

2026 年数学建模竞赛 (MCM) B 题: 利用太空电梯系统建立月球殖民地

想象这样一个未来: 任何人都可以从赤道出发, 搭乘悠闲且风景优美的航班前往地球轨道, 随后换乘常规、安全且经济实惠的火箭航班前往月球、火星或更远的星球。在这一未来场景中, 我们能够建造绿意盎然、美观宜人且具备人工重力的太空栖息地, 人们可在此度假、工作乃至定居。这些栖息地将缓解地球脆弱、超负荷且易受破坏的生态系统所承受的压力。实现这些目标的技术, 将为人类提供无限制、安全、常规、环保、高效且全球化的太空接入途径。为达成上述愿景, 有人构想了一套由电力驱动的太空电梯系统, 该系统可为星际物流、商业活动及探索任务提供可扩展的基础设施。

在最终运行配置中, 太空电梯系统将包含三个银河港, 理想状态下沿赤道每隔 120 度分布一个。每个银河港将配备一个地球港, 通过两条长达 10 万公里的系绳连接至两个顶点锚定装置, 同时有多部太空电梯协同运行。每部太空电梯每天能够将大量有效载荷从地球运送至地球同步轨道 (GEO), 并进一步送达顶点锚定装置; 之后, 有效载荷可被装载至火箭, 以消耗更少燃料的方式运往任何目的地。

月球殖民地管理局 (MCM) 计划在太空电梯系统建成后, 于 2050 年启动可容纳 10 万人的月球殖民地建设项目。据估算, 该月球殖民地建设需约 1 亿吨材料。此外, 殖民地建成后, 为维持月球居民的生存, 需定期运送水和各类补给物资。要将物资送达月球, 银河港需分两步执行: 第一步, 通过太空电梯将物资从地球港运送至顶点锚定装置; 第二步, 通过火箭将物资从顶点锚定装置运送至月球殖民地。月球殖民地管理局预计, 银河港将配备先进的提升系统, 每年可运送 17.9 万吨物资, 且不产生任何大气污染。

该机构还在考虑使用传统火箭为月球殖民地的建设和补给提供物资。目前全球共有 10 个火箭发射场, 具体分布如下: 美国 (阿拉斯加、加利福尼亚、得克萨斯、佛罗里达、弗吉尼亚)、哈萨克斯坦、法属圭亚那、印度萨蒂什·达万航天中心、中国太原卫星发射中心以及新西兰马希亚半岛。

火箭可通过单一步骤将物资从地球发射场直接运送至月球殖民地。据估算, 到 2050 年, 借助先进的“重型猎鹰”火箭发射技术, 火箭将能够向月球运送 100-150 吨有效载荷。你可假设银河港系统 (如系绳无晃动) 和火箭发射 (如无发射失败) 均处于理想条件。你需要针对不同场景, 分析将物资从地球表面运送至月球殖民地的成本及时间线。

任务要求

你的任务是构建数学模型, 确定 2050 年启动的 10 万人月球殖民地建设所需物资的运输成本及相关时间线, 并对比现代太空电梯系统的三个银河港与从选定发射场发射的传统火箭的运输方案。

你的模型需包含以下内容:

1. 针对 1 亿吨月球殖民地建设物资的运输，考虑三种不同场景：a. 仅使用太空电梯系统的三个银河港；b. 仅使用现有发射场的传统火箭（你可选择具体使用哪些发射场）；c. 上述两种方式的组合使用。
2. 若运输系统并非完全正常运行（如系绳晃动、火箭发射失败、电梯故障等），你的解决方案会受到多大程度的影响？
3. 调查 10 万人月球殖民地全面运营后一年内的用水需求。利用你的运输模型，分析确保殖民地在有人居住后一年内拥有充足水资源所需的额外成本和时间线。
4. 探讨不同场景下建设 10 万人月球殖民地对地球环境的影响。你将如何调整模型以最大限度减少环境影响？
5. 撰写一封单页信函，向虚构的月球殖民地管理局（MCM）推荐建设和维持 10 万人月球殖民地的行动方案。

你的 PDF 解决方案总页数不得超过 25 页，需包含：

- 单页摘要表；
- 目录；
- 完整解决方案；
- 致月球殖民地管理局（MCM）的单页信函；
- 参考文献列表；
- 人工智能使用报告（如使用，不计入 25 页限制）。

注：数学建模竞赛（MCM）对提交的解决方案无最低页数要求。你可使用最多 25 页呈现所有解决方案内容及其他需补充的信息（如附图、图表、计算过程、表格等）。不完整的解决方案也将被接受。我们允许谨慎使用 ChatGPT 等人工智能工具，但其并非解决该问题的必要条件。若你选择使用生成式人工智能，必须遵守美国数学及其应用联合会（COMAP）的人工智能使用政策，并在 PDF 解决方案文件末尾添加一份人工智能使用报告，该报告不计入 25 页的总页数限制。

术语表

- 太空电梯系统（Space Elevator System）：由三个银河港及其他配套设施组成。
- 银河港（Galactic Harbour）：由两个顶点锚定装置组成，每个顶点锚定装置通过两条系绳与一个地球港相连。
- 地球港（Earth Port）：位于地球表面，为银河港提供地面支持的设施。
- 系绳（Tethers）：长度为 10 万公里的石墨烯材料，用于连接太空电梯系统中的地球港与顶点锚定装置。
- 顶点锚定装置（Apex Anchor）：位于 10 万公里系绳末端的太空配重装置。
- 地球同步轨道（GEO）：距离地球表面约 35,786 公里的轨道，其绕地球运行的周期为 24 小时，与地球自转周期一致，因此可始终保持在地球同一经度上空。
- 月球殖民地（Moon Colony）：位于月球的栖息地，可容纳 10 万人。