

中国读本



# 中国古代天文与历法

陈久金 杨怡 著

「日」的概念，来自昼夜交替。但要计算更长的时间，仅用「日」是不够的。早在远古时代，人们就发现，作物的枯萎繁茂，候鸟的南去北归，无不与气候的凉暖变换紧密联系。这个周期大约有365天多，于是就含有收获之意的「年」字来表示这一时间单位……古人又认为，五大行星各有各的特性，它们在天空的出现，能够预示出社会治乱的情况……中国古代的天文与历法，既包含了中华民族对自然规律的科学总结，也体现了古代先人对平安幸福的祈愿。

中国国际广播出版社

# 中国古代天文与历法

陈久金 杨怡著



## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国古代天文与历法 / 陈久金, 杨怡著. —北京: 中国国际广播出版社, 2010.9

(中国读本)

ISBN 978-7-5078-3163-4

I. ①中… II. ①陈… ②杨… III. ①天文学史—中国—古代  
②古历法—中国—古代 IV. ①P1-092 ②P194.3

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第230732号

## 中国古代天文与历法

著 者	陈久金 杨 怡
责任编辑	张 婧
版式设计	国广设计室
责任校对	徐秀英
出版发行社 址	中国国际广播出版社 (83139469 83139489[传真]) 北京复兴门外大街2号 (国家广电总局内) 邮编: 100866
网 址	www.chirp.com.cn
经 销	新华书店
印 刷	北京广内印刷厂
开 本	640×940 1/16
字 数	58 千字
印 张	10.25
版 次	2010年9月 北京第一版
印 次	2010年9月 第一次印刷
书 号	ISBN 978-7-5078-3163-4/P·1
定 价	18.00 元

国际广播版图书 版权所有 盗版必究  
(如果发现印装质量问题, 本社负责调换)

# 目录

## 第一章写在前面的话

一早期天文学

二发展与完善

三鼎盛时期

四停滞时期

## 第二章独特的天文坐标系统

一地平坐标系

二赤道坐标系

三黄道坐标系

## 第三章精密的天文仪器

一表

二观测仪器

三计时仪器

## 第四章持续的恒星观测

一恒星的数目

二三垣二十八宿

三恒星的位置

四天文导航

## 第五章奇异天象的观测

一日月食的观测

二黑子

三流星雨和陨石

四彗星

五变星

六新星和超新星

## 第六章天文与占星

一天文分野占

二日占和月占

三行星占

四恒星占

五彗星占

## 第七章阴阳五行与历法

一阴阳二气的观念

二五行的本原

三五行相生与历法

四洪范五行与历法

## 第八章自成体系的历法

一回归年和朔望月

二二十四节气

- 三年月日的安排
- 第九章干支与生肖
  - 一干支的起源
  - 二千支在历法中的应用
  - 三十二生肖在历法中的应用
- 第十章古代的纪时制度
  - 一西汉以前的十六时制
  - 二十二辰纪时法
  - 三漏刻纪时法
  - 四十二时制与漏刻制的配合
  - 五更点制度
- 第十一章岁差的发现
  - 一冬至点在移动
  - 二虞喜发现岁差
  - 三有无岁差的争论
  - 四北极也在移动
- 第十二章太阳月亮运动及位置计算
  - 一太阳运动
  - 二月亮运动
  - 三日食和月食
- 第十三章行星运动及位置计算
  - 一行星视运动
  - 二会合周期
  - 三行星位置计算
- 第十四章天文机构的官办性质
  - 一天文台
  - 二人员配备
  - 三编印历书
  - 四观测记录
- 第十五章朴素的宇宙学说
  - 一盖天说
  - 二浑天说
  - 三宣夜说
  - 四天地形成与宇宙轮回
- 第十六章各具特色的少数民族历法
  - 一藏历
  - 二回历
  - 三傣历
  - 四彝历
  - 五苗历
  - 六其他少数民族历法
- 第十七章中国和欧洲古代天文学的异同

# 第一章

## 写在前面的话

天文学的理论框架并不是近几百年才构造起来的。天文学不是新开拓的学科，它的渊源可以追溯到人类的上古时期，它是古代天文学的延续。我们从现代天文学的基本概念中很容易发现这些痕迹。

诚然，现代天文学主要继承了古希腊的天文学体系，但作为人类同样宝贵的文化财富，中国古代天文学也闪烁着智慧的光辉。而且越来越多的事实表明，研究中国古代天文学有着重大的现实意义。

天文学是中国古代文明的一部分，即使是一个普通的中国人，也应该对它有一个大致的了解。本书在介绍它的基本内容之前，先简述其发展过程。

### 一早期天文学

也许在文字产生以前，人们就知道利用植物的生长和动物的行踪情况来判断季节，这是早期农业生产所必备的知识。任何一个民族，其发展的最初阶段都要经历物候授时过程，甚至到 20 世纪 50 年代，中国一些少数民族地区还通行这种习俗。

物候虽然与太阳运动有关，但由于气候的变幻莫测，不同年份相同的物候特征常常错位几天或者十几天，比起后来的观象授时要粗糙多了。观象授时，即以星象定季节。《尚书·尧典》描述：远古的人们以日出正东和初昏时鸟星（长蛇座  $\alpha$ ）位于南方子午线标志仲春，以太阳最高和初昏时大火（天蝎座  $\alpha$ ）位于南方子午线标志仲夏，以日落正西和初昏时虚星（宝瓶座  $\beta$ ）位于南方子午线标志仲秋，以太阳最低和初昏时昴（ $m\check{a}o$ ）星（金牛座  $\eta$ ）位于南方子午线标志仲冬。

物候授时与观象授时都属于被动授时，当人们对天文规律有更多的了解，尤其是掌握了回归年长度以后，就能够预先推断季节，历法便应运而生了。夏商时期肯定已有历法，只是因为文字记载罕有，其内容还处于研究之中。春秋战国时期，流行过黄帝、颛顼、夏、商、周、鲁等六种历法，是当时各诸侯国借用古名颁布的历法。它们的回归年长度都是 36514 日，但历元不同，岁首有异。

春秋战国 500 年间（前 770—前 222），政权更迭频繁，星占家们各事其主，大行其道，引起了王侯对恒星观测的重视。中国古代天文学从而形成了历法和天文两条主线。

### 二发展与完善

西汉到五代是中国古代天文学的发展、完善时期。从太初历到符天历，中国历法在编排日历以外，又增添了节气、朔望、置闰、交食和计时等多项专门内容，体系愈加完善，数据愈加精密，并不断发明新的观测手段和计算方法。比如，南北朝时的姜岌，以月食位置来准确地推算太阳位置。隋朝刘焯在皇极历中，用等间距二次差内插法来处理日、月运动的不均匀性。唐代一行的大衍历，显示了中国古代历法已完全成熟，它记载在《新唐书·历志》中，按内容分为七篇，其结构被后世历法所效仿。

西汉落下闳（ $h\acute{o}ng$ ）以后，浑仪的功能随着环的增加而增加，到唐代李淳风时，已能用一架浑仪同时测出天体的赤道坐标、黄道坐标和白道坐标。天文仪器是测定历法所需数据和检验历法优劣的工具，它的改良也促进了天文观测的进步，岁差和日月行星不均匀性等被发现并先后引入历法计算。除了不断提高恒星位置测量精度外，天文官员们还特别留心记录奇

异天象发生的位置和时间，其实后者才是朝廷帝王更为关心的内容。这个传统成为中国古代天文学的一大特色。

中国古代三种主要的宇宙观，起源于春秋战国的百家争鸣。秦以后的 1000 多年中，在它们的基础上又派生出许多支系，后来浑天说以其解释天象的优势，取代了盖天说而上升为主导观念。三鼎盛时期

宋代和元代为中国天文学的鼎盛时期。这期间历法有以下特点：

颁行的历法最多：达 25 部。它们各有特色，其中郭守敬等人编制的授时历性能最优，连续使用了 360 年，达到中国历法的巅峰。

数据最精：许多历法的回归年长度和朔望月值已与现代理论值相差无几，在世界处于领先地位；

大型仪器最多：宋代拥有水运仪象台和四座大型浑仪，元代郭守敬还创制了简仪和高表。其中苏颂的水运仪象台，集观测、演示、报时于一身，是当时世界上最优秀的天文仪器；

恒星观测最勤：特别是从公元 1010 年到公元 1106 年的 96 年中，就先后组织了五次大型恒星位置测量，平均不到 20 年一次。

宋元的天文成就与这期间的政权稳定和经济繁荣有着密切的关系。四停滞时期

进入明代和清代后，天文学就开始停滞不前。元代的授时历在明代又继续使用了 270 多年，直到清初采纳了欧洲耶稣会传教士所编制的《西洋新法历书》为止。

中国天文学为什么没能继续发展呢？有经济、政策等社会原因，也有天文学本身的原因。首先，元代的天文仪器已能达到肉眼测量的极限，除非再增加凸凹镜片，否则精度不会提高，而望远镜技术是在欧洲诞生的。其次，中国古代擅长代数计算，在解决天体位置与推算值弥合问题上，只注意表象，不注意几何结构和理论依据。相反，古希腊天文学是侧重几何学的。中国从 14 世纪以后与欧洲科学水平差距越来越大，不能不令人痛心。虽然作这种反思是痛苦的，但却有助于我们对今天的思考。

人们通常把最难懂的书称为“天书”，中国古代有关天文历法的书籍就是真正的天书。从下一章起，我们拟用最通俗的语言将“天书”剖析给读者，必要时采用现代天文学基本常识与古代天文学对比叙述的方法，并省去一些不太重要的枝节和某些复杂运算。

大家知道，天文历法知识的产生离不开天文观测，进行观测当然要有观测仪器，而介绍仪器又不能不提及仪器的坐标系统，所以我们先从仪器的坐标系统谈起。

## 第二章

### 独特的天文坐标系统

了解现代天文常识的读者都知道，恒星或疏或密或远或近分布于整个天空。由于人的目力所限，感觉不出恒星的远近区别，因而恒星就从它们的实际位置投影到以地球为中心以肉眼极限为半径的球面上。对于只计算天体视觉位置的古代人来说，这种错觉无意中成为一种简化手法。这个假想球面叫做天球。

要确定天体在天球上的位置，必须有两个数据，像平面上的点可以用平面直角坐标系(x, y)或极坐标系(r,  $\theta$ )表示一样，天体的位置也可以用球面坐标系的两个数据来表示。中国古代有三种球面坐标系统：地平坐标、赤道坐标和黄道坐标，其中地平坐标是产生最早而且最为直观的坐标系统。

#### 一地平坐标系

以天顶(头顶正上方)和地平圈为基本点圈建立的坐标系叫地平坐标系，两个坐标分量是地平高度和方位(见图1)。

#### 图1 地平坐标系

地平高度是指天体沿着垂直于地平经圈的大圆到地平的角度，地平为计算起点。中国古代有很长一段时间用丈、尺、寸等长度单位来表示天体的高度，一寸大致相当于一度。直到宋代以后，才改用“度”单位。

图2 二十四方位图方位就是方向，可在地平经圈上标示。在方位概念产生的最初阶段，只有东、南、西、北四个方向，分别用卯、午、酉、子表示。到汉代时，增加到12个方向，各以十二支命名。后来，出于提高测量精度的需要，又用四维、八干、十二支来表示24个方向，其中四维是艮(gèn)、巽(xùn)、坤、乾，分别表示东北、东南、西南、西北。八干是甲、乙、丙、丁、庚、辛、壬、癸。十二支是子、丑、寅、卯、辰、巳(sì)、午、未、申、酉、戌、亥(见图2)。显而易见，方位只是一个区域概念，以“子”为例，在正北左右各7

5°的范围内都称为子方位。《周髀(bì)算经》可作为例外，因为书中使用了与现代地平经度相仿的量度方法。除此以外，中国地平坐标系统的方位分量也不存在量度的起始点问题。

#### 二赤道坐标系

天文上的赤道并非地球赤道，它是地球赤道平面向外延伸与天球相交形成的大圆环，叫做天赤道。中国古代天文学家把包括天赤道在内的范围较宽的一条恒星带由西往东分成28个天区，这些天区有专门的术语，叫做宿(xìù)，共计二十八宿。

每宿都有一颗作为测量其他恒星的标准星，叫距星，所以中国传统赤道坐标系统的赤经起算点不是一个而是28个。既然是标准星，那么距星与相邻距星的赤经差，古代又叫距度的值，就必须最先测定。在二十四史的天文志中，均有二十八宿距度测定值的记载，只是各代的数据之间有些出入。在排除了测量精度改进的因素后，可以发现岁差是各宿距度发生单向变化的根本原因。由于古人不明白这个道理，当发现原有记录与新的观测值有明显差距时，只能被动地改换新的标准值。

在望远镜发明以前，古代人当然是凭肉眼进行观测，所以他们挑选的距星大多是明亮醒目的，如角宿距星为室女座 $\alpha$ (中名角宿一)，箕宿距星为人马座 $\gamma$ (中名箕宿一)，觜(zī)宿距星为猎户座 $\lambda$ (中名觜宿一)。

#### 图3 赤道坐标系

在中国赤道坐标系中，天体的位置用去极度和入宿度这两个赤道坐标分量表示。去极度是指天体到北天极的角距离，入宿度则指天体与它西侧第一颗距星之间的赤经差(见图 3)。例如古书中有“织女星(天琴座  $\alpha$ )入斗五度”一句，意思是，织女星在斗宿天区内，与斗宿距星(人马座  $\phi$  星)的赤经差为 5 度。

### 三黄道坐标系

太阳每天除了东升西落外，还在恒星背景上向东移动大约  $1^\circ$  的角距离，因而一年差不多移动一圈，太阳在天球上的周年视运动轨道就称为黄道。黄道与赤道不在同一平面上，而是大致斜交成  $23^\circ 5'$  的夹角。黄道坐标系以黄道为基本圈，天体的位置可用黄经和黄纬两坐标分量来表示。

### 图 4 黄道坐标系

中国黄道坐标系中的黄经概念与现代天文学上的有所不同：中国黄经的起算点是二十八宿距星而并非春分点，而且天体的黄经值是指它与距星之间的赤经差在黄道上的投影，所以严格地说，应该称这个量为“似黄经”比较妥当。

与“似黄经”相配，还有一个“似黄纬”。“似黄纬”是指天体沿着赤经圈到黄道的角距离(见图 4)。测量时以黄道为起点，若天体在黄道以北，叫黄道内某度，若在黄道以南，叫黄道外某度。

黄道坐标系易于表示太阳的运动。月亮和行星的运动轨道虽然不与黄道重合，但相交角度很小，所以这三者的运动用黄道坐标表示比用赤道坐标更方便。

而由于地球的自转，所有天体都参与周日视运动，其运动轨迹与天赤道平行，所以在一般情况下中国古代更偏重于使用赤道坐标系。

## 第三章

### 精密的天文仪器

天文仪器是人们研究天体运动规律的得力工具，它的改良与创新直接影响观测水平的提高。

中国古代天文仪器综合起来可分为三种类型。第一类为表，第二类为观测仪器，第三类则为计时仪器。由于表兼有多种功能，所以有必要单独予以介绍。

#### 一表

每个物体在阳光的照耀下会投射出影子，并且随着太阳在天空中的移动，影子的方向和长短都在不断地变化。古人通过长期的观察与积累，发现这种变化包含了两个周期，一个是以一昼夜为单位的短周期；一个是以春夏秋冬为单位，与开花结果等物候现象合拍的长周期。大约在 4000 多年前，出现了迄今为止所知道的最古老的天文仪器——表。表的产生，便于更准确地判断影子的方向和长短。显然这个表不是指钟表、仪表的表，但是前者 and 后者之间确实存在着必然的联系。

表，就是直立于地面的竿子。太阳下，有竿便有影，这大概就是“立竿见影”这个成语的原始含义。古书中的竿、槲(n i è)、臬(n i è)、髀、碑、裊(b ē i)等词，都是表的其他名称。

表的结构虽然简单，功能却不少。表的最初用途是确定方向。太阳并不是每天都从正东方升起正西方落下。以北京地区(地理纬度  $40^{\circ} 00'$ )为例，冬至日的时候，太阳于东偏南  $31^{\circ}$  左右升起，于西偏南  $31^{\circ}$  左右落下，远离东点西点。每年只有在 3 月 21 日(春分日)和 9 月 23 日(秋分日)前后，才可以说太阳真正是“东升西落”。那么凭表影怎样来确定方向呢?古代以表立处为圆心作一个任意圆，然后连接日出日没图 5 利用表来判断方向

时表影与圆周相交的两点，便得到正东正西方向，并由东西而知南北(见图 5)。为了提高测量精度，也可多划几个任意圆，取多次平均值。不过，日出日没时的表影常常比较模糊，即使多次测量，也难免会有较大误差。如果采用上午或下午两次等长的表影，取其端点的连线，一样可获知东西方向。元代天文学家郭守敬的定向仪器“正方案”正是利用这一原理设计的。

除了确定方位外，表还有两个重要功能，其一是利用一天中表影方向的变化来判断时刻，其二是利用一年中正午表影长短的变化来判断冬至日和夏至日。第一个功能的延伸是，表再加上一个刻有放射状时刻线的圆形石盘，就演变成了日晷(guī)。而第二个功能发展的结果，又导致了圭表的产生，圭表是中国古代必不可少的天文仪器之一。本章重点介绍圭表，日晷将留待计时仪器部分讲述。

在冬天，太阳光比夏天时更倾斜，因而表影相对夏天更长，换句话说，正午时的表影最长或最短的那一天，太阳恰好处于最南或最北的极限位置。这两天分别叫做冬至日和夏至日(见图 6)。经验告诉人们，当太阳离开最南端，开始向图 6 利用表来判断冬至和夏至

北方移动时，天气逐渐变暖，万物陆续复苏，意味着饥荒将要过去。同样地，当太阳离开最北端，开始向南方移动时，天气逐渐变冷，万物陆续凋零，意味着要赶紧贮存过冬食品，所以冬至日和夏至日在古人心目中显得尤为重要，通过表影来测算冬至日和夏至日就成为中国古代天文中最基本的内容之一。

中国绝大部分地区的纬度高于北回归线(即  $23^{\circ} 5'$ )，正午时的表影总是在表的正北方

向。把一块有刻度的平板，紧接表基处朝北水平放置，便可直接读出正午时表影的长度。本来“圭”字，仅指片状玉器，由于圭曾作为测量土地的标准尺子广泛使用过，后来转而把测量影长的工具也叫做圭，圭和表的结合就称为圭表(见图7)。

图7 日晷

表身是否垂直，圭面是否水平，都会影响表影的长度，所以汉代时人们就知道，借助悬物来校正表的垂直，借助水槽来校正圭的水平。另外，为了克服光线漫射引起的表影端线模糊不清给测量造成的困难，沈括于宋熙宁七年(1074)提出了两项改进：一是将圭表置于一个仅顶部有一条缝隙的密室，由于密室内尘埃较少，射入的日光又较细窄，可削弱漫射的影响。明、清两代都采纳了沈括的建议，据说，现存北京古观象台的叫做“晷影室”的房舍，就是当年的密室。二是在表影中再立一个副表，副表较短，观测时，使两表影端重合，增加其浓度，便于更准确地测量影长。

元代郭守敬对圭表做出了重大的改进。首先他创立了高表，传统表长为八尺，而郭守敬的高表高到40尺，显示了他对误差的正确理解。因为现代误差理论认为：相同的测量误差对较长的表影来说，所占比例较小，影响因而较小。后人追循郭守敬，争先设立高表。明代邢云路曾竖立起60尺高的木表，即使不是世界之最，也可算作中国之最了。邢云路的这一措施确实有效，他所测定回归年长度为365 242 19日，是当时世界上最精密的数据，每年的误差仅为2 3秒。郭守敬发明的景符，利用光学中小孔成像的原理，使影长测量准确到两毫米之内。

## 二 观测仪器

圭表是研究太阳方位的装置。另有一类仪器可用于研究恒星、行星包括太阳、月亮在内的几乎所有天体的运动规律，这就是仪和象。“仪”是指测量天体位置的仪器，“象”是指演示天体视运动的仪器，合称为仪象。浑天学说是中国古代占统治地位的宇宙观，浑仪和浑象是解释浑天学说的观测仪器。

### (一) 浑仪

据推测，浑仪的起源早于西汉。不过，就我们现在所知，直到《隋书·天文志》才第一次记载了浑仪的详细结构，原物早已不存，设计者为东晋时前赵人孔挺。孔挺浑仪由四环一管组成：赤道环平行于天赤道，地平环平行于地平面，子午环连接南北天极，这三个环都是固定的。四游环，相当于赤经环，是活动的，可绕贯通南北天极的极轴旋转。与四游环共面的是一个供观测用的方柱形管子，叫“衡”，又叫“窥管”，窥管也是活动的，可绕四游环圆心旋转。结构原理十分清楚，窥管可以同时参与两种互相垂直的运动，赤经方向和赤纬方向，说明窥管能够对准地球上任何一个位置的天体。因此，天体的去极度能从四游环上直接读出，天体的入宿度等于天体和它西边第一颗距星的赤经差。除了赤道坐标，孔挺浑仪还备有地平坐标系统。需要说明的是，赤道环上的刻度不是现代的360等分，而是365 25，即365格再加上1/4格。这种不整分的传统，曾令很多人奇怪和不解，其实这是有来历的。古代天文学家用圭表测量冬至时刻到下一个冬至时刻的间隔，连续记录几年，取其平均，就得到回归年长度(古称岁实)。春秋战国时期确定的回归年长度正是365 25日，如果按此数划分圆周，太阳便一天移动一格，一年正好转一整圈，可见其用意在此。秦以后，直到西方天文学传入以前，赤道环一周等于365 25度就作为传统保留了下来，尽管后来回归年的长度不断改进，不断精确。本书为了区别于中国传统的“度”，凡遇西制角度单位“°”时，一律不用“度”表示。

唐代天文学家李淳风于贞观初年(630)设计制作了一架更复杂的浑仪，名曰浑天黄道仪。浑天黄道仪的外层有地平环、子午环和赤道环，均固连在仪器的基座上，叫六合仪。内层是四游环和窥管，叫四游仪。中间一层还有三个环——黄道环、赤道环和白道环，是李淳风自己的创造。古代日、月、星统称三辰，故名三辰仪。四游仪可在三辰仪内旋转，三辰仪又可

在六合仪内旋转，整个仪器多达七个环，同时具备赤道、黄道、地平三套坐标系统。浑天黄道仪的主要优点在于：(1)可直接读出天体的入宿度，而不必再减去距星的赤道读数；(2)首次将月亮轨道(白道)和太阳轨道(黄道)区分开来，可直接测量月亮在白道上的位置。虽然浑天黄道仪一直闲置宫中未投入使用，却以其功能齐备而成为后世的典范。

北宋时期的浑仪数量多，工艺精，并刻意提高观测精度。比如改进窥管、校正极轴以及注意仪器的安装等等，带动宋代的天文研究达到一个空前的高水平。因为环与环重叠交错，给窥管造成许多盲点，又因为月亮的位置可通过赤道坐标或黄道坐标读出，故宋代浑仪大多取消了白道环，精简了结构。宋室南迁后，北宋的精良仪器都被金人移往燕京(今北京)。明初时幸存的几件连同其他元代天文仪器又移往应天府(今南京)。后来，明成祖迁都时，按1:1比例复制了全套。现在，南京紫金山天文台上还完好地保存着一件于明正统四年(1439)仿制的宋代浑仪(见图8)，原宋代浑仪已毁。

图8 明代浑仪图解

若想增加浑仪的观测功能，就需要适当地添环，然而环数太多，又给观测带来许多不便，顾此失彼，这是一对不好解决的矛盾。李淳风以后，历代浑仪制造家做了很多尝试，或减环，或移位，或替代，却始终没有得到最满意的构思。

直到元代至元十三年(1276)，郭守敬设计出了简仪，才把浑仪从繁复的环套环结构中解放出来。简仪，实际上是由两套独立仪器组成，即赤道经纬仪和地平经纬仪。赤道经纬仪不但放弃了白道环，也放弃了黄道环，只保留了原浑仪中的赤道环、地平环和四游环，并且赤道环和地平环不再充当支撑四游环的外层结构，而被移至四游环的南端，这样在四游环的上方，除了北天极附近有个用于校正极轴的候极环外，没有其他的遮蔽物。地平经纬仪，当时又叫立运仪，包括阴纬环和立运环。阴纬环相当于地平环，固定不动。立运环相当于四游环，可绕垂直于阴纬环并通过其中心的轴旋转。立运仪是中国第一架能同时测量方位和地平高度的天文仪器。过去的浑仪，虽然附设地平环，但都缺少能以天顶为轴旋转的环，而没有这种环，就无法指示地平坐标。简仪的另一个成就是提高了刻度划分的精度。元以前，仪器的最小刻度为1/4度，简仪却是1/10度，估读可达1/20度。

原制简仪被毁于清初，现存只有明正统四年(1439)的仿制品，也在南京紫金山天文台。在简仪的下方，本来应该安装郭守敬设计的用于校正方向的正方案，仿制品把它改装成了日晷。

郭守敬在仪器上的又一项创造是仰仪。仰仪专门用来测量太阳的赤经赤纬。浑仪不能直接测量太阳的位置，因为刺眼的阳光使窥管很难对准日面中心。仰仪的结构比较简单，一个开口向上的铜制中空半球，内侧刻有赤道坐标网，通过小孔使太阳成像于内侧，太阳的赤经赤纬便一目了然。仰仪的外貌有别于中国传统的天文仪器，显得独具一格。

总的来说，浑仪的设计水平在郭守敬时代已经到达巅峰，无论是布局的合理性还是细节的完善化均是如此，郭守敬之后，再无超越。

## (二) 浑象

浑象的基本结构是一个球体，球面上标出全天可见的恒星、地平圈、黄道圈和赤道圈等。作为演示仪器，球体可绕连接南极北极的极轴旋转，还有太阳、月亮和金、木、水、火、土五星的活动标志，可方便地移动位置以模拟实际天象。浑象相当于现在的天球仪。

对于天文学家来说，浑象主要还用于黄道度数与赤道度数的换算。在现代天文学中，球面三角学可轻易地解决不同坐标系的换算问题。但在数学并不发达的古代，只好采取比较笨拙的方式：用赤经圈把赤道圈和黄道圈划分成若干个弧段，然后相同赤经的黄、赤弧段对照比量，两两相减，可列出一个差值表，再利用内插法求出连续差值表。也就是说，不管是黄道度数化成赤道度数，还是赤道度数化成黄道度数，查连续黄赤差值表，或加或减，即为所求。

东汉天文学家张衡，为了证明他的宇宙观(即浑天说)的正确性，曾经设计制造了一架浑象，叫做漏水转浑天仪。该仪器以漏壶流水为动力，通过齿轮系统，带动浑象均匀地旋转。经过调整校对，可使其正好一天转一周，自动地吻合天象。

漏水转浑天仪对后世的仪象设计影响很大，唐、宋时代很多的天文学家都为完善张衡的工作做出了贡献。其中，最值得一提的是北宋苏颂、韩公廉制造的元祐浑天仪象，又称水运仪象台。仪象台包括浑仪、浑象和报时系统三部分，分别置于三层木结构建筑的顶部、中部和底部，像一座小型天文台。三个部分共用一套传动装置和漏壶组，运转时能够保持与天体周日视运动同步。令人叫绝的报时系统，不但逢辰打钟，遇刻击鼓，还有一个木人在夜间按更击钲(zhēng)，毫无疑问，其结构十分复杂。研究发现，报时系统中有类似擒纵器的机构，擒纵器是近代机械钟表的重要部件。水运仪象台建成之后，苏颂写了一部仪器说明书《新仪象法要》，详尽记述了各部件的形制、尺寸、材料及其整体构联方式，特别是书中附有大量的机械图，使后代读者能够窥探其中的细节奥秘。

苏颂和韩公廉还制造过一架可在内部观看的浑象。据宋代王应麟的《玉海》记载：浑象为中空球壳，直径超出人的身长，球面上以洞穿的小孔代表恒星，观看人就坐在其中的悬吊椅上。随着球壳自左向右旋转，透过小孔的点点亮光，宛若夜间真实的星空，景象尤为逼真，与现代天文馆里的天象仪有异曲同工之妙(见图9)。

图9 自内向外观看的浑象

自张衡以后，需要转动的仪器，大都靠漏壶带动，这一点比较好理解，因为在当时的条件下不可能找到比漏壶流水更稳定的动力。只是很自然地产生了一个疑问：仪器的转动是否仅仅依赖于漏壶。我们知道，漏壶的水量很小，所产生的压力也是极有限的，很难想象它能带动铜制的浑象，上述所介绍的苏颂水运仪象台的仪器就更难带动了。《隋书·耿询传》写道：“询创意造浑天，不假人力，以水转之，施于(àn)室中。”表明耿询的浑天仪不借助人力而用水推动，这似乎意味着耿询以前的水运浑象不只靠水力，且需人力。然而既有人力，又何需水力，何曰“水运”。古人关于这方面的详情鲜有记叙，我们无从知道真实情况。也许有兴趣的读者愿意去寻找它的答案。

### 三计时仪器

太阳每天早晨升起，傍晚落下，表影随之由偏西移到偏东，表影所在的方位可以提示时间，这是不言而喻的。生产的进步，生活节奏的加快，人们要求知道比较准确的时间，于是表就演变成了日晷。日晷包括一根晷针和以晷针为圆心的石质晷面，晷面刻有放射状方位线，根据针影与方位线的重合情况，就能知道时间。

在表过渡到日晷的最初阶段，晷面一般呈水平放置，叫做地平日晷。太阳的地平经度变化是不均匀的，这意味着地平日晷上的方位刻度，若等时就不等分，若等分就不等时。从使用角度看，既不方便，也不准确。赤道日晷有明显优于地平日晷之处。由于日晷面与天赤道平行，等时刻度线必定均分圆周。晷的两面都有刻度，向南一面用于春分以后，向北一面用于秋分以后。

漏刻是利用水量多少来计量时间的仪器。漏，指漏壶；刻，指刻箭。漏刻是全天候仪器，能弥补日晷的局限，是中国古代重要的计时器。

丰富的史料告诉我们有关漏刻发展的主要过程。漏刻最早只是一把底部有小孔的壶，人们通过壶中剩水来粗估时间。后来，借助一支刻有刻度的箭，立于水中，以水面淹过箭杆的高度计算时间。由于水的表面张力，在箭杆周围，形成一个向上的附着面，给读数带来不便，所以不久以后淹箭漏就让位于沉箭漏。沉箭漏的箭尾要有可浮的物体，如竹片或木片，使箭浮在水面上，箭头穿出壶盖。当箭杆随着水的流失而下降时，其与壶盖平面比齐的刻度，就是当时的时间。很明显，沉箭和淹箭的刻度顺序应该相反。

根据流体力学原理，水流速度与水面高度有关，单纯靠一把漏壶计时，势必影响计时的

稳定性。如果不断添水，使漏壶水面不降低，再用一个容器收集漏壶均匀流出的水，将可浮箭放于该容器中，观察箭浮起的高度也可以知道时间，这就是浮箭漏。然而，人工添水总存在间隔，添水前后，水面高度仍不免有变化。古人意识到这一点，解决的办法也很绝：用另一把漏壶来补充水量，而且为了使这把壶能均匀补水，再加入第三把壶。于是东汉出现了二级漏壶，晋代出现了三级漏壶，唐代出现了四级漏壶。渴马，就是虹吸管。用渴马引水，适于任何容器。特制的漏壶不再是必需的，但有渴马的计时器亦沿用“漏壶”之名。

保持漏壶的水面高度不变，多级漏壶不是唯一的办法。宋代的燕肃另辟蹊径，设计了有分水口的漏壶，叫做莲花漏(见图 10)。莲花漏只有两级漏壶，下漏壶侧面有一个分水管，只要上漏壶注入下漏壶的水量超过下漏壶排出的水量，高出分水口水必然分流，就可以保持下漏壶的水面稳定。

图 10 莲花漏

水运浑象既然受漏壶流水的操纵，当然也能够反映时间，水运仪象台就包括报时系统。其实，报时系统完全可以独立出来，不必与其他仪器联动，郭守敬就设计制造过一个称为大明殿灯漏的水力计时器。

在民间，最常用的计时工具是更香。均匀的更香，其长度和燃烧时间成正比。由于空气流动，湿度变化，更香的精度不会太高，但已能满足百姓的生活需要。

在军队中常用一种叫做鞞(gǔn)弹的计时工具。其原理大致为：重量相同的铜球，从相同的高度，沿竹管滚下，所需时间相同，若干个铜球交替滚下，以次数计时。鞞弹体积不大，便于携带，又不受天气影响，尤其适用于行军打仗。

现在已知，从西汉开始，就实行一天 12 个时辰的制度。每个时辰都有名称，即子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥十二地支。时辰的实质为时段而非时刻，比如，子时相当于现在的 23:00 到 1:00 之间的两个小时，丑时相当于 1:00 到 3:00，寅时相当于 3:00 到 5:00，依此类推。南北朝以后，每个时辰又细分为初、正两部分，比如，子初指 23:00 到 0:00 之间的一个小时，子正为 0:00 到 1:00，便携式赤道日晷就是按初正分为 24 个时段，与现今时刻制度不谋而合，“小时”之称也由此而来。

## 第四章

### 持续的恒星观测—恒星的数目

据统计，在流传至今的先秦著作中，散记着大约 200 多颗恒星。考虑到它们都不是天文专著，推测当时已命名的恒星应该不止这个数目。司马迁的《史记·天官书》是最早记载星数的专著，包括恒星 500 多颗。东汉初年写成《汉书·天文志》，又增加了 200 多颗，达 783 颗。东汉天文学家张衡获得的星数大大超过了以往所知，共计 2 500 颗。可惜张衡的天文著作所剩无几，他制造的浑象也没有保存下来，所以后人只知他观测的星数，而不知具体的星名和位置。

春秋战国以后，流行占星术，著名的占星家有石申、甘德和巫咸等。这些占星家一般亲自观测，然而出于占星的目的，他们只对一部分星感兴趣，所以哪一家都没有全面地描述过星空。三国时吴国的陈卓，归纳了石申、甘德、巫咸的工作，并同存异，统计出 1 464 颗恒星。这个星数一直沿用到清代，只是个别时候有一两颗的出入。二三垣二十八宿

恒星的位置并不“恒定”，只不过因为距离地球非常遥远，它们的位置变化，几百年甚至更长的时间都很难察觉出来。于是，古人在探索太阳、月亮和五大行星的运动规律时，顺理成章地把“恒定”的星空背景作为坐标参照系。

人们要建立这个参照系，必须明确恒星分布的特征。通常是把恒星划分成若干个星群，叫做星官，类似现在所说的星座。每个星官的星数不同，少则一颗，多则几十颗，根据它们组成的形状，被赋予相似物的名称，比如，“杵”（chǔ）三星和“臼”（jiù）四星，与实物极为相像（见图 11）。

图 11 杵和臼

有了名称的星官易于记忆，但中国的星官的数目太多，陈卓总结的 1 464 颗星就分属于 283 个星官，仍然不便于辨认，这就需要更高层次的划分。《史记·天官书》曾把可见星空分成五大天区，叫五宫。中宫是指北极附近的星空，除中宫以外的天空，以春分那一天黄昏时的观测为准，按东、西、南、北分为四宫，每宫又派生出七宿，共二十八宿，所有星官包括在中宫和二十八宿中，成为大单位下的小单位。虽然司马迁以后，星官数、星数都有很大变化，但基本框架已经成形。下面的表格是以陈卓星表统计的。

四象宫名宿名星官数星数苍龙东宫角亢氐房心尾箕 46186 玄武北宫斗牛女虚危室壁 65408 白虎西宫奎娄胃昂毕觜参 54297 朱雀南宫井鬼柳星张翼轸 42245 当太阳出现时，由于地球表面大气的散射作用，它的明亮遮掩住所有的恒星，使人无法判断其位置。古人注意到，月相实质上显示了月亮和太阳的位置关系。比如，满月时，太阳与月亮相对，太阳西面落下的同时，月亮从东面升起；上弦月时，太阳与月亮相差 90°，太阳落下时，月亮应当在头顶上方。观测月亮在恒星中的位置，可以倒推太阳的位置，所以，中国古代很重视研究月亮的运行规律。

二十八宿是怎样形成的？为什么偏是二十八而不是其他的数目？古印度也有过用 28 份划分黄赤道天区的历史，称为 28 个月站。而“宿”字与“月站”具有相同的含义，二十八宿的本义应该是月亮运行中的二十八个宿营地。事实上，月亮的恒星周期为 27 32 日，假设月亮每天走一宿，不能说不符合推测。然而，中国二十八宿的距度值是不等的，大的达 33°，小的只有 1°，这种不等的规定显然有违于月站的含义。不过，在先秦文献中可以发现二十八宿等间距分法的痕迹。究竟是什么导致了二十八宿不等间距的情况，始终是一个谜。

中宫后来又分成三个区，即紫微垣、太微垣和天市垣。垣，就是墙的意思。由于这三个天区都有像围墙一样的星官，所以这样命名。

## 天区星官数星数中

宫紫微垣 37163 太微垣 2078 天市垣 1987 将全天星空分配于三垣二十八宿，从《史记·天官书》就开始了，但三垣和二十八宿的划分不是一次完成的，直到唐代的天文启蒙读物《丹元子步天歌》，才第一次较全面地以三垣二十八宿概括全天可见星空。

## 三恒星的位置

专门记录恒星位置的书叫星表。中国已知最早的星表保存在《开元占经》里。《开元占经》是唐代著作，而它收录的这份星表是战国时的石申及其门徒所测，共有 121 颗星。

恒星位置的测量是中国古代天文学家的常规工作。作为衡量其他恒星的标准恒星，各个星官距星的入宿度和去极度，就成了每次测量的重点。作为天文观测坐标的二十八宿的方位，历代天文学家更重视对它进行精密测定。李淳风在唐代贞观年间(627—649)的观测，发现了二十八宿的距度值与前代不同，但出于某种顾虑，他仍然使用汉代太初历的数据。100 多年后，一行遇到同样的问题，他没有怀疑自己的测量结果，果断地采用了新数据。宋皇祐年间(1049—1054)的观测，记录下 345 个星官距星的入宿度和去极度，是清初西方星表引入以前现存星数最多的星表。宋代姚舜辅为了编纂《纪元历》，于崇宁年间(1102—1106)进行了一次观测，这次观测精度很高，测量误差只有  $0 \sim 15^\circ$ ，二十八宿距度被再次更新。元代郭守敬既精于仪器制造又精于天体测量，他的观测精度较之姚舜辅又提高了一步：二十八宿距度的平均测量误差小于  $0 \sim 1^\circ$ 。

陈卓之后，各代天文学家对 1 464 颗星以外的其他星都不予重视，而郭守敬对这些无名星进行了系统的观测，并编入了星表。很遗憾，他的星表长期失传。直至 20 世纪 80 年代，才有人从北京图书馆(现国家图书馆)善本书库明抄本《天文汇钞》中，查出书名为《三垣列舍入宿去极集》的书，未署作者名。经研究确认为郭守敬星表。与郭守敬同时代的赵友钦创造了恒星观测的新方法，即利用上中天的时间差来求恒星的赤经差，与现代的子午观测原理完全一致。

南北朝时，祖冲之的儿子祖暅(gèng)发现北极星并不在北天极，而是离北天极有一度多的角距离。600 年以后的沈括则测为三度多，沈括把这两数的差异，归咎于祖暅的观测不够准确。

其实，不管是二十八宿距度的变化，还是北极星的偏极，都是岁差造成的。虽然古代天文学家已发现这种现象，而且不厌其烦地修正、观测、再修正，但是没有人对此作出任何解释，没有人去探究发生这种变化的真正原因。

星图，是恒星位置的形象记录。中国古代星图大致上有两种，一种是示意性星图，常常绘制在古代建筑物或墓穴内壁上，如五代吴越国文穆王钱元瓘(guàn)墓室的顶部和汉代武梁祠的石碑上都刻画有星象。这种星图只起装饰作用，所以比较粗糙、简略，根本谈不上准确性。星象也往往是不全的，有的只是部分天区，甚至一两个星官。另一种星图则是为天文学家所用，为查找和计算恒星位置而绘制。所以这种星图准确性高，记录的星象比较完整。但从已知星图看，第二种星图远远少于第一种，而且唐代以前的几乎没有。

东汉蔡邕(yōng)的《月令章句》记叙了汉代星图的大致结构，根据这段文字可复原当时的天文星图(见图 12)。该星图是圆形的，以北天极为中心，向外三层红色同心圆分别为内规、赤道和外规。内规相当于北纬  $55^\circ$  的赤纬圈，表示内规以内的天区，总在地平线以上，全年都可看到。外规相当于南纬  $55^\circ$  的赤纬圈，表示外规以外的天区，总在地平线以下，全年看不到。从内规外规的度数分析，此星图曾用于中原地区。

图 12 东汉星图

天球是三维体。但中国古代还没有掌握把它投影到二维平面上的技术。在图 12 中，与北天极不等距的黄道应该是一个椭圆形，却被画成正圆形。在绘有赤道以南星象的圆形星图中，这种变形更为明显。大约在隋代，出现了一种用直角坐标投影的长条星图，称为横图。在横

图上，虽然赤道附近的星象接近真实，天极周围的星象却发生歪曲。解决这个问题的最好办法就是分别绘制：用横图表现赤道附近的星象，用圆图表现天极附近的星象，宋代苏颂所绘的一套星图正是采用这种手法的代表作(见图 13)。这套星图出自苏颂的《新仪象法要》，图中所标二十八宿距度值，与他在元丰年间(1078—1085)的观测记录相同，说明此星图是他根据实际观测绘制的。

图 13 苏颂横图

清代的星图，把天区扩展到南极附近，其与陈卓星表相合的有 277 个星官 1 319 颗星，另外新设 23 个星官 130 颗星。新增加的星中，绝大部分在中国看不到，是根据西方星表补充进来的。

#### 四天文导航

在茫茫大海上航行，周围没有任何带特征的景物，怎样判断船体所在的位置？现代导航技术发明之前，只能靠观测星象。

《淮南子·齐俗训》说：“夫乘舟而惑者，不知东西，见斗极则寤矣。”是说在大海之中航行分辨不清方向时，可凭北斗星来辨明。这是中国最早的航海天文记载，它表明早在汉初时，天文导航的技术已普遍应用了。

宋代朱彧(yù)在《萍洲可谈》里写道：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦则观指南针。”然而观察太阳和指南针，充其量只能判断行船方向，却不可能知道地理经纬度。

图 14 郑和航海图(局部)明代郑和下西洋，途经南海、马六甲海峡，到达印度洋西岸，《郑和航海图》以图的形式描述了郑和航海的全过程(见图 14)。我们从图中得知，不同的定位方法分别用于三个阶段，第一个阶段从苏州到印度尼西亚苏门答腊岛的北端，由于船队右傍海岸近海航行，所以仅用指南针就可定位。第二个阶段从苏门答腊往西到锡兰(今斯里兰卡)，船队一直西去，纬度变化不大，加上距离不算太远，故以指南针为主，星象观测为辅。第三个阶段从锡兰到非洲东海岸，横穿印度洋，船向稍有偏离，就会远离目的地，这时候只能完全靠星象定位了。《郑和航海图》还有一组附图，叫《过洋牵星图》。图中详细标出了船队穿越印度洋时，所见星的方位和地平高度。

在指南针没有用于航海以前，靠日、月、星辰的出没来判断方位。至于地平高度，由于船体随海浪颠簸起伏，不能使用必须水平放置的地平经纬仪，所以船员一般用手掌或手指比量。当然，这种方法是很粗糙的。