



目录

CONTENTS

空间环境月报

策 划：龚建村
主 审：刘四清 孙越强
责 编：钟秋珍 杨晓超
顾 问：都 亨 朱光武
联 系 人：于 岷 010-62582758
网 址：<http://www.cserf.ac.cn>
<http://www.sepc.ac.cn>
<http://www.lsee.ac.cn>
官方微博：<http://weibo.com/spaceweather>
公众微信：“spec-nssc”或“空间环境预报”
地 址：北京市海淀区中关村南二条 1 号
8701 信箱 100190
邮箱地址：zhongqz@nssc.ac.cn
yxc@nssc.ac.cn

主 办：空间环境探测研究室
空间环境研究预报室

- 2 2015 年 10 月份空间环境形势预测
- 3 2015 年 9 月份空间环境概述
- 4 电离层环境
- 5 每日太阳和地磁活动观测数据
- 6 地球同步轨道空间环境
- 7 中地球轨道空间环境
- 8 低轨道空间环境
- 11 载人航天轨道空间环境
- 12 月球轨道空间环境
- 13 空间碎片环境
- 14 行星际空间中的“风”

2015 年 10 月份空间环境形势预测

预计 10 月份太阳活动水平低到中等，有可能产生 M 级及以上级别 X 射线耀斑。

预计 10 月份地磁活动以平静和微扰为主。受 9 月 30 日爆发的日冕物质抛射的影响，10 月 3~5 日地磁可能达到活跃或磁暴水平。受重现性冕洞高速流的影响，10 月 7~10 日、12~14 日、16~17 日、20 日地磁可能达到活跃或磁暴水平。10 月份太阳产生爆发活动的可能性较大，若伴随朝向地球的日冕物质抛射 (CME)，将会引起地磁扰动。

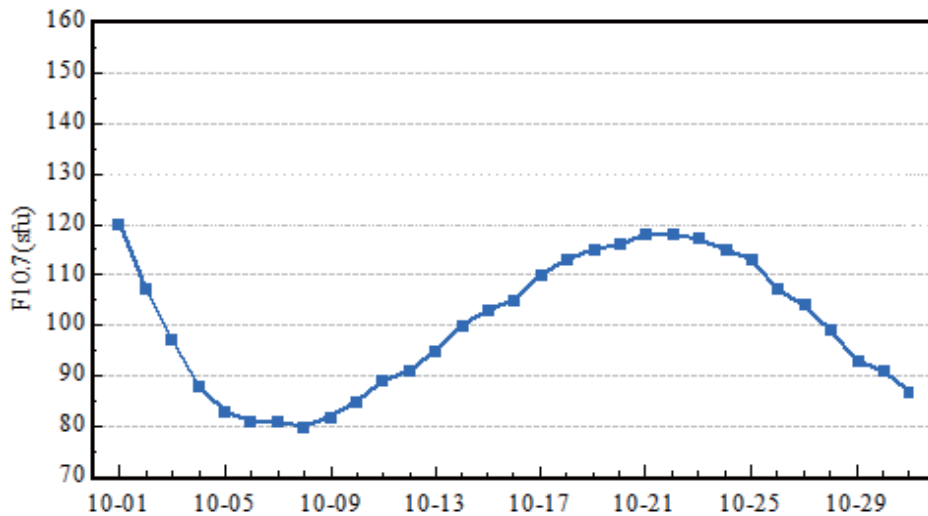


图 1 2015 年 10 月份太阳 10.7 厘米射电流量预测
(数据源自预报中心太阳 10.7 厘米射电流量中期预报模式)

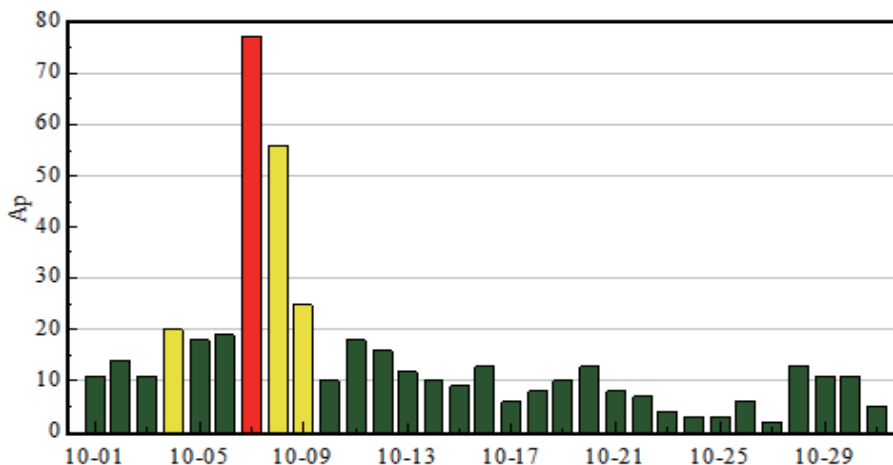


图 2 2015 年 10 月份地磁 Ap 指数预测
(数据源自预报中心地磁 Ap 指数中期预报模式)

2015 年 9 月份空间环境概述

2015 年 9 月份太阳共爆发了 20 个 M 级耀斑和 97 个 C 级耀斑；无太阳质子事件发生；地磁活动有 2 天达到大地磁暴水平 ($K_p=7$)、3 天达到中等磁暴水平 ($K_p=6$)、3 天达到小磁暴水平 ($K_p=5$)；地球同步轨道大于 2MeV 高能电子通量有 7 天达到小高能电子暴水平 ($1.0E8 \leq Flux < 1.0E9$)。

太阳活动: 9 月份太阳活动有 2 天达到高水平, 4 天达到中等水平, 其余时间为低或极低水平。日面上共出现 22 个活动区, 分别为 AR2406、AR2407、AR2409 ~ AR2428。其中 AR2422 最为活跃, 共爆发了 13 个 M 级耀斑和 39 个 C 级耀斑。9 月份月均黑子数为 72.5, 月均太阳 10.7 厘米射电流量为 102.1sfu。

太阳风和地磁活动: 9 月份地磁扰动主要有 5 次。受冕洞高速流的影响, 9 月 4 日太阳风速度最高达到 580km/s 左右, 行星际磁场南向分量最低达到 $-10.6nT$, 地磁共有 3 小时达到小磁暴水平。受 4 日爆发的日冕物质抛射和冕洞高速流的共同影响, 9 月 7 ~ 9 日太阳风速度最高达到 580km/s 左右, 行星际磁场南向分量长时间维持在 $-10nT$ 左右, 地磁在 7 日有 9 小时达到中等磁暴水平, 3 小时达到小磁暴水平; 8 日有 6 小时达到中等磁暴水平; 9 日有 15 小时达到中等磁暴水平, 3 小时达到小磁暴水平。受冕洞高速流的影响, 9 月 11 日太阳风速度最高达到 670km/s 左右, 行星际磁场南向分量最低达到 $-16.3nT$, 地磁共有 3 小时达到大地磁暴水平, 6 小时达到中等磁暴水平, 3 小时达到小磁暴水平。受另一冕洞高速流的影响, 9 月 14 日太阳风速度最高达到 540km/s 左右, 行星际磁场南向分量最低达 $-8.8nT$, 地磁有 3 小时达到小磁暴水平。受 18 日爆发的日冕物质抛射和冕洞高速流的共同影响, 9 月 19 ~ 20 日太阳风速度最高达到 630km/s 左右, 行星际磁场南向分量最低达 $-17.1nT$, 地磁共有 3 小时达到大地磁暴水平, 12 小时达到小磁暴水平。9 月 1 日、12 ~ 17 日, 地球同步轨道 GOES 卫星观测到大于 2MeV 高能电子通量达到小高能电子暴水平。

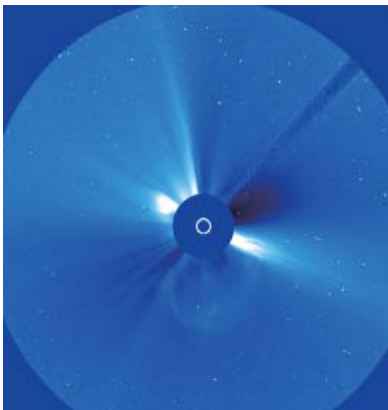


图 3 2015 年 09 月 18 日 SOHO 卫星观测到的 CME

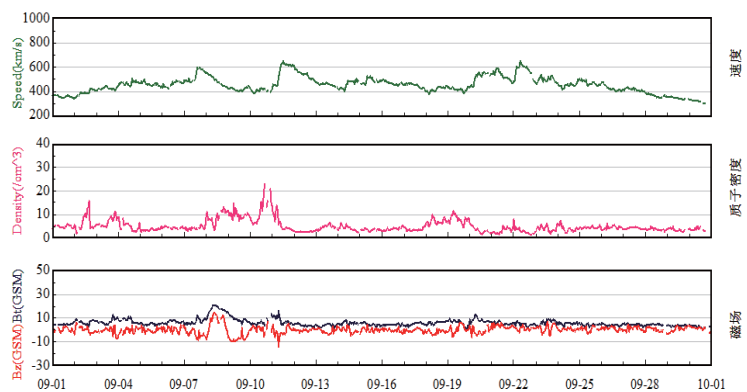


图 4 2015 年 09 月行星际太阳风和磁场 (ACE 卫星观测数据)

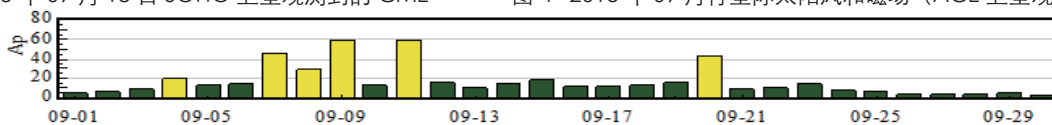


图 5 2015 年 09 月地磁 Ap 指数

电离层环境

电离层环境: 9月份L波段电离层闪烁天数略有增加, 广州和南宁站均为5天。7日、20~21日中国区域发生弱电离层暴事件。9月份中国区域未发生电离层突然骚扰(SID)事件, 无极盖吸收事件。

电离层突然骚扰: 9月份太阳爆发1个M5级以上耀斑, 但未影响中国区域电离层。

极盖吸收: 9月份无太阳质子事件, 无极盖吸收事件。

电离层闪烁: 9月份L波段电离层闪烁天数略有增加, 广州和南宁站均为5天。厦门、广州、南宁和海南富克站在26日观测到明显的电离层闪烁事件。

电离层暴: 9月4日、14日发生小地磁暴, 7~9日、11日、19~20日发生中等到大地磁暴。7日、20~21日中国北部部分区域电离层发生弱负相扰动。

表1 L波段电离层闪烁事件发生频次统计(单位: 天)

站点地理坐标	弱闪烁 ($0.2 \leq S_4 < 0.4$)	中等闪烁 ($0.4 \leq S_4 < 0.6$)	强闪烁 ($S_4 \geq 0.6$)	闪烁日期
福州 119.3E, 26.1N	1	0	0	28日
厦门 118.1E, 24.5N	3	0	0	26-28日
广州 113.2E, 23.1N	5	0	0	25-28, 30日
南宁 108.3E, 22.8N	5	0	0	25-28, 30日
海南富克 109.1E, 19.4N	4	0	0	25-27, 30日

注: 1. 电离层闪烁事件: S_4 指数超过0.2, 持续10分钟以上。

2. 监测波段: GPS系统L1波段。

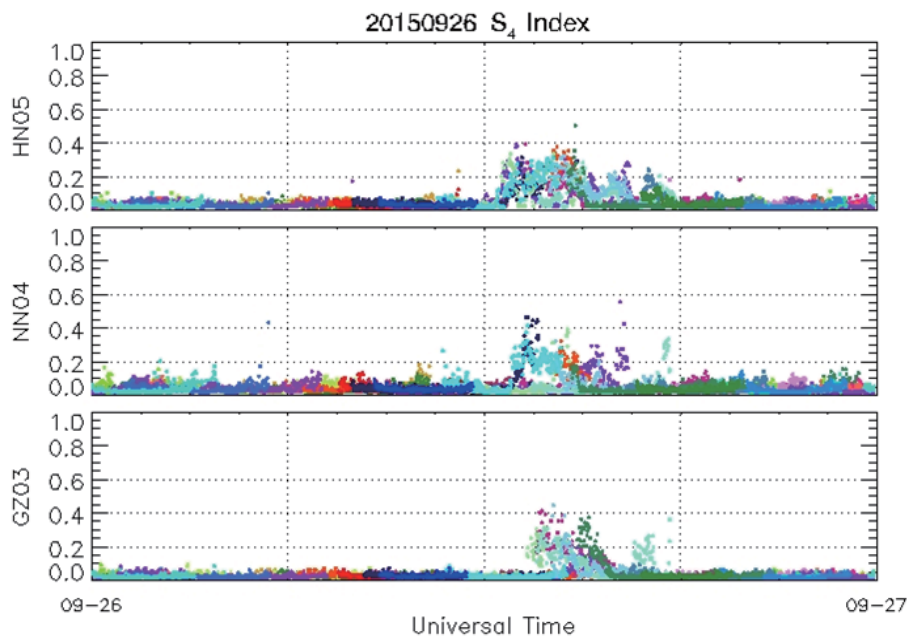


图6 9月26日海南富克(HN05)、南宁(NN04)、广州(GZ03)三站监测到的电离层闪烁事件

每日太阳和地磁活动观测数据

日期	射电流量 10.7cm	太阳黑子数	X射线背景	耀斑						质子流量 (GOES13) 大于 10MeV Protons / (cm ² -day-sr)	电子流量 (GOES13) 大于 2MeV Electrons / (cm ² -day-sr)	地磁 Ap 指数	
				X射线耀斑			光学耀斑						
				C	M	X	S	1	2				3
20150901	89	49	B2.1	0	0	0	4	0	0	0	1.10E+04	1.50E+08	6
20150902	88	41	B1.8	0	0	0	1	0	0	0	1.10E+04	7.90E+07	7
20150903	87	27	B1.7	1	0	0	0	0	0	0	1.10E+04	1.20E+07	9
20150904	90	36	B1.2	0	0	0	1	0	0	0	1.20E+04	8.20E+06	20
20150905	85	24	B1.0	0	0	0	0	0	0	0	1.20E+04	7.70E+07	13
20150906	86	38	B1.0	0	0	0	0	0	0	0	1.10E+04	5.20E+07	14
20150907	84	47	A6.3	0	0	0	0	0	0	0	1.10E+04	4.40E+07	46
20150908	84	40	A5.3	0	0	0	1	0	0	0	1.00E+04	7.90E+06	29
20150909	82	49	A5.9	0	0	0	0	0	0	0	1.10E+04	8.20E+06	59
20150910	84	42	A7.9	0	0	0	0	0	0	0	1.20E+04	7.20E+07	13
20150911	93	79	B1.6	1	0	0	10	0	0	0	1.10E+04	2.30E+07	59
20150912	99	87	B2.7	0	0	0	5	0	0	0	1.10E+04	3.20E+08	16
20150913	99	75	B2.1	0	0	0	2	0	0	0	1.10E+04	3.40E+08	11
20150914	97	52	B2.0	0	0	0	5	0	0	0	1.10E+04	1.60E+08	14
20150915	101	66	B2.7	6	0	0	12	0	0	0	1.10E+04	1.60E+08	18
20150916	109	67	B3.4	10	0	0	8	0	0	0	1.10E+04	2.30E+08	12
20150917	107	72	B2.9	12	1	0	18	2	0	0	1.20E+04	2.40E+08	12
20150918	103	62	B3.4	4	0	0	11	0	0	0	1.10E+04	5.90E+07	13
20150919	106	61	B3.0	2	0	0	1	0	0	0	1.20E+04	1.60E+07	16
20150920	110	74	B3.4	2	2	0	2	0	1	0	3.80E+04	8.10E+06	43
20150921	103	68	B2.9	4	0	0	3	0	0	0	3.60E+04	1.30E+07	9
20150922	107	79	B2.6	0	0	0	6	0	0	0	1.20E+04	3.20E+07	10
20150923	111	95	B3.1	7	0	0	7	0	0	0	1.10E+04	1.60E+07	14
20150924	107	86	B2.8	2	0	0	9	0	0	0	1.10E+04	2.00E+07	8
20150925	120	145	B3.6	1	0	0	7	0	0	0	1.10E+04	2.00E+07	7
20150926	120	138	B4.0	3	0	0	15	0	0	0	1.10E+04	3.10E+07	4
20150927	128	154	B6.3	13	2	0	43	4	0	0	1.10E+04	2.20E+07	4
20150928	124	120	C1.0	13	4	0	25	4	0	0	1.20E+04	2.00E+07	4
20150929	129	125	C1.2	8	9	0	31	4	1	0	1.10E+04	2.50E+06	6
20150930	131	78	C1.2	8	2	0	20	3	0	0	1.90E+04	3.30E+06	3

地球同步轨道空间环境

9月4日、9月7~9日、9月14日、9月19日发生中小地磁暴，当同步轨道卫星处于子夜和黎明段（即地方时为0-6h扇段内），有一定引发卫星高表面充电的概率。9月11日、9月20日发生大地磁暴，当卫星处于子夜和黎明段（即地方时为0-6h扇段内），引发卫星高表面充电的概率较高。

9月1日、12~17日，地球同步轨道大于2MeV高能电子通量达到小高能电子暴水平，有一定引发卫星深层充电的概率。

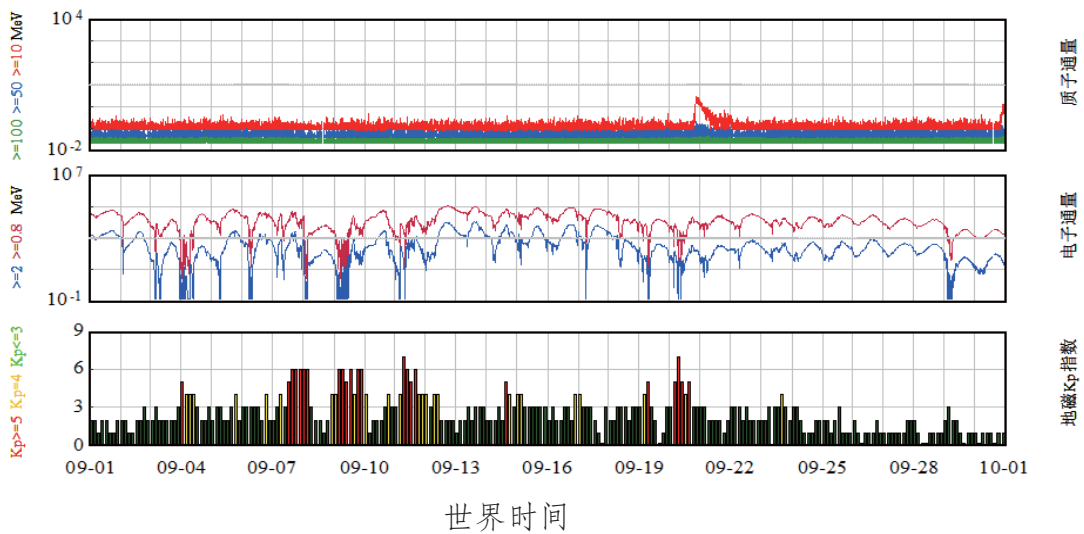


图7 2015年09月GOES卫星高能质子通量、高能电子通量及地磁Kp指数

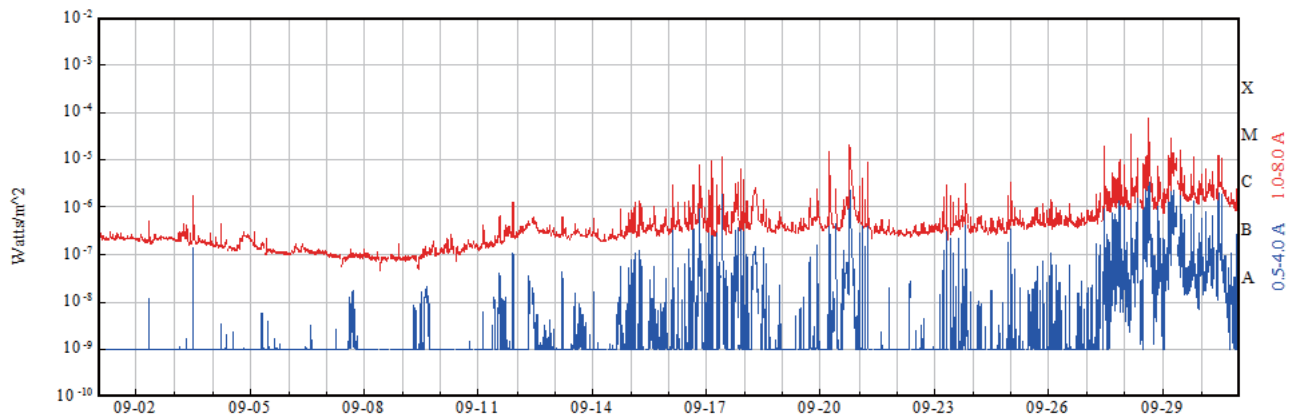


图8 2015年09月太阳X射线流量

中地球轨道空间环境

高能电子环境：中轨道高能电子主要分布在南纬 40° 至北纬 40°。2015 年 9 月 10 日中轨道高能电子通量水平较高，引发内带电的概率较高，其余时间中轨道高能电子通量水平较低，引发内带电的概率较低。

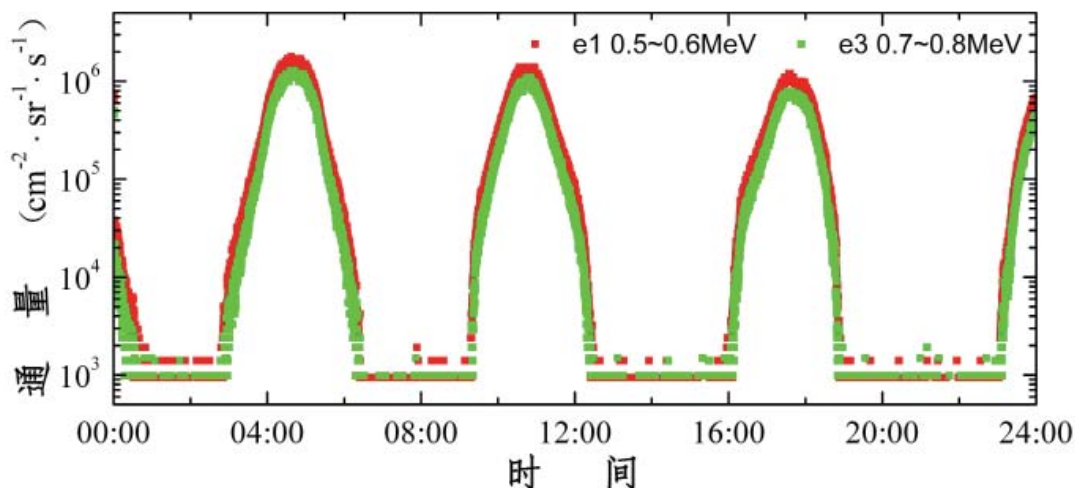


图 9 9 月 10 日“北斗”卫星高能电子通量实测结果

辐射剂量效应：本月中轨道辐射剂量有增长。表 2 是“北斗”卫星观测到的最近三个月的剂量增长、卫星入轨至今的总剂量、卫星观测到的最快月剂量增长，以及根据实测结果评估得到的机壳内剂量。

表 2 中轨道辐射剂量水平

时间	实测剂量 (卫星蒙皮下)	机壳内评估剂量
2015.7.1~2015.7.31	$2.4 \times 10^3 \text{rad(Si)}$	42.3rad(Si)
2015.8.1~2015.8.31	$4.8 \times 10^3 \text{rad(Si)}$	84.5rad(Si)
2015.9.1~2015.9.30	$6.2 \times 10^3 \text{rad(Si)}$	109.1rad(Si)
入轨至今总剂量	$113.4 \times 10^3 \text{rad(Si)}$	$2.0 \times 10^3 \text{rad(Si)}$

注：入轨至今指 2012 年 5 月至 2015 年 9 月。

低轨道空间环境

高层大气环境：9月份太阳F10.7射电流量在月初为89sfu，9日下降至最低点82sfu，随后逐渐上升，在月末达到最高点131sfu，受此影响，本月下旬低轨道大气密度有一定的上升，对低轨道卫星的长期拖曳效应有一定的增强。9月4日、9月14日、9月19日发生小地磁暴，受此影响，低轨道大气密度略有上升，对低轨道卫星的拖曳作用略有增加。9月7~9日、9月11日、9月20日发生中等到大地磁暴，受此影响，低轨道大气密度有一定的上升，对低轨道卫星的长期拖曳效应有所增强。

9月1日、12~17日地球同步轨道大于2MeV高能电子通量达到小高能电子暴水平，有一定引发卫星深层充电的概率。

490公里大气密度的变化范围为 $1.0 \times 10^{-14} \sim 6.0 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3$ ，月平均值为 $2.5 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3$ 。近四个月490公里高度大气质量密度月平均值的比较结果如表3。

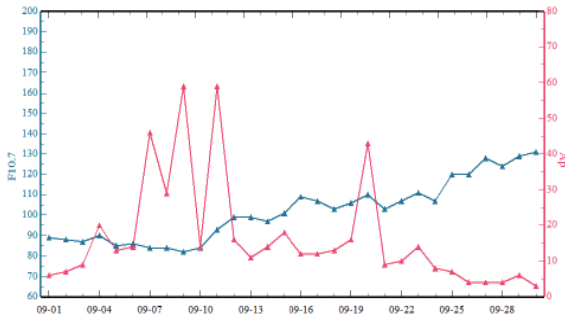


图 10 2015 年 08 月射电流量和地磁 Ap 指数

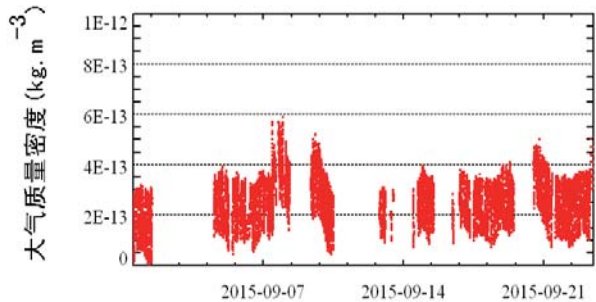


图 11 LEO 轨道 490 公里左右大气质量密度时序图

(图 11 所用数据为 490 公里高度卫星探测的大气质量密度的时间演化图。横坐标表示北京时间，纵坐标表示大气质量密度。)

表 3 LEO 轨道大气质量密度

	2015 年 6 月	2015 年 7 月	2015 年 8 月	2015 年 9 月
月均值	$4.6 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3$	$3.1 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3$	$2.6 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3$	$2.5 \times 10^{-13} \text{ kg/m}^3$

注：表中月均值仅考虑平静状态下的背景大气质量密度。

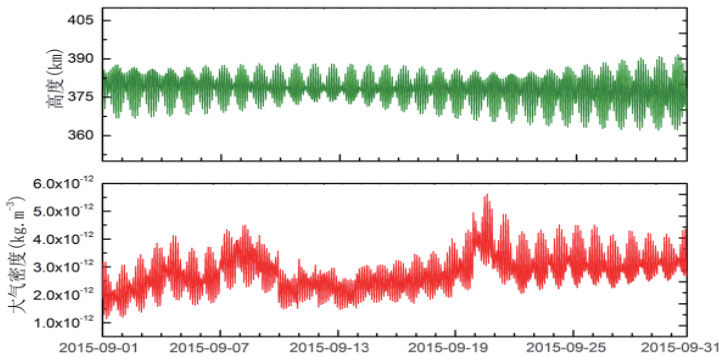


图 12 2015 年 9 月天宫一号运行高度及运行轨道上大气密度变化

图 12 是预报中心利用国际公开发布的天宫一号的轨道数据（两行根数），反演的 2015 年 9 月天宫一号运行轨道上的大气密度变化。

粒子辐射环境：高能质子、高能电子主要分布在南大西洋异常区，卫星穿越该区域时有发生由高能质子引起的单粒子事件，随轨道高度升高，发生事件的范围和概率有不同程度的增加（图 13）。

根据 YG-10 探测结果，LEO 轨道高纬度区域 $>10\text{MeV}$ 质子和 $>2\text{MeV}$ 高能电子强度均未超过警戒值 (10pfu ($\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) 和 $10^3\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)。

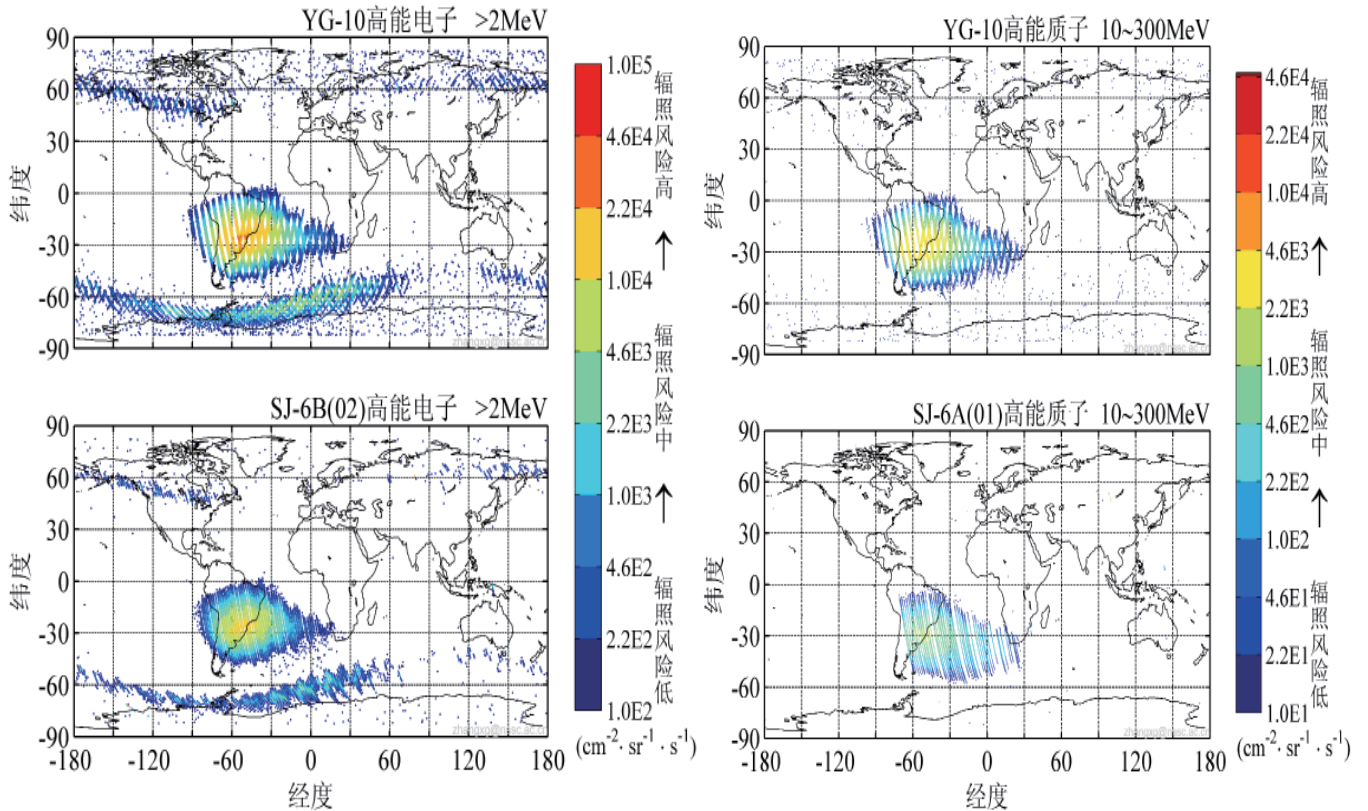


图 13 LEO 轨道高能电子和高能质子空间分布

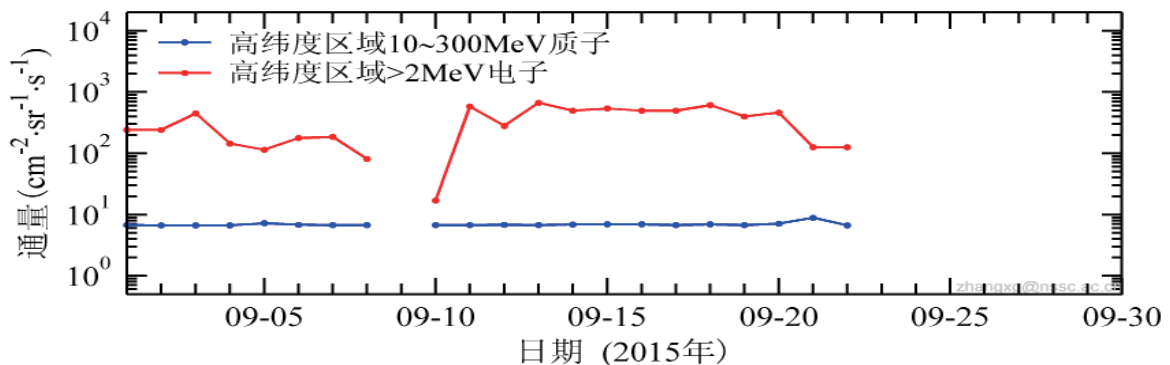


图 14 LEO 高纬区域高能质子和高能电子的流量时序图

(图 14 数据为 LEO 卫星 YG-10 在 $[-90, -60]$ 纬度区域探测结果的日平均值。)

辐射效应：根据 LEO 轨道多颗卫星观测结果，本月剂量增长速度较快，该轨道卫星辐射剂量见表 4。

根据 LEO 轨道卫星的观测结果，2015 年 8 月 1200km 高度的 FPGA 发生约 158 次单粒子翻转事件，其中较严重事件发生了 24 起。它们主要发生在南大西洋辐射带异常区，少量发生在极区，如图 16。

表 4 LEO 轨道辐射剂量结果
(风云三号、遥感十号和实践六号探测结果)

高度 (公里)	实测当月变化 (卫星蒙皮下)	累计	机壳内剂量评估
800	100.5rad(Si)	5427ad(Si)(2011-01-01 至今)	10.5rad(Si)
600	212.7rad(Si)	7178.8ad(Si)(2011-01-01 至今)	14.1rad(Si)

注：表中剂量均为全向剂量，1200 公里为机壳内探测结果，本月 1200 公里卫星关机。

因单粒子探测器本月关机，无单粒子翻转事件探测结果。

载人航天轨道空间环境

高能辐射环境：载人航天轨道辐射环境中的高能电子和高能质子主要分布于南美洲南部和南大西洋上空的内辐射带南大西洋异常区，北美和澳洲西南海域上空偶发电子增强事件。

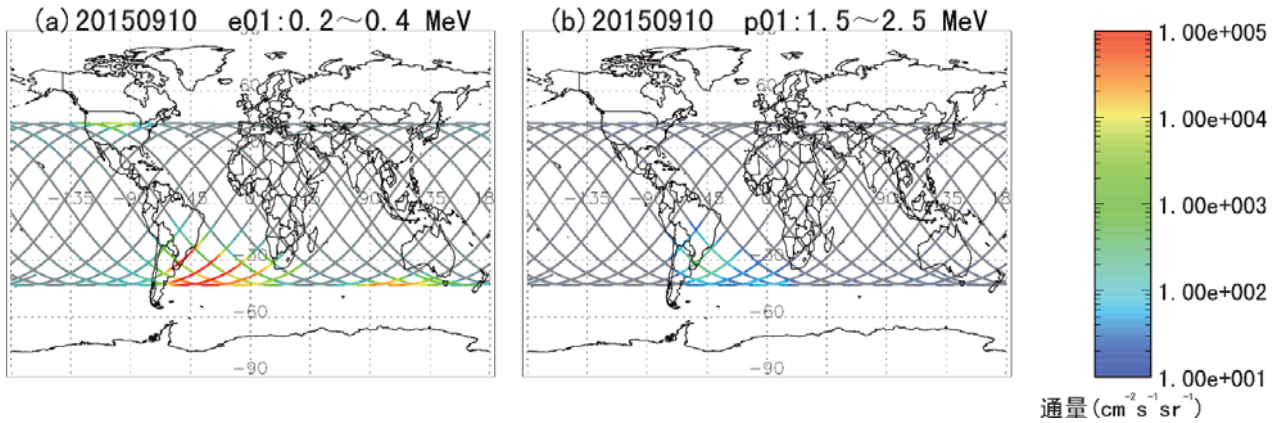


图 15 天宫一号高能粒子辐射探测器的实测轨道高能质子、电子空间分布
(a:2015 年 9 月 10 日的探测结果北美和澳洲西南海域上空发生电子增强事件时期的电子分布；)
(b:2015 年 9 月 10 日的探测结果为宁静时期的质子分布。)

高能粒子方向性分布：载人航天轨道高能电子和质子的分布存在显著的各向异性，通量大小与粒子投掷角（粒子运动方向与磁力线的夹角）密切相关，投掷角越接近 90° 通量越大。卫星不同方向受到的高能粒子辐射存在差异，且电子形成的差异要强于质子。

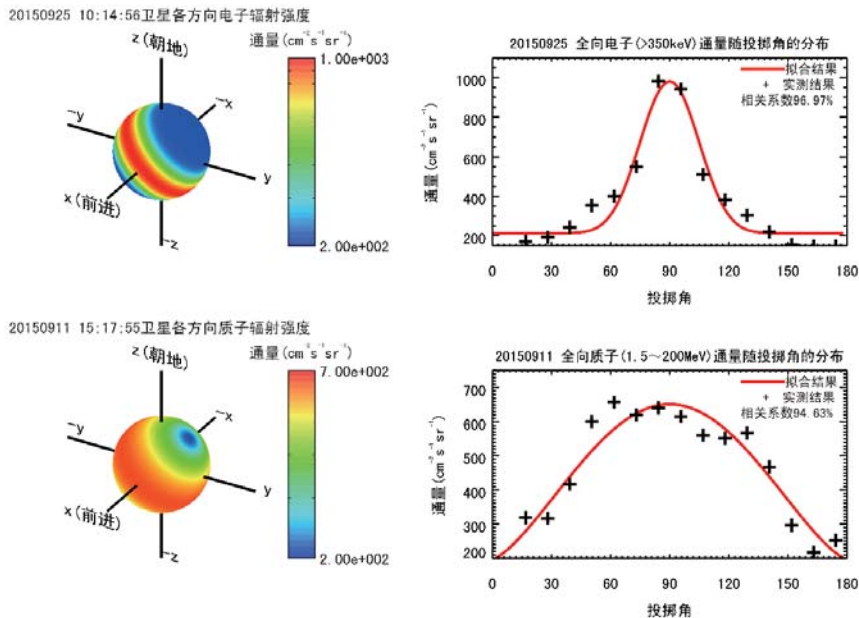


图 16 天宫一号高能粒子辐射探测器实测高能电子和质子方向分布
(左侧的彩色球体表示卫星在南大西洋异常区中心不同方向上的电子和质子的辐射强度，
右侧图表示在南大西洋异常区中心电子和质子通量随投掷角的分布。)

月球轨道空间环境

2015年9月份月球穿越地球磁尾时间：根据模型计算结果，9月26~29日，月球穿越地球磁尾区域；9月1~2日、24~26日、29~30日，月球穿越地球磁鞘区域；9月份其他时间，月球处于行星际空间中（图17）。

2015年9月份月球轨道中高能粒子环境：月球轨道处的中高能粒子主要包括月球穿越磁尾期间的中高能电子、太阳宇宙线和银河宇宙线。

9月1~2、24~30日，月球位于磁鞘和磁尾中。在这些区域中，特别是在磁尾等离子体片中时，月球轨道处100KeV~1MeV中高能电子微分通量可达到 $10^2 \sim 10^4$ 个/($\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{s} \cdot \text{MeV}$)。

9月份，地球同步轨道上未观测到太阳质子事件（图7）。在9月20~21和30日期间，地球同步轨道上大于10MeV质子通量有明显增加，但未达到小太阳质子事件水平。月球轨道处的高能质子流量与地球同步轨道相当。

9月份地面银河宇宙线观测结果见图18（上），地面银河宇宙线长期变化见图18（下）。

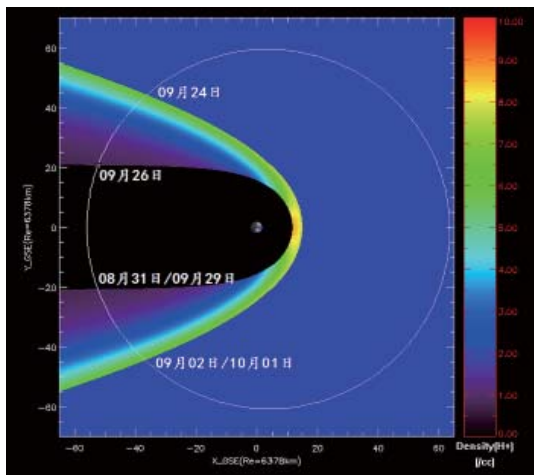
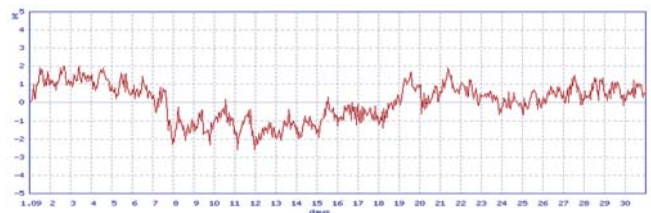


图17 2015年9月份月球穿越地球磁层顶和弓激波示意图



2015年9月 OULU 宇宙线中子观测数据

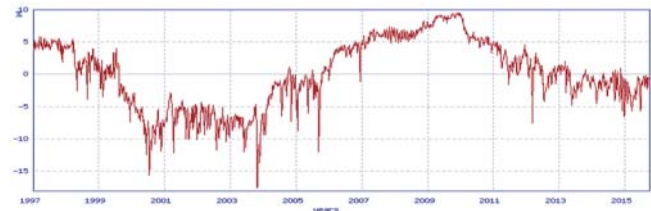


图18 OULU 宇宙线中子观测数据

2015年9月份月球轨道等离子体环境：9月2~24日，月球位于行星际空间中，其经历的等离子体环境是太阳风（图4）。9月1~2、24~30日，月球经历的是磁鞘和磁尾等离子体环境。相关区域内的等离子体参数变化范围如表5所示。

表5 2015年9月份月球轨道所经历的等离子体环境参数

时间范围	9月2-24日	9月26-29日
所处区域	行星际空间（1小时平均值）	地球磁尾
等离子体速度 (km/s)	349.6-653.8	0-1000
等离子体密度 (个/cm ³)	1.4-23.1	0.01-10
等离子体温度 (K)	10600-456000	$5-10 \times 10^5$
磁场强度 (nT)	1.2-20.7	0-20

空间碎片环境

我国卫星与空间碎片最危险的 10 次交会 (2015 年 9 月)

卫星编号	碎片编号	卫星名称	碎片名称	交会时间 /UTC	交会距离 / km	碰撞概率	相对速度 /km·s ⁻¹	交会角 /°
39011	24299	遥感 16 号 A	SL-16 碎片	2015-09-06 00:06:13	0.09	1.58×10^{-4}	10.49	91.71
31113	35382	海洋一号 B	长征四号碎片 DEB	2015-09-13 21:43:28	0.14	2.06×10^{-4}	12.83	118.78
40310	33901	遥感 24 号	宇宙 2251 碎片	2015-09-16 01:29:51	0.17	4.51×10^{-4}	13.63	129.10
31113	15773	海洋一号 B	SL-12 火箭残骸	2015-09-18 20:14:36	0.21	2.27×10^{-4}	14.58	155.11
36415	30013	遥感九号 C	新增碎片	2015-09-22 14:13:50	0.21	2.71×10^{-4}	14.65	162.64
37781	15398	海洋二号 A	宇宙 1610	2015-09-29 13:35:57	0.22	1.54×10^{-4}	13.76	138.54
32062	9443	资源二号 B	宇宙 858	2015-09-22 04:55:44	0.24	6.98×10^{-5}	14.86	170.11
31113	35139	海洋一号 B	新增碎片	2015-09-02 18:37:24	0.24	6.46×10^{-5}	3.82	29.67
38038	39707	资源一号	SL-16 碎片	2015-09-10 02:38:13	0.24	8.36×10^{-5}	14.82	163.61
37730	37024	实践 11 号 03 星	新增碎片	2015-09-23 20:25:19	0.26	6.24×10^{-5}	14.64	154.74

碎片概况

自 1957 年人类开始进行航天活动以来,共产生了 40953 个可编目的空间物体,其中仍在轨的有 17301 个物体。分布情况如右表所示:

2015 年 9 月共陨落了 24 个物体,其中包括美俄卫星碰撞解体碎片 5 个,新增碎片 2 个,长征相关碎片 2 个。

截至 2015 年 9 月 30 日,美国共公布新增碎片 3405 个,目前在轨 2868 个;美俄卫星碰撞解体碎片 2287 个,目前在轨 1513 个。

国别	载荷	火箭体	碎片	总数
欧空局	61	7	47	115
印度	62	25	84	171
日本	150	45	34	229
法国	60	140	322	522
中国	200	94	3477	3777
美国	1253	668	3293	5222
俄罗斯	1501	1020	3810	6331
其它	813	37	75	934
总数	4100	2036	11142	17301

行星际空间中的“风”

行星际空间中存在着一种“风”，它就是从太阳吹出来的“太阳风”。犹如地球大气层中的风一样，它时而缓和，时而狂风大作，表现形式多种多样。在这些复杂的表象中同样也存在着规律性。当太阳风发生剧烈爆发时，原本看似平静的行星际海洋将激起太阳风“巨浪”，而这股巨浪将成为太阳对地球空间环境进行攻击的超级“武器”。

1. 什么叫太阳风

在太阳最外层大气日冕层中，温度高达几百万度，那里的原子几乎都处于完全电离状态，其主要成分为电子和质子，还有少量以氦离子为主的重离子。如此高温的日冕等离子体犹如沸腾的开水，将不断挣脱太阳引力束缚，连续地向外膨胀，形成了太阳风。这些等离子体具有很高的电导率，它将携带着太阳磁场一起“吹”向行星际空间，形成行星际磁场。因此，从广义上讲，太阳风不仅包含了从日冕不断吹出的等离子体，还包含冻结在其中的行星际磁场。

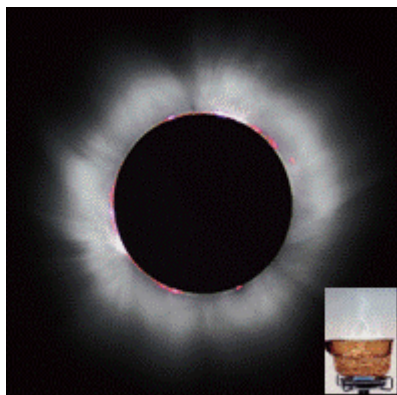


图 19 白光日冕

从日冕吹出来的等离子体，犹如从起点出发的汽车，它首先快速加速逃离太阳，之后基本匀速行驶在行星际空间中，最后与星际介质相互作用，停止于日球层顶。在太阳风匀速行驶过程中，其速度大致分布在 250 千米 / 秒到 900 千米 / 秒之间，超过了太阳风声速好几倍，直至行驶到终端激波其速度才降至亚声速水平。

这些逃逸出去的日冕等离子体，在逃跑时还“顺手牵羊”紧紧抓着太阳磁场不放，使劲地往

外扯，于是在行星际空间中形成了一条条长长的“磁力线”。这些磁力线头部植根于太阳表面，与太阳一起自转，另一端随着日冕等离子体一起进入行星际空间。由于这些外逃的等离子体受角动量守恒的限制，即外逃等离子体旋转角速度和它到日心距离平方乘积守恒，它们越是往外逃，其转动的角速度越小，外逃方向越靠近径向，于是在黄道面上就形成了螺旋形的行星际磁场结构，磁力线形状就像快速旋转水龙头径向向外喷出的水滴形成的螺旋线一样。而且这些行星际磁场还保留着原先太阳表面磁场的方向，如果原先太阳表面磁场向内（外），被带到行星际空间的磁场也朝内（外），于是在黄道面上就有了多瓣的行星际磁场结构，如二瓣和四瓣。

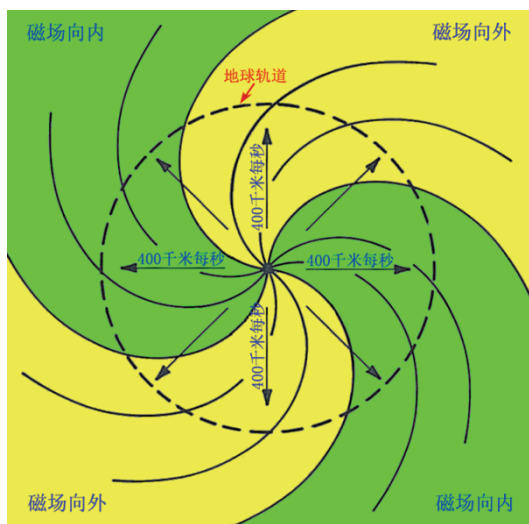


图 20 行星际磁场螺旋结构和扇形结构

2. 太阳平静时的太阳风

在太阳平静时，太阳风并不是均匀分布的，而是有低速流和高速流之分。顾名思义，低速流太阳风速度比较低，高速流太阳风速度比较高，但低速流等离子体数密度比高速流高。从太阳风温度来看，低速流中质子温度低于电子温度，高速流情况刚好相反。根据地球轨道附近的太阳风观测可知，低速流太阳风平均速度大约 300 千米 / 秒左右，高速流太阳风平均速度大约为 700 千米 / 秒左右。

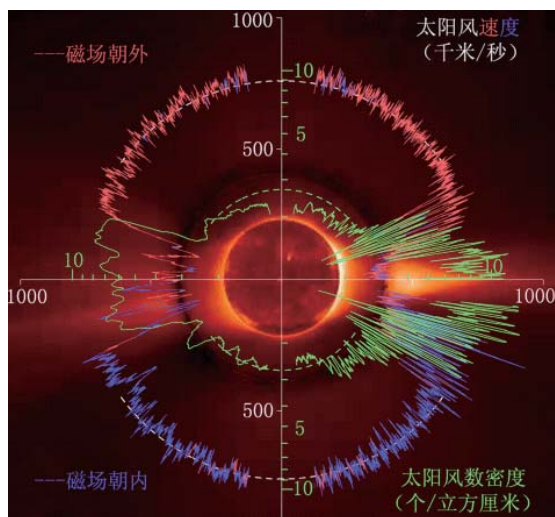


图 21 尤利西斯太阳极轨卫星观测到的低速流和高速流太阳风 (已换算到一个天文单位处)

为什么太阳风会有高速流和低速流之分呢？原来太阳日冕并不是均匀的，存在着一些辐射弱，温度和密度比周围小的多的特殊区域，该区域叫冕洞，冕洞中的磁力线是开放的，其中的等离子体更加容易逃出日冕，因此，其逃离速度比较大。再结合冕洞低密度，太阳风高速流低密度、低纬冕洞和低纬太阳风高速流 27 天重现性等特点，可以确认太阳风高速流起源于冕洞。

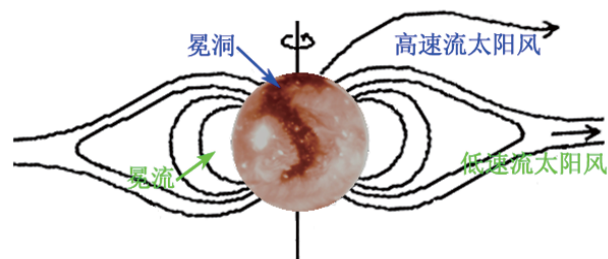


图 22 太阳风和日冕关系

当太阳风高速流和低速流相遇时，高速流将挤压前面的低速流，后面低速流将被落的更远，于是在高速流前边会形成一个压缩区，即共转相互作用区，后面也将形成一个稀疏区。在共转相互作用区内，由于高速流和低速流之间的相互挤压，其中太阳风等离子体数密度、温度及磁场强度通常比较高。当压缩比较强的时候，在压缩区前后可形成前向激波和后向激波（两侧的太阳风相关参量发生突变），该激波通常在距离太阳一个天文单位以外观测到。如果产生高速流的低纬冕洞寿命比较长，如几个太阳自转周期，那么就可观测到约 27 天（太阳自转周期）周期性的太阳风扰动。由高速流和低速流共转相互作用产生的扰动太阳风通常可触发中小型地磁暴。

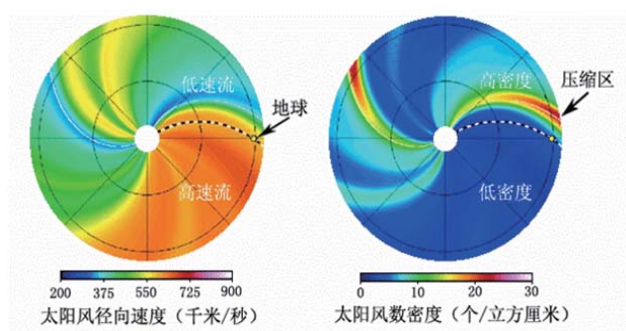


图 23 黄道面上太阳风高速流和低速流相互作用

3. 太阳爆发时的太阳风

和地球一样，太阳并不总是平静的，也存在着类似“火山喷发”、“地震”等爆发活动。太阳爆发活动主要包括太阳耀斑爆发和日冕物质抛射，它们还可伴生太阳高能粒子事件。在太阳爆发活动中，日冕物质抛射对太阳风的影响最为显著，对地球空间环境的影响也最强。

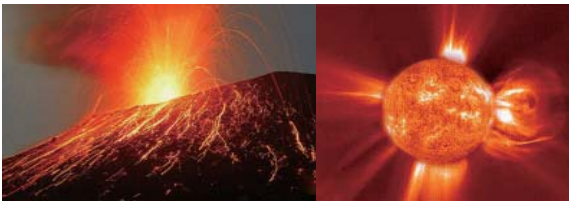


图 24 火山爆发与太阳爆发

日冕物质抛射所喷射出来的物质实质上是等离子体云。它在传输过程中其体积将发生膨胀，而且各部分膨胀的速度不一样，有时甚至会因此发生断裂。

等离子体云在传输过程中也并不是匀速的，会与背景太阳风相互作用而发生改变。慢速等离子体云进入行星际空间后，由于其速度比背景太阳风小，会被背景太阳风加速，最终将达到与背景太阳风相当的速度，不产生大的太阳风扰动和高能粒子事件。快速等离子体云进入行星际空间后，将压缩、加热前面背景太阳风，从而产生具有高速、高密度和强磁场等特点的太阳风，并在其前头形成行星际激波。快速等离子体云因此成为太阳爆发对地球空间环境影响最强的武器，最终可触发大型地磁暴。

4. 太阳风与地球关系

太阳风是超速等离子体流，并携带有磁场。它每时每刻都吹向地球，与地球磁场相互搏斗，最终平衡于磁层顶处，即磁层外边界处。太阳风等离子体将地球磁场基本上都包裹在磁层顶内，而地球磁场又将绝大部分太阳风等离子体阻挡在磁层顶外，保护着地球。

太阳风对地球空间环境影响比较大的主要因素是：太阳风等离子体速度、太阳风等离子体数密度以及太阳风磁场南向分量。太阳风等离子体速度越快，数密度越大，则它对地球磁场施加的压力就越大，磁层顶也越小，地球空间环境变化就越剧烈。太阳风磁场南向分量越强，对向太阳一侧与其反向的地球磁场剥蚀就越厉害，地球空间环境变化就越剧烈。

当太阳发生剧烈爆发时，快速的日冕物质抛射将产生强烈太阳风扰动。该扰动太阳风等离子体所产生的动压将压缩磁层顶，它所携带的南向行星际磁场也将剥蚀地球磁层顶，使地球磁层发生剧烈改变，有时甚至可将日地连线处磁层顶从距离地心 11 个地球半径压缩、剥蚀到 6.6 个地球半径以内。该扰动太阳风所触发的地磁暴将影响卫星、通信、导航、电力等系统正常运作，从而影响到人类生活。

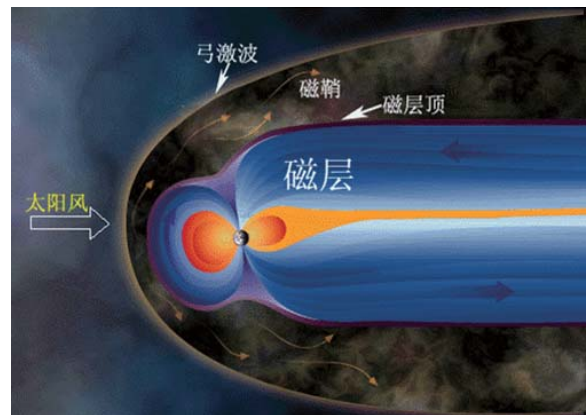


图 25 太阳风和地球磁场相互作用结果