空间中心发现地球向阳侧磁鞘区等离子体湍流能谱指数的空间演化特征

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/10719.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

湍流在空间等离子体的物质交换、能量耗散以及粒子加热等过程中发挥作用。太阳风湍流本质上是一种多尺度非线性相互作用现象，具体表现为等离子体的各个物理参数（如电磁场、密度和速度等）的随机无规则扰动。观测中，各物理参数扰动的功率谱（power spectral density）在频率域上呈现为跨越几乎整个可探测频段的几段宽频的幂律能谱结构。幂律谱可以反映出湍流与尺度无关（scale-independent）的物理过程，因此研究其结构是了解湍流特性的重要手段之一。

超声速的太阳风与行星磁层相互作用过程中，会在行星的上风方向形成无碰撞激波，等离子体在日下点区域经过激波后被减速到亚声速，在侧翼区又恢复到超声速状态。与传统太阳风湍流的研究不同，磁鞘等离子体为研究太阳风湍流从被激波减速后的亚声速状态重新转变为超声速状态提供一个天然实验室。磁鞘湍流特性与太阳风湍流有相似性，如大尺度下的-1和-5/3的Kolmogorov幂律谱、亚离子尺度的-2.8的幂律谱以及电子尺度更陡的幂律谱已被磁鞘观测研究证实。然而，磁鞘区由于其独特的边界特征（如激波和磁层顶）以及高度不均匀的等离子体分布，湍流扰动在磁鞘区不同位置处呈现出不同的观测特征。目前，尚无研究完整地讨论过磁场、离子密度及速度谱指数在磁鞘区的空间演化特征。MHD尺度、亚离子尺度的等离子体和磁场扰动的联合分析，以及磁鞘区不同位置处的湍流空间分布特性对理解此区域等离子体湍流的产生和演化具有重要意义。

近日，中国科学院空间科学与应用研究中心空间天气学国家重点实验室院士王赤团队的研究员李晖与博士生蒋文策等，基于MMS卫星2015年至2019年的高时间分辨率数据，统计分析MHD尺度、亚离子尺度的磁场和等离子体扰动功率谱指数在向阳侧地球磁鞘区内的二维空间演化特征。研究发现：（1）从磁鞘区亚声速的日下点附近（M_A<1）到超声速侧翼区（M_A>5），磁场扰动PSD与离子速度扰动PSD谱指数分别随着当地的阿尔芬马赫数（M_A）的变化而呈正相关和反相关；（2）从弓激波附近（M_{turb}>0.4）到磁层顶附近（M_{turb}<1），磁场、离子密度和速度扰动PSD谱指数均随湍动马赫数（M_{turb}）的减小而与其呈现显著的相关性。此外，磁场和速度扰动PSD拐点频率增加0.1Hz，密度扰动PSD的拐点频率则保持在0.3Hz左右。研究团队结合上游太阳风参数的分析，发现上游太阳风的速度和行星际磁场的Z分量均对湍流谱指数的空间演化规律无显著的影响，表明磁鞘区湍流大尺度

演化特征在一定程度上独立于上游太阳风参数影响。

该研究首次对地球磁鞘区磁场和等离子体扰动谱指数进行联合统计分析，给出从日下点到侧翼区、从弓激波到磁层顶附近的MHD尺度和亚离子尺度的湍流谱指数的空间演化特性，以及与其相关的特征物理量，给出其独立于上游太阳风参数影响的证据，为理解磁鞘区湍流特性提供新的认识。论文以*Evolution of the Earths Magnetosheath Turbulence: A Statistical Study Based on MMS Observations*为题发表在*The Astrophysical Journal Letters*上。

论文链接

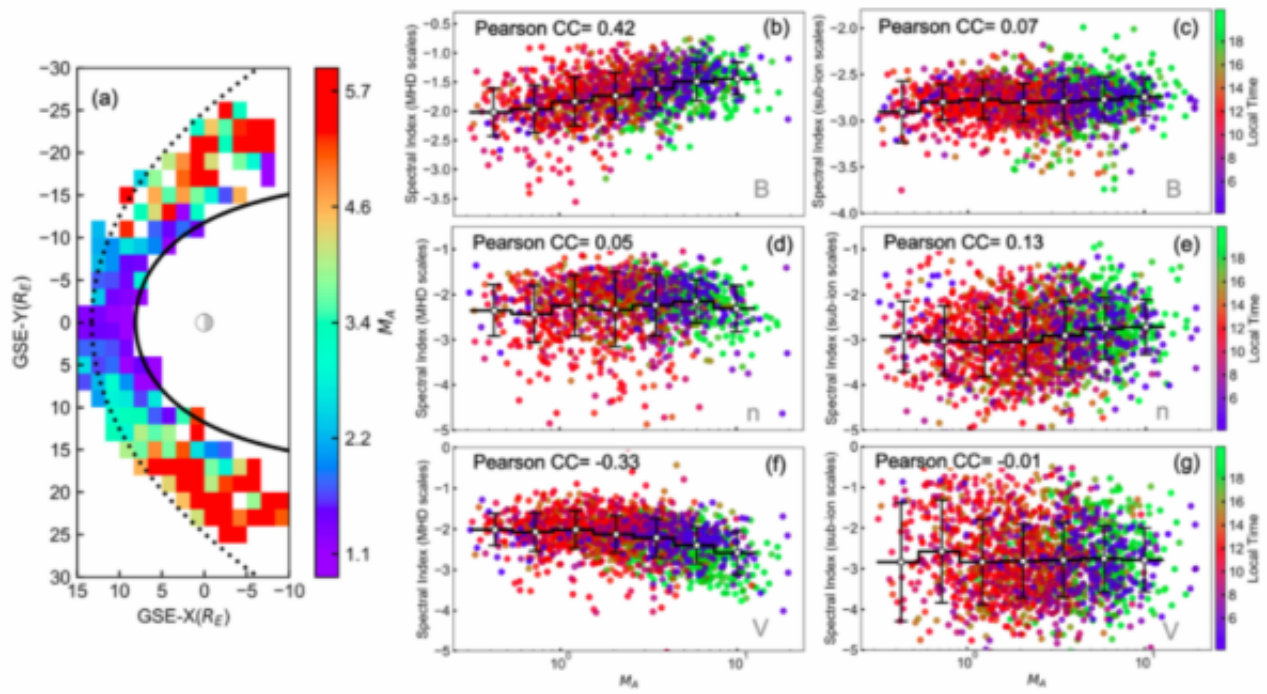


图1.磁鞘湍流谱指数从日下点到侧翼区的空间演化特性。(a)阿尔芬马赫数在GSE-XY平面上的二维分布；(b)和(c)分别代表磁场扰动PSD在MHD尺度以及在亚离子尺度的谱指数随阿尔芬马赫数的分布，颜色代表地方时；(d)-(e)以及(f)-(g)分别代表离子密度和速度扰动PSD谱指数随阿尔芬马赫数的分布。

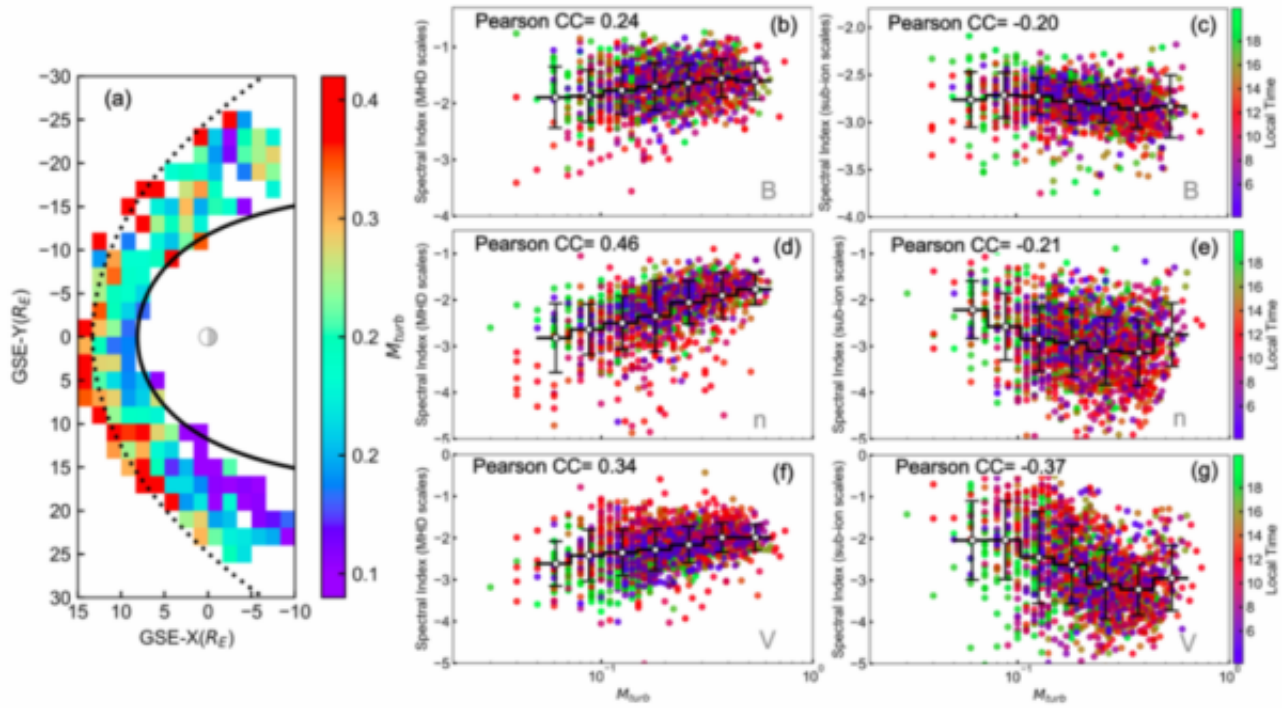


图2.磁鞘湍流谱指数从弓激波到磁层顶的空间演化特性。(a)湍动马赫数在GSE-XY平面上的二维分布；(b)和(c)分别代表磁场扰动PSD在MHD尺度以及在亚离子尺度的谱指数随湍动马赫数的分布，颜色代表地方时；(d)-(e)以及(f)-(g)分别代表离子密度和速度扰动PSD谱指数随湍动马赫数的分布。

研究团队单位：国家空间科学中心

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发