图中的蓝色光点是高能脉冲星——在超新星爆发后剩下的高度磁化、高速自转的恒星核。[来源：NASA/JPL-Caltech/SAO]

X射线之眼

何锐思
（Richard de Grijs）

北京大学科维理天文与天体物理研究所（KIAA）教授，国际天文学联合会天文发展办公室东亚分站负责人。

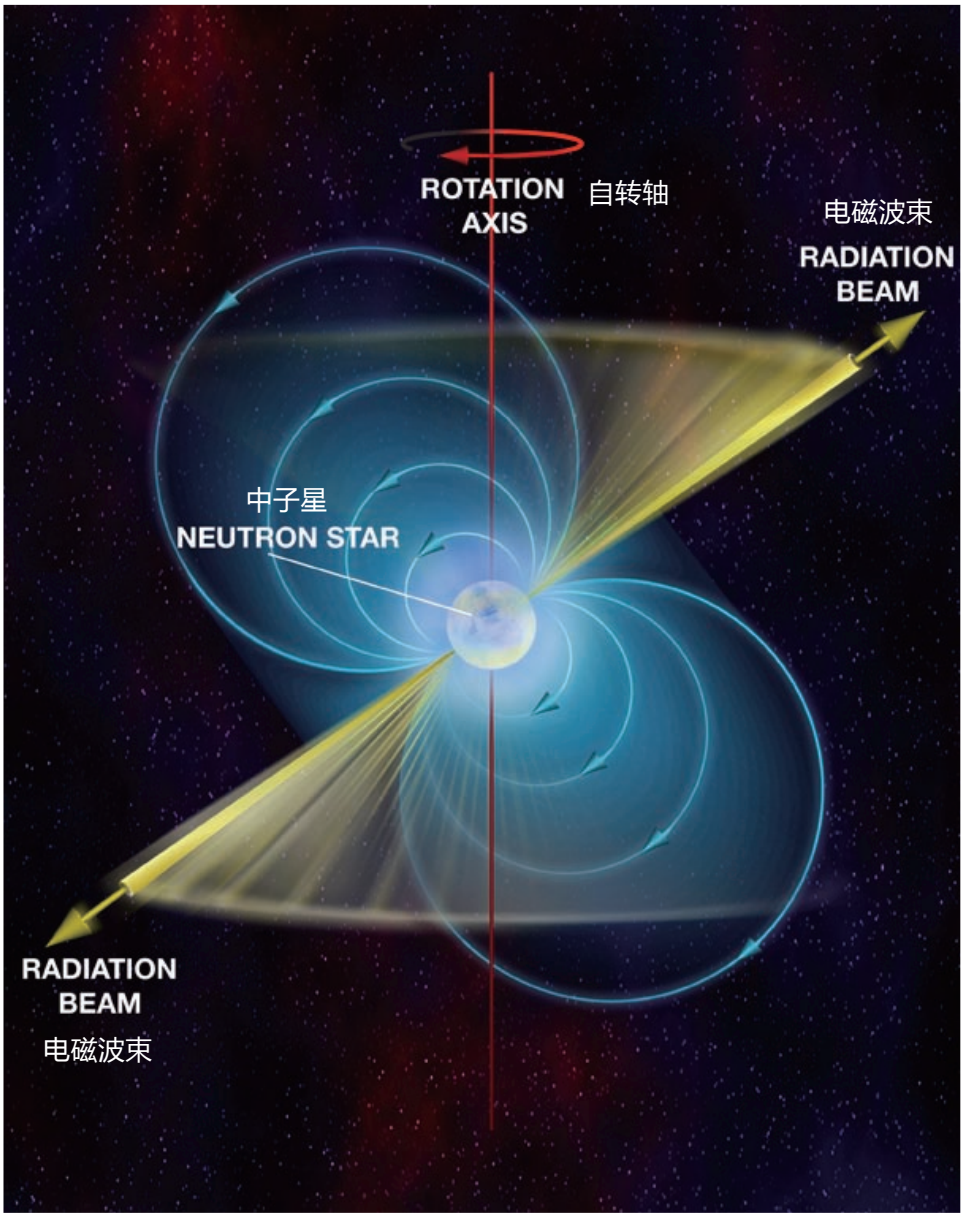
□ **文** 何锐思(Richard de Grijs) / **翻译** 程思淼

如果你有一双能够看到X射线、甚至伽玛射线的眼睛，宇宙看起来会是什么样？你一定会为看到宇宙中不断发生的最最激烈的事件而惊叹不已！但事实上，要想探测到波长这样短的电磁波，我们必须要将望远镜发射到太空中去。虽然X射线与伽玛射线天文学的研究历史还很短，但也正因为此，在今后还会出现更加惊人的新发现！

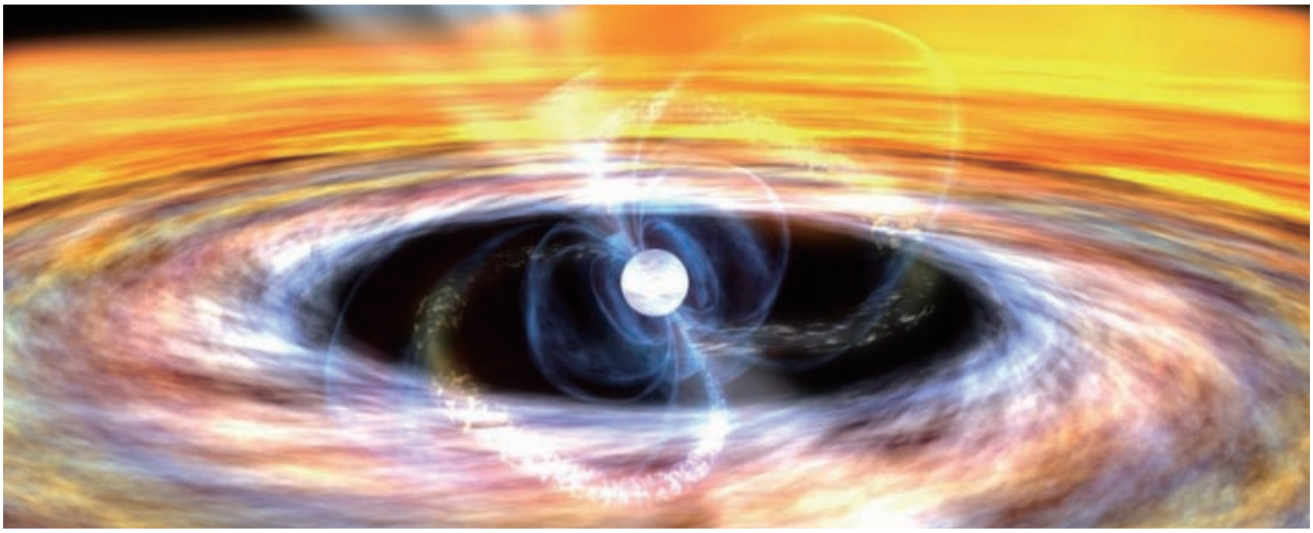
上个月，美国宇航局（NASA）核分光望远镜阵（Nuclear Spectroscopic Telescope Array，NuSTAR）项目的科学家发现了一颗脉动的恒星残骸，其辐射的能量大约相当于太阳的1000万倍！由于其辐射能量巨大，之前人们一直以为它是一个黑洞，但它实际上是一颗脉冲星——也就是大质量恒星在超新星爆发之后，其中心残留下来的极其致密、高速自转的恒星残骸。

“这个小而致密的恒星残骸，能量着实不容小觑。我们从未见过这样的天体，”NuSTAR首席研究员，美国加州理工学院的菲奥纳·哈里森（Fiona Harrison）说。“我们一直以为这样高能的天体只能是一个黑洞。”

脉冲星的典型质量在1到2倍太阳质量之间。如果这颗新发现的脉冲星质量也在此范围内，那么它发出的光会比理论预言的、同等质量的物质所



由于磁轴与自转轴并不一致，脉冲星会像一座“灯塔”一样向空间中旋转着发出强烈的电磁波束。[来源：NRAO]

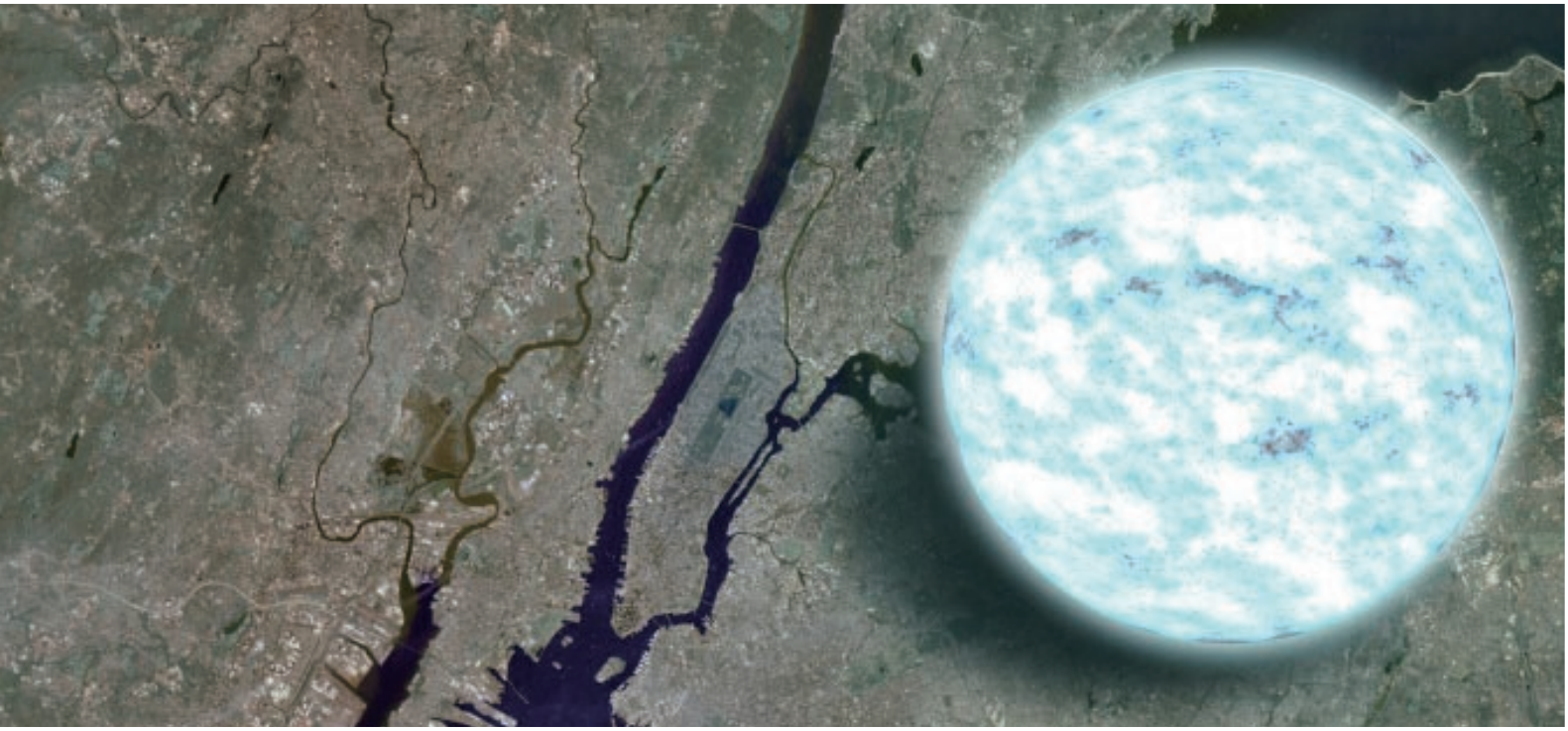


艺术家绘制的脉冲星想象图。[来源：NASA / Goddard Space Flight Center / Dana Berry]

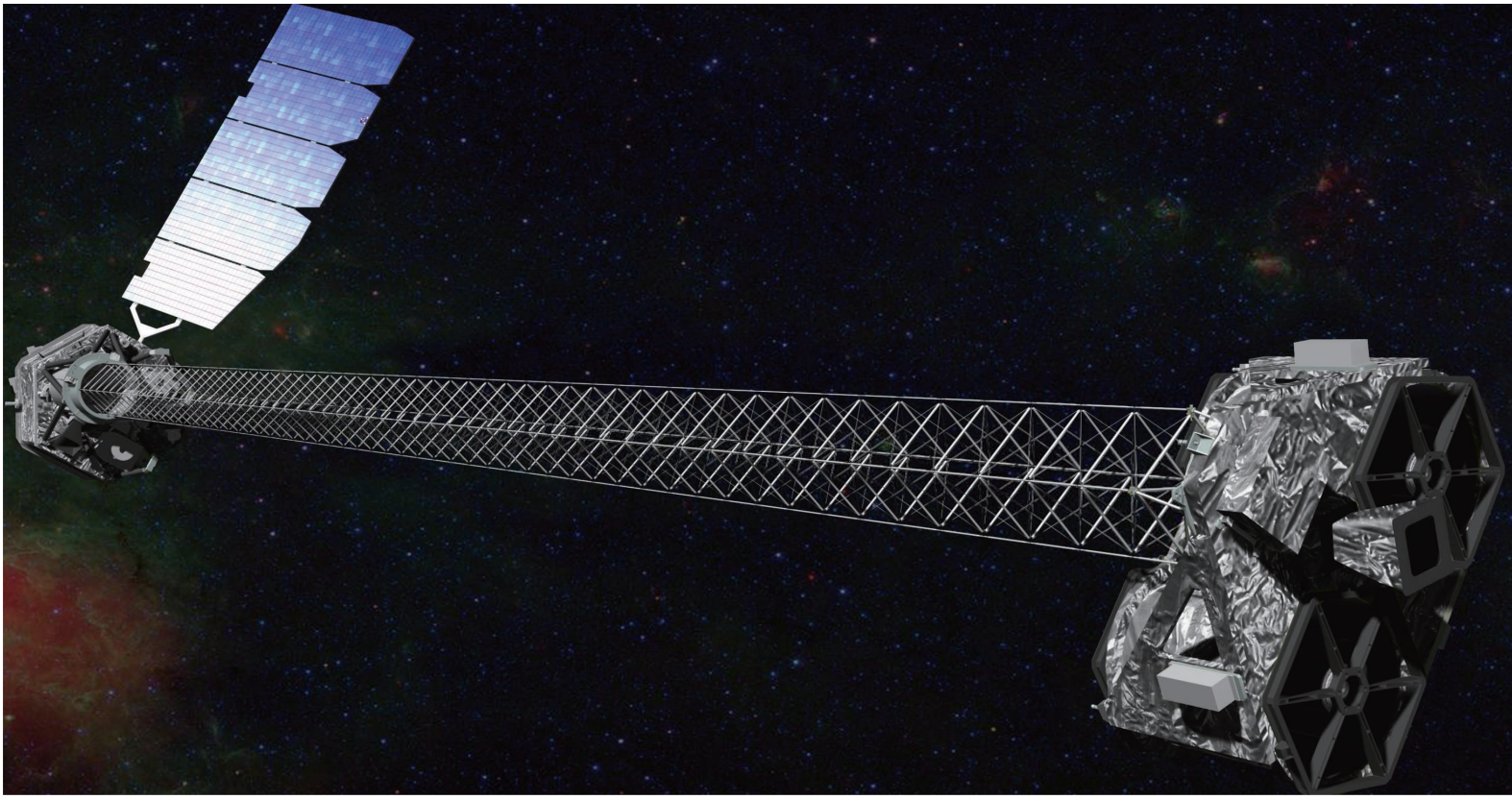
能发出的光度上限还要亮100倍。“我们甚至从未见过一颗亮度与之接近的脉冲星，”多姆•沃尔顿（Dom Walton）说。他是加州理工学院的一名博士后研究员。“说实话，这样的天体是如何存在的，对此我们现在一点头绪也没有。做理论的人要为此绞尽脑汁一阵子了。”同时，这一不寻常的发现还将有助于科学家们更好地认识“极高光度X射线源”（ULXs）。

2014年初，英国伦敦的天文学家在银河系附近的星暴星系M82中，发现了一颗百年一见的明亮超新星（虽然名字很枯燥：SN2014J）。机会难得，一时间，全世界乃至太空中的望远镜都对准了M82，仔细地观察超新星爆发之后的余波。事实上，在M82中还有一些其他的极高光度X射线源，而当法国图卢兹大学的马特罗•巴切提（Matteo Bachetti）在NuSTAR的数据中仔细检索这些极

在这幅由三架不同波段望远镜拍摄得到的叠加图像中，我们看到了可能来自一颗罕见脉冲星（紫红色）的高能X射线流。这个被称作M82的星系的主体形状可以在可见光波段看出来（由美国国家光学天文台位于亚利桑那基特峰的2.1米望远镜拍摄）。星光为白色，尘埃带则呈现棕色。钱德拉X射线天文台拍摄的低能X射线图像由蓝色表示；而由NuSTAR拍摄的高能X射线图像由粉色表示。[来源：NASA/JPL-Caltech/SAO/NOAO]



脉冲星的典型尺寸。[来源：NASA/Goddard Space Flight Center]



艺术家绘制的轨道上的NuSTAR概念图。进入太空轨道之后，NuSTAR将展开一个10米长的“桅杆”，以使其光学单元（图右）与接收器（焦平面，图左）之间保持设计的距离。飞船的控制部和太阳能板、接收器在同一端。为了提高灵敏度，NuSTAR有两个同样的光学单元。图片背景是钱德拉X射线天文台拍摄的银河中心图像。[来源：NASA/JPL-Caltech]

高光度X射线源时，他发现其中有什么东西在脉动，或者说在“闪烁”。

“这着实让人吃惊，”哈里森说，“几十年来，所有人都认为这些极高光度X射线源只能是黑洞。但是黑洞是不可能脉动的。”

不过，脉冲星却可以。它好像一块巨大的磁石，从两个磁极辐射出电磁波。当它们自转的时候，就会变得像灯塔一样：如果一个观测者所处的角度合适，他就会看到强大的光束周期性地向他射来。当初，大多数科学家会认为极高光度X射线源就是黑洞，实在是因为它们太过明亮了：黑洞的质量范围可以从10倍直到数十亿倍太阳质量不等，其强大的引力远远超过脉冲星；当物质落向黑洞时，巨大的引力势能转化成热量，就会辐射出大量X射线。黑洞的质量越大，它因此发出的光也就越明亮。

惊讶于M82中的闪光，NuSTAR团队一遍遍地复查了数据。数据显示闪光确实存在，脉动的周期是1.37秒。下一步就是要确认，究竟是哪个极高光度X射线源在闪烁。沃尔顿和同事们分析了NuSTAR和它的“亲戚”钱德拉X射线天文台的数据，排除了25个目标，最后锁定了M82中一个极高光度X射线源——M82X-2，确认了它就是那个闪烁的源。虽然确定了这颗脉冲星和它的位置，但是还有很多的问题有待解答。明亮天体的强大辐射会产生从内向外的“辐射压”，当天体太过明亮，其质量产生的引力不足以抵抗辐射压时，理论上说，它就会解体。这就是天体物理学中的“爱丁顿极限”。可是，在M82中新发现的这颗脉冲星，它的亮度却远远超出了“爱丁顿极限”！

“这是目前超出这个极限最极端的例子，”沃尔顿说。“我们已经知道，有时实际情况可以比理论值超出一点，但这颗星已经完全无视了‘极限’的存在。”从这样的新发现来看，NuSTAR望远镜的确是一把好手。它不仅能“看”到高能X射线，而且还是以一种独特的方式“看”。NuSTAR不像我们的照相机那样，把来自目标的光线随着时间积累起来，拍成图像，因为如果相机抖动的话，拍出的图像就会模糊。相反，NuSTAR对来自目标的X射线，一个光子、一个光子地进行接收，把每个光子到达的时刻都记录下来。这样，不仅避免了模糊，科学家还可以进行时序分析（timing analyses）——对于M82里的这个极高光度X射线源来说，就是分析它的亮度是如何脉动变化的。

哈里森提醒说，既然现在NuSTAR团队已经认定这个X射线源是一颗脉冲星，那么，很多其他的极高光度X射线源可能实际上也是脉冲星。“以前，

大家都觉得这些源毫无疑问只能是黑洞，”她说，“但是现在，我认为有必要回过头来好好考虑一下，是否确实如此。它们可能是一种非常独特、奇异的天体，也可能事实上并不那么特别。对此，我们一无所知。我们需要更多的观测数据，看看其他的极高光度X射线源是不是也存在脉动。”

NuSTAR最近刚刚完成了为期两年的主要任务。“自NuSTAR发射升空到现在，已经两年过去了，这真是难以相信，”哈里森说，“我们达成了任务设定的全部科学目标，并且做出了一些惊人的发现。这些发现在两年前是不可想象的。”

2012年6月13日，在太平洋上空，NuSTAR从运载它的飞机上脱离，在火箭的推进下进入太空。经过为期48天的调试，它开始收集来自黑洞、超新星遗迹、星系团和其他奇异天体的X射线数据。为了精确地探测高能X射线，望远镜被设计成一个长长的“桅杆”形状——足有一辆公共汽车那么长。它是目前发射的最灵敏的高能X射线望远镜。

在主要任务中，NuSTAR粗略地测定了一些黑洞的自转速率，并为研究大质量恒星在爆发之前的不稳定状态提供了新的视角，这是人们期待已久的。除此之外，NuSTAR的观测结果还包括：发现银心附近存在高度磁化的中子星、探测隐藏在尘埃中的明亮而活跃的黑洞以及偶然发现了一些超大质量黑洞。

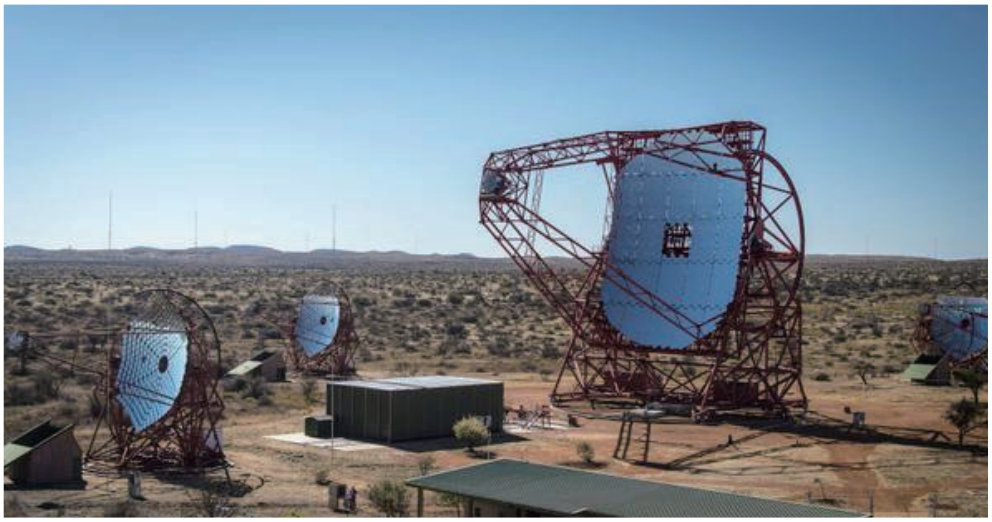
“上帝之手”看上去就像在医院里用X光拍摄的骨片，但它实际上是超新星爆发喷射出的物质云。NuSTAR望远镜首次获得了它在高能X射线波段的图像，图中用蓝色表示。钱德拉X射线天文台获得的低能X射线图像用绿色和红色表示。[来源：NASA/JPL-Caltech/McGill]

“NuSTAR观测高能X射线的独特视角，为我们展现了我们熟知的天体和天区不为人知的一面。”哈里森说。下面一张图像显示了一颗恒星死亡后的遗迹。超新星爆发的巨大能量，把这块星云塑造成一只手的形状，因此又称为“上帝之手”。它距离我们17000光年远，其中央星是一颗脉冲星：PSR B1509-58，或简称B1509。这颗脉冲星的直径只有大约19千米，但是仍然威力巨大：它以每秒7圈的速度自转，不断向周围的超新星遗迹中喷射高能（带电）粒子束。这些高能粒子在超新星遗迹的磁场作用下，沿着螺旋形的轨迹高速运动，辐射出X射线。因此，我们在X射线波段拍摄的图像中可以看到有如张开的手掌的形状。

关于这个“脉冲星风星云”最大的谜团是，脉冲星喷射的粒子束是否与星云中的物质相互作用，以某种方式参与了这个“手”形的塑造？还是说星云在诞生之初，本来就是手的形状？“我们还不知道这个‘手’形是不是光学上的错觉，”加拿大蒙特利尔麦克吉尔大学的安鸿钧(Hongjun An)说。“在NuSTAR的视野里，‘手掌’看上去更像是一个拳头，这为我们提供了一些线索。”不过他没有透露更多的细节。

事实上，在我们的银河系中遍布着仍然在嗞嗞作响的超新星遗迹。那些最大质量的恒星以超新星爆发结束其生命后，并不一定立刻在夜空中暗淡下去，而是有时会继续辐射出强烈的高能伽玛射线。这些恒星残骸的巨大能量源于何处？NuSTAR将帮助我们解开这个谜团。最近，这架望远镜的高能X射线之眼指向了那个发出强烈伽玛射线的天区，并且确认：那里有一颗高速自转的脉冲星。

发现这些强伽玛射线的“幕后黑手”原来是脉冲星，已经不是第一次了。但由于我们并不知道伽玛源的距离，只凭在天上的位置接近就断言两者有物理上的联系，还很不严谨。而



由4架12米望远镜环绕一架新建的28米CT5望远镜组成的HESS望远镜系统。

NuSTAR独特的时序观测带来的证据则有说服力得多。NuSTAR与钱德拉X射线天文台、费米伽玛射线空间望远镜以及位于纳米比亚的高能立体望远镜系统（High Energy Stereoscopic System，HESS）一起，各自发挥其长处，推进了我们对这些死去但却并不“安息”的恒星残骸的认识。“来自这些恒星残骸的能量，足以造成像我们观测到的这么亮的伽玛射线，”美国纽约哥伦比亚大学的埃里克·戈特尔夫（Eric Gotthelf）说。进一步说，如果脉冲星可以是这些伽玛射线的来源，那么，其他一些高能辐射源，比如超新星遗迹的外层云气壳、X射线双星，或者恒星形成区也都有可能发出伽玛射线。

近年来，HESS项目已经在银河系中确认了超过80个强伽玛射线源。其中绝大多数都与之前的超新星爆发有关，但也有一些其“真身”究竟是何种天体，目前尚不清楚。今年9月份刚刚宣布确认的一个源HESS J1640-465，是迄今发现的最明亮的伽玛射线源之一。目前已确认了它与一个超新星遗迹的关系，但产生如此巨大能量的机制目前尚不清楚。不过，来自钱德拉X射线天文台和欧洲空间局X射线多镜望远镜的数据显示，这些能量可能来自一颗脉冲星，只不过由于云气的遮挡，我们难以直接观测到它。

NuSTAR填补了钱德拉X射线天文台和X射线多镜望远镜在高能X射线波段观测能力的不足，而高能X射线是可以穿透云气传播的。另外，NuSTAR还能够以很高的精度测量X射线波段的脉动。这样，NuSTAR就可以观测到，来自HESS J1640-465的高能X射线在有规律地脉动。这一观测结果使人们发现了PSR J1640-4631。这是一颗每秒自转5圈的脉冲星，也是观测到的高能X射线和伽玛射线的最终来源。

那么，脉冲星是如何产生这些高能射线的呢？原来，脉冲星强大的磁场可以激起同样强大的电场，使其表面附近的带电粒子加速到接近光速。而这些高速运动的粒子与磁场作用，就会发出强烈的高能伽玛射线或X射线束。“发现了驱动HESS J1640-465的脉冲星‘引擎’，天文学家就能够检验他们关于强伽玛射线辐射机制的理论模型是否正确。”戈特尔夫说。

“也许有些其他强伽玛射线源中的脉冲星我们没法探测到。”麦克吉尔大学的维多利亚·卡斯比（Victoria Kaspi）说。但是，借助新的观测数据，天文学家已经得到了这颗脉冲星自转变慢的速率（大约30毫秒/年），以及这一“变慢速率”随时间的变化。这些信息都将帮助研究者理解，这些高速自转的磁化星体辐射出如此强烈高能射线的机制。

伽玛射线天文学正在迅速进入天体物理研究的主流。去年，在HESS已有的4架12米口径望远镜基础上，又新建了一架巨大的28米口径望远镜。“这是五年来艰苦工作的结晶。”澳大利亚阿德莱德大学的加文·洛威尔（Gavin Rowell）说，“我们一直在为建造世界上最大的伽玛射线望远镜、为能探测到更弱的伽玛射线信号而努力。这可不是容易的目标：为了对瞬变目标做出及时的反应，必须能让500吨重的钢和玻璃在30秒之内准确地指向任何天区。”

最近，一个国际研究团队宣布，他们用新望远镜探测到了船帆座脉冲星发出的脉动伽玛辐射。这些伽玛射线是其辐射的可见光的能量的100亿倍。当然，这个脉冲信号还有待从周围更强的信号中进一步分离。

船帆座脉冲星是一个极为致密、高速自转的天体。它的直径不超过20千米，距地球约1000光年。它像灯塔一样发出脉动的伽玛射线，周期仅为89毫秒。上面提到的那架新HESS望远镜的主要目标之一就是探测到尽量微弱的信号，以便能够研究脉冲星的辐射。

“这一结果为HESS打开了进一步探索伽玛射线源头的大门。”洛威尔说。现在HESS研究的电磁波段，对我们理解脉冲星如何对粒子进行加速，起着至关重要的作用。这个波段的伽玛射线对它在脉冲星表面产生的部位非常敏感。因此，对这些伽玛射线进行仔细的探测，就可以帮助我们确定它是如何以及从哪里发出的。“理解了这一过程，将可以帮助我们回答一些关于宇宙演化的大问题。”■

（责任编辑　冯翀）