



总顾问 费孝通 总主编 季羨林 副总主编 柳斌

中华万有文库

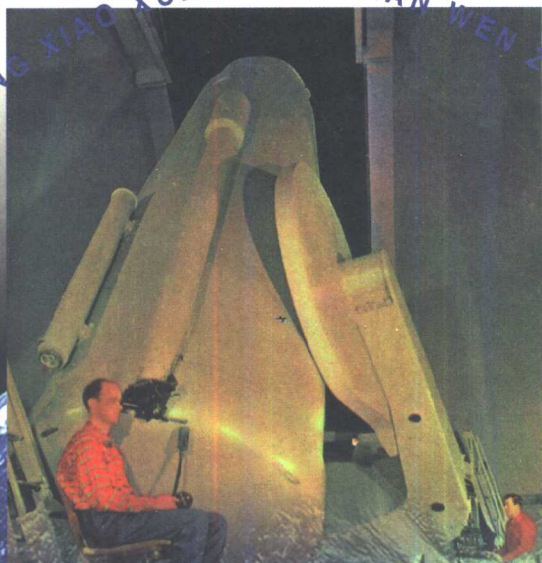
科普卷

中小學生天文知識

千里眼与顺风耳

—天文观测的方法

ZHONG XIAO XUE SHENG TIAN WEN ZHI SHI



北京科学技术出版社
中国社会科学出版社

中华万有文库

总 顾 问 费孝通

总 主 编 季羨林

副总主编 柳 斌

科普卷·中小学生天文知识

千里眼与顺风耳

——天文观测的方法

《中小学生天文知识》编委会

主 编	王波波	曹振国		
副主编	魏富忠	胡向阳	向 英	
编 委	王波波	曹振国	魏富忠	胡向阳
	赵文博	谭业武	齐小平	齐旭强
	岑 锋	张 敏	葛智刚	项 华
	王辅忠	吴先映	向 英	

北京科学技术出版社

中国 社会 出版 社

中 华 万 有 文 库

图书在版编目 (CIP) 数据

中小學生天文知識/季羨林總主編. --北京:北京科學技術出版社, 1997. 10 (中華萬有文庫·科普卷)

ISBN 7-5304-1873-4

I. 中… II. 季… III. 天文学-基本知识-
青少年读物 IV. P1-49

中國版本圖書館 CIP 數據核字(97)第 23749 號

科普卷·中小學生天文知識

千里眼與順風耳

主編 王波波 曹振國

北京科學技術出版社 出版
中國社會出版社

北京牛山世興印刷廠印刷 新華書店經銷

787×1092 1/32 5.5 印張 102 千字
1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷
印數: 1-10000 冊

ISBN 7-5304-1873-4/Z·922

定價: 120.00 元(全套 20 冊)單冊定價: 6.00 元

中华万有文库

总 顾 问 费孝通

总 主 编 季羨林

副总主编 柳 斌

《中华万有文库》编辑委员会

主 任： 刘国林

秘书长： 魏庆余 和 龚

委 员：（按姓氏笔画为序）

王 斌	王寿彭	王晓东	白建新
任德山	刘国林	刘福源	刘振华
杨学军	李桂福	吴修书	宋士忠
张 丽	张进发	张其友	张荣华
张彦民	张晓秦	张敬德	罗林平
封兆才	和 龚	金瑞英	郑春江
单 瑛	侯 玲	胡建华	袁 钟
贾 斌	章宏伟	常汝吉	彭松建
韩永言	葛 君	鞠建泰	魏庆余

《中华万有文库》

总序言

本世纪初叶，商务印书馆王云五先生得到胡适之、蔡元培、吴稚晖、杨杏佛、张菊生等 30 余位知名学者、社会贤达鼎力相助，编纂出版了《万有文库》丛书。是书行世，对于开拓知识视野，营造读书风气，影响甚巨，声名斐然，遗响至今不绝。

1 千多年以前，南朝学者钟嵘在《诗品》中以“照烛三才，晖丽万有”来指说天地人间的广博万物。今天，我们全国各地的数十家出版发行单位与数千名作者以高度的历史责任感，联袂推出《中华万有文库》，并向社会各界读者，特别是青少年读者做出承诺：传播万物百科知识，营造益智成功文库。

我们之所以沿用《万有文库》旧名，并非意图掠美。首先，表明一个信念：承继中国出版界重视文化积累、造福社会、传播知识的优秀传统，为前贤旧事翻演新曲，把旧时代里已经非常出色事情在新时代里再做出个锦上添花。其次，表明我们这套丛书体系与内容的鲜明特点。经过反复论证，我们决定针对中小学生在提倡素质教育的需要和农村、厂矿、部队基层青年在提高基本技能的同时还要提高文化与科学修养的广泛需要，以当代社会科学与自然科学的基础知识为基本立足点，编纂一套相当于基层小型图书馆应该具备的图书品种数量与知识含量的百科知识丛书。万有的本意是万物，百科知识是人类从自然界万物与社会万象之中得到的最重要的收获，而为表示新旧区别，丛书之名冠以中华。这就是我们这套丛书的缘

起与名称的由来。

《中华万有文库》基本按照学科划分卷次,各卷之下按照内容分为若干辑,每一辑大体相当于学科的2级分支,各卷辑次不等;各辑子目以类相从,每辑10至100种不等,每种约10数万字,全书总计300余辑3000余种。《中华万有文库》不仅有传统学科的基本知识,而且注意吸收与介绍相关交叉学科、新兴学科知识;不仅强调学科知识的基础性与系统性,而且注重针对读者的年龄特点、知识结构与阅读兴趣而保持通俗性和趣味性;不仅着眼于帮助读者提高文化素质与科学修养,而且还注重帮助读者提高劳动技能和社会生存能力。

每个时代中的最大图书读者群是10至20岁左右的青少年。每个时代深远影响的图书,是那些满足社会需要,具有时代特点,在最大读者群中启蒙混沌、传播知识、陶冶情操、树立信念的优秀图书。我们相信,只要我们扎扎实实地做下去,经过几个以至更多的暑寒更迭,将会有数以百万计的青少年读者通过《中华万有文库》获取知识,开阔眼界,《中华万有文库》将在他们成长的道路上留下明显的痕迹,伴随他们一同走向未来,抵达成功的彼岸。

海阔凭鱼跃,天空任鸟飞,凭借知识力量,竞取成功,争得自由。在现代社会中,没有人拒绝为获取知识而读书,这是《中华万有文库》编纂者送给每位读者的忠告。追求完美固然是我们的愿望,但世间只有相对完善,《中华万有文库》卷帙庞大,子目繁多,难免萧兰并擷,珉玉杂陈。这些不如人意之处,尚盼大家幸以教之。我们虚心以待。是为序。

《中华万有文库》编委会

目 录

最早的天文仪器	(1)
天象、物候的启发	(1)
最早的天文仪器——圭表	(2)
中国古典文明的象征——浑仪和简仪	(5)
欧洲古典测角仪器	(6)
凭“肉眼”发现了太阳系	(8)
新思想需要新仪器	(11)
望远镜——人类的千里眼	(14)
光的直线传播	(14)
透镜放大功能的发现	(17)
伽利略与他的望远镜	(19)
亚里士多德的“月亮”	(20)
伽利略望远镜里的天空	(22)
伽利略望远镜里的行星详情	(28)
伽利略望远镜中的太阳	(31)
宗教法庭对伽利略的迫害	(33)
开普勒与望远镜	(34)
测天体大小的方法	(39)
折射望远镜与色差	(41)
牛顿的发现	(43)

反射望远镜的优势	(44)
大型化的反射望远镜	(48)
折射镜东山再起	(50)
大型光学望远镜的建立	(53)
太空中的望远镜	(55)
重要的天文仪器——钟	(56)
照相术在天文观测中的应用	(63)
照相术最初的应用	(64)
照相术在搜寻小天体中的作用	(67)
星海找“老九”	(71)
星光的奥秘	(75)
光的成分分析	(75)
元素与特征光谱	(75)
太阳的光谱	(77)
恒星光谱	(80)
慧星的光谱	(81)
光的多普勒效应	(82)
氮元素的发现	(83)
巧妙的摄谱仪	(84)
北斗第六星奇观——奇怪的双谱线	(86)
我们的星系也在转动	(89)
膨胀的宇宙	(90)
射电望远镜的出现	(93)
来自天际的电波	(93)

战争中诞生的雷达	(95)
雷达与射电望远镜	(100)
巨型射电望远镜	(109)
射电成像技术	(114)
红外天文观测	(116)
X 射线望远镜	(118)
走出地球观天象	(123)
气球与天文观测	(123)
火箭的发展	(126)
火箭上的天文仪器	(129)
卫星上的天文仪器	(130)
飞向行星的使者	(138)
空间开发与宇宙观测	(143)
大型空间望远镜	(146)
地面探测技术的进步	(153)
光电成像方法	(153)
观测和测量自动化	(156)
傅里叶变换分光术	(157)
斑点干涉测量	(158)
多镜面望远镜	(161)
奇异的中微子探测	(162)
探测宇宙线粒子	(164)

最早的天文仪器

天象、物候的启发

白天，太阳高挂天际，光芒万丈；夜晚，繁星布满苍穹，熠熠生辉；月亮时圆时缺，洒下柔和的月光。这种昼夜交替的现象，对远古的人们来讲也是显而易见的。因此日（一昼夜）的概念很自然地就产生了。

缺乏人工照明的古人，对月亮的圆缺自然非常关心。月夜，四周的景物历历在目，无月的夜晚即使满天星斗也是一片漆黑。古人通过长期的观察一定会发现，月亮从圆到缺再复圆，有明显的周期性，大约是 29 天到 30 天，这就是一月，这一概念的建立大概也是很早的。

建立“年”的概念就不那么容易了。旧石器时代的人们，其主要的生产活动是捕捉野兽和采集野果，他们虽然也逐渐感到草木枯荣、动物繁衍、寒来暑往等等都是具有周期性，但这样一个周期（“年”）究竟有多少天是算不清楚的。由于他们所获取的对象都是自生自长的，哪儿有就到哪儿去，这种狩猎和采集经济也并不迫切的要求他们弄清“年”的长度。

大约在大六七千年前，在中亚底格里斯河和幼发拉底斯

河的两河流域，我国的黄河流域和长江中游，埃及的尼罗河流域和南亚的印度河流域，先后进入了新石器时代，人们开始从原始的狩猎和采集经济向原始的畜牧业和农业过渡。牲畜的繁殖与农作物的生长都与气候紧密相关，这要求人们必须去弄清何时该播种，何时该收藏，这种社会需要迫使原始的历法得以产生。最早的历法，可能是一种物候历，即通过草木枯荣、动物回归及寒来暑往的规律大体确定季节，它对一年有多少天，还没有明确的数量概念。

要确切知道一年有多长，必须有一个可资起算的明显象征。物候现象是不准确的，例如若以燕子回归为起算点，从今年第一次见到燕子到下一次再见到燕子归来是一年，可是每次燕子回归的间隔很可能是不一样长的，其差别大的可达五六天之多。这种起算点很不理想。也许，古时的人们就已经发现，树影的长短不仅每天时刻变化，而且不同季节也不一样。冬天的中午，太阳在南天的低空中，树影很长；夏天的中午，太阳在头顶上照耀，树影很短。树影的这种变化启发了古人，当人们从利用天然物的影长到在地上竖立一根竿子来观测日影的时候，认识论上的一次质的飞跃发生了。这一飞跃就是人们创制了一种最简单的天文仪器——圭表。

最早的天文仪器——圭表

最初很可能就是地上竖一根竿子，从竿影的变化计

量时间和判断季节，后来为了便于计量影长，干脆在地上刻画尺寸，如此圭表的两部分就具备了：直立的是表，南北方向平放的尺是圭。在我国，圭表的创制年代已不可考。相传早在 3000 多年前周公就在阳城（今河南省登封县告城镇）设立 8 尺高的表来测影了。

圭表不但简单，而且可以有多种作用。例如：

1. 可以定方向 方法有多种，如在平地上画一圆圈，在圆心甲处直立一表（图 1），早晨看影端正落在圆圈上的一点，做下标记乙，傍晚再看影端又落在圆圈上的一点丙，丙乙的连线即是东西向，取丙乙的中点丁，则甲丁即为南北方向。

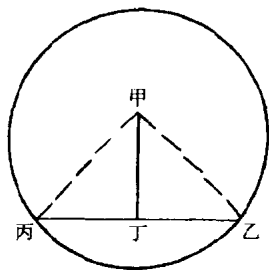


图 1 用圭表定方向示意图

2. 可以定节气 中国古代历法中都有各节气的影长数据，说明古人曾以圭表来定节气。其法是每日中午测表影的长度，由于太阳在正南方的地平高度逐日变化，所以每日中午的表影长度也是不同的。而中午的表影长同节气之间有对应关系，因此只要测得表影长度即可知道到了什么节气。

3. 可以定回归年的日数 中午表影的长度是一个客观的象征，古人选择了冬至日做为计算年的起算日，因为这一天太阳在南方天空中的地平高度最低，表影也最长，称为“日南至”。从前一次“日南至”到下一次“日南至”的

天数，就是回归年的日数。这样观测到的数值只能是整数天。由于冬至日前后表影长度的逐日变化不大，难以精确判断，回归年的日数也不正好是整数，所以误差也可能有一二天之多，但古人用多年的观测数值取平均值，从历史上记载的某日“日南至”，到最近的一次“日南至”之间共有多少天，经历了多少年，这样取平均后获得回归年的日数。由于所取的相隔年数往往总是几百甚至上千年，因而误差大大减小。南宋时的杨忠辅（1199 年）求得年长为 365.2425 日，同当时的回归年值仅差 20 秒，可见其精度很高。

4. 可以定一日内的时刻（地方真太阳时） 将圭表稍加改进，即可做成日晷，利用地球自转引起的太阳周日视运动，可确定时刻。在圆盘的中心立一表，即为晷针，圆盘即为晷面。在晷面上刻划时刻线，日影到了什么刻线上即是某时刻。由于圭表和日晷结构简单，用途广泛，在我国和其他一些国家中，古代人们都建造了大量圭表和日晷，形式多种多样。有赤道式、黄道式、地平式，也有仰式。

为了提高圭表测影的精度，我国元代天文学家郭守敬还创制了 40 尺高表和景符。表高了影就长，使影长的测量误差相对减小，但表高了表影端点的界线变得模糊，为了克服这一问题，设计了景符。它是利用小孔成象的原理，把高表顶端的横梁像清晰地投影在圭面上，用现在复制的景符在登封观星台高表进行实测，结果表明影长的测量精度可达 2 毫米左右，相当于所测太阳高度的误差小于 1 角分。

这可算得上古典仪器测量精度的最高水平了。

有了年、月长度的较精确数据后，编制较好的历法便成为可能。早期天文学的研究项目除了实用的历法之外，还有天体的位置和运动之类。为了描述天体的位置和运动，世界各民族都利用了角度的概念，相应地都创制了测角仪器。

中国古典文明的象征——浑仪和简仪

太阳、月亮和五大行星在似乎恒定不变的星空背景上运动，对于从地球上观看的人来说，角度是最方便的描述手段。

我国古代最早的测角仪器是什么样子已很难考证。1977年在安徽阜阳出土了一件西汉文物，给了我们一点启示。这件文物由上下两圆盘组成，中间有通孔相连，上盘边缘一周刻300多个小孔，下盘边缘刻有中国古代二十八宿的名称和各宿在天空所占的赤道广度。上盘面上还刻有象征北斗七星的星象，北斗中第五星玉衡正位于圆盘的中心。从中心又有十字交叉线画于盘面。中国古代分全天为 $365\frac{1}{4}$ 度，上盘的300多小孔应是相应于此数，这件器物启发我们想到该盘可能同古代测角的工具有关。

流传到现在的我国古代测角仪器是浑仪。浑仪是一种立体的测角仪器，它有几个象征子午面、赤道面、地平面的圆环，互相套装着，中间有一根窥管，通过管子可以看见天上的星，窥管可以在环圈内转动，以便指向天上任何

位置的星。只要在窥管内看见要测的星，窥管在刻有度数的环圈间的位置就是该星的位置了。作一次测量就可以在子午圈、赤道圈、地平圈上得到多种数据。

浑仪的出现使古代天文学家能较为精确地测定恒星的位置，并了解日月行星在天球上的视运动，也使描述天上出现的彗星、流星、客星的位置有了准确的依据。这是使古代天文学得以发展的重要基础。因此，浑仪受到了历代天文学家的重视，不断地得到改进。到了宋代，代表各种坐标系统的环圈越来越多，这使一次观测可以得到许多数据，但也带来了问题。即环圈遮掩了不少天空，使许多天体不能观测。

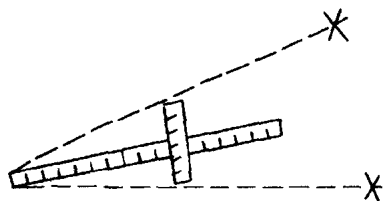
郭守敬对浑仪作了根本的改革，他创制了简仪，把赤道坐标和地平坐标分开，成为两个独立的部分，每一部分各有一个望筒，分别得到天体的地平坐标的赤道坐标。简仪测量精度高，不遮掩天空，转动灵活，使测角水平进一步提高了。

欧洲古典测角仪器

正当东方的民族利用自己发明的各种仪器进行天文观测的时候，欧洲各民族也独立地创制了许多仪器，发展了欧洲古典天文学。其中古希腊的天文学曾取得了极辉煌的成就，甚至在现代科学中还有其深刻的影响。古希腊天文学最大的特点是几何概念明确，他们用一根木尺再附加一

根垂直的小尺做成简单的测角工具。小尺可以在长尺上前后移动，通过小尺的端点观测二个天体，它们之间的角距可通过三角关系换算出来（如图 2）。在欧洲的许多古籍中我们可以看到，他们用这种简单的仪器测山高，测井深，也用来进行天文观测。

欧洲古典浑仪既有自己的特点，也同中国古代的浑仪有相似之处。相同的是环圈相套，



中间安装有观测天体的照准器——窥管。不同

图 2 欧洲古典的测角仪器，利用长尺和短尺的三角关系计算角度

的是欧洲多采用黄道坐标，在南北方向的子午圈内安置以黄极为转动轴的黄纬圈，黄纬圈内装置平行于黄道面的黄道圈。可以通过一次观测求得天体的黄纬，通过计算后求得黄经。在托勒密的《天文学大成》第五卷中阐述了这一黄道浑仪的结构，可见它在欧洲也很早就创制出来了。后来，著名丹麦天文学家第谷在汶岛建立庞大的天文台——观天堡，创制了许多天文仪器，其中既有黄道浑仪，也有赤道浑仪。

为了进行子午观测，欧洲人创制了独特的墙仪，在南北方向的墙上安装窥管，这正好位于子午面内，通过观测天体过子午圈的时刻可以求它的经度，也可以从墙环上读出天体的地平高度或赤纬、黄纬。现代的中星仪，子午环也是利用同样的原理进行观测的。此外，还有进行地平观

测的象限仪，窥管仅在 90° （一个象限）范围内转动，用以测量天体的天顶距，转化为地平高度。还有将象限仪固定在墙上的墙象限仪，其观测原理也是相似的。

除了这类环圈式的仪器，在欧洲古代了也出现过另一类三角架式的天文仪器。在一根垂直竖立的柱上安装两根有刻度的尺，上一根的端点可以在下一根上滑动，立柱也可以转动，通过两根尺子的配合和立柱的转动可以使上尺指向天上任何方向的天体，经三角换算可得天体的位置。这是一种地平装置，使用起来也很方便。别看它十分简单，许多伟大的天文学家如哥白尼、开普勒都曾使用过它们。在开普勒当年的居室走廊上至今还保存着这一仪器。

古典天文仪器给天文学提供了大量观测资料，他们在这些资料的基础上不仅编制了历法，预报日月食的来临，还研究行星的运动和天地的结构，其中最重要的成就要算建立科学的太阳系概念了。

凭“肉眼”发现了太阳系

我们说望远镜以前的天文仪器都属于古典的范畴，它们都是用肉眼直接观看的，加上这些古典仪器也能有数量化的表述。自古以来，人们看到了似乎是永恒不变的星空背景，只有日月轮番照耀，五大行星徘徊于星座之间。无论是中国还是外国，各民族相互独立地得到了地球在宇宙中心的看法，地心体系是人们认识天地结构的第一个总结。