

附件：

## 2020 年工业和信息化部重点实验室年度考核报告

实验室名称：空间环境监测与信息处理实验室

实验室主任：曹晋滨

实验室联系人/联系电话：符慧山/15652243988

邮箱地址：hsfu@buaa.edu.cn

依托单位名称：北京航空航天大学（盖章）

依托单位联系人/联系电话：王晓明/18601115662

2020 年 12 月 31 日

## 一、简表

实验室名称		空间环境监测与信息处理实验室				
依托单位		北京航空航天大学				
研究方向	研究方向 1	空间环境监测关键技术				
	研究方向 2	空间环境信息处理				
	研究方向 3	空间环境建模仿真				
实验室主任	姓名	曹晋滨	研究方向	空间环境监测关键技术		
	出生日期	19641212	职称	教授/长江杰青	任职时间	2000
实验室副主任	姓名	符慧山	研究方向	空间环境信息处理		
	出生日期	19830308	职称	教授/青年千人	任职时间	2013
	姓名	於益群	研究方向	空间环境建模仿真		
	出生日期	19830117	职称	教授/青年千人	任职时间	2015
学术委员会主任	姓名	王赤	研究方向	空间环境监测关键技术		
	出生日期	1967.02	职称	院士	任职时间	2019
研究水平与贡献	科技论文	74/146	SCI 论文	70/139	EI 论文	0/3
	新增国家科研课题	9/18	新增地方科研课题	9/10	新增自立科研课题	3/4

(2020 年度 考核期内数 量/自认定以 来的总数)	获国家奖	0/0	获省部级 奖	0/0	获行业奖	0/0
	科研经费 额 (万 元)	2367.9/4 087.9	发明专利 授权	24/34	实用新型 授权	0/0
研究队伍与 人才培养 (2020 年度 考核期内数 量/自认定以 来的总数)	人员总数	2/50	高级职称	3/40	中级职称	-1/10
	院士	0/0	国家级(长 江、杰 青、千人 等)	0/2	地方级	0/0
	国际学术 机构任职 (可增 减)	姓名	任职机构或组织		职务	任职时间
		曹晋滨	国际空间研究委员会辐 射带专家组		成员	2006
		曹晋滨	国际宇航科学院全球地 质多物理场综合前兆研 究组		成员	2014
	访问学者	1/10	进站 博士后	2/9	出站 博士后	1/2
培养 研究生	35/35	在读 博士生	42/50	在读 硕士生	86/106	
开放与运行 管理 (2020 年度 考核期内数 量/自认定以 来的总数)	举办学术 会议	2/6	国际	1/1	国内	1/5
	新增国际合作项目			0/0		
	实验室 面积	3436	仪器设备 原值	3113.2	实验室 网址	semip. bua a. edu. cn

## 二、研究水平与贡献

### 1. 主要研究成果与贡献

结合研究方向，简要概述本年度实验室取得的重要研究成果与进展。

本年度实验室成员分别在以下研究方向上取得了研究成果与进展：

#### 1. 空间环境监测关键技术方向

- (1) 量子探测关键技术研究：通过与中电集团 29 所合作，进行了量子与材料相互作用技术研究，完成了量子接收实验验证系统的研制。该技术可用于具有极高灵敏度的磁强计研制。
- (2) XXX 卫星感应式磁力仪初样研制：在国家发改委“十三五”民用空间基础设施经费的支持下，基于已经在轨成功运行的张衡一号卫星有效载荷感应式磁力仪飞行产品基线，完成了 XXX 卫星感应式磁力仪功能、性能改进和部分元器件国产化替代方案设计、实验产品投产和验证等一系列工作，为正样产品的研制工作的顺利进行提供了重要保证。
- (3) 提出了一种基于角系数的适用于粒子网格-蒙特卡洛碰撞法 (Particle in cell- Monte Carlo Collision, PIC-MCC) 的新型原子分布仿真手段。传统的低温等离子体仿真手段中对于原子的分布采用全粒子方法，计算负担巨大；或者是采用低维度流体模拟或原子时域定常分布来减少计算量，但在计算精度上损失严重。角系数方法基于传热学中的传热系数概念，通过引进 PIC-MCC 中电离参数模拟无碰撞中性粒子的分布与消耗规律，在准确度和计算速度上有非常好的平衡，适用于包括但不限于电推力器在内的多种低温等离子体装置模拟。
- (4) 提出一种新的热离子磁喷管数值仿真模型：抛弃了国际上磁喷管研究中为了简化模型而广泛使用的零离子温度假设，将等离子体束流的离子内能考虑在内，对磁喷管进行更为准确的数值仿真。使用该磁喷管数值模型，可将准确仿真的适用范围由螺旋波推力器、霍尔推力器等低离子温度推力器扩展到 MPD 推力器、VASIMR 等大功率电磁推进装置，发现了高离子温度磁喷管中一种名为“静电势垒”的新型等离子体约束机制，从而对其性能进行准确预测，为大功率电磁推力器的优化设计提供有益参考，为将来我国载人火星任务等深空探测任务提供高比冲、大推力的推进系统。
- (5) 磁流体涡旋流动的解析研究：磁流体 (MHD) 涡旋流动既是 MHD 理论研究的前沿课题，也是一种广泛存在于工程应用中的电磁流动现象。尤其是在磁等离子体推进器中，该涡旋流动对推力器的比冲和功率都起着主导作用，并对推力器的效率和热烧蚀有显著影响，直接决定了推力器用于载人深空探测任务的技术成熟度。本研究在理论方面，针对 MHD 涡旋流动问题，开创了二维电磁场-流场耦合解析求解的先例 (与他人实验的误差在 6.8% 以内)，并改进了哈特曼数在该涡旋系统下的表达，为研究电磁流动的能量转化提供了强有力的解析工具。在应用方面，对于效率问题，论文基于对 MHD 涡旋能量转化特性的研究，从最优化磁场位型的角度为磁等离子体推进器涡旋效率的双重瓶颈提供了有效的突破

方法；对于热烧蚀问题，研究提出缓解热耗散集中的方法从根本上改善了电极工作的热力学环境。

- (6) 等离子体双极扩散机理研究：等离子体向真空中扩散这一物理过程是在空间中常见的一种现象，这种现象从物理机理上是对离子和电子耦合关系以及输运过程的一种反映。本项研究以脉冲等离子体推力器产生的瞬态等离子体的扩散过程为研究对象，利用中性气体示踪、静电探针、发射光谱以及高速拍照等技术手段对亚微秒级的等离子体双极扩散过程进行了研究。阐明了一团具有定向速度的等离子体团中部分电子分离，到形成双极电场，再到电子冷却而离子被加速这一整个发展过程的物理机制。这项研究可以阐明自然界等离子体的运动规律，并加深我们对等离子体这一学科的认知。
- (7) 研究了具有不同次星形状的双小行星系统中的平动点及其周期轨道族。研究发现，五个平动点的拓扑结构与圆型限制性三体问题（CR3BP）中的平动点情况相同，但平动点轨道族之间的连接与 CR3BP 中不同；进一步改变次星形状，发现 Halo 轨道族和轴向轨道族由垂直李亚普诺夫轨道族分岔得到，李亚普诺夫轨道族没有断裂，但垂直李亚普诺夫轨道族断裂为四部分，分别与南向 Halo 轨道族、北向 Halo 轨道族、轴向轨道族的两个分支相接。
- (8) 建立并验证了环绕双小行星系统主星的半解析轨道动力学模型。首先，基于受摄二体问题模型，建立了环绕主星的牛顿形式的轨道运动方程，摄动力包括主星的扁率和次星的非球形第三体引力。在第三体引力摄动中，首次引入了中心天体和摄动天体引力的非球形项。在对次星引力摄动函数进行级数近似时，为了保证精度，保留至四阶项，并由此得到近似的受摄轨道方程。最后，利用平均化理论和拉格朗日行星方程建立了基于单次平均的半解析轨道动力学模型。采用数值仿真的方法研究了模型的适用范围，并定义了三个无量纲参数来刻画半解析轨道动力学模型的适用条件。
- (9) 研究了环绕双小行星系统主星的轨道稳定性问题。基于二次平均化的半解析轨道动力学模型分析了环绕主星轨道的稳定性。在单次平均化的轨道动力学模型基础上，对次星的轨道运动进行第二次平均化，建立了基于二次平均的半解析轨道动力学模型。在二次平均化模型下，利用系统存在的三个运动守恒量，将系统简化为一个保守的二自由度系统，其运动方程为关于近地点幅角和偏心率的非线性微分方程组。通过系统相图，研究了系统相空间结构，平衡点分布及相流特征。进而从轨道偏心率长期振荡的角度分析了轨道的稳定性，包括偏心率长期振荡的相位和振幅，以及对轨道初始状态的依赖关系。通过研究，确定了轨道稳定与不稳定的区域，揭示了轨道不稳定的动力学机制，以及给出了能维持轨道长期稳定的初始轨道状态。

## 2. 空间环境信息处理方向

- (1) 首次揭示了高能电子投掷角分布在地球磁尾的统计规律，发现各向同性分布、饼状分布、雪茄分布、蝴蝶分布、以及擀面杖分布的发生率分别为 44.7%、31.3%、17.5%、1.6%、4.9%，且这些分布出现的概率在距离地球 12-18RE(各向同性分布)、12-20 RE(饼状分布)、10-16 RE(雪茄分

布)、13 RE(擗面杖分布)、10-14 RE(蝴蝶分布)处达到最高,但是没有发现擗面杖分布与磁场结构之间的统计相关性。这些结果意味着擗面杖分布是由雪茄分布演化而来,显著改变了我们对磁尾高能电子动力学和特性的认知。相关成果已发表于 JGR。

- (2) 利用三维全粒子模拟的数据,调查了 FOTE-V 方法在稳态空间等离子体中的适用性,发现这种方法在两倍四面体尺寸的区域能够给出准确的重构结果。同时,我们揭示了 FOTE-V 方法重构径向型零点和螺旋型零点的 3D 流场拓扑的能力。我们利用 MMS 卫星的测量数据进一步测试了此方法的准确性。在电流片穿越事件中, FOTE-V 方法成功地识别了重联出流区中的螺旋型零点。在电子扩散区穿越事件中, FOTE-V 方法检测到重联中心附近的驻点。我们发现这些 3D 流结构在 MMS 分尺度上是准线性的。利用稳态流的连续性方程,我们定义了一个参数,以量化该方法的误差,该参数越小,结果越好。这些结果表明小尺度的等离子体流确实是线性的,因此 FOTE-V 方法可以应用于这种流场。这对研究空间等离子体中的驻点和涡旋特别有用。相关成果已发表于 APJS。
- (3) 静电孤波是空间等离子体中的一种德拜尺度的结构,被普遍认为会加速电子。但是这种猜测还没有被证实,因为静电孤波在卫星参考系中运动的很快,而且它的内部结构从来没有被直接探测过。我们利用 MMS 卫星首次观测到了静电孤波的内部,发现这种结构在平行方向的尺度为 5 个德拜半径,在卫星参考系中的速度很慢(持续时间为 250 毫秒),电势降约为 5%的电子温度。令人吃惊的是,在这个静电孤波内,电子并没有被加速,电子分布函数也没有明显的变化,但是却存在电子回旋谐波。这些结果挑战了对静电孤波的传统认识。相关成果已发表于 PRL。北航专题报道链接: <https://news.buaa.edu.cn/info/1005/51136.htm>
- (4) 利用 MMS 卫星数据,发现了偶极化锋面后磁声波对高能电子的调制。具体来说:在磁场强度最小处,电子通量最高,而在磁场强度最大处,电子通量最低。这个现象挑战了传统的 Betatron 加速理论,所以我们需要提出一个新的理论去解释它。在我们的理论中,偶极化锋面后存在一个腹部时变、颈部稳定的磁瓶。当腹部膨胀时,磁瓶形成,电子被束缚在磁瓶中,当腹部收缩时,磁瓶消失,电子被排挤出磁瓶。我们定量地证实了这个磁瓶的存在,并估算了它的尺度约为 2-3 个地球半径。这个新理论既能解释偶极化锋面后出现高能电子的情况,也能解释偶极化锋面后缺失高能电子的情况,显著提升了我们对地球磁尾高能电子动力学的认识。相关成果已发表于 GRL,并被遴选为当期的封面文章。北航专题报道链接: <https://news.buaa.edu.cn/info/1006/52676.htm>
- (5) 空间中的磁重联实质上是一个动态过程,但在卫星测量中,它却被解释为一个静态图像。针对这一错误的图像,我们首次揭示了磁层顶重联 X 线的时空演化,提供了空间中磁重联的第一个动态图像。我们发现磁重联 X 线的夹角可以在数十毫秒内从 44.8 度变为 24.9 度,这远小于重联过程的特征时间尺度。同时,卫星从入流区运动到出流区(空间演化)。这一结果表明,空间中的磁重联可以在数十毫秒内快速发展,因此应该用动态磁重联的概念来理解,而非静态磁重联。相关成果已发表于 APJL。
- (6) 空间等离子体中电子尺度的磁洞(ESMH)已被广泛观测到,但其产生、演化和三维拓扑仍然不清楚。我们报道了太阳风和磁鞘中的两个 ESMH

事件。磁场散度分析表明, ESMH 具有非线性的拓扑位型。最新开发的基于二阶泰勒展开的重构方法被应用于此类 ESMH。最终, 我们获得了 ESMH 的第一个三维拓扑结构。重构结果表明, ESMH 可能具有复杂的横截面, 并且在与磁场平行和垂直的方向上具有可比的延伸长度, 这与以前的磁洞的简化圆柱模型不符。这项工作增进了我们对 ESMH 几何特性的理解, 从而完善了 ESMH 产生和发展的图像。相关成果已发表于 GRL。

- (7) 通过位于地球磁尾等离子体片中的 MMS 卫星和位于太阳风中的 ARTEMIS 卫星的联合观测, 研究了冷而密的等离子体片(CDPS)的形成机制。具体来说, MMS 观测到由两个具有不同能量的离子种群组成的 CDPS, 其中冷离子种群的能量与 ARTEMIS 测量的太阳风的能量相同。此特征直接表明 CDPS 是由太阳风进入引起的。此外, 在 CDPS 中 He<sup>+</sup> 也被观测到。这两个 CDPS 中的等离子体密度分别约为 1.8 cm<sup>-3</sup> 和 10 cm<sup>-3</sup>, 大约是等离子体片平均密度的 4-30 倍。我们对 CDPS 和太阳风中的离子密度进行了互相关分析, 发现太阳风进入等离子体片需要 3.7-5.9 小时。这个结果证实了之前基于单卫星数据所作出的推测。相关成果已发表于 Atmosphere。
- (8) 对磁尾中的湍动重联中的这种关系进行了统计分析。我们发现动力学尺度的湍流与电流密度变化具有良好的相关性。具体地说, 动力学尺度湍流功率谱的斜率随  $J$  增大而减小; 湍流强度与  $J$  之间的相关性在  $0.02-0.32\omega_{ce}$  的频率范围内最好; 湍流强度随  $J$  的增加而增加; 这些拟合函数的斜率随频率大致减小。相关成果已发表于 APJL。
- (9) 对偶极化锋面处的粒子加速过程进行了回顾与综述。具体来说, 我们介绍了偶极化锋面在 MHD 尺度、离子尺度、和电子尺度的特性; 回顾了超热电子的性质, 尤其着眼于投掷角分布; 定义了粒子加速并将其与粒子加热区分开; 通过对能量通量的观测确定了粒子加速; 量化了加速效率并与磁层中其它过程进行了对比。此外, 我们还讨论了领域内未解决的问题, 为将来的研究提供了指导。相关成果已发表于 Science China Earth Sciences, 并成为国际上偶极化锋面领域的第一篇综述论文。
- (10) 利用 NOAA/POES 卫星群的多年数据对磁暴期间的带电粒子沉降分布进行了统计分析, 发现几十 keV 的离子与电子的沉降对电离层能量输入的贡献相当。相关成果发表于 JASTP。
- (11) 磁场旋转结构 (MFD) 和磁场速度平行结构 (MVAS) 是太阳风湍流中的两种典型结构。但是, 前人还未研究过它们的扰动幅度在不同湍流状态下的情况。我们利用 WIND 飞船的观测数据给出了它们的扰动幅度在磁场速度相关系数-剩余能量两参量平面上的分布。研究发现, 在该平面上, MFD 磁场扰动的平均幅度等值线呈水平状, 而 MVAS 速度扰动的平均幅度等值线呈垂直状。同时, 我们也定量给出了磁场和速度扰动幅度与以上两个参量的经验关系, 为理论和数值模拟研究提供了观测依据, 也为研究湍流结构的产生和演化提供了线索。该工作已经发表于 ApJ。
- (12) 利用 MMS 卫星数据和 AE 指数, 揭示了孤立亚暴爆发时的能量预算及地球磁尾高速流的能量转换过程。我们发现高速流运输的能量除了与环电流, 电离层的焦耳加热和粒子沉降能量密切相关外, 还与等离子

体温度的增加有联系。进一步发现等离子体温度的增加伴随有电流密度增强，但是与高速流的涡旋相关性更好。相关成果已发表于 *ApJ*。

- (13) 使用高精度 MMS 卫星数据，给出了磁层顶离子尺度通量管旁边的次级重联电子扩散区的局地观测证据。重联电子扩散区的特征包括强电流片，电子流反转，霍尔电场，非磁化的回旋各向异性的电子，大的平行电场和很强的电子耗散。位于电子扩散区旁边的通量管符合无力场结构并且尺度约等于三个离子惯性尺度。以上观测结果给出了通量管可以在重联出流区产生和演化的进一步证据。相关成果已发表在 *GRL* 上。
- (14) 受中国科学英文版 (SCPMA) 主编的邀请，完成了利用引力的全息来研究拓扑量子物态的综述论文。该综述总结了近几年来基于本实验成员于 2016 年提出的全息拓扑半金属模型的相关跟踪研究和进展。

### 3. 空间环境建模仿真方向

- (1) 突破了全球磁层模型中边界条件的局限性,增强了卫星表面充电这一空间天气现象的模拟和预报能力。我们近期对模型边界处的现有粒子通量分布函数进一步改进，引入了可以表征低能段电子能谱分布的模式，极大地提高了表面充电环境的预报能力。相关工作投稿了空间天气顶级期刊 *Space Weather*。
- (2) 系统地发展了内磁层动力学模型中的自洽耦合模式，在电子沉降的基础上加入离子的沉降过程，使得电离层-磁层耦合的模拟更加完善。并研究了引起离子沉降的两个重要机制：磁力线曲率散射和离子回旋波的波粒散射作用对环电流损耗、电离层能量输入、电导率变化的作用。本方向相关研究成果发表于 *JGR* (3 篇)。
- (3) 针对太阳风与火星相互作用过程中复杂的太阳风动力学、火星电离层光化学反应以及火星大气层粒子反应等过程，构建了可以自洽模拟太阳风与火星作用过程的多组分单流体动力学模型及仿真软件，大气层中性粒子采用观测给出的球型模型，考虑电离层以及太阳风中四种重要组分和三种中性粒子组分间的光化学反应，通过不同组分质量守恒方程与单流体磁流体动力学方程进行耦合求解，自洽获得火星空间环境等离子体与磁场结构特性。为了对比研究多组分单流体动力学模型，同时也发展了多组分多流体模型。该模型对火星电离层与太阳风的重要离子组分满足的动力学方程分开求解，可精确获得不同组分的密度、速度以及温度分布。这两个模型的开发，为我国发展行星科学研究的数值模拟提供了重要的技术支持。
- (4) 对火星不同剩磁模型及分布情况开展了研究。首先采用对火星磁场采用了全球弱偶极场模型，揭示了在历史时期火星等离子体和磁场分布特性。其次采用局地偶极场模拟火星南半球最强剩磁分布，研究表明不同太阳方位角对火星磁尾结构有着重要影响。最后采用了 Cain et al. (2003) 的剩磁模型，研究真实剩磁条件下火星空间环境以及逃逸率的影响。相关工作发表在 *EPP* 封面文章，并有部分工作将投空间天气顶级期刊 *APJ*。
- (5) 太阳活动周在一定范围内有较大幅度的变化，这意味着存在着非线性机制抑制发电机过程的解，因此理解太阳周的非线性机制是理解太阳周不规则性的关键。我们首次提出、并量化了基于观测的太阳周非线性机制。对于强的太阳周，黑子浮现纬度较高、倾斜角较小。我们利用太阳

表面磁通量输运模型，分析了这些特征对全部偶极场的贡献。结果表明，纬度变化的特征和倾斜角的特征一样，起到对太阳周类似的非线性调节作用，我们称之为纬度淬火和倾斜角淬火。这两种形式的淬火导致，对于弱周期全部偶极场比不含这些机制时增加，对于中等强度或更强的太阳周，产生的全部偶极场会达到饱和值。这自然可以用来解释太阳周变化的奇-偶效应，也表明极向场的产生过程含有非线性机制。相关成果已发表于 *ApJ*。

- (6) 研究了 **quintessence** 暗能量对黑洞周围阴影形成的影响。我们发现阴影的形成可以由光线环绕黑洞的圈数来分类。光线环绕黑洞不足一圈的构成了黑洞阴影的大部分结构；但是在极端情况下，光可以环绕黑洞超过一圈或者两圈，此效应将在黑洞阴影里面形成一个极亮的光球(**photon sphere**)。此光球的位置与 **quintessence** 暗能量的参数相关，因此我们预言可以从观测黑洞周围光球的数据来判断出宇宙中暗能量的构成。此工作发表在 *Eur.Phys.J.C*
- (7) 研究了最近理论中发现的 4 维 **Gauss-Bonnet** 黑洞周围阴影的形成。我们发现阴影中光球的半径与吸积盘的几何形状并没有关联，说明光球的半径是黑洞阴影的一个固有特性。对于掉落进黑洞的吸积盘而言，它们的阴影会更加暗一点，这是由于多普勒效应引起的。我们还发现，如果 **Gauss-Bonnet** 常数变大，那么黑洞阴影与光球的半径将会变小，但是观测到的固有强度将会变大。相关工作发表在 *Eur.Phys.J.C*。这篇工作 2020 年引用为 30 次。
- (8) 研究了在 **Kerr-AdS** 黑洞背景下，一个费米子掉落进黑洞的过程中的黑洞热力学以及 **Penrose** 的宇宙监督假设。我们发现在正常相空间，黑洞的第一、第二热力学定律以及宇宙监督假设都不会被违背；但是在延展相空间中，第二热力学定律将非常依赖于费米子的自旋参数，在一定参数范围内第二热力学定律将会被违背。相关工作发表在 *Nuc.Phys.B*
- (9) 研究了在 **Born-Infeld** 黑洞背景下的黑洞热力学以及宇宙监督假设。在正常相空间，第一、第二热力学定律以及宇宙监督假设都不会被违背；但是在延展相空间，第二热力学定律在双视界的黑洞中将会被违背。相关工作发表在 *Chi.Phys.C*
- (10) 研究了一类非相对论性的引力背景下的非平衡态对偶。发现在此引力边界上存在拓扑缺陷，并且量子化的磁通量被禁闭在序参量的涡旋中。我们进一步研究了涡旋的产生数目与淬火强度之间的关系，发现标度率都是  $-1/2$ ，与非相对论性的参数无关。从而证明边界的场论的非相对论度并不依赖于内部引力空间的非相对论度。关成果已发表在 *JHEP* 上。

## 2. 承担科研任务

概述本年度实验室科研任务总体情况。

本年度实验室成员分别在以下研究方向上承担了重要科研任务：

### 1. 空间环境监测关键技术方向

- (1) 承担国家发改委 XXX 卫星年度研制任务一项(分承研单位)；开展感应式磁力仪初样阶段研制工作；
- (2) 承担中电 29 所横向项目一项：量子与材料作用探测技术研究；
- (3) 承担国家自然科学基金重点项目一项：深空探测中的若干关键非线性不确定性动力学与控制问题研究；
- (4) 承担国家自然科学基金项目一项：磁喷管中带电粒子加速、分离和磁反馈机制研究；
- (5) 承担载人航天预研项目一项：×××某电推进技术研究；
- (6) 承担国防科工局项目一项：某霍尔推力器研究（拨款协议）；
- (7) 承担国防科工局项目一项：大功率磁等离子体推进拨款协议；
- (8) 承担军队装备预研基金项目一项：超高比冲大功率电磁推进技术；
- (9) 承担北京控制工程研究所项目一项：霍尔推力器长寿命试验；
- (10) 承担北京控制工程研究所项目一项：微型电推进用羽流参数诊断装置研制
- (11) 承担北京卫星环境工程研究所项目一项：吸气式电推进性能测试试验；
- (12) 承担上海空间推进研究所项目一项：线性气动磁镜约束等离子体推进；
- (13) 承担大连理工大学项目一项：微牛量级推力测量系统；
- (14) 承担国家自然科学基金项目一项：栅极螺旋波离子推力器等离子体二阶加速过程的时空演化；
- (15) 承担国家自然科学基金面上项目一项：双小行星系统不规则引力场中的轨道动力学与控制；
- (16) 承担国家自然科学基金面上项目一项：双曲线型三体问题下小行星附近集群编队飞行的轨道演化与控制；
- (17) 承担国家自然科学基金青年科学基金项目一项：小行星引力场中考虑航天器姿轨耦合效应的轨道动力学。

### 2. 空间环境信息处理方向

- (1) 承担国家自然科学基金创新群体项目一项：磁层动力学；
- (2) 承担国家自然科学基金委嫦娥 4 号联合专项重点项目一项：月表中性原子及粒子辐射环境研究；
- (3) 承担国家自然科学基金面上项目一项：引力规范对偶及其在拓扑物态中的应用；
- (4) 承担国家自然科学基金面上项目一项：地球等离子体层和辐射带的交叉耦合效应；
- (5) 承担国家自然科学基金面上项目一项：内磁层电流系统动力学和能量输运
- (6) 承担国家自然科学基金面上项目一项：电子尺度的偶极化锋面动力学；
- (7) 承担国家自然科学基金面上项目一项：利用全粒子模拟研究电离层对磁尾重联的响应；
- (8) 承担国家自然科学基金面上项目一项：太阳风湍流离子尺度上的谱拐点及湍流耗散机制的观测研究。

### 3. 空间环境建模仿真方向

- (1) 承担国家自然科学基金面上项目一项：磁层离子沉降对环电流-电离层体系的影响；
- (2) 承担国家自然科学基金面上项目一项：投掷角相关的辐射带径向扩散机制研究；
- (3) 获批国家自然科学基金面上项目一项：火星磁尾结构与离子逃逸的全球多流体数值模拟研究；
- (4) 获批中国科学院战略性先导科技专项（B类）子课题：火星磁层形态变化的多流体全球数值模拟研究；
- (5) 承担国家自然科学基金面上项目一项：太阳风与火星相互作用的全球动力学磁流体数值模拟；
- (6) 承担国家自然科学基金面上项目一项：太阳活动周预报的物理基础和预报方法研究；
- (7) 承担国家自然科学基金外国青年学者项目一项：CME 和 CIR 磁暴期间的亚极光区极化流的激发和特征研究。

请选择本年度内主要重点任务填写以下信息

序号	项目/课题名称	编号	负责人	起止时间	经费 (万元)	类别
1	磁层动力学	41821003	曹晋滨	2019.01-2024.12	1200	国家自然科学基金创新群体项目
2	月表中性原子及粒子辐射环境研究	41941001	曹晋滨	2019.08-2022.12	300	国家自然科学基金重点项目
3	XXX 卫星研制	11772024	曾立	2019.1-2022.12	600	国家发改委民用空间基础设施建设设施项目
4	投掷角相关的辐射带径向扩散机制研究	41974194	刘文龙	2020.01-2023.12	64	国家自然科学基金面上项目
5	内磁层电流系统动力学和能量输运	41874193 (303MS XM20181 33005)	Malcolm Dunlop	2019.01-2022.12	63	国家自然科学基金

6	等离子体层粒子逃逸对磁层顶影响研究	20500002 02013307	李柳元	2020.08- 2020.12	10	横向课题
7	霍尔推力器长寿命试验	13200002 02013300 1	汤海滨	2020.09- 2020.12	147	北京控制工程研究所横向
8	超高比冲大功率电磁推进技术	10800002 02013300 1	汤海滨	2019.07- 2020.10	152	军队装备预研基金纵向
9	大功率磁等离子体推进拨款协议	12200002 01913300 2	汤海滨	2019.01- 2021.12	320	国防科工局纵向
10	某霍尔推力器研究	12200002 01913300 1	汤海滨	2019.01- 2021.12	80	国防科工局纵向
11	磁喷管中带电粒子加速、分离和磁反馈机制研究	303MSX M2018133 003	汤海滨	2019.01- 2022.12	39	国家自然科学基金纵向
12	微型电推进用羽流参数诊断装置研制	20500002 01913301 0	张尊	2019.12- 2020.12	15	北京控制工程研究所横向
13	吸气式电推进性能测试试验	20500002 02013300 2	张尊	2020.09- 2020.10	24.9	北京卫星环境工程研究所横向
14	线性气动磁镜约束等离子体推进	13000002 02013300 1	张尊	2020.04- 2021.04	15	上海空间推进研究所横向
15	微牛量级推力测量系统	20100002 02013300 4	张尊	2020.08- 2021.02	30	大连理工大学横向
16	栅极螺旋波离子推力器等离子体二阶加速过程的时空演化	30300002 01913300 1	张尊	2019.01- 2021.12	25	国家自然科学基金
17	双小行星系统不规则引力场中的轨道动力学与控制	11872007	王悦	2019.1- 2022.12	63	国家自然科学基金面上项目
25	地球等离子体层和辐射带的交叉耦合效应	41874192	李柳元	2019.01- 2022.02	63	国家自然科学基金面上项目
26	引力规范对偶及其在拓扑物态中的应	11875083	刘焱	2019.01- 2022.12	60	国家自然科学基金

	用					面上项目
27	磁层离子沉降对环电流—电离层体系的影响	41974192	於益群	2020.01-2023.12	63	国家自然科学基金面上项目
28	太阳活动周预报的物理基础和预报方法研究	11873023	姜杰	2019.01-2022.12	63	国家自然科学基金面上项目
29	电子尺度的偶极化锋面动力学	41874188	符慧山	2019.01-2022.12	63	国家自然科学基金面上项目
30	利用全粒子模拟研究电离层对磁尾重联的响应	41874189	Keizo Fujimoto	2019.01-2022.12	63	国家自然科学基金面上项目
31	国家级人才计划	无	蔡仲雨	2019.01-2022.12	200	中组部人才项目
32	北京航空航天大学人才计划	无	蔡仲雨	2019.01-2022.12	200	北京航空航天大学国家级人才项目配套经费
33	太阳风湍流离子尺度上的谱拐点及湍流耗散机制的观测研究	41874199	王新	2019.01-2022.12	65	国家自然科学基金面上项目
34	观测研究太阳风湍流串级耗散过程	YWF-20-BJ-J-1023	王新	2020-03-2022-12	50	北京航空航天大学第十批青年拔尖人才支持计划
35	低成本钾离子电池	YWF-20-BJ-J-1024	王伟	2020-03-2022-12	50	北京航空航天大学第十批青年拔尖人才支持计划

### 三、队伍建设与人才培养

#### 1.各研究方向及研究队伍

序号	研究方向	学术带头人	主要骨干
1	空间环境监测关键技术方向	曹晋滨	汤海滨, 相艳, 卢善富, 韩潮, 徐明, 王悦, 贾英宏, 金磊, 钟睿, 桂海潮, 曾立, 陈培, 孙秀聪, 王晓慧, 王新升, 刘升刚, 陈昱, 王伟
2	空间环境信息处理方向	符慧山	宋友, Dunlop, 刘焱, 吕卫锋, 张海青, 任军学, 王一白, 李柳元, 马玉端, 王新, 杨俊英, 李星, 杜博文, 王德庆, 刘成明
3	空间环境建模仿真方向	於益群	刘文龙, 姜杰, 藤本桂三, 朱天乐, 吕浩宇, 曾小岚, 李兴华, 申芳霞, 王海宁, 张劲, 李想, 孙也

#### 2.本年度固定人员情况

序号	姓名	类型	性别	学位	职称	年龄	在实验室工作年限
1	曹晋滨	研究人员	男	博士	教授/长江杰青	56	2年
2	符慧山	研究人员	男	博士	教授/青年千人	37	2年
3	於益群	研究人员	女	博士	教授/青年千人	37	2年
4	汤海滨	研究人员	男	博士	教授	50	2年
5	相艳	研究人员	女	博士	教授/优青	46	2年
6	卢善富	研究人员	男	博士	副教授/优青	40	2年

7	韩潮	研究人员	男	博士	教授	60	2年
8	徐明	研究人员	男	博士	副教授	39	2年
9	王悦	研究人员	男	博士	副教授	33	2年
10	贾英宏	研究人员	男	博士	副教授	44	2年
11	金磊	研究人员	女	博士	副教授	38	2年
12	钟睿	研究人员	男	博士	副教授	36	2年
13	桂海潮	研究人员	男	博士	副研究员	34	2年
14	曾立	研究人员	男	博士	副研究员	44	2年
15	陈培	研究人员	男	博士	副教授	41	2年
16	孙秀聪	技术人员	男	博士	讲师	32	2年
17	王晓慧	技术人员	女	博士	讲师	42	2年
18	王新升	技术人员	男	博士	讲师	47	2年
19	刘升刚	技术人员	男	博士	高级工程师	37	2年
20	陈昱	技术人员	女	硕士	助理实验员	34	2年
21	宋友	研究人员	男	博士	教授	47	2年
22	M. Dunlop	研究人员	男	博士	教授/外专千人	63	2年
23	刘焱	研究人员	男	博士	教授/青年千人	36	2年
24	吕卫锋	研究人员	男	博士	教授	48	2年
25	张海青	研究人员	男	博士	副教授	37	2年
26	任军学	研究人员	男	博士	副教授	40	2年
27	王一白	研究人员	男	博士	副教授	44	2年
28	李柳元	研究人员	男	博士	副研究员	46	2年

29	马玉端	研究人员	女	博士	副研究员	43	2年
30	王新	研究人员	女	博士	副教授	31	2年
31	杨俊英	技术人员	女	博士	讲师	38	2年
32	李星	技术人员	女	博士	讲师	33	2年
33	杜博文	技术人员	男	博士	讲师	38	2年
34	王德庆	技术人员	男	博士	助理教授	38	2年
35	刘文龙	研究人员	男	博士	副教授/青年长江	40	2年
36	姜杰	研究人员	女	博士	教授/优青	41	2年
37	藤本桂 三	研究人员	男	博士	研究员/青年千人	43	2年
38	朱天乐	研究人员	男	博士	教授	57	2年
39	吕浩宇	研究人员	男	博士	教授	42	2年
40	曾小岚	技术人员	女	博士	副教授	57	2年
41	李兴华	研究人员	男	博士	副教授	48	2年
42	申芳霞	研究人员	女	博士	副教授	32	2年
43	王海宁	研究人员	男	博士	副教授	37	2年
44	张劲	技术人员	男	博士	讲师	33	2年
45	李想	技术人员	男	博士	副教授	34	2年
46	孙也	技术人员	女	硕士	高级实验师	35	2年
47	蔡仲雨	研究人员	男	博士	研究员/青年千人	38	1.5年
48	张尊	研究人员	女	博士	讲师	36	1.5年
49	刘成明	研究人员	男	博士	副教授	27	0.2年
50	王伟	研究人员	男	博士	教授	34	0.9

注：固定人员包括研究人员、技术人员和管理人员三种类型。

### 3.本年度流动人员情况

序号	姓名	类型	性别	学位	职称	年龄	在实验室工作年限
1	喻晓	博士后	男	博士	/	34	2
2	Raju Avinash	博士后	男	博士	/	32	2
3	Narain Gaurav	博士后	男	博士	/	36	2
4	Hazra Gopal	博士后	男	博士	/	30	2
5	Shreedevi Porunakatu	博士后	女	博士	/	36	2
6	Devanandhan Selvaraj	博士后	男	博士	/	34	2
7	徐印	博士后	女	博士	/	31	1.5
8	刘明珠	博士后	男	博士	/	30	0.5
9	曲超	博士后	男	博士	/	27	0.5
10	陈果	访问学者	女	博士	/	30	2

注：流动人员包括博士后流动人员、访问学者、其他三种类型。

### 4. 人才培养

简述实验室人才培养的代表性举措和效果。

加大高端人才引育，鼓励教师利用国内外学术会议等渠道，积极宣传，物色人选。同时加快自身人才的培育工作，在科研项目申报、人才奖励计划等方面做好支持推荐工作。利用“唯实论坛”等平台，加强与国内外优秀人才的沟通，吸引他们加入重点实验室。在国际国内学术会议、学会组织和网络上进行宣传，吸引有潜力的年轻科研人员，并在国际范围内物色具有竞争力的优秀人才。

本年度，实验室在人才引进和人才培养两方面都取得了成效。在人才引进方面，哈佛大学王伟博士通过北航卓越百人计划正教授的渠道加入了实验室；在人才培养方面，实验室培养的2020届博士生刘成明同学已通过学校的相关评审，破格以副教授正式加盟实验室。

## 四、开放交流与运行管理

### 1. 开放交流

#### (1) 开放课题设置

简述实验室在本年度内设置开放课题情况。						
实验室的经费主要来自于国家纵向任务，学校提供的经费只能用于科研条件建设和科研仪器购买，因此本年度只设置了3个开放课题。						
序号	课题名称	经费额度	承担人	职称	承担人单位	起止时间
1	月球环境数据处理和模拟计算	30万	苏振鹏	教授	中国科学技术大学	2020年4月24日~2022年12月31日
2	月表中性原子及粒子辐射环境研究	30万	史全岐	教授	山东大学	2020年1月7日~2022年12月31日
3	月表中性原子及粒子辐射环境研究	30万	张辉	研究员	中国科学院地质与地球物理研究所	2020年1月7日~2022年12月31日

#### (2) 主办或承办大型学术会议情况

序号	会议名称	主办单位	会议主席	召开时间	参加人数	类别
1	中国电推进会议	中国宇航学会电推进专业委员会	吴建军少将/副校长	2020.12.26	200	全国性
2	国际磁重联研讨会	北航，科大，南昌大学	吉瀚涛&陆全明教授	2020.08.24-08.25(线上)	120	国际

注：请按全球性、地区性、双边性、全国性等类别排序，并在类别栏中注明。

### (3) 国内外学术交流与合作情况

列出实验室在本年度国内外学术交流与合作情况。

本年度虽然受到新冠疫情的影响,但实验室科研人员和研究生仍然积极开展国内外学术交流,包括:利用线上会议的形式参加了美国地球空间环境模拟(GEM)会议 4 人次,欧洲地球物理年会 5 人次,美国地球物理学会秋季会议 6 人次,美国地球空间系统创新中心研讨会 1 人次,美国空间天气模拟框架进展研讨会 1 人次,韩国亚太理论物理中心学术研讨会 1 人次,第 71 届国际宇航大会(IAC)2 人次,博士生赴英国华威大学、英国卢瑟福实验室等国外知名大学和科研机构进行短期学术交流 2 人次。同时,实验室培养国际留学生 2 人。本年度师生参加国内学术会议和学术交流 120 余人次(包括线上和线下)。

## 2. 运行管理

### (1) 学术委员会成员

序号	姓名	性别	职称	年龄	所在单位	是否外籍
1	王赤	男	院士	53	国家空间科学中心	否
2	窦贤康	男	院士	54	武汉大学	否
3	曹晋滨	男	教授	56	北京航空航天大学	否
4	冯学尚	男	研究员	56	国家空间科学中心	否
5	崔峻	男	教授	46	中山大学 / 国家天文台	否
6	韩潮	男	教授	60	北京航空航天大学	否
7	吕卫锋	男	教授	48	北京航空航天大学	否
8	符慧山	男	教授	37	北京航空航天大学	否
9	傅绥燕	女	教授	53	北京大学	否
10	宗秋刚	男	教授	54	北京大学	否
11	刘立波	男	研究员	50	中科院地质与地球物理研究所	否
12	张铁龙	男	教授	58	哈尔滨工业大学(深圳)	是 (千人计划)

## (2) 学术委员会工作情况

简要介绍本年度召开的学术委员会情况。

由于原学术委员会主任万卫星院士 2020 年 5 月去世。我们推荐了中科院国家空间科学中心主任王赤院士担任学术委员会主任。由于新冠疫情原因，原定于 2020 年 12 月举行的学术委员会推迟。将视疫情发展择机于 2021 年 1 月举行。

## (3) 依托单位支持情况

简要介绍依托单位本年度为实验室提供实验室建设和基本运行经费、科研场所和仪器设备等条件保障情况。

依托单位北京航空航天大学为重点实验室科研场所提供了很好的保障，并对实验室提供了资金方面资助，在 2020 年共计提供 146 万元用于购买仪器。实验室在此经费资助下，建设完成了手动探针台测试系统、集成处理系统、台式扫描电镜和精密单通道扫频信号源等系统的建设任务。这些系统的建设完成为 XXX 卫星感应式磁力仪研制测试及量子技术的研究提供了保障。

### 3. 仪器设备情况

简述本年度实验室大型仪器的使用、开放共享情况。

仪器设备开放共享，鼓励校内及校外科研人员进行共享使用。例如：

- (1) 与航天科技集团 513 所共同完成了 XXX 卫星角位移计载荷的测试工作，共享使用了低频磁屏蔽系统、集成处理系统和超低温环境模拟系统等设备。
- (2) 与航天科技集团 502 研究所共同完成了 1350W 霍尔推力器的 1000h 长寿命测试，共享使用了高真空地面模拟系统、自研的法拉探针、Langmuir 静电探针等侵入式诊断仪器以及光学腐蚀诊断测量装置。
- (3) 与航天科技集团六院 801 研究所共同进行了 682W 霍尔推力器 3000h 长寿命测试，共享使用了地面真空模拟系统以及自研静电探针、高精度微推力架等测量仪器。
- (4) 与浙江大学合作进行先进冷气微推力器的微小推力测量研究，共享使用了大型真空系统以及高精度温漂抑制型靶推力测量装置。
- (5) 与航天科技集团 502 研究所共同完成了 10-50 kW 级大功率磁动力等离子体推进系统的性能测试及其束流等离子体诊断工作，共享使用了真空系统及等离子体诊断仪器。
- (6) 与航天科技集团 801 研究所共同承担了小功率 100 W 霍尔等离子体动力系统的研发、性能测试、等离子体诊断测试，共享了光谱仪及自研的等离子体诊断仪器。
- (7) 与航天科工集团 206 所合作测试磁动力等离子体推进系统的性能及等离子体参数分布，共享使用了真空系统、空心阴极及等离子体诊断仪器。

## 五、2020 年建设成效一览表

表一 建设成果获奖清单

序号	所获奖项	成果名称	获奖类型	备注
			国家级/ 地方级	

表二 论文发表情况

序号	论文（含作者、标题、期刊等信息，建议按 GB/TB7714-2005 格式）	备注
1	Fu, H. S., E. E. Grigorenko, C. Gabrielse, C. Liu, S. Lu, K.-J. Hwang, X. Zhou, Z. Wang, F. Chen (2020), Magnetotail dipolarization fronts and particle acceleration: A review, <i>Sci. China Earth Sci.</i> , 63, 235–256, doi:10.1007/s11430-019-9551-y	SCI
2	Fu, H. S., F. Chen, Z. Z. Chen, Y. Xu, Z. Wang, Y. Y. Liu, C. M. Liu, Y. V. Khotyaintsev, R. E. Ergun, B. L. Giles, and J. L. Burch (2020), First measurements of electrons and waves inside an electrostatic solitary wave, <i>Phys. Rev. Lett.</i> , 124, 095101, doi:10.1103/PhysRevLett.124.095101	SCI
3	Fu, H. S., M. J. Zhao, Y. Yu, and Z. Wang (2020), A new theory for energetic electron generation behind dipolarization front, <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 47, e2019GL086790, doi:10.1029/2019GL086790.	SCI
4	Fu, H. S., Z. Wang, Q. G. Zong, X. H. Chen, J. S. He, A. Vaivads, and V. Olshevsky (2020), Methods for finding magnetic nulls and reconstructing field topology: A review, <i>Geophysical Monograph Series</i> , 248, 153–172, doi:10.1002/9781119509592.ch9	SCI
5	Liu, C. M., H. S. Fu, Y. Y. Liu, Z. Wang, G. Chen, Y. Xu, and Z. Z. Chen (2020), Electron pitch-angle distribution in Earth's magnetotail: Pancake, cigar, isotropy, butterfly and rolling-pin, <i>J. Geophys. Res. Space Physics</i> , 125, e2020JA027777, doi:10.1029/2020JA027777	SCI
6	Wang, Z., H. S. Fu, V. Olshevsky, Y. Y. Liu, C. M. Liu, and Z. Z. Chen (2020), Extending the FOTE method to three-dimensional plasma flow fields, <i>Astrophys. J. Suppl. S.</i> , 249, 10, doi:10.3847/1538-4365/ab95a0	SCI
7	Wang, Z., H. S. Fu, A. Vaivads, J. L. Burch, Y. Yu, and J. B. Cao (2020), Monitoring the spatio-temporal evolution of a reconnection X-line in space, <i>Astrophys. J. Lett.</i> , 899, L34, doi:10.3847/2041-8213/abad2c	SCI
8	Liu, Y. Y., H. S. Fu, Q. G. Zong, Z. Wang, C. M. Liu, S. Y. Huang, Z. Z. Chen, Y. Xu, Q. Q. Shi, S. T. Yao (2020), First topology of electron-scale magnetic hole, <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 47, e2020GL088374, doi:10.1029/2020GL088374.	SCI
9	Chen, Z. Z., Wang, T. Y., Yu, Y., Chen, F. (2020), Relationship between Current Filaments and Turbulence During a Turbulent Reconnection. <i>The Astrophysical Journal Letters</i> , 888, L16, doi:10.3847/2041-8213/ab61fe.	SCI

10	Yu, Y., Chen, Z. Z., Chen, F. (2020). Cold and Dense Plasma Sheet Caused by Solar Wind Entry: Direct Evidence. <i>Atmosphere</i> , 11(8), 831, doi:10.3390/atmos11080831.	SCI
11	Yu, Y., Tian, X., & Jordanova, V. K. (2020). The effects of field line curvature (FLC) scattering on ring current dynamics and isotropic boundary. <i>Journal of Geophysical Research: Space Physics</i> , 125, e2020JA027830. <a href="https://doi.org/10.1029/2020JA027830">https://doi.org/10.1029/2020JA027830</a>	SCI
12	Tian, X., Yu, Y., & Yue, C. (2020). Statistical survey of storm-time energetic particle precipitation. <i>Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics</i> , 199, 204, doi:10.1016/j.jastp.2020.105204	SCI
13	Li, X., Wan, W., Cao, J., Chen, T., & Ren, Z. (2020). Hough mode decomposition of the SE2 tide extracted from TIMED observations. <i>Journal of Geophysical Research: Space Physics</i> , 125, doi:10.1029/2020JA027898	SCI
14	Li, X., Wan, W. X., Cao, J. B., and Ren, Z. P. (2020). The source of tropospheric tides. <i>Earth Planet. Phys.</i> , 4(5), 449–460. doi:10.26464/epp2020049	
15	Li, X., Wan, W. X., Cao, J. B., and Ren, Z. P. (2020). Wavenumber-4 spectral component extracted from TIMED/SABER observations. <i>Earth Planet. Phys.</i> , 4(5), 436–448. doi:10.26464/epp2020040	
16	Wang, X., Tu, C., and He, J. (2020), Fluctuation Amplitudes of Magnetic-field Directional Turnings and Magnetic-velocity Alignment Structures in the Solar Wind, <i>The Astrophysical Journal</i> , 903, 72, doi:10.3847/1538-4357/abb883	SCI
17	Xiao, C., Liu, W. L., Zhang, D. J., and Zhang, Z. (2020). A normalized statistical study of Earth's cusp region based on nine-years of Cluster measurements, <i>Earth Planet. Phys.</i> , 4(3), 266–273. <a href="http://doi.org/10.26464/epp2020031">http://doi.org/10.26464/epp2020031</a>	
18	Zhang, D., Liu, W., Li, X., Sarris, T. E., Wang, Y., Xiao, C., et al. (2020). Relation between shock-related impulse and subsequent ULF wave in the Earth's magnetosphere. <i>Geophysical Research Letters</i> , 47, e2020GL090027. <a href="https://doi.org/10.1029/2020GL090027">https://doi.org/10.1029/2020GL090027</a>	SCI
19	XIAO Chao, LIU WenLong, ZHANG DianJun, et al. 2020. Formation of the high-density cusp, <i>Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)</i> , 63(9): 3231-3239, doi:10.6038/cjg2020N0424	SCI
20	Ma Y, Yang J, Dunlop M W , et al. Energy Budget of High-speed Plasma Flows in the Terrestrial Magnetotail[J]. <i>The Astrophysical Journal</i> , 2020, 894, 16, Doi:10.3847/1538-4357/ab83fd	SCI
21	Dong, X.-C., Dunlop, M. W., Wang, T.-Y., Trattner, K. J., Russell, C. T., & Giles, B. (2020). MMS observation of secondary magnetic reconnection beside ion-scale flux rope at the magnetopause. <i>Geophysical Research Letters</i> , 47, e2020GL089075. <a href="https://doi.org/10.1029/2020GL089075">https://doi.org/10.1029/2020GL089075</a>	SCI

22	Dunlop, M. W. J.-Y. Yang, Y-Y. Yang, H. Lühr and J.-B. Cao (2020), Multi-spacecraft current estimates at Swarm, in Multi-satellite data analysis, edited by M W Dunlop and H Luehr, ISSI scientific reports volume 17, Springer, DOI:10.1007/978-3-030-26732-2_5.	SCI
23	Lu H Y, Ge Y S, Sun C. Ion acceleration at dipolarization fronts associated with the interchange instability in Earth's magnetotail. Sci China Tech Sci, 2020, 63: 2375–2383, <a href="https://doi.org/10.1007/s11431-019-1505-6">https://doi.org/10.1007/s11431-019-1505-6</a>	SCI
24	Li, S. B., Lu, H. Y., Cui, J., Yu, Y. Q., Mazelle, C., Li, Y., and Cao, J. B. (2020). Effects of a dipole-like crustal field on solar wind interaction with Mars. Earth Planet. Phys., 4(1), 23–31. doi: 10.26464/epp2020005	
25	Jiang, J. (2020), Nonlinear Mechanisms that Regulate the Solar Cycle Amplitude, ApJ, 900, 19, doi: 10.3847/1538-4357/abaa4b	SCI
26	K. Landsteiner, Y. Liu, Y.-W. Sun, Holographic topological semimetals, Sci.China Phys.Mech.Astron. 63 (2020) 5, 250001, doi:10.1007/s11433-019-1477-7	SCI
27	Y. Liu, A. Raju, Quantum Chaos in Topologically Massive Gravity, JHEP 12 (2020) 027, doi:10.1007/JHEP12(2020)027	SCI
28	X. X. Zeng and H. Q. Zhang, Influence of quintessence dark energy on the shadow of black hole, Eur. Phys. J. C 80 (2020) no.11, 1058, doi:10.1140/epjc/s10052-020-08656-7	SCI
29	X. X. Zeng, H. Q. Zhang and H. Zhang, Shadows and photon spheres with spherical accretions in the four-dimensional Gauss-Bonnet black hole, Eur. Phys. J. C 80 (2020) no.9, 872, doi:10.1140/epjc/s10052-020-08449-y	SCI
30	Z. H. Li, C. Y. Xia, H. B. Zeng and H. Q. Zhang, Formation and critical dynamics of topological defects in Lifshitz holography, JHEP 04 (2020), 147, doi:10.1007/JHEP04(2020)147	SCI
31	X. X. Zeng and H. Q. Zhang, Thermodynamics and weak cosmic censorship conjecture in the Kerr-AdS black hole, Nucl. Phys. B, 959, (2020), 115162, doi:10.1016/j.nuclphysb.2020.115162	SCI
32	X. X. Zeng and H. Q. Zhang, Thermodynamics and weak cosmic censorship conjecture in Born-Infeld-anti-de Sitter black holes, Accepted.	SCI
33	Li, L. Y., Zhou, S. P., Wei, S. H., Yang, J. Y., Sauvaud, J. A., & Berthelier, J. J. (2020). The day-night difference and geomagnetic activity variation of energetic electron fluxes in region of South Atlantic anomaly. Space Weather, 18, e2020SW002479. <a href="https://doi.org/10.1029/2020SW002479">https://doi.org/10.1029/2020SW002479</a> .	SCI
34	Wang, J. L., Li, L. Y., & Yu, J. (2020). Statistical relationship between exohiss waves and plasmaspheric hiss. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL087023. <a href="https://doi.org/10.1029/2020GL087023">https://doi.org/10.1029/2020GL087023</a>	SCI

35	Liu, Y. Z., Ren, J. X. , Cao, S. , Zhang, G. C. , Zhang, Z. , Tang, H. B (2020), Effect of low-frequency disturbance on self-sustained discharge of hollow cathode, Journal of Physics D: Applied Physics, 53, 425205, doi: 10.1088/1361-6463/ab97db	SCI
36	Yuan, T. N., J. X. Ren, J. Zhou , Z. Zhang, Y. B. Wang, and H. B. Tang (2020), The effects of numerical acceleration techniques on pic-mcc simulations of ion thrusters, AIP Advances, 10(4), 045115,doi:10.1063/1.5113561	SCI
37	Pan, R., Ren, J., Tang, H., Cao, S., Li, J., Zhang, Z., ... & Cao, J. (2020). Application of the view factor model on the particle-in-cell and Monte Carlo collision code. Physical Review E, 102(3), 033311, doi:10.1103/PhysRevE.102.033311	SCI
38	Zhang, K., Wang, Y., Tang, H., Li, Y., Wang, B., York, T. M., & Yang, L. (2020). Two-dimensional analytical investigation into energy conversion and efficiency maximization of magnetohydrodynamic swirling flow actuators. Energy, 209, 118479, doi: 10.1016/j.energy.2020.118479	SCI
39	Zhang, G. C., Ren, J. X., Liang W., Ouyang, N., Lu,C., and Tang, H. B. (2020), Coupling plasma plume of a low-power magnetically shielded Hall thruster with a hollow cathode, Chinese Journal of Aeronautics, j.cja.2020.03.023, doi: 10.1016/j.cja.2020.03.023	SCI
40	Chen, Z., Wang, Y., Tang, H., Ren, J., Li, M., Zhang, Z., ... & Cao, J. (2020). Electric potential barriers in the magnetic nozzle. Physical Review E, 101(5), 053208, doi: 10.1103/PhysRevE.101.053208	SCI
41	Zhang, Z., Zhang Z., Tang, H. B., Ling, W. Y. L., Chen, Z. Y., Ren, J. X., Cao, J. B. (2020), Measurement of the Distribution of Charge Exchange Ions in a Hall-effect Thruster Plume, Plasma Sources Science and Technology, 29, 085001,doi:10.1088/1361-6595/aba12c	SCI
42	Zhang, Z., Zhang, Z., Tang, H. B., Ling, W. Y. L., Chen, Z., Ren, J., Cao, J. B. (2020), Time-resolved investigation of the plasma plume asymmetrical characterization in a pulsed plasma thruster, Journal of Physics D: Applied Physics, 53(47), 475201,doi: 10.1088/1361-6463/abab2a	SCI
43	Xu, S., Zhang, Z., Mechanism Analysis of Smart Cue on Aircraft for Loss of Control Mitigation (2020), IEEE Access, 8(1), 58522-58532,doi: 10.1109/ACCESS.2020.2981047	SCI
44	Zhang, Z., Zhang, Z., Ling, W. Y. L., Tang, H. B., Qi, J. Y., Cao, J. B., Diagnostic of Electrons Velocity in Ambipolar diffusion in a pulsed plasma thruster (2020), Plasma sources science and technology, 29, 045006, doi: 10.1088/1361-6595/ab760a	SCI
45	Wu, P., Wang, Y., Li, Y., Wang, B., Zhang, K., Tang, H., & Cao, J. (2020). Cathode erosion site distributions in an applied-field magnetoplasmadynamic thruster. Plasma Science and Technology, 22(9), 094008, doi:10.1088/2058-6272/ab9172	SCI

46	Han, X., Zhang, Z., Chen, Z., Marano, M., Tang, H., & Cao, J. (2020). High-spatial-resolution electron temperature and density measurement method for very-near field of an AF-MPD thruster based on image reconstruction. <i>Journal of Physics D: Applied Physics</i> , doi: 10.1088/1361-6463/abd504	SCI
47	Zhang, Z., Zhang, Z., Haibin, T. A. N. G., & Ouyang, J. (2020). Electron population properties with different energies in a helicon plasma source. <i>Plasma Science and Technology</i> , 23(1), 015401, doi: 10.1088/2058-6272/abae4a/meta	SCI
48	Zhang, Z., Xie, K., Wang, H., Tan, C., & Ouyang, J. (2020), Beam Plasma Characteristics of a Helicon Plasma Source Measured by a Spatially Resolved Optical Emission Spectroscope. <i>IEEE Transactions on Plasma Science</i> , 48(7), 2487-2494, doi:10.1109/TPS.2020.3000245	SCI
49	Cao, S., Wang, X., Ren, J., Ouyang, N., Zhang, G., Zhang, Z., & Tang, H. (2020), Performance and plume evolutions during the lifetime test of a Hall-effect thruster. <i>Acta Astronautica</i> , 170, 509-520, doi:10.1016/j.actaastro.2019.12.036	SCI
50	Wang, Y., Fu, T.. Semi-analytical orbital dynamics around the primary of a binary asteroid system, <i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> , 495(3), 3307–3322 (2020), DOI: 10.1093/mnras/staa1229	SCI
51	Wang, Y., Luo, X., Wu, X.. Long-term evolution and lifetime analysis of geostationary transfer orbits with solar radiation pressure, <i>Acta Astronautica</i> , 175, 405–420 (2020), DOI: 10.1016/j.actaastro.2020.06.007	SCI
52	Wang, Y., Wu, X.. Analysis of Phobos' dynamical environment considering effects of ephemerides and physical libration, <i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> , 497(1), 416–434 (2020), DOI: 10.1093/mnras/staa1948	SCI
53	Zhang, R., Wang, Y., Shi, Y., Xu, S.. Libration points and periodic orbit families near a binary asteroid system with different shapes of the secondary, <i>Acta Astronautica</i> , 177, 15–29 (2020), DOI: 10.1016/j.actaastro.2020.07.006	SCI
54	Zhang, R., Wang, Y., Zhang, H., Zhang, C.. Transfers from distant retrograde orbits to low lunar orbits, <i>Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy (Topical Collection: Toward the Moon and Beyond)</i> , 132: 41 (2020), DOI: 10.1007/s10569-020-09982-4	SCI
55	吴晓杰, 王悦, 徐世杰, 火卫一周期准卫星轨道及入轨分析, <i>北京航空航天大学学报</i> , Vol. 46, No. 6, 1133-1141 (2020) doi: 10.13700/j.bh.1001-5965.2019.0391	EI
56	He X , Liang Y , Ming X , et al. Low-thrust transfer to the Earth-Moon triangular libration point via horseshoe orbit[J]. <i>Acta Astronautica</i> , 2020, 177:111-121, doi: 10.1016/j.actaastro.2020.07.014	SCI

57	Liang Y , Xu M , Peng K , et al. A cislunar in-orbit infrastructure based on p: q resonant cycloidal orbits[J]. <i>Acta Astronautica</i> , 2020, 170, doi: 10.1016/j.actaastro.2020.02.029	SCI
58	Pan X, Quarta A A, Mengali G, et al. Linearized relative motion and proximity control of E-sail-based displaced orbits[J]. <i>Aerospace Science and Technology</i> , 2020, 99: 105574, doi:10.1016/j.ast.2019.105574	SCI
59	Pan X , Xu M , Dong Y , et al. Relative Dynamics and Station-Keeping Strategy of Satellite–Sail Transverse Formation[J]. <i>Journal of Guidance, Control, and Dynamics</i> , 2020(2):1-9, doi: 10.2514/1.G005349	SCI
60	Qu Q, Lin M, Xu M. Lagrangian coherent structures in the planar parabolic/hyperbolic restricted three-body problem[J]. <i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> , 2020, 493(2): 1574-1586, doi: 10.1093/mnras/staa199	SCI
61	Lin M, Zheng Y, Xu M. Application of Lagrangian coherent structures to Coulomb formation on elliptic orbit[J]. <i>Nonlinear Dynamics</i> , 2020: 1-20, doi: 10.1007/s11071-020-05968-x	SCI
62	Luo T, Pucacco G, Xu M. Lissajous and halo orbits in the restricted three-body problem by normalization method[J]. <i>Nonlinear Dynamics</i> , 2020, 101(4): 2629-2644, doi: 10.1007/s11071-020-05875-1	SCI
63	Lin M, Fu X, Xu M, et al. Coulomb spacecraft formation flying: Equilibrium points, periodic orbits, and center manifolds[J]. <i>Physica D: Nonlinear Phenomena</i> , 2020, 404: 132357, doi:10.1016/j.physd.2020.132357	SCI
64	Khotyaintsev, Yu. V., D. B. Graham, K. Steinvall, L. Alm, A. Vaivads, A. Johlander, C. Norgren, W. Li, A. Divin, H. S. Fu, K.-J. Hwang, J. L. Burch, et al. (2020), Electron heating by Debye-scale turbulence in guide-field reconnection, <i>Phys. Rev. Lett.</i> , 124, 045101, doi:10.1103/PhysRevLett.124.045101	SCI
65	Hwang, K.-J., K. Dokgo, E. Choi, J. L. Burch, D. G. Sibeck, B. L. Giles, H. Hasegawa, H. S. Fu, Y. Y. Liu, Z. Wang, et al. (2020), Magnetic reconnection inside a flux rope induced by Kelvin-Helmholtz vortices, <i>J. Geophys. Res. Space Physics</i> , 125, e2019JA027665, doi:10.1029/2019JA027665	SCI
66	Wang, S., R. Wang, Q. Lu, H. S. Fu, S. Wang (2020), Direct evidence of secondary reconnection inside filamentary currents of magnetic flux ropes during magnetic reconnection, <i>Nat. Commun.</i> , 11, 3964, doi:10.1038/s41467-020-17803-3	SCI

67	Dai, L., C. Wang, Z. Cai, W. Gonzalez, M. Hesse, P. Escoubet, T. Phan, V. Vasyliunas, Q. Lu, L. Li, L. Kong, M. Dunlop, R. Nakamura, J. He, H. S. Fu, M. Zhou, S. Huang, R. Wang, Y. Khotyaintsev et al. (2020), AME: A Cross-Scale Constellation of CubeSats to Explore Magnetic Reconnection in the Solar-Terrestrial Relation, <i>Front. Phys.</i> , 8, 89, doi:10.3389/fphy.2020.00089.	SCI
68	Yao, S. T., Q. Q. Shi, R. L. Guo, Z. H. Yao, H. S. Fu, A. W. Degeling, Q. G. Zong, X. G. Wang, et al. (2020), Kinetic-scale flux rope in the magnetosheath boundary layer, <i>Astrophys. J.</i> , 897, 137, doi:10.3847/1538-4357/ab9620.	SCI
69	Olshevsky, V., D. I. Pontin, B. Williams, C. E. Parnell, H. S. Fu, Y. Liu, S. Yao, and Y. V. Khotyaintsev (2020), A comparison of methods for finding magnetic nulls in simulations and in situ observations of space plasmas, <i>Astronomy &amp; Astrophysics</i> , 644, A150, doi:10.1051/0004-6361/202039182	SCI
70	Zhang, J. J., Yu, Y. Q., Wang, C., Du, D., Wei, D., & Liu, L. G. (2020). Measurements and simulations of the geomagnetically induced currents in low-latitude power networks during geomagnetic storms. <i>Space Weather</i> , 18, e2020SW002549. <a href="https://doi.org/10.1029/2020SW002549">https://doi.org/10.1029/2020SW002549</a>	SCI
71	Mu, Q., Zhang, Q. *, Yu, W., Su, M., Cai, Z., Cui, K., Ye, Y., Liu, X., Deng, L., Chen, B., Yang, N., Chen, L., Tao, L., Wei, Y.(2020), Robust Multiscale Orientated Thermoresponsive Fibrous Hydrogels with Rapid Self-Recovery and Ultra-Fast Response Underwater, <i>ACS Applied Materials &amp; Interfaces</i> , 12, (29), 33152-33162.	SCI
72	Zhang, Y, Li Yi, Wang, H, Chen, S, Guo, X, Xu, S., Cai, Z. (2020), Electrochemical behavior of NH <sub>4</sub> F-pretreated Li <sub>1.25</sub> Ni <sub>0.20</sub> Fe <sub>0.13</sub> Co <sub>0.33</sub> Mn <sub>0.33</sub> O <sub>2</sub> cathodes for lithium-ion batteries. <i>Applied Sciences</i> , 10(3), 1021.	SCI
73	Zhang, F., Yang, C., Wang, X.-X., Li, R., Wan, Z., Wang, X., Wan, Y., Long, Y.-Z., Cai, Z. (2020), Graphene Quantum Dots Doped PVDF(TBT)/PVP(TBT) Fiber Membrane with Enhanced Photocatalytic Performance. <i>Applied Sciences</i> 2020, 10(2), 596.	SCI
74	Jingxin Liu, Chang Xu, Chang Yin, Weiqiang Wu, You Song (2020), K-Core based Temporal Graph Convolutional Network for Dynamic Graphs, <i>IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering</i> , <a href="http://dx.doi.org/10.1109/TKDE.2020.3033829">http://dx.doi.org/10.1109/TKDE.2020.3033829</a>	SCI

表三 专利申请或授权情况

序号	申请或授权的专利名称	申请号或批准号	备注
1	一种高温等离子体风洞驻点瞬时热流的测量装置	ZL201910599672.1	2020 授权
2	一种电推进发动机进气结构	ZL201811298278.6	2020 授权
3	一种电推进发动机点火方式	ZL201811298276.7	2020 授权
4	一种用于微小卫星的射频等离子体源	ZL201910830575.9	2020 授权
5	一种螺旋波电磁加速等离子体源	ZL201910830582.9	2020 授权
6	一种射频补偿发射探针	ZL2019106530964	2020 授权
7	一种磁等离子体推力器的阳极结构及磁等离子体推力器	201911334867.X	2020 授权
8	一种电推力器气体分配器	ZL201910653082.2	2020 授权
9	一种电推力器阳极气体分配器	ZL201910652963.2	2020 授权
10	一种双层气腔的霍尔推力器气体分配器	ZL201910652965.1	2020 授权
11	深度集成空心阴极的阳极层霍尔推力器	ZL201910670105.0	2020 授权
12	一种用于空心阴极束流测量的 L 型平面探针	ZL201910558910.4	2020 授权
13	一种微推力架精度测量装置及测量方法	ZL201910558922.7	2020 授权
14	一种集成的探针诊断系统电路模块、诊断系统及诊断方法	ZL201910652977.4	2020 授权
15	双极多模式微阴极弧推力器	ZL201910830612.6	2020 授权
16	一种电推力器的自适应容错控制方法	ZL201910830690.6	2020 授权
17	一种分段阳极高比冲脉冲等离子体推力器	ZL201910986475.5	2020 授权

18	一种脉冲等离子体推力器的神经网络控制方法	ZL201910830706.3	2020 授权
19	一种用于等离子体速度筛选仪的均匀电磁场装置	ZL201910692358.8	2020 授权
20	一种用于电推力器推力控制的模糊系统控制方法	ZL201910830688.9	2020 授权
21	一种用于测量等离子体沉积的动态压阻探针	ZL201910986478.9	2020 授权
22	一种镉污染底泥的微生物修复方法	ZL201710315620.8	2020 授权
23	一种分流臭氧氧化协同吸收烟气脱硫脱硝装置和方法	CN110052142B	2020 授权
24	一种高效率低能耗免二次污染的低温等离子体协同催化净化室内挥发性有机物的方法和装置	CN107413175B	2020 授权

表四 技术标准的研究制定和发布情况

序号	技术标准名称	标准类型（国际/国家/行业）	备注
1	空间天气监测预警技术标准 (TC347SC3)	行业	

表五 实验室杰出人才

序号	人才类型	姓名	职务	备注
1.	长江学者/杰青	曹晋滨	主任	方向一总负责人
2	千人计划	Malcolm Dunlop		研究骨干

3	万人计划	吕卫锋		研究骨干
4	青年千人	符慧山	副主任	方向二总负责人
5	青年千人	於益群	副主任	方向三总负责人
6	优青	姜杰		研究骨干
7	青年千人	刘焱		研究骨干
8	青年长江	刘文龙		研究骨干
9	青年千人	藤本桂三		研究骨干
10	青年千人	蔡仲雨		研究骨干
11	优青	相艳		研究骨干
12	优青	卢善富		研究骨干

## 六、审核意见

### 1. 实验室负责人意见

实验室承诺所填内容属实，数据准确可靠。在实验室项目和经费方面，我们补填了 2019 年年度报告中漏填的部分项目。

实验室主任签章：

年 月 日

### 2. 依托单位意见

依托单位考核意见：

（需明确是否通过本年度考核，并提及下一步对实验室的支持）

依托单位负责人签字：

（单位公章）

年 月 日