远古月球磁场去哪儿了 解谜关键是找到内部“发电机”

本报记者 唐 婷

如果有机会登上月球，你会发现，在那里即使带上指南针，也找不到北了。这是因为现在的月球几乎没有磁场。

然而，情况并非一直如此。最近一项发表在《科学进展》上的研究认为，月球曾经有过强大的磁场，大约在距今15亿至10亿年的这段时间里，月球内部“发电机”停止了工作，导致其内禀磁场逐渐消失。

所谓内禀磁场，是指行星内部自发生成、保持和改变的磁场。如此古老且踪迹难觅的月球磁场，科学家是如何“追查”到的？月球内部“发电机”是如何运转和演变的？研究古老的月球磁场能回答哪些科学问题？

如何探寻古老的月球磁场

众所周知，我们的地球拥有强大的磁场。当太阳风侵袭地球时，由于磁场的阻挡，地球周围会形成一个巨大的“隐形壳体”——磁层，阻挡了绝大部分太阳风等离子体进入地球，这不仅能防止我们的大气层被太阳风剥离，也对地球生物形成了有效的保护。

磁场的重要性不言而喻。月球是一个类似地球的固体行星类天体，月球磁场自然也是行星科学家关注的焦点之一。过去数十年的探测和观测发现，当今月球整个月面的平均磁场强度小于0.2微特斯拉，表明其目前要么根本不存在全球分布的磁场，要么仅仅存在一个极端微弱的全球磁场。

同时，探测也发现月球存在着明显的月壳磁场强度异常分布。中国科学院国家天文台研究员平劲松介绍，探测和研究月球磁场的方式主要有两类，一类是通过绕月卫星和着陆器携带的磁力仪和电子反射谱仪等设备探测月壳现存的剩余磁场空间分布；另一类是对阿波罗探月计划采集的月面岩石样品进行分析，获得剩余磁场信息和撞击时代信息，推断早期月球磁场的存在和演化特性。

其中，使用岩石样品研究磁场是地球物理场检测分析的经典技术之一，在古地磁研究中也经常用到。早在1971年，科学家们就对阿波罗11号采样得到的两块月岩样品进行了实验室分析，确认了月球岩石样品中存在微弱剩余磁场，并排除了岩石长期暴露在地球磁场中而产生感应磁场的可能性。

“月球火成过程中的喷发物质冷却凝结时，构成月球岩石的微粒与当时月球磁场方向保持一致。被冻结在这些数十亿年的岩石中，保留了当时月球磁场强度和方向等物理信息。”平劲松解释道。

月球磁场与地球磁场的特性截然不同，使得月球磁异常的起源成了一个极重要的、存有争议的月球科学问题。学界一般认为，绕月卫星观测到的月壳微弱磁场和月球磁异常源于月壳在一定磁场环境中的自然剩余磁化，有理由推测在月球诞生后的演化早期存在类似地球的内禀磁场，比如存在一个早期的发电机磁场。

“上面提到的两类对月球磁场的探测研究都推断认为，月球在距今40亿年前左右，出现过发电机磁场。”平劲松指出。

月球内部“发电机”怎么运转演变

发电机理论，是解释天体磁场成因的假说之一。依照该理论，天体内核有着温度很高的液态金属物质，它们在循环活动时产生电流，进而形成磁场。电流越大，形成的磁场就越强。

“发电机机制是行星产生磁场的关键，月球为科学家提供了探索中等尺度类地行星天体发电机演化和寿命的绝佳机会。”平劲松指出。

有研究认为，月球的首次发电机效应可能在40亿年前产生了强大的磁场。在距今约42.5亿到35.6亿年间，月球表面的磁场强度在20—110微特斯拉之间，最大强度约为地球当前磁场强度的两倍。由此可见，月球内部“发电机”一度很强大，其寿命也相当长。

如此强大的“发电机”是怎么运转的？平劲松解释道，月球早期的发电机磁场类似地球的发电机磁场，是含有金属的液态岩浆核在移动时产生电流的产物，月球磁场对保护月面免受太阳风侵袭起到过重要的作用。

在月球早期历史中，强大磁场可以保护月球表面不受太阳风的影响，阻止表面被快速风化，同时避免月球土壤中包含大量来自太阳气体的成分。在这之后，月球磁场强度开始减弱，大约在31.9亿年前时已经下降了至少一个数量级。

对月球“发电机”的成因，还有另一种推测。有行星科学家认为，在岩浆海时代后期，月球上曾经存在很多质量比较轻而且流动着的熔岩，这些熔岩在飘往月球表面的时候留下了很多放射性元素。这些元素衰变后散发大量的热让月球内核以及周围的物质和月球表面形成了对流，对流产生感应电流，从而产生了月球磁场，随着放射性元素的衰竭，月球内核逐渐冷却下来，磁场也就跟着消失了。

事实上，目前对于月球“发电机”的形成和演变机制尚无定论。新近的研究认为，早期的月球轨道更加接近地球，导致月球内核液体出现潮汐力矩扰动，类似于地球液态核的运行方式，产生了为磁场提供动力的发电机效应。之后地球和月球之间的距离不断增加，潮汐力矩扰动减弱，核结晶的驱动过程可能变得更加显著。

“在这个过程中，月球中心含铁镍的固体内核逐渐形成，并与周边黏性液体物质存在不同步的转动搅拌产生了磁场。当月球内核完全结晶形成而脱离外部物质，驱动磁场的‘内部发电机’就停止了工作。”平劲松介绍道。

月球磁场里藏着哪些线索

随着研究的逐渐深入，人们对月球磁场的认识也在不断刷新。在了解磁场强度的同时，科学家正在尝试使用阿波罗号获取的月球岩石样本测量远古时期月球磁场的方向，从而构建出月球磁场的原始方位。

除了加深对月球磁场本身的了解以外，相关探测研究还将有助于回答哪些科学问题？

在平劲松看来，对月球磁场特性的研究不仅可以帮助人们了解认识月球的演化历史和过程，还能借此举一反三，为研究其他类地行星如何在演化过程中失去了磁场，以及未来地球磁场的走向提供线索。

不只是月球，太阳系内的火星和金星也没有磁场。通过对火星磁化陨石的定年，科学家认为火星发电机作用大约在39亿年前就已经停止，而其动力来源、产生的磁场形态与消失原因，目前还没有定论。

金星与地球大小相近，和地球的距离也相对比较近。他俩还有很多其他相似的地方，因此有时候被称为“孪生”星球。但两颗行星的大气层和磁场却截然不同。大家都很好奇，金星为什么没有磁场，“转得慢”或许是原因之一。

如果说火星、金星还相对遥远。把目光拉近一些，我们身处的地球是否有一天也会失去磁场的庇护呢？有研究表明，近100年来，地球的磁场正在渐渐削弱。地球磁场未来将如何演变，无疑关乎着人类的未来。

“事实上，这也正是比较行星学的价值所在。通过对比月球、火星、金星和地球之间的差异，可以对地球的演化和宜居环境的构成有更多的了解，进而认知生命的起源和人类未来的命运。”平劲松指出。

天象早知道

春意盎然的四月 天象“剧场”也开始“回暖”

李 昕

进入4月，神州大地处处春意盎然。随着天气回暖，天象“剧场”也逐渐热闹起来。在这个月唱主角的依然是几颗肉眼可见的行星。4月下旬，天琴座流星雨将迎来极大。而两颗非周期彗星也会进入我们的视野。

月末傍晚金星亮度傲视群星

金星是我们早已熟悉的天幕“明星”，傍晚西方天空中那个明亮的光点正是金星。可能有人会问，金星不是又叫“启明星”，出现在日出前的东方吗？其实作为地内行星，金星会出现在太阳两侧。当它出现在太阳东侧时，就是在黄昏时分可见，这时的金星又被称为“长庚星”。

2020年，在刚开始的几个月里，金星都是“长庚星”，亮度逐渐增大。进入4月后，虽然日落时的地平高度有所降低，但亮度不减。4月28日，金星达到了本次出现在太阳东侧的最亮时，视星等为-4.7等，几乎是织女星的100倍，傲视群星。4月26日，金星还会与初四的蛾眉月相合，上演金星伴月天象。

除了金星外，火星、木星、土星这三颗地外行星主要可见时间都是在后半夜。大家可能还记得，3月下旬它们曾出现过角距离很近的“三星相合”。4月火星会逐渐“远离”木星和土星，但后两者的角距离会越来越小。4月15日至16日，下弦月将在这片天区与三颗行星上演“三星伴月”。

天琴座流星雨极大时间较长

天琴座流星雨是较为少见的活跃在北半球春季的流星雨，人类对天琴座流星雨的观测已经有很长的历史了。我国最早对天琴座流星雨的观测记录可以追溯到2600多年前的春秋时期。这说明该流星雨曾出现过流量很大的爆发。不过近些年，天琴座流星雨有些沉寂。即使在极大当晚，它的流量也只有每小时十几颗，我们大约每10分钟只能看到1颗群内流星。

天琴座流星雨的活跃期是每年4月14日至30日，今年的极大预计出现在北京时间4月22日下午。天琴座流星雨极大的持续时间比较长，流量保持在峰值一半以上的时间平均有32个小时，最长时可达61个小时。因此我们只需要记住其极大的日期，具体时间并不那么重要。对于今年来说，4月21日晚至23日凌晨间的两个夜晚都比较适合观测。而且23日正值农历的“朔”，无月夜将为观测提供很好的条件。

天琴座流星雨极大期间的辐射点 作者供图

“后起之秀”Y4彗星更值得关注

目前夜空中有两颗彗星比较值得关注。它们都是非周期彗星，编号分别为2017 T2（PanSTARRS）和2019 Y4（ATLAS），我们分别简称为T2和Y4。这两颗彗星都将在5月经过近日点。年初人们曾对T2彗星抱有非常大的期待，并预计其在4月能达到肉眼可见的亮度。但现在看来这颗彗星可能会让大家失望了。虽然它的观测条件一直不错，在北半球中、高纬度地区几乎整夜可见。但截止到3月下旬，它的亮度在9等停滞不前，恐怕最亮时也只能有7等左右了。

另一颗彗星Y4可谓今年的“后起之秀”，现在也被炒得火热。这颗彗星去年年底才被观测到，目前亮度提升较快，3月下旬已经达到了8等左右。关于它在近日点期间的亮度预报差距较大，非常乐观的情况是能达到-10等，也就是月球的级别。“悲观”一些的估计也能达到肉眼可见的4至5等。Y4彗星过近日点前赤纬也很高，整个4月至5月上旬都非常适合北半球观测，届时的亮度如能达到肉眼可见的级别自然是最好。但到了5月底经过近日点时它与太阳的距离只有0.25天文单位，在地球上观测角距离很小，即使比较亮也很难被观测到了。

目前彗星的彗核处于一个变化过程，可能会部分瓦解。但对于一颗即将经过近日点的彗星来说，这也是很正常的现象。目前看来5月它能达到的亮度不确定性很高，建议大家关注。

（作者系北京天文馆副研究员）

参宿四亮度变化引发超新星爆发猜测，但是——

恒星收缩与膨胀也会让它一闪一闪

天文词典

王善钦

过去几个月来，位于猎户座的参宿四牵动了许多天文学家及爱好者的心。其亮度一度变暗到人类有记录以来的最低值，以至于许多人猜测它将立即爆发为超新星。

但天文学界内的大多数人认为参宿四突然变暗并不是因为它即将成为超新星。围绕变暗的原因众说纷纭，其中的一个可能原因是恒星发生了脉动——即收缩与膨胀。恒星的脉动会使恒星的亮度发生变化。

近日，一个研究小组假定参宿四在发生脉动的同时发生超新星爆发，计算了脉动对超新星亮度的影响——脉动时，收缩区域发出的光变暗，膨胀区域发出的光变亮。

作为一个红超巨星，参宿四的半径确实在不断变化，导致其亮度也反复变亮变暗。那么，恒星脉动的原因有哪些？脉动的恒星对于天文学研究有什么重要性？它们都会爆发为超新星吗？

周而复始的膨胀与收缩

恒星一生中的大部分时间依靠内部氢聚变为氦的过程提供能量。聚变产生的能量产生了向外的辐射压力，而恒星自身的引力向内，两个力保持平衡，使得恒星保持一定大小。氢聚变的产物是氦，恒星内部积累足够多的氦且温度达到1亿开尔文后，核心的氦发生聚变，恒星开始膨胀为红巨星或红超巨星。

红超巨星半径能够达到太阳半径的几百甚至上千倍，内部物质对表面物质的引力比较弱，表面大气的翻滚变化，会使恒星的半径发生变化，形成脉动。参宿四的脉动就属于此类。

质量为太阳质量0.5倍的恒星，进入氦燃烧阶段后，会先膨胀为红巨星，然后颜色变黄。质量为太阳好几倍或者十几倍的恒星，在进入氦燃烧的某个阶段时，也会变黄，成为黄巨星或黄超巨星。这两大类恒星中的一部分会产生周期性脉动。脉动的根本原因是恒星大气中的氦。

氦有两个电子。恒星大气内某个区域温度达到3万开尔文左右时，氦的一个电子被电离。恒星收缩时，内部温度升高，当温度达到4万开尔文左右时，氦的另一个电子也被电离。自由电子增多，导致恒星大气的不透明度增高，被俘获的辐射变多，积累的能量变多，恒星膨胀。膨胀会导致降温，两个电子中的一个重新复合回去，恒星大气不透明度降低，被俘获的辐射减少，恒星收缩。收缩会导致升温，电子又被电离，导致以上过程循环往复，恒星就会反复膨胀收缩。

这样的脉动导致恒星的亮度发生周期性变化。质量为太阳质量0.5倍的那些恒星脉动时成为天琴座RR型变星，质量为太阳几倍或者十几倍的黄巨星或黄超巨星脉动时成为造父变星。

质量接近太阳质量100倍的恒星也会产生脉动。这类恒星的核心聚变为氧之后，氧核聚变产生的光子能量太高，成对地转变为电子与正电子对，后者又成对转变为中微子与反中微子对，中微子对轻松地逃逸出恒星，恒星压力降低，发生收缩；收缩导致氧核的温度进一步升高，上述过程更加激烈，形成一个循环，氧核心产生的能量快速释放，引起恒星膨胀，将恒星外层物质抛出一部分。这样的脉动喷发过程会发生多次，因此被称为“脉冲对不稳定性”。

用周光关系丈量星系距离

恒星脉动在天文学上有着重要的应用。天琴座RR变星与造父变星亮度变化周期与最大亮度有明确的关系，即周期—光度关系。只要确定了一部分此类变星的精确距离，就可以通过周期—光度关系确定其他同类变星的距离。天文学家利用造父变星的周期—光度关系，先后测量了银河系内、仙女座星系内以及其他多个星系内造父变星的距离，从而确定了银河系的形状与太阳在银河系内的位置，证明仙女座星系是银河外的星系以及发现宇宙正在膨胀等。

天琴座RR型变星与质量小于8个太阳质量的造父变星因为质量太小而无法成为超新星。类似于参宿四的红超巨星与质量超过8个太阳质量的造父变星会爆发为超新星。质量接近100倍太阳质量的恒星，在经历几次脉动喷发后，最终会爆发为超新星或直接塌缩为黑洞。天文学家已经从哈勃空间望远镜的照片档案中发现了一些超新星爆发前的图像，证明有些超新星是红超巨星爆发而成、有些超新星是黄超巨星直接爆发而成。这意味着造父变星有可能直接爆发为超新星。

需要注意的是，恒星成为天琴座RR型变星或造父变星后，一般不会永远处于这样的变星状态，而会在某个阶段不再脉动，并演化为其他类型的恒星。大质量的造父变星虽然可能直接爆发为超新星，但更多时候会在结束脉动后再爆发为超新星。