

瞰前沿

宇宙中，有一类天体是通过“吃”来长大的。它就是黑洞。

长久以来，黑洞一直是科学领域的热点之一。霍金曾多次就黑洞研究与人打赌，全输了，成为科学史上的趣谈。2019年，事件视界望远镜发布首次给星系M87中心黑洞拍的照片，外形酷似甜甜圈的黑洞引发公众热议；2016年、2020年，黑洞研究两获诺贝尔物理学奖。

黑洞是如何“诞生”的？又是如何“长大”的？它如何与周围的宇宙环境相互作用？

这一系列问题，我们统称为黑洞的形成和演化——这是天文学的重大课题。按照体重，天文学家把黑洞分成三种类型：几倍到几十倍

人类为什么要研究黑洞？

太阳质量的恒星级黑洞、星系中心几百万倍太阳质量以上的超大质量黑洞，以及介于二者之间的中等质量黑洞。接下来，让我们一起走进黑洞“成长记”。

从“恒星葬礼”，到宇宙“巨无霸”，黑洞几乎与宇宙中所有的剧烈爆发事件相关，却又因其神秘性让人难以理解。从爱因斯坦的纸笔推演开始，黑洞研究就像一场跨越百年的宇宙解谜游戏。

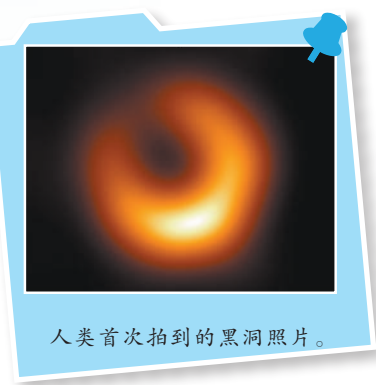
在解谜的过程中，技术的发展

是人类最大的助力。引力波探测器让我们“听声辨位”，捕捉黑洞并合的“时空涟漪”；事件视界望远镜则像一台“宇宙相机”，成功拍下了黑洞的“剪影”。

人类为什么要研究黑洞？黑洞研究与我们的生活密切相关：WiFi技术的诞生，最初是为了传输黑洞数据；引力波探测中的激光干涉技术，如今应用于地震预警、精密制造和医学成像……

黑洞不仅是宇宙的谜题，更是

人类探索未知的象征。尽管前路漫漫，但幸运的是，我们已经“看见”“听见”了黑洞，在揭开宇宙隐藏奥秘的路上，不断前行。



（探测两颗黑洞互相绕转发出的引力波）、视向速度方法（探测伴星绕黑洞转动造成的多普勒运动）、天体测量方法（探测伴星绕黑洞转动造成在天球位置上的周期性变化）、引力透镜法（探测黑洞经过背景恒星前面造成恒星光度的变化）等。

这些年，黑洞的搜寻与测量方面有了不少进展。2024年，盖亚望远镜发现了目前为止银河系最大的恒星级黑洞 GaiaBH3（33倍太阳质量）；我国天文学家利用郭守敬望远镜发现了置信度最高的位于质量间隙的小黑洞 G3425（3.6倍太阳质量），说明小质量黑洞可以存在，填补了黑洞质量分布的缺失环节。

银河系内究竟有多少恒星级黑洞？

爆炸。而恒星的核心——如果高于3倍太阳质量，便会在引力作用下，迅速坍缩成一个连光都无法逃脱的“囚笼”，恒星级黑洞由此诞生。

第一颗被发现恒星级黑洞是位于天鹅座的 Cygnus X—1。按照恒星演化理论，银河系中有数千万例黑洞，并且质量越小，数目越多。但目前为止，银河系内仅确认了不到50例黑洞，其中3—5倍太阳质量

的小质量黑洞是缺失的（称为“黑洞质量间隙”）。这意味着，目前的黑洞样本可能有很大偏差，我们需要搜寻黑洞并建立大样本，研究它的质量分布。

黑洞非常小，自身不发光，如何找到它们？

天文学家发展出了很多方法，包括X射线方法（探测黑洞吸积伴星物质发出的X射线）、引力波方法

中等质量黑洞在哪里？

子星的可能。

2025年，我国天文学家通过轨道回溯，发现一颗超高速星是从星团M15中被甩出去的，这只能来自中等质量黑洞撕开密近双星的引力弹弓效应，这打通了中等质量黑洞存在证据链的最后一环。此外，2018年，天文学家利用黑洞潮汐瓦解恒星的方法，在一个球状星团中证认了一例中等质量

黑洞，这也是目前搜寻沉寂黑洞的新兴方法。

引力波也在发现中等质量黑洞方面作出了重要贡献。2019年，激光干涉引力波天文台和室女座引力波天文台发现了一例85倍和66倍太阳质量黑洞的并合事件，并合后的黑洞质量是142倍中等质量黑洞，是目前发现的最小中等质量黑洞。

如何从“种子黑洞”长成超大质量黑洞？

黑洞为“种子黑洞”，通过不断并合或吸积周围的气体，实现质量的多量级提升。对于那些非常活跃的、正在疯狂“暴饮暴食”的超大质量黑洞，人们常称其为活动星系核或类星体。

超大质量黑洞的形成需要黑洞经过数亿年到数十亿年的持续吸积。但近些年来，人们不断地在宇宙早期发现新的黑洞。2015年，我国天文学家发现了中心黑洞质量约为120亿

倍太阳质量的超亮类星体，是当时人类发现的遥远宇宙中发光最亮、中心黑洞质量最大的类星体，红移为6.3，相当于宇宙大爆炸后8亿年左右。2024年，韦布望远镜确认星系GN—z11中存在活跃的超大质量黑洞，其红移为10.6，相当于宇宙诞生后4.3亿年。在如此短的时间内，超大黑洞是如何快速“吃胖”的？这是目前天文学的重大未解之谜。

黑洞是如何「长大」的

刘继峰 王松

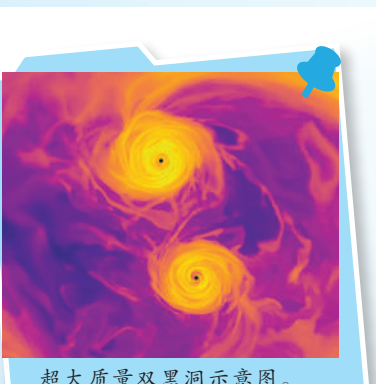


想象一下：一颗比太阳重20多倍的恒星，在生命末期像一颗膨胀到极限的气球，“砰”的一声炸掉“外衣”，如烟花一样照亮宇宙，这就是超新星

中等质量黑洞的起源，说法纷纭。

它可能来自很多恒星级黑洞的并合，通过小“种子黑洞”的“聚沙成塔”实现质量的增加；也可能来自宇宙早期第一代恒星的坍缩，或者大质量气体云跳过恒星阶段的直接坍缩。

因为没有确切存在的证据，中等质量黑洞常被称为“缺失的一环”。天文学家曾经通过测量球状星团各个半径处的视向速度弥散曲线，结合数值模拟来判断中等质量黑洞的存在。但这种方法，无法排除星团中心是一群恒星级黑洞和中



当宇宙还很年轻时，超大质量黑洞就已经存在了。超大质量黑洞可能以中等质量

黑洞，又一次成为热议话题。2024年度“中国科学十大进展”发布，“发现超大质量黑洞影响宿主星系形成演化的重要证据”入选。

“高冷”的黑洞，总不缺乏热切的关注目光。黑洞的背后有什么？自身不发光的黑洞，如何被“看见”和“听见”？黑洞会引发“时空涟漪”吗？对黑洞的好奇和认知，牵引着人类对宇宙“进化”的无限好奇。当我们凝视黑洞，看到的不仅是宇宙奇观，更是人类求索的勇气与不断刷新的科技标尺。

——编者

郭守敬望远镜构建并共享高质量天文数据集

穿透星际尘埃，看见更清晰的“银河”

李 双

探一线

近日，基于中国科学院国家天文台运行的重大科技基础设施郭守敬望远镜（LAMOST）的多类型恒星的精确参数和Gaia卫星数据，中外天文学家构建了世界上第一个亿颗恒星级消光数据库，绘制并发布了首幅覆盖全天的银河系三维尘埃消光规律图，为之后的天文观测和科学研究提供了坚实基础和全新视角。该成果以封面文章形式发表在《科学》期刊上。

构建出银河系三维尘埃消光规律图

星际尘埃对星光的吸收和散射会改变观测天体的光度和颜色，也就是“消光效应”，准确的“消光改正”是开展各项研究的关键。

该成果中，研究人员利用LAMOST数据训练出了光谱生成式模型，将该模型应用于Gaia超过1亿颗拥有低分辨率光谱的恒星数据，从而构建出了首幅覆盖全天的、深度可达1.6万光年的银河系三维尘埃消光规律图。

正是LAMOST大视场多目标光谱获取能力，才使研究者获得了大量银盘内的处于

中、高消光区恒星的准确参数；正是LAMOST数据中恒星类型的多样性和分布广泛性，使得依托LAMOST数据训练的模型可以被应用于1亿余颗的恒星。该成果将迄今已测量的银河系恒星视线数提高了两个数量级，解锁了银河系尘埃消光认知的新维度。

发布数量连续10余年居世界第一

LAMOST是我国自主研发的世界上口径最大的大视场望远镜，推开了大规模光谱巡天的大门。2012年投入正式运行以来，构建了目前国际上天区覆盖最完备、巡天体积和采样密度最大、统计一致性最好、样本数量最多的天文数据集。

每年3月，新一批的LAMOST观测数据都会向国内天文学家发布，一年半的保护期过后免费向全世界公开发布。目前，LAMOST已发布了12次光谱数据，发布数量连续10余年居世界第一。多达2500万条的光谱成为天文学家开展研究的宝贵资源。近年来，LAMOST光谱数据库已逐步完成了与国际天文界主要数据库的互联互通，实现了更大程度的开放共享，进一步发挥了LAMOST大样本优势。



“光谱数据超市”全球共享

LAMOST光谱数据的诞生经历了复杂而精细的过程，包括观测目标选取、夜间观测、数据采集、数据处理与分析、数据质量控制和数据发布等环节。

首先，天文学家根据科研需要列出观测星表，给出需要观测的目标和优先级，经筛选和光纤分配后，工作人员制定每日的观测计划。

夜幕降临，天气晴朗，望远镜便开启星空之旅，一次观测能同时对准4000个天体，捕捉星光，这些星光通过光纤传输到望远镜的16个光谱仪中，光谱仪把收集到的光按不同颜色分开，形成一条条光谱。这些光谱信息被探测器记录下来，就成了原始观测数据。

原始的数据随后被传到北京数据中心，工作人员再将这些数据深入处理，主要包括去除噪声等“杂质”，校正一些仪器本身带来的误差，从而获得纯净的光谱。随后将处理

后的数据进行分类，测量参数并检查数据质量，确保数据产品准确可靠。

最后数据被整理到一个专门数据库里，通过数据发布网站发布出去。这个网站就像天文学家的“光谱数据超市”，研究人员随时按需下载，开展各项研究。

目前，来自全球236所科研机构的1700余名用户正在利用LAMOST数据开展研究。光谱数据助力天文学家开展了迄今最为系统化的银河系研究，并在恒星物理、特殊天体搜寻、系外行星等方面均取得了一系列突破性成果，发表高质量论文1900余篇。科学产出已步入国际大型（6—10米）天文望远镜的先进行列，代表性成果包括揭示银河系早期形成和演化历史，发现超大质量黑洞和罕见的小黑洞，发现第一代恒星的化学遗迹等，推动诸多前沿领域的研究取得国际领先优势。

（作者为中国科学院国家天文台高级工程师）

图为星际尘埃示意图。 资料图片

唠「科」

很多人都听说过“空中加油”：飞机在空中补充燃料，边飞边加油，提高续航能力。现在，天空中有“续航焦虑”的还有无人机。近年来，无人机在高空拍摄、地貌测绘、农业植保、物流配送、应急救援等领域大显身手。那么，无人机能否实现“边飞边充电”呢？

传统无线充电技术，主要依赖近距离、接触式的电磁谐振感应，其充电效率和适用范围，受到空间、距离、环境、设备等制约，无法实现任意的、远距离供电。比如，日常生活中，大家给手机进行无线充电时，手机就不能随意离开充电盘。

如今，远程隔空充电，有望变为现实。我所在的西安电子科技大学电子工程学院科研团队和东南大学崔铁军院士课题组一直在钻研这个问题。近期，我们发现，通过研发一种自适应无线传能技术，可以用类似WiFi的无线传输方式，将无线能量实时、高效地聚焦并传输到动态的终端设备上，实现无电池供电的感知、计算和通信，相关成果发表在《自然·通讯》。未来，包括无人机在内的智能设备有望摆脱传统电池和有线充电设施，无人机“边飞边充电”将变为现实。

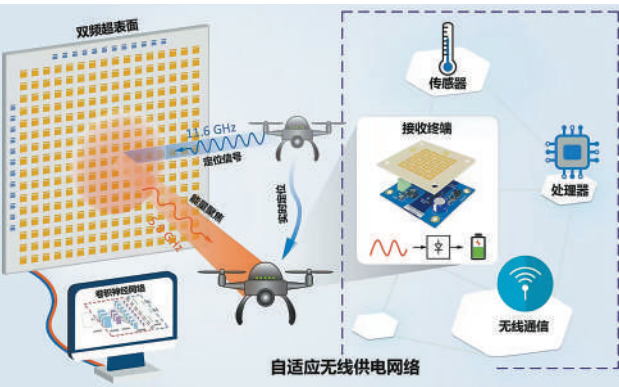
实现无人机“边飞边充电”，精准定位移动中的无人机，并能高效精准地传递能量是关键。简单来说，基于电磁超表面的辐射式无线能量传输与接收技术宛如“智慧大脑”，能通过目标感知和环境交互，智能化调整电磁波传输参数，包括对电磁波不同幅度、相位、辐射方向的灵活控制，并根据周围环境变化及设备实时需求，提高无线能量传输效率，精准且高效地为设备输送能量，最终实现类似于雷达的波束扫描、跟踪和探测效果。

与普通无线充电方式相比，自适应追踪的无线能量传输技术有望支持无人机、智能机器人等终端设备，在移动过程中进行稳定、高效的非接触式无线充电。除了对移动目标的精确定位、精准供能，我们还结合时空二维编码以及人工智能算法，实现对目标设备的室内高精度定位。电磁超表面还能根据实时变化的环境和目标，让能量聚焦更为灵活，进而实现跟踪式隔空输能。即便有障碍物遮挡，也可以实现“拐弯”“绕障”，顺利完成能量传输。

理论上来说，目前的实验装置还可以拓展到对多个运动目标的自适应定位，以及对多个目标的高精度聚焦传能，让“边飞边充电”的对象从一扩展到多，通过扩展信息超表面的结构，增大它的功率，能对多个无人机同时供电。

无线电技术的市场应用前景广阔，随着规模化生产和技术升级迭代，其应用成本也将逐步降低。经济实惠的无线充电技术，可为大型智能仓储、可植入医疗设备及低空经济等领域提供更便捷的充电解决方案。让我们一同期待无线充电技术在未来应用场景中大放光彩。

（作者为西安电子科技大学电子工程学院教授）



无人机“边飞边充电”原理示意图。

资料图片

“健康破坏者”变身药物合成帮手

本报天津电（记者李家鼎）在生物课上，活性氧家族总被描绘成破坏分子结构的“反派角色”。作为这个家族的重要成员，超氧阴离子长期背负着导致细胞氧化损伤的“恶名”。

日前，“活性氧超氧阴离子可参与麦角碱药物分子的酶催化合成”登上《自然》。这是中国科学院天津工业生物技术研究所等单位在酶催化机制解析方面取得的重要突破，改变了合成生物领域对超氧阴离子的“负面”认知。麦角生物碱是12种已上市药物（如抗帕金森药）的核心成分，国外药企对麦角生物碱生产相关的核心专利，尤其是麦角菌发酵技术长期垄断。

在杭州师范大学合作团队结构生物学数据的支撑下，天津工业生物技术研究所研究团队发现，参与麦角生物碱药物合成的过氧化氢酶EasC同时拥有两座“车间”，一座位于酶中心，另外一座位于酶表面；两个车间之间通过管道相连。酶中心车间负责生产活性氧（超氧阴离子），并将其通过管道输送至酶表面车间，在那里，活性氧催化原料生产麦角碱药物分子。“这种‘双车间—输送管道协同’的酶催化方式，相当于在针尖上建起两座专业车间，分别生产活性氧和药物分子，并建造了活性氧专用运输通道。”天津工业生物技术研究所研究员高书山说，这既利用了活性氧的强大反应能力，又规避了它的破坏性，在保持药物高效生产的同时避免了细胞毒性。

该成果得到国内外领域专家的高度评价，认为该工作“为人工设计高效生物催化剂开辟全新路径，在生物制药、绿色化工及新型能源开发等领域具有重大应用潜力”。

2025年“科学突破奖”揭晓

据新华社旧金山电（记者吴晓凌）目前全球奖金额最高的科学奖项“科学突破奖”2025年度获奖名单5日在美国洛杉矶揭晓。美籍华裔科学家刘如谦因在基因编辑领域的贡献获得其中一个“生命科学突破奖”。

据介绍，本年度“科学突破奖”设3个“生命科学突破奖”、2个“基础物理学突破奖”和1个“数学突破奖”共6个单项奖，每个奖项的奖金都是300万美元。

刘如谦在美国布罗德研究所工作。他开发了两项强大且广泛使用的基因编辑技术，可以纠正导致患者患上遗传疾病的DNA突变，且副作用更小。

“科学突破奖”创立于2012年，每年颁发一次。

本版责编：智春丽 陈圆圆 陈世涵
版式设计：张芳曼