



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113682500 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 17

(21) 申请号 202110962306.5

(22) 申请日 2021.08.20

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113682500 A

(43) 申请公布日 2021.11.23

(73) 专利权人 吉林大学
地址 130000 吉林省长春市前进大街2699号

专利权人 北京空间飞行器总体设计部

(72) 发明人 潘冬 袁宝峰 邹猛 贾阳
金敬福 王瑞 张泽洲 陈百超
党兆龙 张昕蕊

(74) 专利代理机构 北京慕达星云知识产权代理
事务所(特殊普通合伙)
11465

专利代理师 符继超

(51) Int.Cl.

B64G 7/00 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 107290002 A, 2017.10.24
- CN 109708899 A, 2019.05.03
- US 2008023587 A1, 2008.01.31
- US 2014209515 A1, 2014.07.31
- US 2018079922 A1, 2018.03.22
- CN 112213132 A, 2021.01.12
- CN 112257817 A, 2021.01.22
- CN 101450717 A, 2009.06.10
- CN 103884520 A, 2014.06.25
- CN 104297007 A, 2015.01.21
- CN 107290296 A, 2017.10.24
- EP 0319413 A1, 1989.06.07
- US 2017129105 A1, 2017.05.11

审查员 康珊珊

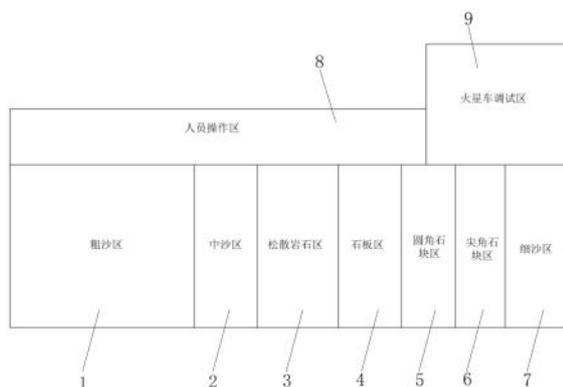
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境

(57) 摘要

本发明公开了一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,包括七种地形,分别为:粗沙区、松散岩石区、尖角岩石区、圆角岩石区、石板区、中沙区、细沙区,其中,粗沙区用以模拟火星表面平坦平原环境;中沙区用以模拟火星表面峡谷平原环境;细沙区用以模拟火星表面沙丘环境;松散岩石区用以模拟火星表面同时带有尖角以及圆角岩石的沙地环境;尖角岩石区用以模拟火星表面带有不规则岩石的沙地环境;圆角岩石区用以模拟火星表面规则岩石的沙地环境;石板区用以模拟火星表面岩基环境。该试验环境实现了对火星壤环境以及地形地貌的模拟,满足了测试过程中所需的全部试验条件及对火星壤以及火星表面地形地貌的综合需求。



1. 一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,其特征在於,包括七种地形,分别为:粗沙区、松散岩石区、尖角岩石区、圆角岩石区、石板区、中沙区、细沙区;其中,粗沙区用以模拟火星表面平坦平原环境;中沙区用以模拟火星表面峡谷平原环境;细沙区用以模拟火星表面沙丘环境;松散岩石区用以模拟火星表面同时带有尖角以及圆角岩石的沙地环境;尖角岩石区用以模拟火星表面带有不规则岩石的沙地环境;圆角岩石区用以模拟火星表面规则岩石的沙地环境;石板区用以模拟火星表面岩基环境;粗沙区、中沙区以及细沙区分别布置中值粒径为 $700\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ 、 $40\mu\text{m}$ 的模拟火壤;松散岩石区是将尖角石块和圆角石块随机布置在中值粒径为 $200\mu\text{m}$ 的模拟火壤上;尖角岩石区和圆角岩石区的布置方式均为下层铺设粗粒径模拟火壤,然后铺设火山石板,上层随机分布对应的尖角石块或圆角石块;石板区下层铺设密实火星壤,上层铺设火山石板。

2. 根据权利要求1所述的一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,其特征在於,七种地形中,粗沙区占比为34.71%,松散岩石区占比为17.87%,尖角岩石区占比为4.81%,圆角岩石区占比为5.15%,石板区占比为14.09%,中沙区占比为14.78%,细沙区占比为8.59%。

3. 根据权利要求1所述的一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,其特征在於,粗粒径模拟火壤为 $700\mu\text{m}$ 火星壤。

4. 根据权利要求1所述的一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,其特征在於,尖角石块为不规则长白山玄武岩,圆角石块为松花江鹅卵石。

5. 根据权利要求1或2所述的一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,其特征在於,还包括人员操作区和设备调试区,人员操作区用于布置火星车控制器以及数据采集器,同时,在试验时试验人员在该区域内进行观察、操作、走线;设备调试区用以放置、隔离、调试火星车。

一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境

技术领域

[0001] 本发明涉及深空探测中地面试验领域,更具体的说,涉及一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境。

背景技术

[0002] 由于风的存在,火星的地形地貌较月面复杂多变,曾经导致勇气号火星车陷入沙丘停止工作,好奇号车轮被石块划破影响移动等。因此,美国NASA为了更好对好奇号火星车进行路径规划和导航,将火星地形分为5种:沙地(Sand)、松散岩石地(Loose Rock)、岩基地面(Bedrock)、尖角石块地面(Angular Embedded Rock)和圆角石块地面(Round Embedded Rock)。但在2017年,NASA和华盛顿大学的科研人员,在以上5种地形基础上,将好奇号通过的路面进行了更为详细的分类,可分为9类。

[0003] 随着我国火星探测任务不断向前推进,为了保障火星车在火星表面顺利开展巡视探测,需要在地面构建模拟火星地形地貌试验环境,以便对火星车各项移动功能进行试验、测试、分析和地面伴飞等。国内现有试验环境,地形地貌较为单一,并不能完全反映出火星车巡视探测时所面临的各种复杂火星地表环境。

[0004] 因此,需要设计一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境来解决以上问题。

发明内容

[0005] 为解决现有火星试验环境地形地貌单一的问题,根据最新火星地形地貌分类、石块大小及数量、土壤力学参数,本发明提出了一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,该试验环境实现了对火星壤环境以及地形地貌的模拟,满足了测试过程中所需的全部试验条件及对火星壤以及火星表面地形地貌的综合需求。

[0006] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,包括七种地形,分别为:粗沙区、松散岩石区、尖角岩石区、圆角岩石区、石板区、中沙区、细沙区;其中,粗沙区用以模拟火星表面平坦平原环境;中沙区用以模拟火星表面峡谷平原环境;细沙区用以模拟火星表面沙丘环境;松散岩石区用以模拟火星表面同时带有尖角以及圆角岩石的沙地环境;尖角岩石区用以模拟火星表面带有不规则岩石的沙地环境;圆角岩石区用以模拟火星表面规则岩石的沙地环境;石板区用以模拟火星表面岩基环境。

[0008] 优选的,七种地形中,粗沙区占比为34.71%,松散岩石区占比为17.87%,尖角岩石区占比为4.81%,圆角岩石区占比为5.15%,石板区占比为14.09%,中沙区占比为14.78%,细沙区占比为8.59%。

[0009] 优选的,粗沙区、中沙区以及细沙区分别布置中值粒径为700 μm 、200 μm 、40 μm 的模拟火壤,用以模拟火星表面不同粒径土壤环境,测试火星车在不同粒径火星壤上的松软地面通过能力。

[0010] 优选的,松散岩石区是将尖角石块和圆角石块随机布置在中值粒径为200 μm 的模

拟火壤上,用以测试分析火星车的越障能力和几何通过性。

[0011] 优选的,尖角岩石区和圆角岩石区的布置方式均为下层铺设粗粒径模拟火壤,然后铺设火山石板,上层随机分布对应的尖角石块或圆角石块,用以测试分析火星车车轮的耐久性。

[0012] 优选的,粗粒径模拟火壤为700 μm 火星壤。

[0013] 优选的,尖角石块为不规则长白山玄武岩,圆角石块为松花江鹅卵石。

[0014] 优选的,石板区下层铺设密实火星壤,上层铺设天然火山石板,用以测试火星车在硬地面上的机动性能。

[0015] 优选的,还包括人员操作区和设备调试区,人员操作区用于布置火星车控制器以及数据采集器等,同时,在试验时试验人员在该区域内进行观察、操作、走线等;设备调试区用以放置、隔离、调试火星车。

[0016] 本发明一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境具有以下优点:

[0017] (1)、本发明采用了玄武岩火山灰所制备的不同粒径大小的模拟火壤,基本涵盖了现如今所了解到的火星表面全部土壤粒径统计范围。

[0018] (2)、本发明根据火星表面石块的统计信息,设置试验场石块的数量、大小、分布和埋设情况。石块分为尖角石块和圆角石块两类,埋设情况分为:裸露、50%埋设和100%埋设。

[0019] (3)、本发明设置了石板路面、尖角石块和圆角石块路面,且位于石板上的石块也分为尖角和圆角两种。试验环境地面积符合火星车移动试验要求,能进行火星车测试工作。

[0020] (4)、本发明配有专用的人员操作区和设备调试区,人员操作区方便人员操作和观察,设备调试区用以调试及存放火星车,避免由于细小颗粒进入火星车内部造成火星车损坏。

附图说明

[0021] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0022] 图1为本发明一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境的分布示意图。

[0023] 图2为本发明一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境的截面图。

[0024] 图中:1-粗沙区,2-松散岩石区,3-尖角岩石区,4-圆角岩石区,5-石板区,6-中沙区,7-细沙区,8-人员操作区,9-设备调试区,10-模拟火壤,11-火山石板,12-圆角石块,13-尖角石块。

具体实施方式

[0025] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0026] 实施例:

[0027] 如图1-图2所示,本发明一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境,包括七种地形,分别为:粗沙区1、松散岩石区2、尖角岩石区3、圆角岩石区4、石板区5、中沙区6、细沙区7;其中,粗沙区1用以模拟火星表面平坦平原环境;中沙区6用以模拟火星表面峡谷平原环境;细沙区7用以模拟火星表面沙丘环境;松散岩石区2用以模拟火星表面同时带有尖角以及圆角岩石的沙地环境;尖角岩石区3用以模拟火星表面带有不规则岩石的沙地环境;圆角岩石区4用以模拟火星表面规则岩石的沙地环境;石板区5用以模拟火星表面岩基环境。

[0028] 本实施例中,粗沙区1、松散岩石区2、尖角岩石区3、圆角岩石区4、石板区5、中沙区6、细沙区7所形成的区域整体长20m,宽5m,高0.5m。

[0029] 进一步的,如表1,上述七种地形中,粗沙区1占比为34.71%,松散岩石区2占比为17.87%,尖角岩石区3占比为4.81%,圆角岩石区4占比为5.15%,石板区5占比为14.09%,中沙区6占比为14.78%,细沙区7占比为8.59%。

[0030] 并且,粗沙区1、中沙区6以及细沙区7分别布置中值粒径为700 μm 、200 μm 、40 μm 的模拟火壤10。

[0031] 表1:模拟火星表面地形

地形	组成	百分比
粗沙区	模拟火壤,D50=700 μm	34.71%
中沙区	模拟火壤,D50=200 μm	14.78%
细沙区	模拟火壤,D50=40 μm	8.59%
松散岩石区	模拟火壤+尖角/圆角石块	17.87%
石板区	火山石板	14.09%
圆角石块区	粗砂(底)+石板(中)+圆角石块(上)	5.15%
尖角石块区	粗砂(底)+石板(中)+尖角石块(上)	4.81%

[0033] 在粗沙区1、中沙区6、细沙区7进行火星壤铺设时采用分层装料振动压实的方法,逐层进行模拟火壤10初始铺装,以减少底部模拟火壤10的容重不均匀现象,使模拟火壤10的密实度呈垂直分布逐渐增加状态。铺设后,对表层模拟火壤10进行旋耕翻松处理,深度在15~20cm范围内,模拟火星表面扰动层在自然堆积下的疏松状态。为避免外界干扰将采用专用整备平台将铺设的模拟火壤10表面刮平后,通过散落法制备出1cm左右的极度松散模拟火壤浅表层,模拟火星表面散落尘土的自然状态。在此过程中,采用土壤硬度仪进行质量检验,保证整备质量。

[0034] 进一步的,松散岩石区2是将尖角石块13和圆角石块12随机布置在中值粒径为200 μm 的模拟火壤10上。

[0035] 具体的,松散岩石区2底层铺设200 μm 火星壤;上层岩石分为尖角石块13和圆角石块12。尖角石块13使用不规则辉南金川玄武岩,圆角石块12使用松花江鹅卵石。圆角石块12分布如表2,尖角石块13分布如表3。

[0036] 表2:圆角石块12布置参数

石块	参数
石块数量	72
底层模拟火壤	200 μm

分布规律	随机分布
模拟石块	松花江鹅卵石
石块高128-256mm	3% (1块50%裸露,1块埋没)
石块高64-128mm	30.0% (12块裸露,9块50%裸露)
石块高32-64mm	60.0% (25块裸露,13块50%裸露)
石块高16-32mm	7.0% (11块全部裸露)

[0038] 表3:尖角石块13布置参数

石块	参数
石块数量	86
底层模拟火壤	200 μ m
分布规律	随机分布
模拟石块	辉南金川玄武岩
石块高128-256mm	2.7% (1块50%裸露,1块埋没)
石块高64-128mm	27.4% (11块裸露,10块50%裸露,2块埋没)
石块高32-64mm	55.3% (25块裸露,11块50%裸露,12块埋没)
石块高16-32mm	14.6% (13块全部裸露)

[0040] 进一步的,尖角岩石区3和圆角岩石区4的布置方式均为下层铺设700 μ m粗粒径模拟火壤10,然后铺设火山石板11,上层随机分布对应的尖角石块13或圆角石块12。

[0041] 具体的,尖角岩石区3底层铺设700 μ m大颗粒火星壤,然后铺设火山石板11,上部使用不规则长白山玄武岩,更具体为辉南金川玄武岩,且上述石块在该区域内布置方式均为随机布置,如表4。

[0042] 表4:尖角石块区

石块	参数
石块数量	60
底层模拟火壤	700 μ m
分布规律	随机分布
模拟石块	辉南金川玄武岩
石块高32-64mm	60% (36块)
石块高16-32mm	40% (24块)

[0044] 圆角岩石区4底层铺设700 μ m大颗粒火星壤,然后铺设火山石板11,上部使用松花江鹅卵石,上述石块在该区域内布置方式均为随机布置,如表5。

[0045] 表5:圆角石块12区

石块	参数
石块数量	60
底层模拟火壤	700 μ m
分布规律	随机分布
模拟石块	松花江鹅卵石
石块高32-64mm	60% (36块)

石块高16-32mm	40% (24块)
------------	-----------

[0047] 进一步的,石板区5下层铺设密实火星壤,上层铺设辉南金川火山石板。

[0048] 本发明中采用的尖角石块13和圆角石块12,数量、大小、分布和埋设情况,符合火星表面石块的统计信息,特别是美国Viking1着陆器附近的石块分布信息。

[0049] 进一步的,本发明一种模拟复杂火星地形地貌的试验环境还包括人员操作区8和设备调试区9,人员操作区8用于布置火星车控制器以及数据采集器,同时,在试验时试验人员在该区域内进行观察、操作、走线,本实施例中人员操作区8的规格为20m*1.5m;设备调试区9用以放置、隔离、调试火星车。

[0050] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

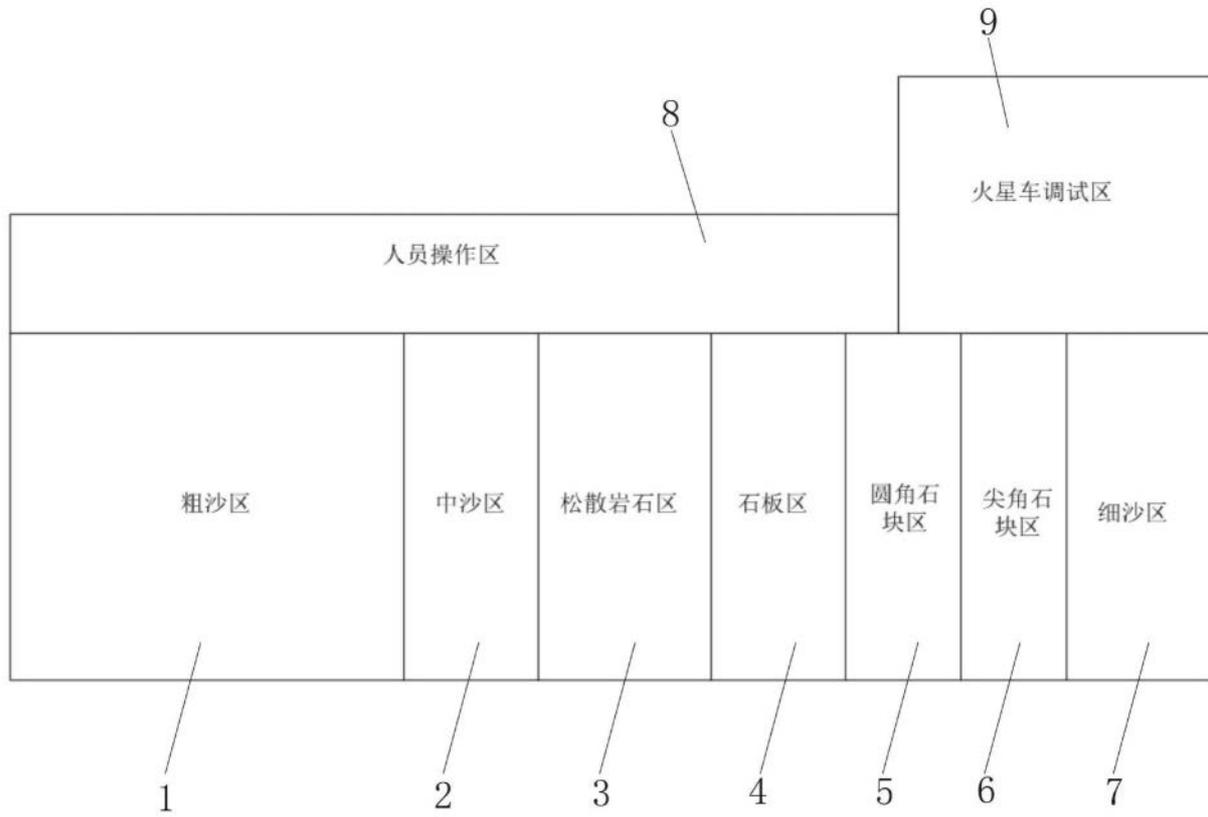


图1

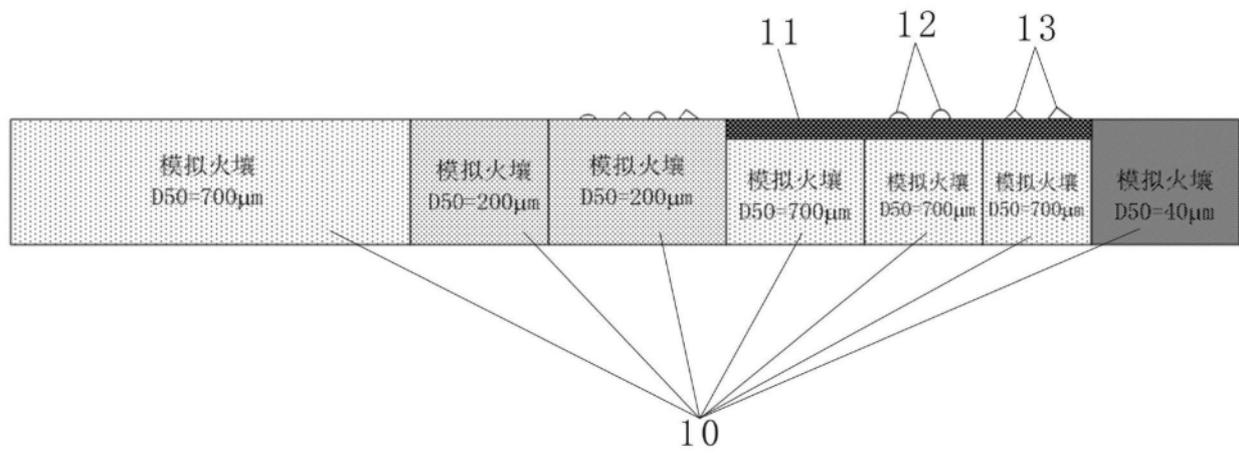


图2