



## 月基观测地球大气层顶辐射特性研究

叶罕霖, 邓 玉, 刘 广, 郭华东

## Characteristics Analysis of Moon-Based Monitoring of Earth's Outgoing Radiation at the Top of Atmosphere

YE Hanlin, DENG Yu, LIU Guang, and GUO Huadong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20210074>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 近地小行星观测技术分析

Research on the Near-Earth Asteroid Observation Technology

深空探测学报(中英文) . 2020, 7(2): 197-205

#### 基于不变流形的地-月L2点转移轨道优化设计

Transfer Trajectory Optimal Design for Earth-Moon L2 Based on Invariant Manifolds

深空探测学报(中英文) . 2017, 4(3): 252-257

#### 基于地月合影图像的“嫦娥5T”指向校正算法

Camera Pointing Correction Algorithm for Chang'e-5T Probe Based on Earth-Moon Group Images

深空探测学报(中英文) . 2017, 4(1): 66-71

#### 地月拉格朗日L2点中继星轨道分析与设计

Trajectory Analysis and Design for Relay Satellite at Lagrange L2 Point of Earth-Moon System

深空探测学报(中英文) . 2017, 4(2): 122-129

#### 从地球磁层到外日球层及以远区域探测

From Earth's Magnetospheres to the Outer Heliosphere & Beyond

深空探测学报(中英文) . 2020, 7(6): 554-559

#### 地月L2点中继星长阴影影响研究

Long Shadow of Relay Satellite Around Earth-Moon L2 Libration Point

深空探测学报(中英文) . 2019, 6(1): 52-56



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

# 月基观测地球大气层顶辐射特性研究

叶罕霖<sup>1</sup>, 邓玉<sup>2</sup>, 刘广<sup>3</sup>, 郭华东<sup>2,3</sup>

(1. 中国空间技术研究院 钱学森空间技术实验室, 北京 100094; 2. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871;  
3. 中国科学院 空天信息创新研究院, 北京 100094)

**摘要:** 针对月基辐射计参数设计的不确定性, 研究了基于月基辐射计观测地球大气层顶的辐射特性。基于月基平台, 将地球作为类点状辐射源进行观测, 分析了月面不同位置观测特性、观测数据受观测几何影响以及观测采样特性。结果表明: 月球轨道是变轨道倾角、变观测距离的, 一个轨道周期内可以完成对地球全球的充分采样, 满足对地球完全时空覆盖观测的条件; 在月面中心区域观测获得的大气层顶辐射能量较高; 建议的传感器动态范围在 $5.50 \times 10^{-2} \sim 8.50 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ 之间, 观测时间采样间隔不大于4 h, 累积采样周期为一个轨道周期(27.3 d)。得到的结果为月基辐射计参数设计与观测参数确定提供了重要依据。

**关键词:** 地球大气层顶辐射; 月基对地观测; 观测几何; 时空采样

**中图分类号:** V11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-9287(2022)03-0285-07

**DOI:** 10.15982/j.issn.2096-9287.2022.20210074

**引用格式:** 叶罕霖, 邓玉, 刘广, 等. 月基观测地球大气层顶辐射特性研究[J]. 深空探测学报(中英文), 2022, 9(3): 285-291.

**Reference format:** YE H L, DENG Y, LIU G, et al. Characteristics analysis of Moon-based monitoring of Earth's outgoing radiation at the top of atmosphere[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2022, 9(3): 285-291.

## 引言

目前, 大气层顶部辐射能量的观测资料来自低轨卫星与静止轨道卫星, 对于地球大气层顶整体辐射通量估计不确定性较大, 尚不能为全球气候变化提供结论性支持。现有卫星的观测几何主要存在以下问题: ①极轨卫星轨道低, 只能对地球表面的有限区域进行观测, 幅宽窄并且观测角度单一, 这样的观测几何无疑会由于时空采样不一致而引入误差<sup>[1]</sup>; ②静止轨道卫星轨道较高, 与地面相对位置关系固定, 因而只能观测固定方向的辐射能量且无法有效观测两极的辐射, 这种观测几何虽有利于描述地球向外辐射能量日周期变化规律, 但无法反演地球整体向外辐射能量, 而区域地物观测角度单一会引入由地物各向异性辐射引起的观测误差<sup>[2]</sup>; ③日地L1点卫星可以观测到几乎整个地球的太阳光照面<sup>[3-4]</sup>, 对于夜晚部分和日夜交替线附近的观测角度采样不足同样也会引入估算误差。

与人工卫星观测地球大气层顶辐射不同, 使用月基辐射计将地球当作“类点状”辐射源进行观测是遥感领域中的新方法。首先, 其轨道高度达到38万km, 月

基传感器可以将地球当作类点状辐射源, 对几乎整个地球半球的向外辐射能量进行空间一致、角度连续的整体观测<sup>[5-6]</sup>, 由此, 月基平台可以满足其尽可能小的时空采样误差需求; 其次, 变化的月球赤纬角使得月基平台具备观测角度可变的特点, 而变化的“日-地-月”位置关系将会给予传感器视场中地物的多样观测角度组合<sup>[7]</sup>, 由此, 月基平台可以满足其多样化角度采样需求; 最后, 月面具有广袤传感器布设空间, 寿命也远超于普通人造卫星, 因此月基传感器能够提供长期、一致的时间序列观测数据, 这也将有利于揭示地球向外辐射能量的长期变化规律<sup>[8]</sup>。

本文首先基于地球大气层顶辐射能量的月基“类点状”观测方法, 阐述了月基对其整体观测能力, 并针对月基观测地球大气层顶辐射特性进行研究, 着重分析了月面不同位置特性、传感器观测能量受观测几何影响特性与月基观测地球大气层顶辐射能量的时间采样特性。

## 1 地球大气层顶辐射能量的月基观测方法

月基观测视场接近整个地球半球, 使用月基传感

收稿日期: 2021-08-30 修回日期: 2022-02-11

基金项目: 中国航天科技集团钱学森青年创新基金资助项目(Y-KC-JT-QXS-014); 国家重点研究开发计划(2020YFE0202100); 国家自然科学基金资助项目(42101413); 中国科学院数字地球重点实验室开放基金资助项目(2019LDE001)

器的观测方式可以将地球当作一个“类点状”辐射源进行观测。由这样一种特殊的观测几何所获得的数据,可望发现传统星载平台观测视角所难以发现的规律。地球大气层顶辐射能量观测研究不仅具有精细的、小尺度观测数据,同时也提供整体观测的数据。利用这两种数据,可以实现优势互补,从而助力大气层顶辐射能量的精确反演。

月基辐射计被用于获取地球在月球方向整体的辐射亮度,以一定的采样间隔形成数据的时间序列。从波段上说,月基辐射计需含有4个波段:①紫外到远红外( $0.2\sim 100\ \mu\text{m}$ )通道,用来测量地球总的辐射能量,包括紫外、可见光和红外波段等;②太阳光( $0.2\sim 4\ \mu\text{m}$ )通道,用来测量紫外、可见光和近红外等波段反射的太阳光辐射;③近红外( $0.7\sim 1.1\ \mu\text{m}$ )通道用来测量反射的红外波段太阳光辐射;④光敏( $0.2\sim 1.1\ \mu\text{m}$ )通道,用来监测辐射计滤波单元(用作校正参考)。从科学应用上说,月基辐射计可以用于多个方面<sup>[9]</sup>:

- 1) 对大气层顶辐射能量进行整体的测量;
- 2) 估算地球整体反照率;
- 3) 计算近红外和可见光波段反照率;
- 4) 从整体的角度检验CERES传感器角度各向异性方向因子;
- 5) 从整体的角度检验地气系统中的辐射传输过程。

## 2 地球大气层顶辐射能量月基整体观测能力

由于运用了不同于传统低轨、静止轨道卫星的整体观测方式,使用月基观测地球大气层顶辐射能量需要明确月基对地球的整体观测能力。事实上,在前期研究中,月基整体观测能力也成为了一个广泛讨论的话题<sup>[9-15]</sup>。本节将在综述前人研究的基础上,进一步总结与归纳月基整体观测能力。

对于月基星下点和观测视场变化规律的讨论,Guo等<sup>[16]</sup>认为在月球轨道上分别有4个关键的位置点,分别是近地点位置、远地点位置、最大正轨道倾角位置和最大负轨道倾角位置(图1)。这4个关键点会将一个轨道周期分成4个不同的阶段,涉及到几何的相关观测参数,诸如视场角、观测角度、空间分辨率、视线向量等,这些参数都会在每一个阶段呈现出不同的变化趋势。从星下点的变化来看,星下点受到地月夹角的影响呈现出相应的波动。Ren等<sup>[13]</sup>提出了星下点纬度变化范围在 $\pm 18^\circ\sim\pm 28^\circ$ 之间,并且变化周期为18.6 a,这是由太阳引力的影响所导致的。

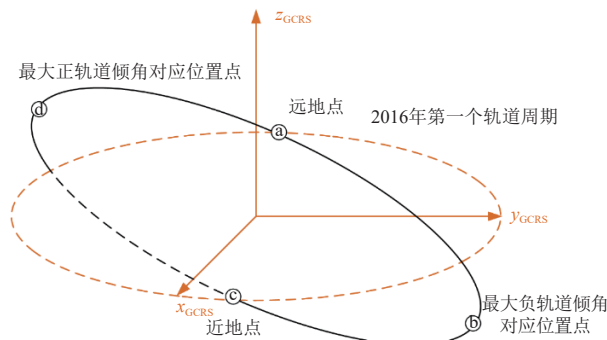


图1 月球轨道近地点、远地点、最大正轨道倾角和最大负轨道倾角对应位置点<sup>[16]</sup>

Fig. 1 The perigee, apogee, maximum positive and maximum negative orbital inclination corresponding to the position points of the lunar orbit<sup>[16]</sup>

在此基础上,Huang等<sup>[17]</sup>讨论了月基对地观测采样的时空分布特征;Ye等<sup>[14]</sup>讨论了观测视场的变化规律与整体观测能力。图2展示了当传感器搭载在月表( $0^\circ, 0^\circ$ )时,其分别在近地点与远地点时的观测视场,通过计算近地点与远地点观测视场面积比较结果发现,远地点的观测范围仅占近地点的88%。月球轨道倾角不会直接影响观测视场面积的大小,但是会影响所观测视场的纬度范围。

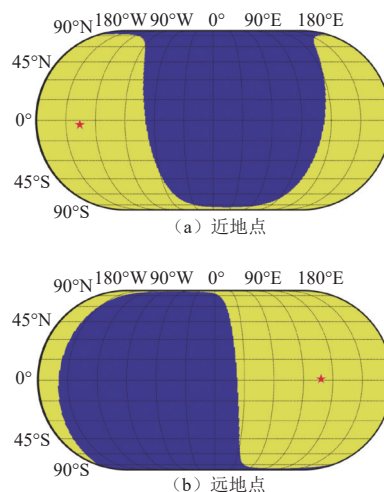


图2 月基辐射计在近地点和远地点的观测视场

Fig. 2 Observational scope of a Moon-based sensor when the Moon is at perigee and apogee

图3展示了一个月球公转轨道周期的采样分布。以最大与最小星下点纬度变化区间周期为区分,选取了两个轨道周期。十分明确的是,不论是何种星下点纬度变化的极限情况,在一个轨道周期中,地球上所有区域都将被充分采样,即使是处于极区,采样次数仍然能够超过1 700次。第二个特征是,从时空采样的均匀度看,低纬度地区与中高纬度地区的采样差异约在400次,在星下点纬度变化区间处于最小的周期时,采样次数差异较为明显。

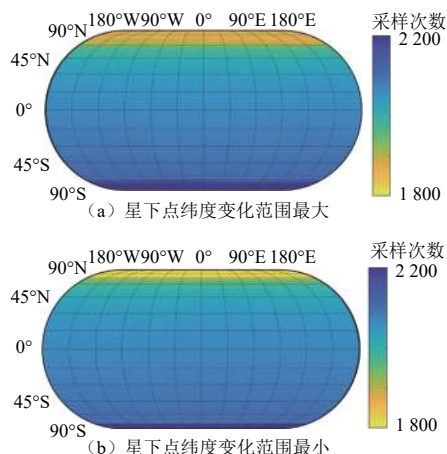


图3 一个轨道周期的采样分布

Fig. 3 The sampling distribution of an orbital period

更进一步地, Deng等<sup>[18]</sup>提出了使用时空采样均匀度的指标去描述月基平台对地时空采样的均匀性, 以便于评估月基整体观测的能力。对于大气层顶辐射观

测而言, 理想情况是能够建立一个时空一致、全向且均匀采样的观测系统。要实现这一观测, 无异于要提供一个无缝包裹地球的观测系统, 这是任何卫星任务都无法实现的, 对于月基观测而言也是一样。然而这并不意味着束手无策, 我们可以通过调整采样周期来逼近理想状态。图4为累积采样均匀度变化图。将时间累积周期设置为1 d、10 d和一个轨道周期。值得注意的是, 在达到累积周期后, 该周期的时空采样被清零。根据不同的全球时空采样, 分别计算1 d、10 d和一个轨道周期下的累计采样均匀度的变化。如图4所示, 1 d累积周期不合适, 因为1 d累积周期甚至不能完成全球采样; 10 d的周期也不适合, 相邻周期的均匀度变化规律不同, 且采样均匀性较低。当累积周期设定在一个轨道周期(27.3 d)时, 时空采样均匀度显示出了较强的周期性, 是合适的累积采样周期。

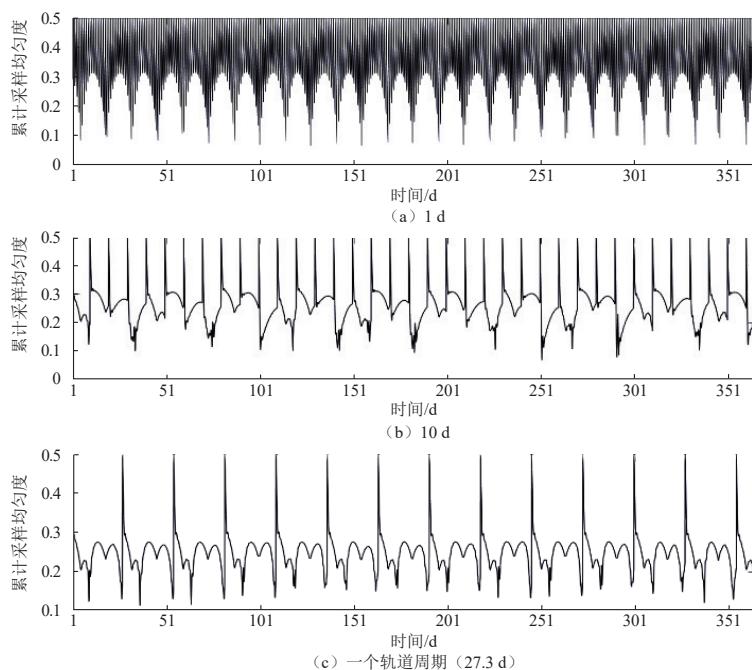


图4 累积采样均匀度随累积周期的变化

Fig. 4 Variation of cumulative sampling uniformity with cumulative period

综上, 月球轨道是一个变轨道倾角、变距离的大椭圆轨道, 一个轨道周期内可以完成对地球的充分采样, 可以实现对地球大气层顶辐射能量整体观测, 且一个轨道周期(27.3 d)为合适的采样周期。

### 3 地球大气层顶辐射月基观测特性

#### 3.1 月面不同位置观测特性

不同于人造卫星平台, 月球具有广袤的传感器布

设空间, 将辐射计放置在月面不同位置, 会有不同的观测性能。由于月面不同位置改变了辐射计与参考平面的距离以及微小改变了参考平面与辐射计连线与天顶方向的夹角, 因此, 在月面不同位置观测大气层顶辐射能量的结果略有不同, 并且, 随着观测几何的变化, 不同月面位置观测能量的差异也会随之而改变。本文采用的数据为GEOS-5 FP的大气数据同化系统(GEOS-5 FP Atmospheric Data Assimilation System,



GOES-5 ADAS)。它结合了GEOS-5 大气全球气候模型与美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)/美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)/美国EMC公司联合开发的格网统计插值的大气分析模型,数据同化的产品水平分辨率为 $0.3125^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 的经纬网格,垂直分辨率有72个等级,精度达到0.01 kPa。

图5显示了一个轨道周期中,在月面不同位置观测大气层顶辐射能量的差异的模拟结果,其采用的是GEOS-5 FP大气数据同化系统所提供的数据。图5(a)、(c)显示了月基辐射计在一个轨道周期中的远地点与近地点的观测能量分布情况。如图5(a)所示,在月面中心观测时,由于观测距离相较于其它位置较近,显示出较高的数值,约为 $6.21 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ 。观测能量在月面呈现同心圆状,观测能量随着距离月

面中心距离的增大而降低,在月球边缘区域观测值降至最小,约为 $6.15 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ 。在此时,在月面不同位置观测的最大差异达到了 $6.00 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ 。如图5(c)所示,此时观测距离达到一个轨道周期中最小,因此,此时观测能量要大于其它时刻。月面不同位置观测能量的差异为 $8.00 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ ,也略小于其它时刻。图5(b)、(d)显示了月基辐射计星下点在该周期最南、最北端时刻的分布。星下点在最南、最北端意味着此时白赤交角达到该周期的最大,由于此时观测距离小于远地点时刻,因此相较于图5(a),该点观测能量较大,但是观测能量是受制于观测距离的,实际上与观测角度没有关系。在月面不同位置(月表不同的经纬度位置)观测的最大差异达到了 $6.00 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ (最南端)、 $8.00 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ (最北端),与远地点时刻的情形相差较小。

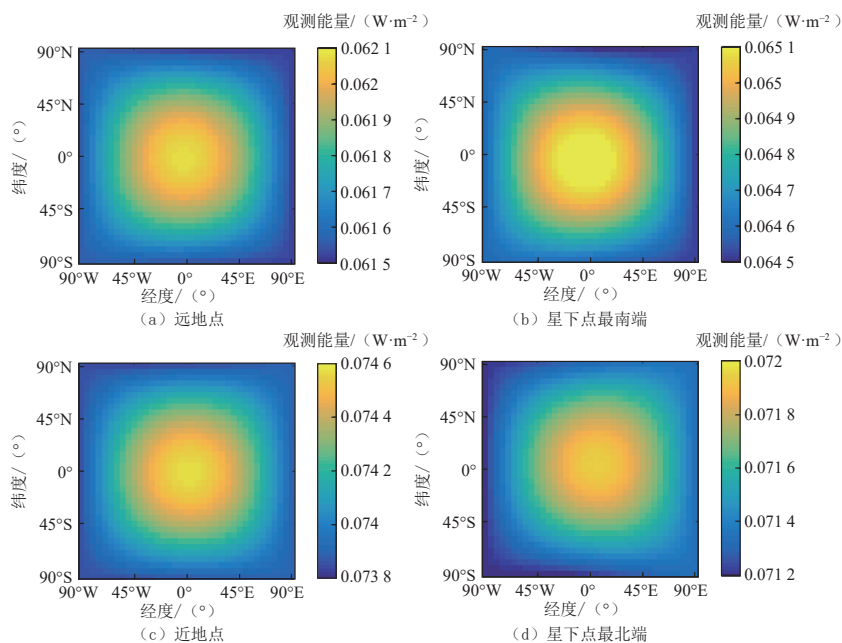


图5 月面不同位置观测大气层顶辐射能量的影响

Fig. 5 The influence of different positions on the lunar surface on the observation of outgoing radiation at the top of the atmosphere

由此可知,月面不同位置观测能量主要受到观测距离的影响,在月面中心位置观测能量较大,而观测角度对于月基辐射计观测能量影响较小。

### 3.2 月基观测几何特性

月球轨道是一个大椭圆轨道,偏心率约为0.054 9,其近地点与远地点到地球的距离差异约为4万km。由此,不同轨道位置处观测地球大气层顶辐射将随着观测几何变化而呈现出不同的数值,对于观测数据的处

理分析则需要消除观测几何的影响。本节首先介绍地球大气层顶辐射的月基观测几何特性,在此基础上,提供一个可供解决的消除方案。

如图6所示,观测距离会对大气层顶辐射观测造成较大影响。在每一个轨道周期的远地点,月基辐射计接收能量约为 $5.80 \times 10^{-2} \sim 6.00 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ ,而在近地点,月基辐射计接收能量约为 $7.50 \times 10^{-2} \sim 8.30 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ 。模拟观测曲线随着观测几何变化呈现出轨道周期变化

特征,而观测几何对月基辐射计接收能量的影响也大于地球大气层顶辐射能量的变化。由此可知,月基辐射计接收能量将着重受到观测距离的影响。

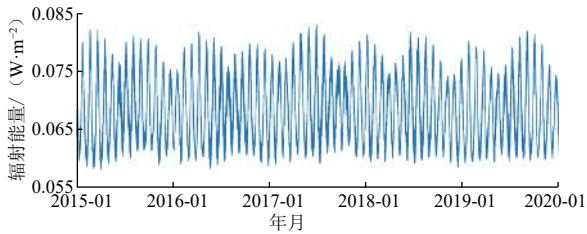


图6 月基辐射计观测大气层顶辐射能量变化趋势

Fig. 6 Variation of Moon-based Earth's outgoing radiation measurements.

利用模拟的5年时间跨度月基辐射计接收能量数据建立观测时间序列与观测距离的关联。如图7所示,5年以来,月地之间的距离范围约为 $3.5 \times 10^5 \sim 4.0 \times 10^5$  km。随着观测距离的增加,月基辐射计接收能量有着较为明显的减小。根据能量守恒中能量与距离平方的反比定律,采用二次方程对月基辐射计观测能量随观测距离的变化进行拟合,方程表达为

$$y = 1.566 \times 10^{-12} x^2 - 1.54x + 0.4286 \quad (1)$$

其中: $x$ 表示距离,单位为km。

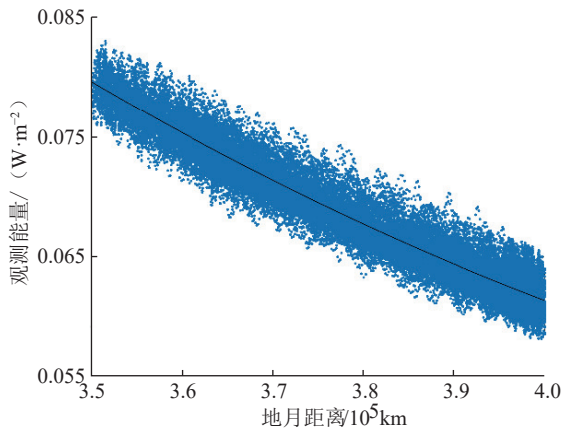


图7 月基辐射计观测能量与地月距离的关系

Fig. 7 The relationship between the outgoing radiation observed by the moon-based radiometer and the distance between the Earth and the Moon

图8所示为2015年去除了地月距离影响的辐射计观测能量变化,将原始的数据去除利用式(1)计算出的能量,从而得到被扣除距离的影响之后的能量。去掉了地月距离影响的大气层顶辐射变化更加清晰,可以明显体现出季节影响,由于七八月份的大气层顶辐射能量 $F_{OLR}$ 在一年中较高,所以在扣除距离影响后,七八月份的能量比其它月份大。

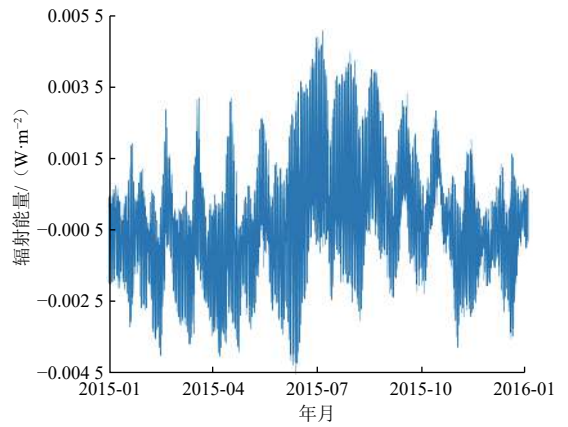


图8 去除距离影响的大气层顶辐射能量的变化

Fig. 8 Variations in outgoing radiation at the top of the atmosphere without the effect of distance

### 3.3 月基观测时间采样特性

月基平台以其近月面地球半球尺度完全覆盖的几何特点,能够实现把地球当作一个“类点状”辐射源的测量。然而,这种创新性的观测方法引申出了一个新问题:观测时间间隔将如何影响大气层顶辐射能量的采样?

基于传统人造卫星平台的观测时间采样特性研究方法将无法直接回答这一问题。以低轨和静止卫星为代表的人造卫星平台由于沿着预先设定的轨道对地球进行观测,其时空覆盖特性主要取决于轨道高度和轨道性质。譬如,太阳同步轨道卫星的轨道平面始终和太阳保持相对固定的角度,这样可以保证卫星每次经过同一地物的时间大致相同,能够实现对特定区域的周期性观测。在这样的情况下,观测时间间隔主要取决于卫星轨道以及对特定地物观测的特殊要求。而在月面上布设传感器对地观测,其时空覆盖特性与低轨卫星截然不同,也与静止卫星的时空覆盖特性有天壤之别,它是一种由星下点决定的、半球尺度视场的类凝视观测。在这样的观测几何下,地球上的地物可以被凝视多角度观测平均8 h,观测时间长短视地物纬度高低而定。然而,传感器不能够实现对地球永久不间断的观测,也就是说,在这种特定的观测几何下,观测时间间隔将会引起测量的不确定性。因此,在制定采样策略时需充分考虑采样时间间隔所引起的测量不确定性问题。

为了方便对其进行分析,本节选取大气层顶日均辐射这一尺度,以GOES-5数据集集中的数据为例,来衡量不同采样对日均能量估算的不确定性。假定数据集的单位时间为1 h,对于一个2 h间隔的采样,在一天中,由于起始时间的不同,采样时间序列有两种,分别是于0、2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22 h以及于1、3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23 h

采样。而后, 3 h采样时间序列有3种, 4 h采样时间序列有4种, 以此类推。图9展示了不同采样时间间隔中, 不同采样时间序列所计算的平均值差异。红色虚线表示原始时间序列所计算的平均值。由图9可以看出, 2 h时间间隔所产生的两个不同的采样序列差异较小, 几乎为原始时间序列所计算的平均值; 随着采样时间间隔的增大, 不同起始时间的采样序列所计算的日均能量偏差逐渐增大; 采样时间间隔大于8 h, 此时一天之中, 月基辐射计只能拍摄两次地球半球, 不同起始时间的采样序列所计算的日均能量偏差显著。

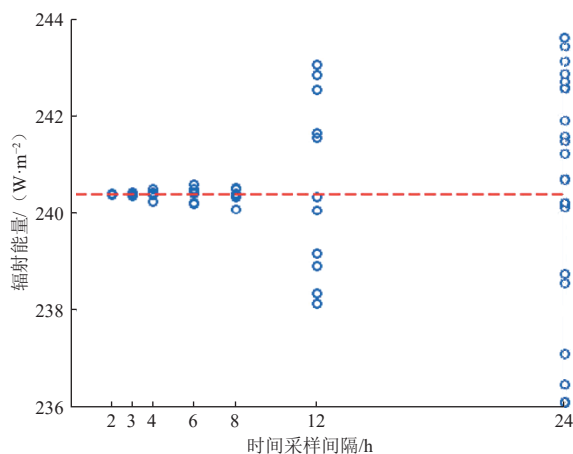


图9 时间采样间隔对大气层顶地球辐射能量观测的影响<sup>[13]</sup>

Fig. 9 The effect of time sampling interval on the observation of outgoing radiation at the top of the atmosphere<sup>[13]</sup>

图10更进一步展示了不同采样时间间隔下采样不确定性的变化趋势, 纵轴表示的是平均均方根误差, 分别对应于日均、轨道周期平均以及年平均能量的不确定性。均方根误差的大小直接体现了不同时间采样间隔下能量观测值与平均值的离散程度, 体现了在不同时间采样间隔下的不确定性。由图10可见, 随着采

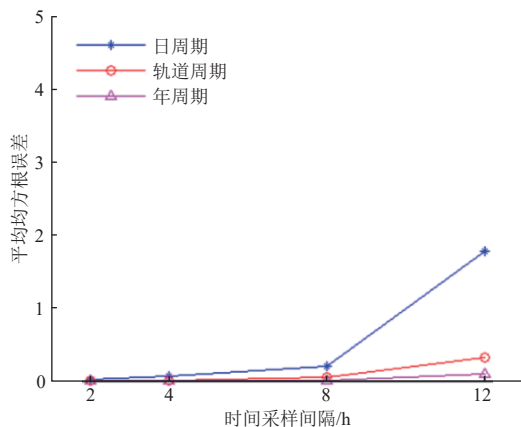


图10 不同采样时间间隔下采样不确定性的变化

Fig. 10 Variation of sampling uncertainties at different sampling intervals

样时间间隔的增加, 观测不确定性逐渐增加, 在2 h采样时间间隔的状况下, 其采样不确定性相对较小。当间隔为2~4 h时, 不确定性变化较小, 大约为0.1~0.2 W/m<sup>2</sup>。当采样时间间隔为6~8 h时, 不确定性增加到0.4 W/m<sup>2</sup>。而当采样时间间隔扩大到12~24 h时, 采样不确定性陡然上升。

由此可知, 观测时间间隔将会显著影响大气层顶辐射能量的采样, 大于4 h时的采样, 其不确定性将会显著增加。

## 4 结 论

本文研究了月基观测大气层顶地球辐射特性, 从月基将地球当作“类点状”的角度研究了月面不同位置观测特性、观测数据受观测几何影响以及观测采样特性。结果表明, 月球轨道是一个变轨道倾角、变观测距离的轨道, 一个轨道周期内可以完成对地球的充分采样, 满足对地球进行完全时空覆盖观测的条件; 月基辐射计动态范围在 $5.50 \times 10^{-2} \sim 8.50 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ , 采样间隔小于4 h, 采样累积时间为一个轨道周期, 可确保对地球大气层顶辐射有较好的观测性能。本文的研究为月基辐射计的仪器设计和观测参数确定提供了重要依据。

## 参 考 文 献

- [1] LOEB N G, DOELLING D R, WANG H, et al. Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Energy Balanced and Filled (EBAF) Top-Of-Atmosphere (TOA) edition-4.0 data product[J]. *Journal of Climate*, 2017, 31: 1-5.
- [2] DOELLING D, HANEY C, BHATT R, et al. Geostationary visible imager calibration for the CERES SYN1deg edition 4 product[J]. *Remote Sensing*, 2018, 10: 288-312.
- [3] SU W, MINNIS P, LIANG L, et al. Determining the daytime Earth radiative flux from National Institute of Standards and Technology Advanced Radiometer (NISTAR) measurements[J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2020, 13: 429-443.
- [4] SU W, LIANG L, DOELLING D R, et al. Determining the shortwave radiative flux from Earth polychromatic imaging camera[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2018, 123: 479-491.
- [5] GUO H, LIU G, DING Y. Moon-based Earth observation: scientific concept and potential applications[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2017, 11: 546-557.
- [6] PALLÉ E, GOODE P R. The lunar terrestrial observatory: observing the Earth using photometers on the Moon's surface[J]. *Advances in Space Research*, 2009, 43: 1083-1089.
- [7] YE H, ZHENG W, GUO H, et al. Effects of temporal sampling interval on the Moon-based Earth observation geometry[J]. *Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2020, 13: 4016-4029.
- [8] GUO H D, LIU G, DING Y X, et al. Moon-based Earth observation for large scale geoscience phenomena[C]// IGARSS 2016-2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. [S. l.]:

- IEEE, 2016.
- [9] 叶罕霖. 地球向外辐射能量的月基观测方法研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.
- YE HANLIN 2019. Research on the Moon-based observation method of Earth's outgoing radiation energy [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019.
- [10] YE H, GUO H, LIU G, et al. Temporal sampling error analysis of the Earth's outgoing radiation from a Moon-based platform[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2019, 40: 6975-6992.
- [11] DUAN W T, HUANG S P, NIE C W. Entrance pupil irradiance estimating model for a Moon-based Earth radiation observatory instrument[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11: 583-601.
- [12] DUAN W, HUANG S, NIE C. Conceptual design of a Moon-based Earth radiation observatory[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2018, 39: 5834-5849.
- [13] 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: 2431-2440.
- [14] YE H, GUO H, LIU G, et al. Estimating the Earth's outgoing longwave radiation measured from a Moon - based platform[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13: 2201-2220.
- [15] NIE C, LIAO J, SHEN G, et al. Simulation of the land surface temperature from Moon-based Earth observations[J]. *Advances in Space Research*, 2019, 63 (2): 826-839.
- [16] GUO H D, YE H L, LIU G, et al. Error analysis of exterior orientation elements on geolocation for a Moon-based Earth observation optical sensor[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2018, 13(11): 1-19.
- [17] HUANG J, GUO H, LIU G, et al. 2020. Spatio-temporal characteristics for Moon-based Earth observations[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12: 2848-2866.
- [18] DENG Y, GUO H, LIU G, et al. Global spatio-temporal sampling characteristics of Moon-based Earth observations[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2021, 42: 7842-7862.

作者简介:

**叶罕霖**(1991-), 男, 助理研究员, 主要研究方向: 地球辐射能量收支的月基观测方法。

通讯地址: 北京市海淀区友谊路104号(100094)

电话: (010)68111077

E-mail: yehanlin@qxslab.cn

**刘广**(1979-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 月基对地观测、微波遥感对地观测。**本文通讯作者。**

通讯地址: 中国科学院空天信息创新研究院(100094)

电话: (010)82178103

E-mail: liuguang@radi.ac.cn

## Characteristics Analysis of Moon-Based Monitoring of Earth's Outgoing Radiation at the Top of Atmosphere

YE Hanlin<sup>1</sup>, DENG Yu<sup>2</sup>, LIU Guang<sup>3</sup>, GUO Huadong<sup>2,3</sup>

(1. Qian Xuesen Laboratory of Space Technology, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China ;

2. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China;

3. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Due to the uncertainty of parameter design of the Moon-based radiometer, the characteristics of Moon-based Earth's outgoing radiation at the top of the atmosphere were investigated. Based on the single-point observation geometry for a Moon-based platform, this paper analyzed observational characteristics and data of different Moon-based platforms' positions on the lunar surface, and the observational sampling characteristics. The results indicate that the orbit of the Moon is with variable orbital inclination and variant observation distances from the Earth, and equipping a radiometer on the lunar surface can sample the whole Earth's surface within one orbital period. In addition, the suggested dynamic range is from  $5.50 \times 10^{-2}$  to  $8.50 \times 10^{-2}$  W/m<sup>2</sup>, its temporal sampling interval is no more than 4 hours, and the accumulative sampling period is one orbital period (27.3 days). The above results provide an important basis for the design of the Moon-based radiometer.

**Keywords:** Earth's outgoing radiation at the top of atmosphere; Moon-based Earth observations; observation geometry; temporal sampling

### Highlights:

- Single-point observation geometry was used in the Moon-based Earth's outgoing radiation monitoring.
- It is proved that the whole Earth's surface can be monitored within one orbital period.
- Suggested dynamic range that is from  $5.50 \times 10^{-2}$  to  $8.50 \times 10^{-2}$  W·m<sup>-2</sup> was obtained.
- Sampling interval and accumulative sampling period were estimated.

[责任编辑: 宋宏, 英文审校: 宋利辉]