

流浪黑洞的发现之旅

沈滔

“宇宙吸尘器”——黑洞

想理解流浪黑洞，得先摸清黑洞的“基本盘”。简单来说，黑洞并非字面意义上的“洞”，而是超重致密天体。如同把数十个太阳的质量塞进一个比地球还小的球里，密度将大到难以想象，引力足以让它“掰弯”时空，因此黑洞也被称为“宇宙吸尘器”。

绝大多数黑洞源于大质量恒星的“死亡时刻”：以一颗质量是太阳20倍以上的恒星为例，它的一生都在“燃烧”核心氢元素，核聚变能量对抗自身引力。当核心氢耗尽，能量支撑不足时，外层物质会瞬间向中心坍缩，引发堪称宇宙级“烟花”的“超新星爆发”。

此时，恒星的“体重”成为了关键。如果恒星剩余核心质量超过3倍太阳（即“托尔曼—奥本海默—沃尔科夫极限”），即便中子间的排斥力也无法抵御引力，核心会持续坍缩成“引力无穷大、体积无穷小”的“奇点”——这是黑洞的中心。围绕奇点的“势力范围”被称为“事件视界”：一旦物体（包括光）进入这个边界，便再也无法逃脱黑洞的引力束缚，最终会被吸入奇点。

根据质量，黑洞还分为三类“宇宙体重选手”：最小的是“恒星级黑洞”，质量为太阳的3~100倍，多由大质量恒星死亡形成，2015年人类首次探测到的引力波，便来自两个恒星级黑洞的合并；最大的是“超大质量黑洞”（也称“星系级黑洞”），质量达太阳的百万到百亿倍，几乎每个星系中心都有一个“标配”，银河系中心黑洞为“人马座A*”；介于两者之间的“中等质量黑洞”（太阳的100~100万倍）长期以来缺乏决定性存在证据，直到2019年通过GW190521引力波事件才首次确认。这次中国科学院上海天文台发现的流浪黑洞（30万倍太阳质量），正是一颗中等质量黑洞。

近期，中国上海天文台科研人员带领国际合作团队，在近邻矮星系中发现一个“离核、原位吸积、带喷流”黑洞，是目前红移最低、证据最扎实的流浪黑洞案例之一。什么是流浪黑洞？它和普通黑洞有什么差别？今天，让我们一起一步步了解“宇宙背包客”流浪黑洞的世界。

当我们开始讨论宇宙，黑洞是绕不开的核心话题。这个由广义相对论预言的致密天体，虽然自20世纪初就进入科学家的视野，却直到2019年才迎来首张“写真”。它神秘而强大，我们对它耳熟能详却又知之甚少。今天，我们从黑洞基础知识入手，逐步揭开流浪黑洞的面纱。

黑洞“背包客”——流浪黑洞

我们日常提及的黑洞多是“定居型”：超大质量黑洞坚守在星系中心，恒星级黑洞待在星系“居民区”（恒星密集区）；而流浪黑洞是黑洞里的“背包客”，不在任何固定位置，在星际空间自由移动。

流浪黑洞的“内核”（奇点、事件视界）和其他黑洞无异，却有三个显著的“异类”特征。首先，流浪黑洞“不住中心”，多数黑洞距离星系中心较近，而流浪黑洞能偏离中心极远。本次发现的流浪黑洞，偏离所在矮星系中心达近1000秒差距（约3000光年）。其次是流浪黑洞往往“边逛边吃”，它能捕捉周围的气体、尘埃（即“原位吸积”），且“进食”时会“喷尾气”——释放高速粒子流（喷流）。本次发现的流浪黑洞，便拥有约2.2秒差距（7.2光年）的喷流。三是“标准身材”，目前发现的流浪黑洞多是“标准身材”（中等质量）。既不是小个头的恒星级黑洞，也不是星系中心的超大质量黑洞。这种质量规模恰好让它既能被引力“甩离”原系统，又能在流浪中保持“吸积与喷流”的能力。

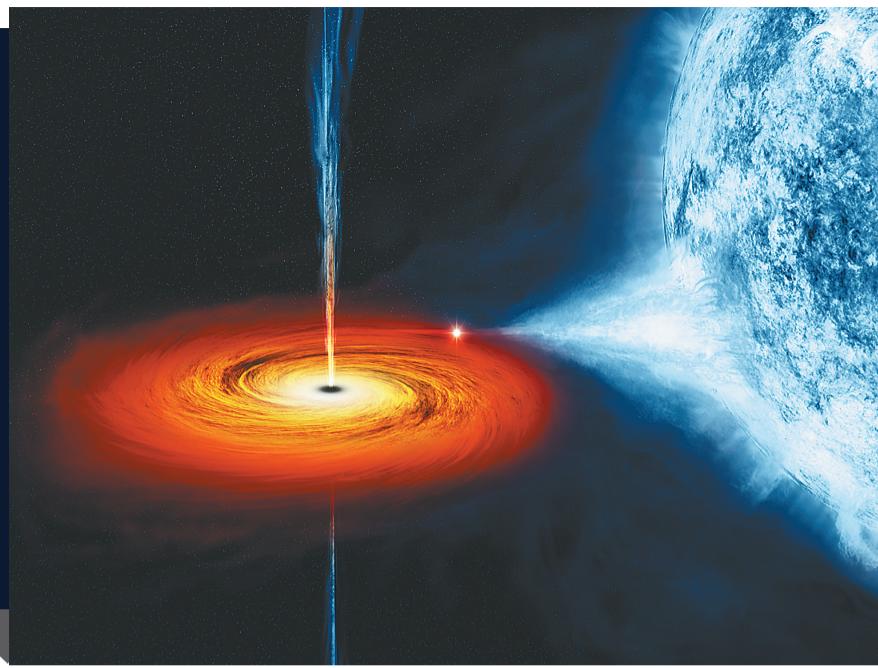
正因不受星系中心引力束缚，流浪黑洞能在星系内“逛来逛去”，甚至跑出星系进入星际空间“远游”。也因其吞噬一切的特性，它常成为科幻小说中“宇宙危险源”的灵感来源。

从“猜得到”到“看得见”

流浪黑洞不是“突然现身”的，天文学家从“理论猜想”到“直接观测”，足足走了近半个世纪。

早在20世纪70年代，科学家们便提出“流浪黑洞”的假设。关于其起源，主流观点认为：它们可能是银河系早期周围矮星系的“遗留物”。矮星系质量小、演化历史相对简单，它们就像“宇宙化石”保存了早期黑洞成长的线；矮星系间的合并或碰撞，可能导致部分黑洞被踢出原系统，成为“流浪黑洞”。一些模拟研究甚至指出，相当比例的矮星系黑洞会偏离中心达1000秒差距量级，但长期以来缺乏直接、明确的观测证据。

流浪黑洞本身不发光，且常远离星系核心，探测难度堪比在漆黑宇宙中寻找“隐形幽灵”。过去，科学家主要依赖两种方法寻找流浪黑洞，效果均不理想。一是引力透镜法——黑洞引力会“掰弯”光，如果流浪黑洞从恒星前经过，恒星会突然变亮，可以通过观测这种亮



黑洞从恒星中拉出物质。NASA艺术示意图

度的变化来寻找流浪黑洞。该方法对不吸积物质的“安静型”恒星级流浪黑洞最为有效，但受观测窗口期和恒星亮度波动干扰较大。二是X射线法——当流浪黑洞吸积星际气体时，气体在落入黑洞前会形成一个高温吸积盘，释放出强烈的X射线辐射，这成为X射线望远镜的关键探测信号。该方法对中等吸积率的黑洞敏感，可覆盖恒星级到中等质量黑洞，但受星际气体吸收影响大，远处或气体密集区的信号难以捕捉。

本次我国团队换了思路，不盯X射线，转而观测“射电波”——这类信号更易捕捉黑洞吸积过程中产生的高速喷流。研究团队先通过“近邻星系光谱巡天（MaNGA）”数据，发现一个矮星系的射电信号不在中心，反而位于3000光年外；再用由10台射电望远镜组成的“甚长基线阵列（VLBA）”进行深度成像，确认该信号来自温度超10亿开尔文的高温源（仅黑洞能达到这一温度），且几十年来信号“时强时弱”（符合黑洞吸积气体的特征）。

更关键的是，这个黑洞的红移值极低（ $z=0.017$ ），距离地球仅2.3亿光年；结合宿主星系恒星质量分析，其质量约为30万倍太阳质量，属中等质量黑洞范畴。综合多重观测特征，科研团队最终确认：这是一个正在活跃吸积、拥有喷流的流浪黑洞，也是目前“证据最扎实的流浪黑洞案例”。至此，流浪黑洞从“理论猜想”真正变成了“看得见的事实”。

从突破到展望

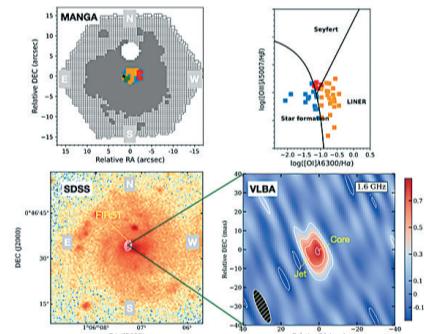
本次流浪黑洞的发现，不仅证实了一种特殊天体的存在，更从根本上改变了我们对黑洞成长方式和星系演化过程的理解，带来了一系列颠覆性的科学启示。

过去主流观点认为，大质量黑洞主要在星系中心依托“中央气体库”集中进食，从而迅速长大。但本次研究证明：黑洞即便不在中心，也能稳定吸积并形成喷流——这为早期宇宙超大质量黑洞的“分布式进食/多点生长”提供了实证支撑。中国科学院上海天文台安涛研究员指出：“这促使我们思考，早期宇宙中的黑洞成长未必只靠在星系中心‘一口气吃胖’，也可能依赖在星系各处的零散进食与后续并合，从而在不足十亿年的时间内成长为上亿倍太阳质量的庞然大物。”

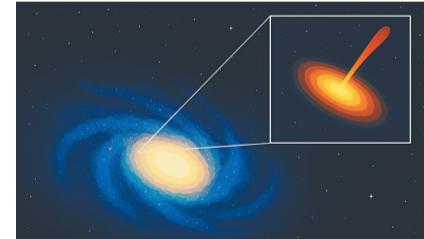
此外，流浪黑洞虽位于星系“郊区”，却能对宿主环境产生深远影响：它喷射

的强劲物质流会向周围气体注入能量，扰动星际动力学，甚至调控恒星形成。这一发现让我们重新审视“黑洞—星系共演化”：黑洞不只是星系中心的“引擎”，还可能在星系外侧悄然改写宿主的“生命历程”。

对于流浪黑洞研究的未来，科学家充满信心。随着下一代望远镜的建成，流浪黑洞或许将不再罕见。过去发现少，只是因为观测精度不足。未来，极大口径光学望远镜将能精确测定矮星系的光学中心与结构，获取高分辨率光谱，分辨微弱或被掩蔽的活动星系核特征，发



“流浪黑洞”最新研究成果论文亮点图。
中国科学院上海天文台供图



“流浪黑洞”艺术示意图(AI参与绘制)。
中国科学院上海天文台供图

现更多离核或游离黑洞候选体，扩大样本规模。随着FAST核心阵、平方公里阵列射电望远镜（SKA）的建成，天文学家将以更高灵敏度和分辨率开展系统巡天，捕捉更微弱的射电信号，甚至直接分辨亚秒差距级别的微型喷流，为偏核黑洞的确认与统计研究带来突破。

或许在不久的将来，我们会意识到：宇宙中漂泊的黑洞并不罕见。它们如同星系边缘的“隐形旅人”，以静默而深远的方式，影响着星系的演化轨迹。

（本文作者系海口市天文爱好者协会会长）