

空间日冕观测进展

尤 建 圻

(中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

摘 要

近年来 Yohkoh、SOHO 和 Ulysses 等飞船的上天大大提高了日冕观测的范围和精度。如 SOHO 上的 LASCO 使日冕可观测范围扩展到 $1.1 \sim 30R_{\odot}$ 并有分光能力; Ulysses 则可以取得黄道面外各纬度处的太阳风实地观测数据。这些资料为日冕物态研究提供了大量有用信息: Yohkoh 的软 X 射线观测发现了大尺度冕环重联的证据; LASCO 与其他空间和地面仪器联测对 CME 的研究提供了极有价值的诊断信息; Ulysses 在不到 1 yr 的时间内从太阳的一个极绕行至另一个极, 所取得的实地太阳风观测资料可用于建立日球三维模型。

关键词 太阳: 日冕 — 太阳: 日冕物质抛射 — 航天器 — 太阳风

分类号: P182.62

1 前 言

里奥 (Lyot) 发明的日冕仪^[1]开辟了地面高山日冕观测的新纪元。半个多世纪来已经积累了大量资料, 由于受大气散射光的影响, 这些资料限于日心距 $1.4R_{\odot}$ (R_{\odot} 为太阳半径) 之内。日食时固然可以观测到几个太阳半径甚至更远处的日冕, 但全食时间至多也只有几 min, 难以观测到日冕结构的演化, 上述两种观测均只能对日面边缘之外实施。自 1963 年第一个空间日冕仪升空后, OSO-7、Skylab、SMM 等一系列卫星相继上天, 不仅可以观测到内冕之外很大区域, 而且在软 X 射线 (SXR) 波段还可以观测到日面上空的日冕, 从而发现了许多新现象, 如冕洞, 日冕物质抛射 (CME) 等, 大大扩展了我们的视野。前一阶段研究的结果, 早已在文献 [2] 中作了全面总结。近十多年中随着仪器技术的改进, 观测的空间分辨率和时间分辨率都大有提高, 观测的光谱区不断扩大, 日冕观测的视野大大开阔, 特别是以观测和研究日冕为主要目标的 SOHO (Solar and Heliospheric Observatory, 太阳和日球观测台) 上的仪器配备更是齐全 (图 1), 使从过渡区到日冕、从日面上空到 $30R_{\odot}$ 的外冕以及太阳遥测和行星际空间实地观测多项同时观测成为可能。仪器技术的改进必定会提供新的观测信息, 促进研究发展。本文重点放在空间日冕观测进展上。

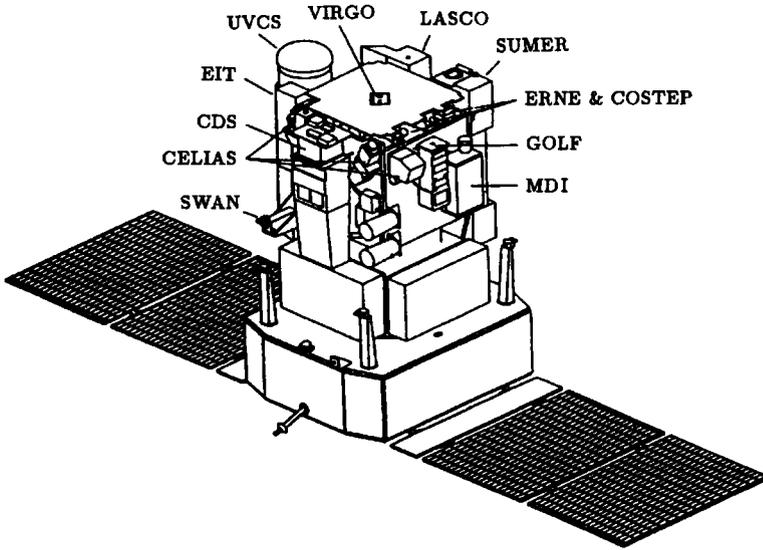


图 1 SOHO 飞船简图^[12]

2 仪器和技术

近年来携有日冕观测仪器的卫星和火箭为数不少，所携仪器种类繁多，现选其中技术比较先进，功能上有代表性者予以简述，一方面可藉以了解现代空间日冕观测的种类和水平，另一方面有助于了解以下几节中谈到的资料和研究的依据。

2.1 观测日面上空日冕的仪器

2.1.1 Yohkoh 卫星上的 SXT^[3]

日本阳光卫星 (Yohkoh) 上的 SXT(Soft X-ray Telescope, 软 X 射线望远镜) 是宽波段 ($3 \sim 50\text{\AA}$)、掠射式结构的望远镜，主要用于观测 $\leq 1.15R_{\odot}$ 的内冕和日面上空日冕。空间分辨率为 $2.54''$ 。结构上它类似于 1973 年天空实验室 (Skylab) 上的 SXT，但有两点改进：一是用 CCD 代替照相底片，大大提高了时间分辨率，增加了信息量；二是增加了一个滤光片转盘，上置 5 种不同滤光片及空档，选择不同滤光片，利用其透过波区和透过率的不同，可以有很宽的温度诊断范围，并能取得强度相差很远的日冕结构信息。

2.1.2 SOHO 上的 EIT^[5]

Yohkoh 的 SXT 采取掠射式结构，优点是反射率高，缺点是它有一个弱而宽的旁瓣，以致所成的日冕像不锐，有些弥散。如采用正入射成像固然可以很锐，但其反射率很低，不足 5%。近年来由于正入射技术的改进，应用厚度很小的多层反射膜的方法，就可以使反射率提高到 40%^[4]。SOHO 上的 EIT(Extreme ultraviolet Imaging Telescope)^[5] 就是正入射技术成功应用的范例，它可以获得 4 条远紫外线 ($\text{He II}304\text{\AA}$, $\text{Fe IX}171\text{\AA}$, $\text{Fe XII}195\text{\AA}$, $\text{Fe XV}284\text{\AA}$) 的单色像，空间分辨率达 $2.6''$ 。它们分别对应于从 $5 \times 10^4 \text{ K}$ 到 $2 \times 10^6 \text{ K}$ (即从上层色球到日冕)

的 4 个温度区。这些像除了可获形态结构之外, 还能为 2 个紫外分光仪提供背景信息。

2.2 日冕仪

自 1963 年第一台日冕仪升空以来, 许多日冕仪相继投入了空间观测, 其中有 OSO-7(1971~1972 年)、Skylab(1973~1974 年)、P78-1 的 Solwind(1979~1985 年)、SMM(1980~1989 年) 等。为了减小散射光, 这些日冕仪全采用了外掩式设计, 即在主镜正前方加一遮盘, 将日面来的光线挡掉。其优点是仪器散射光小, 可以观测到光强很弱的外冕, 缺点是遮盘引起的渐晕使其无法观测到很重要的内冕; 一般外掩式日冕仪观测的内限约为 $2R_{\odot}$ 。由于空间观测限制了仪器的大小, 其口径一般不足 5cm, 空间分辨率较低。上述这批日冕仪观测的外限在 $5R_{\odot}$ 到 $10R_{\odot}$ 间不等。1995 年 11 月升空的 SOHO 上的 LASCO(Large Angle Spectroscopic Coronagraph)^[6] 在设计上有了很大改进。它由三个日冕仪 C1、C2、C3 组成。其特色是: (1) 大视场: $1.1 \sim 30R_{\odot}$; (2) 有分光能力; (3) 低散射光(见表 1)。其中 C1 系反射式 Lyot 日冕仪结构(图 2), 采用了超级抛光和镀膜技术, 大大减小了仪器散射光, 用反射镜代替传统的透镜设计, 从而压缩了仪器总长, 是第一个进入太空的内掩式日冕仪, 使观测的内限压到 $1.1R_{\odot}$; 此外 C1 中还使用了压电扫描, 间距可调的 Fabry-Perot 干涉仪, 可以获得 $1.1 \sim 3R_{\odot}$ 日冕区域的两维光谱信息, 分辨波区 $\approx 0.7\text{\AA}$ 。在整个 $1.1 \sim 30R_{\odot}$ 范围中均能作偏振观测。

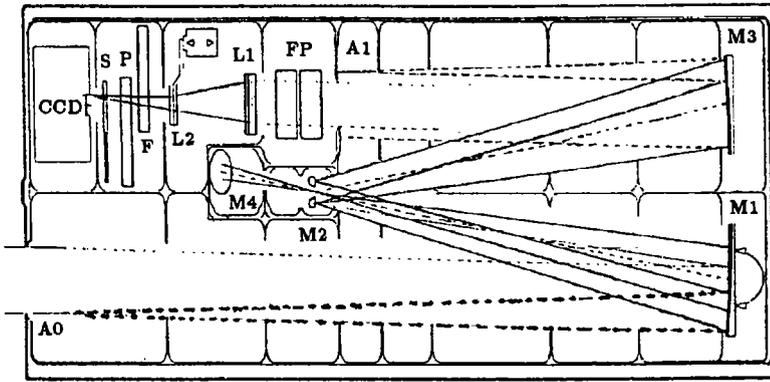


图 2 LASCO/SOHO 中的 C1 日冕仪简图

FP 为可调程的 Fabry-Perot 干涉仪^[6]

表 1 LASCO 的系统参数

	视场 / R_{\odot}	遮掩形式	光谱带通	物镜	像元尺寸	亮度范围 / B_{\odot}
C1	$1.1 \sim 3.0$	内掩式	Fabry-Perot 干涉仪	反射镜	5.6''	$2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-8}$
C2	$1.5 \sim 6.0$	外掩式	宽带	透镜	11.4''	$2 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-10}$
C3	$3.7 \sim 30$	外掩式	宽带	透镜	56.0''	$3 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-11}$

注: 表中视场以太阳半径 R_{\odot} 为单位, 亮度以太阳日心亮度 B_{\odot} 为单位

2.3 日冕分光仪器

在 Skylab, SMM 和某些探空火箭上均装有日冕分光仪器, 近年来这类仪器的改进主要表现在像差减小, 光谱分辨率增高, 光谱覆盖区大大增加, 并且普遍以二维阵代替胶卷或光电管作探测器。SOHO 上的三架日冕分光仪器很有代表性, 其主要性能如下:

2.3.1 SUMER (Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation)^[7]

这是一架与紫外望远镜相配的正入射分光计, 空间分辨率 $1.5''$, 主要用于测定从上层色球到低层日冕中等离子体的速度和湍流。速度测量精度可达 $1\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。工作波段 $500\sim 1600\text{\AA}$ 。

2.3.2 CDS (Coronal Diagnostic Spectrometer)^[8]

望远镜采用掠射式结构, 配两个分光计, 一个正入射, 一个掠射, 空间分辨率 $3''$, 工作波段 $150\sim 800\text{\AA}$, 测量谱线的绝对和相对强度, 用以确定日冕结构中的温度和密度。

2.3.3 UVCS (UltraViolet Coronagraph Spectrometer)^[9]

系与日冕仪相配的高分辨分光仪, 工作波段 $944\sim 1070\text{\AA}$, 用以测定内冕至 $10R_{\odot}$ 日冕区的光谱, 主要测定其温度和速度, 希望藉此确定太阳风源位置、特征、加速过程以及日冕加热机制等。

2.4 太阳风观测仪器

SWAN(Solar Wind Anisotropies)^[10] 是一架用 L_{α} 方法专门测定太阳风纬度分布的仪器。测定未被电离的中性氢原子因共振散射产生的 L_{α} 辐射, 以绘出行星际空间的 L_{α} 辐射图, 它可以反映太阳风引起的电离区的形状, 其空间分辨率约为 1° 。此外, 还有一些仪器可以在卫星轨道位置处对太阳风进行实地测量, 如 Ulysses 和 SOHO 上就有好几架仪器^[11,12]: URAP(Unified Radio and Plasma wave experiment), CELIAS (Charge, Element and Isotope Analysis System), COSTEP (Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle analyser) 和 ERNE (Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment)。它们可以测定低速和高速太阳风中粒子的质量、电荷、能谱, 辐射流量等。与遥测仪器相配, 可以研究太阳大气中能量释放和粒子加速过程, 以及粒子在行星际的传播。

3 日冕大尺度结构的演化

Skylab 上天后, 其软 X 射线像上显示日冕上除了冕洞之类的开放场之外, 充满了许多尺度不同亮度不同的环(loop)。近年的资料分析, 使我们对大尺度日冕结构变化有了进一步认识。首先是开始认识到日冕“瞬变”现象的起因可能是磁重联。大尺度日冕结构的瞬变时间比耀斑长得多, 但如把时标归一化到 Alfvén 传递时间, 可以发现它们大多落在系统的 $10\sim 1000$ Alfvén 渡越时间(Transit time)内, 也就是说时标基本上是不变的^[13]。其次, Skylab 资料上虽已经看到有跨活动区的环弧存在, 但未见其演化由来, 近年的 Yohkoh 资料从观测上证实了 2 个原来独立的活动区经磁重联之后生成新的跨活动区的环, 在软 X 射线像上还可以清楚看到形如“X”的 X 点(X-point)和磁分隔面结构^[14]。如重联的活动区接近日面边缘, 则可以看到一个清楚的三角形结构, 称之为“cusp”。通常认为这个 cusp 就是日面上观测到 X 点结构。大尺标日冕结构的 cusp 尺寸比耀斑的 cusp 尺寸 10^4km 要大得多, 有时竟可以达到 $1R_{\odot}$ 。看来 cusp 的形成与尺度无关, 可大可小。Yohkoh 的观测区显示日冕环的亮度与温度关系不大, 许多高温环的亮度并不大^[15]。Yohkoh 资料还显示宁静太阳也经常有大尺度的结构变化和发亮, 其瞬变事件的数目随太阳活动从极大到极小而有所下降。

现在这个领域中没解决的问题是演化的起因。为什么有的中性片很稳定, 有的却会发生瞬变? 很多人将变化原因归之于光球的剪切运动, 但这就要求光球的剪切运动也具有尺度不变特性, 也具有随太阳活动周变化的特性。看来, 这种解释还不能完全自圆其说。

4 日冕 X 射线喷流和瞬时变亮

4.1 X 射线喷流 (X-ray jet)

X 射线喷流是 Yohkoh SXT 观测到的一种喷射现象, 其视运动方向近于平行^[16], 它们与产生 X 射线亮点的微耀斑和亚耀斑有关。Shimojo 等人^[17]对 100 个喷流作了统计研究, 得出其主要特征如下: 长度 $10^3 \sim 4 \times 10^5$ km, 视速度 $10 \sim 1000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 寿命几 min~ 几 h, 温度与其足点的微耀斑相近, 约 $3 \sim 6 \text{ MK}$, 其动能估计约为 $10^{18} \sim 10^{21} \text{ J}$ 。喷流的形状很像 H α 中日浪 (Surge) 和远紫外线中观测到的巨针状物。喷流宽度随高度而减小。最近 Shimojo^[18]又对喷流的磁场特性作了统计研究, 发现 8% 的喷流产生于单极场 (SP), 12% 产生于双极场 (BP), 24% 产生于混合场 (MP), 48% 产生于周边极性区 (ST)。如认为周边极性区与混合场比较相似, 就有 72% 的喷流产生于一一般的混合场, 并且经常发生在磁流有增减变化的区域中。研究还提供了喷流也是磁重联引起的证据, 如发现喷流常发生在其足点活动区的磁位形发生变化时^[19,20]。Kundu 等人^[23]还观测到与 X 射线相联系的射电 III 型爆, 意味着喷流和微耀斑的产生机制在物理上和大耀斑是相似的。

Shibata^[19]等人发现在浮现磁流与日冕磁场之间有两种类型的重联, 一种发生在冕洞中, 这时喷流垂直向上; 另一种是在宁静区, 重联发生在两侧磁流浮现区, 喷流方向水平。Yokoyama 和 Shibata^[21], Priest 等人^[22]均成功地建立了可以重现两类喷流的重联模型。

4.2 日冕瞬时变亮 (Transient Brightenings)

Yohkoh 的 SXT 观测还展现了一个有趣的现象, 就是瞬时变亮, 它们常发生在活跃的活动区中。Shimizu 等人的研究指出^[24]这种活动区的一个或几个环会瞬时变亮 (ARTBs) 能在 1~10min 时间内一次变亮释放出热能 $10^{18} \sim 10^{22} \text{ J}$, 变亮环长 $(0.5 \sim 4) \times 10^4$ km。他们还发现这种变亮常与 GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 观测到的 C 级或亚 C 级耀斑有关。所以 ARTBs 可以认为是硬 X 射线微耀斑在软 X 射线中的对应。有人认为 ARTBs 是多个环结构^[25]或 2 个电流环^[26]相互作用产生的, 但至今尚未发现 2 个电流环相互作用的证据。

ARTBs 的起因是否和大耀斑一样呢? 现在存在着正反两方面的观测证据: 一方面在 VLA 和 Yohkoh 的同时观测中曾观测到 ARTBs 的微波对应物^[27]。此外, Shimizu^[28]1995 年发现 ARTBs 数目 N 与其总能量 W 有一函数关系: $dN/dW \propto W^{-(1.55 \pm 0.05)}$, 呈单指数律, 基本上与大耀斑一样; 另一方面, White 等人^[29]声称在 Nobeyama 17 GHz 日像仪资料中并未发现对应 ARTBs 的脉冲发射。看来现在对此尚无定论, 有待于更多的高分辨资料的获取及进一步深入研究。

5 日冕物质抛射 (CME)

空间白光日冕观测时常可探测到突发性的日冕亮结构以几十到 $2000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度向外扩展, 这就是日冕物质抛射 (CME)。CME 称得上日冕上最壮观的现象之一。对 CME 的研究已经进行了多年, 也取得了不少结果, 但对 CME 的起源和演化过程至今尚不清楚, 近年 CME 研究仍处于上升阶段, 发表文章数有增无减。大量空间观测, 特别 SOHO 上天之后, 为 CME 研究提供了许多新信息。

Wager^[30] 曾对 Solwind、SMM 等日冕仪观测到的数以千计的 CME 进行统计研究, 发现 CME 的发生频数是很高的, 约 0.74 个/d (1973 年, 近太阳活动极小年) 和 0.9 个/d (1980 年, 活动极大年)。如考虑日面背面发生的事件, 这个数目还将增加 50%。CME 抛出物质数量估计为 $10^{15} \sim 10^{16}$ g/d, 大致与太阳风相当。近年日冕资料研究结果还指出小质量的 CME 为数不多, 太阳风中相当一部分物质 ($\geq 15\%$) 是由 CME 提供的^[31]。Helio 上光度计的观测肯定了上述结论, 且其平均值比日冕仪的数据还大 3 倍。因此, CME 是太阳活动与行星际瞬变、地磁活动之间的关键连接因素^[32]。这点也为 STEP 计划 (Solar-Terrestrial Energy Program) 的研究结果所证实。1997 年底历时 7yr 的 STEP 结束时, 其主席明确指出: “我们不再会指望用耀斑来预报地磁活动, 我们知道 CME 才是真正的罪魁祸首。”在这个问题上目前尚未解决的是究竟什么样的 CME 才会产生地球物理后果。

由于过去空间日冕仪都是外掩式的, 难以观测到 $\leq 2R_{\odot}$ 处的内冕, 所以对 CME 在低层日冕的表现认识不足, 一直也没能证认出 CME 与地面高山日冕仪观测到绿冕瞬变事件^[35]、Yohkoh 的 SXT 观测到的 $1.15R_{\odot}$ 之内的 X 射线爆发事件^[36] 之间的对应关系。最近 SOHO 的观测已提供了绿冕瞬变确与 CME 相关的证据^[35]。同时, LASCO 也给探索 CME 起源提供了一种可能, SOHO 上的 LASCO 与 EIT 对 1996 年 12 月 23 日的 CME 的联测提供了有史以来第一个 CME 产生及演化的例子^[37], 资料显示这个跨日面纬度达 70° 的大尺度 CME 事件起始于一个很小的尺度 (约 $35''$)。开始时, 一个日珥的一端有慢速运动并且变亮, 很快加速到 $100\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这时已经具备 CME 的三个特征分量——明亮的冕环, 暗的空穴 (void) 和

一个爆发日珥, 这个结构向外扩展到日冕中之后就加速到了 $200 \sim 400\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

近年观测到的 CME 资料的数目和精度均有很大提高, 但勾画出的 CME 图像依然多种多样, 没有统一的模式: 如有的 CME 在日地空间传播时有明显加速过程, 加速常发生在 $5 \sim 6R_{\odot}$ 处 (图 3)^[38], 有的却未观测到加速^[39]; 有的 CME 伴有日珥爆发^[37], 有的却没有^[40]; 有的与 CME 相关的耀斑或日珥爆发产生时间会比 CME 延迟不少^[40,33]; 有的 CME 并不伴有任何光学现象却有 X 射线耀斑和射电 III 型爆^[39]……可以说, 到现在为止, CME 的确切起因和演化过程仍不是很清楚, 比较肯定的是 CME 的产生与大尺度磁场结构不稳定有关^[34]。现在迫切要研究的是日冕拓扑如何影响 CME 和 CME 产生后如何反过来影响日冕磁场结构。

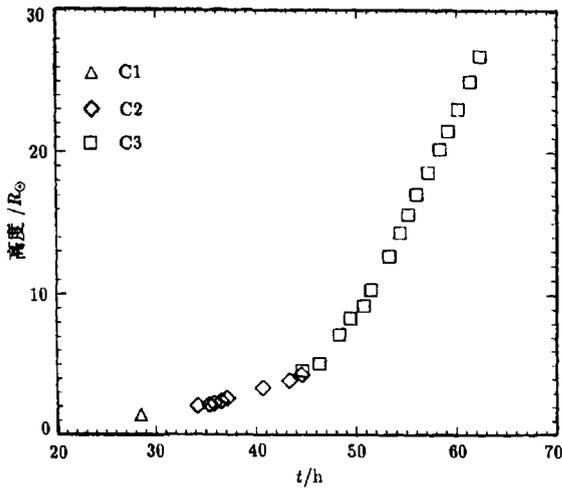


图 3 1996 年 11 月 5 日 CME 事件后缘 (trailing edge) 的高度 - 时间关系图^[38]

横坐标 t 为 1996 年 11 月 4 日 0^{h} UT 后的小时数, Δ 、 \diamond 和 \square 分别表示 SOHO 上 LASCO 三个日冕仪 C1、C2 和 C3 的测点

除了几次日食之外, 我国日冕观测基本上是一片空白, 考虑到日地空间环境研究亟需

CME 资料,除了从网上下载国外有关资料外,应该有适合我国自身需要的独立观测。如能在正在立项的空间望远镜 (SST) 上放置一个可以观测低层日冕的望远镜将是很有意义的,它可替代由于 SOHO 失控损坏的 LASCO C1 的作用,用于探索 CME 起源和日地关系。

6 太阳风和冕洞

6.1 太阳风

太阳风是日冕加热过程的直观表现。30 多年来在行星际空间观测中证认出两种太阳风:一种是特征速度低于 $500\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 的低速分量,物理参数多变;另一种是平均速度约为 $750\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 变化较少的高速太阳风。两种太阳风起源至今未能分辨得很清楚。最流行的说法是^[41]:高速太阳风来自低温低密度的高纬冕洞,低速太阳风则与黄道面附近结构复杂多变的冕流带有关。SOHO 与 Ulysses 上天之后为这方面的理论模型提供了观测判据。SOHO 上的 UVCS 与 LASCO 的第一次联测表明^[41]低速太阳风限于伸向行星际空间的冕流束 (stream stalks),而高速太阳风则充盈于内冕的其他区域。在高速与低速太阳风之间沿冕流束观测到了速度剪切。过去绝大多数行星际空间观测都是在黄道面附近,探测限于 $\pm 7^\circ$ 的纬度带中,致使日球三维模型的建立要采用一些间接方法 (如外插等) 取得。Ulysses 在不到一年的时间内 (1994.9~1995.7) 完成了从太阳一极到另外一极的飞行,第一次取得日球各纬度太阳风实测资料,时间又近太阳活动极小,日球电流片 HCS 变得扁平并近赤道,使太阳风结构相对简单,可以说机会绝佳。这次实测在纬度 22°S 和 21°N 之间的区域中 Ulysses 观测到清一色的高速太阳风,风

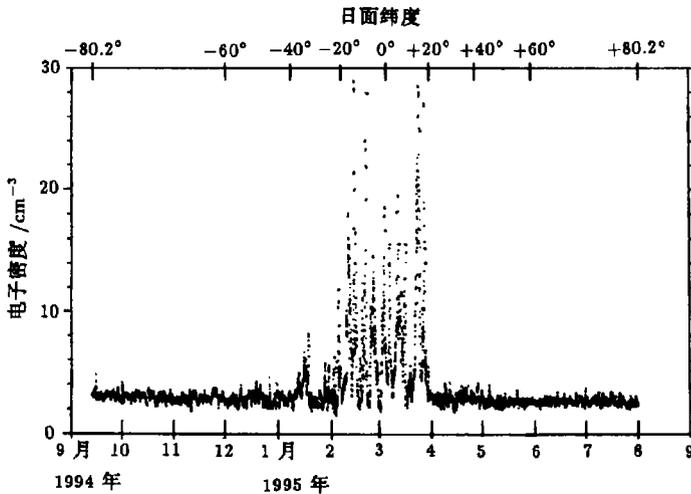


图 4 Ulysses 作极到极飞行时测得太阳风密度 (归化到 1AU 的值) 随时间的变化^[43]

速在 $700 \sim 800\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 间,起源于极区冕洞^[42]。Ulysses 在低纬地带观测到了交替出现的高速和低速太阳风,测得的太阳风电子密度随时间 (纬度) 分布见图^[43]。从图上可以看到纬度高于 22° 区域中,太阳内电子密度基本与纬度无关,其平均值为 2.9cm^{-3} ,南北半球密度略有不对称,南冕洞较北冕洞高约 10%。在低纬区密度起伏很大,高密度对应低速太阳风,低密

度对应高速太阳风。这个区中电子密度分布有三个峰值,分别为 3.5 、 7 和 12cm^{-3} , 这结果与以前黄道面附近的空观测结果^[44]一致。分析认为^[45]这是由于 Ulysses 碰到了 HCS, 那里来自极区冕洞的高速太阳风向赤道扩张并与冕流带的低速太阳风交替出现并相互作用。

Bertaux 等人^[46]分析了 SOHO 上 SWAN 一年来的观测资料,得到的结论是太阳风的纬度分布明显不均匀,在赤道面附近 L_{α} 有一凹槽,表示那里电离增强,非常可能这种增强是慢速太阳风集中在行星际空间中性电流片处引起的。这个结果证实了 Prognoz 1976 年的数据分析结果^[47]。此外,日面南北半球 L_{α} 辐射也不对称。但这两次观测时太阳活动均处于极小期,当活动上升后,情况还很难预料。

6.2 冕洞

近年来空间观测显示冕洞存在结构,其尺度有大有小。还发现冕洞中的针状物的高度比冕洞外大,巨针状物发生的频数也比冕洞外高。这很可能与冕洞中磁场因开放而垂直日面有关。1996年3月以 SOHO 上的仪器为主,联合部分地面仪器对冕羽进行了一次大规模的联测,极区冕羽结构一直可以探测到 $15R_{\odot}$ 处^[48]。观测发现冕羽的下端对应光球中的单极磁流区和色球中的网络边界。冕羽比周围冕洞物质来得稠密而冷,估计其电离温度约在 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^6\text{K}$ 范围之内。形态上冕羽随高度呈超径向发散,即相对日心所张的立体角随高度增加而扩大,在 $1.05R_{\odot}$ 与 $4 \sim 5R_{\odot}$ 间测得的角度增大倍率约为 10。在 $1.3R_{\odot}$ 之内冕羽结构在 24h 内显得还稳定。SOHO 另一次用 SUMER 作的冕羽观测结果显示^[49]在 $1.03 \sim 1.33R_{\odot}$ 区间中,冕洞中冕羽比冕羽间物质强度高 $10\% \sim 50\%$,但谱线窄 $10\% \sim 15\%$ 。光谱分析后得到的结论是高速太阳风源不像是冕羽,而更可能是磁场开放的冕羽间物质。由此可见近年的观测研究对慢速太阳风起源结论比较一致,而快速太阳风的确切起源还有待进一步分析。

近年来有一个被认为很重要的观测结果是 Spartan 201 上的 UCS 取得的,发现日面边缘外的 L_{α} 轮廓不能用一个高斯轮廓加以拟合,而要用 2 个高斯轮廓,其宽分量对应 $300\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 或 $5 \times 10^6\text{K}$ ^[51],意味着内冕比我们过去所认为的要热得多,或者是它的速度分布是非 Maxwell 的。这个现象近来为 SOHO 的 UVCS 的观测所证实^[51]。但 Kohl 等人声称如果资料处理时扣除了散射光、F 冕和行星际 L_{α} 辐射之后,SOHO 的这一结果是可以单个高斯轮廓加以拟合的。

总的说来,SOHO 上仪器精度高、配置齐全,目前已经获得了一批重要观测结果,但 SOHO 观测到的资料极多,数据处理繁复费时,所以已发表的结果还只是其中很小的一部分。利用 SOHO 资料进行理论研究的文章也渐有发表,如用无流场外插光球磁场方法来解释 $\lambda 5303\text{\AA}$ 绿冕的结构^[52],用磁流绳模型重现 CME 的磁位形和动力学过程等^[53]。但总的说来还不是很多,这很可能与经绝对定标的观测资料发表得还不是很多有关。

参 考 文 献

- 1 Lyot B. C. R. Acad. Sci. Paris, 1930, 191: 834
- 2 章振大. 天文学进展, 1983, 1: 142
- 3 Tsuneta S et al. Solar Phys., 1991, 136: 37
- 4 Rottmann G J. Phys. Scr., 1990, T31: 199
- 5 Delaboudiniere J P et al. Solar Phys., 1995, 162: 291
- 6 Brueckner G E et al. Solar Phys., 1995, 162: 357
- 7 Wilhelm K et al. Solar Phys., 1995, 162: 189
- 8 Harison R A et al. Solar Phys., 1995, 162: 233

- 9 Kohl J L *et al.* *Solar Phys.*, 1995, 162: 313
- 10 Bertaux J L *et al.* *Solar Phys.*, 1995, 162: 403
- 11 Stone R G *et al.* *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1992, 92: 291
- 12 Demings V, Fleck B, Poland A I. *Solar Phys.*, 1995, 162: 1
- 13 Tsuneta S. In: Tsinganos K C ed. *Solar and Astrophysical Magnetohydrodynamic Flows*, Dordrecht: Kluwer, 1996: 85
- 14 Tsuneta S. *Ap. J.*, 1996, 456: L63
- 15 Yoshida T, Tsuneta S. *Ap. J.*, 1996, 459: 342
- 16 Strong K T *et al.* *Publ. Astron. Soc. Jpn.*, 1992, 44: L161
- 17 Shimojo M *et al.* *Publ. Astron. Soc. Jpn.*, 1996, 48: 123
- 18 Shimojo M, Shibata K, Harvey K L. *Solar Phys.*, 1998, 178: 379
- 19 Shibata K. In: Uchida Y *et al.* eds. *X-ray Solar Physics from Yohkoh*, New York: Univ. Academy Press, 1994: 29
- 20 Shibata K *et al.* *Ap. J.*, 1994, 431: L51
- 21 Yokoyama T, Shibata K. *Publ. Astron. Soc. Jpn.* 1996, 48: 353
- 22 Priest E R, Parnell C E, Martin S F. *Ap. J.*, 1994, 427: 459
- 23 Kundu M R *et al.* *Ap. J.*, 1995, 447: L135
- 24 Shimizu T *et al.* *Publ. Astron. Soc. Jpn.* 1992, 44: L147
- 25 Hanaoka Y. *Solar Phys.*, 1996, 165: 275
- 26 Fushiki T, Sakai J I. *Solar Phys.*, 1995, 156: 265
- 27 Gopalswamy N *et al.* *Ap. J.*, 1994, 437: 522
- 28 Shimizu T. *Publ. Astron. Soc. Jpn.* 1995, 47: 251
- 29 White S M *et al.* *Ap. J.*, 1995, 450: 435
- 30 Wagner W. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1984, 22: 267
- 31 Jackson B V, Howard R A. *Solar Phys.*, 1993, 148: 359
- 32 Tsurutani B T *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 1992, 19: 73
- 33 Wilk J E *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 411
- 34 Simnett G M, Harrison R A. *Solar Phys.* 1985, 99: 291
- 35 Plunkett S P *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 699
- 36 Klimchuk j A *et al.* In: Uchida Y *et al.* eds. *X-ray Solar Physics from Yohkoh*, New York, Universal Academy Press, 1994: 181
- 37 Dere K P *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 601
- 38 Simnett G M *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 685
- 39 Maia D *et al.* *Solar Phys.*, 1998, 181: 121
- 40 Dryer M *et al.* *Solar Phys.*, 1998, 181: 159
- 41 Habbal S R *et al.* *Ap. J.*, 1997, 489: L103
- 42 Phillips J L *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 1995, 22: 3301
- 43 Issautier K *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 172: 335
- 44 Neugebauer M. In: Neugebauer M ed. *Solar Wind Five*, 1982: 135
- 45 Smith E J *et al.* *geophys. Res. Lett.*, 1995, 22: 3325
- 46 Bertaux J L *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 737
- 47 Bertaux J L *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 1996, 23: 3675
- 48 DeForest C E *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 393
- 49 Hasseler D M *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 375
- 50 Kohl J L, Strachan L, Gardner L D. *Ap. J.*, 1996, 465: L141
- 51 Kohl J L *et al.* *Solar Phys.*, 1997, 175: 613
- 52 Wang Y M *et al.* *Ap. J.*, 1997, 485: 419
- 53 Chen J *et al.* *Ap. J.*, 1997, 490: L191

Progress in Space Observations of the Corona

You Jianqi

(*Purple Mountain Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract

Recently the launches of a series of spacecrafts, such as Yohkoh, SOHO, Ulysses, etc., have greatly extended the observable range and improved the data. The LASCO/SOHO is a coronagraph which can be used to observe corona of large angle ($1.1 \sim 30R_{\odot}$) with spectrometric ability. Ulysses was planned to get in situ measurements of solar wind. Many useful information has been obtained from these instruments. Strong evidence for magnetic reconnection between the large scale coronal loops was reported from Yohkoh soft X-ray observations. Joint observations of the LASCO and some other space or groundbased instruments bring new insight and valuable diagnosis of the study of CME. Ulysses data present in situ measurements of both speed and electron density of solar wind as a function of heliolatitude during its pole-to-pole transit in less than one year, which is very useful for modeling a 3-D picture of heliosphere.

Key words sun: corona—space vehicles—sun: coronal mass ejection (CME)—Sun: Solar wind