

時間是什麼？

—時間的度量與量器

林聰益 **Tsung-Yi Lin**

南臺科技大學古機械研究中心主任

+886(6)253-3131 ext. 3537

tylin@stust.edu.tw

時間形象

- 時間就是金錢；時間看作是不依賴於任何其他事物而獨立存在的、無休止地均勻流逝的客體；愛因斯坦狹義相對論指出，時間不能脫離宇宙及其事件的觀察者而獨立存在，時間是宇宙與其觀察者之間的聯繫的一個方面。時間被表述成一條有起點、有單位、有指向、無始無終的直線，這就是符合人們常識的牛頓“絕對時間”；一寸光陰一寸金，寸金難買寸光陰；時間是生命，時間是機會，時間是記錄，時間是考驗者，時間是見證人；〈懺悔錄〉奧古斯丁說——什麼是時間。若沒人問我，我就知道。有人問我，而我想說明，我就不知道！時間是物體週期運動或變化的次數；科學是以測量物體的變動來代表時間；時間是頑皮的小孩，常和我玩你追我跑的遊戲，當我一不留神，精密時間是科學研究、科學實驗和工程技術諸方面的基本物理參量。它為一切動力學系統和時序過程的測量和定量研究提供了必不可少的時基座標。時間是所有科學計量中最重要、最基礎的量，因為時間將我們研究和活動的特定過程，與其它過程聯繫起來。天文學是人類認識時間概念的科學基礎。時間不但是天文學(Astronomy)的基本概念，也是一切科學概念中最基礎的概念，而時間概念之所以必賴天文學才得以建立，是因為只有天文現象有最精確的週期性，或曰現象重複的等時性，而這種週期性或等時性又與人類生活直接密切地關連著。

時間形象

- 時間是什麼？（What is the time?）”若言這是在探索時間的本質，對大多數的人來說，可能是深奧而無趣的問題，那只是極少數科學家、哲學家熱心研究的課題。

What time is it?

- 相對上，“現在是什麼時間？（What time is it?）”則是一般日常生活經常「問」或「答」的問題，或許現代人們覺得這是一個簡單問題，只要看看手上的錶便知「昏曉」，但這真是一個簡單的問題嗎？若繼續深入探討這個問題，我們會發現其涉及到「**時間基準**」與「**授時系統**」的問題。

What time is it?

- 所謂**時間基準**，就是在當代被人們確認是一最精確的時間尺度，長期以來，人們一直在尋求著這樣的時間尺度，如
 1. 以視太陽運動為依據的視太陽時、
 2. 以地球自轉為基礎的世界時(Universal time, UT)、
 3. 以地球公轉運動為根據的曆書時(Ephemeris time)、
 4. 以原子振盪頻率為基準的原子時(Atomic time)。
- **授時系統**則是**確定和發播精確時刻的工作系統**，其確定精確時刻即是指時間的計量，在計時器的發展過程中，人類試圖用各種週期性運動現象作為量測時間的標準，並以各式各樣的器件，如圭表、日晷、漏壺、機械鐘、以及原子鐘等來保持時間。

時間形象

- 科技始終來自人性，人性在於滿足需求。
- 告子曰：「食色，性也！」
- 民以食為天
- 中國自古以農立國
- 《尚書》：「乃命羲和，欽若昊天，
曆象日月星辰，敬授民時。」
- 曆法

時間形象

- **天體 (Heavenly body)**

- 人類觀測日、月、以及五星的方位，可以知年歲、四季、月日、以及時刻。

- **晷表 (Sundial and Gnomon)**

- 為了方便觀測，古人利用日光或星光將天體運動軌跡轉換到晷表的晷面上，以達到更確切的報時。

- **漏刻 (Clepsydra)**

- 將標有時間刻度的箭尺置於漏壺中，根據漏壺的水位變化，以箭尺來報時。

- **機械鐘 (Mechanical Clock)**

- 具有一擒縱調速器，可將重力或任何其它動力驅動的連續運動，分割成均勻之時段，從而獲得穩定持續的運動。

時間形象

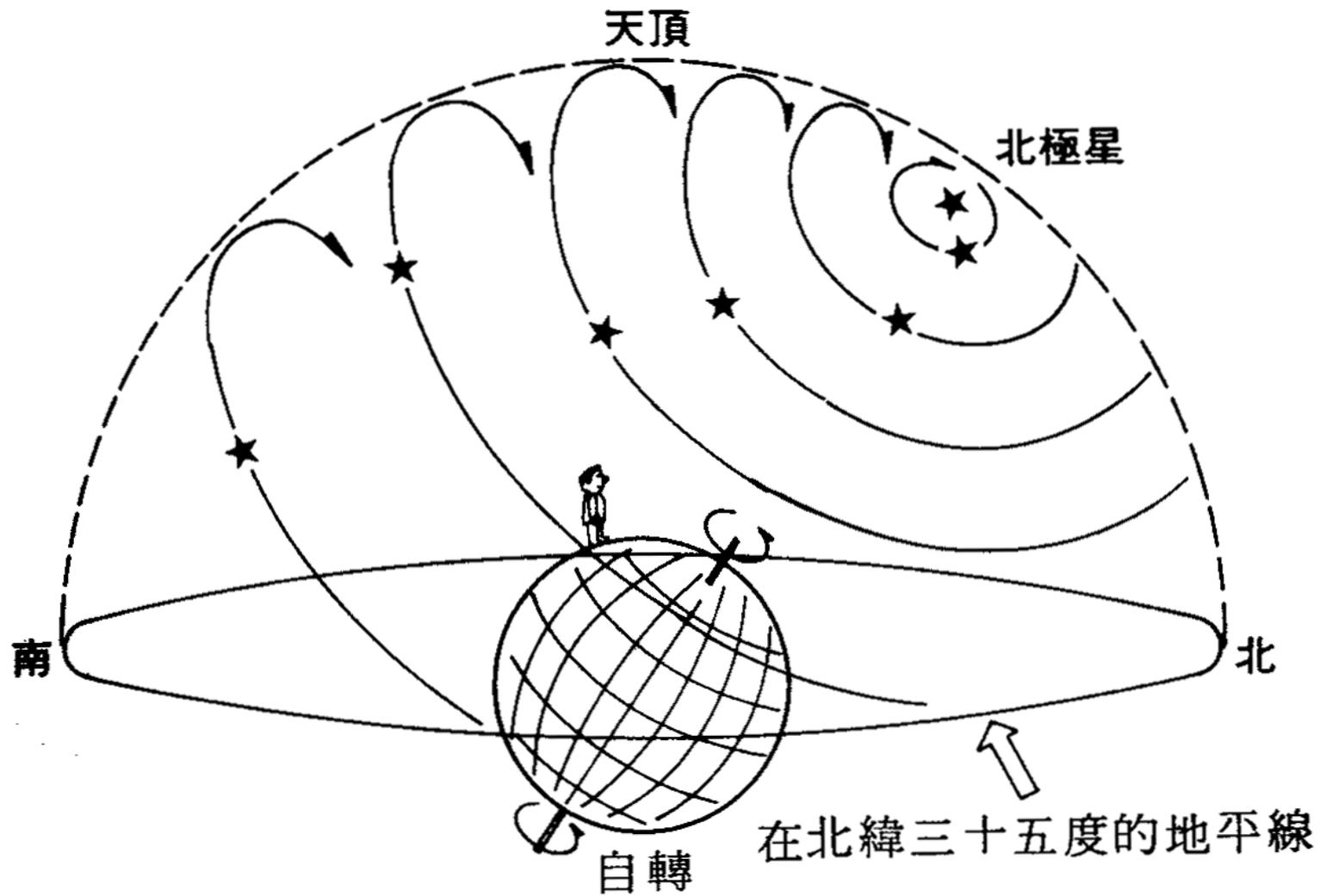
光陰似箭，歲月如梭。



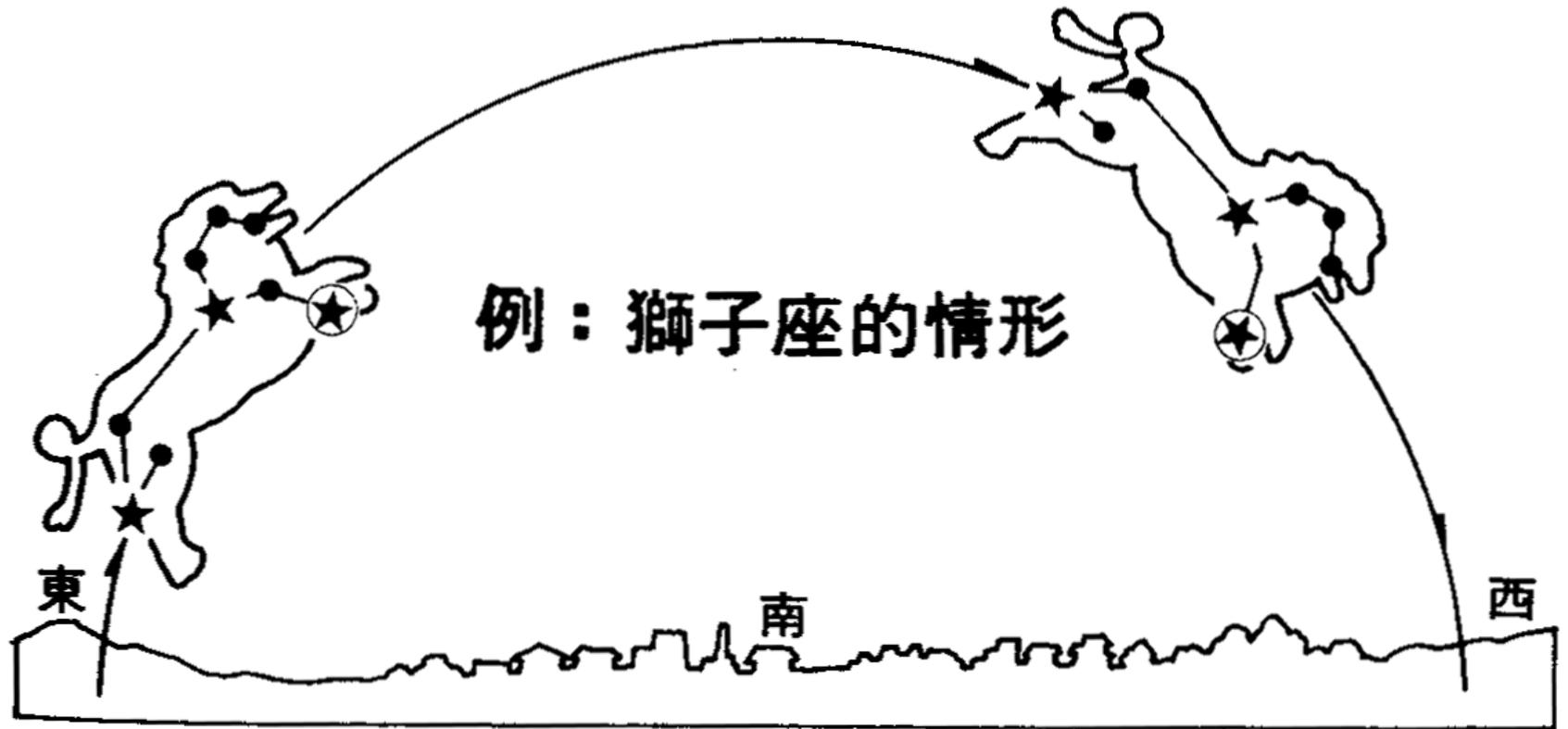
天體運動



天體運動



天體運動

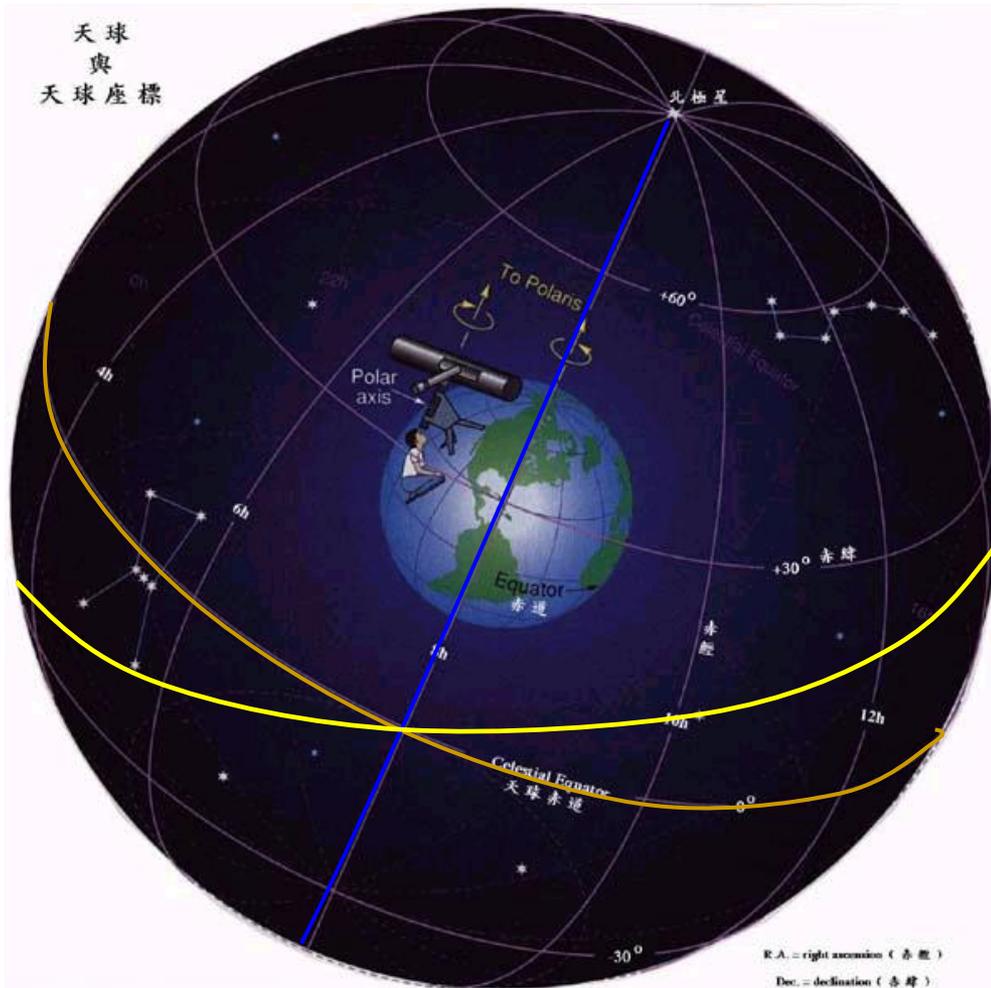


星星的移動，是以星空整體移動，所以星座的形狀不會改變。但星座的傾斜，則會依在天空中的位置而變化。

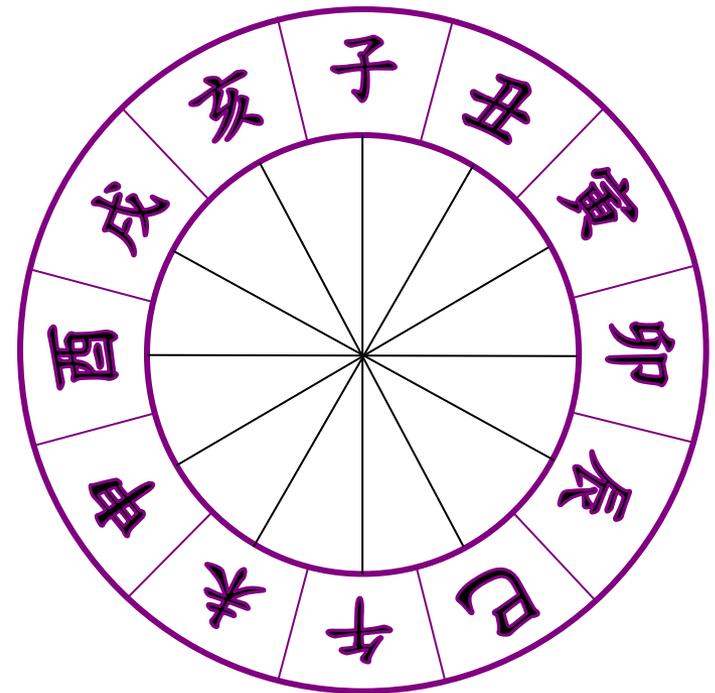
天球與十二時制

- 十二星次

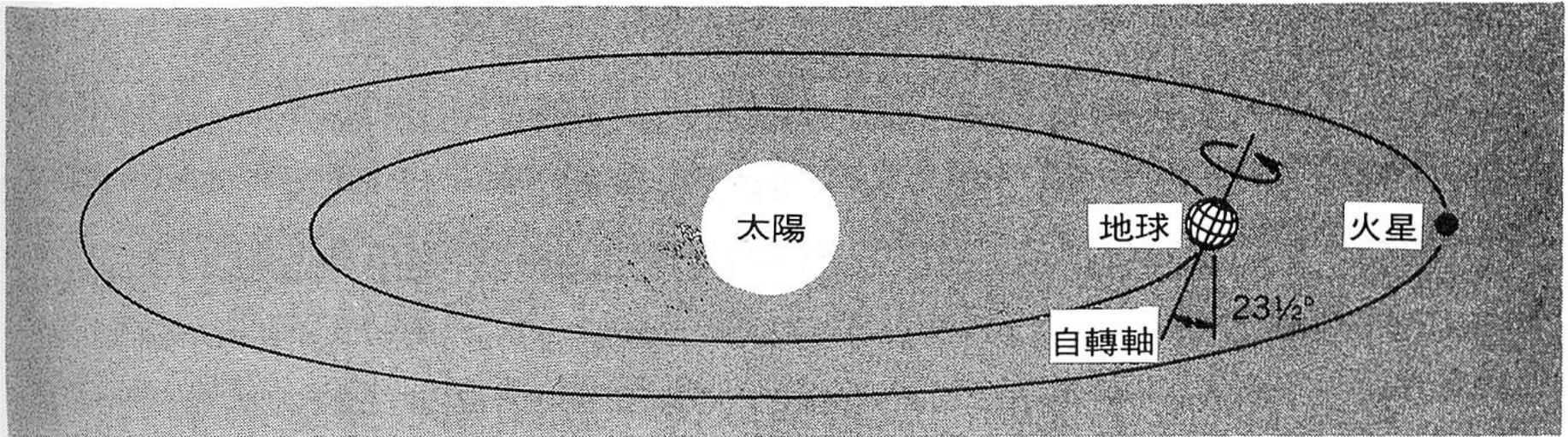
天球
與
天球座標



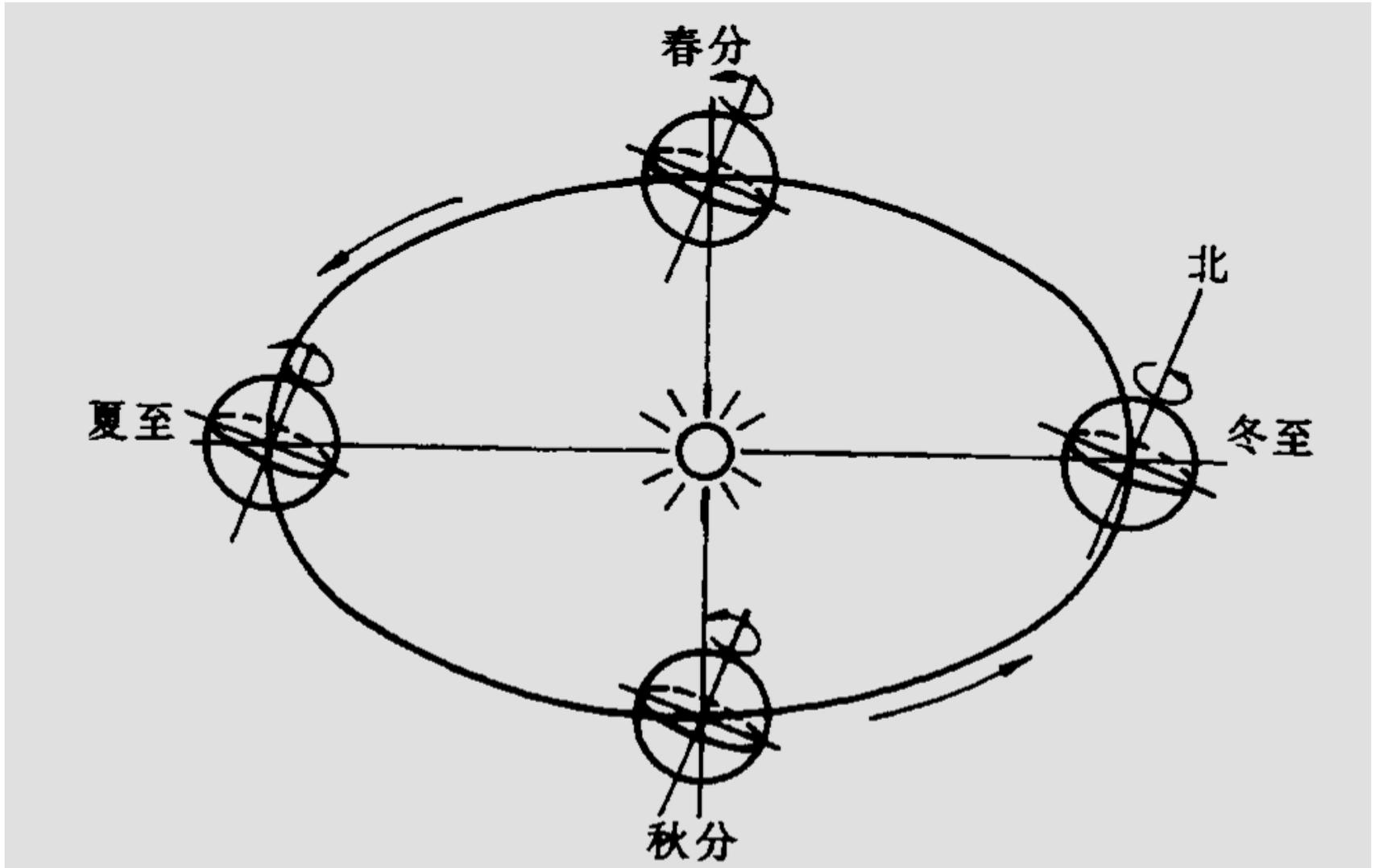
- 十二辰



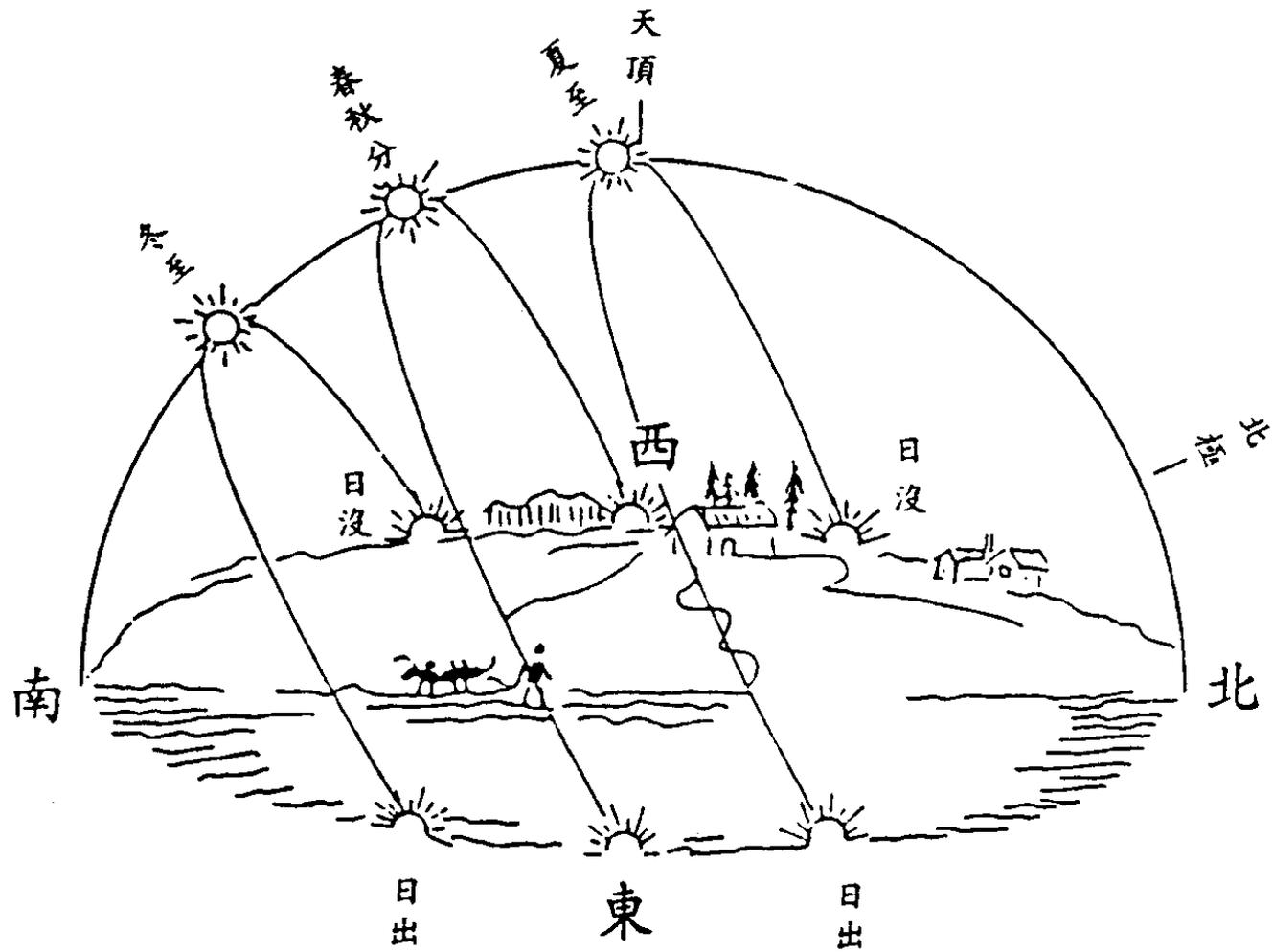
地球的公轉與自轉



地球的公轉與自轉

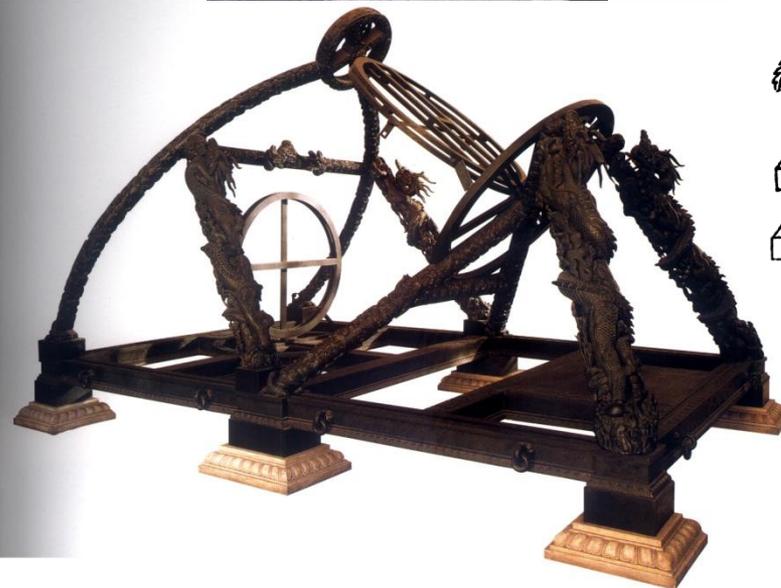
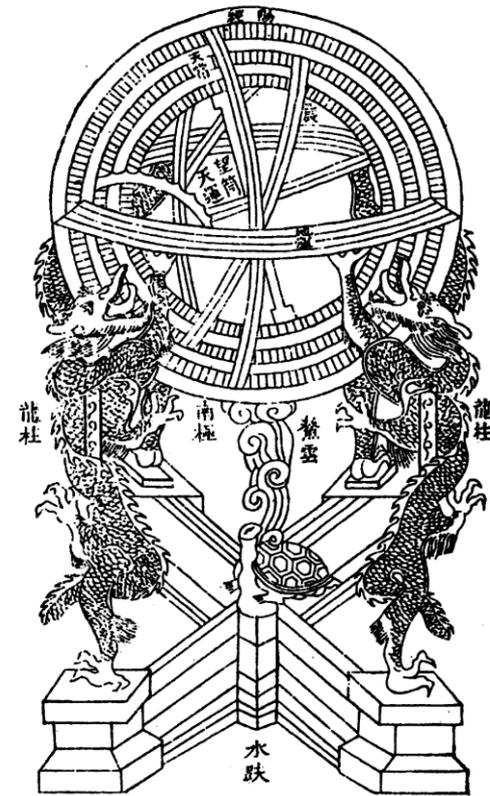


地球的公轉與自轉



臺灣四季太陽仰角與方位圖說

測天儀器的發展



圭表



圭表的功能

圭表之應用乃是利用天體運動坐標轉換原理，來觀測太陽與地球間相對的運動。

□ 空間

測量空間：包括測量地理緯度與黃赤交角，是利用地球因公轉所產生的晷景變化。

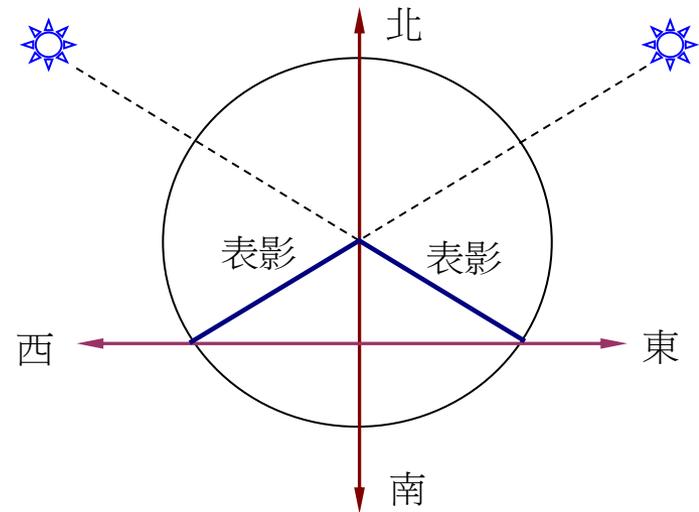
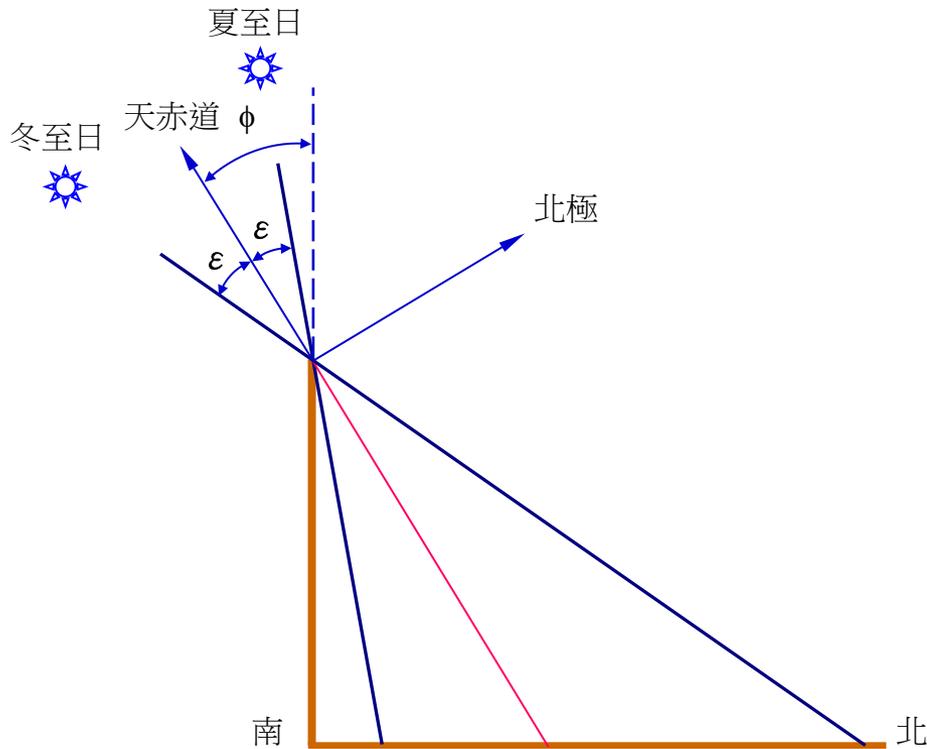
辨正方位：即是定東西立南北，是利用地球因自轉所產生的晷景變化。

□ 時間

度量時間：是利用地球因自轉所產生的晷景變化。

訂定節氣與測回歸年：利用地球因公轉所產生的晷景變化。

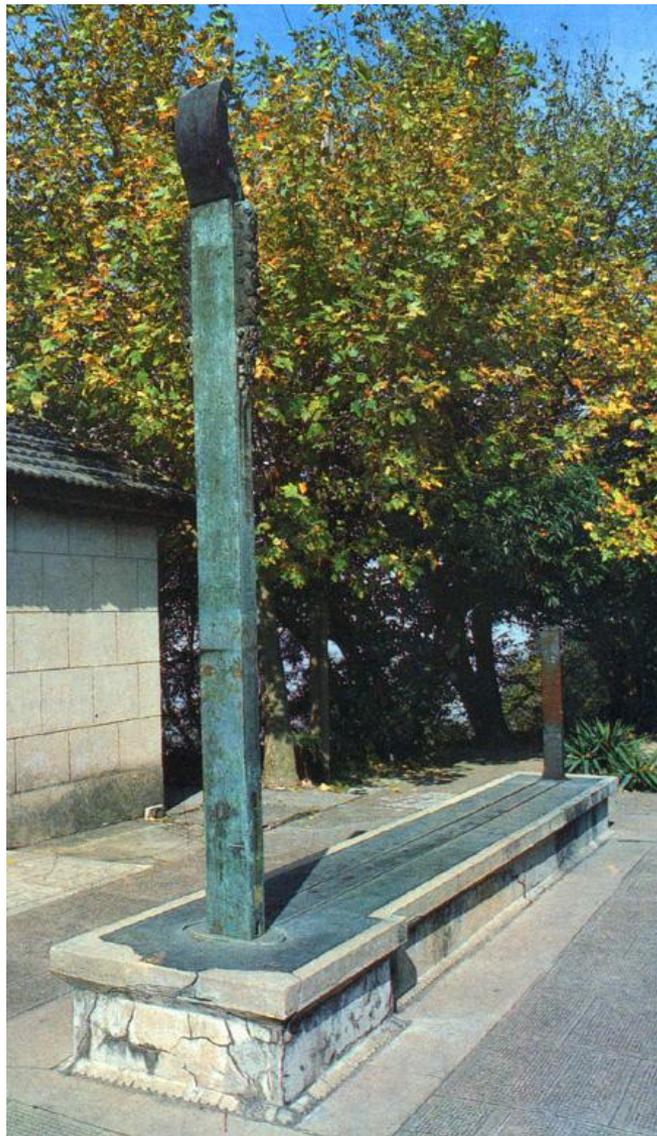
圭表的功能



- 地球公轉所造成的參數變化可以測量地理緯度與黃赤交角（空間）與制訂節氣與測回歸年日數（時間）。

- 地球自轉所造成的參數變化可以辨正方位（空間）與度量時刻（時間）。

圭表的發展



圭表的發展-影響的參數

1. 材料

祖沖之稱“銅表堅剛，暴潤不動，光晷明潔，纖毫盡然”，顯示古人已注意到材料的物理變化對圭表量測精度的影響。

2. 圭表的安置

圭表的安置包括表的垂直度、圭面的水平度、以及圭中線和子午線的重合度，還有立表的地理緯度。

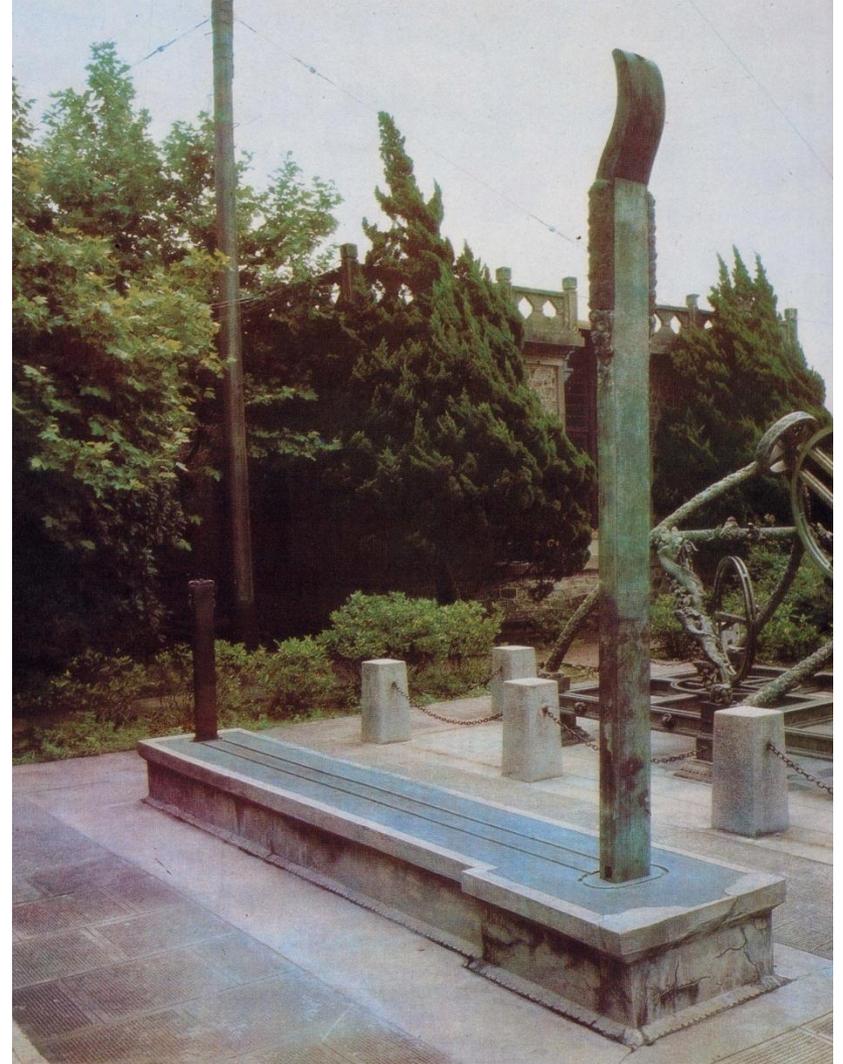
3. 表的高度

古中國表高的改變，隱含著很深的天文思想的變化與科學技術的進步。

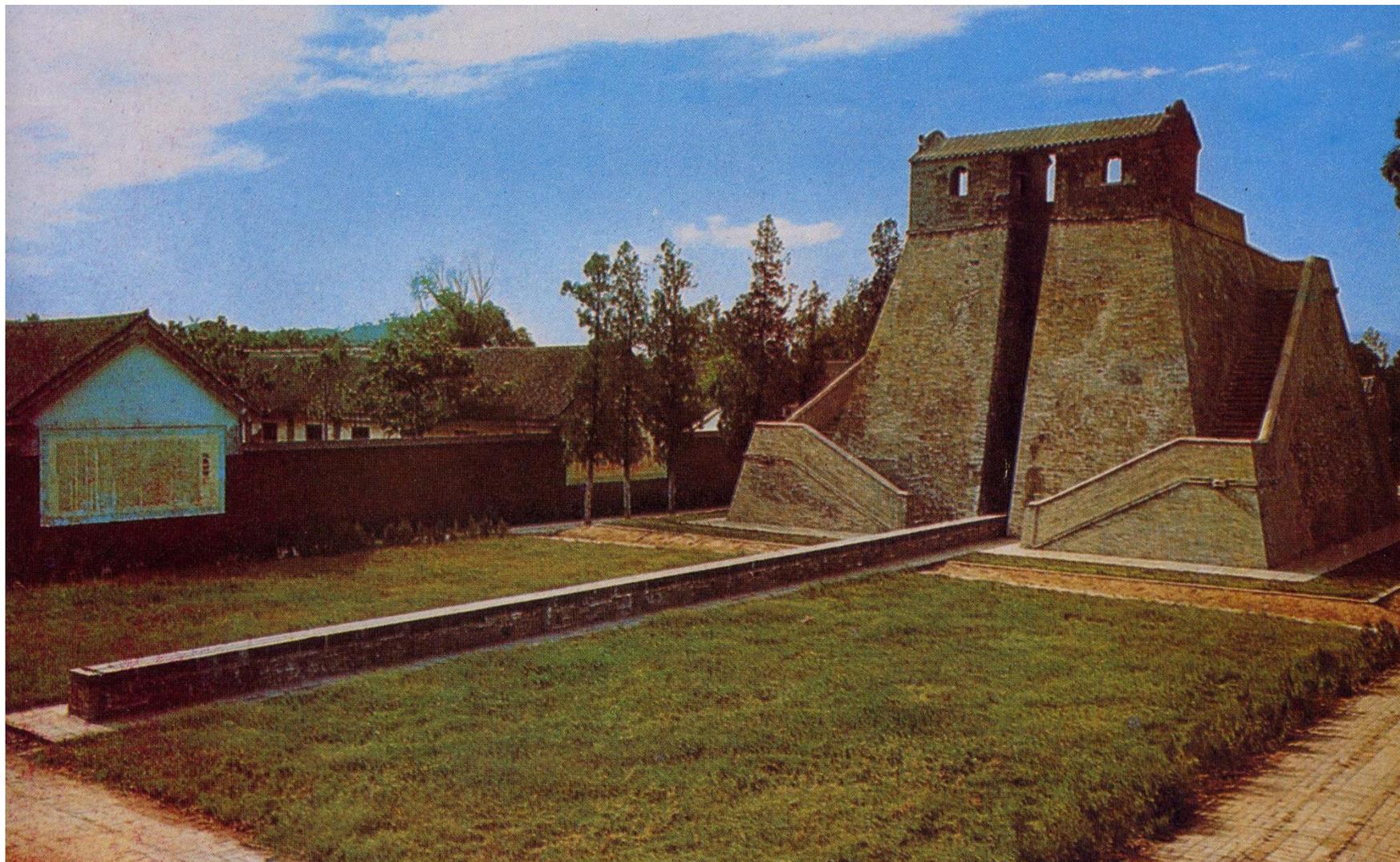
4. 光學儀器的運用

“按表短則分寸短促，尺寸之下所謂分秒太半少之數，未易分別；表長則分寸稍長，所不便者景虛而淡，難得實影”。

圭表的發展

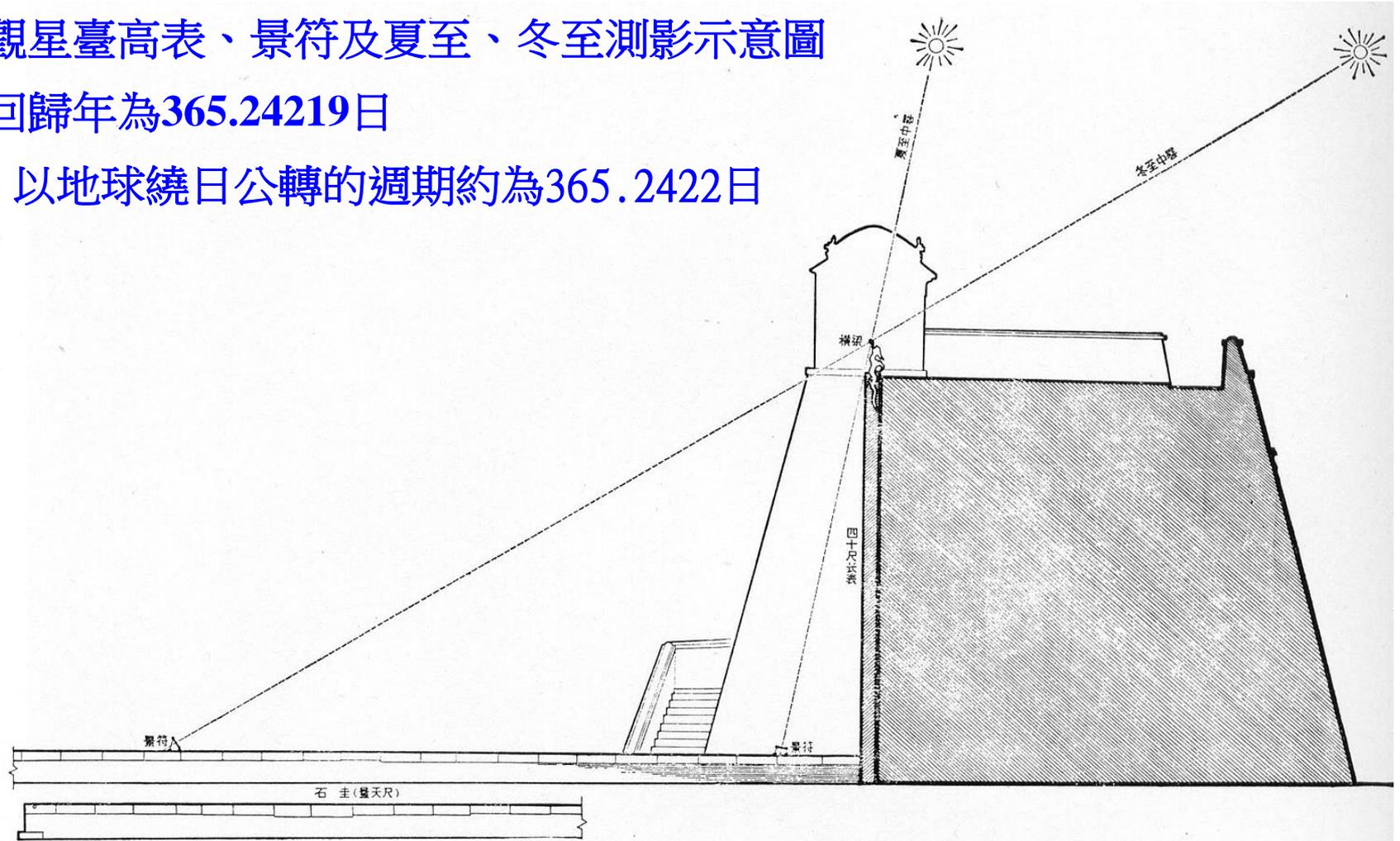


河南登封元朝郭守敬的高表



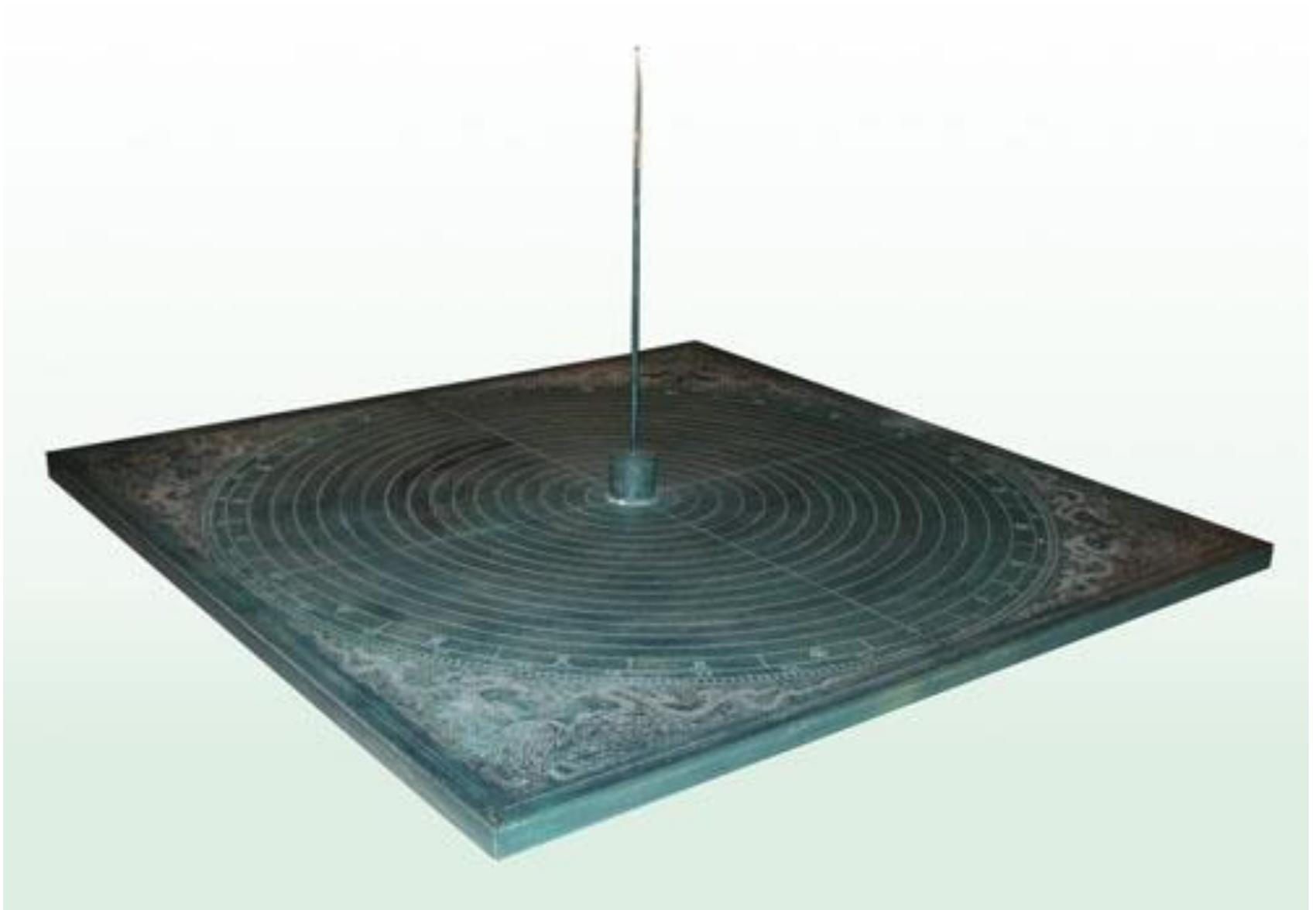
河南登封元朝郭守敬的高表

- 觀星臺高表、景符及夏至、冬至測影示意圖
- 回歸年為365.24219日
- 以地球繞日公轉的週期約為365.2422日

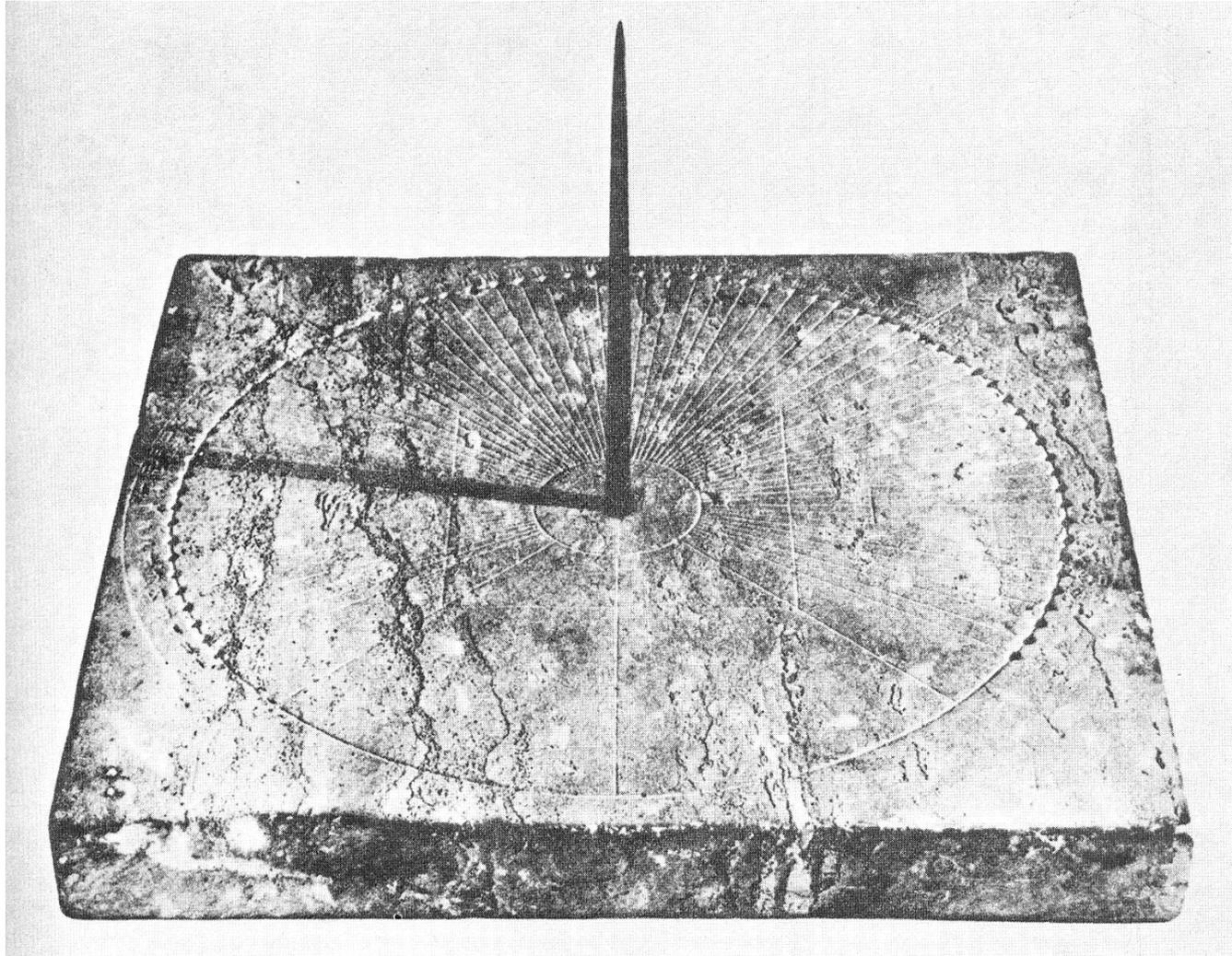


圖意示影倒至冬、至夏及符景、表高臺星觀、一

正方案



漢代晷儀

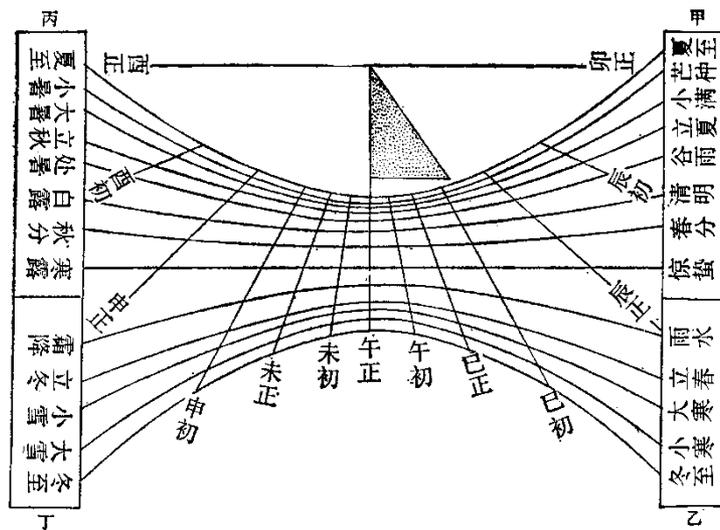


地平式日晷

明末崇禎平面日晷是一種改進的地平式日晷。《明史·天文志》記其制為：“日晷者，礮石為平面，界節氣十三線，內冬夏二至各一線，其餘日行相等之節氣，皆兩節氣同一線也。平面之周列時刻線，以各節氣太陽出入為限。又依京師北極出地度，範為三角銅表置其中。表體之全影指時刻，表中之銳影指節氣。”



(a) 平面日晷

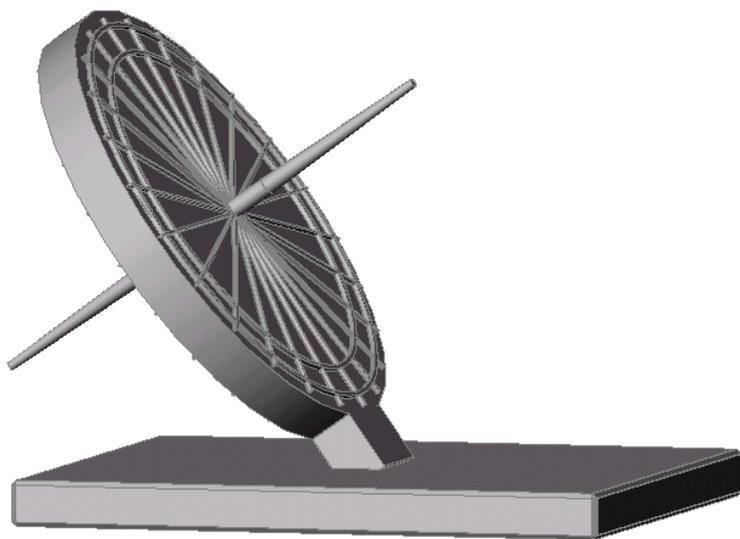


(b) 晷面刻劃線[陳遵媯，1990]

赤道式日晷

最早文獻記載是南宋曾南仲的日晷，《獨醒雜誌》記其制為：

“以木為規，四分其廣而殺其一，狀如缺月，書辰刻於其旁，為基以薦之，缺上而圓下，南高而北低。當規之中，植針以為表。表之兩端，一指北極，一指南極”



(a) 赤道日晷



(b) 晷面刻劃線

元朝郭守敬的仰儀

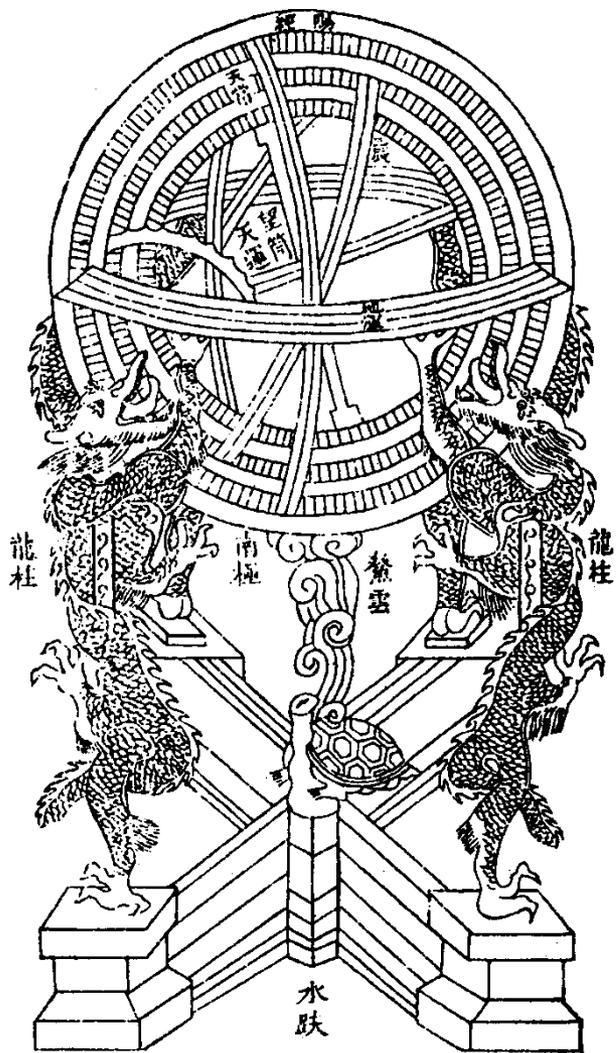


仰釜日晷



韓國漢城景福宮之仰釜日晷 (歐峰銘攝)

天文儀器的發展



1-20

天文儀器的發展

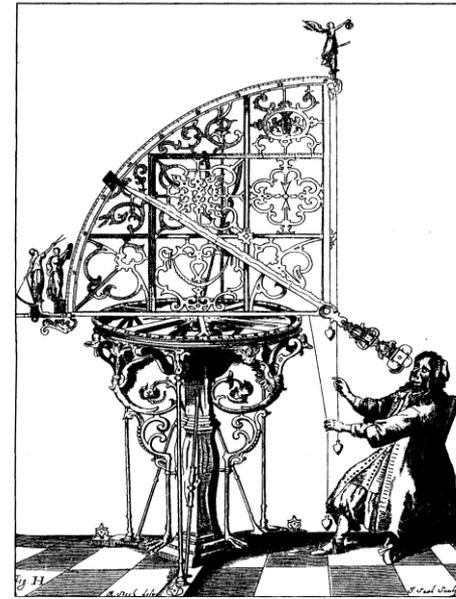


图 37 赫维留的大型地心经度象限仪



古中國的漏刻與漏刻制度

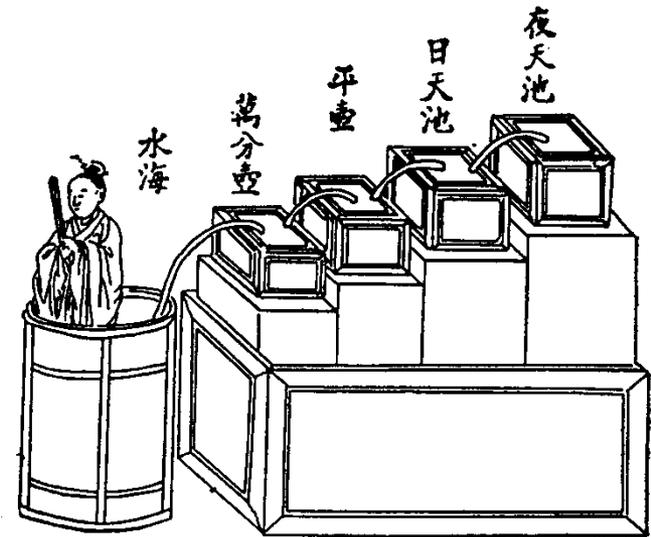
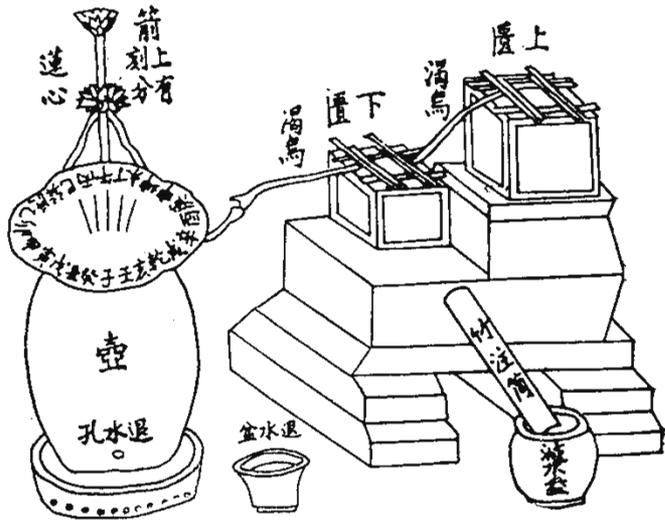
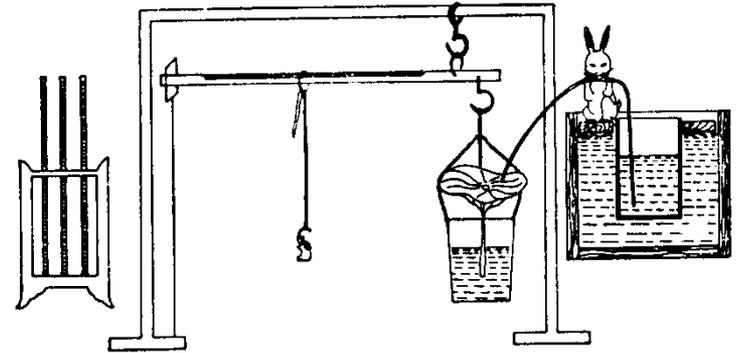
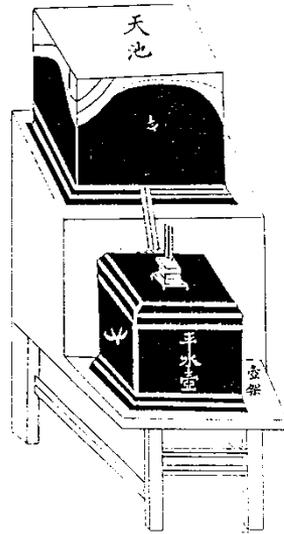
- “昔黃帝創觀漏水，制器取則，以分晝夜。其後因以命官，周禮挈壺氏則其職也。其法，總以百刻，分于晝夜。”

《隋書·天文志》卷十九

- **漏刻制度**主要是解決晝漏和夜漏刻度的分配與箭尺的更換問題。

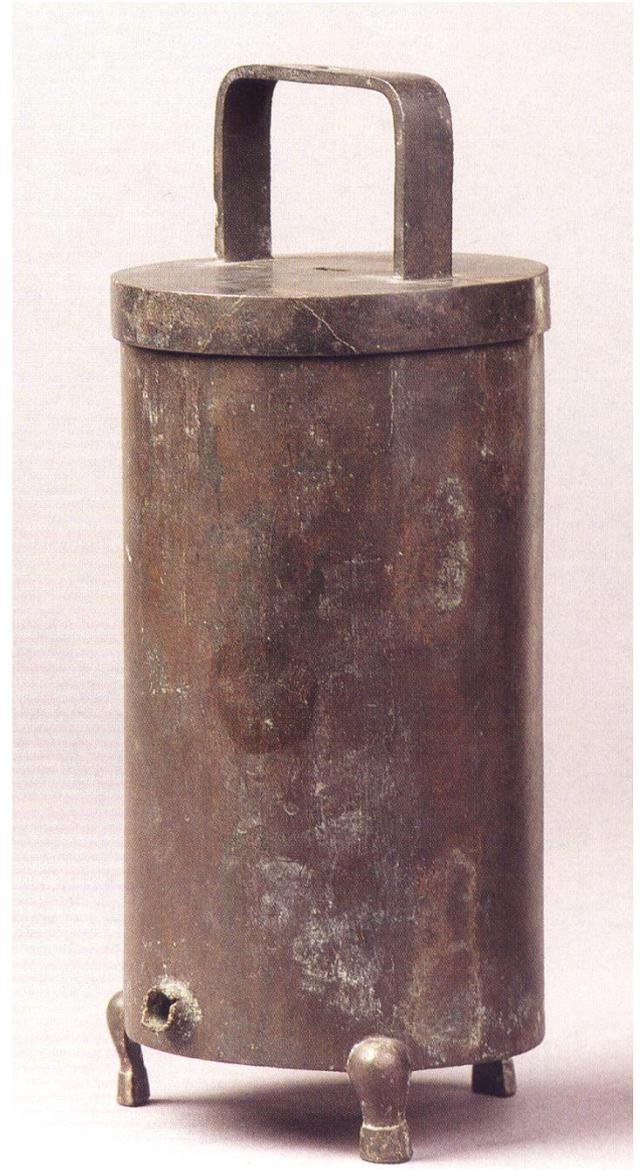


古中國漏刻的發展



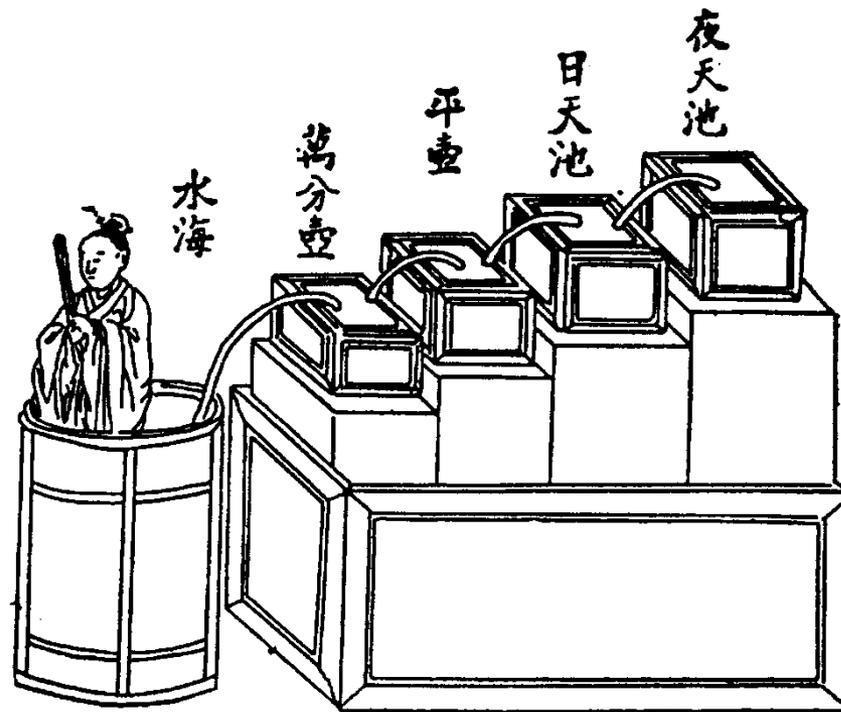
下漏

滿城銅漏單壺 泄水型沉箭漏



浮漏

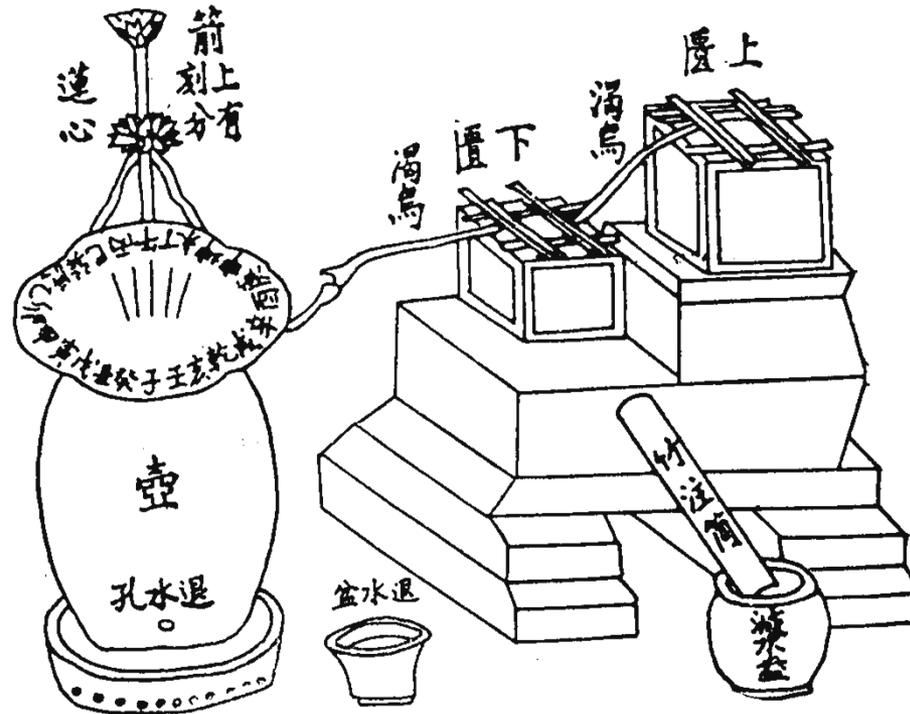
- 浮漏在穩流技術上主要是採用多級補償法和漫流平水法。
- 多級補償法就是在單級受水型浮箭漏的供水壺的上方再加一只或多只補償壺，因而只要掌握了各級漏壺的起始水位和最上一級漏壺加水間隔等調壺技術，供水壺內的水位可以保持穩定。



唐朝呂才的四級補償漏 [六經圖]

浮漏

- 漫流平水法就是燕肅蓮花漏法所採用的穩流技術。
- 由於上一級漏壺流入下一級漏壺的水量大於下一級漏壺流出的水量，所以下一級漏壺的水量始終處於漫流狀態，從而使其水位基本保持穩定。



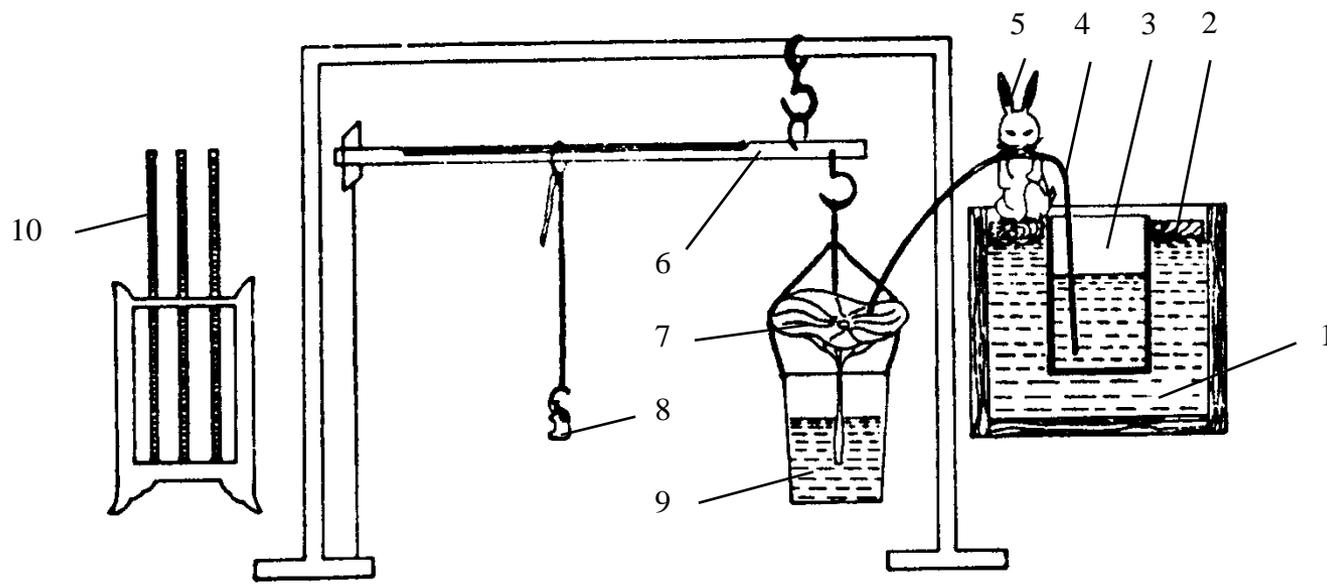
北宋燕肅蓮花漏 [六經圖]

浮漏

- 浮漏在穩流技術上主要是採用多級補償法和漫流平水法。
- **多級補償法**就是在單級受水型浮箭漏的供水壺的上方再加一只或多只補償壺，由於供水壺在向箭壺出流的同時不斷得到從補償壺流入的水補充，因而只要掌握了各級漏壺的起始水位和最上一級漏壺加水間隔等調壺技術，供水壺內的水位可以保持穩定。東漢張衡由於製作水運渾象所提出的具體技術要求，發明了補償式浮漏。而多級補償法是東漢至唐代人們減小水位變化對漏壺流量影響的最主要方法。
- **漫流平水法**就是燕肅蓮花漏法所採用的穩流技術。
- 由於上一級漏壺流入下一級漏壺的水量大於下一級漏壺流出的水量，所以下一級漏壺的水量始終處於漫流狀態，從而使其水位基本保持穩定。實質上它與多級補償法沒有太大區別，只要掌握了加水規律等，兩者的水位變化皆很小。南宋初王普漏刻在二級補償壺下加一漫流平水壺，結合多級補償法與漫流平水法，以減小因操作不慎而造成的誤差，建立一漏刻標準型式。

秤漏

秤漏自北魏李蘭創始以來，到唐宋極為盛行普及。其是利用單位時間的均勻漏水重量相等的特性，使用衡器槓桿原理以顯示時間推移的一種裝置。根據南宋孫逢吉《職官分紀》的記載，秤漏的供水系統是由水櫃、銅盆、水拍、渴烏組成，



秤漏[中國漏刻]

秤漏

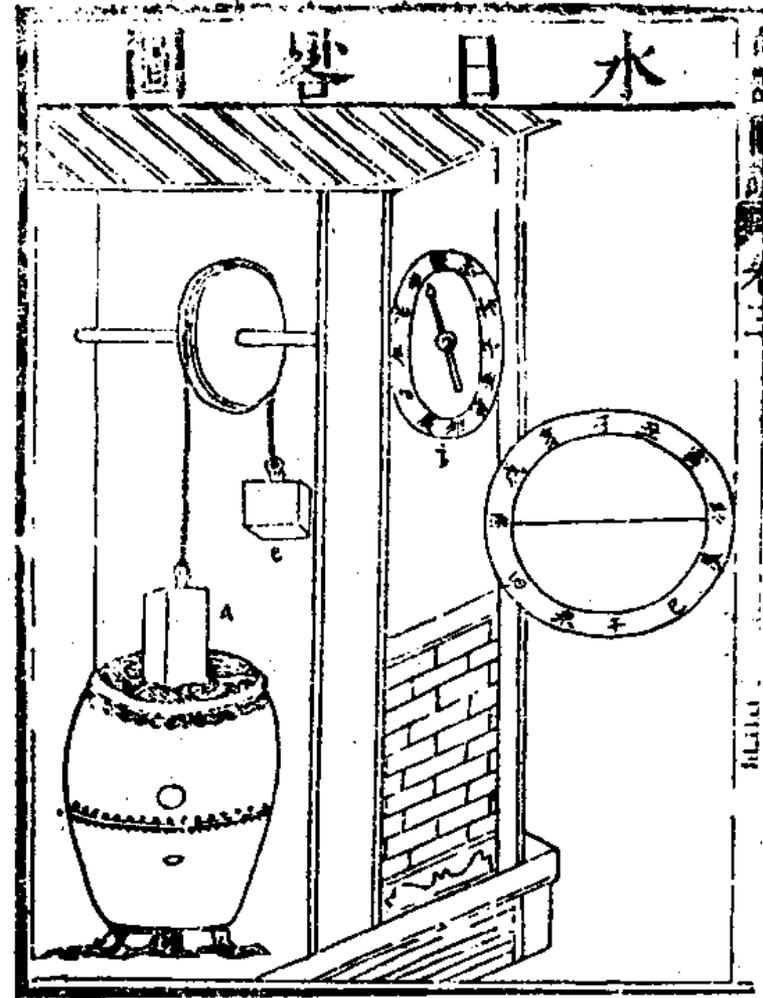
- 秤漏自北魏李蘭創始以來，到唐宋極為盛行普及。其是利用單位時間的均勻漏水重量相等的特性，使用衡器槓桿原理以顯示時間推移的一種裝置。根據南宋孫逢吉《職官分紀》的記載，秤漏的供水系統是由水櫃、銅盆、水拍、渴烏組成，如圖2-8所示。盛水的銅盆浮在水櫃裡，其上口穿出水拍中間的圓孔，以白兔為支架立在水拍上，渴烏由白兔固定支撐，一端置於銅盆水中，令一端伸向銅覆荷的上方。秤漏的穩流原理是按時給銅盆添水，使加水間隔時間變小，以保持銅盆內水面與水櫃內水面的高度差始終近似一定值，則可視為穩定出流。
- 最早記載秤漏的是唐朝徐堅的《初學記》：約公元450年後魏道士李蘭作秤漏“以器貯水，以銅為渴烏，狀如鉤曲，以引器中水于銀龍口吐入權器，漏水一升，秤重一斤，時經一刻”，它是用古中國秤(Steelyard)稱量流入受水壺中水之重量的變化來計量時間。

西方水鐘的發展

近代機械鐘錶主要的發展在西方。

14世紀以前，水鐘在西方計時器的發展，佔有極重要的地位。

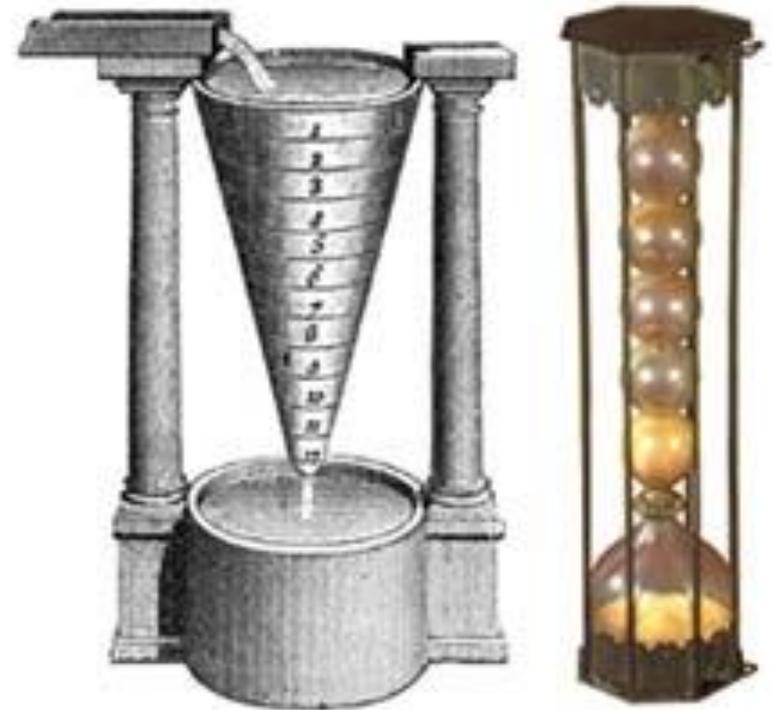
水鐘的運動，係以重錘用繩索與滾子和滑輪相連而產生，以帶動報時裝置；其運動的控制，是以一浮子懸於水池來達成，而以漏壺裝置來控制水池水量均勻地流入或流出，本身並無擒縱機構。



西方水鐘的發展



現存最古老的水鐘是阿孟霍特普三世（西元前14世紀）統治時期的產物——1905年在凱爾奈克的阿蒙神廟發現了它的殘片。



西方水鐘

《科學人》雜誌

林聰益, 古機械研究中心, STUST

西方水鐘的發展

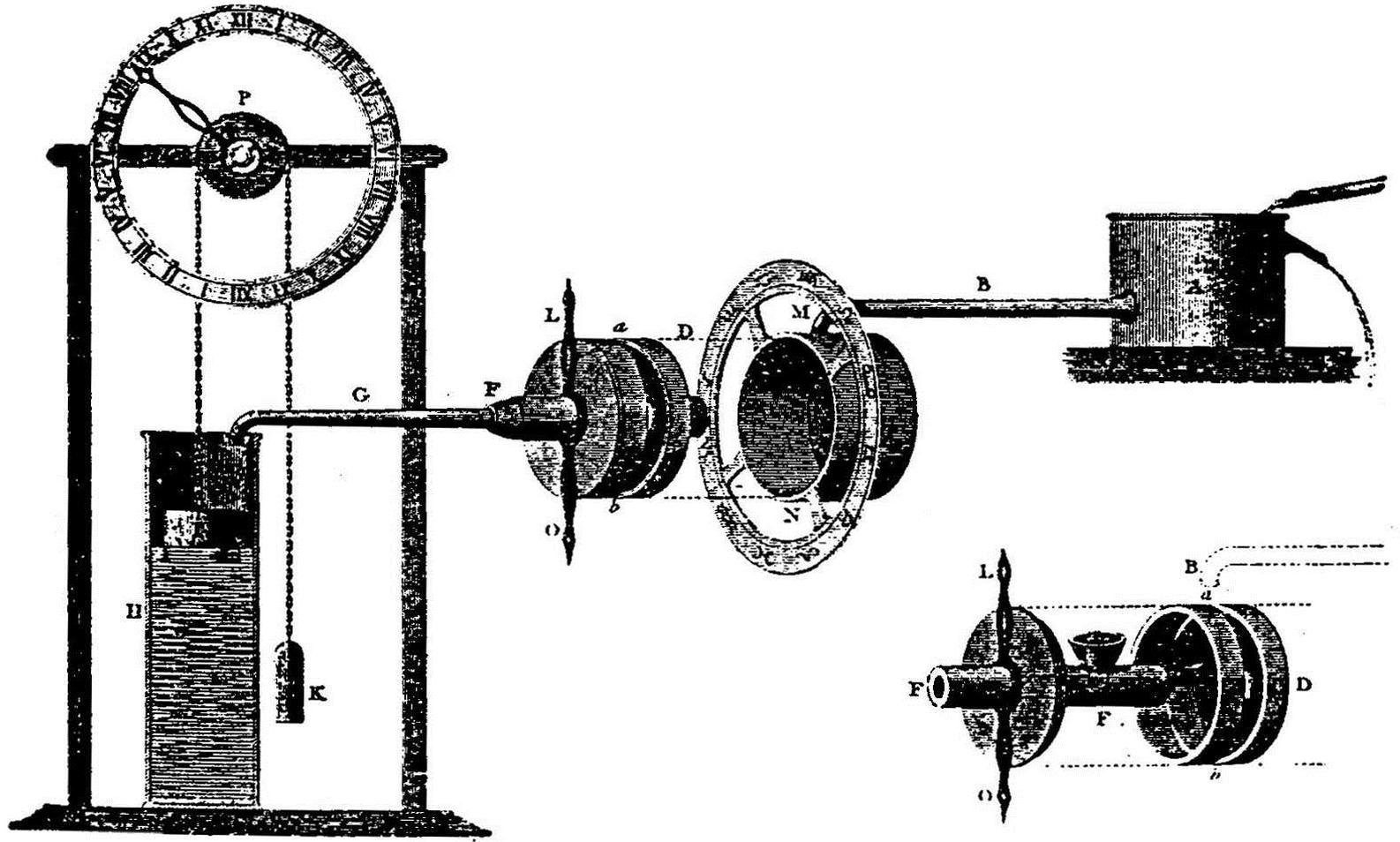
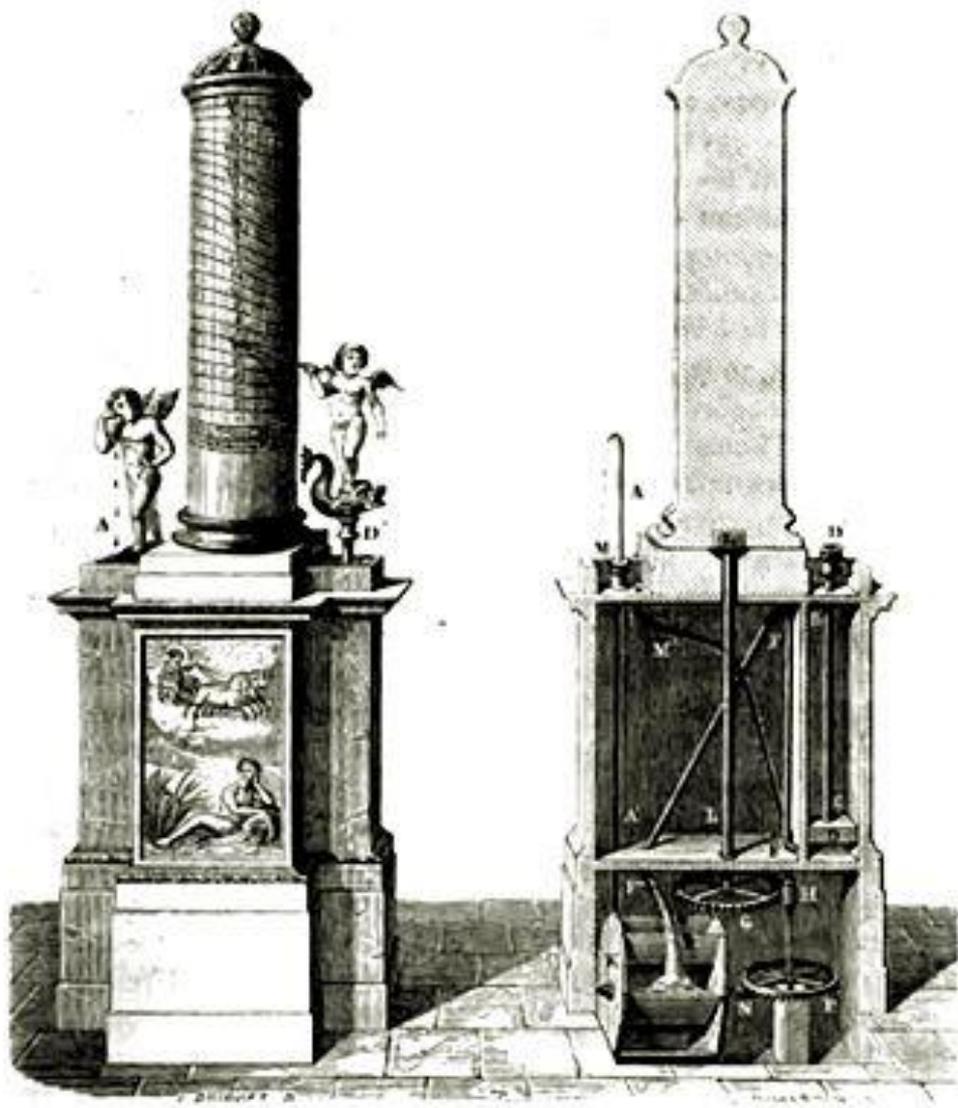
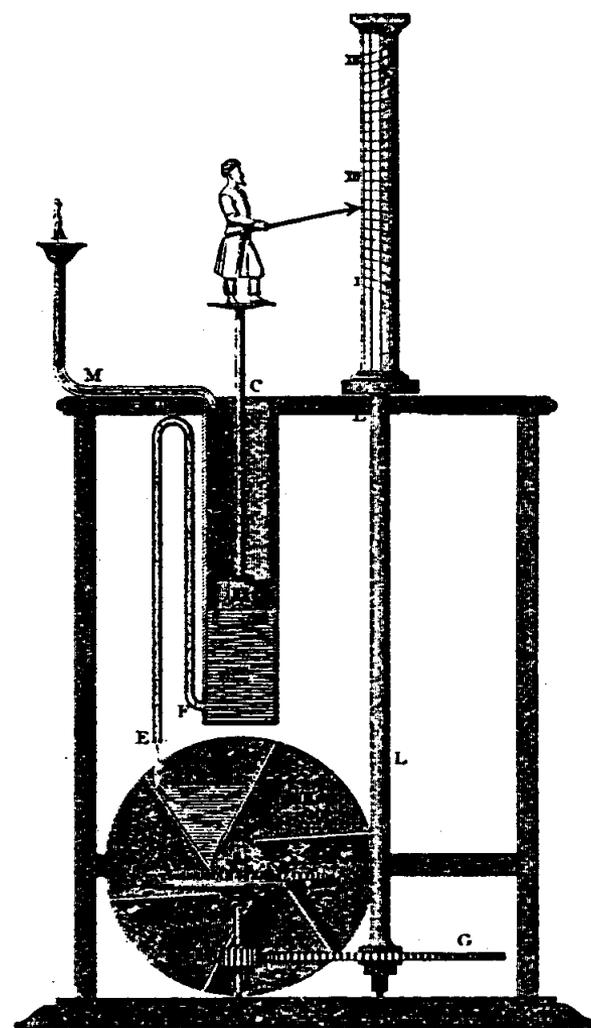


FIG. 9.—An Improved Clepsydra.



Ctesibius水鐘的復原圖，是17世紀的法國建築師Claude Perrault所繪製



**FIG. 10.—
Self-adjusting Clepsydra, about 200 B.C.**

**Ctesibius水鐘
在19世紀初的復原圖**

林聰益, 古機械研究中心, STUST

西方水鐘的發展

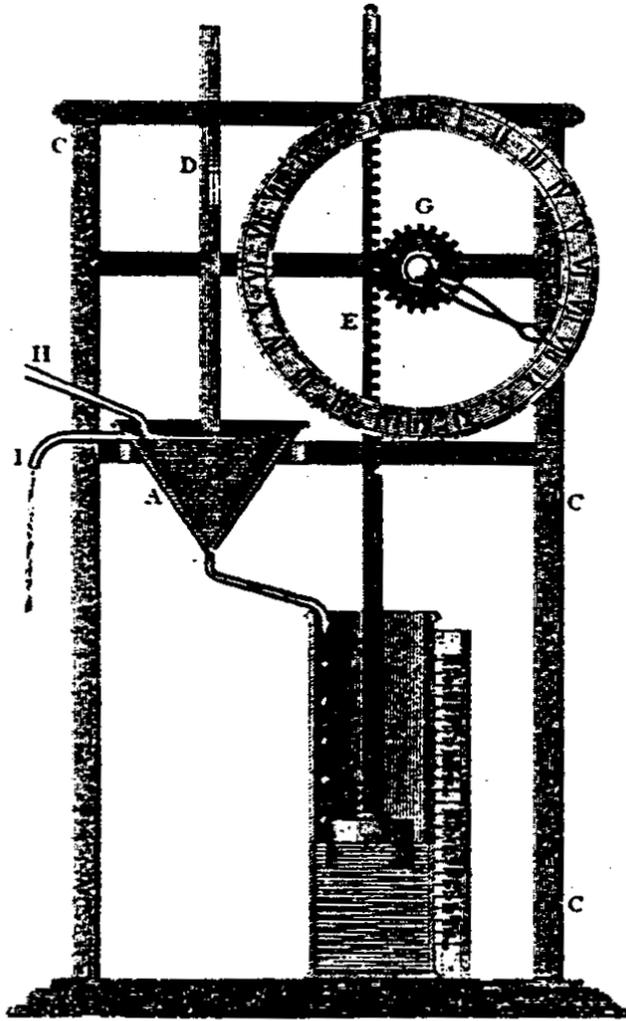


FIG. 8.—
A form of Clepsydra, about 300 B.C.

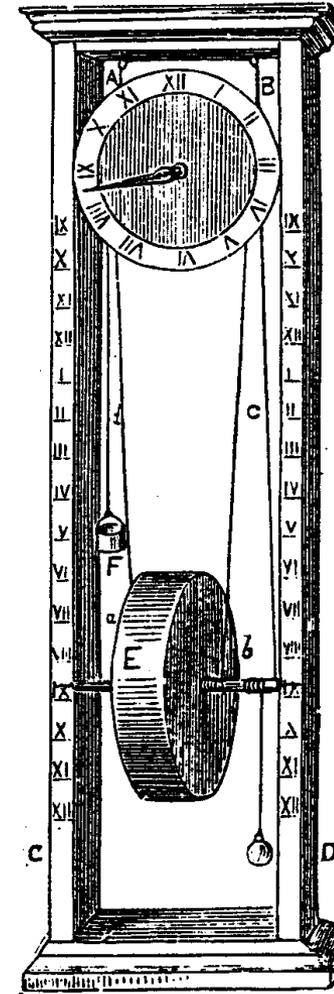


FIG. 11.—
Clepsydra of the Seventeenth Century.



1206 大象鐘



1206 Al-Jazari's castle clock,

林聰益, 古機械研究中心, STUST

西方水鐘的發展

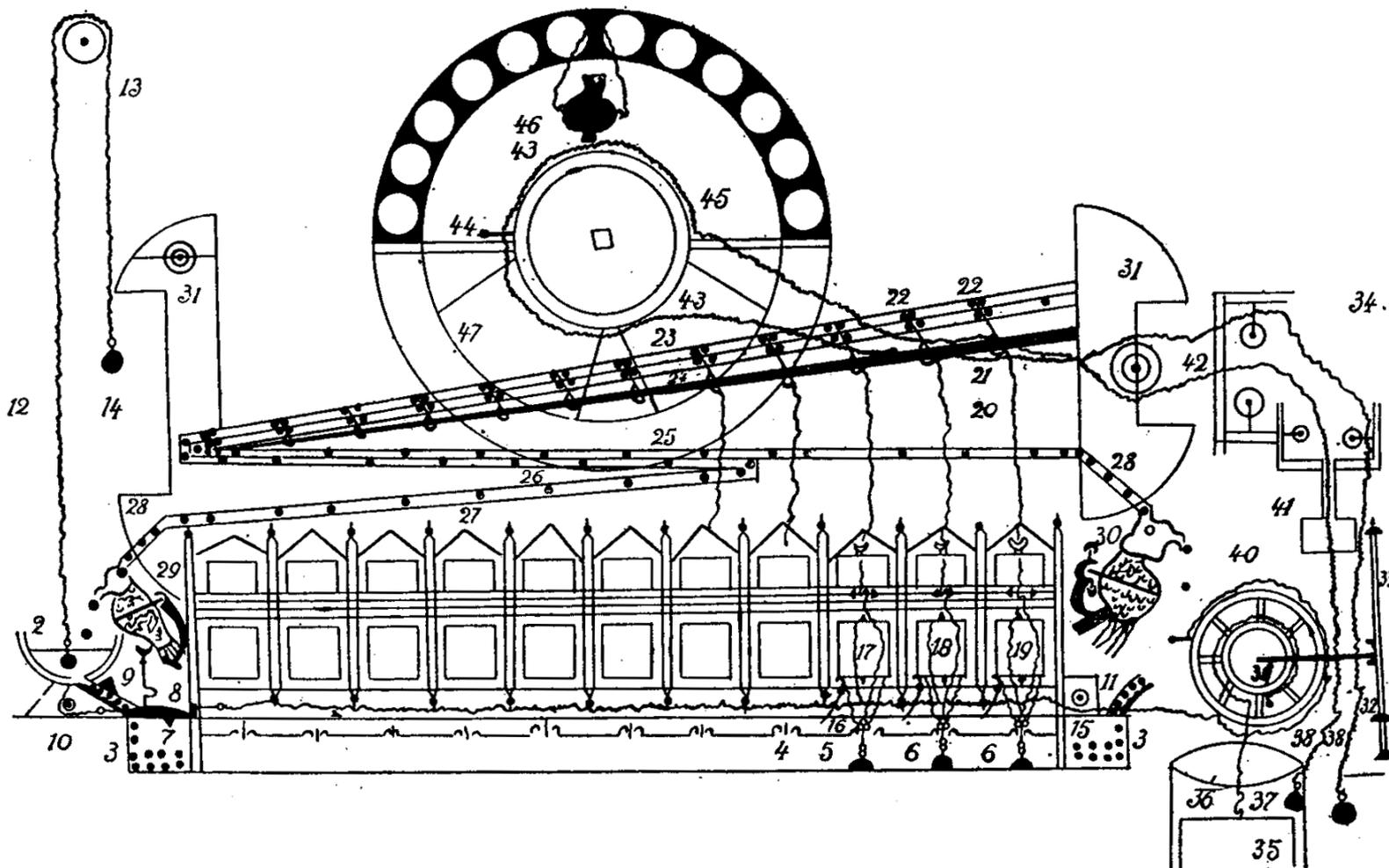


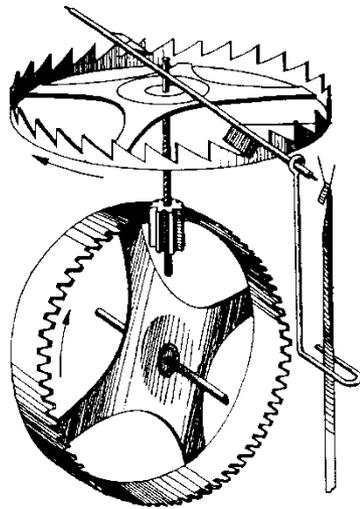
FIG. 48.—Water clock of Ridwan: Damascus.

機械鐘

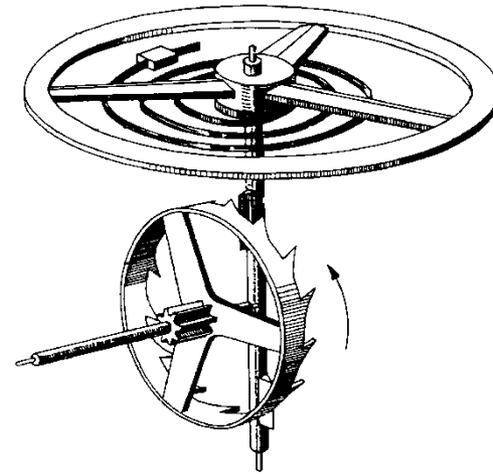


擒縱調速器的定義

- 擒縱調速器(**Escapement regulator**)
 - 是由**振盪裝置(Oscillator)**和**擒縱機構(Escapement)**兩部分組成。
- 振盪器是具有均勻週期性運動的產生裝置。
- 擒縱機構則是運動的控制機構。
- 因此，擒縱調速器是靠振盪裝置的週期運動，使擒縱機構保持精確與規律性的間歇運動，從而取得調速作用。



The verge escapement regulator
of mechanical clocks [Geschichte]

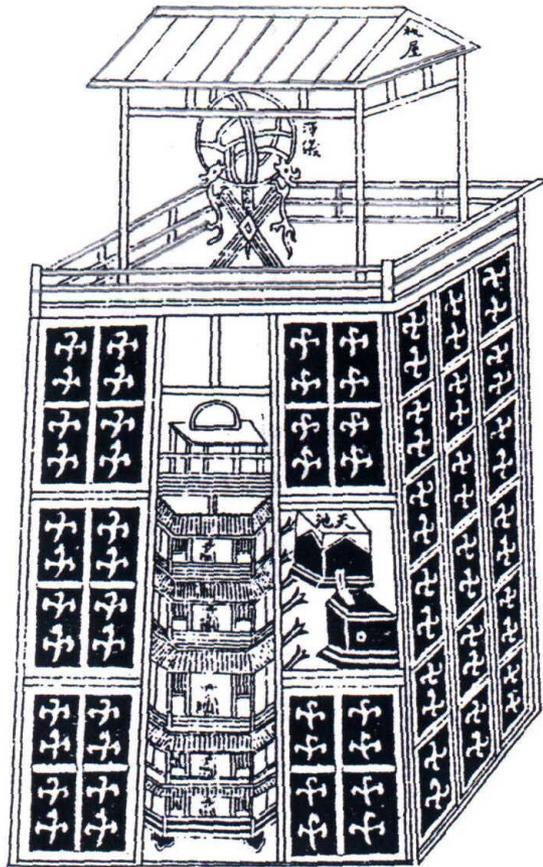


The verge escapement regulator
of mechanical watches [Geschichte]

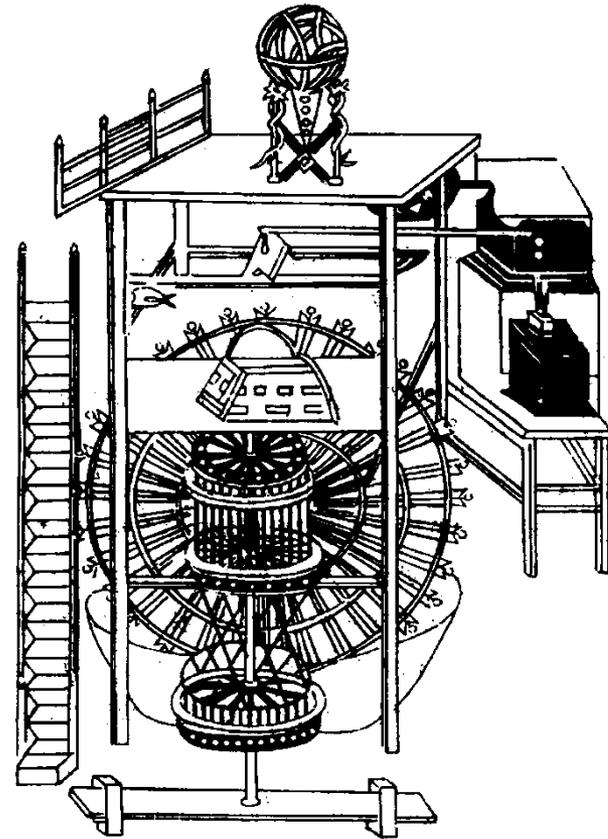
古中國天文鐘的演進

年代	製造者	器械名稱	備註
東漢 公元 132 年	張衡	水運渾象	此鐘有記日機構可“轉瑞輪莢于階下，隨月虛盈，依曆開落。”但並沒有描述報時機構。
唐 公元 723 年	一行 梁令瓚	水運渾天	“注水激輪，令其自轉，... 又立二木人于地平之上，前置鐘鼓以候辰刻，皆于櫃中各施輪軸，鈎鍵關鎖，交錯相持。置於武成殿前，以示百官。”
北宋 公元 979 年	張思訓	太平渾儀	“七直神，左搖鈴，右扣鍾，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，隨刻數以定晝夜短長。”
北宋 公元 1088 年	蘇頌 韓公廉	水運儀象台	其報時系統是由晝夜機輪與五層木閣所組成，以具體的形象與聲樂表現出當時使用的三種時制。
元 公元 1276 年	郭守敬	大明殿燈漏	為一獨立之機械時鐘，計時機械已從天文儀器獨立出來。

水運儀象台



外觀(Externals)
《新儀象法要》

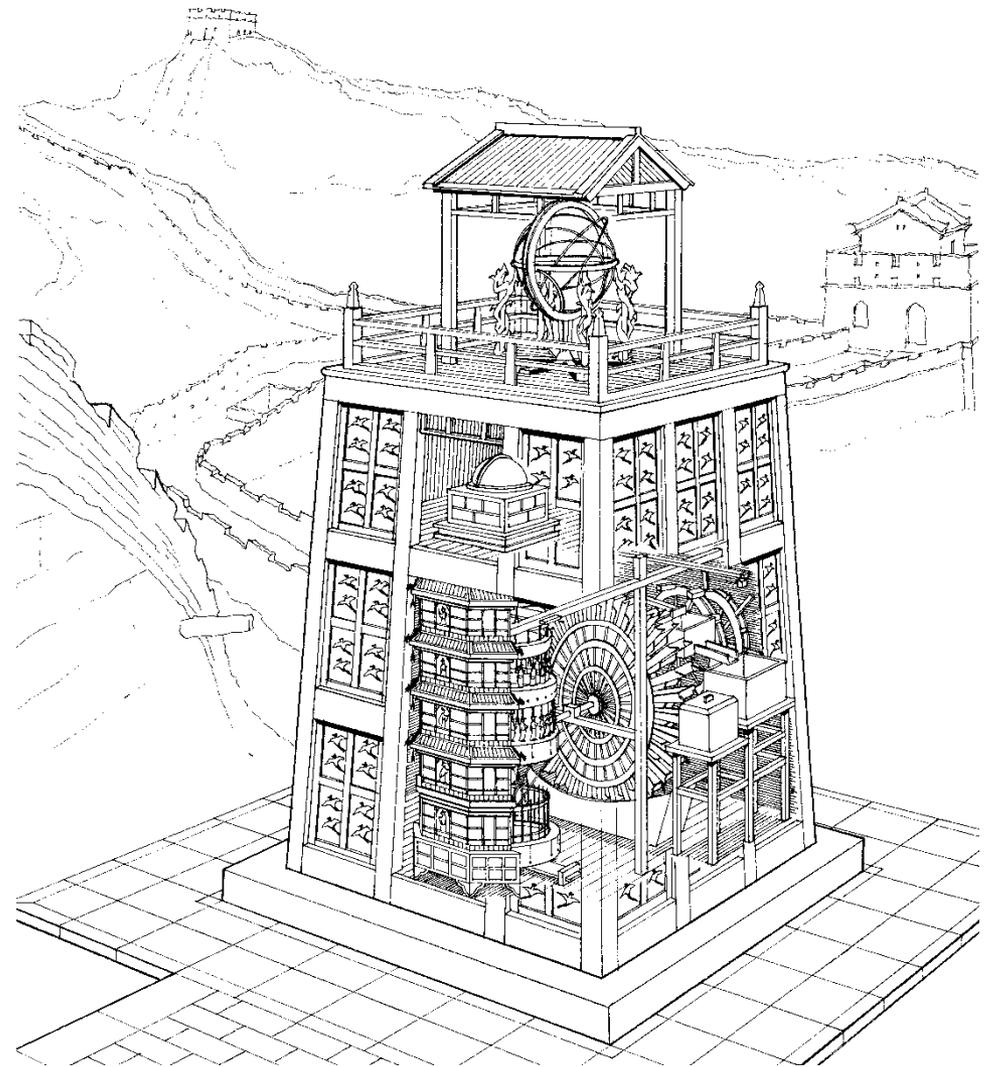


內部構造(Internal structure)
《新儀象法要》

水運儀象台

《新儀象法要》是記載古中國北宋時期，由蘇頌領導韓公廉等太史局技術官員於元祐年間（1,086~1,092 AD）所建造的水運儀象台，這是一座將渾儀（天文觀測儀器）、渾象（天球儀）、以及報時裝置等三個工作系統整合在一起之水力運轉的天文鐘塔。

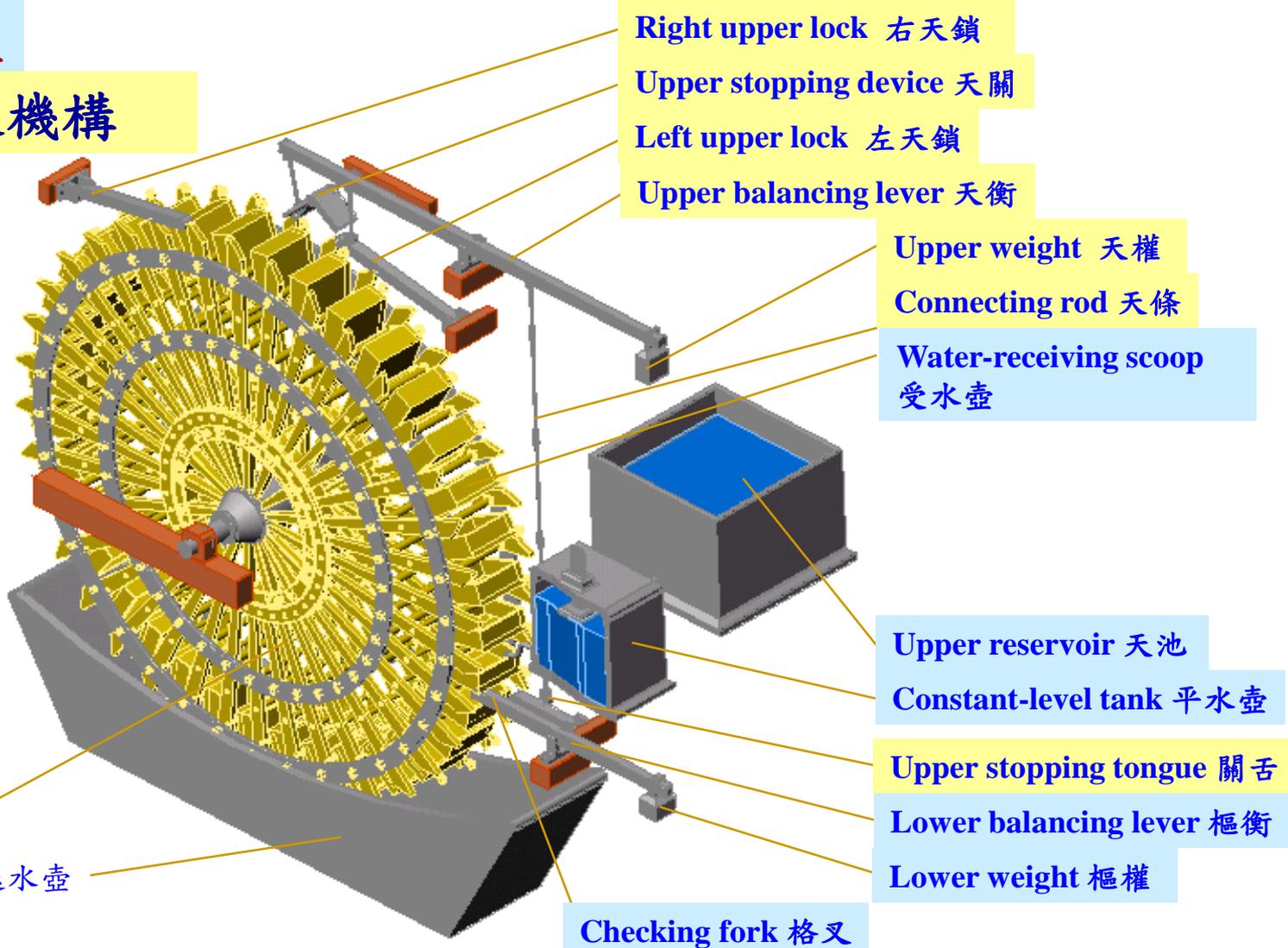
水運儀象台主要反映了古中國十一世紀在天文與機械兩方面的成就。



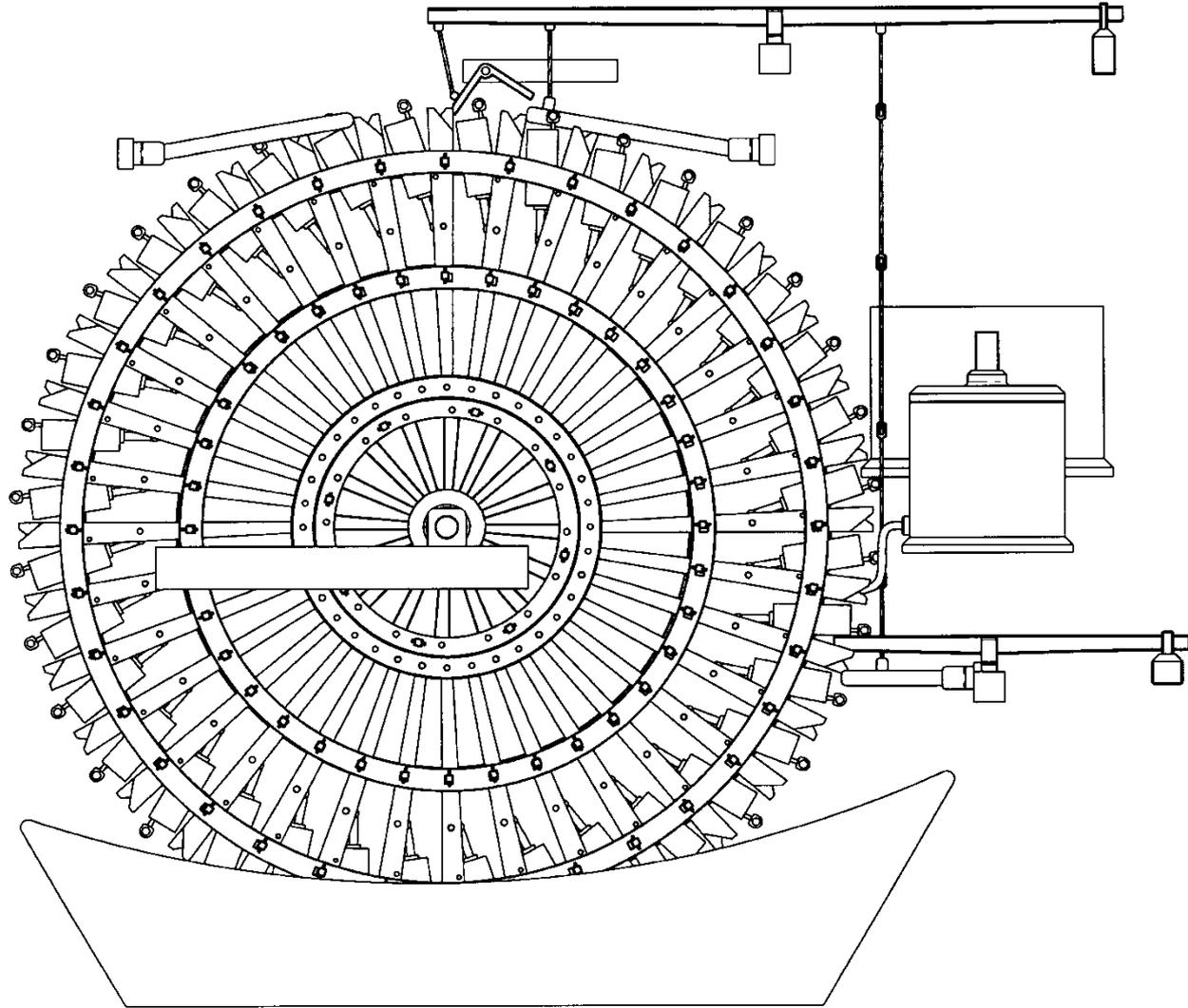
古中國擒縱調速器——水輪秤漏裝置

定時秤漏裝置

水輪槓桿擒縱機構

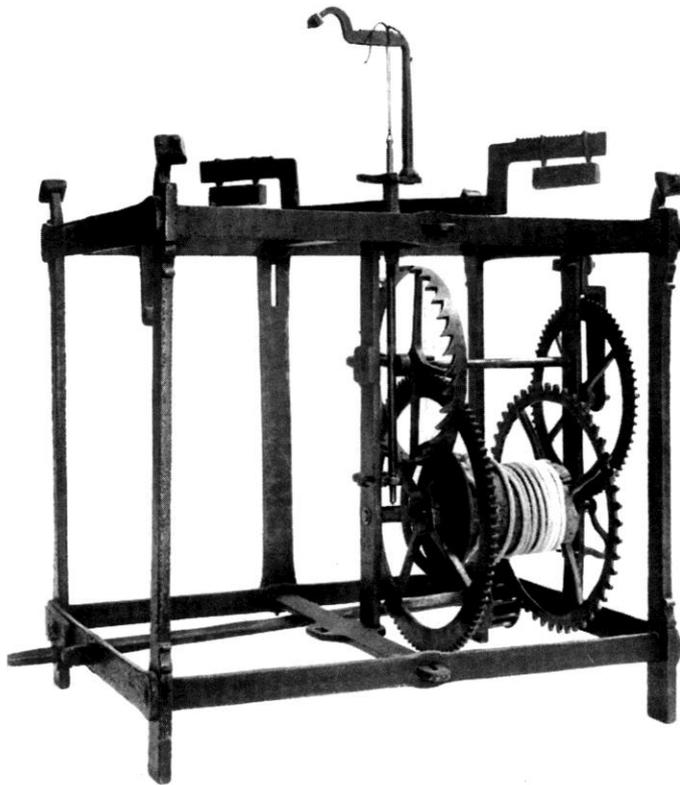


古中國天文鐘之水輪秤漏裝置

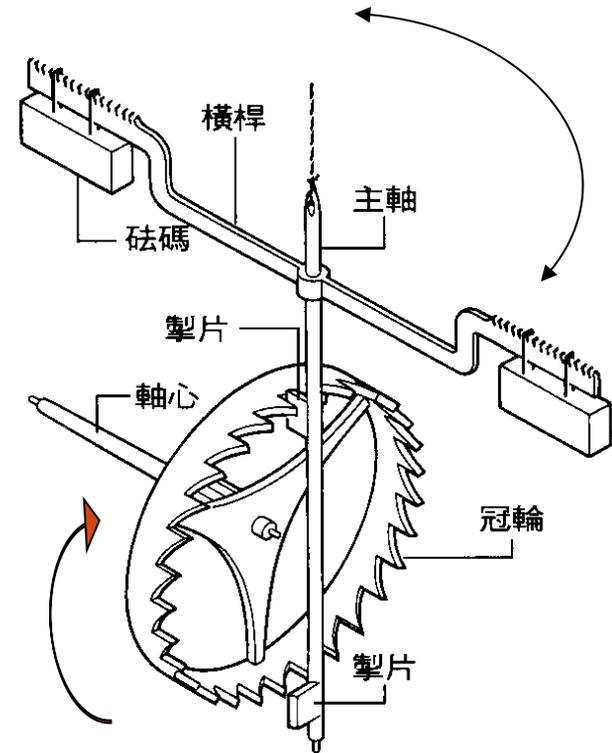


機械鐘與擒縱調速器

- 西方的第一個擒縱調速器型式，是擺桿機軸擒縱調速器(Foliot and verge escapement regulator)，其代表作是 De Vick時鐘。



Cassionbury park Clock



擺桿機軸擒縱調速器
(Foliot and verge escapement regulator)

De Vick Clock

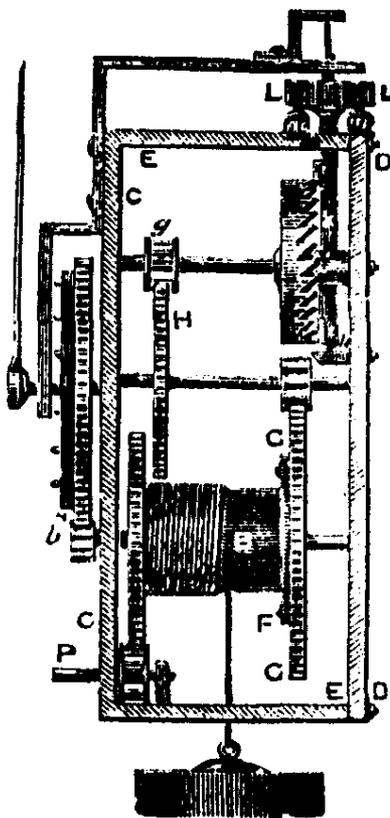


FIG. 25.—Side view of going part.

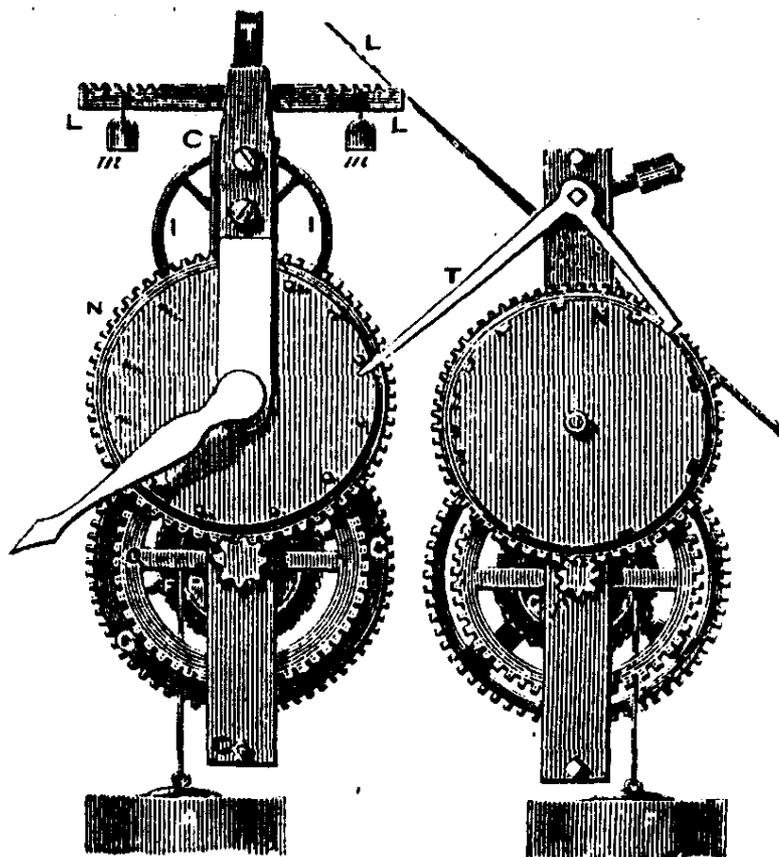


FIG. 26.—Front view of De Vick's clock.

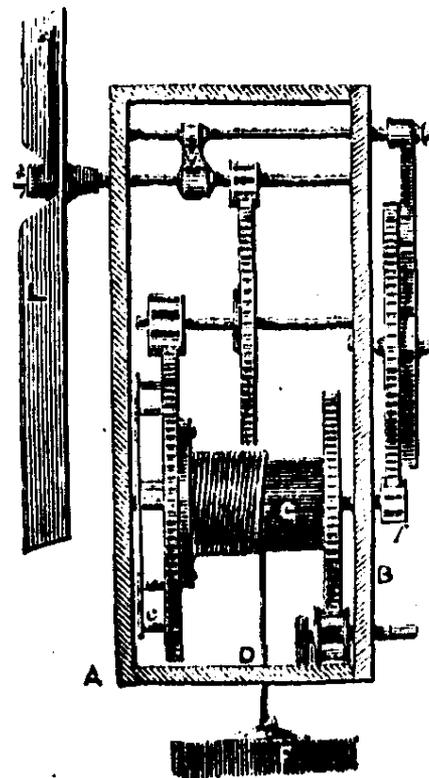


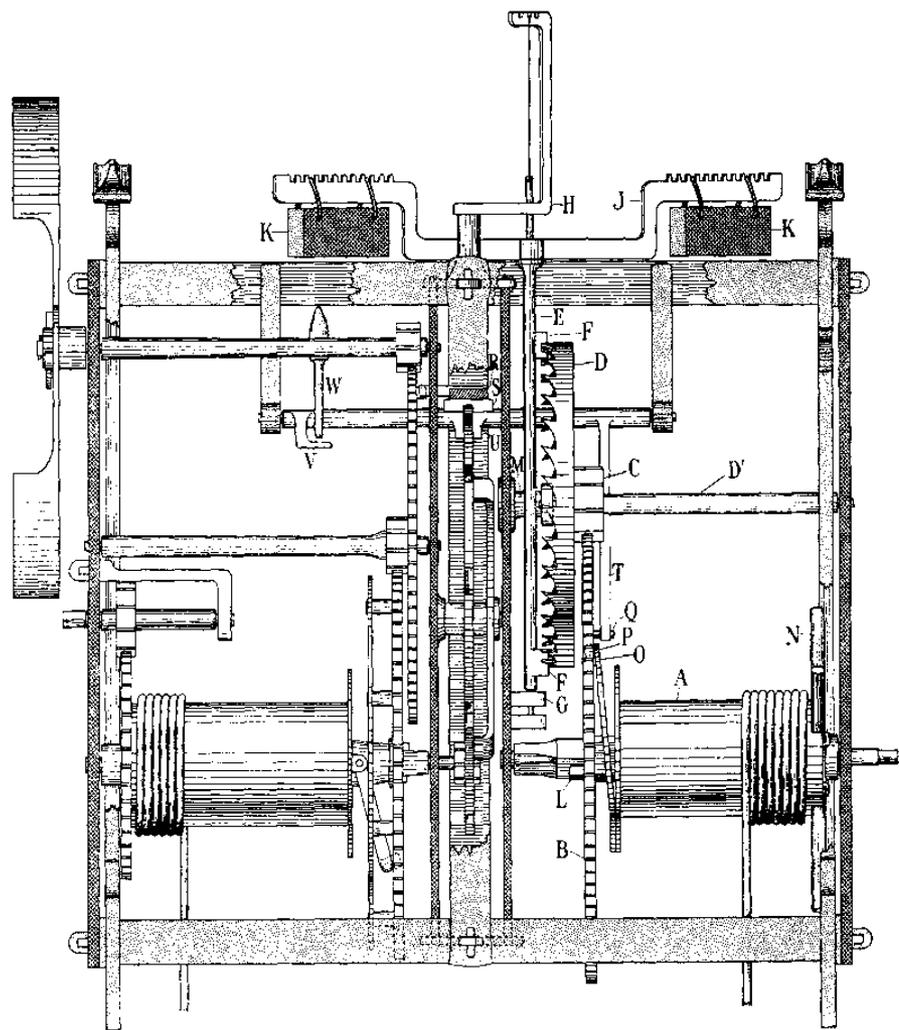
FIG. 27.—Side view of striking part.

近代擒縱調速器的發展

De Vick時鐘的動力為重錘驅動。其振盪器為一平衡桿(Foliot balance)，具有可調節的權重，以調節擺動頻率；權重越重或距軸心越遠，則擺動頻率越慢。

其擒縱機構為機軸擒縱機構(Verge escapement)，是屬於反擊式擒縱機構，利用機軸上、下兩塊相互以直角或較大角度錯開固定的掣板，隨平衡桿的擺動頻率與冠輪的輪齒交互作用，使傳動齒輪系產生一間歇運動。

機械鐘



图一 日式不定时钟表表盘及梳摆



《科學人》雜誌

林聰益, 古機械研究中心, STUST

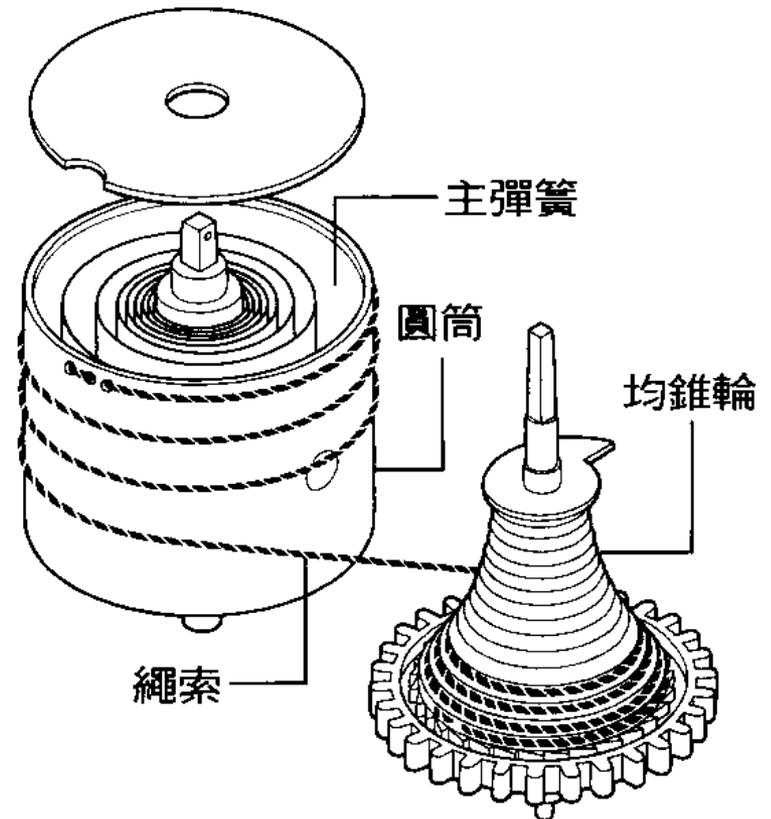
近代擒縱調速器的發展

16世紀初，以彈簧驅動為動力源的鐘錶成為趨勢，而擺桿機軸擒縱調速器在型式與構造上並沒有太大改變。

在精確度上，16世紀末，雖有明顯的改進，但在天文觀測或精密科學的工作，亦存在相當的誤差；直到17世紀擺開始運用於時鐘，取代了平衡桿，計時的精度才躍升至 10^{-4} （日誤差約在15秒左右）。

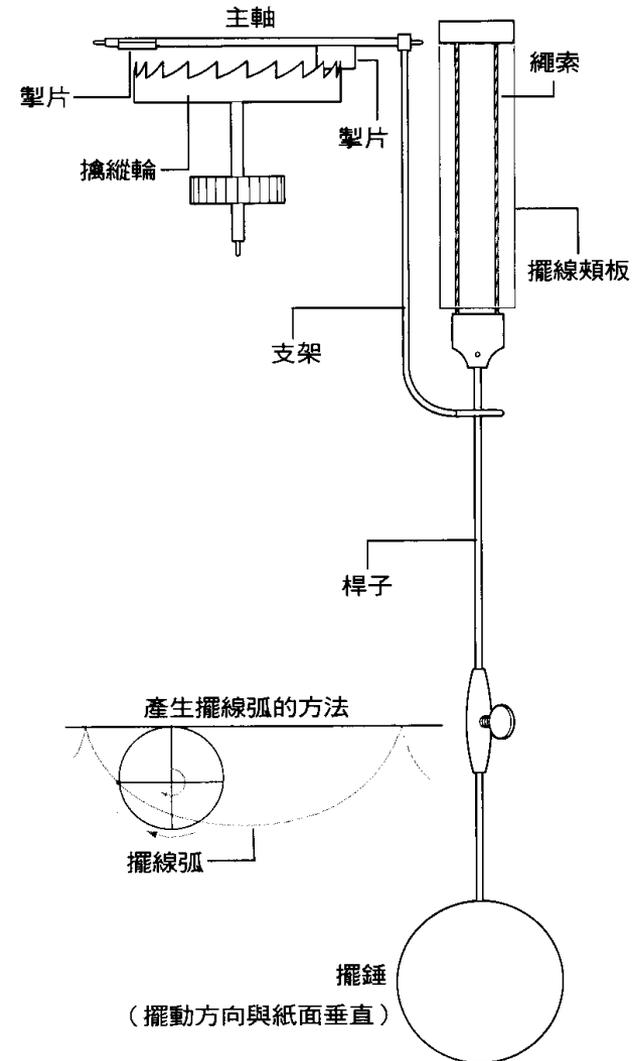
均錐輪

- 由於15世紀前半期均錐輪的發明，以螺旋彈簧作為計時器動力來源的想法才變得實際可行。雖然彈簧的確是一種小巧的動力來源，但是它產生的力量並不固定；當彈簧繞得愈緊，所產生的力會愈大。均錐輪是一個表面覆蓋著螺旋狀溝槽的圓錐狀滑輪裝置，用來調節計時器中主彈簧力量的變動。在纏繞著彈簧的圓筒與均錐輪間用一條繩索或鏈子連結。當主彈簧完全繞緊時，繩索會捲到均錐輪較細的頂端，由於力矩臂較短，所產生的槓桿效用也較小。當鐘走了一段時間後，連結的繩索會慢慢地繞回到圓筒上。為了平衡彈簧漸漸減弱的力量，均錐輪上的繩索也隨著螺旋狀溝槽增加它的直徑。如此一來，雖然主彈簧的張力愈來愈弱，但是送到計時器齒輪上的力卻能保持固定。

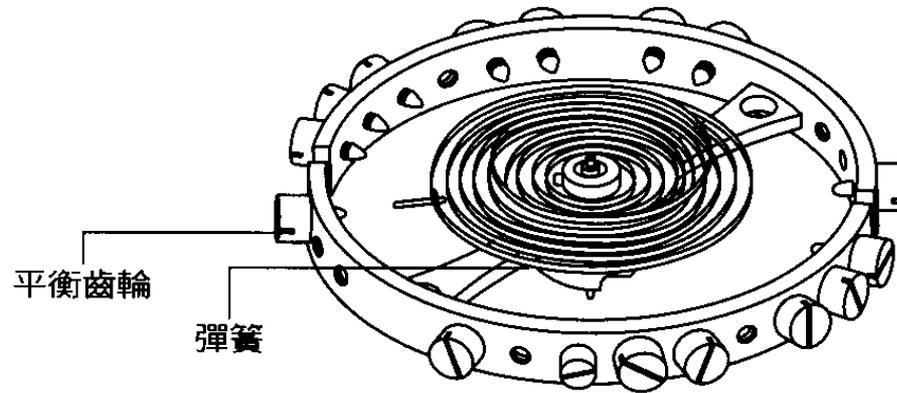


擺鐘

- **Gallileo** 於**1583**年開始研究擺，其後建立擺的等時性理論。
- **Huygens** 承繼**Gallileo** 的工作，對擺鐘作了更具體的研究，並於**1657**年製造第一座時鐘。



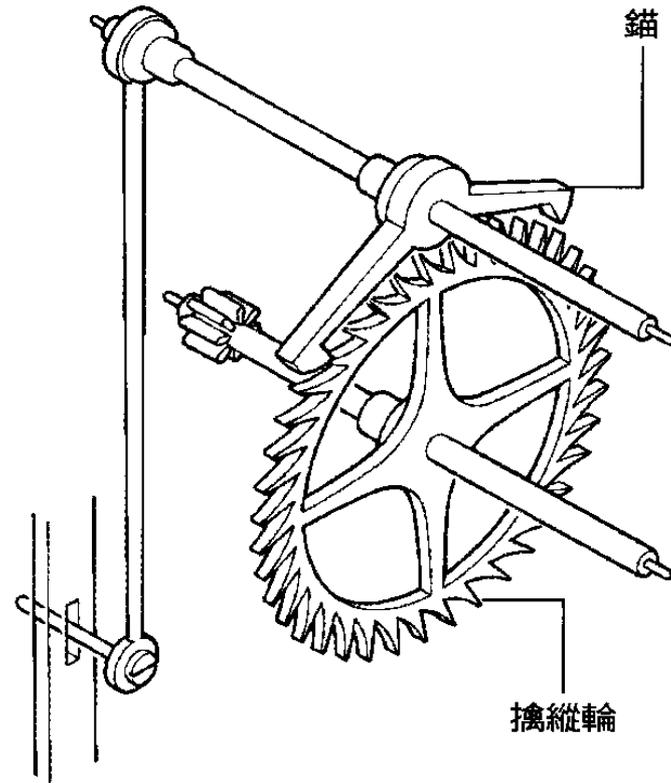
擺輪



- 擺輪是振盪器的一種，其發明在17世紀末期，應歸屬於Hooke（英，1660s）、Huygens（法，1674）、以及Hautefeuille等人。
- 1675年，惠更斯發明了擺輪(螺形平衡彈簧)。它就像擺鐘裡控制鐘擺擺盪的重力，負責在可攜式計時器裡調整平衡齒輪的旋轉振盪。所謂平衡齒輪是一個圓形的轉子，不斷地來回旋轉振盪，以可調整的螺絲來微調。

錨形擒縱器

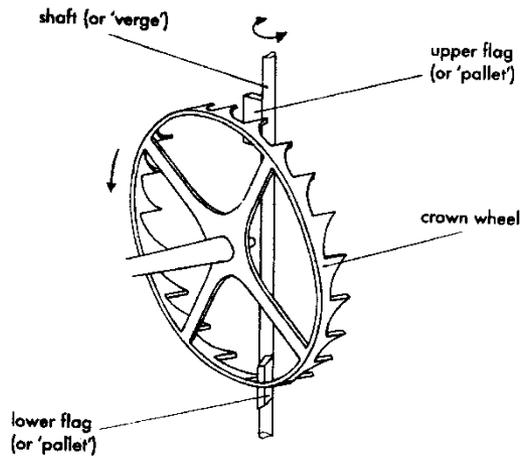
- 由於鐘擺與擺輪的應用，造就了錨狀擒縱機構的發明(1675, **William Clement**)。
- 與早期擺鐘所使用的立軸擒縱器不同的是，錨形擒縱器可以讓鐘擺只擺盪很小的幅度，於是就沒有必要讓鐘擺保持在擺線上運行。另外，這項發明也讓細長的秒擺實際可行，因而產生一種嶄新直立在地板的鐘殼設計，也就是後來所謂的爺爺鐘。



近代擒縱調速器的發展

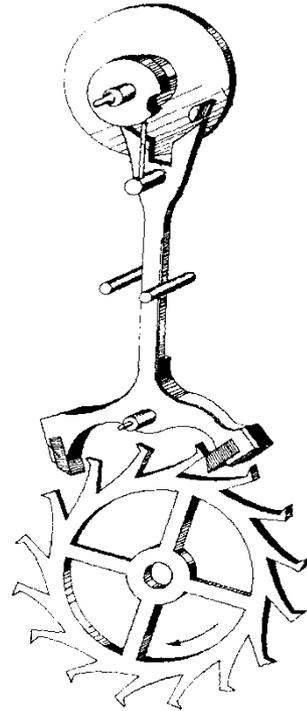
• 其後與鐘擺和擺輪相配合的擒縱機構相繼發明，且型式多樣。再者，振盪器的特性，對於擒縱機構的構造，具有決定性，主要型式可分以下三類：

1. Recoil escapement (反擊式擒縱機構)



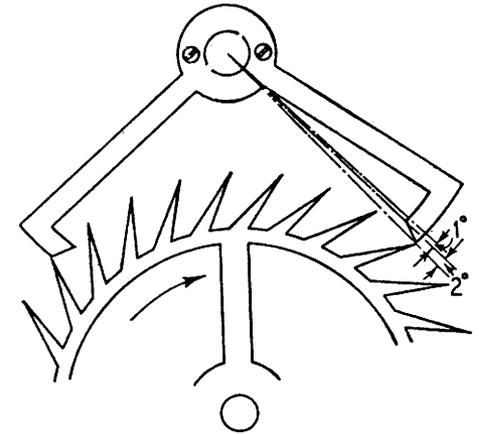
The verge escapement

2. Free escapement (自由式擒縱機構)



Anchor Escapement [Geschichte]

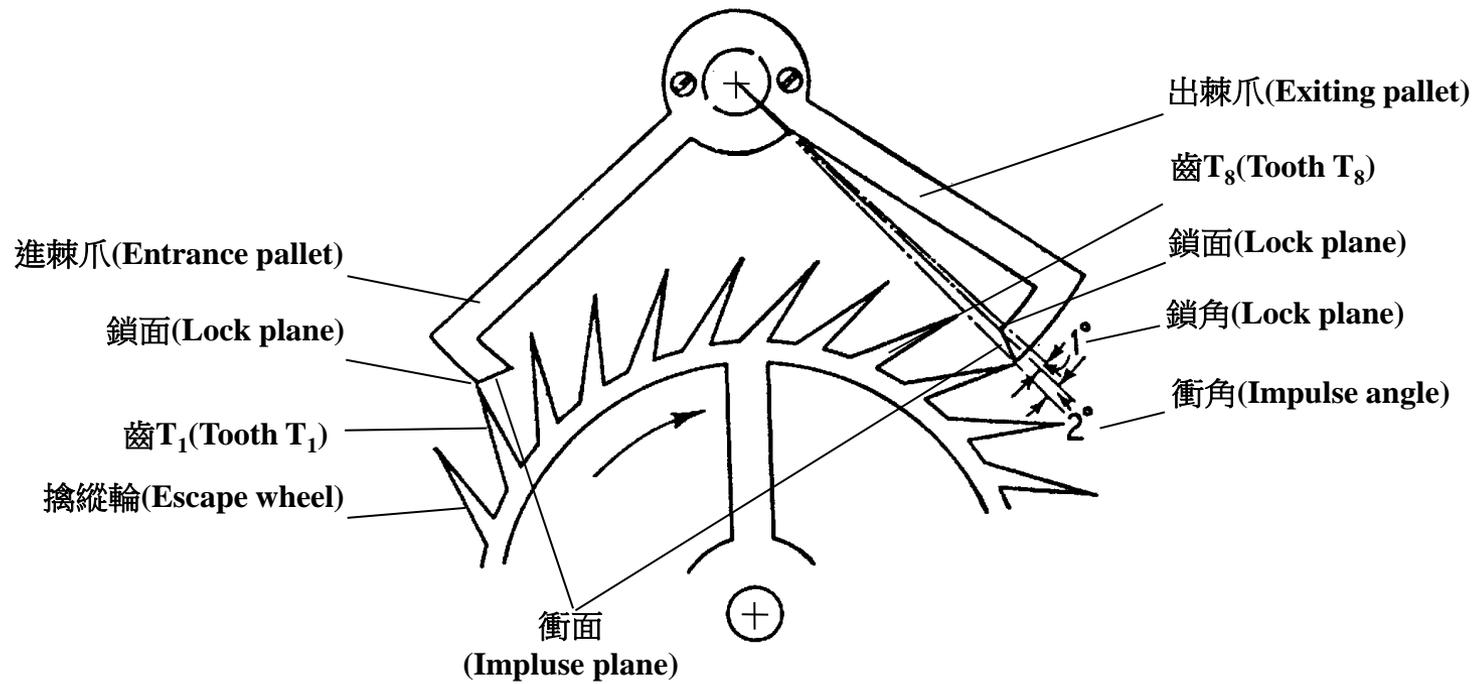
3. Dead-beat escapement (停擊式擒縱機構)



Graham dead-beat Escapement
[1968, 張純志]

近代擒縱調速器的發展

- 其中，以**Graham**停擊擒縱機構的性能最佳，由於其具有擺幅極小的特性，符合單擺等時性的原理，精度極高，可度量的時間單位為**0.1**秒，多用於天文鐘上。

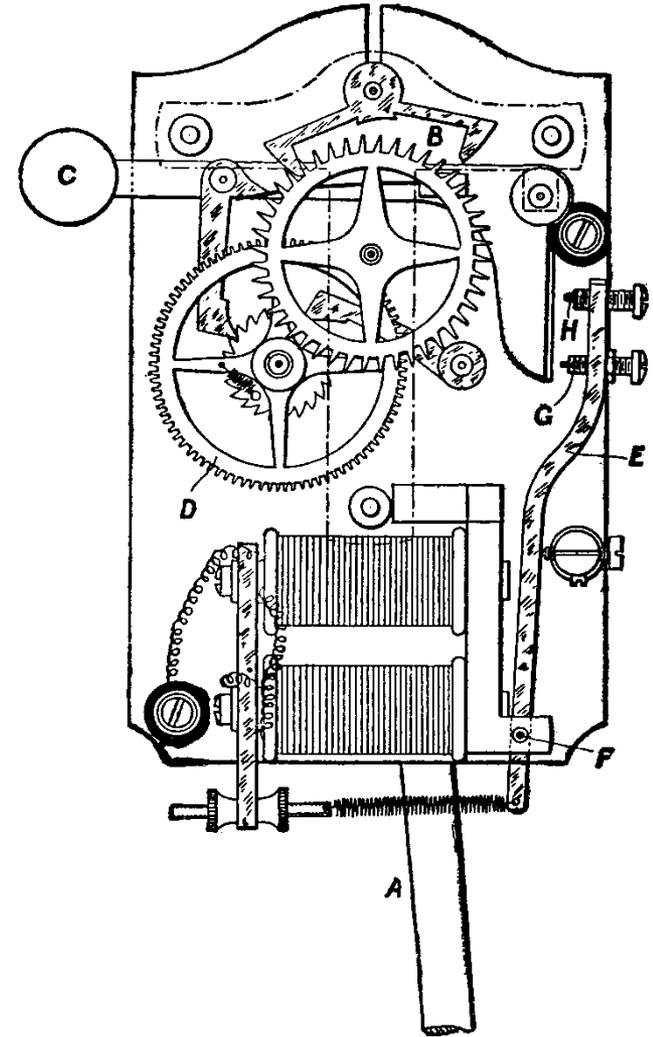
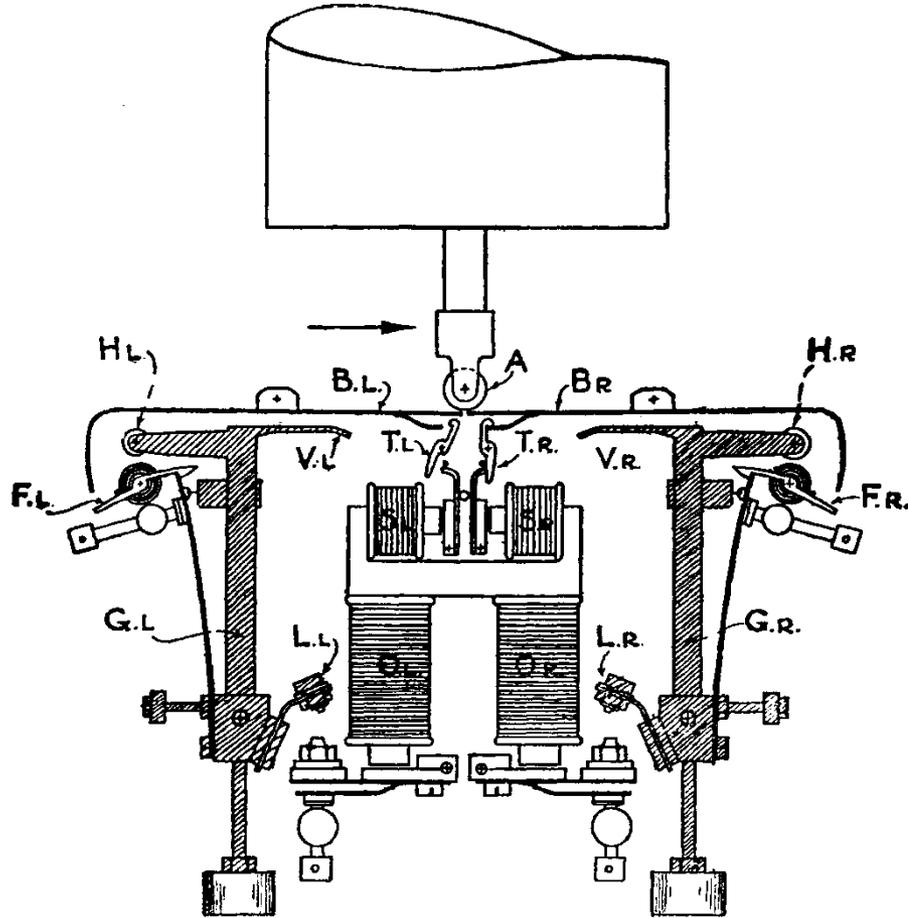


Graham擒縱機構

近代擒縱調速器的發展

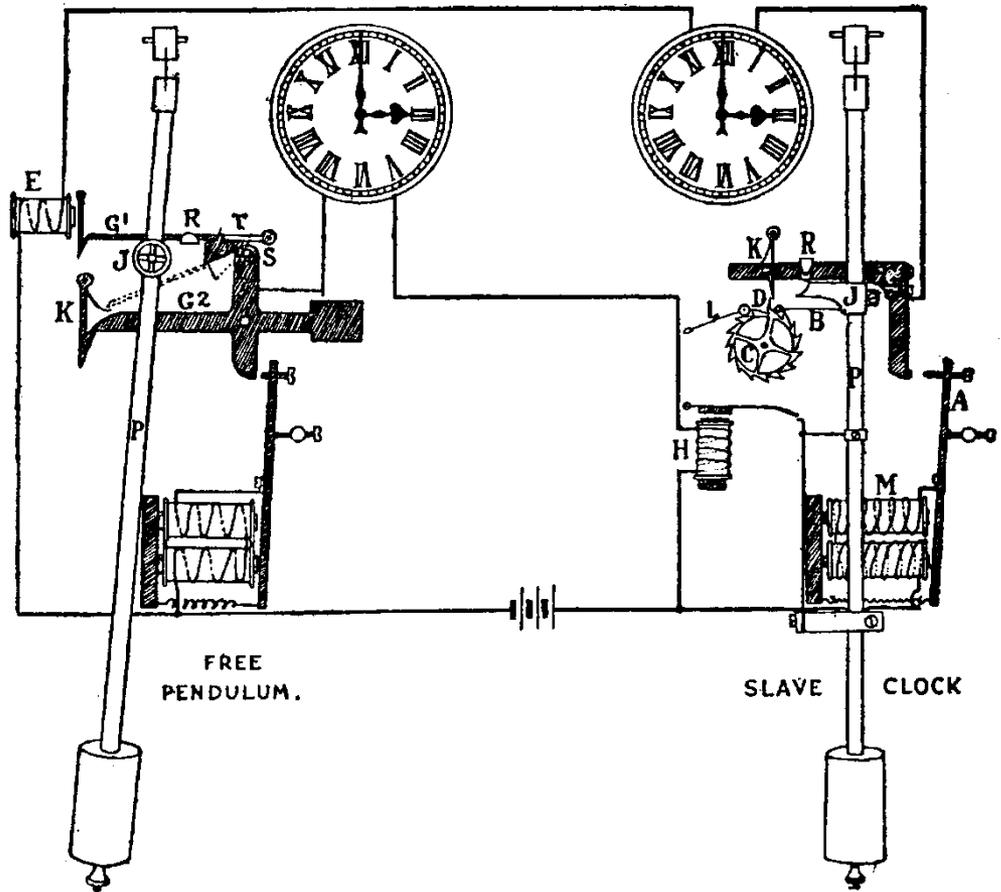
- 雖然**Graham** 停擊擒縱機構使擺鐘達到高度的精確性，但是重錘驅動時鐘之精確度仍具有一定的限度。
- 天文觀測上對時間精度的要求，日益提高。十九世紀中葉，電氣設施的發展，提供一種新的裝置，以維持與控制擺之運動。
- 電磁驅動擒縱調速器設計的主要困難，在於提供一施於擺之衝擊力的機構，並且必須對其運動的干擾減至最低。

近代擒縱調速器的發展



電磁驅動擒縱調速器

- 最早且具完整性的電磁驅動時鐘，應屬1921 Shortt時鐘[Langman & Ball, 1927]。
- 其是以斷續同步器來實現從動鐘與自由鐘間的兩個擺之相位差保持不變。Shortt電氣天文鐘，在精度上日誤差不超過0.002~0.003秒。



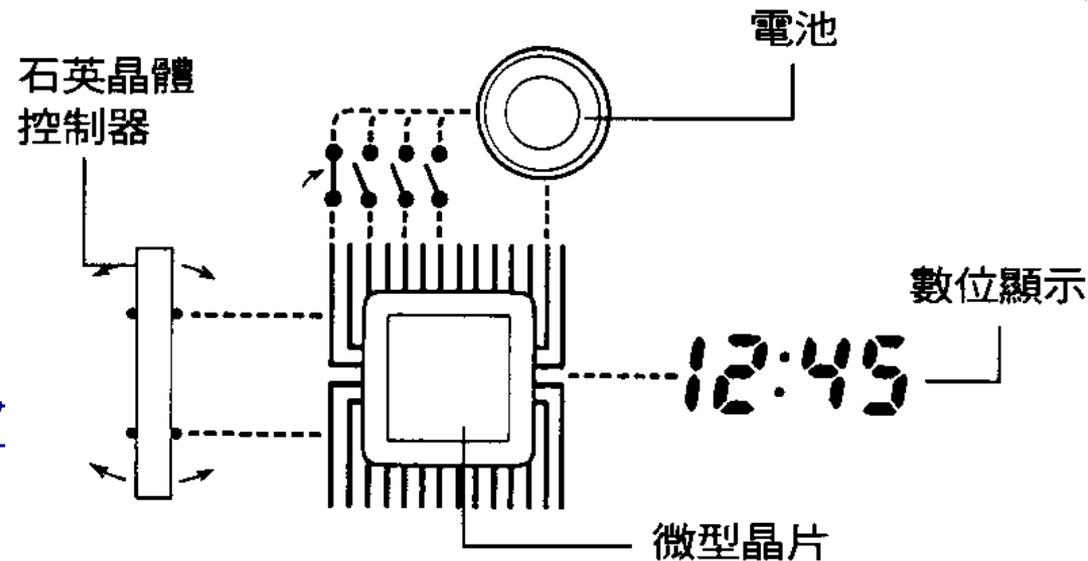
近代擒縱調速器的發展

- 二十世紀由於微電子元件的發明及對材料的認識，電子鐘錶如雨後春筍般的出現，擒縱調速器不再只是機械型式。
- **1950**年代出現的音叉電子錶，是利用音叉機械式的振盪頻率作為計時的基準，其響應來自驅動線圈的脈動，而擒縱機構則被棘爪機構所取代。
- **1960**年代起，製錶工藝掌握了石英晶體振盪器技術，利用高頻率與高穩定度的石英振盪頻率，經過電路驅動類似擒縱機構功能的步進馬達或積體電路。

石英鐘

1960年代末期，製錶技術終於與傳統的平衡齒輪分道揚鑣，新的振盪器採用電晶體技術，由某種微型音叉的振動轉換成指針的移動。再加上更省能的積體電路與發光二極體開始出現，更精確計時儀器的研究於是風起雲湧。鐘錶匠

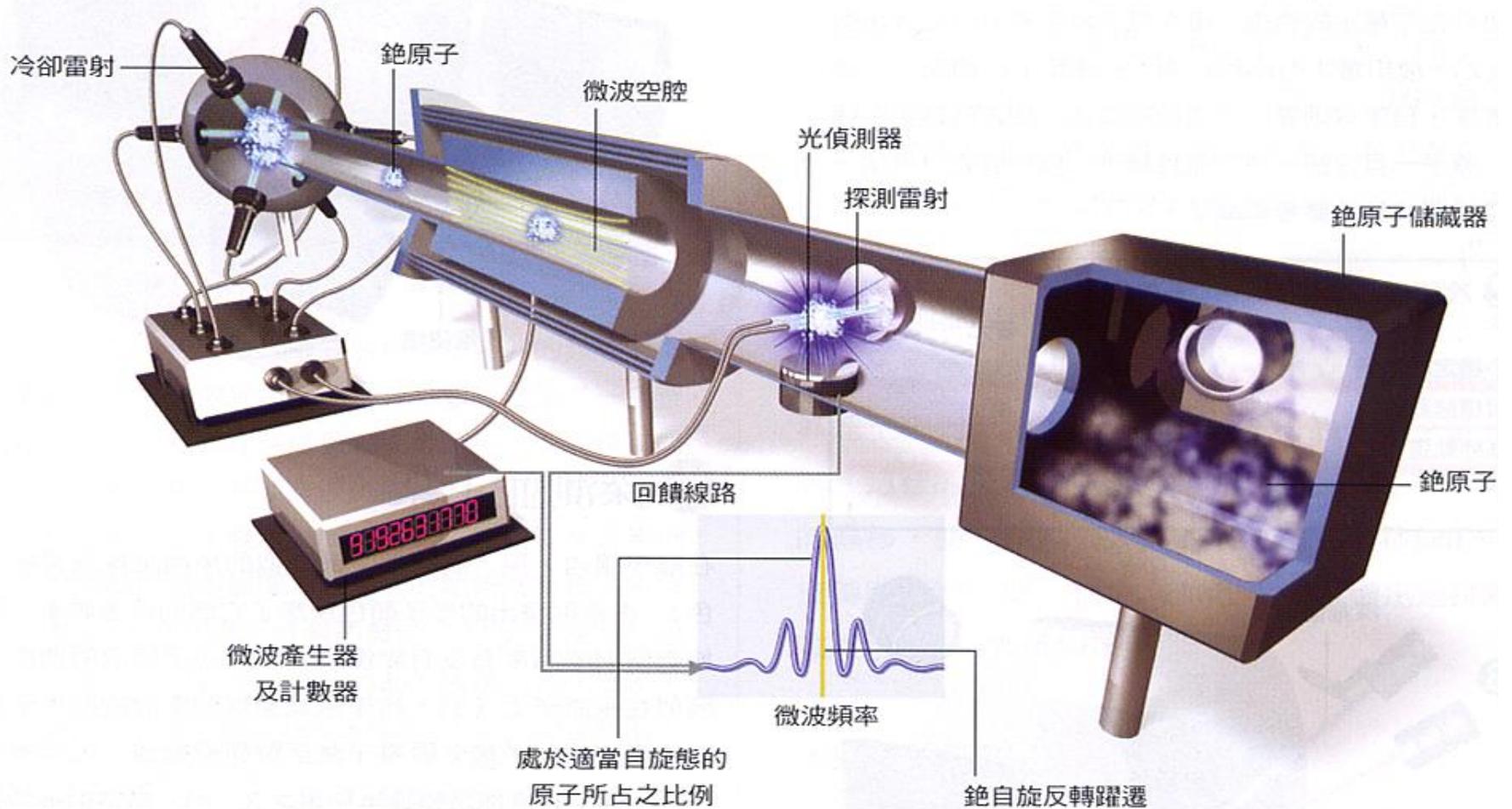
很快就採用了無線電發射器內的石英共振器。石英是一種壓電晶體，當電壓變動時會造成石英的振盪，反之亦然。當驅動的電壓恰巧是它的諧頻時，石英會共振振盪，發出鐘鈴般的聲音。這時振動器的輸出，會轉換成適合於錶內數位線路的脈衝，作用到發光二極體螢幕或電動指針上。



近代擒縱調速器的發展

- **1960**年代以前，天文計時器的發展一直以天體的宏觀運動為基礎的天文時，由於實測方面存在的困難，天文時的準確度與均勻性受到限制，到了原子鐘出現後，產生重大變革。
- 從**1967**年起，以地球運動規律為基礎的時間天文標準，被以物質內部微觀運動特徵為基礎的原子時所取代，其擒縱調速器的型式變成了晶體振盪器與原子放射裝置，準確度達 10^{-13} （日誤差約在 10^{-8} 秒左右）。

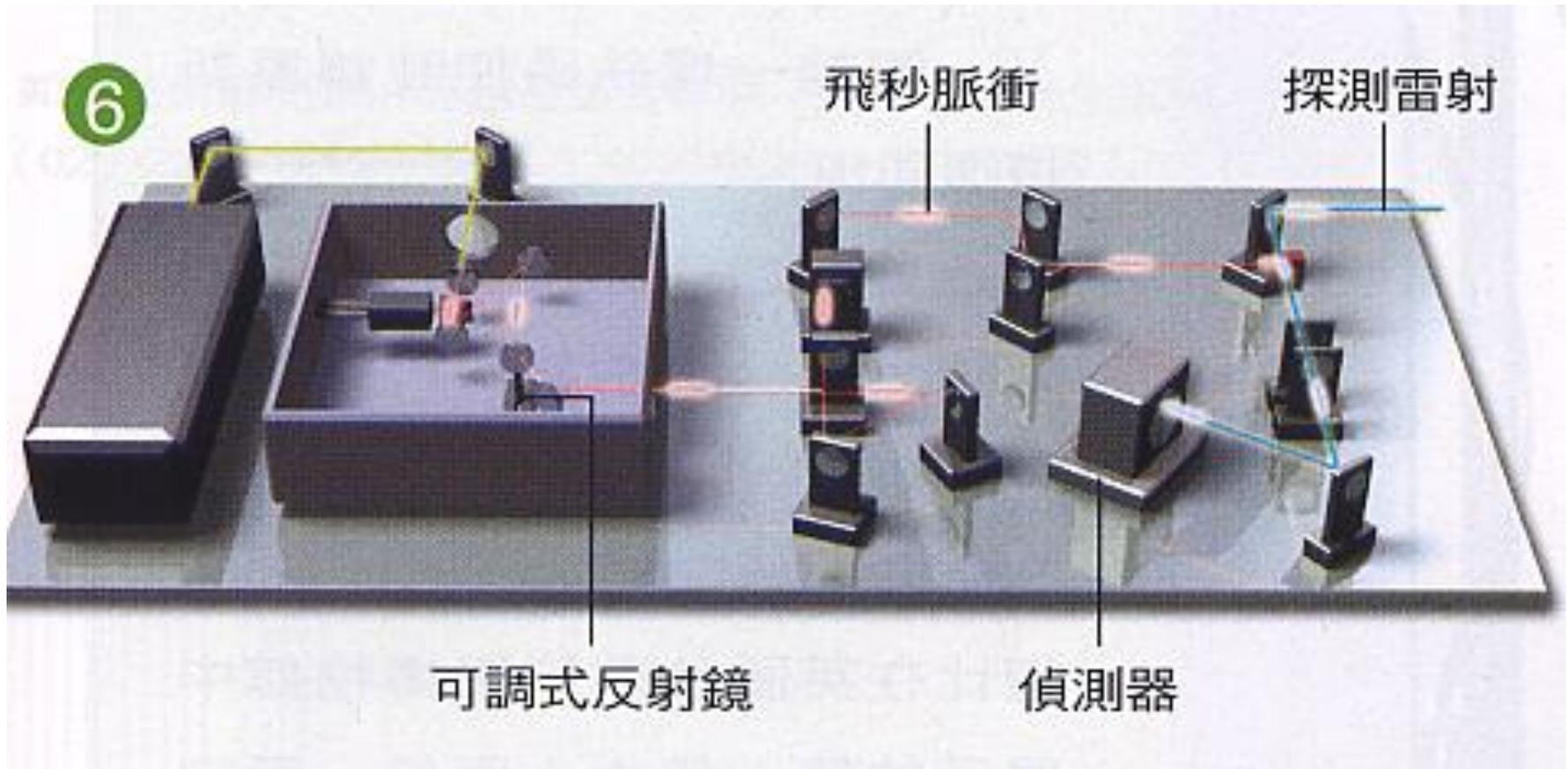
銫原子鐘



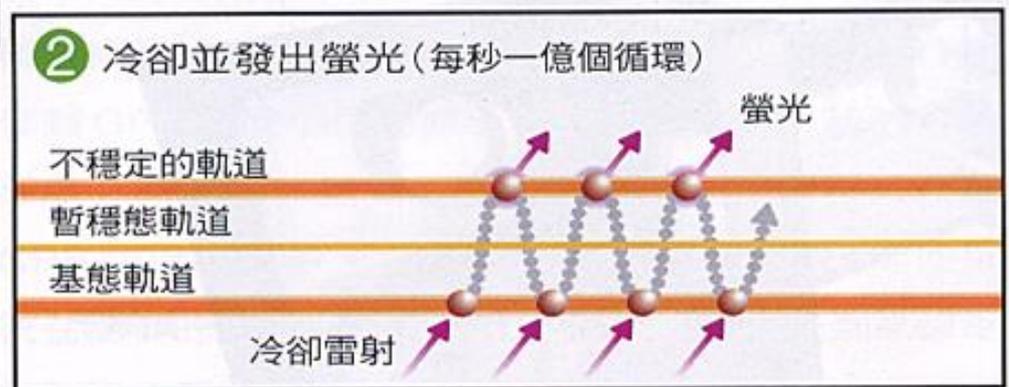
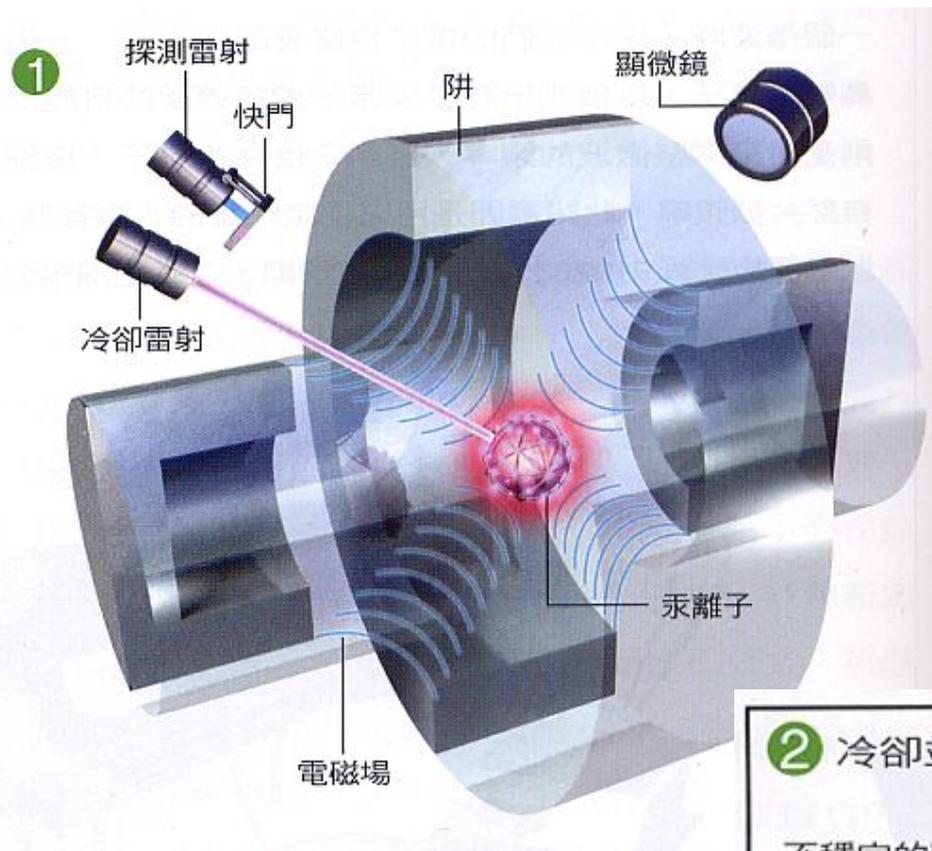
一秒鐘

- 銻原子經雷射冷卻成氣態的一小團後，使其穿越一個微波腔，途中它們的電子自旋會改變方向。一道探測雷射再度轟擊銻原子，以偵測出有多少原子處於適當的自旋狀態。回饋線路則是用來調整微波的頻率，直到它恰為銻原子「自旋反轉」躍遷的自然共振頻率，此躍遷即是用來穩定時鐘的「滴答器」。接著，**電子裝置便能計算 9192631770個微波週期，這就是國際公認的一秒鐘。**

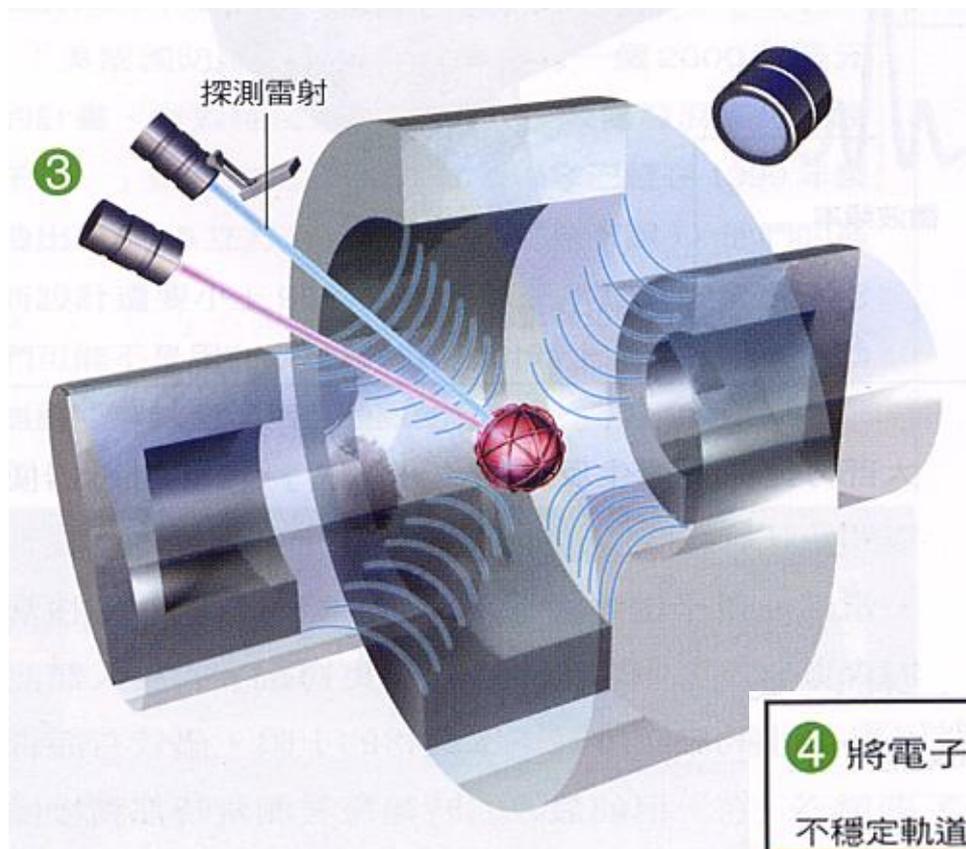
汞離子鐘



汞離子鐘



汞離子鐘



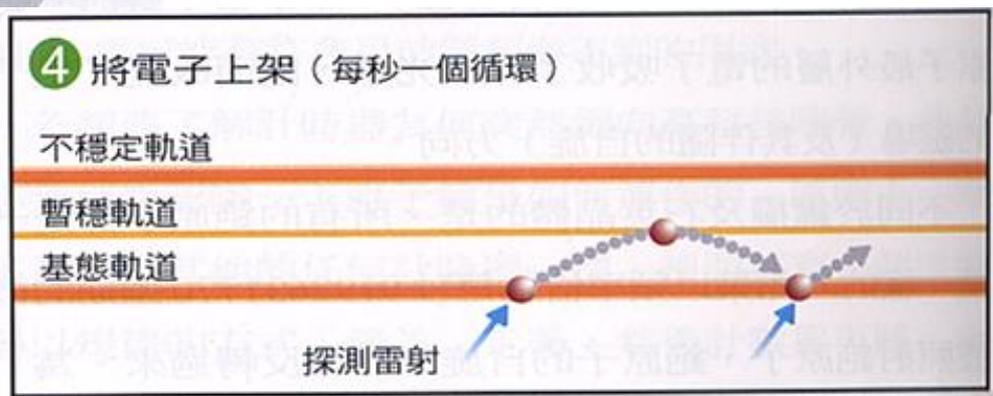
4 將電子上架（每秒一個循環）

不穩定軌道

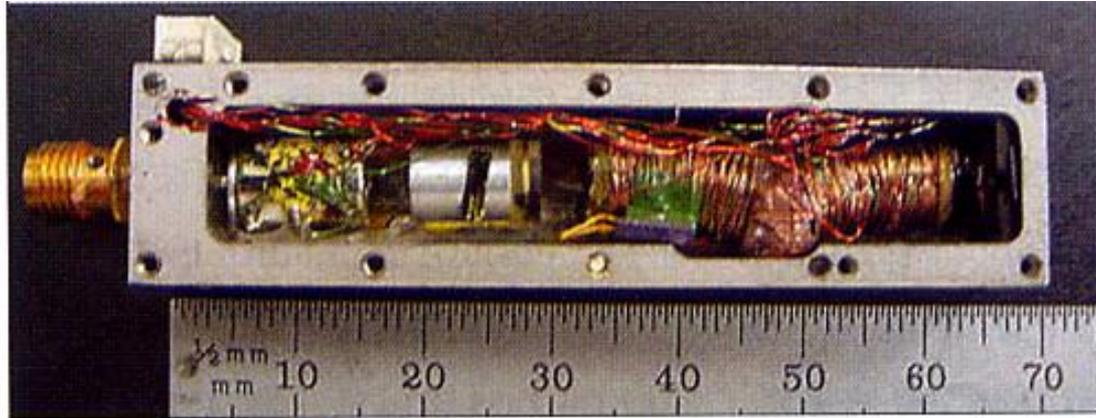
暫穩軌道

基態軌道

探測雷射

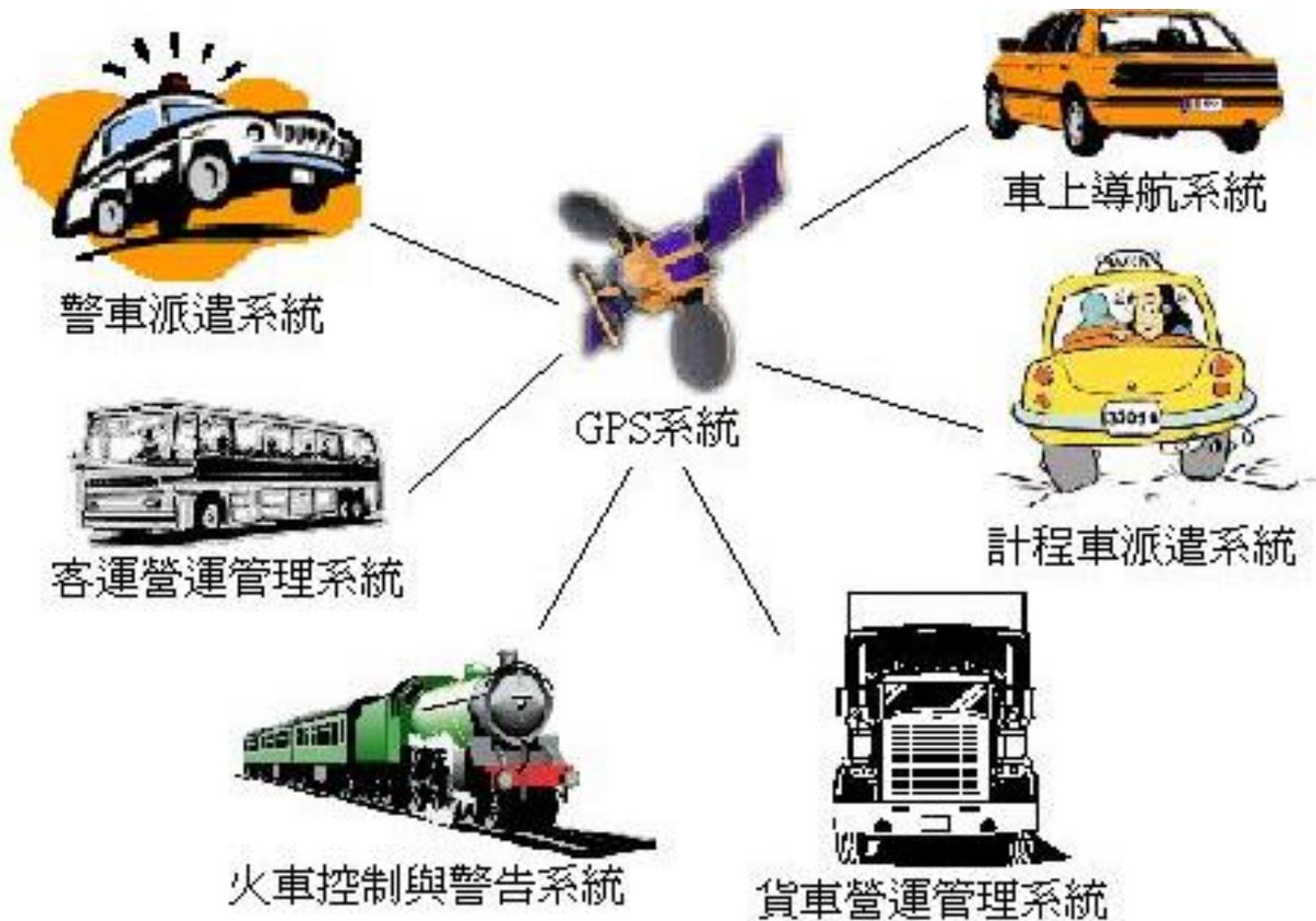


微原子鐘



- 「用不到**100**美元的花費，我就能造出一個**10**瓦的無線電發射機。然後把它放在紐約某個角落，癱瘓掉全市的全球定位系統(**GPS**)訊號。」美國國家標準與技術局(**MIST**)的蘇利文說。任何型式的航行都仰賴**GPS**，而小型的原子鐘能提高這套系統的可靠程度。原子鐘一旦縮成手錶的大小後，便可以裝進**GPS**的接收器中，它所提供的額外精準度，能使系統在更窄的頻率範圍內運作，因此更不易受到無線電發射機的干擾。「美國國防部高等研究計畫署有一個**2000**萬美元的計畫，針對秘密通訊及**GPS**接收器發展晶片型原子鐘。」蘇利文說。**NIST**的科學家已經在**1999**年製造出一個**15**立方公分大的原型，他們的最新設計還要小上**95%**。如果原子手錶真能實現，它們可能不是用在奈秒級的精準計時上，而是用來協助維護「手錶型電話」通訊的私密性。（取自科學人雜誌）

全球衛星定位系統



- GPS在地面運輸的應用

結論

- 元朝郭守敬的高表不僅是古中國實測得的回歸年長度（365.242190日）是最精確的。並配合簡儀與仰儀的運用，制訂了古中國最精準的授時曆。
- 水運儀象台主要反映了古中國十一世紀的天文學和機械兩方面的成就。其中具有一個「水輪秤漏裝置」可以將連續運動，分割成均勻之時段，從而獲得穩定持續的運動，是世界上第一個擒縱調速器的機械裝置。
- 由於地球自轉季節性變化、不規則變化和長期減慢，所以世界時每天可精確到 10^{-9} 。但是社會的進步和科學技術（特別是航太、空間物理、軍事等）的飛速發展，使人們對時間精度需求越來越高。從1967年起，以地球運動規律為基礎的時間天文標準，被以物質內部微觀運動特徵為基礎的原子時所取代。