



新闻动态

- 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

您现在的位置：首页 > 新闻动态 > 研究亮点

张弛等-JGR-Planets：火星空间磁场的三维结构

2022-08-21 | 【大 中 小】【打印】【关闭】

太阳风与火星相互作用是研究火星全球大气演化，深入理解火星全球气候环境演变的关键环节。研究表明，火星当前没有类似地球的全球偶极子磁场，太阳风直接与火星电离层相互作用形成全球性的感应磁层。如图1所示，太阳风携带行星际磁场与火星大气发生相互作用时，会产生火星感应磁层空腔结构。这一作用主要包括两个物理过程，一方面太阳风粒子受行星大气粒子的碰撞而减速，太阳风减速会使得行星际磁场在火星上游出现堆积和压缩。打个形象比方，行星际磁场的磁力线类似运动的绳，而太阳风粒子类似串在绳上的珠子。当珠子减速时，绳也会被减速，因此行星际磁力线会逐渐“披挂”在火星外部。另一方面，受到电离层的电磁感应作用，外部行星际磁场很难穿透电离层，因而只能垂挂在火星外部，并从南北两极滑移进。

类似于地球磁层，火星感应磁层也具有大尺度的弓激波，磁鞘，磁层顶，以及磁尾结构。火星磁层离子的运动主要是受到电磁场的调控，因此研究火星感应磁层磁场的结构特征有助于我们理解火星磁层电流体系及火星大气离子逃逸过程。由于缺乏观测数据，长期以来研究者大多将火星感应磁层结构简化为二维结构（即磁场结构关于子午面和赤道面皆是对称的），真实火星感应磁层的三维磁场结构仍不清楚。

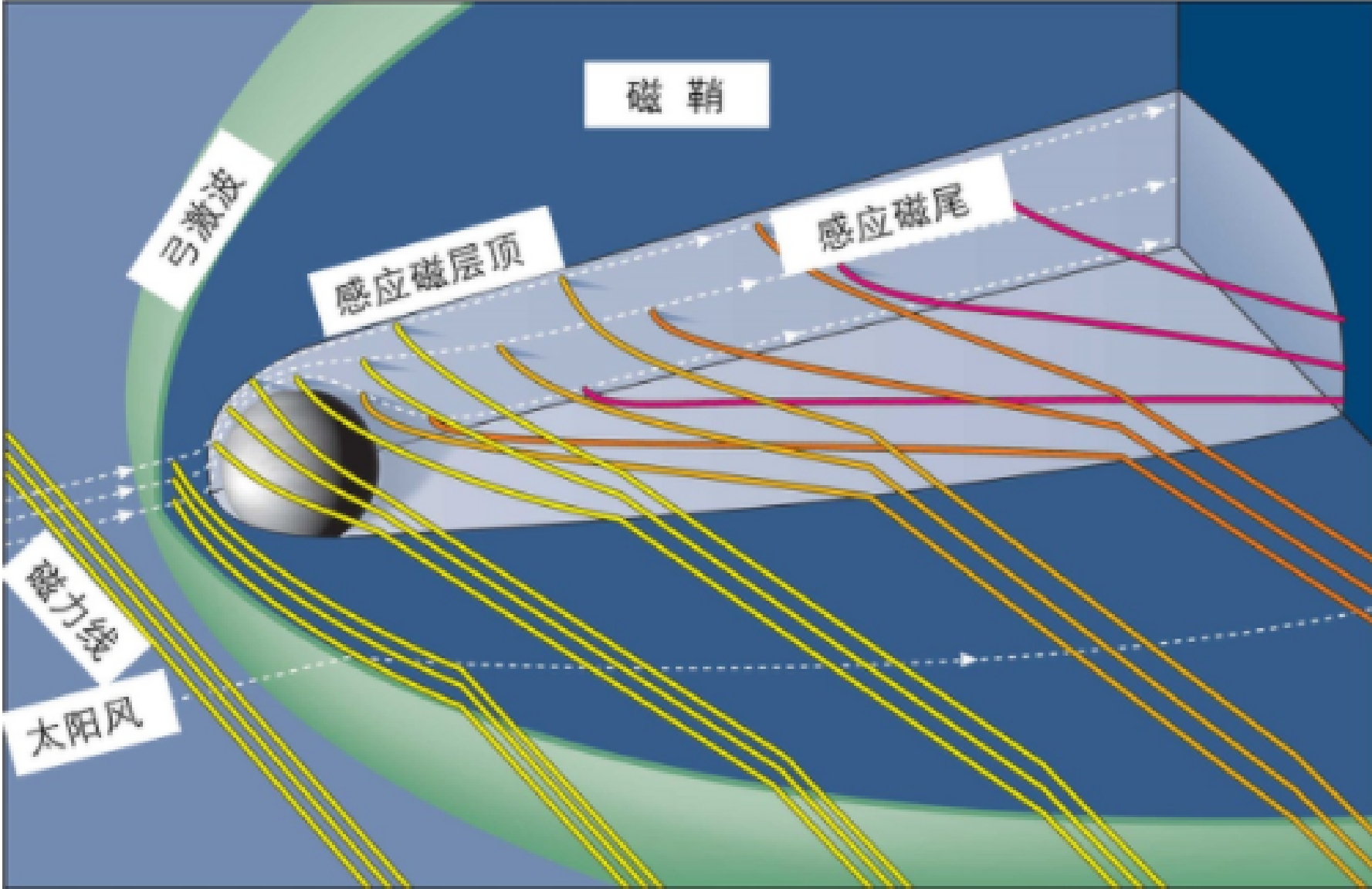


图1 星感应磁层形成的经典物理图像。线条代表行星际磁场的磁力线，白色虚线代表太阳风运动方向

为了理解感应磁层大尺度磁场结构特征以及太阳风-火星相互作用，中国科学院地质与地球物理研究所张弛博士与导师邓昭金研究员、魏勇研究员，以及瑞典空间物理研究所，美国科罗拉多大学等多家国际科研机构共同合作，利用美国MAVEN火星探测器长达六年的磁场探测数据，重构了火星感应磁层的平均磁场三维结构，揭示了磁场的平均三维结构特征（如图2所示）。

他们的结果表明火星感应磁层磁场结构形态主要受行星际磁场方向控制。将磁场数据转到由行星际磁场方向控制的坐标系后，他们发现，在向阳面，受压缩的行星际磁力线“披挂”在火星上游，并在磁鞘等离子体热压驱动下随等离子体流尾向运动，绕过极区进入夜侧，并向夜侧的磁赤道区域“沉降”，形成感应磁尾。但是与传统图像显著不同的是，磁场结构具有明显的半球不对称性——在太阳风电场从行星指向外的半球（+E半球），磁场结构呈较为规则的垂挂结构，在太阳风电场指向行星的半球（-E），磁力线显著拉伸，并有向中心挤压的趋势，甚至在-E半球的极区上空形成“闭合环场”结构。

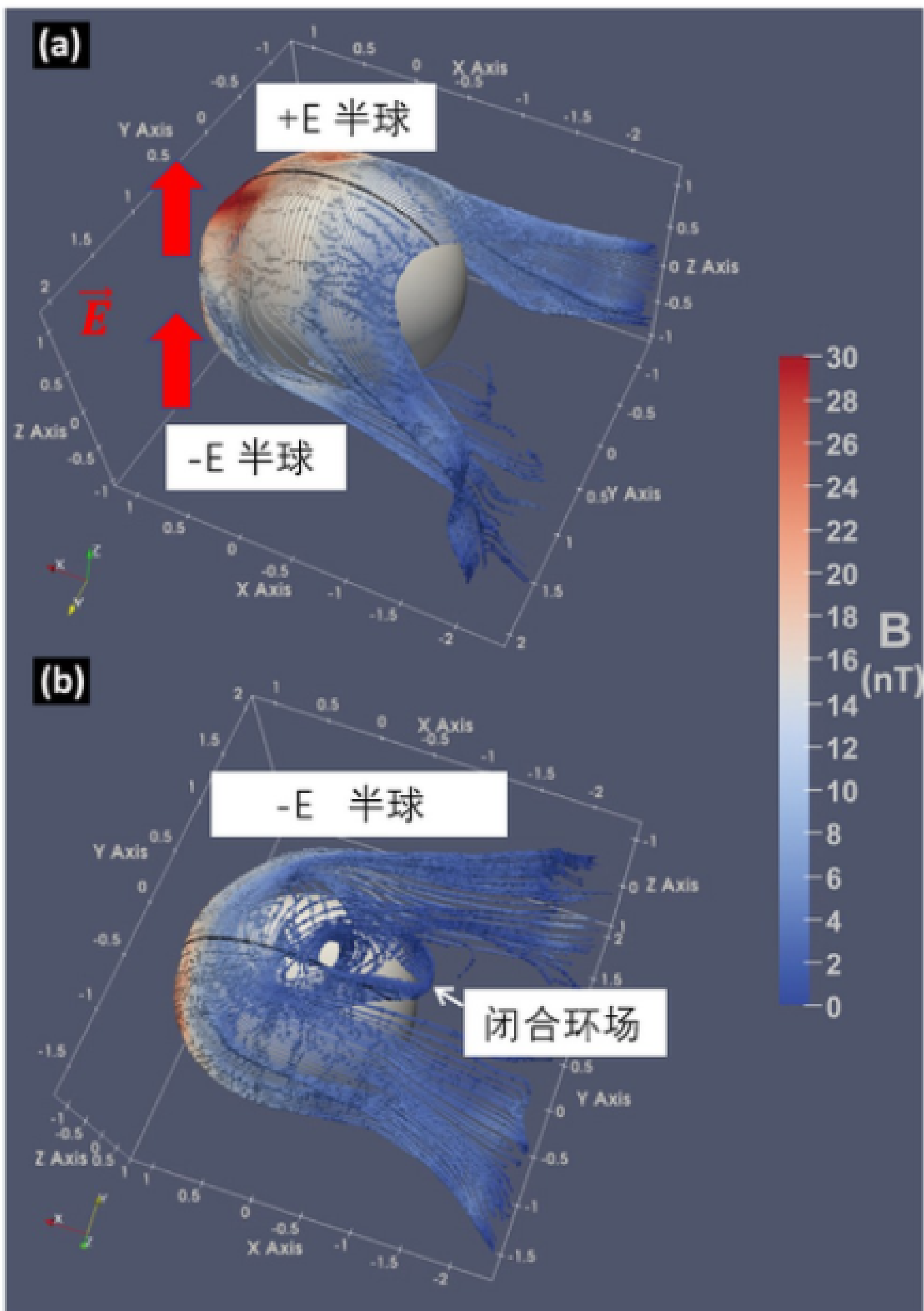


图2 火星感应磁场的三维结构。线条代表磁力线，颜色代表磁场强度。红色箭头代表的是太阳风电场E的方向

磁尾磁场反转的区域形成磁尾电流片。拉伸的磁场在电流片中心会产生较强的磁张力，进而驱动火星大气离子尾向逃逸。所以磁尾电流片是火星离子逃逸的一个关键通道。他们的计算表明火星磁尾电流片结构也呈现了明显的半球不对称性。在+E半球，磁尾电流片更厚，电流密度较弱，但是在-E半球，磁尾电流片较薄，电流密度更强（见图3）。这种不均匀分布的电场和电流，会导致火星等离子体密度和能量分布的不对称性，从而影响离子逃逸过程。计算表明，磁尾电流片中的尾向磁张力在+E半球侧置处是最强的，因而这个区域是火星离子尾向加速逃逸最有效的通道。

此外，他们还发现行星际磁场的径向分量（IMF B_r分量）和太阳风动压对调控火星磁层磁场的结构也具有重要作用。

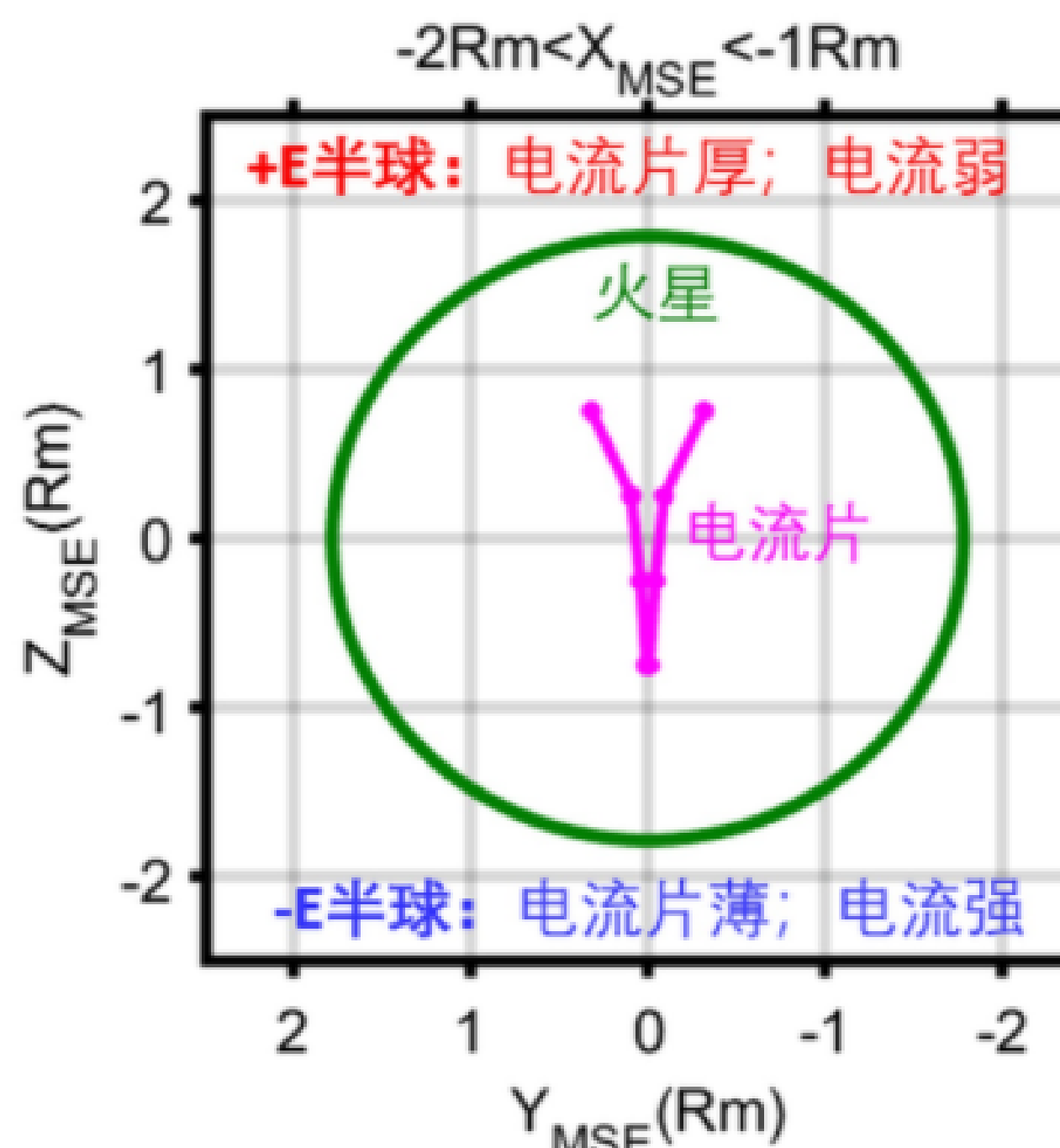


图3 火星感应磁尾电流片关于E半球呈不对称分布。绿色圆圈代表火星，紫红色点线代表磁尾电流片剖面

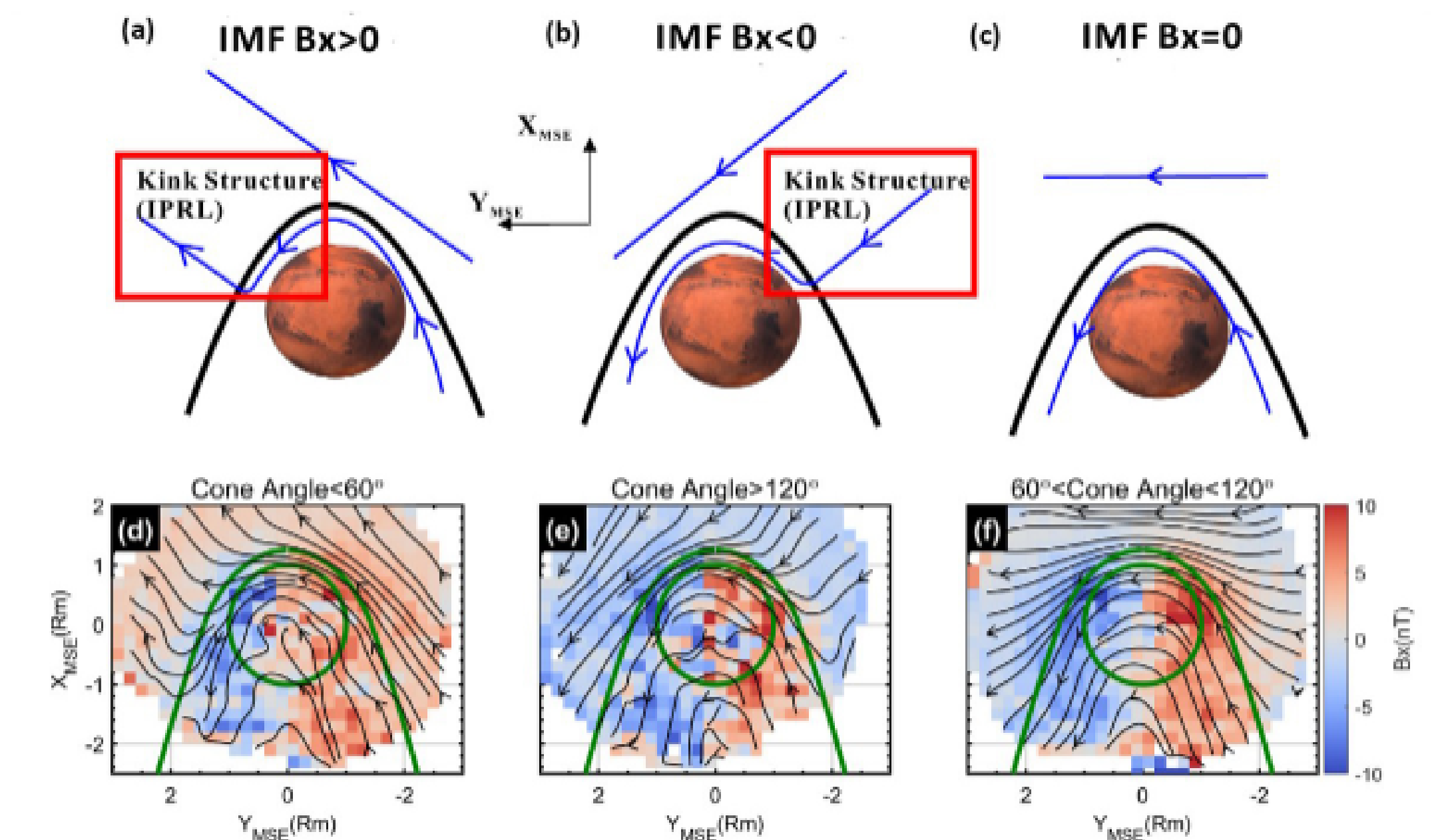


图4 行星际磁场径向分量调控火星磁层磁场结构变化的统计分布

该研究首次揭示了火星感应磁层中磁场的平均三维结构，对于我们理解行星感应磁层的磁场结构特征、认识太阳风-火星相互作用，以及探究火星离子逃逸过程具有重要的科学意义，也为后续分析我国“天问一号”火星探测数据提供了重要的科学指导。

研究成果发表于国际学术期刊*Journal of Geophysical Research: Planets* (Zhang C, Rong Z*, Klinger L, et al. Three-dimensional Configuration of Induced Magnetic Fields around Mars[J]. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2022: e2022JE007334. DOI: 10.1029/2022JE007334)。研究得到国家自然科学基金（41922031, 41774188）、中科院A类先导专项（鸿鹄专项，XD A17010201）、中科院B类先导专项（XDB41000000）、中国科学院地质与地球物理研究所重要课题（ZDBS-SSW-TL000103, IGCCAS-201904, IGCCAS-202102）、以及国家自然科学基金委（202104910297）等项目的资助。