

## X 射线天文学的新世纪

汪 珍 如

(南京大学天文系 南京 210093)

### 摘 要

介绍了 21 世纪国际上第一个 X 射线天文学会议的简况

### 1 概 况

《X 射线天文学的新世纪 (New Century of X-ray Astronomy)》学术会议 2001 年 3 月 6~8 日在日本国横浜市举行。出席会议的代表共 283 人。其中日本代表 156 人, 美国 60 人, 德国 24 人, 意大利 9 人, 英国 7 人, 荷兰、波兰和印度各 4 人, 中国、法国和韩国各 3 人, 乌克兰 2 人, 澳大利亚、葡萄牙和喀麦隆各 1 人。出席会议人数之多是出乎人们意料的。会议共提出特邀报告 12 篇、一般口头报告 40 篇和墙报 206 篇。报告展示了 X 射线天文学的最新成果、今后的计划和展望。

### 2 X 射线天文学的最新重要成果

在 21 世纪前夕, 国际上发射了两个强有力的 X 射线卫星: 1999 年 7 月 23 日美国发射的 Chandra 卫星和 1999 年 12 月 10 日欧洲发射的 XMM- 牛顿卫星。这两个卫星分别以杰出的天体物理学家 Chandrasekhar 和伟大的物理学家牛顿的名字命名。在灵敏度上 Chandra 比 20 世纪 90 年代发射的 ROSAT 高 10 倍, 角分辨率达到  $0.5''$ 。XMM 的角分辨率虽不如 Chandra, 但它的最大优点是有效面积大, 10 倍于 Chandra, 这对 X 射线谱的研究以及时变特性的研究是很有利的。因此, 两卫星可以互补, 成为 21 世纪初期最重要的 X 射线卫星。会议报导了它们在恒星、超新星遗迹、正常星系和活动星系以及星系团方面的最新成果。本文简述其中最重要的。

在恒星方面, 早在 20 世纪 60 年代就发现太阳、双星 ScoX-1 和 CygX-1 有 X 射线发射。其后, 爱因斯坦卫星和 ROSAT 卫星发现了许多类型恒星包括赫罗图中的一些早型星和晚型星以及中子星、白矮星和黑洞等都有 X 射线发射。这次会议日本学者们报导了 Chandra 卫星的一个最新的发现, 即刚诞生的 0 级原恒星也有 X 射线发射, 光度约在  $10^{23} \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$  的量级上。这是在猎户座星云中观测到的。原恒星的年龄只有  $10^4 \sim 10^5 \text{yr}$ 。中心恒星深深地埋藏在尘埃凝聚物中。目前在其它波段尚未观测到其中中心恒星的辐射。此外, Colorado 大学的 Linsky 教授利用 Chandra 和 XMM 对 F0 至晚 M 型矮星、F0 至 K1 型巨星、快自转的猎犬座 RS 星和大熊座 W 星等观测, 都得到其冕的 X 射线辐射, 给出了 X 射线谱的结构和“耀”的时变特性。这对于研究它们的化学丰度、等离子体温度的时间演化和动力学提供了全新的探测结果。同时还发现褐矮星也发射 X 射线, 指出 O 型星的 X 射线发射是来源于它的速度约为  $10^3 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  的恒星风发出的, X 射线光度约为其热光度的千万分之一。

在超新星遗迹方面, 戈达德航天中心的 Peter 展示了一些年青超新星遗迹的 X 射线像, 由于 Chandra 的高角分辨本领, 许多超新星遗迹显示了更精细的结构。众所周知, 我国宋代发现的天关客星是一个著

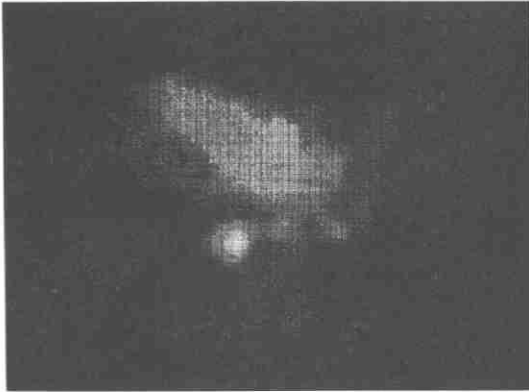


图1 Einstein 卫星得到的蟹状星云像

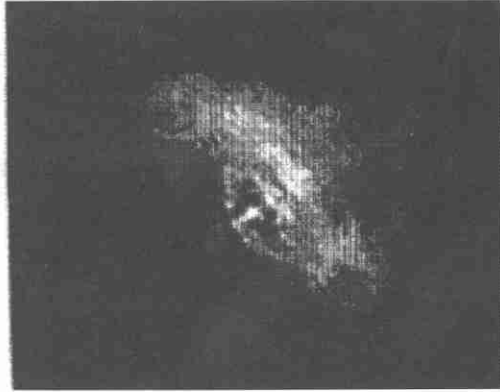


图2 Chandra 卫星得到的蟹状星云像

名的超新星。由它的爆发产生的遗迹是当今在全波段都能观测到的蟹状星云。图1是1978年升空的爱因斯坦卫星当时观测到的蟹状星云的软X射线的高分辨像。图2是现今Chandra卫星得到的X射线像。后者比前者显然呈现出更复杂和细致的结构。如明显的内、外环结构和双向喷流等都在Chandra卫星得到的像中显示出来了。与蟹状星云的情况相类似，对大麦哲伦云中的超新星遗迹0540-693，Chandra卫星也首次发现了它的明显的喷流和壳层结构。美国NASA的Marshall空间飞行中心的Weisskopf利用Chandra的高角分辨率可以观测到蟹状星云脉冲星各个位相的辐射，从而认为已观测到它的热辐射。过去利用爱因斯坦和ROSAT两卫星的观测表明，即使有热辐射也会淹没于其强度甚大的非热辐射中。如果热辐射确能检测出来，将对中子星的物态方程和热演化的研究有重要的作用。德国马普研究所的Aschenbach在报告中先肯定了ROSAT和ASCA等卫星过去在超新星遗迹研究上取得的成果，指出新的研究领域已经开辟：如激波在星际介质的传播、粒子在超新星遗迹壳层的加速和宇宙线的起源以及前身星抛射物的发现等，为超新星爆发的物理机制和元素的混合等提供了新的信息。Chandra和XMM空前的高空间分辨率和谱分辨率将产生质量很优的像和谐，能区分出是爆震波还是逆激波以及化学元素在遗迹（如在超新星遗迹Cas A）中的空间分布等。

银河系的中心是由什么构成的？有什么活动？也是人们近年关注的课题。日本京都大学Koyama评述了银心区域的ASCA和Chandra的观测，发现在人马座A的东面有一个新的年青的超新星遗迹，它的线度只有 $3 \sim 4\text{pc}$ 大小，X射线光度 $\approx 10^{28}\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ ，发射出高度电离的重元素离子的强 $K_{\alpha}$ 线。根据它的观测资料，可导出爆发能为 $10^{44}\text{J}$ ，密度是 $10^2 \sim 10^3\text{cm}^{-3}$ ，年龄是 $10^3\text{yr}$ 。因此是一个相当年轻的超新星遗迹，是星暴存在的证据。在银心附近还观测到一个巨分子云，位置在人马座 $B_2$ ，它发射强的中性铁的 $6.4\text{keV}$ 谱线，Koyama从而指出这个巨分子云是一个大的X射线反射云，能量来源于银心以前的活动。银心区域的这些复杂特性表明它可能存在黑洞或猛烈的星暴活动。哈佛-史密松天体物理中心的Fabbiano谈到在正常星系已分解出大量过去未能看到的超新星遗迹和X射线双星，戈达德航天中心的Mushotzsky也提及在椭圆星系NGC 4472观测到大量X射线双星。

在星系领域长期存在如何正确区分星暴星系与活动星系核（AGN）以及阐明它们之间关系的问题。英国Leicester大学的Ward等人最近利用SAX卫星的观测，指出MKN 609星系是一个混合星系，是由标准的AGN加上星暴成分组成。

M82是一个著名的星暴星系，麻省理工学院的Matsumoto等人报告了Chandra的高分辨照相机发现在离M82中心 $170\text{pc}$ 处有一个光度为 $10^{34}\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ 的迅变硬X射线源，质量在 $10^3 \sim 10^6 M_{\odot}$ 范围，认为它是一个中等质量的新型黑洞。此外，由Nobeyama毫米阵的射电观测，发现围绕着这个致密源有一个超泡（superbubble）存在，超泡的动能为 $10^{48}\text{J}$ ，年龄约为 $10^6\text{yr}$ 。这意味着在这 $10^6\text{yr}$ 内有

$10^4$  个超新星在这个超泡中爆发。这强烈地表明猛烈的星暴活动产生了中等质量的黑洞。中等质量的黑洞可看作是超重黑洞 ( $10^6 \sim 10^9 M_{\odot}$ ) 的初始演化阶段。中等质量的黑洞沉降于 M82 的中央, 通过吸积将会逐渐增长成为超重黑洞。笔者认为这是一个很有新意的观测结果和理论观点。

宾州大学 Brandt 认为 Chandra 和 XMM 对活动星系核 X 射线研究来说是革命性的。对近距离的亮源, 它们可以提供高质量的关于核、吸积盘、暖吸收体和环以及暖散射介质的新信息。现已检测到 17 个活动星系核和 1 个  $\gamma$  射线暴具有大于 4 的红移。

关于星系团, 法国 Saclay 中心的 Arnaud 讨论了由于 Chandra 和 XMM 弧秒级的空间分辨率和高的谱分辨率, 为星系团的核心提供了崭新的信息。特别有利于中心的冷气体以及中心射电源和 X 射线发射气体的相互作用的研究。新的资料暗示着物理过程的复杂性是人们远未完全了解的, 在大尺度方面, 可以作出星团内介质的准确的温度结构图, 也是未料想到的, 还可以在空间上分解出显著的结构, 这些新资料为星系并合 (Merger) 事件的物理、大尺度结构的形成和星团暗物质的含量等研究提供了新的信息。进一步的宇宙学研究要等待下一代 X 射线天文台提供更新的数据。美国麻省理工大学的 Bautz 等人提出 Chandra 对一系列星系团的高分辨率观测给出星团内介质的动力学状态。发现某些星系团明显偏离流体静力学平衡状态, 一般也找不到强激波的证据, 提出 Abell 2218 星系团可能有星系并合事件在进行。有些研究者如德国马普地外研究所的 Bohringer 等人还谈到星系团的 X 射线研究对宇宙学的重大意义, 如检验宇宙学模型、宇宙结构、暗物质含量、质光比、重元素丰度以及距离标等。

我国的三位出席者均就自己研究的领域分别提交了有关超亮超新星、超新星遗迹和活动星系的研究报告。

### 3 21 世纪头 10 年将发射和筹划的 X 射线卫星及其展望

(1) GLAST( $\gamma$  射线大面积空间望远镜) 计划于 2006 年发射, 它由美国、日本、意大利和荷兰合作。灵敏度比 EGRET 高 50 倍, 可观测到红移  $z = 4 \sim 5$  的天体。定位可达几角分, 远优于 EGRET 的几十角分, 能量范围是: X 射线,  $0.5 \sim 10\text{keV}$ ;  $\gamma$  射线,  $0.1 \sim 500\text{GeV}$ 。视场大:  $140 \times 140$  平方度, 每天就可得到一个 EGRET 表。对超新星遗迹可看到加速的激波前沿; 对脉冲星可看到射电宁静的脉冲星。

(2) ASTRO EII 2000 年 2 月 10 日, 日本发射 ASTRO E 失败。现在日本计划于 2005 年发射比 ASTRO E 性能更好的 ASTRO EII, ASTRO EII 与 Chandra 和 XMM 性能的比较见图 3, 它的工作能段是  $10 \sim 600\text{keV}$ 。日本还在筹划另一个 NEXT(新的 X 射线望远镜), 具有大的有效面积  $2000\text{cm}^2$  于  $7\text{keV}$ , 带有 2 个望远镜。

(3) Constellation-X 是一个多卫星设计的 X 射线天文台, 由四个 X 射线望远镜一齐工作。能量范围  $0.2 \sim 40\text{keV}$ , 有效面积大:  $15000\text{cm}^2$  于  $1\text{keV}$ ;  $1500\text{cm}^2$  于  $40\text{keV}$ 。灵敏度比过去的 X 射线望远镜高 100 倍。谱分辨率为:  $E/\Delta E = 3000$ (于  $6\text{keV}$ ),  $E/\Delta E = 10$ (于  $40\text{keV}$ )。可观测到红移  $z = 6.5$  的天体。计划于 2010 年发射。Constellation-X 是对 Chandra 的补充, 就像 Keck 望远镜是对哈勃空间望远镜的补充一样。其科学意义是可研究黑洞、暗物质、广义相对论与物质循环等。

(4) Generation-X 有效面积达  $150\text{m}^2$ (于  $1\text{keV}$ ), 灵敏度是 Chandra 的 1000 倍, 可观测到红移  $z = 10$  的天体(设  $L_x = 10^{33}\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$ )。角分辨率达到  $0.1''$ 。可观测到第一个类星体的形成和星暴星系中金属的首次产生。

(5) XEUS 将于 2012~2015 年发射, 计划可观测到红移  $z = 7$  的天体, 可看到第一个形成的星系团和类星体。可以研究宇宙的化学丰度、星系际的热介质等。XEUS 表示“X 射线演化的宇宙光谱”。

(6) Integral 2002 年发射。工作能段:  $15\text{keV} \sim 10\text{MeV}$ 。 $\gamma$  射线到达时间可准确至  $50\text{ms}$ 。

(7) Swift 是一个新的在多波段研究暂现源的天文台。比 BATSE 灵敏度高 5 倍。还有关于  $\gamma$  暴的报警望远镜 (BAT)、X 射线和紫外 / 光学望远镜。 $\gamma$  暴出现以后  $20 \sim 70\text{s}$  之内即可根据报警进行 X 射线和紫外 / 光学观测, 把暴定位于  $0.3 \sim 5'$  的精度范围, 实现对  $\gamma$  暴余辉的光学、紫外和 X 射线的

成像和谱分析。还会进行 10~150keV 的 X 射线天空的巡天, 比现存的 X 射线巡天灵敏度高 30 倍。

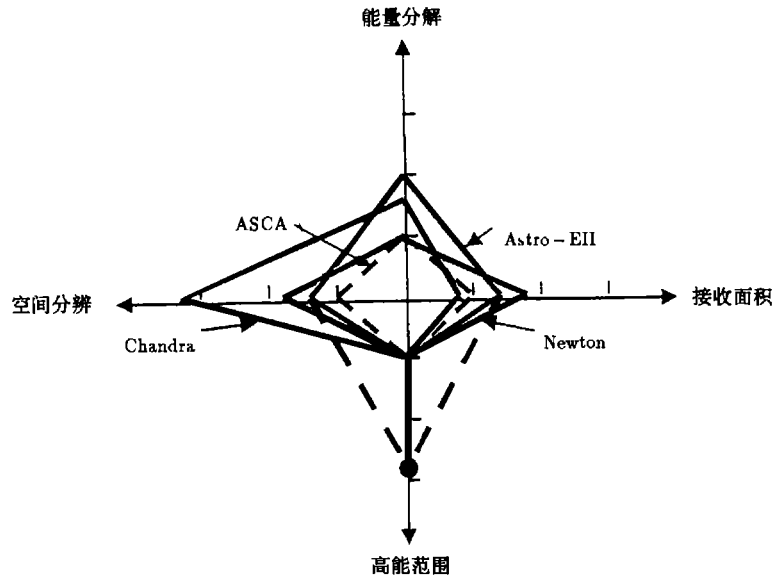


图 3 未来的 Astro EII 与其它卫星的性能比较 (会议主席 Inoue 提供)

会中, 日本东京大学的 Makishima 在报告中认为 20 世纪在天文和天体物理的研究中, X 射线天文学取得了最突出的成就。他还着重谈到了日本在近 30 年来 X 射线天文学的迅速发展, 先后成功地发射了四个 X 射线卫星, 其中自然地提及刚刚去世的 Oda 教授在 X 射线天文学上的重大贡献和预见性。报告中还指出要重视 21 世纪现代科学的根本性问题, 要考虑发展实验技术, 寻找在技术上的突破以取得更高的灵敏度和谱分辨本领, 改善成像能力, 扩大谱的复盖范围, 还要考虑偏振和干涉等。最后还必需在本国或国际合作实施航天计划等。

美国著名天体物理学家, 加州理工学院教授 Blandford 以“新世纪的新问题”为题提出了如下与 X 射线天文学密切相关的十个基本问题: (1) 宇宙磁场实际上是怎样运转的? (2) 宇宙等离子体实际上是怎样运转的? (3) 无碰撞激波的结构是怎样的? (4) 元素是何时和怎样形成的? (5) 高密度下物质的行为如何? (6) 广义相对论是否正确? (7) 暗物质的本质是什么? (8) 宇宙是怎样膨胀的? (9) 宇宙的第一个结构是怎样的? (10) 在地球上如何研究 X 射线天文?

笔者深感在过去的 30 多年中, X 射线天文学从起步到逐步成熟, 发展非常迅速。现在 X 射线天文学已成为天体物理中的一个非常重要的分支。绝大部分已知天体的电磁辐射能量是在 X 射线波段释放的。X 射线天文学已成为研究天体的高能现象、天体高温等离子体中原子和核子的高能过程、天体的爆发过程以及研究天体物理中的现代科学基本问题最重要的一个分支。这就不难理解国际上在这一领域源源不断地投入大量资金发射性能愈来愈先进的 X 射线卫星的缘由。在这种背景下, 可以预料 X 射线天文学在 21 世纪将会取得更辉煌的成就。

### New Century of X-ray Astronomy

Wang Zhenru

(Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093)

#### Abstract

This paper is a brief introduction of the first international conference on X-ray astronomy in the 21 century