

# 自動應象儀之研製

汪仁虎

空軍官校數理系

## 摘要

「自動應象儀」為參考中國古代「水運渾天儀」的制度，及今天的天球儀、星象儀……等造型變化而來，以回推的方法，由已知日期、時間、地方緯度及星體的赤經、赤緯等，再配合同步馬達及齒輪組的運作，可使日、月、星辰與大地在真實與模型間，維持方位上的立體對應，因此測出各星體的位置及關連，可省略天文上的計算過程，並將天體運行與時間、曆法的關係顯示出來。

關鍵詞：自動應象儀、同步動力、天文座標

## 一、引言

中國古代的曆法為陰曆與陽曆的配合曆，對農事、氣象等助益很大，曆法的優越是因為天文發達所致，而古天文學的成就，很得力於「渾天儀」的發明與改進，對世界天文學的發展有不可磨滅的貢獻。

書經、堯典云：「乃命羲、和，欽若昊天，歷象日、月、星辰，敬授人時。」據古籍中記載，中國古天文觀測儀器，由附遊儀的圭表式儀器，改進為比較完整而同時可測高度與東西經度之儀器，是由陶唐氏帝堯命羲、和立渾儀（西元前2357年）開始。

尚書通考云：「東漢延熹中（西元164年），張衡以銅製渾天儀置於密室中，具內外觀、南北極、黃赤道、列二十四氣、二十八宿、中外星官、及日、月、五緯，以漏水轉之于殿上室內，令司之者閉戶而唱，以告靈台之觀天者……皆如合符，機巧處為用漏水轉渾天。」

唐天文志云：「開元十一年（西元723年），高僧一行與率府兵曹參軍梁令瓚，鑄自動渾天銅儀，開元十三年，水運渾天告成。……以木櫃為地平，令儀半在地下，注水激輪令其自轉，週天運行，外絡二輪綴以日、月，令其運轉……晦明朔望，運

速有率，製器垂象，永傳不朽……立二木人于地平上，其一前置鼓以候刻，至一刻則自擊之，其一前置鐘以候辰，至一辰亦自撞之。皆于櫃中，各施輪軸，鉤鍵關鎖，交錯相持，置殿前以示百官。」

「水運渾天儀」是由相當於天球大圈的許多環與球所組成的，利用流水（或水銀）位能轉換成動能推動轉盤、齒輪及鉤鍵等帶動諸環與球繞與地軸平行的極軸旋轉，調定水量及位差，可以使極軸轉速與地軸轉速同步，諸環與球則與天象之運行相為呼應，且自動司辰報刻，流水不斷，則此運作便可永久持續下去，以利天文觀測並協助曆法計算及校驗，後因朝代更替，中原戰亂，「水運渾天儀」遭到破壞，宋室南遷後，天算人才凋零，終至失傳。

宋天文志云：「張衡之制，史失其傳，開元舊器，唐世已亡，宋太平興初（西元979年）蜀人張思訓首創其式，製自動太平渾儀，……元祐七年（西元1092年）吏部尚書左丞兼侍讀蘇頌製水運儀象台，……大率依倣一行之法……激水運動，加以樓板，層高丈餘以藏關柱，冬月用水銀代水以防碍澀……另有玉衡植于屏外，持泥樞斗，其下為機輪，又為橫輪側輪斜輪，定身關中關小關，天柱七直神，左搖鈴、右叩鐘、中擊鼓以定刻數，每一晝夜周而復始，又以木為十二神，各直一時，至其時則自執辰牌，循環而出，隨刻數以定晝夜長短，上有

天頂、天牙、天關……以日行度定寒暑進退……四十有三鉤鍵，交錯相持，次第運轉，不假人力，多者日行二千九百二十八齒，少者五日行一齒，徐疾相遠，如此而同發于一機……靖康之變，測驗之器盡歸金人，久皆毀棄……南渡後天算人才缺乏，無復知其法制者……朱熹家有渾儀，頗考水運制度而不可得。」

十七世紀西方發明望遠鏡，此後中國的天文學便逐漸式微，古老的成就漸漸從人們生活中淡忘了。

當我們把疑惑的眼神，投向浩瀚宇宙的時候，人仍是渺小的，為區區之事同類相殘，並無意義，對無盡奧秘的深淵，古人與今人所知也沒有多少不同。雖屬過時的成就，若能以實用化面貌重現，不獨告慰古人，或許也能拋磚引玉，激勵今人、傳承遺志，追求真理、造福後人。

## 二、原理概述

無數繁星彼此相對運動，站在地球上，則以地球為中心在看它們的運動，為了方便觀察，將群星分成三類來看較容易了解。

第一類是太陽系以外的衆多星體，因為距離地球太遠，彼此間的相對運動，在地球上短時期不容易看得出來，因此可說，肉眼所見，那些星星的相關位置，在我們有生之年是不變的，地球繞著地軸以近固定的角動量旋轉，群星東昇西落週而復始，若以我們習用的太陽日來說，群星每天分別早起了約四分鐘，造成春、夏、秋、冬的夜空觀察到的部份不同，但只要把握它們的週期，推測它們的方位不難。

第二類是太陽與月亮，雖然只有兩顆星，但對地球的影響力，不論日夜交替、四季寒暑、潮汐漲落……均巨大且深遠。曆法總是根據日、月、星辰的運動週期與位置來決定，反過來根據已知的曆法，回推星體位置，應該同樣可行。

第三類是在太陽系內，除了日、月及地球以外的星體，它們對地球的影響不及日、月，但因人類對太空發展的志趣，使得這些充滿神奇，極具開發價值的星體，成為今後很受重視的目標。可惜它們一方面與地球相距太近，相對運動造成關係位置有巨大的變化，另一方面又沒有一種簡單且習用的方法

則可加以規範，因此推測這類星體的位置較為困難。

地球座標、天球座標、時間、曆法之訂定是互依循的。地球自轉軸通過地心及南北極，地軸限延伸處為天球南北極，地球赤道面通過地心垂直於地軸，赤道面無限延伸處為天球赤道。由地心線至地表面，此線與赤道面間的夾角為當地的緯度，同樣做無限的延伸，則成天球的赤緯度。在地面上，連接兩極而垂直於赤道的弧線為經線，以過格林威治為起點，分東西各  $180^{\circ}$  經線，而在天球上，則以春分點開始分 24 小時赤經。從地球上看出去的軌道為黃道，回歸年週期 365 日 5 小時 48 分 46 秒，太陽運行至黃道上不同位置，形成地球上不同的日期與節氣。月亮在白道上運行，與黃道夾角，朔望月週期約 29.53 天，恒星月週期 27.32 天，當行至太陽與地球之間為陰曆初一（朔），而正好地球在太陽與月亮之間為陰曆 15 左右（望）不同日期，月形盈虧也不同，是因為月亮的運動造成由地球連線到太陽，與到月亮的兩條直線夾角不同，造成的觀看結果，夾角 0 為初一，看不見光，夾角 180 為陰曆 15 左右，是一輪滿月。其它期可按比例估算，每差一日，夾角約差  $12.2^{\circ}$ ，轉應天球之上，每差一日，赤經約差 0.8 小時。

## 三、製造及操作說明

各圖式簡述如下：

- 圖 1. 自動應象儀外觀圖。
- 圖 2. 地球。
- 圖 3. 天球。
- 圖 4. 單向傳動軸節。
- 圖 5. 軌道架正視圖。
- 圖 6. 軌道架側視圖。
- 圖 7. 軌道架俯視圖。
- 圖 8. 赤道凹槽。
- 圖 9. 極軸。
- 圖 10. 差速齒輪組正視圖。
- 圖 11. 差速齒輪組側視圖。
- 圖 12. 差速齒輪組俯視圖。
- 圖 13. 白道差速齒環及月標正視圖。
- 圖 14. 白道差速齒環及月標側視斷面圖。
- 圖 15. 黃道差速齒環及目標正視圖。

- 圖16. 黃道差速齒環及目標側視斷面圖。  
 圖17. 赤道差速齒環及滑動時環正視圖。  
 圖18. 赤道差速齒環及滑動時環側視斷面圖。  
 圖19. 地緯齒環及極軸帶動齒環正視圖。  
 圖20. 地緯齒環及極軸帶動齒環左側視圖。  
 圖21. 時標正視圖。  
 圖22. 時標俯視圖。  
 圖23. 子午環與方位環正視圖。  
 圖24. 子午環與方位環仰視圖。  
 圖25. 乾罩。  
 圖26. 坤罩。  
 圖27. 離合機構同步運動之正視圖。  
 圖28. 離合機構同步運動之側視圖。  
 圖29. 離合機構地緯調節之正視圖。  
 圖30. 離合機構地緯調節之側視圖。  
 圖31. 離合套斷面圖。

圖示各元件符號簡述如下：

- 1.底座。2.支架。4.指南針。6.電源。8.石英電子電路。10.同步馬達。12.減速齒輪組。14.離合旋鈕。16.環槽。18.月標。20.目標。22.白道差速齒環。24.黃道差速齒環。26.地球旋鈕。28.摩擦墊片。30.方位環。32.子午環。34.滑動時環。36.赤道差速齒環。38.天頂螺絲。40.赤道齒環。44.極軸帶動齒環。46.地緯齒環。48.空心管。50.極軸齒輪。52.赤道凹槽。56.天球連結套。60.炭合件。62.鋼珠。64.彈簧。66.方位環緣。72.時標插孔。74.齒輪1。78.齒輪2。80.齒輪3。82.齒輪4。84.蝸桿1。86.蝸桿2。88.蝸桿3。90.蝸桿4。92.蝸輪1。94.蝸輪2。96.蝸輪3。98.蝸輪4。100.元齒輪。102.元齒輪軸。104.蝸齒輪。108.時標座。110.時標槽。112.時標指尖。114.地緯調節蝸桿。116.中心極軸。118.桿槽。120.連桿。122.轉度限制柱。124.離合輪。126.同步轉軸。128.離合套。132.多邊形套孔。134.蝸齒輪接入口。136.地緯旋鈕。138.仰角槽。140.仰角標。142.天頂插孔。144.俯角槽。146.俯角標。148.支架套口。150.元齒輪接入口。152.固定螺絲。154.坤罩托盤。

圖(1)表自動應象儀外觀全圖，其中位於支架(2)內的電源(6)、石英電子電路(8)、同步馬達(10)及減速齒輪組(12)部分與一般之石英鐘錶機件類似，與赤道

儀自動追蹤馬達結構相同。為利用一適當之交變電位源加於石英晶體之電軸方向，以激發晶體沿力軸方向振動，再產生電軸方向的自然頻率振盪電位，來控制振盪電路，引發持續之諧振，並使電動機也維持極為穩定的轉速，此轉速經過減速齒輪組(12)後，可使同步轉軸(126)（示於圖27.）的轉速與地球旋轉軸的轉速相同，即每轉一周，恰為一個恒星日，為23小時56分4秒。中心極軸(116)（圖9）之轉速若與同步轉軸(126)之轉速相同，則由中心極軸(116)所負載的天球(圖3)運動，便與真實天體的運行同步了。而由同步轉軸(126)至中心極軸(116)的關連元件，須經離合套(128)（圖27）、元齒輪軸(102)、元齒輪(100)、極軸帶動齒環(44)、極軸齒輪(50)等。在驅動過程中，若觀測地點改變，涉及緯度的變更，須靠地緯齒環(46)之轉動來改變極軸(圖9)的傾斜角，而地緯齒環(46)由蝸齒輪(104)帶動，但驅動蝸齒輪(104)會干擾元齒輪(100)及相關連的元件運動，故需有離合機構(圖27)加以分隔。

當離合輪(124)為如圖27順時針轉到底時（即被轉度限制柱(122)擋住為止），地緯調節蝸桿(114)被連桿(120)沿桿槽(118)往下拉，離開蝸齒輪(104)，而離合套(128)則被推升而套入元齒輪軸(102)，因離合套(128)管孔截面、同步轉軸(126)截面及元齒輪軸(102)之截面，均為多邊形(132)，故同步轉軸(126)之旋轉，此時便可透過離合套(128)、元齒輪軸(102)、元齒輪(100)、極軸帶動齒環(44)、極軸齒輪(50)、中心極軸(116)、單向傳動軸節(圖4)、天球(圖3)一併同步旋轉了。且此時因地緯調節蝸桿(114)已與蝸齒輪(104)脫離，故撥動地緯旋鈕(136)，只讓地緯調節蝸桿(114)空轉而已。

離合輪(124)若如圖29逆時針轉到底時，離合套(128)被推下降脫離元齒輪軸(102)，同步轉軸(126)成空轉，地緯調節蝸桿(114)被連桿(120)沿桿槽(118)上頂，而與蝸齒輪(104)相齒合，轉動地緯旋鈕(136)，帶動地緯調節蝸桿(114)、蝸齒輪(104)及地緯齒環(46)旋轉，再帶動架於地緯齒環(46)上的極軸(圖9)，及附於其上的天球(圖3)、地球(圖2)等一起旋轉。由支撐地緯齒環(46)的子午環(32)（圖23）上之標度可

看出極軸（圖9）的傾斜角，是否與觀測當地的緯度相等。若南北方向也取正，則極軸（圖9）與真實地球的自轉軸便相平行了。

天球（圖3）與地球（圖2）均附於極軸（圖9）上，透明天球（圖3）上繪有赤經、赤緯、主要星座及亮星，並於黃道上對應太陽全年運行的位置，標示出陽曆的日期。天球（圖3）始終隨著中心極軸（116）一起旋轉，而地球（圖2）通常為靜止狀態，只有在觀測地點改變時才調整，故與中心極軸（116）間有空心管（48）隔開，管端有地球旋鈕（26），必要時可帶動地球（圖2）旋轉，此地球旋鈕（26）與附於地緯齒環（46）上的摩擦墊片（28）相接觸，以防止被任意帶動。

為了表示時間及太陽、月亮的位置，在天球（圖3）外緣，沿赤道加滑動時環（34）（圖12），沿黃道加綴日標（20）與月標（18）。雖然地球自轉，造成日、月、星辰皆東昇西落，但尚有月亮繞地球旋轉及地球繞日公轉，造成日、月、星辰轉速稍有不同。每日的變動令滑動時環（34）及日標（20），慢慢在天球（圖3）上退移，一年退移約一周，而月標（18）則一年退移約13.4周，而此退移有賴差速齒輪組（圖10）完成。為了達成平衡，以利動力運轉，此差速齒輪組（圖10）以對稱方式設立二組（圖1）。黃道與赤道夾角 $23^{\circ}26'21''$ ，相交於春分點與秋分點，為使日標（20）與月標（18）能跨越滑動時環（34）運行，故以軌道架（圖5）將黃道差速齒環（24）與白道差速齒環（22）架高，日標（20）與月標（18）則分別鑲入黃道差速齒環（24）與白道差速齒環（22）之環槽（16）上，以利載運及跨越。滑動時環（34）亦附於赤道差速齒環（36）上以利載運，而赤道差速齒環（36）則約束在天球（圖3）之赤道凹槽（52）中。

因天球（圖3）在同步運動狀態，地球（圖2）則在相對靜止下，而介於二者之間的差速齒輪組（圖10）的作用在使天球（圖3）每轉一周，日標（20）及滑動時環（34）相對天球（圖3）退行近 $1^{\circ}$ ，月標（18）則退行約 $13^{\circ}$ ，一年中天球（圖3）若旋轉366圈，滑動時環（34）及日標（20）正好相對天球（圖3）退行一圈，為共繞365圈；而月標（18）則相對天球（圖3）退行13.4圈。此需以各齒數比值之安排達成，例如令黃道差速齒環

（24）之齒數共366齒，而天球（圖3）每轉一齒，黃道差速齒環（24）相對天球（圖3）退一齒，令白道差速齒環（22）共273齒，天球（圖3）轉一圈，白道差速齒環（22）相對天球（圖3）退10齒，或以此相當之比值皆可達成相應之進退標。差速齒輪組（圖10）中的各輪軸均架於天球（圖3）上，齒輪1（74）與赤道齒環（40）相齒，天球（圖3）旋轉，令齒輪1（74）沿赤道齒（40）上轉進，使與齒輪1（74）接於同一軸上蝸桿1（84）及蝸桿3（88）一併旋轉，蝸桿1（84）驅動蝸輪1（92）減速旋轉，與蝸輪1（92）接於同一軸上的蝸輪2（86）隨蝸輪1（92）一旋轉，再驅動蝸輪2（94）減速旋轉，使得與蝸2（94）接於同一軸上的齒輪2（78）及齒輪3（80）一併旋轉，齒輪2（78）可伸出天球（圖3）縫隙，帶動赤道差速齒環（36）及貼附環上的滑時環（34）沿天球赤道移動。齒輪3（80）可伸另一處天球縫隙，帶動黃道差速齒環（24）及綴其上的日標（20），沿天球黃道移動。另一方面桿3（88）則驅動蝸輪3（96）減速旋轉，與蝸3（96）接於同一軸上的蝸桿4（90）隨蝸輪3（96）一併旋轉，再驅動蝸輪4（98）減速旋轉，得與蝸輪4（98）接於同一軸上的齒輪4（82）併旋轉，齒輪4（82）可伸出天球（圖3）縫隙帶動白道差速齒環（22）及綴於其上的月標（18），沿天球（圖3）黃道移動。

天球（圖3）在天頂處，與中心極軸（116）間的連結，由一單向傳動軸節（圖4）完成，當球（圖3）以人工撥動時，若順向撥，即如圖順針旋轉，鋼珠（62）退後空轉，不致帶動中心極（116）跟著轉，故可輕鬆撥動。若反方向撥，即時針旋轉，鋼珠（62）立被咬緊於天球連結套（50）與嵌合件（60）中，成為楔的作用，而撥動天球也就帶動了中心極軸（116）及相連接的各元件一同反轉，而受到很大的抗力，故只宜順向轉，不宜反向轉。

當位置、轉速均已調妥，對應也已完成，日月、星辰可以直接在天球（圖3）上看出，但若知道它們位置的詳細數據，則有賴乾罩（圖25）坤罩（圖26）及方位環（30）的作用了。方位環（30）（圖24）相當於一個地平圈，環緣有刻度，0

表正北、 $90^\circ$  表正東、 $180^\circ$  表正南、 $270^\circ$  表正西。乾罩（圖25）、坤罩（圖26）皆為透明半球體，連同支架（圖2），將全部自動應象儀各元件均封護於其中，以防塵埃及碰觸，但不礙觀測。乾罩（圖25）上有 $0^\circ$ 至 $90^\circ$ 標示之仰角槽（138），槽中有一可沿槽滑動之仰角標（140），乾罩套於方位環緣（66）上，天頂螺絲（38）穿過天頂插孔（142），以通過天頂的垂線為軸，可行 $360^\circ$ 全圓旋轉，使仰角標（140）可標示在方位環（30）上方天球（圖3）上任一星體的位置。坤罩（圖26）上亦有 $0^\circ$ 至 $90^\circ$ 標示之俯角槽（144），槽中有一可沿槽滑動之俯角標（146），坤罩套於支架（2）上方凸出的坤罩托盤（154）上及方位環緣（66）下方，同樣以中心垂線為軸，可做 $360^\circ$ 全圓旋轉，並使俯角標（146）可標示出在方位環（30）下方天球（圖3）上，任一星體的位置。

自動應象儀（圖1）一旦調妥，開始運轉後，便可長年不需人工操作，而成自動對應，除非停電、更換觀測位置、模擬其它地區天象狀況，或模擬過去、未來不同時間的天象對應狀況，才需人為調整，而調整步驟如下：

(一) 經度調節：鬆開天頂螺絲（38），取下乾罩（圖25），將離合旋鈕（14）逆時針轉到底，再轉動地緯旋鈕（136），使極軸（圖9）開始移動，見地球旋鈕（26）移至方位環（30）上方為止。轉動地球旋鈕（26），見方位環（30）上方的子午環（32）之投影，正好與地球（圖2）上顯示觀測處的經度相合為止。

(二) 緯度調節：轉動地緯旋鈕（136），見極軸（圖9）指向，對準子午環（32）上刻度的位置，與觀測處的緯度相同為止，再把離合旋鈕（14）順時針轉到底。

(三) 日期調節：將目標（20）沿黃道差速齒環（24）上滑至天球（圖3）黃道上所標示的日期，與觀測當天的日期相同處為止。查出陰曆日期，算出或查出此日期表示太陽（由目標表示）與月亮（由月標表示）對地球所成之角度為多少，再將月標（18）沿白道差速齒環（22）上滑至與目標（20）對應成此相同角度處為止。

(四) 時間調節：將滑動時環（34）上的12時，沿赤道差速齒環（36）上貼著滑行，滑至與黃道上，

表觀測當天的日期，即目標位置在同一經線上為止。此表示太陽凌於某經度上方，而全部地球此經度地區時間皆為正午12時。地球上各時區，通常涵蓋 $\pm 7.5^\circ$ 的經度範圍，觀測處的經度，與當地決定地方時間的標準經度，常略有不同。在地緯齒環（46）上，與赤道面相交兩處，各有一時標插孔（72），將位於上方插孔的時標指尖（112）沿時標槽（110）少許移動，使此指尖正好投影在地球（圖2）上表示此時區時間的標準經度處。再順向撥轉天球（圖3），帶動滑動時環（34）上所顯示觀測時的時間標示，移於此時標指尖（112）下，並將乾罩（圖25）重新罩上，及鎖好天頂螺絲（38）完成。

(五) 方位調節：移動底座（1），使極軸（圖9）的垂直投影指向，對正南方與北方，此可以指南針（4）的指向來觀察，若為避免磁偏角帶來的差異，可再以北極星或其它更佳方法校驗。

調妥以上五個步驟，並接通電源（6），自動應象儀（圖1）所顯現之標繪，此後便與真實天地星象自行對應了。

撇開誤差，應象意指將此儀諸標示，由中心向無限天際投影，會與真實大地、日、月、星辰由真實地心同樣向遙遠天際的投影相重合。也可看成遙遠的日、月、星辰與大地向地心的一個小球上投影的結果，會與這個自動應象儀，如影隨形般相映成趣。

想知道某星位置的確切數據，可轉動乾罩（圖25）或坤罩（圖26），使仰角槽（138）或俯角槽（144）通過此星，再移動槽上仰角標（140）或俯角標（146），正投影於此星上，則此標所在位置的仰角度或俯角度，即為此星的仰角或俯角，而此時仰角槽（138）或俯角槽（144）與方位環（30）相交處的方位標示，即為此星的方位角。若將此星標示向地球（圖2）投影，投影處的地理區，應見此星正凌頭頂。

滑動時環（34）上，經時標指尖（112）處的標示，即為觀測處的時間。若將滑動時環（34）向地球（圖2）投影，沿各經線可以知道地球（圖2）上各地區當時的地方時間。

由月標（18）可知月亮的位置，由月標（18）與目標（20）的夾角，可推出月形、陰曆日期或月齡。

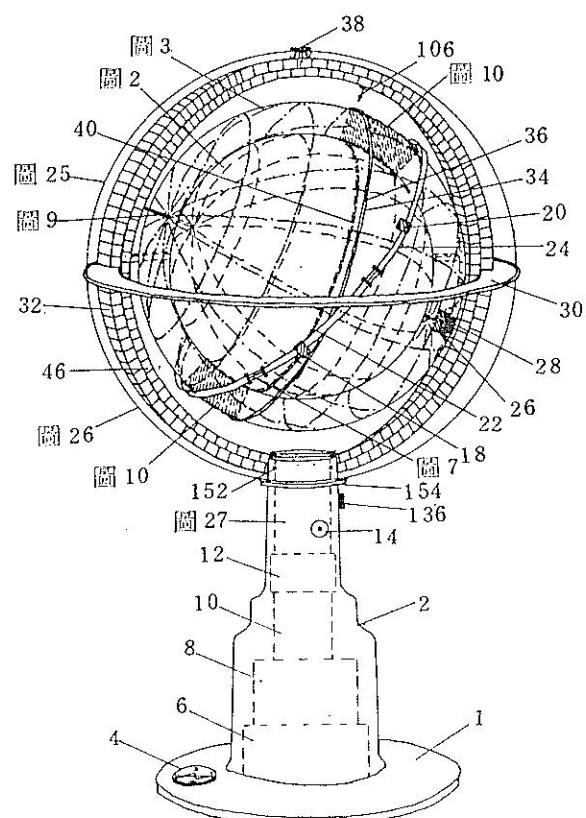


圖 1

圖系 A 自動應象儀

Figures of System A. Automatic Astronomical Globe.

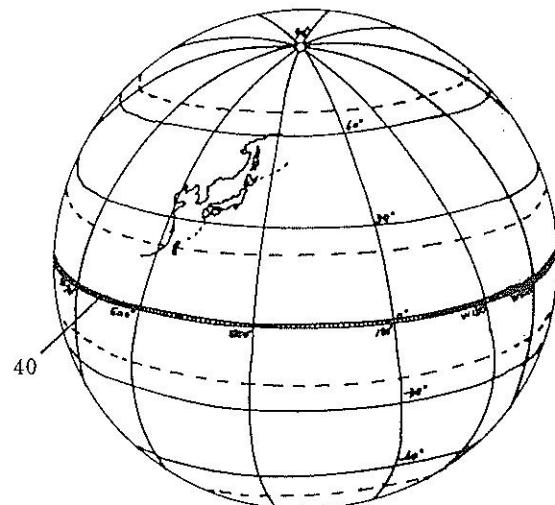


圖 2

圖系 B 地 球

Figures of System B. Earth.

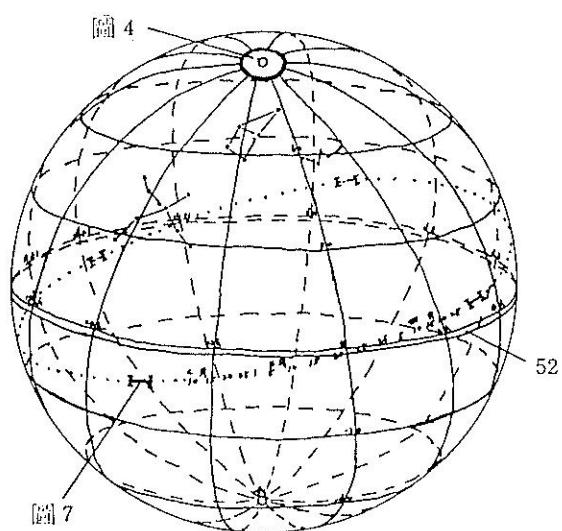


圖 3

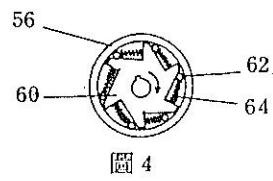


圖 4

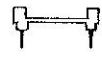


圖 5



圖 6



圖 7

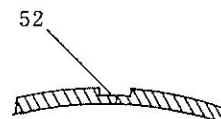


圖 8

### 圖系 C 天 球

Figures of System C. Celestial Sphere.

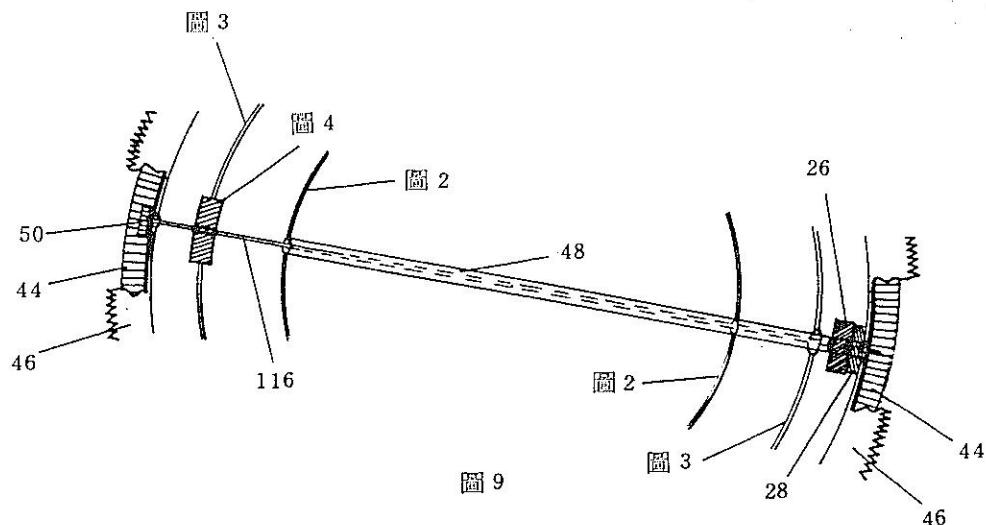
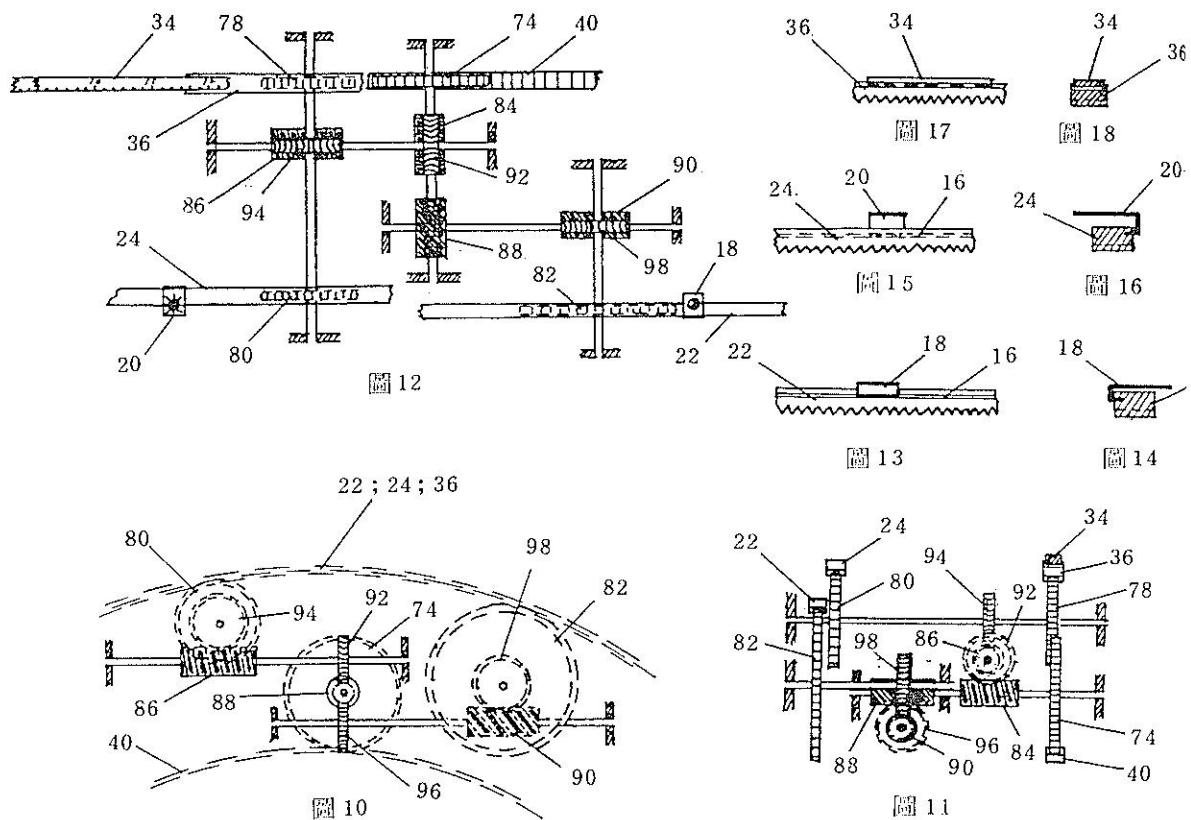


圖 9

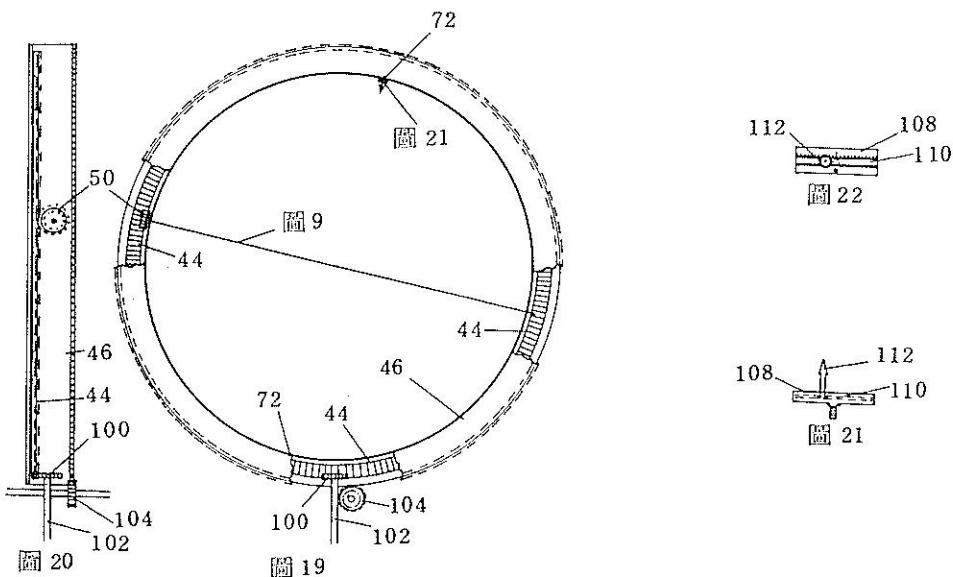
### 圖系 D 極 軸

Figures of System D. Polar Axis.



圖系 E 差速齒輪組

Figures of System E. Differential Gear Set.



圖系 F 地緯齒環及極軸帶動齒環

Figures of System F. Latitude Gearing Disk and Polar Axis Gearing Wheel.

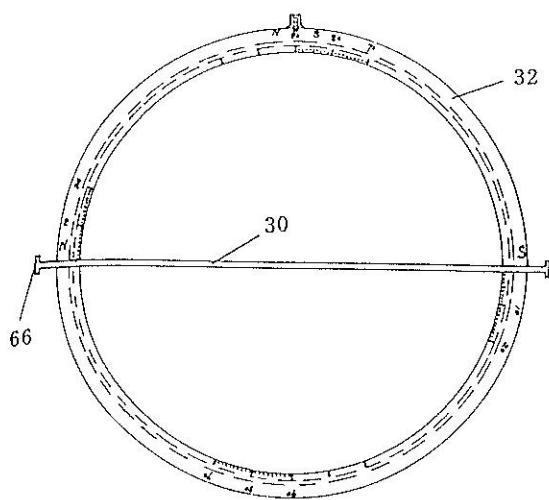


圖 23

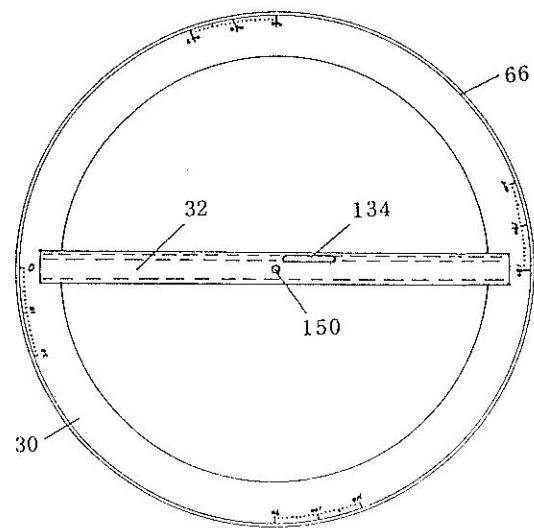


圖 24

圖系 G 子午環與方位環

Figures of System G. Meridian Ring and Azimuth Ring.

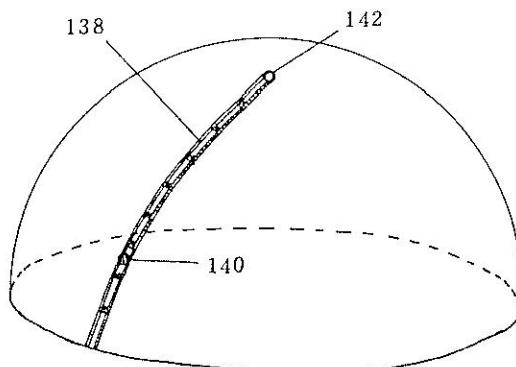


圖 25

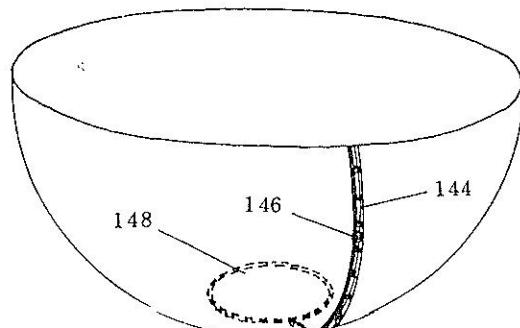


圖 26

圖系 H 乾罩與坤罩

Figures of System H. Heaven Mask and Ground Mask.

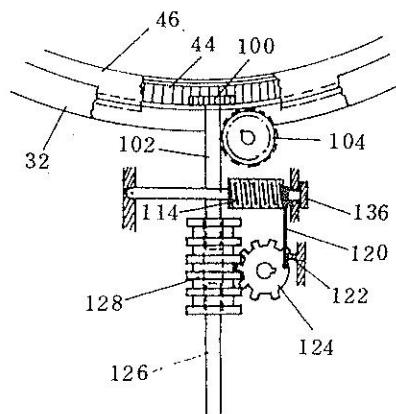


圖 27

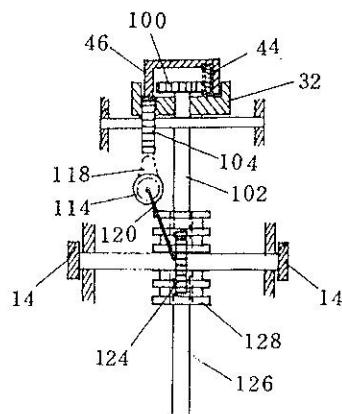


圖 28

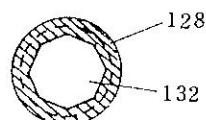


圖 31

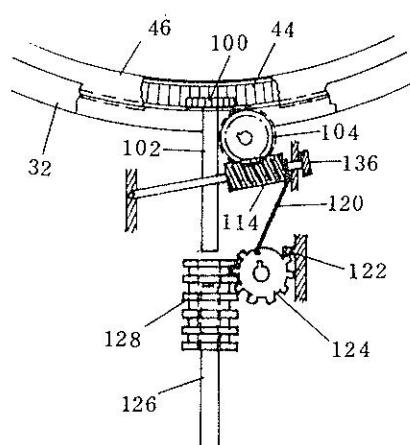


圖 29

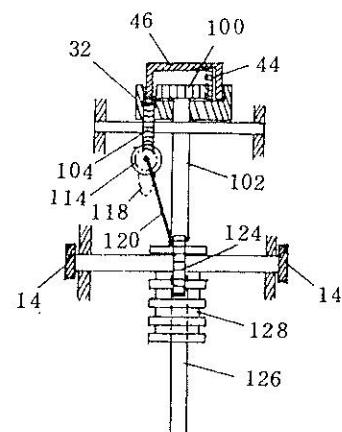


圖 30

### 圖系 I 離合機構

Figures of System I. Clutch.

## 四、結論

自動應象儀可以把天上的許多繁星標繪在天球上加以推測，但對太陽系以內，除日、月與地球外的其它星體却難以標繪，因為這些星體距離地球近，相對運動造成位置巨大變化，又無簡單適用的法則加以規範，縱使可在天球上增加一些軌道來表示它們的運行，也會阻礙其它星體的觀測，且使儀器變得更加複雜，而失去實用的目的。想知道這些星體的位置狀況，需先在天文年鑑等書上找出它們近日在天球上的位置，再鑄取代表各星體的小吸盤等物，沾附在天球各關係位置上來觀察，且每經數日須依次加以位置修飾。

未來如有需要，自動應象儀的結構與推測方式，同樣可以推演到別的星球上使用。例如以火星為中心來觀測天象，可將地球換成火星，火星黃道與火星赤道的夾角，火星自轉軸的指向，火星及其衛星的自轉、公轉週期等所涉及的地方加以修改後，仍可構成完好的對應狀況。

造成「自動應象儀」推測星體的誤差影響有：

(一)白道與黃道夾角 $5^{\circ}9'$ ，但為求簡化，此處將目標與月標均置於黃道上滑行，造成月亮位置，向垂直黃道方向，最高達約 $5^{\circ}$ 角的偏差。

(二)曆法上對不成整數比的年、月、日週期，採彈性配合，造成陽曆有閏年，陰曆有大、小月及閏月，而以簡單齒數比完成目標、月標及滑動時環的退行方式，也很難完整配合，且春分點隨地球旋轉軸的運動而在天球上由東向西每年移動50弧秒，故回歸年較恒星年短約20分鐘，亦將造成配合上的干擾，使目標年誤差近 $0.25^{\circ}$ 角，滑動時環年誤差近1分鐘，月標年誤差沿黃道方向約有 $3^{\circ}$ 角。改進齒數比，可減少誤差，但將使製做的複雜性增加。

(三)觀測處與星體的連線，未必通過地球中心，此對近處星體會造成些許觀測數據的誤差。

(四)其它，如黃道、白道非正圓；太陽系內，星體的運行，遲速稍有不同；大氣折射；儀器本身製做的精密度等，也有影響。

雖然「自動應象儀」推測的結果，多少有些誤差，但若能細心製做及使用，一年中可使月亮之測定誤差，最高約在 $7^{\circ}$ 角範圍，太陽之測定誤差，最高在 $3^{\circ}$ 角以內太陽系以外星體則不超過 $2^{\circ}$ 角的誤差

範圍，時間顯示之準確性，等於一般石英鐘錶的準度，增加每年近一分鐘的誤差。

## 五、誌謝

文明的脚步總是踏在前人開拓的路上，繼續向前開拓，古人智慧遺產裡，有無數珍寶，更待後人發掘與樹建。

而對此「自動應象儀」好似在體驗「天人之際」的理念，也覺得世上完美又持久的對應物，恐怕難出其右了，不敢自我表功，因為最在一兩千年前，古人即已製成且使用了，準確度，或許更高於此。作者不過利用今天的知識，把它發掘出來，加以實用化罷了。

感念師長及先人之啓示，了解天地之大，常難容小小得失之心，而在微小區域裡，却不礙寬大胸懷，任意翱翔，也感謝妻子佩珠勤儉持家，致作者能投注心力於斗室中，完成此項研製工作。

本製做國內外專利申請中，謹此聲明。

## 六、參考文獻

- 1.曹謨編著“中華天文學史”1986台灣商務印書館。
- 2.陳遵媯著“中國天文學史”1988明文書局。
- 3.何丙郁、何冠彪著“中國科技史概論”1983木鐸出版社。
- 4.陳曉中著“中國古代科技”1981明文書局。
- 5.李約瑟著，陳立夫譯“中國之科學與文明”1980台灣商務印書局。
- 6.“天文日曆”1990中央氣象局編印。
- 7.蔡獻章主編“天文年鑑”1990台北市立天文台。
- 8.韓雨墨編著“中華太陰萬年曆”1988武陵出版社。
- 9.汪仁虎、劉佩珠“象位渾天儀之研製”1989·9氣象學報第35卷、第3期。

# THE FABRICATION OF AUTOMATIC ASTRONOMICAL GLOBE

Jen-Hu Wang

Department of Mathematics and Physics  
Chinese Air Force Academy

## ABSTRACT

The making of the "Automatic Astronomical Globe" is based on the idea of the ancient Chinese "Automatic Armillary Sphere", modern Celestial Globe, and planetarium.

Since the "Automatic Astronomical globe" is operated by a synchronous motor which moves all cog wheels built inside the Globe, we can use it to indicate the relative positions of the sun, the moon, the star, and the earth, if we are given the date, time, latitude, and the ascension and declination of the star. And this can save us the trouble of calculation and, at the same time, show the relations between the astronomy and the calendar.

Key words: Automatic Astronomical Globe, Synchronous, Motor Astronomical Coordinates.

## 氣象學報徵稿簡則

- 一、本刊以推動氣象學術之應用研究及技術發展為目的，凡有關(一)氣象業務之技術發展(二)氣象作業方法之改進(三)天氣分析，預報及氣象理論之應用研究論文，均所歡迎。
- 二、本刊稿件分為三類：(一)研究論文(二)綜評(三)報告。
- 三、本刊文字務求簡明，文體以中文為主，每篇以不超過十五印刷頁為原則。
- 四、稿件須以中英文註明作者之真實姓名、服務機關及職稱。
- 五、稿件在參考文獻之後，應附英文五百字以內之

摘要。

- 六、稿件之圖表名稱，須以中英文對照說明。
- 七、稿件內容過長或內容、文字、圖表有修改之必要時，得商請投稿人修正之。本刊亦得予以必要之刪改，若作者不願刪改時，請先聲明。
- 八、來稿如不刊登，則退還原著者。來稿一經刊登，則概不退還。
- 九、稿件經刊印後，非經本刊同意，不得在他處刊印或轉載。
- 十、來稿請逕寄中華民國臺北市公園路六十四號，中央氣象局學報社收。