

宁静和重现太阳风中的亚 阿尔文波速流*

章 公 亮

(中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

摘 要

本文例举观测实例说明, 在宁静太阳风中或重现太阳风的低速流区, 有可能形成行星际亚阿尔文波速流. 这种流出现在阿尔文波速异常增强区, 并与特定的磁场位形相联系.

关键词 行星际亚阿尔文波速流, 宁静太阳风, 重现太阳风

一、引 言

根据太阳风的理论, 太阳风能克服太阳重力场的影响进入行星际空间, 其充分和必要条件是日冕临界点上流速必须等于局部声速. 超过临界点后, 太阳风必定是超声速流, 才能离开太阳. 考虑太阳磁场的影响, 太阳风又必须是超磁声波速和阿尔文波速流. 行星际飞船的实际测量说明, 在绝大多数情况下, 太阳风是满足超磁声波速的条件. 尽管如此, Gosling 等报导过在行星际空间和地球磁鞘中观测到亚阿尔文波速流的一个例子^[1]. 随后, Schwenn^[2]也提到在内日球偶尔也能观测到亚阿尔文波速太阳风. 为了进一步研究起因, 还需分析更多的事例, 并弄清楚它们的出现规律.

我们在研究行星际磁云时, 注意到它具有强磁场、低温、低密度的特征. 强磁场和低密度将导致阿尔文波速的异常增高, 因此磁云的阿尔文马赫数就比较低. 但要形成亚阿尔文波速流, 除了阿尔文波速异常增高外, 还要求流速低. 而磁云的流速一般是比较高的, 因此亚阿尔文波速流也并不多见. 我们在研究1982年11月23—25日, 强磁场结构为后随极高速太阳风流追赶的事件时, 发现在相互作用区的强磁场结构后边界附近流速低至291 km/s, 而阿尔文波速则高达500 km/s以上, 从而形成了阿尔文马赫数为0.59的行星际亚阿尔文波速流^[3]. 本文的目的是在低速、低密度太阳风流中, 进一步寻找更多的亚阿尔文波速流.

文中各图均用相同的格式, 即左图画出太阳风速 V 、行星际磁场总强度 B 、数密度 n 、绝热声速 c_s 和阿尔文波速 c_a , 右图画出阿尔文马赫数 M_a 、磁压相对热压比 μ_p 和磁能相对于动能密度 μ_k 、行星际磁场倾角 θ 和方位角 ϕ , 并用两竖线标出亚阿尔文波速流区.

* 国家自然科学基金重大项目资助, 编号49391400.

本文于1995年6月1日收到.

二、宁静太阳风中的亚阿尔文波速流

Gosling 等^[1]研究的事件发生在宁静太阳风中,但他们未能注意行星际磁场的特征. 这里对此进行重新讨论,图1给出有关的行星际参量变化. 1979年11月21—23日,行星际出现一磁场旋转的结构,倾角由 80°S 左右上升至 80°N 左右,然后又回转至 80°S ;除开始阶段外,磁场方位角无显著变化. 旋转结构内磁场强度较弱,最强处也只有 10nT 左右,磁场扰动变化也很小. 在此期间,行星际空间相当平静,除磁场外,无大的起伏;太阳风速低于 400 km/s ;温度在 $1\times 10^4\text{K}$ 的低温水平;密度相当稀薄,低于 10cm^{-3} . 此磁场旋转的结构具备了磁云磁场方向旋转和低温、低密度的特征,但磁场并不强. 因此可以认为它是一种准磁云结构.

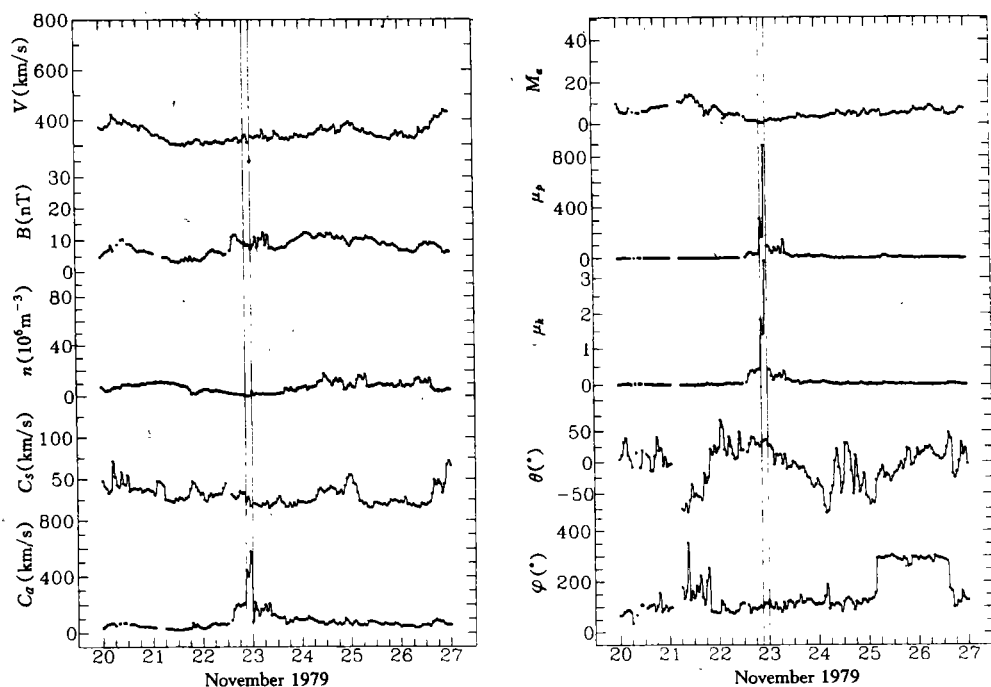


图1 宁静太阳风中的亚阿尔文波速流

Fig.1 Sub-Alfvénic flow in a quiet solar wind

亚阿尔文波速流正是出现在此准磁云结构内. 22日中午至23日中午,磁场略有增强,使阿尔文波速、磁压力相对于热压力和磁能相对于动能密度的比值均有所增高. 22日22—24UT,阿尔文波速超过 400 km/s ,阿尔文马赫数低于1,磁压为热压的169倍,而磁能则高达动能的1.4倍以上. 极值出现在24UT, c_a 、 μ_p 和 μ_k 分别达到 579 km/s 、892和3.5的极大值, M_a 达到最低值0.54,从而形成了亚阿尔文波速流.

本例讨论的准磁云结构可能是一种特殊类型的日冕物质抛射. 结构前无明显高密度增强前鞘结构. 它可能对应于无亮环结构的纯暗腔(Cavity)型日冕物质抛射事件^[4],与

冕流并无联系。

三、重现太阳风中的亚阿尔文波速流

人们对重现太阳风的研究着重在高速流, 对重现的宁静、低速太阳风很少注意. 行星际亚阿尔文波速流是否会出现现在重现的低速行星际结构之中, 这是一个很有趣的问题. 图 2 和 3 是从大量行星际数据中^[5]找到的两个重现亚阿尔文波速流的例子.

1979 年 7 月间, 行星际磁场指向太阳的电流片于 7 月 3 日和 29 日两次通过地球. 第一次通过时(图 2), 后随一流速约为 500 km /s 的小型中速流, 温度在 10⁵K 以上, 有密度、磁场及其扰动的增强与电流片相联系. 小型中速流后, 尚有两股相似的小型流. 这几股小型流的声速与流速有很好的相关, 说明它们可能起源于冕洞^[6]. 7 月 4 日 10—18UT, 在第一股小型流后沿, 流速和密度均很低, 尤其是密度几乎接近于 0.1cm⁻³, 从而形成了磁能和阿尔文波速的异常增强区. 其中 μ_p 、 μ_k 和 c_a 分别超过 54、1.1 和 550km /s, 形成了 M_a 低于 0.92 亚阿尔文波速流. 同日 15UT, μ_p 、 μ_k 和 c_a 分别达到极大值 180、2.77 和 786 km /s, M_a 则达到极小值 0.61.

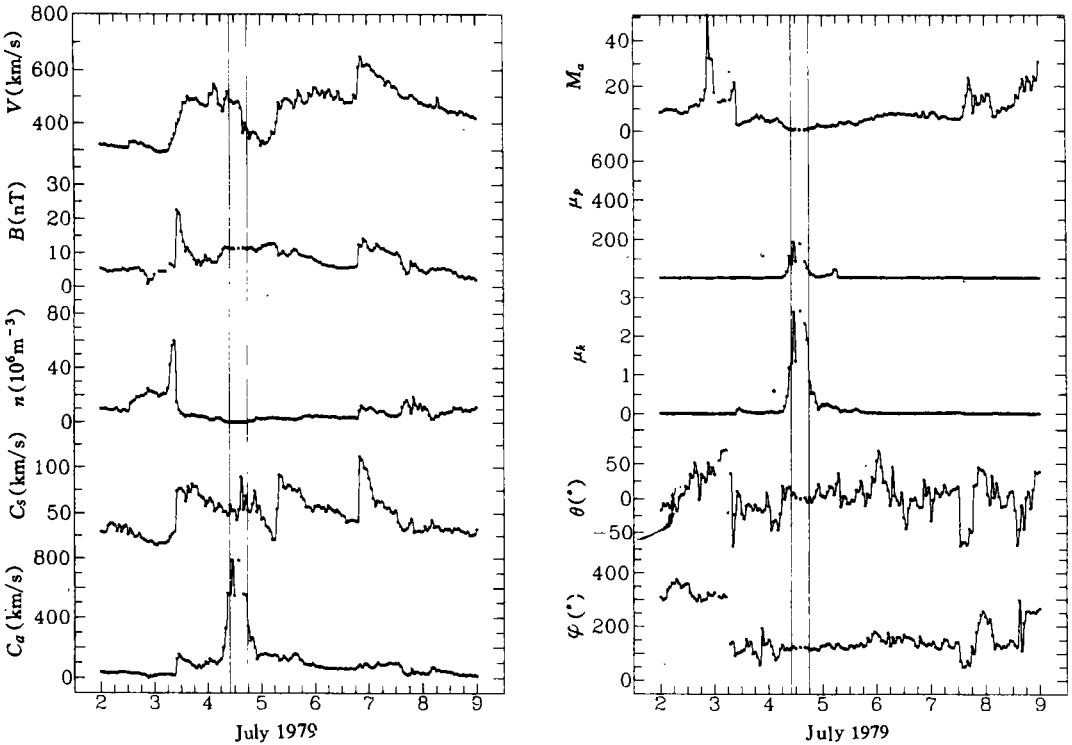


图 2 1979 年 7 月 4 日重现性亚阿尔文波速流

Fig.2 Recurrent sub-Alfvénic flow on 4 July 1979

27 天以后(图 3), 电流片及与之相联系的高密度结构和磁场增强结构再次重现, 电流片通过地球的时间提前了一天. 由于小型高速流的追赶, 第二、三股小型流已互相汇

合, 流速峰于 8 月 1 日通过地球. 但流的性质与上次出现时相比无大的变化. 7 月 31 日 12—20UT 之间, 在两小型流交界的低速流区, 密度也降到很低, 再次出现阿尔文波速和磁能的异常增高和行星际亚阿尔文波速流. 但重现的时间并未提前, 非常接近太阳自转回合周期. 这说明亚阿尔文波速流与小型流并无直接联系.

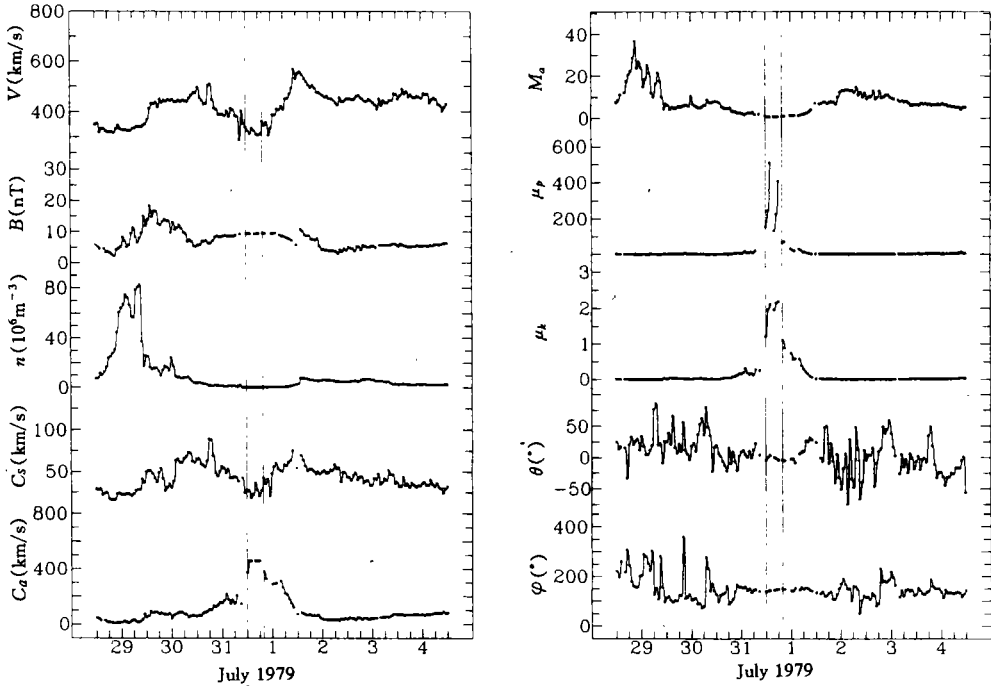


图 3 1979 年 7 月 31 日重现性亚阿尔文波速流

Fig.3 Recurrent sub-Alfvénic flow on 31 July 1979

值得注意的是与此重现亚阿尔文波速流相联系的行星际磁场位形. 在阿尔文波速异常区, 磁场倾角和方位角的扰动很小, 磁场扰动超平静. 行星际阿尔文波是大量存在的, 它很容易改变磁场的方向, 磁场方向扰动非常小的情形是很少见的. 尤其令人感到奇怪的是, 磁场倾角接近于 0° , 也就是行星际磁场接近在黄道面内! 这也是少见的现象. 根据太阳风理论, 只有在稳态时, 行星际磁场才是黄道面内的螺旋磁场. 因此可以说重现亚阿尔文波速流是与电流片一侧的准静态平面磁场位形相联系的.

还要指出的是, 重现亚阿尔文波速流第一次出现前 27 天, 即 6 月 6 日, 曾发生过一次在强激波后的高速强磁场结构中的亚阿尔文波速流. 这说明, 上述重现亚阿尔文波速流及准静态平面磁场位形, 可能是太阳强瞬变活动引出的特殊磁场位形. 我们将在以后的论文中进行讨论.

四、讨 论

根据本文及文献[3]的研究结果, 形成行星际亚阿尔文波速流的条件是低流速的阿

尔文波速异常增强区, 但又与特定的磁场结构相联系. 有三种情况可以产生这种亚阿尔文波速流:

- (1) 极高速流追赶强磁场的相互作用区中磁场方向反转界面;
- (2) 宁静太阳风中的磁场旋转的准磁云;
- (3) 磁场在黄道面内的准静态低速太阳风.

参 考 文 献

- [1] Gosling, J. T., et al., *J. Geophys. Res.*, Vol. , 87, p. 239, 1982.
- [2] Schwenn, R., *Solar Wind 5*, NASA Conf. Pub., 2280, p.489, 1983.
- [3] 章公亮, 空间科学学报, 第 16 卷, 第 92 页, 1996.
- [4] Burkepile, J. T., and O. C. St. Cyr., NCAR / TN-369+STR, 1993.
- [5] Gouzens, D. A., and J. H. King, *Interplanetary Medium Data Book*, Suppl.3, 1977— 1985, NSSDC /WDCA & S, 86-04, 1986.
- [6] 章公亮, 徐元芳, 高玉芬, 空间科学学报, 第 5 卷, 第 155 页, 1985.

SUB-ALFVENIC FLOWS IN THE QUIET AND RECURRENT SOLAR WINDS

Zhang Gong-Liang

(Center for Space Science and Applied Research, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract

Observational facts are displayed in this paper showing that the sub-Alfvenic flow may be formed in the quiet and recurrent low-speed solar wind streams. Such kind of flow appears in a region with abnormal enhancement of Alfvenic speed, and associates with a certain specific magnetic configuration.

Key words Interplanetary sub-Alfvenic flow, Quiet solar wind, Recurrent solar wind