



新闻动态

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 研究亮点

- ❖ 图片新闻
- ❖ 头条新闻
- ❖ 通知公告
- ❖ 学术活动
- ❖ 综合新闻
- ❖ 科研动态
- ❖ 研究亮点
- ❖ 学术前沿

张瑞龙等-GRL: 平流层爆发性增温期间电离层等离子体的跨半球运输

2020-07-21 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

电离层作为行星高层大气的电离部分，与低层大气活动密切相关。行星大气潮汐波、行星波等全球尺度的大气波动，普遍存在于地球、火星等快速自转的行星大气中。源于低层大气的这些波动，当传播到高层大气时，会驱动电离层发生扰动。揭示这些低层大气如何通过动力学耦合驱动电离层变化是理解行星大气演化与逃逸机制的窗口之一。

平流层爆发性增温（Sudden Stratospheric Warming, SSW）现象是典型的地球低层大气波动现象。在平流层爆发性增温发生时，极区平流层温度突然升高，在几天之内温度增加幅度可达几十K。同时，中间层和低热层纬向环流出现明显减弱，甚至发生转向。平流层爆发性增温事件提供了研究大气波动与电离层耦合的绝佳机会（图1）。已有观测和模式结果表明，在平流层爆发性增温期间，电离层可能会产生巨大的变化。

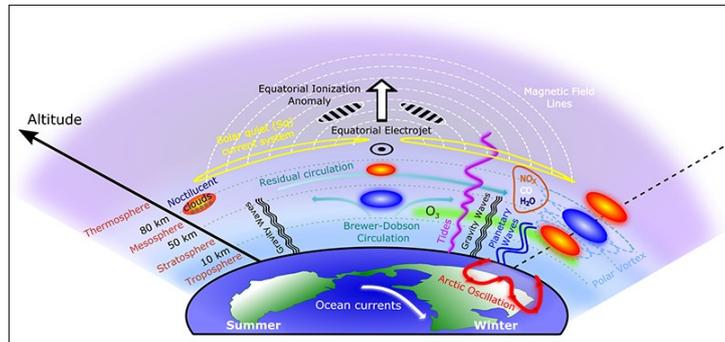


图1 平流层爆发性增温期间大气变化与耦合过程（图片来源：<https://doi.org/10.1029/2018E0092441>）

2009年1月发生了一次平流层爆发性增温事件，是有记录以来最强且持续时间最长的事件之一，平流层大气温度和环流都发生了显著的变化。要强调的是，在2007-2009极低太阳活动年期间，无论太阳活动，还是地磁活动性都非常微弱，因此对大气层与电离层耦合来说，这次SSW事件提供了一次非常难得的研究机会。

国际上有学者对此次SSW事件进行了一些研究。与非平流层增温期间相比，电离层TEC（Total Electron Content）在SSW期间的响应主要集中在低纬区域。低纬电离层TEC呈现了显著的上半增大、下午减小的变化特征。美洲赤道地区Jicamarca台站的非相干散射雷达观测资料展示出，电离层东西方向的电场（或等离子体垂直方向的漂移速度）出现了一致的半日变化形态。由此，大家普遍认为，SSW期间电离层电场发生变化，从而导致了低纬电离层电子密度的变化。

中国科学院地质与地球物理研究所地球与行星物理院重点实验室张瑞龙博士后和刘立波研究员等对2009年1月SSW事件期间低纬电离层的行为进行了深入的研究。他们发现，电场解释不了SSW期间电离层电子密度的扰动变化特征。一般而言，如果主要是电场扰动，低纬电离层电子密度应该在南北半球表现出相当的增加或减小。

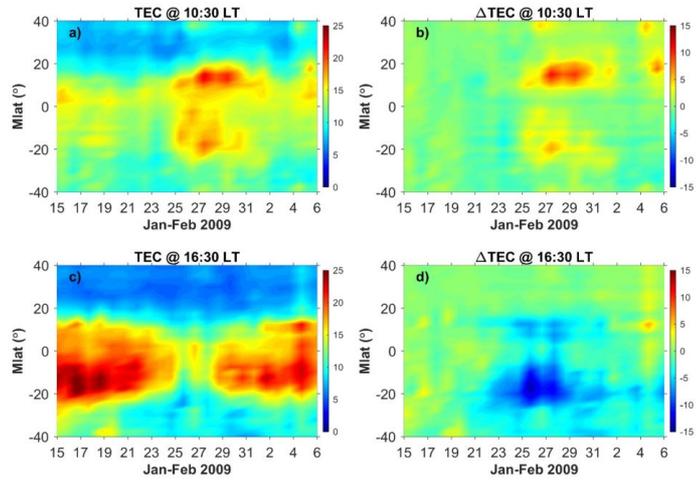


图2 2009年1.15-2.6日期间电离层电子总含量的变化与扰动

他们分析MIT TEC资料发现（如图2所示），在2009年1月SSW期间，电离层电子密度展示出强烈的南北半球不对称性。电离层这种南北不对称表现为，上午时段TEC增强主要集中在北半球EIA（Equatorial Ionization Anomaly）区域，南半球增强幅度较弱；下午时段TEC发生减弱，主要集中在南半球EIA区域，北半球减弱幅度较小。

他们利用美国空军“通信/导航中断预报系统”卫星（C/NOFS）搭载的离子漂移计观测资料，发现在SSW期间，除了电场漂移，沿着磁力线方向的等离子体速度展示出显著的半日变化：在上午时段呈现南向的扰动，下午转为北向的扰动（如图3所示）。

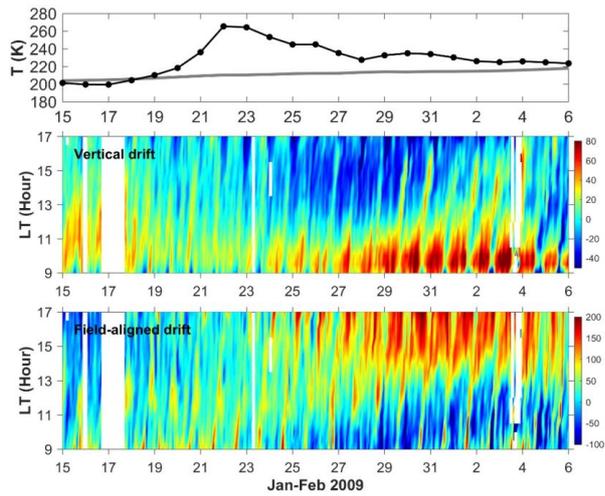


图3 2009年1-2月平流层增温期间电离层垂直漂移和场向漂移的演化

他们据此提出，电离层电场和场向漂移的共同作用，导致了SSW期间南北半球电离层电子密度响应的差异（图4）。根据卫星的电场观测，上午时段，当电场变得增强时，电离层赤道喷泉效应增强，等离子体被抬升到较高的高度；与此同时，电离层等离子体出现沿磁力线南向的扰动，等离子体在北半球被抬升到较高的高度，而在南半球则在低高度发生积累。在下午时段，当电场减弱时，喷泉效应减弱，甚至有可能出现反喷泉效应。顶部电离层等离子体向下运动，同时沿磁力线向北扰动。在沿磁力线的驱动作用下，南半球等离子体被更多的沿着磁力线运输到赤道区，这样南半球等离子体减少得更多。

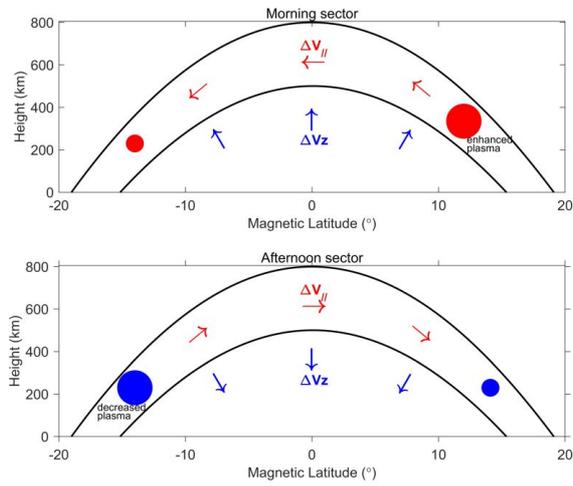


图4 阐释平流层爆发性增温期间南北半球电离层电子密度响应不对称的示意图，红色箭头表示场向漂移的扰动，蓝色箭头表示垂直漂移的扰动

平流层爆发性增温期间，准静止行星波和大气潮汐在低高度相互作用，使得大气迁移与非迁移潮汐发生改变，特别是半日潮汐在SSW期间发挥重要作用。这些潮汐的变化在低纬变化幅度达到最大值，并向上传递，参与电离层E层发电机过程，从而导致低纬电离层电子密度变化。

值得注意的是，电离层等离子体场向速度的变化不同于电场。在SSW期间，电离层等离子体场向速度的变化，难以直接用以往认为的E层发电机过程受到调节来得到合理的解释。等离子体场向速度的贡献因素包括大气风场、重力和压力梯度力等，与电场无关。

他们进而利用GAIA模式，来辨识SSW事件中，不同因素的变化与作用。模拟结构展示出，在此次SSW期间，低层大气潮汐可直接上传到热层（300–500km）高度。起源于低层大气潮汐的直接上传，在300–500km高度上，中性风呈现非常明显的半日变化。这一研究揭示，直接上传的低层大气潮汐导致了中性风的变化，进而改变电离层场向速度。

该项工作的重要意义在于，通过观测与模拟工作，发现平流层爆发性增温期间，低层大气潮汐可以直接上传到电离层高度，改变了中性风场和等离子体场向速度。这一工作更新了SSW期间电离层动力学输运图像，阐释了与SSW相关的电离层响应的南北半球差异。在剧烈低层大气波动（SSW事件）期间发现的这些物理过程，也可能存在于其他行星（如金星和火星电离层），对研究行星大气波动与电离层的耦合提供帮助。

研究成果发表于国际权威学术期刊*Geophysical Research Letters*。（张瑞龙，刘立波*，刘会欣，乐会军，陈一定. Interhemispheric transport of the ionospheric F region plasma during the 2009 sudden stratosphere warming [J]. *Geophysical Research Letters*, 2020, 47: e2020GL087078. DOI: 10.1029/2020GL087078）（原文链接）。成果受中科院行星科学先导B项目（XDB41000000）、国家自然科学基金项目（41904140, 41774161和41774165）、博士后创新人才支持计划（BX20180301）和中国博士后科学基金（2018M640175）资助。