

NASA

# “帕克”奔日 探寻太阳风起何处

李会超

除了给予地球光和热外,太阳也以另一种方式影响着我们的地球。一种被称作“太阳风”的高速等离子体流时刻从太阳表面涌出,并向太阳系的深处奔去。当它到达地球附近时,会与地球的磁场发生作用。强烈的太阳风

暴会引起地磁场的剧烈变化,对航天、供电、通讯、航空、导航等一系列领域和技术系统产生灾害性的影响。

8月12日,帕克太阳探测器在美国卡纳维拉尔角空军基地由Delta-4重型火箭发射升空。这艘探测器将以前所未有的距离靠近太阳,有望对多个科学问题的研究起到决定性的推进作用。

## 抵达日冕加热的第一现场

太阳日冕中,太阳大气的等离子体温度从六千多摄氏度猛增到了数百万摄氏度。帕克太阳探测器将深入到在日冕加热和太阳风加速真正发生的地方,通过观测寻找日冕异常高温的原因。

1958年,太阳风的发现者尤金·帕克博士提出,由于日冕底部的高温,日冕中存在着比较大的压强梯度力,使太阳大气中的等离子体逃脱了太阳引力的束缚,被逐渐加速并最终达到超音速,形成了太阳风。这一理论与当时学者们普遍接受的太阳静止大气理论相矛盾,因此一开始并没有被广泛接受。然而,当人类拥有了航天发射能力后,苏联的“月球1号”和美国的“探测器10号”“水手2号”等探测器在太空中传回的实测数据,证实了帕克博士的理论。

太阳释放的能量来自于太阳内部的核聚变反应。从太阳内部到我们肉眼可见的太阳光球,温度随着与中心距离的增加而逐渐降低,这也符合我们日常生活中的常识:距离热源越远,温度越低。

但在光球以上的色球、过渡区和日冕中,反常的现象发生了。太阳大气中等离子体温度从六千多摄氏度猛增到了数百万摄氏度,进而具备了形成太阳风的条件。在60年的太阳风研究过程中,研究者们试图搞清这一反常升温现象

的原因,解释日冕加热和太阳风加速的机理,将帕克的太阳风理论进一步完善,形成更加自洽的物理图像。目前,研究者们普遍认为,太阳对流层中的动能转化为了磁能,再由磁场传输到日冕中,并再次转换为等离子体的内能和动能。

然而,对于磁场能量转换的具体物理过程,则仍存在争议。帕克博士在上世纪七十年代提出了“微耀斑”理论。在这种理论中,磁场能量通过一种名叫“磁场重联”的物理过程释放。所谓磁场重联,是指磁力线的连接性发生变化的一个过程。有如铁路道岔的转换一样,磁力线的连接情况将在磁场重联过程中发生转化,重联后的总磁场能小于重联前的总磁场能,而损失的那部分磁场能则转化为等离子体的动能和内能。

另外一个理论流派则认为,日冕加热和太阳风加速的能量来自于低频阿尔芬波的耗散过程。如果将磁力线视为琴弦,那么阿尔芬波就是琴弦的颤动所形成的波动。阿尔芬波形成后,一部分远离太阳传播,另一部分则被反射回太阳表面,进而对太阳风进行加速加热。

目前,尚没有证明这两种理论哪一种更加接近真实情况。在帕克太阳探测器之前,上世纪七十年代发射的“太阳神1号”和“太阳神2号”探测器曾经获取到了距离太阳中心约0.3天文单位(AU,1天文单位约为1.5亿千米)的太阳风实测数据,而目前大部分太阳风观测数据都获取于1AU甚至更远的位置。在这些位置,日冕加热和太阳风加速过程已经完成,人们看到的是这两个过程的“果”,因而难以探求“因”。

帕克太阳探测器将深入到10个太阳半径

(约0.05AU)以下的日冕中,在日冕加热和太阳风加速真正发生的地方,通过其搭载的SWEAP仪器(太阳风电子-质子-α粒子探测器)和FIELD仪器(电磁场探测仪)获取等离子体和磁场的实测数据。同时,“帕克”运行在太阳附近时,有一段时间绕日的角速度刚好和太阳自转的角速度相同。这使得它几乎可以观测同一位置的太阳风流随日心距离而发生的性质变化。这些观测都将为科学家们最终揭开日冕加热和太阳风加速之谜提供证据。

## 实测冕洞是否太阳风的家园

科学家们已确认速度在450—850公里/秒的快速太阳风发源于冕洞之中。但对于速度在250—450公里/秒的慢速太阳风来自何方,目前仍然存在争议。“帕克”的观测将帮助科学家们弄清太阳风的起源问题。

利用磁场的塞曼效应,人们已经可以比较准确地测量太阳光球上的磁场强度和方向。然而由于日冕的密度比光球小,塞曼效应较弱,还无法直接对日冕的全球磁场进行可靠测量。目前,获取日冕磁场结构信息的方法有两种,一种是利用等离子体的冻结效应,通过等离子体发出的极紫外辐射特征结构推断磁场结构。

另一种则引入一定的物理假设,通过已知的光球磁场和数学计算,得到日冕的磁场结构。第一种方式能够使用的高度范围有限,而第二种方式的物理假设不一定和实际情况完全相符,光球磁场的测量误差也会影响计算的精确性。

由于日冕磁场观测手段的限制,人们现在尚没有彻底搞清形成太阳风的物质到底是从日冕中的什么位置释放出来的。在日冕的极紫外观测中,有一些区域呈现比其他区域更黑暗的形状,科学家们将这些区域称为冕洞。冕洞是开放磁力线集中的区域,这些磁力线一端扎根在太阳表面,另一端则延伸到太空之中。通过美国第一艘空间站“天空实验室”上的仪器观测,科学家们已确认速度在450—850公里/秒的快速太阳风就发源于冕洞之中。

然而对于速度在250—450公里/秒的慢速太阳风来自何方,目前仍然存在争议。有些学者

认为快太阳风产生于冕洞中心,而慢太阳风产生于冕洞边缘,但也存在一定缺陷。观测表明,快、慢太阳风的性质差异并不只在速度,其源区温度、离子丰度等性质都存在不同。慢太阳风来源于冕洞边缘的理论难以解释快、慢太阳风的这些性质差异。因此,一些学者提出慢太阳风产生于闭合磁力线和开放磁力线的角色转换。在这个过程中,两端都位于太阳表面的闭合磁力线和开放磁力线发生重联,使得开放磁力线的端点位置发生变化。然而,由于缺乏充分的观测证据,学术界没有完全接受这个理论。

两种理论对磁场变化的特征做出了不同的预测,因此帕克太阳探测器对日冕磁场和等离子体的观测将为终结两种理论的争论提供可能。除了进行局地测量的FIELD仪器和SWEAP仪器,帕克太阳探测器上还搭载了用于遥感成像观测的WISPR仪器(太阳风探测器宽视场成像仪),可以近距离观测日冕结构的形态。成像观测和局地观测将帮助科学家们弄清太阳风的起源问题。

## 穿上“隔热服”与太阳并肩飞行

通过7次飞掠金星的借力飞行,帕克太阳探测器在7年后会最终将自己的轨道高度降低到9个太阳半径以下,在最后的3圈飞行中实现对日冕进行近距离探测的目标。

帕克太阳探测器上还搭载了一台用于探测高能粒子的ISIS仪器(太阳高能粒子集成探测仪)。太阳风中的带电粒子,其能量一般在1—10keV(千电子伏特)之间。然而在地球附近还探测到了来自太阳的高能粒子,这些粒子的能量在数千eV到几GeV(十亿电子伏特)之间,约为前者的数万倍。这些粒子一旦袭击地球,不但会妨碍卫星正常运行,甚至彻底击毁卫星,还会对航天员的健康产生不利影响。ISIS的探测数据将有助于科学家们更深入地了解太阳高能粒子产生和传播的过程。

帕克太阳探测器升空后,将进入一条环绕太阳的椭圆轨道。一开始,这条轨道的近日点与太阳的距离为太阳半径的35倍,远日点则在1AU左右。通过7次飞掠金星的借力飞行,帕克太阳探测器在7年后会最终将自己的轨道高度降低到9个太阳半径以下,在最后的3圈飞行中实现对日冕进行近距离探测的目标。

在每一圈的飞行中,探测器的科学探测主要在与太阳的距离小于0.25AU时进行。在距离太阳比较近时,由于太阳本身的辐射对通信的影响,飞船只能下传飞船工作状态的有限信息,获取的探测数据会暂存在飞船自身的存储器中。当探测器与太阳的距离大于0.25AU时,地面将与探测器恢复较为通畅的通信。控制人员可以利用这段时间收集探测器上存储的科学数据,对飞船发送控制指

令。在此过程中,探测器只会是在供电条件允许和其他工作空闲的情况下进行有限的科学探测。在历史任务中立下汗马功劳的“深空探测网络”,将承担地面与帕克太阳探测器的通信任务。

“帕克”在太阳附近工作时,承受的太阳辐射是地球附近的500倍。为了使探测器不被太阳“烤熟”,工程师们利用碳纤维复合材料设计了一个保护罩。在工作过程中,这个厚度仅有11.43厘米的保护罩朝向太阳的一面最高温度可达1400摄氏度左右,但在它的保护下,探测器的工作环境温度仅有29摄氏度。而日冕中的太阳风的温度虽然高达数百万摄氏度,但由于太阳风的密度极低,不会对探测器的正常工作造成影响。

帕克太阳探测器依靠太阳能电池板为探测器提供电能。当探测器与太阳的距离太近时,过强的太阳辐射将会损坏太阳能电池板。为了确保安全工作,太阳能电池板采用了可调节的朝向设置。在太阳辐射较强时,太阳能电池板会向后收缩,将更多的部分隐藏在保护罩之后,只露出尖端的一部分。而当远离太阳时,电池板则又从保护罩后面探出以提供充足的供电。在太阳能电池板上,装备了由钛合金支撑的水冷系统,能够及时带走积聚的热量。即便在最严酷的太阳辐射下,水冷系统也能将太阳能电池板的温度保持在150摄氏度左右。

(作者系哈尔滨工业大学深圳校区博士后)

## 用他的名字命名航天器 尤金·帕克让NASA破例

李会超

帕克太阳探测器创造了美国国家航空航天局(NASA)的一项新纪录——以健在科学家的名字命名的第一艘航天器。尤金·帕克教授是美国知名的空间物理和天体物理学家。为了纪念帕克对太阳风的发现,NASA将原名为“太阳探测器+”(Solar Probe Plus)的探测器更名为“帕克太阳探测器”。

生于1927年的帕克在美国密歇根州立大学与物理结缘,取得了理学学士学位。1951年,帕克又从加州理工学院取得博士学位,开始了其学术生涯。在尤他大学度过四年时光后,帕克来到了芝加哥大学。在那里,而立之年的帕克取得了人生中最重要的学术成果——发现太阳风。之后,他获评教授职位,并在1967年当选美国国家科学院院士。



尤金·帕克凝望着手中的帕克太阳探测器模型

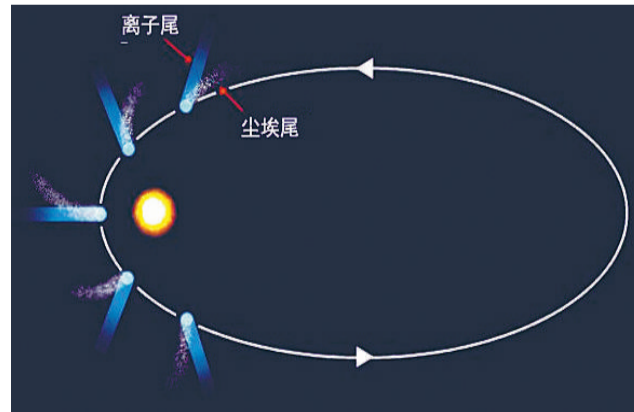
1956年,来芝加哥大学访问的德国天体物理学研究者德维希·比尔曼博士向帕克的上司、芝加哥大学空间与天体物理实验室的负责人约翰·辛普森教授介绍了关于慧尾形态的研究。比尔曼发现,当慧星在太空中穿行时,会出现两个指向不同的尾巴。无论慧星是朝向太阳还是远离太阳运动,其中一个慧尾总指向背离太阳的方向。比尔曼推测形成这种现象的原因是太阳在向外不断释放物质。然而辛普森教授并不支持比尔曼的观点,因为按照当时日地物理界权威查普曼的理论,太阳周围的日冕是静止的而不是动态的,不能形成源源不断向外释放的物质。

辛普森将比尔曼的研究成果交给帕克,希望帕克能给出自己的意见。在仔细思考后,帕克认为查普曼的静止日冕理论存在缺陷,由静止日冕模型解出的无穷远处压强与星际物质无法平衡。而一旦允许日冕不断向外膨胀并释放物质,这个矛盾不复存在,同时还可以解释吹拂慧尾的物质从何而来。帕克将这种从太阳表面涌出的物质称为“太阳风”。在帕克的太阳风模型中,随着与日心距离的增加,日冕中的物质被加速到超音速,最终形成了太阳风。太阳风还会将日冕磁场携带到行星际空间中,在太阳自转的作用下形成螺旋状的结构。目前,学界一般将这种磁场形态称为“帕克螺旋线”。

由于与权威理论相悖,帕克的太阳风理论遭遇了论文发表的困难。多家学术期刊都对他投去的稿件做了拒稿处理。最后,帕克找到了来芝加哥大学讲课的《天体物理学杂志》(Astrophysical Journal)主编、天文学家钱德拉塞卡。尽管同样不认同帕克的观点,但钱德拉塞卡发扬了一位科学家应有的开放思想,允许帕克题为《行星际气体和磁场的动力学》的论文于1958年在《天体物理学杂志》128卷664页发表。

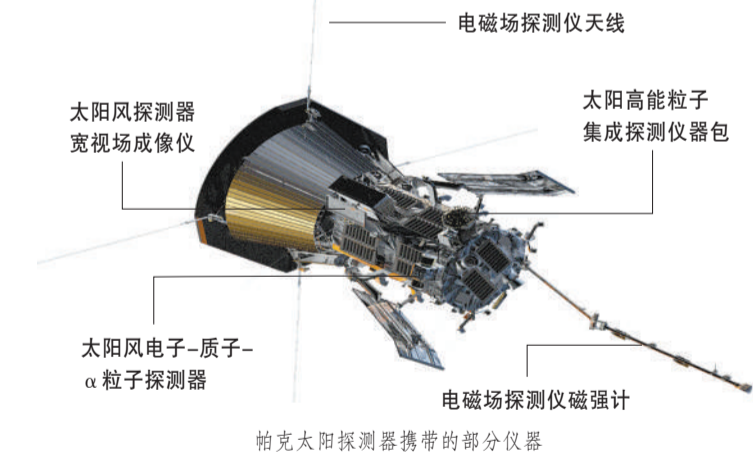
在帕克进行最初的太阳风研究的同时,人类也开始拥有了向太空中发射探测器的能力。1962年,美国“水手2号”持续104天的观测数据为太阳风的存在带来了确凿的证据。“水手2号”探测到了远离太阳的高速带电粒子流,其速度在400到700公里/秒间变化,性质与帕克预言的完全一致,从而彻底否定了查普曼的静止日冕说。由此,人们将帕克视为太阳风的发现者。

在帕克首次提出太阳风的60年后,以他名字命名的探测器踏上了与太阳亲密接触之旅,探寻太阳风更深层次的奥秘。让我们祝愿他和它都一切顺利。



慧星绕着太阳飞行时,有一条尾巴总是背对着太阳

(本版图片除标注外来源于网络)



帕克太阳探测器携带的部分仪器

