

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.16

鹿林天文台三色偏振相机 (TRIPOL) 介绍

李建德¹, 陈文屏¹, 佐藤修二², ESWARAI AH Chakali¹

(1. 台湾“中央大学”天文研究所, 桃园 32001; 2. 名古屋大学 理学部, 名古屋 464-8602)

摘要: 偏振技术被认为是近代天文研究最强大的工具之一, 藉由测量多波段光源的偏振比率及偏振角度可以追踪散射源的大小、形状, 以及是磁场的分布, 从环星尘埃到星系介质乃至宇宙背景辐射, 偏振光的研究在各种天文学尺度都扮演非常重要的角色。鹿林天文台 1m 望远镜近年新安置的偏振相机, 全名为三色成像偏振仪 (TRI-color imaging POLarimeter, 简称 TRIPOL), 系由名古屋大学佐藤教授团队设计制作并且开发控制软件。此相机使用波板以及线栅偏振片来撷取偏振的分量, 再用两片分色镜将光束分为 g' - r' - i' 三色光, 在三台 SBIG ST-9XE 相机同时成像, 相机的视野 4.2 平方角分。每组资料含有 0° , 22.5° , 45° 和 67.5° 的测量, 由此可以导出偏振率以及偏振角。TRIPOL 最重要的特色是 25 kg 的机身极其轻薄短小, 并且拥有三色偏光一次成像的高效率。如此轻便及多色同步的设计, 非常适合约 1 m 级的望远镜, 观测分子云气磁场的强度和分布, 监测瞬变天体的光度以及偏光变化, 或是探测随波长变化的散色源, 例如游离气体的密度或是尘埃大小的分布。介绍了 TRIPOL 的设计以及实际量测偏振的表现。

关键词: 可见光; 偏振; 恒星形成

中图分类号: P112 **文献标识码:** A

1 引 言

天文学获取的观测资料主要分为成像、光谱以及偏振。即使成像细节无法解析, 偏振光可以判断邻近散射源的形状, 甚至可以协助光谱分析, 了解环绕星体的气体与尘埃的特性。偏振光主要源自于光被相当于波长大小的粒子散射, 如气体或是尘埃。光被偏振的程度与散射的方向相关, 与入射方向相同的散射光无偏极化, 与入射方向垂直的散射光则是完全的偏极化, 而介于两者之间的则是部分偏极化。偏振程度是光的偏极化的流量与总流量的比率。

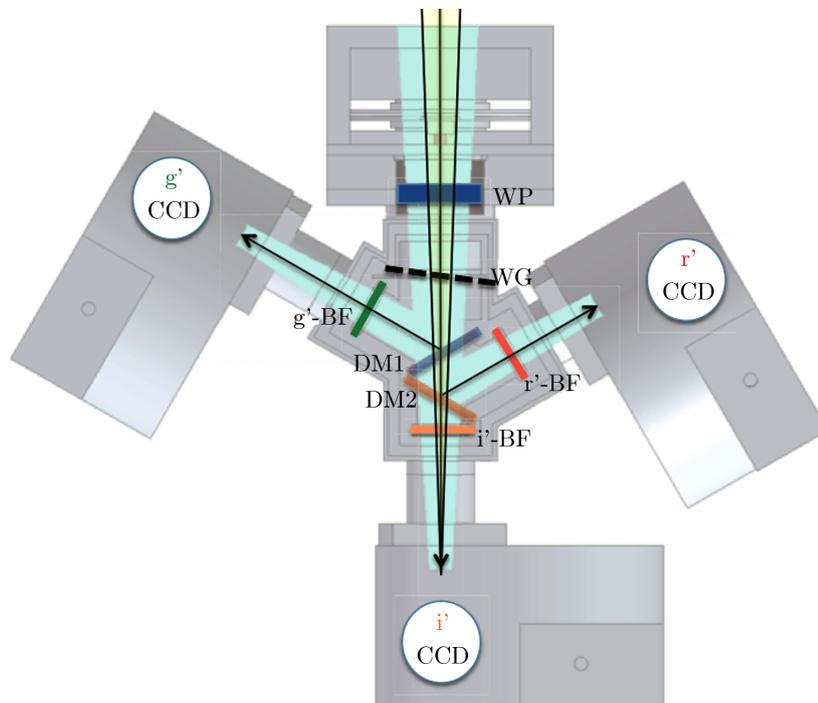
三色成像偏振仪 (TRI-color imaging POLarimeter, 简称 TRIPOL), 其设计的理念为结构简单、功能多样以及成本低廉。视宁度在 $1''$ 以下, 焦比在 $f/6 \sim f/15$ 之间, 像素比例约

通讯作者: 李建德, cdlee@astro.ncu.edu.tw

为 $0.5''$, 所以适合用于小望远镜。TRIPOL 的设计者是日本名古屋大学的佐藤修二教授。除了结构极轻极小之外, 它拥有非常高效率的光学组合。在没有利用反射镜与透镜的设计下, 此仪器能够同时取得天体三色成像以及偏振的信息。TRIPOL 的原形在 2011 年完成并且于鹿林天文台 1 m 望远镜测试。第二套于 2012 年完成, 目前已发表的结果包括了伽玛暴余辉的测光^[1], 以及金牛 T 型星 GM Cep 环星物质的偏振测量^[2]。

2 偏振仪的设计及表现

TRIPOL 由三个部分组成: (1) 偏光元件包括了一个可以旋转的波板, 以及线栅偏振片; (2) 颜色元件则有两片分色镜和三片滤镜; (3) 资料元件包括三台感光耦合元件 (CCD) 相机, 以及一台桌上型电脑。图 1 展示了仪器内部元件的安排, 以及光学路径。来自于望远镜的光, 通过波板和线栅偏极片, 然后被两片分色镜分解到三个路径, 再经由三色滤镜 (g' , r' , i') 最后进入 CCD 相机。TRIPOL 的重量只有 25 kg, 体积大约是 $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ 。



图中主要部分: WP——波板; WG——线栅偏振片; DM1——分色镜一; DM2——分色镜二; g' -BF—— g' 波段滤镜; r' -BF—— r' 波段滤镜; i' -BF—— i' 波段滤镜; CCD——感光元件。

图 1 TRIPOL 的设计概要图

TRIPOL 使用三台商用 SBIG ST 9-XEi 相机, CCD 的尺寸为 $512 \times 512 \times 20 \mu\text{m}$ (见表 1), 安装在鹿林 1 m 望远镜 ($f/8$) 上的视野大小为 4.2 平方角分。相机的操作以及偏光元件的转

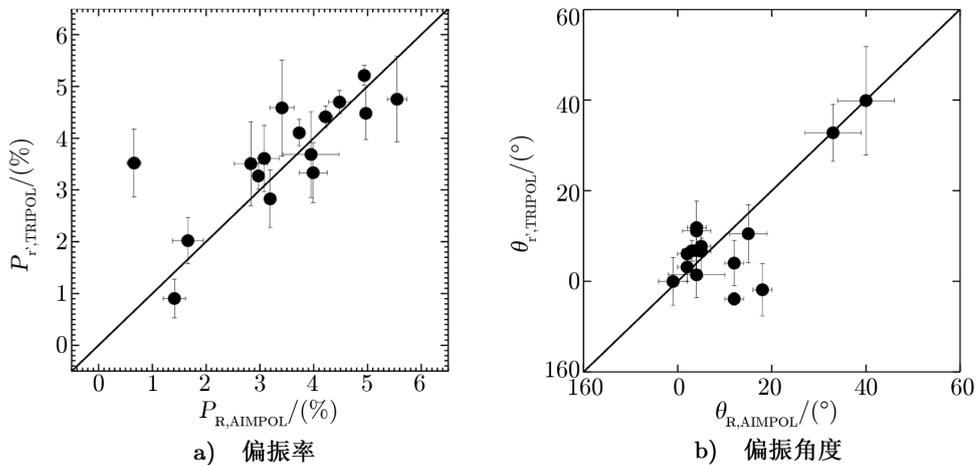
动, 是由一台 Intel DN 2800MT 桌上型电脑所控制。波板可以旋转的角度分别是 0° , 22.5° , 45° 以及 67.5° 。观测时依序取得每个角度的影像, 处理资料时才能取得天体偏振结果。

表 1 CCD 相机参数

参数	值
CCD 大小	$512 \times 512 \times 20 \mu\text{m}$
最大阱容	约 65 000 e
暗电流	10 e/pixel/s 在 0°C
增益值	1.6 e/ADU
读取杂信	16 e RMS
全幅数据采集时间	1 s

由观测偏振及无偏振的标准星^[4], 我们可以推导 TRIPOL 在鹿林 1 m 望远镜上的仪器所造成的偏振, 以及测光和偏振的探测极限。从 2015 年 2 月的结果来看, 仪器自身造成的偏振程度约为 0.3%, 而角度的平移量约为 $30^\circ \sim 40^\circ$ 。在 3 倍标准差下, 偏振探测极限约为 15 mag, 极限偏振率及角度大约是 0.3% 和 3° 。若只测光而不测量偏振, 可将偏振片取出, 灵敏度可达到 18~19 mag。

为了强化 TRIPOL 的可靠性, 除了观测标准星比较之外, 也与印度的 ARIES (Aryabhata Research Institute of Observational Sciences) 的偏振仪 AIMPOL (ARIES imaging polarimeter)^[3] 相比较 (见图 2)。对恒星形成区的星团 NGC 6823 的观测, 无论是偏振率还是偏振角度, 两个仪器的表现都相当一致。

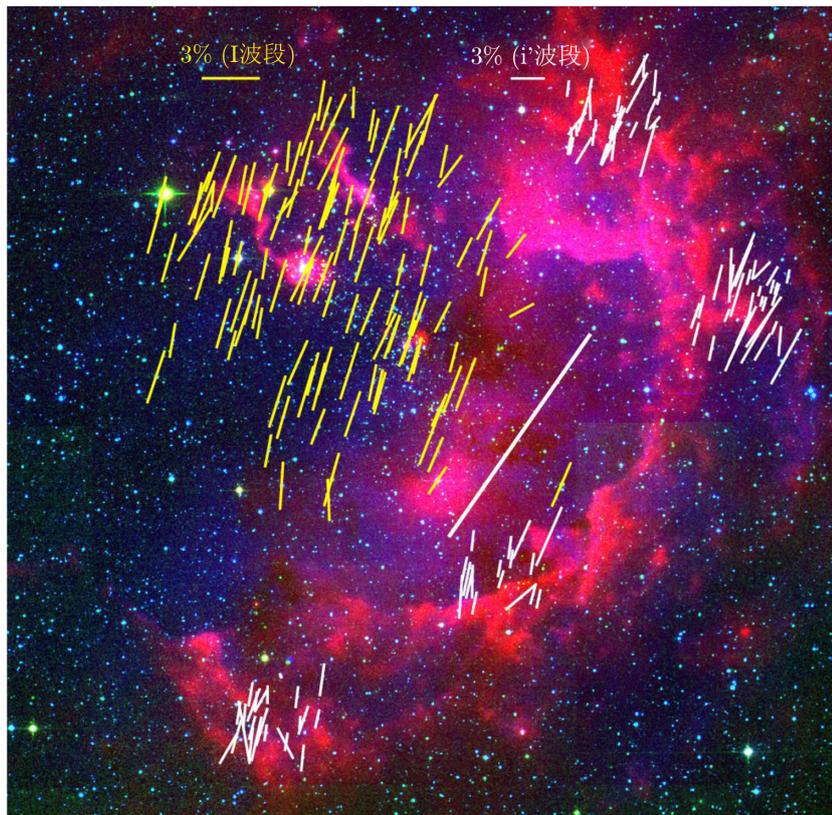


注: 对角线表示完全一致的比较基准。

图 2 AIMPOL 的 R 波段 (横轴) 与 TRIPOL 的 r' 波段 (纵轴) 观测 NGC 6823 的偏振结果比较

3 应用与总结

目前 TRIPOL 在实际应用上, 分别观测被原行星团块环绕的年轻恒星 GM Cep, 以及恒星形成区。例如位于氢二区的 NGC 1893, 在此区域不同的位置上我们分别利用 AIMPOL 以及 TRIPOL 做偏振观测, 见图 3。结果显示, 这个区域的磁场一致性, 并且与银河较大尺度的偏振方向有些许的偏振角平移。除了可见光之外, 期待将来可以使用红外及亚毫米的偏振, 多波段观测恒星形成区更深处的磁场, 再整合由浅到深的观测结果, 绘制磁场的三维分布, 进一步研究磁场在恒星形成过程所扮演的角色。



注: TRIPOL 的 i' 波段以及 AIMPOL 的 I 波段分别观测不同区域, 偏振角度分别由黄线以及白线表示。图内标示出 3% 的偏振率, 以及银河大尺度的偏振方向 (HII 区的空洞处)。

图 3 恒星形成区 NGC 1893 的偏振观测

TRIPOL 是鹿林天文台目前最新的仪器, 提供观测者可见光 $g'-r'-i'$ 三色偏振同步的成像, 简单多功能的设计非常适合小型望远镜。在探索星际磁场、星球环星物质以及其偏振变化方面, TRIPOL 是非常合适且优异的观测工具。

参考文献:

- [1] Cenko S B, Urban A L, Perley D A, et al. ApJ, 2015, 803: L24
- [2] Chen W P, Hu S C L. Formation, Detection, and Characterization of Extrasolar Habitable Planets, 2014, 293: 74
- [3] Rautela B S, Joshi G C, Pandey J C. Bulletin of the Astronomical Society of India, 2004, 32: 159
- [4] Schmidt G D, Elston R, Lupie O L. AJ, 1992, 104: 1563

Introduction to the TRI-color Imaging POLarimeter for the Lulin Observatory

LEE Chien-De¹, CHEN Wen-Ping¹, SATO Shuji², ESWARAI AH Chakali¹

(1. Graduate Institute of Astronomy, "Central University", Taoyuan 32001; 2. Department of Astrophysics, Nagoya University, Chikusa-ku 464-8602)

Abstract: Polarization technique is one of the most powerful tool in modern astronomy. Multicolor polarimetry traces the properties of scattering sources including size, geometry, magnetic field and even the distribution of the gravitational wave. Investigation of the polarized light crucially probes the universe in different scale from circumstellar dust, interstellar medium to cosmic microwave background. Recently, we have set up a polarimeter called TRI-color imaging POLarimeter (TRIPOL) at Lulin one meter telescope. The device and control software were designed and constructed by a group of Nagoya university leading by prof. Sato. TRIPOL measures the polarized component of light with its wave plate and wire grid. Using the two dichroic mirrors and g'-r'-i' filters, three colors images can be collected simultaneously in three SBIG ST-9XE cameras in a field of view with $4.2' \times 4.2'$. To derive the degree of polarization and position angle, each data set includes four measurements from 0° , 22.5° , 45° and 67.5° . TRIPOL is not only a simultaneous imager of polarized light but also a compact and light instrument only 25 kg in weight, so it is extremely fit for the small telescopes with diameter around one meter. It is suitable for studying the magnetic field distribution of molecular cloud, polarimetric and photometric variation of transiting objects, the wavelength dependence of the scattering sources of the astrophysical objects, e.g., the density of ionized gas or the size distribution of the dust grain. In this work, we introduce the instrumental design and observing performance of TRIPOL.

Key words: optical; polarimetry; star formation