

地磁暴及其小迷弟“欧若拉”

毛争争 乔龙潭 钟守万 魏文昊
中国地质调查局西安矿产资源调查中心
DOI:10.12238/gmsm.v7i4.1745

[摘要] 地磁暴是地球磁场因太阳活动而发生的短时扰动现象,主要由太阳风与地球磁层的相互作用引起。太阳风中的高速等离子体携带着太阳的强磁场能量,当这些物质以高速从太阳表面抛射并抵达地球时,会改变地球磁场的方向和大小,导致地磁暴。地磁暴的强度通过Kp指数进行评估,该指数范围从0至9,数值越高表示地磁暴越强烈。地磁暴虽然可能对航空、卫星运行和通信等基础设施造成影响,但对公众日常生活和健康的影响较小。

[关键词] 地磁暴; 极光; Kp指数; 太阳-日冕物质抛射
中图分类号: P2 **文献标识码:** A

Geomagnetic Storm and its little fan "Aurora"

Zhengzheng Mao Longtan Qiao Shouwan Zhong Wenhao Wei
China Geological Survey Xi'an Mineral Resources Survey

[Abstract] Geomagnetic storms are short-term disturbances of the Earth's magnetic field caused by solar activity, primarily triggered by the interaction between solar wind and the Earth's magnetosphere. The high-speed plasma in the solar wind carries the strong magnetic field energy of the Sun. When these materials are ejected from the Sun's surface at high speed and reach the Earth, they alter the direction and magnitude of the Earth's magnetic field, leading to geomagnetic storms. The intensity of geomagnetic storms is assessed using the Kp index, which ranges from 0 to 9, with higher values indicating stronger storms. Although geomagnetic storms may impact aviation, satellite operations, and communication infrastructures, their effects on the daily lives and health of the public are minimal.

[Key words] Geomagnetic Storm; Aurora; Kp Index; Solar-Coronal Mass Ejection

引言

何为地磁暴?在解决这个问题之前,我们先要了解地磁是如何产生的。地球的地核包括两部分,分别为内核和外核。内核温度最高,为固体,外核温度次之,充斥着大量以铁镍为主的流体。这些流体带有磁性,在地球自转和高温作用下进行对流运动,会引起电磁感应,进而产生地磁。地磁产生至少有35亿年历史,它通过地球内部延伸到宇宙中,形成地球磁层,该磁层可以阻挡太阳带电粒子流的侵害,保护地球的大气层和自然生态。

地磁暴产生都是太阳活跃“惹的祸”,其本质是因为太阳风与地球磁层相互作用所引发的一种自然现象,是太阳风高速等离子体对地球磁层作用而产生的短时地磁扰动现象。作为最具代表性的太阳爆发活动,一次日冕物质抛射(CME)^[1]过程能够将数以亿吨计的太阳物质以每秒数百公里的速度从太阳表面抛射出去。这些物质不仅拥有巨大的动能,还携带着太阳的强磁场能量。一旦抵达地球,就会令地球磁场方向和大小发生变化,即地

磁暴。地磁暴是一种全球性的地球磁场扰动现象,其强度有专门的等级划分。科学研究中常用Dst指数进行分级而在实际的预警应用中则通常采用Kp指数。Kp指数,即全球磁场指数,用于评估带电粒子与地球磁场碰撞所导致的地磁暴强度,其范围从0至9,数值越高则表明地磁暴的强度越大。

1 为何近年来公众感觉地磁暴频发

首先,空间天气和地球天气一样,也在平静和活跃间轮转,但周期更长,通常11年为一个轮转周期。从2019年12月进入第25个太阳活动周,自2023年以来,太阳活动明显增强,X级耀斑、太阳质子事件、大地磁暴等强爆发事件频发,频次和强度远高于第24周同期水平。进入太阳活动高年,太阳比较活跃,是公众感觉地磁暴近年来频发的原因之一。其次,近年来,我国空天一体化监测站网不断完善,空间天气监测预报预警能力不断提升,对空间天气事件的预测预报更加精准、精细,监测产品对极光观测等助力明显,公众对空间天气事件的认识和关注度与日俱增。

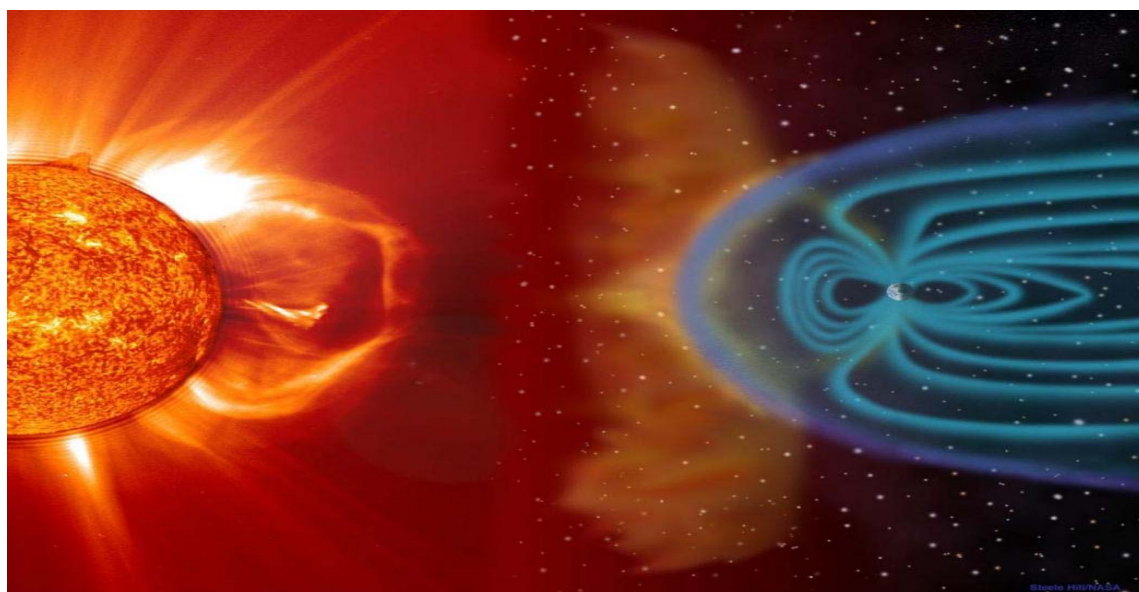


图1 地球磁场视觉效果示意图 来源: NASA



图2 在新疆克拉玛依拍摄到的极光 来源: 摄影师@Jeff

2 地磁暴为何能引发极光(Aurora)

太阳是一个时刻都在进行核聚变的巨大天体,除了给地球提供生命所需的能量外,核聚变还会持续不断地产生大量的高能带电粒子^[2],一般情况下,太阳的高能带电粒子抵达地球附近时,地球磁场会把它们导向地球两极,因此极光也主要出现在南极圈和北极圈附近。但如果抵达地球的太阳高能带电粒子特别强,和地球磁场发生相互作用产生特别强的地磁暴,有些高能带电粒子会在中低纬度地区进入大气层,就有可能在中低纬度地区产生极光。极光最常见的颜色为绿色,即便如此,绿色极光对于我国来说也很难看到,因为需要足够强的太阳风暴才

能轰击到100公里左右的大气才可产生绿色极光。此外还有红色、紫色等。

极光的发生范围与地磁暴强度存在对应关系。对北半球而言,地磁暴越强,极光发生的范围就会越往南扩,如果足够强的话,就可能在我国夜空出现极光。极光的观测跟很多因素有关系,包括天气和极光出现的时间。如果极光在白天出现,由于背景光太亮,那就很难看到。此外,多云也会影响极光的观测。我国出现极光是相当罕见的,主要原因在于:一是极光一般出现的区域位于地球南极或北极区附近的极光卵,与之对应地磁纬度介于 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 之间,而我国纬度最高的地方漠河纬度也仅有 53° 。二



图3 2022年2月3日,SpaceX的“星链”任务受到地磁暴影响 来源: 新京报

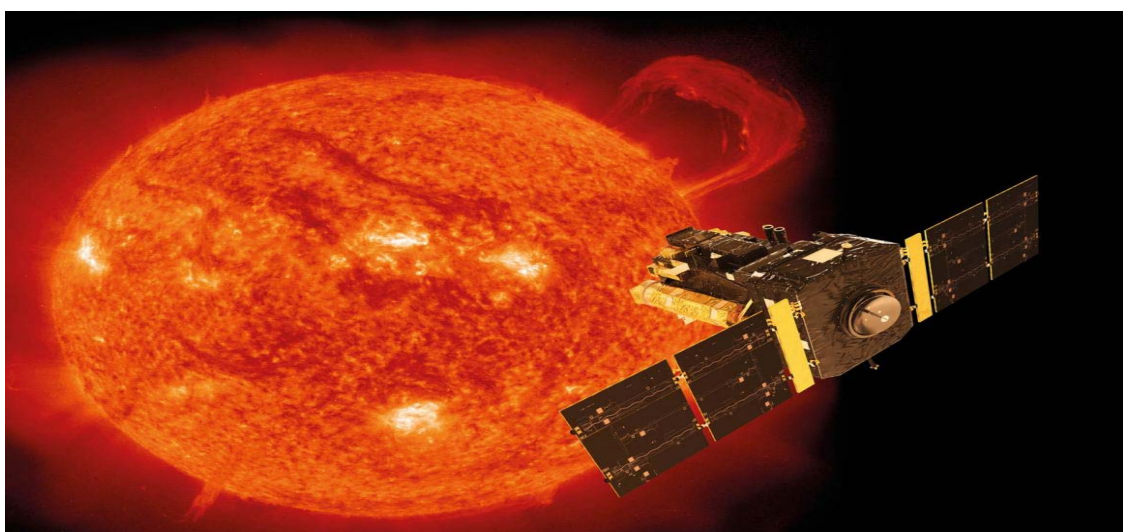


图4 SOHO 卫星图 来源: NASA

是地球磁轴和自转轴之间存在 11.5° 的夹角,所以地理纬度并不等于地磁纬度,且地球磁轴还向着北美洲偏移,也就是说,我国的地理纬度减去 10° 左右,才是真实的地磁纬度。由此可见,我国的地磁纬度要比地理纬度低不少。三是出现在我国境内的极光强度较弱,雾霾、人类照明等都会遮挡原本微弱的极光。

3 地磁暴对日常生活会产生哪些影响

地磁暴对航空器和卫星轨道运行会有一定影响^[3]。受地磁暴对磁场的影响,卫星空间站可能会因大气拖曳造成轨道高度有所下降,需加强对轨道的监测并根据需要进行轨道调控。对在国际空间站等环境中工作的宇航员,地磁暴期间辐射增加,宇航员通常需要采取额外的防护措施。卫星导航设备定位误差可能有所增大,但对公众日常使用导航等功能影响不大;除了威胁航天器运行,地磁暴还会对地球短波通信产生不良影响。短波通信

是一个极其依赖地球电离层的通信方式,在地磁暴发生过程中,电离层电子密度随高度的分布会发生较大变化,导致在电波原有的接收点信号强度大幅度衰减,甚至完全接收不到,从而造成短波通信的中断;此外,强地磁暴影响期间,电网及地下管网(如石油与天然气管道,海底光缆的外保护管等)也会受到影响。强烈的地磁暴可能导致地球磁场的快速变化,产生地磁感应电流(GICs),这些电流可能流入长距离输电线路,对电力系统造成损害,甚至引发大规模停电。如1989年,加拿大魁北克地区持续12个小时大规模停电的罪魁祸首就是地磁暴;地磁暴还会对一些动物活动产生影响,如信鸽、海龟这类靠地磁场来感应方向的动物,当磁场发生紊乱时,就会导致它们的行进、迁移路线发生改变。此外,一些研究表明,地磁暴可能对人类的心血管系统产生影响,尽管这些影响的具体机制和程度尚不完全清楚^[4]。

4 如何对地磁暴进行预警和监测

当太阳日冕物质抛射或者太阳耀斑爆发后,这件事是以光速传播到地球的,人类在上述太阳活动发生后约8分钟便可知晓。而太阳带电粒子流的传播速度则要慢很多,需要两三天的时间才能抵达地球,因此,人类可以对可能出现的地磁暴进行预警。

近年来,国家空间天气监测预警中心以风云气象卫星和地面台站所构成的天地一体化监测网为基础,整合风云三号E星、羲和号以及SOHO等卫星监测数据。这些多源自主观测数据,对空间天气态势的把脉日益精准,为经济社会发展提供重要科技支撑。也可通过数学模型等手段对太阳活动和地磁暴进行预警,一旦监测到太阳风活动明显增强,可能引发地磁暴的迹象,监测机构会及时发布预警,提醒相关部门采取应对措施。

5 如何防范和应对地磁暴

建立和维护地磁暴监测和预警系统。实时监控太阳活动和地球磁场变化,通过空间天气预报中心接收预警信息,提前准备应对措施;加强电力系统保护。主要措施有加强电网的绝缘和接地系统,减少地磁感应电流的影响、安装避雷器和快速断路器,以防止过电压和电流冲击、在设计电网时考虑地磁暴的影响,使用能够承受地磁感应电流的设备;加强通信系统保护。使用抗干扰能力强的通信设备和技术、在卫星通信系统中使用多路径冗余设计,以确保在部分卫星受影响时仍能保持通信、对于关键通信线路,可以考虑使用光纤通信,因为光纤不受地磁暴影响;重视卫星和航天器的保护。在设计卫星和航天器时考虑地磁暴的影响,使用能够承受高能粒子轰击的材料、在卫星上安装防护屏蔽,减少高能粒子的直接撞击、在太阳活动高峰期减少卫

星的暴露时间,或者将卫星置于保护性轨道;制定详细的应急预案。包括地磁暴发生时的操作流程、人员分工和资源调配,定期进行应急演练,提高应对地磁暴的能力。

6 结语

在我们逐渐了解地磁暴的过程中,我们也认识到其对地球上各种系统的影响是多么广泛和重要。从干扰导航和通信系统,到对电网和卫星运行的潜在威胁,地磁暴提醒我们太空天气的重要性。科学家们通过持续研究和先进技术,正致力于更好地预测和缓解这些影响,以保障我们的现代社会运作顺畅。同时,地磁暴现象也展示了宇宙的壮丽与神秘,激发我们不断探索未知的激情。通过加强公众对地磁暴的了解和科学知识的普及,我们不仅能更好地应对太空天气带来的挑战,也能更加欣赏这个动荡宇宙中的美丽与奇迹。

[参考文献]

- [1]汪红娟.日冕物质抛射伴生现象的数值研究[D].太阳物理研究组,2009.
- [2]张鹏祥.基于纹理特征的全天空极光图像分类算法研究[D].西安电子科技大学,2012.
- [3]钱学成,刘明光,刘铁,等.地磁暴对轨道电路电磁干扰的机理分析[J].铁道学报,2015,37(5):5.
- [4]郑斯雄.生物与太阳活动[J].世界科学,1981,(10):61.

作者简介:

毛争争(1994--),男,汉族,陕西省宝鸡市人,硕士,中国地质调查局西安矿产资源调查中心,研究方向:地质灾害防治、计算机地学应用研究。