

文章编号: 1000-8349(2011)04-452-7

SDSS J125438.25+114105.8的光学微光变观测

时光^{1,2}, 单红光¹

(1. 中国科学院 国家天文台/云南天文台, 昆明 650011; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 利用云南天文台丽江2.4m望远镜对一个新发现的射电噪窄线赛弗特1 (RL-NLS1) 活动星系核SDSS J125438.25+114105.8进行了光学波段的短时标监测, 观测结果表明, SDSS J125438.25+114105.8存在光学微光变, 典型的光变幅度为0.05~0.1 mag, 光变时标仅为h的量级。这个天体是到目前为止极少数几个探测到光学微光变的RL-NLS1之一, 推断出它的光学光度至少有一部分是来自相对论性喷流的贡献, 支持了对RL-NLS1活动星系核的多波段研究结果^[1] 以及最近Fermi卫星的高能 γ 射线辐射的探测结果。

关键词: 活动星系核; 赛弗特星系; 类星体; 测光; 喷流; SDSS J125438.25+114105.8

中图分类号: P157.6 **文献标识码:** A

1 引言

窄线赛弗特1 (narrow-line Seyfert 1, NLS1) 星系^[2] 是活动星系核 (active galactic nuclei) 中非常特殊的一个子类。NLS1s 具有相对较窄的宽发射线, 宽线巴尔末线 FWHM ($H\beta$) $< 2\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 和较弱的禁线 ($[\text{O III}]\lambda 5007/H\beta < 3$); 它们的 Fe II 发射线很强^[3,4] 而且软X射线谱比较陡^[5,6]。这类天体通常具有相对较小的黑洞质量和较高的爱丁顿比^[7,8]。

早期的研究中, NLS1s 一度被人们认为是射电宁静的^[9-11]。在过去的几年中, 一些射电噪窄线赛弗特1 (radio-loud narrow-line Seyfert 1, RL-NLS1) 活动星系核被探测发现, 但是到目前为止仅为已知NLS1的7%^[4,7,12], 而极射电噪 (very radio-loud, $R > 100$) 的成员, 仅占约2.5%。一些研究发现^[1,13-16], 这类天体具有类似于耀变体 (blazar) 的多波段观测特性, 表明在靠近视线方向上存在相对论性喷流。观测证据包括致密的VLBI核区, 非常高的亮温度和快速的射电流量变化, 较平的射电谱以及类似于耀变体的宽波段能谱分布等^[1]。NLS1s通常具有约 $10^7 M_{\odot}$ 或者更小的黑洞质量, 但是以接近或者超过爱丁顿比快速吸积, 更倾向存在于具

收稿日期: 2011-05-13; 修回日期: 2011-05-19

资助项目: 国家自然科学基金(11033007); 973计划(2009CB824800, 2007CB815405)

有丰富气体的盘星系之中, 这与具有典型较大黑洞质量 (约 $10^8 \sim 10^9 M_{\odot}$), 并且存在于椭圆或者核球主导星系的射电噪类星体是完全相反的。因此, 在NLS1s中发现喷流的存在, 对了解这类新的射电噪活动星系核以及喷流的形成具有重要意义和影响。一般认为, 活动星系核中的 γ 射线辐射是来自相对论性喷流中的逆康普顿散射。最近, Fermi LAT 探测到RL-NLS1活动星系核的高能 γ 射线辐射, 证实了RL-NLS1s中存在相对论性喷流^[17-19]。

我们根据SDSS (Sloan Digital Sky Survey) 的光谱数据以及FISRT (Faint Images of the Radio Sky at Twenty-Centimeters) 的射电流量数据, 发现了一个新的RL-NLS1活动星系核SDSS J125438.25+114105.8 (SDSS J1254+1141, $z = 0.873$), 其光谱分析和认证工作已在文献[20]中发表。根据SDSS数据转化得到的SDSS J1254+1141R波段星等¹为 $R = 16.6$ mag。这个天体具有典型的NLS1光谱特性, 例如: 巴尔末线宽 (FWHM) $\approx 1950 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 以及具有较强的 Fe II 发射线, R_{4570} (Fe II 线和 $\text{H}\beta$ 线流量之比) ≈ 1.0 。SDSS J1254+1141具有非常强的射电辐射, 射电波段 1.4 GHz 流量约为 792 mJy。根据 5 GHz 射电流量得到的射电噪度 $R_{5\text{GHz}} \approx 1000$ 。另外, VLBI的探测还发现了这个天体具有视超光速运动^[20]。

在耀变体中通常能观测到光学波段的微光变 (optical microvariability, 也可称为intranight optical variability 或者intraday optical variability), 它被认为是喷流中聚束效应的典型特征。Liu等人^[21]观测到了一个典型的RL-NLS1 SDSS J0948+0022的光学微光变, 所以我们预期在SDSS J1254+1141中也能探测到光学波段的微光变。

本文将详细介绍, 我们利用云南天文台丽江2.4 m望远镜, 对RL-NLS1活动星系核SDSS J1254+1141进行的光学测光观测工作以及光变分析结果。第2章介绍观测工作的具体过程和数据处理方法; 第3章介绍测光观测的结果和检验分析过程; 第4章是总结和展望。

2 观测和数据处理

我们使用丽江高美古观测站的2.4 m光学望远镜, 对RL-NLS1活动星系核SDSS J1254+1141进行R和V两个光学波段的测光监测。2.4 m光学望远镜采用的是卡焦的PI VERSAR-RAY 1300B CCD探测器 (1340 pixels \times 1340 pixels)。CCD探测器的等效视场为: $4'48'' \times 4'40''$, 象元大小: $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$, 对应于: $约0.21'' \times 0.21''$ 。CCD的增益值 (gain) 和读数噪声 (readnoise) 分别为 $2.84 \text{ electrons} \cdot \text{ADU}^{-1}$ 和 1.95 electrons 。观测工作是在2010年2月7-12日进行的, 由于2010年2月8日和10日的天气情况较不稳定, 观测数据不能用于研究工作。在利用2.4 m望远镜进行观测和监测工作的过程中, 典型的大气视宁度 (seeing) 为 $1.5''$, 其范围分布在 $0.9'' \sim 2.1''$ 之间。在每个观测夜之前的黄昏阶段和观测夜之后的黎明阶段, 还拍摄了一定数量的本底 (bias) 以及V和R波段的平场 (flat) 图片, 这些图片用于观测数据的校准和修正。对于目标源的观测数据, 典型的曝光时间为90 s。观测数据的处理和修正, 采用的是标准的IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) 程序。

大部分恒星的流量在天时标上可以认为是不变的。与目标源位于同一视场中的恒星, 可

¹ <http://www.sdss.org/dr6/algorithms/sdssUBVRITransform.html#Lupton2005>

以在较差测光方法中,用来当做参考星(reference stars)。在选参考星的过程中,我们使用了SDSS DR7的巡天观测数据。在目标源所在的每幅观测图中,也同时进行了参考星的观测。由于SDSS J1254+1141的红移很高($z = 0.873$),星系成分对光度的贡献完全可以忽略,在测光图像上,该天体呈现点源形态。由于目标源和参考星是点源,我们取每幅图像中的场星的平均半高全宽的3倍值($3 \times \text{FWHM}$)作为孔径半径,对数据进行测光处理。所有目标源和参考星的仪器星等是使用APPHOT工作包计算得到的。我们选用参考星根据以下准则:(1)这些参考星都是在以往的巡天中被分类为恒星的天体;(2)参考星都是目标源周围较亮而且没有饱和的天体,具有较高的信噪比(signal to noise ratio)。

在本工作中,为了获得目标源在光学V和R两个波段的本征光变,我们采用多个参考星的相对零点定标方法^[22],来计算并获得较差光变曲线。首先,我们按照上述选择标准选取了5颗参考星。由于这几个观测夜的观测天气情况都比较稳定,在一个晚上的观测图中,我们从大气质量($M_{\text{air}} < 1.155 \approx \text{sec } 30^\circ$)不大的测光图像中随机选取了一幅图作为标准图,这幅图中的参考星的仪器星等为标准星等。在给出的任意一幅图中,对于第*i*颗标准星我们可以计算出这幅图相对于标准图的较差星等: $\Delta m = m_i - m'_i$,计算所选这幅相对于标准幅的零点偏差值。测光零点偏差是通过计算所有参考星的 Δm 的加权的统计平均值 $\langle \Delta m \rangle$ 得到的。同一夜的其他幅图相对于标准图的零点偏差可以通过这种方法算出,进而可以构建这一观测夜的较差光变曲线。同时,我们也给出了零点偏差值的测量误差,即零点修正平均值的不确定度: σ/\sqrt{N} (σ 是 $m_i - m'_i$ 分布的标准偏差, N 为参考星的数目)。最后的测光误差是星等统计误差(由IRAF给出)和定标星等零点的系统误差总和(根据误差传递公式计算得到),约为0.01 mag的量级。另外,我们扣除了天顶距 $z > 60^\circ$ 的数据点,以减小颜色差异对较差测光的影响。

3 观测结果和分析

表1 光学测光观测的信息和结果

| 日期 | 波段 | 时长/h | N_{frames} | 视宁度/(") | 归一化 χ^2_{star} | $\psi_{\text{star}}/\%$ | 归一化 χ^2_{target} | $\psi_{\text{target}}/\%$ |
|------------|----|------|---------------------|---------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 2010-02-07 | V | 5.9 | 67 | 1.0~1.5 | 0.66 | 0.9 | 1.7 | 4.6 |
| | R | 5.9 | 67 | 1.0~1.5 | 0.58 | 0.6 | 1.8 | 4.7 |
| 2010-02-09 | V | 4.8 | 65 | 1.0~1.5 | 0.33 | 0.6 | 2.3 | 9.5 |
| | R | 4.8 | 65 | 1.0~1.5 | 0.30 | 0.7 | 1.9 | 8.2 |
| 2010-02-11 | V | 1.5 | 20 | 1.0~1.5 | 0.36 | 0.6 | 2.3 | 5.5 |
| | R | 1.5 | 20 | 1.0~1.5 | 0.52 | 0.7 | 1.6 | 4.3 |
| 2010-02-12 | V | 5.8 | 45 | 1.5~2.1 | 0.42 | 0.9 | 4.4 | 7.2 |
| | R | 5.8 | 45 | 1.5~2.1 | 0.30 | 0.8 | 4.0 | 6.0 |

说明:第1列,观测日期;第2列,观测测波段;第3列,观测时间的长度;第4列,观测数据点数;第5列,观测夜视宁度;第6列,参考星较差光变曲线的归一化 χ^2 值;第7列,参考星光变曲线的变幅;第8列,目标源较差光变曲线的归一化 χ^2 值;第9列,目标源光变曲线的变幅。

为了探测RL-NLS1活动星系核的光学波段的光变特性, 我们利用丽江2.4m光学望远镜, 对SDSS J1254+1141的V和R波段进行了监测。观测时间为2010年2月7日、9日、11日和12日。表1中给出了SDSS J1254+1141的基本观测信息和观测结果。我们用较差测光的方法得到较差光变曲线, 在图1中给出。目标源的标准幅星等是从SDSS数据中转换而来的。我们应用 χ^2 (chi-squared test) 来检验目标源的光学微光变:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(m_i - \langle m \rangle)^2}{\xi_i^2}, \quad (1)$$

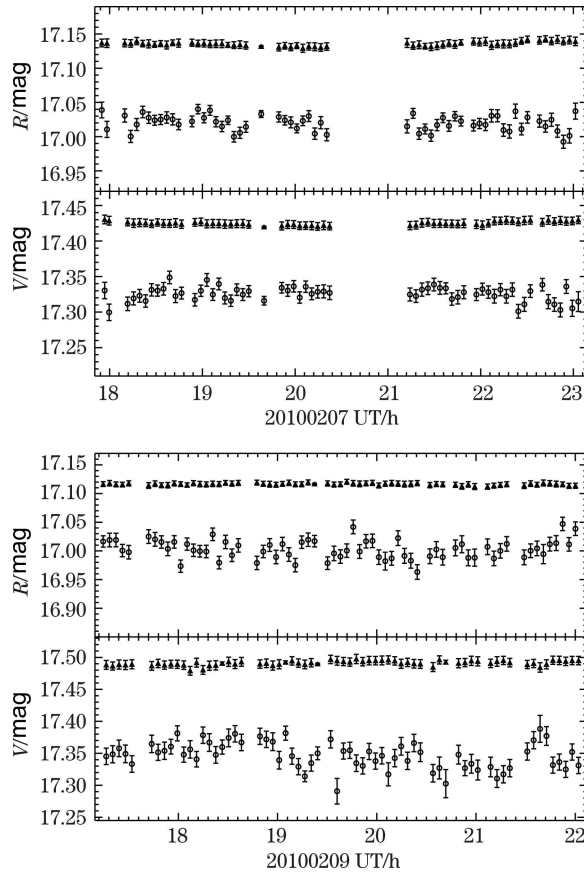


图1 较差光变曲线

2010年2月7日、9日, SDSS J1254+1141 R(上面)和V(下面)波段的较差光变曲线(圆圈)以及同一视场中的一颗参考星的较差光变曲线(三角), 误差棒是 1σ 水平。

此处, m_i 是一条光变曲线的第*i*个较差星等, $\langle m \rangle$ 是较差星等的加权平均值, ξ_i 是较差星等的误差。对于 χ^2 检验, 自由度(n)为光变曲线的数据点数目 $N_{\text{frames}}-1$ 。我们计算得到所有光变曲线的归一化 χ^2 值, 即 χ^2/n 都显著大于1, 对于这里的*n*值, 给出的 χ^2 检验的零假设(星等为常数)的几率 $P(\chi^2|v) \approx 0$, 表明目标源的光变曲线是存在显著光变的。表1列出了目标源光变观测和检验的主要结果。

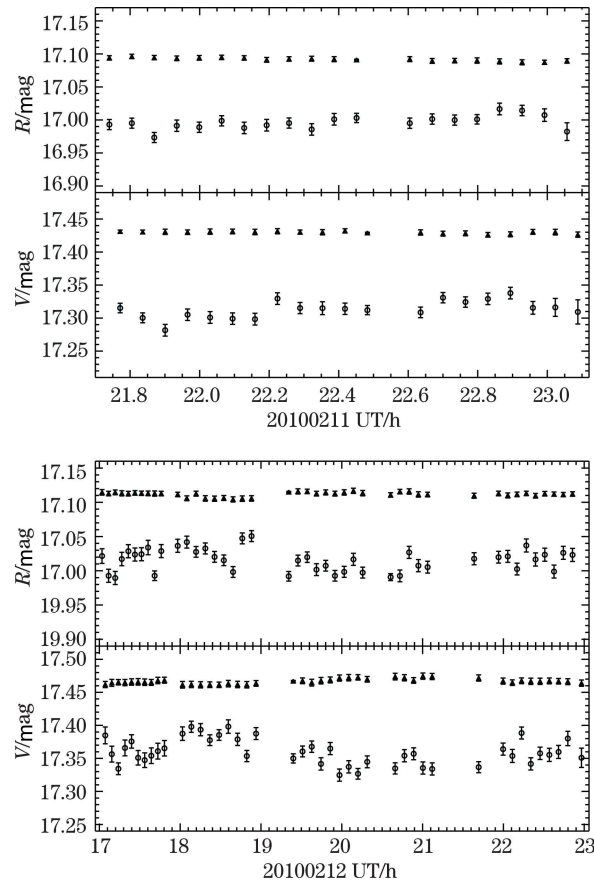


图2 较差光变曲线

2010年11日和12日, SDSS J1254+1141 R(上面)和V(下面)波段的较差光变曲线(圆圈)以及同一视场中的一颗参考星的较差光变曲线(三角), 误差棒是 1σ 水平。

在此项工作中, 为了获得光变的幅度, 我们引入了特征光变幅度参数 ψ , 用来作为探测光变的一个指标参数^[24]:

$$\psi = 100 \times \sqrt{(D_{\max} - D_{\min})^2 - 2\sigma_{\text{error}}^2} \% , \quad (2)$$

此处的 D_{\max} 和 D_{\min} 分别对应于较差光变曲线的最大值和最小值, σ_{error} 表征了光变曲线的弥散(星等的标准偏差), 变幅的计算在表1中给出。

为了检验光变的可靠性, 我们选择视场中的一颗参考星和目标源的光变进行比较, 参考星的星等和颜色都与目标源的比较接近, 且具有较高的信噪比。我们在光变曲线图中, 也给出了参考星的较差光变曲线。为了给出一个定量的评估, 我们同样检验了参考星的较差光变曲线, 得归一化 χ^2 值和变幅, 也都在表1中列出。根据归一化的 χ^2 值 ≤ 1 , 对应 χ^2 检验零假设的几率 $P(\chi^2|\nu) \approx 1$, 可以认为参考星统计上没有光变。这样的结果证明较差光变曲线的测光校准是可靠和可信的, 同样我们计算了参考星的变幅, 其大小与测光的不确定度约0.01 mag(包

括统计误差和系统误差)。

观测结果显示, 对RL-NLS1活动星系核SDSS J1254+1141在4个观测夜的光学波段监测, 均探测到了明显的微光变。目标源的光变时标很短, 仅为h的量级, 这样短的光变时标在blazar中是比较常见的^[25]。其最小的光变幅度约为0.05 mag, 最大变幅约为0.1 mag (见表1)。

4 小结和讨论

我们利用云南天文台丽江观测站的2.4 m光学望远镜, 对RL-NLS1活动星系核SDSS J1254+1141进行了光学波段的监测工作。这个天体是一个新发现的RL-NLS1^[20], 不但具有典型的NLS1的光谱特征(详见引言部分), 而且具有非常强的射电辐射(射电噪度 $R_{5\text{GHz}} > 1000$)。此项观测工作的目的是监测SDSS J1254+1141的光学微光变, 研究其光学光变性质。观测结果显示, SDSS J1254+1141在R和V两个光学波段均存在明显的微光变, 变幅约为0.05 ~ 0.1 mag。

光学微光变(micro variability), 又称为intranight optical variability或intraday optical variability, 这种光变的时标很短, 是小时至天的量级^[23], 在耀变体(blazar)中通常能探测到光学微光变。一些观测研究表明, 在耀变体中探测到光学波段微光变的几率很高, 超过60%^[24, 25], 典型的光变幅度 ψ 均超过3%, 对于一些源, 变幅可超过30%。光学波段的微光变一般解释为: 辐射区中存在不规则的湍流, 这些湍流与激波中的相对论性聚束喷流相互作用, 进而影响辐射的特性^[26, 27]。对于射电宁静类星体(RQQ)而言, 只有很少部分的源探测到光学微光变^[28, 29], RQQ的典型光变幅度不到3%, 甚至更低, 可能的解释是与吸积盘的不稳定性相关联^[30]。

我们的观测结果显示, SDSS J1254+1141的光变幅度为0.05 ~ 0.1 mag, 典型的变幅约为0.06 mag。显然, 这个RL-NLS1的光学微光变特性与耀变体的相似, 而非RQQ。因此, 我们推测, 对于RL-NLS1活动星系核的光学光度, 有一部分是来自喷流的非热辐射的贡献, 我们的观测结果为RL-NLS1中存在相对论性喷流提供了光学波段的观测证据, 对这类特殊射电噪活动星系核的宽波段能谱拟合和模型构建提出一些限制, 同时也支持了以前RL-NLS1活动星系核的多波段观测^[1, 16]和Fermi望远镜的高能 γ 射线探测结果^[17-19]。

参考文献:

- [1] Yuan W, Zhou H Y, Komossa S, et al. ApJ, 2008, 685: 801
- [2] Osterbrock D E, Pogge R W. ApJ, 1985, 297: 166
- [3] Boroson T A, Green R F. ApJS, 1992, 80: 109
- [4] Zhou H Y, Wang T G., Yuan W, et al. ApJS, 2006, 166: 128
- [5] Boller T, Brandt W N, Fink H. A&A, 1996, 305: 53
- [6] Wang T G, Brinkmann W, Bergeron J. A&A, 1996, 309: 81

- [7] Komossa S, Xu D, Zhou H, et al. *AJ*, 2006, 132: 531
- [8] Komossa S. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, 2008, 32: 86
- [9] Moran E C. *New Astronomy Reviews*, 2000, 44: 527
- [10] Stepanian J A, Benítez E, Krongold Y, et al. *ApJ*, 2003, 588: 746
- [11] Ulvestad J S, Antonucci R R J, Goodrich R W. *AJ*, 1995, 109: 81
- [12] Whalen D J, Laurent-Muehleisen S A, Moran E C, et al. *AJ*, 2006, 131: 1948
- [13] Doi A, Nagai H, Asada K, et al. *PASJ*, 2006, 58: 829
- [14] Doi A, Fujisawa K, Inoue M, et al. *PASJ*, 2007, 59: 703
- [15] Zhou H Y, Wang T G, Dong X B, et al. *ApJ*, 2003, 584: 147
- [16] Zhou H Y, Wang T G, Yuan W, et al. *ApJ*, 2007, 658: L13
- [17] Abdo A A, Ackermann M, Ajello M, et al. *ApJ*, 2009a, 699: 976
- [18] Abdo A A, Ackermann M, Ajello M, et al. *ApJ*, 2009b, 707: L142
- [19] Foschini L, Angelakis E, Bonnoli G, et al. *IAUS*, 2011, 275: 176
- [20] Zhou H Y, in preparation, 2011
- [21] Liu H, Wang J, Mao Y F, et al. *ApJ*, 2010, 715: L113
- [22] Ai Y L, Yuan W, Zhou H Y, et al. *ApJ*, 2010, 716: L31
- [23] Miller H R, Carini M T, Goodrich B D. *Nature*, 1989, 337: 627
- [24] Heidt J, Wagner S J. *A&A*, 1996, 305: 42
- [25] Romero G E, Cellone S A, Combi J A, et al. *A&A*, 2002, 390: 431
- [26] Blandford R, Rees M J. *Phys. Scr.*, 1978, 17: 265
- [27] Marscher A P. *Blazar Continuum Variability*. ASPC, 1996, 110: 248
- [28] Gupta A C, Joshi U C. *A&A*, 2005, 440: 855
- [29] Stalin C S, Gupta A C, Krishna G, et al. *MNRAS*, 2005, 356: 607
- [30] Wiita P J. *Blazar Continuum Variability*. ASPC, 1996, 110: 42

Search for Optical Microvariability in SDSS J125438.25+114105.8

SHI Guang^{1,2}, SHAN Hong-guang¹

(1. National Astronomical Observatories/Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: SDSS J125438.25+114105.8 is a newly identified radio-loud narrow-line Seyfert 1 galaxy, a recently discovered new class of active galactic nuclei, which was suggested to have relativistic jets aligned to the line of sight based on recent observations. We searched for optical microvariability in SDSS J125438.25+114105.8 in four nearly successive observing nights, with the LiJiang 2.4-m telescope of Yunnan Observatory. Rapid variations of the optical emission were detected on timescales as short as a few hours, with the maximum amplitude reaching nearly 0.1 mag. This is the second reported case of optical microvariability detected in radio-loud NLS1 galaxies. Our result indicates that its observed optical light is significantly contributed by non-thermal emission, most likely from relativistic jets, suggested by the study of multiwavelength properties as well as the most recent γ -ray observations made with the Fermi satellite.

Key words: active galactic nucleus; Seyfert; quasars; jets; photometry; SDSS J125438.25+114105.8