

星空的流浪者

彗星

COMETS

—— 胡中为 编著 ——



科学出版社

星空的流浪者

彗 星

胡中为 编著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

俗称“扫帚星”的彗星是罕见的星空流浪者，来去匆匆，形态奇异多变，令人惊诧，成为当代热门的探测研究对象。实际上，彗星的主体或本体只是数公里大小的“脏雪球”彗核，而在走近太阳时受到很强的太阳辐射作用，使彗核的冰和尘“蒸发”形成延展几千公里的极其稀疏的大气——彗发，且因气体和尘埃被太阳辐射压力推斥而可形成长达上亿公里的壮观彗尾，可谓“奇葩小天体，丰采壮丽象”。本书是中高级科普读物，文字精练，图文并茂，通俗有趣、引人入胜地介绍彗星的知识 and 观测研究成果，依次讲述彗星的观测研究简史、轨道、形貌和亮度变化，彗核、彗发、彗尾和彗星的性质，几颗著名彗星、彗星与地球关系、彗星的起源和演化，彗星观测方法和彗星动态。有益于人们破除迷信，提高科学素养，是彗星迷探索彗星奥秘的有益向导。

本书的读者对象可以是天文爱好者，尤其是青少年新手；也可作为天文教师、辅导员和科普工作者的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

星空的流浪者——彗星/胡中为编著. —北京: 科学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-03-047612-8

I. ①星… II. ①胡… III. ①彗星—普及读物 IV. ①P185.81-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 047358 号

责任编辑: 罗 吉 程心珂 许 蕾/责任校对: 张怡君

责任印制: 张 伟/封面设计: 许 瑞

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张: 14 1/4 插页: 4

字数: 285 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前言

日 月经天，斗转星移，人类社会已进入 21 世纪，现代科学技术成果越来越广泛地普及传播给公众分享。星空灿烂，天象奇妙，深有魅力。人们赞叹欣赏、激发情怀，探索其中蕴涵的宇宙伟大哲理。

我国改革开放已 30 多年，处于科教兴国、建设高度文明社会主义的新时期。广大群众，尤其是青少年，要破除迷信、解放思想、提高科学文化素质。天象和飞天是人们长久以来都尤为感兴趣的，顾炎武《日知录》中有言：“三代以上，人人皆知天文”，指出了古代人们对天象的关注和了解。

俗称“扫帚星”的彗星是较为罕见的，来去匆匆，形态奇异多变，令人惊诧，古今中外都有彗星的种种迷信和传说，“扫帚星”总被看作灾祸征兆或不吉利的代名词。其恶乎，善乎？我们应当为彗星正名。实际上，彗星的出现是星空的自然天象，有规可循，其奥秘也在逐渐揭开。彗星的探测研究是当代的热门领域之一，有很多重要意义。苏梅克-利维 9 号彗星撞击木星更是引起人们关注彗星撞击地球的可能和危害，航天也必须考虑彗星碎块的撞击危险。但同时，富含水冰的彗星撞击带给地球水资源，彗星带来前生命有机物等可能是导致地球生命起源和进化的关键因素；而演化程度小的彗星能提供太阳系行星（包括地球）起源和早期演化的线索。

自哈雷彗星 1985~1986 年回归之后，我们又有幸看到了有长大彗尾贯穿星空的海尔-波普、百武、麦克诺特、艾森等彗星奇观，几艘宇宙飞船先后探访几颗彗星，新发现纷至沓来，新闻媒体广为报道，人们对彗星的兴趣激增。彗星迷或发烧友的队伍不断扩大，他们近年来已成功发现新彗星，尤其利用互联网的 SOHO 飞船所摄外日冕图像发现的 2500 多颗“掠日彗星”中，有很多是我国“彗星猎手”的功劳。

虽然肉眼看见的“大彗星”甚为壮观，但是其主体或本体却是仅几到几十公里的“脏雪球”彗核；只是走近太阳期间受到强烈的太阳辐射作用，彗核的

冰和尘“蒸发”而形成延展几千公里但极其稀疏的大气——彗发；又由于太阳辐射压力排斥其气体和尘埃而形成长达上亿公里的彗尾。真可谓“奇葩小天体，丰采壮丽象”。

虽然新闻媒体常有关于彗星的报道，但较全面和系统讲述彗星的书在我国却是屈指可数，而且内容多半也陈旧了，例如《彗星十讲》还是1986年出版的。近些年来，很多人认为编写出版有关彗星的书也该与时俱进，并将内容提高到一定层次。这自然成为本书作者的目标。

本书主要叙述彗星的基本知识、观测方法及研究成果，也介绍一些研究的入门引导。全书分为十二章，内容包括：彗星观测研究简史，彗星的轨道，彗星的形貌和亮度变化，彗核、彗发、彗尾、彗星分别的性质，几颗著名彗星，彗星与地球关系，彗星的起源和演化，彗星观测方法，彗星动态。作者力求把几十年来有关彗星的知识积淀和观测研究经验介绍给读者，让大家尽快熟悉和掌握彗星知识，开展观测乃至某些研究。本书采用大量图片，力求文字精练，图文并茂，兼顾通俗趣味性和科学性。

本书可供天文爱好者，尤其是青少年新手阅读，也是天文教师、辅导员和科普工作者的重要参考书。本书得到国家基础科学人才培养基金（项目批准号J1210039）、江苏高校品牌专业建设工程一期项目资助，甚为感谢！也感谢科学出版社编辑的辛苦审编。

欢迎对本书中的缺点和错误提出批评指正。

胡中为
2015年仲秋

目 录

前言

一、为彗星正名	1
1. 破除彗星迷信 探索彗星之谜	1
2. 古代的彗星记载	5
3. 对彗星认识的进步	8
4. 彗星“猎手”驰名太空	12
5. 为什么要观测研究彗星	14
二、彗星的轨道	16
1. 彗星的轨道和历表	16
2. 非引力效应	20
3. 彗星轨道花名册	22
4. 彗星的群体——彗星族，彗星群和掠日彗星	23
5. 彗星知多少——奥尔特云和柯伊伯带	27
三、彗星的奇特形貌和亮度变化	30
1. 彗星的奇特形态和结构	30
2. 彗星有多大？	34
3. 彗星的质量	35
4. 彗星的亮度变化和爆发	36
5. 彗星的分裂	41
四、彗星的本体——彗核	46
1. 脏雪球彗核模型	46
2. 彗核的飞船探测	49
3. 彗核的蒸发理论	60
4. 烟花般的近核现象	62
五、彗星的大气——彗发	65
1. 彗星的光谱密码	65

2. 复杂的彗发和巨大的氢云	72
3. 气体彗发模型	74
4. 尘埃彗发模型	79
六、奇特多变的彗尾	83
1. 彗尾的类型	83
2. 太阳光压和尘埃彗尾形状	87
3. 太阳风和等离子体彗尾大尺度现象	90
七、彗星的性质	97
1. 不寻常的物质成分	97
2. 彗星的尘埃	100
3. 彗星的物理-化学过程	102
4. 彗星为什么会发光	105
5. 彗星有磁场吗?	108
八、几颗著名的彗星	113
1. 哈雷彗星	113
2. 恩克彗星	116
3. 科霍特克彗星	119
4. 威斯特彗星	121
5. 百武彗星	122
6. 海尔-波普彗星	125
九、彗星会撞击地球吗	128
1. 从彗星撞击木星谈起	128
2. 彗星撞击过地球吗?	133
3. 地球之水彗星来——大气洞, 小彗星和陨冰	141
4. 彗星与地球的关系	145
5. 彗星撞击地球的频率和危害	148
十、彗星的起源和演化	151
1. 彗星是怎样形成的?	151
2. 彗星的寿命	154
3. 流星雨是怎么来的?	156
4. 黄道光是怎么回事?	162
十一、怎样观测彗星	165
1. 观测彗星的望远镜和星图星表	165
2. 怎样用望远镜搜寻彗星	168

3. 怎样进行彗星亮度的目视测定.....	171
4. 彗星形态的目视观测	174
5. 怎样进行彗星的摄像观测	179
十二、彗星动态.....	187
1. 彗星动态的查询	187
2. 彗星的数码摄像与图像处理	188
3. 哈特利彗星和艾森彗星	192
4. 搜寻 SOHO 彗星	198
5. 寻找太阳系之外的彗星	201
6. 彗星同好其乐融融	203
主要参考文献.....	206
附录 已编号的彗星表	207
彩图	

一、为彗星正名

彗星，俗称扫帚星，我国古代也称作长星、孛星或星孛、妖星等。汉字“彗”就是扫帚的意思。顾名思义，彗星就是可以呈现扫帚之类形态的天体。英语的“comet”（彗星）一词来自希腊文，原意是有尾巴或毛发的星，也有说是从埃及人那里来的。天文学中以符号来形象地表示彗星。应当指出，电脑软件和书刊上常错写为“慧星”，那是误人的。

提起“扫帚星”，人们常把它作为不吉利的代名词，感到厌恶。实际上，观测研究彗星不仅很有趣味，而且意义深远。因此，应当为彗星正名。

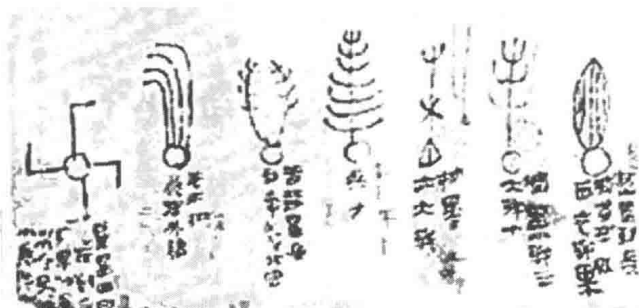
1. 破除彗星迷信 探索彗星之谜

自古以来，彗星偶然出现，加之形态怪异，常使人们感到惊慌和恐惧。人们就把彗星的出现与灾祸联系起来，看作是战争、饥荒、洪水、瘟疫等灾祸的征兆。无论在中国或是外国，都有关于彗星的种种迷信和传说。先来看中国古代有关彗星的记载和迷信的几个例子。

湖南长沙马王堆汉墓出土文物中有一幅彗星图（图 1.1），绘有二十多种不同形态的彗星，用于占卜战争和灾祸。



(a)



(b)

图 1.1 长沙马王堆汉墓出土的彗星图

唐代的李淳风在《乙巳占》中总结了很多关于彗星的迷信，如：

“长星，状如帚；孛星圆，状如粉絮，孛孛然，皆逆乱凶。孛之气状虽异，为殃一也，为兵丧，除旧布新之象。余灾不尽，为兵丧水旱，凶饥暴疾。长大见久，灾深；短小见速，灾浅。彗孛所当之国受其殃。

彗孛干犯月五星，有兵丧，中国兵动，四夷来侵，百姓不安。

凡彗孛见，亦为大臣谋反，以家坐罪，破军流血，死人如麻，哭泣之声遍天下。臣杀君，子杀父，妻害夫，小凌长，众暴寡，百姓不安，干戈并兴，四夷来侵，国兵不出，饥疫死亡之事。

凡战，两军相当，执本者胜；随彗所指处以讨之焉。

彗星有行有止，行者则事小，止者则事大，各在邦以直事国分占之。”“彗孛出行，历二十八宿，留舍出见，百日不去，三年应之。五十日已上，五年应之。二百日已上，七年应之，灾深。”

“彗出大角，大角为帝座。秦始皇时，彗出大角，大角亡，以亡秦之象。”“昔汉高三年，孛大角。大角，项王以亡，汉氏无事，此项王先受命也。”

西方的彗星迷信也很多，也举几个例子。公元前 372 年出现一个彗星，亚里士多德描述它有长 60 度的尾巴，西西里史学家狄奥多罗斯（Diodore）认为它预兆斯巴达人的衰颓，而埃福罗斯（Ephore）认为它预兆赫里斯和步拉城被海摧毁。公元 400 年，一个刀状彗星照耀在君士坦丁堡，史学家索佐门（Sozomene）和君士坦丁堡的苏格拉底（Socrate）也说到那时正是加伊那背信、大祸降临的前夕。1066 年 4 月，威廉大帝入侵英国时，彗星出现，在博物馆保存的巴耶城彩绣上留下了人们惊讶的情状（图 1.2）。拿破仑幼年时就相信，他生时出现的彗星是他的护身之神，并把 1811 年的大彗星当做上天暗示他伐俄必

胜的信号。除了把彗星作为灾祸征兆（图 1.3，图 1.4）外，还有一个有趣事例是 1811 年葡萄丰收，而当年诞生的美酒被称为“彗星酒”。



图 1.2 巴耶城彩绣上的 1066 年大彗星（哈雷彗星）

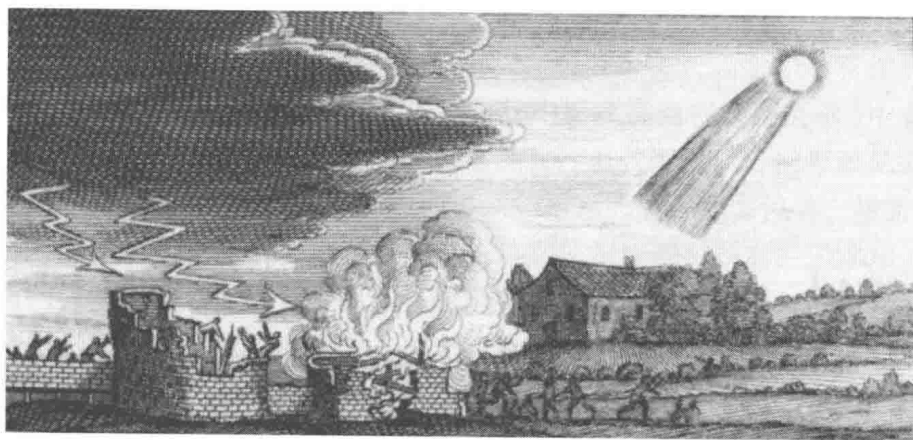


图 1.3 1668 年欧洲一幅著名木版画，描绘了彗星所至之处，天地巨变，灾难临头

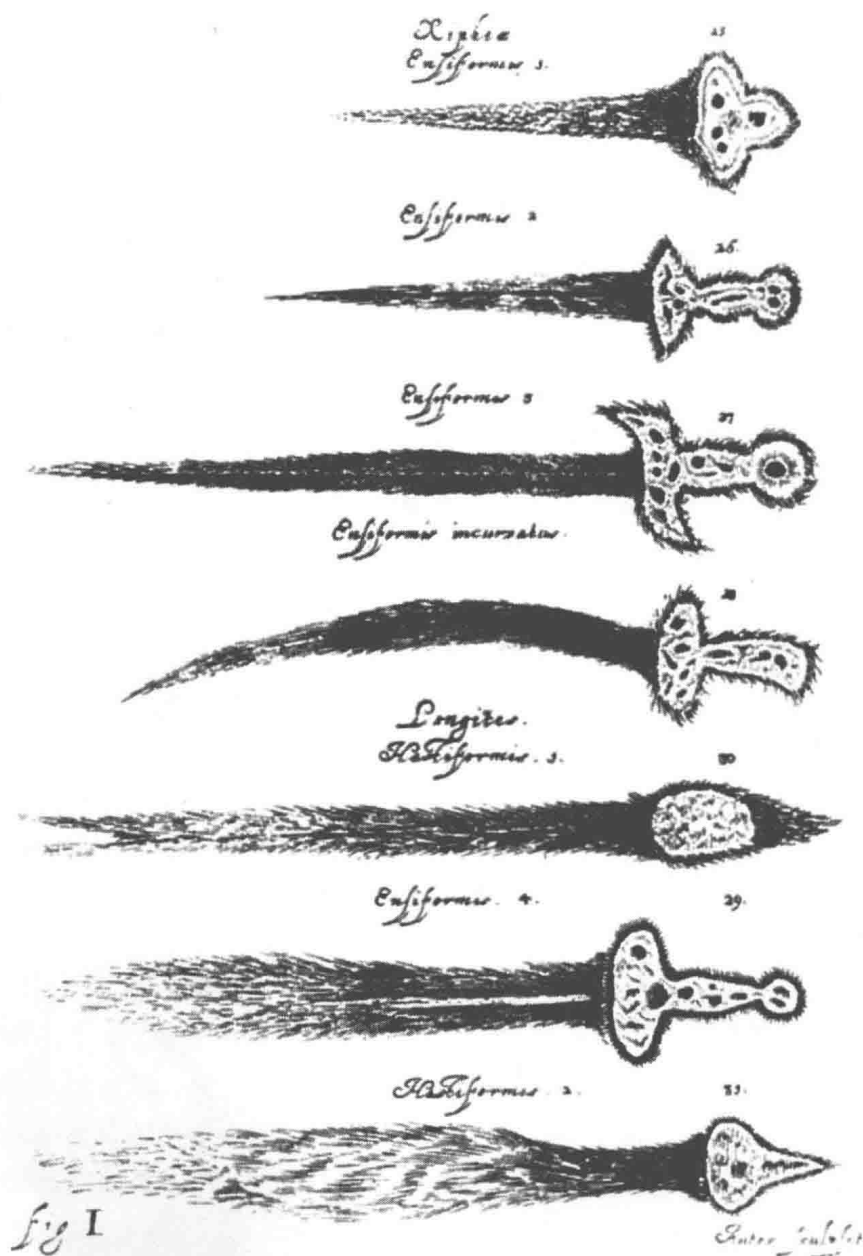


图 1.4 17 世纪欧洲人绘制的彗星图，视为酷似利剑的“兵象”，预示战争

实际上，彗星的出现完全是一种自然现象，虽然偶有灾祸同时或随后发生，但它们却没有必然联系。到近现代，尤其近半个多世纪，飞船探访和科学研究逐渐揭示出彗星的奥秘。彗星是太阳系的成员之一，数目多得如大海中的游鱼，

只是因为它们大多沿扁长轨道绕太阳运行，大部分时间离太阳和地球很远，所以人们用肉眼看不见，甚至用大望远镜也难看见。只有少数彗星运行到太阳系内区且离地球较近，人们才可能看见它们“出现”或“回归”；至于看到拖着怪异长尾巴彗星的机会则更少。因此，人们感到神秘，联系到灾祸，臆造关于彗星的迷信，更有趁机兴风作浪的人以此为宗教和政治目的造势，或制造和推销假药等诈骗钱财。世界辽阔广大，在历史的长河中，总会在某时某地有国王、皇帝或者执政者驾崩，会有战争和灾祸发生，若碰巧其前后有彗星出现，人们便会把它们联系在一起，其实它们之间没有必然的因果关系，仅仅巧合而已。因此，偏信有关彗星的迷信甚至因此成为罪恶的帮凶是愚昧和荒诞的，必须破除这些文化糟粕，通过科学的观测研究，探索彗星的奥秘。

2. 古代的彗星记载

一般的天象，如每天日月星辰的东升西落，人们大多习以为常，不会注意或大惊小怪。但偶尔出现的稀奇天象，就会引起人们特别的注意和议论，产生种种说法，容易被别有用心的人利用和关联进行迷信和占星等活动。古代的天文学往往跟占星学联系在一起发展，由于对稀奇天象的注意，史书上留下很多宝贵的彗星记录及认识和看法，所以无论如何，去伪存真，分析研究这些资料还是有一定意义的。

中国古籍中的天象记录汗牛充栋，十分丰富详细，远远超过西方国家，这是国际上公认的。例如，20世纪50年代，法国天文学家巴尔代在研究《彗星轨道总表》之后曾说：“彗星记载最好的（除极少数例外），当算中国的记载”。英国著名学者李约瑟、日本学者新城新藏等也对我国古代天象记录有很高的评价。彗星是古人很注意的天象，在屈原的著作中屡次提到彗星，《九歌》中有“登九天兮抚彗星”。我国史书里，如天文志、五行志、帝纪、传记等散见多到难以计数的彗星记载，包括彗星的形状、长短，出现的时日和方位等，甚为详细。在《中国古代天象记录总集》里，至1911年有关彗星的记录有一千多项。由于时代不同，所用的名称也有多种，一般记为彗星、孛星或星孛，古时候的定义是“偏指曰彗，芒气四出曰孛”，也有记为长星、异星、奇星、蓬星、景星、妖星、瑞星、天冲、天枪、枉矢、旬始、格泽、蚩尤旗、天狗、白光、白气、客星等。

我国最古的彗星记录可以上溯到殷商时代，《淮南子》中有“武王伐纣，……彗星出，而授殷人其柄。时有彗星，柄在东方，可以扫西人也。”关于武王伐

约的确切时间，史学界一直众说纷纭，难以确定，而利用天象推断，莫不是一种办法。汉代的刘歆认为是公元前 1122 年，唐兰先生的《中国古代历史的年代问题》中定为公元前 1075 年，范文澜先生在《中国通史简编》中定为公元前 1066 年，章士钊先生的《中国古历析疑》中定为公元前 1055 年，日本学者新城新藏在《周初之年代》中定为公元前 1066 年；紫金山天文台已故台长张钰哲先生推算为公元前 1056 年，华裔美籍学者彭颺钧博士推算为公元前 1059 年，《夏商周断代工程》结合其他天象的推算而断为公元前 1046 年。由此可见，用现代天文的理论方法研究古代天象记录不仅对于彗星的轨道演变，而且对古代都是很有意义的。

据说，在巴比伦斧形文字的记载里，最早的彗星记录可以上溯到公元前 1140 年。如果考查甲骨文的卜辞，应该可以发现更早的彗星记录。甲骨文卜辞中有“羽”字，《说文》认为“羽”是“彗”的本字；另有一字形似“虹”，细考之或是指彗星。从上古的迷信观念看来，卜辞多半会把彗星的出现记载进去，只是至于到底哪个字是“彗”字，还有待进一步的研究。

稍晚些，《竹书纪年》中的“周昭王十九年（公元前 974 年）春彗星见于太微垣”（有的书说是紫微垣）。再晚些（公元前 632 年），王充《论衡》中的“晋文公将与楚成王战于城濮，彗星出楚，楚操其柄。”接下去，有《春秋·左传》中的鲁文公十四年（公元前 613 年）“秋七月，有星孛入于北斗”，并且又有《史记》和《汉书》的记载佐证，这是哈雷彗星回归的最早确切记录。由此到公元 1986 年，哈雷彗星回归 35 次，几乎每次回归都有记录，而且很多是相当详细的，下面再引述几例，其中的古代星宿和星名可查阅《中国大百科全书·天文卷》的星图。

《史记·秦始皇本纪》：“（秦始皇）七年（公元前 240 年）彗星见，先出东方，见北方；五月见西方……彗星复见西方十六日……九年，彗星见，或竟天……彗星见西方，又见北方，从斗以南八十日。”

《汉书·五行志》：“元延元年七月辛未（公元前 12 年 8 月 26 日），有星孛于东井，践五诸侯，出河戌北。率行轩辕、太微，后日六度有余，晨出东方。十三日，夕见西方，犯次妃，长秋，斗，填，蜂炎冉贯紫宫中。大火当后，达天河，除于妃后之域，南逝度，犯大角，摄提。至天市而按节徐行，炎入市中，旬而后西去，五十六日与苍龙俱伏”。

《后汉书·天文志》：“永平八年（公元 66 年），六月壬午，长星出柳、张

三十七度，犯轩辕，刺天船，凌太微，至上阶，凡现五十六日去柳。”“永和六年二月丁巳（公元141年3月27日），彗星见东方，长六七尺（注：约8度），色青白，西南指营室及坟墓星。丁丑（4月16日）彗星在奎一度，长六尺；癸未（4月22日）昏见西北，历毕昴。甲申（4月23日）在东井，遂历舆贵柳七星张，光炎及三台，至轩辕中灭。”

《魏书·天象志》：“永安三年七月甲午（公元530年8月29日），有彗星晨见东北方，在东台中一丈（注：约15度），长六尺，正白色，东北行，西南指。丁酉（9月1日）距下台上星西北一尺，而晨伏。庚子（9月4日）夕见西北方，长尺，东南指，渐移入氐。至八月己未（9月23日）渐见，癸亥（9月27日）灭。”

《隋书·炀帝本纪》：“大业三年二月乙丑（公元607年3月13日），彗星见于东井、文昌，历大陵、五车、北河，入太微，扫帝座，前后百余日而止。”

《隋书·天文志》：“大业三年三月辛亥（4月4日），长星见西方，竟天，干历奎、娄，至角、亢而没。至九月辛未（10月21日）转见南方，亦竟天，又干角、亢，频扫太微、帝座，干犯列宿，唯不及参、井，经岁乃灭。”

《新唐书·天文志》：“乾元三年四月丁巳（公元760年5月16日），有彗星见于东方，在娄、胃间，色白，长四尺，东北疾行，历昴、毕、觜觿参、东井、舆鬼、柳、轩辕，至右执法西，凡五旬余不见……闰四月辛酉（5月20日）朔，有彗星于西方，长数丈，至五月乃灭。”

《新唐书·天文志》：“开成二年二月丙午（公元837年3月22日）有彗星见于危，长七尺余，西指南斗。戊申（3月24日）在危西南，芒耀愈盛。癸丑（3月29日）在虚。辛酉（4月6日），长丈余，西行稍南指。壬戌（4月7日），在婺女，长二丈余，广三尺。癸亥（4月8日）愈长且阔。三月甲子（4月9日），在南斗。乙丑（4月10日），长五丈，其末两歧，一指氐，一掩房。丙寅（4月11日），长六丈，无歧，北指，在亢七度。丁卯（4月12日），西北行，东指。己巳（4月14日），长八丈余，在张。癸未（4月28日），长三尺，在轩辕右不见。”

《宋史·天文志》：“治平三年三月己未（公元1066年4月2日），彗出营室，晨见东方，长七尺许，西南指危洎坟墓，渐东速行，近日而伏。至辛巳（4月24日），夕见西南，北有星，无芒彗，益东方，别有白气一，阔三尺许，贯紫微极星并房宿，首尾入浊，益东行，历文昌、北斗贯尾。至壬午（4月24日），

星复有芒，彗长丈余，阔三尺余，东北指，历五车，白气为歧横天，贯北河、五诸侯、轩辕、太微、五帝坐内五诸侯及角、亢、氐、房宿。癸未（4月26日），彗长丈五尺，有星孛气，如一升器，历营宿至张，凡一十四舍，积六十七日，星气孛皆灭。”

托勒密是公元1世纪时希腊最著名的天文学家，他倡导地心（宇宙体系）学说，但他没有提过彗星，可能他认为彗星是地球大气中类似云气的东西。跟托勒密同时代的古罗马作家普林尼却很注意彗星，把彗星分为十大类：碟状、桶状、马鬃、烛形、小烛、有须的、双峰、剑形、枪矛及恐怖型的。其中枪矛和烛形与我国古代的“天枪”和“烛星”的名称异曲同工。普林尼在其《自然历史》中谈到公元前48年出现的彗星，他说凯撒与庞培的恶战是这次彗星出现的可怖后果。西方的古代彗星记载很少。法国历史上最早记载的是公元837年的哈雷彗星。公元1066年4月，哈雷彗星出现时人们震惊的表现留在了有名的巴耶城彩绣上（图1.2）。

公元1456年哈雷彗星回归时，看上去又大又可怕，欧洲人甚为惊恐。其时土耳其人占据了君士坦丁堡，穆罕默德二世率军围攻贝尔格莱德。6月8日，天空出现“长尾如龙”的彗星，掩盖黄道的两宫（即长达60度），似乎向月亮移动，使月光暗淡。有传言起，说基督教徒要被杀死或遭奴役；又说彗星像长剑，自西向东刺月，预示西方基督信徒联合起来，向东击败土耳其。我国则有更详细记载，《明史·天文志》中有“景泰七年四月壬戌（即公元1456年5月13日），彗星东北见于胃，长二尺，指西南。五月癸酉（6月7日）渐长丈余。戊子（6月22日）西北见于柳，长九尺余，扫犯轩辕星。甲午（7月4日）见于张，长七尺余，扫太微北，西南行。六月壬寅（7月6日）入太微垣，长尺余。十二月甲寅（1457年1月5日）彗星复见于毕，长五寸，东南行，渐长，至癸亥（1月14日）而没。”

3. 对彗星认识的进步

古代的欧洲，人们不把彗星看作天体，只认为是地球大气中的现象。公元前4世纪，古希腊学者亚里士多德及其后继者们认为彗星是地球大气中的燃烧现象，这种看法的影响很久远，以致很长时间内彗星都被认为是气象范围内的东西。公元前1世纪，托勒密在其名著《天文学大成》中也不把彗星看作天体。甚至到16世纪伟大的波兰天文学家哥白尼也没有摆脱陈旧观念，他说：“高层

大气是随着天球而动的，天空中突然出现的星象就可以证明这一点，我所指的便是希腊人所谓的彗星。高层大气是它（彗星）产生的地方，它和其他星辰一样东升西落。我们可以说这部分的大气不随着地球转动，因为它与地球相距太远了。”

然而，我国古代就把彗星看作天体，并有一些较好的认识。例如，据考证，湖南长沙马王堆汉墓的彗星图绘于公元前 200 多年，有具有彗核、彗发、彗尾等二十多种形象不同的彗星。

关于彗星发光的原因，我国古代也有较好的看法。《晋书·天文志》中说：“彗体无光，傅日而为光，故夕见则东指，晨见则西指。在日南北，皆随日光而指。顿挫其芒，或长或短。”这较接近现代的看法。公元 1577 年出现了一个大彗星，丹麦天文学家第谷·布拉赫曾试图测量这个彗星与地球之间的距离，他把欧洲各地对此彗星的观测结果拿来相互比较，发现各地观测得到的彗星位置，其差异比月球小，由此证明彗星比月球离地球更远。这说明彗星必定是天体，而不是地球大气内的现象。他是欧洲第一个把彗星看作天体的人。后来，开普勒经过长期的观测研究，证明了第谷·布拉赫的观点是正确的。

17 世纪初期，开普勒精心研究第谷·布拉赫遗留下的大量行星观测资料，总结出行星运动的三大定律。后来，牛顿（图 1.5）发现万有引力定律，建立了天体力学的基础，从而人们可以用彗星的观测位置资料来计算它的轨道。1680



(a) 牛顿

(b) 哈雷

图 1.5 牛顿（1642~1727）和哈雷（1656~1742）