

# 月球南极月基平台选址分析

张吉栋<sup>1</sup>, 李向月<sup>2</sup>, 平劲松<sup>3</sup>

(1. 石家庄铁道大学 道路与铁道工程安全保障部共建教育部重点实验室, 石家庄 050043; 2. 石家庄铁路职业技术学院 测绘工程系, 石家庄 050041; 3. 中国科学院 国家天文台 射电天文研究部, 北京 100101)

**摘要:** 针对月球南极的月基平台选址问题, 选取表面光照、对地观测条件和坡度作为主要参考因素, 评估月表太阳能及热环境条件、科学数据获取能力及构建难度; 基于地形数据和日、地、月三者的轨道数据建立的月面光照及月基对地观测一体化几何模型对7个重点区域(M1~M7)开展研究, 将光照率大于80%且对地观测率大于30%的月面位置作为月基平台初选区, 分析其坡度条件并开展分级评价。研究结果: 结合各初选区特点最终推荐了3个优选级较高的月面区域作为选址区, 分别位于德·杰·拉许(De Gerlache)撞击坑东部边缘(M1内), 斯维德鲁普(Sverdrup)撞击坑与沙克尔顿(Shackleton)撞击坑之间的山顶处(M4内), 以及Shackleton撞击坑与斯莱特(Slater)撞击坑之间的山顶处(M7内)。该研究可为后续的月球南极探测任务提供参考。

**关键词:** 月基选址; 月球南极; 光照特性; 对地观测; 几何模型

**中图分类号:** P184

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-9287(2022)03-0292-08

**DOI:** 10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20210079

**引用格式:** 张吉栋, 李向月, 平劲松. 月球南极月基平台选址分析[J]. 深空探测学报(中英文), 2022, 9(3): 292-299.

**Reference format:** ZHANG J D, LI X Y, PING J S. Potential Moon-based platform sites of lunar south polar regions[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2022, 9(3): 292-299.

## 引言

基于月基对地观测平台开展地球的变化研究具有独特的空间优势, 相较于星载-机载-地面观测平台, 月基对地观测平台具有长期性、整体性、稳定性和唯一性的特点<sup>[1-2]</sup>。通过布设多种遥感器, 可以帮助人类更全面地认识全球尺度的物理、化学和生物系统的变化规律, 是对现有对地观测手段的重要补充, 逐渐成为提升地球宏观观测能力的一个前沿方向<sup>[3]</sup>。

月球南极位于月球最古老、规模最大的艾特肯(South Pole Aitken, SPA)盆地边缘, 是研究深部月壳及月幔物质、近距离探测永久阴影区内可能存在水冰的理想区域; 良好的光照条件也为开展长时间复杂的探测活动提供可能, 逐渐成为各航天大国和空间组织开展空间拓展和科技创新的战略制高点, 也是建立月球基地的热点地区<sup>[4-8]</sup>。由于月球南极纬度较高、地形复杂, 该地区的光照特性、对地直接观测能力差异明显, 工程实施难度很大。随着中国“十四五”规划的陆续实施, 探月四期任务即将展开, 中国也在规划月球南极的探测任务。选址工作既是一个需要优先解决

的核心问题, 也是必须跨越的一步。开展以月球南极对地观测平台选址研究, 具有重要的学术意义和应用价值。为此, 本文聚焦月球南极进行平台选址分析。

月基平台选址是一项复杂的系统性工作。候选区域既要满足科学目标的要求, 也要保证工程上的可实现性, 需要考虑包括操作约束、观测时长、通信能力、能源需求、月球环境、系统性多重观测体系等在内的多种影响因素<sup>[9]</sup>。月表形状起伏明显且复杂, 撞击坑形态各异、叠覆交错, 加之日、地、月三者轨道运动及月球天平动的影响, 使得月面不同地区选址条件差异很大, 需采用科学的方法和原则分析各月面点状态, 从中比对遴选月基对地观测平台的候选区域。在众多因素中, 涉及能源的月球表面光照条件、对地观测的可视条件和本地地形条件是选取月面科研基地的重要参考条件。其中, 月面点与太阳之间的几何特性决定着月基平台的光照能源及表面热环境, 月面点与地球之间的几何特性与月基平台观测范围、观测时间及通讯能力密切相关<sup>[10-13]</sup>, 构成了月球极区区别于中低纬度地区选址因素的主要特征; 月表地形坡

收稿日期: 2021-08-31 修回日期: 2021-10-14

基金项目: 国家自然科学基金(11833001, 61931002, 11603001, 11973015); 国家重点研发计划项目(2021YFA0715100, 2021YFA0715101)

度关系着月基平台的构建难度及月面活动安全等问题, 其影响同样不容忽视。因此, 开展这些关键因素的数值模拟分析, 对于月基平台的选址工作具有重要的指导意义。

本文基于LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter) 地形数据与日、地、月三者的轨道数据构建了一体化的几何模型, 从月球南极的高程特征出发, 以光照条件和地对观测条件为主、坡度分析为辅的原则对7个重点区域开展研究, 在此基础上提出优先级较高的月基地对观测选址区域集合, 以期为未来月球南极月基平台地对观测系统的规划提供参考。

## 1 研究区简介

综合月球轨道运动及天平动的影响, 本文选取月球南纬 $87.5^\circ$ 以上区域作为研究区。图1为月球南极地区高程的极射赤平投影分布图, 数据是由美国月球勘测轨道飞行器 (Lunar reconnaissance Orbiter, LRO) 数据进一步转化成的月球规则矩形格网地形数据集 LOLA GDRs (Gridded Data Records), 空间分辨率为64像素/ $(^\circ)$  [14-15]。从图中可以看出该地区地形复杂, 高低起伏明显, 撞击坑众多且大小不一, 最大高差超过6 000 m。其中, 沙克尔顿 (Shackleton) 撞击坑与斯维德鲁普 (Sverdrup) 撞击坑连接的山脊处高程最大, 中心经纬度为 ( $137.2^\circ\text{W}$ ,  $89.4375^\circ\text{S}$ ), 高程值约1 958 m; 最小高程值位于 ( $47.5^\circ\text{W}$ ,  $87.6^\circ\text{S}$ ) 处的一小型撞击坑内, 高程值约-4 375 m。

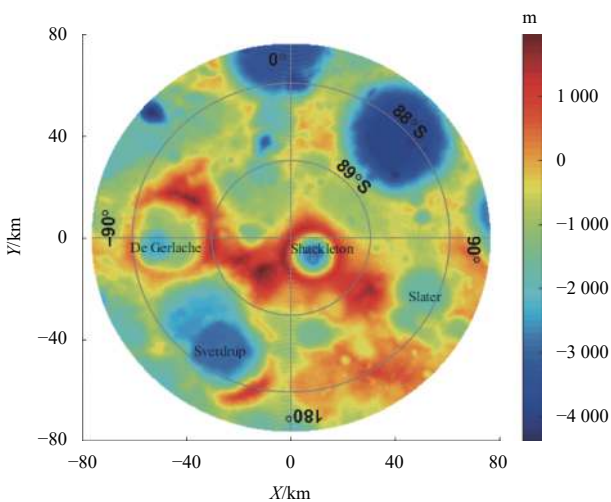


图1 月球南极区域高程分布图

Fig. 1 Elevation map of lunar south polar region

通常情况下, 高程越高越有可能获取更多的光照能源和更好的地对观测条件。为了更加便于分析月基地对观测平台的最佳区域, 本文对高程值大于1 400 m

的地区做进一步筛选, 并将这些月表单元分为7个区域, 结果如图2所示。在这些区域中, 两处位于德·杰拉许 (De Gerlache) 撞击坑东部和南部边缘 (M1和M2); 两处位于Shackleton撞击坑与Sverdrup撞击坑连接的山脊处 (M3和M4); 两处位于Shackleton撞击坑靠近南极点处的边缘 (M5和M6); 最后一处位于Shackleton撞击坑与月球背面的斯莱特 (Slater) 撞击坑之间的山顶附近 (M7)。

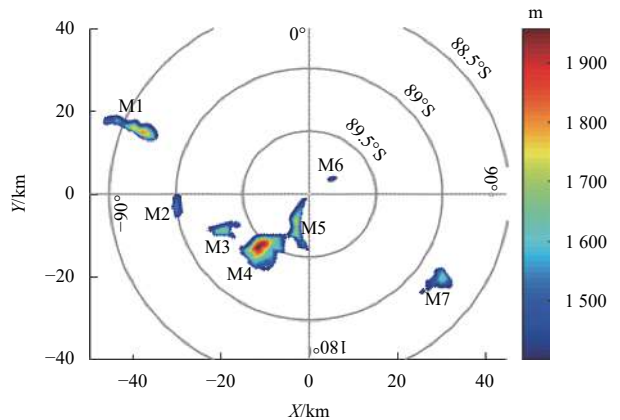


图2 M1~M7高程分布图

Fig. 2 Elevation map of the areas of M1 to M7

## 2 光照条件分析

月球南极表面整体呈现低温的状态, 具有较高光照时长的区域不仅可以为月基地对观测平台提供更充足的太阳能, 温度也相对较高, 更适于探测器的生存 [7-8]。因此, 月基地对观测平台的选址区域应尽量选取高程较高的持续光照区。

本文以文献 [16] 基于日月二体的星历表数据及月表地形数据构建的月表光照几何模型分析月球南极的光照条件。该方法主要通过比较感兴趣时刻的太阳高度角及照射方向的最大地形高度角确定月面能否受到光照。此外, 该模型也考虑了月球天平动、太阳视半径及太阳位于地平线以下时的照射情况, 适用于太阳高度角较低的月球南极地区。基于该方法, 本文计算并分析了南极地区在18.6 a内的光照率 (见图3)。结果表明, 研究区内的最大光照率可达92.3%, 其中光照良好区 (光照率  $> 80\%$ ) 且分布连续的区域均位于图2所示的7个小区域内。

M1~M7区18.6 a光照率分布如图4所示: M1区中光照良好的区域主要沿着De Gerlache撞击坑东部边缘的狭长地带, 最大光照率为86.9%, 其中约2.5万 $\text{m}^2$ 区域的光照率在80%以上, 在这7个区域中面积最大; De Gerlache撞击坑南部边缘是M2区光照条件最好的地

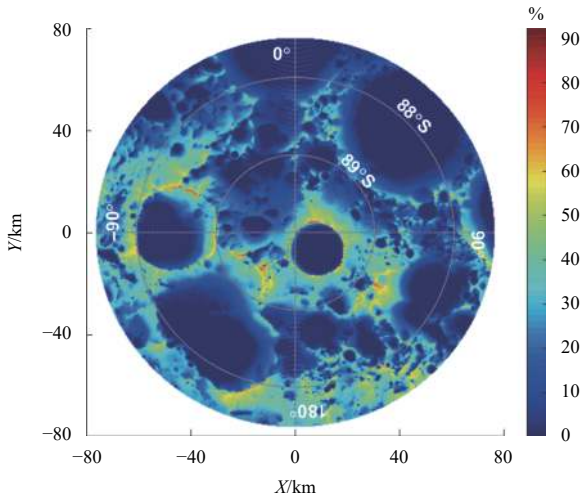


图3 月球南极地区18.6年光照率分布图

Fig. 3 Accumulated illumination map of lunar south polar regions in 18.6 years

方,最大光照率约为83%,其中光照率在80%以上的面积很小,仅为684 m<sup>2</sup>;M3区位于两撞击坑间的山脊处,其山顶光照条件最好,最大光照率为83%,其中约1 700 m<sup>2</sup>区域的光照率在80%以上;与之相邻的另一山顶M4的良好光照区主要分布在山顶向Sverdrup撞击坑延伸的山脊处,最大光照率可达91.3%,其中约5 500 m<sup>2</sup>区域的光照率在80%以上;位于Shackleton撞击坑边缘的M5区光照良好区分布在近极点处坑壁边缘

的狭长地带,最大光照率为91.4%,是月球南极光照率最高的地方,共有约3 000 m<sup>2</sup>的区域光照率在80%以上;M6是这几个区域中面积最小的一个,光照率在80%以上的面积约为M5区的55%,共1 644 m<sup>2</sup>,最大光照率约为86.6%;M7区距离月球南极点较远且位于月球背面,光照良好区同样位于山顶处,最大光照率也为86.6%,共3 266 m<sup>2</sup>的区域光照率在80%以上。

基于此结果,本文将光照良好区以光照率大于90%、85%~90%、80%~85%的标准划分为1级、2级和3级,如图5中蓝色、绿色和红色位置所示。其中:M1区的光照条件分为2级和3级两种,月表面积分别为7 441 m<sup>2</sup>和17 691 m<sup>2</sup>;在M2区可以分为两个不连续的子区域,总面积约684 m<sup>2</sup>,二者的光照条件均为3级;M3中的光照良好区位于山顶,光照条件也均为3级,总面积约1 695 m<sup>2</sup>;与M3相比,M4区的光照良好区均集中该处山顶,面积约5 200 m<sup>2</sup>,光照条件相对较好,其中光照条件为1级的面积约217 m<sup>2</sup>;M5中的光照良好区更靠近月球南极极点,总面积约2 260 m<sup>2</sup>,尽管该区域也存在光照条件为1级的区域,但其面积远远小于M4区,其光照条件为1级、2级、3级的面积分别为32 m<sup>2</sup>、1 136 m<sup>2</sup>和1 091 m<sup>2</sup>;M6区均为光照良好区,但没有光照条件1级的区域,2级和3级的面积分别为441 m<sup>2</sup>和1 511 m<sup>2</sup>;M7内光照良好区的光照条件也只

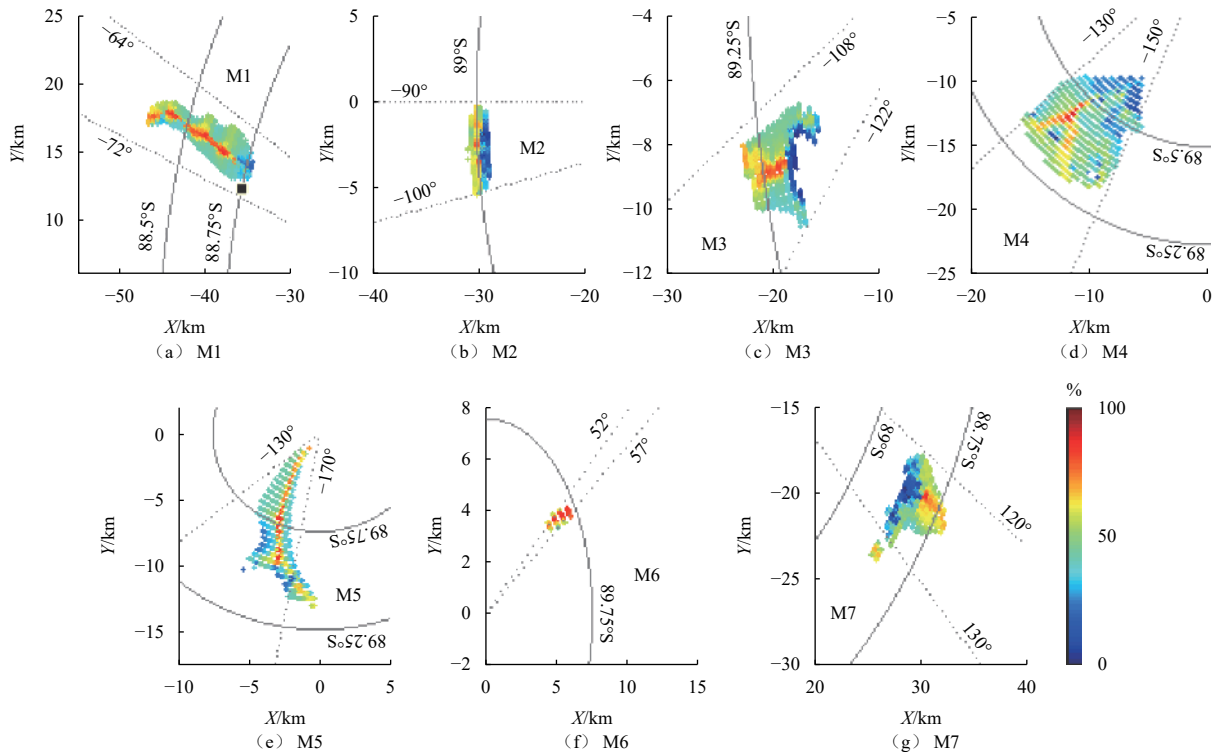


图4 M1~M7区18.6年光照率分布图

Fig. 4 Accumulated illumination map of the areas in M1 to M7 in 18.6 years

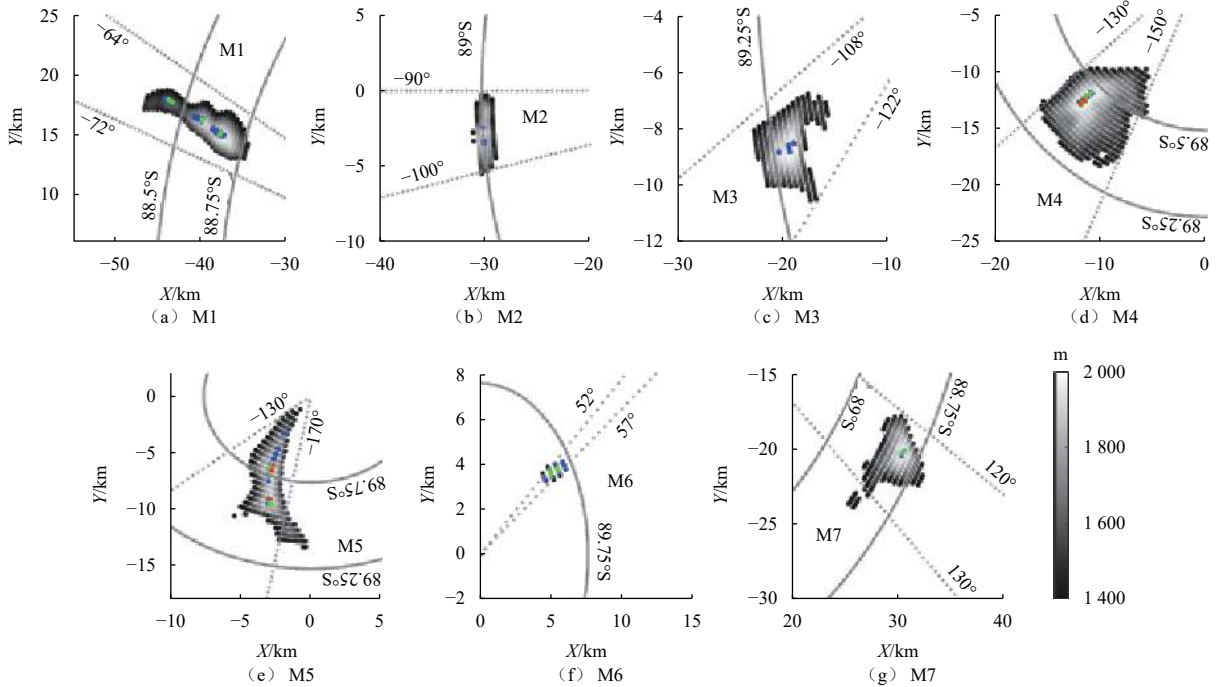


图5 M1至M7区中光照良好区分级结果, 其中蓝色、绿色和红色分别表示光照条件为1级、2级和3级的区域, 底图为地形图

Fig. 5 Graded results of the good illumination areas of M1 to M7, blue, green and red dots represent the areas with illumination level 1, 2 and 3, respectively, and the base map is topography

有2级和3级, 分别占52%和48%。

### 3 对地观测条件分析

由于月球永远以正面朝向地球, 若要考虑月基对地观测平台对地球上某一区域的观测时长及通信能力, 则必须要考虑地球自转及地-月二体的轨道运动关系。为避免因使用不同数据源、模拟方法及数据空间分辨率造成的选址参数差异, 本文在所用光照模型的基础上, 进一步完善了月基对地观测几何条件的分析功能, 创建了月面光照及月基对地观测一体化几何模型。

图6是月基对地观测示意图, 其中 $Y_1A$ 为月面点

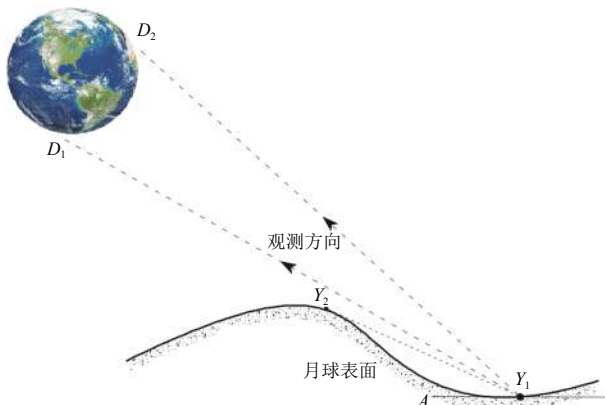


图6 月基平台对地观测示意图

Fig. 6 Schematic diagram of Moon-based Earth Observation

$Y_1$ 的地平线方向, 若要判定月面点能否直接对地球进行观测, 需要比较观测方向上各月面点的地形高度角(如 $\angle Y_2Y_1A$ )与月基平台( $Y_1$ )-地球地面点( $D_1$ )之间所成地平高(如 $\angle D_1Y_1A$ )的大小, 若所成地平高大于最大地形高度角, 则该月面点可直接观测地球地面点。由于地球不停地自转, 月球对地观测的视角也很小, 月球对地观测平台观测范围主要受纬度变化的影响, 因此, 对地球纬度的观测范围可以衡量月基平台的对地观测条件<sup>[12]</sup>。此外, 本研究通过引入对地观测率, 即月基平台对某地面点的可观测时间与总观测时间之比, 来衡量月基平台对地面点的观测时长。

由于月球南极对地球南半球所成地平高度角要大于地球北半球, 因而本文以对地球观测的最小纬度范围在 $\pm 80^\circ$ 内为条件, 选取地球北极点(P1)以及地面点P2(116.5°E, 80°N)为观测目标, 研究月面点因地球纬度而产生的观测范围及时长差异。

图7和图8分别是2021年月球南极地区对P1和P2对地观测率分布图。从分布范围来看, 除部分高程较低的撞击坑内部, 月球南极的大部分地区均可以对地球80°N以上区域进行直接观测, 位置主要分布在朝向地球方向的山坡及撞击坑内侧坑壁, 如Shackleton撞击坑、De Gerlache撞击坑等。而在月球背面同样存在可以直接观测地球的区域, 如朝向地球方向的Sverdrup撞击坑内侧坑壁、Slater撞击坑内侧坑壁及M7部分区域等, 这一特征与中低纬度地区明显不同。

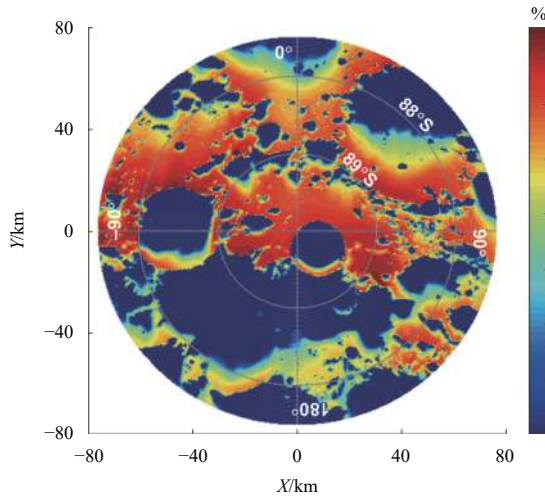


图 7 2021年月球南极对地球北极点的对地观测率分布图  
Fig. 7 Earth observation rate map to north pole of the Earth in the lunar south polar region in 2021

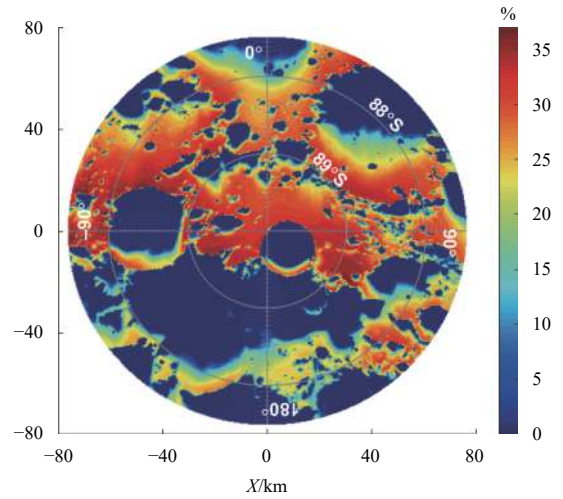


图 8 2021年月球南极对地球(116.5°E, 80°N)点的对地观测率分布图  
Fig. 8 Earth observation rate to (116.5°E, 80°N) of the Earth in the lunar south polar region in 2021

与图3的光照率分布图相比,月球南极大部分地区都可以对地球开展大范围的观测,差异较小,可供月基平台选址的区域更多。由于地球其它纬度区域与月球南极所成的地平高更大,因此也表明这些地区均可对整个地球开展直接观测。

从数值上来看,本文模拟得到的最大对地观测率为37%,其位置位于De Gerlache撞击坑东北部一山顶处,即该点在2021年约有长达136 d的时间可以对地球

北极点进行直接观测。此外,在Shackleton撞击坑外部近地侧附近山坡、De Gerlache撞击坑外部近地侧附近山坡及Shackleton撞击坑与Sverdrup撞击坑连接的山脊处、Shackleton撞击坑与Slater撞击坑连接的山脊处同样存在大片对地球北极点观测率超过30%的区域,这些月面位置均可对地球开展大范围、长时间的直接观测。

M1~M7区域对P1点的对地观测率分布如图9所

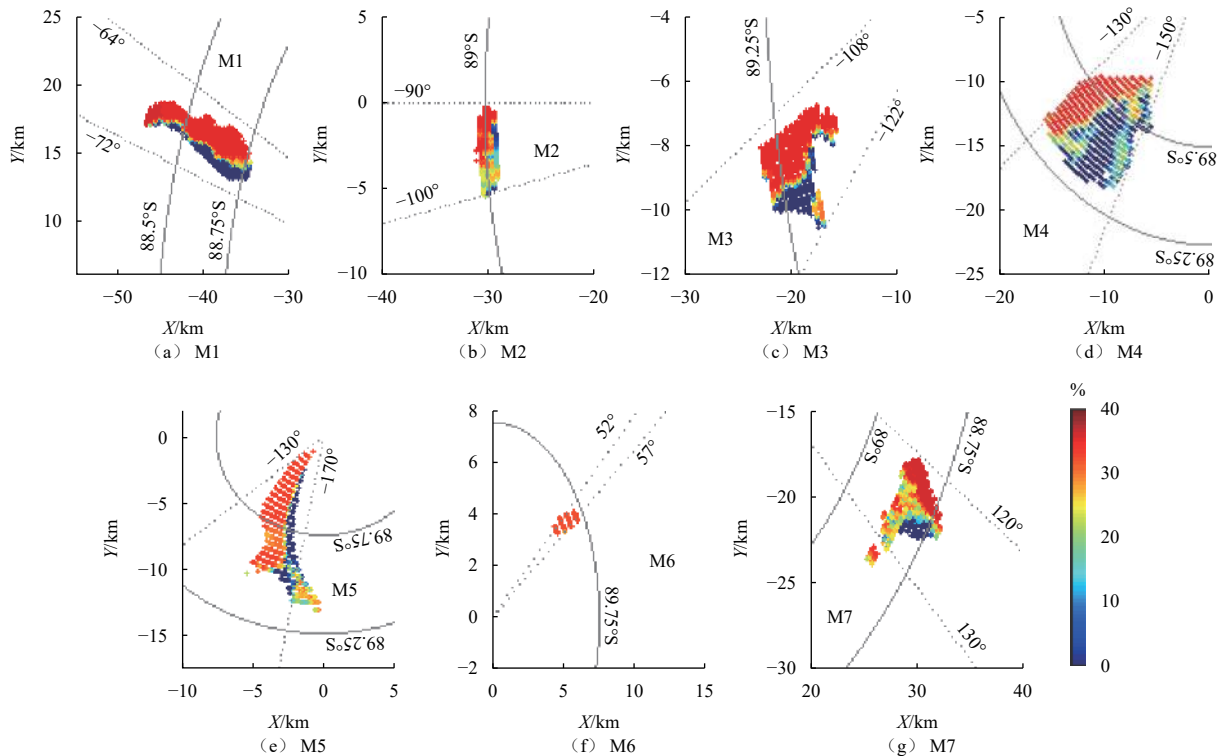


图 9 M1~M7区对P1点观测率分布图  
Fig. 9 Earth observation rate of P1 in the areas of M1 to M7

示。除M6区域外, 其余各处的对地观测率基本呈现出明显的二分化特征, 以山脊或撞击坑边缘最高处为边界, 面向地球一侧的区域, 对地观测率大部分都在30%以上, 其中大于35%的位置主要分布于M1、M2、M3和M7内; 而背向地球的一侧对地观测率明显下降, 部分地区甚至无法对地球直接观测。结合图4可以看出, 由于地-月、日-月轨道运动的差异, 这些地区的光照条件和对地观测条件区别较大, 并不是所有位置都能作为月基对地观测平台的选址区域。

### 4 坡度条件分析

从以上结果可以看出, 良好的光照条件和独特的对地观测条件是在月球极区布设月基平台的主要优势。因此, 本文将对地观测率大于30%、光照率大于80%的月面位置作为月基对地观测平台的初选区, 并在此基础上开展坡度分析, 尽量寻找平坦的区域, 减少月基平台的构建难度, 提高月面活动的安全性。

月球南极月基平台初选区分布如图10所示, 本文采用基于矢量的地表地貌生成算法对这些地区的地形数据做处理<sup>[17-18]</sup>, 并将坡度结果按照小于15°、15°~30°和大于30°划分为A、B、C 3个等级(图11)。结果表明: 在M1筛选出的初选区中, 超过98%地区的坡度为A级, 较为平缓, 地形条件良好; 在M2区中, 坡度为A级和B级的面积分别占60%和30%, 面积分别

为410 m<sup>2</sup>和205 m<sup>2</sup>, 存在高坡度地区; 而这一比例在M3区中分别为82%和18%, M3区中A级的面积约为M2区的3倍; 在M4区, 坡度为A级和B级所占总面积的比例与M3区相近, 但面积明显增大, 分别为4 375 m<sup>2</sup>和825 m<sup>2</sup>; 位于Shackleton撞击坑边缘的M5和M6两个区域的坡度较大, 均为C级; 而位于月球背面的M7区, 坡度为A级的面积约占整个M7中初选区的97%, 其余约100 m<sup>2</sup>的面积坡度均为B级。

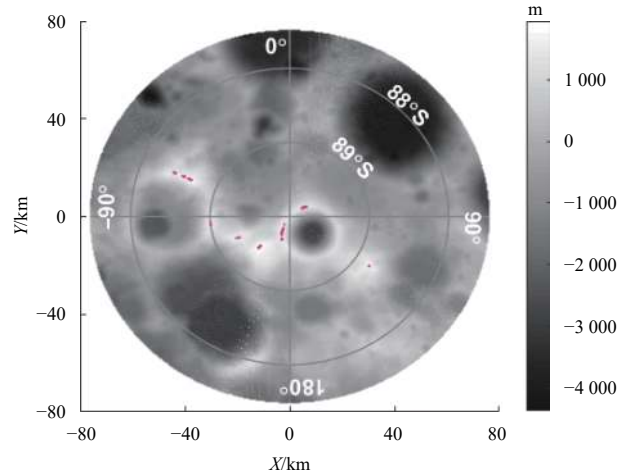


图10 月球南极月基对地观测平台初选区分布图  
Fig. 10 Preliminary candidate sites of Moon-based Earth observation platform in the lunar south polar regions

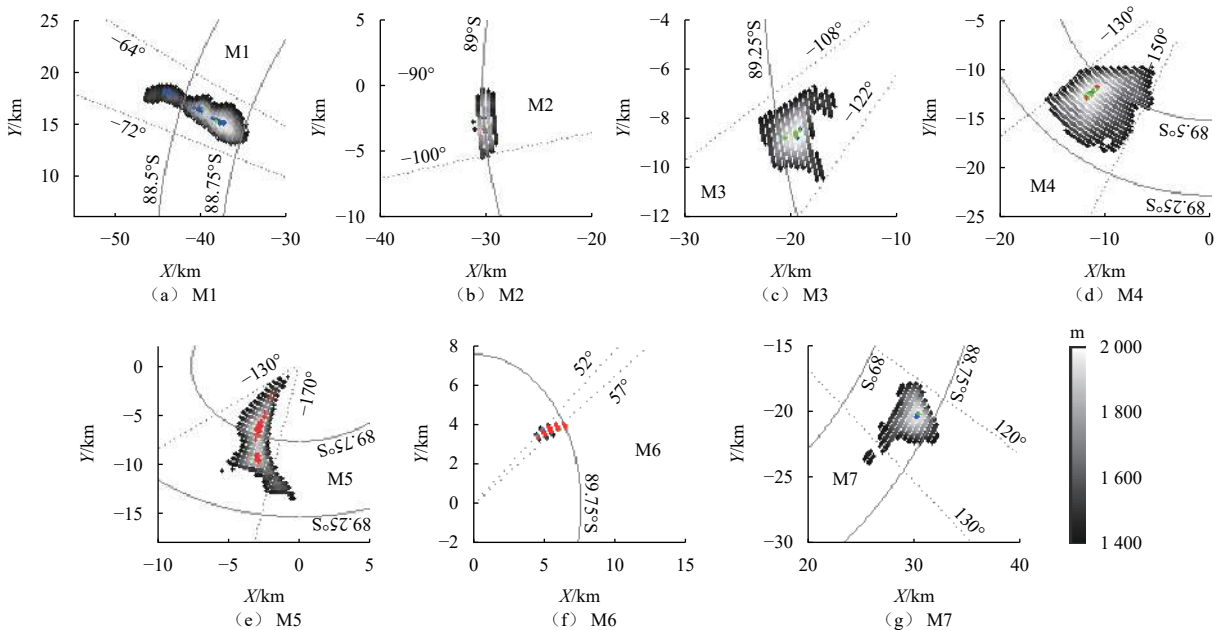


图11 月基平台初选区的坡度条件, 其中蓝色、绿色和红色圆点分别表示坡度条件为A级、B级和C级, 底图为地形图  
Fig. 11 Slope conditions of the preliminarily candidate sites in the areas of M1 to M7, blue, green and red dots represent the areas with slope level A, B and C, respectively, and the base map is topography

## 5 月基平台选址区建议

基于上述分析,本文对M1~M7内月基平台初选区的特点进行归纳总结,如表1所示。在这些区域中:M1区位于月球正面,光照和对地观测条件都比较好,地形相对平缓,面积最大,对着陆精度和坡度适应能力要求较低;M4和M5均是光照条件最好的地区,但M4区的面积更大且更为连续,距离月球正面更远,受地球电离层、人工无线电等电磁波的影响相对较小,

可用于进一步构建空间射电天文观测等联合多重观测体系,且地形条件要优于M5;同样位于月球背面的M7区光照条件尽管不如M4区,但距离月球正面更远,对地观测时间更长,受地球电磁波的影响最小,更适宜开展联合多重观测体系,同时较大的面积和良好的地形条件对着陆精度和坡度适应能力的要求也较低。因此,M1、M4和M7内初选区的优先级较高,被推荐为未来构建月基对地观测平台的选址区域。

表1 M1~M7内月基平台初选区汇总

Table 1 Summary of preliminarily candidate Moon-based platform sites of M1 to M7

初选区位置	各光照条件面积/m <sup>2</sup>			对地观测率 >35%面积/m <sup>2</sup>	各坡度条件面积/m <sup>2</sup>			特点
	1级	2级	3级		A级	B级	C级	
M1	0	7 441	17 691	25 132	24 729	403	0	位于月球正面的De Gerlache撞击坑东部边缘,纬度较低,光照和对地观测条件都较好,地形相对平缓,面积最大
M2	0	0	684	137	410	205	69	位于月球正面的De Gerlache撞击坑南部边缘,地形狭长且具有大坡度地区,面积最小,对着陆精度要求较高
M3	0	0	1 695	1 695	1 390	305	0	位于月球背面的山脊处,地势较高,地形和对地观测条件均较好,光照条件一般,面积较小
M4	217	800	4 500	0	4 375	825	0	位于月球背面的山脊处,地势最高,地形条件较好,面积较大,对地观测条件一般,光照条件很好
M5	32	1 136	1 091	0	0	0	2 259	位于Shackleton撞击坑靠近极点处边缘的狭长地带,光照条件很好,坡度很大,对探测器着陆精度和月基平台坡度适应能力要求较高
M6	0	441	1 511	0	0	0	1 592	位于Shackleton撞击坑近地面边缘,靠近极点,面积较小,坡度很大,对探测器着陆精度和月基平台坡度适应能力要求都很高
M7	0	2 084	1 278	2 474	3 261	101	0	位于月球背面的山顶处,纬度较低,受地球电磁波的影响最小,面积较大,地形、对地观测和光照条件良好

## 6 结论

围绕月基平台对地观测系统的选址问题,本文从月球南极选取7个重点区域进行研究,构建了光照与对地观测一体化的几何模型并开展分析,在初步提取月基平台的候选区后结合月表坡度提出了3个优先级较高的选址区域,分别位于De Gerlache撞击坑东部边缘处(M1内),Sverdrup撞击坑与Shackleton撞击坑连接的山顶处(M4内),以及Slater撞击坑与Shackleton撞击坑连接的山顶处(M7内),本文分析方法、模型和分析研究成果可为后续的月球南极探测任务提供参考。

### 参 考 文 献

- [1] 郭华东. 地球系统空间观测:从科学卫星到月基平台[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 716-723.  
GUO H D. Earth system observation from space: from scientific satellite to Moon-based platform[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 716-723.
- [2] REN Y Z, GUO H D, LIU G, et al. Simulation study of geometric characteristics and coverage for Moon-based Earth observation in the electro-optical region[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2017, 10(6): 2431-2440.
- [3] GUO H D, LIU G, DING Y X. Moon-based Earth observation: scientific concept and potential applications[J]. International Journal of Digital Earth, 2018, 11(6): 546-557.
- [4] IVANOV M A, HIESINGER H, ABDRAKHIMOV A M, et al. Landing site selection for Luna-Glob mission in crater Boguslawsky[J]. Planetary & Space Science, 2015, 117: 45-63.
- [5] HELDMANN J L, COLAPRETE A, ELPHIC R C, et al. Site selection and traverse planning to support a lunar polar rover mission: a case study at Haworth Crater[J]. Acta Astronautica, 2016, 127: 308-320.
- [6] MITROFANOV I, DJACHKOVA M, LITVAK M, et al. The method of landing sites selection for Russian lunar lander missions[C]//Egu General Assembly Conference. [S. l.]: EGU, 2016.
- [7] 吴伟仁, 于登云, 王赤, 等. 月球极区探测的主要科学与技术问题研究[J]. 深空探测学报(中英文), 2020, 7(3): 223-231, 240.  
WU W R, YU D Y, WANG C, et al. Research on the main scientific and technological issues on lunar polar exploration[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2020, 7(3): 223-231, 240.
- [8] 张焯, 杜宇, 李飞, 等. 月球南极探测着陆工程选址建议[J]. 深空探测学报(中英文), 2020, 7(3): 232-240.  
ZHANG H, DU Y, LI F, et al. Proposals for lunar south polar region soft landing sites selection[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2020, 7(3): 232-240.
- [9] 贾琪卓, 邹永廖. 月基对地观测对月球基地选址的需求分析[J]. 航天器工程, 2016, 25(6): 116-121.  
JIA Y Z, ZOU Y L. Research on Lunar site selection for lunar based Earth observation[J]. Spacecraft Engineering, 2016, 25(6): 116-121.

- [10] MAZARICO E, NEUMANN G A, SMITH D E, et al. Illumination conditions of the lunar polar regions using LOLA topography[J]. *Icarus*, 2011, 211(2): 1066-1081.
- [11] 郝卫峰, 叶茂, 李斐, 等. 基于嫦娥一号卫星获取的DEM研究月球车通信的可达性[J]. 宇航学报, 2012, 33(12): 1066-1081.  
HAO W F, YE M, LI F, et al. The communication accessibility of the lunar rover based on DEM derived from Chang'E-1[J]. *Journal of Astronautics*, 2012, 33(12): 1066-1081.
- [12] 任远楨. 月基对地观测几何特性研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.  
REN Y Z. The study of geometric characteristics of Moon-based Earth observation[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Science, 2018.
- [13] BARKER M K, MAZARICO E, NEUMANN G A, et al. Improved LOLA elevation maps for south pole landing sites: error estimates and their impact on illumination conditions[J]. *Planetary and Space Science*, 2020, 203(B10): 105119.
- [14] CAO W, CAI Z C, TANG Z S. Lunar surface roughness based on multiscale morphological method[J]. *Planetary and Space Science*, 2015, 108: 13-23.
- [15] SMITH D E, ZUBER M T, NEUMANN G A, et al. Summary of the results from the lunar orbiter laser altimeter after seven years in lunar orbit[J]. *Icarus*, 2017, 283: 70-91.
- [16] 张吉栋. 基于LOLA数据的月球光照模型及应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.  
ZHANG J D. Research on the illumination model of the Moon using LOLA data and its significance[D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [17] RITTER P. A vector-based slope and aspect generation algorithm[J]. *Photogramm Eng. Rem. S.*, 1987, 53: 1109-1111.
- [18] ZHANG J D, PING J S, ZENG Z F, et al. Surface temperature simulation of lunar dayside and its geological applications: a case in sinus iridum[J]. *Sensors*, 2019, 19: 5545.
- 作者简介:  
张吉栋(1992-), 男, 讲师, 主要研究方向: 月球遥感与应用。  
通讯地址: 河北省石家庄市北二环东路17号石家庄铁道大学(050043)  
E-mail: zhangjd@stdu.edu.cn
- 李向月(1993-), 女, 讲师, 主要研究方向: 月球遥感与应用。本文通讯作者。  
通讯地址: 河北省石家庄市四水厂路18号(050041)  
E-mail: lixystly@163.com
- 平劲松(1968-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 射电天文学、月球与深空探测。  
通讯地址: 北京市朝阳区大屯路甲20号中国科学院国家天文台射电天文研究部(100101)  
E-mail: jsping@bao.ac.cn

## Potential Moon-Based Platform Sites of Lunar South Polar Regions

ZHANG Jidong<sup>1</sup>, LI Xiangyue<sup>2</sup>, PING Jinsong<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Roads and Railway Engineering Safety Control (Shijiazhuang Tiedao University), Ministry of Education, Shijiazhuang 050043, China;

2. Department of Surveying and Mapping Engineering, Shijiazhuang Institute of Railway Technology, Shijiazhuang 050041, China;

3. Radio Astronomy Division, National Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** To select a suitable location for a Moon-based platform in the lunar south polar regions, the surface illumination, the Earth observation conditions and the slope are chosen as the main factors, which shows the solar energy and thermal environment on the lunar surface, the ability to obtain scientific data, and difficulty of construction. Based on the topography data and the orbit data of the Sun, the Earth and the Moon, an integrated solar illumination and Earth observation geometric model is established and applied to study seven key areas (M1 ~ M7). The lunar surface positions with the illumination rate greater than 80% and the Earth observation rate greater than 30% are taken as the primary selection area of the Moon-based platform, next, their slope conditions are analyzed and a grading evaluation is carried out. Combined with the characteristics of each primary selected area, three lunar positions with higher optimization level are finally recommended, which are located at the eastern edge of De Gerlache crater (in M1), the mountaintop where Sverdrup crater connects with Shackleton crater (in M4), and the mountaintop between the Shackleton crater and the Slater crater (in M7), and these results will provide reference for the follow-up lunar south polar exploration missions.

**Keywords:** Moon-based platform site; lunar south polar region; illumination condition; Earth observation; geometric model

### Highlights:

- An integrated illumination and Earth observation geometric model is established for the location selection.
- Seven candidate sites of lunar platform are preliminarily selected with the illumination and Earth observation conditions.
- Three superior candidate sites of lunar platform are further recommended according to the advantages of primary selection areas.

[责任编辑: 高莎, 英文审核: 刘勇]