

彗木相撞的地面观测

陈 军

关键词：彗星 小行星 木星 地面观测

1993年3月24日傍晚,休梅克夫妇(E. M. & C. S. Shoemaker)和利维(D. H. Levy)开始了他们千百个不眠之夜中的又一个。在他们多年合作中,发现“新”慧星本已习以为常。然而,这次他们却看到了一生中最不寻常的慧星。一生中能发现这样一颗彗星似该满足,于是E. M. 休梅克在1993年美国天文学会行星科学部(Dps)年会上宣布准备退休。但这颗彗星的奇特之处层出不穷,它留住了休梅克先生,也使世界上的望远镜在同一时刻指向同一天体。

一颗美丽的彗星

休梅克夫妇和利维的大部分巡天工作都是在帕洛玛山天文台的0.46米施密特望远镜上完成的。至1993年3月24日已有30颗彗星以休梅克(单独或与合作者)命名,而以休梅克-利维命名的彗星也有11颗。

1993年3月24.35503日(世界时,下同),他们在底片上看到一颗奇特彗星:约1角分的线状长条,指向东西方向,“尾”朝西北。当时位于赤经12:26:39.27,赤纬-4:03:32.9(J2000),V波段总亮度约14等。1993年3月26.29531日,斯科蒂(J. V. Scotti)用基特峰的0.91米空间监测望远镜及CCD也看到该彗星:其彗核部分似一长长的“火车”,约47角秒长,11角秒宽。此时其位于赤经12:25:42.24,赤纬-3:57:55.7(J2000),距木星4度。由其运行速度判断,其与太阳的距离与木星相当,约

5天文单位。它就是后来以发现者名字命名,并轰动世界的休梅克-利维9号彗星(SL9)。

1993年3月27日,加州大学伯克利分校的卢(J. Luu)及夏威夷大学的朱威特(Jewitt)在夏威夷岛的冒纳凯阿(Mauna Kea,夏威夷语意为“白色的山峰”)天文台,凭借其独特的优势位置(海拔4200米,大气视宁度通常达0.6~0.8角秒,最好时达0.3角秒),利用UH2.2米反射望远镜及Tek2048CCD,揭示了该彗星的深层图象:像串在一条直线上的“珍珠”,由至少17个亚核组成。极为漂亮、壮观。

值得一提的是,休梅克和利维并非唯一的SL9发现者。9天前,3月15.57153日,SL9已向人类展示英姿,出现在恩戴特(K. Emdate,日本北见,0.25米施密特照相机)所摄底片上。奥托莫(S. Otomo,奥托莫天文台,0.25米反射望远镜)和赫林、劳伦斯及布鲁尔(E. Helin, K. Lawramce, C. Brewer,帕洛玛山,0.46米施密特望远镜),均曾在各自摄下的底片上看到过它。梅里达(Merida)天文台的纳兰霍(O. Naranjo)也于3月26.33333日发现该彗星,但4月1日才报告。而休梅克和利维在观测到该彗星后,已抓住机遇,及时处理图象数据,利用经验迅速作出判断,在这一天向世界正式宣布。其他发现者都没能把自己名字与这颗不寻常的彗星联系起来。

一颗奇特的星体

SL9被发现之后,经进一步观测、分析、证认,朱威特等正式宣布,该星体有21~22个亚核,几乎严格处于一直线上(或平面上,若我们碰巧处于其90°位置),亚核亮度在R波段(中心波长约640纳米),为16~19等,总亮度约13等。遗憾的是,除冒纳凯阿天文台外,位于

陈军,夏威夷大学天文研究所博士研究生。

Chen Jun, Ph. D. Candidate, Institute for Astronomy, University of Hawaii, 2680 Woodlawn Drive, Honolulu, HI 96822, USA.

其他地面天文台的观测者只分辨出少于 17 个数目不等的亚核,维修后的哈勃望远镜(HST)证实,SL9 拥有不少于 21 个亚核。尽管观测到的亚核数不同,有一点是一致的:所有亚核均列于一直线上,并被大量尘埃包围。还观测到,它具有核、发、尾。它的周期约为 17 年,应归于短周期彗星(周期小于 200 年的彗星均被归于短周期彗星)。它碎成 21 块,亦属罕见(有纪录的彗星分裂事件不多,且碎块数目只在 2~5),其分裂可能就发生在 1992 年 7 月 8 日那次与木星的近距离接触时。

通常,彗星是一个具有核、发、尾的星体,彗核状似恒星,看起来是一点状源,在其外壳不连续处,会有易挥发性物质,如 CO 冰升华,并拖曳出许多尘埃颗粒,即彗发,因太阳的辐射压力,部分尘埃被吹到太阳反方向一面而形成彗尾,若其中有电离气体,如 CO^+ 等,会在太阳磁场作用下形成一条等直的等离子体尾。当然,有些彗星会因离太阳太远,或多次通过近日点而渐渐用完体内挥发性物质,显得较暗且不活跃,没有或只有很淡的彗发、彗尾。

冒纳凯阿天文台的优良观测条件,使朱威特及其合作者有机会对 SL9 进行更深层的观测和至少每月一次的追踪,从他们的图象数据中可清楚地看到 SL9 形体及光度的变化。

SL9 与一般短周期彗星不同,我们可以把它的异常活跃归因于它的分裂。问题是,就有纪录的彗星分裂事件来看,亚核的平均寿命只有约 100 天,这是因为组成彗星的固体物质反光率极小,分裂后的亚核本身表面积就可能很小,100 天后通常就会逃出人们的视线。可 SL9 并非如此,若分裂发生在 1992 年 7 月,发现时是 1993 年 3 月,其还保留 21~22 个亚核,且直到 1994 年 7 月初,大约 20 个亚核仍清晰可辨,有的老亚核消失了,但有的又各自分成 2 个,其寿命可谓长矣。其次,朱威特等发现,其根本不具有通常意义下的明显点状源样彗核。可见的“彗核”似乎只是一些尘埃的集结。其颜色较符合已有知识,通常较红。奇怪的是,所有亚核颜色都很一致,这是否说明彗星的内外组成物质没有差别呢?似乎不好想象。从理论上说,彗星形成于天王星和海王星区域内,其内部物质应反映那里特征,而外部因其短周期,且距太阳较近,受太阳辐射、太阳风和宇宙射线的影响发生变化以致不同于内部组成。更进一步,彗星活跃性由挥发性物质引起,

距太阳 6 天文单位以内,该物质主要是 H_2O 冰,而 6 天文单位以外,据最新观测首次证实是 CO。另外,还有许多分子、离子存在于彗星体内,如:OH, NH, CH, CN, C_2 , C_3 , NH_2 , CH^+ , Na, CO^+ , OH^+ 等,人们预期在 SL9 的光谱分析中找到至少其中几种物质。这方面最先报告来自得克萨斯州大学的科克伦(A. Cochran),他利用麦克唐纳天文台的 2.7 米望远镜在 300~570 纳米波段对 SL9 进行光谱测量,粗略分析结果表明没有发射线。此后,朱威特又利用冒纳凯阿的 CFHT3.6 米望远镜和凯克(Keck)10 米望远镜于 300~450 纳米波段对该彗星进行光谱测量,结论仍然是没有发射线。而如果存在 OH, CN, C_2 这些彗星中极常见分子的话,上述波段应有它们的谱线。

人们开始怀疑:SL9 也许并非一颗彗星。它更像一颗小行星,被木星潮汐力撕成碎片,再由这些尘埃颗粒聚集成 21 个亚核。剩下没有聚集的尘埃在这些“核”周围形成“发”,并进一步在太阳辐射压力作用下逐渐运动到太阳反方向而形成“尾”。这是目前较能被接受的一种提法。阿斯普豪格(Asphaug)等 1994 年的工作对此过程进行了形象模拟,给出 SL9 的母体直径约 1.5 千米,密度为 0.5 克/厘米³。

简言之,SL9 是一堆尘埃的分散集合体,各团块大小决定于自身引力、木星引力及太阳辐射压力及木星反射光辐射压力,该理论较好解释朱威特等追踪到的现象:总亮度渐暗,各亚核有些增亮,有些减暗,并有新“亚核(?)”出现。“彗发”渐小,“彗尾”由初始整体“大尾”到各核分带“小尾”,最终几近消失。随着 SL9 离木星越来越远,“火车”长度加长,最后各亚核也被拉长的现象,更易被此理论解释,因为这是几个力作用下,逐渐占主导地位的木星引力作用于各尘埃颗粒造成的开普勒运动的结果(各尘埃颗粒距木星距离不同)。

SL9 是彗星或小行星,至今没有定论。随着近代行星科学及观测手段的发展,很难给某天体作传统的严格分类。一颗离太阳较远的天体,看起来像小行星,实际上可能是彗星,只是那里实在太冷,连 CO 也呈干冰状罢了。如 2060 Chiron,发现时像一颗小行星,于是人们把它归入小行星册,可当它逐渐靠近太阳,便显示出彗星真面目,是“活的”。而一颗离太阳较近,看起来像小行星的天体,也有可能是用尽所有挥发性物质的“死了的”彗星。

撞向木星

SL9 被发现不到一个月时间里,关于其位置的近 200 次准确测量汇集到负责整理发放有关天文最新观测结果的马斯登 (Brian G. Marsden) 处。基于这些观测,特别是从中野、小林 (S. Nakano, T. Kobayashi, 日本) 及迈耶、奥伯梅尔、拉布 (E. Mayer, E. Obermair, H. Raab, 奥地利) 的 CCD 图象上获得的信息,人们辅以一些理论模型模拟,发现该彗星因木星吸引而于约 100 年前逐渐脱离原轨道,于 1992 年 7 月 8 日左右进入木星洛希极限 (从木星中心算起 $\Delta J = 0.0008$ 天文单位) 并被撕成碎片,它与木星另一次近距离接触将发生在 1994 年 7 月 25 日左右,届时 ΔJ 将为 0.0003 天文单位,而木星半径为 0.0005 天文单位,即该彗星将撞入木星。

经进一步观测和计算,终于在 1993 年 11 月确认:该彗星终结处确是木星,离木星中心最近距离约 0.0002 天文单位,碰撞将发生在 1994 年 7 月 17~23 日。这是首次测得木星与其他星体碰撞事件。在此之前,人们对木星内部结构、组成物质除 H, He 外所知无几,且限于理论模型。若该彗星亚核足够大,撞击力是惊人的。若能在木星大气中打出一“隧道”,或使木星内部物质“飞溅”出来、能引起“木星震”等等,将使我们对木星了解有巨大飞跃。

人们为此做着尽可能多的准备。首要工作即是准确确定各亚核轨道,从而得到足够精确的碰撞发生时间,这对空间观测尤为重要。

越来越多望远镜加入 SL9 的观测,天文学家在欧洲南方天文台 (ESO)、基特峰及冒纳凯阿等各大天文台努力下,使碰撞时间估计误差越来越小,将最先碰撞的几个小时不确定性缩小到约 ± 7 分钟。ESO 的观测计算则将碰撞划定为 1994 年 7 月 16.826~22.330 日。

可不断传来的消息似乎并不乐观。冒纳凯阿夏威夷大学的跟踪观测数据显示:SL9 越来越暗,其原包围“核”的大量尘埃迅速消失,原相对较大的 7 号和 8 号亚核分别“分裂”成两个,而原较小的 10 号和 13 号核从 1 月份起就消失了。至 6 月,最亮的亚核 7a 也只有约 20 等 (R 滤光片),而在发现之初约为 16 等。总视星等也由发现之初约 13.6 等降到 1994 年 2 月的 15.4 等,即远在碰撞发生前 5 个月,彗星的亮度已比刚发现时减弱 5 倍多。对一反光体

来说,变暗即意味着变小。由于 SL9 不断变长,逐渐超出多数 CCD 或底片的视场范围。同时,由于逐渐靠近木星,来自木星反射光的干扰逐渐增强,故从 2 月份后,不再有有意义的总视星等数发表。随着木星的引力作用逐渐加大,在周围尘埃颗粒消失息尽的同时,“亚核”顺 SL9 的整体延展方向被明显拉长,可见,“核”并非真正意义上的整体核,而只是尘埃团,且其自引力正拼命与木星引力相抗衡。一些科学家认为有可能它在撞上木星之前,会再次被木星撕得粉碎,如果这样,举世瞩目的彗木碰撞将如一盘散砂冲进大海,就算没有彻底变成“散砂”,几颗小石头投入大海,不能希望在 5 天文单位以外的望远镜收到任何可提示木星内部结构、组成的强信息。另一些科学家则认为,尽管冲击能量会较原先预计小,但各亚核还是会作为整体冲进木星,激起极可观景象,如巨大的蘑菇云等,并希望能观测到一些能量的爆发及一些发射线。

人们在期待、猜测及争论中等待着,7 月 15~22 日及其前后几天中,地球上几乎所有望远镜都对准了木星。工作在包括从紫外到射电的所有波段,所做工作大致有两类:(1) 获取木星及其卫星 I 的 CCD 图象,进而测光,以得到碰撞能量,推知蘑菇云组成物质来自的深度及木星大气内部情形。从光度及蘑菇云形态变化情形,推知木星大气层运动态势。(2) 获取各波段光谱。木星大气中许多未发现元素和分子有可能因为碰撞而显露出来:或由蘑菇云从木星深层大气带出;或因碰撞带来能量而合成、激发,从而有发射线。

关于射电波段工作,因为瓣宽原因,无法确定任何局部木星表面变化,但人们仍希望能观测到射电爆及辐射偏振角变化,以了解碰撞给木星磁力圈带来的影响。

问题复杂性在于 SL9 撞向木星的预定地点在背向地球一面,届时地平面上可观测时间只 3 小时。故此,虽 21 个亚核将连续不断撞向木星,各地能“看到”的碰撞事件均不超过 5 个。好在木星自转周期仅约 10 小时,使无法直接观测到的碰撞所留下的痕迹有可能留住并被观测到,而某些木星卫星,如 I。所处位置能将碰撞时的“闪光”反射地球。有些科学家把目光集中到碰撞后木星大气及其磁力圈变化上。

碰撞终于发生了,大多数科学家没有失望,并有许多漂亮图象问世。对于已公布的地

面观测报告,下面作一简单综述。

首先,最漂亮的图象来自红外波段,如 2.1, 2.2, 2.3 微米,也有短至 1.5 微米。长至 10 微米处的图象问世。在此波段,人们看到除 $P=8, T=4, U=3, V=2$ 外所有碰撞造成的蘑菇云或遗迹(SL9 的亚核曾经两次编号,第一次用数字,第二次用字母)。亚核碰撞强度各有大小,总的来说,碰撞时有“闪光”、火球,几分钟后成一大亮斑(蘑菇云),二三十分钟至几个小时后亮斑转暗变成中心黑、带圆环的暗斑,此暗斑小的几小时后逐渐消失,大的一个多星期后仍能清楚看到,并可见其因木星大气运动而拉长,墨西哥国家天文台及冒纳凯阿天文台凯克望远镜更称他们看到了“失踪”的 M=10 号亚核造成的暗斑。其实它一直在那儿。

光学波段图象的取得似乎都不太成功,这应与木星强烈的反射光有关。另一些较成功的图象来自 892 纳米甲烷滤光片,较能反映光学波段的情形,但不如红外波段理想。

在光谱工作方面同样有许多报告声明测到谱线,可时间关系,多数数据尚未经严格处理,报告也欠严密。由多个天文台共同测得的一些谱线可信度较高,而有些谱线的存在与否则难以确定。目前,宣布测到的谱线有:285.2 纳米 Mg 线、279.9 纳米和 280.4 纳米 Mg⁺ 线、589.0 纳米和 589.6 纳米的 Na 双线、670.8 纳米 Li 线、766.5 纳米 K 线、257.8 纳米 Cs 线、3.5 微米 H₃⁺ 线、2.12 微米 H₂S 线、230 吉赫 CO 线,以及 CH₄, HCN 辐射等。

值得一提的是来自柯伊伯(Kuiper)机载红外望远镜的报告,该报告称在 G 和 K 碰撞中,于 7.7136, 7.7118 和 7.7090 微米处看到 H₂O 线,并认为,由其发出位置(碰撞地点),所需高温(大于 500 开)及短的持续时间(30 分钟),可证明该线来自 SL9,即 SL9 是彗星而非小行星。笔者认为,下此结论似乎过早。水分子同样可能来自木星大气 5×10^5 帕处,这与其“位置”、“温度”判据并不矛盾,G 是最强碰撞,K 也是次强碰撞之一,由这两次碰撞时 CH₄ 辐射强度分析,碰撞处温度当时可达 700 至几千度,而 30 分钟正是“亮斑”变暗(下沉)、冷却的时间尺度。另据 NASA/IRTF 望远镜的报告称没有看到 H₂O 分子谱线。

在射电波段,人们如期看到辐射不断增强。在 834, 1404, 1430, 1664, 3263 兆赫及 86 吉赫等频率处,辐射均增强 30%~50%。而

1430 兆赫处更显示其线偏振角没有变化。

总之,目前尚很难说已有给木星科学带来突破的发现或分析公布。

新的搜寻

SL9 消失了。有人指望它能从木星另一面穿出,带来木星内部的信息,但未如愿。它的慧核太小,不足以给巨大的木星带来振动,也不足以抗拒木星内部将施予它的压力。

SL9 的出现与毁灭给天文学家带来启示:或许在宇宙空间中有许多这样的被大星体撕成碎块的小星体,一批行星科学家投入了木星周围“新”星体搜寻工作,希望能看到更多更大的天体(碎片)撞到木星上,若能引起大反响,揭示木星内部结构,将对太阳系形成及演化史的了解带来不可低估的作用。迄今尚无特别进展,但休梅克等又为彗星家族添加了三个新成员。而 1994 年 8 月 13 日以来 Machholz 2 (19940) 及其 5 个亚核(9 月 6 日止)的发现,更给分裂彗星名单加上了重重一笔。

昙花一现的 SL9 给搜寻近地小行星的工作者带来启示,若 SL9 碰到地球会怎样?那是 5000 亿吨 TNT 爆炸带来的冲击。SL9 的分裂历史也为一些近地小行星来源提供了线索。

SL9 的地面观测还鼓舞了小望远镜拥有者,在许多人涌向越来越大望远镜试图去探索宇宙起源问题时,人们却连自己生存的太阳系起源问题尚无肯定答案,太阳系中仍有许多天体游历着,等待我们去发现。小望远镜视野较宽,足以做许多太阳系内的研究工作,许多太阳系内小天体,包括 SL9 均是在小望远镜上发现的,甚至根本没有 CCD。推广来说,类似太阳系的系统很可能存在于许多主序及主序前恒星周围,了解太阳系的形成和演化有助于了解其他类似恒星系统的形成和演化,并进一步为了解星系、星系团,乃至宇宙的形成和演化打下基础。

[1] Asphaug E, Benz W. *Nature*, 1994, **370**:120

[2] Chen J, Jewitt D. *ICARUS*, 1994, **108**:265

[3] Jewitt D, Chen J. *I A U C No5924*, 1994

[4] Jewitt D, Lun X J, Chen J. *Bull Am Astro Soc*, 1993, **25**:1042

[5] Jewitt D, Trentham N. *I A U C No5999*, 1994

[6] Sekanina Z. Split Comets. In: Wilkening L L. *Comets*. Tucson: Univ of Arizona Press, 1982

[7] Senay M, Jewitt D. *Nature*, 1994, **371**:229