

编号:

# 哈尔滨工业大学 大一年度项目立项报告

项目名称: 斗轮式月壤开采机器人

项目负责人: 张智銓 学号: 120L030317

联系电话: 15580473249 电子邮箱: 273654919@qq.com

院系及专业: 智能装备

指导教师: 刘佳男 职称: 工程师

联系电话: 18686762300 电子邮箱: nora\_ljn@163.com

院系及专业: 机电工程学院

哈尔滨工业大学基础学部制表  
填表日期: 2020 年 12 月 16 日

## 一、项目团队成员（包括项目负责人、按顺序）

姓名	性别	所在院系	学号	联系电话	本人签字
张智衍	男	智能装备	120L030317	15580473249	
马富川	男	智能装备	120L030318	15765616776	
马千翔	男	智能装备	120L032722	18804329123	

## 二、指导教师意见

<div>签 名：_____</div> <div>年    月    日</div>
---

## 三、项目专家组意见

<div>组长签名：_____</div> <div>（ 学部盖章 ）                      （院系盖章）</div> <div>年    月    日</div>
--

# 斗轮式月壤开采机器人

## 1、立项背景

迄今为止,美国登天航天员和苏联无人自动采样月球探测器大约分别采回月壤 381.7 千克, 326 克<sup>[1]</sup>。近日我国嫦娥五号展开月壤采样, 带回 1731 克样本。目前暂无对月壤规模化的开采, 仅局限于取样返回, 且成本高。

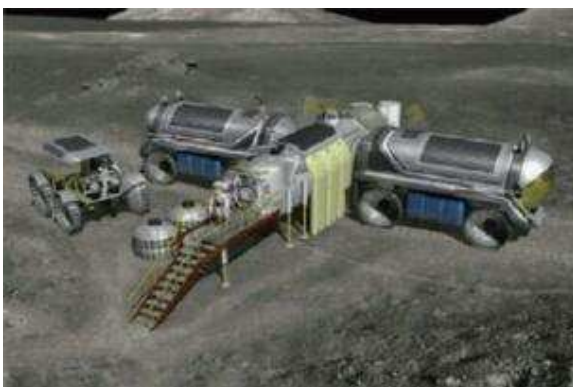
随着近些年中国对外太空的探索, 中国对月球地质成分的取样分析一步步深入迈进, 月壤的组成成分以及其丰富的含量对于未来发展外太空资源利用具有深远的意义。在近些年的登月开采任务中, 月球车所担负的任务主要为月面取样, 分析成分组成, 所以在采取样品时需要考虑多方面因素, 要求月球车对样品的保护能力较强, 因此采用钻进取芯<sup>[2]</sup>的采样方式。而在未来月面月壤开发的背景下, 月面研究的主要方向为开采与利用, 用于核聚变燃料的提供、金属元素的富集等, 因此月壤开采机器人将会向易于大量开采的整体操作, 为便于太阳能和核能的利用, 提供更充足的能源, 其体积将会扩大, 且实用性与功能性将更强。

在月壤开发的初期, 由于缺乏基础设施和重型装备, 月壤开采机器人无法在月球上组装。又因为受到整流罩的尺寸限制, 初期月壤开采机器人将以小型化的, 具备开采、运输、收集功能的独立个体为发展路线, 我们将研究在有限的功率下最优的开采方式。考虑到月面有大量形状不一的小型岩石, 如何保持开采机器人平稳的运行也是一大难点。此外, 挖掘设备的磨损、更换也应纳入考虑范围。月壤开发后期, 在我们实现了月壤原位资源利用的技术突破后, 可以设计大型的零部件并直接在月球上进行组装, 实现流水线式的开采、运输、收集, 从而高效、可靠地开发月壤。

对月壤的开发意义重大, 是人类长期驻扎月球所必须解决的问题。对其意义的详细论述分为以下几个方面:

### 1.1 月球基地

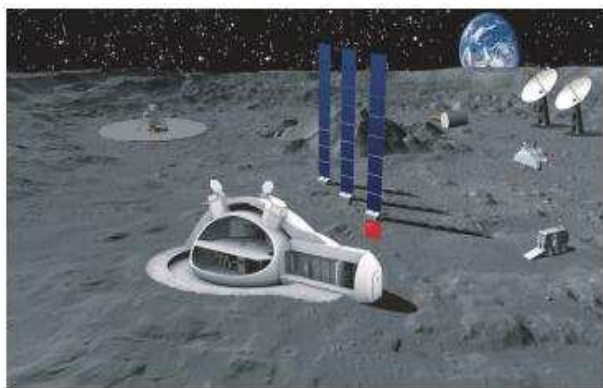
随着对月球探测的发展, 各国众多月球探测及开发计划均将月球基地建设作为一个重要目标, 而月球基地的建设又服务于无人月球探测和载人登月探测。目前, 月球基地建设方案有刚性舱组装式 (a) <sup>[3]</sup>、柔性舱组装式 (b) <sup>[3]</sup>、月面建筑式 (c) <sup>[3]</sup>、地穴构建式 (d) <sup>[3]</sup>。



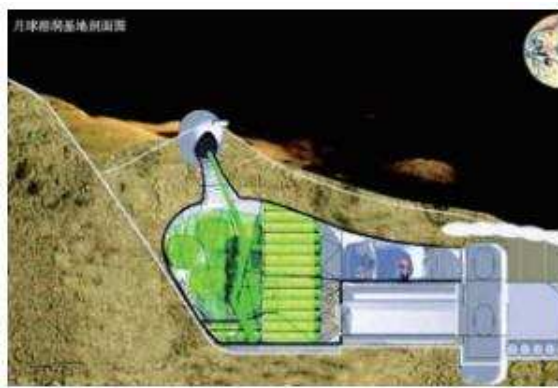
图(a) 刚性舱组装式月球基地<sup>[3]</sup>



图(b) 柔性舱组装式<sup>[3]</sup>



图(c) 月面建筑式<sup>[3]</sup>



图(d) 地穴构建式<sup>[3]</sup>

图 1 月球基地建设方案<sup>[3]</sup>

其中，柔性舱组装式类似于国际空间站的充气舱，运输折叠比大，能够实现气密功能，展开后造型可设计性强，对于空间布局有较大的优势。但在空间辐射条件下，其高分子聚合物寿命不如金属刚性材料。因此，为了阻挡月面辐照对充气舱室的影响，可以用一定厚度的疏松月壤对其进行覆盖。这种方法具有以下优势：

- ①.阻止太阳光对高分子聚合物的寿命影响；
- ②.阻止空间高能射线进入舱室，保护航天员和仪器设备；
- ③.月壤达到一定厚度后，可以隔绝舱内和舱外的热交换，简化热设计<sup>[3]</sup>。

## 1.2 资源开发

### 1.2.1 氦 3 的开发

根据探测资料及月壤样品的实验分析结果，月壤的平均厚度在月海区为 4~5m，月陆区为 10~15m<sup>[4]</sup>，月壤中  $^3\text{He}$  总量在 100 万吨左右，而达到当下全球总发电量只需消耗 100 吨<sup>[5]</sup>。

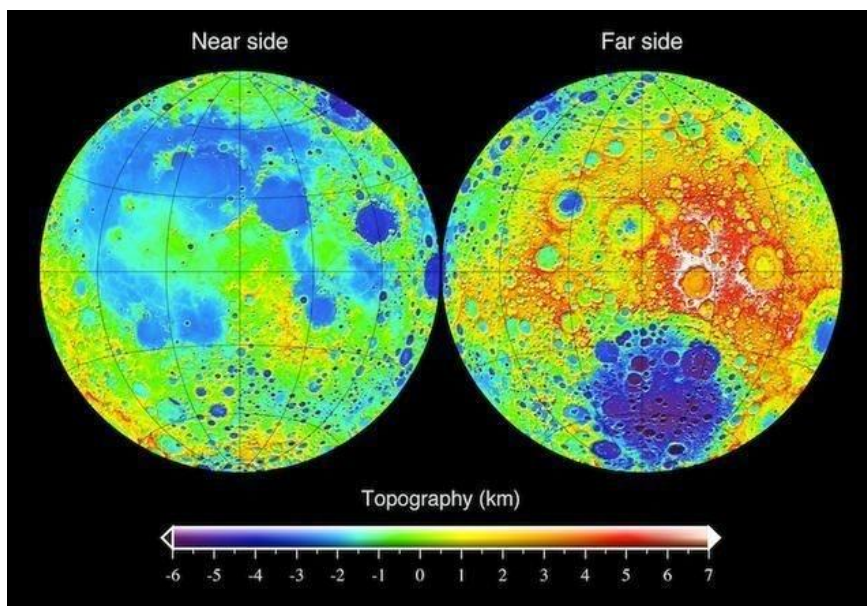


图 2 月面海拔图

（数据来源：月面海拔图——百度图库）



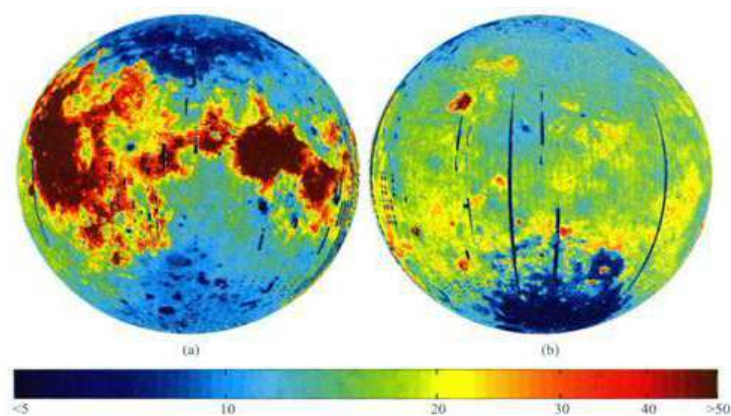


图3 月壤层单位面积内  $^3\text{He}$  含量分布（单位：ppb/m<sup>2</sup>）<sup>[6]</sup>  
 (a) 正面 (b) 反面

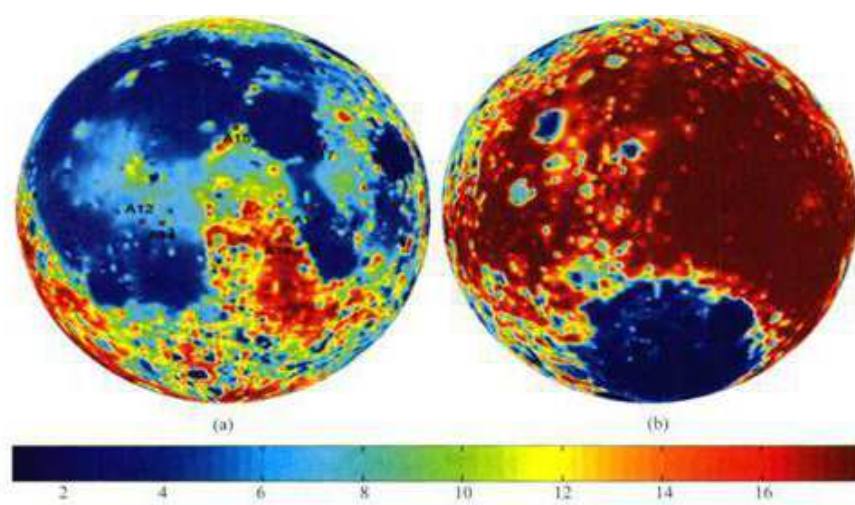


图4 由 DEM 模拟构造的月球表面月壤厚度分布（单位：m）<sup>[6]</sup>  
 (a) 正面 (b) 反面

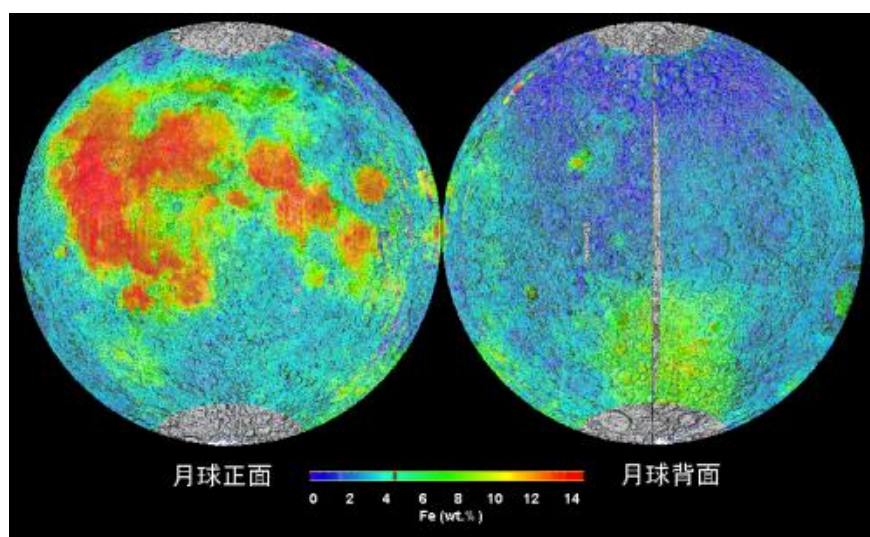


图5 Fe 的含量  
 （数据来源：金属资源分布图—百度图库）

### 1.2.2 其他资源的探测与开发

月壤其他资源同样含量丰富,土壤中富含铁、钛、硅、铝、钾、钡、锂、铷、锆、钪和稀土元素,还富集有银、溴、镉,镓、锗、汞、铟、铅、铋、碲和锡等元素。在月海中存在着大量的月海玄武岩,22个月海中所填充的玄武岩体积约1,010立方千米,而月海玄武岩中蕴藏着丰富的钛、铁等资源。以铁为例,仅月面表层5厘米厚的砂土中就含有上亿吨铁,而且便于开采和冶炼。据悉,月球上的铁主要是氧化铁,只要把氧和铁分开就行<sup>[7]</sup>。

月球基地一般建在平坦的月面上,由以上几幅图可知,平坦的月面上往往蕴含丰富的金属、氦3资源,这使得对月壤的开发尤为重要。

### 1.2.3 新材料的探究与利用

基于国内外研究成果,原位利用月球资源研制地聚合物混凝土并进行基地建造具有可行性。结果显示:地聚合物混凝土所需原材料90%以上可来源于月球原位资源,且在月球环境下具有良好的耐极端环境性能;基于挤出打印和粉末打印成型工艺,地聚合物材料可满足月球环境的施工需求与环境要求。总之,利用月球原位资源有望实现基于地聚合物的月球基地原位建造设想<sup>[8]</sup>。

## 1.3 现代行星科学

对月球标本的研究,除了可以认识月球,还帮助科学家确立了现代行星科学,为认识各类行星的地质演化过程提供了参考。月壤的样本可以帮助现代行星科学的发展,也可以为类地行星的地质演化研究提供参照。对月壤的研究不仅涉及月球本身,而且还包含太阳系空间物质和能量的重要信息。其中包括太阳系早期演化的历史记录;月岩和月壤的宇宙线暴露与辐照历史;月球中挥发分的脱气历史;太阳风的组成、太阳表层的成分特征;小天体和微陨石撞击月球的历史记录,进而推断地球遭受小天体撞击的历史;通过对月壤的研究,可以了解月壳岩石圈的组成和分布特征,对研究月球乃至地月系的演化历史具有重要意义<sup>[9]</sup>。

## 2. 研究内容

### 2.1 挖掘设备

月球是一个优良的天体矿区,由于月球没有大气、没有明显的构造活动,因此小行星撞击月球后所带来的矿物质都堆积在月球表面,开采无需像地球上那样进行大规模掘进。月球的引力场对天体开采计划而言也是一个好消息,这意味着地球上使用的黄金或其他矿物开采设备只需进行一些调整即可满足月球开采的使用<sup>[10]</sup>。因此,我们计划研究地球采矿中技术成熟的挖掘设备,将其轻量化、小型化,使之适应月球的开采。由于采矿机器人依靠太阳能供电,功率受限,需要研究何种挖掘方式减少挖掘时的阻力。

### 2.2 车轮系统

车轮系统是保证任务顺利进行的关键。月壤的密实程度、密布的岩石都会对机器人的平衡产生影响,如果侧翻,则整个任务直接失败。通过分析汽车悬挂系统和月球车车轮结构,我们计划研究能够在密布岩石的月面平稳运行的车轮系统。

### 2.3 收集设备

开采的月壤可以用两种用途:一是在月球上直接提炼或利用增材制造技术,将月壤与其他物质混合后生产建设基地所需的结构;二是运回地球,用于科学研究和热核聚变。无论是哪种用途,都需要用一个标准化的容器来收集。这样既方便运回地球,又方便在月球上取用和运输。因此,我们计划研究一种可堆叠、便于机械臂抓取的容器,同时还能有效利用返回

舱、整流罩内的有限空间。

## 2.4 车体结构及太阳能帆板

考虑到火箭发射时的重量要求，在保证结构强度的基础上，车体结构应尽可能简洁，去掉不必要的重量。太阳能帆板需要可折叠，从而减少对空间的占用，同时，还应该考虑如何布局帆板，防止太阳光被自身的其他部分遮挡。我们计划研究一种符合上述要求的结构和帆板。

## 3. 研究方案

### 项目整体思路如下

- ①明确应用场景和功能；
- ②查阅资料，确定挖掘设备、车轮系统、收集设备、车体结构和太阳能帆板的设计方向；
- ③进一步查找资料，与导师交流，用 inventor 画出各部分及整体的草图；
- ④使用 inventor 进行建模、组装；
- ⑤建模过程中对设计细节进行修改；
- ⑥制作视频。

## 4. 设计方向

### 4.1 挖掘设备

考虑到月球有大量的资源堆积在表面，因此，我们计划借鉴现有的斗轮式挖掘设备，采用框架结构减少其质量，并设计可替换的防护套。



图 6 悬臂式斗轮堆取料机

(数据来源：悬臂式斗轮堆取料机—百度图库)

### 4.2 车轮系统

#### 4.2.1 车轮

为了减轻质量同时保证结构强度，我们采用蜂窝结构的车轮，共 12 个，每 2 个一组，通过控制单个车轮的转动方向实现原地转动。



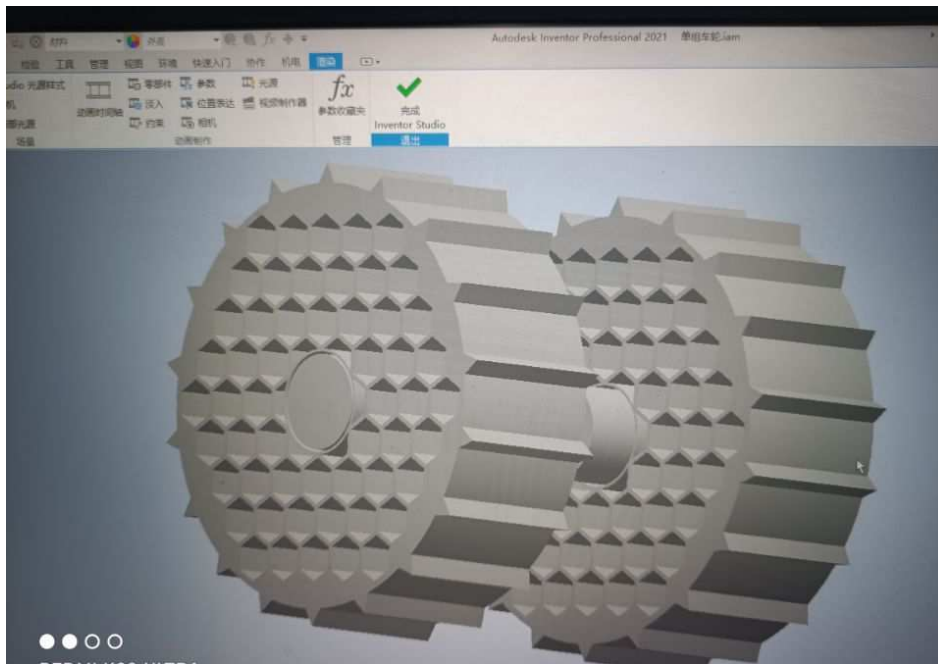


图 7 蜂窝结构车轮

#### 4.2.2 支撑腿

参考汽车的减震器，将减震器与车轮连接，使机器人在月面移动时受到震动减小。



图 8 减震器

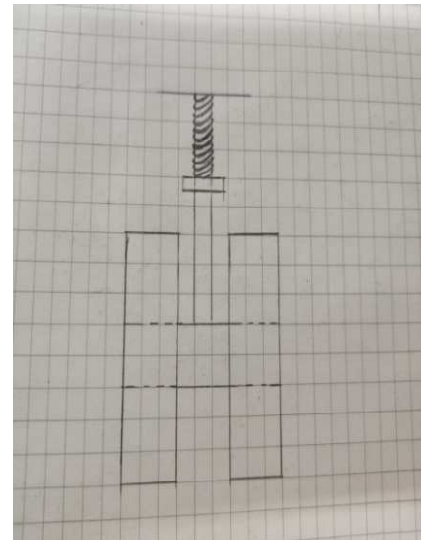
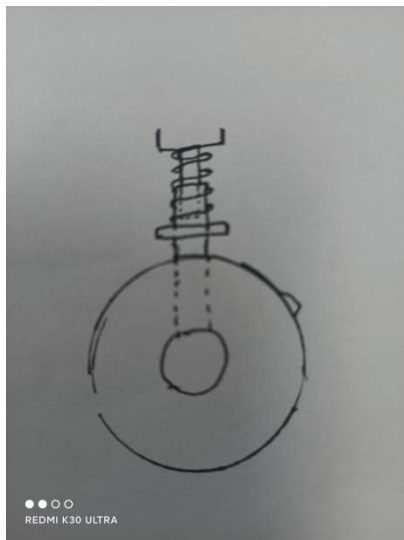


图 9 支撑腿

(数据来源：减震器—百度图库)

#### 4.3 收集设备

为了与挖掘设备结合，我们拟采用传送带输送月壤，方形容器收集月壤。容器壁上设计一个把手便于机械臂或宇航员的抓取。



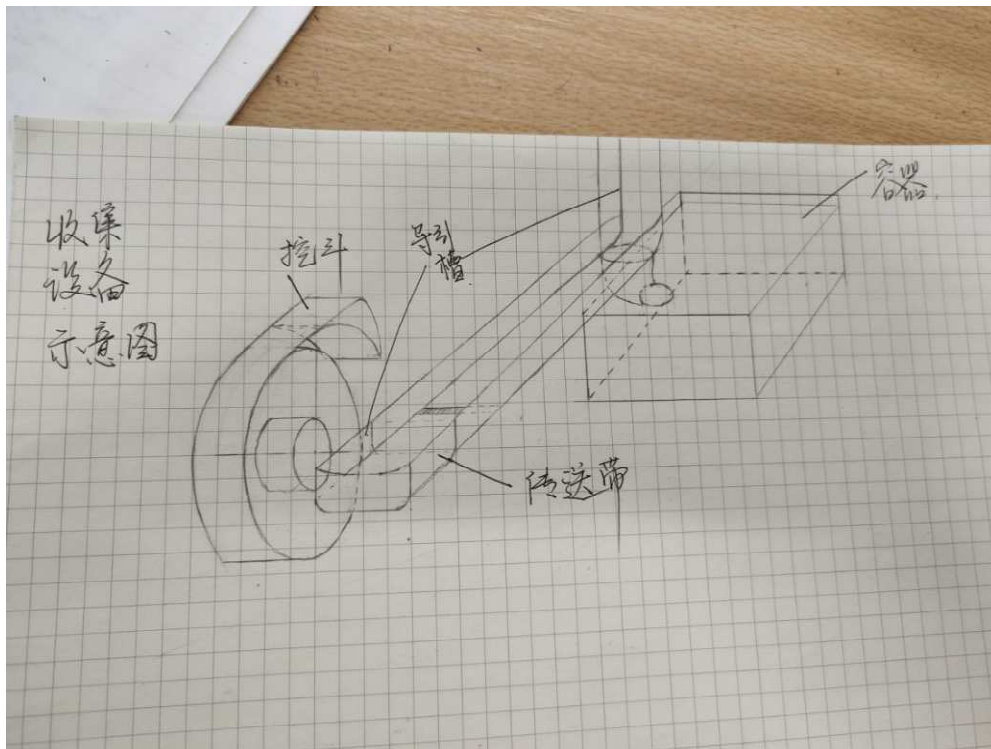


图 10 运输系统

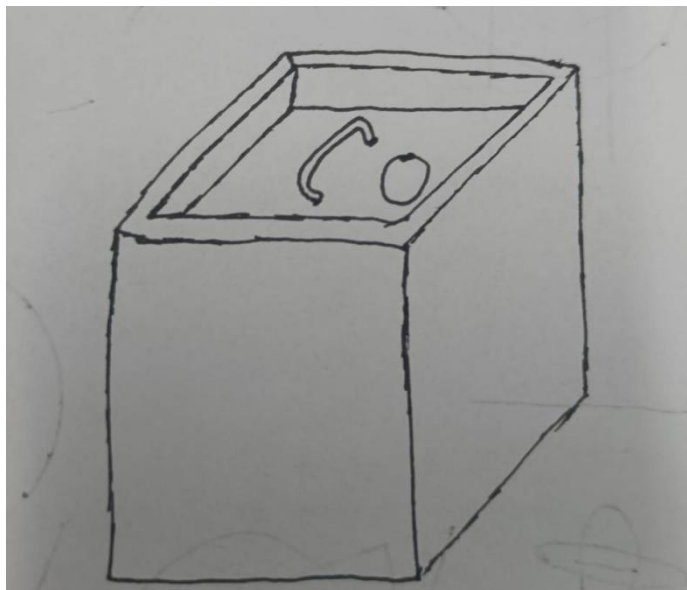


图 11 容器

#### 4.4 太阳能帆板

基于折纸技术，设计可折叠太阳能帆板，使之能够装入整流罩内。

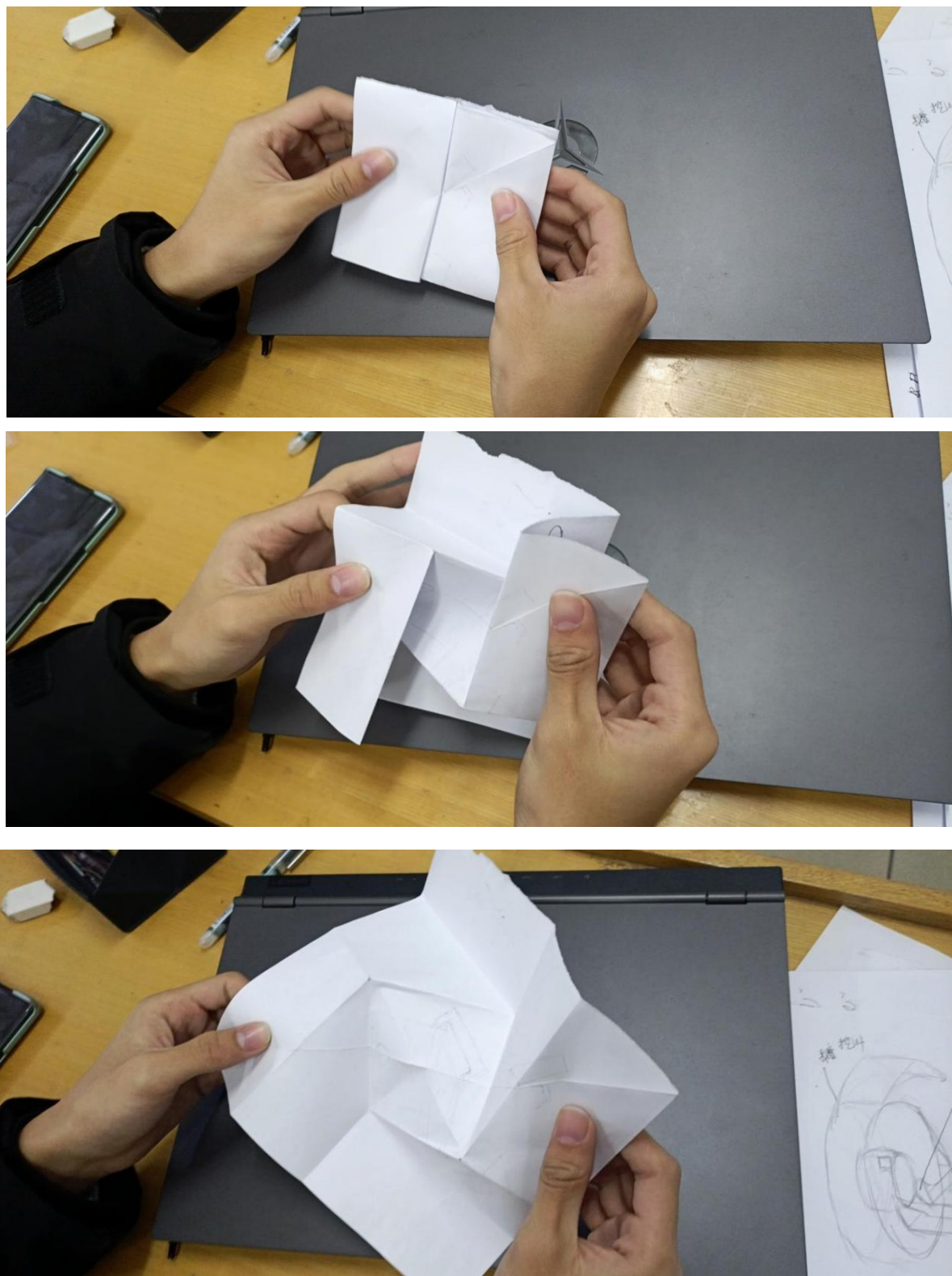


图 12 折纸过程

#### 4.5 车体结构

本项目拟以六边形为基本几何结构，采用双层设计。车体分为挖掘舱和容器舱。通过车轮上的液压系统实现斗轮的升降。

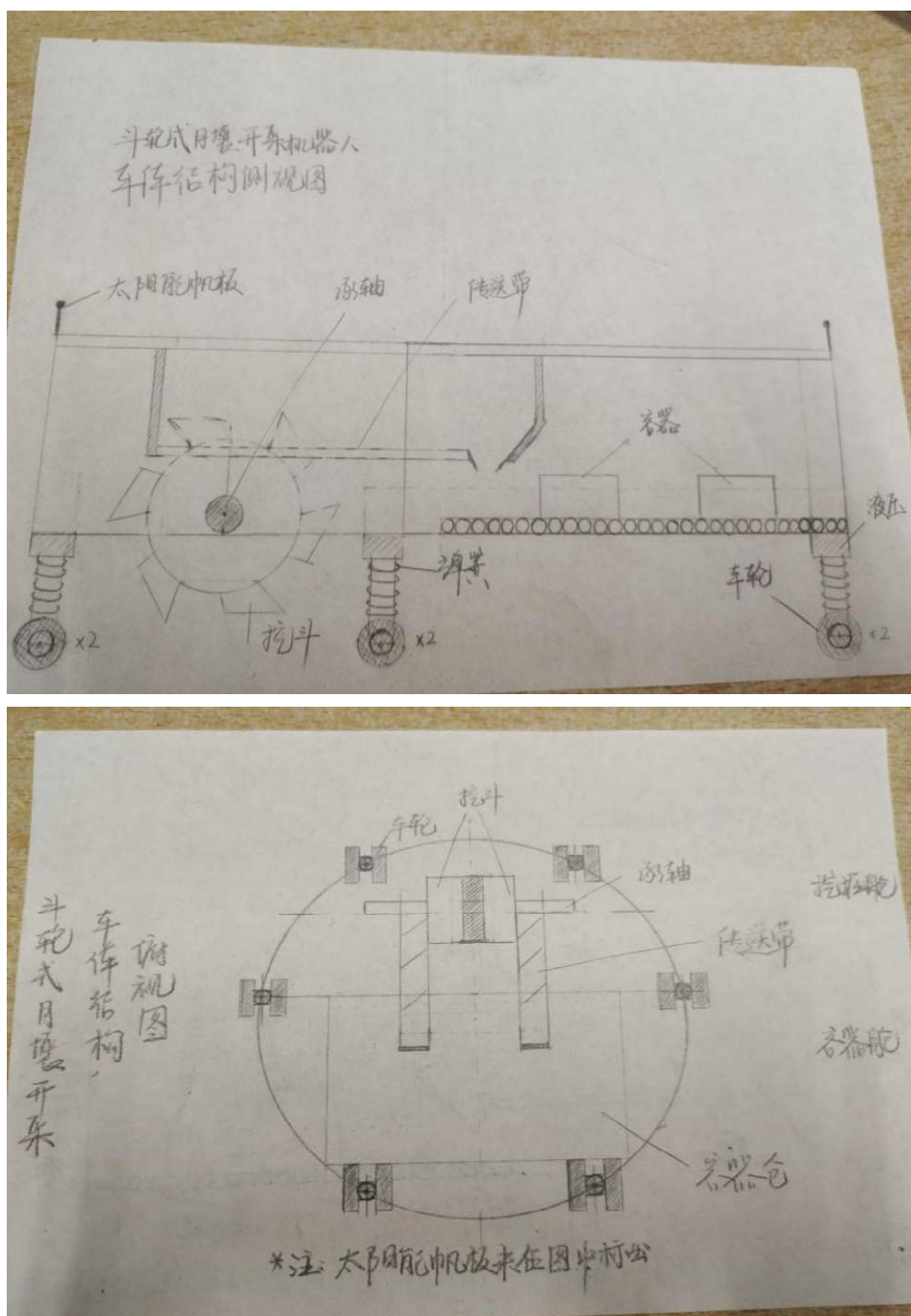


图 13 车体结构

## 5. 中期及结题预期目标

### (1) 中期目标

设计并绘制所有部件及整体结构的草图。届时将提交中期进度报告和草图。

### (2) 结题目标

按照草图用 inventor 建模，并组装部件，并完成运动仿真，制作动画。届时将进行结题答辩，提交结题报告。

## 6. 分工与进度安排

张智銓：联系导师，协调组内合作，进度监督，总体设计

马富川：联系学长学姐，动画制作

马千翔：报告、PPT 撰写

\*3 人均参与草图绘制、建模的工作\*



图 14 进度

## 7. 经费预算

油印：72 元

其他（包含书费、车费）：228 元

## 8. 参考文献

- [1] 耿国虎, 王钰凯. 月球“挖土”简史[N]. 解放军报, 2020-12-2 (5).
- [2] 唐钧跃. 高密度度模拟月壤自适应钻进取芯特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [3] 袁勇, 赵晨, 胡震宇. 月球基地建设方案设想[J]. 深空探测学报, 2018, 5 (4): 374-381.
- [4] 欧阳自远, 邹永廖. 月球的地质特征和矿产资源及我国月球探测的科学目标[J]. 国土资源情报, 2004, (1): 36.
- [5] 宋成文, 刘 瑀. 氦-3 分布特征及其在核燃料方面应用[D]. 大连: 大连海事大学环境科学与工程学院环境信息研究所, 2009.
- [6] 法文哲, 金亚秋. 月球表面月壤中  $^3\text{He}$  含量分布的定量估算[D]. 上海: 复旦大学波散射与遥感信息教育部重点实验室, 2007.
- [7] 月球上有哪些矿产资源[J]. 西部资源, 2014, (2): 76-77.



- [8] 郭晓潞, 熊归砚, 王志浩. 地聚合物基月球混凝土及其 3D 打印原位建造设想[J]. 航天环境工程, 2020, 37 (3) :209-217.
- [9] 沈羨云. “嫦娥”五号: 到月球去“挖土” [J]. 百科知识, 2020, (19) .
- [10] 瑞 语, 思 飞. 外空资源“新大陆” [J]. 百科知识, 2014, (2) :8.