

# 太阳耀斑的分类\*

王家龙

(中国科学院北京天文台 北京 100080)

## 摘 要

太阳耀斑分类工作的进展反映了太阳耀斑观测研究与理论研究的进展。本文首先综述耀斑的分类,对近年提出的种种分类作评述,讨论这些分类的观测基础。然后,基于最近两个太阳周的观测工作,提出一种新的多能段太阳耀斑分类方法。按照耀斑在光学、X射线以及射电波段的观测表象,把耀斑较完整地分为8类。

## 1 前 言

太阳物理、行星际物理和地球物理学的许多理论工作与统计研究都涉及到太阳耀斑的分类与分级。耀斑的分类与分级不仅具有太阳活动的研究意义,也具有广泛的应用意义,因而受到多种相关学科的重视。对耀斑分类的基本要求是能够反映不同种类耀斑在某些方面的物理内容的差异。耀斑的分级则主要是区分同一类耀斑在某一个或几个测量参量上的数量差别。耀斑的分类显然比分级具有更深的物理意义。分类工作的进展反映了耀斑研究工作的进展,分类的水平标志了我们对耀斑了解的程度。本文仅研究耀斑的分类,不涉及分级问题。

在耀斑研究中,常根据耀斑的某种形态特征或发射某种波段的辐射而冠以特殊名称,如相似耀斑<sup>[1]</sup>、远紫外耀斑、X射线耀斑或 $\gamma$ 射线耀斑等。在早期往往主要依据耀斑的光学现象区分耀斑,提出了白光耀斑<sup>[2]</sup>、双带耀斑<sup>[3]</sup>等名称。另外,据耀斑的粒子发射提出了宇宙线耀斑和质子耀斑<sup>[4]</sup>、电子耀斑<sup>[5]</sup>等以示区别。上述关于耀斑类型的划分,严格说来最多只是二分法的分类或极简单的分类,不能构成完整的分类。耀斑的单波段分类,较好而完整的例子是射电爆发的运动频谱分型。这种分型把太阳射电爆发分为I型(type I)至V型(type V),尤其在米波段具有较好的完整性和明确而丰富的物理内容<sup>[6]</sup>。但是这种分型仅涉及到射电频段的运动频谱形态,受单波段的局限,不能全面地反映耀斑的时间过程和空间结构。一个反映现代耀斑知识的耀斑分类,应该能表征耀斑在三个基本位相的时间过程中的空间结构特点。我们需要一种能反映耀斑的地-空观测结果与水平的多能段(多波段)太阳耀斑分类方法。

\* 国家自然科学基金资助重大项目 49391400

1993年7月5日收到,1993年9月15日收到修改稿

本文第二节中,评述近些年提出的某些耀斑分类。第三节中提出一种新的耀斑分类法——耀斑的多波段分类方法。最后在第四节作一些简要的讨论。

## 2 太阳耀斑分类简析

最近三个太阳周的观测,特别是空间观测的结果,大大改变了我们关于太阳耀斑的传统概念,使我们认识到耀斑是一个按一定时间次序辐射电磁波和粒子的三维爆发过程,光学现象只是次级产物,高能辐射是其重要的核心部分<sup>[7]</sup>。“天空实验室”(Skylab, 1973<sup>[8]</sup>)、“太阳峰年探测”(SMM, 1980<sup>[9]</sup>)和“火鸟”(Hinotori, 1981<sup>[10]</sup>)等卫星的观测工作和地面射电日像仪,例如 Culgoora 日像仪及 Nagoya 干涉仪的观测工作<sup>[11,12]</sup>为获取耀斑知识作出了巨大贡献。下面分别评述了近些年来提出的某些耀斑分类。

### 2.1 70 年代的两个分类

分析 Skylab 及其以前的观测结果,Švestka<sup>[13]</sup>将太阳耀斑分为低温耀斑与高温耀斑两种。低温耀斑为光学耀斑,高温者则辐射 X 射线及射电辐射。虽然 Švestka 也论述了耀斑的非热现象,但这种以温度来分类的方法显然是把耀斑主要视为热现象过程,而这在分析耀斑的核心问题——高能辐射时,似乎是有弊病的。

在 1977 年, Pallavicini 等<sup>[14]</sup>发表了他们总结 Skalab 在软 X 射线波段观测的 43 个边缘耀斑的结果。对这些边缘耀斑容易进行径向结构的分析。他们把这些耀斑区分成三组,即:第一组——环弧结构致密耀斑,第二组——亮点状耀斑,第三组——大的扩散的环弧系统耀斑。接着又把这三组耀斑归并成两类:第一类含上述第一和第二组,第二类为上述第三组。Pallavicini 等人的分类是以 Skalab 对耀斑作软 X 波段的二维成像观测为基础的,未包含硬 X 射线辐射等耀斑非热成分的考虑。容易看出,这种分类实质上是把耀斑分成较小而致密的耀斑与大而较扩散的耀斑两类,隐喻着源的密度是决定耀斑类型的物理参量。

### 2.2 Ohki 和 Tanaka 的分类

从 80 年代初开始了耀斑观测的一个新时代,其主要标志是耀斑的硬 X 射线二维成像观测。达到的主要指标是空间分辨  $8''$ , 时空分辨 1.5s, 能量范围  $\leq 50\text{keV}$ 。相当大量的观测是由 SMM<sup>[9]</sup>和 Hinotovi<sup>[10]</sup>完成的。初期资料的分析曾导致耀斑的硬 X 射线源是双源<sup>[15]</sup>还是单源<sup>[16]</sup>的分歧看法。同时,测量耀斑 X 射线流量的时间分辨已达 ms 量级,已能在  $<1\text{s}$  时间内获得一幅流量谱。

1983 年 Ohki 等人<sup>[17]</sup>基于 Hinotori 卫星对耀斑作的硬 X 射线 ( $<40\text{keV}$ ) 二维像观测及其流量密度时间变化资料,将耀斑分成时间上渐变、空间上源的位置较高的耀斑和时间上为脉冲型、空间上源的位置较低的耀斑这样两种类型。虽然 Ohki 等人的分类所依据的样本量较少,但是其分类已经反映了不同类型耀斑在时间过程上有渐变型与脉冲型之分,在空间上高能源有高位与低位之差异。这种分类基本上表征了耀斑的时间与空间结构,其欠缺处是不够完整全面,其他波段现象和不同位相的差异考虑较少。例如,有的耀斑表现出硬 X 射线源从脉冲相到后期相有明显位移<sup>[18]</sup>。

基于 SMM 和 Hinotori 的观测, 80 年代前 5 年所做的大量分析, 进一步把耀斑分类研究推向了一个新的高潮。研究者使用耀斑硬 X 射线辐射的时间轮廓、源的二维像和辐射谱来划分耀斑。Tanaka<sup>[19]</sup> 首先引入所谓 A、B、C 型区分耀斑的高能源。Tsunata<sup>[20]</sup> 对此作了详细的举例讨论。1987 年 Tanaka<sup>[21]</sup> 再次总结了 Hinotori 卫星的观测结果, 明确给出了有高能辐射的耀斑的 ABC 分类的定义。

A 型——高温热耀斑 可以很有效地产生出高温 ( $T=(3-4)\times 10^7\text{K}$ ) 热等离子体以辐射硬 X 射线和强的 Fe XXVI 谱线辐射, 源尺度小, 时间轮廓为缓缓升缓降型, 大于 40keV 的硬 X 射线辐射为软谱 ( $\gamma=8-9$ ), 射电辐射弱。

B 型——脉冲耀斑 典型的脉冲硬 X 射线暴含有快速变化的尖峰, 辐射来自环足等低日冕区, 硬 X 射线谱较硬 ( $\gamma=3-7$ ) 且在后期变软 ( $\gamma=5-8$ ), 时间轮廓变缓, 源变得更密和较高。

C 型——缓变的硬的耀斑 长寿命 ( $>30\text{min}$ ) 的无脉冲特点的宽峰爆发, 源呈大而延展的环弧状、位置较高 ( $>40\ 000\text{km}$ ), 辐射谱很硬且渐变得更硬 ( $\gamma=2.5-4$ ), 有很强的微波辐射。

ABC 分类主要考虑耀斑的硬 X 射线辐射特征, 也论及到其他波段的性质。它的主要问题是完整性不够。例如, de Jager 和 Švestka<sup>[22]</sup> 分析了一个有最完整记录的大耀斑 (1980 年 5 月 2 日), 指出“毫无疑问, 这个耀斑是 B 型 (辐射来自环足) 也是 C 型 (辐射来自较高的日冕中)”。还有, Nitta 等人<sup>[23]</sup> 指出, 1982 年 2 月 3 日 2B/X1.1 级耀斑具有 ABC 三种类型耀斑的大部分特征。因而 ABC 分类受到了挑战。

### 2.3 Takakura 的分类

由于观测所显示的耀斑高能源在形态上 (单或双或多个源等)、辐射谱上 (指数、幂律或重谱) 及辐射流量密度的时间轮廓上 (脉冲、缓变、混合或成串) 的多样性、复杂性, 分类工作面临着较大的困难。以另一种物理思想为指导, Takakura 等人<sup>[24]</sup> 提出了另一种分类的设想: 各种辐射成分的组合形成了多种多样的耀斑。据空间观测, 他们分析出组成耀斑硬 X 射线源的成分可以是:

(1) 脉冲成分 强度取脉冲式变化, 主要在耀斑初相发生, 源位于低日冕或环弧足部,  $H_\alpha$  形态为暗条爆发、磁剪切和亮块沿磁场中性线两侧作不规则扩展;

(2) 缓变——硬成分 强度峰宽, 不含尖锋变化, 谱在峰值前渐变硬, 呈硬幂律谱, 源在高日冕中较稳定,  $H_\alpha$  形态为弱剪切结构, 无明显暗条, 亮双带扩展较远;

(3) 热成分 强度变化和缓, 等离子体温度为  $1\times 10^7-2.5\times 10^7\text{K}$ , 源较弥散, 可能是“蒸发”产生的源, 在耀斑后期  $H_\alpha$  形态为双带;

(4) 高温热成分 强度缓变, 谱软, 源的等离子体温度  $3\times 10^7-4\times 10^7\text{K}$ , Fe XXVI 线发射的辐射量度很大 ( $\sim 10^{49}\text{cm}^{-3}$ ), 致密源位于低日冕或扩展到较高区域;

(5) 准热成分 强度缓变, 有时能显现 Fe XXVI 谱线, 谱软 ( $\gamma=8-9$ ), 有效温度为  $2.5\times 10^7-3.5\times 10^7\text{K}$ , 源在低日冕, 致密或扩展到较高的源,  $H_\alpha$  形态为弥散的亮双带。

据上述分类以及大多数耀斑的源 (除致密源外) 位于环弧顶部, 再考虑到耀斑环弧长度  $l$  和环弧内的等离子体密度  $n$  为区分耀斑源的重要参量, Takakura<sup>[16]</sup> 用  $n-l$  图 (图 1) 来划分耀斑的硬 X 射线源。他指出, 不同的  $n-l$  区与源的种类有一一对应关系, 同一种

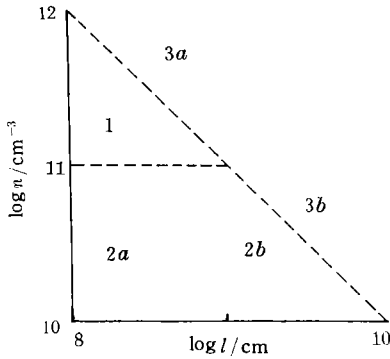


图1 Takakura 的  $n-l$  图  
 $n$  为耀斑环中的密度,  $l$  为环的长度  
 虚线代表  $nl=10^{20}\text{cm}^{-2}$ [16]

源可以参与形成不同类型的耀斑。图 1 是 Takakura 的  $n-l$  图, 其中斜虚线表示

$$nl = 10^{20}\text{cm}^{-2}$$

这个值对应于足以挡住能量小于 20keV 的电子束从环弧顶打到足部所需的柱密度。表 1 是他对高能源的分类及其与耀斑分类的关系。他认为  $n-l$  图 (图 1) 上的 1、2a、2b、3a 和 3b 诸区域与耀斑的辐射源及与耀斑的像几乎有一一对应关系, 但是源的像与耀斑类型之间无这种对应关系。Takakura 对耀斑成分的划分是符合观测实际的, 对源的划分所依据的参量 (尺度与密度) 是重要的。他的分类工作主要是研究耀斑的成分, 认为不同成分的

组合就形成种种耀斑。他并没有提出明确的完整的耀斑分类。

表 1 Takakura 的源与爆发分类

区域	源/ $\sim 20\text{keV}$	像	爆发类型
1	环弧足部	致密	尖峰式
2	a — 低日冕	致密	脉冲型
	b — 低日冕	扩展	
3	b — 较高日冕	扩展(C型)	脉冲链型
	a — 低日冕	致密(A型)	缓变而硬型
			缓变而软型

### 2.4 Sturrock 和 Bai 的分类

Sturrock<sup>[25]</sup> 认为, 一个耀斑所具有的性质主要由耀斑之前该区域的磁场结构以及耀斑过程中磁场结构的演化路径决定。耀斑常常与暗条爆发有关, 暗条爆发又会导致物质被抛离太阳。在爆发暗条的下面会产生扩展的电流片, 如图 2 所示。电流片处的重联则可向耀斑的缓变相甚至脉冲相提供能量。耀斑的  $\gamma$  射线辐射事件及粒子事件都应该与电流片的重联有关。同时, 耀斑粒子事件还要求有合适的粒子逃逸机制, 即需要有预先存在的开放电流片或者与暗条有关的磁结构的喷发。Sturrock 用图 3 表示暗条上升并且从太阳抛射出去时导致的情况, 环绕暗条的环形磁流管所含的等离子体则是运动 IV 型爆的源, 而激波则产生 II 型射电爆发。由此, 他在为太阳活动预报所作的报告 (1984) 中, 提出依据活动区磁结构和暗条状况, 把耀斑分为 7 类<sup>[25]</sup>。产生这 7 类耀斑的活动区的特征分别是:  $\bar{F}N$  类 —— 无暗条, 无电流片;  $\bar{F}C$  类 —— 无暗条, 电流片是闭合的;  $\bar{F}O$

类——无暗条, 电流片是开放的或部分开放的;  $F\bar{E}C$  类——有暗条爆发但未被抛离太阳, 电流片是闭合的;  $F\bar{E}O$  类——有暗条爆发但未被抛出, 至少有部分电流片是开放的;  $FEC$  类——有暗条爆发并被抛离太阳, 电流片在开始阶段是闭合的;  $FEO$  类——有暗条爆发并被抛离太阳, 电流片是开放或部分开放的。这 7 种磁结构产生的耀斑在物质抛射、激波、 $\gamma$  射线辐射及粒子辐射四个方面的综合表现是不同的。

Sturrock 的分类具有较深的物理含义, 但是正如他自己所说, 当划分一个耀斑的类型时, 需要发展一种技术来监测太阳光球的速度场 (不仅是 Doppler 速度场), 还需要用一种待发现的方法来计算三维非线性无力场。因此, 他的分类仍处于其理论阶段, 尚未进入实用。

1989 年, Bai 和 Sturrock<sup>[26]</sup> 提出了一种新的耀斑分类。他们先考虑耀斑的不同位相的物理内容以及磁结构, 然后将耀斑分成 5 类:

第一类, 热的硬 X 射线耀斑 磁能主要转化为高温等离子体热能, 辐射软 X 及硬 X 射线, 在 40keV 以上谱很陡, 没有暗条爆发发生, 等离子体温度量级为  $3 \times 10^7$  K。

第二类, 非热硬 X 射线耀斑 主要的位相是非热脉冲型的, 这类耀斑的大部份与简单的或多或少稳定的磁结构有关, 电流中断可能是自发发生的, 可能有某种物质运动。

第三类, 脉冲 GR/P 耀斑 主要是非热脉冲位相型, 电流中断发生在致密的通量管系统中, 常伴有突然的物质运动或暗条活动, 有  $\gamma$  射线辐射和行星际高能质子发射。

第四类, 缓变 GR/P 耀斑 在初期预热或暗条爆发时主要是热相特征, 然后主要是非热的缓变位相, 随着暗条向外爆发和抛射形成一个扩展的电流片, 在耀斑的后期有磁重联发生, 有  $\gamma$  射线和行星际高能质子发射。

图 2 暗条爆发在其下面引起延展电流片的发展<sup>[25]</sup>

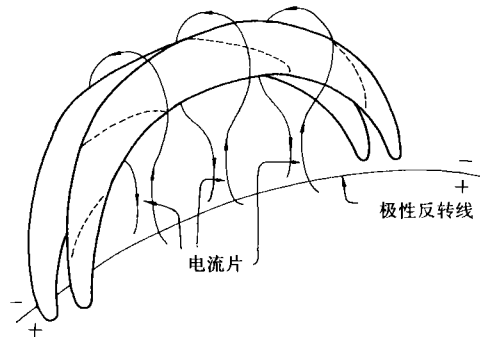


图 2 暗条爆发在其下面引起延展电流片的发展<sup>[25]</sup>

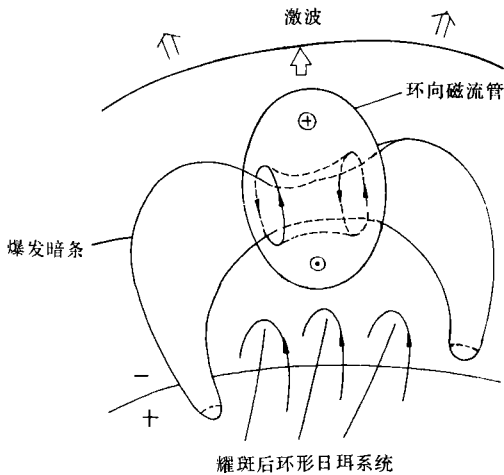


图 3 暗条上升并被抛射出太阳时所导致的情况示意图<sup>[25]</sup>

第五类, 宁静暗条爆发耀斑 这种耀斑包含有缓变 GR/P 耀斑的一些位相。在初期, 暗条爆发时是热位相, 继而在新形成的电流片处发生慢重联, 进入后期的热或非热位相。

Bai 和 Sturrock 的这种分类显然受到 Takakura<sup>[16]</sup> 分类、Tanaka<sup>[19]</sup> 分类和 Sturrock<sup>[25]</sup> 分类法的影响。这种分类也许较适于作理论探讨, 难于作耀斑的实际分类。同时, 因行星际质子事件的测量强烈受到行星际状态的影响, 把行星际质子事件作分类的因素之一, 就不能准确地反映在日面处的原耀斑情况。

### 2. 5 Švestka 的新分类

Švestka<sup>[27]</sup> 认为耀斑是磁结构变化而产生的短时间的磁场释放能量的过程。他认为耀斑基本上只能分为两类, 即动力型耀斑与限定型耀斑。前者包含有较大规模的磁场开放与磁力线重联过程, 而限定型耀斑则主要是小的、矮的、致密的耀斑, 整个过程被限定在原先存在的磁结构中。这种分类物理意义明确, 理论性较强。但是作者未能给出具体的分类参量或判定标准, 缺少实际可操作性, 也还需要更具体地分出几个次级类型。

## 3 一个新的太阳耀斑分类

现代所进行的空间与地面的多波段耀斑观测与分析, 大大地增进了我们对耀斑的时间过程和空间结构的认识, 也提供了建立新的多波段的耀斑分类的基础。可是, 对于至今似乎还没有明确定义的多波段耀斑分类, 在此我们提出一种既能反映耀斑的空间结构、时间过程, 又能表征耀斑主要物理状态的简单的耀斑分类法。

我们用三个字母来分类耀斑。第一个字母表示耀斑初相时主要高能源的位置, 从而反映 21 周以来了解的耀斑高能辐射在足部还是环弧顶部的空间结构。这并不与最近 Yohkoh 卫星多源观测结果相悖, 因为我们限定在初相时取耀斑的主要源。第二个字母表示峰期附近有否高温等离子体 ( $3 \times 10^7 - 4 \times 10^7 \text{K}$ ) 出现, 用是否有强的软 X 射线辐射 (Fe X X VI lines) 来判断。第三个字母表示耀斑后相 (峰期之后) 磁场是否有过开放形式, 体现在是否有射电 IV 型爆出现。

因此, 我们的耀斑分类定义如下:

(1) 在耀斑初相, 如果边缘耀斑的主要硬 X 射线源的核像伏在日面边缘上, 第一个字母取为 Y; 如核的像高在日冕中, 则取为 N。对于日面耀斑, 其主要硬 X 射线源的核像的日面正投影与  $H\alpha$  亮块像的位置相符, 则第一字母定为 Y, 否则为 N。

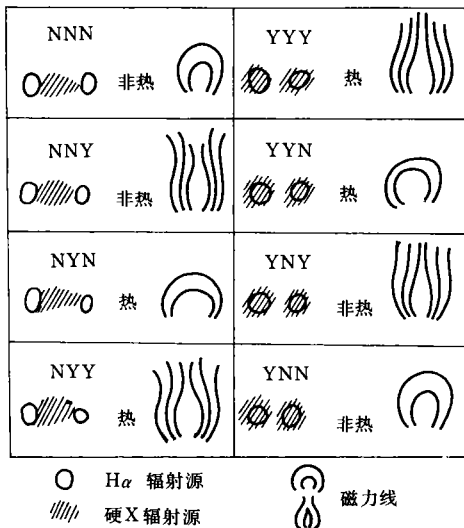


图 4 多波段耀斑分类示意图

(2) 在峰期附近, 耀斑有强的 Fe X X VI 线发射, 则定第二个字母为 Y, 否则为 N。

(3) 在耀斑峰期或之后, 有射电 IV 型爆伴随发生, 则第三字母取 Y, 否则取 N。

这样, 我们用耀斑的多波段观测现象, 把耀斑完整而又较简单地划分成 8 类, 如图 4。例如, 1981 年 5 月 13 日著名大耀斑<sup>[28]</sup>, 其硬 X 射线源远离  $H_{\alpha}$  亮块, 位于日冕中, 无 Fe X X VI 线辐射, 峰期后有射电 IV 型爆发, 它应属于 NNY 类耀斑。再如, de Jager 和 Švestka<sup>[22]</sup> 认为不能用 ABC 分类法分类的耀斑, 其硬 X 射线源位于  $H_{\alpha}$  亮核处, 无 Fe X X VI 线辐射, 伴有 IV 型射电爆, 虽在 ABC 分类中既有 B 型又有 C 型特征, 但在我们的分类中可唯一明确地划为 YNY 类耀斑。

## 4 讨 论

1. 耀斑的分类应能反映耀斑观测的新进展和分析研究的新结果。本文提出的耀斑分类建立于近两个太阳周耀斑的地面与空间多波段观测及研究成果之上, 主要反映了光学、射电及 X 射线波段的性质。这方法中所用三个字母, 依序表征耀斑早期、峰期、后期关键波段的形态特征, 反映出耀斑时间过程中的物理结构。第一个字母描述峰期之前高能源与光学源之间的空间相对位置关系; 第二个字母指示辐射源中是否有相当成分的高温等离子体 ( $3 \times 10^4 - 4 \times 10^4 \text{K}$ ) 的存在<sup>[29]</sup>; 第三个字母表明耀斑后期的磁场结构。开放的磁场是发生质子事件的必要条件, 而太阳质子事件与射电米波 IV 型爆发关系密切<sup>[30]</sup>。因此, 我们把丰富的物理内容赋予了耀斑分类。这种多波段耀斑分类虽是首次明确提出, 但它反映了耀斑的物理差异, 应该是耀斑分类的一个新起点。

2. de Jager 和 Švestka<sup>[22]</sup> 在谈到 ABC 分类<sup>[21]</sup> 时, 曾认为“过于简单的耀斑分类能否有助于理解耀斑是值得怀疑的”。事实上耀斑分类的简明性应该是分类工作的标准

表 2 近 20 年提出的一些耀斑分类

年代	提出者	分类参量、依据	分类基础	耀斑类型
1976	Švestka <sup>[13]</sup>	温度	各波段观测	高、低温耀斑
1977	Pallavicini 等 <sup>[14]</sup>	尺度、密度	软 X 射线像	致密小耀斑, 大延展耀斑
1983	Ohki 等 <sup>[17]</sup>	流量的时间变化	硬 X 射线观测	脉冲与缓变耀斑
1983	Tanaka <sup>[19]</sup>	流量的时间变化、 谱、温度	X 射线观测	A、B、C 三类耀斑
1984 —1985	Takakura 等 <sup>[16,24]</sup>	尺度、密度	硬 X 射线观测	源被分为五类
1984	Sturrock <sup>[25]</sup>	暗条、电流片	光学和理论	耀斑分为七类
1986	Švestka <sup>[27]</sup>	高度、尺度、 磁场结构	光学为主	动力型耀斑, 限定型耀斑
1989	Bai 和 Sturrock <sup>[26]</sup>	暗条、温度、 $\gamma$ 射线、行星际质子	光学、高能辐射、 粒子辐射、理论	耀斑分为 5 类
1990 —1993	Wang <sup>[31,32]</sup>	源的位置、 温度、磁场结构	光学、X 射线、 射电观测	耀斑分为 8 类

之一。种种分类方法的不断提出，既说明对耀斑分类的需要，也说明进一步分类是必然的。

3. 为了审视近年来耀斑分类学的发展，在表 2 中列出了一些耀斑分类的梗概以便比较。

从表 2 可以看出：(1) 耀斑的任何一个物理量或现象或它们的组合，几乎都能作为分类的参量，关键的问题是成功的分类法应能给出不同种类耀斑的较全面的物理差异；(2) 不同的应用目的可以导致不同的耀斑分类；(3) 考虑表 2 及更早的耀斑分类(如射电爆发分类)可知，耀斑的分类工作有一个随时间发展的过程，即从单波段分类到简单多波段分类，再发展到较高级的单波段分类，直到最近发展到较高级的多波段分类。现在正是处于产生新耀斑分类的时期。

### 参 考 文 献

- [1] Ellison M A *et al.* Dunsink Obs. Publ., 1960, 1: 3
- [2] Svestka Z. Solar Phys., 1970, 13: 471
- [3] Hyder C L. Solar Phys., 1976, 2: 49
- [4] Dodson H W, Hedeman E R. Solar Phys., 1969, 9: 278
- [5] Lin R P, Anderson K A. Solar Phys., 1967, 1: 446
- [6] Wild J P. In: McLean D J, Labyum N R eds. Solar radiophysics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1985. 3
- [7] 王家龙. 天文学进展, 1992, 10: 3
- [8] Sturrock P A ed. Solar flares—A monograph from Skylab solar workshop II. Boulder: Col. Assoc. Univ. Press, 1980
- [9] Bolin J D *et al.* Solar Phys., 1980, 65: 5
- [10] Thanaka Y. Solar Phys., 1983, 86: 3
- [11] Sheridan K V *et al.* Proc. IEEE, 1973, 61: 1312
- [12] Kawabata K *et al.* Report UAG-83 part 1, WDC-A, Boulder, Col: [s.n.], 1982: 61
- [13] Švestka Z. Solar flares. Dordrecht: Reidel, 1976
- [14] Pallavicini R *et al.* Ap. J., 1977, 216: 108
- [15] Hoyog P *et al.* Ap. J., 1981, 246: L155
- [16] Takakura T. In: de Jager C, Chen Biao eds. Proc. Kunming workshop on solar phys. and interplan. travelling phenomena, Beijing: Science Press, 1985: 122
- [17] Ohki K *et al.* Solar Phys., 1983, 86: 301
- [18] Wang Jialong *et al.* Solar Phys., 1987, 108: 169
- [19] Tanaka K. In: Byrne P R, Rodono M eds. Activity in red-dwarf stars, Proc. of IAU colloq. No.71, Dordrecht: Reidel, 1983: 307
- [20] Tsuneta S. In: Pecker J C, Unchida Y eds. Active phenomena in the outer atmosphere of the sun and stars. Meudon: Observatoire de Paris, 1984. 243
- [21] Tanaka K. Publ. Astron. Soc. Japan, 1987, 39: 1
- [22] de Jager C, Švestka Z. Solar Phys. 1985, 100: 435
- [23] Nitta N *et al.* Ap. J., 1989, 337: 1003
- [24] Takakura T *et al.* Adv. Space Res., 1984, 4(7): 143
- [25] Sturrock P A. Artificial Satellite, 1987, 22: 57



- [26] Bai T, Sturrock P A. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1989, 27: 421
- [27] Svestka Z. In: Neidig D F ed. *The lower atmosphere of solar flares*. NM, US: National Solar Obs, 1986. 332
- [28] Loughhead R E *et al.* *Solar Phys.*, 1983, 83: 257
- [29] Moriyama F *et al.* *Ann. Tokyo Astron. Obs. Second Series*, 1983, XIX: 276
- [30] Fritzova L, Svestka Z. *Bull. Astron. Inst. Czech.*, 1966, 17: 249
- [31] Wang Jialong In: Ashley M C B *et al* eds., *Proc. IAU 5th Asian-Pacific regional meeting, Australia: Astron. Soc. Australia*, 1991: 203
- [32] Wang Jialong In: Sakurai T ed. *Proc. of the second China-Japan seminar on solar physics, Tokyo: National Astron. Observatory*, 1994 (in press)

(责任编辑 林一梅)

## Classifications of Solar Flares

Wang Jialong

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

### Abstract

Progress of the work on classifications of solar flares reflects the progress of solar flare research well. In this paper firstly a review of the recently proposed classifications of flares is given. Then in the second part of this paper, based on recent observations in multi-bands of energy, a new classification method of solar flares is introduced. In this method, the solar flares are completely grouped into eight categories according to observed phenomena of flares in optical, radio and X-ray regions.