

地球科学

磁层亚暴过程中高速流分布

路兴强 李克华

(南华大学核科学技术学院, 衡阳 421001)

摘要 采用实际的磁尾位型,利用数值模拟方法研究磁层亚暴过程中高速流分布。结果表明垂直磁场的高速流主要分布在电流片内,范围在 $|Z| < 0.25R_E$;平行磁场高速流分布区域在两个区域较大,一个是距离地球较近的磁场较强的区域,另一个是距离等离子体片较近磁场较强的区域。

关键词 磁层亚暴 电流片 高速流

中图法分类号 P352.3; **文献标志码** A

在磁层亚暴的发展发生过程中,由于太阳风的驱动,以及内部不稳定性的发展,等离子体速度在不同地方以及不同时刻都有非常明显的变化。通过分析卫星数据发现磁层亚暴过程中经常出现高速流。按照和磁场的夹角关系,高速流可分为场向高速流和对流高速流^[1]。场向高速流主要发生在磁场较强而等离子体密度较小的低 β 区域,方向主要沿磁场方向;对流高速流主要发生在磁场较弱而等离子体密度较大的高 β 区域,方向主要是垂直磁场方向。

等离子体片中的弱磁场区是磁层亚暴发生和发展、能量存储和释放的区域,在这个区域观测到高速流和磁层亚暴有着密切的联系。特别是垂直磁场的等离子体对流高速流,是传输等离子体质量、动量、能量以及磁能的非常重要的方式。一般认为在磁层亚暴中的场向流对传输磁能基本没有贡献^[1]。Shue等^[2]分析了等离子体片中两种地向高速流,这两种地向流都和磁场垂直,速度 $|V_{\perp x}| > 300 \text{ km/s}$,这里的 $V_{\perp x}$ 是垂直于磁场的等离子体流的 X 方向的分量,一种高速地向流是经常发生在

$X \approx -10R_E$ 的等离子体片中;另一种高速地向流是发生在 $X < -15R_E$ 区域等离子体流。前一种高速流常常伴随有全局性极光的发生,而后一种常常和极区边界激烈变化以及伪亚暴有密切联系。张等^[3]对TC—1卫星17个月(从2004—2006年间每年的6—11月,截止到2006年10月)的观测数据进行统计分析研究,结果表明,近地对流型高速流与爆发性整体高速流的特性一致,这说明有相当数量的BBFs可以进入到近地 $13R_E$ 以内。由于对流型高速流能够更有效地向近地磁尾输运能量,所以其对亚暴触发过程可能会产生重要的影响。

1 模拟模型

采用二维磁尾模型,在GSM(以地球为坐标原点,地球-太阳为 X 方向,地磁北极到南极为 Z 方向,晨-昏为 Y 方向)坐标系中,模拟区域 $X = -6R_E \sim -66R_E, Z = -12R_E \sim 12R_E$ 。地球磁层的磁场位形采用T89模型(Tyganenko模型),最初的平衡是通过数值求解Grad-Shafranov方程得到。考虑等离子体的双流体模型,模型中把离子作为冷粒子处理,电子作为热粒子处理,得到如下方程组:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{V}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho \vec{V})}{\partial t} = -\nabla \cdot \left[\rho \vec{V} \vec{V} + \left(p + \frac{B^2}{2} \right) \vec{I} - \vec{B} \vec{B} \right] \quad (2)$$

2011年1月7日收到 湖南省教育厅基金项目(10C1152)、

国家自然科学基金项目(10775066)资助

第一作者简介:路兴强(1978—),山东人,南华大学核科学技术学院讲师,博士,研究方向:空间物理。

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{V}) - (\gamma - 1)p \nabla \cdot \vec{V} + \frac{J^2}{S} \quad (3)$$

$$\frac{\partial B_y}{\partial t} = -\nabla \cdot (B_y \vec{V}) + \vec{B} \cdot \nabla \vec{V}_y + \frac{1}{S} \nabla^2 B_y - d_i \times \left[\nabla \times \left(\frac{\vec{J} \times \vec{B}}{\rho} - \frac{\nabla p_e}{\rho} \right) \right]_y \quad (4)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -\vec{V} \cdot \nabla \psi + \frac{1}{S} J_y + \frac{d_i}{\rho} (\vec{J} \times \vec{B})_y \quad (5)$$

归一化:长度,速度,时间,磁场,磁通函数,电流密度和电场归一化单位分别是 $R_E, V_A = \frac{B_0}{(\mu_0 \rho_0)^{\frac{1}{2}}}, \tau_A$

$$= \frac{R_E}{V_A}, B_0, \psi_0 = R_E B_0, J_0 = \frac{B_0}{\mu_0 R_E}, \text{ 和 } E_0 = B_0 V_A。$$

边界条件:在 $Z = \pm 12R_E$ 的边界上,驱动电场分布如下形式:

$$E_y = E_0 \left[0.6 + 0.4 \tanh \frac{3(x_1 + x_2) + 2x_2}{x_2} \right]。 \text{ 其}$$

中, $x_1 = 6R_E, x_2 = 60R_E, E_0$ 是驱动电场幅值 $E_0 = 0.07$ 。

在 $X = -6R_E$ 和 $X = -66R_E$ 处为自由边界条件。

2 模拟结果与讨论

选取 $t = 375\tau_A$ 时刻,分析磁层亚暴中的速度分布特点,垂直磁场速度和平行磁场速度取值范围分别为 $|V_\perp| > 0.05$ 和 $|V_\parallel| > 0.05$ 。

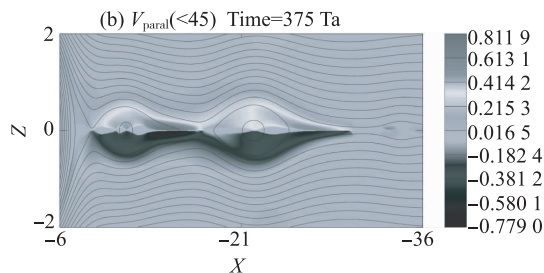


图1 速度 $V_\parallel$ 在平面 x - z 平面的分布图 ($|V_\parallel| > 0.05$)

选取与磁场夹角小于 45° 或大于 135° 的速度为 $V_\parallel$

图1是与磁场夹角小于 45° 或大于 135° 的速度为 $V_\parallel$ 且 $|V_\parallel| > 0.05$, 可以看出场向流在两个区域较大, 一个是在距离地球较近的磁场较强的区域,

该区域等离子体流流向地球南北两个极区, 另一个是在距离等离子体片较近磁场较强的区域, 该区域由磁场重联导致等离子体流向地球方向运动。在北半球和磁场方向相同, 在南半球和磁场方向相反, 都沿磁场流向地球方向。

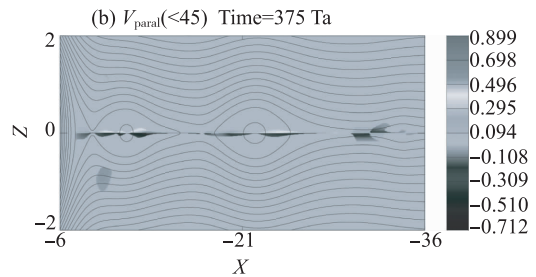


图2 速度 $V_\perp$ 在平面 x - z 平面的分布图 ($|V_\perp| > 0.05$)

图2分别给出了垂直磁场的速度, 选取与磁场夹角在 45° 到 135° 之间的速度为 $V_\perp$, 且 $|V_\perp| > 0.05$ 。从图中我们看出, 垂直磁场的速度分布区主要在等离子体片中心, 这个区域磁场较弱, 等离子体 β 值较大, 并且伴有磁场偶极化, 这和观测值一致^[3-5], 我们在模拟结果中发现垂直磁场的高速流分布范围较小, 仅在等离子体片中心, 这个时刻等离子体片很薄, 弱磁场区相对较小。在图2中垂直磁场的高速流范围主要在 $|Z| < 0.25R_E$ 。

3 结束语

采用实际的磁尾位型, 利用数值模拟方法研究磁层亚暴过程中高速流分布, 结果表明垂直磁场的高速流主要分布在电流片内, 范围在 $|Z| < 0.25R_E$; 平行磁场高速流分布区域在两个区域较大, 一个是距离地球较近的磁场较强的区域, 另一个是距离等离子体片较近磁场较强的区域。

参考文献

- 1 Petrukovich A A, Baumjohann W, Nakamura R, *et al.* Are earthward bursty bulk flows convective or field-aligned Journal of Geophysical Research-Space Physics, 2001; 106(A10): 21211-21215

(下转第 2783 页)

Studies on Purified with SephadexG—100 Column Chromatography and Molecular Weight Measured of *Allium mongolium Regel* Polysaccharides

HU Rui-ping^{1,2}, DU Ling³, AO Chang-jin^{2*}, ZHANG Xin-fu², DENG Feng¹

(Basic Curriculum Department of Inner Mongolia Medical College¹, Hohhot 010059, P. R. China;

College of Animal Science and Animal Medicine of Inner Mongolia Agricultural University², Hohhot 010018, P. R. China;

College of life Science and Technology of Inner Mongolia Normal University³, Hohhot 010022, P. R. China)

[**Abstract**] To rough sand onion polysaccharides, which is extracted by hot water, trichloramine acetic except protein and activated carbon decoloring, adopting sand onion SephadexG—100 gel column chromatography purification, collect merger single submmmit solution named SCSP, and the purification product SCSP for molecular weight determination. The results show that SCSP gel column chromatography elution curve for a single narrow symmetrical peak, explain for homogeneous components polysaccharide, SCSP relative molecular mass for 5.89×10^4 .

[**Key words**] *Allium Mongolicum Regel* polysaccharide SephadexG—100 column chromatography molecular weight measure

(上接第 2776 页)

- 2 Shue J H, Ieda A, Lui A T Y, *et al.* Two classes of earthward fast flows in the plasma sheet. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 2008; 113(A2): 1—11
- 3 Zhang L Q, Liu Z X, Baumjohann W, *et al.* Convective high-speed flow and field-aligned high-speed flows explored by TC-1. *Chinese Science Bulletin*, 2008; 53(15): 2371—2375
- 4 Ohtani S, Shay M A, Mukai T. Temporal structure of the fast convective flow in the plasma sheet: comparison between observations and two-fluid simulations. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 2004; 109(A3): 1—16
- 5 Zhang L Q, LIU Zhenxing, MA Zhiwei, *et al.* Continuous tailward flow in the near-Earth magnetotail observed by TC-1 satellite. *Chinese Science Bulletin*, 2007; 52(14): 1980—1985

The High-speed Flow Distribution during the Magnetospheric Substorm

LU Xing-qiang, LI Ke-hua

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, P. R. China)

[**Abstract**] The high-speed flow distribution during the magnetospheric substorm is investigated using the numerical simulation with the realistic magnetotail geometry. The results indicate that the high-speed flows perpendicular to the magnetic field are mainly distributed in the current sheet in the range of $|Z| < 0.25R_E$, and that parallel to the magnetic field are mainly distributed in two areas: the strong magnetic field areas in the Near-Earth and in the near the plasma sheet.

[**Key words**] magnetospheric substorm current sheet high-speed flows