

李保权, 朱光武, 王世金等. 太阳 X-EUV 成像望远镜. 地球物理学报, 2005, 48(2):235~242

Li B Q, Zhu G W, Wang S J, et al. The solar X-EUV imaging telescope. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2005, 48(2):235~242

太阳 X-EUV 成像望远镜

李保权¹, 朱光武¹, 王世金¹, 林华安¹, 彭吉龙¹, 刘杰¹, 韦飞¹
孔令高¹, 陈波², 巩研², 邵景洪², 马长生², 唐玉华³, 邱科平³

1 中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080

2 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130022

3 南京大学天文系, 南京 210093

摘 要 太阳 X-EUV 成像望远镜用来监测和预报影响空间天气变化的太阳活动, 专门服务于空间天气预报研究. 望远镜工作在 $4 \sim 100 \text{ \AA}$ 的 X 射线波段和 195 \AA 极紫外谱段, 视场角 45° , 角度分辨 $5'$, 提供全日面、高分辨的成像观测. 文中分析了太阳 X-EUV 波段的成像观测应用, 介绍了 X-EUV 望远镜的基本设计, 分析了望远镜对不同温度日冕等离子体的敏感性、对不同太阳活动现象的响应及反演日冕等离子体参数过滤片的组合利用. 太阳 X-EUV 成像望远镜集成了掠入射望远镜和正入射望远镜两套系统, 扩展了单一 X 射线望远镜的成像功能, 能够观测更多的太阳爆发先兆现象或者伴生现象, 是目前国际上同类仪器中最新的太阳成像监测仪器.

关键词 空间天气预报, 太阳活动监测, 太阳 X-EUV 成像望远镜

文章编号 0001-5733(2005)02-0235-08 中图分类号 P55 收稿日期 2004-02-06, 2004-12-14 收修定稿

The solar X-EUV imaging telescope

LI Bao-Quan¹, ZHU Guang-Wu¹, WANG Shi-Jin¹, LIN Hua-An¹, PENG Ji-Long¹,
LIU Jie¹, WEI Fei¹, KONG Ling-Gao¹, CHEN Bo², GONG Yan², SHAO Jing-Hong²,
MA Chang-Sheng², TANG Yu-Hua³, QIU Ke-Ping³

1 The Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

2 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China

3 Department of Astrophysics, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract The Solar X-EUV imaging telescope will be used to monitor and predict the solar activities which result in the variations of space weather. It is dedicated to the space weather forecast research. The solar X-EUV imaging telescope operates in the X-ray waveband of $4 \sim 100 \text{ \AA}$ and the EUV wavelength of 195 \AA . And it can provide the high resolving solar full-disk images with its field of view of 45° and angular resolution of $5'$. The paper presents the rudimental design of the telescope, analyzes its sensitivity to the coronal plasma of different temperature, its responses to the different solar activities, and the combining applications of filters of the telescope. The solar X-EUV imaging telescope integrates the grazing incidence telescope and the normal incidence telescope, hence expands the imaging capabilities of only X-ray imaging. More signatures and precursors of the solar eruption can be observed by the solar X-EUV imaging telescope. The solar X-EUV imaging telescope is the latest type in comparison with other solar storm monitoring instruments at present.

基金项目 国家自然科学基金项目(40474069)资助.

作者简介 李保权,男,1973年生,博士,毕业于中国科学院空间科学与应用研究中心,主要从事空间环境探测研究.

E-mail: lbq_1973@yahoo.com.cn

Keywords Space weather forecast, Solar activity monitoring, Solar X-EUV imaging telescope

1 引言

当太阳爆发剧烈活动时,在很短的时间内向行星际空间抛射大量的物质,包括磁场、高能粒子、高能电磁波等。当这些物质遭遇到地球时,对近地空间环境产生巨大的扰动,造成恶劣的空间天气。恶劣的空间天气对在轨航天器的安全运行、宇航员太空行走、GPS 定位、电波传输、磁场导航、输电网络等人类的正常活动产生巨大的影响,有时会造成灾难性的后果,导致巨大的经济损失^[1,2,3],尤其是空间应用的高技术领域对空间天气的变化敏感性更强。1982 年,Mariner-B 航海卫星因太阳质子事件失效^[4];1989 年 3 月 13 日发生的太阳质子事件导致 GOES-7 的太阳电池损失其一半的能源,致使卫星寿命减小一半;在 2000 年 7 月 14 日爆发的太阳活动中,SOHO 卫星的太阳帆板因过度辐照造成不可恢复的性能退化,24h 的辐照损伤相当于正常情况下 1 年的累积效果^[5];日本的 ASCA 卫星在这次事件中因电池能源完全耗尽而致使卫星提前结束寿命^[6];日本的另一颗科学卫星 Akebono 由于高能粒子事件导致控制系统紊乱。美国 NSSA (国家安全空间策划局) 的统计表明,在过去的 20 年里,平均每年都会有一两颗卫星由于空间天气的原因造成卫星部分功能失效或者完全失效^[7]。认识到空间天气的危害,美国、欧洲相继制订和实施空间天气战略计划,开展全方位的空间天气监测预报研究。

空间天气变化直接来源于发生在日冕层的太阳活动,包括活动区、耀斑、日冕物质抛射 (CME)、冕洞等,因此空间天气预报的首要目标是实现对太阳活动的预报。以往的观测经验表明,在太阳的各波段观测中,其中 X 波段的成像观测在开展空间天气预报方面具有独特的优势。X 射线的辐射反映了日冕高温等离子体变化过程,而日冕等离子体的活动受太阳磁场的束缚,所以具有一定空间分辨率的 X 观测,可以推出造成这种现象发生的磁场拓扑结构。这对于了解太阳活动爆发的触发机制,开展空间天气数值预报有重要意义。另外,经验式空间天气预报更多关注发生在日面上朝向地球的太阳活动,由于光球层的温度较低,在 X 射线波段的辐射相对日冕而言可以忽略不计,所以 X 射线波段的成像可以观测到日面上和日面边翼的太阳活动。美国空间天

气天基网的建设中一项重要举措就是在 GOES-12 气象卫星上安装太阳 X 射线成像仪 (SXI),并且决定在以后的所有地球同步轨道气象卫星上都安装 SXI^[8]。SXI 是美国开展常规空间天气预报第一台太阳成像监测仪器,也是 NOAA 主张研制同类仪器中的第一台仪器^[9]。

为了满足国内空间天气预报目标监测需求,建立自主的空间天气数据获取系统,中国科学院空间科学与应用研究中心正设计研制太阳 X 波段和极紫外波段一体化的宽波段成像望远镜。该望远镜将安装在我国新一代地球同步轨道系列气象卫星上,该轨道平台可以全天候、全天时地监测太阳活动,并能够实时获取成像数据,满足空间天气预报实时性、连续性、长期性地监测要求。

2 太阳 X-EUV 成像观测在空间天气预报中的作用

2.1 X 射线成像观测应用

人类对太阳 X 波段成像观测已经有近 30 年的历史,尤其是 SKYLAB 的 S-054^[10]和 YOHKOH 卫星上太阳 X 射线成像望远镜 (SXT)^[11]观测取得了丰富的成果,认识到 X 射线波段的成像观测在理解日冕高温等离子体行为和预测日地空间扰动方面的独到之处,所以太阳 X 射线波段监测是预测日地空间扰动的一个极其重要的判断资料。具体而言,具有一定空间分辨的 X 射线成像在空间天气预报方面能够发挥以下作用:

耀斑预测。X 射线波段能够观测位于日面上和日面边翼的活动区,活动区是耀斑爆发的潜在位置,对活动区的观测能够对潜在耀斑的出现给予提前判断。利用不同波段对活动区连续观测,能够反演活动区的温度和发射量 (EM),判断活动区演化趋势、爆发几率和爆发级别。另外 X 射线波段对于观测日面上连接黑子群的冕环效果明显,在这些冕环内储存大量的能量,通过观测冕环的出现和剪切磁场 (sigmoid) 的变化,可以预报耀斑的发生。SXT/YOHKOH 大量的观测结果显示,几乎所有 sigmoid 形状的冕环都发生耀斑爆发^[12],sigmoid 的出现是耀斑预报的重要先兆信息。

耀斑位置定位。耀斑是日冕高温等离子体的活动现象,耀斑在 X 射线波段的辐射强度相对平静日

冕而言,最高可以达到 7 个数量级以上。所以,如果耀斑发生,在 X 射线的全日面像上呈现明亮的区域。在太阳质子事件预报中,耀斑在日面的位置是一个非常重要的等信息,耀斑产生的太阳质子事件能否到达地球依赖于耀斑发生位置的磁力线是否连接到地球。现在应用的质子事件预报模式,都需要输入耀斑在日面上的经度位置,它是预报太阳质子事件的爆发强度、到达地球的时间、粒子能谱一个重要参数^[13~16]。再者,利用望远镜不同谱段的像素信号幅度比值,可以反演耀斑等离子体物理参数,估算耀斑爆发级别。

CME 观测及地磁暴预报。CME 是巨大太阳能释放的另外一种形式,朝向地球的 CME 是地球磁层强磁暴发生的直接扰动源。由于辐射强度和观测视场角的限制,全日面的 X 射线波段成像不能象日冕仪一样清楚显示 CME 爆发过程。但是大量的观测结果表明,X 射线可以观测到一些 CME 爆发的伴随现象,例如长持续事件(LDE),统计结果表明如果 LDE 的持续时间在 6h 以上,发生 CME 的几率为 100%^[17]。还有一个有意义的发现是 sigmoid 不仅是耀斑爆发的先兆,也是 CME 爆发先兆^[18]。识别 CME 爆发先兆是空间天气预报中的重要一步,另外对于揭开 CME 爆发的物理机制也同样关键。最新的观测结果表明:sigmoid 是太阳高温活动现象,只有在 X 射线波段能够清楚看到,极紫外波段观测效果不明显,基本看不到形状^[19]。

冕洞观测及周期性地磁暴预报。冕洞是高速太阳风的发源地,这些高速太阳风导致地球周期性地磁暴的发生^[20]。所以冕洞观测可以开展周期性地磁扰动预报,尤其在太阳活动低年,质子事件减少,冕洞的观测显得尤为重要。冕洞的特征温度在 0.9~2.4MK 之间^[21],X 射线辐射相对较弱,SXT/YOHKOH 观测结果显示在太阳活动峰年期,由于冕洞与邻近日冕辐射对比明显,可以获得清晰的冕洞位置图像,但在太阳活动低年期,观测效果不甚理想^[22]。

2.2 极紫外成像观测应用

1995 年成功发射 SOHO 卫星,它也是一颗专门的太阳成像观测卫星,星上载荷的工作波段集中在极紫外以上,扩展了 YOHKOH 所不具备的低温观测,所以两颗星的观测结果可以比对分析和相互验证。分析 SOHO 卫星 EIT 仪器的观测结果,发现 FeXII 195Å 谱线在观测某些太阳活动或者太阳爆发的伴随现象,效果甚佳,可以弥补 X 射线观测的不

足,如冕洞观测。FeXII 195Å 的辐射峰值在 1.6MK^[23],冕洞极紫外辐射强度与邻近平静日冕对比强烈,观测冕洞效果明显。另外 FeXII 195Å 谱线对平静日冕观测有比较高的敏感度,也比较适合监测日冕演变^[24]。

SOHO 和 YOHKOH 卫星的近期观测结果发现,在发生 CME 时,由于磁力线的开放和大量等离子体的外抛,在日面上会形成一个瞬态“变暗”(dimming 现象)区域,该区域是 CME 爆发的起始位置,也是 CME 的伴生现象^[25]。FeXII 195Å 极紫外谱线对观测 dimming 现象效果很好,对 dimming 的成像不仅能够确认日面上 CME 的发生位置,还可以作为 CME 爆发的判断依据,这是空间天气预报需要的重要信息。

自从 EIT 波^[24]发现之后,EIT 波被认为是日冕扰动在日面传播的瞬态波动现象,SOHO 上的 EIT 仪器 195Å 谱线观测到许多这种波动现象^[26]。统计发现,这种 EIT 波与 CME 关联密切,如果观测到 EIT 波的发生,必然伴随 CME^[27]。

所以综合国际上最新的观测结果,从空间天气预报的需求出发,提出了一种专门服务于空间天气预报有效的太阳监测仪器:太阳 X-EUV 成像望远镜,该望远镜集成了 X 射线波段和 195Å 的极紫外谱段的成像功能,增加极紫外谱段的成像功能,使得该仪器能够捕捉更多的太阳爆发先兆现象或者伴生现象,成像资料涵盖的信息量丰富,能够更好地、更准确地服务于空间天气预报。

3 太阳 X-EUV 成像望远镜

3.1 基本设计

由于 X 波段和极紫外波段光子能量差别较大,单一结构的光学聚焦方式不能满足成像要求。太阳 X-EUV 成像望远镜实际上包含了掠入射和正入射两套成像系统。X 射线由于光子能量高,在所有材料的折射率接近于 1,只能采用掠入射的聚焦方式;而极紫外波段的成像采用了正入射的聚焦方式^[28]。正入射望远镜嵌套在掠入射镜面环形视场中心的空腔内,二者共焦设计,共用一套图像传感器,如图 1 所示。这种一体化的设计方案,没有增加过多的资源要求,却大大扩展了仪器的成像功能。太阳 X-EUV 成像望远镜正入射和掠入射一体化的设计方案在国际上首次提出并设计实现。表 1 中给出了太阳 X-EUV 成像望远镜的基本技术指标。

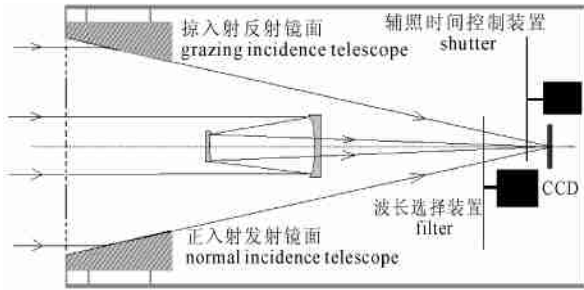


图 1 太阳 X-EUV 成像望远镜结构示意图

Fig. 1 The schematic diagram of solar X-EUV imaging telescope

表 1 太阳 X-EUV 成像望远镜基本技术指标

Table 1 The basic technical indices for solar X-EUV

imaging telescope

参数名称	数值
望远镜重量	35kg
尺寸	φ960mm × 351mm (镜体尺寸, 含太阳屏蔽)
工作波长	4 ~ 100 Å (分 7 个波段); 195 Å
视场角	45°
空间分辨	5
CCD 阵列	544 × 544 (结型)
势阱容量	200000e ⁻
像素尺寸	16 μm × 16 μm
波长选择装置	8 个过滤片, 1 个用于极紫外成像, 7 个用于 X 波段成像
曝光控制装置	1ms ~ 10s, 27 步步进
成像时间分辨	每分钟两次成像

3.2 掠入射望远镜

掠入射望远镜用于对 X 波段成像, 镜面采用了 Wolter I 型结构^[29], 即由一个旋转抛物面和一个旋转双曲面组成同轴共焦系统, 基本原理就是掠入射的 X 射线经共焦的抛物双曲镜面反射之后, 汇聚到双曲线的一个焦点上. 这种结构焦距相对较短, 尺寸最小, 两个光学反射面可以在同一衬底上进行加工, 便于仪器的装调. Wolter I 型结构的两个非球面交接处与焦面距离为 655mm, 掠入射角为 1.74°, 系统的视场角为 45°.

为了对掠入射望远镜的成像质量进行评价和设计优化, 用 ZEMAX 程序计算了掠入射像面弥散斑. 计算结果显示, 在像面为球面时, 在 0.5 视场内可满足 5 分辨率; 而为平面时, 在 0.4 视场内接近 5 分辨率, 能够满足系统日面成像 5 分辨要求. 根据掠入射望远镜的技术指标要求及 ZEMAX 的模拟结果, 优

化设计参数如表 2.

表 2 掠入射望远镜参数

Table 2 Optical parameters for the grazing incidence telescope

参数名称	参数值
非球面反射镜长度	47.5mm
抛物/双曲相交平面的直径	80.0 mm
交平面中心到焦点的距离	655.0 mm
交点掠射角	1.74°
抛物/双曲面近轴曲率	4.11276 cm ⁻¹ /4.09758 cm ⁻¹
抛物/双曲面离心率	1.00/1.0037
几何面积	725mm ²

应用到空间领域的望远镜对镜体的热稳定性要求很高, 尤其是镜面材料. X-EUV 望远镜的镜面材料采用微晶玻璃 (Zerodur), 这种材料有许多独特的性能: 强度高; 密度小; 零膨胀系数; 热传导各向均匀; 表面易光滑处理; 化学及物理特性稳定等. 但是这种材料以低原子序数为主要成分, 全反射角很小, 所以为了增加镜面对 X 射线的反射率, 需要在微晶玻璃镜面上镀上一层高原子序数的膜层. 通过比较多种常用的镀层材料, 发现 Ni 材料是比较好的选择, 它在 X 射线的长波段有比较高的反射率, 而在短波段反射率较低, 这正好满足对太阳观测这一目标的需要. 对温度较低太阳活动而言, 辐射集中在较长波段, 但辐射较弱, 而耀斑等太阳活动现象, 温度较高, 辐射集中在短波阶段, 而且辐射很强, 所以需要镀层反射率来平衡对不同太阳活动成像需要的曝光时间.

3.3 正入射望远镜

正入射望远镜实现对 195 Å 的极紫外谱线成像, 采用多层膜 Cassegrain 望远镜结构, 该结构有很好的波长选择性. 但对该系统的正入射望远镜而言, 既要考虑满足角分辨率的要求, 又要考虑具有一定长度的主镜和像面间距, 同时还要实现尽可能大的光收集面积和足够小的镜体体积, 保证正入射望远镜能够安装在掠入射望远镜环形视场的中空部分. 综合分析, 正入射望远镜采用球面/平面设计, 这种设计给加工和检测带来很大的方便, 且能满足观测要求. 正入射望远镜结构的设计参数如表 3. 光线追迹结果显示, 在采用平面探测器时全视场内的角分辨率小于 5, 满足成像观测要求. 正入射与掠入射望远镜共焦设计, 有相同的视场角和分辨率, 光收集面积都能够满足成像要求.

表 3 正入射望远镜系统光学参数

Table 3 Optical parameters for the normal incidence telescope

参数名称	结构参数
焦长	655.0mm
全长	430.0mm
镜间距	225.0mm
主镜口径	36.0mm
次镜口径	18.0mm
主镜曲率半径	1310.0
次镜曲率半径	
几何面积	880mm ²

3.4 系统过滤装置

X-EUV 的另一个重要部分就是系统的过滤装置,包括两部分:入射窗和波长选择装置。入射窗有两个主要用途:1)反射太阳辐射热,减少系统的热负载;2)阻止干扰光线进入望远镜系统。综合比较多种材料在 X 波段的透射率和强度要求,掠入射入射窗采用“三明治”结构。在 1000Å 厚度的聚酰亚胺两面蒸镀 Al 和 Ti,厚度均为 1000Å。Al 在软 X 射线波段有比较高的透射率,在 200~800Å 的紫外波段也有相当高的透射率。为了滤掉该波段,在入射窗上再增加一层 Ti 材料。聚酰亚胺是为了增加入射窗的强度,确保入射窗能够承受发射时的力学条件^[30]。正入射的入射窗也采用“三明治”结构。前层和后层分别为 Al 层,中间夹层为聚酰亚胺。为了扩大望远镜的动态响应范围并获取日冕活动的一些诊断参数,需要在图像传感器的前方放置波长选择装置。波长选择装置由步进电机和旋转铝盘组成。铝盘上放置需要的过滤片,在成像观测时步进电机驱动铝盘,将需要的过滤片转入光路。太阳 X-EUV 成像望远镜波长选择装置的过滤盘上设计了 8 个过

表 4 过滤片及带通宽度

Table 4 Filters and their pass bands

序号	名称	过滤片	厚度	波长范围*
1	open(极紫外)	空		195Å
2	poly1	Al/Polyimide/Ti	3000Å/1000Å/800Å	4~54Å
3	poly2	Al/Polyimide/Ti	5000Å/1500Å/800Å	4~40Å
4	poly3	Al/Polyimide/Ti	8000Å/3000Å/800Å	4~35Å
5	Be1	Be	0.0127mm	4~20Å
6	Be2	Be	0.025mm	4~15Å
7	Be3	Be	0.05mm	4~12Å
8	open(X 射线)	空		4~100Å

注: *以归一化有效面积的千分之一为参考值。

滤片位置,其中 X 射线 7 个,极紫外波段 1 个,具体如下表 4。这些过滤片设计部分参考 GOES-12 卫星 SXI 的成功经验^[31]。望远镜过滤片不仅能够进一步屏蔽干扰光线,而且不同过滤片成像能够获取不同的温度现象,过滤片的组合利用能够实施等离子体的温度反演。

4 系统性能分析

4.1 温度响应分析

为了评价太阳 X-EUV 成像望远镜对不同温度的太阳活动现象响应,计算了系统 CCD 单个像素的沉积能量,具体的计算公式如下:

$$N_e = ABCD T_1(\lambda) R_p(\lambda) R_H(\lambda) T_F(\lambda) Q(\lambda) \times n_e^2 P(\lambda, T) d\lambda d\Omega,$$

式中的 A 为望远镜的几何收集面积; $B = (4 U^2)^{-1} = 3.5 \times 10^{-28} \text{cm}^{-2}$; 转换常数 $C = 1.71 \times 10^{11} \text{e}^{-1}/\text{erg}$; D 为曝光时间; $T_1(\lambda)$ 为入射窗透射率; $R_p(\lambda)$ 为抛物面反射率; $R_H(\lambda)$ 为双曲面反射率; $T_F(\lambda)$ 为过滤片透射率; $Q(\lambda)$ 为 CCD 量子响应效率; n_e 为电子密度; $P(\lambda, T) = \text{mewe 线谱} + \text{连续谱的辐射强度}$ 。

计算结果如图 2 所示。从图中可以看出, X-EUV 成像望远镜温度响应跨度两个数量级以上,可以实现对小于 1MK 到大于 50MK 的日冕等离子体观测。高温太阳爆发现象,采用 X 射线波段观测。冕洞、平静日冕和日冕演变采用 195Å 极紫外谱线,极紫外谱

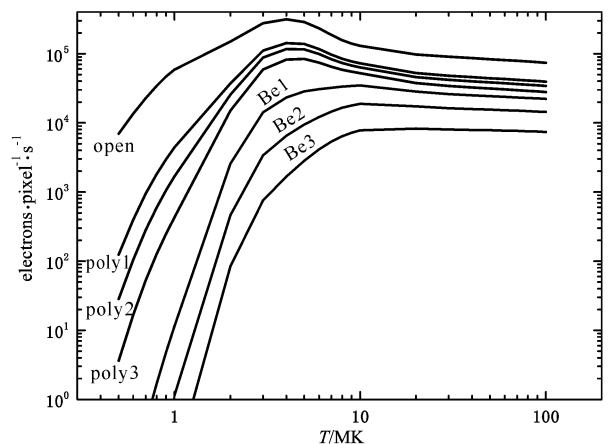


图 2 CCD 像素信号幅度与温度关系

日冕等离子体面发射量为 $1.0 \times 10^{27} \text{cm}^{-5}$,
体发射量为 $1.0 \times 10^{44} \text{cm}^{-3}$ 。

Fig. 2 CCD pixel electrons versus coronal plasma temperature

$EM = 1.0 \times 10^{27} \text{cm}^{-5}$, $VEM = 1.0 \times 10^{44} \text{cm}^{-3}$ 。

线单位时间像素信号幅度是无过滤片情况下 X 射线积分强度的 6 倍,可以在更短的曝光时间内获得比较好的信噪比.

4.2 温度反演分析

为评价 X-EUV 望远镜过滤片反演日冕等离子体温度的可行性和能力,寻找反演温度最佳的过滤片组合观测,计算了 X 射线 7 种过滤片在不同组合情况下 CCD 像素信号幅度比值. 表 5 给出了不同过滤片的组合反演不同温度范围,可以看出选择合适的过滤片可以很好地实现观测对象的高低温反演.

表 5 反演等离子体温度过滤片的优化选择

Table 5 The optimum combination of filters for temperature reconstruction of solar corona

序号	过滤片	反演温度范围	比值范围
1	Be1/poly3	2 ~ 20MK	0.15 ~ 0.7
2	Poly3/open	1 ~ 10MK	0.1 ~ 0.55
3	Poly2/poly3	1 ~ 10MK	0.35 ~ 0.9
4	Poly3/Be1	1 ~ 10MK	0.25 ~ 0.85
5	Poly3/poly1	1 ~ 10MK	0.1 ~ 0.7
6	Poly2/open	2 ~ 10MK	0.15 ~ 0.5
7	Be2/Be1	1 ~ 10MK	0.1 ~ 0.55
8	(2.0 * Be2)/Be1	1 ~ 30MK	0.2 ~ 1.05
9	(2.0 * Be3)/Be1	3 ~ 20MK	0.1 ~ 0.6
10	(2.0 * Be3)/poly3	6 ~ 20MK	0.1 ~ 0.5
11	(2.0 * Be2)/poly3	2 ~ 100MK	0.1 ~ 1.05

注:表中的 2.0 * 表示分子过滤片的曝光时间是分母过滤片曝光时间的 2 倍.

温度反演时,有几个受限条件:1)反演温度误差随不同过滤片下像素信号幅度的增大而减小,因此要求 CCD 像素电子数与势阱容量可比;2)两个滤波片的信号比值不能太小;3)一个比值仅由唯一的温度 T 所确定,反演温度范围内的比率曲线变化趋势相对均匀. 从表 5 中的计算结果可以看出,1、3、4、5 组合比较适合 1 ~ 10MK 温度反演;8、9、11 组合比较适合更高温度的反演. 所以针对不同的观测对象,过滤片优化组合才能获得误差较小的反演结果.

4.3 太阳活动响应分析

为了评估 X-EUV 望远镜对太阳成像观测的可行性,计算了空间天气比较关注的 9 种太阳活动现象的辐照时间. 计算过程中考虑了入射窗、镜面反射率、过滤片、CCD 死层等调制. 辐照时间指达到 CCD 像素势阱容量的 80 % 所需要的时间. X 射线望

远镜 7 种过滤片的响应见图 3 (横坐标分别对应 7 个过滤片,1:open,2:poly1,3:poly2,4:poly3,5:Be1,6:Be2,7:Be3),195 Å 极紫外波段的响应见表 6.

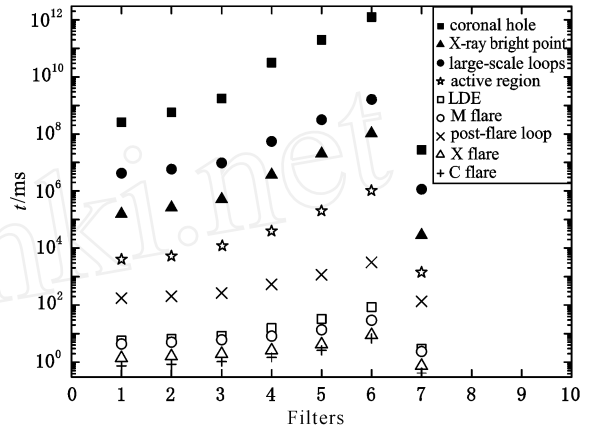


图 3 X-EUV 望远镜 7 个过滤片对 9 种太阳活动现象的响应

Fig. 3 Seven filters' responses of the solar X-EUV imaging telescope to 9 kinds of solar activities

表 6 195 Å 极紫外波段对太阳活动的响应

Table 6 EUV imager (195 Å) responses to the solar activities

太阳活动	Electrons s ⁻¹ pixel ⁻¹	80 % 势阱时间(ms)
冕洞	3	4.78 × 10 ⁷
X 亮点	709	2.26 × 10 ⁵
大尺度环	3	5.20 × 10 ⁷
活动区	816	1.96 × 10 ⁵
长持续事件	80294	1.99 × 10 ³
C 耀斑	3.314 × 10 ⁶	48.28
M 耀斑	740676	216.02
X 耀斑	2.1 × 10 ⁶	76.19
耀斑后环	2518	6.35 × 10 ⁴

计算结果显示,对不同的太阳活动成像,辐照时间跨度很大. X 射线望远镜对高温现象敏感,所以高温太阳活动现象用 X 射线成像,结合过滤片的调制,对耀斑成像辐照时间可以控制在 ms 量级.

对 195 Å 发射谱线而言,其对低温太阳活动现象敏感,在轨观测主要用于对冕洞成像. 计算结果显示,对冕洞成像要想获得高信噪比,需要很长的曝光时间,但是该望远镜是全日面成像,不进行日面局部区域的精细结构观测,所以对冕洞成像可以通过全日面图像的灰度对比来确定,这样大大降低了对曝光时间的要求. SOHO 卫星上的极紫外成像望远镜的观测结果显示^[23],在无过滤片的情况下,在 s 量

级的曝光时间内,就能够获得较高的图像质量。所以 X-EUV 望远镜对太阳活动成像,曝光时间控制在 ms ~ s 量级的动态范围内就能够满足系统成像要求。

5 结 论

太阳 X-EUV 成像望远镜在设计时,为了寻找开展空间天气经验预报和发展数值预报有效的观测方式,研究了 SXT/YOHKOH、EIT/SOHO、TRACE 等成像仪器的最新观测结果,对仪器工作波段的选择进行了充分的论证,创新性地提出了 X 射线波段和极紫外波段一体化设计的成像望远镜。极紫外波段的集成扩展了仪器对低温太阳活动的敏感,能够观测到更多的太阳爆发先兆现象和伴随现象,更有利于开展空间天气预报。理论分析和国际上同类仪器的观测结果都表明,太阳 X-EUV 成像望远镜能够对影响空间天气变化的主要扰动源及扰动源的先兆现象成像观测,是目前国际上最新的太阳活动预报监测仪器。该仪器计划安装在我国下一代静止轨道气象卫星上,其在轨成功运行,将会大大提高对空间天气的监测与预报能力。

参考文献 (References)

- [1] Tascione T F. Introduction to the Space Environment. Florida: Orbit Company, 1988
- [2] Song P, Singer H J, Siscoe G L. Space weather, Geophysical Monograph 125, AGU. Washington DC, 2001
- [3] 李保权,朱光武,王世金等.风云一号 C 星空间粒子成分探测器及 SAA 区粒子辐射实测分析.地球物理学报,2004,47(6):954~958
Li B Q, Zhu G W, Wang S J, et al. The space particle composition detector aboard FY-1C satellite and analysis of particle radiation in South Atlantic anomaly. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, 47(6):954~958.
- [4] <http://image.gsfc.nasa.gov/poetry/storm/storms.html>
- [5] Poppe B, Hilton A. Anomalies from Solar Events, CGMS XXX USA-WP-04
- [6] <http://www.space.com/scienceastronomy/japan.deadsat.000920.html>
- [7] Space Studies Board. Radiation and the International Space Station. Washington DC: National Academy Press, 1999. 7~21
- [8] Davis J, Bagdigian D, Buschmann S, et al. The solar X-ray imager for the geostationary operational environmental satellite (GOES). AIAA Space Programs and Technologies Conference, September 27-29, 1994/Huntsville, AL
- [9] <http://www.publicaffairs.noaa.gov/releases2003/jan03/noaa03012.html>
- [10] Moore R L. The Thermal X-Ray Flare Plasma, in Solar Flares. Colorado: Colorado Assoc. Univ. Press, 1980
- [11] Watanabe T, Kosugi T, Sterling A C. Observational Plasma Astrophysics: Five Years of Yohkoh and Beyond. Boston: Dordrecht-Kluwer Academic, 1998
- [12] Richard C C, Hugh S H, David E M. Sigmoidal morphology and eruptive solar activity. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(6): 627~630
- [13] Barouch E, Gros M, Masse P. The solar longitude dependence of proton event delay time. *Solar Physics*. 1971, 19: 483~490
- [14] Van Hollebecke M A I, Ma Sung L S, McDonald E B. The variation of solar proton energy spectra and size distribution with heliolongitude. *Solar Physics*. 1975, 41: 189~193
- [15] Cane H V, Reames D V, Von Ronsenvinge T T. The role of interplanetary shocks in the longitude distribution of solar energy particles. *J. Geophys. Res.*, 1988, 93(A9): 9555~9567
- [16] Blach C C. SEC proton prediction model: verification and analysis. *Radiation Measurement*, 1999, 30: 231~250
- [17] Sheeley N R, Howard Jr R A, Koomen M J, et al. Associations between coronal mass ejections and soft X-ray events. *The Astrophysical Journal*, 1983, 272: 349~354
- [18] Hudson H S, Lemen J R, St Cyr O C, et al. X-ray coronal changes during halo CMEs. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25: 2481~2484
- [19] Alphonse C Sterling. Sigmoid CME source at the SunE: some recent results. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2000, 62: 1427~1435
- [20] Zirker J B. Coronal Holes and High Speed Wind Streams. Boulder: Colorado Assoc. Univ. Press, 1977
- [21] Hara H. Temperatures of coronal holes observed with the yohkoh SXT. *PASJ*, 1994, 46: 493~496
- [22] Bornmann P L, Speich D, Hirman J, et al. The GOES solar X-ray imager: Overview and operational goals. *SPIE*, 1996, 2812: 309~319
- [23] Mewe R, Gronenschild E H B M, Jvan den Oord G H. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1985, 62: 197~254
- [24] Moses D, Clette F, Delaboudiniere J P, et al. EIT observations of the extreme ultraviolet Sun. *Solar Physics*, 1997, 175: 571~599
- [25] Harrison R A, Bryans P, Simnett GM, et al. Coronal dimming and coronal mass ejection onset. *A & A*. 2003, 400: 1071~1083
- [26] Delaboudiniere J P, Artzner G E, Branauad J, et al. EIT: Extreme-ultraviolet imaging telescope for the SOHO mission. *Solar Physics*, 1995, 162: 291~312
- [27] Biesecker D A, Myers D C, Thompson B J, et al. Solar phenomena associated with "EIT waves". *The Astrophysical Journal*, 2002, 569: 1009~1015
- [28] 李保权,朱光武,林华安等.空间 X 射线成像望远镜的发展及现状.空间科学学报,2004,24(4):302~311
Li B Q, Zhu G W, Lin H A, et al. The development and status of space-based X-ray imaging telescopes. *Journal of Space Science* (in Chinese), 2004, 24(4):302~311
- [29] Aschenbach B. X-ray telescopes. *Rep. Prog. Phys.*, 1985, 48: 579~629

[30] Forbes Powell, Ritva A M K, Martin V Z, et al. Metalized polyimide filters for X-ray astronomy and other applications. *SPIE*, 3113: 432 ~ 440

[31] Kathleen Freestone. Telemetry and Control for the Solar X-Ray Imager (SXI), Final Version, Aug. 28, 1997

《地球物理学报》编委会会议纪要

(2004 年 10 月 18 日)

在中国地球物理学会第 20 届年会期间,《地球物理学报》编委会会议于 2004 年 10 月 18 日晚在陕西省西安市止园饭店召开。会议由主编刘光鼎院士主持。出席会议的编委及编辑部成员有王水、杨文采、许忠淮、臧绍先、姚振兴、王家映、石耀霖、牟永光、何樵登、刘少华、胡素芳、肖台琴等,因有事或身体欠安请假的编委大部分提交了书面意见。

专职副主编、编辑部主任刘少华汇报了一年来的工作。在各级领导的关心与支持下,编辑部按期保质保量完成了学报中、英文版的出版任务。随着地球物理学的不断发展,创新性成果倍出,《地球物理学报》稿件来源丰富,今年增加到 450 篇以上。为增加刊物的信息量,缩短出版周期,2003 年改为大开本,2004 年又增加页码到 200 页以上,每期刊登论文从原来的 16 篇左右增加到 30 篇以上。2004 年彩图直接插在文中,方便了读者阅读。《地球物理学报》的主要计量指标逐年稳步上升,据中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)统计,2003 年总被引频次上升为 1553,影响因子上升为 1.974。

目前,《地球物理学报》是 SCIE、CA、英国科学文摘、日本科技文献速报、全俄文摘杂志等 13 种国际著名检索系统的统计源期刊,是中国科技论文统计源数据库、中国科学引文数据库等国内 10 多种著名检索系统的统计源期刊。《地球物理学报》在历届全国性的科技期刊评比中,每次均荣获一等奖,连续两届获得国家期刊奖。

会议的另一个重要议题是对学报编委会人员进行部分调整和补充。经过近半年多的专家推荐和综合考查,一批具有较高学术水平,热心支持学报工作的中青年科学家成为学报编委会候选人。会议对候选人进行了评议,通过无记名投票,增选王水、朱日祥为《地球物理学报》副主编,增选邓晓华、高静怀、郝天珧、黄金水、黄宝春、吕达仁、刘代志、毛节泰、孙建国、沈正康、王家林、魏文博、吴忠良、杨宝俊、张中杰、张剑峰、常旭为《地球物理学报》新编委。因年龄和身体原因,部分老编委不再继续担任编委工作。为感谢他们长期对学报的支持和奉献,会议提议并一致通过,编辑部将继续与他们保持密切联系,并继续赠送刊物。

与会编委积极发言,肯定了学报取得的成绩,对编辑部全体工作人员的出色工作给予认可和表扬,同时对下一步的工作提出了新建议。编委们认为:学报的影响力在不断提高,应进一步在国际化和网络化方面下大气力。在保证学报论文的高学术水平的同时,中、英文版的编辑工作量加大,为此编辑部成员必须努力提高自身素质,不断提高编辑现代化程度,才能出色地完成任务。

(本刊编辑部)