

# Seyfert 2 型星系中的星暴活动

石 雷 顾秋生 黄介浩

(南京大学天文系 南京 210093)

## 摘 要

星暴和活动星系核之间的联系是活动星系研究领域最重要、最活跃的研究课题之一。Seyfert 星系由于距离较近、数目较多和相对低的核活动,已成为研究星暴和活动星系核之间联系的理想天体。综述了活动星系核中存在星暴的观测证据和 Seyfert 2 型星系核区星暴活动的最新研究结果,着重讨论了存在两类 Seyfert 2 型星系(一类是被遮挡的 Seyfert 1 型星系,另一类是“真正”的 Seyfert 2 型星系即不存在宽线区的 Seyfert 2 型星系)的可能性。通过比较具有和不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系在红外、射电、光学和 X 射线光谱性质的差别,发现具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系在本质上和 Seyfert 1 型星系是同一类天体,差别只在于观测者视线方向的不同;而不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系是一些星系核活动较弱而星暴活动占主导的天体,这些星系从射电、红外、光学到硬 X 射线,都具有和星暴星系相似的性质。由于这些星系中核的吸积率将比 Seyfert 1 型星系低近两个量级,因而它们很有可能是一些没有宽发射线区的 Seyfert 2 型星系,即所谓的“真正” Seyfert 2 型星系。

关键词 天体物理学 — 星暴活动 — 综述 — Seyfert 星系

分类号 P157.7

## 1 引 言

活动星系核 (Active Galactic Nuclei, AGNs) 是天空中最引人注目的天体之一。它们的体积非常小 ( $\ll 1 \text{ pc}^3$ ), 但光度非常高, 有的甚至达到典型星系光度的上万倍, 并且几乎在所有波段都产生大量的辐射。星暴是指剧烈的恒星形成活动, 对核周区大规模星暴, 其恒星形成率高达  $10^2 \sim 10^3 M_{\odot}/\text{yr}$  (本文所提及的星暴是指发生在星系中心区域几百 pc 范围内的剧烈恒星形成活动)。最近, 人们发现在近的正常星系中普遍存在超大质量黑洞<sup>[1]</sup>, 并且黑洞质量和星系核球质量相关<sup>[2~4]</sup>, 这表明黑洞的形成是椭圆星系和星系核球形成过程中必不可少的一部分。同时, 核区星暴活动和星系核活动同样都需要大量的气体内流 (可以来源于星系中非轴

对称扰动,像棒、潮汐相互作用和星系并合),因此存在着许多关于星暴和活动星系核之间存在联系的推测,这一研究也成为活动星系研究领域中最重要和活跃的研究课题之一。有关星系中心黑洞形成的模型很多, Norman 和 Scoville<sup>[5]</sup> 提出了一种理论模型,他们把星系中的星暴和星系核活动联系在一起,提出在星系中心约 10 pc 范围内,存在着一个  $4 \times 10^9 M_{\odot}$  的星团,当恒星演化到后主序阶段时,将有  $10^9 M_{\odot}$  的气体抛向星际空间。在星系中心很深的引力势阱中,粘滞和气体的快速冷却作用将使得这部分气体流向核区,从而触发星系核的活动。而 Terlevich 等人<sup>[6]</sup> 则提出在富金属环境中的剧烈星暴活动(像早期星系的核区)完全可以产生低光度活动星系核的光谱。这一模型经过 Terlevich 及其同事的发展后,最终形成了低光度活动星系核的星暴模型。在观测方面,越来越多的来自地面和空间望远镜的高质量观测发现,在许多 Seyfert 星系的核区存在着剧烈的星暴活动,如在典型的 Seyfert 2 型星系 NGC 1068 中,星暴活动占整个星系热光度的 50%,远紫外的 81%,近紫外的 83%<sup>[7]</sup>。最近, Heckman 等人<sup>[8]</sup> 和 Gonzalez 等人<sup>[9]</sup> 利用哈勃空间望远镜(HST)观测了 4 个近的亮 Seyfert 2 型星系,结果发现这些星系全都存在核区星暴活动。Colina 等人<sup>[10]</sup> 甚至提出在具有核区星暴的 Seyfert 2 型星系中,紫外辐射主要来自于核区的年轻大质量恒星而非活动星系核。

Seyfert 星系是组成活动星系核的两种主要类型之一(另一种是类星体),大约占整个旋涡星系的 10%<sup>[11]</sup>。由于距离较近、数目众多,它已成为研究星暴和活动星系核之间存在关联的最合适的目标。根据光学光谱性质, Seyfert 星系又分为 1 型和 2 型。在 Seyfert 1 型星系的光谱中,不仅存在窄的禁线( $FWHM \approx 500$  km/s),还存在宽的允许谱线( $FWHM \approx 2000 \sim 20000$  km/s);而在 Seyfert 2 型星系中只有窄的发射线。在经典的活动星系核统一模型中, Seyfert 1 型和 2 型星系没有本质上的区别,它们之所以看上去不同仅仅是由观测者的视线和尘埃环的相对方向的差异造成的<sup>[12]</sup>。在 Seyfert 1 型星系中,尘埃环的轴与视线接近,能够直接看到它的活动核以及宽线区;而在 Seyfert 2 型中,由于尘埃环与视线接近,遮挡了对核的观测,因而只有延展出去的窄线区可以被直接观测到。

本文综述了在活动星系核中存在星暴的观测证据和近年来在 Seyfert 2 型星系中星暴活动的最新研究结果,以及存在两类 Seyfert 2 型星系(一类是被遮挡了的 Seyfert 1 型星系,它和经典的活动星系核统一模型相一致;另一类是“真正”的即不存在宽线区的 Seyfert 2 型星系,其多波段性质类似于星暴星系)的可能性。

## 2 Seyfert 2 型星系中星暴活动的观测证据

星暴活动的观测证据主要包括以下几个方面<sup>[13~17]</sup>:

### (1) 紫外波段

#### 1) 紫外形态

由于大质量恒星的辐射能量主要集中在紫外波段上,因而在紫外波段星暴区会很亮。星暴区的紫外图像表明,绝大多数年轻的大质量恒星形成在几个 pc 尺度的致密星团中。因此,紫外形态为最近的、没有遮挡的恒星形成区提供了直接观测证据。HST 紫外观测发现绝大多数 Seyfert 2 型星系的紫外辐射源具有亚角秒的空间结构,表明它们可能起源于一些超星团<sup>[13]</sup>。

#### 2) 紫外吸收线

紫外吸收线包括大质量恒星的光球产生的吸收线 (像  $SV\lambda 1501$ 、 $CIII\lambda 1426$ 、 $SiIII\lambda 1417$  等) 以及星风共振吸收线 ( $NV\lambda 1240$ 、 $SiIV\lambda 1400$  和  $CIV\lambda 1550$ )。它的存在清楚地表明在星系的核区存在着年轻的星暴活动。同时, 这些线呈现为一个 P-Cygni 谱线轮廓, 其形状依赖于大质量恒星的组成, 所以可以用来确定年轻星团的性质 (如星暴年龄、IMF 的斜率及质量上限等)。图 1 是 Gu 等人<sup>[18]</sup> 在光学波段发现存在星暴活动的 Seyfert 2 型星系 NGC 7679 的 IUE 紫外谱, 以及与 NGC 5135 的 IUE、HST 的紫外谱的比较。从图中可清楚地看到星风共振吸收线  $NV\lambda 1240$ 、 $SiIV\lambda 1400$  和  $CIV\lambda 1550$ 。

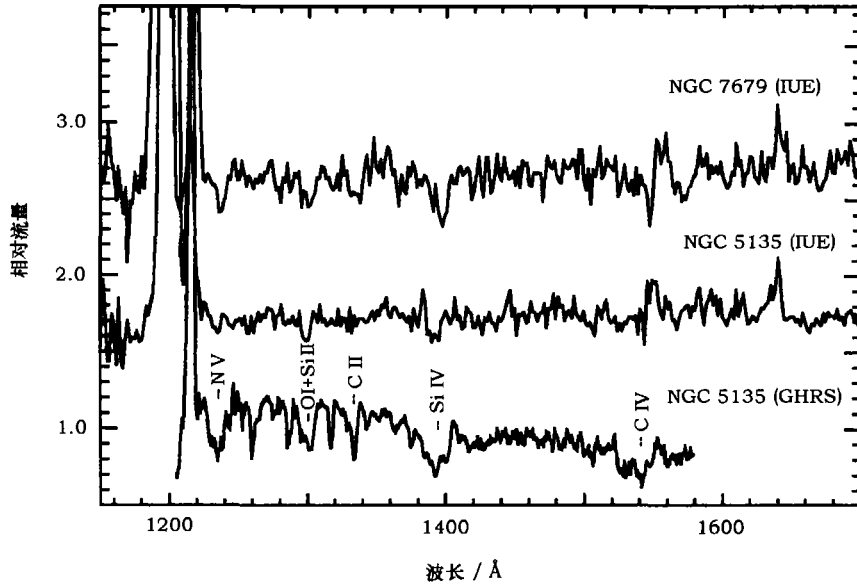


图 1 具有星暴活动的 Seyfert 2 型星系 (NGC 7679 和 NGC 5135) 的 IUE 和 HST 紫外谱<sup>[18]</sup>

## (2) 光学波段

### 1) 高阶巴尔末 (High-order Balmer Series) 吸收线

Gonzalez 等人<sup>[14]</sup> 提出高阶巴尔末吸收线是 Seyfert 星系中存在星暴活动的较好的观测证据。大质量恒星光球的吸收线虽然受到其星云发射线的污染, 但由于星云巴尔末发射线系的强度随着波长变短而急剧下降 (如在 Case B 情形下,  $H\alpha/H\beta=2.87$ ), 光球巴尔末吸收线系的等值宽度则不随波长变化, 它们几乎相同或有所增加, 这就使得我们能够观测到表征大质量恒星的高阶巴尔末吸收线系 (如  $H9$ 、 $H10$ 、 $H11$  和  $H12$ ) 以及一些 HeI 吸收线 ( $\lambda\lambda 3819$ 、 $4026$ 、 $4387$ 、 $4992$  Å)。图 2 是 Gu 等人<sup>[18]</sup> 发现的存在星暴活动的 Seyfert 2 型星系 NGC 7679 的光学光谱, 从中可清楚地看到高阶巴尔末吸收线的存在。

### 2) Wolf-Rayet 特征线

在星暴产生数百万年后, 初始质量  $\geq 40 M_{\odot}$  的恒星将由主序演化进入 Wolf-Rayet 阶段。其光学光谱特征表现为  $\approx 4650$  Å 和  $5800$  Å 处的宽发射带, 主要含有 Wolf-Rayet N 型星 (WN) 产生的  $NIII\lambda 4634-4640$  和  $HeII\lambda 4686$ , 以及 Wolf-Rayet C 型星 (WC) 产生的  $CIV\lambda 5808$ 。图

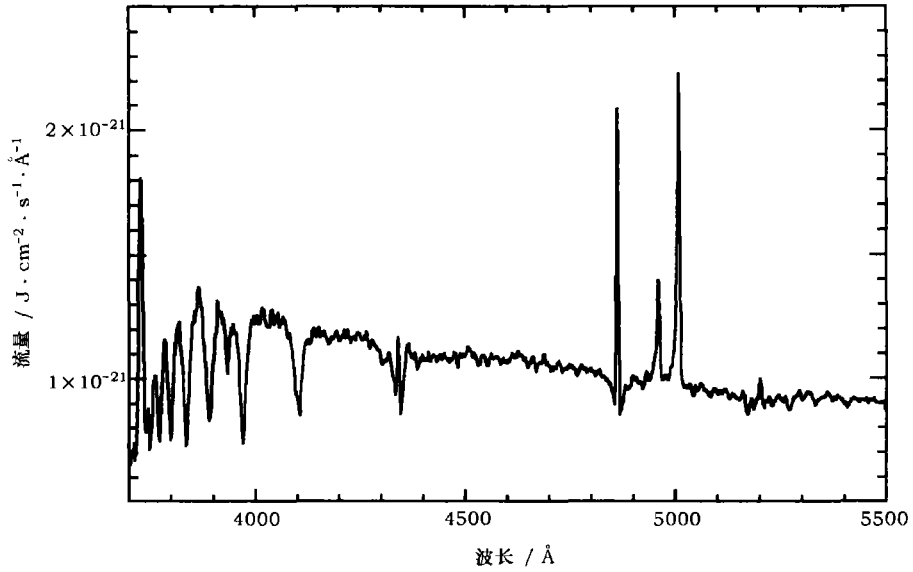


图 2 具有高阶巴尔末吸收线的 Seyfert 2 型星系 NGC 7679 的光学谱<sup>[18]</sup>

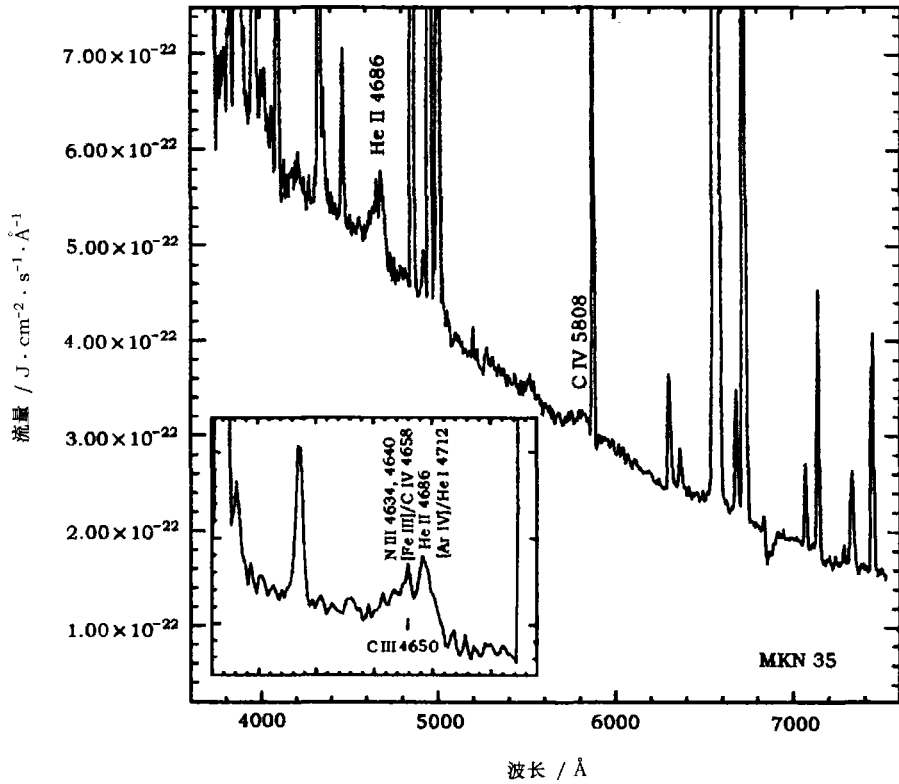


图 3 具有 Wolf-Rayet 特征线包的 Mrk 35 的光学光谱<sup>[44]</sup>

插图是 4650 Å 处的放大, 以便清楚地显示 Wolf-Rayet 特征线包。

3 是 Huang 等人<sup>[44]</sup> 利用国家天文台 2.16 m 望远镜观测到的 Mrk 35 的光学光谱, 从中可看到波长位于 4650 Å 和 5800 Å 处的 Wolf-Rayet 特征线。

### (3) 红外波段

#### 1) CaII 三重线

CaII 三重线 ( $\lambda\lambda 8498$ 、 $8542$ 、 $8662$  Å) 是恒星的表征线, 因为它很强烈地依赖于恒星表面重力, 而对金属丰度的依赖较弱<sup>[15]</sup>。事实上, Terlevich 等人<sup>[6]</sup> 发现在 Seyfert 2 型星系中, CaII 三重线并没有被稀化, 其等值宽度和正常的椭圆星系相当。由于 CaII 三重线相对核区的电离气体来说不敏感, 因此被认为是一个较好的探测星暴活动的标志。

#### 2) 近红外质光比

Oliva 等人<sup>[17]</sup> 计算了 H 波段 ( $1.65 \mu\text{m}$ ) 处的质光比 ( $M/L_H$ ), 发现所有的正常星系质光比在 0.3~3 之间, 这与老年星系的恒星形成相一致。由图 4 可见<sup>[17]</sup>, 星暴星系的分布只占据  $M/L_H < 0.25$  的区域, 明显有别于正常星系。Seyfert 1 型星系类似于正常星系, 而 Seyfert 2 型星系介于正常星系和星暴星系之间, 表明有一部分 Seyfert 2 型星系具有星暴活动。这也说明了质光比 ( $M/L_H$ ) 是一个很好的探测星暴活动的工具。

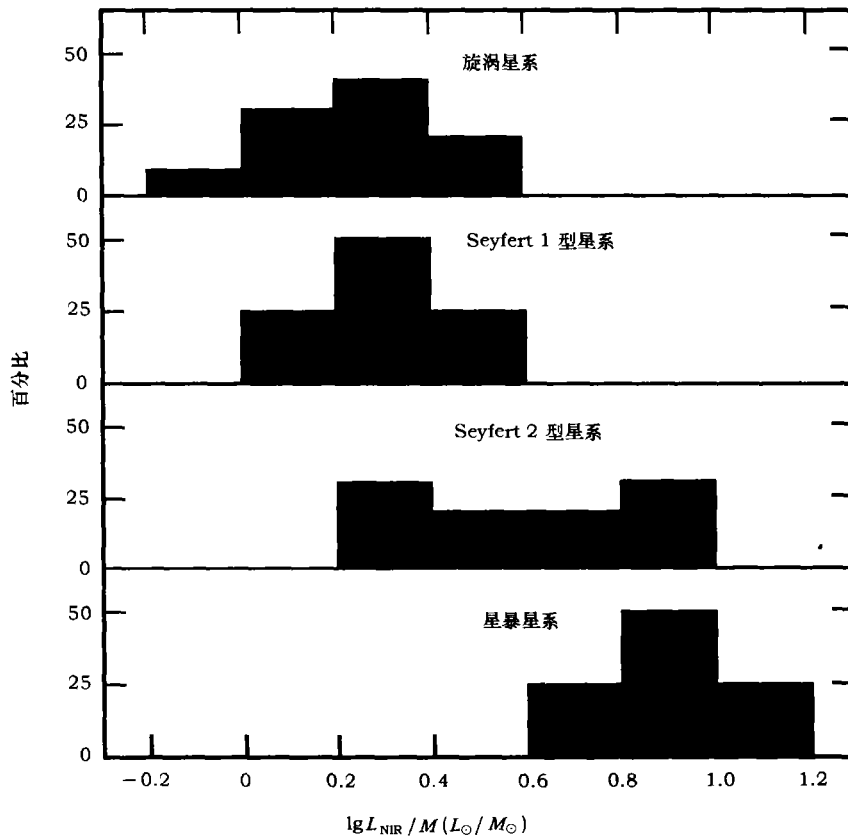


图 4 旋涡星系、Seyfert 1 型星系、Seyfert 2 型星系和星暴星系的近红外质光比 ( $L_{\text{NIR}}/M$ ) 的分布

### 3 Seyfert 2 型星系中的星暴活动

1990 年, Terlevich 等人<sup>[6]</sup>比较了 Seyfert 2 型星系、星暴星系和正常星系的近红外光谱,发现 Seyfert 2 型星系的 CaII 近红外三重线  $\lambda\lambda 8498$ 、 $8542$ 、 $8662 \text{ \AA}$  的等值宽度和正常星系一致,并没有受核活动的影响。Cid 和 Terlevich<sup>[47]</sup>发现 Seyfert 2 型星系连续谱的偏振度明显低于其发射线的偏振度(如果两者全都来自活动星系核的散射光,其偏振度应相似),从而第一次提出 Seyfert 2 型星系中的无特征连续谱可能来自于核区的星暴活动。同年, Heckman 等人<sup>[48]</sup>通过比较 Seyfert 1、2 型星系和星暴星系的 IUE 紫外光谱,也得到 Seyfert 2 型星系的大部分紫外辐射来自于星暴活动的结果。在红外  $10 \mu\text{m}$  波段, Maiolino 和 Rieke<sup>[11]</sup>通过星暴星系、Seyfert 2 型星系和 Seyfert 1 型星系的成像观测,确认了 Seyfert 2 型星系中存在核区增强的星暴活动。Oliva 等人<sup>[17]</sup>通过研究近红外的恒星吸收线,发现 Seyfert 2 型星系中普遍存在核区的星暴活动。Gu 等人<sup>[49]</sup>通过研究 Seyfert 2 型星系的 Tully-Fisher 关系,发现 Seyfert 2 型星系明显偏离正常星系,表明 Seyfert 2 型星系的质光比要小于正常星系,这从另一个方面反映了 Seyfert 2 型星系核区存在星暴活动。从此,对 Seyfert 2 型星系核区星暴活动的研究(从观测到理论)成为一个活跃的研究课题。近几年,最引人注目的是 Heckman 等人 and Gonzalez Delgado 等人利用 HST 观测了 4 个亮 Seyfert 2 型星系(Mrk 477、NGC 5135、NGC 7130 和 IC 3639)核区百 pc 尺度的紫外和光学光谱,发现它们核区全部存在着年轻、剧烈的星暴活动。

最近,人们开始通过观测大样本的 Seyfert 2 型星系核区的高信噪比光学光谱,利用星族合成方法得到核区的恒星组成,来发现 Seyfert 2 型星系核区中年轻、剧烈的星暴活动,并已开始深入研究星系环境(星系间的相互作用)和星暴活动的关系,以及 Seyfert 2 型星系恒星组成的径向变化与正常星系的差别。主要工作包括: Gonzalez 等人<sup>[20]</sup>从 Whittle<sup>[64]</sup>的 Seyfert 星系样本中,挑选出 20 个最亮的( $\lg F_{[\text{OIII}]}$   $\geq -12.0 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  或者  $\lg F_{1.4\text{GHz}} \geq -15.0 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、位于北半球的 Seyfert 2 型星系,利用基特峰国家天文台(KPNO) 4 m 望远镜观测了它们的核区光谱,通过星族合成方法分析了星系核区的恒星组成。结果发现至少一半的 Seyfert 2 型星系具有类似于星暴星系特征的核区光谱,即具有 Wolf-Rayet 星特征的宽发射线或高阶巴尔末吸收线;同时还发现具有核区星暴特征的 Seyfert 2 型星系表现出较低的激发( $[\text{OIII}]/\text{H}\beta$  较小)、较高的远红外光度和较冷的 IRAS  $25 \mu\text{m}/60 \mu\text{m}$  颜色。与此同时, Storchi-Bergmann 等人<sup>[19]</sup>从 Veron-Cetty 和 Veron<sup>[63]</sup>的活动星系核样本中挑选出 20 个位于南半球、星系红移小于 0.02、 $[\text{OIII}]$  发射线光度大于  $10^{33} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$  的 Seyfert 2 型星系,利用托洛洛山美洲天文台(CTIO) 4 m 望远镜观测了它们的核区光谱。类似地,通过星族合成方法,他们发现:(1) Seyfert 2 型星系核区的恒星组成不能够用椭圆星系核区的恒星组成做模板,两者之间存在着明显的差别,即 Seyfert 2 型星系的核区具有一个明显的年轻恒星(大约 100 Myr)成份;(2)核区恒星组成与星系形态和环境之间的联系表明,星系间的相互作用触发了 Seyfert 2 型星系核区的星暴活动,同时星暴活动随星系的 Hubble 序列而增大。因而,给出了对应星暴自身从具有星暴活动的 Seyfert 2 型星系到核活动较明显的 Seyfert 2 型星系的演化关系。Cid 等人<sup>[22]</sup>综合分析了南半球和北半球的 Seyfert 2 型星系样

本, 发现大约 50% 的 Seyfert 2 型星系存在着核区的星暴活动。通过比较具有与不具有核区星暴活动的 Seyfert 2 型星系, 他们发现具有核区星暴活动的 Seyfert 2 型星系的典型特征为: 一个强的无特征连续谱; 发射线等值宽度介于星暴星系和纯 Seyfert 2 型星系之间; 相对低的发射线线对比和强的远红外辐射 (远红外光度大于  $10^{10} L_{\odot}$ )。最近, Joguet 等人<sup>[21]</sup>从 Fairall 等人<sup>[61]</sup>、Lipovetsky 等人<sup>[62]</sup>以及 Veron-Cetty 和 Veron<sup>[63]</sup>的活动星系核表中, 挑选出 79 个适合于 La Silla 天文台 1.52 m 望远镜观测的 Seyfert 2 型星系样本 (大部分位于南半球), 这也是迄今为止文献中报导的此类研究中的最大样本。其选择原则主要是星系红移介于 0.002~0.017 之间。Joguet 等人从观测数据中发现, 至少在一半 Seyfert 2 型星系的核区中存在星暴活动。值得注意的是, 经初步分析发现 Seyfert 2 型星系的宿主星系的形态与星系核区的星族成分无关, 这同 Storchi-Bergmann 等人<sup>[19]</sup>的结果相背。随着 Sloan Digital Sky Survey 光谱数据的释放, 人们将可以研究更大样本的 Seyfert 2 型星系的核区星暴活动和宿主星系及其环境之间的联系, 从而在统计上取得更可信的结果。

#### 4 存在两类 Seyfert 2 型星系?

根据活动星系核的经典统一模型, Seyfert 1 型和 2 型星系是同一类天体, 其观测上的差别仅仅是由观测者的视线和尘埃环相对方向的不同所致。因此, Seyfert 2 型星系是被遮挡了的 Seyfert 1 型星系。观测证据包括<sup>[23~27]</sup>: 在一些 Seyfert 2 型星系的偏振光学光谱及近红外光谱中观测到宽线; Seyfert 1 型和 2 型星系的窄发射线性质在统计上相同; 在一些 Seyfert 2 型星系中观测到电离锥; Seyfert 2 型星系的 X 射线光谱存在一个明显的光电截止; 从 Seyfert 2 型星系 X 射线光谱推算到的视线方向上的气体吸收柱密度明显高于 Seyfert 1 型星系等等。

但是最近的一些高分辨率、高信噪比的观测结果发现, Seyfert 1 型和 2 型星系的差别并不能仅仅用视线方向和遮挡的不同来解释, 星系环境、演化、几何形状、核的活动程度等因素都对统一模型起着非常重要的作用 (较详细的结果见最新的 ASP 会议文集<sup>[50]</sup>)。譬如, 仅仅 50% 的 Seyfert 2 型星系观测到偏振宽线; 大多数 Seyfert 2 型星系连续谱的偏振度较低; Seyfert 1 型和 2 型星系在宿主星系性质 (包括 Hubble 类型、星系的环境和棒的比例) 上存在差别<sup>[28~30]</sup>; 有一些 Seyfert 2 型星系几乎没有被吸收 (NGC 3147、NGC 7590、NGC 4698 和 Mrk 273x)<sup>[31~34]</sup>; 一些 Seyfert 2 型星系核区存在增强的星暴活动<sup>[11]</sup>等等。

基于红外颜色和射电光度分布的差别, Hutchings 和 Neff<sup>[35]</sup>首先提出可能存在两类本质上完全不同的 Seyfert 2 型星系, 即被遮挡了的 Seyfert 1 型星系和一类“真正”的 Seyfert 2 型星系 (本身就不存在宽发射线区的 Seyfert 2 型星系), 但是此结果遭到了 Antonucci<sup>[12]</sup>的质疑。2001 年, Thean 等人<sup>[55]</sup>再一次证实具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的射电辐射要比不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系强得多, 甚至比 Seyfert 1 型星系还要强。显然, 这种射电辐射的差别不能够归因于 pc 尺度尘埃环的遮挡。与此同时, Alexander<sup>[51]</sup>、Gu 等人<sup>[52]</sup>、Tran<sup>[37]</sup>都发现具有与不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系在视线方向上的气体吸收柱密度非常相似, 这一结果显然和偏振区是被光学厚的尘埃环所遮挡的定论不一致<sup>[35~37]</sup>。在后两篇文章中, 作者都提到了具有与不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系可能分别对应着两类本质上截然不同的 Seyfert 2 型星系。

最近, Gu 和 Huang<sup>[38]</sup> 收集了一个数目最多 (90 个) 的具有光学偏振光谱性质的 Seyfert 2 型星系样本, 通过比较具有偏振宽线和不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系在红外、射电、光学和 X 射线性质上的差别后发现: (1) 具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系, 其宿主星系的 Hubble 类型 (Sa) 明显早于不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系 (Sab); (2) 具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的红外颜色要比不具有偏振宽线的暖; (3) 具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的硬 X 射线光度 (2~10 keV)、射电 1.49 GHz 功率、红外 25  $\mu\text{m}$  光度以及 [OIII] $\lambda$ 5007 发射线光度都明显高于不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系。详细的统计结果见表 1。从表 1 可发现具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的硬 X 射线光度 (2~10 keV) 为  $10^{36}$  J/s (典型的 Seyfert 1 型星系的硬 X 射线光度值), 而不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的硬 X 射线光度为  $10^{34.2}$  J/s, 比前者几乎要暗近两个量级, 这表明不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系是一些低光度活动星系核。

表 1 具有和不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的统计结果<sup>[38]</sup>

参 数 <sup>1)</sup>	具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系	不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系
吸收气体柱密度 / $\text{cm}^{-2}$	23.633 $\pm$ 0.201	23.562 $\pm$ 0.350
蓝光度 / $L_{\odot}$	10.460 $\pm$ 0.068	10.340 $\pm$ 0.087
远红外光度 / $L_{\odot}$	10.506 $\pm$ 0.106	10.301 $\pm$ 0.106
红外颜色 $f_{60}/f_{25}$	2.447 $\pm$ 0.201	4.974 $\pm$ 0.375
25 $\mu\text{m}$ 光度 / $L_{\odot}$	10.565 $\pm$ 0.102	10.021 $\pm$ 0.111
射电 1.49 GHz 功率 / $10^{-7} \cdot \text{J} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$	29.803 $\pm$ 0.136	29.109 $\pm$ 0.135
[OIII] $\lambda$ 5007 光度 / $10^{-7} \cdot \text{J} \cdot \text{S}^{-1}$ <sup>2)</sup>	42.147 $\pm$ 0.123	41.426 $\pm$ 0.136
硬 X 射线 (2~10 keV) 光度 / $10^{-7} \cdot \text{J} \cdot \text{S}^{-1}$ <sup>3)</sup>	42.996 $\pm$ 0.138	41.220 $\pm$ 0.320

注: 1) 以下参数均取对数; 2) [OIII] $\lambda$ 5007 光度经过消光修正; 3) 硬 X 射线 (2~10 keV) 光度经过吸收修正。

Tran<sup>[37,53]</sup> 对 65 个 Seyfert 2 型星系 (CfA 样本中的 14 个和 12  $\mu\text{m}$  选择的样本中的 51 个) 作了偏振观测。通过比较具有和不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系以及 Seyfert 1 型星系, 他发现具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系相对于不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系表现出更高的射电辐射与红外辐射比 ( $S_{20\text{cm}}/f_{60\mu\text{m}}$ )、更暖的尘埃温度 ( $f_{25\mu\text{m}}/f_{60\mu\text{m}}$ )、更高的硬 X 射线辐射和 [OIII] $\lambda$ 5007 光度, 而这些性质与 Seyfert 1 型星系极为相似。同时利用 Malkan 等人<sup>[28]</sup> 的 HST 快照成像的观测资料, Tran 还发现具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的宿主星系的尘埃形态与 Seyfert 1 型相似, 而明显不同于不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系。Clavel 等人<sup>[58]</sup> 分析了 ISO 光谱后发现, 具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系与 Seyfert 1 型星系有相似的中红外光谱特征, 而不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系与星暴星系相似。Tran 又对上述样本作了进一步分析, 发现具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系与 Seyfert 1 型星系一样都有较低的 PAH (多环芳香烃) 7.7  $\mu\text{m}$  特征线等值宽度 ( $\langle EW_{7.7} \rangle$ ) 分别为  $(0.921 \pm 0.535)\mu\text{m}$  和  $(0.53 \pm 0.47)\mu\text{m}$  和较高的 7  $\mu\text{m}$  连续谱光度 ( $\langle \lg vL_{v,7} \rangle$ ) 分别为  $(43.7 \pm 0.61) \times 10^{-7}$  J/s 和  $(43.73 \pm 0.85) \times 10^{-7}$  J/s, 而与不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系存在明显的区别 ( $\langle EW_{7.7} \rangle = (3.59 \pm 1.72)\mu\text{m}$ ,  $\langle \lg vL_{v,7} \rangle = (42.6 \pm 0.51) \times 10^{-7}$  J/s); 同时三者的 7.7  $\mu\text{m}$  PAH 光度差别不大 ( $\langle \lg L_{7.7} \rangle$  分别为  $(42.7 \pm 0.74) \times 10^{-7}$  J/s、 $(42.44 \pm 0.80) \times 10^{-7}$  J/s 和  $(42.2 \pm 0.56) \times 10^{-7}$  J/s)。由于 PAH



特征与星暴相关,说明三者的区别主要来自核活动而非星暴活动。由此得出结论:具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系与 Seyfert 1 型星系更为相似,而与不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系有本质上的不同。

Martocchia 等人<sup>[57]</sup>对 Tran<sup>[53]</sup>的样本做了硬 X 射线验证,从中(包括 10 个具有偏振宽线和 6 个不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系,其余星系缺少完整的资料)同样得到了与 Tran 相一致的结果:不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系在 X 射线和光学波段都相对更弱。

从上述结果人们很自然会联想到,在一些 Seyfert 2 型星系中没有观测到偏振宽线仅仅是观测灵敏度的问题,由于核活动较弱,因而其宽线区也很弱,从而不容易被观测到。但是,Tran<sup>[53]</sup>比较了理论上推算的利用 4 m 望远镜(典型的用于观测 Seyfert 2 型星系偏振光谱)观测到的 H $\alpha$  偏振流量和 [OIII] $\lambda$ 5007 流量 ( $10^{-19} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),以及不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的观测值,发现有较多没有观测到偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的 [OIII] $\lambda$ 5007 流量要远大于  $10^{-19} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,从而排除了观测灵敏度问题,即没有观测到偏振宽线的 Seyfert 2 型星系其本身就不存在宽线区。

在观测方面,Colina 等人<sup>[54]</sup>利用 HST(紫外成像和光谱、光学成像和光谱)及 Chandra X 射线成像观测了低光度活动星系核 NGC 4303,发现其核区能量来源于核心的一个致密年轻的星团,而非核活动。此外,Barth<sup>[39]</sup>和 Ho<sup>[40]</sup>发现有一些真正的低光度活动星系核(像 M84、M87、NGC 4594),它们在分辨率最高的光学光谱中也不存在宽发射线,同时从 X 射线光谱和光学/紫外无特征连续谱也反映出其气体吸收非常小,因而 Barth 和 Ho 提出在这些低光度活动星系核中可能根本就不存在宽发射线区。在理论方面,Nicastro<sup>[41]</sup>提出标准吸积盘在吸积率较低时,将不会产生宽发射线区。根据这一模型,宽发射线区源于辐射压推动的垂直于吸积盘的风(wind),当吸积率( $\dot{m}$ )小于一个最低吸积率( $\dot{m}_{\min}$ )时,就不存在宽发射线区。其中, $\dot{m}_{\min} = 0.3\eta(\alpha m)^{-1/8}$ , $\eta$ 为吸积效率, $\alpha$ 为粘滞系数, $m$ 为中心黑洞质量。当质量介于  $10^6 \sim 10^9 M_{\odot}$  时, $\dot{m}_{\min}$ 为  $(1 \sim 4) \times 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$ 。

射电和红外相关关系是人们已知的河外星系中最紧密(好)的相关关系之一<sup>[42,43]</sup>。Ji 等人<sup>[65]</sup>曾经利用此关系探讨了低电离核发射线区(LINERs)的能源机制,发现存在着由星暴和活动星系核分别占主导的低电离核发射线区星系。图 5 给出了具有偏振宽线(实心点)和不具有偏振宽线(空心点)的 Seyfert 2 型星系在射电与红外相关关系图中的分布。虚线是对不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的最佳拟合, $F_{1.49\text{GHz}} = (1.006 \pm 0.107) \times FIR + (14.323 \pm 1.339)$ ,其中  $FIR = 1.26 \times 10^{-14} (2.58 \times f_{60} + f_{100})$ , $f_{60}$ 和  $f_{100}$ 分别对应于 IRAS 在 60  $\mu\text{m}$  和 100  $\mu\text{m}$  处的流量。非常有意思的是,这一拟合也正是 Helou 等人<sup>[42]</sup>得到的对正常星系和星暴星系的最佳拟合。这表明不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系有与正常星系及星暴星系相似的射电和红外性质,而具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系有明显的射电过剩,这和 Seyfert 1 型星系相似。

综上所述,具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系在本质上与 Seyfert 1 型星系是同一类天体,它们的差别在于观测者视线方向上的不同。但是不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系则很可能是一些星系核活动较弱而星暴活动占主导的天体,这些星系从射电、红外、光学到硬 X 射线上的性质更倾向于星暴星系。从其硬 X 射线的光度低于典型的 Seyfert 1 型星系值近两个量级来看(如果经吸收修正后的硬 X 射线光度真正反映了活动星系核自身光度的话<sup>[45,46]</sup>),这些星

系中核的吸积率将比 Seyfert 1 型星系低近两个量级。当星系核吸积率低于  $(1\sim 4) \times 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$  时, 宽发射线区将不存在, 使之成为没有宽发射线区的 Seyfert 2 型星系, 即所谓的“真正” Seyfert 2 型星系。当然, 目前对“真正” Seyfert 2 型星系的研究仍然处于初级阶段, 其机制和形成还很不清楚。有一种可能性是星系间的相互作用触发了星系核区的星暴活动, 然后恒星的演化逐步点燃了星系核的活动。随着核活动的增强, 宽发射线区形成, “真正” Seyfert 2 型星系逐步向被遮挡了的 Seyfert 1 型星系演化。

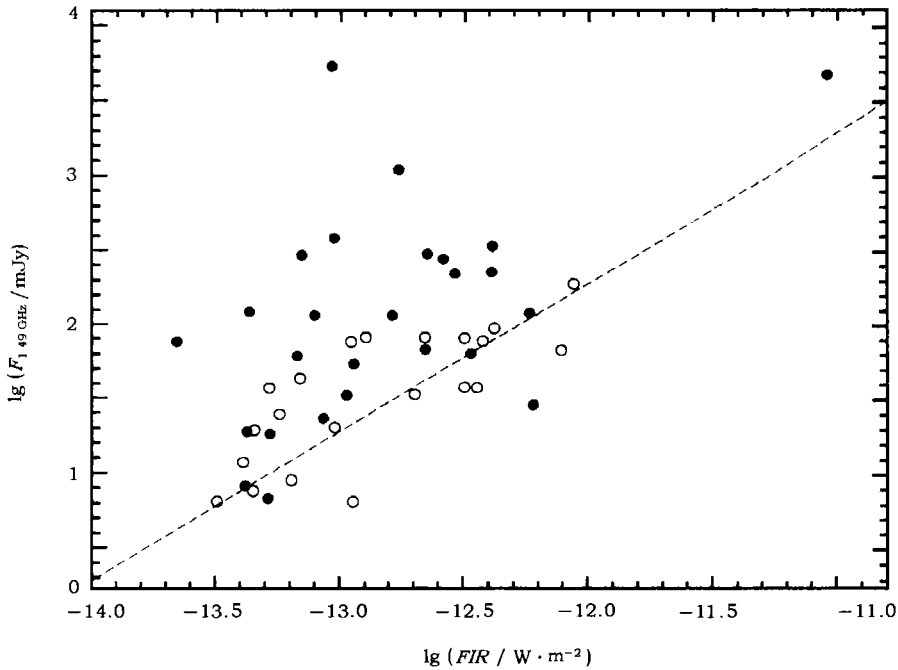


图 5 具有偏振宽线 (实心点) 和不具有偏振宽线 (空心点) 的 Seyfert 2 型星系的射电与红外相关关系图<sup>[52]</sup>  
其中虚线是对不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系的最佳拟合。

## 5 结 论

通过观测 Seyfert 2 型星系核区的高质量光谱及利用星族合成手段, 目前已发现至少 50% 的 Seyfert 2 型星系核区存在着星暴活动。随着 Sloan Digital Sky Survey 光谱数据的释放, 人们将有可能通过更大样本的 Seyfert 2 型星系光谱, 来研究星暴活动在 Seyfert 2 型星系中的普遍性及 Seyfert 1 型和 2 型星系核区星暴活动的差别。观测和理论研究发现, 可能存在着两类完全不同的 Seyfert 2 型星系, 即具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系本质上是被遮挡了的 Seyfert 1 型星系, 而不具有偏振宽线的 Seyfert 2 型星系是一些星系核活动较弱而星暴活动占主导的天体, 即所谓的“真正” Seyfert 2 型星系。随着观测资料的不断积累和人们认识的不断深入, “真正” Seyfert 2 型星系的机制和形成将有望得到进一步突破。

致谢 非常感谢两位审稿人提出了很好的修改意见。

## 参 考 文 献

- 1 Ho L. In: Chakrabarti S K ed. *Observational Evidence for Black Holes in the Universe*, Dordrecht: Kluwer, 1999: 157
- 2 Magorrian J, Tremaine S, Richstone D *et al.* *AJ*, 1998, 115: 2285
- 3 Gebhart K, Bender R, Bower G *et al.* *ApJ*, 2000, 539: L13
- 4 Ferrarese L, Merrit D. *ApJ*, 2000, 539: L9
- 5 Norman C, Scoville N. *ApJ*, 1988, 332: 124
- 6 Terlevich E, Diaz A I, Terlevich R. *MNRAS*, 1990, 242: 271
- 7 Gonzalez Delgado R, Perez E, Tadhunter C *et al.* *ApJS*, 1997, 108: 155
- 8 Heckman T, Gonzalez Delgado R, Leitherer C *et al.* *ApJ*, 1997, 482: 114
- 9 Gonzalez Delgado R, Heckman T, Leitherer C *et al.* *ApJ*, 1998, 505: 174
- 10 Colina L, Garcia Vergas M, Gonzalez Delgado R *et al.* *ApJ*, 1997, 488: L71
- 11 Maiolino R, Rieke G H. *ApJ*, 1995, 454: 95
- 12 Antonucci R. *ARA&A*, 1993, 31: 473
- 13 Gonzalez Delgado R. 2001, preprint(astro-ph/0109505)
- 14 Gonzalez Delgado R, Leitherer C, Heckman T. *ApJS*, 1999, 125: 489
- 15 Boisson C, Joly M, Moulataka J. *A&A*, 2000, 357: 850
- 16 Jimenez-Benito L, Diaz A I, Terlevich R *et al.* *MNRAS*, 2001, 317: 907
- 17 Oliva E, Origlia L, Maiolino R *et al.* *A&A*, 1999, 350: 9
- 18 Gu Q, Huang J, de Diego J *et al.* *A&A*, 2001, 374: 932
- 19 Storchi-Bergmann T, Raimann D, Bica E *et al.* *ApJ*, 2000, 544: 747
- 20 Gonzalez Delgado R, Heckman T, Leitherer C. *ApJ*, 2001, 546: 845
- 21 Joguet B, Kunth D, Melnick J *et al.* *A&A*, 2001, 380: 19
- 22 Cid Fernandes R, Heckman T, Schmitt H *et al.* *ApJ*, 2001, 558: 81
- 23 Antonucci R, Miller J S. *ApJ*, 1985, 297: 621
- 24 Ruiz M, Rieke G H, Rieke M *et al.* *ApJ*, 1994, 423: 608
- 25 Koyama K, Inoue H, Tanaka Y *et al.* *PASJ*, 1989, 41: 731
- 26 Awaki H, Koyama K, Inoue H *et al.* *PASJ*, 1991, 43: 195
- 27 Maiolino R, Salvati M, Bassani L *et al.* *A&A*, 1998, 338: 781
- 28 Malkan M A, Gorjian V, Tam R. *ApJS*, 1998, 117: 25
- 29 Laurikainen E, Salo H. *A&A*, 1995, 293: 683
- 30 Dultzin-Hacyan D, Krugly Y, Fuentes I *et al.* *ApJ*, 1999, 513: L111
- 31 Ptak A, Yaqoob T, Serlemitsos P *et al.* *ApJ*, 1996, 459: 542
- 32 Bassani L, Dadina M, Maiolino R *et al.* *ApJS*, 1999, 121: 473
- 33 Pappa A, Georgantopoulos I, Stewart G *et al.* *MNRAS*, 2001, 326: 995
- 34 Xia X Y, Xue S J, Mao S *et al.* *ApJ*, 2002, 564: 196
- 35 Hutchings J B, Neff S G. *AJ*, 1991, 101: 434
- 36 Gu Q, Dultzin-Hacyan D, de Diego J. *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 2001, 37: 3
- 37 Tran H D. *ApJ*, 2001, 554: L19
- 38 Gu Q, Huang J. *ApJ*, 2002, 579: 205
- 39 Barth A J. 2002, preprint(astro-ph/0201065)
- 40 Ho L. In: Green R F, Khachikian E, Sanders D B eds. *AGN Surveys*, San Francisco: ASP, 2001: 12
- 41 Nicastro F. *ApJ*, 2000, 530: L65
- 42 Helou G, Soifer B T, Rowan-Robinson M. *ApJ*, 1985, 298: L7
- 43 Roy A L, Norris R P, Kesteven M J *et al.* *MNRAS*, 1998, 301: 1019

- 44 Huang J, Gu Q, Ji L *et al.* *ApJ*, 1999, 513: 215  
45 Alonso-Herrego A, Ward M J, Kotilainen J K. *MNRAS*, 1997, 288: 977  
46 Mulchaey J, Koratkar A, Ward M *et al.* *ApJ*, 1994, 436: 586  
47 Cid Fernandes R, Terlevich R. *MNRAS*, 1995, 272: 423  
48 Heckman T, Krolik J, Meurer G. *ApJ*, 1995, 452: 549  
49 Gu Q, Huang J, Ji L. *Ap&SS*, 1999, 260: 389  
50 Maiolino R, Marconi A, Nagar N. *Issues in Unification of Active Galactic Nuclei*, San Francisco: ASP, 2002: 1  
51 Alexander D. *MNRAS*, 2001, 320: L95  
52 Gu Q, Maiolino R, Dultzin D. *A&A*, 2001, 366: 765  
53 Tran H D. *ApJ*, 2003, 583: 632  
54 Colina L, Gozalez Delgado R, Mas-Hesse J *et al.* *ApJ*, 2002, 579: 545  
55 Thean A, Pedlar A, Kukula M *et al.* *MNRAS*, 2001, 325: 737  
56 Cid F R, Schmitt H R, Stochi-Bergmann T. *MNRAS*, 1998, 297: 579  
57 Martocchia A, Matt G. 2002, preprint(astro-ph/0210332)  
58 Clavel J, Schulz B, Altieri B *et al.* *A&A*, 2000, 357: 839  
59 Perez Garcia A M, Rodriguez Espinosa J M. *ApJ*, 2001, 557: 39  
60 Schmitt H R. *ApJ*, 1998, 506: 647  
61 Fairal A P, Jones A. *Southern Redshifts Catalogue and Plots*, Cape Town: University of Cape Town, 1991: 5  
62 Lipovetsky V A, Neizvestny S I, Neizvestnaya O M. *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, 1988, 55: 5  
63 Veron-Cetty M P, Veron P. *European Southern Observatory Scientific Report*, 2000, 19: 1  
64 Whittle M. *ApJ*, 1992, 248: 105  
65 Ji L, Chen Y, Huang J *et al.* *A&A*, 2000, 355: 922

## Nuclear Starburst Activities in Seyfert 2 Galaxies

Shi Lei Gu Qiusheng Huang Jiehao

(*Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093*)

### Abstract

Starburst-AGN connection is one of the most important and hotly debated issues in the study of active galaxies. In this paper, we summarize the observational evidence for nuclear starbursts in AGNs and how we know about the nuclear star-forming activities in Seyfert 2 galaxies. We also summarize the possibilities of the existence of two types of Seyfert 2 galaxies (the hidden Seyfert 1 galaxies and the “real” Seyfert 2 galaxies without BLR). By comparing properties of multiwavelength of Seyfert 2 galaxies with polarized broad emission lines (PBL) with those without, it is found that Seyfert 2 galaxies with PBL are the same objects as Seyfert 1 galaxies, while Seyfert 2 galaxies without PBL are more likely starburst, and these Seyfert 2 galaxies are the “real” Seyfert 2 galaxies without broad emission lines regions intrinsically.

**Key words** astrophysics—starburst—review—Seyfert galaxies