第21卷 第3期 空 间 科 学 学 报 Vol.21, No.3
2001 年 7月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE July, 2001

磁层氧离子向磁鞘泄漏的机制和效应*

宗秋刚[1] 濮祖荫[2] 黄宗英[2] 傅绥燕[2] B.Wilken[1]

[1](德国马普高空物理研究所)

[2](北京大学地球物理系)

摘 要

1997 年 1 月 10 日磁暴期间，Geotail 卫星在向阳侧的磁鞘中观测到了磁层氧离子突增事件. 这些氧离子的出现和磁鞘中存在很强的南向行星际磁场有关. 事件期间向阳面发生了准静态的磁重联，氧离子流存在由北向南的速度分量. 通量突增过程具有逆向和正向能量色散现象，磁层内部只有氧离子有可能被梯度漂移输送到重联区，所以只有氧离子在磁鞘中持续地被观测到. 估计氧离子的逃逸速率为 0.61×10^{23}/s, 大约为环电流氧离子输入率的 33%. 大量的环电流氧离子由磁层跑到了磁鞘，导致环电流指数 *ASY-H* 呈现明显的非对称性.

关键词 磁层氧离子—泄漏—磁层顶磁重联—磁鞘

1 引 言

在磁重联过程中，磁鞘等离子体不仅向磁层传输并在磁层内形成边界层，它们也会通过与磁层顶电流片的相互作用发生反射并返回磁鞘. 1982 年 Cowley 提出 [1], 磁层离子和环电流离子可到达磁层顶电流片，并通过加速进入磁鞘. 磁层中的能量离子沿重联磁力线向磁鞘流动. 1983 年 Scholer 等 [2] 发现磁层顶内 30—65 keV 的质子沿磁力线向外流出的通量比流入的大，他们认为这可能是在准静态重联条件下，一部分环电流强能离子被磁层顶电流片加速并向磁鞘流动的结果.

1996 年 Winglee 等 [3] 通过全球数值模拟发现环电流 H^+ 和 O^+ 离子泄漏入磁鞘的现象是很普遍的. 在行星际磁场 (IMF) 的方向发生改变时，强能离子泄漏事件可不时地发生. 多数比较强的此类事件与 IMF 向南转向有关. 数值模拟还表明，在这些强能离子逸出事件中，氧离子事件占很大一部分.

最近 Geotail 卫星观测发现 [4,5], 在磁暴活动强烈时，环电流离子可以跑出磁层，并在磁鞘内靠近磁层顶的地方形成一个离子层. 在 150 min 里磁鞘内可反复测量到增强的强能氧离子通量.

在 1997 年 1 月 10 日由日冕物质抛射事件 (CME) 引起的磁暴期间也发生了一起磁层氧离子向磁鞘泄漏的事件. Zong 和 Wilken[4] 对这一事件作了初步研究. 本文将依据 Geotail 卫星携带的 HEP-LD 和 EPIC 的探测数据，论证这些强能氧离子可能是经过重联区逃逸到昼侧磁鞘的. 如果离子是通过重联过程而逃逸的，将发生速度色散. 我们还将进一步说明，在环电流的各种成份中，只有 O^+ 可不断地通过磁层顶向外泄漏，所以在磁鞘中仅观测到了氧离子.

* 国家自然科学基金资助 (49834040, 49984002)
2000-12-05 收到原稿， 2001-05-08 收到修定稿

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 Geotail 观测结果

本文所用的数据来自 HEP-LD 和 EPIC-ICS 探测器[6,7](结构如图 1 所示). HEP-LD 探测器具有灵敏的 "飞行时间" 和能量探测系统, 可以判定入射离子的成份和质量. 质子、氦离子和氧离子的能量探测范围分别为 75—4 000 keV, 100—1 500 keV, 210—1 500 keV. 虽然 HEP-LD 对离子的电荷状态不太敏感, 但 EPIC 却可提供单位电荷能量范围在 30—230 keV 的离子的电荷状态的信息[8]. EPIC-ICS 传感器由 3 个独立的探头组成, 其中 2 个探头性能指标完全相同, 能量测量范围为 50 keV—3 MeV, 探测离子通量、成份和能谱以及极角在 −38°—−8°,+8°—+38° 内的的角分布. 第 3 个探头用来测量极角介于 −30°—+30° 能量大于 32 keV 和大于 110 keV 的电子积分通量[8]. EPIC 探测表明, 本文所讨论的氧离子事件以一次电离的 O^+ 为主.

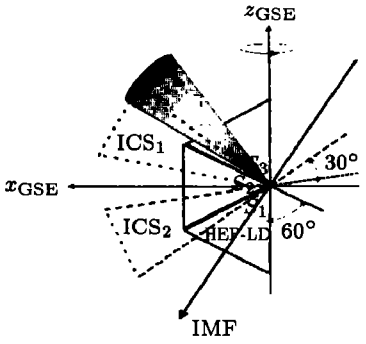


图 1 1997 年 1 月 10 日 Geotail 卫星探测到氧离子事件时探测器的极角分布

Fig.1 The polar angles of particle detecters on board Geotail when oxygen ions were observed in dayside magnetosheath on January 10, 1997

1997 年 1 月 10—11 日, 由 CME 引起了一个中等磁暴. 1997 年 1 月 10 日 0800 UT(世界时), Geotail 卫星穿过磁层顶并在靠近磁层顶的磁鞘中运行. 图 2 给出的是 1997 年 1 月 10 日 1000—1200 UT 期间 HEP-LD 的探测数据和 MGF 测量的磁场数据. 卫星开始在磁鞘中运动, 然后在 1113 UT 穿过磁层顶进入磁层. 第 1 栏虚线表示所有各种成份和各种能量离子总的计数率, 通常以质子为主. 实线表示各种能量的氧离子的总计数率. 第 2 栏表示氢和氦离子的计数率.

由图 2 可知, 当卫星在磁鞘中运行时, 氧离子在 1055—1103 UT 和 1107—1113 UT 有两个峰值, 其余时间计数率都处于较小的状态. 1113 UT 以后卫星进入磁层, 总离子计数率跃迁到较高的水平, 同时氧离子计数率又回到峰值之前的较低状态. 第 3 栏给出磁鞘中离子的方位角分布, 在磁鞘中 1113 UT 之后总离子的方位角分布是各向同性的, 而 1113 UT 之前则具有强的各向异性 (图中方位角方向为观测方向). O^+ 在 x-y 平面内各向异性的投影很明显地与磁场投影方向一致, 故氧离子流的方向为尾向且有一个指向黄昏方向的分量.

图 3 展示了 1100—1110 UT 期间氧离子的三维立体角分布. 磁鞘局地磁力线和南向之间的夹角为 45°. 氧离子出现在极角 30° 、方位角 120° 的地方, 表明氧离子有向下 (南) 流动的分量. 磁鞘中的磁场强度大约为 50 nT, 磁层中为 40 nT.

图 4 展示的是该事件中质子, 氦离子和氧离子的能谱 (微分通量). 氧离子在 250 keV 和 550 keV 处各有一个相当高的峰值.

图 5 显示的是 EPIC-ICS 的探测结果, 图中给出了南 (EPIC/ICS1) 和北 (EPIC/ICS2) 两个探头测得的不同组份 (H, He, O) 的离子通量. 最后一栏是能量大于 38 keV 和大于 110 keV 的电子积分通量.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

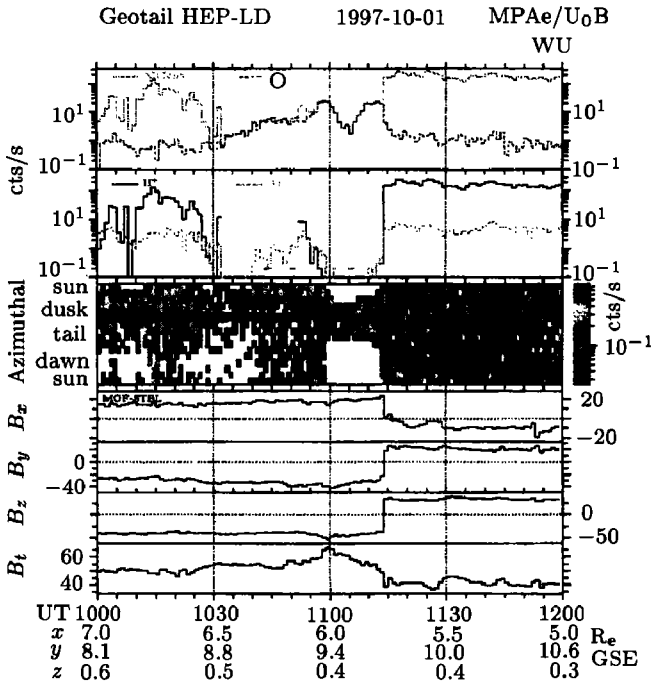


图 2　1997 年 1 月 10 日、 11 日 HEP-LD 和 MGF 的观测数据

从上往下各栏依次为：全部离子总和和一次电离氧离子的积分计数率；质子、氦离子计数率；全部离子方位角密度分布； GSE 坐标中磁场的各分量和总强度. 第 3 栏上的圆圈表示磁场方向在赤道面上的投影

Fig.2　An overview of HEP-LD and MGF data for January 10 and 11, 1997. From the top to the bottom the panels respectively show: Integral counting rates All Ions and O; counting rates for hydrogen and helium; gray-coded azimuthal intensity distributions of the all ion rates; GSE components and magnitude of the magnetic field (in nanoteslas). The circles in the third panel mark the magnetic field direction projected on the equatorial plane

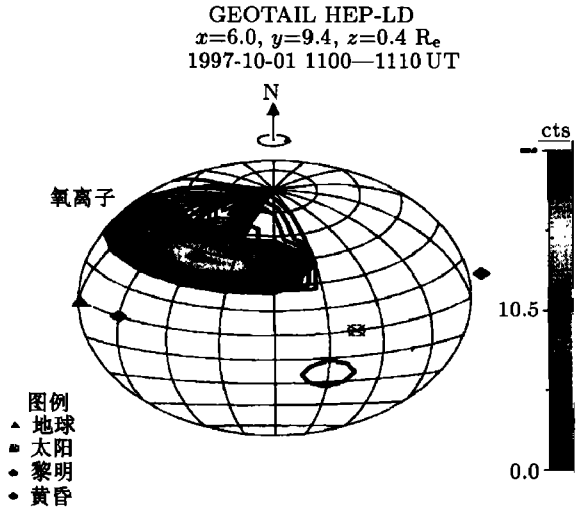


图 3　1100—1110 UT 氧离子的三维极角分布和方位角分布

Fig.3　Three dimentional polar angle and azimuthal angle distributions of oxygen ions between 1100 and 1110 UT

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

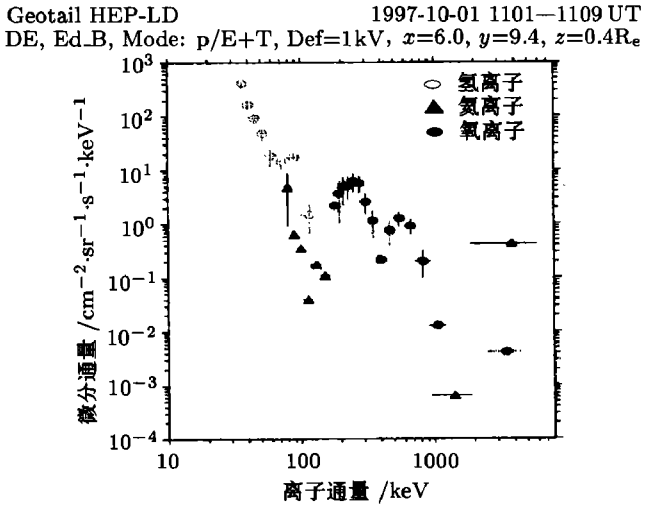


图 4 氧离子事件中的三种热离子 H^+ 、 He^{2+} 和 O^+ 的能谱分布

Fig.4 Integrated energy distribution of hot H^+, He^{2+} and O^+ during the O^+ enhancement event

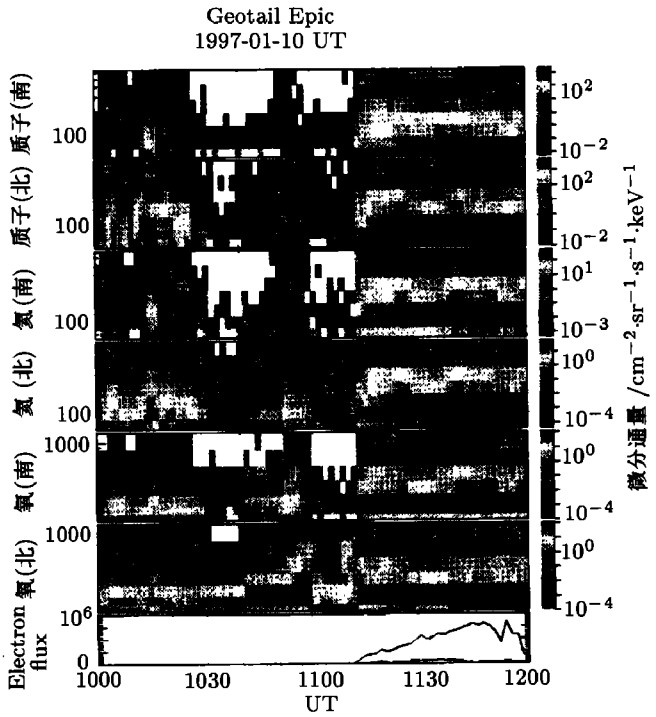


图 5 EPIC-ICS 探测器得到的 H^+ 、 He^{2+} 、 O^+ 和电子的能谱，时间间隔如图 2

Fig.5 Energy spectrum for H^+, He^{2+}, O^+ and electrons measured by EPIC-ICS

在整个事件过程中， EPIC-ICS 和 HEP-LD 的探测结果一直十分相似，大致结果可归纳如下：

(1) 1000—1030 UT 各种离子的强度、组份和中等强度的角分布各向异性说明磁鞘中出现了磁层离子，它们可能是从附近或昼侧相距一定距离处的磁层顶处泄漏出来的.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(2) 1030—1113 UT　这段时间内磁鞘中的离子成份和邻近的磁层差别很大. 氧离子丰富，但质子和氦离子通量下降到很低的水平. 在世界时 1051—1100 UT 和 1105—1113 UT 之间 CIS1 观测到氧离子通量具有正向和反向能量色散特性的两个峰值，强度比临近的磁层高得多. 后文将指出这两个氧离子峰值的出现，是因为 Geotail 卫星往返穿过了处于准静态的氧离子层的缘故.

(3) 1113—1120 UT　Geotail 卫星约在 1113 UT 进入磁层. 质子和氦离子是各向同性的，氧离子通量回到磁层的正常数值，开始探测到高能电子，这些结果和磁层的特征相一致.

3　解释和讨论

3.1　磁层顶是一个旋转间断面

为了确定磁层顶是闭合的 (切向间断面) 还是开放的 (旋转间断面)，我们采用了主轴分析法 (PAA)[9,10] 研究磁层顶的特性. 在这种分析中 B_x^* 的方向定义为穿越磁层顶期间磁场变化最快的方向，B_y^* 和 B_z^* 分别沿着磁场的变化中等和最小的方向.

图 6 给出磁场在 PAA 坐标体系中的矢端曲线，这些曲线是由卫星在 111348—111436 UT 穿越磁层顶时观测到的 17 个磁场矢量计算得到的. 图 6(a) 和 (b) 分别为磁场矢量在 B_x^*-B_z^* 和 B_x^*-B_y^* 平面内的投影. 在 GSE 坐标系中主轴的方向分别由下列本征矢量确定：$B_x^*(-0.8330, -0.5523, 0.0335)$, $B_y^*(-0.4680, 0.6709, -0.5753)$, $B_z^*(-0.2952, 0.4949, 0.8173)$. 由 PAA 分析得到，中间的和最小的本征值之间的比值为 11.0, $|B_z^*|/B = 0.16$, 因而磁层顶的法向分量可以很好的确定下来 [9,11]. 由观测数据可得出磁层顶法线方向的磁场分量 $B_z^* \approx 5.9\,\mathrm{nT} > 0$. 因此在本文研究的氧离子泄漏事件发生前后，昼侧磁层顶是一个旋转间断面；强能氧离子可以沿着重联后的磁力线由磁层进入磁鞘.

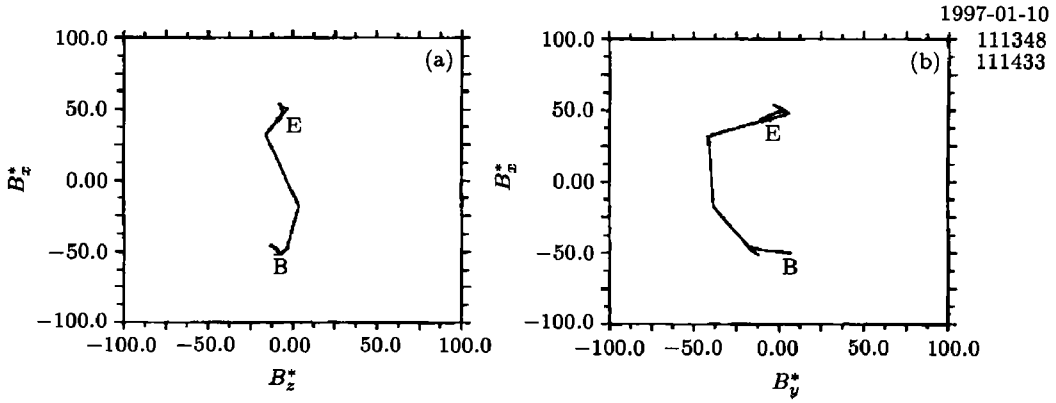


图 6　111348—111436 UT 期间磁层顶磁场分量的投影的变化曲线

B_x^*, B_y^*, B_z^* 分别沿磁场向量变化最快、中等和最小的方向，B 、E 表示径迹的起点和终点

Fig.6　Time variation of the magnetic-field at the magnetopause projected on the (B_x^*, B_z^*) and (B_x^*, B_y^*) planes during 111348—111436 UT

B_x^*, B_y^* and B_z^* are magnetic field components along the directins of the largest, modurate and least variation of the field. B and E indicate the beging and end

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

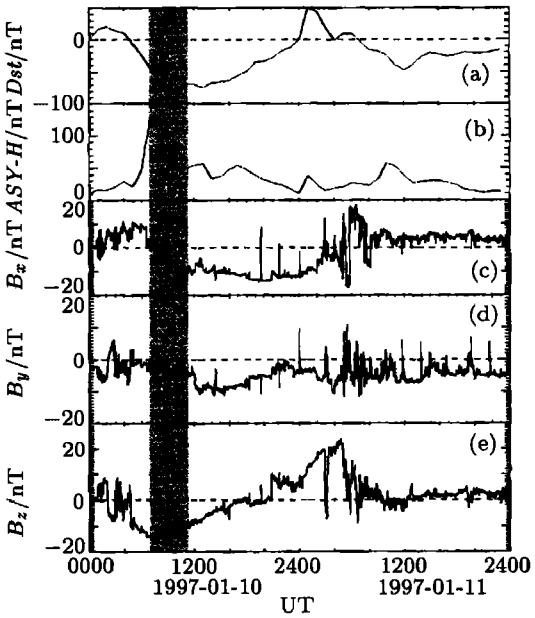


图 7 1997 年 1 月 10 日、 11 日 CME 事件期间，行星际磁场分量和地磁场环电流指数
(a) 、 (b) 为 *Dst* 和 *ASY-H* 指数. (c) 、 (d) 、 (e) 分别为行星际磁场的 B_x, B_y, B_z 分量，
阴影部分表示 Geotail 在磁鞘中探测到强能氧离子的时间间隔

Fig.7 Three components of the interplanetary magnetic field and the ring current index during the CME event of January 10 and 11, 1997. The first and second panels are *Dst* and *ASY-H* indices. The 3rd, 4th and 5th panels reprensent to B_x, B_y and B_z components of the interplanetary magnetic field. The shaded stripe indicates the time period during which Geotail observed the energetic O^+

3.2 磁鞘中的磁场和行星际磁场的区别

图 7 的前两栏给出了 1997 年 1 月 10 日和 11 日磁暴的环电流指数 *Dst* 和不对称指数 *ASY-H*[12]. 以下 3 栏分别表示 WIND 卫星测得的 IMF 的 3 个分量 B_x, B_y, B_z. 此时的卫星位于地球上游 $x_{GSE} \sim 88R_e$ 处. 当 CME 产生的磁云经过卫星时，测得 IMF 的 B_z 分量出现了跃变[13]. 仅当 B_z 为负的期间， *Dst* 和 *ASY-H* 指数出现剧烈变化. 图中阴影部分表示 Geotail 卫星在磁鞘里探测到氧离子事件的时间间隔.

把图 7 和图 2 对比可知， WIND 卫星探测到的 IMF 的 B_x 分量为负，大约为 -5 nT，而 Geotail 在黄昏侧磁鞘中探测到的 B_x 分量为正，大约为 20 nT，磁场的 B_y 分量在磁鞘中和行星际空间中差别也很大. 磁鞘中 B_x 分量为正可能表示，在向阳面磁层顶附近出现了一个由磁重联过程产生的大尺度磁结构，磁重联导致了磁鞘中的磁场与行星际磁场明显不同.

图 8 是本次氧离子泄漏事件中，向阳侧磁层顶日下点附近磁重联位型的简化示意图. Geotail 在中性线南部的磁鞘中探测到了正的 B_x 分量和负的 B_z 分量，并且观测到了南向氧离子流. 显然，这一观测结果与图 8 的磁重联图像一致. 磁鞘中的强能氧离子南向流可能是由于磁层氧离子沿重联后的磁力线向外流动产生的. 重联中性线在 Geotail 卫星的北边.

3.3 氧离子在磁鞘中的能量色散

在本文研究的事件中，氧离子不太可能是通过扩散过程进入磁鞘的，因为磁鞘中的磁

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

场相当稳定，而且离子速度分布有强的各向异性．但是向阳侧的磁重联过程却可以给磁层离子打开一个通道，使它们逃进磁鞘．

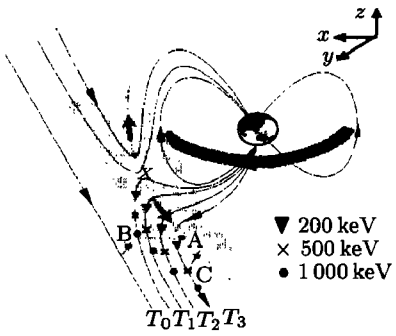


图 8　向阳面磁层顶日下点附近磁重联位型示意图
环电流氧离子通过重联区进入磁鞘，重联后磁力线的运动和经 X 点流出的氧离子在不同时刻的位置
Fig.8　Schematic diagram showing magnetic reconnection near the subsolar point of the magnetopause

氧离子以不同的的投掷角沿重联后的磁力线由磁层顶向外逃逸．经过重联点进入重联区下游时，氧离子的速度获得了大约一个 Alfven 速度的增量，其大小和跨过磁层顶磁场的改变量有关．对于一个 50 nT 的磁场来说，若典型的等离子体 (主要成份是 H^+) 数密度为 20 cm^{-3}，相应的 Alfven 速度约为 245 km/s．这一加速过程使之增加的能量为 5 keV．观测到的氧离子的能量大于 200 keV，这说明氧离子在重联过程中受到的加速作用是可以忽略的．

当磁层离子从重联区逃逸时，卫星将观测到沿场向运动的能量色散效应．本文所观测到的正、反能量色散可以用时间飞行效应 (TOF)[14] 来解释．

(1) 重联磁力线携带强能氧离子从中性线向南北方向运动，该速度远小于大多数氧离子的逃逸速度．

(2) 假定能量不同的一些氧离子是经过 X 点由磁层进入磁鞘的，其中能量较高的离子应以较大的速度沿磁力线运动．由于氧离子速度各异，沿磁力线方向便出现了能量色散．

(3) 图 8 中 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_0 所标识的 4 条磁力线分别依次于较前和较后时刻发生重联．当 Geotail 卫星由重联区向外运动时，将会观测到逆向能量扩散：卫星先看到低能氧离子，后看到强能氧离子．反之卫星向内运行时可以观测到正向的能量色散过程．Geotail 观测到的两个氧离子高峰，一个为逆向色散，另一个为正向色散．前者可能是因为卫星相对于磁鞘向外 (前) 运动经过氧离子层，后者是因为卫星进入磁层再次穿过氧离子层．不同能量 E 的氧离子信号滞后时间与 $1/\sqrt{E}$ 的相关关系见图 9, 其中圆点 • 和 × 分别为 HEP-LD 和 EPIC-ICS1 的测量数据．应该强调指出的是， Geotail 卫星相对于磁鞘和磁层顶的运动是由于太阳风的动态压力脉动造成的．

整个事件过程中， Geotail 卫星观测到磁鞘的磁场相当稳定，这意味着这次重联过程是一个准静态过程．追踪散射信号可知，重联区位于距 Geotail 卫星约 12.8 R_e 的地方．

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

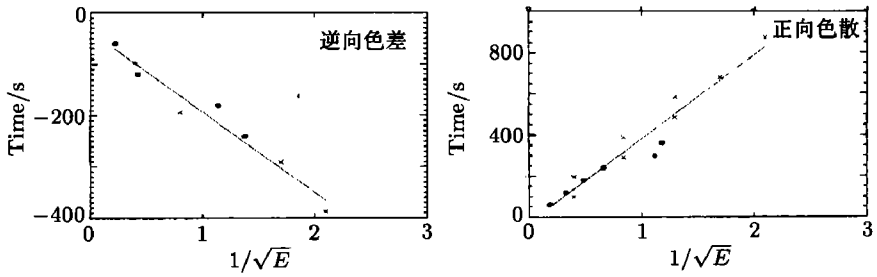


图 9 Geotail 测得的不同能量的氧离子的滞后时间和 $1/\sqrt{E}$ 的相互关系
Fig.9 The relationship between the time delay of oxygen ions with different energy and $1/\sqrt{E}$ observed by Geotail

3.4 不对称环电流

图 7 的第 2 栏是 1997 年 1 月 10 日和 11 日的不对称环电流指数 *ASY-H*, 该指数的最大值出现在磁暴的主相期间. 在磁暴主相期间, 离子由增强的晨昏电场注入到环电流区域, 离子向黄昏方向漂移, 电子向黎明方向漂移. 平静时环电流中典型的氧离子能量密度大约是质子的 6%, 而大磁暴发生时, 两者的比值可以达到 1:1[15]. 并非所有离子的漂移运动都能形成环绕地球的轨道, 形成对称环电流; 它们可以通过多种机制进入磁鞘 [4,16,17]. 本文的测量表明, 有部分的氧离子从黄昏侧进入磁鞘, 造成了环电流的非对称性如图 10 所示. 这与对 CRRES 卫星观测数据的分析结果一致 [18].

假定氧离子束的速度约为 500 km/s, 密度为 $0.3\times10^3\,\mathrm{m}^{-3}$, 氧离子束的横截面面积为 $5\,\mathrm{R_e^2}$, 由本文所得到的磁鞘氧离子通量可估算出, 氧离子从向阳侧磁层顶到磁鞘的逃逸率大致为 $0.61\times10^{23}\,\mathrm{s}^{-1}$. 根据 CRRES 卫星在中等强度磁暴期间的测量, 这大约是环电流总的氧离子输入率的 33%.

3.5 为什么只观测到氧离子, 而观测不到质子和氦离子

250 keV 的氧离子在偶极场 $L=8$ 处的弹跳周期约为 88 s, 在一个弹跳周期内在经度方向平均移动约 20°, 位移约 $2.77\,\mathrm{R_e}$. 而 250 keV 的质子在偶极场 $L=8$ 处的弹跳周期为 24.8 s, 在此期间质子在经度方向平均移动约 5°, 位移约 $0.8\,\mathrm{R_e}$. 向阳面磁层顶重联区在经度方向的范围通常在 $6.28\,\mathrm{R_e}$ 左右 [1]. 当质子从磁层进入重联区后, 在一个弹跳周期的时间内很快沿开放的磁力线遗失在重联区中. 因而位于磁鞘赤道面以下而离中性点有一定距离的 Geotail 卫星很难看到从磁层泄漏出来的质子. 氦离子情况类似. 另一方面, 氧离子回旋半径比质子大很多, 能深入重联区; 而在一个弹跳周期内它在经度方向移动的距离与重联区的半宽度大体相当, 因此很多氧离子可以被 Geotail 观测到. 以上的分析提供了一种可能的解释, 这与 Scholer[2] 的分析一致. 他证明, 如果重联区的尺度不比一个弹跳周期内离子在经度方向的漂移距离大很多的话, 磁层离子的漂移运动可以不断地提供离子来源, 因而能被卫星观测到. Geotail 没有看到磁层质子, 也还可能有其他的原因, 有待进一步探讨. 例如, 质子回旋半径小, 通常无法泄漏出磁层顶; 只有沿开放的磁力线才能观测到由磁层逸出的质子. 而在 1997 年 1 月 10 日的磁鞘氧离子事件期间, Geotail 没有恰巧位于通往磁层的开放的磁力线区.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

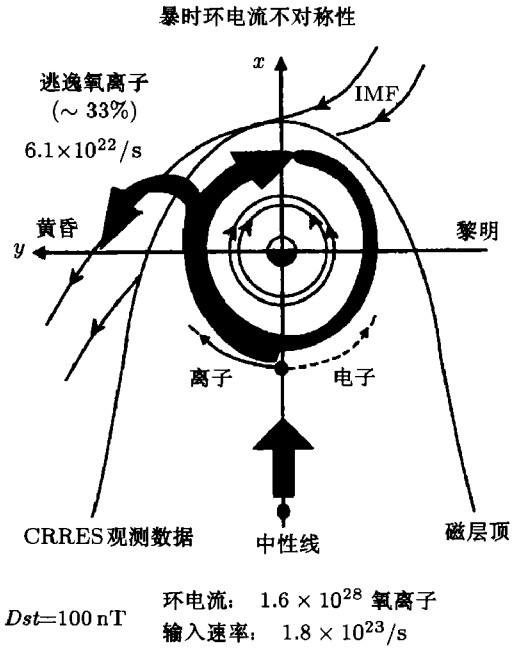


图 10　磁层强能离子在赤道面上的漂移路径

Fig.10　The drift trajectory of magnetospheric energetic oxygen ions

4　结　　语

本文研究了 1997 年 1 月 10 日 Geotail 卫星在磁鞘中观测到的磁层氧离子泄漏事件，在该事件中，

(1) WIND 卫星观测到行星际磁场的 B_x 分量是负的，而 Geotail 卫星观测到磁鞘内磁场的 B_x 分量是正的. 这说明此时向阳面磁层顶发生了磁重联，准静态的磁重联过程改变了向阳面磁层顶附近的磁场结构. 由主轴分析可知向阳面磁层顶是旋转间断面.

(2) 氧离子的三维速度分布表明，氧离子流有由北向南的速度分量，这和向阳面磁重联结构的图像相一致.

(3) 氧离子逃逸具有速度色散现象. 假定氧离子沿重联磁力线逃出磁层，则速度色散可能起源于时间飞行效应.

(4) 磁重联期间只有氧离子才可以在内磁层梯度漂移驱动下深入重联区，所以 Geotail 卫星在磁鞘中仅能持续地观测到氧离子.

(5) 在氧离子泄漏事件中，氧离子逃逸速率约为 0.61×10^{23}/s, 大约是环电流氧离子总输入率的 33%. 这些离子的漂移运动不能形成环绕地球的闭合轨道，这可能是引起磁暴主相期间环电流不对称性的重要原因.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

参 考 文 献

[1] Cowley S W H. The causes of convection in the earth's magnetosphere: A review of developments during the IMS. *Rev. Geophys.*, 1982, **20**:531—565

[2] Scholer M. Energetic particle signatures near magnetospheric boundaries. *J. Geophys.*, 1983, **52**:176—189

[3] Winglee R M *et al.* Modeling of upstream energetic particle events observed by wind. *Geophys. Res. Lett.*, 1996, **23**:1 227—1 230

[4] Zong Q G, Wilken B. Layered structure of energetic oxygen ions in the magnetosheath. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25**:4 121—4 124

[5] Zong Q G *et al.* Energetic particle bursts in the near-earth magnetosheath during a storm. *Phys. Chem. Earth*, 1999, **24**:293—298

[6] Wilken B *et al.* PAPID: The imaging energetic particle spectrometer on cluster. In: Cluster: Mission, Payload and supporting Activities. ESA Spec. Pub., SP-1159, 1993. 185—217

[7] Doke T *et al.* The energetic particle spectrometer HEP onboard the GEOTAIL spacecraft. *J. Geomag. Geoele.*, 1994, **46**:713—733

[8] Williams D J *et al.* Geotail energetic particle and ion composition instrument. *J. Geomag. Geoele.*, 1994, **46**:39—57

[9] Sonnerup B U O, Cahill L J. Magnetopause structure and altitude from explore 12 observation. *J. Geophys. Res.*, 1967, **72**:171—183

[10] Russell C T, Elphic R C. Observation of magnetic flux ropes in the Venus ionosphere. *Nature*, 1979, **279**:616—618

[11] Lepping R P, Behannon K W. Magnetic field directional discontinuities: 1. minimum variance errors. *J. Geophys. Res.*, 1980, **85**:4 695—4 703

[12] Kawasaki K, Akasofu S I. Low latitude DC component of geomagnetic storm field. *J. Geophys. Res.*, 1971, **76**:2 396—2 405

[13] Burlaga L *et al.* A magnetic cloud containing prominence material: January 1997. *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**:6 479—6 492

[14] Sarris E T, Axford W I. Energetic protons near the plasma sheet boundary. *Nature*, 1979, **277**:460

[15] Daglis I A, Thorne R M, Baumjohann W, Orsini S. The terrestrial ring current: origin, formation, and decay. *Rev. Geophys.*, 1999, **37**:5 047—5 065

[16] Sibeck D G *et al.* Energetic magnetospheric ions at the dayside magnetopause: leakage or merging. *J. Geophys. Res.*, 1987, **92**:12 097—12 114

[17] Zong Q G, Wilken B. Bursty energetic oxygen events in dayside magnetosheath: Geotail observation. *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26**:3 349—3 352

[18] Korth A *et al.* Comprehensive particle and field observations of magnetic storms at different local times from the CRRES spacecraft. *J. Geophys. Res.*, 2000, **105**:18 729—18 740

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ESCAPE OF MAGNETOSPERIC O^+ OXYGEN IONS INTO THE MAGNETOSHEATH: MECHANISM AND EFFECTS

ZONG Qiugang[1] PU Zuyin[2] HUANG Zongying[2] FU Suiyan[2] B. Wilken[1]

[1](*Max-Planck-Institute for Agronomy, Katlenburg-Lindau, Germany*)

[2](*Department of Geophysics, Peking University*)

Abstract

During the magnetic storm of January 10, 1997, Geotail spacecraft observed a mgnetospheric O^+ burst event just on the outside of the dayside magnetopause. Energetic oxygen ions were seen to flow downward in the magnetosheath. The appearance of this O^+ burst event was in close connection with the strong southward interplanetary magnetic field. The Principle Axis Analysis (PAA) indicates that the dayside magnetopause during this time period was a rotational discontinuity, magnetic reconnection took place in the magnetopause current sheet. Observations showed that reconnection was of the quasi-steady state type and that the O^+ flow has a southward component. Both normal and inverse energy (velocity) dispersion were seen in the O^+ flux enhancement process which were caused by the Time Of Fly (TOF) effect of oxygen ions escaping along the reconnected magnetic field lines. Only O^+ can be transported by the gradient drift from the magnetosphere into the reconnection region, therefore they can be continuously detected in the magnetosheath. The escape rate of O^+ in this event is estimated to be $0.61 \times 10^{23}\ s^{-1}$, which was approximately 33% of the total input rate of the ring current oxygen ions. It is the escape of a great number of oxygen ions from the duskside of the inner magnetosphere (ring current region) that leads to the pronounced asymmetry in the ring current *ASY-H* index.

Key words Magnetospheric Oxygen ions, Escape, Magnetic reconnection, Magnetosheath

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com