空间物理

NASA总结磁层多尺度任务在轨运行5年取得的科学成果

2020年3月12日，NASA总结了自2015年3月12日成功发射以来，磁层多尺度（MMS）任务在轨5年运行期间取得的主要科学成果。这些研究成果深刻改变了人类对空间磁重联的理解。

MMS是NASA日地探测器计划（STP）的第4个任务，由4个完全相同的航天器组成，每个航天器携带25个高灵敏度传感器，首次实现了对磁重联现象的三维观测。NASA戈达德航天飞行中心负责制造、组装和测试这些航天器，并负责整体任务管理和运行。

2016年，MMS的运行创下了吉尼斯世界纪录，即最远运行在距地面约7×10^4 km处，后来这一数字达到18.7×10^4 km。当航天器到达近地点时，其时速高达3.5×10^4 km，是目前搭载GPS接收机的飞行最快的人造物体。

MMS任务取得了一系列重要科学发现，具体如下。

（1）磁重联的工作方式。确定磁重联现象的细节是MMS任务的主要目标之一。在该任务之前，人类对磁重联现象的原理所知甚少。利用任务的观测结果确定了50年前提出的多种磁重联理论中哪一个是正确的，即认为磁重联由电子行为支配。观测结果还可以阐释电子在微小尺度上如何支配磁重联过程，而这一机理此前没有被预测到。上述发现得益于MMS搭载的创新仪器。任务首席科学家Jim Burch指出，MMS的测量速度较之前的任务提高了100倍，因此可以观测到此前未发现的事件和细节。

（2）在令人惊讶的位置观测到磁重联。MMS任务已经绕地球飞行了1000余圈，期间经历了无数次磁重联事件。MMS不仅按预期在远离太阳的地球背后区域观测到磁重联，并在几个令人惊讶的新位置观测到磁重联。MMS任务在此前被认为太过混乱，无法发生磁重联的地球朝向太阳的湍流区域以及磁流绳（Magnetic Flux Rope）和开尔文-赫尔姆霍兹涡旋（Kelvin-Helmholtz vortices）中都观测到了磁重联现象。

（3）传递能量。利用MMS的观测结果还揭示了能量通过磁重联进行传递的方式以及能量传递的速率。该发现在某种程度上得益于航天器以紧密飞行方式编队飞行，航天器之间的距离仅为7.2 km，是目前已有航天器中编队飞行距离最近的，能够观测此前无法观测的小尺度细节。2017年，利用MMS观测结果发现了一种能量转移的新机制，即在电流薄层中发生重联的复杂电子运动。在该区域生成的电子能够获得额外能量并加速磁重联过程。

（4）计算机模拟。在MMS任务之前，计算机模拟是科学家了解磁重联的最佳工具，相关模型是填补此前空间任务观测数据空白的重要方式。由于MMS任务进行了更详细的测量，因此模型的尺度发生了变化。目前，MMS任务的高分辨率数据已经揭示出大量的电子尺度物理学现象。此外，利用这些观测数据可以进一步完善模型，并更好地揭示磁重联背后的具体机制。

（5）洞察天体物理和核物理。MMS任务飞过正在进行中的空间活动时，航天器可以直接测量所有尺度的磁重联现象，这使得MMS任务成为独特的空间实验室。MMS探测结果将增进人类对发生在其他空间区域如太阳、超新星和黑洞中磁重联现象的新理解。MMS任务的探测结果还为核物理研究提供了新的数据支持。核实验中使用的高温等离子体与MMS任务在空间飞行时所处的物质状态相同。MMS任务获得的信息有助于更好地理解并控制磁重联，从而改进核聚变技术，更有效地产生能量。

根据最初的规划，MMS任务将运行两年。在成功完成预定计划后又继续延长运行3年。目前，剩余的燃料至少可供其继续运行20年。基于MMS任务数据已产生580余篇科学论文，为14篇博士论文和10篇硕士论文提供数据支持。MMS任务数据将在未来数十年内继续推动新发现。

（中国科学院科技战略咨询研究院　王海名）