

 中国科学卫星系列

活捉黑洞

中国慧眼探索极端宇宙

中国科学院高能物理研究所
中国科学院国家空间科学中心 组织
新华社对外部中国特稿社

喻 菲 全晓书 屈 婷 著
贺 萌 绘

曾几何时，
黑洞只是人们头脑中的虚幻之物，
如今却成为宇宙中最神奇的所在，
散发着强大而诡异的美感，
科学家们研究黑洞的大幕已经拉开，
关于它的秘密将被娓娓道来。



科学出版社



活捉黑洞

中国慧眼探索极端宇宙

中国科学院高能物理研究所
中国科学院国家空间科学中心 组织
新华社对外部中国特稿社

喻 菲 全晓书 屈 婷 著
贺 萌 绘

科学出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

活捉黑洞：中国慧眼探索极端宇宙 / 喻菲，全晓书，屈婷著. —北京：科学出版社，2017.7

ISBN 978-7-03-053768-3

I. ①活… II. ①喻… ②全… ③屈… III. ①黑洞—研究
IV. ①P145.8

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第134112号

责任编辑：侯俊琳 田慧莹 崔慧娟 / 责任校对：何艳萍

责任印制：张 倩 / 封面设计：有道文化

版式设计：北京美光设计制版有限公司

编辑部电话：010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年7月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2017年7月第一次印刷 印张：8

字数：165 000

定价：48.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

我国首颗X射线天文卫星——硬X射线调制望远镜(Hard X-ray Modulation Telescope, HXMT)卫星,在经历了多年艰辛的科学技术积累和研制试验后,将作为中国探索宇宙奥秘的使者发射升空,我们热切地期待其任务全部圆满成功。

在太空开展科学研究冲破了地球的大气屏障,直接面对或深入广袤无垠的宇宙,极大地开拓了人类的视野和活动疆域。空间天文——在太空进行的天文观测研究,突破了仅限于可见光、射电等特定波段的地面观测限制(称为大气窗口),开拓了人类对包括宇宙微波背景、射电辐射、红外/亚毫米波、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线乃至波长更短的宇宙高能粒子在内的全电磁谱段天文研究的新纪元。短短的几十年中,新的革命性发现缤纷纷呈,取得了划时代的辉煌成就,深刻改变了人类对天体、宇宙和物质世界的认知,而我国由于种种原因在其中贡献甚微。

X射线天文在空间天文中具有重要地位,宇宙中不同能量的X射线来源于天体的高温辐射、强引力场或强磁场下带电粒子的同步辐射和核相互作用等过程,是研究天体极端条件下剧烈高能活动物理机制的主要探针。实际上,我国科学家从20世纪80年代起就将X射线天文作为重点方向,开展了一系列科学气球观测和探测技术研究。20世纪90年代,李惕碛、吴枚发明了直接解调成像方法,另辟蹊径地实现了具有较高信噪比、采用非掠射聚焦/非位置灵敏探测器的X/ γ 射线点源和弥散源反演成像,并得到实验验证和理论支撑,解决了当时困扰科学界的高能电磁辐射成像难题,形成了HXMT卫星任务的科学和技术概念。

在中国科学院、国家航天局和科学技术部等的支持下，中国科学院团队和航天科技集团五院团队通力合作，经过科学目标深化研究、新探测器研发和探测能区扩展、地面定标和应用系统建设以及卫星工程设计的优化完善，现在的 HXMT 卫星既能巡天普查又能定向深度观测，成为具有天文台性质的空间研究设施。它将利用其极具竞争力的宽能区、高灵敏度、高能量分辨率、高时间分辨率和独特的成像能力开展中子星、黑洞等致密天体极端环境下物理规律、 γ 射线暴、引力波电磁对应体等前沿科学问题，在国际高能天体物理研究的蓬勃发展做出中国独特的贡献。

本书是“中国科学卫星系列”科普书的第二本。作者以生动通俗的语言、多彩丰富的漫画、形象微妙的比喻阐释了与 HXMT 科学探索目标相关的艰深天体物理问题及其背后的故事，还以朴实无华的笔触记录还原了为 HXMT 做出贡献的几代科技工作者，使这本书形成了科普和纪实文学结合的特点，值得推荐。

中国科学卫星系列是在国家支持下的中国科学院空间科学先导专项推进中形成的，其中的天文卫星包括已经实施的暗物质探测卫星和硬 X 射线调制望远镜卫星，正在实施的 X 射线天文卫星爱因斯坦探针（Einstein Probe, EP）、先进天基太阳天文台（Advanced Solar Observatory-Space, ASO-S）和准备实施的由中国发起并领导的大型国际合作旗舰级科学研究项目——增强型的 X 射线时变与偏振空间天文台（enhanced X-ray Timing and Polarimetry Mission, eXTP）等，堪称我国发展空间科学和空间天文的里程碑。此外我国

还有国家航天局支持的中法合作空间暂现源观测天文卫星（Space-based multiband astronomical Variable Objects Monitor, SVOM），空间站工程安排的2米光学望远镜多色成像与无缝光谱巡天、宇宙辐射和暗物质探测设施（High Energy cosmic-Radiation Detection, HERD）、中子星极端天体探测等重大天文项目，将在2020～2025年间发射，实现我国空间天文向国际最前沿的新一波冲刺。

当今，空间科学、空间技术和空间应用形成了航天领域的三大支柱，21世纪的空间科学将引领和推动基础科学前沿重要领域的跨越，破解重大的科学之谜。我国空间科学将在中国科学院空间科学先导专项、载人航天和月球探测等国家重大专项推动下进入世界先进行列，在若干重点领域取得具有重大影响和领先的科学发现。

顾逸东

2017年5月1日

前言 //

F o r w a r d

在中国科学家研制的第一颗空间 X 射线天文观测卫星——硬 X 射线调制望远镜 (HXMT) 卫星发射前的几个月, 我们应中国科学院高能物理研究所和国家空间科学中心之邀, 为这颗卫星编写科普书。这是继《寻找暗物质》《筑梦天宫》之后, 新华社对外部中国特稿社记者编写的第三本介绍中国空间科学的科普书。

黑洞、脉冲星、伽马射线暴……这些宇宙中神奇怪异的天体、现象强烈地吸引着小小地球上的人类去探索。尽管中国人曾经在史书中有很丰富的天文观测记录, 包括宋代 1054 年的超新星爆发, 但对于星星背后科学之谜的探索, 绝大部分都是由西方科学家完成的, 中国科学家的贡献还很少。我们平日的工作是向世界报道中国, 因而也特别希望能够看到中国科学家做出世界级的重大发现。

HXMT 是一架来之不易的太空望远镜, 可以说它代表了中国空间天文的开端, 凝聚了几代科学家的智慧与心血, 能够将它背后的故事记录下来是记者的荣幸。2017 年早春, 我们多次来到位于北京石景山区的中国科学院高能物理研究所, 采访了十多位为这颗卫星奋斗多年的老中青年科学家。他们睿智、勤奋、百折不挠的故事深深地打动了我们。当然, 任何空间项目都需要大批科学家团结合作才能实现, 还有更多默默奉献的科学家, 我们没有时间一一采访, 只能在此向他们表示敬意。

本书包括六章: 第一章是针对 HXMT 要探测的科学目标而做的基础科普。由于 HXMT 主要探测的是黑洞和中子星, 我们便从它们的前身大质量恒星说起, 例如, 这些星星寿命将终止时如何从灿烂的

超新星爆发中诞生出中子星或黑洞；被誉为宇宙灯塔的脉冲星即中子星是怎样被发现的；黑洞如何离奇古怪又神秘莫测；这颗卫星要探测的除宇宙大爆炸外最猛烈的爆炸——伽马射线暴是怎么回事；引力波是什么，它与科学家要探测的伽马射线暴有什么关系。第二章针对黑洞又做了进一步讲解。人们如何从不相信有黑洞，到逐渐认识并观测到黑洞的存在；科学家用哪些方法观测不发光的黑洞；宇宙中的超大质量黑洞、活动星系核和类星体是怎么回事。第三章主要介绍X射线天文的发展历史，尤其是中国高能天体物理的发展历史。在中国，高能天体物理观测研究经过了从高山云室“守株待兔”，到放飞高空气球观测，再到神舟飞船、月球探测器、“天宫二号”空间实验室、科学卫星的太空观测发展历程。中国科学家对宇宙探索的“悟道”之旅也蕴含着东方的哲学思想。第四、第五章为本书的核心，是围绕HXMT展开的。第四章收录了中外科学家对这架来之不易的太空望远镜具有重要评价；介绍了这颗卫星主要的科学探测目标。当然，很多重大的科学发现都是意料之外的，这也让人们在这颗卫星将带来的意外之喜充满了期待。我们对这颗卫星如何设计及其基本构造、特点、优势，以及如何对卫星标定等，都尽量用通俗易懂的语言加以介绍。第五章主要介绍了这颗卫星曲折的研制历程，以及科研人员在无数困难面前毫不气馁、坚持不懈的故事。我们还对在这颗卫星之后中国X射线天文的未来发展做了展望。本书的最后一章介绍的是几位对中国高能天体物理做出重要贡献的科学家，我们希望通过他们的故事反映科学家对科学勇于探索、孜孜不倦、不断创新的精神。

在本书编写过程中，得到了中国科学院高能物理研究所的大力支持，卢方军老师和张帆老师从一开始就对书的整体构架给予指导，并为我们的采访做出精心周到的安排。李惕碚院士、HXMT 首席科学家张双南老师以及其他多位科学家在百忙之中接受了我们的采访，为我们做了非常生动的科普，也正是他们的鼓励让我们有勇气和信心完成本书的编写。中国科学院高能物理研究所既能干颜值又高的刘红薇、尹倩青等年轻科研人员也为本书的编写提供了许多帮助。另外，中国科学院国家空间科学中心的李橙媛是我们的老搭档了，这次她一如既往地支持我们编写此书。我们还要感谢中国特稿社领导顾钱江老师对本书的大力支持，能让我们在繁忙的新闻报道中抽出时间来编写此书。最后特别要感谢编写团队的小伙伴们辛苦付出，每个人都竭尽全力在有限的时间内力求做到最好。

由于作者并非天体物理专业人士，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

喻 菲

2017 年 4 月



// 目 录

C o n t e n t s

序 i

前言 iv

第一章 不是死亡而是新生

星星的生命之花 3

宇宙灯塔：脉冲星 8

引力旋涡：黑洞 12

宇宙中最壮观的“焰火” 17

引力波带来的宇宙交响乐 19

第二章 贪吃的黑洞

人类如何发现宇宙中存在黑洞？ 26

看不见的黑洞怎样现形？ 29

宇宙里的大胃王 32

第三章 前方高能！

神秘荧光打开了一扇窗 36

从雪山到高空的“悟道”之旅 40

“神舟”“嫦娥”“天宫”开启太空观测 46



第四章 活捉黑洞、脉冲星……

中国终于拥有了自己的太空望远镜	52
看见惊心动魄的宇宙	58
空间科学之“重器”	68

第五章 一颗卫星的长征路

星辰大海路迢迢	82
千锤百炼不怕难	84
参天大树待长成	92

第六章 谱写宇宙诗篇

何泽慧：物理高原上的遗世之花	96
李惕碚：科学路上的“少数派”	99
吴枚：于无声处有惊雷	106
张双南：宇宙中的最美还未发现	110
卢方军：这颗卫星，是一生中值得回望的山峰	114

参考文献	118
------------	-----

《 第一章 》

不是死亡 而是新生

宇宙中星星的数目比地球上所有沙滩的沙粒总数还多。

天上正发生着许多精彩绝伦的故事，了解了这些故事，你的天空就变得不同。那些灿烂的繁星不再只是夜空中的点缀，而具有更多的意义……



图 1-1 星星的生命之花

星星的生命之花

中国北宋仁宗至和元年（公元 1054 年）的一个夏日，负责观天象的司天监官员杨惟德突然发现天空中来了一名陌生的“不速之客”。它出现在今天的金牛座方向，如同金星一般光芒四射，星光呈红白色，甚至在白天都能看到它。

古人认为，天上的星辰变化与人间的吉凶祸福都有关联。司天监连忙记录下这颗突然出现的星星，称它为“客星”。杨惟德认为它是吉祥的征兆，并报告给皇帝。“客星”闪亮了 23 天后黯淡下来，又在人们的视线中停留了近两年后逐渐消失了。

今天我们只能在宋朝史书中找到对这颗“客星”的简短记录。为了揭开它的神秘面纱，人类用了上千年的时间。

600 多年后，也就是 1731 年，英国天文爱好者拜维斯医生在金牛座天关星以北 1.5 度发现了一团模糊的雾状天体。1771 年，法国天文学家梅西耶把这团星云命名为 M1。随着望远镜技术的发展，1850 年左右，天文学家发现 M1 的外形及内部纤维结构很像一只大螃蟹，就给它起了一个新的名字：蟹状星云。1921 年，美国天文学

图 1-2 宋朝记录的超新星爆发





图 1-3 大质量恒星最后的绽放

家邓肯借助威尔逊天文台的望远镜拍摄到了蟹状星云相隔 12 年的两张照片，并惊讶地发现蟹状星云正以每秒 900 千米的速度膨胀。1928 年，美国著名天文学家哈勃推断出蟹状星云就是 1054 年宋朝史书中记载的“客星”的遗迹。1969 年，一颗脉冲星在蟹状星云的中间被发现。

现在我们知道，蟹状星云距离我们大约 6500 光年。它的前身是一颗质量超过太阳质量 8 倍的恒星。在这颗恒星走向生命的终点时，通过一场猛烈的爆炸绽放出生命之花。那场爆炸的光芒在 1054 年到达地球，北宋的观天者见证了宇宙中最震撼的景象，他们目睹了一场超新星爆发。

要想理解什么是超新星，还要先从恒星的一生说起。

什么是恒星呢？恒星是星际气体云在引力的作用下坍缩形成的。星际介质在坍缩过程中，当中心的温度和压力高到一定程度时，就会触发核反应，产生能量并发出光和热，从而形成了恒星。从本质上讲，恒星可以被视为巨大的热核聚变反应工厂。一颗恒星以氢作为燃料，氢元素在恒星中心转化为氦元素，释放的能量透过星体辐射到宇宙空间中。如果不是重力的方向与辐射的方向相反，这种能量释放所产生的



压力足以将恒星瓦解。恒星在一生当中依靠这两种力量的微妙平衡来维持稳定。

对恒星来说，它的质量至关重要，决定了其性质（如光度、温度、大小）以及如何随时间演化。恒星的一生要经历各种演化阶段，在不同的阶段能够产生不同的元素。

然而，即便是星辰也无法永恒。恒星的内核有一天会用光它的聚变燃料。如果一颗和太阳类似的中等质量恒星耗尽了所有燃料，其内核会收缩，而外壳会膨胀，成为巨大疏松的红巨星，随后吹开大部分外部包层，被吹开的物质以恒星为中心向外膨胀形成绚丽的行星状星云。尽管名为行星状星云，但它们实际上与行星没有任何关系。

通过制造行星状星云的方式损失掉高达 90% 的物质后，如果恒星剩余部分的质量小于太阳质量的 1.4 倍，就会变成白矮星。白矮星是依靠所谓的电子简并压支撑的，这种压力是由于核心的物质中电子之间存在的排斥力而产生的。恒星残骸的质量越大，坍缩成的白矮星直径越小、密度越高。人类发现的第一颗白矮星是围绕着夜空中人们能用肉眼看到的最亮的恒星——天狼星旋转的天狼 B 星，它的质量与

太阳相近，而大小却和地球差不多，表面重力是地球的 40 万倍。白矮星的表面温度在刚形成时可达到 10 万摄氏度左右，此后的数亿年里会逐渐冷却成为黑矮星。

那些质量非常大的恒星则以更为绚烂的方式结束自己的生命。大质量恒星消耗燃料的速率更快，因而寿命比低质量恒星短得多。当大于 10 倍太阳质量的恒星燃料耗尽时，会产生一个由铁构成的核心。起初这个核心是由内部压力支撑的，但当它的质量超过太阳质量的 1.4 倍时，就开始坍缩，形成了一个几乎全部由中子构成的极为致密的核。当恒星的外层持续下落，与坚硬的核心碰撞时，会以高达每小时 7000 万千米的速度向外反弹，在爆炸中解体，此时就形成了超新星。

超新星爆发时产生的火球比太阳表面温度要高 100 万倍，非常壮观。这一过程会释放出大量的能量，在某些情况下，大质量恒星在超新星爆发阶段所释放的能量是普通恒星的 100 亿倍。这导致恒星的亮度骤然上升，从遥远处看，这种大质量恒星的死亡就像是原本一无所有的空间突然产生了一颗新星一般，并持续数月甚至数年后光芒才会变暗。而超新星爆发的残骸则会形成一片星云。超新星爆发抛出的物质壳层不断膨胀，在数千年之后仍能看到。宇宙中点缀着成百上千个这样精美的天体，光彩夺目，它们是死亡恒星最后的绽放，是恒星最后的叹息。

圣经说，尘归尘。而天文学家说，星尘归星尘。

这样宇宙炼狱般的爆炸不仅仅是景象宏伟壮丽，超新星爆发本身对于恒星和星系的形成，以及生命所必需的各种元素的产生都至关重要。当生命结束时，恒星把组成自身的所有物质抛回星际介质中。它们四散的身躯和星际间其他物质混合在一起，成为萌生新一代恒星和行星的土壤。超新星是这生死轮回中关键的环节，是毁灭与创生相遇的一刻。

超新星这个名字，是脾气古怪的瑞士天文学家弗里茨·兹威基在 20 世纪 30 年代创造的。20 世纪 20 年代他来到美国加州理工学院，很快以卓越的才华闻名遐迩。20 世纪 30 年代初，他思考着一个困扰了天文学家很长时间的问题：天空中偶尔出现又无法解释的光点到底是怎么回事。他提出，如果恒星坍缩到原子的核心那种密度，就会变成一个极其坚实的核。原子实际上已经被压成一团，它们的电子不得不变成核子，形成中子，这样就形成了一颗中子星。一颗中子星核的密度如此之大，一调羹的中子星物质就重达 900 亿千克。兹威基意识到，这样的一颗恒星坍缩以后会释放出大量能量，足以产生宇宙中最剧烈的爆炸。他把这种爆炸称为超新星。