

晚型恒星中的类太阳活动(II): 活动色球、 过渡区和冕区发射、耀发活动

翟迪生

(中国科学院北京天文台)

提 要

本文对晚型恒星的色球、过渡区和冕区的类太阳活动, 恒星的耀发活动, 及其与恒星的光谱型、自转、Rossby 数、年龄等恒星基本参数的关系作了综合叙述, 并对有关的物理问题和研究进展作了介绍。

一、引 言

太阳光球活动区能量释放所引起的大气层活动性的标志, 是大气在不同高度和温度上形成的一些发射谱线: 色球层有 Ca II HK, Mg II hK, Ca II IR 三重线, 以及 Si I, CII, OI 和 Si II 等的光学和紫外谱线; 过渡区有 C II, He II, Si IV, C IV 和 N V 等电离元素谱线; 而冕区则有 X 射线, 射电波段发射等等。对晚型星的这些发射线流的观测, 尤其是 IUE、Einstein 以及 EXOSAT 等卫星的空间观测, 同样提供了大量有关晚型恒星活动大气和宁静大气成份的丰富信息, 这不但使我们对恒星中类太阳活动的认识有了较大的扩展, 而且也使有可能对恒星活动与其他恒星参数, 如质量、光谱型、自转和年龄等的关系进行探讨, 以揭示其活动性的物理过程和本质。本文将继续文(1), 对近年来有关研究的进展, 作进一步介绍。

二、大气层特征谱线流密度与恒星色指数的关系

各种大气发射线流可以用面流密度 F 表示, 定义为恒星表面单位面积、单位时间内平均积分能流(尔格/秒·厘米²)。文(1)中提到的 Wilson 山天文台对色球 Ca II HK 发射线巡视监测中使用的发射流指数 S , 可以通过 Rutten 描述的方法转换成表面流密度 $F_{\text{Ca II}}$ ^[1]; 空间卫星的观测结果的转换, 可参见 Oranje 和 Schrijver 等人的工作^[2]。

1. 色球发射的两种成份: 基生色球流和活动色球流

图 1 系利用 Wilson 山天文台巡天观测资料得到的 $F_{\text{Ca II}}$ 与 $B-V$ 关系图^[3]。由图可见, 尽管测点有很大的固有弥散性, 但却显示有明确的分布下限。流密度下限存在的事实, 首先由 Zwaan^[4], 后来有 Noyes^[5], Schrijver 等^[3]作过详细讨论。Noyes 进而把这下限流分为

两部分: 一是由于仪器轮廓中包括了 Ca II HK 线两翼来自光球背景的辐射 F_{CaII} , 它表示即便没有色球发射, 在 HK 波段也会存在来自光球的辐射流; 另一部份称之为剩余色球发射, 表示即使最不活动的恒星, 仍具有一定大小的色球发射, Schrijver 又把它叫做“基生色球发射”。基生色球和活动色球发射两种成份, 被认为可能对应于两种不同的色球非辐射加热机制。活动色球发射部份与恒星的自转存在着紧密的联系, 并与恒星的磁场有关; 基生色球发射似乎与恒星自转大小无关, 对表面重力也不敏感, 其形成可能来源于光球活动区声波能量的耗散加热机理。但 Ulmschneider 的计算指出, 基生发射流产生所需的加热速度, 比声波加热理论推算的结果要小很多^[6], 因而有关问题仍需进一步探讨。

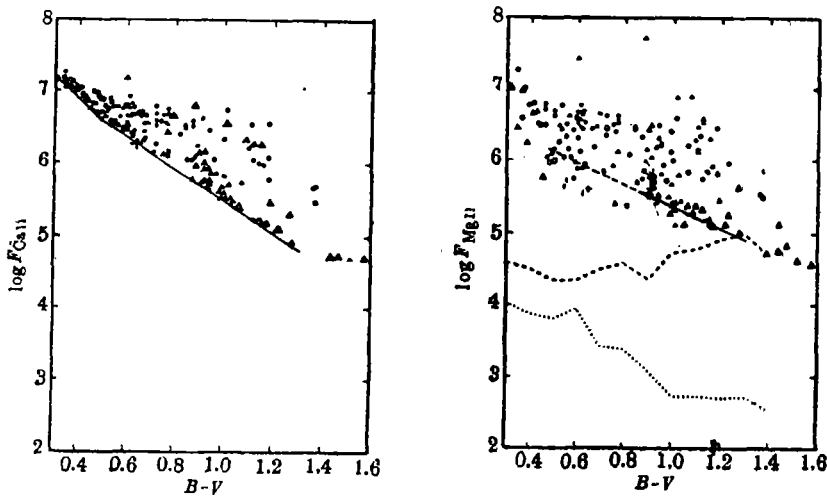


图 1 色球 Ca II HK 和 Mg II hk 发射面流密度随恒星星色指数(B-V)的分布。

“●”—矮星; “▲”—巨星; “+”—太阳; “○”—不精确样品; 实线表示下限流计算值; 虚线和点线代表 IUE 对观测的灵敏度界线

基生色球发射, 不但存在于 Ca II HK 发射线流之中, 也存在于其他色球谱线如 Mg II hk、Si II 等发射中。而过渡区和冕区的紫外与 X 射线流密度与 $B-V$ 关系图上, 未显示出明确的分布区下边缘的原因, 是否表示不存在类似色球的基生发射成份, 或是由于仪器灵敏度限制所致, 尚不完全清楚。

2. Ca II HK 发射线流指数 R'_{HK}

晚型恒星中的所谓谱线发射, 除极个别特定活动谱线如 H_{α} 等, 在活动期可能呈现为连续背景上的完全发射线特征, 而如 Ca II HK 等谱线发射, 多表现为吸收谱线的填充效应, 或是强吸收线轮廓中心的发射核特征。文(1)中 Wilson 所定义的 Ca II HK 谱线发射指数 S , 本质上是 H、K 线的等值宽度。Noyes 等指出^[7], 由于接近 HK 线的连续背景, 随光谱型变晚而迅速减弱, 用 S 指数代表 H、K 流量, 对较冷的恒星的 H、K 线发射量度会产生过高的估计, 因此, 他引入一个新的 Ca II HK 发射线流指数 R'_{HK} 定义, 代表一个纯色球发射流比, 并为许多研究者所采用:

$$R'_{HK} = F'_{CaII} / \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

其中 $F'_{CaII} = F_{CaII} - F_{CaII}^0$, F_{CaII} 是观测值, F_{CaII}^0 即前述的光球背景改正值。(1)式可写成 $R'_{HK} = R_{HK} - R_{HK}^0$, R_{HK}^0 可由最不活动的恒星观测得到的 R_{HK}^0 和 $B-V$ 之间的经验定标关系去估算。 R'_{HK} 是纯色球发射与恒星热辐射光度之比, 较为可靠地代表了色球 HK 线流发射实际情况, 在许多统计工作中被采用。

3. Vaughan-Preston 分布空隙

Duncan 由 Wilson 山天文台的晚型主序星巡天观测资料得到 R'_{HK} 和 $(B-V)$ 分布如图 2 所示^[8], 图中以实心点表示年轻星, 以空心点表示较年老的恒星, 它们之间存在一个明显的分布间隙区域。因为这一分布空隙首先曾是 Vaughan 和 Preston 在发射流密度指数 S 与 $B-V$ 关系图上发现的, 故称之为 Vaughan-Preston 空隙^[9], 有关的解释有几种:

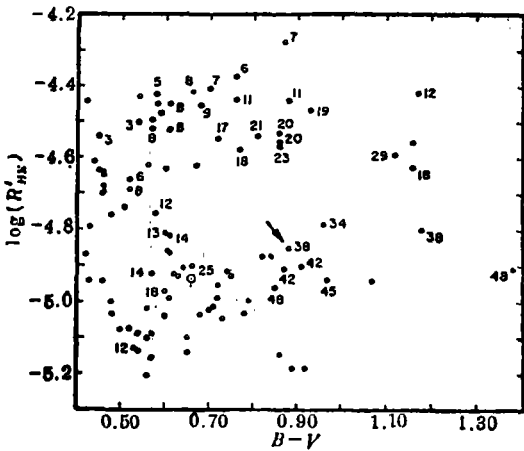


图 2 色球 Ca I HK 流密度比 R'_{HK} 和色指数 $B-V$ 关系图, Vaughan-Preston 空隙。(数字代表恒星自转天数)

分布间隙区域。因为这一分布空隙首先曾是 Vaughan 和 Preston 在发射流密度指数 S 与 $B-V$ 关系图上发现的, 故称之为 Vaughan-Preston 空隙^[9], 有关的解释有几种:

(1) 认为是由于缺乏中等年龄的样品所致的选择效应。但这一看法已被 Twarog 对太阳系附近恒星的年龄的广泛研究所排除^[10]; (2) Durney 等认为可能是某种年龄上恒星的星风物质损失加剧, 自转迅速减慢, 从而引起活动性减小所致, 但目前尚需观测证明^[11]; (3) Hartmann 等则认为可能是无意义的随机现象^[12]。有趣的是, Dobson-Hochev

在 227 个主序矮星的 X 射线面流密度与色指数 $B-V$ 的分布图上, 未见到类似 Vaughan-Preston 的分布空隙^[13]。

4. 发射线面流密度 F_i 与 $B-V$ 关系图弥散特征

所有关于晚型星大气的特征谱线流包括 X 射线面流密度在与 $B-V$ 的关系图上均呈现很大的弥散, 但仔细分析, 除观测误差外, 亦见有以下规律性倾向: (1) 给定色指数的情况下, 自转愈快, 面流密度愈大(参见图 2); (2) 给定自转量时, 恒星的光谱型愈晚, 发射愈强; (3) 活动谱线面流密度可能与恒星年龄有关, 年轻的星比年老的星发射来得强。

5. 太阳型与非太阳型晚星

Linsky 和 Haisch 1979 年从 IUE 紫外卫星巡天观测资料中发现^[14], 并被 Einstein 卫星 X 射线巡天观测所证认的是^[15]存在着两类不同的晚型活动星群: 一类称太阳型晚星, 具有太阳型色球和过渡区发射谱线, 并观测到冕区 X 射线流; 另一类称非太阳型晚星, 只有色球发射线, 无过渡区 UV 谱线和冕区 X 射线发射。在 H-R 图上的分界线, 大约是经过 K1 III ($B-V = 1.10$) 到 K2 IV 的几乎是垂直的线。此外, 在同一 H-R 图区域上, 似乎还存在着由热的 ($>10^6 K$) 稀薄的冕风过渡到冷的 ($<10^6 K$) 大质量星风的所谓星风分界线。冕分界线和风分界线可能等价, 但是, 关于其存在的事实, 目前尚无可信的解释。

三、各种大气谱线流之间的关系

自从 1981 年 Ayres 等人^[16]的工作以来, 人们已发现色球, 过渡区和冕区的大气发射线

流密度之间存在着下列简单的幂律关系:

$$F_y = a F_x^e, \quad (2)$$

并且, 如果从 F_x 中扣除前述色球下限流, 即只计活动色球发射成份之后, 上述关系式的 F_y 和 F_x 之间相关性大为提高, 在双流图上测点的弥散明显减小。表 4 系由 Schrijver 对 Ca II HK, Mg II hk, Si II, C II, C IV 和 X 射线流所得的统计结果^[17]。恒星取样的光度级从 II、III 到 V, 其中 II、III 到 IV 的恒星色指数 $B-V$ 由 0.3 到 1.3 (相当于光谱型从早 F 型到 K4 左右), 而 IV 到 V 的 $B-V$ 限制在 0.3 到 0.9 (~K3) 之间, 取样中排除了自转周期 $P < 1$ 天的恒星, 包括单星和双星。图 3 是 X 射线和 Ca II HK 线发射流密度之间的关系图。由表 1 可知, 色球和过渡区的发射流之间的关系幂律指数 $e \sim 1$, 近于简单的线性关系, 而冕区 X 射线流与其他大气层发射之间 $e \sim 1.5$, 但最活动的恒星, 其 F_x 有明显偏离幂律关系的情况。类似的研究, 亦可参见 Oranje 的工作, 其样品包括 dMe 和 dKe 星, W UMa 型双星, FK Com 型星和很短周期相接双星 (ER Vul, $P = 0.7$ 天), 发现均遵循上述幂律关系, 但他指出, dMe 和 dKe 星和 W UMa 型相接双星, 有明显偏离平均关系的倾向^[18]。其他研究者的结果类同, 差别只是在 (2) 式中的统计常数 a 的大小上。

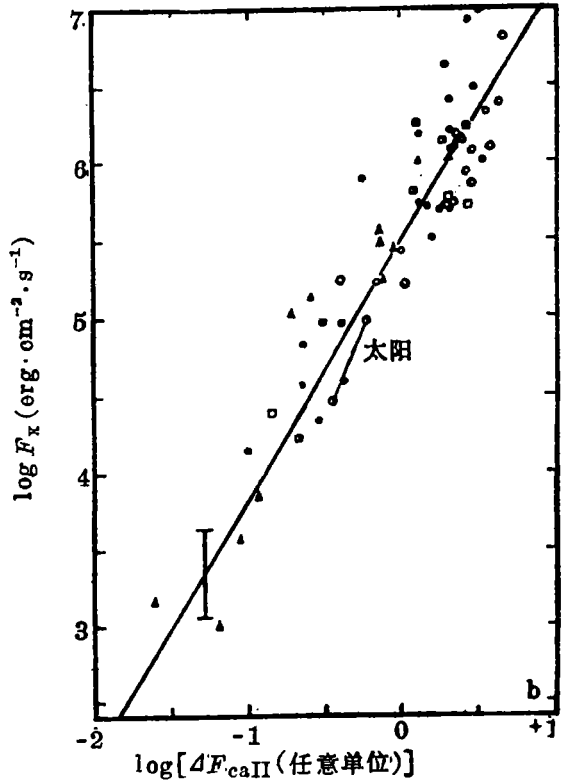


图 3 $F_{Ca II}$ 和 X 射线 F_X 之间的双流关系图举例, $\Delta F_{Ca II}$ 代表已扣除下限流

表 1 流一流关系幂律指数统计测定

F_x	F_y	e_{xy}	相关系数	F_x	F_y	e_{xy}	相关系数
Ca II	Mg II	0.86	0.97	Si II	C IV	1.0	...
Ca II	Si II	0.88	0.94	C II	C IV	1.0	...
Mg II	Si II	1.1	0.95	Ca II	X-ray	1.5	0.90
Ca II	C II	1.	...	Mg II	X-ray	1.5	0.96
Mg II	C II	1.1	...	Si II	X-ray	1.4	0.97
Si II	C II	0.9	...	C II	X-ray	1.5	...
Ca II	C IV	1.	...	C IV	X-ray	1.5	...
Mg II	C IV	1.1	...				

总之，晚型(类太阳型)活动恒星大气不同层次活动谱线流之间的紧密关系表明，其发射的量度只须一个简单的活动参数，而与恒星颜色或光度级无明显关系，意味着它们有共同的起源，这是一个非常重要的观测事实和结论。

四、晚型恒星大气活动与自转等的关系

Noyes 等曾首先通过色球 Ca II HK 谱线流和自转的统计研究，揭示出它们之间有着明确的相依性，如图 4 所示^[7]。从太阳与恒星之间的类比研究角度来看，这是一个可以预期的结果，太阳物理指出，色球 Ca II HK 谱线发射是由于表面磁场对色球的非热致加热产生的，而大多数关于磁场产生的发电机理论认为，发电机活动是由于纬度方向的较差自转效应(ω -效应)和径向由于自转在对流速度场中引入的螺旋效应(α -效应)的综合结果造成。而 α 效应在某些发电机模型中更为突出，自转愈快， α 效应愈强，色球 Ca II HK 流发射也愈强。图 4 中，从晚型星的 Ca II HK 与自转的关系，可能正映证了这一发电机原理的普遍意义。

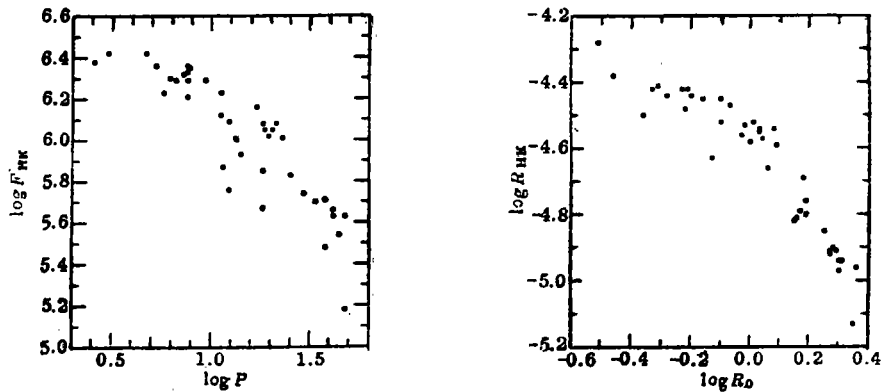


图 4 主序矮星的 F'_{CaII} , R'_{HK} 与自转周期的关系图

为此，Noyes 等进一步探讨了色球活动性与 Rossby 数 R_0 的关系。 $R_0 = P/\tau_c$ ， τ_c 代表对流的转向时间，它是科里奥利力产生对流区螺旋效应的重要性的一种量度，可以用混合长理论表达为光谱型即 $(B-V)$ 的函数。Noyes 等采用 $\alpha = 2$ 的混合长模型，计算对流带底部的 τ_c ，从而把图 4 转换成以 R_0 为横坐标的关系图，其中 R'_{HK} 即前述纯色球发射面流密度与恒星热辐射光度之比。结果弥散度减小了近 1/2，可见，与周期 P 相比，Rossby 数可能是活动性的更为基本的量度。色球发射流对所有矮星，不论其活动程度大小和年龄是年老还是年轻，也不论光谱型如何，都似乎遵循同一活动起源机制。

Basri 1987 年把统计样品扩展到具有不同内部结构的恒星，包括从 G 到 K 型矮星和巨星，并且大多数是双星，对它们的紫外观测结果的 Mg II hk 和 C II 等谱线流密度与 Rossby 数的关系进行统计研究，其结果亦证明了恒星活动性主要依赖于自转速度，而且指出，双星和单星一样，呈现明确的活动性与自转或 Rossby 数之间类似的依赖关系，尽管对于给定子星的自转周期的双星子星，比单星有较高的活动水平，但用 Rossby 数却比较完满地统一了两者之间的差别^[10]。

关于冕区活动性和自转的关系, Pallavicini 等^[20,21,22]曾对冕区 X 射线流光度 L_x , 或其与热辐射光度之比 L_x/L_{bol} , 与自转的关系作过统计研究, 亦表明它们之间有明确的相关性。Dobson-Hockey 对 78 个已知自转周期的主序晚型星曾使用一普遍表达式 $L_x/L_{bol} = f(P) + g(B-V)$, 其中 f, g 分别是周期 P 和色指数 $B-V$ 的函数, 当用 Rossby 数 R_0 代替它们的时候, L_x/L_{bol} 与 R_0 的关系即变得更趋平滑和单调(如图 5 所示)。近来, Stewart 等对 68 个活动色球星的冕区微波射电观测进行了统计研究, 他指出, 如果不是用射电光度 L_r , 而是用光度比 L_r/L_{bol} 或面流密度 L_r/R^2 , 则亦明确显示出与周期的相关性, 他得出 $L_r/R^2 \propto P^{-1.8}$, R 是恒星半径^[23]。

晚型恒星大气活动性与自转或 Rossby 数 R_0 之间的紧密关系, 证明了活动性来源于恒星磁场的产生与磁能的释放。自转是具有深对流层的晚型星磁场产生的最基本的物理参数, 许多研究者通过自转的演化效应, 试图建立恒星活动性与年龄的关系, 但这个问题比较复杂。主序矮星的统计研究相对来说结果较明确, 图 6 是 Duncan 给出的对具有不同年龄的星团恒星的 R_{HK} 和年龄的统计关系^[5], 直线表示经验关系曲线, 其斜率为 $-1/3$, 它不同于根据 Skumanich 自转随年龄的衰减关系 $V_{rot} \propto t^{-1/2}$ 所预示的值 $(-1/2)$ ^[24]。至于主序前和主序后恒星自转的演化就比较复杂。Hartmann 和 Noyes 对从主序前金牛座 T 型星到主序阶段的情况作了详细讨论指出, 恒星在向主序收缩演化过程中, 自转不断增加。而到达主序, 年龄在 3×10^7 到 1×10^8 年过渡阶段上, 由于星风引起的磁制动效应, 自转出现一个迅速减慢时期^[25]; 而 Gray 等发现, 主序后, 恒星向巨星演化过程中, 在 H-R 图上会经过一“自转制动线”

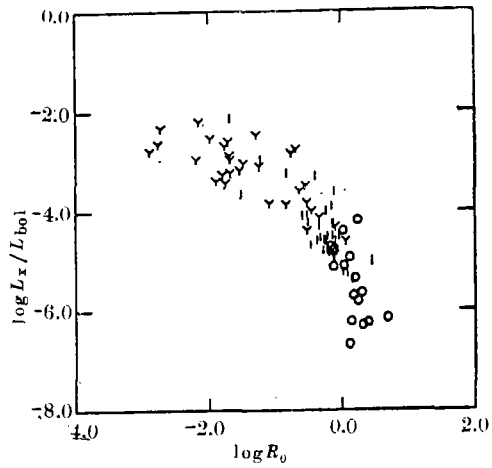


图 5 主序矮星冕区 X 射线光度比 L_x/L_{bol} 和 Rossby 数 R_0 的关系, Y, 1, 0 分别代表年轻、中年和年老的星

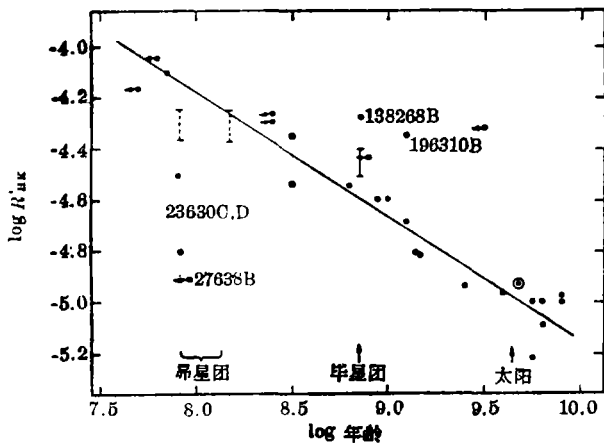


图 6 已知年龄的恒星的 Ca II HK 发射流分布, 数字代表 HD 号码

(走向经过 GO IV 到 KO III), 自转会有很强的突然减小, 在 G5 III 附近, 估计自转会很快减小 5 倍^[26]。由于自转对发电机模型产生磁场的作用, 不但表现在其平均自转和纬向较差自转的作用上, 而且也取决于半径方向的径向较差自转的大小。尽管日震学分析资料揭示太阳的径向较差自转很小, 但如上述恒星在演化过程中两个周期突然减小时期, 必然会出现内部对流层与中心核之间的很大的径向较差自转, 其活动性也必定有其特殊性, 恒星的活动性与年龄之间将不会是一个简明的关系, 有关问

题, 值得进一步探讨。

五、恒星耀发活动及其类太阳

本质的新的观测和统计结果

类太阳耀斑爆发活动, 除经典耀星外, 已在其他许多晚型单星或双星中观测到。例如, RS CVn 型双星 HR 1099 (= V711 Tau) 在 1978 年的一次爆发, 6 cm 射电波记录到数月内连续 9 次爆发峰, 每次有几小时的时间尺度, 最强的一次比太阳最强的耀斑爆发的射电强度大 1 亿倍, 总能量达 10^{34} 尔格以上, 相应的光学波段的 H_{α} 发射也比爆发前增强 1 倍。此外, 如 Einstein 卫星对主序前恒星的 X 射线观测揭示 (DG Tau 等) 存在所谓“超级耀发”活动, 其耀发能量比最大的太阳耀斑爆发高 10^3 倍, 比 dMe 耀星高 10^2 倍, 与 RS CVn 型双星中记录到的最强耀发相当。近 10 多年来, 分别在光学、紫外、X 射线、厘米波或微波射电波段, 都分别观测到许多晚型星的不同规模的闪耀事件, 可以说它亦是具有一定普遍性的重要类太阳活动。但是, 耀发频率最高, 观测较多的, 仍是经典耀星。

耀星呈现出对于大气不同层次的亮度不均匀性, 如光球黑子、色球谱斑、冕洞和亮 X 射线区等。其中 dKe 和 dMe 发射线耀星的活动性最强, dMe 耀星的活动性约是 dM 耀星的 100—1000 倍, 并和 RS CVn 型双星一样, 已成为一类新的非热致射电源。耀星具有很强的色球 H_{α} 发射线, 统计表明, 光度在 $7 < M_v < 18$ 等的 dMe 和 dKe 耀星, 宁静期的色球和冕区发射面流密度 $F_{H_{\alpha}}$, F_{chr} (色球所有发射线流) 和 F_x 之间, 亦遵循本文 (2) 式所示的幂律关系 ($e=1$), 包括耀发时 U 波段面流密度 $F_r(U)$ 在内, 在 $7 < M_v < 13$ 之间, 所有观测到的上述面流密度均持有很高的发射水平, 而对弱于 $M_v = 13-14$ 等的耀星, 则呈现减弱趋势。平均而言, 光度大的耀星的活动强度是光度弱的耀星的 100 倍, 转折点在 $B-V = 18$ 或光谱型 M5 附近, 其原因被认为是小质量的红矮星内部完全对流的结构减小了发电机效率所致^[27]。耀星的活动性, 类似于光谱型较早的太阳型恒星, 呈现与自转的相关性。Bopp 等发现赤道自转速度 $V \sin i > 5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 M 矮星, 具有 H_{α} 发射的, 为 dMe 耀星, 而小于 $5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的, 为非 dMe 星^[28]。Fleming 利用 Einstein 卫星观测得到 X 射线光度 L_x 随自转 $V \sin i$ 增加而增强的关系^[29]。

耀星每次耀发的能量一般在 $10^{28}-10^{34}$ 尔格, 相差至少有 10 个数量级, 耀发功率正比于耀发频率。多波段观测表明, X 射线、紫外和光学波段在耀发时的能流近于相等, 这些窗口的总释放能功率, 可达到耀星热辐射光度的 0.1—0.3%。耀星耀发事件与太阳耀斑爆发的差别, 除能量大得多以外, 耀星还伴随有光学连续背景的增强, 表明有高密度色球区的连续加热情况出现。此外, EXOSAT 卫星还观测到不同于太阳的第三种耀发变化, 其发射流增加较慢, 而衰减却比较迅速 (EQ Peg, 1984 年 12 月 7 日耀发), 等等。

Petterson 对 dKe 和 dMe 耀星的统计得出, 耀星耀发功率和宁静大气发射功率之间有密切相关性^[27]:

$$\log L_x = 0.89 \log L_r(U) + 4.19 \quad (3)$$

$$\log L_{H_{\alpha}} = 0.89 \log L_r(U) + 3.34 \quad (4)$$

相当于遵循 $e=1.12$ 的面流密度幂律关系式 (2), 这表示耀发能源和宁静期色球与冕区的发

射具有内在的联系, 即大多数研究者认为的, 耀发是由于类太阳的表面磁结构的不稳定性, 在光球边界条件变化时, 释放其所贮存的能量的结果。目前, 太阳耀斑爆发的磁耀机制, 尚不能解释有关的细节, Grandpierre 曾提出另一种完全不同的看法, 即耀发是源于对流带的扰动, 而不是磁结构的不稳定性变化^[30]; Katsova 则认为由于磁力线再连接的机制不能解释初闪阶段能量的输出, 所以对流在其初期能量的释放中必定扮演重要的角色^[31]。对不同类型的恒星耀发活动的多波段观测, 对提供太阳耀斑爆发理论的物理约束和发展恒星耀发机制十分重要。

六、小 结

恒星中的类太阳活动的研究进展很快, 在利用太阳物理已有的理论去认识晚型恒星的活动性上, 取得很大的成功, 但因恒星的多样性和复杂性, 对太阳和恒星的类比研究, 也必然受到限制, 例如: (1) 恒星中的活动规模和能量比太阳大得多, 量的不同必然包含某些质的区别; (2) 双星中可能存在子星间的磁场和连接两子星的磁回路, 作为单星的太阳, 将不能完全与之类比; (3) 非太阳型晚型巨星和超巨星, 既有类太阳色球发射, 也有非太阳冕的巨大质量和角动量的星风损失; (4) 早 F 型($B - V = 0.30$ 到 0.42) 的薄对流层, 晚 M 型(晚于 dM5) 星和主序前恒星的内部几乎完全对流的结构, 都十分明显地区别于太阳活动的物理环境。因此, 需要进一步发展恒星磁场产生的发电机理论, 探讨大气加热的各种机制, 研究冕和非冕大气结构与星风损失的机理。

恒星中类太阳活动的规律及其本质现象的探讨, 在未来十年内, 可望在一些方面取得重要进展: (1) 更长时间基线的恒星活动周的观测, M 型矮星活动周问题, 以及活动周与自转、光谱型的关系; (2) 强活动星和重要活动现象的地面和空间的多波段联合观测, 表面光球、色球和冕区亮度不均匀性的光学、射电成像, 取得有关黑子和活动区可信的物理参数; (3) 晚星磁场的直接测定, 将在 80 年代有所突破的基础上, 取得重要进展, 这对晚型星磁场的产生, 磁能的转换和对大气的加热等基本问题的解决, 有着决定性意义, 并建立磁场的间接测定方法, 如大气活动谱线流与磁场的关系的定标问题; (4) 不同类型的晚型星自转的测定, 不同时间尺度的光变的精细观测。星震学的研究, 亦可望提供有关恒星对流带深度、内部径向较差自转等重要信息。

参 考 文 献

- [1] Rutten, R. G. M., *A. Ap.*, 130 (1984), 353.
- [2] Oranje, B. J., *A. Ap.*, 154 (1986), 185.
- [3] Schrijver, C. J., in *Cool Star, Stellar Systems and the Sun, the 5th Cambridge workshop*, ed. by J. I. Linsky and Stencel, R. E., p. 135, (1987).
- [4] Zwaan, C., in *Solar and Stellar Magnetic Fields: Origins and Coronal Effects*, IAU. Symp., № 102, p. 85. (1983).
- [5] Noyes, R. W., in *Solar and Stellar Magnetic Fields: Origins and Coronal Effects*, IAU. Symp., № 102, p. 133. (1983).
- [6] Ulmschneider, P. and Stein, R. F., *Astron., Ap.*, 106 (1982), 9.
- [7] Noyes, R. W., Hartmann, L. W., Baliunas, S. L., Duncan, D. K., and Vaughan, A. H., *Ap. J.*, 179(1984), 763.

- [8] Duncan, D. K., in *Cool Star, Stellar Systems and the Sun, the 3th Cambridge Workshop*, ed. by S. L. Baliunas, and L. Hartmann, p. 128, (1984).
- [9] Vaughan, A. H. and Preston, G. W., *Publ. A. S. P.*, 92 (1980), 385.
- [10] Twarog, B., *Ap. J.*, 242 (1980), 242.
- [11] Durney, B. R., Mihalas, D. and Robinson, R., *Publ. A. S. P.*, 93 (1981), 537.
- [12] Hartmann, L., Baliunas, S. L., Duncan, D. K. and Noyes, R. W., *Ap. J.*, 279 (1984), 778.
- [13] Dobson-Hockey A. K., in *Cool Star, Stellar Systems and the Sun, the 5th Cambridge Workshop*, ed. by J. L. Linsky and R. E. Stencel, p. 309, (1987).
- [14] Linsky, J. L. and Haisch, B. M., *Ap. J.*, 229 (1979), L27.
- [15] Haisch, B. M. and Simon, T., *Ap. J.*, 263 (1982), 252.
- [16] Ayres, T. R., Marstad, N. C. and Linsky, J. L., *Ap. J.*, 247 (1981), 545.
- [17] Schrijver, C. J., *Astron. Ap.*, 172 (1987), 111.
- [18] Oranje, B. J., *Astron. Ap.*, 154 (1986), 185.
- [19] Basri, G., *Ap. J.*, 316 (1987), 377.
- [20] Pallavicini, R., Golub, L., Rosner, R. and Vaiana, G. S. et al., *Ap. J.*, 248 (1981), 279.
- [21] Walter, F. M., in *Solar and Stellar Magnetic Fields: Origins and Coronal Effects*, IAU. Symp., No. 102, p. 193, (1983).
- [22] Stern, R. A., in *Cool Star, Stellar Systems and the Sun, the 3th Cambridge Workshop*, ed by S. L. Baliunas and L. Hartmann, p. 150, (1984).
- [23] Stewart, R. T., Slee, O. B., Nelson, G. J. and Wright, A. E. et al., in *Cool Star, Stellar Systems and the Sun, the 5th Cambridge Workshop*, ed by J. L. Linsky and R. E. Stencel, p. 95, (1987).
- [24] Skumanich, A., *Ap. J.*, 171 (1972), 565.
- [25] Hartmann, L. W. and Noyes, R. W., *Ann. Rev. A. Ap.*, 25 (1987), 271.
- [26] Gray, D. F. and Nagar, P., *Ap. J.*, 298 (1985), 765.
- [27] Pettersen, B. R., in *Activity in Cool Star Envelopes, Proceedings of the Midnight Sun Conference, held in Norway*, ed. by O. Havnes, p. 49, (1989).
- [28] Boop, B. W., Noah, P. V., Klimke, A. and Africano, J., *Ap. J.*, 249 (1981), 210.
- [29] Fleming, T. A., Ph. D. dissertation, Univ. of Arizona, Tucson, (1987).
- [30] Grandpierre, A., in *Flare Stars and Related Objects, Proc. Symp. Byur. Astrophys. Obs.*, ed. by L. V. Mirzoyan, p. 176, (1987).
- [31] Katsova, M. M., in *Activity in Cool Star Envelopes, Proceedings of the Midnight Sun Conference, held in Norway*, ed. by O. Havnes, p. 143, (1989).

(责任编辑 林一梅)

Solar-like Activities in Late-type Stars(II): Active Chromosphere, Transition Region and Coronal Emissions, and Stellar Flares

Zhai Disheng

(Beijing Observatory, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

This paper summarizes our present understanding of solar-like activities in flares of late-type stars from optical, UV and X-ray emissions. The remarkable progress has been made in the last decade on study of the empirical relationship between chromospheric and coronal fluxes and as well the correlations of the activities with stellar parameters such as the spectral type, rotation, Rossby number, age and so on. Possible explanations of them and some particular problems that are ripe for further investigation are also briefly described in this paper.