项目编号： 202101048

好设计推荐书

（ 2021 年度）

2021好设计推荐书正式版

一、项目基本信息表

<table>
<tr><td>项目名称</td><td colspan="5">星球车复合式移动系统设计及运动性能验证</td></tr>
<tr><td>主要完成人</td><td colspan="5">刘振</td></tr>
<tr><td>主要完成单位</td><td colspan="5">哈尔滨工业大学</td></tr>
<tr><td>推荐渠道</td><td colspan="2">☑大区推荐</td><td colspan="3">☑东北地区</td></tr>
<tr><td>申报范围</td><td colspan="2">☑制造装备类</td><td colspan="3">☑航空航天装备</td></tr>
<tr><td>现处阶段</td><td colspan="5">☑产业化阶段</td></tr>
<tr><td>专利情况</td><td colspan="5">☑发明
☑外观
☑软件著作权</td></tr>
<tr><td rowspan="3">项目联系人</td><td>姓名</td><td>刘振</td><td>职务</td><td></td><td>办公电话</td><td></td></tr>
<tr><td>手机</td><td>13796069157</td><td>传真</td><td></td><td>电子邮箱</td><td>liuzhen_hit@163.com</td></tr>
<tr><td colspan="2">通讯地址</td><td colspan="3">黑龙江哈尔滨市南岗区一匡街 2 号，哈工大科学园科创大厦 K205-3</td></tr>
</table>

二、设计简介

一、设计目的

月球探测和火星探测是国家科技重大专项，星球车是实现大范围移动探测的核心装备，而移动系统是星球车最为关键的组成部分。项目团队在 2004-2013 年期间设计并研制了月球车移动系统，在 2013-2020 年期间设计并研制了火星车移动系统。本项目重点阐述火星车移动系统。

二、设计创新

1、发明并研制了具有蠕动脱陷等功能的主被动复合式火星车移动系统 针对美国被动悬架式火星车出现的通过性问题，采用主被动复合悬架方案，突破了轮式滚动对牵引力的限制，大幅提高了火星车脱陷和爬坡性能。提出了主被动复合式悬架自由度设计准则；发明了具有蠕动功能的主被动复合式火星车移动系统构型；结合火表特殊环境要求，研制出火星车主被动复合式移动系统。该移动系统具有蠕动脱陷、蠕动爬坡、车厢升降防托底、悬架主动折展、车轮抬起、全向移动等功能，解决了美国火星车移动系统存在的问题。我国复合式移动系统占火星车总重 17.4%，低于美国被动式移动系统的 20%。

2、创建了火星车蠕动模式的运动控制策略 脱陷和爬坡时车轮处于大沉陷、高打滑状态，受到滚动牵引力、推土阻力、轮轴推/拉力的复杂作用，现有理论无法适用。根据车轮运动和受力特点，将轮-壤作用关系划分为驱动轮、脱陷轮和止退轮三类，继而建立了驱动轮滑转沉陷本构模型、揭示了脱陷轮阻力系数与推送距离间的规律、建立了止退轮最大止退力模型。创建了火星车蠕动脱陷、蠕动爬坡的运动控制策略，使我国火星车可稳定、快速地脱离深达 2 倍车轮半径的沉陷，最大爬坡角达 25°；美国火星车脱离 1 倍车轮半径的沉陷耗时冗长、策略复杂且效果不明显，最大爬坡角是 15°。

3、发明了星球车整车运动性能模拟验证方法 由于无法长时间、大范围模拟星球低重力场，因此建立重力场-悬吊力等效转换理论模型，将模拟“场”等效转换为模拟“轮地接触力”，该方法对于多类星球车具有普遍适用性；发明了悬吊力等效施加机构、悬吊点六自由度位姿跟踪控制技术；研制出火星车整车运动性能模拟验证系统。在国际上首次实现了火星车整车的低重力运动性能模拟验证，具有运动范围大、试验时间长、模拟精度高的特点。

三、设计价值

本项目社会效益显著，“祝融号”火星车已成功开始巡视探测，主被动复合式火星车移动系统是我国“天问一号”的技术亮点。

本项目获发明专利 66 项、软件著作权 8 项。获省部级技术发明奖 2 项。

2021好设计推荐书正式版

三、设计说明书

1、设计目的

1、项目来源

月球探测和火星探测是国家科技重大专项，星球车是实现大范围移动探测的核心装备，而移动系统是星球车最为关键的组成部分。项目团队在 2004-2013 年期间设计并研制了月球车移动系统，在 2013-2020 年期间设计并研制了火星车移动系统。本项目重点阐述火星车移动系统。

2、火星车移动系统的设计挑战

1）火表地形复杂，沙土承压不稳，美国被动悬架式火星车移动系统出现过爬坡能力弱、脱陷能力差等通过性问题。火表凹坑坡度大且被软沙覆盖，爬坡难度大。美国火星车极限爬坡能力不大于 15°，曾多次出坑失败。火星部分沙地表面是风化硬沙壳，内部是软沙，易造成无征兆的深度沉陷险情。美国火星车共发生车轮沉陷险情 6 次，被困总时长约 26 个月，并造成勇气号最终困于特洛伊沙丘无法移动。被动悬架式星球车只能靠车轮滚动行驶，而车轮在软沙中易空转打滑，这是美国火星车通过性不强的根本原因。

2）火表岩石多、突起高，美国被动悬架式火星移动系统出现过车厢底部被石块托起、故障车轮拖行等运行状况。勇气号的被动悬架无法主动调节车厢高度，在尖锐石块托底时，只能强行驶出，潜在风险很高。美国火星车共有 4 个车轮遭遇 5 起故障，带故障运行时间约 158 个月，由于被动悬架无法隔离故障车轮，极大地降低了探测效率和探测范围。车厢升降、隔离故障车轮等动作要求悬架能够主动变形，被动式悬架无法实现。

3）由于无法长时间、大范围模拟星球的重力场，因此准确模拟星球车在低重力场中的运动性能是国际航天领域公认的地面试验瓶颈问题。星球车的运动性能受重力场影响，地面运动性能模拟验证的核心是模拟星球车在低重力场中的轮地接触压力。火星车是多刚体系统，各刚体质心的运动关系复杂，难以准确模拟车轮在斜坡、崎岖地形上的轮地接触压力。质量缩比样机法通过拆除与移动功能无关的质量实现减重，只能减轻车厢质量，但无法减轻悬架重量，因此轮地接触压力失真且无法用于整车试验。传统的悬吊法可用于整车测试，但只适用于水平地面，不适用于斜坡、崎岖地形。在本项目前，国际上尚无星球车整车在崎岖地形上的高精度运动性能模拟验证。

2021好设计推荐作品公开版

2、设计创新

1、**具有蠕动脱陷等功能的主被动复合式火星车移动系统**

蠕动行驶原理：通过控制车轮前后间距的伸缩，使部分车轮具有向后方推土的趋势，将向后推土的阻力转化为向前的牵引力，提高星球车通过性能。行驶过程中轮距伸缩的动作形似蠕动。

1） **提出了具有蠕动功能的主被动复合式悬架自由度设计准则** 悬架是移动系统中连接车厢与车轮的部分。具有蠕动功能的主被动复合式悬架含有被动自由度和主动自由度：被动自由度保证车轮与崎岖地面的贴合；主动自由度用于控制悬架变形。（1）悬架被动自由度的设计准则：记移动系统车轮数和悬架被动自由度数为 m 和 n，“$n = m - 3$”是“所有车轮在任意崎岖地形上同时着地”的充要条件。锁止悬架部分被动自由度使 $n < m - 3$，获得抬起部分车轮的被动自由度必要条件；锁止被动自由度数等于可抬起的车轮数。抬起车轮可实现辅助脱陷或故障车轮隔离。（2）悬架主动自由度的设计准则：在悬架中设置主动自由度，通过主动自由度控制悬架变形：控制各轮前后间距周期性的伸缩，实现蠕动运动；控制各轮竖直方向相对位置关系调整，实现抬轮或车厢高度调整运动。（3）蠕动/轮式行驶模式切换准则：采用主动或被动悬架行驶模式时，悬架被动自由度都应满足“$n = m - 3$”；在主动悬架行驶模式下，主动自由度周期性调整各轮前后间距，各车轮按节拍转动或停止，实现整车慢速蠕动行驶，该模式用于蠕动脱陷和蠕动爬坡工况；在被动悬架行驶模式下，主动自由度不工作，主被动复合悬架退化为被动悬架，实现快速轮式行驶，该模式用于常规移动工况。

2） **发明了具有蠕动脱陷等功能的主被动复合式火星车移动系统构型** （1）建立了具有蠕动功能的主被动复合式移动系统构型图谱。在左右悬架采用差动机构连接的前提下，基于主被动复合悬架自由度设计准则，建立变轮-臂间距类移动系统构型 11 种，通过车轮推出机构实现车轮与其摇臂连接点前后间距的伸缩；变摇臂张角类移动系统构型 23 种，通过摇臂张角变化实现车轮前后间距的伸缩。（2）具有蠕动功能的主被动复合式火星车移动系统构型优选。变摇臂张角类移动系统的优点：主动关节数量少，系统复杂程度低，可同时实现车轮蠕动与车厢高度调节。因此，按照继承性好、轮压均布、主动关节少、系统复杂程度低等原则建立评价方法，结合工程约束条件，优选得到六轮变主摇臂张角构型。

3） **设计并研制出火星车主被动复合式移动系统** （1）发明了主动张角调节-被动差动均姿的复合角度调整机构。此机构是具有蠕动功能的主被动复合式火星车移动系统的核心机构。中部被动差动机构作用：在被动和主动悬架模式下，使与系杆固连的车厢俯仰角都等于两侧主摇臂整体俯仰角的平均值，实现车厢与两侧悬架间的角度均化。差动机构两侧的主动张角调节机构作用：利用行星轮系的单输入双输出

特性，通过单个驱动按比例同时控制主摇臂张角和车身俯仰角，使张角调节与车厢姿态变化解耦。（2）研制出火星车主被动复合式移动系统。该系统具有高低温适应性强、防尘等级高、轻量化程度高等特点。具备以下美国火星车没有的功能：蠕动行驶、车厢升降（高度为 0～500mm）、车轮抬升（高度为 0～300mm）、全向行驶（六轮转向）。

2、**创建了火星车蠕动模式的运动控制策略**

1） **建立了蠕动状态下的轮-壤相互作用模型** 根据蠕动工况中车轮运动状态特点，将轮壤作用关系分为驱动轮、脱陷轮和止退轮。蠕动脱陷工况中，车轮运动状态在脱陷轮和止退轮之间切换；蠕动爬坡工况中，车轮运动状态在驱动轮和止退轮之间切换。（1）建立了“驱动轮”的轮-壤作用滑转沉陷本构模型。基于单轮和整车试验，建立了驱动轮的轮-壤作用滑转沉陷本构模型，解决了经典模型中未考虑沉陷量随滑转率变化的问题，奠定了星球车轮-壤作用力学理论基础。（2）揭示了“脱陷轮”前进阻力系数与推送距离之间的规律。定义脱陷轮的前进阻力系数 λ_{fc} 为推送车轮阻力与法向支持力之比。通过单轮试验，获得了脱陷轮在不同滑转率/滑移率时进行脱陷的推送阻力系数。（3）建立了“止退轮”的最大止退力模型。基于切应力-正应力间关系、朗肯土力学和太沙基弹性压密核理论，考虑车轮对土壤的压实作用、轮前土壤的主动滑移和轮后土壤的被动滑移，建立了止退轮的最大止退力计算模型。

2） **创建了火星车蠕动脱陷运动控制策略** 根据脱陷轮前进阻力系数和止退轮最大止退力模型，结合蠕动脱陷试验，确定了最佳的前向和后向蠕动脱陷时各轮的滑转率、主摇臂前段摆动区间和运动节拍，以两个运动节拍为一个蠕动脱陷周期，建立了蠕动脱陷控制策略。

3） **创建了火星车蠕动爬大角度坡运动控制策略** 根据驱动轮本构模型和止退轮的最大止退力模型，结合蠕动爬大角度坡试验，确定了最佳的前向和后向蠕动爬坡时各轮的滑转率、主摇臂前段摆动区间和运动节拍，以两个运动节拍为一个蠕动爬坡周期，建立了蠕动爬大角度坡控制策略。

3、**发明了星球车整车运动性能的模拟验证方法**

1） **发明了基于场-力等效转换的宇航空间机构低重力模拟方法** （1） 建立了宇航空间机构的重力场-悬吊力等效转换理论模型。 提出了真实/模拟低重力场中机构动力学行为一致性的等效原则，建立了重力场-悬吊力等效转换的充要条件，获得了串联、并联、混联空间机构悬吊力解系的统一化解析表达。 （2） 发明了星球车整车运动性能验证的低重力模拟方法。将恒定的单点悬吊力竖直作用于车厢内理论悬吊点，使星球车轮压总和达到低重力状态预期值；将多个随悬架姿态被动变化的“轮压校正转矩”作用于各车轮，实现崎岖地形中星球车轮压与星球重力场中的轮压动

2021年设计推荐作品汇编

态等效。（3）发明了具有三转动自由度被动自适应功能的星球车悬吊力等效施加机构。使理论悬吊点-车厢球铰点构成的几何图形与力等效施加机构上球铰点构成的图形位似全等。此机构被动自适应车厢三自由度姿态，将作用于车厢外部悬吊力始终等效作用于车厢内部的理论悬吊点。

2）**发明了悬吊点三平动自由度的高精度大范围跟踪控制技术** （1）发明了悬吊点水平位置的高精度大范围跟踪技术。针对火星车的大范围整车低重力模拟，提出粗精耦合的双层冗余跟踪方案。一级跟踪平台采用低频、大滞后控制策略，实现了大惯量、低刚度跟踪平台的大范围运动控制与振动抑制；低惯量、高精度的二级跟踪平台采用高频、微超调控制策略，解决了悬吊点跟踪滞后、精度差的控制难题。（2）发明了主被动结合式高精度恒悬吊力控制技术。提出主被动结合式恒悬吊力系统方案，使用被动缓冲机构抑制高频扰动分量并降低带宽需求，使用电机主动抑制对象竖直运动的中低频扰动分量。发明了低惯量、低刚度、工作点大范围可调的被动缓冲机构，解决了悬吊索高刚度带来的悬吊力随微小干扰位移剧烈波动的难题。

3） **研制出火星车整车运动性能模拟验证系统** 设计并研制出火星车整车运动性能模拟验证系统。最大的运动跟踪范围 30m×30m×4m；40t 跟踪系统在 30m×30m 运动范围内的二维跟踪误差引起的水平干扰力小于悬吊力的 3‰（1σ）；悬吊索长 10m，悬吊力控制误差小于 5‰（1σ）；低重力轮压模拟误差小于 5%。成功完成了火星车多工况运动性能模拟验证。在国际上首次实现了模拟火星重力的火星车整车大范围、长时间、高精度运动性能验证。

2021好设计获奖作品正式版

3、设计价值

1、**国内外同类技术参数比较**

1） **与美国星球车移动系统的技术比较** 美国火星车只有轮式移动功能，在软沙中爬坡和脱陷时车轮易打滑，其软沙坡最大爬坡角为 15°，软沙地最大脱陷深度约为车轮半径，且脱陷耗时长、脱陷策略复杂。中国火星车兼具蠕动行驶功能，利用了车轮在软沙中推土阻力上限高于轮式滚动牵引力上限的特点，其软沙坡最大爬坡角为 25°，软沙地最大脱陷深度约为 2 倍车轮半径，最快可在两个蠕动周期内快速、有效地脱离深陷。另外，中国火星车具有主动车厢升降功能，可避免厢底被尖锐石块托起；具有车轮抬升功能，可将车轮从沉陷沙土中直接拔出，也可用于故障车轮隔离。综上，我国火星车采用主被动复合式移动系统，具有更高性能和更多功能。 我国火星车移动系统轻量化程度高于美国火星车。美国火星车采用被动悬架，重量占比 20%；我国火星车为主被动复合悬架，移动系统占整车重量的 17.4%。

2） **星球车运动性能地面测试低重力模拟系统的技术比较** 到目前为止，国外的星球车运动性能地面测试的低重力模拟方法，都无法实现崎岖地形下的星球车轮压动态等效。本项目发明了基于“单点恒力悬吊-多轮轮压校正”星球车整车低重力模拟方法，将恒定的单点悬吊力竖直作用于车厢，使星球车轮压总和达到低重力状态预期值；将多个随悬架姿态被动变化的“轮压校正转矩”作用于各车轮，实现崎岖地形中星球车复杂姿态下的轮压动态分配，保证试验状态与真实工况的轮压一致性。该方法对各类星球车移动系统具有普遍适用性。因此，本项目技术在星球车运动性能地面测试低重力模拟方面具有首创性和领先性。在崎岖地型条件下，本项目的星球车低重力轮压模拟误差小于 5%，优于美国多索悬吊方法（轮压误差约 30%左右）和苏联单索悬吊方法（轮压误差约 20%左右）。

2、**社会效益**

2021 年 5 月 15 日，“天问一号”探测器安全着陆于火星表面；5 月 22 日，“祝融号”火星车安全驶离着陆平台，到达火星表面，开始巡视；6 月 11 日正式宣布我国首次火星探测任务取得圆满成功。而主被动复合式火星车移动系统是我国“天问一号”的技术亮点。

2021 年度设计指南申报书

4、重要成果

（1）主要知识产权情况（限 10 项以内）

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（设计）人	发明专利有效状态
发明专利	主动悬架式火星车移动机构	中国	ZL201510696271.X	2017	2703028	哈尔滨工业大学	高海波；刘振；郑军强；邓宗全；丁亮；李楠；于海涛	授权
发明专利	一种主动悬架机构及控制方法	中国	ZL201510419915.0	2018	3153477	北京空间飞行器总体设计部	陈百超；袁宝峰；张旺军；党兆龙；贾阳；饶炜；王耀兵；温博	授权
发明专利	主动悬架式火星车主摇臂长短段张角调节机构	中国	ZL201510696301.7	2017	2507595	哈尔滨工业大学	刘振；邓宗全；郑军强；高海波；丁亮；李楠；于海涛	授权
发明专利	主动和被动相结合的六轮探测车移动机构	中国	ZL200910071957.4	2012	909142	哈尔滨工业大学	邓宗全；高海波；李所军；张朋	授权
发明专利	组合可折展悬架式六轮车载机构	中国	ZL201210472383.3	2014	1499569	哈尔滨工业大学	陶建国；杨飞；邓宗全	授权
发明专利	多弹簧约束四边形可折展悬架式六轮车载机构	中国	ZL201210472382.9	2014	1537973	哈尔滨工业大学	邓宗全；杨飞；陶建国	授权
发明专利	悬架式可折展的轮式车载机构	中国	ZL200910072572.X	2012	947745	哈尔滨工业大学	陶建国；邓宗全；杨飞；高海波；陈明；于卫真	授权
发明专利	复杂地形中星球车车轮沉陷量视觉测量方法	中国	ZL201510582529.3	2018	2794166	哈尔滨工业大学	李楠；高海波；吕凤天；丁亮；邓宗全；刘振；杨怀广	授权
发明专利	一种基于车撤信息的车轮滑	中国	ZL201510590109.X	2018	2859596	哈尔滨工业大学	丁亮；李楠；杨怀广；高海	授权

2021好设计推荐书正式版

	转率和侧偏角测量方法						波；邓宗全；刘振；吕凤天	
发明专利	一种具有俯仰转动和侧倾转动的星球车实验土槽	中国	ZL201310081596.8	2015	1659626	哈尔滨工业大学	高海波；丁亮；梁忠超；邓宗全；李楠；刘振	授权
发明专利	具有宏微观力测试功能的行星探测车车轮及受力测试方法	中国	ZL201410400516.5	2016	1975906	哈尔滨工业大学	邓宗全；丁亮；郭军龙；高海波；王圣军；李楠	授权
软件著作权	火星车蠕动爬坡运动控制软件	中国	2020SR0142170	2020	5020866	哈尔滨工业大学	高海波；刘振；郑军强；邓宗全；袁宝峰；陈百超	授权
软件著作权	火星车沉陷脱困运动控制软件	中国	2020SR0146184	2020	5024880	哈尔滨工业大学	高海波；刘振；郑军强；邓宗全；袁宝峰；陈百超	授权
实用新型专利	行星探测车低重力实验的悬挂装置和吊架悬挂方法	中国	ZL201010119801.1	2011	831633	哈尔滨工业大学	邓宗全；高海波；刘振；陶建国；丁亮	授权
发明专利	行星探测车低重力实验系统的车厢悬挂校正机构以及方法	中国	ZL201010569860.9	2014	1475195	哈尔滨工业大学	邓宗全；高海波；刘振；陶建国；丁亮	授权
发明专利	极坐标式无接触水平镜面倾角测量系统及测量方法	中国	ZL201410787142.7	2017	2389471	哈尔滨工业大学	卢鸿谦；尹航；班晓军；刘国平；陈力恒；黄显林	授权
发明专利	低摩擦空间恒扭矩弹簧凸轮机构	中国	ZL201510696936.7	2017	2682641	哈尔滨工业大学	高海波；刘振；牛福亮；邓宗全；丁亮；李楠	授权
软件著作权	火星车内场低重力系统位置子系统 PL	中国	2018SR1016535	2018	3345630	哈尔滨工业大学	刘延芳；杨晓宁；樊世超；高海波	授权

2021好设计推荐书正式版

	C控制程序平台							
外观专利	火星车	中国	ZL201530295725.3	2016	3559638	北京空间飞行器总体设计部	张旺军；陈百超；贾阳；孙泽洲；党兆龙；温博	授权

（2）本项目曾获科技奖励情况（限10项以内）

项目名称	奖项名称	获奖等级	获奖时间	授奖部门（单位）	获奖人	获奖单位
火星车复合式移动系统设计及运动性能模拟验证关键技术	中国机械工业科学技术奖（技术发明奖）	一等奖	2020	中国机械工业联合会，中国机械工程学会	高海波，刘振，杨晓宁，潘冬等15人	哈尔滨工业大学
宇航空间机构悬吊法重力补偿关键技术	黑龙江省技术发明奖	一等奖	2015	黑龙江省人民政府	高海波，邓宗全，卢鸿谦，刘振等11人	哈尔滨工业大学

2021好设计推荐书上传版

承诺：本项目所列重要成果符合推荐要求且无争议。上述成果用于推荐好设计奖已征得未列入项目主要完成人的权利人（发明专利指发明人）同意。

第一完成人签名：

四、推荐意见（限 600 字以内）

单位名称	中国好设计哈尔滨中心	单位性质	高校
联系人	刘九庆	手机	18686744356
工作单位及职务	东北林业大学机电工程学院院长	职称	教授
电子邮箱	googdesign_hlj@126.com	是否同意推荐	是

推荐意见：

“天问一号”火星探测任务是国家科技重大专项，“祝融号”火星车的移动系统是最为关键的组成部分。

针对美国被动悬架式火星车出现的通过性问题，发明并研制了具有蠕动脱陷等功能的主被动复合式火星车移动系统。创建了火星车蠕动模式的运动控制策略，脱陷能力和爬坡能力远高于美国火星车。

社会效益显著，主被动复合式火星车移动系统是我国“天问一号”的技术亮点，是登陆外星球的首个具有主被动复合式移动系统的火星车。

2021好设计推荐书正式版

声明：推荐单位知晓“好设计”评审办法，对提供的材料进行了认真审核，保证所填写的信息和提供材料真实，无任何虚假申报情况。申报材料完全符合国家法律法规的有关规定，并对提交的材料知识产权和保密性要求等自负法律责任。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。

推荐单位负责人签字：

推荐单位盖章：

2021年07月30日

五、主要完成人信息表（最多不超过 5 人）

姓　　名	刘振	性别	男	排名	1	国　　籍	中国
出生年月	1983-10-10			出 生 地	中国青岛	民　　族	汉
身份证号	370205198310101513			技术职称	教授	所学专业	机械设计及理论
办公电话	13796069157			移动电话	13796069157	电子邮箱	liuzhen_hit@163.com
通讯地址	黑龙江哈尔滨市南岗区一匡街 2 号，哈工大科学园科创大厦 K205					邮政编码	150001
工作单位	哈尔滨工业大学					行政职务	无
所在部门	机电工程学院						
参加本项目的起止时间	2013-09-15 至 2020-07-15						

主要贡献：（限 300 字以内）

对设计创新点 1、2、3 做出了重要贡献。在设计创新点 1 中作为第一发明人发明了“主动悬架式火星车主摇臂长短段张角调节机构”，实现了主摇臂前后段夹角、车身姿态角的同步受控。在设计创新点 2 中提出了蠕动爬坡和蠕动脱陷控制策略，提升了火星车爬坡角度和脱陷能力。在设计创新点 3 中发明了多项专利，建立了重力场-悬吊力等效转换理论模型，提出了基于场-力等效的空间机构微低重力模拟方法，发明了悬吊力等效施加机构，作为项目负责人研制出了火星车在洁净环境和模拟火壤环境下的低重力模拟系统。

声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

本人担任领导干部情况（在对应的内□划“√”）

1. 县处级副职及以上领导干部履行本单位重大事项报告制度；2. 中管干部按相关要求履行上报程序；3. 公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员不得作为项目完成人员。

□无此类情况

□有此类情况，已履行相关审核手续，存档备查。

本人签名：

年　　月　　日

完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。

工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。

单位（盖章）

年　　月　　日

姓　　名	党兆龙	性别	男	排名	2	国　　籍	中国
出生年月	1976-06-13			出 生 地		民　　族	
身份证号	612133197606136616			技术职称	高级工程师	所学专业	
办公电话				移动电话	18611979126	电子邮箱	
通讯地址	北京北京市西城区新街口西里三区六号楼三门 302					邮政编码	
工作单位	北京空间飞行器总体设计部					行政职务	
所在部门							
参加本项目的起止时间	2013-09-15 至 2020-07-15						

主要贡献：（限 300 字以内）

对设计创新点 1、2 做出了重要贡献。在设计创新点 1 中确定了我国火星车的蠕动式主被动复合移动技术路线，发明了一种主动悬架机构及设计方法。在设计创新点 2 中进行了大量的试验，得出了蠕动脱陷和蠕动爬坡的运动控制参数，提升了火星车爬坡角度和脱陷能力。

声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

本人担任领导干部情况（在对应的内□划“√”）

1. 县处级副职及以上领导干部履行本单位重大事项报告制度；2. 中管干部按相关要求履行上报程序；3. 公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员不得作为项目完成人员。

□无此类情况

□有此类情况，已履行相关审核手续，存档备查。

本人签名：党兆龙

2021年 07月 06日

完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。

工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。

单位（盖章）

年　　月　　日

2021好设计奖励推荐书正式版

姓　　名	杨晓宁	性别	男	排名	3	国　　籍	中国
出生年月	1972-04-20			出 生 地		民　　族	
身份证号	110108197204209732			技术职称	研究员	所学专业	
办公电话				移动电话	13910108258	电子邮箱	
通讯地址	北京北京市海淀区 5142 信箱 66 分箱					邮政编码	
工作单位	北京卫星环境工程研究所					行政职务	
所在部门							
参加本项目的起止时间	2013-09-15 至 2020-07-15						

主要贡献：（限 300 字以内）

对设计创新点 3 做出了重要贡献。在设计创新点 3 中发明了“高气密性多芯多径光纤穿壁密封连接器”等四项专利，该专利获得“第十二届中国专利优秀奖”，多项专利用于火星车及其太阳翼在热真空环境下的运动性能试验，为热真空罐内测试设备与罐外控制系统之间的数据传输提供高气密性多芯多径光纤穿壁密封连接器，确保了采集环境温度、运动参数的准确传输。在设计创新点 3 中作为软件著作权人提出了四个软件著作权。

声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

本人担任领导干部情况（在对应的内□划“√”）

1. 县处级副职及以上领导干部履行本单位重大事项报告制度；2. 中管干部按相关要求履行上报程序；3. 公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员不得作为项目完成人员。

□无此类情况

□有此类情况，已履行相关审核手续，存档备查。

本人签名：杨晓宁

年　　月　　日

完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。

工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。

单位（盖章）

年　　月　　日

好设计 GOOD DESIGN
北京卫星环境工程研究所 1101021001139
仅供评审推荐书正式版

姓　　名	潘冬	性别	男	排名	4	国　　籍	中国
出生年月	1984-05-07			出 生 地		民　　族	
身份证号	220724198405072632			技术职称	高级工程师	所学专业	
办公电话				移动电话	13520555722	电子邮箱	
通讯地址	北京北京市海淀区友谊路 104 号					邮政编码	
工作单位	北京空间飞行器总体设计部					行政职务	
所在部门							
参加本项目的起止时间	2013-09-15 至 2020-07-15						

主要贡献：（限 300 字以内）

对设计创新点 1、2 做出了较为重要的贡献。在设计创新点 1 中作为主要的机构设计人员，完成了主动悬架式火星车移动系统构型尺寸与机构一体化优化设计，保证车体水平抬升，抬升过程俯仰角优于 0.7 度。在设计创新点 2 中，完成了移动系统运动控制算法设计，可自主实现行走、车体升降、抬轮、蠕动等运动控制。

声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

本人担任领导干部情况（在对应的内□划“√”）

1. 县处级副职及以上领导干部履行本单位重大事项报告制度；2. 中管干部按相关要求履行上报程序；3. 公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员不得作为项目完成人员。

□无此类情况

□有此类情况，已履行相关审核手续，存档备查。

本人签名：潘冬

2021 年 01 月 06 日

完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。

工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。

单位（盖章）

年　　月　　日

好设计推荐书正式版

姓　　名	牛福亮	性别	男	排名	5	国　　籍	中国
出生年月	1992-10-23			出 生 地		民　　族	
身份证号	130127199210230011			技术职称	无	所学专业	
办公电话				移动电话	18845550626	电子邮箱	
通讯地址	黑龙江哈尔滨市南岗区一匡街 2 号 哈工大科学园科创大厦 K522 室					邮政编码	
工作单位	哈尔滨工业大学 机电工程学院					行政职务	
所在部门							
参加本项目的起止时间	2014-07-15 至 2020-07-15						

主要贡献：（限 300 字以内）

对设计创新点 3 做出了较为重要贡献。在设计创新点 3 中发明了“低惯量弹簧扭杆式恒力机构”、“低摩擦空间恒扭矩弹簧凸轮机构“等发明专利，为主被动结合的高精度悬吊力控奠定基础；在火星车低重力模拟系统研制中负责悬吊力系分统，设计并实现了悬吊力分系统的控制器、控制算法和代码，并进行了试验测试。

声明：本人同意完成人排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

本人担任领导干部情况（在对应的内□划“√”）

1. 县处级副职及以上领导干部履行本单位重大事项报告制度；2. 中管干部按相关要求履行上报程序；3. 公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员不得作为项目完成人员。

□无此类情况

□有此类情况，已履行相关审核手续，存档备查。

本人签名：牛福亮

年　　月　　日

完成单位声明：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将积极配合调查处理。

工作单位声明：本单位对该完成人被提名无异议。

单位（盖章）

年　　月　　日

好设计大赛推荐书正式版

六、主要完成单位信息表（法人，最多不超过 3 个）

单位名称	哈尔滨工业大学				
排　　名	1	法定代表人	周玉	所 在 地	黑龙江省哈尔滨市
单位性质	高等院校	传　　真	045186412114	邮政编码	150080
通讯地址	黑龙江哈尔滨市南岗区西大直街 92 号				
联 系 人	陈毅恒	单位电话	045186414461	移动电话	13936166698
电子邮箱	chenyiheng@hit.edu.cn				

主要贡献：（限 600 字以内）

哈尔滨工业大学作为本项目的牵头单位，对设计创新点 1、2、3 做出了重要贡献。授权发明专利 59 项、联合授权软件著作权 6 项，公开发表论文 129 篇，其中 SCI 论文 46 篇。主要创新贡献如下： 发明并研制了具有蠕动脱陷功能的主被动复合式火星车移动系统：提出了具有蠕动功能的主被动复合式悬架自由度设计准则，发明了具有蠕动功能的主被动复合式火星车移动系统构型，该构型具有蠕动爬行、车厢升降、车轮抬起、悬架折展、全向移动等功能，解决了美国火星车移动系统存在的问题。研制出火星车主被动复合式移动系统。 创建了火星车蠕动模式的运动控制策略：建立了驱动轮的轮-壤作用滑转沉陷本构模型，揭示了脱陷轮滑转/滑移状态下前进阻力系数与推送距离之间的规律，建立了止退轮的最大止退力模型。提出了火星车蠕动脱陷和蠕动爬大角度坡的运动控制策略，提升了火星车爬坡角度和脱陷能力。 发明星球车整车运动性能模拟验证方法：建立了重力场-悬吊力等效转换理论模型，提出了基于场-力等效的空间机构微低重力模拟方法，发明了悬吊力等效施加机构、悬吊点位置的大范围跟踪控制技术。研制出火星车整车运动性能模拟验证系统，为型号任务的成功实施提供了不可或缺的技术支撑。 推广应用贡献如下： 将主被动复合移动机构应用于特种机器人的移动底盘机构；将微低重力模拟技术推广应用于太阳翼、空间机械臂等复杂宇航空间机构地面试验。

声明：本单位同意完成单位排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

法定代表人签名：　　单位（盖章）

年月日年月日

单位名称	北京空间飞行器总体设计部				
排　　名	2	法定代表人	周佐新	所 在 地	北京市
单位性质	科研院所	传　　真		邮政编码	100094
通讯地址	北京北京市海淀区友谊路 104 号				
联 系 人	郑旸	单位电话	010-68111036	移动电话	18810322668
电子邮箱	zhengyang0215@163.com				

主要贡献：（限 600 字以内）

北京空间飞行器总体设计部对创新点 1、2 做出了重要贡献，授权发明专利 3 项、外观专利 1 项、联合授权软件著作权 2 项。主要创新贡献如下： 确定了我国火星车的蠕动式主被动复合移动技术路线，发明了具有蠕动功能的主被动复合火星车移动系统构型，该构型具有蠕动爬行、车厢升降、车轮抬起、悬架折展、全向移动等功能，从构型上克服了美国火星车移动系统的设计缺陷。基于移动系统构型尺寸进行了夹角调整机构双输出减速比优化设计，实现车厢升降过程始终保持水平；结合火星表面的真空度、温度、重力、尘暴等特殊环境要求，设计并研制出质量轻、承载高的主被动复合式火星车移动系统；设计了采用新材料、新结构的轻量化车轮，解决了复杂地形下的车轮破损问题。所研制的火星车主被动复合式移动系统占整车总重的 17.4%，低于美国的 20%。 采用六轮同步转向“蟹行”方案克服了松软土壤爬坡角度小、效率低的难题；通过车轮与前进方向的角度变化，采用“之”字行走方案克服下滑沉陷等难题。

声明：本单位同意完成单位排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

法定代表人签名：　单位（盖章）

年月日年月日

2021.07.06

2021好设计推荐作品

单位名称	北京卫星环境工程研究所				
排　　名	3	法定代表人	杨晓宁	所 在 地	
单位性质	科研院所	传　　真		邮政编码	
通讯地址	北京北京市海淀区友谊路 104 号				
联 系 人	刘涛	单位电话		移动电话	15210608001
电子邮箱					

主要贡献：（限 600 字以内）

北京卫星环境工程研究所对设计创新点 3 做出了重要贡献，授权发明专利 4 项、授权软件著作权 2 项、联合授权软件著作权 4 项。主要创新贡献如下：负责组织星球车悬吊式低重力模拟系统的测试、以及星球车移动系统功能和性能验证试验等工作。发明了“高气密性多芯多径光纤穿壁密封连接器”等四项专利，该专利获得“第十二届中国专利优秀奖”，这四项专利用于火星车及其太阳翼在热真空环境下的运动性能试验，为热真空罐内测试设备与罐外控制系统之间的数据传输提供高气密性多芯多径光纤穿壁密封连接器，确保了采集环境温度、运动参数的准确传输。参与了“火星车内场低重力系统位置子系统 PLC 控制程序平台”、“合作点目标特征高速提取软件”、“基于 PLC 的重力补偿软件”和“基于合作目标的视觉位姿测量软件”等四个软件著作权的编写，用于火星车地面试验低重力模拟系统的高精度运动跟踪控制和恒悬吊力跟踪控制。

声明：本单位同意完成单位排名，自觉遵守《好设计奖励章程》有关规定，遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，将保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

法定代表人签名：单位（盖章）

年月日年月日 杨晓宁

北京卫星环境工程研究所 11010210011397

2021好设计推荐申报材料

七、附件

1.视频及图片

2. 带配音 PPT

3. 佐证材料

4.其他

2021好设计推荐书正式版

《好设计推荐书》填写说明

第一部分 总体说明

《好设计推荐书》是评审的主要依据，请根据本说明要求认真填写，形式审查不合格的项目不予提交评审。

第二部分 具体说明

《好设计推荐书》按结构分为主件和附件，按提交方式分为电子版和纸质版。

电子版提名书包括主件（第一至第六部分）和附件（第七部分），应在指定推荐系统（cgd.ckcest.cn）中填写和上传。主件第二部分的页边距左右各3.2cm，上下各2.8cm（以推荐系统提供下载的模板为准）正文文字使用宋体，小四号，行距不小于18磅，标题和图表文字格式可自行设置，建议黑体。

纸质版推荐书包括主件（第一至第五部分）和附件（第六部分），纸质版主件应从推荐系统中生成并打印（包含“2021好设计推荐书正式版”水印），附件按填报系统顺序提供复印件。主件和附件应合订，单双面不限，纸张规格A4，竖向左侧装订，以“一、项目基本情况”作为首页，无需另加封面。具体填写要求说明如下：

一、项目基本情况

1.项目名称：请使用中文名称，应紧紧围绕项目创新设计核心内容，简明、准确地反映创新设计内涵和特征，限20字以内。

2.主要完成人：最多不超过5人，确认提交后不得修改。

3.主要完成单位：最多不超过3个，确认提交后不得修改。

4.推荐渠道：分为大区推荐、合作伙伴和好设计综合办公室推荐，三选一。

5.申报范围：在推荐系统中选择相应类别填写。一级领域：制造装备类，生活消费类、模式创新类；二级领域：机械制造（含机床、基础制造工艺与装备、机械基础件、工程机械、工业机器人）、航空航天装备、轨道交通装备、船舶、汽车、电力装备、钢铁工业、石化工业、信息电子等；智能家居、健康医疗等；服务设计、商业模式设计、业态设计等。若不在二级细分范围内，请在“其他”中注明具体领域名称。

6.现处阶段：在推荐系统中选择项目所处阶段。

7.经济效益：若项目已上市销售，需填写相应市场经营指标。

8.获奖情况：填写与本项目核心内容直接相关的获奖情况。

9.专利情况：填写本项目创新设计核心内容相关知识产权情况。

10.项目联系人：填写项目指定联系人信息。

二、设计简介

简要描述：（1）设计目的：设计概念产生源起；（2）设计创新：从产品、工艺、服务及商业模式等方面体现技术集成创新、功能工艺创新、文化艺术创新、生态人本创新的特点；（3）设计价值：服务国家安全、市场效益、社会效益、品牌引领等。限1000字以内。

三、设计说明书

2021好设计推荐书正式版

1.设计目的：简要描述项目的创新设计思想，设计概念产生源起、创意过程或启发因素，以及项目设计的目的与意义。限1000字以内。

2.设计创新：以产品、工艺、服务及商业模式等多种形式，体现技术集成创新、功能工艺创新、文化艺术创新、生态人本创新，具体包括：（1）项目技术原理创新、功能创新、结构和外观设计创新、服务或商业模式创新等特点；（2）设计方法科学性、功能实现有效性、工艺流程与材料设计领先性、软件及网络大数据设计智能性，推动跨界融合、拥有自主知识产权。限3000字以内。

3、设计价值：服务国家安全、市场效益、社会效益、品牌引领等设计价值，体现人文关怀、道德伦理、生态环保等设计责任，具有人性化及审美性、安全舒适等品质与服务体验等设计体验。限1000字以内。

4、重要成果：根据项目实际情况，在推荐系统中依次填写项目主要知识产权、获得重要科技奖项等内容。证书扫描件作为附件提供。

四、推荐意见

推荐单位应认真审阅推荐书全文，从设计目的、设计 创新、设计价值等方面进行概述，填写推荐意见。限600字以内。

五、主要完成人信息表

1.排名：按照贡献大小排序，不超过5人。

2.身份证号：大陆居民填写国内居民身份证号（18位）；港澳居民填写香港或澳门居民身份证号。

3.工作单位：根据人事关系填写完成人现工作的单位，已退休的填写退休前的工作单位，在国外工作的，填写国外单位。

4.所在部门：填写完成人所在的具体部门，如大学的院系等。

5.起止时间：起始时间应在本项目起始时间之后，结束时间可根据实际情况填写，不限于本项目完成时间之前。

6.主要贡献：应写明完成人对本项目做出的实质性贡献。不超过300字。

7.签名盖章：“本人签名”应为完成人的亲笔签名。如因特殊情况而无法签名，应由提名者出具书面说明，随推荐书一并报送好设计综合办公室。完成人的工作单位和完成单位应在“单位（盖章）”处盖章。如工作单位和完成单位为同一单位，只需加盖一个公章；如为不同单位，两个单位公章应同时加盖。所盖公章应与填写的单位名称一致（具有多个名称的单位，所盖公章应至少与其中一个名称相同）。工作单位是国外单位的，可以不盖章。

六、主要完成单位信息表

1.单位数量：完成单位应为法人，主要完成单位数不超过3个。

2.单位名称：应与单位公章完全一致。不得填写非法人单位名称或单位简称。

3.单位性质：在推荐系统中选择相应类别填写。

4.主要贡献：围绕完成单位对本项目的**设计创新和设计价值进行说明。**完成单位应由法定代表人签名（特殊情况下，可由法定代表人委托指定人签名并出具书面委托书），并在单位盖章处盖章。不超过600字。

七、附件

1.图片及视频：

图片：（1）提供不少于5张图/照片；（2）酌情提供：应用场景图/照

2021好设计推荐书正式版

片、产品外观效果图/照片、主要结构示意图、创新创意阐释图、其他各类设计或工程分析图等；（3）图片支持 jpg，png 格式，分辨率 300dpi 以上。

视频：（1）紧扣设计目的、设计创新、设计价值等内容提供视频文件。格式为 MP4，H.264 编码，分辨率 1920×1080(1080p)，单个视频时长不超过 3 分钟，大小不超过 100MB；（2）提供封面图一张，用于官网展览展示用，封面图片支持上传 jpg、png 格式，图/照片比例：4:3，尺寸：500px*360px。

2.带配音 PPT

项目介绍 3 分钟配音 PPT 视频，PPT 需转存成 MP4 格式上传系统，有关参考模板在好设计官网下载。

3.佐证材料

至少提供一份能证明本项目已实施应用的客观佐证材料关键页，如验收报告、用户报告、销售或服务合同等。应用单位出具的相应说明或证明可以作为佐证材料，须加盖法人单位公章。

4.其他

其他可以证明本项目产品技术或设计创新的文件。

2021好设计推荐书正式版

附、推荐意见（限 600 字以内）

单位名称	东北地区	单位性质	民营企业
联系人	田京龙	手机	15802458885
工作单位及职务	沈阳创新设计服务中心/秘书	职称	高级工程师
电子邮箱	15802458885@163.com	是否同意推荐	是

推荐意见：

本项目发明并研制了具有蠕动脱陷等功能的主被动复合式火星车移动系统，突破了轮式滚动对牵引力的限制，大幅提高了火星车脱陷和爬坡性能。该移动系统具有蠕动脱陷、蠕动爬坡、车厢升降防托底、悬架主动折展、车轮抬起、全向移动等功能，解决了美国火星车移动系统存在的问题。建立重力场-悬吊力等效转换理论模型，将模拟“场”等效转换为模拟“轮地接触力”；发明了悬吊力等效施加机构、悬吊点六自由度位姿跟踪控制技术；研制出火星车整车运动性能模拟验证系统。在国际上首次实现了火星车整车的低重力运动性能模拟验证，具有运动范围大、试验时间长、模拟精度高的特点。 社会效益显著，主被动复合式火星车移动系统是我国“天问一号”的技术亮点，是登陆外星球的首个具有主被动复合式移动系统的火星车。

2021好设计推荐单位专用版

声明：推荐单位知晓“好设计”评审办法，对提供的材料进行了认真审核，保证所填写的信息和提供材料真实，无任何虚假申报情况。申报材料完全符合国家法律法规的有关规定，并对提交的材料知识产权和保密性要求等自负法律责任。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。

推荐单位负责人签字：

推荐单位盖章：

年 月 日