遠鏡

·康寶煌·

一個在目前世界上直徑最大而可以操縱的無線電波望遠鏡，現正在美國西佛及尼亞州建築中，其強大的收集無線電波及分析天體間無線電波源的力量，足以使人類對於宇宙的知識有重要的進展。該望遠鏡之建築預計在一九六二年可以完成而付運用，其反射面之直徑為六百呎，圓周約為三分之一哩，反射面之面積超過七英畝，其高度約等於六十六層之摩天大廈，而此巨大機械之動作靈活，可以準確的觀測天體的每一個角落。

該望遠鏡屬於美國海軍，於一九五九年夏天開始建築，全部費用七千九百萬美元，完工之後，每一工作日之一半時間將由海軍使用，作高度機密性之研究，包括電離層物理學，通信及助航。另一半時間供天文學家作無線電天文研究之用，以擴展我人對於太陽系，銀河，及宇宙之了解。

此望遠鏡之直徑何以要有六百呎之大？則必須從光學方面說起。無線電波望遠鏡之作用為收集電磁波，與光波望遠鏡之收集光波相同，收集電磁波或光波之能力，約與望遠鏡直徑之平方成正比，故巴羅馬山上的二百吋直徑光波望遠鏡，其收集可見波譜中的發

射（光波）的能力，約一千倍於六吋直徑的小望遠鏡。六百呎直徑的電波望遠鏡，大於五十呎直徑的十二倍，其收集電磁波的能力一百四十四倍於後者。

但天文學家建議建築此一龐大之望遠鏡，尚持有另一理由，望遠鏡分析觀測物之能力，在理論上等於以觀測物所發射之波長，除望遠鏡之直徑所得之商數，故增加其直徑，等於增加其分析力，亦即辨別天體間各目的物及確定其位置之能力。光波之長度約為五萬分之一吋，二百吋直徑之光波望遠鏡，其直徑與波長之商數為一千萬，故能辨別太空中直徑相當於○·○二三弧秒之物體，而最健康之人目僅能辨別約當於一弧分之物體。電磁波之長度數十萬至數百萬倍於光波之長，故電波望遠鏡必須有巨大之直徑，始有足夠之分析能力。

欲使電波望遠鏡之分析力與二百吋之光波望遠鏡相等，則其直徑當為一千哩，（假定所觀測者為發自太空之冷氫氣，其波長為二十一公分，一四二七兆週氣波長之九百倍，以此觀測天體中之電磁波，等於以五十分之一吋直徑之長波望遠鏡觀測光波，故六百呎

直徑電波望遠鏡，與二百吋直徑之光波望遠鏡相比，實微不足道，但此為今日之工程師所能設計與建築之最大而準確之機械。

茲說明光波望遠鏡與電波望遠鏡分析力之比較，月球距離地球二十四萬哩，假定其表面上有二個發射點，如其發射者為強光波，相距二百呎，上述之二百吋光波望遠鏡即能予以辨別，如相距不及二百呎，則望遠鏡中所見者為模糊之光源一個。欲使肉眼能够辨別，則此二點之距離必須大於七十二哩。如其發射者為二十一公分波長之電磁波，其距離必須大於三百六十哩，六百呎之電波望遠鏡始能辨別其為二點。如波長增加一倍為四十二公分，則其相距必須為七百二十哩，該六百呎之電波望遠鏡始能辨別其為二點。故一九五九年國際無線電行政會議所定無線電天文觀測之頻帶，均在一四〇〇兆週以上，（波長在二十一公分以下），計有下列頻帶：

世界各國通用頻帶：

- 一、四〇〇——一、四二七兆週
- 一〇、六八〇——一〇、七〇〇兆週
- 一五、三五〇——一五、四〇〇兆週
- 一九、三〇〇——一九、四〇〇兆週
- 三一、三〇〇——三一、五〇〇兆週
- 蘇俄集團保留使用者有下列頻帶：
- 一、六六〇——一、六九〇兆週
- 三、一六五——三、一九五兆週

- 四、八〇〇——四、八一〇兆週
- 五、八〇〇——五、八一五兆週
- 八、六八〇——八、七〇〇兆週

小型無線電波望遠鏡所開闢之天文觀測世界，將因此六百呎望遠鏡之完成而擴大，現有在華盛頓海軍研究所之五十呎拋物線形反射鏡，不能藉二十公分之電磁波以分析月球，在此波長該望遠鏡之分析力為四十七弧分，（亦即波束之寬度），而月球所佔之寬為三十弧分，荷蘭文格路（Dwingeloo）八十二呎望遠鏡對二十一公分電磁波之分析力為三十四弧分，此六百呎望遠鏡之分析力則為五弧分。

在一二十年前電波天文觀測開始時期，增加望遠鏡之直徑，目的在於增加望遠鏡（天線）收集電磁波之能力，尙未注意於其分析力，觀測發射較強之太陽，及作太陽系外之觀測，則必須有分析力較強之望遠鏡。第二次大戰以後，因受戰時雷達發展之影響，若干國家之電氣工程師，物理學家，及天文學家開始研究無線電波天文，目前在運用中世界上最大之無線電波望遠鏡，在英國之日德爾岸，為曼徹斯特大學所有，直徑二百五十呎，鏡面為拋物線形，可以運轉自如。澳洲之二百一十呎望遠鏡，尙在建造中，在美國則一百四十呎直徑之望遠鏡已近完成，在西佛及尼亞州之綠岸（Green Bank, West Virginia）屬於國家無線電天文觀測所。

約在十二年前，美國海軍研究所有二派人士，同

時認為五百至六百呎直徑之大型電波望遠鏡急屬需要，一派為無線電天文學家，當時正在設計上述之五十呎直徑望遠鏡，另一派為電信工程師，以闕萊克勒 (James H. Trexler) 為首，渠有一新奇之意見，擬利用月球作為地球全面通信之中繼站。一九五一年闕萊克勒開始將其理論付之實驗，其後即建築二百二十呎乘二百六十三呎之固定反射面，地點在馬利蘭州之南部海軍研究站，係在地面挖一拋物線面之窪穴。利用上述之固定反射面，一九五六年該派工程師成功自馬利蘭州至西海岸及檀香山間打字電報電路之通信，無線電波係自月球表面之反射而達接收站。此後該二派人士即開列大型而可運轉之無線電波望遠鏡之初步規格，致函海軍場地及碼頭建築署 (Bureau of Yard and Dock) 請其完成設計，經該署及建築商詳細研究之後，認為六百呎直徑之無線電波望遠鏡可以建造，距今二年前，美國國會予以批准。

該六百呎望遠鏡現正在建築中，距其最近之小村落為糖林 (Sugar Grove)，距綠岸約三十英里，四面群山環繞，目的為避免雜聲之干擾，望遠鏡高出地面六百六十五呎，建築所需為鋼鐵二萬噸，鋁六百噸，及混凝土一萬四千立方碼，(按二百吋光波望遠鏡之重量為五百噸)。反射面支持在二個狀如圓輪之支架之間，可自零度 (水平) 轉至仰角九十度，整個機架裝置在四具曳重機之上，曳重機在圓形之鐵軌上行動，使反射面在水平面內可作三百六十度之旋轉。此

電鏡望遠鏡故得上下左右轉動，如一般之光波望遠鏡然。一組惰性引導系統——受有控制之羅經儀，使其對太空之位置固定，不受外力 (例如地球之轉動) 之影響——使拋物面正對天體中之某一點，其面積不超過月球直徑之六十分之一，亦即三十弧秒。

望遠鏡之反射面係用鋁線網製成，分為若干塊，因風力、溫度、及重力之影響而變形之處，設有侍服機械 (Sevomechanism) 自動調整之，故在任何情形之下，反射面維持為拋物線形。接收二十一公分波長之電波時，反射面不能與理想之拋物線形相差加減一吋，此一吋之差，等於波長之八分之一，與磨製二百吋光波望遠鏡之容許差度相同。按光波波長約五萬分之一吋，故如二百吋之光波望遠鏡之表面在磨製時與理想之拋物鏡面相差二十萬分之一吋，(波長四分之一)，鏡中所見之星宿影象即模糊不清，失去觀測之價值。此巨大之玻璃面亦受地心引力及溫度變化之影響，為補正地心引力之影響，在反射鏡之背面裝有重力槓桿設備，當反射鏡傾斜時，槓桿在其後面加以壓力使不變形，六百呎電波望遠鏡反射面藉侍服機械之作用而維持一理想之拋物鏡面，其作用相同。

無線電天文學者使用六百呎之望遠鏡時，將得到一種新的經驗，使用一百呎以下之望遠鏡，觀察者可以直接控制望遠鏡之動作，在觀察之中，轉動控制鈕，可以任意改變其試驗，但六百呎之巨大望遠鏡，其控制不易，在開始作觀測之先，必須將觀測項目詳細

加以說明，一組望遠鏡操作專家，排定其觀測程序，在紙卡或紙條上鑿孔，送入計算機中，該機即按照預定程序，控制望遠鏡使完成各項動作。反射面之焦點，高出於反射面之中心二百四十呎，不同設計之接收設備，可置於焦點之上。外來之天文觀測者，亦可自携接收設備，在觀測時置於焦點上，觀測所得之資料，鑿於紙卡或紙條上，觀測者可携回本人之試驗室，利用計算機加以分析研究。

無線電天文觀測，幾包括宇宙間所有之物理現象在內，包括自地球表面大氣層，以迄遙遠之太空，預料此六百呎望遠鏡完工之後，將有一極爲擁擠之工作時間表。海軍當局已成立有顧問委員會，網羅通信，天文物理，宇宙學等專家，協助安排節目，俾使巨大之望遠鏡得盡其最高度之利用。在海軍部以外各大學及研究院天文學者，亦得申請列入節目中，利用其剩餘時間而作觀測。

每一觀測，實利用到此巨大望遠鏡之二種優越性能，第一爲其高度之分析力，第二爲其巨大之電波收集力，在不同之計劃中，二者之重要性不相同。

觀測日系星宿，分析力特關重要，例如以較小之望遠鏡觀測月球之表面，僅知月球表面離開日光之後，保持其溫度若干時間，而當其自背陰之處轉入日光之下，仍有一段時間保持寒冷，此表示月球之表面爲絕緣物所覆蓋，可能爲一層細砂。目前在使用中之電波望遠鏡，直徑太小，對於二十一公分電磁波之分析

力甚劣，不能將月球表面逐點之溫度予以鑑別。將來此六百呎之望遠鏡完成之後，其波束之寬度爲月球直徑六分之一，當可將月球之表面分成六條線而予以較爲詳盡之觀測，月球表面各點溫度與地理之關係，或亦可在觀測中尋得。

太陽之直徑佔三十弧分，與月球相同，爲最強之無線電波源，惟雖經研究多年，尙無設備能分析其表面上各不同點不同發射之能力，此六百呎之直徑望遠鏡之分析力，足以分別各點之不同發射，而太陽表面上壯觀之火焰，所以形成黑子者，亦可予以測量。

六百呎望遠鏡仍不能作對於日月以外星宿之分析，最大之木星，所佔之弧度僅爲四十七秒，但木星無線電波之發射仍可接收，其波長可至數公尺，不在業經分配於天文觀測頻帶之內。

現有之電波天文望遠鏡，已經收到自金星、火星、木星，可能包括土星發射來之較短波長，自金星及木星來之發射較有研究價值。在海軍研究所利用五十呎直徑之反射鏡，曼昆、曼克枯絡、及斯龍乃格 (Cornell H. Mayer, Timothy Mc Cullough,

Russell Sloanaker) 三人自數公分之電波中發現金星表面之溫度約爲絕對溫度六百度 (華氏二十一度)。

但自內紅光帶內量得該星上覆雲層頂上之溫度爲絕對溫度二百五十度，(華氏零下九度)。以無線電波量度木星之溫度，所得結果更屬驚人，一年前斯龍乃格 (Sloanaker) 在十公分波長上量得木星之溫度爲

絕對溫度六百度，遠過於從光波所判斷者。在二十公分之波長上，美國國立無線電天文觀測所闕來克 (Frank Drake) 先生，最近發現木星之溫度二千度至三千度之間，此一高溫，想係電子在強力磁場下加速至光波之速而發出，或木星表面大氣層內有高溫，六百呎望遠鏡完成之後，此一疑問或能得到解決。

自無線電波譜中測量火星及土星之溫度，所得之結果較為接近於自光波譜中之所量得，土星所發射之電磁波甚弱，僅能辨別其存在。事實上目前對於星宿之觀測，幾全部為設備所限制，六百呎望遠鏡聚集放射之能力，及分析力，可使觀察進展一步。天體間星宿所發射之能量，到達接收天線（電波望遠鏡之反射面）時已極微小，有的已減至相當於數百分之一度之絕對溫度，而在最佳之收訊機內，電路雜聲之高度相當於一千至二千度之絕對溫度。最近因固體物理學之發展，利用特殊之擴大電路，如 (Masser 及 Parametric Amplifier)，收訊機之雜聲可低落至相當於絕對溫度一百度，收訊機雜聲之變化經嚴加控制，及利用電子計算機精密之分析，可將訊號與雜聲分別，而得到有用之數據。七英畝大之反射面足以聚集大量之能量，訊號與雜聲之比提高，所得之數據較為可靠。

六百呎之望遠鏡可作發射天線用，亦可作接收天線用，故大有助益於以雷達方法研探太陽系之情形。使用現有之電波望遠鏡，於此已獲有若干線索，當麻省理工大學林肯試驗所八十四呎之反射面送一雷達訊

號至金星而返回時，計算機幾費一年之時間在雜聲中辨別返回之訊號。一九五七年海軍研究所作類似之試驗，送一雷達訊號至月球，則使計算機忙碌了七個月之久。闕萊克勒先生利用前述固定於地面之反射面，得以避免雜聲之干擾，但因反射面不能移動，故成就有限。此六百呎之望遠鏡完成後，其集中大量能量及高度之分析力，當甚易接到自月球返射而來之雷達訊號，金星、火星及木星反射來之訊號亦易收得，此等測量當可確定太陽系各星宿之位置，於太空飛船軌道之計劃，乃屬必要之資料。

雷達反射訊號於研究太陽及其光暈最屬有用，量度訊號至太陽而返回之時間，可知訊號在距太陽表面之何高度受到反射，此等數據於決定太陽面上若干變化與太陽表面之距離甚屬有用，太陽爆發所發出之質點，可能阻礙地球與月球間之雷達光束，使訊號之返回延緩，目前自月球返回之雷達訊號，比之雜聲為小，上述之延緩尚未覺察，待六百呎之望遠鏡完成之後，可以量得準確之延緩，即間接量得太陽所發出質點之多寡，此望遠鏡或可以接收自質點雲反射而回之雷達訊號。

六百呎之望遠鏡將大有助益於遙遠太空之探索，最低限度亦可決定若干現象之大概，參考所得資料，則於射往木星之火箭上可裝配以測量強磁場之設備，而射往金星之火箭上可裝配以測量表面高溫之設備。望遠鏡之分析力關係於觀測甚重，六百呎望遠鏡

將有助於決定自銀河中心面某區域所發射之熱電離氫氣，係自一均勻分佈之源而來，或自巨數各別之源而來。在二十一公分波長，可以詳細分析銀河分臂中性氫（未電離）雲之分佈情形，此望遠鏡在此波長之強大分析力，亦有助於銀河以外之觀測，在 *Andromeda* 中之 *Great Nebula* 星群，佔弧度五度，計六十倍於六百呎望遠鏡之波束寬度，故可測繪此一銀河內星宿之位置圖。

此望遠鏡之強大集中能量之力，有助於銀河及銀河以外若干重要天文學上問題之解決，例如我人所見之銀河，係包覆在一個球面暈圈之內，發射微弱之無線電訊號，其他之銀河如 *Andromeda* 似亦如此，如能決定發射之來源，當可澄清銀河形成之步驟。六百呎之望遠鏡，亦將用於尋求氫以外物質之無線電發射線及吸收線，其他物質在無線電波譜中可能為放射物或吸收物，有氮、重氫、鈉、鋁、鉀、氯、氫氧根、及炭氫根等，此等物質之充裕太空，與星宿之歷史有關，此等物質如有無線電放射線，必甚微弱，銀河間太空中物質分佈（特別關於氫）一問題，在宇宙學中為一重要問題，如有發射存在，則為現有設備所未經發現。

在目前無線電波天文觀測中特別感覺困擾之問題，為決定無線電波源之距離，自近距離來之微弱波源，自遠距離來之強大波源，除若干為光學儀器所能明顯辨別者外，難于判別其距離，六百呎望遠鏡完成之

後，或能尋得若干線索以判斷無線電波源之距離。

天文學家對於在無線電波譜內量度紅線移動將特感興趣，此種量度將在六百呎望遠鏡完成後列入優先程序。蓋宇宙中物體自觀察者之位置倒退之速率，形成其所發射之光譜中發射線及吸收線向長波或紅光一端移動，因銀河倒退之速率隨其距離而增加，故紅線移動構成宇宙中主要量度距離之尺度。數年前哈佛大學之黑程先生 (*David S. Heschel*) 及海軍研究所之利雷 (*A. E. Lilley*) 麥克克蘭 (*Edward F. McClain*, *Jr.*) 先生等，所作試驗之結果，顯示紅線之移動及於無線電波譜中，信其亦可用於測量銀河以外無線電波源之距離，但目前尚無人能證實此等初步發現之正確。

但六百呎望遠鏡之能力不如傳說之強，決不能看到四百億光年外之目的物，在靜止之宇宙中，在此距離，二個星雲之衝擊所發生之無線電波此望遠鏡或可辨別，但我人之宇宙並不靜止，而在日夜擴展，故所能觀測之範圍不能超過四百億光年，正與光波望遠鏡所受之限制相同，「紅線移動」劃出此二種望遠鏡之極限。在電波望遠鏡中，紅線移動發生一特殊之困難，即當中性氫之光譜線逐漸移入更長之波長時，將為銀河中無線電波雜聲所掩蓋，蓋在此等波長，雜聲甚高，加之較長波長，不能透過地球上之電離層。但在「紅線移動」範圍之內，此六百呎直徑之電波望遠鏡，可作甚多目標之研究，為其他設備所不能為。