科学家发现火星壳磁场捕获太阳风离子证据

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/25207.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！

火星是地球的近邻，被认为是太阳系中气候最接近地球的星球。与地球不同，火星当前不存在类似地球那样的全球性偶极磁场（图1）。由于缺乏全球磁场的保护，外部太阳风可直接轰击火星大气，并剥蚀火星大气粒子以致其逃逸，使得当前火星的气候环境比地球恶劣得多。而火星表面残剩的岩石磁场表明，至少在37亿年前火星具有如同地球一样的全球偶极磁场，并可能拥有适合生命生存的宜居环境。因此，一般认为，当前的火星就是地球未来演化的模样。

研究表明，地磁场能够有效屏蔽太阳风高能粒子的主要原因在于地磁场较强、尺度较大、磁场环境稳定，这使得“ 打进 ”地磁场中的太阳风粒子易被地磁场捕获住——粒子沿磁力线呈现弹跳运动，并环绕地球出现漂移运动（图2）。不同于地球，火星虽然缺乏全球性的磁场，但火星表面到处分布着局部、小尺度的强磁场区。科学家称这些磁场为壳磁场（图2）。这些壳磁场可延伸至高达1000公里处的区域，并与外部太阳风发生相互作用。

那么，一个重要的科学问题便出现了，即火星的小尺度壳磁场能否捕获太阳风粒子？准确回答这一问题，能够为探讨火星与太阳风的相互作用提供关键的事实证据，并能够为探究地磁场倒转期间（偶极磁场消失）乃至未来地球全球磁场消亡时，太阳风与地磁场的相互作用提供有效的对比参考。

探索上述问题颇具挑战性。前人发现太阳风电子可有效地被火星壳磁场捕获住。这一发现并不意外，原因在于电子质量小，易被磁场约束住。而对于离子而言，情况比较复杂。由于离子质量大、回旋半径也大，壳磁场空间尺度较小，科学家发现离子在壳磁场中的运动轨迹是不确定的，且至今未找到壳磁场能捕获太阳风离子的确切证据。这促使科学家推测火星的壳磁场或不能有效地捕获太阳风离子。

为从根本上阐释这一问题，基于美国航天局火星大气与挥发物演化任务（Mars Atmosphere and Volatile Evolution
Mission，MAVEN
）提供的科学数据，以及中国科学院地质与地球物理研究所行星物理学科组自主发展的火星壳磁场模型，地质地球所博士张驰与导师、研究员戎昭金和研究员魏勇，以及瑞典空间物理研究所、日本京都大学、日本东京大学、美国波士顿大学、北京大学、美国爱荷华大学、美国加州大学伯克利分校、武汉大学等合作，首次发现了火星壳磁场能捕获太阳风离子的直接观测证据（图3）。

具体来说，科研人员在检查大量的观测事件后发现，当MAVEN飞船穿越火星壳磁场区域时，有时会探测到离子能谱呈现出“ 先上升-后下降 ”的能量色散结构（图3）。这一色散现象在地球磁

层辐射带观测中普遍存在，实际上是捕获离子漂移运动的直接反映——不同能量的离子在空间中有着不同的漂移轨迹。当飞船穿越壳磁场区域时，在时序上会记录到不同能量的离子，从而显示出这些色散
结构特征。研究经过深
入的数据解析发现，这些捕获离子（主要成分
为H^+
）并非来源于火星而是来源于太阳风。这表明太阳风与壳磁场的相互作用发生了某种物理过程，使太阳风离子得以注入到火星壳磁场。同时，离子的漂移运动使得高（低）能量的离子倾向于分布在火星壳磁场的内部（外部）区域（图3、4）。

该研究首次揭示了火星壳磁场在一定物理条件下可有效捕获太阳风离子。这对于进一步剖析火星空间环境，阐释地磁场演化与太阳风的相互作用，比较认识和探究火星、地球的气候环境演变、地球生物演化等具有重要的科学价值，并有望为后续分析我国“天问一号”火星探测数据提供重要的指导方向。

相关研究成果发表在《自然-通讯》（*Nature Communications*
）上。研究工作得到
国家自然科学基金、中国科学院战略性先
导科技专项（A类）、中国科学院战略性先导科技专项（B类
）和地质地球所重点部署项目的支持。

论文链接

图1. 地球和火星的对比。左图为地球。地球存在由全球性的偶极地磁场。火星当前没有全球性磁场，但在表面（尤其南半球）广泛分布着岩石剩磁。

图2. 左图为带电粒子在地磁场中的运动轨迹。其中，蓝线为磁力线，黄色曲线代表粒子的运动轨迹。捕获粒子围绕磁力线进行回旋运动，在南北极进行弹跳运动，同时围绕着地球进行漂移运动。右图为火星表面小尺度的壳磁场结构。

图3.
（a）在壳
磁场磁赤道平面上的磁场强度空间分布；（b）MAVEN所穿越的磁力线，其对应在磁赤道面上的磁场强度时许分布；（c）离子能谱。

图4.　火星壳磁场中太阳风注入离子的漂移运动示意图。低能量（高能量）离子位于壳磁场的外部（内部）区域，导致MAVEN在朝向壳磁场的内部（外部）方向移动时会记录到离子能量的上升（降低）。

研究团队单位：地质与地球物理研究所

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