## “中国天眼”为何紧盯脉冲星

在今年的全国两会上，全国人大代表、中国科学院国家天文台“中国天眼”总工程师姜鹏介绍了“中国天眼”的成果，其中包括发现了一颗迄今为止轨道周期最短的脉冲星双星系统。截至目前，“中国天眼”已经发现883颗脉冲星，发现效率超过了国外同行总和的3倍，年内这一数字有望刷新到1000颗。

那么，脉冲星在宇宙中是一种什么样的天体？“中国天眼”在这个领域具有哪些观测优势？找到大量脉冲星之后又有什么科学用途呢？

**走向外太空绕不开的脉冲星**

人类想要走向外太空，寻找脉冲星是绕不开的一步。因为脉冲星非常稳定，故而可以用作长期可靠的时间系统和太空“航标”。

上世纪70年代，美国陆续将多枚航天器发往太阳系外。在先驱者号携带的“地球名片”镀金铝板和旅行者号携带的“地球之声”金唱片上，均用14颗脉冲星的周期和相对距离标记出了太阳系的方位。在科学家眼中，无论是“走出去”还是“走进来”，脉冲星对探索外太空都具有非常重要的意义，这也是脉冲星受青睐的重要原因。

脉冲星就是旋转的中子星，因不断发出电磁脉冲信号而得名，在1967年首次被发现。从地球的角度去看，脉冲星是周期性闪烁电磁脉冲的天体，脉冲间隔极短，通常在秒级，可短至几毫秒，也可长至上百秒。其实，脉冲星并不是真的在闪，所谓闪烁，只是一颗疯狂旋转的死亡恒星造成的假象。

在人类目前发现的三四千颗脉冲星中绝大多数都是中子星，它们曾经是发光发热的正常恒星。恒星内部总有两股力量在抗衡：引力驱使物质向恒星的核心坠落，而核聚变释放的能量把物质向外推。这两股力量相互制约，假如某个瞬间引力稍占上风，那么恒星就会收缩，收缩引发升温，核聚变便会立刻增强，迫使恒星回弹到原有尺寸。

这场角力一旦开始就十分漫长，像太阳内部的这两股力量已经缠斗了46亿年。但恒星的核聚变燃料总有用完的一天，所以引力永远是最后的赢家。当一颗大质量恒星（如超过8倍太阳质量的恒星）耗尽燃料时，就会向中心坍缩，发生猛烈内爆，再向外弥散，迸发出一朵绚烂的“烟花”，这个过程就叫作“超新星爆发”。我国古人曾观测到一颗明亮的超新星：北宋至和元年（公元1054年），金牛座的“天关”星宿附近出现了一颗超新星，明亮到连续23个白天都可以看到它；夜晚可见的时间更久，足足持续了22个月。这起超新星爆发事件被当时的司天监记录下来，史称“天关客星”。

恒星在爆发之后，通常会留下一颗非常致密的天体，这就是中子星——其内部由于巨大的引力作用，原子结构被压垮，电子被挤进原子核，与质子结合为中子。中子星的质量超过1.4个太阳，直径却只有十几公里，可谓“超强压缩”了。

另外，中子星还从恒星那里继承了残余质量的旋转角动量。在同样的角动量下，转速与半径的平方成反比，比如半径缩小一半，转速就会增至4倍。冰舞运动员在旋转时把双臂收拢或举到头顶，就会滴溜溜地转得飞快，同理，当恒星坍缩到中子星的尺寸，转速就会成百万倍、上亿倍地飙升，如果它从星际或伴星那里吸取物质，转速还能进一步提高。目前所知转得最快的中子星每秒自转716圈，都超过破壁机了。

中子星具有强磁场，能驱动其周围的带电粒子，发出强烈的射电辐射束，并从它的两个磁极喷涌而出，如果这些随中子星自转的辐射束正好扫过地球，科学家就能观测到周期性的射电脉冲。

前面提到的“天关客星”就是一颗周期33毫秒（每秒自转30圈）的脉冲星，抛散出的渐冷烟花是著名的蟹状星云。这颗脉冲星虽然不是人类发现的首颗，却是事先知道该往哪儿看、主动搜寻到的第一颗脉冲星，也是将脉冲星、中子星和超新星爆发等概念联系到一起的首个天体。中国近千年前的这个天文记录，对人类认识恒星演化历程和天体物理学的发展起到了重要的推动作用。

**“中国天眼”缘何观测优势明显**

大部分脉冲星在可见光波段没有显著辐射，而在射电波段看起来比较亮。幸运的是，从地球这个角度，大气层对波长为10厘米至10米量级的射电波段相当优待，透明度极高，所以在地面上特别适合利用射电望远镜观测脉冲星。

“中国天眼”就是一座巨大的射电望远镜，其全名为“500米口径球面射电望远镜”，英文缩写为FAST。它坐落在贵州省平塘县，依照喀斯特地貌的天然洼地而建，2011年开工，2016年落成，是目前世界上最大的全口径均有反射面的射电望远镜。著名的俄罗斯RATAN-600射电望远镜口径虽然达到了576米，却只有细细一圈反射环。

说句题外话，有不少人觉得FAST这个缩写听起来很酷，全称却显得过于直白。其实这一直是天文界的传统，比如美国的TMT是“30米望远镜”，欧洲的VLT是“甚大望远镜”、ELT是“特大望远镜”，美国航天局、欧洲空间局、加拿大宇航局联合研发的詹姆斯·韦布空间望远镜的名字James Webb Space Telescope（JWST）略有一点情怀，可它最初其实叫作“下一代空间望远镜”（相对于哈勃而言）……

言归正传，每当大家听到“射电望远镜”这个词时，脑海里往往会浮现出一口天线“大锅”。为什么射电望远镜都这么大呢？这主要是因为在相同的分辨率需求下，要观测的波长越长，“锅”的口径就得越大，不然就看不清了。因为这一原理，在红外波段工作的韦布空间望远镜口径是主攻可见光的哈勃望远镜口径的2倍多（前者口径为6.5米，后者口径为2.4米），不得不精心折叠，才能塞进火箭发射上天。而射电望远镜所工作的波长比这两个望远镜还要高五六个数量级，口径动辄几百米就毫不夸张了。

一些细心的读者可能还有两个疑问。一个疑问是球面实际上无法将遥远星光汇聚到单一焦点，得用抛物面才行，“中国天眼”为何要做成球面望远镜？另一个疑问是一口“大锅”固定在地面，岂不是只能盯着天顶上的一点，就算随着地球自转，是不是也只能扫描这一点？

实际上，“中国天眼”可不像厨房里的炒菜锅那样是硬邦邦一整块，它的身段“灵活”得很，由4450片反射铝板拼接而成，通过背后的电机驱动。这些反射板能够调整位置和姿态，改变镜面的形状。经“中国天眼之父”、中国天文学家南仁东及其团队的计算，只需和球面偏离47厘米，就可以把口径300米的球面改成抛物面，把射电信号聚焦在一点。所以，在任意时刻，“中国天眼”都可以通过一片口径300米的圆形抛物面工作区域，把射电信号聚焦反射给上方悬吊的测量设备。同时，在控制中心的统一指挥下，这个“300米工作区”能在“锅”里自如漂移，就像眼珠转来转去一样，可观测的天区范围相当广阔。

由此可知，倘若保持完整的300米口径，“中国天眼”的视线能够转离天顶26.4°，以射电望远镜所在的北纬25.8°加减这个天顶角，即可得到从北纬52.2°（工作区紧贴南锅沿，望向北方天空）到南纬0.6°（工作区紧贴北锅沿，望向南方天空）的观测范围。据南仁东估算，从地球角度全天可观测的脉冲星中，有一半都能被“中国天眼”看到。

在强大的硬件基础上，“中国天眼”还有多种观测模式。比如，“中国天眼”可设置为“漂移扫描”模式，即固定工作区，盯着天顶某个角度一动不动。然而，它实际上是在跟随地球自转自西向东扫描这一片天空。忽然，观测人员看到一连串射电闪烁，似乎是一颗没见过的脉冲星，值得追着看一看，便可把“中国天眼”切换到“跟踪”模式，通过行“注目礼”的方式，把特定目标固定在视野中，就能对新天体进行详尽观测。

如果观测人员事先对某片天区怀有较高的期待，还可以有的放矢，让“中国天眼”进入“运动中扫描”模式，东西南北、往复来回地巡视指定天区。比如，“中国天眼”对脉冲星的优先搜索区域，就是银河两岸各5°的天区，后来扩展到各10°的天区。

“中国天眼”的设备选址使其避开了各种地面干扰，巨大口径和采光面积带来了极高的分辨率和灵敏度，灵活的工作模式拥有了宽广的观测范围。有了这些优势，它能高效发现脉冲星也就不奇怪了。

**可大力推动基础物理研究**

据“中国天眼”总工程师姜鹏介绍，自2016年正式运行以来，“中国天眼”已经发现了883颗脉冲星，是国外同行在同时期发现总和的3倍有余。那么，我们能利用这些脉冲星做什么呢？

事实上，科学发现未必立刻就能带来用处，当北宋的司天监记录“天关客星”的时候，也想不到它会在近千年后推动天体物理的研究。人们探索世界运行的法则，是因为懂得这些知识本身就是件有意义的事。

至于脉冲星本身，是具有极高科学价值的。

稳定的脉冲星可以用于精密的定时定位。脉冲星的自转角动量极大，在太空中几乎不受任何干扰，所以脉冲周期非常稳定，有些脉冲星在长期表现上堪与原子钟媲美。在人类的时间尺度上，脉冲星可谓“永不断电”，比原子钟皮实多了。因此，将脉冲星和原子钟结合起来，可以建立长期稳定的精密时间系统，甚至用于星际导航。

脉冲星还可以用来探测空间环境。当脉冲星发来的信号穿越星际空间时，会被沿途的电离气体阻碍，造成延迟。路程越长，电离气体越多，波长越长，信号延迟得越久。如果已知脉冲星离地球有多远，再精密测量各波长信号到达的时间差，就能反推信号沿途的星际介质分布情况，帮助我们更好地了解银河系的物质分布和演化过程。影响脉冲星信号的还有磁场，磁场越强，电磁信号的改变幅度越大，通过测量信号的偏振，就能够推演信号沿途的磁场分布情况。

当超大质量天体扰动时空时，例如两个黑洞或中子星以超高速互相绕转时，会产生引力波，对时空造成畸变振荡，改变脉冲星信号到达地球的时间。所以，通过精确测量天空各个方向脉冲星的周期起伏，还可以探测引力波。

当然，即使没有上面这些用途，以脉冲星为代表的中子星，本身也是位于物理学研究前沿的奇异天体。

脉冲星的各种极端条件是在地球上无法制备的，通过它可以研究具有原子核密度的物质在宏观上如何运作。脉冲星具有极强的引力场，足以扭曲时空，又比黑洞友好，允许电磁信号跑出来“报信”，是演示广义相对论效应的绝佳场所。由于脉冲星具有超强磁场，它还是研究磁层粒子加速、高能辐射和射电辐射的天然实验室。

全球科学界发现的脉冲星有三四千颗，其中，“中国天眼”就发现了近千颗，大大丰富了脉冲星的样本库。数据基数上去了，就更有希望找到更奇异、更前沿、更能推动基础物理研究的天体，比如脉冲星-黑洞双星系统，这类系统是天体物理学的“圣杯”。脉冲星的特点是稳定输出电磁信号，黑洞则擅长扭曲时空，对信号造成延迟和偏转，两者在太空中互相绕转时，所观测到的信号将千变万化，极具科研价值，而且还能检验广义相对论和现有黑洞理论的诸多预言。

总而言之，对于脉冲星的探索在协助星际航行、探测空间环境、推动理论研究等方面具有重要作用，而“中国天眼”持续发现大量新的脉冲星，必将获得更多收益，取得重大突破。