

一双“慧眼”看遍星辰大海

经济日报·中国经济网记者 余惠敏 李芃达

热点追踪

6月15日11时00分,中国酒泉卫星发射中心,硬X射线调制望远镜卫星(下称“HX-MT卫星”)搭乘长征四号乙型运载火箭奔向太空。这颗名为“慧眼”的天文卫星,将承载着我国科学家们的观天之梦,驻足浩瀚宇宙,穿过层层遮挡,看遍星辰大海……

慧眼望向何方

作为我国首颗空间X射线天文卫星,HXMT卫星其实具有三双“慧眼”——其主要有效载荷包括高能X射线望远镜、中能X射线望远镜、低能X射线望远镜和空间环境监测器,能够实现1—250keV(1000电子伏特)能段全覆盖探测,并具有大天区和大有效面积巡天能力和高精度定点观测能力。

“‘慧眼’卫星的成功发射,填补了我国空间X射线天文卫星领域的空白,实现了我国天文观测由地面观测到天地联合观测的跨越,是我国天文学发展史上一件具有里程碑意义的大事。”国防科工局系统工程司副司长赵坚表示。

“通过对黑洞和中子星进行长期高频次监测,理解黑洞和中子星系统的活动和演化机制是该卫星主要的科学目标之一。”硬X射线调制望远镜卫星系统载荷分系统专家宋黎明介绍说,黑洞是一种光都不能从其视界中逃脱出来的致密天体,因此无法对其进行直接观测。然而,由于黑洞引力非常强,会将气体等一些物质聚拢到其周围形成一个具有X射线辐射的吸积盘,在靠近中子星表面的区域,也同样存在以X射线辐射为主的高温、高压、强磁场等条件。通过观测X射线辐射的特征,便可了解这些极端天体的性质以及其中的物理过程。

硬X射线调制望远镜卫星还将对银道面、银心和核球进行高灵敏度的宽波段X射线巡天监测,有望在国际上首次系统性地获得银河系内高能天体活动的动态图景,并发现大量新的天体。

“宇宙中的天体每时每刻都在运动,忽高忽低,而银道面上这类天体更加集中,对该区域进行扫描观测,发现新的爆发源几率较大,科学意义十分深远。”宋黎明说,HXMT卫星每次的小天区扫描观测区域为20°×20°,按照一定的间隔和速度对这个天区进行扫描观测,再通过对观测数据的成像计算得到天体源的位置和强度。

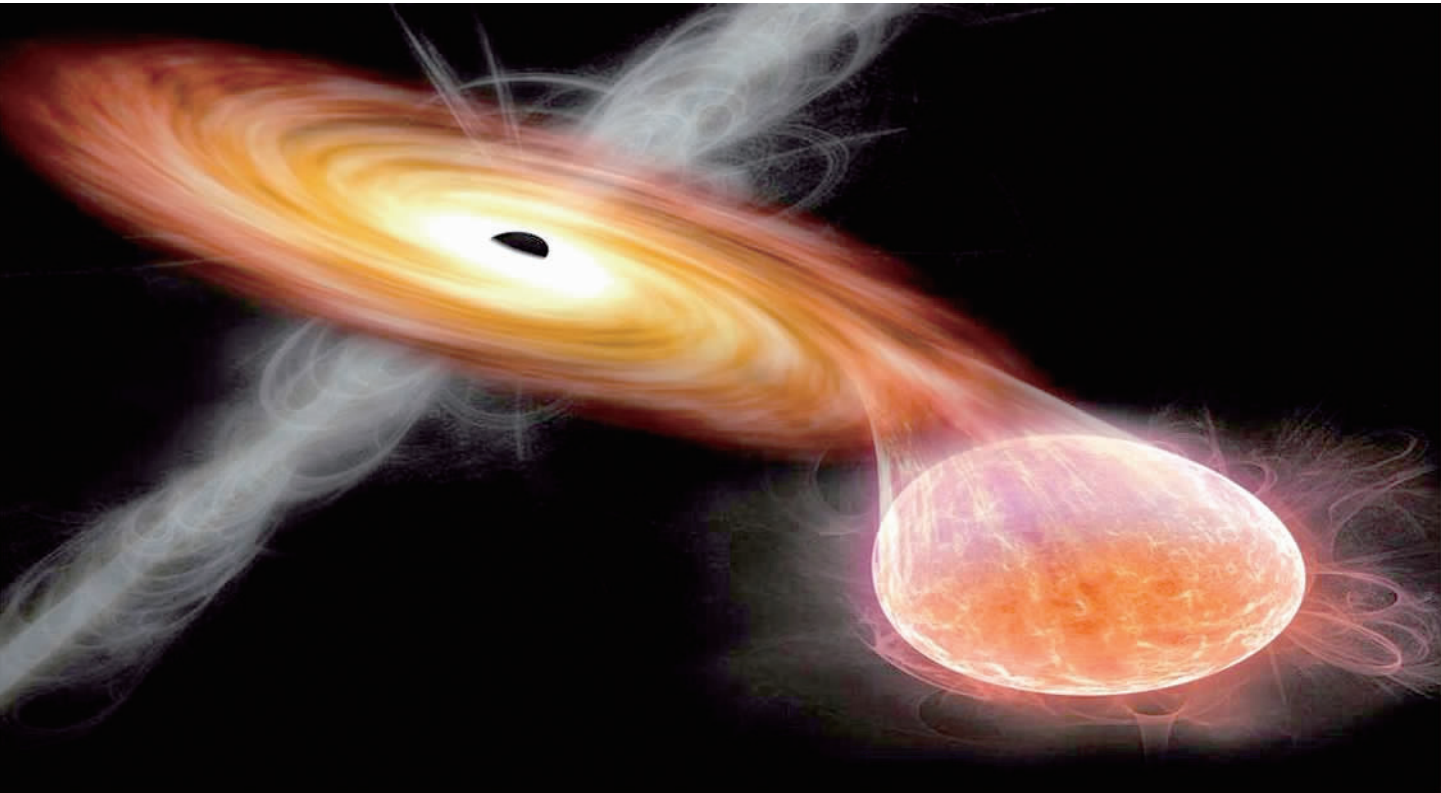
此外,HXMT在伽马射线暴工作模式下,将利用其扩展到200keV—3MeV(兆电子伏特)能段的探测能力,获得新的伽马射线暴及其他爆发现象的能谱和时变观测数据,有助于科学家更深入地理解高能剧烈爆发天体的基本属性、研究宇宙深处大质量恒星的死亡以及中子星并合等过程中黑洞的形成。

“HXMT对硬X射线和软伽马射线能段监测的接收面积,十倍于目前国际上最



HXMT卫星示意图。

本版编辑 郎冰 周明阳
联系邮箱 jjrbxzh@163.com



好的设备,是天空中这一能段最灵敏的伽马射线暴探测器和引力波电磁对应体监测器。”硬X射线调制望远镜卫星系统总师马世俊自豪地说。

慧眼“慧”在哪里

HXMT卫星上天之后,银河系的星星都“逃不过”他的一双“慧眼”,这得益于其练就的一身独门绝技。

HXMT卫星通过探测硬X射线辐射从而了解被监测星源的相关信息。然而硬X射线成像非常困难,目前国际上主要使用的成像技术包括编码孔径成像和多层膜掠射望远镜聚焦成像技术,但它们对探测器的精度要求十分高,设计复杂、造价昂贵。

我国学者独创的直接解调成像方法,是在一定的物理约束条件下直接求解原始的测量方程,可以同时获得高的灵敏度和空间分辨率。“这就使我们在采用精度较低探测器的情况下,也能通过观测模式的精心设计以及后续数据的有效处理,得到星源的位置、能量分布以及相关变化情况等信息。”宋黎明说。

直接解调成像的实现需要一个先决条件,即精确校准观测X射线仪器的过程——标定。

HXMT卫星是对天体的X射线进行测量,需要了解天体X射线的能量、流强、方向等信息。为了准确测量这些信息,首先要清楚地掌握望远镜的响应函数。就像用尺子去度量某个东西,必须保证尺子的刻度是准确的。对测量仪器的校准,正如用更精确的长度标准去校准尺子一样。

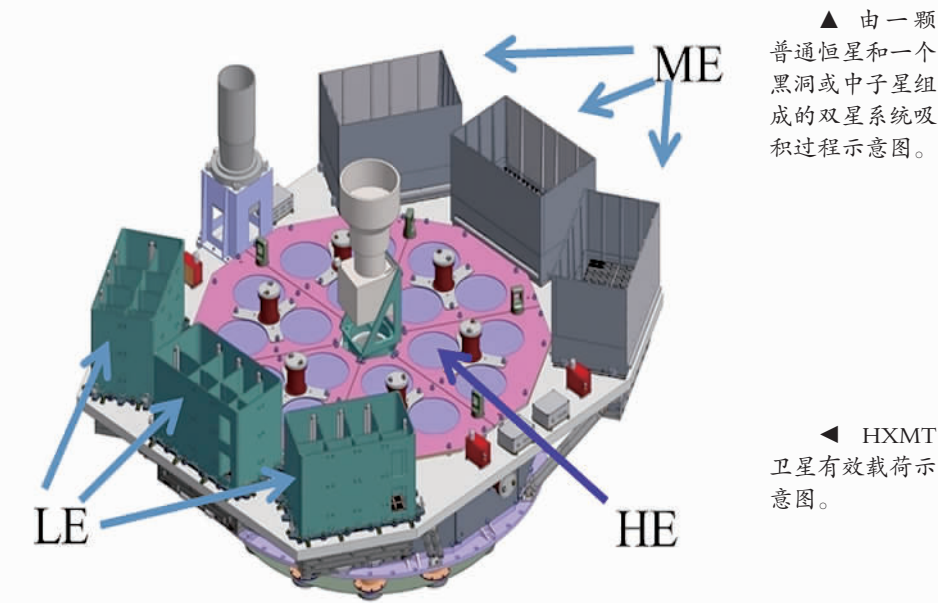
标定的过程,是用放置于标准平台上的仪器测量X射线源,记录产生出的信号,建立入射已知信号和产生信号之间的关系,即精确获得仪器时间响应、能量响应和空间位置函数。这样,从望远镜获得观测数据之后,便可准确地反推出被观测天体的X射线辐射性质。

“之前我们没有配套的地面标定装置,为此,在研制HXMT的同时,又投入大量精力建设了两套大型标定装置,顺利完成了所有探测器的标定工作。”宋黎明说。

HXMT卫星另一项独门绝技是伽马射线暴监测能力。

“这实际上是一个无心插柳的美丽巧合。”宋黎明解释说,最初设计该卫星时是没有伽马射线暴观测模式的,但由于近几年学术界对伽马射线暴越来越关注,尤其是引力波的发现,使得伽马射线暴的研究变得越发重要,因而对卫星探测仪器进行重新开发。

通过调整高能X射线望远镜主探测器光电倍增管的高压,使主探测器的探测能区从20—250keV覆盖到200keV到3MeV——这一能区恰恰是伽马射线暴能量最集中的区域。如此一来,HXMT卫星在不影响原有科学目标的前提下,能对伽马



▲ 由一颗普通恒星和一个黑洞或中子星组成的双星系统吸积过程示意图。

▲ HXMT卫星有效载荷示意图。

射线暴进行高灵敏度全天监测,大大提升了其科学能力。

“HXMT卫星监测伽马射线暴的有效面积相比以往设备可提高十倍以上,能够探测到足够多的伽马射线暴光子数,十分有助于我们对伽马射线暴细致结构的深入研究。”马世俊告诉记者,由于引力波暴也可能产生伽马射线暴,HXMT在搜寻引力波电磁对应体方面也具有明显的国际竞争力。

慧眼如何练就

HXMT卫星凭借一双火眼金睛识辨银河众星源,而在苦练一身看家本领的路途上,必然经历了重重磨难、种种艰辛。

探测技术基础较差、少量关键元器件无法实现国产化、载荷研制队伍航天工程经验不足……HXMT卫星自2011年正式立项以来,中科院高能所的专家们就从未停下过攻坚克难的脚步。

HXMT卫星使用了很多新的探测技术,然而这些技术在国内从未有过空间飞行经历,所需要使用的元器件也与我国航天规范要求之间存在不一致。“我们在处理探测技术对工作环境、元器件以及电路方面的影响时,明显感到经验不足。”宋黎明坦言,这就导致在研制中能和低能X射线望远镜的过程中做了大量重复性实验。

既然面临如此多的困难,为什么还要研制这样一颗卫星呢?当被问及这一问题时,宋黎明眼神中露出一丝坚定,“X射线无法穿透稠密的大气层,发射X射线天文卫星是观测天体X射线辐射的主流手段。中国是个航天大国,但与发达国家相比,空间科学还很薄弱,HXMT卫星的成功发射将为我们空间科学的发展打开一个关键突破口”。

高能所专家经过多年持之以恒的不懈努力,突破了以微弱信号读出和处理为首的多项探测技术;自主研发了几百纳米的透软X射线遮光膜,中能、低能X射线望

远镜探测器等关键元器件,打破了国外的技术封锁。其中在低等X射线望远镜探测器的研发中,成功解决了低噪声读出问题,系统能量分辨率达到国际最好水平。

此外,一双“慧眼”的练就也与中科院高能所专家同中国航天人之间的精诚合作密不可分。

“缺乏航天工程和管理经验又给我们的研制提出一道难题,这方面上中国航天科技集团五院(下称‘航天五院’)的专家给予了我们很大的帮助。”谈到合作,宋黎明向记者讲述了这样一个故事:为了更加充分利用高能X射线望远镜的观测能力,在卫星设计完成以后,高能所专家又提出了一项新的科学目标——监测伽马射线暴。

伽马暴观测模式是在观测源被挡住时启动的,增加这一新的工作模式对卫星提出了更多的要求。首先必须知道观测源什么时候被遮挡,其次要控制卫星上的仪器按流程工作。

“这些都需要通过近百条事先编好的指令来完成,而原来卫星上是没有为这些指令预留存储的,为了实现该科学目标,我们将卫星控制中的部分指令空间让了出来。”马世俊说,这体现了航天五院在满足技术可靠性的基础上,最大限度地服务于科学需求的工作理念。

“不仅如此,航天五院的专家还亲自帮助我们筛选元器件,将采购航天材料的相关经验提供给我们。”宋黎明难掩心中感激之情。

在HXMT卫星工程研制中,航天五院承担卫星平台的研制任务,中科院高能所负责科学目标提出、有效载荷研制以及科学数据处理和分析。

两支中国前沿科学的“梦之队”以精湛技术、精准试验的研发理念,打造出用中国理论、中国卫星,提供给中国 and 全世界科学家使用的太空望远镜,以齐心协力、众志成城的合作精神树立了航天与科学、工程与技术完美融合的时代典范。

细数

X射线

大家

HXMT卫星上天以后,将加入到国际X射线空间观测的大家庭中去。说起这个大家庭,成分可是相当复杂,有来自美国的“钱德拉”大哥,来自日本的“朱雀”二表姐,来自欧洲的“牛顿”大叔……“慧眼”号这些“远房亲戚”都是何方神圣,与他们相比“慧眼”号又具有哪些独到之处?请跟随《经济日报》记者一起去探探亲。

“目前,国际上大概有七八台能够对X射线进行观测的在轨运行卫星,竞争非常激烈。”硬X射线调制望远镜卫星首席科学家张双南介绍说,1999年美国钱德拉X射线天文台发射成功,其特点是具有极高的空间分辨率,获得了在星暴星系M82中发现中等质量黑洞证据等成果。

美国于2008年发射升空的费米伽马射线空间望远镜搭载了伽马射线暴监视系统,可以对伽马射线暴进行系统研究。HXMT卫星与之相比,两星在监测能段上有一些重合之处,但HXMT卫星对软伽马射线的探测能力要略强于费米。

与此同时,欧洲也在1999年发射了XMM-牛顿卫星,与HXMT卫星相似的是,该星也装备了三部X射线望远镜,让欧洲天文学界获得了诸多突破,如观测到迄今在遥远宇宙看到的最大星系团,这一星系团证明了一种称为暗能量的神秘力量的存在。

由欧洲航天局主导的国际伽马射线天体物理学实验室卫星(简称“INTEGRAL卫星”)主要用于探测伽马射线暴引发的剧烈爆炸、超新星爆炸以及宇宙中可能存在黑洞的区域,同时可以对硬X射线进行观测,但其覆盖能段(20keV—10MeV)和HXMT卫星的覆盖能段(1keV—3MeV)有些区别。

此外,从日本2005年发射的“朱雀”卫星、2009年在国际空间站上装载的X射线成像监视器MAXI到印度2015年发射升空的首颗天文科学卫星Astrosat,硬X射线探测领域一直以来都是国际天文学研究竞争的主战场。

“没有哪两颗天文卫星功能是一模一样的,空间研究也从来不允许做重复工作。”张双南告诉记者,目前天上这些卫星不能说谁比谁优越,对天体辐射的研究是一个十分复杂的过程,不同的科学目标对卫星功能的要求也不尽相同。发射一颗新的卫星,强调的是独具特色,只要在某方面有过人之处就足够了。

HXMT卫星凭借其大天区、宽波段X射线扫描巡天能力,大面积、高能量分辨率定点观测能力以及最灵敏的伽马射线暴探测能力等多双“慧眼”,定能在国际天文研究领域,看到属于自己的一片广袤星空!

(文/本报记者 余惠敏 李芃达)

