

太阳系考古遗存

小行星

MINOR PLANET

—— 胡中为 赵海斌 编著 ——



科学出版社

太阳系考古遗存：小行星

胡中为 赵海斌 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

小行星是绕太阳公转的小天体。它们是形成行星的半成品，演化程度小，成为太阳系考古遗存。尤其，近地小行星还有撞击地球的潜在危害。航天时代以来，小行星成为当代最活跃的探测对象，惊奇成果纷至沓来，激励青少年的参与志趣。本书共十二讲，通俗地阐述了小行星的发现和观测研究意义、轨道与物理性质的观测和飞船探测；主带小行星的轨道、性质与类型、卫星、几颗著名小行星、近地小行星及其撞击地球的影响；外区的柯伊伯带与弥散盘、矮行星；太阳系的起源、小行星起源演化。

本书图文并茂，与时俱进地普及小行星的新知识，是观测研究新友的入门书，也可作为天文教师、辅导员和科普的重要参考书。

图书在版编目（CIP）数据

太阳系考古遗存：小行星/胡中为，赵海斌编著. —北京：科学出版社，2017.4

ISBN 978-7-03-052470-6

I. ①太… II. ①胡…②赵… III. ①小行星—基本知识 IV. ①P185.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 056865 号

责任编辑：胡 凯 许 蕾/责任校对：李 影

责任印制：张 倩/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>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年4月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2017年4月第一次印刷 印张：9 3/4 插页：5

字数：209 000

定价：59.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

前言

200 多年前，一些学者推测，在火星与木星的轨道之间可能存在未知行星，组织搜寻，结果却是越来越多地发现了独立绕太阳公转的小天体，通称之为“太阳系小天体”，而除了那些可以观测到彗星朦胧特征的小天体用彗星命名外，其他小天体都赋予了小行星的命名和编号。观测研究表明，这些小天体的演化程度小，是太阳系的考古遗存——“原行星或行星胎”，由于行星就是由早先的原行星聚集形成的，因此这些遗存可以为探索行星的起源及早期演化提供宝贵信息，而人们更关注小天体撞击地球的潜在危险。自航天时代以来，这些小天体就成为当代最活跃的探测对象，惊奇的新发现和研究成果纷至沓来。这些成果经新闻媒体的热播，不仅让公众愉悦赏识，而且激励了青少年参与天文观测或研究的志趣。

1976 年 3 月 8 日的吉林“陨石雨事件”轰动世界，天外来客——陨石大多来自小行星。而小行星的起源是戴文赛教授拟定的研究选题。戴教授是我国现代天文教育和研究的奠基者，虽然在“文革”受到批斗，但他一重新回归工作岗位就力挽耽误多年的天文事业，组织学术研讨班，策划我国的天文学科新教材的编撰，以身作则开拓太阳系起源研究，他的创业精神和高尚品德感染了同行，进而带动了我国天文事业的崛起。由于戴教授平时工作繁忙和年老多病，就让我做他的助手。本人才疏学浅，既为此高兴，又有所畏难。他亲切地教诲我要树立雄心和信心，给予具体引导和安排。经大量调研，他对太阳系起源有了新看法，开始有了突破性成果。当时，众多学者对小行星起源的看法不一，缺乏论证。而戴教授认为，小行星是行星形成过程遗留的半成品，并予以理论定量计算论证。由于当时没有计算机，我们只能利用复杂的函数表来手工计算，并将其结果准确计算到五位数，而戴教授却更准确计算到七位数（仅算稿就有几大本），终于得到了满意结果。而当发现冥王星的卫星消息传出后，他即拟出提纲，否定了当时流行的冥王星是来自海王星卫星的概念，而提出了冥王星与天王星及其卫星一样是独立形成的独特看法，并做出理论计算论证。正当研究工作深入时，戴教授不幸被确诊为癌症晚期，在他住院治疗期间，仍筹划我国的天文发展计划，审定遗著《太阳系演化学（上册）》，接待美国天文学家的来访。就是在他去世的前三天，他还指导《中国大百科：天文卷》编审工作。戴老去世后，时过境迁，课题无着落，我仅能勉强坚持续写和出版了《太阳系演化学（下册）》和开设选修课。尤其是我无岗退休，难于实现他的承前启后深入研究的嘱托。但深受戴教授生命不息、

耕耘不止精神的感染，我仍继续查阅文献，吸取研究新成果，“与时俱进”地撰写了《行星科学》、《新编太阳系演化学》专著和《婵娟之谜——月球的起源和演化》、《星空的流浪者——彗星》等科普书，为推动我国相关研究和天文普及略尽微薄之力，聊以告慰戴老在天之灵。

我国小行星泰斗是已故的张钰哲院士，他是发现小行星的第一位中国人，他发现的小行星被命名为中华星。他带领了新中国小行星观测研究进入世界前沿。近些年来，他的后继者建立了先进的近地天体望远镜新基地；成立了更多开展小行星工作的天文台站而且相关人员也在增多。嫦娥二号探月卫星完成探月任务后，于2012年12月15日成功地近距离飞越4179号小行星图塔蒂斯（Toutatis），拍摄到它的高清晰图像。越来越多的天文爱好者，尤其是青少年参加搜寻并发现很多颗小行星。因此，更多小行星获得了以中国科学家、名人和地区等命名。

虽然我现已年迈体衰，难以直接参加小行星观测研究，但仍有促进此领域更兴盛的夙愿。现今有关小行星文献繁多，良莠不一，颇难查阅。我根据多年的调研体会，编写了这本天文科普书，希望读者能更多地了解小行星知识，同时也希望更多感兴趣的年轻人投入此领域。

本书分为十二讲，前三讲概述小行星的发现和意义、小行星的观测、飞船探测；第四到八讲阐述主带小行星的轨道、小行星的性质与类型、小行星的卫星、几颗著名小行星、近地小行星及其撞击地球的影响；第九讲介绍柯伊伯带与弥散盘；第十到十二讲介绍太阳系起源、主带小行星的形成演化、柯伊伯带和弥散盘的形成演化。全书力求文字通俗简练，图文并茂。

本书的出版得到南京大学天文与空间科学学院“国家基础科学人才培养基金——南京大学天文学基地创新型人才培养”项目（项目批准号：J1210039）和“江苏高校品牌专业建设工程项目——天文学”（项目批准号：PPZY2015B114）的资助，甚为感谢！也感谢小行星基金会同仁的关心和帮助，感谢科学出版社编辑的辛苦编审。欢迎广大读者对本书中的缺点和错误批评指正。

胡中为

2016年10月

目 录

前言

一、小行星的发现和观测研究意义	1
1. 小行星的发现	1
2. 小行星的命名和编号	4
3. 太阳系成员的分类	7
4. 观测研究小行星的意义	9
5. 我国的小行星工作	12
二、小行星的观测	17
1. 小行星的轨道根数	17
2. 小行星的轨道变化	19
3. 小行星的亮度观测	22
4. 小行星的自转和形状	24
5. 小行星掩星的观测	26
三、小行星的飞船探测	28
1. 小行星的先期飞船顺访	28
2. 小行星的专门飞船探测	30
3. 黎明号飞船探访灶神星和谷神星	33
4. 新视野飞船探测冥王星及柯伊伯带	34
5. 嫦娥卫星拜访小行星	35
6. 探测器 OSIRIS-REx 探测近地小行星贝努	37
四、主带小行星的轨道	38
1. 轨道分布与小行星群	38
2. 小行星族	41
3. 特洛伊小行星	44
4. 人马怪天体	49
五、主带小行星的性质与类型	52
1. 小行星的大小和形状	52
2. 小行星的质量和平均密度	54
3. 主带小行星的分类	57

六、小行星的卫星	63
1. 小行星卫星的发现	63
2. 小行星的卫星系	66
七、几颗著名的小行星	70
1. 灶神星和谷神星	70
2. 爱神星、玛蒂尔德、加斯普拉、艾达及其卫星	79
3. 小行星系川和飞船顺访的其他小行星	83
4. 婚神星和智神星	86
八、近地小行星及其撞击地球的影响	88
1. 近地小行星的发现和分型	88
2. 近地小行星的陨击危害分析	91
3. 防御陨击危险的对策	97
九、柯伊伯带与弥散盘	101
1. 柯伊伯带	101
2. 弥散盘	104
3. 冥王星	106
4. 冥王星的卫星	111
5. 阋神星、鸟神星和妊神星	115
十、太阳系的起源与行星的形成	122
1. 太阳系起源现代星云说概述	123
2. 行星形成的标准模型	125
3. 行星形成的数值模拟	127
十一、主带小行星的形成演化	131
1. 小行星起源研究的历史回顾	131
2. 我们的小行星起源研究	133
3. 小行星起源的数值模拟	135
十二、柯伊伯带和弥散盘的形成	138
1. 冥王星及其卫星的起源	142
2. 人马怪天体和彗星的起源演化	144
参考文献	150
彩图	

一、小行星的发现和观测研究意义

从天文观测到理论探索与预言，再到搜寻与新发现，人类对太阳系的认识不断发展。在天文史上，小行星的发现是一个里程碑。小行星的演化程度小，为行星的形成和早期演化提供宝贵信息，是太阳系考古遗存；而某些小行星因其潜在撞击地球的严重危害而更受关注。自航天时代以来，小行星的探测研究成为热门领域之一，意义深远。

1. 小行星的发现

图 1.1 是地球和另外五颗行星绕太阳公转的轨道图，可以察觉出行星轨道有什么特征或规律吗？天文学家早就感到火星和木星的轨道间距太大，开普勒推测此间距内应当有一颗未知行星。

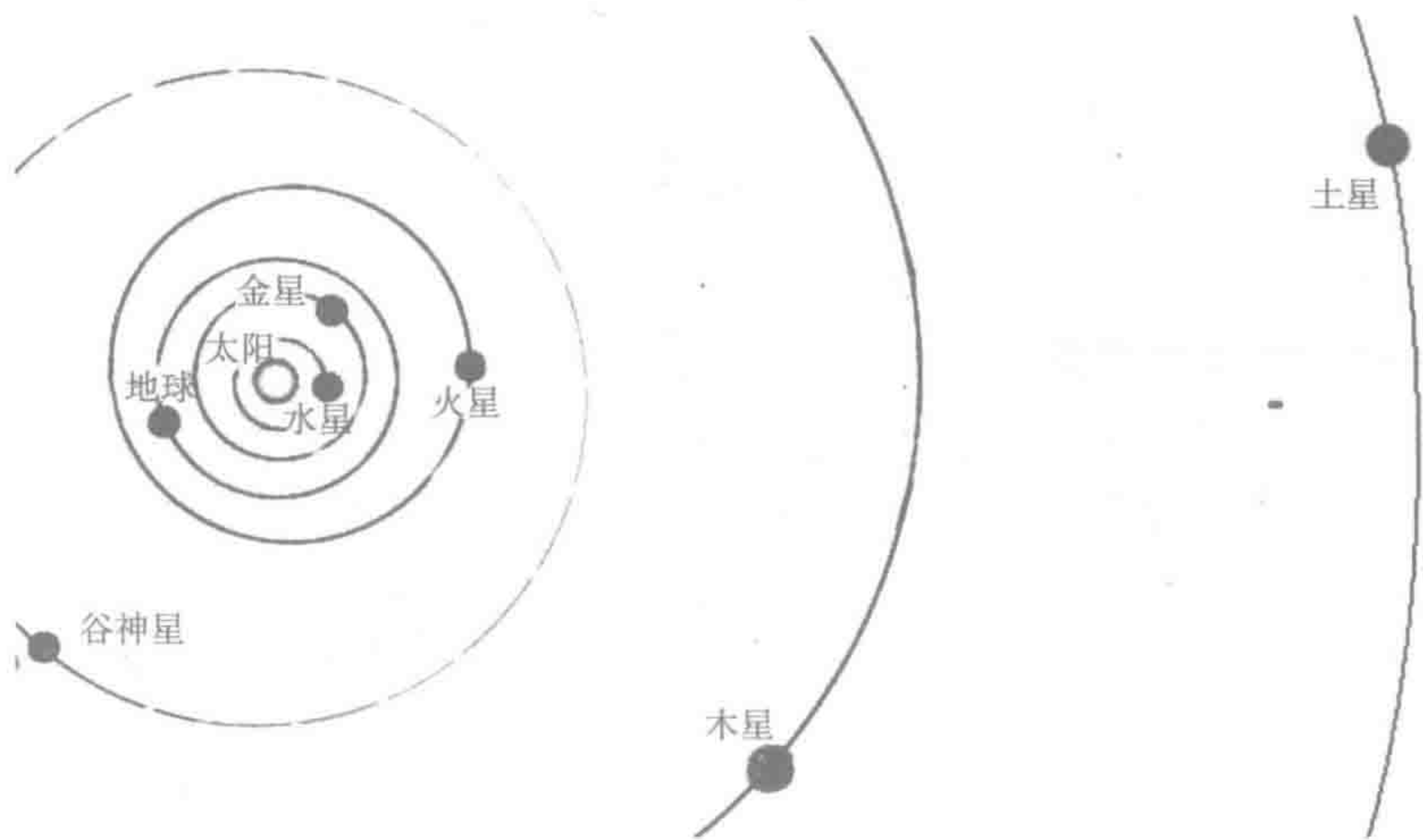


图 1.1 地球和五颗行星绕太阳公转的轨道

1766 年，德国中学教师提丢斯（J. D. Titius）发现，已知行星轨道半长径值可组成简单的数列。后来，柏林天文台长波得（J. E. Bode）进一步总结了这一规律并广为宣传，故称为“提丢斯-波得定则”，其表达式可以写为： $a_n = 0.3 \times 2^n + 0.4$ （AU）（天文单位）。对于水星、金星、地球、火星、木星、土星，序数 n 分别为 $-\infty$ 、0、1、2、4、5（如图 1.2）。哎呀！怎么缺少 $n=3$ 的相应行星呢？1871 年，赫歇尔（F. W. Herschel）发现了天王星，其轨道半长径（19.2 AU）与计算值 $a_6 = 19.6$ AU 接近，成为提丢斯-波得定则的有力支持。因而推测，应存在一颗相应于符合提丢斯-波得定则 $a_3 = 2.86$ AU 的未知行星呢！于是，天文界掀起搜寻这颗未知行星的热潮，Baron von Zech 曾组织 24 位天文学家系统地搜寻这颗未知行星，但是没有取得成果。

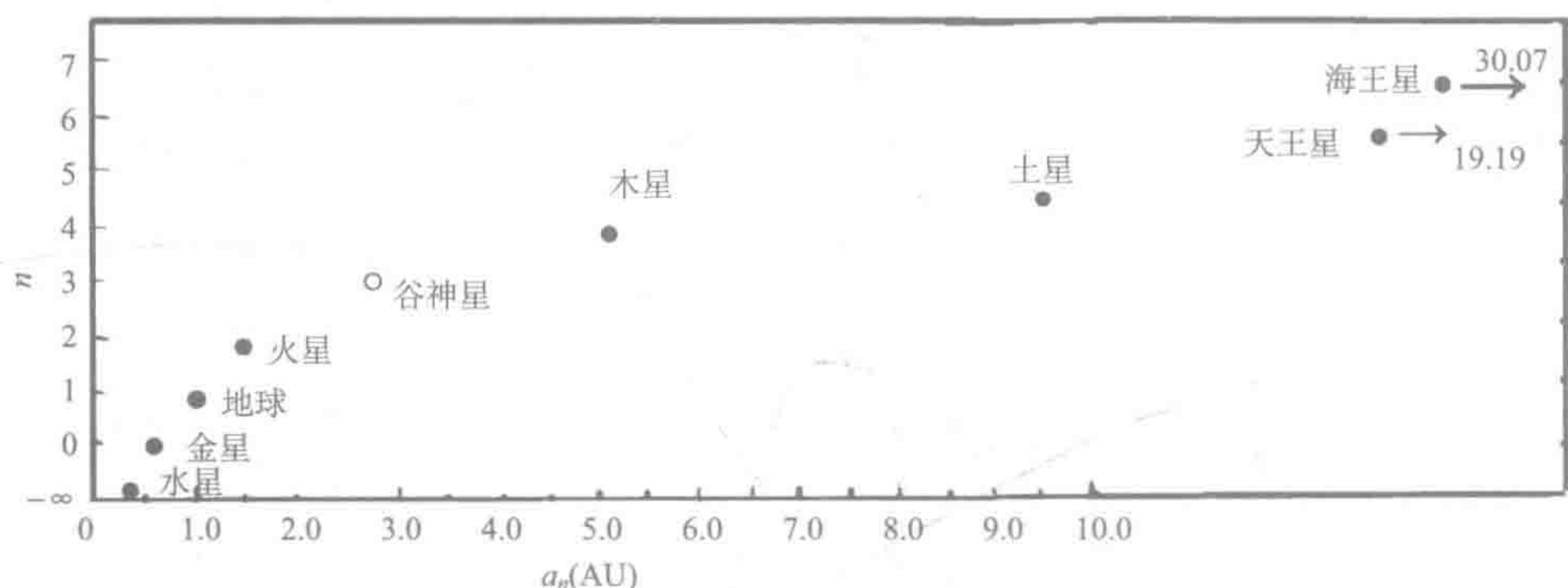


图 1.2 行星公转轨道半长径的次序

1801 年元旦之夜，不在上述搜寻天文学家之列的西西里天文台台长皮亚齐（G. Piazzi），在进行金牛座巡天观测时，偶然发现了一颗星图上没有的星。次日，该星相对于背景恒星逆行了 4 角分，随后沿此方向一直逆行到 1 月 12 日，而后改为顺行。他认为该星是一颗彗星，立刻把该发现写信报告给波得。此后皮亚齐便生病了，无法继续观测。然而他的信历经了很长时间才到达哥达^①，直至 3 月 20 日，波得才收到来信，而这时那颗星已经向太阳方向运动，无法再被找到了！

那时，高斯发明了一种计算行星和彗星轨道的方法，用这种方法只需要几个位置点就可以计算出一颗天体的轨道。高斯读了皮亚齐的发现后就将这颗天体的位置计算出来送往哥达。奥伯斯（H. Olbers）于 1801 年 12 月 31 日晚重新发现了这颗星。后来，它被正式命名为 Ceres（谷神星）。1802 年奥伯斯又发现了另一颗天体，命名为 Pallas（智神星）。随后，新的天体陆续被发现，1803 年发现 Juno

^① 哥达：德国中部城市

(婚神星)^①, 1807 年发现 Vesta (灶神星)^②, 到 1845 年又发现义神星^③。这些天体都比行星小得多, 于是就称作“小行星 (asteroid, minor planet)”。后续的搜寻发现更多更小的小行星, 但确实不存在那颗预想的行星。

国际天文学联合会 (International Astronomical Union, 简称 IAU) 的小行星中心 (Minor Planet Center, 简称 MPC) 设在史密松天体物理台 (Smithsonian Astrophysical Observatory, 简称 SAO), 负责太阳系小天体 (小行星、彗星、自然卫星) 的证认和命名, 也负责有效收集和传播它们位置观测和轨道计算, 发布下列期刊:

《小行星通告》(MPCs——Minor Planet Circulars, 一般每个月发布一次);

《小行星通告: 轨道补充》(MPO——Minor Planet Circulars Orbit Supplement, 每年发布);

《小行星通告: 补充》(MPS——Minor Planet Circulars Supplement, 每年发布 3 或 4 次);

《小行星电子通告》(MPECs——Minor Planet Electric Circulars, 按需要发布, 一般至少每天一次)。

现今对观测和搜寻小行星有志趣的青少年越来越多, 却受望远镜仪器和情报等条件所限而难于实现所愿, 但近年有了参加搜寻活动的好机会, 且取得可喜的成果。

国际小行星搜寻活动 (International Asteroid Search Campaign, 简称 IASC 活动) 是美国 Astronomical Research Institute (ARI, Charleston, IL)、Hardin-Simmons University (HSU, Abilene, TX)、Hands-On Universe (HOU, Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley) 联合发起, 提供望远镜和专家队伍, 组织和指导国际学生, 基于互联网对实时天文观测图像数据进行分析处理并获得原始发现的联合行动。这些发现包括小行星 (Asteroid)、近地天体 (NEO)、柯伊伯带天体 (KBO)、超新星 (SNe) 和活动星系核 (AGN) 等。参加这个活动的学生 (中学生和大学生) 的任务是接收观测图像数据, 使用指定的软件工具分析找出候选移动目标, 按要求格式上传结果。这些结果经 ARI 证认, 最终由国际天文学联合会的小行星中心 (MPC) 确认。

IASC 活动的中国主办方为 China Hands-On Universe (国际 Hands-On Universe——“动手学天文”的中国组织, 依托于中国科学院国家天文台, 简称中国 HOU), 2008 年共举办了三期活动。第一期 IASC 活动自 2 月 1 日至 3 月

① 发现者: 德国天文学家卡尔·哈丁 (K. Harding)

② 发现者: 奥伯斯

③ 发现者: 德国天文学家卡尔·路德维希·亨克 (K. L. Hencke)

14 日，历时 40 天，有中、德、日、摩、波、葡、美等 7 个国家参加，共发现 1 颗主带小行星和 3 颗近地小行星。北京师范大学、中国人民大学附中、中国民航大学、河北师范大学、北京航空航天大学附中、北京八一中学、北京第三十五中学等学校的 19 位师生参加；完成了天文应用软件的学习，处理数据 29 组、上传结果 34 组、合作翻译文章 1 篇，证认了一颗近地小行星，取得了难能可贵的成绩。第二期活动为同年 3 月 17 日至 4 月 30 日，有北京第四中学、北京第三十五中学、北京汇文中学等学校参加，取得 1 个主带小行星发现，1 个虚拟撞击体观测，4 个近地天体证认结果。第三期活动为 2008 年 12 月 5 日至 2009 年 1 月 22 日，有 14 个学校参加，发现主带小行星 1 颗，证认近地天体 4 颗，获得虚拟撞击体观测结果 4 次。2012 年 9~10 月，江苏天一中学天文社创纪录地发现 10 颗主带小行星。

到 2016 年 6 月 20 日，小行星中心已有 709706 颗小行星的轨道，其中有永久编号的有 469275 颗（如图 1.3）。

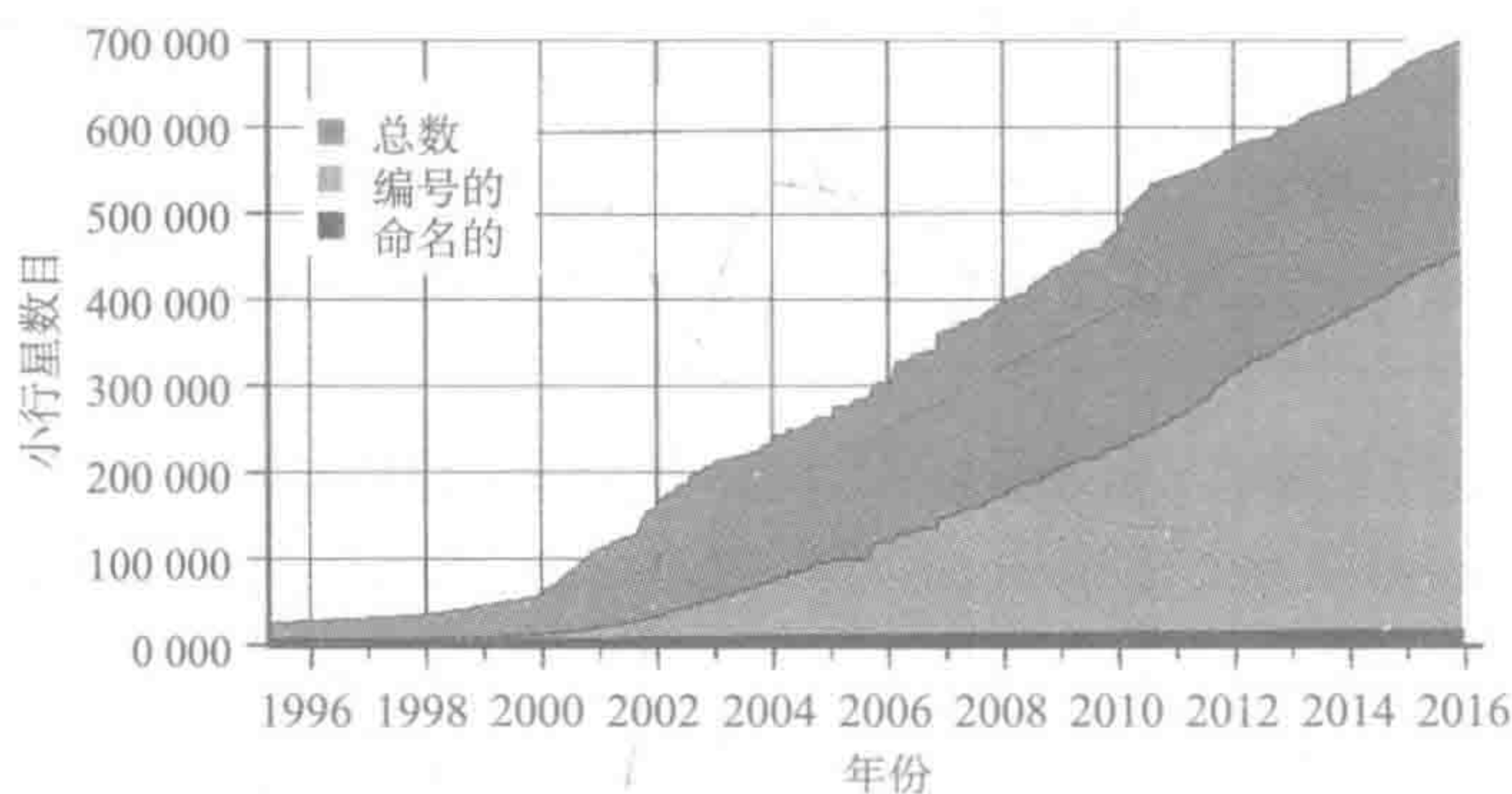


图 1.3 小行星的发现数目

2. 小行星的命名和编号

最早发现的小行星以希腊和罗马神话的人物命名，如上述的谷神星、智神星、婚神星、灶神星，且赋予代表符号。随着小行星的发现数目增多，这样的命名法遇到两个困难：神话人物名字不够；符号越来越复杂，不利于记忆和辨别。于是，这种命名方式开始被打破。第一颗以非神话人物命名的是 20 号小行星 Massalia，用以纪念港口城市马赛。个别小行星有不太严肃的怪名，如 482 号 Petrina 和 483 号 Seppina 以发现者的宠物犬命名，2309 号 Mr. Spock 以发现者的猫命名。虽然后来国际天文学联合会禁止用宠物命名，但仍有用其他怪名的，如 4321 号 Zero、6042 号 Cheshirecat、9007 号 James Bond、13579 号 Allodd 以及 24680 号 Alleven。

1854 年, 德国天文学家恩克 (J. F. Encke) 在《柏林天文年鉴》中提出, 用带圆圈的阿拉伯数字为小行星编号。1867 年, 他又以括弧代替圆圈, 现在也常不用括弧。例如, (1) Ceres 或 1 Ceres (谷神星)、(2) Pallas 或 2 Pallas (智神星)、(4) Vesta 或 4 Vesta (灶神星)、(433) Eros 或 433 Eros (爱神星), (1566) Icarus (伊卡鲁斯)、(1862) Apollo (太阳神阿波罗)、(2101) Adonis (阿多尼斯)。部分小行星的轨道见图 1.4。

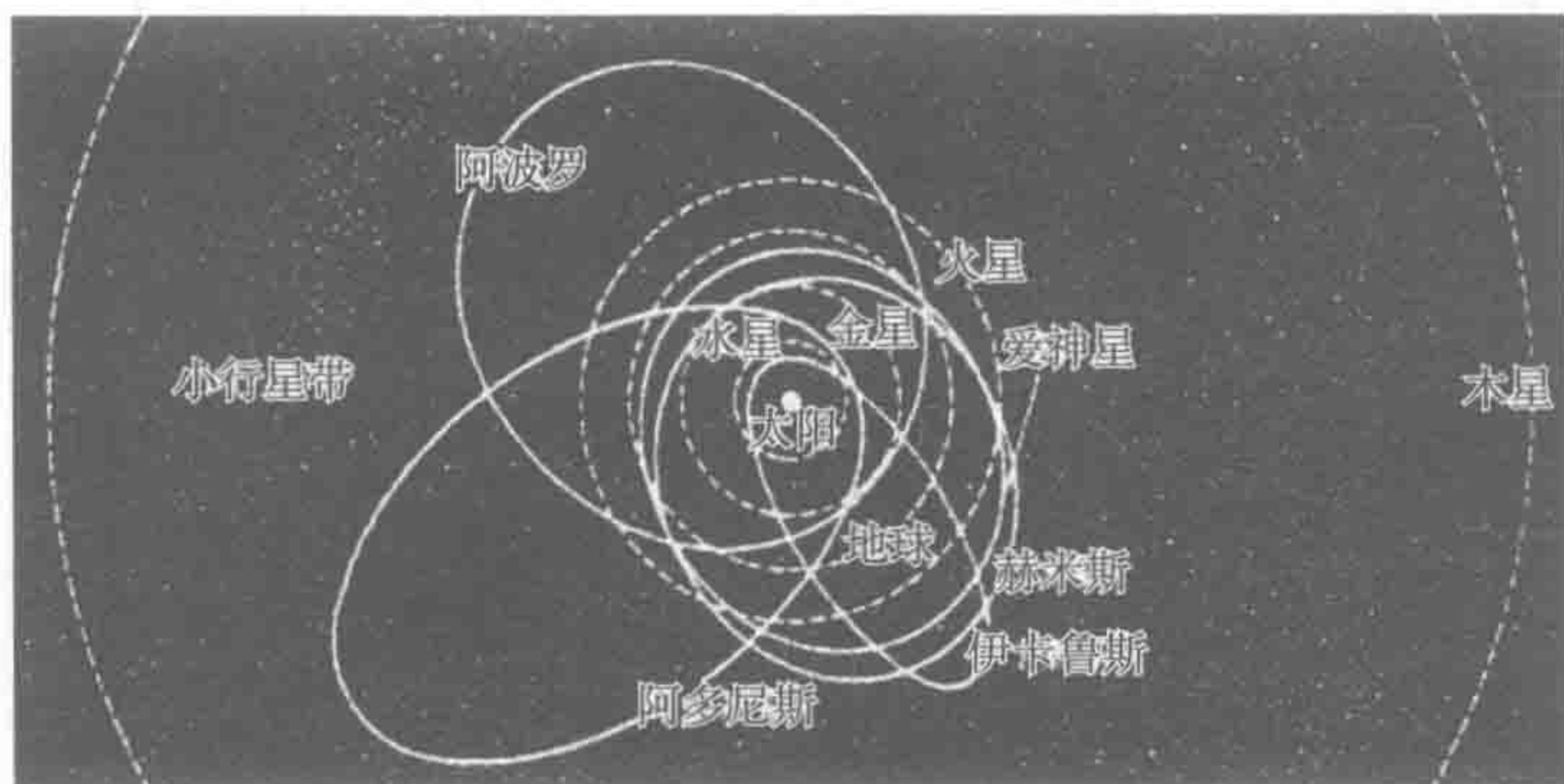


图 1.4 几颗小行星的轨道

太阳系的小天体通常是暗的, 仅在它们运行到离地球较近时, 才容易被发现和观测到。这些小天体有彗星与小行星两类, 彗星可出现朦胧雾斑 (彗发) 特征, 而小行星则总是似恒星的亮点。当“猎星者”在背景恒星场中新发现一颗未知的游荡小天体, 如果不出现彗星特征就可初定为小行星。在多次观测定出该小行星的轨道后, 给予暂用名, 即以发现年代后加两个拉丁字母 (不用字母 I, 总共 24 个字母): 第一个字母表示发现于哪半个月 (上半月为 1 日到 15 日, 下半月为 16 日到月末, 如 A 和 B 表示 1 月的上半月和下半月, C 和 D 表示 3 月的上半月和下半月, …… , Y 和 Z 表示 12 月的上半月和下半月); 第二个字母表明是该半月发现的第几颗, 字母不够再加数字, 例如, 1991 AQ 是 1991 年 1 月上半月发现的第 16 颗小行星, 2007DH1 是 2007 年 2 月下半月发现的第 33 颗小行星。由观测算出轨道后, 再经过两次回归观测之后, 国际天文学联合会的小行星中心给予正式永久编号, 就是冥王星等矮行星也给予小行星编号。随着小行星的发现数目迅速增多, 现在的编号已达 6 位数字。

一些小行星还获得永久命名。例如, (4179) Toutatis (北欧凯尔特人神话中的“战神”名字)、(50000) Quaoar (创神星)、(69230) Hermes (赫米斯)。现在常由发现者提名, 由国际天文学联合会的“小行星中心”给予小行星正式命名。提名规定: 名字不超过 16 个字母; 最好是一个单词; 名字 (在某语言) 可拼

读；名字不具有冒犯性；跟已有小行星或卫星的名字不过于相近。还规定：主要以政治或军事活动闻名的人物或事件的名字命名，需要当事人死亡或事件结束100年后才可以用于小行星命名；宠物、纯粹的或主要为商业性的名字不可作为命名。常用科学家或名人、国家和地名以及其他来命名，如（8000）Isaac Newton（牛顿）、（1000）Piazzia（皮亚齐）、（2000）Herschel（William Herschel，赫歇尔）、（2001）Einstein（爱因斯坦）、（25143）Itokawa（系川）、（4000）Hipparchus（依巴谷）、（7000）Curie（Maria Skłodowska-Curie，居里夫人）、（1010）Marlene（玛丽娜）、（293）Brasilia（巴西）、（1499）Pori（波兰城市）、（134340）Pluto（冥王星）、（136199）Eris（阋神星）。

（139）Juewa（瑞华）是美国天文学家华生（J. C. Watson）于1874年在中国发现的，为了表示对中国的敬意和友好，恳请清朝赐予“瑞华”——意为“中国的福星”，他还把回国后发现的小行星命名为（150）Nuwa（女娲）。第一颗由中国人发现的小行星是1928 UF，命名为中华，后来失踪多年，之后找到类似轨道的1957 UN₁，在Wikipedia（维基百科）的小行星表（list of minor planets）分列为（1125）China（中华）和（3789）Zhongguo（中国）。以中国人命名的小行星已有100多颗，包括科学家和名人，如1802 Zhang Heng（张衡）、1888 Zu Chong-Zhi（祖冲之）、1972 Yi Xing（一行）、2012 Guo Shou-Jing（郭守敬）、2027 Shen Guo（沈括）、7853 Confucius（孔子）、7854 Laotse（老子）、1881 Shao [邵（正元）]、2051 Chang [张（钰哲）]、2240 Tsai [蔡（章献）]、2752 Wu Chien-Shiung（吴健雄）、3014 Huangsushu（黄授书）、3171 Wangshouguan（王绶琯）、3405 Daiwensai（戴文赛）、3421 Yangchenning（杨振宁）、3443 Leetsungdao（李政道）、3763 Qianxuesen（钱学森）、25240 Qiansanqiang（钱三强）、7681 Chenjingrun（陈景润）、7683 Wuwenjun（吴文俊）、8117 Yuanlongping（袁隆平）、8315 Bajin（巴金）、2899 Runrun Shaw（邵逸夫）、2963 Chen Jiageng（陈嘉庚）、9512 Feijunlong（费俊龙）、9517 Niehaisheng（聂海胜）、21064 Yangliwei（杨利伟）……；也有以在国际科学与工程大赛先后得奖的20多名学生命名的，如11730 Yanhua（华演）、20641 Yenuanchen（严婉楨）、21436 Chaoyichi（赵依祈）……。有以地名命名的，如2045 Peking（北京）、2197 Shanghai（上海）、2209 Tianjin（天津）、2077 Kiangsu（江苏）、2078 Nanking（南京）、3494 Purple Mountain（紫金山）、3611 Dabu（大埔）、4273 Dunhuang（敦煌）、2169 Taiwan（台湾）、3297 Hong Kong（香港）、8423 Macao（澳门）……；也有以机关学校命名的，如3901 Nanjingdaxue（南京大学）、7072 Beijingdaxue（北京大学）、8050 Beishida（北师大）、7800 Zhongkeyuan（中科院）、59000 Beiguan（北京天文馆）、5013 Suzhongsanzhong（苏州三中）……；还有其他，如4047 Chang'E（嫦娥）、8256 Shenzhou（神舟）……

3. 太阳系成员的分类

太阳系是由太阳、八颗行星和五颗（及更多）矮行星及它们的卫星、众多的小天体（小行星、彗星……）以及行星际物质组成的天体系统。太阳质量占太阳系总质量 90%以上，位于太阳系中心，在太阳的引力作用下，太阳系其余成员——可以统称为“行星体（planetary bodies）”——都绕太阳公转（如图 1.5），这个系统也常称为“我们的行星系”。

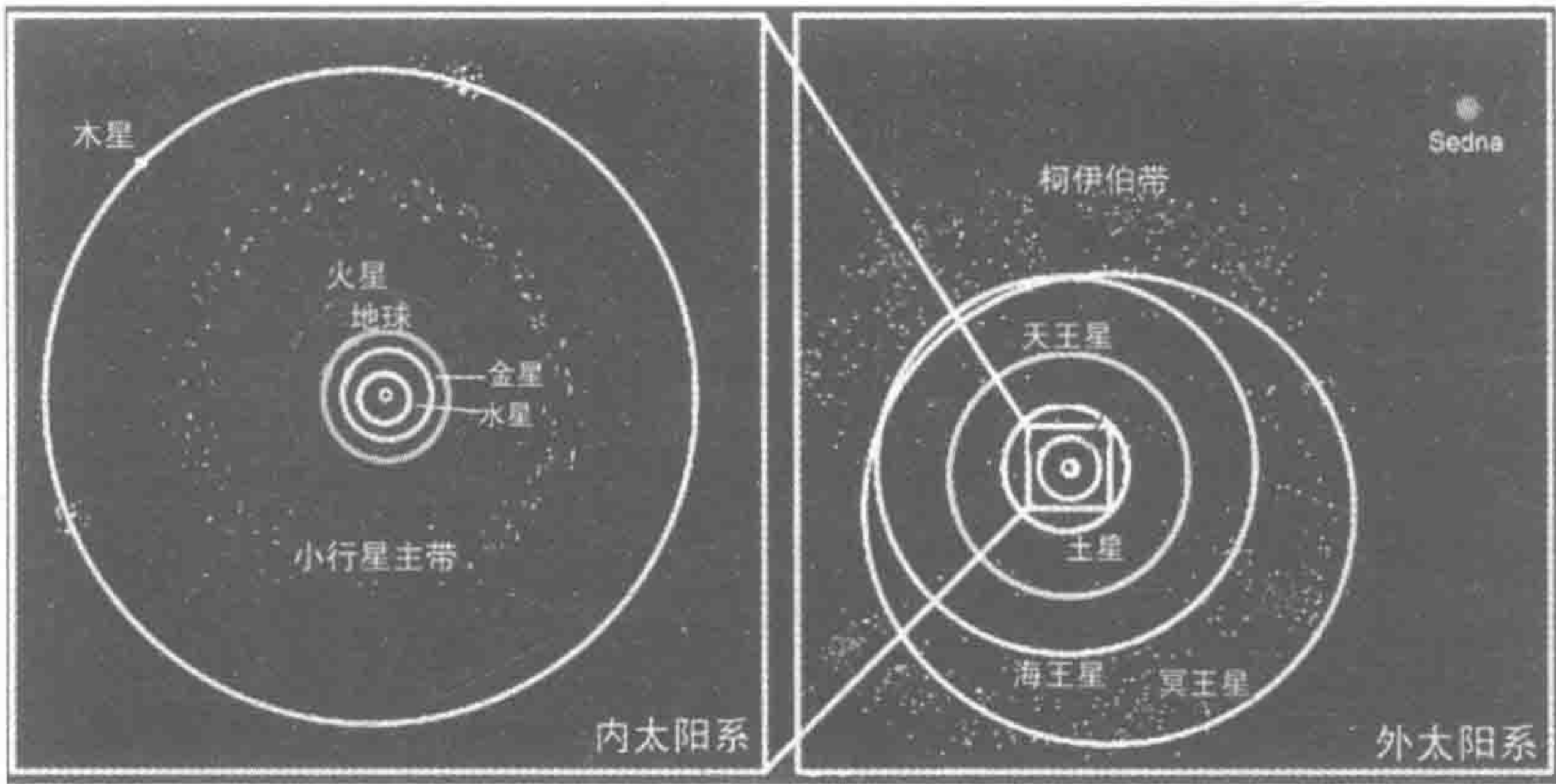


图 1.5 行星体绕太阳公转

Sedna 为太阳系内目前已知的距离太阳最遥远的星体（矮行星）

随着科学技术的进步，越来越多的太阳系成员被发现，进而将它们按性质的相似性和差别划分类型，完善或更新有关概念。依据现代的认识，太阳属于有内部热核反应能源的普通“恒星”类的天体，而其他太阳系成员则是没有内部热核反应能源的“行星体”。2006 年 8 月 24 日，国际天文学联合会（IAU）第 26 届大会通过的决议中说，当代的观测正在改变着我们对行星系的认识，重要的是，天体的命名反映目前的认识。这特别适用于“行星（Planet）”称号。“行星”一词原先表述的是几颗在星空背景恒星间移动的“游荡星”。近年来的发现导致我们需要用现有科学信息创立新的定义。IAU 决定：太阳系内的行星和其他天体按照下列方式明确地定义为以下三类。

◆行星

（a）在环绕太阳的轨道上运行；（b）有足够大的质量，靠自身引力克服各种刚性体力，以致呈现一种流体静力平衡（几乎圆球）形状；（c）清除了其轨道附近的其他天体。在此定义下，太阳系仅有 8 颗行星：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。

◆矮行星（dwarf planet）

（a）在环绕太阳的轨道上运行；（b）有足够大的质量，靠自身引力克服各种刚性彻体力，以致呈现一种流体静力平衡（几乎圆球）形状；（c）没有清除其轨道附近的其他天体；（d）不是一颗卫星。在此定义下，目前太阳系有 5 颗矮行星：谷神星（Ceres）、冥王星（Pluto）、阋神星（Eris）、鸟神星（Makemake）和妊神星（Haumea），将来可能会有更多候选天体列入此类。

◆太阳系小天体

其他环绕太阳运行的天体（除卫星外）都属此类，包括小行星、彗星、流星体。

由于历史沿革，小行星术语有相当复杂的发展变化（如图 1.6）。习惯上，绕太阳公转的小天体分类为彗星、小行星、流星体。小行星与彗星有显著的差别：彗星的本体——彗核是较小的冰和尘埃冻结体，它们受太阳辐射作用而升华、形成体积很大的彗发及彗尾活动；而小行星基本是岩体的，不呈现彗星那样的活动；彗星轨道比小行星轨道扁长。流星体过去一般是指小于 10 米的，然而，随着小于 10 米的小行星的发现，则把约小于 1 米的作为流星体。小行星的英文“asteroid”来源于希腊词“似恒星”，但没有正式定义；国际天文学联合会倾向于用更广义的术语“minor planet”。

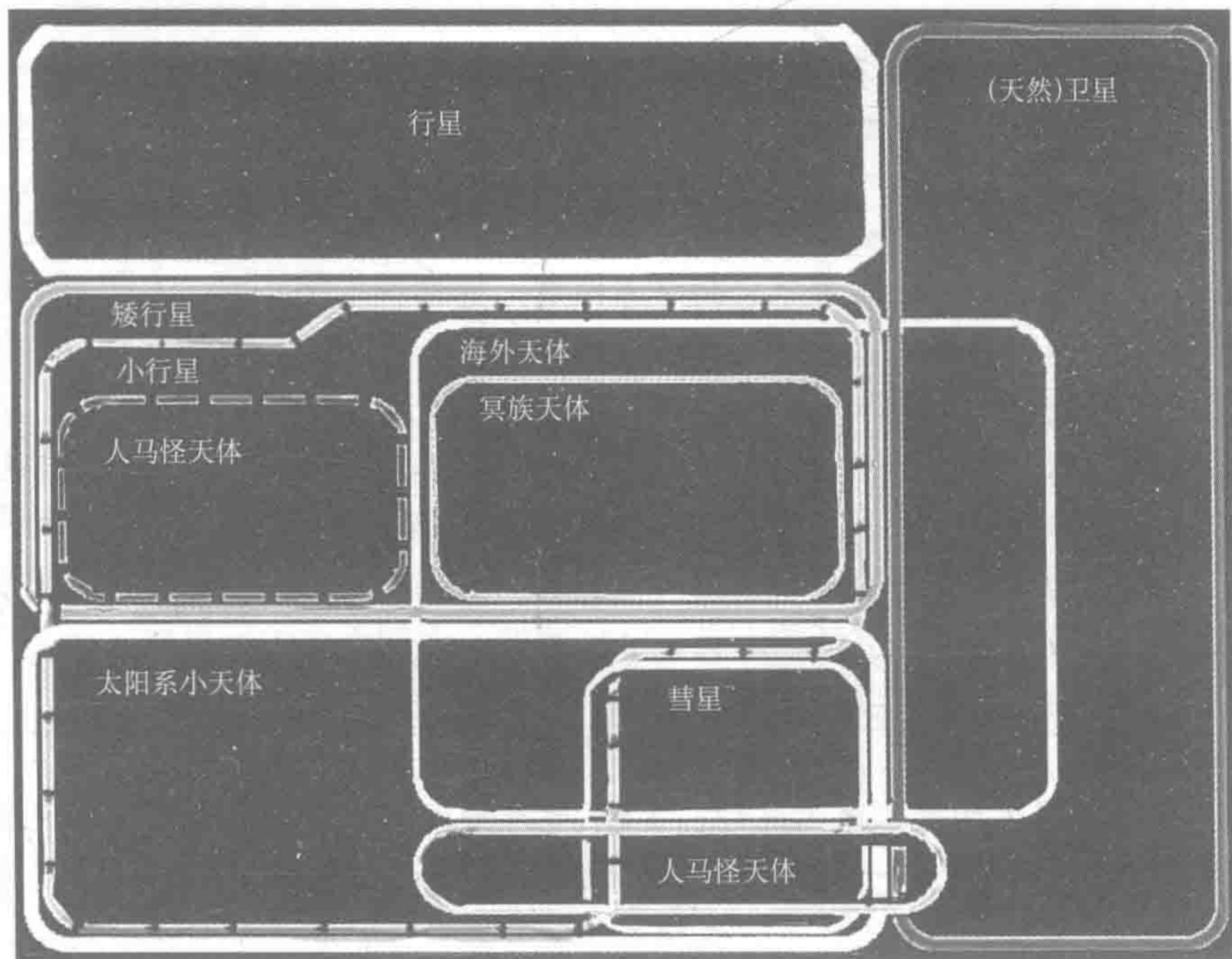


图 1.6 太阳系行星体的类型

早期观测到的小行星大多是在火星与木星轨道之间的“主带小行星”。1977年发现的小行星(2060) Chiron(喀戎)运行于土星与天王星的轨道之间,但它在1988年突然增亮,观测到它有彗发,又赋予它彗星之名(2060) Chiron=95P/Chiron。类似地,小行星(4015) Wilson-Harrington也就是彗星107P/Wilson-Harrington。此后,在外行星区(离太阳20~50AU)又发现类似它的天体,仍沿用小行星命名,但划归为新类,借用希腊神话称它们为“Centers”——人马怪天体。近些年来,在海王星轨道外发现一些小天体——“海外天体”,它们分布在离太阳30~55 AU,称为“Kuiper Belt(柯伊伯带)”及其外的“Scattered Disk(弥散盘)”区域,其中很多是类似于冥王星的“Plutoids(冥族天体)”。如上节所述,包括矮行星的这些小天体,习惯上都赋予小行星编号。此外,绕行星及“海外天体”旋转并同时随其一起绕太阳公转的天体统称为“Satellites(natural)——(天然)卫星”。

4. 观测研究小行星的意义

如前所述,搜寻火星与木星轨道之间的未知行星未果,却发现了很多小行星。起初以为这些小行星是一颗行星爆裂的碎块,但缺乏科学根据。随后,寻找热潮虽然经历一段较冷落时期,但小行星的观测研究后来却更发展和兴盛起来,成为当代最活跃的领域之一,尤其是先后发送多艘飞船去探访某些小行星。这是为什么呢?探索小行星有什么重要意义?

(1) 探索行星和太阳系的起源。这是有实际价值的一个自然科学基本问题。地球和其他行星都经历了严重的演化,丧失了其形成和演化早期的遗迹。例如,地球经历了“沧海桑田”的演化,地球表面积的98%是后半期形成的,90%是近6亿年内形成的,不能从地球本身考查得出其形成和早期演化历史。依据观测资料 and 理论研究,行星形成过程是:由原始太阳星云中的凝固颗粒逐步聚集、形成越来越大的“星子”,大星子成为“行星胎”,再吸积星子等物质而生长为行星。因为小行星形成区的可吸积物质匮乏,那里的大星子不能进一步成长为行星,而停留为“半成品”的小行星。由于行星的引力摄动,一些小行星轨道变化大,高速碰撞而破碎为小的小行星。而且,由于小行星自身演化程度小,保留了早期的一些状况,成为太阳系考古的遗存。小行星是陨落到地球上的陨石母体,通过对陨石的仔细分析研究,可以提供小行星的、进而提供行星和整个太阳系的起源和早期演化的重要信息,诸如太阳系的原始成分和形成演化的时间历程。

(2) 探索小行星撞击地球的影响。小行星容易受大行星的引力摄动而经常改变轨道,乃至撞击—陨落到行星上。因此人类尤其着重搜寻和监测有潜在撞击地球威胁的小行星,推算其未来的行径,及时预报其撞击地球的可能性。虽然真正

撞击的概率很小，然而，一旦发生撞击，其危害可能超过大地震、火山爆发、海啸、核战等，因此需要采取适当的措施，如发射航天器将其击毁或转移走，或采取一定的防御措施而减少危害。月球和水星上有大量的古老陨击坑和陨击盆地，类地行星可能都经历过早期的严重陨击期，对它们的演化起重要作用。地球早期受到这样的陨击更多、规模更大，促使地球大气和海洋的形成，甚至生命的起源可能都与此有关。虽然地球上的古老陨击遗迹被后来的地质过程严重改造而丧失，但尚保存的陨击构造也显示出小行星撞击的严重影响，例如，墨西哥尤卡坦半岛的奇科苏卢布（Chicxulub）陨击构造产生于 6500 万年前，推算是一颗不到 10 公里的小行星或彗星陨击所致，这次撞击引起巨大海啸和全球回荡的地震，陨击抛出富含水汽的尘埃雨升腾到大气中，笼罩地球，后来又落回地球而形成全球的白垩纪末地层，也造成大规模生物绝灭。

（3）探索小行星与陨石之间的直接关系。除了月球和火星陨石，绝大多数陨石都来自小行星的碎片。目前全世界已收集到 3 万多块陨石样品，其中 80% 是普通球粒陨石，其余为碳质球粒陨石、顽火辉石球粒陨石和分异陨石（无球粒石陨石、石铁陨石和铁陨石）。原始球粒陨石自形成以来没有受过重大变质作用，其化学成分与太阳系平均组成非常相似，它们是原始太阳星云凝聚分馏的产物，代表了太阳系最原始的物质组成；而分异陨石的化学成分和矿物组合变化很大，从玄武质无球粒石陨石，到石铁陨石和铁陨石，它们是太阳系早期小行星内部岩浆熔融分异的产物。要充分认识这些陨石的特性以及它们在太阳系形成过程中的作用，我们必须首先了解陨石的来源和陨石母体的特征。长期以来，天文界一直试图寻找陨石与小行星的关系。如果能确定某种陨石来自某一特定类型的小行星，那么分析研究这些陨石样品就可以了解小行星的形成、内部熔融分异和演化历史。最常见的普通球粒陨石的母体小行星应该普遍存在于小行星带内，然而，天文观测并没有找到与普通球粒陨石的反射光谱相同的主带小行星，这是当今行星科学的一大困惑，寻找这种母体小行星也成为重要任务。

小行星和陨石之间有很多相关问题还没有解决。例如，C 型小行星与碳质球粒陨石的反射光谱相似，但前者的比重却只有后者的一半，可能是由于 C 型小行星含有 20% 的水。然而，S 型小行星的比重也比球粒陨石低，这是否说明所有小行星都含水？还是小行星内部具有特殊的松散结构？要解决这些问题，仅靠实验室的陨石分析和地面望远镜观测小行星是不够的，而需要飞船探访小行星，包括直接采集小行星样品带回地球进行实验分析，并跟天文观测数据和陨石分析结果结合，来确定陨石和小行星之间的直接关系。

（4）探索小行星及类地行星母体内部的熔融分异机制。陨石研究表明，大多数陨石（85%）自形成以后没有发生重大变化，较完整地保留了原始太阳星云凝聚分馏和演化的历史，这些陨石的母体小行星内部没有发生高温熔融分异过程，