

# Cyg X - 1 X 射线短暴特性与康普顿化模型的比较

张明轩<sup>1</sup>, 牛萍<sup>1</sup>, 栗平<sup>2</sup>

(1. 石家庄学院物理系, 石家庄 050035; 2. 河北师范大学物理科学与信息工程学院, 石家庄 050031)

**摘要:**为了解释致密天体高能辐射的时延现象和能谱等特征, 多种致密天体 X 射线辐射源的理论模型先后被提出。但是, 目前尚没有一种模型能够完全解释 X 射线的高能辐射现象, 即现有的理论模型还不够完善。通过对 X 射线辐射源时延现象和短暴半高宽随能量变化这两个特性的讨论, 并尝试将 Cyg X - 1 的观测结果与康普顿化模型进行比较, 对原模型给出更多的限制从而建立更为合理的新模型。

**关键词:**X 射线源; 时延; 康普顿模型

**中图分类号:**P14

**文献标识码:**A

## 引言

时延现象和能谱特征是致密天体 X 射线辐射短暴的两个重要特性。通过对观测数据和理论模型比较, 将会对模型给出更多的限制和指导。康普顿化模型源于人们最初认为时延来自于软光子在热电子云中的康普顿化, 从而建立了均匀冕模型<sup>[1]</sup>。但该模型无论在大时间尺度还是短时间尺度上, 都不能解释观测到的时延与时间尺度的相关性。Kazanas 等又提出了非均匀冕模型<sup>[2]</sup>。此模型虽然解释了时延与时间尺度的相关性, 但预言的短时标时延比观测到的时延要短。随后, Bötcher 等提出了内旋物质团模型<sup>[3]</sup>, 以及 Poutanen 等又提出了磁耀斑模型<sup>[4]</sup>等, 但通过与实际观测数据比较得知, 这些康普顿化模型都低估了 Cyg X - 1 短时标的时延。

另外, 康普顿化模型预言<sup>[5]</sup>, 短暴的半高宽 (Full Width at Half Maximum, FWHM) 随能量的增加而不断加宽。但根据 RXTE (Ross X - ray Timing Explorer 罗西 X 射线时间探索者) 卫星的观测数据分析表明, Cyg X - 1 短暴的平均宽度与能量有关, 低能段时半宽最宽, 高能段时最窄, 短暴 FWHM 随能量的增加按规律指数下降。观测结果与康普顿化模型预言有明显区别, 即现有的模型还不够完善。本文通过讨论将给出更多的限制, 为建立更合理的新模型提供理论依据。

## 1 两个短暴特性与康普顿模型的比较

### 1.1 康普顿化模型低估了 Cyg X - 1 的时延

以非均匀冕模型为例讨论 Cyg X - 1 的时延, 此模型由核区和扩展区两部分组成。中心核区为电子密度均匀的软光子辐射源, 扩展区为温度均匀电子密度随径向距离增加而幂律下降的电子云区<sup>[2]</sup>。非均匀冕模型能对时延现象给出较好的解释, 种子光子从核区产生后进入到扩展区时与热电子碰撞, 使软光子康普顿化, 从而产生硬时延。由于在不同半径上热电子对光子的散射不同, 导致时间延迟与时间尺度有关。

任何一个成功的模型应能通过数值模拟达到与观测结果很好的拟合, Kazanas 等的数值模拟<sup>[6]</sup>显示, 如果向扩展冕注入  $\delta$  函数的软光子源, 则忽略起始部分的响应函数, 可以近似用  $\Gamma$  函数拟合<sup>[7]</sup>

$$\Gamma(t) = \begin{cases} t^{\alpha-1} e^{-\beta t} & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中  $\alpha, \beta$  是与源密度分布和观测能段相关的常数, 调整  $\alpha, \beta$  可以使拟合结果与观测最相近。以 Cyg X - 1 为例, 分别取高态 (P 10512) 和低态 (P 20173) 的两段观测数据, 通过数值模拟与观测结果进行拟合, 调整  $\alpha, \beta$  的大小使模拟的时延与 Cyg X - 1 的时延曲线最相近。将观测数据计算的时延与模拟光变曲线计算的时延结

收稿日期: 2011-09-07

基金项目: 河北省教育厅课题专项基金资助 (Z2008479)

作者简介: 张明轩 (1956-), 男, 河北清苑人, 教授, 主要从事天体物理方面的研究, (E-mail) zhangmx2008@yahoo.com.cn

果进行比较,结果如图 1、图 2 所示。可以看出,无论是低态还是高态,此模型在长时间尺度上对观测给出了很好的拟合,即非均匀冕模型的时间延迟与观测到的时间延迟基本一致,但在短时间尺度上,模型预言的短时标时延比观测到的时延要更短些,这与 Cyg X - 1 的观测结果明显不符。

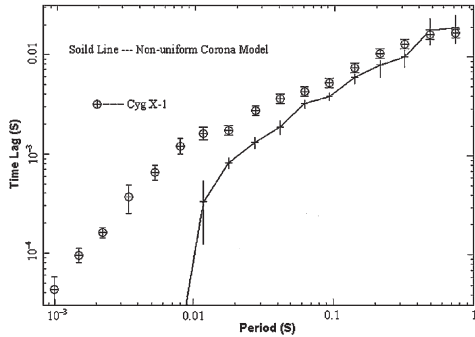


图 1 Cyg X - 1 低态( P20173) 时延[ 18. 2 -98. 4 keV /2 -5 keV(50 -249/0 -13) ]和非均匀冕模型的比较

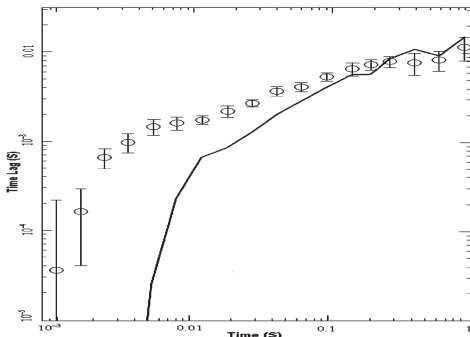


图 2 Cyg X - 1 高态( P10512) 时延(36 -174/0 -17) 和非均匀冕模型的比较

### 1.2 康普顿化模型预言短暴 FWHM 和能量的关系与观测不符

为研究短暴 FWHM 随能量的变化规律,我们在 2 - 6.5 keV、6.5 - 13.1 keV 和 13.1 - 60 keV 三个典型能段,利用叠加方法对短暴 FWHM 与能量的关系进行了讨论,结果见表 1。再以 Cyg X - 1 的 Binned 模式观测数据为例,能段取 2 - 13.1 keV,将该能段分成 8 个能道,时间道宽取 4 ms,利用叠加的方法获得短暴 FWHM 与能量的关系。取各能道的平均能量为 X 轴,对应能道的半高宽值作为 Y 轴,画出“能量 - 短暴 FWHM”曲线,结果如图 3 所示。

表 1 各能段对应的短暴的 FWHM

能量的范围(keV)	2 - 6.5	6.5 - 13.1	13.1 - 60
短暴的 FWHM (s)	0.08	0.03	0.01

将各能道的能量与对应的短暴 FWHM 进行比较,可以看出短暴 FWHM 随能量的变化而改变,能量越高对应

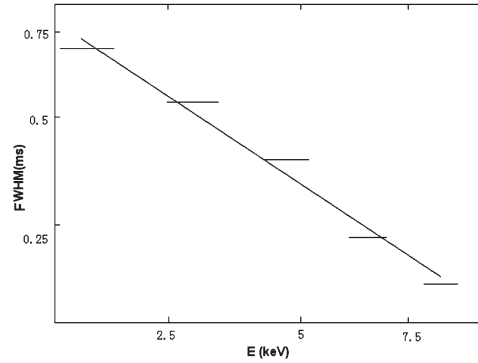


图 3 Cyg X - 1 能量 - 短暴半高宽曲线

的短暴 FWHM 越窄。短暴 FWHM 和能量的关系将对致密天体 X 辐射的康普顿化模型给出很强的限制。因为康普顿化模型预言<sup>[5]</sup>,短暴 FWHM 随能量的增加而加宽,Cyg X - 1 观测结果和理论模型明显不符。这表明此模型不能全面、正确地反映致密天体 X 射线辐射的观测性质。

## 2 讨论

综上所述,在非均匀冕模型中,由康普顿化过程引起的时延在短时间尺度上迅速下降,从而使模型低估了 Cyg X - 1 的时延。对于其它康普顿化模型(内旋物质团、磁耀斑模型),短时间尺度上的时延讨论与非均匀冕模型有相似的结果。在用叠加的方法研究短暴 FWHM 与能量的关系时,将各能道的能量和对应短暴的半高宽进行比较,可看出短暴 FWHM 的半高宽随能量的变化而改变,能量越高对应的短暴 FWHM 越窄,这与康普顿化模型预言完全不同。任何一个成功的模型应能很好地解释主要的实际观测现象,以上讨论可以看出,康普顿化模型还有一定缺陷,有待于新的观测数据支持来不断完善。更多的观测结果将对理论模型给出了更严格的限制,为建立更合理的理论模型提供依据。

### 参考文献:

[1] Sunyaev R A, Titarchuk L G. Comptonization of X-rays in Plasma Cloud Typical Radiation Spectra[J]. A&A., 1980,86:121-125.

[2] Kazanas D, Hua X M. Modeling the Time Variability of Accreting Compact Sources[J]. ApJ., 1999,519:750-761.

[3] Böttcher M, Liang E P. A new model for the hard time lags in black hole x-ray binaries[J]. ApJ., 1999,511:38-40.

[4] Poutanen J, Fabian A C. Spectral Evolution of Magnetic Flares and Time Lags in Accreting Black Hole Sources

- [J].MNRAS Lett.,1999,306:31-37.
- [5] Maccarone T J,Coppi P S,Taam R E.Thermal/Non-thermal Comptonization Spectral Fits to GRS 1915 + 105 [R].arXt confE.2000.19.
- [6] Kazanas D,Hua X-M,Titarchuk L.Temporal and Spectral Properties of Comptonized Radiation and Its Applications[J].ApJ.,1997,480:735-739.
- [7] Hua Xinmin,Kazanas D.Probing structure of accreting compact sources through X-ray time lags and spectra [J].HEAD.,1999,31:1602-1605.

## Comparison of Temporal Spectral Properties of X-ray in Cyg X-1 and Compton Models

ZHANG Ming-xuan<sup>1</sup>, NIU Ping<sup>1</sup>, LI Ping<sup>2</sup>

(1. Department of Physics Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China;

2. College of Physics Science and Information Engineering, Hebei Normal University Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** In order to explain the phenomenon of time lags and the characteristic of energy spectra that is high energy radiation from compact objects, many theoretic modes of X-ray source have been put forward. By far there are not any the model that can explain the phenomenon of time lags completely, namely, the theoretic modes are not consummate yet. Two characters are studied about temporal character of X-ray source and FWHM with energy, and the observation result of Cyg X-1 have been tried to compared with Compton Models. It gives more confine to build more logical new models.

**Key words:** X-ray source; time lag; Compton model