

# 日珥光谱研究的一些新进展

李可军 丁有济

(中国科学院云南天文台)

## 提 要

日珥光谱分析是研究日珥的基本方法。本文概要地介绍了光谱分析理论进展,总结了近年来发展起来的光谱分析方法以及光谱分析所得出的有关日珥物理参量的基本结果。

## 一、引 言

光谱分析是观测研究日珥的一种极其重要的手段,通过它可以确定日珥的物理参量和化学成分,了解日珥物质的激发和电离,建立日珥的结构模型,并研究太阳辐射(尤其是日冕的紫外线和 X 射线)对日珥的影响。

早在本世纪初,国外就开始了日珥的光谱研究。30年代, Lyot 发明了日冕仪以及它的滤光器,这对日珥的研究推进了一步。经过大量的光谱分析工作,1957年 Menzel, Kippenhahn 和 Schluter 提出了日珥磁场静力学模型<sup>[1,2]</sup>。近年来,光谱分析已用于日珥-日冕相互关系的研究中,至今已取得了很多有价值的结果<sup>[3]</sup>。为了今后更好地开展光谱分析研究工作,本文第二节概略地介绍了光谱分析理论,第三节总结了光谱分析方法,第四节总结了光谱分析得出的日珥的物理参数结果。

## 二、光谱分析理论进展

### 1. 谱线的加宽机制

到目前为止,已判明日珥谱线内发射谱线的主要致宽机制是多普勒效应、辐射阻尼和压力效应<sup>[4]</sup>。对于不同的谱线和不同的活动体产生的同一谱线,各种加宽机制的作用不同,一般说来, Doppler 加宽主要影响线心附近部分,阻尼加宽主要影响近线翼部分,而 Stark 加宽则主要影响远线翼部分,因而针对不同情况可选择不同的加宽机制<sup>[5,6,7]</sup>。在大部分观测资料处理中,多数人仅考虑 Doppler 加宽,有部分人也同时考虑了 Doppler 加宽和阻尼加宽。同时考虑三种加宽因素, Tandberg-Hanssen 作过定性分析<sup>[4]</sup>。由于其计算过于复杂,并且有部分因子很难确定,因此到目前为止,还未能作详细的定量工作。对于一般情

1991年10月22日收到。

1992年3月16日收到第一次修改稿。

1992年5月18日收到第二次修改稿。

况, 可将轮廓划分为线心, 近线翼和远线翼三部分, 对各部分分别采用不同的加宽机制<sup>[13]</sup>。

## 2. 谱线的不对称性

宁静日面上的  $H_{\alpha}$  谱线轮廓是基本上对称的, 而观测发现有些日珥(特别是活动日珥)的谱线具有一定的不对称性。对称谱线、红不对称谱线和蓝不对称谱线有时会同时出现在同一个日珥的不同位置<sup>[9,10]</sup>。

环珥中, 物质向下运动, 它们的下落速度随环的高度变化而不同。因而谱线的线心位移不同, 观测到的谱线是由同一视线方向不同高度处的物质发射迭加的辐射, 不同位移的轮廓迭加产生了谱线的不对称性<sup>[11]</sup>。叶式辉等人在速度梯度模型假设下, 用数值方法讨论了谱线出现不对称性的条件<sup>[12,13]</sup>, 并总结了几种从谱线轮廓推导速度场的深度梯度的方法<sup>[14]</sup>。陈建、林元章在源函数和速度随深度线性变化的假定下定量地讨论了谱线不对称性<sup>[15,16]</sup>。Öhman 和 Pompal 等也作过定性分析<sup>[17,18,19]</sup>。

观测表明, 日珥由许多纤维组成, 其直径不大于几百公里。Gigolashvili 等人提出了日珥的分层结构理论, 日珥发射线常表现为不对称轮廓, 这正是由于沿视线方向分离暗条(纤维)的速度引起, 日珥内分层速度不同因而谱线的线心位移不同<sup>[20]</sup>。李可军根据分层结构理论, 提出了耀斑后环珥的双层模型。用此模型从理论上证明了沿视线方向存在速度梯度时谱线是不对称的, 并用双层模型成功地拟合计算了环珥的不对称  $H_{\alpha}$  谱线<sup>[10]</sup>。

## 3. 谱线中心反转

$H_{\alpha}$  线发射, 是日珥最强的辐射, 由于具有较大的光学厚度, 可能包含日珥物理的重要信息, 但由于经常出现的自反变, 使  $H_{\alpha}$  线轮廓分析发生困难。Jefferies 和 Orrall 指出,  $H_{\alpha}$  的线心反变是和源函数的变化相联系的<sup>[21]</sup>, 但对  $H_{\alpha}$  源函数的变化还没有得出确切的结论。Jefferies 和 Stellmacher 认为  $H_{\alpha}$  源函数向日珥内减小<sup>[22,23]</sup>, Fontenla 得出  $H_{\alpha}$  源函数为常数<sup>[24]</sup>, Yakovin 和 Zeldina 也得出  $H_{\alpha}$  源函数为常数<sup>[25]</sup>。Morozhenko 的理论计算表明,  $H_{\alpha}$  源函数向日珥内增加<sup>[26]</sup>, 汪景琇等从轮廓分析直接确定源函数的变化, 结果表明自反变  $H_{\alpha}$  线源函数向日珥内增加<sup>[27]</sup>。叶式辉用数值计算方法研究了源函数和速度梯度变化对谱线轮廓的影响, 他也得出源函数向日珥内增加的结论: 谱线线心的辐射来自日珥表面, 辐射由线心向线翼增强, 于是形成了谱线的自反变<sup>[12,13]</sup>。陈建等人认为源函数向日珥内减小时会出现谱线自反变, 当源函数向日珥内增加时谱线原则上出现自反变, 但可能不明显<sup>[15,16]</sup>。

综上所述, 日珥  $H_{\alpha}$  谱线出现自反变时, 源函数向日珥内增加和减少这两种截然相反的观点都存在, 到底哪一种观点正确, 目前还没有定论, 纯粹从数学观点考虑, 文献[15, 16]的观点更令人信服。从物理角度出发, 现有的解释都不十分完善, 说服力也不够强。再者, 日珥谱线出现自反变时, 所有的解释说明也都只是从源函数变化形式来考虑, 难道与其他条件都无关? 总之, 这方面的工作亦有待深入进行下去。

## 三、光谱分析方法

一般说来, 温度、湍流速度和各种能级上的原子数密度等物理量可以通过光学深度, 多

普勒半宽, 谱线位移和源函数来求得。由光谱研究求这些参数的方法可分为单谱线法和多谱线法。各种方法还涉及数学计算手段。

### 1. 单谱线法

它是通过对一条谱线的研究来获得物理参量的方法。这种方法最早是被用来求速度量的。

朱灿生等人提出, 对于没有自吸收的轮廓可用对数方法进行迭代分析<sup>[28]</sup>, 此方法简便, 但迭代时间长, 精度差。汪景琇提出对于日珥发射线可采用待定参数轮廓与实测轮廓作拟合求物理量<sup>[27]</sup>。阎国英等将此方法发展应用到日面活动体的研究中。此外, 还增加了拟合参数线心位移( $\Delta\lambda_0$ ), 用来求视向速度。

### 2. 多谱线法

多谱线方法是同时对两条或两条以上的谱线联合研究后, 由此定出其物理量。叶式辉首次用多谱线方法分析了几个日珥的光谱<sup>[30,31,32]</sup>。崔连竖、季国平等人在氢与钙元素丰富度之比为  $5.01 \times 10^5$  的假定下利用  $H_\alpha$  和  $Ca II K$  线作过分析<sup>[33]</sup>。这两种方法中, 对一定参量采用了手工测定, 这必然会引起较大的误差。方成、张其洲等对此作了改进, 采用迭代拟合方法, 对实测轮廓作拟合, 大大地提高了精度<sup>[34]</sup>。

多谱线方法求得的物理量较单谱线方法更准确。但是由于太阳大气中温度随高度变化, 同一高度不同客体的温度也不同, 不同谱线形成于不同高度和不同客体中。因此, 多谱线方法和单谱线方法一样, 定出的物理量的空间位置不太清楚, 且仅能表示该区域的平均效果。

### 3. 背景光的处理

边缘日珥的光谱分析比较简单, 日面上日珥(暗条)的光谱分析相对要复杂, 它涉及背景光的处理。一般把暗条下的色球层光谱当作背景光。对于背景光的消除, 传统的方法包括两类: 减法消除和除法消除。

所谓减法消除, 就是在接收到的辐射中减去背景光。假设暗条的光深和辐射强度为  $\tau_\lambda$  和  $I_\lambda$ , 背景辐射为  $I_{\lambda b}$ , 则我们观测到的总辐射  $I_{\lambda \Sigma}$  为:

$$I_{\lambda \Sigma} = I_{\lambda b} e^{-\tau_\lambda} + I_\lambda \quad (1)$$

$$\Delta I_\lambda = I_{\lambda \Sigma} - I_{\lambda b} = I_{\lambda b} (e^{-\tau_\lambda} - 1) + I_\lambda \quad (2)$$

以(1)或(2)式为分析目标函数的背景光处理方法就是背景光的减法消除方法。

光谱分析中云模型和微云模型<sup>[35,36]</sup>则属于除法消除方法。到目前为止, 还没有谁做过这两种方法的精度比较的理论证明和实例说明工作, 因此, 不知道哪种方法精度更高。

### 4. 数学计算方法的进展

无论是单谱线法还是多谱线法, 都涉及数学计算方法的问题。随着不对称谱线的分析工作的进行, 数学计算方法愈来愈重要。在 1985 年以前, 一般采用经典的非线性函数的最小二乘法进行拟合。1985 年, 方成将线性化方法引进太阳日珥光谱分析中<sup>[37]</sup>, 此方法收敛半径大、收敛快、精度高。可是以上方法都在一定程度上依赖于初始值, 有时上述方法的矩阵方程还会出现病态。李可军提出了用最速下降法分析环珥等太阳活动体的线光谱<sup>[38]</sup>, 这种方法克服了上述方法的不足<sup>[39]</sup>。

以上各种方法都属于求解最优化问题中的非直接搜索法。李可军提出了用一种高效的拟

合计算方法——单纯形法来拟合日珥的谱线。单纯形法属于求解最优化问题中的直接搜索法<sup>[40]</sup>。单纯形法避免了目标函数的较为复杂的导数计算，通用性大为增强<sup>[41]</sup>。

## 四、日珥光谱分析结果

### 1. 日珥内氢元素电离、电子密度和压强

电子密度可由高项巴尔末线的斯塔克效应推出，Nikolsky, Hirayama 得出电子密度为  $10^{10.0} - 10^{11.4} \text{ cm}^{-3}$ <sup>[42,43]</sup>。

$$n_{r,k} = n_{r+1} P_e \frac{g_{r,k}}{u_{r+1}} \frac{h^3}{2(2\pi m_e)^{3/2} (kT)^{5/2}} e^{x_{r,k}/kT} \quad (3)$$

其中  $n_{r,k}$ 、 $g_{r,k}$ 、 $x_{r,k}$  分别指  $r$  次电离、处于第  $k$  能态的原子的数密度、统计权重和电离电势， $n_{r+1}$ 、 $u_{r+1}$  分别为  $r+1$  次电离原子的数密度和状态和， $P_e$  为电子压强，其他量具有一般意义。对于氢，若电子数密度  $n_e$  等于电离氢原子数密度  $n_{\text{HI}}$ ，则有

$$n_{0,k} = n_e^2 \frac{g_{0,k}}{u_1} \frac{h^3}{2(2\pi m_e)^{3/2} (kT)^{5/2}} e^{x_{0,k}/kT} \quad (4)$$

且  $g_{0,k} = 2k^2$ ，测出柱密度  $N_{0,k}$  之后借助日珥厚度的估计可测定  $n_{0,k}$ ，由上式可求出  $n_e$  和  $P_e$ 。用这种方法，Hirayama 推出平均电子密度对于篱笆状宁静日珥为  $10^{11.02} \text{ cm}^{-3}$ ，对于帘状宁静日珥则为  $10^{11.48} \text{ cm}^{-3}$ <sup>[3]</sup>。

利用 Hanle 效应，Schal-Brechot 推出电子密度为  $7 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ <sup>[44]</sup>。Hirayama 等人认为  $n_e \leq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$  的值可以出现在日珥的较暗部分<sup>[3,44]</sup>。

推出日珥内电子密度的文献很多。一般认为，日珥的电子密度为  $10^{10}$  至  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$ <sup>[45,46]</sup>。这只是一种数量级估计。Hirayama 指出，电子密度不仅依日珥类型而变，而且与所用的推导方法有关<sup>[3]</sup>。

在视线方向，能用 EUV 日冕线的掩食效应及分析赖曼连续谱的方法来估计中性氢原子数目。Orrall 和 Schmahl 得出  $n_{\text{HI}}/n_{\text{HI}} \approx 10^{[47]}$ 。Heasley 和 Milkey 对较暗的日珥进行了估计，他们发现质子和中性氢原子比率范围为  $1 - 10^{[48,49]}$ （一般认为  $1 \leq n_{\text{HI}}/n_{\text{HI}} \leq 10$ ，但是也不排除更小值的存在<sup>[43]</sup>）。

由非局部热动平衡对谱线强度的计算可推出宁静日珥的一些基本参数。Landman 推出氢的电离度  $\frac{n_{\text{HI}}}{n_{\text{HI}}} \approx 0.077$ ，同时推出电子密度  $n_e \approx 10^{11.2} \text{ cm}^{-3}$ ，气体压强为  $3 \sim 6 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$ （氢的总数密度  $n_{\text{HI}} \approx 4.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ）<sup>[50,51]</sup>。

综上所述，为了明确起见，我们给出表 1 和表 2。

### 2. 日珥的温度和速度

在宁静日珥内部，线宽方法求得温度范围  $4500 - 8500 \text{ K}$ <sup>[23,52,53,54,55]</sup>。Noyes 等和 Schmahl 等用赖曼连续谱的色温度得到平均值为  $8000 \text{ K}$ <sup>[56,57]</sup>。Orrall 和 Schmahl 得到温度为  $7500 \text{ K}$ <sup>[68]</sup>。Heasley 和 Milkey 用 He I ( $\lambda = 6400 \text{ \AA}$ ) 谱线定出温度为  $7700 \text{ K}$ 。Hirayama 认为日珥主体平均温度为  $6500 \text{ K}$ ，范围是  $5000 - 8000 \text{ K}$ ，在宁静日珥的外层温度可能会超

表 1 日珥光谱分析结论 I

作者	$n_e$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	$n_{\text{HI}}$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	方法	附注
Nikolsy (1971) Yakovkin (1975a) Hirayama (1978)	$10^{10.0}-10^{11.4}$		高项巴尔末线的斯塔克效应	
Hirayama(1985)	$10^{11.02}$ (篱笆状日珥) $10^{10.04}$ (帘状日珥)		由柱密度 $N_{0,k}$ 推出体密度 $n_{0,k}$ , 然后利用 Saha 公式	
Schal-Breshot(1984) Hirayama(1985)	$7 \times 10^9$ $< 10^{10}$		Hanle 效应, 值对应日珥的较暗部分	
Hirayama(1964)	$10^{11.3}$	$10^{12}$	假定元素丰度比, 由多谱线法推出	$\frac{n_{\text{HI}}}{n_{\text{H}}} \approx 1$
Fandman(1983, 1984)	$10^{11.2}$	$4.5 \times 10^{12}$	非局部热动平衡	$\frac{n_{\text{HI}}}{n_{\text{H}}} \approx 0.077$ $Pe: 3 \sim 6 \times 10^{-5} \text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$

过 20 000K<sup>[3]</sup>。

日珥的较暗部分或外层, 其温度比内部要高<sup>[52,53,56,57]</sup>, 范围为 8 000—22 000K。然而也存在一些外部温度并非较高的情况<sup>[54]</sup>。

湍流速度, 用光学薄金属线宽求出其范围为 3—8 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 宁静日珥的外部或较暗区可增达至 10—20 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ <sup>[3,43,55]</sup>。

日珥的温度和湍流速度归纳如下表<sup>[4]</sup>。

表 2 日珥光谱分析结论 II

	宁静日珥		宁静日珥 → $\left\{ \begin{array}{l} \text{环系} \\ \text{日浪} \\ \text{(爆发)} \end{array} \right.$
	中心部分	→ 边缘	
$T_e(\text{K})$	4500—8500	→ 8000—12000	6500 → 7000—20000
$\xi_e(\text{km} \cdot \text{s}^{-1})$	3—8	→ 10—20	6 → 20
$n_e(\text{cm}^{-3})$	$10^{10.0}-10^{11.4}$	→ $10^{9.6}$	$10^{10.5} < \begin{cases} \rightarrow 10^{11.0}-10^{12.8} \\ \rightarrow 10^{9.5} \text{(爆发)} \end{cases}$
$P_e(10^{-5} \text{N} \cdot \text{cm}^{-2})$	(0.1)	→ 0.01	(0.1) → 1—10(环系)

附注: 实线箭头表示物理量从左增至右边, 虚线箭头表示物理量改变的大致情况。

### 3. 日珥—日冕界面光谱分析结果

日珥—日冕界面最好用 EUV 线和射电辐射来研究<sup>[3]</sup>。射电观测研究表明, 在密而冷的日珥物质和周围热而稀的日冕之间存在一个过渡鞘, 厚度大约 100km。在过渡鞘, 电子温度从日珥的大约 7 000K 上升到周围日冕温度, 大约为  $10^6\text{K}$ , 鞘内压强和色球与日冕之间的过渡层里的压强大致一样<sup>[58]</sup>, 湍流速度为 2—7 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ <sup>[57]</sup>。详细的评述见文献[3]。

## 五、结 束 语

1. 从上面的概述知, 光谱观测诊断目前还存在许多问题: 对于日珥的一些特殊谱线(如中

心反变谱线和不对称谱线),理论上还没有彻底解决好,将来需要加强理论上对特殊谱线的分析讨论,需要具体地尝试拟合计算特殊谱线。

2. 日珥内存在较精细的纤维结构。Engvold 指出,日珥的精细结构对观测结果影响较大<sup>[58]</sup>。方成在假定纤维是相互平行的条件下研究了日珥的精细结构。结果表明,在考虑了日珥的精细结构后,日珥的总光学厚度显著增加<sup>[59]</sup>。因此,日珥光谱分析中还存在着非均匀性的问题。由于日珥光谱分析中的理论假设不够严密以及计算手段等原因,日珥光谱分析中还存在着唯一性问题。要想提高日珥光谱分析结果的可靠性,将来必须解决好这两个问题。

3. 到目前为止,对宁静日珥的分析很多,宁静日珥内各物理参量值基本上已确定;而对活动日珥则知道得不多,因此将来需要重点加强活动日珥的光谱分析研究。

4. 通过对日珥活动体的二维光谱分析,可得出日珥的二维物理量平均值场。我们知道,通过谱线轮廓的分析可以测定太阳速度场的深度梯度,并且已有不少人对这方面的工作进行了研究,建立了一些比较成熟的处理方法<sup>[14]</sup>。然而这方面的工作仍有广阔的发展余地,近期还有必要加强三维物理量场的分析研究工作。

### 参 考 文 献

- [1] Menzel, D. H. and Doherty, L. R., in IAU Symp. No. 16, p. 24, (1963).
- [2] Kippenhahn, R. and Schluter, A., *Zeitschrift für Astrophysik*, 43 (1963), 36.
- [3] Hirayama, T., *Solar Phys.*, 100 (1985), 415.
- [4] Tandberg-Hanssen, E., in *Solar Prominences*, p. 35, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, (1974).
- [5] 黄润乾, 恒星大气理论, 254, 云南人民出版社(1986).
- [6] 南京大学天文系编, 恒星大气物理, (1986).
- [7] Gray, D. F., 恒星光球的观测和分析, 黄磷等译, 267, (1981).
- [8] 罗智, 1981年5月16日H<sub>α</sub>圆面双带耀斑的物理量场及其演化, 1987年云南天文台硕士论文.
- [9] Svestka, Z., in *Solar Flares*, p. 76, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, (1976).
- [10] 李可军, 1984年2月18日太阳边缘耀斑后环状日珥的物理量场研究, 1991年云南天文台硕士论文.
- [11] Severny, A. B., *Nobel Symp.*, 9 (1968), 71.
- [12] Ye Shihui and Jin Jiehai, *Solar Phys.*, 96 (1985), 113.
- [13] 叶式辉, 金介海, 天体物理学报, 5(1985), 132.
- [14] 叶式辉, 天文学进展, 7 (1989), 98.
- [15] 陈建, 林元章, 天体物理学报, 7 (1987), 207.
- [16] 陈建, 林元章, 天体物理学报, 7 (1987), 287.
- [17] Öhman, Y., *Nobel Symp.*, 9 (1968), 13.
- [18] Öhman, Y., *Solar Phys.*, 9 (1968), 427.
- [19] Rompolt, B. and Mzyk, S., in IAU Coll., No. 44, p. 242, (1978).
- [20] Gigolashvili, M. Sh. et al., *Solar Phys.*, 77 (1982), 109.
- [21] Jefferies, J. T. and Orrall, F. Q., *Ap. J.*, 135 (1962), 109.
- [22] Jefferies, J. T. and Orrall, F. Q., *Ap. J.*, 127 (1958), 714.
- [23] Stellmacher, G., *Astron. Astrophys.*, 1(1969), 62.
- [24] Fontenla, J. M., *Solar Phys.*, 64 (1979), 177.
- [25] Yakovkin, N. A., Zeldina, M. Yn., *Solar Phys.*, 19 (1971), 414.
- [26] Morozhenko, N. N., *Solar Phys.*, 58 (1978), 47.
- [27] 汪景琇, 史忠先, 天体物理学报, 3 (1983), 169.
- [28] 朱灿生, 史忠先, 科学通报, 1 (1981), 32.
- [29] 陶国英, 丁有济, 许放放, 天文学报, 27 (1986), 237.
- [30] Е. ми-Хуэй, ИЭБ. Кр. АО. 25 (1961), 174.
- [31] 叶式辉, 天文学报, 10(1962a), 8.

- [32] 叶式辉, 天文学报, 10 (1962b), 183.  
 [33] 崔连笠等, 天体物理学报, 4 (1984), 279.  
 [34] 张其洲, 方成, 天文学报, 27 (1986), 30.  
 [35] Mein, P. and Mein, N., *Astron. Astrophys.*, 203(1988), 162.  
 [36] Schmieder, B. et al., *Adv. Space Res.*, 8 (1988), No. 11, 145.  
 [37] 方成, 南京大学学报, 21 (1985), 301.  
 [38] 李可军, 北京天文台台刊, 1 (1992), 待发表.  
 [39] 徐萃薇, 计算方法引论, 202, 高等教育出版社(1985).  
 [40] 李可军, 丁有济, 天文学报, 33 (1992), 178.  
 [41] 张明昌, 顾昌鑫, 计算物理学, 138, 复旦大学出版社(1987).  
 [42] Nikolsky, G. M. et al., *Solar Phys.*, 21 (1971), 332.  
 [43] Hirayama, T., in *IAU Coll No. 44*, p. 4, (1978).  
 [44] Simnett, G. M. and Forbes, T. G., in *Dynamics of Solar Flares*, ed. by Brigitte Schmieder and Eric Priest. p. 121, (1991).  
 [45] Heinzel, P. and Karlicky, M., *Solar Phys.*, 110 (1987), 343.  
 [46] Svestka, Z. et al., *Solar Phys.*, 108 (1987), 237.  
 [47] Orral, F. Q. and Schmall, E. J., *Solar Phys.*, 50 (1976), 365.  
 [48] Heasley, J. N. and Mihalas, D., *Ap. J.*, 205 (1976), 273.  
 [49] Heasley, J. N. and Milkey, R. W., *Ap. J.*, 221 (1978), 677.  
 [50] Landman, D. A., *Ap. J.*, 270 (1983), 265.  
 [51] Landman, D. A., *Ap. J.*, 279 (1984), 438.  
 [52] Hirayama, T., *Solar Phys.*, 17 (1971), 50.  
 [53] Hirayama, T., *Solar Phys.*, 19 (1971), 384.  
 [54] Mouradian, A. and Leroy, J. L., *Solar Phys.*, 51 (1977), 103.  
 [55] Zhang Qizhou et al., *Solar Phys.*, 114 (1987), 245.  
 [56] Noyes, R. W. et al., *Solar Phys.*, 39 (1974), 337.  
 [57] Orral, F. Q. and Schmall, E. J., *Ap. J.*, 240 (1980), 908.  
 [58] Heasley, J. N. and Milkey, R. W., *Ap. J.*, 268 (1983), 398.  
 [59] Kundu, M. R., in *IAU Coll. No. 44*, p. 122, (1978).  
 [60] Tsubaki, T., *Solar Phys.*, 43 (1975), 147.  
 [61] Engvold, O., *Solar Phys.*, 49 (1976), 283.

(责任编辑 舒似竹)

## Some New Progress in Spectral Analysis of Prominence

Li Kejun Ding Youji

(Yunnan Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

The spectral analysis is a fundamental method of studying prominence. In this paper, three aspects are briefly reviewed,

- (1) The theory of spectral analysis of prominence,
- (2) The methods of spectral analysis, and
- (3) The results of spectral analysis.

Finally, some comments on the further development of the work in this field are given.