

## 关于“摄猎”黑洞的八大天问

苟利军 黄月

北京时间4月10日，人类首张黑洞照片在全球六地的视界望远镜发布会上同步发布。经过漫长的等待，在全球200多位科学家的努力下，第一幅黑洞照片新鲜出炉。

长久以来在电脑上模拟得到的黑洞形象，第一次真实地呈现在我们的眼前。在这张来自视界望远镜的照片里，M87中心黑洞如同电影《指环王》中索伦的魔眼，在温暖而神秘的红色光环中间，是一片深黑的无底之洞。

这个圆环的一侧亮一些，另一侧暗一些，原因在于吸积盘的运动效应——朝向我们视线运动的区域因为多普勒效应而变得更亮，远离我们视线运动的区域会变暗。中间黑色的区域就是黑洞本身——光线无法逃离之处。

1968年，美国天体物理学家约翰·惠勒提出了“黑洞”的概念，而100多年前德国物理学家卡尔·史瓦西就为黑洞作出了精确解。今天我

们收获了第一张黑洞的照片，人类对黑洞和宇宙的认识又迈出了关键一步。

在2017年4月全球数个射电望远镜阵列组成虚拟望远镜网络事件视界望远镜（EHT）并拍下第一张黑洞照片之时，我们就曾写到：“人类第一次看到黑洞的视界面，无论我们最终得到的黑洞图像是什么样子——是像电影画面一般壮观恢弘，或者只有几个模糊的像素点——事件视界望远镜都意义非凡，这是我们在黑洞观测史上迈出的重要一步。观测结果不仅仅是一张照片那么简单，它一方面呼应着爱因斯坦的广义相对论，另一方面也将帮助我们回答星系中的壮观喷流是如何产生并影响星系演化的。我们将成为有史以来第一批‘看见’黑洞的人类，真是好运气。”

两年之后，这张宝贵的照片终于呈现在我们眼前，同时它让我们思考下面的一些问题。

## ①这张值得全世界六地同时兴师动众发布的照片，究竟是怎么拍出来的？

在过去10多年间，美国麻省理工学院的科学家们联合了其它研究机构的科研人员，开展了激动人心的“事件视界望远镜”项目，全球多地的一系列亚毫米射电望远镜同时对黑洞展开观测。

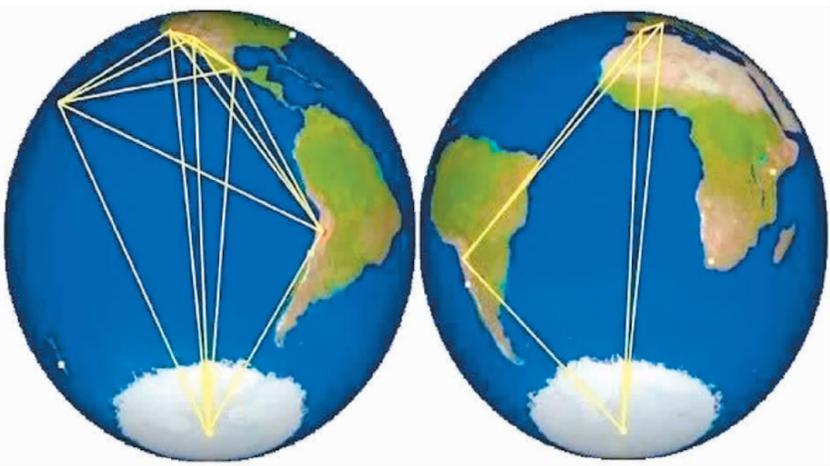
事件视界望远镜由位于四大洲的数个射电望远镜所组成，构建了一架和地球大小相当的望远镜。它们北至西班牙，南至南极，向选定的目标撒出一条大网，捞回海量数据，以勾勒出黑洞的模样。

事实上，亚毫米波段和我们非常熟悉的可见光有着天壤之别。这个波段我们是无法直接看到的，利用亚毫米波段给黑洞拍照，其实就是得到黑洞周围辐射

的空间分布图。

对于我们日常接触的光学照片来说，它反映的是光学波段不同颜色或者频率的光子在不同空间位置上的分布情况。明白了这一点以后，我们就很容易理解亚毫米波段“黑洞照相馆”的原理了。

虽然是在单个频率进行亚毫米波段观测，但由于黑洞周围不同区域的光子所产生的辐射强度不同，我们可以得到一个光子强度分布图，然后我们假定不同的强度对应着不同的颜色，就能够得到一幅“伪色图”——图中的颜色很可能是科学家根据个人喜好自行设定的颜色。



事件视界望远镜由位于四大洲的数个射电望远镜组成，图中的黄色线条为连接这些望远镜的“基线”，由此构成了一架和地球大小相当的望远镜。（来自事件视界望远镜项目组）

## ②电影《星际穿越》中的“卡冈图雅”黑洞有着深不见底的黑色中心与立体清晰的气体圆环，此次发布的照片里的M87为何模糊许多？

与光学照片一样，清晰度根源于分辨率。要提高望远镜分辨率，可从两方面努力：一是降低观测频段光子的波长（等价于增强能量），二是增加望远镜的有效口径。利用全球不同地方的望远镜联网，我们得到了一个口径超大的望远镜，并在相关技术相对成熟的射电波段内，选择了能量最高的毫米和亚毫米波段。

值得注意的是，有效口径取决于望远镜网络中相距最远的两个望远镜之间的距离。2017年，一系列亚毫米波望远镜加入观测，2018年北极圈内格陵兰岛的亚毫米波望远镜加入，基线长度增加，提高了分辨率。

虽然我们现在的亚毫米望远镜基线已达到了1万

公里，但空间分辨率刚达到黑洞视界面的尺寸，所以在科学家们观测的有限区域内，就相当于只有有限的几个像素。在《星际穿越》中，天文学家基普·索恩设计的黑洞形象——包括吸积盘的许多具体细节——都通过技术手段呈现了出来，然而在真实的情况下，我们在照片中只能看到吸积盘上的几个亮斑而已。

既然我们可以将两个望远镜放置得很远实现更高分辨率，那么能否只用两个望远镜来完成黑洞照片呢？很遗憾，不行。观测要求的不仅仅是分辨率，还有灵敏度——高分辨率可以让我们看到更多的细节，而高灵敏度则能够让我们看到更暗的天体。

## ③视界望远镜2017年开始拍摄，近日才发布成果，为什么这张“简单”且“模糊”的照片“冲洗”了两年之久？

首先，望远镜观测到的数据量非常庞大。2017年，望远镜的数据量达到了10PB（10240TB），2018年又增加了格陵兰岛望远镜，数据量继续增加。庞大的数据量使处理的难度不断加大。

其次，在数据处理的过程当中，科学家也遭遇了不少技术难题——黑洞附近的气体处于一种极端环境中，其运动有着非常多的不确定性——为了解决这些问题，科学家们还专门开发了特定的程序和工具。

再次，为了保证结果的准确性，在最终数据处理的时候，严谨的科学家们在两个不同的地方分别处理、分别验证。全世界范围内设立了两个数据中心，一个是位于美国的麻省理工学院，另外一个位于德国的马普射电所。二者彼此独立地处理数据，彼此验证和校对，保证了最终结果准确可靠。



望远镜。对本次拍摄黑洞作出重要贡献的南极SPT望远镜。（来自百度网）

黑洞艺术想象图。（中国科学院上海天文台供图）

本文由中科院中国科普博览微信公众号与本版共同推出。作者为《黑洞来客》团队成员，其中苟利军为中科院国家天文台研究员、国家天文台恒星级黑洞爆发现象研究创新团队负责人。

致格  
知物

## ④黑洞研究历时已久，4年前引力波已经让我们“听”到了来自黑洞合并的声音，为什么直到今天我们才“看”到黑洞的照片？

简单地说是因为黑洞区域实在太小了——而之前望远镜角分辨率或者放大倍数不够，在过去几年中，我们才真正实现了能够看到黑洞附近区域的分辨能力。

其实，早在2017年进行全球联网观测之前，全球很多科学家已经为此努力了十多年的时间，并且利用望远镜阵列当中的几个进行了联网尝试，探测了银河系黑洞附近的区域，结果确实在亚毫米波段探测到了周围的一些辐射，这给了团队很大的信心。

在此之前，尽管科学家们已经掌握了很多证明黑洞确实存在的电磁观测数据，但是这些证据都是间接

的——少数科学家会提出一些怪异的理论来作为黑洞的替代物，因为我们并没有直接观测到黑洞的模样。

2016年探测到的双黑洞合并产生的引力波，更是让人们愈加相信黑洞的存在。但引力波是类似于声波的“听”的方式，而电磁方式是一种“看”的方式，对于更倾向于“眼见为实”“有图有真相”的人类而言，以直观的电磁方式探测到黑洞还是非常让人期待的。所以，在2016年初引力波被直接探测到之后，视界望远镜并没有放弃观测，反而以全球联网的方式，把这一探测技术推向了极致。

## ⑤如此大费周章，除了满足人们“眼见为实”的心愿，黑洞照片对于验证相对论、揭秘星系演化有何意义？

直接成像除了帮助我们直接确认了黑洞的存在，同时也通过模拟观测数据验证了爱因斯坦的广义相对论。在视界望远镜的工作过程和分析过程中，科学家发现，所观测到的黑洞阴影和相对论所预言的几乎完全一致，令人不禁再次感叹爱因斯坦的伟大。

另外一个重要意义在于，科学家们可以通过黑洞阴影的尺寸限制中心黑洞的质量了。这次就对M87中

心的黑洞质量做出了一个独立的测量。在此之前，精确测量黑洞质量的手段非常复杂。

受限于观测分辨率和灵敏度等因素，目前的黑洞细节分析还不完善。未来随着更多望远镜加入，我们期望看到黑洞周围更多更丰富的细节，从而更深入地了解黑洞周围的气体运动、区分喷流的产生和集束机制，完善我们对于星系演化的认知与理解。

## ⑥本次拍摄所用的“黑洞照相馆”可以给所有黑洞拍照片吗？

科学家之前探测黑洞，是通过探测黑洞周围的吸积盘或者黑洞喷流产生的辐射，来间接地探测黑洞的存在。从理论上讲，任何能够产生辐射的黑洞都是适合拍照的，但受技术限制，我们只能选择拍摄到那些看起来非常大的黑洞，这样才有可能看到黑洞周围的一些细节。

视界望远镜此次观测其实选定了两个目标：一个是我们银河系中心的超大质量黑洞，质量为450万倍的太阳质量，距离地球2.6万光年；另外一个位于

M87星系中心的黑洞，其质量为65亿倍的太阳质量，距离地球5300万光年。

黑洞半径通常以史瓦西半径来描述，与黑洞质量成正比关系，如果我们将视界大小定义为黑洞直径和黑洞距离的比值，那么我们可以知道，银河系中心黑洞的视界大小约为M87中心黑洞视界大小的1.4倍。这是我们知道的最大的两个黑洞，而那些质量只有几十个太阳质量的恒星级黑洞，尽管距离相对较近，但是因其质量过小等因素，更难被望远镜捕捉。

## ⑦既然银河系中心的超大质量黑洞这么大、距离这么近，为什么这一次只发布了更为遥远的M87的照片，而没有银河系中心黑洞的照片呢？

M87中心黑洞附近气体活动比较剧烈，我们之前已经观测到了它所产生的强烈喷流，相较之下，银河系黑洞的活动不那么剧烈。

另外一个很重要的原因是，太阳系处在银河系的银盘上，在我们试图利用视界望远镜探测来自于黑洞周围的辐射或光子的时候，这些光子会受到传播路径上星际气体的影响——气体会散射这些光子，将观测

结果模糊化。

M87是一个包含气体很少的椭圆星系，受到的气体干扰相对少很多，科学家们可以比较顺利地进行观测。我们在大气层之内观测天体时也会有类似情况，因为大气扰动的缘故，望远镜的分辨率有时很难达到理想状况。消除星际气体散射的效应是科学家接下来需要克服的一个重要难题。

## ⑧中国科学家在“黑洞照相馆”中发挥了什么作用？

中国大陆的望远镜并没有直接参与到视界望远镜的观测当中，最直接的原因在于，中国大陆两个建好的亚毫米波望远镜（一个是位于青海德令哈的13.7米望远镜，另一个是位于西藏的CCOSMA望远镜）不具备相关技术的联网功能。但即使它们可以实现联网，同步观测也无法实现，因为它们正好位于灵敏度非常高的ALMA阵列的背面位置。

广为人知的中国FAST天眼望远镜也没有机会参与到视界望远镜的观测行列。首先，其工作波段不

适宜；其次，其所处环境湿度较大，不适宜。亚毫米波光子很容易被大气中的水蒸气所吸收，视界望远镜都位于海拔比较高而且干燥的地方，比如ALMA望远镜就位于海拔5000多米的沙漠当中。

位于夏威夷的詹姆斯韦克望远镜是EHT联合观测网络节点之一，有中国科研机构参与其中，为视界望远镜提供了必不可少的观测保障。

部分中国科学家也参与了后期的数据分析和讨论，为世界上第一张黑洞照片做出了贡献。