

“龙江”升空 找寻宇宙黎明时刻的光亮

陈学雷

“明月几时有，把酒问青天。”自古以来，人们对月球寄托了许多美好的想象。而在现代，月球成为科学探索的重要目标。按照计划，我国嫦娥四号探测任务将对月球背面展开探测。5月21日，嫦娥四号探测任务的先行者——“鹊桥”卫星在四川西昌发射升空。它将在能同时

被月球背面和地球看到的位置上值班，作为嫦娥四号着陆器和地球之间的信使传递信息。

与“鹊桥”卫星同时升空的，还有两颗实验卫星龙江一号和龙江二号。这两颗由哈尔滨工业大学、中科院国家空间科学中心、中科院国家天文台联合研制的卫星，将在进入环绕月球的飞行轨道后，开展超长波射电天文观测试验。

大质量黑洞活动时产生的喷流。这些喷流逐渐冷却，其辐射的频率也逐渐降低，因此低频的观测可能会让我们看到更古老的喷流，从而加深对黑洞活动的认识。

以上这些是可能较为明亮、较易探测的目标。一个更为激动人心的目标是用超长波观测探索宇宙大爆炸结束后的黑暗时代以及此后第一代恒星形成时的宇宙黎明。宇宙黑

暗时代和黎明时氢原子产生的21cm信号经过宇宙红移也落在这一频段。不久前，美国EDGES实验在78MHz处发现了一个相当强的吸收谱。这有可能是宇宙黎明产生的，但与标准理论模型相差很大，因此对其有很大争议。如果能在不受电离层吸收折射以及地面干扰影响的空间进行这种观测，将有助于提升实验的精度。

近乎空白的超长波天文观测

天文观测始于可见光，但人类认识到光其实是一种电磁波后，就开始尝试在电磁波的不同频段进行天文观测。每开辟一个新的频段，人们往往会发现一些全新的天体或天文现象。比如，在无线电波段(天文上习惯称射电波段)的银河系宇宙线电子同步辐射、类星体(超大质量黑洞)、脉冲星、宇宙微波背景辐射等，在X射线波段的X射线双星，在伽马射线波段的伽马暴等。因此，天文学家们非常希望能系统地观测电磁频谱的所有不同部分。

然而，还有一个波段迄今仍几乎空白，这就是频率为30MHz以下的超长波波段。其实，这一波段对射电天文学家也不是完全陌生。人类首次观测到天体射电信号就是上世纪30年代贝尔实验室的工程师央斯基(Karl Jansky)在这一频段测试通讯噪声时意外发现的。但是，地球大气的电离层会吸收频率较低的无线电波，即使没有被吸收的部分也受到强烈的折射，使信号随着电离层的湍流剧烈变化而难以观测。再加上自无线电发明以来人们

就利用这些较低的频率开展了广播、通讯等业务，有许多人干扰电波，因此在这一频率进行天文观测非常困难。所以，射电天文学家们的绝大部分观测都是在更高的频率上进行，这最初发现天体射电辐射的频段反而留下了一片空白。

按照无线电通讯的习惯，3—30MHz被划分为高频，0.3—3MHz被划分为中频，使用收音机收听调幅(AM)广播的话，它们也被称为短波和中波。不过在天文上这一频段算是极低的频率，频率越低，波长越长，因此我们称其为超长波。

在空间开展超长波天文观测可以避免电离层的影响。不过在地球附近，这种观测仍会受到地球电磁波的强烈干扰，而月球可以挡住地球的电磁波，因此月球的背面提供了进行这种观测的绝佳环境。龙江一号和龙江二号卫星将环绕月球飞行，当它们飞到月球背面时，就开机进行观测，并将数据记录下来；当飞到月球正面时，再将数据传回地球。

在太空列队展开观测

每颗龙江卫星可以单独进行超长波观测。每颗卫星上配有两套天线，每套均由三根互相垂直的鞭状天线组成，可以同时测量不同偏振的电波。这些天线每根长1米，发射前像卷尺一样收拢起来，卫星进入正常轨道后，地面发出指令，展开这些天线。电波被天线收到后，经过接收机的放大处理后转换成数字信号，形成每一时刻电磁辐射的频谱并记录下来。

龙江计划观测的电波的最短波长是10米，最长波长是300米，而其天线长度远远短于观测的波长。这样的结果是天线的方向性很弱，难以区分电波来自什么方向。如何能够提高分辨率，确定电波的方向呢？实际上，这有点类似我们的耳朵：如果我们塞住一只耳朵而只用一只耳朵听声音的话，不太容易区分声音传来的方向，但如果用两只耳朵的话就比较容易知道声音传来的方向，这主要是因为声波传到两只耳朵的时间稍有不同，我们的大脑可以自动判断出来声音方向。

同样的，射电天文上使用干涉阵，将两个单元受到的信号做互相关，据此求出信号的到达

时间差，从而定出来波的方向。如果使用多合天线构成干涉阵列，可以综合它们的测量得到天空的图像。这就是综合孔径成像方法。这一方法早已在射电天文上使用，其发明者赖尔(Martin Ryle)曾因此获得诺贝尔物理学奖。

地面上早就有了射电干涉阵，但在空间中，两颗卫星的相对距离和方位不断变化，甚至两颗星上的时间和频率基准都不一定相同，因此要做到空间的干涉观测并不容易。迄今为止，还没有空间两星相互干涉观测的实例，只有日本的HALCA卫星和俄罗斯的Spektr-R(Radio Astron)卫星进行了空间与地面之间的天文干涉观测，美国曾用TDRSS卫星进行过实验。

龙江一号和龙江二号将尝试首次开展空间干涉观测。为此，两颗卫星将沿着同一轨道一前一后绕月飞行，距离一般在1—10公里间。在绕到月球正面时，它们将观测数据发送到地面，并利用这一微波系统实现两星的测距和时间频率同步。另外，两个卫星上分别装有LED灯和测角相机，用于测定相对方位。

寻找宇宙黑暗时代的氢原子信号

在超长波波段，究竟会有些什么天体或者天文现象等着我们发现呢？我们可以根据频率稍高一点的地面观测做些推测。首先，离我们最近也是最亮的是太阳和一些行星的射电活动。在射电波段，太阳平时(宁静时)与其他天体的亮度差异没有光学波段那么大。不过，太阳会不时发生一些射电爆发。爆发中喷出的等离子体会在太阳系内传播，并在这一过程中不断辐射，而其辐射频率会逐渐降低。太阳系内的一些行星，特别是木星，往往也有很强的低频射电辐射，这与行星的磁层活动有很密切的关系。

其次，银河系本身也是比较明亮的，这也是当初央斯基就曾观测到的。其实，天文学家

们一开始对于在射电波段能否观测到天体并不是很乐观，因为当时他们根据热辐射谱推算，恒星的射电辐射相当微弱。但是出乎意料的是，银河系在射电波段竟然十分明亮。直到后来天文学家们才认识到，与光学辐射主要来自恒星的热辐射不同，在低频射电波段，辐射主要来自宇宙线电子在磁场中运动时发出的同步辐射。因此，这也说明宇宙线电子在银河系中普遍存在。进一步的观测能给出它们的空间分布，甚至还有可能揭示宇宙线的起源与传播过程。另一方面，银河系中电离的气体也会对低频的电磁波产生吸收，因此在很低的频率上我们能看到银河系电离气体云的分布。在银河系之外，射电星系的辐射往往来自中心

“蹭车”迈出探索的第一步

不过，由于这次的龙江卫星仅仅是“蹭车”——搭载试验，每颗卫星只有46kg，而这其中很大一部分还是用于使卫星减速进入月球轨道的推进剂，所以能搭载的仪器很有限。而且由于推进剂有限，卫星轨道也比较粗放，难以经过精细调节进入离月球表面比较近的圆形轨道，而是一条大椭圆轨道。轨道近地点距离月球大约300公里，远地点约9000公里，绕月一周所花的时间是大约13小时。

另一方面，由于总重量有限，卫星上的太阳能电池就比较小。电力的限制，使龙江在每一圈绕转中，只有大约10分钟可用于观测，20分钟用于数据传输。因此，龙江卫星的观测方

式是，当它飞到月球背面，到了预定观测的时刻，就开机进行10分钟观测后关机。然后，当它飞到月球正面时，到了预定通讯的时刻，再开机20分钟将数据传回地球，其余的时间都用于充电。此外，月球与地球间距离遥远，卫星上的小天线发射功率又不大，因此数据传输率也比较低，只能把很少一部分数据传回地球。

由于这些原因，龙江卫星对超长波天空的观测应该说还是比较初步的，主要是一种技术验证，为将来更大规模、专用的超长波观测阵列做好准备。但无论如何，这迈开了环月超长波天文观测的第一步，我们对龙江充满期待！

(作者系中科院国家天文台研究员)

搭建“鹊桥” 为何要在拉格朗日L2点

张晓佳

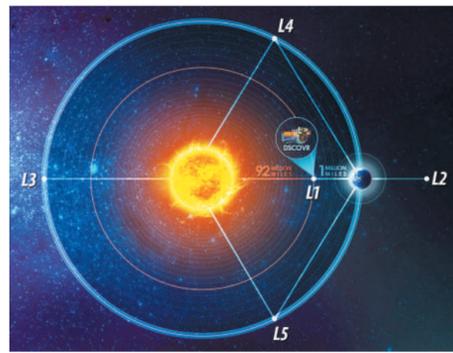
5月21日，嫦娥四号中继通信卫星“鹊桥”成功升空。它的使命是前往地月拉格朗日L2点，为“嫦娥”和地球搭建一座用于通信联系的“桥梁”。那么，拉格朗日点到底是什么点？拉格朗日L2点又在天空的什么方向？

三体问题中的五个特殊点

拉格朗日点的提出者是被誉为18世纪欧洲最伟大数学家的拉格朗日。他的一生在数学、物理和天文领域都作出了重要贡献，其中之一就是系统地提出了平面圆形限制性三体问题中的五个特殊解。

三体问题研究的是三个可以被当作质点的物体，在给定任意初始条件时，在万有引力的驱使下的运动规律。科学家们花了几个世纪求解三体问题。然而直到今天，三体问题仍然无法精确求解，只在一些特殊情况下才可以得到答案。

如果三体中一个物体的质量远远小于另外两个物体，它的引力对另外两个物体的轨道影响可以忽略不计，这种特殊情况就叫做限制性三体问题。拉格朗日研究的就是这种情况。他认为，如果两个质量较大的天体A和B以圆轨道互相绕转，求解一个相对质量可以忽略不计的第三个物体C的运动规律时，会存在五个特殊位置。把C放在这些位置上时，A、B、C三者的相对位置不变。这五个位置就是拉格朗日点。



拉格朗日点示意图 图片来自网络

空间探测项目青睐的引力平衡点

我们可以在太阳和地球构成的系统中考虑拉格朗日点问题。假设地球围绕太阳作稳定的圆轨道运动，此时它受到太阳的引力和离心力平衡。这时，在日地中心连线上放一个小行星并忽略它对太阳和地球轨道的影响。在日地连线上存在这样一个位置，太阳和地球的共同作用恰好使得在这个位置上的小行星公转周期和地球一样长，于是三者始终保持在同一条直线上，也即三者的相对位置不变。这个位置便是L1点。

如果把这个小行星放在日地连线的延长线上，也就是太阳和地球都在它的同一侧，那么在地球(较小质量的那个天体)背对太阳的方向上和太阳(较大质量的那个天体)背对地球方向上分别有两个位置点，处在那里的小行星公转周期和地球一样长，于是太阳、地球、小行星始终保持在同一条直线上。这两个点则分别是L2点和L3点。L2点的相对位置与三体中较大两个天体的质量比有关，质量差别越悬殊，该点相对越靠近较小质量的天体。

日地系统的L2点被广泛使用。作为距离地球最近的两个拉格朗日点之一，L2点比L1点受到太阳光的危害更小更利于观测，因此在太空项目中使用率很高。例如，美国宇航局的威尔金森微波各向异性探测器和欧洲航天局的赫歇尔天文台都是利用了日地系统的L2点来观测。詹姆斯韦伯望远镜也会在不久的将来前往此处。

此次“鹊桥”要前往的则是地月系统的L2点，即月亮背对地球方向上的那个引力平衡点，距离月球中心约65000公里。在这里，“鹊桥”与月球同步公转，担任“嫦娥”与地球通信的信使。

特洛伊小行星的聚集点

除了日地连线上的三个点，在地球的公转平面上还有两个点，它们各自与太阳和地球构成一个等边三角形。换句话说，它们和地球共用一个圆轨道，只是一个超前地球60度(L4点)，一个落后60度(L5点)。这两个点的美妙之处在于，当小行星处于这两个位置时，它受到太阳和地球的合力方向恰好指向日地系统的质心，合力大小又恰好满足公转所需的向心力。因此小行星在该处具有和地球相同的公转轨道。

不仅如此，这两个位置的稳定性也很好，即使小行星在扰动下稍微偏离，也不会离去而是在围绕该点运动。基于这种稳定性，早在1772年拉格朗日便预言在太阳—木星系统的L4点或L5点可能会存在天体。1906年，德国天文学家马克思洛夫利用照相法发现了第一颗位于木星系统L4点处的小行星，从而证实了这个预言。

随着同类型小行星的不断发现，人们将木星轨道上L4点和L5点的小行星统称为特洛伊小行星，并规定必须用特洛伊战争的人物命名这些位置上的小行星。于是第一个被发现的小行星被命名为希腊神话中的“第一勇士”阿喀琉斯(588 Achilles)。在科幻作品中，这两个特殊位置也常用于放置殖民卫星。

(作者系香港大学地球科学系博士后)



扫一扫
欢迎关注
带你去看耿耿星河
微信公众号

视觉中国