

文章编号 1004-924X(2022)02-0210-07

天问一号星下点太阳高度角在轨实时计算方法

吴凡路^{1,2}, 闫得杰¹, 姬琪¹, 王栋¹, 董吉洪^{1*}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 月球与深空探测重点实验室, 北京 100101)

摘要: 由于太阳高度角和地面景物反射率等条件的变化, 天问一号火星环绕器光学成像载荷在轨工作期间入瞳辐亮度变化范围很大, 为了达到最佳的成像效果, 需要光学成像载荷具备在轨自适应调整增益的能力。太阳高度角是设置时间延时积分电荷耦合器件积分级数的重要参数之一, 积分级数是调整增益需要调整的主要参数。针对在轨工作期间太阳高度角实时变化、星历表文件较大等问题, 本文提出一种基于傅里叶拟合的火星环绕器星下点太阳高度角在轨实时计算方法。首先, 基于最小二乘原理采用8阶傅里叶逼近对火星惯性坐标系下太阳矢量的 x, y, z 坐标进行拟合, 获得以时间作为变量的拟合方程。其次, 根据制导、导航与控制系统发送的轨道参数获得火星惯性坐标系下环绕器的实时坐标。最后, 基于夹角余弦公式即可在轨实时计算星下点太阳高度角。实验结果表明, 在协调世界时2021-01-01 00:00:00至2024-01-01 00:00:00期间, 采用本文方法获得的星下点太阳高度角实时计算结果最大绝对误差小于 0.3° 。满足天问一号高分辨率相机时间延时积分电荷耦合器件积分级数设置对太阳高度角计算结果的精度要求。基于该方法, 天问一号高分辨率相机获取的火星影像细节丰富, 亮度、对比度合理。

关键词: 火星环绕器; 天问一号; 高分辨率相机; 太阳高度角; 傅里叶拟合

中图分类号: V476.4; V445.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/OPE.20223002.0210

On-orbit real-time calculation method of solar elevation angle of sub-satellite point of Tianwen-1

WU Fanlu^{1,2}, YAN Dejie¹, JI Qi¹, WANG Dong¹, DONG Jihong^{1*}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China;

2. Key Laboratory of Lunar and Deep Space Exploration, Chinese Academy of Sciences,
Beijing 100101, China)

* Corresponding author, E-mail: dongjihong@ciomp.ac.cn

Abstract: The entry-pupil radiance of the optical imaging instruments of Tianwen-1 varies considerably during its orbit operation, owing to the changes in the solar elevation angle and ground scene reflectance. To achieve the best imaging effect, the optical imaging instruments should utilize on-orbit adaptive adjustment gain. The solar elevation angle is an important parameter that is used to set the integral series of the time delay and integration (TDI) charge-coupled devices (CCDs). Furthermore, the integral series is the

收稿日期: 2021-07-08; 修订日期: 2021-08-11.

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(No. 42001345); 中国科学院月球与深空探测重点实验室开放基金项目(No. LDSE201901)

main parameter used to adjust the gain. This study presents a method for calculating the solar elevation angle in real time at the sub-satellite point of the Mars orbiter based on Fourier fitting, to mitigate the challenges of the real-time variation in the solar elevation angle and the large ephemeris file created during the orbiting period. First, an 8-order Fourier approximation based on the principle of least squares is utilized to fit the x , y , and z coordinates of the sun vector in the Martian inertial coordinate system, and a fitting equation is obtained as a function of time. Second, the real-time coordinates of the orbiter in the Mars inertial coordinate system are obtained based on the orbit parameters sent by the guidance and navigation control system. Finally, the solar elevation angle of the sub-satellite point can be calculated in real time on the orbit based on the cosine formula of the included angle. The experimental results show that the maximum absolute error of the real-time calculation results of the solar elevation angle obtained by using this method is less than 0.3° during the period from 2021-01-01 00:00:00 UTC to 2024-01-01 00:00:00 UTC. The accuracy requirements of the calculation results of the solar elevation angle of the TDI CCD integral series of the Tianwen-1 high-resolution camera are satisfied. Based on this method, the Mars image obtained by the high-resolution imaging camera of Tianwen-1 shows rich details with reasonable brightness and contrast.

Key words: Mars orbiter; Tianwen-1; high-resolution imaging camera; solar elevation angle; fourier fitting

1 引言

探索是人类文明发展和社会进步的推动力。在人类的探索历程中,太空探索最能直接扩展人类认识的疆域,极富挑战性^[1-2]。当今世界高科技领域中极具创新性、挑战性和前瞻性的深空探测^[3-4],是了解太阳系及其各层次天体形成与演化、溯源生命起源等一系列重大基础性科学问题的最有效手段^[5-7]。目前,深空探测已成为世界各航天大国科技探索与创新的战略制高点,其中火星则因其可宜居等独特性质而成为各国在深空探测领域中竞相角逐的热点和生长点^[8-10]。火星探测对研究太阳系起源及演化、生命起源及演化等重大科学问题具有重要的意义^[11-12]。

火星的地形地貌反映了火星表面的形态变化,火星表面不同区域呈现出不同的形态特征,不同历史时期形成的表面形态也存在明显差异,这是由于其地质作用类型及作用程度不同造成的。各种不同的物理过程在火星表面留下多姿多彩的图案^[13-15]。通过研究火星表面形态特征,可以深入认识火星表面的形成演化过程以及火星地质的演化历史^[16-17],因此火星探测的首要任务是获取全球高分辨率光学影像。此外,未来的

火星着陆任务中的着陆点选择^[18-19]、火星车勘察路径规划以及载人火星计划也都需要提前获取火星表面的高分辨率影像。

最早的火星全球影像获取于20世纪70年代初,分辨率仅有1 km。20世纪70年代末期的海盗1号和海盗2号轨道器获得了分辨率达100 m至200 m的火星全球影像。火星全球勘测者号(Mars Global Surveyor, MGS)和火星快车号(Mars Express)获得了分辨率达到几米的火星全球影像。2005年发射的火星勘测轨道器(Mars Reconnaissance Orbiter, MRO)搭载的高分辨率成像科学实验(High Resolution Imaging Science Experiment, HiRISE)相机^[20]又进一步把分辨率提升10倍,获得了最高达0.3 m分辨率的火星影像。我国于2020年7月23日发射了天问一号火星探测器,其环绕器搭载有高分辨率相机(简称“高分相机”)和中分辨率相机用于获取火星表面影像,其中高分相机将用于获取分辨率为0.5~2.5 m的感兴趣地质单元影像。

在高分相机拍摄火星表面时,地物目标的反射率存在显著的差别^[21],同时光照条件随环绕器、火星和太阳之间相对位置的变化而变化,导致高分相机入瞳处的辐亮度存在较大的变化。为了避免获取的影像中感兴趣目标出现饱和和现

象而无法分辨,高分相机需具备在轨自适应调整增益的能力。目前已提出的增益调整方法主要通过已获取的影像数据或成像传感器输出的模拟电压进行统计分析后对增益进行调整^[22-23]或者基于已获取的影像数据进行人工调整。上述方法并不能适应高分相机的增益调整。现有技术中,确定太阳高度角的方法是由地面系统解算一定时间内的太阳高度角,然后通过上行通道注入光学成像载荷的控制系统。但是这种方法工作量大,效率低,每次解算的时间相对较短,并且在航天器运行期间需要保证地面工作人员长期支持。

针对上述问题,本文提出一种基于傅里叶拟合的火星环绕器星下点太阳高度角在轨实时计算方法。该方法采用傅里叶逼近对火星惯性坐标系下太阳矢量坐标进行拟合,获得拟合方程及拟合参数写入高分相机嵌入式软件太阳高度角实时计算模块,在轨工作时结合火星惯性坐标系下天问一号环绕器的实时坐标,然后基于夹角余弦公式即可由高分相机嵌入式软件实时计算天问一号环绕器星下点太阳高度角。

2 太阳高度角计算方法

2.1 计算模型

图1为太阳高度角示意图。以星下点为原点建立坐标系,环绕器矢量垂直于火星表面,太阳矢量与环绕器矢量的夹角为太阳天顶角,太阳高度角为太阳天顶角的余角。结合太阳矢量和环绕器矢量即可计算太阳天顶角,进而求出太阳高度角。在实际计算时,忽略星下点至太阳、火星质心至太阳之间的距离误差和角度误差,以火星惯性坐标系下环绕器和太阳的实时坐标参与计算,公式如下:

$$\theta = 90^\circ - \arccos\left(\frac{\mathbf{Sun} \cdot \mathbf{Sat}}{|\mathbf{Sun}| \cdot |\mathbf{Sat}|}\right), \quad (1)$$

其中: $\mathbf{Sun} = (\mathbf{Sun}_x, \mathbf{Sun}_y, \mathbf{Sun}_z)$ 、 $\mathbf{Sat} = (\mathbf{Sat}_x, \mathbf{Sat}_y, \mathbf{Sat}_z)$ 分别为火星惯性坐标系下的太阳矢量、环绕器矢量。环绕器矢量由环绕器制导、导航与控制系统实时提供,高分相机嵌入式软件只需获得实时太阳矢量即可求得当前时刻星下点太阳高度角。

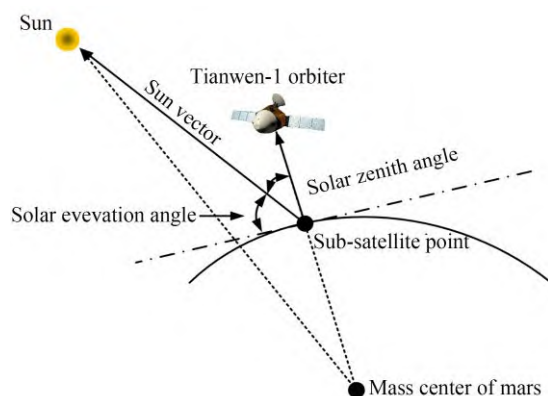


图1 太阳高度角示意图

Fig. 1 Schematic diagram of solar elevation angle

2.2 太阳矢量拟合

首先利用STK (Satellite Tool Kit)生成天问一号在轨运行期间火星惯性坐标系下太阳矢量的 x, y, z 坐标。然后基于最小二乘原理采用8阶傅里叶逼近对上述坐标进行拟合,拟合方程如下所示:

$$\begin{aligned} \mathbf{Sun}_x = & x_{a0} + \\ & x_{a1} \cdot \cos(t \cdot x_w) + x_{b1} \cdot \sin(t \cdot x_w) + \\ & x_{a2} \cdot \cos(2t \cdot x_w) + x_{b2} \cdot \sin(2t \cdot x_w) +, \quad (2) \end{aligned}$$

...

$$x_{a8} \cdot \cos(8t \cdot x_w) + x_{b8} \cdot \sin(8t \cdot x_w)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Sun}_y = & y_{a0} + \\ & y_{a1} \cdot \cos(t \cdot y_w) + y_{b1} \cdot \sin(t \cdot y_w) + \\ & y_{a2} \cdot \cos(2t \cdot y_w) + y_{b2} \cdot \sin(2t \cdot y_w) +, \quad (3) \end{aligned}$$

...

$$y_{a8} \cdot \cos(8t \cdot y_w) + y_{b8} \cdot \sin(8t \cdot y_w)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Sun}_z = & z_{a0} + \\ & z_{a1} \cdot \cos(t \cdot z_w) + z_{b1} \cdot \sin(t \cdot z_w) + \\ & z_{a2} \cdot \cos(2t \cdot z_w) + z_{b2} \cdot \sin(2t \cdot z_w) +, \quad (4) \end{aligned}$$

...

$$z_{a8} \cdot \cos(8t \cdot z_w) + z_{b8} \cdot \sin(8t \cdot z_w)$$

其中: t 为距基准时刻(本文为UTC 2021-01-01 00:00:00)的时间差, $x_{a_i}, x_{b_i}, x_w, y_{a_i}, y_{b_i}, y_w, z_{a_i}, z_{b_i}, z_w$ 为通过拟合得到的参数。把上述拟合方程(2)~(4)及拟合参数写入高分相机嵌入式软件太阳高度角实时计算模块。

高分相机在轨工作时,基于上述拟合方程(2)~(4)及拟合参数,高分相机嵌入式软件太阳高度角实时计算模块按一定周期计算出火星惯性坐标系下的太阳矢量 $\mathbf{Sun} = (\mathbf{Sun}_x, \mathbf{Sun}_y, \mathbf{Sun}_z)$,结合火星惯性坐标系下

天问一号环绕器的实时坐标(Sat_x, Sat_y, Sat_z),基于公式(1)即可实时计算天问一号环绕器星下点太阳高度角。

3 实验结果与分析

3.1 太阳矢量拟合结果

本文利用STK生成UTC 2020-01-01 00:00:00至2025.01.01 00:00:00期间的坐标,间隔为15分钟,共175 393组三维坐标。然后采用8阶傅里叶逼近拟合方程(2)~(4)获得拟合参数 $x_{a_i}, x_{b_i}, x_w, y_{a_i}, y_{b_i}, y_w, z_{a_i}, z_{b_i}, z_w$ 。利用上述拟合参数和拟合方程生成拟合坐标,再与STK生成坐标(默认为真值)进行比较,拟合结果及拟合误差如图2~图4所示。上图为拟合结果及拟合误差,下图为误差放大图。

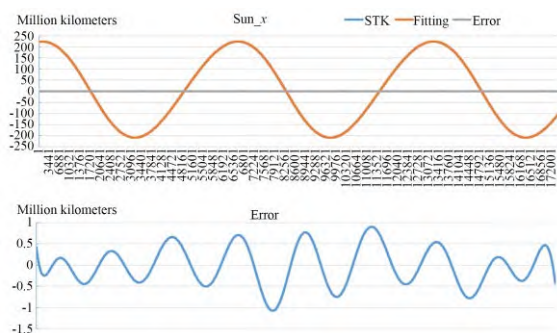


图2 Sun_x 拟合结果及拟合误差

Fig. 2 Sun_x fitting results and fitting errors

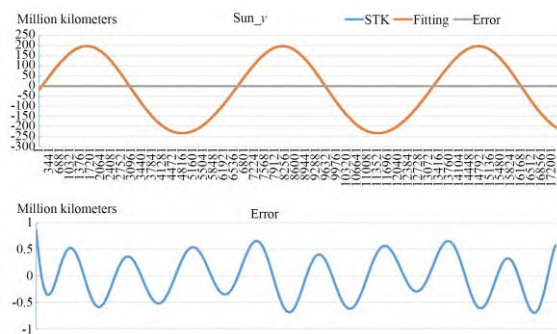


图3 Sun_y 拟合结果及拟合误差

Fig. 3 Sun_y fitting results and fitting errors

从图2~图4中可以看出,采用8阶傅里叶逼近拟合火星惯性坐标系下太阳矢量的 x, y, z 坐标,拟合结果与STK生成结果吻合、趋势一致。整体拟合效果很好、误差较小,说明基于最小二

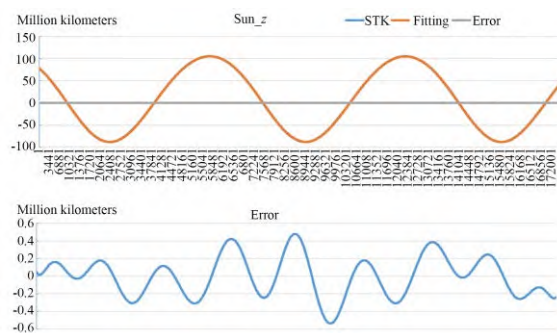


图4 Sun_z 拟合结果及拟合误差

Fig. 4 Sun_z fitting results and fitting errors

乘原理的8阶傅里叶逼近拟合方法用于求解火星惯性坐标系下太阳矢量的三维坐标精度较高。

3.2 太阳高度角计算结果

利用上述拟合方程和拟合参数,本文生成了天问一号在轨运行期间火星惯性坐标系下太阳矢量的三维坐标(UTC 2021-01-01 00:00:00至2024-01-01 00:00:00,间隔为1 min)。同时基于天问一号的轨道数据利用STK生成了在轨运行期间火星惯性坐标系下环绕器矢量的三维坐标,用于模拟环绕器制导、导航与控制系统实时提供的环绕器矢量。采用公式(1)计算获得星下点太阳高度角,同时利用STK仿真天问一号在轨运行期间星下点太阳高度角用于对比分析。

图5为UTC 2021-05-11 16:15:00 STK仿真

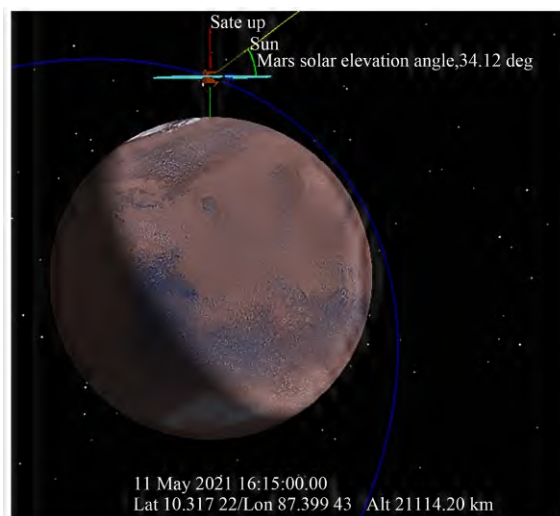


图5 UTC 2021-05-11 16:15:00 STK仿真太阳高度角结果

Fig. 5 STK simulated solar elevation angle result @ UTC 2021-05-11 16:15:00

太阳高度角结果,高度角为 34.124° ,本文计算结果为 $34.142\ 11^{\circ}$,误差为 $0.018\ 11^{\circ}$;两者非常接近,误差已不影响天问一号高分相机时间延时积分电荷耦合器件积分级数的设置,证明了本文提出的在轨实时计算方法的精确性。

为进一步证明本文方法的鲁棒性,对前文所

述数据(UTC 2021-01-01 00:00:00 至 2024-01-01 00:00:00,间隔为 1 min)进行了计算。如图 6 所示为 UTC 2021-09-01 00:00:00 至 2021-10-01 00:00:00 期间太阳高度角计算结果(共 43 201 个数据)与 STK 仿真结果的误差。

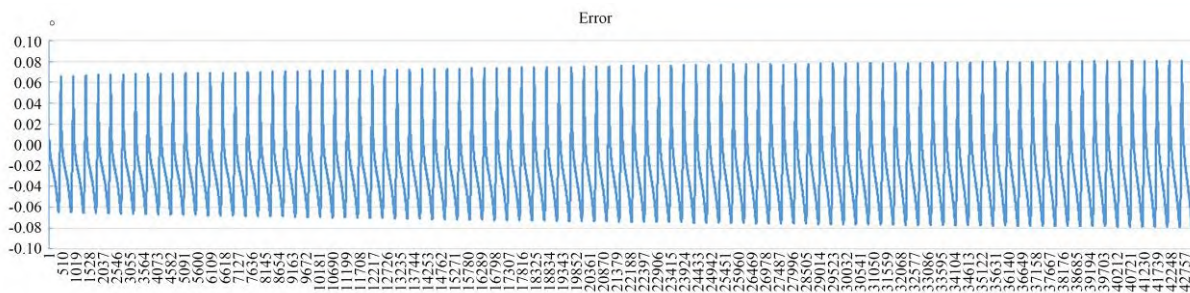


图 6 UTC 2021-09-01 00:00:00 至 2021-10-01 00:00:00 期间太阳高度角计算结果与 STK 仿真结果的误差

Fig. 6 Error between the calculation result of solar elevation angle and STK simulation result @ UTC 2021-09-01 00:00:00 - 2021-10-01 00:00:00

从图 6 中可以看出,在 UTC 2021-09-01 00:00:00 至 2021-10-01 00:00:00 期间,本文提出的在轨实时计算方法计算精度较高、鲁棒性很好。经统计,在 UTC 2021-01-01 00:00:00 至 2024-01-01 00:00:00 期间,利用本文计算方法最大绝对误差小于 0.3° 。高分相机嵌入式软件在设置时间延时积分电荷耦合器件的积分级数时,把太阳高度角按 5° 进行分档,本文方法完全满足天问一号高分相机 TDI CCD 积分级数设置对太阳高度角计算结果的精度要求。

3.3 高分相机影像

国家航天局 2021 年 3 月 4 日发布了由高分相机在距离火星表面约 330~350 km 高度拍摄的全色影像,分辨率约为 0.7 m,如图 7 所示,其灰度直方图如图 8 所示。

从图 7 和图 8 中可以看出,天问一号高分相机获取的影像细节丰富,亮度、对比度合理。影像灰度层次比较合理,大部分像元灰度值分布在 70~170 之间,未出现大面积过饱和或者曝光不足现象。从实际场景可以看出,图中大部分区域为比较平滑一致的背景区域,符合大部分像元灰度值分布比较集中的现象。同时场景中存在阴影区和高亮区域,整体灰度值分布合理,说明天

问一号高分相机 TDI CCD 积分级数设置合理,太阳高度角计算精确。

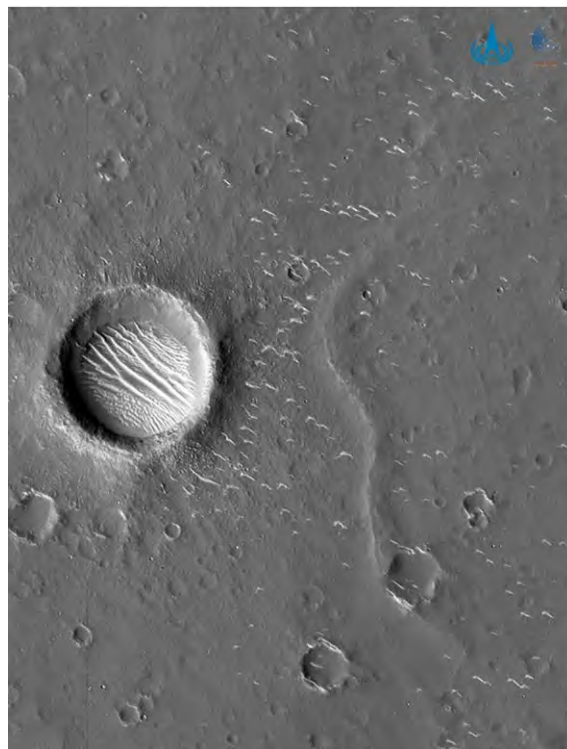


图 7 天问一号高分相机拍摄的火星影像

Fig. 7 Mars image obtained by the high-resolution imaging camera of Tianwen-1

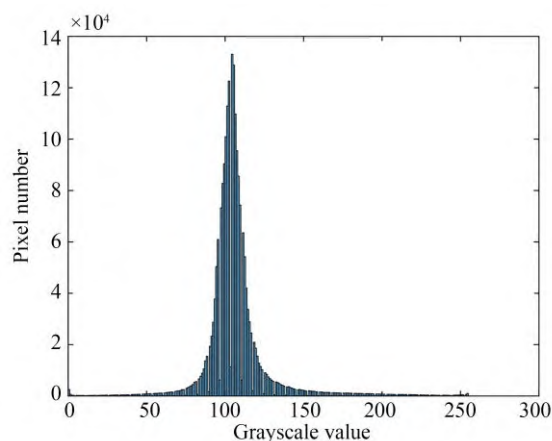


图8 天问一号高分相机拍摄火星影像灰度直方图

Fig.8 Gray histogram of Mars image obtained by the high-resolution imaging camera of Tianwen-1

4 结 论

本文针对在轨工作期间太阳高度角实时变

化、星历表文件较大等问题,提出了基于傅里叶拟合的火星环绕器星下点太阳高度角在轨实时计算方法,并给出了基于最小二乘原理的8阶傅里叶逼近拟合方程用于拟合火星惯性坐标系下太阳矢量的坐标。与STK仿真结果的对比实验证明:利用本文计算方法,星下点太阳高度角在轨实时计算结果最大绝对误差小于 0.3° ,完全满足天问一号高分率相机时间延时积分电荷耦合器件积分级数设置对太阳高度角计算结果的精度要求。工程实践证明,基于该方法天问一号高分率相机获取的火星影像细节丰富,亮度、对比度合理。该方法还可以应用于其他卫星相机,尤其是深空探测相机,具有较广的应用前景和较高的工程价值。

参考文献:

- [1] WATANABE S, HIRABAYASHI M, HIRATA N, *et al.* Hayabusa2 arrives at the carbonaceous asteroid 162173 Ryugu-A spinning top-shaped rubble pile[J]. *Science*, 2019, 364(6437): 268-272.
- [2] LAURETTA D S, DELLAGIUSTINA D N, BENNETT C A, *et al.* The unexpected surface of asteroid (101955) Bennu[J]. *Nature*, 2019, 568(7750): 55-60.
- [3] REUTER D C, SIMON A A, HAIR J, *et al.* The OSIRIS-REx visible and InfraRed spectrometer (OVIRS): spectral maps of the asteroid bennu[J]. *Space Science Reviews*, 2018, 214(2): 1-22.
- [4] DELLAGIUSTINA D N, EMERY J P, GOLISH D R, *et al.* Properties of rubble-pile asteroid (101955) Bennu from OSIRIS-REx imaging and thermal analysis[J]. *Nature Astronomy*, 2019, 3(4): 341-351.
- [5] GRUNDY W M, BIRD M K, BRITT D T, *et al.* Color, composition, and thermal environment of Kuiper Belt object (486958) Arrokoth[J]. *Science*, 2020, 367(6481).
- [6] WATANABE S, HIRABAYASHI M, HIRATA N, *et al.* Hayabusa2 arrives at the carbonaceous asteroid 162173 Ryugu-A spinning top-shaped rubble pile[J]. *Science*, 2019, 364(6437): 268-272.
- [7] KITAZATO K, MILLIKEN R E, IWATA T, *et al.* The surface composition of asteroid 162173 Ryugu from Hayabusa2 near-infrared spectroscopy[J]. *Science*, 2019, 364(6437): 272-275.
- [8] 欧阳自远, 邹永廖. 火星科学概论[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2015.
OUYANG Z Y, ZOU Y L. *Introduction to Mars Science*[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House, 2015. (in Chinese)
- [9] 李春来, 刘建军, 耿言, 等. 中国首次火星探测任务科学目标与有效载荷配置[J]. *深空探测学报*, 2018, 5(5): 406-413.
LI C L, LIU J J, GENG Y, *et al.* Scientific objectives and payload configuration of China's first Mars exploration mission[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2018, 5(5): 406-413. (in Chinese)
- [10] 耿言, 周继时, 李莎, 等. 我国首次火星探测任务[J]. *深空探测学报*, 2018, 5(5): 399-405.
GENG Y, ZHOU J S, LI S, *et al.* A brief introduction of the first Mars exploration mission in China[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2018, 5(5): 399-405. (in Chinese)
- [11] 刘建军, 苏彦, 左维, 等. 中国首次火星探测任务地面应用系统[J]. *深空探测学报*, 2018, 5(5):

- 414-425.
- LIU J J, SU Y, ZUO W, *et al.* Ground research and application system of China's first Mars exploration mission[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2018, 5(5): 414-425. (in Chinese)
- [12] 朱岩, 白云飞, 王连国, 等. 中国首次火星探测工程有效载荷总体设计[J]. 深空探测学报, 2017, 4(6): 510-514, 534.
- ZHU Y, BAI Y F, WANG L G, *et al.* Integral technical scheme of payloads system for Chinese Mars-1 exploration[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2017, 4(6): 510-514, 534. (in Chinese)
- [13] CARR M. *The surface of Mars*[M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [14] BARLOW N. *Introduction to Mars*[M]. Mars: An Introduction to its Interior, Surface and Atmosphere. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [15] MCEWEN A, HANSEN-KOHARCHECK C, ESPINOZA A. *Mars: the pristine beauty of the red planet*[M]. Tucson: University of Arizona Press, 2017.
- [16] BELL J F, SQUYRES S W, ARVIDSON R E, *et al.* Pancam multispectral imaging results from the Spirit Rover at Gusev Crater [J]. *Science*, 2004, 305(5685): 800-806.
- [17] BELL J F, SQUYRES S W, ARVIDSON R E, *et al.* Pancam multispectral imaging results from the Opportunity Rover at Meridiani Planum [J]. *Science*, 2004, 306(5702): 1703-1709.
- [18] GOLOMBEK M, GRANT J, KIPP D, *et al.* Selection of the Mars science laboratory landing site [J]. *Space Science Reviews*, 2012, 170(1/2/3/4): 641-737.
- [19] GOLOMBEK M, KIPP D, WARNER N, *et al.* Selection of the InSight landing site[J]. *Space Science Reviews*, 2017, 211(1): 5-95.
- [20] MCEWEN A S, ELIASON E M, BERGSTROM J W, *et al.* Mars reconnaissance orbiter's high resolution imaging science experiment (HiRISE) [J]. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2007, 112(E5): E05S02.
- [21] 薛旭成, 石俊霞, 吕恒毅, 等. 空间遥感相机 TDI CCD 积分级数和增益的优化设置[J]. 光学精密工程, 2011, 19(4): 857-863.
- XUE X C, SHI J X, LV H Y, *et al.* Optimal set of TDI CCD integration stages and gains of space remote sensing cameras[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(4): 857-863. (in Chinese)
- [22] 章明朝, 周跃, 闫丰, 等. “日盲”紫外增强型 CCD 的自动增益控制[J]. 光学精密工程, 2010, 18(2): 496-502.
- ZHANG M C, ZHOU Y, YAN F, *et al.* Automatic gain control of SBUV-ICCD[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(2): 496-502. (in Chinese)
- [23] 彭妮娜, 陈大羽, 王琨, 等. 采用线阵 TDICCD 相机的实时自动增益控制算法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(7): 1370-1375.
- PENG N N, CHEN D Y, WANG K, *et al.* Real-time automatic gain control algorithm based on linear TDICCD camera[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(7): 1370-1375. (in Chinese)

作者简介:



吴凡路(1988—),男,安徽宿州人,博士,助理研究员,2011年于长春理工大学获得学士学位,2014年于中国科学院大学获得硕士学位,2018年于天津大学获得博士学位,主要从事月球与行星科学、深空探测光学载荷总体论证、月球与行星光学探测数据处理、计算机视觉与图像处理等方面的研究。
E-mail: flwu@ciomp. ac. cn



董吉洪(1972—),男,吉林长春人,本科,研究员,硕士生导师,1995年于中国科学技术大学获得学士学位,主要从事空间光学遥感器光机总体设计等方面的研究。E-mail: dongjihong@ciomp. ac. cn