

陕西省科学技术进步奖公示

项目名称： 宇航用质谱仪高压与射频供电关键技术

提名者： 中共陕西省委军民融合发展委员会办公室

提名意见：

宇航用质谱仪高压与射频供电关键技术为七七一所自主研发，项目组成员有：许浒、杨丰博、张奕仲、赵兴、魏琦、徐晨林、孙楚昕。研究团队全面突破了射频高压的调谐频率自适应及反馈闭环技术，高精度质谱仪驱动技术，空间环境应用中的直流高压防护技术、高频高压交流信号抗干扰技术等关键技术。研制了具有自主知识产权的挥发分分析仪模块，具有高灵敏度、轻量化、全自主的特点。满足空间用质谱探测气体挥发分，获得挥发分化学组成和含量探测数据，研究空间探测科学问题的任务需求。对空间探测所得的科学数据将为研究空间环境形成位置和活动机制等科学问题提供重要线索，填补了我国宇宙空间环境质谱分析应用供配电技术的空白。功能性能环境适应性指标均处于国内领先地位。

在项目实施过程中申请国家发明专利3项，学术论文1篇。目前项目已应用于多项航天任务，成果产品已成功在轨工作。本项目研究的宇航用质谱仪高压与射频供电关键技术，可实现深空探测质谱探测分析有效载荷的小型化、轻量化、高效化。本项目的研究成果可广泛应用于航天领域各类物质分析科学探测任务，将为航天科学探测发挥巨大的作用。

本单位认真审阅了该项目的提名书及附件材料，对照陕西省科学技术进步奖授奖条件，相关栏目填写符合科技奖励要求，材料内容真实有效，候选人、候选单位、知识产权和应用单位经公示无异议。

提名该项目为陕西省科学技术进步**三等奖**。

项目简介:

利用质谱分析装置获取地外天体大气和行星土壤元素信息,对于天体演化、资源勘探及行星宜居性研究具有重要意义。利用质谱分析装置进行星壤的挥发分测量已经成为深空探测重要任务之一。其内部电控系统中的高压与射频供电作为电控系统的关键核心,保证质谱分析装置实现高分辨率和大质量数测量范围。同时在满足供电需求的前提下,还简化、优化设计、减小体积和重量,保障其在轨工作可靠性,对载荷探测任务的成败起到了重要作用。宇航用质谱仪高压与射频供电关键技术应用于挥发分分析仪模块,满足空间用质谱探测气体挥发分,获得挥发分化学组成和含量探测数据,研究空间探测科学问题的任务需求。对空间探测所得的科学数据将为研究空间环境形成位置和活动机制等科学问题提供重要线索,填补了我国宇宙空间环境质谱分析应用供电技术的空白。功能性能环境适应性指标均处于国内领先地位。

1. 主要技术内容

(1) 全面突破了射频高压的调谐频率自适应及反馈闭环技术,高精度质谱仪驱动技术,空间环境应用中的直流高压防护技术、高频高压交流信号抗干扰技术等关键技术。

设计了一款挥发分分析仪模块,实现质谱传感器电控系统设计,在小尺寸内实现传感器供电及控制,完成对传感器的低压直流供电、高压直流信号供电、高压射频信号供电并实现相应指令控制,填补了我国宇宙空间环境质谱分析应用供电技术的空白。功能性能环境适应性指标均处于国内领先地位。

(2) 提出了一种射频高压调谐频率自适应及反馈闭环方法

针对空间环境温度差异大、环境不稳定的使用场景,提出了根据环境差异及使用需求自适应调节频率信号,通过负载与调节频率信号耦合,实现射频高压稳定调谐的方法,实现恶劣空间环境中射频高压稳定调谐,调谐频率范围达到1.5MHz~3MHz。

（3）提出了一种高压宽范围高精度质谱仪驱动技术

经运放完成信号耦合后进入射频线圈，实现电压放大，向离子阱传感器输出射频高压，并通过采样反馈，形成闭环的方法，驱动电压范围 0V~2000V 交流信号，精度达到 5‰。

（4）提出了一系列高压抗干扰及防护方法，实现了产品小型化，整合化

提出了一种高频高压交流信号的抗干扰方法。产品内部射频部分输出高频高压交流信号，通过特殊布局，设计高压线圈专用结构槽位，有效降低高频高压交流信号对线圈自身及前后端电路的干扰，保证了射频频率信号稳定调谐，前后端反馈低压信号及模拟量遥测信号不受干扰，实现高频高压信号、低压直流信号等多功能、多类型电控系统的小型化、整合化。

2. 知识产权情况

该项目研制过程中，申请国家发明专利 3 项、公开发表学术论文 1 篇。

3. 主要技术指标

- （1）空间环境中科学载荷工作温度范围-40℃~+55℃，需实现空间恶劣环境中质谱分析射频高压供电的稳定调谐；
- （2）需实现交流信号单相或双相射频信号，幅值 0V~2000V 循环变化的锯齿波包络；
- （3）空间质谱分析需要-3000V 直流高压供电，需实现小型化、整合化的直流高压供电系统及实施空间高压防护措施。

4. 应用推广及效益情况

利用质谱分析装置获取地外天体大气和行星土壤元素信息，对于天体演化、资源勘探及行星宜居性研究具有重要意义。利用质谱分析装置进行星壤的挥发分测量已经成为深空探测重要任务之一。

其内部电控系统中的供配电技术作为电控系统的关键核心，保证质谱分析装置实现高分辨率和大质量数测量范围。同时在满足供电需求的前提下，还简化、优化设计、减小体积和重量，保障其在轨工作可靠性，对载荷探测任务的成败起

到了重要作用。

在我国空间质谱工程研制面临诸多严峻挑战之时，质谱分析供配电技术的研制成功突破了多项技术难题，在涉及自动控制、电力电子、高频信号传输、仪器仪表放大、高压防护等多领域、多学科均实现了技术突破并积累了研制经验。在技术攻关的过程中，技术团队深刻梳理空间质谱分析探测的需求与目标，做好研制规划和技术攻关，统筹科学需求与技术进步，持续增强质谱探索能力。

目前，使用本项目技术的科学载荷已成功发射并工作。

后续依托中科院、五院应用需求，跟踪行业形势和用户反馈，持续优化项目解决方案，便于扩大我们的用户基础，为空间质谱分析的长期发展奠定基础。

客观评价：

宇航用质谱仪高压与射频供电关键技术的研究成功突破了多项技术难题，在涉及自动控制、电力电子、高频信号传输、仪器仪表放大、高压防护等多领域、多学科均实现了技术突破并积累了研制经验。

该项目针对深空探测质谱仪高精度测量问题，攻关了驱动电源高压宽范围调节技术，实现了空间质谱分析装置供配电技术的实际应用。

该项目技术难度大，创新性强，拥有多项自主知识产权，关键核心技术自主可控，综合技术水平达到国内领先，产品填补了国内空白；具有重大的科研和社会效益，应用前景广泛。

应用情况和效益：

1. 应用情况

在我国空间质谱工程研制面临诸多严峻挑战之时，质谱分析供配电技术的研制成功突破了多项技术难题，在涉及自动控制、电力电子、高频信号传输、仪器仪表放大、高压防护等多领域、多学科均实现了技术突破并积累了研制经验。在技术攻关的过程中，技术团队深刻梳理空间质谱分析探测的需求与目标，做好研制规划和技术攻关，统筹科学需求与技术进步，持续增强质谱探索能力。

目前，使用本项目技术的科学载荷已成功发射并工作。

后续依托中科院、五院应用需求，跟踪行业形势和用户反馈，持续优化项目解决方案，便于扩大我们的用户基础，为空间质谱分析的长期发展奠定基础。

具体的主要单位及应用情况如下表所示：

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/ 固定电话
1	中国科学院 大气物理所	宇航用质谱仪 高压与射频供 电关键技术	用于挥发分分析仪 模块的研制。产生经 济效益约 300 万元。	2023 年 6 月 至今	徐红光 /13388067181
2	771 所宇航部	宇航用质谱仪 高压与射频供 电关键技术	应用于多款 771 所 宇航部内配电源。	2021 年至今	路海全 /18189113996

2. 经济效益和社会效益

(1) 经济效益

本项目的研究成果可广泛应用于航天领域各类物质分析科学探测任务，随着

技术成熟度的提升，该技术将为航天科学探测发挥巨大的作用。

- ◆ 本项目推广应用的挥发分分析仪产品近三年经济效益约 300 万元；
- ◆ 后续依托中科院、五院应用需求，跟踪行业形势和用户反馈，持续优化项目解决方案，便于扩大我们的用户基础，为空间质谱分析的长期发展奠定基础。

（2）社会效益

利用质谱分析供配电技术实现的空间质谱探测技术是国际上深空探测任务的必选任务。

现在，国外已发射多次并成功完成任务的空间质谱探测卫星。我国在相关技术方面远远落后于俄罗斯、美国和欧洲等国家与地区，通过本项目的研究工作，积累质谱探测相关设计经验及自主研发能力，并研制出挥发分分析仪模块，其主要技术指标可达到国外同类产品的技术指标。

所实现的指标满足宇航用质谱仪设计要求，环境适应性强，为航天质谱探测设备提供成熟供电方案，具备推广应用前景。

主要知识产权和标准规范等目录：

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种供电电平转换电路及方法	中国	ZL202110218560.4	2022 年 06 月 14 日	第 5231234 号	西安微电子技术研究所	孙楚昕、范喆、张新平、廖岩、蔡正、杨阳
2	发明专利	一种电压自适应切换电路及方法	中国	ZL202010245678.1	2021 年 04 月 27 日	第 4383897 号	西安微电子技术研究所	范喆、孙楚昕、张新平、廖岩
3	发明专利	一种电流型推挽拓扑全互补驱动电路及方法	中国	ZL202110217574.4	2023 年 06 月 13 日	第 6051497 号	西安微电子技术研究所	孙楚昕、李军、李壮、张磊、范喆、屈婉莹
4	论文	天问二号挥发分分析仪设计与地面定标	中国	中国科学: 物理学 力学 天文学	2025 年第 55 卷第 7 期	《中国科学》杂志社	西安微电子技术研究所	刘冉冉、许浒、杨永帅、张小华、周琴、贺怀宇、贺怀航、徐红光、张嘉榕、王自发

主要完成人情况：

姓名	排名	行政 职务	技术职称	工作单位	对本项目贡献	专业
许浒	1	无	工程师	西安微电子技术研究所	项目负责人，细化任务需求，完成产品设计，组织研制交付。	电源设计
杨丰博	2	无	高级工程师	西安微电子技术研究所	项目负责人，负责各供电电路设计与开发。	电源设计
张奕仲	3	无	高级工程师	西安微电子技术研究所	技术负责人，技术攻关。	电源设计
赵兴	4	无	高级工程师	西安微电子技术研究所	技术负责人，技术攻关。	电源设计
魏琦	5	无	工程师	西安微电子技术研究所	电路设计，技术攻关与应用支持。	电源设计
徐晨林	6	无	工程师	西安微电子技术研究所	型号设计，应用支持与试验验证。	电源设计
孙楚昕	7	无	工程师	西安微电子技术研究所	型号设计，性能测试与试验验证。	电源设计

完成人合作关系说明：

宇航用质谱仪高压与射频供电关键技术由西安微电子技术研究所独立研发，项目组成员有：许浒、杨丰博、张奕仲、赵兴、魏琦、徐晨林、孙楚昕。许浒作为项目负责人，在项目研制过程中担任项目负责人，针对任务目标，细化任务需求，完成产品设计，组织研制交付，完成从需求调研、研产实施到售后维护的产品全生命周期开发工作。杨丰博在项目研制过程中担任总体策划和设计负责人，负责各供电电路设计与开发，围绕质谱传感器特殊需求，突破空间环境下高压输出关键技术，突破了高压防护技术、直流交流整合化技术等。张奕仲在项目研制过程中担任发射电流自主监测及切换技术攻关负责人。赵兴在项目研制过程中担任空间环境应用中的直流高压防护方案设计负责人，设计并实现了空间环境中直流高压防护的技术，为质谱传感器高压用电保驾护航。魏琦担任空间环境应用中的直流高压防护方案设计负责人，设计并实现了空间环境中直流高压防护的技术，为质谱传感器高压用电保驾护航。徐晨林担任射频高压的调谐频率稳定技术研究。针对质谱传感器用电需求，对调谐频率电路进行分析设计，设计调谐频率稳定电路，通过测试、试验保证电路可靠性。孙楚昕负责综合测试方案设计，根据项目研制的产品挥发分分析仪模块使用、试验需求，设计综合测试方案，对产品全方位测试确认。该项目在本人和六位主要完成人的合作下，保证了项目的成功研制，并形成了多项发明专利、论文等。

主要完成单位及创新推广贡献：

西安微电子技术研究所是本项目的主承单位，是国家唯一集计算机、集成电路和混合集成科研生产为一体的大型综合研究所。项目参与人员均为本单位职工。宇航用质谱仪高压与射频供电关键技术的研发是西安微电子技术研究所军民融合产业化的重点发展项目，推进航天技术向民用领域融合发展。为保障项目顺利实施，组建了一支多方面技术领域的研发团队及专业的管理团队，并成立由所级领导、技术总师牵头的指挥线，为项目研制提供人员保障。此外，为本项目的研究提供了必要的研究设备、空间、经费支持等，对课题立项、设计及顺利完成

提供了全生命周期的保障。

该项目的研究成果得到单位的肯定和大力推广。单位积极向用户企业推广，已在多项重大航天项目中得到应用，使我所及用户企业获得了更好的口碑及更高的效益。