



双体振贯采样磁力驱动式月壤采样器设计

孙 凤, 霍晓文, 茅 冒, 赵海宁, 徐方超, 张伟伟, 陈化智, 唐钧跃, 张晓友, 杨 旭, 刘雅芳, 姜生元

Design of Double-Body Vibration Penetration Lunar Soil Sampler by Magnetic Driven

SUN Feng, HUO Xiaowen, MAO Mao, ZHAO Haining, XU Fangchao, ZHANG Weiwei, CHEN Huazhi, TANG Junyue, ZHANG Xiaoyou, LIU Yafang, YANG Xu, and JIANG Shengyuan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20210150>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于颗粒单向流动效应的手持式月壤取心装置设计

Design of Handheld Corer for Lunar Regolith Based on Particle Directional Flow Method

深空探测学报(中英文) . 2020, 7(2): 164-170

深层月壤钻取冗余绕组电机控制方法

Control Method of Redundant Winding BLDC for Deep Lunar Soil Drilling

深空探测学报(中英文) . 2021, 8(3): 259-268

无轴螺旋式模拟月壤主动填充装置研制

Development of Platform for Active Filling Lunar Soil Simulants

深空探测学报(中英文) . 2019, 6(1): 57-62

月球极区钻取采样技术

Research of Drilling and Sampling Technique for Lunar Polar Region Exploration

深空探测学报(中英文) . 2020, 7(3): 278-289

“嫦娥五号”月面采样机械臂路径规划

Path Planning of Lunar Surface Sampling Manipulator for Chang'E-5 Mission

深空探测学报(中英文) . 2021, 8(6): 564-571

月球浅层月壤螺旋钻具进芯机制设计

Design of Coring Dynamics with Shallow Loose Lunar Regolith

深空探测学报(中英文) . 2021, 8(3): 252-258



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

双体振贯采样磁力驱动式月壤采样器设计

孙凤¹, 霍晓文¹, 茅冒¹, 赵海宁¹, 徐方超¹, 张伟伟², 陈化智², 唐钧跃², 张晓友³,
杨旭⁴, 刘雅芳⁴, 姜生元²

(1. 沈阳工业大学机械工程学院, 沈阳 110870; 2. 哈尔滨工业大学机器人技术与系统国家重点实验室, 哈尔滨 150001;
3. 日本工业大学机械工学科, 埼玉 345-8501; 4. 北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 为降低月壤采样器的功耗, 并减小工作反力, 提出一种双体振贯式采样方法, 详细设计了两种不同磁力驱动方式的采样器, 采用电磁仿真软件得到了采样器的驱动力, 利用离散单元法数值模拟软件研究了颗粒单向运移特性, 开展了采样器对模拟松散月壤和月壤硬岩的掘进采样试验, 验证了采样器的驱动力大小。试验结果表明: 采样器针对模拟松散月壤具有较高的掘进速率, 对模拟月壤硬岩具有一定的破碎掘进能力。可为未来深空探测星壤采样装置设计提供参考。

关键词: 月壤采样; 双体振贯; 单向运移

中图分类号: V19

文献标识码: A

文章编号: 2096-9287(2022)02-0157-08

DOI: 10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20210150

引用格式: 孙凤, 霍晓文, 茅冒, 等. 双体振贯采样磁力驱动式月壤采样器设计[J]. 深空探测学报(中英文), 2022, 9(2): 157-164.

Reference format: SUN F, HUO X W, MAO M, et al. Design of double-body vibration penetration lunar soil sampler by magnetic driven[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2022, 9(2): 157-164.

引言

月球上丰富的矿物资源具有很大的开发利用价值, 已成为人类深空探测的首要目标^[1-2]。以美国和前苏联为首, 至今已发射了超过100个月球探测器^[3]。中国的探月工程三期分为“绕”“落”“回”3个发展阶段^[4], 目的是实现采样探测及月壤采样返回任务。

针对月壤采样, 已进行了大量的相关研究。美国国家航空航天局(National Aeronautics Space and Administration, NASA)^[5-6]和前苏联^[7]分别通过有人、无人钻取的方式采集到了月壤样品。美国在“阿波罗”(Apollo)任务中, 获得了月球样品, Apollo11、Apollo12、Apollo14中, 宇航员利用采样管进行冲击贯入采样。Apollo15、Apollo16、Apollo17任务中, 则采用了手持式回转冲击钻机采样, 该采样钻机的转速可达280 r/min, 冲击频率37.8 Hz, 钻进深度达到了3 m^[8-10]。前苏联的Luna16和Luna20任务是采集浅层月壤样品, 均配备了摆杆式回转钻取采样器, 因钻压力有限, 钻进深度也受到了极大的限制, 都不超过350 mm^[11-12]。

Luna24鉴于之前任务存在的不足, 采用滑轨式回转冲击采样装置, 实现了2 m的连续钻进。钻进过程中通过控制进尺速率实现恒转速钻进, 冲击功能在钻压力过大时启动, 起降低负载的作用, 辅助钻进工作^[13-14]。中国对月壤采样研究起步较晚, 殷参等^[15]研制了一款回转冲击式采样器, 并在地面环境下采用模拟月壤进行了钻进实验, 实现了钻进取芯、样品整形和转移的功能。张伟伟等^[16]提出一种蠕虫掘进式探测方式, 这种采样方式不同于常规连续钻取, 将掘进分为主掘进和副掘进两部分, 两部分相互配合完成采样, 在质量和功耗上都有很大的改进。陈化智等^[17]提出一种高频冲击式采样装置, 基于颗粒单向流动效应, 能够在振动条件下实现颗粒的单向输送效果, 较好地保持高层理品质。

为降低采样器功耗, 减小工作反力, 并保持月壤样品原始的层理信息, 本文设计了一种双体振贯采样器。对双体振贯采样原理进行了分析, 利用离散元仿真软件模拟了颗粒单向运移过程。针对低反力、低功耗等性能要求, 分别设计了洛伦兹力式和磁力式两种

收稿日期: 2021-12-08 修回日期: 2022-03-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52005345, 52005344); 国家重点研发计划资助项目(2020YFC2006701); 辽宁省教育厅项目(LFGD2020002, LJGD2019011); 辽宁省“兴辽英才计划”资助项目(XLYC1802077, XLYC1905003); 辽宁省重点实验室建设资助项目(2020JH6/10500048)

驱动式双体振贯采样器。利用采样器样机分别开展对模拟松散月壤与月壤硬岩的贯入采样试验,分析了电流幅值和频率对采样性能的影响。

1 双体振贯采样原理

月壤的采样方式主要有钻进式和贯入式采样两种,与钻进式相比,贯入式采样能良好地保持月壤层理信息。本文基于冲击贯入式原理,提出了双体振贯采样方法。双体振贯式采样原理如图1所示,双体振贯式采样中的“双体”即振动组A与振动组B,在受到大小相等方向相反的驱动力下可相互交替运动。为保证振动组A与振动组B产生相同的振幅,两振动组的质量基本相等。通过一对弹簧对两振动组定位,为其中一振动组做柔性支撑,并发挥储能作用。双体振贯式采样仅需依靠自重和驱动力就可完成采样工作,无需提供额外的正压力。双体振贯式采样工作时振动组A上移产生的向下阻力与振动组B下移产生的向上阻力相抵消,使得双体振贯式采样反力很小。

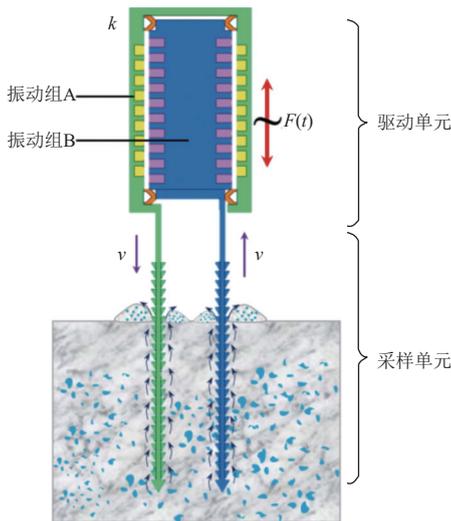


图1 双体振贯式采样原理图

Fig. 1 Schematic diagram of double body vibration penetration sampler

双体振贯式采样基于月壤颗粒单向运移机理完成,即月壤颗粒向月表方向做定向运移。采样管的内外表面有楔形的“倒刺”,当机具高频振动冲击破碎月壤水冰表面进行贯入采样时,依靠楔形“倒刺”的各向异性摩擦表面形貌^[18],颗粒做单向运移运动时受到较小的摩擦力,月壤水冰颗粒向上运移流动,最终排出孔外堆积到采样管两侧,使孔内留有一定的体积允许采样管进入,避免了挤密现象的发生,减小了采样管的侧摩阻力。管壁附近的月壤处于流动状态,与管壁的接触应力也相应地降低,避免了管内土塞的形成,

在采样阻力减小的同时,取芯率也得到了提高^[19]。

2 磁力驱动式采样器设计

为满足采样器结构简单、驱动力尽可能大,设计了洛伦兹力式和磁力式两种磁力驱动双体振贯采样器。

2.1 洛伦兹力式驱动采样器设计

针对松散月壤贯入阻力小,需保持剖面月壤的层理信息,设计了一种洛伦兹力式双体振贯采样器。采样器的整体结构如图2所示,线圈、外铁环、线圈骨架和采样管A组成振动组A;永磁铁、聚磁环、中心柱和采样管B等组成振动组B。采样器的驱动单元基于音圈电机的原理设计,通电线圈在磁场中产生电磁力,带动负载作直线运动;改变电流的大小和方向调节电磁力的大小和方向。使振动组A与振动组B之间产生相对位移,从而实现双体振贯式工作模式。

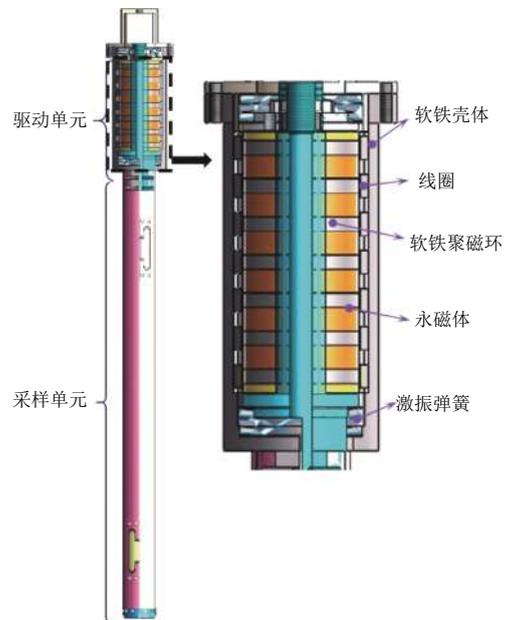


图2 采样器整体图

Fig. 2 Overall drawing of sampler

当采样管A接触到月壤表面时,结合振动组A的驱动力及采样器的重力,对月壤表面产生一个较大的冲击力,月壤表面形成破碎,并掘进一定的距离;改变电流方向,采样管B产生同样的效果。工作过程中结合采样管表面的单向运移结构,使月壤不断地沿内外壁向月壤表面排出,实现采样。

通过Maxwell电磁仿真软件对采样器驱动单元的驱动力进行仿真,得到了电流 $-1.6 \sim 1.6$ A时驱动力的大小,如图3所示,通过仿真得到驱动力最大达到125 N。

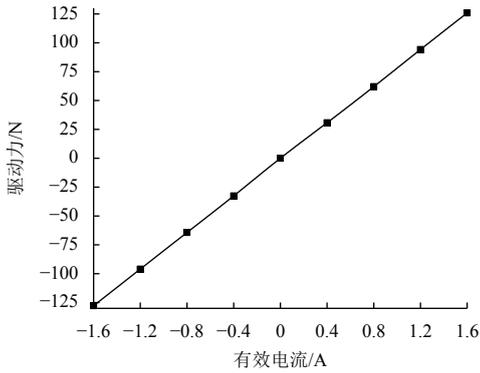


图 3 驱动力仿真
Fig. 3 Driving force simulation

2.2 磁力式驱动采样器设计

针对含水冰月壤硬度大、强度高、脆性高等特性，利用其冲击破碎原理，设计了一种磁力驱动式双体振贯采样器。在冲击作用下，脆硬月壤表面形成冲击裂纹，裂纹进而拓展、破碎。结构组成如图4所示。磁力式采样器整体分为振动组A、振动组B两部分，在驱动单元内部，振动组A和B之间连接有储能复位弹簧。两振动组通过轴向的电磁力相互吸引，同时压缩弹簧，电磁力消失后两振动组在弹簧复位作用下相互分离，如此往复，同时带着连接在两振动组下端的机具交错冲击月面，实现了双体振贯的采样功能。

磁力驱动是通过线圈缠绕软铁，线圈通电使得软铁产生磁力吸引衔铁从而产生冲击的原理，其中软铁采用导磁性能较好的电工纯铁（DT4）。通过控制电磁铁通、断电的频率来控制周期性电磁力的频率，从

而达到控制两振动组相对运动的目的。如图5所示为该采样器的整体结构，驱动单元几乎包含了振动组A和振动组B的全部零件。弹簧选用薄板弹簧，其体积小，可节省空间，径向刚度大，能进行径向定位。Incoloy A-286合金材料具有一定的抗拉强度、耐低温能力强。采样器工作过程中要做到对月壤硬岩的破碎以完成贯入作业，以贯入掘进的机具要具备一定的破碎及排屑能力，实现对一定强度硬岩的破碎并将月壤颗粒单向运移至孔外。机具掘进的部分为锯齿形结构，有利于颗粒的单向运移，提高掘进过程中的排屑效果，同时机具端部纵向切槽形成的刃形便于破碎硬岩。

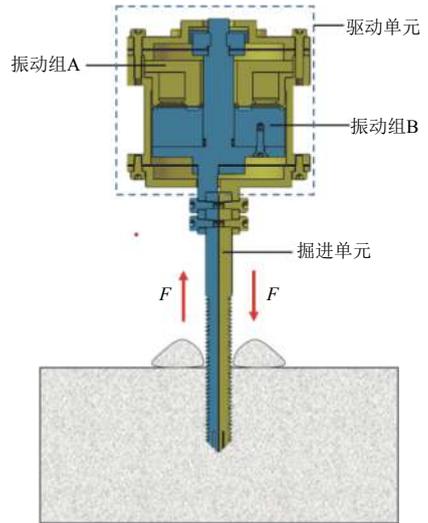


图 4 磁力式采样器系统组成
Fig. 4 Composition of magnetic sampler system

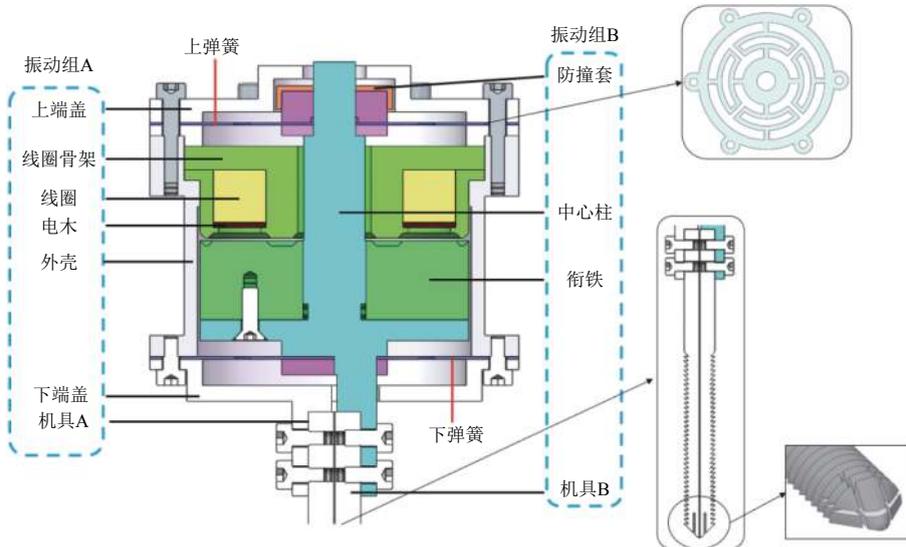


图 5 基于磁阻力采样器整体结构
Fig. 5 Overall structure of sampler based on magnetic resistance

振动组A线圈骨架与振动组B衔铁之间的轴向间隙 1.5 mm，代表着振动组B被电磁力驱动的最大位移量

及弹簧的最大压缩量。线圈骨架与衔铁上面的梯形台与梯形槽能够完全配合，做成梯形结构的目的是增

大两个零件的接触面积,从而获得更大的电磁力。使用Maxwell电磁仿真软件对电磁力进行仿真,模型建立依靠绕Z轴旋转建立而成,驱动力仿真模型如图6所示。

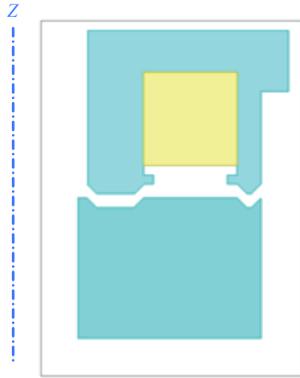


图6 仿真模型
Fig. 6 Simulation model

本装置采用线径0.38 mm的线圈,线圈槽截面理论线圈匝数529匝。给定线圈的电流分别为1、1.2、1.4、1.6 A,在不同的电流下仿真出电磁力随气隙的变化关系,结果如图7所示。由仿真结果可得:采样器的驱动力与驱动单元电磁铁与衔铁之间的气隙有关,驱动力与气隙的大小近似呈反比关系。增大电流也能增大驱动力,电流对驱动力的影响主要体现在大气隙的状态下。气隙越小,振动组A、B的相对位移越大,两机具错开的距离越大,即越往掘进方向驱动力越大,这样能够更好地利用驱动力的特性,提升掘进效果。

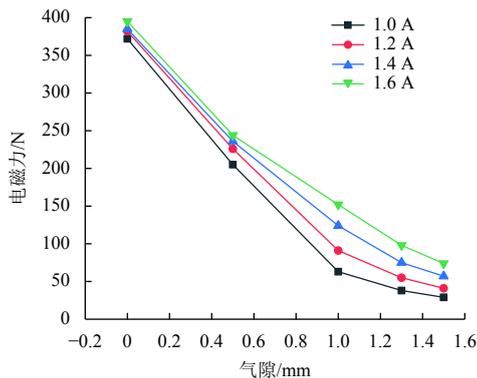


图7 驱动力仿真
Fig. 7 Driving force simulation

3 月壤颗粒运移特性研究

采用软件对机具的掘进特性进行仿真,可有效地模拟出月壤颗粒的运动路线、机具的排屑效果。本次

仿真创建的月壤颗粒模型是直径1 mm的球体,如图8所示。将颗粒装入一个长宽都为30 mm、高100 mm的方体容器内,待月壤静置一段时间,用一实体板对颗粒进行压实,压实到一定程度时为颗粒创建接触类型,颗粒与颗粒粘结到一起,形成一定的切向和法向刚度。

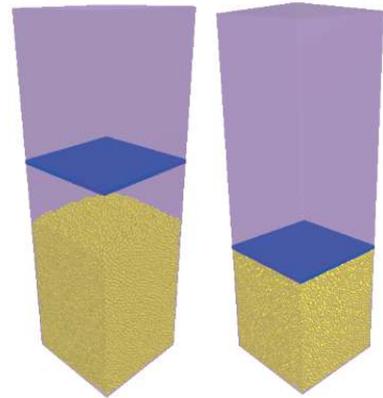


图8 颗粒创建
Fig. 8 Particle creation

按照模拟月壤物理特性设置基本参数^[20],颗粒的泊松比0.263,密度1.63 g/cm³。机具材料为45钢,参数并按照45钢的属性进行设置,45钢的泊松比0.28,密度7 800 kg/m³。将机具的三维模型导入颗粒模型中,设置机具的速度、振幅和频率。如图9所示,为机具工作过程中的排屑效果图,仿真结果表明,模拟颗粒的排屑效果良好。

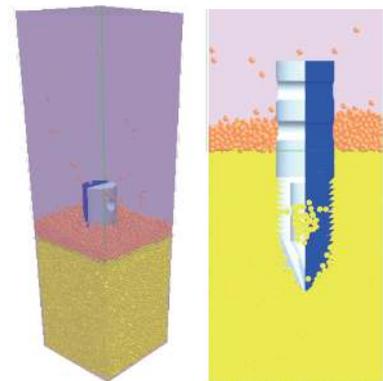


图9 排屑仿真
Fig. 9 Chip removal simulation

排屑总颗粒数随时间的变化情况如图10所示,1 mm颗粒的排屑效果稳定,仿真初始阶段由于机具锥尖的影响,排屑总数增加缓慢,当机具锥尖贯入内部后,排屑量趋近于线性化。线性化代表排屑效果稳定,验证了颗粒的单向运移效果。

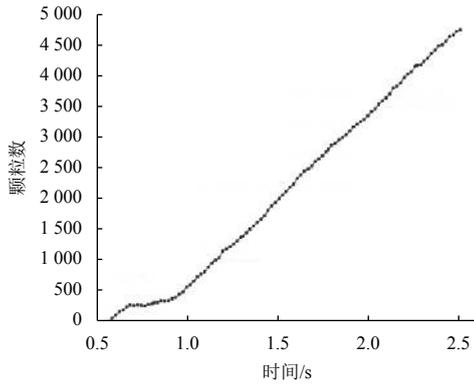


图 10 排屑颗粒数随时间变化图

Fig. 10 Variation diagram of chip removal particle number with time

4 采样器实验验证

4.1 洛伦兹力式驱动采样器试验

如图11所示为针对松散月壤的采样器原理样机，样机总质量2.28 kg。样机由振动组A和振动组B组成，质量均为1.14 kg。



图 11 采样器原理样机

Fig. 11 Principle prototype of sampler

4.1.1 驱动力验证实验

通过实验验证洛伦兹力式驱动采样器驱动力与电流之间的关系，给予采样器不同大小的直流激励，得到相应的驱动力。在采样器的振动组A和振动组B外接一个转换装置，在转换装置之间放置拉压传感器，如

图12所示。驱动力特性曲线如图13所示，采样器的驱动力与电流成正相关，并与仿真对比基本一致，输入电流在-0.4 ~ 0.4 A之间时产生的驱动力存在滞后现象，经分析认为缠绕线圈的骨架选用的是聚四氟乙烯材料，其表面摩擦系数非常低，在这个电流范围中产生的驱动力较小。在有效电流1.6 A时，驱动力达到峰值，最大119 N。

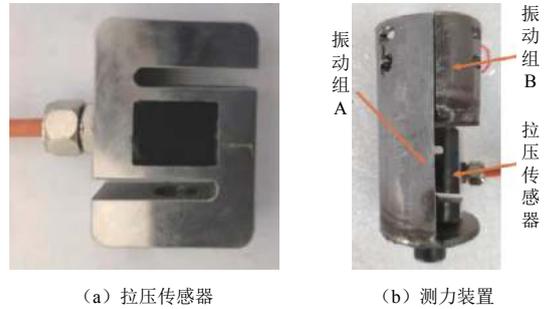


图 12 测力试验
Fig. 12 Force test

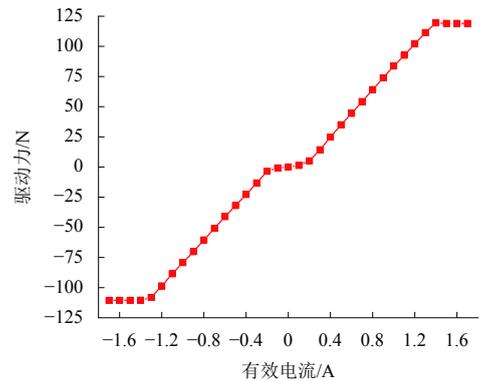


图 13 驱动力特性曲线
Fig. 13 Vibration force characteristic curve

4.1.2 针对模拟松散月壤采样试验

图14为测试洛伦兹力式采样器针对松散月壤的握



图 14 模拟月壤采样试验台

Fig. 14 Simulated lunar soil sampling test bench

进效果, 试验台由采样器原理样机、模拟月壤、模拟机械臂和标尺组成。模拟月壤采用烧制好的炉灰、细沙子、石灰按照比例1:1:5配比。在容器中进行搅拌、压实, 得到模拟松散月壤密度 1.35 g/cm^3 。

采样器线圈输入不同参数的电流, 电流幅值范围 $1\sim 4\text{ A}$, 电流频率范围 $20\sim 70\text{ Hz}$, 采用控制变量法试验。试验时由采样器自身的重力提供初始预压力, 得到如图15所示的采样速度与电流的关系, 针对松散状态下的月壤, 最高贯入速度可达 162 mm/min 。采集样品的状态如图16所示。

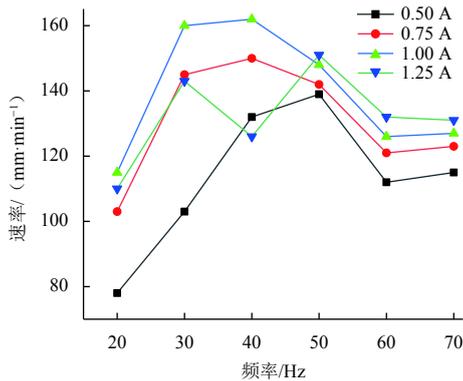


图15 不同电流下贯入速度

Fig. 15 Penetration velocity under different current



图16 采样管样品状态

Fig. 16 Sample status of sampling tube

4.2 磁力式驱动采样器试验

为验证磁力驱动双体振贯采样器的掘进效果, 开展采样器掘进试验。如图17所示, 根据前述的采样器整体结构设计, 制造原理样机, 样机总质量为 830 g , 振动组A、B质量几乎相等。驱动功率在 28 W 以内。驱动采样器正常工作需要一整套电气控制系统, PC主机

上输入的电流、频率、占空比等激励参数通过DSPACE传递到驱动器, 再由驱动器控制采样器方波信号的输入, 实现采样器的驱动。采用具有一定抗压强度的耐火砖作为模拟月壤硬岩, 耐火砖密度 1.8 g/cm^3 , 抗压强度 4 MPa 。掘进时不提供采样器正压力, 仅靠手扶方式维持采样器的平衡, 采样器依靠自身重力和驱动力实现掘进采样。

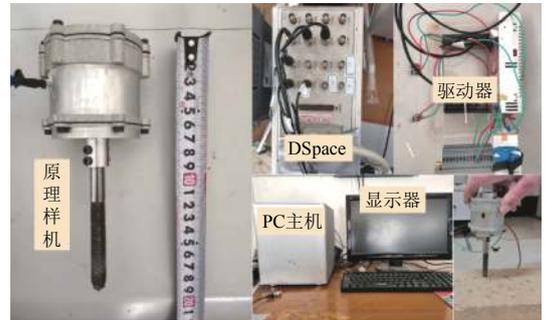


图17 试验设备及采样器工作状态

Fig. 17 Working state of test equipment and sampler

分别给定采样器 1 A 、 1.5 A 的激励电流, 调整电流的频率($10\sim 40\text{ Hz}$)和占空比($40\%\sim 70\%$), 依次进行采样器掘进试验, 掘进过程中能够明显观察到机具外侧不断堆积模拟颗粒, 如图18所示。这是由于耐火砖在机具的冲击作用下破碎, 碎屑颗粒在高频振动冲击下通过机具表面形貌单向运移至掘进孔外。每次掘进 2 min , 掘进结束后用游标卡尺测量掘进孔的深度, 得出掘进速率, 数据如图19所示。



图18 掘进效果

Fig. 18 Excavating effect

由实验结果可知, 在 1 A 和 1.5 A 的激励电流下掘进速率并无明显变化, 驱动力仿真结果表明电流大小对电磁力并不会产生明显影响, 故掘进速率无明显变化。占空比和频率对掘进速率影响很大。当频率为 30 Hz , 占空比为 40% 的条件下掘进速率最高, 达到 3.7 mm/min 。

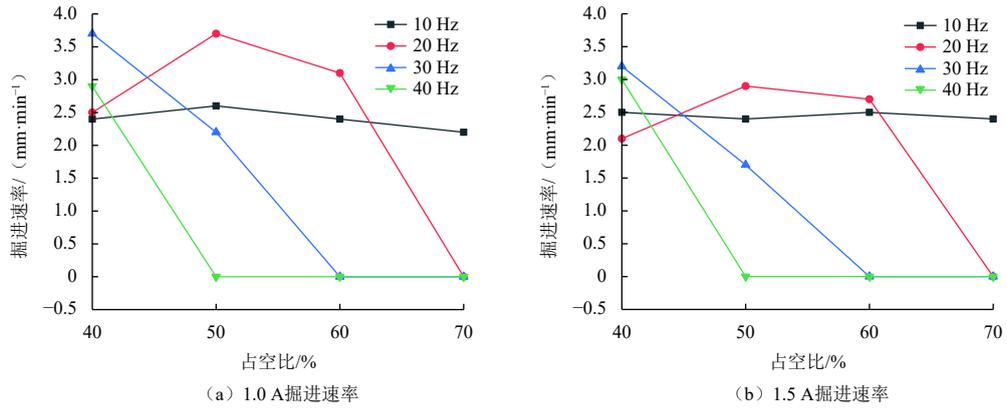


图 19 掘进速率
Fig. 19 Excavating rate

5 结 论

本文提出了一种新型的双体振贯采样方式，双体振贯式采样器依靠月壤颗粒的单向运移原理实现掘进和采样。设计了洛伦兹力式和磁力式双体振贯采样器，并对样机进行了试验验证。利用离散单元法数值模拟软件针对颗粒单向运移特性开展了仿真研究。仿真结果表明，排屑总数线性增长。此外，通过测力实验得到洛伦兹力式采样器驱动力大小，与仿真结果相一致。针对模拟松散月壤，洛伦兹力式驱动采样器最大掘进速率可达162 mm/min，针对模拟月壤硬岩，磁力式驱动采样器最大3.7 mm/min。

双体振贯式采样器具有结构简单、低功耗、低反力等优点，被广泛应用，在低温真空等复杂环境下能稳定工作，双体振贯采样器可以做到一体化设计，装置的可靠性高。低反力是该采样器的最大特点，在一些无法提供反力场合，该采样器也能正常工作。

参 考 文 献

[1] 欧阳自远. 我国月球探测的总体科学目标与发展战[J]. *地球科学进展*, 2004, 19(3): 351-358.
OUYANG Z Y. The overall scientific goal and development strategy of lunar exploration in my country[J]. *Advances in Earth Science*, 2004, 19(3): 351-358.

[2] 果琳丽, 王平, 朱恩涌, 等. 月球基地概述[J]. *科技创新导报*, 2014, 11(25): 18-19.
GUO L L, WANG P, ZHU E Y, et al. Overview of the Moon Base[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2014, 11(25): 18-19.

[3] 贾璇. 中国科学院院士欧阳自远: 人们为什么要去月球?[J]. *中国经济周刊*, 2021(15): 42-45.

[4] 庞之浩. 中国嫦娥探月工程之路回眸[J]. *科学(上海)*, 2021, 73(4): 12-16.

[5] ALLTON J H. Lunar samples: Apollo collection tools, curation handling, Surveyor III and Soviet Luna samples: SAND2002-0524[R]. Washington: NASA, 2009.

[6] BCATTL C D A. Taking science to the Moon: lunar experiments and

the Apollo program [M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001.

[7] KASHKAVOV L L, GENAYEVA L I, LAVRUKHINA A K, et al. Radiation history of matter returned by the Soviet auto-matic stations Luna-16 and Luna-20, according to data of track investigations, NASA-75N-75523 [R]. Washington: NASA, 1974.

[8] YLIKORPI T. Preliminary Design of an automated lunar soil sampler[D]. Helsinki: Helsinki University of Technology, 1994.

[9] ALLTON J H. Catalog of Apollo lunar surface geological sampling tools and containers: JSC-23454[R]. Houston: Johnson Space Center, 1989.

[10] SHKURATOV Y, STARUKHINA L, HOFFMANN H, et al. A model of spectral albedo of particulate surfaces: implications for optical properties of the Moon[J]. *Icarus*, 1999, 137(2): 235-246.

[11] ZACNY K M, PAULSEN G, SZCZESIAK M, et al. Lunar vader: development and testing of lunar drillin vacuum chamber and in lunar analog site of antarctica[J]. *Journal of Aerospace Engineering*, 2013, 26(1): 74-86.

[12] HAN G, DUSSEAUULT M B, DETOURNAY E, et al. Principles of drilling and excavation[J]. *Drilling in Extreme Environments: Penetration and Sampling on Earth and other Planets*, 2009: 31-140.

[13] ZACNY K, PAULSEN G, SZCZESIAK M, et al. Lunar vader: testing of a 1 meter Lunar drill in a 3.5 meter vacuum chamber and in the antarctic lunar analog site[J]. *Journal of Aerospace Engineering*, 2012, 23(3): 74-86.

[14] 杨帅, 孙京, 殷参, 等. 地外星体土壤取样机构技术[J]. *航天器工程*, 2011, 20(4): 137-146.
YANG S, SUN J, YIN S, et al. Soil sampling technology on extraterrestrial bodies[J]. *Spacecraft Engineering*, 2011, 20(4): 137-146.

[15] 殷参. 月壤采样器钻进动力学分析与试验研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2012.
YIN S. Drilling dynamics analysis and experimental study of lunar soil sampler[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2012.

[16] 张伟伟. 次表层月壤蠕动掘进式潜探技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
ZHANG W W. Research on inchworm excavati on and in-situ detection technology for lunar subsurface exploration[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019.

[17] 陈化智. 基于颗粒单向流动效应的月壤贯入式取心技术研究[D]. 哈

- 尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- CHEN H Z. Penetration-type lunar regolith coring technique based on particle unidirectional flow effect[D]. Harbin: Harbin Institute of technology, 2019.
- [18] 陈化智,姜生元,张明,等. 宇航员手持式高频冲击采样装置的设计研究[J]. 深空探测学报(中英文),2015,2(2): 131-136.
- CHEN H Z, JIANG S Y, ZHANG M, et al. High-frequency impact handheld sampling device for astronaut[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2015, 2(2): 131-136.
- [19] 陈化智,刘荣凯,马超,等. 基于颗粒单向流动效应的手持式月壤取心装置设计[J]. 深空探测学报(中英文),2020,7(2): 164-170.
- CHEN H Z, LIU R K, MA C, et al. Design of handheld corer for lunar regolith based on particle directional flow method[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2020, 7(2): 164-170.
- [20] 王康,姚猛,李立彝,等. 基于月面表取采样触月压痕的月壤力学状态分析[J]. 吉林大学学报(工学版),2021,51(3): 1146-1152.
- WANG K, YAO M, LI L B, et al. Mechanical performance identification for lunar soil in lunar surface sampling[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2021, 51(3): 1146-1152.
- 作者简介:
孙凤(1978-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:机械系统多元驱动及其控制技术。
 通讯地址:沈阳工业大学中央校区(110020)
 电话:(024)25996709
 E-mail:sunfeng@sut.edu.cn
姜生元(1969-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:地外天体采样探测、星表智能作业机器人、宇航空间机构及控制。**本文通讯作者**。
 通讯地址:哈尔滨工业大学科学园科创大厦(150001)
 电话:13796621169
 E-mail:jiangshy@hit.edu.cn

Design of Double-Body Vibration Penetration Lunar Soil Sampler by Magnetic Driven

SUN Feng¹, HUO Xiaowen¹, MAO Mao¹, ZHAO Haining¹, XU Fangchao¹, ZHANG Weiwei², CHEN Huazhi², TANG Junyue², ZHANG Xiaoyou³, LIU Yafang⁴, YANG Xu⁴, JIANG Shengyuan²

(1. School of Mechanical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China; 2. State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 3. Department of Mechanical Engineering, Nippon Institute of Technology, Saitama 345-8501, Japan; 4. Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: A double-body vibration penetration sampling method is proposed, the working principle of the double-body vibration penetration is analyzed and designs two sampler with different magnetic driving modes, and carries out detailed structural design for key parts of the sampler, and obtains the driving force of the sampler through electromagnetic simulation software. Particle unidirectional transport characteristics were investigated using the numerical simulation software of the Discrete Element Method. The driving force of the sampler is verified by experiments and the excavation sampling test of the sampler to simulate loose lunar soil and hard rock of lunar soil is carried out. The results show that the sampler has high excavation rate for simulated loose lunar soil and has decent breaking and excavation ability for simulated hard rock of lunar soil.

Keywords: lunar soil sampling; double body vibration penetration; unidirectional migration

Highlights:

- Proposed a two-body vibratory sampling method based on one-way particle migration.
- The experimental results show that the excavation rate of the sampler for the simulated loose lunar soil is 162 mm / min.
- The experimental results show that the driving rate of the sampler for the simulated lunar soil hard rock is 3.7 mm/min.

[责任编辑: 杨晓燕, 英文审校: 刘勇]