

太阳活动正走向第25个周期极大期,频频引发强烈地磁暴

罕见极光刷新认知,南下趋势或将持续



12月1日,黑龙江佳木斯出现的极光。图/CFP

■季海生 滕伟霖

近日,令人震撼的“北京极光”刷新了公众认知:平时要在高纬度地区方得一见的极光,竟频频光顾地处北纬40°的新疆、北京等地。而早在今年二三月份,极光就在地球中低纬度地区现身了。

为何今年极光如此活跃且频频“南下”?这与太阳风引起的地磁暴密切相关。由于近年太阳活动正走向第25个周期的极大期,未来一两年,极光还可能多次现身中低纬度地区。

据中国气象局国家空间天气监测预警中心统计,今年地球已发生了7次大地磁暴级别的地磁活动,分别是在2月27日、3月23日、3月24日、4月23日、4月24日、9月19日和12月1日。其中,发生于3月23日至24日间的特大地磁暴,是近六年来的最大地磁暴。地磁暴从低到高共分为G1到G5五个等级,而这次达到了G4级,导致极光“南下”至诸如美国新墨西哥州等纬度较低的地区。

整整一个月后,地球又经历了一次同等规模的地磁暴,它在英国东南部、美国加利福尼亚州,以及我国新疆等偏低纬度地区再次制造了极光美景。

太阳风暴为地球带来的不仅仅是极光这种视觉盛宴,也会给无线通讯、人造卫星、空间站航天员安全带来威胁。在欣赏美丽极光的同时,人类更要密切关注太阳活动,做好空间天气预测与预警,及时予以应对。

人类家园

漂浮于双重磁化“气泡”中

太阳是离人类最近的一颗恒星。日常人们所见的“太阳”,其实是这颗恒星的光球层。人类对太阳的了解是一个逐层深入的过程:先是从光球层延伸到了色球层和日冕,而后随着美国天体物理学家尤金·帕克所预言的太阳风得到观测证实,人类对太阳的认知边界又扩展到整个日球层。

太阳是一颗磁化恒星,日球层就是由太阳磁场和太阳风的影响范围所构成的巨大包络层。在日球层内,太阳是空间环境的绝对主导者。在日球层边界处,太阳风向外吹的压力与来自星际介质的压力相平衡,于是太阳风就在这里停滞,形成所谓的日球层顶。

2012年,美国“旅行者一号”探测器穿越了太阳风和星际介质交界的位置,人类由此第一次确定日球的边界位于距离太阳核心约140个天文单位(太阳和地球之间的距离为1个天文单位)地方。

在宇宙空间中,日球层像个透明的椭球状大气泡。正是这个“大气泡”阻挡了绝大部分宇宙射线进入太阳系,也构成了人类防范宇宙射线的第一道安全屏障。

人类的家园——地球就是一颗在日球层系统中起伏波动,并与这个系统发

生着电磁相互作用的行星。形象地说,地球就像一叶扁舟,每时每刻都在快速流动的磁化等离子体环境中。

幸运的是,我们还有一个由地球磁场在地球周围形成的“小气泡”将太阳风阻挡在外,这就是地球磁层。如果没有这个“小气泡”的存在,地球大气早就被太阳风吹走了。同时,地球磁层还进一步阻挡了宇宙线和太阳高能粒子对人类的伤害,构成保护人类安全的第二道屏障。

日冕物质抛射

冲向地球的太阳“喷嚏”

然而,地球磁层这个“小气泡”略有缺陷,即在两极呈漏斗状。而且,在朝向太阳的一面,地球磁场经常会与来自太阳的磁场发生磁场重联——通俗来讲,这个过程就好像将地球磁层“撕”开一个口子,太阳风粒子以及在此过程中被加速的高能粒子,会从这个口子进入并沿着漏斗状的地球磁层极尖区下降,与大气碰撞,形成日侧(白昼一侧)的极光。

地球磁层的磁力线被“撕”开后,随着太阳风的吹拂来到夜晚一侧,形成一条长长的磁场“尾巴”,这就是地球磁尾。在磁尾中,相反方向的磁力线进一步重联,从而让更多高能粒子沿着磁力线沉降,进入地球大气,形成夜侧(夜晚一侧)的极光。

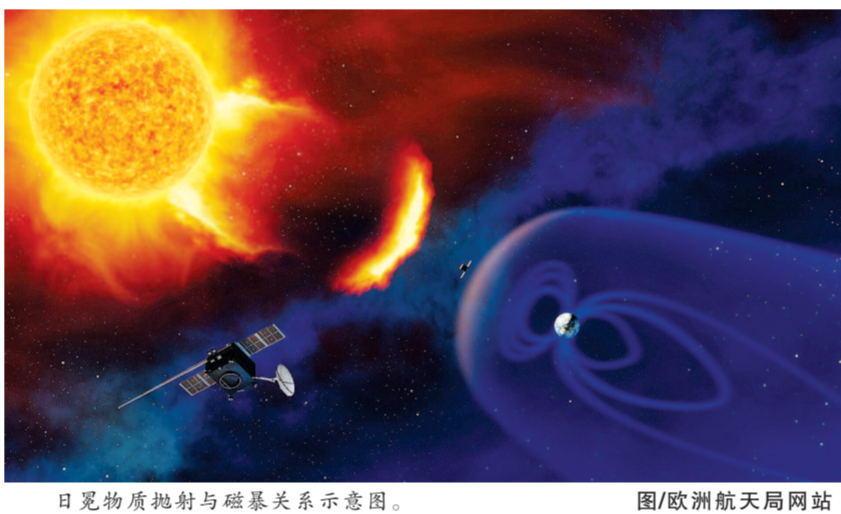
这些过程往往伴随着地球磁层环电流的增强以及地磁场的减弱、紊乱,也就是通常所说的磁暴过程。从极光形成的过程可以得知,形成高等级磁暴有两个必要条件:一是来自太阳的磁场正好击中了地球磁层顶;二是来袭的太阳磁场具有与磁层顶磁场相反的方向。

物质能够携带磁通量向地球的情况有两种:一是太阳活动期间产生的日冕物质抛射,二是来自太阳冕洞的高速太阳风。在冕洞之中,磁力线呈开放状态,太阳风沿着开放磁力线传播,以两倍于太阳风平均速度的速度释放带电粒子。当这些快速流动的太阳风追上速度较慢的太阳风,就会相互挤压,增强它们之间的磁场。当这种挤压区域扫过地球,就可能产生地磁暴。

通常来说,源自日冕洞的地磁暴会有在数小时内逐渐上升的过程,并且不像日冕物质抛射引起的风暴那么严重,故而强磁暴大多由日冕物质抛射引起。

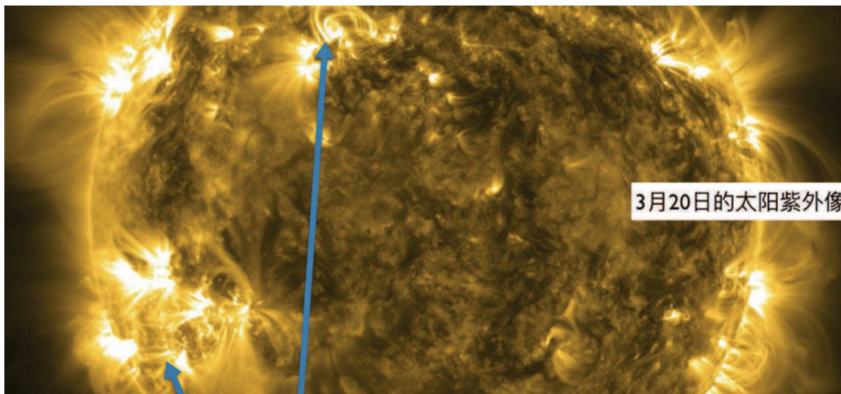
日冕物质抛射是指等离子体携带着磁场从太阳日冕中释放到行星际空间的过程,就好像太阳打了个喷嚏,使用日冕仪可以观测到这一过程。如果日冕物质抛射朝向地球,这些等离子体和磁场将严重扰动地球磁层及高层大气,引发地磁暴,进而阻断通讯,降低导航精度,损坏人造卫星和地面电力系统。

为此,人类已建立起空间天气监测预警系统,对地磁暴进行预报。例如,在12月1日的极光出现之前,中国气象局

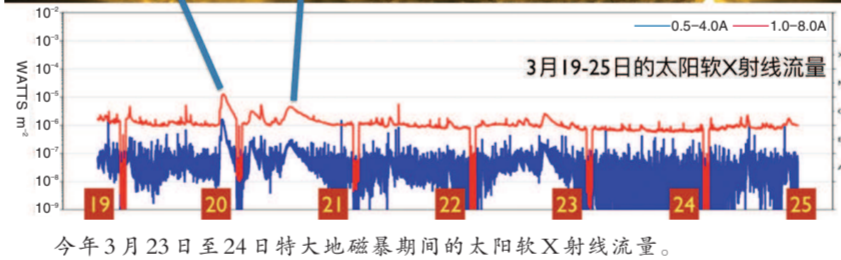


日冕物质抛射与磁暴关系示意图。

图/欧洲航天局网站



3月20日的太阳紫外像



今年3月23日至24日特大地磁暴期间的太阳软X射线流量。

图/美国航空航天局SDO卫星

国家空间天气监测预警中心就提前一天发出预报:11月30日、12月1日和2日这三天,可能出现地磁暴活动,其中12月1日可能发生中等以上地磁暴甚至大地磁暴,预计地磁活动将持续至12月2日。

与此同时,该中心还发出提醒:空间站可能因大气拖拽造成轨道高度下降,卫星导航设备误差增大,航空飞行将面临通讯环境变差和跨极区辐射的双重风险;而公众,尤其是信鸽玩家和极光爱好者,未来几天要时刻注意空间天气信息。

多彩极光

高能电子踏出霓虹“足印”

“极光”一词源于罗马神话中的织架女神“欧若拉”,代表旭日东升前的黎明。中文名称“极光”表示这一现象经常出现在两极看到。但是,在一些极端情况下,低纬度地区甚至赤道地区也能看到极光。出现在低纬度地区的极光多为红色,而高纬度地区多见绿色或黄绿色极光,此外还有较为罕见的粉红色、紫色、蓝色极光。

极光的颜色是如何形成的?原理其实很简单。极光是由从地球磁层闯入的高能粒子以高达每秒2万千米的速度撞击地球高层大气而引起的。在这一过程中,这些以电子为主体的高能粒子就会激发气体原子和分子并产生极光。这与霓虹灯的工作原理十分类似:当分子和原子被电子激发到高能状态的激发态时,它们必须返回到其原始能量的基态,并通过释放光子的形式来释放能量。

就像霓虹灯的颜色取决于管内的气体混合物一样,极光的颜色取决于大气中的气体组分。

在地面上空200千米以上,高能电子首先遇到的是一层富含氧原子的大气,它们与这些氧原子碰撞,将氧原子赋

能到激发态。由于大气密度随着高度的上升而迅速衰减,200千米以上高空的大气十分稀薄,因此这些被激发的氧原子与其它原子发生碰撞的概率非常小,这就使它们可以在释放光子之前跑出相当远的距离,于是这一层的极光就呈现出云雾状的弥散形态。

这些被激发的氧原子释放出淡红色的光芒,构成极光的最高层。所以,即使磁纬度较低的我国北方地区,有时也可以在北方地平线上观测到这一抹淡红。这也是为何低纬度地区出现的极光大多是红色。此外,低纬度地区出现的极光往往发生在特大磁暴期间,此时的红色极光较为明亮,更容易被人眼察觉。

当高能电子继续沉降来到距地面100至200千米之间的中层大气时,这里的大气密度逐渐升高,氧原子和氮分子逐渐增多。在中层大气,高能电子激发的仍然主要是氧原子,但由于环境的改变,这里的氧原子主要释放出黄绿色的光子,因此在这一层,极光往往呈现黄绿色。这种极光不仅亮度较高,而且由于人眼对于绿色更为敏感,因此黄绿色成为高纬度地区最常见的极光颜色。由于黄绿色极光源区的大气密度更高,粒子碰撞频繁,且氧原子激发态的维持时间较短,因此这种极光可以大致勾勒出高能电子沿着磁力线落入大气的位置。这些携带高能电子的磁力线在磁层活动中不断改变形态,于是黄绿色的极光带也随之变幻万千,如同天神舞动的裙摆。

一般强度的太阳活动所产生的极光,往往到黄绿色就结束了。但当我们遇上一次十分猛烈的太阳活动时,磁层内的电子就会被加速到很高的能量状态,穿过中高层大气的层层阻挡,来到80千米以下的浓密大气层。在这里,原子态的氧极其稀少,因此不能作为发光的主要物质。但这里的氮分子足够密集,

极光“足迹”留痕中国古籍

世界公认最早的黑子记录和极光记录,都是从中国的古代典籍中发现的。太阳黑子是太阳活动强弱的标志。由于古人没有现代天文观测设备,因此当他们可以用肉眼观察到太阳表面出现黑子时,意味着黑子结构已相当明显。

世界上最早的黑子记录是公元前140年前后成书的《淮南子》中的记载:“日中有踈乌。”《汉书·五行志》中对公元前28年出现的黑子记载更为详细:“河平元年,三月乙未,日出黄,有黑气大如钱,居日中央。”

最早极光记录出现在《竹书纪年》中。根据该书记载,周昭王统治末期,周昭王夜,北部天空出现了“五色光”。有日本学者研究发现,“五色光”的记录与一场大型地磁暴的发生时间几乎一致。根据最新的中国历史年表,这次极光最有可能发生的两个年份均在公元前10世纪。

由于中国疆域所处的纬度关系,中国古代文献中的极光记录都对应着强磁暴事件。例如1859年9月1日,大阳上发生了著名的“卡林顿太阳爆发事件”,绚烂的极光从极区一直延伸到北纬20度附近。法国的夜空弥漫着五颜六色的极光;在夏威夷,夜空中漫天红色的辉光下,人们甚至不用借助灯光就可轻松阅读。

我国河北省石家庄市栾城区的地方志《栾城县志》中,也记载了这次罕见极光:“清官咸丰九年……秋八月癸卯夜,赤气起于西北,亘于东北,平明始灭。”这里的“赤气”指的就是极光。

1872年2月4日,地球上再次发生超大规模极光,这次极光的可见范围甚至超过1859年,连赤道附近都能看到漫天霞光,诸如加勒比海地

区、埃及,乃至南非、印度洋周边,包括我国南方都看到了极光。

对此,我国相应的文献记录为:“清穆宗同治十年十二月二十六日(1872年2月4日)夜,自辰至坤,天赤如火,响晓乃灭。”(清光绪河北《东安县志》卷11)

“夜半,红光起西北,顷刻灭,日出始散。”(清光绪湖北《光化县志》卷8)

“清穆宗同治十年十二月二十七日(1872年2月5日)丑刻,赤气漫天,起东北至西南,光耀如火,云内有一星如盂,蓝色,移时始灭。”(民国河北《景县志》卷14)

在公元562年至862年间的“唐朝黑子极小期”,古代文献中尽管几乎没有黑子记录,却散落有一些极光记录,尤其是出现在公元762年的5条红色极光记录,相当引人注目:

唐太宗即位 其月壬子(762年5月1日)夜,西北方有赤光见,炎赫亘天,贯紫微,渐流于东,弥漫北方,照耀数十里,久之乃散。(《旧唐书·天文志》卷36)

唐太宗即位 其月辛未(762年5月20日)夜,江陵见赤光贯北斗。(《旧唐书·天文志》卷36)

唐太宗即位 其月壬子(762年7月26日-8月23日)西北方有赤光亘天,贯紫微,渐流于东,弥漫北方,照耀数十里。(《文獻通考·象纬十七》卷294)

唐太宗即位 其月庚午(762年9月16日)夜,西北有赤光亘天,贯紫微,渐移东北,弥漫半天。(《旧唐书·代宗纪》卷11)

唐太宗即位 其月庚午(762年9月16日)夜,有赤光亘天,贯紫微,渐移东北,弥漫半天。(《新唐书·五行志》卷34)

足以发出可观强度的光芒,于是就成为了极光的主导发光物质。氮分子及其离子被激发后,几乎瞬间就会释放出光子,在空中留下粉色、紫色、洋红色,甚至蓝色的印迹。这些是极光的最低层,是高能电子在地球大气中踏下的最深“足印”。

太阳黑子活动

强磁暴的唯一源头?

既然强磁暴多数由日冕物质抛射引起,那么日冕物质抛射又来自何方?其实,它主要来自太阳黑子。虽然太阳看上去很稳定,但太阳大气实际上非常活跃,其标志就是大家所熟知的、具有11年周期的太阳黑子活动。

太阳黑子是强磁场聚集地,一个或数个太阳黑子就构成了太阳活动区,其中经常发生爆发性活动,包括太阳大气中突发的太阳耀斑、日冕物质抛射等。

太阳耀斑是在太阳大气局部区域发生的能量释放现象,可在太阳色球和日冕像中观测到显著的局部增强。一次典型的大耀斑能释放出高达10²⁵焦耳的能量,相当于十几亿颗核弹同时爆炸所释放的能量。

耀斑和日冕物质抛射有较密切的关联,大的耀斑往往伴随日冕物质抛射。由此,我们得出一个印象,强磁暴均与太阳黑子活动相关。我国古代关于黑子和

极光的文献记录分别有100多次。从这些记录中可以发现,极光通常发生在太阳黑子多的时期。例如,1859年9月,地球上曾发生过一次超级大极光,在该事件前后几年间,我国古代文献中就有好几条黑子记录。现代科学家经常用树干上一层一年轮中的碳-14含量来获知远古时代的太阳活动水平。因为,在太阳黑子极小期,由于日球层中的磁场减弱,它们对宇宙射线的阻挡也会同步减弱,地球大气因此会受到更多宇宙射线轰击,在地球大气层中产生更多的碳-14。

在几个太阳黑子极小期,我国关于黑子和极光的古代文献记录均相对较少;而在太阳中世纪极大期,文献记录的黑子极光出现数量则呈现出一个高峰。

不过,有一件事颇耐人寻味。公元762年的前200年和后100年间,古代文献中几乎没有黑子记录,这说明太阳活动处于一个较长跨度的极小期,我国有学者曾将其命名为“唐朝黑子极小期”。而在此期间,文献中却散落着一些极光记录,尤其是公元762年,这一年竟集中出现了5条不同时间的红色极光记录。这是否意味着,太阳黑子活动并不是强磁暴的唯一源头?这个推测或许要等下一次类似的极小期出现,才能得到验证。

而我国天文学家也正从这一疑点出发,探寻着更多的太阳未知之谜。

(作者分别为中国科学院紫金山天文台研究员、博士研究生)



12月1日北京出现极光,图中山后红色即为极光活动,山前两侧橙色为村庄夜间灯光。图/CFP