

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2015.02.06

准直型空间 X 射线望远镜本底研究概述

李 刚, 谢 斐, 张 娟, 宋黎明

(中国科学院 高能物理研究所, 粒子天体物理重点实验室, 北京 100049)

摘要: 以准直型空间探测器的本底估算为主要内容, 结合我国在研的硬 X 射线调制望远镜, 介绍了轨道环境对望远镜本底水平的影响, 总结了空间望远镜常用的本底估算方法和硬 X 射线调制望远镜将考虑的本底估算方法。最后结合硬 X 射线调制望远镜研制工作, 简要阐述了本底模拟流程和本底分析结果。

关 键 词: 空间环境; 空间 X 射线本底; 本底估算; HXMT

中图分类号: P171 **文献标识码:** A

1 引 言

天文学是以观测为基础的学科。随着探测技术的发展, 天文观测已从最初的光学波段扩展至红外、紫外、X 射线、 γ 射线的全波段观测, 并且通过探测宇宙线、中微子、引力波等多种载体的信息来进行天文学研究。由于地球大气对 X 射线的吸收, X 射线波段的探测只能通过气球或者空间平台在外太空进行, 这导致 X 射线探测设备直接暴露在恶劣的空间辐射环境中。空间环境中主要的辐射成分包括弥散 X 射线、宇宙线粒子及其与大气作用产生的次级粒子、太阳辐射等。空间环境中的辐射粒子通过直接或者间接作用, 在探测器敏感材料上产生信号, 这部分信号和目标天体源在探测器上的响应信号混在一起, 形成观测数据。这些非目标源的信号会影响目标天体源的能谱、时变和成像等探测结果。

在空间 X 射线天文探测中, 我们无法改变观测对象 (天体源) 的性质和空间的实验环境, 只能通过仪器设计和观测设计来尽可能降低空间辐射环境对探测过程的影响, 并且在后期数据分析时尽可能多地剔除掉这些空间环境事例的影响。即使这样, 对空间环境事例的扣除也不可能做到百分之百。我们把空间辐射环境诱发、仪器抑制不掉、后期数据分析无法剔除的探测器事例称为本底 (本文中本底的描述不包括探测器本身的热噪声、电子学噪声等成分)。

收稿日期: 2014-08-01; 修回日期: 2015-03-04

资助项目: 973 项目 (2014CB845800); 国家自然科学基金 (11403026); 中国科学院空间科学战略性先导科技专项 (XDA04010300)

通讯作者: 谢斐, xief@ihep.ac.cn

本底的存在会降低信噪比,从而降低空间观测器的灵敏度。空间本底不仅取决于空间环境,还和探测器的设计及运行有关,同时也和空间环境与探测设备的相互作用有关。因此,不同的空间 X 射线探测设备,本底水平是不同的。而且,由于空间环境会受到太阳活动、地磁场变化的影响,因此,即使对同一个空间 X 射线探测器,在不同时期、不同的轨道位置处,其本底水平也不同。本底在不同时间尺度上的变化可能完全没有规律,随时间也会剧烈地变化,不能用理论期望值简单代替,但是仍需通过一定的方法估算出本底的影响并予以扣除,这样才能保证得到真实可靠的天体源性质。

不同类型的望远镜,其本底估算方法也不相同。对于成像型望远镜,如 Chandra^[1]、XMM-Newton^[2]、Suzaku/XRT-XIS^[3]等,可直接选取目标源附近的无源区域数据来得到本底。对于编码孔径类型的望远镜,如 INTEGRAL^[4],可通过解码直接得到源和本底的贡献。对于准直型望远镜,估算本底一般有两种方法:(1)直接方法,又可称为 On-Off 方法,即利用 On-Off 模式对本底进行直接观测,交替对源和源周围区域进行观测,源周围区域的观测数据即为本底数据,如 RXTE/HEXTE^[5];(2)间接方法,根据空间环境、科学数据和工程数据的相关性来构造经验函数,从而估算本底,如 Ginga/LAC^[6]、RXTE/PCA^[7]、Suzaku/PIN-GSO^[8]。一般结合地面模拟结果和在轨观测数据并进行分析,可得本底估算的函数形式和参数。

质量模型方法,是卫星升空前对探测器性能和本底水平预估的重要方法。目前,通过构建完整的仪器质量模型,采用与空间辐射环境相当的粒子辐射环境,模拟粒子与探测器物质的相互作用过程,追踪粒子的径迹,从而得到探测器重要部件中的本底计数和能谱等信息。在探测器升空前估算本底,这对于望远镜灵敏度的估算、轨道的选取、空间和载重限制下物理设计的优化,以及科学数据的处理等都非常有益。

一般而言,本底模拟计算需要多个环节的知识,即空间辐射环境、望远镜质量模型、相互作用模型和探测信号读出等。随着各种空间探测设备相继升空,如 AMS01^[9]、INTEGRAL^[10]、XMM-Newton^[2]等,人们对空间环境的认识日益深入,物理学和计算机的发展使得粒子与物质相互作用可以进行过程和粒子轨迹跟踪,这些使本底估算方法和精度都有很大提高。为了能够比较全面地开展本底研究,为空间 X 射线天文探测提供帮助,本文将对准直型空间 X 射线天文望远镜的本底研究做详细介绍,并结合我国目前正在研制的硬 X 射线调制望远镜 HXMT (Hard X-ray Modulation Telescope)^[11],介绍空间天文探测的本底模拟方法和过程。

文章安排如下:第 2 章对空间辐射环境做简要分析,总结空间环境的探测进展;第 3 章简单说明准直型望远镜的本底抑制设计及其工作原理,并介绍不同机制产生的不同本底类型;第 4 章首先介绍本底估算的发展过程,然后举例说明目前常用的几种在轨本底处理方法;第 5 章将以 HXMT 为例,介绍本底模拟计算的流程和现阶段的模拟结果,并简单说明本底水平和探测灵敏度的对应关系;最后对全文进行总结。

2 空间环境分析

空间辐射环境从成分上来讲,主要包括原初宇宙线粒子、弥散 X 射线、太阳耀发质子事

件、原初宇宙线与大气作用产生的次级粒子等。由于卫星轨道的不同, 这些成分对本底的贡献也不同, 特别是对于低轨卫星, 经过 SAA (South Atlantic Anomaly) 区域所持续的时间, 对本底水平的影响很大。下面简要介绍这几种本底成分及其能谱。

2.1 原初宇宙线粒子

宇宙线是指来自地球之外的高能带电粒子, 目前认为其来源有 SNR (Supernova Remnant)、河外源^[12,13]和太阳等^[14,15]。其主要成分是质子, 其次是 He 核, 其余为其他重核和电子^[16]。目前, 宇宙线探测也在地面、气球和空间探测等领域展开。

太阳系外的星际宇宙线粒子在进入太阳系时受到太阳风的影响, 太阳风阻止部分低能量的星际宇宙线进入太阳系, 这一作用称为太阳调制。太阳调制前后星际宇宙线强度的关系可由力场近似模型给出^[17], 表示为:

$$J_{\text{obs}} = \frac{E^2 - m^2}{(E + |Z|\Phi)^2 - m^2} \times J_{\text{LIS}}(E + |Z|\Phi), \quad (1)$$

其中, $J_{\text{LIS}}/J_{\text{obs}}$ 代表调制前/后的宇宙线粒子流量, E 是宇宙线粒子的总能量, m 是该粒子的静质量, Φ 是反映太阳活动强弱的势, 其值可能与距离太阳的远近和所处的具体空间位置有关^[18]。由于太阳活动有周期性变化, 所以太阳调制的强度也会呈现周期性的变化。根据太阳活动不同时对宇宙线的观测数据, 可以给出太阳调制参数 Φ 的变化区间, 约为 200~1400 MV^[19]。太阳调制主要对约 10 GeV/Z 以下的宇宙线粒子有作用。

本文中, 我们称到达地球大气层顶的星际宇宙线为原初 (初级) 宇宙线粒子。由于地磁场的存在, 原初宇宙线粒子在地球周围的空间中要受到地磁场的偏转。定义磁刚度为单位电荷的动量, 磁刚度相同的粒子, 在地磁场中的运动相同。在某一地磁纬度处, 从无穷远来处的带电粒子, 必须具备一定的磁刚度值 (该方向的地磁截止刚度), 才能沿某一方向入射到地球; 低能的宇宙线粒子将不能到达地球, 而被直接偏转出去。由于地磁场近偶极分布, 在赤道区域, 宇宙线粒子需要较大的磁刚度才能克服地磁场的作用到达探测器; 而在极区, 低磁刚度的宇宙线也可以顺着磁场进入地球。因此地磁截止刚度随地磁纬度变化, 宇宙线粒子的强度也是如此。我们把宇宙线粒子流量受地磁场影响的效应称为地磁刚度调制。

综合以上对原初宇宙线影响的因素, 通过拟合 Database of Charged Cosmic Rays^[20,21] 数据库内的数据, 得到原初宇宙线质子能谱 (单位为 $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{GeV}^{-1}$):

$$\frac{dN}{dE} = \begin{cases} e^{-0.3358 \times (\lg E)^2 + 1.319 \times \lg E + 6.419} \times E^{-2.0}, & 0.1 < E < 10 \text{ GeV} \\ 8262 \times E^{-0.5994} \times E^{-2.0}, & 10 < E < 1000 \text{ GeV} \end{cases}. \quad (2)$$

2.2 SAA 区

地磁场分布有一个很特殊的区域, 在该区域内磁场强度低而辐射强度极高, 这是由于地球偶极磁轴相对于地球自转轴的偏移和倾斜, 以及地磁场本身的影响而形成^[22]。该区域中心约位于 W45°, S30°, 整体尺度从 E15° 到 W120°, 称为南大西洋异常区 SAA (South Atlantic Anomaly)^[23,24]。由于磁场总强度较低, 约为同纬度正常区域磁场 1/2, 粒子可以到达更接近地球的位置, 因此其荷电粒子的辐射流量很大。一般的 X-ray 空间探测器在经过

SAA 区时都要关机。尽管如此, 由于 SAA 区荷电粒子的流量和能量都很高, 会使仪器中含有的一些元素发生活化。一些活化元素产生的放射性衰变的半衰期较长, 即使在探测器经过 SAA 区之后, 正常开机工作期间仍会贡献本底^[25]。通过拟合 SPENVIS^[26] (ESA's Space Environment Information System) 数据库中的数据, 获得卫星经过 SAA 区能谱 (单位为 $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MeV}^{-1}$):

$$\frac{dN}{dE} = 26\,657.6 \times E^{-1.9419}, \quad 100 < E < 400 \text{ MeV} \quad . \quad (3)$$

2.3 大气反照

宇宙线与地球周围大气发生作用, 此过程产生的各种次级成分统称为大气反照成分, 包括次级宇宙线粒子、大气反照光子和大气反照中子等。次级宇宙线粒子对探测器本底的贡献很小, 以下主要介绍大气反照光子和中子。

大气反照光子是宇宙线与地球大气相互作用产生的 X 射线辐射。产生机制有两类: (1) 由宇宙线粒子与地球大气作用产生的介子发生衰变; (2) 次级电子的韧致辐射^[27]。因此, 大气反照光子流强与天顶角、大气深度有很强的相关性。当大气深度小于 $100 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时, 垂直向下 (指向地球) 的流量基本正比于大气深度, 而垂直向上 (指向天顶) 的流量基本不变^[27]。通过结合已有大气反照光子向上方向能谱测量结果^[28,29], 地球大气的发射系数^[30]和地球大气模型^[31], 可以得到大气反照光子的能谱 (单位为 $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{MeV}^{-1}$):

$$\frac{dN}{dE} = \begin{cases} 1010 \times E^{-1.34}, & 1 < E < 20 \text{ MeV} \\ 7290 \times E^{-2.0}, & 20 < E < 100 \text{ MeV} \end{cases} \quad . \quad (4)$$

大气反照中子主要由高能宇宙线与大气作用产生, 它的流量随高度、地磁纬度, 以及与天顶角的夹角不同而变化。大气反照中子能谱可以由分段幂律函数拟合获得^[32], 形式如下 (单位为 $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MeV}^{-1}$):

$$\frac{dN}{dE} = \begin{cases} 7.95 \times 10^8 \times E^{0.7}, & 10^{-9} < E < 10^{-7} \text{ MeV} \\ 0.0357 \times E^{-0.7778}, & 10^{-7} < E < 10^3 \text{ MeV} \end{cases} \quad . \quad (5)$$

2.4 弥散 X 射线

弥散 X 射线包括宇宙弥散 X 射线背景 (CXB, Cosmic X-ray Background)、银河系弥散 X 射线、Local hot bubble 和太阳风电荷交换 (SWCX, Solar Wind Charge Exchange)。目前一般认为 CXB 是银河系外未分辨的点源 (主要是 AGN) 的贡献^[33]。银河系弥散 X 射线主要来自银河系中的宇宙线粒子 (包括银盘和银晕中的) 与星际介质和辐射场相互作用的产物。一般认为 Local hot bubble 是太阳系附近的一颗 SNR, 其内的热气体辐射弥散 X-ray^[34]。太阳风电荷交换 SWCX, 是高能带电粒子在太阳风层顶与低能的中性原子相互作用将电荷转移到低能的中性原子上, 从而变成高能中性粒子的过程。在这一过程中伴随着电子级联, 会在大概 2 keV 以下有线谱的贡献^[35]。CXB 可贡献较硬的光子, 后三者主要在软光子能段占主导。目前的观测表明, CXB 强度基本不随时间变化, 空间分布近似各向同性, 能谱近似

为幂律谱^[36,37], 形式如下 (单位为 $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{MeV}^{-1}$):

$$\frac{dN}{dE} = \begin{cases} 0.54 \times E^{-1.4}, & E < 0.02 \text{ MeV} \\ 0.54 \times E^{-2.38}, & 0.02 < E < 0.1 \text{ MeV} \\ 0.54 \times E^{-2.3}, & E > 0.1 \text{ MeV} \end{cases} . \quad (6)$$

依据本节的空间环境成分分析, 空间 X 射线探测器本底主要来源于 X 射线和粒子。X 射线主要包括宇宙弥散 X 射线和地球大气反照 X 射线; 粒子主要指原初宇宙线粒子、大气反照次级粒子、太阳耀发质子等。它们通过与卫星作用, 产生 X 射线本底。

对不同轨道高度的空间 X 射线探测器, 诱发本底的主要空间辐射成分是不同的。对于低轨道卫星, 地磁场阻挡了大部分较低能的宇宙线荷电粒子流量, 同时由于轨道较低, 距离大气层近, 高能宇宙线与大气作用的反照成分相对高轨道空间环境要多^[38]。以 RXTE 卫星为例, 它的轨道高度 580 km, 轨道倾角 23° , 属于一颗低轨卫星, RXTE 需要重点考虑的背景成分包括宇宙弥散 X 射线、宇宙线带电粒子和反照成分^[5,7]。对于高轨卫星, 轨道环境中背景粒子成分比重与低轨不同, 高轨中的宇宙线粒子本底总体水平较大, 大气次级粒子诱发的本底基本可以忽略, 但是太阳本身的耀发对本底的影响较大。以 XMM-Newton 卫星为例, 它的椭圆轨道近地点 7000 km, 远地点 114000 km, 轨道倾角 40° , 属于一颗高轨卫星, XMM-Newton 需要重点考虑的背景成分包括太阳耀发产生的质子、宇宙线质子、视场内 AGN 产生的硬 X 射线光子以及弥散的软 X 射线光子^[39]。

由于 HXMT 轨道高度为 550 km, 轨道倾角 43° , 属于一颗低轨卫星。在做 HXMT 本底模拟时, 针对卫星的轨道环境, 我们重点考虑原初宇宙线粒子、弥散 X 射线、大气反照光子和中子等背景成分, 以及 SAA 区域荷电粒子诱发的本底。

3 本底产生机制

在空间探测中, 望远镜的灵敏度可用下式计算:

$$F_{\min} = n_{\sigma} \cdot \frac{\sqrt{B \cdot A_{\text{det}}}}{\varepsilon \cdot \eta \cdot A_{\text{eff}} \cdot \sqrt{T_{\text{int}} \cdot \Delta E}} , \quad (7)$$

其中, n_{σ} 表示显著性, T_{int} 为观测时间, ε 为光子的探测效率, η 为源观测时间所占的比例 (通常取 50%), A_{eff} 为光子的有效接收面积, ΔE 为工作能量段, B 为本底, A_{det} 表示和本底相关的探测面积。望远镜的灵敏度 F_{\min} 同时取决于 A_{det} 、 T_{int} 、 ε 和 B 。在其他条件相同的情况下, 抑制探测器的本底水平相当于增加了探测器面积或观测时间。点源观测的定位精度、角分辨率与信噪比密切相关; 信噪比越高, 对同样强度的源的定位精度、角分辨率越好。

降低本底能够提高灵敏度。在空间天文探测中采取多种措施降低本底的影响, 以准直型探测器为例, 通过准直器限制视场的大小来减少探测器的孔径本底, 通过荷电粒子敏感探测器的反符合去除荷电粒子的影响等, 这些主动屏蔽和被动屏蔽措施有效地降低了本底。但是, 由于高能粒子和准直器、探测器相互作用的产物非常复杂, 会形成二次辐射, 还会造成某些材料的活化形成持续辐射, 这都是本底的重要来源, 需要认真研究。

本章首先简单介绍准直型望远镜的本底抑制设计及其工作原理，然后从准直型望远镜的整体结构出发，仔细分析空间环境粒子与探测器及其物理构件的相互作用过程，估算由于不同的机制和过程而产生的不同本底。

3.1 准直型望远镜设计

一般情况下，准直型望远镜的主要物理结构分为被动屏蔽、主动屏蔽和主探测器三个部分，如图 1 (a) 所示。

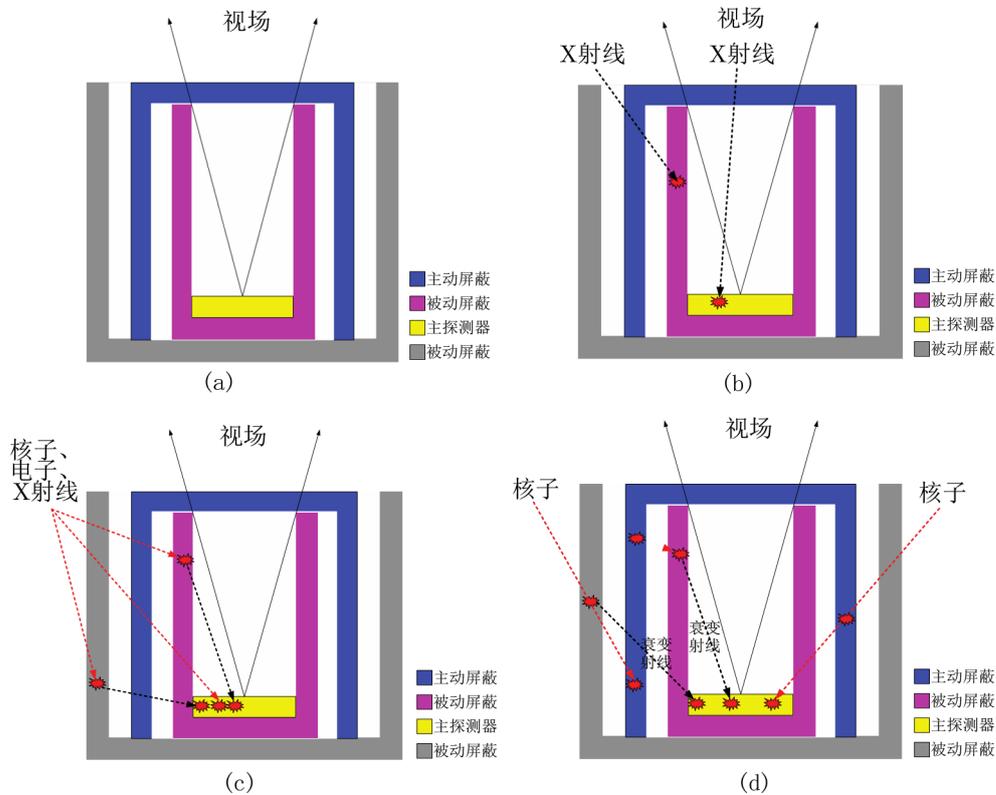


图 1 准直型探测器结构及本底示意图

(a) 准直型探测器结构示意图; (b) 孔径本底; (c) 泄漏本底; (d) 延时本底。

3.1.1 被动屏蔽设计

被动屏蔽主要是利用铅、钨等对 X 射线质量吸收系数较大的材料形成准直器，以阻挡视场之外的粒子以及非源方向 X 射线光子的入射，直接减少本底的产生。但是，被动屏蔽材料也是高能宇宙线发物理作用产生低能次级射线的来源。所以采取被动屏蔽时，材料越厚越多，屏蔽效果不一定越好；屏蔽材料过厚过多，有时反而导致本底增加。

3.1.2 主动屏蔽设计

主动屏蔽利用几种探测器的联合工作来记录高能粒子的入射，并利用反符合原理将高能粒子的影响从观测数据中去除。主动屏蔽探测器一般采用塑料闪烁体探测器，它对荷电粒子

的探测效率高,可以有效地抑制高能宇宙线荷电粒子引起的本底。当荷电粒子穿过闪烁体材料时,主动屏蔽探测器产生脉冲信号,在脉冲信号触发时间为起点的某段持续时间内,主探测器的信号被符合掉,或者对主探测器记录的事例作标记。主动屏蔽探测器信号的处理时间不能太长,否则在高计数率时会产生长的死时间,导致观测效率大幅降低。

3.1.3 主探测器设计

主探测器用来探测 X 射线光子能量,记录 X 射线光子的到达时间。常用的主探测器有闪烁体探测器 (RXTE/HXTE、Fermi/GBM)、半导体探测器 (SUZAKU/XIS、XMM、Chandra) 和气体探测器 (BeppoSAX、RXTE/PCA、ROSAT) 等。它们一般和主动屏蔽、被动屏蔽结合使用,在尽可能抑制本底的同时,完成对目标源的探测。

HXMT 卫星上有 4 种有效载荷,分别为高能探测器 (HE)、中能探测器 (ME)、低能探测器 (LE) 和空间环境探测器 (SEM)。为限制视场、降低空间本底,HE、ME 和 LE 前端都设计了准直器。HXMT/HE 主探测器由 NaI/CsI 复合晶体组成,这样的设计将有效抑制高能 X 射线的康普顿事例,另外也可以通过 CsI 信号有效地抑制来自卫星背面粒子引起的本底事例。在 HXMT/HE 主探测器的顶面和侧面包裹反符合屏蔽探测器 (主要材料是塑料闪烁体),可以很好地抑制从顶面和侧面来的高能宇宙线荷电粒子引起的本底。HXMT/ME 和 HXMT/LE 都是单层探测物质,没有主动屏蔽系统,仅有被动屏蔽 (准直器、机箱等),但它们可以通过排除高能荷电粒子引起的同时刻多触发事例的办法有效地抑止本底事例。

3.2 本底种类分析

探测器在空间运行时,空间环境粒子和探测器及其物理构件之间发生非常复杂的相互作用,同时产生不同种类的本底。为便于进一步的讨论,将本底分类为孔径本底 (见图 1 (b))、泄露本底 (见图 1 (c)) 和延时本底 (见图 1 (d))。

3.2.1 孔径本底

孔径本底是指由准直器视场入射到主探测器上并被探测记录的背景粒子事例,和视场大小 (更确切地说是探测器的几何因子) 成正比。通常情况下,准直型望远镜的视场都比较小 (如 RXTE/HXTE, $1^\circ \times 1^\circ$; HXMT/HE, $1.1^\circ \times 5.7^\circ$), 空间背景粒子中,除 X 射线外的其他粒子透过孔径的流量微乎其微。因此,孔径本底一般指 X 射线的孔径本底。当空间探测器背地指向时,主要是宇宙弥散 X 射线引起的本底; 当对地指向时,主要是大气反照 X 射线引起的本底。

3.2.2 泄露本底

泄露本底是指背景粒子或者背景粒子与屏蔽材料发生作用产生的次生粒子 (主要是 γ 射线、电子、核子等) 穿透屏蔽物质,没有被反符合屏蔽探测器记录,而被主探测器探测到的背景粒子事例。

泄露本底和屏蔽材料的厚度、主动屏蔽的符合时间有关。屏蔽材料太薄,低能粒子的穿透性本底变大,屏蔽效果不好; 材料太厚,产生的次生粒子太多,屏蔽材料反而成了背景粒子的产生源,同时,载荷又受到最大载重的限制,不能无限制地增加屏蔽厚度。主动屏蔽的符合时间过长,会造成较大的死时间,观测效率降低; 符合时间太短,受到粒子输运过程导

致的时间延迟、短时标的粒子衰变(微秒量级)等因素的影响,延时本底又会增加。

因此,合理地优化屏蔽厚度和符合时间,是至关重要的。为了使望远镜有预期的科学产出,后者更为重要。

3.2.3 延时本底

空间环境粒子与探测器及其物理构件的相互作用会持续一段时间,在主动屏蔽系统触发后,有些相互作用在主动屏蔽的符合时间窗外仍然会产生一些辐射,这些被主探测器探测到的事例称为延时本底。延时本底主要是由宇宙线高能核子、辐射带高能质子和大气反照中子引起的。根据延时本底的定义,其来源可分为两种情况:

(1) 衰变成分。第一,主探测器物质本身被活化,通过 α 、 β 、 γ 衰变产生次生粒子,其衰变时间长于主动屏蔽的符合时间,被主探测器探测到;第二,主探测器临近的物质被活化,衰变产生的荷电粒子自由程短,很快被吸收,而衰变产生的 γ 射线很容易穿过屏蔽材料,其衰变时间长于主动屏蔽的符合时间,被主探测器探测到;第三,产生的不稳定粒子,如 π 介子,其衰变时间长于主动屏蔽的符合时间,衰变后的次生粒子被主探测器探测到。

(2) 延迟成分。背景粒子本身或者产生的次生粒子由于能量较低,其输运过程很慢,即便传播载荷外围这样的尺度所需时间也已经超过主动屏蔽的符合时间,而這些事例最终又被主探测器探测到。

延时本底与探测器的探测物质相关性很强,对于高 Z 值物质,延时本底所占的比例通常很大,因为高 Z 值原子的核作用截面更大,次生核素也更复杂。但是,为了对高能段 X 射线有更高的探测效率,采取高 Z 值的探测材料又是无法避免的。这就需要在探测效率和本底之间仔细权衡,尽量使仪器达到最好的工作状态。

4 空间本底估算方法

在引言中已经提到,不同类型的探测器在轨本底处理方法是不同的,尤其对准直型探测器而言,其本底处理过程更为复杂。本章中,我们将以准直型探测器为例,结合空间本底估算方法的发展过程,重点介绍在轨运行前和在轨运行后的本底估算方法。

4.1 本底模拟

在空间探测器升空前,一般需要预先估算望远镜的在轨本底水平,用于为仪器设计、性能结构优化、探测能力估算等提供参考,并估算探测器的灵敏度。由于没有实际的在轨观测数据,我们称探测器在轨运行之前的本底估算为本底模拟阶段。

在空间 X 射线探测发展初期,由于无法定量描述复杂的物理过程,再加上对空间辐射环境中宇宙线、大气中子等成分的流量和能谱认识水平有限,没有准确估算仪器本底水平的方法,而只能采用一些自上而下的半经验方法^[40]。所谓半经验方法是通过分析已在轨的探测器探测到的本底数据,得到空间本底能谱,进而用于新研制的 X 射线探测器。这种方法得到的本底估算值受当时探测技术的限制,非常粗略,往往与后来的测量值存在很大的出入^[41]。实际上,即便已经知道产生本底的辐射源及其能谱流量等信息,由于复杂的物理过程难以定量

化,也很难将本底测量结果与环境输入信息准确地联系起来。随着粒子物理、计算机技术和编程技术的发展,人们可以快速准确地模拟高能粒子与物质的相互作用,并建立一种自下而上的完全基于物理过程的本底估算方法^[41]。

目前,比较通用的本底模拟方法是质量建模方法(Mass Modeling Techniques)^[41]。质量建模方法是通过蒙特卡罗模拟软件,在计算机中构建一个详细的探测器模型,采用与空间辐射环境相当的粒子辐照,模拟粒子与探测器物质的相互作用,追踪粒子的径迹,从而准确地得到探测器敏感材料上的计数率和能谱变化等信息。这比之前采用的半经验方法,要准确得多。基于物理过程的质量建模技术已经应用于空间 X 射线天文探测的各个方面:仪器优化设计、灵敏度估算、电子学系统的设计、科学运行计划的制定和优化、辐射环境对仪器损伤和限制的估算、仪器的标定,以及得到响应矩阵、数据分析软件设计测试优化等。

值得说明的是在蒙特卡罗模拟软件发展初期,由于不同软件的局限性和针对性,单一软件不能完全满足对天文望远镜的本底水平模拟计算。需要将已有的不同蒙卡模拟软件进行相互补充,以弥补单个蒙卡模拟软件的缺陷(如 GGOD^[42], MGGPOD^[43], GRESS^[44])。随着各种蒙特卡罗模拟软件的不断发展,其功能也相应地更加完善,甚至一种软件会囊括另外一种低版本软件的所有物理过程。Geant4^[45]就是一种现在相对比较完备的软件,粒子库几乎包含所有的粒子,物理过程包括电磁辐射、强子作用、光学过程、不稳定粒子衰变和同位素衰变等,模拟能区从几百 eV 到几十 TeV,并且有很好的扩展性和移植性,基本可以满足对天文望远镜的本底模拟计算^[46]。在对 HXMT 进行本底模拟时,我们选用的工具正是 Geant4,通过 Geant4 来构建 HXMT 完整的质量模型,并依据卫星的探测能区(1~250 keV)选取合适的物理过程进行模拟。模拟中选用的物理过程是 Geant4 软件包自带的 Shielding 模型^[47],但是对其做了微小的调整,将标准电磁相互作用^[48]改为低能电磁相互作用^[49],这样做的出发点仍是考虑 HXMT 的探测能区。

4.2 在轨本底估算

就准直型探测器而言,在轨本底估算分为直接方法和间接方法。直接方法可以称为 On-Off 方法,间接方法是利用本底和观测数据的关系估算本底。

4.2.1 3 种常用的在轨本底处理方法

(1) on-off 方法

由于准直型望远镜无法区分视场内的源和本底,所以不能如成像望远镜那样选取视场内某一区域作为本底。但是,人们设计了这样一种探测器工作模式:先将仪器指向源的天区,记录源和本底的总计数,然后将仪器指向源附近的一块空天区,记录本底的计数;或者在观测源的同时,部分探测器记录附近天区本底计数。在数据处理过程中,只需将向源观测的数据减去本底计数,便可以得到源的计数,不过,这种方法忽略了本底计数随时间的变化。我们在空间环境分析章节中提到过,本底(尤其是宇宙线本底)随轨道位置变化。如此一来,在向源观测前后,向源观测的时段内探测器所在的轨道不同于本底观测时段的轨道,本底计数也存在差异。因此,用直接的 on-off 方法得到的本底计数存在误差。另外,采用 on-off 观测模式,需要占用部分时间或部分面积对本底进行观测,这将削减探测器向源观测时间。

为了更准确有效地测量源和本底, RXTE/HEXTE 对 on-off 观测模式进行了改进^[5]。在 HEXTE 上设计了两组探测器, 在观测时段内, 一组探测器指向源, 另一组探测器则指向源附近的空天区; 随后将两组探测器的位置进行交换, 指向源的探测器转动去观测空天区, 观测空天区的探测器转动指向源进行观测。如此, 两组探测器交替转动对源和空天区同时进行观测, 有效地减小了本底估算误差。

1983 年 5 月发射升空的 EXOSAT 卫星, 采用另一种 on-off 方法进行本底观测。以 EXOSAT/ME 为例, 一半探测器阵列在对源进行观测时, 另一半探测器阵列观测源附近的空天区。为了修正探测器阵列探测效率的差异, 每隔几个小时进行阵列交换。1985 年 8 月, 由于部分探测器失灵, 改为采用一个或多个探测器直接对空天区观测数个小时以获得本底^[50]。

(2) 背景模型法

为了保证探测器在高粒子流量下的工作安全, 空间卫星都会对空间环境粒子进行监测; 而这些空间环境粒子及其与探测器的相互作用与探测本底有密切的关系。背景模型法就是利用空间环境粒子与本底的关系来估算本底的一种方法, 这种方法是准直型望远镜常用的本底估算方法, 如 Ginga/LAC^[6]、RXTE/PCA^[7]等均采用该方法。背景模型法通过制定专门的探测器在轨观测计划, 对探测器轨道空间的背景进行观测; 然后结合观测数据和本底相关的粒子流量、种类、能谱等数据, 分析本底随时间和轨道的变化, 构建经验函数, 以用于估算探测器某一观测对应的本底。

第 2 章介绍了 RXTE 卫星在其对应的轨道高度和倾角上所需要考虑的本底成分, 它们都是随时间和位置变化的。PCA 制定观测计划, 对空天区进行观测, 获得总本底计数随时间的变化; 然后通过本底观测数据对模型参数进行拟合, 拟合出来的模型, 即可用于其他观测的本底估算。但是像 CXB 在 PCA 观测能段的涨落, 在模型中无法反映^[7]。

(3) 背景数据库法

如果在轨本底变化因素不多, 可以利用 Suzaku/XIS 使用的背景数据库法^[51,52]估算本底: 望远镜在轨后累积本底观测数据, 对任一时期的观测, 可以从本底数据库中, 根据检索参数提取出某次观测时期对应的本底。

Suzaku/XIS 在 2005 年 8 月开始运行, 2005 年 9 月到 2006 年 5 月期间, 通过对暗夜地球观测累积非 X 射线背景 (NXB, non-X-ray background) 数据库 (这部分本底主要由带电粒子和 γ 射线与探测器作用产生), 每个 XIS 累积曝光时间约 785 ks。对暗夜地球观测, 可以借地球遮挡排除弥散 X 射线本底成分和太阳活动的干扰。数据库记录了 NXB 成分随轨道和时间的变化^[51,52]。

4.2.2 针对 HXMT 设计的本底估算方法

对于 HXMT, 会考虑背景模型法和背景数据库法对本底进行估算。但是在轨后模型的拟合以及数据库的构建, 都需要在地面对卫星在轨工作环境进行模拟, 建立初步的模型, 同时需要对卫星在轨观测数据进行分析, 对相关模型进行修改和调整, 并确定模型参数。

接下来简单介绍两种针对 HXMT 特殊设计而适用的本底估算方法。

(1) 组合视场法^[53,54]

利用全遮挡探测器、大视场探测器和小视场探测器视场大小的不同来直接求解本底。三种探测器的材料和大小等其他方面都完全相同, 唯一不同之处是视场的大小。全遮挡探测器反映除孔径本底外的其他本底的总计数; 大、小视场计数的差别, 反映了弥散 X 射线本底的贡献。

$$\text{全遮挡模块的总计数 } C_C = n_C \times t \times f_p,$$

$$\text{小视场模块的总计数 } C_S = n_S \times t \times (f_s \times A + f_{\text{CXB}} \times \text{FOV}_S + f_p),$$

$$\text{大视场模块的总计数 } C_L = n_L \times t \times (f_s \times A + f_{\text{CXB}} \times \text{FOV}_L + f_p)。$$

其中 C_C 、 C_S 、 C_L 分别是全遮挡模块、小视场和大视场观测到的总计数; n_C 、 n_S 、 n_L 分别是各个视场探测器模块的个数; t 是总的有效观测时间; A 为每个探测器模块的有效面积; FOV_S 、 FOV_L 分别是小视场和大视场探测器的视场大小; f_s 是源的流强; f_{CXB} 是孔径本底的计数率, 主要来自弥散 X 射线的贡献; f_p 是非孔径本底在每个探测器模块中的计数率, 主要来自宇宙线粒子的贡献。

(2) 偏轴观测法^[53,54]

将目标源置于偏离视场中心位置, 利用不同探测器视场方向 (即准直器长边方向) 的差异, 达到同时向源观测和本底观测的目的。以 HXMT/HE 探测器为例来对偏轴观测的工作模式进行说明。15 个小视场探测器根据准直器方向分为 3 组。在偏轴观测模式下, 通过对望远镜指向和姿态的调整, 使得一组探测器接收到源和本底信息; 另外两组由于 PSF (Point Spread Function) 的影响, 源在其视场中的计数几乎为零, 因此它们只接收到本底信息。从本质上来说, 偏轴观测法和 on-off 方法没有什么差异, 都是同时观测源和背景数据, 以快速求解目标源的流量。

5 HXMT 本底估算

5.1 HXMT 简介

HXMT 是我国在研的空间 X 射线卫星, 预计 2016 年发射升空, 其轨道高度约 550 km, 轨道倾角 43°, 属于一颗低轨卫星。HXMT 上主要的科学载荷有高能探测器 HE (20~250 keV)、中能探测器 ME (5~30 keV)、低能探测器 LE (1~15 keV) 和空间环境粒子监测器 SEM, 都是准直型望远镜。HE 共有 18 个 NaI/CsI 复合晶体探测模块, 包括 15 个小视场 $1.1^\circ \times 5.7^\circ$ 探测器、2 个大视场 $5.7^\circ \times 5.7^\circ$ 探测器和 1 个全遮挡探测器, 总面积为 5000 cm^2 , 能量分辨率 $\leq 19\%$ (60 keV)。ME 和 LE 都是半导体探测器。其设计参数及探测效率如表 1 和图 2、图 3 所示。

5.2 本底估算流程

HXMT 本底模拟估算流程如图 4 所示。主要分为以下几个步骤:

(1) 构建 HXMT 质量模型

构建完整的 HXMT 质量模型, 包括高中低能望远镜、反符合屏蔽探测器、空间环境监测

表 1 HXMT 各载荷主要设计参数

	HE	ME	LE
探测器类型	NaI(Tl)/CsI(Na) 复合晶体探测器	Si-PIN	SCD (CCD236)
探测面积/cm ²	5000	952	384
观测能区/keV	20~250	5~30	1~15
视场	15 个 1.1° × 5.7° 单体, 分 3 组, 彼此主轴成 60° 夹角; 2 个单体 5.7° × 5.7°, 1 个单体 1.1° × 5.7° 顶部全覆盖	15 个 1° × 4° 准直器、2 个 1° × 4° 和 1 个 1° × 4° 全遮挡准直器, 3 个组件长边方向成 60° 夹角	20 个 1.6° × 6° 准直器、6 个 4° × 6° 准直器、2 个 1.6° × 6° 和 4° × 6° 全遮挡准直器、2 个 60° × 2.5° 准直器, 其中 60° × 2.5° 的 1 个单元的面积相当于 2 个其他单元的面积。3 个组件长边方向成 60° 夹角
能量分辨率	≤19% (60 keV)	≤15% (20 keV)	≤8% (6 keV)
时间分辨率/μs	≤25	≤0.001	≤0.001

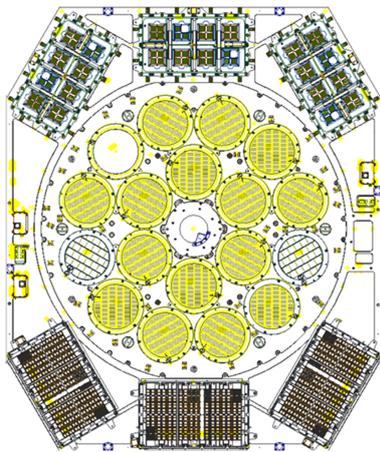


图 2 HXMT 准直器分布

中间 18 个高能探测器, 准直器的方向分 3 组, 彼此主轴成 60° 夹角; 上面是 3 个低能探测器, 下面是 3 个中能探测器, 各自以 60° 夹角摆放

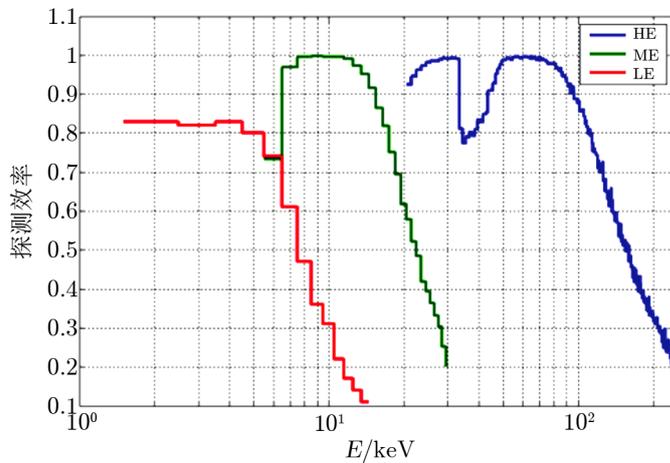


图 3 HXMT 各载荷探测效率曲线

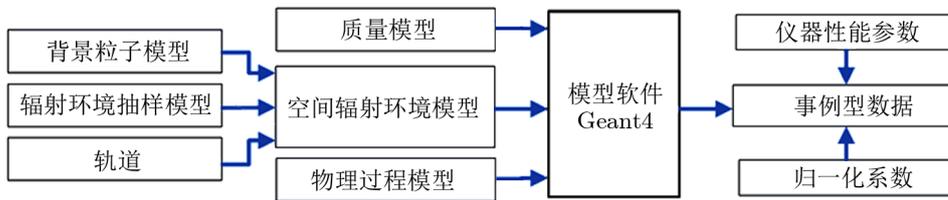


图 4 本底模拟流程图

器、遮阳板、星敏以及卫星平台(服务舱、载荷舱和燃料罐)。在构建质量模型时,敏感探测器及其周围的屏蔽结构尽可能精细,而远离敏感探测器的元素,例如卫星平台,可以对其复杂的结构进行简化,但是需要保持其体积、质量接近真实值。另外重要的一点是准确地定义探测器各部件的材料,这对模拟结果会有决定性的影响。

(2) 构建空间辐射环境数据库

HXMT 是一颗低轨卫星,需要考虑的背景成分包括原初宇宙线粒子、弥散 X 射线、大气反照光子和中子,以及 SAA 区域荷电粒子诱发的本底。它们的能谱在第 2 章有详细介绍。通过从能谱抽样,得到入射粒子的信息,与探测器发生相互作用。目前的模拟结果仅考虑空间相对位置的本底变化。我们通过对卫星运行时间求平均,获得空间相对位置的本底水平。

(3) 选择相互作用模型

我们采用的物理相互作用模型是 Geant4 中适用于空间天文模拟的 shielding 模型^[47],包括强相互作用、电磁相互作用,同步辐射、衰变、电离等物理过程。在此基础上添加放射性衰变和输运过程,并将标准电磁相互作用改为低能电磁相互作用(为了在低能端得到更精确的模拟结果)。

(4) 分析模拟数据,得到探测器本底水平

有了前面三步的基础,可以通过 Geant4 软件进行模拟,记录入射粒子在敏感探测器和反符合屏蔽探测器上的能量沉积,作为输出并进行分析。在分析过程中,涉及有效事例的挑选,例如在敏感探测器上沉积能量的有效区间(HXMT/HE 的有效区间是 20~250 keV),还包括反符合屏蔽探测器的反符合策略以及反符合时间窗口的选择。最后对本底计数进行归一化,得到本底计数率。通过分析不同本底成分在多个探测器上的响应,可以模拟本底估算方法的精度。

5.3 本底估算结果

5.3.1 HE

根据 2007 年模拟计算结果,HXMT/HE 在轨 100 d 后总的本底水平如表 2 所示^[55]。可见,对 HE 探测器,SAA 区辐射诱发的本底占主导。该表中的本底水平是个平均值,并不反映随轨道和时间的变化。

表 2 旧质量模型下的 HXMT/HE (探测能区 20~250 keV) 总的本底计数率^[55]

本底的主要成分	本底计数率/s ⁻¹
宇宙弥散光子(瞬时孔径)	16.6
宇宙弥散光子(瞬时泄漏)	18.6
大气反照光子(瞬时)	45.3
宇宙线质子和电子及其次级粒子(瞬时)	10.2~14.0
宇宙线质子和次级质子(延时)	3.8~16.2
SAA 区俘获质子(延时)	91.0~155.6
总的本底	185.5~266.3

HXMT/HE 总的本底计数随时间和轨道的变化如图 5 (a) 所示,该图给出了 HXMT 在

轨 10 d、100 d、600 d 时 1 d 内总的本底随时间和轨道的变化。从图中可以看出, HXMT/HE 的总本底随轨道位置的变化而快速变化, 反映本底的轨道调制效应; 经过 SAA 区后, 本底有很大增加, 又快速下降, 说明 SAA 辐射诱发的放射性本底很强, 但衰减时标很短。对比 10 d 到 100 d、100 d 到 600 d 的本底增量的变化可知, 在轨后本底有长时标的增长并逐渐趋于稳定的过程。图 5 (b) 给出了 HE 在轨 100 d 总本底及其成分的能谱图, 可见 SAA 区诱发的放射性本底在各能段都是占主导的。

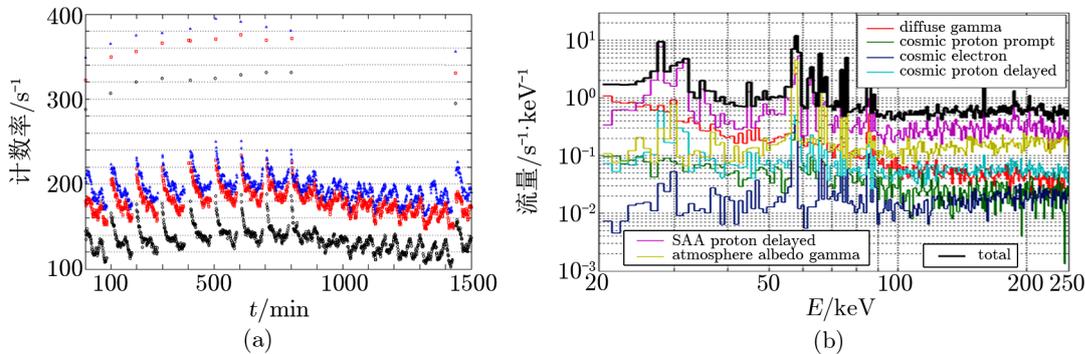


图 5 (a) HXMT/HE 在轨 10 d (黑色)、100 d (红色)、600 d (蓝色) 时 1 d 内总的本底随时间和轨道的变化; (b) HXMT/HE 在轨 100 d 总本底及其成分的能谱图^[55]

需要说明的是, 在 2007 年之后, HXMT 卫星结构发生了较大的改变。反符合探测器由原先设计的 12 块变成了 18 块, 且主要的探测材料塑料闪烁体的厚度也发生了变化。另外由于星敏感器等设备的安装需要, 顶面和侧面的反符合探测器不能做到无缝隙包裹主探测器, 导致反符合效率达不到 100%, 造成空间本底水平的增加。高能探测器的准直器由早先的 18 个统一视场 ($1.1^\circ \times 5.7^\circ$) 更换成现在的 16 个小视场 ($1.1^\circ \times 5.7^\circ$) 和 2 个大视场 ($5.7^\circ \times 5.7^\circ$) 的组合设计。新版质量模型, 不仅重新构建了高能探测器和反符合探测器 (旧版模拟结果是基于这两部分的质量模型), 更新了所使用的材料, 还构建了中低能探测器、星敏、空间环境粒子监测器、遮阳板以及完整的卫星平台, 更加真实地反应卫星在轨本底计数。重新构建质量模型后本底的模拟结果见表 3。入射能谱和之前的模拟基本保持一致, 本底计数的变化主要来自卫星质量模型的变化。

5.3.2 ME 和 LE

ME 的本底主要由宇宙线中的高能质子引起。高能质子的穿透性入射引起的能量沉积在几百 keV 左右, 这可以根据质子在硅中的电离能损曲线粗略计算。考虑到涨落, 能量沉积也会延伸到低能段。高能质子引起的电磁簇射通常同时触发多个硅片, 通过对同时刻多个硅片触发事例的符合, 可以有效抑制本底。

与 ME 相似, 宇宙线中的高能质子也是引起 LE 本底的主要因素。LE 采用扫描式电荷器件 SCD, 一片 SCD 又可分为上千个像素。通过对高能质子引起同一个扫描周期内多个事例的排除, 可以有效抑制本底。

表 3 新质量模型下的 HXMT/HE (探测能区 20~250 keV) 总的本底计数率

本底的主要成分	本底计数率/ s^{-1}
宇宙弥散光子 (瞬时孔径)	9.53
宇宙弥散光子 (瞬时泄漏)	32.79
大气反照光子 (瞬时)	74.21
宇宙线质子和电子及其次级粒子 (瞬时)	61.99
宇宙线质子和次级质子 (延时)	123.37
SAA 区俘获质子 (延时)	282.66
总的本底	584.55

图 6 给出了 ME、LE 总本底及各成分能谱, 包括宇宙弥散 X 射线、反照光子、宇宙线质子、电子和其他带电粒子^[55]。宇宙线质子在总本底中占主导, 但是对 LE 的低能段 (< 5 keV), 本底几乎全部来自弥散 X 射线的贡献。

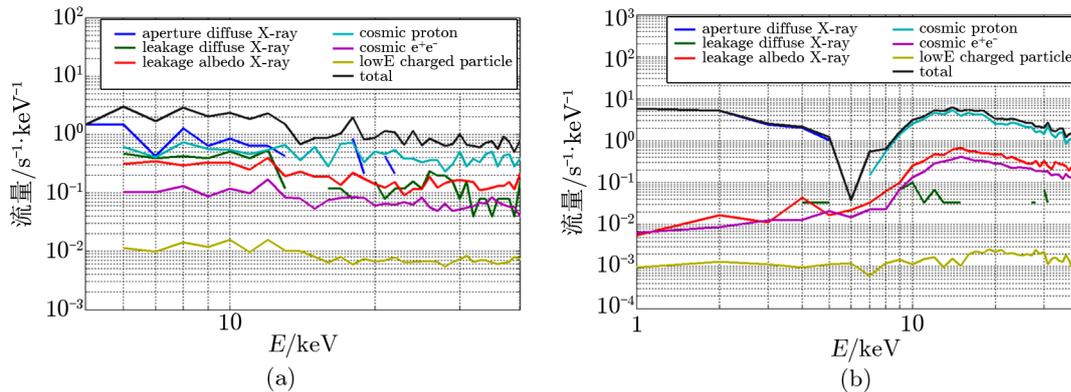


图 6 总本底及其成分的能谱
(a) 为 ME; (b) 为 LE。

需要说明的是, 在模拟过程中, 对 HXMT 材料、设计以及本底模型做出更改, 会引起本底水平的变化。

6 总 结

目前我国正在大力发展空间天文项目, 本底研究是空间 X 射线探测器进行空间探测中的重要环节, 它的准确性直接影响到卫星的灵敏度和科学产出。本文主要针对准直型空间 X 射线探测器的本底研究进行了综述, 首先对空间辐射环境的各种成分进行了阐述; 然后结合空间本底研究的发展历史, 介绍了几种适用于准直型空间 X 射线探测器的本底估算方法; 并针对 HXMT 特殊设计介绍了其适用的组合视场法和偏轴观测法。

HXMT 是我国自主研发的天文卫星, 其搭载高能探测器采用 NaI(Tl)/CsI(Na) 复合晶

体,通过小视场 ($1.1^\circ \times 5.7^\circ$) 和大视场 ($5.7^\circ \times 5.7^\circ$) 准直器对视场外的背景粒子进行屏蔽,并在探测器的顶面和侧面包裹反符合屏蔽探测器,以记录高能带电粒子产生的本底信号。这些屏蔽措施可以很好地降低卫星本底。通过模拟分析,我们可以预估不同本底成分在探测器上的计数率及其能谱,这为后续的在轨本底处理打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] <http://cxc.harvard.edu/>, 2015
- [2] <http://xmm.esac.esa.int/>, 2015
- [3] Hamaguchi K, Petre R, Matsumoto H, et al. PASJ, 2007, 59: 151
- [4] Ferguson C, Barlow E J, Bird A J, et al. A&A, 2003, 411: 19
- [5] Rothschild R E, Blanco P R, Gruber D E, et al. ApJ, 1998, 496: 538
- [6] Hayashida K, Inoue H, Koyama K, et al. PASJ, 1989, 41: 373
- [7] Jahoda K, Markwardt C B, Radeva Y, et al. ApJS, 2006, 163: 401
- [8] Fukazawa Y, Mizuno T, Watanabe S, et al. arXiv, 2009, 0901: 0419
- [9] <http://ams.cern.ch>, 2015
- [10] <http://sci.esa.int/integral/>, 2015
- [11] Li T P. NuPhS, 2007, 166: 131
- [12] Mason G M. RvGeo, 1987, 25: 685
- [13] Biermann P L, Gaisser T K, Stanev T. PhRvd, 1995, 51: 3450
- [14] Klecker B. AdSpR, 1996, 17: 37
- [15] 徐春娴, 朱清棋. 宇宙线入门. 北京: 科学出版社, 1987: 48
- [16] Fichtner H. SSRv, 2001, 95: 639
- [17] Gleeson L J, Axford W I. ApJ, 1968, 154: 1011
- [18] Moskalenko I V, Porter T A, Digel S W. ApJ, 2006, 652: 65
- [19] Shikaze Y, Haino S, Abe K, et al. APh, 2007, 28: 154
- [20] <http://lpsc.in2p3.fr/cosmic-rays-db/>, 2015
- [21] Maurin D, Melot F, Taillet R. A&A, 2014, 569: 32
- [22] Zombeck M V. The Handbook of Space Astronomy and Astrophysics, Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 219
- [23] Gledhill J A. RvGSP, 1976, 14: 173
- [24] Pinto O J, Gonzalez W D, Pinto I R C, et al. JATP, 1992, 54: 1129
- [25] Porras E, Sanchez F, Reglero V, et al. NIMPB, 2000, 160: 73
- [26] <https://www.spennis.oma.be/>, 2015
- [27] Thompson D J. JGR, 1974, 79: 1309
- [28] Imhof W L, Nakano G H, Reagan J B. JGR, 1976, 81: 2835
- [29] Ryan M, Jennings M C, Radwin M D, et al. JGR, 1979, 84: 5279
- [30] Dean A J, Lei F, Byard K, et al. A&A, 1989, 219: 358
- [31] <http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/nrlmsise00.php>, 2015
- [32] Armstrong T W, Chandler K C, Barish J. JGR, 1973, 78: 2715
- [33] Churazov E, Sunyaev R, Revnivtsev M, et al. A&A, 2007, 467: 529
- [34] <http://www.solstation.com/x-objects/chimney.htm>, 2015
- [35] Smith R K, Bautz M W, Bookbinder J, et al. Space Telescopes and Instrumentation 2010: Ultraviolet to Gamma Ray, New York: SPIE, 2010, 7732: 132
- [36] Gehrels N. NIMPA, 1992, 313: 513
- [37] Churazov E, Sunyaev R, Revnivtsev M, et al. A&A, 2007, 467: 529
- [38] 都亨, 叶宗海. 低轨道航天器空间环境手册. 北京: 国防工业出版社, 1996: 402

- [39] Carter J A, Read A M. *A&A*, 2007, 464, 1155
- [40] Dean A J, Lei F, Knight P J. *SSRv*, 1991, 57: 109
- [41] Dean A J, Bird A J, Diallo N, et al. *SSRv*, 2003, 105: 285
- [42] Lei F, Bird A J, Dean A J, et al. *ESASP*, 1996, 392: 97
- [43] Weidenspointner G, Harris M J, Ferguson C, et al. *NewAR*, 2004, 48: 227
- [44] <http://public.lanl.gov/mkippen/gbmsim/gress/>, 2015
- [45] <http://geant4.web.cern.ch/geant4/>, 2015
- [46] 李刚. 硕士论文. 北京: 中国科学院高能物理研究所, 2007: 13
- [47] <http://indico.cern.ch/event/62629/session/7/contribution/26/material/slides/1.pdf>, 2015
- [48] http://geant4.web.cern.ch/geant4/collaboration/working_groups/electromagnetic/physlist.shtml, 2015
- [49] <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Geant4/LowEnergyElectromagneticPhysicsWorkingGroup>, 2015
- [50] https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/exosat/exosat_about.html, 2015
- [51] Hamaguchi K, Petre R, Matsumoto H, et al. *PASJ*, 2007, 59: 151
- [52] Tawa N, Hayashida K, Nagai M, et al. *PASJ*, 2008, 60: 11
- [53] Jin J, Chen Y, Zhang S N, et al. *Chinese Physics C*, 2010, 34: 66
- [54] 金晶. 博士论文. 北京: 清华大学, 2011: 53
- [55] 李刚, 吴枚, 张澍, 等. *空间科学学报*, 2008, 28: 531

Introduction to the Background Study for X-ray Collimated Telescope

LI Gang, XIE Fei, ZHANG Juan, SONG Li-ming

(Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Because the detectors work in a terrible radiation environment outside the earth's atmosphere, the background noises result in a low sensitivity of space telescope. The shielding modules of telescope play an important role in preventing the background noise, such as the collimators, anticoincidence detectors and so on. In addition, with the advance in computer programming capacity and the particle physics processes, method based on simulation makes a lot of achievements in studying the radiation environment.

In this paper we summarize the methods of estimating the background for collimated telescopes. Based on HXMT (Hard X-ray Modulation Telescope), which will be launched at the end of 2015, the influence of space environment on background is introduced. As a low-earth orbit detector, the components of the X-ray background considered for HXMT mainly are primary Cosmic X-rays, diffuse X-ray radiation, atmospheric albedo radiation and radiation belts. Then several background estimation methods are described in detail for HXMT. The background level of HXMT is analyzed through Monte Carlo simulations.

Key words: space environment; space X-ray background; background estimation; HXMT