空间中心科研人员提出新的亚暴唯象理论模型

文章来源： | 发布时间：2023-03-14 | 【打印】 【关闭】

亚暴是太阳风-磁层-电离层耦合的一种基本模式，是太阳风驱动的重要空间天气事件。亚暴爆发性的释放能量加速加热粒子，功率达到10亿千瓦，约为全国总发电功率。认知亚暴相关的太阳风-磁层-电离层耦合，是中欧联合SMILE卫星任务关注的主要科学目标之一。亚暴的因果链由太阳风的南向磁场开始，经历磁层顶磁重联，在电离层产生极强的电流和磁场扰动，以AE地磁指数为表征，并往往伴随着极光爆发。亚暴研究一直充满争议，其难点是中间因果链跨尺度跨圈层难以直接验证，由此形成了相互对立的“由内向外”（inside-out）和“由外向内”(outside-in)的唯象模型。

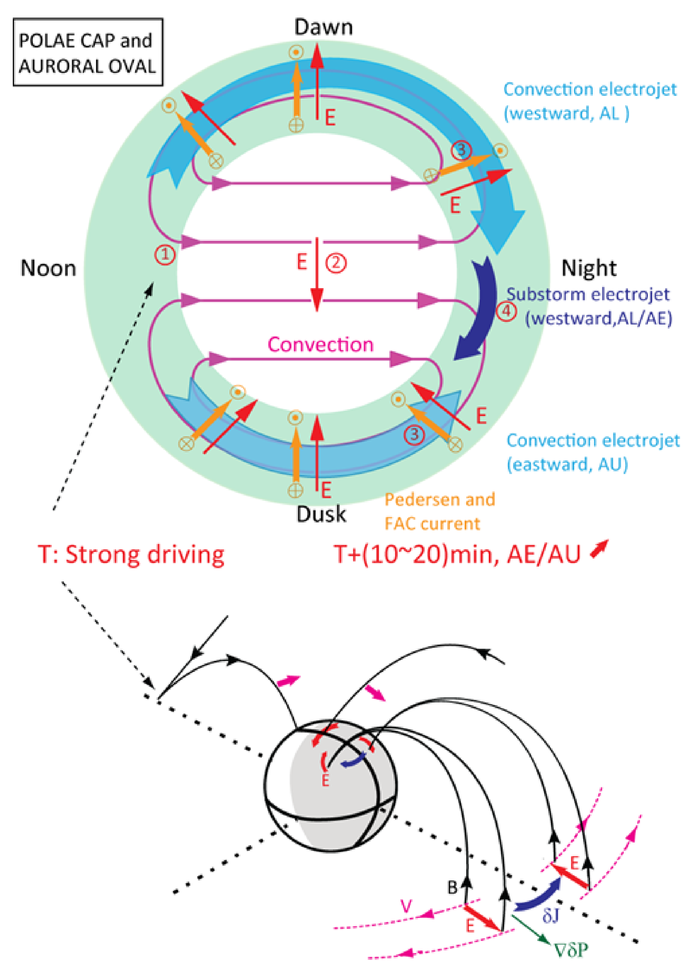
面对亚暴难题，中国科学院国家空间科学中心太阳活动与空间天气重点实验室的王赤院士团队提出了“另辟蹊径”的解决思路，通过精确测量“起始端-关键节点-终端”之间的响应时间，作为限制条件，逆向推测中间因果链，提出新的亚暴唯象理论模型。

传统亚暴模型的因果链依赖于Dungey循环图像，需要磁力线对流至磁尾聚积，响应时间为1小时左右。通过卫星-地面联合观测，王赤院士、戴磊研究员等发现一类亚暴，从磁层顶重联到产生亚暴电流响应的时间在10-20分钟以内。这类亚暴来源于太阳风中阿尔芬波携带的不断反转的南北向磁场（IMF Bz）。波动的南北向磁场被地球弓激波压缩增强后到达磁层顶，引发断断续续的非稳态磁重联。增强的磁层顶重联伴随着AU和AE地磁指数的快速上升，继而在10-20分钟内产生亚暴电流和亚暴爆发。这类亚暴在快太阳风以及CIR触发的磁暴中频繁出现。

依据观测响应时间推测因果链，王赤、戴磊等提出了新的亚暴唯象理论模型，如下图所示。磁层顶重联引起对流增强，增强的对流电场沿着磁力线映射到电离层高纬极盖区。此映射中，对流电场造成的电势差保持守恒，因为对流电场是垂直磁力线的静电场，磁力线是等势线。高纬极盖区的对流电场穿透到极光区，驱动电离层的双单元对流模式(two-cell convection)，并导致极光区的东西向的对流电流(convection electrojet)，体现为AU指数上升；极光区对流电场伴随引起Pedersen电流，以及1区、2区场向电流。双单元对流增强后，夜侧对流电场通过2区场向电流从电离层映射到磁层偶极场和磁尾的过渡区域，驱动磁层的对流产生纬度方向的绕流偏转，从而减小越尾电流，产生磁场偶极化，最终形成亚暴电流楔效应和电离层的亚暴电流。整个因果链中，重新建立双单元对流模式需要大约10-20分钟［Kennel 1996］，而电场和电势差沿磁力线映射非常迅速，需要的时间在分钟级别。这类直接驱动的亚暴独立于Dungey循环的因果链，其因果链通过电离层直接到磁层过渡区域。

从新亚暴模型的视角看，传统 “由内向外”和“由外向内”的模型之间的矛盾，来自于亚暴本身就有两类，自带有两种独立因果链。一类亚暴依赖Dungey循环，是对磁尾磁力线堆积的响应，其因果链在磁尾更有可能是“由外向内”；另一类亚暴是经由电离层直接驱动，其因果链在磁尾更有可能是“由内向外”。

新的亚暴唯象理论模型与SMILE任务提出的两大科学问题（太阳风 - 磁层相互作用的模式，亚暴的全过程周期）直接相关，可望在SMILE卫星任务中详细研究和检验。该研究结果发表在期刊The Astrophysical Journal上。



图：直驱模式亚暴的唯象理论模型，Dai, Wang et al.,2023APJ。

论文链接：https://doi.org/10.3847/1538-4357/acb267

https://doi.org/10.3847/1538-4357/acb266

Citation:

Dai, L, Han, Y.，Wang, C., Yao, S., Gonzalez, W., et al. (2023). Geoeffectiveness of Interplanetary Alfven waves: I. Magnetopause Magnetic Reconnection and Directly-Driven Substorms. The Astrophysical Journal, 945(1),47，https://doi.org/ 10.3847/1538-4357/acb267

Han, Y.，Dai, L., Yao, S., Wang, C., Gonzalez,W., et al. (2023). Geoeffectiveness of Interplanetary Alfven Waves: II. Spectral Characteristics and Geomagnetic Responses. The Astrophysical Journal, 945(1), 48，https://doi.org/ 10.3847/1538-4357/acb266

（供稿：天气室）

版权所有 © 中国科学院国家空间科学中心 京ICP备05061203号-1 京公网安备110402500029号
地址：北京市海淀区中关村南二条一号 邮编：100190
邮箱：kjzx@nssc.ac.cn