DOI: 10. 15940/j. cnki. 0001-5245. 2001. 01. 002

第42卷第1期 2001年2月

3C273 的光学光变周期*

樊军辉^{1,2} G·E·Romero^{3,4} 林瑞光¹

(1 广州大学天体物理中心 广州 510400)

(2 云南天体物理中心)

(3 阿根廷射电天文研究所)

(4 阿根廷国立大学物理系)

摘要 收录了类星体 3C273 约 110 年的光学资料,并在此基础上讨论了光变周期性.当 用两种不同方法(Jurkevich 方法及 DCF(离散相关系数)法)分析时,发现光变曲线中存在周 期为 2.0 年、(13.65±0.20)及(22.5±2.0)年的周期性.同时也讨论了这种周期的可能机制.

关键词 活动星系核,类星体 3C273,光变周期性

中图分类号:P157

1 引言

类星体以及活动星系核(AGNs)中心区的特性至今还是一个问题.对活动星系核的光 学光度特性的研究能给出关于这类天体的活动机制的有用信息,并对类星体的模型工作 具有重要意义^[1].有些特殊天体的光变曲线显示出几个不同时标的周期特性(见文[1-7]),但是由于光学光变曲线的复杂性,并且缺乏覆盖了一个相当长时期的完备样本数据 库,周期特征的明确证认总体来说还是比较困难.

第一个被证认为河外源的类星体 3C273,对它的广泛研究已经有 35 年多的历史了. 它在多波段上都显示出光变特性(见文[8-11]).最近 Curvoisier^[12]对此天体的特性进行 了综合研究,对此源光学波段的监测始于 1887 年,是目前具有完备历史记录的河外源之 一.

人们对 3C273 光变曲线历史资料中的周期特征的研究具有浓厚的兴趣.不同的作者 给出了利用不同子样本得出的不同周期特性.其中,有(9±1.2)年的周期^[13],13.4 年的 18.3 年周期^[15],以及一个 16 年周期的迹象^[13],VLB1 射电资料中也发现了这一周 期^[14].在上一篇文章中,Lin^[15]利用了 Jurkevich 方法试图在 B 波段光变曲线中寻找其周 期性.

本文利用两种比较成熟的方法,对整个历史光变资料中的可能存在的周期性进行了 研究.

¹⁹⁹⁹⁻¹²⁻¹⁵ 收到

^{* (}国家與华科学基金術発现具 cademic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

2 周期性分析、方法及结果

2.1 光变曲线

在引言中我们已经提到 3C273 具有一个 110 年的光学 B 监测数据库.其资料主要来 源于文[3,16-39],最终光变曲线在图 1 中给出.



图 1 3C273 的光学 B 光变曲线 Fig. 1 Optical B light curve of 3C723

2.2 周期性

3C273的测光资料明确表明它是一个剧变源.此源的变化特性是否具有一个或多个 周期成份,还依旧存在争议.即使用同一个数据样本,其光度曲线中推出的周期性也有不 同^[17].最新的观测使我们能更好地分析数据库资料,并利用更可靠的方法进行研究.本文 利用两种方法进行周期分析,即 Jurkevich 方法和离散相关系数(DCF)方法. 2.2.1 Jurkevich 方法

Jurkevich^[2]和 Fan^[1,6]方法都是基于均方偏差期望值.与其他作者所用的傅里叶分析 相比,它不易于产生伪周期^[5].此方法将对一系列附近数据叠加的试验周期进行检测,根 据它们的每个试验周期附近的相位,所有的数据都被指派到 m 个组,各个组的方差 V_i^2 以及所有组的总和 V_m^2 ,都可以计标出来.如果一个试验周期等于真实周期,那么 V_m^2 达到 最小.因此,相比于其他伪周期,一个"好"的周期将给出减小至最小程度的方差,并且几乎 是一个常数.进一步的检测是关于最小程度和接近于所采纳周期的 V_m^2 曲线的"平滑"段 的噪声的关系.如果最小值与"平滑段"的相对变化的绝对数值,与这"平滑"段的标准差相 比足够太(譬如说 5 倍),那么资料中的周期性可以认为是显著的,并且最小值是可信 的^[1,4-5].

本文利用 Jurkevich 方法对 3C273 的 B 监测资料进行了处理,其结果见图 2(m=10).图中可见,相应于试验周期 2,(13.65±0.2),(22.5±0.2),(26.65±0.15)以及(43±2.0)年有几个极小点,2年尖钉状最小值是背景噪声的 8 倍.也有一些最小点对应于 4.5,7.5 和 9.0年,与 Badadzhanyants 等^[5]所发现的 18.3年周期一致,本文的结果中也 可能存在一个 18.22年的周期,但它比 13年和 22年的峰值小得多也弱得多.VLBI 观测 中没有发现 16年的周期.



图 2 V_m^2 和试验周期 P 的图表 Fig. 2 Plot of V_m^2 vs trial period, P

值得一提的是 26.65 年周期是 13.65 年周期的 2 倍.我们认为它们有着相同的起源, 后者是前者的谐函数.同样对于 43±2.0 年和 22.5±0.2 年的峰值,它们是同一周期性. 2.2.2 离散相关系数(DCF)方法

DCF 方法是用于分析两组数据的相关性·Edelson 等^[40]、Fan 等^[41]对它有详细的描述·这种方法能够表征两个具有时延的时间序列的相关性,并能用于单一时间序列的周期 分析·如果光变曲线中存在一个周期 *P*,那么 DCF 能够明确地显示出数据序列是否与具 有时延 $\tau=0$ 和 $\tau=P$ 的自身序列相关·我们使用的方法如下:

首先,我们计算出两个数据流 a 和 b 的一组非分段的相关,即

UDCF_{ij} =
$$\frac{(\mathbf{a} - \mathbf{a}) \times (b_j - b)}{\sqrt{\sigma_{\mathbf{a}}^2 \times \sigma_b^2}}$$
, (1)

其中 a_i 和 b_j 是数据列中的点, a和 b是数列的平均值,以及相应的标准差 σ_a 和 σ_b .然后, 通过对非分段的相关函数 UDCF_{ij}以适当的时间长度进行分段,对具有相同时延的数据进 行严抱,以便得到每个时延过。的 DCF 值 Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

DCF(
$$\tau$$
) = $\frac{1}{M} \sum UDCF_{ij}(\tau)$, (2)

M 是数据对的总数,每个段的标准差是:

$$\sigma(\tau) = \frac{1}{M-1} \{ \sum [UDCF_{ij} - DCF(\tau)]^2 \}^{0.5}.$$
(3)

最终的 DCF 见图 3.具有相关性的时延分别是(1.0±0.5),(2.0±0.2),(13.49±0.07)以及(22.25±1.02)年,他们与 Jurkevich 方法所发现的周期 2.0,13.65±0.2,22.5±0.20 年相符.因此在光度曲线中存在着 2.0、~13.5 以及~22.5 年的周期.



图 ³ B数据的离散相关系数和时延的图表 Fig. ³ DCF and time lag diagram for the B data

3 讨论

用两种方法对 B 监测光度曲线的周期分析,得出几乎一致的 2.0 年、~13.5 年以及 22.5 年的周期.13.5 年周期也同样由 Babadzhanyants 等^[5]用傅里叶分析给出.由于它确 实是真实的而非分析技术的人为所致,当我们用蒙特-卡罗方法对误差进行分析,发现以 上的周期是相当显著的^[15].已经有一些模型提出来用于解释活动星系核中的长周期变 化,如 Sillanpaa 等^[3]、Meyer 等^[42]、Horiuchi 等^[43]、Abraham 等^[44].时标为几年的光变特 性可能是由于通常在活动星系核中心区黑洞周围的吸积盘的不稳定所致.特别是薄盘的 热不稳定性可能导致爆发式振荡.Honma 等^[40]已经通过数值模拟对具有经向一方向角 成份的粘滞应力张量 α^{β_P} 的光学薄的超声速吸积盘模型进行了研究,其中 α 和 q 是常 量, P 是压力, β 是气体和总压力之比.他们发现对于 q=0 以及在冷(外围)和热(内部)盘 区的合理吸积率(分别为 0.1 和 2 倍的临界率),盘表发现出爆发式振荡,具有回归时间.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

$$t_{
m recur} \sim 172 \left(\frac{\alpha}{0.1}\right)^{-0.64} M_6^{1.36} yr,$$
 (4)

其中 $M_6 = M/10^6 M_{\odot}$ 是中心黑洞的质量·如果我们认为这个回归时间与源坐标系中的变 化周期 $P^{obs}/(1+z)$ 一致,那么我们给出黑洞质量为

$$M_6^{1.36} \sim 5.8 \times 10^{-3} \frac{P^{\text{obs}}}{1+z} \left(\frac{\alpha}{0.1}\right)^{0.64}.$$
 (5)

由于 α≤1,这意味着黑洞上限为:

$$M_6^{1.36} \leq 2.5 \times 10^{-2} \, \frac{P^{\text{obs}}}{1+z}.$$
 (6)

对于周期 13.5 年给出质量~0.4 M_{6} .对 3C273,这个黑洞质量太小了.在克莱因一仁科 区域的 7 线观测的爱丁顿吸积极限估计,给出最小黑洞质量大约 10⁸ $M_{\odot}^{[45]}$,并且光谱中 的紫外超只能由黑洞质量至少为 5×10⁸ M_{\odot} 的光学厚盘模型拟合^[46].由不同方法估计出 的实际的质量具有 10¹⁰ M_{\odot} 量级^[47,48].本文给出结论,即观测给出的 3C273 光学波段上 的具有几年周期的光变不是来源于热不稳定性.

对观测到的光学周期的比较有前景的解释可能应该考虑吸积盘的外界扰动.最近 Abraham 等^[14]指出 3C273 的不同超亮源的位置角、速度以及形成时期与一个进动的喷流 相一致.喷流似乎以一个不变的角速度进动,形成了一个张角~3.9 度的锥.在观测坐标 内,它需要 16 年进动完一圈.进动时相对论流的多普勒效应产生一个调制,但这并不是意 味着一个在光学频率上的强 16 年变化周期,因为这个波段的辐射以盘辐射的大蓝包为主 (除非当喷流中形成了强激波,它将在所有光学薄频率产生峰值).Romero 等^[48]指出进动 是由一个伴黑洞的牛顿扭矩驱动的.在此意义上,有几种可能性可以解释光变的存在^[49], 在此我们仅提及其中 3 个.

厚盘扰动次黑洞并不穿过主黑洞的吸积盘,但在最近点处产生潮汐扰动导致吸积增加.13.5年周期相应于每次通过时喷流流量以及其亮度的增加.几年后,一个强激波在喷流的远处形成,并且由于喷流的进动具有螺旋形式,产生周期性流量变化为22.5年^[50].盘上的扰动以旋涡激波传播,在盘面上形成短暂的"热斑"^[51].这些斑点形成和消逝的典型时标,在此模型中相应于2年周期.

单次穿越吸积盘黑洞,每次在轨道运动中穿越主黑洞吸积盘一次.这在同样的轨道周 期内(即13.5年)产生了周期性的热辐射增量.这种相互作用引发了一个强扰动,它将向 盘内传播,导致后来的喷流辐射以及激波形成的增强.并且旋涡激波的碎块导致了周期性 耀发(2年周期).

双次穿越,在此模型中,次黑洞两次穿越主黑洞的吸积盘.我们可以把短周期归因于 此类事件,假定在观测坐标系中次黑洞具有周期几乎为4年的圆形轨道.更长(更强)的周 期可能相应于那些辐射极强定向的增强的喷流活动.关于吸积流向相对论喷流的转化,以 及相应的时延的确切物理过程还不清楚.旋涡扰动激波的碎裂将导致更快的耀发,已有几 位作者对 3C273 作了此方面的工作推导.

仅由光学资料,不足以对以上模型作出判断,具有²个黑洞的模型当然也是可能的,因此并不能完全排除,利用,γ,线的射电资料进行的详细分析将在其他地方发表^[48].但是 http://

我们认为外界周期性扰动似乎更可能是光学光变曲线中周期性的起源.其他的观测支持可能会来自母星系中近期星系合并的证据.

4 结论

本文汇集了光学 B 监测对 3C273 的所有资料,并通过两种方法对它们中的周围性进行了研究.我们发现了明显的 2 年、~13.5 年和~22.5 年的周期.同时,有迹象表明可能存在 4.5 年、7.5 年和 9 年的周期.光变周期时标似乎与典型的薄盘不稳定性产生的振荡不一致;相反,观测周期可能是来自中心黑洞被作轨道运动的小伴黑洞的潮汐扰动.

致谢 G·E·Romero 对活动星系核的研究,得到 CONICET, ANPCT 和 Fundacion Antorchas 的支持.

参考文献

- 1 Fan J H, Xie G Z, Pecontal E, et al. Ap J, 1998a, 507, 173
- 2 Jurkevich I. Ap S S, 1971, 13, 154
- 3 Sillanpaa A, Haarala S, Korhonen T. A Ap Suppl, 1988, 72, 347
- 4 Kidger M R, Takalo L, Sillanpaa A. A Ap, 1992,264.32
- 5 Babadzhanyants M K, Belokon E T. in Variability Blazars. In: Valtaoja EM, Valtonen, eds. Cambridge University Press, 1991.384
- 6 Fan J H, et al. ASP Conf Ser, 1999a, 159:57
- 7 Fan J H, et al. Ap J 1999b, (submitted)
- 8 Curvoisier T J L, et al. Nature, 1988, 335:330
- 9 Curvoisier T J L, et al. A Ap, 1990,234.73
- 10 Curvoisier T J L · in Variability of Blazars · In : Valtaoja E · Valtonen M · eds · Cambridge University Press, 1991. 399
- 11 Von Montigny C, et al. Ap J, 1997, 440:525
- 12 Curvoisier T J L. astro-ph/9808147, 1998
- 13 Ozernoi I M, Gudzenko I I, Chertoprud V E. Ap J, 1977, 216, 237
- 14 Abraham Z, romero G E. A Ap, 1999, 344 61) 1999
- 15 Lin R G. ChA&A Letter, 1999(submitted)
- 16 Angione R J, Moore E P, Roosen R G, et al. A J, 1981,86,653
- 17 Angione R J, Smith H J. A J, 1985, 90, 2474
- 18 Barbieri N, Erculiani L A. MSAI, 1968, 421
- 19 Burkhead M S. PASP, 1968,80,483
- 20 Burkhead M S. PASP, 1969, 82, 692
- 21 Burkhead M S. PASP, 1980, 92, 91
- 22 Burkhead M S, Lee V J. PASP, 1970, 82, 1150
- 23 Burkhead M S, Stein W L. PASP, 1971, 83:830
- 24 Burkhead M S, Rettic T W. PASP, 1972, 84,850
- 25 Burkhead M S, Hill R K. PASP, 1975, 87:821
- 26 Dorso G J, Schultz J, D ey A. PASP, 1986, 98:1287

²⁷ (C)1994-2029 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://

- 28 Cutri R M, et al. Ap J, 1985, 296, 423
- 29 Hamuy M, et al. A Ap, 1986, 163, 321
- 30 O'Dell S L, Puschell J J, Stein W A, et al. Ap J Suppl , 1978, 38, 267
- 31 Okyudo M. Annu Rep Nish-Harima Obs, 1993, 3,1
- 32 Sandage A. Ap J, 1966, 144:1234
- 33 Schaefer B E. PASP, 1980, 2:255
- 34 Sillanpa A, Mikkola S, Valtaoja L. A Ap Suppl, 1991, 88:225
- 35 Smith P S, Balonek T, Elston R, et al. Ap J Suppl, 1987, 64:459
- 36 Sitko M L, et al. Ap J, 1982, 259, 486
- 37 Takalo L O. A Ap, 1982, 109:4
- 38 Takalo L O, Sillanpaa A, Nilsson K, et al. A Ap Suppl, 1992, 94:37
- 39 Tritton K P, Selmes R A. MNRAS, 1971, 153:453
- 40 Edelson R A, Krolik J H. Ap J, 1988, 333, 646
- 41 Fan J H, Adam G, Xie G Z, et al. A Ap Suppl, 1988b, 136, 217
- 42 Meyer F, Meyer-Hofmeister E. A Ap, 1984, 132:143
- 43 Horiuchi T, Kato S. PASJ, 1990, 42:661
- 44 Honma F, et al. PASJ, 1991, 43, 147
- 45 Dermer C D, Gehrels N. Ap J, 1995, 447:103
- 46 Malkan M A. Ap J, 1983, 268, 582
- 47 Kafatos M. Ap J, 1980, 236, 99
- 48 Romero G E, Chajet L, Abraham Z, et al. A Ap, 1999, submitted
- 49 Valtaoja E. Perugia University Observatory Publications, 1997, 3, 62
- 50 Roland J, Tysser R, Roos N. A Ap, 1994, 290:357
- 51 Chakrabarti S K, Wiita P J. Ap J, 1993, 411, 602

THE OPTICAL VARIABILITY PERIODICITY ANALYSIS OF 3C273

FAN Jun-Hui^{1,2} $G \cdot E \cdot Romero^{3,4}$ LIN Rui-Guang¹

(1 Center for Astrophysics, Guangzhou Normal University, Guangzhou 510400) (2 Yunnan Astrophysics Center)

(³ Instituto Argentino de Radioastronomia, C. C. 5, 1894, Villa Elisa, Argentina)

(4 Departamento de Fisica, Universidad Nacional de La Plata, C. C. 67, (1900) La Plata, Argentina)

ABSTRACT The authors have compiled measurements of ~ 110 years in the B-band of the quasar $3C^{273}$ and used this database to search for periodicity signals in the optical light curve. Two different methods were applied: the Jurkevich technique and the discrete correlation function (DCF) method. They revealed the existence of periods of 2.0, (13.65 ± 0.20) and (22.50 ± 0.20) years in the source variability. The possible origin of such a behaviour is also discussed.