

# 一种可跳跃的月面移动机器人系统设计

李贺, 王禹, 杜小振, 曾庆良

(山东科技大学机械电子工程学院, 青岛 266590)

**摘要:** 月球是人类开展深空探测活动的重要场所, 月球表面的探测工程已日益成为全球关注的项目。而月面移动机器人是探测工程的基础, 是实现月球探测目标不可缺少的重要环节。由于月面地形复杂, 分布着大量陨石坑和块状月岩, 对月面机器人的移动能力提出了更高要求。提出了具有跳跃能力的月面移动机器人, 可灵活自适应月球地形变化。该机器人采用常规行走、变形后行走及气动跳跃相结合的方式, 实现在月球表面移动和越障的功能。在平地等规整地形移动时, 运动方式与轮式机器人一致, 运动效率高; 在非规整地形时, 它以异形轮的形态工作, 可以跨越较为低矮的障碍; 在遇到较大障碍物时, 运用跳跃系统越过障碍, 越障能力强, 可为月面巡视探测任务的实施提供技术参考。

**关键词:** 月面机器人; 变形轮; 移动系统; 跳跃系统

**中图分类号:** V447+.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2095-7777(2020)03-0304-07

**DOI:** 10.15982/j.issn.2095-7777.2020.20191011011

**引用格式:** 李贺, 王禹, 杜小振, 等. 一种可跳跃的月面移动机器人系统设计[J]. 深空探测学报(中英文), 2020, 7(3): 304-310.

**Reference format:** LI H, WANG Y, DU X Z, et al. Design of a lunar mobile robot with jumping capacity[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2020, 7(3): 304-310.

## 引言

月球蕴藏着许多人类所需要的资源和未解的秘密。通过对月球的探测和开发可以深化人类对月球及宇宙空间的认识, 有利于推动国家航天技术的发展。但受到科学技术水平的限制一直未能进行大规模的探测、开发和利用, 所以月球一直是各个航天大国开展深空探测的首要目标。

月面移动机器人是进行深空探测的重要工具。20世纪60年代起, 人类开始利用月球车对月面巡视探测, 例如前苏联的Lunokhod和美国“阿波罗”系列月球车<sup>[1-2]</sup>。美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Agency, NASA)提出的ATHLETE探测车采用运动足与车轮相结合的设计, 既能实现月球车的升降, 又能实现各个方位的运动, 具有较强的灵活性<sup>[3]</sup>。哈尔滨工业大学学者基于自平衡能力与翻越障碍物能力等要求, 设计了一种八轮式月球车, 可应用于月面地形复杂的探测区域<sup>[4-5]</sup>。2000年, 美国明尼苏达大学研制了一款名为UMN Scout的轮式移动跳跃机器人, 该机器人同时具有通过轮子运动和通过跳跃系统跳跃两种功能, 基本可以满足月球探测的要求, 但存在跳

跃能力不够高, 不能自由调整跳跃姿态等不足<sup>[6]</sup>。日本东京工业大学Hideyuki Tsukagoshi等研制的Leg-in-Rotor机器人, 同时具有轮式移动和气动跳跃的功能, 且运动灵活、机动性较高<sup>[5]</sup>。除此之外, 载人月球车因其可搭载宇航员进行大范围人工探测采样活动, 可完成高速移动、物资运转与应急救援等重要工作, 也成为深空探测活动的重要研究内容<sup>[8-9]</sup>。

由于月球表面地势凹凸不平, 传统的月面机器人在月球表面工作时会遇到难以跨越的障碍, 行动能力较差, 给探测任务带来了极大的挑战<sup>[10]</sup>。而可跳跃的月面移动机器人对变形轮结构以及越障性能进行了设计、分析和研究, 使其同时具有移动和跳跃的能力<sup>[11-12]</sup>。其优势在于控制简单、行动机构简洁, 可以更好适应月面的地势环境, 比传统的月面机器人具有更强的通行能力。其中变形轮和跳跃系统的结合是一种全新的设计方式, 变形轮用于平地行走和跨越较为低矮的障碍, 而跳跃系统则用于跨越使用变形轮也难以跨越的障碍, 在遇到大小不一的障碍物时可以根据需要自行调整跨越方式。同时具备高速移动、爬坡和跳跃的功能, 这使得该机器人的越障能力大大加强。该月面机器人的质量和体积比较小巧, 起跳角度和起跳高度可

收稿日期: 2019-10-11 修回日期: 2019-11-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51905314); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2019BEE017)

调节，空中稳定性和落地后的稳定性比较好，倾倒后可通过变形轮上的弹性缓冲架实现自动复位，在月面机器人领域具有很大的发展潜力。

### 1 月面移动机器人总体设计方案

基于越障能力、轻量化、小型化、稳定性和能源利用率等方面的要求，对机器人的整体机械结构进行了分析与设计，使机器人同时具备移动与越障功能，使其具有运动灵活、结构简单、稳定性高的优势。机器人整体结构呈对称分布，如图1所示，主要分为3个模块：变形轮式行走机构、起跳角度调节机构和气动跳跃机构。变形轮式行走机构主要由2个与车架相连的变形轮和安装在内轴车架上的驱动装置组成。驱动装置

采用了直流伺服电机，通过两组齿轮传动系统驱动变形轮实现行走和变形，利用2个电机的正反转可实现转向功能。由于只有一对轮毂，可以实现原地转向，转向更加灵活。安装在外盘上的弹性缓冲架可避免机器人跳跃落地时，侧面着地引起的刚性冲击，可容易使倾倒后的机器人调整至水平状态。起跳角度调节机构通过角度调节电机控制曲柄连杆机构，使气缸转动至合适的角度，改变跳跃方向，跨越障碍。气动跳跃机构中的储气瓶通过电磁阀控制给气缸充气，气缸内的气体膨胀将气缸杆推出，气缸杆撞向月面，月面对气缸杆产生反作用力使月面机器人跳起，通过改变电磁阀的工作状态可控制跳跃高度<sup>[13-14]</sup>。

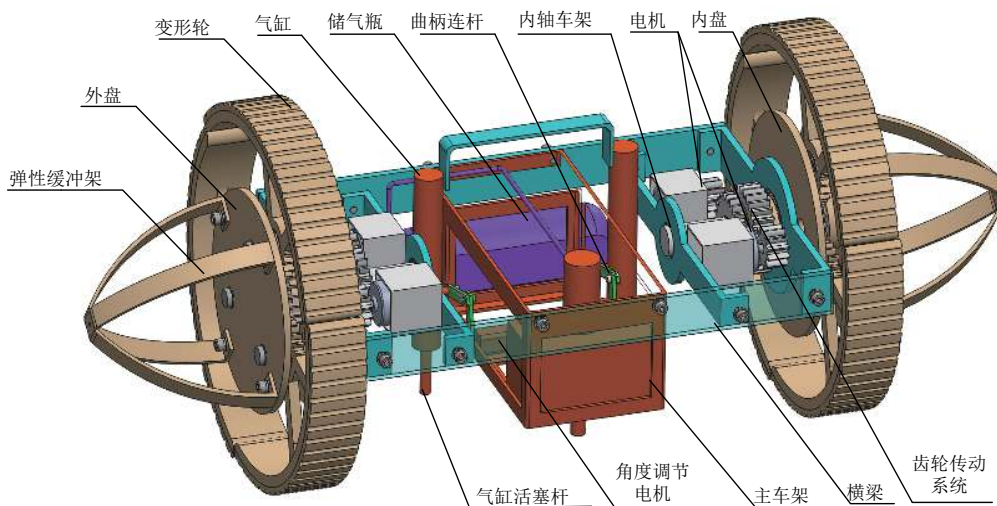


图 1 整体结构示意图

Fig. 1 Overall structure diagram

鉴于月面地形环境的复杂性和多样性，要想成功越过障碍则需要实时调节月面机器人的运动状态，使

其适应地形的变化。月面机器人共有3种运动状态，如表1所示。

表 1 月面机器人的三种运动状态

Table 1 Three motion states of the lunar robot

运动状态	月面地形环境	车轮状态	跳跃系统状态
状态1	地势较为平坦的规整路面障碍物高度 ( $0 \leq h \leq 100 \text{ mm}$ )	正常轮式 (轮毂不展开) 前进	跳跃机构不启动
状态2	遇到小障碍物或落入小陨石坑障碍物高度 ( $100 < h \leq 300 \text{ mm}$ )	异形轮式 (轮毂展开) 前进	跳跃机构不启动
状态3	遇到大障碍物或落入大陨石坑障碍物高度 ( $300 < h \leq 960 \text{ mm}$ )	正常轮式 (轮毂不展开) 前进	跳跃机构启动

在地势比较平坦的路面工作时，跳跃机器人的运动状态与常规轮式越障机器人一致，具有移动速度快、承载能力强、运动稳定性好的特点。在遇到小障碍物时，车轮由原先的整圆结构变形为异形轮结构。变形轮内的行星齿轮组，通过控制轮毂转动不同的角

度从而使车轮直径变大，来实现不同高度障碍物的爬越，使得月面机器人的越障能力大大提升。当遇到异形轮无法越过的大障碍物时，月面机器人通过启动跳跃机构越障。该月面机器人重心低于车轮中心轴线，保证机器人在跳跃落地后的稳定性。轮毂上装有弹性

车圈, 在机器人跳跃落地时起到一定的缓冲减振作用。

## 2 月面移动机器人移动系统

月面机器人依靠移动系统来完成大部分工作, 所以其在整体的结构设计中显得尤为重要。移动系统的设计目前趋向于以轮式、仿生腿式移动系统为基础, 以复合式越障系统作为发展的重点。综合分析现有的几种移动系统的优缺点 (如表2所示), 设计符合月面复杂地形的移动系统。

表2 典型移动系统的性能对比

Table 2 Performance comparisons for typical mobile systems

移动系统形式	行星轮式	履带式	腿足式	轮式	复合式
能耗比	较小	小	大	小	较小
移动速度	中等	中等	慢	快	快
越障能力	中等	中等	强	弱	强
承受载荷	中等	大	小	大	中等
机构复杂程度	中等	中等	复杂	简单	中等
控制难易程度	易	中等	复杂	易	易

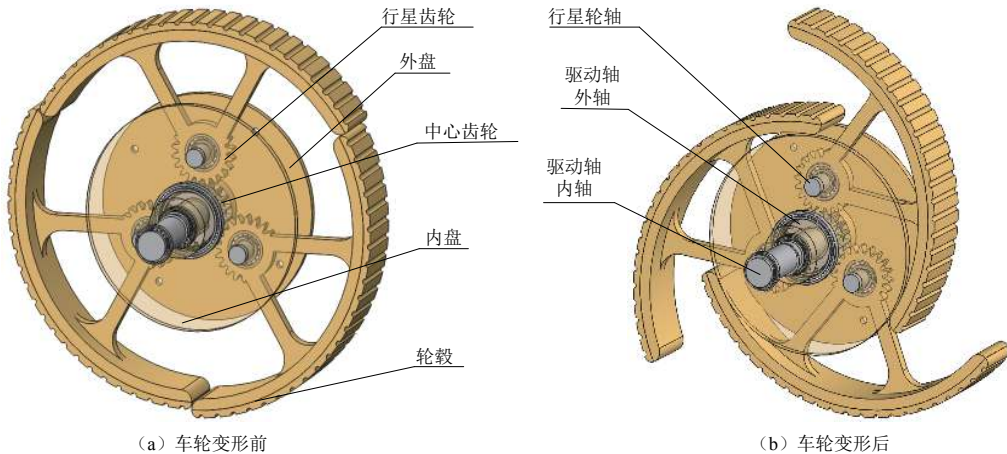


图2 变形轮结构原理图

Fig. 2 Deformation wheel structure schematic diagram

### 2.2 变形轮强度仿真

由于该月面机器人工作环境的特殊性, 必须保证其主要受力部件的强度, 以保证工作正常进行。该月面机器人设计中变形轮是主要受力部件, 为实现轻量化采用铝合金材料, 轮毂设计尤为关键。本文使用仿真分析软件对车轮进行强度分析。车轮工作时与地面接触, 其受力情况较为复杂, 结合机器人自身重量、变形轮结构特征与月面弱引力场环境, 利用SolidWorks Simulation对车轮连接杆和轮毂进行静应力分析。分析结果如图3所示, (a) (b) 分别表示连接杆和轮毂的

### 2.1 机器人变形轮结构设计

该机器人移动系统基于齿轮传动方式, 采用轴中轴和行星轮系传动设计方法, 具有结构紧凑、传动效率高、传动平稳及工作寿命长等特点。移动系统采用轴中轴和行星轮系传动设计, 其基本原理如图2所示, (a) (b) 分别表示变形前和变形后车轮的两种状态。外盘与内盘通过行星轮轴连接并固定在一起, 内盘与驱动轴的外轴采用一体化设计, 外轴与齿轮传动系统采用键连接。内轴和外轴之间只有轴向固定, 通过两个电机分别控制, 使两轴可以相对转动。电机通过齿轮传动系统驱动外轴转动, 使内盘转动, 进而控制变形轮移动实现越障功能。外盘通过轴承与驱动轴的内轴连接, 内轴与中心齿轮和齿轮传动系统都采用键连接, 3个轮毂通过行星齿轮与中心齿轮连接, 并通过轴承连接到行星轮轴上。电机通过齿轮传动系统驱动内轴转动, 进而使中心齿轮转动。中心齿轮转动时, 3个轮毂会旋转相同的角度, 直到与外盘相接触, 此时电机持续提供转矩, 轮毂就会保持在变形状态, 实现车轮变形的功能。

应力图。从分析结果可以得出, 轮毂的屈服应力为27.57 MPa, 从图3中可以看到连接杆的最大应力为17.07 MPa, 轮毂的最大应力为0.125 MPa。设计时, 考虑到月面环境的复杂工况和苛刻的环境要求, 预留充足的安全裕度, 以保证轮毂的强度和刚度满足实际工作要求。

### 2.3 机器人变形轮越障能力分析

要提高机器人的越障能力, 则需要从增加机器人的动力输入和优化机器人越障结构两方面出发。该月面机器人是通过优化越障结构以提高越障能力。对基

于变形轮设计的越障设计方案进行了分析和讨论，通过对单级台阶此类典型障碍翻越过程的分析<sup>[9]</sup>，对月面机器人的越障机理进行阐述。轮子的直径越大，其越障能力就越强，其体积会更大、质量更大，但结构不

允许，经济上也不允许。变形轮之所以能够爬越障碍，就是因为车轮的变形使得爬越障碍的效果跟直径大的车轮效果相当。变形轮在爬越障碍时的受力如图4所示。

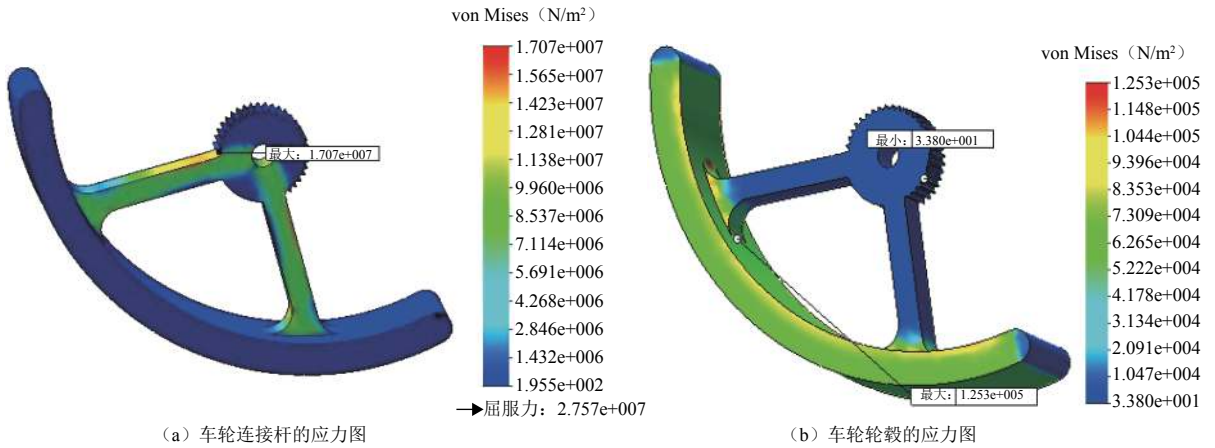


图 3 变形轮轮毂分析结果

Fig. 3 Analysis result of deformation wheel's hub

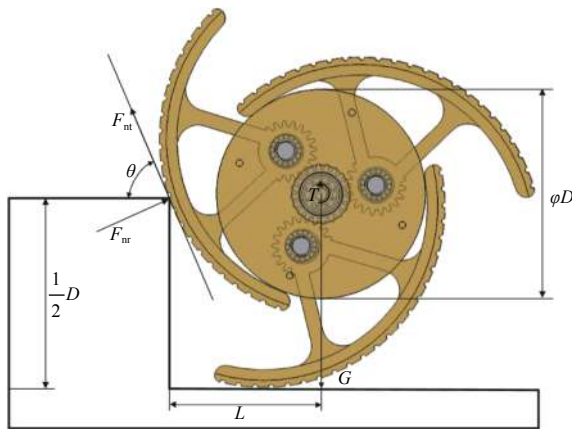


图 4 变形轮的受力分析图

Fig. 4 Stress analysis diagram of deformation wheel

在变形轮爬越障碍的静态过程中列平衡方程为

$$\begin{cases} M_0 = GL - T = 0 \\ F_Y = F_{nr} \times \cos\theta + F_{nt} \times \sin\theta - G = 0 \\ F_X = F_{nr} \times \sin\theta - F_{nt} \times \cos\theta = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中： $M_0$ 为总力矩； $G$ 为变形轮重力； $L$ 为变形轮中心到台阶的水平距离； $F_X$ 与 $F_Y$ 分别表示水平和垂直方向的力； $F_{nr}$ 为变形轮法向力； $F_{nt}$ 为变形轮切向力。

根据平衡方程式（1），可求得变形轮的法向力和切向力分别为

$$\begin{cases} F_{nr} = \frac{G \tan\theta}{\sin\theta \tan\theta + \cos\theta} \\ F_{nt} = \frac{G}{\sin\theta \tan\theta + \cos\theta} \end{cases} \quad (2)$$

该月面机器人的轮毂和障碍物接触面的摩擦力设置为 $f = 0.6$ 。当 $F_{nr} \times f \geq F_{nt}$ 时，变形轮依靠摩擦力越障，此时 $\theta \leq 31^\circ$ 。而在实际情况下，轮毂上的橡胶轮有纹理，使变形轮和障碍物的摩擦力大于计算值，故实际中变形轮可以爬越倾斜度稍大于 $31^\circ$ 的障碍物。在变形后车轮的直径 $D = 600 \text{ mm}$ ，形成的叶轮角 $\theta$ 小于 $30^\circ$ 满足越障要求。通过计算可知，在理想情况下，可以爬越最高300 mm的障碍物。

### 3 月面移动机器人跳跃系统

通过分析国内外研究现状得知，月面机器人跳跃系统的整体方案设计应符合以下要求：具有优良的跳跃能力，在月球表面的跳跃高度应在0.5 m以上；可实现 $0 \sim 60^\circ$ 起跳角度调节范围；保证腾空和落地时的稳定性；月面机器人倾倒后可自动复位等<sup>[15-16]</sup>。

#### 3.1 机器人跳跃机构设计

月面机器人在巡视探测过程中，将会面对各种各样的月面地表特征，这就需要改变起跳角度和跳跃高度以跨越不同高度、不同大小的障碍物与陨石坑。表3综合分析了现有储能弹簧式、燃爆式及气动式3种跳跃系统的优缺点。储能弹簧式跳跃系统结构简单且便于控制，但对机器人的整体质量与体积有一定的要求，当整体质量过大时弹跳性能较差。燃爆式跳跃系统通过点燃气体产生巨大的气压驱动机器人完成跳跃动作，具有爆发性强、可复位且功率较大的特点。但考虑到月面环境没有氧气助燃且燃

爆具有一定危险性,所以不适用于月面环境。气动式跳跃系统具有能量利用率高、反应灵敏及废气处理方便等优点。与前两种方案相比气动驱动更加方便轻巧,适合应用于月球车驱动系统设计领域。结合月球表面特殊的地形地质及环境特点,选择气动驱动方式作为月面机器人的跳跃系统具有较高的可行性。如图5所示,跳跃机构固定在主车架上,储气瓶是动力源,气缸为执行元件。在越障的过程中会

遇到大小不同的障碍物,需要电机控制曲柄连杆使气缸倾斜一定的角度越障。考虑到三角形稳定性该机器人采用3个气缸设计,使其在跳跃过程中具有良好的起跳稳定性。但每次跳跃都会损失一部分气体,由于月球表面没有空气无法为储气瓶补充气体,跳跃次数是有限的。所以需要使用变形轮越过较为平坦的地形,只有出现极限工况或遇到极端情况时,才启动使用跳跃系统。

表3 典型跳跃系统的性能对比

Table 3 Performance comparisons for typical jump systems

驱动方式	能量利用率	操作性	局限性	优点
储能弹簧	不高	控制方便	跳跃能力较差,稳定性较低	结构简单,便于实现精确控制
气动跳跃	很高	控制方便	气泵较大,影响整体结构设计	能量损失小,使用效率高
燃爆式	不高	难以精确控制跳跃	污染环境,具有一定危险性	爆发性强、功率大

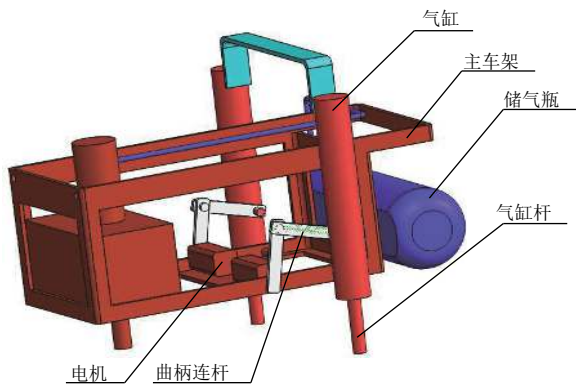


图5 跳跃机构示意图  
Fig. 5 Jumping mechanism diagram

月面机器人整个跳跃过程如图6所示,总体分为准备起跳阶段、飞行阶段、落地阶段3部分。准备起跳阶段(图6中A所示):电机驱动曲柄连杆机构带动气缸,使气缸倾斜合适的角度以适应不同的障碍物。电磁阀打开通过储气瓶给气缸充气,气体膨胀将气缸杆推出,气缸杆撞向月面,月面对机器人产生反作用力,使月面机器人跳起,跳跃高度可通过电磁阀的工作时间控制。电磁阀工作时间越长,气缸内储存的气体越多,则跳跃高度越高(如图7所示)。飞行过程(图6中B、C和D所示):起跳完成后,电机再次驱动曲柄连杆机构使气缸倾斜一定的角度复位,避免机器人落地时与地面接触损坏气缸杆,同时打开气缸排气口,由于月球表面没有空气,气缸内的气体会由于气压高于外界而自动排出,气缸杆收回气缸内。落地过程(图6中E所示):落地时,两个变形轮接触地面,变形轮表面有减震材料,减震材料接触月面时产生缓冲效果,避免机器人整体结构的损坏,保护机器人中

的精密电子元件和科研设备。变形轮两边的弹性缓冲架结构可以使月面机器人在侧面倾斜落地时自动恢复至水平位置。由于该月面机器人整体结构设计重心较低,使其在落地时也可保持较好的稳定性。

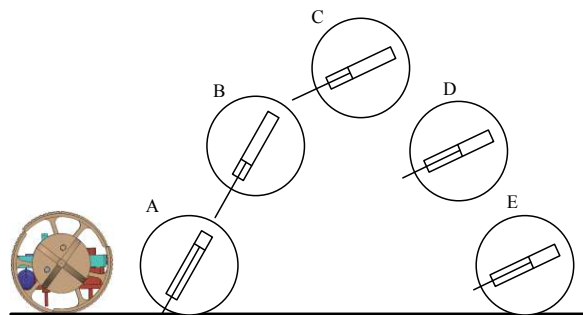


图6 跳跃过程示意图  
Fig. 6 Jump process diagram

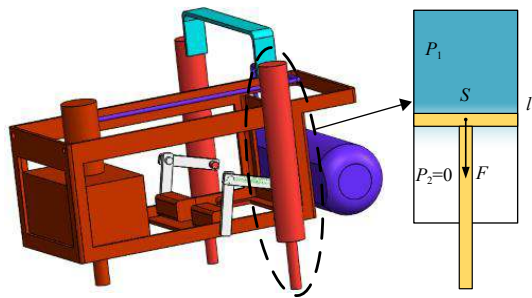


图7 气缸内部受力简图  
Fig. 7 Diagram of the internal forces in cylinder

### 3.2 机器人跳跃能力计算评估

综合考虑该月面机器人的工作环境、刚度强度与质量要求等特征,主体材料选用的是经热处理预拉伸工艺生产的高品质6061铝合金,该月面机器人主体材

料选用6061铝合金,经计算可得跳跃系统的质量为5.926 kg,变形轮的质量为6.822 kg,因为需要为安装摄像头、太阳能电池、电机等工具预留出5 kg质量,所以月面机器人的总体质量约为18 kg。由于气缸是产生跳跃的基本装置,需对其进行计算分析。气缸杆受到压缩气体的压力大小为

$$F = (p_1 - p_2)S \quad (3)$$

其中: $F$ 为气缸杆受到的压力大小; $P_1$ 为气缸上部分的气压; $P_2$ 为气缸下部分的气压; $S$ 为气缸杆活塞的有效面积。

月球表面没有空气,所以气缸杆下部分的压强 $P_2$ 为0。跳跃时与地面的冲击忽略不计,气缸杆与地面接触前后,动能和势能相互转换且能量是守恒的,可列出方程为

$$\begin{cases} (p_1 - p_2)Sl = \frac{1}{2}mv^2 \\ \frac{1}{2}mv^2 = mgh \\ E_k = \frac{1}{2}mv^2 = mgh \end{cases} \quad (4)$$

其中: $l$ 为气缸的有效长度; $m$ 为月面机器人的总重量; $v$ 为碰撞瞬间的最大速度; $g$ 为月球表面的重力加速度; $h$ 为月面机器人最大跳跃高度; $E_k$ 为月面机器人落地时的最大动能。

通过计算可得最大的跳跃高度 $h = 0.96$  m,跳跃后落地时的最大速度 $v = 5.66$  m/s,相当于在地球上从0.16 m的高度落下,变形轮上的减震装置完全可以使月面机器人内零部件不受损害。代入相关的参数,计算可得最大的跳跃高度 $h = 0.96$  m。

## 4 结 论

本文提出了一种基于变形轮越障与气动跳跃相结合的月面移动机器人系统设计方案,此机器人在高效行走巡视探测的同时,兼顾了优异的越障性能。机器人的变形轮不但可以用于平坦地形的高效行走,跨越月球岩块等较为低矮的障碍物,其跳跃系统还可用于跨越使用变形轮也无法通过的障碍,最大跳跃高度可达0.96 m,可跨越诸如小陨石坑等大多数的月面障碍物。

本文提出的月面移动机器人不仅具有轮式机器人移动速度快、稳定性好的特点,而且有着很强的爬坡和越障能力,可适应地形复杂的月面环境。如果搭载上摄像机、传感器等功能模块,可成为进行月面巡视探测的重要工具,在月面探测领域具有良好的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] 邓宗全,高海波,丁亮.月球车移动系统[M].北京:高等教育出版社,2015:1-94.  
DENG Z Q,GAO H B,DING L. Lunar rover mobility system[M]. Beijing: Higher Education Press,2015:1-94.
- [2] 吴爽,张扬眉.国外地外天体漫游车发展状况研究[J].国际太空,2012(8):1-14.  
WU S,ZHANG Y M. Research on the development of foreign extraterrestrial rover[J]. International Space,2012(8):1-14.
- [3] SMITH J A,SHARF I,TRENTINI M. Bounding gait in a hybrid wheeled-leg robot[C]//International Conference on Intelligent Robots and Systems. Beijing,China: International Conference on Intelligent Robots and Systems,2006.
- [4] 高海波,张鹏,邓宗全,等.新型八轮月球车悬架的研制[J].机械工程学报,2008(7):85-92.  
GAO H B,ZHANG P,DENG Z Q,et al. Development of a new eight-wheel lunar rover suspension[J]. Journal of Mechanical Engineering,2008(7):85-92.
- [5] 禹鑫磊,高海波,邓宗全.新型八轮月球车不同运动学建模方法及分析[J].北京航空航天大学学报,2009,35(4):457-463.  
YU X Y,GAO H B,DENG Z Q. Different kinematic modeling methods and analysis of the new eight-wheeled lunar rover[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2009,35(4):457-463.
- [6] PRATT G A. Legged robots at MIT: what's new since Raibert[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine,2000,7(3):15-19.
- [7] TSUKAGOSHI H,SSASKI M,KITAGAWAI A,et al. Design of a higher jumping rescue robot with the optimized pneumatic drive[C]// Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Barcelona,Spain: IEEE,2005.
- [8] LIANG Z C,WANG Y F,CHEN G S,et al. A mechanical model for deformable and mesh pattern wheel of lunar roving vehicle[J]. Advances in Space Research,2015,56(11):2515-2526.
- [9] 罗小桃,张崇峰,胡震宇,等.我国首次载人月球车任务需求分析[J].载人航天,2019,25(5):693-698.  
LUO X T,ZHANG C F,HU Z Y,et al. Mission requirement analysis of China's first manned lunar rover[J]. Manned Space Flight,2019,25(5):693-698.
- [10] 邓宗全,高海波,王少纯,等.行星轮式月球车的越障能力分析[J].北京航空航天大学学报,2004,30(3):197-201.  
DENG Z Q,GAO H B,WANG S C,et al. Analysis of obstacle ability of planet wheel lunar rover[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2004,30(3):197-201.
- [11] BURKICK J,FIORINI P,BURKICK J,et al. Minimalist jumping robots for celestial exploration[J]. International Journal of Robotics Research,2003,22(7):653-666.
- [12] MARTINS D,SIMONI R,CARBONI A P. Fractionation in planar kinematic chains: reconciling enumeration contradictions[J]. Mechanism & Machine Theory,2010,45(11):1628-1641.
- [13] 张小飞,张延恒,孙汉旭,等.可跳跃式两轮机器人的设计与动力学分析[J].机器人,2014,36(3):355-361.  
ZHANG X F,ZANG Y H,SUN H X,et al. Design and dynamics analysis of a jumping two-wheeled robot[J]. Robot,2014,36(3):355-361.

- [14] 陈殿生, 郑万军, 黄宇, 等. 弹跳机器人翻转机构的设计与优化[J]. 机械工程学报, 2011, 47(1): 17-23.  
CHEN D S, ZHENG W J, HUANG Y, et al. Design and optimization of flip mechanism of bounce robot[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2011, 47(1): 17-23.
- [15] YIN J M, CHEN D S, ZHAO K, et al. Study on bio-locust subsequent attitude adjustment robot[J]. *Applied Mechanics & Materials*, 2013, 328(328): 382-386.
- [16] SASCHA A S, PAPANIKOLOPOULOS N. Autonomous stair-climbing with miniature jumping robots[J]. *IEEE Transactions on*

*Systems, Man, and Cybernetics-part B: cybernetics*, 2005, 35(2): 313-325.

作者简介:

李贺(1987-), 男, 工学博士, 讲师, 主要研究方向: 移动机器人、地外天体无人自主采样技术等。

通讯地址: 山东省青岛市黄岛区前湾港路579号山东科技大学机械电子工程学院(266590)

电话: (0532)86057559

E-mail: lihe\_hit@163.com

## Design of a Lunar Mobile Robot with Jumping Ability

LI He, WANG Yu, DU Xiaozhen, ZENG Qingliang

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

**Abstract:** The Moon is an important destination for humans to carry out deep space exploration activities. The lunar surface exploration project has increasingly become a global concern. The lunar mobile robot is the foundation of the exploration project and an indispensable part of achieving the goal of lunar exploration. The complex terrain and a large number of craters and massive lunar rocks which put forward higher requirements for the lunar robot's mobile ability. The lunar surface mobile robot with jumping ability can flexibly adapt to the change of lunar terrain. The robot combines conventional walking, post-deformation walking and pneumatic jumping to achieve the function of moving on the lunar surface and crossing obstacles. When the robot is moving on the regular terrain, the movement mode is consistent with the wheeled robot and the movement efficiency is high; when moving on irregular terrain, it works in the form of irregular wheels which can overcome relatively low obstacles; when encountering large obstacles, the jumping system is used to get over the obstacles with strong ability. The research of the mobile robot can provide a technical reference for the implementation of the lunar patrol and exploration missions.

**Keywords:** lunar robot; deformation wheel; mobile system; jumping system

### Highlights:

- The lunar mobile robot adopts the design method of deformation wheel and jumping system.
- The lunar mobile robot can move at high speed, climbing hills and jumping at the same time.
- Its control and action mechanism are simple and it can adapt to the change of the moon terrain flexibly.

[责任编辑: 高莎, 英文审校: 朱恬]