

推荐国家技术发明奖项目公示

项目名称	航天器着陆缓冲装置与对接机构关键技术
推荐单位	教育部
推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>航天器着陆缓冲装置与对接机构在航天器碰撞过程中担负着极其重要的使命，该项目课题组与中国空间技术研究院总体部基于航天器缓冲与对接过程中高效能量吸收、抗瞬态冲击、稳定可控和复杂环境适应能力，研究涉及机构学、动力学与控制、复杂环境等系统的高度耦合的技术难点，历时十年的共同努力，建立了新型航天器着陆缓冲装置与对接机构的设计方法，在缓冲器设计、展开锁定机构设计、弱撞击对接机构设计、柔性捕获对接机构设计及其试验等方面突破了多项重大关键技术，打破了国外对我国相关技术的严格限制和封锁，丰富和发展了我国航天器着陆缓冲装置与对接机构的设计技术体系。</p> <p>1.发明了多种新型高性能多功能着陆缓冲器，突破了高效能量吸收、抗瞬态冲击、姿态可控等关键技术，解决了着陆器抗坠毁与复杂地形环境下航天器着陆缓冲及姿态自修复难题；发明了嫦娥三号探测器多功能一体型着陆缓冲机构并提出了基于能量法的着陆缓冲机构系统优化设计方法，突破了包络空间小、重量限制严、着陆速度大、缓冲可靠性要求高，且不同要求相互制约、难以协调的难题，实现了嫦娥三号探测器在月面的安全、稳定着陆。</p> <p>2.发明了嫦娥三号着陆缓冲机构性能地面分级试验系统，解决了地面试验中系统复杂、功能特殊繁多、月面环境模拟困难、试验样本少、验证难度大、可靠性要求高等难题；提出了新型月面低重力场缓冲试验新理论，发明了一套完整的月球着陆器低重力模拟试验系统，解决了常规低重力环境模拟方法造价高、保障要求高、环境适应性差、动力学特性失真等难题；完善了多种着陆缓冲材料冲击过程非线性动力学理论，提出了着陆器稳定性及着陆极限工况计算判据，并以此开发了着陆器设计/仿真/试验快速一体化设计平台，解决了月壤散体介质模拟与试验及着陆器系列化参数模型数据库需求难题，提高了设计精度和速度。</p> <p>3.发明的新型弱撞击对接机构及混合柔顺控制装置，突破了对接机构功能模块化、低冲击和稳定可控等关键技术，实现了对接机构结构碰撞力可控的柔顺对接；发明的电磁阻尼器的高低温测试系统，解决了空间对接机构电磁阻尼器空间模拟环境下的高精度试验难题。</p> <p>4.发明的大容差软捕获对接机构及外翻式小型机械臂末端对接机构，突破了对接机构小尺寸、轻质量、大容差、软捕获及硬联接关键技术，解决了空间货物搬运、空间站协助组装等技术难题。</p> <p>该项目得到了载人航天与探月工程国家科技重大专项、863 计划、国家自然科学基金、国防预研以及航天科研机构等项目的资助。申请国家发明专利 31 项，已授权 28</p>	

项；发表 SCI 收录论文 24 篇、EI、ISTP 收录论文 54 篇。

研究成果已成功应用于嫦娥三号月球探测器、神舟八号、神舟九号、神舟十号、神舟十一号、天宫一号、天宫二号等航天器型号研制中，并为我国正在开展的火星探测器、小行星探测器、空间站等型号研制提供了重要的技术支撑。

对照国家技术发明奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家技术发明奖一等奖。

项目简介:

航天器的着陆碰撞和对接碰撞是非常复杂的动力学过程，也是航天器顺利执行任务的非常重要的关键环节。因此，航天器着陆缓冲装置与对接机构在航天器碰撞过程中担负着极其重要的使命，其主要技术难点在于高效能量吸收、抗瞬态冲击、稳定可控和复杂环境适应能力，研究涉及机构学、动力学与控制、复杂环境等系统的高度耦合。项目组与中国空间技术研究院总体部历时十年，建立了新型航天器着陆缓冲装置与对接机构的设计方法，在缓冲器设计、展开锁定机构设计、弱撞击对接机构设计、柔性捕获对接机构设计及其试验等方面突破了多项重大关键技术，打破了国外对我国相关技术的严格限制和封锁，丰富和发展了我国航天器着陆缓冲装置与对接机构的设计技术体系。主要发明点如下：

1、发明了多种新型高性能多功能着陆缓冲器，突破了高效能量吸收、抗瞬态冲击、姿态可控等关键技术，解决了着陆器抗坠毁与复杂地形环境下航天器着陆缓冲及姿态自修复难题；发明了嫦娥三号探测器多功能一体型着陆缓冲机构并提出了基于能量法的着陆缓冲机构系统优化设计方法，突破了包络空间小、重量限制严、着陆速度大、缓冲可靠性要求高，且不同要求相互制约、难以协调的难题，实现了嫦娥三号探测器在月面的安全、稳定着陆。

2、发明了嫦娥三号着陆缓冲机构性能地面分级试验系统，解决了地面试验中系统复杂、功能特殊繁多、月面环境模拟困难、试验样本少、验证难度大、可靠性要求高等难题；提出了新型月面低重力场缓冲试验新理论，发明了一套完整的月球着陆器低重力模拟试验系统，解决了常规低重力环境模拟方法造价高、保障要求高、环境适应性差、动力学特性失真等难题；完善了多种着陆缓冲材料冲击过程非线性动力学理论，提出了着陆器稳定性及着陆极限工况计算判据，并以此开发了着陆器设计/仿真/试验快速一体化设计平台，解决了月壤散体介质模拟与试验及着陆器系列化参数模型数据库需求难题，提高了设计精度和速度。

3、发明了新型弱撞击对接机构及混合柔顺控制装置，突破了对接机构功能模块化、低冲击和稳定可控等关键技术，解决了传统对接机构结构复杂、质量大及对接碰撞力不可控等难题；发明了电磁阻尼器的高低温测试系统，突破了工况模拟与高低温箱小型化关键技术，解决了电磁阻尼器空间模拟环境下的高精度试验难题。

4、发明了大容差软捕获对接机构及外翻式小型机械臂末端对接机构，突破了对接机构小尺寸、轻质量、大容差、软捕获及硬联接关键技术，解决了空间货物搬运、空间站协助组装等技术难题。

本项目得到了载人航天与探月工程国家科技重大专项、863 计划、国家自然科学基金、国防预研以及航天科研机构等项目的资助。申请国家发明专利 31 项，已授权 28 项；发表 SCI 收录论文 24 篇、EI、ISTP 收录论文 54 篇。

研究成果已成功应用于嫦娥三号月球探测器、神舟八号、神舟九号、神舟十号、神舟十一号、天宫一号、天宫二号等航天器型号研制中，并为我国正在开展的火星探测器、小行星探测器、空间站等型号研制提供了重要的技术支撑。

戚发轫、叶培建、胡海岩和杨凤田四位院士认为，研究工作系统深入，难度大，原创性强，研究成果具有自主知识产权，填补了我国相关技术领域的空白，实现了重大技术跨越，为我国重大航天工程的顺利实施做出了重要贡献。研究成果属国内领先，达到国际先进水平。

客观评价：

1、成果鉴定意见

2014年11月3日，中国航天科技集团公司在北京主持召开了“嫦娥三号探测器月面着陆缓冲技术及实施”项目成果鉴定会，成立了戚发轫院士、叶培建院士、范本尧院士等10人鉴定委员会，鉴定委员会听取了《嫦娥三号探测器月面着陆缓冲技术及实施技术总结》报告，观看了汇报录像片，并审查了测试报告、知识产权状况报告、应用证明等。鉴定委员会经过讨论和评议，形成鉴定意见如下：

该项目研究突破了月面着陆缓冲关键技术，提出了着陆缓冲机构设计方法、地面试验验证方法及可靠性定量评估方法，发明了新型着陆缓冲机构，保证了嫦娥三号探测器在月面的稳定、安全着陆。鉴定委员会一致同意通过鉴定。

2、论文、著作情况

(1) 成果实施期间，共发表相关SCI/EI收录学术论文51篇，其中SCI收录24篇。

(2) 成果实施期间，共出版相关著作2部，其中《航天器着陆缓冲机构》由中国宇航出版社出版，《ROS开源机器人控制基础》由上海交通大学出版社出版。

3、应用成果的中国航天科技集团公司评价

(1) 国家探月与航天工程中心认为，项目研究取得的成果成功应用于“嫦娥三号”月球探测器、“嫦娥五号”月球探测器，也可以用于未来“火星着陆探测器”以及“载人登月着陆探测器”。“嫦娥三号”月球探测器采用着陆缓冲机构系统首次实现了我国航天器在地外天体表面的软着陆，“嫦娥五号”月球探测器将采用该技术实现月面软着陆并采样返回。目前我国正在讨论的火星软着陆探测技术以及载人登月软着陆探测技术，也将采用该缓冲技术，实现在火星表面及月球表面的软着陆。项目研究取得的成果，为实现深空软着陆提供了重要的理论方法支撑、系统的试验验证手段与可靠性评估手段，将在我国深空软着陆探测任务论证、研究和实施中发挥关键作用。该项目研究成果具有重大的军事、社会、经济效益和应用价值。

(2) 航天科技集团公司第八〇五研究所认为，南京航空航天大学研制的模拟空间环境的对接机构用电磁阻尼器性能测试与试验设备，针对不同高低温空间环境下的电磁阻尼器特性进行了大量的试验研究，为我国对接机构型号样机性能测试和改进提供了重要的技术支撑。

(3) 航天科技集团公司第五〇九研究所认为，南京航空航天大学发明的多功能着陆缓冲器及姿态自调整装置及快速一体化设计平台已应用到深空探测着陆器/附着机构的设计、研制过程中，研究成果对指导我国现阶段深空探测着陆器研制工作提供了重要的技术支撑。

4、国内行业权威人士的评价

(1) 中国工程院院士戚发轫

航天器着陆缓冲装置与对接机构设计是我国当前探月工程和空间对接的关键技术之一。目前，我国在该领域某些关键技术的储备仍处于初级甚至空白阶段，且国外对我国实行严格的技术封锁。南航聂宏教授团队针对航天相关的关键技术进行了系统研究，突破了多项核心技术，实现了我国在此领域的重大技术跨越。主要创造性贡献如下：

1发明了一种可重复使用、姿态可调的着陆缓冲器，突破了高缓冲效率、重复使用和姿态再调整的着陆缓冲关键技术，解决了航天器的抗坠毁和在极端环境下的姿态再调整难题。

2发明了一种月球着陆器缓冲实验系统，突破了地面微重力模拟的关键技术，解决了现有的实验系统造价昂贵、可靠性差和高技术保障等难题。

3发明了2种新型缓冲/展开/锁定功能一体化的着陆缓冲机构，突破了以往的分离机构设计和结构设计复杂的关键技术，解决了展开机构可靠性低、锁定过程存在干涉、质量大和阻尼大等关键问题。

4发明了一种着陆器仿真/设计/实验一体化的设计平台，突破了传统模型不能反映足垫渗透和滑移的技术难题，解决了传统设计周期长、精度低、月壤模拟难等问题。

5发明了新型弱撞击对接机构和混合柔顺控制装置，突破了对接机构弱冲击和力柔顺控制的关键技术，解决了传统设计复杂、吸能机构复杂和碰撞力大等问题。

6发明了一种对接机构用电磁阻尼器的高低温测试系统，突破了工况模拟和高低温箱小型化设计的关键技术，解决了温控精度低等难题。

7发明了一种大容差软捕获对接机构和一种外翻式小型机械臂末端对接机构，突破了小质量、大容差和软捕获等关键技术，解决了货运飞船停靠和空间站协助组装等难题。

上述发明具有自主知识产权，创新性强，技术水平总体上处于国内领先，达到国际先进水平。相关成果已在“嫦娥”二期着陆器研制和对接机构电磁阻尼器的性能测试中得到应用，为我国航天器研制提供了必要的关键部件和重要的技术支撑。

(2) 中国科学院院士叶培建

针对航天器着陆缓冲装置与对接机构关键技术，聂宏教授团队在国家自然科学基金、863计划、921计划、航天科研计划等资助下，攻克了多项关键技术并研制了多种航天器着陆缓冲或对接装置的关键部件及系统。其主要技术创新体现在：

1在航天器着陆缓冲装置方面，发明了新型软着陆展开锁定机构，该机构压紧、展开和锁定装置共用一套机构，结构刚度好，运动摩擦阻力较小，可灵活展开锁定，质量较轻，运动机构、控制系统简单，加工方便，展开锁定可靠；研制了月球着陆器地球重力场下1/3模型物理样机，对铝蜂窝缓冲材料非线性缓冲特性进行了大量研究；研制了着陆冲击试验系统，配制了模拟月壤用于模拟月球着陆器缩比模型样机着陆区域的月表地形，对月球着陆器软着陆典型月表地形和着陆工况进行了试验分析和研究，突破了着陆器缩比模型试验技术。

2在航天器对接机构方面，发明了一种高度机电一体化的新型弱撞击对接机构，突破了对接机构功能模块化、低冲击和柔顺控制关键技术，解决了传统对接机构缓冲耗能系统复杂、质量大及对接碰撞力大的技术难题；发明了一种电磁阻尼器的高低温测试系统，突破了电磁阻尼器工况模拟和高低温箱小型化关键技术，解决了电磁阻尼器空间模拟环境下的高精度试验难题。

该研究工作系统深入，难度大，原创性强，成果具有自主知识产权，在国内处于领先并达到国际先进水平。成果已成功应用于嫦娥三号月球探测器着陆器，神舟八号、神舟九号、神舟十号与天空一号的对接缓冲耗能系统，为我国重大航天工程的顺利实

施提供了技术支撑。

(3) 中国科学院院士胡海岩

航天器着陆缓冲装置与对接机构需满足高效能量吸收、抗瞬态冲击、高可靠性和空间适应能力强等要求，对航天器的安全着陆及可靠对接至关重要。该项目组突破了缓冲器设计、展开锁定机构设计、弱撞击对接机构设计、柔性捕获对接机构设计及其试验设计等多项重大关键技术，丰富和发展了着陆缓冲装置与对接机构设计的技术体系，其主要发明和创新如下：

1发明了多种具有可重复使用、自修复等功能的着陆缓冲器，解决了着陆器抗坠毁和恶劣环境下的航天器着陆缓冲及姿态自修复难题；提出了新型月面低重力场缓冲试验新方法，并发明了一套完整的月球着陆器低重力模拟地面试验系统，克服了传统方法成本高、保障要求高、环境适应性差、动力学特性失真等缺点。

2发明了两种缓冲/展开/锁定一体化着陆器缓冲机构，解决了展开/锁定机构的可重复使用以及着陆腿展开半径不可调等难题，丰富了多种着陆缓冲材料冲击过程非线性动力学理论，提出了着陆器稳定性及着陆极限工况计算判据，并以此开发了着陆器设计/仿真/试验快速一体化设计平台。

3发明了一种高度机电一体化的新型弱撞击对接机构及一种基于对接碰撞力的混合柔顺控制装置，有效地减轻了机构质量、降低了对接机构的复杂性，并使得对接碰撞力可控；发明了一种对接机构用耗能电磁阻尼器的高低温测试系统，突破了电磁阻尼器工况模拟和高低温箱小型化关键技术。

4发明了一种大容差软捕获对接机构以及一种外翻式小型机械臂末端对接机构，为空间在轨维护、组装提供了关键技术支撑。

项目组攻克的关键技术和研制的多种机构具有自主知识产权，已成功应用于嫦娥三号月球探测器、神舟八号、神舟九号、神舟十号、天宫一号等航天器型号研制中，并为国家正在开展的火星探测器、小行星探测器、货运飞船、空间站等型号研制提供技术支撑。该项目组的研究成果属国内领先，达到国际先进水平。

(4) 中国工程院院士杨凤田

该项目针对航天器着陆缓冲装置和新一代空间对接机构提出的高要求，重点解决了着陆缓冲装置高效吸能、抗瞬间冲击、高可靠性、对接机构柔性捕获等技术难题，突破了构型创新设计、缓冲器设计、展开锁定机构设计、弱撞击对接机构设计、大容差软捕获对接机构设计等关键技术。其主要创新点如下：

1发明了多种具备可重复使用、再调整功能的着陆缓冲器，突破了高效缓冲、可重复和姿态再调整的着陆缓冲关键技术，解决了着陆器抗坠毁和恶劣环境下的航天器着陆缓冲及姿态再修复难题。

2发明了两种缓冲/展开/锁定一体化着陆器缓冲机构，突破了传统设计中压紧装置与锁定装置必须分属两套机构的技术瓶颈，解决了展开/锁定机构的可重复使用以及着陆腿展开半径不可调等难题。

3发明了一种新型弱撞击对接机构，解决了传统对接机构缓冲耗能系统结构复杂、质量大、对接碰撞力大、通用性差的技术难题。

4研制了一种电磁阻尼器的高低温测试系统，解决了电磁阻尼器空间模拟环境下的高精度试验难题。

5发明了两种机械臂末端对接机构，突破了对接机构尺寸小、质量轻、容差大等关键技术，解决了柔性捕获合作目标，操作目标载荷大等技术难题。

该项目技术难度大，创新性强，发明专利具有自主知识产权。研究成果填补了国内空白，实现了重大技术跨越，属国内领先，并达到了国际先进水平。发明的技术已成功应用于嫦娥三号月球探测器、神舟八号、神舟九号、神舟十号、天宫一号等型号研制中，为我国航天重大工程的顺利实施做出了重要贡献。

5、相关成果获奖情况

(1) 2016 年度，航天器着陆缓冲装置与对接机构关键技术，教育部科学技术发明一等奖。

(2) 2015 年度，嫦娥三号探测器月面着陆缓冲技术及实施，国防科技进步二等奖。

推广应用情况：

本项目研究形成的关键技术已在我国航天领域嫦娥三号月球探测器着陆器、神舟系列飞船空间对接机构、天宫一号空间实验室建设等多个航天器型号任务中得到成功应用：

1、项目研究取得的成果成功应用于“嫦娥三号”月球探测器、“嫦娥五号”月球探测器，也可以用于未来“火星着陆探测器”以及“载人登月着陆探测器”。“嫦娥三号”月球探测器采用着陆缓冲机构系统首次实现了我国航天器在地外天体表面的软着陆，“嫦娥五号”月球探测器将采用该技术实现月面软着陆并采样返回。目前我国正在讨论的火星软着陆探测技术以及载人登月软着陆探测技术，也将采用该缓冲技术，实现在火星表面及月球表面的软着陆。项目研究取得的成果，为实现深空软着陆提供了重要的理论方法支撑、系统的试验验证手段与可靠性评估手段，将在我国深空软着陆探测任务论证、研究和实施中发挥关键作用。该项目研究成果具有重大的军事、社会、经济效益和应用价值。（见探月与航天工程中心应用证明）

2、南京航空航天大学应用“航天器着陆缓冲装置与对接机构关键技术”相关研究成果发明了一套模拟空间环境的对接机构用电磁阻尼器性能测试与试验设备，该发明突破了对接机构用电磁阻尼器小型高低温系统设计、高精度传动系统设计、转速与转矩高精度测量系统设计、电磁阻尼器转子杯温度测量等多项关键技术，并结合型号任务研制需求针对不同高低温空间环境下的电磁阻尼器特性进行了大量的试验研究。上述研究成果为我国对接机构型号样机性能测试和改进提供了重要的技术支撑。南航团队上述研究成果为我国神舟八号、神舟九号、神舟十号与天宫一号成功实现对接做出了重要贡献。（见中国航天科技集团公司第八〇五研究所应用证明）

3、南京航空航天大学应用“航天器着陆缓冲装置与对接机构关键技术”研究成果发明的多功能着陆缓冲器及姿态自调整装置已应用到深空探测着陆器/附着机构研制过程中。应用南航发明的着陆器快速一体化设计平台完成了深空探测附着机构软着陆典型工况及故障模式试验分析和研究工作。研究成果对指导我国现阶段深空探测着陆器研制工作提供了重要的技术支撑。南航团队在着陆缓冲机构上的研究成果为我国深空探测着陆器/附着机构研制做出了重要贡献。（见中国航天科技集团公司第五〇九研究所应用证明）

主要应用单位情况

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	效益
探月与航天工程中心	嫦娥三号探测器月面着陆缓冲技术及实施	2008.2—2014.10	张玮 /13810757632	
航天科技集团公司第八〇五研究所	电磁阻尼器性能测试技术	2009.1—2014.3	耿海峰/ 18121291667	
航天科技集团公司第五〇九研究所	航天器着陆缓冲装置与对接机构关键	2009.1—2014.3	王骢/ 13918465898	

所	技术			
---	----	--	--	--

主要知识产权证明目录:

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	发明专利有效状态
授权发明专利	着陆器着陆腿压紧展开锁定装置	中国	ZL201010121076.1	2013-07-03	第1227225号	南京航空航天大学	聂宏、陈金宝、李立春、张则梅等	有效
授权发明专利	一种机械缓冲及姿态调整装置	中国	ZL201010592546.2	2012-11-21	第1085746号	南京航空航天大学	聂宏、林轻、陈金宝、柏合民、徐磊、万俊麟、陈恒、陈传志等	有效
授权发明专利	一种可控电磁阻尼器高低温测试台	中国	ZL201210064453.1	2014-05-07	第1399740号	南京航空航天大学	聂宏、陈传志、王小涛、陈金宝等	有效
授权发明专利	一种用于航天器的仪器设备或人员着陆的缓冲装置	中国	ZL200610120270.1	2009-07-29	第3693号	北京空间飞行器总体设计部	杨建中、满剑锋等	有效
授权发明专利	一种可自动展开的多层球形缓冲装置	中国	ZL201410265962.X	2015-05-27	第1677795号	北京空间飞行器总体设计部	杨建中、满剑锋、曾福明	有效
授权发明专利	一种着陆缓冲机构缓冲可靠性试验方法	中国	ZL201418002446.9	2016-08-17	第38030号	北京空间飞行器总体设计部	杨建中、罗琼、满剑锋等	有效

授权发明专利	一种着陆缓冲机构在轨展开摩擦力的地面测量方法	中国	ZL201418002792.7	2016-09-21	第46718号	北京空间飞行器总体设计部	杨建中、罗敏、满剑锋等	有效
授权发明专利	一种压力传感器过载保护装置	中国	ZL201310222712.3	2015-03-11	第1604834号	南京航空航天大学	聂宏、陈传志、陈金宝、王小涛等	有效
授权发明专利	一种腱驱动机械手位置和腱张力的混合控制方法及控制装置	中国	ZL201410362296.1	2016-01-08	第2046441号	南京航空航天大学	王小涛、王邢波、冯敦超、聂宏等	有效
授权发明专利	一种带缓冲装置的自校准电连接器	中国	ZL201310225437.0	2015-05-20	第1673638号	南京航空航天大学	聂宏、李春、陈金宝、王小涛、陈传志等	有效

主要完成人情况：

姓名	聂宏	排名	1	行政职务	校长	技术职称	教授
工作单位	南京航空航天大学						
完成单位	南京航空航天大学						

对本项目技术创造性贡献：

是项目主要负责人，对发明点 1、2、3、4 做出创造性贡献。提出了本项目大部分发明专利的主要技术思想和技术路径，并带领团队成员达成技术实现。特别是发明了一种多自由度姿态调节的万向缓冲器，该缓冲器突破了传统缓冲器结构复杂、缓冲过程不可控、着陆姿态调节困难等技术瓶颈，解决了探测器着陆中根据着陆工况实时调节缓冲参数和着陆姿态等技术难题。组织开发了着陆器设计/仿真/试验快速一体化设计平台，该平台由着陆器整机参数化建模数据库、月壤力学性能及地形模拟数据库、冲击动力学分析模块、缓冲性能分析模块、安全稳定性分析模块等组成。提出了着陆稳定性与着陆极限工况判据，建立了着陆器悬停、自由落体、足垫与月面初次接触及二次接触四个阶段的完整动力学模型。

姓名	杨建中	排名	2	行政职务		技术职称	研究员
工作单位	中国空间技术研究院总体部						
完成单位	中国空间技术研究院总体部						

对本项目技术创造性贡献：

是项目主要负责人，对发明点 1、2 做出创造性贡献。提出了基于小包络尺寸、轻量化着陆缓冲机构的构型设计的总体思路，并组织发明了“偏置收拢、自我压紧、水平拉压缓冲一体型多功能嫦娥三号探测器着陆缓冲机构”的设计，解决了包络空间小、重量限制严、着陆速度大、缓冲可靠性要求高的难题；提出了基于能量法的着陆缓冲机构的总体思路，并组织实施了着陆缓冲机构的设计，解决了多约束条件下的缓冲机构优化设计问题；提出了基于分级验证的着陆缓冲机构功能性能验证的总体思路和基本方法，并组织实施了着陆缓冲机构的功能、性能验证工作。

姓名	陈金宝	排名	3	行政职务	副院长	技术职称	教授
工作单位	南京航空航天大学						
完成单位	南京航空航天大学						

对本项目技术创造性贡献：

是该项目技术骨干，对发明点 1、2、3、4 做出了创造性贡献。发明了着陆器着陆腿压紧展开锁定机构，可灵活展开锁定，质量较轻，运动机构、控制系统简单，展开锁定可靠。发明了三种单自由度着陆姿态自修复功能的着陆器缓冲器，三种缓冲机构均有吸能性强、可靠性高、使用寿命长等优点，且可根据星体表面地形环境实现缓冲姿态自修复功能。研制了具有强弱二级铝蜂窝缓冲器的月球着陆器 1/3 模型物理样机和模拟月壤的着陆冲击试验系统，冲击能量吸

收率为 99.27%，质量块的反弹速度仅为 0.34m/s。发明了大容差软捕获对接机构及旋转维修工具，突破了对接机构大容差、软捕获及硬联接关键技术，解决了空间货物搬运、空间站协助组装、舱外自主维修等技术难题。

姓名	王小涛	排名	4	行政职务	无	技术职称	副教授
工作单位	南京航空航天大学						
完成单位	南京航空航天大学						

对本项目技术创造性贡献：

是该项目技术骨干，对发明点 3、4 做出了创造性贡献。提出了一种可控型异体同构弱撞击通用对接系统的混合柔顺控制算法。该控算法不依赖环境的位置、大小和形状，适应性强，算法简单，鲁棒性强，且具有一定的自主性，克服了常规柔顺控制系统位置依赖性强、轨迹规划困难、实时控制效果差的缺点，解决了对接机构柔顺缓冲技术难题。发明了一种电磁阻尼器高低温测试系统，解决了型号电磁阻尼器地面环境下的高精度试验难题。

姓名	陈传志	排名	5	行政职务	无	技术职称	讲师
工作单位	南京航空航天大学						
完成单位	南京航空航天大学						

对本项目技术创造性贡献：

是该项目技术骨干，对发明点 3、4 做出了创造性贡献。发明了一种高度机电一体化的新型弱撞击对接机构，采用电磁锁取代了传统对接机构的机械式碰锁，采用柔顺控制与驱动系统配合的方式取代了结构复杂的缓冲耗能系统，免除了捕获时对碰撞力的需求，解决了传统对接机构缓冲耗能系统复杂、质量大及对接碰撞力大的技术难题。参与研发了电磁阻尼器测试系统，并发明了一种小型高低温试验箱，解决了高低温箱小型化技术难题。发明了一种外翻式小型机械臂末端对接机构，突破了对接机构尺寸小、质量轻、操作灵活等多项关键技术，解决了空间小型货物搬运、设备组装等技术难题。

姓名	满剑锋	排名	6	行政职务		技术职称	高级工程师
工作单位	中国空间技术研究院总体部						
完成单位	中国空间技术研究院总体部						

对本项目技术创造性贡献：

是该项目技术骨干，对发明点 1、2 做出了创造性贡献。提出了满足着陆缓冲机构特殊运动功能的构型综合方法，完成了机构的运动副和自由度设计，完成了自我压紧、拉压双向多功能辅助支柱设计，负责研制成功一种满足特殊功能的软着陆结构万向节，攻克了几何尺度约束下的高性能软着陆机构设计难题；提出了着陆缓冲机构地面分级验证的项目和试验方法，参与实施完成了着陆缓冲机构的展开实验、单套着陆冲击及组合缓冲试验。

完成人合作关系说明：

本成果由南京航空航天大学和中国空间技术研究院总体部的主要研发人员共同完成。在本项目进行期间，完成人通过共同立项、共同知识产权、论文合著、共同获奖、产业合作等具体形式进行了密切合作。具体说明如下：

(1)在“嫦娥3号”及火星探测着陆器研制专项中，针对着陆缓冲相关关键技术，中国空间技术研究院总体部委托南京航空航天大学进行攻关，前后共完成4次，具体课题名称：“着陆缓冲机构着陆冲击动力学仿真分析”、“基于硬件FMEA结果的着陆缓冲机构典型故障工况着陆冲击动力学分析”、“着陆器着陆冲击过程典型故障模式冲击分析”、“火星着陆器着陆冲击过程动力学分析与性能优化”。

(2)关键技术合作开发过程中产生的科技成果荣获2015年度国防科学技术奖二等奖(由中国空间技术研究院总体部所完成)以及2016年度教育部技术发明一等奖(由南京航空航天大学完成)。

(3)关键技术研发过程中，南京航空航天大学以及中国空间技术研究院总体部共产生知识产权31项，其中授权发明专利28项；发表SCI收录论文24篇、EI、ISTP收录论文54篇。