

# 探究彗核奥秘的“深入撞击”号

李 良

格林尼治标准时间 2005 年 1 月 12 日 18:47 分(北京时间 1 月 13 日 2:47 分), 美国国家航空航天局用波音三角洲 2 型运载火箭将“深入撞击”号(Deep Impact) 探测器从美国佛罗里达州南部的卡纳维拉尔角发射升空; 6 个月后“深入撞击”号将接近坦普尔 1 号(Tempel - 1)彗星。届时, 探测器将向彗星射出其搭载的重达约 363 千克的撞击器; 探测器上携带的高清晰度照相机会拍下彗星内部的结构, 各种科学仪器还会研究被撞飞的彗核碎片等物质。这是人类探测器首次撞击彗星, 全球天文学家、天文爱好者将目击碰撞胜景。

## 彗星——太阳系的稀客

据估算, 太阳系彗星的数量多达上千万颗之多, 它们大多分布在太阳系遥远的外边缘。许多彗星的轨道是比较扁长的椭圆轨道, 按一定周期围绕太阳运行; 由于轨道的特殊性, 导致一些彗星的公转周期相当之长, 可达到几百年甚至上万年。某些彗星是抛物线或双曲线轨迹, 在太阳附近露一次面便匆匆离去, 它们只是太阳系的一个匆匆过客, 离开了就再也不回来了。迄今为止, 人们对彗星的形成及其构成可以说知之甚少。尽管几百年来, 人类一直在观测彗星, 了解到有关彗星的一些特征, 但是仍然有一些谜团, 如彗星上存在着太阳系最原始的物质, 但是人们还不知道这是何种物质; 宇宙中存在很多貌似小行星的休眠状态的彗星, 但人们还不知道如何很好地鉴别它们; 虽说已经了解到一些彗星的物理和化学特征, 但是还不晓得如何利用这些特征来确定彗星的类型。

人类第一次近距离观测的彗星是哈雷彗星。在 1985 ~ 1986 年的哈雷彗星探测热潮中, 美国、前苏联、欧洲空间局和日本各自发射了彗星探测器。欧洲空间局的“乔托”号探测器成功接近了哈雷彗星。这个探测器飞到了距离哈雷彗星彗核不到 600 千米的地方, 冒着被彗星散发出的尘埃粒子击毁的危险, 成功地拍下了花生果形状的彗核照片。

1998 年 10 月 24 日, 美国宇航局(NASA) 发射了“深空 1 号”探测器, 其主要任务是探测近地小行星布拉耶和伯雷利(Borrelly) 彗星。2001 年 9 月 22

日, “深空 1 号”以 16.5 千米/秒的速度, 进入 Borrelly 彗核扩展出来的由气体和尘埃组成的彗发, 距离彗核约 2200 千米探测, 拍摄到 50 张非常清晰的照片。从伯雷利彗核照片中看到, 如保龄球状的彗核上有一条明亮的喷流, 是由于太阳辐射作用从彗核内部喷出的气体和尘埃。伯雷利彗星的彗核看上去好像花生果, 长约 8 千米、直径 4 千米, 是自 1986 年欧洲太空局“乔托”号拍摄哈雷彗星以来最清晰的彗核照片。

1999 年 2 月, NASA 发射了“星尘”号彗星探测器, 2004 年 1 月初, “星尘”号成功地在距离怀尔德 2 号(81P/wild - 2) 彗星 150 千米的地方收集到来自彗核的物质, 并拍摄到怀尔德 2 号彗星的彗核照片。2006 年 1 月, “星尘”号彗星探测器将携带采集到的彗星物质样品返回地面。

2004 年 3 月 2 日, 欧洲空间局发射了重约 3 吨的“罗塞塔”彗星探测器, 它装备了 10 个科学探测仪器, 这些仪器将分析彗星的物理和化学构成及其电磁和引力的特性等; “罗塞塔”接近彗星后, 将分为轨道飞行器和登陆器两部分, 预计 2014 年 1 月, “罗塞塔”将到达距离对 67P/楚留莫夫·格拉西门克彗星几千米处, 并在这一高度的轨道上围绕彗星运转; 同年 10 月, 它将向彗星发射登陆器。登陆器将实地考察彗核的表面, 以及表层下的成分构成、硬度、密度等, 它还装载了一个特殊的照相机, 届时它会把大量图片资料传回地面控制中心。空间探测器登陆彗星探测, 迈出了人类探索彗星的重要一步, 将为天文学史写下崭新的一页。

## 主动向彗星“出击”的“深入撞击”号

科学家们认为, 彗星是大约 45 亿年前太阳系形成之初的原始物质碎片, 是人类了解太阳系星体和地球生命物质的重要钥匙。迄今为止, 人类只探测过 3 颗彗星的核, 即哈雷彗星、伯雷利彗星和怀尔德 2 号(Wild - 2) 彗星。为了探索太阳系的奥秘和保护地球家园, 人们必须对彗星有深入的了解。2005 年 1 月 12 日, 美国宇航局的“深入撞击”号彗星探测器发射升空, 前往探测“坦普尔 1 号”(Tempel - 1) 彗星。美国宇航局原定于 2004 年 12 月 30 日发射, 由于发

现了一些小缺陷，探测器的发射日期被推迟。美国宇航局的此项深入撞击彗星探测是空前的，可以说，这是人类历史上第一个实际接触并深入研究彗核的探测计划。

与美国宇航局以往的空间计划有所不同的是，“深入撞击”号彗星探测器并不是被动地等待彗星光临后进行观察研究，而是主动“出击”。据报道，2005年7月4日（美国的独立日），“深入撞击”号将接近坦普尔1号彗星，24小时后，“深入撞击”号的主探测器向彗核发射出所搭载的铜制、重达800磅（约363千克）的撞击器。撞击器将以每小时2.28万英里（约3.67万千米）的速度冲向彗核。虽然撞击器会被直径约6千米的彗核吞噬掉，但彗核上也会被撞出一个约7层楼深、足球场大小的凹坑。这时，探测器上携带的高清晰度照相机会拍下彗核内部的结构，各种科学仪器还会研究被撞飞的彗核碎片等物质。

“深入撞击”是美国宇航局“发现”计划中的第八项任务。该项目从2000年初开始实施，实现全部计划历时7年。2005年8月开始，由“深入撞击”拍摄的照片及收集的数据陆续地传回地球，整个数据传输将持续1个月；2006年4月，科学家们分析完这些照片和数据后，该项目最终结束。这一项目的主要参与单位是喷气推进实验室、马里兰大学和Ball航天技术公司。有趣的是，“深入撞击”与1998年美国的一部描述彗星撞击地球科幻电影同名。美国宇航局喷气推进实验室“深入撞击”探测计划科学家唐·约曼斯说，“从科学角度来看，‘深入撞击’计划就好比让一只蚊子冲进一架波音767客机，完全不会影响到彗星本身的运行轨道。”

坦普尔1号彗星于1867年被发现，彗核直径约6千米，呈扁球状。天文学家对该彗星进行长期研究后推测，至少在此前的30万年中，坦普尔1号彗星的近日点距离一直保持在10个天文单位以内，轨道倾角很小。现在坦普尔1号彗星的轨道周期为5.5年，近日点距离1.5天文单位，轨道偏心率0.5，其轨道介于火星轨道与木星轨道之间。虽然目前只获得有关坦普尔1号彗星很少的信息，但天文学家确信它已经飞进太阳系100多次，这使其成为研究彗星表面变化最好的目标。

“深入撞击”号彗星探测器首要科学目标是探测彗核内部与其表面之间的不同。研究彗星的科学家

们相信，几十亿年来，彗核的表面已经高度演化，由于多次接近太阳而导致其最表层的冰融化，这会对彗星表面以下的物质产生巨大影响。“深入撞击”号的探测有望回答的问题之一是，宇宙的原始物质到底埋藏在彗星内部多深的地方？当“深入撞击”号携带的撞击器撞击坦普尔1号彗星时，会产生巨大的动能。该撞击器重量为370kg，运行速度为10.2千米/秒，这意味着它的动能将是19京焦（GJ），相当于4.8吨TNT爆炸释放的能量。撞击器及撞击坑中的一些物质将在撞击的瞬间融化甚至蒸发，产生巨大的焰火，结果在坦普尔1号彗星表面留下一个足球场那么大的撞击坑，坑的深度大于25米。巨大的能量会使坑中的一部分物质喷射出来，发生一些吸热性化学反应。

当喷射物从撞击坑中喷射出来时，最早喷出的是彗星最表层的物质，它会喷射在离撞击坑最远的地方，而越晚喷射出的物质，原本埋藏在彗核的越深处，这些物质会喷射在离撞击坑越近的地方，“深入撞击”将对这些喷射物成像，通过对最早的喷射物与后来的喷射物的比较，可能会确定出原始物质埋藏在彗核内部有多深。观察撞击坑的形状、测量撞击坑的深度和直径、确定撞击坑及其喷出物的内部结构、监测由撞击喷发出的气态物质的变化，这就是“深入撞击”号的使命。美国宇航局发言人说，希望这次撞击能至少撞下彗星的一块表层，以达到探视彗星内部情况和了解彗星尘埃的目的。

这项耗资3.3亿美元的太空行动原计划于2004年12月30日启动，但由于种种原因推迟了两次：一次是由于设计人员需要再次进行地面试验，另一次是要置换一个发射部件。“深入撞击”的发射截止日期为2005年1月28日，只要在这一期限内，任何时间发射太空船都不会错过2005年7月4日与坦普尔1号彗星的会合。

### “深入撞击”号探测器的结构

“深入撞击”号探测器的质量为650千克，体积为 $3.2 \times 1.7 \times 2.3$ 米，大约有一辆中型面包车大。它实际上包括两个航天器，主探测器和撞击器。在撞击器被主探测器抛出之前，它一直“藏”在主探测器中，它们各自携带有仪器，完成不同的探测任务，并能独立地接收和发送信息。除了撞击器，主探测器还包括一个固定的太阳帆板及小的镍氢电池、一幅高增益天线、碎片防护装置、高分辨率仪器（HRI）和

中分辨率仪器(MRI),HRI 和 MRI 用于成像、红外光谱及光学导航。

当撞击器被释放出去以后,主探测器将会降低速度,准备在距坦普尔 1 号彗星 500 千米以内观测撞击过程,其主要任务是,考察撞击后 10 多秒内彗核的变化,对撞击过程、撞击坑的形成及坑内部成像,获取彗核及撞击坑内部的能量谱,并存储、发送图像和能谱数据,它还接收撞击器发出的数据。在此过程中,其高增益天线向地球发回近实时图像。

对碎片的防护是主探测器设计的关键技术。当其飞过彗发时,探测器将有被小的粒子撞击的危险,这可能会导致探测器的控制、成像和通信系统遭到破坏。为了尽可能的减少损害,探测器飞过彗发时要旋转行进,以使碎片防护装置对探测器及其仪器实施全面的保护。

撞击器主要由铜(49%)和铝(24%)制成,能抵得住其自身发出的光学射线(用于分析彗核)的腐蚀。在撞击坦普尔 1 号的彗核之前 24 小时,它与主探测器分离,这时“深入撞击”距离彗星  $8.64 \times 105\text{km}$ 。在这么远的距离上以  $10.2\text{km/s}$  的高速撞击到直径小于  $6\text{km}$  的区域内,而且该区域必须被太阳照射,以便科学仪器能对撞击过程及结果进行拍照,这是对“深入撞击”项目最大的挑战。

为了完成这一使命,撞击器携带 1 台高精度星跟踪器——撞击器目标遥感器(ITS),并使用喷气推进实验室曾为深空 1 号研制的自主导航系统进行导航。撞击器携带有肼推进系统,能提供  $25\text{m/s}(\Delta V)$  的推进速度,以进行必要的轨道修正和姿态控制。

高分辨率仪器(HRI)是为行星探测科学制造的最大的天基仪器之一,也是在行星探测领域第 1 次使用此类仪器。它由 1 台  $30\text{cm}$  孔径的望远镜、1 台红外分光计及 1 台多光谱 CCD 相机组成。HRI 的视场角为  $0.118^\circ$ 。当主探测器在距离彗星  $700\text{km}$  处时,其 CCD 相机以小于  $2\text{m}/\text{像素}$  的分辨率对彗星成像,比 MRI 的分辨率高 5 倍,在这种分辨率下,撞击坑的跨度可能有  $60 \sim 100$  像素,因此适合观察彗核,能拍到彗星更清晰、更详细的照片。CCD 相机的光谱成像模块(SIM)能以彩色、黑白及红外方式进行成像。HRI 的分光计成像比例为  $10\text{m}/\text{像素}$ ,在撞击过程中及撞击坑形成后,这台红外分光计将探测释放出来的能量气体及喷射物的红外能量。这些数据被收集后,通过分析,并与宇宙中已发现的已知物质

的能谱相比较,就可以实现对未知物质的认识。

中分辨率仪器(MRI)主要作为 HRI 的备份,但在任务期间,MRI 还起到 HRI 无法替代的作用。MRI 的望远镜是 1 台卡塞格林望远镜,孔径为 12 厘米,焦距为 2.1 米。由于它的视场角宽,为  $0.587^\circ$ ,其最大分辨率为  $10\text{米}/\text{像素}$ ,因此能观测到彗星周围更多的星体,产生彗星的大幅照片,并通过彗星周围的气体和尘埃粒子导航,从而更适合在撞击前最后 10 天的导航。HRI 与 MRI 的不同之处在于望远镜的视场角和分辨率的不同。

撞击器目标遥感器(ITS)被安装在撞击器中,其视轴与撞击器的 X 轴平行。它与 MRI 使用相同型号的望远镜和 CCD 相机,用于在撞击器飞向彗星过程中的导航,此外,在其光学器件没有被尘埃破坏前,它提供的照片分辨率为  $0.5\text{m}/\text{像素}$  甚至更高,有可能是“罗塞塔”着陆彗星(2014 年)前所提供的分辨率最高的彗星照片,这将是最重要的科学成果之一。在接近彗核过程中,ITS 的视轴与撞击器的速度矢量在一条直线上,以指向撞击点。

### 期盼目击碰撞胜景

“深入撞击”号彗星探测器项目的主要研发者、马里兰大学的科学家埃西恩说:“在太阳系中,目前只有彗星内部物质,从太阳系诞生至今仍然不变但科学家至今并未拥有彗星内部构造与物质的资料数据,所以,希望借助于‘深入撞击’来获取这一资料。”这是人类第一次尝试撞击彗星,以削落它的表层,分析其物质。这次撞击应该不会改变彗星的行进路线。但科学家们并没有把握一定能将彗星撞出个深洞,有人认为,这种碰撞可能只会达到擦撞效果。加州帕萨迪纳喷气推进实验室的“深入撞击”计划主管里克表示,虽然错过目标的几率小于 1%,但由于此前从未做过这样的试验,需要不断测试。为确保撞击行动万无一失,航天器设计师们对飞行的软硬件系统进行了反复测试。在测试过程中一旦发现问题,便要对工作进行再次核查。

今年 7 月,“深入撞击”号对彗星坦佩尔 1 号的撞击探测,将是航天界、天文学界的一件大事,“深入撞击”号将在那时接受严峻的考验。届时,美国在太空中的三大望远镜——哈勃空间望远镜、“钱德拉”X 射线望远镜和“斯必泽”红外望远镜也将悉数上阵,全程跟踪观测整个撞击过程,以防遗漏任何撞击细节。到那时,地球上的天文学家和天文爱好者将

# “渐近自由”的实验证明

何景棠

2004年10月5日，瑞典皇家科学院宣布，将2004年的诺贝尔物理学奖授予美国加州大学圣巴巴拉分校卡夫利理论物理研究所的戴维·格罗斯(David J. Gross)、加州理工学院的戴维·波利策(H. Davis Politzer)和麻省理工学院的弗兰克·维尔切克(Frank Wilczek)，以表彰他们发现了粒子强相互作用的理论中的“渐近自由”行为。

自然界存在引力、电磁力、弱相互作用力和强相互作用力。月亮围绕地球转、地球围绕太阳转受引力支配；电磁力把原子核与电子组成原子，把原子组成分子；核的 $\beta$ 衰变受弱相互作用力支配；戴维·格罗斯、戴维·波利策和弗兰克·维尔切克发现的粒子强相互作用中的“渐近自由”行为，解决了多年来人们一直寻找的强相互作用力的性质。

## 一、夸克模型和寻找自由夸克

第二次世界大战以后，1948年，塞西尔·鲍威尔(Cecil Powell)利用核乳胶在南美的高山宇宙线站照射后，分析核乳胶照片，发现了 $\pi$ 介子，这是粒子物理研究一个新时代开始的标志。塞西尔·鲍威尔(C. Powell)获得1950年诺贝尔物理奖。直到60年代初，世界上各个高能物理实验室已经发现的“基本粒子”已有100多个。人们思考一个问题：100多种化学元素可按门捷列夫周期表分类，那末，能否找到一种办法，也把“基本粒子”按类似门捷列夫周期表的办法分类？1962年盖尔曼Gell-Mann和茨韦格(Zweig)终于找到了把“基本粒子”分类的办法。他们设想，自然界存在u(上)、d(下)、s(奇异)三种夸克，以及它们的反夸克。介子是由夸克和反夸克组成的；而重子是由三个夸克组成的。于是，可以把当时实验上找到的介子和重子有规律地分类。夸克模型就能解释当时实验上找到的所有介子和重子的性质。盖尔曼(M. Gell-Mann)因为创建夸克模型的成功，获得1969年诺贝尔物理奖。

按照夸克模型，质子由(uud)三个夸克组成，中

通过各种望远镜观测撞击彗星的过程和结果，并通过因特网转播。

人们期盼“深入撞击”号能够取得优异的探测结

子由(ddu)三个夸克组成。所以，组成物质的最小单元是夸克。由于质子的电荷是+1，中子的电荷是0，所以，u夸克的电荷是 $Q_u = (+2/3)$ ，d夸克的电荷是 $Q_d = (-1/3)$ 。

构成物质的另一类最小单元是轻子，它们是电子、 $\mu$ 子、 $\tau$ 轻子以及它们的中微子。电子有它的反粒子——正电子。电子和正电子对的最低能态是处于费米海中。如果 $\gamma$ 射线的能量足够高，高于产生自由电子和自由正电子对的阈能，那么，这样的高能 $\gamma$ 射线与物质相互作用，就可以打出自由的电子和自由的正电子对。如果物质是由夸克组成的，是否存在自由夸克呢？是否可以像打出自由的电子和自由的正电子对那样，打出自由的夸克和自由的反夸克呢？

60年代末70年代初，寻找自由夸克是粒子物理的重大课题。由于夸克带有分数电荷，如果存在自由夸克，那么，是很容易探测到它们的。因为带电粒子穿过物质时，产生的电离效应是与它所带的电荷量的平方成正比的。由于u夸克的电荷是 $Q_u = (+2/3)$ ，所以，如果存在自由的u夸克，则它穿过物质时，产生的电离效应是质子穿过相同物质时产生的电离效应的 $4/9$ ；由于d夸克的电荷是 $Q_d = (-1/3)$ ，如果存在自由的d夸克，则它穿过物质时，产生的电离效应是质子穿过相同物质时产生的电离效应的 $1/9$ 。只要看一看是否存在 $4/9$ 或 $1/9$ 电离效应的粒子，就知道是否存在自由的u夸克，或自由的d夸克了。

从60年代末起，全世界几乎所有的粒子物理实验室，核物理实验室，宇宙线物理实验室都设计和进行了寻找自由夸克的实验。从类似于测量电子电荷的密立根实验，磁悬浮实验，分析从月球取回的样品，到深海找锰瘤样品，分析牡蛎贝壳，寻找超重水；用气球或人造卫星把探测器带到高空，探测宇宙线产生的自由夸克；在地面，利用大型的云雾室、汽泡

果，这无疑将为科学家研究太阳系起源和演化提供全新的线索。

(北京西外大街《天文爱好者》编辑部 100044)