

特 载

1979.9.9

1985—1986年哈雷彗星回归 时的观测及其初步结果

万 籁

近代对彗星的观测,虽已有上百年的历史,但我们对这种太阳系内最活跃的天体的了解,还是很肤浅的。过去对彗星的研究仅限于轨道的测定,彗发、彗尾中出现的各种彗星现象的形态的描述,以及彗星光谱的分析等。在地面或是从近地卫星上来观测彗星,仅能获得视线方向上的观测资料,只能获得某些波段上分子的强发射线光谱;而对于那些从彗核中释放出来的中性母分子,只能在彗核附近进行现场探测时,才有可能取得它们的有关资料。然而,只有取得这种现场探测的资料,了解彗星大气中发生的复杂物理及化学变化的奥秘,才有可能对彗星的本质进行深入的研究。

现在一般认为,彗星是46亿年前,太阳系形成时的产物,在距离大约50 000天文单位处,有一层围绕太阳的奥尔特云,其中大约含有 10^{12} 个彗星。平均每一千万年,有一颗恒星经过太阳附近,其引力摄动,可使奥尔特云中的某些彗星进入木星的引力范围内(4~6个天文单位),而被木星捕获。然后,由于大行星的引力摄动,使得这些彗星的轨道转变为短周期彗星。

彗星有一个很小的核。由于它太小了,在地面上是无法观测到的。当它经过近日点时,太阳的光热,使大量的气体及尘埃从核中释放出来。这种非常活跃的,目前还不能预报的过程,形成了伸延范围很广的彗星大气。中性母分子,是直接从彗核内升华出来的,扩散的范围可达 $10^5 \sim 10^7$ 公里;离子是由太阳辐射的光量子作用,由光致电离或者由电子碰撞电离而形成,即使在彗星大气的内部也可发现这种离子。在太阳风作用下,离子被捕获,在反太阳方向形成等离子体尾。这种尾会出现诸如纤维、射线、纽结及螺旋状等复杂的磁流体现象。

气流从核中喷出时,会携带大量的尘埃,在离核约一万公里处,由于太阳的辐射压大于尘埃从彗核释放出来的推力,形成了尘埃尾。由于尘埃的大小相差很大,因而速度相差也大,于是形成宽而弯曲的尘埃尾。

1949年,美国天文学家惠普尔(Fred L. Whipple)提出彗核的“冰冻团块模型”,认为彗核是由冰和尘埃冻结在一起的团块,其中主要是水冰,以及H、C、N及O的冰块,即在冰的结晶格内嵌入其它成分。大多数彗核的大小为1~10公里,质量为 $10^{15} \sim 10^{18}$ 克。与其他行星相比,其表面引力很小,逃逸速度仅1~5米/秒。由于不存在外部加热及自身引力加热,因此彗星上的化学组成不同于其他行星上的化学组成,易于保持太阳系早期的元素丰度及同位素比。

到目前为止,已观测到1000多颗彗星。新的彗星的发现,每年都有5~10颗。根据周期的长短,可分为短周期彗星(周期为3~25年),中周期彗星(周期为25~200年),长周期彗星(周期为200~ 10^6 年)。哈雷彗星的周期为76年,属于中周期彗星。

最活跃的,因而也是最亮的彗星,一般是新发现的,由于观测不多,其轨道还不可能精确测定,因此不适宜作为用空间飞船进行探测的候选者。因此把新发现的排斥在外,最理想的空间探测候选者是那些短周期及少数中周期的彗星。

短周期彗星一般并不很亮,其气体及尘埃的产率只有新发现的彗星的产率的百分之一。哈雷彗星的观测周期很长,因此它的轨道测定得很精确,同时它也很活跃,其气体和尘埃的产率与新发现的彗星相差不大,可作为进行空间探测的对象。

哈雷彗星上次回归在1910年。过去对彗星的观测,都是用目视的方法,当1910年哈雷彗星重新出现时,才开始用照相方法。当时各国的天文学家,应用各种口径的望远镜,用照相方法来观测它,拍摄了很多照片,在长长的等离子体尾及亮的彗发内,都发现了其中的结构及变化。我国上海天文台佘山工作站,曾利用当时亚洲最大的折射望远镜(口径40厘米,焦距7米)也拍摄了它的照片,今天已成为国际上瞩目的不可多得的宝贵资料。但当时的天体照相技术还处于幼稚阶段,分辨率高的照片并不多见,尤其是没有其他先进的观测设备,更没有空间的探测手段。哈雷彗星这次回归时,正处于空间探测时代。为了迎接这次回归,各国的天文学家,经过长时间的准备,进行了从地面到空间的、深入的、广泛的国际性联测和空间探测,取得了前所未有的丰硕成果。

时代特征

为了研究哈雷彗星,一些国家发射了一系列的空间飞船,远道去拦截它,作近距离的探测,然后把近景照片及探测结果传送回来,这就是这次观测哈雷彗星的一个时代特征。

第一艘与彗星相遇的飞船,是“国际彗星探测器”。当(ICE)如苏联、日本、欧洲空间局在准备发射飞往哈雷彗星的空间飞船时,美国就想把这艘原来叫做“国际太阳地球探测器”的飞船改变航向驶向彗星。这次飞往哈雷彗星的飞船情况见表1、2、3。所有这些飞船的航行目的地都是哈雷彗星,但它们的目的是作用,以及所携带的仪器各有千秋,并不雷同,因此所得资料是可以互相补充的。飞过哈雷彗星的日期,又错开为1986年3月6日、8日、9日、11日、14日、28日等6天,这样就有可能研究时间尺度上介于1天到1周内所发生的变化。这些飞船又是在不同的区域通过哈雷彗星的,有利于编制一幅粗略的三维图象。每当一艘飞船在彗发内航行时,必定有其他的飞船在彗星附近飞行,监视在里面飞行的飞船所测量的由于太阳风而引起的等离子体尾的变化。

飞船所探测的资料是彗星局部的微尺度结构,而地面观测可提供整个彗星的大尺度结

表 1 飞往哈雷彗星的飞船情况一览表

	“韦加”1号	“韦加”2号	乔托号	先锋号	彗星号	ICI
发 射 日 期	12-15-84	12-21-84	7-2-85	1-8-85	8-18-85	8-12-78
相遇日期(1986年3月世界时)	6日 7:20:06	9日 7:20:00	14日 00:03:02	11日 04:17:51	8日 13:05:49	28日
相遇时与彗核的距离(公里)	8890	8030	605	6.99×10^6	151,000	32,000,000
相遇时的速度(公里/秒)	79.2	76.8	68.4	~73	~73	
相遇时与太阳的距离(天文单位)	0.7923	0.8341	0.9024			

表 2 “韦加”号飞船的仪器设备一览表

名 称	缩 写	探测目的及仪器参数	重量 (公斤)
光学实验项目:			
电视系统	TVS	内彗发及彗核的摄像, 两架 CCD 摄像机(视场 $0^{\circ}43' \times 0^{\circ}57'$, $3^{\circ}.5 \times 3^{\circ}.5$)	32
三通道摄谱仪	TKS	在 $0.12 < \lambda < 1.9 \mu\text{m}$ 波长范围内, 拍摄彗发发射光谱	14
红外分光计	IKS	探测彗发的红外发射及核的热辐射($2.5 < \lambda < 12 \mu\text{m}$)	18
自动指向平台	ASP-G	使 TVS, TKS, IKS 对准核区	82
现场尘埃实验项目:			
尘埃质谱仪	PUMA	尘埃颗粒的元素组成	19
尘埃颗粒计数器	SP-1	尘埃颗粒的流量及质谱($m > 10^{-16}$ 克)	2
尘埃颗粒计数器	SP-2	尘埃颗粒的流量及质谱($m > 10^{-16}$ 克)	4
尘埃颗粒探测器	DUCMA	尘埃颗粒的流量及质谱($m > 1.5 \times 10^{-13}$ 克)	3
尘埃颗粒探测器	FOTON	大尘埃颗粒的探测	2
现场中性气体、等离子体及场的分析:			
中性气体质谱仪	ING	中性气体的组成	7
彗星等离子体摄谱仪	PLASMAG	离子流的组成, 离子及电子的能谱	9
高能粒子分析仪	TUNDE-M	被加速的彗星离子的能量及流量	5
磁强仪	MISCHA	磁场的测定	4
等离子体波分析仪	APV-N	等离子体波, 0.01~1,000赫, 等离子体离子的流量起伏	5
等离子体波分析仪	APV-V	等离子体波, 0~300千赫, 等离子体的密度及温度	3

表 3 乔托飞船的仪器设备一览表

名 称	缩 写	资料传输速度(比特/秒)			探测目的及仪器参数	重 量 (公斤)
		F ₁ *	F ₂ ..	F ₃ ...		
电视摄像机	HMS	20058	20058	723	内激发及彗核的摄像, 窄角 CCD 摄像机	13.51
中性 ⁴ He质谱仪 M-分析仪 E-分析仪	NMS	4156	4156		中性气体的组成 1~36AMU 1~57.9~89AMU	12.70
离子质谱仪 高能彗核质谱仪 高强度质谱仪	IMS HERS HIS	3253	3253	1084	离子的组成 1~35 AMU/q 12~57 AMU/q	9.00
尘埃质谱仪	PIA	2881	5782		尘埃颗粒流量及组成 1~110AMU, $3 \times 10^{-16} \sim 5 \times 10^{-11}$ 克	9.89
尘埃撞击探测系统 防护板动量传感器 等离子体撞击及动量传感器 电容传感器	DID MSM/RSM IPM CIS	361	903		尘埃颗粒流量及质量分布 IPM: $6 \times 10^{-17} \sim 6 \times 10^{-11}$ 克 CIS: $>10^{-16}$ 克 MSM/RSM: $10^{-16} \sim 10^{-1}$ 克	2.26
等离子体分析仪 I 快离子传感器 注入离子传感器	IJS FIS IIS	3925	1265	1355	FIS: 3 维离子速度分布, 10eV~20keV IIS: 离子流量, 质量及速度分布 90eV~90keV, 1~45AMU/q	4.70

续表 3

名 称	缩 写	资料传输速度(比特/秒)			探测目的及仪器参数	重 量 (公斤)
		F ₁ *	F ₂ **	F ₃ ***		
等离子体分析仪 2 电子静电分析仪 正电子团组成分析仪	RPA EESA PICCA	2530	1807	904	EESA 3 维电子速度分布 10 eV 30 keV PICCA 冷离子组成 10~50 AMU, 50~203 AMU	3.21
高能粒子分析仪	EPA	181	181	181	电子及加速电子的能量及流量 ≥20 keV	0.95
磁 强 仪	MAG	1265	1265	407	磁场的测定	1.36
光学探测器	OPE	723	723		在 4 个连续带(尘埃)及 4 个分立的发射 线(OH, CN, CO ⁺ , C ₂)上, 测定雪发亮度	1.32
射电探测器	GRE				雪发中尘埃及气体的柱密度	
总 计		39393	39393	4654		58.90

* F₁格式: 从开到-1h以及+1h以后(= 0 为与雪核最接近的时刻)** F₂格式: 从-1h到+1h*** F₃格式: 巡航阶段

构，这样就有助于对飞船的探测结果作出解释。现将不同飞船的目的及作用，介绍于下：

(1) 日本飞船“先锋”号及“彗星”号 日本空间及宇航科学研究所为首次进行行星际探测，研制了这对空间飞船。“先锋”号于1985年1月8日发射，7个月后，又发射飞船“彗星”号。“先锋”号与彗核的距离超过320万公里；“彗星”号与彗核的距离更近一些，在20万公里处，可探测哈雷彗星。

“先锋”号装备有一台等离子体波探测器、一台离子传感器和一台磁强仪。其任务是监视彗星周围的太阳风。“彗星”号也装备有一台太阳风探测器、一台粒子分析器，用以测定黄道面上方及下方的太阳风等离子体的分布情况。不过它的主要传感器是一台紫外电视摄像机，视场 $2^{\circ}.5$ ，可以1角分的分辨率来绘制哈雷彗星巨大的氢冕的图象。

(2) 美国“国际彗星探测器” 这是第一艘与彗星相遇的飞船。1985年9月11日与贾埃科比宁—津纳彗星相遇。这艘飞船原来是研究太阳风与地磁场的相互作用的。早在1978年8月12日就已发射，开头4年，在离地球150万公里处，对进入地球磁场的太阳风进行监测，称为“国际太阳地球探测器”3号。1982年6月10日，该飞船开始驶向遥远的尚未探测过的地球磁尾，执行它的第二项任务。

当其他国家在准备发射飞往哈雷彗星的飞船时，美国由于预算压缩，经费不足，不可能发射一颗专门探测哈雷彗星的飞船，于是提出把这艘飞船引向哈雷彗星。

为了达到引向彗星所需要的较高速度，于是控制中心的科学家把它引向月球，在复杂的绕月运行时，受到月球的引力作用而加速。1983年12月22日调整航向，驶向贾埃科比宁—津纳彗星。该飞船在彗尾内检测出了水分子、一氧化碳及尘埃微粒。这些物质的存在，对五十年代美国哈佛大学惠普尔提出的彗核像一个“脏雪球”的模型，是一个很大的支持。

1986年3月28日，该飞船离哈雷彗星最近，在离彗核约三千万公里处，对进入彗星的太阳风进行监测。

(3) 苏联“韦加”号飞船 苏联的飞船名叫“韦加”，是俄文金星及哈雷彗星的缩写。苏联利用“金星”号飞船，曾经多次作过金星的探测。“韦加”号是经过改进后的飞船，由金星探测器和哈雷彗星探测器两大部分组成。1984年12月15日发射了“韦加”1号，12月21日又发射了“韦加”2号。1985年6月份哈雷彗星探测器这一部分离开金星，开始驶向哈雷彗星。1986年3月6日与9日，这两艘飞船分别与哈雷彗星会合。

“韦加”1号计划在离核一万公里处穿过彗星，3天后，“韦加”2号在更近的区域探测哈雷彗星。“韦加”号飞船，是驶往哈雷彗星飞船中最大、最重的飞船，每艘飞船都携带有14个实验项目的仪器。这些仪器主要来自苏联、匈牙利和法国等9个国家。安装在飞船上的电视摄像机，是多国合作的典范：苏联设计并制作了摄像机本身，再提供电荷耦合装置(CCD)，匈牙利提供电子设备及软件，捷克斯洛伐克提供摄像机用的平台。“韦加”号飞船由苏联及美国的深空跟踪网来导航。它有一项使命，是精确测定哈雷彗星的位置。这项使命完成得很好，比预期的要好得多。欧洲的科学家想知道在“乔托”号飞船向哈雷彗星彗核挺进中，会遇到哪种类型的尘埃粒子，彗星周围的电、磁环境又怎样，因此通过特殊的计算机联系，苏联的科学家把“韦加”1号的早期资料及以后“韦加”2号的资料，直接从莫斯科传输到欧洲空间局的控制中心，并利用“韦加”号飞船对哈雷彗星定位的资料，在“乔托”号飞船进入彗发的前一天，最后一次调整航向，保证了“乔托”原定计划尽可能地接近彗核任务的实现。

(4) “乔托”飞船 欧洲空间局发射的飞船名叫“乔托”，是纪念14世纪意大利画家乔托而命名的。这艘飞船的特点是以500公里这么近的距离驶近哈雷彗星的彗核。

有5个国家合作，提供10个实验项目所需要的仪器(见表3)。由于它的主要任务是尽可能地接近彗核，以便彗核能拍到清晰的照片，以及对那些从彗核中喷射出来的“母分子”，能在彗发外围开始变化成或重新结合成别的形式之前来得及进行分析。科学家很久以来就想进行一次真正的现场观测，“乔托”号飞船就是为了满足这一要求而发射的。因此实验的内容，不仅是对彗发及彗尾进行探测，还要对与飞船相撞击的尘埃粒子进行研究。

该飞船装备有固体器件的电视摄像机，焦距为1米，经过特殊的设计，能获得4种颜色的内彗发及核区的图象。当距彗核仅500公里时，其空间分辨率为11米。但要冒被彗星内尘埃粒子击毁的巨大风险。

除了这台电视摄像机以外，“乔托”还带有另外9种仪器。一台中性质谱仪将测量彗发内中性气体的元素和同位素。一台带有传感器的离子质谱仪。第三台质谱仪是特地为分析单个尘埃的组成而设计。此外还有一组三件一套的尘埃粒子撞击传感器，它们能探测各种不同大小，从烟雾粒子大小到大如豌豆那么大的尘埃粒子，并进行计数。另外一些传感器能测量磁场(彗星究竟有没有磁场?)、电场等，以及为研究太阳风等离子体与彗星电离层相互作用的等离子体实验仪器。

“乔托”的工作寿命是很短的，它的能源依靠电池组，而电池组是由太阳能电池板充电的。在所有仪器以最高速度工作的状态下，会很快耗尽有限的电能，因此某些仪器直到临近彗核前4小时19分，才开始使用电池。71分钟以后，传送下来第一幅图象。以后一直对彗发及彗核进行探测。共拍下了两千多幅图象，其中最精彩的，是在距核1530公里处所拍摄的彗核的照片。

观测成果及新发现

笔者在编写这篇短文时，世界各国的有关哈雷彗星研究的科学家和工程师的代表，正集会在联邦德国的海德堡，对这次哈雷彗星回归期间的观测及空间探测的成果进行汇报和探讨。大部分成果要会议结束后才能陆续整理发表，因此这里只能是就手头的资料，作一简略的介绍。

1. 彗核 彗核是彗星其他现象的源泉 各种现象，如彗发、彗尾等都是从彗核中升华出来的物质所形成的。但彗核很小，大小只有十几公里，在地面的光学望远镜中很难分辨出来。因此直到目前为止，人们还不能直接在地面上观测到彗核。

彗核内的气体及尘埃的性质，还不十分清楚，这对于研究彗星的物理、化学性质，带来很大的困难。因此这次哈雷彗星回归时，人们期待利用空间探测手段，能直接进行探测，有所突破。“乔托”飞船离彗核仅500公里，是可以一瞥彗核的“庐山真面目”的。

在苏联的“韦加”2号飞船拦截哈雷彗星5天后，“乔托”又与它相遇，与彗核的距离，比“韦加”2号要近得多。

“乔托”与哈雷彗星最接近的时刻是1986年3月14日世界时00:03:02，其上十项实验都获得成功。一小时后，第一幅彗核的图象就传送下来了，是由澳大利亚 Parkes 64米射电望远镜及美国航宇局设在堪培拉的射电望远镜接收到的。在电视屏幕上，出现了光彩夺

目的图象,使守候在电视屏幕前的科学家为之心折。在屏幕上看见的哈雷彗星的图象,与通过光学望远镜看见的,有点相仿。当飞船与核的距离近于48,000公里后,科学家就可觉察出呈长方形的彗核,在核的一端,有亮的喷流出现。

在“乔托”拦截哈雷彗星13小时之后,在记者招待会上,主持人高举从飞船上发回的两千多幅图象中的一幅说:哈雷彗星的彗核,看上去比过去估计的要黑得多,黑得象煤炭,呈长方形,象铺上了一层黑色天鹅绒似的。它的形状象花生或象一个马铃薯,而不是过去所想象的是一个圆球。它的大小,长约15公里;由于飞船是从向阳一面接近彗星,而向阳一面有喷流喷出,遮挡了彗核,因此难以准确估计宽度,大约有7~10公里。

“韦加”1号及“韦加”2号飞船上的电视系统,从3月4~11日对彗核区域进行了观测,共发回了1500幅图象,在最接近彗核的6日及9日,从8~9千公里远处来观测彗核,这些图象的质量较好,从此得出彗星的形状为不规则的马铃薯状,大小为 $14 \times 7.5 \times 7.5$ 立方公里,表面很黑,反照率为0.04,自转周期为 53 ± 3 小时。这次飞船测得的核的尺寸,比过去估计的3~6公里要大得多。这是由于过去没有料到核的颜色会这么黑,对核的反照率估计过高了,认为有25%。这次探测的结果反照率是2~4%,因此过去对核的尺寸估计就过小了。

在“韦加”2号发回的图象上,在核的长方形的两端都有亮斑,看上去,有时会认为有两个核,但探测结果,排除了有两个或多个核的可能。用法国制造的红外分光仪,测得核区的温度较高,约300~400K,因此认为核的表面不是铺了一层冰,否则温度至少会低80~100 K。

核的表面铺了一层薄薄的不会挥发的物质,常有大量突发闪光穿过这一薄层而发射出去。发射物含有80%的水蒸汽。有人认为,如没有这一保护层,则彗核喷射出去的气体和尘埃的数量,会比观测到的增加一个数量级。

另一惊人的新发现是向阳的一面并不是过去所认为的那样,是均匀地释放气体及尘埃,而主要是由分立的喷嘴喷出的。喷出的气体及尘埃的成分是由中性及离子质谱仪分析得出的,结果与过去一样,主要是水、二氧化碳、氮等。

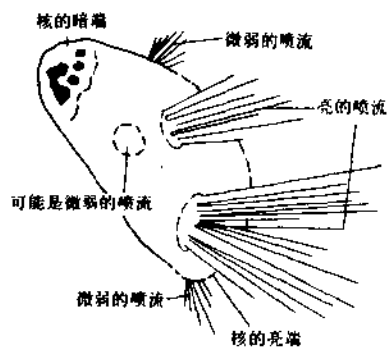


图1 彗核示意图

图1是根据在离核两万公里处拍摄的彗核的图象画出的示意图。下部可见亮的气流。暗的部分是背太阳的一面。中间呈锯齿形。离彗核最近时刻,可惜没有拍到图像。在核的两面都拍到过图像,这对于准确地估计核的体积,是非常有用的资料。

2. 尘埃 哈雷彗星的运动方向,与地球、行星及行星际空间飞船的运动方向不同,是逆行的。因此哈雷彗星与“乔托”的相对速度很大,达68~78公里/秒。在这样高的速度下,在直径为几十万公里的彗发内航行,就要冒与彗发内固态粒子相撞击的巨大风险。日本的飞船避开了这些最危险的区域,但苏联及欧洲空间局的飞船都要在这危机四伏的险区内前进,直驱彗星中区,在毁灭之前,都要不断地进行探测、分析,并把信息送回地面控制中心。

人类第一艘穿越彗尾航行的飞船是“国际彗星探测器”(ICE)。该飞船并没有正规的测尘

埃的设备，但它至少有五台可以显示尘粒的仪器。第一台是等离子体波探测器。这种能探测固体微尘功能的仪器，是在“旅行者”2号飞船上应用过的。1981年8月25日，当“旅行者”2号飞越上星光环平面时，等离子体波探测器记录到了密集的噪声。这种噪声是固体微粒撞击飞船壳体所产生的碰撞电离引起的。碰撞时释放出大量带电粒子，其中一些被等离子体波探测器的天线所接收。ICE上等离子体波探测器的天线长100米，它虽不像“旅行者”2号上的那台仪器，能对单个粒子的撞击进行计数，但它能提供同每秒撞击天线粒子的总数和总质量成正比的“噪声谱”。每一幅声谱都可代表产生此声谱所需碰撞能量的总和，使我们了解到飞船穿过该彗尾时，同尘埃颗粒遭遇的“惊险”场面。

另一台是低能带电粒子探测器。它探测的是电子和离子，而不是固体微粒。这台仪器有一些充气压力室，如微尘把室壁击穿，让气体逸出，就能探测到微尘的存在。

还有一台是射电波探测器，它能在一定的频率范围内，对“碰撞脉冲”作出反应。

在穿越彗尾过程中，ICE没有发生过如飞船本体颤动或太阳能电池板性能下降之类的现象。这艘飞船穿越彗尾后，仍完好无损，这一结果，对以后以哈雷彗星为目标的飞船小舰队的导航员来说，无疑是极有价值的，使他们如释重负。

在ICE距彗核45万公里时，它即探测到了来自太阳方向的以极高速度运行的重离子射束。这种射束从来没有在行星际空间被探测到，因此只能是来自彗星。重离子射束是以较慢的速度从彗核中喷射出来的。在朝太阳飞行中，中途被太阳发出的紫外线电离。这些气体分子，一旦带电后，就被太阳风吹向彗星。因此从彗星附近看来，它们就形成似乎是来自太阳方向的高速运行的重离子射束。

“乔托”在它接近彗核前2秒钟，突然传输信号的系统中断了工作。这可能是一块大的尘埃质点或者是一群较小的尘埃质点撞击了飞船，把飞船上传输信息系统的天线打歪了，信息传不到地面上来的后果。幸好半分钟后，通讯又恢复了，看来这是飞船上的章动阻尼器发挥了作用，把由于突发事件所引起的摆动稳定了下来，从而恢复了与地面控制中心的通讯联系。

“乔托”幸免于彻底被摧毁，还剩下4架仪器完好无损。在拦截后，电视图象已不可用，电子系统的功率虽没有下降，但尘埃防护板已被尘埃粒子击穿，使得内部的温度无法控制。然而控制中心的科学家由于“乔托”还能部分地继续工作而感到欢欣鼓舞。

“乔托”在接近彗核前22秒钟，离核约1500公里处，图像的反差就突然降低了很多，图像上的结构细节因而损失了不少，以后虽然继续把图像传送了下来，但反差却越来越坏，好象是非常小的尘埃颗粒附着在镜面上所造成的。

“乔托”的尘埃撞击探测系统探测到最早撞击飞船的大尘埃颗粒，是在接近彗核前70分钟发生的，当时飞船离彗核还有287000公里，比模型预计的要远得多。第二次大的粒子撞击事件发生在相遇前2分钟，大粒子的大小，典型的约30微克，与细沙子大小相当。中等大小的尘埃，如像烟灰大小的粒子也很少。最早撞击“乔托”的这类粒子，是在离核150000公里处发生的，在离核120000到90000公里处，出现的次数较频繁，再近一些，次数又降低了，到离核70000公里处，又转趋频繁。非常小的尘埃粒子，质量小于 10^{-17} 克的小粒子，比预期的也要少得多。在接近彗核前20秒内，一直没有遇见这类粒子。在拦截前一分钟，“乔托”进入了所谓“尘埃壁垒”的区域，在这一区域内，能贯穿的大的尘埃粒子并不多，但最终是发生了，有100颗或更多的大的粒子的撞击，使“乔托”发生了摇晃。撞击飞船的尘

埃颗粒总数约12000颗,质量从 10^{-17} 克到 1.4×10^{-4} 克,尘埃产率为每秒 3.1×10^6 克。

“乔托”的射电探测器也可提供有关尘埃粒子的重要信息。当飞船进入一大群小尘埃粒子区域中时,飞船的速度会慢下来。无线电信号的多普勒效应的结果,令人注目。预计多普勒频移约2赫,但试验结果为4.7赫。这表明由于尘埃粒子的影响,使“乔托”的速度每秒减慢了约23.2厘米。根据这个资料可以估计撞击飞船的气体及尘埃的总质量在0.1到1克之间。哈雷彗星有丰富的尘埃颗粒,但多数集中在核的周围。经过飞船的观测,现在知道,大部分的尘埃颗粒是来自分立的某些活动区域喷射出来的,因此形成了一个非常不均匀的尘埃颗粒的环境。每个飞船的探测结果,都有所不同,这可说是这次飞船探测的惊人的发现。

现在来看看,苏联飞船“韦加”号受到尘埃颗粒撞击的情况。1986年3月6日,当“韦加”1号在接近彗核前2小时,所有的仪器,都开始传送数据。由于飞船与彗星的相对速度高达78公里/秒,当摄像机的快门打开后,所有的仪器都开始了探测彗星各种现象的工作,取得了一大批资料。但在离核16万公里处,忽然有一大群小的尘埃颗粒,如雨点般地撞击飞船。一个附着在太阳能电池板上的防护较差的等离子体探测器,在尘埃颗粒猛然撞击下,首先停止了工作,其他的仪器,也受到一些影响。“乔托”及“韦加”号飞船上,各种仪器受尘埃颗粒撞击而损坏的情况,见附表4。经过尘埃撞击后,“韦加”1号上的摄像机仍坚如磐石般监视着哈雷彗星的彗核,每一个CCD的图像上,每边有512个像素,可收集到比能传送到地而控制中心来的更多的信息。因此在完成一次摄像时,摄像机的电子系统,就会选择以最亮点(可能就是彗核所在地)为中心的,每边为128个像素组成的图像,把收集的信息的16分之一传送到控制中心。守候在控制中心大厅内的很多科学家及官员,每隔几秒钟就可从巨大的投影屏幕上,看到一幅幅新收到的哈雷彗星的图像。“韦加”1号是从哈雷彗星向地球那一面去接近它的,与向阳一面还有一个夹角。当飞船逐渐接近彗核时,彗核的

表4 与彗星相遇后,飞船上仪器损坏情况一览表

仪器名称	“韦加”1号	“韦加”2号	“乔托”号
电视摄像机	完好	损坏,但可工作	镜面微尘覆盖,功能降低;电子系统的防护板击穿
三通道摄谱仪	电子系统毁坏,不能工作	红外,近紫外及可见光通道可工作;远紫外不能工作	
红外分光计	完好	毁坏	
等离子体分析仪	完好	损坏,但可工作	FIS. +1.5h停止工作 IIS 完好 HERS的高压损坏,不能工作;HIS完好
离子质谱仪			探测器的CCD组件损坏,00:10:50后停止
中性气体质谱仪	完好	毁坏	完好
尘埃探测器	损坏,但可工作	完好	
高频等离子体波	部分损坏	损坏,但可工作	
低频等离子体波	损坏,但可工作	完好	
尘埃组分分析仪	损坏,但可工作	完好	完好
高能粒子分析仪	损坏,但可工作	毁坏	完好
磁强仪	完好	部分毁坏	完好
光学实验仪			完好

图像的面积也急剧地增大。它绕过彗星后,在退行中,看到是另一面。在一些图像中央,有一个椭圆形的亮斑,大小约6公里。这一亮斑,究竟是哈雷彗星的彗核,还是围绕在核周围的尘埃茧,成为科学家还在争论的一个问题。

“韦加”1号与“韦加”2号飞船上的尘埃颗粒计数器,测量了尘埃颗粒的质量及空间分布;其目的是研究从彗核中释放尘埃的过程及其他特性。尘埃的质量分布,没有象预期的那样,在 10^{-14} 克处有低质量尘埃的截止点,而是一直延伸到 10^{-16} 克。太阳的光压作用,使喷射出来的尘埃颗粒,背离太阳形成尘埃尾,尘埃尾具有抛物面的结构,抛物面的焦点在彗核,抛物面的顶点,经资料分析,得知离核约 $40 \times 10^3 \sim 45 \times 10^3$ 公里。彗发内的尘埃的分布是不均匀的,但质量不同的尘埃的分布,都大致相似。根据质量不同的尘埃到达数密度极大值的时间先后,可以估计彗核的自转周期为50小时。

从“韦加”2号的探测结果,可知质量 $m \leq 10^{-10}$ 克的尘埃的产率约为300公斤/秒。在1986年3月9日“韦加”2号与彗星相遇期间,尘埃的总产率大约为4000公斤/秒。

从尘埃质谱仪的探测结果,发现有些质谱上,存在原子量为12、16、23、24、28、40及56的元素,即出现C, O, Na, Mg, Si, Ca及Fe等元素。这些元素组成,使我们联想到与CI碳质球粒状陨石的化学组成相仿。另外有些质谱中,出现原子量为1、12、13、14及32的元素,表示含有高碳(C-12及C-13),氮及硫的元素。这意味着不能把球粒状陨石的元素组成,作为唯一的彗星尘埃的元素组成。还有一些质谱中,轻元素的含量较多,这意味着不存在或者只有很小的矿物核。在红外光度计的探测中,发现在 $9 \sim 11 \mu\text{m}$ 波段上,有硅酸盐引起的红外发射带,在 $7.5 \mu\text{m}$ 上,有含有C—C键化合物引起的发射线。

日本的飞船“彗星”号与彗核的距离都大于15万公里。使人惊奇的是,这艘重140公斤的飞船,曾遭受过两颗大的尘埃颗粒的撞击,但没有造成大的损失,只不过使飞船倾斜了 0.7° 。据估计,该尘埃颗粒的大小约1~2毫米。

3. 氢冕 皮尔曼在1968年就预言,从彗核中升华出来的气体,大部分是从水冰来的。太阳的紫外辐射会很快地把从彗核中升华出来的水分子离解为羟基OH、氧及氢。在空间近于真空状态下,距太阳一个天文单位的距离上,氢可在原子及中性状态下保持三周之久。氢原子在喇曼 α 上(1216埃)的辐射位于远紫外区,不能透过地球大气层,因此只有在飞船上才能探测到它。

1970年1月14日,地面控制中心指令第二个轨道天文台“OAO—2”,把它的紫外探测器对准多胡—佐藤—小坂彗星的方向,探测到了这颗彗星的巨大的氢冕。当时该彗星离太阳的距离略大于0.5个天文单位。同年,在令人瞩目的贝内特彗星内,用第五个轨道地球物理台又发现了令人难以置信的巨大的氢冕。在直径为300万公里的范围内,都可探测到这种氢云,其范围比太阳的直径还大3倍,氢云的扩散速度大于8公里/秒。氢云的温度约1100°C。即使在不活跃的恩克彗星中,也有氢冕,不过其范围不如活跃的彗星那么大。在一个天文单位的距离上,恩克彗星的水的产率只有0.1吨/秒,而贝内特及韦斯特彗星的水的产率达到14吨/秒。哈雷彗星上次回归时,还没有空间探测手段,因此这次回归时,飞船的一个重要使命就是探测哈雷彗星是否有氢冕,氢冕的大小以及它的气体产率。

第一艘到达哈雷彗星附近的飞船是苏联的“韦加”1号。当它从彗发中驶出时,“彗星”号立即驶近。“彗星”号的主要目的,是绘制哈雷彗星氢冕的分布图。探测从1985年9月中旬开始,此时哈雷彗星距日 2.5×10^8 公里,探测一周后,发现氢冕的亮度每日均有变化。¹¹

月26日至12月13日,“彗星”号上的 CCD 摄像机就以 $1^{\circ}.85 \times 1^{\circ}.96$ 的屏幕扫描成像,在 β_1 216埃拉曼 α 线上,共拍摄了1000多幅图像。从这些图像中,可以估算出从彗核每秒升华出的水分子(是离解成氢的母分子)约为25~60吨。看来在自转缓慢的彗核表面上,有些局部区域在朝向太阳时会发生喷射,喷射量各不相同。同时还发现,氢冕的亮度变化很有规律,周期约2.2天。这可能是彗核自转的反映。这个结果与“韦加”1号和“韦加”2号飞船得出的自转周期为 53 ± 3 小时的结果很符合。

“乔托”的中性气体质谱仪的结果表明,彗发中的母分子主要是水分子,气体总产率为 6.9×10^{29} 分子/秒。在这些气体中,每秒有 5.5×10^{29} 个分子($\sim 10^7$ 克/秒)是由水蒸汽产生的,即彗发气体中有80%是水蒸汽。

“韦加”1号和“韦加”2号测得的气体产率为 1.3×10^{30} 分子/秒,如果这些气体都是水汽,则产率为40吨/秒。

4. 太阳风与彗星的相互作用 太阳风等离子体与彗星电离层的相互作用的实质,是太阳风与彗星大气之间的猛烈碰撞。太阳风和它的磁场,以400~500公里/秒的速度向彗星流动。新产生的彗星离子以1公里/秒的速度向太阳飞去。当彗星大气外层(距彗核50万公里或更远)的离子被堆积进入太阳风时,会被太阳风的磁力线捕获,并因此沿太阳风的方向飞回彗星。带电的粒子是不能自由地穿过磁场,而是沿着磁力线作螺旋形旋转。由于太阳风的等离子体捕获了彗星的离子,而使得质量有所增加,因此它必定要降低速度,以保持动量守恒。在太阳风流向彗星大气内部期间,随着更多的离子逐渐被捕获,这一减速过程会持续下去。最后,有很多离子被捕获,流速大大降低。太阳风及其捕获的离子施加的向内的压力,与靠近彗核的气体向外的压力相等时,太阳风的流动就停止了。太阳风携带的磁场被连续压缩,形成一个静止的磁屏,这种情况大致发生在距彗核1000~10000公里之间。

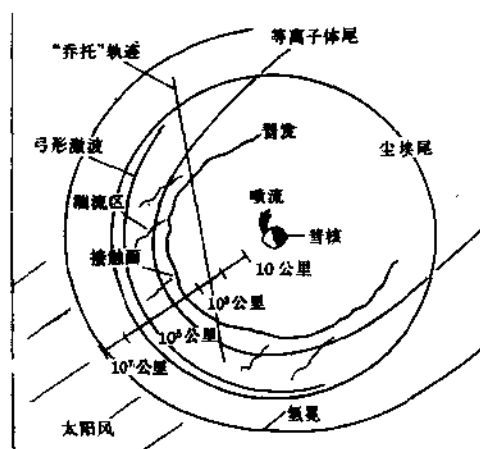


图2 太阳风与彗星相互作用示意图

由于太阳风在行进过程中受到彗星的阻碍,因此在距彗核大约5万到10万公里之间,形成了类似于船从水上驶过时所产生的弓形激波。在远离彗星的侧面,被捕获的离子较少,因而太阳风没有受到明显的阻碍。这些区域的磁场与磁屏内的磁场连接起来,缠绕到彗星后面,形成极性相反的两瓣。图2是太阳风与彗星相互作用区域示意图。

这次的空间飞船探测,为探测上述各种现象,提供了明显的证据。

在“乔托”与哈雷彗星相遇前几天,太阳风处于相对宁静时期,其流速大约为350公里/秒,密度为5~8电子/厘米³。在距彗核 7.8×10^6 公里远的地方,就探测到了第一个由彗星产生的氢离子。

不久后,在离核 7.5×10^6 公里处,高能粒子分析仪探测到了捕获的离子。

在“乔托”与彗星相遇时期,弓形激波面离彗核约 1.15×10^6 公里。在弓形激波以内,太阳风的速度降低到260公里/秒,与理论预言的,由于质量负荷引起速度降低是一致的。在

离核16000公里处, 磁场强度达极大值 57nT(磁力线堆积区)。接触面离核约4700公里。在接触面以内, 磁场降低为零, 这一点是理论所预言的。相遇以后, 飞船从离核大约为3800公里处, 穿出该区, 在离核8200公里处, 测得磁场强度为 65nT。

在离核 7.8×10^5 公里处, 就探测到了等离子体波, 离核越近, 强度越大。在到达彗核附近时, 飞船穿过缠绕的磁场及等离子体的湍流区时, 探测到了各种类型的离子。水分子的分离子, H_3O^+ , H_2O^+ , HO^+ 及 O^+ 的丰度最大, 其次是碳、氮离子, CO^+ , CN^+ , N_2O^+ , HCN^+ , CO_2^+ 及 N_2^+ , S^+ , S_2^+ , 还有金属离子 Fe^+ , CO^+ , Cu^+ 及 Ni^+ 等, 以及原子量为100的神秘的离子。在进入接触面以内, 太阳风的粒子就不能进入。在飞船与彗星相遇前65秒钟时, 在离核4300公里处, 探测到了非常冷的等离子体, 这种物质, 完全是从彗核本身喷射出来的。这些空间探测的资料, 都是过去不可能获得的, 对于彗星的研究, 当然是非常宝贵的。

5. 断尾事件 等离子体彗尾的断尾现象, 是变化比较大面快的一种现象。哈雷彗星在1910年回归时, 也发生过几次断尾事件, 是最近根据当时拍摄的底片中, 经过分析得出的。近年来一些亮的彗星, 也观测到断尾事件。

等离子体彗尾通常是与彗头连着的, 但有时观测到原先的离子尾突然与彗头断开。接着又从彗头重新生出一条离子尾。这种断尾现象的整个过程只几小时。

断尾事件的发生, 是由太阳风磁场扇形结构的边界通过彗星引起的。图3是太阳风磁场扇形结构示意图。太阳在25天的自转周期内, 形成四个极性交错的磁性扇形结构。当它们与太阳一起自转时, 不断地向外伸展。彗星在穿过扇形边界时, 因为新进入的扇形结构的磁场与原来形成彗尾的磁场极性相反。两个磁场的极性相反时, 会出现最不稳定的状态。结果出现一种所谓磁重接, 磁湮没成磁消失现象。根据这种模型, 在彗星穿过扇形边界时, 由于磁力线的切断和重连, 于是就发生断尾事件。

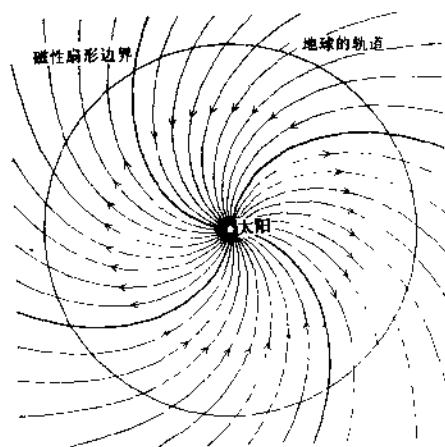


图3 太阳风磁场的扇形结构图

要验证上述模型, 过去存在两个不足之处。第一, 这种断尾事件的宏观图像, 受到零碎的观测资料的限制。过去我们只能利用不同彗星的图像和来自各个天文台的依赖于不同的望远镜、感光乳剂和曝光时间的分析资料, 拼凑出一幅图像。而这次回归时, “国际哈雷彗星联测”组织的“大尺度现象观测网”可提供哈雷彗星的全部录像, 可以弥补这个不足。第二, 过去对有关彗星等离子体和彗尾磁场的微观情况的了解很少。这次回归时, 空间飞船可以现场探测彗星的这些参数, 可获得过去从来没有的彗星等离子体的磁场强度、温度、密度、组分及平均速度等主要资料。

这次哈雷彗星回归时, 在过近日点以前, 尘埃尾及离子尾都已发育成长。1986年1月初, 尾长已扩展到至少 10° 。图4和图5是北京天文台利用60/90厘米施密特望远镜(焦距F/3)所拍摄的两次断尾事件, 从图上可以看见断开的彗尾。在这次回归期间, 总共记录到20多次断尾事件。根据地面及空间的观测资料, 正在研究扇形边界引起断尾事件模型是否



图4 哈雷彗星断纪事刊 1985年12月31日摄, H₁₄+RG1, 露光31分

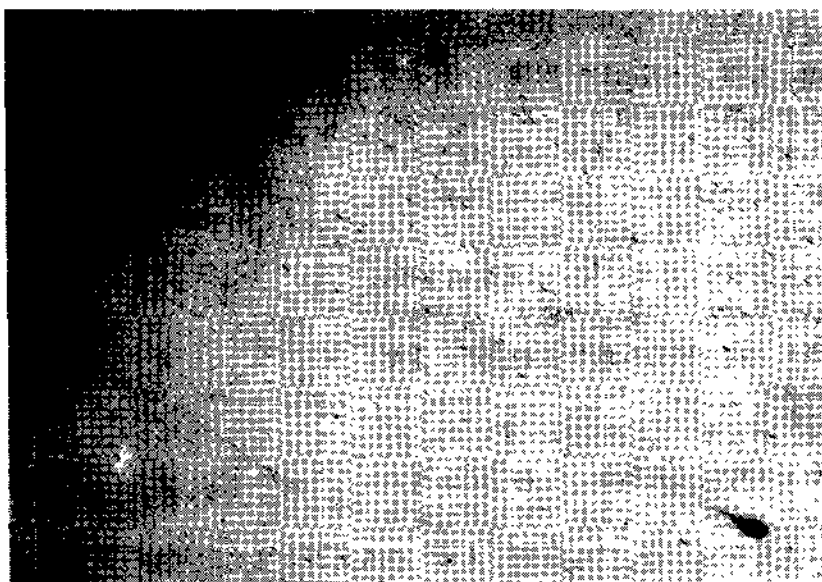


图5 哈雷彗星断尾事件 1986年1月10日摄, H₁₀+GG13, 露光25分

正确。

6. 彗尾及其他 这次回归时,各国的天文学家都想及早找到哈雷彗星,争当第一名。早在1977年,美国就致力于用最大的反光望远镜,口径为5米的再加上先进的CCD装置来寻觅哈雷彗星。但由于距离太远,虽露光长达45分钟,仍未拍到它的踪影。一直到1982年10月16日,美国两位研究生,利用上述设备,首开纪录,成为首先找到这次回归的哈雷彗星的幸运儿。当时哈雷彗星还在土星轨道之外遨游,距离我们还有15亿公里之遥。我国的

天文学家于1984年11月4日,利用云南天文台1米望远镜加CCD也找到了它,成为世界上,最早观测到这次回归的哈雷彗星的少数几个国家之一,进入了先进行列。

哈雷彗星这次回归时,从1985年9月10日到1986年1月28日,中间只10月份内,由于满月月光的影响,有7天除外,其余的日期,都测定了它的目视总星等。此后有一段时间,彗星跑到太阳背后去了,消失在太阳光芒之中,在地面上观测不到它。从1986年2月15日到5月17日,又都有目视总星等的测定记录,是彗星观测中最完整的资料。

1984年1月份以后,哈雷彗星的亮度逐日增加得很快,这表示它即使距离比木星还远时,还有一些气体跑出。到1984年3月份,当它的日心距为7.75天文单位时,彗核表面接受的日照率已上升了2倍,但还未发现升华现象,彗星仍处于沉寂状态。到1986年2月中旬,在日出前,它的亮度已达2.5~3.0星等,彗尾逐日增长。以后彗尾从2月下旬的 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,增长到三月中旬的 $15^{\circ}\sim 19^{\circ}$ 。在2月下旬,有的天文台发现有2条等离子体尾和6条分得开的尘埃尾,整个尾的张角发展到160多度,呈现多尾现象。这可能是彗核上分立的喷嘴喷出的气体及尘埃形成的。在大视场望远镜所拍摄的底片上,等离子体尾的长度,有时会长于 25° 。3月10日到4月份,尾又缩短到小于 7° 。

要研究彗发、彗尾的结构及其亮度分布,只有用单色照相技术来拍摄底片,才比较合理。一般是选用对不同波段敏感的底片,配上适合的滤光片来进行拍照。这次回归时,我国的天文学家和世界其他国家一样,都拍摄了大量的和质量很高的底片,积累了极其丰富的资料。

我国的观测组织及成果

我国具有世界上最早、最完整的哈雷彗星的古代观测记录。秦始皇以后,在我国古代史书中都有哈雷彗星的观测记录,一直延续到现代。这些古老的资料,对研究彗星轨道的演变是很有价值的。为了继承和发扬我国的光荣传统,认真组织好这次回归期的观测,为理论研究提供丰富的观测记录,是十分必要的。为此,中国科学院数学物理学部于1982年5月在南京召开了首届“哈雷彗星观测工作会议”。会后成立了全国“哈雷彗星观测协调组”,协调各项观测事宜、组织学术讨论和情报交流。以后又召开过多次工作会议。经过长期的准备及协调,最后决定观测工作共分七个专业组进行。现将这七个专业组的初步观测成果,就笔者所了解的,简介于后。观测工作才结束不久,资料还在整理、归算之中,又限于篇幅及了解得不深入、不全面,挂一漏万,在所难免,还望读者谅解。

1. 天体测量组 主要任务是利用照相天体测量的方法,精确测定哈雷彗星的位置,以便改进轨道,计算精确的星历表,进行轨道演变的非引力效应的研究。参加该项工作的各天文台、站都及时地以最快的方式,把观测结果直接发送给“国际哈雷彗星联测”组织的有关单位,为飞往哈雷彗星飞船的导航,提供了重要的资料,作出了我国应有的贡献,受到国际友人的好评。

2. 大尺度现象观测组 主要任务是用大视场望远镜进行照相观测,研究彗尾等离子体与太阳风之间的相互作用,在不同的空间位置研究彗尾随时间的变化,以及研究瞬时变化。全国各天文台、站共拍摄了800多幅照片,这些照片记录下了极其丰富的彗尾形态变化的原始资料。

1985年9月20日到1986年1月11日,北京天文台用60/90厘米的施米特望远镜对哈雷彗星拍摄了大量的底片,底片与滤光片的配置是:11aO, 11aO+UG2, 11aO+GG13, 11aO+GG14及103aF+RGI。这些底片记录到了诸如喷流、螺旋结构、断尾等彗星现象。从11月9日到20日,只在U及B波段上呈现尾,彗星光谱特征是CN3883, CN4216及C₃4050。11月12日及13日,有显著的喷流,其形状及位置不同波段有所不同。11月20日在U波段发现有长的喷流,指向东南方(背太阳),向北有一小喷流。在B波段长的喷流指向东南,第二条喷流指向东北。但在R波段,所有的喷流都指向南方,这些现象可能是由气体发射而不是尘埃反射太阳光所形成的。上海天文台与乌鲁木齐人卫观测站的联合观测队在海南岛记录到了彗尾远离太阳时由长变短的过程。4月中旬,离子尾及尘埃尾分得很开,其指向相差竟达90°,这是由太阳、地球、彗星三者的相互位置决定的。这些资料为进一步研究打下了坚实的基础。

3. 近核区域观测组 主要任务是利用天文照相底片或先进的电荷耦合装置去观测近核区域,研究彗发的结构、自转轴的空间指向及自转周期。上海天文台利用刚组装调试好的1.56米天体测量望远镜,在组装车间内,在极其困难的条件下,进行了有历史意义的照相观测,为该望远镜的诞生初试锋芒。此外赴澳大利亚斯佐罗山天文台的我国观测队,利用该台76厘米反光望远镜和彗星电视摄象机,拍摄到30万幅哈雷彗星近核区的图象。这些资料,对于研究彗核的自转特性,彗核表面活动区的热物理性质和探讨彗核爆发机制等,都是非常宝贵的资料。

4. 光谱组 在国内利用云南天文台1米望远镜卡焦摄谱仪小色散照相机(色散165 Å/mm),于1986年3月21日到25日,成功地获得了含有连续谱的哈雷彗星有缝光谱片。光谱上存在极强的CN(3883, 4216), C₂(4365, 4737), C₃(4050), m及CH(4315)发射线;在这几天内,还发现发射线强度有明显的变化。在国外,上海天文台的访问学者利用加拿大自治领天体物理台的1.8米反光望远镜的卡焦摄谱仪(色散15 Å/mm),于1985年12月也获得了哈雷彗星核区的光谱片。波段范围3800~4400 Å,曝光20分钟,拍到CN(3882), C₃(4050)等谱线。

5. 红外观测组 主要任务是利用J, H及K滤光片及圆形滤光片(CVF)(1.3~2.6 μ, Δλ/λ=2%),在云南天文台1米望远镜上,进行红外观测。从1985年12月到1986年5月,多次取得了观测成果。与光电测光资料相比较,结果证实了哈雷彗星的一次爆发现象,得到爆发后红外与可见光波段的特性有所不同,从CVF的观测中发现近红外存在1.4 μ、1.9 μ的水发射线和2.68 μ的OH发射线。这些结果,为探测某些重要分子,研究彗星尘埃的空间分布,彗发中尘埃的反照率和红外颜色随日心距的变化,积累了宝贵的资料。

6. 测光组 主要任务是进行内彗发区掩星的光电光度观测,以直接测定内彗发区物质的光学深度并探讨内彗发区的结构;另外进行彗星亮度变化的观测,以掌握其变化规律。

上海天文台利用快速光度计对哈雷彗星掩星进行过两次观测,取得了一些观测资料。云南天文台自1986年3月20日至4月3日利用60厘米反射望远镜配置了一台积分光度计对哈雷彗星进行了光电光度监测,发现3月22日至23日,哈雷彗星发生了剧烈的爆发,3月25日后爆发基本停止。在1985年11月6日至10日还利用102厘米反射望远镜加CCD进行了窄波段测光,共获得50多幅图象。滤光片参数如表5。另外各台站及派出的野外观测队都进行了大量的彗星亮度观测,取得了大量的观测数据。