



新一轮探月热潮

近年来,随着地球资源消耗加剧和部分资源逐渐枯竭,开发利用月球资源已成为新的科技竞争制高点。

我国近日正式公布了载人月球探测任务新飞行器名称,新一代载人飞船命名为“梦舟”,月面着陆器命名为“揽月”。与此同时,我国的探月工程还有新消息,继2020年12月17日嫦娥五号成功带回1731克月球样品后,我国于2022年正式启动了探月四期工程——将于2024年发射嫦娥六号,实现月背采样返回;计划2026年前后发射嫦娥七号,开展月球南极环境与资源勘查;计划2028年前后发射嫦娥八号,构建国际月球科研站基本型,并开展资源利用试验验证。

国际上,各大国也纷纷启动月球探测开发计划,掀起了新一轮探月热潮。2017年,美国批准启动了阿尔忒弥斯计划,其目标是月球南极长期驻留和资源开采,并以此为踏板进军火星。截至2024年1月,该计划已成功发射阿尔忒弥斯-I号,并完成了阿尔忒弥斯-II任务4名宇航员

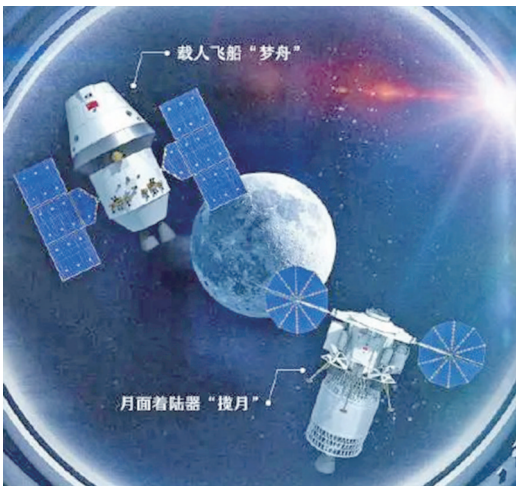
的选拔。本轮任务中,美国国家航空航天局采用了国际合作及私营企业联合开展的新模式,目前澳大利亚、加拿大、意大利、日本、卢森堡、阿联酋、英国等已相继加入该计划。2024年2月,美国国家航空航天局与私营企业“直觉机器”公司研发的“奥德修斯”着陆器登陆月球。

俄罗斯、欧盟、日本、印度、以色列等也宣布或启动了各自的探月计划。2015年10月,时任欧洲航天局局长约翰·迪特里希·韦尔纳宣布其国际月球村计划,并在此后迅速启动了以月壤为基材的月面3D打印建造技术攻关。2023年,俄罗斯发射了月球探测器“月亮-25”,其目标是2035年左右在月球上建立基地、开发月球矿产资源。

根据联合国《月球公约》规定,月球资源开采遵循“先到先得”规则,目前月球开发竞争趋于白热化。正如中国航天科技集团有限公司嫦娥五号探测器系统总指挥兼总设计师杨孟飞院士所说,我国月球资源开发利用已日益紧迫、刻不容缓。

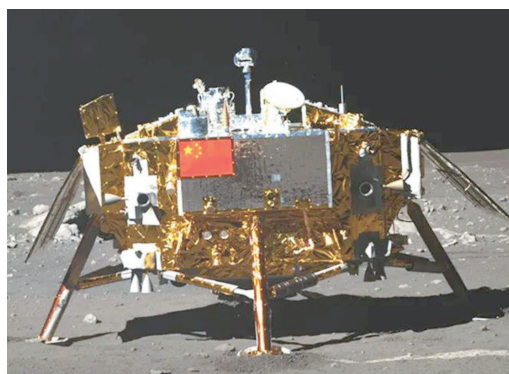
走,到月球采矿去

近日,我国正式公布了载人月球探测任务新飞行器名称,新一代载人飞船命名为“梦舟”,月面着陆器命名为“揽月”。我国的探月工程计划于2028年前后发射嫦娥八号,将构建国际月球科研站基本型,并开展资源利用试验验证。月球上有丰富的金属、非金属及气体资源,围绕着探测、开发月球资源,新一轮探月热潮已经开启。



←我国新一代载人飞船“梦舟”,月面着陆器“揽月”。

↓嫦娥五号月球探测器。 图片均为资料图



月球矿产资源丰富,采什么?

国家航空航天局、欧洲航天局、俄罗斯联邦航天局等均将水冰资源开采列为本轮探月优先任务。

氦-3:氦-3是月球气体型资源的典型代表,以吸附方式赋存于月壤颗粒中。相较于其他核聚变材料,氦-3具有清洁、高效、可控性强等优点,是未来可控核聚变的理想燃料。然而,地球上氦-3储量极为稀缺,仅有500千克左右,这导致其价格高达每千克600万美元。

相较于地球上的珍稀性,月球上氦-3储量极为丰富。嫦娥五号采样返回后,中国科学院在月壤颗粒非晶体玻璃质中首次发现了直径5纳米~25纳米的氦气泡,并受此启发提出了氦-3开采的新思路。

钛铁矿:钛铁矿通过化学或物理手段提炼后可获得铁、钛金属和氧气,为月球科研站建设和航天员生存提供必需原料。中国科学院地球化学研究所曾经做过估算,只需在月海区域40厘米深度范围内开采200立方米月壤,即可提炼10吨钛铁矿、生成1吨水。

此外,月球高地斜长岩中富集硅、铝、钙等元素,对应氧化物含量分别高达45%、34%和20%;克里普岩中含有大量钾、磷、稀土和放射性元素,初估稀土元素储量约为225亿吨~450亿吨,铀储量高达50亿吨,均远高于地球储量。开采这些矿产资源除了能够供给月球基地建设、日常运维和保障航天员生存外,还可以有效补足地球资源的短缺。

月球采矿难度巨大,怎么做?

高挑战。此外,月表广泛分布表面锋利的超细粒月尘,极易吸附、磨蚀机械结构和引发航天员呼吸系统损伤、神经炎症。月表频繁遭遇陨石撞击,速度高达每秒20千米;月核冷却引发的“逆冲断层”导致月震频现,强度可达5级~6级,持续时间达10分钟、平均频率约每年500次;月表宇宙辐射强度高达300mSv/a,是航天员允许承受值的6倍。

受月面极端环境、地月运输成本等影响,月球采矿具备独特的工程特征。首先,月球采矿必须从选址、方案设计、设备研制、原位开采等环节统筹考虑小重力、超真空、极端温度、陨石冲击、月震、辐射等极端环境的直接影响和潜在威胁。其次,地月运输成本高达每千克5万美元~9万美元,从地面大规模运输能源、材料是不现实的,必须尽最大可能原位利用月球资源,实现月面物资自给。最后,月球采矿必须实现无人化、智能化,开采设备需一机多能、多机协同,

尽可能降低地面发射数量与成本。

当前世界各国月球采矿技术体系和基础理论研究均处于起步阶段,还有诸多难题亟待攻克。与月球初探阶段“轻型荷载、科学探测”有所区别,月球采矿以“重型机具、工程建采”为主。其次,月球采矿涉及场地加固、边坡支护等问题,其核心是月面建筑材料供应。月壤是月面储量最大的潜在建筑原材料,研发月面极端环境下的月壤原位固化成型方法及支护技术体系,可有效解决月面建筑材料难题。

月球采矿技术从实验室走向工程应用前,必须经过大规模地面物理模型试验和验证,以确保其可靠性。开展此类试验需要解决两个“卡脖子”难题——月表极端环境地面模拟与大型月面工程结构“时空压缩”。中国矿业大学深地工程智能建造与健康维护国家重点实验室目前已研制成功两套核心重器,成功解决了以上难题。 据《光明日报》报道



长征五号运载火箭



嫦娥五号部分月壤样品。