

# 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。

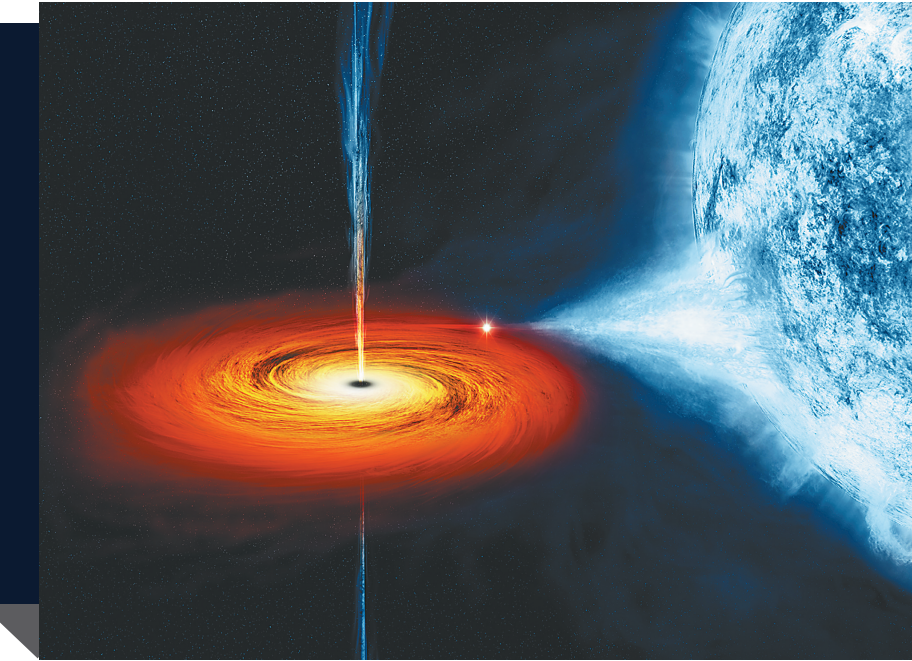
正因不受星系中心引力束缚,流浪黑洞能在星系内“逛来逛去”,甚至跑出星系进入星际空间“远游”。也因其吞噬一切的特性,它常成为科幻小说中“宇宙危险源”的灵感来源。

## 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

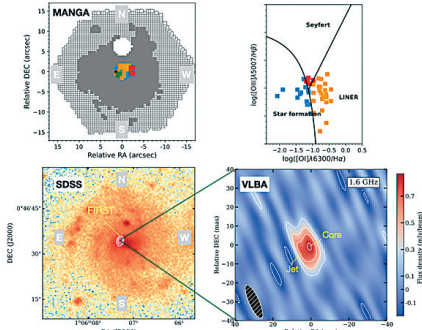
本次流浪黑洞的发现,不仅证实了一种特殊天体的存在,更从根本上改变了我们对黑洞成长方式和星系演化过程的理解,带来了一系列颠覆性的科学启示。

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。”

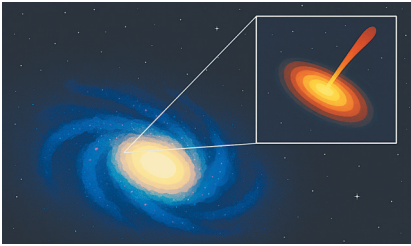
此外,流浪黑洞虽位于星系“郊区”,却能对宿主环境产生深远影响:它喷射

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)