



从 IAU 168 学术讨论会看彗星物理未来发展 (1998年5月18~22日, 南京)

摘要

在南京召开的国际天文学联合会第168次学术讨论会《空间和时间中的彗核》反映了当前国际彗星领域取得的重大成果、研究倾向以及未来发展趋势。彗星物理各个领域的很多重要的成果,包括对海尔-波普彗星的最新研究成果、未来空间彗星探索计划等,都在此次会议上发表。可以说,未来的一、二十年中,彗星物理的最重要的发展将在于空间研究。人类将可直接取得彗星样品在实验室内进行分析和实验。它必将有助于弄清发生在彗星内部及其环境中的很多物理过程,有助于了解三个主要的彗星库——奥尔特云、柯伊伯带和弥漫彗星盘——的起源和它们之间的关系。面对飞速发展的行星科学,我国的天文工作者应有所作为。

关键词 彗星—彗星结构—宇宙学—空间天文学

分类号: P185.81

1 引言

1998年5月18~22日 IAU 168 学术讨论会《空间与时间中的彗核》在南京召开。这次会议,由国际天文学联合会第15委员会(彗星,小行星和陨星的物理研究)、第20委员会(小行星,彗星和卫星的位置与运动)以及第22委员会(流星与行星际尘)三个委员会发起,委托中国天文学会和中国科学院紫金山天文台主办。会议受到了

中国科学院和国家基金委的关心和支持,并受到美国国家宇航局(NASA)、欧洲空间局(ESA)、欧洲空间研究委员会(COSPAR)和意大利Salam国际理论物理研究中心(ICTP)等重要机构的重视。与会代表78人来自16个国家和地区(其中来自国外49人,台湾地区1人,包括行星物理研究方面国际重要杂志《Earth, Moon and Planets》的A'Hearn和Rickman两位副主编以及《Planetary and Space Science》的责任编辑Ip(叶永熿)教授。会议期间交流的52个报告,既介绍了中国古代彗星观测的研究、中国天文学的现状和未来、近两年对海尔—波普彗星的研究,又涉及到奥尔特云等彗星库、地球预警系统、狮子座流星雨,并大量谈论到对彗星的未来空间与着陆探测研究。本文将对其中某些内容做一简单介绍,并展望未来的彗星物理发展。

2 近两年对海尔—波普彗星的研究

自从1995年7月海尔—波普彗星被发现以来,全世界对它进行了从射电到X射线所有波段的大量观测研究。其中有:包括哈勃空间望远镜在内进行的长期观测;美国海军应NASA要求发射火箭,从300~400km高空对海尔—波普彗星进行的观测;在发现者号航天飞机上搭载仪器对该彗星进行的观测;以及从红外空间天文台ISO对它的观测。至今,已发表的论文已有1300多篇。这些研究,至少在三个方面有突破性进展:

国家自然科学基金(19653001)资助项目
1998-08-17收到

36 Cabetti D, Kinney A L, Storchi-Bergmann T. *Ap. J.*, 1996, 458: 132
39 Cabetti D. *A. J.*, 1997, 113: 102
40 Cabetti D, Kinney A L, Storchi-Bergmann T. *Ap. J.*, 1994, 425: 552
41 Moorwood A F M. *Space Sci. Rev.*, 1996, 77: 303

(1) 该彗星被发现时距离太阳有 7AU 之遥, 而它的近日距只有 0.9AU。通过不同距离的观测, 深刻了解其 CO 和水的整个升华过程。目前的结论是, 在彗核表面层, CO 与水的比例约为 1:10, 形成水冰粒。彗星很远时, 彗核表面温度保持在 30~40K。由于 CO 的升华温度为 24K, 因此, CO 的升华使表面形成多孔的水冰层。并在距太阳 $d > 7$ AU 时, 此层越来越厚(可能达 10cm), 并由于不再有丰富的 CO 升华而使温度上升。在大约 7AU 时达到辐射平衡温度 153K。这一温度正是水冰的升华和冰结晶的温度。结晶冰的产生紧随着 CO 的升华向深处延伸。在由冰结晶产生的热波达到 CO 富含层之后, 使 CO 的蒸气压增高, 产生爆发, 将水冰覆盖层抛掉。爆发使内部温度仅 40K 的含 CO 和水的层又裸露出来。但是, 在 $d < 5$ AU 之后, 水冰本身的加速升华已使冰粒不再能形成热保护披风。到 $d \approx 3$ AU 处, 水升华远超过 CO 升华而起主导作用, 尘埃喷流则主要由于水蒸气的喷发而引起^[1,3]。

(2) 钠原子彗尾的发现^[4,5]: 彗发中存在钠双黄线早已为人所知。使用干涉滤光片加 CCD 的窄波段照相, 1997 年在海尔—波普彗星中发现了钠原子彗尾。除了离子彗尾和分子型的尘埃彗尾, 这是人类发现的第三类彗尾——原子彗尾。并且, 可能存在着两类不同的钠尾: 一个发源于彗核区域, 形成基本上沿太阳反方向的细细的钠尾; 一个则是由彗发中尘埃粒子释放出的中性原子产生, 并且沿着尘埃彗尾的方向。最近, 在短周期彗星 P/Hartley2 和 P/Tempel-Tuttle 中也发现了钠。钠在星际介质和某些星周区域曾以中性原子甚至分子的形式出现, 也常被用作氢的柱密度或其它过程的示踪元素。现在认为, 钠在彗星中的存在是一种普遍现象。

(3) 阿克质量粒子与 X 射线的发射^[6~8]: 乔托等飞船所搭载的仪器主要对 $10^{-10} \sim 10^{-16}$ 克质量粒子进行探测。因此, 阿(或阿托, atto, 10^{-18}) 克质量的粒子信号长期以来被认为是不明噪声, 几年以后才得到确认。彗发外粒子数密度随 r^{-1} 而不是随 r^{-2} 的减少, 说明不断地有大的尘粒碎裂成小的。在海尔—波普彗星中探测到的软 X 射线的发射中心, 被发现并不在彗核中心位置, 而偏离了大约 140000km。X 射线的流量比早期模型大了约 10^3 倍。在建立新的阿克质量的尘埃模型 (ADM) 中, 可以用尘埃粒子的散射、荧光和磁致辐射对产生的 X 射线进行解释。

3 彗星库、流星雨以及地球预警

现在看来, 太阳系存在着三个主要的彗星库: 奥尔特云、柯伊伯带和弥漫彗星盘^[9~13]。现在的研究认为, 天王星和海王星对于奥尔特云的形成起了很大的作用。柯伊伯带天体, 由其距离以及最亮的星等, 可以估计出最大直径不超过 150km (这是按照哈雷彗星测定的 0.04 的反照率计算的)。而尺度为公里量级的短周期彗星, 可能是大的母体碰撞产生的碎块的第二代产物。有的人认为, 所有外太阳系天体 (从小行星带到柯伊伯带) 可能都有着同一起源。但是, 木星族彗星又是怎样从柯伊伯带天体转换过来, 仍不清楚。三个主要彗星库之间的关系, 也不清楚。

曾预计 1998 年 11 月 18 日晨在中国大陆上能看到非常罕见而壮观的狮子座流星雨^[14]。1999 年在中国就只有西部地区可能看到。这一流星雨是由 55P/Tempel-Tuttle 彗星的喷发物造成的。该彗星的远日点接近天王星, 降交点接近地球轨道, 周期约为 33.3yr。对流星雨研究的常规观测技术是光学成像、无缝光谱以及雷达。非常规的观测技术, 则是对流星曳光发射拍摄有缝光谱。这些观测对于研究彗星动力学、彗星尘的大小组成、化学组成等都十分重要。

彗星与地球的碰撞, 可能给地球上带来生机, 但同时也可能带来死亡。从地质学上讲, 彗星和小行星对地球的碰撞被看作是造成月球起源以及其外壳成形的原因。从生物学上讲, 彗星被看作是生命的载体和赋予者。彗星为早期地球提供了大部分甚至全部易挥发物质, 如水、二氧化碳、氮等。同样, 还带来了复杂的有机物分子。很可能在大约 40 亿年前, 彗星就使地球上有了生命。但是, 后来使地壳碎裂的碰撞, 损害了早期的生命, 甚至会使之灭绝。彗星就这样一次次重复演奏着地球生命起源的插曲^[15,16]。

如果像海尔—波普彗星这么大的彗星 (直径约 40km) 撞击地球的话, 将会释放出高达 1000 万吨 TNT 的爆炸当量, 地球上的生物很少有能幸存的。因此, 美国“太空警戒巡天” (Spaceguard Survey) 计划^[17], 将探测和追踪近地小天体 (包括小行星和短周期彗星) 作为主要研究目标。NASA 最近已明确把发现和追踪所有直径大于 1km 的近地小天体列入计划。并打算与美国空军以及其它的国际合作者一同工作。

4 未来空间与着陆探测研究

欧洲空间局计划在未来的5年之内,将进行5次火箭发射,对7颗短周期彗星进行空间探测。深空1号(DS1)计划的探测目标是76P/West-Kohoutek-Ikemura(简称P/WKI)彗星。星尘(Stardust)计划的探测目标是81P/Wild2彗星,这颗彗星在1974年从外太阳系突然转向内太阳系。等高线(Contour)计划的目标是探测2P/Encke、6P/d'Arrest、73P/Schwassmann-Wachmann3三颗彗星,其中的第三颗在1995年回归时已分裂。Rosetta计划的探测目标是46P/Wirtanen彗星。深空4号(DS4)计划的探测目标是9P/Tempel1彗星。其中DS1和DS4计划是与NASA的新千年计划(NMP)合作的。

于1998年7月发射的深空1号飞船,将飞越小行星McAuliffe3352号、火星以及P/WKI彗星。它与P/WKI彗星于2000年6月相遇时,彗星将接近其近日点(距离太阳1.6AU)。DS1将以约15km/s的速度在彗星上空约500km处飞过(1986年,乔托飞船飞越哈雷彗星时,最近距离为600km)。DS1将用它的多谱成像分光仪MICAS以及等离子体电子离子分光计PEPE对彗发、彗核进行观测,并对彗星离子与太阳风相互作用进行测量。

Rosetta计划由欧洲13个研究单位参与,飞船将于2002年发射,对P/Wirtanen彗星及其环境进行近两年的仔细研究。对彗星的近核研究将从彗星日心距约为3.25AU时开始,一直追踪到彗星通过近日点(日心距1AU)时。其遥感设备将从紫外到毫米波段,在2~10倍彗核半径距离,用OSIRIS小视角照相机,对彗核表面进行分辨率优于10cm的拍照。在2012年彗星日心距3AU时,总重20kg的仪器将降落在彗星表面,由蓄电池和太阳能供电,通过地面遥控工作几个月。这些仪器将采掘彗星表面和近表面样品,进行元素、同位素、化学组成、矿物组成、物理力学、光学和热学特性、表面形态特性等研究,并用声波法探测彗星内部结构,研究周围等离子体与太阳风相互作用,喷发物的强度、组成和温度分布及变化,以及彗星在向近日点运动时彗核的动力学过程。按计划飞船还将“顺访”小行星Otagawa和Siwa。

深空4号飞船将于2003年4月发射,于2005年12月进入环绕Tempel1彗星的轨道,并于

2006年4月将120kg重的着陆器送上彗星表面。着陆器携带有气体色层分离质谱仪CHARGE,一组6台全景照相机CIVA,一组3台带有内置近红外分光计的近场加显微镜镜头的照相机CIRCLE,一对测量彗核表面物理特性的探测器CPPP,一台可达1m深度进行采样的钻机SATM。DS4还可能将一架高分辨率的CCD照相机用于导航和在环绕彗星时拍摄彗核表面。一台尘埃计数器将用于估价彗发环境。一架伽玛射线/中子分光仪将进行彗核近表面物质的元素组成测量。着陆器在彗星表面将仅仅工作3d左右。最后,将彗星表面下不同深度的物质分装在3个不受外界影响的密封金属罐内,由着陆器的上半舱将样品送回飞船。飞船在经过4.1yr的飞行后,于2010年5月将样品送回地球。彗星样品的仔细分析,将在地球上的实验室里进行。

为了配合这几次空间计划,包括美国、法国、德国、塔吉克斯坦、意大利、以色列等国的研究人员都在其各自的实验室内进行彗核组成的模拟实验研究^[22~26]。美国JPL为DS4的发射专门建立了彗星模拟实验室,这是一个基础科学与工程相结合的高科技实验计划。

5 我们做什么?

古人言:“工欲善其事,必先利其器”。天文学,作为一门观测科学,由于我们现有的国力,在观测手段上已远远不能与世界接轨。对于遥远天体、暗天体,我们还没有能对其观测的强光力量望远镜。对行星领域内的天体,我们还仅仅停留在“看得见”,而先进国家不仅做到“看得清”,并已逐步走向“摸得着”。不仅上了月球,如今还计划登上彗星。天文学将不只是一门单纯的“观测”科学,在实验室中研究天文学正在成为可能。如今,在众多国家已经建立了彗星实验室,进行彗星物质模拟研究,并拟对未来的彗星物质取样进行实验室分析。相比之下,我们有很大的差距。我国要在这些领域内有所作为,必须要加大投资力度和组织科研力量。反过来说,这种基础科学与工程相结合的高科技项目,必然不仅对天文学,也会对我国工程高科技发展起到促进作用。目前,花钱较少而又有研究余地的领域,一是柯伊伯带等彗星库;但由于带中天体较暗,需要有大口径望远镜才能开展工作。二是研究近地小天体的地球预警系统;由于统计学上的概率性质及地球的昼夜变化,以及在某些特殊时刻可能需要高

时间分辨率的连续观测, 这一研究需要在全全球范围内合作, 我国天文工作者可以参与其中。此外, 在彗星、行星领域内, 仍有不少难以解开的谜, 也有不少理论工作, 其中不乏研究课题。在彗星物理的研究工作中我们仍应有所作为。

参 考 文 献

- 1 Shulman L M, Kidger M, Serra-Ricart M *et al.* IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 38
- 2 Biver N, Rauer H, Despois D *et al.* Nature, 1996, 380: 137
- 3 Prialnik D. Ap. J., 1997, 478: L107
- 4 Cremonese G, Boehnhardt H, Crovisier J *et al.* Ap. J., 1997, 490: L199
- 5 Cremonese G. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 5
- 6 Utterback N G, Kissel J. A. J., 1990, 100: 1315
- 7 Krasnopolsky V A, Mumma M J, Abbott M *et al.* Science, 1997, 277: 1488
- 8 Vasilyev S V, Kalinichenko A I, Vasilyev V P. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 41
- 9 Levison H *et al.* IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 23
- 10 Thomas N, Eggers S, Lichtenberg G *et al.* IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 40
- 11 Maslennikov K L, Gnedin Yu N, Bykov O A. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 27
- 12 Ip W H. IAU Colloquium No. 168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 17
- 13 Jewitt D. IAU Colloquium No. 168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 18
- 14 Jenniskens P. IAU Colloquium No. 168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 17
- 15 Cruikshank D P. Science, 1997, 275: 1895
- 16 Delsemme A H. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 7
- 17 Morrison D. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 30
- 18 Schulz R. IAU Colloquium No. 168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998,

35

- 19 Schwehm G H. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 36
- 20 Rosenbauer H, Bibring J -P, Wittmann K *et al.* IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 34
- 21 Green J R. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 12
- 22 Khare B N, Clemett S J, Vo-Dinh T *et al.* IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 20
- 23 Ibadinov Kh I. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 16
- 24 Colangeli L, Mennella V, Bussoletti E *et al.* IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 5
- 25 Lamy P L. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 21
- 26 Bar-Nun A. IAU Colloquium No.168, Cometary Nuclei in Space and Time, Abstracts, Nanjing, 1998, 1

(吴光节)

Future Development in Cometary Physics: Highlights of the IAU Colloquium 168 (Nanjing, May 18~22, 1998)

Abstract

The IAU Colloquium No.168 "Cometary Nuclei in Space and Time" was just closed in Nanjing. 78 participants came from 16 countries or local areas. Among them many are active on the front of every fields in cometary physics, Many important achievements, and future space investigation plans were published in this meeting, especially, including the newly research fruit about Comet Hale-Bopp. It is expected that, the most important development in cometary physics will come from space study. Human will obtain the material of a rue comet and analyze it in the laboratory. It will help us to understand many physical processes which happened in comets and their environments, help us to understand the origins and relationship of the three main cometary reservoirs: Oort cloud, Kuiper belt and scattered comet disk. How Chinese astronomers take a part in the research work in the world is also discussed in this paper.

Key words comet—cometary structure—cosmology—space astronomy

(Wu Guangjie)