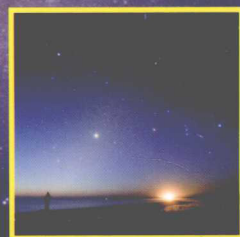
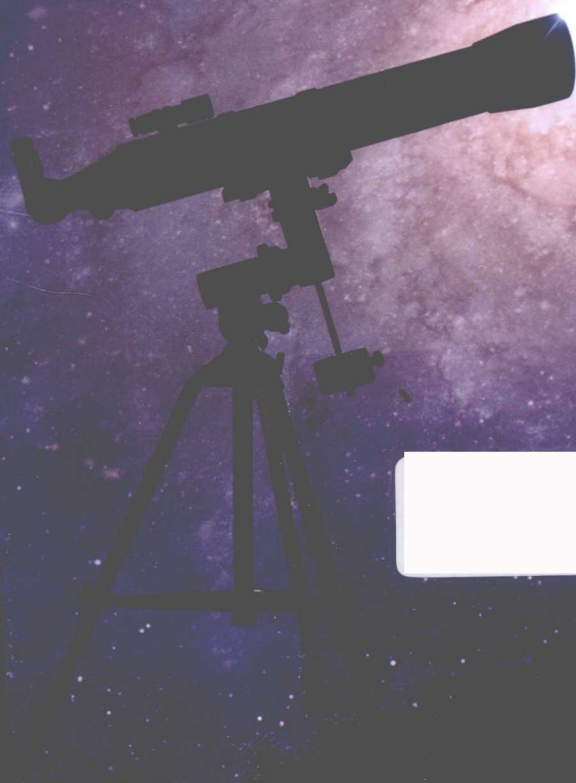


宫健◎主编 李轻舟 刘睿哲◎编著

天文观测 完全手册



手把手教你玩转天文观测与天文摄影,从入门到精通

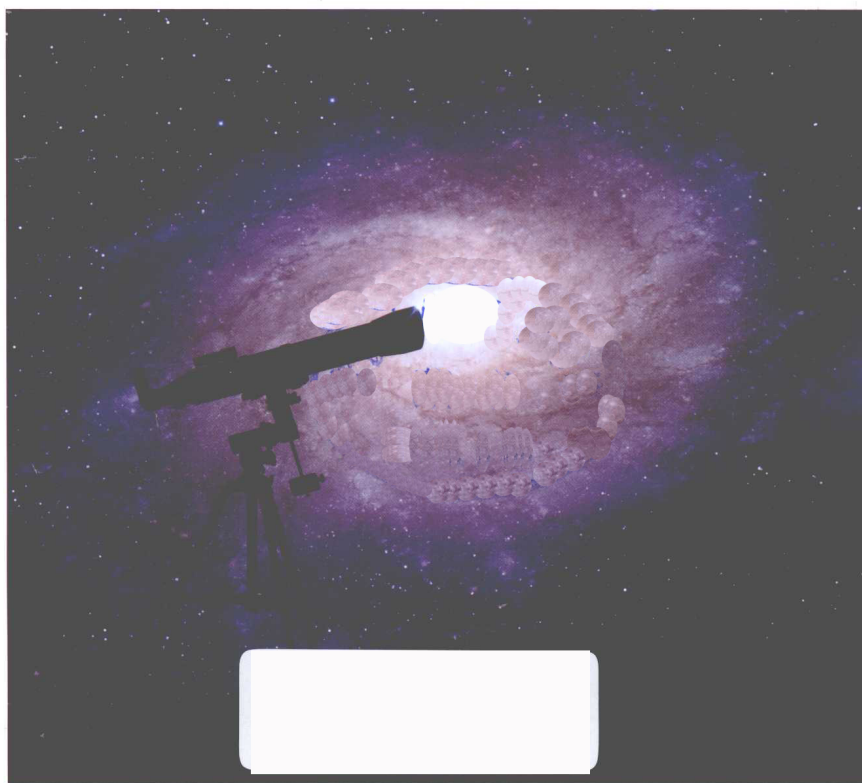
北京师范大学李小文院士、中国科技信息研究所武夷山研究员、中科院高能物理研究所邢志忠研究员、
中科院成都山地所李泳研究员、科学网知名博主王春艳博士 鼎力推荐!



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

天文观测 完全手册

宫健◎主编 李轻舟 刘睿哲◎编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

天文观测完全手册 / 宫健主编 ; 李轻舟, 刘睿哲编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2015. 2
ISBN 978-7-115-37673-2

I. ①天… II. ①宫… ②李… ③刘… III. ①天文观测—手册 IV. ①P12-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第289104号

内 容 简 介

本书针对天文爱好者,以天文观测为主线,兼顾天文摄影,从我们最熟悉的太阳系讲起,详细介绍了天文观测相关的各种装备、知识、观测技巧和实际操作,既包括天文观测的历史,也包括流星雨、日食、月食、太阳黑子等现象的天文观测实践指南,还介绍了各类观星器材在实际拍摄时的注意事项和拍摄技巧,能满足天文爱好者从入门到精通的各种观测需求。

-
- ◆ 主 编 宫 健
编 著 李轻舟 刘睿哲
责任编辑 刘佳娣
责任印制 程彦红
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京市雅迪彩色印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15
字数: 326 千字 2015 年 2 月第 1 版
印数: 1-4 000 册 2015 年 2 月北京第 1 次印刷
-

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010) 81055410 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

前言

物含妙理，天行有常。

18世纪的德国哲学家伊曼努尔·康德曾在《实践理性批判》一书中写下：“世界上只有两件事物值得我们与日俱增的永恒敬畏：一个是我们头顶的灿烂星空，另一个是我们心中的道德律令。”

天文观测是一个古老的命题。扎根于观测的天文学是一个蓬勃发展的事业，它既是一个前沿的科研领域，也是一个重要的科普阵地。从哥白尼、伽利略到现代的伽莫夫、霍金，天文学观测与认识的重大进步伴随着面向公众的传播普及，不断变革着我们的世界观，成为历次科学革命的先导。另一方面，积极的科技文化日益渗透到社会生活的方方面面，越来越多的朋友加入到天文观测活动中来，成为天文爱好者或业余天文学家的一员。他们遍布五湖四海，充满活力，其社团也已成为天文学专业人才的预备队，极大地活跃着天文学文化，对科学与社会的进步起重要的意义。

本书正是一部关于天文观测与天文摄影的实践指南。为适应业余天文观测的需要，在兼顾读者不同知识背景的基础上，本书以观测为主线，点缀相应科学文化背景，略去天文学或专业天文观测的理论体系，对观测中所需的数学、物理知识作简要交代，把重点放在介绍实际的天文观测经验和天文摄影技巧。除了介绍天文观测所需的装备、观测流程、四季星空的星座观测、天文摄影的装备及拍摄技巧等知识，让天文爱好者掌握全面实用的观测入门知识和天文摄影技巧外，还特意通过10个典型的天象观测案例，为读者提供从基础到实战、从入门到精通的观测实践指导。

本书分为5个章节。

第一章“以镜观天四百年”从伽利略发明天文望远镜引入，讲述了观测对天文学的重要意义与天文观测的历史发展，简要介绍了天文研究的前辈和探索者。

第二章“准备好了吗？”为读者扼要介绍了业余天文观测所需最基本的理论知识，包括最简

单的肉眼观测、天文望远镜等装备基本原理以及业余天文观测的一般流程，并为广大天文爱好者推荐了我国服务于天文科普的公共天文台资源。

第三章“四季星空观测指南”结合适用于天文爱好者的电子星图与实用天文软件介绍天区与星座的辨识。

第四章“带上你的相机，出发！——天文摄影入门”为有条件的天文爱好者介绍天文摄影的入门知识。除了必要装备、摄影流程、相片处理与分享外，还专门介绍了可用于业余天文摄影数码相机的经典机型与最新机型供不同需要的读者选择。

第五章“天象观测指南”为读者选择了易于操作的一系列天象观测，结合科学文化与科学史资料，着重介绍相应天文学知识背景、实际观测经验与注意事项。

除此之外，书末的附录、主要参考文献与推荐阅读，还为天文爱好者提供了进行观测所需的数据查阅，以满足爱好者更深入地了解天文知识的需求。

在本书编写过程中，作者力求引经据典、文理结合、图文并茂、数据实用，使本书既是一本帮助读者掌握从入门到精通的天文观测与天文摄影的实用手册，也是一本关于天文观测的科学史，最终能更好地服务于天文爱好者。

本书的写作得到许多热心科普的老师关心，特别是北京师范大学李小文院士、中国科学技术信息研究所武夷山老师、中科院高能物理研究所邢志忠老师、中科院成都山地灾害与环境研究所李泳老师、潍坊学院王春艳老师和哈尔滨师范大学史晓雷老师的帮助与支持，作者在此表示衷心感谢。

限于掌握的资料，本书难免有不足之处，欢迎广大读者批评指正。

宫健

2014年11月1日

目录 CONTENTS

第一章 以镜观天四百年 / 1

一、引子：伽利略的望远镜	2
二、一切从观测出发	6
三、天文观测的发展	8

第二章 准备好了吗？ / 15

一、肉眼观测与技巧	16
二、天文观测所需的装备	27
1. 望远镜的分类 / 27	
2. 如何选择望远镜 / 31	
3. 配件目录 / 33	
三、天文观测流程	36
四、公共天文台资源	40
1. 北京天文馆 / 41	
2. 国家天文台兴隆基地 / 43	
3. 南京紫金山天文台 / 45	
4. 上海天文台佘山科普基地 / 46	

第三章 四季星空观测指南 / 49

一、星图的用途和使用	50
1. 星图与拜耳命名法 / 50	
2. 实用天文软件 / 52	
3. 星座辨识与天区定位 / 55	
二、春季星空观测	61
三、夏季星空观测	66
四、秋季星空观测	72
五、冬季星空观测	78

第四章 带上你的相机，出发吧！——天文摄影入门 / 89

一、天文摄影的分类	90
1. 天体照相仪的分类 / 90	
2. 天文摄影方法分类 / 92	
二、天文摄影的装备	95
1. 数码照相机的选择 / 95	
2. 望远镜与照相机的追踪摄影 / 98	
3. 目镜后的天体摄影 / 99	

4. 照相机镜头的选择 / 100	
三、天文摄影流程	104
1. 感光速度与光圈的选择 / 104	
2. 星轨的拍摄 / 104	
四、让你的照片更漂亮——照片处理	107
五、分享你的照片	111
1. 如何向《天文爱好者》与《中国国家天文》投稿? / 111	
2. 牧夫天文论坛、天之文论坛与宇宙驿站 / 112	
3. 国际小行星命名 / 114	

第五章 天象观测指南 / 117

一、一起去看流星雨——流星与流星雨观测	118
二、从夸父到爱丁顿——日食的观测	123
1. 日食的成因、分类和周期 / 124	
2. “2009 长江大日食” / 127	
3. 爱丁顿实验 / 132	
三、月有阴晴圆缺——月相与月食	135
1. 月球概况 / 135	
2. 月相变化 / 139	
3. 月食观测 / 143	
四、彗星观测	147
五、人造天体观测	158
六、凌日与太阳黑子的观测	166
1. 凌日现象 / 166	
2. 太阳黑子 / 169	
七、土星的“草帽”——土星光环观测 / 175	
八、木星的“胎记”——木星自转与大红斑 / 181	
九、犹抱琵琶半遮面——掩星现象 / 189	
十、黄道光与极光 / 195	

附录 / 200

附录 I 主要流星群表	200
附录 II 周期彗星表	206
附录 III 我国可见月食表 (2015~2020)	221
附录 IV 我国可见日食表 (2015~2020)	222
附录 V 深空天体与梅西耶星云星团表	222
附录 VI 前 50 位恒星亮度表	227
附录 VII 小行星表 (1~100 号)	229
附录 VIII 太阳与八大行星数据简表	232

主要参考文献与推荐阅读 / 233

第一章

以镜观天四百年

遂古之初，谁传道之？上下未形，何由考之？
冥昭瞢暗，谁能极之？冯翼惟像，何以识之？
明明暗暗，惟时何为？阴阳三合，何本何化？
圜则九重，孰营度之？惟兹何功，孰初作之？
斡维焉系，天极焉加？八柱何当，东南何亏？
九天之际，安放安属？隅隈多有，谁知其数？
天何所沓？十二焉分？日月安属？列星安陈？

.....

——摘自屈原《天问》

NGC 4414

图片来源：NASA

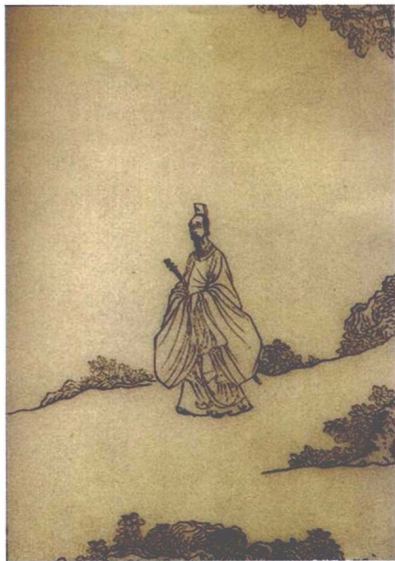


图 1-1 屈子行吟图(明)陈洪绶绘

距今 2000 多年的先秦时代，伟大的浪漫主义诗人屈原面对璀璨星河、浩渺苍穹，不禁行吟发问：洪荒景象，谁将它流传至今？天地未成，又从何处推演？浑沌不分，谁能探求根本？大气无形，如何将它认清？日夜更替，为何如此分明？阴阳参合，何为本源何为化生？天盖九重，谁来运行量度？如此浩大，最初由谁营建？天体轴绳系在何处？不动天极又在哪里？八柱如何撑天？地势为何倾向东南？九天边际，如何安放联通？天际隅角，谁能知其数量？天地在何处会合？黄道如何一分十二？日月如何高悬？众星如何陈列？……

天问，人类最古老的问题。我们一直在追寻答案的路上……

一、引子：伽利略的望远镜

公元 1609 年，夏日的一个夜晚，意大利的帕多瓦（Padova）。

帕多瓦大学的数学教授伽利略·伽利雷（Galileo Galilei，1564~1642）感到莫名的兴奋，他迫不及待地将其手中的“长筒”指向

小资料

伽利略被誉为“近代科学之父”，他开创了自然科学（特别是物理学）实验（观测）探究与数理分析的传统。

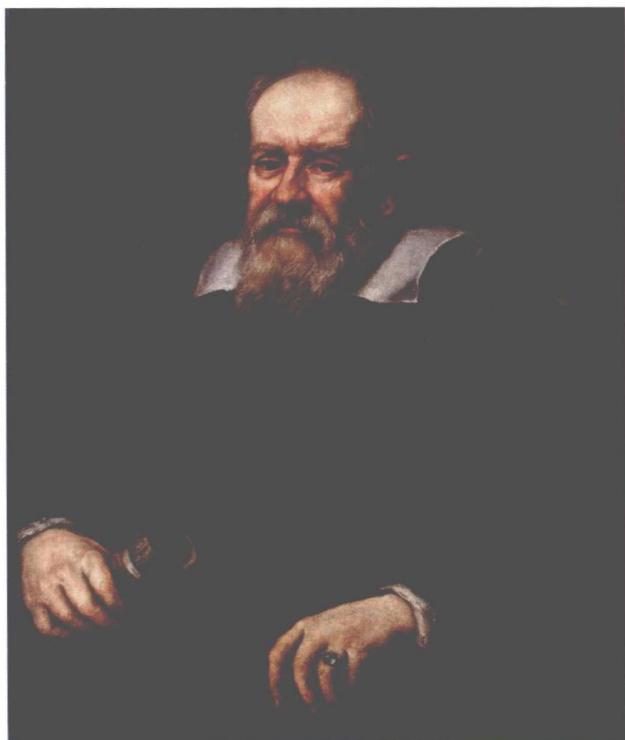


图 1-2 伽利略肖像（Justus Sustermans 绘）

夜空……

无数恒星组成的银河
月球表面的山脉与平原
太阳的黑子
木星的四个卫星
土星的光环
金星的阴晴圆缺

……

1611年，在伽利略荣任林琴科学院（Academia Linceorum）院士的宴会上，希腊数学家乔尼亚·德米亚尼（Giovanni Demisiani）根据希腊语词根“tele”（意为“远”）和“skopein”（意为“观察”）把这个古怪“长筒”命名为“望远镜”（拉丁文 teleskopein，即英文 telescope）。

晚宴上踌躇满志的伽利略也许还不知道，自己此后半生的坎坷与身后的千古荣耀将与这台望远镜密不可分。1609年夏日的那个夜晚，他向浩渺星空不经意的远望已经为人类的科学与文明悄悄开启了一个波澜壮阔的时代……

2007年，为了纪念伽利略400年前将望远镜用于天文观测的开拓性创举，经联合国教科文组织与国际天文学联合会（International Astronomical Union, IAU）的努力，联合国大会宣布：公元2009年为国际天文年（International Year of Astronomy 2009, IYA2009）。

小资料

2009 国际天文年官方网站
www.astronomy2009.org
中国大陆地区官方网站
www.astronomy2009.org.cn

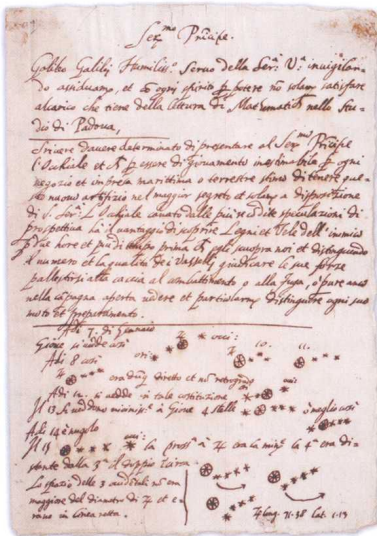


图 1-3 伽利略观测木星卫星的手稿

小资料

林琴科学院 1603 年成立于罗马，因所用徽章上有猞猁标志（取猞猁眼光敏锐之意），又称猞猁科学院或山猫科学院，是意大利科学院和梵蒂冈教皇科学院的前身。



图 1-4 林琴科学院徽章

小资料

词曲作者 Padi Boyd 女士为美国国家宇航局 (NASA) 高能天体物理实验室科学家。

本汉译发表于《科学与文化》2009 年第 7 期。蒙译者哈尔滨师范大学史晓雷老师惠允，供读者赏析。

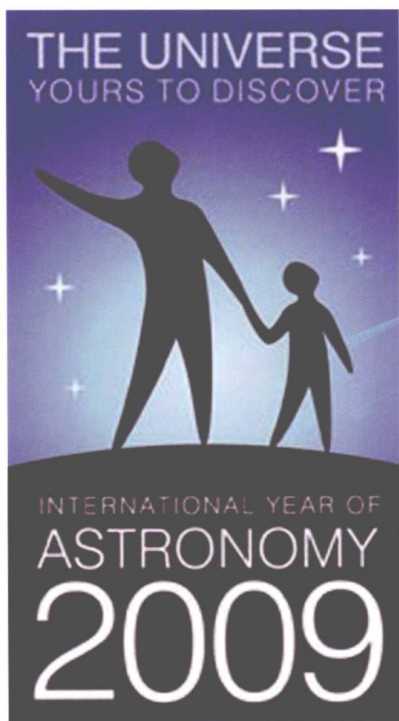


图 1-5 2009 国际天文年官方 logo

小资料

Shoulders of Giants 官方下载地址：

[http://www.astrocappella.com/songs/Shoulders OfGiants.mp3](http://www.astrocappella.com/songs/Shoulders%20Of%20Giants.mp3)

2008 年，IAU 向全球发布了天文年主题曲《巨人肩上》(Shoulders of Giants)。亲爱的读者，让我们伴随着美妙的歌曲开启奇妙的天文观测之旅……

Shoulders of Giants

巨人肩上

作曲、填词：Padi Boyd

演唱：AstroCappella

翻译：史晓雷

It was a calm and cloudless night but it was all still a blur

那是一个无风晴朗的夜晚

A shaking of our Universe was just about to occur

我们对宇宙的懵懂认识 从此地覆天翻

It was Summertime... 1609

1609 年那个夏天

when Galileo used his telescope for the very first time

当伽利略第一次用他的望远镜投向夜空

and he saw mountains and craters on the moon

他看到了月球上的环形山

and a Milky Way with thousands of stars

银河的繁星数万千

and he saw Jupiter, with four tiny moons

四颗卫星绕着木星旋

he was the only man on Earth that night who knew

那夜只有他明白

That Copernicus was right

哥白尼的理论无可争辩

come outside with me tonight

今晚和我一起来吧

and I can show you wonders of the world

让我带你去看世界的奇观

to surprise and delight

令人欣喜 令人惊叹

I've got my telescope with me

我已带上了望远镜

just wait until you see

只等你来

that on the Shoulders of Giants...

站在巨人之肩

... we'll see beyond!

我们将看得更辽远

The world turns round and round now around 400 years have
flown

自从伽利略开拓鸿蒙

since Galileo's telescope first focused the unknown
光阴过去了 400 年

Now we use bigger glass to peer into the past
如今我们用更大的透镜 洞察过去的机玄

And we're discovering the Universe's secrets at last
宇宙的奥秘 正在逐渐显现

And there are geysers on Saturn's icy moon
在土星冰封的卫星上 竟然存在间歇泉

and planets circling hundreds of stars

众行星围绕数以百计的恒星运转

while all the Universe expands like a balloon

回望伽利略的视域 我们已经走得很远

from Galileo's tiny scope we've come so far

整个宇宙像吹气球一样 不停地向外扩展

Galileo was right

伽利略是对的

when he looked out in the night

当他仰望星空

and he discovered wonders of the world

发现了宇宙的壮观

to surprise and delight

令人欣喜 令人惊叹

I've got my telescope with me

我已带上了望远镜

just wait until you see

就等你来

we'll stand on the Shoulders of Giants...

我们将站在巨人之肩

And every step follows the one before

沿着先贤的足迹

and opens up a new frontier to explore

开拓向前

our scopes are dancing in space to see the beauty and grace

为了目睹美丽和优雅 镜头的视野在天空舞旋

Oh, Galileo would approve, that's for sure

哦 伽利略无疑会赞成

And still for me and you we can join in on this too

让我们一起来吧

Just climb up here with me where we'll see more

和我一起站在巨人之肩

It's a calm and cloudless night come outside with me tonight

今晚无风晴朗 跟我一起来吧

and I can show you wonders of the world to surprise and delight

让我带你看宇宙的奇观 令人欣喜 令人惊叹

I've got my telescope with me just wait until you see (oh, wait
until you see)

我带上了望远镜 只等你来 (哦 只等你来)

we'll stand on the Shoulders of Giants (Galileo knew)

我们将站在巨人之肩 (伽利略知道)

That Copernicus was right (Johannes)

哥白尼是对的

Come outside with me tonight (Kepler found those)

今晚和我一起来吧 (约翰·开普勒站在巨人之肩, 发现了行
星的运动井然)

and I can show you wonders of the world (planetary motions on the)

我将展现给你宇宙的奇观 (牛顿站在巨人之肩, 阐释了宇宙
的普遍律典)

to surprise and delight (Shoulders of Giants)

令人欣喜 令人惊叹

I've got my telescope with me (And Isaac)

我已带上了望远镜

Just wait until you see (found his)

只等你来

we'll stand on the Shoulders of Giants (Universal Laws)

我们将站在巨人之肩

(He stood on the Shoulders of Giants...)

...to see beyond!

看得更辽远



图 1-6 工作中的天文望远镜，拉士拉天文台（La Silla Observatory）

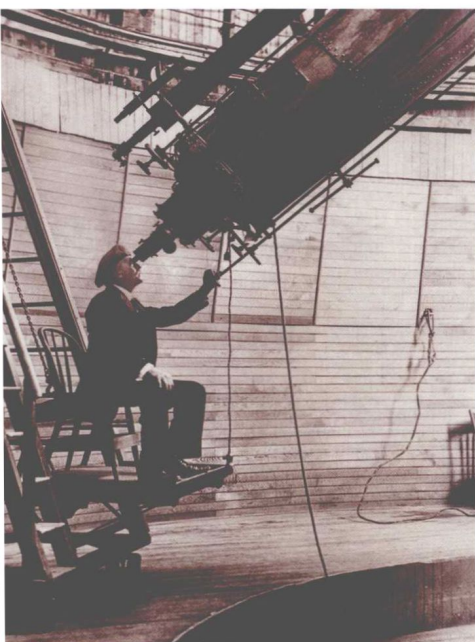


图 1-7 美国天文学家罗威尔（P.Lowell）在观测金星，罗威尔天文台（Lowell Observatory）1914

二、一切从观测出发

作为基础科学之一，天文学是一门古老的学问。它的视野是我们所处的整个宇宙，它的研究对象是广袤空间中的天体。宇宙中的天体可以释放各种辐射，诸如可见光、红外线、紫外线、无线电、高能射线等，这些不同波段的辐射携来自天体的丰富信息。数千年来，我们主要通过接收这些辐射，来判定天体的存在，测量它们的位置与运行，探究它们的组成与结构，分析它们的演化规律。

除了纯粹的理论推演（借助计算机模拟），基础科学获取信息的研究手段主要有两种：其一是可对研究对象进行主动的、可重复操作的实验；其二是对研究对象进行被动的、干涉较小的观测。第一种方法常见于物理学、化学、材料学、生物学及其相关领域，它的前提是研究对象都在人工可控的范围内，比如我们可以在实验室里布置光学元件、配制化学溶液，解剖青蛙等。第二种方法常见于天文学、地球科学、环境科学及其相关领域，除了一些辅助的实验模拟手段（比如在实验室里利用人造设备模拟日食、地震等），主要研究手段仍然是对自然现象本身的观测，因为这些研究对象一般是人力所不能及的，而单纯的实验室模拟（无论借助计算机的理论模拟，还是实验室里依靠人造设备的模拟），往往不能全面反映研究对象的信息。

天文学的研究对象，分布在广袤浩瀚的空间，生灭于源远流长的时间，其数量好比“恒河之沙”。故而观测，或者说主要依赖观测，成为了天文学研究方法的基本特点。革新固有的观测手段，发明新的观测手段，也就成为天文学一个极其重要的课题。天文观测手段的进步有助于我们获取更丰富的宇宙信息，促进人类的视野向空间和时间的深处推进。

先秦时期儒家学者荀子曾说：

故不登高山，不知天之高也；不临深溪，不知地之厚也。

——《荀子·劝学》

在我们所能观测到的宇宙中，有数以亿兆的星辰。那些百万岁

的天体，只够得上年轻人的标准，就算“燃烧”了50亿年的太阳，也不过中年。人类所在的地球，只是宇宙的天地蜉蝣、沧海一粟；我们观测到天体现象，不过是它漫长生涯的一个刹那。但就天文学观测而言，这一刹那却可以蕴含上百亿年的信息。

先秦时期道家学者庄子说过：

吾生也有涯，而知也无涯。以有涯随无涯，殆已！已而为知者，殆而已矣！

——《庄子·内篇·养生主》

一位观测者的寿命不过匆匆几十年，整个人类文明史（也是天文观测史）也不过几千年。我们无法看得更久，却可以看得更多。我们无法在数亿年的时间尺度上考察一个天体从创生到“死亡”的演化历程，但是可以在广阔的视野中观测数以亿计的不同天体。这就好像，除了自己以外，我们很难完整追踪一个人从出生到走向坟墓的全过程，却可以观察不同的婴儿、幼童、少年、青年、中年、老年来获取人类在不同年龄段的特征，进而了解演化的规律。对宇宙中的天体而言，我们根据基本的物理或化学规律（它们在整个宇宙中都适用）可以将天体的理化特征与它所处的演化阶段或者说“年龄”对应起来，由它的特征反映它的“年龄”，并可以对它的“结局”做理论上的推测。另一方面，天体的辐射在宇宙空间（近乎于“真空”）中按确定的光速行进，天体距离我们越远，辐射信息传递到观测者位置所需要的时间越长。譬如一颗距离我们10亿光年的天体发出的可见光（其他波段同理）要经过10亿年时间才能到达地球观测者处，那么观测者肉眼看到的这颗天体实际上是观测者接收到这束光的时刻回溯十亿年前的样子。也就是说，我们看得越远，就看得越早。我们在宇宙中观测到不同的位置，反映了宇宙不同年龄的状态，今日观测所及宇宙之最深处，正是宇宙年轻时的模样。

天文学家通过观测积累起来的数据或信息，建立关于天体乃至整个宇宙的理论模型。这些不同的理论模型帮助我们进一步拓宽视野，获取未知的信息，而新的信息又可以修正固有的理论模型或衍生出新的理论模型……我们对宇宙特别是自身在宇宙中位置的认识就这样随着观测视野的开拓不断深入。

三、天文观测的发展

首先是天文学——仅为了确定季节，游牧和农耕民族就绝对需要它。

——恩格斯《自然辩证法》

古代天文学家观测太阳、月亮、星辰在天空中的位置，追踪它们位置随时间的变化，总结规律，一方面具有超自然的宗教活动意义，即对自然现象背后“神”之意志的探索；另一方面在技术上为农牧业具体生产服务，即确定时间、节气和历法。人类在这个探索过程中，率先建立起天文学第一个重要分支——天体测量学。

由于学科分化并不成熟，这一阶段的天文观测杂糅了地理、水利、气象等诸多领域，主要服务于“授时”和“编历”，即时间服务和历书编算。古巴比伦、古埃及、古印度、古希腊、阿拉伯以及美洲的玛雅文明在天文观测上都有丰硕的成果，这些成果主要表现在历法方面。

在16世纪以前，古代中国的天象观测已经达到了非常高的精确度。历代帝王与政府出于神权道统和农耕生产的需要，对天象观测以及现象的解释都十分重视。在国家与社会运转中，天文观测被提升到“军国大事”的层面，由政府垄断，严禁民间私习天文。诸如

西汉的落下闳、东汉的张衡、南北朝的祖冲之、唐朝的僧一行、元朝的郭守敬等，均为古代中国杰出的天文学家。根据史料记载，他们可以设计精巧的观测仪器，通过对恒星的精密观测，不断修正改进历法，并且形成了对宇宙构造及运转机制的丰富认识。

在西方，从古希腊到中世纪，天文学家主要研究行星在天空中的运动，观测行星的位置并分析行星运动的规律，在发达的几何学基础上结合观测数据建立宇宙的数学模型。最

小资料

哥白尼的日心体系与托勒密的地心体系采用了相同的数学模型，在编算星表方面并不具备明显优势，在《天体运行论》出版发行的70多年间，并没有引起足够的重视，直到1616年才因为违背天主教教义而被罗马教廷列为禁书。经过后世第谷·布拉赫、开普勒、伽利略、牛顿等更深入的研究，哥白尼的日心体系逐步取代托勒密地心体系为大家所接受。

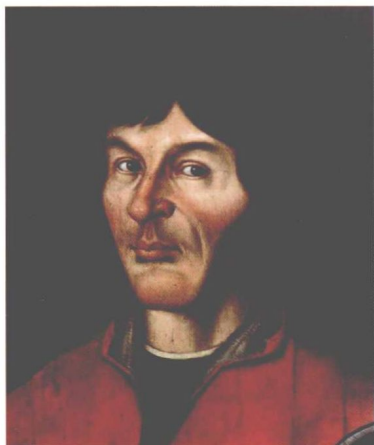


图 1-8 哥白尼肖像（1580）

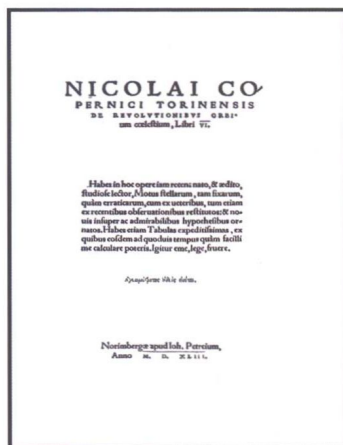


图 1-9 《天体运行论》纽伦堡出版（1543）

重要的成就体现在亚里士多德—托勒密地心模型和阿里斯塔克—哥白尼日心模型。在这段漫长的历史时期中，由于观测条件的限制，太阳系被认为是宇宙的同义词。直到公元 1543 年，波兰天文学家尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus, 1473~1543）仍然在他的著作《天体运行论》（On the Revolutions of the Heavenly Spheres）中坚持：太阳是整个宇宙的中心！——天文观测后来的发展促使我们意识到：太阳只是太阳系的中心，而太阳系只是宇宙中的“沧海一粟”。

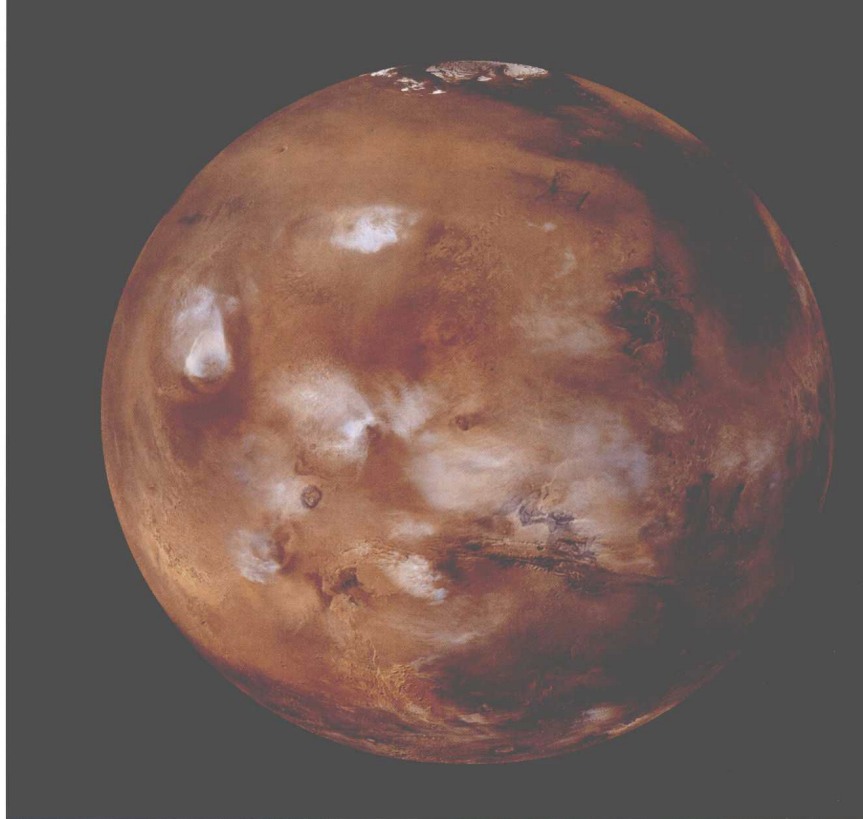


图 1-10 火星

在地心模型和日心模型的基础上，丹麦天文学家第谷·布拉赫进行了更为精密的观测与星表编算。第谷·布拉赫的助手德国天文学家开普勒（Johannes Kepler, 1571~1630）继承了他的工作，利用这些精确数据最终建立了刻画行星运动的开普勒三定律，为日心模型提供了数学依据。在天文观测的意义上，开普勒三定律的一个重要成果是成功地解释了火星运动，修正了前人方法带来的误差。火星运动有一个显著的逆行现象，这在历史上曾经让天文学家十分疑惑。根据开普勒三定律，这是行星沿椭圆轨道运动的结果：火星逆行并不表示火星真的倒退，而是由于火星和地球一起绕着太阳运行，当火星运行的轨道方向与地球不同时，在地球上观看火星，就会产生火星在倒退行进的视觉效果。

小资料

开普勒在第谷·布拉赫天体观测数据的基础上推演出了开普勒行星运动三定律。

第一定律：行星绕恒星公转的轨道是一个椭圆，恒星位于椭圆的一个焦点。

第二定律：从恒星指向行星的矢径在相同时间扫过的面积相等。

第三定律：行星公转周期的平方与椭圆轨道半长轴的立方成正比。

开普勒运用行星运动三定律成功解释了火星的“诡异”运动。

小资料

火星（Mars，古罗马神话战神马尔斯）公转轨道距离太阳最近时有 2.065 亿千米，最远时有 2.491 亿千米。公转周期约为 687 天，接近地球上的两年。它的赤道半径约为 3395 千米，体积不到地球的 1/6，质量仅为地球的 1/10。火星还有两个卫星，即火卫一和火卫二。



图 1-11 开普勒肖像（1610）

17 世纪以前，天文学家只能依靠肉眼直接观测天象，目力所及不过六七千颗天体。伽利略发明天文望远镜后，天文观测的视野得到极大扩展。光学技术的发展，使得天文望远镜的口径逐步扩大，观测到的天体从太阳系、银河系一直到广袤的河外星系。

伽利略、牛顿在天文观测丰富成果的基础上建立了近代科学特别是经典物理学的研究范式。牛顿将地球上物体运动与天体运动的力学现象统一起来，建立且验证了牛顿力学三定律和万有引力定律。

法国天文学家拉普拉斯在牛顿力学体系基础上正式创立了天文学一个新的分支——天体力学。天体力学的确立，表明天文学从单纯描述天体的空间位置、运动周期等几何关系（体现在星表和历法中），进入到了探究天体间相互作用的阶段。天文学家从单纯研究天体的运动情况，进入到研究天体运动的动力学原因。

牛顿体系建立以后的 200 年中，天体力学推动了应用数学的进步，催生了微积分和数学物理方法，它们已经是天文学乃至现代科学必不可少的基本分析工具。

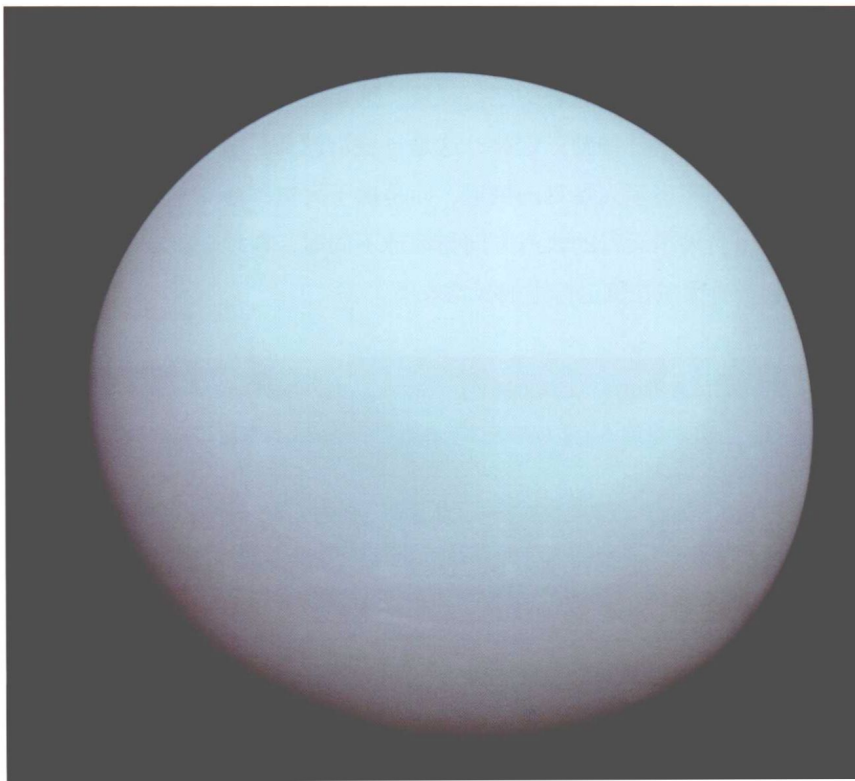
这一时期天文观测的主要成就是相继发现了天王星、海王星和冥王星。

天王星是 (Uranus，古希腊神话天空之神乌拉诺斯) 第一



图 1-12 牛顿与他的望远镜

图 1-13 天王星



颗人类用望远镜发现的行星，它的存在是 F.W. 赫歇耳 (F. W. Herschel, 1738~1822) 于 1781 年确证的。

小资料

天王星距离太阳 19.3 天文单位 (Astronomical Unit, AU)，十分遥远，所以无法用肉眼观测。它的公转周期为 84 年。其赤道半径约为 25900 千米，体积约等于地球体积的 65 倍，在八大行星中仅次于木星和土星。它的质量排在木星、土星和海王星之后，位列行星家族第四。与土星类似，天王星除了有 27 颗卫星外，还有一层很薄的光环。

一个天文单位约等于地球到太阳的平均距离，即： $1\text{AU}=1.496\times 10^8\text{ km}$

F.W. 赫谢耳既是一位天文学家，也是一位古典主义作曲家。他的妹妹 C.L. 赫歇耳、儿子 J.F.W. 赫歇耳都是当时杰出的天文学家。

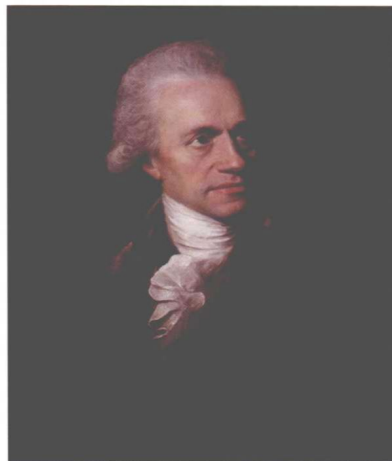


图 1-14 F.W. 赫歇耳肖像

海王星 (Neptune, 古罗马神话海神尼普顿) 的发现要归功于牛顿万有引力定律，它是第一个人类通过物理和数学的计算确证的行星。天王星被确证后，人们利用万有引力定律计算的天王星轨道总是与观测到的实际轨道存在偏差。1845 年，英国剑桥大学的 J.C. 亚当斯 (J. C. Adams, 1819~1892) 经过缜密计算，率先提出这种偏差来自于天王星轨道外的一颗尚未被发现的行星。天王星实际轨道

小资料

海王星的公转轨道半径约为 30AU，公转周期为 165 年。它的直径为 49400 千米，是地球的 3.88 倍，体积约为地球的 57 倍，质量为地球的 17 倍。海王星有 13 颗卫星和 5 条光环。

图 1-15 海王星

