

月球旅游空间站建筑：技术架构与实现路径探析

卢松¹, 卢玖睿²

1. 中国中元国际工程有限公司, 北京 100089

2. 海南大学土木建筑工程学院, 海南 海口 570228

DOI:10.61369/ADA.2026010009

摘要： 随着全球深空探测商业化转型，月球旅游正从科幻构想步入工程实践。本文基于月球极端环境约束，系统建构月球旅游空间站的建筑技术架构，提出“原位资源利用智能建造生命维持”三元技术体系。研究首次将旅游建筑学范式引入地外建造领域，在分析美国 GRU Space “2032月球酒店”^[6]、欧洲 Foster+Partners “月面生态栖息单元”^[5]等前沿案例基础上，提出“双壳共生”结构模型与“蜂巢穹顶”拓扑范式^[6]，论证了从科研站向旅游空间站演进的三阶段路径^[4]。研究表明，月球旅游建筑不是科研设施的简单复刻，而是以“体验经济”为驱动、以“星际舒适性”为目标的建筑学新边疆。中国可依托国际月球科研站（ILRS）2035基本型^[2]，分步实现月球旅游空间站的自主研制^[1]。

关键词： 月球旅游；空间站建筑；原位资源利用；智能建造；地外人居环境

Lunar Tourism Space Station Architecture: An Exploration of Technical Frameworks and Implementation Pathways

Lu Song, Lu Jiurui

1.China IPPR International Engineering Co., Ltd., Beijing 100089

2.School of Civil Engineering and Architecture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228

Abstract : As global deep-space exploration undergoes a commercial transformation, lunar tourism is rapidly evolving from science fiction into engineering reality. This paper, grounded in the extreme environmental constraints of the Moon, systematically constructs a technical architecture for lunar tourism space stations, proposing a ternary technological system of "In-Situ Resource Utilization (ISRU) – Intelligent Construction – Life Support." This study marks the first attempt to introduce the tourism architecture paradigm into the field of extraterrestrial construction. Building upon an analysis of cutting-edge international cases—including the US-based GRU Space "2032 Lunar Hotel" and Europe's Foster+Partners "Lunar Habitat Unit"—this research proposes a "dual-shell symbiosis" structural model and a "hive-dome" topological paradigm, delineating a three-phase evolutionary pathway from scientific research stations to dedicated tourism space stations. The study demonstrates that lunar tourism architecture is not a mere replication of scientific facilities but represents a new frontier in architecture driven by "experience economy" principles and targeting "interstellar comfort." Leveraging the baseline configuration of the International Lunar Research Station (ILRS) scheduled for 2035, China is well-positioned to achieve the phased, independent development of a dedicated lunar tourism space station.

Keywords : lunar tourism; space station architecture; in-situ resource utilization (ISRU); intelligent construction; extraterrestrial human environment

一、绪论

1.研究背景：从科考站到旅游空间站的范式转换，2026年1月，美国加州初创企业 GRU Space发布“世界首座月球酒店”设计方案，宣称将于2032年建成可容纳4-10名游客的商业月球栖息地，每位游客订金高达100万美元^[8]。几乎同一时间，中国公布深空旅游探索路线图，将太空旅游产业确立为国家航天战略的组成部分^[4]。这些标志性事件共同指向一个历史性转折，月球建筑正从国家主导的科学探测设施，转向国家与市场共同驱动的商业化旅游基础设施。这一范式转换对建筑设计提出全新命题。传统月球科考站以满足基本生存功能为核心，追求可靠性、冗余度和有效载荷效率^[3]；而月球旅游空间站必须在保障安全的前提下，回应体验、舒适、审美、社交等旅游建筑的本质诉求^[9]。如果说科考站是生存机器，旅游空间站则应是星际家园，这一转变将深刻重塑地外建筑的设计哲学与技术架构。

2.问题界定与研究框架，本文聚焦的核心问题是面向商业旅游场景的月球空间站，应建立何种技术架构？其与科考站有何本质差异？实现路径如何规划？研究采用约束、技术、路径三元分析框架，首先识别月球旅游建筑面临的独特性约束，继而建构与之适配的技术架构体系，最终提出分阶段实现路径。研究方法包括文献分析、案例比较与技术推演。



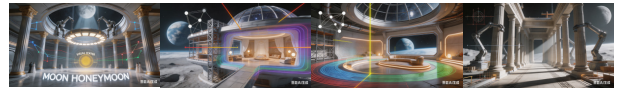
二、月球旅游建筑的独特性约束，月球旅游建筑与地球旅游建筑、月球科研站的本质差异，根植于三类独特约束。

1.环境维度的生存刚性约束，月球表面呈现高真空、微重力（1/6g）、极端温差（-173℃至127℃）、强宇宙辐射及带电月尘的五重极端环境^[3]。任何旅游建筑必须首先满足生命维持这一刚性前提。不同于地球旅游建筑可依赖外部市政系统，月球旅游空间站必须是完全自持的闭环生态系统^[5]。然而，旅游场景对“生存”的定义比科研场景更为高阶。科研人员可接受军事化管制的生活条件，但付费游客对舱内空气质量、温湿度、采光、声环境及空间尺度有明确的心理期待。这意味着旅游建筑的维生系统必须在满足安全阈值的同时，实现更高的“舒适度冗余”^[6]。

2.运输维度的经济性约束，地月运输成本目前仍高达每公斤数万美元^[3]。这一经济性约束直接决定，月球旅游建筑必须最大化原位资源利用率（ISRU），将“从地球携带”转为“在月球制造”^[1]。GRU Space方案明确提出，其酒店主体采用地球运载的充气模块，而外层防护结构则通过月壤烧结砖现场建造^[8]；Foster+Partners的月面栖息地更实现98%的原位材料利用率^[9]。这一约束同时催生轻量化设计与可重构建造两大技术路径。丁烈云院士团队指出，地外建造的关键在于“就地取材”，利用月面太阳能烧结月壤制成“月壤砖”，通过机器人像“搭积木”一样

实现原位建造^[1]。

3.市场维度的体验性约束，这是月球旅游建筑区别于科研站的根本维度。旅游建筑必须提供值得支付溢价的空间体验：包括地球景观窗、低重力活动区、月面漫步出口、社交聚会空间、私密休息舱乃至月球蜜月等主题场景^[8]。GRU Space渲染图中呈现的中央圆形大厅、列柱回廊、穹顶采光孔，均是对“旅游仪式感”的建筑学回应^[8]。这一约束意味着月球旅游建筑不是被“建造”出来的，而是被“设计”出来的。建筑师的介入不再是辅助角色，而成为定义产品竞争力的核心要素^[5]。



三、月球旅游空间站技术架构

基于上述约束，本文提出月球旅游空间站的三层技术架构，资源层材料与能源，建造层结构与工艺，生命层环境与体验。

（一）原位资源利用体系

1.月壤结构转化技术，月壤是月球表面最丰富的原位资源^[3]。当前国际研究形成三条并行技术路线，其一为烧结成型。中国深空探测实验室研制的“月壤砖机”通过聚焦太阳能高温熔融月壤，可烧结任意形状的建筑构件^[1]。丁烈云院士团队设计的“月壶尊”采用热压烧结工艺，制成的月壤砖经空间站一年暴露实验后状态完好^[1]。其二为纤维拉制。东华大学团队基于嫦娥五号真实月壤成分，在实验室成功拉制直径10-20微米的连续月壤纤维^[2]，为月面原位制造复合材料开辟新路径。其三为3D打印成型。NASA与ICON合作的“奥林匹斯”项目、欧空局的烧结模块研究，均致力于通过粉末床熔融或定向能量沉积技术，实现月壤的原位增材制造^[5]。

2.月壤基建筑材料性能，研究表明，模拟月壤经冷压成型可获得一定强度，经高温烧结后抗压强度可达32MPa以Foster+Partners方案数据^[9]。以硫磺、聚合物或地质聚合物为粘结剂的月壤混凝土同样展现出良好力学性能^[3]。这些材料参数已进入工程可用区间。

（二）智能建造与结构体系

1.“双壳共生”结构模型，本文提出月球旅游空间站的“双壳共生”结构模型：外层为抗辐射、抗陨石冲击的刚性防护壳，内层为保障气密性与舒适度的柔性居住壳，内外壳之间设置设备夹层与缓冲空间。这一模型的理论基础是向忠宏提出的“蜂巢穹顶共生论（HCS）”，即“内外分治，刚柔并济”外层穹顶承担物理防护职能，内层蜂巢结构优化居住舒适度与空间效率^[9]。该范式可同时解决单一结构无法兼顾防护性能与居住品质的行业痛点。

2.典型结构方案，目前国际前沿呈现三种结构范式：Foster方案（下沉式穹顶）：利用天然环形山基底，3D打印月壤形成下沉式穹顶，内嵌充气式ETFE膜结构气密舱^[9]。外层月壤密度1.5g/cm³，可有效屏蔽伽马辐射。GRU方案砖砌加充气：地球

运载充气模块就位后，由自动化系统将月壤烧结砖砌筑于模块外围，形成防护砖壳^[6]。HCS方案蜂巢装配：采用标准化六边形蜂巢构件，通过“向氏榫卯自锁接口”快速拼装，适配平原、熔岩管、陨石坑壁等多类地貌^[6]。

3. 集群机器人建造系统，月面建造必须实现无人化^[7]、自主化。陈杰院士提出“异质机器人集群协同”愿景：测绘机器人进行地形扫描，运输机器人搬运月壤，大型3D打印机器人堆砌主体结构，灵巧装配机器人执行高精度安装^[2]。丁烈云团队同步研发的“中国超级泥瓦匠”砌筑机器人和“月蜘蛛”3D打印机器人，已进入工程样机阶段^[1]。

（三）生命维持与人居环境系统

1. 闭环生态与资源循环，旅游场景对生命维持系统的“闭环率”提出更高要求。Foster方案实现95%水资源回收率冷凝水电解制氧和基础食物链构建月壤富铁区培育螺旋藻^[5]。未来月球旅游空间站需达到98%以上物质闭合度，以降低地再补给频次^[3]。

2. 辐射防护与健康保障，月球表面年辐射剂量约380mSv，远超地球安全标准^[3]。Foster方案通过陨石撞击概率模型IMP-3.0优化布局，将舱内年辐射剂量控制在50mSv安全阈值以下^[5]。旅游建筑还需增设主动防护系统如电磁场屏蔽及实时剂量监测网络。

3. 旅游体验导向的建筑空间设计，旅游建筑的“空间生产”属性在此凸显。需系统建构月球旅游体验设计学^[10]，包含：地球景观窗光学设计、低重力活动区空间尺度、社交空间声学环境、私密舱室心理安全感、月尘控制与清洁流线等^[5]。目前所有方案仍停留在“保障生存”阶段，尚未形成成熟的旅游空间设计语言，这正是建筑学可以做出原创贡献的领域。



四、实现路径：从科研站到旅游空间站建筑

（一）国际案例对比分析

1. 美国 GRU Space 方案，2029年技术测试，2032年 V1 版酒店极具野心，但技术成熟度存疑。结构体系充气模块加月壤砖外护壳 继承 NASA CLPS 路线，工程可实现性较高。定位小型精品酒店，接待能力初期4人远期10人。商业模式 100 万美元订金+商业航班，明确面向超高端市场。建筑设计语言古典柱列、圆形大厅、穹顶，首次引入旅游美学^[8]。GRU 方案的最大价值不在于技术颠覆性，而在于首次将“旅游建筑”而非“科研设施”作为设计出发点^[10]。其古典建筑语汇的运用虽具争议，但确实回应了旅游体验对仪式感、纪念性的内在需求。

2. 欧洲 Foster+Partners 方案，Foster 方案代表航天工程与建筑设计的深度融合^[5]。其技术指标 32MPa 强度、95% 水回收、50mSv 剂量均达到工程可用水平，且首次系统性提出“建筑自愈系统”液态玄武岩自动封堵微陨石穿孔^[5]。该方案如能与商业旅游运营商结合，将是最具落地潜力的候选技术包。

3. 中国相关进展，中国以国际月球科研站（ILRS）为主渠道推进月面建造技术^[2]。根据规划，ILRS 将于 2035 年在月球南极建成基本型，2040 年代建成扩展型^[2]。目前，月壤烧结、机器人建造、模拟月壤纤维等关键技术已取得实质性突破^[1]。然而，中国尚未出现面向商业旅游场景的月球建筑设计概念，这是亟需填补的研究空白。

（二）三阶段演进模型

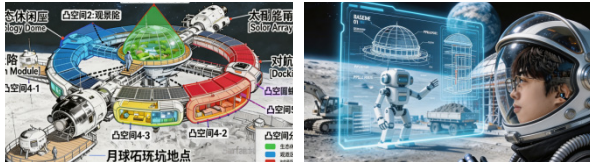
基于技术成熟度与市场发育度双维度，本文提出月球旅游空间站三阶段演进路径^[4]，第一阶段（2026-2035），技术验证与原型测试，依托 ILRS、Artemis 等国家主导项目，完成月壤原位利用、机器人建造、闭环生态等核心技术的在轨、在月验证^[2]，旅游场景专用技术如大型观景窗、低重力空间设计启动预研^[4]，标志性节点：2030 年前后中国载人登月，2035 年 ILRS 基本型建成^[2]。第二阶段（2036-2045），科游混合运营，在 ILRS 或商业基地内设立“旅游扩展舱段”，实现科研与旅游功能分区、资源共享^[4]，年度内接待能力约 10-20 人次，客群以超级富豪和科研体验者为主^[8]。商业模式，政府补贴加商业订金，GRU 的 100 万美元订金模式可作参照^[8]。第三阶段（2046-2060），商业化旅游空间站，专用月球旅游空间站建成运营，形成独立于科研站的旅游基础设施^[4]。年度内接待能力突破 100 人次，客群拓展至高净值家庭、新婚夫妇等地月定期通勤航班常态化，往返成本较现阶段下降一个数量级^[3]。



五、挑战与未来方向

1. 核心瓶颈识别，技术瓶颈，月壤烧结的规模化与一致性、机器人在极端环境下的长期可靠性、闭环生态系统的物质平衡稳定性^[3]。经济瓶颈，地月运输成本仍需下降 80% 以上方能支撑大众化旅游市场；月面建造的边际成本曲线尚属未知^[3]。设计瓶颈，缺乏成熟的月球旅游建筑类型学^[5]。现有方案或囿于航天工程思维仅保障生存，或流于地球建筑形式的简单移植，如 GRU 的古典柱式^[10]。如何建构真正属于月球环境的、回应低重力与封闭生态的空间诗学，是建筑学面临的根本挑战。

2. 中国路径的战略建议，其一，将“月球旅游空间站建筑”纳入国家航天规划体系^[4]。在现有 ILRS 框架内增设“商业旅游扩展模块”研究专题，鼓励建筑学、旅游学与航天工程跨界合作。其二，设立月球建筑设计专项研究计划^[1]。重点攻克，低重力环境空间认知与人机工学、长期隔离居住的心理适应性设计、月面景观资源最大化利用策略。其三，培育地外建筑设计的学科与人才梯队。丁烈云院士指出，学科为专业提供知识根基，专业为学科反哺人才^[1]。应在建筑院校系统引入航天建筑学课程，培养兼具工程素养与设计创造力的“星际建筑师”。



六、结语

月球旅游空间站不是科幻，而是正在发生的建筑学前沿。当 GRU Space 用古典柱式装点月球酒店^[10]，当 Foster+Partners 用月壤打印穹顶舱室^[5]，建筑学正经历继“陆地、海洋、天空”之后的第四次疆域拓展。这一进程不仅是技术工程，更是文明叙

事：人类在地球之外建造的第一批永久建筑，将如何定义我们与宇宙的关系？

中国拥有 2035 年建成国际月球科研站的确切时间表^[2]，拥有丁烈云团队^[1]、陈杰团队^[2]、向忠宏团队^[6]等活跃的研究力量，拥有月壤砖、月壤纤维、蜂巢装配等一系列原创技术积累^{[1][6]}。现在需要的是：将“旅游空间站建筑”正式确立为独立的研究命题，让建筑师与航天工程师坐在一起，共同想象月球上的第一座酒店、第一个家园、第一座通往宇宙星海的驿站。

“我们不能急功近利。今后几十年我国的科学技术研究，要想在世界舞台中领先而不缺位，当下就要埋下种子。”^[1]丁烈云院士的这番话，同样适用于月球旅游建筑学这颗种子，此刻就该种下。

参考文献

- [1] 长江日报. 为建造月面基地烧制“第一块砖” [N]. 长江日报, 2026-01-05. Changjiang Daily. Firing the “First Brick” for Lunar Base Construction [N]. Changjiang Daily, 2026-01-05.
- [2] Chinese Academy of Engineering. Chinese academicians and experts unveil cutting-edge technologies for lunar research station construction [EB/OL]. (2025-12-29).
- [3] Advances in Space Research. A review on design and construction of the lunar launch/landing infrastructure [J]. Advances in Space Research, 2024, 74(8): 4030-4049.
- [4] Travel And Tour World. 中国公布雄心勃勃的深空旅游探索和月球基地建设路线图 [EB/OL]. (2026-01-30).
Travel And Tour World. China unveils ambitious roadmap for deep space tourism exploration and lunar base construction [EB/OL]. (2026-01-30).
- [5] 亚太设计师联盟. 当人类凝视星空：Foster+Partners 以月球栖息地设计重塑星际建筑范式 [EB/OL]. (2025-05-12).
Asia Pacific Designers Alliance. When humanity gazes at the stars: Foster+Partners reshapes interstellar architectural paradigm with lunar habitat design [EB/OL]. (2025-05-12).
- [6] 千家网. 聚焦太空新基建 | 向忠宏正式发布“蜂巢-穹顶共生论 (HCS)” [EB/OL]. (2026-01-29).
Qianjia Network. Focus on new space infrastructure | Xiang Zhonghong officially releases “Honeycomb-Dome Symbiosis Theory (HCS)” [EB/OL]. (2026-01-29).
- [7] 45th COSPAR Scientific Assembly. Introduction to Development of Core Technology for the Construction of Lunar Habitation [R]. 2024.
- [8] CNBC TV18. The moon may soon have a hotel; here show a US start-up plans to build it [EB/OL]. (2026-01-14).
- [9] Automation in Construction. Lunar base infrastructure construction: Challenges and future directions [J]. Automation in Construction, 2025, 168: 105912.
- [10] Dezeen. GRU Space designs “the first hotel on the Moon” [EB/OL]. (2026-01-15).