

天基 X 射线掠入射式成像望远镜发展现状

李保权^{1,2} 朱光武¹ 林华安¹ 王世金¹ 彭吉龙¹

¹(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

²(中国科学院研究生院)

摘 要

阐述了太阳 X 射线成像观测在空间天气预报中的地位和作用,叙述了掠入射式 X 射线聚焦成像的基本原理,简要介绍了在轨成功运行的天体 X 射线成像望远镜和太阳 X 射线成像望远镜的基本设计和技术指标,并介绍了国内正开发研制的专门服务于空间天气预报的太阳 X 射线成像望远镜基本设计和主要特点.

关键词 空间天气预报; X 射线成像望远镜; 太阳活动

1 引言

随着人类进入空间时代,无论是在商业通信领域还是在以高技术为背景的军事应用方面,对空间技术系统的依赖越来越大.与此同时,天基技术系统的日益复杂,使它们对空间辐射环境的敏感性也大大增强,尤其在恶劣的空间环境下,技术系统的可靠性大大降低,甚至失效.恶劣的空间环境受太阳活动的影响,当太阳爆发时,在短时间内向行星际空间释放大质量物质,这些物质包括磁场、粒子、电磁波等.当这些行星际物质遇到地球时,会对地球空间环境产生扰动,例如磁层粒子通量的增强、地磁场扰动、电离层变化等,对在轨航天器、输电网络、航海、短波通信等都会产生一定的影响,甚至还能造成系统失效,这种事例时有发生^{[1],[2]}.

认识到太阳对人类活动的巨大影响,美国在 20 世纪 90 年代就率先提出了国家空间天气战略计划,目的是建立从太阳源头、磁层、中高层大气到地面的立体空间监测网络,预测太阳活动、行星际扰动及磁层、电离层、中高层大气的变化.在美国天基网的建设中,重要的一项就是在 GOES-M 气象卫星上安装太阳 X 射线成像仪(SXI),对空间天气变化的源头进行连续的成像观测,增强对太阳活动触发机制的理解和太阳活动的预测能力.太阳 X 射线波段的观测有其独特性,(1) X 射线波段的监测结果直接反映了日冕等离子体温度变化,且辐射强度随温度变化剧烈,耀斑爆发与平静时相比, X 射线波段的辐射强度可以相差 5 个数量级以上,在日面图上呈现明暗不同的区域,所以 X 射线波段的监测可以预估太阳活动的变化趋势.(2) 光球层的温度较低,软 X 射线波段的辐射强度相对日冕而言可以忽略不计,软 X 射线波段的成像可以获取日面和日面边缘的太阳活动的位置信息,非常有利于开展中、短期太阳活动预报.(3) 从 X 射线波段的成像可以获取太阳爆发的许多先兆现象,如耀斑爆发前冕环出现剪切磁场或者 S 形状^{[3]-[5]}.

2003-06-12 收到原稿, 2004-05-10 收到修定稿

因此, X 射线波段的成像观测在开展空间天气预报研究中有重要的地位. 由于美国 GOES-M SXI 的成功运行, NOAA 还决定在以后所有的地球同步轨道气象卫星上都安装 SXI. 由于空间天气的战略地位, X 射线的成像技术再一次成为关注的重点. 本文叙述了 X 射线聚焦成像的基本原理, 简要介绍了在轨成功运行天体 X 射线成像望远镜和太阳 X 射线成像望远镜的基本设计、技术指标和部分观测结果.

2 掠入射 X 射线成像实现方式

1895 年 Roentgen 发现了 X 射线, 这一崭新的发现引发了物理学家浓厚的兴趣. 在这之后, 人们试图用反射、折射等多种方式对 X 射线聚焦, 但均未能成功. 原因在于 X 射线波段光子的能量较高, 在所有材料上的折射率都接近于 1. 因此, 如果用一个对可见光聚焦的透镜来聚焦 X 射线, 它可能会有一个不切实际的长焦距 ($\geq 10\text{ m}$) 和非常短的焦深 (几十微米). 同样, 如果用一般的光学反射镜对 X 射线进行反射, 反射率将非常小. 这就意味着传统的光学元件不适用于对 X 射线进行聚焦成像.

1923 年 Compton 首次证实 X 射线在掠入射时会发生类似于可见光的全反射现象. 物理学家们不久就认识到这种现象提供了用曲面镜制作 X 射线成像光学元件的可能性, 但很快就发现这种曲面镜在掠入射时存在严重的像差, 而椭球镜却能给予完美的轴光源点成像, 只是偏离轴点的成像由于像差迅速模糊^[6]. 因此, 真正实用的掠入射反射系统是采用两个或两个以上镜子的组合来降低像差. 在 X 射线望远镜系统中时常采用的是 Wolter 系统^[7], 如图 1 所示. 它利用抛物/双曲共焦耦合, 通过两次反射, 实现对 X 射线的聚焦成像. Wolter 系统有 3 种类型 (见图 1), 分别利用抛物双曲内外面的组合实现对 X 射线的聚焦, 其中被广泛应用的是 Wolter I 型. 它占用的体积小, 可以在同一衬底材料上进行抛物和双曲反射面加工, 简化了仪器的装调.

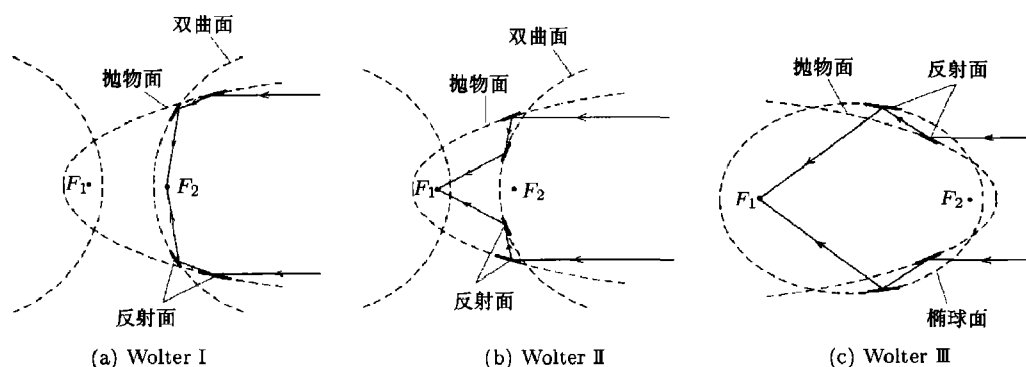


图 1 Wolter 型望远镜结构示意图

Fig.1 The schematic diagram of Wolter telescope

3 天体 X 射线成像观测

由于太阳是近地空间最强的 X 射线源, 所以最早的天文 X 射线望远镜就是对太阳进

行观测的。

1963年, NASA的Goddard飞行中心的Lindsay^[6]利用探空火箭获得了太阳的第一张X射线图像, 由于当时传感器的限制这张图片是用胶片获得的。

1973年5月14日, 天空实验室Skylab发射成功。在Skylab上安装了两台X射线望远镜S-054和S-056, 它们是最早在空间长期运行的X射线成像望远镜。

Skylab上X射线望远镜的工作波长是6—49 Å, 由6个过滤片来实现更多谱段观测。望远镜的图像传感器采用胶片记录方式, 由Skylab上的宇航员将胶片带回地面进行处理。在超过9个月的寿命期限内, 共获得了35 000多张太阳全日面图像, 取得了许多重大的科学发现, 观测到了冕洞、X射线亮点等太阳活动现象, 并发现了冕洞的27天周期现象。

S-054和S-056望远镜在Skylab的成功运行, 使得X射线望远镜的开发达到一个暂时的顶点。同时, 它的观测结果也发展了一个新的研究领域, 大大促进了天体物理微观机理研究。

为了获得更多的原创性的结果, 许多天体物理学家把X射线的观测转移到其他的宇宙天体, 这样一来, 就开始了宇宙天体的X射线观测高潮, 相应有许多天体观测的卫星发射升空。随着当时各种技术条件的改善, 新研制的望远镜在角度分辨和灵敏度方面都超过了当时以往的设备, 望远镜的开发达到了一个新的水平。

3.1 Einstein 观测站

美国的Einstein观测站于1978年11月发射到近地轨道, 运行到1981年。Einstein观测站的X射线望远镜采用Wolter I型, 镜面4层嵌套, 最大的抛物面直径58 cm, 每个抛物面和双曲面都是51 cm长, 焦点长度345 cm, 反射镜面Si镀Ni层。聚焦平面装置有4个不同的探测器系统, 可以通过遥控命令控制任一个进入聚焦面。成像探测器由一个高分辨的成像仪(HRI)和一个高效率的正比计数器组成, 成像仪的分辨率可达到3"。此外, 还有一个透射光栅与HRI结合使用, 在望远镜聚焦面的外部还安装了一个正比计数器。Einstein观测站可以在地面指令控制其探测方向, Einstein观测站在轨期间成功观测了数以千计的天体^[8]。

3.2 Salyut 7 RT-4M 望远镜

前苏联的Salyut 7轨道站搭载了系列X射线天文观测仪器。RT-4M仪器是一个掠入射的望远镜, 在其聚焦平面上放置一个不能成像的气体正比计数器。望远镜是Wolter I型两嵌套设计, 最大入射直径为24 cm, 总的镜面长度48 cm, 聚焦长度66 cm。外部望远镜的反射面镀Au, 内望远镜的反射镜面镀Ni, 相应波长为44—100 Å, 视场角为 $0.75^\circ \times 3^\circ$ 。探测器的入射口分成3个平行扇区, 分别对应于不同的视场。

3.3 SMM 卫星

SMM卫星于1980年2月14日发射进太阳同步轨道, 轨道高度574 km, 倾角 28.5° , 单轨时间90 min, 其中30 min处于地球阴影。

SMM卫星主要是进行太阳活动观测, 尤其是对耀斑的观测。这其中有一台重要的仪器硬X射线成像谱仪, 测量能量高达30 keV, 仪器的基本结构见图2。该仪器焦长7500 mm, 分辨率8" (0.1—10 keV), 有效面积 1475 cm^2 (1.5 keV), 镜面数58层, 镜面长度600 mm, 镜面间距离1 mm, 外镜面直径700 mm, 最内镜面直径300 mm, 重量425 kg。

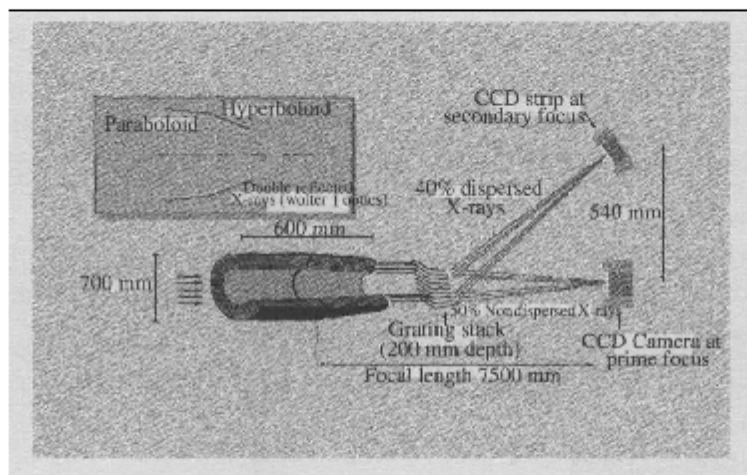


图 2 SMM 卫星硬 X 射线成像谱仪

Fig.2 The hard X-ray imaging spectroscope aboard the SMM satellite

3.4 Exosat 观测站

欧洲的 Exosat 卫星于 1983 年 5 月发射, 轨道是大椭圆轨道, 远地点 200 000 km, 采用这种远地点较远的轨道, 每圈可以进行 80 h 的定向观测。该卫星的有效载荷有正比计数器、气体闪烁正比计数器和两台相同的掠入射望远镜。

每个望远镜是一个两嵌套 Wolter I 型望远镜, 入口直径 28 cm, 聚焦长度 109 cm。抛物面和双曲面长 20 cm。反射镜面镀 Au。望远镜的聚焦面配备位置灵敏的探测器, 有能谱测量和位置分辨的能力。在探测器的前面有一个转动轮, 转动轮上有各种薄的吸收片, 它能够拓宽谱段测量。分光测量由透射光栅完成, 每个望远镜都配备一个。

3.5 Rosat 卫星

德国的 X 射线天文观测 Rosat 卫星于 1987 年的下半年发射, 轨道是近地的圆形轨道。卫星的有效载荷由 X 射线望远镜和宽视野的相机组成 (WFC)。X 射线望远镜测量的波长为 6—100 Å, WFC 的响应波长为 60—300 Å, 主要的科学目标是 X 射线成像望远镜实现全空间探测。这次探测的灵敏度较以往有数量级的提高。

X 射线望远镜是 Wolter I 型设计 (见图 3), 有 4 层嵌套, 入射直径 83 cm, 聚焦长度 240 cm。抛物面和双曲抛物面的长都为 50 cm。反射镜面为 Zerodur 镀金。镜面装置的角分辨率是 5"。一个可旋转装置携带 3 个不同的成像探测器, 每一个都可以旋转进焦点。还

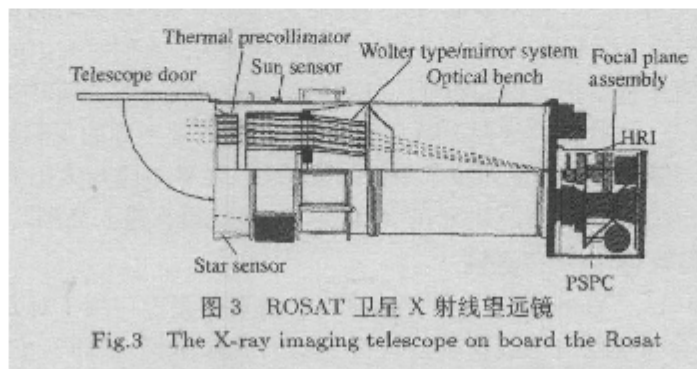


图 3 ROSAT 卫星 X 射线望远镜

Fig.3 The X-ray imaging telescope on board the Rosat

有两个备份的位置灵敏正比计数器和一个高分辨成像仪(与 Einstein 观测站上的相同)。

WFC 是一个 3 嵌套的 Wolter-Schwarzschild I 型设计。入射直径 58 cm, 总镜面长度 20 cm, 聚焦长度 53 cm。轴向分辨 $1'$ 。镜面 Al 上镀 Au。聚焦平面装置包括两个相同的 XUV 敏感探测器, 在探测器的前面有薄的吸收过滤片, 它可以提供 3 个不同的波长。

3.6 EUV Explorer

美国的 Explorer 卫星计划包括一个极紫外天文望远镜试验(EUVE)。卫星携带 4 个掠入射望远镜, 3 个望远镜垂直于卫星自旋轴安装, 将进行半年时间的全空间观测。另一个观测方向与卫星自旋轴一致, 进行有限视场观测。探测器为 Wolter-Schwarzschild I 型设计。望远镜的入射直径 40 cm, 聚焦长度 50 cm, 总镜面长度 28 cm, 分辨率 $1'$, 总视场角 5° , 谱长 100—1000 Å。

3.7 X 射线空间望远镜

1999 年 8 月 7 日, 美国航宇局 X 射线望远镜被送入预定的近地点为 10 000 km、远地点为 140 000 km 的轨道。X 射线望远镜耗资 15.5 亿美元, 配备有高分辨率成像光谱仪(ACIS)、高分辨率相机、高能透射光栅和低能透射光栅光谱仪。它能够探测到比现在人类了解的远两倍的 X 射线辐射天体, 图像分辨率是目前阶段的 5 倍。它对星系、类星体和恒星进行观测, 调查黑洞的存在, 寻找星系中的暗物质, 确定宇宙年龄, 检验星体演变和超新星爆炸理论。望远镜由 4 嵌套的 Wolter I 型镜面组成, 镜面直径 1.2 m, 聚焦长度 10 m, 总长度 13 m, 直径 4.5 m, 轴向分辨 $0.5''$, 测量谱段为 0.1—10 keV, 掠入射角为 0.45° — 0.85° , 总的视场角为 1° 。

天文学家还在制定新一代 X 射线望远镜的发展规划。在下一代 X 射线望远镜的各种方案中, 由美国提出的星座 X 方案尤为引人注目。该方案提出发射 4 颗同样的卫星, 卫星间相距几百英里。卫星采用相继工作的方案, 各卫星均聚焦于同一能源, 这样整个星座就能实现前所未有的高精度光谱测量。该系统的光收集面积为 3 m^2 , 灵敏度比 X 射线空间望远镜高约 10 倍。这样高的性能, 将使天文学家能首次对数以千计的微弱 X 射线辐射源进行研究, 有助于回答关于黑洞、恒星和星系的形成, 以及物质在宇宙中的再循环方式等基本问题。

4 太阳的 X 射线成像观测

20 世纪 70、80 年代, 人们主要把目光投向更遥远的星系, 对太阳的观测暂时进入了一个低潮。但是, 毕竟太阳与整个地球的生态系统息息相关, 人们对太阳的许多现象的认识还相当肤浅, 一直不能给出合理的解释, 对太阳的理论研究一直在有序地进行, 也提出了许多新的物理模式, 这些模式是否正确, 越来越迫切地需要实际的观测数据来验证。另外, 人类空间活动急速地膨胀, 空间技术系统故障频繁, 这些故障与太阳活动密切联系。所以各方面的需求, 促使太阳观测研究在 20 世纪 90 年代再次进入高潮。

4.1 Yohkoh 卫星软 X 射线望远镜

1991 年 8 月 30 日, Yohkoh 卫星^[9]发射升空, 这颗卫星专门用于对太阳进行全方位的观测。其中, 一台重要的有效载荷就是软 X 射线成像望远镜(SXT), 它是由 Lockheed

Palo Alto 研究所、日本国家天文台, 合作者还有东京大学、斯坦福大学、伯克利的加利福尼亚大学和夏威夷大学等多家单位共同研制开发的。

SXT 是一个掠入射的望远镜系统, 主要由 3 部分组成: X 射线望远镜、定位望远镜和图像传感器。它既可以开展太阳的 X 射线波段成像观测, 也可以进行白光观测。望远镜的视场角大, 可以进行全日面观测, 且仪器的角分辨率和时间分辨率高, 动态范围宽。可以观测脉冲相变的演化过程。

X 射线望远镜的反射镜面是抛物/双曲结构, 镜面轴向长度 4.5 cm。镜面的两个光学面的衬底材料为低膨胀系数的 Zerodur 陶瓷玻璃, 反射镜面是 Au 上镀 Cr, 厚度为 420 Å。

SXT 有两个过滤轮, 5 种过滤片位于后过滤轮上, 用于衰减强光, 增加仪器的动态测量范围和耀斑温度信息的反演。8.05% 透射不锈钢栅网位于前过滤轮上, 可以与后轮上的任何一个过滤片协同工作, 增加仪器的动态范围。

定位望远镜是一套透镜光学望远镜, 透镜直径 50 mm, 聚焦长度 1538 mm, 主要记录太阳黑子、白光耀斑、CCD 增益刻度和 CCD 退火。可见光成像的大小同 X 射线成像大小相同。二者准直到大约同一像素上, 在轨的准直通过全光盘成像, 验证白光边缘和 X 射线日面边缘的重叠来确认。

SXT 的 CCD 相机是 1024×1024 的 VPCCD, 像素 $18.3 \mu\text{m}$, 由 Texas 仪器公司专门研制。在轨运行时 CCD 冷却到 -18°C 。在该温度下的平均暗电流是 9 电子/像素·秒。SXT 在轨运行期间, 其 CCD 遭受来自宇宙射线、辐射带粒子、太阳 X 射线等的辐照, 使性能退化。这个问题在设计时应该认真对待。因为传感器工作在温度较低的环境中, 每次辐射时间不到 1 s, 所以由能量粒子形成的暗电流在 3—5 年的时间内, 对仪器不构成严重的威胁。然而, X 射线在 CCD 器件的氧化层内电离, 增加了系统的暗电流, 导致电荷转换效率下降。已经发现绿光照射 CCD 可以在 Si-SiO₂ 的界面处产生电子, 可以中和积累的空穴, 并能对损伤进行退火。SXT 的过滤轮上配备有负性的石英透镜, 目的就是利用 3300—4700 Å 的光辐照整个 CCD。

高分辨的 SXT 在轨成功运行超过 10 年, 取得了巨大成功, 大大促进了人类了对太阳的认识和太阳物理相关理论的发展。

4.2 GOES-M 的太阳软 X 射线成像仪

为了满足美国空间天气预报的需要, NOAA 决定在 GOES 卫星系列 (GOES-M) 上设置太阳软 X 射线成像仪 (SXI)^[10], 对太阳活动进行连续成像观测。SXI 在轨运行主要实现以下科学目标: (1) 能够辨认潜在耀斑的位置, 当发生耀斑时能够确认其发生位置并能估计出其强度; (2) 能够得到日冕特性图, 尤其是活动区和冕洞的图像; (3) 能够观测日冕物质抛射; (4) 通过观测外延日冕亮度估计活动区的强度。

SXI 由掠入射的镜面、12 位置的宽带过滤器和包含 CCD 相机的聚焦面组成 (见图 4)。SXI 尺寸为 $76.4 \text{ cm} \times 23.0 \text{ cm}$, 电子学部分加望远镜的总重量为 32 kg, 15.7 kg 的重量是望远镜装置的。总功耗为 42 W, 数据传输率 100 kbps, 即一张图像传到地面需要 32 s。

SXI 的反射镜面是由抛物面和双曲面组成 (Wolter I 型), 两个光学镜面都在单块 Zerodur 微晶玻璃上加工。主平面半径 8.0 cm, 轴向镜面长度 4.75 cm, 主平面和焦平面的距离 65.0 cm, 镜面镀 Ni, 望远镜几何面积 7.3 cm^2 。

反射镜面的支撑和固定结构经过精心设计, 它可以在 50° 的温差范围内, 维持焦点位

置在 0.002 cm 的范围内.

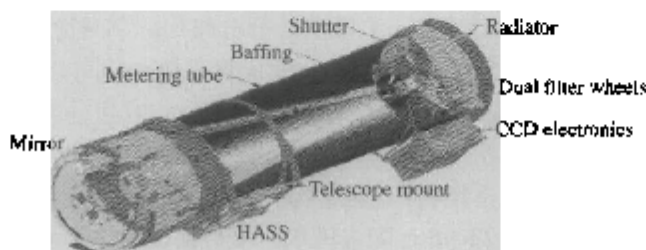


图4 SXI基本结构示意图

Fig.4 The schematic diagram of the SXI

SXI 的成像传感器是一种增强型的 CCD, 它由微通道板 MCP、光学耦合器和可见光 CCD (512×512) 组成。MCP 将 X 射线转换成电子, 来自 MCP 的倍增电子撞击沉积在光学耦合器上的磷, 磷是在这里用作匹配 CCD 的峰值敏感度。CCD 是 Thomson TH7895A (H) 型, 512×512 像素阵列, 通过调节增益可以产生 150 电子/光子, 远高于噪声水平, 实际动态范围可以达到 3000 量级。通过控制 MCP 的高压可以实现曝光时间控制。

SXI 是美国开展业务空间天气预报第一台太阳成像监测仪器, 也是 NOAA 主张上天的同类仪器中的第一台仪器。SXI 是最新的太阳风暴监测仪, 于 1999 年 12 月 15 日成功发射, 经过半年多的在轨测试之后, 正式投入运行, 取得了比较好的观测效果。

4.3 Solar-B 卫星太阳软 X 射线成像望远镜

Solar-B 卫星^[11]是继 Solar-A (现在称之为 Yohkoh 卫星) 之后, 正在计划中的另外一颗对日成像观测卫星, 主要是开展太阳日冕的成像观测研究。该卫星由国际合作开发, 主要参加国是日本、美国和英国, 该卫星计划于 2004 年发射。

Solar-B 卫星上的软 X 射线成像望远镜 (XRT) 类似于 SXT/Yohkoh, 不过仪器的分辨率和温度响应范围较以前有比较大的提高: 像素尺寸由 $2.46''$ 提高到 $1''$; CCD 由以前的 $1K \times 1K$ 提高到 $2K \times 2K$, 除了高温响应以外, 还能响应 0.5—2 MK 的温度范围。仪器是一个锥形结构, 总长 2719 mm, 头部直径 418 mm, 尾部直径 330 mm, 镜筒材料 CFRP, 管壁厚 1.5 mm。总重量 30.0 kg, 其中望远镜光学结构 11.9 kg。整台仪器也主要由 3 部分组成: X 射线望远镜、白光望远镜和 CCD 图像传感器。

为了便于对太阳 X 射线成像望远镜的性能进行综合比较, 表 1 中列出了一些典型的望远镜技术指标。

5 国内现状

天基 X 射线成像观测在国内目前还是空白, 20 世纪 70 年代, 中国科学院长春光机研究所和南京紫金山天文台共同开发研制太阳 X 波段成像望远镜, 该仪器计划安装在天文一号卫星上, 但由于卫星平台无法满足望远镜的高稳定性要求而中途停止。20 世纪 90 年代, 利用 FY-2 卫星的搭载机会, 成功研制了太阳 X 射线流量监测器, 在第 23 太阳获

得峰年期间取得了比较好的观测结果.

表 1 太阳 X 射线成像望远镜的技术指标比较
Table 1 Comparison of the solar X-ray imaging telescopes

	Skylab AS & E	Yohkoh/SXT	GOES/SXI	Solar-B/XRT
发射日期	1973-05-14	1991-08-30	1999-12-15	2004
轨道	LEO	LEO	地球同步	LEO
功耗 /W		7—12 + heaters	42	20
重量 /kg		23.7	22.7	30
长度 /m		1.7	0.76	2.72
宽 /m	0.23(镜子)	0.30	~0.20 (0.16 镜子)	0.418
镜面结构	Wolter I 抛物/双曲	双曲/双曲	Wolter I 抛物/双曲	Wolter I 抛物/双曲
焦距 /m	2.13	1.54	0.657	2.7
最大有效面积 /mm ²		78	50	
探测器	胶片	X 射线 CCD	增强型 CCD	CCD
波长范围 /Å	2—60	3—60	6—60	2—60
波长选择	6 种过滤片	5 种过滤片	9 种过滤片	5 种过滤片
视场角 /(°)	48	42 × 42	42 × 42	30
分辨率 /(″)	1	2.5	5 (19 μm)	1
曝光时间	15.6 ms—265 s	0.077 ms—242 s	1 ms—65 s	2 ms—10 s
时间分辨 /s	2.5		60	2

随着我国对空间天气的重视,也逐步加大在该领域的投资力度,但是中国的空间环境探测相对滞后,目前还没有自主的空间天气预报数据输入系统,缺少立体的空间监测网络,尤其是缺少空间天气扰动源-太阳的成像监测数据.因此太阳 X 射线成像望远镜的研制得到多方面的支持,现由中国科学院空间科学与应用研究中心主承担的太阳 X 射线成像望远镜(SXIT)正在紧张进行,预计于 2005 年完成工程性原理样机.该仪器将安装在 FY-4 气象卫星上. FY-4 卫星位于地球同步轨道,对地定向,3 轴稳定,它可以全天候、全天时地监测太阳活动,并能够实时获取成像数据. SXIT 将对于我国开展空间天气预报、建立我国自主的预报数据系统有着极其重要的作用.

SXIT 有两套成像系统:掠入射望远镜和正入射望远镜.正入射望远镜嵌套在掠入射镜筒中心,同掠入射共用一个 CCD.望远镜主体尺寸 $\phi 240 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$,重量约 35 kg,功耗 40 W.掠入射和正入射望远镜视场角都为 45° ,覆盖 1.5 个太阳半径.正入射几何收集面积 8.8 cm^2 ,掠入射几何面积 7.1 cm^2 .掠入射工作波长在 $4\text{--}100 \text{ Å}$,并区分 7 个不同的波段,另外 6 个分别为 $4\text{--}60 \text{ Å}$ 、 $4\text{--}52 \text{ Å}$ 、 $4\text{--}38 \text{ Å}$ 、 $4\text{--}22 \text{ Å}$ 、 $4\text{--}18 \text{ Å}$ 、 $4\text{--}14 \text{ Å}$.正入射工作在 195 Å 的极紫外波段. CCD 阵列 544×544 ,像素尺寸 $16 \mu\text{m} \times 16 \mu\text{m}$,日面空间分辨 $5''$.

SXIT 的主要科学目标观测太阳活动爆发的先兆信息、近地空间环境的太阳扰动源(活动区、冕洞、耀斑、CME 等)及其变化过程,成像资料服务于空间天气预报. SXIT 是目前国际上服务于空间天气预报研究最新的太阳成像监测仪器.它扩展了单一 X 射线成像望远镜温度响应,增加了仪器对低温现象的敏感,能够观测更多的太阳爆发先兆现象或

者伴生现象.

6 结论

X 射线成像是进行天体研究的一个重要工具,随着加工技术的提高和数字化传感器的发展,大大推进了 X 射线成像的应用,在太阳或者星系观测中发挥了重要的作用,推进了人类对生存环境的认识.当今的美国及欧洲不惜巨资进行这方面的研究开发,耗资的资金及设计仪器的复杂性都达到空前的程度.

比较而言,对太阳进行成像的仪器结构相对简单,仪器的重量轻,研究费用相对较低,实用性强,是开展太阳物理研究及空间天气预报必不可少的观测仪器.太阳 X 射线望远镜应用了大型天文望远镜必备的成像技术,相当于大型深空观测望远镜的微型.研制这种仪器的关键是光学反射镜面、机械结构设计及仪器标定,目前国内具备了研制这种仪器的基本条件.鉴于多方面的需求,太阳 X 射线成像望远镜在国内也正积极展开,它的研制成功,将使我国的空间天气预报水平提高到一个新的高度,并将带动和提高我国的空间物理和太阳物理研究,也为我国将来开发大型的天文观测卫星奠定技术基础,所以研制太阳 X 射线成像望远镜意义深远.

参 考 文 献

- [1] Baker D N. Effects of the Sun on the Earth's environment. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 2000, **62**:1669—1681
- [2] Baker D N. What is space weather. *Adv. Space Res.*, 1998, **22**:7—16
- [3] Tang Y H, Sakurai T. The activation characteristics of a disappearing filament. *Proceedings of the Third SOLTIP Symposium*, Beijing: International Academic Press, 1998. 49—53
- [4] Richard C C *et al.* Sigmoidal morphology and eruptive solar activity. *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26**(6):627—630
- [5] Alphonse C S. Sigmoid CME source at the Sun: some recent results. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 2000, (62):1427—1435
- [6] Aschenbach B. X-ray telescopes. *Rep. Prog. Phys.*, 1985, **48**:579—629
- [7] Giacconi R *et al.* Grazing-incidence telescopes for X-ray astronomy. *Space Sci. Rev.*, 1969, **9**(1):3—57
- [8] Giacconi R *et al.* EINSTEIN (HEAO-2) X-ray observatory. *Ap. J.*, 1979, (230):540—550
- [9] Acton L *et al.* The soft X-ray telescope for the Solar-A mission. *Solar Phys.*, 1991, **13**:37—67
- [10] Bornmann P L *et al.* The GOES solar X-ray imager: overview and operational goals. *SPIE Proceedings: GOES 8 and beyond*, 1996. **2813**:309—319
- [11] Golub L. Solar-B X-ray telescope (XRT) concept study report. NASA/DRD 867MA-001

THE DEVELOPMENT AND STATUS OF SPACE X-RAY IMAGING TELESCOPE

LI Baoquan^{1,2} ZHU Guangwu¹ LIN Huaan¹ WANG Shijin¹ PENG Jilong¹

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

²(Graduate School, The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

With the development of space technique, the space systems are becoming more and more complicated, but they are more and more susceptible to space weather. Consequently, space weather forecast is being widely researched in the world. The great impacts on the normal life of human made by space weather are presented in this paper. The importance about solar X-ray imaging in space weather forecast is expatiated on. The fundamental principle, the principal design and the instrument characteristics of celestial and solar X-ray grazing imager operating successfully in space are introduced. The principal technical indices of solar X-ray imaging telescope (SXIT) which is being developed in China are presented. The SXIT integrates the gracing incident telescope and the normal incident telescope and operates in the 0.4—10 nm X-ray band interval and the 19.5 nm EUV band. It can provide the high resolution solar disk imaging for its 45 arcmin field of view and 5 arcsec spatial resolutions. The SXIT is the newest solar storm monitor at present. The SXIT extends the temperature response to the coronal plasma and enhances the sensitivity to the coronal plasma with lower temperature, so more signatures and precursors of the solar eruption can be observed by the SXIT. The SXIT is dedicated to domestic space weather forecast. It will firstly fly on the FY-4 serial meteorological satellites that operates on a geostationary orbit, so real-time data for space weather forecast can be obtained 24 hours per day. The SXIT will greatly enhance the ability of the domestic space weather forecast and the research of solar physics if it operates successfully on orbit.

Key words Space weather forecast, X-ray imaging telescope, Solar activity