



# 活动星系核高分辨率的射电偏振研究

南仁东 蔡正东  
(中国科学院北京天文台 北京 100080)

## 提 要

本文阐述了射电偏振观测的基本方法、涉及的数学物理问题以及它在活动星系核(AGN)研究中的重要作用。通过几个角秒级分辨率观测实例,作者介绍了射电偏振研究的课题成果并分析了它们的科学意义。同时还涉及了VLBI偏振观测的特殊技术方法问题、发展现状和它在AGN研究的应用前景。

## 一、引 言

AGN在射电波段的同步加速辐射是内禀线偏振的。偏振辐射在传播路径上不同介质中改变其偏振度与偏振角后,到达观测者。射电偏振观测的加入给观测者提供了更丰富的天体物理信息。人们可以通过它来得到源的磁场结构,决定引起法拉第旋转测量(rotation measure,或缩写成RM)的介质屏幕的空间分布,同时还可由测得的消偏振结果,推断热物质的存在和性质。

射电偏振观测设备可以是单天线或连线干涉仪系统,也可以是甚长基线干涉网。作为高分辨率工作的介绍,本文只涉及后两种技术方法。射电偏振观测覆盖广泛的课题领域,本文将通过几个典型的角秒级AGN研究实例来说明其研究方法、成果以及重要意义。同时还介绍了VLBI偏振的进展情况、技术与选题困难及其应用前景。

## 二、方 法

射电偏振观测工作相关的数学物理背景是非常广泛的。涉及偏振波物理描述、传播效应以及信息提取方法的著作很多<sup>[1,2]</sup>,这里仅对射电偏振干涉测量,特别是高分辨率AGN观测给出一些最基本的数学方法和物理概念。

### 1. 偏振成像

射电源的偏振亮度可完全由4个斯托克斯<sup>[3]</sup>二维函数——总强度 $I$ 、线偏振 $Q$ 和 $U$ 以及圆偏振 $V$ 函数来描述。某些连线干涉仪系统和全部VLBI网都采用两个相反方向的圆偏振振





图 1<sup>[15]</sup>所示的 3C219 分辨率为 3'' 的 6cm 观测结果, 全面显示了这一高光度射电星系中内外喷流、热斑和射电瓣各基本结构的磁场结构。这些结果比非偏振连续谱给出更多有关源内物理条件、动力学及能量传播过程等信息。上述射电源磁场分布原则, 对研究大红移天体有另外一层重要意义, 这些处于远宇宙目标的光学证认很困难, 同时射电结构多呈局部退化或复杂型, 这使得射电基本结构的归类与描述不肯定。附加以偏振信息, 人们可以根据磁场强度、方向、弯曲、相对于边界的剪切与压缩等形态, 并根据上述一些规律来解释观测到的源结构。

## 2. 法拉第旋转屏幕

迄今为止, Dreher 等人<sup>[16]</sup>所作的 Cyg A 多频段 VLA 观测, 仍然是这方面最有代表性的。观测频率为 5GHz 和 15GHz, 分辨率为 0''.35。图 2<sup>[16]</sup>为 Cyg A 东(a)西(b)两射电瓣的 RM 分布图。东瓣中 RM 值为 -3 000—+4 000rad · m<sup>-2</sup>, 西瓣 -2 000—+1 000rad · m<sup>-2</sup>。两瓣的 RM 值都是由东向西增加, 相反符号代表磁场倒向, 大的梯度(>300rad · m<sup>-2</sup> arc · s<sup>-1</sup>)处处可见, 偏振角与  $\lambda^2$  的符合关系非常好, 这表明 RM 来于源外屏幕。

虽然 Cyg A 处于较低的银纬( $b = 5^\circ.8$ ), 但由于图 2 特别高的 RM 值、小尺度结构及大

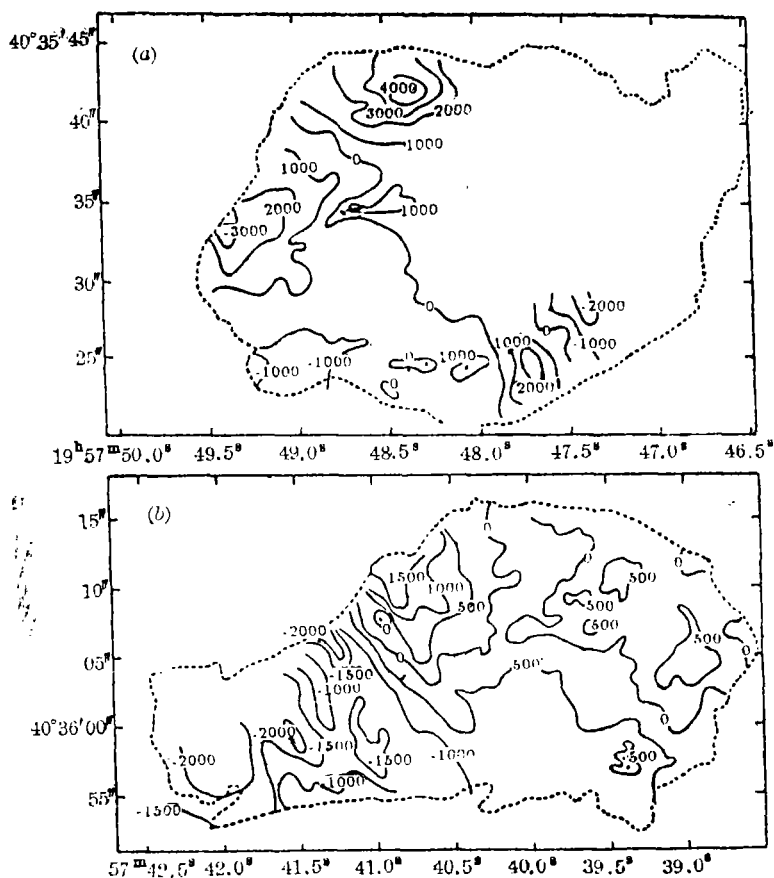


图 2 Cyg A 两射电瓣的 RM 分布图, (a)为东瓣, (b)为西瓣<sup>[16]</sup>



要指出, VLBI 的数据处理特别是校准(calibration)有相当多的技术困难<sup>[20-22]</sup>: (1) 从射电源上看, 地平装置天线的振子随时间改变其星位角(parallactic angle), 它所造成的影响必须从相关输出中扣除; (2) 天线星位角之差在平行相关与交叉相关输出上附加的相位有不同的性质, 这要求在整个观测过程中参考天线固定, 并知道其每时刻的星位角值, 对 VLBI 观测, 任何一面天线难以保证没有缺损时角; (3) 对 VLBI 很难找到一个校准源是致密的, 同时其偏振特性又是已知和恒定的; (4) 校准时一般要同时求解 4 个 Stokes 参数和多项仪器偏振参数, 方程线性化及求解耗时巨大; (5) 交叉相关的 uv 覆盖非复共轭, 因而综合束(beam)不是实函数, 须采用复洁化。

Cotton 等人 13cm 波段 3C454.3 的 VLBI 观测, 第一次给出了 mas 级 AGN 射电偏振结果<sup>[23]</sup>。在这之后, 世界范围内的天文学家在 6cm VLBI 波段偏振观测方面作了巨大努力, 这些观测包括小样本的类星体<sup>[24,25]</sup>、北半球亮源巡天(Cawthorne et al., in prep.) 以及 BL Lac 样本的多历元监测<sup>[26,27]</sup>。美国 Brandeis 大学 Roberts 领导的小组在这一研究方向处于领先地位, 他们发展的 VLBI 偏振数据处理软件已达到实际应用水平, 对 BL Lac 天体 QJ237<sup>[28]</sup> 和 0735 + 178<sup>[29]</sup>, mas 级磁场精细结构的成图工作为世人注目。他们近来新发表的 11 个结果将这类天体的高分辨率偏振观测目标扩至 18 个<sup>[30]</sup>。对这一样本的统计结果表明, 射电团块内的磁场一般与源 VLBI 轴垂直, 并解释成无序磁场在激波平面内被压缩的结果<sup>[31]</sup>; 最核心部分的磁场方向无明显的规律, 可能是由于喷流的弯曲尺度小于 beam, 或者是由于核心部分高密 RM 介质和吸光激波群的存在。

## 五、结 束 语

角秒级射电偏振观测已处在非常成熟的阶段, 有了一大批相当重要的结果, 而 VLBI 偏振观测曾经由于仪器和处理技术的限制, 经历了相当长的发展过程。由于欧洲甚长基线网(EVN)内各天线驱动方式不完全相同, 以及某些天线偏振系统配置不全, 所以人们开始更多考虑使用刚投入运行的美国甚长基线阵(VLBA), 这必然增多偏振观测的申请机会。另一方面, 随着 Brandeis 软件在不同计算机操作系统上趋于成熟, NRAO 的 AIPS 软件也由 1992 年开始具备 VLBI 偏振处理特别是校准的功能。这些都为 VLBI 偏振研究的开展创造了更好的条件。VLBI 空间计划 VSOP<sup>[32]</sup> 配有一个圆偏振方向, 与地面站成网将提供部分偏振信息, 与之有关的处理技术正在研究, 届时人们很可能探测到 AGN 中亮边缘区乃至吸积盘外缘空间的磁场。北京天文台 VLBI 小组已加入了这方面的国际合作研究, 所申请的 3C119 多频率 VLBA 偏振观测课题已获批准, 并开展观测, 数据处理环境正在形成, 一批大 RM 河外源的偏振观测课题正在蕴酿。该课题得到国家自然科学基金会与攀登计划的支持, 作者在此表示感谢。



---

## Radio Polarization Observations for Active Galactic Nuclei with High Resolutions

Nan Rendong    Cai Zhengdong

*(Beijing Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)*

### Abstract

This paper is intended to introduce the fundamental methods of radio polarization observations, to cover the related mathematic and physics problems in brief, and to illustrate the roles which these researches play in study of AGNs. Number of productive observations with arcsecond resolutions are selected in more details to show the important results of these projects and their scientific significances. The authors also outline the distinguishing features of VLBI polarization observations, and present the recent development and the prospect in the new area.