第6卷 第1期 空间科学学报 Vol. 6, No. 1
1986 年 1 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Jan., 1986

太阳活动高年期间（1978—1981）耀斑-行星际激波传播的三维平均特性——日本行星际闪烁（IPS）观测的初步分析

魏 奉 思
（中国科学院空间物理研究所）

摘 要

文中通过对行星际激波传播的动力学效应的考虑，根据日本的IPS观测资料，对太阳活动高年期间85个耀斑-IPS激波事件进行了统计研究. 结果表明：（1）激波的传播相对耀斑法线方向是非对称传播. 传播最快的方向，就经度而言趋向行星际螺旋形磁场方向；就纬度而言很接近在此事件期间日球电流片的平均纬度.（2）传播的纬度范围（$-60°$—$+40°$）远比传播的经度范围（$<-90°$—$+90°$）小.（3）激波的能量分布有明显的东-西、南-北不对称性，它决定了激波传播的非对称特性. 所研究的85个耀斑-激波的平均能量$\sim 2.7\times10^{31}$尔格（单位立体角）. 上述结果与我们分析美国圣地亚哥IPS观测所得结果基本一致[3].

一、引 言

太阳耀斑活动所引起的太阳风扰动（本文简称耀斑-激波）在日地空间传播的三维特性，为研究日地关系的人们所注目. 由于飞船活动基本上在黄道面附近的限制，关于传播特征的知识，至今了解很少. 由于近几年行星际闪烁技术取得了很大的发展，Hewish[1]，Pintér[2]，魏奉思[3,4]*和 Watanabe，Kakinuma[5] 等人尝试利用IPS观测来研究耀斑-激波的三维传播特性. 利用IPS观测研究扰动太阳风所遇到的主要问题是如何考虑激波传播的动力学效应和证认扰动事件的源以及尽可能减少观测数据中的误差、不确定性因素给研究结果带来的影响. 在文献[3,4]中对上述问题给出了某些发展，得到一些有意义的新结果. 为了进一步考查文献[3]中所得激波传播的三维特性是否受不同IPS观测站取样的影响以及我们方法的合理性，对日本IPS数据的结果进行了分析. 所得结果与文献[3]基本一致. 这说明我们的方法和结果的基本正确性，同时也表明：IPS观测技术可能成为研究太阳风三维结构的一种有力的常规观测工具.

本文于1985年2月9日收到.

* 文献[3]的初步结果于1983年11月在国际昆明太阳物理和行星际传播现象学术会上报告，正付印中.

二、观测数据的处理

(1) 选取耀斑-IPS 激波事件数据的主要原则

1. 孤立大耀斑，其光学等级 ≥2 且有 II—IV 型射电暴、综合指数 ≥10，太阳日面上二天之内没有第二个大耀斑再发生；

2. IPS 观测中出现大扰动，速度增加 ≥50km/s，且同时在较大经度范围为三个不同的射电源的闪烁观测所记录到；

3. IPS 观测数据连续性较好，至少有三天以上数据.

1978—1981 年期间同时满足上述全部原则的耀斑-IPS 激波事件为 85 个. 确立上述筛选原则，可以最大限度的减少因 IPS 观测本身误差、耀斑频繁发生以及共转高速流等因素所带来的有关耀斑 IPS 激波事件证认中的不确定性，从而保证有可能获得好的统计结果. 这里介绍的筛选原则与文献 [3] 同.

(2) IPS 观测数据中的激波传播的动力学效应的改正.

根据对空间激波观测的分析，我们认为行星际激波在其空间传播（～0.3—～2AU）最重要的动力学效应是激波随太阳风的对流效应和激波的减速过程[6]. 它们将对 IPS 数据产生很大影响，任何简单处理或处理不当都不可能得到比较反映实际的物理结果. 本文对这些问题的考虑与文献 [3, 4] 相同，这里从略.

三、耀斑-激波传播的主要三维统计平均特性

为了和文献 [3] 的结果作比较，仍选相同的归一化参数，传播时间 $T = 55$ 小时，背景太阳风速 $V_0 = 400$km/s. 这里分别对所得的 85 个事件的激波能量 E 和传播距离 R 的经度、纬度关系进行最佳拟合的统计处理. 主要结果给在图 1, 2 中.

从图 1, 2 中可得到如下几点结论：

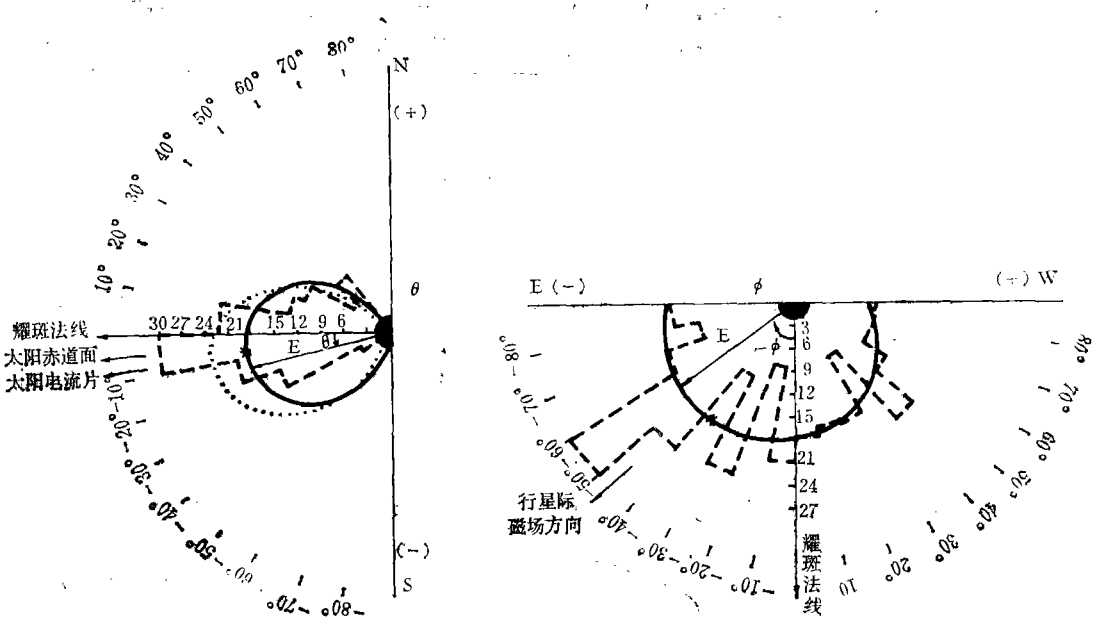
(1) 太阳活动高年期间，单个耀斑-激波事件的传播是一种非常复杂的非对称传播. 平均而言，传播最快方向在纬度上接近太阳电流片在此事件期的平均纬度(亦接近赤道面的平均位置)，在经度上趋向行星际螺旋形磁场方向.

(2) 耀斑-激波传播的空间范围，纬度范围约在 $-60°$—$+40°$ 之间，经度范围 $> \pm 90°$，纬宽约为经宽的一半，就是说耀斑-激波平均张开的立体角约为 π；

(3) 耀斑-激波能量有鲜明的东-西不对称性和南-北不对称性. 能量主要集中在耀斑法线之东南方向. 所研究的 85 个事件激波的平均能量约为 2.7×10^{31} 尔格/立体角，代表中等强度激波.

四、讨　论

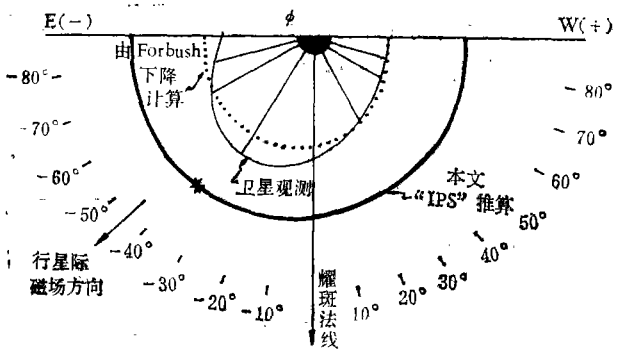
(1) 耀斑-激波在行星际空间传播的非对称性，意味着激波传播的动力学过程不是一



——拟合曲线 (the fitting curve) ----平均值 (the average value) ……文献[3]结果 (the results taken from the references [3])

图 1 耀斑-激波能量 E 随经度 ϕ（上图）和纬度 θ（下图）的变化

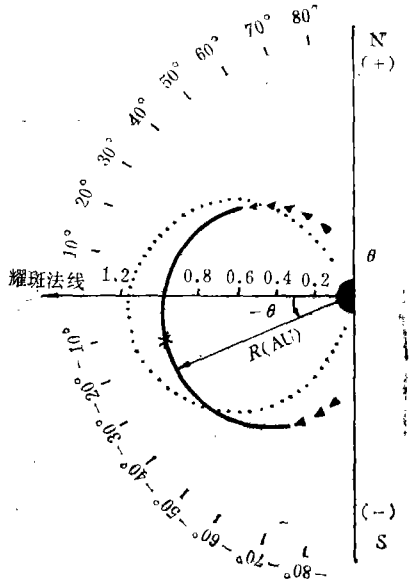
Fig. 1 the energy of flare-shock wave as the function of the longitude ϕ (upper) and the latitude θ (lower)



——本文结果 (the result from this paper) ——按卫星观测统计结果 (the slatistrcal result obtained by analysing satellitic data)[7] ……按宇宙线 Forbush 下降计算结果(the result obtained by calculating Forbush decrease of the Cosmic rays[8])

图 2(a) 耀斑-激波传播距离 R 随经度 ϕ 的变化

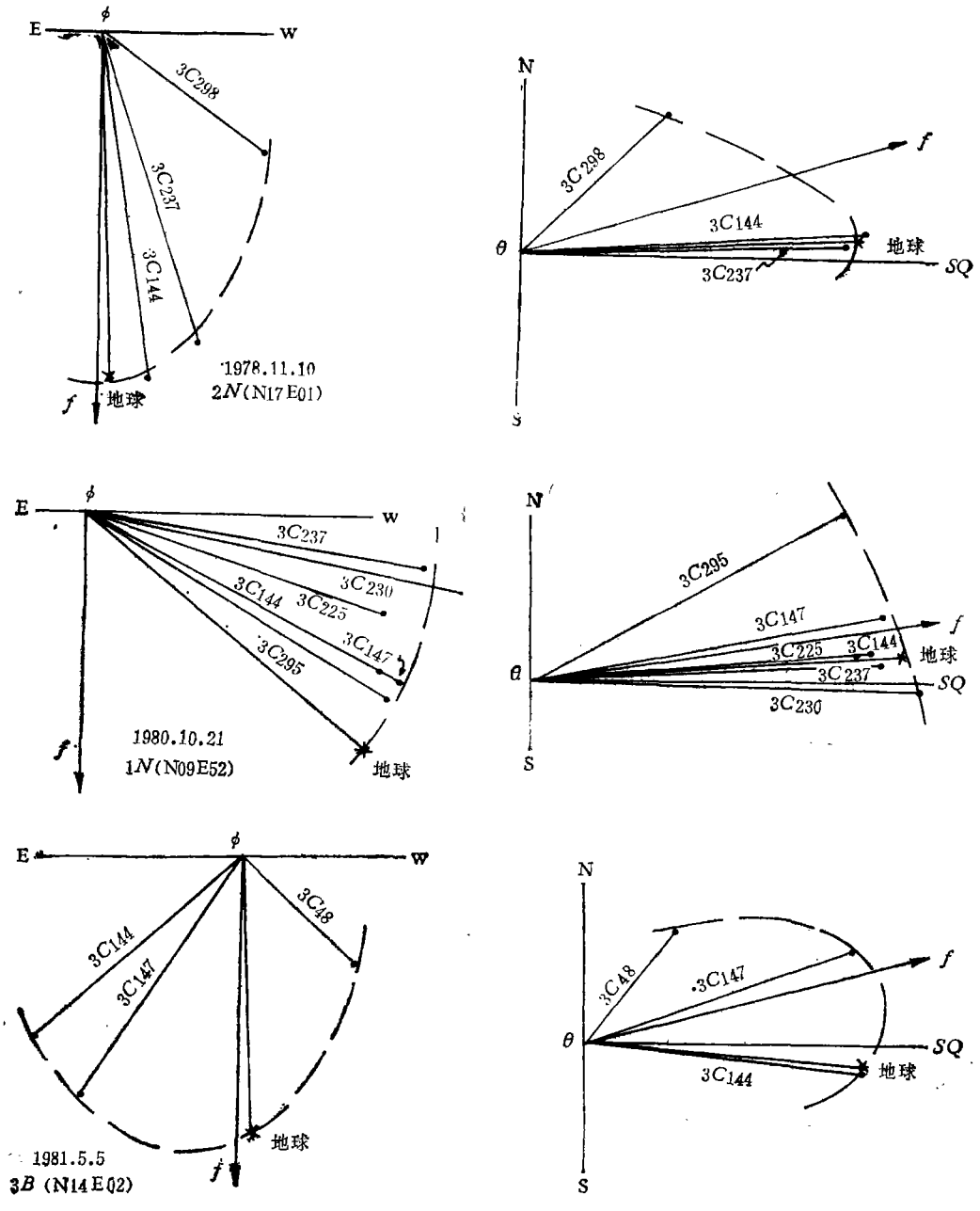
Fig. 2(a) The propagating distance of the flare-shock wave as a function of the longitude ϕ.



——本文结果 (the result in this paper) ----文献[3]结果 (the result taken from the reference [3])

图 2(b) 耀斑-激波传播距离 R 随纬度 θ 的变化

Fig. 2(b) The propagating distance of the flare-shock wave as a function of the latitude



*——地球位置 (Position of the earth)　f——耀斑法线 (the flare normal)
SQ——太阳赤道面 (the solar equator)

图 3　根据地磁急始 SSC 观测所计算的激波形状举例

Fig. 3　The examples for the shape of shock wave calculated from the geomagnetic SSC obs.

种简单的膨胀过程，它和行星际介质之间存在复杂的相互作用．文中结果已对背景太阳风介质的各向异性流动和激波减速效应进行了考虑，因而图 1，2 中所呈现的各向异性，主要反映的是太阳附近和日地空间的大尺度磁场结构对传播的影响．冕洞，特别是极冕

的经常存在，其磁场位形将可能限制激波向远离太阳电流片的高纬区传播($\boldsymbol{V}\times\boldsymbol{B}\fallingdotseq 0$)．而在经度方面却没有任何稳定的磁场位形来限制激波的传播，唯有螺旋形磁场将调制激波的最快方向向自己靠近．从而出现激波的东、西不对称性以及传播的经度范围远比纬度范围大很多．激波传播的南-北不对称性将取决于太阳电流片的平均位置偏离耀斑法线的平均纬度的程度，二者不重合时将观测到南-北不对称性．从图 1，2 来看，激波在纬度方面的传播是以日球电流片为对称的，这是因为传播条件大致以电流片为对称．这里应指出的是，行星际螺旋形磁场对太阳风等离子体的导通作用，必定包含着若干复杂的物理过程，诸如磁场对各种输运过程的影响以及磁流波的加速等问题都有待进一步研究．

就单个耀斑-激波事件来说，传播的三维特征在很大程度上取决于活动区黑子磁场和冕洞分布，这方面的初步结果已在文献 [3] 中有介绍，这里不再讨论；

(2) 本文(以及文献 [3,4]) 关于激波传播动力学效应的考虑和数据处理方法是否比较得当，可从图 3 所给几个例子说明．图中星号(*)是地球所在处，圆点是根据该耀斑-激波渡越到地球的时间(以地磁急始为号)归一化其它 IPS 观测所得结果．可以看出地球与其方位邻近的 IPS 观测处理结果之间是十分接近的．这种基本的一致性说明：我们的方法是比较得当的，我们的基本物理结论具有较可靠的分析基础，因而才可能有对不同观测站的不同取样仍导致基本一致的结果；

(3) 本文给出的是激波三维传播的统计平均特性，至于单个耀斑-激波事件的三维传播特性如何确定，还有待进一步研究．

感谢日本 T. Watanabe 和 T. Kakinuma 教授赠送日本的 IPS 观测资料和美国 NOAA 空间环境研究实验室的 M. Dryer 博士对本工作的热情建议和支持．

参 考 文 献

[1] Gapper, G. R., A. Hewish, A. Purvis and P, J. Duffett-Smith, *Nature*, Vol. **296**, p. 633, 1982.
[2] Pintér, S., *Space Sci. Rev.*, Vol. **32**, p. 145, 1982.
[3] 魏奉思、杨光和章公亮，天体物理学报，第 **5** 卷，第 214 页，1985.
[4] 魏奉思和杨光，科学通报，第 **30** 卷，第 1001页，1985.
[5] Watanabe, T. and T. Kakinuma, The Symposium 2 on Solar Maximum Analysis, SCOSTEP/COSPAR/IAU, Graz, Austria, 25—28, Jume, 1984.
[6] 魏奉思，科学通报，第 **29** 卷，第 548 页，1984.
[7] 魏奉思和严健萍，中国空间物理第二次学术会议文集 (1978)，科学出版社，第 31 页，1982.
[8] 魏奉思，地球物理学报，第 **23** 卷，第 1 页，1980.

Three Dimensional Propagation Characteristics of the Flare-Associated Interplanetary Shock Wave During 1978—1981

Wei Feng-si

(Institute of Space Physics, Academia Sinica)

Abstract

The three-dimensional propagation characteristics of the flare-associated shock wave are studied from Japanese IPS data of 85 flares (importance $\gtrsim 2$) events during the period of high-solar activity years of 1978—1981. In this paper, the influnences of the dynamical effects of shock wave propagation on the IPS data are considered. The results show that: (1) the propagation of the shock wave is asymmetrical relative to the normal direction of the flare. With regard to longitude, the fastest direction tends to that of the interplanetary magnetic field, and with regard to latitude it tends to that of the average position of the heliospherical current sheet during the period of 85 flare events; (2) propagating range of the latitudes ($-60°$—$+40°$) is less than that of the longitudes ($>\pm 90°$); (3) there are more marked east-west and south-north asymmetries in the distribution of the shock wave energy, which determine the anisotropies of the shock wave propagation. The average energy is about 2.7×10^{31} ergs/ster for the studied 85 flare-IPS shock wave events.

These results are bassically consistent with that obtained by analysing American IPS data[3], and also coincident with that of the spacecraft observations and the indirect results of inverstigations 7—8. So it is reasonable to think that the magnetic structures near the sun and the interplanetary large-scale solar wind structures would exert significant modulating effects on the three-dimensional propagation of the shock wave.