

恒星黑子的观测*

翟迪生

周道祺

(中国科学院北京天文台 北京 100080)

(北京大学地球物理系 北京 100871)

摘 要

本文对恒星黑子的观测方法和结果作了综合评述。介绍了恒星黑子温度的多色测光测定方法；黑子大小、温度和分布情况的测光畸变波黑子模型解，和高信噪比谱线轮廓多普勒成像方法；以及黑子寿命观测统计方法等的基本原理和研究进展。对已取得的有关恒星黑子的观测分析结果作了概括，与太阳典型黑子情况作了对比，并对恒星黑子的巨黑子、极区黑子以及长寿命黑子特殊性作了讨论。对需要进一步观测研究的问题作了总结。

1 引 言

恒星光球黑子(starspot)的存在，已由多方面的观测分析所证实^[1]。作为晚型恒星最基本的类太阳活动现象，从观测上测定恒星黑子的基本物理参数及活动规律，是探讨其类太阳活动本质的首要任务。由于恒星是遥远的天体，除去太阳系附近的少数天体，在不久的将来可以用光斑干涉等方法得到表面大标度结构图像外，大量的晚型星表面黑子是无法直接观测到的，因此黑子的观测和分析方法本身，一直是十分重要的课题。

本文将综述近年来对恒星黑子的观测方法及其初步结果，并与太阳黑子观测结果作一些比较和讨论。

2 黑子活动区平均温度的测定

2.1 多色测光

如文献[1]所述，恒星表面黑子活动区相对比较集中，且规模很大，可直接导致恒星观测光度的减弱。并且，由于恒星自转的调制而形成目前广泛观测到的恒星光度的周期性变化，即测光扰动波。这种扰动波的变幅在不同波段上是不同的，它向我们提供了对黑子活动区平均温度测定的可能性。

1993年9月5日收到

* 在1993年7月26-29日“类太阳活动恒星和太阳耀斑理论”讨论会上的报告

当恒星表面黑子活动区由于自转使其正对观测者时, 相对其转到恒星背面而从视面消失时, 恒星总光度减弱 ΔL , 近似为:

$$\Delta L = (R/D)^2 \int_{\text{spot}} (I_0 - I_s)(1 - x + x \cos \gamma) \cdot \cos \gamma dA \quad (1)$$

其中, R ——恒星半径; D ——恒星到观测者的距离; I_0 ——光球辐射强度; I_s ——黑子区辐射强度; x ——临边昏暗系数, 并假定黑子区和光球区临边昏暗系数近似相同; $\cos \gamma$ ——黑子区面元 dA 中心的方向余弦。

在双星中, ΔL 所引起的观测星等的减弱即为:

$$\Delta m = -2.5 \log \frac{L_1 + L_2 - \Delta L_1}{L_1 + L_2} \quad (2)$$

若把有黑子的子星 1 的光度 L_1 也以积分式表示 (类似 1 式), 则 (2) 可写成:

$$\Delta m = -2.5 \log \frac{1 + L_2/L_1 - G(1 - I_s/I_{0,1})}{1 + L_2/L_1} \quad (3)$$

式中 G 是一个与黑子和子星投影面积比有关的面积参数, 与波长无关。在多色测光中, 可令 $G(\lambda_1) = G(\lambda_2)$, 并由此等式关系得到移项后的方程, 并令:

$$P = \frac{(1 - 10^{-0.4\Delta m_{\lambda_2}})(1 + L_{2,\lambda_2}/L_{1,\lambda_2})}{(1 - 10^{-0.4\Delta m_{\lambda_1}})(1 + L_{2,\lambda_1}/L_{1,\lambda_1})} \quad (4)$$

同时:

$$P = \frac{1 - I_{s,\lambda_2}/I_{0,\lambda_2}}{1 - I_{s,\lambda_1}/I_{0,\lambda_1}} \quad (5)$$

(4) 式右边中 L_2/L_1 , 可以从两子星在 λ_1 和 λ_2 波段附近的谱线强度比给出, 或由双星近似测光解得出, 因此, P 是一个完全由观测确定的量。根据 Vogt 的建议^[2,3,4], 以及 Poe 和 Eaton 给出的改进后的恒星视面面流密度与色指数的统计关系^[5], 类似 Vogt 的推导, 这里给出 (5) 式的新表达式:

$$P = \frac{10^{4D(A-0.1)} - 1}{10^{4DA} - 1} \quad (6)$$

其中:

$$\begin{cases} D = (V - I)_0 - (V - I)_s \\ A = 0.178 & V - R > 0.80 \\ A = 0.220 & 0.69 < V - R < 0.80 \end{cases} \quad (7)$$

这样, 可由已知的 P , 从 (6) 式通过迭代得到 D , 和通过 (7) 式得黑子的色指数 $(V - I)_s$, 从而由 Johnson 定标关系^[6], 即可定出黑子温度 T_s 。

通过以上方法曾测定出第一批恒星黑子温度结果。对一批 RSCVn 和 BY Dra 型色球活动双星 60% 的恒星黑子温度在 3300—4000K 之间，与恒星光球温度相差 800—1200K，是光球温度的 78%，接近太阳黑子本影区的温度与太阳光球温度之差。这一结果产生这样一个问题：若观测到的恒星黑子，并非单个巨黑子，而是由许多小黑子的群体组成的活动区，那么，由典型太阳黑子的结构是由本影区与半影区组成，且半影区面积比本影区大得多，约是本影区的 4.7 倍的情况去推断，观测到的恒星黑子活动平均温度，应主要代表黑子半影区的温度。这一矛盾意味着，要么恒星黑子主要由本影区组成，较少半影区；要么恒星黑子在形态上不能简单与太阳黑子类同。

2.2 TiO 分子吸收带的观测

如果恒星上确存在大面积暗化区，根据上述对暗化区温度测定的结果，在恒星光谱中应出现只有在低温 M 型星 ($T < 3900K$) 的光谱中才会有的氧化钛分子吸收带。Ramsey 等人 and Vogt 的观测证实了这一点。图 1(a) 系 Ramsey 等人取得的类太阳活动双星 HR1099 在两个不同轨道相位的中色散 ($\sim 14\text{\AA}/\text{mm}$) 光谱，在被认为是星面黑子区正对着观测者的相位 ($\phi=0.81$) 上，光谱中分别展现出从 8859.6 \AA 和 8868.5 \AA 向长波方向延伸

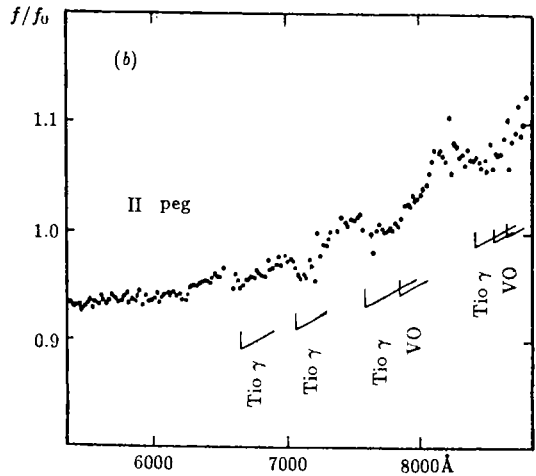
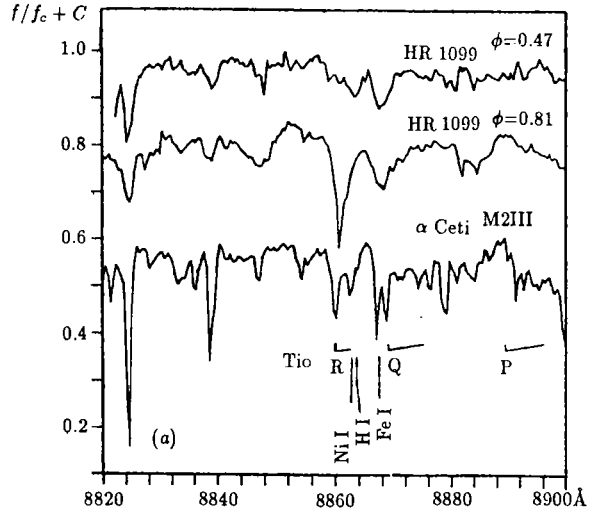


图 1 类太阳活动双星星面低温暗化区的 TiO 分子吸收带观测 [7,8]

的 TiO 吸收带 R 和 Q 分支，以及很弱的 P 分支 [7]。图 1(b) 是 Vogt 对 II Peg 的低色散分光光度观测结果，在 6600—8830 \AA 之间，明显的出现 TiO 的 γ 系列分子吸收带，纵坐标是以无黑子区光谱相除的辐射流比 [8]。HR1099 的两子星光谱型为 G5 IV + K1 IV，而 II Peg 是单谱分光双星，其可见子星的光谱为 K2 IV - V。并且，我们知道，90% 以上的已知强色球活动双星，它们的子星均早于 M0。因此，在这类星中，观测到的 TiO 分子吸收带，只可能来自星面低温暗化区，并因此而作为恒星大面积黑子存在的重要证

据。

对 M 型恒星的研究表明, TiO 分子吸收带对恒星的有效温度很敏感, 且与恒星的光度无关。Wing 曾把它作为 M3—M7 恒星光谱分类最有用的判据。因此, 我们如果能够把黑子区光谱与非黑子区光谱、以及伴星光谱分离开来, 就可以与 M 型星的 TiO 分子吸收带的等值宽度进行比较, 利用已知的定标关系, 确定出相应的等价黑子光谱型, 从而即可定出黑子温度。Vogt^[8] 和 Huenemoerder^[9] 对 II Peg 的 TiO 分子吸收带的研究, 得出等价黑子光谱型 ~M6 III, 相当于黑子温度 ~3330K, 这一结果与多色测光结果相当符合。但是, 单独分离出黑子区 TiO 光谱 (主要是连续背景成份), 遇到有关黑子面积处理的不确定性, 其结果尚有待讨论, 目前还只对个别星做过这一工作, 未见系统的研究。这是一个值得进一步探讨的方面。

3 测光畸变波光变曲线的黑子模型解

双星中子星表面有大面积黑子存在时, 会造成叠加在双星食变曲线上的迁移扰动波, 或称畸变波^[1], 在简化黑子模型假定下, 人们已成功地从理论上计算出这种由黑子引起的光变, 重现观测到的畸变波特征, 并由此而提供了迄今有关恒星黑子参数, 如大小、位置和温度等以及其变化的最基本的也是最多的物理信息。有关方法可参见 Bopp 和 Evans^[2], Budding^[10], Oskanyan 等人^[11], Eaton 和 Hall^[12], Hill 等人^[13] 的有关论文。1986 年著名的食双星综合光变曲线测光解方法 Wilson-Devinney 程序中也引入黑子模型, 近期的 W-D 程序新版本中还包括进对两个黑子参数的微分调节^[14]。同期, 翟迪生等人对 W-D 程序的改进, 则可包括对多黑子的参数的微分改正调节^[15]。本文将以 W-D 方法为主, 介绍测光畸变波黑子模型解方法。

3.1 简化黑子模型和理论光变曲线

观测表明, 恒星表面黑子活动区大而集中, 因此, 作为一级近似, 可以用一个或多个简化圆形黑子来描述。每个简化圆黑子包含以下四个参数: T_s ——黑子温度; r_s ——黑子半径, 一般以相对恒星质心的角半径表示; l ——黑子中心纬度; λ ——黑子中心的经度。其中 l 和 λ 在不同的测光解方法中, 其量度方法可能不同。

理论光变曲线的计算, 与食双星综合光变曲线的数字计算方法相同, 只是包括在黑子区的星面面元的温度代之以黑子的温度即可, 可参见文献 [16], 这里从略。

3.2 黑子参数的微分改正调节

假定光变曲线的强度为 \mathcal{L} , 在双星模型参数已知情况下, 它只是黑子参数的函数: $\mathcal{L} = \mathcal{L}(r_s, T_s, l, \lambda)$ 。理论光变曲线的 \mathcal{L}^c 如果与观测结果 \mathcal{L}^0 不符合, 其差 $\Delta\mathcal{L} = \mathcal{L}^0 - \mathcal{L}^c$ 可以认为是黑子参数选取值与真值之差 $\Delta r_s, \Delta T_s, \Delta l$ 和 $\Delta\lambda$ 引起的, $\Delta\mathcal{L}$ 可以表示成以下展开式:

$$\Delta\mathcal{L} = \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial r_s} \Delta r_s + \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial T_s} \Delta T_s + \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial l} \Delta l + \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial \lambda} \Delta \lambda + \dots \quad (8)$$

取其一阶展开项近似式, 对 n 个观测点的 $\Delta\mathcal{L}_i, i=1, 2, \dots, n$ 列出 n 个方程, 用最小二乘法就可从已知的 n 个 $O-C$ 值 $\Delta\mathcal{L}_i$ 解出 $\Delta r_s, \Delta T_s, \Delta l$ 和 $\Delta\lambda$ 来, 把它们作为改正量,

加到初始的黑子参数上去。如此重复计算理论光变曲线, 并与观测光变曲线比较, 对黑子参数的逐步微分修正, 直到 $\sum w_i^2 \Delta \mathcal{L}_i^2$ 收敛到观测误差范围以内 (w_i 是权重), 就可得最终黑子参数的收敛解。(8) 式中各项系数即 \mathcal{L} 的一阶偏导数, 可以用前一次迭代结果的黑子参数, 通过差分方法加以近似算得, 从而是已知量。

3.3 黑子参数解的收敛问题

由于微分改正过程包含有复杂的最小二乘法的误差处理, 其解的收敛性和唯一性问题, 尚缺严格的解析证明。大量实践表明: (1) 观测精度要足够高, 使 $O-C$ 曲线在黑子参数真值附近的变化是单调的; (2) 黑子参数初值的选取要足够接近真值, 也就是先要经过重复调试使理论光变曲线接近反映观测到的畸变波; (3) 恒星面元划分的网络要足够细; (4) 此外, 寻求可能的附加物理约束, 例如采用前节的方法如先得到黑子的温度, 则可减少调节参数的数目, 避免一些参数之间相关性的干扰; 又如, 从畸变波波谷的轨道相位, 可直接估计黑子中心经度, 其精度往往可达 $\pm 10^\circ$ 以内, 等等。也就是说, 在实际工作中应包括一些必要的经验性处理。若满足以上要求, 一般可以得到满意的收敛解^[14,15]。

至于解的唯一性问题, 这是对所有测光解方法的更普遍的问题。通常说解不是唯一的, 系指在观测误差以内可以有多个不同的黑子参数解, 尤其是不同的方法来处理同一观测时, 更是如此。但是, 如果以 $\sum w_i^2 \Delta \mathcal{L}_i^2$ 作判据, 实践表明, 不应存在两个相差很大、而又同样好的拟合观测的解, 否则, 方法本身就有根本性的问题, 而不会作为一种基本方法被广泛接受。

建立在 W-D 综合光变曲线方法之上的黑子微分改正解, 相对其他方法有以下明显的优点: (1) 是基于双星的 Roche 模型之上的, 考虑了双星潮汐形变、相互照射增亮和重力暗化等测光近似效应, 这些, 对大多数色球活动双星来说, 是不可忽略的^[17]; (2) 黑子参数是通过数字偏微分而进行微分改正调节, 自动向真解逼近的, 结果是非人为调节的结果, 且能给出参数的可几误差; (3) 多色测光光变曲线可同时解。在 UBVR 或 VRI 测光分析中, 原则上就包括色指数对黑子温度确定的重要性在内; (4) 可以方便地处理两个或多个黑子(或光斑)的复杂光变曲线问题。

目前, 利用类太阳活动双星的测光畸变波黑子模拟方法, 已在探讨黑子基本参数上取得很大成功, 初步结果, 可参见作者的述评文献 [1]。

4 恒星黑子 Doppler 成像观测

恒星由于自转而使其谱线致宽, 恒星视面上不同部分面元, 由于视向速度不同, 而产生对致宽谱线轮廓不同波长上的辐射流的特定贡献。如图 2 所示, 假定星面上有一暗化区, 其结果将产生致宽轮廓的凸形畸变, 并且这一畸变结构将随恒星自转而发生自左至右的迁移和变化。根据这种高信噪比、高分辨率光谱轮廓的观测现象, 可以通过分析而还原恒星表面黑子图像, 即 Doppler 成像技术。自 1983 年 Vogt 第一次采用这种技术以来, 已有突破性进展, 成为探讨恒星黑子的有力手段^[18,19,20]。

4.1 谱线畸变轮廓的计算

根据一定的恒星大气模型和临边暗化规律,从理论上计算恒星谱线轮廓,在原理上并不困难,通常采用局部热动平衡大气模型,对RS CVn等活动双星是足够好的近似。以后再考虑进恒星自转致宽效应等一系列卷积运算,可以得到与观测谱线轮廓拟合的理论轮廓。在有黑子存在时,可以把恒星表面分成 n 个面元,把有关的积分变为相对 n 个面积元的求和,可以分别计算谱线轮廓不同波长上的对应观测点的辐射强度 $D_k, k=1,2,\dots,m$ 。另一方面,观测得到的谱线轮廓,并非纯恒星视轮廓,必须作仪器轮廓,以及由于观测积分时间内恒星自转造成谱线涂抹效应的消除等一系列退卷积的处理。所以,在已知恒星参数和表面黑子分布的情况下,在理论上可以计算对应观测到的恒星视轮廓。

4.2 成像原理和困难

这一问题实际上是上述运算的逆过程。即如何由在恒星自转不同相位上观测到的一组谱线畸变轮廓,去还原恒星表面黑子图像。我们把对应以上 n 个面元的恒星表面强度 I_j 组成一个 n 维像空间矢量 $I = (I_j), j=1,2,3,\dots,n$ 。把观测到的不同相位的谱线轮廓,按序首尾相联,其所有轮廓上的观测点 D_k ,组成 m 维资料

空间的矢量 $D = (D_k), k=1,2,3,\dots,m$ 。从前面所说,在理论上,我们可以由已知像矢量 I 计算出观测轮廓,即资料矢量 D ,也即我们可以从理论上进行像空间到资料空间的运算:

$$D = RI \quad (9)$$

其中 R 代表转换矩阵。(9)式这一算术关系是确定的。因此,如果我们能在数学上得到 R 的逆矩阵 R^{-1} ,那么,我们就有:

$$I = R^{-1}D \quad (10)$$

从而就可以由观测资料通过(10)去还原像空间的黑子分布图像。但是,这一逆运算实际上极其困难,首先是(9)式中的 R 矩阵很难找出其简单的表达,而使(9)式成为简单的线性方程组,即便有,也只是一个展开式的一阶项的近似式,以前有人得到过,往往很不准确;其次, R 矩阵有逆的必要条件是 $n = m$,即正方形矩阵,且 m 个方程之间是相

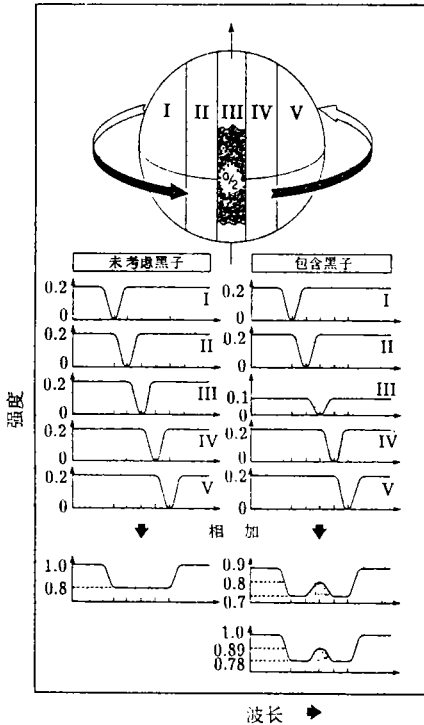


图2 迅速自转的恒星表面暗化区形成吸收线轮廓畸变示意图^[18]

互独立的。这在实际上也做不到, 因为: (1) 为求得一定的像空间的分辨率, 典型的面元划分可达 $n=2000$, 而资料空间通常测点可以只有 $m=1000$, 因此, 一般 $n \neq m$; (2) 像空间面元存在所谓常视向速度带。此外, 观测相位不完整, 或存在较大的间断, 是观测中常有的等等, 也会使 m 个方程并不完全相互独立。而且, 即使 R^{-1} 存在, 由于光谱观测结果的资料信噪比有限, 任何资料空间的误差造成的噪声包, 都可能产生像空间的虚像, 所以直接由矩阵求逆, 或其他逆运算的方法, 虽有不少探讨, 结果不是行不通, 就是很不可靠。这一问题成为一个特定的难题。

4.3 成像技术处理

最初解决以上还原像的困难, 是通过重复迭代的方法, 从各种可能的像矢量中, 确定最可能的像矢量。因为所有可能的像矢量数目可以很大, 最可能的像的选取判据是: 具有最简单而又能使之与观测光谱轮廓拟合度小于观测噪声的像。

从一个不完备的有噪声的资料套去重新构造一个图像, 目前有许多数字技术, 其中, 最大熵方法是最有力的工具。最大熵方法由 Skilling 和 Gull 发展成一种商业计算机软件 “MEMSYS” [21], 并且已被黑子多普勒成像观测所广泛采用, 大大改善了成像质量。这是一个数学技术问题, 这儿不作介绍, 可参见文献 [19], [20]。

4.4 黑子 Doppler 成像观测技术的成功和限制

它的最重要的成就是: (1) 第一次得到具有一定空间分辨率的恒星表面二维黑子分布图像; (2) 在黑子纬度分布上, 大大优于测光观测的测定, 从而发现许多恒星存在确切的极区黑子。

Doppler 成像技术, 使人们第一次间接的看到恒星表面像, 在原理和技术上不能不算是一个突破。但是, 由于它对观测的苛求, 目前仍无法广泛使用之。其对观测对象和观测实施的要求, 总括如下:

(1) 自转要足够快: 大于 $20-30\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, 即要有一定的自转致宽轮廓, 但是, 自转太快了, 会造成轮廓的变浅, 一般 $v \sin i < 80-100\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$; (2) 轨道或自转倾角 i 在 $20^\circ-70^\circ$ 之间。 $i=0$, 不会有明显的自转导宽, $i=90^\circ$, 则南北半球解的镜像效应难以区分; (3) 恒星大气物理参数必须已知; (4) 选择谱线应尽可能避开其他谱线的覆盖效应, 这对晚型星尤为困难; (5) 观测光谱要求高分辨率 $R \sim 4 \times 10^4$, 高信噪比 $S/N \geq 400$; (6) 观测要在双星一、两个轨道周或自转周内完成, 要有 8—10 次均匀相位分布的谱线轮廓的观测结果等等。因此, 目前只对少数色球活动双星如: HR1099、EI Eri、UX Ari 等进行过成像观测试验。此外, 目前 Doppler 成像方法仍不能给出如黑子温度、面积等量的参数化解, 而需要与测光观测同时进行, 以获得这些基本物理量的约束性质, 以便完成成像分析。

目前, Doppler 成像技术除了 Vogt 的研究组外, 还有 Rice 等人 [22]、Piskunov 等人 [23] 和 Jankov 等人 [20] 工作组在从事研究。Khokhlova 等人把这一技术应用于测定 Ap 星表面电离元素丰度分布区成像 [24]; Neff 还应用此技术分析色球 Mg II K 线轮廓, 获得色球谱斑 Doppler 成像, 与光球黑子像结合, 使研究恒星大气活动图像向三维成图方向发展 [25]。

5 恒星黑子寿命观测统计近似

如文献 [1] 所述, 由于星面较差自转, 黑子所在纬度带的自转周期 P_c , 可以不等于双星子星的同步自转周期 $P_r (= \text{轨道周期 } P_{\text{orb}})$, 而造成测光畸变波的相对轨道相位的迁移, 其迁移周期 $P_m = (P_r^{-1} - P_c^{-1})^{-1}$ 可以由长期观测确定。图 3 是色球活动双星 RT Lac 自 1891 年至 1972 年 80 年的测光畸变波极小相位 θ_{min} 随时间迁移的情况, 图中测点分布基本上有 8 条不连续的直线组成, 直线斜率代表畸变波迁移速度, 因为处于不同纬度带的黑子会使畸变波有不同的迁移速度, 所以图 3 表示, 在 80 年内我们曾观测到 8 个巨黑子的出现和消失, 由此估计其寿命约在 4—16 年不等。用这一畸变波长期监测的观测统计方法, Hall 得到 17 个 RS CVn 型和 BY Dra 型双星上黑子的寿命情况 [26], 见于表 1, 其中 HR1099 系作者近期统计。表中 k 为以下星面较差自转方程中的系数, 平均 $\bar{k} = 0.0297$, 比太阳小一个量级。

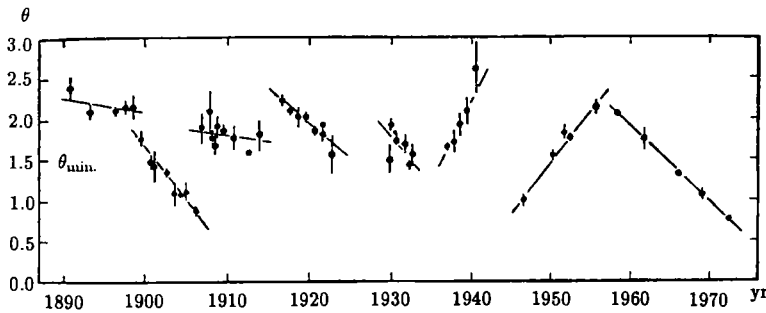


图 3 RT Lac 测光畸变波极小相位的历年迁移变化 [26]

$$P_\phi = P_{\text{eq}} / (1 - k \sin^2 \phi) \quad (11)$$

P_ϕ 是纬度为 ϕ 的纬度带自转周期, P_{eq} 为赤道自转周期。

Hall 进一步统计发现, 黑子寿命 t_0 与黑子大小有关, 如 $r_s < 20^\circ$, 黑子愈大, 寿命愈长, 但 $r_s > 20^\circ$, 寿命趋于常值。后者被认为是由于星面较差自转的效应对黑子的撕裂所致 [26]。

6 总结和讨论

6.1 恒星黑子基本参数测定的可靠性问题

采用多色测光, 尤其是 VRI 测光, 以及 TiO 分子吸收带的观测确定的黑子活动区平均温度, 一般认为比较可靠。方法中虽曾利用到一些经验定标关系, 例如 (V-I) 色指数, 或 M 型光谱型与温度的关系, 但这些定标关系本身, 是经过了大量观测统计和理论模型验证的, 其精度可以达到一个光谱次型, 对恒星黑子的温度范围, 这相当于 $\pm 100\text{K}$, 当然不包括观测误差。

表 1 色球活动双星黑子寿命

星名 Name	自转周期 P_r	观测期 Epoch	黑子个数 Spot num.	黑子寿命 t_0 Life-time	较差自转系数 k
SS Boo	7. ^d 606	1976-1979	4	2.0-3.0yr	0.012
SV Cam	0.5931	1983	4	0.33	0.0047
BM Cam	79.93	1981-1985	2	9.0	0.058
FK Com	2.3981	-	4	1.0	0.011
CG Cyg	0.631	1967-1979	3	3.0-4.5	0.00059
V1764 Cyg	40.13	1983	1	8.0	0.021
BY Dra	3.827	1974-1975	14	0.044-0.20	0.175
EK Eri	335.0	1984	1	20.0	0.051
σ Gem	19.423	1978-1984	4	1.7-4.0	0.0244
MM Her	7.95	1977-1980	2	2.0-3.0	0.0116
RT Lac	5.074	1895-1965	8	4.0-16.0	0.0078
HK Lac	24.4284	1978-1983	4	3.3-4.3	0.0244
V478 Lyr	2.13	1985	9	0.29-0.47	0.0173
VV Mon	6.05	1979	1	6.0	0.016
V1149 Ori	53.58	1983	1	10.0	0.02
DM UMa	7.492	1980-1983	2	5.0	0.0067
HD 181943	385.3	1984	1	30.0	0.044
HR 1099	2.8377	1975-1992	3	5.0-6.5	0.0102

测光扰动波简化黑子模型参数解,是建立在较严格的数值方法上的,内部误差很小。测光解理论曲线能相当好地重现观测特征,在这个意义上,可以认为一个或多个圆形黑子是对恒星大面积活动区很好的一级近似。但是,单从测光畸变波得到的星面黑子情况,严格而言只可以是部分真实,例如黑子面积,只能是实际情况的一个下限,它不能排除还有较均匀分布的小黑子;在双星轨道倾角小时,极区黑子总在视线之下,其测光效应,主要是减弱系统的光度,而不是光度的自转调制变化。多普勒成像在黑子活动区分布上虽可提供进一步的星面二维图像,但方法需要发展。从测光的灵敏度高的优势来看,它将保持为探讨恒星黑子及其变化的一个主要信息来源。

6.2 黑子磁场问题

恒星黑子本质的观测探讨,有待恒星表面磁力的测定。虽然这是研究恒星黑子的最基本的课题,但目前对晚型星磁场测定只能得到平均表面磁场强度和面积覆盖率两个参数,还难以从二维分布上与观测到的黑子相对应,而且,磁场的覆盖率一般比观测到的黑子面积比例大得多,是否就是黑子磁场,有待进一步探讨。

6.3 恒星黑子观测结果与太阳黑子的对比(见表 2)

与太阳黑子比较,恒星黑子的三个明显特征是:(1)恒星上有巨黑子或巨黑子活动区;(2)恒星上有高纬度以及极区黑子;(3)黑子或活动区的寿命要比太阳的长得多。这些,可否用现有的太阳理论加以解释,已形成对太阳发电机模型的新的思考。

表 2 恒星黑子观测与太阳黑子的对比

	色球活动双星	太阳
黑子温度与光球之差	800—1200K	1800K(本影) 370K(半影)
黑子面积与半球面之比	0.10—0.50	$2 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-3}$ (黑子数 = 100)
黑子纬度	有极区黑子	$+35^\circ > \phi > -35^\circ$
黑子寿命 (大黑子群)	几年 — 几十年	几天 — 2 个月
对恒星光度的自转调制	$\Delta V < 0.50\text{mag}$ (II Peg)	$\leq 0.03\%$
星面较差自转系数	~ 0.030	0.189
黑子活动周 (年)	5—60	11.04

6.3 对恒星黑子观测的展望

即便在将来, 我们也不可能像太阳那样直接目视观测到遥远恒星上黑子图像, 我们将继续面对从各种载波和混频中分离出恒星黑子信息, 并把它还原到星面二维图像的复杂任务。因此, 如何从技术上进一步提高恒星黑子观测成像的二维分辨率, 将是追求的重要目标之一; 并把不同波段不同方法的黑子图像统一起来进行研究, 尤其是进一步探讨色球活动星表面磁场分布的方法十分重要; 对某些典型的类太阳活动双星的跟踪观测, 探求黑子活动的规律, 例如黑子纬度迁移情况, 经度分布的可能倾向, 黑子出现和消失与恒星耀发的关系等; 此外, 在理论上对巨黑子、极区黑子的解释的探讨, 也将会对观测提供重要指导。

参 考 文 献

- [1] 翟迪生. 天文学进展, 1990, 8: 189
- [2] Bopp B W, Evans D S. M.N.R.A.S., 1973, 164: 343
- [3] Barnes, T G, Evans D S, Moffett T T. M.N.R.A.S., 1978, 183: 285
- [4] Vogt S S. Ap. J., 1981, 247: 975
- [5] Poe C H, Eaton J A. Ap. J., 1985, 298: 644
- [6] Johnson H R. Annu. Rev. Astron. Astrophys., 1966, 4: 193
- [7] Ramsey L W, Nations H L. Ap. J., 1980, 239: L121
- [8] Vogt S S. Ap. J., 1981, 247: 975
- [9] Huenemoerder D P. In: Linsky J L, Stencel R E eds. Cool stars, stellar systems, and the Sun. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1987, 512
- [10] Budding E. Astrophys. Space Sci., 1977, 48: 207
- [11] Oskanyan V S, Evans D S, Lacy C. Ap. J., 1977, 214: 430
- [12] Eaton J A, Hall D S. Ap. J., 1979, 227: 907
- [13] Hill G, Fisher W A, Holmgren D. Astron. Astrophys., 1990, 238: 145
- [14] Kang Y W, Wilson R E. A. J., 1989, 97: 848
- [15] 翟迪生, 陈林海. 天体物理学报, 1988, 8: 265
- [16] Wilson R E. Ap. J., 1979, 234: 1054

- [17] 翟迪生, 张荣显, 张孝斌. In: Milone E F ed. Light curve modeling of eclipsing binary stars. New York: Springer-Verlag, 1993. 175
- [18] Vogt S S, Penrod G D. Publ. Astron. Soc. Pac., 1983, 95: 565
- [19] Vogt S S, Penrod G D, Hatzes A P. Ap. J., 1987, 321: 496
- [20] Jankov S, Foing B. Astron. Astrophys., 1992, 256: 533
- [21] Gull S F, Skilling J. In: Roberts J A ed. Indirect Imaging. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1983. 267
- [22] Rice J B, Wehlau W H, Khokhlova V L. Astron. Astrophys., 1989, 208: 179
- [23] Piskunov N E, Tupmonen I, Vilhu O. Astron. Astrophys., 1990, 230: 363
- [24] Khokhlova V L, Rice J B, Wehlau W H. Ap. J., 1986, 307: 768
- [25] Neff J E, Waller F M, Rodono M et al. Astron. Astrophys., 1989, 215: 79
- [26] Hall D S, Rusby M R. In: Ibanoglu C ed. Active close binaries. Turkey: Kluwer, 1990. 277

(责任编辑 刘金铭)

Observational Approaches to Starspots

Zhai Disheng

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

Zhou Daoqi

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100875)

Abstract

In this paper a review of the observational aspects of stellar spots is presented. The basic methodology and principles of measurements of spot parameters in the chromospherically active binary systems are described, which include the direct estimation of spot temperature by the V-I index in multi-color photometry, the solution of the distorted light curve based on assumed circular spot model, and the Doppler imaging of spots from the high S/N spectroscopy. The general characteristics of starspots obtained by recent observations as well as the statistic studies are summed up. In comparison with typical solar spots, three distinct features of starspots, huge area, long life-time and the possibility for them to emerge in polar region, have given a striking challenge to the solar dynamo theory. A short discussion is also made on the further understanding of starspots by observations in the future.