科学通报 2016 年 第 61 卷 第 24 期：2757
简 报 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

磁尾磁重联湍动区域内磁零点簇的演化

郭瑞龙[①*]，濮祖荫[①⑤]，傅绥燕[①⑤]，谢伦[①]，Malcolm Dunlop[②③]，Yulia V. Bogdanova[③]，何建森[①]，王新[①]，尧中华[④]

① 北京大学地球与空间科学学院，北京 100871；
② 北京航空航天大学宇航学院，北京 100191；
③ RAL Space, Rutherford Appleton Laboratory, STFC, Didcot, OX11 0QX, UK；
④ UCL Mullard Space Science Laboratory, Dorking, RH5 6NT, UK；
⑤ 北京大学 PKU/UCLA 科学与工程联合研究所，北京 100871
* 联系人，E-mail: grl@pku.edu.cn

磁重联是等离子体中改变磁场拓扑形态并将磁能转化为粒子的动能和热能的物理过程，是空间等离子体物理领域重大的理论基础问题．在三维磁重联理论中，磁零点(磁场为零的点)是磁场拓扑结构的组成要素．

在2001年10月1日~09∶43∶45 UT，Cluster卫星簇穿越了磁尾磁重联区，卫星观测到磁场的B_z分量存在双极变化，同时伴随着电子密度的增加以及能量大于keV的电子通量的增强．庞加莱指数(Poincaré index)的计算显示在该区域内存在磁零点．利用磁场重构方法，对这一区域进行三维可视化，发现多个磁零点共同存在于一个小于离子惯性尺度的区域内．本文对观测到双极B_z信号的时间段内的两个时刻的磁场三维图像进行了细致分析．在第一个时刻的重构结果内存在5个磁零点(图1(a))，其中有两个A型磁零点(标记为A1和A2，如图1(a)所示)，另外3个为B型磁零点(标记为B1, B2和B3)．每个A型磁零点都和两个B型磁零点通过separator相连接，一共存在4条separator．之后A1和B1以及A2和B2两对磁零点相互靠近，并最终从重构区域内消失，只剩下一个B型磁零点．这个过程可能显示了磁零点成对合并而消失的过程，也可能是两个磁零点相距太近因而不能被重构方法反演出来．之后在重构区域内重新出现一对磁零点，而新出现的负磁零点是S型磁零点，即A_s型磁零点．两个新出现的磁零点相互远离，最终形成第二个时刻所示的结构(图1(b))．在第二个时刻中的A_s型磁零点通过separator同时连接两个B型磁零点，形成B-A_s-B磁零点构型，并在沿着A_s型磁零点的spine线附近产生小尺度磁通量绳结构．该构型在二维投影线呈现出“次级磁岛”的特征．

重构结果所示的磁零点快速的运动和演化(移入或移出重构区域，合并消失及成对产生等现象)使得重构区内磁零点的数目不断变化．磁零点簇的这种急促的演变过程使得磁场呈现出类似湍动的性质．湍动演化区域的大小在离子惯性尺度以下，因此该湍动特征是离子尺度的一种现象．本文对磁场的功率谱进行分析发现，磁场功率谱符合幂功率谱，其幂率指数~11/3，具有离子尺度的湍动功率谱特征．这段时间内伴随的电子密度及被加速电子通量的升高可能与磁零点簇的演化有关．

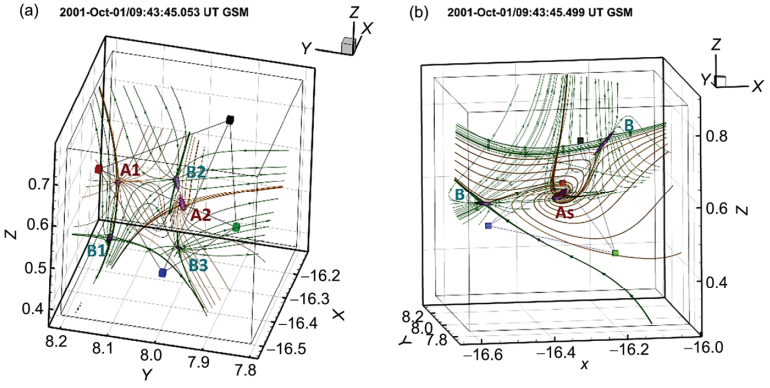

图 1 (a) 在 09∶43∶45.053 UT的磁场重构结果；(b) 在09∶43∶45.499 UT时刻的重构结果．绿色曲线为经过B型磁零点邻域的磁力线，红色曲线为经过A(A_s)型磁零点邻域的磁力线

全文见：Guo R L, Pu Z Y, Fu S Y, et al. Evolution of clustered magnetic nulls in a turbulent-like reconnection region in the magnetotail. Sci Bull, 2016, 61: 1145–1150, doi: 10.1007/s11434-016-1121-z

© 2016《中国科学》杂志社