

活动星系核的非相对论性外流

王 挺 贵

(中国科学技术大学天体物理中心 合肥 230026)

摘 要

活动星系核有两类常见外流: 相对论性的射电喷流和非相对论性的物质外流, 前者主要在射电强的活动星系核中, 以非热辐射为特征; 非相对论性外流主要通过紫外吸收线观测到。总结了类星体非相对论性外流的一些性质及其 X 射线观测给出的问题, 指出现有的观测表明非相对论性外流引起的质量损失很重要。

关键词 类星体 — 吸收线 — Seyfert 星系 — X 射线 — 紫外

分类号 P157.6

1 类星体外流的紫外观测

物质外流最早在宽吸收线类星体中观测到, 这类天体在其紫外共振线 (如 CIV λ 1549A、Ly α 、NV λ 1240A) 的蓝翼表现出类似早型大质量恒星谱线中见到的 P-Cygni 吸收线轮廓, 一直延伸到几千 (在一些源中甚至到五万) km/s, 蓝移了的吸收线表明吸收物质从中心向外流。宽吸收线类星体大约占光学选的类型体的 12%, 早期的观测没有发现射电强的类星体宽吸收线特征^[1], 但最近几年随着大样本的射电选类星体证认工作的开展, 发现了一些射电强的宽吸收线类星体^[2,3]。宽吸收线类星体和非宽吸收线类星体在连续谱和线谱的相似性、以及吸收线区的整体覆盖因子 (从小于 20% 至 30%)^[4] 导致了一个普遍的观点, 每一个类星体都有一个宽吸收线区, 但只有这一区域处在到连续谱的视线方向上时才表现为宽吸收线类星体。

在一些宽吸收线类星体中, 电离度范围非常广的离子吸收线共存说明这些气体是光致电离的。如果吸收线并没有严重饱和, 主要吸收离子 (CIV, NV, OVI, Ly α) 的典型柱密度为 $10^{15} \sim 10^{16} \text{cm}^{-2}$ ^[5], 这对应于气体的总的柱密度在 $10^{20} \sim 10^{21} \text{cm}^{-2}$ 。在一些天体中, 蓝移了的 NV 吸收线在 Ly α 宽线轮廓上产生的吸收坑比该处的连续谱高度还要深, 表明至少有部分宽线区被吸收物质覆盖, 因而一般可以得出吸收线区在宽发射线区的外面。由宽发射线区尺度的经验关系^[6]: $R_{\text{BLR}} \approx 0.1 L_{46}^{0.5} \text{pc}$ (L_{46} 是以 $10^{46} \text{erg} \cdot \text{s}^{-1}$ 为单位

的连续谱光度), 我们可以得出吸收线区的尺度 $R_{\text{BAL}} > 0.1L_{46}^{0.5} \text{pc}$ 。由于共振吸收光深只跟吸收离子的柱密度有关而与密度无关, 因而没有很好测量吸收物质密度的办法。吸收物质的密度可以根据在宽吸收线类星体中没有发现有宽的 [OIII] 线成分推断宽吸收线区的物质密度应大于 [OIII] 线的碰撞退激发临界密度, 即 $n_e > 10^6 \text{cm}^{-3}$ 。如果照射宽吸收线区的电离连续谱是典型的活动星系核的光谱并且吸收线并不严重饱和, 那么吸收线区的典型电离参数 (氢的电离光子数密度和氢的粒子数密度之比) 在 0.1~1.0 之间^[7]。由上述电离参数和上述密度的上限, 给出吸收线区的尺度的上限在 10~100pc。由于类星体中心有很强的辐射场, 辐射是一个自然的向外的动量源, 吸收气体的速度一般认为是辐射加速的。在一些宽吸收线类星体中, 其吸收线轮廓在 $6000 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 附近有一极大, 被认为是加速 $6000 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的气体中的 NV 离子吸收 Ly α 线提供额外辐射动量, 使得这一速度附近的气体加速而光深变小。这被认为是辐射加速的一个证据^[8]。

上述结果的一个推断是吸收线气体穿越整个吸收线区的时标非常短 ($< 1000 \text{yr}$), 因此气体必须从类星体的中心连续流出。其次, 由于光致电离气体的典型温度为 10^4K , 对应的热速度为 $10 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, 而 Keck 对一些宽吸收线类星体的高分辨谱观测^[9] 并没有发现吸收坑分裂成很多结构, 表明气体在速度空间连续分布, 这可以是连续外流或者是在视线方向上由 10^3 个以上的小云组成。在后一种情况下, 这些小云的尺度只有 10^{10}cm (采用柱密度 10^{21}cm^{-2} , 密度 10^6cm^{-3})。声速穿越这些小云只需 10^4s , 稳定线轮廓要求这些云必须由某种机制束缚着。早期认为云团是由热相介质束缚, 但由于有摩擦和总动量问题, 后来又提出了气体是由磁场和相对论性中子约束^[10,11]。

这些是从紫外观测得到的一些推论, 但紫外观测存在一些基本问题: 吸收坑中可能存在饱和的窄吸收线, 这在一般分辨率的情况下很难探测到, Keck 的高分辨率观测表明这可能不是很严重的问题。但主要是吸收物质只部分覆盖连续谱, 从而大大低估了原来饱和的吸收线的视光深。造成部分覆盖的原因可能是吸收物质真实的部分覆盖, 也可能是连续谱散射造成的。其次, 紫外吸收线只测量到特定离子, 而测不到高电离态的气体。最后, 所有关于电离气体柱密度和有关物理参数的确定依赖于假设的电离连续谱的形状。这些问题可以部分或者全部由 X 射线观测给出。

2 类星体中外流物质的 X 射线观测

ROSAT 观测表明宽吸收线类星体的 X 射线极弱, X 射线和光学流量比比一般光学选的类型体低 1~2 个量级^[12,13]。软 X 射线波段弱被认为是吸收引起的, 这使得 Green 等人^[13] 得出吸收物质的柱密度在 10^{22}cm^{-2} 以上。由于 Green 等人的观测大部分只给出 X 射线流量的上限, 因此不能给出实际的吸收大小。由于吸收截面随 X 射线能量提高而降低, 高能 X 射线仪器可能会接受到较好的谱。然而, 宽吸收线类星体在 ASCA 观测波段依然很弱, 大部分只观测到上限^[14,15]。如果这一结果被解释为吸收, 那么大多数情况下吸收柱密度大于 $5 \times 10^{23} \text{cm}^{-2}$, 而在一些情况下, 柱密度的下限达 10^{24}cm^{-2} ^[16]。

Wang 等人^[17] 注意到宽吸收线类星体 PG 1411+442 的软 X 射线谱是陡的幂率谱, 没有超出银河系的吸收柱密度, 尽管其 X 射线和其他宽吸收线类星体一样弱。那么 ROSAT

测量到软 X 射线没有吸收是否说明宽吸收线类星体中 X 射线弱不是由于吸收引起的,而是本来就弱,从而从 X 射线上限估计的柱密度就根本不对?对 PG 1411+442 的 ASCA 观测, Brinkmann 等人^[14]发现其谱由两个成分组成:一个被柱密度为 $2 \times 10^{23} \text{cm}^{-2}$ 物质吸收了的高能 X 射线成分另加一个没有被吸收的软 X 射线成分,后者大约是前者的 5%,被 Brinkmann 等人解释为散射成分。Wang 等人^[18]同时分析了 PG 1411+442 的宽波段 X 射线谱和 HST 紫外谱,发现该天体的紫外吸收坑的剩余流量也为 5% 左右,可能是由散射或部分覆盖引起的。这一结果不只指出利用 X 射线测量吸收物质覆盖因子的可能性,而且说明了紫外吸收线是完全饱和了的,无法估计诸如 C IV、N V 等主要离子的柱密度,以前的结果低估了它们的柱密度。PG 1411+442 的情况是否适用于其他宽吸收线类星体? Wang 等人^[19]重新分析了后来发现的其他两个宽吸收线类星体的 ROSAT 谱,其中只有一个存在可能吸收的证据,而另一个具有很陡软 X 射线谱,情形可能和 PG 1411+441 一样。只从这三个软 X 射线观测到的宽吸收线类星体来看,PG 1411+442 应该不很特殊,其他宽吸收线类星体的 ROSAT 测量上限与这几个天体的光学到 X 射线的谱指数 α_{ox} 一致。

观测表明这些天体的 X 射线吸收柱密度高于直接从紫外吸收线估计的柱密度(2~4 个量级),一个重要的问题是紫外吸收线和 X 射线吸收是否为同一成分。我们对 PG 1411+442 的紫外和 X 射线的同时分析倾向于它们的有效覆盖因子相同或相近,但没有证据表明它们相同。Wang 等人^[19]从光致电理论出发分析了 X 射线吸收物质的电离状态,低红移宽吸收线类星体中低能软 X 射线基本上完全吸收这一事实表明 X 射线吸收物质的电离度不可能太高,一般高电离宽吸收线类星体并没有很强的 Lyman 吸收边这一事实表明电离度又不可能太低(如果 X 射线吸收物质同时覆盖紫外连续谱产生区),由这两个限制,电离参数事实上就在一个很窄的范围。他们的计算表明这种电离度的气体和上述估计的 X 射线吸收物质的柱密度,产生主要紫外吸收线的离子的柱密度不可避免地具有很高的数值,其中 O VI 和 Ne V III, Ne V II 离子的柱密度在 $10^{17.5} \sim 10^{18.5} \text{cm}^{-2}$, C IV, N V 在 $10^{16.5} \sim 10^{17} \text{cm}^{-2}$ 之间,这种离子的柱密度足以说明观测到宽吸收线的光学深度。由于吸收软 X 射线光子的主要离子就是产生紫外吸收线的离子,这一结论基本上不依赖于电离连续谱的形状和元素丰度以及多区域模型。这一结果是和紫外和 X 射线吸收物质是同一成分是一致的,但并没给出必要条件。其中可能的例外情形主要有两种: X 射线吸收物质只覆盖 X 射线连续谱产生区,而没有覆盖紫外连续谱产生区; X 射线吸收物质在速度空间上分布非常有限,因而在紫外吸收线上只表现为很饱和的一小段吸收坑。第一种情况要求 X 射线吸收区域尺度和紫外发射区尺度相近,这在理论上几乎是不可能的。第二种情况的可能性比较大,但观测上区分比较困难。如果紫外和 X 射线吸收是同一成分,吸收物质外流的速率 M' 可以由下式估计:

$$M' = 11C_{0.1}N_{23}R_1^2/\Delta R_1v_4M_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}$$

此处, R_1 是以 1pc 为单位的吸收物质的距离, ΔR_1 是以 1pc 为单位的吸收物质分布厚度, $C_{0.1}$ 是以 0.1 为单位的覆盖因子, N_{23} 是以 10^{23}cm^{-2} 为单位的柱密度, v_4 是以 $10^4 \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 为单位的的外流速度。很显然,在宽吸收线类星体中外流物质速率很容易和黑

洞的吸积率相当。外流总的动能光度为

$$L_K \approx 4 \times 10^{44} C_{0.1} N_{23} (R_1^2 / \Delta R_1) v_4^3 \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$$

对于典型的宽吸收线类星体, 这一光度大概是总光度的几十分之一。如果吸收气体是由辐射加速的, 这些气体的能量必须来自辐射损失, 在覆盖因子 0.1 下, 只有 10% 的辐射与吸收气体相互作用, 而在共振散射下, 辐射交给气体的能量部分大约是吸收能量的 v/c 即 0.01 ~ 0.1 量级, 因而动能光度只能是总光度的 1% 大小。目前不清楚上述估计的总动能光度是从哪里来的, 但显然很大一部分应该由非辐射能量贡献, 磁加速是一种可能。

3 其它非相对论性外流

除了宽吸收线外, 在类星体中还观测到蓝移了的窄的本征吸收线, 其吸收物质反映规模小一些的质量外流, 现已观测到的外流的速度从 $10^2 \sim 5 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ [20], 这类外流在柱密度上可能比宽吸收线类星体中观测到的要低 2 个量级。在光度较低的 Seyfert 星系中, 窄的本征吸收线也很普遍 [21], 吸收线气体的光学深度与类星体中的窄吸收线成分类似, 但外流的速度一般很少超过 $2000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于 Seyfert 星系比较近, X 射线流量比较强, 适合于细致的 X 射线光谱分析, 这类 Seyfert 星系大部分在 X 波段观测到部分电离气体的吸收, 吸收柱密度在 10^{22} cm^{-2} 左右 [22]。

在 Seyfert 星系中还存在一类比窄线宽、比宽吸收线窄的类宽吸收线, 但比例很小。已知这样的天体只有几个, 它们都是光度较高的 Seyfert 星系。我们研究 X 射线的非常强的部分电离吸收源的紫外谱时, 发现 PG 1126-041 是个类宽吸收线 Seyfert 星系, 它的各种性质都间于窄吸收线和宽吸收线活动星系核之间 [23]。在 X 射线波段, 它表现出非常强的电离吸收, 吸收物质的柱密度接近 10^{23} cm^{-2} , 以至吸收之后它的 X 射线和一般的宽吸收线类星体一样弱; 其吸收坑范围从 $0 \sim 4000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这就引出了一个问题, 是不是不同宽度的吸收线在性质上是连续过渡的? 对于一个比较大样本的活动星系核吸收线和 X 射线的分析, Brandt, Laor 和 Wills [24] 发现光学到 X 射线的谱指数和吸收线的等值宽度相关, 即吸收线强的 X 射线弱。这一结论被他们解释为 X 射线吸收和紫外吸收是相伴的。关于紫外吸收和 X 射线吸收是否是同一成分, 颇有争议。随着今后几年高分辨的 X 射线谱的观测, 以及同时紫外吸收线谱的观测将会解决这一问题。

参 考 文 献

- 1 Weymann R J, Morris S L, Foltz C B et al. *Ap. J.*, 1991, 373: 23
- 2 Brotherton M S et al. *Ap. J.*, 1998, 505: L7
- 3 Wills B J, Brandt N W, Laor A. *Ap. J.*, 1999, 520: L91
- 4 Hamann F, Korista K T, Morris S L. *Ap. J.*, 1993, 415: 541
- 5 Korista K T, Voit G M, Morris S L et al. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1993, 88: 357
- 6 Netzer H. In: Blandford R, Netzer H, Woltjer L eds. *Active Galactic Nuclei: 1990 Saas-Fee Lectures*, Berlin: Springer-Verlag, 1990: 83
- 7 Turnshek D A. In: Blades S C, Turnshek D A, Norman C A eds. *QSO Absorption Lines: Probing the Universe*, Cambridge: Cambridge University Press, 1988: 333

- 8 Arav N, Begelman M C. *Ap. J.*, 1994, 434: 479
- 9 Ogle P M *et al.* *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1999, 125: 1
- 10 Bottorff M, Korista K T, Shlosman I *et al.* *Ap. J.*, 1997, 479: 200
- 11 Begelman M C, De Kool M, Sikora M. *Ap. J.*, 1991, 382: 416
- 12 Green P J *et al.* *Ap. J.*, 1995, 450: 51
- 13 Green P J, Mathur S. *Ap. J.*, 1996, 462: 637
- 14 Brinkmann W, Wang T, Matsuoka M *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1999, 345: 43
- 15 Gallagher S C, Brandt W N, Sambruna R M *et al.* *Ap. J.*, 1999, 519: 549
- 16 Mathur S *et al.* *Ap. J.*, 2000, 533: L79
- 17 Wang T, Brinkmann W, Bergeron J. *Astron. Astrophys.*, 1996, 308: 81
- 18 Wang T G, Wang J X, Brinkmann W *et al.* *Ap. J.*, 1999, 519: L35
- 19 Wang T G, Brinkmann W, Yuan W *et al.* *Ap. J.*, 2000, 545: 77
- 20 Barlow T A, Hamann F, Sargent W L W. In: Arav N, Shlosman I, Weymann R J eds. *Mass Ejection from AGN*, ASP Conference Series, 1997, 128: 13
- 21 Crenshaw D M *et al.* *Ap. J.*, 1999, 516: 750
- 22 Mathur S, Wilkes B, Elvis M. *Ap. J.*, 1998, 503: 23
- 23 Wang T G, Brinkmann W, Wamsteker W *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1999, 288: 225
- 24 Brandt W N, Laor A, Wills B J. *Ap. J.*, 1999, 528: 637

Non-relativistic Outflows in Active Galactic Nuclei

Wang Tingui

(Center for Astrophysics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract

Two type outflows are seen in Active Galactic Nuclei (AGN). Characterizing by their non-thermal radiation, relativistic radio jets are detected mainly in radio loud AGN, while non-relativistic outflow is observed through blue-shifted absorption lines in both radio loud and radio quiet AGN. Some new results on the mass outflow in the quasars and Seyfert galaxies from UV and X-ray observations are summarized. These results highlight the importance of mass loss process in broad absorption line quasars.

Key words Quasars—Absorption Line—Seyfert Galaxies—X-ray—Ultraviolet