

# 窄线 Seyfert 1 型星系研究的新进展

程 林 鹏      赵 永 恒

(中国科学院国家天文台 北京 100012)

## 摘 要

窄线 Seyfert 1 型星系 (NLS1) 作为活动星系核的一个小类, 由于其 X 射线等高能波段上独特的观测特征, 近年来越来越受到天文学界的广泛关注. 详细描述了 NLS1 在观测及理论上的一些新进展, 并对其主要模型作了较细致的讨论.

**关键词** 活动星系核 — 窄线 Seyfert 1 型星系 — 黑洞 — 吸积盘 — 星暴

**分类号** P157.7

## 1 引 言

活动星系核 (AGN) 是当前天体物理学最前沿的热门课题之一, 其中心区通常存在着剧烈的活动, 观测上也表现出多样性的特征:

(1) 中心有一个非常亮、致密的核, 尺度一般在几个秒差距的量级;

(2) 高光度, 大约  $10^{35} \sim 10^{41}$  J/s;

(3) 宽带的连续发射谱, 从射电、红外到光学、紫外、X 射线甚至  $\gamma$  射线波段, 都可观测到其连续谱;

(4) 强的发射线, 除 BL Lac 天体外, 在光学、UV、X 射线波段都显示出很强的发射线;

(5) 时变特征, 一般在光学、射电、X 射线波段, 光度都会随时间变化, 只不过变化强度与变化时标有所不同.

根据上述特征, AGN 可分为类星体 (QSO/Quasar)、射电星系、Seyfert 星系、光学剧变类星体 (OVVQSOs)/ 蝎虎 BL 类星体 (Blazar) 及低电离发射线区 (Liner) 等类型, 不同类型的天体会表现出各不相同的观测特性.

类星体的发现已近 40 年, 对 AGN 的研究也已进入了全波段时期, 尤其是近年来多个 X 射线卫星的观测运行, 对揭示 AGN 内部的物理本质做出了重大贡献. 普遍认为, AGN 研究的一个很大进展是基于射电辐射强度、发射线宽度两个观测参量的统一模型. 根据射电辐射的强弱, 统一模型将所有 AGN 分为射电强 (radio-loud) 与射电弱 (radio-quiet) 两类. 一般射

电光度与光学光度比 ( $L_R/L_O$ ) 大于 10 的 AGN 称之为射电强的 AGN, 小于 10 的则为射电弱的 AGN。射电强的 AGN, 只占 AGN 总数的 10%~15%, 相对论性喷流 (relativistic jet) 对它们的大多数观测特性起主要作用, 引起同步加速辐射连续谱各向异性。通常认为, BL Lac 天体是 FR 1 型射电星系, 它的喷流轴方向与观测视线的夹角比较小 ( $\leq 20^\circ \sim 30^\circ$ ); 平谱射电类星体 (FSRQ) 是 FR 2 型射电星系, 其倾角大约  $\leq 20^\circ$ , 而陡谱射电类星体 (SSRQ) 的倾角较大, 在  $15^\circ \sim 40^\circ$  之间; 对于那些 Blazar 天体, 一般认为观测视线正好对着它的喷流。

除以射电强弱来划分 AGN 外, 根据光学发射线的宽窄程度也能较好地各类 AGN 统一起来。该模型认为: 不同观测特征的 AGN 本质上是一样的, 而它们之所以不同是因为观测视线与中心轴的夹角不同造成的。AGN 中央是一个超大质量的黑洞, 其周围是旋转的吸积盘, 盘外面散布着高速发射云, 即宽发射线区 (Broad Line Region, BLR); 紧接着是一个大的分子环 (Torus), 大的分子环把中心盘的大部分都挡了起来, 只留有一小部分可以直接看到, 环外较远的地方是窄发射线区 (Narrow Line Region, NLR)。观测者处于不同的角度看核中心时, 由于被环遮挡的情况不同, 有些 AGN 的光谱可以看到宽发射线, 则这些 AGN 被定义为 I 型 AGN (type 1); 有些宽线区被完全挡住, 谱上没有宽发射线, 只有窄的发射线, 则为 II 型 AGN (type 2); 除此之外, 一些发射线极弱的称为 0 型 AGN (type 0), 如表 1 所示。Seyfert 星系与类星体 (QSO) 的主要差别在于它们的总光度不同, 后者要大一些。具体示意图如下: (1) 葱头 (onion) 模型 (见图 1); (2) 不同倾角的观测结果 (见图 2)。

表 1 活动星系核统一模型分类图

		0 型 AGN (极弱发射线)	I 型 AGN (宽发射线)	II 型 AGN (窄发射线)
射电弱			Seyfert 1 QSO	Seyfert 2
射电强	Blazar	$\left\{ \begin{array}{l} \text{BL Lac} \\ \text{RSRQ} \end{array} \right.$	BLRG SSRQ FSRQ	NLRG $\left\{ \begin{array}{l} \text{FR1} \\ \text{FR2} \end{array} \right.$

统一模型提出后得到了广泛的赞同, 并且也有几条直接的观测证据: (1) 有些 Seyfert 2 型星系的偏振谱发现宽的发射线; (2) 有些 Seyfert 2 型星系的红外谱中能探测到宽发射线; (3) Seyfert 2 型星系的 X 射线谱存在着显著的截点, 这表明它沿着观测视线的气体柱非常大。尽管如此, 最近有关星暴活动的探测对该模型提出了新的挑战: 观测发现, 有些 Seyfert 2 型星系核区周围存在着十分明显的星暴活动, 即 AGN 与星暴现象共存, 但有的 Seyfert 2 型星系却没有, 即纯的 2 型 Seyfert 星系, 而 Seyfert 1 型星系中却很少观测到星暴活动, 这暗示着有星暴活动的 Seyfert 星系和无星暴活动的 Seyfert 星系本质上是有所差别的。有星暴活动的 Seyfert 星系应处于较早期状态, 无星暴活动的 Seyfert 2 型星系、Seyfert 1 型星系则对应稍晚的状态。从 II 型 AGN 到 I 型 AGN 可能反映的是一种演化序列。

作为 AGN 一小类的 Seyfert 1 型星系, 根据光学发射线宽度的不同又可分为宽线和窄线两类。一般把  $H\beta$  线的半峰全宽 ( $FWHM_{H\beta}$ ) 小于  $2000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $[\text{OIII}]\lambda 5007\text{\AA}$  与  $H\beta$  的比值小于 3, 且在紫外、光学波段有丰富的高电离发射线和强的 FeII 多重线<sup>[1]</sup> 的 Seyfert 1 型星系称为窄线 Seyfert 1 型星系 (NLS1), 否则为宽线 Seyfert 1 型星系 (BLS1)。伴随着此分类, 越

来越多的观测研究表明 NLS1 和 BLS1 之间存在着许多很不相同的特征,尤其是 NLS1,表现出一些正常 AGN 所没有的独特性质。对这些差异的各种解释给统一模型提出了一些问题,这也正是目前 AGN 争论的焦点之一。

全文主要分为三个部分:第二部分概括了 NLS1 的几条观测特性,尤其是区别于 BLS1 的特征。第三部分对各种模型展开了讨论,并指出各自的缺陷之处。最后一部分是总结,提出了几个尚不清楚的重大问题和观测上的展望。

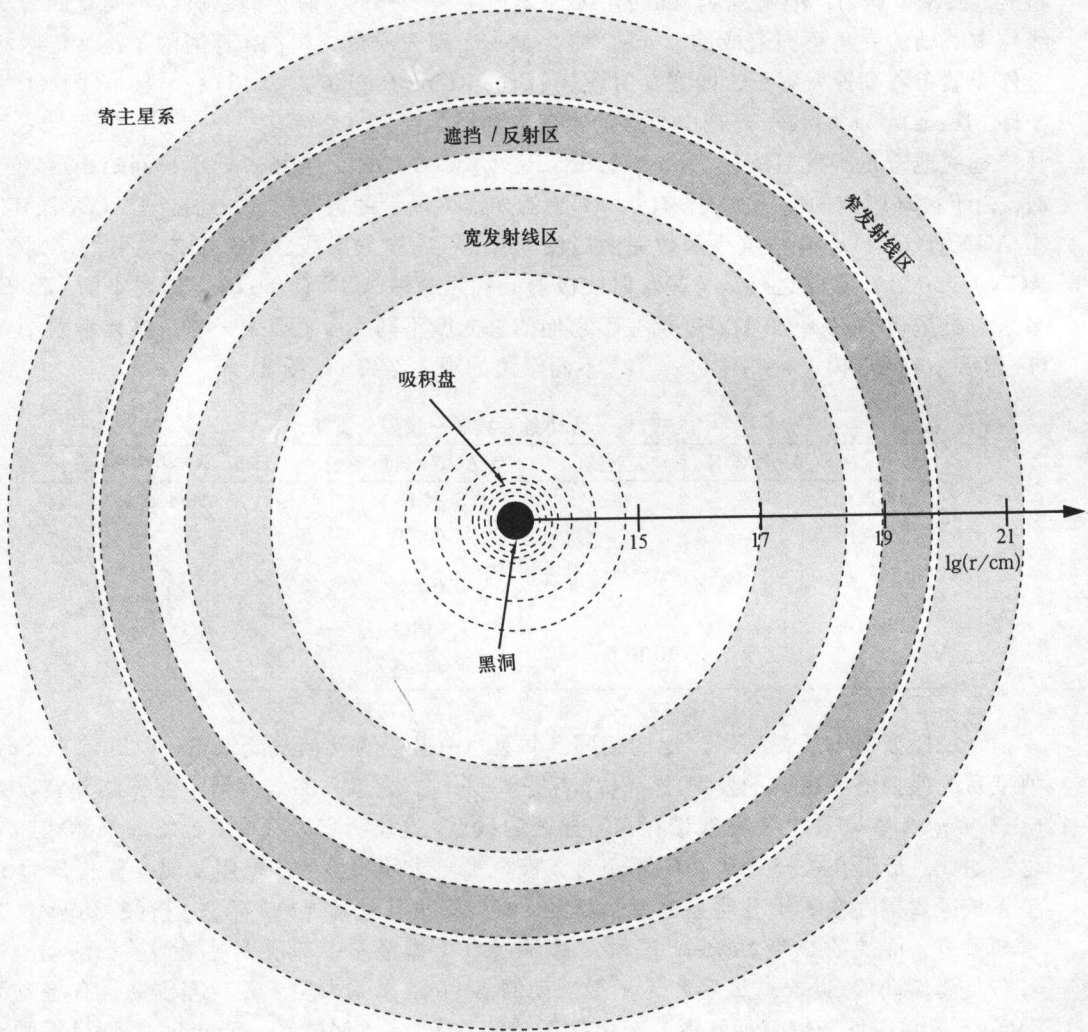


图 1 AGN 的葱头模型 (onion) <sup>[38]</sup>

图中显示的距离是以常用对数 ( $\lg(r/\text{cm})$ ) 为标度,但并不表示各区之间距离比率就这样很固定,上面只不过是个粗略估计,对不同光度的 AGN, 相对的比率可能会有些差别。

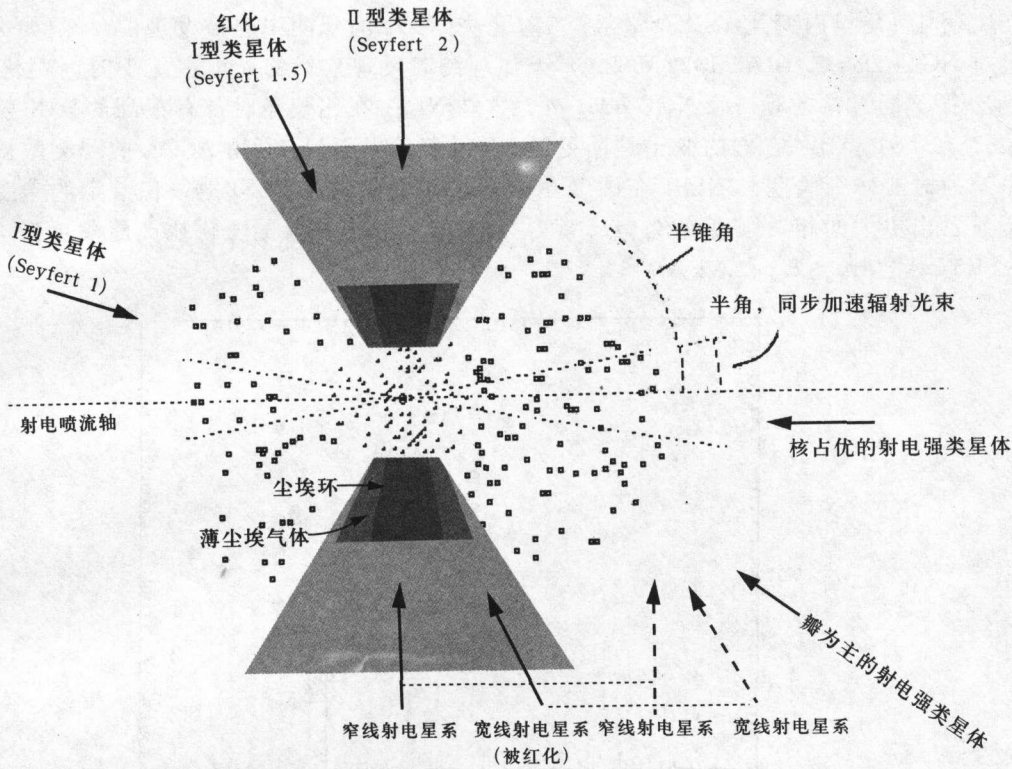


图 2 不同倾角的观测结果 [39]

该图是统一模型的结构示意图。不同的观测倾角产生了好几种类型的 AGN：如果倾角  $\theta$  小于半锥角，宽线区 (BLR) 将能被看到；当  $\theta$  大于半锥角时，来自核区的光将有一部分被分子环 (Torus) 遮掩，但处在环外的窄线区 (NLR) 却不会受到任何影响。虚线箭头显示核心偏振化的散射光产生的方向。

## 2 NLS1 的观测、统计特征

最近几年，随着 ROSAT、ASCA、XMM-Newton、Chandra 等一批 X 射线卫星的观测运行，使 AGN 在 高能波段的研究取得了很大进展，这对其物理本质乃至起源的探讨起到了很大的推动作用，同时也引出了许多新问题。针对这些，下面总结了 NLS1 不同于 BLS1 或一般 AGN 的几个重要观测特征。

### 2.1 时变

一般来说，AGN 在各波段都显示出一定的观测流量变化，特别是 X 射线波段，由于是来自核区的辐射，其变化时标及强度都比光学、射电等波段要强得多，因此这方面的观测也更受天文学家的关注。X 射线波段的观测分析显示，NLS1 的光度频繁地呈现出快而剧烈的变化 [2]；窄 H $\beta$  线、陡 X 射线谱的 AGN 整体上光变强度更大，虽然它们的变化时标差别不大，均在 2~20 d 左右 [3]。另外，对一些极剧烈光变源 (几小时内光度变化约 2

倍)的分析发现,有相当一部分软 X 射线成分来自致密核区,尺度大约一光天。这种高强度光度变化(几年内变化 1~2 个量级)在对几个 NLS1 的观测中也被发现<sup>[4]</sup>,例如 ASCA 卫星对 NGC 4051、IRAS 13224-3829 等天体观测时发现它们的光度在几小时内变化近 10 倍<sup>[5]</sup>。很不同寻常的是:除 NGC 4051 外,这些 NLS1 在比较亮时都有很高的软 X 射线谱指数,与 BLS1 相比,它们的变化时标更短,强度变化更剧烈。利用 ASCA 的观测数据进行较系统的时变研究表明, NLS1 在硬 X 射线段的时变的确比 BLS1 强:在给定的光度下,它们显示出更大的相对强度变化( $\sigma_{\text{rms}}^2$ )<sup>[5]</sup>,如图 3;且低能段的变化比高能段更强, $\sigma_{\text{rms}}^2(E < 1.5 \text{ keV})/\sigma_{\text{rms}}^2(E > 1.5 \text{ keV}) \approx 2$ <sup>[5]</sup>。

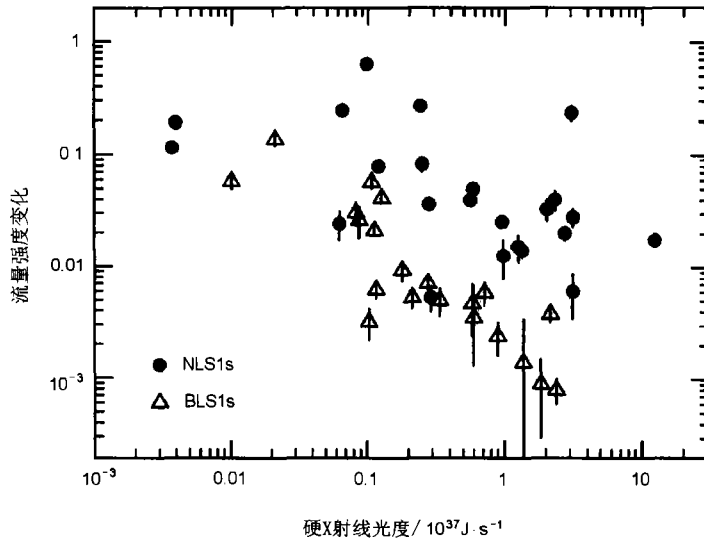


图 3 流量强度变化 ( $\sigma_{\text{rms}}^2$ ) 与硬 X 射线光度相关图<sup>[5]</sup>

三角形代表 BLS1, 黑圆圈代表 NLS1。从图中可明显地看到:相同光度下, NLS1 的强度变化更大一些;且随光度增大流量的变化更趋缓慢。

除此之外,最新的 XMM-Newton 卫星发现了两个准周期光变的 NLS1: MARK 766, 其光变周期  $\approx 4200 \text{ s}$ <sup>[8]</sup>; PKS 0558-504, 其光变周期  $\approx 2 \text{ h}$ <sup>[9]</sup>。对此的解释可能有三种: 1) 热斑绕大质量黑洞转动; 2) 吸积盘与黑洞的中心不重合而引起的进动; 3) 高吸积率下的不稳定震荡。

## 2.2 相关性

利用各种观测资料对 NLS1 进行系统分析发现,该类天体有几条统计上的相关性,这些相关性的解释必然对其物理模型有很大的促进作用。

(1) X 射线流量变化强度与硬 X 射线光度反相关。Leighly<sup>[5]</sup>在 1999 年对 23 个 NLS1 的 ASCA 观测数据分析中发现,代表流量变化强弱的  $\sigma_{\text{rms}}^2$  与硬 X 射线光度有一定的反相关性:随光度的增加,各天体的光变强度有减小的趋势。图 3 中黑圆点显示了该特性,这与以前 BLS1 的分析结果相同<sup>[10]</sup>。后来 Turner 等人把 NLS1、BLS1 综合起来进行研究,也得到了同样的结果;如图 4,虽然图中的点还有一定的分散性和不确定性,但可以看出  $\sigma_{\text{rms}}^2$  与 X 射线光度  $L_X$  间确实存在一定的反相关性<sup>[11]</sup>。

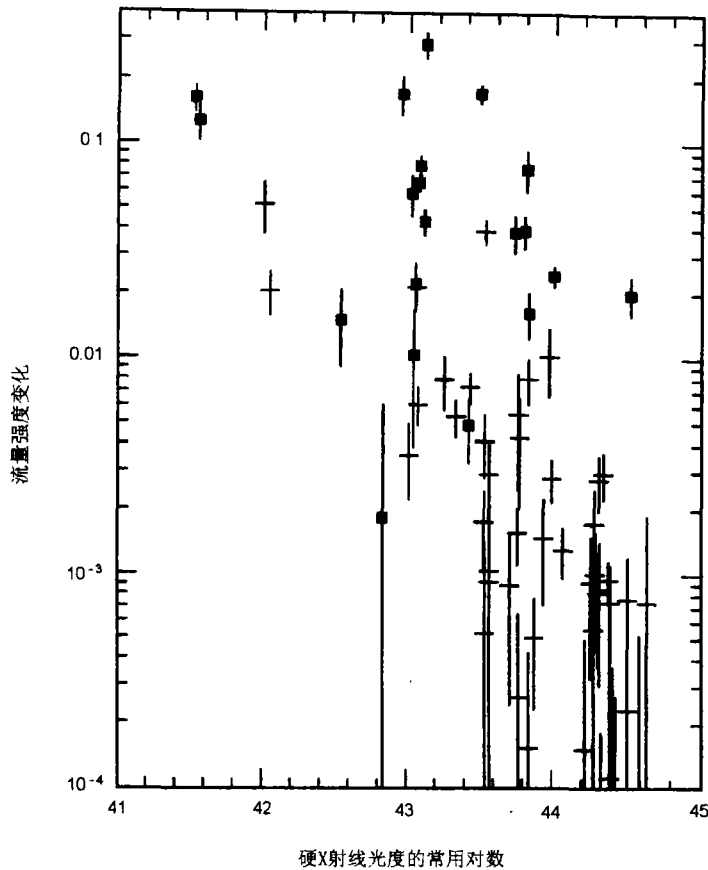


图 4 流量强度变化与硬 X 射线光度关系图 [11]

小黑正方形表示 NLS1, 没有标记的十字是 BLS1, 该图表明光度与变化强度有反相关的趋势。

这种反相关性可从两方面来解释: (1) 天体光度越大, 中心黑洞质量越大, 从而对应一个更大的辐射区和更长的变化时标。时标越长, 光变的强度自然会减弱; (2) 泊松时变模型认为 AGN 的 X 射线发射区由  $N$  个小的波动辐射区组成, 每个小辐射区辐射固定的光度 [12]。光度大的天体会有更多的小辐射区, 如果该数目服从泊松分布的话, 时变强度将和  $1/N$  成正比, 这正是所期望的结果。详细地区分这两种模型还需要测量物理系统的时标大小, 目前这方面的资料还很少。但 3C 390.3 在长时间尺度上相干时变的存在, 暗示高光度天体的物理尺度确实要大些 [13]。

(2) X 射线光子指数与  $FWHM_{H\beta}$  反相关。早些时候, Boller 等人利用 ROSAT 观测数据发现: 软 X 射线光子指数与  $FWHM_{H\beta}$  呈反相关 [14]。这一发现非常重要, 因为它第一次提供证据表明, 连续谱发射的内在属性和通过宽线区动力学得到的 Boroson 和 Green [15] 本征量 1 (Eigenvector 1) 间有强的关联 (类星体光学辐射性质的相关关系中存在本征量, 其中被研究最多的是本征量 1。其主要内容是: 类星体的 FeII 强度和  $[OIII]\lambda 5007\text{\AA}$  的强度反相关; 具有

强 FeII 弱 [OIII] 的类星体通常具有窄的 H $\beta$  发射线, 反之亦然; 以后的研究将本征量 1 扩展到了软 X 射线、远紫外等波段)。之后, Leighly<sup>[5]</sup> 利用 ASCA 的数据对 23 个 NLS1 进行分析得到同样的结果, 只不过波段是 2~10 keV 的硬 X 射线, 如图 5; 同时, 他还发现 H $\beta$  的等值宽度与 ASCA 谱光子指数也有反相关性, 这可能是前者的必然结果, 这些相关特性为中心引擎和宽线区动力学间提供很好的内部联系。而且, 也对一些产生 FeII 线的模型提出了挑战: 由于 FeII、H $\beta$  产生于不同条件下的光致电离, 通常 NLS1 中大的流量比值 FeII/H $\beta$  很难被人接受。当 X 射线谱变平时, FeII 发射可能变强, 这主要由于强 X 射线光子能更深地渗透到发射云中, 导致更强的 FeII 发射线, 然而 X 射线谱变平意味着谱光子指数变小, 按照 X 射线谱光子指数与  $FWHM_{H\beta}$  反相关的结果, H $\beta$  流量同时也增大, 这样 FeII/H $\beta$  就难有很大的值。

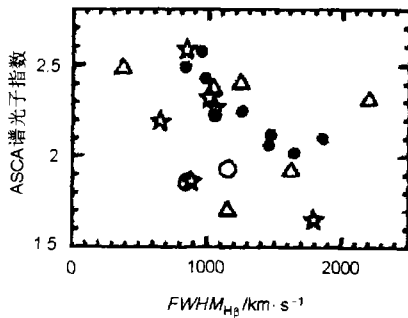


图 5 ASCA 观测的 X 射线光子指数  $\Gamma$  (2~10 keV) 与 H $\beta$  线的  $FWHM$  间的关系<sup>[19]</sup>

可看出, H $\beta$  线越窄, 硬 X 射线谱就越陡。

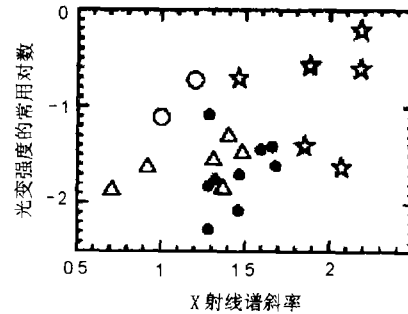


图 6 光变强度与 X 射线谱斜率 (0.4~7 keV) 的关系<sup>[19]</sup>

此图表明: 谱越陡, 其流量变化越剧烈。

(3) 硬 X 射线谱形状与流量变化强度正相关。作为硬 X 射线谱陡平程度的最好参量之一—— $\alpha_{XX}$  (0.7~4.0 keV 间的谱斜率) 与光变强度相关 (如图 6) 表明: 变化越剧烈的天体谱指数越大, 即谱越陡<sup>[5]</sup>, 这正好是具有强 X 射线软超的 NLS1 其流量比弱软超 NLS1 更容易变化的结果。这种性质同样在 Koenig<sup>[16]</sup> 1997 年的文章中得到很好的支持。

(4) 软 X 射线光子指数和硬 X 射线光子指数无相关性。Leighly<sup>[5]</sup> 对 NLS1 的 ROSAT、ASCA 观测数据的光子指数分析表明: ROSAT (软 X 射线段) 的光子指数与 ASCA (硬 X 射线段) 间没有相关性, 即使对那些吸收很小、存在软超的 NLS1 也有同样的结果。软、硬波段光子指数缺乏联系对 NLS1 内部的物理性质有重要的意义: 首先它不支持 Pounds、Done 和 Osborne<sup>[17]</sup> 1995 年的模型解释, 即陡的硬 X 射线谱是由于康谱顿化的电子云被强软 X 射线超辐射制冷而成的。陡 ROSAT 谱暗示一种强软超成分的存在 (见 2.3 节), 因此一般会认为当软超很强时, 可利用的软 X 射线光子指数应该与最陡的硬 X 射线谱光子指数相关联。但是, 若考虑到冷却热电子的软光子可能来自不易被观测到的远紫外 (EUV) 辐射, 则硬、软 X 射线光子指数间不存在相关性也是可能的, 当然这还需要进一步观测证实。

### 2.3 谱的特征

最初由于分辨率的限制, NLS1 各种 X 射线能谱的观测资料不是很好, 随着新一代高能卫

星的上天, 分辨率大幅提高, X 射线谱观测的质量上了一个新台阶。Chandra、BeppoSAX、XMM-Newton 等卫星的观测运行又为研究 NLS1 的物理本质提供了丰富的样本, 同时也发现了一些新的特性。

(1) 陡 X 射线谱。Boller 等人 [2] 1996 年研究 ROSAT 数据时首次发现: NLS1 的软 X 射线谱总体上比 BLS1 要陡一些。之后, Brandt 利用 ASCA 数据发现 NLS1 在 2~10 keV 段的谱斜率一般也比 BLS1 陡 [18]。最近 Leighly [19] 统计了 23 个 NLS1 的 ASCA 谱, 进一步确认了这一特性 (见图 7)。NLS1 的 ASCA 谱光子指数大都在 2.19 左右, 而 BLS1 只在 1.78 左右, 差别很明显。目前普遍认为这种特性是由热康普顿化造成的: 高能电子被大量软超光子冷却, 致使软 X 射线光子进一步增多, 从而导致软成分比重增加, 相应地谱更陡。

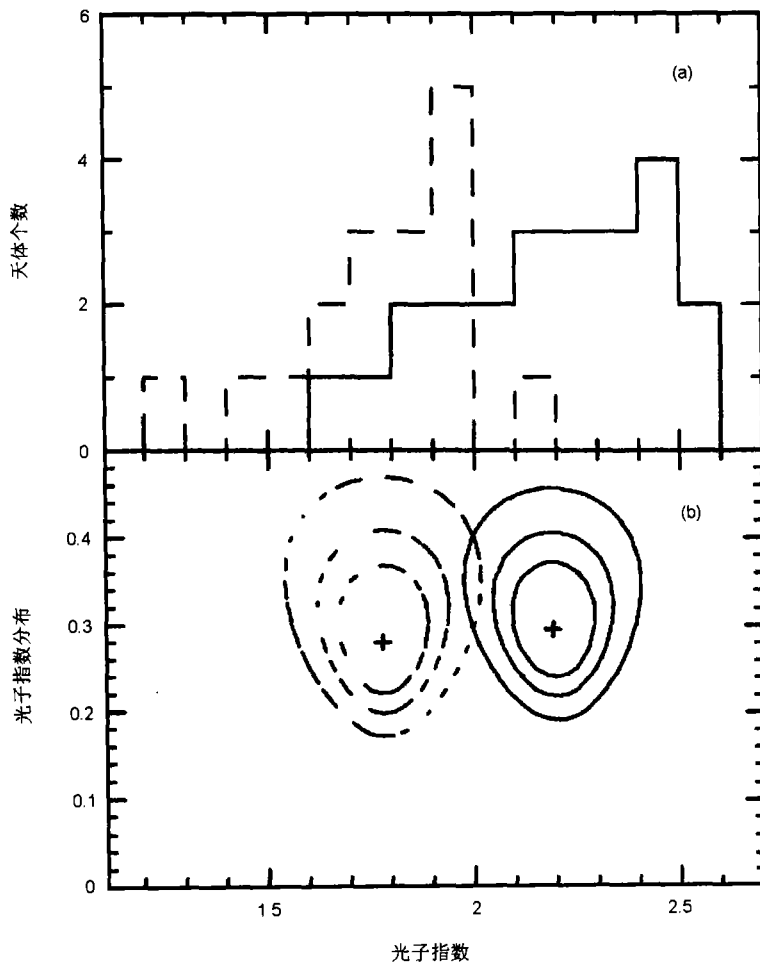


图 7 (a) 23 个 NLS1、17 个 BLS1 光子指数的分布图 [19]  
实线代表 NLS1, 虚线代表 BLS1.

(b) 两个自由度的最大似然估计图 [19]

等高线由小到大的置信度分别是 68%、90%、99%, 横轴为光子指数, 纵轴代表光子指数的分布。



(2) 软 X 射线超的普遍性。对 NLS1 研究的一个重要发现是 Pounds<sup>[17]</sup> 利用 ASCA 观测 RE 1034+39 时的数据显示, 在 1~2 keV 下 RE 1034+39 有一非常强的软成分, 几乎占据整个软 X 射线波段, 同时其硬 X 射线光子指数大约为 2.6, 而一般 BLS1 只在 1.7~1.9 左右。之后陆续又发现了些有软超的 NLS1, 如 PKS 0558-504、MARK 766 等。Leighly<sup>[19]</sup> 利用幂律谱加上银河系中性氢吸收对 23 个 NLS1 的 ASCA 谱拟合时发现, 其中 17 颗 NLS1 明显存在软超成分, 这种比例远大于 BLS1; 同时这些软超成分的强度范围变化很大, 能跨约 50 倍, 并且越强的天体其流量变化越剧烈, 但软超强度与光学发射线参量间没发现有相关性, 暗示软超行为与 Boroson 和 Green<sup>[15]</sup> 本征量 1 无关。更有趣的是, 用黑体辐射来拟合这些软超的温度时, 尽管它们的光度变化很大, 但它们的温度变化却很小, 都在  $(0.15 \pm 0.05)$  keV 左右, 这正好与一些产生软超的吸积盘模型相符。通常认为, 软超是吸积盘辐射的高能尾巴, 特别当吸积率很高或中心黑洞质量较低时; 并且, 高吸积率会使热辐射温度增高, 辐射谱将向高能端移动, 致使热辐射的高能端增强, 这正好能解释 ROSAT 观测到 NLS1 谱陡的现象, 也进一步为高吸积率模型提供证据<sup>[20]</sup>。当吸积率接近爱丁顿值时, 有的吸积盘理论导出 NLS1 的辐射温度在 100~200 eV 范围内, 几乎不依赖黑洞质量, 从而支持了软超温度的不变性。另一种理论认为, 由于软超强度范围非常大, 很可能并不起源于某一统一的机制。除吸积机制外, 电离盘的反射也能产生软 X 射线超<sup>[21]</sup>: 当吸积盘表面电离后, 对软 X 射线的反射率增加且吸收随之降低, 结果辐射的软 X 射线成分增加, 呈现出软超。

(3) 谱的变化。强光变作为 NLS1 的一个普遍特性早已为人知, 然而其能谱变化的研究却相对缺乏, 这主要受两方面的影响: 1) 观测时需要高信噪比; 2) 由于谱的变化通常与流量改变有关, 因而要求计数率变化很大时才能看到谱形变化的趋势。因此, ASCA 观测到有明显谱变的主要是最亮的几颗 NLS1 (NGC 4051、MARK 766、AKN 564) 和光变最剧烈的天体 IRAS 13224-3809<sup>[5]</sup>。这样, 那些亮天体的小幅度变化比较容易被看到, 而暗星系的大幅度变化反而很难被观测到。分析发现, NGC 4051、MARK 766、IRAS 1322-43809、1H 0707-495 的软硬波段流量比 (计数率  $E < 1.5\text{keV}$  / 计数率  $E > 1.5\text{keV}$ ) 与总流量成正相关; 此外, Gliozzi 在 2000 年利用 XMM-Newton 卫星观测发现 PKS 0558-504 的硬度比和总计数率正相关<sup>[9]</sup>, 即随着流量增强谱在逐渐变硬; Grupe 对 RX J0134.2-4258 的 ROSAT 观测分析也显示出同样的谱变趋势<sup>[22]</sup>; 还有, 我们分析 AGN 的谱变时发现 NLS1 的软 X 射线谱形几乎都有变硬的趋势: 8 个 NLS1 只有 PG 1211+143 没有这种谱变特性。图 8 是具有代表型的 MARK 766 的谱形随其计数率的变化趋势。NLS1 的谱变可能作为这类天体的一个新的特征, 对其模型产生很大的限制, 因此更大样本的统计和解释显得很有必要。

(4) 发射线。从早期的定义就可知道, NLS1 的光学发射线与 BLS1 有明显的不同:  $H\beta$  线的  $FWHM$  小于  $2000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $[\text{OIII}]\lambda 5007\text{\AA}$  与  $H\beta$  的强度比值小于 3, 在紫外、光学波段有丰富的光电离发射线和强的 FeII 多重线。但这些都是光学波段的特征, 高分辨率 X 射线卫星为高能谱线提供了很好的信息来源。1997 年, Nandra 等人利用 ASCA 数据发现一种来自中性或低电离状态的 Fe  $K_{\alpha}$  线在 BLS1 中普遍存在<sup>[10,23]</sup>。Page 等人<sup>[24]</sup> 于 2000 年指出 MARK 766 在 6.4 keV 处存在明显的 Fe  $K_{\alpha}$  发射线; BeppoSAX 观测 TON S180 时也发现它在 7 keV 附近存在铁发射线<sup>[25]</sup>。在此基础上, Leighly 1999 年对 23 个 NLS1 做了系统的分析, 发现它们的铁线宽度与 BLS1 大致相同<sup>[19]</sup>, 暗示两类天体产生 Fe  $K_{\alpha}$  发射线的物理条件很可能是

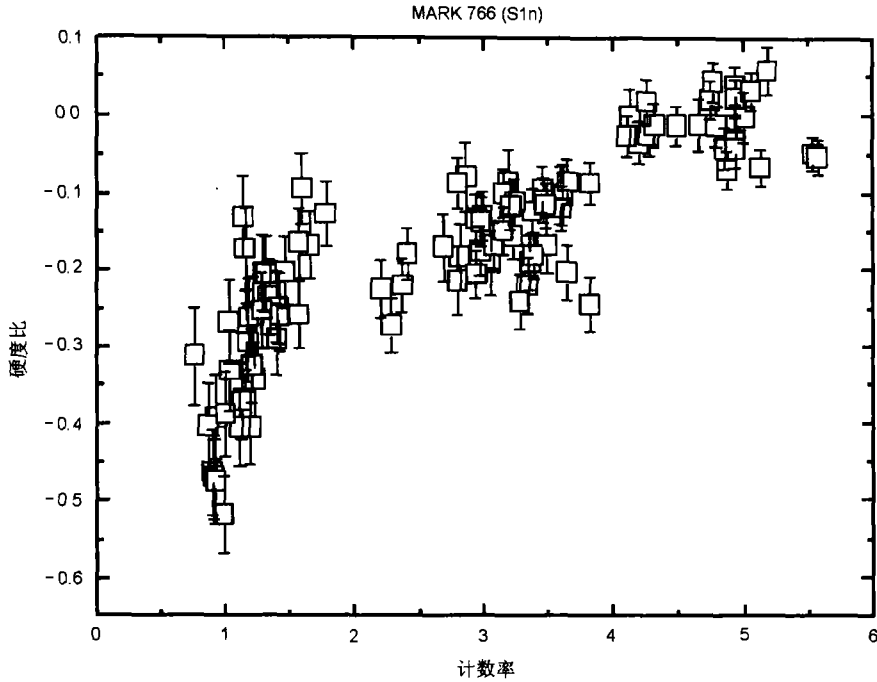


图 8 MARK 766 的硬度比与计数率相关图

$$(HR1 = (B - A)/(B + A), \quad A: 0.1 \sim 0.4 \text{ keV}, B: 0.5 \sim 2.0 \text{ keV})$$

当计数率增大时, 谱形很明显地在变硬。

一样的。对 NLS1 与 BLS1 来说, 这个结果的统计性比较差, 更多高分辨率的 X 射线谱观测将尤为重要。

#### 2.4 其它特征

NLS1 其它一些特征如下:

- (1) 很少是射电强的 [15,20,26];
- (2) 经常有强的红外辐射 [27];
- (3)  $H\beta$  线更接近洛仑兹轮廓而非高斯轮廓 [28], 并可能延伸到 UV 发射线 [29];
- (4)  $H\beta$  是蓝的不对称线 [20];
- (5) 暖吸收源的电离状态较 BLS1 更低一些 [19]。

### 3 物理模型的讨论

上述 NLS1 特性的解释模型从本质上可总结为两类:

#### (1) 依赖视角方向性的统一理论

这些模型通常把观测视线与吸积盘中心轴的倾角  $\alpha$  作为最主要的说明参量。当 NLS1 的倾角  $\alpha$  比 BLS1 小时, 即常说的面向极轴, 宽线云都分布在盘面上, 多普勒致宽减弱, 致使 NLS1 的光学发射线变窄 [1]; 加上几何厚的吸积盘模型, 强软 X 射线也可得到较好的解释 [30]。另

外,小倾角会使相对论性加速或集束 (beaming) 效应更明显一些,有利于解释 NLS1 强 X 射线光变的特性<sup>[5]</sup>。对于发射线宽度依赖于  $\alpha$ , 射电流量与单色光学光度之比和 H $\beta$  线宽之间的相关性对此是很好的支持<sup>[31]</sup>。假定 Fe II 线起源于吸积盘,小的视角就将增大观测到的 Fe II 强度;但是这种小倾角将得不到 NLS1 比 BLS1 谱陡的特征。相反,Haardt 和 Maraschi<sup>[32]</sup> 在 1993 年提出了板块热康普顿化模型 (slab thermal Comptonization model), 得到  $\alpha$  越大谱才会越软的结论,同样的结果被 Dove、Wilms 和 Begelman<sup>[33]</sup> 在 1997 年应用改进后的板块模型 (slab model) 也得到了。另外,小  $\alpha$  也可以解释 NLS1 暖吸收出现频率低的观测现象: 充当普通吸收的分子环一般位于窄线区与宽线区之间,而暖吸收源及相关尘埃物质可以膨胀、远离分子环,这样倾角越小反而越难被观测到。不利的是,虽然小倾角的定向模型可以解释 NLS1 短而剧烈的时变特性,但是无法解释时变参量与暖吸收强度之间的相关性以及低电离态的暖吸收物质。

#### (2) 以质量、吸积率为基础的高吸积率低质量模型

该理论认为: NLS1 之所以有许多不同于 BLS1 的特征,主要是其质量较小、吸积率高 (接近爱丁顿值) 造成的。利用这两条假设, NLS1 的绝大多数观测特征都能得到很好的解释。根据吸积盘理论,高吸积率使来自盘的热辐射频率向高频段移动,增加软 X 射线的强度,形成软 X 射线超,之后软超 /UV 光子又和产生硬 X 射线的盘晕高能电子逆康普顿化,使得高能光子向较低频段移动,呈现出陡的硬 X 射线谱;短时标高强度的流量变化则可利用小质量黑洞来解释: 中心黑洞质量越小,其辐射区尺度就相应越小,这样变化的时标自然会变短,变化也将随之更剧烈。同时,小质量会使其宽线云的开普勒速度变小,光学发射线变窄也是很自然的事;而软超温度不变性可用一些高吸积率下的吸积盘模型来解释 (见 2.3 节)。此外,高吸积率也会影响暖吸收源的性质: Reynolds 和 Fabian 在假设中性气体能被作用于共振线上的辐射压力加速的前提下,利用引力与辐射压的平衡,形成一种高电离态的物质抛射,从而解释了 NLS1 中暖吸收出现频率低的现象<sup>[34]</sup>。

越来越多的迹象表明,以高吸积率、低质量为基础的理论已被人们普遍采用,这恰好是 AGN 的统一模型所没有包含的物理内容。按统一模型, BLS1、NLS1 只能根据观测视线与核区中心轴的倾角不同来理解。由于争论的出现,加上前面已描述的许多观测特性, Mathur<sup>[35]</sup> 在 2000 年提出了一种新的解释: NLS1 可能是 AGN 演化的早期, BLS1 则稍晚些。到目前为止,有四条观测上的可能迹象: 1) NLS1 的中心是小质量黑洞,而小质量黑洞应是更大质量黑洞形成的前期; 2) NLS1 具有超太阳的气体金属丰度,而一般只有当核区存在快速的恒星形成时才会有超太阳的金属丰度,它代表的可能是星系演化的早期阶段<sup>[35]</sup>; 3) 许多 NLS1 有很亮的红外光度,而通常年轻、有大规模恒星形成的星系才会有强的红外辐射,所以 NLS1 的红外光度可能来自核区周围的星暴区域<sup>[35]</sup>; 4) NLS1 与高红移类星体 (红移  $> 4$ ) 存在一些类似的性质,而后者正是附近类星体的早期阶段,因此, NLS1 可能同样是 Seyfert 星系演化的早期。

## 4 结 束 语

虽然目前对 NLS1 的研究已取得了很大进展,但仍有许多问题有待人们去研究。

(1) 时变的起源。各种 X 射线的观测都表明 NLS1 有很剧烈、短时标的光变, 其小质量只能说明它比 BLS1 变化时间短, 但真正的物理起源并不清楚。吸积率不稳定、吸积盘晕的高能电子谱变化等想法只给出了定性的说明, 定量化的解释暂时还没有出现, 进一步高时间分辨率、谱变化的观测将有助于这一问题的解决。

(2) 软 X 射线超的成分。目前观测都显示软超是一种热辐射, 很自然认为它是由于高吸积率下的 UV/EUV 光子向高频段转移造成的, 但是 NLS1 核区周围的星暴活动同样能辐射这样的软成分。值得注意的是, Schinner 等人用 CO 绘图时发现 I ZW 1 核周围存在直径约 1.8 kpc 的星暴环<sup>[36]</sup>; 此外, 若 NLS1 存在相对论性的物质喷流, 由此产生的激波也能辐射出热的软 X 射线, 能量正好符合软超波段。而且, Leighly<sup>[37]</sup> 在 1997 年利用 ASCA 的数据发现 3 颗有喷流的 NLS1, 因此很可能会有激波产生。这些事实表明, 软超并不是通常所说的仅仅起源于高吸积率盘的辐射, 大尺度的星暴活动、激波也可能对它有所贡献。由于这两类现象对 NLS1 的演化本质有十分重要的影响, 因此对它们的光学、射电观测将十分有意义。

(3) 谱变化的规律。一般 NLS1 的 X 射线谱由热的黑体谱和非热的幂律谱组成, 当总流量变化时, 这两部分谱的相对变化、有无确定的规律等问题对其辐射机制将有很强的约束。XMM-Newton 等新一代 X 射线望远镜对更多 NLS1 长时间高信噪比的观测能给人们一个较清楚的认识。

(4) 高吸积率的物理内涵。对 NLS1 各种观测特性的成功解释, 几乎都要依赖于高吸积率理论, 那么很自然地要问: 活动星系中到底是什么决定其吸积率? 是年龄还是中心黑洞的质量? 或者说, 吸积率的高低和演化过程有什么样的关系? 目前这一问题的研究才处于起步阶段, 但已逐渐引起人们的重视, 特别是它对 AGN 物理模型的建立有根本性的影响: AGN 的统一理论正确, 还是基于演化的模型更合理?

除此之外, 还有一些问题有待人们去深入探讨。随着 NLS1 X 射线、紫外、光学等波段观测资料的增多和设备分辨率的提高, 相信对这类天体的研究也将进入一个新的阶段。

## 参 考 文 献

- 1 Osterbrock D E, Pogge R W. *Ap. J.*, 1985, 297: 166
- 2 Boller T, Brandt W N, Fink H. *Astron. Astrophys.*, 1996, 305: 53
- 3 Fore F, Laor A, Elvis M *et al.* *Ap. J.*, 1998, 503: 607
- 4 Brand W N, Boller T, Fabian A C *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1999, 303: L53
- 5 Leighly K M. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1999, 125: 297
- 6 Edelson R. *New Astron.*, 2000, 44: 423
- 7 Janiuk A, Czerny B, Madejski G M. *Ap. J.*, 2001, 557: 408
- 8 Boller Th, Keil R, Trumper J *et al.* *Astron. Astrophys.*, 2001, 365: L146
- 9 Gliozzi M, Brinkmann W, O'Brien P T *et al.* *Astron. Astrophys.*, 2001, 365: L128
- 10 Nandra K, George I M, Mushotzky R F *et al.* *Ap. J.*, 1997, 477: 602
- 11 Turner T J, George I M, Nandra K *et al.* *Ap. J.*, 1999, 524: 667
- 12 Green A R. Ph.D. thesis, Southampton: Univ. of Southampton, 1993: 40
- 13 Leighly K M, O'Brien P T. *Ap. J.*, 1997, 481: L15
- 14 Boller Th, Brandt W N, Fabian A C *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1996, 289: 393
- 15 Boroson T A, Green R F. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1992, 80: 109
- 16 Koenig M, Staubert R, Wilms J *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1997, 326: L25

- 17 Pounds K A, Done C, Osborne J. *M.N.R.A.S.*, 1995, 277: L5
- 18 Brandt W N, Mathur S, Elvis M *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1997, 285: L25
- 19 Leighly K M. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1999, 125: 317
- 20 Grupe D, Beuermann K, Mannheim K *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1999, 350: 805
- 21 Fiore F. *M.N.R.A.S.*, 1998, 298: 103
- 22 Grupe D, Leighly K M, Thomas H C *et al.* *Astron. Astrophys.*, 2000, 356: 11
- 23 Reynolds C S, Ward M J, Fabian A C *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1997, 291: 403
- 24 Page M J, Mason K O, Calvel J *et al.* *Astron. Astrophys.*, 2001, 365: L152
- 25 Comastri A, Brandt W N, Leighly K M *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1998, 333: 31
- 26 Ulvestad J S, Antonucci R J, Goodrich R W. *A. J.*, 1995, 109: 81
- 27 Moran E C, Halpern J P, Helfand D J. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1996, 106: 341
- 28 Goncalves A C, Veron P, Veron-Cetty M P. In: Gaskell C M, Brandt W N, Deitrich M *et al.* eds. *Structure and Kinematics of Quasar Broad Line Regions*, San Francisco: ASP, 1998: 309
- 29 Baldwin J A, McMahan R, Hazard C *et al.* *Ap. J.*, 1988, 327: 103
- 30 Madau P. *Ap. J.*, 1998, 327: 116
- 31 Wills B J, Brotherton M S. *Ap. J.*, 1995, 448: L81
- 32 Haardt F, Maraschi L. *Ap. J.*, 1993, 413: 507
- 33 Dove J B, Wilms J, Begelman M C. *Ap. J.*, 1997, 487: 747
- 34 Reynolds C S, Fabian A C. *M.N.R.A.S.*, 1995, 273: 1167
- 35 Mathur S. *M.N.R.A.S.*, 2000, 314: L17
- 36 Schinnerer E, Eckart A, Tacconi L. *Ap. J.*, 1998, 500: 147
- 37 Leighly K, Mushotzky R, Nandra K *et al.* *Ap. J.*, 1997, 489: L25
- 38 Krolik J H. In: Ostriker J P, Spergel D N eds. *Active Galactic Nuclei: From the Central Black Hole to the Galactic Environment*, Princeton: Princeton University Press, 1999: 496
- 39 Wills B J. 1999, preprint (astro-ph/9905093)

## The Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies

Cheng Linpeng    Zhao Yongheng

(*National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012*)

### Abstract

Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies (NLS1s), as one subclass of Active Galactic Nuclei (AGNs), are more and more widely paid attention by astronomers because of their special observational characteristics in X-ray band. The progress of the observations in NLS1s is described, and some main models are discussed in detail.

**Key words** Active Galactic Nuclei (AGNs)—Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies (NLS1s)—black hole—accretion disk—starburst