下载日志已记录，仅供内部参考

建筑工程前沿研究

地外建造：深空探索的战略机遇

行业研究·专题报告

建筑装饰•专业工程

投资评级：优于大市（维持）

证券分析师：任鹤
010-88005315
renhe@guosen.com.cn
S0980520040006

证券分析师：朱家琪
021-60375435
zhujiaqi@guosen.com.cn
S0980524010001

下载日志已记录，仅供内部参考

核心观点

地外建造：月球基地建设即将进入关键技术论证阶段。随着深空科学与探测技术的持续进步，建设月球基地乃至火星基地已不再是遥远的科幻构想，而是进入了有明确时间表、稳步推进的现实阶段。美国“阿尔忒弥斯”计划将力争在2027年前实现载人登陆月球南极；中国第四期探月工程也计划在2030年前完成载人登月，并于2035年前建成国际月球科研站的基本型。

月球基地：国家战略与国际竞争新焦点。建造地外基地，尤其是月球基地，具有重要战略意义。首先，它是深空探测的关键“跳板”，其微小引力和特殊环境能大幅降低深空任务的发射成本与技术风险，并为前往更远星球提供中转与试验平台。其次，基地建设关乎国家战略安全，能够将空间态势感知和威慑力量延伸至地月空间，并有望掌控未来地月经济与安全规则的主导权。最后，月球是获取下一代清洁能源——氦-3可控核聚变燃料的关键原料产地，建设基地是实现其开采、从而推动能源革命的重要前提。

核心工程：地下工程。为了应对月球极端地表环境，地下工程是最可行的基地建设方案。月壤在约1米深度可形成恒温层，能有效屏蔽辐射与温差，利用天然熔岩管道进行地下空间开发是较为可行的方案。马斯克旗下的The Boring Company所研发的Prufrock盾构机，通过采用小型化、无人化设计，旨在显著提升掘进速度并同步实现工程成本的大幅降低。该方案与马斯克的商业航天体系形成生态协同，已在拉斯维加斯Vegas Loop项目中实现成熟运营，并随着新项目落地其技术仍在不断优化迭代。

核心材料：星壤建筑材料。月球、火星星壤的化学组成与地球土壤相近，可作为类混凝土以及提取金属的原料。而星壤抗剪性弱，需加工使用，添加外掺剂后可3D打印成型，但外掺剂难以原位获取；而烧结工艺无需外加剂，原位利用率最高，更适合规模化建造。此外，星壤经高温熔融还可衍生出玻璃纤维、金属合金等多种材料，用于结构加固、保温支撑等，作为烧结材料的有效补充。

核心装备：3D打印工艺装备。3D打印是地外建造的核心解决方案，主要工艺包括三类：一是低温挤出成型，将星壤浆料挤出沉积，适合用大型龙门架或移动打印机快速建造大型结构，但精度一般。二是高能束打印，如激光烧结，直接熔融星壤，精度高但速度慢，对应专用烧结设备。三是砌筑拼装，使用预制砌块，容错率高、速度快，但依赖砌块运输。相应的核心装备包括3D打印工艺装备与建造机器人。

投资建议：随着航天技术的持续进步，深空探索已步入具有明确时间表、稳步推进的现实阶段。在此背景下，地外基地的建设将具备重要战略意义，有望成为国际竞争的新焦点。基于地外建造的特殊要求，我们围绕地下工程、星壤材料、3D打印装备这三个核心环节，简要梳理了其潜在技术发展路径。由于地外建造属于“从0到1”的新市场，目前鲜有上市公司直接布局相关业务，因此暂不做具体个股推荐，但建议持续关注上述核心环节的技术演进及其可能带来的未来投资机遇。

下载日志已记录，仅供内部参考

地外建造：月球基地建设即将进入关键技术论证阶段

国信证券 GUOSEN SECURITIES

- **NASA正加速推进探月计划。**根据美国NASA推进的Artemis计划，美国将在月球南极建立"大本营"，配套建设通信、电力等基础设施以支持长期驻留。2026年4月，Artemis II执行载人绕月任务，搭载4名宇航员进行为期约10天的绕月飞行，测试载人深空生命支持系统，2027年，Artemis III计划在月球南极着陆，重返月球表面。2026年7月，马斯克在一档节目中表示，SpaceX计划在2026年底前从地球发射火箭，将首批建设物资送往月球和火星，启动太空殖民地建设。

- **中国第四期探月工程将重点聚焦地外建造。**中国的探月工程自2007年启动以来, 已成功完成以“绕、 落、回”为目标的前三期工程探月任务，第四期工程将重点转向原位资源利用与月球基地建设，当前公开披露的探月规划如下：
  - 2026年，嫦娥七号将对月球南极开展高精度环境与资源勘查，确定水冰分布与基地最佳选址；
  - 2028年，嫦娥八号将携带月面机器人，验证月壤3D打印、制砖等原位建造技术；
  - 2030年之前，将实现载人登月，开展短期驻留与大范围科学探测；
  - 2035年之前，建成国际月球科研站基本型，形成覆盖月球南极百公里范围的综合科研能力。

图：NASA月球庇护所概念设计图

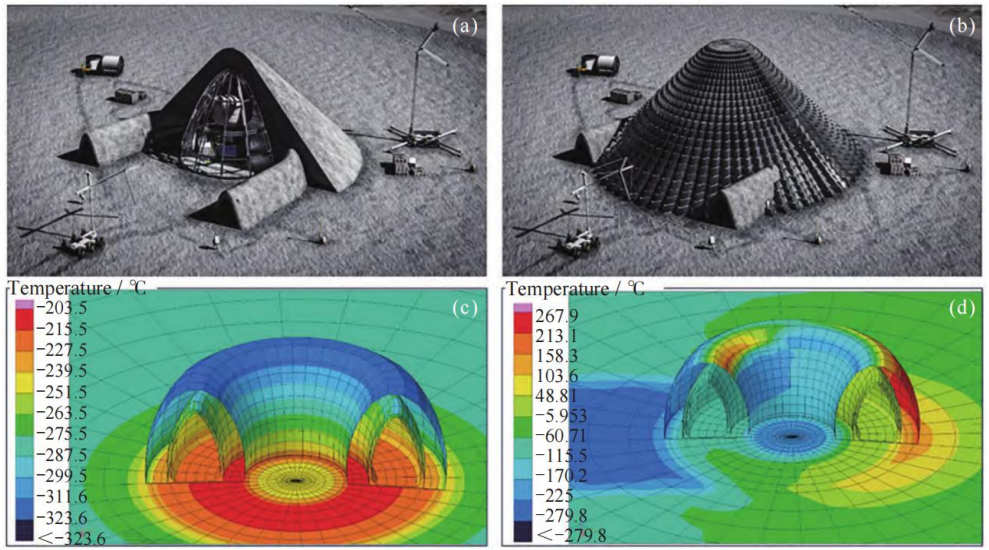
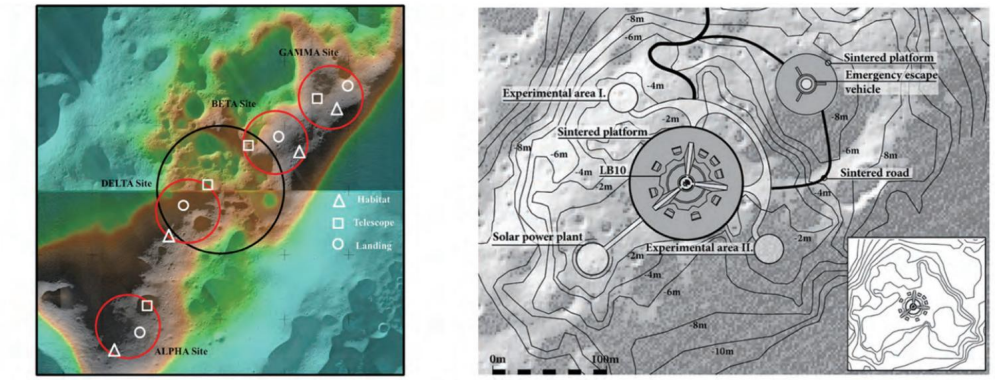


图 5　月球庇护所. (a) 概念, (b) 支撑结构, (c) 夜晚结构热分析, (d) 月午结构热分析

资料来源：《NASA月球到火星战略架构的解析》[1]，国信证券经济研究所整理

图：月面建造选址及场地布局规划



(a)月球北极4个选址光照条件比较
(a) Illumination condition comparison of four possible sites in Moon Arctic

(b)LB10整体场地布局
(b)Overall site layout plan of LB10

资料来源：《月面建造工程的挑战与研究进展》[2]，国信证券经济研究所整理

[1]夏一峰,高玉月,周诚.NASA月球到火星战略架构的解析[J].空间科学学报,2025,45(01):15-28.
[2]丁烈云,徐捷,骆汉宾,等.月面建造工程的挑战与研究进展[J].载人航天,2019,25(03):277-285.DOI:10.16329/j.cnki.zrht.2019.03.001.

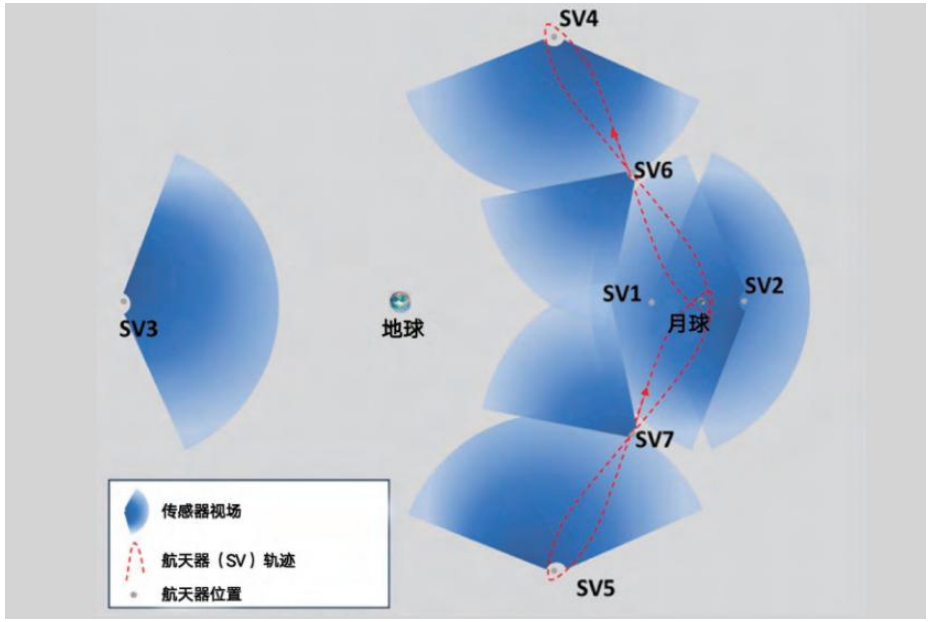
请务必阅读正文之后的免责声明及其项下所有内容

下载日志已记录，仅供内部参考

月球基地：国家战略与国际竞争新焦点

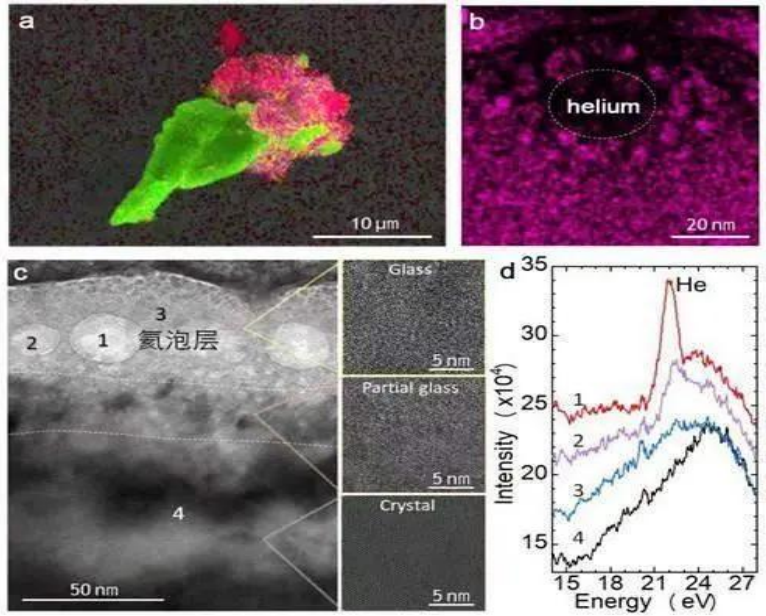
- **建造地外基地是实现深空探测的基础条件，其中月球基地尤为重要。**月球引力小且无大气层束缚，可显著降低飞船发射的燃料消耗，为深空任务提供高效的中转平台。同时，月球基地可作为深空探测的试验前站，支持长期科学考察与技术验证，例如开展原位资源利用、辐射防护等关键技术研究，并为火星等更远深空目标积累经验。此外，月球南极等区域的水冰资源与连续光照条件，进一步提升了其作为可持续探测枢纽的价值，为深空探索奠定物质与能源基础。
- **月球基地建设具有重要的国家战略安全意义。**通过地外基地建设，可以将国家的空间态势感知能力从近地轨道延伸至地月空间乃至更深远的地外区域，从而拓展战略安全疆域。在地月空间部署武器装备，可形成更高维度的全域打击能力，构建新的天基战略威慑。另外，占据地月运输链枢纽的国家，可通过定价权与安全标准定义商业活动规则。
- **月球矿产基地建设是解锁氦-3战略价值、推动深空能源自治的核心环节。**月球上蕴藏的氦-3等核能资源具有极高的战略价值。氦-3能够与氢的同位素氘发生核聚变反应，在聚变过程中不产生中子所以放射性小、反应过程易于控制，兼具高能量密度和低放射性副产物的优势，而建设月球矿产基地是实现此类资源原位开采与利用的必要条件。

图：地月空间态势感知架构



资料来源：《美军天基地月空间态势感知系统分析》[1]，国信证券经济研究所整理

图：月壤中发现的氦-3资源



资料来源：央视新闻，国信证券经济研究所整理

[1]王帅.美军天基地月空间态势感知系统分析[J].国际太空,2025,(09):10-15.

下载日志已记录，仅供内部参考

地外原位建造最有可能成为未来的主流技术路线

- **地外原位建造最有可能成为未来的主流技术路线。**地外建造可分为“预制-发射-着陆”、“预制-发射-展开”、“预制-发射-组装”以及“地外原位建造”四类。前三类依赖地面预制构件并通过发射运输至地外天体，再通过着陆、展开或组装完成建造，但受限于高昂的地月运输成本和灵活性约束。相较而言，“地外原位建造”通过直接利用月球等天体的原位资源（如月壤）进行现场建造，可减少地球物资运输需求，显著降低建造成本，并提升资源利用效率。该技术路线涵盖月壤3D打印、太阳能烧结等工艺，能够支撑永久性月球基地的可持续发展，最有可能成为未来地外建造的主流技术路线。

图：地外建造概念内涵



资料来源：《地外建造研究进展与科学技术挑战》[1]，国信证券经济研究所整理

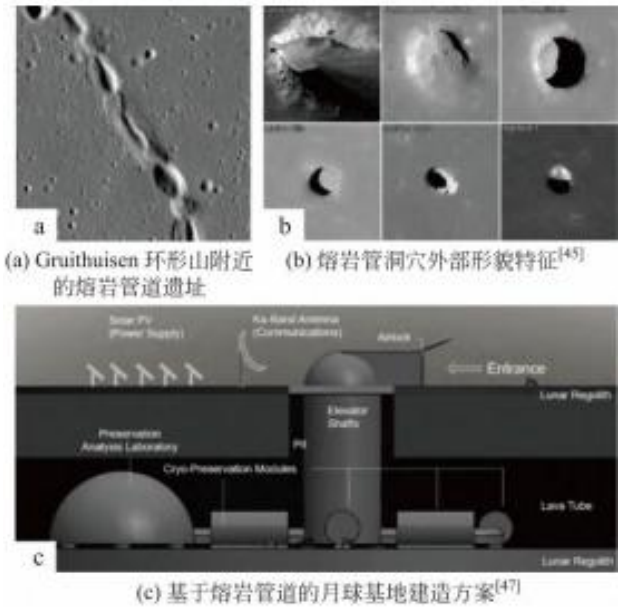
[1]丁烈云,周诚,高玉月,等.地外建造研究进展与科学技术挑战[J].土木工程学报,2024,57(06):26-42.DOI:10.15951/j.tmgcxb.2024.05.1212.

下载日志已记录，仅供内部参考

核心工程：地下工程

- **由于环境限制，地下工程是最可行的月球基地建设方案。**月球表面环境条件极端恶劣，受到高真空、大温差以及强宇宙射线辐射等因素影响。不过，月壤具有极低的导热系数，在深度1米以下可形成温度稳定在-20℃左右的恒温层，能够有效屏蔽宇宙射线和应对温度波动。因此，利用月球天然的熔岩管道，搭配适当的地下工程有望成为应对月表恶劣环境的最优解决方案。
- **地外地下工程要求盾构作业实现智能化高效低成本掘进，马斯克旗下The Boring Company已有布局。**传统盾构装备通常需针对具体项目进行定制化设计，在不同工程间通用性较低，且其采用的“掘进-停机-拼装”串联作业模式存在效率不足、成本偏高及对人工操作依赖较强等局限。马斯克旗下的The Boring Company所研发的Prufrock盾构机，通过采用小型化、无人化设计，旨在显著提升掘进速度并同步实现工程成本的大幅降低。该方案与马斯克的商业航天体系形成生态协同，已在拉斯维加斯Vegas Loop项目中实现成熟运营，并随着新项目落地其技术仍在不断优化迭代。

图：月球熔岩管道地下结构示意图



(a) Gruithuisen 环形山附近的熔岩管道遗址　(b) 熔岩管洞穴外部形貌特征[45]

(c) 基于熔岩管道的月球基地建造方案[47]

资料来源：《地外建造研究进展与科学技术挑战》[1]，国信证券经济研究所整理

图：马斯克旗下The Boring Company的Prufrock小型盾构解决方案



资料来源：The Boring Company，国信证券经济研究所整理

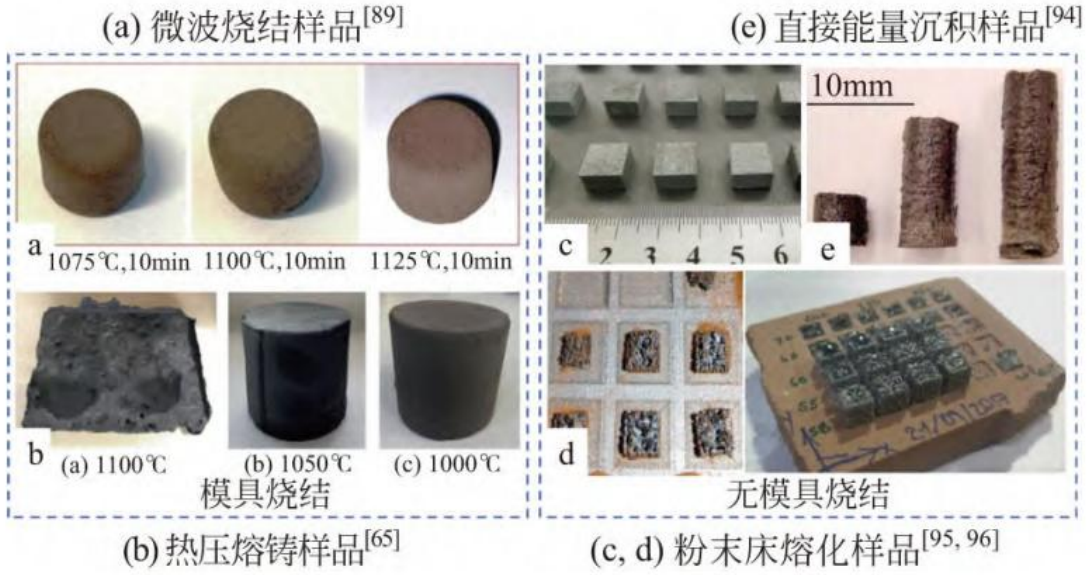
参考文献：
[1]丁烈云,周诚,高玉月,等.地外建造研究进展与科学技术挑战[J].土木工程学报,2024,57(06):26-42.DOI:10.15951/j.tmgcxb.2024.05.1212.

下载日志已记录，仅供内部参考

核心材料：星壤建筑材料

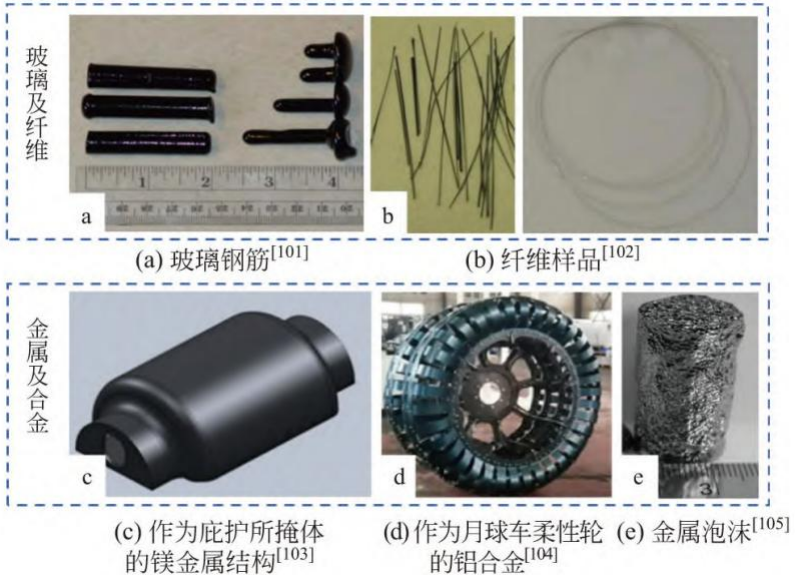
- **原位星壤材料或为地外建造的核心建筑材料。**易获取、 易加工的原位星壤材料是保证地外建造经济性及可持续发展的关键[1]，月壤、火壤与地球有较为相似的化学和矿物组成，有潜力作为制备类混凝土和提取金属的原料。两种星壤本身的抗剪性能较弱，需要在挖掘筛分后进行额外处理才能用作建筑材料。在星壤原料中添加外掺剂，可将其制成类混凝土浆料，便于利用3D打印工艺建造大型结构，但是由于外掺剂在地外环境难以获得，原位利用率较低。通过烧结工艺形成的星壤材料不需要外掺剂，地外原位资源利用率最高，更适合在地外环境下大规模生产。
- **星壤利用潜力大，还可生产多种衍生材料。**由于月球、火星的土壤条件与地球类似，将这两种星壤加热到液相线温度以上， 还可得到致密、 坚固且耐磨的星壤衍生物材料， 包括玻璃及纤维、 金属及合金等。这些衍生材料可以被用作加固材料、支撑材料、保温材料等，作为对烧结类星壤材料的补充。

图：烧结类星壤材料



资料来源：《地外建造研究进展与科学技术挑战》[1]，国信证券经济研究所整理

图：星壤衍生材料



资料来源：《地外建造研究进展与科学技术挑战》[1]，国信证券经济研究所整理

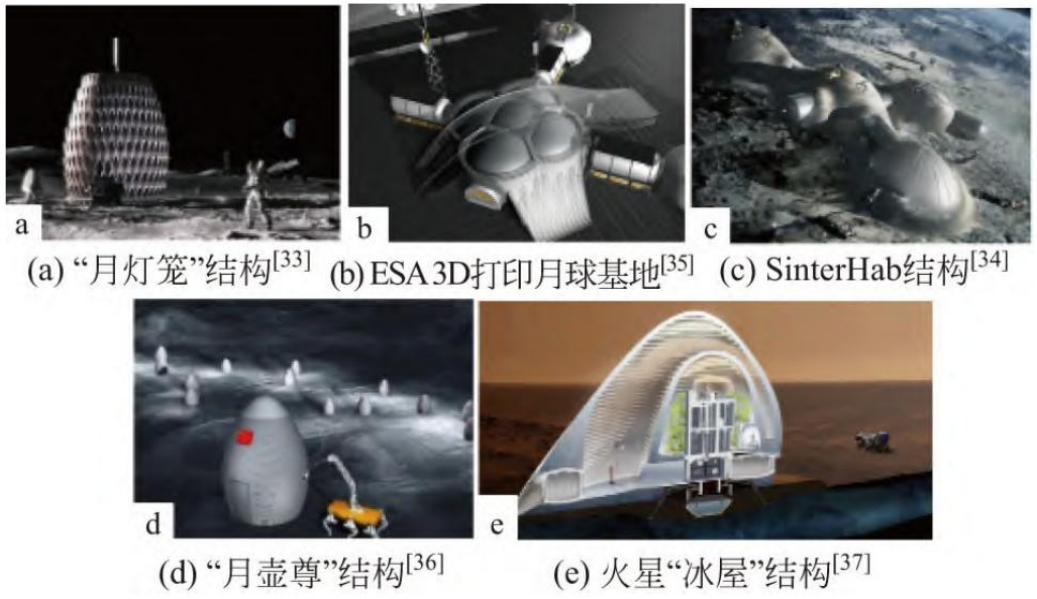
[1]丁烈云,周诚,高玉月,等.地外建造研究进展与科学技术挑战[J].土木工程学报,2024,57(06):26-42.DOI:10.15951/j.tmgcxb.2024.05.1212.

下载日志已记录，仅供内部参考

核心装备：3D打印工艺装备

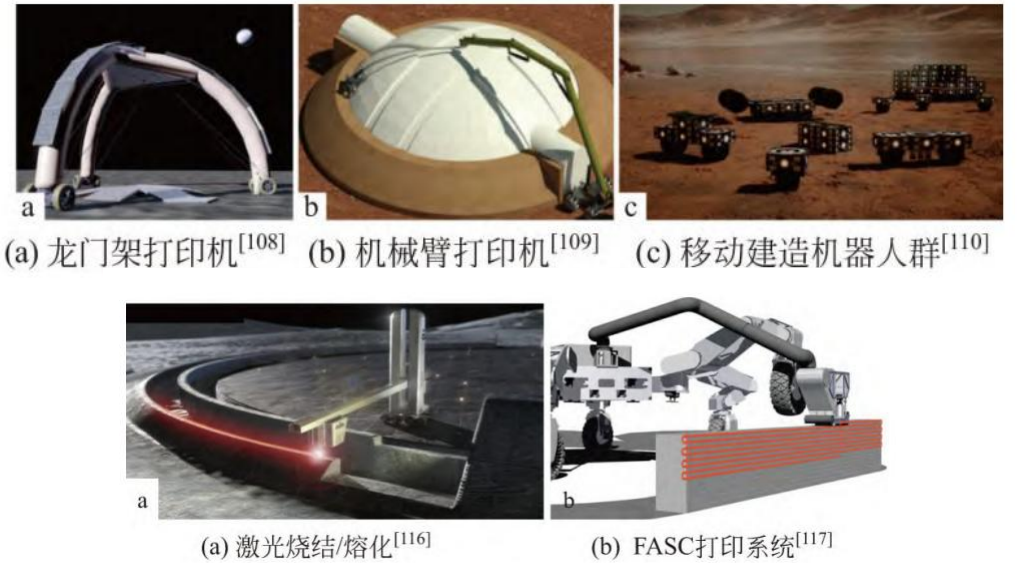
- **3D打印建筑是地外建造的核心解决方案。**为实现建造材料的利用并建成设计结构， 需针对地外建造场景开发特定的建造工艺[1]。低温挤出成型工艺将星壤制成的类混凝土浆料挤出，沉积、 干燥后形成结构实体，建造速度中等，建造精度较低，适合打印大型结构；高能束3D打印工艺直接以星壤为原料，逐层烧结或熔化星壤原料，建造速度较慢，但精度较高；砌筑拼装工艺以预制砌块为原料， 在合理设计砌块构型的前提下， 其建造过程容错率高， 且建造速度较快，但是要额外解决预制材料的运输问题。
- **3D打印装备与建造机器人是地外建造装备的核心发展方向。**低温挤出成形工艺装备主要包括大型龙门架打印机、较为灵活的移动式打印机以及移动建造机器人群。高能束3D打印工艺装备目前已有的方案包括如ICON公司为月球基地建造设计的激光烧结/熔化设备，以及利用太阳能电池阵列实现高温打印的FACS打印系统。

图：典型地外3D打印结构示意图



资料来源：《地外建造研究进展与科学技术挑战》[1]，国信证券经济研究所整理

图：低温挤出成型工艺装备与高能束3D打印工艺装备示意图



资料来源：《地外建造研究进展与科学技术挑战》[1]，国信证券经济研究所整理

[1]丁烈云,周诚,高玉月,等.地外建造研究进展与科学技术挑战[J].土木工程学报,2024,57(06):26-42.DOI:10.15951/j.tmgcxb.2024.05.1212.

下载日志已记录，仅供内部参考

风险提示

- **核心技术研发与落地不及预期的风险：**地外建造面临的首要风险在于关键技术距离大规模工程应用仍有明显差距。当前支撑月球及深空基地建设的核心技术链条虽已从“可到达”转向“可持续驻留”，但各环节成熟度分化显著：着陆与短期驻留系统相对成熟，而原位建造、资源利用与机器人施工等技术多数仍处于较低成熟度阶段，距离连续、稳定、低成本运行尚有较长路径。同时，轨道补给、低温推进剂长期在轨存储与转移等关键支撑环节仍存在工程不确定性，若验证进度延迟将直接影响月面物资投送与施工进程。此外，月壤3D打印等多种原位建造技术目前仍处于多路线探索阶段，其工程化应用还面临能源供给、通信导航和真实环境适配等多重约束，从实验室走向月面施工仍存在较多风险。整体来看，地外建造在短期内更可能处于样机验证与局部试验阶段，其产业化进程将高度依赖轨道加注、原位建造系统联调及配套基础设施的协同成熟。

- **重大航天工程时间表推迟的风险：**地外建造的产业化前提依赖于重型运载、载人往返与月面着陆等关键任务按计划兑现。重大航天工程时间表的推迟将引发系统性风险，其影响会沿“验证任务延误—系统联调递延—基础设施部署放缓—产业化需求释放延后”的链条传导，导致商业化节奏显著慢于预期。例如美国阿尔忒弥斯计划已多次延期，部分任务目标也已调整，反映出系统耦合度过高带来的整体进度压力。中国载人登月工程节奏相对稳健，但若关键节点出现延误，仍将影响后续月面驻留与资源利用等场景的开展。因此，时间表的推迟本质上是地外建造从主题走向工程兑现过程中最主要的系统性风险，其后果是全链条需求后移、技术验证周期拉长与商业闭环时间推迟。

- **投资成本超支与商业闭环难以达成的风险：**从深空探测、低轨星座等先例看，此类项目普遍具有前期投入大、现金流转正慢的特点，商业回款往往显著慢于资本开支。其中，发射成本能否持续下降是商业闭环成立的关键前提，若可回收火箭等降本技术进展不及预期，将直接影响建设需求的释放与回报节奏。因此，真正的风险并非短期估值波动，而是资本开支长期化、收入延迟与融资环境变化可能共同引发的现金流压力及资产减值风险。

- **地缘政治博弈、主权争议与国际法律框架风险。**现行《外层空间条约》虽禁止天体主权主张，但缺乏资源开采与设施管理的细则。美国通过《阿尔忒弥斯协定》推动其资源利用与安全区安排，而俄罗斯等国则批评其具有单边色彩，反映出月球开发合法性仍存显著分歧。当前，月球开发已逐步从科研合作转向规则制定权竞争，不同阵营正形成各自的技术标准与治理框架。此外，月球资源治理可能面临类似深海采矿的长期争议，若缺乏统一国际机制，地外建造项目将可能遭遇准入许可不确定、权益冲突与合规成本攀升等风险，进而影响项目的可持续性与资本回收。

下载日志已记录，仅供内部参考

免责声明

国信证券 GUOSEN SECURITIES

国信证券投资评级			
投资评级标准	**类别**	**级别**	**说明**
报告中投资建议所涉及的评级（如有）分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6到12个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数（000300.SH）作为基准；新三板市场以三板成指（899001.CSI）为基准；香港市场以恒生指数(HSI.HI)作为基准；美国市场以标普500指数(SPX.GI)或纳斯达克指数（IXIC.GI）为基准。	**股票投资评级**	优于大市	股价表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	股价表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	股价表现弱于市场代表性指数10%以上
		无评级	股价与市场代表性指数相比无明确观点
	行业投资评级	优于大市	行业指数表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	行业指数表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	行业指数表现弱于市场代表性指数10%以上

分析师承诺

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

下载日志已记录，仅供内部参考

国信证券
GUOSEN SECURITIES

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路125号国信金融大厦36层

邮编：518046　　总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路1199弄证大五道口广场1号楼12楼

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街6号国信证券9层

邮编：100032