文章编号：1672-8785(2026)01-0030-12

国产碲镉汞红外焦平面相机的首次天文 K 波段实测

林 浦[1] 马 斌[1,2*] 董仲南[1] 李晋基[1] 张皓然[1] 曹多乐[1]

(1. 中山大学物理与天文学院，广东 珠海 519082；
2. 中国空间站工程巡天望远镜粤港澳大湾区科学中心，广东 珠海 519082)

摘 要：K 波段(2.0～2.4 μm)是地基红外观测最重要的窗口之一，能有效穿透星际尘埃、观测低温天体及高红移星系。针对我国在近红外天文观测领域的长期空白和强烈需求，本文报道了国产碲镉汞红外焦平面相机在中山大学 80 cm 红外望远镜上的天文观测结果。该望远镜位于青海冷湖天文观测基地，配备的碲镉汞红外焦平面相机由中国科学技术大学研制，其芯片通过中国科学院上海技术物理研究所研制的 3 个像元间距为 15 μm 的 640×512 碲镉汞红外焦平面探测器拼接而成。测试结果显示，单张 20 s 曝光时，5σ 极限星等为 15.3 mag (Vega 系统)，达到了国际上的 2 微米全天巡天(Two Micron All-Sky Survey，2MASS)水平，亮源的测光精度最高可达到 12 mmag；叠加 30 min 与 2 h 后，极限星等分别达到 17.5 mag 与 18.2 mag。以上结果说明，该系统能够在不同探测深度和时间分辨率下开展 K 波段时域天文观测。这一成果标志着我国首次实现了国产碲镉汞红外焦平面相机的天文 K 波段科学级成像观测，将为我国红外天文研究提供坚实可靠的自主观测平台。

关键词：红外天文；碲镉汞红外焦平面相机；时域天文；测光

中图分类号：P113 **文献标志码**：A **DOI**：10.11972/j.issn.1672-8785.2026.01.003

First Astronomical K-Band Imaging with a Domestically Developed HgCdTe Infrared Focal Plane Camera

LIN Pu[1,2], MA Bin[1,2*], DONG Zhong-nan[1,2], LI Jin-ji[1,2], ZHANG Hao-ran[1,2], CAO Duo-le[1,2]

(1. School of Physics and Astronomy, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, China;
2. CSST Science Center for the Guangdong-Hong Kong-Macau Greater Bay Area, Zhuhai 519082, China)

Abstract: The K-band (2.0–2.4 μm) is one of the most important wavebands for ground-based infrared observations, effectively penetrating interstellar dust and observing cool astrophysical objects and high-redshift galaxies. To address the long-standing gap and strong demand for near-infrared astronomical observations in

收稿日期：2026-01-20

作者简介(Biography)：林浦(2002-)，男，浙江人，博士研究生，主要研究领域为近红外天文观测。

*****通讯作者**(Corresponding Author)：马斌(1983-)，男，副教授，主要研究领域为光学红外天文观测、数据处理方法与天文台址。E-mail: mabin3@mail.sysu.edu.cn

China, this paper reports the astronomical observation results of a domestically developed mercury cadmium telluride (HgCdTe) infrared focal plane camera on the Sun Yat-sen University 80 cm infrared telescope. Located at the Lenghu Astronomical Observatory in Qinghai Province, the telescope is equipped with an HgCdTe infrared focal plane camera developed by the University of Science and Technology of China. Its chip is composed of three 640×512 HgCdTe infrared focal plane array detectors with a pixel pitch of 15 μm, developed by the Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences. Test results show that the 5σ limiting magnitude is 15.3 mag (Vega system) in a single 20-second exposure, reaching the international level of the Two Micron All-Sky Survey (2MASS), with a photometric accuracy of up to 12 mmag for bright sources. After stacking for 30 minutes and 2 hours, the limiting magnitudes reach 17.5 mag and 18.2 mag, respectively. These results demonstrate that the system can conduct K-band time-domain astronomical observations at different detection depths and temporal resolutions. This achievement marks China's first successful astronomical K-band scientific imaging observation using a domestically developed HgCdTe infrared focal plane camera, providing a solid and reliable independent observation platform for infrared astronomy research in China.

Key words: infrared astronomy; HgCdTe infrared focal plane camera; time-domain astronomy; photometry

0 引言

近红外波段通常是指 1～5 μm 的波长范围，连接了可见光与更长波长的中红外波段。近红外波段相较于可见光波长更长，能够有效穿透星际尘埃，从而观测在光学波段被遮蔽的高消光区域与恒星形成区、原行星盘以及活动星系核等目标。许多低温天体(如晚型巨星和褐矮星)发出的近红外辐射比光学波段更强，因此近红外观测具有天然优势；特别地，K 波段的绝对光校正相对稳定，可以用作其简单的光度指标[1]。此外，宇宙膨胀使远处天体的光谱向红端移动，使得近红外观测对研究早期宇宙和高红移星系至关重要。例如，近年詹姆斯•韦布空间望远镜(James Webb Space Telescope，JWST)的近红外观测已发现并确认了若干 $z>10$ 乃至 $z\approx14$ 的星系，凸显了空间近红外观测在早期宇宙研究中的变革性作用[2]。目前，近红外波段是天文观测中的重要部分，并已在恒星形成与银河系核研究中被广泛采用。

作为地基近红外观测的一个重要大气窗口，K 波段是地基红外望远镜能够实现深度成像观测的最长波段，其中心波长约为 2.2 μm (常用带宽为 2.0～2.4 μm，具体随滤光片系统而异)。图 1 所示为冷湖冬季理论大气透过率与莫纳克亚天文台(Mauna Kea Observatories，MKO) K 波段滤光片响应曲线[3]。与近红外的其它两个波段——J 波段(～1.25 μm)和 H 波段(～1.65 μm)相比，K 波段的更长波长使其对尘埃的穿透能力更强，并能够接收热尘埃或相对较冷天体发出的热辐射，在一些研究方向具有优势。例如，一项对大麦哲伦星系(Large Magellanic Cloud，LMC)中造父变星周光关系的研究发现，红外 K 波段的综合弥散是最小的[4]，特别适用于标准烛光研究(特别是高消光区域)。对于低温天体，温度为 1000～1500 K 的褐矮星的辐射峰值恰好处在 K 波段范围。对于系外行星，长波段下的临边昏暗效应更弱，有利于半径和轨道倾角的精确测定。然而，K 波段的天光背景总体亮度更高[5]，且容易受到环境和仪器本身的热辐射的影响，因此对系统的制冷有较高要求。

K 波段天文观测的历史可追溯至 20 世纪 60 年代末，两微米巡天(Two-Micron Sky Survey，TMSS)项目首次在 62 in 望远镜上使用液氮冷却的硫化铅(PbS)光电探测器实现了中心波长为 2.2 μm 的巡天观测[6]。但真正的成像能力则在二维红外探测阵列技术成熟后出现，尤其是碲镉汞(HgCdTe)材料的应用。这逐渐促成英国红外望远镜(United Kingdom Infrared Telescope，UKIRT)、凯克(Keck)望远镜、甚大望远镜(Very Large Telescope，VLT)等大型地基望远镜在 K 波段获得高精度成像和自适

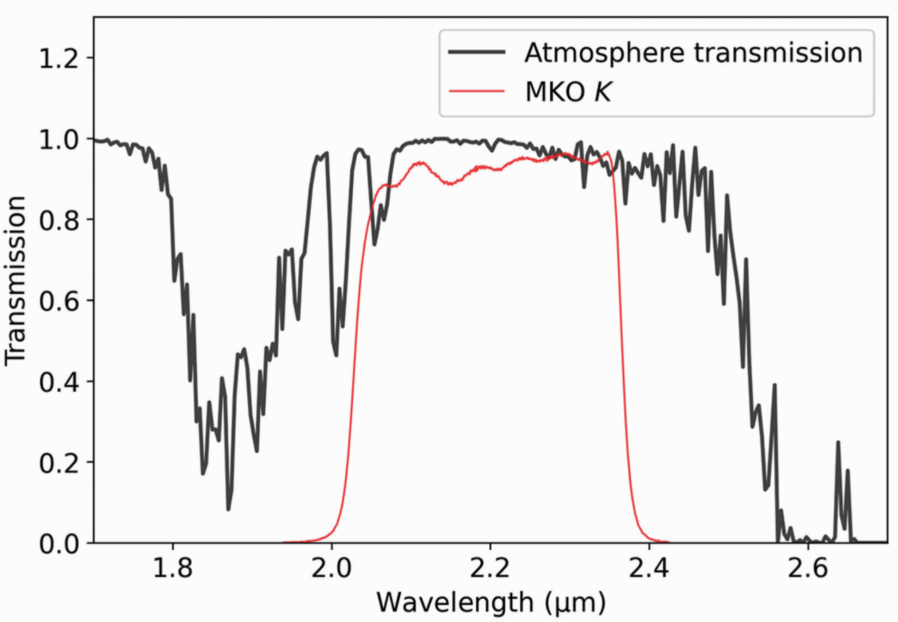

图 1 冷湖冬季理论大气透过率与 MKO K 波段滤光片响应曲线(大气透过率采用 *PWV*=1.6 mm、*airmass*=1.0 计算,滤光片响应曲线未考虑透过率影响)[3]

Fig. 1 Theoretical atmospheric transmittance and MKO K-band filter response curves in Lenghu during winter (atmospheric transmittance was calculated using *PWV*=1.6 mm and *airmass*=1.0, and the filter response curves did not consider the influence of transmittance)[3]

应光学能力[7]。例如,UKIRT 在 1998 年用大阵列的碲镉汞相机 UFTI 替换了小阵列的锑化铟(InSb)相机 IRCAM,视场、分辨率与灵敏度均得到大幅提高[8]。2MASS 项目则在 J、H、Ks(~2.16 μm)波段完成了全天巡天。在空间任务中,哈勃空间望远镜(Hubble Space Telescope,HST)、JWST、欧几里得(Euclid)空间望远镜等亦配备了碲镉汞红外焦平面探测器以实现近红外波段的观测[8]。国际上,应用较为广泛的是美国 Teledyne Imaging Sensors 公司研发的 Hwaii-2RG (H2RG)系列探测器,其阵列规模为 2048×2048,暗电流小于 0.05 e^-/s/pixel,读出噪声小于 20e^-[9]。JWST 和 Euclid 便配备了 H2RG 探测器[10-11]。未来的 Roman 空间望远镜和 ELT 望远镜则计划配备 H4RG 探测器,其阵列规模可达到 4096×4096。

由于我国红外观测起步较晚且缺少大型天文项目牵引,国内近红外相机发展较为缓慢,而目前世界上高性能的近红外相机并不对中国开放进口。1986 年,中国科学院国家天文台兴隆观测站在海拔 960 m 的山顶上安装了 1.26 m 红外望远镜,使用锑化铟光度计进行红外波段观测[12],后来因为缺乏红外面阵探测器而改为光学观测,使得我国红外天文观测长期处于空白。目前国内的少数红外相机主要是铟镓砷(InGaAs)相机[13],其截止波长通常在 1.7 μm 左右,无法满足 H 和 K 波段观测的需求。而中国空间站望远镜(China Space Station Telescope,CSST)等国家大型项目有效推动了国内近红外探测器的发展。CSST 计划配备 8 个截止波长为 2 μm 的碲镉汞红外探测器以开展 J、H 波段测光和无缝光谱观测[14],其初步成果应用到了中国科学院上海天文台的佘山 1.56 m 望远镜上[15]。2024 年,中国科学院上海技术物理研究所研制出了一款应用于天文观测的截止波长为 2.5 μm 的碲镉汞红外焦平面探测器,以满足天文 K 波段观测需求。中国科学技术大学团队采用此碲镉汞探测器完成国内首台 K 波段

图 2 中山大学 80 cm 红外望远镜

Fig. 2 Sun Yat-sen University 80 cm infrared telescope

拼接相机的研制[16]。该相机在中山大学 80 cm 红外望远镜上进行了实际天文观测，实现了国内天文 K 波段天文观测“从 0 到 1”的突破。

本文报道了中山大学 80 cm 红外望远镜首次实现国产设备近红外 K 波段科学级成像观测的测试结果。首先介绍望远镜与相机的基本设计参数；然后阐述数据处理流程，并展示相关性能与初步成果；最后进行总结并展望望远镜未来的科学应用，以及该款碲镉汞红外焦平面相机在搭配更大口径望远镜时的预期性能。

1 设备

1.1 中山大学 80 cm 红外望远镜

中山大学 80 cm 红外望远镜是我国新一代红外望远镜，位于青海冷湖天文观测基地(见图 2)，其所在的海拔 4100 m 的赛什腾山 E 区具有优秀的观测环境和极佳的视宁度[17]。

望远镜口径为 80 cm，焦比取 $f/8$ 以降低天光背景和环境热辐射的影响。望远镜采用反射卡塞格林式架构，配备 2 个耐氏焦点，分别安装一台铟镓砷 J 波段相机和一台碲镉汞 K 波段相机；通过旋转三镜使光路在 J 和 K 波段之间切换，并使用 MKO 系统的 J 和 K 滤光片。该滤光片系统针对中海拔地区的地面台址进行了优化，降低了大气背景辐射的影响。

1.2 碲镉汞红外焦平面相机

中国科学技术大学团队研制的碲镉汞红外焦平面相机采用了由中国科学院上海技术物理研究所研发的应用于天文 K 波段观测的碲镉汞短波红外焦平面探测器。芯片尺寸为 9.60 mm×7.68 mm，焦平面规模为 640×512，像元间距为 15 μm。实验室测试结果显示，其暗电流为 4.7 e^-/s/pixel，读出噪声为 65e^-，K 波段量子效率达到 85%，满阱电荷为 97.3 ke^-，盲元率小于 0.6%。

相机将 3 块芯片拼接在一起，以短边相接的形式排列为 3×1，成像区域间隔 3 mm，且平面度误差被控制在 15 μm 以内。芯片与其他低温光学元件安装于杜瓦内。搭配中山大学 80 cm 红外望远镜时，最终视场为 3 片×$5'$×$4'$，角分辨率为 $0.484''$/pixel。相机内的透镜组件被制冷至 150 K 以抑制自身热辐射，焦平面阵列则被制冷至 75 K，以尽可能地抑制暗电流[16]。

2024 年，中国科学技术大学团队对工程级芯片进行了封装，并在望远镜上进行了初步测试[16]；2025 年将芯片更换为科学级，并再次进行了碲镉汞红外焦平面相机的实验室测试(主要参数见表 1)。

2 数据处理

2.1 数据改正

相机输出的原始图像中，包含多种可被分离并扣除的系统误差，如图 3(a)所示。因此，需要对该图像进行系统误差的改正处理，以凸显流量信号。拍摄偏置时曝光设定为 1 ms，中值叠加制作主偏置 *Bias*。

表 1 碲镉汞红外焦平面相机的主要参数(暗电流为芯片封装前的纯暗电流值)

Table 1 Main parameters of the HgCdTe infrared focal plane camera (dark current is the pure dark current value before chip packaging)

性能参数	描 述
探测器阵列	3 个 640×512 碲镉汞探测器
像元尺寸	15 μm(0.484″)
工作波段	K 波段(2050～2350 nm，截止波长为 2750 nm)
量子效率	>80% (2050～2350 nm)
读出噪声	<80e$^-$ @高增益，<90e$^-$ @低增益
暗电流	<5 e$^-$/s/pixel
盲元率	<4%
成像间隙	<3.1 mm(设计目标<7 mm)
焦平面平整度	<12 μm

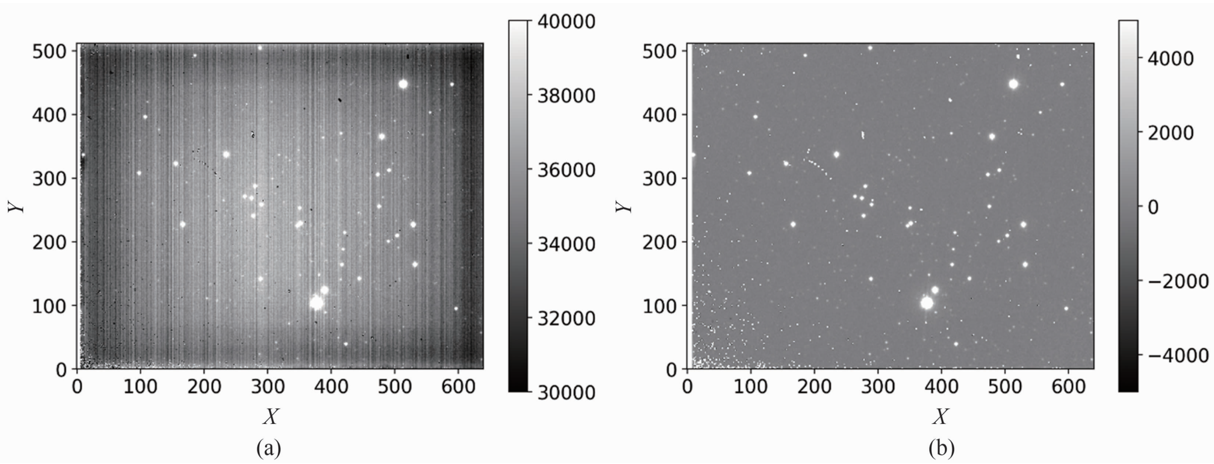

图 3 数据改正前后的图像

Fig. 3 Images before and after data correction

K 波段的亮场图像中包含来自望远镜及其所处环境的热辐射。我们在关闭镜头盖时拍摄相同曝光的图像并将其近似作为背景场扣除，记为 *Bkg*。然而背景随环境温度变化，未来我们将结合抖动拍摄来制作实时背景。

天光平场由晨昏时刻对准均匀天空进行拍摄，K 波段选择太阳高度角约为 0°时；为减小热辐射的影响，我们选择太阳高度角稍高的时刻并设定较小的曝光时间(100 ms)，使天光占比更大、热辐射占比更小。扣除 *Bias* 以及对应曝光时间的 *Bkg*′后，中值叠加并归一化制作主平场 *Flat*。未来计划结合测光平场校正由热辐射和杂散光造成的大尺度不均匀性。

最终，对于拍摄的原始图像 *light*，根据式(1)进行图像改正：

$$sci = \frac{light - Bias - Bkg}{Flat} \tag{1}$$

所得图像 *sci* 用于后续处理。图 3(b)为数据改正后的示例图像。未来将考虑非线性效应的影响，并添加校正步骤。

2.2 孔径测光

在完成数据改正后，我们通过 SExtractor 软件[18]进行星源检测和孔径测光。使用孔径 3、6、8 进行测光，并在分析暗星时使用孔径 3 和分析亮星时使用孔径 6，以平衡孔径中所包含的星点流量与背景流量的比例，从而提高信噪比。利用 SCAMP 软件[19]解算图片的 WCS 参数，确定每一颗星的赤经赤纬，并使用 2MASS 数据库[20]作为位置参考。

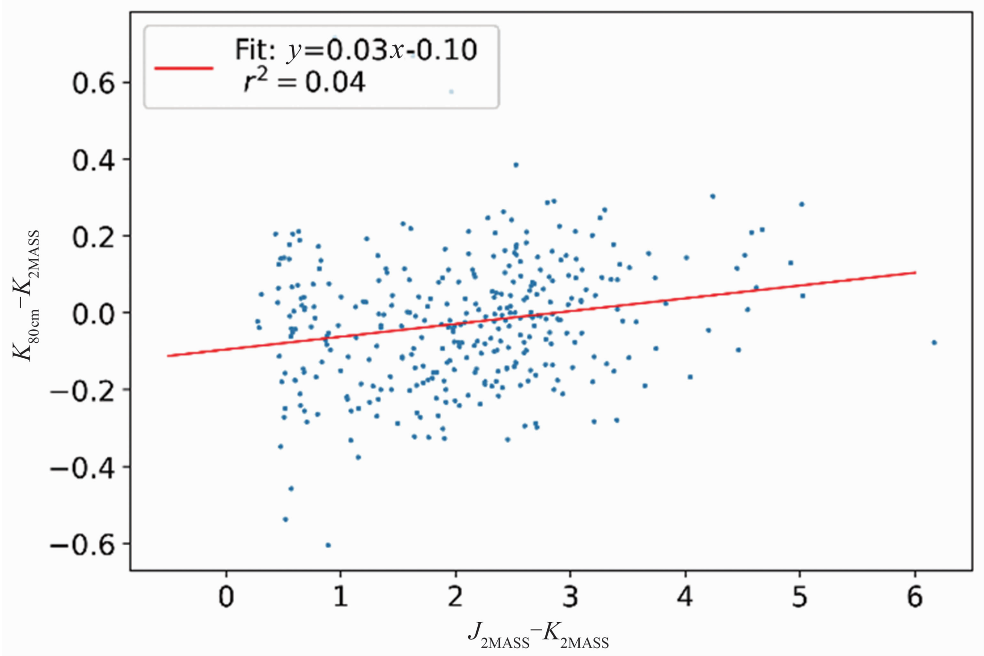

图 4 与 2MASS 的颜色转换关系

Fig. 4 Color conversion relationship with 2MASS

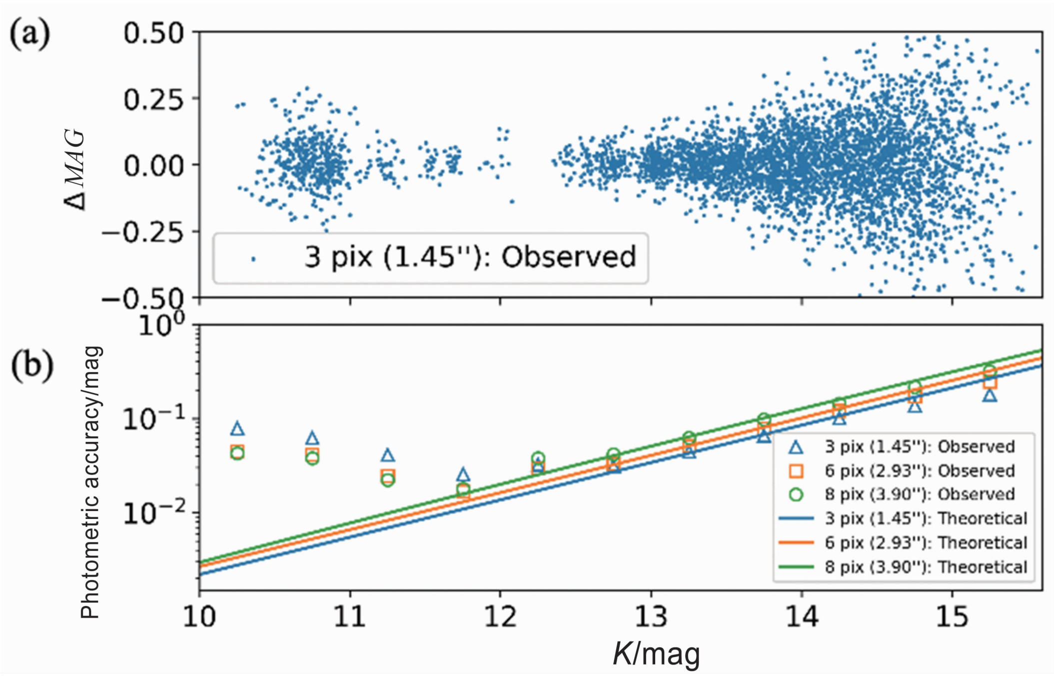

图 5 测光精度

Fig. 5 Photometric accuracy

2.3 流量定标

我们使用 2MASS 星等作为孔径测光流量定标的参考，由于 2MASS 所使用的 K_s 滤镜与我们所使用的 MKO 系统 K 滤镜的响应曲线不同，因此在流量定标前使用颜色关系对 2MASS 的 K_s 波段进行转换。如图 4 所示，我们的转换关系为

$$K_{80cm} = K_{2MASS} + 0.03(J_{2MASS} - K_{2MASS}) \quad (2)$$

从结果上看，我们的滤镜与 2MASS 有很小的颜色项，但是略微偏蓝，与预期相反；可能是

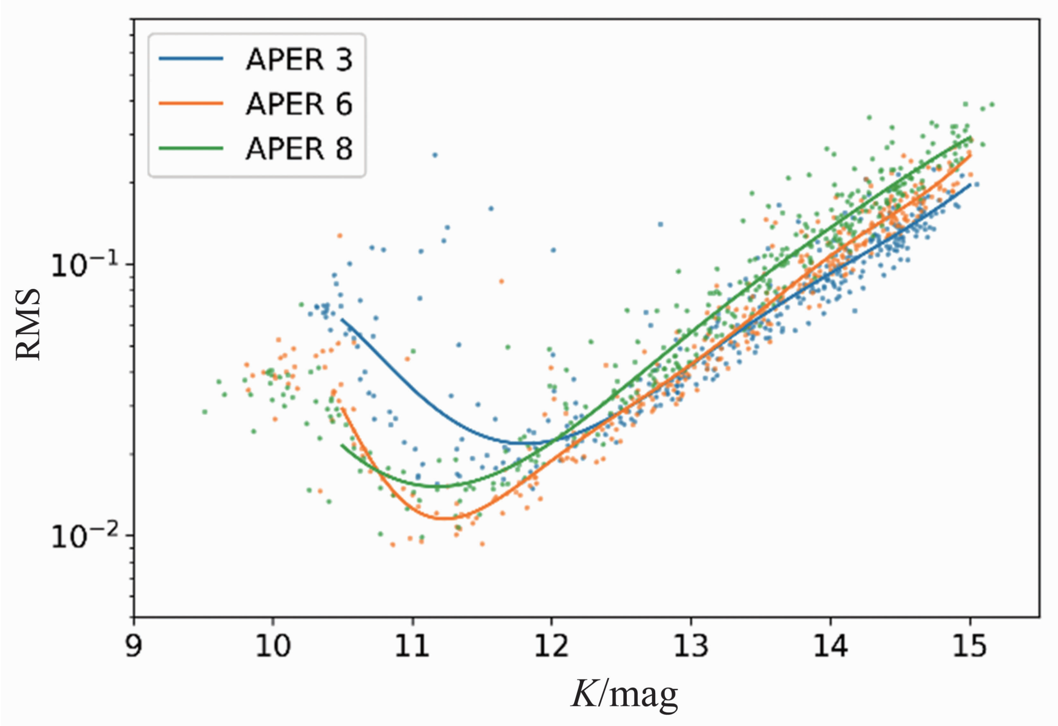

图 6 时域测光稳定性

Fig. 6 Time-domain photometric stability

由于两个台址的大气透过率不同导致，或是滤镜的少量差异被测光误差淹没，或是受银盘高消光的影响。完成转换后，定标方式为

$$Magnitude = -2.5\log(Flux) + Zeropoint \quad (3)$$

式中，星等零点 *Zeropoint* 通过与转换后的 2MASS 数据库交叉匹配计算获得。

3 结果

3.1 测光精度与稳定性

在天文应用中，图像的测光精度通常用极限星等表示。极限星等越深，望远镜的探测能力越强。对于光变曲线测量，则关注时域测光的稳定性。

对于大部分目标，我们使用高增益、20 s 曝光进行观测。为评估单次曝光的测光，我们使用 2025 年 10 月 19 日拍摄的一组 NGC 6819 图像进行分析(共计 78 张有效图像)。在与 2MASS 进行流量定标后，对于每一组的相邻两张图像，我们对测光结果进行交叉匹配并绘制所有同一颗星在两张图的平均星等/星等差数据。图 5(a)展示了孔径 3 的结果，表现出星等越暗、弥散越大的趋势。在此基础上，以每 0.5 mag 为分隔，在同一分隔内计算所有数据点的标准差并除以$\sqrt{2}$，得到测光精度与星等的关系(见图 5(b))。当测光精度为 0.2 mag 时，对应的 5σ 极限星等为 15.3 mag。图中可见，当目标亮于 11.5 mag 时，其测光误差反而增大，说明在当日的观测条件下，高增益、20 s 曝光的单张图像在 11.5 mag 时达到饱和。

为评估望远镜在进行时域观测时的测光稳定性，如图 6 所示，我们为 NGC 6819 中至少在 50 张内观测到的源绘制光变曲线，对其中光变稳定的源计算 *sigma*。对于暗星，孔径 3 的精度更高，基本与前述测光精度一致；对于亮星，孔径 6 下，时域测光精度最高可以达到 12 mmag。

3.2 图像叠加

单张 20 s 图像主要针对需要较高时间分辨率的应用场景。若目标对时间分辨率需求不高，则可通过图像叠加来降低随机噪声强度，从而提高信噪比和探测深度，同时也能明显降低死像元对探测的影响。假设暗星测光由随机噪声主导，理论情况下，图像叠加所推出的极

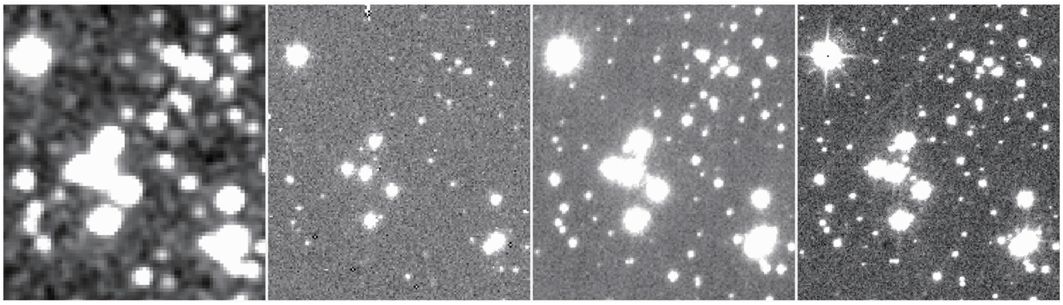

图 7　NGC6819 叠加对比(从左至右分别为 2MASS、20 s 单张、30 min 叠加(20 s×90 幅)、UKIRT)

Fig. 7　Comparison of NGC6819 overlays (from left to right: 2MASS, 20 s single image, 30 min overlay (90 20-second images), UKIRT)

限星等与总曝光时间的关系为

$$\Delta mag = 1.25\log(\frac{t_1}{t_0}) \qquad (4)$$

式中，t_0 为单张曝光时间，t_1 为叠加图像的总曝光时间，即当曝光时间变为 10 倍时，极限星等增加 1.25 等。在实际情况下，系统误差残留会使极限星等增幅略小于理论值。

在完成 WCS 参数解算后，我们使用 SWarp 软件对批量图像进行包含 *sigma-clipping* 的均值叠加，并测试了叠加 30 min 与叠加 2 h 的场景。由于叠加后的图像缺少相邻图像进行作差，我们使用 SExtractor 软件输出的星等误差进行深度计算，将 MAGERR_APER 为 0.2 等时的星等作为极限星等。

图 7 展示了单张数据与叠加 30 min 的图像效果，以及其与国际望远镜 2MASS、UKIRT 的对比情况。作为国内首次实现的 K 波段科学成像，20 s 单张图像深度为 15.3 mag (Vega 系统)，接近国际上的 2MASS 水平；30 min 叠加深度为 17.5 mag，2 h 叠加深度为 18.2 mag。若噪声由随机噪声主导，则预期叠加 4 h 可接近 UHSDR2 深度(18.5 mag)。望远镜能够以 20 s 分辨率和 30 min 分辨率进行时域监测，也可以在需要时通过长时间叠加实现小天区的深场成像。

3.3　误差分析

天文图像测光的噪声主要包含光子噪声、读出噪声、暗流噪声、天光背景噪声和热辐射噪声(忽略闪烁噪声)。在当前数据处理阶段，热辐射出现在拍摄的背景当中，且无法与天光分离。因此将天光背景与环境热辐射的总噪声记为背景噪声。综合上述因素，可以计算星点的测光精度：

$$\sigma = \frac{\sqrt{N_* + n_{pix} \times (N_{dark} + N_{bkg} + N_{read}^2)}}{N_*} \qquad (4)$$

式中，N_* 为目标星的流量，N_{dark} 为暗流，N_{bkg} 为背景的流量，单位均为 e^-，流量开根号即为各因素带来的噪声；N_{read} 为读出噪声；n_{pix} 为孔径内所包含的像素数量，孔径 *aper* 为直径，$n_{pix} = \pi(\frac{aper}{2})^2$，用于计算测光时孔径内包含的噪声。

如图 8 所示，根据式(5)画出了单张 20 s 拍摄下测光精度随星等的变化关系，并分离了不同的噪声来源。图中可见，目前的测光噪声由背景主导，而不是探测器，说明探测器的性能已经能满足天文成像需求。对于背景，包含了天光背景以及额外的热辐射杂散光。目前冷湖台址暂无 K 波段天光背景测量，但其 J、H 波段的天光测量结果与世界一流台址接近，因此推测其 K 波段天光背景与世界一流台址相当，约为 13 mag/arcsec^2(对应我们的设备约为 200 e^-/s/pixel)。环境温度为 0 ℃时实测的总背景值约为 1200 e^-/s/pixel；−12 ℃时，总背景值显著降低至 700 e^-/s/pixel 左右。两个结果均显著高于其他台址的天光背景，且随环境温度变化。因此，我们所测的背景在天光之外还包含强烈热辐射。同时，相机杜瓦内的温度保持稳定(透镜组 150 K、芯片 75 K)，实验室测试显示其自身背景辐射小于 100 e^-/s/pixel。

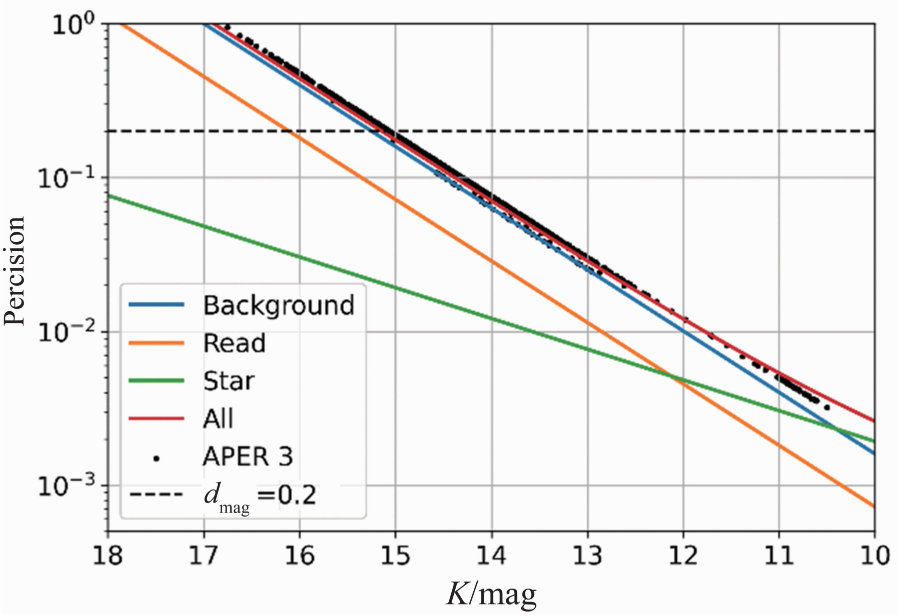

图 8 噪声来源分解

Fig. 8 Noise Source Decomposition

所以目前认为额外热辐射主要来自望远镜及其所处环境。本文聚焦于探测器性能测试，对热辐射杂散光的测试与分析将是我们下一步工作的重点。

3.4 初步科学观测

相机安装上望远镜后，在 2025 年 10 月 18 日至 11 月 7 日进行了一系列测试观测，同时也包含了彗星、超新星和变星等科学目标。

我们于 11 月 2 日观测了一颗已知的 ZTF 光学变星(周期为 0.0689195 天)。图 9 展示了光变曲线，测光精度约为 20 mmag。与光学波段相比，K 波段的相位有所延迟，且光变曲线形状不同，光变约为 0.1 mag。通过对光变曲线的高精度测量，可开展一系列时域天文学研究。例如，M 型矮星是系外行星搜寻中的重要目标，其由于有效温度较低(1500～3500 K)、辐射能量分布集中于红外波段，在 K 波段进行测光能获得比可见光波段更高的信噪比，对于探测围绕这些恒星的系外行星凌日光变等信号更为敏感。此外，对于经典造父变星这类周期-光度关系的标准烛光目标，近红外 K 波段的周光关系表现出显著更低的弥散：一项对 LMC 中造父变星的研究表明，K 波段的周光关系显著低于光学波段[4]。较低的弥散意味着在 K 波段对造父变星进行时域监测，能更准确地通过周光关系推断出距离和星系结构信息。

同时，我们已经对超新星 AT 2025annt 开展了 J、K 双波段的多天监测，其中 11 月 3 日使用 K 波段观测。20 s×65 幅叠加后，图 10 展示了我们所得图片与 UKIRT 历史图像的对比情况(孔径测光结果为 K=15.9 mag)。暂现源是望远镜当前的主要观测目标之一，我们可以针对 EP、SVOM 等太空望远镜发出的暂现源警报进行后随观测。其中，Ia 型超新星的爆发峰值光度相对稳定，常用于标准烛光来测量宇宙学距离。Ia 型超新星辐射峰值的平均 K 波段绝对星等约为－18.4 mag[20]，因此对于叠加 30 min 的观测策略(极限星等为 17.5 mag)，我们可以探测到 150 Mpc 范围内的 Ia 型超新星爆发峰。此外，许多超新星出现在宿主星系中尘埃密集的区域，K 波段具有受消光影响更小的优势。在多信使天文学框架下，引力波事件的电磁对应体(千新星)也是关键科学目标之一，其光变时标更短、辐射更趋于红端，且辐射随着时间在继续向红外移动[22]，

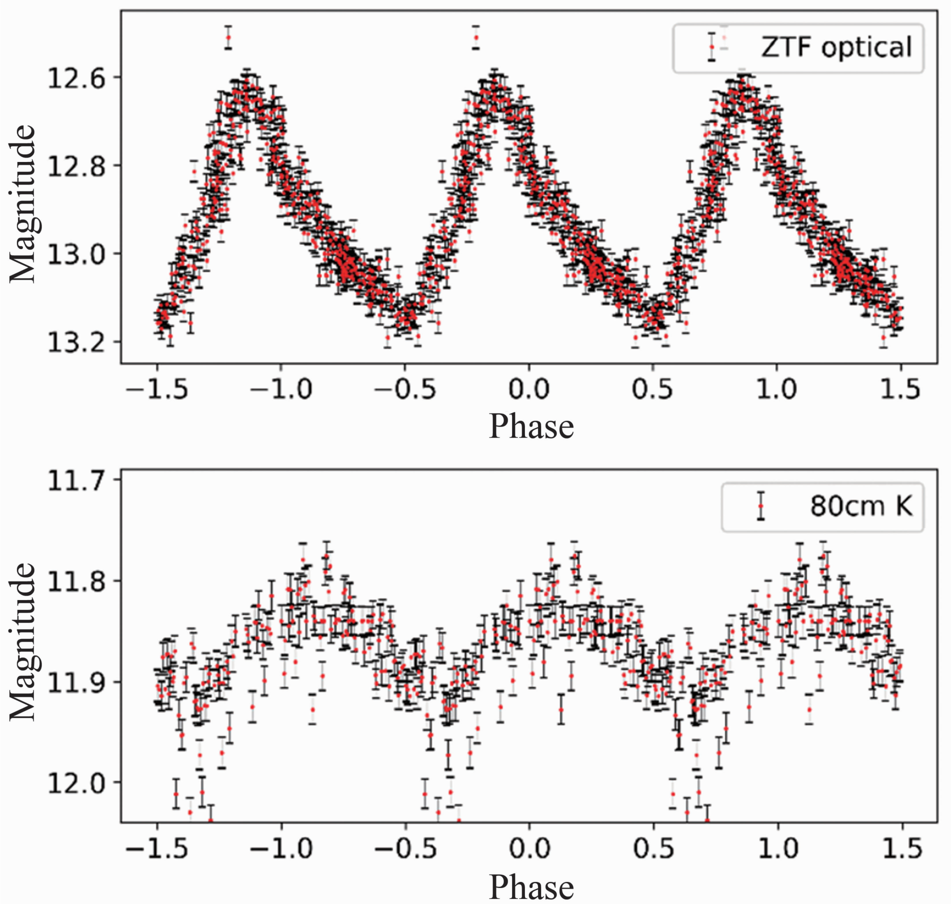

图 9　变星测量结果（与 ZTF 光学波段对比，*RA*=77.7209903，*DEC*=7.2898189，周期为 0.0689195 天）

Fig. 9　Variable star measurement results (compared with ZTF optical band, *RA*=77.7209903, *DEC*=7.2898189, period is 0.0689195 days)

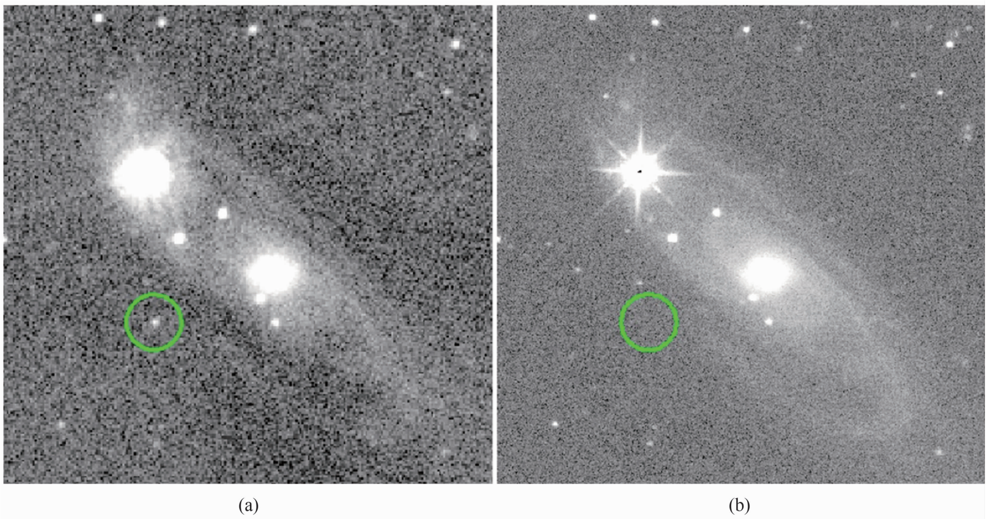

图 10　超新星 AT2025aant 观测图像：(a) 80 cm 望远镜的 20 s×65 幅叠加图像；(b) UKIRT 历史图像（绿圈内为超新星位置）

Fig. 10 Images of the supernova AT2025aant: (a) 65 20-second stacked images from an 80 cm telescope; (b) Historical images from UKIRT (the supernova's location is within the green circle)

因此在 K 波段下开展时域后随观测较光学波段更具优势。对于高红移天体，其辐射峰值可能会从紫外和光学波段红移到近红外波段，使得 K 波段观测成为研究这些高红移瞬变源的有效手段。

4 结束语

针对 K 波段天文观测的需求，使用国产新型碲镉汞红外焦平面探测器研制的首个 K 波段拼接天文相机，在中山大学 80 cm 红外望远镜上开展了天文 K 波段成像观测。测试结果显示，该望远镜在 K 波段的单张 20 s 成像深度为 15.3 mag，叠加 30 min 深度为 17.5 mag，叠加 2 h 深度为 18.2 mag。与国际水平相比，单张深度达到了 2MASS 水平，叠加 2 h 深度接近 UHSDR2。以上结果表明，望远镜可在不同深度与时间分辨率下开展时域天文研究和小天区深场成像，能够满足国内天文学界的多种科学目标需求，并已经开展了多项科学观测。该成果实现了首次国产设备的天文 K 波段科学级成像观测，为国内相关领域提供了技术参考，并将在未来为国内的近红外天文研究提供重要的借鉴。碲镉汞拼接相机及探测器在中山大学 80 cm 红外望远镜上的成功应用，已经激发了国内天文学界的兴趣。多家单位开始发展或计划发展红外观测设备。

噪声分析显示，在 K 波段成像中的性能瓶颈已不是探测器噪声，而主要受限于天光背景。因此，将该探测器应用到国内优良台址的更大口径望远镜上时，性能会有更大的提升。若同款相机放置在一台口径为 2 m、焦距不变的望远镜上，则预期 30 min 有效曝光深度可达到 19 mag，能够对多类重要目标展开研究。例如，可针对 EP、SVOM 等空间望远镜产生的暂现源警报(伽马暴、超新星、千新星等)开展后随观测。未来随着探测器性能和阵列规模的进一步提高，以及我国大型光学/红外望远镜的建设，我国红外天文有望进入快速发展阶段。

参考文献

[1] Josselin E，Blommaert J，Groenewegen M A T，et al. Observational investigation of mass loss of M supergiants [J]. *Astronomy and Astrophysics*，2000，**357**：225-232.

[2] Robertson B E，Tacchella S，Johnson B D，et al. Identification and properties of intense star-forming galaxies at redshifts $z>10$ [J]. *Nature Astronomy*，2023，**7**(5)：611-621.

[3] Simons D A，Tokunaga A. The Mauna Kea Observatories Near-Infrared Filter Set. I. Defining Optimal 1-5 Micron Bandpasses [J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*，2002，**114**(792)：169-179.

[4] Abdollahi M，Javadi A，Madore B F，et al. Mitigating Random-phase Sampling Noise in the Cepheid Period-Luminosity Relation：A Cross-filter Consistency Approach [J]. *The Astrophysical Journal*，2025，**993**(2)：197.

[5] Rousselot P，Lidman C，Cuby J G，et al. Night-sky spectral atlas of OH emission lines in the near-infrared [J]. *Astronomy and Astrophysics*，2000，**354**：1134-1150.

[6] Neugebauer G，Leighton R B. Two-micron sky survey：A preliminary catalog [Z]. Washington，DC：National Aeronautics and Space Administration，1969.

[7] Kulas K R，McLean I S，Steidel C C. Performance of the HgCdTe detector for MOSFIRE，an imager and multi-object spectrometer for Keck Observatory [C]. *SPIE*，2012，**8453**：555-564.

[8] Roche P F，Lucas P W，Mackay C D，et al. UFTI：the 0.8-2.5 μm fast-track imager for the UK Infrared Telescope [C]. *SPIE*，2003，**4841**：901-912.

[9] Beletic J W，Auyeung J，Pan J，et al. Teledyne imaging sensors' recent contributions to astronomy，earth science，and planetary science [J]. *Astronomische Nachrichten*，2023，**344** (8-9)：e20230136.

[10] Space Telescope Science Institute. JWST User

Documentation [EB/OL]. https://jwst-docs.stsci.edu, 2016.

[11] Hunt L, Annibali F, Cuillandre J-C, et al. Euclid: Early Release Observations – Deep anatomy of nearby galaxies [J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2025, **697**: A9.

[12] Qian Z. The status of the 1.26 m infrared telescope and its photometer system. Progress and systems [J]. *Publications of the Beijing Astronomical Observatory*, 1988, **11**: 33–40.

[13] Dong Z N, Ma B, Zhang H R, et al. Antarctic Infrared Binocular Telescope. I. System Overview, Laboratory Testing, and On-sky Performance Evaluation [J]. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2025, **137**(12): 125003.

[14] Gong Y, Miao H, Zhan H, et al. Introduction to the Chinese Space Station Survey Telescope (CSST) [J]. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 2026, **69**(3): 239501.

[15] 张晏铭，文新荣，范文龙，等. 国产自主研发红外探测器的天文应用测试与分析 [J]. **天文学进展**, 2025, **43**(2): 320–337.
Zhang Y M, Wen X R, Fan W L, et al. Testing and Analysis of Astronomical Applications for Self-reliant Domestic Infrared Detectors [J]. *Progress in Astronomy*, 2025, **43**(2): 320–337.

[16] Qu W, Ma H, Wei J, et al. Development of a low-noise 1×3 mosaic HgCdTe camera with high-precision thermal and flatness control for K-band imaging [J]. *AIP Advances*, 2025, **15**(9): 095026.

[17] Deng L, Yang F, Chen X, et al. Lenghu on the Tibetan Plateau as an astronomical observing site [J]. *Nature*, 2021, **596**(7872): 353–356.

[18] Bertin E, Arnouts S. SExtractor: Software for source extraction [J]. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 1996, **117**(2): 393–404.

[19] Bertin E. Automatic astrometric and photometric calibration with SCAMP [C]. *SPIE*, 2006, **351**: 112.

[20] Skrutskie M F, Cutri R M, Stiening R, et al. The two micron all sky survey (2MASS) [J]. *The Astronomical Journal*, 2006, **131**(2): 1163.

[21] Krisciunas K, Phillips M M, Suntzeff N B. Hubble diagrams of type Ia supernovae in the near-infrared [J]. *The Astrophysical Journal*, 2004, **602**(2): L81.

[22] Werner N, Řípa J, Thöne C, et al. Science with a small two-band UV-photometry mission I: Mission description and follow-up observations of stellar transients [J]. *Space Science Reviews*, 2024, **220**(1): 11.