

# 兴隆85 cm望远镜的夜天光平场 及Fringing效应\*

姚迦文 苑海波<sup>†</sup> 王 野 王天丁 黄 元

(北京师范大学天文系 北京 100875)

**摘要** 北京师范大学参与共建的85 cm光学望远镜是中国科学院国家天文台兴隆观测站的主力观测设备之一. 利用该望远镜在2019年5月12日的非常规观测数据, 构建了其在B、V、R、I 4个波段的夜天光平场, 并与相应的天光平场进行了比较. 发现天光平场改正的典型误差在0.5%左右, 全视场最大可达1.5%–2.0%. 同时, 还构建了I波段夜天光背景的Fringing模型, 并开放给该望远镜用户使用.

**关键词** 望远镜; 85 cm光学望远镜, 数据处理: 天光平场, 数据处理: 夜天光平场, 数据处理: Fringing效应

中图分类号: P152; 文献标识码: A

## 1 引言

中国科学院国家天文台-北京师范大学望远镜(又称为85 cm光学望远镜)位于中国科学院国家天文台兴隆观测站(简称兴隆站), 其反射式主镜口径为85 cm, 是国内重要的观测设备之一. 2014年10月, 在北京师范大学支持下, 85 cm望远镜在主焦点上配置了高性能的2048 × 2048 Andor CCD相机. 2015年, 通过配备新型改正镜组, 将有效视场提升至32' × 32'. 目前系统配备有Johnson-Cousins U、B、V、R、I波段滤光片<sup>[1]</sup>, 可以开展高精度较差测光工作, 在脉动变星<sup>[2]</sup>、双星<sup>[3–4]</sup>等变源的研究中发挥着重要作用, 科研产出在兴隆站观测设备中名列前茅.

85 cm光学望远镜视场相对较大, 具有一定的大视场观测能力. 均匀流量定标是大视场观测数据处理的核心, 平场改正是实现均匀流量定标的难点之一. 天文观测中常见的平场一般有3类: 圆顶平场、天光平场和夜天光平场(也叫超级天光平场). 一般来讲, 由于夜天光背景具有更好的均匀性, 且与观测目标的光路相同、颜色相近, 夜天光平场具有最高的精度. 但是夜天光平场的构建需要对数十个不同天区进行长时间的曝光, 一般情况下很难实现. 85 cm望远镜由于自动化程度较低, 换目标耗时很长, 故一般采用对固定目标连续曝光的模式, 一晚上观察1个至数个目标. 此种观测模式的数据无法用来构建夜天光平场. 因此, 85 cm望远镜的平场改正通常只能采用天光平场.

2019-09-16收到原稿, 2020-03-05收到修改稿

\*国家自然科学基金项目(11603002)和北京师范大学自主科研项目(310232102)资助

<sup>†</sup>yuanhb@bnu.edu.cn

85 cm望远镜的观测通常在B、V、R波段。U波段较少使用,原因在于其效率较低,为其他4个波段的12%–16%。I波段也较少利用,原因之一在于由于大气天光发射线的影响,该波段有非常明显的Fringing效应,对高精度测光及暗源测光非常不利。但I波段由于中心波长最红,受大气消光的影响最小(包括大气消光系数及颜色项系数),在追求高精度较差测光如探测系外行星的过程中能发挥重要作用。

在2019年度北京师范大学天文系研究生的兴隆站实习过程中,由于望远镜指向系统故障,我们利用85 cm望远镜进行了非常规观测,得到了B、V、R、I 4个波段的夜天光平场,并与其相应波段天光平场进行比较,检验天光平场改正的精度,并同时构建了其I波段的Fringing模型,供将来I波段观测数据处理时使用。

## 2 观测与数据处理

2019年5月12日月亮落山后,我们从午夜12时至次日3时40分利用85 cm望远镜对18个天顶附近天区用B、V、R、I 4个波段依次进行了观测,单次曝光时间分别是180 s、150 s、90 s和90 s。为了利用图像叠加方法扣除恒星得到夜天光平场,每个天区的中心位置均有所不同。此外,我们还进行了常规的本底场和B、V、R、I 4个波段的夜天光平场观测。

我们对所有数据进行了减本底的预处理,然后利用归一化后取中值的方法获得了当天B、V、R、I 4个波段的夜天光平场。结果见图1。4幅夜天光平场的典型信噪比均为300左右。图中望远镜平场的渐晕结构清晰可见。在构建夜天光平场的过程中,由于受到星光的污染,需要把被星光污染的像元剔除。为此,我们首先用归一化后取中值的方法获得4个波段的初始夜天光平场,对数据进行夜天光平场改正。之后,对得到的新数据,挑出并标记超过天光背景值5倍天光背景误差的像元标记为受星光污染的像元。最后,再次利用预处理后的数据通过归一化后取中值的方法得到B、V、R、I 4个波段的夜天光平场。在取中值的过程中,忽略被标记出的受到星光污染的像元,并对数据点利用3倍标准偏差判据进行进一步剔除。最终得到的4个波段的夜天光平场见图2。4幅夜天光平场的典型信噪比分别为80、90、90、150。I波段夜天光平场的Fringing效应清晰可见。

## 3 I波段夜天光Fringing效应

Fringing效应是指在用CCD观测单色光(发射线)时由于光线在CCD内反射并发生干涉形成的条纹状结构。U、B、V、R 4个波段夜天光发射线比较暗弱,Fringing效应可以忽略。受I波段明亮的夜天光发射线的影响,I波段的观测图像中有明显的Fringing效应。该效应的精确扣除对高精度测光非常重要。扣除Fringing效应需要一个可靠的Fringing模型。将I波段夜天光平场与天光平场进行对减,我们得到了I波段夜天光背景的Fringing模型,结果见图3。可以看出,Fringing效应主要出现在图像上半部分,幅度最大可达3%。该模型经过线性增大或缩小后可用于I波段观测数据的Fringing效应改正。图4对Fringing效应改正前后的图像进行了对比,可以看到改正后Fringing效应的条纹已经消失。注意在进行Fringing效应及平场改正的时候,可以先进行Fringing效应改正,然后再进行平场改正,反之亦可。但两种顺序对应的Fringing模型有所不同。本文采用的是第1种顺序。另外值得注意的是,本文利用夜天光平场与天光平场对减获得Fringing模型

时, 忽略了天光平场照明改正的影响. 在天光平场照明改正较大不可忽略的时候, 应先对天光平场进行照明改正.

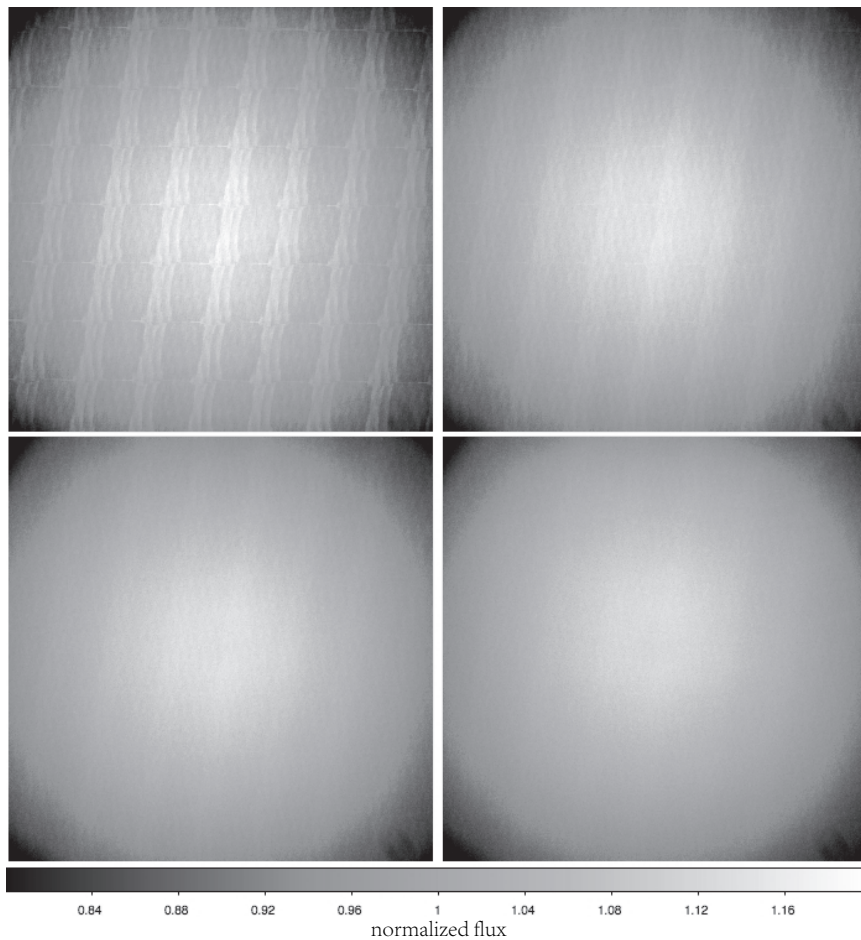


图1 85 cm望远镜的天光平场, 左上、右上、左下、右下分别为B、V、R、I波段.

Fig. 1 Sky flats of the 85 cm telescope in B (top-left), V (top-right), R (bottom-left), and I (bottom-right) bands.

#### 4 平场对比

平场的贡献可以分解成两部分: 小尺度平场和大尺度平场. 小尺度平场反映了CCD像元间量子效率的不均匀性或像元有效面积的变化, 非常稳定; 大尺度平场主要来自望远镜的光学系统(如渐晕效应、像场畸变), 还有小部分来自于镀膜导致的CCD效率变化. 图5展示了夜天光平场与天光平场对除后的结果. 由于夜天光平场信噪比较低, 为了提高信噪比, 我们对结果进行了滑动平均处理, 平均区域大小为 $20 \times 20$ 像素. 从图5可以看出, 两个平场在大尺度上有比较明显的差异. 对B、V、R、I 4个波段, 两个平场对除后差异最大可分别达到2.0%、1.5%、1.8%、2.0%左右. 考虑到夜天光平场在大尺度上的可靠性, 该结果表明85 cm望远镜采用天光平场改正的全视场最大误差在1.5%–2.0%左

右. 两个平场对除后的弥散均在0.5%左右, 表明统计上采用天光平场改正导致的典型误差在0.5%左右. 注意在此处分析时, 为了减少Fringing效应的影响, 对I波段平场只用了下半部分数据.

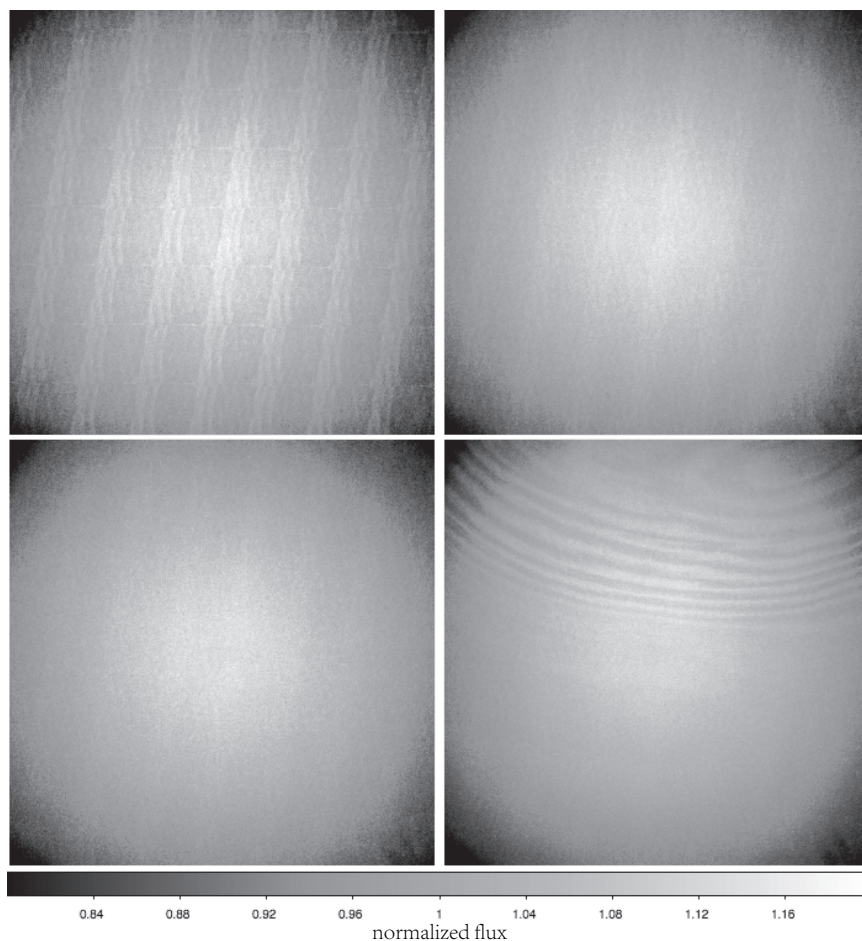


图 2 85 cm望远镜的夜天光平场, 左上、右上、左下、右下分别为为B、V、R、I波段. 其中, I波段夜天光平场中的Fringing效应清晰可见.

Fig. 2 Super-sky flats of the 85 cm telescope in B (top-left), V (top-right), R (bottom-left), and I (bottom-right) bands. Fringing pattern is clearly seen in the I-band super-sky flat.

为了验证夜天光平场的改正效果, 我们选取了R波段的18张图像对探测到的亮星进行了测光分析. 首先将R波段的18张图像减去本底, 并且除夜天光平场, 然后利用SEXtractor (Source Extractor)<sup>[5]</sup>进行测光, 并利用PanSTARRS DR1 (Panoramic Survey Telescope And Rapid Response System Data Release 1)<sup>[6]</sup>数据进行了定标. 由于85 cm望远镜R波段和PanSTARRS DR1的r波段测光系统不同, 在定标的过程中, 我们考虑了r-i颜色项的影响. 由于观测时B、V、R、I 4个波段轮流进行, 未能进行常规的调焦工作, 导致R波段图像的像质比较差. 其星像半高全宽在焦平面上有两倍左右的变化, 对SEXtractor测光提供的“automag”星等带来了系统的影响. 为克服该影响, 我们

根据星的亮度和大小对“automag”星等利用2阶多项式进行了修正. 最终, 我们得到了约8000颗亮星的理论星等, 单颗星典型误差在3%左右. 将焦平面等分成 $20 \times 20$ 份, 每份平均约有20颗星. 图6显示了最终的定标残差在焦平面的分布. 可以看到, 在1%的精度下, 大尺度上的定标残差并没有明显的结构, 说明夜天光平场的改正效果很好.

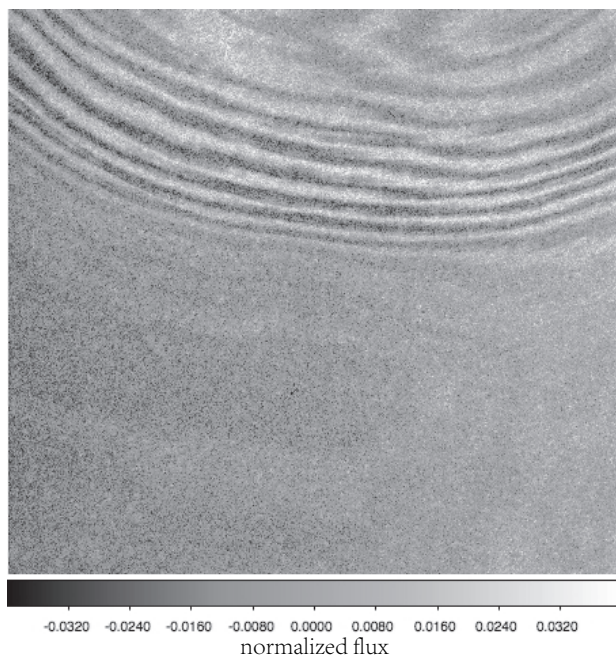


图3 85 cm望远镜I波段夜天光的Fringing模型

Fig. 3 Fringing pattern in the I band super-sky flat of the 85 cm telescope

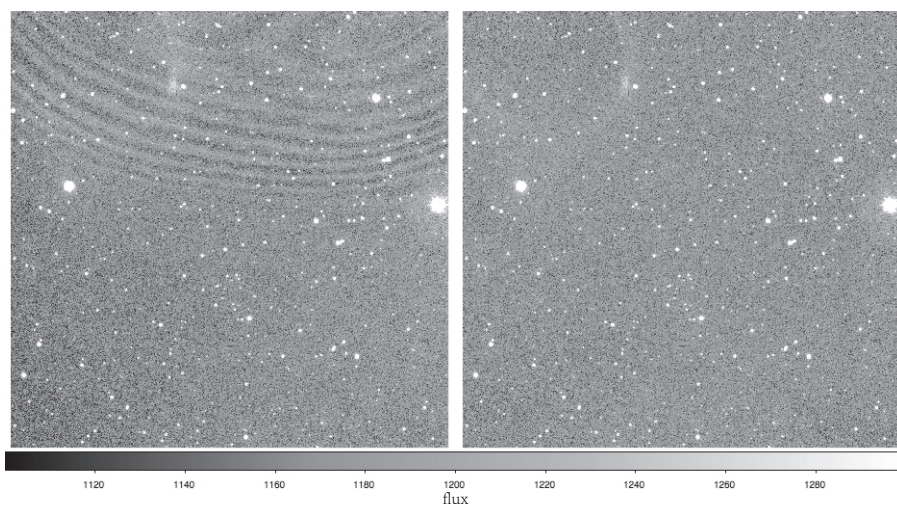


图4 85 cm望远镜I波段Fringing效应改正前(左)和改正后(右)图像的对比

Fig. 4 Comparison of an I band image of the 85 cm telescope before (left) and after (right) Fringing correction

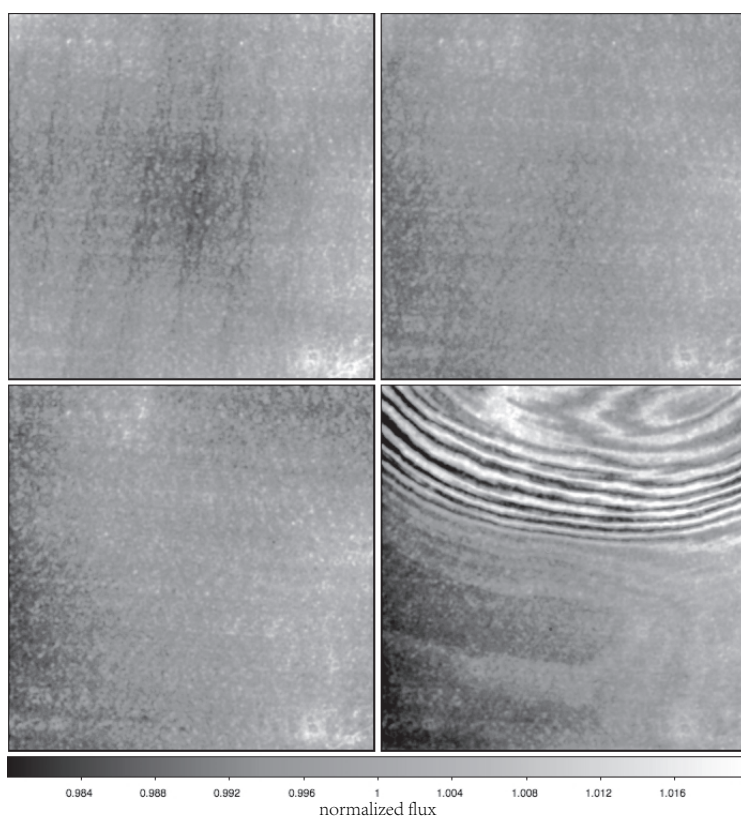


图 5 85 cm望远镜夜天光平场与天光平场对除后的结果, 左上、右上、左下、右下分别为B、V、R、I波段. 为了增加信噪比, 对所得图像进行了滑动平均处理, 平均区域的大小为 $20 \times 20$ 像素.

Fig. 5 Ratios of the super-sky flats to the sky flats of the 85 cm telescope in B (top-left), V (top-right), R (bottom-left), and I (bottom-right) bands. A moving average with a window size of  $20 \times 20$  pixels is performed to improve the signal-to-noise ratios.

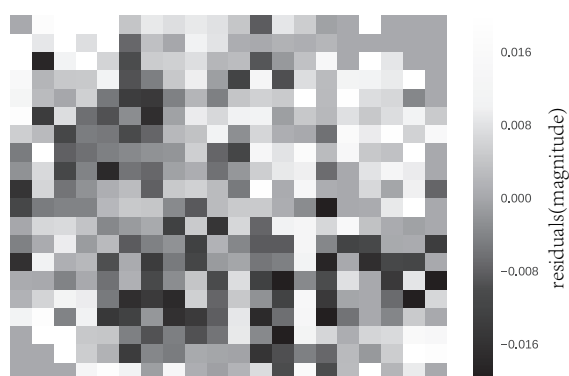


图 6 85 cm望远镜经夜天光平场改正后的R波段图像的定标残差. 注意左下角和右上角区域由于探测到的恒星数目少残差值被设为零.

Fig. 6 Calibration residuals of the 85 cm telescope in R band using super-sky flat correction. The residuals are set to be zero in the bottom-left and top-right corners due to very few stars there.

## 5 总结

基于实习期间获取的85 cm光学望远镜非常规观测数据, 本文构建了85 cm光学望远镜B、V、R、I 4个波段的夜天光平场, 并与相应的天光平场进行了比较. 发现天光平场改正的典型误差在0.5%左右, 最大可达1.5%–2.0%. 同时, 本文构建了I波段夜天光背景的Fringing模型, 可供国内天文学家使用, 下载地址为: <http://www.xinglong-naoc.org/html/zlxz/>.

**致谢** 感谢中国科学院国家天文台兴隆观测站85 cm望远镜全体工作人员的支持以及任逸提供的帮助.

## 参考文献

- [1] Bai C H, Fu J N, Li T R, et al. RAA, 2018, 18: 107
- [2] Luo Y P, Zhang X B, Deng L C, et al. ApJ, 2012, 746: L7
- [3] 张燕平, 蒋明株, 张孝斌, 等. 天文学报, 2015, 55: 288
- [4] Zhang Y P, Jiang M D, Zhang X B, et al. ChA&A, 2015, 39: 28
- [5] Bertin E, Arnouts S, et al. A&AS, 1996, 117: 393
- [6] Chambers K C. A&AS, 2016, 324: 7

# Super-sky Flats and Fringing of Xing-long 85 cm Telescope

YAO Jia-wen YUAN Hai-bo WANG Ye WANG Tian-ding HUANG Yuan  
(*Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875*)

**ABSTRACT** The 85 cm telescope is a well-operated prime focus system with high science outputs at the Xing-long station. Using unconventional data obtained on May 12, 2019, super-sky flats in B, V, R, and I bands are constructed and compared to their corresponding sky flats. It is found that typical flat-fielding errors using sky flats are 0.5% for the four bands, but the maximum errors can reach 1.5%–2.0%. Fringing pattern with super-sky flat is also constructed for I band data and publicly available to the community.

**Key words** telescopes: 85 cm optical telescope, data processing: sky flat, data processing: super-sky flat, data processing: Fringing effect