

类太阳活动恒星表面黑子结构的 多普勒成像 (I)：技术

顾 盛 宏 谭 徽 松

(中国科学院云南天文台 昆明 650011)

摘 要

回顾了恒星表面结构多普勒成像研究工作的发展历史,重点评述了该项技术在类太阳活动恒星研究领域的应用.介绍了该项技术在国际上的发展现状,给出了恒星表面黑子结构形态的多普勒成像技术的基本原理,讨论了该项技术对观测仪器、观测过程和观测对象的要求,并对未来这一领域的研究工作进行了展望.

关键词 恒星:类太阳活动 — 恒星:自转 — 恒星:多普勒成像

分类号 P144

1 引 言

经过 40 多年的发展,恒星表面结构多普勒成像技术有了长足的进步.应用这项技术在类太阳活动恒星表面黑子结构形态的研究方面取得了一系列重要的成果,使得恒星类太阳活动的研究工作有了一个质的飞跃,是对这类天体的研究手段的一次极其重要的革命.为了对这一领域的研究工作有一个较好的了解,我们觉得非常有必要对这一领域的研究工作进行系统的综述,以便对恒星类太阳活动研究领域的这一重要手段有充分的认识,这对我国天文工作者掌握多普勒成像技术和利用它开展恒星表面黑子活动的研究具有积极意义.为清晰起见,本综述分为两个部分,本文主要讨论多普勒成像技术,对利用其研究恒星表面黑子活动区所获得的结果将在第二篇文章中讨论.

1958 年, Deutsch^[1] 在研究 Ap 星表面的不均匀性时建议使用恒星自转造成的多普勒位移来推演这种不均匀性,从而最早提出了恒星表面结构成像这一在实测天体物理研究领域具有重大意义的思想.1970 年, Deutsch^[2] 提出了一种基于傅里叶分析的方法,可以从谱线的等值宽度变化推出谱线密度的分布信息,使得这一思想更为具体.后来, Pyper^[3]、Rice^[4]、Falk 和 Wehlau^[5]、Megessier^[6] 等人对 Deutsch 的方法进行了改进,使得它能够通过解释谱线轮廓而不是等值宽度来推出沿纬度方向的分布信息.他们的工作都是基于 Deutsch 的基本

云南省应用基础研究基金(青年基金)资助项目

1999-04-11 收到

思想,即使用一套球谐系数来表示恒星的表面分布并常用高斯轮廓来代表局部谱线轮廓。他们获得了几颗 Ap 星的表面化学元素分布图像。同期, Preston^[7]、Khokhlova 和 Rjabchikova^[8] 使用试错法来分析 Ap 星表面元素丰度的不均匀性,但是这种方法有比较强的主观任意性。70 年代末 80 年代初, Gonchariskij 等人^[9,10] 进一步发展了这一领域的研究工作,使人们认识到恒星表面结构成像是一个病态问题。也就是说这个问题的解是不唯一的,要获得唯一解,需要一些附加的限制。他们通过改变表面元素丰度分布来计算谱线轮廓以拟合观测的谱线轮廓,并使用正则化方法对拟合进行限制,从而提供问题的唯一解。80 年代初, Vogt 和 Penrod^[11,12] 将表面成像技术应用到类太阳活动恒星的温度分布成像,首次对恒星表面黑子结构形态进行了多普勒成像研究。到了 80 年代末 90 年代初,多普勒成像技术日趋成熟,国际上一些研究实力较强的研究组先后开发了自己的多普勒成像程序包,所涉及的研究领域包括晚型恒星的表面温度成像^[13~22]、Ap 星的表面化学元素丰度成像^[16,20,23~25]、Ap 星和晚型恒星的表面磁场成像^[16,20,26] 以及食双星的表面温度成像^[27~29] 等,均取得了丰硕的成果。研究中,人们曾努力提高恒星表面结构多普勒成像技术的精度和可靠性:提高成像算法的准确性和合理性,用辐射转移方程的数值解取代使用近似公式来计算局部谱线轮廓,增加测光观测数据对解进行限制^[15,30],并同时使用了几条谱线(包括混合谱线)^[31~34];许多作者还使用人工图像讨论和演示了恒星表面结构多普勒成像技术的各个方面,研究结果表明利用一维的光谱信息是能够推演出二维的恒星表面结构的。

2 现 状

在使用多普勒成像技术研究类太阳活动恒星表面黑子活动区的初期,人们使用试错法来进行成像。即首先假定一个表面温度分布,并且计算出一系列的理论谱线轮廓,将这些理论谱线轮廓和观测的谱线轮廓相比较,发现不一致后再改变初始的表面温度分布,如此迭代下去,直到比较的结果令人满意为止。这种算法的主要问题是每次迭代中所作的修改是任意的。人们利用这个算法成功地得到了两个晚型恒星 HR1099^[12] 和 HD26337^[35] 的表面黑子活动区的图像。

现代的多普勒成像技术通常是解反问题,即求解将表面温度分布与观测谱线轮廓联系起来的积分方程,使理论谱线轮廓与观测谱线轮廓之间的差异最小,并且通过特殊的方法进行限制来获得反问题的唯一解。常用的限制方法包括:大多数人使用的正则化方法, Kurster^[19] 使用的类 Clean 方法, Berdyugina^[22] 使用的 Occamian 方法。此外,还有一个限制是人们常用的两温度模型^[17,19]。之所以采用这个限制是因为当与太阳黑子相比较时,人们可以很自然地想到具有黑子活动区的恒星表面也可被看作只有两个温度层次:黑子和光球。

在最常用的正则化方法中,正则化的作用是对反问题的解增加一些种类的平滑限制以便获得最可能的唯一解,人们常用的正则化方法是最大熵算法^[36~38] 和 Tikhonov 算法^[39], Piskunov 等人^[14] 比较了这两种方法的优缺点。一般来说,当信噪比 S/N 较低(100 左右)时, Tikhonov 正则化将比最大熵正则化优越。不过,虽然 Tikhonov 函数对于恒星的表面温度成像似乎更恰当,但是,从实际工作中人们发现,当使用高质量的观测数据时,正则化函数的作用只局限于提供唯一解;而且与其它和观测有关的因素相比,正则化函数的选取对成像结果的影响较小,实际上两种正则化方法都可以使用。与观测有关的影响成像结果的因素有:

观测数据的整体质量(信噪比、分辨率、位相覆盖、谱线混合等);对局部谱线轮廓的认识;被成像的天体物理参数的选择(表面温度或黑子覆盖因子)。

目前,国际上同时并存着多个使用正则化方法的多普勒成像研究组。虽然他们使用的具体算法之间有一定的差别,但是其原理是基本相同的。每个研究组都利用了辐射转移方程的数值解来计算局部谱线轮廓,使用了比较著名的恒星大气模型(例如 Kurucz 的大气模型^[40,41]和 Bell 等人^[42]的大气模型)以及综合光谱技术。有的研究组只使用最大熵方法获得黑子的分布图像;有的使用最大熵方法和 Tikhonov 方法等两种正则化算法编程,然后在实际工作中根据需要来选择其中的一种;还有的同时使用多色光变曲线作为输入数据以进一步限制解的过程。最终的成像结果有的是与太阳光球表面类似的两温度图像^[13]:均匀的暗黑子和较亮的光球;有的为温度分布图像^[14,30];有的为黑子覆盖因子图像^[17]。

3 基本原理

对于一颗恒星来说,如果谱线轮廓的主要致宽机制为自转,则其表面上的不同部分的辐射由于恒星自转的影响与恒星光谱的谱线轮廓上的不同位置在空间上是对应的。于是,恒星表面特定位置上的黑子会在谱线轮廓的对应位置上引起畸变。在图 1 中共有三个示例,每个示例的上半部分为一颗有黑子的恒星在不同自转位相处的视圆面,下半部分为对应的谱线轮廓的畸变。从示例 a 和 b 可以看出,若黑子的位置有了变化,则对应的谱线轮廓的畸变也会改变;从示例 b 和 c 可以看出,如果黑子的形状发生了变化,则对应的谱线轮廓的畸变也将不同。这样,我们就可以利用一系列处在不同自转位相上的观测谱线轮廓来反演恒星表面的黑子分布,这就是多普勒成像技术的原理。

在实际工作中,经过数据处理之后,在观测中所得到的高分辨率和高信噪比的谱线轮廓只是在一系列给定波长处的剩余强度值。从已知的观测时刻和恒星的自转周期,还可以计算出自转位相。为了和观测比较,首先写出理论的剩余强度值。当自转位相为 ϕ 时,在波长 λ 处的剩余强度 r_λ 为:

$$r_\lambda(\phi) = \frac{F_\lambda(\phi)}{F_\lambda^{\text{cont}}(\phi)} = \frac{\iint I(T(M), \lambda + \Delta\lambda, \mu) \mu d\sigma}{\iint I^{\text{cont}}(T(M), \lambda + \Delta\lambda, \mu) \mu d\sigma} \quad (1)$$

其中, F_λ 为波长 λ 处的单色流量; F_λ^{cont} 为连续谱流量; I 为在恒星表面上的 M 点沿方向 μ 、波长为 λ 的辐射强度; I^{cont} 为连续谱强度; $T(M)$ 表示 M 点的局部温度,它确定了辐射强度 I ; $\Delta\lambda$ 为由 M 点自转速度造成的多普勒位移。这里, I^{cont} 对 T 的依赖和 I 大不相同。当计算 F_λ^{cont} 时,在大多数情况下多普勒位移可以被忽略。

可以通过构造差异函数 D 来将观测和理论进行比较:

$$D(T) = \sum_{\phi, \lambda} \omega_{\phi\lambda} \cdot \frac{(r_\lambda(\phi) - r_\lambda^{\text{obs}}(\phi))^2}{N_\phi N_\lambda} \quad (2)$$

这里求和遍及所有可用的自转位相和波长。其中, N_ϕ 为观测的谱线轮廓的数量, N_λ 为谱线轮廓中采样点的数目, $\omega_{\phi\lambda}$ 为每一个 $r_\lambda^{\text{obs}}(\phi)$ 的权重。于是,多普勒成像问题在数学上变成了等价于寻找能够提供最小差异函数 D 的 $T(M)$ 。通常,我们称(2)式为反问题,这是因为:如果将 D 看作是一个对 T 的操作符,则通过构造反操作符 D^{-1} 就可以获得(2)式的解。

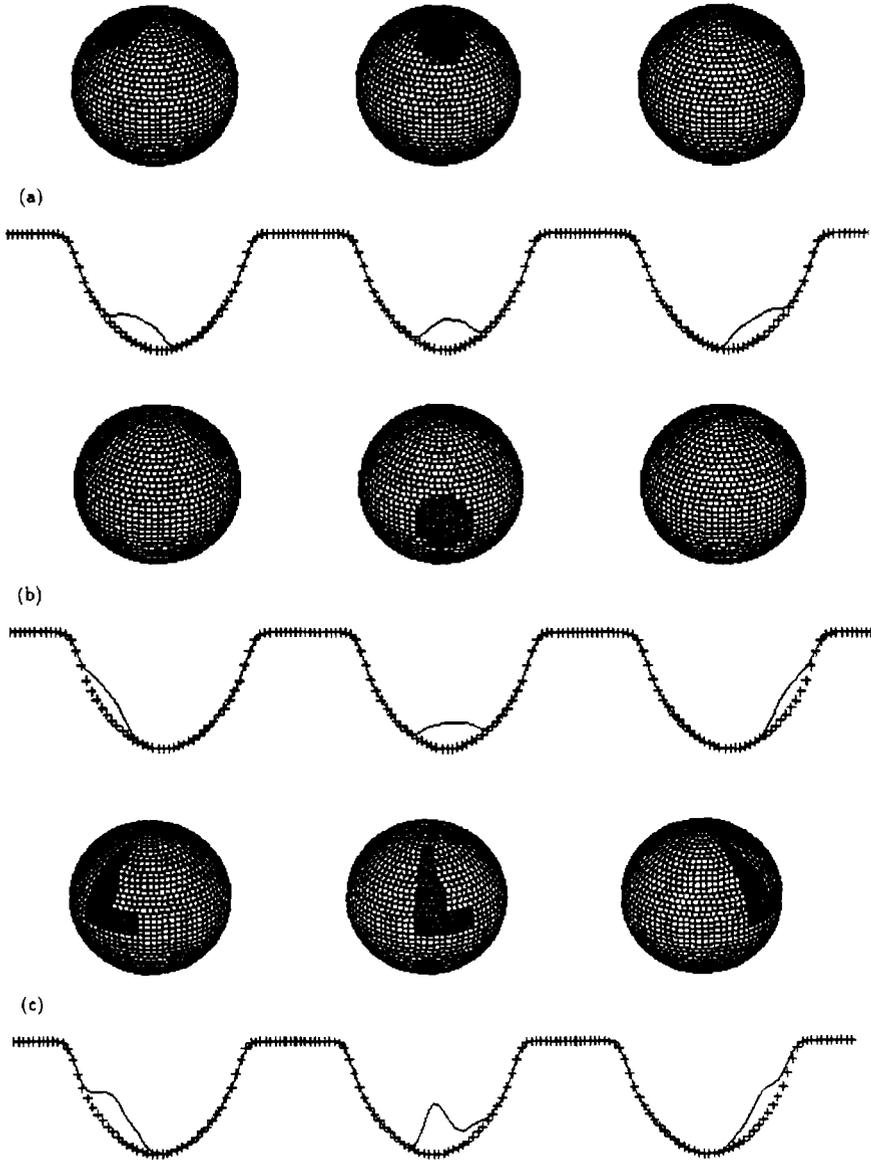


图 1 多普勒成像示意图

但是， D^{-1} 的性质意味着 (2) 式是一个所谓的病态问题^[36,39]，这主要表现为 (2) 式的解不唯一。对待病态问题常用的、行之有效的方法就是上述的正则化方法。正则化方法的思想是用另外一个具有较好性质和唯一解的式子取代 (2) 式，它在一个已知的方式下近似于真实的 $T(M)$ 。对 (2) 式的正则化可以表示为下面的形式：

$$\Phi(T) = D(T) + \lambda \cdot R(T) \tag{3}$$

这里 λ 为常用的拉格朗日乘数, $R(T)$ 是正则化函数, 它的作用是在可能的解上增加某种附加的限制从而使问题的解唯一。 λ 值应该按如下方式选择: 如果 $T(M)$ 是 (3) 式的解, 则 $D(T) = \sigma_{\text{obs}}$, 这里 σ_{obs} 是平均观测误差 (对应的原理参见文献 [36,39])。因此, 如果观测数据的质量比较好, 则正则化函数 $R(T)$ 对解的影响就比较小。常用的正则化函数有两个: Tikhonov 函数和熵函数。使用 Tikhonov 正则化函数意味着假定在恒星表面上相邻点之间存在很强的相关性; 而熵正则化函数则假定恒星表面上相邻点之间没有相关性。

要着重强调的一点是, 辐射强度 $I(T, \lambda, \mu)$ 的计算质量对于提取恒星表面黑子结构的信息是至关重要的。如果对 $I(T, \lambda, \mu)$ 的近似程度不够好, 则在结果图像上会生成一些人为的特征。在谱线轮廓的计算中必须认真对待的几个较重要的问题是: 谱线参数的选择 (振子强度和谱线致宽常数)、大气模型的选择 (数值的或经验的)、谱线形状变化的说明、谱线混合的处理、谱线轮廓表达的准确性等。现在, 一般使用辐射转移方程的数值解来计算局部谱线轮廓。辐射转移方程的数值解能够令人满意地再现观测数据, 能够说明连续变化并能很容易地处理谱线混合。选择一个合适的恒星大气模型和使用综合光谱技术是多普勒成像技术的基本要求。综合光谱不但是正确处理谱线混合的工具, 而且对反问题的解提供了附加的限制。它能够同时拟合对成像参数具有不同敏感性的一组谱线, 明显地提高了结果图像的可靠性。

以上只是讨论了多普勒成像的基本原理, 在实际工作中, 观测的谱线轮廓会被望远镜和摄谱仪的仪器效应展宽, 为了消除仪器轮廓对观测谱线轮廓造成的影响, 应该对其进行退卷积处理。此外, 对观测谱线轮廓的模拟必须考虑临边昏暗效应。

4 使用测光观测数据

联合使用多色测光观测数据对于提高多普勒成像的可靠性和质量是有帮助的。但是在将附加的测光观测资料包括在反问题的解中之前, 应当小心检查它们与光谱资料之间的一致性。如果测光观测的精度不好, 可能会影响整个多普勒成像的结果。

为了同时使用分光数据和多色测光数据求反问题的解, 可以简单地用所有差异函数的线性联合来替代 (2) 式中的差异函数 D : $D_{\text{tot}} = \sum \omega_{D_i} \cdot D_i$, 其中 ω_{D_i} 为权重。

当对晚型恒星表面进行温度成像时, 测光观测数据为获得正确的正则化提供了一个重要的测试手段。太小的 λ 值会导致在恒星表面上产生额外的黑子, 它将歪曲光变曲线。利用产生的结果温度图像对一系列自转位相计算出射流量, 然后用一个对应的滤光片函数来卷积它, 即可得到理论光变曲线。用它和观测的光变曲线相比较, 能够很容易地检查用恒星大气模型和综合光谱技术模拟的谱线轮廓与测光数据的一致性。

5 对观测本身和观测对象的要求

5.1 对观测仪器和观测过程的要求

光谱观测的质量和数量以不同的方式影响着多普勒成像。观测中的所有参数 (光谱分辨率、信噪比、位相覆盖和谱线的选择等) 对于正确地成像都是重要的。

5.1.1 光谱分辨率

光谱分辨率应该与谱线轮廓的信噪比和自转致宽相一致。这种平衡决定了在恒星表面上

合理地划分的网格的步长, 因而也决定了多普勒成像的分辨率的大小。贯穿恒星视圆面 (沿经度方向) 的表面分辨元素的数目应该约等于覆盖谱线轮廓的光谱分辨元素的数目, 因此, 光谱分辨率越高, 成像的细节越好。一般情况下, 多普勒成像要求光谱分辨率至少为 30000。

5.1.2 信噪比

信噪比决定了恒星表面黑子活动区被重构的准确度的高低。数值实验表明对用于多普勒成像的观测数据来说, 信噪比 $S/N = 100$ 为低限。对于高的光谱分辨率, 需要高的信噪比, 特别是对于迅速自转的恒星, 这里线翼的斜率比较小。

5.1.3 位相覆盖

观测的位相分布应该覆盖从地球上能看见的恒星表面。如果在某些自转位相缺少观测资料, 整个解将是非常不稳定的, 因为表面分布连续的假定不再适用。好的位相覆盖不仅对于获得较高的表面分辨率是重要的, 而且对于区分北半球和南半球也是重要的。恒星表面上赤道带上方和下方的点之所以能够被区别开来, 仅仅是因为在一个自转周期内它们的可视时间不同和多普勒位移变化的幅度的不同。在恒星表面上不可能作这样的区分的部分构成了赤道带。当一个活动区出现或消失在临边时, 较好的位相覆盖可能会更准确地确定并且因此减小这个带的宽度。一般要想产生较好的成像, 至少要获得 8~10 个位相分布均匀的光谱资料。通常认为两到三个月的时间间隔内恒星黑子是稳定的。因此, 所有用于多普勒成像的光谱资料应该在最短的时间间隔内获得, 最好在一至两个自转周期内获得。

5.1.4 谱线的选择

对于晚型恒星, 用于多普勒成像的最佳光谱范围在 6400Å 附近, 因为在这一段光谱中谱线的混合程度较轻。在实际工作中常用的谱线为 FeI6393.6Å、FeI6400.0Å、FeI6400.3Å、FeI6411.6Å、FeI6419.9Å、FeI6421.4Å、FeI6430.9Å、CaI6439.1Å、FeI6546.2Å 等。

5.2 对观测对象的要求

恒星自转速度和自转轴倾角的大小对于多普勒成像是重要的。在某些情况下, 在成像过程中能够提高这些参数的精度。

5.2.1 自转速度

因为多普勒成像要求谱线轮廓的分辨率较高, 所以通常只选择快速自转的恒星来作表面成像研究。一般要求 $v \sin i$ 在 $20 \sim 100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间, 它的最佳值为 $40 \sim 80 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于谱线轮廓被自转展宽所支配, 用计算轮廓拟合观测轮廓的过程对 $v \sin i$ 的误差非常敏感。如果 $v \sin i$ 偏离其真实值超过 $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, 就不可能得到一个低至观测误差的差异函数 $D(T)$ 。对于 $5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 级的较小的误差, 如果假定的速度低可能会导致一个增强局部谱线强度的人为的赤道黑子带, 如果假定的速度高会导致极区黑子帽。这些特征对于细致调整自转速度值是十分有帮助的, 但是在调整中要想达到好于 $\pm 2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的精度是非常困难的。

5.2.2 倾角

多普勒成像要求恒星自转轴的倾角 i 在 $20^\circ \sim 70^\circ$ 之间。倾角太小则不可能作多普勒成像, 倾角太大则分不清黑子是属于南半球还是北半球。倾角对成像的影响没有自转速度那样强, 当黑子的形状和强度基本保持不变时, 改变 i 的值可能会将表面黑子移动到一个不同的纬度处。通常要求 i 的精度达到 $\pm 10^\circ$ 。此外, 使用附加的测光观测数据有助于提高倾角值的精度。

6 展 望

在恒星黑子研究的初期,主要的研究手段是多色测光观测。测光观测除了能给出有关黑子活动区的经度信息之外,不能给出其他的重要信息。多普勒成像技术的出现,使得这一研究领域的情况大为改观,人们可以获得黑子活动区的结构,包括活动区的位置(经度和纬度)、形状、温度分布。利用这项技术得到的恒星表面黑子结构的分辨率相当于角分辨率为 $0.000001''$,目前,地面上最大的光学望远镜 Keck 能达到的角分辨率最大为 $0.01''$;在 Hubble 太空望远镜上的光干涉能达到 $0.001''$ 的分辨率;ESO 的大望远镜干涉阵的角分辨率的期望值也只有 $0.0005''$ 。可见,这样获得的成像信息远远超过了任何光学望远镜的分辨能力。

多普勒成像是研究表面上具有强烈类太阳活动的晚型恒星的重要工具。人们可以对一些重要样本进行长时间(几年、十几年甚至几十年)的观测和成像,然后使用这样的数据序列来研究黑子活动的规模、黑子在恒星表面的迁移规律,得出黑子活动周。还可以与色球和冕的活动特征相联系,得出恒星表层活动区的三维结构。这些信息对于我们了解恒星表面类太阳活动的物理机制是非常重要的,有助于建立完善的恒星发电机理论模型,使得恒星物理和太阳物理的研究工作相互促进。

除了在恒星类太阳活动研究领域的应用,利用多普勒成像的结果还可以开展一些有重要意义的研究工作。从黑子在恒星表面的迁移情况出发,可以研究恒星的较差自转。对于一个太阳系外恒星行星系统,如果在行星对其宿主恒星发生凌食时观测,则多普勒成像就能够为这个行星的存在提供证据,而且还有助于确定行星的半径。对于恒星的非径向振动,多普勒成像技术也可以用来确定振动的节点数。相信在未来,这项技术将会在天体物理研究领域有更多的应用价值。

今后,多普勒成像技术在恒星类太阳活动研究领域将起着举足轻重的作用。然而,到目前为止,我国还没有开展有关多普勒成像领域的研究工作。因此,尽快掌握该项技术开展相应的科研工作是我国恒星物理界的一项紧迫任务。

参 考 文 献

- 1 Deutsch A J. In: Lehnert B ed. *Electromagnetic Phenomena in Cosmological Physics*, IAU Symp. 6, Stockholm, 1956, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1958: 209
- 2 Deutsch A J. *Ap. J.*, 1970, 159: 985
- 3 Pyper D M. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1969, 18: 347
- 4 Rice J B. *Astron. Astrophys.*, 1970, 9: 189
- 5 Falk, A E, Wehlau W H. *Ap. J.*, 1974, 192: 409
- 6 Megessier C. *Astron. Astrophys.*, 1975, 39: 263
- 7 Preston G W. *Ap. J.*, 1969, 158: 251
- 8 Khokhlova V L, Rjabchikova T A. *Astrophys. Space Sci.*, 1975, 34: 403
- 9 Gonchariskij A V, Stepanov V V, Kokhlova V L et al. *Soviet Astron. Lett.*, 1977, 3: 147
- 10 Gonchariskij A V, Stepanov V V, Kokhlova V L et al. *Soviet Astron.*, 1982, 26: 690
- 11 Vogt S S, Penrod G D. In: Byrne P, Rodono M eds. *Activity in Red-Dwarf Stars*, IAU Colloq. 71, Catania, Italy, 1982, Dordrecht: Reidel, 1983: 379
- 12 Vogt S S, Penrod G D. *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 1983, 95: 565
- 13 Vogt S S, Penrod G D, Hatzes A P. *Ap. J.*, 1987, 321: 496
- 14 Piskunov N E, Tuominen I, Vilhu O. *Astron. Astrophys.*, 1990, 230: 363

- 15 Strassmeier K G, Rice J B, Wehlau W H et al. *Astron. Astrophys.*, 1991, 247: 130
- 16 Brown S F, Donati J-F, Rees D E et al. *Astron. Astrophys.*, 1991, 250: 463
- 17 Cameron A C. In: Byrne P B, Mullan D J eds. *Surface inhomogeneities on Late-type stars*, Lecture notes in physics 397, Berlin: Springer-Verlag, 1992: 33
- 18 Jankov S, Foing B H. *Astron. Astrophys.*, 1992, 256: 533
- 19 Kurster M. *Astron. Astrophys.*, 1993, 274: 851
- 20 Piskunov N E, Rice J B. *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 1993, 105: 1415
- 21 Joncour I, Bertout C, Menard F. *Astron. Astrophys.*, 1994, 285: L25
- 22 Berdyugina S V. *Astron. Astrophys.*, 1998, 338: 97
- 23 Rice J B, Wehlau W H, Khokhlova V L. *Astron. Astrophys.*, 1989, 208: 179
- 24 Hatzes A P, Penrod G D, Vogt S S. *Ap. J.*, 1989, 341: 456
- 25 Piskunov N E, Wehlau W H. *Astron. Astrophys.*, 1990, 233: 497
- 26 Semel M. *Astron. Astrophys.*, 1989, 225: 456
- 27 Vincent A, Piskunov N E, Tuominen I. *Astron. Astrophys.*, 1993, 278: 523
- 28 Maceroni C, Vilhu O, van't Veer F et al. *Astron. Astrophys.*, 1994, 288: 529
- 29 Piskunov N. In: Strassmeier K G, Linsky J L eds. *Stellar Surface Structure*, IAU Symp. 176, Vienna, 1995, Dordrecht: Kluwer, 1996: 45
- 30 Strassmeier K G. *Astron. Astrophys.*, 1996, 314: 558
- 31 Piskunov N E. *Mem. S. A. It.*, 1990, 61: 577
- 32 Strassmeier K G. *Astron. Astrophys.*, 1997, 319: 535
- 33 Strassmeier K G, Hubl B, Rice J B. *Astron. Astrophys.*, 1997, 322: 511
- 34 Weber M, Strassmeier K G. *Astron. Astrophys.*, 1998, 330: 1029
- 35 Strassmeier K G. *Ap. J.*, 1990, 348: 682
- 36 Shore J E, Johnson R W. *IEEE Trans.*, 1980, IT-26: 26
- 37 Shore J E, Johnson R W. *IEEE Trans.*, 1983, IT-29: 942
- 38 Skilling J, Bryan R J. *M.N.R.A.S.*, 1984, 211: 111
- 39 Tikhonov A N. *Soviet Math. Dokl.*, 1963, 4: 1624
- 40 Kurucz R L. *Ap. J. Supp. Ser.*, 1979, 40: 1
- 41 Kurucz R L. *ATLAS-9 CD*, 1993
- 42 Bell R A, Eriksson K, Gustafsson B et al. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1976, 23: 37

Doppler Imaging of Spot Structure on the Surface of Star With Sun-like Activity(I): Technique

Gu Shenghong Tan Huisong

(Yunnan observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011)

Abstract

The research history about Doppler imaging of stellar surface structure was looked back, and its application in the late-type star with sun-like activity was reviewed. The international development status about Doppler imaging technique of starspot structure on stellar surface was introduced, the basic principle about this technique was shown, and its demands on instrument, observation and object were discussed. Finally, we give a prospects for this kind of research work in future.

Key words stars: sun-like activity—stars: stellar rotation—stars: Doppler imaging