

各地科研人员数十年始终以明确的科学目标为牵引,最大限度地汇集全球智慧,坚持不懈地将理论与观测和技术创新相结合,堪称是基础研究领域全球团队合作的典范。创建 EHT 是一项艰巨的挑战,需要升级和连接遍布世界各地的 8 台射电望远镜,形成一个口径如地球大小的虚拟望远镜。EHT 观测使用的甚长基线干涉测量技术(VLBI)在 1967 年被首次验证成功,它最大的优势是能够提供超高的角分辨率。

《天体物理学杂志通信》于 4 月 10 日以特刊的形式通过 6 篇论文发表了这一重大结果。这次露出真容的黑洞位于室女座星系团中巨椭圆星系 M87 的中心,距离地球 5 500 万光年。科学家在 2017 年 4 月 5 日、6 日、10 日和 11 日对 M87 成功实现 1.3 mm 波长的 EHT 观测,经过近两年的数据解析成像重构最终捕获 M87 黑洞照片。这张略显模糊的照片代表着人类认知宇宙中最迷人天体——黑洞而取得的最新成就。人们从来没有像现在这样,通过 EHT,就可以如此近距离地看黑洞。

首张黑洞照片的分辨率达到了 20 个微角秒(我们人眼的分辨率大约为 1 角分,两者相差 300 万倍),相当于人们在地球上可以看清月球上的一个苹果,又或相当于人们在我国最北端的城市漠河能够阅读在南沙群岛上的一张报纸。

根据广义相对论,非常靠近黑洞区域发出的辐射会受到黑洞强引力势影响而发生明显弯曲,在中央出现一个相对于周围亮环状辐射显著变暗的、直径约为 5.2 倍自身不旋转的黑洞视界半径的阴影区域,该照片表明 M87 中心超大质量黑洞是沿顺时针方向自转且其质量约为太阳质量的 65 亿倍。这填补了广义相对论从未在黑洞边缘极端环境中得到检验的空白,也使得开展基础物理学研究,细致研究黑洞周围环境成为可能。

2020 年基础物理学突破奖颁给了参与 EHT 合作的 347 位研究人员,以表彰他们采用相当于地球大小的望远镜联合拍摄并获得了人类首张超大质量黑洞的图像。我国科学家长期关注高分辨率黑洞成像研究,在 EHT 国际合作形成前就已在多方面开展具有国际显示度的研究,来自中国大陆的 16 位学者参与了此次 M87 黑洞成像合作。

对 M87 中心黑洞这一不可见天体的成功成像,从某种意义上标志着黑洞观测发现研究新时代的开始。我们期待也相信在不久的将来,EHT 会带给我

们更多令人兴奋的结果。M87 黑洞周围磁场分布图将于不久问世,这将深化人们对黑洞喷流形成和演化的物理机制的认识。EHT 同期也完成了对银河系中心 400 万倍太阳质量的超大质量黑洞 SgrA* 的观测,相关数据分析在进行中,成果可期。此外,2019 年 9 月下一代 EHT(ngEHT)计划正式启动,将通过新增亚毫米波射电望远镜并将观测延伸到更短的 0.87 mm 波长,以获得黑洞的动态视频。未来,借助空间 VLBI 技术,通过在空间部署 EHT 射电望远镜组网观测,实现对更多黑洞进行更高分辨率的拍摄计划也已在研讨中。

2016 年,LIGO 团队宣布首次直接探测到引力波,天文学进入引力波时代。相比于 LIGO 听到的引力波信号——来自数十倍太阳质量的恒星级黑洞的并合,EHT 看到的则是百万甚至数 10 亿倍太阳质量的超大质量黑洞,两者的结合可以使我们跨越亿数量级对广义相对论的适用范围并进行严格验证,这是挑战,更是前所未有的机遇。

2 青藏高原的古人类

大约 40 年前,一位佛教僧人在青藏高原边的白石崖溶洞中发现了—一个奇怪的人类颌骨。他意识到这个长着巨大白齿的下颌骨很特别,就把它献给了当地的一位活佛,后者把它捐赠给了学者。但没人知道这件下颌骨有什么意义。

2019 年 5 月,中国科学院青藏高原研究所、兰州大学和德国马普进化人类学研究所学者领衔、多家境内外科研院所参与的青藏高原丹尼索瓦人研究发表于 *Nature*。研究揭示,一件发现于中国甘肃省甘南州夏河县白石崖溶洞的古人类下颌骨化石距今已有 16 万年,是除西伯利亚阿尔泰山地区丹尼索瓦洞以外发现的首例丹尼索瓦人化石,也是目前青藏高原的最早人类活动证据(图 2)。

化石仅保存了古人类下颌骨的右侧,下颌骨附着第一白齿和第二白齿,其他的牙齿仅保留牙根部分,颌骨形态粗壮原始,白齿较大,可以很清楚地看到它没有下巴,这说明它不是现代人化石。早期研究表明,丹尼索瓦人的遗传物质已经发生了一种突变,该突变有助于人类在青藏高原这种高海拔—低氧环境中生存。现代藏族和夏尔巴人群基因中也有同样的突变,这说明他们的这一高海拔环境适应基因(EPAS1)来自于丹尼索瓦人。



图 2 一位艺术家基于从 DNA 推断身体特征的新方法复原丹尼索瓦女孩的样貌(图片来源:Science 官网)

专家点评:



陈发虎 中国科学院青藏高原研究所研究员、博士生导师,中国科学院院士。主要从事环境变化和史前人类—环境相互作用研究。在 *Nature*、*Science* 等重要学术期刊发表论文 530 多篇,出版专著 4 部,编辑英文专刊 5 本。以第一完成人获国家自然科学基金二等奖两项。



张东菊 兰州大学资源与环境学院教授、硕士生导师。主要从事旧石器时代环境考古学研究。在 *Nature*、*Science* 等重要学术期刊发表论文 20 余篇。荣获“第十二届青藏高原青年科技奖”(2019 年)。

丹尼索瓦人是十年前新发现的一种古老型人类,生活时代与曾广泛分布在欧亚大陆西侧的尼安德特人重叠,大约距今 30—5 万年间,亲缘关系也与尼安德特人最近,同尼安德特人一样对现代人群有一定的基因贡献,只是丹尼索瓦人仅对现代亚洲、大洋洲和美洲土著人群有基因贡献。2010 年,遗传学家报道了一段独特的人类线粒体 DNA 序列,丹尼索瓦人因此面世。这段古 DNA 序列来自一个小女孩的指骨化石,发现于西伯利亚阿尔泰山北部丹尼索瓦洞。这支神秘人群的遗骸此前只发现 3 颗牙齿及其碎块,以及小女孩的手指骨,并且所有丹尼索瓦人的化石只发现于丹尼索瓦洞内。丹尼索瓦人引起人们广泛的好奇心,丹尼索瓦人与我们的祖先人群有什么关系?他们位于人类演化的哪个分支或节点上?他们长什么样子?他们曾经分布在哪里?他们有怎样的文化等等。然而,零星的几件化石,无法为我们提供答案。

2019 年,科学家发表了甘肃省南部夏河县出土的一件古人类下颌骨的研究成果,打破十年来科学家对丹尼索瓦人研究的沉默。这件化石是东亚发现

的首个丹尼索瓦人足迹。发现于丹尼索瓦洞以南 2000 多公里、平均海拔超过 4000 米的青藏高原,科学家利用最先进的古蛋白技术,鉴定该化石为丹尼索瓦人,成为独立用古蛋白技术鉴定出丹尼索瓦人的第一个研究案例,为准确鉴定未保存古 DNA 的人骨化石开辟了新研究途径。夏河人化石几乎保存了完整的人类右侧下颌骨,首次提供了丹尼索瓦人的面貌特征,将我们对丹尼索瓦人的认识向前推进了一大步。夏河人化石的测年结果为距今至少 16 万年,是青藏高原最早的人类化石,也是青藏高原最早的人类活动证据,将青藏高原的人类活动历史推早了 12 万年。夏河人化石发现于青藏高原东北部海拔 3280 米的白石崖溶洞,该发现揭示了距今 16 万年前生活于寒冷冰期的丹尼索瓦人,已经适应了高海拔环境,并且还有可能将他们的高海拔环境适应基因贡献给以藏族人群为主,现今生活在青藏高原上的高原人群。夏河人化石在古人类演化研究中无可替代的重要意义和多国科学家围绕其联合开展的出色的研究,使其与随后基于西伯利亚丹尼索瓦人全基因组进行的丹尼索瓦人肖像重建(图 2)研究一起,入选 *Science* 2019 年十大科学突破。

我国科学家是这项引起世界广泛关注的夏河人研究的主导者。夏河人化石发现于我国境内的青藏高原,兰州大学和中科院青藏高原研究所的联合研究团队针对化石的体质形态、分子生物学特征、年代学和考古学背景等科学问题,邀请境内外多家相关领域的权威科学家和高水平科研机构,一起开展工作,前后持续近十年时间,最终为国内外学术界和社会公众呈上了这件令世人瞩目的古人类化石。夏河人化石为科学家对丹尼索瓦人研究和青藏高原人类活动历史研究打开了新局面,为古人类学家、考古学家、遗传学家提供了新的研究素材与灵感。夏河人化石研究再次将我国发现丰富的古人类化石及其研究成果推至世人面前,首次建立了丹尼索瓦人与我国部分已知古老型人类化石(如许家窑人和澎湖人化石)之间的可能的联系,为在东亚地区寻找更多的丹尼索瓦人化石及其文化遗存提供了新的证据和线索。近些年,我国的古老型人类和现代人化石研究在国际学术界影响显著,相关古 DNA 提取技术和研究也取得了长足的发展,为东亚古人类演化研究提供了重要材料和证据,对学术界现有的古人类演化假说和相关理论范式思考有诸多启发。夏河人研究是这些研究成果中的一员,为世界古人类演化研究做出了突出贡献,特别对激励东亚地区古人类演化研究有极其重要的意义。