

慧眼-HXMT科学研究专辑: 序言

张 澍[†] 张双南

(中国科学院高能物理研究所粒子天体物理全国重点实验室 北京 100049)

摘要 慧眼-HXMT自2017年6月发射运行以来, 在高空天体领域取得了一大批重要的研究成果. 目前慧眼-HXMT卫星在轨运行状况良好, 预期还能够继续运行数年. 为使得国内天文界能够更为充分地了解和利用慧眼-HXMT的观测优势, 特别是在国内已经发放和即将发放一系列高能天文观测卫星的背景下, 继续发掘慧眼-HXMT的研究潜力, 慧眼-HXMT研究团队发表本专辑, 共包括11篇综述论文, 系统介绍慧眼-HXMT在各个研究方向的进展.

关键词 高能天体, 观测

中图分类号: P111; **文献标识码**: A

1 引言

国际空间高能天文从上世纪70年代的第一个X射线天文卫星UHURU开始, 经过了半个世纪的长足发展, 在技术上经历了准直望远镜到聚焦成像望远镜的飞跃, 所获得的X射线源从最初的几百个发展到现在的几十万个. 一大批高性能的空间望远镜在本世纪初不断涌现, 作为代表是美国的Chandra聚焦望远镜, 其在软X波段(0.5–10 keV)达到的极限空间角分辨能力以及空间高灵敏度探测能力将在未来很长时间难以被超越. 国际空间高能天文也因此从“看得更远和更清”逐步向“看得更精和更准”的方向发展和过渡, 而后者实现主要是通过采用有效探测面积大、能区宽、性能高的探测器, 以便得到更短时标的光变曲线和更多物理量的精确测量.

2017年6月15日发射运行的慧眼-HXMT (Insight Hard X-ray Modulation Telescope)卫星是中国的第一颗X射线天文卫星, 具有包括软X射线能

区的宽X射线能区, 在软X射线能区具有良好的能量分辨和在硬X射线能区具有大面积和高时间分辨能力, 其伽马射线暴(GRB)模式可以将能区扩展到MeV并且具有超大的视场. 这些特性使得慧眼-HXMT独具优势, 在观测爆发致密天体时能够“看得更精和更准”, 可以对致密天体的基本性质、爆发演化以及辐射机制等方面的研究做出重要贡献, 并对致密天体附近的极端物理规律展开初步研究.

慧眼-HXMT对致密天体的精细研究主要包括: 伽马射线暴、河内致密天体的吸积演化以及致密天体基本性质研究, 研究目标是理解强引力场和强磁场中的物理过程. 银道面扫描用于新爆发现象搜寻和监测, 为河内和河外致密天体爆发和活动的研究提供可能的观测补充. 通过这些观测, 将能够进一步深入研究强磁场和强引力场以及极端密度条件下的天体物理现象和物理过程, 其中有关强磁场物理的研究通过观测回旋吸收线、极冠区辐射以及磁星的快速射电暴(FRB)等

2025-06-10收到原稿, 2025-06-12收到修改稿

[†]szhang@ihep.ac.cn

来实现,有关强引力场的研究通过观测吸积盘对硬X射线的反射成分来刻画,有关中子星性质的研究通过观测热核暴特别是光球半径扩展现象来开展。

目前中国空间天文已经进入了一个空前的繁荣发展时期,除了慧眼-HXMT,后续陆续发射运行了极目、天关(爱因斯坦探针EP),中法合作的SVOM卫星,CATCH试验星以及立项在研的eXTP(增强时变和偏振望远镜)旗舰级空间天文台等。在此背景下,为了使得读者能够全面了解慧眼-HXMT的观测特点和科学研究进展,以便结合其他中国空间X射线天文项目进一步发掘慧眼-HXMT的研究潜力,编撰了慧眼-HXMT的专辑以飨读者。慧眼-HXMT在极端暴发事例研究方面取得了丰硕的成果,例如,发表了第一个中国GRB观测源表^[1],首次证认了FRB的磁星起源^[2],观测到人类历史上最亮的GRB^[3]等,相关成果和研究进展已经另行著文单独报道。慧眼-HXMT自发射运行以来,已经发表了大约300篇文章。作为准直型望远镜,慧眼-HXMT结合盲探测器的特殊结构使得其在本底估计和模型构建方面较经典的ON/OFF准直望远镜具有优势^[4]。

本专辑包括慧眼卫星在以下方面的进展介绍:X射线双星(总论文的60%),河内扫描、本底标定和仪器性能(总论文的15%)和孤立中子星(总论文的4%)。慧眼-HXMT团队创新性采用‘地图法’结合大量空天区的观测来估计慧眼-HXMT本底,得到的本底模型精度满足了慧眼-HXMT开展精细能谱分析的需求^[5]。作为中国第一个空间X射线望远镜,探测器的标定没有积累的经验可参考借鉴,而标定的精度直接影响到从观测数据到物理图像推演的细节。慧眼-HXMT在轨阶段主要通过观测Crab等一些天体完成能量和时间响应的标定和修正,目前在轨标定精度为2%左右,满足科学分析的需求^[6]。慧眼-HXMT已经对银道面开展了超过3000次的扫描观测,观测时间占到30%左右,监测到一批X射线源的光变特性,并给出了监测源表^[7]。慧眼-HXMT已经观测了7个孤立脉冲星和4个毫秒脉冲星,获得了高精度的自旋脉冲轮廓和宽能区的分位相能谱,得到了谱参数的脉冲位相演化特性^[8]。

X射线双星是慧眼-HXMT成果最为丰富的研究方向,分为中子星和黑洞X射线双星系统两个方面。弱磁场的中子星低质量X射线双星主要是Z和atoll源以及毫秒吸积X射线双星系统,探测到ScoX-1的QPO能量上限并解密了能谱硬X射线尾巴的可能起源^[9]。慧眼-HXMT在利用热核暴探针研究X射线双星的吸积环境方面具备独特的优势,例如,通过单个热核暴显著观测到暴对热冕的冷却信号,为研究冕的几何和可能起源提供了高质量的观测线索^[10]。在大质量吸积中子星X射线双星方面,首次给出了辐射压主导吸积盘的观测证据,给出了人类历史上直接观测中子星最强磁场的世界纪录,以及中子星极冠区辐射的回旋吸收线随着光度的细致演化关系,这些结果揭示出可能存在多极磁场以及超亮X射线源存在内禀的超爱丁顿吸积,并对目前极冠区流行的辐射模型提出了挑战^[11]。慧眼-HXMT在黑洞X射线双星的爆发演化以及黑洞基本性质等方面获得了令人瞩目的成果产出。慧眼-HXMT首次将准周期振荡(QPO)信号的能量上限从之前的30 keV附近提升到200 keV以上,并由此发现了一批高能QPO信号,建立了扭曲喷流进动产生QPO的物理图像。通过引入新的分析手段,首次精细地给出了能谱参数的QPO位相演化,为揭示QPO的物理起源提供了全新的解读思路^[12]。慧眼-HXMT的高频度高统计观测模式使得可以在整个爆发的各个阶段都能给出精细的时变和能谱,为全面解读爆发的盘冕喷流特性以及黑洞的基本性质提供了契机^[13]。慧眼-HXMT给出了一批黑洞质量和自旋的测量结果,通过慧眼-HXMT主导的观测数据,系统地研究和比较了测量黑洞自旋的两种经典方法的差异^[14]。基于慧眼-HXMT对MAXI J1820+070的观测,系统地研究了黑洞X射线双星系统的吸积磁场输运和喷流,首次发现喷流在整体尺度向黑洞缩小的同时外流速度加快的现象;结合爆发衰减阶段多波段的时变行为,首次从观测上发现磁囚禁吸积盘形成过程的直接证据^[15]。

慧眼-HXMT的运行使得中国在国际空间X射线天文观测领域占有了一席之地,其丰富的科学产出,特别是在一些领域和方向上取得的突破性

研究成果和观测发现, 彰显了慧眼-HXMT在致密天体研究方面的独特能力. 从本专辑我们也可以看到, 结合其他卫星和地面的宽能区、多波段、多信使以及研究分析方法的创新, 慧眼-HXMT在未来还存在巨大的研究潜力和取得更多科学突破的契机. 慧眼-HXMT目前观测数据基本上全部开放, 其稳定运行在未来将为国内外研究学者提供持续的服务.

参考文献

- [1] Song X Y, Xiong S L, Zhang S N, et al. ApJS, 2022, 259: 46
- [2] Li C K, Lin L, Xiong S L, et al. NatAs, 2021, 5: 378
- [3] Zheng C, Zhang Y Q, Xiong S L, et al. ApJ, 2024, 962: L2
- [4] Rothschild R E, Blanco P R, Gruber D E, et al. ApJ, 1998, 496: 538
- [5] 廖进元. 天文学报, 2025, 66: 37
- [6] 李小波, 宋黎明, 贾淑梅, 等. 天文学报, 2025, 66: 36
- [7] 廖进元, 关菊, 王晨. 天文学报, 2025, 66: 38
- [8] 葛明玉, 李兆升. 天文学报, 2025, 66: 46
- [9] 卜庆翠. 天文学报, 2025, 66: 45
- [10] 陈玉鹏. 天文学报, 2025, 66: 44
- [11] 纪龙. 天文学报, 2025, 66: 43
- [12] 张亮, 屈进禄, 张澍. 天文学报, 2025, 66: 41
- [13] 马瑞灿. 天文学报, 2025, 66: 42
- [14] 王伟, 朱海帆. 天文学报, 2025, 66: 39
- [15] 杨帅康, 游贝. 天文学报, 2025, 66: 40

A Special Issue on *Insight*-HXMT's Scientific Results: Preface

ZHANG Shu ZHANG Shuang-nan

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

ABSTRACT A large amount of important astrophysical results has been achieved with Insight Hard X-ray Modulation Telescope (*Insight*-HXMT) since its launch in June 2017. So far *Insight*-HXMT has been operating smoothly in orbit and is expected to continue to operate in several more years. The purpose of this special issue is to allow a more comprehensive understanding by the Chinese astronomical community on the capability of *Insight*-HXMT, in order to continue to explore its scientific potential, especially in light of the fact that a series of domestic high-energy astrophysical missions have been launched recently or in development. The 11 papers cover most of the research progresses to date with *Insight*-HXMT.

Key words high energy object, observations